

# 水の流れによる侵食・堆積の基礎的メカニズムの解析

水工学研究室 小野田崇史

指導教官 細山田得三

## 1. 研究背景

近年集中豪雨等を原因とする水害が全国で多数発生しており、その際河川堤防が崩壊に至るといふ事例も報告されている。堤防が崩壊した場合、高速な洪水流が堤内地に流れ込み家屋を崩壊させるという被害だけでなく、氾濫水が引いた後に洪水流に含まれていた土砂が堆積しそのまま残留するため土砂の片付けにも追われることとなる。

河川堤防は土で造られていることが多いため、溢水の発生や浸透が起きた場合には比較的容易に決壊する。それを防ぐため決壊しやすいと思われる場所ではコンクリートなどで法面保護が施されつつあるが、いまだに盛り土のままの堤防部分も少なくない。

水の流れによって土砂がどのような動きをするのか把握することが可能ならば、将来的には水害が発生する前にあらかじめ河川のどの場所に有効な対策を施せばよいかを知ることができる。そこで本研究では水と土砂の動きの関係を調べる第一歩として模型実験と数値計算により堤防の越流崩壊を再現し、その際の侵食・堆積、堤防崩壊等の様子を把握することを目的とする。

## 2. 研究概要

### (1) 実験概要

土槽内に高さ 6 cm、幅 95 cm、奥行き 16 cm の基礎地盤、高さ 5 cm、幅 95 cm、奥行き 15.6 cm の基礎地盤、高さ 20 cm、幅 60 cm、奥行き 15.6 cm の堤体部分を作成する。奥行きが途中で 0.4 cm 狭まるのは土槽の手前と奥の壁面に厚さ 0.2 cm のアクリル板を一枚ずつ設置するためである。図 1 に堤体模型の形状を示す。地盤材料は珪砂 6 号のみと珪砂 6 号：粘土を 3：1 で混合させた人工土の 2 種類を用いた。

実験は表法側から一定の流量で水を流入し、基礎地盤を十分浸透させた後、越流を発生させて堤体を崩壊させる。その際土砂の侵食、堆積の状況を観察するためビデオカメラを堤体側面に設置する。

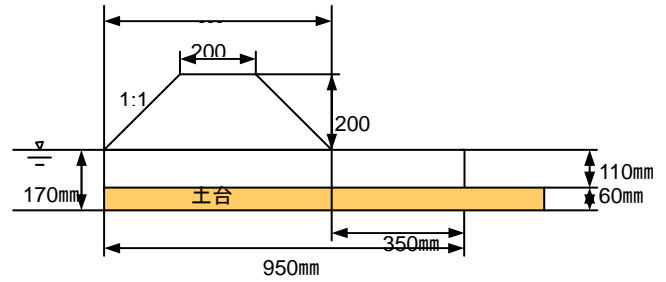


図 1 堤体形状

外水位が堤体の天端中央に到達した時点で越流開始とした。

### (2) 計算概要

洪水流の数値計算として (1) 式の連続式と (2) 式の運動方程式を用いる。また水の流れが不連続となり、水位勾配が物理的に意味を持たない場合は (3) 式の越流公式を用いる。土砂輸送計算については浮遊砂 (4) 式の移流拡散方程式を用いる。地盤標高の変化は土砂堆積量  $F_D$ ・侵食量  $F_R$  を考慮した (5) 式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial(z^* + h)}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{7/3}} M^2 \quad (2)$$

$$M = 0.35h\sqrt{2gh} \quad (3)$$

$$h \left( \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} \right) = -F_D + F_R + \frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_v h \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (4)$$

$$(1 - \lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} = F_D - F_R \quad (5)$$

ここに、 $x$  は水平座標、 $M$  は  $x$  方向の流量、 $t$  は時間、 $g$  は重力加速度、 $z^*$  は地盤高、 $h$  は水深、 $A_h$  は水平粘性係数、 $n$  はマニング、 $c$  は土砂濃度、 $F_D$  は堆積を、 $F_R$  は侵食を表す項である。

本研究では土砂の粒径、流量を変えて 3 ケースの計算を行った。

#### 4. 模型実験・数値計算結果

図 2, 3, 4 に実験ケース 3(珪砂:粘土=3:1,  $Q=0.00063$ )の越流開始 30 秒後から 110 秒後まで 40 秒毎の実験結果・計算結果の堤体形状の変化, 崩壊前の堤体形状, 計算の水深を示す. 越流開始から堤体が完全に崩壊するまで実験では 134 秒, 計算では 130 秒であり, その値はよく一致していた.

実験結果による堤体形状の変化であるが, 図 2 より越流開始 30 秒後には裏法面が削られ始め裏法尻のあたりに土砂の侵食・堆積の様子が見られる. 図 3 より裏法尻の部分の洗掘が進行しており, また表法肩まで侵食が達し堤体が破堤していることが分かる. 図 4 より裏法尻の洗掘が進行し堤体直下全体が洗掘されている様子分かる. また, 洗掘部分の直後に土砂の堆積も見られる.

一方数値計算による堤体形状の変化であるが, 図 2 より裏法面と天端全体が削られているが堆積はみられない. 図 3, 4 より, 図 2 と同様に裏法面の侵食と天端全体の侵食が進行し堤体の高さが下がるような侵食の進行である. 数値計算では最後まで堆積はみられなかった.

両者の侵食・堆積の様子は一致しているとは言い難いものであった. この原因として数値計算では堤体内部の破壊に対する抵抗力等は考慮しておらず, 堤体表面の越流水によるせん断力と浮遊砂のみを考えているためだと推察できる. また実験のみで基礎地盤までの洗掘を確認したことについては, 越流前に基礎地盤に水を十分浸透させたことが大きな原因であると考えられる.

#### 5. まとめ

- ・堤体の越流崩壊による侵食・堆積等の様子を模型実験, 数値計算において把握することができた
- ・実験と数値計算の結果に違いが出たが, 原因としては堤体内部を数値計算で考慮していないためであると考えられる.

今後の課題として模型実験において様々な堤体形状や使用材料を用いて行うことや, 数値計算においてパラメータの与え方などを考えることで, 更に多くの検討材料を得ることが必要である.

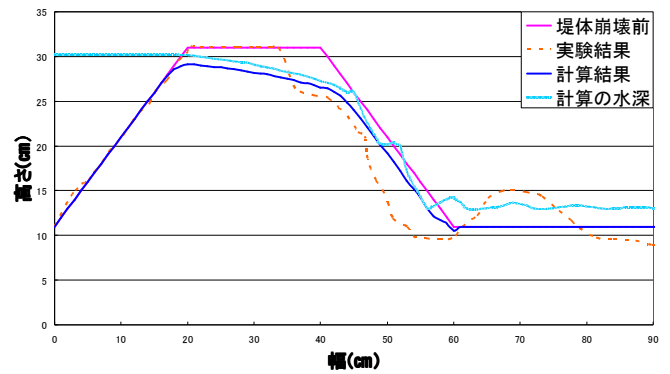


図 2 ケース 3 越流より 30s 後

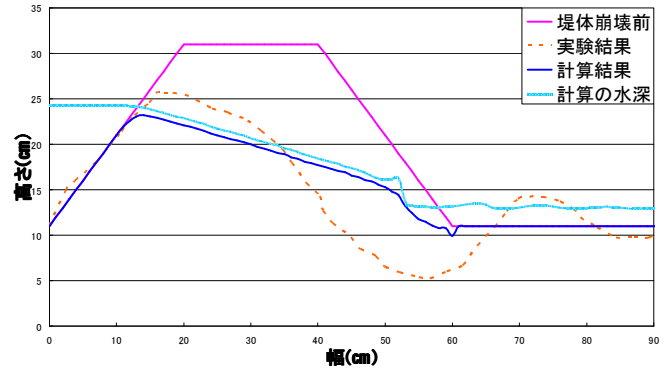


図 3 ケース 3 越流より 70s 後

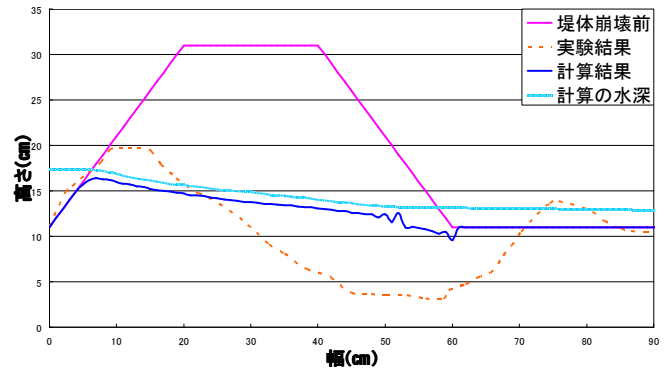


図 4 ケース 3 越流より 110s 後

#### 参考文献

1. 関根正人:移動床流れの水理学, 共立出版, 2005
2. WEIMING WU:  
COMPUTATOAL RIVER DYNAMICS
3. 坂本和仁ら:河川高水位時の堤体安定性評価に関する事例解析
4. 気象庁ホームページ:  
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
5. 日本損害保険協会ホームページ:  
<http://www.sonpo.or.jp/protection/disaster/typhoon/0001.html>