

津波の越流により生じる海岸堤防裏法尻周辺の流動場の形成条件に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 ○中村 友昭
 成田国際空港株式会社 正会員 日比野 加奈
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 趙 容桓
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. はじめに：東日本大震災での津波による海岸堤防の被災を受けて行われた研究において、堤防の裏法尻周辺に特徴的な流動場(潜り流れ、時計回りの渦)が形成され、それが洗掘の発達過程に影響を与えていることが明らかとなっている[1-4]。また、流動場の分類が保護工岸側端での底面流速の向きで行えること[4]も確認されているものの、台形断面の海岸堤防を対象としており、複雑な断面形状の海岸堤防への適用性については検討の余地を残している。これに関連して、堰下流の減勢池でも同様の流動場が形成され、その分類が下流側の水位と堰高の比によりできることが確認されている[5]。本稿では、複雑な断面形状の堤防への保護工岸側端での底面流速の向きの適用性と、津波による堤防裏法尻の洗掘現象への下流側の水位と堰高の比の適用性を、津波と洗掘の相互作用を解析できる数値計算モデル[3,4]を用いた実スケールの数値解析により検討する。

2. 複雑な断面形状の海岸堤防への適用性：計算領域を図-1に示す。同図に示すように、裏法に腰掛け部がある堤防(同図(a); berm と表記)、天端に波返し工がある堤防(同図(b); parapet)、比較対象として台形断面の堤防(同図(c); simple)を設定し、裏法尻には長さ $B = 0, 1.0, 1.5, 2.5$ m の保護工を設定した。ここで、移動床と堤防中詰材の諸元は中村ら[3,4]と同じとした(例えば中央粒径 2.0 mm)。そして、沖側境界から与える流量 Q を表法尻での最大越流水深 H_{max} が計算開始 60 s 後に 4.0 m となるように線形的に増加させ、600 s 後に $Q = 0$ に戻るように線形的に減少させた津波を作用させた。

その結果、図示しないが、既往の研究[1-4]と同様、裏法を流下してきた流れが跳水の下に潜り込み、さらにその流れが洗掘孔の表面に沿って流れる潜り流れと、裏法を流下してきた流れが保護工岸側端で剥離し、洗掘孔の内部に上流に戻る流れが形成される時計回りの渦の2種類の流動場が形成されることを確認した。

時刻 t を 10 s 間ごとに区切ったとき、10 s 間ごとの主要な流動場の時間変化を図-2に示す。ここで、 B の後の数字は保護工の長さ B を示す。図-2より、 $B = 1.5$ m の場合を除いて堤防断面の違いによる差は小さく、 $B = 0.0, 1.0$ m の場合は 300 s 頃まで潜り流れ(桃色)が続いており、 $B = 2.5$ m の場合は碎波発生後(黄緑色二重線)に時計回りの渦(青色)に遷移していることが分かる。一方、 $B = 1.5$ m の場合、碎波発生後の流動場は堤防の断面形状の影響を強く受け、台形断面と波返し工ありの場合には潜り流れが、腰掛け部ありの場合には時計回りの渦が支配的となっている。

そこで、中村ら[4]と同様、保護工岸側端上部 0.25 m の V (図-1(d)参照)の位置での合成流速の大きさ V と合成流速の向き θ (水平岸向きを 0° 、時計回りを正)に着目する。図-3に腰掛け部がある場

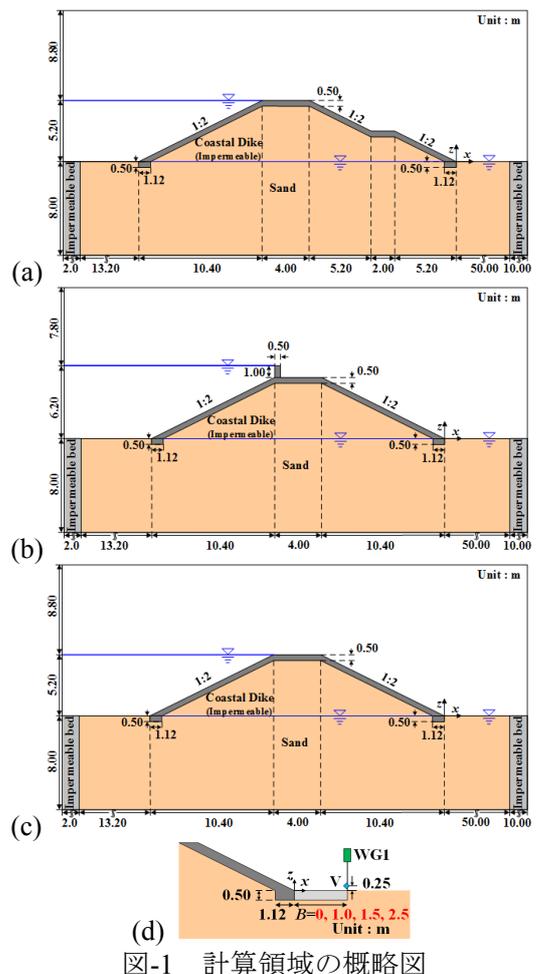


図-1 計算領域の概略図

キーワード 津波, 海岸堤防, 洗掘, 潜り流れ, 時計回りの渦, 数値解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 Tel: 052-789-4632

合の V と θ の時間変化を例示する. 最初の砕波発生時刻(80~90 s; 図-2 参照)以降に着目すると, 砕波発生後以降も潜り流れが継続している $B = 0.0, 1.0$ m の場合, V は概ね単調に減少しており, θ は安定して大きな値を取っていることが分かる. 砕波発生後に時計回りの渦に遷移し, その状態が継続している $B = 1.5$ m の場合, V は $B = 0.0, 1.0$ m のときと同様に概ね単調に減少している一方で, θ は $B = 0.0, 1.0$ m のときよりも小さく, 徐々に減少している. 流動場の遷移が複数回生じている $B = 2.5$ m の場合, 時計回りの渦に遷移すると V や θ が急激に減少し, 潜り流れに戻ると V や θ が一時的に増加している. このうち, $B = 0.0, 1.0, 2.5$ m で見られた現象は, 図示しないが, 台形断面の場合[4]にも確認されている.

最後に, 砕波発生後に流動場の遷移が生じた $B = 1.5, 2.5$ m における V および θ と流動場の関係を図-4 に示す. 同図では, 最初の砕波発生から 10 s 間ごとの値を示した. 図-4 より, 堤防の断面形状によらず, $B = 1.5$ m のときは θ が約 8° , $B = 2.5$ m のときは θ が約 5° を上回ると潜り流れとなることが分かる. したがって, θ が大きいときに潜り流れが形成されるとする中村ら[4]の結果は, 堤防の断面形状によらず適用可能なことが判明した.

3. 下流側の水位と堰高の比の適用性: 堰下流の減勢池に形成される2種類の跳水は $h_t/H = 0.5$ (h_t : 下流での水位, H : 堰高)で分類でき, $h_t/H < 0.5$ のとき時計回りの渦, $0.5 < h_t/H < 0.6$ のとき遷移領域, $h_t/H > 0.6$ のとき潜り流れとなることが確認されている[5]. そこで, 図-1(c)に示した台形断面の堤防と図-1(d)に示した長さ $B = 0, 0.5, 1.5, 2.5$ m の保護工を設置し, $H_{max} = 3.0, 4.0$ m の津波を作用させた計算を行った. その結果のうち, 流動場の遷移が複数回生じたケースに関して, h_t/H と流動場の関係を図-5 に示す(h_c : 保護工岸側端での水位). ここで, H の後の数字は H_{max} を示す. 図-5 より, H4-B2.5 の場合には, h_t/H が小さいと潜り流れ, h_t/H が大きいと時計回りの渦となっており, 既往の研究[5]と逆の傾向が確認できる. また, 他のケースでは h_t/H と流動場の間に関係は認められず, 堰下流の減勢池の場合と異なり, Q が時々刻々変化する非定常流である津波の場合には, h_t/H による流動場の評価は難しいと言える.

4. おわりに: 本研究では, 越流した津波による海岸堤防裏法尻の洗掘に関する実スケールの数値解析を実施し, 裏法尻に形成される流動場は保護工岸側端での底面流速の向き θ で分類でき, θ が大きいときに潜り流れが形成されること, その一方で下流側の水位と堰高の比では分類が行えないことが判明した. 最後になるが, 科学研究費補助金若手研究(B) (課題番号: 26820200) の補助を受けたことを付記し, 謝意を表す.

参考文献: [1] 三戸部ら(2014): 津波越流により生じる海岸堤防裏法尻の洗掘現象に関する実験, 土論 B1(水工), 70(4), I_1147-I_1152. [2] 金子ら(2016): 海岸堤防裏法尻の洗掘孔内の流れ場と流速低減効果に関する水理実験, 土論 B2(海岸), 72(2), I_913-I_918. [3] 中村ら(2015): 東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防裏法尻の洗掘と対策工の有効性に関する数値解析, 土論 B2(海岸), 71(2), I_1099-I_1104. [4] 中村ら(2017): 津波の越流により生じる海岸堤防裏法尻周辺の流動場の特徴と洗掘対策の有効性に関する数値解析, 土論 B3(海洋), 投稿中. [5] Pagliara, S. and Palermo, M. (2013): Rock grade control structures and stepped gabion weirs: scour analysis and flow features, *Acta Geophysica*, 61(1), 126-150.

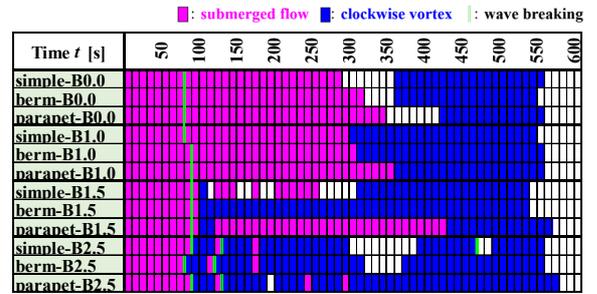


図-2 流動場の時間変化

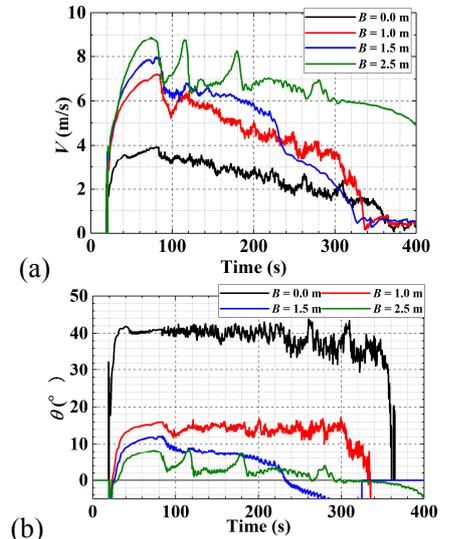


図-3 V と θ の時間変化(berm)

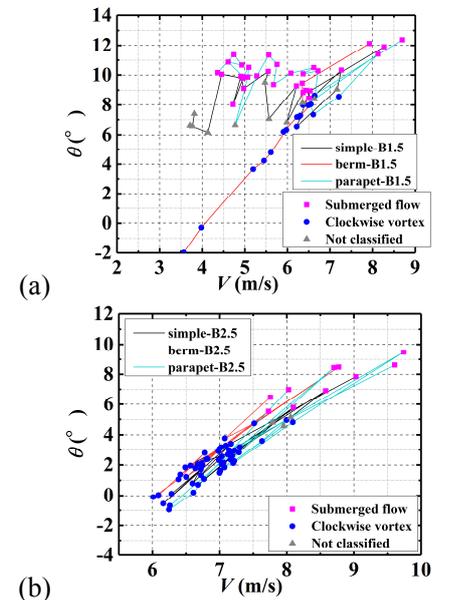


図-4 V および θ と流動場の関係: (a) $B = 1.5$ m, (b) $B = 2.5$ m

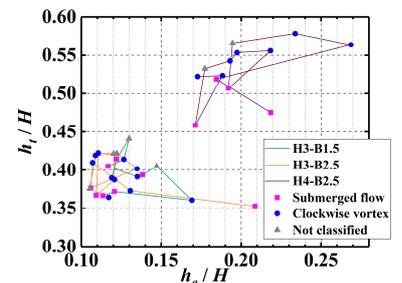


図-5 下流水位と堰高の比 h_t/H