

樋門周辺堤体の劣化が河川堤防の浸透安定性に及ぼす影響

樋門 模型実験 ゆるみ領域

名城大学 国際会員 崔 瑛・小高猛司
名城大学大学院 学生会員 ○劉 天明
(株)建設技術研究所 国際会員 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る¹⁾。既往の研究において著者ら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もののシナリオに基づき、二次元繰返し浸透模型実験を実施し、空洞等の発生・発達の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、樋門周辺堤防のゆるみ領域・空洞等の劣化領域の広がり度合いが、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、常時の繰返し水頭を作用させることで樋門周辺地盤に様々な寸法を有する空洞・ゆるみ領域を生成させた後、洪水時をモデル化した高水頭差を作用させ、樋門周辺地盤の力学挙動について観察した。

2. 実験概要

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は洪水時の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、洪水時と平時における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%に調整後、間隙比0.9となるように各層20mm厚ずつ(土被り320mm, 20層)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。

- (1) TankAと実験土槽を繋ぐ栓Hを開き、30秒高水頭を保つ。この際、水頭差は240mmに設定してある。
- (2) 30秒経過後、栓Hを閉じると同時に、TankBと実験土槽を繋ぐ栓Lを開き、30秒低水頭を保つ。
- (3) 模型地盤に所定の劣化が発生するまで、手順(1), (2)を繰返し行う。本報では、ゆるみが樋門高さの0.5倍(Case_1)、樋門と同じ高さ(Case_2)および樋門高さの1.5倍(Case_3)に発達するまで手順(1)(2)を繰返し行った。
- (4) 水頭差が320mmになるように、TankAの高さを変化させる。
- (5) TankA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)高水頭を保ち、洪水時に河川の高水位が長時間続いた状況を模擬する。なお、TankAから水が完全に流出しなくなる時点给水終了時とする。
- (6) 給水終了後、栓Hを閉じると同時に、TankBと実験土槽を繋いでいる栓Lを開き、排水が終了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排水終了時とする。
- (7) 手順(5)(6)を繰返し、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。

なお、すべての実験において、実験過程を通してビデオ撮影を行い、色砂の歪み具合でゆるみ領域を判断した。

3. 実験結果

写真1~3に、Case_1~3における、最初にゆるみ領域が確認できた時点、ゆるみが所定領域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。

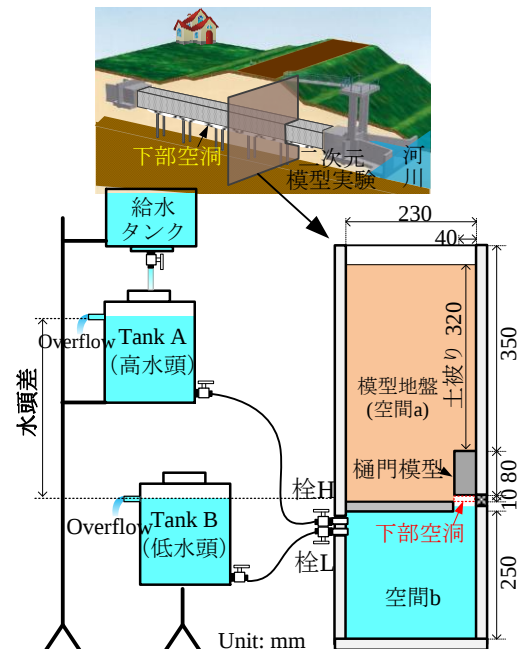


図1 模型実験の概要

写真より、比較的低い水頭差を与えた実験初期は同じ水頭差を設定していることを反映し、すべてのケースにおいて 7 回目の排水 (L7) を行った際に、最初のゆるみ領域が確認できている。その後もほぼ同じ傾向で、劣化が進んで行き、Case_1 では 12 回目の排水後(L12)、Case_2 では 14 回目の排水後(L14)、Case_3 では 16 回目の排水後 (L16)にそれぞれ所定領域までのゆるみが発達している。その後、水頭差を 240mm から 320mm に変化させ、完全給排水に伴う樋門周辺地盤の挙動を観察した。初期劣化領域を樋門高さ以下まで設けた Case_1 では、水位を上昇させた後の完全給排水 1 回目 (L13)で緩み領域が樋門と同じ高さ(80mm)まで拡大したが、空洞は確認できていない。2 回目には樋門高さの 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、完全給排水 4 回目でゆるみ領域が地表面まで達し、樋門の 3 倍の高さまで空洞が広がっている。初期劣化領域を樋門と同じ高さまで設けた Case_2 では、完全給排水 1 回目 (L15)に、緩み領域が樋門の 1.5 倍の高さまでに拡大し、下部空洞付近で小さな空洞が確認できた。2 回目 (L16)では、空洞・ゆるみ領域が急激に地表付近まで拡大し、3 回目 (L17)で地表面が陥没した。初期劣化領域を樋門より高い位置まで設けた Case_3 では、完全給排水 1 回目(L17)で空洞・ゆるみ領域が地表面近くまで発達し、2 回目(L18)では地表面沈下、3 回目では周辺地盤の陥没が発生している。

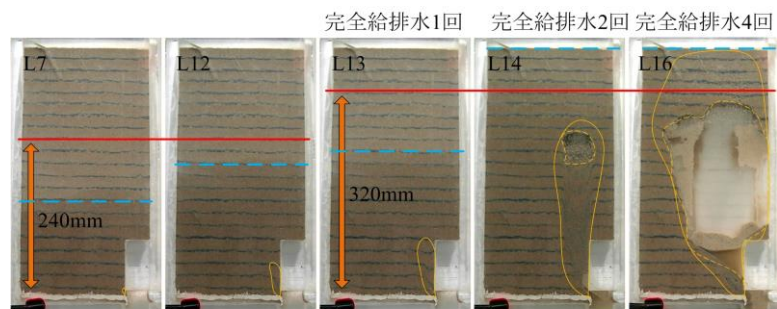


写真1 Case_1における典型的模型地盤の様子

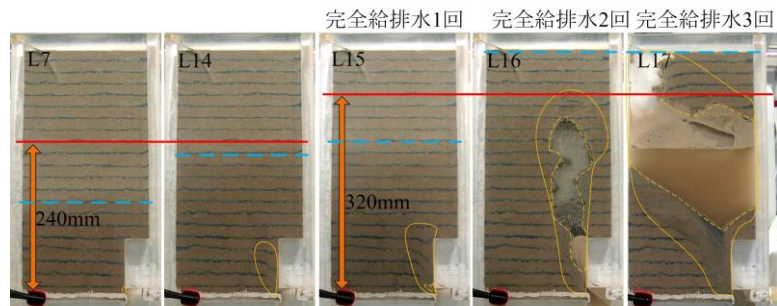


写真2 Case_2における典型的模型地盤の様子

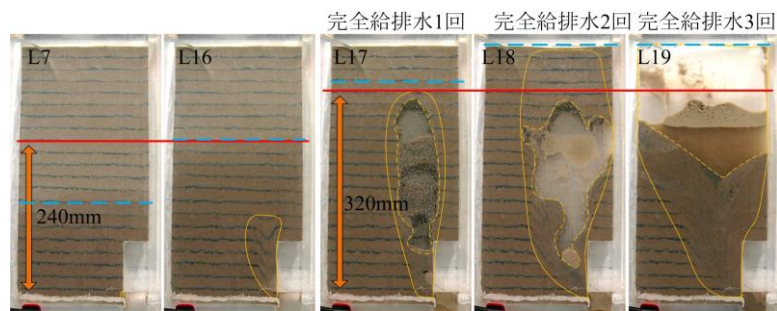


写真3 Case_3における典型的模型地盤の様子

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。横軸は給排水サイクル数であり、縦軸は写真 1~3 に示したような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、樋門の面積を用いて無次元化したものである。所定の劣化領域が発生するまでは、すべてのケースでゆるみ領域・空洞が同じ値を示すが、高い水頭差を与えた後は、Case_1, Case_2, Case_3 の順に劣化領域の進展が早まる結果が見られる。すなわち、初期劣化面積が大きいほど、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・発達が早まることが分かる。

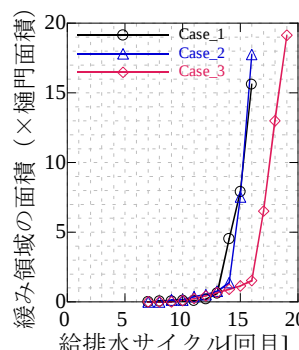


図2 ゆるみ領域面積の推移

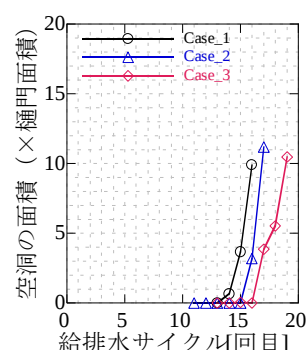


図3 空洞面積の推移

4. まとめ

本実験では、平常時の水変動により発生した樋門周辺堤防のゆるみ領域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。初期劣化領域が樋門の高さ以下に発生した場合は、一回目の洪水によってゆるみや空洞が極端に広がることはないが、2 回目の洪水が発生した場合一気に地表面近くまで拡大する。一方、初期劣化領域が樋門より高い位置まで発生した場合は、その次に発生する一回目の洪水によって、空洞・ゆるみ領域が地表面近くまで急激に拡大し、堤防の安全性に大きい影響を及ぼすと考えられる。今後は、様々な模型地盤の粒度組成や間隙比、浸透条件において、初期劣化領域による影響を検討することで、各劣化レベルの河川堤防の浸透破壊に対する危険度を明確にし、河川構造物の管理基準のためのデータを蓄積していく予定である。

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.