東日本大震災 第一次総合調査団

中間とりまとめ（案）

2011 年 4 月

土木学会・日本都市計画学会・地盤工学会

東日本大震災 第一次総合調査団

東日本大震災によって亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、家族や知人、財産を失った悲しみとともに不安な日々を過ごしておられる被災者の方々に、心よりお見舞い申し上げます。また、被災者の救援と支援、地域や町の復旧のために日々格闘しておられるすべての方に、満腔の敬意と支援の意を表します。

言語に絶する被災状況を目の当たりにし、わたしたちは技術者としてあらためて、すべての被災地の美しい海や風土の恵みとともにある暮らしを一日も早く取り戻すために、そして今回の震災を教訓により安全で豊かなわが国の社会基盤を構築していくために、一致団結して努力する決意を新たにするものです。

調査団一同

はじめに

2011 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃発生した、マグニチュード 9.0 の地震とそれに伴う巨大な津波が東北地方から関東地方にかけての広い地域を襲った。土木学会は、発災後直ちに、会長を委員長とする「東日本大震災特別委員会」を設置した。この特別委員会は、以下に示すように、土木学会の災害復興への貢献度を高めるとともに、土木学会関係者間の問題意識および情報を共有し、土木学会が有する英知を結集することを目的とするものである。また、初期の機動力を発揮するため、次期会長を座長とする「特別委員会タスクフォース」を組織した。

本特別委員会の主な使命は、以下の通りである。

1）被災状況等に関する総合的学術調査の実施と成果のとりまとめ

2）緊急活動や地域復興に関する提言

3）予想されている大規模地震・津波対策のあり方の検討

4）その他、他学協会等との連絡調整

この度の震災は、今までに例を見ない特徴を有するものである。すなわち、広域、大規模、壊滅的地域の存在、津波による甚大な被害、そして原子力発電所事故による状況の悪化である。発災後 1 ヶ月以上が過ぎた現在、死者 13,705 人、行方不明者 14,175 人を数え、伊勢湾台風および阪神・淡路大震災をはるかに越える、戦後最悪、古今未曾有の災害である。家を失い、あるいは原発事故による強制退去等により、避難所生活を余儀なくされている人の数は、約 14 万人と言われている。すなわち、いまに至っても、被害の全容が十分には把握できていない状態である。

土木学会は、3 月 27 日～4 月 6 日の間、第一次総合調査団を、被災地に派遣した。この調査は、日本都市計画学会および地盤工学会の協力の下に実施された。本調査は、以下の目的を達成するための第一段階として、きわめて広域かつ多岐にわたる被害状況とその内容・特徴を俯瞰的に把握し、今後のさらなる調査活動に反映させるためのものである。

1）今回の地震・津波の現象解明と諸被害の記録・分析

2）従来取り組んできた地震・津波対策の検証・評価、および今後予想される巨大災害に向けての教訓と対策

3）被災地域の復興への技術的・学術的貢献

調査団は 21 名からなり、ヘリコプターで空から、船で海から、そして徒歩で被災地を踏査した。また、国土交通省東北地方整備局、JR 東日本仙台支社等を訪ね、初期対応、被災状況についての説明を受け、意見交換を行

った。さらに、陸前高田市長、気仙沼市長および南三陸町長と面談し、被災の状況をお聞きするとともに、今後の復旧・復興へ向けての意見交換を行った。

調査結果については、後にゆずるが、いくつかの知見が得られた。構造物の耐震設計および耐震補強等の対策の妥当性が検証できた。一方、津波の構造物に対する影響については、今後明らかにすべき課題である。津波による被害の状況は、それぞれの地域の地形や環境条件、防潮堤・防波堤などの施設の違い、地域の成り立ち、といった様々な条件によって大きく異なることが明らかになり、それぞれの地域にあった復旧計画、復興計画を立てることの重要性を認識した。とくに、今後の津波対策については、被害状況を分析・評価し、ハード対策とソフト対策とを組み合わせ総合的な対策を、関係する専門家の英知を結集して構築する必要がある。

このような非常時においては、緊急対応として、集権的あるいは一元的な対応が非常に重要であることが明らかになった。特に、国土交通省東北地方整備局を中心にした対応により、地震のわずか四日後には、「くしの歯作戦」と呼ばれる東西方向の国道の啓開がほぼ完了したこと、被災自治体にリエゾンを派遣したことは快挙であると同時に、今後の復旧・復興においても重要な示唆を与えるものである。その他、幹線道路の早期完成、鉄道の復旧、地盤の液状化、瓦礫処理、物資流通システムの脆弱性改善、下水道施設等の復旧、エネルギー需給問題等、解決しなければならない課題は多い。

そんな中、被災された人々は、この困難から立ちあがり、未来に向かって歩みだしている。海からの恵みとともに生きる、そのことが地域の復興の道であるという確信は、国難といわれる東日本大震災からのわが国の復興に希望を抱かせるものである。

2011 年 4 月 25 日

東日本大震災 第一次総合調査団 団長
土木学会 会長
阪田 憲次（岡山大学名誉教授）

土木学会・日本都市計画学会・地盤工学会
東日本大震災　第一次総合調査団　中間とりまとめ（案）

目次

はじめに
第一次調査団団長／土木学会会長　阪田憲次

1　調査の概要 …… 1
1-1　調査の目的 …… 3
1-2　調査団の構成 …… 3
1-3　調査対象と行程 …… 3

2　各種社会基盤施設の被災に関して …… 5
2-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈 …… 5
2-1-1　地震動による影響 …… 5
（1）耐震技術、耐震補強技術が活かされたコンクリート構造物 …… 7
（2）新幹線の運転再開を遅らせた多数の電化柱の破損 …… 8
（3）長時間継続した地震動による盛土の崩壊 …… 9
（4）砂地盤の液状化による施設被害の多発 …… 10
2-1-2　津波による影響 …… 11
（1）岩手県での津波による全体的な被災状況 …… 13
（2）巨大ケーソンも動いた海岸および港湾構造物の被害 …… 15
（3）列車を折曲げ、橋桁を押し流す津波の力 …… 16
（4）大きな津波には弱い盛土構造物 …… 17
（5）惨状を示す建築物（木造家屋、RC 造ビル等） …… 18
2-2　今後の方向性と（暫定的）提言 …… 19
（1）海岸、港湾構造物の設計の考え方 …… 21
（2）盛土保護工の耐浸食性の評価 …… 22
（3）震災廃棄物、津波漂着物の処理 …… 23
（4）新幹線の電化柱の設計の考え方 …… 24
2-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項 …… 25
（1）橋梁構造物の津波被害の予測と防止策 …… 27
（2）防波堤の役割の評価 …… 28
3　市街地・集落の津波被害に関して …… 29

3-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈 29
（1）様々な地形・歴史的経緯と多様な状況の被災地 31
（2）一定の効果が認められた避難所対策 32
（3）湾口防波堤には津波に対して一定の効果 33
（4）東北地方整備局の被災自治体のニーズへの素早い対応 34
3-2　今後の方向性と（暫定的）提言 35
（1）ハード対策とソフト対策は車の両輪 37
（2）被災状況・自然条件・歴史文化を考慮した再生の必要性 38
（3）広域的な視点を考慮に入れた市街地の移転・用途変更の可能性の考慮 39
（4）基礎調査の実施が不可欠 40
（5）津波避難のための高台避難場所・津波避難ビルの指定 41
（6）市街地火災からの広域避難場所等の再点検 42
（7）支援チームの組織化の必要性 43
3-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項 45
（1）歴史的経緯を踏まえた市街地の特性と被災状況の関連性の調査 47
（2）災害ヒト・モノ・コト総合アーカイブの構築 48
（3）空間特性によって生じる避難渋滞の発生と意識の解凍の重要性 49

4　被災地におけるライフラインシステムの機能障害と復旧に関して 51
4-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈 51
（1）沿岸部交通システムの津波による機能障害と復旧 53
（2）耐震性を発揮した内陸部交通システムと復旧過程 54
（3）津波による大被害の下水道、短期間で復旧した上水道 55
（4）広域に影響を与えた電力供給システムの被害状況と復旧 56
（5）仙台都市ガス供給システムの被害状況と復旧 57
4-2　今後の方向性と（暫定的）提言 59
（1）交通システムの復旧プロセスと機能回復に向けて 61
（2）上水道の耐震化と「つなぎ」技術が必要な下水道 62
（3）代替性の高い電力・ガス供給システムの必要性と
喫緊の電力需要管理方策の策定 63
4-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項 65
（1）まちづくりと連携したライフライン整備とリスク分散システムの確立 67

5　震災時の大都市の経済基盤・生活基盤の脆弱性に関して…… 69
5-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈…… 69
（1）仙台市への流通機能障害から得る知見…… 71
（2）夏の需要量に満たない首都圏電力供給量…… 72
5-2　今後の方向性と（暫定的）提言…… 73
（1）災害に強い流通機能の確立に向けて…… 75
（2）首都圏電力の需要管理方策について…… 76
5-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項…… 77
（1）広域災害の影響を最小化する頑強かつ柔軟なサプライチェーン構築方法…… 79

あとがき～地域基盤の総合的フェイルセイフ化に向けて～…… 81
第一次調査団　家田仁

添付資料-1　調査団メンバーリスト…… 85
添付資料-2　現場調査・訪問調査箇所リスト…… 86

1　調査の概要

1-1　調査の目的

1-2　調査団の構成

1-3　調査対象と行程

1-1　調査の目的

本調査は、下記 1）～3）の目的を達成するための第一段階として、きわめて広域かつ多岐にわたる今次震災の被害状況とその内容・特徴を俯瞰的に把握し、今後のさらなる調査活動に反映させるために行ったものである。

1）今回の地震・津波の現象解明と諸被害の記録・分析

2）従来取り組んできた地震・津波対策の検証・評価、および今後予想される巨大災害への教訓と対策

3）被災地域の復興への技術的・学術的貢献

1-2　調査団の構成

阪田憲次（土木学会会長・岡山大学名誉教授）を団長、家田仁（東京大学教授）を副団長とし、以下のように調査対象別に三つの専門班を設けた（メンバーリストは巻末の別添資料-1 を参照）。

総合構造物班：丸山久一班長（長岡技術科学大学教授）
土木構造物（鉄道、道路、港湾施設、堤防、地盤）の被害と復旧状況の調査を担当

ライフライン班：兵藤哲朗班長（東京海洋大学教授）
交通・ライフラインシステム（道路・鉄道・バス・タクシー・港湾・空港、物流、電気、ガス、上下水道）の被害と復旧状況の調査を担当

地域・市街地班：糸井川栄一班長（筑波大学教授）
市街地の被災状況とその全般的特徴の調査を担当

1-3　調査対象と行程

調査は 2011 年 3 月 27 日から 4 月 6 にかけて、のべ 11 日間行った。行程および調査対象は下記の通りである。

3 月 27 日　訪問調査（東北地方整備局、JR 仙台支社）

3 月 28 日　空中視察（仙南地域～三陸地域南部）
被災地視察（常磐線沿線；新地～山元町山下）

3 月 29 日　JR 新幹線・在来線構造物被災状況視察

3月30日　訪問調査（仙台市交通局・建設局・水道局・環境局・ガス局、宮城県庁、東北電力、JR東日本本社）

3月31日　訪問調査（岩手県県土整備部、JR東日本盛岡支社、国土交通省鉄道局、国際興業）

4月1日　岩手県三陸沿岸被災地視察（田老～陸前高田：国土交通省本省調査団と合同）
石巻市街地被災状況踏査
仙台市内地盤崩落（折立地区・高野原地区・西花苑地区・緑ヶ丘地区）踏査

4月2日　空中視察（仙南地域～三陸地域南部）
市街地被災状況踏査（新地、山元、亘理、岩沼、名取、石巻、女川、南三陸）
訪問調査（岩手県県土整備部、国土交通省東北運輸局鉄道部）

4月3日　東北地方整備局長と意見交換
国土交通省本省調査団・JR東日本・NEXCO東日本との意見交換
JR新幹線・在来線構造物被災状況調査
市街地被災状況踏査（名取、仙台空港周辺、七来田川周辺）

4月4日　海上視察（仙台塩竈港、石巻港）
海岸・港湾構造物被災状況視察（相馬港、七ヶ浜、石巻、女川）
市街地被災状況踏査（石巻、女川、陸前高田、大船渡、釜石、大槌、陸中山田、宮古、田老）

4月5日　陸前高田市長・気仙沼市長・南三陸町長と会談
市街地被災状況踏査（陸前高田、気仙沼、南三陸）
仙台市内ライフライン調査（上下水道、ガス、廃棄物他）
訪問調査及び被災状況調査（仙台市交通局）
訪問調査（国土交通省東北運輸局自動車交通部）

4月6日　港湾被災状況調査（八戸港、久慈港）
市街地被災状況踏査（女川、石巻、東松島、普代、田野畑、田老、宮古）
構造物の津波による被災状況調査（本吉町、南三陸町、北上川下流域の橋梁）
空港被災状況調査（仙台空港）
ライフライン施設の被災状況調査（仙台市南蒲生浄化センター、仙台火力発電所）

4月11日　市街地被災状況調査（いわき市久の浜、広野）
港湾被災状況調査（小名浜港、日立港）

2　各種社会基盤施設の被災に関して

2-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈

2-1-1　地震動による影響

（1）耐震技術、耐震補強技術が活かされたコンクリート構造物

（2）新幹線の運転再開を遅らせた多数の電化柱の破損

（3）長時間継続した地震動による盛土の崩壊

（4）砂地盤の液状化による施設被害の多発

(1) 耐震技術、耐震補強技術が活かされたコンクリート構造物

鉄筋コンクリート橋梁構造物の被害は、全体として、これまで改善されてきた耐震設計の考え方で予想される範囲内であった。鉄道高架橋では、破壊安全度の評価に基づき耐震補強を施していた橋脚は無被害であったが、評価が中位で、これから補強を予定していた箇所に曲げ破壊が生じていた。破壊箇所の修復は、これまでに開発してきた補修補強技術により、短時間でなされていた。

［解説］

東北新幹線の RC ラーメン高架橋においては､耐震補強を施していた柱および橋脚は無被害であったが、耐力比（設計せん断耐力／設計曲げ耐力時のせん断力)が 0.8～1.0 程度と相対的に小さい柱および橋脚では、新潟県中越地震で見られた高架橋の被害と類似のものが見られた（写真 1)。

被害を受けた柱の復旧方法は、阪神大震災以降開発され、新潟県中越地震の際にも適用された方法と全く同じで、ひび割れに樹脂注入をした後、型枠を組んで型枠内に無収縮系のモルタルを注入する方法である。その様子を写真で示す（写真 2)。

写真 1　柱の損傷状況

長町駅付近では、在来線の高架橋が並行している。こちらは、阪神大震災の教訓も踏まえた新しい耐震設計規準に従って設計されており、柱のヒンジ部には内巻きスパイラルが配置されていて、非常に高い変形能力を有している。この高架橋の柱には、微細な曲げひび割れは認められたが、大きな損傷は全く認められなかった（写真 3)。この高架橋は､地中梁を有しない新しい形式の構造で、構造体にはほとんど損傷が生じなかったが、地震時の構造体の揺れのためか、柱周囲の地面が大きく陥没していた。柱が橋軸方向および橋軸直角方向に大きく揺れたことの痕跡であると思われる。

写真 2　応急復旧の様子

阪神大震災以降の調査・研究および技術開発に基づく鉄道構造物の耐震補強施策や改訂された耐震設計法は、7 年前の新潟県中越地震に加え、今回の地震でもその有効性が検証されたと言える。

写真 3　新しい耐震設計の有効性

(2) 新幹線の運転再開を遅らせた多数の電化柱の破損

東北新幹線では、約540箇所でプレストレストコンクリート製の電化柱の傾斜・ひび割れ・折損が確認された。電化柱は、基本的には基部の周囲に砂を埋め、地震時に動きやすくして折損を防ぐ構造としていたが、砂の飛散を防ぐために上部に入れたモルタル量が多く、電化柱の基部が動きにくくなったものに折損等が多く見られた。

［解説］

東北新幹線で、約540箇所でプレストレストコンクリート製（PCポール）の電化柱の傾斜・ひび割れ・折損が確認された（写真 1)。今回の地震動の特徴として、規模が大きいことに加え､継続時間が長いことがあげられる。そのため、電化柱には荷重が繰り返し載荷され、電化柱の基部に損傷が集中し、かぶりコンクリートが圧壊して飛び散り、中空断面の電化柱が倒壊に至ったと想定される（写真2)。

PC ポールの電化柱の耐震性能については過去に検討がなされている。電化柱の基部を基礎コンクリートに剛結せずに、周囲に砂を敷いて、表面には数 10㎜ の厚さのモルタル（ヒューズの役割）で被覆し、地震時にモルタルが破損して、損傷が一箇所に集中しないような配慮が施されていた。ただ、それが十分機能していない箇所で電化柱の折損が生じていた。

過去の地震でも電化柱の損傷は確認されているが、今回の地震では損傷した電化柱の数が多く広域に渡っているため、取り替え作業に時間がかかっていて、運転再開のネックとなった。

写真１　東北新幹線の電化柱の損傷

写真２　電化柱の折損

(3) 長時間継続した地震動による盛土の崩壊

宮城県内では仙台市、白石市など多数の箇所で丘陵地を切盛りした宅地造成地が被害を受けた。1978 年の宮城県沖地震によって被災した箇所が再び被災したところと、新たに被災したところに大別される。新たな箇所が被災した原因は、1978 年の宮城県沖地震より振幅の大きい揺れが長時間作用したためと考えられる。

［解説］

仙台市太白区緑ヶ丘では、1978 年宮城県沖地震において被災した箇所が再び被災した（写真 1)。一方、仙台市青葉区折立では、1978 年宮城沖の際に被災しなった造成地が被災している（写真 2)。また、白石市緑ヶ丘では、同じく 1978 年に大きな被災を受けた箇所が再び被災しているが、集水井などの対策によってその規模は限定的に留まった事例である（写真 3)。これらの被災は谷埋めた盛り土部分、特に旧谷地形の開口部に位置する場所に多く発生している（図 1 参照)。今回の地震動は、1978 年宮城県沖地震動に比較して振幅も大きく、継続時間が長いため、大きな力の繰り返しが数多く作用して、地盤の固結力を破壊したと考えられる。一方で、比較的新しい宅地造成地の被害は相対的に少ないことから、古い既存宅地造成地に潜在的に危険度の高いところがあることを示唆している。今後、既存宅地造成地盤の危険度調査や耐震化を推進する仕組みをこれまで以上に強化する必要がある。

写真 1　仙台市太白区緑ヶ丘

写真 2　仙台市青葉区折立

写真 3　Google 画像から見た白石市緑ヶ丘の事例© 2011 Google, 画像

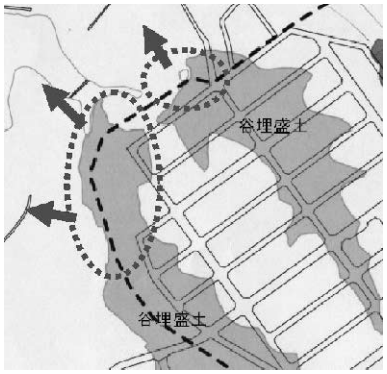


図 1　谷埋め盛土部の開口部の変状事例

（4）砂地盤の液状化による施設被害の多発

［解説］

北は青森県から南は神奈川県まで、震度 5 強以上を観測した地域を中心に広範囲で液状化現象が確認されている。特に首都圏湾岸地域である浦安市や横浜市金沢区などで大規模な液状化が生じた。浦安市の液状化による被災者数は 96,473 人（37,023 世帯）、液状化した面積は 1,455 ha（市域の 8 割強）、噴出砂量 10～15 万 m3 と報告されている。阪神大震災でも神戸港の埋立地を中心に大規模な液状化が生じているが、埋立地の液状化による脆弱性を改めて喚起させた。この原因は、地震動の振幅よりもむしろ 2 分～3 分といった長い継続時間の地震動によるものと考えられる。

一度液状化した箇所が再び後の地震で液状化することを再液状化と言うが、適切な対策を施さない限り、再液状化の可能性が高く、適切な対策が必要である。大きな震動を経験してない埋立地での液状化の潜在的危険性を認識すべきである。

津波による浸水を受けた東北地方の沿岸部でも液状化は当然生じている（写真２）。しかし、津波浸水域では、津波によって運ばれてきた土砂と液状化の噴砂を区別するのが難しい状況になっている。ちなみに、津波によって浸水した仙台空港滑走路では、液状化が懸念される部分に液状化対策を施していたため、滑走路の液状化被害は発生していない。

写真１　浦安市の液状化被害
（小松美加氏撮影）

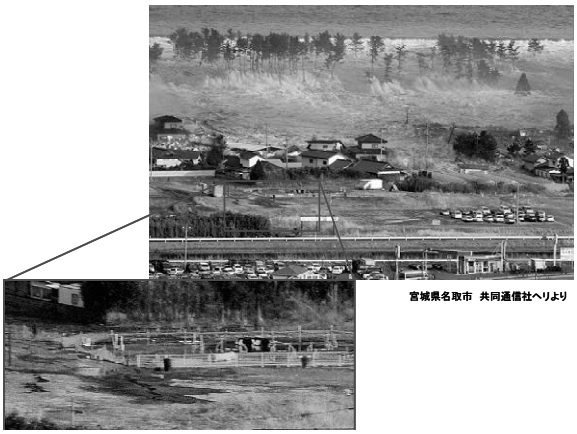


写真２　津波来襲直前に捕えられた液状化の痕跡

2-1-2　津波による影響

（1）岩手県での津波による全体的な被災状況

（2）巨大ケーソンも動いた海岸および港湾構造物の被害

（3）列車を折曲げ、橋桁を押し流す津波の力

（4）大きな津波には弱い盛土構造物

（5）惨状を示す建築物（木造家屋、RC 造ビル等）

(1) 岩手県での津波による全体的な被災状況

岩手県内の津波被害は、全般的に見て震源に近い南部が大きかった。高い防潮堤の効果で被害が無かった地域も一部あるが、相当な地域が壊滅的な被害を蒙った。明治三陸地震・昭和三陸地震・チリ地震の津波を想定した対策は、今回のように想定を遙かに超えた津波には十分とは言えなかったが、被害の低減には一定の効果があったと考えられる。

［解説］

岩手県は、明治三陸地震・昭和三陸地震・チリ地震の 3 つの津波による被害を受けて、国交省・農林水産省と協力して三陸海岸の津波対策を講じている。対策の基本は、この 3 つの津波の最大の津波高さに備えるもので、適切な天端高さと幅の防潮堤を設置することによる。この他、沖合の防波堤や河口の水門が設置される場合もある。

岩手県の最北部の平内地区海岸（洋野町）では、天端高さ 12.0m の防潮堤が津波高さ 8.8m の津波を抑え無被害であった。しかし、宮古市の田老海岸、宮古海岸、金浜・赤前海岸は防潮堤を超える津波が襲来し、1,000 人を超える人的被害が生じている。田老海岸の防潮堤で、3 期に分けて建造された付近は「万里の長城」と称される高さ 10m 程度、総延長 2500m に及ぶ構造であるが、この防潮堤を持ってしても田老海岸を襲った津波の侵入を防ぐことはできず、田老町東部浸水域は 113ha に及んだ（図 1・写真 1 参照）。

防潮堤は津波の侵入を防ぐことが第一義的な機能である。津波の侵入を許した点は、今後、防潮堤を設計する際に検討が必要であることは確かである。一方、防波堤や防潮堤によって住民が避難する時間を稼いだ、等の機能があった点も指摘されている。

岩手県では、一つの湾で津波高さを一定とし、防潮堤の天端高さを設定している。住民感情を考えるとこの設定の考え方は理解できるが、今回の巨大な津波が湾内を一様に襲った訳ではないことも確かである。より合理的な津波対策に向けて検討すべき事項は多いと考えられる。

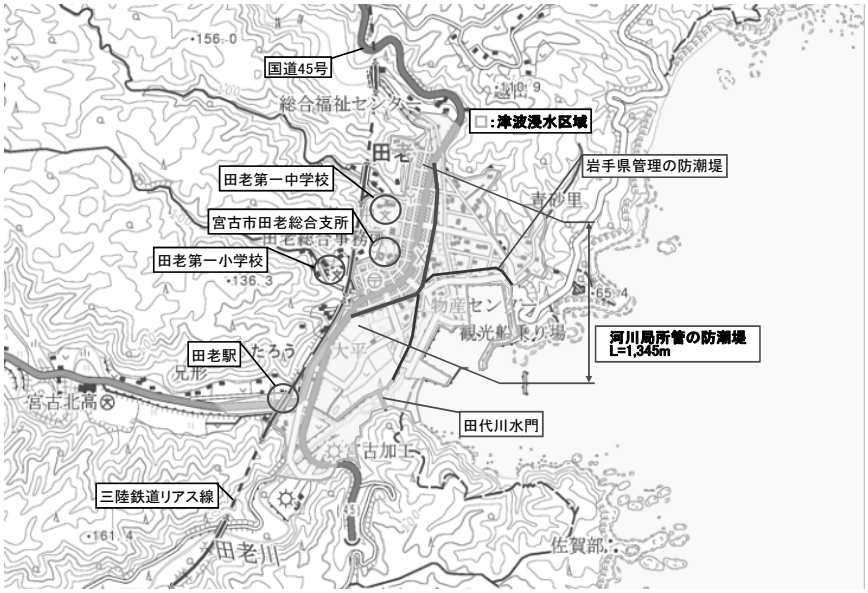


図 1　宮古市田老海岸：防潮堤と浸水域

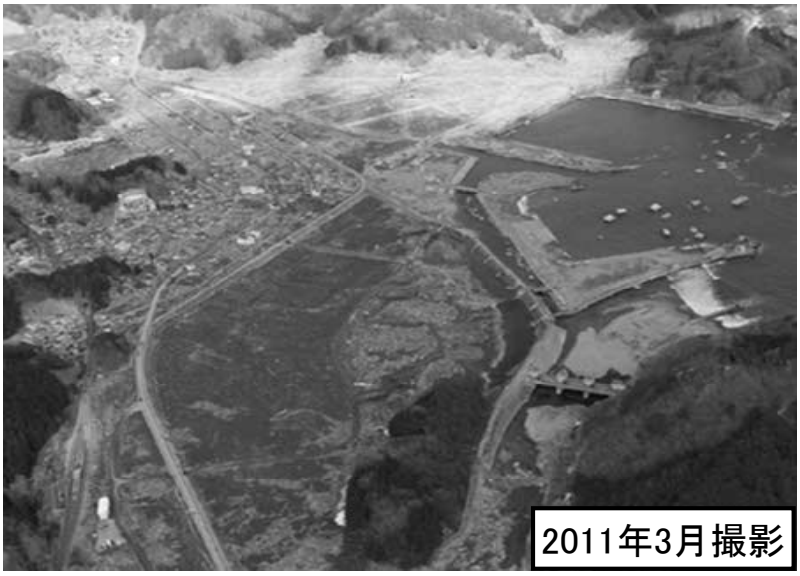


写真１　宮古市田老海岸の航空写真：上は被災前、は被災後

（図・写真：岩手県県土整備部提供）

(2) 巨大ケーソンも動いた海岸および港湾構造物の被害

津波が計画高以内かわずかに超えた程度であれば、港湾構造物に被害がなく、堤内を守ることができたが、計画高さをはるかに超えた津波が来襲した地域では、海岸および港湾構造物に甚大な被害を生じた。港湾施設においては、液状化による被害も多く見られた。

［解説］

津波が計画高以内かわずかに超えた程度であれば、港湾構造物に被害がなく、堤内を守ることができた。岩手県での例が平内海岸や久慈港である。計画高さをはるかに超えた津波が来襲した地域では、防潮堤、防波堤等も破壊され、堤内に甚大な被害が生じた（写真 1, 2, 3)。

写真 1 は液状化により岸壁およびエプロンが破壊された状況である。写真 2 は津波の力により打ち上げられた岸壁のケーソンである。

写真 3 は防波堤のケーソンが不同沈下しており、右側は転倒したかして見えなくなっている。

港湾には座礁した船舶が多数見られ、大型の船舶も埠頭に乗り上げていて、港湾の早期の機能回復の障害になっている。

写真 1　液状化で破壊された岸壁（相馬港）

写真 2　打ち上げられた岸壁のケーソン

写真 3　不同沈下が生じた防波堤

(3) 列車を折曲げ、橋桁を押し流す津波の力

海岸線近くを走る在来線の鉄道構造物では、津波により盛土の崩壊、線路の破断、駅舎の破壊、車両の横転・大破は言うに及ばず、重量のあるコンクリート桁も押し流された。津波に襲われて押し流された種々の橋桁では、落橋防止装置は破壊され、鋼桁やトラスなどの軽い桁は上流数百ｍにまで流されていた。PC 桁を固定した橋脚では、桁で受けた津波の力により地震では見られない破壊が生じ、桁の落下に至ったものがあった。

［解説］

海岸線近くを走る在来線の鉄道構造物で、津波による盛土の崩壊､線路の破断､駅舎の破壊、車両の横転・大破（写真 1）が各所で見られた。

道路橋、鉄道橋に限らず、コンクリート桁の津波による落橋は多数見られた（写真 2)。道路橋では、比較的軽い鋼桁やトラスは上流に数百ｍも流されていた。落橋した桁においては、当然ながら、落橋防止装置は破壊されていた。

写真 3 は、気仙沼線の津谷川橋梁で、津波により押し流されて落下した 5 連の 3 主 PC 桁のうちの一つである。同橋梁は、1978 年の宮城県沖地震で被災し、補強した際、PC 桁を橋脚に固定する装置を施していた。写真 3 の桁を受けていた橋脚は、桁で受けた津波の力により、柱頭部近くの段落とし部でちぎられるように破壊していて、津波の破壊力が偲ばれる（写真 4)。

ただ、橋脚は耐震補強されたものが多く、桁の落橋があっても、ほとんど被害がなかった。

写真 1　常磐線新地駅付近の列車の横転

写真 2　歌津大橋の PC 桁の落橋

写真 3　津谷川橋梁の PC 桁の落橋

写真 4　津谷川橋梁の橋脚の破壊

(4) 大きな津波には弱い盛土構造物

津波の浸水域においては、河川堤防、岸壁エプロン部、海岸堤防の背後、橋梁取付け部の埋め土等が津波により侵食を受けた。土構造物の被災の主な原因は、津波遡上時の越流水による裏のりの侵食や天端崩壊と、その後の引き波時における流水集中個所での崩壊である。地震動によって変形や液状化を受けた部分は，津波によってより容易に侵食された可能性もある。

［解説］

盛土等の土構造物は、津波の遡上時の押し波が盛土部を越水すると、裏のり面の侵食や天端の崩壊が生じ、引き波によって崩壊流亡している。押し波は直進性を有するため、北上川新北上橋右岸堤防のように攻撃斜面で越流しやすい。越流深が大きいと、射流になった越流水により裏のり面や天端が侵食されやすく、のり面保護工が施されていない堤防の裏のり面などでは容易に崩壊が生じる。

引き波は標高が低い個所へ流れるので、これが集中する橋台、水門などのコンクリート構造物の上流側では、引き波時に流亡している。気仙大橋(気仙川)や小泉大橋（津谷川）などの橋台上流隣接部堤防の流亡はそれを示している。同様に、引き波により、海岸に平行な道路や鉄道の盛土の崩壊や海岸堤防の倒壊が生じている。

宮城県内の鳴瀬川、江合川、北上川(追波川)等の大河川では、下流部沖積地の盛土基礎地盤が軟質であるため､地震動による側方流動や基礎地盤､盛土体の液状化が生じたのち、津波の越流があったと推定され、侵食や崩壊が助長された可能性がある。

写真 1. 北上川右岸の破堤部(1)
（押し波による破堤）

写真 2. 北上川右岸の破堤部(2)
（押し波による破堤）

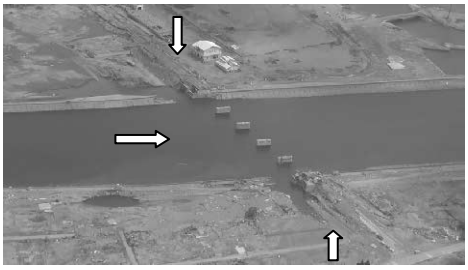


写真 3. 気仙大橋上流側の破堤部(1)
（引き波による流亡）

写真 4. 気仙大橋上流側（右岸）の
破堤部(2)（引き波による流亡）

(5) 惨状を示す建築物（木造家屋、RC 造ビル等）

津波が相当の高さと速度を持って到達した範囲での木造住宅は、ほとんどが基礎部分を残しただけで、上屋は破壊、流失していた。一方、RC 建物は大部分の建物が形を残していたが、津波被害の激しい地域では RC 建物の倒壊も見られ、杭基礎の破壊で倒壊したものもいくつかみられた。

［解説］

津波よる木造住宅の被害は地域により様々であったが、津波が到達した場合、ほとんどの木造住宅は基礎部分を残して上屋は破壊、流出していた（写真 1)。ただ、位置が高く、津波が届かなかった場所にある建物はほとんど健全で、地震動そのものによる影響はそれほどでなかったことが認められる。

RC 造の建物は、内部は別として、ほとんどの建物が津波を受けた後でも建っていた。ただ、倒壊した RC 建物もいくつかはあった。写真 2 は女川町における RC 建物の倒壊の状況である。図の中央に見える建物は倒れた方向が湾の方向を向いており、引き波で倒れた可能性もある。女川町では、津波の遡上高さも高く、RC ビルの 6 階以上の水高で浸水したと思われ、被害が激甚であった。

倒壊した RC 建物では､杭基礎を有する場合でも杭が抜け出たり、破断したりしていて、津波の威力が非常に大きかったことが推察される。

写真 1　木造住宅の被害

写真 2　RC 建物の倒壊（女川町）

図 3　杭基礎を有する RC 建物の倒壊
（女川町）

2-2　今後の方向性と（暫定的）提言

（1）海岸、港湾構造物の設計の考え方

（2）盛土保護工の耐浸食性の評価

（3）震災廃棄物、津波漂着物の処理

（4）新幹線の電化柱の設計の考え方

(1) 海岸、港湾構造物の設計の考え方

想定以上の津波が襲ったとはいえ、物的・人的な被害が甚大であることを考えると、海岸、港湾構造物の設計において、津波に対する対策を強化する方向に進めることは必要である。特に人的被害の軽減に向けて、「ハードとソフト」の連携を前提とした設計が必要である。

［解説］

東北地方・太平洋沖地震が引き起こした津波は、岩手県の港湾に限っても、近年に経験された明治三陸地震・昭和三陸地震・チリ地震を超えている。地震動による被害と異なり、津波による被害は壊滅的被害か無被害かという両極端となり、効果的な津波対策を講じることが難しいことは確かである。しかし、この津波が引き起こした被害の甚大さを考えると、海岸、港湾構造物の設計の際に、より効果的となるよう、津波に対する対策を強化することは絶対的に必要である。

海岸、港湾施設の設計においては、そこで暮らす人々の安全性、生産活動からの要求性能およびコストパフォーマンスを考慮した上で、より効果的な構造形式を研究開発することが求められる。津波対策に直接関わる防潮堤に関しては特にこれが重要である。従来の津波高さのみを用いた設計から、津波の流量や流速、津波の侵入の方向、港湾の場所ごとの違い、といった要因を考慮し、複数の施設を組み合わせて安全性を高め、万が一津波が浸入する際でも流量や流速を低減させ、人々の避難行動に余裕を持たせるような戦略的な設計を取り入れるべきである。

限られた調査ではあるが、津波対策用の防潮堤の設計・施工に関わった実務者は多くないと見受けられる。津波対策用の構造物に関しては技術の伝承も重要な要因となる。設計とは別にこの点にも対応すべきである。

人的被害の低減に関しては、防潮堤の建設のような「ハード」と、避難路・避難設備の確保のような「ソフト」の連携が不可欠であることは周知の事実である。通常は、始めに建設される「ハード」に合せて「ソフト」を考えざるを得ないが、不幸にして津波被害を受けた地域は「ハード」の再建設も行われる。「ハード」に合わせた「ソフト」と同様、「ソフト」に合わせた「ハード」の設計を行う機会でもある。

(2) 盛土保護工の耐浸食性の評価

盛土ののり面は、津波の押し波、越流、引き波によりそれぞれ異なるメカニズムで浸食されるので、のり面の保護工の耐浸食性は、その全てを考慮しているか否かで異なってくる。例えば、表のり面，裏のり面，天端ともコンクリート護岸や舗装で覆われている盛土体は、津波が越流しても流亡していない個所が多く、耐浸食性が高い。一方、河川堤防や土羽ののり面のように、盛土体堤外地の表のり面のみブロック張り等の護岸工が施されている場合は、押し波の越流水により裏のり面が侵食崩壊したのち引き波で流亡していて、耐浸食性は低い。

［解説］

海岸の高潮堤のように越水を配慮して表のり面、裏のり面、天端ともコンクリート護岸などで覆われている盛土体は、押し波時においては津波の越流深さが大きく裏のり面で射流が生じても流亡していないことから、耐浸食性が高いと評価される。

一方、堤外地の表のり面のみ護岸工が施されている河川堤防では、越流水により土羽の裏のり面が侵食崩壊したのち引き波で流亡していることから、耐浸食性は低いと評価される。ただし、波力が大きな直進性の津波遡上が見られる場合は、押し波の際に直撃を受けて護岸工が決壊している。

引き波時には、越流した水流は低い個所に集中して戻っていくことから、橋梁や堰などのコンクリート構造物の上流側にある相対的に低い堤防では、堤内地から堤外地の河道への戻り水で崩壊流亡している。堤内地からの水圧で堤防表のり面のブロック張り護岸工も流失していることから、このような空石張構造の保護工は越流後の引き波に対する耐浸食性が低いと評価される。

コンクリート構造物周りの道路盛土等の土構造物部分も、引き波で侵食されていることが多い。地震動により盛土体がゆるみ、コンクリート構造物と分離した個所に、戻り水が集中し崩壊したと推定される。海岸堤防も海側の水圧で設計されていることから、引き波時には倒壊しやすい。

津波に対し、護岸保護工やのり面保護工のうち、コンクリート張工はブロック張りや芝張より耐侵食性があるが、河川の攻撃斜面に位置する堤防では津波の直進的遡上に対し、十分な強度を確保する必要がある。引き波時には低い地形に戻り水が集中することから、橋台周りや相対的に低い道路盛土部ののり面保護工は、コンクリート張工が有利である。

地震動により基礎や堤体の側方流動や液状化が先行すると、土構造物の耐浸食性が低下するので、津波浸水予想区域で特に基礎が弱い部分やコンクリート構造物周りでは地盤改良や十分な締め固めが必要である。

写真 1.　越水個所における護岸のり面保護工の違いによる引き波後の被災状況

(3) 震災廃棄物、津波漂着物の処理

津波によって浸水した沿岸域では、倒壊した家屋などの瓦礫に加えて、津波がもたらした土砂（海浜の砂、海底や河川や運河に堆積していた泥質土）が陸域に堆積し、復旧・復興の妨げになっている。土砂は、乾燥すると飛散し、感染症の原因にもなるので、できるだけ早期の処理対策が必要である。

［解説］

津波の浸水による被害を受けた地域では、瓦礫（写真 1）と土砂の処理が復旧・復興の妨げとなっている。特に、石巻市は旧北上川河口に開けた場所であるため、津波が引いた後に、細粒のシルトからなるヘドロが、多いところでは数十センチも堆積している（写真 2)。この堆積物は、有機物を含むため腐敗臭が強いことに加え、粘土粒子が多いため表面部分が乾燥すると粉じんとして飛散し、津波肺の一因となりうる。軟弱で水分の多いヘドロは、そのまま持ち出すことが困難であるため、その場所で処理したのち搬出・処分/再利用することが、現地の生活環境を保全する上で喫緊の課題となっている。

ヘドロの処理については、従来から湖沼・ため池浚渫泥の処理に地盤工学で蓄積してきた技術を用いることができる。具体的には、消石灰、固化剤、石膏、石炭灰、おがくずなど各種の混和材料を適切に攪拌して、ヘドロを団粒化させた後、性質の改良された津波堆積物を搬出し、建設材料などに再利用することが考えられる。

写真 1　仙台市内の瓦礫集積場

写真 2　津波によって体積した泥質土（石巻市）

(4) 新幹線の電化柱の設計の考え方

広域にわたって 500 本を超える電化柱が破壊・傾倒したことが新幹線の復旧のボトルネックとなった。振動解析等を併用して、破壊しにくい電化柱を設計し、造ることは可能である。また、破壊時の取り替え作業の方法にも改善の余地があると思われる。

［解説］

鉄道高架橋における電化柱の破壊・傾倒は、過去の地震においても生じていた。ただ、阪神大震災以降、耐震設計、耐震補強技術について大幅な進展が図られ、被害が軽微に抑えられて早期の復旧もなされた高架橋構造物に比べ、広域にわたって被災した電化柱は、1本ごとの取り換え時間が長く、復旧に時間がかかり、新幹線の運転再開のボトルネックとなった。

プレストレストコンクリート製の電化柱は遠心分離成形で作られるために中空であることから、かぶりコンクリートが剥落すると脆性的に破壊する。これまでの研究から、電化柱の応答を減衰させ、基部での応力集中を防ぐために、砂を電化柱の基部周囲に敷設していた。また、電化柱の基部を鋼板で巻くなどの補強がなされているものもあった。

電化柱の地震時の挙動は、高架橋の振動と連成するので、このような対策が取られていても破壊に至るものがあったことから、コンクリート製の電化柱の耐震性能の向上については継続的に調査研究が必要と思われる。なお、今回の震災で取り替えられる電化柱には脆性的な破壊をしない鋼管製のものが多く用いられている。

電化柱の取替え作業については、今回の復旧作業のプロセスの検証を行い、早期復旧に必要な課題を明確にし、改善を検討する必要があると思われる。

写真 1　取り替えられた鋼管の電化柱と、倒壊したコンクリート電化柱が据え付けられていた台座

写真 2　電化柱の取り替え作業

2-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項

（1）橋梁構造物の津波被害の予測と防止策

（2）防波堤の役割の評価

(1) 橋梁構造物の津波被害の予測と防止策

RC 桁、PC 桁、鋼桁およびトラス橋と、津波により押し流され、落橋したものが多い。その一方で、河口付近でも流失を免れた桁高の低い橋も数多くある。桁の位置（橋脚の高さ）・形状、構造形式、落橋防止装置の詳細、津波の大きさ、桁近辺での流体の運動等、多面的な検討が必要である。

［解説］

新北上大橋（図 1）では、7 径間のトラス橋において左岸の 2 連が落橋し、上流へ約 500m 流されていた。落橋防止装置は設置されていたが、破壊されていた。橋のかかっていた位置は蛇行部で、左岸側の川底が浅くなっている。津波の遡上時の動画があり、それによると、左岸側の波高が高くなっていた。左岸の 2 連のトラス橋が流出したのはそのためと思われる。

写真 1　トラス橋の流出（北上川）

桁に作用する波の力、桁の形状、落橋防止装置の詳細などについて検討が必要と思われる。

写真 2 は津谷川橋梁の橋脚の被害である。上部工の流出とともに、段落し部を起点として柱頭部の直ぐ下の箇所で、まるで柱頭部をねじきるように破壊が生じている。この橋梁では、PC 桁の落下だけでなく、橋脚の被害も認められ、詳細の調査と、対策の検討が必要である。

写真 2　津谷川橋梁の橋脚の被害

写真 3 は、歌津大橋の落橋防止装置の被害である。落橋した区間と、落橋していない区間があり、防波堤による津波の軽減効果、桁近辺での流体の運動、桁の形状、落橋防止装置の詳細などについて、調査分析が必要と思われる。

写真 3　歌津大橋の落橋防止装置の破壊

(2) 防波堤の役割の評価

岩手県から宮城県、福島県にかけて、多くの地域で計画高を超える津波に襲われ、防波堤が破壊され、町が飲み込まれて、甚大な被害が生じた。それでも、防波堤により津波のエネルギーを奪い、住宅への到達時間を遅らせ、遡上高を低くした可能性がある。また、消波工の役割として、消波工を設置していない箇所では津波の越流で堤防が流亡している箇所が多かったが、設置している個所では堤防の流亡がなかった。それらの定量的評価ができれば、津波の来襲を 100%防げなくても、津波のエネルギーを減少させ、被災をより少なくする可能がある。

［解説］

今回の津波では、多くの地域で計画高を越える津波が防波堤を破壊し、堤内に甚大な被害を与えた。一方、岩手県北部の平内海岸や久慈港では、防波堤が有効に機能し、被害を軽微に抑えた。津波の規模には当然ながら大小があり、発生頻度の低い巨大津波を構造物で完全に防御するには多大なコストがかかる。また、今回破壊された構造部も、発生頻度の高い津波や高潮等には有効に機能してきたと考えられる。さらに、今回の津波で破壊された防潮堤、防波堤についても、津波の到達時間を遅らせて避難の時間をかせぐことに寄与したり、津波のエネルギーを低減して堤内の被害を軽減した可能性もあり、これらの定量的評価を十分に行う必要がある。

テトラポット等の消波工を背後に有する防波堤は津波が越流しても堤防が流亡せず、消波工の未施工箇所で堤防が流亡している箇所が多い傾向が見られた。堤防単体でなく、消波工との組み合わせで津波のエネルギーを低減する効果についても、定量的な評価が十分になされる必要がある。

構造物により津波の被害を 100%防ぐことはできないとしても、構造物の役割を十分に理解した上で堤内の市街地や施設などの戦略的な形成、避難戦略の立案・改善と継続的な訓練や啓蒙などを行っていくことで、より多くの人命を救い、財産も守ることのできるまちづくりが可能となると思われる。

写真１　不同沈下した防波堤ケーソン（相馬港）

3　市街地・集落の津波被害に関して

3-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈

（1）様々な地形・歴史的経緯と多様な状況の被災地

（2）一定の効果が認められた避難所対策

（3）湾口防波堤には津波に対して一定の効果

（4）東北地方整備局の被災自治体のニーズへの素早い対応

(1) 様々な地形・歴史的経緯と多様な状況の被災地

仙台市より以南の平野（以下、仙南平野と呼称）と三陸地域では、地形や市街地形成の歴史的経緯が異なり、市街地の形成状況に大きな違いがある。この結果、津波を主体とした市街地の人的・物的な被災状況は多様である。

［解説］

仙南平野は、低湿地が多くを占め水田として利用され、屋敷林（“いぐね”と称する）などが一部に残っているが、新興住宅地などへの転用がみられ、水田等を埋め立て市街地として形成されたと見られるところが多い。これらの地域では、宮城県では名取市閖上、仙台市若林区荒浜などに見られるように、主として、津波が防潮堤・防潮林や河川堤防を越流し、平野部の相当内部まで津波が進展して大きな被害となった市街地が存在する。臨海部の市街地においては、ほとんどの木造の建築物が基礎部分を除いて流失し、外観を留めているのは鉄筋コンクリートの構造物に限られるなど、津波高さとその流速が防潮堤等によって十分には減じられることなく襲来したと推察される状況が見られた。その一方で、周辺の市街地や水田等は津波によって大きな被害を受けているにもかかわらず、屋敷林とその内部の建築物が被災を免れていたり、市街地の一部が大きな被災を受けることなく残存しているところも散見された。古い集落が地形条件を十分考慮した立地となっているのに対して、新興住宅地ではこうした条件が整っていない場所に立地している可能性が示唆される。また、市街地の一部が大きな被災を受けることなく残存しているところでは、海岸に襲来した津波の高さや流速に依存するところが大きいと考えられるが、一方で、防潮堤、防潮林（あるいは海岸防砂林）、鉄筋コンクリートの施設、水田、盛土構造の道路（一部）等が多重防御となって、建築物を破壊するに至らない程度まで津波外力を低減させたものと推察された。しかし、それぞれの要素の定量的な効果については詳細な検討を要する。一方、三陸地域は、リアス式海岸という特徴から、港湾と一体となった地形に狭い市街地・集落が広がっている。港として古くから活用され、沿岸漁業や養殖などの漁業が主要な産業である。これらの地域では、入り江に入った津波外力が集中することによって破壊力を増加させ、市街地・集落が甚大な被害を受けたところが数多く存在する。ただし、市街地の被災状況には様々な様相がある。南三陸町志津川、陸前高田市、大槌町、陸中山田町のように、市街地の骨格・形状・機能がほぼ完全に失われ、全体が壊滅的な被害を受けている市街地がある一方、気仙沼市、大船渡市、釜石市、宮古市のように、港湾部と港湾部近傍の市街地の被災状況が甚大であるが中心市街地の骨格は残存している市街地が存在する。特に、市街地全体が被害を被ったところでは、津波によって市街地内の木造建築物はその基礎部分を残して全てが流出しているが、港湾部に近い地区では鉄筋コンクリート造の建築物以外、瓦礫も多くは残っていないなど、仙南平野での被災状況に比較して、津波の破壊力が大きいことが推察される。一方、港湾部と港湾部近傍の市街地（住宅や水産加工の工場が多い）の被災状況が甚大であるが中心市街地の骨格は残存している市街地では、被災市街地内に非常に多くの瓦礫が留まっている。こうした津波被害の軽重は、津波の方向、前面にある島、半島などと港湾の受け方の関係が示唆される。

(2) 一定の効果が認められた避難所対策

特に三陸地域では、歴史的に何度も津波被害を被ってきた地域であり、行政機関、学校、病院、避難場所ほかの公共・公益施設を計画的に高台に配置したと見受けられる。これらの施設は津波の被害を免れ避難場所として機能し、事後の避難所として活用されているところも多い。被害は甚大であるが、これら従前の防災方策は一定の役割を果たした。また、これに加えて、日頃から積極的に実施されている住民の避難訓練をはじめとした防災訓練や各種津波防災対策への取り組みも奏功した。一方で、避難場所に至る避難路の問題、避難後の避難生活を支える機能の問題、等も指摘される。

［解説］

三陸地域は、明治三陸地震津波（1896 年 6 月 15 日：死者・行方不明者約 22,000 人）や昭和三陸地震津波（1933 年 3 月 3 日：同約 3,000 人強）、チリ地震津波（1960 年 5 月 24 日：同 142 名）等による被災を経験した。明治三陸地震津波では、日本の本州で観測された津波では最も高い遡上高である海抜 38.2m を記録し、また、昭和三陸地震津波でも、28.7m の遡上高を記録しているが、東北地方太平洋沖地震ではこれらを上回る遡上高が報告されている。なお、最近では 2010 年のチリ地震における大津波警報があるが、実際に観測された津波高さは最大で 2m 弱であった。

また、明治以前にも、三陸地域を津波が襲った地震としては、貞観地震（869 年）、慶長三陸地震などがあり、歴史的に何度も津波被害を被ってきた地域である。

これらの経験・教訓から、三陸地域にある自治体は津波に備えて、防波堤、防潮堤、水門等の整備、防災行政無線や避難施設等の整備、津波防災マップの津波避難対象世帯への配布、津波防災訓練の実施、自主防災組織の育成・強化などといった対策を講じるとともに、津波からの避難を想定した避難場所に加えて、役所、学校、病院、福祉施設などを計画的に高台に配置したとみられる公共・公益施設が多く見受けられる。全国的に見ても津波防災対策において は先進的な取り組みを行っている地域である。

今回の震災においては、これら高台に計画的に整備したとみられる公共・公益施設が避難場所として機能した。被害は甚大であったが、これらの取り組みも十分に奏功したものと考えられる。

しかしながら、一方で、古い市街地に避難場所を有する丘陵地が隣接し市街地内の街路が十分に整備されていないため、避難時の渋滞等で避難困難があったという指摘もされている。また、津波からの避難場所として指定されているにも関わらず、今回の地震による津波で被災したところも見受けられるとともに、津波からの避難場所としては機能したものの住宅等を失った避難者のその後の避難生活を支える避難所としては備蓄がないなど、いわゆる「収容避難」としての機能が十分といえない事例も見られた。

また、避難場所が遠方にある場合には車で避難する可能性があるが、避難経路上での渋滞や、途中で車を放置して避難する場合の渋滞悪化の可能性など、難しい課題が残っている。

(3) 湾口防波堤には津波に対して一定の効果

湾口防波堤を持つ釜石市、久慈市では、陸前高田市、南三陸町志津川のように市街地が全面的に流失するというような状況ではなく、後背地である市街地の被災は部分的に留まる。独立行政法人 港湾空港技術研究所の分析によれば、釜石市の湾口防波堤は津波の波高を 4 割減にしたとの報告されている。

［解説］

久慈港は、港湾に建設中の湾口防波堤（計画では総延長 3800m（北部 2700m、南部 1100m）、現在 920m 完成）をもち、通常の港湾にもある防波堤と岸壁に設置された防潮堤の３重に防御された構造を持つ港湾である。内側の防潮堤の高さは 4m であるが、これは湾口防波堤が完成したときに効果を発揮するものとして設計されている。

今回の地震に伴う津波では、湾口防波堤に増設するために防波堤付近で建設中のケーソンが大きく移動し破壊、あるいは港湾に沈むとともに、フローティングドックが沈没、内側防潮堤に船舶が乗り上げる、防波堤の消波ブロックも沈下が見られるなど、相当の被害が生じている。

しかしながら、陸地に上がった津波は港湾から近い国道 45 号線付近までの遡上に留まり、市街地を大きく破壊することはなかった。これは、十分な理論的検証を要することであるが、設計規模を越える津波が襲来した場合であっても、上記のように、多段階の防波堤・防潮堤による防御が奏功したためとも見ることができる。

独立行政法人 港湾空港技術研究所の分析によれば、釜石市の湾口防波堤は津波の波高を 4 割減にしたとの報告されており、久慈港に襲来した津波についても同様の効果が多重に働き、津波の威力を減じたものと推察される。

（4）東北地方整備局の被災自治体のニーズへの素早い対応

東北地方整備局の素早いリエゾン派遣や、被害が甚大な沿岸部への進出のため救援ルートの要となる「くしの歯」型の救援ルートの啓開対応（「くしの歯」作戦）は、情報を集約して状況に応じて機動的に対応した組織として高く評価できる。

［解説］

今回の災害において、東北地方整備局の果たした役割は、高く評価できる。

発災当初にリエゾンとして、状況の判断・意志決定ができる職員を青森県庁、岩手県庁、宮城県庁、福島県庁に緊急派遣し、自治体ニーズの的確な把握と迅速な対応に当たらせ、様々な災害対策機械を被災市町村に配備し、復旧活動を支援している。

また、情報の途絶のため被災地では必要とされる物資が円滑に避難所等に行き渡らない状況があったが、リエゾンから得られた各市町村のニーズに基づき、本来であれば地方整備局が実施することのない救援物資の調達・送付を、本格的な通信手段が回復するまでの当分の間、担当している。

施設の啓開・点検では、被害が甚大な沿岸部への進出のため、救援ルートの要となる「くしの歯」型の救援ルート（東北道・国道４号から三陸地区にアクセス）するための 15 本の東西ルートを、県、自治体と迅速に啓開している。

大規模自然災害が発生し、又は発生するおそれがある場合において、被災地方公共団体等が行う災害応急対策に対する技術的な支援を円滑かつ迅速に実施することを目的として設置された TEC-FORCE は、自治体の被災状況が深刻なことを受けて、応急対応・復旧に必要な種々の調査・検討・調整等についても支援している。

整備された情報網と確立された命令系統の利用という危機管理の原則に基づき極めて効果的に実践したという印象を受けた。

このように、既存の組織の所掌範囲にとらわれず、情報を集約して状況に応じて機動的に対応できる組織を、平常時から整備しておくことが重要である。

3-2　今後の方向性と（暫定的）提言

（1）ハード対策とソフト対策は車の両輪

（2）被災状況・自然条件・歴史文化を考慮した再生の必要性

（3）広域的な視点を考慮に入れた市街地の移転・用途変更の可能性の考慮

（4）基礎調査の実施が不可欠

（5）津波避難のための高台避難場所・津波避難ビルの指定

（6）市街地火災からの広域避難場所等の再点検

（7）支援チームの組織化の必要性

(1) ハード対策とソフト対策は車の両輪

防災対策の要は、災害事象がもたらす設計外力に耐えられる施設構造物を建設することにより災害時の外力に耐え、被害を防ぎ（防災）被害を減じる（減災）というハード対策と、設計外力を越える災害事象が発生した場合に、災害拡大を低減するためのソフト対策をバランス良く実施することである。防災・減災のためのハード対策、およびハード対策では対応できない部分のソフト対策としての避難が車の両輪である。

［解説］

巨大災害に対する今後の安全・安心には「減災と避難」が重要である。減災のためのハード対策、およびハード対策では対応できない部分のソフト対策としての避難が車の両輪である。例えば、普代村では普代側河口から 300m 上流側に設置された 15.5m の水門が大きな防御となり、市街地を津波被害から守った。しかしこのようにハード整備で対応するには限界がある。多くの市街地では、相当規模の防潮堤でも破壊・越流され、後背市街地は壊滅的なダメージ受けるとともに、多くの住民が避難時に津波に巻き込まれて命を落としている。また、比較的高い鉄筋コンクリートの建物の上階や、高台に避難して助かった住民も多い。

自然の力に対して設計外力に基づいて整備された防災施設（ハード）の性能によって真っ向から対応するのではなく、住民の命を守ることを目標に、たとえば、市街地への浸水も考慮に入れ、津波避難ビルを二次・三次の防波堤と考えて、その空間配置などを考慮しながら柔軟に津波エネルギーの減少を図り、市街地の壊滅的な被害を減じる必要がある。

また、このような防災施設や市街地の空間構成などによって津波の威力が減じることが可能であろうが、それでもなお人命に危険が及ぶ可能性があることを前提として、避難対策（ソフト対策）を十分に行い、住民等が安全な場所に速やかに避難可能な市街地整備と体制づくりが喫緊の課題である。

(2) 被災状況・自然条件・歴史文化を考慮した再生の必要性

個々の市街地特性を踏まえた基礎情報の整理と、多様な視点の導入による地域の実情に応じた防災を考慮した復興計画の立案が必要である。市街地構造に影響される災害の形態と住民の避難行動の実情を踏まえ、住民の意向を十分にくみとりながら、それぞれの地域ごとの特質を反映した防災計画を復興計画の骨子として組み込むことが必要不可欠である。

［解説］

市街地調査の結果、被災の状況や効果を上げた対策は地域によって様々な形態を持つことが明らかとなった。復興の計画策定についても、背後地に団地を造成することが可能な市街地・集落や、このような事ができない市街地・集落など、個々の市街地・集落特性は様々である。また、これらの地域は漁業を主要な生業として成立していることは復興の重要な視点である。また、漁業以外にも釜石、石巻、気仙沼等、工業・商業などの産業基盤が大きく損傷している都市も見受けられ、都市特性に応じた丁寧な分析が必要であり、住民・地域の復興の意向を受け止めて復興計画を立てることが、復興を早めることにつながるものである。ステレオタイプ的な復興計画によって、全ての市街地の復興を進めることは適切でない。

そのため、個々の市街地特性を踏まえた基礎情報の整理と、多様な視点の導入による地域の実情に応じた防災を考慮した復興計画の立案が必要である。市街地の地形に影響される災害の形態と住民の避難行動の実情を踏まえ、骨格となる街路ネットワークと津波避難ビルや避難場所の配置を地域ごとに考えるとともに、住民の意向を十分にくみとりながら、それぞれの地域ごとの特質を反映した緻密な地域安全性評価に基づく防災計画を行い、復興計画に有機的に組み込むことが必要不可欠である。

(3) 広域的な視点を考慮に入れた市街地の移転・用途変更の可能性の考慮

多くの市街地・集落で、何らかの市街地の移転・用途変更等を検討する必要があると思われる。このための地域の復興計画には多様な視点の導入が求められる。周辺地形や主要な産業等を十分に見極め、後背地における宅地造成の可能性と雇用確保・生産支援について検討する必要がある。

［解説］

沖合は水深深く、海岸線ぎりぎりまで生産域・居住域が迫り、背後は急峻な地形で閉ざされている市街地・集落の存在や、やや穏やかな地形で近傍もしくは後背地に平坦地確保が可能であり、一部宅地を高所に移転することによって、市街地全体を後背地側に少しシフトして、港湾近くを漁業関係の業務地区とする等の案など、多くの市街地・集落で、何らかの市街地の移転・用途変更等を検討する必要があると思われる。そのためには、行政の各組織が所掌する業務範囲を超えた縦割りではない総合的土地利用計画が必須であろう。

また、南三陸町における物流・生業・住宅の集約化された商工団地が防災拠点として機能している例や、三陸縦貫自動車道を使った大船渡病院への患者搬送などの例を踏まえるなら、地域の復興計画には、その市街地が存在する場所だけではない、広域的な視点の導入が求められる。周辺地形や主要な産業等を十分に見極め、後背地における宅地造成の可能性と雇用確保・生産支援について検討する必要がある。

(4) 基礎調査の実施が不可欠

復興基礎調査は、地籍やその境界に関する空間調査、山頂から海底までの測量調査、災害意識調査などから総合的に構成されるが、まちづくりのとりかかりとして、被災者へのききとりを基本に考えたい。予め設定されたアンケートを用いるのではなく、対面１対１を基本に、被災者の心情をくみとる「ききとる復興センサス」をその基本にすえることで、まちづくりへの端緒としたい。

［解説］

被災者の多くは発災から１ヶ月を経てなお行方不明となっている家族、親類、知人を数多く抱えている。こうした状況は被災者の次の行動判断に移れない原因のひとつである。また東日本大震災におけるロジスティクスの機能不全や膨大かつ広域な範囲の避難所立地を原因として、今居る避難場所や自宅における生活環境が整わない、あるいは元いた場所の復旧・復興計画が示されない、移転先の条件などが不明といった状況におかれているケースが散見された。

このような環境下で、復旧・復興のための基礎調査を考えた場合、地籍や移転条件、生業といった何を聞くべきかについてあらかじめフレームを想定した基礎調査をアンケートなどで行った場合、計画者が想定している政策やそのための設問が、被験者の状況とミスマッチを起こす可能性が高い。たとえば、元住んでいた場所の今後の復旧方針や可能性が示されない、あるいは移転先における職業や周辺環境についてのコーディネーション不在なまま、避難所からの仮設住宅への移転条件などをアンケートで尋ねることは難しいだろう。

こうした問題を改善するためには、聞き取りを基本とした被災者の実情・心情をくみとった調査を復興センサスの柱として位置づけたい。時間軸上で変化する様々な被災者、復旧･復興主体の生の声を収集することは、1000 年に一度ともいえる本震災の実情把握においては必要不可欠であり、聞き取り者を地元住民自身とすることで、復興まちづくりに向けた住民自身のまちの状況理解や収入確保につながるなどのメリットも考えられよう。

(5) 津波避難のための高台避難場所・津波避難ビルの指定

沿岸地域の都市は、津波により市街地の多くの建築物が大きな被害を受けることを前提とし、津波避難のための高台避難場所・津波避難ビルの指定を緊急に行い、地域住民に周知することが重要であるとともに、高台避難場所へのアクセスは、災害時要援護者も配慮した避難経路整備が必要である。

［解説］

沿岸地域の都市は、津波により市街地の多くの建築物が大きな被害を受けることを前提とし、津波避難のための高台の避難場所・津波避難ビルの指定を緊急に行い、住民に周知する必要がある。

避難場所へのアクセスについては、自家用車等での避難途中に津波にのまれた事例においては、複数の経路からの車の進入、下車して無人の車などが原因で渋滞が発生したことが原因であったという指摘がある。また、高齢者など高台まで徒歩の避難が困難な住民もいるため、車対応の避難経路を用意する必要がある。徒歩と車の避難経路と空間分離を図ることが重要である。

避難ビルについては、高台まで距離のある住民に対して避難場所となったため、その構造物の高層化も検討すべき課題である（志津川の避難ビル・病院など例が多数）。また、津波の進入方向に対して直交の向きの場合、内部の被害が軽減される可能性があり（釜石市の港に面した避難ビルは直交であり、一方、大槌町役場は津波の進入方向に平行であった）、その向きが重要となる可能性ある。

このため、市街地の地形に影響される津波災害の形態と住民の避難行動の実情を踏まえ、災害時要援護者も配慮しつつ骨格となる街路ネットワークと津波避難ビルや避難場所の配置を地域ごとに考えていく必要がある。

（6）市街地火災からの広域避難場所等の再点検

首都直下地震の場合、稠密に立地した木造を主体とする市街地では同時多発火災の可能性が高い。避難時の混雑による避難の遅れ等によって避難場所にたどり着くことができない可能性について検討を加え、市街地火災からの広域避難場所等の再点検を行うことが必要である。

［解説］

首都直下地震の被害想定においては、津波によって市街地が被災を被る可能性は少ないとされ、津波による被害については十分には想定していない。しかしながら、東北地方太平洋沖地震においては、荒川を遡上する波が観測されている。今回の地震は直下型地震とは異なるので、直下型地震での大規模な津波発生の可能性を裏付けるものではないが、今一度、津波の可能性について再点検する必要がある。

一方、首都直下地震時の主要な被害の１つであるとされる市街地火災については、稠密に立地した木造を主体とする市街地では同時多発火災の可能性が高い。地震発生後、直ちに避難をしなければならないかどうかの避難の緊急性は今回の津波からの避難に比較すれば相対的に低いと考えられるが、避難時の自家用車等の使用による混雑・渋滞の結果、避難の遅れ等によって避難場所にたどり着くことができない可能性について検討を加え、市街地火災からの広域避難場所等の再点検を行うことが必要である。

(7) 支援チームの組織化の必要性

復興には「多様・多数の人的資源」が必要である。現行の災害対策基本法の制約の枠を越えて、都市計画・宅地造成・農林漁業・企業関係・NPO などの専門家、国・県・市町村職員、コンサルタントグループあるいは UR 都市機構等によって構成される、組織化された支援が必要である。また、浜中連携、広域支援などにおいては、次の震災対策に繋がる復興支援を行うことが重要である。

［解説］

今回の震災では、極めて広域にわたって多数の中小市町村が甚大な罹災をしていることが特徴的である。このような状況のなかで、多数の中小の市街地の復興計画を策定していくためには、多様・多数の資源が必要となる。

特に、復興計画の初期段階においては、計画づくり、合意形成と自助・自立プロセスの調整にあたって、たとえば、仮設集落の用地確保と早期建設、雇用確保・生産支援の制度化、公的組織による土地購入の仕組み等が不可欠である。このためには、各専門的な立場から支援を行う都市計画、宅地造成、農林漁業、企業関係、NPO などの組織・主体、行政支援を行う国、県、他の自治体等の職員、さらには、様々なコンサルタントグループあるいは UR 都市機構等などで構成される支援チームの組織化が重要となる。

行政的な支援としては、「浜側の街」の被災を「内陸側の街」が連携して支援する「浜中連携」や、次に予想される震災に備えるため、「被災想定の県・政令市」が「被災地域」を支援する「広域支援」などの形態が考えられる。

3-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項

(1) 歴史的経緯を踏まえた市街地の特性と被災状況の関連性の調査

(2) 災害ヒト・モノ・コト総合アーカイブの構築

(3) 空間特性によって生じる避難渋滞の発生と意識の解凍の重要性

(1) 歴史的経緯を踏まえた市街地の特性と被災状況の関連性の調査

地形に影響される災害の形態と住民の避難行動の実情を踏まえ、津波避難ビルや避難場所の配置と骨格となる街路ネットワークのあり方を、それぞれの地域ごとに考える必要がある。そのためには、定量的な調査によって陸上・海底地形のシームレス計測、市街地形成の実態、過去の災害発生の歴史的経緯と避難行動との実態を把握するための調査が必要不可欠である。

［解説］

3-1（1）で解説したように、仙台市より以南の平野（以下、仙南平野と呼称）と三陸地域では、地形や市街地形成の歴史的経緯が異なり、市街地の形成状況に大きな違いがある。この結果、津波を主体とした市街地の人的・物的な被災状況は多様である。

すなわち、津波による人的・物的被害については、それぞれの地域の地形に影響されて津波の襲来場所、時刻、規模等が異なるようであり、また、市街地の制約や歴史的経緯の中で形成されてきた市街地の広がりが深く関係する。

今後、市街地の復興を考えるに当たっては、個々の市街地状況を踏まえた基礎情報の整理と今回の被災状況の関係を綿密に調査・分析し、地域の実情に応じた防災計画の立案が必要である。そのためには、定量的な調査によって陸上・海底地形のシームレス計測、市街地形成の実態、過去の災害発生の歴史的経緯を避難行動との実態を把握するための調査が必要不可欠である。

(2) 災害ヒト・モノ・コト総合アーカイブの構築

復興基礎調査をはじめとして、自然、歴史、地籍、人々の関係性、避難行動の実態、災害の実情、医療措置、教育、生業などについて、その定量的計測結果、人々の語りや分析者の考察といった様々なデータが復旧・復興時において、分析、計画、デザイン、まちづくりの過程で生まれることになる。こうしたデータを 1000 年に一度の災害の統合的なデータプラットフォームとして格納した総合アーカイブの構築が必要である。

［解説］

多様な地形、歴史、文化、生業をもつ三陸、仙台平野を中心に発生した東日本大震災においては、災害の発現の仕方も様々である。時間的空間的な広がりをもつ災害を記述するためのデータは言語、数値、映像など様々な形態で、個々の自治体や県、国、様々な研究機関による様々な測量調査やアンケート、聞き取り調査、報道機関による取材、被災者自身がブログやツイッターを用いて発信するテキストデータなどが考えられよう。

こうしたデータをデータの特徴を記述するメタデータとともに一元的に保管する必要がある。こうしたデータは散逸しがちであり、検索･利用しやすい形で正規化しアーカイブすることは、１）東日本復興時の計画策定などに直接的な貢献を果たすと共に、２）災害博物館などの構想の基盤となるし、3）他地域における発災時に有用といった利点を有する。

そのためには、データの特徴を記述するための、メタデータの整理が重要となる。緯度・経度・高さ・時刻・記録主体・意味分類を基本としたデータ特徴の記述を行った上で、測量された地形データや地籍データを基盤として、こうした多様なデータをアーカイブすることが望ましい。

(3) 空間特性によって生じる避難渋滞の発生と意識の解凍の重要性

仙台市荒浜地区のような広大な低地部が広がる仙南地域、あるいは街路ネットワークが入り組んだ気仙沼のような地域では、避難時の目印が判然としないため、自動車で逃げて渋滞に使ったような場合でも、自分の位置から目標地点までの距離や混雑状況が判りにくく、車を捨てて逃げる行動をとりにくいといった問題が発生していた可能性が高い。こうした問題へ対応した、避難サイン、骨格となる街路の形成に応じた能動的避難訓練が重要となる。

［解説］

空間特性によって影響を受ける避難行動のうち、交通機関の選択は避難場所の選択の影響を受ける。避難場所が遠く、同行者も多い場合は車を選択せざるを得ない場合も多い。車を選択した場合、目的地までの距離に対して市街地整備事業など進んでいないばあい、交通容量が十分ではなく混雑が発生しやすい、あるいは見通しが悪くその混雑状況が判然としない場合、同乗者との意見統一や、降りた後の避難行動が困難になるケースがある。

このような場合では、避難者が損きりをして車を捨て避難するという新たな行為の選択が難しいという問題がある。こうした行為は多数派同調バイアスなどとして知られており、今回の一次調査においてもいくつかの地域でその発生が明らかとなっており、市街地がもつ道路ネットワークの形状と容量、避難場所までの距離をもとにしたより詳細な避難行動計画の立案が必要と考えられる。

また津波災害においては避難を取り巻く環境が一刻一刻変化していく。基本となる災害の強度も震源位置やマグニチュードによって様々である。こうした動的環境をあらかじめ想定した思い込みの解凍のためには、複数の意思決定段階を有する避難行動トレーニングと地域における避難行動のための判断材料を与える空間構成が必要である。骨格となる避難ネットワークの形態整備などが重要であろう。

4　被災地におけるライフラインシステムの機能障害と復旧に関して

4-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈

（1）沿岸部交通システムの津波による機能障害と復旧

（2）耐震性を発揮した内陸部交通システムと復旧過程

（3）津波による大被害の下水道、短期間で復旧した上水道

（4）広域に影響を与えた電力供給システムの被害状況と復旧

（5）仙台都市ガス供給システムの被害状況と復旧

(1) 沿岸部交通システムの津波による機能障害と復旧

太平洋沿岸部では、津波による甚大な機能障害は、道路・鉄道・港湾・空港のあらゆる交通システムに及んだ。三陸沿岸の鉄道は復旧の目処が立たない区間が多いが、港湾は 5,000 トンクラス船の着岸も可能となりつつあり、物流機能は徐々に復旧している。仙台空港の限定的な民航運行も 4 月 13 日に再開した。また、沿岸部でも、高規格道路が交通機能、防災機能を発揮する例も多く確認された。

［解説］

津波により、三陸から茨城県、千葉県にいたる太平洋岸で、交通施設は損壊、破断、機能停止などの大きなダメージを被った。鉄道は三陸鉄道をはじめ、JR 山田線や常磐線なども、駅損傷、線路破損により運休を余儀なくされた。2011 年 4 月 18 日現在、沿岸路線では、仙台～小鶴新田、仙台～松島、宮古～小本、陸中野田～久慈などわずかな区間の運転に限定されている。橋梁の消失区間もあり、復旧の目処が立たない箇所が多数存在する。

港湾も、八戸港、宮古港、釜石港、久慈港、大船渡港、石巻港、仙台塩釜港（塩釜港区）、仙台塩釜港（仙台港区）、小名浜港、相馬港、日立港、ひたちなか港、大洗港、鹿島港など太平洋沿岸港湾で、岸壁損壊や、上屋施設破損など、物流機能の障害が多く発生した。仙台港では、3 月 21 日には 2,000 トンクラスの船舶が接岸できたが、津波による多大な漂流物や、岸壁部の車など沈降瓦礫の撤去作業に時間を要した。3 月 31 日現在で、上記港湾の合計 343 バースのうち、暫定利用可能なバースは 84 と、利用可能率は 24%に止まっている。地震直後から燃料不足が深刻化したが、港湾機能の停止により、十分な輸送ができず、エネルギー供給が不十分となった。

海岸近くに位置する仙台空港も津波により冠水し、滑走路は瓦礫や車で覆われ、非常用電源施設も機能停止、旅客ターミナルは一階部分が破損、貨物ターミナルでは火災が発生した。誘導路部分で一部、液状化による沈下も見られたが、軽微であったため、米軍などによる瓦礫処理も進み、4 月 13 日に合計一日 6 便（羽田 4 往復、伊丹 2 往復）の民間航空機サービスが再開された。なお、民航運行には空港周辺の安全柵設置が条件であり、木杭と鉄線による応急柵が設置された。精密機械である管制機器の復旧は時間がかかるため、夜間の離発着ができず、滑走路容量は十分確保できていない。

三陸沿岸を貫く国道 45 号線も津波被害は甚大であった。しかしながら、三陸縦貫自動車の建設が完了した区間は山側に設置されていたため、被害は軽微であり、「くしの歯作戦」の沿岸部分の交通を支える重要な役割を果たした。同様に、仙台東部有料道路の盛り土部分が津波の侵入を遮る例も見られ、高規格の道路が、交通機能としても、防災機能としても十分な役割を担うことが再確認された。

(2) 耐震性を発揮した内陸部交通システムと復旧過程

構造物被害が比較的軽微であった内陸部では、道路復旧に際して明確なゴールを定めた「くしの歯作戦」による復旧・啓開作業が功を奏し、救援活動を支える交通機能が早期に確保された。新幹線・在来線では早期地震検知システムが有効に作動し、脱線事故などによる死傷者も未然に防ぐことができた。一方で、新幹線の電化柱の被害が多く、復旧作業にも時間を要している。その間、不通区間のある市内地下鉄も含め、代替バスによる移動手段確保が重要な役割を果たした。

［解説］

沿岸部、内陸部も含めて道路の被害は、高速道路 15 路線、国道 161 区間、都道府県道等 499 区間に及んだ。しかし、東北自動車道や国道 4 号線などの内陸幹線部分では構造物の耐震性が発揮され、比較的早期の復旧が可能となった。東北地方整備局による「くしの歯作戦」という、明確なゴールを定めた復旧・啓開作業は十分評価される。同作業により、3 月 16 日には三陸海岸部に至る 15 の経路で一般車両が通行可能となり、救助活動を支える交通機能が提供された。

新幹線も内陸部を通過するため、甚大な被害はなかった。また、2006 年に整備が完了した早期地震検知システムにより、地震動が到達する時間には走行速度が十分低下しており、仙台駅構内における試験車両 1 件の脱線を除けば、在来線も含め、現時点では脱線事故も死傷者も報告されていない。新幹線軌道については、電化柱の損傷数が多く、復旧には慎重な電気工事を伴うため、時間を要している。4 月 12 日には、那須塩原から福島まで運転が再開され、残り区間（福島～盛岡）も 4 月下旬から 5 月上旬には再開予定である。

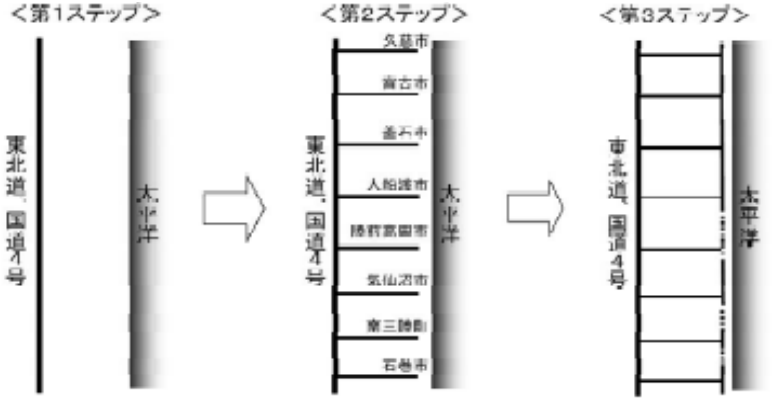


図１　「くしの歯作戦」実施プロセス

仙台市地下鉄は、地上部分の八乙女駅と、泉中央～黒松駅間の橋脚が被災したため、3 月 14 日に台原～泉中央を除く区間が運転再開された。同区間は代行バスによるサービス提供となったが、当初のバス 10 台では足りず、ピーク時に混乱が生じたため、25 台に増便された。4 月末には全線の運転再開が予定されている。

都市間高速バスも含め、これら代替バスによる輸送は必要最小限の交通機能を支えた。首都圏と東北地域とのバス輸送力は、3 月末現在で、平常時の 250%程度に達した。

(3) 津波による大被害の下水道、短期間で復旧した上水道

上水道と下水道は地震並びに津波により大きな被害を受けた。上水道に関しては地震による水道管ネットワークの被害、下水道は津波による下水処理施設やポンプ施設の被害が大きかった。仙台市では発災後 18 日でほぼすべての地域の水道が回復している。下水道施設は被害甚大なところが多く、復旧のめどが立っていない。下水の簡易処理で対応しているところが多い。

［解説］

上水道の被害は地震により浄水施設と水道管が被害を受けた。仙台市では浄水施設の被害は少なかったが、電力供給が停止したため自家発電で対応した。水道管ネットワークの修復は全国からの応援を得、発災後 18 日で修復をほぼ終えた。なお、三陸沿岸域の津波により、広い範囲が甚大な被害を受けた地域の上水道は未だ復旧していない。

我が国の下水処理施設は沿岸域に位置している場合が多い。これは、内陸部ないしは沿岸部の都市から排出される下排水を処理し、海へ放流するという処理形式をとっているからである。今回の震災に伴う津波により、仙台市周辺、三陸沿岸都市の下水処理場は壊滅的な被害を受けた。また、沿岸域に下水ポンプを設置し、下水処理場に下水を移送するシステムの場合はそのポンプ施設が津波による被害を受けた。このような自然流下方式ではない下水システムの場合、住宅地でマンホールからの下水の噴出する場合がある。仙台市のように都市の機能がほぼ回復している場合、下水は排出されるので何らかの処理をしなければならない。

下水処理場の被害としては汚泥や瓦礫の堆積、津波による建屋や設備の流失、電気設備への海水の浸水が主なものである。現在、沈殿と塩素消毒による簡易処理で放流している施設が多いが、有機物濃度、栄養塩類濃度、指標微生物濃度共に正常な下水処理場の処理水より高い値である。この状態が長期的続くと、沿岸環境に影響が出ることが懸念され、沿岸域の活動（海水浴場、漁業等）の正常化に伴い、注意が必要である。下水処理場の完全な復旧には数年の時間を要する。なお、燃料不足による復旧活動の遅延が上水道と下水道の両方で認められた。

(4) 広域に影響を与えた電力供給システムの被害状況と復旧

地震動や津波により多くの発電所が被害を受けて停止し、変電、送電、配電の各設備も少なからず被害を受け、東北電力管内の約 486 万戸で、東京電力管内の約 405 万戸で停電が発生した。特に原子力発電所の歴史的被害は、エネルギー供給面のみならず、今なお被害拡大を伴う深刻な影響を及ぼしている。これらの被害により電力の大幅な供給不足が生じ、東京電力管内では計画停電が実施され、社会全体に多大な影響を及ぼした。2011 年夏場の首都圏電力不足も懸念されており、わが国の電力供給システムの危機管理の見直しが避けられない。

［解説］

電力供給システムの被害状況について、東北電力管内では 4 つの火力発電所（八戸、仙台、新仙台、原町）で地震や津波による被害が生じた他、水力発電設備の被害（建物内落石、土砂流入）が 11 箇所、変電設備の被害（変圧器損傷、遮断器損傷、断路器損傷等）が 57 箇所、送電設備の被害（鉄塔損壊・折損・傾斜、電線断線・がいし折損、地中ケーブル損傷、地すべり等）が 104 線路、配電設備のうち支持物折損・傾斜等が 22, 638 基、電線混断線が 22,907 条間、変圧器・開閉器損傷が 6,954 箇所で発生した（各数値は、いずれも 3 月 11 日の地震による被害を対象としたもの）。また、原子力発電所は、女川は 1~3 号機の全てが自動停止し、東通は定期点検中で停止中であった。なお、4 月 19 日時点で、八戸火力発電所を除く 3 つの発電所は停止中である。このうち仙台火力発電所（定格出力 44.6 万 kW）は 2010 年 7 月にリプレースしたばかりであったが、タービン建屋 1 階部が津波によって浸水、土砂が堆積し、現時点で復旧の目処は立っていない。

地震発生当日は約 486 万戸で停電が発生したが、他電からの応援を得た復旧作業によって、発災 1 週間後には 286,744 戸、2 週間後には 196,655 戸に減少した。4 月 19 日時点の停電は、岩手、宮城、福島 3 県の沿岸部を中心に 146,838 戸であり、その多くが津波等で設備や公共インフラ、家屋等が流失した地域や、今後の瓦礫撤去や立入制限解除等により復旧作業に着手可能となる地域である。

これらの被害により、電力の供給力はピーク需要に対して約 100 万 kW 不足することが想定されたため、3 月 16 日以降に計画停電が予定されたが、水力発電所の供給力増加や全国融通受電の決定などの供給側の要因、電力需要の復興の遅れや節電の取り組みなどの需要側の要因によって、4 月 19 日現在では実施されていない。一方、東京電力管内では 2 箇所の原子力発電所（福島第一、福島第二）、5 箇所の火力発電所（広野、常陸那珂、鹿島、大井、東扇島）、変電所等が地震や津波による被害を受けて停止し（4 月 20 日現在、広野、常陸那珂が停止中）、地震発生当日には約 405 万戸で停電が発生した（翌 12 日には約 45 万戸に減少し、19 日までに全て解消）。特に福島第一原子力発電所の歴史的被害は、エネルギー供給面のみならず、今なお被害拡大を伴う深刻な影響を及ぼしている。

これらの被害により、地震発生直後の供給力は 3,100 万 kW まで低下し、ピーク需要の 4,700 万 kW に対して大幅な供給力不足となったため、3 月 14 日より計画停電が実施され、社会全体に多大な影響を及ぼした。なお、計画停電についてはその後の需給バランスの改善に伴い、4 月 8 日以降は原則不実施とすることが東京電力より発表されている。

(5) 仙台都市ガス供給システムの被害状況と復旧

仙台市及び周辺に都市ガスを供給している仙台市ガス局のガス製造設備が被害を受けてＬＮＧ（液化天然ガス）による供給が不可能となったが、幸い従前から併用されてきた新潟からのパイプラインにより、供給することができた。しかし、復旧作業は閉栓、修繕、開栓の作業に時間がかかり、全国のガス事業所の支援を受けてもなお１ヶ月以上の時間を要している。

［解説］

ガス供給システムについては､仙台市と周辺 2 市 3 町の約 36 万戸に都市ガスを供給している仙台市ガス局で、ガス導管網とガス製造設備が甚大な被害を受けており、特に港工場にある製造設備が津波によって壊滅状態となった。ガス局では安定供給のため、LNG（液化天然ガス）をマレーシアからタンカーで海上輸送するとともに、天然ガスを仙台～新潟パイプラインにより購入していたが（LNG：パイプライン＝7：3 の割合)、製造設備の被害等を踏まえ、3 月 21 日にパイプラインによる供給（天然ガスを港工場で受け入れ、付臭を行った後に都市ガスとして供給）を決定し、23 日から供給が再開された。2 系統の供給ルートを有していたことが、早期の供給開始につながったものと考えられる。

復旧作業は約 2,000～3,000 戸単位で 155 ブロックに分け、ブロックごとに閉栓作業、設備の修繕、開栓作業の順で実施されている。ガス導管の修繕に関しては、管の種類、製造年、所掌外の建物内配管の多様さ、地下水の有無によるガス導管内浸水の状況の有無など多くの要因があり、自動化ができず手間を必要とする。そのため、日本ガス協会のほか全国 51 事業所で構成される復旧隊（約 3,000 名）の支援を受けて作業が進められており、4 月 19 日時点で､津波の被害が大きかった東部沿岸地区等を除く復旧対象戸数 311,144 戸に対して、累計復旧戸数は 310,830 戸となっており、復旧率は 99.9%となっている。なお、残りの 314 戸は避難勧告区域など地震の被害が大きい地域であり、ガス供給上の安全が確保できないため、現時点で供給不可能となっている。

4-2　今後の方向性と（暫定的）提言

（1）交通システムの復旧プロセスと機能回復に向けて

（2）上水道の耐震化と「つなぎ」技術が必要な下水道

（3）代替性の高い電力・ガス供給システムの必要性と喫緊の電力需要管理方策の策定

(1) 交通システムの復旧プロセスと機能回復に向けて

交通システムの幹線部分は、耐震設計や早期地震検知システムなどにより、被害は比較的に軽微にとどまったが、津波被害の甚大な沿岸部では、道路も鉄道も復旧に時間を要する。それ故、被災地では瓦礫処理の手順や、新たな交通施設整備など、今後、まちづくりに関わる計画策定を急ぎ、その指針に沿った機能回復が不可欠である。また、エネルギー供給システムの復旧には、より広域にわたる危機管理の取り組みが今後必要となる。

［解説］

今回の迅速な道路啓開のプロセスは、今後起こる災害復旧の方針にも大いに参考になった。また、新幹線をはじめとする幹線鉄道の復旧も完了しつつあり、あらためて耐震性の高い構造物や、早期地震検知システムなどの予防策の重要性が認識されたといえる。その一方で、津波被害の大きかった非幹線道路や市町村道、沿岸部の地方鉄道路線などは、復旧の目処も立たない箇所が多い。膨大な瓦礫処理や、橋脚の再建など、時間を要する作業が大きな制約となることが想定される。その復興プロセスでは、そもそもまちづくりなど、集落の根本的な空間構成が示される必要があるため、早急な計画策定が交通システム再整備にとっても必要不可欠である。

太平洋沿岸の港湾施設の広域被災は、燃料などエネルギー供給の大規模な遮断という、従来にない事態を引き起こした。道路が開通しても、末端のタンクローリー車や運転手不足により東北全域の燃料不足を一時的に招いた。今回のような連動型地震では、数百 km におよぶ被災を念頭に置かねばならず、狭域被害地域を代替する危機想定では不十分である。より広域なエリアを対象とした危機管理が必要であり、例えば全国を数ブロックに分けた程度の、ブロック間のエネルギー供給の代替システムの検討などが今後必要となろう。その際、バルキー輸送である港湾施設の危機管理のみならず、末端輸配送の施設確保まで考慮した包括的な機能回復プロセスが想定されるべきである。

また、被害が大きく、経営基盤が脆弱な第三セクターや累積赤字の大きい公営地下鉄などでは、その復旧の取り組みを支援するため、既存制度の充実化が検討されるべきである。具体的には、①災害復旧事業費補助金の補助率の嵩上げ（現行：国 1/4、地方公共団体 1/4、鉄道事業者 1/2）や、②補助要件の緩和（現行：被災年度前 3 年間における各年度の全事業の損益計算において欠損若しくは営業損失を生じていること）などが対象となろう。

(2) 上水道の耐震化と「つなぎ」技術が必要な下水道

水の供給は通常時に増して災害時では重要である。また、水道水の使用に伴い、下水が発生するので、適切な下水処理が必要となってくる。上水道に関しては水道管ネットワークの耐震化、多系統連携によるバックアップシステムの構築、全国ネットワークによる修理体制の強化が挙げられる。下水道の津波対策として、下水処理場の内陸部も含めた分散化やより高効率な簡易処理方法の利用が考えられる。

［解説］

水の供給は災害時においても必ず確保されてなければならない。緊急時の飲料水としては一人あたり数リットル／日程度で良いが、最低限の日常生活を営むためにはより多くの水が必要である。上水道システムは浄水場と配水設備からなり、今回の震災ではその両方に少なからず障害が出た。対策として考えられるのは、水道管の耐震化を進め、非常時のバックアップシステム（複数系統ネットワークの相互連携等）の整備を行うことである。また、津波等で壊滅的な被害を受けた場合の水の供給システムとして、自治体間の相互援助も含めた給水車の確保、移動可能な簡易浄水システムの整備等の施策が考えられる。

沿岸域に位置する下水処理場、ポンプ場、汚泥焼却施設を今回のような強烈な津波から守る方法は考えられない。下水処理場を沿岸地域でない場所に設置することも一般的には現実的ではない。仙台市を例にとると、7 割の下水をひとつの処理場（南蒲生浄化センター）で処理している。リスクの分散化の観点から、内陸部で部分的に下水を処理するなど、下水処理施設をある程度分散化させることも、津波による下水道システムへの壊滅的な被害を軽減できる。下水処理場が被災した場合の応急的な下水処理方法として、現在は沈殿処理と塩素による消毒を行う、いわゆる簡易処理を採用する場合が多い。より良好な処理水質を得るための沈殿処理に加え、我が国が途上国へ ODA 事業として適用してきた下水処理技術、すなわち酸化池や礫間処理などの簡易技術の適用が「つなぎ」の処理技術として考えられるかもしれない。また、沿岸域の環境モニタリングは下水処理システムが完全に復旧するまで、行われるべきである。

(3) 代替性の高い電力・ガス供給システムの必要性と喫緊の電力需要管理方策の策定

電力供給システムについては、火力発電所や原子力発電所の停止による夏場の電力不足は明白であり、大都市の生活を支える電力供給のあり方が根本的に問われる。家庭・業務等の民生部門、産業部門、運輸部門間でバランスのとれた効率的な具体策が不可欠である。
ガス供給システムについては、ＬＮＧ施設の早期復旧と津波対策の実施、広範囲に及んでいるガス導管網の耐震化を促進していくことが重要である。

［解説］

電力供給システムについては、沿岸部にある火力発電所や原子力発電所において、津波による冠水など甚大な被害が生じた結果、大幅な供給力の低下に陥っている。当面は、火力発電所の復旧・立ち上げ、揚水発電の活用など原子力以外での供給力の増強が図られているが、夏場の電力不足は明白であり、大都市の生活を支える電力供給のあり方が根本的に問われる。家庭・業務等の民生部門、産業部門、運輸部門間でバランスのとれた効率的な具体策が不可欠である。

ガス供給システムについては、仙台市ガス局によるガス供給が、LNG 施設と新潟からのパイプラインの 2 系統で行われていたことは、リスクマネジメントの観点から効果的であったと言えるが、LNG 施設についても、早期の復旧が求められるとともに、将来に備えた適切な津波対策を講じていく必要がある。また、震災時における機能障害を可能な限り防止する観点から、広範囲に及んでいるガス導管網の耐震化を早急に進める必要がある。具体的には、白鋼管から耐震性・耐腐食性に優れたポリエチレン管（PE 管）への入れ替えを促進していくことが重要である。

4-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項

(1) まちづくりと連携したライフライン整備とリスク分散システムの確立

(1) まちづくりと連携したライフライン整備とリスク分散システムの確立

被害が甚大であった沿岸部の都市や集落では、ライフライン整備の技術的な可能性をふまえ、まちづくりと連携した空間設計について、早急な調査や研究が必要である。特に人や物の流れを支える交通システム（駅、港湾・漁港、鉄道、道路など）は、市街地の骨格を形成するため、長期的な視点に根ざした調査・研究に早急に着手すべきである。
また、仙台市のガス供給施設など、ライフラインの分散化の防災効果も認められたことから、広域災害を念頭においた、効果的な施設整備や機能連携方策についても具体的な検討がなされるべきである。

［解説］

甚大な被害を受けた沿岸部の諸都市や集落では、まず災害に強い空間設計のあり方が示されるべきであり、それをライフライン施設が支える必要がある。しかし事態の緊急性を鑑みれば、その主従関係にとらわれる必然性は小さい。ライフライン整備の技術的可能性をふまえ、防災や環境影響に配慮した新しい空間構成の代替案を、まちづくりと連携して調査、研究すべきであろう。

また、各種のライフラインの被災実態からは、あらためて、施設（ノードおよびリンク）の分散化が効果的な被害影響の軽減につながることが確認された。今回のような広域災害に対する機能の分散化効果を検証し、より適切な施設機能連携のあり方や、投資額も考慮した、その実現に資するインフラ整備計画について早急に調査研究を開始すべきである。

5　震災時の大都市の経済基盤・生活基盤の脆弱性に関して

5-1　現象の俯瞰的把握とその（暫定的）解釈

（1）仙台市への流通機能障害から得る知見

（2）夏の需要量に満たない首都圏電力供給量

(1) 仙台市への流通機能障害から得る知見

大都市仙台では、①港湾機能の停止、②流通センター機能障害、③道路の機能障害、④運搬施設障害（貨物車・燃料・ドライバー不足など）などが、かつてない流通機能の障害につながった。大量輸送手段を必要とする燃料輸送では港湾機能の確保、そして生活消費財の流通では、流通センター機能の配置や危機管理体制が課題とみなされる。

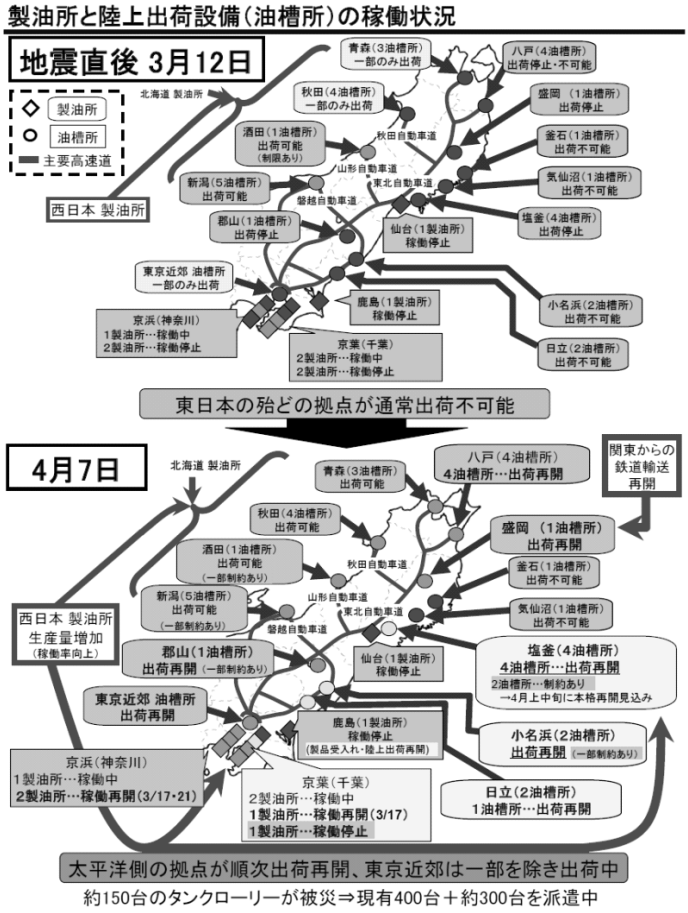
［解説］

被災後、大都市仙台市では、燃料も物資も不足する事態が数週間にわたって継続した。実データに基づく詳細な分析が待たれるが、主な原因は、ノードでは、①港湾機能の停止、②流通センター機能障害、リンクでは、③道路の機能障害、④運搬施設障害（貨物車・燃料・ドライバー不足など）などが考えられている。大量の物資やエネルギー源を必要とする大都市では、これらの障害が市民生活を脅かし、さらに新たな被害を招きかねない。

燃料の流通障害は、主に港湾を経由する経路（チャネル）において生じており、代替輸送手段（鉄道、トラックなど）との輸送容量ギャップを考えれば、港湾機能の災害対策強化か、広域的な代替港湾機能確保に対応策を求めざるを得ない。

生活消費財の流通障害の発生原因の一つは、②の流通センターの被災であった。この 10 数年、在庫費用削減を主目的として、流通業は流通センターの大型化と集約化を進めており、あわせて高度な ICT による貨物管理システムも構築してきた。そのため、大型物流拠点が被災すると、効率的なサプライチェーンが途切れてしまい、電子化された貨物管理も機能不全に陥る。すべての物資の流通で同じ事態が発生しているわけではないが、流通を効率化するシステムと、危機に対して頑強なシステムとは相容れない側面がある。

立地条件も勘案した、拠点の機能配置や危機管理体制が再考されるべきである。



出典：石油連盟ホームページ

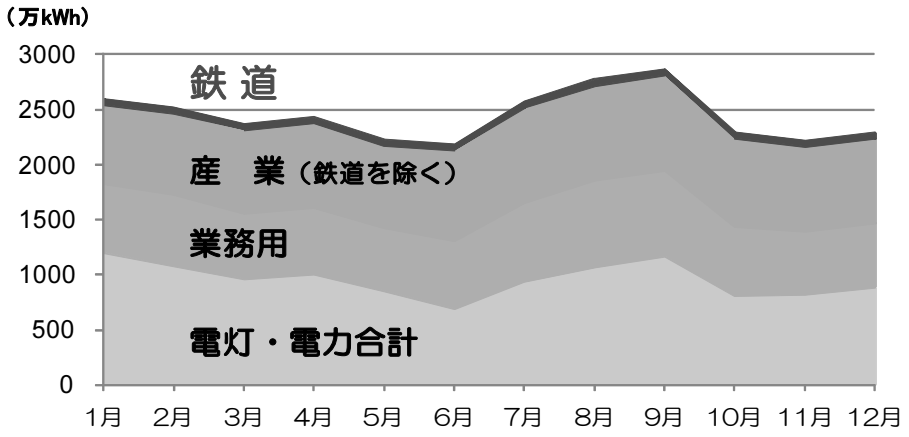
(2) 夏の需要量に満たない首都圏電力供給量

主に津波被害による発電所被災により、東京電力・東北電力管内の電力供給能力が低下し、特に人口・産業集積が高い首都圏で、夏場の電力不足が明白になった。今後、7月のピーク需要に向けて、平年比で約20～25%の節電対策が不可欠である。地震発生後は、鉄道運行削減を柱とした対策が講じられたが、不便を被る市民も多く、住宅・オフィス・店舗・産業間で適切な節電の役割分担が図られるべきである。

［解説］

被災後、太平洋岸の発電施設の津波被害により、原子力発電所をはじめ、電力供給能力が低下した。その後回復しつつあるが、東京電力管内では、3月末で3,750万kW、7月末の見通しで5,000万kW弱の供給と、昨年夏のピーク需要である約6,000万kWに見合う容量は確保できないとされている。今回の広域被災がもたらした、過去に例のない事態である。地震発生後の最初の平日である3月14日（月）から、当初は節電を目的とした鉄道の間引き運転が実施された。そもそも東京電力管内の鉄道事業の電気消費量は、年間平均で約2.2%を占めるに止まり、ピーク時でも約3%と推察される。車両の運転に関わる電力消費が、鉄道事業の約8割を占めるとされ、たとえ運行本数を半減しても、全体需要の低減には大きな寄与はない。むしろ、外出を控える、節電意識が向上するなど、首都圏の移動量や電力消費を抑制する一定の効果はあったかも知れない。しかし、鉄道運行本数の減少や、相直運転の取りやめなどにより、間引き運転初日や、大停電の可能性がアナウンスされた3月17日（木）には、ターミナル駅を中心として大混雑が発生した。

幸い、その後、気温も上昇し、電力需要の少ない時期を迎え、大口需要（契約が500kW以上の事業者）や、一般家庭の節電対策もあり、鉄道運行もピーク時は平常運転に戻り、大きな混乱は観測されていない。しかし、夏を迎えれば、需給逼迫は明白であり、節電実施の、「住宅・オフィス・店舗・産業」間の役割分担を早急に決断する必要がある。



東京電力管内における月別電力需要（2010年）

5-2　今後の方向性と（暫定的）提言

（1）災害に強い流通機能の確立に向けて

（2）首都圏電力の需要管理方策について

(1) 災害に強い流通機能の確立に向けて

燃料輸送の機能を確保するためには、港湾施設や、そこから派生する端末輸配送の障害除去が必要となる。広域災害の場合は、全国を数ブロック程度に分割した、ブロック間の代替供給体制も十分考慮されるべきである。また、消費財の流通では、危機管理も加味した流通センターの配置や、代替性の高いセンター機能の拡充が検討されるべきである。

［解説］

燃料輸送をサポートするためには、災害に強い港湾施設（上屋物流施設も含めて）が必要とされ、その整備が第一に考慮されるべきである。しかし今回の津波被害のように、連動型地震は広域におよぶ港湾機能障害を引き起こす可能性がある。そのため、全国を数ブロック単位に分け、ブロック間の代替供給が早急になされる危機管理が不可欠であろう。事実、今回も全国レベルで被災地域への燃料供給体制が敷かれたが、その一層の時間短縮が図られるべきである。それでもなお、端末部分の輸配送で、車両やドライバー不足などから機能障害が生じていた。効果的かつ合理的な解決策は見いだしにくいが、例えば危険物輸送に関わる有資格者や輸送車両の一時的な規制緩和策など、応急的な処置をとる可能性も検討に値する。

消費財流通では、大規模な流通センターのノード機能が損なわれ、効率的なサプライチェーンが不可能となった。解決の一方策は、拠点の分散配置であろうが、時代に逆行する施策でもあり、平常時の効率性が犠牲になる。今ひとつの方策は、流通センター機能そのものの代替性を高めることであろう。ある地域の流通センターが被災しても、他の遠隔地にあるセンターが代わりに機能を発揮したり（地域間の代替性）、近くで被災していない他社のセンターが利用できれば（企業間の代替性）、一定程度の流通機能が確保されると思われる。もちろん、後者については、商品コードの共通化など、最低限の情報システムの共有が予めなされている必要がある。

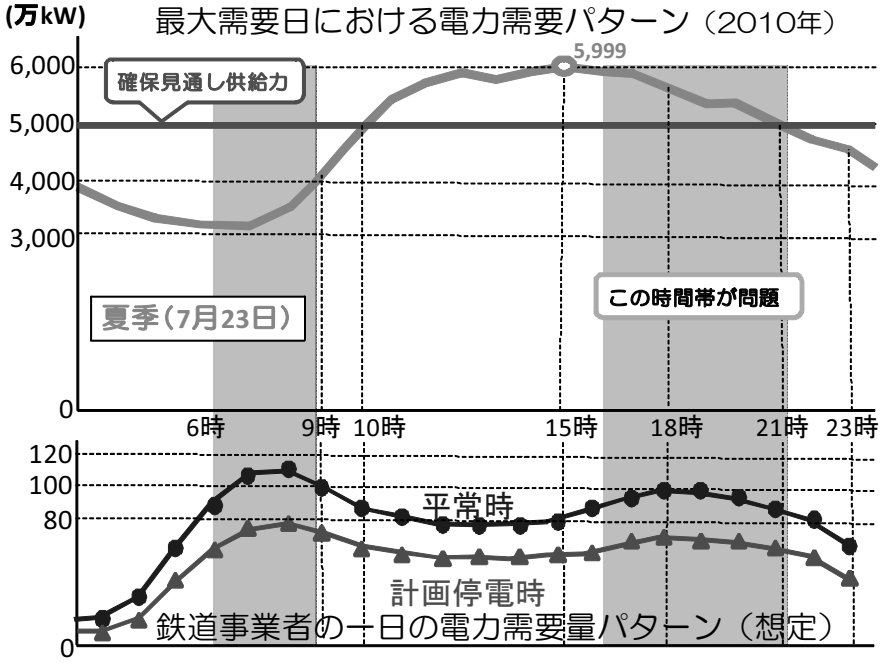
(2) 首都圏電力の需要管理方策について

首都圏の電力供給能力は、2010 年夏のピーク需要実績の 20～25%減に止まる見通しであり、夏場に向けて大規模な節電対策が避けられない。住宅・オフィス・店舗・産業間でバランスのとれた効率的な具体策が不可欠であるが、夕方帰宅ピークが電力ピーク時間帯に重なる鉄道事業でも、利用者に混乱を与えない節電運行体制が早急に検討されるべきである。

［解説］

首都圏の夏のピーク時電気需要は2010年で約6,000万kWであり、現時点の見通しでは、約1,000万kWが不足すると見なされている。このギャップは、節電により補う必要がある。3 月 14 日時点では、当初、鉄道事業の節電が図られ、運行本数が半減する事業者もあったが、その後、首都圏活動の関係者・事業者全般で節電を行う機運も高まり、鉄道事業に過度な負担が集中する危惧は薄れているように見受けられる。

しかし、夏場ピーク時に 20～25%の需要減を実現するためには、住宅・オフィス・店舗・産業間でバランスのとれた効率的な具体策が不可欠である。節電対象となる夏場の電力需要ピークは、10～21 時の間である。そのため、鉄道運行に関しては、朝のピーク時間帯の節電効果は薄いが、帰宅時のピーク時間帯がまさに電力ピーク時間帯に重なってしまう。それ故、運行本数を減らすことが必須であれば、混乱回避のため、利用者数を減じる必要が生じる。首都圏の産業活動への影響を最小限にとどめ、夕方ピーク時間の需要を減らす方策として、帰宅需要の時間分散が考えられるが、そもそも出勤日や工場稼働の土日シフトなど、より根源的な対策も提案されているため、鉄道電力節電も、各種の施策が混ぜ合わさった場合に、その制約とならない具体的な実施に十分留意する必要がある。



国土交通省鉄道局資料をもとに作成

5-3　今後継続的に調査し研究を深度化すべき事項

（1）広域災害の影響を最小化する頑強かつ柔軟なサプライチェーン構築方法

(1) 広域災害の影響を最小化する頑強かつ柔軟なサプライチェーン構築方法

広域連動型地震を想定した場合、大都市の経済・生活基盤を守るためには、燃料供給・電力供給・下水道処理施設などで、より災害に強い施設設計や、柔軟な代替機能の拡充、サプライチェーン過程のボトルネック箇所の検証が必要である。具体的なデータが残る今回の震災の影響結果をもとにした調査や研究を産官学連携で早急に開始するべきである。

［解説］

今回の震災により、広域の津波災害が、燃料供給施設・電力施設・下水処理施設などに大きな被害を与える可能性が認められた。今後想定される、東海・東南海・南海連動型地震は、より陸地近くで発生し、かつ沿岸部の人口集積度も今回被災地域を大幅に上回る。大都市の経済基盤や生活基盤を脅かす災害を最小限にくい止めるためには、①地震動や津波に強い施設設計を今一度見直すこと、②燃料や電力供給施設については、広域間の迅速で効率的な代替的供給体制を再構築すること、③各ノード施設のみならず、上流から下流に至るサプライチェーンの全過程のボトルネック箇所の検証を行うこと　などが望まれる。

具体的には、まずは今回震災の復旧過程の定量的なデータを詳細に収集し、ボトルネックがどこで生じたかを補足する必要がある。燃料供給も、生活消費財も、また電力需要も民間企業データであり、外部への公開に慎重であろうが、反面、データの電子化が進み、データ作成の負担は小さいケースも多い。今後のわが国の防災体制構築のため、産官学が連携し、有益な調査や研究を遂行すべきである。

あとがき～地域基盤の総合的フェイルセイフ化に向けて～

東北太平洋沖地震（M9.0）は、東日本のほぼ全域にわたり地震動と津波による甚大な被害をもたらした。約2万8000人という主として津波による死者・行方不明者数は、衛生環境・情報環境・技術環境の違いを考慮すれば、その被害の深刻さが関東大震災（約10万5000人）や東京大空襲（約10万人）にも匹敵することを語っているし、約400km^{2}という市街地・農地・漁業施設などを飲み込んだ津波による浸水面積は、太平洋戦争時に全国の都市が空襲によって焼失した面積（530km^2）にも相当し、被害の広がりと規模の大きさを示している。

また、港湾地区などを中心にして、工場などの産業施設も大きな被害を受けたが、現代の技術的にも精緻化され、また巧妙にネットワークされた産業構造下においては、震災の経済的な影響もたちまち広域化し、また復旧も長期化することが懸念されている。さらに、津波を起源として生じた福島第一原発の事故は技術システムと危機管理というものに対する国民の信頼を揺るがし、電力不足やモノ不足は、大都市の便利な生活や効率的な産業運営が極めて脆弱な前提の上に成り立っているものであることを誰の目にも明らかにした。

まずは、被災者の救済と被災地域の再建（生活再建、生業再建、安全再建）に全力をあげることが最重要であるが、それとともに災害国といわれるわが国が災害現象に対してこれまで培ってきた対応方法をよくよく検証し必要な修正や改良を図ること、東海・東南海・南海地震の連動発生に対する具体的備えを進めること、大都市や産業ネットワークの「脆弱性」を克服し頑健化を図ることの３点もまた急務といわざるをえない。

その一方で、災害に対してこれまで蓄積されてきた成果や営々と積み重ねられてきた努力が間違ったものではなかったことを物語る例も少なくない。例えば、過去の津波の記憶を継承し訓練や教育によって対災意識を高めることが避難効果を顕著に高めたケースも報告されているし（片田敏孝氏、WEDGE2011年5月号）、岩手県普代村では、三陸津波で2000名も犠牲を出した経験を踏まえ12年もかけて整備された普代川河口の防潮水門(高さ15.5m)と太田名部の防潮堤が今回は立派に村を守ってくれたとされている（岩手日報2011年4月23日)。近年建設された東北本線長町付近の在来線コンクリート高架橋はほとんど無傷、昭和50年代に建設された東北新幹線のコンクリー

ト高架橋でも早期に補修・復旧が可能な範囲の比較的軽微な損傷にとどまった。これは阪神･淡路大震災（1995 年）における手痛い経験を踏まえて大幅に変更された耐震設計の思想と既存構造物の補強工法の妥当性を検証する一石となった。また、非常時の組織運営や災害時を踏まえた国土統治のありかたについて考えさせられる例としても、自衛隊や国土交通省東北地方整備局などの組織による、迅速かつ統制のとれたしかも柔軟で精力的な対応が緊急活動の効果を高めたことが紹介されている（麻生幾氏、文芸春秋 2011 年 5 月特別号）。

構造物における現行の耐震設計の思想は、敢えて簡潔に要約すると「巨大な外力が作用した際には損傷が生じてしまうものの、その損傷を早期に復旧が可能な範囲にとどめ、人命を損なう事態につながるようなものにさせないこと」というものである。この考え方は上述のように今回の地震動で否定されることはなかった。鉄道などのシステムの安全設計では「フェイルセイフ化」という考え方が昔から基礎に置かれている。これは、何か間違った扱いをした場合であっても､あるいは何かおかしな事象が生じた場合であっても、できるだけ事態が悪い方向にはいかないように技術的・制度的にシステムを設計するという考え方である。古典的な例を挙げると、信号機が何らかの理由で消灯した場合には「赤現示」とみなすルールになっているし、列車を構成する車両が何らかの理由でばらばらになるとブレーキ管から空気が抜けてしまい自動的にブレーキがかかるようになっている等である。前述の耐震設計の考え方も、まさしくこのフェイルセイフ化の考え方を構造物に具現化しているものといえよう。

今回の津波災害は、既存の最大測定値や防潮堤など施設の設計値を大きく上回るような巨大な災害が確率は低いとはいえ現実に発生するという科学的事実を誰の目にも明らかにし、人間がこのような巨大災害にどのように「備える」べきかという問題（すなわち「超過災害対策」）から目を逸らすことなく真剣に解答を見出さなければならないという必須の要請を国民に突きつけるものとなった。その際に、基本となりうる理念が、地震動に対する構造物設計などでも基礎に置かれている上記のフェイルセイフ化の考え方ではないだろうか。そして、このような考え方を地震動ばかりでなく津波や河川洪水など種々の災害に対して拡大するとともに、構造物などの施設単体にとどまらず、避難などソフト面の諸施策を含めた地域基盤システム全体の計画・設計・マネジメントの改善へと適用していくことが必要であろう。

すなわち、ある水準までの作用外力に対しては「防災＝被害を出さない」、その水準以上の作用外力に対しては「減災＝被害は生じるものの早期復旧が

可能な範囲にとどめ、少なくとも人命を損なうといった破滅的事態を生じさせない」というフェイルセイフ化を総合的な施策によって図るということである。「防災」と「減災」の範囲を決める作用外力の「水準」は、理学的な知見のみならず、当然、社会的合意のプロセスに基づいて決められるべきものであろう。

甚大な被害をもたらした巨大な津波への備えについても、各種の施設整備、地形など自然条件や地域の生業のありように応じた住まい方とそれを踏まえた市街地整備、あるいは避難・教育・備蓄などといったハード面・ソフト面の諸施策を総合的に講じることにより、地域の総合的なフェイルセイフ化が図られるべきである。その解は決して単純なものではない。その際には、湾口防波堤や防潮堤・防潮水門等の施設において、設計津波高さを越えた津波が襲来した際にそれらの施設が発揮しうる減災効果や、越流後の津波流の挙動をも考慮した施設設計のあり方などについても十分な検討が必要だろう。

また、今回の災害下、三陸自動車道が役に立っていることがしばしば指摘されているところであるが、(特に交通密度の少ない地域における) 道路ネットワークのあり方や個々の道路整備事業の事前評価のあり方についても、以上のようなフェイルセイフ化の視点にたって、通常時の交通機能発揮の観点（従来の評価方法）と災害時の機能確保の観点とを切り分けた、より実際のニーズに合った改善が喫緊の課題であろう。

以上、第一次総合調査団の現地調査と阪田憲次団長をはじめとする様々な専門分野の団員諸氏ならびに関係団体の方々との意見交換を通じて感じたことの要点を、あくまで私見として整理して述べさせていただいた。

末筆ながら一言。柳田邦男氏は、「想定外」事象に適切に対処できるようにするためには、豊かな『想像力』をもつこと最も重要であると指摘している（文藝春秋 2011 年 5 月特別号)。筆者も全く同感である。これに敢えて付け加えさせていただくならば、有りうるであろう不都合な事態から、個人としても組織としても『目を逸らさないこと』を挙げておきたい。

東日本大震災 第一次総合調査団
家田　仁（東京大学教授）

添付資料-1　調査団メンバーリスト

団長　　阪田　憲次（土木学会長、岡山大学名誉教授）
副団長　家田　　仁（東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻）
幹事長　中井　　祐（東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻）

総合構造物班
　班長　　丸山　久一（長岡技術科学大学工学部環境・建設系）
　　今村　文彦（東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター）
　　風間　基樹（東北大学大学院工学研究科土木工学専攻）（※※）
　　小俣新重郎（日本工営株式会社）
　　田島　芳満（東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻）
　　堀　　宗朗（東京大学地震研究所）
　　吉田　　明（大成建設株式会社）
　幹事　　細田　　暁（横浜国立大学大学院環境情報研究院）

ライフライン班
　班長　　兵藤　哲朗（東京海洋大学海洋工学部流通情報工学科）
　幹事　　金子雄一郎（日本大学理工学部土木工学科）
　幹事　　福士　謙介（東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻）

地域・市街地班
　班長　　糸井川栄一（筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻）（※）
　　岸井　隆幸（都市計画学会会長、日本大学理工学部土木工学科）（※）
　　羽藤　英二（東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻）
　　浜岡　秀勝（秋田大学工学資源学部土木環境工学科）
　　平野　勝也（東北大学大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻）
　　元田　良孝（岩手県立大学総合政策学部）
　幹事　　布施　孝志（東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻）

※　：都市計画学会
※※：地盤工学会

添付資料-2　調査箇所リスト

（1）被災箇所調査（市街地、各種構造物・施設、港湾）

青森県　八戸市

岩手県　陸前高田市、大船渡市、釜石市、大槌町、陸中山田町、久慈市、普代村、田野畑村、宮古市

宮城県　山元町、亘理町、名取市、岩沼市、仙台市、石巻市、南三陸町、女川町、気仙沼市

福島県　相馬市、新地町、いわき市

茨城県　日立市

（2）訪問調査

国土交通省本省

国土交通省東北地方整備局

国土交通省東北運輸局

国土交通省東京航空局仙台空港事務所

国土交通省東北地方整備局久慈港事務所

国土交通省東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所

国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所

岩手県県土整備部

茨城県日立港湾事務所

仙台市交通局

仙台市建設局

仙台市水道局

仙台市環境局

仙台市ガス局

陸前高田市

気仙沼市

南三陸町

JR 東日本本社

JR 東日本仙台支社

NEXCO 東日本

東北電力

国際興業

本調査にご協力くださり、またご厚意を賜ったすべての方々に、心より御礼申し上げるとともに、復旧・復興の現場におけるさらなるご活躍を祈念致します。