2011 年東日本大震災において津波に耐えた補強土構造物の事例

桑野 二郎¹, 古関 潤一²

1 埼玉大学・地圏科学研究センター

2 東京大学・生産技術研究所

概 要

東北地方太平洋沖地震はマグニチュード 9.0 で、震源域も東日本の太平洋側をほぼ覆うという巨大地震であり、各種構造物が多大な被害を受けた。特にこの地震により発生した津波による被害は甚大で、多くの人命が奪われた。橋梁などに加え、海岸部の防潮堤にも洗掘などに起因すると思われる流失が発生し、被害の一層の拡大につながった。しかしながら、被災域の中には完全に浸水したにもかかわらず、殆ど損傷を受けていない補強土構造物が見られた。本報告では、そのような補強土構造物の例をいくつか紹介している。紹介した補強土壁は、コンクリート壁面を有する 1 例以外は、鋼製メッシュを壁面材とするものであったが、植生や吸出し防止シートの効果などで盛土材の流失はほとんど見られず、健全性を保っていた。しかし土が剥き出しになっている箇所がある場合、そこが弱点となり盛土材の流失が見られた。

キーワード：補強土壁，津波，盛土材流失，壁面材，東日本大震災

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は、マグニチュード 9.0 と史上最大規模の地震であり、その震源域は長さ約 500km、幅約 200km にも及び、東日本の太平洋岸をほぼ覆うという巨大地震であり、各種構造物が多大な被害を受けた。特にこの地震により発生した津波による被害は甚大で、多くの人命が奪われた。橋梁などに加え、海岸部の防潮堤にも洗掘などに起因すると思われる流失が発生し、被害の一層の拡大につながった。しかしながら、被災域の中には完全に冠水したにもかかわらず、ほとんど損傷を受けていない補強土構造物が見られた。

補強土構造物は、通常、透水性の良い盛土材を用い、十分な排水を行うこととされており、水の存在は前提としていない。しかしながら、河川護岸への適用¹⁾や海岸護岸への適用²⁾³⁾を検討した例はあり、特に前者では実河川における試験施工を行い、2000 年の東海豪雨時にも、天端部の侵食や壁面部の吸出しは多少見られたものの、構造物としての破壊は見られなかったことを報告している。また、ダム建設時の仮設構造物ではあるが、一時的に貯水池に完全に水没した補強土壁に変状はほとんど見られなかったという報告もある⁴⁾。しかし、先にも述べたように、補強土構造物においては水の存在、特に今回のような津波の襲来はまさしく想定外であった。

今回の地震では、津波による被害があまりに大きく、それ以外の地震被害については報道される機会が必ずしも多くなかった。補強土構造物の被害についても、ようやく

図1 津波を被った補強土壁事例報告箇所

いくつかの報告がなされている段階である⁵⁾⁶⁾。しかしながら、先にも述べたように、被災域の中には完全に冠水したにもかかわらず、ほとんど損傷を受けていない補強土構造物が見られた。災害時に被災事例を調べることはもちろん重要であるが、損傷の程度が軽微な事例を記録することもまた今後の防災のためには重要であると考えられる。被災地域があまりに広大であり、全てを網羅することは到底できないが、著者らが知ることができたいくつかの事例のうち、図1に示す箇所について報告を行う。

写真1 津波で破壊された陸前高田市の防潮堤

図2 陸前高田市の補強土壁位置図

写真2 陸前高田市の跨線橋と橋台部の補強土壁

2. 陸前高田市高田町

岩手県陸前高田市では、海岸部において建物の4～5階に達する高さ約15mの津波に襲われ⁷⁾、岩手県内最多の2000人近い死者・行方不明者を出し、壊滅的な被害を受けた。高田の松原はほぼ消失し、海岸部の防潮堤は著しく流失している(写真1)。図2に示す陸前高田市奈々切の国道340号線跨線橋は、両側橋台部に補強土壁アダムUC工法⁸⁾が用いられていた(写真2)。なお図2で薄茶色に見

図3 陸前高田市のアダムUC断面図(前田工織)

写真3 橋台基礎部の洗掘

写真4 鋼製メッシュ隙間からの局所的吸出し

写真5 補強土壁上端部壁面材のめくれ

える部分が津波浸水範囲に概ね対応していると考えられる⁹⁾ (他の地点についても同様)。また、岩手県警が空撮したビデオ¹⁰⁾によると、津波は海岸部の広範囲からの侵入に加え、気仙川からの遡上も見られ、跨線橋にはその両方からの作用があった可能性がある。この補強土壁は高さ7.7m、壁面勾配 1:0.5 で図3に示すような断面を有するものである。跨線橋の高欄は気仙川の方へ著しくねじ曲げられていることから、この跨線橋が完全に冠水し大きな波力を受けた事が分る。コンクリート橋台基礎部では多少の洗掘が生じ(写真3)、補強土壁部分にも数箇所の局所的な盛土材の吸出し(写真4)と上端部の一部で壁面材の変形(写真5)が見られたものの、補強土壁全体としては変形など顕著な損傷は認められなかった。後で述べるように、盛土材の流失は補強土構造物の不安定化につながる。本補強土壁では壁面材としてメッシュ状のエキスパンドメタル鋼製型枠を用いているが、壁面緑化により植生で被覆されていたことと、緑化や吸出し防止のために背面にシートを配置していたことが、津波による大きな波力に対しても吸出しを防止する効果があったものと思われる。

図4 宮古市金浜の補強土壁位置図

図5 宮古市金浜のテンサーFW断面図(三井化学産資)

写真6 宮古市金浜の補強土壁(三井化学産資撮影)

3. 宮古市金浜

宮古市金浜地区では、図4に示す道路盛土にテンサーFW工法¹¹⁾による補強土壁が使用されていた。補強土壁は高さ5.2m、壁面勾配 1:0.5 で図5に示すような断面を有する。宮古市金浜地区における津波の遡上高は10m強であったが⁷⁾、この地点における浸水深は、隣接する民家の2階部分まで浸水していることから4~5mと推定され、防音壁に多少の損傷が見られることから、補強土壁は上部まで浸水したものと思われる。写真6に見られるように、隣接するやや緩勾配の盛土にはブルーシートが掛けられているが、補強土壁部分には損傷は見られない。相当の植生がなされていたことや法肩部の防護シートが上部からの浸食を抑制したことなどによると思われる。

4. 宮古市田老町

宮古市田老町は高さ10m、延長2.5kmにも及ぶ二重の防潮堤を備えていたが、20mを超える津波により壊滅的な被害を受けた。図6に示す位置にある造成地のテールアルメ補強土壁¹²⁾は、防潮堤と田代川水門を超えてきた津波の直撃を受けた。図7の断面図にあるように、補強土壁は約3.5mと低いものであるが、完全に浸水したにもかかわらず、写真7に見られるように、全体的にはほぼ健全であった。ただし、右端部では写真8のように背面盛土が相当量流失し補強材が剥き出しになった(赤い破線は盛土流失断面)。これは、この位置が津波の直撃を受ける位置にあるということに加え、他の箇所の上面は舗装されていたが、ここは舗装されていなかったため上部からの浸食が容易であったためと考えられる。しかし他の大部分の補強土壁では、前面がコンクリートパネル、上部が舗装面というふうな、水の浸入を容易に許さない構造になっており、盛土材が浸食され流失することは起きにくく、津波に対しても十分に耐えることができたものと思われる。

補強土壁

写真9

300m

©2011 Yahoo 写真データ ©2011JAXAに加筆

補強土壁土盛土範囲

吸出防止材

原地盤線

排水プランケット

ストリッパPL-60×5.0

基礎コンクリート

砕石

かきコンクリート

コンクリートスキャン
($t=180$)

青面砕石
($t=500$)

400

200

200

400

600

400

200

500

2980

1220

Δ8.100

Δ8.300

Δ4.100

4500

5000

テールアルメ壁全景

津波による背面盛土の流失部

盛土流失で露出した補強材

Figure 1 is a cross-sectional diagram of a slope reinforcement structure. The diagram shows a slope with a top width of 7.11m and a bottom width of 3.00m. The slope is reinforced with a steel plate (鋼製壁面材) and a concrete layer (コンクリート). The reinforcement is divided into three sections. The top section has a height of 4.00m and a width of 2.75m. The middle section has a height of 9.50m and a width of 2.75m. The bottom section has a height of 2.00m and a width of 2.00m. The reinforcement is labeled with '敷網材' (Reinforcement Net) and '敷設率' (Installation Rate). The top section has a rate of 50%, the middle section has a rate of 80%, and the bottom section has a rate of 100%. The diagram also shows a '推定岩盤線' (Estimated Rock Mass Line) and a '地表線' (Ground Surface Line).

278

写真10 折れ曲がったガードレールと補強土壁上端の損傷

写真11 鋼製メッシュと背面礫材

5. 田野畑村机浜

田野畑村机浜では図8に示す位置に写真9の補強土壁があった。机浜における遡上高は約25mであったが⁷⁾、海岸から約550mのこの地点において高さ約10mの補強土壁上端まで津波を被っていた。この補強土壁はセンサーダブルウォール¹³⁾で、図9に示すような断面を有する。鋼製壁面材を用い、また下部約1/3ではジオグリッド補強材を巻き上げて袋状にしている。机浜では谷地形のかなり奥まで津波が侵入しており、対岸斜面ではモルタルを吹き付けた斜面が著しく浸食されており、また補強土壁上部の道路のガードレールが曲がっており、津波の威力が伺える。しかしながら補強土壁は、上端部の一部がめくれているものの全体的にはほとんど変形しておらず安定している(写真10)。これは盛土材として岩ずりのように礫分を多く含む材料を使用したため、写真11に見られるように礫がフィルター材の役割を果たし、盛土材の流失を防いだためと考えられる。

6. まとめ

東北地方太平洋沖地震の際には巨大な津波が発生したが、本報告では津波に完全に浸水したにもかかわらず、ほとんど損傷を受けていない補強土構造物の例をいくつか紹介した。補強土構造物は引張り補強材を層状に配置してあるため、通常の盛土と比べて引き波のような外力に対しても強いと考えられる。それに加えて壁面材を有し、さらにその背面に配置された吸出し防止シートや植生などにより盛土材の流失を防げたことで、補強土構造物全体の健全性が保たれたものと思われる。一方で、上面が舗装されていないなど、浸食を容易に許すような弱点がある場合には、その周辺で損傷が見られた。同様な事例は、本報告で紹介しなかった他の補強土構造物でも見られた。

補強土構造物にとり津波の襲来は想定外のことであったが、予想以上に高い耐力があることが分かった。今回は津波災害であったが、近年は豪雨災害が多くなっていることから、今後は洪水や土石流にさらされる事例も多くなる可能性がある。そのような場合にも、浸食を許す弱点を作らないなどの注意点は共通するであろう。本報告が、水辺空間に補強土構造物を設置する際の参考になれば幸いである。

謝辞

本報告の作成に当り情報のご提供をいただいた、九州大学ハザリカ、笠間両先生、前田工織、三井化学産資、共生機構の各社ならびにテールアルメ協会に謝意を表する。

参考文献

- 1) 森口周二, 八嶋厚, 沢田和秀, 弓良知, 前田英史, 松本七保子, 間昭徳: 補強土河川護岸構造物の破壊実験と試験堤防再構築, ジオシンセティックス論文集, Vol. 17, pp. 195-200, 2002.
- 2) Recio-Molina, J., Yasuhara, K. and Murakami, S.: Model tests on a geosynthetic reinforced sand revetment subjected to assailing waves, ジオシンセティックス論文集, Vol. 16, pp. 239-246, 2001.
- 3) 安原一哉, Recio-Molina, J., 村上哲, 小峯秀雄: 波浪荷重を受けるジオシンセティックス補強土護岸の設計法, ジオシンセティックス論文集, Vol. 17, pp. 201-206, 2002.
- 4) 伊藤秀行, 齊藤知哉: 改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の施工事例と現場計測結果, ジオシンセティックス論文集, Vol. 19, pp. 161-166, 2004.
- 5) 安原一哉: 巨大地震にも耐えた地盤と土構造物, ジオシンセティックス技術情報, Vol. 27, No.2, pp. 7-15, 2004.
- 6) 金子賢治, 熊谷浩二: 2011年東北地方太平洋沖地震による岩手県における補強土壁の被害, ジオシンセティックス技術情報, Vol. 27, No.2, pp. 16-23, 2004.
- 7) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ: 現地調査結果, <http://www.coastal.jp/tjt/>, 2011年9月15日.
- 8) 前田工織: ユニットキャップ工法, <http://www.maedakosen.jp/construction/unitcap/index.html>, 2012年2月10日.
- 9) 原口強, 岩松暉: 東日本大震災津波詳細地図上巻, 古今書院, 2011.
- 10) 岩手県警: 東日本大震災発生時の航空撮影動画, YOMIURI ONLINE, http://www.yomiuri.co.jp/stream/m_news/vn111207_2.htm, 2011年12月7日.

- 11) 三井化学産資: 補強土壁工法 FW 工法,
<http://www.mitsui-sanshi.co.jp/syubetsu/s1-1.html>, 2012年2月10日.
- 12) ヒロセ: テールアルメ工法, <http://www.hirose-net.com/technique/series01/series02.html>, 2012年2月10日.
- 13) NETIS 新技術情報システム: テンサーダブルウォール,

http://www.netis.mlit.go.jp/RenewNetis/Search/Nt/NtDetail1.asp?REG_NO=CB-990067&TabType=2&nt=nt, 2012年2月10日.

(2011. 9. 17 受付)

Reinforced soil walls which withstood tsunami impact in the 2011 Tohoku Earthquake

Jiro KUWANO¹ and Junichi KOSEKI²

1 Geosphere Research Institute, Saitama University

2 Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Abstract

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake of Mw=9.0 with a huge source region of about 500km by 200km caused extensive damage of various structures. Damage caused by tsunami was tremendous and a lot of lives were lost. Besides the damage of concrete structures, seawalls were seriously damaged probably due to scouring. On the other hand some reinforced soil walls were found to be damaged little, though they were inundated with tsunami. Such reinforced soil walls are introduced in this report. One has concrete facing panels and the other tree have metal mesh facing panels. They were not seriously damaged with limited sucking out of backfill owing to vegetation and protection sheet. However, some damage was found at the backfill and facing panels where the soil was not properly covered and protected against erosion.

Key words: reinforced soil wall, tsunami, erosion of backfill, facing panel, the 2011 Tohoku Earthquake