# 2.4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞対策選定手法に関する研究

研究予算:運営費交付金(治水勘定) 研究期間:平18~平20 担当チーム:材料地盤研究グループ(土質)

研究担当者:小橋秀俊、古本一司、齋藤由紀子

吉田直人

【要旨】

河川堤防を横断して設けられる樋門・樋管構造物の周辺では空洞やゆるみが生じる事例があり、これらは洪水 時の浸透に対する堤防の安全性に重要な影響を及ぼすため、効果的な対策工法の確立が求められている。19年度 は、樋管周辺堤防における強化工法の効果確認を目的とした模型実験、ならびに水位変動に伴う底版下の地盤の 土砂吸出し現象に関する基礎実験を行った。その結果、樋管周辺堤防の浸透に対する強化工法として遮水矢板工 法や押え盛土工法の有効性を確認した。また、樋管底版下の地盤の土砂吸出し現象に関して、地盤の密度より土 質の影響が大きい傾向を明らかにした。

キーワード:河川堤防、樋管、浸透、漏水、空洞

#### 1. はじめに

河川堤防を横断して設けられる樋門・樋管構造物(以 下、樋管という)の周辺では、洪水時に堤体との境界部 で浸透流が卓越し水みちが形成されやすく、特に、軟弱 地盤上に杭により支持された樋管周辺においては、空洞 やゆるみが生じる事例が多く、これらは洪水時の浸透に 対する堤防の安全性に重要な影響を及ぼすため、効果的 な対策工法の確立が求められている。

本研究では、空洞・ゆるみ対策とその選定手法の提案 を目的としている。19年度は、樋管周辺堤防における強 化工法の効果確認を目的とした模型実験を行った。また、 水位変動に伴う底版下の地盤の土砂吸出しにより、空洞 が拡大する現象について、基礎実験を行った。

#### 2. 検討方法

#### 2.1 樋管周辺の空洞対策に関する模型実験

河川堤防の構造検討の手引き<sup>11</sup>に示されている対策工 法のうち、a)遮水矢板工法、b)押え盛土工法、を対象に 模型実験を実施した。

## (1)実験の概要

実験模型断面を図-1に示す。いずれのケースも、厚さ 1.4mの基礎地盤内に、樋管を模擬したカルバート(幅 45×高さ46×長さ200cm、3連)を設置し、杭により剛 支持させた。基礎地盤の上には、高さ1.1m、のり勾配1:2 の半断面の堤体を製作した。使用材料の土質特性を表-1 に示す。模型の製作にあたっては、締固め度が90%程度 となるように締固めを行った。

a)遮水矢板工法では、図-1に示す位置に矢板を模擬 した合板(縦126×横145cm,厚さt=24mm)を函体 を取り囲むように設置した後、基礎地盤と堤体を作製し た。b)押え盛土工法では、半断面の堤体を作製後、高さ 0.3m、のり勾配1:2の押え盛土を作製した。押え盛土の 土質と締固め度は、堤体とほぼ同じである。



図-1 模型実験断面

表-1 使用材料の土質特性							
	土質材料	山砂	川砂				
土粒子(	D密度 ρ 。(g/cm³)	2.725	2.706				
粒度 構成	礫分(%)	0.0	11.4				
	砂分(%)	95.9	87.3				
	シルト・粘土分(%)	4.1	1.3				
締固め	$\rho_{\rm dmax}(g/cm^3)$	1.685	1.681				
特性	w <sub>opt</sub> (%)	17.6	18.6				

(2) 実験手順

実験は、1)基礎地盤の強制沈下によるゆるみの発生、2) 湛水実験による強化工法の効果確認、の手順で実施した。 いずれのケースでも基礎地盤の沈下が継続していない場 合を想定し、1)→2)の工程を2回繰り返した。

1) ゆるみの発生 基礎地盤には、図-1に示すように底 部に発泡スチロール(1段あたり最大厚さtmax=5cm,の り尻に向けて厚さを減少させた)を2段に分けて敷設し、 リモネン液を1段あたり15リットル注入し、発泡スチロ ールを溶解させることで地盤沈下を再現した。その後、堤 体表面、樋管下での沈下量を測定した。

2) 湛水実験 1)の終了後、函体下面まで十分飽和させた 後、0.15~0.2m 間隔で段階的に給水槽の水位を上昇させ た。湛水1回目の最高水位は、a)においてレーンの加重 クリープ比による評価方法 <sup>1</sup>に基づきパイピング破壊が 発生しないよう設定した水位(基礎地盤面+0.6m)まで とした。2回目の最高水位は天端付近(基礎地盤面+ 0.9m)までとした。実験中は、函体下の水頭をマノメー タおよび間隙水圧計を用いて計測した。終了後は給水槽 の水位を低下させ、堤体内のゆるみ発生状況を把握する ため沈下量を測定するとともに、土検棒<sup>2</sup>を用いた貫入 試験を行った。

## 2.2 樋管周辺地盤の土砂吸出し現象に関する模型実験

樋管の函体と地盤との境界における空洞発生後の土砂 吸出し現象を把握するため、基礎的な実験を行った。

(1) 実験の概要

実験模型断面を図-2に示す。実験は、幅 300mm、 高さ200mm、奥行き50mmの土槽を用いて行った。模 型地盤は高さ100mmとし、地盤を十分飽和させるため、 土槽下部と側部から水の浸透が可能な構造とした。 樋管 は、杭基礎による剛支持を想定しているため、樋管下に 高さ5mmの空洞が生じる位置で土槽に固定した。 流出 ロのゲートは可動式とし、土砂の吸出し状況に合わせて 拡大できるようにした。

実験ケースを表-2に示す。地盤材料には、細粒分含 有率などが異なる9種類の材料を使用した。各土質材料 の粒径加積曲線を図-3に示す。山砂のケースは、密度 の条件を変化させて3ケース実施した。なお、カオリン 粘土のケースでは、飽和時に地盤が大きく沈下し、作製 時の密度を維持できなかった。

(2) 実験手順

実験は、1)模型地盤の飽和、2)吸出し実験、という手順で実施した。模型地盤の飽和は、地盤材料によって半日から数日程度かけて実施した。吸出し実験では、河川水位の変動を模擬するため、動水勾配が0.5となる水位を5分間維持し、その後1分間の水位低下時間を設けた。動水勾配0.5と水位低下の一連の作業を1サイクルとし、最大12サイクル繰り返し、サイクル毎に吸出された土砂を採取・測定した。



図-2 土砂吸出し実験の概要

表-2 吸出し実験の条件一覧

		土粒子の密度	細粒分含有率	乾燥密度	締固め度	相対密度
	実験ケース	ρs	Fc	ρd	Dc	Dr
		$(g/cm^3)$	(%)	$(g/cm^3)$	(%)	(%)
1	3号珪砂	2.601	0.0	1.601	I	80.0
2	豊浦砂	2.605	0.0	1.570	100.0	77.1
3	豊浦砂+シルト5%	2.603	4.8	1.623	100.7	79.4
4	豊浦砂+シルト10%	2.639	9.2	1.674	102.4	78.8
5	豊浦砂+シルト20%	2.661	16.7	1.760	103.7	78.8
6	豊浦砂+シルト50%	2.683	50.0	1.810	98.7	79.5
7	シルト	2.769	100.0	1.334	87.0	78.8
8	カオリン粘土	2.544	100.0	0.395	-	104.3
9	山砂 (Dr=60%)	2.662	11.1	1.358	77.0	60.0
10	山砂 (Dr=80%)	2.662	11.1	1.430	81.1	79.9
11	山砂 (Dr=100%)	2.662	11.1	1.510	85.6	99.8



## 3. 検討結果

## 3.1 樋管周辺の空洞対策に関する模型実験

(1) ゆるみの発生状況

図-4に天端での沈下量を示す。いずれのケースでも 樋管直上部に比べて周辺部が沈下している。また、実験 工程の進行にしたがって沈下量が大きくなる傾向が認め られた。これは、基礎地盤の沈下によって堤体内に空洞 やゆるみが発生し、さらに湛水によって堤体内で土砂移 動が起こったためと考えられる。

## (2) 浸透に対する強化工法の効果

a) 遮水矢板工法 1回目の湛水実験では、水位が基礎地 盤面+0.4mに達したときに堤体ののり尻付近が潤みはじ めたが、パイピング等は発生しなかった。また、2回目の 湛水実験でも同じく基礎地盤面+0.4mでのり尻付近が潤 みはじめ、+0.9mでのり尻付近の一部で表層すべりが見 られたが、漏水等は発生しなかった。このことから、今回 の材料(川砂:粗砂主体, CL=5.0)ではレーンの式にお ける加重クリープ比による評価が妥当かやや安全側であ ったと考えられる。

図-5に矢板周面および樋管下に設置したマノメータ から得た水位を示す。同図には無対策におけるパイピング 発生時(水位=基礎地盤面+0.9m,湛水開始後60分)の 水位も図示した。遮水矢板を設置することで、無対策の場 合に比べて水位が低下し、その結果、パイピングが防止さ れたと考えられる。また、のり尻での鉛直方向の局所動水 勾配は最大で*i*,=0.37であり、河川堤防におけるパイピン グの評価基準(×0.5)<sup>10</sup>を満足している。また、水位低下後 に実施した土検棒での貫入試験結果では、漏水等が発生し なかったためか、局所的に強度の低い部分が存在するもの の、明確なゆるみ・空洞等の存在は認められなかった。

b) 押え盛土工法 1回目の湛水実験では、基礎地盤面+ 0.6mで押え盛土ののり尻付近が潤みはじめたがパイピン グ等は発生しなかった。2回目も同様の傾向が見られ、基 礎地盤面+0.9mで押え盛土上に水が溜まったが、漏水等 は発生しなかったが、水位の上昇にともない天端やのり面 のクラックが拡大した。

図-6に樋管下に設置したマノメータの計測値および 押え盛土のり尻に設置した間隙水圧計の値を示す。無対 策の場合でのパイピング発生時の水位を上回っているに も関わらず、パイピングが発生しなかったことがわかる。 また、給水槽から 2.7m までは概ね同程度の水位を示す ことから、空洞やゆるみ範囲が連続して存在するものと 推定された。そのため、(押え盛土ではなく) 堤体ののり 尻における水位は遮水矢板工法での結果と比べて大きい ことがわかる。また図-6に、水位低下後に実施した土 検棒での貫入試験結果を示すが、天端付近では堤体上部 で強度の低い部分が連続しており、ゆるみの発生が推定 された。



## 3.2 樋管周辺地盤の土砂吸出し現象に関する模型実験

累積吸出し十砂量のサイクル毎の変化を図-8に示す。 地盤材料により,吸出される土砂量は異なることがわか る。今回実施した実験ケースの中では、豊浦砂の吸出し 土砂量が最も多く、3号珪砂、カオリン粘土は、ほとん ど吸出しが生じなかった。また、山砂で密度条件が異な る3つのケースを比較すると土砂吸出し量がほとんど変 わらないことがわかる。今回の密度の範囲では、吸出し に与える影響は小さいといえる。

図-9に実験終了時の吸出し土砂量の合計と細粒分含 有率の関係を示す。3号珪砂を除くと細粒分含有率が高 いほど、吸出し量が少ない傾向が見られた。また、細粒 分が少ない地盤材料では急速な空洞の進展が起こりやす いとの傾向も報告されている3。3号珪砂については、 十粒子の移動がほとんど観察されなかったことを勘案す ると、吸出し現象は、ある限られた粒度分布の地盤で生 じやすい傾向があることが推定される。







図-9 吸出し土砂量の合計と細粒分含有率

## 4. まとめ

- ・模型実験の結果、地盤沈下により樋管下の空洞を確認 するとともに堤体内でゆるみが発生することが想定さ れた。
- ・樋管周辺堤防の浸透に対する強化工法として遮水矢板 工法や押え盛十工法の有効性を確認した。
- ・押え盛土では大きなクラックも発生しており、内部で 水圧の高い状態が保たれていると考えられることから、 想定以上の外力があった場合は、堤防が急激に不安定 化するおそれがある。
- ・樋管と周辺地盤との境界における土砂吸出し現象は、 地盤の密度よりも土質の影響が大きい傾向を明らかに した。

今後は引き続き、樋管周辺堤防におけるゆるみ・空洞 の発生状況とそれに応じた安定度評価手法や、ゆるみ・ 空洞に対する効果的な対策手法について、検討を進める 予定である。

# 参考文献

1)財団法人国土技術研究センター:河川堤防の構造検討の手引 き 2002

2) 佐々木ら:斜面の土層深さとせん断強度の簡易試験法の開発、 平成14年度応用地質学会論文講演集, pp359-362, 2002.

3) 桑野ら: 下水管渠の破損に伴う土砂の流出特性,土木技術資料, Vol.49, No.2, pp.60~65, 2007.

# A STUDY ON COUNTERMEASURE FOR CAVITY AROUND SLUICE PIPE IN RIVER LEVEE

**Abstract** : The sluice pipe which is installed across the river levee is important structure for flood control. However, it may be found a void between the sluice pipe and its basement/levee, especially which is supported by pile. Such cavity may generate the piping phenomenon around sluice pipe. In this research, we figured out the generating mechanism of the cavity and evaluated the structural health of the river levee around sluice pipe by the model tests.

Key words : river levee, sluice pipe, seepage, water leakage, cavity