

V-8 樋門・樋管構造物の健全度診断と空洞対策の評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 14～平 17

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、森啓年
齋藤由紀子

【要旨】

堤防を横断して設けられる樋門・樋管構造物（以下、樋門・樋管という）は、それ自体が堤防としての役割も果たす重要な治水施設であるが、土と比べ剛性等の違いから、基礎地盤や周囲の堤体との境界部に空洞が生じる場合がある。これまで樋門・樋管周辺堤防について種々の調査が行われているところであるが、樋門・樋管周辺堤防の健全度の評価手法は必ずしも明確ではない。本研究は、樋門・樋管周辺堤防の健全度診断手法を提案することを目的として、樋門・樋管周辺堤防の健全度に影響を及ぼす要因の分析や、グラウト工等の空洞対策工法の効果の評価手法について検討する。

実態調査及び実験的検討の結果、樋門・樋管支持形式や地盤条件など、樋門・樋管の健全度に影響を及ぼす要因が抽出され、その影響度が明らかになるとともに、空洞対策の持続性や地盤条件等に応じた空洞対策の適用性等が明らかとなった。

キーワード：樋門・樋管、空洞対策、遮水工、グラウト工

1. はじめに

堤防を横断して設けられる樋門・樋管は、それ自体が堤防としても役目を果たす重要な治水施設であるが、特に、杭基礎で支持されているものについては、基礎地盤や周囲の堤体との境界部に空洞が生じる被害事例が多く、これまで樋門・樋管の周辺堤防について、種々の調査が行われているところである。しかし、健全度の評価方法は必ずしも明確でなく、樋門・樋管周辺堤防の安全性に対する合理的な評価基準、空洞対策の効果評価手法の確立が求められている。

このため、本研究は、樋門・樋管周辺堤防の健全度を評価する手法を提案することを目的として、樋門・樋管周辺の健全度に影響を与える要因、ならびに空洞対策工法の効果やその評価について、実態調査や実験等に基づく検討を行った。

2. 研究方法

2.1 実態調査に基づく健全度診断手法、空洞対策工法の選定・効果把握手法等に関する検討

2.1.1 樋門・樋管の健全度に関する実態調査及び要因の分析

樋門・樋管の健全度について検討を行うため、国土交通省関東地方整備局管内の樋門・樋管（約 1800 箇所）について、過去の点検結果を基に変状が発生している樋門・樋管の変状原因の属性分類、変状・対策内容の分類等を行った。

特に着目した点は以下に示す通りである。

- ・設置場所の地形特性、地盤特性
- ・設置経過年数や基礎構造、函体構造、連数
- ・応急対策工事（グラウト工事）の実施の有無及び実施年度
- ・樋門・樋管設置箇所周辺の広域地盤沈下状況
- ・洪水履歴
- ・対策工の種類（補修・対策を実施したものに対し、その内容を調査し、分類・整理）

2.1.2 空洞対策工の効果に関する実態調査及び分析

関東地方整備局管内の一級河川直轄管理区間に設置されている樋門・樋管のうち、グラウト工など変状対策を繰り返し実施している施設（対策効果の持続性が無いと考えられるもの）を抽出（10 施設）し、点検台帳に加え、当時の工事資料等詳細な情報について整理し、空洞対策としてのグラウト工の効果に関する分析を行った。

また、比較のため、変状対策の効果が持続している樋門・樋管を数箇所（5 施設）抽出し、同様の整理を実施した。

2.2 健全度に影響を及ぼす要因や空洞対策に関する実験的検討

2.2.1 遮水工の効果に関する実験的検討

樋門・樋管では、浸透流によるパイピング現象に対して安全となるように、遮水工を設置することで必要

な浸透経路長を確保することとされているが、土の種類や締固め度と効果の関係は十分明らかでない。

そこで、砂地盤において樋門・樋管底部の空洞をモデル化した模型を用いて、パイピング破壊を生じさせる実験を行い、鉛直方向の遮水工の効果に着目して、土質や締固め度がパイピング破壊に与える影響について検討した。

実験は幅 8.0m×高さ 2.6m×奥行き 1.9m の土槽内に図 2.1 に示す模型を作製して、表 2.1 に示す 5 ケースについて実験をおこなった。

土質材料には、茨城県稲敷郡江戸崎町で採取した山砂と茨城県かすみがうら市で採取した川砂の 2 種類を用いた。図 2.2 に土質材料の物理特性を示す。

模型地盤の作製は、一層の仕上がり厚を 0.4m として、人が踏み固めることによりゆるく作製する場合（締固めなし）と一層の仕上がり厚を 0.2m として、振動コンパクターを用いて 2 往復以上締固める場合（締固めあり）の 2 通りとした。

遮水工には、木製合板（厚さ 24mm）を用い、奥行き方向全面に設置している。また、樋門・樋管の底版部に相当する部分にも同様の合板を用い、接触部は、漏水が生じないように十分に止水処理を施した。

また、樋門・樋管下に発生した空洞を模擬するため、ジオテキスタイル（厚さ 3mm、透水係数は $3.6 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ ）で包んだ $\phi 30 \sim 40 \text{mm}$ の碎石を水平においた合板の下に設置して、土砂が流れ込んで閉塞することがないようにした。

実験では、最初に給水槽の水位を 0.9m（模型地盤上面）に保ち、24 時間以上通水して模型を飽和させる。その後、模型右端は水位を 0.9m に保ちつつ給水槽の水位を上昇させ（0.05m）、マンメータの水位が安定するまで放置した後、マンメータの圧力水頭を観測するという作業を、パイピングが発生するまで段階的に繰り返した。

表 2.1 実験ケース

	土質材料	地盤の締固め	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	締固め度 D_c (%)	樋門長さ (m)
ケース1	山砂	なし	1.360	81.5	4.0
ケース2	山砂	あり	1.481	88.8	4.0
ケース3	川砂	なし	1.449	88.8	4.0
ケース4	川砂	あり	1.490	91.4	4.0
ケース5	川砂	あり	1.491	91.4	2.0

2.2.2 遮水工の材料に関する実験的検討

(1) 性質に関する材料実験

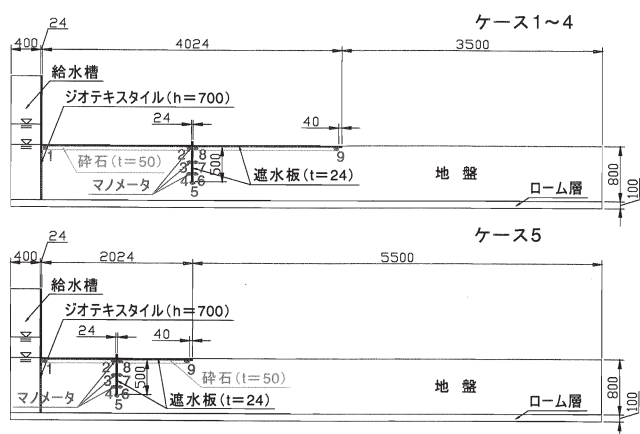


図 2.1 模型断面図

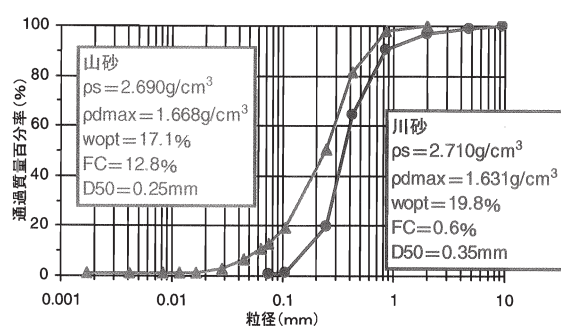


図 2.2 土質材料の物理特性

遮水工には、鋼矢板やコンクリート壁などがあるが、一方ソイルセメント（土砂とセメントミルクを混合して作製。透水係数を下げるためベントナイトを添加する場合もある）を用いた地中壁は、土留めとしての実績も多く、樋門・樋管の遮水工としての適用も想定される。しかしながら、その遮水性能については、十分に明らかでない。

そこで、ソイルセメントを用いた樋門・樋管の遮水工について実験的検討を行った。

実験では川砂（透水係数 $k=9.5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ）に、固化材・ベントナイト泥水の混入量を変化させてソイルセメントの試料を作製し、透水係数、一軸圧縮強度 (qu) といった物性を調べた。試料の作製にあたっては、ポンプ圧送性や施工性を考慮し、流動性の目安としてフロー値（日本道路公団規格・エアモルタル及びエアミルクの試験方法）で 160~190 mm 程度となるように配合した。

(2) 浸透に関する模型実験

幅 1.9m、奥行き 8.0m、深さ 1.5m の模型地盤中に、幅 0.2m のソイルセメントを用いた遮水工を作製し遮水性の効果を検証した。材料実験と同じ川砂を用い、平均締固め度が 90% 以上になるように締固めを行った模型地盤を作製した。

地盤中の水位観測孔は遮水工付近が密になるように12孔設置し、遮水工上流を1.4mの定水位に保って、遮水工下流の水位状況を測定した。

遮水工の種類は、

- ・ケース(A) 鋼矢板：継ぎ手部止水処理なし、かみ合わせ後に埋戻し)
 - ・ケース(B)：セメント比10%・ベントナイト濃度10% (k=1.4×10⁻⁶ cm/s 程度)
 - ・ケース(C)：セメント比5%・ベントナイト濃度10% (k=5.2×10⁻⁶ cm/s 程度)
- の3種類を対象とした。

3. 研究結果

3.1 実態調査に基づく健全度診断手法、空洞対策工法の選定・効果把握手法等に関する検討

3.1.1 樋門・樋管構造物の健全度に関する実態調査及び分析

変状の類似性を把握するため、関東地方整備局管内の樋門・樋管周辺堤防点検結果（重要点検箇所台帳、函内観察結果）を元に分析したところ、各事務所で管理している施設に発生している変状は、施設の設置年代・基礎形式・地質条件と関連性があることが分かった。また、河川毎に傾向が異なるものがあることも明らかとなった。（表3.1）

以下、全体にわたって見られた傾向を示す。

- ・施設に発生している変状を分析した結果、「函体直上護岸の段差」、「抜け上がり」、「護岸の沈下・陥没」等、樋門・樋管周辺堤防に発生している変状が多い。これらの変状は、特に昭和48～59年に設置され、杭基礎（支持杭基礎）を使用している施設に多く発生している。
- ・「函体のたわみ・折れ曲がり」、「函内クラック」等の函体自体に変状が発生しているものも幾つか見受けられたが、これらは、直接基礎を使用している施設に

多く発生している。

- ・地質条件と変状の相関関係はあまり見られない。ただし、「抜け上がり」、「護岸直上護岸の段差」が見られたものについては粘性土を主とする地盤上に設置された施設で発生しているケースが比較的多い。以上のことから、既存樋門・樋管の点検にあたっては、次のようなことに着目して点検を行うことにより、効率化が図られると考えられる。
- ・昭和48～59年に杭基礎によって設置された樋門・樋管は、函体自体に異常が見られない場合でも、地盤条件によらず、周辺堤体とのずれが生じやすくパイピング等を発生しやすい。
- ・直接基礎を用いている樋門・樋管については、函体自体の劣化に注意する必要がある。

表3.1 変状分析結果

施設管理事務所名	変状原因 (設置年代)	変状原因 (基礎形式)	変状原因 (地質条件)	変状特性	具体的変状の種類
荒川下流河川事務所	昭和30～47年	杭基礎(鋼管杭)	間連性低い	樋門自体に発生する変状	継手開き及びクラックからの漏水・土砂の流出
	昭和48～59年	杭基礎(鋼管杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、抜け上がり、護岸の沈下・陥没
	昭和60年以降	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	継手開き及びクラックからの漏水・土砂の流出
荒川上流河川事務所	昭和29年以前	杭基礎(木杭)	不明	不明	不明
	昭和30～47年	杭基礎(PC杭、鋼管杭)	不明	不明	不明
	昭和48～59年	杭基礎(PC杭)	不明	不明	不明
	昭和60年～平成11年	直接基礎	不明	不明	不明
利根川下流河川事務所	昭和47年以前	杭基礎(木杭、直接基礎)	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、継手開き及びクラックからの漏水・土砂の流出、ジャンカ・穴損等、函体のたわみ
	昭和48～昭和59年	杭基礎(PC杭、鋼管杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、抜け上がり
	昭和60年以降	直接基礎(地盤改良も含む)	間連性低い	樋門自体に発生する変状・樋門周辺堤防に発生する変状	抜け上がり、直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、函内クラック
利根川上流河川事務所	昭和29年以前	杭基礎(木杭)	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函体のたわみ・折れ曲がり
	昭和30～47年	杭基礎(PC杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、抜け上がり、継ぎ手開き、函内クラック等
	昭和48～59年	杭基礎(鋼管杭、杭基礎)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	抜け上がり、函体直上護岸の段差
	昭和60年～平成11年	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函体のたわみ・折れ曲がり、函内クラック
江戸川河川事務所	昭和47年以前	杭基礎(木杭、RC杭、PC杭)	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、ジャンカ・穴損等、函体のたわみ・折れ曲がり
	昭和48～59年	杭基礎(鋼管杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、抜け上がり
	昭和60年以降	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函体のたわみ・折れ曲がり、函体の継手開き
高崎河川圏道事務所	昭和47年以前	杭基礎(木杭)	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、ジャンカ・穴損等、函体のたわみ・折れ曲がり
	昭和48～59年	直接基礎、杭基礎(鋼管杭)	粘性土を主とする地盤	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門周辺堤防に発生する変状	函内クラック、ジャンカ・穴損等、護岸の沈下・陥没・段差
	昭和60～平成11年	直接基礎	粘性土を主とする地盤	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門自体に発生する変状	護岸の沈下・陥没・段差、函内クラック、函体のたわみ・折れ曲がり
	平成12年以降	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、函体の継手開き
蓮島瀬川事務所	昭和29年以前	杭基礎(木杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没
	昭和30～昭和59年	直接基礎	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門自体に発生する変状	函体直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、函内クラック、函体の継手開き
	昭和60～平成11年	直接基礎、杭基礎(PC杭)	間連性低い	樋門自体に発生する変状・樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、函内クラック、函体のたわみ・折れ曲がり
	平成12年以降	直接基礎	間連性低い	変状無し	変状無し
下館河川事務所	昭和29年以前	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函体のたわみ・折れ曲がり
	昭和30～47年	杭基礎(PHC杭、RC杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	護岸の沈下・陥没・段差
	昭和48～59年	杭基礎(PC杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門自体に発生する変状	護岸の沈下・陥没、函内クラック
	昭和60～平成11年	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック及び函内からの漏水・土砂の流出
霞ヶ浦河川事務所	昭和29年以前	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック
	昭和30～昭和59年	杭基礎(鋼管杭、PC杭、RC杭)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門自体に発生する変状	函体直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、抜け上がり、函内クラック
	昭和60～平成11年以降	直接基礎(地盤改良も含む)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	抜け上がり、直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没
常陸河川圏道事務所	昭和29年以前	杭基礎(木杭)、直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、継手開き及びクラックからの漏水・土砂の流出、ジャンカ・穴損等
	昭和30～昭和59年	杭基礎(PC杭、RC杭、PHC杭、鋼管杭等)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	函体直上護岸の段差、抜け上がり、護岸の沈下・陥没
	昭和60年以降	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函体のたわみ・折れ曲がり、函体の継手開き等
京浜河川事務所	間連性低い	直接基礎	砂・砂礫、堅結シルト	樋門自体に発生する変状	函内クラック、ジャンカ・穴損等
	間連性低い	杭基礎(鋼管杭、RC杭、PC杭等)	粘性土	樋門周辺堤防に発生する変状・樋門自体に発生する変状	抜け上がり、函体の継手開き、函体のたわみ・折れ曲がり、護岸の沈下・陥没、直上護岸の段差
甲府河川圏道事務所	昭和29年以前	直接基礎	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	護岸の沈下・陥没・段差
	昭和30～昭和47年	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	函内クラック、函体継手開き、函体のたわみ・折れ曲がり
	昭和48～59年	杭基礎(PC杭、RC杭等)	間連性低い	樋門周辺堤防に発生する変状	護岸の沈下・陥没・段差、抜け上がり
	昭和60～平成11年	直接基礎(一部、支持杭基礎)	間連性低い	樋門自体に発生する変状・樋門周辺堤防に発生する変状	抜け上がり、直上護岸の段差、護岸の沈下・陥没、函内クラック
平成12年以降	直接基礎	間連性低い	樋門自体に発生する変状	ジャンカ・穴損等	

3.1.2 空洞対策工の効果に関する実態調査及び分析

変状が確認された樋門・樋管のうち、グラウト工を実施後、空洞化が再度確認されたものについて、地盤特性・構造的な特徴・変状特性・洪水履歴・沈下状況・対策履歴などを詳細に比較・分析した結果、以下に示す点が明らかとなった。

- ・対策効果が得られない(持続しない) 樋門・樋管は、杭長が比較的長いものが多い。
- ・空洞量の大きさは、図 3. 1 に示すように軟弱地盤層厚が同じである場合、函体幅(函体底面幅)が大きくなるほど、空洞量(厚さ)が小さくなる。

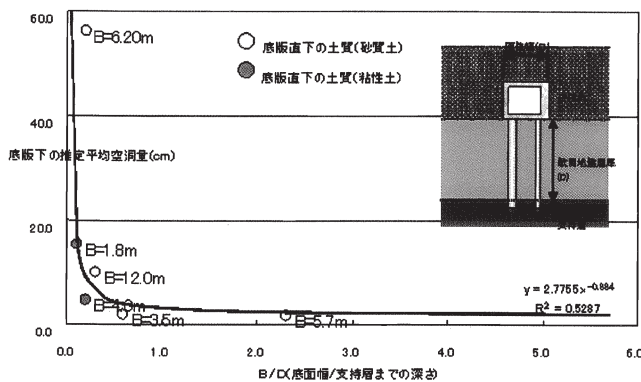


図 3.1 底版下の空洞発生量

- ・対策効果が持続していない樋門・樋管は、N 値が 2 未満、層厚が 5m 以上の粘性土地盤上に構築されているものが多い。また、樋門・樋管の周辺地盤の平均沈下速度が比較的速いものに多い。(図 3. 2)

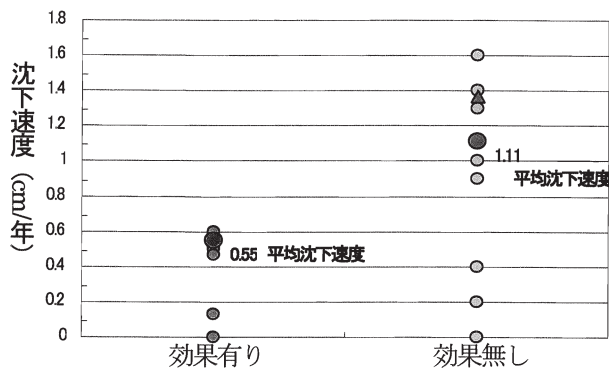


図 3.2 樋門周辺地盤の平均沈下速度

- ・対策効果が持続していない樋門・樋管周辺の護岸は、沈下・陥没は大きい(10cm 以上)。
- 以上のことから、これらの条件下にある樋門・樋管については、グラウト孔の効果は持続しないため、新たな遮水工の設置などの対策が必要になると考えられる。

3. 2 健全度に影響を及ぼす要因や空洞対策に関する

実験的検討

3.2.1 遮水工の効果に関する実験的検討

(1) 浸透経路長と圧力水頭

図 3. 3 に浸透経路長と圧力水頭の関係を示す。浸透経路長の算出にあたり、浸透流は空洞部を通り、遮水工に沿って回り込むと仮定している。

空洞部においては浸透経路長によらず圧力水頭はほとんど変化がない。本実験のように空洞部が生じた場合、水平方向の浸透経路長による圧力水頭の低下は期待できず、鉛直方向の浸透経路長による圧力水頭の低下が主となる。

(2) 遮水工の効果

全てのケースにおいて、遮水工による圧力水頭の低下量は、前面より背面の方が大きい。これは、鉛直方向の遮水工を回り込む浸透流は、上向きの方が生じにくいことを示している。

また、図 3. 4 に水位差と遮水工前後の圧力水頭差の関係を示す。水位差は給水槽直近のマノメータ 1 の測定値と模型地盤上面における水頭との差とし、遮水工前後の圧力水頭差はマノメータ 2 と 8 の測定値の差とした。遮水工前後の圧力水頭差の変化は、土質や締固め度の違いによる差異がほとんどみられなかった。

一方、パイピング破壊が発生する水位差は土質や締固め度により異なる。本実験では山砂より川砂の方が、また締固め度が小さい方が、小さい水位差においてパイピング破壊が発生した。パイピング破壊が土質や締固め度に影響を受ける理由として、空洞部端における圧力水頭が上昇して発生することから、空洞部端の地盤の強度が大きく影響するためと考えられる。

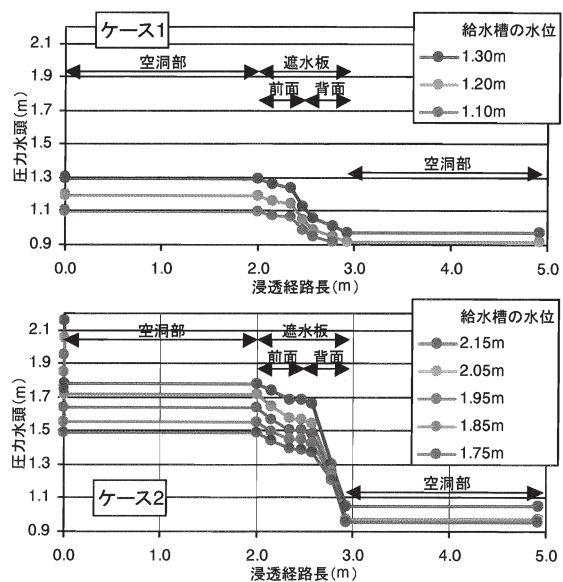


図 3.3-1 浸透経路長と圧力水頭の関係 (1)

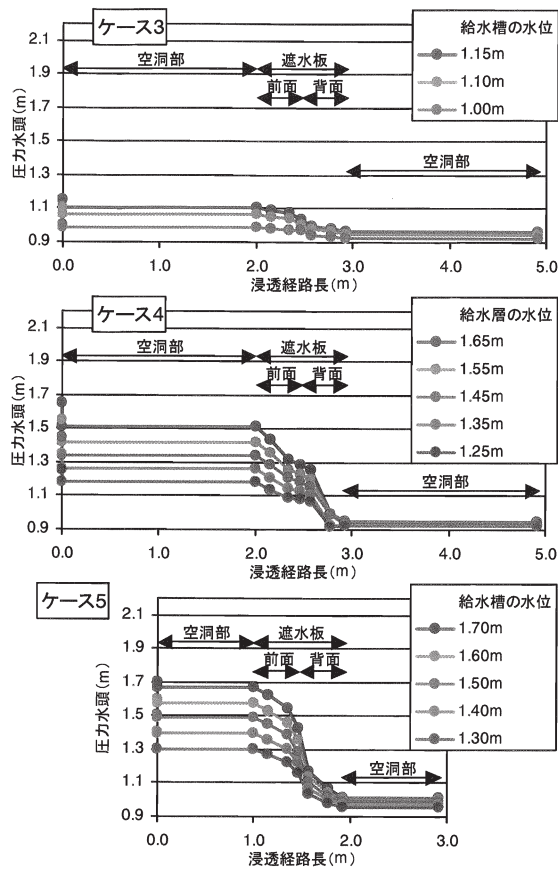


図 3.3-2 浸透経路長と圧力水頭の関係 (2)

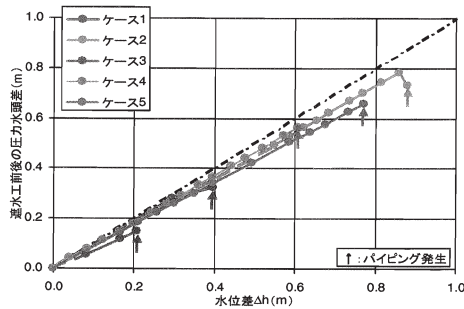


図 3.4 遮水工による圧力水頭の低下

3.2.2 遮水工の材料に関する実験的検討

(1) 性質に関する要素実験

ソイルセメントの性質に関する要素実験の結果、以下の点が明らかとなった。

- セメント比率が増加すると一軸圧縮強さは大きくなり、ベントナイトの濃度が上がると一軸圧縮強さは小さくなる。(図 3.5)
- セメント比率・ベントナイト濃度ともに上がると透水係数が小さくなる。泥水濃度が同じままセメント比率を 5% 上げる効果と、セメント比率が同じままベントナイト濃度を 5% 上げた効果はほぼ同じであ

った (図 3.6)。

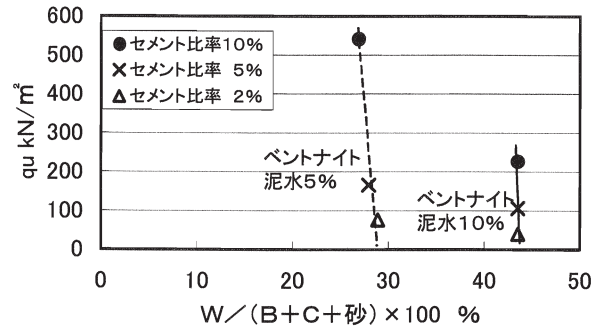


図 3.5 水の割合と一軸圧縮強さ (qu) の関係

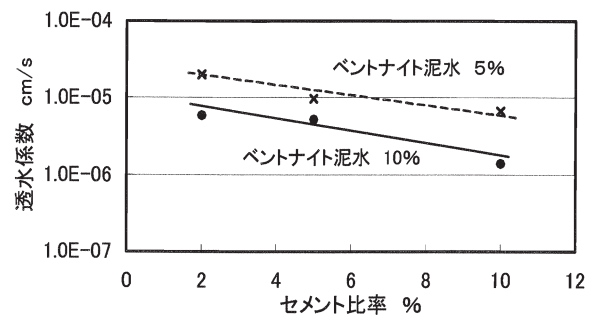


図 3.6 セメント比と透水係数の関係

(2) 浸透に関する模型実験

ケース A (鋼矢板、図 3.7) においては、実験開始約 2 時間後より鋼矢板下流に水位上昇が認められ、約 30 時間で定常状態に達した。鋼矢板最寄り部における定常水位は、0.8 m であった。ケース B (ソイルセメント (透水性小)、図 3.8) においては、実験開始後約 5 時間で遮水工上流の水位が 1.4 m の定常状態に達したのに対し、遮水工下流は 240 時間経過しても水位の上昇は認められなかった。ケース C (ソイルセメント (透水性やや大)、図 3.9) は、実験開始後約 7 時間で遮水工上流の水位が定常状態に達し、遮水工下流の水位は 24 時間経過後から少しずつ上昇し、200 時間経過後に定常状態に達した。遮水工最寄り部における定常水位は、0.3 m であった。

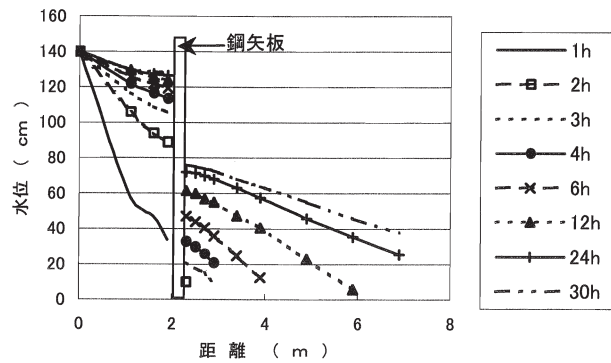


図 3.7 水位分布 (A、鋼矢板)

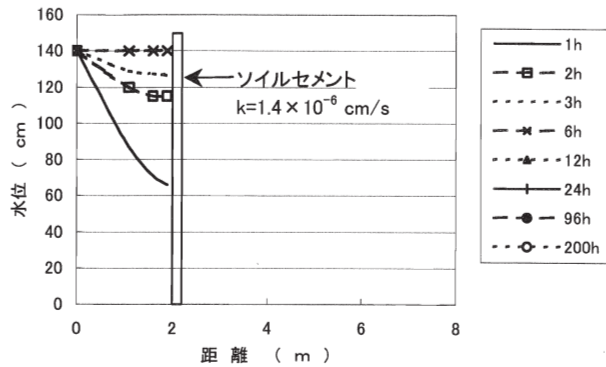


図 3.8 水位分布 (B、ソイルセメント、 $k=1.4 \times 10^{-6}$ cm/s 程度)

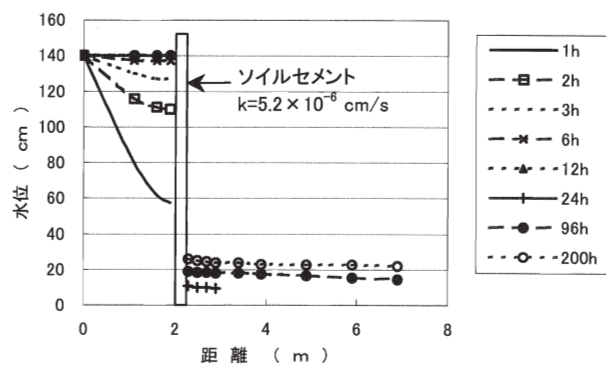


図 3.9 水位分布 (C、ソイルセメント、 $k=5.2 \times 10^{-6}$ cm/s 程度)

また、浸透実験を行ったモデルで、飽和・不飽和浸透解析を行った。ケース A (鋼矢板) については、透水係数が $k=2.0 \times 10^{-4}$ cm/s となったときに実験結果と同様の傾向が得られた。「河川堤防の浸透に対する調査要領」によると、鋼矢板の透水係数は接合部の浸透を考慮して $k=2.0 \times 10^{-6}$ cm/s (厚さ 20 cm の場合) とされている。しかし今回の実験結果では、継手部に止水処理がないことなどから、それよりも 2 オーダー程度高い透水係数を示した。ケース B, C において定常状態における水位形状は、実験結果と大きな違いはなかった。

4. まとめ

樋門・樋管周辺堤防の健全度を評価する手法を提案することを目的として、本研究では、樋門・樋管周辺の健全度に影響を与える要因、及び空洞対策としてのグラウト工の効果に関する実態調査、ならびに空洞対策

工の土質ならびに締め固め度に応じた効果の評価、新たな材料を用いた遮水壁の効果について、実験に基づく検討を行った。

この結果、以下のことが明らかとなった。

- ・「抜け上がり」等、樋門・樋管周辺堤防に発生している変状は、設置年代や基礎形式との相関が高いが、地質条件と変状の相関は比較的低い
- ・グラウトによる対策効果が得られない(持続しない)樋門・樋管には、軟弱地盤上に設置され、杭長(軟弱層厚)に対するボックス幅が相対的に小さいものが多い。
- ・樋門・樋管構造物の底部の空洞に起因したパイピング発生時の水位差は、地盤の土質や締め固め度の違いに影響を受け、細粒分の多い場合が大きい。
- ・遮水工により水圧を減少させる効果があるものの、土質や締め固め度によって、減少効果(水圧減少量)が異なるという傾向までは見られなかった。
- ・ソイルセメントを用いた遮水工は、セメント比率・ベントナイト泥水濃度等を変えることにより、強度・透水性とも任意に選択でき、接合部からの漏水の影響が小さいため、樋門の遮水工としても適切な性能を発揮しうる。

参考文献

- 1) 高田他：土質や締め固め度がパイピング破壊に与える影響に関する一考察、第 60 回 土木学会年次学術講演会講演概要集、Disc1、論文番号 3-328、2005.9.
- 2) K. Furumoto, et al: Large model test on the cutoff sheet pile as countermeasures to the cavity flow around sluice structures, Proceedings of the Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, 2003.4