

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定（治））
研究期間：平 18～平 20
担当チーム：土質・振動チーム
研究担当：杉田秀樹、森 啓年、齋藤由紀子

【要旨】

樋門・樋管構造物の周辺では空洞・ゆるみを生じる事例があり、洪水時の浸透に対する堤防の安全性に重大な影響を及ぼす可能性があるため、その適切な評価と効果的な対策工法の確立が求められている。本研究は、実際の樋門・樋管周辺堤防で実施した調査結果より空洞・ゆるみ状況の把握、樋門・樋管下の空洞対策工法の効果確認を目的とした模型実験、樋門・樋管上のゆるみが浸透に与える影響把握を目的とした模型実験および3次元浸透流解析を実施した。その結果、現地の樋門・樋管周辺堤防における樋門・樋管の空洞・ゆるみの発生頻度・分布幅・連続性が確認できた。また、樋門・樋管下の空洞対策工法の有効性、樋門・樋管上のゆるみが浸透線に与える影響について評価することができた。
キーワード：河川堤防、樋管、浸透、ゆるみ、空洞

1. はじめに

樋門・樋管構造物（以下、樋管という）の周辺、特に、軟弱地盤上に杭により支持された樋管周辺では、樋管下の空洞、樋管上の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大な影響を及ぼす可能性がある。

図-1に樋管周辺堤防の空洞・ゆるみ発生メカニズムを示す。樋管下の空洞は、グラウト注入により空洞充填する対策が主流である。しかし、樋管上のゆるみが浸透に与える影響は不明であるのが現状である。

本研究では、①実堤防で行われた調査結果から樋管周辺部の空洞・ゆるみ発生状況に関する検討、②樋管下の空洞発生状況および強化工法の効果に関する検討、③樋管上のゆるみ発生状況および3次元浸透流解析による浸

透安全性に関する検討を行った。

2. 検討方法

2. 1 樋管周辺堤防の空洞・ゆるみ領域に関するデータ分析

本研究に用いたデータは、国土交通省武雄河川事務所による「樋管周辺空洞化対策事業（平成14年度～平成18年度）」で実施したものである。なお、対象水系は、嘉瀬川水系、六角川水系および松浦川水系である。

（1）樋管下の空洞

データ分析は、実際の樋管周辺河川堤防で実施した調査結果を収集して行った。対象とした樋管総数は425箇所である。

一般に樋管周辺堤防は、河川堤防を横断する構造物と地盤の境界部に空洞を生じやすい。このような現象は、軟弱な基礎地盤上に樋管が設置されているような場合、基礎地盤の沈下に伴って発生する。そこで、本調査では樋管下の空洞化対策を行うに先立ち、以下のような手順をふまえ、樋管下に空洞を有する要対策樋管の抽出を行っている。

1次診断（樋管周辺の変状、沈下状況等の外観調査）を実施し、1次診断で変状が確認された場合あるいは1次診断のみで判断ができない場合については、2次診断（ファイバースコープによる空洞量調査）を実施する。このような手順を経て、樋管下に空洞を有する樋管は要対策樋管として抽出される。

（2）樋管上のゆるみ

樋管下に空洞を有する要対策樋管は、グラウト材を注

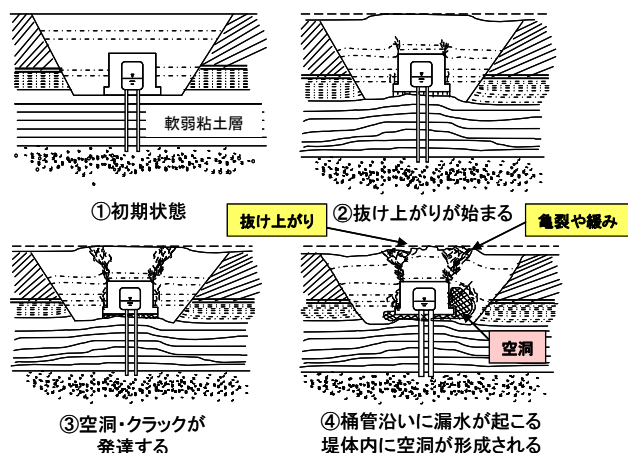


図-1 樋管周辺堤防の空洞・ゆるみ発生メカニズム
(出典：中島秀雄著、「河川堤防」より)

入する範囲を把握するためウェーゲン式サウンディング試験（以下、SWS 試験という）を実施することで、樋管上のゆるみ調査を実施している。

SWS 試験位置は、樋管端部から 0.5m、1.5m および 3.5m 離れた位置を原則として、3.5m 離れた位置でゆるみが確認された場合、5.5m 離れた位置で追加実施した。

本研究ではゆるみ領域として、SWS 試験時に自沈（回転力を加えず、おもり荷重のみで貫入）した範囲とした。このようなデータ分析を行うことで、樋管上におけるゆるみ領域の分布幅、ならびに深度方向の連続性を把握することが可能となる。

2. 2 樋管下の空洞に関する実験的検討

樋管下の空洞としてはグラウト注入による空洞充填が広く普及しているが、他工法の効果確認を目的として押え盛土工法、遮水矢板工法の 2 対策工法について模型実験を実施した。押え盛土工法は、土工のみであり施工性に優れるとともに安価である点より選定した。遮水矢板工法は、樋管周辺部の空洞・ゆるみに対して局所的に対策を行い水みちの遮断ができることに加え、押え盛土工法と異なり堤内地側に用地確保を要しないことから選定した。

2. 2. 1 無対策に関する実験的検討

(1) 実験の概要

実験模型断面を図-2に示す。厚さ 1.1m の基礎地盤内に、樋管を模擬したプレキャストボックスカルバート（幅 45×高さ 46×長さ 200cm、3 連、以下樋管という）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

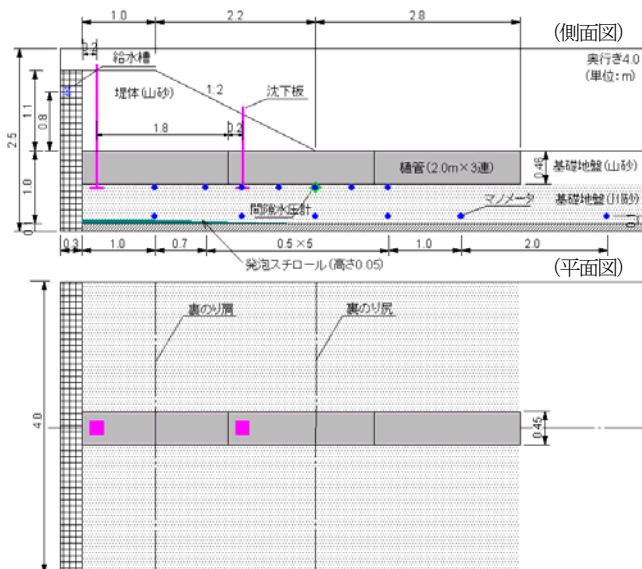


図-2 実験模型断面（無体策）

表-1 土質特性

土質材料		山砂	川砂
土粒子の密度 (g/cm ³)		2.725	2.706
粒度構成	礫分 (%)	0.0	11.4
	砂分 (%)	95.9	87.3
	細粒分 (%)	4.1	1.3
締固め特性	ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.685	1.681
	W_{opt} (%)	17.6	18.6

度が 90%程度となるように締固めを行った。

基礎地盤底部には、強制沈下させる為の発泡スチロール（1 段あたり最大厚さ $t_{max}=5\text{cm} \times 1$ 段、のり尻にかけて厚さを減少）を敷設した。

(2) 実験手順

1) 樋管下における空洞の発生 基礎地盤底部の発泡スチロールは、リモネン液を 15リットル注入し、沈下させた。天端沈下量については、定点測量を実施した。

2) 湛水実験 1)の終了後、初期条件として 72 時間かけて樋管下面までを十分飽和させた。その後、パイピングに至るまで給水槽水位を上昇（上昇速度：1m/h）させた。

実験中は、樋管下の水頭をマンメータおよび間隙水圧計を用いて計測した。

パイピング発生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、土層強度検査棒¹⁾（以下、土検棒という）を用いた貫入試験を行った。

2. 2. 2 押え盛土工法に関する実験的検討

(1) 実験の概要

実験模型断面を図-3に示す。基本的な仕様は、2. 2. 1 同様であるため、異なる点のみを以下に示す。

基礎地盤高さを 1.4m に変更した。半断面堤防を作成後、高さ 0.3m、のり勾配 1:2 の押え盛土を作成した。

基礎地盤底部には、強制沈下させる為の発泡スチロール（1 段あたり最大厚さ $t_{max}=5\text{cm} \times 2$ 段、のり尻にかけて厚さを減少）を敷設した。

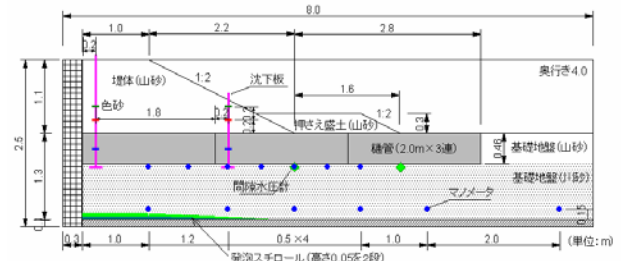


図-3 実験模型断面（押え盛土工法）

(2) 実験手順

実験手順は、2. 2. 1 と同様であるため、異なる点のみを以下に示す。

実験は、強制沈下 5cm の状態および強制沈下 10cm の状態の 2 段階に対して、その都度、湛水させた。

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

基礎地盤飽和後、0.15～0.2m 間隔で段階的に給水槽水位を上昇させた。湛水1回目の最高水位は、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。

2. 2. 3 遮水矢板工法に関する実験的検討

(1) 実験の概要

実験模型断面を図-4に示す。基本的な仕様は、2. 2. 2同様であるため、異なる点のみを以下に示す。

図-4に示す位置に矢板を模擬した合板（縦 126×横 145cm，厚さ $t=24\text{mm}$ ）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。

(2) 実験手順

実験手順は、2. 2. 2同様である。

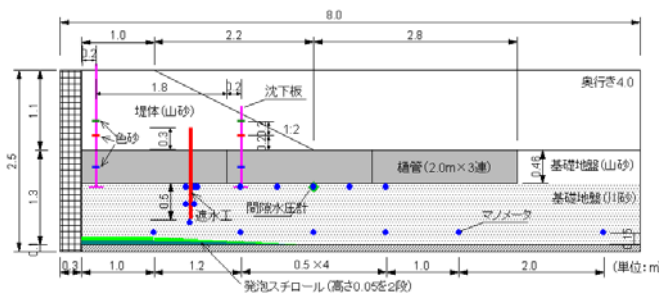


図-4 実験模型断面（遮水矢板工法）

2. 3 樋管上のゆるみに関する実験・解析的検討

樋管上のゆるみ領域が浸透に与える影響は明確になっていない。そこで、樋管上部のゆるみ発生状況、ならびに洪水時の安定性を把握するための模型実験、模型実験をもとに樋管上にゆるみを想定した3次元浸透流解析を実施した。

2. 3. 1 樋管上のゆるみに関する実験的検討

(1) 実験の概要

実験模型断面を図-5に示す。基本的な仕様は、2. 2. 2同様であるため、異なる点のみを以下に示す。

沈下は樋管直下を除く、樋管周辺部に対して実施した。このような仕様にした理由は、樋管下にグラウト充填を行い、樋管上のみゆるみが発生した状態を表現するためである。

のり尻部には、ゆるみ発生前の湛水による堤体地盤の崩壊を避ける目的で、ドレーンを数幅0.74mで設置した。

(2) 実験手順

実験手順は、2. 2. 2同様であるため、異なる点のみを以下に示す。

実験は、発泡スチロールによる強制沈下無しの状態、強制沈下5cmの状態および強制沈下10cmの状態の3段階に対して、その都度、湛水させた。

基礎地盤飽和後、1時間かけて給水槽水位を2.30m（基

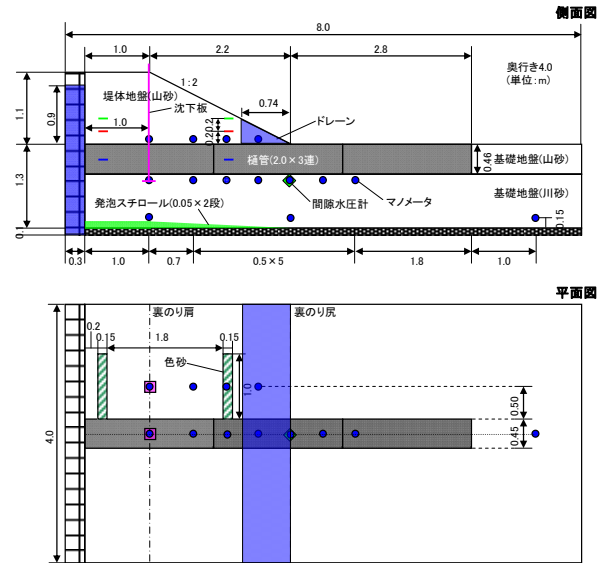


図-5 実験模型断面（樋管上部にゆるみ）

礎地盤上面+0.90m）まで上昇させた。

2. 3. 2 樋管上のゆるみに関する解析的検討

3次元浸透流解析モデルは、2. 3. 1の模型実験モデルを用いて、メッシュ幅5cmとして作成した。

解析モデルは、ゆるみ領域の有無、ゆるみ領域の形状、ゆるみ領域の透水性に着目して設定した。表-2に解析モデルに設定した物性値一覧を示す。Case1は、ゆるみ領域を有するCase2と浸潤面の上昇過程、定常状態を比較することを主目的として実施した。Case2は、2. 3. 1の実験終了時に実施した土検棒によるゆるみ領域調査の結果をそのまま反映したものである。

表-2 解析モデルに設定した物性値一覧

Case		1	2
条件		ゆるみ無	ゆるみ有 実験結果を反映
山砂	透水係数 (m/s)	1.00E-05	
	有効間隙率	0.2	
	比貯留係数	1.00E-04	
川砂	透水係数 (m/s)	1.00E-04	
	有効間隙率	0.2	
	比貯留係数	1.00E-04	
ローム	透水係数 (m/s)	1.00E-08	
	有効間隙率	0.1	
	比貯留係数	1.00E-03	
ドレーン	透水係数 (m/s)	1.00E-02	
	有効間隙率	0.2	
	比貯留係数	1.00E-04	
樋管	透水係数 (m/s)	1.00E-12	
	有効間隙率	0.1	
	比貯留係数	1.00E-03	
ゆるみ	透水係数 (m/s)	-	1.00E-03
	有効間隙率	-	0.2
	比貯留係数	-	1.00E-04

3. 検討結果

3. 1 樋管周辺堤防の空洞・ゆるみ領域に関するデータ

分析

(1) 樋管下の空洞調査

対象樋管総数は425箇所であり、その内1次診断実施樋管407箇所、2次診断実施樋管173箇所、樋管下に空洞を有するとして要対策樋管として抽出されたのは152箇所であった。つまり、要対策樋管は、対象樋管総数の約4割程度に及んだ。

(2) 樋管上のゆるみ領域の分布範囲

樋管に対して実施したSWS試験総数は5073箇所であり、ゆるみを有する（SWS試験時におもり荷重のみで自沈する）SWS試験数はその内約6割に及ぶ結果であった。

データ分析結果は、川裏のり肩付近～川裏小段で実施したSWS試験結果に着目して行った。ゆるみ領域に関する基準位置を図-6に示す。深度方向については、樋管上方部を基準として、それ以浅をプラス領域、それ以深をマイナス領域とする。横方向については、樋管側方部を基準として右側をマイナス領域、左側をプラス領域とする。

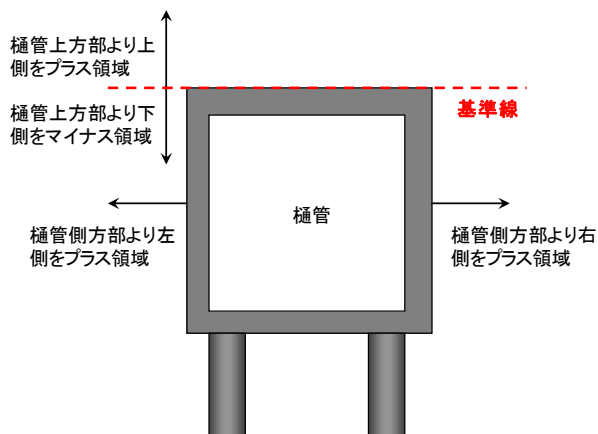


図-6 ゆるみ領域に関する基準位置

樋管上方部を基準としたゆるみ領域上端の頻度分布図を図-7に示す。ゆるみ上端位置は、一概に特定の傾向を認めず樋管ごとで様々である。データ数50以上の分布範囲に着目すると、ゆるみ上端位置は+3.5m～-2.0mとなる。これより、樋管上のゆるみは、樋管上方部より上

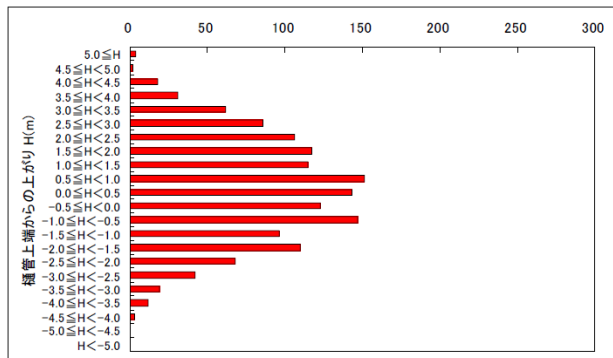


図-7 ゆるみ領域上端の頻度分布図

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

方向に3.5m程度のゆるみを有する結果となった。また、ゆるみ領域は、SWS試験を実施した樋管高さが概ね3.0m程度であったことより、樋管側方部についても観測される傾向にある。ただし、ここで得られた樋管上のゆるみは、基礎地盤の沈下に伴うゆるみだけではなく、樋管施工時の埋め戻し等の影響も受けている可能性についても留意されたい。

ゆるみ領域連続性の頻度分布図を図-8に示す。ゆるみ領域の連続性は、50cm未満のデータが大半を占めており、非常に顕著な傾向が示唆される。ただし、ゆるみ領域の連続性は50cm未満が主であるが、深度方向に不規則にゆるみ領域を複数箇所もつSWS試験結果も多く認められた。

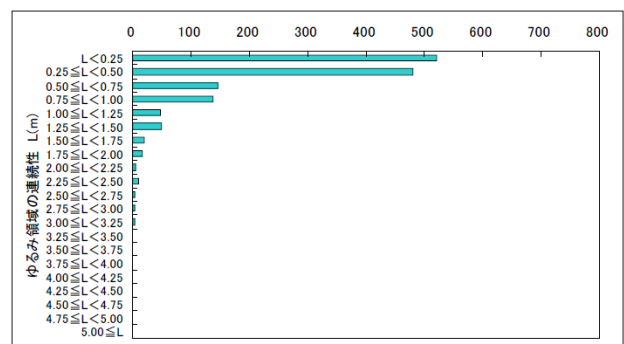


図-8 ゆるみ領域連続性の頻度分布図

ゆるみ領域の分布図を図-9に示す。ゆるみ領域の分布幅は樋管側方部より2.5m離れた位置まではゆるみ領域が分布する傾向がうかがえる。特に、樋管側方部からの離れ0.5mまではゆるみデータ数が非常に多く、ほとんどの要対策樋管でゆるみが観測されているような状態にある。また、樋管上のゆるみ領域は、樋管上方部より上方に3.5m程度までゆるむ傾向にある。これらより、ゆるみ領域は、樋管上方部より55度程度の勾配をもち広がる傾向にある。

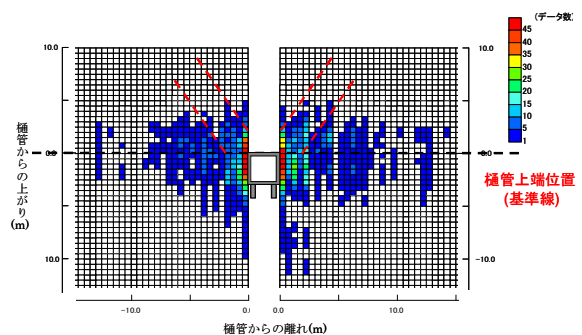


図-9 ゆるみ領域の分布図

3. 2 樋門下の空洞に関する実験的検討

3. 2. 1 無対策に関する実験的検討

(1) 樋管下における空洞の発生状況

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

図-10に天端での沈下量を示す。図から樋管上部は殆ど沈下せず、周辺が沈下している様子が分かる。また、樋管下の沈下量は4.5cmであったことから、樋管下に空洞が生じていることが予想された。一方、天端での沈下量は、地盤沈下量5cmに対し最大で2cm程度であることから樋管上にゆるみが発生していることが予想された。

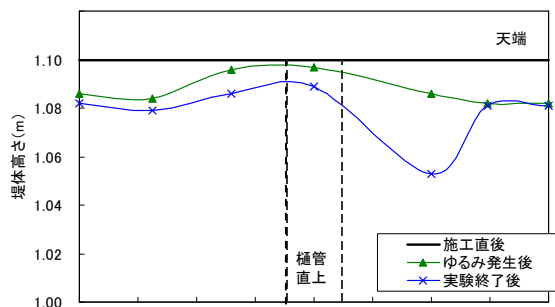


図-10 天端での沈下量

(2) 浸透時のパイピング発生状況

給水層水位を上昇させ始めてから52分後に堤体のり先約80cmの樋管近傍から徐々に漏水が始まった。そして、82分後に噴砂が顕著となった。その後、噴砂規模がさらに拡大しつつ、発生位置が徐々に堤体に近づいたところで実験を終了した。

漏水開始時並びに噴砂が顕著となったときの堤体のり尻直下で樋管の下に設置した間隙水圧計により計測した間隙水圧の値をそれぞれ図-11に示す。間隙水圧の値は、給水層の水位上昇とほぼ同じくらいの速度で上昇し

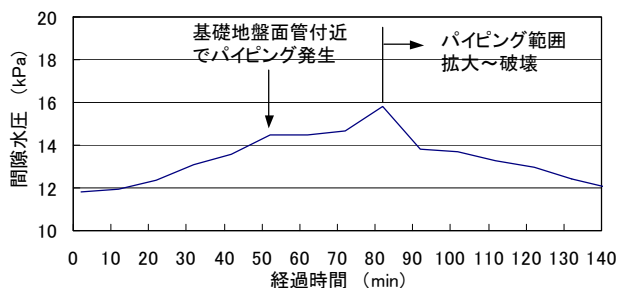


図-11 間隙水圧の変化

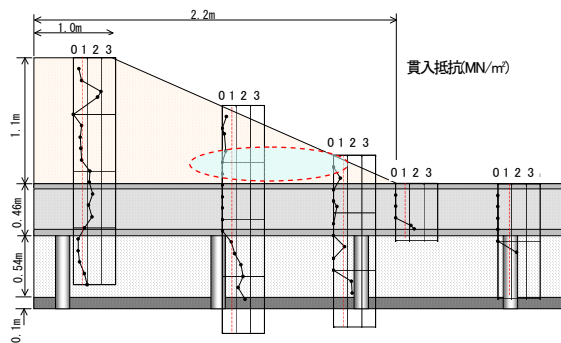


図-12 水位低下後の貫入抵抗分布

ていることから、樋管下に発生した空洞により浸透が助長されていることが確認された。

図-12には、水位低下後に実施した貫入試験の結果を示す。実験終了後、のり尻付近で堤体の小規模な陥没が発生したが、貫入試験の結果からのもり尻付近の樋管上で(図-12の網掛け部)で大きなゆるみ領域が発生していることが予想された。これは噴砂による基礎地盤材および堤体材の吸い出しが主な原因と考えられる。

3. 2. 2 押え盛土工法に関する実験的検討

(1) 樋管下における空洞の発生状況

図-13に天端での沈下量を示す。押え盛土工法では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若干ではある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下に空洞、堤体上にゆるみが発生し、湛水によっていわゆる水締めが起こったためと考えられる。

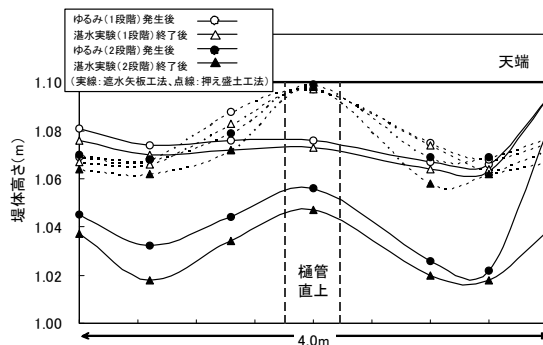


図-13 天端での沈下量

(2) 浸透に対する押え盛土工法の効果

1回目の湛水実験では、基礎地盤面+0.6mで押え盛土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

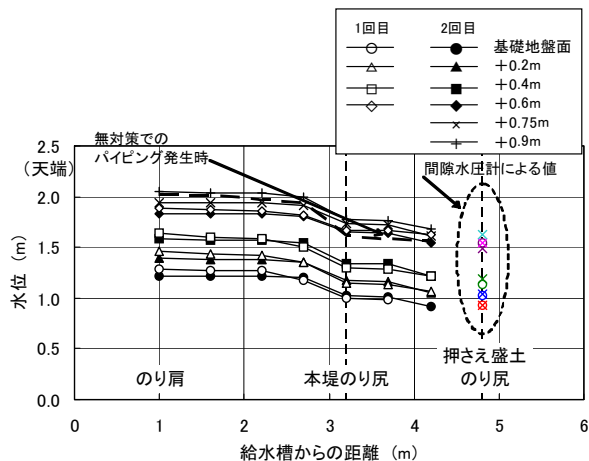


図-14 押え盛土工法での樋管下の水位

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

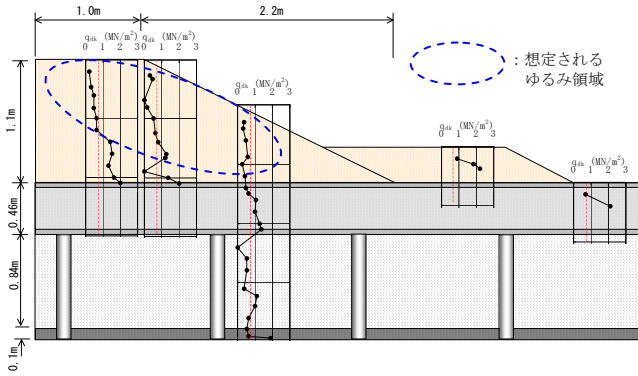


図-15 水位低下後の貫入抵抗分布

拡大した。

図-14に樋管下に設置したマン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。給水槽から2.7mまでは概ね給水槽と同程度の水位を示すことから、樋管下に空洞が連続して存在するものと推定された。ただし、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。これらの結果より、樋管下の空洞は無対策時同様に発生しているものの、のり尻部に施した押え盛土の効果によりパイピングの発生を抑制できたと考えられる。図-15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貫入抵抗値の低い部分が連続しており、樋管上のゆるみが発生していた。

3.2.3 遮水矢板工法に関する実験的検討

(1) 樋管下における空洞の発生状況

図-13に示すように、遮水矢板工法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は、押え盛土工法よりも顕著に認められた。

(2) 浸透に対する遮水矢板工法の効果

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、 $C_L=5.0$)ではレーンの式における加重クリープ比による評価²⁾が妥当かやや安全側であったと考えられる。

図-16に矢板周囲および樋管下に設置したマン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

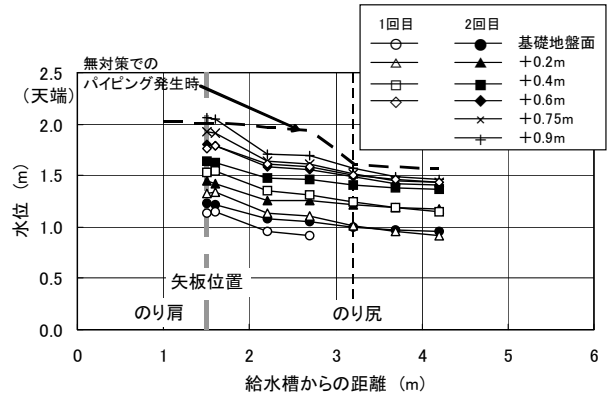


図-16 遮水矢板工法での樋管下・矢板周囲の水位の場合に比べて水位が低下している。これらの結果より、樋管下に空洞は発生しているが、遮水矢板を設置することで浸透経路長を増大させ、浸潤線の上昇を抑えることになったため、パイピングの発生を防止したと考えられる。

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。

3.3 樋管上のゆるみに関する実験・解析的検討

3.3.1 樋管上のゆるみに関する実験的検討

(1) ゆるみの発生状況

図-17に天端での沈下量を示す。杭支持された樋管の直上ではほぼ沈下が認められないが、樋管周辺堤防では全体的に沈下している様子が分かる。また、湛水実験を一回実施することと樋管周辺堤防で最大3.0cm程度、沈下が進行する傾向にある。これより、一度ゆるみを生じた地盤は、いわゆる水締めにより沈下が促進すると考えられる。

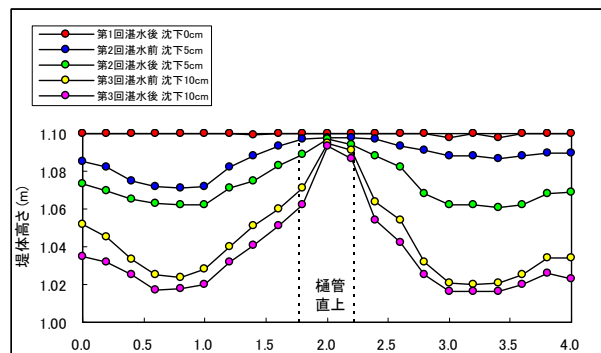


図-17 天端での沈下量

(2) 浸潤線の変化

図-18に沈下0cm、5cmおよび10cm時における定常状態の浸潤線を示す。定常状態の浸潤線は、沈下無しの状態に対して、強制沈下5cm、10cm時の状態では5cm程

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

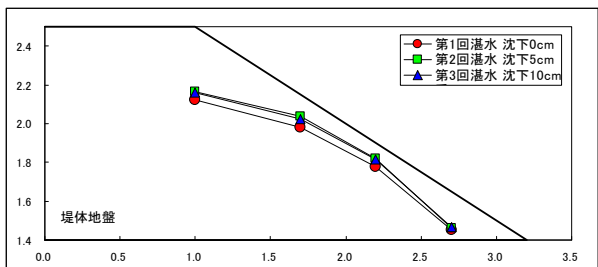


図-18 定常状態における浸潤線の変化

度高くなる傾向にある。ただし、強制沈下5cmおよび10cm時の定常状態における浸潤線を比較すると、同程度の高さを有する結果となっており、著しい差異は確認できていない。今回の結果から、沈下に伴い発生するゆるみが浸潤線に与える影響は大きい、一度ゆるみを生じた地盤は、いわゆる水締め等により沈下が促進するためと考える。

本実験では、模型実験の堤体高さ1.1mに対して、定常状態における浸潤線高さが沈下0cmの場合と比較して最大5cm程度高くなっている。仮に実堤防高さを6.0~8.0m程度とすると、浸潤線は30~40cm程度高くなることになる。これより、樋管上部のゆるみは、浸潤線に影響を与える可能性があると考え。

(3) ゆるみ領域

図-19に樋管側方部より堤防縦断方向に0.5m離れた位置での水位低下後の貫入抵抗を示す。土検棒調査結果は、表層より深度方向に30~50cm程度までは小さく、それ以深では徐々に大きくなりゆるみが観測されなかった。図中には、つまり、樋管直上部でゆるみ領域が発生せず表層付近でのみゆるみ領域が発生する傾向にある。ゆるみ領域として考えられる範囲を囲んだ青破線を併記してある。樋管直上における堤体材料は、樋管が杭支持され

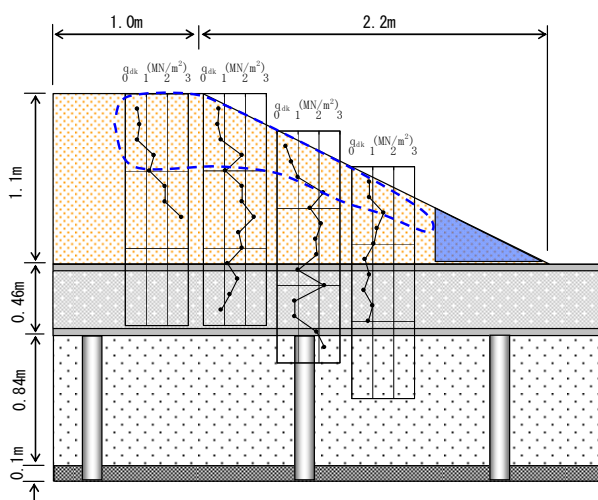


図-19 水位低下後の貫入抵抗

沈下を許さない状態にあることから、沈下に伴う土塊の移動量は少ないと考えられる。そのため、樋管直上の地盤は、ゆるみをほぼ生じていない健全な地盤状態を保持しており、貫入抵抗値も大きな値を示すと予想される。一方、堤体表層付近の堤体材料は、樋管直上部同様、樋管上部で直接的に沈下を受けるわけではないが、周辺部が沈下に伴いゆるみを生じている。そのため、樋管上部の土塊は、横方向に引っ張り力が作用し、結果的に土粒子間の結合が乱されゆるみを誘発することで、貫入抵抗値を小さくする傾向にあると考えられる。

図-20に堤防縦断面毎のゆるみ領域を示す。土検棒の調査結果より想定されるゆるみ領域を示したものであり、赤線で囲まれるお碗形状部がゆるみ領域である。ゆるみ領域の深さは、土被りが厚いほど深くなる傾向にある。一方、ゆるみ領域の幅は、土被り厚さに関わらず樋管側方部より1.0m程度離れた位置まで分布する傾向にある。樋管上部では抜け上がりが起こり、ゆるみが観測されたと考える。

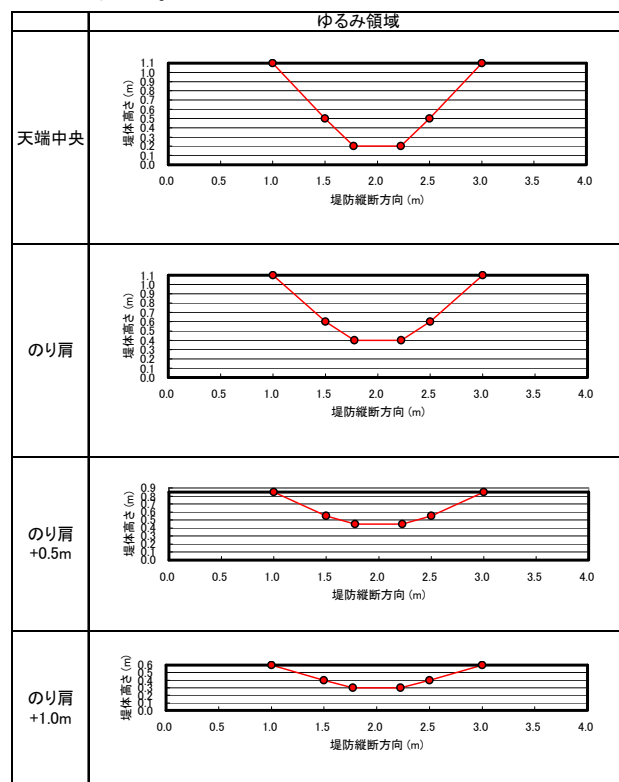


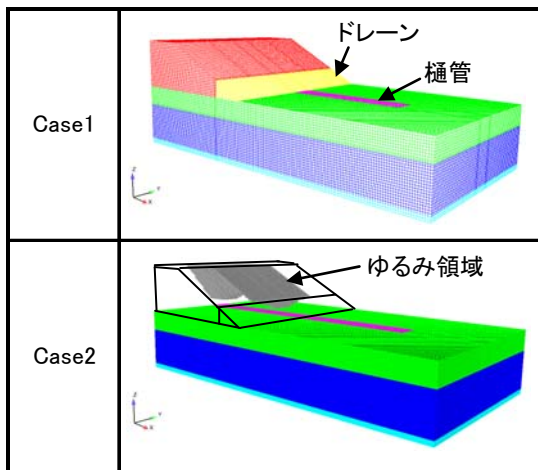
図-20 堤防縦断面毎のゆるみ領域

3. 3. 2 樋管上のゆるみに関する解析的検討

(1) ゆるみ領域の設定

表-3に解析Case毎のゆるみ領域を示す。Case1は、ゆるみ領域の無い解析モデルである。Case2は、堤体部分を省略しゆるみ領域のみを灰色で表中に図化してある。Case2のゆるみ領域は、図-18および図-19に示す範囲をもとに設定した。

表-3 解析 Case 毎のゆるみ領域



(2) 浸潤線の変化

図-2 1 に解析 Case 毎の定常状態における浸潤線の変化を示す。断面位置は、樋管中央から 0.5m 離れた位置とする。Case2 の定常状態における浸潤線は、Case1 と比較してのり肩～ドレーン敷設付近にかけて 1~2cm 程度高くなる傾向にある。

樋管上にゆるみを想定した Case2 の定常状態は、実験結果と同様にゆるみの影響を受けて、浸潤面上昇させる傾向が確認された。ただし、解析結果と実験結果を比較した場合、解析結果は樋管上のゆるみに伴う定常状態における浸潤線の上昇程度が僅かにとどまっている。解析に用いたゆるみ領域は、飽和透水係数のみを変更することで対応している。ゆるみが発生することで変化する不飽和特性については考慮しておらず、ゆるんでいない堤体地盤に対する設定値をそのまま用いた状態である。そのため、実験と解析の浸潤面上昇程度に僅かな差を生じたと予想される。

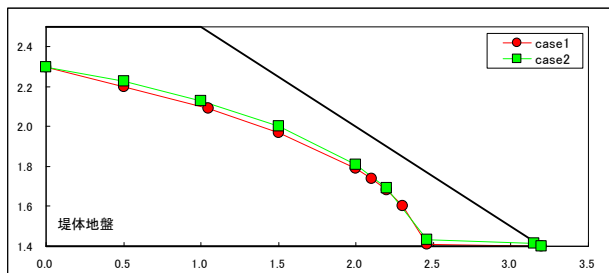


図-2 1 解析 Case 毎の定常状態における浸潤線の変化

4. まとめ

4. 1 樋管下の空洞に関する評価

無対策の模型実験では、樋管下に空洞が発生すると堤体内水位の浸透を助長するため、湛水開始後 80 分程度でパイピングを生じる結果となった。よって、樋管下の空洞は、浸透に対して影響を与えると予想できる。

押え盛土工法は、無対策時におけるパイピング発生水位に達してもパイピングには至らなかったことより、対策の有効性が確認できた。一方、遮水矢板工法は、無対策時におけるパイピング発生水位に達しなかったことより、浸透経路長の増大により堤体内水位の低下につながったと考えられ、対策の有効性が確認できた。

樋管下の空洞化対策工法は、①水を入れない、②水みちの連続性抑止、③パイピングの発生抑止、④空洞充填に 4 分類されると考える。

①~③については、樋管周辺堤防の沈下に伴う空洞が生じた場合、堤防本体に対して施工法となる。一方、④については、空洞そのものを充填する工法である。

表-4 に空洞化対策手法一覧を示す。最も広く普及している工法は、空洞そのものを充填するグラウト注入工法である。グラウト注入範囲は、SWS 試験や連通試験を実施することで決定に至る。しかし、グラウト注入後、さらに沈下が発生した際は再度グラウト注入を実施する必要がある。

押え盛土工法および遮水矢板工法は、一度の施工である程度の沈下を許容した効果が見込めると考えられる。押え盛土工法は、土工のみであり施工性に優れるとともに安価であると考えられる。ただし、押え盛土を行うには、堤内地側に新たな用地確保を必要とする。遮水矢板工法は、樋管周辺部の空洞・ゆるみに対して局所的に対策を行い水みちの遮断ができることに加え、堤内地側に用地確保が必要ではないが経済性には劣ると考えられる。

4. 2 樋管上のゆるみに関する評価

模型実験より沈下 5cm および 10cm 時に対する樋管上のゆるみは、樋管上にゆるみを生じていない場合と比較すると浸潤線を 5cm 程度上昇させる傾向にあった。実験モデルの堤体高さは 1.1m であることより、実堤防高さを 6.0~8.0m とすると 30~40cm 程度浸潤面上昇させることとなる。この結果より、樋管上のゆるみは、浸透に対して少なからず影響を与える傾向にあると予想される。ただし、沈下 5cm 時と沈下 10cm 時の浸潤線形状に変化は認められないことから、一度ゆるみを生じた地盤がさらに進行する沈下により浸潤線をさらに変化させるとは限らないと考えられる。

樋管上にゆるみを想定した 3 次元浸透流解析より、樋管上に発生したゆるみは実験結果と同様に樋管上にゆるみを生じていない場合と比較すると浸潤面上昇させる傾向を確認できた。

今後の展望として、樋管上のゆるみによる強度低下を含めた定量的評価を目指すとともに、現地観測を行うことで実験や解析結果の検証をする研究が必要である。

2. 4 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞化対策選定手法に関する研究

表-4 空洞化対策手法一覧

(財団法人国土技術開発センター：河川堤防の構造検討の手引き、p142、2002 に加筆)

対策の目的 対策工法	水を入れない 連続矢板打設および透水シート敷設・接合	水みちの連続性抑制 止水板工法	土質改良による透水壁	押え盛土	パイピングの発生抑制 水圧バランス	空洞充填 CBグラウト
概念図						
工法の原理	<p>護岸下に取水シートを敷設すると共に、構造物と一体化し、シート間の透水機能によって河川水の侵入を抑制する。</p>	<p>図体を取り囲むように鋼板、鋼矢板あるいはシートを設置し、これらの透水機能によって、構造物に沿う水の流れを遮断するとともに浸透路長を増大させる。</p>	<p>図体の全面開削を行わず、最小規模の掘削により、既存する水みちを遮断することができ、改良工法によつて効果を得られる。</p>	<p>図内側の法先地盤に盛土し、盛土材の厚さ及び筋工による透水性の低下を低減あるいは上載圧を増大させてパイピング発生を抑制する。</p>	<p>堤内側の樋門前面に、樋門を取り囲むように矢板等で図体を作り、洪水時には水圧を貯めて、水圧によってパイピングのは発生を抑制する。</p>	<p>空洞形状を的確に把握することとを前提に、セメントペントナイト等を使用し空洞を充填することによって、水みちを遮断する。</p>
効果の確実性等からみた工法の長所・短所	<p>(長所) ・透水シートは十分な施工実績を有し、確実な遮水効果が期待できる。 ・遮水性が増えかわれた場合の補修が容易である。 (短所) ・シートは盛土の沈下や護岸の変状に伴って容易に破断する危険性がある。</p>	<p>(長所) ・鋼板・鋼矢板およびシートそのものの遮水性は実績があり、遮水効果が期待できる。 (短所) ・図体との隙間が僅かでも生じた場合は遮水効果が著しく減少する。 ・樋門の漏水対策としての施工実績がない。 ・ゆるみ、空隙が図体周辺に現存した状態であるため、雨水の浸透等により進行するおそれがある。</p>	<p>(長所) ・小規模の掘削により、既存する水みちを遮断することができ、改良工法によつて効果を得られる。 (短所) ・図体の掘削が可能な場合がある。 ・ゆるみ、空隙が図体周辺に現存した状態であるため、雨水の浸透等により進行するおそれがある。</p>	<p>(長所) ・図内側の法先地盤に盛土し、盛土材の厚さ及び筋工による透水性の低下を低減あるいは上載圧を増大させてパイピング発生を抑制する。 (短所) ・図内側の水圧を貯めて、洪水時には水圧を貯めて、水圧によってパイピングのは発生を抑制する。</p>	<p>(長所) ・古くからの水防工法である「月の輪」を応用して恒久的な対策としており、効果が確認されている。 (短所) ・堤内側の水路を遮断する構造となるため、新たなゲートが必要となる。 ・堤体の浸潤面を上昇させ、不安定化させるおそれがある。</p>	<p>(長所) ・現存する空洞を充填することが可能である。 (短所) ・空洞がどの程度充填されたかを的確に把握することが困難である。</p>
施工性	<p>・堤体や樋門の条件に殆ど左右されず、比較的短時間で施工できる。 ・仮設は矢板工のためのクレードン設置のみである。 ・掘削、騒音が多い。 ・工事による新たな用地は不要。</p>	<p>・図体の切削を必要とする。 ・シートを除去、設置には図体の開削を必要とする。 ・規模の大きい仮設を要する。 ・図体との固定方法に特に留意する必要がある。</p>	<p>・図体の切削を必要とする。 ・シートを除去、設置には図体の開削を必要とする。 ・規模の大きい仮設を要する。 ・図体との固定方法に特に留意する必要がある。</p>	<p>・盛土を適加工して行うことにより、好成績が得られるが、それによって新たな沈下が発生しないように十分な検討が必要である。</p>	<p>・堤内側の用地および施工工程を必要とする。 ・平常時は図体で囲まれた空間となるため、安全管理が必要となるなど、本がかりな対策となる可能性がある。</p>	<p>・機械ボリーニングによるグラウト注入孔の形成が必要である。 ・改良材の品質管理を行う必要がある。 ・グラウト材によってはグラウト材固化後の体積収縮によりクラックを生じるおそれがある。</p>
維持管理・持続性確保	<p>・地盤沈下の影響は構造物との接合部に最も大きく生じる。このため、掘削・水路等の既設構造物との接合部付近については必要に応じて可搬性矢板を用いる。</p>	<p>・既設図体を切削するため、図体と止水板の密着性に留意する必要がある。 ・図体との固定方法は地盤沈下を考慮したものである。 ・地中部分の切削・削削対策として、鋼板・鋼矢板には表面被覆を施し、シートには維持補修を施す。</p>	<p>・既設図体を切削するため、図体と止水板の密着性に留意する必要がある。 ・図体との固定方法は地盤沈下を考慮したものである。 ・地中部分の切削・削削対策として、鋼板・鋼矢板には表面被覆を施し、シートには維持補修を施す。</p>	<p>・盛土を適加工して行うことにより、好成績が得られるが、それによって新たな沈下が発生しないように十分な検討が必要である。</p>	<p>・盛土の外部への影響を受けることと、沈下の影響を受けることは殆どなく、補修等の維持管理も容易である。</p>	<p>・改良材による地下水あるいは河川水の汚濁に留意する必要がある。 ・グラウト注入後、沈下が進行する必要がある。</p>

参考文献

- 1)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
- 2)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

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

Abstract : Sluice pipes which are installed across river levees have a possibility to grow a cavity or a loosening between the pipe and its basement or a levee, especially if the pipe is supported by piles. The cavity or the loosening can lead a severe damage to levees by seepage during a flood. This research conducts the investigation of the cavity and the loosening around sluice pipes at three rivers in Japan. Laboratory experiments are also carried out to examine countermeasures for the cavity and the influence of the loosening to the seepage. The output of the investigation shows the presence of the cavity and the loosening in the sites. Moreover, the results of experiments indicate the applicability of a river levee enlargement and a cutoff around the pipes for the cavity. In addition, the results also show that the influence of the loosening might raise the seepage level of levees slightly.

Key words : river levee, sluice pipe, seepage, cavity, loosening