

河川堤防におけるパイピング破壊に関する模型実験

(独) 土木研究所 正会員 ○齋藤 由紀子 同 正会員 谷中 仁志
 (独) 土木研究所 正会員 小橋 秀俊
 前(独) 土木研究所 正会員 古本 一司

1. はじめに

現在、全国の河川を対象に、河川堤防の浸透に対する安全性に関する詳細点検¹⁾が実施されている。この点検において想定されている河川堤防の不安定化要因の一つに、基礎地盤のパイピング破壊がある。近年の豪雨災害においてもパイピングによると思われる堤防の陥没が確認されているところであるが、陥没に至るメカニズムについては明らかになっていない。また、パイピングに対する照査基準を満足していたにもかかわらず、漏水が発生した事例も確認されており²⁾、現行の安全性照査方法やその照査基準の妥当性についても検討が必要と考えられる。そこで本報では、パイピングの発生から規模拡大に至るメカニズムを確認するとともに、パイピングの照査基準に関する検討を行うために実施した模型実験の結果を報告する。

2. 実験の概要

(1) 模型の仕様

堤防模型の断面図および平面図を図1に示す。堤体は、山砂を用いて天端幅0.5m、高さ1.4m、堤内地側の半断面のみモデル化、という条件で作製した。基礎地盤は、層厚0.8mの川砂の上に層厚0.2mのローム層を敷設し、粘性土による被覆条件を再現した。基礎地盤内には、図1に示すように、幅10cm、層厚10cmの碎石層(粒径範囲30~40mm)を設置し、水みちを再現した。山砂と川砂の土質特性を表1に示す。のり面の一部には図1に示すような弱点部を設け、中央部には直径10cmのパイピング孔を作製した。また、のり尻側に向かって排水溝を設置し、弱点部に水が溜まらない構造とした。堤防縦断方向の長さは4.0mで、土槽との境界面はルーフィングにより止水対策を行った。のり面には植生を想定して短繊維混合土(層厚 $t=5\text{cm}$)を敷設した。模型全体の水頭を把握するため、基礎地盤の下部にはマンメータを設置した。また、パイピングに伴う基礎地盤内部の水圧の変化を捉えるために、ローム層の下面に間隙水圧計を設置した。堤体と基礎地盤の締固め度はともに90%程度であり、透水係数は、堤体部分が $4.8 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ 、基礎地盤が $3.4 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ である。

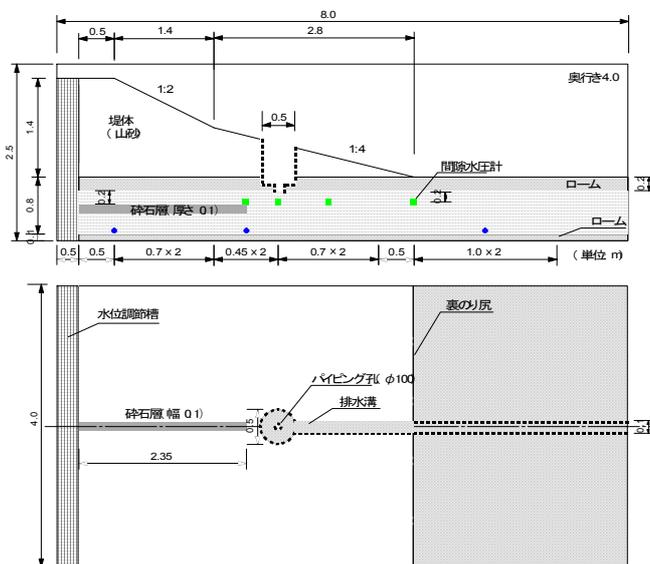


図1 堤防模型の断面図および平面図

(2) 実験方法

はじめに、模型背面の給水槽の水位を基礎地盤面に保って基礎地盤を飽和させた。その後、給水層内の水位をおよそ1時間かけて基礎地盤上面+1.2mまで上昇(湛水)させて維持し、パイピング発生後、堤体や基礎地盤に変状が確認できるまで実験を継続した。湛水前後には堤体内のゆるみの発生状況を把握するために、土検棒³⁾による貫入試験および堤体表面の高さ測定を行った。また、開削時には、クラックや空洞の発生状況等を確認した。

表1 使用材料の土質特性

土質材料		山砂	川砂
土粒子の密度	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.663	2.706
粒度構成	礫分(%)	0.7	11.4
	砂分(%)	88.8	87.3
	シルト・粘土分(%)	10.5	1.3
締固め特性	$\rho_{\text{dmax}}(\text{g/cm}^3)$	1.667	1.681
	$w_{\text{opt}}(\%)$	18.9	18.6

キーワード 河川堤防、浸透、パイピング、水みち

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ Tel029-879-6767

3. 実験結果および考察

(1) パイピング発生状況

給水槽の水位を上昇させ始めてから25分後に弱点部中央のパイピング孔から徐々に漏水が始まった。28分後に弱点部の上流側下端付近およびパイピング孔にかけて噴砂が発生し、35分後に噴砂と水の流出が顕著となった(写真1参照)。その後、噴砂規模はさらに拡大し、堤体への変状が確認された時点で実験を終了した。



写真1 パイピングの状況

湛水時の模型内の水頭分布ならびに、間隙水圧の経時変化をそれぞれ図2と図3に示す。給水槽の水位上昇と同程度の速度で水頭が上昇していることから、水みちにより浸透が助長されていることが確認された。間隙水圧は時間の経過とともに大きくなり、噴砂発生後に低下する傾向が見られた。碎石層端の直上部での間隙水圧が急激にパイピング孔直下とほぼ同程度まで低下していることから、その周辺では吸い出し等により新たに水みちが形成されていることが想定された。また、図3に示す値を用いて、パイピング孔付近での噴砂発生時(実験開始28分後)の局所動水勾配を計算すると $i_v=1.45, i_h=0.47$ (パイピング孔直下とその上流側の間隙水圧計の値を用いて算定)となった。河川堤防におけるパイピング破壊の安定性照査基準は0.5以下であり、今回の結果からは鉛直方向の局所動水勾配の基準がやや安全側の評価となっている可能性が考えられる。ただし、弱点部上流側から下流側に向かって漏水や噴砂等が確認されており、水平方向からの浸透による影響を受けた可能性も考えられる。

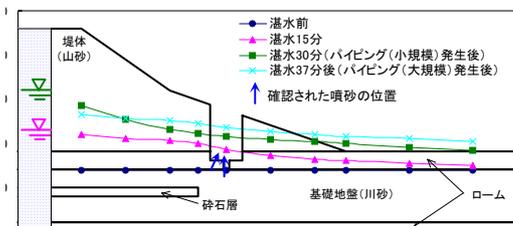


図2 マノメータによる水頭分布

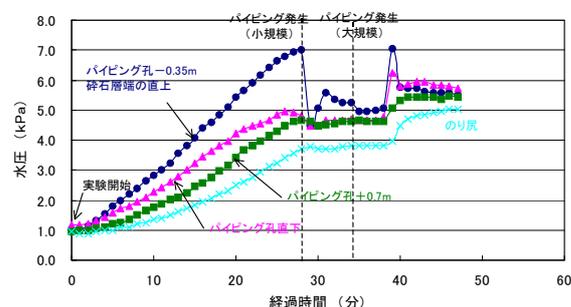


図3 間隙水圧の経時変化

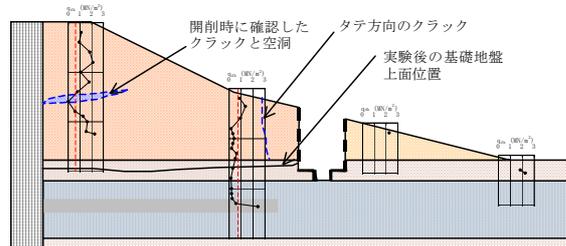


図4 実験終了後の堤体の状況

(2) パイピングによる土砂移動とゆるみ・陥没の発生状況

実験の前後で堤防表面の高さを測定したところ、天端で0.2~0.6cm、のり面中央付近(パイピング孔より上流側)で0.2~0.9cm程度の沈下が確認され、いずれも模型縦断中央付近で沈下が大きくなる傾向を示したが、パイピング孔よりのり尻側(下流側)では沈下はほとんど発生しなかった。

いっぽう、実験終了後の模型の状況を図4に示すように、パイピング孔より上流側では広範囲にわたって基礎地盤上面が沈下している(4~11cm程度)。また、その上方では、のり面直下で大きなゆるみ領域(貫入抵抗が 0.8 MN/m^2 以下だと概ね地盤が弱い)が発生していることが確認された。噴砂により基礎地盤が吸い出しを受け、それによる基礎地盤の沈下がその主な原因と考えられる。以上から、パイピング箇所より上流側では、パイピングに伴う水みちに沿った土質材料の吸い出しの進行により、降雨浸透等による堤体でのサクシヨンの低下などともあいまって、堤体のゆるみ、さらには陥没が発生するものと推察される。

4. おわりに

実験の結果、パイピングに伴う河川堤防の不安定化の現象について確認することができた。今後は、水みちが無い場合についても実験を行うとともに、パイピングに関する安全度評価手法の提案や効果的な対策手法について、引き続き検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 河川堤防設計指針：国土交通省河川局治水課，2002.7.
- 2) 谷中他：平成19年9月豪雨による米代川・北上川堤防被災調査，河川技術論文集第14巻，2008.6。(投稿中)
- 3) 佐々木他：斜面の土層深さとせん断強度の簡易試験法の開発，平成14年度応用地質学会論文講演集，pp.359-362，2002.10.