

## 土堤越流侵食解析における平衡流砂量式を用いた浅水流モデル適用の課題抽出

鳥取大学大学院 学生会員 ○中田 雄己

鳥取大学 正会員 梶川 勇樹・黒岩 正光

## 1. はじめに

近年、台風や集中豪雨により、河川堤防やため池等の土構造物が決壊する事例が頻発化している。人的及び経済的被害の軽減に向けて、越流破堤防止のための強化対策やハザードマップの更新につながるようなリスク評価を行っていくためには、堤体の侵食過程や流出流量の時間変化を簡易かつ高精度に予測できる数値解析モデルを構築することが必要である。

一般的に土堤越流侵食解析で使用される浅水流方程式は、実用性に長けているものの、堤体周辺の急激な流れの変化を予測する方法としては不十分であると指摘されている<sup>1)</sup>。また、裏法面の変化の激しい流砂現象を捉えるため、多くの研究では平衡流砂量式ではなく非平衡流砂量式が用いられている。しかしながら、平衡流砂量式を用いた浅水流モデルは簡易なモデルであるため、課題点を抽出し、その点を克服することができれば、実用的なモデルとなる可能性がある。

そこで本研究では、浅水流方程式と平衡流砂量式を組み合わせた一般的な河床変動モデルを用いて土堤越流侵食解析への適用限界と課題部分を明らかにする。

## 2. 数値解析モデル

差分精度により流れの解析結果に違いが生じるため、浅水流方程式の移流項の差分化には高精度スキームでプログラミングが容易である WENO 法を用いた<sup>2)</sup>。水深平均レイノルズ応力に含まれる水平方向の渦動粘性係数については、0 方程式モデルで評価した。また、座標系にはデカルト座標系を、計算格子にはレギュラー格子を採用した。

主流方向の流砂量について、実際の越流侵食現象では掃流砂だけでなく、浮遊砂も移動していると考えられるため、本モデルでは一様粒径の掃流砂と浮遊砂の

両方を考慮した。掃流砂量の算定には局所勾配の影響を考慮した芦田・道上式を、浮遊砂浮上量の算定には Itakura and Kishi 式を使用した。以上のように、これらは一般的な河床変動モデルである。

## 3. 対象実験の概要と計算条件

本研究で使用している数値解析モデルを與田ら(2014)が実施した水理模型実験に適用し、土堤越流侵食過程の再現性を検証する<sup>3)</sup>。図-1 に実験で使用された堤体模型の詳細図を示す。全長 5 m の実験水路の下流端に設置してある堤体の堤高は 0.4 m、法勾配は表裏ともに 1/2 としている。実験条件は表-1 のとおりである。ただし、今回の数値解析モデルでは、初期含水量や飽和度の条件は考慮できていない。計算条件として、計算時間間隔 0.0002 s、格子間隔 0.01 m、マンニングの粗度係数 0.0120、水中安息角 32° とした。ここで水中安息角以上の地形変化が起きた際には、水中安息角を維持するように土砂がスライドし、補正が行われる。

表-1 実験条件

Case	流量 (m <sup>3</sup> /s)	堤体土 (mm)	堤体の初期含水量 (%)	堤体の開隙率	
1	0.004	N	0.334	13.0	0.51
2		N	0.14	11.5	0.51
3		N	0.100	12.0	0.55

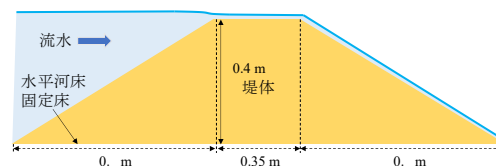


図-1 実験模型の詳細図

## 4. 計算結果と考察

図-2 に Case ごとの実験結果と計算結果との比較を示す。Case1 の実験開始 10 秒後の計算結果(sim-10 s)については、実験結果と概ね良好な結果となった。しかしながら、それ以降の結果及び、その他の Case については

キーワード 土堤越流侵食解析, 浅水流方程式, 平衡流砂量式

連絡先 〒680-0945 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学工学部海岸工学研究室

TEL 0857-31-5300

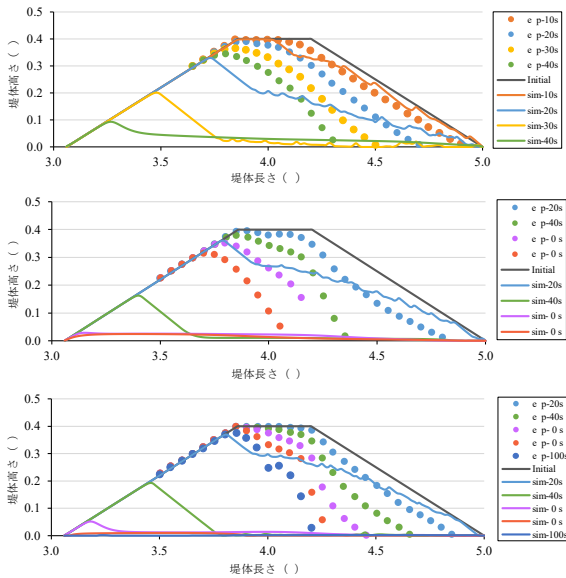


図-2 計算結果

(上 : Case1, 中 : Case2, 下 : Case3)

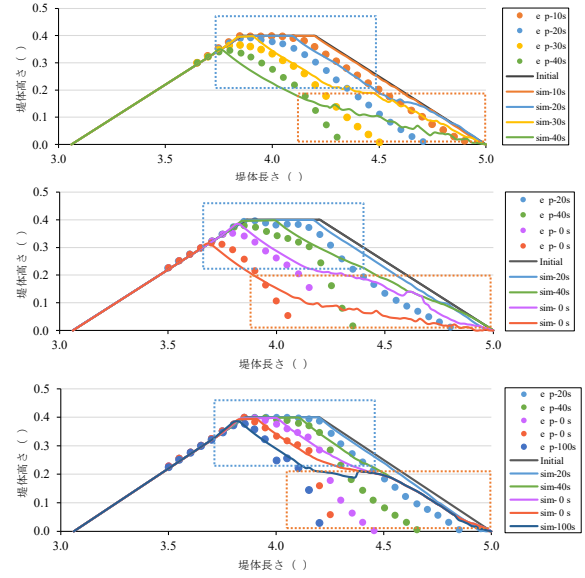


図-3 無次元限界掃流力倍率変更後の計算結果

(上 : Case1, 中 : Case2, 下 : Case3)

侵食が過大となり再現性が低いことが分かった。與田らは従来の河床変動計算で用いられてきた掃流砂量式をそのまま土堤越流侵食解析に適用することは困難であると指摘しているが、計算結果からも確認できた<sup>3)</sup>。

ここで、與田ら(2014)は非平衡の pick-up late 式にサクシオンによるせん断力増加を考慮していたため、良好に再現できていたと考えられる。そこで本研究では、サクシオンによる効果を無次元限界掃流力  $\tau_{*c}$  の倍増によって簡易的に表現し、再現性の向上を試みた。

図-3に全Caseにおいて最も再現性の高かった計算結果を示す。 $\tau_{*c}$ の倍率はそれぞれ30倍、0倍、100倍が最も良かった。青枠で囲まれた範囲において、裏法肩近傍でやや侵食されにくい結果となっているものの、裏法肩から裏法面中央にかけて比較的精度良く再現できている。しかし、それ以降の赤枠で囲まれた部分の再現性は低い結果となった。

つまり、サクシオンによる効果を適切に与えることができれば、浅水流モデルであっても、青枠で囲まれた範囲に関しては精度良く再現することが可能となるが、適用範囲には限界があり、赤枠で囲まれた範囲は精度良く再現できず、ここが本モデルの課題部分である。

裏法面中央から裏法尻近傍にかけて実験結果よりも侵食されにくい結果となった原因として、與田らの研究ではサクシオンによるせん断抵抗の増減効果だけでなく、すべりによる崩落モデルも導入しており、片方あるいはその両方が侵食結果に影響を及ぼしていると推

察される。しかし、現段階では断定できないため、今後は飽和・不飽和浸透流解析を用いたサクシオンによる効果とすべり崩落モデルによる影響を段階的に検討していく必要がある。

### 5. 終わりに

本研究では、浅水流方程式と平衡流砂量式を組み合わせた一般的な河床変動モデルの土堤越流侵食解析への適用限界と課題点を明らかにした。

結論として、無次元限界掃流力  $\tau_{*c}$  を変更した場合、図-3で示すとおり、本モデルの適用限界は青枠で囲まれた範囲であり、赤枠で囲まれた範囲が本モデルの課題部分であることが明らかとなった。

### 参考文献

- 1) 音田慎一郎, 細田尚, JACIMOVIC Nenad, 木村一郎 : 正面越流による堤防侵食過程の数値シミュレーション, 土木学会論文 B1(水工学), 9(4), pp.I\_120 -I\_1212, 2013.
- 2) 梶川勇樹, 檜谷治 : WENO 法を用いた平面 2 次元浅水流方程式の開発, 土木学会論文集 B1(水工学), 9(4), pp.I\_31-I\_3, 2013.
- 3) 與田敏明, 中川一, 水谷英明, 川池健二, 張浩 : 堤体飽和度に着目した堤防の越流侵食のメカニズムに関する研究, 自然災害科学 J.JSNDS, 33-1, pp.29-41, 2014.