剛構造樋門周辺堤防の劣化に関する三次元模型実験

樋門　空洞　ゆるみ領域　　名城大学　国際会員　○崔　瑛・小高猛司
(株)建設技術研究所　国際会員　李　圭太

1. はじめに

樋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**写真 1**[1]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。平成 10 年以降，樋門の設計は柔構造を基本としている[2]が，今なお現存する樋門の多くは杭基礎を有する剛構造樋門である。杭に剛支持された剛構造樋門では，基礎地盤の沈下に伴い底版直下に空洞等が生じ，さらにその底部の空洞に端を発し，樋門の側方から上部にも空洞等が拡大していくと考えられる。しかしながら，このようなゆるみ領域や空洞等堤防の劣化メカニズムはあくまで推測の範囲内であり，実験や数値解析で明確に示されてはいない。

写真 1　樋門周辺地盤に発生した空洞[1]

既往の研究において，著者ら[3]は**図 1(a)**に示す樋門の横断面のみをモデル化した 二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。その結果，堤防内の水位が低下する際，樋門周辺地盤に下向き（樋門下部空洞方向）の浸透圧が作用し，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空間 b（**図 1(a)**）に吸い出され，空洞およびゆるみ領域が拡大するという知見が得られた。しかしながら，二次元模型実験において流出する土粒子の受け皿としての役割も担っている空間 b は，「下部空洞に吸出された土砂は下部空洞における水みちから堤体外に流出する」という前提をもとに非常に大きく設けている。また，二次元模型実験では，「樋門周辺で水の流れが卓越し，河川水位変動時には主に下部空洞から給排水が行われる」との仮定のもと，下部空洞のみから給排水を行った。一方，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考えられる。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，二次元模型実験の大前提であった水みちの形成および水みちからの土砂の搬出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を行う。

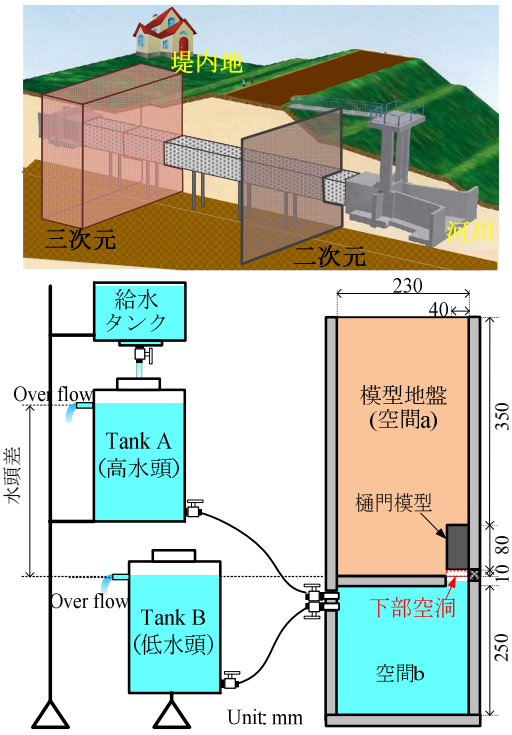

図 1　二次元[3]および三次元模型実験の概要

2. 模型実験の概要

図 1(b)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 1000mm，高さ 300mm，奥行 300mm 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（**図 1**）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 A, C は様々な高さでオーバーフローさせることで，流入と流出側の水位を自由に変化させることができる。なお，水槽 C は下部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。樋門模型はコの字の断面にしており，樋門内部から下部空洞内における土砂の移動状況を観測することができ，さらに剛支持樋門を模擬するため実験装置に固定している。図中樋門模型直下のハッチング部分は意図的に設けた下部空洞の位置を示す。

三次元模型実験では二次元模型実験同様含水比 4%の三河珪砂 6 号を用いて，間隙比 1.0 になるように，一層 20mm ずつ締め固めて模型地盤を作製している。その際，下部空洞は空洞部分に予め厚さ 10mm

---

Three dimensional model tests on degradation of the river levee around rigidly supported sluiceway

Y. Cui, T. Kodaka (Meijo University)
K.-T. Lee (CTI Eng. Co., Ltd.)

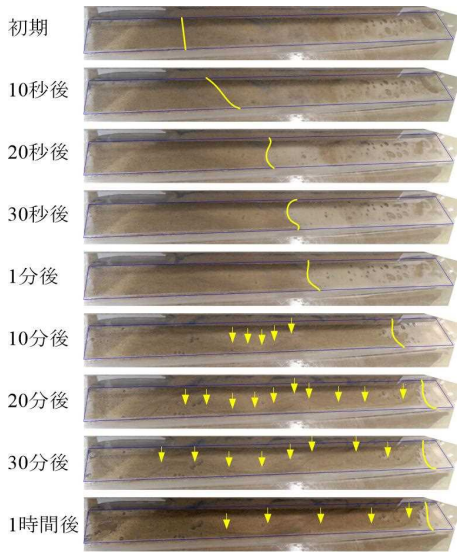

写真 2 下部空洞での土砂の流出

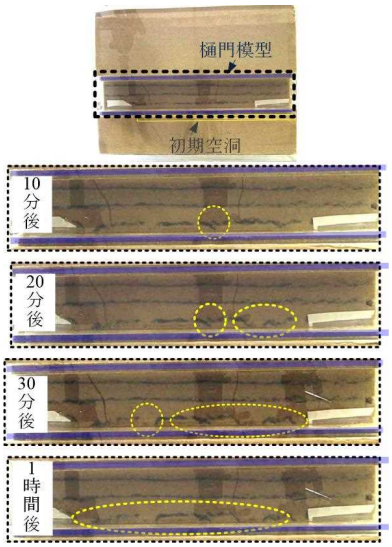

写真 3 浸透に伴うゆるみの発生

写真 4 空洞の発生

のアクリル製のスペーサーを挿入した状態で模型地盤を作製し，実験開始前にスペーサーを外すことにより下部空洞を再現した。模型地盤作製後，極力定常流状態で実験を行うため，高水位・低水位側の槽の水位を所定の高さに設定し，スペーサーを挿入したまま 45 分間オーバーフローさせながら飽和化を行う。地盤が飽和し，定常状態に達した後，下部空洞にあらかじめ挿入したスペーサーを抜き取り，その時刻を実験開始とする。浸透実験中は，水槽 A, C の水位を所定の高さを保ち，樋門周辺地盤で変化が見られなくなった時刻を実験終了とする。

3. 実験結果

本報では，土被り 240mm，水頭差(水槽 A 水位 240mm，水槽 C は 80mm)160mm，初期下部空洞幅 320mm のケースを例に，浸透過程における樋門側面および下部領域の地盤の挙動について説明する。

写真 2 に，樋門内部から観察された樋門下部地盤の様子を示す。実験開始直後から，樋門下部地盤では水平方向に下部空洞が徐々に埋められ，10 分後にはほぼ全ての空洞に土砂が流れ込んでいる。図中の実線は，土砂の移動により変化する下部空洞の境界を示す。さらに**写真 2** より，土砂で埋め尽くされた下部地盤に水みち（矢印で示した部分）が発生し，下部空洞に流れ込んだ土砂が徐々に出口側に設けた定水位水槽 C に流れ込む現象が見られる。すなわち，樋門周辺地盤は一旦下部空洞に流れ込み，さらに水みちに沿って堤体外に搬出排出されると考えられる。**写真 3** は，実験装置の正面から観測された樋門側面地盤の変位状況を示す。図中の点線は，顕著な変位が見られる地盤領域を示している。写真より，実験開始から 10 分後樋門周辺地盤に敷設した一層目のカラーサンドで局所的な変位が見られ，変位量と範囲ともに大きくなっていく様子が観察された。すなわち，樋門周辺地盤が浸透に伴って樋門下部空洞に流入することで，周辺地盤にゆるみが発生し，拡大し続けると考えられる。樋門下部および樋門側面地盤の挙動を比較すると，樋門下部のほうでより早い段階でパイピングが見られ，側面地盤の下方変位に伴うゆるみは一見遅れて発生するように見える。一方，既往のニ次元模型実験では，境界部分の摩擦の影響により，樋門と周辺地盤の境界における変位は境界内部より小さい現象が観察されている。樋門と周辺地盤の境界では 10 分後から明確な変位が見られるが境界内部ではもっと早い段階ですでに変位が発生し，下部空洞に流れ込んでいたと考えられる。実験終了後（2 時間後），地盤内部における変形状況を調べるため，模型地盤を掘削し，土槽の流入側から 160（断面 1），200（断面 2），240mm（断面 3）離れた断面における地盤の様子を観察した。**写真 4** にその様子を示す。いずれの断面からも，樋門上部領域に大きい空洞が発生していることが確認できた。これは，浸透により土砂が徐々に下部空洞に流れ込んだためであると考えられる。樋門側部に形成された空洞は地表面の近くまで拡大されているが，アーチ効果により地表面には大きい影響は見られない。

4. まとめ

三次元浸透模型実験では，浸透流により樋門周辺地盤に下部空洞方向の浸透力が発生し，土砂は下部空洞へ流入する現象が確認できた。また，これら樋門側面に沿って下部空洞に流入した土砂は，樋門下部地盤における水平方向のパイピングにより，出口に排出される。これは，既往の二次元模型実験で，堤体への給排水は主に下部空洞から行われるという仮説に一致しており，二次元模型実験の合理性が確認できた。さらに，二次元模型実験において下部空洞に流入た土砂は堤防外に流出し続けるという仮定も，三次元模型実験で検証することができた。この二つの挙動が繰り返すことにより，樋門周辺地盤が徐々に排出口に排出され，同時に空洞やゆるみ領域等劣化も進んでいくと考えられる。

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. 2)（財）国土技術研究センター編：柔構造樋門設計の手引き，山海堂，1998. 3)崔・小高・李・榎本・中村・武：樋門周辺の空洞とゆるみ領域の生成・発達に関する模型実験，第 49 回地盤工学研究発表会，2014.