樋門周辺の空洞とゆるみ領域の生成・発達に関する三次元模型実験

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・榎本文勇
(株)鴻池組(元名城大院)　正会員　中村太意
名城大学大学院　学生会員　武　楊

１．はじめに

樋門・水門などの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１に示すような空洞の存在がしばしば確認されている。その発生過程は，剛構造樋門の底盤下部に基礎地盤の沈下等に伴う空洞が生じ，さらにその下部空洞に端を発し，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[1)]。既往の研究において著者らは，樋門の横断面のみをモデル化した 2 次元模型実験装置を作製し，繰返し作用する浸透力による樋門周辺の土砂の吸い出し過程を観察することにより，樋門下部空洞に起因する堤体内空洞およびゆるみ領域の発生過程について検討した[2)]。しかしながら，実堤体内の水の流れは三次元的であり，樋門縦断方向での浸透により空洞の発生・発達が助長される可能性があるが，二次元樋門模型試験ではこのような浸透流が再現されていない。また，「樋門周辺で水の流れが卓越し，河川水位変動時には主に空洞から給排水が行われる」という二次元模型実験の大前提条件もあくまで仮定であり，より実現象に近い模型を用いて検証する必要がある。

そこで本報では，樋門を含む堤体の一部を再現した三次元模型実験装置を製作し，二次元模型実験の合理性を検証するとともに，樋門縦断方向での浸透流が存在する場合空洞の発生・発展過程について検討した。

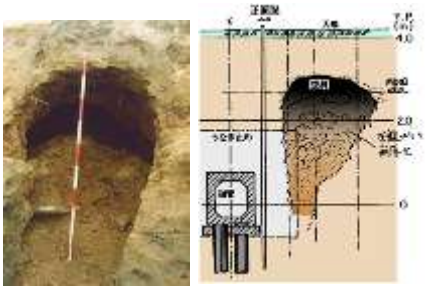


図１ 樋門周辺地盤に発生した空洞

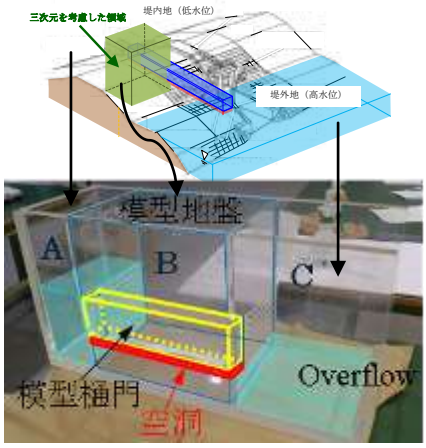


図２ 三次元模型実験装置

２．模型実験の概要

図２に三次元模型実験装置の概要を示す。三次元模型実験装置の寸法は，幅 66cm，高さ 34cm，奥行 24cm であり，仕切り板により領域 A, B, C に分けられている。領域 A は実堤防での河川側の高水位をモデル化するための水槽，領域 B は樋門を含む堤体の一部をモデル化するための土槽，領域 C は堤内地側の低水位をモデル化するための水槽である。水槽 C は水位 6cm でオーバーフローする構造となっており，低水位側の水位を常に 6cm に保つほか，空洞より流出される土試料の受け皿の役割も併せ持っている。本実験では，水が水槽 A から流入し，水槽 C から流出することによって模型地盤に形成される浸透流により，樋門周辺地盤に起こる変化を観察する。図中黄色枠は，樋門模型を示し，赤枠は意図的に設ける空洞の位置を示す。

本実験では含水比 4%の珪砂 6 号を用いて，1 層あたりの高さを 2cm とし，所定の高さまで一層ずつ入念に締固め，間隙比 1.0 の模型地盤を作製した。その際，下部空洞は空洞部分に予めアクリルプレートを挿入した状態で模型地盤を作製し，実験開始前にプレートを外すことにより設けた。また，極力定常流状態で実験を行うため，樋門より下部の模型地盤は，高水位・低水位側の槽の水位を 6cm に設定し，一時間放置することであらかじめ飽和させた。その後，高水位側の槽の水位を所定の高さまで迅速に上昇させ，所定の水位になった時を実験開始とする。実験中は，模型地盤の挙動を観察するため，ビデオカメラを用いて模型地盤全体の傾向を撮影し，さらにハイスピードカメラを用いて局所的に顕著な変位が見られる領域を撮影した。

キーワード　樋門，空洞，ゆるみ領域，模型実験，浸透
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　ＴＥＬ052-838-2346

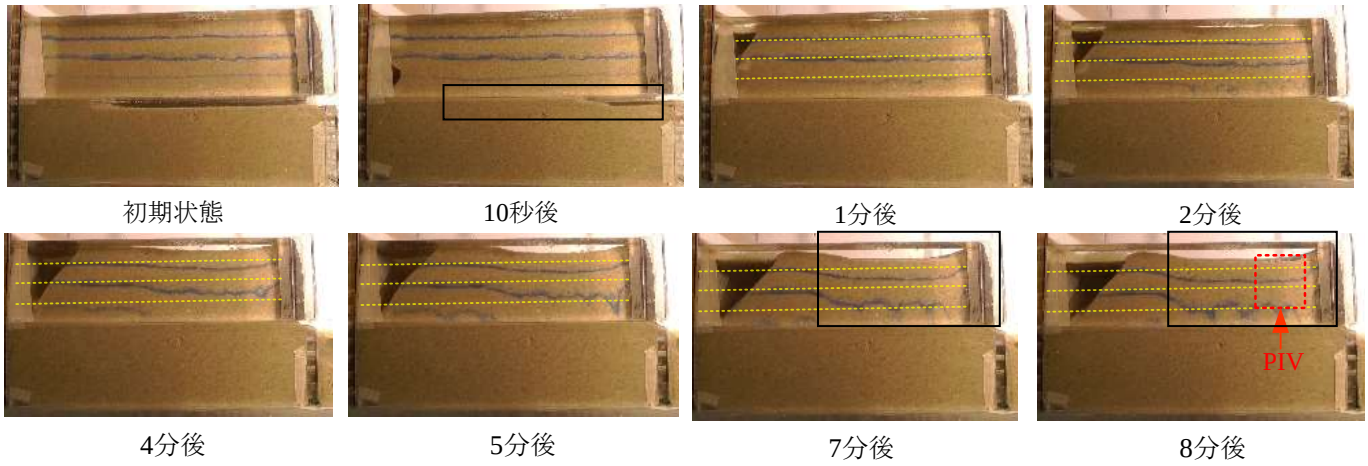
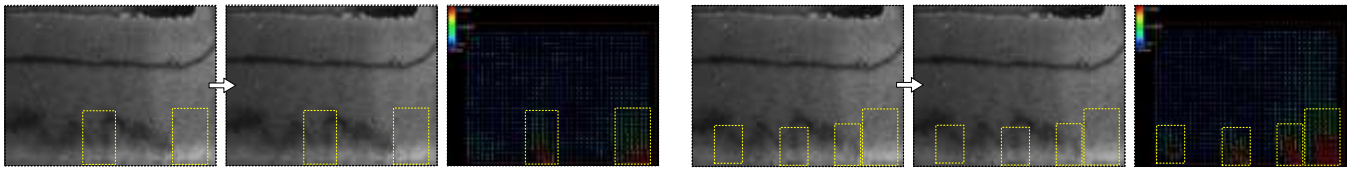


写真 1 三次元模型実験におけるゆるみ領域・空洞の進展過程



(a) Vector1　　(b) Vector2

図 3 三次元模型実験における樋門周辺地盤の変位

3．実験結果

写真 1 に，水頭差(水槽 A 水位 16cm)，初期空洞幅 20cm のケースにおける，浸透に伴う空洞・ゆるみ領域の進展過程を示す。写真中の黄色点線は地盤の変位を観察するため 2cm おきに設置した色砂の初期位置である。試験開始直後，樋門下部地盤では水平方向に卓越した流れが観察され，樋門側部の土砂が急速にそお下部空洞に流れ込み，10 秒後には下部空洞の半分以上が埋まっている。その後，急激な流は収まるものの，下部空洞に溜まった土砂と樋門の境界では土砂移動を伴う流れが発生し続け，樋門周辺の土砂が樋門に沿って出口側に設けた定水位水槽 C に徐々に流れ込む。同時に，樋門と側部地盤の境界で浸透流が卓越することにより，樋門の側部地盤が空洞に向かって移動し，2 分後には模型地盤上部でも顕著な沈下が確認できる。また，空洞に流入した砂は，樋門下部で発生した水平方向の流れにより水槽 C に排出される。この繰返しにより，樋門周辺地盤は徐々に沈下し続け，8 分後には樋門底面から 2cm の位置に設置した色砂が空洞に流入している。これに対し，地表面の沈下量は 2cm より小さいことから，写真中実線で囲んだ領域の地盤は非常に緩んでいると推察できる。また，土砂の移動状況をより詳細に検討するため，**写真 1** に赤点線で囲んだ領域をハイスピードカメラで撮影し，PIV 解析を行った。その結果を**図 3** に示す。変位ベクトルにより，樋門周辺の土砂は浸透流の方向に沿って，徐々に空洞に向かって斜め下に移動することが確認できる。

4．まとめ

本研究では三次元浸透模型実験を行い，浸透場における樋門周辺地盤での空洞・ゆるみ領域の発生・発達過程を観察することができた。樋門横断方向では，地盤内の浸透流もしくは水位の変動により土砂が下方向に変位し，樋門下部空洞に流入する。この土砂はまた樋門下部空間における樋門縦断方向での流れにより堤体外に排出される。このように，樋門の横断方向および縦断方向での土砂の移動が積み重なり，結果として大きいゆるみ領域・空洞の発生に繋がると考えられる。また，樋門と模型地盤の境界で浸透流が卓越する現象が見られ，既往の二次元模型実験で，堤体への給排水は主に空洞から行われるという仮定に一致しており，二次元模型実験の合理性が確認できた。今後は，空洞・ゆるみ領域の定量的評価方法を取り入れた上，空洞の寸法と位置，模型地盤の材料および土被り，水頭差等による影響について検討していく予定である。

参考文献 1)中島：図説河川堤防，技報堂，pp.206-210, 2003.　2) 小高・崔・中村・李・榎本：堤体内樋門周辺のゆるみ領域の生成・発達に関する模型実験，第 48 回地盤工学研究発表会，2013.