

様々な防潮堤形状に基づく津波減災効果の実験的検討

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
 東京理科大学理工学部土木工学科
 清水建設(株)
 東京都

学生員 ○南 まさし
 正会員 二瓶 泰雄
 非会員 柳沢 舞美
 非会員 釜池 達也

1. 序論

東日本大震災において太平洋沿岸の岩手、宮城、福島 の 3 県では、総延長 300km の海岸堤防のうち 6 割を超える 190km が全半壊した。特に、リアス式の三陸海岸では、20m を超える津波浸水高が多く の 地点で観測され、岩手県田老海岸のようにコンクリート製の巨大防潮堤の一部も破壊された。これを期に日本での津波対策のあり方が「防災」から「減災」へと見直され、「津波が越流した場合にも施設の効果が粘り強く発揮される構造」をもつ防潮堤の検討が進められている¹⁾。このためには、津波が越流しても粘り強く壊れず防潮堤としての機能を長時間維持し得る構造や、越流量や背後地被害を抑制する防潮堤の形状や組合せ(多重防潮堤)を検討する必要がある。著者らは、前者に関しては、最新の補強土工法を応用した GRS 防潮堤を提示し、その耐越流侵食性が高いことを既に示し²⁾、後者の多重防潮堤の研究にも着手している。本研究では、防潮堤本体の形状に着目し、表・裏のり面形状の違いによる津波越流特性を把握し、津波減災効果を発揮する防潮堤形状について考案することを試みる。ここでは、段波発生装置が装備された二次元大型造波水路に様々な形状の防潮堤を設置して、津波越流実験と侵食実験、の二種類の実験を実施する。越流実験では、木製模型の防潮堤前後における波高や流速を計測し、背後地の越流量と流体力(抗力)を指標とした防潮堤の津波減災効果を評価する。また、越流実験にて効果が見られた形状について砂模型を作成し、越流侵食実験を行う。

2. 研究方法

(1) **実験水路**：本実験では、柳沢ら²⁾と同じく、**図 1** に示す長さ 36m、幅 1m の二次元大型造波水路を用いる。沖側には自動・手動の 2 種類の段波発生装置が設置されている。水路中央に勾配 1/20 の斜面が固定され、その他は水平床である。また、汀線 ($X=0m$) に設置する模型としては、越流実験では木製模型を、侵食実験では砂製模型を用いた。模型縮尺は全ケース 1/100 とし、模型高さを 10cm とした。

(2) **越流実験**：防潮堤の表・裏のり面の形状による津波減災効果を比較するために、**表 1** に示す堤体条件を設定した。すなわち、防潮堤無し (Case A)、勾配を 2 割、5 分、3 分と変える Case B、のり面を階段状とする Case C (平均勾配は 2 割で固定)、波返しを付ける Case D とした。段波発生時の水位差 Δh は全ケース 30cm とした。波高計測(容量式波高計、東京計測(株)製)は、 $X=-8m$ (沖側)、 $0m$ (防潮堤上)、 $2.5m$ (背後地)、流速計測(電波流速計、横河電子機器(株)製)は $X=2.5m$ とし、これらから越流量や背後地の抗力(モリソンの式³⁾を使用)を算出した。

(3) **侵食実験**：越流実験において津波減災効果が確認された階段状のケースを GRS 防潮堤に仕上げ、上記水路における段波の越流侵食実験を行う(**図 2**)。ここでは、手動段波発生装置を用いた。堤体の侵食状況を側面・上面からビデオ撮影した。模型作成方法は、形状以外は柳沢ら²⁾と同じである。

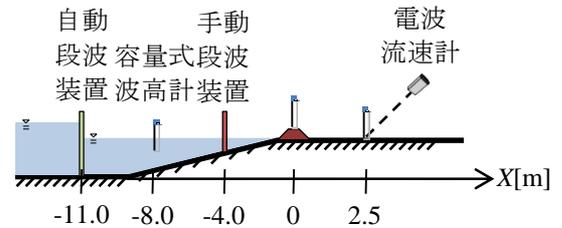


図 1 二次元大型造波水路概略図

表 1 実験条件 (越流実験)

Case	法面形状		Case	法面形状	
	表	裏		表	裏
A-1	防潮堤無し		C-1	2割	2段
B-1	2割	2割	C-2	2割	3段
B-2	5分	5分	C-3	2割	7段
B-3	3分	3分	C-4	5分	3段
B-4	2割	5分	C-5	3分	3段
B-5	2割	3分	C-6	2段	2割
B-6	5分	2割	C-7	3段	2割
B-7	5分	3分	C-8	7段	2割
B-8	3分	2割	D-1	波返し	2割
B-9	3分	5分			

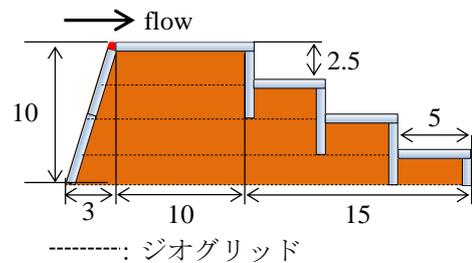


図 2 侵食実験用の防潮堤形状 (単位: cm)

キーワード：減災、津波、防潮堤、形状、越流

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501 (内線 4069) FAX：04-7123-9766

3. 結果と考察

(1) 背後地の水深・流速の時間変動特性：防潮堤の有無や表・裏のり面勾配の違いによる津波越流特性を比較するため、防潮堤無し (CaseA-1) と表・裏のり面共に 2 割, 5 分, 3 分勾配 (CaseB-1, B-2, B-3) に関する背後地 (X=2.5m) での水深と流速の時間変化を **図 3** に示す。これより、防潮堤を置いたケースの水深は、防潮堤無しよりも小さくなっており、また、勾配による差異は見られない。一方、流速に関する大小関係は、逆に、防潮堤無く有 (CaseB-2, B-3) < 有 (CaseB-1) となっている。これは、防潮堤を乗り越えた水塊の位置エネルギーが速度エネルギーに変わる分だけ、防潮堤有の流速が増加したものと考えられる。また、のり面勾配が急なケース (CaseB-2, B-3) の流速は、緩勾配の CaseB-1 よりも小さく、これは 3 分, 5 分の裏のり面側では剥離流れが生じ、それによりエネルギー減衰しているためである。

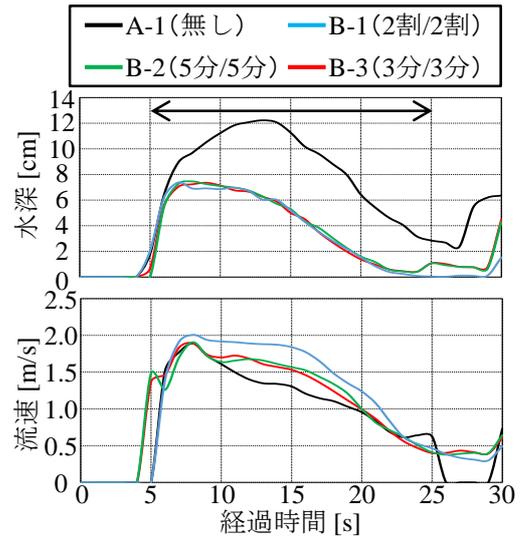


図3 防潮堤の有無・のり面勾配を変えた時の流速及び水深の時間変化

(2) 様々な勾配条件下の総越流量・流体力の比較：表・裏のり面勾配を様々に変えた実験条件における総越流量比と背後地の流体力比 (各ケースの結果を防潮堤無 (CaseA) の結果で除したもの) を **表 2** に示す。ここでの総越流量と流体力の算出には、第一波の遡上時 (**図 3** 中の矢印の時間) の結果を用いる。これより、総越流量比としては、全てのケースで 0.64 以下となっているが、表のり面を 3 分や 5 分のケースが相対的に小さく、裏のり面勾配の違いは見られない。波返しの場合の総越流量も相対的に小さいことから、表のり面勾配が急であるほど津波の入射波に対する反射成分が増加し、越流量を抑制しているものと考えられる。一方、流体力比については、表のり面勾配は 3, 5 分のケースが小さくなるが、裏のり面勾配でも 2 割よりは 3 分, 5 分の方が小さくなっており、流体力評価には裏のり面の形も重要となる。また、勾配が緩やかな防潮堤を越流する場合には、防潮堤が無い時よりも大きな流体力が作用することが示唆された。

表2 様々なのり面勾配条件の比較

(a) 総越流量比

裏 \ 表	3分	5分	2割
3分	0.58	0.56	0.56
5分	0.59	0.57	0.59
2割	0.62	0.64	0.63
波返し	---	---	0.55

(b) 流体力比

裏 \ 表	3分	5分	2割
3分	0.86	0.88	0.91
5分	0.94	0.89	0.99
2割	1.10	1.15	1.17
波返し	---	---	0.89

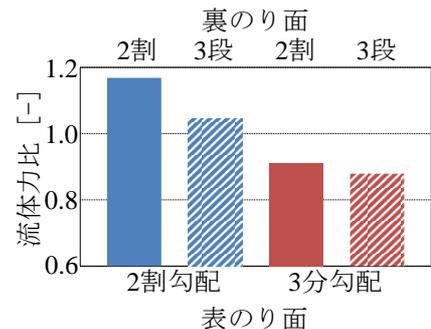


図4 階段形防潮堤の背後地の流体力比

(3) 階段状防潮堤の津波減災効果：裏のり面を階段状にした時の流体力比を **図 4** に示す。ここでは、表のり面勾配を 2 割と 3 分、裏のり面を 2 割勾配と 3 段とした 4 ケースを示す。なお、3 段の平均のり面勾配は 2 割に相当する。これより、表のり面が 2 割・3 分勾配共に、裏のり面を平面ではなく階段状にした方が流体力比は小さい。これは、階段状では局所的に剥離渦が作られエネルギー減衰が大きく、結果として背後地の流速が小さくなるためである。階段状 (**図 2**) に関する越流侵食実験結果を **図 5** に示す。ここでは、面積残存率 (時々刻々の防潮堤面積を初期断面積で除したもの) を採用し、津波 1 波の越流時間が約 20 秒と短いため、合計 6 波を当てた結果を時系列データとして表示する。これより、越流時間 100s でも面積残存率は 90% 以上を維持し、階段状の GRS 防潮堤の耐越流侵食性が高いことが確認された。

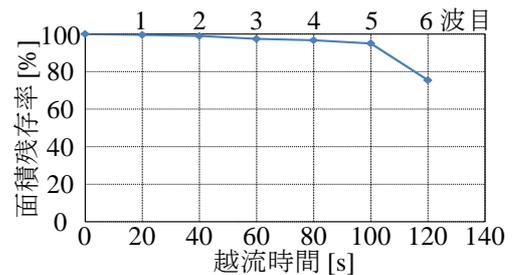


図5 階段状防潮堤における面積残存率の時間変化

参考文献：1) <http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/teigen.pdf>, 2011, 2) 柳沢ら, 土木工学論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_886- I_890, 2012, 3) 土木学会: 水理公式集, 丸善(株), pp.524-527, 1949.