

# 鉛直 2 次元解析モデルを用いた 津波越流時の堤防裏法尻における局所洗掘に関する研究

株式会社ウエスコ 田中龍二

## 1. 序論

平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震による津波は、これまでの想定を超える巨大津波となり、東北地方沿岸域の海岸堤防を越流した。越流した津波は、堤防裏法尻基礎工周辺で局所洗掘を発生させ、堤防裏法尻保護工や裏法面保護工の破壊、さらに堤体内の土砂の吸出しによって堤体本体の破壊をもたらした(図-1)。このように、堤体を越流した流れは堤体そのものの安定性を低下させるが、これまでの河川や海岸堤防の設計では越流を外力として考慮されていない。したがって、精度良い河床変動予測モデルを構築することは、工学的に重要な課題といえる。

研究の第一段階として、従来の研究で用いられている平衡及び非平衡流砂による河床変動を考慮した鉛直 2 次元解析モデルを構築し、堤防裏法尻で生じる高速流や潜り噴流による洗掘の再現計算を行うものとする。特に、モデルの違いに加え、浮遊砂と浮遊砂濃度の移流、噴流による摩擦速度の上昇、浮遊砂濃度によって低下する粒子の沈降速度の効果が与える影響について考察を行う。

## 2. 河床変動解析に関する考察

### (1) 模型実験による洗掘現象の考察

飯干ら<sup>1)</sup>は、上述した東北地方沿岸域の津波による海岸堤防の破壊メカニズムを解明するために模型実験を行い、堤体を越流した高速流が裏法尻保護工の破壊や堤防背後地盤に急激な洗掘を生じさせることを明らかにしている。模型実験では、図-2、写真-1のように堤防背後に移動河床を設置、上流側(沖側)ではゲート解放によって擬似的な津波を発生させている。

図-3 に、実験によって示された堤防裏法尻の河床位の時間変動値を示した。洗掘孔の下り斜面(上流側)は水中安息角程度を維持したまま、洗掘深が大きくなるにつれて下流側にその位置が移動する。一方、上り斜面(下流側)は洗掘開始直後には緩やかな傾斜で洗掘されていくが、徐々に水中安息角程度まで角度が急になる。また、初期河床位より高い河床位が見られなかったことから、洗掘された土砂は下流まで輸送されたと考えられる。

### (2) 数値解析による諸現象の効果の考察

表-1 に今回行った解析ケースを示した。浮遊砂及び噴流の効果は平衡流砂モデルでのみ適用し、その効果を考察する。なお、Case3 では浮遊砂濃度により沈降量に変化するように



図-1 仙台湾南部海岸の堤防破壊状況  
(左：陸側，右：沖側)

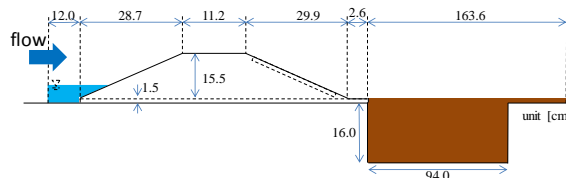


図-2 実験水路の側面図 (左：沖側，右：陸側)

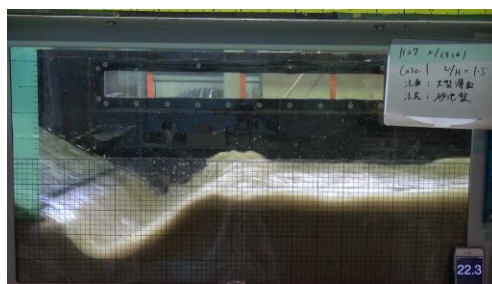


写真-1 洗掘が生じてから 9 秒後の洗掘状況

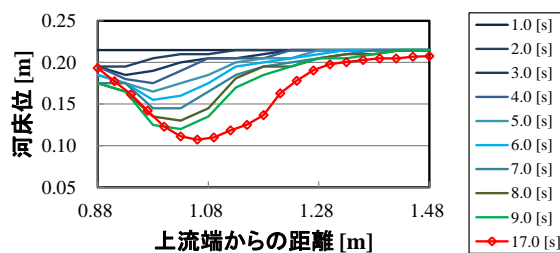


図-3 模型実験で得られた河床位の時間変化  
(最終時刻以外は、映像から読み取った値)

Maude(1958)の式を用いている、また、Case4 では潜り噴流により底面付近の摩擦速度が大きくなると考えられるため、斉藤<sup>2)</sup>の実験で示された摩擦速度の分布式による補正を行った。その他の計算条件は、表-2 に示した。

図-4 に Case1 から Case3 の解析最終時間の河床位を示した。どの河床位も実験値の洗掘深よりも浅く、十分な土砂輸

送が行われていないことが分かる。特に、浮遊砂を考慮した場合、洗掘孔より下流側で初期河床位より高い河床位が見られ、浮遊した砂が下流に十分に流されことなく滞留し、堆積したものと考えられる。

図-5に Case4 の河床位の時間変化を示した。このケースでは、最大洗掘深が発生する付近まで摩擦速度を補正している。早い段階で Case1 の最大洗掘深付近まで洗掘したが、洗掘孔より下流側でその土砂が堆積したため、それ以上の洗掘が見られなかった。特に、上り斜面の勾配も早い段階で水中安息角程度まで発達している。ただし、洗掘と堆積の高さの差は 10cm 程度であり、摩擦速度の補正を修正することで、河床変動量の再現性が向上すると考えられる。

図-6に Case5 の河床位の時間変化を示した。6 秒時点で最大洗掘深が実験値程度まで洗掘した。その後、洗掘孔とその下流に堆積していることが分かる。非平衡流砂モデルでは、初期段階に過大評価しており、潜り噴流による洗掘現象の再現が十分になされていない。

### 3. 結論

本研究では、津波越流時の堤防裏法尻の洗掘現象に対し、鉛直 2 次元解析モデルを用いて再現計算の検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 潜り噴流により生じる局所洗掘において、本解析の平衡流砂モデルでは洗掘深を過小評価している。実験結果と異なり、掃流された砂粒が洗掘箇所下流で堆積している土砂輸送の低さと、流速や水深が良好に再現できていない流体計算の再現性に課題がある。
- 2) 非平衡流砂モデルは、洗掘速度が速く、洗掘過程も実験結果と異なる様子を示したが、最大洗掘深は平衡流砂モデルに比べて実験値に近い値となった。

実務では、計算格子の細分化による計算精度の向上や 3 次元解析モデルを用いて複雑な流れを再現するのは現実的ではない。そのため、斎藤の実験式のように、単純なファクターである水位差や距離等を用いて潜り噴流のような現象の再現を行い、洗掘現象の精度向上を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) 飯干富広, 前野詩朗, 吉田圭介, 高田大資: 津波越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に及ぼす裏法被覆工と法尻保護工形状の影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.966-970, 2014.
- 2) 斎藤隆: 水平噴流による洗掘に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 282 号, pp.53-63, 1979.

協力: 岡山大学大学院環境生命科学研究科

表-1 解析ケース

| Case | 河床変動に関する効果 |                |
|------|------------|----------------|
| 1    | 平衡         | 掃流砂            |
| 2    |            | 掃流砂+浮遊砂        |
| 3    |            | 掃流砂+浮遊砂+沈降速度補正 |
| 4    |            | 掃流砂+浮遊砂+噴流     |
| 5    | 非平衡        | 掃流砂            |

表-2 計算条件

|                 |                    |           |
|-----------------|--------------------|-----------|
| 解析時間 [s]        | 17.0               |           |
| 格子幅 [mm]        | x 方向               | 10.0~30.0 |
|                 | z 方向               | 5.0~7.5   |
| 平均粒径 [mm]       | 0.23               |           |
| 水中安息角 [°]       | 30.0               |           |
| 流体の計算時間間隔 [s]   | 10 <sup>-6</sup> ~ |           |
| 河床変動の計算時間間隔 [s] | 10 <sup>-4</sup> ~ |           |

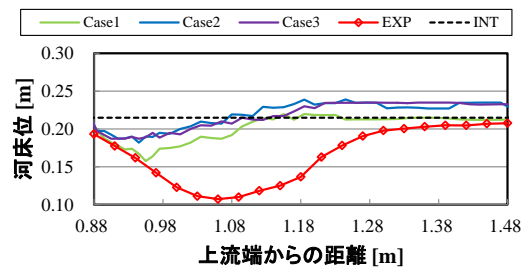


図-4 Case1 から Case3 における最終時刻の河床位 (赤線: 実験値, 点線: 初期河床位)

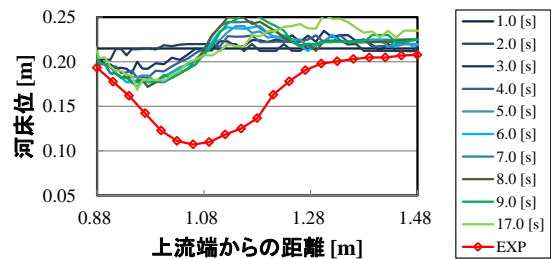


図-5 Case4 における河床位の時間変化

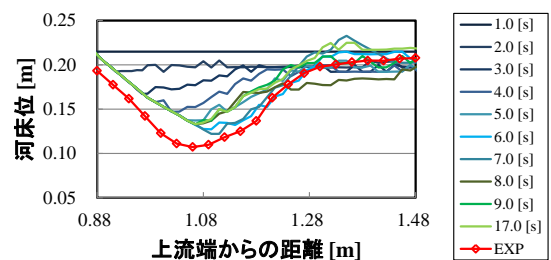


図-6 Case5 における河床位の時間変化