

補強土防潮堤の津波の長時間越流を模擬した小型実験

津波 越流 侵食

東京理科大学

学生会員 ○青柳悠大・山口晋平
古川大祐

鉄道総合技術研究所

国際会員 川邊翔平・菊池喜昭・龍岡文夫
正会員 藤井公博・野中隆博

複合技術研究所

国際会員 渡辺健治
正会員 飯島正敏

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震で引き起こされた津波によって、後背地の物や人を守るべきである防潮堤は数多く破壊された。防潮堤においては、①コンクリートの打ち継ぎ目の補強・コンクリートパネル間の連結、②コンクリート被覆工と盛土の一体化、③コンクリート被覆工自身の強化、④盛土の安定性の向上、⑤水たたきによる支持地盤の洗掘対策が必要となる。①~④の達成のために被覆コンクリートと安定性を高めた盛土との一体化構造による新しい防潮堤である GRS(Geosynthetic-Reinforced Soil)防潮堤が提案された(図 1)。¹⁾

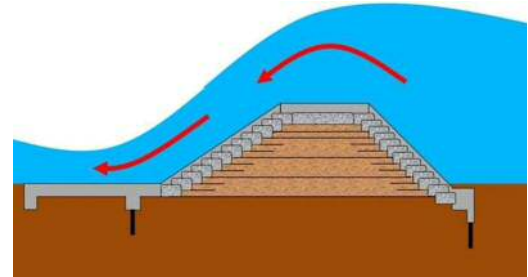


図 1 GRS 防潮堤

本研究では、循環型の模型水路を用いて GRS 防潮堤の長時間越流時の侵食に対する抵抗性を、鉄道総合技術研究所、東京理科大学において重力場(1G)における小型模型実験を実施して検討した。本論文では主に、①海側法面をセメントスプレーで強化した従来型防潮堤、②土嚢模型を被覆工とした防潮堤、③その盛土天端を改良して安定化した防潮堤、④各層ごとに土嚢模型に補強材を巻き付けた GRS 防潮堤、⑤その盛土天端を安定化したものの 5 種類の模型の挙動を報告する。

2. 長時間越流実験概要

鉄道総研所有の小型水路の内寸法は、長さ 1900mm×高さ 350 mm×幅 300 mmである。片側の側面はステンレス製外枠で補剛されたアクリル板であり、実験中の模型の様子を観察できる。越流した水はタンクに入り、4 台の水中ポンプを用いて水を汲み上げることで循環させて長時間の越流実験を行った(図 2)。流量は、図 3 に示すようにして 23L/min から 259L/min まで段階的に増加させた。図中の越流水深は、定常状態になった時の堤体の上流側法肩からの水深である。

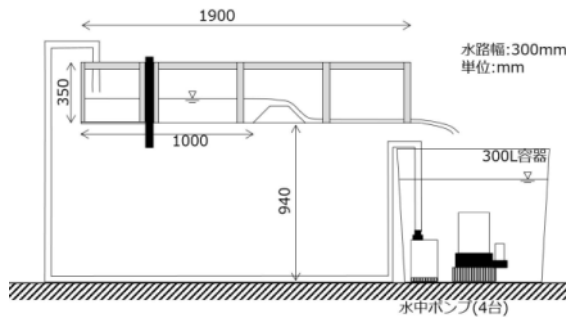


図 2 実験装置の概要

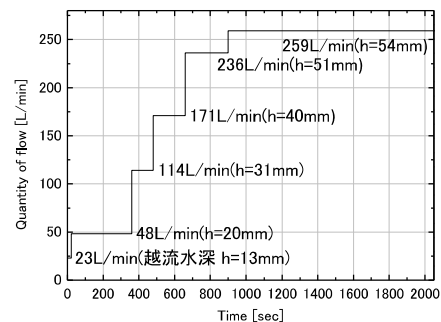


図 3 流量の段階的増加

図 4、5 に示すように、GRS 防潮堤の堤体模型では、盛土各層に補強材を敷いている。その際、補強材の上流側と下流側の法面位置には土嚢模型を配置し、実施工の方法を模擬して、両側の土嚢を巻きこむようにして補強材を設置した。その際、補強材の巻き返し長さは 30mm となるようにした。土嚢模型は、実際の土嚢程度の十分な透水性を有するために鹿島硅砂、無収縮モルタルで



図 4 補強材の巻き返し

Small scale model tests of long-time tsunami current Y.Aoyagi, S.Yamaguchi, D.Furukawa, S.Kawabe, Y.Kikuchi, F.Tatsuoka(Tokyo University of Science); K.Fujii, K.Watanabe, T.Nonaka(Railway Technical Research Institute); M.Iijima(Integrated Geotechnology Institute Limited)

水セメント比が40%となるように作製した。また、土嚢模型の断面形状は、三角形の場合は上下の土嚢-土嚢間の隙間から盛土材が流失しやすいため、土嚢同士の接触面積が大きくなる台形とした。すべてのケースにおいて、模型縮尺は、1/40を目安として高さを100mm、天端幅を75mmとした。奥行は、水路幅と同じで300mmである。法面勾配は海側、陸側ともに1割とした。使用した堤体材は、東北硅砂6号、東北硅砂8号を乾燥質量比1:1、それらに対してベントナイトを乾燥質量で1%の割合で混合したものであり、全体が含水比15%になるように水を加え、均一に混合した。²⁾ また、堤体天端を改良したケースでは、4.75mmふるいで粒度調整した碎石を $\rho_d=2.0g/cm^3$ の一層を20mm厚に転圧して作製した(図5)。

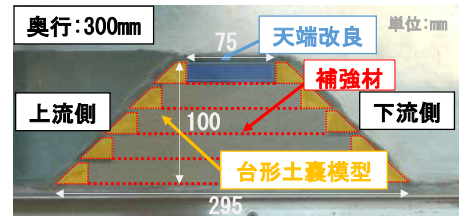


図5 天端改良+GRS防潮堤

3. 実験結果

表1に実験ケースを、図5に結果をまとめる。各種防潮堤の耐津波性能と破壊メカニズム、補強材や天端改良が防潮堤の耐津波性能に与える影響を検討した結果、以下のことが判明した。

- 1) 従来型防潮堤では、越流とともに堤体盛土の侵食が始まり、時間経過とともに堤体材料は漸次流失していった。今回対象とした5ケースの中で一番流失速度が速かった。
- 2) 盛土法面を土嚢模型で被覆したものは、従来型防潮堤と比較すると若干粘り強くなった。しかし、堤体材が徐々に内部から流失することにより一度土嚢模型が流失してしまうと、従来型防潮堤と同様に比較的短時間で一気に崩壊した。
- 3) 上記の模型の天端を改良したものでは、土嚢模型が流失するまでは堤体材料の流失が防がれていた。しかし、経過時間400秒で下段土嚢模型の変位をきっかけに土嚢模型全体が一気に崩壊した。
- 4) GRS防潮堤では侵食速度が抑えられ、従来型防潮堤と比較するとはるかに長い時間をかけて破壊した。このことから、抵抗性が非常に高くなったと言える。破壊は、堤体材が流失し易い天端から、盛土上方から順次流失していったことによって生じた。
- 5) GRS防潮堤の天端を改良することによって越流に対してさらに強くなった(図6)。

4. まとめ

土嚢で法面を被覆した防潮堤は、堤防表面に堤体材料が露出していないため、耐侵食性は従来型防潮堤よりも向上する。しかし、法面から土嚢が流失すると従来型防潮堤と同様に脆性的に崩壊してしまうため、十分な耐侵食性を有していないと言える。それに対して、GRS防潮堤では土嚢を補強材で巻き込むことにより耐侵食性は高まった。また、GRS防潮堤の場合には各層ごとに順次侵食が進行していくので、崩壊速度が遅く、また復旧性が高いと考えられる。

盛土天端を改良して安定化すると、盛土法面を土嚢で被覆した防潮堤もGRS防潮堤も耐侵食性は向上する。しかしながら、盛土天端の耐侵食性を高くすると、次に侵食されやすい防潮堤の法尻から崩壊が開始されるため、比較的短時間で全体崩壊に至る危険性がある。したがって、盛土天端を改良する場合に同時に法尻を補強する必要がある。GRS防潮堤は、それを効果的に防ぐことができる。

<参考文献>

- 1) 山口晋平、柳沢舞美、川邊翔平、龍岡文夫、二瓶泰雄：小型模型実験による各種防潮堤の越流津波に対する安定性の評価、ジオシンセティックス論文集、第27巻、pp.61-68
- 2) 藤井公博、渡辺健治、野中隆博、松浦光佑、工藤敦弘、青柳悠大、山口晋平、古川大祐、川邊翔平、菊池喜昭：長時間の越流現象を模擬した津波実験のための地盤材料選定、第49回地盤工学研究発表会(投稿中)、2014

表1 越流実験ケース

Case	堤防模型	補強材	被覆工		
			海側	陸側	天端改良
15	従来型防潮堤	-	セメントスプレー	-	-
20	土嚢被覆防潮堤	-	-	-	-
22	天端改良 土嚢被覆防潮堤	-	台形土嚢模型	台形土嚢模型	○
21	GRS防潮堤	-	台形土嚢模型	台形土嚢模型	-
23	天端改良 GRS防潮堤	○	-	-	○

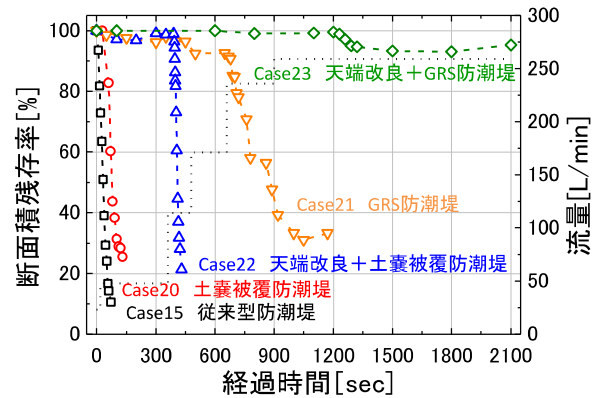


図5 経過時間-断面積残存率のグラフ



図6 Case23の越流中の様子