

降雨を考慮した浸透破壊および越流に対する模型堤防の強度比較

名古屋工業大学 学生会員 ○柴田 賢
 名古屋工業大学大学院 学生会員 坂井 宏隆
 名古屋工業大学大学院 学生会員 小中 智博
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1. はじめに

昨今では異常気象に伴う都市型集中豪雨等によって都市部の河川堤防が決壊し、都市に重大な被害を及ぼす事例が相次いでいる。一方で、地盤内に存在する空気の影響が大きいことも指摘されている^{1,2)}。しかし、現状の河川堤防の設計において気泡や降雨および越流の影響は考慮されておらず、堤体材料に関する管理も厳密ではない。そこで、本稿では種々の材料で幾何模型（実堤防の1/30スケール）を作製し、降雨による影響を考慮して浸透および越流に対する堤体の強度を調べた。また、気泡および越流対策として著者らが提案した、堤体内に透気性遮水シートを設置する方法について対策効果の検討を行った。

2. 実験概要

実験装置の概要図および無対策堤体模型の実験条件を Fig. 1 と Table 1 に示す。堤体材料に硅砂 6 号、豊浦砂、硅砂 6 号とカオリン粘土の混合材料（重量比 17:3）を用いた。基盤層は水中落下によって作製後、豊浦砂および硅砂の堤体部分は乾燥試料を用い、双方ともに所定の密度になるよう突き固めた。一方、混合材料は施工時に最適含水比（約 20%）に調整した。実験条件を Table 1 に示す。実験水は DO と水温を制御した水道水を用いた。対策効果の検討については Fig. 1 の赤破線部に条件を変えて透気性遮水シートを設置し、材料は豊浦砂を用いた（Table 2）。さらに、全 Case で堤体の裏側から堤体内部（主に堤内側）に No.1~No.7 の水

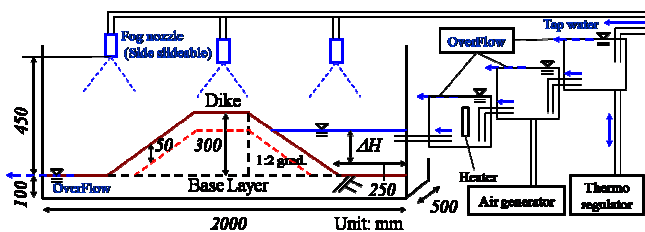


Fig. 1 実験装置概要図

Table 1 無対策堤体模型の実験条件と結果（最右列）

Material, Coefficient of permeability	Rainfall	Prerainfall time	Residual height
Toyoura sand	Without	-	-
	With	Case (a): 45 min.	160 mm
Silica sand No.6	Without	Case (b): 0 min.	150 mm
	With	Case (c): 0 min.	142 mm
Mixture of Silica sand No.6 and Kaolin clay	Without	-	-
	With	Case (d): 0min.	135 mm

分計を挿入し、体積含水率の経時変化を調べた。なお、堤外側の水位は給水量を制御し、堤体強度は基盤層から天端までの高さ（300 mm）が越流後にどれだけ残存するかによって評価した。

3. 降雨の有無を考慮した無対策堤体の実験結果

例として Fig. 2, 3 にそれぞれ Case(a)における実験写真と水分計の計測結果を、Table 1 の最右列に得られた強度を示す。事前降雨を発生させると、堤体の法先から浸潤線が現れ天端に向かって進行し(I-L), 降雨開始から 45 min 後には堤体中央部まで浸潤線が発達した(II-L)。また、Fig. 3 から降雨後 0.5 h で水分量の急激な減少が見られるが、これは基盤層からのサクションによる浸潤線と降雨による上からの浸潤線の発達により、気泡が堤体内に閉じ込められたことが原因と考えられる。その後、降雨の継続とともに堤外側の水位を上昇させると、堤内側の法先が洗い流され始め(III-L), 浸潤線が天端近くまで達すると視認可能な気泡が現れた(IV-L)。さらに堤外側の水位を上昇させると、堤体崩壊の直前に天端に亀裂が生じ、天端で気泡が噴出した(Fig. 4)。なお、同時期に Fig. 3 で水分量が急激に増加している。また、天端の亀裂は堤外側の水位上昇による天端への浸透流の影響による天端付近のサクション

Table 2 越流対策模型の実験条件と結果（最右列）

	Setting position	Reinforce of crest	Rainfall time	Residual height
Toyoura sand (With rainfall)	Upstream side	Case (e): Yes	45 min.	170 mm
	Whole	Case (f): Yes	45 min.	250 mm

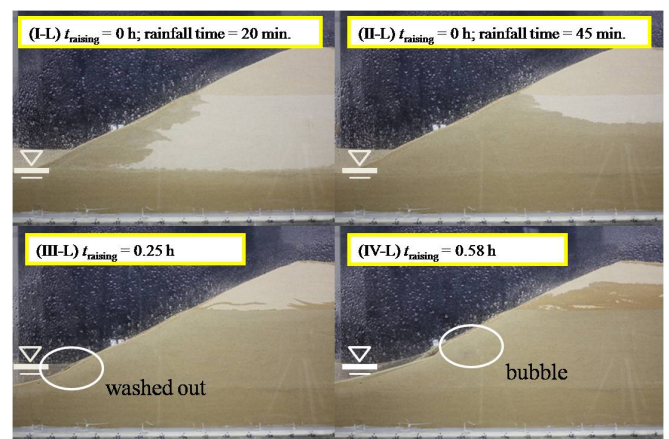


Fig. 2 堤体内への浸潤過程（堤内側）: Case(a)

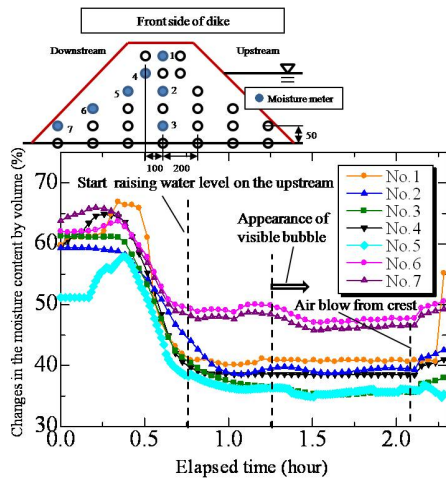


Fig. 3 水分計の挿入位置と体積含水率の経時変化 : Case(a)

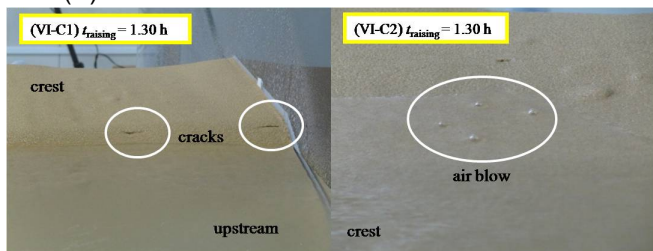


Fig. 4 天端に生じた亀裂と気泡噴出 : Case(a)

の低下と、堤体内に閉じ込められている気泡により生じた浮力が原因と考えられる。堤外側の水位をさらに上昇させ、越流が起きると天端は堤内側の端から大きく浸食を始め、堤体は元の天端高さから 140 mm ほど浸食された。

これらの実験結果から得られた結論を以下に述べる。

- ・ Case(a,c,d)より、透水係数の低い材料は降雨と越流に対して強度が小さく、堤体材料としては豊浦砂のような透水係数の比較的大きなものが適している。
- ・ Case(b,c)より、事前に降雨を与えると堤体表面が洗い流されることで越流時の堤体の強度が落ちる。
- ・ Case(a)より、降雨および堤外側からの両浸潤線によって閉じ込められた気泡が堤体に亀裂を生じさせ、気泡の噴出を引き起こし、堤体の強度を低下させる。

4. 越流対策を施した堤体の実験結果

堤体内への浸透量の低減を目的として実堤体で見られるような、堤体の堤外側法面および天端にシートを設置した場合の降雨時および越流時の様子を Fig. 5(1-2)に、強度を Table 2 最右列に示す。雨水は不透水性シートの上部を流れ、堤体表面は堤体内部と比べて下から早く浸潤する。越流時はシート端部から浸食が始まり、堤体内部まで激しく損傷した。一方、無対策 (Case(a)) と比べて堤外側法面からの浸透が抑えられるため、堤体の形が残れば (Fig. 5(2)) のような状態でも越水量をかなり低減できることがわかった。

次に堤体全体をシートで覆った場合の越流時の様子を Fig. 6(1-2)に示す。不透水性シートのため降雨による

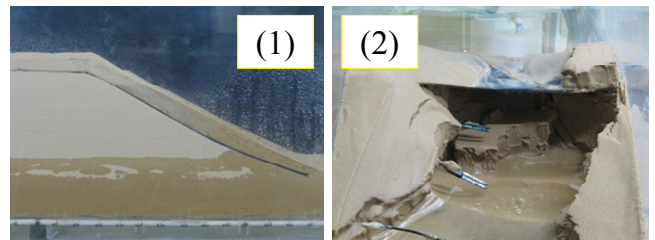


Fig. 5 Case(e) : 透気性遮水シートによる堤外側法面の保護 (1) 堤外側降雨時側面 (2) 堤内側破壊時法面

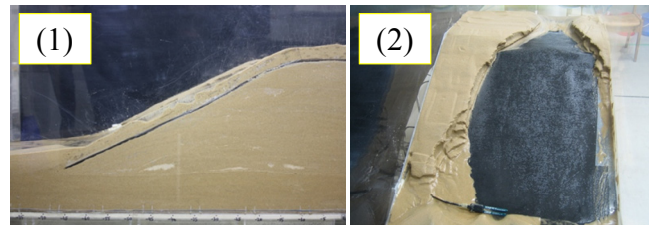


Fig. 6 Case(f) : 透気性遮水シートによる堤体全体の保護 (1) 堤内側破壊時側面 (2) 堤内側破壊時法面

天端から堤体内への浸潤はないが、基盤層からのシート下部の浸潤線はシートに沿うように上昇した。堤外側の水位を上げて越流させてもシートで堤体内部が浸食から完全に保護される結果となった。さらに、水位上昇時に堤体内部のシート近くに発生した気泡塊はシートに沿って堤体内を上昇し、やがて堤体内から見えなくなった。シートを通じて堤体外へ放出したものと考えられ、本研究で提案する気泡・降雨および越流を考慮した対策法として十分に機能することがわかった。

5. おわりに

本稿では堤体模型実験装置を用いて、種々の材料で気泡の影響および降雨と越流に対する河川堤防の強度把握と対策法の効果について検証を行った。結果、透水性の低い材料では降雨や越流に対する浸食が激しいことがわかった。また、降雨で堤体内に気泡塊が閉じ込められると、放出過程で天端付近に亀裂が生じるなど、気泡が堤体に悪影響を及ぼすといえる。さらに、提案する透気性遮水シートは越流に対する堤体保護と気泡の放出を妨げないという相乗効果により、降雨・越流対策として有用であるといえる。今後は堤体内部における気泡の発生・発達過程の把握を行う。

謝辞 : 本研究の対策工に関してご助言を頂きました応用地質株式会社の馬場干児様、シートをご提供頂いた太陽工業株式会社の榊尾考之様に厚く御礼を申し上げます。また、この研究に用いた装置の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)20360120 および特別研究員奨励費 20-8411 によるものであり、深謝の意を表します。

参考文献 : 1) 小高猛司, 浅岡顕 : 砂質地盤での浸透過程での気泡の発生・発達現象, 土木学会論文集, 487/III-26, 129-138, 1994.
2) 小中智博, 坂井宏隆, 前田健一 : 気相のダイナミクスに着目した三相系浸透破壊現象の解明, 第 44 回地盤工学研究発表会講演論文集, 1741-1742, 2009.