

東日本大震災において津波の影響を受けた帯鋼補強土（テールアルメ）壁工法の調査報告

ヒロセ(株) 正会員 大谷 義則
○ 正会員 高尾 浩司郎
南條 冬樹

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、国内観測史上最大となるモーメントマグニチュード (Mw) 9.0の地震で、宮城県沖を震源として太平洋沿岸に巨大な津波が襲来し、港湾施設やライフライン等の社会基盤に対する甚大な被害を発生させた。補強土壁工法の中で帯鋼補強土壁（以下テールアルメ壁）は、東北・関東エリアの広範囲に数多く施工されており、太平洋沿岸部に設置されたテールアルメ壁にも津波が襲来した。ここで、津波の影響を受けたテールアルメ壁について現地で詳細調査を実施し、津波の規模と現場の被害状況を比較し、構造形式の違いから被害が発生した原因を分析したので、以下に報告する。

2. 被災調査結果

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現場を対象に、現地調査を実施した¹⁾。調査にあたっては、被災度判定システム²⁾を活用し、現場ごとに被害状況の危険度と損傷ランクの評価を実施した(表-1 参照)。

津波の影響を含めて調査した現場数が1,423壁あり、1,400壁(約98%)が部分的な損傷(ランクⅠ・Ⅱ)にとどまり、テールアルメ壁の耐震性の高さが改めて実証された(図-1 参照)。

3. 津波の観測状況と被害の分析

(1) 津波の観測状況

太平洋沿岸部で津波の影響を受けたテールアルメ壁のうち、A地点とB地点において、被害の有無が確認された現場2壁を抽出し、合計4壁を対象に詳細調査を実施した(図-2 参照)。これら4壁について、震度と津波の観測結果、テールアルメ壁の規模を表-2に示す。

津波高は、国土交通省港湾局が太平洋沿岸の沖合10km～20kmに設置するGPS波浪計のうち、A地点は宮城県北部沖の観測波形を、B地点は岩手県南部沖の観測波形をそれぞれ参照した。

浸水高と遡上高は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ³⁾が調査した結果のうち、4壁近傍の浸水高と遡上高の調査データを参照し、最大値が遡上高18.2m(B-2)、最小値が浸水高11.5m(B-1)と推測した。

キーワード: 東日本大震災 現地調査 テールアルメ壁 津波 洗掘

連絡先: 〒980-0802 仙台市青葉区二日町10-20 ヒロセ(株)東北補強土事業部 高尾浩司郎, TEL022-265-6203, FAX022-265-6208

表-1 被災度判定表

被災度応急判定表(補強土(テールアルメ)壁工法)									
危険度	損傷条件	壁面材の目視調査		土砂の流出		壁面の耐震性		はらみ出し	
		【目視】	【目視】	【目視】	【目視】	【目視】	【目視】	【目視】	【目視】
Ⅰ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
Ⅱ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
Ⅲ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
Ⅳ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
Ⅴ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
Ⅵ	浸水高	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上	浸水高が壁面より1.5m以上
	遡上高	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上	遡上高が壁面より1.5m以上
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する
	損傷状況	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する	壁面材が剥離し、土砂が流出する

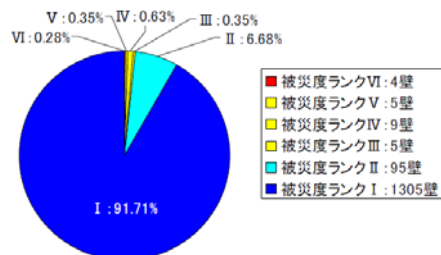


図-1 被災度判定結果



図-2 調査位置(A地点・B地点)

表-2 津波の観測結果とテールアルメ壁の規模

調査現場	震度	津波高 (GPS波浪計)	浸水高 遡上高	壁高	延長
A-1	6弱	宮城県北部沖	17.0m	6.7m	59m
A-2		5.7m	14.9m	10.5m	70m
B-1		岩手県南部沖	11.5m	11.4m	203m
B-2		6.7m	18.2m	10.3m	53m

(2) テールアルメ壁の被害状況

4 壁の被害状況と津波の推定到達高さ(破線)を、写真 1～4 に示す。A-1・A-2・B-2 は、壁高以上に津波が到達しており、A-1 はパネルの脱落や基礎の洗掘等の極めて大きな損傷(ランク VI)を受け、A-2 と B-1 は無被害、B-2 は路肩洗掘等の部分的な損傷(ランク IV)が見られた。したがって、被災構造物は地震動の影響より津波の影響が卓越していたと考えられる。

(3) 被害の分析

4 壁の構造形式と被害状況を、表-3 に示す。極めて大きな損傷を受けた A-1 に着目し、現段階で考えられる損傷の原因について以下 3 点に集約した。

- 1) 堤防施設が壁面に接続する構造で、堤防施設と壁面に隅角部が出来ており(写真-5 参照)、隅角部で津波のエネルギーが増幅した可能性がある。
- 2) 壁面が道路縦断方向の折れ点で分離しており(写真-5, 6 参照)、分離した壁面の開口部から盛土材が洗掘されパネルが脱落した可能性がある。
- 3) 基礎形式は根入れ深さ 0.5m 以上確保していたが、津波による壁面の越流および戻り流れの影響で、基礎が洗掘された可能性がある。

1) に関して、堤防施設は津波により完全に破壊されているため、A-1 エリアに襲来した津波エネルギーが非常に大きかったことが推測できる。2) に関して、壁前面と堤防施設の間に空間があり(写真-7 参照)、その空間は盛土により被覆されただけであったため、土が津波により押し流され、分離した壁面の開口部が露出(写真-8 参照)したことが考えられる。3) に関して、基礎の洗掘は、津波が壁面を越流しその戻り流れの影響で基礎が洗掘される現象⁴⁾が繰り返し発生したものと思われる。

4. まとめ

津波により被害を受けた A-1 壁の損傷原因は、壁面の開口部から盛土が洗掘されたことや、戻り流れにより基礎が洗掘されたことが考えられる。本現場から得られた教訓として、平面や横断計画において、壁面の連続性の確保や基礎根入れ部の洗掘対策を施せば、津波に対する被害レベルを抑制できる可能性があることがわかった(図-3 参照)。

[引用文献]

- 1) 日本テールアルメ協会:補強土(テールアルメ)壁工法 東北地方太平洋沖地震 被災調査報告書<第二報>, 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, 平成 18 年 3 月
- 3) 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, 2012.01.07
- 4) 野口賢二ら:津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験, 海岸工学論文集, pp.296-300, 1997



写真-1 A-1 現場状況

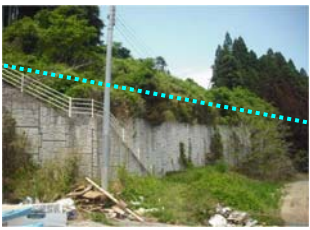


写真-2 A-2 現場状況



写真-3 B-1 現場状況



写真-4 B-2 現場状況

表-3 被害状況の比較と原因の分析

調査現場	壁面形式と被害状況			基礎形式と被害状況		
A-1	コンクリート十字形 (版厚14cm)	直壁	分離	パネルの脱落	根入れ0.5m	基礎の洗掘
A-2			連続	被害なし	根入れ1.5m	被害なし
B-1	コンクリート長方形 (版厚14cm)	斜壁	連続	被害なし	根入れ0.5m	被害なし
B-2	鉄筋メッシュ			路肩端部の洗掘	根入れ1.3m	被害なし



写真-5 A-1(震災前)



写真-6 A-1(震災後)



写真-7 A-1(平面空間)



写真-8 A-1(開口部)

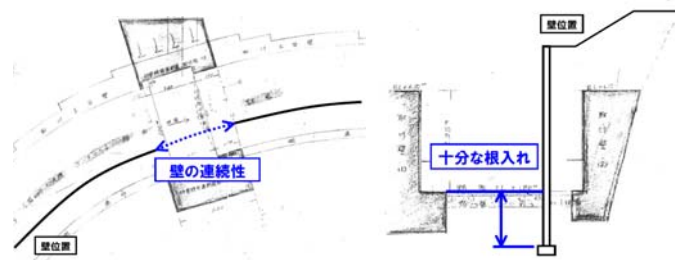


図-3 津波に対する留意事項