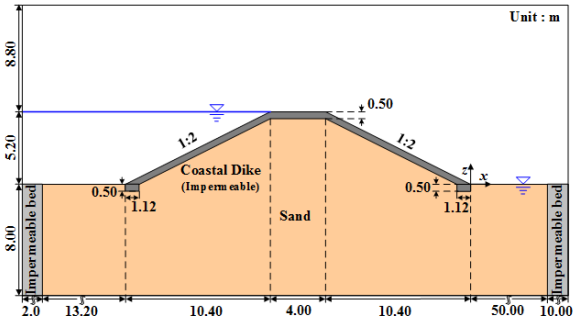
越流した津波により海岸堤防裏法尻に生じる流れ場の形成条件に関する数値解析

名古屋大学大学院工学研究科　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　中村　友昭，趙　容桓
名古屋大学大学院工学研究科　フェロー　水谷　法美

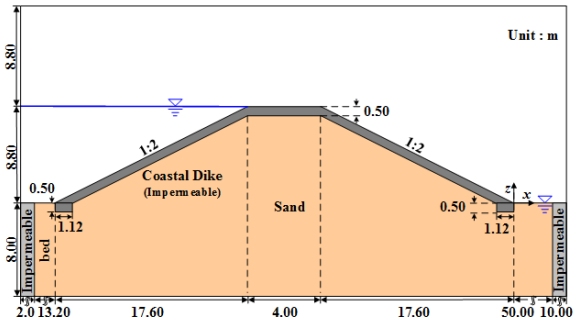
1.　はじめに：東北地方太平洋沖地震では，越流した津波に伴う裏法尻の洗掘により海岸堤防が被災に至ったと報告されている(加藤ら, 2012)．これを契機に海岸堤防を粘り強い構造とする取り組みがされているが，その達成のためには洗掘の発達機構の解明が不可欠である．これまでに洗掘の研究が様々な観点から進められてきており，三戸部ら（2014）は水理実験により，中村ら（2015）は数値解析により洗掘孔の発達過程に影響を及ぼす 2 種類の流れ場の存在を示した．しかし，これらの流れ場の形成要因の解明までは至っていない．本研究では，各流れ場の形成条件と，流れ場と洗掘の関係を数値解析により解明することを目的とする．

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の断面 2 次元計算を行った．計算領域は図-1 に示す通りであり，沖側端の 2 m と岸側端の 10 m に不透過床を設置し，その間に飽和状態の移動床（空隙率 $m = 0.4$，中央粒径 $D_{50} = 2.0$ mm）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．海岸堤防は実際の復旧断面をモデル化し，裏法勾配は 1/2，比高は 5.2 m（Case 1），8.8 m（Case 2）の 2 種類とした．裏法尻部には図-2 に示すように長さ $B = 0.5, 1.5, 2.5$ m の 3 種類の保護工を設置した．計算格子は，堤体周辺については 0.25 m×0.25 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．堤防前面の初期水位は天端と同じ高さとし，表法尻での最大越流水深 H_{max} が 3, 4 m となるように沖側境界から与える流量 Q を計算開始 60 秒後まで線形的に増加させ，600 秒後に $Q = 0$ に戻るように Q を線形的に減少させた津波を作用させた．計算は越流が終了する 640 秒まで行った．

3.　計算結果および考察：中村ら（2015）は，流れ場を異なる洗掘発達機構を有する 2 種類の流れ場に，すなわち洗掘深と洗掘幅をともに増加させる潜り流れと，洗掘孔を岸側に拡大させるが，裏法尻近傍の洗掘深は増加させない時計回りの渦に分類した．図-3 に流れ場の時系列変化を示す．ここで，Case1-H3-B0.5 とは Case 1 の堤防断面における最大越流水深 $H_{max} = 3$ m，保護工長さ $B = 0.5$ m の結果であり，黄緑二重線は砕波の発生，桃色は潜り流れ，青色は時計回りの渦，白色は流れ場の判断が明確にはできなかったことを示す．同堤防断面，同最大越流水深同士の比較より，保護工長さが長いほど潜り流れの継続時間が短いことが分かる．同堤防断面，同裏法保護工同士の比較より，最大越流水深が大きいほど潜り流れの継続時間が長いことが分かる．同最大越流水深，同裏法保護工同士の比較から，1 回目の砕波後に潜り流れとなる場合の潜り流れの継続時間は比高が大きいほど小さいが，流れ場の時系列変化の傾向は概ね一致し



(a) 比高 5.2 m（Case 1）



(b) 比高 8.8 m（Case 2）

図-1　計算領域

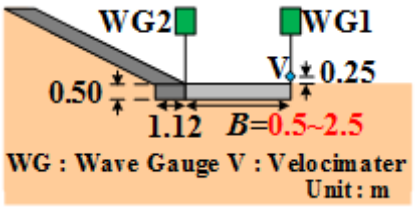


図-2　裏法尻周辺の計算領域

ている．以上より，流れ場の時系列変化の傾向は，最大越流水深や保護工長さの影響が大きく，比高の影響は小さいことが判明した．

図-4 に計算終了時の洗掘孔形状を示す．ここで，各ケースの保護工岸側端を原点に揃えて整理した．同図より，越流量が比較的多い 200 秒までだけではなく，それ以降も潜り流れが継続しているケース（図-4(a)桃色線，青線，図-4(b)桃色線）では，潜り流れにより他のケースよりも洗掘が深くなっている．一方，その他のケースでは，時計回りの渦により，法尻近傍に埋め戻しが生じたために洗掘が浅くなっている．特に，図-4(b)青線のケースでは，早い段階で流れ場が時計回りの渦に遷移したために，時計回りの渦が生じた場合の特徴的な洗掘孔形状となったことが分かる．以上より，越流量が比較的多い時間帯における潜り流れの継続時間が最終洗掘孔形状に影響することが確認できた．

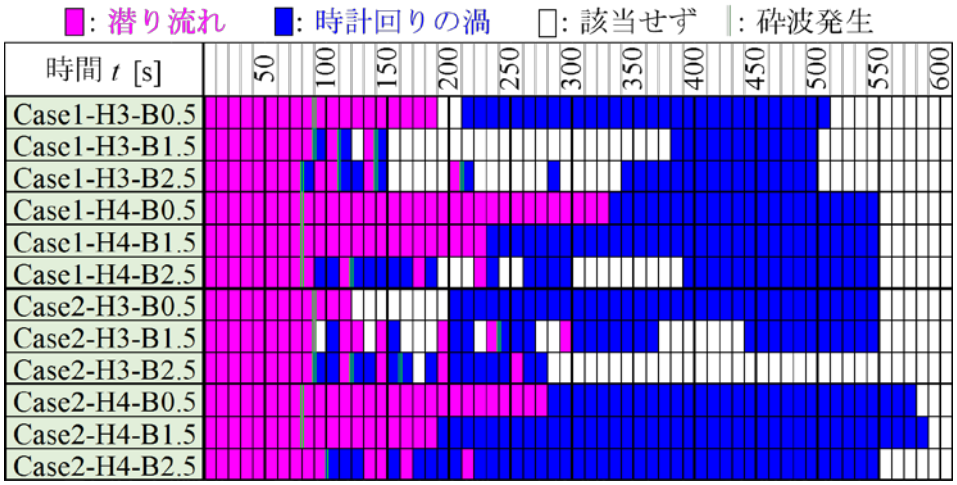
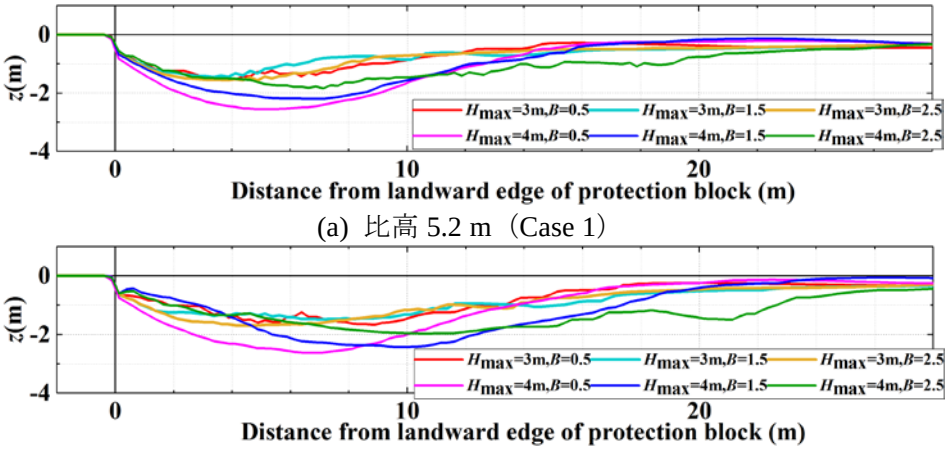


図-3　流れ場の時系列変化

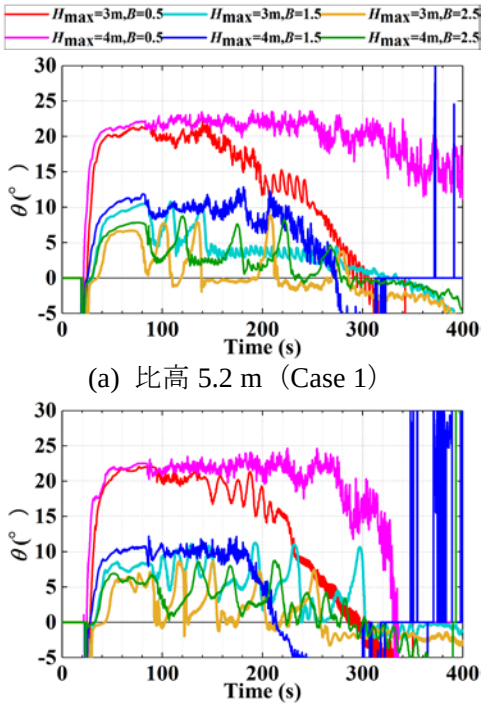


(a) 比高 5.2 m（Case 1）

(b) 比高 8.8 m（Case 2）

図-4　計算終了時の洗掘孔形状

図-5 に保護工岸側端上部 0.25 m における流れの向きを示す．ここで，角度は x 軸正の向きから時計回りを正とする．図-3 と図-5 の赤，桃色，青線より，1 回目の砕波後に潜り流れが長く継続する場合は，流れの角度が大きいことが分かる．図-3 と図-5 の水色，黄色，緑線より，潜り流れの継続時間が短く，時計回りの渦と交互に形成される場合，約 5 度を境界に 2 種類の流れ場に分類できることが分かる．



(a) 比高 5.2 m（Case 1）

(b) 比高 8.8 m（Case 2）

図-5　保護工岸側端での流れの向き

4.　おわりに：本研究では，現地をモデル化した海岸堤防を対象に数値解析を行い，津波の越流により裏法尻付近に生じる流れ場の形成条件と，流れ場と洗掘の関係を検討した．その結果，保護工が長く，最大越流水深が小さいほど潜り流れの継続時間が短いこと，保護工岸側端における流れの向きについて，約 5 度を境界に潜り流れと時計回りの渦に分類できることが分かった．最後に，本研究は科研費補助金若手(B)の補助を受けたことを付記し，謝意を表する．

参考文献：[1] 加藤ら (2012)，土論 B2, Vol. 68(2), pp. I_1396-I_1400. [2] 三戸部ら (2014)，土論 B1, Vol. 70(4), pp. I_1147-I_1152. [3] 中村ら (2015)，土論 B2, Vol. 71(2), pp. I_1099-I_1104. [4] 中村・水谷 (2014)，土論 B3, Vol. 70(2), pp. I_516-I_521.