

東北地方太平洋沖地震における補強土壁の 被災調査と排水機能強化による復旧事例

A DAMAGE SURVEY OF REINFORCED EARTH WALL
IN THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE
AND A CASE OF RECOVERY BY STRENGTHENING THE DRAINAGE FUNCTION

尾方 武文¹・高尾 浩司郎²・佐原 邦朋³

Takefumi OGATA, Kojirou TAKAO and Kunitomo SAHARA

¹ ヒロセ株式会社補強土事業本部技術部 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1丁目16番30号)

E-mail: t-ogata@hirose-net.co.jp

² ヒロセ株式会社東北支店東北補強土事業部 (〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町10番20号)

E-mail: k-takao@hirose-net.co.jp

³ ヒロセ株式会社九州支店九州補強土事業部 (〒812-0023 福岡市博多区奈良屋町2番1号)

E-mail: k-sahara@hirose-net.co.jp

Key Words: earthquake, reinforced earth wall, damage survey, drainage, geosynthetics

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、帯鋼補強土(テールアルメ)壁に比較的大きな被害が生じたことが報告¹⁾されている。モーメントマグニチュード(Mw)9.0の巨大地震による強い揺れは、宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の広範囲で震度6強が観測されており、当初は強震による被害とみられていた。しかしながら、テールアルメの被災が大きかった箇所は震度5強・6弱の地区にあり、これ以上の激震地区にあったテールアルメは無被害あるいは軽微な被害に留まり健全な状態から、単に強震動のみで引き起こされた現象と片付けられない。

ここでは、福島県にある被災現場で実施した詳細調査の結果を踏まえ、原因の考察と復旧工事に関する事例報告を行うものである。

2. 被災調査全般について

日本テールアルメ協会では、現場ごとの被害状況を調査し、その危険度と損傷ランクを相対評価するため、被災度判定システム²⁾を活用した被災度調査を行った。東北・関東エリアに設置されたテールアルメ壁のうち、

震度5強以上の強震度を記録した地域の2,540壁を調査対象としている。このうち調査可能であった1,423壁について実施しており、調査率としては55%となる。表-1は調査結果を損傷ランク別に区分したものであるが、1,423壁のうち1,400壁(約98%)が「変状や損傷が軽微」もしくは「損傷が無い」とされる被災度ランクI・IIにとどまっていた。一方、「損傷が著しく、機能を有していない」と判断されたランクVIは4壁(0.28%)、「比較的に大きな損傷だが、機能損失には至らない」と判断されるランクVが5壁(0.35%)あった。ランクVには沿岸部における津波による被害が含まれ、本地震による被害の特徴の一つであるが、ここでは詳細は割愛する。

表-1 損傷ランク別被災件数およびその割合

損傷ランクおよび状態		集計値	割合
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	4壁	0.28%
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維持可能	5壁	0.35%
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	9壁	0.63%
III	全体が変形したが、構造物の安定性に大きく影響はしない	5壁	0.35%
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	95壁	6.68%
I	変形・損傷無し	1,305壁	91.71%

3. テールアルメ壁の被災について

筆者らは、前述の被災度調査の中で、特に被災度合いが大きい現場の詳細調査を担当した。ここで紹介する事例は損傷ランクVと判定された現場である。

当該地は福島県会津地方に位置し、震度5強の地震動を受けた地域(図-1)にあたる。テールアルメ壁は宅地造成に関連した緑地整備の用途に用いられており、上部は地区公園として利用されていた(写真-1)。周辺では現地より約1km離れた箇所で道路擁壁が転倒する被害(写真-2)が発生していたものの、構造物被害が比較的になかった地区である。

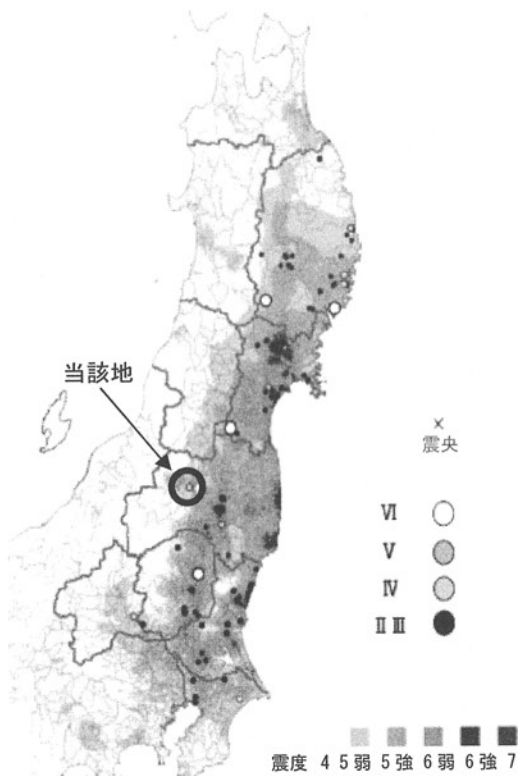


図-1 震度分布および損傷ランク毎の分布

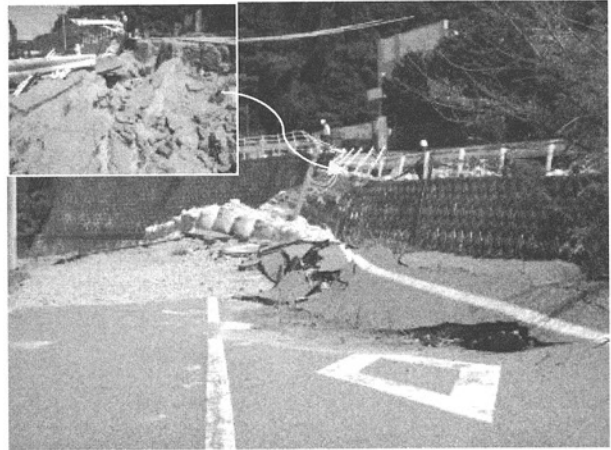


写真-2 近隣における道路・擁壁の被害状況

当該地におけるテールアルメ壁は最大壁高さ12m、上載盛土高さ3m、総延長L=100mと比較的に大きな規模のものである。施工時期は1998年で10年以上経過しており、発災時までに目立った変状は報告されていない。被害状況としては、上部の公園に壁面とほぼ並行に多数の亀裂が発生しており(図-2,写真-3)、頂部に建設されていた建築物(集会所)が傾く被害があった。

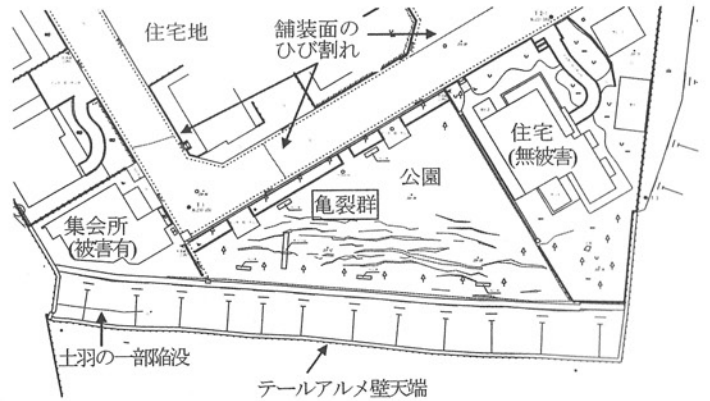


図-2 震災後の現況平面図および亀裂分布



写真-1 被災箇所の航空写真(震災前)



写真-3 上部公園内に発生した亀裂の状況

テールアルメの被害状況を写真-4 に示すが、一部で盛土材が流出するなど、その損傷度合いは大きい。図-3 は被災直後に壁面の変形状態を主観的に区分して分布図として示したものであるが、壁頂部付近に被害が集中している状況が確認できる。

損傷の大きい箇所(No.0~No.1 付近)では、壁面材が約 1m 前面に水平移動したことで開口(写真-5)が生じ、背面の盛土材が泥土として流出していた。土砂流出の影響は上載盛土の法面内に留まっていたが、上位に位置する建築物の基礎地盤には乱れが生じていた。建築物が居住の無い集会所であったこと、下部に駐車車両等が無かったことから、幸いにも人的被害は発生して

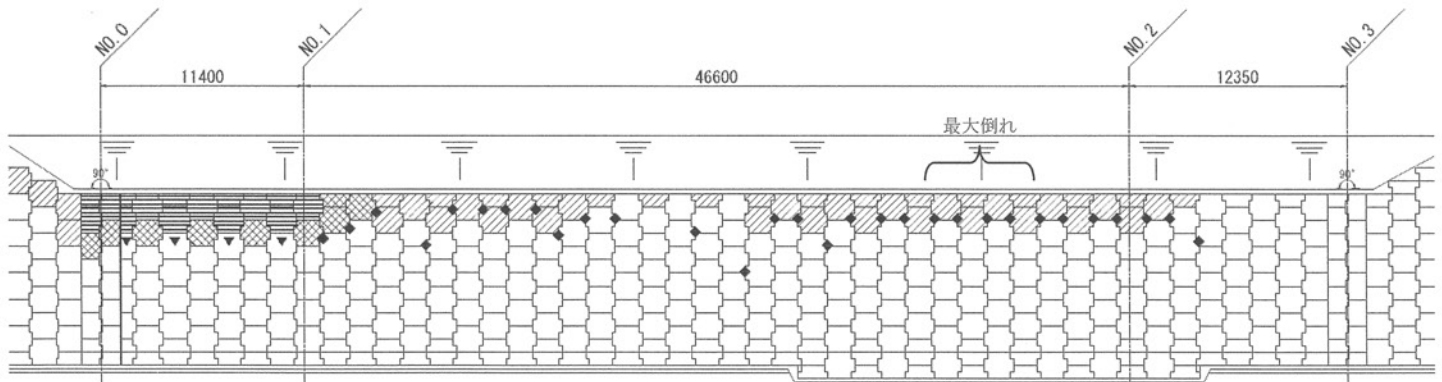
いない。

他の区間(No.1~No.2 付近)では、写真-6 に示す様に壁頂部が波打つように大きく変形しており、壁頂部より 1.55~2.25m の範囲で最大 15° 程度の傾倒が見られた。また、変形部との境界付近では目地からの出水があり、コンクリートスキンの角欠けやひび割れなどの変状(写真-7)も確認された。

端部(No.3 付近)では、若干の前傾傾向から目地開きの変状は確認されたが、問題となるような変状は見当たらず、比較的健全な状態であった。なお、当区間に近接する家屋はテールアルメ範囲外に位置し、被害は発生していない。



写真-4 被災擁壁全景



- 〈凡例〉 壁面の状態
- ☐ (斜線) : 大変形(水平移動)した壁面
 - ☐ (格子) : 目違いを伴う傾倒を起こした壁面
 - ☐ (斜線) : 比較的大きく傾倒した壁面
 - ☐ (白) : 目立った異常の無い壁面
 - ▼ : 開口部からの土砂流出
 - ◆ : 目地間からの出水

図-3 壁面の変状発生状況

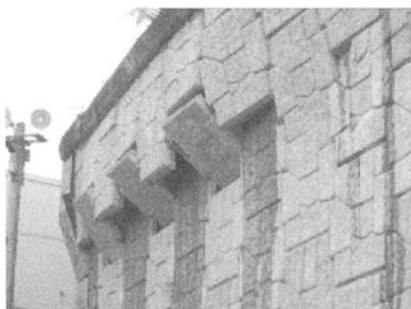


写真-5 開口部(盛土材流出箇所)

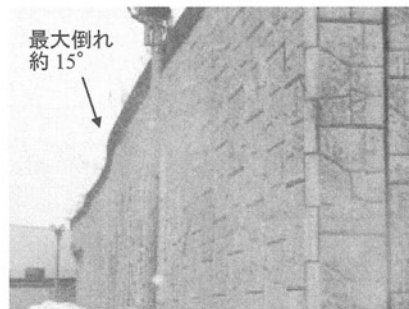


写真-6 壁頂部の変状

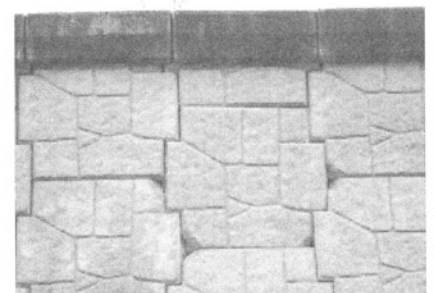


写真-7 スキンの損傷例

4. 調査概要および調査結果

(1) 調査概要

詳細調査に先立ち目視確認を主とした現地踏査を行った。テールアルメ壁面の変状は頂部付近に集中していたが、基礎付近では壁面の挙動およびその痕跡は見当たらず、基礎地盤の異常も確認されなかったことから、テールアルメ基部の滑動や周辺地盤を含むすべり等の外的安定の問題では無いと考えられた。一方、公園内に発生した亀裂の状況から、すべり破壊の可能性が考えられる。上載盛土法面内に亀裂や隆起などの変状が確認されなかったことから、テールアルメ補強領域内において滑動変形が生じたものと推察し、詳細調査の内容について検討した。

図-4に詳細調査の実施位置を示すが、調査項目としては、地盤調査とテールアルメの安定性を評価するた

めの健全度調査に大別される。

a) 地盤調査

地震時の変形により緩み領域が形成されていると考えられたため、上載盛土からテールアルメ補強領域頂部を中心とした範囲にて地盤調査を行った。

調査数量としては、緩み領域の分布を把握することを目的としたスウェーデン式サウンディング試験を40箇所、地層構成および地下水位の確認を目的としたボーリング調査を1箇所行っている。余震の恐れから、ボーリング調査位置は、図-5に示すようにテールアルメ補強領域より背面での位置選定となった。ボーリングは50cm毎の標準貫入試験を主としたノンコアボーリングとしたが、標準貫入試験時に得られた試料について簡易粒度試験を行い、内部の土性把握に努めている。また、上載盛土内でブロックサンプリングによる試料採取を行い、三軸圧縮試験(CU)に供した。

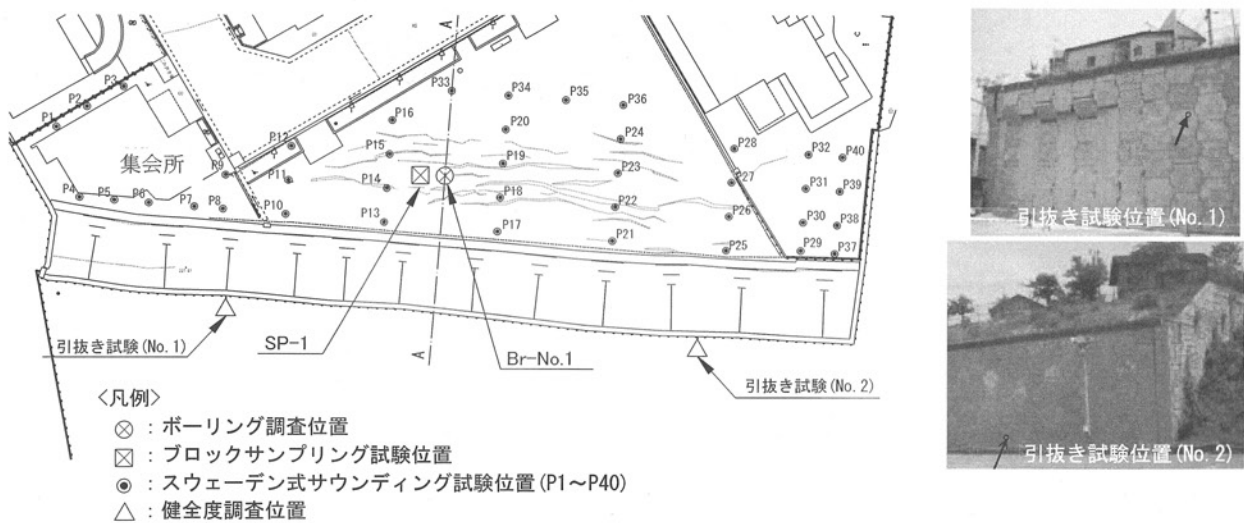


図-4 地盤調査および健全度調査実施位置

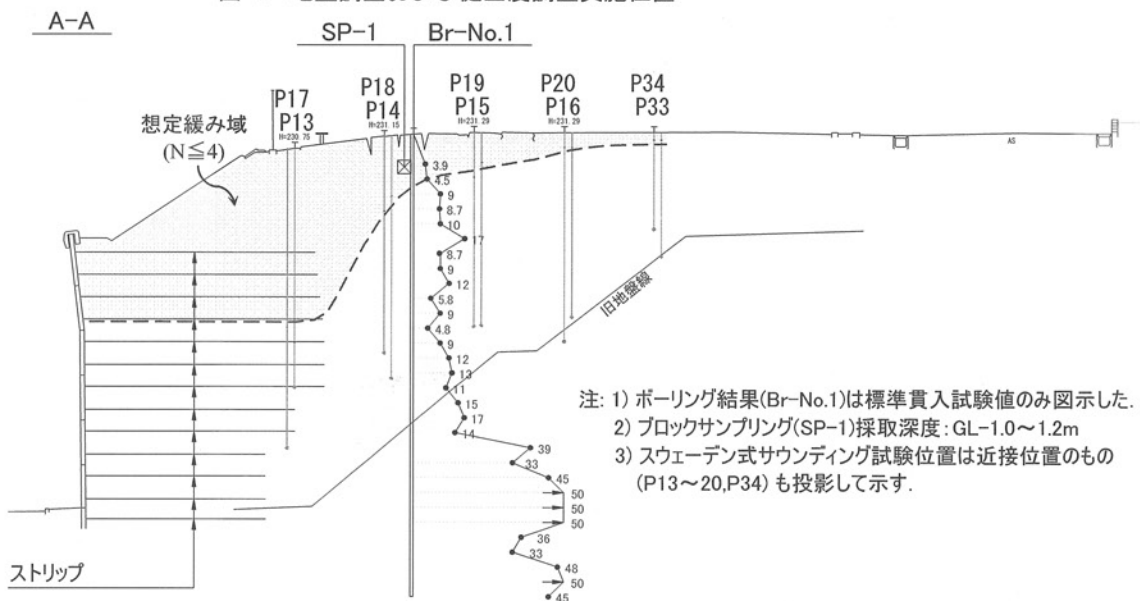


図-5 ボーリング調査結果および緩み域の想定分布

b) 健全度調査

テールアルメの内的安定は、設計時に想定したストリップの引抜きに対する抵抗力が現地において機能しているか否かが重要な要素となる。これを確認するために、ストリップの引抜き試験を実施し、試験によって得られた引抜き力を設計値と比較することにより、テールアルメの健全性を評価する。試験箇所は、土砂流出部に近い箇所と基礎付近の2箇所を選定した。供用中のテールアルメについてストリップの引抜き試験を実施するため、コアカッターにてコンクリートスキンを削孔し、試験箇所のストリップを露出させ試験装置(図-6、写真-8)を設置した。試験後はストリップをコンクリートスキンに結合し、コンクリート補修により壁面修復した。

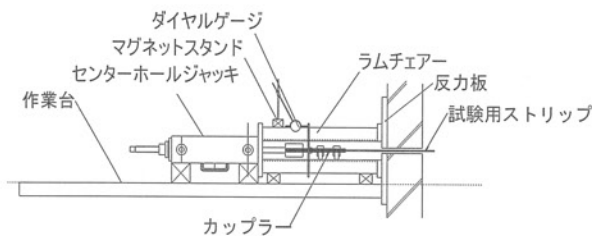


図-6 引抜き試験装置



写真-8 健全度調査(引抜き試験)実施状況

(2) 調査結果

a) 地質調査結果

ボーリング(Br-No.1)およびブロックサンプリング(SP-1)における掘削時の状況から、GL-1.5m程度までは緩みが生じているものと判断した。この範囲のN値は3.9~4.5(貫入量30cm当りに換算)を示す。以深は盛土(平均N値:10.6)および旧地山(基盤層:平均N値:56.0)の地層が分布しており、施工時の資料と対比して明確な違いは認められなかった。一方、スウェーデン式サウンディング試験結果から、壁面側の方が緩み域は深い傾向にあり、この領域の換算N値は概ね5以下で分布していることが確認された。

b) 土質試験結果

当該盛土材は火山灰質土にあたり、土質分類では砂質細粒土(FS)とされる。ブロックサンプリング試料採取箇所は上載盛土内にあたるが、簡易粒度試験の結果から、テールアルメ頂部の盛土と同等と見なした。細粒分

含有率はF.C.=50.4%と細粒化していたが、三軸圧縮試験で $c_{cu}=17.2\text{kN/m}^2$ 、 $\phi_{cu}=42.05^\circ$ ($c'=0.0\text{kN/m}^2$ 、 $\phi'=40.4^\circ$)、攪乱試料でも $\phi_{cu}=37.43^\circ$ を示し、強度的な問題の少ない材料である。なお、間隙圧係数 $B(=0.961\sim 0.966)\geq 0.95$ より、採取試料は飽和状態と判断した。

健全度調査実施時、テールアルメ内部の盛土材について粒度分布を調査したが、基礎付近(No.2)ではF.C.=25.0%と設計・施工時の基準³⁾を満たしていた。

c) 引抜き試験結果

試験結果のグラフを図-7に示す。最大引張り力 $P_{max}=40.18\text{kN}$ に対して、引抜き量は上部変状箇所近傍(No.1)で9mm、基礎付近(No.2)で5.5mmとなった。いずれの箇所も引抜き特性は概ね同様で、ストリップによる摩擦抵抗は十分確保できているものと判断した。

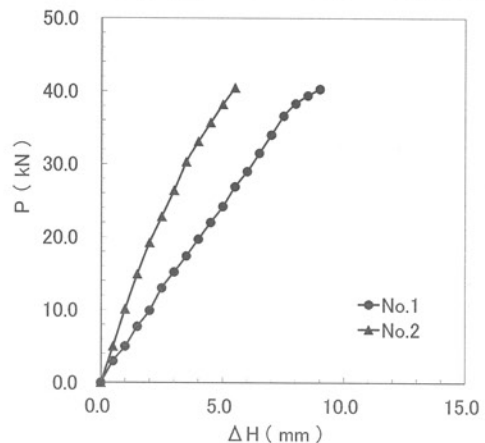


図-7 引抜き試験結果による摩擦特性

(3) 調査結果に基づく考察

地質調査結果に基づき想定した緩み域を、前出の図-5に示す。緩みの境界条件を換算N値 ≤ 4 として検討してみたところ、壁面の変状発生位置とよく整合している。ここで、テールアルメの設計マニュアルでは、何らかの対策を施す必要のある地盤として、軟弱地盤の目安値⁴⁾(細粒土の場合N値 ≤ 4)が示されており、これを参考とした。三軸圧縮試験より、盛土材のせん断強度が設計値($\phi=30^\circ$)を上回ることを確認したが、盛土材の強度特性に関し、有効応力経路と破壊線の関係および応力-ひずみ曲線を用いて破壊ひずみを想定すると、変状部に該当する土被り3m相当の拘束場では $\epsilon=1.0\%$ 、6m、9m相当で各々 $\epsilon=1.6\%$ 、 1.8% と小さく、変形の影響を受けやすい特性があると考えられた。また、現地は積雪が多く、融雪による水の供給が想定されるが、透水性についてHazenの式で評価すれば $k=1\times 10^{-6}(\text{cm/s})$ と低く、一端保水すると排水に時間を要すると考えられる。

これらより、従前より融雪水等により盛土内で飽和状態が形成され、地震による繰り返しせん断変形を受け、その影響を受けやすい盛土材の力学特性と相まって、破壊に至ったものと推察した。

5. 復旧対策工事

(1) 排水機能強化による復旧計画

盛土の緩みが発生していない範囲では、テールアルメの健全性が確保できていることから、変状発生範囲を再施工することとした。再施工に当たっては、上載盛土内への浸透水を防ぐこと、浸透が生じたとしても補強領域外で速やかに排除できる構造を検討した。

実施した排水構造を図-8 に示すが、上載盛土底部(補強土壁頂部)に設けた深層排水層と、のり面からの雨水浸透抑制のための浅層排水工にて構成される。

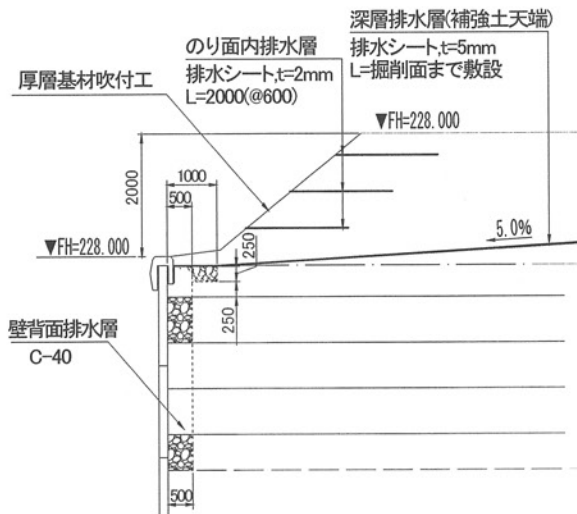


図-8 再施工部の構造

上面よりの浸透水対策が課題であったが、地表面に山砂を敷設してゾーニングによる排水処理とし、補強領域への浸透を防ぐための排水材を深層排水層として設置した。浸透水は壁背面に設けたフィルター層を介して壁面目地より排出させる。のり面表層部は転圧し難いことを考慮して、のり面内に排水層(表層排水層)を設けている。排水材にはのり面補強効果も期待できる排水シート(不織布)を選定した。なお、細粒分・含水の高い盛土材は、含水調整、川砂混合した上で再利用している。また、地震時のせん断力に対する振動増幅対策の観点から、上載盛土高さを当初より 1m 低くして頂部の荷重低減を図った。写真-9 に修復後の状況を示す。

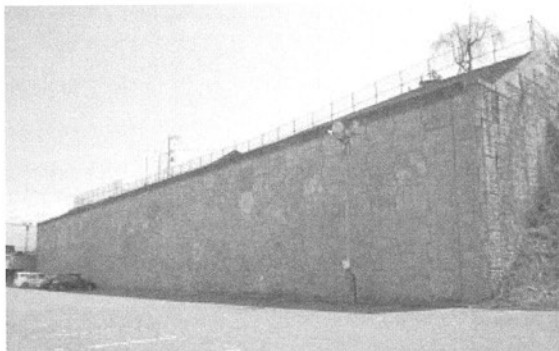


写真-9 修復されたテールアルメ

(2) 排水対策工機能確認

復旧後、冬季を経て排水状況を確認した。写真-10 に示す様に、再施工した範囲との境界部付近での排水が全区間にわたり認められた。上部からの浸透水は壁背面に新設したフィルター層を流末として補強土壁外部に排出できていることを示すものである。

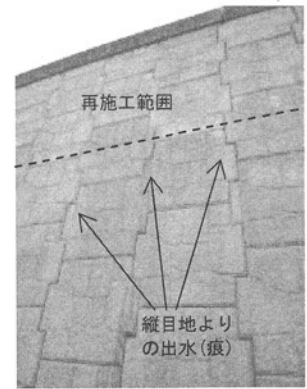


写真-10 排水状況(出水痕)

6. おわりに

本件は、地震動によるテールアルメの被害事例であるが、盛土材の強度特性および、融雪水を含む雨水浸透による盛土内の飽和領域の形成が誘因として考えられた。本現場の排水設備は、施工当時は標準的な排水計画によっていたが、融雪水に対し有効な排水計画となっていなかったものと考えられる。今回の地震における被害を教訓として、現地の条件に応じた浸透水対策を個々に行っていくことの重要性を改めて認識した。

原ら⁵⁾は豪雨時の対策として、盛土内への防水と排水を組み合わせた機能強化が効果的であることを検証し、提案している。本現場の復旧にあたって、この考え方を取り入れた防水と排水機能強化を実施し、融雪水を含む浸透水に対して有意に排水していることを事後の点検により確認した。今後は定量的評価に向けた研究を行いたい。

本報告が今後の補強土壁の設計・施工において参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本テールアルメ協会:補強土(テールアルメ)壁工法平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被災調査報告書<第二報>,pp.1-18,2011.10
- 2) 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等検討委員会報告書,pp.6-14,2005.10
- 3) 土木研究センター:補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル 改訂版,pp.57-58,1990.5
- 4) 土木研究センター:補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル 第3回改訂版,p45,2003.11
- 5) 原健二,澁谷啓,齋藤雅彦,鳥居宣之,蔡鍾吉,榎尾孝之:ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工,ジオシンセティックス論文集,vol.23,pp.147-154,2008.12

(2012.5.9 受付)