

樋門周辺地盤のゆるみ・空洞領域が河川堤防の浸透安定性に及ぼす影響

名城大学大学院 学生会員 ○劉 天明
名城大学 正会員 崔 瑛・小高猛司
(株)建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

剛構造樋門の底版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、その底部の空洞に端を発し、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ている¹⁾。崔ら²⁾は、河川の水位変動に伴って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、空洞等の発生・発達メカニズムを検証してきた。その結果、水位変動により樋門周辺の地盤は空洞方向への浸透力を受けることで下部空洞に落下し、空洞・ゆるみ領域といった劣化領域が樋門側部から上部に向かって拡大することが分かった。本報では、樋門周辺地盤のゆるみ・空洞の広がり度合いが、洪水時における堤防の浸透安全性に及ぼす影響について検討した。具体的には、二次元繰返し浸透模型実験を実施し、比較的低い所定の水頭差を繰返し作用させてゆるみを所定の高さまで生成させた後、洪水をモデル化した高い水頭差を作用させ、樋門周辺地盤の力学挙動について観察した。

2. 模型実験の概要

図1に模型実験の概要を示す。本実験では模型地盤に作用する水頭を変化させるため、給排水装置(TankA, TankB)と、TankAに給水するための給水タンクを用いた。TankBは平常時における低水位をモデル化したものであり、水頭は樋門底面と同じ高さに設定した。TankAは河川水位上昇による高水位をモデル化したもので、任意の高さに設定することができる。模型地盤に作用する水頭は、TankA, Bと土槽本体を繋げる栓H, Lを開閉することによって繰返し変化させることができ、水位の繰返し変動を模擬した。高水頭時にTankAより供給される水は、透明アクリル製の実験土槽の下部の栓Hより空間bに流入した後、樋門の下部空洞を通して模型地盤に流入する。低水頭時には、逆の経路を辿り栓LからTankBに出される。模型地盤は、三河硅砂6号を使用し、含水比4.0%に調整した後、間隙比0.9となるように各層20mm厚ずつ慎重に締め固めた。層間には、観察用のため色砂を敷いた。次に、繰返し浸透実験の手順を示す。①TankAを所定の初期高さ(樋門下端を基準面に、Case_1で40mm, Case_2で80mm, Case_3で160mm)に設定する。②TankAと実験土槽を繋ぐ栓Hを開き、給水が終了するまで(以下、完全給水)高水頭を保つ。なお、TankAから水が完全に流出しなくなる時点を給水終了時とする。③給水終了後、栓Hを閉じると同時に、TankBと実験土槽を繋ぐ栓Lを開き、排水が終了(以下、完全排水)するまで低水頭を保つ。ここでは、TankBからオーバーフローが停止した時点を排水終了時とする。④模型地盤に所定の高さ(樋門下端からCase_1で40mm, Case_2で80mm, Case_3で160mm)にゆるみ領域が達するまで、手順②③を繰返し行う。⑤TankA, Bの水頭差が320mmになるように、TankAの高さを変化させる。⑥栓Hを開き、給水が終了するまで高水頭を保ち、洪水時に非常に高い水位が長時間続いた状況を模擬する。⑦給水終了後、栓Hを閉じると同時に栓Lを開き、排水が終了するまで低水頭を保つ。⑧手順⑥⑦を繰返し行い、周辺地盤の挙動が変化を示さないと判断した段階で実験終了とする。

3. 実験結果

写真1～3に、Case_1～3における、初期ゆるみが所定の位置まで発達した時点と、高い水頭差を設けた後、各完全給排水サイクル後の様子を示す。写真中の実直線は高水位(TankA)の高さ、点線は目視で観察できる浸潤線

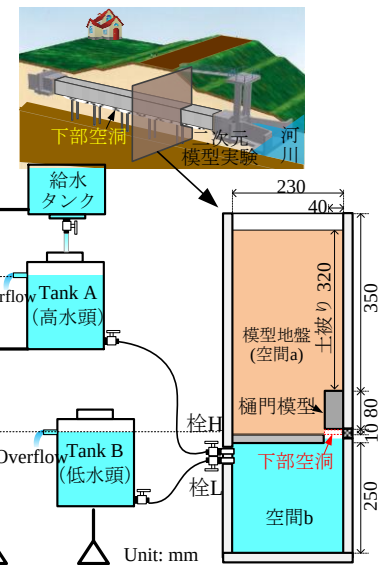


図1 模型実験の概要

キーワード 樋門 空洞 ゆるみ 模型実験

連絡先 〒468-0052 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2346

の位置を示している。なお、実曲線は実験中に撮影した画像における色砂の歪み具合から推定したゆるみ領域の境界を示し、点線は目視で判断できる空洞領域を示す。いずれのケースにおいても、比較的低い水頭差を設けた初期段階の 1 回目の給排水後(L_L1), ゆるみ領域が所定の位置まで発達している。これは、ゆるみ領域の目標高さと初期段階における高水頭タンク (TankA) の高さが同じであったことを反映したものである。その後、水頭差を 320mm に変化させ、給排水に伴う樋門周辺地盤の挙動を観察した。水頭差を上昇させた後、初期段階において初期劣化領域を樋門高さの半分まで設けた Case_1 では、完全給排水 1 回目(L_L1)で樋門高さの 2.5 倍の領域までゆるみ領域が発達し、上部地盤に空洞が発生した。その後、ゆるみは上部および横に拡大して行き、完全排水 3 回目(L_L3)には地表面近くまでゆるみ領域が発達し、樋門の 3 倍の高さまで空洞が拡大している。初期劣化領域を樋門上 2cm まで設けた Case_2 では、完全給排水 1 回目(L_L1)で、ゆるみ領域が樋門直上 220mm の高さまで拡大し、さらに樋門上部地盤で小さい空洞が確認できた。その後の給排水過程において、空洞・ゆるみ領域が急激に地表付近まで拡大していく様子が見られる。初期劣化領域を樋門より高い位置まで設けた Case_3 では、比較的低い水位差を設けた初期段階における浸透により、樋門上部地盤に既に小さい空洞が発生している。高水頭差における給排水 1 回目(L_L1)で、ゆるみ領域が樋門直上 280mm の領域まで拡大して行き、その後の給水過程においてゆるみ領域が地表面近くまで発達すると同時に複数の空洞が確認でき、完全排水 2 回目 (L_L2)ではゆるみ領域と空洞がさらに拡大したが、土砂の受け皿の役割を併せ持つ空間 b (図 1) が満杯になったため、実験を終了とした。

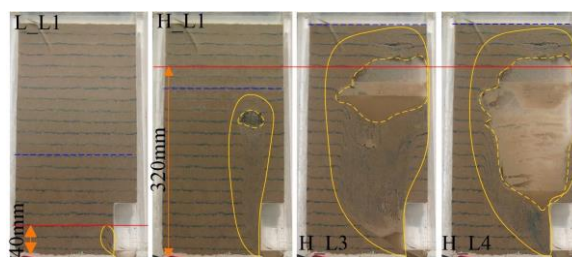


写真 1 Case_1 における模型地盤の様子

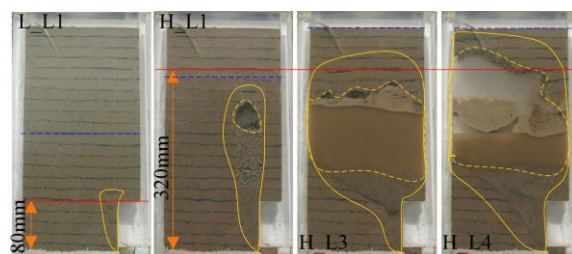


写真 2 Case_2 における模型地盤の様子

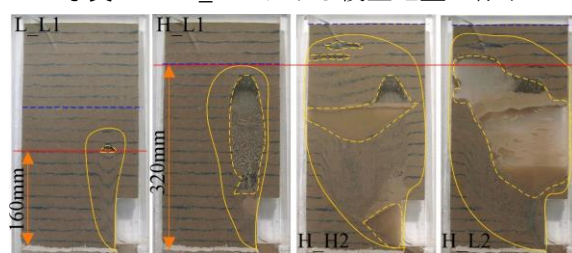


写真 3 Case_3 における模型地盤の様子

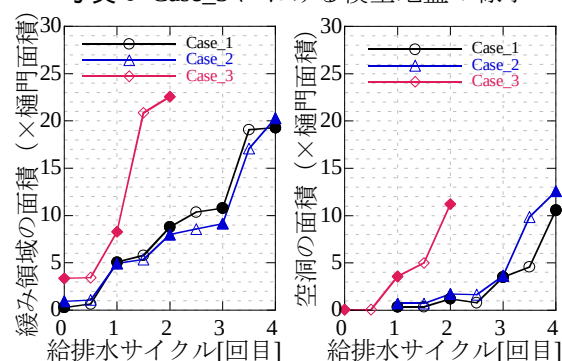


図 2 ゆるみ面積の推移 図 3 空洞面積の推移

図 2, 3 に給排水による空洞とゆるみ領域の面積の推移を示す。横軸は高い水頭差に切り替えた後の給排水サイクル数であり、縦軸は写真 1~3 に示した各給排水サイクルで排水後のゆるみ領域や空洞の面積を、樋門面積を用いて無次元化したものである。密実なマーカーは排水終了後の値、内空のものは給水終了後の値を示す。初期段階でゆるみ領域を比較的高い位置まで設けた Case_3 では Case_1, Case_2 よりゆるみ領域・空洞の進展が早い結果が見られた。一方、Case_1, Case_2 はほぼ同じ傾向を示している。すなわち、初期段階において所定の劣化領域が樋門より高い位置まで発展していた場合、その後続の高い水頭差の作用によるゆるみや空洞の発生・発達が早いといえる。

4. まとめ

本実験では、平常時の河川水位の繰返し変動により発生した樋門周辺堤防のゆるみや空洞等初期劣化領域が、洪水時における堤防の浸透安全性に及ぼす影響について検討を行った。実験結果より、初期の劣化領域が広いほど、その後の高い水頭差の作用によるダメージが大きいことが分かった。特に、初期劣化領域が樋門の高さ以上に発生した場合は、その後発生する一回目の洪水によって周辺地盤に大きい空洞が発生し、河川堤防の安全性に大きい影響を及ぼす可能性があると考えられる。一方、ゆるみが樋門より低く、もしくは樋門とほぼ同じ高さまで発生した場合は、劣化の進行速度が明らかに遅いことが分かった。

参考文献：1) 中島秀雄：図説 河川堤防，技報堂，pp.206-210，2003. 2) 崔瑛，小高猛司，李圭太：河川堤防樋門周辺地盤内のゆるみ領域や空洞の生成・発達に関する模型実験，河川技術論文集，第 21 巻，pp.395-400，2015.