

東日本大震災における鋼製帶状補強土壁の 被災度調査結果と今後の課題

INVESTIGATION OF THE DAMAGE TO REINFORCED EARTH WALL
IN THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE, AND NEXT SUBJECT

佐原 邦朋¹・高尾 浩司郎²・尾方 武文³

Kunitomo SAHARA, Kojirou TAKAO and Takefumi OGATA

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

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

²ヒロセ株式会社東北補強土事業部（〒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

Key Words: *earthquake, damage, soundness, tsunami, reinforced earth wall, performance requirements*

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と、それに伴って発生した津波、及びその後の余震によって引き起こされた東日本大震災において、鋼製帶状補強土(テールアルメ)壁の被災度を調査したものが報告されている¹⁾。その結果によると、調査対象の98%の構造物が健全であることが確認されており、改めて補強土(テールアルメ)壁の耐震性が実証された。一方、被災した残り2%の状態を分析することで健全度を保つための重要なポイントが見えてくる。そこで、被災状態とその発生要因から、今後の計画、施工、維持管理の課題について考察する。

2. 被災度調査の概要と結果

(1) 調査方法

被災度判定は、被災度台帳に基づいて実施された。被災度台帳とは、(財)土木研究センターによる「テールアルメ壁の被災度評価・災害復旧方針の検討委員会」において作成されたものである²⁾。日本テールアルメ協会では、その台帳を用いて震度5強以上の強震度が観

測された地区における1,423壁について現地調査を実施した。実施した被災度調査の損傷ランクを判定する基準を表-1に示す。

表-1 被災度応急判定表 損傷ランクの状態

危険度	損傷ランク	使用条件 【応急時】	損傷ランクの状態
黄	VI	使用不可・立ち入り禁止	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。
	V	応急対策、観測、使用制限等の単独又は併用により使用可	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。
	IV	経過観測により使用可	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。
	III	経過観測により使用可	全体が変形したが、構造物の安定性に大きく影響しない。
青	II	無条件あるいは経過観測により使用可	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。
	I		変形・損傷なし。

(2) 調査結果

調査数1,423件の内1,400件が健全、ほぼ異常無しであるランクI・IIであった事より、改めてテールアルメ工法の耐震性が確認できた。しかし、約2%に当たる23件がランクIIIからVIに相当した。その発生要因を分析して今後の計画、施工、維持管理に役立てる事を検討する。ただし23件中4件は震災前から異常が見られていたため、今回の震災によって被災した現場数は19件に

なる。

3. 被災の要因と被災事例

(1) 被災の要因

被災した要因は、以下の様に分類される。

A. 内的要因として

1) 排水処理

2) 盛土材不良

B. 外的要因として

1) 津波

2) 凍上

3) 下部地盤

ここで、排水処理の問題とは、表面や周囲の排水施設が正常に機能しておらず、補強土壁内に水が浸透している状態、さらに浸透した水が速やかに排水されていない状態である。また、盛土材不良の問題とは、スレーリング質の材料や細粒分の多い材料が使用されていた場合である。また、下部地盤とは、下部地盤が軟弱で滑動に対するせん断抵抗力が不足していた場合や、液状化によって沈下が発生した場合の事である。

(2) 被災事例

a) 排水処理と盛土材不良の複合要因で被災

壁面パネルがはらみ出し、目地の隙間から盛土材が漏れ出している（写真-1）。この現場では、周囲の排水施設が機能しておらず、テールアルメ内部に雨水が流入し、土圧と水圧が増加した。さらに補強材の摩擦抵抗力が低下した状態に地震動が作用して壁面が変形し、盛土材が流出した。この地域の震度は5強が観測されている。この現場では、流出した盛土材が粘性土で泥濘化状態となっている事を目視で確認できた。したがって、スレーリングで細粒化したと思われる。なお、当該工事が施工された当時のテールアルメ設計・施工マニュアル書には、スレーリングについての規定が無かった。道路面に70cmもの段差が発生したため被災度VIと判定された。

b) 下部地盤の問題で滑動変位

良質な盛土材を使用し、排水状態にも問題が無かつたが、下部地盤が軟弱でせん断抵抗力が不足しているにもかかわらず対策を施していなかったために大きく滑動変位した（写真-2）。この地域の震度は6弱が観測されている。壁前面は道路であったが、壁体が最大7.0m滑動し、走行が不可能になる状態であったため損傷ランクはVIと判定された。被災後にボーリング調査した結果では、下部地盤はN値1~5程度の軟弱なローム質である事が確認されている。



写真-1 排水処理と盛土材不良の被災例



写真-2 下部地盤の問題で被災した例

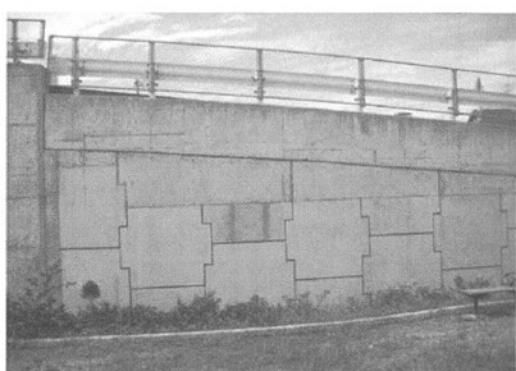


写真-3 下部地盤の問題で沈下した例



写真-4 沈下した橋梁接続部
(写真-3のテールアルメ壁の路面状況)

c) 下部地盤の問題で沈下

写真-3、写真-4は、橋台に取り付くアプローチ部で使用されているテールアルメに沈下が発生した例である。壁面のはらみ出し等は見られないが、30cm程度の沈下が発生した。しかし、踏み掛け版によって極端な段差とはならずに、即時走行ができる状態であったため、損傷ランクはⅢと判定された。

d) 津波による被災

津波による影響を受けたものは全29箇所、内6箇所が被災度ランクⅢ以上であったが、23箇所(79%)は健全であった（写真-5）。特に、コンクリートの壁面を有する構造物で被災したものは2箇所のみであり、その被災形態も土面が露出している部分の洗掘が主要因であった。よって、コンクリートの壁面を有するテールアルメ壁は、津波による波圧に対しても抵抗力が強いことが実証された。しかし、水の洗掘力は非常に強いため、コンクリート壁面が連続していない部分や、法面部、根入れが浅い箇所などでは被害が発生していることに注意が必要である（写真-6）。この被災した構造物は、堤防施設に取り付く構造であり、その接続部が盛土で被われており、壁面が連続していない状態であった（写真-7）。そのため、津波によって接続部の盛土部が洗掘されて生じた隙間から津波が侵入し、引き波によってテールアルメ盛土が流出したと考えられる。しかし、同様の地域、かつ津波週上高であっても損傷がみられないテールアルメ壁もあった（写真-8）。その理由としては、壁面が連続しており、かつ、十分な根入れが確保されていたからであると考えられる。また、鉄筋メッシュの壁面を用いたテールアルメでは、構造物全体としての安定には問題が無いものの、4箇所のランクⅣの被災が見られた（写真-9）。よって今後は、津波の影響が想定される区域に使用する場合には注意が必要であり、津波の影響が想定される箇所においてテールアルメが計画される場合には、鉄筋メッシュの壁面よりもコンクリート壁面が望ましい。その際の留意点としては、連続した壁面で計画し、さらに十分な根入れ深度を確保することが必要となる。



写真-5 津波によって被災しなかった例



写真-6 津波による被災例（テールアルメ壁 右側）

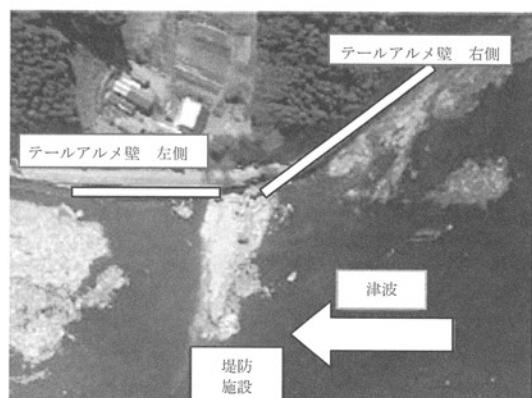


写真-7 写真-6 の壁位置の航空写真



写真-8 津波による損傷なし



写真-9 津波で被災した鉄筋メッシュのテールアルメ

4. 損傷ランクによるまとめ

損傷ランクIIIからVIに該当する23件中19件について、被災現場の被災要因件数を図-1に示す。件数には重複する要因も含まれている。津波による被災を除くと、排水処理と下部地盤の問題に関する要因が多い事が分かる。さらにランクIIIとIVのみ、VとVIのみに分けて積み上げたものを図-2、図-3に示す。それによれば、ランクIIIとIVに該当する要因には津波と下部地盤によるもののみであり、被災度の大きなランクVとVIにつながる要因は、排水処理の不具合が最も多く、次に盛土材不良と下部地盤によることが分かる。

よって、維持管理における排水施設の機能保持の重要性が再認識できる。

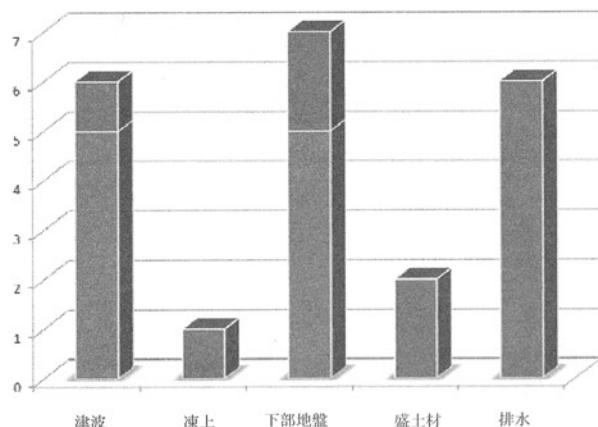


図-1 損傷ランクIII～VIの被災要因と件数

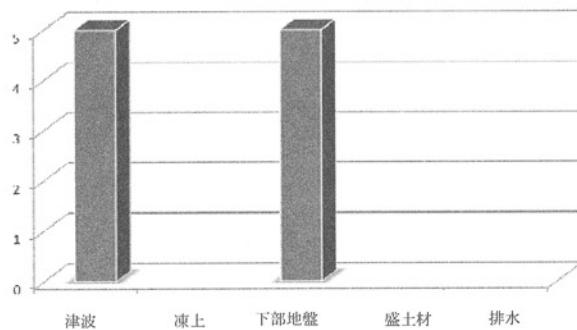


図-2 ランクIII・IVの被災要因と件数

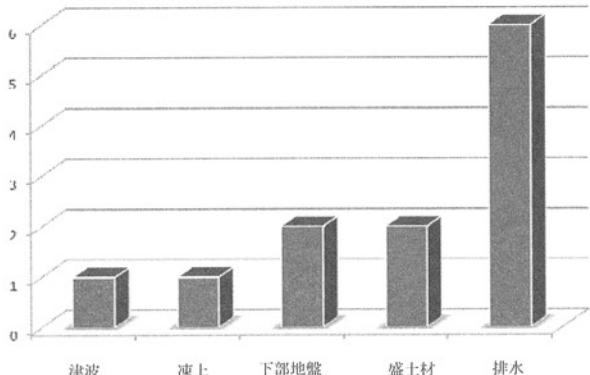


図-3 ランクV・VIの被災要因と件数

5. 補修・維持管理

(1) 補修方法

補修が必要となったテールアルメについて、まずは健全度を確認し対策工を判断する。現状を把握する方法としては、壁面の打音検査、盛土のサンプリング、補強材の引抜き試験、あるいは経過観測等を行う。その後健全度が確認されたなら、必要な場合には対策補助工を併用しながら、壁面の破損部分を補修する。

補修方法としては、損傷部位と損傷の程度に応じて対策工が選定され、その方法は表-2のように整理される³⁾。

(2) 維持管理

被災要因で大きなものは、排水処理の不具合である。

今回の被災調査事例では、図-4の山側における排水施設が機能しておらず、窪地に水が溜まっている状態が確認されている。よって、本来であれば排水施設によって盛土体外に排出されている水が、テールアルメ背面側から盛土内に浸透し続いている状態となっていた事が分かる。したがって、構造物周囲の排水施設が機能していることに注意した維持管理を行うことが必要である。

表-2 修復レベルによる対策工

構造部位 修復レベル	→ 重大			
	軽微	補修	補強	再構築
パネル	1 クラック補修	5 断面修復	9 交換 再施工	13 断熱処理
補強材	2 ジングクリッヂ (垂鉛末塗料) 巻布	6 切断加工	10 再施工	14 排水補強材
補強盛土	3 開詰め 碎石充填 上げ越し	7 ネイリング 押さえ盛土	11 再施工	15 根入れ 排水処理
笠コンクリート ガードレール基礎	4 クラック補修	8 断面修復	12 再施工	16 断熱処理

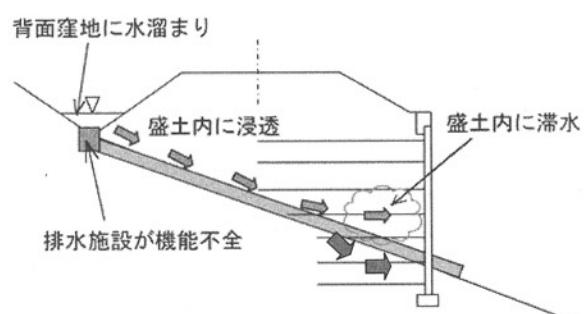


図-4 排水機能不全の状態

6. 要求性能と今後の課題

今回の地震においても、テールアルメ全体としては耐震性が発揮されたといえる。しかし、各構造物に求められる要求性能は各々違ってくる。その要求性能に対してどの程度の性能を発揮できるか、そのためにはどのような事が必要か、調査、設計、施工、材料品質等を考察する。

先に述べたように、調査した 98% のテールアルメが損傷ランク I および II に該当する状態が確認されている。その応急時の使用条件としては、「無条件あるいは経過観測により使用可」(表-1)であることから各構造物としての要求性能を満たしていたといえる。

次に、道路用テールアルメの内、橋台アプローチ部に使用された被災事例について考える。

先に示した写真-3、写真-4 は、橋台取り合い部で約 30cm の沈下が発生したが、踏み掛け版によって極端な段差とはならず即時走行ができる状態であった。沈下の要因としては、下部地盤の液状化が想定される。外観から判断して、テールアルメ本体の状態は健全と思われるが、橋台部の取り合いの沈下に対する要求性能 10~20cm 以内⁴⁾ と比べると許容値を超えていた。しかし、これまでの設計においては、ほとんどの補強土壁が大規模地震動対応の設計を行っていない。それにもかかわらず、当該テールアルメの用途である道路を走行する車両に対して問題は生じておらず、隣接する公園で遊ぶ児童に対しても問題を与えていない。さらに、見た目にも垂直度を保っており、周囲に不安感を与える構造物にはなっていない事より、今回は応急時と判断すると要求性能を十分満たしていると考えられる。

恒久措置としては、踏み掛け版の下が空洞化している事が予想されるため、舗装と踏み掛け版を取り除いて、沈下部分を追加盛土し、ガードレール部分も嵩上げすることになると思われる。

今後の課題としては、構造物の重要度に応じて、大規模地震時に対しても橋梁に取り付く部分の沈下を抑える事に着目した設計、地盤調査、盛土材料選定、施工管理が望まれる。まずは、液状化の判定ができる地盤調査と土質試験が必要である。調査と検討の結果、液状化が発生する恐れがあると判定された場合には、地盤改良や地盤強化工などの対策工を施す。さらに、今回は問題とならなかったが、橋台背面の盛土材は、せん断抵抗力の大きい良質な土質材料を選定して使用することが望まれる。良質な盛土材を使用して、適切な締固め施工機械によって、十分な転圧施工があれば、より信頼性の高い、耐震性に優れた補強土構造物が構築できる。それによって、トータル的なライフサイクルコストが低減でき、社会資本整備費の縮減につながる。

7. まとめ

東日本大震災において被災したテールアルメを調査・分析することで、設計、施工、維持管理において注意すべき課題が再認識できた。また、改めて地震に強い構造性が確認できるとともに、津波に対しても耐力がある事が分かった。さらに、今後は大規模地震時に要求される性能に対しても対応できる構造物としての検討が望まれる。

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), 2011.
- 2) (財)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, 2005.
- 3) たとえば、桑野二郎他:東北地方太平洋沖地震における鋼製帶状補強土(テールアルメ)壁工法の被災調査(その 1), 第 47 回地盤工学研究発表会講演集, 2012(印刷中).
- 4) (財)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, p76, 平成 15 年 11 月.

(2012. 5. 9 受付)

