

海岸堤防裏法尻の洗掘による津波減災効果

東北学院大学 学生会員 ○阿部 こゆき
東北学院大学 正会員 三戸部 佑太

1. はじめに

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震津波は従来の想定を大幅に上回る規模であり、太平洋沿岸の各地では津波の越流による海岸堤防が破壊される被害があった。堤防破壊の主要な原因として指摘されているのが、津波の堤防越流による堤防裏法尻の洗掘である。一方で、洗掘孔により陸側の津波流速が低減する効果も指摘されている¹⁾。本研究では、津波越流による海岸堤防裏法尻の洗掘が堤防背後の津波減災にどれほど効果があるか、津波数値シミュレーションを行い検討した。

2. 洗掘のモデル化

津波数値計算モデルに洗掘の発達およびその流れ場の影響を取り込むため、先行実験²⁾のデータをもとに洗掘のモデル化を行った。先行実験では縮尺 1/60 の海岸堤防模型を設置した水平勾配開水路を用いて移動床の水理実験を行った。この実験において取得された洗掘形状の時間変化をもとに以下のモデル化を行った。

(1)越流条件に対する洗掘の大きさの変化

堤防天端高(H)で越流水深(h)と最終的な洗掘の大きさ(L_f 幅, D_f 深さ)をそれぞれ正規化し、その関係を図-1(a)(b)に示した。この関係から最小二乗法を用いて以下の近似式($A=0.8202$, $B=0.8059$)を求めた。

$$L_f/H = 10^B (h/H)^A \quad (1)$$

先行実験より越流時の裏法尻付近の流れ場はその渦の方向により 2 つのタイプ(Type1, 2)に分類され、洗掘深 D_f は流れ場のタイプに応じてそれぞれ洗掘幅の 0.3 倍および 0.1 倍になることがわかっている。Type 1 は流れが洗掘孔内に潜り込み底面に沿って通過する流れ場であり、type2 は法尻において跳ね上がった流れが洗掘孔下流側へと落下し Type1 と逆方向の渦を形成する流れ場である。そこで式(1)によって計算する洗掘幅をもとに洗掘深は type1: $D_f = 0.3L_f$, type2: $D_f = 0.1L_f$ により計算する(図-1(c))。

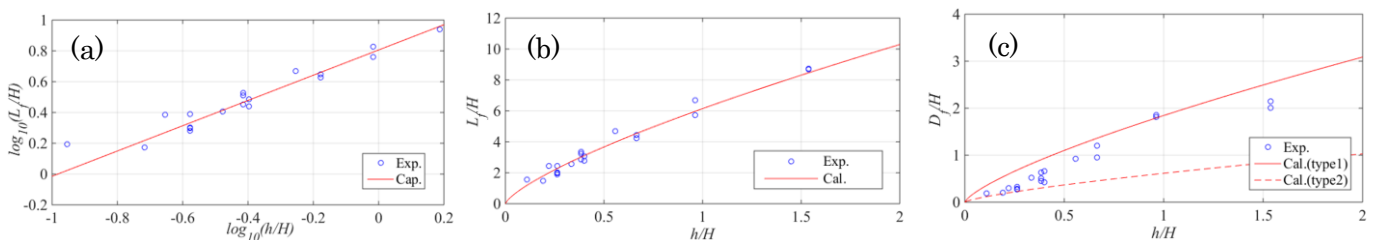


図-1 越流条件に対する洗掘形状の変化

(2)洗掘の時間変化

次に洗掘の時間発展に関してのモデル化を行った。図-2 は横軸を代表時間 $T = \sqrt{H/g}$ で正規化した時刻 t^* とし、 L_f で正規化した洗掘幅 $L^* = L/L_f$, 洗掘深 $D^* = D/L_f$ の時間変化を示している。実験結果から最終的な洗掘幅に近づくにしたがって洗掘幅の増加率が減少する傾向が見えるため、次式により洗掘幅の増加速度を表す。

$$dL^*/dt^* = a(1-L^*)^b \quad (2)$$

上式に基づき洗掘幅 L^* および洗掘深 D^* の時間発展をモデル化し、最小二乗法により係数を決定した ($a=0.00489, b=1.13305$)。

$$L^* = -\left\{ -at^*(-b+1)+1 \right\}^{\frac{1}{-b+1}} + 1 \quad (3), \quad D^* = 0.3L^*, D^* = 0.1L^* \quad (4)$$

キーワード 洗掘, 津波数値計算, 減災, 海岸堤防

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央一丁目 13-1 東北学院大学工学部環境建設工学科 TEL 022-368-7193

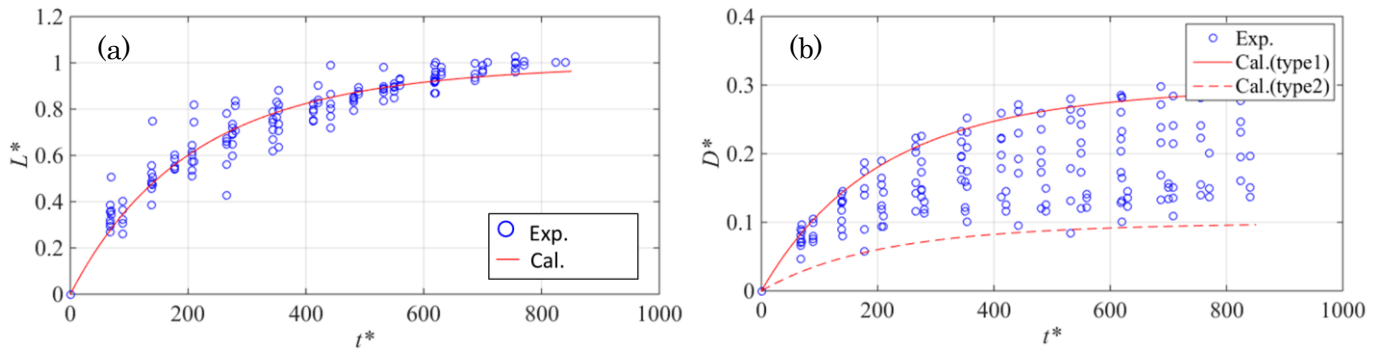


図-2 正規化洗掘幅および洗掘深の時間変化．赤線は式(3)(4)による計算値

(3)洗掘の大きさによるエネルギー減衰率(R_r)のモデル化

先行実験により得られている洗掘孔によるエネルギー減衰率 R_r を用いて， R_r と洗掘形状の関係を調べた（図-3）． R_r は正規化洗掘深さ D^* に応じて変化する． D^* が十分小さいときは，流れの分岐や大規模渦が生じず底面に沿って流下するため R_r は小さいが D^* が大きくなると法尻において大規模渦が形成され R_r は大きくなる．渦スケールに対して D^* が大きくなると底面抵抗を受けにくくなり R_r は小さくなる傾向がある．そこで渦の発生によるエネルギー減衰の増加と渦スケールに対する相対的な洗掘深の増加によるエネルギー減衰率の減少を含むため次のような近似式を求めた．

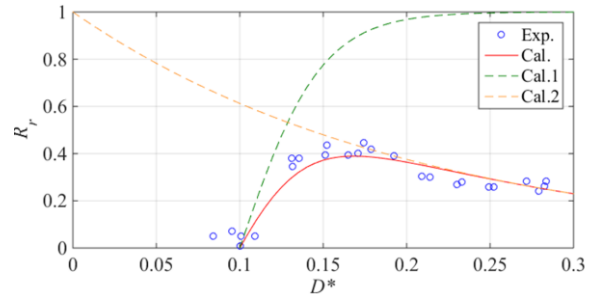


図-3 洗掘深とエネルギー減衰率の関係

$$R_r = \tanh\{20.7(D^* - 0.1)\} 6.3^{-2.7D^*} \quad (5)$$

3. 津波数値シミュレーション

津波数値シミュレーションの基礎式に堤防裏法尻の洗掘によるエネルギー減衰効果を組み込み計算する．式(2)(4)により洗掘幅および洗掘深の時間変化を計算し，式(5)により計算される R_r 分のエネルギー勾配をもとに洗掘による流れへの抵抗を運動方程式に加えた．図-4 は入射波高 10m，堤防高さ 5.2m，堤防背後 100m 地点と堤防背後 1750m 地点の時間変化を示している．堤防背後 100m 地点(図-4(a))では洗掘の効果を入れた場合の方が 1300s まで流速が小さいことがわかる．しかし堤防背後 1750m 地点(図-4(b))では洗掘の効果による流速の低減が見られなかった．以上の結果を参考とし，今後入射波高や堤防条件を変えた複数ケースで検討を行う．

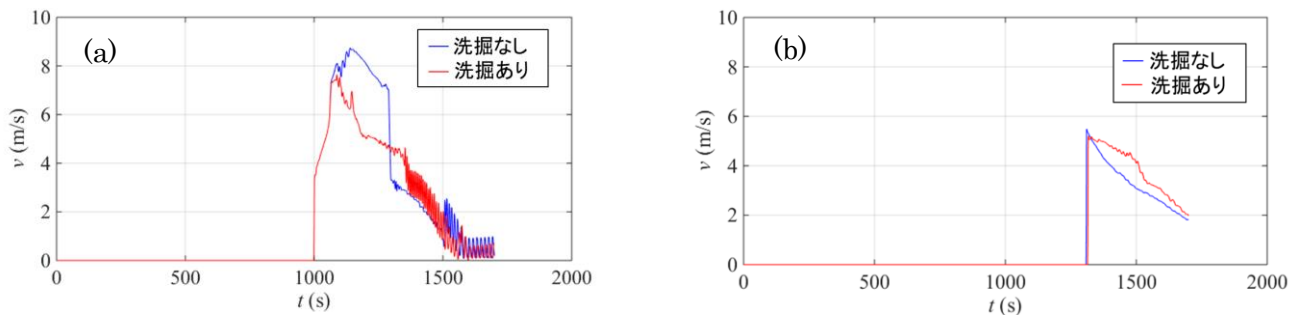


図-4 堤防背後 100m 地点の流速・水深の時間変化

参考文献

- 1) 常田賢一，竜田尚希，谷本隆介，鈴木啓祐:津波防潮堤の評価および防潮盛土の耐浸食性の確保・向上，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vo1.69,No2,pp.I_1016-I_1020,2013.
- 2) 金子祐人，三戸部佑太，田中仁，会田俊介，小森大輔:海岸堤防裏法尻の洗掘孔の発達過程と津波減勢効果に関する水理実験，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vo1.73,No2,pp.I_871-I_876,2017