

津波越流による海岸堤防裏法尻の最大洗掘深の予測について
 Prediction of maximum scour depth at landward toe of coastal dyke by tsunami overflow

○竹川尚希 澤田 豊 村井和樹 河端俊典

Naoki TAKEGAWA, Yutaka SAWADA, Kazuki MURAI and Toshinori KAWABATA

1. はじめに

東日本大震災では巨大津波が来襲し、海岸堤防に甚大な被害が生じた。被災要因の1つとして、津波による堤防裏法尻の洗掘が報告されている。対策工を検討する際、想定する津波に対して、洗掘深を予測することは重要となる。本研究では水理模型実験を実施し、海岸堤防背後の最大洗掘深を予測する簡易な手法を提案した。

2. 模型実験

実験装置を Fig. 1 に示す。奥行き 300 mm のアクリル製水槽内に、水中ポンプを用いて、循環流 (0.5, 1.0L/s) を発生させ、洗掘の進行過程を撮影した。Fig. 2 に最大洗掘深の変化を示す。三戸部ら¹⁾の研究において、洗掘形状は実時間換算約 10 分で安定したのに対して、本研究では両ケースにおいて、越流開始 240 秒後 (縮尺 1/50 とした場合の実時間換算約 30 分) まで最大洗掘深は増大した。その後、1.0L/s のケースでは、240 秒後以降も最大洗掘深は増加し、0.5L/s のケースでは、洗掘孔の埋め戻りにより、最大洗掘深は減少した。両ケースにおいて、越流開始より 900 秒 (実時間換算約 106 分) を経過しても、洗掘形状は安定状態に至らなかった。しかしながら、越流開始 85 秒後 (実時間換算約 10 分) において、法先付近で 2.5cm~3.0cm (実規模換算 1.25m~1.5m) 洗掘されており、実際には基礎や裏込めが流出することが考えられるため、本研究では、実時間換算約 10 分における最大洗掘深を評価することとした。

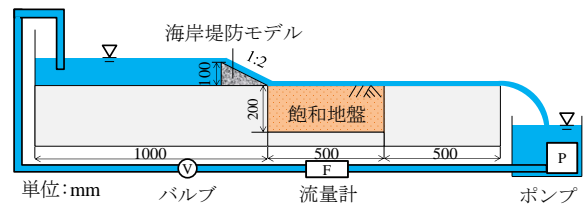


Fig. 1 実験装置
 Experimental setup

3. 最大洗掘深の予測

野口ら²⁾は洗掘孔内の渦の大きさから、戻り流れによる護岸前面の最大洗掘深に関する関係式を求めた。本研究では護岸ではなく、海岸堤防のような傾斜構造物を越流する場合における最大洗掘深について検討を行った。Fig. 3 に洗掘孔内に発生する渦の概念図を示す。渦によるエネルギー散逸量は式(1)で表される (例えば, Jones and Launder³⁾)。

$$E_v \sim \rho \frac{k^3}{l} \pi r^2 \quad (1)$$

ここに、 E_v : エネルギー散逸量, k : 乱れエネルギー, l : 乱れの代表長さ, πr^2 : 渦の面積である。本研究において、乱れエネルギー k は法尻での流速 v^2 に

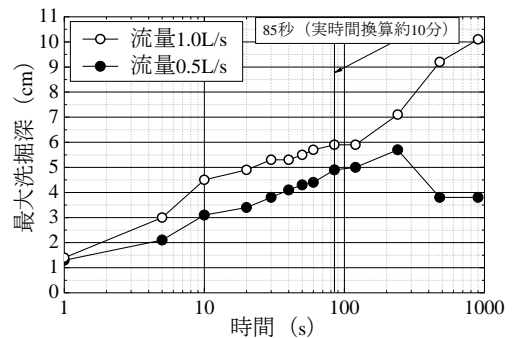


Fig. 2 最大洗掘深の変化
 Changes in maximum scour depth

比例するとした．越流水深と法尻での水深が等しいと仮定すると，法尻における流速は本間の越流公式とベルヌーイの定理から式(2)で表される．

$$v = \sqrt{2g(0.12h + H)} \quad (2)$$

ここに， h ：越流水深である．一方，海岸堤防を流下する水流によって供給されるエネルギーは式(3)で表される．

$$E_i \sim \rho g q H \quad (3)$$

ここに， E_i ：越流水により供給されるエネルギー， q ：越流量である．式(1)に式(2)を代入し，渦を維持するためのエネルギーは津波越流により供給されるエネルギーに等しいものとする渦の直径は式(4)で表される．

$$r \sim g^{1/4} q^{1/2} \sqrt{\frac{H^2}{(0.12h + H)^2}} \quad (4)$$

なお，乱れの代表長さ l には，堤防高さ H を使用し， r を渦の大きさ R_v と定義した．**Fig. 4**に渦の大きさと最大洗掘深の関係を示す．当実験値に加え，三戸部ら¹⁾と鳩貝ら⁴⁾の実験値もプロットした．いずれのケースにおいても，実時間換算で約 10 分後の結果を使用した．法尻に基礎を有する 2 割勾配と 3 割勾配のケースを比較すると，最大洗掘深に明確な差異が認められないことから，斜面勾配が最大洗掘深に与える影響は小さいと考えられる．法尻に基礎を設置した場合の方が，設置しない場合よりも，最大洗掘深は減少することから，基礎には洗掘を抑制する効果が認められる．縮尺 1/2 の大規模実験を含む結果（基礎有，2 割勾配）を対象に，渦の大きさと最大洗掘深の回帰式を求めた．

$$D = 1.2R_v \quad (5)$$

決定係数は $R^2 = 0.87$ であった．式(5)より，越流量と海岸堤防の高さが与えられると，最大洗掘深を予測することができる．

4. まとめ

本研究では，津波越流時の海岸堤防背後地盤の洗掘について検討するため，水理模型実験を実施した．その結果，越流開始より 900 秒（実時間換算約 106 分）を経過しても，洗掘形状は安定状態に至らなかった．また，越流量と海岸堤防の高さから洗掘孔内の渦の大きさを求め，実時間換算で約 10 分後の最大洗掘深との関係を検討した．基礎を有する斜面勾配 2 割の条件における実験結果に対し，直線回帰を行うと，最大洗掘深は渦の大きさの 1.2 倍で求められることがわかった．

参考文献

- 1)三戸部他 (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，土木学会論文集 B1 (水工学)，70(4)，1147-1152. 2)野口他 (1997)：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，44，296-300. 3)Jones, W.P. et al.(1973): The calculation of low-reynolds-number phenomena with a two-equation model of turbulence, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 16, 1119-1130. 4)鳩貝他 (2012)：津波の越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，68(2)，406-410.

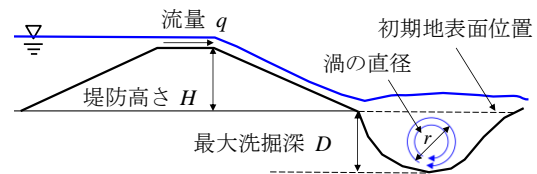


Fig. 3 海岸堤防裏法尻に発生する渦
Eddy at landward toe of coastal dyke

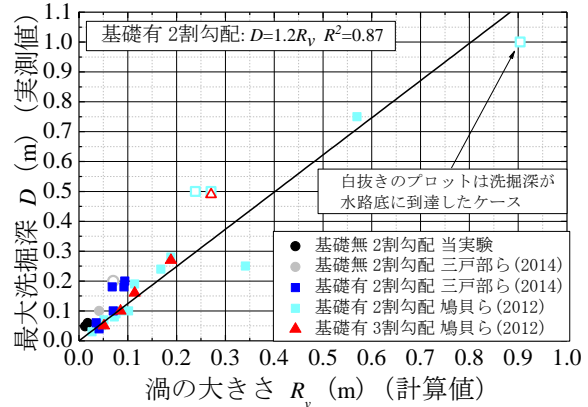


Fig. 4 渦の大きさと最大洗掘深の関係
Scale of eddy and maximum scour depth