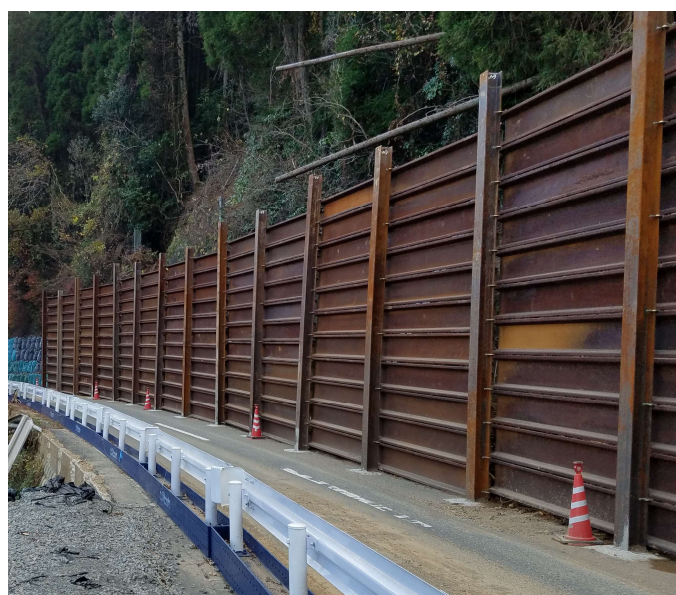


(公益社団法人) 土木学会  
地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性 WG  
活動報告書



令和3年3月

公益社団法人 土木学会

地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性 WG



近年、危機耐性に対する性能にも言及する耐震設計基準類等が増えつつあるが、安全性、復旧性（修復性）、使用性の3つの要求性能についてはほぼ漏れなく規定されている。特にガス、電気、水道などのライフラインの復旧にも大きな影響を及ぼす道路について、安全性や使用性は、致命的な損傷を受けない、使い続けられるなど、要求性能が明確で設計者の判断に委ねられるものは少ない。しかしながら、復旧性については具体的にどのような性能であれば要求が満足されるのかが明確に記述がなされておらず、行政側も具体的な要求性能の設定に悩むのではないかと想定される。例えば、重要度の高い道路については道路橋示方書－耐震設計編－（平成29年度版）においては、「地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能」、道路震災対策便覧（震前対策編、平成18年度改訂版）においては、区間としての耐震性として、「限定された損傷にとどめ、応急対策によって緊急車両の通行が可能」、ネットワークとしての耐震性として「多重性、代替性を確保」と記され、道路土工構造物技術基準・同解説（平成29年）には、「道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能」との記載がある。道路震災対策便覧には、既往の被害地震における復旧機関の事例が示されているが、「速やかに」とはどの程度の時間なのか、近年の実際の被害被害ではどのような被害でどれくらいの時間を要しているか、目標性能の目安となる被害や時間について、必ずしも十分な情報が整理、提供されていないと考えられる。

一方、「生死を分けるタイムリミットは72時間」と72時間以内に緊急車両が被災地にアクセスできることが求められている。しかしこれ自体、近年示された概念であるため、応急復旧の被害の目安・目標等において、72時間（3日）をターゲットにしていない研究や文献も散見されるが、2011年東北地方太平洋沖地震における所謂「櫛の歯作戦」の成功体験をもとに、国や地方自治体では72時間を意識した地震対策が講じられている。

本WGにおいても生死を分ける72時間を念頭におき、主に道路の応急復旧について、被害地震における事例や予測法の紹介、議論を重ねた。本報告書は、2017年9月より約3年半の活動成果を取りまとめたものである。

2021年2月

耐震基準小委員会 復旧性WG 主査  
酒井久和

土木学会地震工学委員会・耐震基準小委員会

復旧性 WG・委員名簿

| 氏名     | 所属           | 備考        |
|--------|--------------|-----------|
| 酒井 久和  | 法政大学         | WG 長      |
| 一井 康二  | 関西大学         | 幹事        |
| 梶田 幸秀  | 九州大学         |           |
| 片岡 正次郎 | 国土技術政策総合研究所  |           |
| 日下 寛彦  | 高速道路総合技術研究所  | 2020 年度から |
| 栗林 健太郎 | エイト日本技術開発    |           |
| 後藤 和満  | 構造プロテクト技術研究会 |           |
| 中村 洋丈  | 高速道路総合技術研究所  | 2019 年度まで |
| 橋本 隆雄  | 国土館大学        |           |
| 丸山 喜久  | 千葉大学         |           |

(公益社団法人) 土木学会

地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性WG・活動報告書 目次

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 1. 道路の復旧事例などに関する資料集 .....          | 1   |
| 1. 1 道路盛土の被害事例 .....               | 2   |
| 1. 2 道路橋の被災事例 .....                | 48  |
| 1. 3 高速道路における大規模地震時復旧関連データ事例 ..... | 83  |
| 2. 土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム .....     | 87  |
| 2. 1 プログラム .....                   | 88  |
| 2. 2 基調講演資料 .....                  | 90  |
| 2. 3 投稿論文集 .....                   | 102 |
| 3. 活動記録 .....                      | 181 |
| 謝辞 .....                           | 198 |



# 1. 道路の復旧事例などに関する資料集

## 1.1 道路盛土の被害事例

執筆者：野本篤史（法政大学）、酒井久和（法政大学）

## 1.2 道路橋の被災事例

執筆者：伊東耕生（法政大学）、酒井久和（法政大学）

## 1.3 高速道路における大規模地震時復旧関連データ事例

執筆者：日下寛彦（高速道路総合技術研究所）

## 1.1 道路盛土

社会経済活動や生活の基盤となる道路は、人や車に対する交通機能と、ライフラインや防災等のための空間機能と2つの機能を有しており、重要な社会資本の1つである。だが近年、日本では地震や豪雨といった自然災害が多く発生し、人的被害や住家損壊、道路損壊といった物的被害の誘因となっている。このうち、地震については、日本列島は4つのプレート境界部に位置していることから、被害地震が多発しており、21世紀以降に発生した地震で人的被害に及んだ地震は133回、物的被害に及んだ地震は75回発生している(表-1.1.1)。

表-1.1.1 21世紀以降の日本で発生した主な被害地震のデータ(2020年2月9日現在)<sup>1),2),3),4)</sup>

| 被害内容     |           | 被害を発生させた地震の数 |
|----------|-----------|--------------|
| 人的       |           | 133          |
| 物的       |           | 75           |
| 物的<br>被害 | 盛土による道路   | 19           |
|          | 盛土以外による道路 | 19           |

物的被害の内訳として道路被害があり、道路被害のうちの半数は盛土が占めている。道路盛土は長距離にわたる線状構造物であるため、ある区間内における一部でも被災した場合は復旧に時間を要し、道路の社会基盤としての機能が損なわれる事例が多数報告されている。

### 1.1.1 資料

地震における道路盛土部の被害事例を調べた結果、21世紀以降で道路盛土に被害が及んだ地震は19回であった(表-1.1.2)。また、文献調査によると復旧に対して影響を与える要因は、(1)被害範囲、(2)盛土高さ、(3)盛土構造、(4)地形、(5)被害形態、(6)被害延長、(7)流出土砂量、(8)土の種類、(9)作業人員数の9つの項目だと考えられ、それらのデータと規制期間を集めることとし、その際、被災した箇所の担当となる各整備局や高速道路株式会社に資料請求することとした。

資料請求を行った結果、中日本高速道路株式会社から2009年駿河湾地震のデータを、東日本高速道路株式会社から2011年東北地方太平洋沖地震のデータを取得することができた。

### 1.1.2 復旧性の関係項目

データ整理の結果、(6)被害延長、(7)流出土砂量、(8)土の種類、(9)作業人員数の4つの項目はデータ数が少なかったため、本報告書ではデータ数の多い(1)～(5)を中心にデータを示す。

また、(2)盛土高さ、(3)盛土構造、(4)地形の3項目について、取得できなかった被災箇所に関しては、Google Earth Proと国土地理院地図の衛星画像による目視およびに標高差を用いて推定した。盛土高さの算出を下記の式に示す。

$$\text{(盛土高さ)} = \text{(被災した盛土部の路面における標高)} - \text{(のり尻における標高)}$$

ここで、Google Earth Proの標高は整数での表示(図-1.1.1)、国土地理院地図の標高は小数第一位での表示(図-1.1.2)であることを考慮して、被災した盛土部の路面における標高およびのり尻における標高は、2つの標高の平均を取った値とする。



表-1.1.2 道路盛土に被害が及んだ地震

| 発生年月日 <sup>1)</sup> | マグニチュード <sup>1)</sup> | 震央名・地震名 <sup>1)</sup>  | 最大震度 <sup>1)</sup> |
|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| 2001/3/24           | 6.7                   | 安芸灘・平成13年芸予地震          | 6弱                 |
| 2003/5/26           | 7.1                   | 宮城県沖                   | 6弱                 |
| 2003/7/26           | 6.4                   | 宮城県北部                  | 6強                 |
| 2003/9/26           | 8.0                   | 釧路沖・平成15年十勝沖地震         | 6弱                 |
| 2004/10/23          | 6.8                   | 新潟県中越地方・平成16年新潟県中越地震   | 7                  |
| 2004/12/14          | 6.1                   | 留萌支庁南部                 | 5強                 |
| 2005/3/20           | 7.0                   | 福岡県西方沖                 | 6弱                 |
| 2007/3/25           | 6.9                   | 能登半島沖・平成19年能登半島地震      | 6強                 |
| 2007/7/16           | 6.8                   | 新潟県上中越沖・平成19年新潟県中越沖地震  | 6強                 |
| 2008/6/14           | 7.2                   | 岩手県内陸南部・平成20年岩手・宮城内陸地震 | 6強                 |
| 2009/8/11           | 6.5                   | 駿河湾・平成21年駿河湾地震         | 6弱                 |
| 2011/3/11           | 9.0                   | 三陸沖・平成23年東北地方太平洋沖地震    | 7                  |
| 2011/3/12           | 6.7                   | 長野県・新潟県県境付近            | 6強                 |
| 2011/3/15           | 6.4                   | 静岡県東部                  | 6強                 |
| 2011/4/7            | 7.2                   | 宮城県沖                   | 6強                 |
| 2013/4/13           | 6.3                   | 淡路島付近                  | 6弱                 |
| 2014/11/22          | 6.7                   | 長野県北部                  | 6弱                 |
| 2016/4/14           | 7.3                   | 熊本県熊本地方・平成28年熊本地震      | 7                  |
| 2016/10/21          | 6.6                   | 鳥取県中部                  | 6弱                 |



図-1.1.1 Google Earth Proによる標高表示



図-1.1.2 国土地理院地図による標高表示<sup>5)</sup>

### 1.1.3 対象地震

前述のように、道路盛土に被害が及んだ地震は21世紀以降19回発生している。そのうち、道路車線部まで被害が及び甚大な被害を受けた箇所がある地震、規制期間が1週間続いた箇所のある地震、被災箇所のデータが集まった地震、以上3つの条件を総合的に満たしている地震が下記の①~⑦の計7回の地震である。

- ①2004 年新潟県中越地震
- ②2007 年能登半島地震
- ③2007 年新潟県中越沖地震
- ④2009 年岩手宮城内陸地震
- ⑤2009 年駿河湾地震
- ⑥2011 年東北地方太平洋沖地震
- ⑦2017 年熊本地震

本報告書では、上記の 7 つの地震に関するデータを示す。7 地震の盛土部の被災箇所は、新潟県中越地震 30 地点、能登半島地震 19 地点、新潟県中越沖地震 8 地点、岩手宮城内陸地震 6 地点、駿河湾地震 3 地点、東北地方太平洋沖地震 40 地点、熊本地震 5 地点の計 111 地点である。

#### 1.1.4 各地震の被災概要と盛土被害箇所データ

##### (1) 2004 年新潟県中越地震

2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分、新潟県中越地域を震源とするマグニチュード 6.8 の地震が発生した。この震源の直上に位置した新潟県川口町(現・長岡市)では、震源 7 が記録され、観測史上初の地震計による震度 7 の地震となった。この地震の概要を表-1.1.3 に示す。その他にも、新潟県小千谷市や小国町で震度 6 強、埼玉県久喜市や福島県西会津町で震度 5 弱、東京 23 区や山梨県でも震度 4 が観測されるなど、中越地方から関東・東北地方にかけて広い範囲で揺れを観測した。本震から 1 時間以内に M6.0、最大余震となった M6.5 の地震が発生し、いずれも震度 6 強の強い揺れが生じた。その後も余震活動は継続していき、本震の震央付近の魚沼丘陵に位置する山古志村(現・長岡市)、川口町では強い揺れによって多数の地滑りが発生し、多くの道路被害や河川のせき止めによる湖が出現した<sup>6)</sup>。

表-1.1.3 新潟県中越地震の概要<sup>1)</sup>

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| 発生日時  | 2004 年 10 月 23 日午後 5 時 56 分          |
| 震央地名  | 新潟県中越地方(北緯 37 度 17 分, 東経 138 度 52 分) |
| 震源の深さ | 約 13km                               |
| 地震の規模 | マグニチュード 6.8                          |
| 最大震度  | 震度 7: 新潟県 川口町 (現・長岡市)                |
| 津波    | なし                                   |
| 死傷者数  | 死者 68 人, 負傷者 4,805 人                 |

高速道路では北陸自動車道と関越自動車道、国道では 17 号, 117 号, 252 号, 351 号で盛土のり面の崩壊や路面の陥没、段差が多数発生した。この地震で盛土部に被害が及んだ地点は 30 箇所である。

関越自動車道堀之内 IC~越後川口 IC 間で 3 箇所の盛土崩壊が発生し、規制期間は 13 日間であった。しかし、被災した 3 箇所はそれぞれ被災間の距離が短く、1 箇所復旧してもその他の箇所で復旧しない限り交通規制は解除されないため、規制期間が長くなったと考えられる。このことを考慮して、規制期間の概算値を各地点の被害範囲の比率で算出した。

関越自動車道 堀之内 IC~越後川口 IC 214.5kp :  $13(\text{日}) \times 4(\text{車線}) / 8(\text{車線}) = 6.5(\text{日})$

関越自動車道 堀之内 IC~越後川口 IC 215.1kp :  $13(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 8(\text{車線}) = 3.3(\text{日})$

関越自動車道 堀之内 IC~越後川口 IC 215.9kp :  $13(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 8(\text{車線}) = 3.3(\text{日})$

また同様に、規制期間が同一でその区間に複数の被害がある北陸自動車道、国道 252 号十日町越ヶ沢と十日町中仙田 5 地点、国道 351 号長岡市宮内と長岡市乙吉も適用し、各地点において実際に復旧に要したと考えられる期間に対応する概算の規制期間を求めた。

30 箇所のデータを整理したものを表-1.1.4 に示す。

表-1.1.4 新潟県中越地震の盛土被害箇所データ

| 路線名    | 被災区間         | 被災場所    | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|--------------|---------|------|------|------|------|------|
| 関越自動車道 | 堀之内IC~越後川口IC | 214.5kp | 4    | 7.1  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 6.5  |
| 関越自動車道 | 堀之内IC~越後川口IC | 215.1kp | 2    | 9.4  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.3  |
| 関越自動車道 | 堀之内IC~越後川口IC | 215.9kp | 2    | 15.6 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 3.3  |
| 関越自動車道 | 越後川口IC~小千谷IC | 226.2kp | 2    | 10.0 | 平坦両盛 | 段差   | 5.2  |
| 関越自動車道 | 越後川口IC~小千谷IC | 227.5kp | 2    | 2.8  | 平坦両盛 | 段差   | 5.2  |
| 関越自動車道 | 越後川口IC~小千谷IC | 228.0kp | 路肩   | 2.6  | 平坦両盛 | 崩壊   | 2.6  |
| 北陸自動車道 | 西山IC~中之島見附IC | 415.6kp | 2    | 6.7  | 傾斜片盛 | 段差   | 1.3  |
| 北陸自動車道 | 西山IC~中之島見附IC | 415.0kp | 2    | 4.5  | 平坦両盛 | 亀裂   | 1.3  |
| 北陸自動車道 | 西山IC~中之島見附IC | 418.8kp | 路肩   | 3.4  | 平坦両盛 | 陥没   | 0.6  |
| 国道8号   | 長岡市宮本        |         | 1    | 2.0  | 傾斜片盛 | 段差   | 1.0  |
| 国道17号  | 川口市天納        |         | 2    | 35.7 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 6.0  |
| 国道17号  | 長岡市十日町       |         | 路肩   | 3.0  | 平坦両盛 | 段差   | 0.7  |
| 国道17号  | ちぢみの里        |         | 2    | 5.7  | 平坦両盛 | 段差   | 1.8  |
| 国道17号  | 川口町牛ヶ島       |         | 2    | 7.7  | 傾斜片盛 | 段差   | 3.4  |
| 国道117号 | 小千谷市細島       |         | 2    | 9.7  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 8.0  |
| 国道117号 | 小千谷市塩殿       |         | 1    | 26.9 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 8.0  |
| 国道252号 | 堀之内町上稲倉      |         | 2    | 3.1  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 5.0  |
| 国道252号 | 十日町上野        |         | 2    | 9.5  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 9.0  |
| 国道252号 | 十日町越ヶ沢       |         | 1    | 20.9 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 4.3  |
| 国道252号 | 十日町中仙田       |         | 1    | 9.2  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 4.3  |
| 国道252号 | 十日町中仙田       |         | 2    | 10.1 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 8.7  |
| 国道252号 | 十日町中仙田       |         | 1    | 14.6 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 4.3  |
| 国道252号 | 十日町中仙田       |         | 2    | 4.5  | 平坦両盛 | 段差   | 8.7  |
| 国道252号 | 十日町中仙田       |         | 2    | 2.5  | 平坦両盛 | 段差   | 8.7  |
| 国道253号 | 松代町池尻        |         | 1    | 2.3  | 傾斜片盛 | 段差   | 0.7  |
| 国道290号 | 栃尾市栗山沢       |         | 2    | 14.0 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 6.3  |
| 国道351号 | 小千谷市木津       |         | 路肩   | 12.1 | 平坦両盛 | 段差   | 1.0  |
| 国道351号 | 長岡市宮内        |         | 2    | 16.9 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 18.0 |
| 国道351号 | 長岡市乙吉        |         | 1    | 19.6 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 9.0  |
| 国道404号 | 越路町東谷        |         | 1    | 5.2  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 5.0  |

## 1) 関越自動車道

堀之内 IC~越後川口 IC、越後川口 IC~小千谷 IC 間で盛土の被害が甚大であった。特に堀之内 IC~越後川口 IC 間の 214.0~216.0kp 付近での被害が激しく、215.1kp(写真-1.1.1)と215.9kp(写真-1.1.2)では2車線を含む崩壊、214.5kp(写真-1.1.3)では4車線全てを含む崩壊に至り、仮復旧までに13日間かかった。この区間は魚野川沿いの低地から北東の山へ上がっていく斜面の麓に集落が形成されており、その集落の上部の斜面を関越自動車道が存在する<sup>7)</sup>。このように集水地形であることや、傾斜上に盛土がなされていたこと、また本震や余震の震源地がこの区間の近くで多発したことにより、大規模な盛土崩壊が発生したと考えられる。



写真-1.1.1 215.1kp での崩壊<sup>8)</sup>



写真-1.1.2 215.9kp での崩壊<sup>9)</sup>



写真-1.1.3 214.5kp での崩壊<sup>10)</sup>

最も被害が甚大であった 214.5kp 地点(写真-1.1.4)では、被災から約 19 時間後に緊急車両等が徐行して通行できる緊急交通路を確保し、発災から約 100 時間後には緊急車両などがより迅速に走行できる緊急車両の通行車線を確保することができた。その後、路面の縦断勾配の修正や安全性の確保を 24 時間体制で行い、発災から約 13 日後に片側 1 車線で通行止め解除され、一般車両の通行も可能となった(写真-1.1.5)。4 車線すべての復旧を終えたのは発災から 1 ヶ月後であった<sup>16)</sup>。



写真-1.1.4 被災直後の 214.5kp<sup>16)</sup>

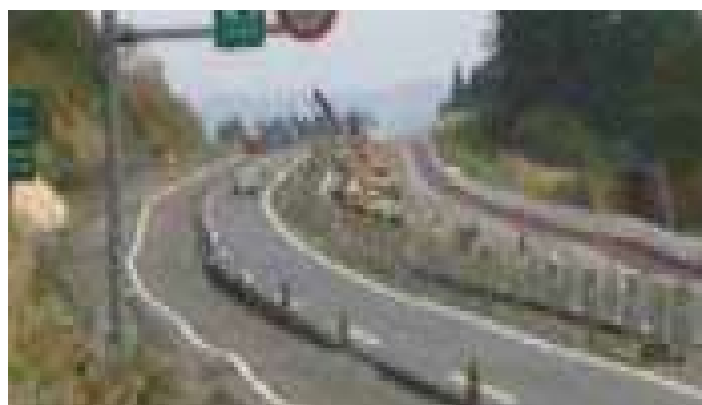


写真-1.1.5 応急復旧後の 214.5kp<sup>16)</sup>

## 2) 北陸自動車道

西山 IC~中之島見附 IC 間において、盛土崩壊や縦断方向の亀裂(写真-1.1.6, 写真-1.1.8)が集中的に発生した。盛土崩壊したのは 415.6kp(写真-1.1.7)の 1 ヶ所のみであることと浅い盛土崩壊であったことから、被災箇所が多数発生したものの、通行止め解除は被災から 3 日後という短い期間で復旧することができた<sup>11)</sup>。



写真-1.1.6 415kp での亀裂<sup>1)</sup>



写真-1.1.7 415.6kp での崩壊<sup>1)</sup>



写真-1.1.8 418.8kp での陥没<sup>1)</sup>

### 3) 国道 17 号

国道 17 号では、川口町(現・長岡市)天納地区や牛ヶ島地区で大規模な盛土部の崩壊や段差が生じた。天納地区の 263.46kp 地点の盛土が崩壊したことにより、隣接する JR 上越線の線路が宙づりになるなど、道路のみならず鉄道にも大きな影響を及ぼした(写真-1.1.9)。この被災箇所は集水地形であるので、地震の直前の台風 23 号により地下水位や間隙水圧が上昇して軟弱地盤となり、本震の揺れによって崩壊に至ったと考えられている。鉄道を巻き込む崩壊になったことにより、道路の復旧は長期的にならざるを得なかった。元の道路を当分全面通行止めにし、被災箇所を復旧するために、民間施設の一部を取り壊して臨時的に迂回路を作ることとなり、被災から約 6 日で完成され(写真-1.1.10)、通行規制が解除された。被災から 2 ヶ月後に本復旧が完了し、元の道路が開通した<sup>12)</sup>。



写真-1.1.9 被災直後の天納地区での崩壊<sup>12)</sup>



写真-1.1.10 臨時迂回路完成後の天納地区<sup>12)</sup>

牛ヶ島地区では、盛土部の段差だけでなく切土のり面の崩壊も発生したが、被災から 3 日で片側通行により交通確保した(写真-1.1.11, 写真-1.1.12)。



写真-1.1.11 牛ヶ島地区の被災箇所<sup>13)</sup>



写真-1.1.12 応急復旧後の牛ヶ島地区<sup>13)</sup>

#### 4) 国道 117 号

小千谷市塩殿と細島地区で、深い盛土崩壊がそれぞれ発生した。塩殿では、盛土高さが 26.9m と非常に高いということと、地震直前の台風 23 号の大雨により盛土内の含水比が高くなって軟弱になったことの 2 点により、盛土が大規模に崩壊したと考えられる(写真-1.1.13)。また、細島では塩殿に比べて盛土高さが 9.7m と低いものの、のり面の補強がなされていなかったために 2 車線を含む崩壊が発生した(写真-1.1.14)。どちらも被災から 8 日後に交通規制が解除された。また、2 つの地区の盛土材は礫混じり粘土を使用していた<sup>2014)</sup>。



写真-1.1.13 小千谷市塩殿での崩壊<sup>13)</sup>





写真-1.1.14 小千谷市細島での崩壊<sup>14)</sup>

#### 5) 国道 252 号

国道 252 号は、国道 8 号、17 号、117 号を東西に結ぶことから交通量が多く、物流のみならず生活道路としても重要な路線である。その重要な路線上に存在する旧川西町中仙田から上野地区において、地震により 7 ヶ所が被害を受けた。国道 252 号の通行止めと同時に、関越自動車道、国道 17 号、国道 117 号が通行止めになったことにより、迂回路が 1 ヶ所に集中して交通量が急増した。そのことにより、国道 252 号の早期復旧が重要な課題となった<sup>15)</sup>。下記に 3 地区の被災概要と被災状況(写真-1.1.15-写真-1.1.17)を示す。

##### ・上野地区<sup>15)</sup>

2 車線の道路を含んで盛土が崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.15 に示す。道路幅員が山側に広くあったことから、法線を山側にふり、盛土量を減らす工法で復旧を行った。被災から約 9 日後に応急復旧を完了して交通規制が解除された。



写真-1.1.15 上野地区での崩壊<sup>15)</sup>

・越ヶ沢地区<sup>15)</sup>

1 車線の道路を含んで盛土が崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.16 に示す。盛土高さは 20.9m、盛土量は約 8,000m<sup>3</sup>であるほか崩土処理もあったため、山側の路肩が広く 1 車線確保できることから法線を山側にふり、盛土量を減らす工法で復旧を行った。被災から約 38 日後に応急復旧が完了して交通規制が解除された。



写真-1.1.16 越ヶ沢地区での崩壊<sup>15)</sup>

・中仙田地区<sup>15)</sup>

中仙田地区では盛土部による崩壊および段差が 5 箇所発生した。崩壊の状況を写真-1.1.17 に示す。そのうち 3 箇所では 2 車線の道路を含む崩壊や段差が生じ、また越ヶ沢地区での被災箇所とも近いことから、復旧に時間を要すると判断されたので早期復旧のために、盛土勾配を 2 割から 1 割 5 分にして盛土量を暫定的に減らすほか、崩土処理を最小限にした。越ヶ沢地区と同様に、被災から約 38 日後に応急復旧が完了した。



写真-1.1.17 中仙田地区での崩壊<sup>15)</sup>

6) 国道 351 号

長岡市宮内町と長岡市乙吉町にて盛土が大きく崩壊した。それぞれの盛土崩壊の状況を写真-1.1.18、写真-1.1.19 に示す。宮内町の崩壊した盛土は盛土高さが 16.9m であり、盛土区間の前後は切土区間になっている。周辺は緩い沢地形となっており、地山からの水の供給により盛土内の地下水位が高くなったことにより崩壊が生じたと考えられている<sup>16)</sup>。また、乙吉町で崩壊した盛土は盛土高 19.6m と宮内町と同様、高盛土での崩壊であった。2 つの

被災箇所は被災間が短いこと、高盛土での崩壊であったことより、1ヶ月弱の交通規制が強いられた。



写真-1.1.18 長岡市宮内町での崩壊<sup>16)</sup>



写真-1.1.19 長岡市乙吉町での崩壊<sup>17)</sup>

## (2) 2007年能登半島地震

平成19年3月25日9時41分、能登半島沖の深さ11kmでマグニチュード6.9の地震が発生した。最大震度である6強を観測したのは、石川県穴水町、輪島市、七尾市であるほか、北陸地方を中心に北海道から中国四国地方にかけて震度5強~1を観測した。また、石川県の珠洲市長橋(気象庁観測点)で11時13分に最大22cmの津波が観測されたが、津波による物的被害や人的被害はなかった。この地震の概要を

表-1.1.5に示す。

能登有料道路を含めた道路関係の被害箇所数は717箇所と全体箇所の7割を超えて、被害金額も道路関係で約193億円と公共土木施設被害全体金額の約8割を占めている<sup>18)</sup>。また、能登半島では風評被害も伴い観光面に大きな打撃が生じた。

表-1.1.5 能登半島地震の概要<sup>1)</sup>

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 発生日時  | 2007年3月25日午前9時41分             |
| 震央地名  | 能登半島西岸付近(北緯37度13分, 東経136度41分) |
| 震源の深さ | 約11km                         |
| 地震の規模 | マグニチュード6.9                    |
| 最大震度  | 震度6強: 石川県 穴水町 輪島市 七尾市         |
| 津波    | 22cm                          |
| 死傷者数  | 死者1人, 負傷者356人                 |

能登有料道路(現・のと里山街道)の20km間で13箇所もの盛土崩壊が発生したほか、国道249号の志賀町にある高盛土区間で崩壊が発生した。能登有料道路では、徳田大津JCT~横田IC間で27日間の規制、横田IC~越の原IC間で33日間の規制が強いられた。しかし、4.1.1節で述べたのと同様に、短い区間で集中的に被災が発生したため、規制期間が長くなったと考えられる。このことを考慮して、規制期間を各地点の被害範囲の比率で算出した。なお、路肩部での被災は1車線での被災とした。規制期間の概算値を下記に示す。

・徳田大津JCT~横田IC間

5.6kp, 6.3kp, 10.6kp :  $27(\text{日}) \times 1(\text{車線}) / 5(\text{車線}) = 5.4(\text{日})$

11.7kp :  $27(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 5(\text{車線}) = 10.8(\text{日})$

・横田IC~越の原IC間

15.9kp, 17.7kp, 21.5kp, 21.6kp, 21.7kp, 22.2kp, 24.1-24.6kp :

$33(\text{日}) \times 1(\text{車線}) / 11(\text{車線}) = 3.0(\text{日})$

14.7kp, 21.1kp :  $33(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 11(\text{車線}) = 6.0(\text{日})$

規制期間を修正した13箇所を含む計19箇所のデータを整理したものを表-1.1.6に示す。

表-1.1.6 能登半島地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名    | 被災区間        | 被災場所 | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 能登有料道路 | 5.6kp       |      | 1    | 20.3 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 5.4  |
| 能登有料道路 | 6.3kp       |      | 1    | 19.5 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 5.4  |
| 能登有料道路 | 10.6kp      |      | 1    | 19.2 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 5.4  |
| 能登有料道路 | 11.7kp      |      | 2    | 15.1 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 10.8 |
| 能登有料道路 | 14.7kp      |      | 2    | 33.5 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 6.0  |
| 能登有料道路 | 15.9kp      |      | 1    | 13.5 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 17.7kp      |      | 1    | 29.8 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 21.1kp      |      | 2    | 24.6 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 6.0  |
| 能登有料道路 | 21.5kp      |      | 1    | 12.9 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 21.6kp      |      | 1    | 11.9 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 21.7kp      |      | 1    | 11.5 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 22.2kp      |      | 1    | 19.1 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 能登有料道路 | 24.1-24.6kp |      | 路肩   | 9.9  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 3.0  |
| 国道249号 | 志賀町深谷       |      | 2    | 25.9 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.8  |
| 国道249号 | 志賀町大福寺      |      | 1    | 30.2 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 3.8  |
| 国道249号 | 輪島市深見       |      | 2    | 7.4  | 傾斜片盛 | 段差   | 3.4  |
| 国道249号 | 志賀町清水今江     |      | 2    | 2.3  | 平坦両盛 | 段差   | 0.4  |
| 国道470号 | 穴水町七海       |      | 2    | 8.2  | 平坦両盛 | 段差   | 0.9  |
| 国道470号 | 徳田大津JCT付近   |      | 2    | 8.3  | 傾斜片盛 | 段差   | 4.2  |

## 1) 能登有料道路

被災にあった徳田大津 JCT~横田 IC 間の 4 箇所および横田 IC~越の原 IC 間の 9 箇所の被災概要と被災状況を下記に示す。

### ・ 5.6kp (七尾市中島町豊田, 徳田大津 JCT~横田 IC)

盛土高さ 20.3m の傾斜片盛区間で、1 車線を含む崩壊が発生した。崩壊の状況および応急復旧の状況を写真-1.1.20, 写真-1.1.21 に示す。本箇所は集水地形の沢埋め盛土であり、山側からの地下水が浸透したことにより盛土内へ供給され、盛土内の含水比が高かったことが原因で崩壊になったと考えられている。応急復旧では、盛土背後の平地部と一部の地山の切土により迂回路が確保された。また崩壊の拡大が懸念されたため、崩壊部背後に H 鋼杭及び頭部排土工を施工し、迂回路の安全性が確保された<sup>18)</sup>。



写真-1.1.20 5.6kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.21 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

### ・ 6.3kp (七尾市中島町土川, 徳田大津 JCT~横田 IC)

盛土高さ 19.5m の傾斜片盛区間で、2 車線を含む崩壊が発生した。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.22, 写真-1.1.23 に示す。本箇所は 3 本の沢が集まる地形であり、路面背

後はポケット状の湿地となっている。崩壊箇所中央付近からは湧水が見られ、崩壊箇所終点付近には多量の水が流出していた。また、路面には縦断亀裂を修繕した痕がみられた。崩壊に至った原因は、盛土内の含水比が高いことと路面の変状が常に発生していたことであると考えられる。応急復旧では切土を行うことにより山側に迂回路が設置された<sup>18)</sup>。



写真-1.1.22 6.3kpでの崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.23 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・10.6kp(七尾市中島町横田，徳田大津 JCT~横田 IC)

横田 IC 上り線オンランプの盛土高 19.2m の腹付け盛土が延長 50m 程度にわたりすべり崩壊した。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.24，写真-1.1.25 に示す。路肩部に補修済みの古い縦断亀裂があったことや、地下水位の上昇によって盛土崩壊したと考えられている。崩壊した上り線オンランプは耐候性大型土のうとジオテキスタイルにより復旧され、補強盛土基礎地盤は碎石置換を行い、補強盛土下方の崩土内に排水パンプ，崩土先端部に大型ふとん籠を設置することにより、応急復旧を行った<sup>18)</sup>。



写真-1.1.24 10.6kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.25 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・ 11.7kp (七尾市中島町谷内, 徳田大津 JCT~横田 IC)

盛土高さ 15.1m の傾斜両盛土構造の盛土が延長 100m 程度, 2 車線にわたり崩壊した。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.26, 写真-1.1.27 に示す。本箇所は沢埋め盛土で山側の沢には常に流水があり, 盛土背後は湿地化していることにより, 盛土が軟弱となり崩壊したと考えられている<sup>18)</sup>。応急復旧では, 10.6kp と全く同じ工法で行った。



写真-1.1.26 11.7kp での崩壊<sup>18)</sup>





写真-1.1.27 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・ 14.7kp (七尾市中島町小牧, 横田 IC~越の原 IC)

傾斜地盤上の高さ 33.5m の片盛土が延長 100m 程度, 2 車線にわたり崩壊し, 崩土は下方の沢筋にそって 100m 程度流下した. 崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.28, 写真-1.1.29 に示す. 山側からの浸透水等の影響により盛土内に水が浸透したことによって崩壊したと考えられている. 応急復旧では, 山側を切土し併走する林道に盛土を施すとともに, 崩壊のり面側には H 鋼と大型土のうによる押さえ盛土を行うことにより 2 車線の迂回路が確保された<sup>18)</sup>.



写真-1.1.28 14.7kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.29 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・ 15.9kp (七尾市中島町小牧, 横田 IC~越の原 IC)

盛土高さ 13.5m の傾斜片盛土構造の盛土が 1 車線にわたり崩壊し, 崩壊の幅は 100m 程度であった。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.30, 写真-1.1.31 に示す。背面地山の地下水に加え, 穴水町側からの路面排水, 地下水がのり尻付近の緩い沢筋を縦断方向へと流れている。このことより, のり尻付近の地下水位は高い状態となっていたことが被災の要因となったと考えられている。応急復旧では, 盛土背後の地山を切土し, 迂回路を施工した<sup>18)</sup>。



写真-1.1.30 15.9kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.31 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・ 17.7kp (七尾市中島町田岸, 横田 IC~越の原 IC)

盛土高 29.8m の沢埋めの両盛土で, 1 車線にわたり崩壊した。盛土は泥流化し, 150m 程度流下して, 末端の谷を埋めた。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.32, 写真-1.1.33 に示す。本箇所は盛土背面からの地下水と SA 側からの地下水が盛土のり面先の緩い沢筋に集まる地形であることと, 盛土のり尻付近の地下水の上昇の 2 つの原因により崩壊に至ったと考えられている。応急復旧では, 別所岳 SA の下り車線の側道を利用し, 盛土背面側に盛土を構築するとともに地山の切土を行い, 迂回路を設置した<sup>18)</sup>。



写真-1.1.32 17.7kp での崩壊<sup>18)</sup>

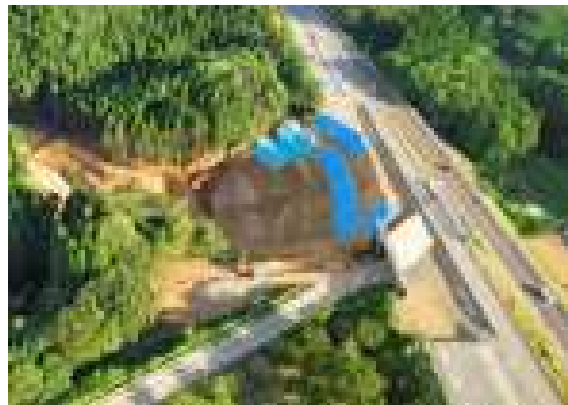


写真-1.1.33 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・21.1kp (穴水町越の原, 横田 IC~越の原 IC)

谷地形を埋めた盛土高 24.6m の高盛土で、片切片盛土、片盛土、両盛土が連続する区間の片盛土部分が延長 30m 程度にわたり 2 車線を含んで崩壊した。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.34, 写真-1.1.35 に示す。本箇所は集水地形となっているため、盛土内の水の浸透および地下水位の上昇が常時生じて、本震の揺れにより崩壊に至ったと考えられている。応急復旧では、崩壊部分に排土工を行うとともに、下り線側に盛土を構築し、2 車線の迂回路が確保された<sup>18)</sup>。



写真-1.1.34 21.1kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.35 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・ 21.5~21.7kp (穴水町越の原, 横田 IC~越の原 IC)

21.5~21.7kp の約 200m 間で 3 箇所の道路盛土の崩壊が発生した.

21.5kp は谷地形を埋めた高さ 12.9m の片盛土であり, 延長 30m 程度にわたり 2 車線道路の 1 車線を残して崩壊した. 崩壊の状況を写真-1.1.36 に示す. 本箇所は, 昭和 60 年の豪雨災害により延長 22m の被害復旧がなされ, のり先にふとん籠が設置してあることより, 過去に崩壊した箇所であることが分かる. また, 地下水が浸透し盛土内へ供給されて, 盛土内の含水比が高い状態であった. この 2 点が要因で崩壊に至ったと考えられている<sup>18)</sup>.

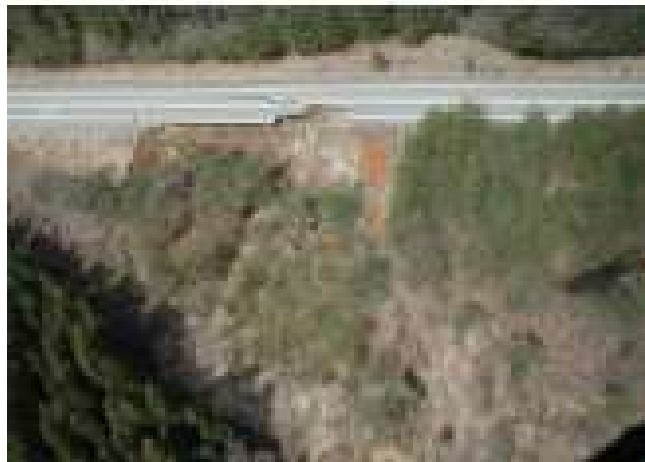


写真-1.1.36 21.5kp での崩壊<sup>18)</sup>

21.6kp は盛土高 11.9m の沢埋め盛土であり, 上から 1 段目の小段付近から幅 40m 程度にわたり盛土のり面の崩壊が生じ, 路肩部には道路縦断方向に亀裂が生じた. 崩壊の状況を写真-1.1.37 に示す. 崩壊原因は 21.5kp と同様, 盛土内の含水比が高いことだと考えられている<sup>18)</sup>.



写真-1.1.37 21.6kp での崩壊<sup>18)</sup>

21.7kp は盛土高 11.5m でのり肩の崩壊と上り側 1 車線に 50cm 程度の路面陥没が生じた。崩壊の状況を写真-1.1.38 に示す。崩壊原因は盛土のり尻付近の含水比が高いことだと考えられる。応急復旧では、下り線側に併走する林道を盛土により嵩上げし、迂回路を確保した<sup>18)</sup>。



写真-1.1.38 21.7kp での崩壊<sup>18)</sup>

・22.2kp (穴水町越の原, 横田 IC~越の原 IC)

越の原 IC オフランプ近傍で延長 30m 程度にわたり 2 車線道路の上り 1 車線が崩壊した。盛土高は 19.1m であり、盛土背後は平地で宅地利用されている。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.39, 写真-1.1.40 に示す。本箇所は、昭和 60 年に降雨によるのり面崩壊が生じており、盛土の耐震性が低下していた。また、地下水位の上昇により盛土内に浸透して含水比が高い状態であった。2 点の要因が盛土崩壊に至ったと考えられている。応急復旧では、下り線側に 2 車線の迂回路が確保された<sup>18)</sup>。



写真-1.1.39 22.2kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.40 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

・24.1kp~24.6kp (穴水町宇賀地, 横田 IC~越の原 IC)

盛土高 9.9m の傾斜片盛土が路肩部を巻き込んで谷側のり面ですべり崩壊が生じた。崩壊および応急復旧の状況を写真-1.1.41, 写真-1.1.42 に示す。崩壊の原因は盛土のり尻付近の含水比が高いことだと考えられている。応急復旧は、のり肩部に H 鋼を打設し、沈下した取付盛土部分を切り返した後、補強土および現地発生土の改良土を使用した盛土によって構築された<sup>18)</sup>。



写真-1.1.41 24.1~24.6kp での崩壊<sup>18)</sup>



写真-1.1.42 応急復旧の状況<sup>18)</sup>

## 2) 国道 249 号

国道 249 号では、志賀町を中心に盛土の崩壊および段差が発生した。

志賀町深谷では、盛土高 25.9m、延長 95m 程度の盛土の中心部が、幅 8m にわたり崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.43 に示す。崩壊箇所は、元々沢地形に沿った曲線道路を線形改良のために沢地形を埋めて直線化した箇所である。そのため、盛土の下方約 20m には沢が流れている。



写真-1.1.43 志賀町深谷での崩壊<sup>18)</sup>

志賀町大福寺では、盛土高 30.2m の腹付け盛土法面が道路 1 車線を巻き込み、崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.44 に示す。崩壊箇所は、2 本の沢に挟まれた出尾根地形に沿った、のり面勾配 1:1.2 の腹付け盛土である。盛土のり尻は尾根の両側の 2 本の沢が合流する箇所に位置しており、地山からの水の供給は豊富であった<sup>18)</sup>。

どちらの被災箇所も盛土内に水が浸透したことにより盛土内の含水比が高くなっていたことが崩壊の原因だと考えられる。応急復旧は、山側を切土して 1 車線の迂回路を確保した。



写真-1.1.44 志賀町大福寺での崩壊<sup>18)</sup>

### (3) 2007年新潟県中越沖地震

平成19年7月16日10時13分頃、新潟県上中越沖の深さ17kmを震源とするマグニチュード6.8の地震が発生した。この地震により、新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村および長野県飯綱町で震度6強を観測した。新潟県上越市、小千谷市、出雲崎町で震度6弱を観測したほか、北陸地方を中心に東北地方から近畿中国地方にかけての広い地域で震度5強~1を観測した。また、柏崎(新潟県検潮所)で約1mの津波が観測された。津波による被害は出なかったものの、液状化の影響で住宅・宅地に甚大な被害が発生し、商業や製造業、農林水産業に被害が発生した<sup>25)</sup>。この地震の概要を表-1.1.7に示す。

新潟県中越沖地震は2004年に発生した新潟県中越地震の時とは違い、盛土による道路被害は少なかったが、盛土以外の道路において路面亀裂や路面崩壊などは同じ程度の被害を受けた。

表-1.1.7 新潟県中越沖地震の概要<sup>1)</sup>

|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| 発生日時  | 2007年7月16日午前10時13分               |
| 震央地名  | 新潟県上中越沖(北緯37度33分, 東経138度37分)     |
| 震源の深さ | 約17km                            |
| 地震の規模 | マグニチュード6.8                       |
| 最大震度  | 震度6強: 新潟県 長岡市 柏崎市 刈羽村<br>長野県 飯綱町 |
| 津波    | 1m                               |
| 死傷者数  | 死者15人, 負傷者2,346人                 |

この地震において8箇所道路盛土に被害が及んだ。8箇所の被害データを整理したものを



表-1.1.8 に示す。主に、国道 8 号および国道 116 号での被害が多かったものの、盛土高さが低い区間での被災が多く、規制は大半の被災箇所が 1 日前後で解除された。また 2 車線に及ぶ被害があったものの、被害形態が段差や陥没であるため、規制期間が短く済んだと考えられる。

表-1.1.8 新潟県中越沖地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名    | 被災区間      | 被災場所 | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 国道8号   | 柏崎市鯨波     |      | 1    | 7.0  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 0.8  |
| 国道8号   | 長岡市大積千本町  |      | 2    | 11.6 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 7.0  |
| 国道8号   | 上越市柿崎区柿崎  |      | 2    | 5.0  | 平坦両盛 | 陥没   | 3.5  |
| 国道116号 | 柏崎市西山町尾野内 |      | 2    | 7.4  | 傾斜片盛 | 段差   | 0.9  |
| 国道116号 | 柏崎市西山町鬼王  |      | 2    | 4.9  | 傾斜片盛 | 陥没   | 1.2  |
| 国道116号 | 柏崎市西山町二田  |      | 2    | 3.6  | 平坦両盛 | 段差   | 0.9  |
| 国道116号 | 柏崎市西山町別山  |      | 1    | 5.2  | 平坦両盛 | 段差   | 1.4  |
| 国道352号 | 柏崎市石地     |      | 1    | 3.3  | 傾斜片盛 | 陥没   | 0.6  |

## 1) 国道 8 号

道路盛土崩壊が発生したのは、柏崎市鯨波と長岡市大積千本町の 2 箇所である。

柏崎市鯨波では、延長 120m 程度、盛土高 7m の片盛土が、右折レーンを含む 3 車線のうち 1 車線が延長 60m にわたり崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.45 に示す。本箇所は、上越市方面の下り側へ傾斜した地盤上の盛土である。盛土上部の地山は粘性土と砂質土の互層地盤となっており、盛土中腹からのり先にかけては粘性土層が堆積しており、その上には砂質土層が堆積している。その盛土のり尻直下の砂質土層は、N 値が 2 程度と非常に緩い。地下水位も高い状態であったことから、液状化したと考えられる。また、地山からの盛土内への浸透水が確認された<sup>25)</sup>。液状化と盛土内への浸透水の影響で崩壊に至ったと考えられている。1 車線を含む崩壊であったにもかかわらず、交通規制が 19 時間と短い期間で解除された理由として、本線を右折レーンに変更させて暫定 2 車線を確保できたことだと考えられる。

長岡市大積千本町では、斜面崩落に伴い、道路盛土部にも崩壊した。盛土高さは 11.6m で、約 140m にわたって被害が及んだ。被害の状況を写真-1.1.46 に示す。大規模な崩落であったものの、約 1 週間で交通規制が解除された。



写真-1.1.45 柏崎市鯨波での崩壊<sup>19)</sup>



写真-1.1.46 長岡市大積千本町での被害<sup>20)</sup>

## 2) 国道 116 号

4 箇所盛土部による段差および陥没の被害が発生した。柏崎市西山町尾野内での段差被害状況を写真-1.1.47 に示す。どの地点も 2 日以内で交通規制が解除され、目立った交通麻痺はなかった。



写真-1.1.47 柏崎市西山町尾野内での段差被害<sup>20)</sup>

#### (4) 2008年岩手・宮城内陸地震

平成20年6月14日8時43分頃、岩手県内陸南部の深さ8kmでマグニチュード7.2の地震が発生し、岩手県奥州市と宮城県栗原市で最大震度6強、宮城県大崎市で震度6弱を観測したほか、東北地方を中心に北海道から関東中部地方にかけて震度5強~1を観測した。また、同日9時20分にマグニチュード5.7の余震が宮城県北部にて発生し、宮城県を中心に東北地方から関東甲信越地方にかけて震度4~1を観測した。この地震の概要を表-1.1.9に示す。

地震による主な被害は、大規模な地滑りや多くの斜面崩壊、土石流による被害、橋の落下、道路崩壊、ダムの変状やライフラインへの影響などで、広範囲にわたり被害が発生した。

表-1.1.9 岩手宮城内陸地震の概要<sup>1)</sup>

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 発生日時  | 2008年6月14日午前8時43分           |
| 震央地名  | 岩手県内陸南部(北緯39度1分, 東経140度53分) |
| 震源の深さ | 8km                         |
| 地震の規模 | マグニチュード7.2                  |
| 最大震度  | 震度6強: 岩手県 奥州市<br>宮城県 栗原市    |
| 津波    | なし                          |
| 死傷者数  | 死者17人, 行方不明6人, 負傷者426人      |

この地震による盛土部への被害は6箇所である。6箇所の被害箇所データを整理したものを表1.1.10に示す。被害は、国道342号、397号、398号の各2箇所ずつで発生しており、国道342号および397号は、高盛土区間で被災した。国道397号は規制期間が約20日であり、他の被害箇所と比べて長い。これは、短い区間で集中的に被災が発生したため、規制期間が長くなったと考えられる。このことを考慮して、規制期間を各地点の被害範囲の比率で算出し、規制期間を修正することとする。修正した規制期間を下記に示す。

国道397号 胆沢トンネル西:  $19.8(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 4(\text{車線}) = 9.9(\text{日})$

国道397号 胆沢トンネル付近:  $19.8(\text{日}) \times 2(\text{車線}) / 4(\text{車線}) = 9.9(\text{日})$

なお、表-1.1.10の国道397号の規制期間は修正後の規制期間を示している。

表-1.1.10 岩手宮城内陸地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名    | 被災区間     | 被災場所 | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|----------|------|------|------|------|------|------|
| 国道398号 | 栗原市松ノ原花山 |      | 1    | 4.9  | 傾斜片盛 | 陥没   | 2.3  |
| 国道342号 | 白崖       |      | 1    | 14.9 | 傾斜片盛 | 陥没   | 4.3  |
| 国道397号 | 胆沢トンネル西  |      | 2    | 25.9 | 傾斜片盛 | 段差   | 9.9  |
| 国道398号 | 湯沢市小湯の沢  |      | 2    | 9.5  | 傾斜片盛 | 段差   | 2.3  |
| 国道342号 | 雄勝郡東成瀬村  |      | 1    | 18.3 | 傾斜片盛 | 段差   | 4.3  |
| 国道397号 | 胆沢トンネル付近 |      | 2    | 33.0 | 傾斜片盛 | 段差   | 9.9  |

## 1) 国道 342 号

道路盛土部に段差が発生したのは、白崖地区と雄勝郡東成瀬村の2箇所である。

白崖地区はブロック積擁壁上方斜面の岩盤崩壊と同時に、盛土高 14.9m の傾斜片盛土にて軽微な段差が発生した。被害の状況を写真-1.1.48 に示す。

雄勝郡東成瀬村は、山岳道路の片切片盛区間の盛土部を支持するテールアルメ壁が谷側に変位し、延長約 300m にわたり路面に段差が生じた。段差の状況を写真-1.1.49 に示す。本箇所は切土部からの流水や地山からの浸透水が多く、盛土内に水が浸透していた<sup>29)21)</sup>ことが、被災の要因だと考えられる。



写真-1.1.48 白崖地区での被害<sup>22)</sup>



写真-1.1.49 雄勝郡東成瀬村での被害<sup>21)</sup>

## 2) 国道 397 号

胆沢トンネル近辺で2箇所の盛土部への段差被害を受けた。どちらも 25m を超える高盛土区間で、2車線を含む段差が生じたが、のり面への被害はなかった。被害の状況を写真-1.1.50、写真-1.1.51 に示す。規制期間は約 10 日間である。



写真-1.1.50 胆沢トンネル西側での崩壊<sup>21)</sup>



写真-1.1.51 胆沢トンネル付近での被害<sup>21)</sup>

### 3) 国道 398 号

栗原市松ノ原花山地区で、盛土高さ 4.9m の腹付け盛土が片側一車線の範囲で路面に段差が生じた。被害の状況を写真-1.1.52 に示す。規制期間は約 2 日間である<sup>21)</sup>。



写真-1.1.52 栗原市松ノ原花山地区での被害<sup>21)</sup>

### (5) 2009 年駿河湾地震

平成 21 年 8 月 11 日 5 時 7 分頃、静岡県御前崎沖の駿河湾で深さ 23km のマグニチュード 6.5 の地震が発生した。この地震により、静岡県伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市で震度 6 弱を観測したほか、東海地方を中心に東北地方から中国四国地方にかけて震度 5 強～1 を観測した。御前崎港で最大 36cm の津波が観測されたが、大きな被害はなかった。この地震の概要を表-1.1.11 に示す。

最大震度 6 弱を観測した牧之原市の静谷で東名高速道路の盛土のり面が崩壊するという被害を受けたほかは、道路では大きな被害は受けなかった。

表-1.1.11 駿河湾地震の概要<sup>1)</sup>

|       |   |
|-------|---|
| 発生日時  | 2009 年 8 月 11 日 午前 5 時 07 分             |
| 震央地名  | 静岡県御前崎沖駿河湾 (北緯 34 度 5 分, 東経 138 度 30 分) |
| 震源の深さ | 23km                                    |
| 地震の規模 | マグニチュード 6.5                             |
| 最大震度  | 震度 6 弱: 静岡県 伊豆市 焼津市 牧之原市 御前崎市           |
| 津波    | 36cm                                    |
| 死傷者数  | 死者 1 人, 負傷者 319 人                       |

盛土被害を受けた箇所のデータを整理したものを表-1.1.13 に示す。全て東名高速道路で被害が起きており、いずれも震源地である静岡県御前崎沖に近い場所での被害である。2 車線に及ぶ被害があったものの、被害形態が段差や亀裂であるため、規制期間が短く済んだと考えられる。

表-1.1.12 駿河湾地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名    | 被災区間         | 被災場所    | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|--------------|---------|------|------|------|------|------|
| 東名高速道路 | 吉田IC~相良牧之原IC | 191.6kp | 1    | 6.9  | 平坦両盛 | 崩壊   | 4.8  |
| 東名高速道路 | 相良牧之原IC~菊川IC | 菊川橋付近   | 2    | 8.8  | 平坦両盛 | 段差   | 0.4  |
| 東名高速道路 | 焼津IC~吉田IC    |         | 2    | 3.1  | 平坦両盛 | 亀裂   | 1.8  |

## 1) 東名高速道路

3箇所では被害があったが、吉田 IC~相良牧之原 IC 間の盛土崩壊が甚大な被害を受けた。崩壊箇所は盛土高さ 6.9m の平坦両盛土で 1 車線に及ぶ被害である。崩壊の状況を写真-1.1.53、写真-1.1.54 に示す。

東名高速道路という日本の大動脈といえる高速道路が、お盆休み期間という規制やレジヤーなどの交通混雑機関に通行止めという事態に陥ったため、1 日でも早い復旧が求められた<sup>23)</sup>。中日本高速道路株式会社が行った応急復旧工事に関して下記で説明する。



写真-1.1.53 牧之原地区での崩壊<sup>23)</sup>



写真-1.1.54 牧之原地区での崩壊<sup>23)</sup>

## 2) 吉田 IC~相良牧之原 IC 間の盛土崩壊における応急復旧工事<sup>23)</sup>

応急復旧工事については、安全を第一に早期に通行止めが解除できることを主眼にし、対応が図られた。災害箇所は、のり面の下側からの進入路がなかったこと及びのり面の土砂崩壊状況を踏まえ、崩壊箇所の土砂流出を拡大させないことを目的に土留め H 鋼を設置し、崩壊箇所を埋め戻す工法を採用した(図-1.1.3)。この工法により被災から 43 時間で復旧可能と判断された。

しかし、上り線の盛土部については、予想以上に不安定であり、H 鋼の打設中にさらに崩壊が進行したため、H 鋼の打ち込み作業の安全性確保が困難となった。このため、上り線の走行車線部にも H 鋼を打ち込み、これを作業用の足場にするにより、施工時の安全性を確保することとした。さらに下り線の舗装路面にも亀裂が発生していたことから、クラックシール対策を行い、下り線中央分離帯に鋼矢板を打設することとした(図-1.1.4)。この変更に伴い、交通規制解除は 58 時間前後になると判断された。

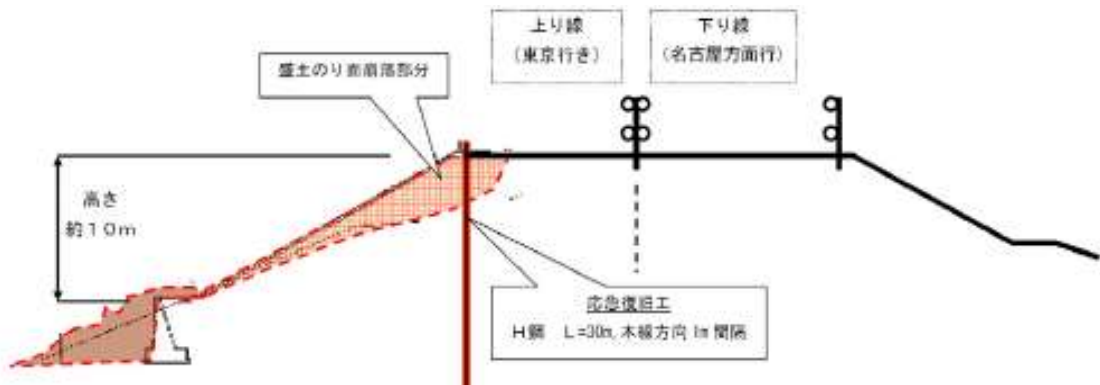


図-1.1.3 当初復旧計画図<sup>23)</sup>

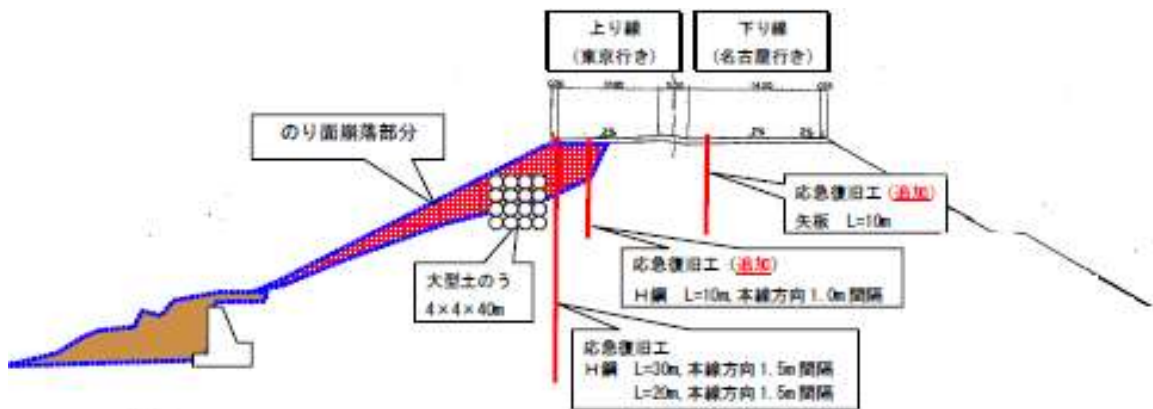


図-1.1.4 第1回工法変更復旧計画図<sup>23)</sup>

下り線側への崩壊の進行を防ぐための中央分離帯側の鋼矢板から施工していたところ、上り線において崩壊がさらに進行したため、H鋼の打設が困難となり、本線路肩部へH鋼を打設しない工法へ変更することとなった。

のり面の安定を図るため、のり尻部にH鋼を打設し、大型土のうの設置、上部盛土材にセメント安定処理を施すことにより盛土量を少なくする工法にした(図-1.1.5)。この工法変更に伴い、通行止め解除は被災から約100時間後と判断された。

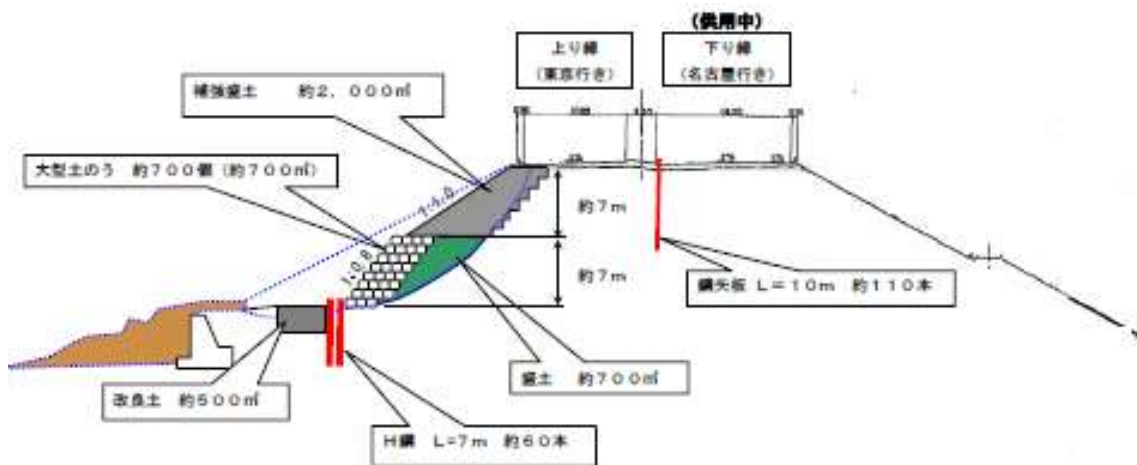


図-1.1.5 第2回工法変更復旧計画図<sup>23)</sup>

2回目の工法変更後、盛土構造をより強固なものとするため、追加処置として、のり尻に

抑えコンクリートを打設するとともに、盛土重量を軽減することを目的に、土に比較して軽量な大型発砲スチロールブロックを敷設することとした(図-1.1.6).

幾度の工法の見直しを行いながら、24時間体制で復旧作業を行った結果、下り線については被災から43時間で、上り線については被災から115時間で通行止めを解除した。応急復旧完了時の様子を



写真-1.1.55 に示す。通行止め解除後も、地震や台風などの自然災害に備えて、地下水位低下を図る集水ボーリングと鋼管杭による抑止杭を施工し、盛土全体の安定を向上させた。

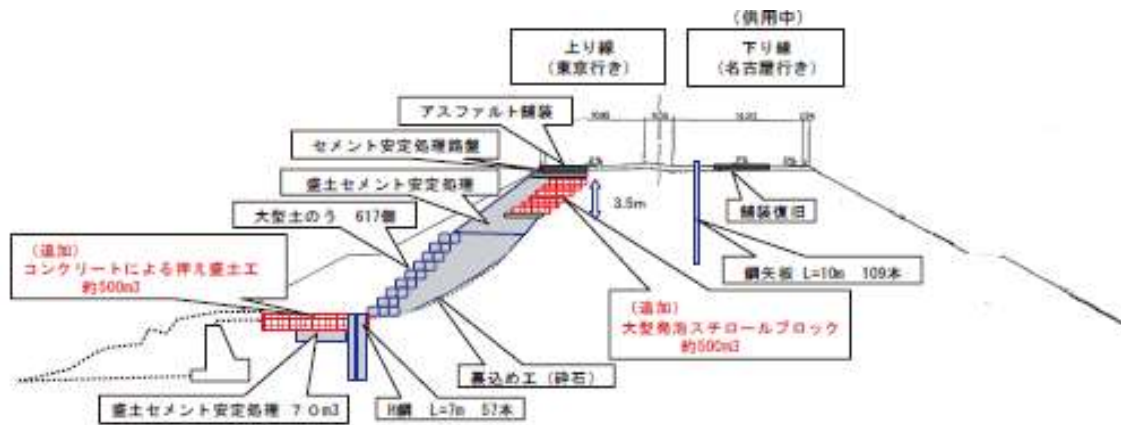


図-1.1.6 第3回(最終)工法変更復旧計画図<sup>23)</sup>



写真-1.1.55 牧之原地区盛土崩壊の応急復旧完了<sup>24)</sup>

## (6) 2011年東北地方太平洋沖地震

平成23年3月11日14時46分、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の地震が発生した。宮城県栗原市で震度7を観測したほか、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県37市町村で震度6強を観測し、宮崎県と沖縄県以外の45都道府県で揺れを観測した。この地



震により、福島県相馬で高さ 9.3m、宮城県石巻市鮎川で高さ 8.6m 以上の非常に高い津波を観測するなど、太平洋沖側を中心に広い範囲で津波が発生した。この地震の概要を表-1.1.13 に示す。

この地震の発震機構は、西北西 - 東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸プレートの境界の広い範囲で破壊が起きたことにより発生した地震である<sup>25)</sup>。地震活動は前震 - 本震 - 余震型であり、余震は今現在でも発生し続けている。直近の震度 5 弱以上の余震としては、2017 年 10 月 6 日福島県沖で発生した地震である(2018 年 1 月 25 日現在)。

道路被害として、東北自動車道や常磐自動車道が被災し、盛土構造区間で 346 箇所が被災した。うち車線まで盛土崩壊に至ったのは 21 箇所であり、中には福島第一原発警戒区域内の道路で被災したため復旧に時間がかかった箇所もある。

表-1.1.13 東北地方太平洋沖地震の基本情報<sup>1)</sup>

|       |  |
|-------|--|
| 発生日時  | 2011 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分             |
| 震央地名  | 三陸沖 (北緯 38 度 06 分, 東経 142 度 52 分)      |
| 震源の深さ | 24km                                   |
| 地震の規模 | マグニチュード 9.0                            |
| 最大震度  | 震度 7: 宮城県 栗原市                          |
| 津波    | 9.3m                                   |
| 死傷者数  | 死者 19,575 人, 行方不明 2,577 人, 負傷者 6,230 人 |

表-1.1.14 東北地方太平洋沖地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名     | 被災区間            | 被災場所            | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|---------|-----------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| 国道6号    | 相馬市             | 300.0~300.7kp   | 2    | 1.3  | 平坦両盛 | 段差   | 5.0  |
| 国道6号    | 新地町             | 303.2kp         | 2    | 4.1  | 平坦両盛 | 段差   | 5.0  |
| 国道6号    | 南富岡トンネル         | 190.1kp         | 1    | 3.7  | 傾斜片盛 | 陥没   | 1.0  |
| 国道6号    | 相馬市             | 301.7~301.8kp   | 2    | 2.1  | 傾斜片盛 | 段差   | 4.5  |
| 国道6号    | 山元町             | 312kp前後         | 2    | 5.2  | 平坦両盛 | 陥没   | 2.1  |
| 国道6号    | 山元町坂元           | 313.08~313.12kp | 1    | 10.2 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 2.1  |
| 国道45号   | 石巻市鹿又           | 57.5~58.3kp     | 2    | 5.3  | 平坦両盛 | 崩壊   | 12.0 |
| 国道51号   | 大洗町成田           |                 | 4    | 14.8 | 傾斜片盛 | 段差   | 12.0 |
| 仙台北部道路  | 利府しからし台IC~富谷JCT | 8.9kp           | 2    | 14.6 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 10.8 |
| 山形自動車道  | 村田JCT~宮城川崎IC    | 6.6kp           | 2    | 23.2 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 6.3  |
| 山形自動車道  | 村田JCT~宮城川崎IC    | 8.9kp           | 2    | 8.9  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 6.3  |
| 東北自動車道  | 福島飯坂IC~国見IC     | 274.6kp         | 1    | 5.2  | 平坦両盛 | 崩壊   | 10.8 |
| 東北自動車道  | 矢吹IC~須賀川IC      | 197.6kp         | 1    | 6.4  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 10.8 |
| 東北自動車道  | 那須IC~白河IC       | 166kp           | 1    | 9.7  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 10.8 |
| 常磐自動車道  | 水戸IC~那珂IC       | 92.5kp          | 2    | 9.0  | 平坦両盛 | 崩壊   | 7.2  |
| 北関東自動車道 | 水戸南IC~水戸大洗IC    | 183.9kp         | 1    | 12.9 | 傾斜両盛 | 崩壊   | 8.8  |
| 東北自動車道  | 平泉前沢IC~水沢IC     | 434.3kp         | 1    | 7.0  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 1.0  |
| 国道6号    | 広野町             | 231.7kp         | 2    | 15.0 | 傾斜両盛 | 段差   | 0.5  |
| 国道283号  | 岩手県釜石市          | 仙人峠道路           | 2    | 28.2 | 傾斜両盛 | 段差   | 5.1  |
| 東関東自動車道 | 茨城空港北IC         |                 | 1    | 9.0  | 平坦両盛 | 段差   | 5.0  |
| 国道343号  | 一関市大東町猿沢        | 猿沢トンネル西         | 1    | 22.4 | 傾斜両盛 | 陥没   | 9.0  |
| 国道4号    | 那須塩原市東遅沢        | 熊川橋付近           | 1    | 2.5  | 平坦両盛 | 崩壊   | 1.0  |
| 国道4号    | 大田原市薄葉          | 野崎橋付近           | 1    | 3.0  | 平坦両盛 | 段差   | 0.2  |
| 国道112号  | 山形県寒河江市         | 15.4kp          | 1    | 4.9  | 平坦両盛 | 段差   | 0.3  |
| 国道294号  | 下妻市古澤           |                 | 1    | 3.6  | 平坦両盛 | 陥没   | 2.8  |
| 国道342号  | 岩手県一関市花泉町       |                 | 1    | 2.5  | 平坦両盛 | 陥没   | 2.8  |
| 国道408号  | 栃木県真岡市          |                 | 2    | 8.3  | 傾斜片盛 | 段差   | 7.8  |
| 国道457号  | 栗原市永洞           |                 | 2    | 9.8  | 傾斜片盛 | 陥没   | 5.8  |
| 国道464号  | 成田市北須賀          |                 | 1    | 1.2  | 平坦両盛 | 陥没   | 0.8  |
| 国道471号  | 岐阜県高山市          |                 | 2    | 15.1 | 傾斜片盛 | 亀裂   | 7.8  |
| 国道45号   | 岩手県山田町          | 239.9kp         | 2    | 12.1 | 傾斜片盛 | 崩壊   | 11.0 |
| 国道118号  | 福島県天栄村          |                 | 2    | 5.7  | 平坦両盛 | 陥没   | 2.6  |
| 国道118号  | 茨城県那珂市瓜連        |                 | 1    | 1.4  | 平坦両盛 | 段差   | 0.7  |
| 国道123号  | 栃木県茂木町          |                 | 2    | 9.2  | 傾斜片盛 | 段差   | 6.5  |
| 国道245号  | 日立市久慈町~日立市留町    |                 | 1    | 1.8  | 平坦両盛 | 亀裂   | 2.9  |
| 国道356号  | 香取市阿玉川          |                 | 2    | 3.2  | 平坦両盛 | 亀裂   | 1.2  |
| 国道349号  | 那珂市菅谷           |                 | 1    | 2.9  | 平坦両盛 | 段差   | 2.2  |
| 国道6号    | 南相馬市鹿島区川子       | 282.0kp         | 路肩部  | 4.0  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 2.0  |
| 国道45号   | 岩手県大槌町          | 227.7kp         | 2    | 6.2  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 6.0  |
| 国道45号   | 宮城県東松島市~登米市     |                 | 2    | 3.4  | 平坦両盛 | 段差   | 1.0  |

本研究では、40箇所の盛土部被害について扱う。被害データを整理したものを表-1.1.14に示す。高速道路では山形自動車道、東北自動車道、仙台北部道路、常磐自動車道、北関東自動車道、東関東自動車道の計6つの自動車道で被災に遭い、国道では45号、51号、118号を中心に被災した。盛土被害箇所の4割弱が崩壊し、崩壊に至った箇所の大半は規制が5日間以上強いられた。

被災にあった40箇所のうち、高速道路10箇所および国道4箇所の計14箇所に関して被災概要を下記に示す。

### 1) 仙台北部道路

利府しからし台IC~富谷JCT間の8.9kp地点で、盛土高さ14.6mの傾斜両盛土が2車線にわたって崩壊した。被害の状況を写真-1.1.56に示す。交通規制は3月24日の午前6時に解除された<sup>26)</sup>。



写真-1.1.56 8.9kp での被害状況<sup>26)</sup>

## 2) 山形自動車道

村田 JCT~宮城川崎 IC 間の 6.6kp と 8.9kp の 2 箇所で盛土崩壊が発生した。被害の状況を写真-1.1.57, 写真-1.1.58 に示す。6.6kp 地点は盛土高さ 23.2m の傾斜両盛土, 8.9kp 地点は盛土高さ 8.9m の傾斜両盛土である。応急復旧は, 6.6kp では鋼矢板抑止工法を, 8.9kp では頭部排土工法を行い, 被災から約 6 日後に完了し, 交通規制が解除された<sup>27)</sup>。8.9kp における応急復旧の状況を写真-1.1.59 に示す。



写真-1.1.57 6.6kp での被害状況<sup>26)</sup>



写真-1.1.58 8.9kp での被害状況<sup>27)</sup>



写真-1.1.59 8.9kp での応急復旧<sup>27)</sup>

### 3) 東北自動車道

那須 IC~白河 IC 間の 166kp, 矢吹 IC~須賀川 IC 間の 197.6kp, 福島飯坂 IC~国見 IC 間の 274.6kp, 平泉前沢 IC~水沢 IC 間の 434.3kp の計 4 箇所で盛土崩壊が発生した。4 箇所の被害概要を下記に示す。

#### ・那須 IC~白河 IC (166kp)

1 車線におよぶ盛土崩壊が発生した。被害の状況を写真-1.1.60 に示す。本箇所は、盛土高さ 9.7m の傾斜両盛土である。規制は被災から約 11 日後に解除された<sup>26)</sup>。



写真-1.1.60 166kp での被害状況<sup>26)</sup>

#### ・矢吹 IC~須賀川 IC (197.6kp)

盛土高さが 6.4m の傾斜両盛土において、1 車線を含む崩壊が延長約 90m におよんで発生した。崩壊の状況を写真-1.1.61 に示す。本箇所は、元々一級河川の釈迦堂川が通っていた<sup>25)</sup>ことより、基礎地盤が軟弱であったと考えられる。軟弱地盤の上に盛土が設置され、地震による振動により、崩壊に至ったと考えられる。応急復旧は、大型土のう押し盛土工法を行った。規制は被災から約 11 日後に解除された。



写真-1.1.61 197.6kp での被害状況<sup>26)</sup>

・福島飯坂 IC~国見 IC (274.6kp)

盛土高さが 5.2m の平坦両盛土において、1 車線を含む崩壊が延長約 40m におよんで発生した。崩壊の状況を写真-1.1.62 に示す。崩壊の原因は、周辺地盤の液状化の影響と盛土に水が浸透し、含水比が高い状態であったことの 2 点だと考えられる。応急復旧は、舗装打換工法やのり尻部に大型土のうの設置を行い、被災から約 11 日後に完了して、通行規制が解除された<sup>26)</sup>。



写真-1.1.62 274.6kp での被害状況<sup>26)</sup>

・平泉前沢 IC~水沢 IC (434.3kp)

この地点は、東北地方太平洋沖地震の本震による被害ではなく、2011 年 4 月 7 日に発生した余震によって生じた被害であるが、本研究では東北地方太平洋沖地震の 1 つとして扱うこととする。

盛土高さ 7m の傾斜片盛土において、1 車線を含む崩壊が延長約 70m にわたって発生した。被害の状況を写真-1.1.63 に示す。崩壊の原因は、横断管周辺の盛土の洗掘、盛土内への排水の浸透などが複合的に誘発したことだと考えられている<sup>26)</sup>。応急復旧は、進入路の構築、排土、土のうの設置を行い、被災から約 1 日後に完了し、通行規制が解除された。崩壊に至ったにも関わらず規制期間が短い要因として、4 月 7 日の余震による大規模な被害を受けたのは本箇所のみであったことから、集中的に復旧作業を行うことができたことが考えられる。



写真-1.1.63 434.3kp での被害状況 <sup>26)</sup>

#### 4) 常磐自動車道

茨城県那珂市市内の常磐自動車道での盛土崩壊は、上り線 92.5kp 付近で発生した。盛土高さ 9m の平坦両盛土が、1 車線を含んで延長約 130m にわたり崩壊した。また、道路縦断方向に沿って最大 2m の段差が生じた。被害の状況を写真-1.1.64 に示す。崩壊の原因は、盛土内に水が浸透し、含水比が高い状態であったことと考えられる。応急復旧は、崩落土砂を撤去し、大型土のうによりのり尻を押さえ、段切を行い碎石による盛土を再構築した。被災から 6 日後に応急復旧が完了し、通行規制が解除された。応急復旧の状況を写真-1.1.65 に示す。



写真-1.1.64 92.5kp での崩壊 <sup>26)</sup>



写真-1.1.65 応急復旧の状況 <sup>27)</sup>

#### 5) 北関東自動車道

茨城県水戸市内の北関東自動車道での盛土崩壊は、水戸南 IC~水戸大洗 IC 間の 183.9kp 付近で発生した。盛土高さ 12.9m の傾斜両盛土が、1 車線を巻き込み崩壊した。また、道路縦断方向に段差が生じた。被害の状況を写真-1.1.66 に示す。応急復旧は被災から約 9 日後に完了した。



写真-1.1.66 183.9kp での被害状況<sup>26)</sup>

## 6) 東関東自動車道

茨城空港 IC 付近で、盛土高 9m の平坦両盛土が道路 1 車線を含む段差が発生した。被害の状況を写真-1.1.67 に示す。東関東自動車道と常磐自動車道、国道 51 号は、第 1 次緊急輸送道路に指定されているものの、常磐自動車道の水戸 IC~那珂 IC における盛土崩壊、国道 51 号の大洗町成田町における大規模な段差と本箇所における段差により、通行不能となったため、早期復旧が図られた<sup>28)</sup>。本箇所の応急復旧は被災から 5 日後に完了し、第 1 次緊急輸送道路が機能した。



写真-1.1.67 茨城空港 IC 付近での被害状況<sup>28)</sup>

## 7) 国道 6 号

国道 6 号では、様々な箇所盛土被害が及んだ。崩壊に至った山元町坂元、双葉郡広野町、南相馬市鹿島区川子の 3 箇所に関する被害概要を下記に示す。

### ・山元町坂元 (313.1kp 付近)

盛土高さ 10.2m の谷埋め盛土区間約 300m で路面沈下および亀裂が発生し、そのうち切り境付近から約 50m が崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.68 に示す。本箇所は、施工当時から地山から多量の水が供給されており<sup>29)</sup>、その水が盛土内に浸透し続け、地震動によってすべり崩壊が発生したと考えられる。応急復旧は大型土のうを設置して、盛土崩壊の拡大を防いだ。交通規制はわずか 2 日で解除された。広範囲での被害にも関わらず、規制期間が短い要因は、本箇所は登坂車線を含む 3 車線で成り立つ道路であるため、登坂車線を活用して対面 2 車線通行を行ったことが要因であると考えられる。



写真-1.1.68 山元町坂元付近での被害状況<sup>29)</sup>

・双葉郡広野町 (231.7kp 付近)

沼地に接する沢部を埋めた盛土高 15m の傾斜両盛土が、上り 2 車線を含んで延長 70m にわたり崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.69 に示す。埋め立て造成した沼地公園と連続する基盤部の液状化により崩壊したと考えられている。応急復旧ではふとんかごを設置することで、被害の拡大を防いだ<sup>29)</sup>。また本箇所は道路が 4 車線あり、被害がない 2 車線において片側 1 車線通行で整備されたので、規制期間は 12 時間と短かった。



写真-1.1.69 双葉郡広野町付近での被害状況<sup>29)</sup>

・南相馬市鹿島区川子 (282.0kp 付近)

盛土高さ 4m の傾斜片盛土の路肩部で盛土崩壊が発生した。被害の状況を写真-1.1.70 に示す。路肩部での被害であったことから、規制期間は 2 日間と短かった。



写真-1.1.70 相馬市鹿島区川子付近での被害状況<sup>30)</sup>



## 8) 国道 45 号

国道 6 号に次いで被害を多く受けた国道である。石巻市鹿又では、軟弱地盤上の高さ 5.3m の盛土で約 50m にわたり沈下および崩壊が発生した。被害の状況を写真-1.1.71 に示す。軟弱地盤上の盛土で、地盤の沈下に伴う盛土材の緩みおよび地下水の供給を素因とする地震動による盛土材の液状化による崩壊であると考えられている。交通規制は被災から 12 日後に解除されたが、迂回路が存在していたことと、斜面崩壊が発生した石巻市成田での復旧が優先されたことの 2 点が規制期間に影響を及ぼしている<sup>29)</sup>。



写真-1.1.71 石巻市鹿又付近での被害状況<sup>29)</sup>

## (7) 2016 年熊本地震

平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃に熊本県熊本地方の震源の深さ 12km、マグニチュード 7.3 の地震が発生し、最大震度 7 を記録した。この地震の概要を表-1.1.15 に示す。

この地震の 28 時間前の 4 月 14 日 21 時 26 分に同じ箇所で震源の深さ 11km、マグニチュード 6.5、最大震度 7 の地震が発生した。4 月 14 日に発生した地震は、16 日の前震である。観測史上初めて短期間に同じ地域で震度 7 の地震が 2 回発生した大地震で、過去の直下型と比較しても長期間にわたり数多くの地震が発生したことが特徴として挙げられる<sup>31)</sup>。

この地震により、九州自動車道の植木 IC~八代 IC 間で盛土崩壊や橋梁などの損傷が発生し、大分自動車道の由布院 IC~日出 JCT 間で切土のり面の崩壊などが発生し、道路にも大きな被害が及んだ。

表-1.1.15 熊本地震の概要<sup>1)</sup>

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| 発生日時  | 2016 年 4 月 16 日午前 1 時 25 分            |
| 震央地名  | 熊本県熊本地方 (北緯 32 度 45 分, 東経 130 度 46 分) |
| 震源の深さ | 12km                                  |
| 地震の規模 | マグニチュード 7.3                           |
| 最大震度  | 震度 7: 熊本県 益城町宮園 西原村小森                 |
| 津波    | なし                                    |
| 死傷者数  | 死者 230 人, 負傷者 2,775 人                 |

盛土被害を受けた箇所のデータを整理したものを表-1.1.16 に示す。大きな被害が及んだ箇所は、九州自動車道の益城バスストップと国道 443 号益城町寺迫の 2 地点である。どちらも益城町での被害であり、震源が近いことや益城町の震度 7 の揺れによって被害が拡大したと考えられる。

表-1.1.16 熊本地震の盛土被害箇所の整理データ

| 路線名    | 被災区間      | 被災場所  | 被害範囲 | 盛土高さ | 盛土形式 | 被害形態 | 規制期間 |
|--------|-----------|-------|------|------|------|------|------|
| 九州自動車道 | 植木IC~八代IC | 益城BS  | 2    | 5.8  | 傾斜両盛 | 崩壊   | 13.0 |
| 国道443号 |           | 益城町寺迫 | 2    | 4.3  | 傾斜片盛 | 崩壊   | 7.0  |
| 国道212号 |           | 小国町杖立 | 2    | 2.7  | 平坦両盛 | 陥没   | 2.4  |
| 国道266号 |           | 大津町室  | 1    | 2.3  | 平坦両盛 | 亀裂   | 1.3  |
| 国道325号 |           | 東区画図町 | 1    | 2.4  | 平坦両盛 | 段差   | 1.2  |

震度 7 を観測した益城町で盛土被害を受けた 2 地点に関する被害概要を下記に示す。

### 1) 九州自動車道

植木 IC~八代 IC 間にある益城バスストップで盛土高さ 5.5m の傾斜片盛土が、約 40m にわたり崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.72 に示す。本箇所は、前震である 4 月 14 日に発生したもので、本震によりさらに被害が拡大した。元々この地点は水路が通っていたが、盛土をたてるために移動した<sup>32)</sup>。そのため、盛土は軟弱地盤の上に位置していた。軟弱な基礎地盤と地下水位の上昇により飽和した盛土下部が、地震動によりせん断抵抗が低下し、その層が沈下、せん断変形したために盛土崩壊に至ったと考えられる。

応急復旧では、崩壊を免れた上り線を対面通行にして交通開放を目指し作業が進んだ。盛土崩壊箇所については、余震による更なる被害拡大を防ぐため、上下線を分離する中央帯付近に土留め矢板を設置し、舗装損傷補修を行った(図-1.1.7)。被災から 13 日後の 4 月 29 日に上り線の整備が完了し、片方向 1 車線として交通規制は解除された。応急復旧の状況を写真-1.1.73 に示す。



写真-1.1.72 益城 BS での崩壊<sup>33)</sup>



写真-1.1.73 応急復旧状況<sup>33)</sup>



図-1.1.7 益城 BS 付近の応急復旧工事<sup>33)</sup>

## 2) 国道 443 号

益城町にある国道 443 号の寺迫交差点北側で、盛土高さ 3.8m の傾斜片盛土が延長 120m にわたり崩壊した。崩壊の状況を写真-1.1.74 に示す。本箇所は、前震である 4 月 14 日に発生したもので、本震によりさらに被害が拡大した。崖錐部分のすべり破壊が原因で盛土崩壊が発生したと考えられる。応急復旧は被災から 7 日後に完了され、交通規制が解除された。応急復旧の状況を写真-1.1.75 に示す。



写真-1.1.74 寺迫交差点北側での崩壊<sup>32)</sup>



写真-1.1.75 応急復旧状況<sup>32)</sup>

中日本高速道路株式会社, 東日本高速道路株式会社には, 貴重な資料を提供して頂きました. ここに謝意を表する.

野本篤史, 酒井久和

## 参考文献

- 1) 日本付近で発生した主な被害地震(平成 8 年以降) - 気象庁, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html>(2018.1 閲覧)
- 2) 災害・防災情報 昨年以前の災害(地震) - 国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/saigai/saigaibetu1.html>(2017.12 閲覧)
- 3) 災害情報-総務省消防庁ホームページ, <http://www.fdma.go.jp/bn/2017/>(2017.12 閲覧)
- 4) 防災情報のページ-内閣府ホームページ, <http://www.bousai.go.jp/>(2017.12 閲覧)
- 5) 地図・空中写真等の刊行物・提供物 地理院地図-国土交通省国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/MAP/index.html>(2018.1 閲覧)
- 6) 平田直: 平成 16 年新潟県中越地震, [http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/history/2-3-7\\_cyuetsu2004.pdf](http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/history/2-3-7_cyuetsu2004.pdf)(2017.6 閲覧)
- 7) 安田進: 土構造物の被害 盛土構造物, [http://www.jsce.or.jp/library/eq\\_repo/Vol.2/08/report/6\\_1.pdf](http://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol.2/08/report/6_1.pdf)(2017.6 閲覧)
- 8) 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 土屋良之: 航空写真の画像解析による高速道路被害把握に向けた基礎的検討, 第 12 回日本地震工学シンポジウム, No.0289, pp.1262-1265, 2006.
- 9) 藤岡一頼, 安田進, 白鳥翔太郎: 道路盛土材料の動的強度特性, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 65, No. 1 (地震工学論文集第 30 巻), pp.875-880, 2009.
- 10) 青柳貴司, 丸山大三: 新潟県中越地震における高速道路の早期復旧, <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h18giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan1-08.pdf>(2017.5 閲覧)
- 11) JH 日本道路公団北陸支社: 平成 16 年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要
- 12) 国土交通省北陸地方整備局: 新潟県中越地震 北陸地方整備局のこの一年, <http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/chuetsu-jishin/2/2-2-3.html>(2017.6 閲覧)
- 13) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 平成 16 年新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要, 国土技術政策総合研究所資料, 2005.
- 14) 龍岡, 豊田, 平川, 中島: 小千谷市塩殿 B, <https://www.jsce.or.jp/report/32/teigen2/2shiryo/doc/A32.pdf>(2017.6 閲覧)
- 15) 新潟県土木部監理課企画調整室: 新潟県中越大震災の記録 大震災を経験して, pp.5-38-5-43, [https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past\\_doc/200410nigata.pdf](https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/200410nigata.pdf)(2017.7 閲覧)
- 16) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人土木研究所: 平成 16 年新潟県中越地震土木施設災害調査報告, pp.197-199, 2006.
- 17) 新潟県土木部: 新潟県中越大震災による被害と復旧状況, 2004.
- 18) 国土技術政策総合研究所: 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震被害調査報告 道路土工・斜面 pp.102-153, <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/111/ks043811.pdf>(2017.7 閲覧)

- 
- 19) 国土技術政策総合研究所：平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震被害調査報告 道路土工・斜面, pp.139-146, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0439pdf/ks043912.pdf>(2017.7 閲覧)
  - 20) 国土交通省北陸地方整備局：平成 19 年(2007 年) 新潟県中越沖地震 被害・復旧状況と支援状況, 2007. [http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H190716/070716\\_sokuhou1-5.pdf](http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H190716/070716_sokuhou1-5.pdf)(2017.7 閲覧)
  - 21) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人土木研究所, 独立行政法人建築研究所：平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告, pp.158-176, 2008.
  - 22) 三田共用会議所：平成 20 年岩手・宮城内陸地震調査報告会 道路土工・斜面, 2008, [https://www.pwri.go.jp/jpn/research/disaster/iwate-miyagi/08\\_dourodokou.pdf](https://www.pwri.go.jp/jpn/research/disaster/iwate-miyagi/08_dourodokou.pdf)(2017.9 閲覧)
  - 23) 中日本高速道路株式会社東京支社：東名高速道路牧之原地区地震災害の対応について, pp1-4, 2009. [https://www.hido.or.jp/14gyousei\\_backnumber/2009data/0911/0911tokushu-toumei-saigaitaiou.pdf](https://www.hido.or.jp/14gyousei_backnumber/2009data/0911/0911tokushu-toumei-saigaitaiou.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 24) 大豊建設株式会社：東名高速 応急復旧作業, <http://www.daiho.co.jp/csr/toumei/index.html>(2018.1 閲覧)
  - 25) 気象庁：平成 23 年東北地方太平洋沖地震の概要, 気象庁技術報告, p.5, 2012.
  - 26) 東日本高速道路株式会社：東日本大震災 震災記録誌, 2013.
  - 27) 末岡徹：東日本大震災の地盤災害に関する地盤工学会の活動とリスクマネジメント, 第 29 回日本道路会議, 2011.
  - 28) 東日本高速道路株式会社関東支社：東関東自動車道の開通, [http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press\\_release/kanto/h29/1212/pdfs/pdf.pdf](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h29/1212/pdfs/pdf.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 29) 宮武裕昭：道路土工分野の技術基準と維持管理, 国土交通省資料, [https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf08/lecture\\_02.pdf](https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf08/lecture_02.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 30) 国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所:国道 6 号(南相馬市鹿島区川子)の復旧工事, 記者発表資料, 2011., [http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisya/kisyah/images/37371\\_1.pdf](http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisya/kisyah/images/37371_1.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 31) 平成 28 年熊本地震の概要 - 東京都防災ホームページ, [http://www.bousai.metro.tokyo.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/004/429/2syoun.pdf](http://www.bousai.metro.tokyo.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/004/429/2syoun.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 32) 清田隆, 池田隆明, 内村太郎, 小長井一男：2016 年熊本地震地盤被害と復旧状況, [http://www.gdm.iis.u-tokyo.ac.jp/KumamotoEQ\\_Recon\\_v4-0.pdf](http://www.gdm.iis.u-tokyo.ac.jp/KumamotoEQ_Recon_v4-0.pdf)(2018.1 閲覧)
  - 33) 西日本高速道路株式会社：熊本地震の復旧状況(NEXCO 西日本の取組み), 2016.

## 1.2 道路橋

兵庫県南部地震以後に発生した地震において、道路橋の被害事例を調べた結果、道路橋に大きな被害を及ぼした地震は、12回であった（表-1.2.1）。なお、岩手・宮城内陸地震については確定した被害橋梁数が確認できなかったため、調査の範囲内で被害を確認した橋梁数を被害橋数としている。

本報告書では1996年の道路橋示方書の改訂後に発生した地震において、橋梁被害により通行規制が生じた被害地震でかつ、被害および復旧状況に関する情報が取得できた2つの条件を満足する下記の6地震を対象地震とする。

- ・新潟県中越地震
- ・能登半島地震
- ・新潟県中越沖地震
- ・岩手・宮城内陸地震
- ・東北地方太平洋沖地震
- ・熊本地震

表-1.2.1 道路橋に被害を与えた地震<sup>1)~7)</sup>

| 発生年月日       | 地震名        | Mw(モーメントマグニチュード) | 被害橋数 |
|-------------|------------|------------------|------|
| 1995年1月17日  | 兵庫県南部地震    | 7.2              | 330  |
| 2000年10月6日  | 鳥取県西部地震    | 6.6              | 14   |
| 2003年5月26日  | 三陸南地震      | 7.0              | 3    |
| 2003年7月26日  | 宮城県北部地震    | 6.2              | 11   |
| 2003年9月26日  | 十勝沖地震      | 7.9              | 7    |
| 2004年10月23日 | 新潟県中越地震    | 6.6              | 27   |
| 2007年3月25日  | 能登半島地震     | 6.7              | 19   |
| 2007年7月16日  | 新潟県中越沖地震   | 6.6              | 37   |
| 2008年6月14日  | 岩手・宮城内陸地震  | 6.9              | 18   |
| 2011年3月11日  | 東北地方太平洋沖地震 | 9.0              | 611  |
| 2016年4月16日  | 熊本地震       | 7.0              | 83   |
| 2018年9月6日   | 北海道胆振東部地震  | 6.6              | 24   |

一般道における道路橋の耐震性能は、設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて、耐震性能1~3のいずれかに決定される。ここで、道路橋示方書耐震設計編では、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と、発生する確率は低いが大強度をもつ地震動（レベル2地震動）の2段階の設計地震動を考慮することが定められており、さらにレベル2地震動はプレート境界型の大規模な地震によるもの（タイプI）と内陸直下型地震によるもの（タイプII）に分けられる。また、橋の重要度に関しては、道路種別および橋の機能・構造に応じて、重要度が標準的な橋（A種の橋）と、特に重要度が高い橋（B種の橋）の2種類に区分され（表-1.2.2）、応急復旧時にはB種の橋から優先的に復旧作業が行われる。レベル1地震動に対しては、橋の重要度関係なく耐震性能1が定められており、レベル2地震動では重要度の高いB種の橋は耐震性能2を、重要度が標準的なA種の橋では耐震性能3がそれぞれ定められている。これら橋梁の耐震性能を表-1.2.3に示す。なお、高速自動車の耐震性能に関しては、橋梁部や盛土部、トンネル部など関係なく、レベル1地震動の際は、健全性を損なわない性能（耐震性

能1)を、レベル2地震動の際は、損傷が限定的なものにとどまり機能の回復が速やかに行い得る性能(耐震性能2)を目標とする性能として定められている<sup>8)</sup>。

本報告書は、被害地震(レベル2地震動相当)時の応急復旧に着目をしているため、耐震性能2を性能目標とする道路橋、すなわちB種の橋を対象とする。ただし、B種の橋で一般県道や市町村道に関しては、被害調査時に該当する構造や機能をもつ道路橋の取得データ数が非常に少なかったため、高速自動車道、一般国道、主要地方道について取りまとめる。

表-1.2.2 一般道における橋の重要度<sup>9)</sup>

|                |   |        |
|----------------|---|--------|
| 構造・機能<br>道路種別等 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・複断面、跨線橋、跨道橋</li> <li>・緊急輸送道路ネットワーク計画(H13策定)<sup>*</sup>にある区間の橋及びその代替機能区間の橋</li> <li>・県境を跨ぐ重要な路線で、県境から緊急輸送道路ネットワーク計画区間に接続するまでの区間の橋</li> <li>・インター関連道路</li> <li>・完成時4車線以上の橋</li> <li>・その他、利用状況から特に重要と考えられる路線の橋</li> </ul> | 左記以外の橋 |
|                | 一般国道<br>主要地方道   | (B種の橋) |
| 一般県道<br>市町村道   | (B種の橋)  | (A種の橋) |

表-1.2.3 道路橋の耐震性能<sup>10)</sup>

|  |                        |   |                        |
|--|------------------------|---|------------------------|
| 耐震設計で考慮する地震動                                 | レベル1地震動                | レベル2地震動<br>タイプIの地震動：プレート境界型の大規模な地震<br>タイプIIの地震動：内陸直下型地震 |                        |
|  | 橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動   | 橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動                           |                        |
| 道路橋の耐震性能                                     | 耐震性能1                  | 耐震性能2   | 耐震性能3                  |
|  | 地震によって橋としての健全性を損なわない性能 | 地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能が速やかに行い得る性能                  | 地震による損傷が橋として致命的とならない性能 |
| 該当する橋の種別<br>A種の橋：重要度が標準的な橋<br>B種の橋：特に重要度が高い橋 | A種およびB種の橋              | B種の橋  | A種の橋                   |
| 橋の機能   | 通行は可能                  | 通行は限定的に可能   | 通行は困難                  |

### 1.2.1 資料

文献調査を行った結果を踏まえ、道路橋の復旧に対して影響を与える要因は、地震規模、橋梁規模、橋梁被害箇所および形態、周辺環境の4つであると考えた。そこで、地震規模の要素として、(1)モーメントマグニチュード、(2)震央距離、(3)震源深さの3項目、橋梁規模の要素として、(4)橋長、(5)幅員の2項目、橋梁被害箇所および形態を表す要素として、(6)上部構造、(7)支承、(8)下部構造、(9)橋面、(10)落橋や津波による流出といった大被害の5項目、周辺環境の要素として、(11)交通量、計11項目を復旧性に関係する要素として、各要素の資料収集を行った。

モーメントマグニチュード、震源深さ、橋長、幅員、上部構造、支承、下部構造、橋面、落橋・流出

に関しては、地震被害報告書などに基づいた。各橋梁被害項目に含む主な道路橋の被害事例を表-1.2.4 に示す。中国地方整備局によると、支承部と伸縮装置（ジョイント部）は上部構造に区分されるが、本報告書では、支承部およびジョイント部を上部構造の被害項目ではなく、個々の項目とする。これは、地震発生直後の応急調査項目において、支承部と伸縮装置のみ他の上部構造と区別されているためである<sup>21)</sup>。また、橋梁被害の調査を進めるうえで、伸縮装置においては段差被害が大半であり、橋梁の路面陥没や橋台背面土の移動による段差などと被害状況が比較的類似している。このような観点から各被害箇所との区別が難しく、また、被害規模もほぼ同等であるため、伸縮装置での被害、橋梁の路面被害、橋台背面土における被害を橋面被害として統一した。また、橋長、幅員の取得できなかった被災箇所に関しては、Google Earth Pro の衛星画像による目視および定規ツールの直線機能を用いて推定した。交通量に関しては、国土交通省が主体となって定期的実施している全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）を利用し、24 時間における自動車交通量の上下線の合計値を採用した。

表-1.2.4 被害項目に含む主な道路橋被害の事例<sup>1)</sup>

| 被害箇所項目 | 道路橋の被害                                |
|--------|---------------------------------------|
| 上部構造   | 主桁の損傷                                 |
|        | 横桁の損傷                                 |
|        | トラス部の損傷<br>(上横構・下横構など)                |
| 支承     | 支承本体の損傷                               |
|        | 支承付属部の損傷<br>(セットボルト、ピン、ローラーなど)        |
|        | 移動制限構造の変形、損傷<br>(上沓ストッパー、下沓サイドブロックなど) |
|        | 沓座部のひび割れ、破損                           |
|        | 支承サイドブロックの損傷                          |
| 下部構造   | 橋台の損傷                                 |
|        | パラペット部やウイング部の損傷                       |
|        | 橋脚の損傷                                 |
|        | 基礎部の損傷                                |
| 橋面     | 路面部の陥没や損傷                             |
|        | 伸縮装置（ジョイント部）の段差、離れ                    |
|        | 橋台背面土の移動、沈下                           |
| 落橋・流出  | 落橋被害                                  |
|        | 津波による流出被害                             |

## 1.2.2 各地震の橋梁被害状況

### (1) 2004 年新潟県中越地震

橋梁被害報告書等を調査した結果、26 橋の道路橋被害を確認できた。この 26 橋の被害箇所データおよび 72 時間以内での復旧の可否について表-1.2.5 に示す。なお、復旧の欄において、地震発生後 72 時間以内に通行が可能となった橋に○、被害欄（上部構造、支承、下部構造、橋面）に関しても、地震により被害が確認された箇所を○で示している。被害路線は、国道では 8 号、17 号、117 号、252 号、253 号、351 号の 6 路線、主要地方道では柏崎高浜堀之内線、長岡片貝小千谷線、長岡西山線、小千谷十日町津南線、小千谷川口大和線の 5 路線である。

全体的な特徴として、ジョイント部を含む橋面の段差や陥没、橋脚部の変形やコンクリートの剥離が



目立った。しかし、1995年兵庫県南部地震の時のような、強震動が原因となる倒壊や落橋は確認されおらず、長時間にわたり交通を遮断するような大きな被害を受けた橋梁はなかったため、応急復旧により速やかに供用可能となった道路橋が多数報告された。

表-1.2.5 新潟県中越地震における道路橋被害データ

| 路線名          | 橋梁名    | 復旧 | 橋長(m) | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|--------------|--------|----|-------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| 国道8号         | 新組跨線橋  |    | 170.0 | 24.0  |     | ○  | ○   |    |       | 47,394     |
| 国道8号         | 見附大橋   | ○  | 148.0 | 25.0  |     | ○  |     | ○  |       | 21,741     |
| 国道8号         | 宮本橋    | ○  | 40.2  | 20.0  |     |    | ○   | ○  |       | 14,461     |
| 国道8号         | 稲葉川橋   | ○  | 120.0 | 25.0  |     |    |     | ○  |       | 47,394     |
| 国道8号         | 豊田橋    | ○  | 151.0 | 15.0  |     |    |     | ○  |       | 19,899     |
| 国道8号         | 観音橋    | ○  | 29.0  | 11.5  |     |    | ○   | ○  |       | 14,461     |
| 国道8号         | 大積橋    | ○  | 30.0  | 12.5  |     |    |     | ○  |       | 11,828     |
| 国道8号         | 比角跨線橋  | ○  | 17.0  | 11.6  |     |    |     | ○  |       | 18,900     |
| 国道17号        | 小千谷大橋  | ○  | 584.9 | 11.5  |     | ○  | ○   |    |       | 16,876     |
| 国道17号        | 長倉高架橋  | ○  | 215.0 | 20.5  |     |    |     | ○  |       | 38,946     |
| 国道17号        | 和南津橋   | ○  | 190.0 | 14.0  |     |    | ○   | ○  |       | 14,989     |
| 国道17号        | 越の大橋   |    | 519.0 | 10.0  |     | ○  | ○   | ○  |       | 16,876     |
| 国道17号        | 板木橋    | ○  | 18.0  | 15.0  |     |    |     | ○  |       | 14,989     |
| 国道117号       | 山辺橋    |    | 217.5 | 12.0  |     |    | ○   | ○  |       | 11,045     |
| 国道252号       | 三領橋    | ○  | 24.6  | 8.7   |     |    |     | ○  |       | 4,001      |
| 国道252号       | 小海橋    | ○  | 28.0  | 8.2   |     |    |     | ○  |       | 4,001      |
| 国道252号       | 栄橋     |    | 403.0 | 6.0   |     | ○  | ○   | ○  |       | 4,001      |
| 国道253号       | 十日町橋   | ○  | 476.3 | 7.5   | ○   |    |     | ○  |       | 12,803     |
| 国道351号       | 結橋     | ○  | 24.5  | 13.0  |     |    |     | ○  |       | 16,111     |
| (主)柏崎高浜堀之内線  | 宮前橋    |    | 31.0  | 6.0   |     |    |     | ○  |       | 2,558      |
| (主)柏崎高浜堀之内線  | 瑞穂橋    |    | 99.9  | 6.0   |     |    |     | ○  |       | 815        |
| (主)長岡片貝小千谷線  | 巴ヶ丘跨線橋 |    | 48.0  | 8.5   |     |    |     | ○  |       | 7,359      |
| (主)長岡西山線     | 新黒川橋   |    | 45.4  | 12.8  |     |    |     | ○  |       | 1,061      |
| (主)小千谷十日町津南線 | 浅河原橋   |    | 24.0  | 7.3   | ○   |    | ○   |    |       | 1,093      |
| (主)小千谷川口大和線  | 竹田跨線橋  |    | 18.0  | 4.7   | ○   |    |     | ○  |       | 5,925      |
| (主)小千谷川口大和線  | 川口橋    |    | 225.0 | 15.0  | ○   |    | ○   |    |       | 5,925      |

### 1) 国道8号

新組跨線橋では、地震により下り線のP5橋脚のかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみだし、さらに帯鉄筋の重ね継手のはずれが生じた(写真-1.2.1)。また、A2橋台上における支承5基の移動制限ストッパー部にも損傷が確認された。橋脚については、地震発生の日後から断面修復、炭素繊維シートの巻き立て、ならびにひび割れ部への樹脂注入による応急復旧が行われた(写真-1.2.2)<sup>12)</sup>。見附大橋では支承の損傷に伴いジョイント部に段差が生じ(写真-1.2.3)、宮本橋では橋面部に約15cmの段差が見つかっただけでなく、橋台ウィング部にひび割れが生じていた(写真-1.2.4)<sup>12)</sup>。観音橋でもジョイント部が隆起し、路面がおおよそ10cm陥没したほか、橋台パラペット部にはひび割れが確認されている(写真-1.2.5)<sup>12)</sup>。



写真-1.2.1 P5 橋脚の断面損傷（新組跨線橋）<sup>13)</sup>



写真-1.2.2 炭素繊維シート巻き立てによる応急復旧（新組跨線橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.3 ジョイント部の段差（見附大橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.4 橋台ウイング部のひび割れ（宮本橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.5 橋台パラペットのひび割れ（観音橋）<sup>12)</sup>

## 2) 国道 17 号

小千谷大橋では、4 径間連続桁の固定部にあたる P2 橋脚の柱部と橋梁部の境界付近において、かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみだし、帯鉄筋の重ね継手のはずれ、および斜めひび割れが生じた（写真-1.2.6）。また、可動支承のみを有している橋脚のうち、P4、P6 および P7 橋脚の上流方向に対して、水平方向と斜め方向へのひび割れが生じた（写真-1.2.7）。このほかにも、支承部の移動制限ストッパー部や、サイドブロックなどの損傷も見られ、地震発生 3 日後から、断面修復ならびに炭素繊維シート巻き立てによる応急復旧が行われた（写真-1.2.8）<sup>12)</sup>。和南津橋では、橋台背面土の沈下による段差被害に加え、A1 橋台上部のパラペットのひび割れ（写真-1.2.9）が確認された<sup>12)</sup>。越の大橋では、P1 橋脚において、垂直方向へ貫通ひび割れが生じた（写真-1.2.10）。また、P1 橋脚の固定支承の支承セットボルトの破断（写真-1.2.11）およびジョイント部の段差が確認された<sup>12)</sup>。



写真-1.2.6 かぶりコンクリートの剥離（小千谷大橋）<sup>13)</sup>



写真-1.2.7 可動支承を有する橋脚に発生したひび割れ（小千谷大橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.8 炭素繊維シート巻き立てによる応急復旧（小千谷大橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.9 橋台パラペットのひび割れ（和南津橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.10 橋脚の垂直ひび割れ（越の大橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.11 支承セットボルトの破損（越の大橋）<sup>14)</sup>

### 3) 国道 117 号

国道 117 号で通行止めとなったのは山辺橋のみである。地震により、P1 橋脚において、かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみだし、帯鉄筋の重ね継手のはずれが生じた（写真-1.2.12）。他の橋脚に関しては、P3 橋脚において、柱部の上部に位置する梁部に縦ひび割れが発生。P4 橋脚では、平井範囲にわたって水平および斜めひび割れが生じており、深礎杭の頭部が露出していた。また、橋台背面土の沈下が要因となり、ジョイント部が 1m 程度沈下した（写真-1.2.13）<sup>12)</sup>。



写真-1.2.12 かぶりコンクリートの剥離（山辺橋）<sup>12)</sup>



写真-1.2.13 橋面の段差被害（山辺橋）<sup>12)</sup>

### 4) 国道 253 号

国道 253 号では、十日町橋のみ通行不可の状態となった。地震による主な被害は、橋脚および支承との接触による桁下部のコンクリートの剥離が確認できた（写真-1.2.14）。また、橋軸直角方向のコンクリート製の変位制限蔵置がなくなっている箇所が複数発見されたが、今回の地震が原因かは不明である<sup>15)</sup>。



写真-1.2.14 橋脚部コンクリートの剥落（十日町橋）<sup>15)</sup>

## (2) 2007年能登半島地震

能登半島地震における橋梁被害調査を行った結果、能登島大橋 1 橋のみの道路橋被害を確認できた。能登島大橋の被害箇所データおよび 72 時間以内での復旧の可否について整理したものを表-1.2.6 に示す。なお、3.1.2 項と同様、復旧の欄において、地震発生後 72 時間以内に通行が可能となった橋に○、被害欄（上部構造、支承、下部構造、橋面）に関しても、地震により被害が確認された箇所を○で示している。研究対象の道路種別における被害路線は、七尾能登島公園線の 1 路線である。

石川県の調査によると、能登半島地域において、橋長 15m 以上の橋梁は 112 橋あり、このうち橋面段差、および支承の損傷等といった軽微な被害が 15 橋で確認されていた。他にも、軽微な RC 橋脚の損傷、桁端部の損傷などが生じているものの、通行規制を強いられた道路橋は少なく、能登島に架かる中能登農道橋および能登島大橋が、一時通行止めとなる程度の極めて限定的なものであった。

表-1.2.6 能登半島地震における道路橋被害データ

| 路線名         | 橋梁名   | 復旧 | 橋長(m)   | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|-------------|-------|----|---------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| (主)七尾能登島公園線 | 能登島大橋 |    | 1,050.0 | 8.4   |     |    |     | ○  |       | 3,159      |

### 1) 七尾能登島公園線

本研究の対象道路種別において、通行止めとなったのは主要地方道・七尾能登島公園線の能登島大橋のみであった。主な被害としては、P6, P7, P10, P11 の計 4 基に比較的顕著な損傷が見られた。P6, P7 では、基部コンクリートの剥落とひび割れ、鉄筋のはらみだし、うち 3 本の破断とフーチングとの境界部直近で帯鉄筋 1 本の破断が確認された（写真-1.2.15）。P10 では、中間段落とし部で曲げ、せん断ひび割れが見られ（写真-1.2.16）、橋軸直角方向地震動の影響によるものと判断できる。P11 では橋脚基部において小規模のかぶりコンクリートの剥落が確認された（写真-1.2.17）。被害としては耐力、変形性能ともにほとんど影響がない程度であり、モルタルなどで断面補修を実施することが適当であると判断された<sup>16)</sup>。



写真-1.2.15 P7 橋脚基部の損傷（能登島大橋）<sup>16)</sup>



写真-1.2.16 P10 橋脚のせん断ひび割れ（能登島大橋）<sup>16)</sup>



写真-1.2.17 P11 橋脚基部の損傷（能登島大橋）<sup>16)</sup>



### 3) 2007年新潟県中越沖地震

新潟県中越沖地震における橋梁被害調査報告で13橋の道路橋被害を確認できた。この13橋の被害箇所データおよび72時間以内での復旧の可否について表-1.2.7に示す。被害路線は、高速自動車道では北陸自動車道の1路線、国道では8号、116号の2路線、主要地方道では柏崎高浜堀之内線の1路線である。

全体的な道路橋被害として、支承損傷が見られた橋梁、路面の陥没や段差が生じた橋梁が多く目立った。しかし、大きな損傷を受けている橋梁は少なく、多くの損傷は応急復旧により速やかに車両の通行を行うことができる軽微なケースが大半であった。これは揺れの大きな地域に、ゴム支承を有する橋梁が多く存在していたことで、ゴムの弾性による大きな変形性能と緩衝性により、上部工の耐震性の向上につながったためである。

表-1.2.7 新潟県中越沖地震における道路橋被害データ

| 路線名         | 橋梁名   | 復旧 | 橋長(m) | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|-------------|-------|----|-------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| 北陸自動車道      | 青海川橋  | ○  | 282.0 | 7.9   |     | ○  |     |    |       | 18,877     |
| 北陸自動車道      | 鉢崎橋   | ○  | 180.8 | 18.0  | ○   |    | ○   |    |       | 19,150     |
| 北陸自動車道      | 上輪新田橋 | ○  | 344.5 | 17.5  |     | ○  | ○   |    |       | 19,150     |
| 北陸自動車道      | 吉井川橋  | ○  | 261.0 | 16.5  |     | ○  |     | ○  |       | 21,292     |
| 北陸自動車道      | 名立橋   | ○  | 660.0 | 18.0  |     |    |     | ○  |       | 13,220     |
| 国道8号        | 比角跨線橋 | ○  | 17.0  | 11.6  |     |    |     | ○  |       | 18,900     |
| 国道8号        | 上輪橋   | ○  | 197.0 | 7.5   |     |    |     | ○  |       | 10,104     |
| 国道8号        | 胞姫橋   | ○  | 122.5 | 12.0  | ○   | ○  |     | ○  |       | 10,104     |
| 国道116号      | 藤掛川橋  | ○  | 25.0  | 18.0  |     |    |     | ○  |       | 9,730      |
| 国道116号      | 田沢川橋  | ○  | 17.0  | 24.0  |     |    |     | ○  |       | 9,730      |
| 国道116号      | 荒谷高架橋 | ○  | 38.0  | 12.0  |     |    |     | ○  |       | 9,730      |
| 国道116号      | 和田橋   | ○  | 22.5  | 24.0  |     |    |     | ○  |       | 14,538     |
| (主)柏崎高浜堀之内線 | 栄橋    | ○  | 20.0  | 6.5   |     |    |     | ○  |       | 858        |

#### 1) 北陸自動車道

青海川橋では、P2 橋脚においてピンローラー支承のピンの切断（写真-1.2.18）、および上下沓部で橋軸直角方向に最大で約110mmのズレが確認された。応急復旧対策として、上下沓部のズレを防止するため、仮設のピンを挿入した<sup>17)</sup>。鉢崎橋では、地震によりPC桁端部下面の固定支承部周辺において、せん断破壊が生じた（写真-1.2.19）。また下部構造の橋座においてひび割れが確認されたが、橋梁全体の耐力に問題はなかったことから早急な復旧が行われた<sup>18)</sup>。上輪新田橋では、ローラー支承の損傷、およびP1, P3 橋脚の損傷が確認された。支承の損傷は、サイドブロックや支圧板の抜け落ちである（写真-1.2.20）。橋脚の損傷は橋脚鉄筋段落とし部施工打継ぎ目部が接近していたことから、打継ぎ目部に水平クラックが発生した。また主鉄筋の一部が降伏していた（写真-1.2.21）<sup>19)</sup>。吉井川橋では、支承上沓のストッパーの破断が確認されたほか（写真-1.2.22）、橋面の路面上に段差が生じた（写真-1.2.23）<sup>20)</sup>。



写真-1.2.18 ピンローラー支承のピンの切断（青海川橋）<sup>17)</sup>



写真-1.2.19 桁端部下面でのせん断破壊（鉢崎橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.20 支承の損傷（上輪新田橋）<sup>19)</sup>

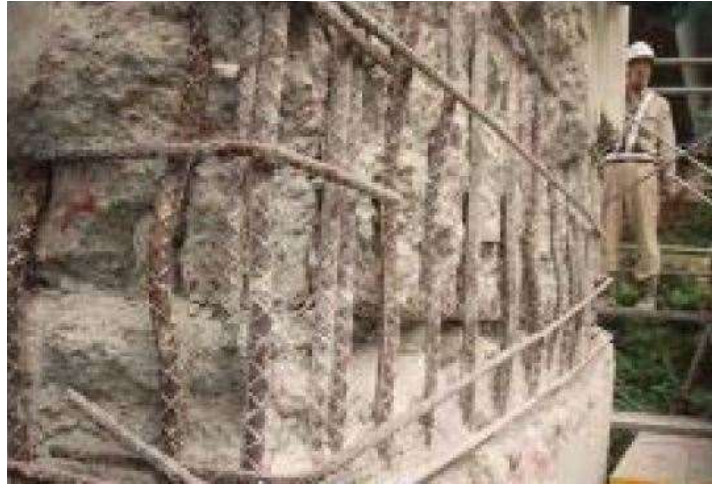


写真-1.2.21 主鉄筋の降伏（上輪新田橋）<sup>19)</sup>



写真-1.2.22 支承上沓ストッパーの破断（吉井川橋）<sup>20)</sup>



写真-1.2.23 橋面に発生した段差（吉井川橋）<sup>21)</sup>

## 2) 国道 8 号

比角跨線橋では、歩道部および車道部に 40cm～50cm 程度の段差が生じた（写真-1.2.24）。これにより交通規制が行われたが、アスファルト敷設などにより当日中に応急は完了し、通行止めは解除されていた<sup>18)</sup>。胞姫橋では、上部構造において上横構の座屈変形（写真-1.2.25）、下横構連結板の破断が 1 箇所確認された（写真-1.2.26）。支承部では、可動支承において、ローラーの抜け出し（写真-1.2.27）、サイドブロックの損傷が確認された。また、橋面には段差が生じていたが、早期的な補修が行われた（写真-1.2.28）<sup>18)</sup>。



写真-1.2.24 橋面部の段差被害（比角跨線橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.25 上横構の座屈変形（胞姫橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.26 下横構連結板の破断（胞姫橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.27 可動支承ローラーの抜け出し（胞姫橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.28 橋面の段差被害の補修（胞姫橋）<sup>18)</sup>

### 3) 国道 116 号

藤掛川橋では、路面に段差が生じており、交通規制が行われたが、アスファルト敷設などにより地震発生後 24 時間以内に応急復旧が完了し通行止めは解消されていた。国道 116 号で交通規制を受けた田沢川橋（写真-1.2.29）、荒谷高架橋、和田橋（写真-1.2.30）でも同様の段差被害が確認され、どれも 24 時間以内に応急復旧がなされていた<sup>18)</sup>。



写真-1.2.29 橋面の段差被害（田沢川橋）<sup>18)</sup>



写真-1.2.30 橋面の段差被害（和田橋）<sup>18)</sup>

### (4) 2008 年岩手・宮城内陸地震

岩手・宮城内陸地震における橋梁被害調査報告書から 4 橋の道路橋被害を確認できた。この 4 橋の被害箇所データおよび 72 時間以内での復旧の可否についてに示す。被害路線は、国道では 342 号、主要地方道では栗駒衣川線のそれぞれ 1 路線ずつである。

岩手・宮城内陸地震における橋梁の被害の特徴として、通行規制を強いられた橋梁が少ないことが挙げられる。その反面、国道 342 号の祭時大橋が落橋するなど、1995 年兵庫県南部地震以来およそ 13 年ぶりの大規模な橋梁被害が発生した。また、その他の道路橋に関しては主桁などの上部構造被害が確認されず、橋面被害といった軽微な被害が目立ったことから、祭時大橋の落橋原因への追求が行われた。

表-1.2.8 岩手・宮城内陸地震における道路橋被害の整理データ

| 路線名      | 橋梁名  | 復旧 | 橋長(m) | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|----------|------|----|-------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| 国道342号   | 丹寿橋  | ○  | 79.6  | 7.0   |     | ○  |     | ○  |       | 3,238      |
| 国道342号   | 祭時大橋 |    | 94.9  | 9.0   |     |    |     |    | ○     | 3,238      |
| (主)栗駒衣川線 | 餅転橋  |    | 87.0  | 8.0   |     |    | ○   | ○  |       | 309        |
| (主)栗駒衣川線 | 檜原新橋 |    | 38.0  | 10.5  |     |    |     | ○  |       | 309        |

### 1) 国道 342 号

丹寿橋では、地震動により路面に陥没が生じたとともに、固定支承の破損が確認された(写真-1.2.31)。しかし、橋梁全体の耐力に大きな問題がなかったことから、地震発生後 3 日後から片側通行が行われるようになった<sup>22)</sup>。祭時大橋では桁の両端部が橋台の支承がはずれ、P1 橋脚上で大きく折れ曲がるように大きく変形し、落下していた(写真-1.2.32)。P1 橋脚では、橋脚上部の打ち継ぎ目付近に軽微なひび割れが確認された。また、橋脚は A1 橋台側へやや傾斜しており、主桁は橋脚上で激しく屈曲していた(写真-1.2.33)。P2 橋脚では、P1 橋脚とは異なり、上部、中間部、下部の 3 つに分断されてほぼ真下に落下していた<sup>23)</sup>。



写真-1.2.31 固定支承の損傷 (丹寿橋) <sup>21)</sup>

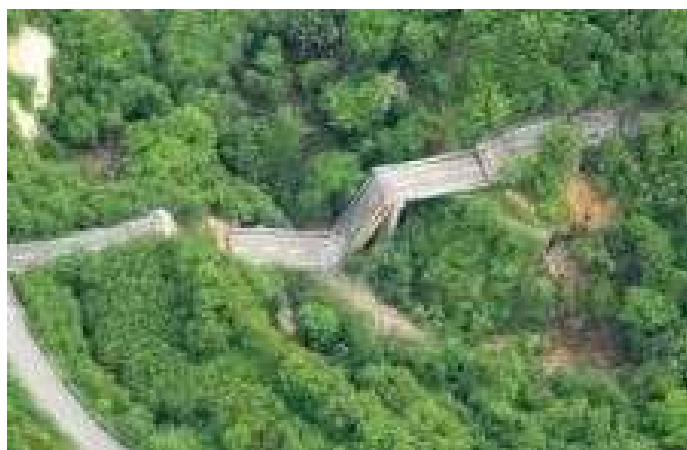


写真-1.2.32 祭時大橋での落橋被害 (祭時大橋) <sup>23)</sup>



写真-1.2.33 P1 橋脚上で屈曲している主桁（祭時大橋）<sup>23)</sup>

## 2) 栗駒衣川線

餅転橋では，A2 橋台背面付近の路面に損傷が見られた（写真-1.2.34）．また，A2 橋台および P2 橋脚が A2 橋台側に傾斜しており，A2 橋台の傾斜角は約 5 度であった<sup>23)</sup>．



図 3.4.1-4 A2 橋台背面付近の路面損傷（餅転橋）<sup>23)</sup>

## (5) 2011 年東北地方太平洋沖地震

東北地方太平洋沖地震における橋梁被害調査を行った結果，53 橋の道路橋被害を確認できた．この 53 橋の被害箇所データおよび 72 時間以内での復旧の可否について表-1.2.9 に示す．被害路線は，国道では 6 号，45 号，50 号，118 号，245 号，293 号，347 号，349 号，354 号，398 号，399 号の 11 路線，主要地方道では小名浜小野線，小名浜四倉線，日立いわき線，日立笠間線，常磐勿来線，江名常磐線，いわき石川線，会津若松裏磐梯線，浪江国見線，水戸岩間線，水戸神栖線，水戸勝田那珂湊線，高萩インター線，土浦境線，結城下妻線，筑西三和線，河南米山線，奥松島松島公園線の 18 路線である．

道路橋の被害の特徴としては，地震動による一次的被害だけでなく，津波による二次的被害を受けたことが挙げられる．地震動が起因となる橋梁被害に着目すると，規制期間の比較的短かった橋では路面の陥没やジョイント部の段差といった軽微な損傷が目立った一方で，長期間の規制を行った道路橋では橋脚，橋台の損傷などの下部構造への被害が多く確認された．また，津波が起因となった橋梁被害に着目すると，上部構造および橋台背面土の流出が発生したことで，復旧までに非常に多くの時間を要する形となった．



表-1.2.9 東北地方太平洋沖地震における道路橋被害データ

| 路線名         | 橋梁名    | 復旧 | 橋長(m) | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|-------------|--------|----|-------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| 国道6号        | 西台橋    |    | 15.0  | 10.0  |     |    |     | ○  |       | 14,861     |
| 国道6号        | 富岡橋    |    | 90.0  | 9.5   |     |    |     | ○  |       | 14,861     |
| 国道6号        | 太田川橋   |    | 73.0  | 13.0  |     |    |     |    | ○     | 14,861     |
| 国道6号        | 宮ノ下高架橋 | ○  | 310.0 | 19.0  |     |    |     | ○  |       | 51,989     |
| 国道6号        | 六枚内高架橋 | ○  | 325.0 | 23.0  |     |    |     | ○  |       | 24,529     |
| 国道6号        | 住吉高架橋  | ○  | 160.0 | 22.0  |     |    |     | ○  |       | 24,529     |
| 国道45号       | 歌津大橋   |    | 303.6 | 10.0  |     |    |     |    | ○     | 7,513      |
| 国道45号       | 二十一浜橋  |    | 20.6  | 6.0   |     |    |     |    | ○     | 7,513      |
| 国道45号       | 外尾川橋   |    | 62.6  | 10.0  |     |    |     |    | ○     | 7,513      |
| 国道45号       | 小泉大橋   |    | 182.1 | 11.0  |     |    |     |    | ○     | 7,513      |
| 国道45号       | 気仙大橋   |    | 181.5 | 12.5  |     |    |     |    | ○     | 11,620     |
| 国道45号       | 川原川橋   |    | 28.2  | 10.0  |     |    |     |    | ○     | 11,620     |
| 国道45号       | 沼田跨線橋  |    | 65.2  | 10.0  |     |    |     |    | ○     | 9,370      |
| 国道45号       | 浪板橋    |    | 44.0  | 9.2   |     |    |     |    | ○     | 11,115     |
| 国道45号       | 水尻橋    |    | 34.0  | 9.0   |     |    |     |    | ○     | 7,160      |
| 国道45号       | 天王橋    |    | 372.0 | 11.0  | ○   | ○  |     | ○  |       | 17,067     |
| 国道50号       | 新富士見橋  |    | 20.0  | 13.0  |     |    |     | ○  |       | 8,954      |
| 国道118号      | 八十内橋   | ○  | 25.0  | 10.0  |     |    |     | ○  |       | 2,269      |
| 国道118号      | 田中橋    | ○  | 14.0  | 7.0   |     |    | ○   | ○  |       | 10,865     |
| 国道118号      | 静跨線橋   |    | 45.0  | 12.0  |     |    |     | ○  |       | 23,225     |
| 国道118号      | 乙字大橋   | ○  | 117.0 | 8.0   |     |    |     | ○  |       | 11,374     |
| 国道245号      | 湊大橋    |    | 401.0 | 11.5  | ○   |    | ○   |    |       | 21,033     |
| 国道293号      | 里川橋    |    | 180.2 | 9.0   |     | ○  | ○   |    |       | 15,784     |
| 国道347号      | 塚目跨線橋  |    | 17.0  | 9.0   |     |    |     | ○  |       | 14,707     |
| 国道349号      | 万代橋    |    | 330.0 | 26.5  |     |    |     | ○  |       | 35,475     |
| 国道349号      | 幸久橋    |    | 284.9 | 8.0   |     | ○  |     |    |       | 15,118     |
| 国道354号      | 鹿行大橋   |    | 404.6 | 5.0   |     |    |     |    | ○     | 3,620      |
| 国道354号      | 谷田川橋   |    | 39.5  | 14.0  |     |    | ○   |    |       | 19,251     |
| 国道398号      | 錦橋     |    | 105.0 | 8.0   | ○   |    |     |    |       | 13,273     |
| 国道398号      | 新北上大橋  |    | 565.7 | 10.2  |     |    |     |    | ○     | 2,574      |
| 国道398号      | 新相川橋   |    | 67.2  | 11.0  |     |    |     |    | ○     | 2,574      |
| 国道399号      | 平跨線橋   | ○  | 30.5  | 15.5  |     |    |     | ○  |       | 19,147     |
| (主)小名浜小野線   | 矢田川橋   | ○  | 53.0  | 27.0  |     |    |     | ○  |       | 12,983     |
| (主)小名浜四倉線   | 滑津橋    | ○  | 45.5  | 13.0  |     |    |     | ○  |       | 7,710      |
| (主)小名浜四倉線   | 沼ノ内橋   | ○  | 19.0  | 10.0  |     |    |     | ○  |       | 7,710      |
| (主)日立いわき線   | 植田跨線橋  |    | 239.5 | 10.0  |     |    | ○   |    |       | 18,602     |
| (主)日立笠間線    | 栄橋     |    | 316.0 | 6.5   | ○   | ○  | ○   | ○  |       | 5,926      |
| (主)日立笠間線    | 機初橋    |    | 110.9 | 6.5   |     | ○  | ○   |    |       | 5,624      |
| (主)常磐勿来線    | 鮫川橋    | ○  | 400.0 | 15.0  |     |    |     | ○  |       | 13,242     |
| (主)江名常磐線    | 関船跨線橋  | ○  | 32.0  | 12.0  |     |    |     | ○  |       | 8,684      |
| (主)いわき石川線   | 湯本跨線橋  | ○  | 32.5  | 13.0  |     |    |     | ○  |       | 15,736     |
| (主)会津若松裏磐梯線 | 大坪橋    | ○  | 15.0  | 16.0  |     |    |     | ○  |       | 24,635     |
| (主)会津若松裏磐梯線 | 松長橋    | ○  | 19.5  | 7.5   |     |    |     | ○  |       | 6,800      |
| (主)浪江国見線    | 伊達崎橋   |    | 300.0 | 6.5   |     |    |     | ○  |       | 4,743      |
| (主)水戸岩間線    | 桜山橋    |    | 36.3  | 7.5   |     |    |     | ○  |       | 16,482     |
| (主)水戸神栖線    | 梅戸橋    |    | 18.5  | 9.5   |     |    | ○   |    |       | 22,689     |
| (主)水戸勝田那珂湊線 | 国田大橋   |    | 360.1 | 13.0  |     | ○  | ○   |    |       | 14,631     |
| (主)高萩インター線  | 高戸大橋   |    | 324.0 | 9.0   | ○   |    | ○   |    |       | 11,878     |
| (主)土浦境線     | 石下橋    |    | 309.0 | 15.5  |     |    |     | ○  |       | 20,142     |
| (主)結城下妻線    | 栄橋     |    | 315.0 | 7.0   |     | ○  | ○   |    |       | 16,453     |
| (主)筑西三和線    | 鬼怒川大橋  |    | 624.0 | 12.0  |     | ○  |     |    |       | 9,838      |
| (主)河南米山線    | 豊里大橋   |    | 349.0 | 8.0   |     |    | ○   |    |       | 9,820      |
| (主)奥松島松島公園線 | 松ヶ島橋   |    | 45.5  | 6.8   |     |    |     |    | ○     | 1,951      |

## 1) 国道 45 号

歌津大橋では、A1 橋台から P2 橋脚、および P10 橋脚から A2 橋台の上部構造は残っていたものの（写真-1.2.34）、その他の P2 橋脚から P10 橋脚の計 8 径間の上部構造が津波により流出した（写真-1.2.35）<sup>24)</sup>。二十一浜橋では橋梁の両側背面土部において流出が確認された（写真-1.2.36）<sup>25)</sup>。小泉大橋、気仙大橋および沼田跨線橋では、全径間の上部構造が流出。そのうち気仙大橋と沼田跨線橋においては橋台の背面土までも流出する大被害を受けた（写真-1.2.37、写真-1.2.38）。これら以外にも、川原川橋（写真-1.2.39）、浪板橋（写真-1.2.40）で背面土の流出、水尻橋（写真-1.2.41）で上部構造の流出、天王橋では流出被害には至らなかったものの、上部エトラス部および支承部の損傷（写真-1.2.42）、橋台背面部の沈下など広範囲に被害が及んでいた<sup>25)</sup>。



写真-1.2.34 津波後の A1 橋台から P2 橋脚の状況（歌津大橋）<sup>24)</sup>



写真-1.2.35 流出した上部構造（歌津大橋）<sup>26)</sup>



写真-1.2.36 橋台背面土の流出（二十一浜大橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.37 橋台背面土の流出（気仙大橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.38 橋台背面土の流出（沼田跨線橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.39 橋台背面土の流出（川原川橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.40 橋台背面土の流出（浪板橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.41 上部工の流出（水尻橋）<sup>25)</sup>



写真-1.2.42 トラス部（ガセット部）の破断（天王橋）<sup>25)</sup>

## 2) 国道 354 号

鹿行大橋では、P12 から P15 の 3 径間の上部構造および下部構造が落橋した（写真-1.2.43）。また、落橋した箇所の上流側において、橋脚が北側に傾いている様子が確認されたものの、落橋箇所を除き特に目立った損傷は見られなかった<sup>27)</sup>。本橋は当時、建設から 43 年が経過しており、橋脚は揺れで変形しやすく耐震性が低い構造であった。老朽化が進んでいたものの、十分な点検・維持管理作業が行えなかったことが落橋の原因であると考えられている<sup>5)</sup>。



写真-1.2.43 地震後の落橋部の様子（鹿行大橋）<sup>27)</sup>

## 3) 国道 398 号

国道 398 号では、新北上大橋および新相川橋の 2 橋が落橋した。新北上大橋は津波により 7 径間のうち、2 径間が流出（写真-1.2.44）。震災後は、地元車輛や復旧・復興関連車輛の幹線道路として早期の復旧が必要であったため、流出した 2 径間の下流側に応急仮橋を架設し、交通を確保した<sup>28)</sup>。新相川橋は津波により、上部構造が流出（写真-1.2.45）。なお、引き波により約 500m 下流側で発見された。また、橋台パラペットに取り付けられていた落橋防止構造は、すべてパラペット側の取り付けボルト側の破断により脱落していた<sup>27)</sup>。



写真-1.2.44 上部構造の流出（新北上大橋）<sup>28)</sup>



写真-1.2.45 上部構造の流出（新相川橋）<sup>27)</sup>

#### 4) 国道 399 号

平跨線橋では北側の橋台部において、背面土が約 30cm 沈下するとともに、背面擁壁のはらみだしが確認された。また、南側の橋台部でも背面土が約 15cm の沈下が生じた（写真-1.2.46）。しかし他の目立った被害はなく、震災後わずか 1 日たたずに応急復旧が完了した<sup>27)</sup>。



写真-1.2.46 橋台背面土の沈下による段差（平跨線橋）<sup>27)</sup>

## 5) 名浜小野線

矢田川橋では，上部構造および下部構造に損傷はなかったものの，橋台の背面土が沈下．段差部にはアスファルトによる断面補修が実施され，被災した翌日の早朝には交通機能が回復した（写真-1.2.47）<sup>27)</sup>．



写真-1.2.47 左岸側橋台背面の補修状況（矢田川橋）<sup>27)</sup>

## 6) 小名浜四倉線

滑津橋では，両側の橋台部において，橋台背面土の沈下による段差が確認された（写真-1.2.48）．段差は最大で約 13cm 生じたが，アスファルトによる段差の補修が行われ，早期復旧がなされた<sup>27)</sup>．



写真-1.2.48 橋台背面の沈下による段差（滑津橋）<sup>27)</sup>

## 7) 日立笠間線

機初橋では，P1 橋脚に支承取り付け位置付近から斜め方向にひび割れが生じ，コンクリートの浮きが確認された．また P2，P3 橋脚の支承が東方向に移動したほか（写真-1.2.49），歩行者用の側道部で橋脚の傾きが生じたため，復旧までに多くの時間を要した<sup>27)</sup>．



写真-1.2.49 支承部の移動（機初橋）<sup>27)</sup>

## 8) 常磐勿来線

鮫川橋では右岸側橋台部において、橋台周辺の護岸ブロックの沈下および破損が確認された。また左岸側橋台部では橋台周辺の土が沈下するとともに(写真-1.2.50)、歩道部において橋台背面土が沈下した。全体的に沈下被害で済んだこともあり、およそ1日で通行規制が解除された<sup>27)</sup>。



写真-1.2.50 橋台周辺土の沈下（鮫川橋）<sup>27)</sup>

## (6) 2016年熊本地震

熊本地震における橋梁被害調査報告等から15橋の道路橋被害を確認できた。この15橋の被害箇所データおよび72時間以内での復旧の可否について表-1.2.10に示す。被害路線は、高速自動車道では、九州自動車道、大分自動車の2路線、国道では266号、325号の2路線、主要地方道では小川嘉島線、熊本高森線、菊池赤水線、熊本停車場線の4路線である。

本地震による道路橋の被害は、熊本県だけでなく大分県にも及んだ。また落橋が発生するなど、耐震補強の未対策部に甚大な被害を与えた。一方で、1995年兵庫県南部地震以降に改定された道路橋示方書に基づく複数の道路橋において、ゴム支承の破断や、支承からの桁逸脱などの大規模被害が発生したことで、72時間以内に通行が可能になったケースが少なかったことも熊本地震における橋梁被害の特徴である。

表-1.2.10 熊本地震における道路橋被害の整理データ

| 路線名       | 橋梁名    | 復旧 | 橋長(m) | 幅員(m) | 上部工 | 支承 | 下部工 | 橋面 | 落橋・流出 | 交通量(台/24h) |
|-----------|--------|----|-------|-------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| 九州自動車道    | 東原橋    |    | 47.3  | 11.0  |     |    | ○   |    |       | 35,766     |
| 九州自動車道    | 木山川橋   |    | 867.0 | 24.0  | ○   | ○  |     | ○  |       | 31,194     |
| 九州自動車道    | 秋津川橋   |    | 121.0 | 24.0  |     | ○  | ○   |    |       | 31,194     |
| 大分自動車道    | 並柳橋    |    | 422.4 | 22.0  | ○   | ○  |     |    |       | 13,832     |
| 国道266号    | 中の瀬橋   | ○  | 146.1 | 19.0  |     | ○  | ○   | ○  |       | 21,935     |
| 国道325号    | 阿蘇大橋   |    | 206.0 | 8.8   |     |    |     |    | ○     | 8,861      |
| (主)小川嘉島線  | 府領第一橋  |    | 61.3  | 8.0   |     |    |     |    | ○     | 3,529      |
| (主)熊本高森線  | 桑鶴大橋   |    | 160.0 | 12.5  | ○   | ○  |     |    |       | 6,464      |
| (主)熊本高森線  | 俵山大橋   |    | 140.0 | 8.5   | ○   | ○  | ○   | ○  |       | 6,464      |
| (主)熊本高森線  | すすきの原橋 |    | 43.0  | 8.6   | ○   |    | ○   | ○  |       | 6,464      |
| (主)熊本高森線  | 扇の坂橋   |    | 128.0 | 12.9  | ○   | ○  | ○   | ○  |       | 6,464      |
| (主)熊本高森線  | 大切畑大橋  |    | 265.4 | 11.6  | ○   | ○  | ○   |    |       | 6,464      |
| (主)熊本高森線  | 大切畑ダム橋 |    | 34.9  | 11.9  | ○   |    | ○   | ○  |       | 6,464      |
| (主)菊池赤水線  | 車鼎橋    |    | 55.1  | 12.4  | ○   | ○  | ○   |    |       | 2,178      |
| (主)熊本停車場線 | 白川橋    |    | 149.0 | 19.8  |     | ○  |     | ○  |       | 7,012      |



## 1) 九州自動車道

東原橋では、中間橋脚の全てが斜め方向に傾き、さらに A2 橋台でせん断破壊が生じた(写真-1.2.51)。本橋では、被災前に耐震補強として、両端の橋台上に変位制限構造が設置されていた。これにより、強震動を受けても橋脚傾斜被害におさまり、落橋まで至らなかったと考えられる<sup>29)</sup>。木山川橋では、支承部に多数の損傷が見られたほか、主桁が南側へ約 800mm 移動したことで(写真-1.2.52)、橋梁路面部に開きや段差が発生した<sup>30)</sup>。秋津川橋では、支承が破損し、支承板と思われる部品の落下、サイドブロックの落下(写真-1.2.53)が確認された。また、熊本側の桁と橋台パラペットが衝突し、パラペットのコンクリートが剥離した<sup>31)</sup>。



写真-1.2.51 橋台のせん断破壊 (東原橋) <sup>29)</sup>



写真-1.2.52 橋梁桁の移動 (木山川橋) <sup>30)</sup>



写真-1.2.53 サイドブロックの落下 (秋津川橋) <sup>31)</sup>

## 2) 大分自動車道

大分自動車の並柳橋では、ピンローラー支承のセットボルトが脱落した（写真-1.2.54）。また、支承の損傷とともに桁に変形が生じ、主桁と支承が分離して横ずれが発生した（写真-1.2.55）<sup>32)</sup>。



写真-1.2.54 セットボルトの脱落（並柳橋）<sup>32)</sup>



写真-1.2.55 主桁部と支承部の分離（並柳橋）<sup>32)</sup>

## 3) 国道 325 号

国道 325 号では阿蘇大橋が地震による大規模被害を受け、本震後に斜面崩壊とともに落橋した（写真-1.2.56）。一部の橋脚および両端の橋台は残されているものの、上部構造を含む橋梁のほとんどが落橋したため、落橋にいたるまでの形跡があまり残されていない。また、橋台前面には上流側から大きな力がかかった場合に生じる可能性のあるせん断ひび割れ状の顕著な損傷が確認された<sup>29)</sup>。現在も復旧作業が続いており、2020 年度内での開通を目指している（写真-1.2.57）<sup>33)</sup>。



写真-1.2.56 上部構造の落橋状況（阿蘇大橋）<sup>29)</sup>



写真-1.2.57 復旧作業状況（阿蘇大橋）<sup>33)</sup>

#### 4) 小川嘉島線

府領第一橋は、橋軸直角方向に大きな慣性力を受け、横変位拘束構造を破壊して落橋に至った（写真-1.2.58）。被害状況としては、中間橋脚が全て倒壊しており、上部構造のうち、桁が熊本側に大きくずれて橋台上に残置している以外は、すべて落下している状況であった。本橋の中間橋脚には鋼製支柱が採用されており、変形しやすい構造であったことが落橋した原因であると考えられている<sup>29)</sup>。



写真-1.2.58 落橋状況（府領第一橋）<sup>29)</sup>

#### 5) 熊本高森線

桑鶴大橋では、桁端部に大きな損傷が見られた。また、斜張橋主塔に存在する支承が損傷したことで、大きく桁が移動した（写真-1.2.59）<sup>31)</sup>。俵山大橋では、第1径間において、主桁下フランジに座屈および変形が見られ、橋台パラペットにも傾斜被害が生じた。また、A2橋台上のゴム支承が破損し（写真-1.2.60）、上部構造が脱落。これにより、伸縮装置付近の路面で60cm程度の段差が生じ、橋台との間にも50cm程度のずれが確認された<sup>29)</sup>。すすきの原橋では、A1橋台においてコンクリートのひび割れおよび剥離が発生し（写真-1.2.61）、橋台付近の横桁にも同様の被害が確認された。また、橋梁路面部には陥没が発生した（写真-1.2.62）<sup>34)</sup>。扇の坂橋では、A1橋台のゴム支承部において、25cmの支承高に対し、25cm程度の水平移動が生じサイドブロックが破壊していた。（写真-1.2.63）。また、伸縮装置による段差被害が生じたほか、A1橋台パラペット部に水平方向のひび割れ、さらにゴム支承の変形に伴う主桁ウェ

ブのはらみだしなど，広範囲にわたり被害が確認された<sup>35)</sup>。大切畑大橋では，A1 橋台すべてのゴム支承が破断した（写真-1.2.64）。また主桁では下フランジの変形およびウェブが座屈し（写真-1.2.65），A1 橋台躯体では橋座部のコンクリートの欠損が確認された<sup>29)</sup>。



写真-1.2.59 上部構造の移動（桑鶴大橋）<sup>31)</sup>



写真-1.2.60 破損したゴム支承（俵山大橋）<sup>29)</sup>



写真-1.2.61 橋台のひび割れ・剥離（すすきの原橋）<sup>34)</sup>



写真-1.2.62 橋面の陥没（すすきの原橋）<sup>34)</sup>



写真-1.2.63 ゴム支承の残留変形（扇の坂橋）<sup>35)</sup>



写真-1.2.64 ゴム支承の破断（大切畑大橋）<sup>29)</sup>



写真-1.2.65 主桁ウェブの座屈（大切畑大橋）<sup>29)</sup>

## 6) 熊本停車場線

熊本停車場線の白川橋では、A1 橋台の支承部において、2 カ所に設置された鋼製支承が上沓と下沓を固定する直径約 10cm のピンが脱落したことで、橋面が 10cm 程度沈下するとともに（写真-1.2.66）、橋面が上流側に向かって 10cm 程度の変位が生じていた<sup>29)</sup>。



写真-1.2.66 橋面部の沈下（白川橋）<sup>29)</sup>

（伊東耕生，酒井久和）

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編）平成 18 年度改訂版，2006.
- 2) 石川県：平成 19 年能登半島地震災害記録誌 第 2 章 被害の概要，[https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai\\_g/notohanto\\_eq/kirokushi/documents/honpen2.pdf](https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/notohanto_eq/kirokushi/documents/honpen2.pdf)（2019.12 閲覧）
- 3) 新潟県：新潟県中越沖地震の記録 第 2 節 公共土木施設等の被害，<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/27623.pdf>（2019.12 閲覧）
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所，独立行政法人建築研究所：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震被害調査報告，<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/115/ks0486.pdf>（2019.12 閲覧）

- 
- 5) 日本橋梁建設協会：東日本大震災 橋梁被害調査報告，<https://www.jasbc.or.jp/seminar/files/20120620/001.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 6) 日本橋梁建設協会：熊本地震橋梁被害調査報告書，<https://www.jasbc.or.jp/whatsnew/files/161227/kyoryohigaityousahoukokusyo.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 7) 北海道：北海道胆振東部地震 被害の概要，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/300906/kennsyouiinkai01/06siryou3.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 8) 高速道路における天然ガスパイプライン設置に関する技術的課題検討委員会：検討すべき技術課題（高速道路の要求性能と技術的検討項目），<http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/roads/02/siryo1-5-2.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 9) 岐阜県：岐阜県橋梁設計要項 第 6 編 耐震設計編，[https://www.pref.gifu.lg.jp/shakai-kiban/doro/doro-kensetsu/11651/c\\_spc.data/06\\_taisinsekkeihen\\_20190701.pdf](https://www.pref.gifu.lg.jp/shakai-kiban/doro/doro-kensetsu/11651/c_spc.data/06_taisinsekkeihen_20190701.pdf) (2019.7 閲覧)
  - 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.
  - 11) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成 18 年度改訂版，2006.
  - 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 27 号 第 8 編 道路施設，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/rpn/rpn0027pdf/kh002711.pdf> (2019.11 閲覧)
  - 13) 国土交通省：新潟県中越地震による道路橋の緊急調査結果，[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/06/061028\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/06/061028_.html) (2019.10 閲覧)
  - 14) 土木学会関東支部 新潟県中越地震災害調査団 調査報告 越の大橋橋梁部，<http://www.fps.chuo-u.ac.jp/~hrsk/earth/2004-niigata/jscekanto1.html#越の大橋橋梁部> (2019.10 閲覧)
  - 15) 国土交通省北陸地方整備局：新潟県中越地震－北陸地方整備局のこの 1 年－ 第 2 章 北陸地方整備局所管施設等の被災及び応急復旧状況 第 2 節 道路施設，<http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/chuetsu-jishin/2/2-2-3.html> (2019.10 閲覧)
  - 16) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 438 号 6. 道路橋，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0438pdf/ks043810.pdf> (2019.11 閲覧)
  - 17) 坂本香，桑原和夫，河原崎邦彦，笠松正樹：新潟県中越沖地震による高速道路の被害と応急復旧，[http://cde.nagaokaut.ac.jp/niigata\\_form/symposium2007\\_pdf/6103.pdf](http://cde.nagaokaut.ac.jp/niigata_form/symposium2007_pdf/6103.pdf) (2020.1 閲覧)
  - 18) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 439 号 7. 道路橋，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0439pdf/ks043911.pdf> (2019.10 閲覧)
  - 19) 坂本香，藤本泰弘，山田信行，笠松正樹：新潟県中越沖地震により被災した高速道路橋の復旧について，<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00061/2008/35-06-0024.pdf> (2020.1 閲覧)
  - 20) 岩崎英治：新潟県中越沖地震による道路橋の損傷状況，<http://coastal.nagaokaut.ac.jp/~jisin/chuetuoki/final/4.pdf> (2019.11 閲覧)
  - 21) NEXCO 東日本：平成 19 年新潟県中越沖地震～高速道路の被災及び復旧状況～，[https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press\\_release/niigata/h19/0726/pdfs/information.pdf](https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/niigata/h19/0726/pdfs/information.pdf) (2019.11 閲覧)
  - 22) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 486 号 6. 道路橋，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0486pdf/ks048610.pdf> (2019.10 閲覧)
  - 23) 東北大学 秋山充良：岩手・宮城内陸地震 国道 342 号線橋梁被害調査（祭時大橋），<http://jsce.or.jp/taikai2008/pdf/akiyama.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 24) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 646 号 9. 道路橋，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0646pdf/ks064613.pdf> (2019.10 閲覧)
  - 25) 国土技術政策総合研究所，土木研究所：東北地方太平洋沖地震による橋梁の被災調査概要報告，<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/110312kyouryou.pdf> (2019.10 閲覧)

- 
- 26) 海洋架橋・橋梁調査会：平成 23 年東北地方太平洋沖地震による道路橋被害の事例, [https://www.jbec.or.jp/pdf/H23\\_HIGAI\\_JIREI\\_1200dpi.pdf](https://www.jbec.or.jp/pdf/H23_HIGAI_JIREI_1200dpi.pdf) (2019.12 閲覧)
  - 27) 国土技術政策総合研究所, 土木研究所：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告, [https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_10167106\\_po\\_ks0814.pdf?ContentNo=1&alternativeNo=](https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10167106_po_ks0814.pdf?ContentNo=1&alternativeNo=) (2019.12 閲覧)
  - 28) 宮城県 東部土木事務所：新北上大橋橋梁災害復旧事業, <https://www.zenken.com/hypusyou/zenkensyou/h28/P069.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 29) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研研究報告第 967 号 8. 道路施設, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0967pdf/ks096712.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 30) NEXCO 西日本：平成 28 年熊本地震による高速道路の被災箇所と復旧状況 (その 2), <https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/hq/h28/0525c/pdfs/02.pdf> (2019.12 閲覧)
  - 31) 土木学会西部支部：平成 28 年熊本地震緊急災害報告 (第 3 報), [https://cwmd.kumamoto-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2018/07/report\\_doboku\\_201604201000.pdf](https://cwmd.kumamoto-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2018/07/report_doboku_201604201000.pdf) (2020.1 閲覧)
  - 32) 土木学会：平成 28 年熊本地震被害調査報告書 5. 道路・橋梁被害, [http://www.jsce.or.jp/branch/seibu/00\\_active/images/5\\_.pdf](http://www.jsce.or.jp/branch/seibu/00_active/images/5_.pdf) (2020.1 閲覧)
  - 33) 国土交通省九州整備局熊本河川国道事務所：熊本地震道路復旧状況国道 325 号 (阿蘇大橋), [http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/fukkyuu/oohasi/191228/191228\\_oohasi.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/fukkyuu/oohasi/191228/191228_oohasi.html) (2020.1 閲覧)
  - 34) 池田隆明, 清田隆, 小長井一男：県道 28 号線の被害調査速報, [https://www.gdm.iis.u-tokyo.ac.jp/R28\\_v01b.pdf](https://www.gdm.iis.u-tokyo.ac.jp/R28_v01b.pdf) (2020.1 閲覧)
  - 35) 日本橋梁建設協会：熊本地震橋梁被害調査報告書, <https://www.jasbc.or.jp/whatsnew/files/161227/kyoryohigaityousahoukokusyo.pdf> (2020.1 閲覧)



### 1.3 高速道路における大規模地震時復旧関連データ事例

#### (1) 対象とする被害

本資料では高速道路盛土における地震被害のうち、路面の段差修正工を実施している工事を対象としている。

#### (2) データ集計期間

データは、発災後から一般車両の通行確保までに実施した復旧作業（以下、「一次復旧作業」という）を対象とした。東北地方太平洋沖地震では2011年3月11日14:46から3月24日6:00までに行われた作業を、熊本地震では2016年4月14日21:26から4月29日9:00までに行われた作業を対象とし集計した。

#### (3) データ集計項目

東北地方太平洋沖地震の一次復旧作業については、福島県内の1事務所における路面の段差修正工の作業内容についての調書を収集・整理した。対象となる復旧工事は5件あったが、そのうち2件について1日単位の詳細な分析を実施した。

熊本地震については熊本県内の1事務所における路面の段差修正工に関する調書を収集・整理した。その結果対象となる復旧工事は3件あり、各工事の1日単位の詳細な分析を実施した。

データ整理に用いた項目は表-1に示すとおりで、労務員の人数、主な作業機械の台数としてトラック及びローラーの台数、主な材料としてアスファルト混合物の数量を集計し、またこれとあわせて補修箇所数について集計した。なお、実際には段差修正工以外の作業についてもあわせて実施している場合等も考えられるので、そういった可能性が含まれた数値と考える必要がある。

表-1 データ整理に用いた項目

| 項目    |           | 単位 |
|-------|-----------|----|
| 労務関係  | 土木一般世話役   | 人  |
|       | 特殊作業員     | 人  |
|       | 一般作業員     | 人  |
|       | 運転手(特殊)   | 人  |
|       | 運転手(一般)   | 人  |
|       | 編成数       | 編成 |
| 機械関係  | トラック      | 台  |
|       | ローラー      | 台  |
| 材料関係  | アスファルト混合物 | t  |
| 補修量関係 | 補修箇所数     | 箇所 |

(2) 復旧関連データ整理結果一覧表

a) 東北地方太平洋沖地震 福島県内の1事務所における段差修正工のデータ

|               |                 |           | 東北地方太平洋沖地震 (路線延長116km) |           |           |           |           |      |           |           |           |           |           |      |                        |           |           |           |           |      |     |
|---------------|-----------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-----|
|               |                 |           | 合計数量                   |           |           |           |           |      | 1編成当たり数量  |           |           |           |           |      | 1km当たり数量 (路線延長: 116km) |           |           |           |           |      |     |
|               |                 |           | 東日本 (A工事)              | 東日本 (B工事) | 東日本 (C工事) | 東日本 (D工事) | 東日本 (E工事) | 合計   | 東日本 (A工事) | 東日本 (B工事) | 東日本 (C工事) | 東日本 (D工事) | 東日本 (E工事) | 平均   | 東日本 (A工事)              | 東日本 (B工事) | 東日本 (C工事) | 東日本 (D工事) | 東日本 (E工事) | 平均   |     |
| 労務関係          | 実人数             | 編成数       | 編成                     | ---       | ---       | ---       | 11        | 36   | 47        | ---       | ---       | ---       | 1         | 1    | 1                      | ---       | ---       | ---       | 0.1       | 0.3  | 0.2 |
|               |                 | 土木一般世話役   | 人                      | ---       | ---       | ---       | 11        | 57   | 68        | ---       | ---       | ---       | 1.0       | 1.4  | 1.2                    | ---       | ---       | ---       | 0.1       | 0.5  | 0.3 |
|               |                 | 特殊作業員     | 人                      | ---       | ---       | ---       | 23        | 253  | 276       | ---       | ---       | ---       | 2.1       | 6.3  | 4.2                    | ---       | ---       | ---       | 0.2       | 2.2  | 1.2 |
|               |                 | 一般作業員     | 人                      | ---       | ---       | ---       | 41        | 81   | 122       | ---       | ---       | ---       | 3.7       | 2.0  | 2.8                    | ---       | ---       | ---       | 0.4       | 0.7  | 0.5 |
|               |                 | 運転手(特殊)   | 人                      | ---       | ---       | ---       | 33        | 101  | 134       | ---       | ---       | ---       | 3.0       | 2.6  | 2.8                    | ---       | ---       | ---       | 0.3       | 0.9  | 0.6 |
|               |                 | 運転手(一般)   | 人                      | ---       | ---       | ---       | 23        | 131  | 154       | ---       | ---       | ---       | 2.1       | 3.1  | 2.6                    | ---       | ---       | ---       | 0.2       | 1.1  | 0.7 |
|               |                 | 合計        | 人                      | ---       | ---       | ---       | 131       | 623  | 754       | ---       | ---       | ---       | 11.9      | 15.3 | 13.6                   | ---       | ---       | ---       | 1.1       | 5.4  | 3.3 |
|               | 8時間換算*          | 編成数       | 編成                     | (10)      | (17)      | (23)      | 15        | 46   | 112       | ---       | ---       | ---       | 1         | 1    | 1                      | ---       | ---       | ---       | 0.1       | 0.4  | 0.3 |
|               |                 | 土木一般世話役   | 人                      | (12)      | (22)      | (30)      | 15        | 72   | 151       | ---       | ---       | ---       | 1.0       | 1.6  | 1.3                    | 0.1       | 0.2       | 0.3       | 0.1       | 0.6  | 0.3 |
|               |                 | 特殊作業員     | 人                      | (32)      | (59)      | (80)      | 29        | 309  | 509       | ---       | ---       | ---       | 1.9       | 6.7  | 4.3                    | 0.3       | 0.5       | 0.7       | 0.2       | 2.7  | 0.9 |
|               |                 | 一般作業員     | 人                      | (25)      | (45)      | (61)      | 51        | 105  | 287       | ---       | ---       | ---       | 3.4       | 2.3  | 2.8                    | 0.2       | 0.4       | 0.5       | 0.4       | 0.9  | 0.5 |
|               |                 | 運転手(特殊)   | 人                      | (26)      | (48)      | (65)      | 44        | 125  | 309       | ---       | ---       | ---       | 2.9       | 2.7  | 2.8                    | 0.2       | 0.4       | 0.6       | 0.4       | 1.1  | 0.5 |
|               |                 | 運転手(一般)   | 人                      | (22)      | (41)      | (55)      | 26        | 142  | 286       | ---       | ---       | ---       | 1.7       | 3.1  | 2.4                    | 0.2       | 0.4       | 0.5       | 0.2       | 1.2  | 0.5 |
| 合計            | 人               | (118)     | (215)                  | (292)     | 165       | 753       | 1543      | ---  | ---       | ---       | 11.0      | 16.3      | 13.6      | 1.0  | 1.9                    | 2.5       | 1.4       | 6.5       | 2.7       |      |     |
| 機械関係          | トラック総台数 (10t換算) | 台         | (3)                    | (27)      | (36)      | 22        | 95        | 182  | ---       | ---       | ---       | 2.0       | 2.6       | 2.3  | 0.0                    | 0.2       | 0.3       | 0.2       | 0.8       | 0.3  |     |
|               | ローラーの総台数        | 台         | (2)                    | (15)      | (20)      | 11        | 64        | 111  | ---       | ---       | ---       | 1.0       | 1.8       | 1.4  | 0.0                    | 0.1       | 0.2       | 0.1       | 0.6       | 0.2  |     |
| 材料関係          | アスコン            | t         | (57)                   | (556)     | (713)     | 460       | 1271      | 3057 | ---       | ---       | ---       | 41.8      | 35.3      | 65.0 | 0.5                    | 4.8       | 6.1       | 4.0       | 11.0      | 5.3  |     |
| 補修量関係         | 補修箇所数           | 箇所        | (7)                    | (65)      | (69)      | 64        | 162       | 367  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | 0.6       | 1.4       | 1.0  |     |
|               | 補修面積            | m2        | ---                    | ---       | ---       | 5570      | 5206      | ---  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | 48.0      | 44.9      | 46.4 |     |
|               | 編成数(8時間換算)      | 編成        | ---                    | ---       | ---       | 15        | 46        | ---  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | 0.1       | 0.4       | 0.3  |     |
|               | 補修速度(日当たり)      | 箇所/日/編成   | ---                    | ---       | ---       | 7.1       | 3.5       | ---  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | --- |
|               | 平均補修速度(日当たり)    | 箇所/日/編成   | ---                    | ---       | ---       | ---       | ---       | 5.3  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | --- |
|               | 補修速度(8時間換算)     | 箇所/8時間/編成 | (1)                    | (3.7)     | (2.9)     | 4.2       | 4.5       | ---  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | --- |
| 平均補修速度(8時間換算) | 箇所/8時間/編成       | ---       | ---                    | ---       | ---       | ---       | 3.3       | ---  | ---       | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  | ---                    | ---       | ---       | ---       | ---       | ---  |     |

※東日本(A工事)、(B工事)、(C工事)は、他工事資料の各種調査と工事費から推定した数値を記載している。

b) 熊本地震 熊本県内の1事務所における段差修正工のデータ

|           |                    |               | 【熊本地震】 熊本震災復旧工事(舗装)積算根拠 |             |             |      |             |             |             |      |                         |             |             |      |      |
|-----------|--------------------|---------------|-------------------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------------------|-------------|-------------|------|------|
|           |                    |               | 合計数量                    |             |             |      | 1編成当たり数量    |             |             |      | 1km当たり数量<br>(路線延長:38km) |             |             |      |      |
|           |                    |               | 熊本<br>(A工事)             | 熊本<br>(B工事) | 熊本<br>(C工事) | 合計   | 熊本<br>(A工事) | 熊本<br>(B工事) | 熊本<br>(C工事) | 平均   | 熊本<br>(A工事)             | 熊本<br>(B工事) | 熊本<br>(C工事) | 平均   |      |
| 労務<br>関係  | 実人数                | 編成数           | 編成                      | 52          | 29          | 20   | 101         | 1           | 1           | 1    | 1                       | 1.4         | 0.8         | 0.5  | 0.9  |
|           |                    | 土木一般世話役       | 人                       | 54          | 29          | 17   | 100         | 0.9         | 0.6         | 0.8  | 0.8                     | 1.4         | 0.8         | 0.4  | 0.9  |
|           |                    | 特殊作業員         | 人                       | 133         | 131         | 19   | 283         | 2.0         | 2.8         | 0.9  | 1.9                     | 3.5         | 3.5         | 0.5  | 2.5  |
|           |                    | 一般作業員         | 人                       | 307         | 109         | 52   | 468         | 6.5         | 3.0         | 2.7  | 4.1                     | 8.1         | 2.9         | 1.4  | 4.1  |
|           |                    | 運転手(特殊)       | 人                       | 157         | 138         | 29   | 324         | 2.7         | 2.8         | 1.4  | 2.3                     | 4.2         | 3.7         | 0.8  | 2.9  |
|           |                    | 運転手(一般)       | 人                       | 210         | 51          | 27   | 288         | 3.5         | 2.0         | 1.4  | 2.3                     | 5.6         | 1.3         | 0.7  | 2.5  |
|           |                    | 合計            | 人                       | 861         | 458         | 144  | 1463        | 15.5        | 9.0         | 7.2  | 10.6                    | 22.8        | 12.1        | 3.8  | 12.9 |
|           | 8時間<br>換算*         | 編成数           | 編成                      | 57          | 46          | 28   | 130         | 1           | 1           | 1    | 1                       | 1.5         | 1.2         | 0.7  | 1.1  |
|           |                    | 土木一般世話役       | 人                       | 61          | 46          | 24   | 131         | 1.1         | 1.0         | 0.8  | 1.0                     | 1.6         | 1.2         | 0.6  | 1.2  |
|           |                    | 特殊作業員         | 人                       | 151         | 205         | 13   | 369         | 2.7         | 4.5         | 0.5  | 2.5                     | 4.0         | 5.4         | 0.3  | 3.2  |
|           |                    | 一般作業員         | 人                       | 367         | 170         | 16   | 552         | 6.5         | 3.7         | 0.6  | 3.6                     | 9.7         | 4.5         | 0.4  | 4.9  |
|           |                    | 運転手(特殊)       | 人                       | 195         | 212         | 38   | 445         | 3.4         | 4.6         | 1.4  | 3.1                     | 5.2         | 5.6         | 1.0  | 3.9  |
|           |                    | 運転手(一般)       | 人                       | 274         | 64          | 32   | 370         | 4.8         | 1.4         | 1.2  | 2.5                     | 7.2         | 1.7         | 0.8  | 3.3  |
|           |                    | 合計            | 人                       | 1048        | 696         | 122  | 1865        | 18.5        | 15.2        | 4.4  | 12.7                    | 27.7        | 18.4        | 3.2  | 16.5 |
| 機械<br>関係  | トラック総台数<br>(10t換算) | 台             | 186                     | 30          | 9           | 225  | 3.6         | 1.0         | 0.5         | 1.7  | 4.9                     | 0.8         | 0.2         | 2.0  |      |
|           | ローラーの総台数           | 台             | 64                      | 55          | 16          | 135  | 1.2         | 1.9         | 0.8         | 1.3  | 1.7                     | 1.5         | 0.4         | 1.2  |      |
| 材料<br>関係  | アスコン               | t             | 3926                    | 1514        | 635         | 6075 | 75.5        | 52.2        | 31.8        | 53.2 | 103.9                   | 40.1        | 16.8        | 53.6 |      |
| 補修量<br>関係 | 補修箇所数              | 箇所            | 272                     | 89          | 43          | 404  | ---         | ---         | ---         | ---  | 7.2                     | 2.4         | 1.1         | 3.6  |      |
|           | 補修面積               | m2            | ---                     | ---         | ---         | ---  | ---         | ---         | ---         | ---  | ---                     | ---         | ---         | ---  |      |
|           | 編成数(8時間換算)         | 編成            | 57                      | 46          | 28          | 130  | ---         | ---         | ---         | ---  | 1.5                     | 1.2         | 0.7         | 1.1  |      |
|           | 補修速度(日当たり)         | 箇所/日<br>/編成   | 4.8                     | 1.9         | 1.6         | ---  | ---         | ---         | ---         | ---  | ---                     | ---         | ---         | ---  |      |
|           | 平均補修速度(日当たり)       | 箇所/日<br>/編成   | ---                     | ---         | ---         | 2.8  | ---         | ---         | ---         | ---  | ---                     | ---         | ---         | ---  |      |
|           | 補修速度(8時間換算)        | 箇所/8時間<br>/編成 | 5                       | 2           | 2           | ---  | ---         | ---         | ---         | ---  | ---                     | ---         | ---         | ---  |      |
|           | 平均補修速度(8時間換算)      | 箇所/8時間<br>/編成 | ---                     | ---         | ---         | 3.1  | ---         | ---         | ---         | ---  | ---                     | ---         | ---         | ---  |      |

(3) 日別復旧関連データ変動状況

| 地域           | 補修箇所      |            | 労働時間関連     |        | トラック台数 (10台換算) |           | 機械作業関連   |          | ローラ台数台数   |           | 材料調達関連 |      |
|--------------|-----------|------------|------------|--------|----------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|--------|------|
|              | 補修箇所数(箇所) | 延べ作業日数(人日) | 延べ作業日数(人日) | ※8時間換算 | トラック台数(台)      | トラック台数(台) | ローラ台数(台) | ローラ台数(台) | トラック台数(台) | トラック台数(台) | 材料調達台数 | アシコン |
| 東日本<br>(0工事) |           |            |            |        |                |           |          |          |           |           |        |      |
|              | 36        | 24         | 11         | 47     | 116            | 72        | 148      | 11       | 116       | 72        | 148    | 10   |
| 東日本<br>(2工事) |           |            |            |        |                |           |          |          |           |           |        |      |
|              | 36        | 24         | 11         | 47     | 116            | 72        | 148      | 11       | 116       | 72        | 148    | 10   |
| 熊本<br>(1工事)  |           |            |            |        |                |           |          |          |           |           |        |      |
|              | 154       | 143        | 77         | 32     | 154            | 143       | 77       | 32       | 154       | 143       | 77     | 10   |
| 熊本<br>(2工事)  |           |            |            |        |                |           |          |          |           |           |        |      |
|              | 148       | 119        | 55         | 25     | 148            | 119       | 55       | 25       | 148       | 119       | 55     | 10   |
| 熊本<br>(1工事)  |           |            |            |        |                |           |          |          |           |           |        |      |
|              | 53        | 43         | 26         | 0      | 53             | 43        | 26       | 0        | 53        | 43        | 26     | 10   |

## 2. 土木構造物の復旧性評価に 関するシンポジウム

### 2.1 プログラム

### 2.2 基調講演資料「東日本大震災を経て、将来に備える」 池口正晃（国土交通省近畿地方整備局・企画部長）

### 2.3 発表論文集

# 土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム

## プログラム

1. 主催：土木学会地震工学委員会 耐震基準小委員会 復旧性 WG
2. 日時：2021年3月2日（水）1:00～17:45
3. 場所：Zoomにて開催（申込者にアクセスの情報をご連絡します）
4. プログラム：各論文の発表時間は質疑応答込みで20分を予定しています。

### <開会挨拶及び基調講演> (PM1:00-2:00)

開会の挨拶および基調講演者の紹介

酒井久和（耐震基準小委員会委員長・復旧性 WG 長・法政大学教授）

基調講演「東日本大震災を経て、将来に備える」

池口正晃（国土交通省近畿地方整備局・企画部長）

### <セッション 1> (PM2:05-3:05)

「リスク・レジリエンスに基づく南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークの補強 優先度判定」

石橋寛樹、青木康貴、小島貴之、秋山充良（早稲田大学）、越村俊一（東北大学）

「大規模地震による路面下空洞の発生傾向と早期道路復旧に向けた対策事例」

岡本順平、徳永珠未、小池豊（ジオ・サーチ株式会社）

「斜面カルテによる共分散構造モデルを用いた斜面の地震時信頼性評価」

梶丹人、酒井久和（法政大学）、梶谷義雄（香川大学）

### <セッション 2> (PM3:10-4:10)

「補強土壁の復旧性に関する事例収集と考察」

栗林健太郎（エイト日本技術開発）

「地震及び水の侵入の影響により変状したジオテキスタイル二重壁補強土壁の措置事例」

辻慎一郎、伊藤修二、久保哲也（前田工織株式会社）

「震災時の道路土工構造物における一般開放に向けた復旧作業の事例分析」

日下寛彦、中島康介、安部哲生（高速道路総合技術研究所）

### <セッション 3> (PM4:15-5:45)

「複数回地震動作用時における橋台背面アプローチ部の段差量に関する考察」

梶田幸秀、福井誠司、松田泰治（九州大学）

「災害情報による道路被害の復旧必要期間の評価」

一井康二、門田朋也（関西大学）

「大規模停電に伴う上水道システムの機能支障に関する事例調査」

丸山喜久（千葉大学）、永田茂（防災科研）

「和歌山県における南海トラフ地震の斜面崩壊による孤立性評価」

穂積克樹、酒井久和（法政大学）、梶谷義雄（香川大学）

#### 5. 論文集について

下記のサイトに、基調講演の資料および投稿論文の pdf を当面の間掲載します。

<https://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ichii/>土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム/

その他、ご質問等がございましたら、FukkyuWG@gmail.com までお問い合わせください。

土木学会

地震工学委員会 耐震基準小委員会

「東日本大震災を経て、将来に備える」

令和3年 3月2日

国土交通省近畿地方整備局 池口 正晃

1. 東日本大震災の初動
2. 東日本大震災の復旧・復興
3. 将来に備える

### 東日本大震災 概要と津波浸水区間

○被災範囲(津波遡上範囲)は、南北500km以上の広範囲に及んだ。

(概要)

**発生日時**: 3月11日 14時46分

**マグニチュード**: 9.0

**発震場所**: 三陸沖  
(牡鹿半島の東南東、約130km付近)

**深さ**: 約24km

**震度**: 最大震度 7 (宮城県栗原市)

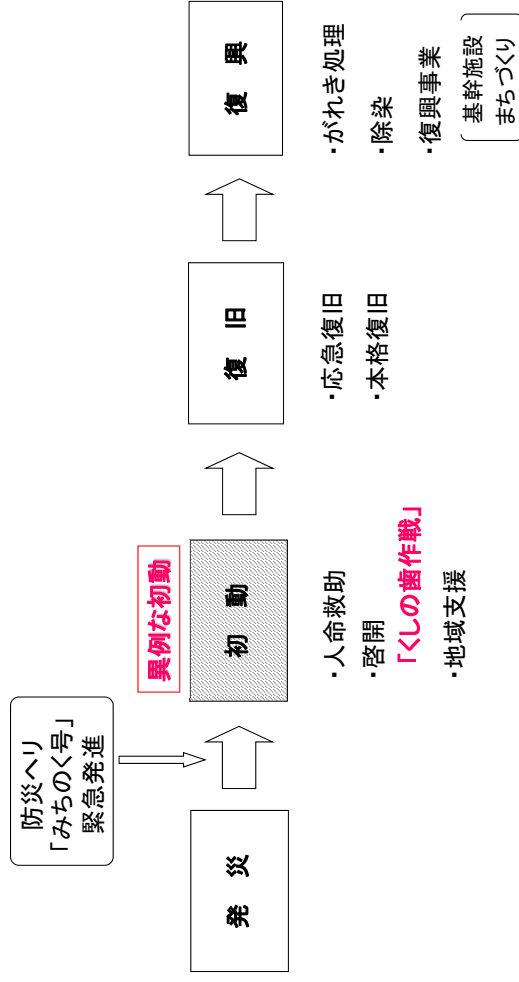


津波遡上範囲

1. 東日本大震災の初動



# 地震発生からの流れ



# 災害対策室(3/11 夜)

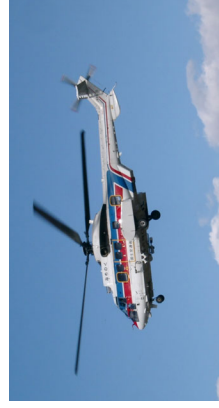


# 災害対策室(3/11 夜)



# ヘリを緊急発進

発災37分後、仙台空港の専用ヘリ「みちのく号」を離陸させ、ライブ映像を災害対策室へ。その間に、仙台空港滑走路が水没して使用不可能に。



▲東北地方整備局の専用ヘリ「みちのく号」



▲福島第一原発



▲仙台空港(3月11日 16:00頃)

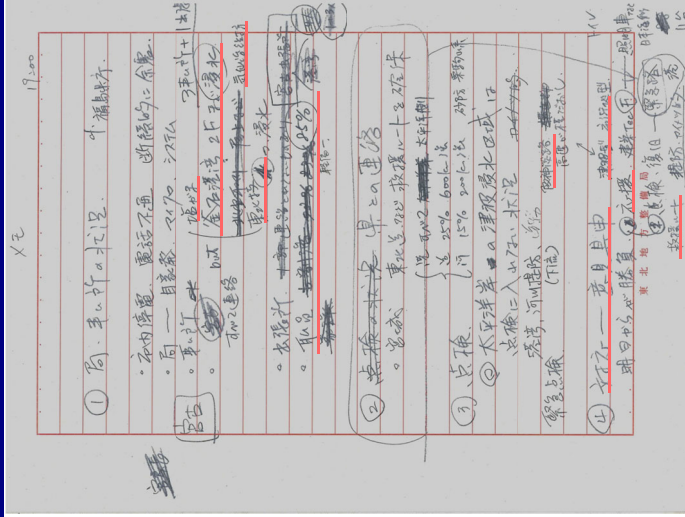
## <映像①>

国土交通省防災へ「みちのく号」からの空撮映像  
 釜石港湾事務所屋上からの津波映像  
 CCTVによる連続画像(岩手県)

【約 5分】



## 発災当日(3/11) 19:00の状況(メモ)



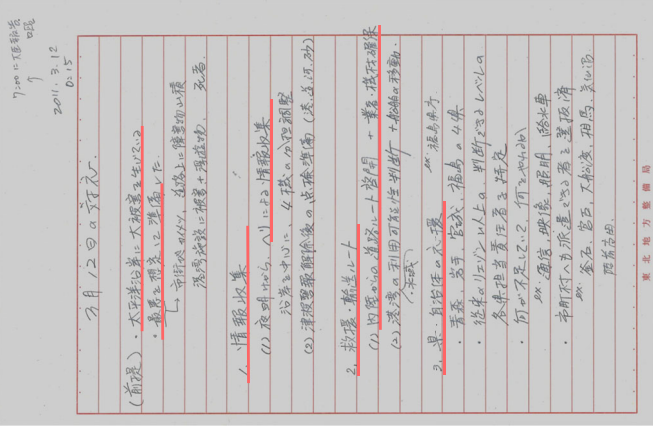
## 国土交通大臣とのテレビ会議



3月11日 19:00

- ・22:00からの大島 国土交通大臣へのテレビ会議での報告の準備として、19:00から書き始めたメモです。
- ・3事務所より出張所が、津波による浸水のため連絡が取れないことや、職員の安否確認も85%にとどまっていること、家族の安否確認はほとんど出来ない様子が、情報が入る都度何度も書き直されている生々しいものです。
- ・最後に、大臣への意見書として、**阪神淡路の地震とは違う津波型**であること、明日からが勝負であり、**優先すべきは自治体への応援と救援ルートの確保**であると進言しています。

# 翌日の対応方針（メモ）

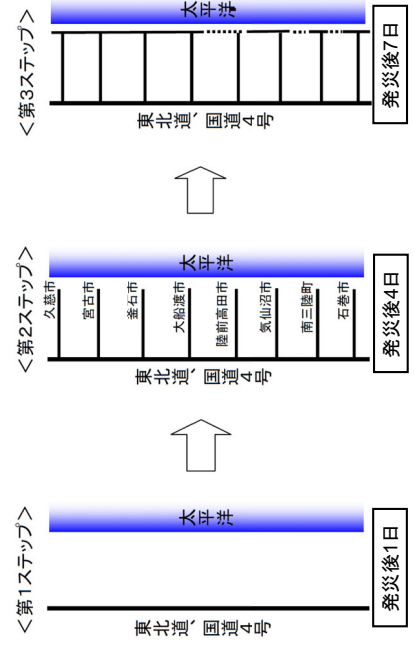


**3月11日 23:33**

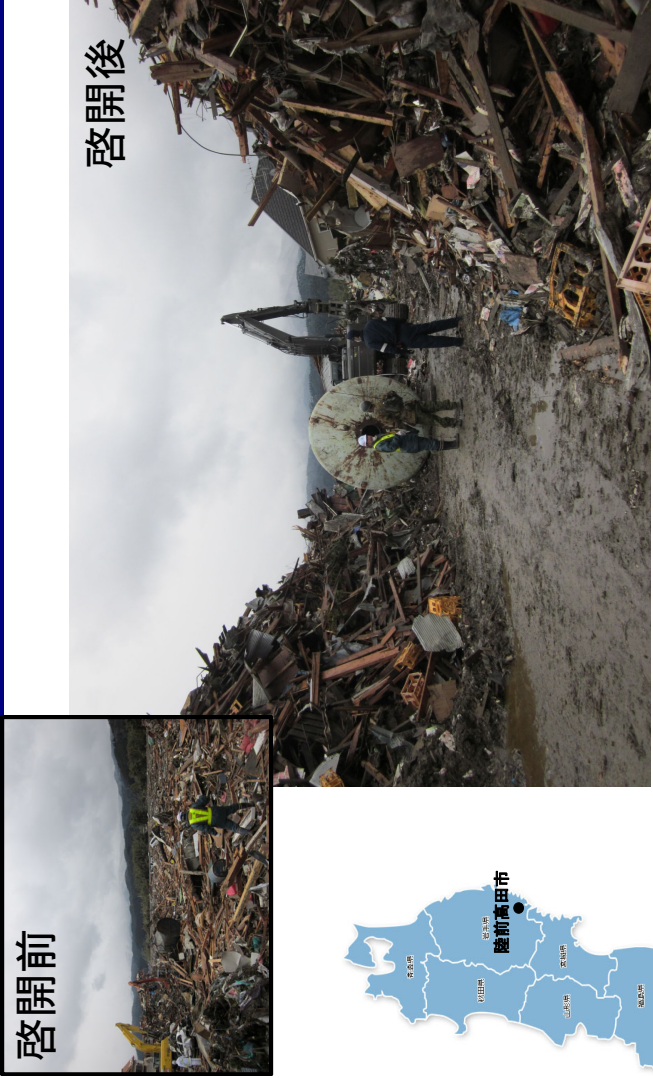
- 国土交通大臣の了解を得て、3月12日の対応を指示した命令書です。まず23:33にマイクで全員に指示した後、配布するために0:15に書き直したものです。
- 今回の整備局の初動のポイントである「**救援・輸送ルート**」確保と「**真・自治体の応援**」という2項目がこの時点ではっきりと示されています。
- 中程に、「啓開」の文字が初めて示されているほか、「業者・機材確保」をどれだけやれるかが死命を制すると指示しています。また、市町村へのリエゾン派遣も要員を選抜済と書かれています。

# 「くしの歯」作戦

- 第1ステップ** 東北道、国道4号の**縦軸ライン確保**
- 第2ステップ** 東北道、国道4号からの**横軸ラインを確保**
- 3/12**: 16本のうち、11ルート啓開  
**3/15**: 15ルート啓開
- 第3ステップ** **3/18**: 国道45号、6号の97%啓開（作戦終了）



# 道路啓開

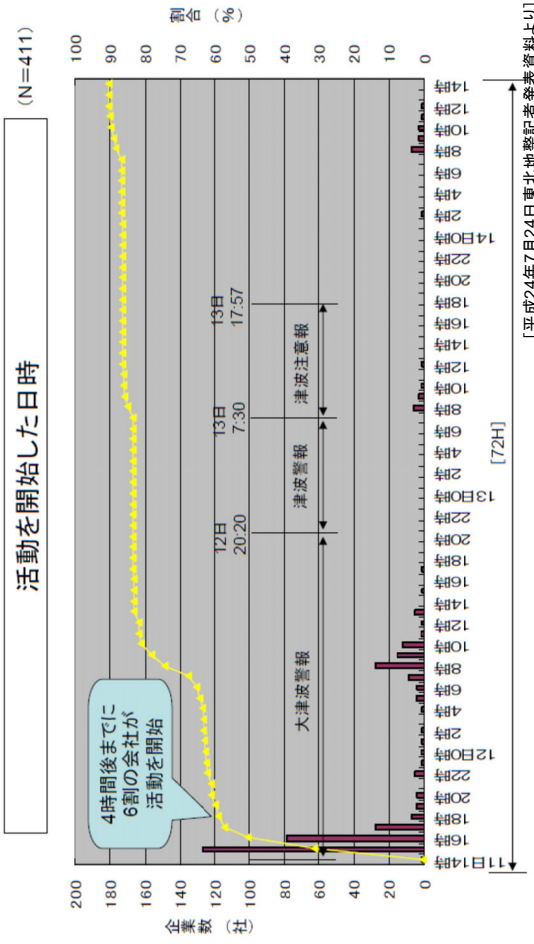


啓開前

啓開後

# 震災直後から、迅速に地元建設企業が活動を開始

- 3月18日までに活動を開始した地元建設企業のうち、411社から回答。
- そのうち、6割(242社)が、発災後4時間以内に活動を開始。



[平成24年7月24日東北地盤記者発表資料より]

## 道路啓開

「人前で泣くのは恥ずかしいことだー そう思ってたけど、胸が締め付けられて涙が次から次にあふれ出てくるのを止められなかった」

「これは供養なんだ、と思うしかなかったです。早く見つけてあげるのが供養だと思えば、少しは気持ちも楽になります」

「これはもう仕事ではねえ、人としてやんなきゃなんねえことなんだ」

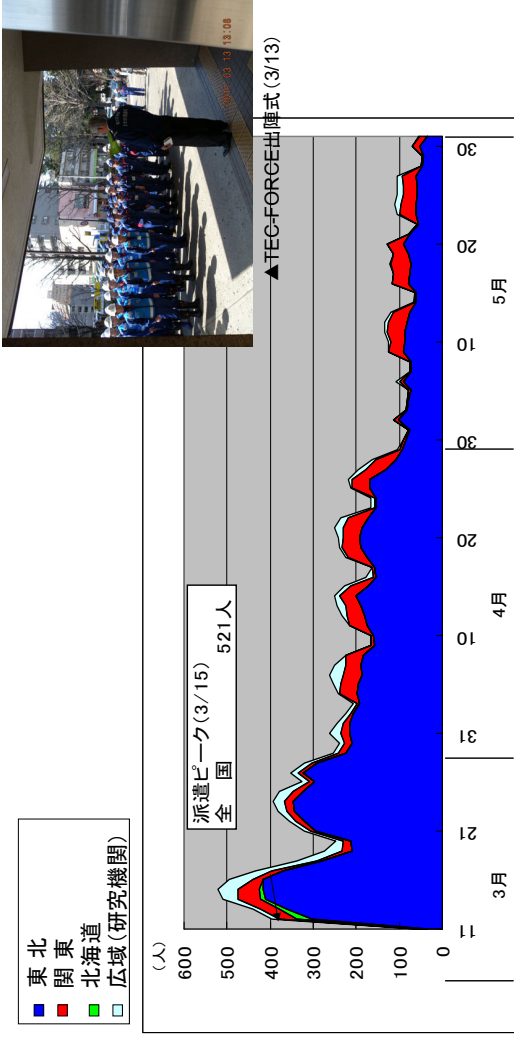
稲泉運 命をつないだ道 東北・国道45号線をゆく 新潮社 より



津波により災害を受けた国道の啓開完了

## TEC-FORCE (テックフォース・緊急災害対策派遣隊)

- 発災翌日には、他地整から**8名の先遣隊**が到着。
- 3日目**からは、本省の指揮の下、東北地整以外の職員が被災状況を調査。



▲TEC-FORCE派遣状況(派遣推移と派遣先) (平成23年3月11日～5月31日)

## 道路啓開

## TEC-FORCE (緊急災害対策派遣隊)



瓦礫の中を突き進むTEC-FORCE隊。(近畿地方整備局からの派遣隊員) 一刻も早い復旧への一歩となる調査を開始。

[金石市 2011年3月14日]

## 市町村とのホットラインより (3/15)

### 調達したおもな物資 (~3月末)

※)4月以降は、本来国土交通省が購入ができるものに限定

**燃料**

ガソリン・灯油・軽油

**カンオケ**

遺体次々出ている。火葬場やられて炉は1つ。  
遺体確認しても持ち帰れない

**仮設住宅・テント**

**通信・衛星電話**

**人手**



## 応急復旧(道路)



至：青森

氣仙大橋

至：仙台

ICでつながった  
ICでつながった

津波により橋梁上部工が流出(岩手県陸前高田市気仙大橋)

21

## 2. 東日本大震災の復旧・復興

20

## 応急復旧(道路)



仮橋を架橋し、交通路を確保(岩手県陸前高田市気仙大橋)

22

## 命の道となった釜石山田道路(三陸縦貫自動車道)

- 被災直後、三陸縦貫道に避難してきた鵜住居小学校、釜石東中学校の生徒等570名が、孤立することなく、避難所(旧釜石第一中学校)まで移動することができた。



23

<映像③>

「三陸の奇跡」と「命の道」  
 — 東日本大震災から学びました —

【約 6分】



復興道路・復興支援道路



「三陸沿岸道路」の新たな考え方

○強靱性の確保

- 三陸縦貫自動車道のルートは津波浸水区域を95%回避
- 残りの区間も高架構造で回避

三陸縦貫道(山田道路)



○避難機能の強化(緊急避難路、避難階段等の設置)



# 『3.11伝承ロード』の形成 (イメージ)

多様な方を誘う機会を創出

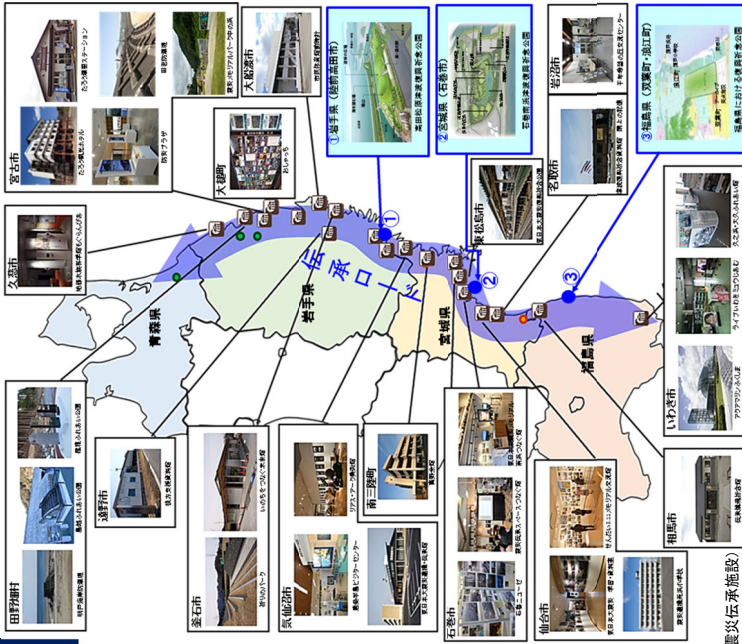
- ・防災専門家
- ・学術・研究機関
- ・修学・学習
- ・自治体関係者
- ・業界関係者
- ・一般の方 など



## 目標

- ①防災力の向上(教訓の伝承)
- ②地域の活性化(学びの対流)

震災伝承ネットワーク協議会(官)  
 → <http://www.thr.mlit.go.jp/sinsaidensyo/>  
 3.11伝承ロード推進機構(民)  
 → <http://www.311densyo.or.jp/> (※主な震災伝承施設)



# 道路橋の耐震補強が 被害を最小限に

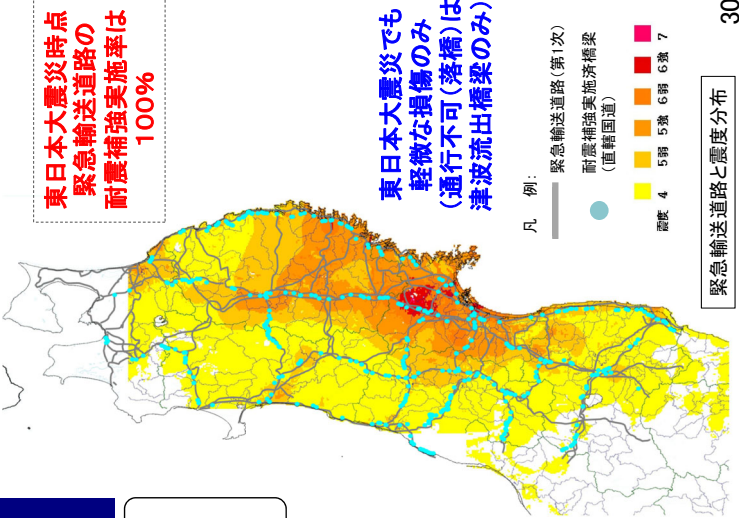
- 阪神淡路大震災(1995年)での道路橋倒壊被害
- その後、耐震補強対策※を実施した  
(東北管内490橋)
- これが、落橋などの致命的な被害を防止  
(早期復旧の基礎)

耐震補強実施状況(H23.3時点)

| 道路種別 | 直轄国道 | 要対策橋梁数 | 実施率  |
|------|------|--------|------|
| 県    |      | 24     | 100% |
| 青森県  |      | 100    | 100% |
| 岩手県  |      | 77     | 100% |
| 宮城県  |      | 56     | 100% |
| 秋田県  |      | 144    | 100% |
| 山形県  |      | 89     | 100% |
| 福島県  |      | 490    | 100% |
| 東北計  |      | 490    |      |

※耐震補強対策:  
 落橋・倒壊を防止する対策  
 (緊急輸送道路の耐震補強  
 3箇年プログラム  
 (H17~19実施))

※県管理の対象橋梁410橋も  
 実施率99%



# 3. 来る災害に備える

## 橋梁の耐震化、落橋防止対策

○南海トラフ地震等の大規模災害に備え、橋梁耐震補強を推進。

### 落橋防止装置



### 橋脚補強

## 緊急輸送道路の耐震補強の加速化

○高速道路や直轄国道について、大規模地震の発生確率等を踏まえ、落橋・倒壊の防止対策に加え、路面に大きな段差が生じないよう、支承の補強や交換等を行う対策加速化。

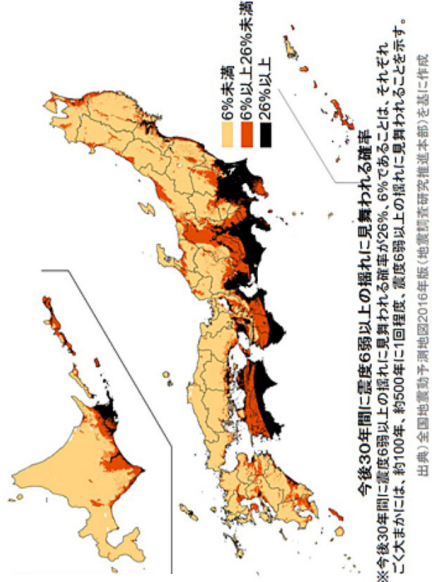
### 【対策目標】

- ・ 2021年度までに少なくとも発生確率が26%以上の地域で完了を目指します。
- ・ 2026年度までに全国で耐震補強の完了を目指します。

緊急輸送道路上の橋梁の耐震補強進捗率  
H31.3月集計値

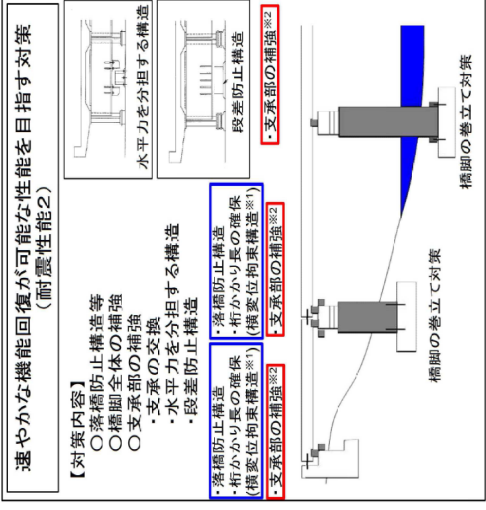
| 道路管理者    | 進捗率 |
|----------|-----|
| 高速道路会社管理 | 75% |
| 国管理      | 83% |
| 都道府県管理   | 79% |
| 政令市管理    | 80% |
| 市町村管理    | 67% |
| 計        | 79% |

※1 緊急輸送道路上の15m以上の橋梁  
※2 進捗率は、高規格道路地震と同程度の地震においても軽微な損傷に留まり、乗客が乗車可能な状態が完了した橋梁、乗客が乗車可能な状態が完了した橋梁、乗客が乗車可能な状態が完了しないレベルの耐震化率は、全線で約98%  
※3 原則、単径間の橋梁は対策不要と整理



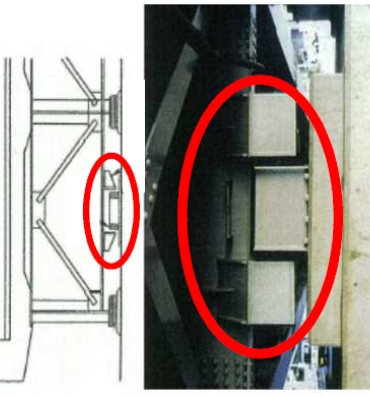
## 橋梁の耐震化、落橋防止対策

○全国の緊急輸送道路について、「落橋・倒壊対策」が約99%完了。  
○引き続き、更なる耐震性能の向上を図るため、「速やかな機能回復を目指す対策」を推進。



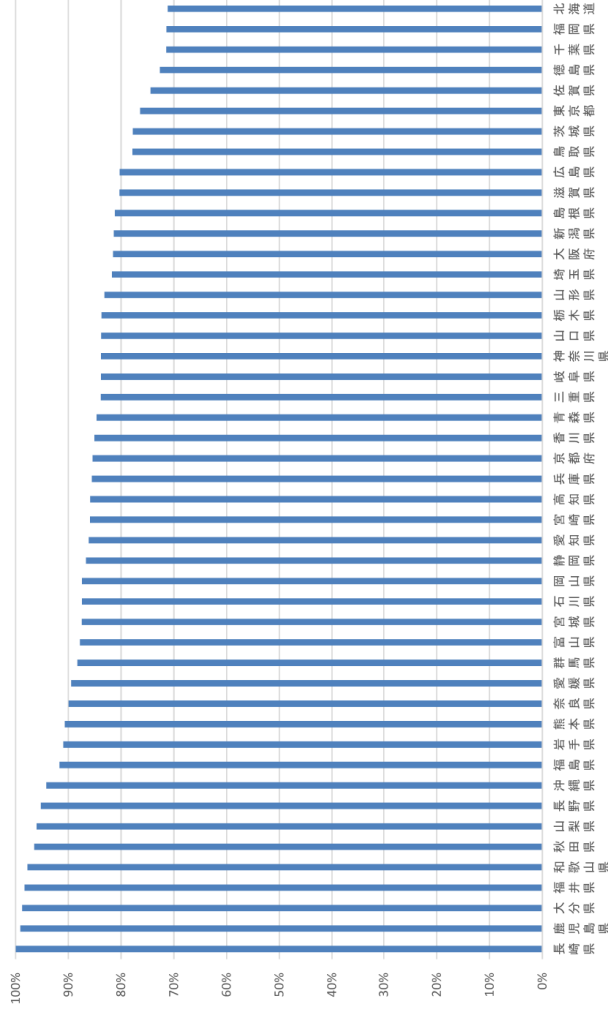
### ■耐震性向上対策の例

#### 【支承部の補強の例】



水平力を分担する構造

## 都道府県別の耐震補強進捗率 (直轄国道)





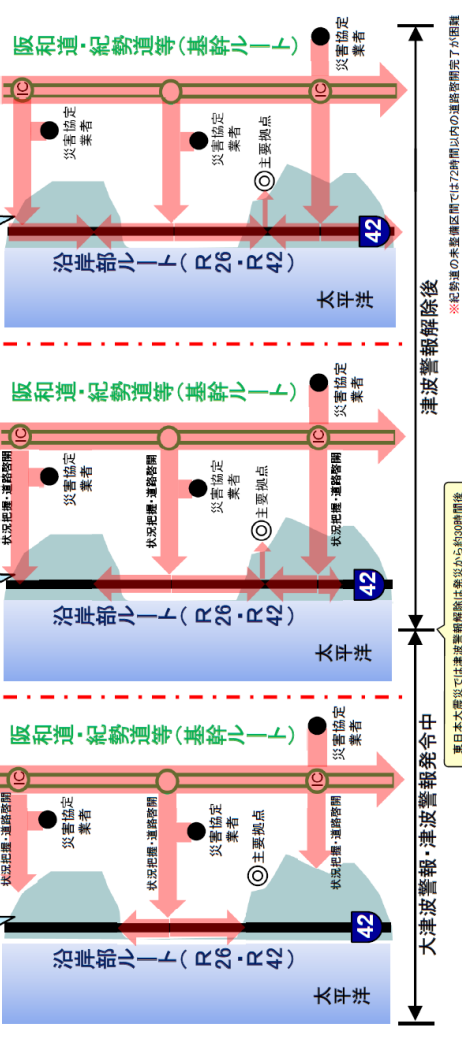
# 南海トラフ巨大地震の対応（道路啓開計画）

人命救助を目指した救助・救援ルートを確保するため『道路啓開』の段階目標（STEP1～3）を設定

**【STEP1⇒24時間以内完了目標】**  
 基幹ルート、及び沿岸部への進出ルートを確保  
 ルート等（浸水想定区域外）を確保  
 浸水想定区域

**【STEP2⇒48時間以内完了目標】**  
 主要拠点（市役所等）への進出ルートを確保  
 浸水想定区域

**【STEP3⇒72時間以内完了目標※】**  
 沿岸部への進出ルート、及び沿岸部ルートを確保  
 浸水想定区域



# 南海トラフ巨大地震の対応（道路啓開：災害協業者との連携）

○（一社）和歌山県建設業協会及び各支部と「災害時等における緊急災害応急対策業務」に関する協定を締結。  
 ○各支部の建設業者が担当する道路啓開区間を予め設定し、発災時は自主的判斷で出動して業務を実施。



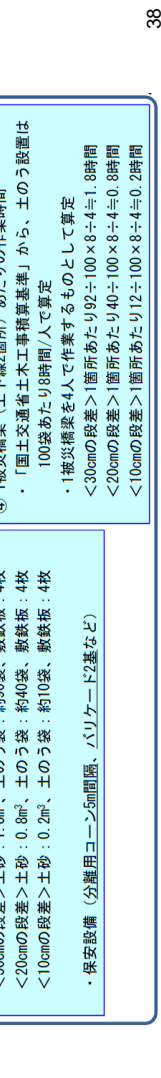
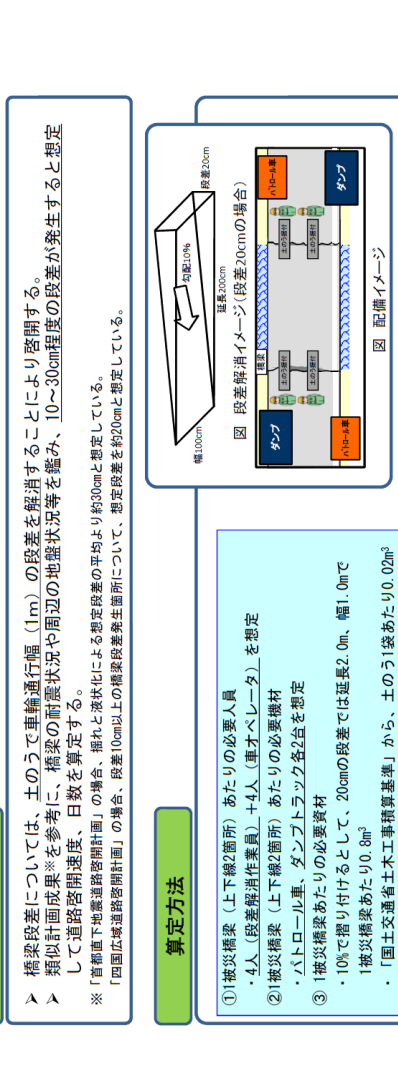
| 品目     | 現状     |
|--------|--------|
| 暗渠排水管  | 230本   |
| 大型土のう袋 | 4,295袋 |
| 敷鉄板    | 1,500枚 |



【緊急仮設橋】

# 中部版くしの歯作戦

くしの歯作戦の基本的考え方  
 ・ 甚大な被害を受けた地域での救援・救護活動を支援するための「道路啓開」を最優先。  
 ・ 全ての被災地への緊急物資輸送ルートを確保。



# 橋梁段差の解消

橋梁段差の解消に必要な人員や資機材や啓開時間の算定方法  
 < 南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開計画 令和2年2月より抜粋 >

### 基本的な考え方

橋梁段差については、土のうで車輪通行幅（1m）の段差を解消することにより啓開する。  
 類似計画成果※を参考に、橋梁の耐震状況や周辺の地盤状況等を鑑み、10～30cm程度の段差が発生すると想定して道路啓開速度、日数を算定する。  
 ※「首都圏直下型高層道路啓開計画」の場合、揺れと液状化による想定段差の平均より約30cmと想定している。  
 ※「四国広域道路啓開計画」の場合、段差10cm以上の橋梁段差発生箇所について、想定段差を約20cmと想定している。

### 算定方法

- 被災橋梁（上下線2箇所）あたりの必要人員  
 ・ 4人（段差解消作業員）+ 4人（車オブレータ）を想定
- 被災橋梁（上下線2箇所）あたりの必要資機材  
 ・ ハトロー重、ダンブトラック各2台を想定
- 被災橋梁あたりの必要資材  
 ・ 10%で摺り付けるとして、20cmの段差では延長2.0m、幅1.0mで1被災橋梁あたり9.08m<sup>3</sup>  
 ・ 「国土交通省土木工事積算基準」から、土のう1袋あたり0.02m<sup>3</sup>  
 < 20cmの段差 > 土砂：1.8m<sup>3</sup>、土のう袋：約90袋、敷鉄板：4枚  
 < 30cmの段差 > 土砂：0.8m<sup>3</sup>、土のう袋：約40袋、敷鉄板：4枚  
 < 10cmの段差 > 土砂：0.2m<sup>3</sup>、土のう袋：約10袋、敷鉄板：4枚

・ 保安設備（分譲用コーン5m間隔、バリケード2基など）

### 図 段差解消イメージ（段差20cmの場合）

図 1 被災橋梁（上下線2箇所）あたりの作業時間  
 ・ 「国土交通省土木工事積算基準」から、土のう設置は100袋あたり9.8時間/人で算定  
 ・ 被災橋梁を4人で作業するものとして算定  
 < 30cmの段差 > 1箇所あたり92÷100×8÷4=1.8時間  
 < 20cmの段差 > 1箇所あたり40÷100×8÷4=0.8時間  
 < 10cmの段差 > 1箇所あたり12÷100×8÷4=0.2時間

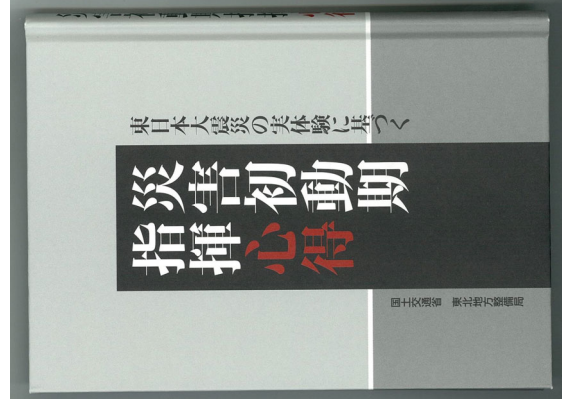
- 65ルート全てを迅速に啓開できるか
- 啓開後の物資輸送を考慮し、**重要港湾**への啓開は重要
- 建設会社は、日頃からの付き合い(信頼関係)を優先して活動する傾向。建設会社自らも被災しており、協定を締結した**建設会社**の**1/3程度の参加も覚悟しておくべき**。
- 事前に、**優先する啓開ルート**を検討
- 津波で浸水したルートの道路啓開は、**道路管理者も同行**しなければ、建設会社は活動しづらい。
- 津波浸水想定区域内の啓開ルートには、道路管理者も配置

40

東日本大震災の実体験に基づく 災害初動期指揮心得

本書とりまとめの意図

1. 東日本大震災を経験した者にしかわからない「経験知」を関係者と共有
2. シナリオのない、最もシビアな決断を迫られる最初の1週間を乗り切る指針
3. 地方整備局各クラスの「指揮官」が心得ておくべき指針



保存用(ハードカバー)

42

- 啓開チームの確実な**安全確保策**が必要
- 集合場所までの移動、および集合場所での待機時の安全確保  
啓開時に余震がきたときの対応ルール
- 2週間**携帯電話が不通**。1日のうち朝と夕の2回、建設会社が出張所に集まって、作業予定を確認
- 携帯電話が不通の場合の連絡方法の検討

41

各時間帯にとるべき行動

- 最初の1時間:** 矢継ぎ早に指示を繰り出す時間帯
- 最初の1日間:** 限られた情報で初動期の大方針を決定する時間帯  
『早く、大きく構える』のが、初動の定石
- 最初の1週間:** 最初の1週間は、シナリオのない、最もシビアな決断を求められる「非常の時間帯」  
その都度異なる災害の様相に相応しい、最適な班編制

43

## 教訓

『 備えていたことしか、役には立たなかった。』

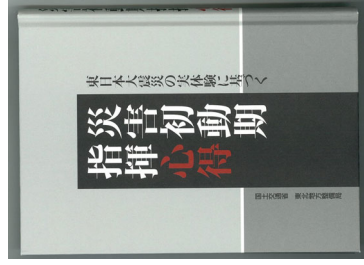
備えていただけでは、十分ではなかった。』

『 備え、しかる後にこれを超越してほしい。』

【Amazon電子書籍(無料):配信URL】

<http://www.amazon.co.jp/dp/B00S8UXG9G> (日本語版)

<http://www.amazon.co.jp/dp/B00S8UXFU6> (英語版)



# 土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム

## 発表論文一覧

「リスク・レジリエンスに基づく南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークの補強 優先度判定」

石橋寛樹、青木康貴、小島貴之、秋山充良（早稲田大学）、越村俊一（東北大学）

「大規模地震による路面下空洞の発生傾向と早期道路復旧に向けた対策事例」

岡本順平、徳永珠未、小池豊（ジオ・サーチ株式会社）

「斜面カルテによる共分散構造モデルを用いた斜面の地震時信頼性評価」

梶丹人、酒井久和（法政大学）、梶谷義雄（香川大学）

「補強土壁の復旧性に関する事例収集と考察」

栗林健太郎（エイト日本技術開発）

「地震及び水の侵入の影響により変状したジオテキスタイル二重壁補強土壁の措置事例」

辻慎一郎、伊藤修二、久保哲也（前田工織株式会社）

「震災時の道路土工構造物における一般開放に向けた復旧作業の事例分析」

日下寛彦、中島康介、安部哲生（高速道路総合技術研究所）

「複数回地震動作用時における橋台背面アプローチ部の段差量に関する考察」

梶田幸秀、福井誠司、松田泰治（九州大学）

「災害情報による道路被害の復旧必要期間の評価」

一井康二、門田朋也（関西大学）

「大規模停電に伴う上水道システムの機能支障に関する事例調査」

丸山喜久（千葉大学）、永田茂（防災科研）

「和歌山県における南海トラフ地震の斜面崩壊による孤立性評価」

穂積克樹、酒井久和（法政大学）、梶谷義雄（香川大学）

# リスク・レジリエンスに基づく 南海トラフ地震による強震動と津波を受ける 道路ネットワークの補強優先度判定

石橋 寛樹<sup>1</sup>・青木 康貴<sup>2</sup>・小島 貴之<sup>3</sup>・秋山 充良<sup>4</sup>・越村 俊一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 建設工学専攻博士後期課程  
(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)  
E-mail: hirokiishibashi@toki.waseda.jp

<sup>2</sup>学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 建設工学専攻修士課程  
(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)  
E-mail: mo09ca12@toki.waseda.jp

<sup>3</sup>正会員 工学修士 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 建設工学専攻  
(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)  
E-mail: t-koji.h080077ms@asagi.waseda.jp

<sup>4</sup>正会員 早稲田大学教授 創造理工学部 社会環境工学科  
(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)  
E-mail: akiyama617@waseda.jp (Corresponding Author)

<sup>5</sup>正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所  
(〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1)  
E-mail: koshimura@irides.tohoku.ac.jp

リスク・レジリエンスを指標とする、南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークにある構造物の補強優先度判定手法を提示する。構造物の被災により生じる経済的損失をリスク、地震後の道路ネットワークの交通機能の低下とその復旧性をレジリエンスとしてそれぞれ扱い、これらの指標を個別構造物の信頼性解析と各構造物の損傷がネットワークに及ぼす影響度の評価に基づき算出した。Monte Carlo simulation を基礎とし、ハザード評価および構造物の脆弱性評価を一貫して行うことで、南海トラフ地震をもたらす断層運動の発生位置やハザード強度の推定、さらには構造物の脆弱性の評価に関する不確定性を統合的に考慮した。ケーススタディでは、三重県および高知県にある道路ネットワークを対象に提案手法を適用した。

**Key Words:** reliability, risk, resilience, road network, multiple hazards, Nankai Trough earthquake

## 1. はじめに

近年、その切迫性が指摘されている南海トラフ地震では、広域で強震動と津波が発生することが予想され、その被害推定規模は 2011 年東北地方太平洋沖地震を大きく上回る<sup>1,2)</sup>。南海トラフ地震発生後、被災地では多くの道路構造物が損傷・流出し、多額の経済的損失だけでなく、深刻な道路の交通麻痺が生じる懸念がある。しかしながら、影響を受けるとされる地方公共団体の多くは、予算や労働力に限りがあり、被災するおそれのある全ての構造物に対して補強を実施することは困難である。こ

うした実情のもと、地震による影響の抑制（リスク低減）、および復旧・復興活動の迅速化（レジリエンス強化）を効率的かつ合理的に実現するための災害マネジメントシステムの構築が急がれている<sup>3)</sup>。

本研究では、南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークのリスク・レジリエンスに基づく構造物の補強優先度判定手法を提示する。ここでは、経済的損失をリスク、交通機能の低下量と回復時間の関係をレジリエンスとしてそれぞれ定義する。南海トラフ地震の発生を前提に、Monte Carlo simulation (MCS)による確率論的アプローチを適用し、ハザード強度の推定と構造

物の脆弱性評価に伴う一連の不確定性を考慮する。また、強震動による損傷を初期条件とする、津波に対する構造物の脆弱性評価を行うことで、各ハザードの連続作用の影響を考慮する。ハザード評価および構造物の脆弱性評価結果から個別構造物の損傷確率を計算し、これに基づいて推定される構造物の復旧費用や、車両の移動時間および移動距離の増加量から、リスクおよびレジリエンスを算出する。ケーススタディでは、南海トラフ地震の影響を強く受けることが予想されている、太平洋沿岸部に位置する道路ネットワークを対象に提案手法を適用する。地震発生前の補強の有無によるリスク・レジリエンスの差異から、補強により合理的なリスク低減とレジリエンス強化が期待できる構造物を同定する。

なお、本稿は、著者らが既に発表した参考文献<sup>4)~7)</sup>を再構成したものである。

## 2. 南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークのリスク・レジリエンス評価と補強優先度判定手順

### (1) 概説

リスク・レジリエンスに基づく、南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークの補強優先度判定手順を図-1に示す。本研究では、道路ネットワークに位置する構造物として橋梁と盛土を想定する。提案手法の特徴は、(i)断層運動からハザード強度の予測、また、構造物の脆弱性評価における外力・耐力評価に含まれる種々の不確定性を一貫して考慮できる点、(ii)強震動による損傷を考慮した津波に対する脆弱性評価が可能な点、(iii)道路構造物として橋梁と盛土という異種構造物を扱う点、および、(iv)個別構造物の信頼性評価結果から得られる道路ネットワーク全体のリスク・レジリエンスを基に構造物の補強優先度を判定できる点、にある。次節以降、各評価手順について説明する。

### (2) ハザード評価

切迫性が高いことから南海トラフ地震の発生確率を1.0とし<sup>8)</sup>、MCSに基づく確率論的地震・津波ハザード解析を行う。

地震ハザード評価では、司・翠川<sup>9)</sup>が提案する距離減衰式を用いた繰り返し計算により地動最大加速度の超過確率(地震ハザード曲線)を取得する。この際、断層運動の規模に関するパラメータである平均応力降下量、距離減衰式のモデル誤差、および解析対象地点の地盤構造の影響によるモデル誤差をそれぞれ確率変数として扱う。

津波ハザード評価では、平均応力降下量を確率変数とし、それを用いてすべり量を算出する。また、すべり角

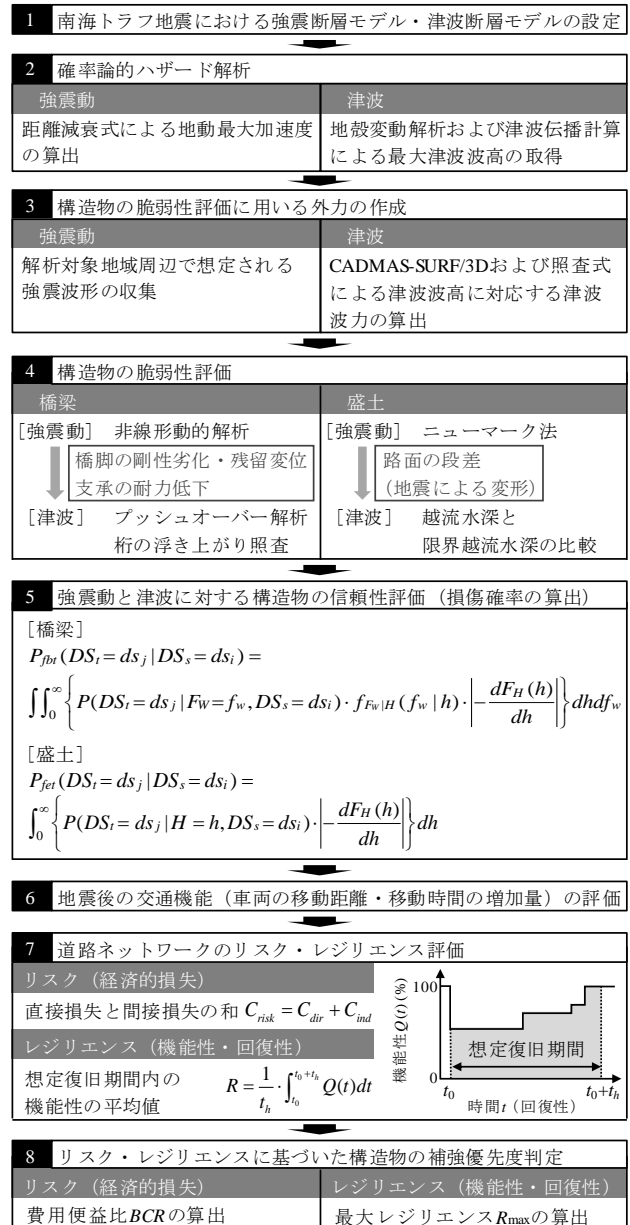


図-1 リスク・レジリエンスに基づく南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークの補強優先度判定手順

にもばらつきを与えることで断層パラメータの不確定性を考慮する。これらの断層パラメータを用いて地殻変動解析<sup>10)</sup>を行うことで津波の初期水位を算出し、得られた初期水位を入力条件とする、非線形長波理論に基づく平面2次元津波解析モデル<sup>11)</sup>を適用した津波伝播計算を多数行うことで、各構造物位置における最大津波波高の超過確率(津波ハザード曲線)を取得する。ここで、津波波高は、橋梁では橋脚の最下端、盛土では法尻の最下端を基準とする津波水位として定義する。

### (3) 構造物の脆弱性評価

強震動に対しては、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会(以降、検討会)」<sup>12)</sup>が公開している解析対象地域周辺の強震波形データから地震動群を作成する。

橋梁では非線形動的解析，盛土ではニューマーク法をそれぞれ適用し，地動最大加速度を調整した各地震動を順次入力することで地震フラジリティ曲線を推定する。

津波に対する脆弱性評価では，強震動による損傷として，橋梁では橋脚部の剛性低下・残留変位および支承部の耐力低下，盛土では路面の段差をそれぞれ初期条件とする損傷度判定を行うことで，各ハザードの連続作用の影響を考慮する。橋梁の脆弱性評価では，津波波力を水平成分と鉛直成分に分解し，橋脚および支承に対して，各方向における損傷度を判定し，最終的に最も損傷度が大きいものを橋梁全体の損傷度とする。水平成分に関しては，多数の模擬津波波形を作成し，数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D<sup>12)</sup>で順次再現することで，各津波波高に対応する水平波力を評価する。鉛直波力は，土木学会「東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会」<sup>13)</sup>の提案式を用いて算出する。このとき，擾乱高さにばらつき<sup>13)</sup>を与えることで鉛直波力の不確定性を考慮する。また，盛土の津波に対する脆弱性評価では，発生する越流水深の高さに基づき損傷度を判定する。

本研究では，損傷度を無損傷，小破，大破の3段階に区分する。損傷度の判定基準は，橋梁・盛土の通行機能および現行の耐震設計基準を参考に設定する<sup>14)~18)</sup>。橋梁に関しては，橋脚部の最大応答変位が降伏変位以上となる場合を小破とする。さらに，残留変位，せん断破壊，および曲げ破壊に関する照査を行い，応答値がそれぞれの限界値を上回る場合を大破と定義する。また，支承部がせん断力あるいは鉛直波力により降伏あるいは終局する際をそれぞれ小破および大破とする。盛土の損傷判定は，常田らの研究<sup>16)</sup>を参考に，小破および大破の閾値を定める。さらに，過去の津波被害調査結果<sup>17), 18)</sup>を参考に，盛土が各損傷度になる限界越流水深を設定する。

**(4) 構造物の損傷確率**

図-1のフェーズ5に示される  $P_{H_i}(DS_i=ds_j|DS_s=ds_i)$  および  $P_{F_i}(DS_i=ds_j|DS_s=ds_i)$  は，それぞれ強震動による損傷度  $DS_s$  が  $ds_i$  となった橋梁および盛土において，連続して作用する津波による損傷度  $DS_i$  が  $ds_j$  となる確率を表す。また，各算出式において， $F_H(h)$  は津波ハザード曲線であり， $f_{F_w|H}(f_w|h)$  は津波波高  $H$  が  $h$  となるときの津波波力  $F_w$  の確率密度関数である。 $P(DS_i=ds_j|F_w=f_w, DS_s=ds_i)$  および  $P(DS_i=ds_j|H=h, DS_s=ds_i)$  は，それぞれ  $DS_s$  が  $ds_i$  であり，かつ， $F_w$  が  $f_w$  あるいは  $H$  が  $h$  となるときに， $DS_i$  が  $ds_j$  になる確率である。

**(5) 地震後の交通機能の評価**

各リンク（道路ネットワークを構成する一本の道）における地震後の交通機能は，介在する各構造物の損傷度に応じて変化する。本研究では，Chang et al.<sup>19)</sup>を参考に，

表-1 構造物の損傷度と損傷指標の関係<sup>19)</sup>

| 損傷度 $DS$<br>(Damage State) | 構造物の損傷指標 $SDI$<br>(Structural Damage Index) |
|----------------------------|---|
| 無損傷                        | 0.0   |
| 小破                         | 0.3   |
| 大破                         | 1.0   |

表-2 残存交通容量および残存自由流速度の割合<sup>20)</sup>

| リンクの損傷指標<br>$LDI$      | 残存交通容量<br>$RPC$ | 残存自由流速度<br>$RPS$ |
|------------------------|-----------------|------------------|
| $0 \leq LDI < 0.5$     | 1.00            | 1.00             |
| $0.5 \leq LDI < 1.0$   | 1.00            | 0.75             |
| $1.0 \leq LDI < 1.5$   | 0.75            | 0.75             |
| $1.5 \leq LDI$         | 0.50            | 0.50             |
| リンク内に大破となる<br>構造物がある場合 | 0.00            | 0.00             |

表-1 に示される構造物の損傷度に応じて損傷指標  $SDI$  (Structural Damage Index) を定義し，式(1)より地震発生から時間  $t$  が経過した際のリンクの損傷指標  $LDI$  (Link Damage Index) を算出する。

$$LDI(t) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (SDI_k(t))^2} \quad (1)$$

ここに， $n$  は対象のリンクに属する構造物数である。

Chang et al.<sup>19)</sup> は，道路構造物として橋梁のみを扱い， $SDI$  および  $LDI$  を算出している。本研究では，車両の通行機能の低下度を基に構造物の損傷度を設定することで，表-1 および式(1)を汎用的に適用可能なものとし，異種構造物が介在するリンクの交通機能を定量評価する。

Guo et al.<sup>20)</sup> に従い，式(1)から得られるリンクの損傷指標  $LDI$  を基に表-2 を用いて地震後の残存交通容量の割合  $RPC$ ，および残存自由流速度の割合  $RPS$  をそれぞれ求める。それらを地震発生前の交通量および自由流速度にそれぞれ乗ずることで，地震発生後の交通量および自由流速度を算出する。さらに，BPR 関数<sup>21), 22)</sup>を用いて，地震発生後の車両の通行時間を算出する。本研究では，対象とする道路ネットワークに対して迂回路を設定し，リンクが被災した場合には，リンクの交通量の一部を迂回路が負担すると仮定する。また，地震後の交通機能の変化量は，道路構造物の損傷状態に大きく依存するが，例えば，人的被害による利用者数の変化等の影響も受けることが予想される。提案手法では，地震後の道路ネットワークの交通機能は，構造物の損傷状態のみに依存するものとしてリスク・レジリエンス評価を行うが，他の影響を踏まえた地震後の交通機能の評価に関して，今後も継続した検証が必要である。

(6) 道路ネットワークのリスク・レジリエンス評価

図-1のフェーズ7に示されるように、地震で被災した構造物の復旧に要する費用を直接損失  $C_{dir}$ 、構造物の被災による車両の移動距離および移動時間の増加に伴う損失を間接損失  $C_{ind}$ としてそれぞれ定義し、これらの和をリスクとする。直接損失  $C_{dir}$ は、各構造物の損傷指標  $SDI$ の期待値に、復旧費用を掛け合わせることで算出される。間接損失  $C_{ind}$ は、Dong and Frangopol<sup>23)</sup>を参考に、迂回による移動距離および移動時間の増加量に、単位走行距離および単位走行時間あたりの損失額<sup>24)</sup>をそれぞれ乗ずることで求められる。

レジリエンスは、リンクの機能性  $Q(t)$ を想定復旧期間  $t_h$ 内で積分し、得られる値を想定復旧期間  $t_h$ で除することで算出される<sup>25)</sup>。機能性  $Q(t)$ は、時間  $t$ の時点における、対象とするリンクの全利用者の総移動距離および総移動時間を金銭的価値に変換し、リンク内の全ての構造物が供用不能の場合、および全て無損傷の場合を基準として、0~100%になるように計算される。

(7) 構造物の補強優先度判定

費用便益比 (Benefit Cost Ratio,  $BCR$ )をリスクの指標とすることで、経済的に優れた補強効果が見込まれる構造物を同定する。補強による経済的損失額の低減量を便益、補強費用を費用としてそれぞれ扱う。 $BCR$ が1.0以上の場合、補強による経済効果が期待できる。

レジリエンスに基づく補強優先度判定は、各リンクのレジリエンスを比較することで得られる、道路ネットワーク内の最大レジリエンス  $R_{max}$ に基づいて行う。この値が大きいほど、地震発生後から想定復旧期間  $t_h$ 内における道路ネットワークの交通量の維持が期待できる。

3. ケーススタディ

(1) 解析対象の構造物および道路ネットワーク

南海トラフ地震による被害が懸念されている三重県尾鷲市および高知県幡多郡黒潮町（以下、尾鷲市および黒



図-2 解析対象の道路ネットワーク (左: 尾鷲市, 右: 黒潮町)



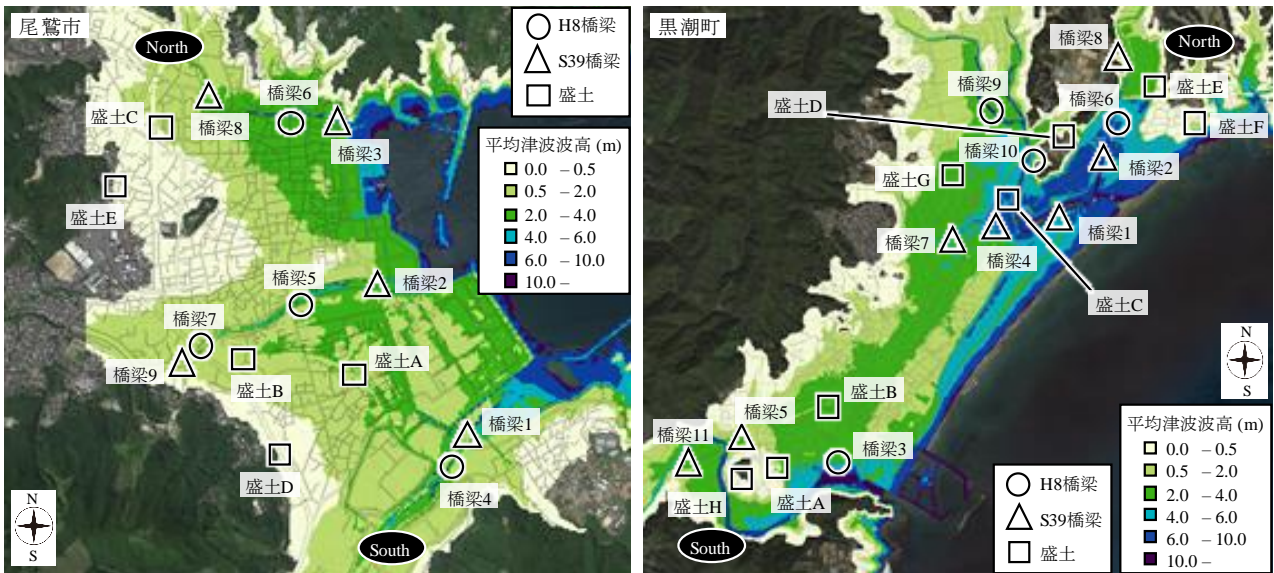


図-3 平均津波波高のコンター図 (左：尾鷲市, 右：黒潮町)

潮町) に位置する道路ネットワーク (図-2 参照) を対象に提案手法を適用する. 図中に示される構造物および道路ネットワークは実在するものではなく, 地理情報を基に架空に設定されたものである.

橋梁は, 1964 年 (昭和 39 年) および 1996 年 (平成 8 年) の耐震設計基準<sup>29,27)</sup>に準拠する 2 種の桁橋 (以下, それぞれ S39 橋梁および H8 橋梁) を想定した. これらは, 2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した橋梁<sup>13)</sup>, および, 尾鷲市や黒潮町に存在する一般的な橋梁の諸元を参考に設計されており, 設計基準の違いから断面寸法および鉄筋量がそれぞれ異なる, 高さ 6.0m の RC 橋脚で構成されている. また, 鉄筋コンクリートの材料特性, および脆弱性評価に関する不確定性<sup>29-32)</sup>を考慮することで, 耐力や変形能のばらつきを評価した. 脆弱性に関する不確定性を考慮しない場合, S39 橋梁はせん断破壊先行型, H8 橋梁は曲げ破壊先行型となる. 桁橋の支承部に関しては, 阿部ら<sup>33,34)</sup>を参考に設計された, SS400 を材料とする固定支承が 4 基設置されているものとした. 盛土については, 盛土高 4m, 法面勾配 1:1.5, 延長 100m からなる, 被覆の無い無補強盛土を想定し, 篠田ら<sup>35)</sup>を参考に設計パラメータを設定した.

後述する構造物の補強優先度判定では, S39 橋梁あるいは盛土を 1 箇所のみ補強することを想定したリスク・レジリエンス評価を行う. S39 橋梁は, 道路ネットワーク上に位置する既存不適格構造物に該当する. 盛土については, 強震動と津波による被害が過去に多く報告されているため補強対象とした. 補強方法とし, S39 橋梁では, アンカーを介してフーチングに定着させる鋼板巻立て補強を想定し, 曲げおよびせん断耐力の向上を図った. 材料特性や耐力評価のばらつきを考慮しない場合, 補強後の S39 橋梁は曲げ破壊先行型となる. 盛土では, 全層敷補強材を用いた補強を想定した.

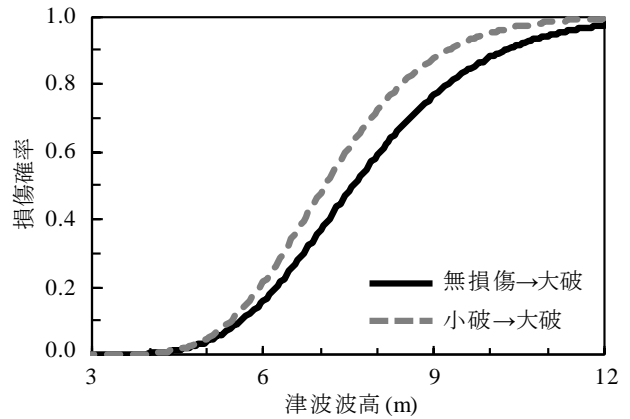


図-4 H8 橋梁の津波脆弱性曲線

(2) ハザード評価

検討会<sup>12)</sup>が公開しているデータを基に, 南海トラフ地震発生時の大すべり域の発生位置, 平均応力降下量およびすべり角の不確定性を考慮した. 地震ハザード評価では, 強震動生成域のそれぞれ異なる 2 ケースの強震断層モデルを想定し, 平均応力降下量を平均 1.9MPa, 標準偏差 1.2MPa, 下限を 1.0MP, 上限を 5.0MP とする上下限付きの正規分布で近似した. 津波ハザード評価では, 大すべり域や分岐断層の設定が異なる計 15 ケースの津波断層モデルを使用し, 平均応力降下量は平均値 1.2MPa, 標準偏差 1.0MPa, 下限を 0.0MPa とする正規分布に従うと仮定した. また, すべり角には検討会の公表値に対して平均値 0 度, 標準偏差 10 度の正規分布で表されるばらつきを与えた. なお, 各断層モデルは互いに等しい確率で発生するものとした.

図-3 に, 各都市の平均津波波高のコンター図を示す. 尾鷲市に比べて黒潮町では, 構造物位置における津波波高が大きくなる傾向がある. また, 尾鷲市は平坦な地形であるため, 海岸線から離れるほど津波ハザードが小さ



図-5 構造物の損傷確率（大破）（上：尾鷲市，下：黒潮町）

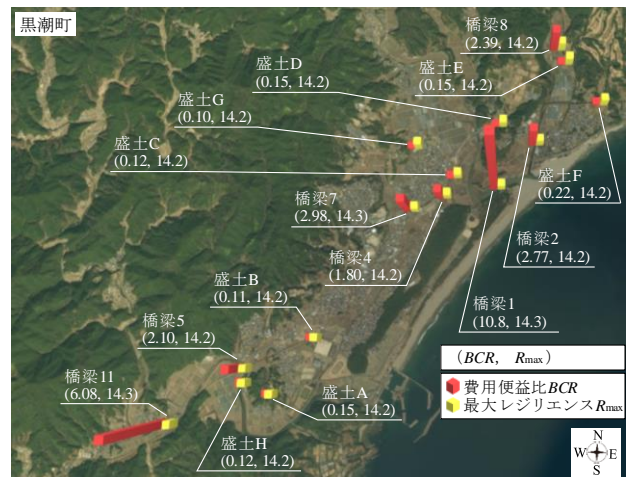


図-6 費用便益比および最大レジリエンス（上：尾鷲市，下：黒潮町）

表-3 構造物の復旧費用および補強費用

| 構造物 | 復旧費用 (万円) | 補強費用 (万円) |
|-----|-----------|-----------|
| 橋梁  | 6700      | 1000      |
| 盛土  | 1960      | 1640      |

表-4 構造物の復旧日数

| 構造物 | 損傷度 |      |
|-----|-----|------|
|     | 小破  | 大破   |
| 橋梁  | 30日 | 180日 |
| 盛土  | 5日  | 60日  |

くなる傾向があり、一方で黒潮町では複雑な地形を有しているため、陸域でも津波波高が高くなる場所がある。津波伝播計算を行うことで地理的な影響が反映されるため、地点毎の津波強度に明確な差異が生じる。

### (3) 構造物の脆弱性評価

MCS を適用し、構造物の脆弱性に関する不確定性を考慮した。橋梁および盛土の解析モデルを多数作成し、損傷度判定を行うことで、各ハザード強度に対する条件付損傷確率を算出した。図-4 に、H8 橋梁の津波フラジ

リティ曲線を示す。強震動により小破となった状態で津波波力が作用した場合は、無損傷状態から津波波力を受ける場合よりも損傷確率が大きくなることが確認できる。

### (4) 構造物の信頼性評価

各構造物が大破となる損傷確率を図-5 に示す。ハザード強度の差異により、黒潮町内の構造物の損傷確率は、尾鷲市に比べて大きい。また、両都市において、S39 橋梁および盛土では地震ハザード、H8 橋梁では津波ハザードに対する損傷確率が大きい傾向がある。構造物の種類、あるいは同種の構造物でも構造性能の差異によって支配的なハザード種別は異なる場合がある。

### (5) リスク・レジリエンスに基づく補強優先度判定

ケーススタディでは、過去の災害後の復旧活動の情報等<sup>39)~38)</sup>を参考に、構造物の復旧性に関するパラメータを設定した。橋梁および盛土の復旧費用および補強費用を表-3 に示す。また、表-4 に、橋梁および盛土が小破あるいは大破となった際の復旧日数を示す。構造物が強震動と津波により小破あるいは大破となった場合、表-4 に示される復旧日数が経過した後は無損傷状態に回復すると

仮定した。構造物の復旧作業は、構造物の損傷度や資材運搬の容易さ、さらには仮設橋に使用等によって必要になる費用や時間は大きく変動する。しかしながら、構造物の周辺環境と復旧日数の関係を定量的に評価することは困難なことから、本研究では、地点によらず復旧日数は同じものとした。

各都市で、S39 橋梁あるいは盛土を 1 箇所のみ補強した際の費用便益比および最大レジリエンスを図-6 に示す。尾鷲市では橋梁 9、黒潮町では橋梁 1 を優先的に補強することで、効率的なリスク低減およびレジリエンス強化が可能である。尾鷲市では、補強による損傷確率の低減量が橋梁 9 で最も大きく、損失の抑制が期待できる。一方で、黒潮町の橋梁 1 では、同都市内の構造物と比較して、損傷確率の観点から補強による効果は期待できないものの、道路ネットワークの一構成要素として考えたとき、橋梁 1 の損傷が交通機能の低下に大きく影響するため、リスク・レジリエンスの観点から補強優先度は高い結果となった。

#### 4. まとめ

南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークを対象に、リスク（経済的損失）の抑制、およびレジリエンス（交通機能の回復性）の向上を目的とする構造物の補強優先度判定手順を示した。提案手法では、個別構造物の安全性に関する議論だけではなく、道路ネットワーク全体で生じる影響を定量的に扱うことができる。補強による損傷確率の低減効果が小さい構造物であっても、道路ネットワーク全体を考えた場合には、補強優先度が高い可能性がある。

なお、本研究では、構造物の復旧に要する時間は地点に関係なく同一であると仮定した。また、全ての復旧活動が同時に開始・完了することを想定した計算となっている。提案する評価手法の精緻化を図る上で、個別構造物の復旧性に関する詳細なデータや情報の収集・活用は、地域の防災力向上を達成するための課題である。

**謝辞：**本研究を進める上で、産業技術総合研究所活断層・火山研究部門の吉見雅行博士より断層パラメータ設定方法に関する貴重なご助言を賜りました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：強震断層モデル-強震断層モデルと震度分布について-（第二次報告），2012，[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829\\_2nd\\_rport05.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_rport05.pdf)（2020年9月15日閲覧）
- 2) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：津波断層モデル-津波断層モデルと津波高・浸水域等について-（第二次報告），2012，[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829\\_2nd\\_report01.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_report01.pdf)（2020年9月15日閲覧）
- 3) 小島貴之，石橋寛樹，秋山充良，越村俊一：南海トラフ地震により生じる津波災害廃棄物量のリスク評価，構造工学論文集，Vol.66A，pp.159-169，2020。
- 4) Ishibashi, H., Akiyama, M., Frangopol, D. M., Koshimura, S., Kojima, T. and Nanami, K.: Framework for estimating the risk and resilience of road networks with bridges and embankments under both seismic and tsunami hazards, *Structure and Infrastructure Engineering*, 2020. doi: 10.1080/15732479.2020.1843503
- 5) 石橋寛樹，小島貴之，秋山充良，越村俊一：南海トラフ地震による強震動と津波を受ける道路ネットワークのリスク・レジリエンス評価手法の提案と構造物の補強優先度判定への適用，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.76，No.4（[特]地震工学論文集，Vol.39），pp.L32-46，2020。
- 6) 石橋寛樹，小島貴之，秋山充良，越村俊一：強震動と津波ハザードの連続性を考慮した橋梁・盛土構造物の信頼性評価法の提案と南海トラフ地震を想定したケーススタディ，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.76，No.1，pp.41-60，2020。
- 7) Akiyama, M., Frangopol, D. M. and Ishibashi, H.: Toward life-cycle reliability-, risk-, and resilience-based design and assessment of bridges and bridge networks under independent and interacting hazards: emphasis on earthquake, tsunami and corrosion, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol.16, No.1, pp.26-50, 2020.
- 8) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について，2013，[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou\\_pdf/nankai\\_2.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf)（2020年9月15日閲覧）
- 9) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，No.523，pp.63-70，1999。
- 10) Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.75, No.4, pp.1135-1154, 1985.
- 11) Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F.: Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme, *IUGG/IOC Time Project*, 1997.
- 12) 財団法人沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発，沿岸技術ライブラリー，No.39，2010。
- 13) 土木学会：東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会最終報告書，2015。
- 14) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2017。
- 15) 星隈順一，運上茂樹，長屋和宏：耐震設計における鉄筋コンクリート橋脚に生じる残留変位の評価，地震時保有耐力に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム論文集，Vol.5，pp.399-404，2002。
- 16) 常田懸一，小田和広：道路盛土の耐震性能評価の方向性に関する考察，土木学会論文集 C，Vol.65，No.4，pp.857-873，2009。

- 17) Shuto, N.: Traffic hinderance after tsunamis, *G.T. Hebenstreit (ed.), Tsunami Research at the End of a Critical Decade*, Vol.18, pp.65-74, 2001.
- 18) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波越流に対する海岸堤防の粘り強い構造の要点，国土技術政策総合資料，No.1035，2018.
- 19) Chang, S. E., Shinozuka, M. and Moore J. E.: Probabilistic earthquake scenarios: Extending risk analysis methodologies to spatially distributed systems, *Earthquake Spectra*, Vol.16, No.3, pp.557-572, 2000.
- 20) Guo, A., Liu, Z., Li, S. and Li, H.: Seismic performance assessment of highway bridge networks considering post disaster traffic demand of a transportation system in emergency conditions, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol.13, No.12, pp.1523-1537, 2017.
- 21) Bureau of Public Roads: Traffic assignment manual, Urban Planning Division, US Department of Commerce, Washington DC, 1964.
- 22) 土木学会土木計画学研究委員会交通需要予測技術検討小委員会編：道路交通需要予測の理論と適用 第II編 利用者近郊配分モデルの展開，土木学会，2006.
- 23) Dong, Y. and Frangopol, D. M.: Probabilistic time dependent multihazard life cycle assessment and resilience of bridges considering climate change, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol.30, No.5, pp.04016034\_1-12, 2016.
- 24) 国土交通省道路局都市局：費用便益分析マニュアル，2018，[http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki\\_h30\\_2.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/ben-eki_h30_2.pdf) (2020年9月15日閲覧)
- 25) Bocchini, P. and Frangopol, D. M.: Restoration of bridge networks after an earthquake: Multicriteria intervention optimization, *Earthquake Spectra*, Vol.28, No.2, pp.427-455, 2012.
- 26) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，1964.
- 27) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，1996.
- 28) 秋山充良，土井充，松中亮治，鈴木基行：構造系の信頼性を考慮した RC 橋脚の耐震設計に用いる安全係数の試算，土木学会論文集，No.718/V-57，pp.83-101，2002.
- 29) 足立幸郎，運上茂樹：部材耐力・剛性のばらつきが免震橋梁の地震応答特性に及ぼす影響，土木学会 55 回年次学術講演会講演概要集第 1 部，I-B223，2000.
- 30) 秋山充良，王衛倫，前田直己，鈴木基行：コンクリート圧縮強度  $130\text{N/mm}^2$ ・せん断補強鉄筋降伏強度  $1200\text{N/mm}^2$  までを用いた RC はりのせん断耐力算定式，構造工学論文集，Vol.50A，pp.907-917，2004.
- 31) 松崎裕，DANG Tuan Hai，秋山充良，鈴木基行：RC 橋脚・杭基礎間に必要な耐力格差に関する確率論的考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.853-858，2007.
- 32) 青木博文，村田耕司：構造用鋼材の降伏点，引張強さおよび降伏比に関する統計的調査，日本建築学会論文報告集，Vol.335，pp.157-168，1984.
- 33) 阿部雅人，柳野和也，藤野陽三，橋本哲子：1995 年兵庫県南部地震における 3 径間連続高架橋の被害分析，土木学会論文集，No.668/I-54，pp.1-17，2001.
- 34) 阿部雅人，吉田純司，藤野陽三，森重行雄，鶴野禎史，宇佐美哲：金属支承の水平終局挙動，土木学会論文集，No.773/I-69，pp.63-78，2004.
- 35) 篠田晶弘，宮田喜壽，米澤豊司，弘中淳市：無補強盛土と補強盛土のレベル II 地震時ライフサイクルコストの算定，ジオシンセティックス論文集，Vol.25，pp.189-196，2010.
- 36) 庄司学，藤野陽三，阿部雅人：高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み，土木学会論文集，Vol.39，No.563，pp.79-94，1997.
- 37) 国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室：道路管理における震後対応能力の向上方策に関する検討，国総研資料，No.357，2007，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0357pdf/ks0357020.pdf> (2020年9月15日閲覧)
- 38) 森芳徳，宮武裕昭，久保哲也，井上玄己：大規模土砂災害に対応した新しい災害復旧技術に関する研究，土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)，Vol.72，No.4，pp.77-87，2016.

(Received January ?, 2021)  
(Accepted February ?, 2021)

**RISK- AND RESILIENCE-BASED RETROFITTING PRIORITIZATION OF  
STRUCTURES IN A ROAD NETWORK UNDER SEISMIC AND TSUNAMI  
HAZARDS CAUSED BY THE ANTICIPATED NANKAI TROUGH EARTHQUAKE**

**Hiroki ISHIBASHI, Koki AOKI, Takayuki KOJIMA,  
Mitsuyoshi AKIYAMA and Shunichi KOSHIMURA**

A framework for determining the risk- and resilience-based retrofitting prioritization of structures in a road network subjected to seismic and tsunami impacts due to the anticipated Nankai Trough earthquake is presented. Risk and resilience are considered as the performance indicators representing the economical loss and functionality of road network after the earthquake, respectively. Monte Carlo simulation is performed to consider the uncertainties associated with the estimations of fault movement, hazard intensity, and structural vulnerability when estimating the failure probabilities of individual road structures. As an illustrative example, the retrofitting priority of bridges and embankments in the road networks under seismic and tsunami hazards caused by the anticipated Nankai Trough earthquake is determined based on the risk and resilience.



# 大規模地震による路面下空洞の発生傾向と 早期道路復旧に向けた対策事例

岡本 順平<sup>1</sup>・徳永 珠未<sup>2</sup>・小池 豊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 ジオ・サーチ株式会社 (〒144-0051 東京都大田区西蒲田七丁目 37-10)  
E-mail: j-okamoto@geosearch.co.jp

<sup>2</sup>正会員 ジオ・サーチ株式会社 (〒144-0051 東京都大田区西蒲田七丁目 37-10)  
E-mail: t-tokunaga@geosearch.co.jp

<sup>3</sup>正会員 ジオ・サーチ株式会社 (〒144-0051 東京都大田区西蒲田七丁目 37-10)  
E-mail: y-koike@geosearch.co.jp

道路は、交通・物流ネットワークを形成しており、地震等の自然災害発生時には、救援活動やライフラインの復旧活動等の要となる。規模の大きな地震後の道路では、目視確認できる表面化した被災箇所だけでなく、見えない箇所もかなりのダメージを受けており、陥没現象を引き起こす路面下空洞が多発する。このため、ひとたび初期の対応を誤れば二次災害につながる可能性もあり、長期にわたる事後の対応が必要となる。本論文は、計測震度計で震度 7 を観測した、新潟県中越地震、東北地方太平洋沖地震、熊本地震、北海道胆振東部地震後の路面下空洞調査によって明らかとなった、大規模地震後に発生する路面下空洞の発生傾向や早期道路復旧に向けた対策事例について、既往文献を基にとりまとめたものである。

**Key Words:** *large-scale earthquake, subsurface cavities, road pavement, early road restoration, non-destructive survey, monitoring survey*

## 1. まえがき

最近では、2016 年博多駅前通り陥没や 2020 年調布陥没など大規模掘削工事に伴う道路陥没が発生し、“陥没現象”が広く社会的に認知されるようになった。道路陥没は、大小様々で不規則に発生する現象であり、道路管理上、経年的に発生する空洞を検知し対策に資することで、陥没事故を未然に防止するための平時の取組みとして、路面下空洞調査を実施している。

規模の大きな地震後の道路における被害は、目視確認できる表面化した被災箇所だけでなく、路面下の見えない箇所もかなりのダメージを受けている。陥没現象を引き起こす路面下空洞が地震直後に多発するとともに、経年的にも発生していくことが確認されており、長期にわたる事後対応が必要となる。このため、路面下空洞へ進展する可能性のあるゆるみ領域も含めた速やかな初期対応を実施し、その後の効率的な維持管理に移行していくことが肝要となる。目視だけに頼らない、非破壊技術を活用した路面下の被災状況の把握が、復旧のスピード

を加速させるとともに、被災後の事後保全に陥らない最善の手法であると考えられる。

本文は、計測震度計で震度 7 を観測した、新潟県中越地震・東北地方太平洋沖地震・熊本地震・北海道胆振東部地震後に実施した路面下空洞調査の結果について、既往文献の知見をとりまとめたものであり、安全・安心な道路の早期復旧に向けた対応策および技術革新の一助となることを目的としている。

## 2. 路面下空洞と道路陥没現象について

### (1) 道路陥没現象<sup>1)</sup>

人々が生活を営む上での重要なインフラの一つに道路がある。この路面下には埋設物、地下鉄および建造物など多種多様な社会インフラが収容されており、ひとたび陥没に至ると、社会インフラが機能不全となるだけでなく、交通事故の発生など社会的な影響が多大なものとなる。

路面下の空洞は、舗装の構成材料が崩落することで発

生し<sup>2)</sup>、最終的には、上部にある舗装体が破壊し陥没に至る。路面下空洞の発生原因については、土砂流出や転圧不足によるゆるみの発生などが挙げられているが、“原因不明”とされている箇所が多い<sup>3)</sup>。例えば、埋設物が損傷していなくても、埋設物周辺に空洞が発生しているケースは多く見られる。

路面下に空洞が形成される背景には、空洞が形成されやすい地域特有の素因と、そのきっかけや成長を促す誘因があり、それらは階層性をもって組み合わせられている。例えば、埋設物の破損による土砂の流出は、埋設物が破損しやすい条件や細粒分が流出しやすい地盤環境などの素因があり、豪雨のような誘因が作用して空洞の形成を進展させる。道路陥没現象につながる路面下空洞を発生させる主な誘因としては、地震動等の「振動による作用」、越波等の「水による作用」、地下工事等の「掘削による作用」がある。発生の時間軸としては、経年的にゆるみ部等から形成する空洞や、博多駅前通りの陥没のように一気に発生する空洞がある。

## (2) 道路陥没防止のための平時の取組み

1988年の東京都中央区銀座周辺部では、2週間で12件の道路陥没事故が発生して『陥没症候群』と呼ばれる社会問題が生じた。それ以降、道路陥没を未然に防止するための平時の取組みとして、路面下空洞調査が行われてきたが<sup>4)</sup>、発見した空洞箇所については、各々対症療法的に対策が講じられているのが現状である。

空洞が発生しやすい場所では、いくら空洞を補修しても再発生してしまうケースもあり、対症療法的な対策のみではなく、抜本的な対策を講じなければならない状況もある。加えて、最近では、自然災害の激甚化やインフラの老朽化が社会問題化しており、路面下の空洞を発生・拡大させる要因となっているため、陥没を予防する技術の高度化が期待されている。

近年の道路陥没防止の取組みとして、藤沢市<sup>5)</sup>や福岡市<sup>6)</sup>における陥没ポテンシャルマップ作成の取組みがある。地盤状況、地下水位状況、地中の埋設物や構造物などの種類と状況などをパラメータとして対象地域をグリッドに区分して陥没ポテンシャルを定義し、調査と補修優先順位を決定するものである。

## (3) 地震災害後の路面陥没防止の取組み

地震による路面陥没・沈下現象は、揺すりこみによる地盤・埋設物の変動、または液状化等により発生する。路面下空洞は、短期的には液状化箇所や構造物脇等に、中長期的にはゆるみ領域において沈降・堆積が繰り返されることで形成される。

目に見える被害としては、地震外力や地盤変状による直接被害、橋梁被害、斜面・盛土、路面亀裂等があり、目に見えない被害としては、長期にわたる余震の繰返しの影響、地中構造物等の被害に起因する長期にわたる変状等がある。このため、地震災害後の路面陥没防止の取組みは被災地の復旧に必要となる。

表-1 本論文で参照する地震と道路陥没予防対策のキーワード

| 年    | 地震名<br>日付(マグニチュード：最大計測震度)                             |      | 道路陥没防止取組み、キーワード  |
|------|---|------|--|
| 2004 | 平成16年新潟県中越地震<br>10/23 (Mj6.8 : 6.5)                   |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>震度5以上では平時に比べ空洞発生率が大きく増加</li> <li>発生深度と広がりから危険度を評価</li> <li>大半の空洞は本震直後に発生し、6割程度は構造物脇で確認</li> </ul> |
| 2011 | 平成23年<br>東北地方太平洋沖地震<br>3/11 (Mj8.4 : 6.6)             | 東京湾岸 | <ul style="list-style-type: none"> <li>液状化に伴う空洞が多発</li> <li>埋立年度の古い場所で空洞が多発</li> <li>モニタリング調査でゆるみ部除去の必要性を確認</li> </ul>                   |
|      |   | 宮城県  | <ul style="list-style-type: none"> <li>広域にわたり空洞が多発</li> <li>広域な管理延長に対し調査方針を策定</li> <li>陥没の危険度により補修の優先度を評価</li> </ul>                     |
| 2016 | 平成28年熊本地震<br>4/14 (Mj6.5 : 6.6)<br>4/16 (Mj7.3 : 6.7) |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>陥没の危険性が高い空洞が多発</li> <li>復旧時に空洞および周辺ゆるみ部も除去</li> <li>ゆるみ除去復旧箇所のモニタリング調査で再発生無し</li> </ul>           |
| 2018 | 平成30年北海道胆振東部地震<br>9/6 (Mj6.7 : 6.5)                   |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>平時に比べ多発し、陥没の危険性が高い空洞が増加</li> <li>陥没予防に向けたモニタリング調査</li> <li>将来的な拡大可能性を評価する対応フロー提案</li> </ul>       |



### 3. 地震災害ごとの道路陥没予防の取組み

本章では、計測震度 7 以上の大規模地震が発生した直後に筆者らが調査を実施した 4 つの地震について、既往文献での知見を整理し、各地域で発生した路面下の空洞発生状況および特徴をとりまとめる。

#### (1) 平成 16 年新潟県中越地震<sup>7) 8)</sup>

##### a) 地震概要

2004 年 10 月 23 日、新潟県の長岡地方を震源とする大規模な内陸型地震が発生した。

##### b) 被害全般概要

内陸部の被災であったため、山崩れや土砂崩れなどにより至る所で道路が分断された。また、市街地では一部液状化し、埋設管敷設道路が破損するなど、被害は大きなものであった。

##### c) 空洞調査方針、結果概要

中越地震発生から 4 日後に空洞探査車による調査を開始し(写真-1)、路線延長 318km の調査を約 1 週間でを行い、空洞の可能性のある箇所(以降、異常箇所と称す) 546 箇所を抽出した。さらに、546 箇所から舗装復旧工事で対応する箇所を除いた 310 箇所について、ボーリング削孔・孔壁撮影・内部状況を調査する詳細調査を実施し、空洞を確認した。

##### d) 発生空洞の特徴と補修工事方針

中越地震直後の調査で確認した空洞は、平常時の定期調査と比べ、空洞発生状況に特徴があった。空洞形状に関しては、空洞の厚みが薄く、広がり面積(縦×横)が大きいという傾向がみられ、1km あたりの空洞の可能性のある異常箇所数は平常時に比べ約 4 倍に増加した。さらに、震度 5 以上を記録した場所では、異常箇所数が 2~8 倍程度増加する傾向が得られた(図-1、図-2)。また、空洞の発生箇所は約 60%が構造物の脇であり、構造物の種別では、地下横断構造物(BOX)に集中していた(図-3)。

##### e) 早期復旧に向けた具体的対策の内容

調査で検出した異常箇所を、発生深度と広がり面積から危険度を評価し、地図上にマッピングしたハザードマップを作成することにより、全空洞箇所の補修工事完了まで、(a)陥没危険箇所の把握、(b)効率的、効果的な補修方法の検討等の日常管理に活用された。

##### f) その後の経過

吉川ら<sup>7)</sup>、Abe et al.<sup>8)</sup>は、中越地震での路面下空洞調査で得られた知見をとりまとめ、その後の調査計画の立案等に活用されている。



写真-1 新潟県中越地震後の計測状況

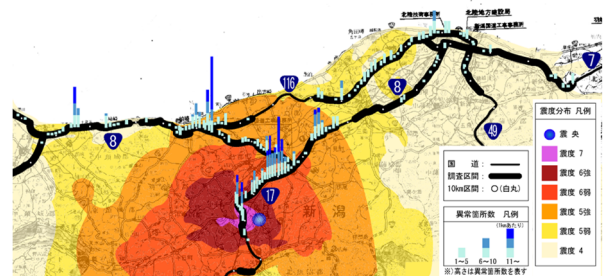


図-1 新潟県中越地震における震度分布図と異常箇所の分布

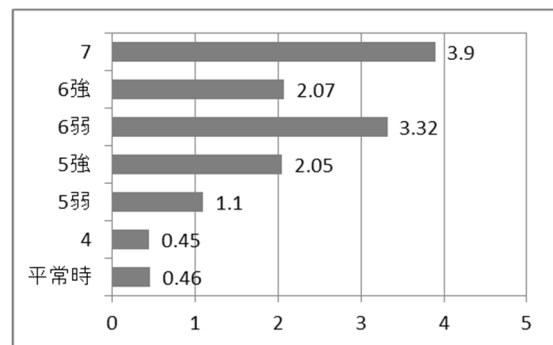


図-2 中越地震前後の道路延長 1km あたりの異常箇所数と震度階

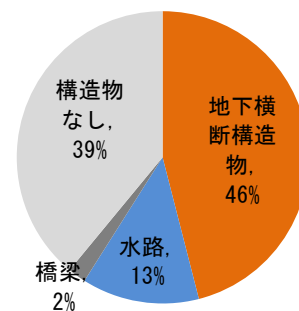


図-3 中越地震直後の調査で確認した空洞箇所の周辺埋設物<sup>9)</sup>

(2) 平成23年東北地方太平洋沖地震（東京湾岸）<sup>9) 10)</sup>

a) 地震概要

2011年3月11日、太平洋沖を震源とする日本観測史上最大の海溝型地震が発生し、東京湾沿岸部においては震度5強を観測した。

b) 被害全般概要

埋立地や利根川下流の軟弱地盤層の分布地域においては、広域的に地盤の液状化が確認された。被災した道路は、舗装が波打ったり、下水人孔が浮き上がった状態で、交通ネットワークが機能しない状態となった。さらに、道路の至る所では液状化による噴砂がみられ、路面下の空洞化も懸念された。

c) 空洞調査方針、結果概要

地震発生直後から習志野市、浦安市、東京都江東区の液状化被害部を中心に道路延長186kmの調査を実施し、719箇所以上の空洞を確認した(写真-2)。

d) 発生空洞の特徴と補修工事方針

液状化地域の調査では、平常時に比べ空洞発生率が高く、その規模も「広がりが大きく薄く形成される」傾向にあった。これらの多くは、噴砂等の地盤の液状化現象の後に舗装と地盤の間に隙間が残った形で確認されており、液状化による路盤を侵食し、波打つような形状が確認されている。また、空洞の周辺状況を見ると、下水管敷設部や人孔・排水柵周辺などの地下埋設物に起因したもののほか、舗装施工目地付近や舗装補修・管路等工事跡付近など舗装の切れ目に集中して発生していた。これらは、舗装内部で液状化した土砂が逃げ場を失い、人孔物や舗装の隙間等の脆弱部に水圧が作用したことによるものと考えられている。

e) 早期復旧に向けた具体的対策の内容

空洞調査によって確認された700以上の空洞箇所の対応は、各自治体で検討され全箇所補修や維持管理に活用されている。通常、補修工法の選定は、緊急度合や交通状況、管路の存在と補修ボリューム（空洞数、空洞規模）に応じて実施時期の判断とともに行うが、今回の大震災では、3自治体とも膨大な数の空洞に対して、陥没の危険性と沿道等の状況に応じた補修優先順位づけを行った上で、補修方法を選定し実施した。

f) その後の経過

瀬良ら<sup>10)</sup>は、液状化地域における空洞発生状況や埋立年度との関係などの知見を報告している(図-4)。

特に、液状化空洞の発生について自治体へのヒアリング、空洞調査結果の詳細な分析および現地検証を行うとともに、土槽実験を用いた液状化再現による空洞発生および拡大メカニズムの検討を行い、「液状化空洞は広がり大きく薄い形状で、特に噴砂箇所周辺で空洞下部に



写真-2 液状化によって発生した空洞

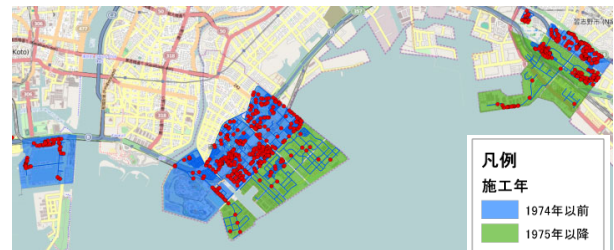


図-4 埋立時期と空洞位置

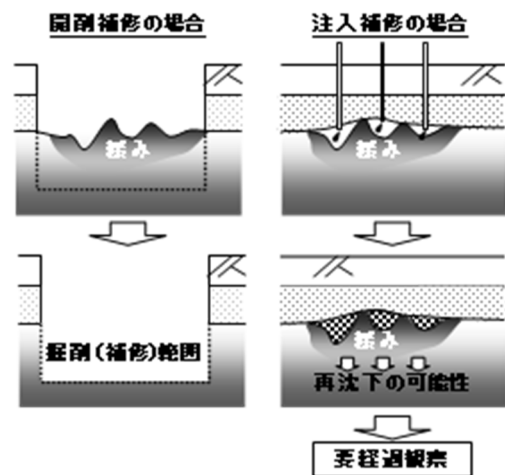


図-5 液状化空洞の補修範囲

ゆるみを有し、埋設管の位置により地盤の乱れが異なる。いずれも空洞補修の際にはゆるみ部まで対処が必要。」という結論を得た(図-5)。

(3) 平成23年東北地方太平洋沖地震（宮城県）<sup>11) 12)</sup>

a) 地震概要

2011年3月11日、太平洋沖を震源とする日本観測史上最大の海溝型地震が発生し、宮城県内で最大震度7、全域で震度5以上を観測した。

b) 被害全般概要

被災範囲が東北地方から関東地方の太平洋沿岸部全域となり、巨大津波以外でも液状化現象や地盤沈下等の甚大な被害が各地で確認され、宮城県内の土木インフラも多数損壊・破損した。

c) 空洞調査方針、結果概要

宮城県内では津波による被災も含めて、道路構造物の甚大な被害が生じた。道路啓開作業と並行して、復旧工事を効果的に進めるため、県全域 2698km の道路管理延長に対して、舗装構成と下水道管渠の損傷に着目し、実施内容と対象区間を定めた(図-6)。2014年3月までに5回の調査が行われ、1,309箇所空洞が確認されている(図-7)。

d) 発生空洞の特徴と補修工事方針

震災後の調査で確認された空洞の発生状況は、約60%が下水管およびその人孔脇に発生したものであり、横断水路周辺などを含めると、全体で約76%を占めている。下水管の老朽化だけでなく、東日本大震災以降の繰り返し地震動による地盤の揺れ等が空洞発生に影響を与えた可能性が考えられる。一方で、空洞周辺状況に特徴がなく、発生原因が不明な箇所でも多数の空洞が確認されている(図-8)。

分析の結果、揺れやすさ(震度、軟弱地盤)と、埋設物の多さ(埋設管と水路、破損部から空洞が発生する)、下水管渠被害率と空洞発生傾向の間に相関関係があることがわかった。さらに、経過観察を試行した結果、時間の経過に伴う空洞の拡大化と、地震から一定期間が経過しても、余震や地盤状況によっては空洞が遅れて発生するという新しい知見が得られた。

e) 早期復旧に向けた具体的対策の内容

県内全域で検知された多数の異常信号箇所に対し、発生深度と広がり(短辺)から道路陥没の危険度を評価した。一次調査結果の段階からこの評価方法を運用し、信号の浅さと大きさの2軸で、即時補修など対処方法を定めた。補修にあたっては、空洞と判定された箇所に対して、危険度評価に空洞厚情報を加え、補修の優先度を定めていく方針とした。

f) その後の経過

経過観察のための定期的な空洞調査により、異常信号箇所の再評価と新規空洞を探索し、確認した空洞は優先度の高いものから順次補修していくことで、道路陥没防止に努めた。東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会<sup>12)</sup>や我妻ら<sup>11)</sup>は、交通ネットワークの安全確保を目的に実施された路面下空洞調査について、調査の経緯や発生した空洞の特徴について報告している。

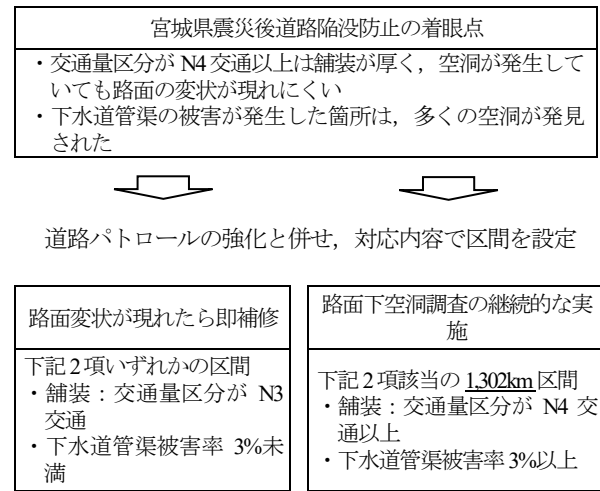


図-6 宮城県 震災後の道路陥没対策実施内容と対象区間

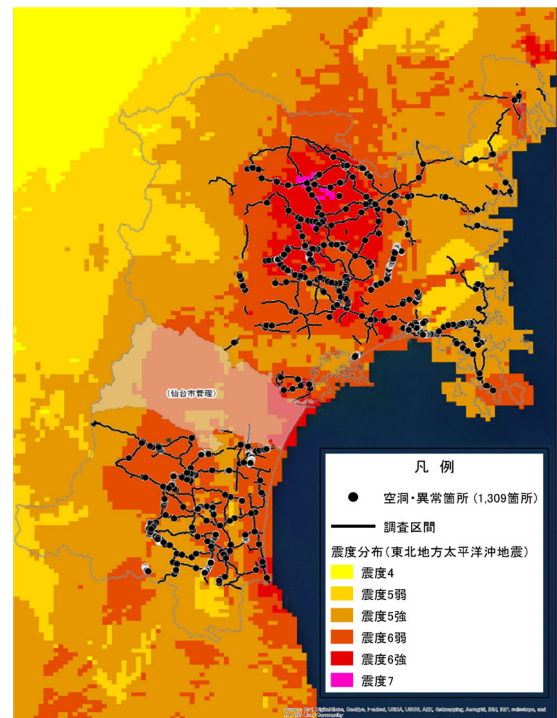


図-7 東北地方太平洋沖地震の震度分布と空洞位置(宮城県)

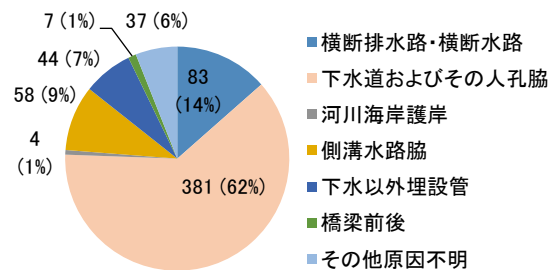


図-8 異常信号の発生場所分類

(4) 平成28年熊本地震<sup>13)</sup> 14)

a) 地震概要

2016年4月、熊本県内で内陸型地震が発生し、14日の前震と16日の本震により、観測史上初の震度7を2回記録した。

b) 被害全般概要

路面陥没や亀裂、沿道の家屋・塀の倒壊、土砂崩落等が発生し、これらに伴う交通網の寸断も発生した。交通網の復旧に向けて応急対応を行ったが、相次ぐ余震により変状が増加し、その対応に苦慮した。特に、下水道埋設部での路面被害は甚大で、路面下の空洞も発生し、いっどこで陥没するか予見できない危険な状況となった。

c) 空洞調査方針、結果概要

震災直後に熊本県宇城市で実施した路面下空洞調査(写真-3)の対象路線の抽出条件は、埋設されている下水道管路が(a)自然流下方式の管路であること、(b)開削工法により埋設された管路であることとした。これは、地震発生に伴い抽出条件に合う下水道管路の埋設部に沿って、路面に顕著な変状や沈下が出現したためである(写真-4)。選定した対象路線に対し、平成28年4月20日に適用性確認のための試験調査を行い、本計測を4月26日から実施した。これは、4月14日前震から12日後、16日本震から10日後に本計測を開始していることとなる。

調査では、対象延長187.13kmで616箇所の異常箇所を検出し、区間延長当たりの発生率は3.29箇所/km、平均面積は6.13m<sup>2</sup>となった。また、異常箇所の広がり短辺と発生深度から陥没危険度を、「A：陥没危険度大(浅くて広い)、B：陥没危険度中、C：陥没危険度小(深くて狭い)」の3区分として評価した結果(図-9)、陥没危険度の高いAが全体の60%を占める結果となった(図-10)。

d) 発生空洞の特徴と補修工事方針

連続空洞(発生間隔が同一計測ライン上で10m以内)を多数確認しており、全体の約75%を占めていた。

空洞調査結果に基づいて、舗装復旧範囲を決定し、早期の工事着手につなげた。復旧工事にあたっては、空洞周辺部のゆるみ領域を探深棒で確認し、確実な除去を行うとともに、地下水位が確認された箇所については、再液化化への対策として砕石による置換えで通水性を確保した。

e) 早期復旧に向けた具体的対策の内容

現地で異常箇所の位置特定が可能となる路面画像(広がりをも記)を用い、迅速かつ正確な報告を行った。これにより、路面変状箇所および空洞箇所と周辺部の空洞化にいたるゆるみ箇所の補修を一度に完了することができた。



写真-3 熊本地震直後の路面下空洞調査状況



写真-4 路面変状発生状況

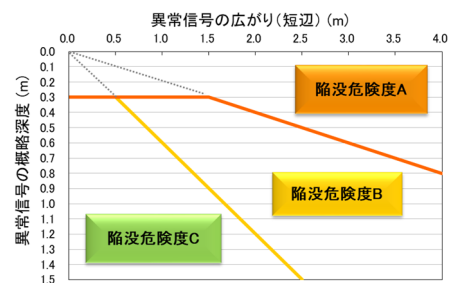


図-9 陥没危険度評価基準

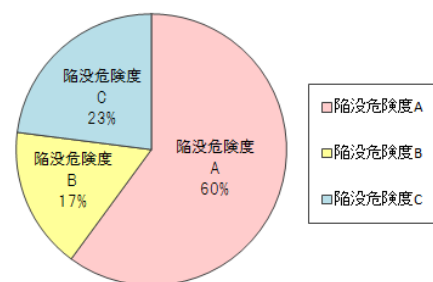


図-10 陥没危険度内訳

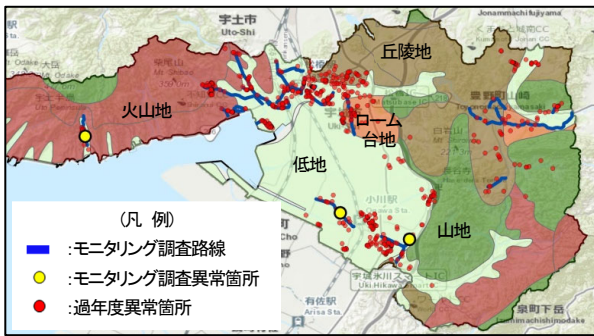


図-11 宇城市の地形区分と異常箇所位置図

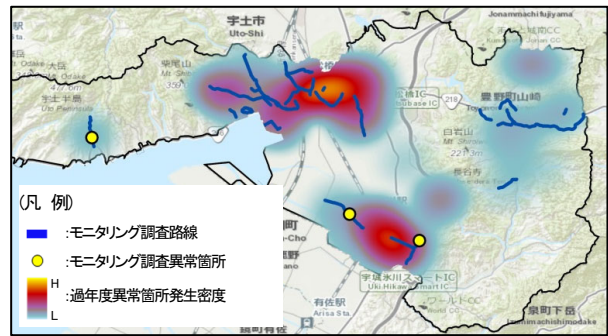


図-12 異常箇所位置図 (過年度ヒートマップ)

f) その後の経過

地震直後に実施した路面下空洞調査の有効性を確認するためにモニタリング調査を実施したことで、応急復旧後の経過は良好であることがわかった。モニタリング調査で確認した空洞化を示す異常箇所は、いずれも当時の応急復旧対象箇所ではなく、埋設物近傍に位置しており、地形区分は低地(図-11)で、震災直後の調査による空洞発生密度が比較的少ないエリアに発生していた(図-12)。空洞化に至らない程度の潜在箇所が存在していた可能性や埋設物の損傷に伴い新規に空洞化が生じた可能性等が考えられる。応急復旧した区間の先等で、路面の変状が発生し対応はしているが、通行に支障をきたすような路面陥没や沈下は発生していないことから、空洞周辺部のゆるみ箇所を含めた補修の重要性を確認することができた。震度が大きい地震の後、速やかに路面下空洞調査を実施することは、時期的にみても効果的である。

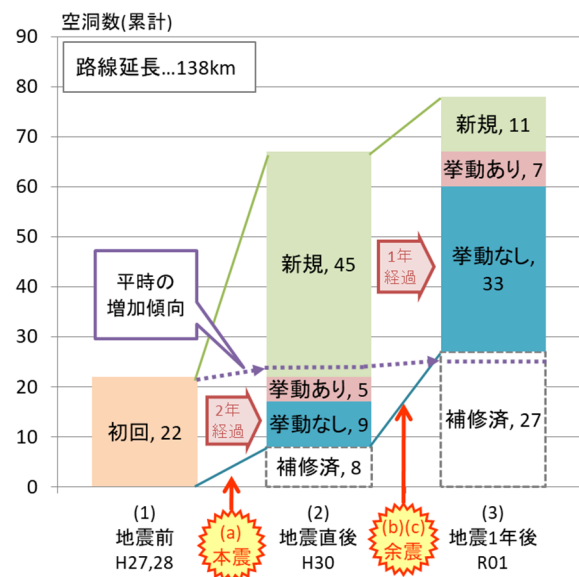


図-13 北海道胆振東部地震地域の空洞数推移

(5) 平成30年北海道胆振東部地震<sup>15) 16)</sup>

a) 地震概要

2018年9月6日、北海道の胆振東部地方を震源とする大規模な内陸型地震が発生した。

b) 被害全般概要

北海道内で初観測となる震度7を記録し、広範囲で道路、宅地、農地や交通・ライフライン等に甚大な被害をもたらした。札幌市では地下鉄直上道路や旧河道上の宅地にて大規模な沈下・陥没が発生した。

c) 空洞調査方針、結果概要

空洞探査は地震発生から19日後の平成30年9月25日から28日にかけて、被災地域の直轄国道を中心に実施された。また、地震から1年後、新規空洞の発生および成長を確認する目的でモニタリング調査を実施した。

地震前の定期点検と地震後の両方で探査した区間(道路延長138km)を対象として空洞数を比較すると、地震直後は45箇所、地震1年後も11箇所増加し、地震直後だけでなく地震1年後も平時に比べ多くの空洞が新たに

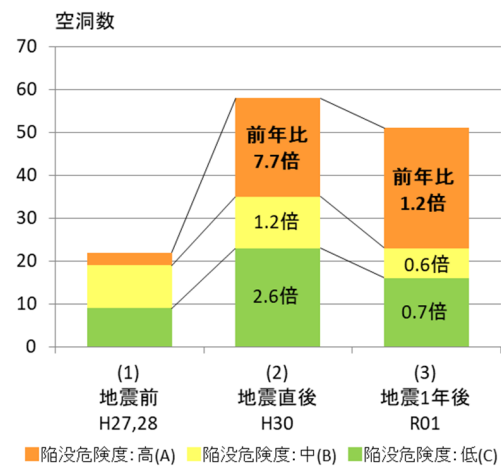


図-14 地震前後の陥没危険度推移

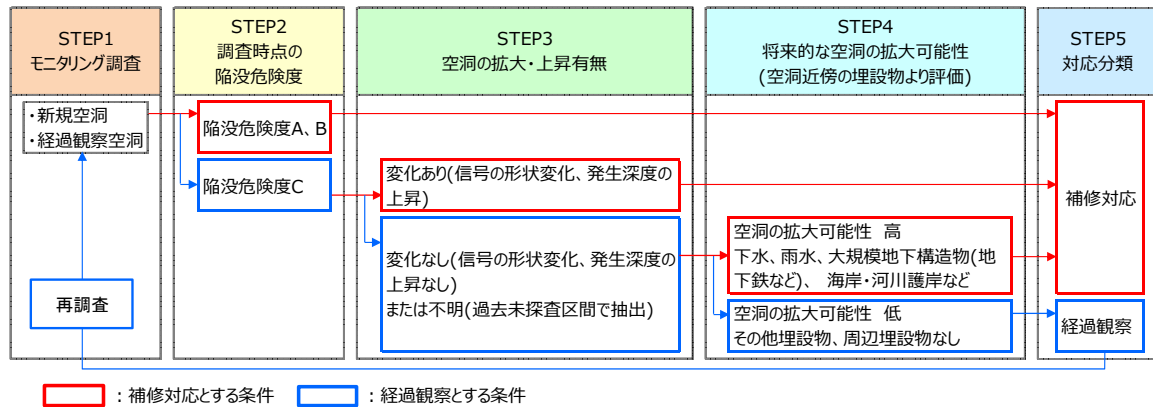


図-15 空洞対応フロー(例)

発生していた(図-13)。また、前回調査と比較して成長の挙動が見られた箇所が地震直後は5箇所、地震1年後は7箇所見られた。

d) 発生空洞の特徴と補修工事方針

空洞への対策優先度検討として、空洞の上端の深さと広がり短辺長を用いて3段階(ABC)で陥没危険度の評価(図-9)を行った結果、地震直後は陥没危険度：高(A)が7.7倍になり、地震1年後は、地震直後からさらにAが1.2倍に増加した(図-14)。震災時は空洞の陥没危険性が高くなること、その後も危険性の高い空洞が増加することがわかった。

e) 早期復旧に向けた具体的対策の内容

大規模地震後早期に空洞探査を実施し、陥没危険度の高い空洞を検知し補修することで、災害復旧期の陥没を防ぐことができた。また、継続的に空洞探査を行い、空洞の変化をモニタリングすることで、成長し陥没の危険性が高まった空洞を検知し補修することができた。

f) その後の経過

本事例ではモニタリング調査により空洞の変化を検知して補修優先度の検討に活かすことができた。

被災地においては余震等による空洞の拡大や新たな発生の可能性があるため、図-15に示す対応フロー(例)などを用いて、空洞の成長有無や周辺埋設物などの状況より将来的な空洞の拡大可能性を評価し、実態に即した判断を行っていくことで確実に陥没事故を防止していくことが望まれる。

4. 地震後の陥没予防対策の取組みの変化

大規模な地震が発生すると、路面下に空洞が発生しやすく、平常時に比べ多発する傾向にあるため、適切な対策を行い、陥没を予防していく必要がある。これまでの

大規模地震で実施した陥没予防の対策を、以下に記載する。大規模地震を経験するたびに、陥没予防対策は高度化している。

中越地震では、調査で検出した異常箇所を、発生深度と広がり面積から危険度を評価し、地図上にマッピングしたハザードマップを作成した。これにより、全空洞箇所の補修工事完了まで、(a)陥没危険箇所の把握、(b)効率的、効果的な補修方法の検討等の日常管理に活用できるランク分けが初めて導入された。

東北地方太平洋沖地震の被災地域のうち宮城県内では、膨大な管理延長に対応する調査方針として、舗装構成と下水道管渠の損傷に着目し、実施内容と対象区間を定めた。また、東京湾岸では、補修において確実で抜本対策となる開削工法に加えて、道路機能の早期確保を優先し、施工時間が短くて費用も安価な注入工法が積極的に活用された。

熊本地震では、現地で異常箇所の位置特定が可能となる路面画像(広がり明記)を用い、迅速かつ正確な報告を行った。これにより、路面変状箇所および空洞箇所と周辺部の空洞化にいたるゆるみ箇所の補修を一度に完了することができた。また、モニタリング調査を実施したことで、応急復旧後の経過は良好であることがわかった。

北海道胆振東部地震では、継続的なモニタリング調査によって、路面下空洞の経時的な変化を確認することができた。地震後の陥没予防を目的としたモニタリング時期に関する知見を得た。

5. 今後の課題

以下に大規模地震後の路面下空洞調査における今後の課題を整理する。

### (1) 被災地における高精度な位置情報の取得

今後、路面の変状データは、リモートセンシングの活用で、一気に高度化することが予想される。それに伴い、災害査定もデジタル化によって、より迅速化することが予想される。このため、地震直後の路面下空洞調査および応急復旧において、今後解決すべき技術的な課題は、リアルタイムな情報共有を推進させるためのより高精度な位置情報の取得である。

これにより、平時からの点検診断による取得データとの比較が容易なものとなるため、計測後すぐに異常箇所を抽出し、情報共有することが可能となる。

### (2) 地震に伴う陥没ポテンシャルマップ

被害の大きさは、震源からの距離や地域特性によって大きく左右されるため、被害状況に応じた路面下空洞調査が必要となる。また、陥没予防に向けたモニタリング調査の必要期間などの設定が必要となるため、地震発生時の陥没ポテンシャルマップの作製が期待されている。

### (3) 知見を集約した震災後路面陥没対策指針化

陥没の補修は、応急的に実施することとなるため、再沈下などが発生しやすい状況となり、二次災害の原因となる可能性もある。このため、被災地では日々陥没事象と対峙することとなり、迅速な道路復旧に向けた工事の発注が必要となる。震災後の道路において、路面陥没を適切に予防するため、路面陥没対策の指針化が期待されている。

## 6. まとめ

これまで、地震後に数々の路面下空洞調査を実施した経験によると、震度7もしくは震度7相当の揺れが観測された地震では、総じて多くの空洞が確認されている。路面変状が多く発生し、調査対象も広範囲なものとなり、発生する空洞数も多くなる。なお、海溝型地震では、内陸型地震に比べて、広範囲にわたり影響を受ける。

路面下空洞は、経年的に発生・成長するものであるが、大規模地震後は、地震による揺れを誘因として、大量の路面下空洞が一気に発生することとなる。地震を誘因とする空洞は、相対的に広くて薄い状態となり、地震後の時間経過により、拡大・浅層化することがわかっている。

近年は、自然災害が多発・激甚化していることや、感染症の世界的な蔓延などから、複合災害となる可能性が高くなっており、災害復旧の要となる道路ネットワークの確保は最重要課題である。

計測震度が整備されて以降、初めて震度7を記録した中越地震では、国道を対象とした路面下空洞調査で、震度に応じて路面下空洞が多発する現象を発見した。例えば、盛土構造のバイパス道路では、横断構造物が地震動で突き動かされることで、構造物に沿った空洞が形成された。また、地方道では、震災の翌春以降、下水管を埋設した箇所で多くの陥没が発生し、対応に苦慮した。陥没は、路面温度が高くなると増加する傾向があり、まさに雪解けとともに陥没現象が多発した事例となった。<sup>17)</sup> 東日本大震災では、液状化被害が広範囲にわたり、より多くの被害が確認されたため、補修において確実に抜本対策となる開削工法に加えて、道路機能の早期確保を優先し、施工時間が短くて費用も安価となる注入工法も積極的に活用された。また、液状化被害地域での空洞調査結果の分析や現地検証とともに、土槽実験を用いた液状化再現による空洞発生および拡大メカニズムの検討結果から、「液状化空洞は広がり大きく薄い形状で、特に噴砂箇所周辺で空洞下部にゆるみを有し、埋設管の位置により地盤の乱れが異なる。いずれも空洞補修の際にはゆるみ部まで対処が必要。」という結論が得られた。

これまでの知見を基に、熊本地震で被災した熊本県宇城市では、路面下空洞調査の結果を災害復旧事業に係る申請のための資料として活用し、早期の工事着手につなげるとともに、路面復旧に併せて路面下の空洞および空洞化にいたる潜在箇所を効率的で効果的に除去した。その後、復旧から3年経過した被災道路を対象としたモニタリング調査では、空洞補修した箇所での再発生は無く、日常的な道路管理でも新たな路面陥没や再沈下の現象はほとんど発生していないことから、空洞周辺部のゆるみ箇所を含めた補修の有効性を確認することができた。

北海道胆振東部地震では、継続的なモニタリング調査によって、路面下空洞の経時的な変化を確認することができた。変化の程度については、余震の回数や地域特性、また舗装構成等によって違いの出ることが想定されるものの、経時的な変化があるということは、路面下が大きく被災していることの証左であり、地震後の陥没予防を目的としたモニタリング調査の必要性を改めて確認することができた。

道路陥没に対する長期にわたる事後対応は、道路利用者や管理者にとって多大な負担となるため、被災後の道路の陥没対策を予防保全へとシフトさせていくことは、道路管理者の責務となる。本稿が、今後発生する南海トラフ地震や首都直下地震の国難級災害発生時、そして日本中に存在する活断層に伴う内陸型地震発生時の、早期道路復旧に向けた対応策の一助となり、復旧にあたる道路管理者の負担を軽減できれば幸いである。

謝辞：引用させて頂いた既往文献に携わるとともに地震後の早期道路復旧に向けてご尽力された皆様に敬意を表します。本文作成にあたり、厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 岡本順平, 澤井崇, 陰山一：総点検における路面下脆弱性評価の着眼点に関する一考察, 土木学会第 69 回年次学術講演会論文, pp. 945-946, 2014.
- 2) 桑野玲子：地盤の陥没-陥没のメカニズム-, 地盤工学会誌, Vol. 62-1, pp. 43-44, 2014.
- 3) 内山博文, 大石雅登：路面下空洞の開削状況調査結果, 都土木技術支援・人材育成センター年報, 資料編, pp. 227-232, 2012
- 4) 雑賀正嗣, 太田雅彦, ウィルヘルム P. J. ヴァンデルメア：道路・港湾施設の予防保全における地中レーダ技術の活用の変遷と成果, 最新の物理探査適用事例集-物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会, pp. 153-161, 2008
- 5) 福室進：道路陥没ポテンシャルマップを活用した下水道リスクマネジメント, 第 57 回下水道研究発表会, pp. 700-702, 2020
- 6) 福岡市道路下水道局道路維持課：福岡市における路面下空洞対策の取り組み（これまでとこれから）, 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター第 2 回 路面下空洞対策連絡会, <https://geo.iis.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2020/12/c4db6d1b094e6f1b250482c5115c02c0.pdf> (2021 年 1 月 29 日時点)
- 7) 吉川進, 日下部俊夫：地震災害後の路面下空洞調査結果の舗装維持管理への活用, 第 10 回 北陸道路舗装会議論文集, 2006.
- 8) T. ABE, M. SAIKA, T. KUSAKABE, S. KICHIKAWA&K. FUJII : MANAGEMENT OF THE ROAD CAVE-IN RISK AFTER A LARGE EARTHQUAKE USING SUBSURFACE CAVITY SURVEY TECHNOLOGY, The proceedings of the 23rd edition of the PIARC World Road Congresses, World Road Association, 2007.
- 9) 弘中靖志, 小池豊, 瀬良良子：大規模地震で発生した路面下空洞の発生状況に関する一考察, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて-, pp. 294-302, 2014
- 10) 瀬良良子, 桑野玲子, 桑野二郎：東日本大震災液状化箇所における路面下空洞の特徴と発生メカニズム, 地盤工学ジャーナル, Vol. 9, No. 3, pp. 323-339, 2014.
- 11) 我妻賢一, 飛田善雄, 瀬良良子, 弘中靖志, 天利典弘, 今野七海：東日本大震災で発生した宮城県内の路面下空洞の特徴 -発生傾向の分析-, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて-, pp. 285-293, 2014.
- 12) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会：東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 報告書, pp. 3-170 - 3-174, 2013.
- 13) 岡本順平, 松隈努, 濱崎哲次：地震災害後の早期道路復旧に向けた路面下空洞調査の活用, 土木学会第 72 回年次学術講演会論文, pp. 955-956, 2017.
- 14) 岡本順平, 久間慎之, 池田真一, 坂本善隆：路面下空洞調査の活用による地震被災道路の陥没予防効果, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会論文, CS10-32, 2020.
- 15) 佐藤雅規, 徳永珠未, 雑賀正嗣, 東海林隼人, 西村拓人：平成 30 年北海道胆振東部地震後の路面下空洞発生傾向と陥没予防手法の提案, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会論文, CS12-32, 2019.
- 16) 徳永珠未, 佐藤雅規, 東海林隼人, 奥田みのり：大規模地震後の陥没予防手法の検討-平成 30 年北海道胆振東部地震の事例より-, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会論文, CS10-31, 2020.
- 17) NHK ニュース：長岡市・小千谷市の地震後の道路陥没, 2005.



SUBSURFACE CAVITIES UNDER PAVEMENT DUE TO LARGE-SCALE  
EARTHQUAKES -- THOSE OCCURENCE CHARACTERISTICS AND  
COUNTERMEASURES FOR EARLY ROAD RESTORATION --

Jumpei OKAMOTO, Tamami TOKUNAGA and Yutaka KOIKE

Road network is basic infrastructure for transportation, logistics and also serve for emergency activities during huge natural disaster like earthquakes. Subsurface cavities under road pavement occur widely after large-scale earthquakes and those lead to secondary damages as sinkhole accidents therefore appropriate countermeasures are essential for early road restorations. However those cavities are invisible and are not known widely therefore there is no systematic restoration procedure. This paper reviewed past issued papers on survey results and consideration on subsurface cavities under road pavement after four major earthquakes in Japan and then summarized on 1) findings and characteristics of subsurface cavities after earthquake disaster, 2) change of countermeasures from after-disaster damage treatments to before-disaster damage preventive treatments, and 3) outlooks to achieve early road restoration.



# 斜面カルテによる共分散構造モデルを用いた 斜面の地震時信頼性評価

梶 丹人<sup>1</sup>・酒井 久和<sup>2</sup>・梶谷 義雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 法政大学大学院 デザイン工学研究科都市環境デザイン工学専攻

(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: tanto.masaki.7h@stu.hosei.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 法政大学教授 デザイン工学部都市環境デザイン工学科

(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: hisakai@hosei.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>3</sup>正会員 香川大学教授 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: kajitani.yoshio@kagawa-u.ac.jp

山地の多い日本では、豪雨や地震が誘因となって各地で斜面災害が発生している。斜面災害により周辺の家屋などへの直接被害だけでなく、インフラの断絶、孤立地域の出現といった二次災害が生じる。斜面災害による被害を抑えるため、膨大な数の斜面から危険な斜面を抽出し、事前に対策をする必要がある。本研究では、平成 16 年新潟県中越地震、平成 19 年新潟県中越沖地震が発生した新潟県を対象地として、県が管理する斜面カルテに加え、地震動強度指標データ、降水量、地質図、土壌図、植生図といった空間情報データの収集を行い、地質学、統計学の両観点から斜面崩壊被害の特徴を掴んだ。共分散構造分析によって複数の説明変数が集約された潜在変数を用い、実際に発生した斜面崩壊に対して説明力の高いロジスティックモデルを作成した。得られたモデルを他の災害にも適用し、より汎用的なモデルの構築に向けて利用する変数や適用可能なハザードの大きさ等の条件を考慮する必要があることを明らかにした。

**Key Words:** earthquake, slope chart, the slope failure probability evaluation formula, covariance structure model, logistic model

## 1. はじめに

我が国では、山地と丘陵地の面積が国土面積の 7 割を占めており、地震時や降雨時における斜面災害が頻発している。斜面災害により、周辺の家屋、耕地、道路、鉄道、河川などへの直接的な被害、また、インフラの断絶による孤立地域の出現、河道閉塞による湛水、決壊、氾濫といった二次災害が生じる。近年だけでも、平成 16 年新潟県中越地震、平成 19 年新潟県中越沖地震、平成 20 年岩手・宮城内陸地震、平成 23 年東北地方太平洋沖地震、平成 28 年熊本地震、平成 30 年北海道胆振東部地震といった大規模な地震で数多くの斜面災害が発生している。特に、平成 30 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震では、土砂災害の被害件数が約 220 件となり、36 名もの死者が出た<sup>1)</sup>。北海道厚真町に被害が集中し、住家被害も多く見られた。このような被害を減らすためには、災害が発生する前に斜面への対策を行う必要がある。

しかし、国内には膨大な数の潜在的な崩壊危険性を有する斜面が存在するため、対策の優先順位を決定するためにも、比較的簡易に斜面崩壊確率を推定する手法が求められる。

そこで本研究では、平成 16 年新潟県中越地震、平成 19 年新潟県中越沖地震が発生した新潟県を対象地として、県が管理する斜面カルテに加え、地震動強度指標データ、降水量、地質図、土壌図、植生図といった空間情報データの収集を行い、地質学、統計学の両観点から斜面崩壊被害の特徴を把握し、斜面崩壊確率評価式の提案を行うことを目的とする。

より具体的には、以下のステップで検討を実施する。まず、大量の説明変数を要約することに優れている共分散構造分析と崩壊の有無という質的変数を取り扱うためのロジスティック回帰モデル(ロジットモデル)を組み合わせたモデルを提案する。このようなアプローチは、分野は異なるが、例えば小林ら<sup>2)</sup>でも採用されている。

これにより比較的簡易に説明力の高い斜面崩壊確率モデルの作成が可能となることを示す。

次いで、他の災害事例への適用を通じて、構築した斜面崩壊モデルの検証を実施する。これにより、モデルの汎用性を確認するとともに、より普遍的なモデルを構築していくための課題を整理する。

## 2. 対象地域とデータ

### (1) 対象地域

本研究の対象地域は比較的大きな地震が発生した地域、それに伴い数多くの斜面災害が発生した地域を考慮し、平成 16 年新潟県中越地震<sup>3)</sup>、平成 19 年新潟県中越沖地震<sup>4)</sup>による被害が大きかった新潟県とした。本研究では、斜面の崩壊情報として国土地理院によって作成された災害状況図の範囲内(図-1)で検討を行う。

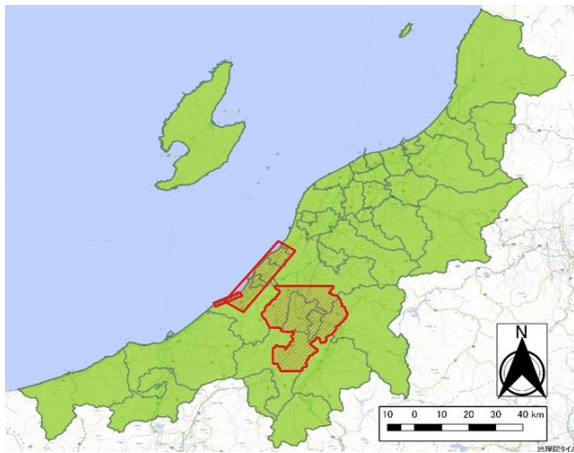


図-1 新潟県全図における研究対象地域の位置

### (2) 使用するデータ

#### a) 斜面崩壊データ

国土地理院が 1/10000 空中写真より判読した斜面崩壊地<sup>5)</sup>を本研究の崩壊箇所とする。斜面カルテに記載されている詳細図と崩壊箇所が一部でも重なっていれば崩壊ありと判断する。

#### b) 斜面カルテ

本研究では各都道府県が管理している急傾斜地斜面カルテを斜面カルテとして利用する。斜面カルテに関しては、新潟県から提供を受けており、新潟県中越地震の災害状況図範囲内の 531 箇所、中越沖地震の災害状況図範囲内の 195 箇所を対象とする。

#### c) 地震動強度指標データ

本研究では PGV (地表面最大速度) を地震動強度指標データとして利用する。中越地震、中越沖地震の両地震とも Pulido<sup>6)</sup>のデータをメッシュデータ (250m メッ

シュ) に変換して使用する。図-2、図-3 はそれぞれの地震の PGV の分布と斜面崩壊箇所を表した図となっている。斜面カルテ対象斜面で崩壊した箇所が PGV の値が高い範囲に集中していることがわかる。

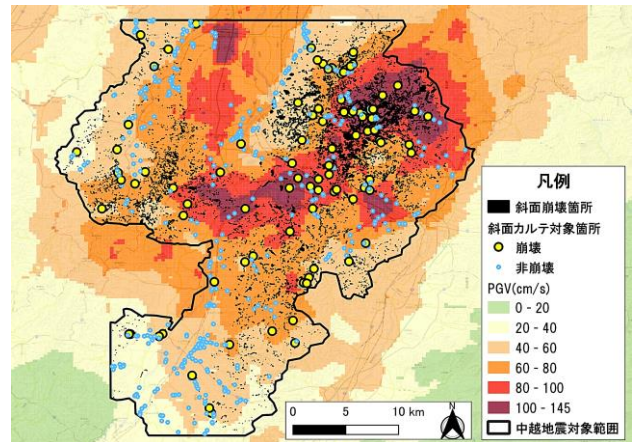


図-2 新潟県中越地震の PGV 分布と崩壊箇所

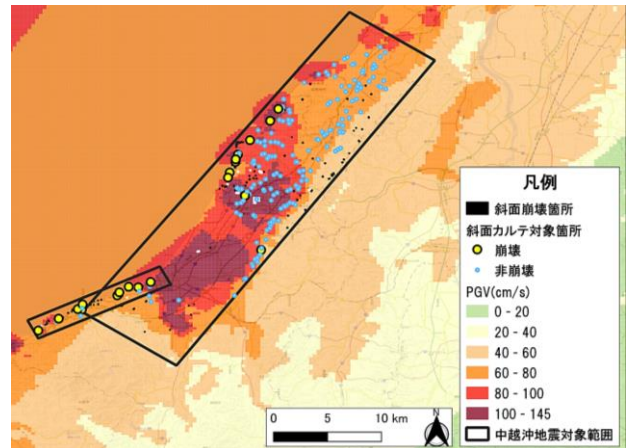


図-3 新潟県中越沖地震の PGV 分布と崩壊箇所

#### d) 降水量データ

本研究で用いる降水量データとして、気象庁の過去の気象データを利用する。それぞれの斜面における降水量は観測できないので、観測所のデータから逆距離荷重法による空間補間を用いて、斜面ごとの値を算出する。

また、本研究では降り始めからの雨量を示す連続雨量ではなく、実効雨量を用いる。実効雨量は過去の降雨状況を考慮に入れたもので、新しい降雨ほど影響が強く、過去の雨量は減少係数をかけて影響を減じさせたものである<sup>7)</sup>。降った雨が時間の経過とともに浸透、流出することで変化する土中の水分に相当する量であり、土砂災害との関連性がよい指標である。実効雨量 $R_G$ (mm)は、 $n$  日目の雨量(mm)と 1 日単位の減少係数 ( $0 < a < 1$ ) を用いると次式で表される。

$$R_G = R_0 + a^1 * R_1 + a^2 * R_2 + \dots + a^n * R_n \quad (2a)$$

$$a = (0.5)^{1/T} \quad (2b)$$

ここで、T とは半減期を指し、斜面ごとの地すべり変位量や地下水水位から算出されるが、斜面ごとに観測していないため算出できない。そのため、土砂災害の危険性評価で広く用いられている半減期 1.5 時間と 72 時間とするが、両地震とも発生直前の雨量が少ない地域が多く、半減期 1.5 時間ではすべての地域で 0 に近い値となったため、本研究では半減期 72 時間のみを採用する。

**e) その他のデータ**

本研究で用いる地質図として、国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターの地質図データ<sup>8)</sup> (20 万分の 1) を利用する。土壌図として、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センターの土壌図データ<sup>9)</sup> (20 万分の 1) を利用する。また、植生図として、環境省自然環境局生物多様性センターの植生図データ<sup>10)</sup> (2.5 万の 1) を利用する。

表-1 観測データと崩壊発生率 (1/3)

| 観測データ (カテゴリー) |               | 該当<br>斜面数 | 崩壊<br>発生率    | 崩壊<br>斜面数 |       |
|---------------|---------------|-----------|--------------|-----------|-------|
| 地震動           | PGV<br>(cm/s) | 0~20      | 0            | 0.000     | 0     |
|               |               | 20~40     | 44           | 0.068     | 3     |
|               |               | 40~60     | 198          | 0.111     | 22    |
|               |               | 60~80     | 242          | 0.165     | 40    |
|               |               | 80~100    | 127          | 0.173     | 22    |
|               |               | 100~120   | 76           | 0.289     | 22    |
|               |               | 120~      | 39           | 0.359     | 14    |
|               |               | 降水量       | 実効雨量<br>(mm) | 0~40      | 195   |
| 40~80         | 251           |           |              | 0.131     | 33    |
| 80~           | 280           |           |              | 0.254     | 71    |
| 斜面カルテ         | 斜面高さ<br>(m)   | 0~20      | 345          | 0.078     | 27    |
|               |               | 20~40     | 247          | 0.211     | 52    |
|               |               | 40~60     | 80           | 0.200     | 16    |
|               |               | 60~80     | 36           | 0.389     | 14    |
|               |               | 80~100    | 8            | 0.625     | 5     |
| 地質図           | 地質時代          | 第三紀       | 202          | 0.342     | 69    |
|               |               | 前期更新世     | 299          | 0.130     | 39    |
|               |               | 中期更新世     | 8            | 0.000     | 0     |
|               |               | 後期更新世     | 131          | 0.053     | 7     |
|               |               | 完新世       | 86           | 0.093     | 8     |
|               |               | 岩石区分      | 堆積岩類<br>非海成層 | 414       | 0.155 |
|               | 堆積岩類<br>海成層   |           | 142          | 0.296     | 42    |
|               | 段丘堆積物         |           | 136          | 0.051     | 7     |
|               | 崖錘堆積物         |           | 18           | 0.111     | 2     |
|               | 火成岩           |           | 12           | 0.583     | 7     |
|               | その他           |           | 4            | 0.250     | 1     |

表-2 観測データと崩壊発生率 (2/3)

| 観測データ (カテゴリー) |             | 該当<br>斜面数 | 崩壊<br>発生率 | 崩壊<br>斜面数 |
|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 斜面勾配<br>(°)   | 30~35       | 177       | 0.153     | 27        |
|               | 35~40       | 165       | 0.115     | 19        |
|               | 40~45       | 111       | 0.189     | 21        |
|               | 45~50       | 123       | 0.171     | 21        |
|               | 50~55       | 47        | 0.319     | 15        |
|               | 55~60       | 22        | 0.182     | 4         |
|               | 60~65       | 46        | 0.130     | 6         |
|               | 65~70       | 11        | 0.273     | 3         |
|               | 70~75       | 14        | 0.214     | 3         |
|               | 75~         | 10        | 0.400     | 4         |
| 横断形状          | オーバー<br>ハンク | 35        | 0.229     | 8         |
|               | 平坦          | 277       | 0.159     | 44        |
|               | 斜面凹凸        | 414       | 0.171     | 71        |
| 遷急線           | 有り          | 669       | 0.160     | 107       |
|               | 無し          | 57        | 0.281     | 16        |
| 表土厚さ<br>(cm)  | 0~10        | 1         | 0.000     | 0         |
|               | 10~20       | 9         | 0.111     | 1         |
|               | 20~30       | 28        | 0.107     | 3         |
|               | 30~40       | 33        | 0.030     | 1         |
|               | 40~50       | 251       | 0.183     | 46        |
|               | 50~60       | 28        | 0.250     | 7         |
|               | 60~70       | 82        | 0.183     | 15        |
|               | 70~80       | 150       | 0.133     | 20        |
|               | 80~90       | 10        | 0.000     | 0         |
|               | 90~100      | 124       | 0.202     | 25        |
| 表土状況          | 100~        | 10        | 0.500     | 5         |
|               | 亀裂/転石       | 12        | 0.167     | 2         |
|               | 風化/発達       | 23        | 0.304     | 7         |
|               | 砂質土         | 599       | 0.154     | 92        |
| 伐採根           | 粘質土         | 91        | 0.231     | 21        |
|               | 未発達         | 1         | 0.000     | 0         |
|               | 有り          | 114       | 0.096     | 11        |
|               | 無し          | 612       | 0.183     | 112       |
| 湧水状況          | 常時湧水        | 298       | 0.188     | 56        |
|               | 降雨時<br>湧水   | 57        | 0.175     | 10        |
|               | 常時湿潤        | 68        | 0.191     | 13        |
|               | 乾燥          | 303       | 0.145     | 44        |
| 地盤状況          | 崩積土         | 4         | 0.000     | 0         |
|               | 火山砕屑石       | 1         | 1.000     | 1         |
|               | 強風化岩        | 83        | 0.253     | 21        |
|               | 段丘堆積物       | 164       | 0.116     | 19        |
|               | 軟岩          | 471       | 0.170     | 80        |
|               | 硬岩          | 3         | 0.667     | 2         |
| 断層<br>破碎帯     | 有り          | 15        | 0.200     | 3         |
|               | 無し          | 711       | 0.169     | 120       |
| 災害履歴          | 0回          | 684       | 0.174     | 119       |
|               | 1回          | 38        | 0.105     | 4         |
|               | 2回          | 4         | 0.000     | 0         |
| 対策工事          | 有り          | 158       | 0.139     | 22        |
|               | 無し          | 568       | 0.178     | 101       |
| 近隣崩壊          | 有り          | 433       | 0.164     | 71        |
|               | 無し          | 293       | 0.177     | 52        |

表-3 観測データと崩壊発生率 (3/3)

| 観測データ (カテゴリー) |      | 該当<br>斜面数    | 崩壊<br>発生率 | 崩壊<br>斜面数 |    |
|---------------|------|--------------|-----------|-----------|----|
| 土壌<br>図       | グライ層 | 有り           | 362       | 0.152     | 55 |
|               |      | 無し           | 364       | 0.187     | 68 |
|               | 土壌分類 | 黒ボク土         | 65        | 0.077     | 5  |
|               |      | 低地土          | 214       | 0.103     | 22 |
|               |      | 赤黄色土         | 64        | 0.063     | 4  |
|               |      | 停滞水成土        | 146       | 0.212     | 31 |
|               |      | 褐色森林土        | 108       | 0.324     | 35 |
|               |      | 未熟土          | 83        | 0.120     | 10 |
| 植生<br>図       | 植生種類 | 市街地等         | 46        | 0.348     | 16 |
|               |      | 二次草原         | 6         | 0.667     | 4  |
|               |      | 落葉広葉<br>二次林  | 257       | 0.152     | 39 |
|               |      | 落葉広葉<br>低木群落 | 36        | 0.500     | 18 |
|               |      | 針葉樹林         | 291       | 0.082     | 24 |
|               |      | 耕作地          | 66        | 0.273     | 18 |
|               |      | 竹林等          | 2         | 0.000     | 0  |
|               |      | その他          | 68        | 0.294     | 20 |

3. 研究方法

(1) 斜面崩壊モデルの検討

a) 検討手順

本研究は、図-4 に示した手順でモデルの検討を行う。前述の各データを整理し、表-1、表-2、表-3 のようにカテゴリーごとの崩壊発生率を算出する。崩壊発生率から、崩壊に関係のあるカテゴリーが判明するが、崩壊確率評価式を導出するために、(1) 共分散構造分析+ロジスティック回帰分析、(2) ロジスティック回帰分析のみの2通りの分析を行う。最後に、それぞれの分析結果(的中率)を比較することで、分析に対する考察を行う。

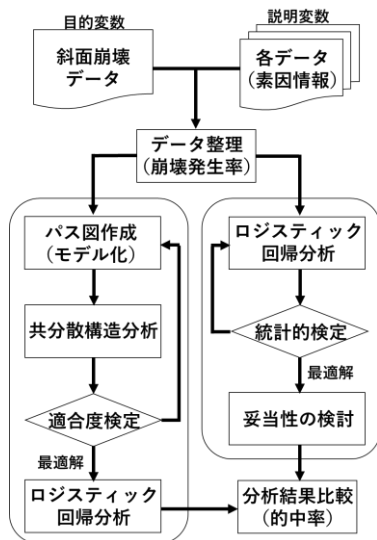


図-4 モデル検討の手順

b) 共分散構造分析

本研究では、斜面崩壊のモデルを作成するために共分散構造分析を用いる。共分散構造分析は、構造方程式モデリングとも呼ばれ、観測データをもとに数値として直接観測できない潜在変数(構成概念)や説明変数(観測変数)の関連性を検討するための統計手法である。この手法は、自分の研究仮説を反映したモデルを構築することができ、複雑な変数間の関係をパス図で表現することも可能である<sup>11)</sup>。

共分散構造分析では、目的変数が二値変数(崩壊・非崩壊)となることは好ましくないとされているため、内田らと同様にファジーセットモデルにより斜面ごとの発生確率  $Sq$  を求め、その値を使用する。ファジー理論では、全カルテの対象斜面の集合  $X$  上の、ある斜面に対する斜面崩壊確率のファジー集合  $S$  が 0 から 1 の値をとる。カルテ対象斜面  $q$  に該当する「 $i$  番目の素因における  $j$  番目のカテゴリー」を  $c_{ij}$  ( $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ ) とすると、 $Sq$  は以下のようなになる。

$$Sq = \mu_s\{q|c_{1j}, \dots, c_{mj}\} \quad (3a)$$

$$Sq = \mu_s\{q|c_{1j}, \dots, c_{mj}\} = 1 - \prod_{i=1}^m \left\{1 - \frac{N_{aij}}{N_{ij}}\right\} \quad (3b)$$

式(3a)を計算するためにファジー演算で頻繁に使われているファジー代数和演算(式(3b))を採用する。ここで、 $N_{ij}$ は  $i$  番目の素因におけるカテゴリー  $j$  の斜面数、 $N_{aij}$ は  $i$  番目の素因におけるカテゴリー  $j$  に属する斜面崩壊斜面数である。

その後、推定された潜在変数を用いてロジスティック回帰分析(目的変数は崩壊・非崩壊)を行う。なお、共分散構造分析の説明変数に関しては、各カテゴリーの崩壊発生率を平均=0、分散=1に標準化した値を用いる<sup>12)</sup>。

c) パス図

パス図は、潜在変数や説明変数間の関係性を円や四角、矢印を利用して表現した図のことであり、数式を使わずに関係性を表すことができる。説明変数は四角、潜在変数は楕円で囲み、影響を与える変数から与えられる変数に向けて単方向の矢印を結ぶ。矢印に書かれる数値はパス係数と呼ばれるもので、変数から変数への影響の大きさを示す<sup>13)</sup>。

d) モデルの適合度

共分散構造分析ではモデルを作成した後に評価を行う。評価にはモデルとデータの当てはまり度を表す適合度指標を用いられ、代表的な適合度指標として次の4つが挙げられる。また、適合度の詳細については、豊田<sup>14)</sup>、星野<sup>14)</sup>を参考にされたい。

①GFI (Goodness of Fit Index : 適合度指標)

モデルの観測データに対する説明率を指し、1に近いほどよく、目安は0.9以上である。

②AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index : 修正適合度指標)

GFI にモデルの自由度を考慮した指標。0 から 1 までの値をとり、0.9 を超えるのが望ましい。一般的に  $AGFI < GFI$  で、この差が小さいほうが良い。

③CFI (Comparative Fit Index : 比較適合度指標)

0から1までの値をとり、1に近いほど適合が良い。

④RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)

複雑なモデルで頻繁に利用される指標であり、0.05 以下は当てはまりがよく、0.1 以上はモデルを採択すべきでないと判断できる。

(2) 崩壊確率評価式の検討

a) ロジスティック回帰分析

回帰式から発生確率を求められることが特徴で、本研究では目的変数に崩壊・非崩壊の二値変数を使い、斜面の崩壊確率評価式を算出する<sup>15)</sup>。説明変数には量的変数と質的変数を混在させて使うことができるので、勾配などの量的データと植生の有無などの質的データを同時に使うことができる。崩壊確率を  $p(x)$ 、定数を  $\alpha$ 、説明変数を  $x_n$ 、偏回帰係数を  $\beta_n$  とすると、次の式 (3c) で表される。

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)\}} \quad (3c)$$

b) 変数減少法

この方法は、全ての説明変数を利用し分析をし、変数を減らす方法である。また、変数の選択において、P 値を用いた統計的検定 (Wald 検定) を実施し、モデルの当てはまり度を表す AIC の変化も考慮する。

c) 多重共線性

多重共線性とは変数同士に高い相関関係が存在することで発生する問題のことである。多重共線性の有無については、式 (3d) で示される VIF (分散拡大要因) という指標 ( $r$  は相関係数) が用いられ、その値が 10 を超えた場合多重共線性が存在するとみなす。5 以下が望ましいともされている。この問題を解決するために、相関の強い組み合わせのいずれかのカテゴリを排除する。本研究では、後期更新世 (地質時代) と段丘堆積物 (岩石区分) の VIF が 15.94 となったため、任意で段丘堆積物のカテゴリを除去する。

$$VIF = \frac{1}{1 - r^2} \quad (3d)$$

4. 研究結果

(1) 斜面崩壊モデルの検討

a) 基本モデル

図-5 に示すように共分散構造分析を行ううえで、多くの説明変数が少数の潜在変数に要約され、その潜在変数が崩壊に影響を与えるという基本モデルを作成する。潜在変数は任意で設定できるが、本研究では変数間の関係から以下のモデルを提案する。なお、グルーピングの変更等によって、別のパターンも考えうる。PGV と実効雨量をハザード要因、斜面高さや斜面勾配、横断形状、遷急線を地形要因、湧水状況、グライ層、土壌分類を表土要因、地盤状況、地質時代、岩石区分、断層破碎帯を地質要因、災害履歴、対策工事、近隣崩壊を来歴要因と設定する。

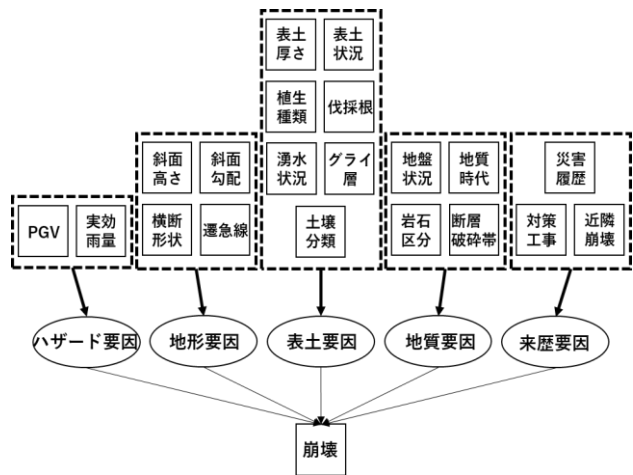


図-5 観測変数と潜在変数の基本モデル

b) 推定値の有意性

変数と変数を結ぶパス係数の安定性を評価する方法として、「因果関係なし=パス係数が 0」という仮説を検定する Wald 検定が用いられる<sup>16)</sup>。本研究では、有意水準を 5% とするので、確率の値が 0.05 を超えるパスは影響力が不安定となり、非有意なパスと判断する。図-5 の基本モデルから非有意なパスの除去を繰り返したところ、5 個の説明変数が除去された。また、相関が高い変数 ( $0.7 \leq |r|$ ) に関しては、任意で片方の変数を除去する。本研究では、地質時代と岩石区分の相関係数が 0.800 となったため、岩石区分を除去する。基本モデルから表4の説明変数を除去したものを本モデルとする。

表-4 除去した説明変数と検定統計量に基づく確率

| 説明変数  | 確率    | 説明変数 | 確率    |
|-------|-------|------|-------|
| 断層破碎帯 | 0.612 | 横断形状 | 0.284 |
| 近隣斜面  | 0.535 | 対策工事 | 0.232 |
| グライ層  | 0.464 | 岩石区分 |       |

c) 分析結果

本モデルにおいて共分散構造分析を行った結果、適合度は表-5 のようになった。基本モデルから変数を除去した結果、どの指標の値も改善されたことがわかる。GFI, AGFI の値が目安の 0.9 を超えており、モデルの適合性が高いことが判断できる。

表-5 本モデルの適合度指標

|       | GFI   | AGFI  | CFI   | RMSEA |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 基本モデル | 0.893 | 0.855 | 0.781 | 0.076 |
| 本モデル  | 0.945 | 0.914 | 0.883 | 0.065 |

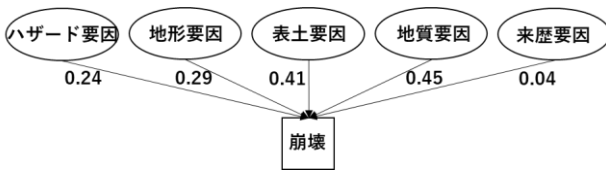


図-6 崩壊への影響

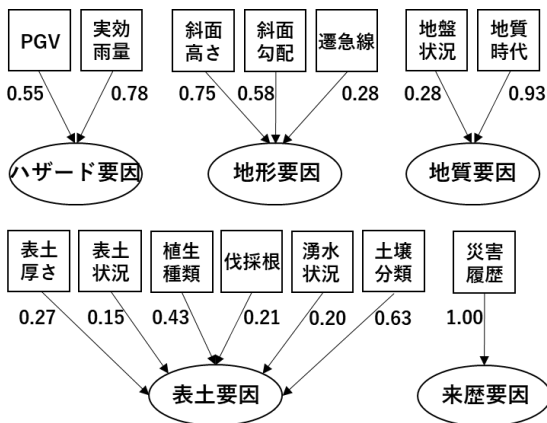


図-7 各潜在変数への影響

説明変数を除去し、共分散構造分析によって算出されたパス係数を記したパス図を図-6、図-7に示した。パス係数は変数から変数への影響の大きさを表しており、図-6より、地質要因、表土要因、地形要因、ハザード要因、来歴要因の順に崩壊への影響度が大きいことがわかる。

地盤状況、地質時代を集約した地質要因、表土状況や植生種類、湧水状況等を集約した表土要因、斜面高さ、斜面勾配、遷急線を集約した地形要因が他の要因に比べて、斜面崩壊に影響を与えていることがわかる。千木良は地震による斜面崩壊に地質が関係している部分があるとしており、それに整合した。地質は表層崩壊との関連が少ないことで知られており、深層崩壊が多い傾向であったと考えられる。地形要因に関しては、小島らも共分散構造分析を行った結果、標高、斜面方位、傾斜、谷密度からなる地形要因と崩壊発生との因果関係が強いことを示しており、類似する結果となった。地形、地質に

ついては、今回観測されたデータ以外にも崩壊しやすい条件が知られており、0次谷や後氷期開析前線の下部斜面、集水地形等が挙げられる<sup>17)</sup>。地形図や空中写真、現地調査による情報も存在するので、データを加えることで、信頼性のあるモデルになると推測できる。

続いて、図-7より、各潜在変数への影響を考察する。はじめに、地質要因だが、地質時代のパス係数が0.93と非常に高く、斜面崩壊に強くかかわる因子であることがわかる。第三紀層の斜面が崩壊しやすいことは知られており<sup>17)</sup>、表-2の崩壊発生率も高い値となっている。

次に、表土要因への影響だが、土壌分類と植生種類のパス係数が大きい値を示している。土壌分類で最も崩壊発生率が高いのは市街地等となっているが、急傾斜地斜面カルテに該当するのが人家5戸以上の周辺のため、市街地等に分類された箇所もあると考えられる。

また、地形要因への影響だが、斜面高さのパス係数が0.75と他に比べて高く、斜面崩壊に強くかかわる因子であることがわかる。斜面が高いほど斜面の範囲が大きくなり、部分的でも崩壊と判断されやすいと推測できる。

最後に、ハザード要因と来歴要因は他の要因に比べて、斜面崩壊への影響が小さい。ハザード要因はPGVと実効雨量からなる潜在変数であり、第2章よりそれぞれの値が大きいほど崩壊発生率が高くなったが、パス係数は大きな値とならなかった。この原因の一つとして、潜在変数の組み合わせが関係したと考えられる。来歴要因は、変数の有意性を考慮した結果、災害履歴しか残らなかったことから、崩壊発生に大きな影響を与えなかったと推測できる。

(2) 崩壊確率評価式の検討

a) 潜在変数を利用した崩壊確率評価式 (Case 1)

共分散構造分析と適合度検定によって採用した本モデルの潜在変数を利用して、崩壊確率評価式を導出する。斜面ごとの各潜在変数の値は、説明変数(崩壊発生率を平均0、分散1に標準化した値)とパス係数をかけ合わせた値とする。これは、共分散構造分析(構造方程式モデリング)で用いられる計算である。算出された潜在変数を用いて、ロジスティック回帰分析を行った結果、来歴要因のp値が0.05を上回り除去した結果、表-6のような係数とP値となった。一般的に好ましいとされている有意水準0.05を全変数で下回っており、有意であることが確認できる。

また、図-8は表-6の偏回帰係数を用いたロジスティック回帰から算出されるロジット曲線と実際の崩壊確率(ロジット値を大小順に並べ、30個ずつロジット値の平均を取り、その範囲内での崩壊斜面と全斜面の比)を示すものであるが、ロジット値が負の範囲で、実崩壊確率がロジット曲線から外れている箇所が見られる。



表-6 Case 1 モデルの偏回帰係数と P 値

| 変数     | 係数     | 標準誤差  | P 値    |
|--------|--------|-------|--------|
| (定数)   | -2.130 | 0.142 | <0.001 |
| ハザード要因 | 0.352  | 0.117 | <0.01  |
| 地形要因   | 0.784  | 0.118 | <0.001 |
| 表土要因   | 0.658  | 0.129 | <0.001 |
| 地質要因   | 0.435  | 0.115 | <0.001 |

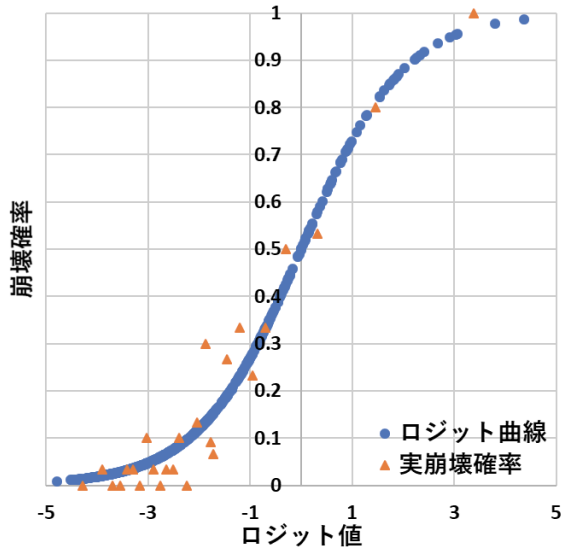


図-8 ロジット回帰曲線と実崩壊確率(Case 1)

**b) 観測データを利用した崩壊確率評価式 (Case 2)**

Case 1 の評価式と比較するために、観測データから直接ロジスティック回帰分析と統計的検定を繰り返して<sup>18)</sup>、変数を削った評価式を Case 2 とする。表-7 に示した各変数の P 値を見ると、有意水準 0.05 をすべて下回っており、有意であることが確認できる。なお、PGV や高さ、実効雨量といった量的変数に関しては正規化を行ったうえでの係数となっている。

変数に着目すると、落葉広葉二次林（広葉樹）、植林地（針葉樹）、伐採根の有無が負の値を示しており、樹木の存在が斜面崩壊の抑制に大きく働いていることが推測できる。根の張り方に加え、ノリウツギに代表される落葉広葉低木群落は、雪崩や斜面崩壊が起りやすい立地で持続群落となる傾向があり、それに該当しない植生種類が崩壊を抑制する変数として残った。また、前述の通り、変数として残らなかった第三紀層の斜面は崩壊しやすく、それに当てはまらない後期更新世や完新世は負の値となっている。火成岩の係数が大きい原因として、データ数が少ない中で崩壊発生率が高い値を示したことが挙げられる。

図-9 に示した実崩壊確率は、Case 1 と比較すると、ロジット回帰曲線に沿っているように見えるが、外れている箇所も目立つ。

表-7 Case 2 モデルの偏回帰係数と P 値

| 変数      | 係数     | 標準誤差  | P 値    |
|---------|--------|-------|--------|
| (定数)    | -4.107 | 0.721 | <0.001 |
| PGV     | 0.444  | 0.107 | <0.001 |
| 高さ      | 0.165  | 0.028 | <0.001 |
| 落葉広葉二次林 | -1.448 | 0.298 | <0.001 |
| 植林地     | -1.786 | 0.311 | <0.001 |
| 伐採根の有無  | -0.803 | 0.383 | 0.04   |
| 実効雨量    | 0.512  | 0.161 | <0.01  |
| 後期更新世   | -1.306 | 0.432 | <0.01  |
| 完新世     | -1.207 | 0.424 | <0.01  |
| 火成岩     | 1.691  | 0.695 | 0.02   |

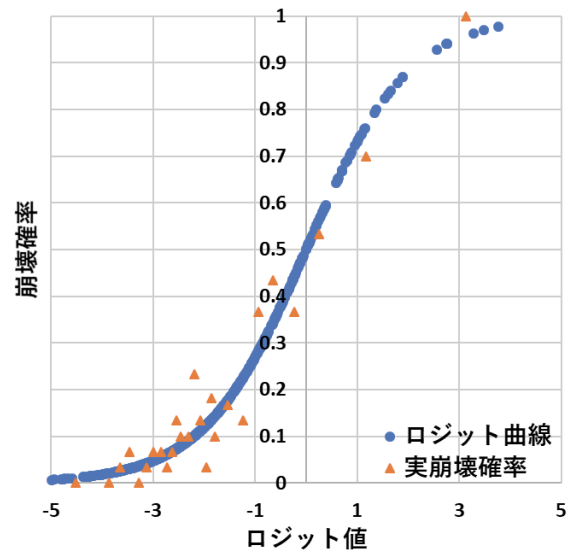


図-9 ロジット回帰曲線と実崩壊確率(Case 2)

**(3) 評価式による的中率比較**

**a) 的中率**

崩壊確率評価式の精度を表す指標としての的中率がある。崩壊・非崩壊の二値で予測をする判別分析などでは、的中率を直ちに計算できるが、確率で予測をするロジスティック回帰分析では、崩壊・非崩壊を判断するボーダーを決定しなくてはならない。本研究では、ミニマックス判別により決定したボーダーを決定し、的中率、分類正誤率を算出する。

ミニマックス判別とは、予測式による誤判別が最小になるようにボーダーを決定する方法である。図-10 のように横軸に崩壊確率、縦軸に頻度をとった崩壊・非崩壊のヒストグラムを作成し、左側から崩壊の累積頻度曲線、右側から非崩壊の累積頻度曲線を作図する。この時の、崩壊の累積頻度曲線と非崩壊の累積頻度曲線の交点の崩壊確率がボーダーとなる。また、交点での累積頻度を 100 から引いた値が的中率となる。崩壊的中率、非崩壊的中率、分類正誤率はそれぞれ以下の式 (4a)、(4b)、(4c) により計算される。

$$H_1 = \frac{d}{c+d} \quad (4a)$$

$$H_2 = \frac{a}{a+b} \quad (4b)$$

$$F = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad (4c)$$

ここに、

$H_1$  : 崩壊の中率

$H_2$  : 非崩壊の中率

F : 分類正誤率

a : 非崩壊と予測して非崩壊だった斜面数

b : 崩壊と予測して非崩壊だった斜面数

c : 非崩壊と予測して崩壊した斜面数

d : 崩壊と予測して崩壊した斜面数

以下に、Case 1 におけるミニマックス判別によるヒストグラム (図-10) , ミニマックス判別による的中率 (表-8) を示す。

表-8 ミニマックス判別による的中率 (ボーダー14.7%)

|    |     | 予測  |     | 合計  | 的中率    |       |
|----|-----|-----|-----|-----|--------|-------|
|    |     | 非崩壊 | 崩壊  |     |        |       |
| 実際 | 非崩壊 | 464 | 139 | 603 | 崩壊的中率  | 0.772 |
|    | 崩壊  | 28  | 95  | 123 | 非崩壊的中率 | 0.769 |
| 合計 |     | 492 | 234 | 726 | 分類正誤率  | 0.770 |

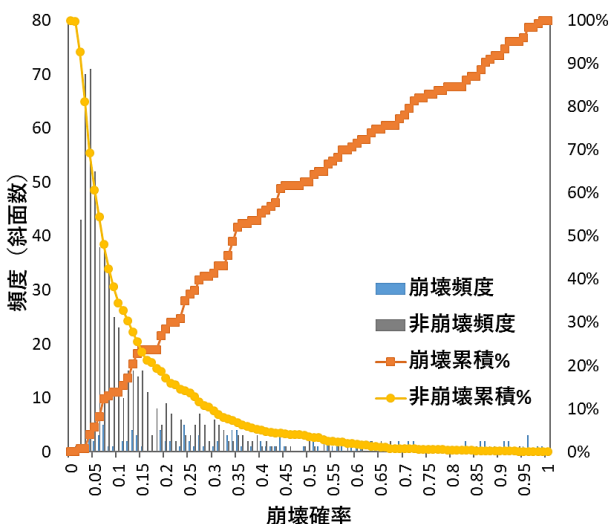


図-10 崩壊・非崩壊ヒストグラム

表-8の的中率では、崩壊の中率、非崩壊の中率、分類正誤率のすべて値が約77%という値になった。値に差が

ないことから、崩壊、非崩壊の評価に偏りのない結果となった。

### b) 的中率比較

Case 1 と同様に、Case 2 においてもミニマックス判別による的中率を算出した。表-9 に示した結果より、観測データから直接ロジスティック回帰分析を行った Case 2 よりも、共分散構造分析による潜在変数でロジスティック回帰分析を行った Case 1 の方が、どの的中率も高い値を示すことがわかる。

表-9 ミニマックス判別による評価式ごとの的中率

|        | Case1 | Case2 |
|--------|-------|-------|
| ボーダー   | 14.7% | 13.8% |
| 崩壊的中率  | 0.772 | 0.764 |
| 非崩壊的中率 | 0.769 | 0.766 |
| 分類正誤率  | 0.770 | 0.766 |

この的中率を既往の研究と比較する。鹿児島県の豪雨災害に対して、多くの変数を用いて共分散構造分析を実行し、数量化理論との比較を行った小島ら<sup>19)</sup>の的中率は78.9%であり、本研究の的中率は同程度の値となった。また、東北地方太平洋沖地震と熊本地震を対象に、ベイジアンモデルとファジーセットモデルを検討し、共分散構造分析を行った古川ら<sup>20)</sup>の的中率はそれぞれ73.98%と74.0%であり、値だけに着目すると高いものとなった。

しかし、これらの研究と比較して、適合度が劣っていることから、モデル自体の見直しや、説明変数と潜在変数の組み合わせの変更が必要と考える。

## (4) 他地震データへの評価式の適用

### a) 対象地域・データ

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、同年4月11日に発生した福島県浜通り地震で被害を受けた福島県いわき市(データに欠損値のない対象斜面全972箇所)を対象に式(Case1)を用いた評価を行う。福島県の急傾斜地斜面カルテ、松岡<sup>9)</sup>の東北地方太平洋沖地震の地震動強度指標データを使用する。また、福島県浜通り地震に関しては、QuiQuake<sup>21)</sup>のPGV分布の値を地震動強度指標データとして活用する。その他のデータは、前述のように収集を行う。

### b) 的中率

いわき市の対象斜面の各データを整理し、Case1の式を適用し、その的中率をミニマックス判別により求めた。東北地方太平洋沖地震及び福島県浜通り地震における的中率を表-10、表-11に示す。どちらの値も6割~7割とな

っており、新潟県中越地震及び新潟県中越沖地震に対する的中率 77.0%を下回った。原因としては、新潟県と福島県で各カテゴリーの該当斜面数が大きく異なり、説明変数に用いられる崩壊発生率の値にも影響を及ぼしたことや新潟県もしくは福島県だけに存在するカテゴリー（古第三紀以前の地質、変成岩、停滞水成土等）が存在し、それらがその他のカテゴリーに分類されてしまったこと、地震発生前の降水量が少なく実効雨量で差別化を図れなかったことなどが想定される。

表-10 東北地方太平洋沖地震での的中率（ボーダー14.2%）

|    |     | 予測  |     | 合計  | 的中率    |       |
|----|-----|-----|-----|-----|--------|-------|
|    |     | 非崩壊 | 崩壊  |     |        |       |
| 実際 | 非崩壊 | 516 | 330 | 846 | 崩壊的中率  | 0.611 |
|    | 崩壊  | 49  | 77  | 126 | 非崩壊的中率 | 0.610 |
| 合計 |     | 565 | 407 | 972 | 分類正誤率  | 0.610 |

表-11 福島県浜通り地震での的中率（ボーダー16.5%）

|    |     | 予測  |     | 合計  | 的中率    |       |
|----|-----|-----|-----|-----|--------|-------|
|    |     | 非崩壊 | 崩壊  |     |        |       |
| 実際 | 非崩壊 | 623 | 307 | 930 | 崩壊的中率  | 0.667 |
|    | 崩壊  | 14  | 28  | 42  | 非崩壊的中率 | 0.670 |
| 合計 |     | 637 | 335 | 972 | 分類正誤率  | 0.670 |

## 5. まとめ

本研究では新潟県中越地震と中越沖地震の斜面崩壊データと斜面カルテ、地震動強度指標データ等を用いて、地震時の斜面崩壊に関する評価手法の検討を行った。説明変数内の各カテゴリーの崩壊発生率を算出することで、崩壊に影響を与えている因子の把握を行った。

次に、崩壊確率評価式を導出するために、地質学、統計学の両観点から2つの手法を検討した。一つ目は、仮説に基づいたモデルを活用できる共分散構造分析を実行した後、潜在変数を用いてロジスティック回帰分析を行う方法である。共分散構造分析は目的変数に二値変数をとることが困難という問題点があるが、その過程でロジスティック回帰分析を利用することで、問題を取り除くことができた。また、観測データから導かれる変数を多く残すことが可能な上に、潜在変数のみの評価式となる

ので、より多くの変数を集約構造化した形の評価手法となった。なお、類似のアプローチ（例えば主成分分析とプロビットモデルの組み合わせ等）による代用は可能であると考えられる。

二つ目は、観測データから直接ロジスティック回帰分析を行う方法で、統計的検定を繰り返しながら、使用する変数の検討を行った。多くの変数が排除され、落葉広葉二次林や植林地、伐採根といった樹木に関する植生とPGV、斜面高さ、実効雨量、地質時代が崩壊発生に関わる因子であることが判明した。

これら2つの手法から導出された崩壊確率評価式を基にミニマックス判別を行い、的中率を算出したところ、共分散構造分析とロジスティック回帰分析を組み合わせた評価式が77.0%と最も高い的中率となった。一方で、好ましい値を示していない適合度指標もあり、モデル全体の見直しやモデルの縮小、説明変数と潜在変数の組み合わせの検討が求められる。また、潜在変数間の関係を考慮していないので、モデルを改良するうえでその部分の見直しも必要である。

最後に、その評価式を用いて東北地方太平洋沖地震及び福島県浜通り地震におけるいわき市の斜面崩壊の評価を行ったが、的中率はそれぞれ約61%、約67%にとどまった。それぞれの地域にしかないカテゴリーが存在する等、異なった対象地域では説明変数の中のカテゴリーに大きな違いが出てくるため、的中率にも影響が出たと考えられる。どの地域にも適用できる普遍的な評価式とするために、今後一部のデータを予測するランダムフォレストやさらに他の地震のデータ追加を検討必要がある。また、急傾斜地斜面カルテは人家周辺の斜面を対象としているため、地質図、土壌図、植生図の市街地、その他といったカテゴリーに分類されている箇所もあり、斜面ごとにデータを精査する必要もある。

## 謝辞

本研究で用いた急傾斜地斜面カルテは新潟県と福島県に提供頂いた。新潟県中越地震と中越沖地震の地震動強度指標データは国立研究開発法人防災科学技術研究所のPulido博士に、東北地方太平洋沖地震の地震動強度指標データは東京工業大学松岡教授に提供頂いた。地震工学委員会耐震基準小委員会復旧性WGの委員には貴重なご助言を頂いた。また、本研究はJSPS 科研費 17K01343の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：災害防災情報，  
[https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai\\_180906.html](https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_180906.html)  
(2019年6月6日閲覧)

- 2) 山本浩司, 松島格也, 岡田貢一, 青木一也, 小林潔司: 共分散構造モデルを用いた高速道路の休憩施設の整備効果分析, 建設マネジメント研究論文集, Vol.15, pp.81-91, 2008.
- 3) 新潟県: 新潟県中越大地震の記録, <http://www.pref.niigata.lg.jp/dobokukani/1300136465340.html> (2018年12月14日閲覧)
- 4) 新潟県: 新潟県中越沖地震の記録, <http://www.pref.niigata.lg.jp/dobokukani/1255464221640.html> (2018年12月15日閲覧)
- 5) 国土地理院: 地理院地図 <http://maps.gsi.go.jp> (2018年7月2日閲覧)
- 6) Pulido, N. and Matsuoka, M.: Broadband Strong Motion Simulation of the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake: Source and Site Effects, *Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Grenoble, France, Vol.1, pp.657-666, 2006.
- 7) 小杉賢一朗: 斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法, 砂防学会誌, Vol.67, No.5, pp.12-23, 2015.
- 8) 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター: 20万分の1日本シームレス地質図 <https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&> (2018年9月27日閲覧)
- 9) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター: 日本土壌インベントリ <https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/> (2018年10月19日閲覧)
- 10) 環境省自然環境局生物多様性センター: 自然環境調査 Web-GIS <http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html> (2018年10月15日閲覧)
- 11) 豊田秀樹: 共分散構造分析 [R 編] - 構造方程式モデリング, 東京図書, 2014.
- 12) 小島尚人, 関根亮, 奥井明紀人, 吉田智也: 規範型教師データを取り入れた潜在危険斜面広域推定支援策の一提案, 土木学会論文集, Vol.70, No.2, pp.60-69, 2014.
- 13) 豊田秀樹, 前田忠彦, 柳井晴夫: 原因をさぐる統計学, 講談社, 1992.
- 14) 星野崇宏, 岡田謙介, 前田忠彦: 構造方程式モデリングにおける適合度指標とモデル改善について: 展望とシミュレーション研究による新たな知見, 行動計量学論文集, Vol.32, No.2, pp.209-235, 2005.
- 15) ハスバートル, 丸山清輝, 野呂智之, 中村明: ロジスティック回帰分析を用いた既存地すべり地形の地震時の危険度評価, 日本地すべり学会誌, Vol.49, No.1, pp.12-21, 2012.
- 16) 大石展緒, 都竹浩生: Amos で学ぶ調査系データ解析-共分散構造分析をやさしく使いこなす, 東京図書, 2009.
- 17) 千木良雅弘: 災害地質学入門, 近未来社, 1998.
- 18) 栗原伸一: 入門統計学 - 検定から多変量解析・実験計画法まで -, オーム社, 2011.
- 19) 小島尚人, 大林成行, 青木太: 共分散構造分析法を導入した斜面崩壊危険箇所評価アルゴリズムの構築, 土木学会論文集, No.714, pp.79-93, 2002.
- 20) 古川昭太, 丸山喜久: 共分散構造分析と機械学習に基づく地すべりと土砂崩壊地点の地形的特徴の評価, 土木学会論文集, Vol.74, No.4, pp.369-380, 2018.
- 21) 産業技術総合研究所: QuiQuake-地震動マップ即時推定システム, <https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/QuakeMap/> (2020年7月4日閲覧)

(Received )  
(Accepted )

## EARTHQUAKE RELIABILITY EVALUATION METHOD FOR SLOPES USING COVARIANCE STRUCTURE MODEL BASED ON SLOPE CHART

Tanto MASAKI, Hisakazu SAKAI and Yoshio KAJITANI

In Japan, slope disasters occur in many places because there are many mountainous areas in which torrential rains and earthquakes act as triggers. In addition to direct damage to buildings in the immediate vicinity, slope disasters also cause secondary disasters: cutting off areas due to the disruption of infrastructure. To mitigate the damage caused by slope disasters, it is necessary to extract dangerous slopes from a huge number of slopes and to take countermeasures in advance. This study combines data from multiple sources, including the slope charts managed by the Niigata Prefecture where the 2004 Niigata ken Chuetsu Earthquake and the 2007 Niigata ken Chuetsu Offshore Earthquake occurred, the earthquake motion intensity index data, precipitation amount data, geological maps, soil maps, vegetation maps, and other spatial information data. From both geological and statistical perspectives, the characteristics of the damage caused by slope collapse are clearly understood. Using latent variables aggregated from multiple explanatory variables by covariance structure analysis, we created a logistic model with high explanatory power for the observed values of slope failure. We have applied the obtained model to other disasters and clarified that it is necessary to consider the variables to be used, the size of the applicable hazard, and other conditions in order to construct a more general model.

# 補強土壁の復旧性に関する事例収集と考察

栗林 健太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 エイト日本技術開発 防災保全部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目 1-21)

E-mail: kuribayashi-ke@ej-hds.co.jp

近年では、盛土構造物においても性能設計の考え方が取り入れられ、地震時に要求される性能を適切に設定することが求められている。特に、道路盛土に対しては、被災地への緊急車両の通行、救援物資の運搬等の観点から、地震後速やかに復旧し、道路機能を回復できる性能が求められる。本報では、山間部や沿岸部において敷地が狭隘な道路区間に適用される補強土壁を対象として、補強土壁メーカーへのヒアリング結果をもとに補強土壁の復旧性について体系的な整理を行った結果について報告する。

**Key Words:** reinforced soil wall, performance design,

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、沿岸部において地震と津波による甚大な災害を受けた。その一方で、被災地への緊急車両の通行、救援物資の運搬等の観点から、地震後における内陸部から沿岸部への道路機能の維持もしくは速やかな復旧が更に着目されることとなった。これまでに、一般道路盛土や橋梁に対する復旧性の評価手法に関しては種々の議論がなされてきている。また、近年では盛土構造物においても性能設計の考え方が取り入れられ、特にレベル2地震動に対しては地震後の盛土変形量に対する照査を実施することとなっている<sup>1)</sup>。

その一方で、補強土壁に対してはその復旧性についてあまり議論はなされておらず、一般的に復旧が容易ではないという判断から耐震設計においては補強土壁の安定照査にとどまっておき<sup>2)</sup>、地震後の復旧性に着目した要求性能の設定方法や設計手法について、今後整備されていくことが望まれる。

本報では、補強土壁が損傷した事例と復旧方法について、既往の文献や補強土壁メーカーへのヒアリング結果から体系的に整理した。

## 2. 補強土壁の被災モード

補強土壁については、地震直後に各メーカーにおいて被害調査が実施され、修復の可否を速やかに判定している。地震直後の調査時における損傷程度の判定基準の一例として、補強土壁の被害を被災の規模と被災モードか

ら表-1に示すような損傷ランクで分類している<sup>3)</sup>。

補強土壁の被害として、①壁面パネルのクラック及び抜け出し、②壁面パネルのずれに伴う背面土砂の流出、③補強土壁基礎の滑動・転倒を伴う大規模な崩壊に大別される。特に、壁面パネルの部分的な抜けやクラック等は軽微な損傷と判断され、背面土砂の流出を伴う変形が生じるとその規模によって応急対策や通行制限を検討する様である。

表-1 補強土壁の損傷ランク<sup>3)</sup>

| 損傷ランク | 定義                                  | 主な損傷状態                                    | 対策                 |
|-------|-------------------------------------|---|--------------------|
| VI    | 完全に崩壊または大変形し、構造物としての機能を有していない       | 基礎及び壁面の崩落                                 | 道路使用不可<br>全面改修     |
| V     | 比較的に大きな変形・損傷をしたが、構造物としての機能は当面可能     | 壁面材の剥落や開きに伴い部分的に背面土砂の流出が見られる。             | 一時的な道路使用制限<br>応急対策 |
| IV    | 部分的に変形、損傷し安定性は損なわれたが、構造物としての機能は当面可能 | 壁面材の剥落や開きに伴い部分的に背面土砂の流出が見られる。             |                    |
| III   | 全体が変形したが、構造物の安定性に大きく影響しない           | 壁面全体に目地開きが見られ、壁面のはらみ出しによって擁壁の平坦性が確保されていない | 経過観察               |
| II    | 部分的に変形・損傷したが、構造物の安定性に大きく影響しない       | 壁面材の目地開き軽微なはらみだし                          | 基本的には補修不要          |
| I     | 変形、損傷無し                             |   |                    |



写真-1 補強土壁の被災事例 (損傷ランクVI) 4)



写真-2 補強土壁の被災事例 (損傷ランクV) 7)

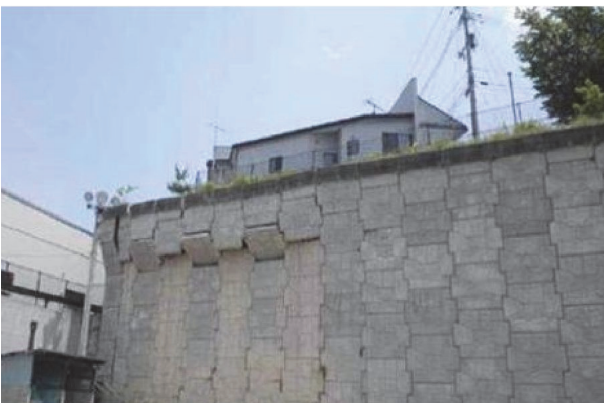


写真-3 補強土壁の被災事例 (損傷ランクV) 4)

補強土壁の被害については、既往の被災事例から地震作用に対して軽微な損傷にとどまっている事例が多い。図-1は、各補強土壁メーカーへのヒアリング結果および既往の被害調査報告<sup>4)5)6)</sup>より、過去の地震において調査された被害調査において確認された補強土壁の被害と無被害の割合を示したものである。過去の地震で、写真-1～写真-3に示すような補強土壁の大規模な損傷は補強土壁全体に対してはわずかであり、補修が必要となるような大きな損傷を受けた補強土壁は全体の約1%程度であった。

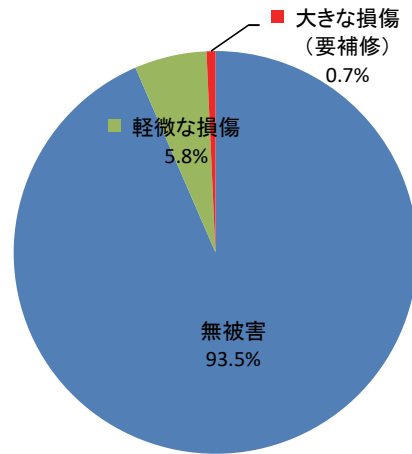


図-1 過去の地震における補強土壁の被害の割合

### 3. 補強土壁の補修に関するヒアリング結果

補強土壁の損傷形態ごとに対する補修方法に関して、工法の異なる補強土壁メーカー3社へのヒアリングを行った。ヒアリング結果について整理したものを表-1～表-3に示す。

表-2は、損傷形態ごとに対する補修実施の判断の目安についてまとめたものである。特に、どの補強土壁においても、壁面パネルのみの開きやクラックのみでは、補強土壁全体の安定性が損なわれることは少なく、背面盛土の土砂流出の有無が補修の要否の一つの判断材料となっていることが分かる。このため、補強土壁の大規模な崩壊が生じている場合は直ちに補修、再構築が行われるが、背面土砂の流出が軽微である場合は、まず動態観測を行い天端道路の変形が継続的に発生しているかどうかを確認するケースが多いと言える。

表-3は、損傷形態ごとに想定される補強土壁の補修方法について整理したものである。どの工法においても、壁面パネルのずれやクラックに対しては、壁面材のみの補修や取り換えで対応可能であることがわかる。また、裏込め材の流出に対しては、流出量が少量であり天端道路に継続的な沈下が生じていないのであれば、壁面パネルの補修や取り換えに留めており、裏込め材が大量に流出し天端道路に地震後も継続的な沈下が発生している状況であれば、補強土壁の再構築に移るようである。

壁面パネルのみの交換方法については、各工法によって方法が異なり、3工法のうち2工法は既存の壁面パネルを撤去する前に裏込め材に固化剤を注入し、裏込め材の流出を防止する処理を施してからパネルを撤去する必要がある。その一方で、3工法のうち1工法は盛土材と壁面パネルの間に碎石層があり、碎石層を一時的に撤去した後パネルを交換する必要がある。

表-2 補強土壁の補修判断におけるメーカーヒアリング結果

| 損傷形態          |         | A社   | B社   | C社   |
|---------------|---------|--|--|--|
| 壁面パネルのずれおよび損傷 | 基礎地盤の沈下 | 被災ランクⅣ以上とし、目安として、<br>①壁面材に、ひび割れやクラックが発生<br>②基礎コンクリート・基礎フーチングの段差目違い及びクラックが発生              | 壁前面への土砂流出が1カ所当たり1㎡未満かつその範囲が部分的であれば、経過観察に留める。 | 太田らによる補強土カルテに基づく点検を行い、“注意”と判定された補強土壁に対しては壁面パネルの取り換えを行う。“安全”と判断された場合は、表面クラックの補修に留めて供用が可能である。  |
|               | 接合部の損傷  | 被災ランクⅣ以上とし、目安として、<br>①壁面材に、ひび割れやクラックが発生<br>②壁面材が脱落                                       |  |  |
| 壁面のはらみ出し      |         | 被災ランクⅣ以上とし、目安として、<br>①壁面材に、ひび割れやクラックが発生  | 鉛直度3%もしくは30cm以上                              | 壁面の動態観測を行い、補強土壁の変形が収束し安定した状態であると判断された場合は、壁面パネルの取り換えおよび砕石層の埋戻しを行う。ただし、補強土壁の変形が継続して発生し、今後の継続使用不可と判断された場合は、補強土壁の撤去および再構築を行う。  |
| 裏込め材の流出       |         | 被災ランクⅣ以上とし、目安として、<br>①壁背面に空洞を生じる土砂が大量に流出(1箇所あたり1.0㎡以上が目安)<br>②壁前面への土砂流出(1箇所あたり1.0㎡未満が目安) | 壁前面への土砂流出が1カ所当たり1㎡未満かつその範囲が部分的であれば、経過観察に留める。 | 砕石層の流出のみであれば、壁面の動態観測を行い、補強土壁の変形が収束し安定した状態であると判断された場合は、壁面パネルの取り換えおよび砕石層の埋戻しを行う。<br>盛土材料の流出が確認された場合や、砕石層のみの流出であっても補強土壁の変形が継続して発生し、今後の継続使用不可と判断された場合は、補強土壁の撤去および再構築を行う。 |

表-3 補強土壁の補修工法におけるメーカーヒアリング結果

| 損傷形態          |         | A社  | B社   | C社   |
|---------------|---------|---|--|--|
| 壁面パネルのずれおよび損傷 | 基礎地盤の沈下 | 損傷の規模に応じて下記を選択する。<br>①-1ひび割れ補修工/低圧注入<br>①-2ひび割れ補修工/充てん工法<br>②-1断面補修工/左官工法<br>②-2断面補修工/型枠+補修材注入工<br>③撤去再構築 | 損傷の規模に応じて下記を選択する。<br>①目地開きのシーリング<br>②壁面材のひび割れ補修<br>無収縮ポリマーセメントによるひび割れ下地成形ののち、表面被覆材の注入。 | 損傷の規模に応じて壁面材の補修もしくは壁面パネルの取り換えを行う。<br><br>※壁面パネルの交換については、背面砕石層を撤去してから壁面材の撤去を行う。   |
|               | 接合部の損傷  | ※壁面パネルのみの交換を行う場合は、交換箇所の裏込め材料に固化剤を注入し流出を防止する処理を施してから撤去を行う。   | ③壁面材の断面修復<br>・欠損、脆弱コンクリートの除去。<br>・エポキシ樹脂プライマー接着強化材塗布。<br>・強化繊維入りポリマーセメントによる成形補修。       |  |
| 壁面のはらみ出し      |         |   | 解体後再構築<br><br>※壁面パネルのみの交換を行う場合は、交換箇所の裏込め材料に固化剤を注入し流出を防止する処理を施してから撤去を行う。                |  |
| 裏込め材の流出       |         | ③撤去再構築<br>(砕石、コンクリート投入等の事例もあるが、汎用対策では無い)  | 流出量が少なければ、目地開きのシーリングに留める。<br>流出量が多い場合は解体後再構築   | 砕石層のみの流出した場合、壁面の動態観測を行い、補強土壁の変形が収束し安定した状態であると判断された場合は、壁面パネルの取り換えおよび砕石層の埋戻しを行う。<br><br>盛土材料の流出が確認された場合や、砕石層のみの流出であっても補強土壁の変形が継続して発生し、今後の継続使用不可と判断された場合は、補強土壁の撤去および再構築を行う。 |

表4には、3工法における補修工法を実施する際に必要となる施工スペースおよび施工期間の目安を示している。一般的な補強土壁高10mを想定した場合、補強土壁を撤去再構築するのに必要な期間は延長1mあたり約1日かかることになる。壁面パネルの交換については、補強土壁の撤去再構築よりも施工期間がかかる可能性があるが、前述の通り補強土壁の損傷程度としては軽微な部類に入り、壁面前面の施工ヤードを確保し、天端道路を部分的に規制すれば、道路を供用しながらの施工が可能であると考えられる。

表4 補強土壁補修時に必要な施工スペース及び施工期間

| 補修内容     | 施工スペース   | 概略施工期間※                                 |
|----------|--|---|
| 壁面パネルの補修 | ・壁面に仮設足場を設けて施工<br>【通常必要となる施工スペース】<br>壁面より1m程度  | 20箇所/日                                  |
| 壁面パネルの交換 | ・壁面に仮設足場を設けて施工<br>・道路天端に壁面パネル吊り上げ用のクレーン、背面盛土材への固化剤注入用の資機材を配置<br>【通常必要となる施工スペース】<br>・壁面より2m～2.5m程度<br>・天端道路1車線分 | 5枚～10枚/日                                |
| 補強土壁の再構築 | ・道路片側もしくは全面通行止めが前提   | 【解体】<br>10㎡～20㎡/日<br>【再構築】<br>10㎡～30㎡/日 |

※施工期間については現場条件によって変動する可能性が高い

#### 4. まとめ

一連の整理結果より得られた知見としては下記の通りである。

- (1) 補強土壁は、地震作用に対して安定性が高く、既往の被災事例から補修が必要となるような被害を受けた補強土壁は全体の約1%程度であった。
- (2) 補強土壁の壁面パネルの軽微なずれや損傷にとどまっており、背面盛土材の流出が見られなければ、壁面の修復のみに留めているケースが多い。
- (3) 盛土の崩壊や大規模な変形、動態観測による継続的な変形が確認される様な場合については、補強土壁の撤去再構築が必要となる。
- (4) 壁面パネルの交換や補修においては、天端道路の部分的な規制と壁面前面における施工ヤードの確保によって施工が可能である。

謝辞：本報を作成するにあたり、ヒロセ補強土株式会社の難波勇氏、岡三リビック株式会社の三橋範勸氏、前田工織株式会社の辻慎一郎氏にはお忙しい中多大なご協力をいただいた。ここに深謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工盛土工指針，2010.
- 2) 日本道路協会：道路土工擁壁工指針，2012.
- 3) 土木研究センター：被災度評価および災害復旧に向けての基本方針検討委員会報告書，2005.
- 4) 日本テールアルメ協会：補強土（テールアルメ）工法 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被災調査報告書＜第三報＞，2014.
- 5) 岡三リビック株式会社：多数アンカー式補強土壁工法東日本大震災被災度調査報告書（岩手県・宮城県・福島県・茨城県），2011.
- 6) 伊藤修二，辻慎一郎，久保哲也，廣田慎司：熊本地震による補強土壁の被災調査結果，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp.227-234，2016.
- 7) 地盤工学会：平成28年熊本地震地盤災害調査報告書，2017.

## CASE EXAMPLES AND STUDIES ABOUT RESORTATION PERFORMANCE OF REINFORCED SOIL WALL

Kentaro KURIBAYASHI

In late years a way of thinking of the performance design is adopted in the embankment, and it is demanded that performance required in earthquake is set properly. In particular, the performance of the road embankment is required that the embankment is restored after an earthquake and road function is recovered immediately, from the viewpoint of traffic of the emergency vehicle to damaged area, transportation of relief supplies. In this paper, a systematic arranged result is reported about restoration performances of the reinforced soil wall based on the hearing result to manufacturers for reinforced soil wall applied to the highway section that site is narrow-mindedness in mountainous area and coast.



# 地震および水の浸入の影響により変状した ジオテキスタイル二重壁補強土壁の措置事例

辻 慎一郎<sup>1</sup>・伊藤 修二<sup>2</sup>・久保 哲也<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 正会員 前田工織株式会社 補強土排水推進部 (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目 38-3)  
E-mail: s\_tsuji@mdk.co.jp

<sup>2</sup> 正会員 前田工織株式会社 補強土排水推進部 (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目 38-3)  
E-mail: s\_ito@mdk.co.jp

<sup>3</sup> 正会員 前田工織株式会社 補強土排水推進部 (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目 38-3)  
E-mail: kubo@mdk.co.jp

ジオテキスタイル二重壁補強土壁は、コンクリートパネルで形成された外壁とジオテキスタイルによる補強領域で形成された内壁で構成され、その間に砕石による排水層を設けた構造で、道路擁壁として広く適用されている。ジオテキスタイル補強土壁はコンクリート擁壁に比べて耐震性が高いことが実証されているが、過去の大規模地震の影響で、震央に近い箇所に構築された補強土壁で変状が生じた事例もある。また、近年では地震による災害のほか、豪雨の発生頻度も高いため、変状や損傷が生じた補強土壁の措置方法の確立が望まれる。そこで、本論文では、過去の大規模地震動や降雨や地下水の浸入によって変状が生じた補強土壁の補修事例に基づいて、変状レベルに応じた補強土壁の措置の考え方を提案する。

**Key Words:** geotextile reinforced soil wall, earthquake, water infiltration, repair works

## 1. はじめに

補強土壁工法は、コンクリート擁壁に比べて適用高さが高く、耐震性に優れていることが実証されており、道路擁壁として適用されることが多い。種々の補強土壁工法のうち、ジオテキスタイル二重壁補強土壁（以下、補強土壁）は、図-1に示すように、コンクリートパネルによる壁面材で構築された「外壁」とジオテキスタイルによる補強領域で構築された「内壁」で構成され、外壁と内壁はベルト材で連結し、その間に砕石による排水層を設けた構造である。施工時には、外壁と内壁の間に空間を設けることにより、盛土材の締固めに伴う土圧が壁面材に作用しないため、大型の施工機械で壁面近傍の盛土材料を十分に締固めることができることを特徴としている<sup>1)</sup>。本補強土壁は、遠心加速度 50G 場で高さ 20m に相当する試験体に対する動的遠心実験により、外壁と内壁は一体的に挙動し、高い耐震性があることが確認されている<sup>2)</sup>。また、2016年熊本地震後に、震度 5 強以上の地域に位置していた 160 箇所の補強土壁を調査した結果、3 箇所で壁面の目地開き、壁面材のずれ、ひび割れ等の軽微な損傷が発生した程度で、安定性に問題となるような変状は生じていないことが報告されている<sup>3)</sup>。

さらに、本補強土壁は壁面が損傷したとしても、内壁に影響を与えることなく外壁を補修することができることを特徴としている。例えば、2008年岩手・宮城内陸地震の震央から 4.5km の箇所に構築された補強土壁は、地震の影響によって橋台との隣接部境界の開きによる排水層の砕石がこぼれ出しと、一部の壁面材のひび割れや角欠けが発生したため、外壁と内壁を接続しているベルト材を切断して損傷した壁面材を取り外して交換し、排水層の砕石を再充填する補修が行われた<sup>4)</sup>。

近年では、地震による災害のほか、豪雨の発生頻度が高く、これらの災害によって補強土壁が変状した事例も報告されている<sup>5)</sup>。補強土壁は盛土材とジオテキスタイルの摩擦抵抗による引抜き抵抗によって安定を保つ構造であるため、補強領域内への水の浸入により盛土材の強度低下や水浸沈下が生じると、壁面のはらみ出しや目地開きを生じさせることがある。また、盛土材のこぼれ出しが生じると補強土壁としての安定性は損なわれるため、致命的な損傷に至る可能性のある変状を適切に補修・補強することが求められる<sup>6)</sup>。そこで、本論文では、過去の大規模地震動や補強領域への水の浸入の影響で変状が生じた補強土壁の補修事例に基づいて、変状レベルに応じた補強土壁の措置の考え方を示す。

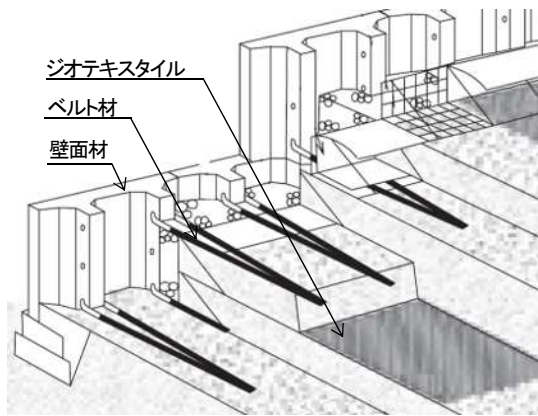


図-1 ジオテキスタイル二重壁補強土壁の構造

## 2. 補強土壁の措置事例

### (1) 大規模地震動の影響を受けた補強土壁

2016年熊本地震の震央距離 12km の箇所に位置していた補強土壁（施工：2010年，最大壁高：7.5m，延長：200m）の地震後の状況を図-2 に示す。地震後の補強土壁は，最上段の壁面材の前方へのずれと角欠け，笠コンクリートのひび割れが生じた。補強土壁の上部は，壁面材を連結しているベルト材に作用する拘束圧が小さいため，震度5以上の地震動を繰り返し受けたことによって，壁面材のずれが生じたと考えられる。本現場では，地震後に補強土壁の調査を行って，天端路面には沈下等の変状はなく，最上段の壁面材以外に顕著な変形やその進行はなかったため，補強領域の安定性は確保されていると判断し，最上段の壁面材のみを撤去して再構築する補修が行われた。壁面の補修状況を図-3 に，補修手順を以下に示す。1) 笠コンクリートを撤去する，2) 壁面材を連結しているベルト材を切断する，3) ずれが生じた壁面材を撤去する，4) 所定の位置に壁面材を再設置する，5) 壁面材と盛土内に残るベルト材を，新しいベルト材で連結する，6) 笠コンクリートを再構築する。補修後の壁面の変状は生じていないため，適切な措置が行われたと考えられる。

橋台等のコンクリート構造物に接続するように構築された補強土壁では，大規模地震動の影響によって構造物との境界で開きが生じることがある。2008年岩手・宮城内陸地震の震央距離 4.5km の箇所に位置していた補強土壁（施工：2005年，最大壁高 10.6m，延長：47.5m）では，地震の影響によって図-4 に示すように，隣接する橋台との境界の開きが生じて排水層の碎石がこぼれ出し，複数の壁面材の損傷や目地開きが生じた。補強土壁の壁面は，図-3 に示した手順と同様な手順で再構築された。また，橋台との境界にはコンクリートによる被覆工を設けて，排水層の碎石を充填する補修が行われた<sup>4)</sup>。本



(a) 壁面の全景



(b) 最上段の壁面材のずれ，角欠け  
図-2 2016年熊本地震を受けた補強土壁



(a) 笠コンクリートの撤去



(b) ベルト材の切断



(c) 壁面材の撤去



(d) 壁面材の再設置



(e) ベルト材の接続



(f) 補修完了

図-3 壁面の補修状況



(a)排水層の碎石のこぼれ出し



(a)壁面からの漏水



(b)壁面材の損傷



(b)漏水を伴う目地開き



(c)補修後の壁面の状況



(c)壁面からの漏水

図4 隣接構造物境界における変状と補修の例

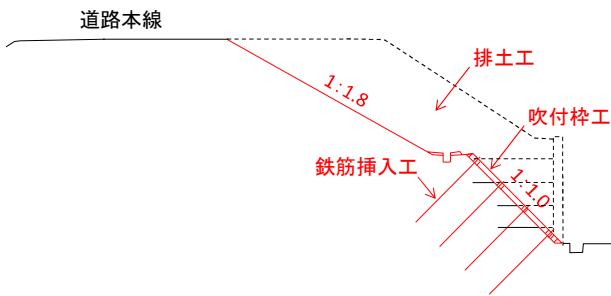
図5 水の浸入による変状の例

補強土壁は 2011 年東北地方太平洋沖地震の影響も受けているが、地震後の変状は生じていなかったため、適切な措置が行われたと考えられる。

## (2) 水の浸入の影響を受けた補強土壁

補強土壁は盛土材とジオテキスタイルの摩擦抵抗による引抜き抵抗によって安定を保つ構造であるため、補強領域内への水の浸入により盛土材の強度低下や水浸沈下が生じると、壁面に変状が現れることが多い。補強領域への水の浸入による壁面の変状例を図-5 に示すように、壁面のはらみ出しや目地開きのほか、壁面からの漏水や植生等が確認されている。補強領域内への降雨浸透の影響が主要因と思われる 2 箇所の補強土壁における補修に

関する概要図と補修事例を図-6, 7 に示す。両補強土壁とも、壁面のはらみ出し、壁面材のひび割れ、目地開きによる排水層の碎石のこぼれ出しが生じており、降雨時には補強土壁天端からの漏水、壁面からの植生が確認されたため、変状の原因は補強領域への降雨浸透の影響であると推定された。また、両補強土壁の補修工事前に行われた地盤調査では、補強領域内の土の強度が低下していることが確認され、補強土壁の設置条件に応じた対策工が実施された。補強土壁 A (最大壁高: 7.4m, 延長: 57.2m) では、根入れより上の壁面材を撤去した後に補強領域を掘削して勾配 1 : 1.0 ののり面を形成し、道路本線に影響を及ぼさない範囲まで嵩上げ盛土を排土して盛土の安定化が図られた。また、補強領域の掘削面には



(a) 補修の概要図 (排土工と吹付砕工による補修)



(b) 補修後の状況

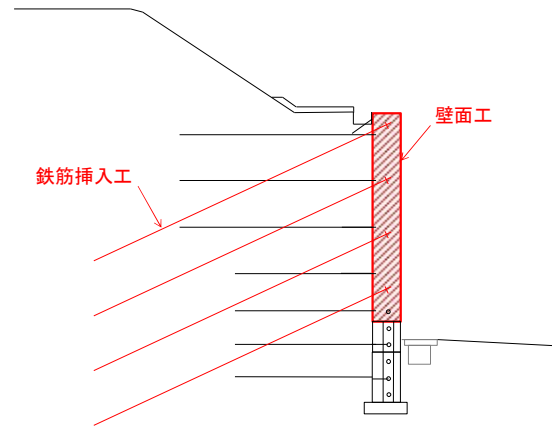
図-6 補強土壁 A の措置

鉄筋挿入工と吹付砕工による補修工事が行われた。補強土壁 B (最大壁高：5.6m, 延長：30.0m) では、補強領域の掘削は困難であり、補強土壁前面の用地に制限があったため、根入れよりも上の壁面材を撤去した後の内壁に鉄筋挿入工を適用して盛土の安定化を図り、現場打ちコンクリートによる壁面工が形成された。鉄筋挿入工に用いたアンカーボルトの頭部と壁面工の配筋を接続して両者を一体化し、壁面工と内壁の間にはジオシンセティックス製排水材を設置して、壁面工に設けた水抜き孔から盛土内に浸透する水を排除する構造とした。補修後の盛土の変状は確認されていないため、盛土の安定性を確保できた措置であったと考えられる。また、補強領域内に地下水位が形成され、顕著な漏水が確認された箇所では、図-8 に示すように、補強土壁の壁面から排水ボーリングを打設して地下水を排除した事例もある。

### 3. 変状レベルに応じた措置の考え

#### (1) 補強土壁の調査

補強土壁の変状は、図-9 に示すように、補強土壁本体やその周辺に現れることが多いため、点検は近接目視によって行われているが、盛土材のこぼれ出しに至るような致命的な損傷が懸念される変状が生じた場合は、その原因となった素因や誘因を特定し、措置段階でそれらを取り除くための調査が必要となる。これまでの補強土



(a) 補修の概要図 (鉄筋挿入工による補修)



(b) 補修後の状況

図-7 補強土壁 B の措置



(a) 排水パイプの打設



(b) 逆流防止弁の設置

図-8 排水ボーリング工の例

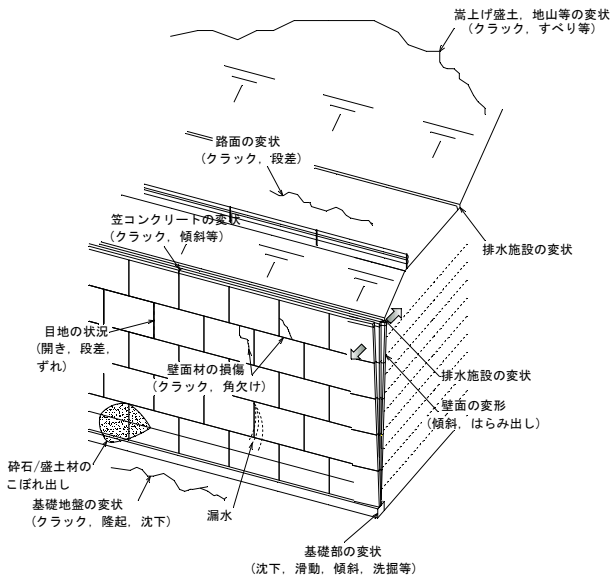


図-9 補強土壁とその周辺に現れる変状の例

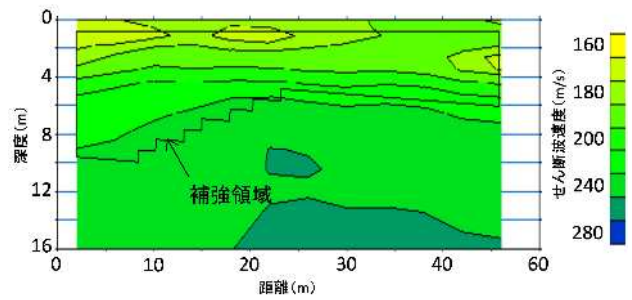


図-10 二次元表面波探査の例<sup>4)</sup>

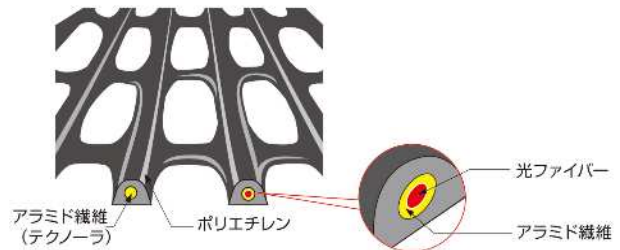


図-11 光ファイバひずみセンサ

壁の変状は補強領域への水の浸入によるものが多いが、盛土材の性状の変化が不明であるため、詳細な地盤調査を行うことが望ましい。例えば、壁面に漏水やはらみ出しが生じている場合は、地下水や雨水の浸入が考えられるため、サウンディング調査により盛土材の緩みの有無や地下水位形成の有無を調査する方法が考えられる。また、物理探査の一つである二次元表面波探査は、地表面を起震源とするレイリー波が周波数によって伝播速度が変化する特性を利用して地盤内のせん断波速度分布を推定する調査であり、盛土材の緩み領域の把握に有効であると考えられる。中村らは、盛土材のスレーキングによって変状が生じた鋼製枠形式のジオテキスタイル補強土壁に対して二次元表面波探査と補強土壁の再構築の過程で地盤調査を実施し、せん断波速度が大きく低下している領域は、含水比が高く、乾燥密度が低い領域と概ね一致していることを報告している<sup>7)</sup>。地震の影響を受けた補強土壁に対して二次元表面波探査を適用した例を図-10に示す。この事例では、補強領域内のせん断波速度の低下はなく、盛土材の緩みは生じていないことが確認されたため、損傷した外壁のみ補修が行われている<sup>4)</sup>。

著者らは、補強土壁の健全性を定量的に評価する方法として、図-11に示すように、ジオテキスタイルに光ファイバを内蔵したひずみセンサを開発し、多数の実現場に適用してきた<sup>8)</sup>。本センサは、ジオテキスタイルの長さ方向のひずみを連続的に計測でき、従来のひずみゲージによる方法に比べて長期間にわたってひずみの計測ができることを特徴としている。本センサの引張強度とひずみの関係を図-12に示すように、ジオテキスタイルの設計引張強度に対するひずみが2~3%であることを考慮して、計測されたひずみが2.0%以下である場

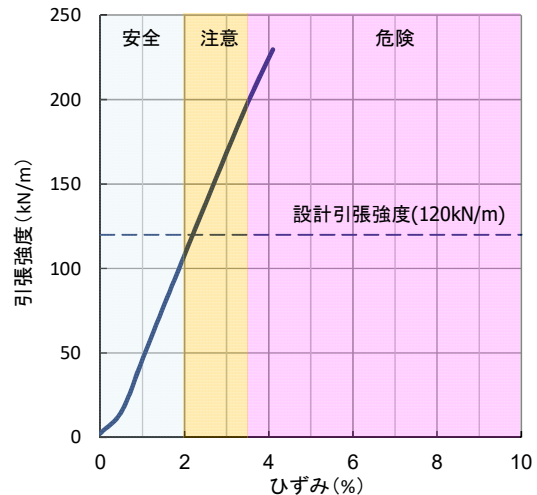


図-12 健全性の評価指標

合は「安全」、2.5%以上である場合は「危険」と評価することとしている。本センサの適用事例として、2014年8月の広島豪雨災害の影響を受けた地域に位置する補強土壁(壁高9.0m、嵩上げ盛土高30.0m)におけるひずみの計測結果を図-13に示す。本補強土壁は、豪雨の影響による壁面のはらみ出し等の変状は生じていない。豪雨災害から約1年後の2015年7月にひずみの計測を行った結果、盛土完成時とひずみ分布は同様で、ひずみの値は最大1.2%程度であり、本補強土壁は災害後も健全な状態を維持していること、計測から約10年経過後も計測ができることが確認された。また、2016年熊本地震で震度5強の揺れを受けた地域に位置していた補強土壁(壁高8.1m、両面盛土形式)におけるひずみの計測結果を図-14に示す。地震発生後に壁面や路面等の目視調査をしたが、補強土壁に変状は発生していない。2015

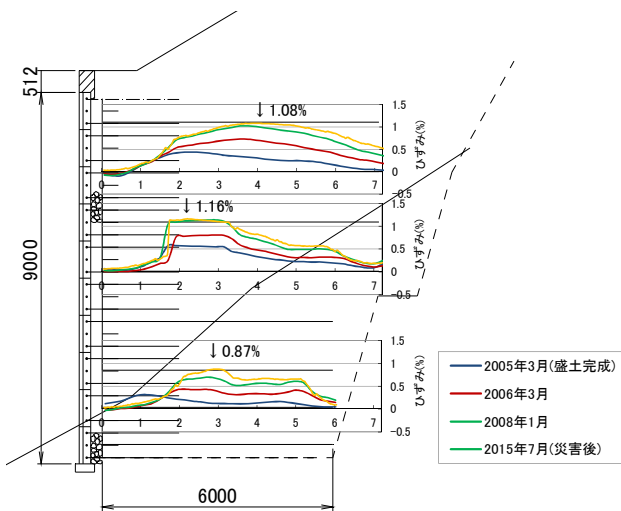


図-13 豪雨災害を受けた補強土壁に対するひずみの計測結果

年5月の地震発生前と、2016年7月の地震後のひずみ分布は同様であり、2012年9月の供用時から変化がないこと、ひずみの値は最大で1.3%であるため、本補強土壁は健全な状態を維持していることが確認された。

## (2) 経過観察による措置

補強土壁に壁面のはらみ出しや目地開き等の変状が確認された場合は、その初期段階から壁面変位や目地開き量に対する動態観測を実施し、その進行の程度を把握する必要がある。簡易な動態観測の方法として、図-15に示すように、下げ振りやレーザー距離計等を用いて壁面変位を計測する方法や、目地開きの計測、笠コンクリートや防護柵基礎等の上部構造物の傾きを計測する方法がある。変状が収束すれば補強土壁としての機能は低下しないと考えられるが、変状が進行し続ける状態は、盛土材のせん断強度の低下によるせん断変形や水浸沈下等の懸念がある。このため、定期的に変状の進行の程度を確認するとともに、変状の原因を特定するための必要な調査を実施し、変状の程度に応じて必要な措置の実施を判断していく必要がある。経過観察段階における壁面の水平変位の許容値として、壁高  $H$  の  $\pm 0.03H$  以内とする出来形管理基準値を指標とすることが多い。井澤らは、補強土壁モデルに対する遠心傾斜実験と遠心振動台実験の結果、壁面下部の傾きが3%を超えると補強領域内にすべり線が発生することを報告している<sup>9)</sup>。また、辻らは、二重壁補強土壁に対する遠心振動台実験の結果、壁面の傾きが壁高の4%を超えると、ジオテキスタイルに作用する引張力が許容引張強度を超える結果が得られ、地震後の壁面の水平変位に対する許容変位量の目安を壁高の3~4%とすることができることを報告している<sup>10)</sup>。補強土壁の許容変形量に関する明確な定義はないため、現時点では、壁面の水平変位の許容値は壁高の3%を目安として、経過観察を行うこととする。

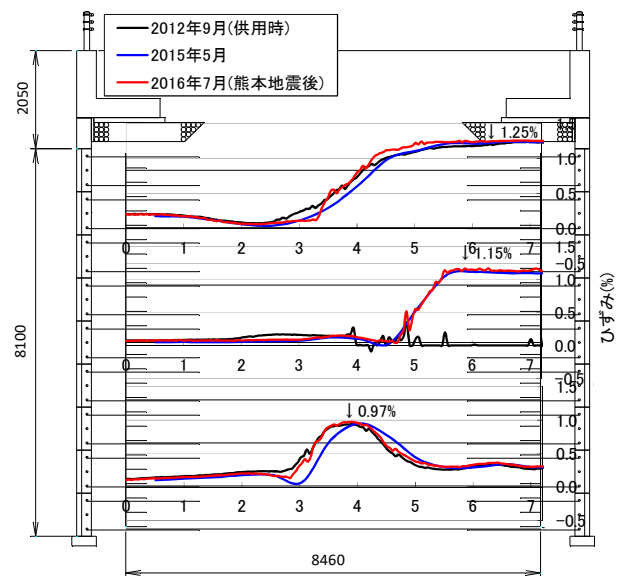


図-14 熊本地震を受けた補強土壁に対するひずみの計測結果



図-15 壁面に生じた変状の簡易な動態観測の例

## (3) 補修による措置

補強土壁に変状や損傷が発生し、盛土材のこぼれ出しや崩壊に至るような土工構造物としての機能の低下が認められた場合は、変状の程度に応じた適切な措置が求められる。そこで、本論文では、補強土壁の措置事例に基づいて、表-1に示すような変状レベルに応じた措置の考え方を提案する。壁面の水平変位が壁高の3%以内のときは、補強領域内の健全性は維持されていると考えられるため、変状の程度に応じた措置を実施する。また、水平変位が壁高の3%以内であっても、変位の進行が認められる場合は経過観察を継続し、変形に伴う損傷が生じている場合は補修を実施する。例えば、壁面材の角欠けやクラック等の軽微な損傷が生じた場合は、コンクリート片が剥離して飛散しないように、図-16に示すように、損傷部をはつり、断面補修材を用いて壁面を再整形

表-1 変状レベルに応じた措置の考え方

| 壁面<br>変位    | 変位の<br>進行 | 措置  |   |
|-------------|-----------|---|---|
|             |           | 方針  | 方法  |
| 壁高の<br>3%以内 | なし        | 壁面の変形に伴う構成部材の損傷が生じている場合は補修を実施する。  | <ul style="list-style-type: none"> <li>定期点検の実施</li> <li>壁面材の補修, 目地開きの補修等</li> </ul>   |
|             | あり        | 変位の動態観測を継続し, 変位が収束した場合は, 壁面の変形に伴う構成部材の損傷が生じている場合は補修を実施する。                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>壁面材の補修, 目地開きの補修, 壁面の再構築等</li> <li>動態観測の継続</li> </ul>   |
| 壁高の<br>3%以上 | なし        | 崩壊に至る危機的な状態ではないと考えられるが, 変形を生じさせた素因を取り除いたうえで, 壁面の変形に伴う構成部材の損傷が生じている場合は補修を実施する。     | <ul style="list-style-type: none"> <li>地盤調査の実施</li> <li>壁面材の補修, 目地開きの補修, 壁面の再構築, 排水対策の追加等</li> <li>動態観測による措置効果の確認</li> </ul>        |
|             | あり        | 崩壊に至る可能性があるため, 詳細な地盤調査を行ったうえで, 押え盛土や排水ボーリング等の応急対策を行って, 必要に応じて地すべり対策工や撤去等による措置を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>応急対策の実施</li> <li>排土工, 押え盛土, 排水ボーリング工, グラウンドアンカー工, 撤去・再構築等</li> <li>動態観測による措置効果の確認</li> </ul> |



(a) 損傷部のはつり (b) 断面補修

図-16 壁面材の角欠けの補修の例



(a) バックアップ材の設置 (b) コーキング材の充填

図-17 目地開きの補修の例



(a) 発泡ウレタンの注入 (b) 壁面材のはつり



(c) 鉄筋の配筋 (d) 型枠の設置



(e) コンクリートの打設 (d) 完了

図-18 壁面材の部分補修実験

する。壁面に排水層の碎石のこぼれ出しが生じる程度の目地開きが生じた場合は、図-17 に示すように、目地にバックアップ材を設置して、コーキング材を充填する。また、地震の影響によって壁面材のずれや広範囲にわたって破損が生じた場合は、図-3 に示したような手順で壁面を補修する。一方、壁面材が部分的に破損した場合は、図-18 に示すように、壁面材を削孔して発泡ウレタンを注入し、排水層の碎石を固化させた後に、ベルト材が接続されている壁面材の突起部は残した状態ではつり、鉄筋を配置してコンクリートを打設して壁面を再構築する方法もある。

壁面の水平変位が壁高の 3%以上のときは、補強土壁の進行性破壊の有無を確認するうえで、経過観察と詳細な地盤調査に基づいて、必要に応じて地すべり対策工の適用を検討する。具体的には、補強土壁の変形の進行がなく、変状が部分的である場合は、連続的なすべり面に発達しなければ崩壊には至らないと考えられるため、変状を生じさせた素因を取り除く必要がある。例えば、補強領域内に地下水位が形成されていることが確認された場合は、図-8 に示したように、補強土壁の壁面から排

水ボーリングを打設して地下水を排除する。一方、補強土壁の変形の進行が著しく、壁面の全体が前倒れしているような場合は、補強領域が一様にせん断変形していると考えられ、崩壊に至る可能性があるため、抑制工、抑止工、撤去等による措置を検討する。補強土壁の前面に用地がある場合は押え盛土や、図-6, 7 に示した排土工や鉄筋挿入工を適用し、基礎地盤を含むすべり破壊が懸念される場合は、グラウンドアンカー工等の適用が考えられる。

#### 4. おわりに

本論文では、ジオテキスタイル二重壁補強土壁を対象として、過去の大規模地震動や降雨浸透の影響によって変状が生じた補強土壁の補修事例に基づいて、変状レベルに応じた補強土壁の措置の考え方を示した。一般に、補強土壁はある程度の変形を伴いながら安定化していく構造物であるが、適切に設計と施工がなされれば、その変形量は限定的であり、安定性に影響を与えることはない。しかし、壁面に顕著な変形が確認された場合は、壁面変位に対する動態観測を行って、その収束の有無を確認することが重要である。また、補強土壁は、一般に規模が大きく厳しい条件の箇所で設置されることが多いため、変状が生じた場合、道路交通や周辺の構造物等に与える影響が大きく、その修復性は補強土壁の規模、設置条件、変状の程度と原因により異なる。本論文で示した変状レベルに応じた措置の考え方がすべての補強土壁に適用できるとはいえないため、今後も変状が生じた補強土壁に対する調査、診断、措置の事例を蓄積し、適宜見直ししていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 一般財団法人土木研究センター：アダムウォール（補強土壁）工法設計・施工マニュアル，2014.
- 2) 辻慎一朗，竜田尚希，王宗建，久保哲也，荒井克彦：二重壁構造を有するジオテキスタイル補強土壁の耐震性能（動的遠心模型実験），ジオシンセティックス論文集，第26巻，pp.47-54，2011.
- 3) 伊藤修二，辻慎一朗，久保哲也，廣田慎司：熊本地震による補強土壁の被災調査結果，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp.227-234，2016.
- 4) 王宗建，竜田尚希，服部浩崇，辻慎一朗，太田秀樹：二重構造を有する補強土壁の地震後の状況と補修，ジオシンセティックス論文集，第24巻，pp.125-130，2009.
- 5) 篠田昌弘，林豪人，弘中淳市，久保哲也：補強土壁・補強盛土の変状と措置，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp.269-275，2016.
- 6) 国立研究開発法人土木研究所：補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究，共同研究報告書第486号，2016.
- 7) 中村洋丈，横田聖哉，中澤正典，竜田尚希，辻慎一朗：泥岩を用いたジオテキスタイル補強土壁の変状事例研究，地盤工学ジャーナル，Vol.8，No.1，pp.35-51，2013.
- 8) S. Tsuji, N. Tatta and Z. Wang : Stability assessment of geotextile reinforced soil wall using optical fiber sensor, Proc. of the International Workshop on ICT in Geo-Engineering, pp.51-58, 2012.
- 9) 井澤淳，桑野二郎：壁面変位を用いた補強土擁壁の地震時損傷度評価，ジオシンセティックス論文集，第22巻，pp.207-212，2007.
- 10) 辻慎一朗，竜田尚希，王宗建，久保哲也，荒井克彦：二重壁構造を有するジオテキスタイル補強土壁の耐震性能：動的遠心模型実験，ジオシンセティックス論文集，第26巻，pp.47-54，2011.

## REPAIR WORKS OF GEOTEXTILE REINFORCED SOIL DOUBLE FACING WALL DAMAGED DUE TO EARTHQUAKE AND WATER INFILTRATION

Shinichiro TSUJI, Shuji ITO and Tetsuya KUBO

Geotextile reinforced soil double facing wall consists of the outer wall built of concrete panels, the inner wall of geotextile reinforced backfill and vertical drainage layer between outer and inner walls. While it was conformed that the geotextile reinforced soil wall has high seismic performance compared with concrete retaining wall, the several walls constructed near the epicenter of recent large earthquake occurred insignificantly damage. Additionally, the frequency of occurrence of heavy rainfall increases so that it needs to define the repaired procedure for the reinforced soil wall. This paper proposes the repaired procedure for the reinforced soil wall appropriate for damage level based on actual repair works for damaged wall due to earthquake and water infiltration.



# 震災時の道路土工構造物における 一般開放に向けた復旧作業の事例分析

日下 寛彦<sup>1</sup>・中島 康介<sup>2</sup>・安部 哲生<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目 4-1)  
E-mail: h.kusaka.ab@ri-nexco.co.jp

<sup>2</sup>正会員 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目 4-1)  
E-mail: k.nakashima.ag@ri-nexco.co.jp

<sup>3</sup>正会員 高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目 4-1)  
E-mail: t.abe.af@ri-nexco.co.jp

大規模地震の発生により道路土工構造物も多くの被害を受けている。被害の多くは路面のクラックや段差等、比較的小規模な被害であるが、一般開放に向けては交通に支障をきたす損傷について補修する必要がある。この一般開放に向けて実施した補修作業のボリュームはこれまであまり体系的に整理がされていない。本論文では 2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震および 2016 年に発生した熊本地震に関して、一般開放に至るまでに実施した補修作業について、段差修正工を対象に被災した地域の一部で整理を行った。結果として、1 編成当たりの平均的な構成や 1 日当たりの平均的な補修箇所数および日ごとの変動状況を確認した。また、1 箇所当たりの補修規模や、単位道路延長あたりの補修箇所数は SI 値といった地震動の大きさと相関があることが確認できた。

**Key Words:** highway, embankment, earthquake, disaster recovery, restorability, amount of labor and material and equipment

## 1. はじめに

日本国内で発生してきた大規模地震において、高速道路を含め社会インフラは多くの被害を受けてきている。高速道路の土工構造物においても、2016年に発生した熊本地震や2011年に発生した東北地方太平洋沖地震、2004年に発生した新潟県中越地震など、大規模地震の際には小規模なものも含めると、数多くの被害が発生している。被害の事例としては、盛土の大崩壊にまで至った事例は少なく、路面のクラックや段差等、比較的小規模な被害が多い<sup>1)2)</sup>。また、地震動と被害の関係として、交通に支障のある被害は計測震度5程度を上回るあたりから多く発生することなどがこれまでの地震被害から明らかになってきている<sup>3)</sup>。

大規模地震時に高速道路等の幹線道路は、物資や人員の輸送等、緊急輸送路として活用される。また、その後は社会活動の早期回復のために、速やかな一般通行車両に対する交通開放が求められる。こういった観点から、レベル2地震動といった大規模地震に対して、重要度が高い道路は、「道路の機能の一部支障を及ぼすが速やか

に回復できる性能」が求められる性能とされており<sup>4)</sup>、損傷は許容するものの速やかな復旧が求められる。

これまでの大規模地震時には地震発生直後の緊急輸送路としての活用やその後の早期一般開放の実施等、高速道路は一定の役割を果たしてきた。図-1 に新潟中越地震における段階的な復旧イメージを示す<sup>5)</sup>。緊急輸送路として使用される際には、車両が通行できることが重要であり、部分的に徐行する部分があったとしても許容でき、比較的大規模な被害に対して緊急的な補修対応が実施される(図-1の第一段階、第二段階に該当)。図-2 に新潟県中越地震における段差と土のうによる緊急的な復旧状況を示す。これに対し一般開放に向けては、一般車両が安全に走行することが求められるため、数多く存在する小規模な被害についても、交通に支障のあるものについては補修する必要がある(図-1の第三段階に該当)。図-3 に新潟県中越地震における片側1車線開放時の舗装補修状況を示す。こうした一般開放に向けて、実際に実施した補修や作業のボリュームについては、これまであまり体系的に整理がされてきていない。

そこで本論文では、今後の震災復旧の参考とするため、

東北地方太平洋沖地震および熊本地震に関して、交通開放に至るまでに実施した実際の被害と補修作業データの一部を集計、整理した結果について報告する。

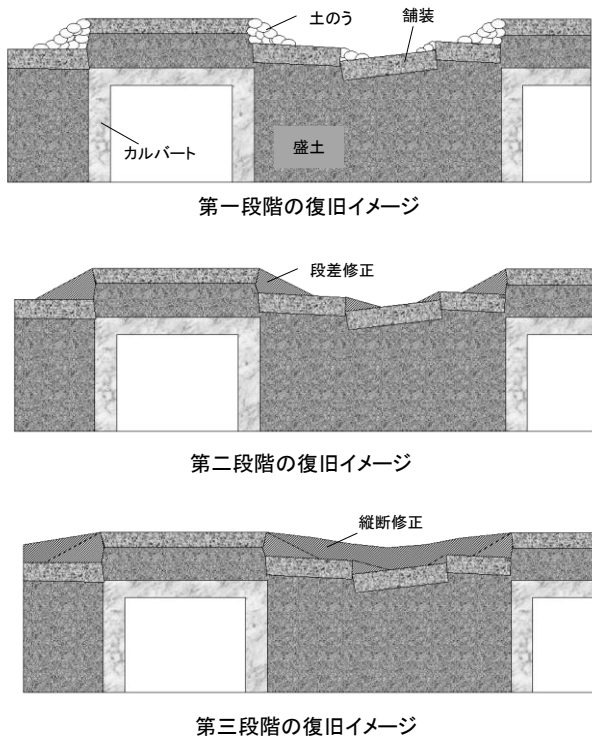


図-1 新潟県中越地震における段階的な復旧のイメージ<sup>5)</sup>に加筆



図-2 新潟県中越地震における路面段差と緊急的な復旧状況<sup>5)</sup>



図-3 新潟県中越地震における片側1車線の舗装状況<sup>5)</sup>

## 2. 検討対象とデータ集計方法

### (1) 対象とする被害

本論文では高速道路盛土における地震被害のうち、路面の段差修正工を実施している工事に着目した。この背景としては①復旧作業・時間に影響する要因のうち、大規模な盛土崩壊についてはその発災規模の事前予測が困難である事、また前述したとおり②各地震における被害分析の結果、広域にわたり発生する路面の段差やクラック等の小規模な被害数が顕著である事<sup>1)2)</sup>といった理由がある。

### (2) データの集計期間

本論文では、発災後から一般車両の通行確保までに実施した復旧作業（以下、「一次復旧作業」という）を対象とした。東北地方太平洋沖地震では2011年3月11日14:46から3月24日6:00までに行われた作業を、熊本地震では2016年4月14日21:26から4月29日9:00までに行われた作業を対象とし集計した。

### (3) データ集計項目

東北地方太平洋沖地震の一次復旧作業については、福島県内の1事務所における路面の段差修正工の作業内容についての調書を収集・整理した。対象となる復旧工事は5件あったが、そのうち2件について1日単位の詳細な分析を実施した。

熊本地震については熊本県内の1事務所における路面の段差修正工に関する調書を収集・整理した。その結果対象となる復旧工事は3件あり、各工事の1日単位の詳細な分析を実施した。

データ整理に用いた項目は表-1に示すとおりで、労務員の人数、主な作業機械の台数としてトラックおよびローラーの台数、主な材料としてアスファルト混合物の数量を集計し、またこれとあわせて補修箇所数について集計した。なお、実際には段差修正工以外の作業についてもあわせて実施している場合等も考えられるので、そういった可能性が含まれた数値と考える必要がある。

表-1 データ整理に用いた項目

|       | 項目        | 単位 |
|-------|-----------|----|
| 労務関係  | 土木一般世話役   | 人  |
|       | 特殊作業員     | 人  |
|       | 一般作業員     | 人  |
|       | 運転手(特殊)   | 人  |
|       | 運転手(一般)   | 人  |
|       | 編成数       | 編成 |
| 機械関係  | トラック      | 台  |
|       | ローラー      | 台  |
| 材料関係  | アスファルト混合物 | t  |
| 補修量関係 | 補修箇所数     | 箇所 |

### 3. 集計結果と考察

#### (1) 集計結果

表-2 に一次復旧作業の集計結果を示す。なお、1 日の作業時間は日ごとに異なるため、労務関係は 8 時間換算の値で整理している。どちらの地震でも約 2 週間という期間において行われた路面の段差修正は 400 箇所近くの対応が行われていた。また、補修箇所数に対するアスファルト混合物の使用数量は、熊本地震の方が東北地方太平洋沖地震に対して 2 倍近く使用されている。ここから、1 箇所当りの平均被害量は熊本地震の方が大きかったことが考えられる。また、熊本地震の補修箇所数は平均 10.6 箇所/km であり、東北地方太平洋沖地震の 3.2 箇所/km と比較しても局地的に被害が集中している事が読み取れる。

表-3 に各工事の 1 編成当たりの平均構成人数を示す。各工事の 1 編成当たりの平均構成人数は概ね 10~15 人/

班程度であった。また、1 編成の 8 時間当たりの平均復旧箇所数は、表-2 より東北地方太平洋沖地震で平均 3.3 箇所、熊本地震では平均 3.1 箇所であり、今回集計対象における段差被害の復旧速度としては 8 時間当たり 3 箇所程度という結果となった。

#### (2) 時間の経過と作業量の関係

図-4、図-5 に東北地方太平洋沖地震および熊本地震における作業日毎の作業量について示す。図-4 では発災 3 日後に労務、機械、材料についてのピークが見られる。図-5 では発災後の作業量は増加し続けた後に 9 日程度経った後においてピークが見られた。熊本地震に関しては前震の後に本震（4 月 16 日 1:25）が発生したことや、本震による段差被害量が卓越したことが、東日本大震災との傾向の違いが現れた原因と考えられるが、いずれの震災においても延べ作業人数、機械および材料の時間推移は連動していることが分かる。

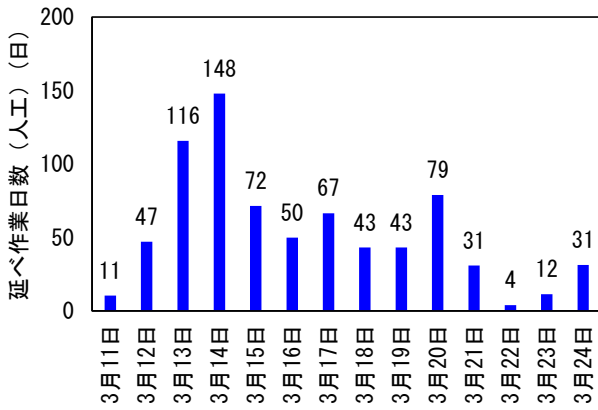
表-2 各地震における一次復旧作業の集計結果

|      |                  |           | 東北地方太平洋沖地震 (路線延長116km) |           |           |           |           | 熊本地震 (路線延長38km) |          |          |          |       |       |
|------|------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|-------|-------|
|      |                  |           | 東日本 (A工事)              | 東日本 (B工事) | 東日本 (C工事) | 東日本 (D工事) | 東日本 (E工事) | 合計              | 熊本 (A工事) | 熊本 (B工事) | 熊本 (C工事) | 合計    |       |
| 労務関係 | 8時間換算            | 編成数       | 編成                     | (10)      | (17)      | (23)      | 15        | 46              | 112      | 57       | 46       | 28    | 130   |
|      |                  | 土木一般世話役   | 人                      | (12)      | (22)      | (30)      | 15        | 72              | 151      | 61       | 46       | 24    | 131   |
|      |                  | 特殊作業員     | 人                      | (32)      | (59)      | (80)      | 29        | 309             | 509      | 151      | 205      | 13    | 369   |
|      |                  | 一般作業員     | 人                      | (25)      | (45)      | (61)      | 51        | 105             | 287      | 367      | 170      | 16    | 552   |
|      |                  | 運転手(特殊)   | 人                      | (26)      | (48)      | (65)      | 44        | 125             | 309      | 195      | 212      | 38    | 445   |
|      |                  | 運転手(一般)   | 人                      | (22)      | (41)      | (55)      | 26        | 142             | 286      | 274      | 64       | 32    | 370   |
|      |                  | 合計        | 人                      | (118)     | (215)     | (292)     | 165       | 753             | 1,543    | 1,048    | 696      | 122   | 1,865 |
| 機械関係 | トラック総台数 (10t換算)  | 台         | (3)                    | (27)      | (36)      | 22        | 95        | 182             | 186      | 30       | 9        | 225   |       |
|      | ローラーの総台数         | 台         | (2)                    | (15)      | (20)      | 11        | 64        | 111             | 64       | 55       | 16       | 135   |       |
| 材料関係 | アスコン             | t         | (57)                   | (556)     | (713)     | 460       | 1,271     | 3,057           | 3,926    | 1,514    | 635      | 6,075 |       |
| 補修量  | 補修箇所数            | 箇所        | (7)                    | (65)      | (69)      | 64        | 162       | 367             | 272      | 89       | 43       | 404   |       |
|      | 補修箇所数(1編成8時間当たり) | 箇所/8時間/編成 | (1)                    | (3.8)     | (3.0)     | 4.2       | 3.5       | 3.3             | 4.8      | 1.9      | 1.6      | 3.1   |       |

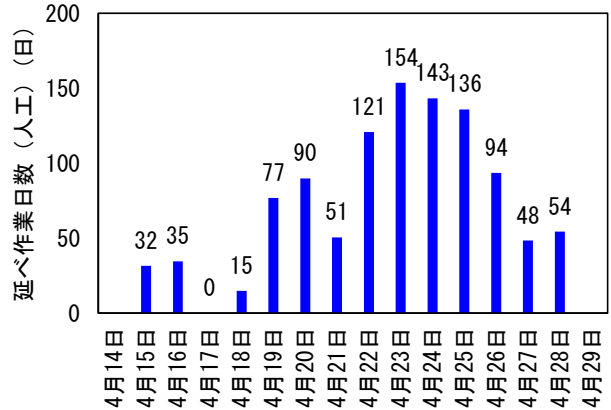
※東日本(A工事),(B工事),(C工事)は工事資料と工事費から推定した値

表-3 1 編成当たりの平均構成人数

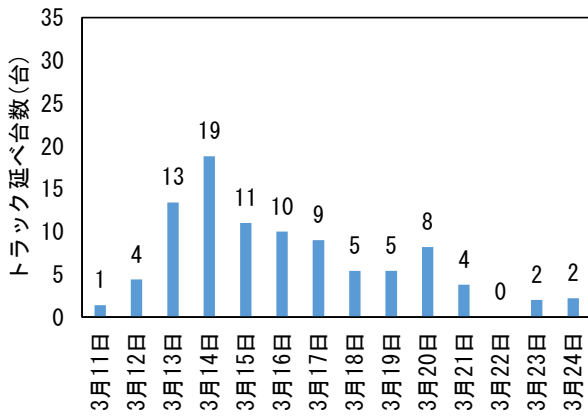
|         |   | 東北地方太平洋沖地震 |           | 熊本地震     |          |          | 平均   |
|---------|---|------------|-----------|----------|----------|----------|------|
|         |   | 東日本 (D工事)  | 東日本 (E工事) | 熊本 (A工事) | 熊本 (B工事) | 熊本 (C工事) |      |
| 土木一般世話役 | 人 | 1.0        | 1.6       | 1.1      | 1.0      | 0.8      | 1.1  |
| 特殊作業員   | 人 | 1.9        | 6.7       | 2.7      | 4.5      | 0.5      | 3.2  |
| 一般作業員   | 人 | 3.4        | 2.3       | 6.5      | 3.7      | 0.6      | 3.3  |
| 運転手(特殊) | 人 | 2.9        | 2.7       | 3.4      | 4.6      | 1.4      | 3.0  |
| 運転手(一般) | 人 | 1.7        | 3.1       | 4.8      | 1.4      | 1.2      | 2.4  |
| 合計      | 人 | 11.0       | 16.3      | 18.5     | 15.2     | 4.4      | 13.1 |



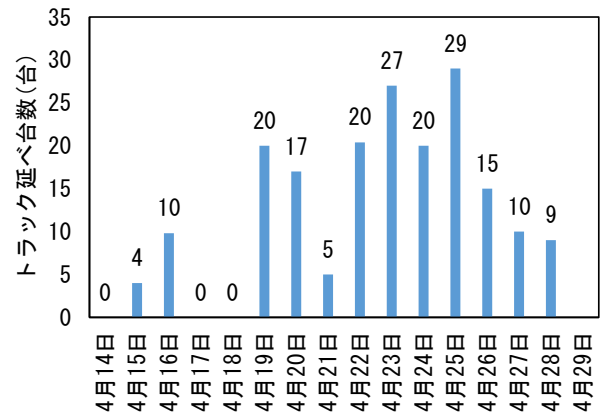
(a) 日当たり作業人数※8時間換算



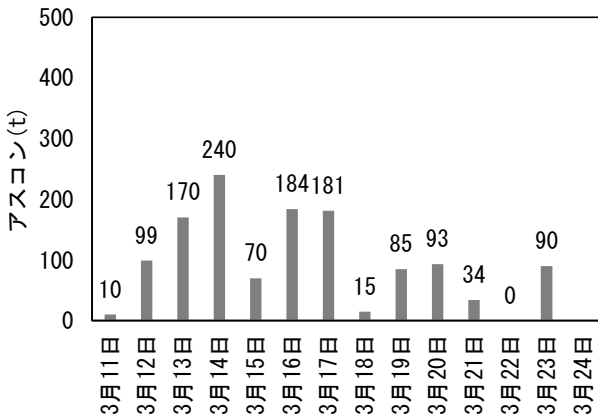
(a) 日当たり作業人数※8時間換算



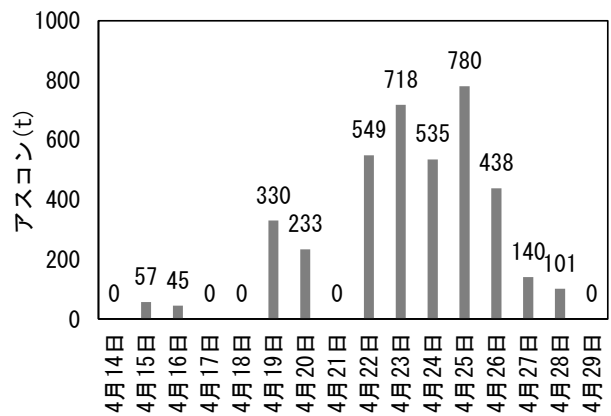
(b) 日当たりトラック台数



(b) 日当たりトラック台数



(c) 日当たりアスコン数量



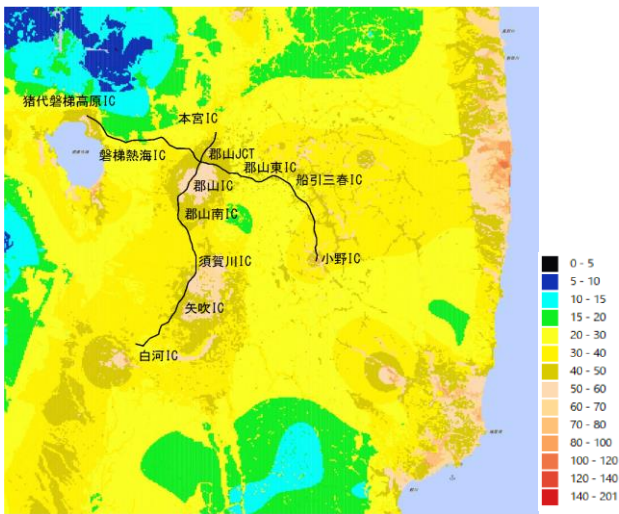
(c) 日当たりアスコン数量

図4 一次復旧における作業量の推移 (東北地方太平洋沖地震 D工事)

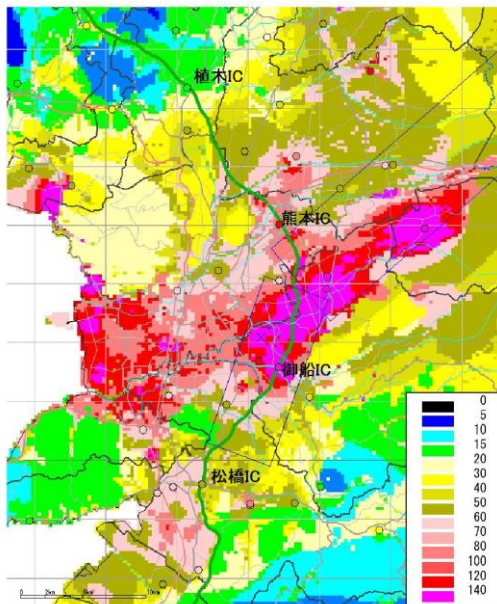
図5 一次復旧における作業量の推移 (熊本地震 A工事)

### (3) 被害と補修の数量および範囲

図-6 に各地震動の SI 値分布図を示す。東北地方太平洋沖地震における対象路線の SI 値は 20~60cm/s 程度であり熊本地震では 100cm/s 程度以上が分布している。使用材料の関係から、熊本地震の方が 1 箇所当たりの被害は大きかった可能性を前述したが、この地震動の大きさが影響していることが考えられる。既往の分析結果<sup>1)6)</sup>でも路面段差量と地震動との相関が確認されており、熊本地震における 1 箇所当たりの被害量や、1km 当たりの被害箇所数が、東北地方太平洋沖地震に比べ多かったことも、同様の傾向と言える。



(a) 東北地方太平洋沖地震



(b) 熊本地震(本震)

図-6 各地震動の SI 値分布

### 4. まとめ

本論文では、今後の震災復旧の参考とするため、東北地方太平洋沖地震および熊本地震に関して、地震発生から一般交通解放に至るまでに実施した被害と補修作業データについて、被害が多数確認された段差修正工を対象に、一部の地域を対象として集計、整理した。以下に結果をまとめる。

今回整理した工事では、1編成当たり人数は10~15人程度で、8時間当たりに換算すると平均補修箇所数は約3箇所という結果となった。

補修における労務員や資機材の時間推移は連動しており、どちらの地震も途中の日数でピークが見られた。

1箇所当たりの補修材料数量や、1km 当たりの補修箇所数は、今回整理した地点では熊本地震の方が東北地方太平洋沖地震よりも多い結果となった。これは、対象地域の SI 値が熊本地震の方が大きかったことが要因の一つと考えられる。また、これは段差量と地震動に関する既往の調査結果とも同様の傾向である。

これらの結果を参考に、今後の復旧作業の効率化、早期復旧に繋げていきたい。また、将来的には労働人口の減少に伴い、緊急時の人材確保が課題となることも考えられる。こうした社会情勢も踏まえた今後の復旧作業を検討するうえでも、今回の整理結果が参考になればと考えている。

### 参考文献

- 1) 日下寛彦, 藤岡一頼, 安部哲生, 中村雅範, 毛利龍司: 東北地方太平洋沖地震における高速道路盛土の被害分布, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.
- 2) 中澤正典, 日下寛彦, 呂佩哲, 眞野基大, 村上豊和: 熊本地震における高速道路盛土被害のマクロ分析, 第54回地盤工学研究発表会, 2019.
- 3) 藤岡一頼, 横田聖哉, 日下寛彦, 広瀬剛: 東北地方太平洋沖地震における高速道路盛土の被害分析, pp.285-308, 日本地震工学会論文集, Vol.16, No.1, 1996.
- 4) 日本道路協会: 道路土工構造物技術基準・同解説, pp.33-45, 2017.
- 5) 東日本高速道路株式会社 新潟支社: 新潟県中越地震 災害報告書《高速道路の被災から復旧までの軌跡》, 2006.
- 6) 呂佩哲, 佐伯宗大, 眞野基大, 安部哲生, 日下寛彦, 中島康介: 地震によるボックスカルバートの段差および目地開き被害の分析, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次講演会, 2020.



# 複数回地震動作用時における橋台背面アプローチ部の段差量に関する考察

梶田 幸秀<sup>1</sup>・福井 誠司<sup>2</sup>・松田 泰治<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)  
E-mail: ykajita@doc.kyushu-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>学生会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 修士課程  
(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)  
E-mail: fukui@doc.kyushu-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)  
E-mail:mazda@doc.kyushu-u.ac.jp

平成 28 年熊本地震では、KiK-net 益城観測点において約 28 時間で、震度 6 弱以上に相当する計測震度 5.5 以上を 5 回観測している。本研究では、橋台背面アプローチ部に着目し、熊本地震の前震と本震の 2 回の地震動による橋台背面アプローチ部の地盤改良による地表面の沈下量や杭の応答の違いについて検討を行った。その結果、荷重軽減工法による地盤改良によって橋台背面アプローチ部の段差量や橋台の傾斜角度については軽減することができた一方で、杭の水平方向変位や曲率については効果があまり期待できないことが分かった。

**Key Words:** *Liquefaction, Vertical gap, Repeated ground excitation, Ground Improvement*

## 1. はじめに

平成 28 年熊本地震において、複数の断層帯が短期間で活動したために、現在の設計地震動（レベル 2 地震動）相当と考えられる震度 6 弱以上が KiK-net 益城観測点では約 28 時間で 5 回も観測された。通常、橋梁の設計では、原則として強震動にさらされるのは 1 回としている。写真-1 は前震（4 月 14 日 21 時 26 分）発生翌日に撮影した写真と本震発生後約 1 か月経過した後（5 月 13 日）に撮影した写真であるが、これらの写真は段差量の拡大を

示しており、構造物の損傷が短期間で拡大する状況であるとき、構造物の復旧性をどのように規定するかは大きな課題となる。

著者らは、2011 年東北地方太平洋沖地震の被害状況をふまえ、これまでに河川を跨ぐ橋梁を対象に地盤と構造物の連成を考慮した 2 次元有効応力解析を行っており、また、地盤改良工法による橋台背面アプローチ部の被害抑制効果について検討を行ってきた<sup>1,2)</sup>。しかし、これらの研究では強震動は 1 波しか入力していない。余震の影響を考慮した研究として、小林らは<sup>3)</sup>、本震によって



(a) 4 月 15 日午後撮影（段差量約 15cm）



(b) 5 月 13 日撮影（段差量約 30cm）

写真-1 宮園橋（益城町）における段差被害の比較

液状化が発生した地盤が余震を受けて再び液状化に至るメカニズムの解明と定量的な評価を目的とした振動台実験と数値解析を実施しているが、この研究では構造物と地盤の連成については考慮されていない。著者らは熊本地震の被害を踏まえ、地震動2波を用いて、複数回地震動による橋台背面アプローチ部の沈下についての検討を行ったが、地盤モデルに具体的な液状化対策を施していない<sup>4)</sup>。

そこで、本研究では、液状化対策工法の1つである荷重軽減工法に着目し、河川を跨ぐ仮想の橋梁に4月14日に観測された前震と、4月16日に観測された本震を連続で入力した際の橋台背面アプローチ部の沈下現象に関する検討を行った。

## 2. 二次元有効応力解析の概要

### (1) 解析プログラム

本解析はFLIP<sup>5)6)</sup>「液状化による構造物被害予測プログラム」を用いている。FLIPは有効応力法に基づく地震応答解析プログラムであり2次元有限要素法に基づいた有効応力解析を行う。FLIPにおける砂質土の繰り返し載荷時の挙動を再現するために、東畑らが提案している多重せん断ばねモデル<sup>7)</sup>が用いられている。このモデルではせん断応力-せん断ひずみ空間上の円とその中心の可動点から構成される。可動点は円と非線形ばねと結びされており、それぞれのばねで双曲線タイプの荷重-変位関係に従う。

### (2) 構造物及び地盤のモデル化

本研究では、図-1に示す解析モデルを用いて解析を行った<sup>4)</sup>。図-1において、灰色で示す部分が橋台および

中間橋脚となっており、橋台を結んでいる直線が橋桁を示している。杭基礎は橋台ならびに中間橋脚に設置されており、鋼種はSKK400とした。杭径800mmの鋼管杭を二次剛性0のバイリニアモデルとしてモデル化を行った。この杭基礎は、2002年の道路橋示方書の照査基準を満たすように設定されたものであり、表-1に示す地盤条件において、layer3のN値を10として通常地盤に置き換えた際に設計基準を満たすようにしている。その結果、橋軸方向に3本、橋軸直角方向に4本の計12本の鋼管杭が設置した。またlayer3は液状化層となっており、他の層の地盤に比べてN値と体積弾性係数が小さいため、液状化が発生しやすい地盤となっている。図-2は杭基礎のM-φ関係を示しており、降伏モーメントが670kN・m、降伏曲率が0.0171/mでモデル化した。橋桁と橋台の間には水平方向に図-3に示すようなバネを用いて接合している。このばねは遊間量(10cm)を超えて橋台が橋桁に近づいた場合、橋台は橋桁からの反力を受け、橋台の橋桁への接近が10cm以内になる場合や橋台が背面へ移動した場合には力の受け渡しが存在しないことを再現するために導入している。土層は6つの層から構成されており、排水条件で解析を行うためにカクテルグラスモデル要素でモデル化した。各土層のカクテルグラスモデルにおける物性値は、カクテルグラスモデル要素パラメータ決定支援環境FLIPCSIMで決定し、その物性値を表-1に示す。表-1において各土層の物性値が図-1のモデルに反映されている。layer6は工学的基盤を想定しており、地下水位面はlayer3の上端と同位置に設置している。layer3のみが液状化層として過剰間隙水圧比の上昇が考慮されており、layer3の透水係数は $1 \times 10^{-4}$  m/sとしている。layer3の液状化パラメータを表-2に示す。また後述の荷重軽減工

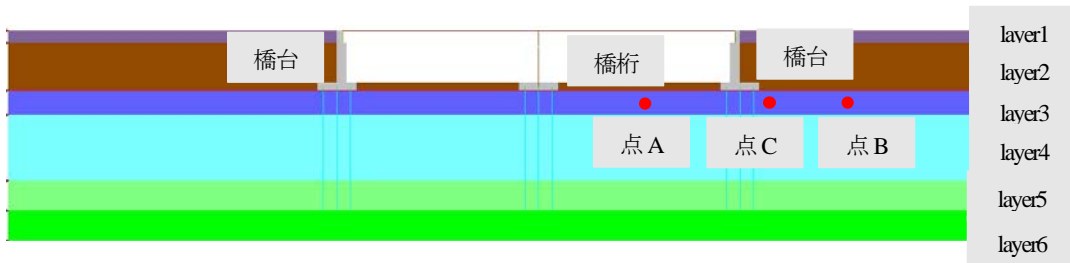


図-1 解析モデル全体図

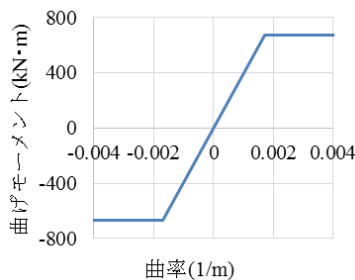


図-2 杭基礎 M-φ 関係図

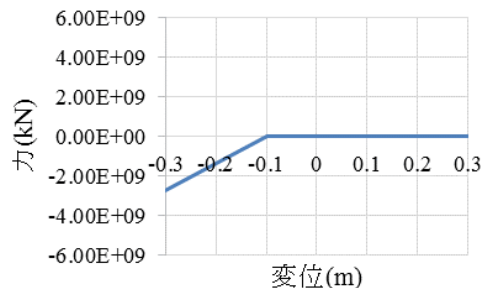


図-3 遊間バネの力変位関係図



法では layer1 と layer2 の一部が改良された地盤に置き換わっている。橋台・橋脚・杭基礎といった構造物とこれらの土層との間に境界条件を設定するために表-3 に示す物性値のジョイント要素を設置しており、ジョイント要素の物性値は文献7に示すものを使用している。このジョイント要素は引張方向の応力は負担せず、圧縮側では垂直方向初期剛性(Kn)に応じた応力を負担し、せん断方向においてはせん断強度に達するまで、せん断方向初期剛性(Ks)に応じたせん断応力を負担する。また、解析モデルの側面境界は半無限の自由地盤を想定した粘性境界を、底面境界は固定境界と設定した。

(3) 地盤改良工法

本研究では、先述の解析モデルに荷重軽減工法を施し

たモデルも使用し解析を行う。荷重軽減工法を施したケースの改良範囲を図-4 に示す。改良範囲については、文献8より軟弱地盤下端から45°で立ち上げた範囲としている。荷重軽減工法を適用することによって盛土荷重が軽減し、上載圧や橋台背面に作用する土圧が軽減され、その結果橋台の側方移動が抑制され背面アプローチ部の沈下も抑制されることが期待される。改良盛土については、実際に用いられている文献9の改良盛土を参考として物性値を決定した。その物性値を表-4 に示す。layer1 及び layer2 の物性値と比較すると、荷重軽減工法を施した範囲の密度は施工前の約 60%となる。地盤改良として軽量盛土を用いた場合、盛土を通常密度(1.92t/m<sup>3</sup>)から軽量盛土(1.1t/m<sup>3</sup>)に置き換えるため、改良盛土以深の初期応力が変化するが、本解析では通常重量の土が存在し

表-1 土層物性値

|        | 層厚  | 平均有効拘束圧 | 密度               | ポアソン比 | N値 | 間隙率n  | せん断抵抗角         | 初期せん断剛性        | 体積弾性係数<br>(正規圧密の場合) | 体積弾性係数<br>(過圧密の場合) | 減衰定数             |
|--------|-----|---------|------------------|-------|----|-------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|------------------|
|        | D   | Pa      | ρ                | v     |    |       | φ <sub>r</sub> | G <sub>0</sub> | K <sub>la</sub>     | K <sub>ua</sub>    | h <sub>max</sub> |
|        | m   | kPa     | t/m <sup>3</sup> |       |    |       | °              | kPa            | kPa                 | kPa                |                  |
| layer1 | 2.1 | 15.435  | 1.92             | 0.33  | 5  | 0.505 | 38.28          | 44479          | 115994              | 115994             | 0.24             |
| layer2 | 7.9 | 88.935  | 1.92             | 0.33  | 10 | 0.553 | 33.04          | 70606          | 184129              | 184129             | 0.24             |
| layer3 | 5   | 183.75  | 1.92             | 0.33  | 2  | 0.588 | 30             | 24147          | 62971               | 62971              | 0.24             |
| layer4 | 10  | 301.35  | 1.92             | 0.33  | 10 | 0.55  | 33.4           | 70606          | 184129              | 184129             | 0.24             |
| layer5 | 5   | 418.95  | 1.92             | 0.33  | 20 | 0.523 | 36.3           | 112080         | 292286              | 292286             | 0.24             |
| layer6 | 5   | 492.45  | 1.92             | 0.33  | 50 | 0.475 | 41.65          | 206453         | 538396              | 538396             | 0.24             |

表-2 液状化パラメータ

| 液状化パラメータ       |                  |                  |                 |                |                   |
|----------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| φ <sub>p</sub> | ε <sub>dcm</sub> | γ <sub>εdc</sub> | γ <sub>εd</sub> | r <sub>k</sub> | l <sub>k</sub>    |
| 28             | 0.1              | 1                | 0.35            | 0.1            | 2                 |
| q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub>   | q <sub>4</sub>   | s <sub>1</sub>  | c <sub>1</sub> | H <sub>maxL</sub> |
| 10             | 1                | 1                | 0.005           | 1              | 0.24              |

表-4 軽量盛土物性値

| 土層区分   | ρ                   | N  | G <sub>ma</sub>      | n     |
|--------|---------------------|----|----------------------|-------|
|        | 密度                  | N値 | 初期せん断剛性              | 間隙率   |
|        | (t/m <sup>3</sup> ) | -  | (kN/m <sup>2</sup> ) | -     |
| Layer1 | 1.92                | 5  | 44479                | 0.505 |
| Layer2 | 1.92                | 10 | 70606                | 0.553 |
| 改良盛土   | 1.1                 | 79 | 338511               | 0.6   |

表-3 ジョイント要素物性値

|                       | 自重解析              |                   |     | 動的解析              |                   |     |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|-----|
|                       | Kn                | Ks                | 摩擦角 | Kn                | Ks                | 摩擦角 |
|                       | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | φ   | kN/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | φ   |
| 橋台-地盤・<br>橋脚-地盤<br>側面 | 10 <sup>6</sup>   | 0                 | 15  | 10 <sup>6</sup>   | 10 <sup>6</sup>   | 15  |
| 橋台-地盤・<br>橋脚-地盤<br>底面 | 10 <sup>6</sup>   | 10 <sup>6</sup>   | 31  | 10 <sup>6</sup>   | 10 <sup>6</sup>   | 31  |
| 杭-地盤境界                | 0                 | 0                 | 15  | 10 <sup>6</sup>   | 0                 | 15  |

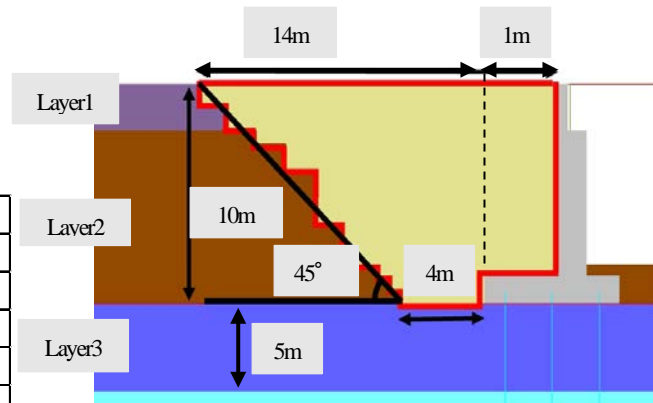


図-4 荷重軽減工法適用範囲

ていたことは無視し、初期からこの軽量盛土が存在していたという条件で解析を行った。

(4) 解析条件

運動方程式の数値積分法としては、wilson $\theta$ 法において $\theta=1.4$ 、Rayleigh 減衰において $\alpha=0$ 、 $\beta=0.002$ で計算を行った。時間積分間隔は0.001秒である。FLIPでは数値解析の安定性を保つことを目的として、Rayleigh 減衰を剛性比例型として与えている。地盤モデルに入力した地震波はKiK-NET観測波で、観測点コードKMMH16において2016年熊本地震の際に観測された東西方向成分の前震と本震の地表地震波をk-shake(成層地盤応答解析プログラム 株式会社 構造計画研究所製)により工学的基盤上に引き戻した波を入力した。このk-shakeはいくつかの層からなる土層でのせん断波の縦方向伝播に対する応答計算を行うプログラムであり、等価線形法の適用により求められた入力地震動の時刻歴波形を(工学的基盤面) 図-5と図-6に示す。これらの地震動を用いて、前震を

単体で入力するケース、本震を単体で入力するケース、前震終了後、2456秒が経過した時点で本震を入力するケースの3つの解析を行った。なお、地震動の入力間隔を2456秒とした理由は後述の解析結果で確認できるが、前震終了後、液状化層の過剰間隙水圧比が定常状態となる時間である。

3. 解析結果

(1) 過剰間隙水圧比と段差量

図-7と図-8に無対策におけるケースならびに荷重軽減工法におけるケースの過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。いずれも前震を入力し、一定時間(2456秒)経過後、本震を入力し、再び一定時間経過(2456秒)経過させた結果である。なお、グラフ上の前面地盤、背面地盤、橋台から1m地点から1m地点とは図-1における点A、点B、点Cに対応している。点A、B、C深さ方向についてはlayer3の中間

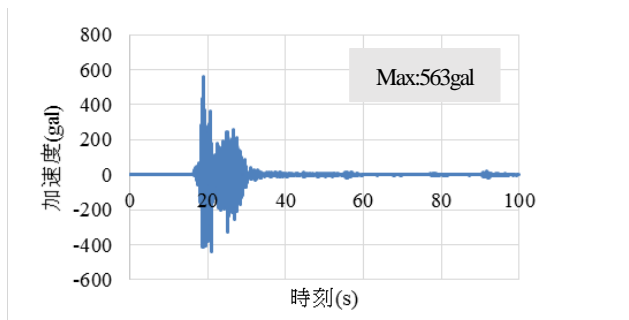


図-5 入力加速度時刻歴(前震)

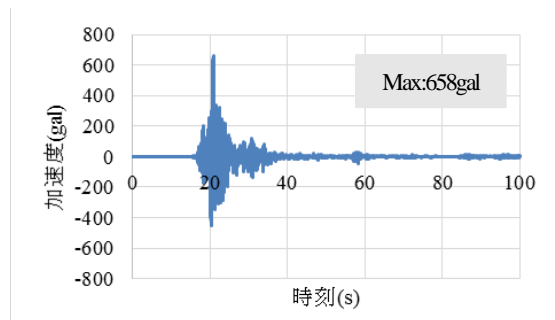


図-6 入力加速度時刻歴(本震)

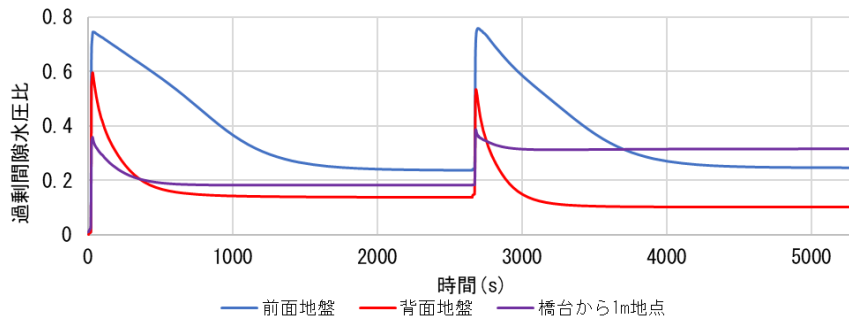


図-7 無対策における過剰間隙水圧比時刻歴

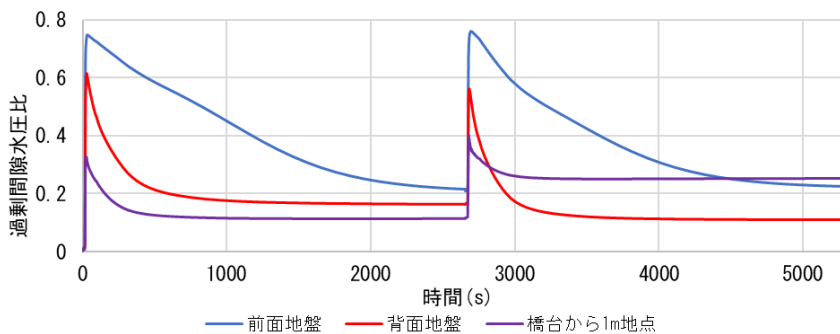


図-8 荷重軽減工法における過剰間隙水圧比時刻歴

地点とした。水平方向については、点Aは橋台フーチング基礎河川側側面から18m、点Bは基礎堤防側側面から14mの地点、点Cは同じく基礎堤防側側面から1mの地点である。図-7 および図-8 より、過剰間隙水圧比の最大値は、無対策、荷重軽減工法の場合にかかわらず、点Aが一番大きく、次に点B、点Cの順になっている。これは、過剰間隙水圧比は繰り返しせん断によって発生する過剰間隙水圧の初期の有効上載圧（または有効平均応力）に対する比で定義されるため、初期の有効上載圧が大きい点C（橋台基礎に近い）、点B、点Aの順に過剰間隙水圧比の最大値は小さくなったと考えられる。次に、無対策と荷重軽減工法を比較した場合、過剰間隙水圧比の最大値だけを見れば、ほとんど変化しておらず、排水時の過剰間隙水圧比の下がり方、過剰間隙水圧の消散の仕方を見れば、点A（橋台よりも河川側）では、荷重軽減対策工法の方が緩やかに過剰間隙水圧が消散しており、一方で、点Bや点C（橋台よりも堤防側）では、荷重軽減対策工法の方が過剰間隙水圧の消散が少し早い。荷重軽減工法を用いても過剰間隙水圧比の最大値が変わらなかったこと、地点により、過剰間隙水圧の消散の速

さが異なった点については、今後の検討課題である。

続いて、図-9 と図-10 に無対策におけるケースならびに荷重軽減工法におけるケースの段差量の時刻歴を示す。段差量とは橋台天端の節点と文献10で橋台背面アプローチ部と定義される範囲において最も沈下している地盤の節点の相対鉛直変位としており、図の段差量のグラフは左右両側の橋台背面アプローチ部の段差量の平均をとっている。図-9 および図-10 より、荷重軽減工法のほうが、段差量の絶対量を抑制できていることは明らかである。段差量が抑制されているのは、地震発生中の部分であり、排水中の段差量については、無対策でも荷重軽減工法でも、前震終了後は約5cm、本震終了後も約6cmと対策工法を施してもほとんど変わらない結果となった。表-5 に解析中の層厚変化量を示す。これは段差量を定義した箇所における解析前と解析後の層厚の差をあらわしたものである。これにより荷重軽減工法を行えば、液状化層における段差量のみならず、橋台背面土部分の段差量も低減できていることが分かる。これは、表-4 に示した軽量盛土の物性値を見て分かる通り剛性の大きい土に置き換えたため、橋台背面土部分の段差量も低減

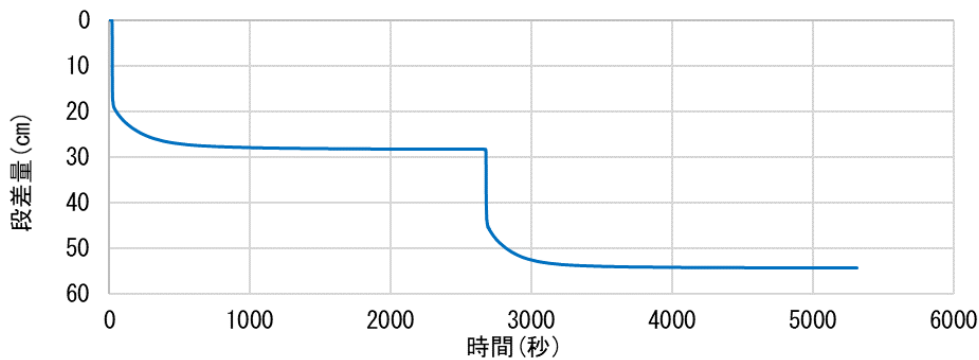


図-9 無対策における段差量時刻歴

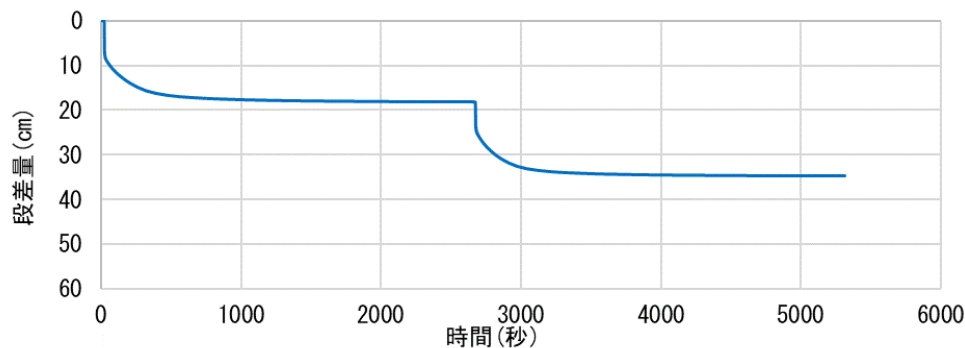


図-10 荷重軽減工法における段差量時刻歴

表-5 解析中における層厚変化量

|          | 無対策  | 荷重軽減工法 |
|----------|------|--------|
| layer1,2 | 20cm | 15cm   |
| 液状化層     | 24cm | 14cm   |

できたと考えられる。また橋台背面土部分の土の剛性が大きくなったことで、解析終了後の橋台の傾斜角においても、無対策では  $0.72^\circ$  に対して荷重軽減工法では  $0.49^\circ$  となり、荷重軽減工法により傾斜角を抑制できていることも分かる。傾斜角については、橋台堅壁における背面地盤側の側壁の最上部と最下部の変位差から算出した。

(2) 杭の応答

右側橋台中央の杭において、前震入力のみ、本震入力のみ、前震入力後本震入力のそれぞれにおける最大曲率

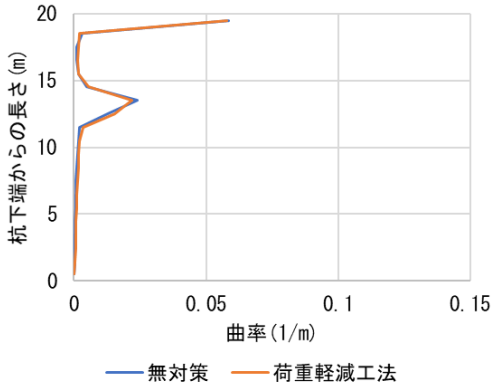


図-11 前震入力のみにおける最大曲率分布図

の分布図を図-11 から図-13 に、また最大水平変位の分布図を図-14 から図-16 示す。なお、各地点における解析中の最大値を図化しているため、それぞれの地点で最大値となる時刻は異なっている。また、曲率と水平変位については絶対値で表しており、杭の降伏曲率については  $0.0017$  (1/m) である。図より、前震や本震単体よりも複数回入力により応答値は大きくなるのが分かったが、最大曲率の分布、最大応答変位の分布については、変わらないことが分かった。橋台と液状化層 (layer3) と土層 (layer4) の境界は杭下端から  $20\text{m}$  の地点、液状化層 (layer3) と土層 (layer4) の境界は杭下端から  $15\text{m}$  の地点にあるが、杭下端からの

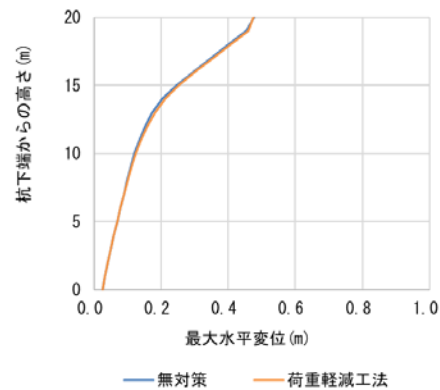


図-14 前震入力のみにおける最大水平変位分布図

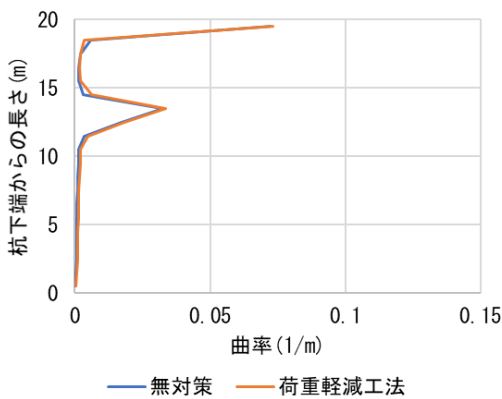


図-12 本震入力のみにおける最大曲率分布図

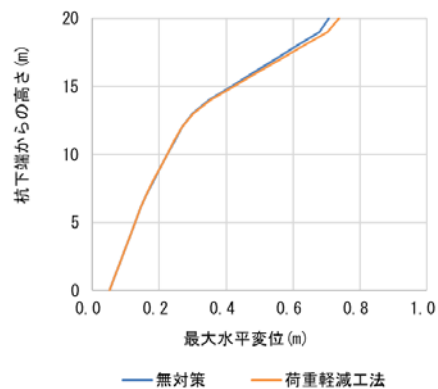


図-15 本震入力のみにおける最大水平変位分布図

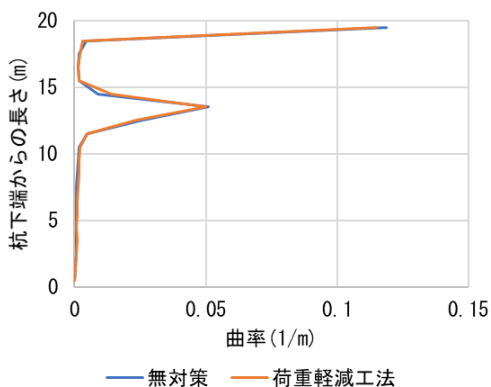


図-13 前震入力後本震における最大曲率分布図

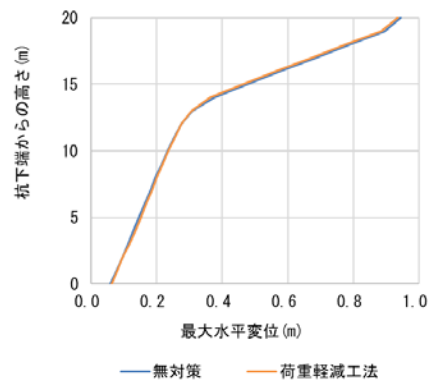


図-16 前震入力後本震における最大水平変位分布図

高さが20mのところと13mのところと最大曲率のピーク値が見られた。これは、最大水平変位の分布図を見てみると直線の傾きが変化する地点とほぼ一致し、液状化層(layer3)と土層(layer4)の境界部において杭に力が集中し降伏しやすいということが分かる。また、無対策と荷重軽減工法の結果の差違はほとんどなく、杭の応答に関しては、荷重軽減工法による応答の低減はあまり期待できないことが分かった。これは、荷重軽減工法は液状化層に対して直接的な対策を施していないため、液状化層における土の水平応答変位を抑制することができなかったことが原因だと考えられる。

#### 4. 結論

本研究では地盤と橋梁の連成を考慮した地震応答解析を実施し、連続した地震動入力時における液状化地盤上に存在する橋台や背面地盤の挙動の確認を目的として2次元解析を行った。本解析から得られた知見を以下に示す。

- (1) 軽量盛土を使用する荷重軽減工法を液状化対策に適用することによって、橋台背面アプローチ部に発生する段差量が低減したことから、複数回地震動においても荷重軽減工法は有効であるという可能性が示された。
- (2) 軽量盛土を用いることで、液状化層ならびに橋台背面土部分における層厚の変化に対しても有効であることが分かった。
- (3) 杭の応答については、無対策と荷重軽減工法を比較すると、最大曲率と最大水平変位のどちらもあまり変化はなかった。荷重軽減工法では液状化層に直接的な対策を施していなかったために、液状化層における過剰間隙水圧比や水平応答変位に大きな変化がなかったため、効果が小さかったと考えられる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP18K04332 の助成を受けたものです

#### 参考文献

- 1) 梶田幸秀, 柿永恭佑, 宇野州彦, 北原武嗣: 橋桁の影響を考慮した液状化地盤上にある橋台の地震時応答に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.338-347, 2016
- 2) 梶田幸秀, 斧田和樹, 宇野州彦: 地震時における橋台背面アプローチ部の沈下対策に関する基礎的検討, 第37回地震工学研究発表会講演論文集, No.1076, 2017
- 3) 小林孝彰, 佐々真志, 渡辺啓太, 山崎浩之: 連続した地震動作用下の地盤液状化に関する実験と解析, 土木学会論文集B3, Vol.71, No.2, pp.I-1101-I-1106, 2015
- 4) 梶田幸秀, 斧田和樹, 宇野州彦, 北原武嗣, 松田泰治, 複数回地震動作用時における橋台背面アプローチ部の沈下に対する検討, 第9回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム, 2019.01.
- 5) 森田年一, 井合進, Hanlong LIU, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997.
- 6) Susumu IAI, Yasuo MATSUNAGA and Tomohiro KAMEOKA : ANALYSIS OF UNDRAINED CYCLIC BEHAVIOR OF SAND UNDER ANISOTROPIC CONSOLIDATION, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.16-20, 1992.
- 7) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling Soil Behavior under Principal Stress Axes Rotation, Proc. of 5th International Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Nagoya, Vol.1, pp.523-530, 1985.
- 8) 国立研究開発法人土木研究所; 橋台の側方移動対策ガイドライン策定に関する検討(その2), 土木研究資料第4174号, 2010.6
- 9) 太平洋セメント株式会社: 人口軽量盛土材 太平洋カルストーン技術資料(WEBURL:[http://www.taiheiyo-cement.co.jp/service\\_product/aggregate/pdf/keiryu-morido.pdf](http://www.taiheiyo-cement.co.jp/service_product/aggregate/pdf/keiryu-morido.pdf)) (2020年12月23日 閲覧)
- 10) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, pp.262, 2012.

(2021. 1. 31 受付)

## INVESTIGATION FOR SUBSIDENCE AT THE APPROACHING AREAS OF ABUTMENTS INDUCED BY SEQUENCED GROUND MOTIONS

Yukihide KAJITA, Seiji FUKUI and Taiji MATSUDA

The purpose of this study is to confirm the vertical gap of the abutment and curvature of pile induced by repeated earthquake motions. Seismic response analysis is performed for two case. One is a model with load reduction method, which is one of the countermeasures of liquefaction. The other is a model without soil improvement. As a result, it was found that while the ground improvement could reduce the amount of steps on the back approach of the abutment and the inclination angle of the abutment, the effect on the horizontal displacement and curvature of the pile could not be expected so much.



# 災害情報による道路被害の復旧必要期間の評価

一井 康二<sup>1</sup>・門田 朋也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学教授 社会安全学部 (〒569-1098 大阪府高槻市白梅町 7-1)

E-mail: ichiik@kansai-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>非会員 関西大学 社会安全学部 (〒569-1098 大阪府高槻市白梅町 7-1)

災害発生時に被害を受けた道路が通行不可となると、被災地の救援などに大きな影響を及ぼす。そのため、実際の災害では、迅速な道路被害の復旧が行われる。このとき、道路を利用するユーザーにとっては、物資輸送のロジスティックスなどを効率的に行うために、刻一刻と変化する道路の被災状況と復旧の見通しに基づいて、計画を立てる必要がある。そこで、本研究では災害情報として報告される道路被害の情報から、復旧に時間を要するかどうかの判断が可能かどうかの検討を実施した。具体的には、令和2年7月豪雨における九州地方の道路被害について、災害情報における掲載開始から掲載終了までの期間と、実際の道路の通行可否を比較した。そして、復旧性の観点からの、災害情報の発出にける課題を示した。

**Key Words:** Verification, effective stress analysis, liquefaction, sea wall, quay wall

## 1. はじめに

災害発生時の被災地の救援や災害後の復旧・復興において、道路は重要な役割を果たす。そのため、災害時は迅速な道路被害の復旧が行われ、仮復旧が完了して安全が確保できた段階で、当該道路の通行が可能となる。

このとき、復旧に要する期間は、被害の形態や規模、さらに復旧作業に必要な機材や資材の有無等の要因で変化する。このため、適切な耐震対策を事前に行っておくことで復旧を容易にしておくことが、道路性能の一つとしての復旧性の向上につながる<sup>1)</sup>。ただし、耐震対策は耐震補強などのハード面での対策に限定されることはなく、機材や資材の備蓄などといったソフト面も含まれるものと思われる。

ここで、道路を利用するユーザーの視点に立って考えると、どのルートをいつの時点で通行して目的地に到達するかという、ロジスティックスを災害時であっても検討する必要がある。そして、ロジスティックスの検討には、(1)道路が通行止めになっているかどうか、(2)通行止めになっているなら、いつ通行可能になるか、という2点の情報が重要となる。もちろん、(1)は道路の使用性能、(2)は道路の復旧性能に関連している。なお、道路の安全性能に関連して、(3)道路を通行中に災害が発生しても無事かどうか、という情報も理屈の上で検討項目となりえるが、ユーザーの観点からすれば当然のことであるため、あまり懸念材料にはならない。

道路のユーザーが必要とする情報に関して、様々な取り組みが行われている。まず、(1)に関しては、災害時には国土交通省が「通れるマップ」<sup>例えば、2)</sup>を公表している。また、民間の取り組みとして、Hondaが東日本大震災時に通行実績情報マップを公開する<sup>3)</sup>など、実際の通行実績を共有化する取り組みがなされている。

(2)に関しては、各地で道路啓開計画が作成され、例えば、四国では「発災後24時間を目途に広域移動ルートの概ねの啓開、72時間を目途に被害が甚大な被災地内ルートの概ねの啓開を実施」として、事前に復旧に要する期間の目安が示されている<sup>4)5)</sup>。しかし、道路被害の復旧に要する時間は被災規模にも依存するため、災害が生じてからでないと正確な評価も難しい。このため、実際には報道されるニュースなどをもとに、状況に応じて判断しているものと思われる。

そこで、本研究では、災害時に報道資料として公開されている災害情報をもとに、道路の復旧に要する期間の目安を推定することが可能かどうかについて検討した。なお、地震被害に対する復旧期間の評価を検討対象としたかったが、適切な対象がなかったため、令和2年7月豪雨において公表された災害情報<sup>6)</sup>を検討対象とした。

## 2. 災害情報における被災状況と復旧期間の推定

図-1と図-2に国土交通省が発表する災害情報の例を示す。令和2年7月豪雨では、50報以上発表された。

**<都道府県管理道路>**

1) 補助国道  
・被災: 4路線8区間

| 路線名    | 区間名       | 被災状況          | 備考                |
|--------|-----------|---------------|-------------------|
| 国道219号 | 熊本県球磨村    | 崩土            | 7/4 2:50～ 全面通行止め  |
| 国道219号 | 熊本県球磨村    | 橋梁流出<br>(鉄筋橋) | 7/4 不明 全面通行止め     |
| 国道219号 | 熊本県球磨郡湯前町 | 法面崩壊          | 7/5 17:00～ 全面通行止め |
| 国道219号 | 宮崎県西米良村   | 路肩決壊          | 7/4 13:00～ 全面通行止め |
| 国道447号 | 熊本県熊出大市   | 崩土            | 7/4 4:05～ 全面通行止め  |
| 国道447号 | 熊本県熊出大市   | 路肩決壊          | 7/4 14:30～ 全面通行止め |
| 国道144号 | 長野県上田市    | 落石            | 7/4 10:30～ 全面通行止め |
| 国道445号 | 熊本県人吉市    | 家屋傾斜          | 7/5 20:00～ 全面通行止め |

※全線において調査中

図-1 国土交通省災害情報第5報 (令和二年7月6日7:00現在) 一部抜粋

**■その他の道路の被災状況等**

**<都道府県管理道路>**

1) 補助国道  
・被災: 28路線58区間

| 路線名    | 区間名          | 被災状況          | 備考                |
|--------|--------------|---------------|-------------------|
| 国道212号 | 大分県日田市大山町西天山 | 土砂流出          | 7/6 20:40～ 全面通行止め |
| 国道212号 | 大分県日田市天瀬町出口  | 倒木            | 7/8 12:20～ 全面通行止め |
| 国道212号 | 熊本県阿蘇郡小国町下城  | 崩土            | 7/8 2:25～ 全面通行止め  |
| 国道212号 | 熊本県阿蘇郡小国町宮原  | 崩土            | 7/8 2:25～ 全面通行止め  |
| 国道219号 | 熊本県球磨村       | 崩土            | 7/4 2:50～ 全面通行止め  |
| 国道219号 | 熊本県球磨村       | 橋梁流出<br>(鉄筋橋) | 7/4 不明 全面通行止め     |
| 国道268号 | 宮崎県えびの市竜次    | 路面越水          | 7/6 9:00～ 全面通行止め  |
| 国道269号 | 熊本県熊江町城ヶ崎    | 土砂流出          | 7/8 7:00～ 全面通行止め  |
| 国道269号 | 熊本県熊江町野里町    | 崩土            | 7/6 10:15～ 全面通行止め |
| 国道269号 | 熊本県熊江町市原町細山田 | 崩土            | 7/6 9:00～ 全面通行止め  |
| 国道269号 | 熊本県志布志市有明町山家 | 路面損傷          | 7/6 22:00～ 全面通行止め |
| 国道269号 | 熊本県志布志市有明町野方 | 崩土            | 7/6 22:00～ 全面通行止め |

40/53ページ

図-2 国土交通省災害情報第16報 (令和二年7月12日13:00現在) 一部抜粋

図-1には、国道219号宮崎県西米良村の被災が掲載されている。7月6日の7:00現在の情報として被害が報告され、7月4日13:00から当被災地点は通行止めになっていることが分かる。また、当該被災地点の被災状況が、路肩決壊であることもわかる。

次に、図-2に示す第16報(令和二年7月12日13:00時点)では、国道219号の被害地点は熊本県球磨村に2箇所のみ示され、宮崎県西米良村の被害情報が記載されていないことが分かる。このように、一定期間が立つと被害情報の掲載がなくなるため、仮復旧されたものと仮定し、復旧期間を評価した。

図-3に、国土交通省が発表した被害情報第5報から第50報までに記された被災箇所の場所を示す。全部で57箇所である。九州地方北部での豪雨が顕著であり、被災箇所は大分県(18件)、熊本県(16件)の順に多い。

しかし、被災箇所の復旧と後続降雨による被害発生があり、同時に57箇所が被災していた訳ではない。最も

被害が多い時点は、7月14日14時の時点で合計29件であった。

図-4に、被害種類毎の被害情報が消えるまでの期間を示す。最も被害件数が多かったのは、土砂流出であるが、短いものでは1週間以内に復旧するものの、長いものであれば3か月以上の期間を復旧に要している。一方で崩土の3割は1週間以内に復旧している。また、冠水や路肩崩壊は、全て30日以内に復旧している。つまり、局所的な被害と考えられる被災状況の場合、早期復旧が可能であり、実際に復旧が長期化していることは少ない。

このように、復旧に要する期間は被害形態とある程度関係があると思われる。しかし、土砂崩落、崩土、法面崩壊などの被災状況の表現の違いは明確ではない。つまり、被害情報に掲載するときの呼称が統一されていないようにも思われる。このため、被災状況の報告だけで復旧が長期化するかどうかを判断することは難しいと考えられる。



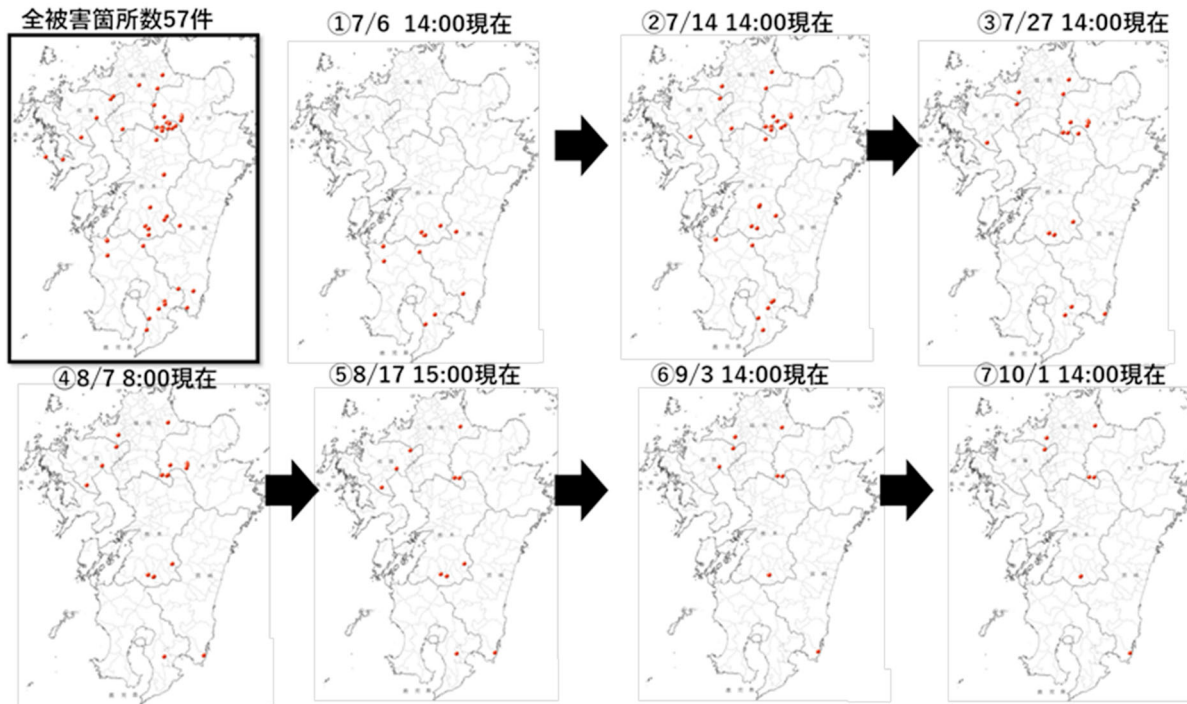


図3 令和二年七月豪雨の被災箇所推移

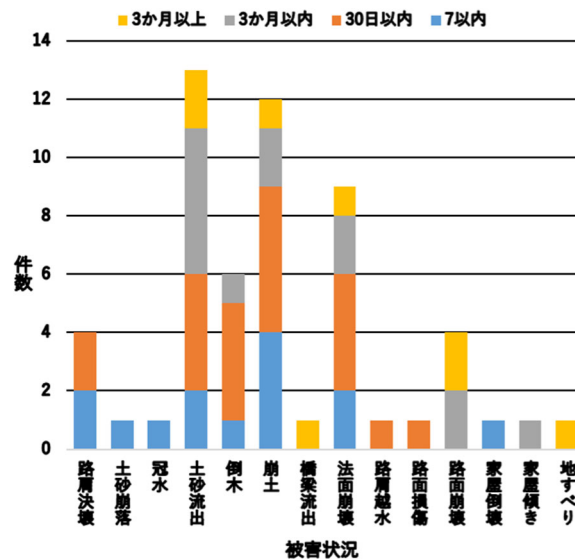


図4 被災報告が災害情報から消えるまでの日数の被災状況ごとのまとめ

### 3. 災害情報と道路通行可否

実際に災害によって通行止めになっている箇所を把握するには、国土交通省の通れるマップが便利である。令和二年七月豪雨では、大分県西部周辺通れるマップと熊本県南部周辺通れるマップが存在し、それぞれ、7月11日から8月28日と7月7日から8月11日が報告された期間である。

そこで本研究では、通れるマップの記載情報と、災害情報の記載を比較した。

まず、図-5に、災害情報の全被災箇所と通れるマップの全通行止め箇所を示す。紫色は全車両が、ピンク色は緊急車両以外が通行不可になった区間である。

通行止めになった区間は大きく16区間存在し、そのうち災害情報で報告された被災箇所と重なると考えられる区間は全部で9区間存在した。なお、残りの7区間が通行止めになった理由は確認できていない。

また、被災箇所が順次復旧されていることと、後続降雨による被害発生による更なる通行止めがあり、これらの区間が全て同時に通行止めになっていた訳ではない。

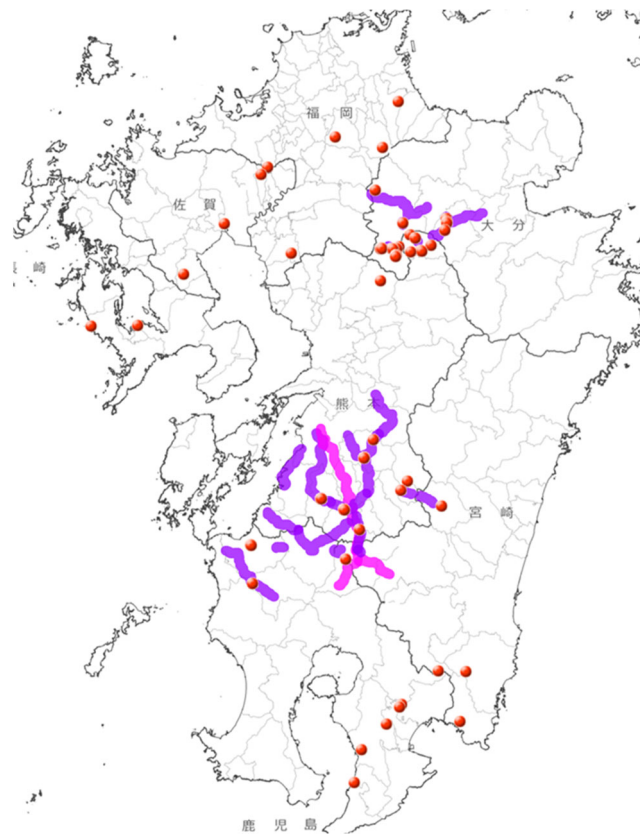


図5 災害情報の全被災箇所と通れるマップの全通行止め箇所の比較

図6に、7月11日から8月28日までの大分県西部周辺通れるマップの全通行止め区間と災害情報の被災箇所の位置を示す。また、表-1には大分県西部周辺の通れるマップと国土交通省の災害情報の比較を示す。7月11日から8月28日までの通行止め区間は大きく以下の5つの区間に分けられる。

図中のA区間は7月11日から7月17日の約6日間通行止めとなった。しかし、この区間には災害情報の被災箇所と考えられる地点はない。

図中のB区間もA区間と同じく、7月11日から7月17日の約6日間通行止めとなった。また、この区間にも災害情報の被災箇所と考えられる地点がない。

図中のC区間は7月11日から8月11日までの約1カ月の通行止めとなった。災害情報で被災箇所と考えられる地点は4箇所である。しかし、国道387号玖珠郡九重町栗野と国道388号玖珠郡九重町引治の2地点は通行止めの前日に、国道388号玖珠郡九重町町田の地点は通行止め開始後の7月20日に掲載が始まっているのに対して、国道387号玖珠郡九重町の地点は通行止めの開始とほぼ同時刻に掲載がはじまっている。このことから、この地点の被災が通行止めの主要因であったと推察される。なお、この地点の被災状況は倒木である。

また、国道387号玖珠郡九重町の地点の被災の掲載が7月20日に終了しているが、同日の国道388号玖珠郡九重町町田地点の法面崩壊の影響でC区間の通行止めが継続したものと考えられる。

図中のD区間は7月11日から通行止めになり、最終更新日の8月28日時点でも通行止めのままだった。この区間に存在する災害情報の被災地点は、土砂流出が生じた1箇所である。なお、8月17日にこの国道212号日田市大山町西大山の地点の被災が掲載終了しており、通れるマップでは続報が出されていないものの、D区間の通行止めもほぼ同時刻に解除されたものと考えられる。

図中のE区間もD区間と同じく、7月11日から通行止めになり、通れるマップの最終更新日の8月28日時点でも通行止めのままであった。この区間には、災害情報の被災地点が国道442号大分県日田市中津江村合瀬に4箇所ある。そして、通行止めの開始とほぼ同じタイミングでこの4箇所の掲載が始まっていることから、これらの4箇所の被災が通行止めの主要因であったと推察される。この4箇所の被災状況は、倒木が1箇所、土砂流出が3箇所である。なお、倒木と土砂流出の1箇所が8月24日に掲載終了しているが、残る2箇所の土砂流出の影響でE区間の通行止めが継続したと考えられる。



図-6 通れるマップ（大分県西部周辺）の全通行止め箇所と災害情報の被災個所の位置

表-1 通れるマップ（大分県西部周辺）の全通行止め箇所と災害情報の被災個所の比較

| 通れるマップの情報 |             |                 | 被害情報            |      |                |                |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------|------|----------------|----------------|
| 区間        | 通行止め (始)    | 通行止め (終)        | 被害情報における被災箇所    | 被災状況 | 掲載 (始)         | 掲載 (終)         |
| A         | 7/11/18:00- | 7/17/18:00      | なし              |      |                |                |
| B         | 7/11/18:00- | 7/17/18:00      | なし              |      |                |                |
| C         | 7/11/18:00- | 8/11/15:00      | 国道387号玖珠郡九重町    | 倒木   | 第14報7/11/15:00 | 第29報7/20/13:30 |
|           |             |                 | 国道388号玖珠郡九重町町田  | 法面崩壊 | 第29報7/20/13:30 | 第47報8/17/15:00 |
|           |             |                 | 国道387号玖珠郡九重町栗野  | 踏肩崩壊 | 第8報7/7/15:00   | 第47報8/17/15:00 |
|           |             |                 | 国道388号玖珠郡九重町引治  | 土砂流出 | 第8報7/7/15:00   | 第47報8/17/15:00 |
| D         | 7/11/18:00- | 最終号(8/28)でも通行止め | 国道212号日田市大山町西大山 | 土砂流出 | 第7報7/7/7:00    | 第47報8/17/15:00 |
|           |             |                 | 大分県日田市中津江村合瀬    | 倒木   | 第13報7/10/7:00  | 第48報8/24/15:00 |
| E         | 7/11/18:00- | 最終号(8/28)でも通行止め | 大分県日田市中津江村合瀬    | 土砂流出 | 第11報7/9/6:30   | 第48報8/24/15:00 |
|           |             |                 | 大分県日田市中津江村合瀬    | 土砂流出 | 第11報7/9/6:30   | 第51報11/2/14:00 |
|           |             |                 | 大分県日田市中津江村合瀬    | 土砂流出 | 第11報7/9/6:30   | 第51報11/2/14:00 |

同様に、図-7に7月7日から8月11日までの熊本県南部周辺の通れるマップの通行止め区間と災害情報の被災箇所の位置を示す。また、表-1には熊本県南部周辺の通れるマップと国土交通省の災害情報の比較を示す。7月11日から8月11日までの通行止め区間は大きく以下の11つの区間に分けられる。

図中の①区間は7月5日から7月13日の約8日間通行止めとなった。しかし、この区間には災害情報の被災箇所と考えられる地点はない。

図中の②区間は7月6日から7月8日までの約2日間の通行止めとなった。この区間で災害情報の被災箇所と考えられる地点は1箇所である。この国道219号球磨郡湯前町の被災は7月6日から掲載されている。このことから、この地点の被災が通行止めの主要因であったと推察される。この地点の被災状況は法面崩壊である。

図中の③区間は7月4日に通行止めになり、7月16日までの約12日間の通行止めとなった。この区間で災害情報の被災箇所と考えられる地点は2箇所である。この国道445号五木村上荒地、国道445号五木村三方谷の両

被災箇所共に、7月7日から掲載が始まっている。このことから、これらの被災が通行止めの主要因であったと推察される。この地点の被災状況は倒木、崩土である。

図中の④区間は7月4日から7月8日までの約4日間の通行止めとなった。この区間に災害情報で被災箇所と考えられる地点はない。

図中の⑤区間は7月4日に通行止めになり、最終更新日の8月11日時点でも通行止めのままであった。この区間で災害情報の被災箇所と考えられる地点は2箇所である。この、国道219号熊本県球磨村、国道445号熊本県人吉市の被災は、共に通行止め後の7月6日に掲載が始まっている。このことから、これらの被災が通行止めの主要因ではあったとは考えにくい。なお、国道445号熊本県人吉市の被災は8月24日に掲載終了した。しかし、国道219号熊本県球磨村の被災は災害情報第52報(令和二年12月3日14:00時点)でも掲載中である。

図中の⑥区間では7月4日から7月18日までの約14日間の通行止めとなった。この区間には災害情報の被災箇所と考えられる地点は1箇所である。この国道3号熊

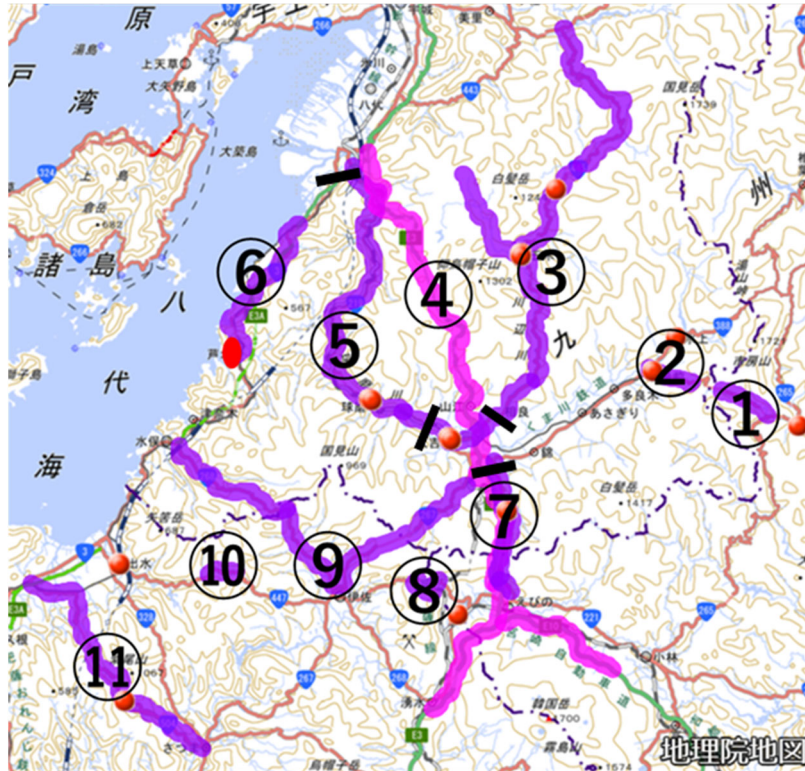


図-7 通れるマップ（熊本県南部周辺）の全通行止め箇所と災害情報の被災箇所の位置

表-1 通れるマップ（熊本県南部周辺）の全通行止め箇所と災害情報の被災箇所の比較

| 通れるマップの情報 |                |                    | 被害情報          |      |              |                   |
|-----------|----------------|--------------------|---------------|------|--------------|-------------------|
| 区間        | 通行止め（始）        | 通行止め（終）            | 被害情報における被災箇所  | 被災状況 | 掲載（始）        | 掲載（終）             |
| ①         | 7/5/13:00      | 7/13/18:00         | なし            |      |              |                   |
| ②         | 7/6/7:00-      | 7/8/18:00          | 国道219号球磨郡湯前町  | 法面崩壊 | 第5報7/6/7:00  | 第14報7/10/14:00    |
| ③         | 7/4/17:00-     | 7/16/18:00         | 国道445号五木村上荒地  | 倒木   | 第8報7/7 15:00 | 第29報7/20/13:30    |
|           | ※一時通行止めの解除があった |                    | 国道445号五木村三方谷  | 崩土   | 第7報7/7/7:00  | 第29報7/20/13:30    |
| ④         | 7/4/17:00      | 7/8/18:00          | なし            |      |              |                   |
| ⑤         | 7/4/17:00      | 最終号(8/11)でも通行止めのまま | 国道219号熊本県球磨村  | 崩土   | 第5報7/6 7:00  | 第52報12/3/14:00掲載中 |
|           |                |                    | 国道445号熊本県人吉市  | 家屋傾き | 第5報7/6 7:00  | 第48報8/24/15:00    |
| ⑥         | 7/4/17:00      | 7/18/16:00         | 国道3号熊本県八代市    | 土砂崩落 | 第5報7/6 7:00  | 第12報7/9/12:00     |
| ⑦         | 7/7/12:00-     | 7/8/18:00          | 国道221号人吉市大畑町  | 土砂流出 | 第7報7/7/7:00  | 第11報7/9/6:30      |
| ⑧         | 7/9/18:00      | 7/10/18:00         | なし            |      |              |                   |
| ⑨         | 7/6/18:00      | 7/10/18:00         | なし            |      |              |                   |
| ⑩         | 7/5/18:00      | 7/18/16:00         | なし            |      |              |                   |
| ⑪         | 7/6/14:00      | 7/7/12:00          | 国道447号鹿児島県出水市 | 崩土   | 第5報7/6 7:00  | 第27報7/18 12:00    |

本県人吉市八代市の被災は通行止めの2日後に掲載が始まっている。このことから、この被災が通行止めの主要因であったと推測される。被災状況は土砂崩落である。

図中の⑦区間は7月7日から7月8日までの約1日の通行止めとなった。この区間で災害情報の被災箇所と考えられる地点は1箇所である。この国道221号人吉市大畑町の被災は通行止め開始とほぼ同時刻に掲載が始まっている。このことから、この被災が通行止めの主要因であったと推測される。被災状況は土砂流出である。

図中の⑧区間は7月9日から7月10日までの約1日の通行止めとなった。この区間に災害情報で被災箇所と考えられる地点はない。

図中の⑨区間は7月6日から7月10日までの約4日間の通行止めとなった。この区間に災害情報の被災箇所と考えられる地点はない。

図中の⑩区間は7月5日から7月18日までの約1日の通行止めとなった。この区間に災害情報の被災箇所と考えられる地点はない。

図中の⑩区間は7月6日から7月7日までの約1日の通行止めとなった。この区間で災害情報の被災箇所と考えられる地点は1箇所である。この国道447号鹿児島県出水市の被災は通行止め開始とほぼ同時刻に掲載が始まっている。このことから、この被災が通行止めの主要因であったと推測される。被災状況は崩土である。

以上をまとめると、通れるマップにおける通行止め期間と、災害情報における被災箇所の情報には多少のずれがあり、災害情報で被災が報告されていないのに通行止めになっている事例が散見される。また、実際の通行止めにつながる被災形態は、倒木、法面崩壊、崩土、土砂崩落、土砂流出である。法面崩壊と崩土、土砂崩落はほぼ同様の被災状況であることがイメージされ、これらの用語の違いは明瞭ではない。

#### 4. 結論と今後の課題

本研究では、令和二年7月豪雨災害時に報道資料として公開されている災害情報を利用し、災害情報で報告される被災状況の情報から、道路の復旧に要する期間の目安を推定することが可能かどうかについて検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 被害形態のうち、崩土は復旧が早く、3割が1週間以内で復旧していた。また、冠水や路肩崩壊は、全て30日以内に復旧した。このことから、局所的な被害と考えられる被災状況の場合、早期復旧が可能であったことがわかる。つまり、復旧に要する期間は被害形態とある程度の関係があると思われる。

2) 国土交通省の発表する「通れるマップ」において、実際の通行止めにつながる被災形態は、倒木、法面崩壊、崩土、土砂崩落、土砂流出であった。しかし、法面崩壊と崩土、土砂崩落などの災害情報における被災状況の記

述の違いは明確ではなく、被害状況の報告だけで復旧が長期化しそうかどうかを判断することは難しいと考えられる。

今後の課題としては、災害復旧期間の予測を速やかに行えるように、災害時の被災報告における被災状況の分類が明確化されることが望ましい。さらに実際の被害事例の詳細と復旧に要した復旧期間を比較していくことが必要である。

謝辞：本研究は、関西大学拠点形成支援経費の助成のもとで実施した研究の一部である。また、土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会復旧性WGの各位より有益なアドバイスを頂いた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、2017.
- 2) 国土交通省九州地方整備局：九州通れるマップ [http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai\\_joho/tecforce/access.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/tecforce/access.html) (2021年1月31日確認)
- 3) 本田技研工業株式会社：ニュースリリース <https://www.honda.co.jp/news/2011/4111109.html> (2021年1月31日確認)
- 4) 国土交通省：道路啓開計画 <https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index4.html#1-2> (2021年1月31日確認)
- 5) 四国道路啓開等協議会：四国広域道路啓開計画 <http://www.skr.mlit.go.jp/road/dourokeikai/pdf1/gaiyouban.pdf> (2021年1月31日確認)
- 6) 国土交通省：令和2年7月豪雨災害について [https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai\\_200704.html](https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_200704.html) (2021年1月31日確認)

## A TRIAL OF RESTORATION PERIOD ASSESSMENT OF DAMAGED ROAD FROM INFORMATION IN DISASTER DAMAGE REPORT

Koji ICHII and Tomoya KADOTA

Early recovery of damaged road is important, and the estimation of the restoration period is beneficial for users to assess when the closed roads can be re-opened. In this study, the disaster damage reports in the 2020 heavy rain series in Kyusyu area were analyzed whether the restoration period can be assessed by the information in the damage report. As the results, it was found out that some type of road damage can be restored in short restoration period. However, the classification of road damage in the report is not clear, and the current style of the description of the road damage in the reports is not helpful to assess the period of restoration works.



# 大規模停電に伴う上水道システムの機能支障に関する事例調査

丸山 喜久<sup>1</sup>・永田 茂<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 正会員 千葉大学教授 大学院工学研究院 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)  
E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 国立研究開発法人防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1)  
E-mail: nagata-shigeru@bosai.go.jp

本稿では、2018年北海道胆振東部地震、2019年房総半島台風(台風15号)の2つの自然災害を対象として、大規模停電が発生した場合の上水道システムの機能支障に関する調査結果を報告する。2018年北海道胆振東部地震に関しては、厚生労働省が公開する断水戸数を時空間的に可視化した。2019年房総半島台風に関しては、厚生労働省による報告に加え、著者らによるヒアリング調査を行い、上水道システムの機能支障の状況を取りまとめた。

**Key Words:** functional damage of water supply system, power outage, 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, 2019 Typhoon Faxai

## 1. はじめに

2018年北海道胆振東部地震や2019年房総半島台風(台風15号)では、電力施設に甚大な被害が発生し、大規模な停電が引き起こされた。停電の影響によって、様々なライフラインシステムの機能支障が発生した。例えば2019年房総半島台風では、停電の長期化の影響は深刻化し、熱中症による死者の発生、断水の長期化、携帯電話や固定電話回線等の通信障害など、停電災害と言える事態に陥った。

そこで、本稿では、2018年北海道胆振東部地震、2019年房総半島台風(台風15号)の2つの自然災害を対象として、大規模停電が発生した場合の上水道システムの機能支障に関する調査結果を報告する。2018年北海道胆振東部地震に関しては、厚生労働省が公開する断水戸数を時空間的に可視化した。2019年房総半島台風に関しては、厚生労働省による報告に加え、著者らによるヒアリング調査を行い、上水道システムの機能支障の状況を取りまとめた。

## 2. 2018年北海道胆振東部地震

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震では、

表-1 北海道胆振東部地震におけるライフラインの被害状況

|        |                               |
|--------|-------------------------------|
| ライフライン | 最大影響数                         |
| 電力     | 約295万戸                        |
| 都市ガス   | 0                             |
| 水道     | 68,249戸                       |
| 通信     | 固定電話 約14万回線<br>携帯電話 約6,500基地局 |

震源に近い厚真町で震度7の揺れが観測されるなど、大きな地震動が観測された。この地震によって、死者42人、重傷者31人の人的被害が発生したり。また、表-1のようなライフラインの被害状況<sup>1)</sup>が報告されている。最大停電戸数は北海道内全域の約295万戸に達し、2日間で99%まで復電、10月4日までに地震に伴う停電はすべて解消した<sup>2)</sup>。一方、都市ガスの供給停止措置はとられなかった。また、北海道内の44市町村において最大68,249戸の断水が発生したが、10月9日までにすべての断水が解消した。通信設備<sup>3)</sup>に関しては、固定電話は約14万回線、携帯電話は約6,500基地局で停波した。

図-1に、QuiQuake<sup>4)</sup>によって推定された北海道胆振東部地震の震度分布を示す。震度5弱以上の揺れに見舞われた地域は、震源付近の限られた範囲に限定される。震源に近い苫東厚真発電所では、1号機、2号機でボイラー内蒸気配管の損傷、4号機のタービンで火災が発生す

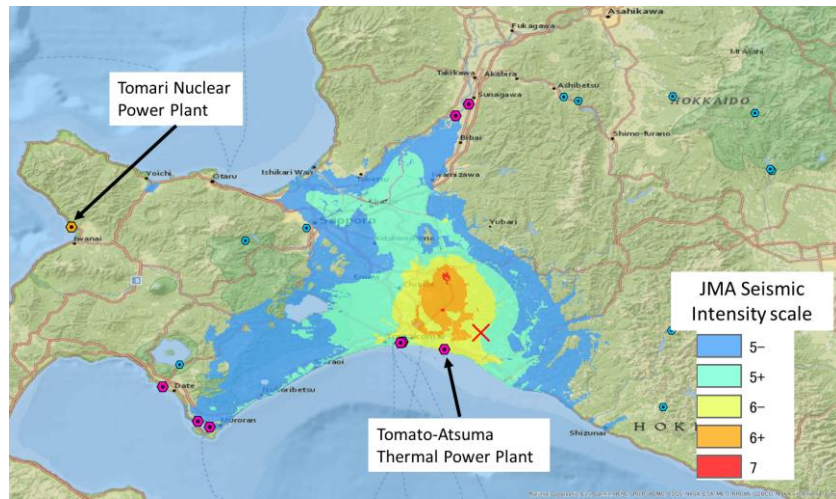


図-1 北海道胆振東部地震における震度分布

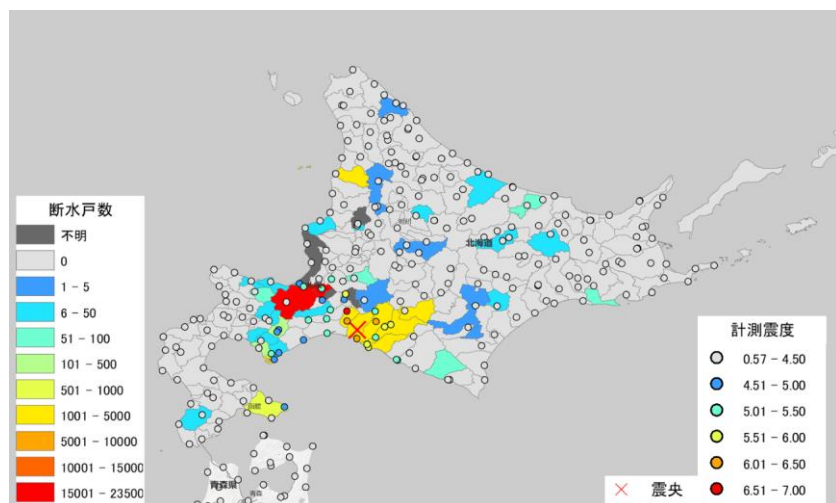


図-2 北海道胆振東部地震における市町村ごとの最大断水戸数

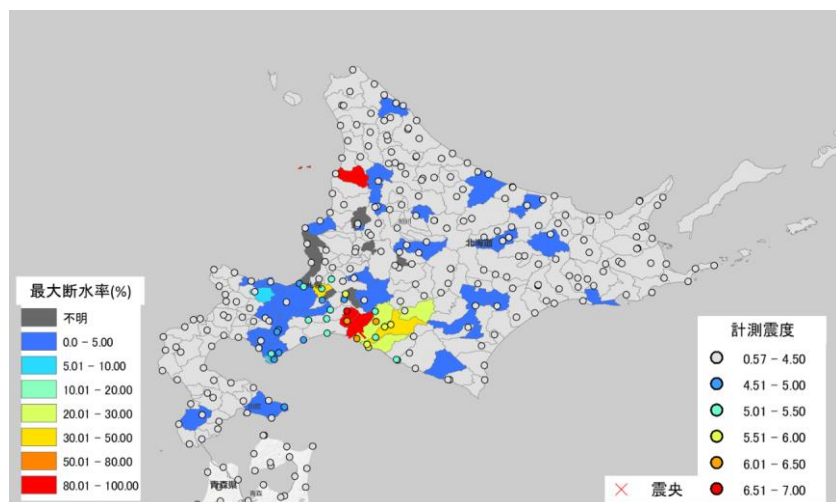


図-3 北海道胆振東部地震における市町村ごとの最大断水率

るなどの被害が発生した<sup>5)</sup>。苫東厚真発電所は道内の電力需要の約半分を供給しており、同発電所の機能停止は道内のブラックアウトにつながった。

図-2に、厚生労働省発表(2018年9月27日時点)<sup>6)</sup>に

基づく市町村ごとの最大断水戸数の分布を示す。断水は江別市で最も多く23,500戸、次いで札幌市の15,991戸で発生している。住民基本台帳の平成29年1月1日時点の市町村別の世帯数<sup>7)</sup>に基づき、最大断水戸数を世帯数で



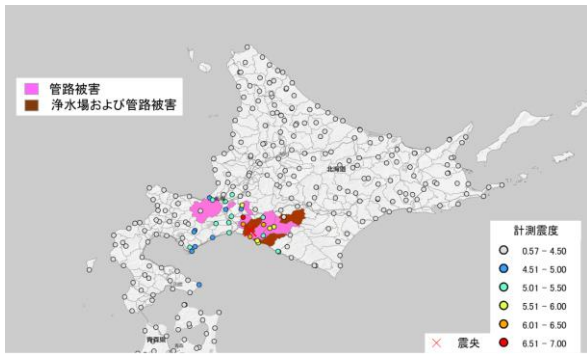


図-4 上水道管路の管路被害および浄水場被害が報告された市町村

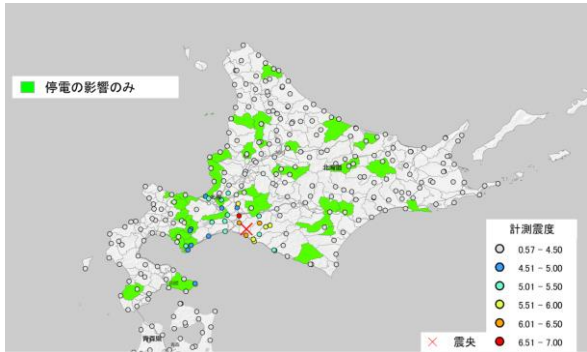


図-5 停電の影響のみで断水が発生した市町村

除して最大断水率を算出すると図-3のようになる。最大断水率は震源に近い厚真町、安平町と羽幌町で高く、80%以上を示している。

厚生労働省発表（9月27日時点）<sup>9)</sup>に基づき、断水が発生した原因に関して整理する。図-4に、管路被害が報告されている市町村の分布を示す。上水道管路の被害は、札幌市、むかわ町、平取町など8市町で報告されている。さらに、そのうち厚真町と日高町では、斜面崩壊等による浄水場施設の被害が報告されている。また、停電による影響だけによって断水が発生したのは35市町村に達した（図-5）。

厚生労働省の発表資料に基づき、北海道胆振東部地震の上水道施設の復旧状況をまとめる。図-6に、停電が原因で断水が発生した市町村の断水戸数と今回の地震による全断水戸数の推移を比較する。全断水戸数（57,138戸）のうち半数以上の31,789戸が、地震後早期に停電の影響で断水している。停電が原因となった断水は地震3日後程度で概ね解消している。

### 3. 2019年房総半島台風

令和元年（2019年）9月5日に南鳥島近海で発生した台風15号（令和元年房総半島台風）は、「非常に強い」勢力を保ったまま9月9日午前3時前に三浦半島を通過

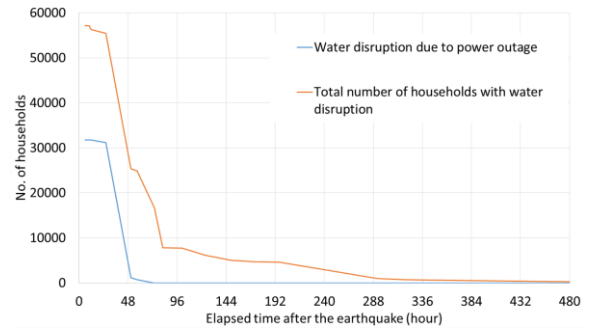


図-6 北海道胆振東部地震における停電による断水戸数と全断水戸数の比較

した。その後、東京湾を北東に進み、9日午前5時前に千葉県千葉市に上陸した。関東地方に「非常に強い」勢力を保ったまま台風が接近するのは極めて稀である。さらに、上陸時の中心気圧は960hPa、千葉市中央区のアメダスが観測した最大風速と最大瞬間風速は、それぞれ35.9m/s、57.4m/sであり<sup>8)</sup>、台風15号は、統計開始以来、最も強い勢力で関東地方に上陸したとみられている。

房総半島台風によってとりわけ大きな被害を受けたのは、現代の社会活動を支えている電力システムである。東京電力管内の1都7県に渡って最大約934,900戸（2019年9月9日7:50時点）で停電が発生した<sup>9)</sup>。9月11日6:30時点で千葉県と神奈川県の一部を除き停電は解消されたが、千葉県では停電が長期化し、9月17日13:00時点で約67,200戸が未だ停電していた<sup>10)</sup>。さらに、停電の長期化の影響は深刻化し、熱中症による死者の発生、断水の長期化、携帯電話や固定電話回線等の通信障害など様々に波及し、停電災害と言える事態に陥った。図-7に、東京電力管内の停電発生状況を示す。2019年9月9日中に発生した初期の停電は、1日後でもあまり復旧が進まず、1週間後でも千葉県内陸部の一部地区で停電が続いていることが分かる。

台風15号の影響で千葉県内では15事業者22市町で断水が発生した。県内の断水戸数は133,474戸に達した。主な内訳は、山武郡市広域水道企業団で約65,000戸、かずさ水道広域連合企業団で約19,000戸、八戸水道企業団で約16,000戸などである（図-8）。断水期間は9月9日から最長で9月25日までの17日間となった。

図-9に、千葉県内の断水戸数と各都県の停電戸数を示す。2019年9月9日13:00時点では千葉県内の停電戸数は約62万戸に達したが、停電は解消され9月22日13:00時点では約3,100戸に減少した。停電戸数の減少に伴い断水戸数も減少し、9月22日12:00時点ではかずさ広域水道企業団で1,500戸、鋸南町で2戸となった。

山武郡市広域水道企業団では、給水区域内のほぼ全戸

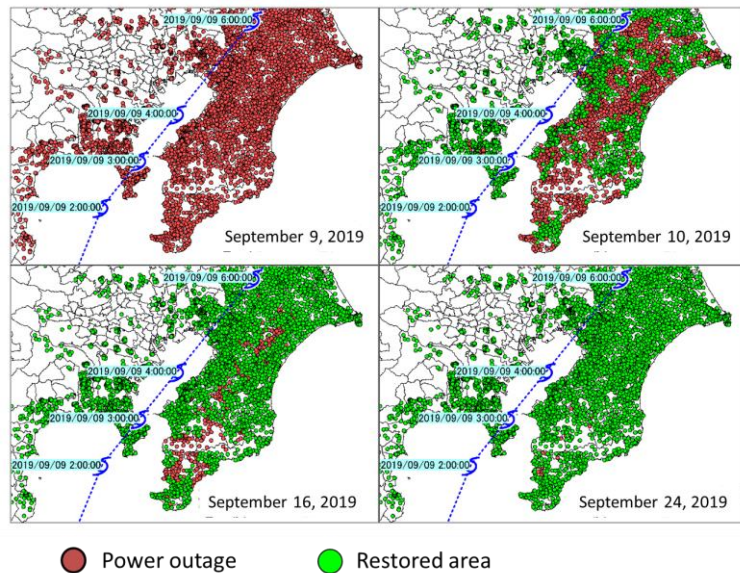


図-7 2019年房総半島台風による東京電力管内の停電状況

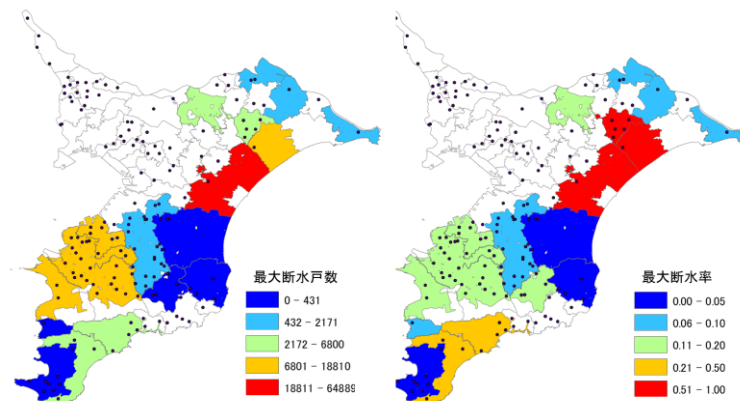


図-8 千葉県内の最大断水戸数と最大断水率

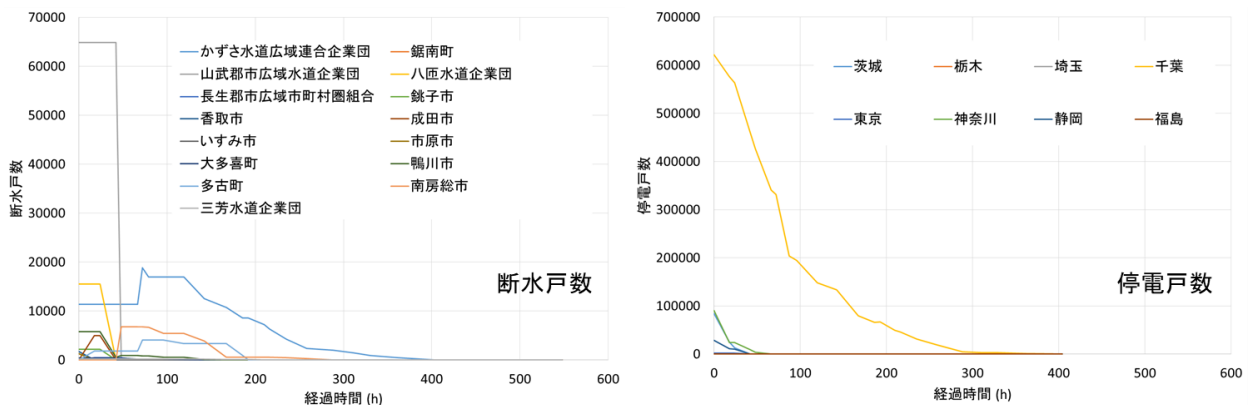


図-9 千葉県内の断水戸数と停電戸数の推移 (経過時間の起点: 2019年9月9日 13:00)

数である約 65,000 戸が 9 月 9 日から 11 日にかけて断水した。この地域の用水供給事業を担う九十九里地域水道企業団で、一部の浄水場が停電の影響で機能停止に陥ったため、給水区域内の全域で断水となった。また、八匠水道企業団でも給水区域内のほぼ全戸数である 15,500 戸が 9 月 9 日から 10 日にかけて断水した。この断水も九十九

里地域水道企業団の用水供給が停止したためである。

木更津市、君津市、富津市、袖ヶ浦市を給水区域とするかずさ水道広域連合企業団では、9 月 9 日から 25 日までの 17 日間断水した。台風上陸後の 9 月 9 日から停電による断水が発生し、9 月 12 日 7:30 時点で約 11,000 戸で断水が続いていた。その後、12 日 13:00 時点で、停電によ

る取水量不足によって配水池の水位が低下し、新たな断水が発生した。その結果、最大約 19,000 戸で断水した。特に君津市で断水の影響が大きく、最大で約 15,000 戸が断水し、最長で 9 月 25 日まで断水が継続した。断水が長期化した原因としては、停電が予想以上に長引いたことに加えて、非常用自家発電設備が設置されていない浄水場等の機能停止や、配水池等の送水ポンプや増圧ポンプ等の機能停止およびその電源確保に時間を要したことなどが挙げられる。

千葉県営水道の給水人口は約 300 万人で県内の全給水人口の約半分 (50.8%) を占める。県営水道は県北西部など 11 市で水道事業を行っている。このうち市原市の福増浄水場は、二回線受電により電源の信頼性は高めていたが、台風 15 号による停電の影響を受けた。約 50 時間停電が続いたものの、非常用自家発電設備が稼働し、浄水機能が失われることはなかった。台風 15 号の際には、県営水道の給水区域で断水は生じなかったが、一部の高層建物では停電の影響で貯水槽以降のポンプ等が停止し、断水となることがあった。今後同様の事態が発生することも考えられるため、停電時に活用できる直結給水栓を住民に充分周知することなどの対策が必要である。

#### 4. まとめ

本稿では、自然災害時に大規模な停電が発生した事例である 2018 年北海道胆振東部地震、2019 年房総半島台風を対象として、上水道システムの機能停止状況、復旧状況を取りまとめた。水供給システムのうち、取水・導水施設、浄水施設、給水施設等の拠点施設では、電力が供給されないと稼働できない施設も存在する。これらの施設では、停電対策として非常用自家発電設備の設置が必要となる。千葉県では、給水に必要な 910 施設のうち 349 施設 (約 38%) に非常用自家発電設備が設置されている (2019 年 9 月時点)。このように、全国的に

も上水道施設の停電対策は進んでいない状況である。

本稿で調査した 2 つの自然災害のように、首都直下地震や南海トラフ巨大地震、近年激甚化する風水害など、大規模な停電を伴う自然災害の危険性は高い。上水道システムの耐震化等のハード対策だけではなく、停電対策を充実させることが、災害時の水の安定供給を実現するのに重要である。

#### 参考文献

- 1) 内閣府：平成 30 年北海道胆振東部地震に係る被害状況等について、[http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin\\_hokkaido/index.html](http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_hokkaido/index.html)
- 2) 電気新聞：北海道胆振東部地震—全域停電からの復帰、<https://www.denkishimbun.com/sp/33180>, 2018.
- 3) 総務省：通信・放送の被害状況、[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000585075.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000585075.pdf)
- 4) 産業総合技術研究所：QuiQuake—地震動マップ即時推定システム—、<https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/>
- 5) 北海道電力株式会社：北海道胆振東部地震に伴う苫東厚真発電所・道東に至る送電線の事故・復旧状況について、[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/denryoku\\_gas/resilience\\_wg/pdf/002\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/002_05_00.pdf)
- 6) 厚生労働省：平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等について、[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/newpage\\_00018.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/newpage_00018.html)
- 7) 北海道総合政策部情報統計局：住民基本台帳人口・世帯数、<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tuk/900brr/index2.htm>
- 8) 気象庁：災害時自然現象報告書、[http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji\\_202002.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_202002.pdf)
- 9) 電気新聞：台風 15 号被害—オール電力で挑んだ停電復旧の軌跡、<https://www.denkishimbun.com/sp/44771>
- 10) 内閣府：令和元年台風第 15 号に係る被害状況等について、<http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon15/index.html>

## REPORT ON FUNCTIONAL DAMAGE TO WATER SUPPLY SYSTEM CAUSED BY EXTENSIVE POWER OUTAGE

Yoshihisa MARUYAMA and Shigeru NAGATA

This study makes a report on functional damage of water supply systems after the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake and that after Typhoon Faxai, the 15th typhoon in 2019. The functional damage of water supply systems during these two events were mainly due to the power outages. In Japan, it is anticipated that extensive power outages may occur after the Tokyo Inland and the Nankai Trough earthquakes in the near future. This study will be helpful to establish a resilient water supply system against future earthquakes.



# 和歌山県における南海トラフ地震の斜面崩壊による孤立性評価

穂積 克樹<sup>1</sup>・酒井 久和<sup>2</sup>・梶谷 義雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>法政大学大学院 デザイン工学研究科 都市環境デザイン工学専攻 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: katsuki.hozumi.4c@stu.hosei.ac.jp

<sup>2</sup>法政大学 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: hisakai@hosei.ac.jp

<sup>3</sup>香川大学 創造工学部 防災・危機管理コース (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: kajitani.yoshio@kagawa-u.ac.jp

地震時に発生する斜面崩壊を未然に防ぐとは、集落の孤立化の抑制に有効である。そこで本研究では、まず斜面崩壊確率を斜面状況を詳細に記録した防災カルテ・安定度調査表、地表面最大速度 (PGV)、勾配データに基づいて求め、道路ごとに途絶確率を算出する。2004年新潟県中越地震後の長岡市の道路の規制状況と比較することにより手法の妥当性の検証を行った。つぎに、将来発生が予測されている南海トラフの巨大地震時における和歌山県の緊急輸送道路に対して本手法を適用し、道路の途絶確率を算出した。さらに、求めた道路ネットワークの途絶確率から孤立性評価を行い、対策すべき箇所について提案、その有効性の検討を行った。

**Key Words:** *Disruption estimation, Nankai trough earthquake, Isolation assessment, Slope failure, Road network*

## 1. 研究背景, 目的

地震時に発生する土砂災害等の災害は、人命にもかかわる重大な被害を引き起こす。特に地震時の孤立化は、救助の遅れや、長期化による生活必需品の不足という命に関わる問題につながる。そのため、中山間地の孤立化の原因となる斜面の対策は喫緊の課題である。しかし、斜面崩壊が予測される全ての斜面に対策を行うことは、国や地方自治体の限られた予算の面から考えても現実的でない。

孤立化を防ぐための研究として小野, 本郷<sup>1)</sup>の研究がある。小野, 本郷らは酒井ら<sup>2)</sup>によって提案された斜面崩壊確率の評価式を用いて、斜面およびPGAベースの孤立性を評価した。しかし、この研究で用いられたPGAは定量的なものであり、実際の地震動における孤立性の評価には至らなかった。

一方、小野, 日比<sup>3)</sup>の研究では、小野, 本郷らの手法を2004年の新潟県中越地震と2016年の熊本地震に適用し、その有用性を示した。しかし、将来起こる地震での予測は行われなかった。

その将来の地震時の孤立性評価予測については、近藤ら<sup>4)</sup>が行なっている。和歌山県を対象とし、東南海・南海地震をはじめとした広域災害における集落の孤立危険度を日数で評価し、集落ごとに必要な支援プログラムの方針を検討するための孤立危険度マップの作成を試みた。道路の途絶が生じる被害箇所の特定には、土砂災害のほか、橋梁・津波の被害が予測される箇所も考慮している。

しかし、斜面崩壊を予測するにあたっては、斜面の安定性に多く寄与している湧水の有無や地表の地盤、岩石の風化などの斜面の条件も考慮する必要がある。

そこで近野ら<sup>5)</sup>の研究では、2014年の長野県神城断層地震において、斜面崩壊被害が多発した長野県北部を対象地域として、法面と自然斜面の崩壊確率の評価式を算出した。近野らはその際、防災カルテを用いて斜面状況の把握やPGVデータを基に、ロジスティック回帰分析を行った。この算出した評価式を長野県の道路網に適用し、孤立性を評価した。しかし、この研究でも別の地域や将来地震での予測には至らなかった。

そこで本研究では、斜面の状況を考慮した孤立性評価

手法の有効性を過去の地震時の被害を基に検討した上で、想定地震時の道路ネットワークの持続性の検討を行う。そして、孤立化の発生を防ぐために優先して対策を行う箇所を選定を試みる。

## 2. 研究方法

### (1) 対象地震

本研究の有効性の検証は 2004 年に起きた新潟県中越地震で行う。また、孤立性評価は今後 30 年以内に 70～80%の確率で起こると予測されている南海トラフ地震時の和歌山県を対象に行う。この地震において、和歌山県では約 2,100 箇所道路が被災するという想定結果も提示されている<sup>9)</sup>。

### (2) 斜面崩壊確率評価式

本研究の斜面崩壊確率評価式は、近野ら<sup>9)</sup>が算出した法面と自然斜面における評価式を用いる。評価式には、法面と自然斜面の状況・変状について記録した防災カルテ・安定度調査表の項目、PGV（地表面最大速度）、勾配の値を代入する。対象道路の防災カルテ・安定度調査表は国土交通省北陸地方整備局・国土交通省近畿地方整備局・新潟県・和歌山県から提供を受けた。そのため、現状の道路斜面の状況を反映した崩壊確率の算出が追加の調査を行うことなく可能である。

本研究で用いた評価式は式(1)、式(2)に示す通りである。

法面崩壊確率

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-z_1)}$$

$$Z_1 = 10.2 + 3.92\beta_3 - 1.99\beta_9 + 0.707\beta_{10} - 1.26\beta_{12} + 0.061\beta_{13} + 0.233\beta_{14} \quad (1)$$

自然斜面崩壊確率

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-z_2)}$$

$$Z_2 = -7.86 + 1.23\beta_3 + 1.27\beta_6 + 2.24\beta_7 + 3.10\beta_9 - 1.11\beta_{10} - 0.933\beta_{12} + 0.024\beta_{13} + 0.157\beta_{14} \quad (2)$$

各説明変数の詳細を以下に示す。

y：崩壊確率

$\beta_3$ ：遷急線明瞭 0. 無し 1. 有り

$\beta_6$ ：オーバーハング 0. 無し 1. 有り

$\beta_7$ ：集水型斜面 0. 無し 1. 有り

$\beta_9$ ：尾根先端など凸型斜面 0. 無し 1. 有り

$\beta_{10}$ ：転石・浮石(0:安定 1:やや不安定 2:不安定)

$\beta_{12}$ ：表面の被覆状況(1:木本主体 2:複合(裸地・草

本・木本) 3:裸地～植生(草本))

$\beta_{13}$ ：勾配( $^\circ$ )

$\beta_{14}$ ：PGV(cm/s)

### (3) PGV

南海トラフ地震の強震動波形データについては、「内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会」が予測した工学的基盤におけるデータを用いている。ただし、南海トラフ巨大地震のモーメントマグニチュードは9クラスの巨大なものであり、過去にこのような大規模の検討をした事例はなかったため、中央防災会議(2003)による方式および、地震調査委員会(2009)の方式を踏まえている。このデータを用いて、工学的基盤における最大速度(以後、PBV: Peak Basement Velocity とよぶ)を算出する。PBVのデータをIDW(逆距離加重補間)により内挿して、J-SHISの表層地盤の地盤増幅率を考慮することでPGVを算出した(図-1参照)。ただし、内閣府の工学基盤での強震動波形データは1kmメッシュ(基準地域メッシュ)であるが、J-SHISの表層地盤の地盤増幅データは250mメッシュ(1/4地域メッシュ)である。そのため、工学基盤面での最大加速度を250mメッシュで内挿する。

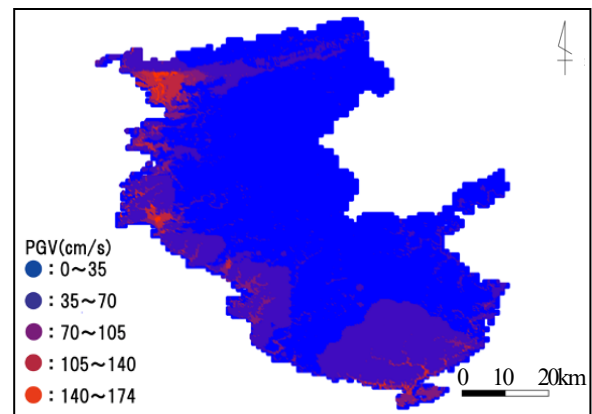


図-1 想定南海トラフ巨大地震のPGV分布

### (4) 勾配

基盤地図情報ダウンロードサービスより得た国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルをもとに、平均最大法を用いて各地点の勾配を算出した。

### (5) 孤立性評価手法

各斜面の崩壊確率をもとに、2地点間の途絶確率を式(3)を用いて求める。ただし、本研究における「途絶」は、「地震による斜面崩壊で道路が通行不能になる状態」を指す。

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1-r_i) \quad (3)$$

ここで、 $P$ ：途絶確率， $r_i$ ：斜面崩壊確率， $n$ ：2 地点沿いの斜面の個数である。

### 3. 孤立性の検討

#### (1) 斜面崩壊確率算出結果

2004年新潟県中越地震時に多くの集落で孤立化の被害が多発した旧山古志村を含む長岡市において、防災カルテ・安定度調査表、PGV、勾配をもとに、式(1) (2)を用いて各地点の斜面崩壊確率を図-2・図-3のように求めた。

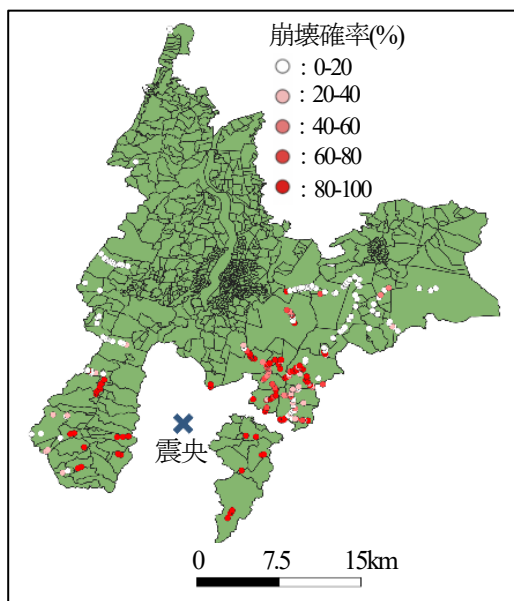


図-2 長岡市法面崩壊確率

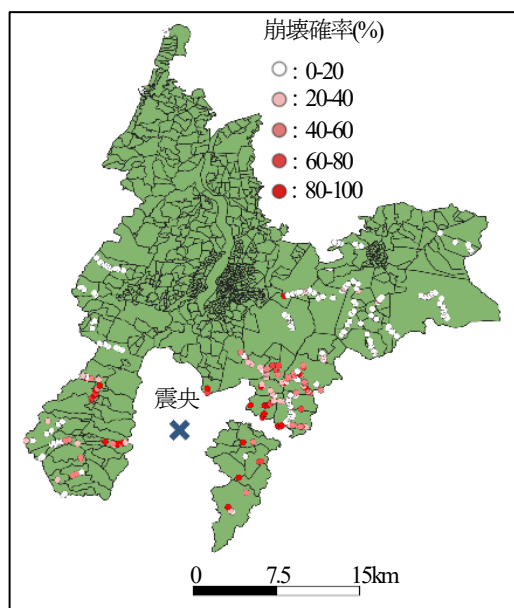


図-3 長岡市自然斜面崩壊確率

#### (2) 有効性検証結果

式(3)より各路線の途絶確率を算出し、手法の有効性の検討を行った。有効性の確認については、ある確率以上で途絶すると判断する、それ以下ならば非途絶と判断する確率の基準であるボーダーを定め、このボーダーの設定による再現度・特異度、的中率を算出することで行う。再現率とは、全ての道路において途絶することを正しく分類できた確率である。特異度は、全ての道路において途絶しないことを正しく分類できた確率である。的中率とは、問題がある箇所・問題がない箇所の両方を含めた全体の正答率を示すものである。的中率が高いほど、より正確に分類できるということである。各値は表-1と式(4)～(6)を使用して計算できる。

途絶確率のボーダーの設定方法については、次の4つの手法についての検討した。①途絶的中率と非途絶的中率の平均が最大になる時の確率、②想定される誤判別が最も少なくなる時の確率(ミニマックス法)、③途絶頻度が上昇し始めた確率60%、④ROC(受信者操作特性)曲線の作成による誤判別時の平均が最少となる確率。ただし、

①は、式(4) (5) および(7)を用いて算出され、再現度と特異度の合計である式(7)が最大値の値を示すときの値をボーダーとした。

②は、式(4) (5) および(8)を用いて算出され、再現度と特異度の誤差である式(8)が最小値の値を示すときの値をボーダーとした。

③は、途絶頻度が上昇した確率をボーダーとした。

④は、真陽性率(TPF)と偽陽性率(FPF)によって作成されたグラフであるROC曲線によってボーダーを算出する手法である。

ここで、TPFは途絶について正しく分類できた確率であり、FPFは誤って非途絶を途絶として分類された確率である。ROC曲線はこれらのプロットにより作成されたグラフで、AUCはROC曲線下の面積であり的中率を示し、1に近いほど精度は高い。本研究では、偽途絶確率と偽非途絶確率の平均値をBERとしたとき、BERが最小になる時の確率をボーダーとして扱う。

各手法の評価結果を表-2に、作成したROC曲線を図-4に示す。

表-1 再現度・特異度・的中率

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
|    |      | 予測   |      |
|    |      | 問題あり | 問題なし |
| 実際 | 問題あり | TP   | FN   |
|    | 問題なし | FP   | TN   |

TP：「問題がある」ことを正しく予測できた個数  
 FN：「問題がない」と予測したが、実際は問題があった個数。

FP：「問題がある」と予測したが、実際は問題がなかった個数。

TN：「問題がない」ことを正しく予測できた個数

$$\text{再現度} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$\text{特異度} = \frac{TN}{FP + TN} \quad (5)$$

$$\text{的中率} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (6)$$

$$\text{The total maximum} = \text{再現度} + \text{特異度} \quad (7)$$

$$\text{The total minimum} = |\text{再現度} - \text{特異度}| \quad (8)$$

表-2 評価結果 (%)

| 手法 | ボーダー | 的中率  | 特異度  | 再現度  |
|----|------|------|------|------|
| ①  | 56.4 | 79.2 | 71.4 | 85.7 |
| ②  | 94.6 | 76.6 | 77.1 | 76.2 |
| ③  | 60.0 | 77.9 | 74.3 | 81.0 |
| ④  | 58.3 | 83.2 | 77.9 | 80.0 |

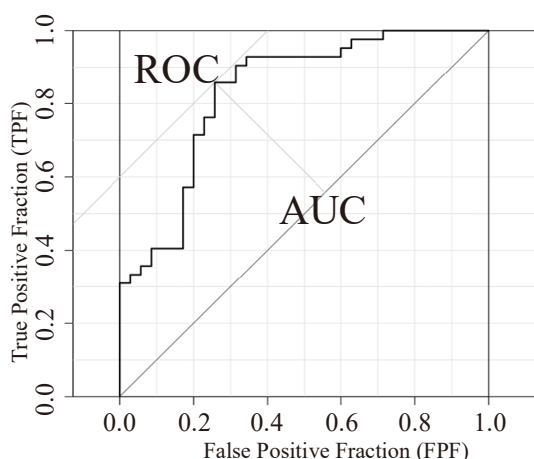


図-4 作成した ROC 曲線

#### 4. 南海トラフ地震時の和歌山県の孤立性の評価

##### (1) 斜面崩壊確率算出結果

和歌山県内の緊急輸送道路について、孤立性の評価を

行う。提供を受けた 1,028 箇所の防災カルテ・安定度調査表の情報、PGV、勾配をもとに、式 (1) (2) を用いて各地点の斜面崩壊確率を算出した。図-5、図-6 に結果を示す。本検証結果では、沿岸部の斜面崩壊確率が非常に高くなることが判明した。これは、図-1 に示したように、和歌山県の沿岸部においては PGV が内陸部に比べて高い値を示していることが原因の 1 つとして考えられる。また、沿岸部の岩盤等が風化の影響を受け凹みを形成し、その凹みが水平方向に拡大すると、斜面崩壊を引き起こしやすいオーバーハングの形成につながる。そういった複数の要因が重なったため、和歌山県沿岸部の斜面崩壊確率は高い値を示していると考えられる。

次に、地域における孤立性について検証した。今回対象となる地点は、災害時に防災拠点の 1 つとして指定されている「田辺市 龍神行政局」と和歌山県が災害時にそなえた「備蓄基地（災害救助物資保管場所）」の 2 地点を結ぶルートを対象に検討を行った。ルートとしては、海側へ回り県道田辺龍神線を通るルートと、内陸側に向かって走る県道龍神中辺路線と国道 311 号線を通る 2 つの経路が考えられる。この際途絶確率のボーダーは、表-2 で最も安全側の①の 56.4% とした（的中率 79.2%）。両ルートのうち斜面崩壊確率の最大値・途絶確率を表-3 に示す。この途絶確率は、ボーダーより高く被災時に途絶する可能性が高い。そこで、経路 1・経路 2 で安定が危惧される点検箇所について、対策工を行なったと仮定する。本検討では、「対策工を行なった」ということは「対策工によって安定度調査表に記載されている問題点が「あり」の状態から「なし」の状態へ変化した」とする。対策後の斜面崩壊確率の最大値と途絶確率を表-3 に併記する。対策後の途絶確率は、いずれの経路もボーダー値 56.4% の 1/2 未満であり、被災時でも途絶する可能性が低いと想定される。また、経路 1 と 2 では、経路 2 の途絶確率が低いことが判明した。

この結果を踏まえ、今回の検証結果では、どちらも対策工を施した場合途絶確率は起きないという結果になったが、仮に予算上の制約がありどちらかしか対策が施せない場合は、経路 2 の斜面へ優先的に対策工を施すことで地震後の道路ネットワークの機能性を確保される可能性が格段に向上すると考える。

表-3 孤立性評価算出結果 (%)

|                    | 経路 1 | 経路 2 |
|--------------------|------|------|
| ①斜面崩壊確率最大値(対策前)    | 65.1 | 51.1 |
| ②途絶確率(対策前)         | 94.6 | 59.0 |
| ③対策した場合の斜面崩壊確率の最大値 | 23.9 | 12.6 |
| ④対策した場合の途絶確率       | 50.3 | 29.6 |



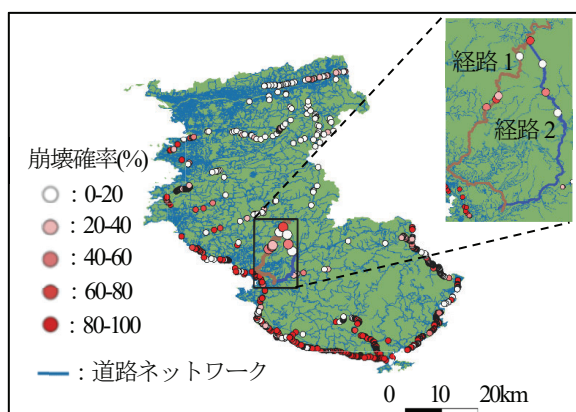


図-5 和歌山県法面崩壊確率分布

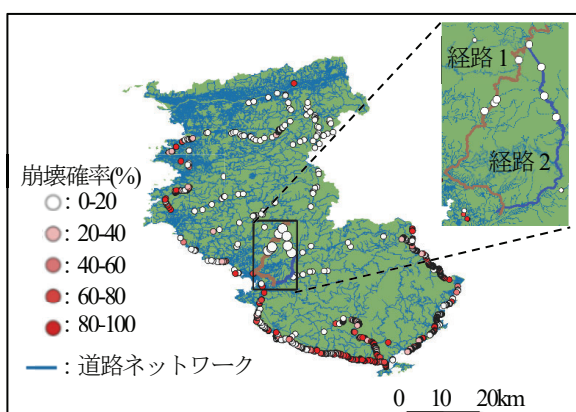


図-6 和歌山県自然斜面崩壊確率分布

## 5. 結論

本研究では、地震時に甚大な被害を及ぼす孤立化を防ぐためにより高い効果が得られる対策箇所を特定するために孤立性評価手法について提案を行った。斜面崩壊確率は近野らによって算出された防災カルテ、安定度調査表、PGV、勾配を用いた評価式を使用した。2004年の新潟県中越地震時の新潟県長岡市において本研究の手法を適用し、斜面崩壊確率と路線の途絶確率を算出して、これらの値からの中率などを求めて有効性の検討を行い、本研究の手法の効果を確認した。

また、途絶確率の正確度とボーダーを示した上で、南海トラフ地震時の和歌山県における斜面崩壊確率と途絶確率を計算した。この予測は、想定地震後の地域の孤立性を評価する上で役立つと考える。さらに、一例としてある地点を結ぶ2つのルートについて孤立性評価を行い、より途絶確率を減らせるルートを特定し、優先的に斜面対策を行うべき箇所を示した。これにより、本研究で提案した手法の有用性を示し、地震時の復旧性を評価した。

しかし近年の日本では、台風時の地盤が緩んだ状態で地震が発生し斜面崩壊が起こる複合災害なども問題視されている。本研究では道路防災点検時の斜面の状況を考慮しているが、今後より復旧性を正確に評価するには危機管理の観点から、事前、事後の降雨状況などを考慮し

た途絶確率を求める必要がある。

また本研究では、対象路線を緊急輸送道路のみに絞った研究を行なったが、地震後の道路ネットワークの機能性を評価するためには、全道路を対象とした検討を行うことでより経済的な地震対策が可能になると考えられる。

**謝辞：**この論文を作成するにあたり、多くの方々のご協力いただいた。

鳥取大学 工学部 社会システム土木系学科 小野祐輔教授には道路ネットワークデータの取得方法や斜面崩壊確率を算出するプログラムの作成方法について、ご多忙のところ丁寧にご指導して頂いた。

国土交通省近畿地方整備局 道路部 道路情報管理官 河合良治氏には、和歌山県の道路防災点検データの提供について助言を頂いた。

和歌山県 県土整備部 道路保全課 予防保全班 主任 鈴木康之氏、国土交通省近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 保全対策官 井口善史氏、国土交通省近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 道路管理第二課 保全対策官 中嶋康之氏、和歌山県 総務部総務管理局 総務課 情報公開班 主事 渡瀬邦紀氏には、和歌山県の道路防災点検データの提供を頂いた。

内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会様には南海トラフ巨大地震の工学的基盤における強震動波形データの提供を頂いた。

また、法政大学大学院に所属されていた近野玲央氏と西田佳佑氏には研究方法について多くの有益なアドバイスをいただいた。

この研究は本研究の一部は科学研究費補助金 JP20K05052 を使用した。各位に記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 小野祐輔・本郷峻介：地震時の斜面崩壊確率に基づく中山間地の孤立可能性の定量化の試み，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.74, No.4（地震工学論文集第37巻），I\_313-I\_319, 2018.
- 2) 酒井久和・奥村誠・塩飽拓司・香川敬生・長谷川浩一・澤田純男・多々納裕一：地震時における斜面の簡易信頼性評価法に関する基礎的研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 69, No. 4（地震工学論文集第32巻），I\_142-I\_147, 2013.
- 3) 小野祐輔・日比慧慎：地震時斜面崩壊による道路閉塞を考慮した中山間地の孤立リスク評価：2004年新潟県中越地震と2016年熊本地震への適用，日本地震工学会論文集，Vol. 19, No. 6, p.6\_232-6\_243
- 4) 近藤伸也・照本清峰・太田和良・片家康裕・高尾秀樹・河田恵昭：道路閉塞に着目した広域災害における集落の孤立危険度マップの検討，生産研究，62巻4号，p. 417-419, 2010.
- 5) 近野玲央・酒井久和・梶谷義雄：防災カルテを用いた長野県北部地域における斜面の信頼性評価と孤立

地域の予測, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.72, I\_106, 2017.

- 6) 和歌山県危機管理監 和歌哲也: 和歌山県の地震・津波対策について～地震・津波による犠牲者をゼロに～, 平成 29 年 1 月 31 日, [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio\\_wg/pdf/h290131shiryo2-3.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/pdf/h290131shiryo2-3.pdf)(最終閲覧 2020.1)
- 7) 内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 南海

トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) 強震断層モデル編ー強震断層モデルと震度分布についてー, 平成 24 年 8 月 29 日, [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829\\_2nd\\_report05.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_2nd_report05.pdf) (最終閲覧 2020.1)

## Risk assessment of landslide disaster for detecting isolated communities in Wakayama prefecture after Nankai Trough earthquake

Katsuki HOZUMI, Hisakazu SAKAI and Yoshio KAJITANI

Isolated communities after earthquakes face severe problems, such as rescue delays and a lack of daily necessities due to prolonged times required for these to reach isolated areas. It is crucial, especially in mountainous regions, to take countermeasures for slopes that would cause an isolation problem with high probability. Therefore, we proposed an estimation methodology for detecting the isolated communities in mountain region using the slope failure probabilities during earthquakes. In this process, the slope failure probability was calculated using disaster prevention Karte and stability survey tables recorded by every road administration in Japan as well as the peak ground velocity and slope angles. Subsequently, the interruption probability for each road was estimated according to the calculated slope failures. The validity of the proposed method was verified by comparing it with road regulations that came into effect after the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake. The proposed method was applied to the emergency route in Wakayama prefecture during a Nankai trough mega scenario earthquake, and the road interruption probability was subsequently calculated. Furthermore, we showed a case study of detecting slopes that should be taken countermeasures with priority among the fragile slopes along two major routes and demonstrated the effectiveness of the proposed methodology.

## 3. 活動記録

## 耐震基準小委員会 第1回復旧性WG 議事録

日時：2017年9月29日 13:00～15:00

場所：法政大学 市谷田町校舎会議室4

出席：酒井久和，一井康二，片岡正次郎，梶田幸秀，栗林健太郎，後藤和満，中村洋丈，  
橋本隆雄，本田利器（オブザーバー）

欠席：秦吉弥，丸山喜久（敬称略）

資料：

1-0 議事次第

1-1 地震工学委員会「耐震基準小委員会」の委員公募のお知らせ

1-2 耐震基準小委員会 委員名簿

1-3 地震災害時を想定した既設盛土の簡易耐震性評価の提案

1-4 リスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計に関する合同研究小委員会  
土構造物・斜面WG 報告書

1-5 山梨県被害想定

1-6 震災復旧工事・関連法（申請書類・基準等）の属地性分類

内容：

1. 趣旨説明（酒井：資料1-1）

2. 自己紹介（資料1-2）

3. 話題提供

①中村委員（資料1-3）：

地震災害時を想定した既設盛土の簡易耐震性評価の提案

②一井幹事，酒井主査：

リスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計に関する合同研究小委員会  
土構造物・斜面WG 成果報告（資料1-4）

③後藤委員：震災復旧工事に関する法律について（資料1-5）

4. 活動計画

・中村委員提案の許容変位量設定例

①過去の地震被害と復旧時間

②復旧の目標事案とそれに要する資材・人員（復旧シナリオ）

③緊急車両の物理的な通行の可否

について，特に緊急輸送道路の②に着目したデータが不足，蓄積が必要．

——>自治体への危機耐性の観点からのソフト的対策の推奨．

・交通規制解除期間の目安となる資料の蓄積，公開が重要．

- 2次災害防止するためには復旧に長期間を要する大規模被害の発生個所の検出，被害を抑制することが不可欠.
- Code for writer への方法論，目安値，資料の提示を目的とする.
- WG は年 3 回程度. 2017 年度は 2 回開催予定. 再度日程調整を行う.

#### 5. その他

特になし.

## 耐震基準小委員会 第2回復旧性 WG 議事録

日時：2018年5月21日 15:00～17:00

場所：関西大学東京センター教室2

出席（敬称略）：酒井久和，一井康二，丸山喜久，栗林健太郎，後藤和満，日下寛彦（中村委員代理），橋本隆雄，野本篤史（法政大学・オブザーバー），柁丹人（同・オブザーバー）

欠席（敬称略）：片岡正次郎，梶田幸秀

資料：

2-0 議事次第

2-1 耐震基準小委員会 第1回復旧性 WG 議事録（案）

2-2 復旧性と ISO の見直しの可能性（一井話題提供資料）

2-3 Conformity with provisional sentences in ISO23469（一井話題提供資料）

2-4 近畿地方における災害協定について（柁氏話題提供資料）

2-5 道路の被害及び復旧（盛土）（野本氏話題提供資料）

内容：

### 1. 議事録確認（酒井：資料 2-1）

code for writer の表記を code writer に修正のうえ，議事録案は承認された。

### 2. 話題提供

#### ①一井幹事

復旧性と ISO23469 の update について（資料 1-2,1-3）

- ・ISO23469 の活動にも，復旧性 WG の成果が反映していけるとよい

#### ②柁氏

近畿地方における災害協定についてのヒアリング結果（資料 1-4）

- ・自衛隊の道路啓開は，人命救助ならやるが復旧は国交省だから担当外ということでは
- ・応急橋（全国で 100 程度）や舗装の修繕資材などのストックの観点も重要
- ・ストックについては，劣化もあるので，利用しながらの備蓄などの方法もある。（燃料等）

#### ③野本氏

道路の被害及び復旧（盛土）の事例の取りまとめ結果（資料 1-5）

- ・地形など被災原因も踏まえたパターン分類をしていくと，必要復旧期間も見えてくる。
- ・前兆にも基づく事前の対策も，復旧を迅速化できるという意味で復旧性では
- ・実際の復旧作業ではマンパワーや資材の有無もかかわるので今後の検討課題

### 3. フリーディスカッション

- 本 WG でめざすものは設計基準に組み入れることのできるような情報の提供。
- 例えば、「すみやかに」と基準にあっても、どの程度の期間なのかとか、どのように照査すべきなのかが明確ではない。
- 委員会で、話を聞きたいという人がいれば、多少の予算はあるので調整は可能。
- 3～4年の活動で、2020年ごろに報告書がまとまるイメージ。
- WG は年 3 回程度。次回は 9 月ごろ、7 月ごろに再度日程調整を行う。
- 次回の話題提供は後藤委員、橋本委員の両名。

以上

## 耐震基準小委員会 第3回復旧性WG 議事録

日時：2018年9月7日 13:30～15:30

場所：関西大学東京センター教室2

出席（敬称略）：酒井久和，一井康二，丸山喜久，栗林健太郎，後藤和満，中村洋丈，橋本隆雄，片岡正次郎，野本篤史（法政大学・オブザーバー），柁丹人（同・オブザーバー），原子千尋（法政大学・オブザーバー）

欠席（敬称略）：梶田幸秀

資料：

3-0 議事次第

3-1 耐震基準小委員会 第2回復旧性WG 議事録（案）

3-2 2007年能登半島地震による能登有料道路の大規模盛土斜面崩壊原因の分析  
（橋本委員話題提供資料）

3-3 国土復興インフラのデザイン力（後藤委員話題提供資料）

内容：

### 1. 議事録確認（資料3-1）

議事録案は承認された。

### 2. 話題提供：橋本委員

2007年能登半島地震による能登有料道路の大規模盛土斜面崩壊原因の分析（資料3-1）

- ・第2回の野本さんの話題提供で、「地形などの被災原因も踏まえたパターン分類をしているとよい」という点についての事例の紹介
- ・被災事例は谷埋め盛土，腹付け盛土，複合盛土のそれぞれにうまく分類された。
- ・タイプに応じて，背後の水の処理の大変さなどが異なり，復旧期間に影響
- ・タイプ分類だけではなく，被害の幅や盛土高さなど，土量の影響もある。
- ・復旧工法のパターン化をしておく，復旧は早くなる。
- ・盛土を盛土として復旧するだけでなく，構造対応などのよりよい復旧もあるのではないかと。原形復旧だと，結局また同じように壊れるのではないかと。
- ・全国防災協会の出している復旧図面集などに基づいて復旧費用をはじくため，原形復旧になりがち。
- ・改良復旧も選択肢にはあるが，原形復旧より補助率が悪くなることも原形復旧が多くなる要因の一つ。
- ・復旧断面の設計は，地場のコンサルタント会社などが災害協定に加わっていて担当する。



### 3. 話題提供：後藤委員

#### 国土復興インフラのデザイン力

- ・農水の担当と、国交省の担当で、いろいろと異なる。
- ・組織の境目，土工と橋梁などの構造形式の境目，いろいろな境目に被害が発生する。
- ・緊急輸送路の在り方について，現状どれくらいで復旧できるかなどの試算が必要
- ・首都直下地震については被害や復旧期間を想定した結果が公表されているはず。
- ・そういった想定がどの程度ただしいか？被害で想定されていないものがないのかを検討することが重要かもしれない。
- ・どこが壊れたか，投入できる労働力がどの程度かなどの要素も重要。
- ・どこが通せるかの判断に1日を要しているなら，その部分を短くできる余地はある。
- ・この委員会では，いろいろな復旧事例の復旧期間などのデータをとりあえず集める。

### 4. その他

- ・次回は，2月中旬から3月中旬。本委員会は年3回を予定。
- ・次回の話題提供は法政大学の学生さんの卒業論文など
- ・当面は研究が進んだ人から，どんどん話題提供し，意見交換を行う。

以上

## 耐震基準小委員会 第4回復旧性WG 議事録

日時：2019年3月6日 14:30～17:30

場所：関西大学東京センター教室2

出席（敬称略）：酒井久和，一井康二，橋本隆雄，梶田幸秀，片岡正次郎，野本篤史（法政大学・オブザーバー），柁丹人（同・オブザーバー）

欠席（敬称略）：丸山喜久，栗林健太郎，後藤和満，中村洋丈

資料：

4-0 議事次第

4-1 耐震基準小委員会 第3回復旧性WG 議事録（案）

4-2 防災カルテと空間情報データベースを用いた斜面の地震時信頼性評価手法

内容：

### 1. 議事録確認（資料4-1）

議事録案は承認された。

### 2. 話題提供：柁氏

防災カルテと空間情報データベースを用いた斜面の地震時信頼性評価手法（資料4-2）

- ・新潟県中越地震，新潟県中越沖地震の事例について，防災カルテの情報や地震動の推定結果，降水量データ，地質図などをもとに，斜面崩壊の有無の評価法を共分散構造分析により検討した。
- ・潜在変数の個数を，地震動要因・地形要因・表土要因・地質要因・過去要因の5つとしたケースが最も適合度がよいが，潜在変数の個数を6個にしても7個にしてもあまり違いはない。
- ・崩壊の有無だけでなく，崩壊にもいくつかのモードがあるはずなので，そこを分けて分析したほうがうまくいくのかもしれない。
- ・説明変数が数多いので，変数を絞り込んだほうがうまくいくのかもしれない。
- ・相関係数を検討する際に，連続変数でない地質年代や岩石区分をどのように考えるかは，少し整理が必要かもしれない。
- ・災害後は自治体も大変なので，なかなか防災カルテのデータがもらえない。事前にもらっておくことが有効だが，これもなかなか大変。
- ・修士研究として継続・発展される予定なので，この後の進展が楽しみ。

### 3. 話題提供：片岡委員

道路インフラの災害復旧

- ・東日本大震災の後の櫛の刃作戦や熊本地震の後の復旧の状況の紹介。これらの情報は復旧事例として、復旧性の評価に役立つ。
- ・災害時の道路啓開については、櫛の刃作戦のような計画が、首都圏の8方面からのアプローチなど、各地で検討されている。このとき、状況に応じて高速道路を用いたシナリオや、直轄国道を用いたシナリオなど、いくつか検討されている。
- ・想定を超えた地震動や津波が作用した際に、どの程度の損傷にとどめるかといった、損傷の制御の検討も実施されている。ただ、設計に明示的に導入されているわけではない。津波や断層、大規模な斜面崩壊などの影響を受ける地点での建設は避けるのが基本だが、やむを得ない場合の工夫の一つとしてあり得る、というような考え方であろう。
- ・阿蘇大橋（断層による被害と思われる例）や高知の大規模斜面崩壊による被災、関空連絡橋への船の衝突など、想定していなかった外力による被災が目立つ。従来の設計の考え方で外力が増加した場合を想定しておくことが有効かどうかは疑問。
- ・実際の復旧期間は災害の状況により異なるので、明確に記されているわけではない。例えば、国交省のBCPでは、優先警戒ルートの確保が72時間程度となっていて、一つの目安となるが、これも被害程度次第。例えば、大阪北部地震では被災当日の午後には高速道路が利用可能となったが、地震の規模と比べて遅すぎるという批判もあった。
- ・どこかに明示されているわけではないが、緊急車両だけは災害時でも72時間以内に通したいというあたりが目安だろう。

#### 4. その他

- ・本委員会は年3回を予定。2019年度は、6月ごろ、9月ごろ、3月ごろを予定。
- ・2019年度9月ごろの委員会は酒井WG長が海外滞在中のため、Skypeで実施。
- ・2020年度末ごろに報告書として取りまとめることを目指す。
- ・報告書でまとめる内容は、道路をメインに、復旧に要する時間の目安と、復旧に要する時間を短くするために留意すべき点のまとめなど。例えば、①過去の事例で、どのくらいの地震だとどれくらい復旧に時間を要するか（櫛の刃作戦や大阪北部地震の事例など）、②現在の被災想定で、どのくらいの地震だとどれくらい復旧に時間を要すると想定しているか。避難シミュレーションなどの論文でも、いろいろな想定がありえるので、論文を調べて比較することが有効。③実際の復旧作業に必要な作業員等の供給が可能かどうかといったBCPの検討例、④復旧時間を短くするための損傷制御などの提案と展望、といった内容が考えられる。
- ・報告書の内容については、目次のイメージ案を次回に示し、それぞれの委員からどのような内容が考えられるかといった意見をもらう形で、早めに進めていく。

以上

## 耐震基準小委員会 第5回復旧性 WG 議事録

日時：2019年6月13日 13:00～15:00

場所：関西大学東京センター教室 2

出席（敬称略）：片岡正次郎，梶田幸秀，丸山喜久，後藤和満，栗林健太郎、酒井久和，野本篤史（法政大学生・オブザーバー），榎丹人（法政大学生・オブザーバー），伊東耕生（法政大学生・オブザーバー）、穂積克樹（法政大学生・オブザーバー）、興水裕介、佐々木英人（法政大学生・オブザーバー）、一井康二

欠席（敬称略）：橋本隆雄，中村洋丈

資料：

5-0 議事次第

5-1 耐震基準小委員会 第4回復旧性 WG 議事録（案）

5-2 関空連絡橋の復旧情報および道路復旧検討事例など（片岡委員提供資料）

5-3 衛星画像を用いた斜面崩壊個所の推定（榎さん話題提供資料）

5-4 道路盛土の復旧性（野本さん話題提供資料）

内容：

### 1. 議事録確認（資料 4-1）

議事録案は承認された。

### 2. 話題提供：榎氏

衛星画像を用いた斜面崩壊個所の推定（資料 5-2）

- ・斜面崩壊の事例をもとにした分析を行うための東日本大震災時の災害事例の抽出が目的。10m から 15m ぐらいの幅以上の斜面災害を見つけるイメージ。
- ・結果が少し変なのは雲の影響が出ているのかもしれない。モノクロ画像とかと合わせて高解像度の情報を得る方法など、丸山委員の協力を得て今後さらに検討していく。
- ・ため池の普及などがきちんとできているかどうかの検討など、検討対象地点の数が非常に多い場合に、いろいろな使い道があるかもしれない。今後、斜面の位置情報を用いてカルテ情報との照合をしていくなどの発展が期待できる。
- ・修士研究として本 WG の報告書取りまとめ時期にちょうど結果が間に合うと考えられ、楽しみ。ぜひ、WG の報告書に反映していきたい。
- ・被害データがえられれば、被害確率の推定式につながり、予測被害地点の復旧土量の算定をもとに復旧性の評価に反映できる。

### 3. 話題提供：野本氏

震災対応のヒアリング結果と数量化理論Ⅰ類による復旧期間予測

- ・分布を正規分布に修正して予測精度を上げる Box-Cox 変換について、正規分布にするのは目的変数なのか説明変数なのか、それとも両方なのかについて議論があった。今後、統計の専門家の意見をききながら修正していく予定である。
- ・復旧期間 18 日というデータについて質疑があり、27 日の規制期間を複数の被害範囲の割合で算出したもの、ということである。なお、27 日もの規制期間を必要としたのは、土砂量が多かったからである。
- ・実際の復旧は、マンパワーをかけるべき重要区間かどうかなどで変わってくるため、対象となるデータをきめ細かく選び、復旧期間の最大値なのか、頑張って復旧した場合の平均値なのか、予測対象を明確することが望ましい。
- ・ヒアリングにおいて不足がちな物資は大型揚水ポンプ、土のう、ガードマンなどである。しかし、ここでいう「ガードマン」の定義は曖昧で、交通整理要因が確保できず安全管理が常時よりは不十分なまま復旧作業を実際には行っているという意味の可能性が高い。

### 4. 話題提供：片岡委員

道路インフラの災害復旧について、前回の話題提供の補足資料の紹介

- ・実際の復旧期間を、復旧能力の算定結果などをもとにして議論した数少ない例である。ど
- ・どのくらいまで実態を反映しているのかどうかについては確認できておらず、このために震災対策便覧などで引用されているわけではない。しかし、このくらいしか参考になる資料は現時点では存在しない。
- ・資料を次回までに詳しく読み、実態を反映しているかどうかわからない点などを具体的に委員で議論して、今後の検討課題の抽出につなげてはどうか。
- ・資料を読むだけではなく、四国地方整備局の方の検討事例なので、土木学会全国大会（高松）の際に講演いただいたり、WG でヒアリングを行ってはどうか。

### 4. その他

- ・本委員会は年 3 回を予定。2019 年度は、6 月ごろ、9 月ごろ、3 月ごろを予定。
- ・2019 年度 9 月ごろの委員会は酒井 WG 長が海外滞在中のため、Skype で実施。また、土木学会の際にヒアリングを可能であれば実施する。そして、復旧能力や復旧期間の算定における疑問点などの共有を図る。
- ・次回の話題提供は、補強土壁の普及に関するメーカーヒアリング結果（栗林委員）など
- ・2020 年度末ごろに報告書として取りまとめることを目指す。
- ・報告書でまとめる内容には、復旧期間の回帰式や斜面の被災予測と土量推定なども含める。また、橋については、（構造物と土工の境界領域として生じる）段差の被害ぐらゐしか応急復旧時には対応できないの。供用可否の判断マニュアルはあるらしいので、その

あたりの事例や運用面の課題、可能なら応急橋の事例（あるいは応急橋がうまく適用できない原因）などを整理できるとよい。

- ・震災対策便覧に提供できるような図の一枚でも **WG** として提案できると素晴らしい。

以上

## 耐震基準小委員会 第6回復旧性WG 議事録

日時：2020年9月2日 10:00～12:00

場所：Web会議（Zoom）

出席（敬称略）：片岡正次郎，日下寛彦，丸山喜久，栗林健太郎、酒井久和，鈴木達明（法政大学生・オブザーバー），柁丹人（法政大学生・オブザーバー），穂積克樹（法政大学生・オブザーバー）、町田祐太（法政大学生・オブザーバー）、一井康二

欠席（敬称略）：橋本隆雄，後藤和満，梶田幸秀

資料：

6-0 議事次第

6-1 耐震基準小委員会 第5回復旧性WG 議事録（案）

内容：

### 1. 議事録確認（資料6-1）

若干の誤字修正の後，議事録案は承認された。

### 2. 話題提供：栗林委員

補強土壁の補修復旧工事に関して

- ・補強土壁工法についての，メーカーへのヒアリング結果の紹介
- ・基礎地盤が動いて被害を受けた事例のほか，壁面の隙間など.
- ・アダムウォール工法は，復旧しやすい工法ということになる．優劣の比較は委員会ではやりにくいですが，いい事例の紹介はできそう．ただし，実名を出せるかどうかは検討が必要.
- ・復旧事例において，前面の作業空間はどれくらい必要なのだろうか．通行規制がどの程度必要なのかについて影響しそう.
- ・被害事例の地震動の強さはどれくらいだろうか．基礎地盤から被害を受けたということを除くと，耐震性が高い感じがする．ただ，費用面は通常に比べて安いのだろうか.
- ・補強土壁については，高く盛りすぎてるところが多いという意見が多い感じ.
- ・地震に対しては結局，性能がどれくらいなの？という感じで疑問を提示されることが多い印象がある.
- ・常時でも変形が多少は発生し，高く盛土した場合の変形が大きいことから避けられる印象もある.
- ・カーブしている部分が本当に大丈夫か？という疑問も工法の採用に当たっては出るらしい.
- ・補強土工法は，復旧性がよくないイメージもある．特に大きなものを施工しがちになるた

め、規模が大きくなると、なんかあった時に直しづらいという悪いイメージ。

- ・設計では計算上、高くなっても大丈夫となるが、復旧性を考慮して、10mとかにおさえることが多いという印象。このあたり、復旧性の観点からは、路肩とかの条件で、高さの指針が出せるとWGの検討としてはいいかもしれない。

### 3. 話題提供：日下委員

震災時の高速道路盛土における一次復旧作業の整理分析

- ・土木学会の全国大会での発表資料の紹介
- ・本WGでもこのような検討ができるといい。
- ・1パーティーあたり、10~15人での復旧作業となるが、ここに、トラック1~2台、ローラー1台となるイメージ。ただし、均す作業なのでユンボは不要。作業員がスコップで実施している。
- ・復旧作業に用いるローラーへの燃料供給の手順は不明
- ・緊急車両の通行確保をターゲットにした場合の検討は、単に土のうを積むなどの対処もあって、整理できていない。
- ・工事をA,B,Cなどと整理しているが、施工会社による区分けである。

### 4. 今後の予定

- ・震災対策便覧の震災復旧編をこれから1年ぐらいかけてやっていく感じなので、そこに間に合うように役立つ資料が提供できると素晴らしい。
- ・このとき、リファーしてもらうためには、今年度末にまとまっているといい。
- ・法政大の内容は、まとまった時点で順次、事例として提示できる環境にある。
- ・報告書としての一貫性のあるストーリーができるといいが、そうでなくても、シンポジウムをやって講演集にするとよい。
- ・シンポジウムの論文集をpdfだけにしておけば、無料でシンポジウムが開催できる。
- ・日下さんの発表なども、2ページにまとまっているのはもったいない。データも大事だし、ぜひシンポジウムで発表されるべき。
- ・ということで、シンポジウムを2月か3月に実施する。
- ・次回のWGで、発表可能なネタを持ちよって議論する。
- ・投稿は外部にも募集する。論文集は作る(pdfでいい)。

以上



## 耐震基準小委員会 第7回復旧性 WG 議事録

日時：2020年10月5日 10:00～11:30

場所：Web会議（Zoom）

出席（敬称略）：片岡正次郎，日下寛彦，丸山喜久，栗林健太郎、酒井久和，梶田幸秀，桎丹人（法政大学生・オブザーバー），穂積克樹（法政大学生・オブザーバー）、町田祐太（法政大学生・オブザーバー）、一井康二

欠席（敬称略）：橋本隆雄，後藤和満

資料：

7-0 議事次第

7-1 耐震基準小委員会 第6回復旧性 WG 議事録（案）

内容：

### 1. 議事録確認（資料7-1）

議事録案は承認された。

### 2. シンポジウム開催について

- ・名称は、「土木構造物の復旧性評価に関するシンポジウム」となった。
- ・日程は、2021年3月4日，2日，1日のいずれか1日となった。  
（土木学会のZoomの空き状況と、本日欠席の委員のご都合から酒井WG長が早急に確定）
- ・とりあえず，1件当たりの発表時間15分，質疑応答5分のイメージ
- ・基調講演として，埼玉県副知事，近畿地方整備局道路部長の両名を候補として打診する  
（講演時間は30分程度のイメージ）
- ・発表件数が10件程度なら，午後のみ開催
- ・現時点で想定される発表者は下記の通り  
法政大学，桎さん，穂積さん，関西大学からも学生1名  
栗林さん，日下さん，丸山先生のところからも何人か  
あと，募集する。
- ・シンポジウム案内文の案も別途作成し，酒井WGの添削のもと，11月に公募開始
- ・参加費は無料，基調講演の謝金は，委員会の話題提供用予算の使用が可能かどうか確認
- ・発表申し込み締切が12月末，原稿締切が1月末，聴講申し込み締切が2月末
- ・論文は，土木学会論文集の書式で，大体4ページから20ページまで。
- ・概要集はpdfとし，どこかのホームページ（最悪の場合は一井のHP）に掲載

### 3. 報告書の作成について

・イメージは，200 ページ，100 部で 20 万円

・配布先は，下記の通り

①小委員会のメンバー（予算の残りなどで送付）

②シンポジウム発表者（予算の残りなどで送付）

③地震工学委員会の委員，およびシンポジウム参加者で，希望者（着払い）

・日程は下記の通り

シンポジウム・3月1週=>ここで原稿確定，報告書として確定

3月2週=>印刷屋さんが作業

3月3週=>印刷屋さんから届く

3月4週=>一応予備，発送は4月に実施するかも。（予算次第）

・目次と担当は下記の通り

1)あいさつ文（酒井先生）

2)委員会の活動記録（一井）

3)話題提供の資料で掲載できるもの（数枚程度の PPT とか）（話題提供者）

4)いろいろあつめたもの（資料集のイメージ）

（法政大学の集めた復旧事例の資料，日下さんのデータ，丸山先生・・・）

=>皆さんの方でタイトルとか，おおよそのページ数を一井まで連絡

（とりあえず12月末ぐらいまで）

（たぶん，盛土が 60 ページ，橋梁が 40 ページ，といった感じ）

5)付録：シンポジウム論文集

### 4. 今後の予定

1月上旬に次回を開催して，発表者の申し込み状況によっては，依頼をする。

以上

## 耐震基準小委員会 第8回復旧性WG 議事録

日時：2020年12月23日 10:00～12:00

場所：Web会議（Zoom）

出席者（敬称略）：片岡正次郎，日下寛彦，丸山喜久，栗林健太郎、酒井久和，梶田幸秀，  
 柁丹人（法政大学生・オブザーバー），穂積克樹（法政大学生・オブザーバー）、町田  
 祐太（法政大学生・オブザーバー）、一井康二

欠席者（敬称略）：橋本隆雄，後藤和満

議事：

### 1) 前回議事録確認

確認し、承認された。

### 2) シンポジウムについて

日程を確定した。=> 3/2（火）

11月に案内を出す予定であった。=> だしました。

<発表時間の確認>

=> 発表 15分，質疑 5分。

=> 基調講演は質疑応答込みで1時間，近畿地整企画部長から内諾済み

=> 基調講演は1時～2時

=> 仮のタイトルなどを基に，1月にプログラムを一井が作成

<フォーマット>

=> 土木学会論文集のフォーマットでだいたい4ページから20ページぐらい。

<その他>

セッションの司会など分担していただくのでよろしくおねがいます。

### 3) 報告書について

・200ページ，100部，20万円，とかいう感じのイメージ

（参考：[https://www.icpf.co.jp/user\\_data/price\\_ondemand.php](https://www.icpf.co.jp/user_data/price_ondemand.php)）

・配布先は，

①小委員会のメンバー（送ります）

②シンポジウム発表者（送ります）

③地震工学委員会の委員，およびシンポジウム参加者で，希望者（着払い）

・原稿作成のスケジュールを確認した。

以上

## 謝辞

本WGの活動に関しては、報告書の各セクションで個別に謝辞を記させて頂いた方々に加えて、土木学会、国土交通省の地方整備局をはじめとする関係各位の甚大なるご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

(公益社団法人) 土木学会  
地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性 WG・活動報告書

令和3年3月3日

---

編集者 (公益社団法人) 土木学会  
地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性 WG  
WG 長 酒井 久和

---

ご注意 当該資料内容を複写もしくは、他の出版物に  
転載する場合は、必ず著者の許可を得てください。