

水位変動に伴う剛構造樋門周辺堤防の劣化に関する模型実験

樋門 空洞 ゆるみ領域

名城大学
(株)建設技術研究所
名城大学大学院

国際会員 崔 瑛・小高猛司
国際会員 李 圭太
学生会員 ○劉 天明

1. はじめに

樋門など堤防横断構造物の周辺の堤防内には、ゆるみ領域や場合によっては図1¹⁾に示すような空洞の存在がしばしば確認されており、それらの分布や規模によっては堤防の安全性に重大な影響を及ぼすことになる。剛構造樋門の底板下部には基礎地盤の沈下等に伴う空洞が発生しやすく、さらに、その底部空洞に端を発し、樋門側部から上部にまで空洞やゆるみ領域が拡大していくと考えられる。本報では、河川の水位変動により樋門周辺の土砂が樋門下部空洞に吸い出され、樋門底部の空洞が側部から上部に広がるシナリオに基づき、二次元繰返し浸透模型実験を実施し、ゆるみや空洞の発生など、堤防劣化のメカニズムを検証するとともに、劣化発生時の土骨格の変化について微視的観察を行った。

2. 実験概要

図2に二次元模型実験装置の概要を示す。二次元模型実験では、基礎地盤の沈下等起因する下部空洞から地表面までの領域をモデル化し、さらに、地盤および樋門構造物の対称性を考慮し、半断面のみを模擬した実験土槽を作製した。土槽の奥行き内寸は40mmである。樋門模型は、40mm×80mm×40mmの亚克力ブロックで、杭による剛支持を表現するため実験土槽に固定した。また、樋門直下の領域に意図的に空洞を設け、基礎地盤の沈下等により発生した樋門直下の空洞を予め模擬した。河川水位の繰返し水位変動をモデル化するため、本実験では模型地盤に作用する水頭を変化させるための給排水装置 Tank A と Tank B を設けた。Tank A, B にはオーバーフローのための排水口を設け、給排水過程での水頭一定を図った。なお、実験中給水タンクのバルブは常にかき、高水位 Tank A のオーバーフローを確保する。Tank A, B と土槽本体を繋げるための栓 H, L の開閉を繰り返すことにより、実験土槽に作用させる水頭を繰り返し変化させる。

本実験では堤体材料による影響をについて検討するため、三河珪砂 6, 7, 8 号を 1:1:1 の割合で混合(Case1), 6, 7 号を 1:1 の割合で混合(Case2), 6, 8 号を 1:1 の割合で混合(Case3)した計三種類の地盤材料を用いて実験を行った。以下に実験手順を示す。(1)地盤試料を含水比 4.0%に調整し、間隙比 0.9 となるように各層 20mm に慎重に締固める。(2)層間の境界をなくすため、各層の締固め後に層の表面をほぐし、その後地盤の変位を確認するため各層の観察面側にカラーサンド(三河珪砂 6 号と同粒径:最大粒径 280μm)を敷く。(3)手順(1), (2)を計 20 層(320mm)繰返し行い、模型地盤を作製する。(4)Tank A の給排水口と試験機の給排水口のバルブ(栓 H)を開き、給水を行う。この際模型地盤に水が浸透し始めた時を実験開始時とし、模型地盤への水の流入が確認できなくなるまで給水し続ける。(5)模型地盤に水の流入しなくなったら、栓 H を閉じると同時に、低水位タンクと実験装置を繋ぐ栓 L を開き、模型地盤からの水の流出がなくなるまで低水頭を保つ。(6)手順(6)と(7)を繰返し行い、周辺地盤が変化を示さないと判断した段階で試験を終了とする。なお、いずれの実験でも高水頭は模型地盤下部から 320mm, 低水頭は模型地盤下端と同じ高さ(すなわち、高低水頭差 320mm)であり、土被りは 320mm である。

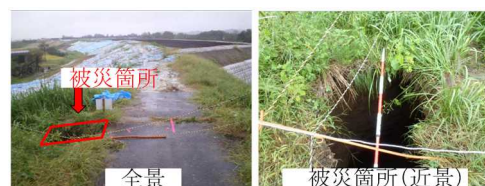


図1 樋門周辺地盤に発生した空洞¹⁾

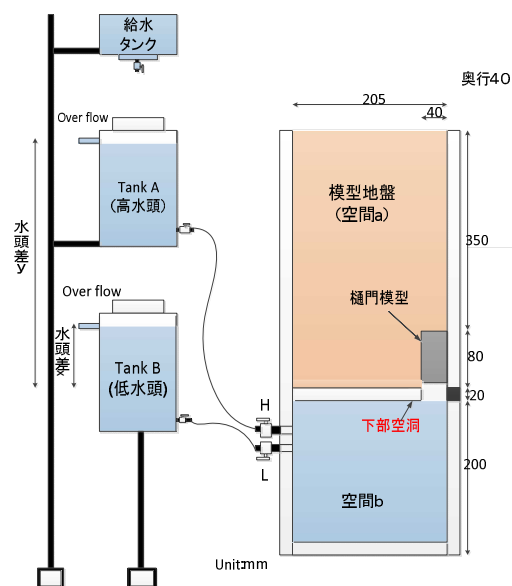


図2 模型実験の概要

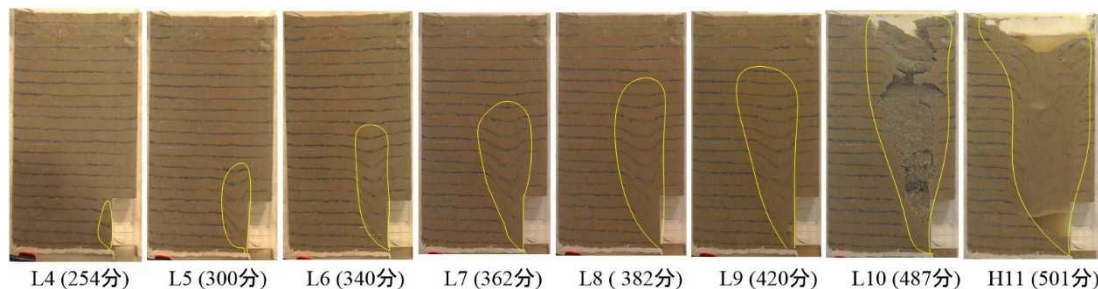


写真1 給排水に伴う樋門周辺地盤の挙動 (Case1, 678 号混合)

3. 実験結果

写真1に、各給排水サイクルにおける排水後の樋門周辺地盤の様子を示す（H11のみ給水後）。Case1では、最初3回の水位変動では地盤の変状が発生せず、4回目の排水時に樋門模型の側方領域で緩み領域（写真内の黄枠線）が確認できた。6回目の排水時には、多量の土試料の流失が見られ、ゆるみ領域が樋門上部地盤まで拡大する。その後、給排水の繰返しに伴い、ゆるみ領域は徐々に拡大するし、排水9回目では樋門側面地盤に小さい空洞が発生し、その後の10回目の給排水後により地盤が急激に変位し、結果として地表面が大きく陥没した。

写真2, 3にCase2, Case3における典型的な地盤変状（一回目のゆるみ領域が発生した場合、ゆるみ領域が地表付近まで大きく拡大した場合、実験終了時）をそれぞれ示す。写真より、Case1では給排水4回目で樋門周辺の地盤がゆるみ始めたことに対し、Case2, 3では初回の排水時から樋門周辺に大きいゆるみ領域が発生している。これは、珪砂678号を混合した模型地盤は、他ケースより粒度分布が良く、透水係数が低いため一回の給水で模型地盤に供給される水量が少ないためであると考えられる。また、最終的な地盤変形状況を比較すると、Case2では空洞・ゆるみ領域が地表面近くまで発達するが、地表面に大きい変化は見られないが、他ケースでは地表面が大きく陥没している。これは、粒径の細かい珪砂8号を混合しCase1, 3では、アーチ効果が得られず地盤変状が地表面まで達したと考えられる。

図3, 4に、給排水にともなうゆるみ領域の面積の推移を示す。縦軸は、色砂のゆがみ具合など目視で判断したゆるみ領域や空洞の面積を計算したものである。各給排水サイクルにおいて、給水後および排水後の面積を時間順にプロットしている。図より、地盤材料の混合砂の平均粒径が最も小さいCase1で、ゆるみ領域・空洞が最も遅い段階で出現し、さらにその進行も遅い傾向が見られる。Case2とCase3では、ほぼ同じ経時変化を示すが、平均粒径が比較的大きいCase2で実験終了時まで所要する繰返し回数が少ない。以上から、三河珪砂の場合、平均粒径が大きいほど空洞やゆるみ領域が発生しやすいと考えられる。

一方、河川堤防においては浸透に伴い細粒分が流出し、堤防安全性に大きい影響を及ぼすと考えられている。写真4は、排水時における樋門周辺地盤の土の骨格を撮影したものである。小さい○は土骨格中の細粒分を囲んでのものであり、大きい○は、比較的大きい砂粒を囲んだものである。写真より、大きい砂粒はほぼ静止していることに対し、細粒分はより大きい砂粒の間を縫って先行流出することが分かる。すなわち、堤体材料に細粒分が多く含有された場合は、浸透とともに細粒分が先行流出し、それによってゆるみがさらに広まる可能性がある。

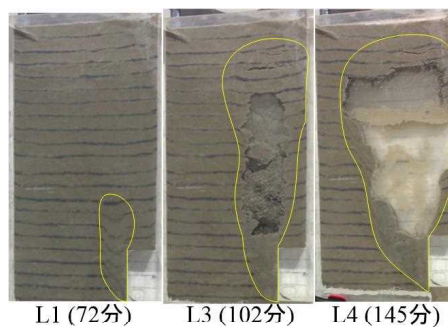


写真2 Case2の変位状況

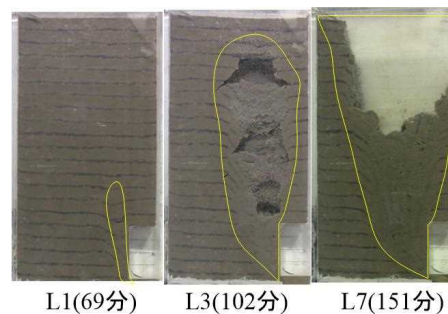


写真3 Case3の変位状況

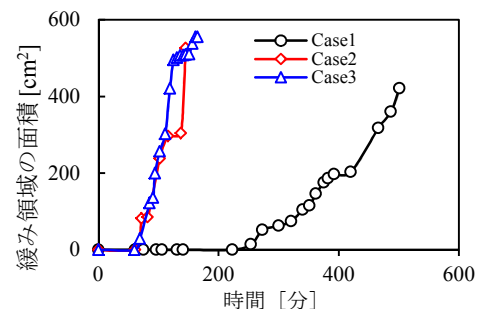


図3 ゆるみ領域の面積

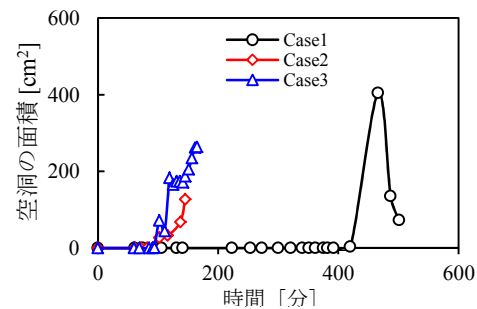


図4 空洞の面積

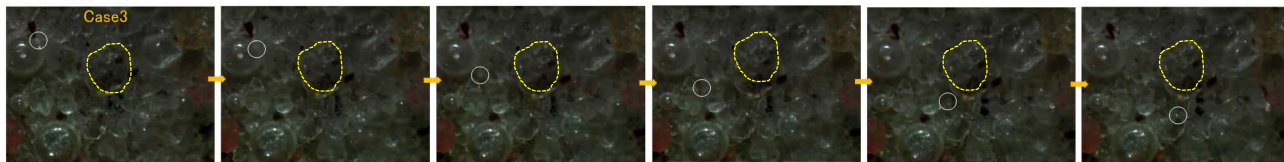


写真4 ハイスピードマイクロスコープにより撮影した土粒子の移動状況（Case3）

4. まとめ

本実験では、緩み領域、空洞等の発生・発達のメカニズムを検証するとともに、劣化に伴う土骨格の挙動について微視的観察を行った。以下に本実験で得られた知見を示す。樋門周辺の地盤に作用させる水頭を繰返し変化させることにより、樋門側面部から地盤上部に向かって、垂直方向にゆるみ領域並びに空洞が発生、拡大する様子が観察できた。排水時、樋門周辺の地盤に下向き（樋門下部空洞方向）の浸透圧が作用することにより、樋門周辺地盤は下部空洞に吸い込まれるように変位し、下部空洞付近の土粒子は吸い出され、空洞が拡大する。さらに、細粒分を含む地盤材料の場合は、浸透により細粒分が先行流出する現象が見られ、結果として樋門周辺地盤のゆるみが助長されることが考えられる。

参考文献 1)国土交通省東北地方整備局：台風15号概要及び樋管周辺の変状，第4回北上川等堤防復旧技術検討会資料，2011。