

繰返し浸透場における樋門周辺地盤の劣化に関する三次元模型実験

名城大学大学院	学生会員	○劉 天明
名城大学	正会員	小高猛司・崔 瑛
(株)建設技術研究所	正会員	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。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いない。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、堤体に繰返し作用する浸透力による剛構造樋門周辺堤防地盤の劣化過程について検討を行った。

2. 三次元浸透模型実験

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。

地盤材料には三河珪砂6号を用いた。最初に含水比を4%に調整した後、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た。その際、樋門模型の下部に予め厚さ10mmの亚克力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って下部空洞を再現した。領域A, 領域Cともに所定の高水位でオーバーフローさせながら給水し続け、両領域からのオーバーフローの量が一定になった時、模型地盤が飽和に達したと判断する。その後、樋門模型下部のスペーサーを抜き取ると同時に、領域Cのコックを開き、排水を開始する。排水側（領域C）の水位が所定の位置（80mm）まで降下し、コックCからの流速が一定となったことを確認したら排水完了と判断し、再び領域Cのコックを締め、所定の位置まで水位を増加させ、模型地盤が飽和するまでオーバーフローさせる。このように、樋門周辺地盤の変位が確認できなくなるまで、給水→飽和→排水を繰返し行う。なお、実験中は樋門模型正面および空洞上部からビデオ撮影を行い、樋門周辺地盤の挙動を観察する。

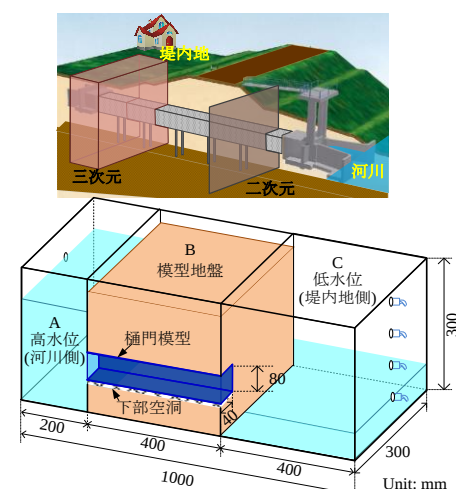
写真1 樋門周辺地盤に発生した空洞¹⁾

図1 三次元繰返し浸透模型実験の概要

キーワード 樋門, 空洞, ゆるみ領域, 浸透

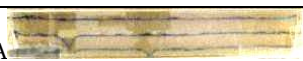
連絡先 〒468-0052 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2346

3. 模型実験結果

本報では土被り140mm、水頭差(水槽A水位240mm、水槽Cは80mm)160mm、初期下部空洞幅320mmのケースに対する、三次元繰返し浸透模型実験結果について述べる。表1に、各サイクルでの排水後における、樋門側方領域および下部領域の地盤の典型的な挙動とその説明を示す。写真左右端に併記したA、Cはそれぞれ水槽Aおよび水槽Cの位置を示す。一回目の排水過程に着目すると、排水開始後約10分後に、樋門側方地盤の中央部分で最下段のカラーサンドが下方に変位した現象が見られ、排水の進行につれて沈下量と沈下範囲ともに拡大し、役40分後には最下段のカラーサンドが全体的に下方に変位した結果が見られる。さらに、給排水を繰返すことで地盤沈下が徐々に進行していく。一方、樋門下部地盤の挙動からは、一回目の排水時の10分後に高水位側の水槽A付近から水みちが形成され、20分後にはさらに新たな水みちが形成される傾向が見られる。また、給排水を繰返すごとに水みちの形成後にその幅が拡大し、さらに新たな水みちが形成されるという挙動が繰返し発生している現象が見られる。

なお、いずれの給排水サイクルにおいても、排水からある程度時間が経過すると樋門の側面および下部地盤における変位が一旦安定するが、その次の給排水サイクルによって、水みちおよび土砂の搬出が再開される結果が見られた。すなわち、実堤防においても水位の繰返し変動に伴い、樋門周辺地盤の劣化が継続的に発生し続けていると考えられる。また、豪雨時にたまたま変状が見られなかった地盤領域においても、実際は樋門ゆるみ領域が存在し、更なる豪雨時には急激な変状を引き起こす可能性もあると考えられる。

表1 樋門直下における空洞・水みち発達

	樋門側方領域		樋門下部領域	
排水 1 回目 10min		中央で局所的な沈下		領域 A 付近で 水みち形成
排水 1 回目 20min		沈下の範囲拡大		A 付近で 新たな水みち形成
排水 1 回目 40min		複数段で局所的沈下		C 付近で 新たな水みち形成
排水 2 回目 40min		沈下範囲拡大		A 側で 2 本の水みちが合流
排水 3 回目 40min		同範囲で沈下量増加		A 側の水みちが 更に拡大
排水 4 回目 40min		沈下量・範囲の増大		全ての領域に 水みちが拡大
排水 5 回目 40min		全段で局所的な沈下		水みちから土が流出
排水 7 回目 40min		同範囲で沈下量増加		流出した土の周辺に 新たな水みち形成
排水 9 回目 40min		同範囲で沈下量増加		新たな水みちから 土が流出

4. まとめ

各給排水サイクルにおいては、排水とともに樋門周辺地盤に下部空洞方向の浸透力が発生し、樋門周辺の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って水槽Cに排出される。さらに、上述の樋門周辺地盤の変状は給排水とともに繰返し発生し、樋門周辺堤防地盤の劣化は徐々に進行していくことが分かった。すなわち、樋門横断方向では、排水に伴って樋門周辺の地盤に下向き（樋門下部空洞方向）の浸透力が作用し、樋門周辺地盤は下部空洞に吸い込まれるように流出することで、空洞およびゆるみ領域が拡大する。樋門縦断方向では、下部空洞に排出された土粒子が樋門下部空間に生成された水みちにより堤体外に排出される。水位の繰返し変動により、これら横断方向および縦断方向での土粒子の移動が積み重なり、大きいゆるみ領域・空洞に繋がると考えられる。

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。