

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

樋門 模型実験 ゆるみ領域

名城大学

(株)建設技術研究所

(株)鴻池組(元名城大院)

名城大学大学院

国際会員

崔 瑛・小高猛司

国際会員

李 圭太・榎本文勇

正会員

中村太意

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⁾。著者らは、図 2 に示す実験装置を用い、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⁾。本報では、引き続き水圧の変動量や浸透時間、土被り等の実験条件がゆるみ領域や空洞の発生・発達に及ぼす影響について検討した。

2. 模型実験の概要

図 2 に示す実験土槽内に含水比 2%の珪砂 6 号を用いて間隙比 0.9 の実験地盤を作製した。実験土層に連結する水タンクの高さを調整し、樋門模型の下部の隙間から地盤内に間隙水を繰返し流入・排水をさせることにより、樋門周辺地盤に起こる変化を観察する²⁾。表 1 に本報の検討ケースを示す。本実験では、土槽底面を基準面とし、高水頭タンク Tank_H と低水頭タンク Tank_L の位置水頭の差を水頭差と定義する。Tank_L の位置水頭 x はいずれのケースでも 8cm であり、水頭差は、Tank_H の位置水頭 y を変化させることにより調整し、河川増水時に堤体内に生じる樋門周辺の水頭の変化を模擬した。浸透時間 $Time_H, L$ は、高水位と定水位の継続時間で、増水時と減水時を理想化したものであるが、実時間スケールとの直接的な関連はない。土被りは樋門高さの 2 倍(16cm)、3 倍(24cm)および 4 倍(32cm)とした。なお、本実験では表 1 に示す諸条件にて給排水を繰返し、空洞・ゆるみ領域に変化が見られなくなった時点を実験終了時とした。

3. 実験結果

図 3 に、水頭差が異なる 3 ケースにおける実験終了時の模型地盤の様子と、給排水によるゆるみ領域の面積の推移を示す。グラフは、地盤内で典型的な変化が見られた時点でのゆるみ領域の面積をプロットしたものである。各プロットの横軸は左から順番に空洞部と接している模型地盤に初めて空洞が発生した時、その空洞が樋門側面部に拡大した時、樋門の上端部に空洞ができた時、樋門上部地盤に空洞が発生した時、および実験最終時点での給排水の回数である。縦軸は、実験中に撮影した写真から読み取ったゆるみ領域の面積を樋門の面積で無次元化したものである。図より、水頭差が大きいほど空洞・ゆるみが早い段階で出現し、その進行も早い傾向が見られる。

図 4 に、浸透時間 $Time_H$ が実験終了時の空洞・ゆるみ領域の分布およびゆるみ領域の推移に及ぼす影響を示す。 $Time_H$ は、給水タンク

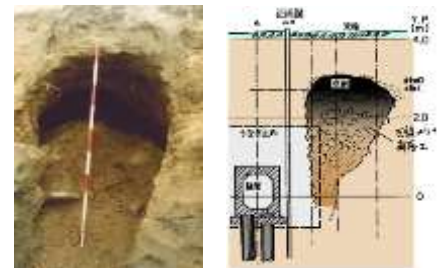


図 1 樋門周辺地盤に発生した空洞

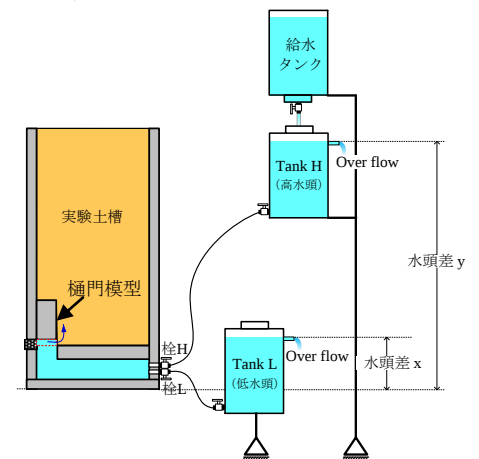
図 2 模型実験の概要²⁾

表 1 実験条件

	地盤材料	水頭差 (cm)	Time_H (sec)	Time_L (sec)	土被り (cm)	初期空洞高 (cm)
Case_0	珪砂のみ	32	30	30	32	1
Case_I_1	珪砂のみ	52	30	30	32	1
Case_I_2		12				
Case_II_1	珪砂のみ	32	60	30	32	1
Case_II_2			10			
Case_III_1	珪砂のみ	32	30	60	32	1
Case_III_2				10		
Case_IV_1	珪砂のみ	32	30	30	24	1
Case_IV_2					16	

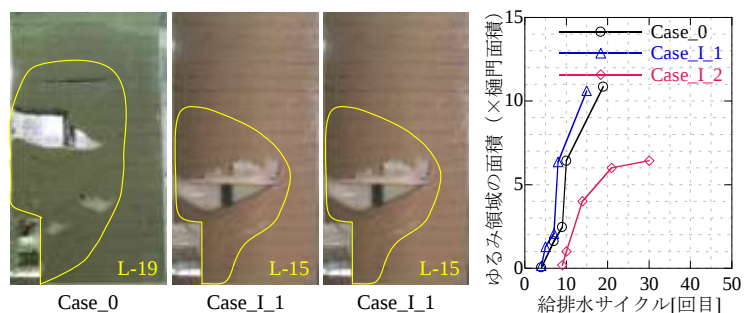


図 3 水頭差による影響

Tank_H からの給水時間であり、豪雨等による増水後の、高水位の維持時間を理想化したものである。浸透時間 Time_H が 30sec と 60sec の両ケースを比較すると、空洞・ゆるみ領域の発達はほぼ同じ傾向を示すことが分かる。一方、Time_H が小さい Case_II_2 はで空洞・ゆるみ領域の発達が遥かに遅く、典型的な地盤の変化が見られるのに所要する給排水回数は、Case_0 の約 3 倍である。これは、Case_II_2 での Time_H は Case_0 の 3 分の 1 であるため、同じ量の水を模型地盤に供給するためには、3 倍の回数が必要であるためだと考えられる。これらの結果から、空洞・ゆるみ領域の発達は模型地盤への給水量に大きく関係すると考えられ、さらに一定範囲内では、給水時間 Time_H が長いほどゆるみ領域・空洞が発生しやすくなると言える。

図 5 は、Case_0 から浸透時間 Time_L のみ変化させたケースにおける、実験最終時点での様子とゆるみ領域の進展状況である。Time_L は、排水タンク Tank_L への排水時間であり、豪雨等により堤防が飽和した後、渇水時の低水位の維持時間を理想化したものである。Case_0 と Case_III_1 では、最終的な空洞・ゆるみ領域の形状には多少差異があるものの、その発生・発達はほぼ同じ進行過程を辿っている。一方、排水時間 Time_L が小さい Case_III_2 は両ケースに比べて空洞・ゆるみ領域の発達が遥かに遅く、空洞・ゆるみが発生する時および実験終了時など典型的な地盤の変化が見られるのに所要する給排水回数は、Case_0 の約 3 倍である。これについても、Time_H と同様、Case_III_2 での Time_L は Case_0 の 3 分の 1 であるため、同じ量の水を排出するためには、3 倍の回数が必要であることが理由と考えられる。

図 6 に、土被りが異なるケースにおける空洞・ゆるみ領域の様子を示す。上に示す Case_0, Case_I~III では土被りが比較的大きい 32cm であるため、水頭差および浸透時間によって多少の差異があるものの、空洞が地表面まで到達することはなかった。一方、土被りを Case_0 の 2 分の 1 とした Case_IV_2 では、空洞が地表面まで発達し、地表面が大きく沈下する現象が見られた。これは、土被りが小さいためアーチ効果が得られず、地盤の変状が字表面まで及んだためだと考えられる。さらに、土被りが最も低い Case_IV_2 の空洞・ゆるみ領域が他のケースより小さい値を示すが、これは Case_IV_2 では土被りが低いため、早い段階でゆるみ領域および空洞が地表面まで達し、変形できる領域が限定されたためであると考えられる。空洞・ゆるみ領域が地表面まで達していない Case_0 と Case_IV_1 を比較すると、土被りが低い Case_IV_1 のほうが空洞・ゆるみ領域の進行が速く、その面積も大きい結果が見られた。これらの結果より、堤体内の樋門の位置関係によって、土被りが比較的大きい場合には、地盤内のアーチ効果により、地表面に変状が現れないまま空洞が存在している可能性が示唆される。

4. まとめ

本実験では、樋門周辺の地盤に作用させる浸透力を繰返し変化させることにより、樋門周辺にゆるみ領域ならびに空洞が発生・発達する様子を観察し、水頭差、浸透時間、土被りなど主要なパラメータによる影響とそのメカニズムについて検討を行った。実験により、いずれの条件においてもゆるみ領域や空洞は、樋門下部の空洞部から樋門側面部、そして地盤上部に向かって、垂直方向に発生・発達し、樋門直上の地盤まで拡大する様子が確認できた。また、水頭差が大きいほど、樋門周辺に発生する空洞・ゆるみ領域の発達が早く、その進み具合は主に給水量により定まる結果が見られた。一サイクルでの給水時間が長くなるほど、樋門周辺の空洞・ゆるみ領域は早く発生・発達する。さらに、土被りが少ない場合、空洞は地表面まで発達する現象が見られたが、土被りが比較的大きい場合は地表面での変状が見られない場合でも、地中に大きい空洞が存在する可能性があることが分かった。

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.

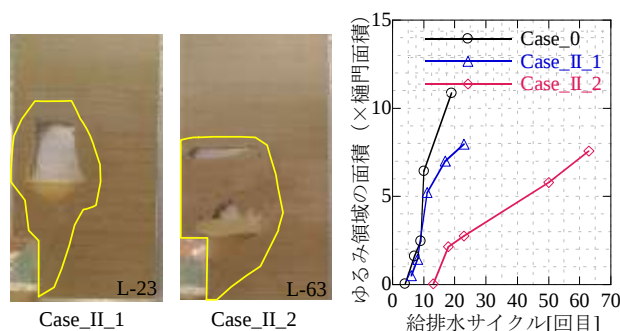


図 4 浸透時間 Time_H による影響

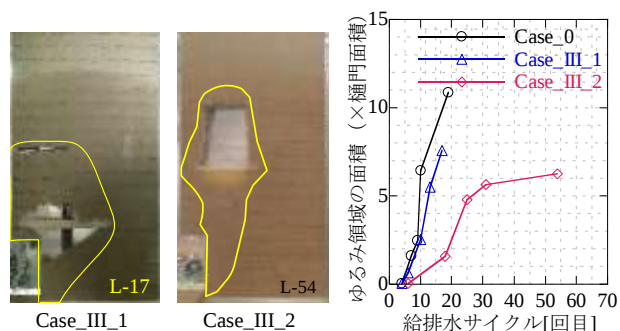


図 5 浸透時間 Time_L による影響

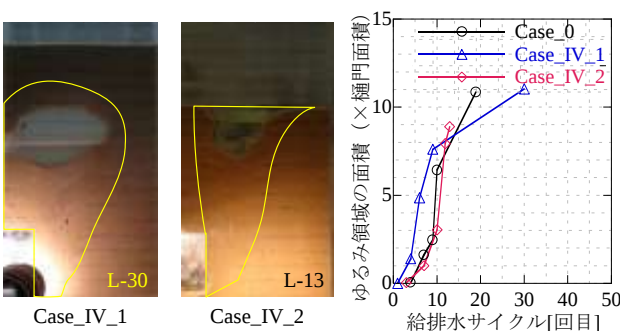


図 6 土被りによる影響