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

樋門　空洞化　浸透

名城大学　国際会員　小高猛司・崔　瑛
名城大学大学院　学生会員　○中村太意
(株)建設技術研究所　国際会員　李　圭太
(財)建設技術研究所　正会員　榎本文勇

1.　はじめに

堤体内に発生する空洞やゆるみ領域は，洪水時の浸透による堤防の安全性に重大な影響を及ぼす可能性がある。図 1 に樋門周辺の空洞およびゆるみ発生の過程を示す [1)]。杭により剛支持された樋門では，軟弱地盤の沈下に伴い，その底板直下に空洞が発生することは周知であるが，その空洞が樋門側方および上部に拡大していく過程は明確にされていない。本報では，豪雨・洪水時の樋門周辺を再現した模型実験を実施し，繰返し浸透力を載荷することにより，樋門周辺地盤にゆるみ領域や空洞が生成・発達する様子の観察を行った。

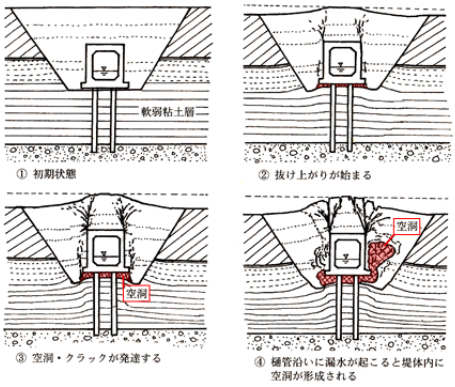

図 1　樋門周辺の空洞およびゆるみ発生の過程 [1)]

2.　模型実験の概要

写真 1 に，本実験で用いた模型実験土槽の様子と寸法を示す。奥行き内寸は 4cm である。樋門模型は半断面のみを模擬し，実験土槽に固定させることで，杭などによる剛支持を表現した。また，樋門下の領域に意図的に空洞（図中赤線で囲んだ部分）を設け，軟弱地盤の沈下に伴う樋門直下の空洞を模擬した。本実験では，樋門周辺の地盤に作用させる水頭を繰返し変化させることによる樋門側面部の土砂の挙動を観察した。図 2 に実験の概要を示す。本実験では，模型地盤に作用する水頭を変化させるための給排水装置（以降 b と称する）と，b に給水するための給水装置 a を用いた（以降 a と称する）。b にはオーバーフローのための排水口を設け，給排水過程での水頭一定を図った。実験中 a のバルブは常に開き，b のオーバーフローを確保する。実験試料は三河珪砂 6 号を用い，実験手順は以下の通りである。(1)珪砂を含水比 2.0%に調整し，間隙比 0.9 となるように各層 2cm 厚ずつ慎重に締固める。(2)層間の境界をなくすため，各層の締固め後に層の表面をほぐす。実験時の変化を確認するため各層の観察面側にカラーサンド（三河珪砂と同粒径：最大粒径 280μm）を敷き，カラーサンドによる境界もなくすため再度層の表面を軽くほぐす。(3)手順(1)，(2)を計 21 層繰り返し行い，模型地盤を作製する。 (4) a，b に十分水を入れ，b の給排水口と試験機の給排水口をチューブでつなげる。a は図 2 に示すように模型地盤を超える所定の高さで固定し，b は模型地盤を超える位置（以降位置①と称す）と樋門模型下に水位が同高となる位置（以降位置②と称す）2 箇所で繰り返し変化させる。試験開始時 b は位置①にある。本実験では実験土槽の底面を基準面とし，x，y は土槽底面からの高さである。また，それぞれの水頭を維持する継続時間を定義する。(5) b の給排水口と試験機の給排水口のバルブを開き，給排水を行う。(6)模型地盤に浸透し始めた時を実験開始時とし，位置①で所定の時間，高水頭を保つ。(7)所定の時間が経過した後，b を位置①から位置②へ移動させ所定の時間，低水頭を保つ。(8)手順(6)と(7)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試験を終了とする。本報では，x=60cm，y=8cm と設定し（水頭差 52cm），所定の継続時間を位置①，位置②共に 30 秒と設定した。

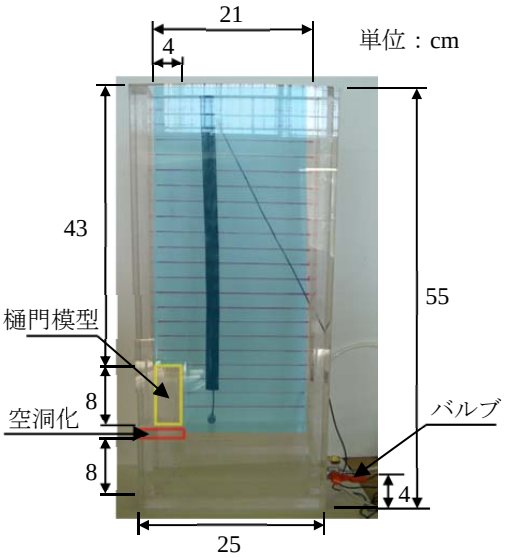

写真 1　模型実験土槽

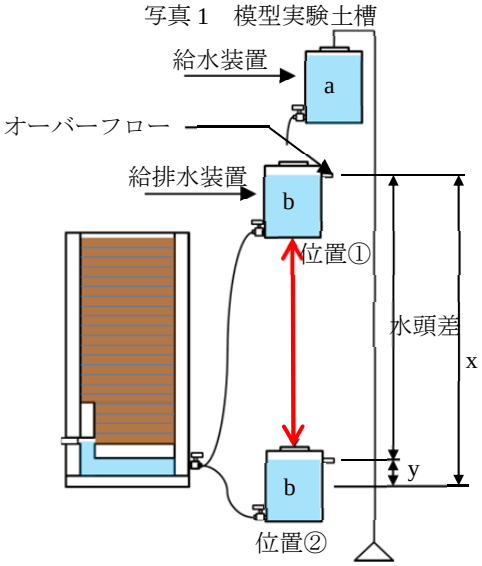

図 2　実験の概要

Model test on generation and development of loosened zone around sluiceway in levee: Takeshi Kodaka, Ying Cui, Tai Nakamura (Meijo University), Kyu-Tae Lee (CTI Engineering Co., Ltd), Fumio Enomoto(Civil Engineering Research Laboratory)

3.　実験結果

図 3 に画像から読み取った位置①および②毎の土試料の流失量の変化を示し，写真 2～7 に模型地盤の初期状態および典型的な変化が観察された時点での様子を示す。図 3 より，位置①－3 回目で模型地盤から土試料が少量に流失するものの，その後位置①での流失はほぼなくなる。位置②－7 回目で多量の土試料の流失が見られ，その後は主に位置②の時に土試料の流失が繰返し発生し，位置①の際には流失が見られない。これは，位置②では水頭の低下により樋門側面部の土試料が吸い出しを受けるためだと考えられる。なお，13 回目以降流失はほぼなくなるが，その原因として写真 1 に示した空洞部分に試料が詰まったことが考えられる。写真 3 より，位置①－3 回目から模型地盤の流失が確認できる。その後，位置②へ移動させた場合，ゆるみ領域・空洞が拡大していることがわかる（写真 4）。また，位置① ～ ②の工程を繰り返し行うことにより，ゆるみ領域・空洞は樋門に沿って上部に拡大していく様子が見られた。写真 5 より位置②－7 回目を過ぎると模型地盤の崩壊により樋門の斜め上に空洞が発生し，写真 6 より模型地盤内のゆるみ領域・空洞は水平方向へと拡大していく様子が確認できる。なお，写真 6 に示す位置②－10 回目以後は，模型地盤内に給水されるものの，模型地盤内の水位はある一定の高さを保ち，ゆるみ領域・空洞も進行しなくなる結果が見られた（写真 6，7）。

別途実施した，位置②での継続時間を定めていなかった実験結果 [2]と比較すると，いずれも樋門側面部の上部に向かってゆるみ領域ならびに空洞が発生・拡大する様子が観察できたが，樋門を超えた後のゆるみ領域・空洞が拡大していく様子に違いが見られた。この要因として，位置②での継続時間が考えられる。本実験では位置②（排水時）の時間を定め，ゆるみ領域から土砂流失の変化が起こる最中でも，30 秒後には位置①（給水時）に移動させたため，その際，ゆるみ領域は給水により押し上げられ，土砂流失は強制的に止められることになる。別途実施した実験では，位置②（排水時）での継続時間は定められておらず，土砂流失が止まるまで給水を行わなかった。以上から，給水時間等浸透条件によって，空洞の形状および進行状況が異なると考えられる。

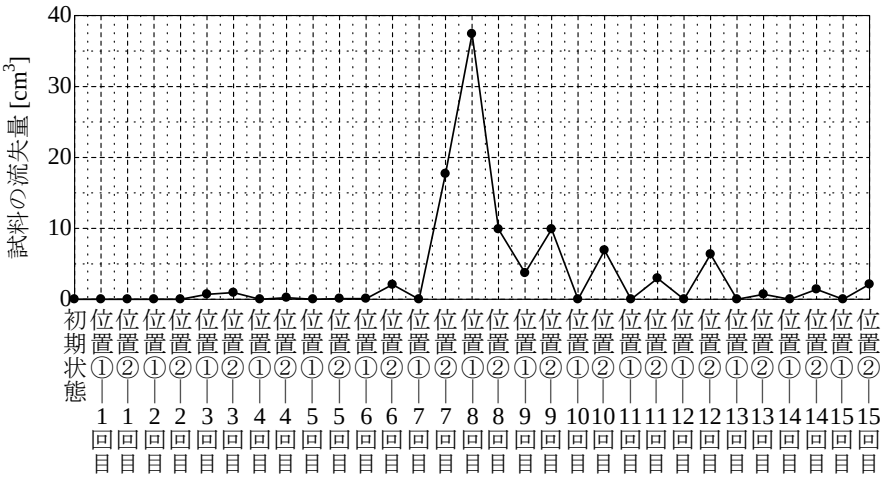

図 3　土試料の流失量

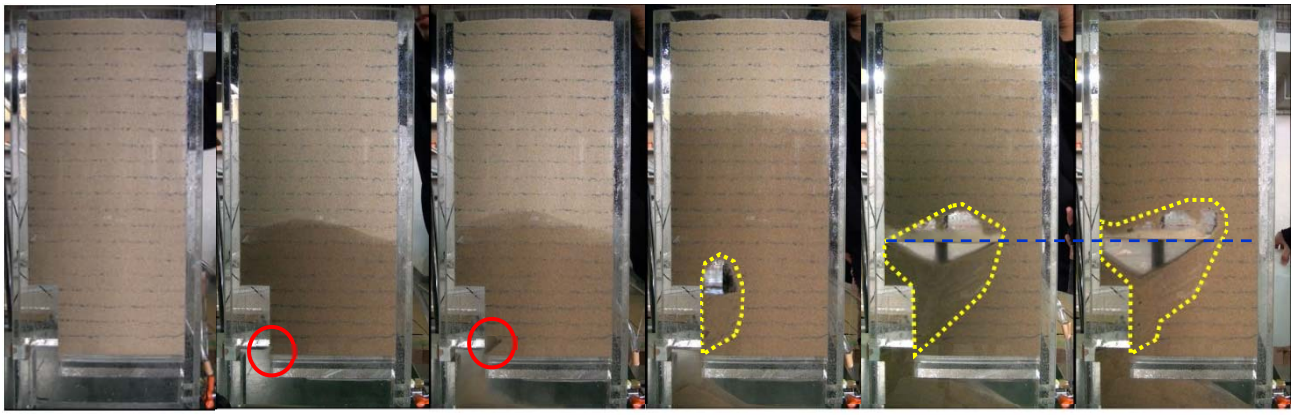

写真 2　初期状態　　写真 3　位置①－3 回目　　写真 4　位置②－3 回目　　写真 5　位置②－7 回目　　写真 6　位置②－10 回目　　写真 7　位置②－15 回目

4.　まとめ

樋門周辺の地盤に作用させる水頭を繰返し変化させることにより，樋門側面部から地盤上部に向かって，垂直方向にゆるみ領域ならびに空洞が発生・拡大する様子が観察できた。また，浸透条件により，空洞の形状が異なる様子も観察された。今後は，模型地盤の粒度組成や間隙比の影響を検討すること，ゆるみ領域・空洞発生時の間隙水圧の変化を把握すること，さらに変形の定量的計測方法の確立など，実験方法や実験条件を詳細に検討しつつ実験を継続してゆく。

なお，本研究は，国交省の河川砂防技術研究開発公募課題「地震・洪水およびその複合災害に対する統合型河川堤防評価技術の開発」の一環で実施しているものである。記して謝意を表する。

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・高橋・李・榎本：堤体内における樋門周辺の空洞化に関する模型実験，平成 24 年度土木学会中部支部研究発表会, 2013.