

模型実験による河川堤防の破堤機構に関する検討

環境防災研究室 坂本和仁

指導教員 大塚 悟 磯部公一

1. はじめに

河川堤防の破堤の要因として、①堤体内に降雨や河川水が浸透し、土の強度が低下することにより崩壊が生じる浸透破壊、②越流水により裏法面が浸食され、徐々に堤体が崩壊する越流破壊が挙げられる。

前者については今日まで多くの研究がなされており、特に解析的検討においては、飽和不飽和浸透流解析と剛塑性有限要素法による堤体の安定解析¹⁾により、堤体内の飽和特性や強度特性を反映した崩壊現象の考察が行われている。

それに対し、後者に関する研究は前者と比較して研究事例が少なく、越流による堤体の崩壊メカニズムを検証した模型実験例は散見されるものの、越流による堤体浸食過程ならびに、飽和・不飽和浸透特性の飽和特性や力学特性を考慮した崩壊現象を表現できる数値解析手法は確立されているとは言いがたい。

そこで本研究では、上記の様な数値解析手法の確立を目的として、基礎データ収集のために、越流による堤体の断面、飽和・不飽和浸透特性、強度特性の経時変化と堤体の破堤メカニズムの関係を模型実験にて検討する。

2. 実験概要

図-1に示す様に、高さ65cm、幅38cmの土槽内に天端幅15cm、高さ15cm、両側の法勾配1:1の堤体を突固め法により作製した。堤体内には間隙水圧計を埋設し、浸透過程および越流過程の間隙水圧の経時変化を測定した。使用材料は珪砂と藤森粘土を質量比3:1で混合した人工土であり、締固め度はいずれの実験ケースでも70%とした。土槽正面はアクリル面となっており、土槽正面側、堤体裏法側および堤体天端側からビデオカメラにより堤体の浸食状況を撮影した。

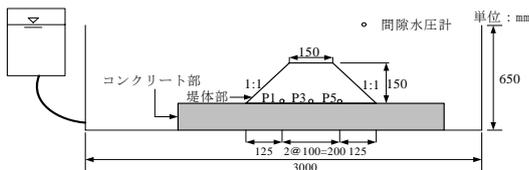


図-1 実験概要図

3. 実験ケース

前述の通り、河川堤防の破堤要因には浸透破壊と越流破壊がある。そこで、堤体に透水のみで崩壊に至らしめるケース (Case1)、堤体に透

水をせずに越流に至らしめるケース (Case2)、越流前の透水の影響を考察するために、堤体に透水させた後に越流に至らしめるケース (Case3) の3ケースを実施した。使用材料の物理特性を表-1に示す。なお本実験では、表法肩が流失し、堤体が元の高さを保つことが出来なくなった時点「破堤」、表法法尻部に水が到達した時刻を「浸透開始」、水が表法法肩部を通過した時刻を「越流開始」とした。堤体への浸透・越流水位は後述の図-4に示す通りである。

表-1 使用材料の物理および強度特性

砂分含有率 [%]	77.2
シルト分含有率 [%]	13.7
粘土分含有率 [%]	9.1
細粒分含有率 [%]	22.8
土粒子密度 G_s [g/cm ³]	2.66
最大乾燥密度 ρ_d [g/cm ³]	1.971
透水係数 k_s [cm/s]	8.3×10^{-2}
c'	0
ϕ'	36.3

4. 実験結果

4.1 崩壊形態と発生時刻

Case1は、浸透開始から約1462秒後、3025秒後、3052秒後、3060秒後、3074秒後、3082秒後に滑り崩壊が生じた。Case2は、越流中には滑り崩壊が見られず、越流水により堤体が浸食され、越流開始から37秒後に破堤した。Case3は越流開始から12秒後に裏法面で滑り崩壊が見られ、越流開始から19秒後に破堤が生じた。なおCase2、Case3のいずれも、越流発生前に浸透による滑り崩壊は見られなかった。

Case1~Case3までの断面浸食の経時変化を図-2に示す。なお図中に示す数字は、Case1は浸透開始からの経過時間、Case2、Case3は越流開始からの経過時間である。(いずれも単位は秒)

4.2 間隙水圧、動水勾配の時刻歴

図-3にCase1~Case3の間隙水圧の経時変化、図-4にCase1~Case3の動水勾配の経時変化を示す。間隙水圧は、表法側の法尻の高さを基準とした。

Case1、Case3は、崩壊時刻付近でP3、P5間の動水勾配(以下「P3-P5」)がP1、P3間の動水勾配(以下「P1-P3」)を上回っていたのに対し、Case2ではP1-P3がP3-P5を上回った。またCase1、Case3において滑り崩壊が生じた時刻は、P3-P5が上昇している時刻、または上昇した後であった。

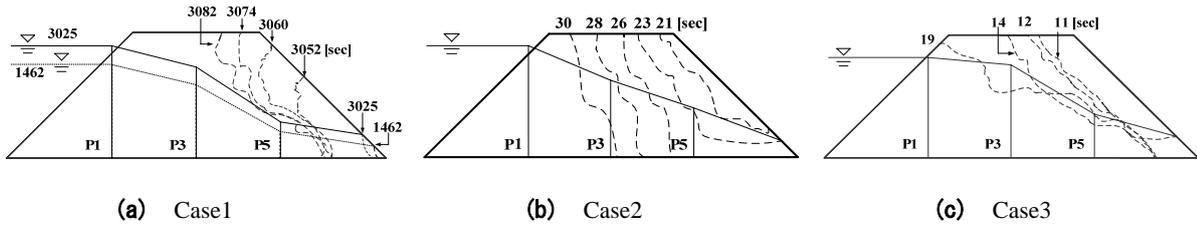


図-2 断面浸食の経時変化

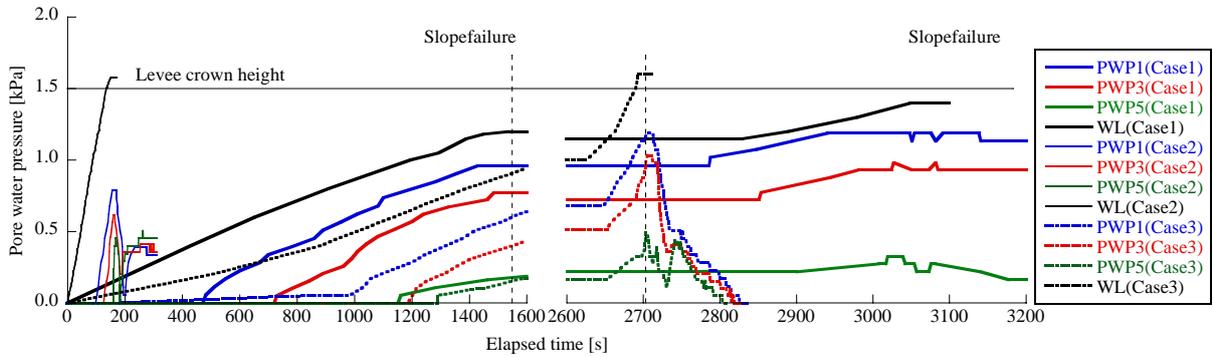
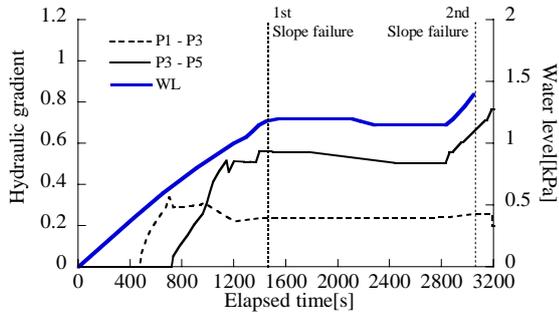
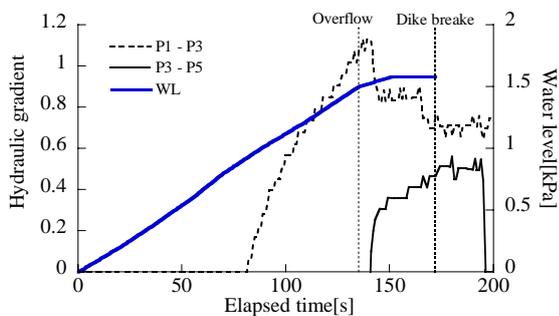


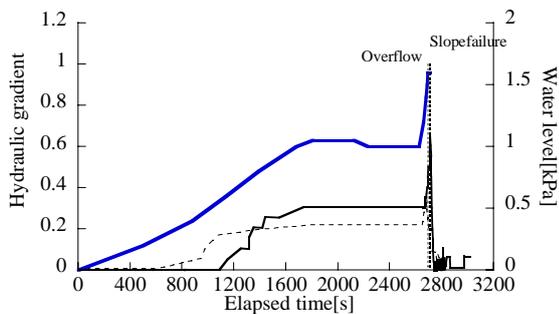
図-3 間隙水圧の経時変化



(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3

図-4 動水勾配と外水位の経時変化

4.3 崩壊メカニズムに関する考察

図-2 に示す様に、Case2 では堤体の底部まで浸食されて破堤に至る崩壊形態であった。それに対し、Case3 では堤体底部の浸食が顕著に見られず、Case1 と同様の天端から堤体裏法中腹部にかけての崩壊が顕著な崩壊進展モードであった。これより、堤体への水の浸透の差異が堤体の崩壊形態に影響することが考えられる。

5. まとめと今後の課題

以下に、本研究のまとめと今後の課題を記す。

- ・天端中心と裏法間の動水勾配の大小が、堤体の滑り崩壊に起因する可能性があり、動水勾配の大小によっては、堤体が越流水による浸食を受けている過程でも滑り崩壊が発生しうることが分かった。今後河川堤防の破堤機構を表現する上で、越流過程においては、越流水による堤体断面の浸食作用だけでなく、滑り崩壊が発生しうることが考慮する必要がある。

- ・本研究において、動水勾配が滑り崩壊に起因する可能性があることが分かった。しかし滑り崩壊を論ずる上で、土の強度定数、特に浸透中の現象では堤体内の飽和度に起因して生じるサクシオンが重要なパラメータである。今後は、土壌水分計やサクシオンカップなどを用いて、堤体内部の飽和度やサクシオンを測定し、安定解析などに反映させる必要がある。

参考文献

1) 堀越俊寛:長岡技術科学大学修士論文, 2007.