

# 芯壁堤の浸透模型試験とその数値解析に関する研究

長岡技術科学大学大学院 横坂 怜

## 1. はじめに

斜面崩壊や河川堤防の破堤は人命や財産を脅かす重大な災害であり、これに対する防災対策は急務の課題となっている。河川堤防の主な崩壊形態の一つに浸透崩壊が挙げられる。これは堤内の河川水や降雨が堤体内部に浸透・飽和化することにより、地盤のせん断強度低下や浸透力の作用などが起因して発生する。この浸透崩壊に対して矢板を用いた対策工法である芯壁堤が考案され、耐震性が高く、洪水対策や液状化対策として有用であることが実証されている。しかしながら、河川水位が一度上昇すると堤体内部の水位が長時間にわたり高いまま維持されてしまうことや矢板まわりの水みち発生の懸念などから、長期安定性が課題とされていた。

そこで、堤体内部の水位に対する問題は透水性の高い矢板を用いた芯壁堤に対する浸透実験および解析により、浸透・越流に対して効果的な矢板構造について検討する。

また、崩壊原因につながる内部侵食においては、未だ解明されていない課題であり、条件やその進展具合など系統的な試験が行わなければならない。そこで、内部侵食の基礎的な実験を行い、実験前後における地盤内の粒度分布の変化を計測する。続いて研究の端緒として、地盤の粒度分布を各粒径の土粒子重量を変数によって表現することにより、地盤の粒度分布を表現するといった第1次近似的な内部侵食モデルを考案し、数値解析手法を開発する。

## 2. 浸透模型実験

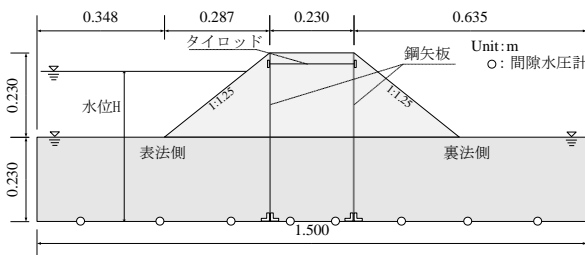


図-2 浸透実験概要図

図-2は実験概要図を示したものである。高さ0.65 m、幅3.0 m、奥行き0.38 mの土槽内に高さ0.23 m、幅1.5 mの基礎地盤を作製し、その中央に天端幅0.23 m、高さ0.23 m、法勾配1:1.25の堤体を作製した。基礎地盤には東北硅砂5号、堤体地盤には東北硅砂7号を用い、それぞれの相対密度は80%、70%となるように締固め法で作製した。また、基礎地盤側面は横方向に変形しないよう拘束した。堤体の間隙水圧を計測するため、間隙水圧計

を用いて、浸透過程の間隙水圧の経時変化を測定した。

対策工となる矢板は、堤防の両法肩位置に設置し、表法側と裏法側の矢板をタイロッドで連結した。矢板は3枚の鉄板を天端に設けた当て板により連結させたもので鉄板間のスリットから通水する機構となっており、実鋼矢板の継手からの漏水を模擬している。実験では、表-1に示す6ケースについて行った。

表-1 各実験ケースにおける使用矢板

	表法側矢板	裏法側矢板	透水面積比
Case-1	なし	なし	-
Case-2	通常	通常	1
Case-3	通常	透水性	40
Case-4	通常	下部透水性	20
Case-5	通常	穴あき(φ=5mm)	4
Case-6	通常	穴あき(φ=10mm)	12

## 3. 浸透実験結果と解析結果

図-3はCase-1~3における浸透模型実験および浸透流解析の結果を表している。水位H = 0.45 m時の定常状態における水位を表しており、プロット点が実験値を、破線が解析値を示している。解析結果は実験結果を精度良く表現できていることを確認できる。

図-3から無対策のCase-1と通常矢板を用いたCase-2を比較すると裏法尻部において、水位が低くなっていることがわかる。実験においてCase-1の裏法尻部で確認された崩壊が矢板を用いたケースでは見られなかったことから浸透崩壊に対する効果が確認できた。また、問題とされていた堤体内部の水位について、Case-2の通常矢板に対して、透水性を高めたCase-3から6では水位を低く保っている。図-4の3つのケースを比較すると透水面積が大きく異なるが内部水位に大きな差が見られないため、一定の透水性を確保すれば水位状態を改善できると考えられる。

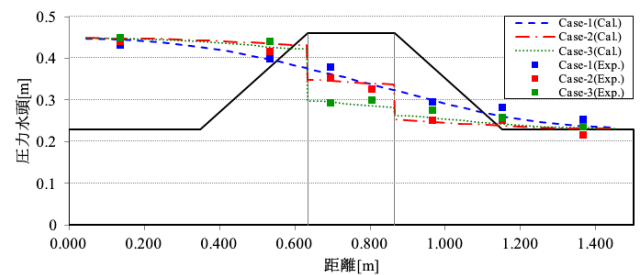


図-3 浸透実験・解析結果(Case-1~3)

表-2 越流による崩壊の有無

Case No.	裏法側矢板	越流による崩壊の有無				
		10.5 ℓ/min以下	17.5 ℓ/min	35.0 ℓ/min	52.5 ℓ/min	52.5 ℓ/min以上
Case-1	なし	●	●	●	●	●
Case-2	通常	○	○	○	○	○
Case-3	透水性	○	●	●	●	●
Case-4	下部透水性	○	○	○	○	○
Case-5	穴あき5mm	○	○	○	○	●
Case-6	穴あき10mm	○	○	○	○	○

○：崩壊なし，●：崩壊あり

表-2は越流実験による崩壊した流量を比較したものである。上部までスリットを設けたCase-3ではわずかな流量で砂の流出が見られ崩壊に達したが、下部の透水性のみを向上させたCase-4～6では、上部からの土砂流出を防いでいるため、越流崩壊に対する抵抗が見られた。特にCase-5の穴あき5mmの矢板の効果が高く、砂の流出しにくい構造であると考えられる。

#### 4. 内部侵食実験および解析

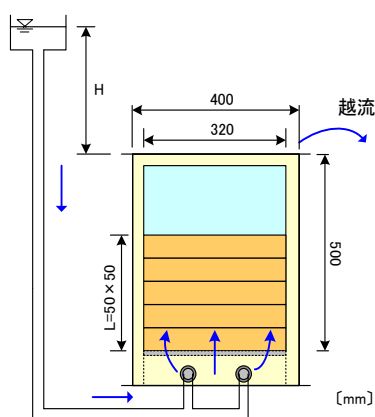


図-4 侵食実験概略図

図-4は実験の概略図である。図のように下部から通水を行い、30分毎に流量を測定した。流量が安定したら実験終了とし、流量の時間変化、また、実験前後で粒度試験を行い、粒度分布の変化を検証した。相対密度70%の東北砂5号と東北砂7号、相対密度80%で東北砂6号と藤森粘土を質量比5:1で混合した中間土の3種類の試料について実験を行った。

図-5は流量の経時変化を示しており、時間の経過に伴い、流量が増加している結果となった。これは、内部侵食による水みちが形成され、透水係数が増加していることが考えられる。また、図-6は実験後の各部の粒径加積曲線と実験前のものを示している。実験前後で粒径の小さなものは大きく侵食されており、

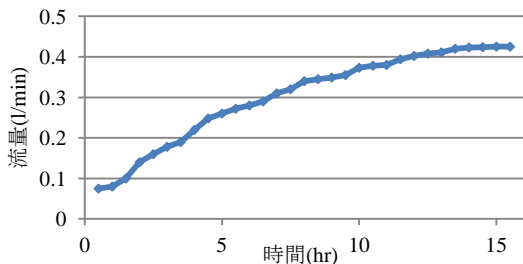


図-5 流量の経時変化（中間土）

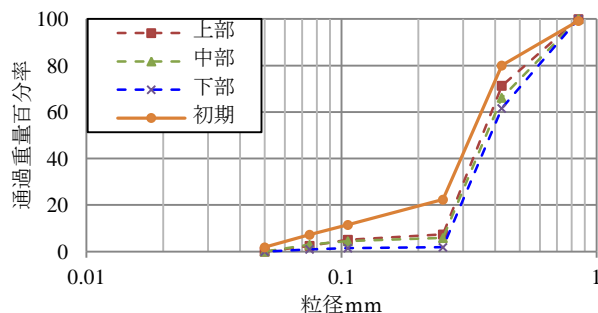


図-6 粒径加積曲線の変化（中間土，15.5時間後）

流入部に近い下部から順に侵食量が大きくなっている様子が確認できた。このことから侵食は、流入部から進行し徐々に上部に達していると考えられる。

続いて、数値解析については地盤の粒度分布に着目して各粒径の土粒子の質量保存（式(1)参照）と連続式に基づいて土粒子の侵食解析コードを開発した。

$$\frac{\partial M(D_i)}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{q}(D_i) \quad (1)$$

土粒子の移動は浸透流によって生じることから、地盤内の土粒子の移動速度  $\mathbf{q}(D_i)$  は流速  $\mathbf{v}$  に比例して流速方向に生じることを仮定した。

$$\mathbf{q}(D_i) = \alpha M(D_i) g(D_i) \mathbf{v} \quad (2)$$

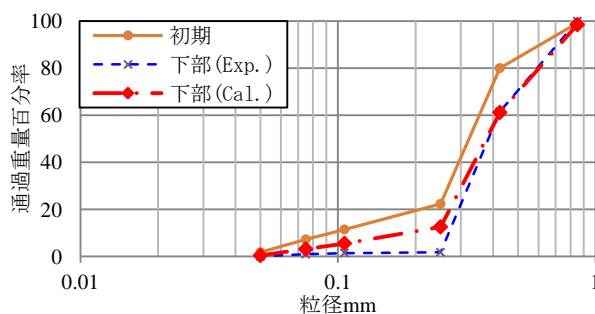


図-7 侵食解析結果（中間土，15.5時間後）

図-7は、実験を再現した解析の流入部における結果と実験値を示している。粒径の小さな部分では実験に比べて侵食量が小さいが、流入部から離れるほど侵食が穏やかになる様子や時間に伴い侵食量の変化が緩やかになっていく様子などの特徴は表現できている。

#### 5. まとめ

芯壁堤は浸透崩壊に対する高い抵抗性能があることを実証し、裏法側に透水性の高い矢板を用いることで内部水位を低減させた。また、砂の流出を考慮した構造のもの（穴あき5 mm 矢板）を設置することで越流に対しても耐性が見られた。

内部侵食においては、透水係数の考慮や侵食モデルの高度化など課題は多いが、土粒子の質量保存則に基づき地盤の粒度分布を表現した簡潔的な内部侵食解析手法を開発した。