

鋼矢板を用いた河川堤防の強化対策工法の有用性評価に関する検討

建設工学専攻 2年 大館 隼一

1. はじめに

近年、集中豪雨や台風による豪雨の増加により、斜面の地すべりや河川堤防の破堤などの自然災害が全国各地で多数発生している。そのため、斜面崩壊や河川堤防の破堤に対する防災対策は急務の課題となっている。

2. 研究背景と目的

河川堤防は越流に弱く、一度破堤すれば短時間で大きな被害が発生してしまう。そのため、堤防の越流対策が必要とされている。越流だけであれば、堤体高さを上げることにより破堤を防ぐ事はできるが、費用対効果を考慮すると、その高さには限界がある。また、堤体の拡幅が不可能な場合、堤体高さを上げるにつれ、法面勾配が急になり、安定性の低下や浸透による崩壊が発生する可能性が高まる(図-1)。

これに対し、堤体高さを上げずに、堤体を強化する方法として、矢板を設置した強化堤体が考案されている(図-2)

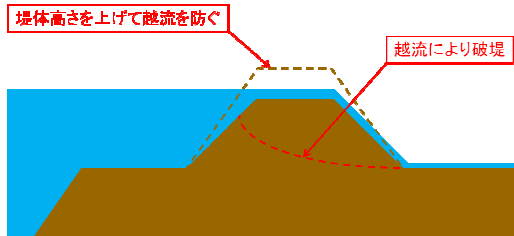


図-1 堤体高さを上げた越流対策

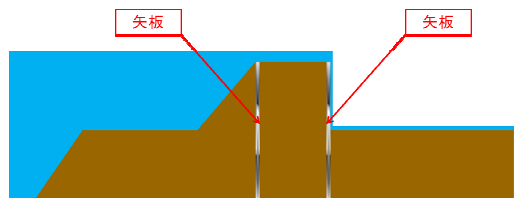


図-2 矢板を設置した越流対策

既往の研究¹⁾では、越流による破堤に対する対策として、矢板を設置したケースと無体策のケースの2ケースの浸透・越流模型実験が行われており、その有用性が検証されている。また、その再現性を確認

するため浸透流解析が行われている。その結果、無対策の実験ケースでは、飽和不飽和浸透流解析と剛塑性有限要素法を連成させた解析手法を用い、堤体内部の間隙水圧分布や飽和度分布などの定量的な評価が可能であれば、精度良く浸透破壊現象を表現することが可能であることが確認されている。しかし、鋼矢板(図-3)を用いた強化堤体に対する実験ケース(図-4)について浸透流解析を行ったところ、3次元的水の流れを考慮しなければ実験結果の値と乖離がある結果となった。また、無対策の実験ケースと通常矢板を設置した実験ケースを比較した結果、矢板を設置したケースで矢板間と矢板を通過した裏法側の水位との間に大きな差があり、これでは、実現象として、ボーリングが起こる可能性が考えられる(図-5)。そのため、矢板の透水性を向上させる必要があることが分かった。

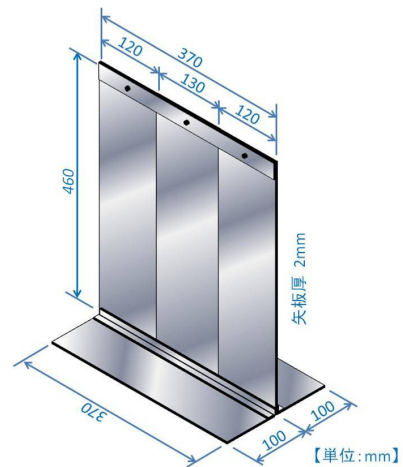


図-3 鋼矢板 (通常矢板)

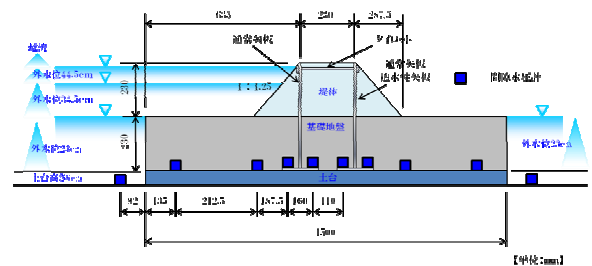


図-4 模型および浸透実験概要図

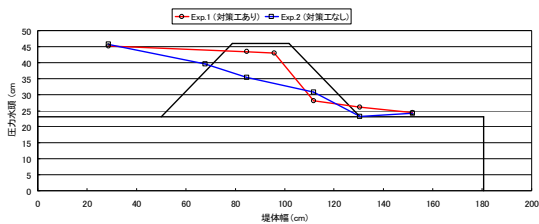


図-5 鋼矢板を用いた強化堤体に対する浸透実験結果

そこで本研究では、矢板に透水性を持たせた透水性矢板を考案し、浸透・越流模型実験を行い、その有用性を検討する。また、3次元の浸透流解析を行い、実験結果を再現できるかについて確認することを目的とする。

2. 浸透・越流模型実験

2.1. 堤防模型

実験で使用する堤防模型を図-4に示す。堤防模型は、基礎地盤を東北珪砂5号を使用し、相対密度80%で作製する。堤体部は、東北珪砂7号を使用し、相対密度70%で作製する。矢板は、表法側に通常矢板(図-3)を設置し、裏法側に透水性矢板もしくは通常矢板を設置する。矢板の底は土台に固定し、上部にタイロッドを取り付けた。水圧の計測は、図-4に示した位置に水圧計を設置する。

2.2. 透水性矢板と実験ケース

本実験のために考案した透水性矢板は、穴あきφ=5mmタイプ、穴あきφ=10mmタイプ、スリットd=10mmタイプの3種類である(図-6)。

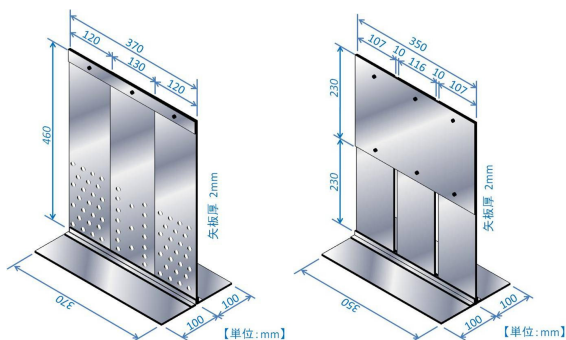


図-6 透水性矢板

(左：穴あきタイプ、右：スリットタイプ)

透水性による違いを出すために、各矢板の間には表-1に示すような透水面積比の関係がある。透水性

は、透水面積比が大きい程、透水性の高い事を表している。実験ケースについては、表-1に示した通り、透水性矢板3ケースと無体策1ケース、両側通常矢板1ケースの5ケース行い、比較する。

表-1 透各実験ケースと矢板の透水面積比

	表法側矢板	裏法側矢板	透水面積比
Case1	なし	なし	
Case2	通常矢板	穴あきタイプ (φ=5mm)	3
Case3	通常矢板	穴あきタイプ (φ=10mm)	12
Case4	通常矢板	スリットタイプ (d=10mm)	20
Case5	通常矢板	通常矢板	1

2.3. 浸透実験

浸透実験は、図-4に示す通りであり、外水位を23cm、34.5cm、44.5cmと上げていき、浸透させて堤体の様子を観察する。各段階終了は、水圧計の変化を見て定常状態を確認した後、次の段階へ移行する。

2.4. 越流実験

浸透実験終了後、表側外水位を上昇させ、越流させる。越流の概要を図-7に示す。越流量の制御は、流入ホースの本数により行う。

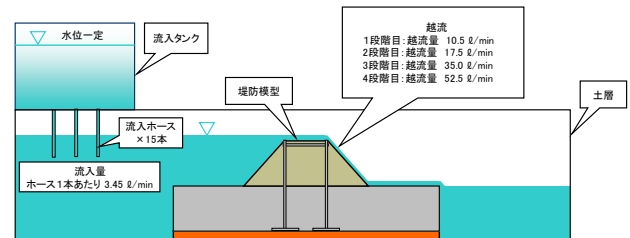


図-7 越流実験概要図

3. 実験結果

3.1. Case1 (無体策) の浸透実験結果

図-8は、Case1の外水位44.5cm時の模型写真である。図-8の写真(右)から確認できるように、裏法で浸透による崩壊が発生した。

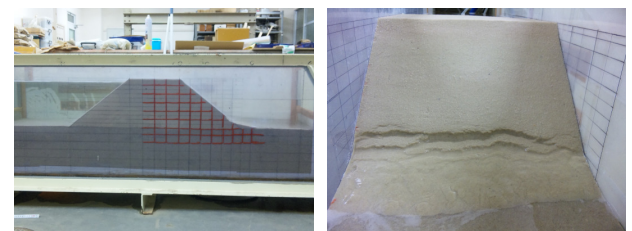


図-8 外水位44.5cm時のCase1模型写真
(左：側面、右：裏法)

図-9は、Case1の外水位34.5cm、外水位44.5cm時の水位線である。図-9から、裏法尻の水位が高くなっており、これにより図-8に示すような浸透崩壊が発生したと判断できる。

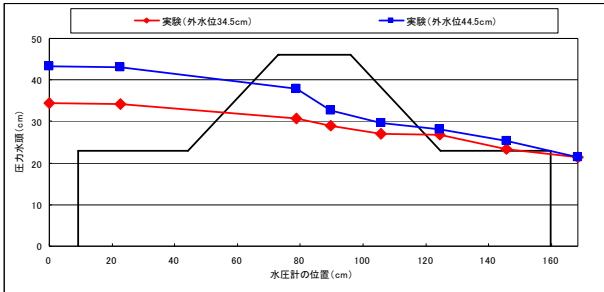


図-9 Case1の各段階の水位線

3.2. 矢板を設置した透実験結果 (Case2~Case5)

図-10は、Case2の外水位44.5cm時の模型写真である。図-10から、Case1で発生したような裏法の浸透崩壊は確認できない。また、Case3~Case5の矢板を設置した実験でも同様の結果が確認できた。



図-10 外水位44.5cm時のCase2模型写真
(左：側面，右：裏法)

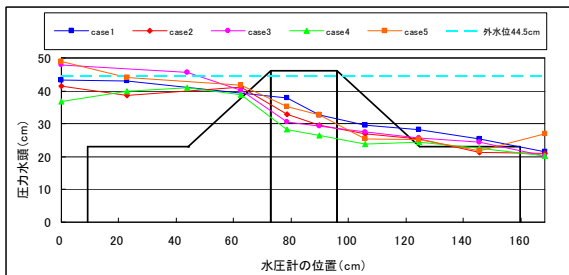


図-11 外水位44.5cm時の各水位線

図-11は、各実験ケースの水位線を比較したグラフである。この図から、堤体内部の水位を低い順に並べると、Case4、Case3、Case2、Case5、Case1となる。このことから、透水性矢板を入れたケース (Case2~Case4) はどれも無体策のケース (Case1) よりも水位が下がっていることが分かる。また、矢板を入れ

たケースでは、透水面積比が高いもの程、堤体内の水位を下げる効果も高いことが確認できる。逆に、透水面積の低いCase5は、矢板間の水位が高い。これは、矢板間に水が溜まり水位が高いと考えられる。

3.2. 越流実験結果

越流開始から越流量を10.5 l/min, 17.5 l/min, 35 l/min, 52.5 l/minと上昇させ、変化がなくなったときの各ケースの模型を撮影した写真が図-12~図-15である。



図-12 越流量52.5 l/min時のCase2模型写真

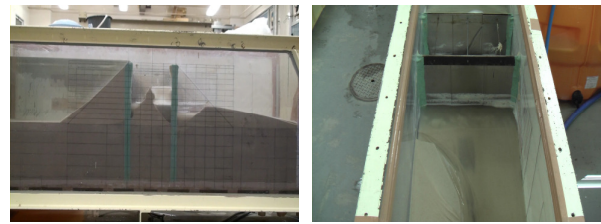


図-13 越流量35 l/min時のCase3模型写真

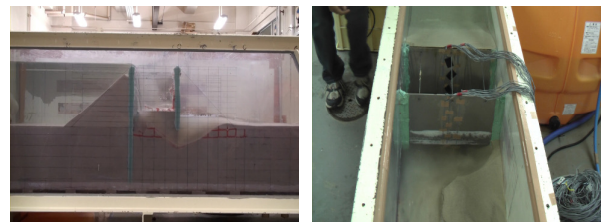


図-14 越流量52.5 l/min時のCase4模型写真

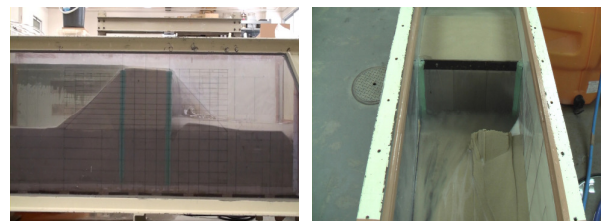


図-15 越流量52.5 l/min時のCase5模型写真

図-12は、Case2 (穴あき $\phi=5$ mm)の模型写真であるが、越流量52.5 l/minまで越流量を上昇させたが、裏法の崩壊しか発生しなかった。

図-13 は、Case3 (穴あき $\phi = 10\text{mm}$) の模型写真であるが、越流量 35 l/min 時に排水用に設けた穴 ($\phi = 10\text{mm}$) から砂が矢板間の砂が排出され、崩壊した。しかし、表法では崩壊は発生せず、完全な破堤には至らなかった。

図-14 は、Case4 (スリット $d = 10\text{mm}$) の模型写真であるが、52.5 l/min 時に排水用に設けたスリット ($d = 10\text{mm}$) から矢板間の砂が排出され、崩壊した。しかし、表法では崩壊は発生せず、完全な破堤には至らなかった。Case3 の崩壊と比較すると、縦に設けたスリットの方が流れが集中するため、基礎地盤が大きく削られている事が確認できる。逆に、Case2, Case3 の穴のように流れを分散させる構造にした方が、崩壊を軽減する事ができると考えられる。

図-15 は、Case5 (両側通常矢板) の模型写真であるが、越流量 52.5 l/min まで越流量を上昇させたが、裏法の崩壊しか発生しなかった。

表-2 越流実験結果

case No.	裏法側矢板	越流による崩壊の有無											
		10.5 l/min			17.5 l/min			35 l/min			52.5 l/min		
		表法	中央	裏法	表法	中央	裏法	表法	中央	裏法	表法	中央	裏法
1	なし	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	穴 $\phi = 5\text{mm}$	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	穴 $\phi = 10\text{mm}$	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	スリット	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	通常	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ : 崩壊なし, ● : 崩壊あり

表-2 は、越流の実験結果をまとめたものである。表-2 をもとに最も越流に強い順に並べると、Case5, Case2, Case4, Case3, Case1 となる。実験では、越流により砂が排出されにくい Case5 (通常矢板), Case2 (穴あき $\phi = 5\text{mm}$ タイプ) が越流に強いという結果となった。逆に幅の広いスリットや大きな穴は、越流に対して弱い結果が得られた。

4. 浸透流解析

図-16 は、外水位 44.5 cm 時の各水位線を 3 次元解析により求めたものである。

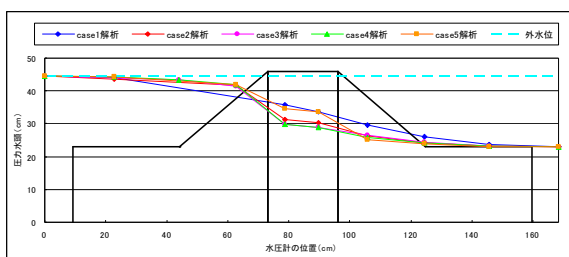


図-16 外水位 44.5 cm 時の各水位線 (解析値)

図-16 から、堤体内の水位は、Case1, Case5 の水位がともに高く、透水性矢板 (Case2, Case3, Case4) は、Case3, Case4 がともに低く、Case2 は弱冠高いもののほとんど変わらない結果となった。これは、図-11 の実験値と比較しても同様の傾向にあることが確認できる。なお、堤体外の実験値の水位は、間隙水圧計の精度が良くないため一致はしないが、外水位とほぼ同じと考えてよいため、ほぼ解析解と一致する。

図-17 は、外水位 44.5cm 時の Case2 の実験値と解析値を比較したグラフである。

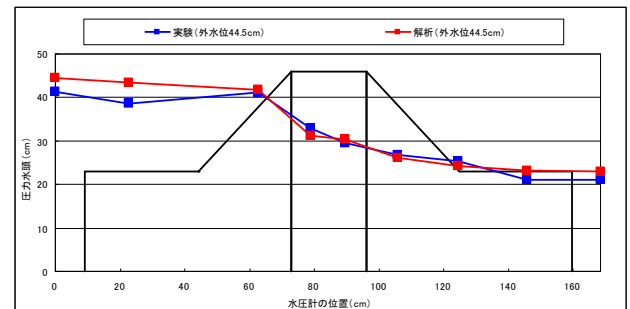


図-17 外水位 44.5cm 時の Case2 実験値と解析値

図-17 から、3次元で浸透流解析を行った結果、実験値と解析値はほぼ一致していることが確認できる。Case3~Case5 でも同様に解析を行った結果、実験値と解析値はほぼ一致したため、再現性はあると判断した。

5. まとめ

(1) 実験および解析結果から、浸透・越流に対してバランスよく対応できる穴あき $\phi = 5\text{mm}$ タイプが最も有用性が高いと判断した。

(2) 浸透に対する強度を上げるには、透水面積を高くする必要がある。

(3) 越流に対する強度を上げるには、部分部分の透水面積を低くし、砂が排出されないようにする。もしくは、越流で基礎地盤が削られても大丈夫な深い位置で排水を行うようにする必要がある。

(4) 3次元で浸透流解析を行った結果、実験値と解析値がほぼ一致したため、矢板を用いた強化堤体の浸透特性を十分に表現できる。

<参考文献>

1) 中村：模型実験を用いた浸透破壊現象の考察と数値解析手法検討，長岡技術科学大学修士論文，2010。