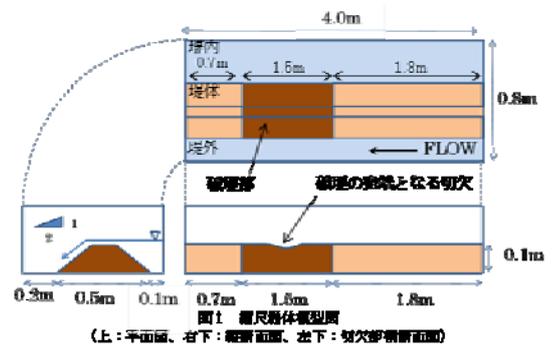


小縮尺模型による越水破堤についての検討

徳島大学 学生会員 中村大介
 徳島大学 正会員 武藤裕則・田村隆雄

1.はじめに：破堤を伴う河川氾濫は、大きなエネルギーが一気に氾濫域に放出されることで甚大な被害をもたらす。破堤はその8割以上が越水に起因するものと言われている¹⁾が、そのプロセスやメカニズムには不明な点が多い。国土交通省北海道開発局と独立行政法人土木研究所では共同で、十勝川に設けた実スケール実験水路（千代田実験水路）で越水破堤に関する検討を行っている^{2), 3)}が、実験規模が大きく多くの実験ケースをこなすことは困難である。本研究では、小規模模型による越水破堤の検討の可能性と限界を見極めることを目的に、小縮尺模型を用いた堤防越流実験を行い、大規模実験による結果を対象として破堤プロセスの再現性を検証した上で、崩壊状況と水理特性の関連性について考察した。

2.実験概要：実験では、図1に示すように、水路長4m、水路幅0.8m、路床勾配1/1000の矩形直線水路に、高さ10cm、天端幅10cm、法勾配1:2の堤体を配置した。堤体は破堤部を除いて木材で作製し、破堤部は珪砂とDLクレー（非塑性シルト：平均粒径0.025）を4:1の割合で混合したものを巻出し・転圧・成形した。崩壊状況の撮影のため破堤部直上にビデオカメラを設置し、堤外地側に2.34l/sの流量を通水すると共に、トレーサー粒子を流し表面流況を可視化・撮影し、PIV解析により崩壊部の流速分布を求めた。堤外地下流端で計量堰により流量を計測し、上流給水量との差から氾濫流量を求めた。破堤により全流量が堤内地に流入し、堤外地下流端流量が0となった時点で実験終了とした。実験ケースを表1に示す。なお、case3では、高さ5cm、幅10cm、法勾配1:2の小段を裏法に成形した。



（上：平面図、右下：堤断面、左下：切欠部断面図）

表1 実験ケース

	堤体材料(平均粒径)	裏法勾配
case1-1	珪砂3号(1.50mm)	50%
case1-2	珪砂4号(0.85mm)	
case1-3	珪砂6号(0.30mm)	
case1-4	珪砂7号(0.15mm)	
case2_2	珪砂4号	25%
case2_3	珪砂6号	
case3_2	珪砂4号	小段付き
case3_3	珪砂6号	

3.再現性の検討：千代田実験水路における実スケール実験^{2), 3)}と堤体形状を合わせ（case1），堤体材料を変化させて氾濫流量の増加傾向、破堤口の形状変化や拡幅が激しくなるタイミング、崩壊プロセスにおける流向や流れによる浸食崩壊傾向の変化などの点から再現性について検討した。その一例として、氾濫流量の増加傾向を無次元化し比較したものを図2に示す。珪砂4号を使用したcase1-2において実スケール実験の結果と多くの類似性が認められ、再現性が確保されたと判断した。

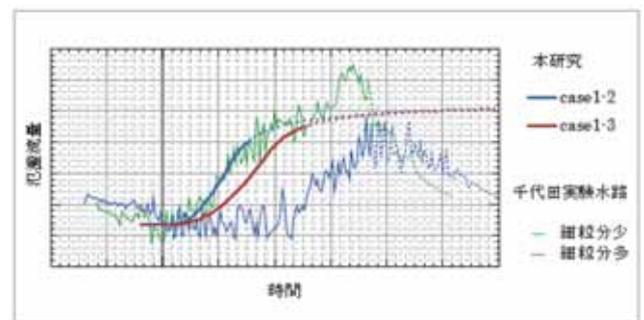


図2 実スケール実験と本実験での氾濫流量の変化の比較

4.氾濫流量の測定結果：case1の各ケースにおける氾濫流量の時間変化を図3(a)に示す。堤体材料が細かいほど

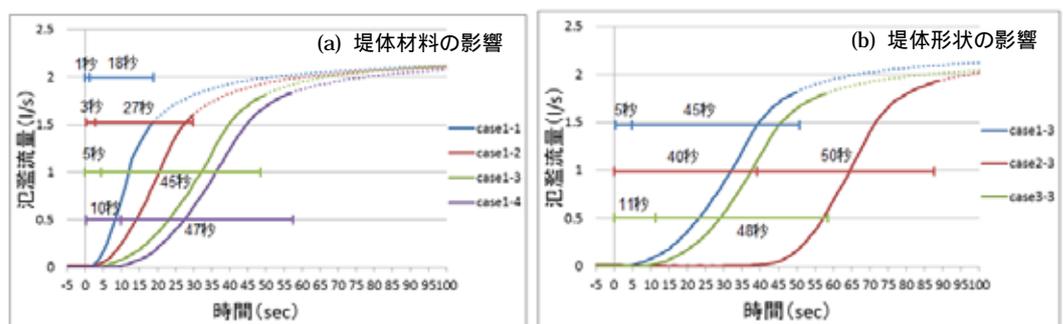


図3 氾濫流量の時間変化

氾濫流量増加のタイミングが遅くなり、堤防崩壊までに要する時間も長い。一方、堤体形状の違いによる影響を示した図 3(b)によると、法勾配を 1:4 とした case2 で氾濫流量の増加するタイミングが特に遅く堤防崩壊までに要する時間も最も長い。裏小段を付けた case3 では、裏小段なし (case1) より若干の時間遅れが生じたが顕著な差とは言えなかった。

5. 崩壊進行の状況：崩壊の進行プロセスを見るために、裏法尻、裏法中央、天端の 3 箇所に注目し、拡幅幅の時間経過を計測した (図 4)。図より、法勾配が 1:2 の場合は法尻と天端での崩壊がほぼ同時かつ同速度で進行するが、法勾配を 1:4 とした場合には法尻 法面中央 天端の順で崩壊が進行し、また崩壊開始に至る時間が遅い。なお、裏小段付きの場合では、法尻の崩壊開始を若干遅らせることができるが、崩壊開始後は法勾配 1:2 の場合の崩壊プロセスと類似の傾向となった。

6. 流速分布の計測結果：既往の研究成果³⁾から、破堤プロセスを 4 段階に分けることが指摘されており、本研究もそれに倣った。流速分布の計測結果 (図 5) より、堤体材料が細かいほど流速の上昇のタイミングは遅れるが、越流した流れは集中している。また、図に示した裏小段付きの場合、ステップ 3-1 に見られる法面中央部で流速のばらつきがステップ 3-2 ではあまり見られず小段なしの場合と類似した流速分布となることから、この間に小段が破壊されたと考えられる。

7. 崩壊と掃流力：堤体の崩壊には裏法面に作用する掃流力がひとつの要因になると考えられる。堤体材料の限界摩擦速度と越流に伴い裏法面に作用する摩擦速度の変化から、堤体崩壊と掃流力の関係性について検討した。図 6 より、いずれのケースにおいても越水開始直後に摩擦速度が限界摩擦速度を超えているが、崩壊状況の観察時にはある程度の時間遅れが認められた。これは、堤体材料の粘着性 (DL クレー) と、堤体の成形方法 (締固め) による効果が影響しているものと考えられる。

8. まとめ：本研究の結果から、堤体材質を細くすることで、裏法勾配を緩くすることで、堤防が完全な破堤に至るまでの時間を遅らせることが期待できる。また、裏小段付き形状の場合、崩壊を若干遅らせることができる。一方、小縮尺模型による実験は堤体材質を細部まで表現することが困難であり、さらに実スケール実験に比べては短時間で流量、流速、崩壊幅が変化するため、より精密な模型作成と計測が求められる。今後の展望としては、これらの課題や限界を踏まえ、模型実験による再現性に留意しつつ、越流破堤時の流れや堤体の変形特性について検討する必要がある。

参考文献：1) 吉野・村本：洪水による河川堤防災害の実態と要因に関する研究，文部省科研費自然災害特別研究成果，No. A-61-5，pp.8-18，1986.，2) 島田・平井・辻：千代田実験水路における越水破堤実験，水工学論文集，54，pp.811-816，2010.，3) 島田・横山・平井・三宅：千代田実験水路における越水破堤拡幅メカニズム，河川技術論文集，17，pp.263-268，2011.

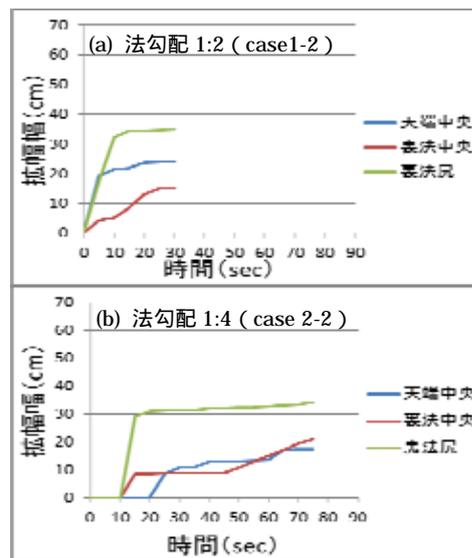


図 4 堤体崩壊の進行プロセス

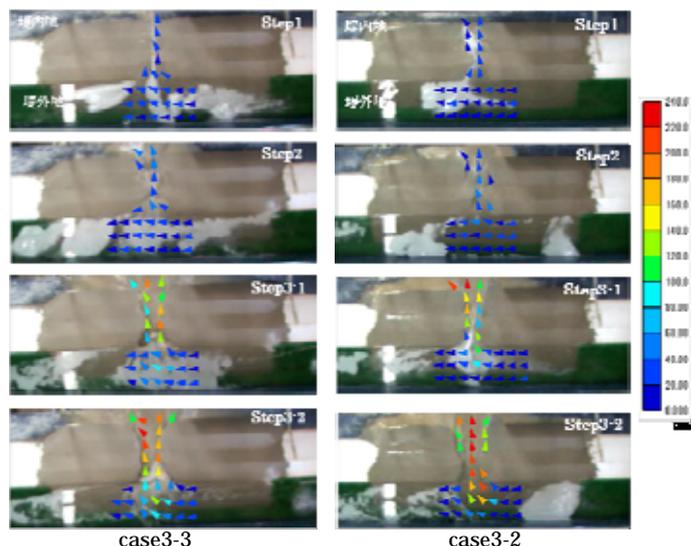


図 5 流速分布の計測結果 (case3)

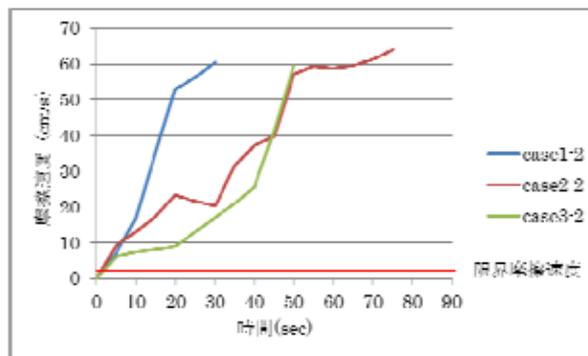


図 6 法面に作用する摩擦速度の時間変化