

樋管周辺堤防のゆるみによる浸透特性への影響

THE INFLUENCE OF A SLUICE PIPE ACROSS RIVER LEVEES ON SEEPAGE

荒金聡¹・森啓年²・齋藤由紀子³・佐々木哲也⁴

Satoshi ARAKANE, Hirotoishi MORI, Yukiko SAITO and Tetsuya SASAKI

¹正会員 工修 前 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

²非会員 工修 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ (同上)

³正会員 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ (同上)

⁴正会員 工修 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ (同上)

A sluice pipe, which is supported by piles, across river levees have a possibility to grow a loosening around the pipe by the settlement of the levees.

This research conducts the investigation of the loosening around sluice pipes at three rivers in Japan. Laboratory experiments are also carried out to examine the influence of sluice pipes and the loosening to the seepage level in the levees.

The tendency of loosening patterns is obtained by the investigation. The results of experiment show that the existence of sluice pipes raises the seepage level, and the level becomes higher in the presence of the loosening.

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

1. はじめに

樋管は河川堤防を横断する構造物であり浸透に対する弱点箇所となりやすいため、堤防管理上の留意が必要な箇所である。特に杭により剛支持された樋管は、その沈下特性が周辺の堤防とは異なるため、基礎地盤の沈下に伴いその周辺に空洞・ゆるみを生じることが知られている(図-1)。特に樋管直下の空洞は、堤防の浸透安全性に対して重大な影響を及ぼすことから、

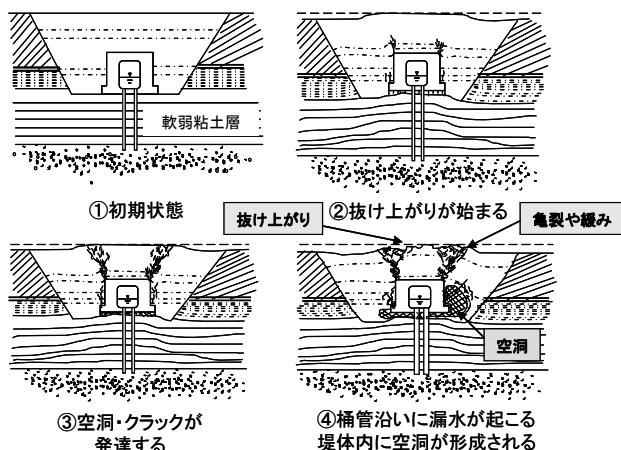


図-1 樋管周辺堤防の空洞・ゆるみ発生メカニズム(一部加筆)¹⁾

主にグラウト注入による空洞充填が施されている。一方、周辺に発生するゆるみに対しては、浸透特性に与える影響が未だ明らかとなっていない。

本論文では、樋管周辺堤防のゆるみが浸透特性に与える影響について検討することを目的に、樋管周辺堤防における空洞・ゆるみ状況の現地調査、中型土槽によるゆるみの発生実験および堤体内水位実験を行った結果について報告する。現地調査では、実河川を対象に実施したスウェーデン式サウンディング試験より樋管上部周辺堤防に存在するゆるみ領域の分布状況について整理した。ゆるみの発生実験では、中型土槽の堤防模型において基礎地盤の沈下に伴う樋管上部周辺堤防に発生するゆるみ領域の分布状況について現地調査の結果と比較した。堤体内水位実験では、同堤防模型において湛水実験を行い、樋管上部周辺堤防のゆるみの影響による堤体内水位の変化について検討した。

2. 樋管周辺堤防における空洞・ゆるみ状況の現地調査

(1) 概要

樋管周辺堤防における空洞・ゆるみ状況の現地調査

には、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所によるデータを用いて実施した。

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。

樋管下に空洞を有する要対策樋管は、グラウト材を注入する範囲を把握するためスウェーデ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も実施している。本調査におけるゆるみ領域は、SWS 試験時に自沈（回転力を加えず、おもり荷重のみで貫入）した範囲と定義した。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。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) 樋管上のゆるみ領域の分布範囲

データ分析は、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。本調査において SWS 試験で自沈した範囲をゆるみ領域として捉えた場合、対象とした樋管総数 161 箇所全てで樋管周辺堤防にゆるみが存在することが確認された。ゆるみが確認された樋管周辺堤防の土質は様々であり、単一の特徴は見られなかった。ゆるみ領域に関する基準位置を図-2 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プラス領域、左側をマイナス領域とする。

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-3 に示す。ゆるみ上端位置は、一概に特定の傾

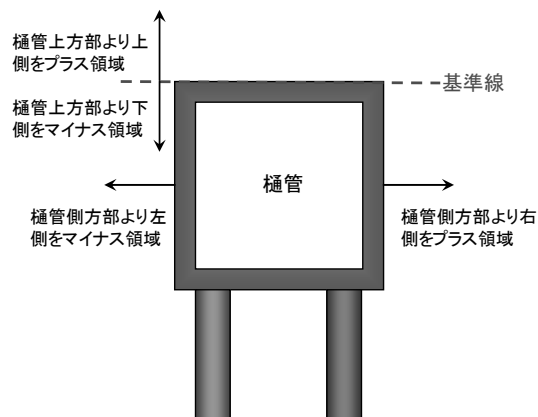


図-2 ゆるみ領域に関する基準位置

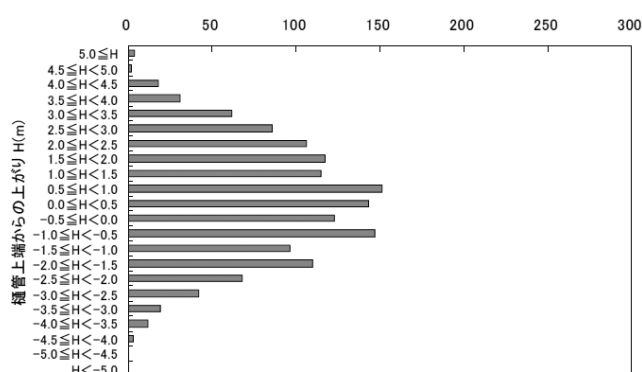


図-3 ゆるみ領域上端の頻度分布図

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、樋管上のみでなく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。

深度方向のゆるみ領域連続性の頻度分布図を図-4 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いる。ただし、ゆるみ領域の連続性は 50cm 未満が主であるが、ゆるみ領域を深度方向に不規則に複数箇所もつ SWS 試験結果も多く認められた。

ゆるみ領域の分布図を図-5 に示す。ゆるみ領域は樋

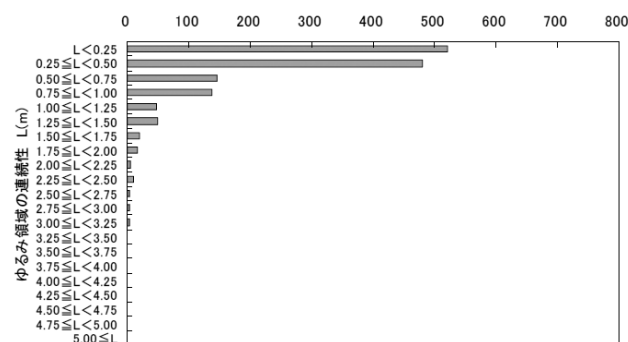


図-4 深度方向のゆるみ領域連続性の頻度分布図

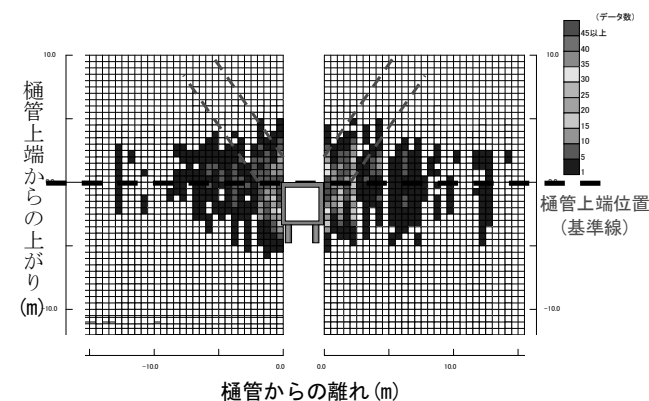


図-5 ゆるみ領域の分布図

管側方部より 2.5m 離れた位置までは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、データ分析の対象としたほとんどの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向に 3.5m 程度まで及ぶ傾向にある。

(3) 結論

樋管上端位置を基準にそれより上方の堤体では、ゆるみとして捉えられたデータ数の多い範囲に着目すると、その範囲は樋管上方隅角部から斜め上方向に集中する傾向にあった。

3. ゆるみの発生実験

(1) 概要

基礎地盤の沈下に伴う樋管上部周辺堤体におけるゆるみの発生状況を把握するため中型土槽（幅 4.0m×奥行き 8.0m×深さ 2.6m）を用いて模型を作製した。実験模型の断面図および平面図を図-6 に示す。基礎地盤は厚さ 1.4m として川砂により作製した。基礎地盤の上には、高さ 1.1m、のり勾配 1:2 の半断面の堤体を山砂を用いて作製した。模型の作製にあたっては、締固め度

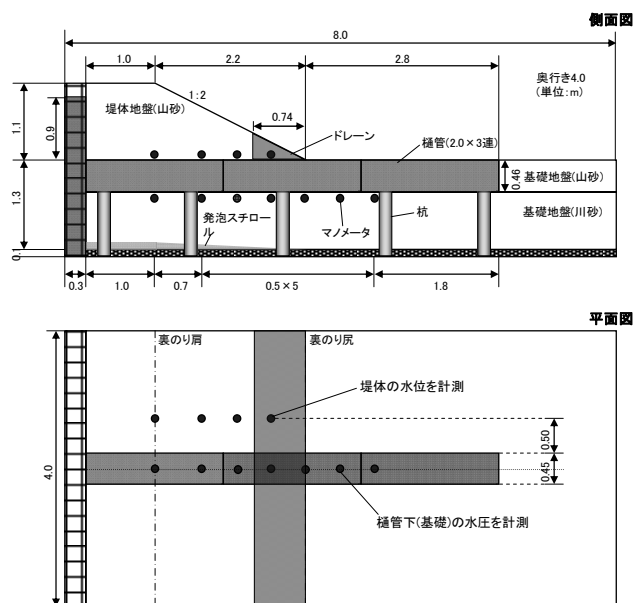


図-6 模型実験断面（樋管有りのケース）

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
透水係数 (m/s)		2.65E-05	5.51E-04

90%程度になるように一層厚 20cm のまき出しでタンパ2往復として、樋管周辺部については特に入念な締固めを行った。使用材料の土質特性を表-1 に示す。

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 0.45×高さ 0.46×長さ 2.00m、3連、以下樋管という）を設置し、杭により剛支持させた。また、同ケースの模型は、樋管上部周辺堤防にゆるみを設けるため、樋管直下を除いて堤防に沈下を発生させた。具体的には、樋管直下を除く基礎地盤縦断方向の底部には、発泡スチロール（1段あたり最大厚さ 5cm を2段、のり尻にかけて厚さを減少）を敷設した。発泡スチロールは、リモネン溶液により溶ける性質があり、この性質を利用し基礎地盤を沈下させることで、健全な模型堤防にゆるみを発生させた。基礎地盤底部の発泡スチロールは、1段あたり 15 リットルのリモネン液をあらかじめ設置した注入孔を通じて注入することで溶かし、2回に分けて 5cm ずつ沈下させた。堤防天端では基礎地盤を沈下させる毎に沈下量の測定を実施した。天端での沈下量の測定は、4. で詳細を述べる湛水実験の前後（沈下 0cm の湛水後、沈下 5cm の湛水前後、沈下 10cm の湛水前後）で計5回実施した。計測は湛水実験による水位が堤体から完全に低下した状態でを行った。

(2) 樋管上部周辺堤防に発生するゆるみの状況

図-7 に天端での沈下量を示す。5回目の計測となる沈下 10cm に対する湛水後の沈下量は、樋管の真上に位置する天端でほとんど認められない状態にあった。一方、樋管の真上を除く周辺堤防では全体的に不同沈下が発生していた。また、湛水実験を一回実施することで樋管周辺堤防において最大 3.0cm 程度、沈下が進行する傾向にあった。さらに、堤体には沈下に伴うクラックが確認でき、その幅は天端で最大 2~3cm 程度であった。これらから、基礎地盤の沈下に伴う樋管上部堤防の抜け上がりを実験により再現できたと考える。

ゆるみ領域は、基礎地盤の強制沈下 10cm 時における湛水実験終了後、土層強度検査棒²⁾（以下、「土検棒」）による静的貫入試験より定めた。図-8 に樋管側方部よ

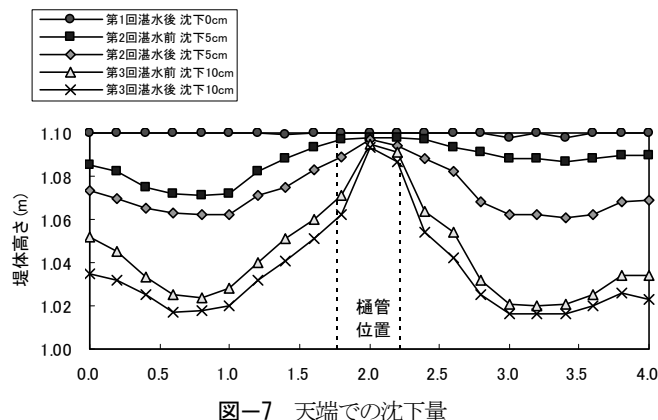


図-7 天端での沈下量

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。湛水実験前の健全な堤体に対する土検棒調査結果では、 3.0MN/m^2 近い値を確認している。そこで、ゆるみ領域の定義は、土検棒による貫入抵抗値が概ね半分以下に著しく低下した範囲とした。土検棒調査結果は、表層より深度方向に 30～50cm 程度までは貫入抵抗が小さく、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。つまり、ゆるみ領域の深さ方向は、樋管上面より浅い領域で観測された。図中には、ゆるみ領域として考えられる範囲を囲んだ破線を併記してある。樋管直上部では、樋管が杭支持され沈下を許さない状態にあることから、沈下に伴う土

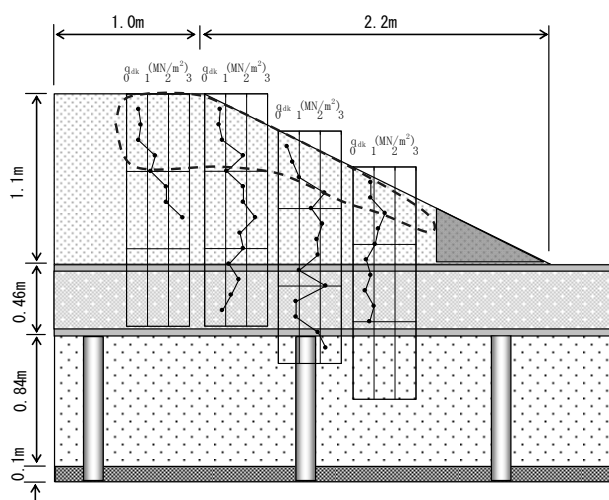


図-8 水位低下後の貫入抵抗

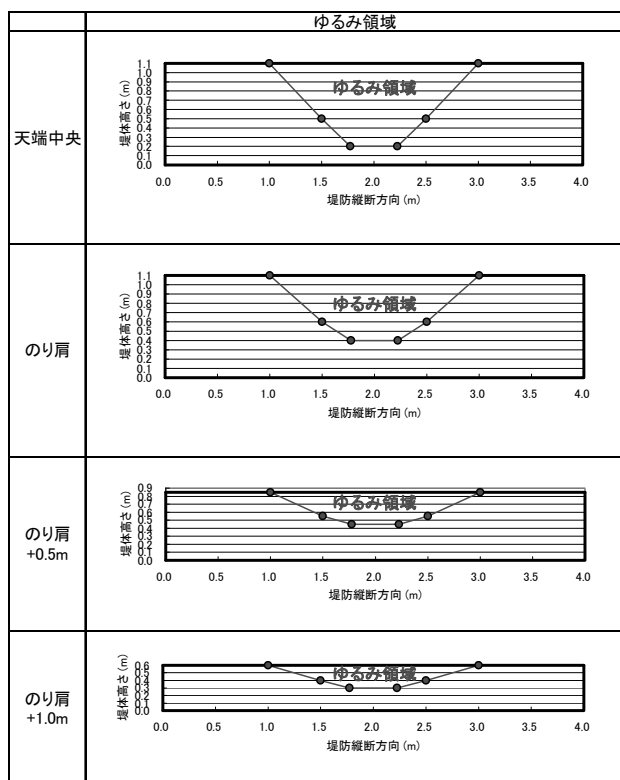


図-9 堤防縦断面ごとのゆるみ領域

塊の移動量が少ないと考える。

図-9に堤防縦断面ごとのゆるみ領域を示す。これは図-8と同様に土検棒による貫入抵抗調査で貫入抵抗値が著しく低下した範囲をゆるみ領域と定義した。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。ゆるみ領域の幅は、土被り厚さにかか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。樋管直上部では、樋管が杭支持されていることから貫入抵抗も大きくゆるみをほぼ生じていない健全な状態を保持すると推察できる。一方、樋管の真上に位置する堤体表層付近では、樋管直上部と同様に直接的に沈下を受けるわけではないが、その周辺部が沈下に伴いゆるみを生じる状態にある。そのため、樋管の真上に位置する堤体表層付近では、横方向の土圧が減少し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る。

(3) 結論

堤防模型に発生した基礎地盤の沈下に伴うゆるみ領域（図-9）は、樋管上方から斜め上方向に広がる傾向にあった。このゆるみ領域は、現地調査で得られた形状（図-5）と類似しており、実河川における樋管上部周辺堤防のゆるみを良好に再現できたと考える。

4. 堤体内水位実験

(1) 概要

樋管と地盤の境界部分が堤体内水位へ与える影響を検討するため、中型土槽を用いて模型を樋管有りのケース、樋管無しのケースの2種類作製した。樋管有りのケースにおける実験模型の断面図および平面図は前掲の図-6のとおりとする。樋管無しのケースにおける実験模型の断面図および平面図を図-10に示す。基礎

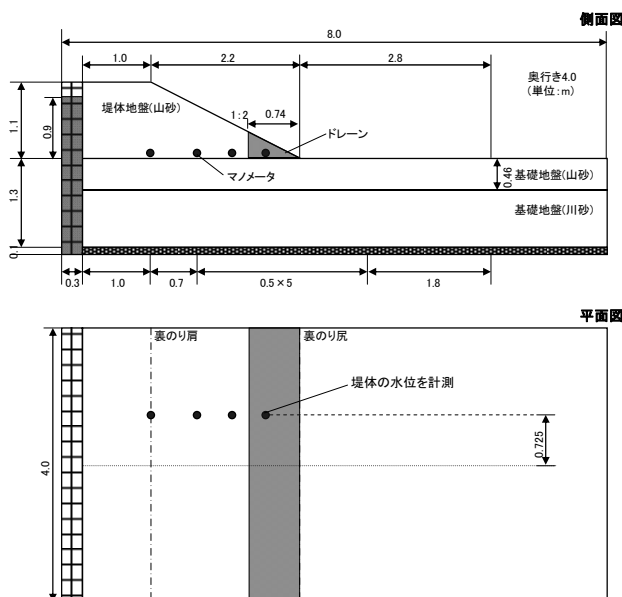


図-10 模型実験断面（樋管無しのケース）

地盤および堤体の使用材料は、表-1と同様とした。樋管無しのケースは、樋管を設置せず厚さ1.4m全てを基礎地盤として作製した。また、同ケースにおける締固め度は、3.と同様の仕様で締固め度90%を確保するように作製した。堤体のり尻部には、湛水による堤体の崩壊を避ける目的で、ドレーンを敷幅0.74mで設置した。

湛水実験は、樋管有りのケース（基礎地盤の強制沈下0cm、5cm、10cm）、樋管無しのケース各々に対して実施した。初期条件として72時間かけて樋管下面（基礎地盤下面+0.94m）までを飽和させ、1時間かけて河川水を模した給水槽の水位を2.30m（基礎地盤上面+0.90m）まで上昇させた。実験中は、マノメータを用いて堤体内水位を計測しており、堤体内水位の上昇が1時間で1cm以内となった時点で定常状態とした。

(2) 堤体内水位の状況

図-11に給水槽水位を2.30m（基礎地盤上面+0.90m）

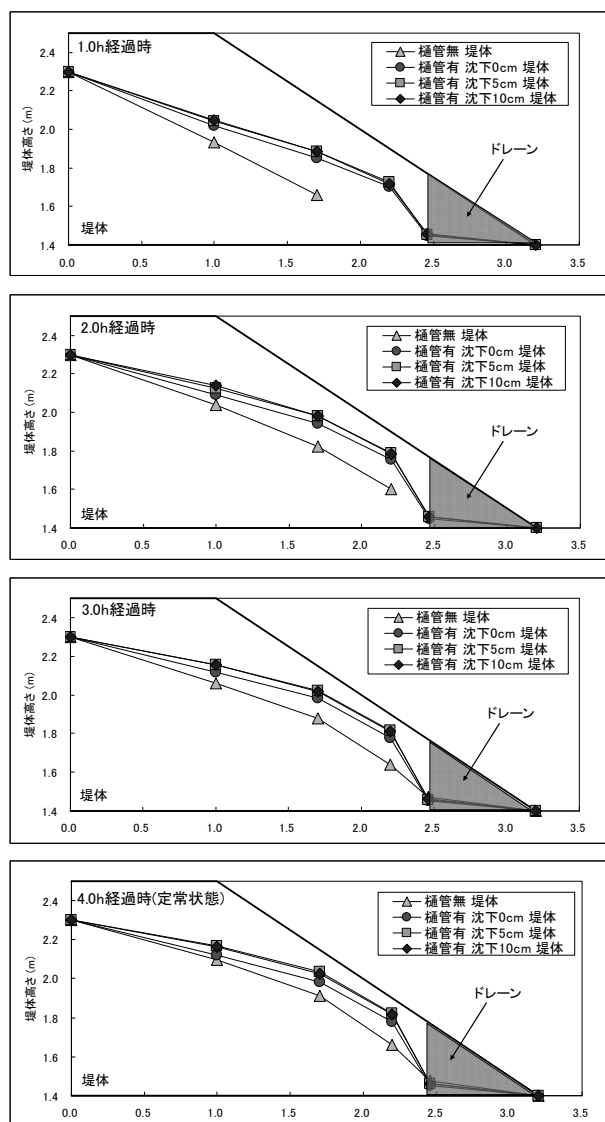


図-11 給水槽水位上昇後の堤体内水位状況

まで上昇した後の堤体内水位状況を示す。非定常および定常状態における堤体内水位の高さは、樋管無しのケース、樋管有り沈下0cmのケース、樋管有り沈下5cm・10cmのケースの順に高くなる傾向が確認できた。堤体内水位は、給水槽水位上昇開始後1、2時間の段階では、のり肩からのり面中腹にかけて定常状態（4時間経過以降）よりも低く、上昇過程にあることがうかがえる。給水槽水位上昇後3時間経過時点において、堤体内水位の高さと形状はともに、定常状態にほぼ近い状態まで達していた。

また、堤体内水位がのり尻まで達するのに要した時間は、樋管無しのケースでは給水槽水位上昇後3時間だったのに対し、樋管有りのケースは1時間と速くなる傾向が確認できた。

図-12に樋管の有無による堤体内水位の差が最も顕在化した給水槽から1.7m離れた位置における堤体内水位の高さの経時変化を示す。樋管有り沈下0cmのケースにおける堤体内水位の高さは、樋管無しのケースと比較して経過時間にかかわらず高い位置にあることが確認できた。両ケースにおける堤体内水位の高さの差は、給水槽水位上昇後1時間が最も顕著であった。両ケースで得られた堤体内水位は、水位上昇後1時間の状態で15cm以上の開きがあったものの、定常状態では半分以下の7.0cm程度に縮小した。今回の実験モデルは、実際の堤防の1/5程度のスケールであるため、水位差については、絶対値よりも割合に意味があると考えられる。したがって割合で表記すると、樋管有りのケースの堤体内水位は、樋管無しの場合と比較して水位上昇後1時間の状態で6～7割程度、定常状態となる水位上昇後4時間の状態で1割強程度高くなったといえる。

樋管有り沈下5cm・10cmのケースにおける堤体内水位の高さは、樋管有り沈下0cmのケースと比較して、給水槽水位上昇後1時間の段階から僅かではあるが差が現れており、定常状態に向かうにつれてその差が拡大する傾向にあった。樋管有り沈下0cmのケースに対

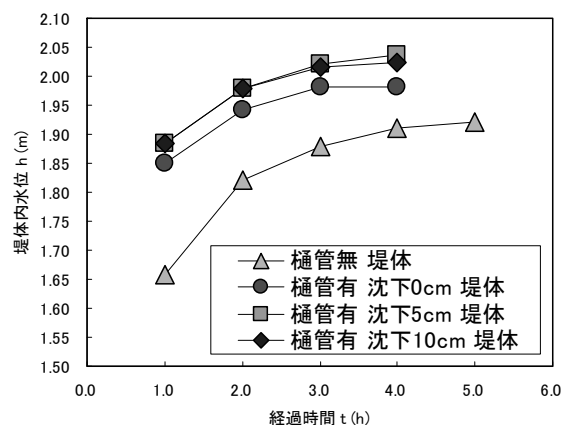


図-12 堤体内水位の経時変化

して樋管有り沈下 5cm・10cm のケースにおける堤体内水位の上昇は、1, 2 時間経過時で 3.0cm 程度、定常状態となる 4 時間経過時には 5.0cm 程度高くなることが確認された。先に述べた理由から水位差を割合で表記し直すと、樋管有り沈下 0cm のケースと比較して、定常状態となる水位上昇後 4 時間の状態で 1 割程度、樋管有り沈下 5cm・10cm のケースの堤体内水位が高くなることを意味する。さらに、樋管有り沈下 5cm・10cm のケースにおける堤体内水位の高さは、先に述べた樋管無しのケースと比較すると、定常状態において 2 割強程度上昇することとなる。ただし、樋管有り沈下 5cm および 10cm のケースの定常状態における堤体内水位を比較すると、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。今回の実験条件では、沈下がいったん生じた以降は、沈下量が大きいほどゆるみの程度も大きくかつ堤体内水位が上昇するという現象は生じなかった。沈下量とゆるみの定量的な関係については、引き続きの課題である。

図-13 に樋管有り沈下 0cm のケースにおける樋管下に作用する水圧の経時変化を示す。樋管下のマノメータは、給水槽水位上昇後 1 時間の段階から堤防の高さを越える水圧を感知しており、経過時間にかかわらず同程度の高さを示している。これは、樋管と地盤の境界部分に透水性の高い水みちが存在し、堤体内水位ののり尻方向への浸透を助長したためであると考えられる。樋管のような固い構造物と地盤の境界部における透水性の評価については、引き続き検討していく予定である。一方、実際の樋管ではレーン式のクリープ比から設計された矢板が打設されているため、連通している場合を除いて、このような顕著な水圧伝播は発生しない。

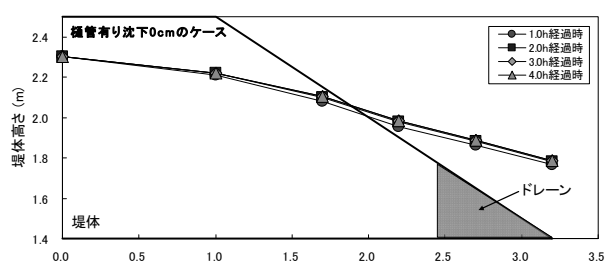


図-13 樋管下(基礎)に作用する水圧の経時変化

(3) 結論

樋管が存在することで構造物と地盤の境界部分に水みちやゆるみが顕在化し、堤体内水位の浸透速度を速め、堤体内水位の高さを上昇させたと考えられる。さらに、基礎地盤等の沈下に伴い樋管上部周辺堤防にゆるみが発生すると、そのゆるみの影響により堤体内水位の高さをさらに上昇させることが推察できる。一方で、基礎地盤の沈下量の増加に伴う堤体内水位の変化は、明確には現れなかった。

4. まとめ

本研究では、樋管周辺堤防のゆるみが浸透特性に与える影響について検討することを目的に、樋管周辺堤防における空洞・ゆるみ状況の現地調査、ゆるみの発生実験、堤体内水位実験を行った結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 樋管周辺堤防における空洞・ゆるみ状況の現地調査

樋管上端位置を基準としてそれより上方の堤体ではゆるみを有する結果が得られ、そのゆるみは樋管上方隅角部から斜め上方向の堤体に集中する傾向にあった。

(2) ゆるみの発生実験

堤防模型に発生した基礎地盤の沈下に伴うゆるみ領域は、樋管上方から斜め上方向に広がる傾向にあった。このゆるみ領域は、現地調査で得られた形状と類似しており、実河川における樋管上部周辺堤防のゆるみの発生メカニズムを定性的に把握できたと考える。

(3) 堤体内水位実験

樋管有りのケースの堤体内水位は、構造物と地盤の境界部分に存在する水みちの影響を受け、樋管無しのケースと比較して堤体内水位の浸透速度を早め、その高さを上昇させる傾向が確認できた。また、樋管有りの場合、周辺の基礎地盤を沈下させたケースの堤体内水位は、沈下に伴う堤体のゆるみの影響により、沈下が無い場合と比較して堤体内水位がさらに上昇する傾向が確認できた。

(4) 今後の課題

今後は、樋管等周辺堤防における水みちの発生、水みちを含めた透水性の評価、河川水や雨水の繰り返し作用により発生する土砂流出やそれに伴って発生するゆるみ・陥没についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 中島秀雄：河川堤防，技報堂出版，pp.207-209，2004.
- 2) 佐々木靖人・柴田光博・福田徹也・片山弘憲（2002）：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，pp.359-362.

(2010. 4. 8 受付)