

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に関する数値解析

名古屋大学工学部

学生会員

○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

正会員

中村 友昭

名古屋大学大学院工学研究科

フェロー

水谷 法美

東洋建設株式会社鳴尾研究所

正会員

小竹 康夫

1. はじめに：東北地方太平洋沖地震では、津波が海岸堤防を越流したことによって、裏法尻に洗掘が生じるなど、堤防が半壊や全壊した事例が報告されている（加藤ら，2012）．これを契機に、「粘り強い」構造の海岸堤防が重要視されており，洗掘の発達機構の解明を行うことは必要不可欠である．これまで洗掘に関して水理模型実験（例えば鳩貝ら，2012）や数値計算（例えば中村ら，2014）による研究が行われてきた．しかし，これらの研究は実験スケールで行われており，模型縮尺ではスケール効果の影響が懸念されるため，現地スケールでの検証も求められる．そこで，本研究では，東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって洗掘が確認された海岸堤防を対象に現地スケールの数値解析を行い，被災機構を解明することを目的とする．

2. 数値計算手法および計算条件：本研究では，3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル（中村・水谷，2014）を用いて解析を行った．地形変化が沿岸方向に一様であると仮定し，計算負荷の軽減のために単位奥行き断面2次元計算を行った．計算領域は図-1に示す通りであり，沖側の4 mと岸側の10 mに不透過床を設置し，それ以外の領域に飽和状態の移動床（空隙率 m ：0.4）を設けた．座標軸は，原点を裏法尻・移動床表面とし，岸向きおよび鉛直上向きをそれぞれ x 軸と z 軸の正とした．海岸堤防は実際に被災した海岸堤防をモデル化し，比高を6.63 m，裏法を階段状とした．計算格子は，堤体周辺（ $-22.00 \leq x \leq 6.00$ m, $-1.15 \leq z \leq 6.63$ m）については0.2 m×0.2 mの等間隔格子を用い，それ以外の領域については格子幅を徐々に広げた不等間隔格子を用いた．堤防前面の水深は天端までの $h_0 = 5.59$ mと設定した．沖側境界は表法尻での最大越流水深 $H_{\max}$ が1, 2, 4 mに対応する流量 Q に基づく流速を与え，表法尻での水深が60秒後に $h_0 + H_{\max}$ に達し，600秒後に h_0 に戻るよう越流水深を変化させた．また，計算時間は640秒とした．表-1に計算条件を示す．同表に示すように地盤は中央粒径 $D_{50} = 0.5, 1.0, 2.0$ mmの3種類，限界 Shields 数は0.05, 0.10の2種類とした．

3. 計算結果および考察：図-2に Case 16の各時間における裏法尻付近の洗掘進行状況を示す．同図には，浮遊砂濃度分布と流速分布も同時に示した．裏法面上を流下してきた越流水は，図-2(a)に示すように裏法尻に達した後も流れの方向がほとんど変化せず，底面に沿って流れる．この流れにより，底面をえぐるように侵食が進んでいる．その後，跳水が発達する．このとき図-2(b)に示すように，主流は跳水の影響をほとんど受けず，潜り流れとなり洗掘がさらに進行する．さらに時間が経過すると

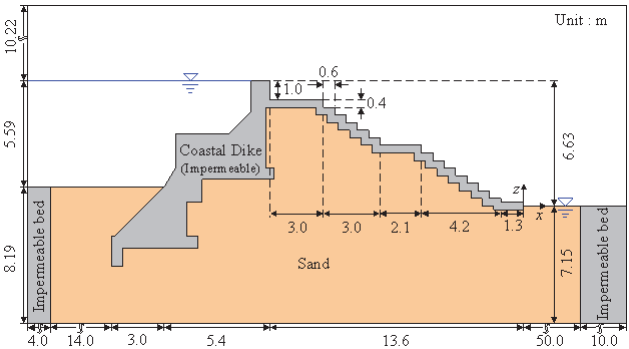


図-1 計算領域

表-1 計算条件

Case	越流水深 $H_{\max}$ (m)	中央粒径 D_{50} (mm)	限界 Shields 数
1	1	0.5	0.05
2	1	1.0	0.05
3	1	2.0	0.05
4	1	2.0	0.10
5	2	0.5	0.05
6	2	0.5	0.10
7	2	1.0	0.05
8	2	1.0	0.10
9	2	2.0	0.05
10	2	2.0	0.10
11	4	0.5	0.05
12	4	0.5	0.10
13	4	1.0	0.05
14	4	1.0	0.10
15	4	2.0	0.05
16	4	2.0	0.10

流速が小さくなり、図-2(b)の裏法尻付近に発生した時計回りの渦が発達し、拡大しながら岸側に移動していく。この渦が岸側に進行する際に図-2(c)に示すように侵食が進み、洗掘が拡大したものの、洗掘深はあまり変化していない。越流水深の小さい Case 9 でも、同様な流れ場の遷移が見られたが、跳水発生後約 30 秒の早い段階で渦の発達が見られ、渦の発達により洗掘の進行が加速した。以上より、越流水深の違いにより、裏法尻付近の洗掘の発達過程に差が生じると考えられることが確認された。

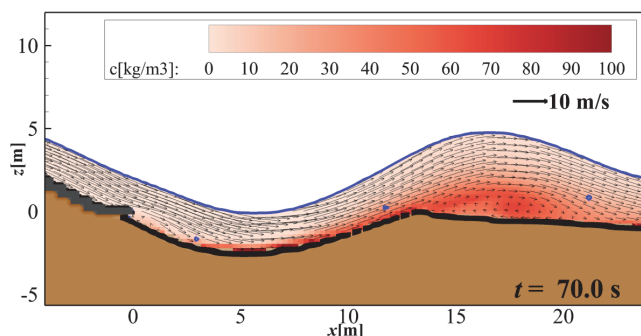
図-3 に Case 1~4, 図-4 に Case 5~10, 図-5 に Case 12, 14, 15, 16 の最終地形を示す。図-3~5 の Case 3, 9, 15 や Case 4, 10, 16 の結果から、越流水深が大きくなると最大洗掘深および洗掘幅が大きくなることが分かる。図-4 より、越流水深が 2m の場合は、中央粒径が大きくなると最大洗掘深が若干小さくなり、洗掘幅も小さくなることが分かる。一方で、図-5 の Case 12, 14, 16 の結果から、越流水深が 4m の場合は、中央粒径が大きくなると最大洗掘深が若干小さくなるが、洗掘幅にはあまり差が見られなかった。図-4 の Case 9, 10 や図-5 の Case 15, 16 から限界 Shields 数が大きくなると最大洗掘深、洗掘幅ともに小さくなった。

4. おわりに：本研究では現地の海岸堤防を対象に数値解析を行い、海岸堤防裏法尻付近の洗掘の発達機構を検討した。その結果、洗掘を発生させる流れ場として底面に沿った潜り流れおよび時計回りの渦の影響が大きく、越流水深により洗掘の発達機構に差が生じると考えられることが分かった。また、最大洗掘深や洗掘幅は、越流水深の増加や、中央粒径および限界 Shields 数の減少により大きくなることを確認した。

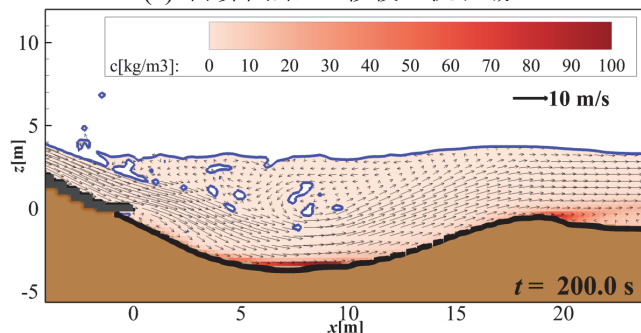
謝辞：本研究は河川砂防技術研究開発（代表者：水谷法美）の補助を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献：[1]加藤ら（2012），土論 B2, Vol. 68(2), pp. I_1396-I_1400.

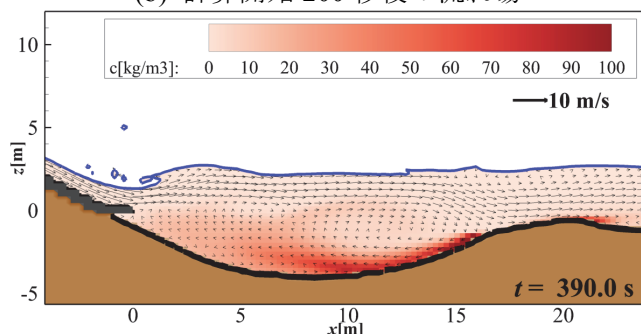
[2]鳩貝ら（2012），土論 B2, Vol. 68(2), pp. I_406-I_410.



(a) 計算開始 70 秒後の流れ場



(b) 計算開始 200 秒後の流れ場



(c) 計算開始 390 秒後の流れ場

図-2 Case16 の洗掘進行状況

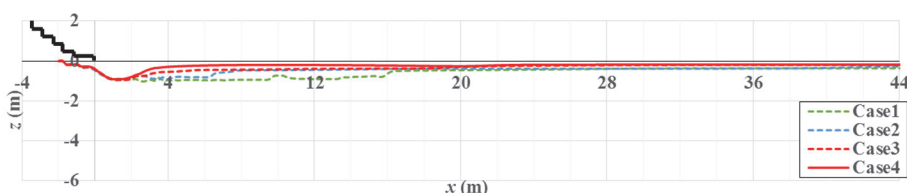


図-3 Case 1~Case 4 の計算終了時の地形変化

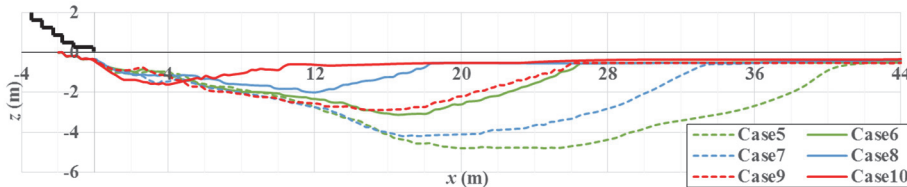


図-4 Case 5~Case 10 の計算終了時の地形変化

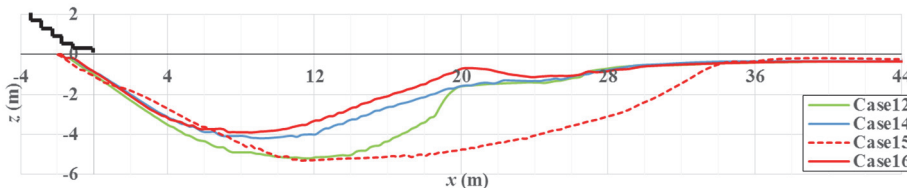


図-5 Case 12, 14, 15, 16 の計算終了時の地形変化

[3]中村ら（2014），土論 B2, Vol. 70(2), pp. I_501-I_505.

[4]中村ら（2014），土論 B3, Vol. 70(2), pp. I_516-I_521.