直立および傾斜型の津波防潮堤模型を越流する水塊の流速特性

香川高等専門学校　学生会員　○花田　篤也
香川高等専門学校　正会員　柳川　竜一

1．はじめに

3.11 津波は現在における津波防潮堤の設計指針に大きく影響を与え，防潮堤の高さや構造，粘り強さに対する課題が浮き彫りになった（二瓶ら[1)]）．東日本大震災の津波被害・痕跡調査を取り纏めると，防潮堤の背後周辺に位置する建物は，一般的に全壊被害を受けるとされた閾値よりも低い浸水深で全壊建物が散見されている．例えば，岩手県久慈市北部市街地域の建物被害に注目すると，津波防潮堤の背後から概ね 100 m 圏内に位置する建物は，浸水深 2 m 以下でも多くが流出・全壊した（図 1）．多田ら[2)]は，水路実験から防潮堤の構造形式が異なることで越流後のエネルギー消散効果が異なっており，海面側を斜面，陸側を垂直とする構造形式が最も消散効果が高いことを指摘している．これらより，防潮堤の存在が津波遡上速度（つまり波圧エネルギー）に影響を及ぼしていること，適切な構造形式を考慮することで堤内地側へのエネルギー消散をより促進させる可能性があることが期待された．

本研究では，防潮堤を越流する水塊挙動を明らかにする事を目的に実験水路内に防潮堤模型を作成し，越流流速や断面水位の測定を行った．とりわけ，防潮堤模型の勾配や高さ，越流水深を変化させ，ケース毎での流速の違いに着目した．

2．研究方法

津波が防潮堤を越流する挙動を再現するため，回流式実験水路（水路長 20 m，高さ 0.5 m，水路幅 0.4 m）を構築した（図 2）．流量は，流入及び排出バルブを開閉し調節することが出来る．今回設定した主な条件を表 1 に示す．堤体形状は矢板状の直立型と堤内地側が 60 度勾配の傾斜型とした．越流後の水塊挙動を広範囲で把握する為，流速は堤体模型から 2.7 m 迄の間で 5 cm 毎に水路中央部に設置したピトー管水位測定による 6 割水深流速を計測した．距離測定にはレーザー距離計を使用した．水面の概形を捉えるため，ピトー管水位測定と併せて水深を 50 cm 間隔で測定した．収集した計測データは，模型高，堤体の形状，越流水深の違いに着目して分類・整理ならびに流速換算を行い，

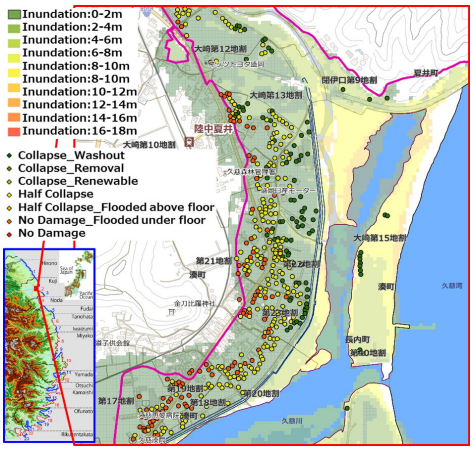

図 1．3.11 津波での建物被害状況（岩手県久慈市）

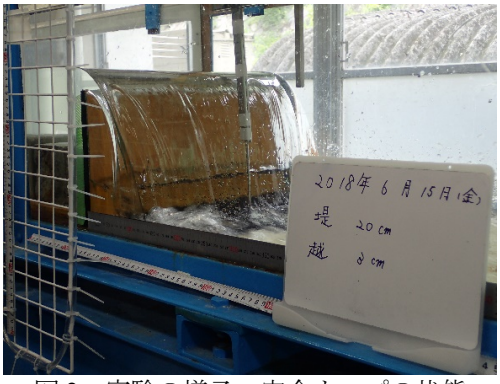

図 2．実験の様子，完全ナップの状態
（模型高 H_b=20cm，越流水深 H_o=3cm のケース）

表 1．実験条件

設定項目	設定条件
縮尺	1/100
形状	直立型，傾斜型（60 度勾配）
模型高 H_b [cm]	0，5，10，15，20
越流水深 H_o [cm]	1，2，3，4，5

防潮堤が破堤しない状況下での堤内地流速の特性について考察した．

3．結果および考察

図 3 は，実施した全 25 ケースから特徴的な流速分布 6 ケースを抽出した．①で示すように，防潮堤模型無の場合はどの区間でも常流区間が続くが，模型有の場合，多くのケースで越流直後射流区間が発生し流速は模型無ケースより速かった．傾斜型模型では，水塊は斜面に沿って流下したのに対し，直立型模型では，いわゆるナップと呼ばれる水流が形成され，越流水深が低いほど付着ナップ，高いほど完全ナップとなった．

各ケースで計測された最大流速は，表 2 に示すよう

キーワード　防潮堤，津波，流速，模型実験
連絡先　〒761-8058　香川県高松市勅使 355　香川高等専門学校　TEL 087-869-3922
© Japan Society of Civil Engineers

表 2. 模型形状・模型高・越流水深の違いによる各実験ケースでの最大流速 [m/sec]

直立型 模型高 H_b [cm]	越流水深 H_o [cm]					傾斜（60 度）型 模型高 H_b [cm]	越流水深 H_o [cm]				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
0	0.24	0.28	0.31	0.34	0.44	0	0.24	0.28	0.31	0.34	0.44
5	0.37	0.73	0.96	1.21	1.20	5	0.14	0.63	0.96	1.27	1.30
10	0.64	0.83	1.28	1.45	1.49	10	0.31	0.80	1.49	1.57	1.60
15	0.37	1.00	1.53	1.72	1.76	15	0.24	0.93	1.71	1.81	1.86
20	0.37	0.69	1.99	1.91	2.02	20	0.64	1.69	1.92	2.04	2.10

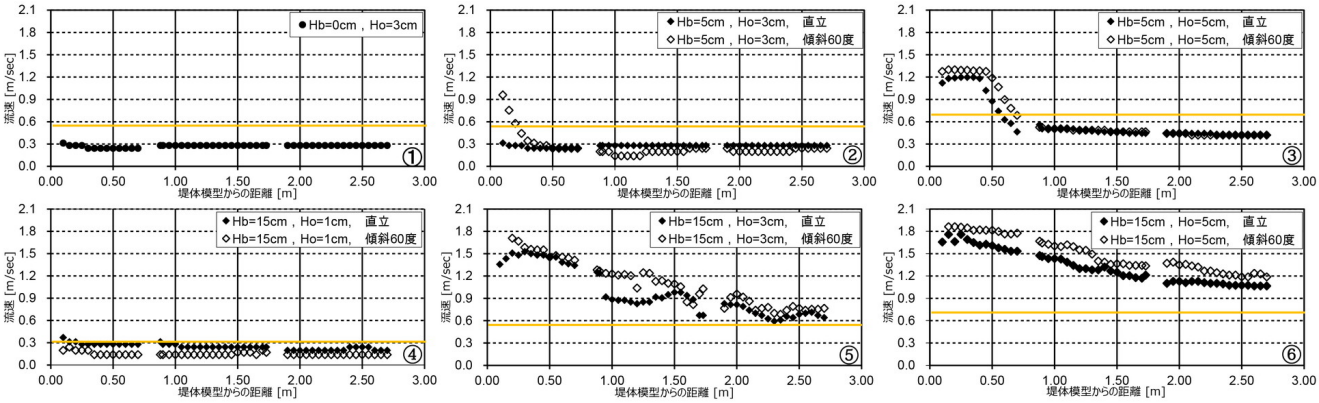

図 3. 防潮堤模型からの距離に対する流速分布
（H_b は模型高，H_o は越流水深，黄線は越流水深から算出された限界流速）

に，模型高，越流水深が高いほど増加傾向が確認できた．これは，同じ越流水深下では水塊の越流する落差量に伴う位置エネルギー増大，同じ模型高下では流量増大に伴う速度上昇と考えられ，形状の違いについては，全体的に傾斜型の方が直立型よりも流速が高かった．直立型ではナップ形成や流下した水塊が堤内地側水路床に衝突することでエネルギーが消費されるが，傾斜型では直立型ほど大きな渦や気泡混入が認められずエネルギーの消費が限定的であると考えられる．ただ，越流水深が 2 cm 且つ模型高 15 cm 以下のケースでは，垂直型での流速は傾斜型よりも速くなるという結果が得られた．これは，傾斜型模型で越流水深が低い場合では模型斜面の摩擦による影響を受けることと，垂直型は越流水深が低くても堤体越流時の位置エネルギーが水路床衝突に伴うエネルギー消費よりも影響する為と推測された．ケース毎の特長について概観すると，流速の上昇率は，越流水深が 2 cm 以下の場合は越流水深の変化で，3 cm 以上の場合は模型高の変化で大きくなっており，最大流速の大きさと実験条件との関連性は今後精査する必要がある．

流下方向の距離に対する流速の変化に着目すると，⑤，⑥では，模型からの距離に対する流速は，おおよそ線形的に減少していた．模型高 10-20 cm，越流水深 3 cm 以上の際にも同じような傾向がみられた．しかし，②，③のように模型高 5 cm の場合，越流後流速は距離に伴い指数関数的に減少していき，その後常流状態に達した後は，ほぼ一定の流速を保った．なお，②-④の場合，一般的な跳水現象が発生した．それに対し，⑤，⑥では波状跳水の様な水面形を示した．この様に，越流水深，模型高の変化は，流速の減少傾向だけでなく，跳水形状や射流区間の長さにも関わると考えられた．

４．おわりに

本実験を通して，防潮堤の存在は通常の津波浸水深から推定される流速よりも提内地側で高い可能性があることを確認した．また，防潮堤の形状，越流水深などの条件の違いにより，越流後の水塊挙動が変化することが示唆された．今後は，実在するより多様な断面形状を取り上げ，素材の違いによる摩擦の影響，提内地の地形，建物群の存在による影響なども考慮し，実際の津波越流時の状況をより正確に把握していきたい．

参考文献

1) 二瓶泰雄ら，津波越流量抑制のための多重防潮堤の設置条件の実験的検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第 70 巻，pp.311-315，2013.

2) 多田毅ら，防潮堤の津波越流時のエネルギー減衰効果に関する水路実験と数値解析，土木学会論文集 A2，Vol.71，No.2，I_757-I_764，2015.

© Japan Society of Civil Engineers