共同研究報告書

整理番号第 377 号

堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する共同研究報告書

「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）」

平成２０年３月

独立行政法人　土木研究所
財団法人　国土技術研究センター
応用地質株式会社
川崎地質株式会社
サンコーコンサルタント株式会社
株式会社東京測器研究所
パシフィックコンサルタンツ株式会社
復建調査設計株式会社
綜合計測株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティ ネオメイト

Copyright © (2007) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共 同 研 究 報 告 書
第 377 号 2008 年 3 月

堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する共同研究報告書

「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案)」

独立行政法人 土木研究所 材料地盤研究グループ（土質）
財団法人 国土技術研究センター
応用地質 株式会社
川崎地質 株式会社
サンコーコンサルタント 株式会社
株式会社 東京測器研究所
パシフィックコンサルタンツ 株式会社
復建調査設計 株式会社
綜合計測 株式会社
株式会社 エヌ・ティ・ティ ネオメイト

要旨：

本報告書は、国土交通省の総合技術開発プロジェクト「社会資本の管理技術の開発」の一環として、平成 17 年度～19 年度に(財)国土技術研究センターおよび民間８社との間で実施した共同研究の成果である。河川堤防の維持管理の高度化を目的として、堤体内水位を適切に把握するための観測システムならびに観測方法について検討し、河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）として取りまとめた。

キーワード： **河川堤防、堤体内水位、観測方法、マニュアル**

まえがき

我が国において、地震災害、土砂災害、水害をはじめとする自然災害に対する安全性の向上を求める社会的要請は、近年ますます高まってきています。また、戦後の我が国の高度経済成長を支えた河川、道路等の社会資本は、今後本格的な維持・更新の時期を迎えようとしているところであり、老朽化への対応が喫緊の課題となっています。こうしたことから、国土交通省において、計測機器を活用し、自然災害への迅速な対応と社会資本の老朽化に的確に対応することを目的として、総合技術開発プロジェクト「社会資本の管理技術の開発（平成 17～19 年度）」が実施されました。

社会資本のうち、河川堤防については、変状誘因の一つとして堤体内水位の上昇が挙げられます。気象条件により、堤体内は乾湿を繰り返し、水位が大きく変動します。こうした堤体内水位の状況を適切に把握するため、独立行政法人土木研究所では、財団法人国土技術研究センターと民間企業８社の参加を得て、共同研究「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発」を実施しました。限られた実験条件・期間ではありましたが、共同研究で使用した各種水位観測手法により概ね妥当な堤体内水位観測結果を得ることができました。

本報告書は、前述の共同研究の成果であり、第１編に河川堤防の特性に対応した観測システム、ならびに観測機器の設置位置等を含む観測方法についてとりまとめた「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）」を掲載しました。また、第２編として、共同研究で実施した主に実験による検討資料をとりまとめました。本報告書の成果を利用して、一定水準以上の精度を確保した堤体内水位観測により、河川堤防の管理が適切に実施されることを期待します。

共同研究「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発」
参加者名簿

小橋　秀俊	(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 上席研究員
古本　一司	国土交通省 国土交通政策研究所　主任研究官
	(前　(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 主任研究員)
齋藤 由紀子	(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 研究員
桝谷　有吾	(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 研究員
谷中　仁志	(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 交流研究員
森　　啓年	国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部国際研究推進室　研究官
	(前　(独)土木研究所 材料地盤研究グループ(土質) 研究員)
大西　　亘	(財)国土技術研究センター 調査第一部 部長
中山　　修	(財)国土技術研究センター 調査第一部 次長
佐古　俊介	(財)国土技術研究センター 調査第一部 上席主任研究員
阿部　知之	応用地質(株) 東京本社 技術センター 副センター長
荘司　泰敬	応用地質(株) 技術本部 技術統括部 部長
田子　公一	応用地質(株) 機器事業本部 新技術推進部 部長
濱田　善弘	応用地質(株) 東京支社 流域環境部 グループマネージャー
竹森　　基	応用地質(株) 機器事業本部 新技術推進部 グループリーダー
矢部　　満	応用地質(株) 機器事業本部 新技術推進部 グループリーダー
酒井　康紀	応用地質(株) 機器事業本部 新技術推進部 主任
坂上　敏彦	川崎地質(株) 技術本部 技術企画部 部長
山邊　　晋	川崎地質(株) 技術本部 技術企画部 課長代理
黛　　廣志	川崎地質(株) 技術本部 技術統括部 部長
高橋　　輝	川崎地質(株) 技術本部 技術統括部 課長代理
吉田　　透	川崎地質(株) 事業本部 ジオ技術部 課長代理
小川　鉄平	川崎地質(株) 事業本部 ジオ技術部 課長代理
山嶋　行人	サンコーコンサルタント(株) 地盤調査・防災部 部長
水野 健一郎	サンコーコンサルタント(株) 地盤調査・防災部 水文・水環境課　課長補佐
高田　尚秀	サンコーコンサルタント(株) 地盤調査・防災部 土質・地盤解析課

末吉　良敏　（株）東京測器研究所 製造部 次長
神山　一郎　（株）東京測器研究所 開発部 ＴＲ開発室 課長
齋藤　渉　（株）東京測器研究所 計測技術部 計測課 課長補佐
皆川 純一郎　（株）東京測器研究所 計測技術部 計測課 課長補佐

渡邊　眞道　パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 部長
佐々木 博明　パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 次長 構造・診断G
増山　博之　パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 構造・診断G
新村　卓也　パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 構造・診断G
上村　雄介　パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 構造・診断G

来山　尚義　復建調査設計(株) 経営企画本部 技術研究所 所長
小田　浩司　復建調査設計(株) 地盤環境部 地盤環境課 係長

武田　克史　綜合計測(株) 技術開発部 次長

光永　顕　(株)ｴﾇ･ﾃｨ･ﾃｨ ﾈｵﾒｲﾄ 中国支店 ITﾋﾞｼﾞﾈｽ部 ｻｰﾋﾞｽ推進担当 担当課長

<u>オブザーバー</u>

西條　敦志　曙ブレーキ工業(株) 新商品開発室
堀　秀和　(株)曙ブレーキ中央技術研究所 池上研究室

山城　睦　坂田電機(株) 営業部 部長
須賀原 慶久　坂田電機(株) 新事業開発グループ グループリーダー
石坂　周平　坂田電機(株) 計測技術課
鈴木　聡司　坂田電機(株) 新事業開発グループ

目　　次

第１編　河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案） ---------- 1

１．総則 ---------- 1

１．１　本マニュアル（案）の目的 ---------- 1

１．２　河川堤防における堤体内水位観測の目的 ---------- 1

１．３　適用範囲 ---------- 4

１．４　用語の定義 ---------- 4

２．観測方法 ---------- 5

２．１　測定断面・位置 ---------- 5

２．２　測定頻度 ---------- 10

２．３　観測システムの構成 ---------- 10

２．３．１　観測孔の仕様 ---------- 11

２．３．２　水位計の仕様 ---------- 12

２．３．３　データロガーの仕様 ---------- 13

２．３．４　送信機器の仕様 ---------- 13

２．４　観測システム構築にあたっての留意事項 ---------- 15

３．観測結果の整理 ---------- 18

４．維持管理 ---------- 21

４．１　点検時期 ---------- 21

４．２　点検方法 ---------- 22

４．３　機能低下からの回復 ---------- 24

第２編　堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する共同研究
－実験結果等に関する資料－
---------- 25

第１章　河川堤防の堤体内水位観測実験 ---------- 25

１．実験概要 ---------- 25

１．１　実験目的 ---------- 25

１．２　実験内容 ---------- 25

２．水位計測器の耐久性に関する基礎実験 ---------- 26

２．１　実験方法 ---------- 26

２．２　実験結果および考察 ---------- 28

２．３　耐久性に関する基礎実験結果のまとめ ---------- 28

３．堤体内水位計測への適応可能性に関する実験 ---------- 32

３．１　実験方法 ---------- 32

３．２　実験結果および考察 ---------- 40
３．２．１　模型１（半断面堤防模型）の実験結果および考察 ---------- 40
３．２．２　模型２（全断面堤防模型）の実験結果および考察 ---------- 57
３．３　適用可能性に関する実験結果のまとめ ---------- 71

第２章　本共同研究における観測システム ---------- 73
１．Ａグループ ---------- 74
２．Ｂグループ ---------- 78
３．Ｃグループ ---------- 82
４．Ｄグループ ---------- 84
５．Ｅグループ ---------- 86

巻末資料　本共同研究における観測データ等
① 本共同研究で使用した観測孔の諸元（表）
② 本共同研究で使用した水位計の諸元（表）
③ 本共同研究で使用したデータロガーの諸元（表）
④ 本共同研究で使用した送信機器の諸元（表）
⑤ 本共同研究の実験時に生じた不具合等への対応（表）
⑥ 観測データ　堤防模型１（半断面模型、透水係数 $k=2.0\times10^{-3}$ cm/s、全 10 回）
⑦ 観測データ　堤防模型２（全断面模型、透水係数 $k=8.5\times10^{-5}$ cm/s、全 5 回）
⑧ 半断面堤防模型における土質調査・解析結果
対外発表文献

第１編　河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）

１．総則

１．１　本マニュアル（案）の目的

「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）」（以下、本マニュアル（案）という）は、河川堤防における堤体内水位の観測に必要な技術的事項をとりまとめたものであり、河川堤防の適切な維持管理に資することを目的とする。

（解説）

地震災害、土砂災害、水害をはじめとする自然災害に対する安全性の向上への社会的要請は、近年ますます高まってきている。また、戦後の我が国の高度経済成長を支えた河川、道路等の社会資本は、今後、本格的な維持・更新の時期を迎えようとしているところであり、老朽化への対応が喫緊の課題となっている。こうしたことから、国土交通省において総合技術開発プロジェクト「社会資本の管理技術の開発（平成 17～19 年度）」が実施された。

こうした社会資本のうち、河川堤防については、その変状誘因の一つとして堤体内水位の上昇が挙げられる。このため、堤体内水位の状況を適切に把握するための、河川堤防の特性に対応した観測システム、ならびに観測機器の設置位置等を含む観測方法を確立する必要があった。そこで、（独）土木研究所、（財）国土技術研究センター、および民間企業8社（応用地質(株)、川崎地質(株)※1、サンコーコンサルタント(株)、(株)東京測器研究所、パシフィックコンサルタンツ(株)※2、復建調査設計(株)、綜合計測(株)、(株)エヌ・ティ・ティ ネオメイト）は、同プロジェクトの一環として共同研究「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発（平成 17～19 年度）」を実施した。

「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル（案）」（以下、本マニュアル（案）という）は、その成果をとりまとめたものであり、河川堤防の維持管理の高度化を目的とするものである。

（共同研究のオブザーバー　※1：曙ブレーキ工業(株)、※2：坂田電機(株)）

１．２　河川堤防における堤体内水位観測の目的

本マニュアル（案）における河川堤防堤体内水位観測は、堤防強化工法の効果検証、河川堤防点検結果の検証、防災情報の提供、樋門・樋管構造物周辺堤防の管理を目的とする。

（解説）

「河川堤防設計指針」（平成 19 年 3 月付け国河治第 87 号）では、河川堤防のモニタリングを実施することの重要性が示されている。

これを受けて、主として直轄河川の既設堤防では「河川堤防モニタリング技術ガイドライン（案）同解説」（平成16年3月　河川局治水課）により、計画高水位以下の水位時における河川堤防の耐浸透機能及び耐侵食機能を対象に、モニタリングを実施することとされている。

同ガイドラインにおいては、モニタリングは目視によるものと、計測機器によるものに大別されているが、堤防強化工法の検証や河川堤防の要注意箇所の把握においては、目視によるものに加え、計測機器を利用したモニタリング（以下、計測機器モニタリング）も実施することとされている。計測機器モニタリングは、堤体内や堤防強化工周辺の浸潤状況を水位計測をすることにより把握する方法や、水分量を計測することにより把握する方法があるが、本マニュアル（案）は、水位計を用いた計測機器モニタリングを

対象としたものであり、水位計測の精度を一定水準以上に確保して実施することが可能となる。

以上に示すような内容も含め、本マニュアル(案)では、次のような内容を、河川堤防における堤体内水位観測の目的としている。

１）堤防強化工法の効果検証

堤防強化工法の水位低下等の効果の検証、およびその効果の長期的な持続についての確認を目的とするものである。

河川堤防設計指針にあるような各種堤防強化工法について、２．１を参考に適切な位置で堤体内水位観測を実施し、水位低下等の効果の検証を行う(図 1.1)。

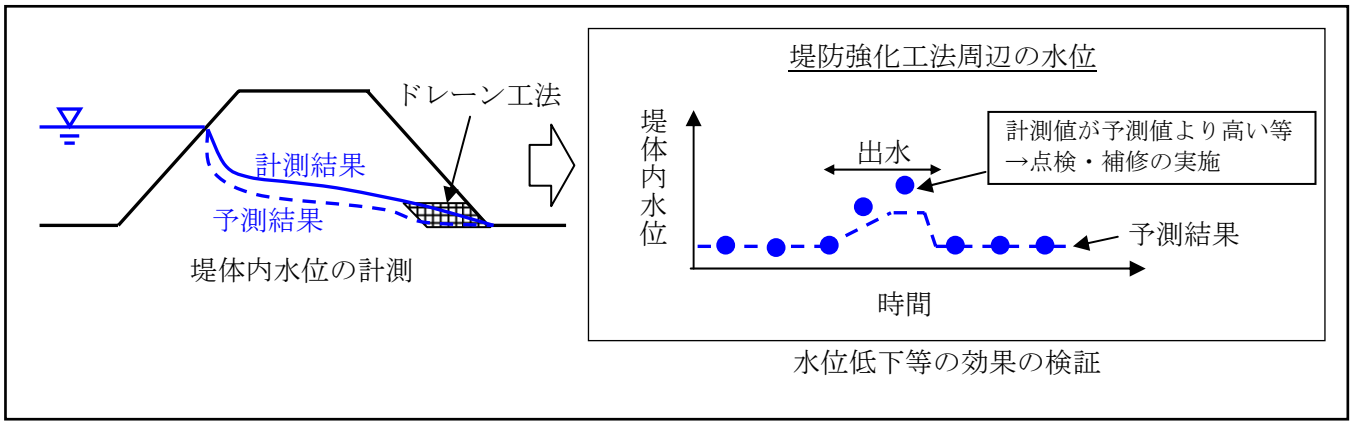


図 1.1　堤防強化工法の効果検証のイメージ

２）河川堤防点検結果の検証

河川堤防設計指針に基づいて実施した河川堤防点検結果の検証、および同点検における安全性照査手法の精度を向上させるための基礎データの取得を目的とするものである。

堤防強化工法の検討と同様に、２．１を参考に適切な位置で堤体内水位観測を実施し、河川堤防点検の結果と実態との比較検討を行う(図 1.2)。

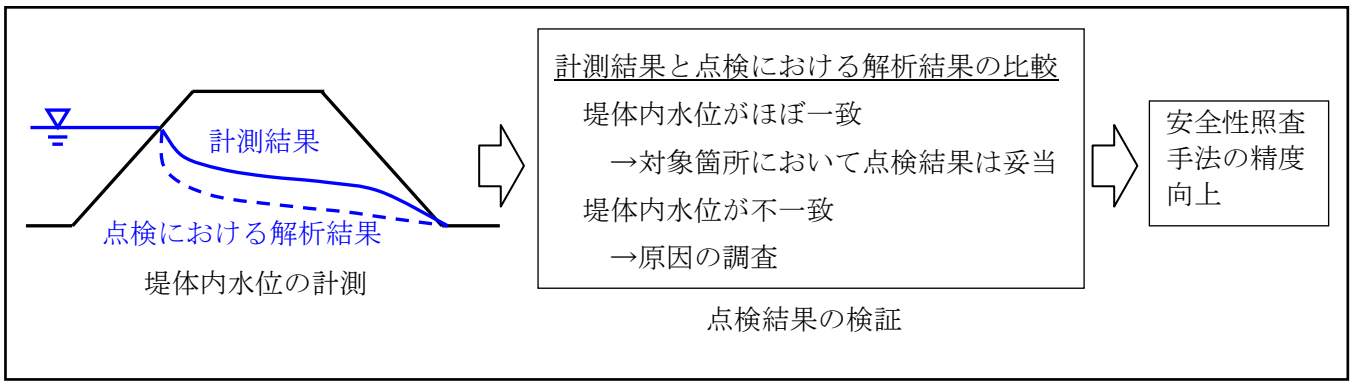


図 1.2　河川堤防点検結果の検証のイメージ

３）防災情報の提供

避難指示・勧告等に関して提供する情報の精度向上、目視が困難な夜間における管理補助等の高度化を目的とするものである。

特に、河川堤防点検等により弱点と想定される区間においては、リアルタイムで堤体内水位情報を取得することにより、外水位情報等とあわせて総合的に河川堤防の安全性について、評価・予測することが可能となる(**図 1.3**)。

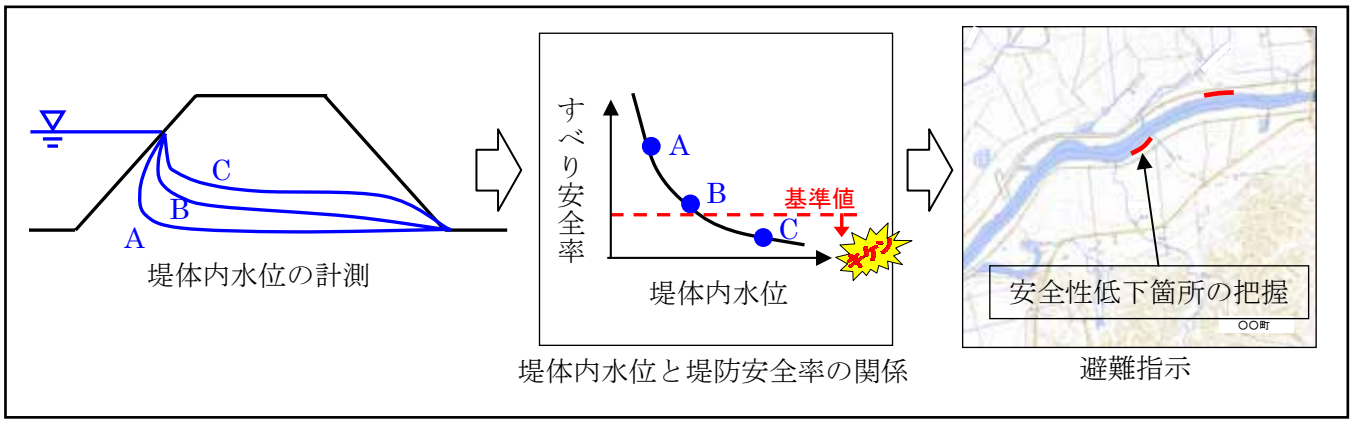


図 1.3　防災情報の提供のイメージ

４）樋門・樋管周辺堤防の管理

樋門・樋管等の構造物周辺堤防の透水性の高いゾーンの発達の有無を確認すること等を目的とするものである。

樋門・樋管等の構造物周辺堤防は、地盤の沈下、構造物の劣化・損傷、水位の変動などにより漏水・水みちが発達し浸透に対しての弱点が生じる可能性があり、したがって、長期的な観測が必要となる(**図 1.4**)。また、連通試験等のデータや測定孔等を利用すると効率的に観測が実施できる。

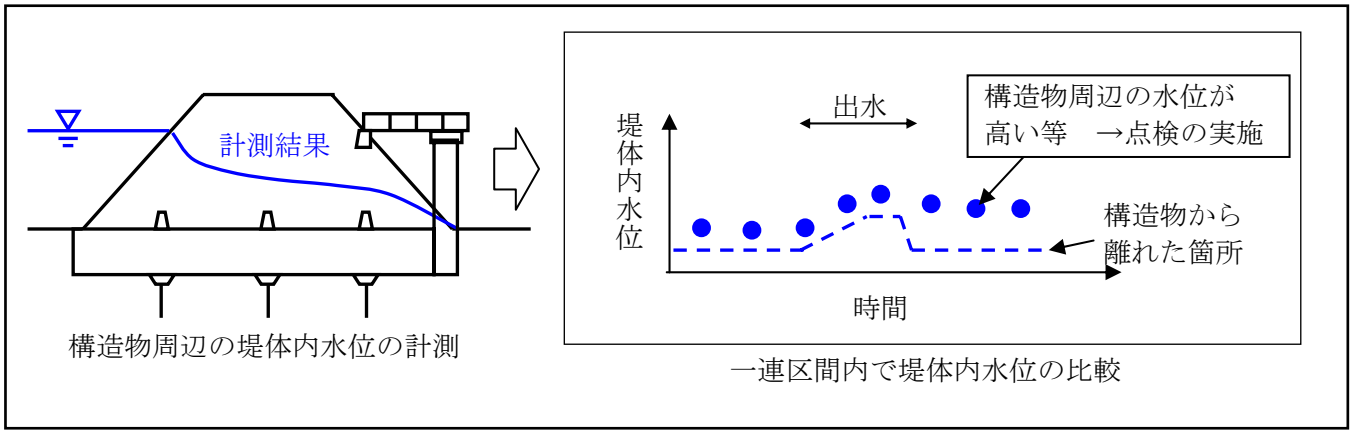


図 1.4　樋門・樋管周辺堤防の管理のイメージ

１．３　適用範囲

本マニュアル（案）は、盛土により築造された河川堤防の堤体内水位観測に適用するものである。

（解説）

本マニュアル（案）は、盛土により築造された河川堤防を想定している。

なお、本マニュアル（案）は、前述の共同研究の成果をとりまとめたものであるが、地盤条件等により本マニュアル（案）で想定している範囲外の観測手法を用いる場合、本マニュアル（案）に述べられている基本的な考え方を踏まえ、更に詳細かつ総合的な検討を加え、合理的な観測を行うことが必要である。

１．４　用語の定義

堤体内水位観測：堤体内および堤体直下の地盤内水位の観測
観　測　孔：水位計を堤体内に設置するために堤体に設ける孔
水　位　計：堤体内の水位を検知する装置
データロガー：水位計により計測されたデータを収集する装置
送 信 機 器：データロガーに集められたデータを事務所等に送信する装置
表 示 装 置：送信機器により送られたデータを処理し、表示する装置

２．観測方法

２．１　測定断面・位置

測定断面ならびに位置は、観測目的、堤体内部構造等に応じて適切に設定する。

（解説）

河川堤防堤体内水位の測定断面、ならびに断面内における測定位置は、観測目的により１）～４）のように設定する。

堤防の浸透現象に関する計測項目としては、基礎地盤水位（地下水位）および堤体内水位の発達状況が挙げられる。また、選定断面付近において、外水位と降雨量についても計測する。近傍に観測所がある場合は、それを活用するとよい。

粘性土等の難透水性材料の中に観測機器を設置しないように、事前に堤体・基礎地盤の土質構成については十分把握しておく必要がある。

１）堤防強化工法の効果検証

堤防強化工法の効果検証を目的とする場合は、ドレーン工法や表のり面被覆工法、川表遮水工法等の対策工が施工されている断面を対象断面として選定する（**図 2.1**）。

測定位置の決定にあたっては、対策工の種類、効果発現のメカニズム、堤防の規模、土質構成などを考慮する。

２）河川堤防点検結果の検証

堤防点検結果の検証を目的とする場合は、概略点検や詳細点検により相対的に安全性が低いと判断された断面を対象断面として選定する。

測定位置の決定にあたっては、堤防の規模、土質構成などを考慮し、適切に測定位置を決定する（**図 2.2**）。少なくとも３箇所（たとえば、堤体中央、裏のり面、裏のり尻付近）の堤体内水位を測定できるように測定位置を設けるものとするが、堤防の規模が小さい場合には２箇所としてもよい。この場合、堤体中央、裏のり尻付近の水位を計測できるように測定位置を設ける。

３）防災情報の提供

防災情報の提供を目的とする場合は、概略点検や詳細調査により相対的に安全性が低いと判断された断面や堤内地の状況に応じて対象断面を選定する。

測定位置の決定にあたっては、堤防の規模、土質構成などを考慮し、適切に測定位置を決定する（**図 2.2**）。堤防の浸透に対する破壊現象を考慮すると、裏のり尻付近の堤体内水位の発達状況を測定するのが効果的であることから、原則的には裏のり尻付近の水位を測定できるように測定位置を１箇所設けるものとするが、裏のり尻付近に不透水層が分布しており浸潤線が上昇しやすい等の堤体の土質構成や、比高および堤防の規模によっては測定箇所を変更・追加する（**図 2.3**）。

測定結果は事務所においてリアルタイムで把握できるようにする。

４）樋門・樋管周辺堤防の管理

樋門・樋管周辺堤防の管理を行うための一情報として、樋門・樋管直近堤防の水位観測を行う。対象断面としては、樋門の抜け上がりのある箇所や、過去の被災箇所等を選定する。

測定位置の決定にあたっては、「樋門等構造物周辺堤防点検要領」（平成 13 年 5 月　河川局治水課）を参考とする。水位観測結果に異常が検知された（例えば、出水時に急激な水位変化が見られる等）場合、緊急対応の準備を行うとともに、洪水後に詳細な調査を行う。

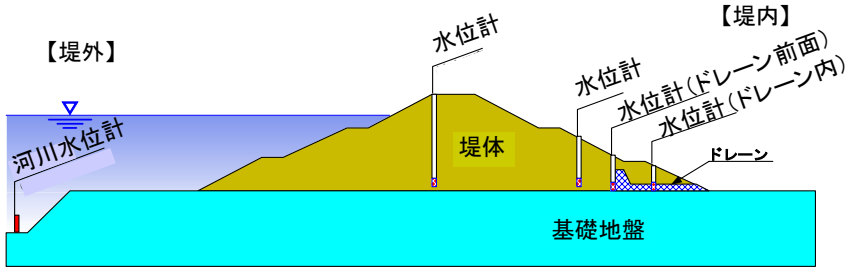
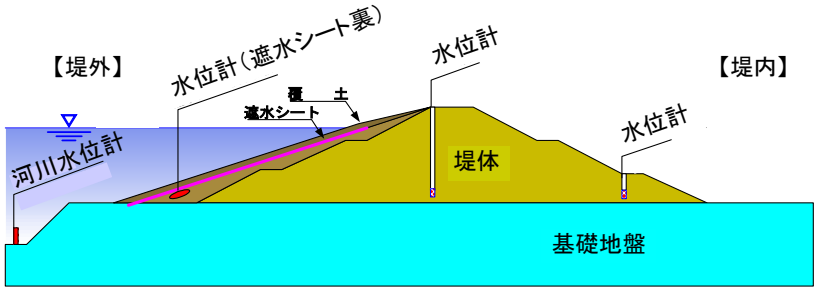
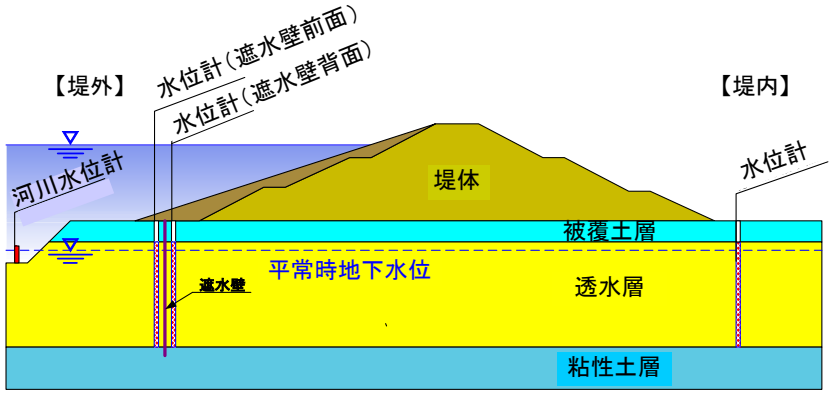
堤防強化工法	計測位置模式図
ドレーン工法	 ①ドレーン内の水位の確認 ②裏のり尻ドレーン設置による堤体内の浸潤面の変化を把握
表のり面 被覆工法	 ①遮水シートの遮水効果の確認 ②遮水シート施工による堤体内の浸潤面の変化を把握
川表遮水工法	 ①遮水矢板の遮水効果の確認 ②遮水矢板設置による堤内透水層の水圧低下状況の確認

図 2.1　浸透に対する堤防強化工法の検証のための水位観測イメージ

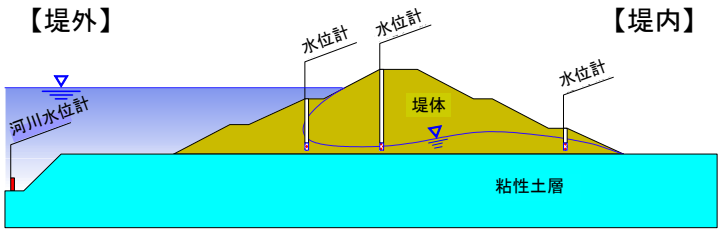
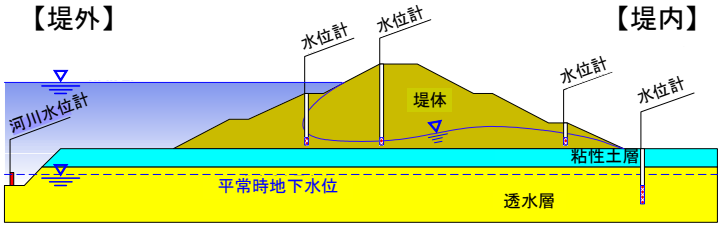
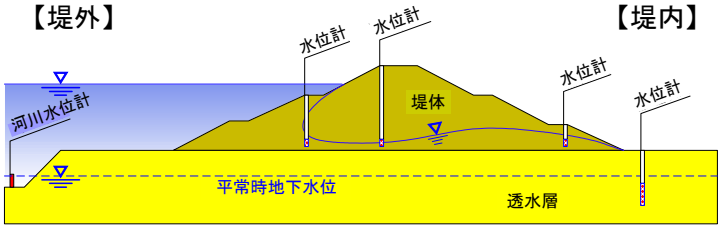
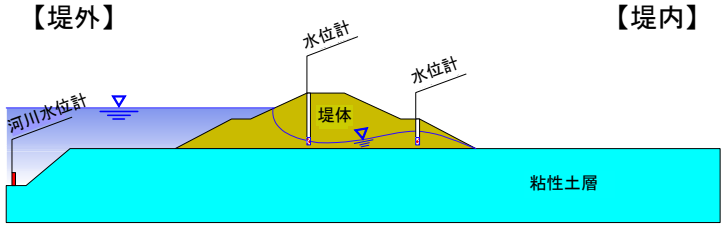
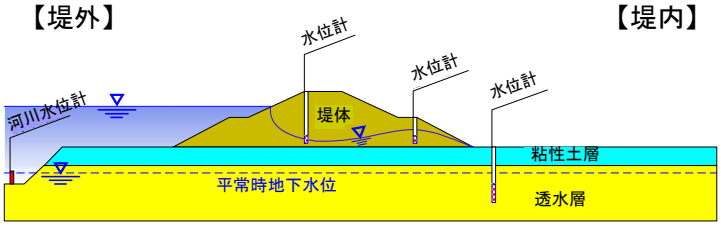
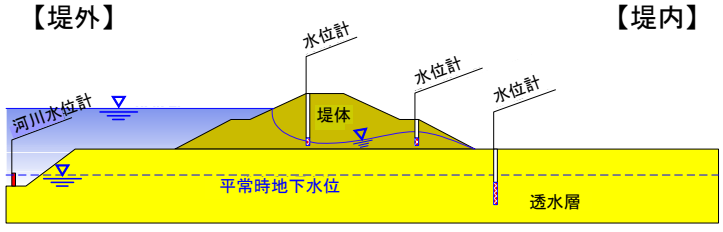
堤防規模	地盤状況	計測位置模式図	観測箇所数
堤高 10m程度	透水層なし		堤体内水位 ：３箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
	被覆土層 （粘性土） +透水層		堤体内水位 ：３箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
	透水層のみ		堤体内水位 ：３箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
堤高 ５m程度	透水層なし		堤体内水位 ：２箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
	被覆土層 （粘性土） +透水層		堤体内水位 ：２箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
	透水層のみ		堤体内水位 ：２箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所

図 2.2　河川堤防点検結果の検証、防災情報の提供における水位観測イメージ

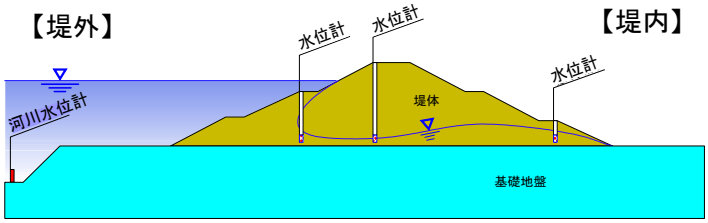
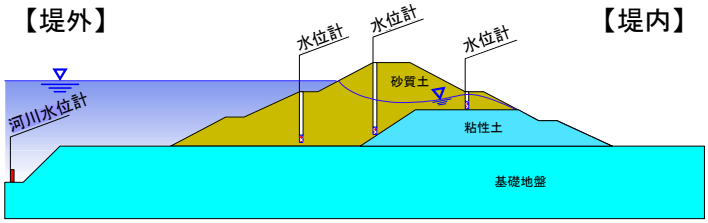
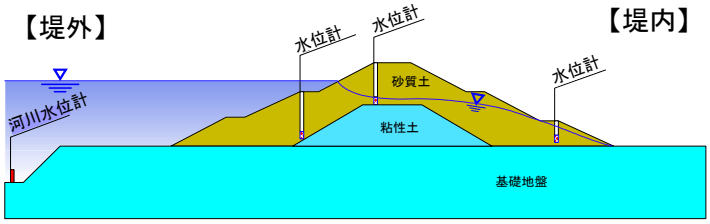
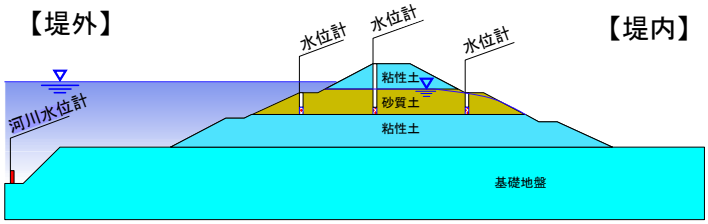
堤体構造	計測位置模式図	観測箇所数
均一構造		堤体内水位 ：３箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
裏のり尻下に 難透水層が分布 （行止り地盤構造）		堤体内水位 ：３箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
中央部に 難透水層が分布		堤体内水位 ：３箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所
川表から川裏に 連続した透水層が 分布		堤体内水位 ：３箇所 透水層水位 ：１箇所 河川水位：１箇所 雨　　量：１箇所

図 2.3　浸透が問題となる土質構成の堤体に対する水位観測イメージ

２．２　測定頻度

測定頻度は、観測目的に応じて適切に設定する。

（解説）

出水期中は連続して水位観測を行う。測定頻度（測定間隔）は、洪水時には 10 分毎程度とし、それ以外の期間については観測目的に応じて適切に設定する。

また、現場と事務所を無線や光ファイバ等により接続し、観測機器を遠隔で操作できるようにすることにより、河川水位等と連動して測定頻度を変更することも可能となる。

２．３　観測システムの構成

堤体内水位観測システムは、主として観測孔、水位計、データロガー、送信機器、表示装置から成り、観測目的や現場条件等に応じて適切に選定・設定する。

（解説）

堤体内水位観測システムは、観測孔、水位計、データロガー、送信機器、表示装置、およびそれらを結ぶケーブルなどから構成される。

これらの機器等は、観測目的や現場条件などに応じて適切に選定する必要がある。観測孔、水位計、データロガー、送信機器の仕様・設置方法及び留意事項については、２．３．１～２．４に示す。また、表示装置には、表示のためのソフトウェアが組み込まれた汎用パソコン等がある。

また、設置時には適切に水位が測定できるかについて、水位計等の作動確認を行う必要がある。作動確認の方法は、４．２等を参考にするとよい。

なお、防災情報として活用するためには、オンライン計測によりリアルタイムにデータを採取できる観測システムにする必要がある。

２．３．１　観測孔の仕様

観測孔の仕様は、観測目的等に応じて適切に設定する。

（解説）

観測孔の仕様は、堤体構造、堤体の透水係数を勘案して設定する必要がある。

前述の共同研究において、透水係数 $k=2.0\times10^{-3}$～8.5×10^{-5}cm/s 程度の透水性を有する砂質土で構成される堤体に対しては、概ね**表 2.1** に示すような仕様で問題のない結果が得られている。

なお、同共同研究で使用した観測孔の諸元等の詳細を巻末資料①に示す。

表 2.1　観測孔の仕様の例

項目	仕様	注意事項
観測孔の掘削方法	・ボーリングマシン、ハンドオーガーによる削孔 ・サウンディング試験装置等による打ち込み	ボーリングマシンで泥水掘りとした場合、孔内洗浄を十分に行い、目詰まりが生じないようにする。
掘削孔径	・200mm 以下	保孔管と掘削孔の間の埋め戻しを考慮して設定する。
保孔管径	・内径 125mm 以下	維持管理の際、孔内洗浄が可能な孔径を確保する。
保孔管有孔部の開孔率	・1%以上	管の剛性が落ちないように、適切に開孔率を設定する。
保孔管有孔部の区間長	・150mm 以上	有孔部は、観測の対象とする土層に設定する。
保孔管有孔部の周辺の埋め戻し	・不織布、金網、防虫ネット等により保孔管内への土砂の流入を防止 ・保孔管周辺は、礫、砂利、珪砂等の透水性土質材料により埋め戻し	保孔管に巻く不織布等は、保孔管周辺部の土質を考慮して材料を選定する。 打ち込み式等では、不要な場合もある。
保孔管無孔部の周辺の埋め戻し	・有孔部と無孔部の境界にシール材を設置	シール材の上位の無孔部は、確実に充填できる方法で埋め戻すこと。 打ち込み式等では、不要な場合もある。
保孔管口元処理	・保孔管口元は、降雨や地表水が流入しないような構造	
保孔管底面処理	・保孔管の底面は、キャップで遮水	底面からの水の浸入を防止する
その他	・保孔管は、維持管理時の洗浄等を容易にするため、二重構造（外管と内管）とする場合もあり	

以上の他、「地盤調査の方法と解説」（平成 16 年、（社）地盤工学会）等に準じて行う。

２．３．２　水位計の仕様

水位計は、気象、想定される水位変動量など現場条件等に応じて適切に選定し、設置する。

（解説）

水位計には、水位の測定原理や水位を感知するセンサーの方式により種々のタイプがあり、性能や適用性に違いがある。また、水位計からデータロガーへの接続方法として、ケーブルで接続する方法と無線で接続する方法があり、現場条件等に応じて選択することができる。代表的な水位計の種類を**表 2.2** に、前述の共同研究で使用した水位計の諸元等の詳細を巻末資料②に示す。

水位計の選定に際しては、気象条件等の現場条件、想定される水位変動幅、観測孔の内径、確保できる電源、観測データの回収方法などの諸条件を勘案する必要がある。

表 2.2　代表的な水位計の種類

水位計タイプ	原　　理	
水圧式水位計	観測孔内の水位を水圧として計測する水位計である。	【大気圧補正型】 大気圧補正のためケーブル内にベントチューブ※1等を組み込んでいる。
		【絶対圧型】 大気圧補正のため、気圧計等の大気圧測定用の計測器を設置する。
ﾌﾛｰﾄ式水位計	水位の変動をフロートにより感知し、その高さ変化を計測する水位計である。	【レーザー式】 反射板を備えたフロートの高さの変化を孔口に設置したレーザー変位計で測定する方式である。
		【ワイヤー式】 フロートに取り付けられたワイヤーの動きを孔口のセンサーで計測する方式である。

※1　ベントチューブ：水位計に取り付けられた大気圧補正用のチューブ

２．３．３　データロガーの仕様

データロガーは、観測目的、現場条件等に応じて適切に選定し、設置する。

（解説）

データロガーには、**表 2.3** に示すような種類がある。

データロガーを選定する際には、使用する水位計との適応性、気象条件等の現場条件、確保できる電源、設置スペース、観測データの回収方法などの諸条件を勘案する必要がある。

なお、前述の共同研究で使用したデータロガーの諸元等の詳細を巻末資料③に示す。

設置時には、データを正常に収録できていることを確認する。

表 2.3　代表的なデータロガーの種類

データロガーのタイプ	特　　徴
水位計と一体型	水位計とデータロガーが一体となっているタイプである。水位計 1 台に 1 台のデータロガーが対応しているものが多い。
水位計・通信機能と一体型	水位計・データロガーとデータの通信機能が一体となっているタイプである。地中無線通信器等によりワイヤレス化されている。
データロガー単独型	汎用性が高く、複数のセンサーを接続できるタイプが多い。
上記のデータロガーのタイプは、いずれもシステムの構築方法により、オフライン観測※1とオンライン観測※2が可能である（２．３．４参照)。	

※１　オフライン観測：現場に行き、設置したデータロガーより直接サンプリングする方法

※２　オンライン観測：現場と事務所を無線や光ファイバ等により接続し、遠隔でデータサンプリングを行う方法

２．３．４　送信機器の仕様

送信機器は、観測目的、現場条件等に応じて適切に選定する。

（解説）

送信機器（データ送信方法）には、以下のようなものがあり、観測目的、現場条件等に応じて適切に選定する。

１） 観測地点でデータを回収する方法（オフライン観測）

観測地点に設置したデータロガー内部にデータを記録・保存し、定期的にデータを回収する方法である。データの回収方法としては、データロガーからケーブルを介して回収する方法、無線を介して回収する方法、データロガーに交換可能な記録デバイスを装備し、その記録デバイスを回収する方法などがある。

２） 有線によりデータ送信する方法（オンライン観測）

観測地点に設置したデータロガーに、河川管理用光ファイバネットワークを接続する、もしくは電話回線を利用したモデムあるいは ADSL などのデジタル回線装置を付加して、定期的に事務

所へデータ伝送する方法である。

３） 無線によりデータ送信する方法（オンライン観測）

観測地点に設置したデータロガーに、携帯電話回線などを利用した無線通信装置を付加して、定期的に事務所へデータ伝送する方法である。

代表的な送信方式の特徴等を**表 2.4** に示すとともに、前述の共同研究で使用した送信機器の詳細を巻末資料④に示す。

表 2.4　代表的な送信方式

送信方法のタイプ	細　分	特　　徴	
データ回収（オフライン観測）	ケーブル接続	接続部の防滴構造が必要である。 接続時の作業が容易なシステム構造を考慮する必要がある。	リアルタイム性の必要が無い場合の堤体内水位観測向きである。 維持管理の点検時などにデータを回収する。
	無線接続	景観に与える影響が小さい。 防滴構造が必要ない。	
	記録デバイス交換	データ回収作業が単純である。	
有線送信（オンライン観測）	光ファイバケーブル接続	常時接続で、信頼性の高い高速通信が可能である。	リアルタイム観測向きである。 データロガーの機能によっては、測定頻度を変更することが可能である。
	公衆回線モデム	データ量が少なく、通信時間が短い場合に適している。	
	ADSL などのデジタル回線	データ伝送が高速である。	
無線送信（オンライン観測）	携帯電話回線	観測地点が携帯電話サービスエリア圏内である必要がある。	リアルタイム観測向きである。 データロガーの機能によっては、測定頻度を変更することが可能である。 耐雷性が高く、景観に与える影響が小さい。

２．４　観測システム構築にあたっての留意事項

観測システムの構築にあたっては、対象とする河川堤防の構造や構成土質を勘案した観測孔の構造とするとともに、必要に応じて落雷、凍結、水質などに配慮する。

（解説）

（１）観測孔に対する留意事項

観測孔は、対象とする河川堤防の構造や堤体を構成する土質の透水性を勘案し、適切に設定する必要がある。

１）河川堤防の構造

河川堤防は、幾度もの嵩上げ等により、複雑な構造である場合が多い。そこで、河川堤防の安全性を検討する上で重要な箇所の堤体内水位が観測できるように、有孔部の位置など観測孔の構造を適切に設定する必要がある。

２）堤体を構成する土質の透水性

水位観測孔周辺の地盤の地下水位が変化したとき、観測孔内に水が出入りして孔内の水位が周辺の地下水位と平衡するために必要な時間をタイムラグ（time lag）と呼ぶ。**図 2.4** に示すような水位観測孔のタイムラグは、次式によって評価される[1)]。

$$t = 3.3\times10^{-6}\,\frac{d^2 \ln\left[L/D+\sqrt{1+(L/D)^2}\right]}{kL}$$

ここで、t　：90%応答に必要な時間（日）

d ：観測管の内径（cm）

L ：取水部の長さ（cm）

D ：取水部の直径（cm）

k ：地盤の透水係数（cm/sec）

上式より、タイムラグは地盤の透水係数が小さいほど増加し、観測管の内径が大きいほど増加することから、観測孔の構造や寸法の設定にあたっては注意が必要である。

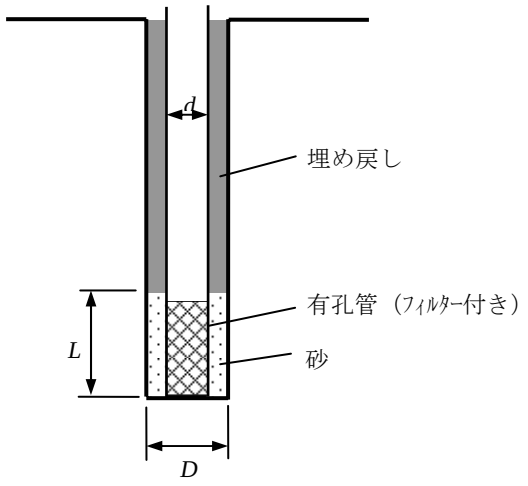


図 2.4　水位観測孔の例

３）掘削孔の余掘り

観測孔の設置にあたっては、水位計の受圧面の位置や、観測孔内の土砂堆積等を考慮し、余掘りを行う。

４）観測孔の保護

観測孔の設置にあたっては、周辺環境を考慮して、その孔口部を地中に埋設するなどして、孔口から観測孔内に異物等が入らないように留意する。

（２）観測機器に関する留意事項

現場の条件によっては、観測機器が落雷や凍結、水質などの影響をうける場合があるため、適切な対策、対応を講じることが必要である。

１）水位計の設置

観測孔内に水位計を設置する際には、水位の基準となる水位計のセンサー部を所定の深度に正確に設置し、その設置深度を記録する。日常点検などで水位計を一時的に引き上げた場合は、

再設置の際に設置深度を再度確認する

また、設置時には、観測孔内の水位を変動させて、水位計が正常に作動することを確認する必要がある。

2）耐雷対策

野外に設置する電子機器（水位計、データロガー）は、直接的な落雷（直雷）の他、誘導雷の影響を受けることがある。直接的な落雷（直雷）の場合は、大電流（1,000A～10,000A）が電子機器に流れることがあり、耐雷対策で保護していても被害を防ぐことはできない。一方、誘導雷の場合は、雷雲の中で頻繁に発生するもので、周囲に強力な電磁場を発生させ、電線などを通じて電子機器に進入して被害を発生する。この場合は、以下に示すような適切な耐雷対策を実施することで、被害を防ぐことができる。

①ケーブルの地中埋設化

ケーブルを地中に埋設することで、誘導雷の影響を軽減することできる。少なくとも、水位計からデータロガーまでの電線は、架空による引き回しは避け、信号線用避雷器を取り付けることが望ましい。また、水位計からデータロガーへ無線でデータを送信する方法は、被害を受けにくい。

②電源のバッテリー化

バッテリーなどの個別電源と商用電源(AC100V)とを比較すると、個別電源の方が影響を受けにくい。個別電源を使用する場合には、電源と観測システムを接続するケーブルは極力短くすることや水位計やデータロガーなどの電子機器側には、耐雷部品を取付ける。

一方、商用電源(AC100V)を利用する場合は、電信柱に直雷を受ける可能性が高いので、耐雷トランス、および大地アースを接続した避雷器を取付け、十分に耐雷対策を考慮する必要がある。

3）結露・凍結・高温対策

観測システムは、設置する地域の年間の気象条件を調査して、その動作温度仕様範囲に合わせて、結露や凍結および高温に対する対策が必要である。地表に観測システム（データロガー等）を設置する場合は、さらに強風や積雪などの影響も考慮しなくてはならない。

特に、傾斜地に設置する場合は、雪解けによる積雪の移動により、設置した観測システム（観測孔の地上部分なども含めて）が倒壊する可能性にも留意する。

①データロガー

温度変化によりデータが影響を受けないようするため、設置の際、動作保障温度範囲を超えた低温・高温に配慮する必要がある。たとえば、気象や外的な影響を受けにくくするために、地中に設置することや断熱材や換気装置などの対策を講じた観測ボックス内に設置することが考えられる。

②観測孔内水位計

水位計を設置する深度が極端に浅く、凍結する可能性がある場合は、凍結融解後においても使用可能な水位計を選定することが望ましい。

大気圧補正のためにベントチューブ等を使用している水圧式水位計は、ベントチューブ内部に進入する湿気により、測定値や水位計に異常をきたす恐れがある場合、防止のためのシリカゲル等の湿気対策を行う必要がある。また、ベントチューブが潰れないように配慮する必要がある。

4）観測孔内の水質への配慮

腐食の恐れがある水質の進入が予想される場合、観測孔内に設置する水位計の感知部（ダイヤフラムなど）や保孔管は、耐食性の高い材料（ステンレスや耐食性の塗料の塗布）を考慮することが必要である。

5）点検・保護

堤体内水位観測は、水位計が乾湿繰返しを受けるなど、一般的な計測器に比べ、過酷な環境下での観測となることから、定期的な点検や補修が容易に実施できる観測システムを構築することが必要である。例えば、電源としてバッテリー等を利用する場合は、容易に交換または充電等が可能であるものとしたり、点検の際に観測孔内に設置した水位計を引き上げて外観を検査することが可能で、必要に応じて水位計の交換が容易にできるシステムとすることなどが挙げられる。

また、システムの設置にあたっては、不特定の人や動物・昆虫・植物の侵入に対し、システムに影響の無いように保護・対策を講じる必要がある。

さらに、観測システムの構造や配置の計画にあたっては、河川利用や除草作業等に対して支障の無いように配慮する。

1) John Dunnicliff, “Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance”, John Wiley & Sons, p.140, 1988.

３．観測結果の整理

堤体内水位観測にあたっては、堤体内水位の他、雨量、河川水位等のデータを取得・整理する。

（解説）

１）データの種類

水位観測にあたっては、堤体内水位の他、観測目的に応じて以下に示すような項目を併せて取得・整理する。

① 日時
② 降雨量
③ 河川水位
④ 堤内地の地下水位
⑤ 気温
⑥ 気圧

②～⑥については、なるべく観測箇所近傍のデータであることが望ましく、必要に応じてそれらのデータが取得できるような計測装置を合わせて設置する。河川水位は、河道状況により近傍の観測所のデータから観測箇所の河川水位を推定することが難しい場合があるが、その場合には新たに設置することも検討する。なお、気温と気圧については、補正機能等が装備されている観測機器を使用する場合、必ずしも取得する必要はない。

２）データの形式

水位計のデータは、設定した測定頻度に応じて出力し、出力形式は汎用ソフトへの適用性が高い csv 形式とすることが望ましい（**表 3.1** 参照）。

表 3.1　水位計からのデータ出力形式の例

測定日時	堤体内水位 標高(m)
2006/5/31 19:10	9.96
2006/5/31 19:20	9.96
2006/5/31 19:30	9.96
2006/5/31 19:40	9.97
2006/5/31 19:50	9.96
2006/5/31 20:00	9.96
2006/5/31 20:10	9.97
2006/5/31 20:20	9.97
2006/5/31 20:30	9.97

３）表示形式

観測データは、一覧表および経時変化図としてとりまとめることを基本とし、必要に応じて、堤防断面に堤体内水位を表示する（**表 3.2** および**図 3.1** 参照）。なお、堤体内水位はメートル単位とし、小数点以下２桁まで表示することとする。

一覧表には、１）のデータの全項目をとりまとめる。また、経時変化図では、堤体内水位、雨量、河川水位をとりまとめることとする。

表 3.2　堤体内水位観測結果一覧表の例

時刻	堤体内水位　標高(m)			河川水位（〇〇観測所）標高(m)	降雨量（〇〇観測所）(mm/h)
	堤外小段	天端	堤内小段		
2004/10/10 10:00	12.68	11.51	9.33	13.20	0.0
2004/10/10 11:00	12.74	11.55	9.34	13.17	0.0
2004/10/10 12:00	12.75	11.58	9.34	13.12	0.0
2004/10/10 13:00	12.76	11.60	9.35	13.09	0.0
2004/10/10 14:00	12.77	11.62	9.36	13.02	0.0
2004/10/10 15:00	12.77	11.63	9.36	12.97	0.0
2004/10/10 16:00	12.78	11.64	9.37	12.92	0.0
2004/10/10 17:00	12.79	11.65	9.37	12.86	0.0
2004/10/10 18:00	12.78	11.66	9.38	12.80	0.0
2004/10/10 19:00	12.78	11.67	9.38	12.73	0.0
2004/10/10 20:00	12.78	11.67	9.39	12.68	0.0
2004/10/10 21:00	12.78	11.68	9.40	12.63	0.0
2004/10/10 22:00	12.79	11.68	9.40	12.55	0.0
2004/10/10 23:00	12.79	11.69	9.41	12.51	0.0
2004/10/11 00:00	12.80	11.69	9.42	12.44	0.0

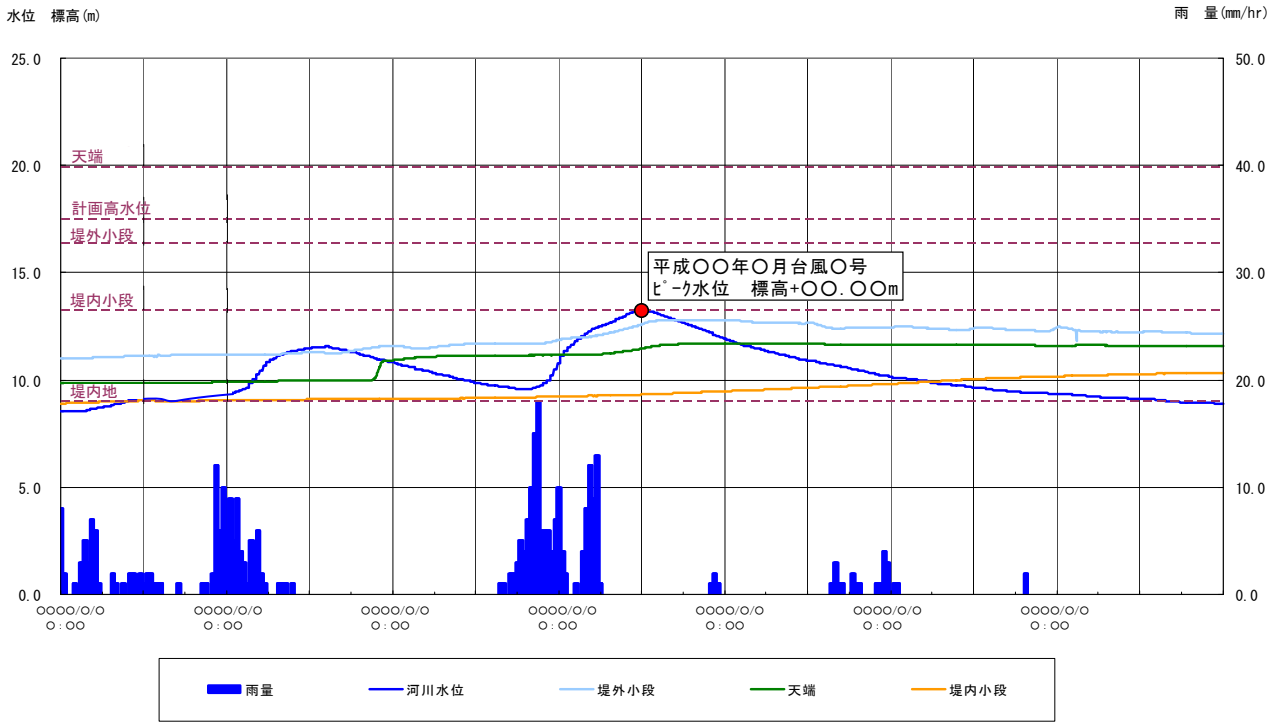


図 3.1　堤体内水位の経時変化とりまとめの例

４）整理内容

整理内容は、観測データをもとに作成する一覧表(前出**表** 3.2)と経時変化図（前出**図** 3.1）等の他、観測位置平面図(**図** 3.2)および観測箇所の地質断面図(水位観測箇所を明示)(**図** 3.3)とする。なお、観測データが明らかな異常値を示している場合には、その原因を考察し、その結果を併せて整理するものとする。

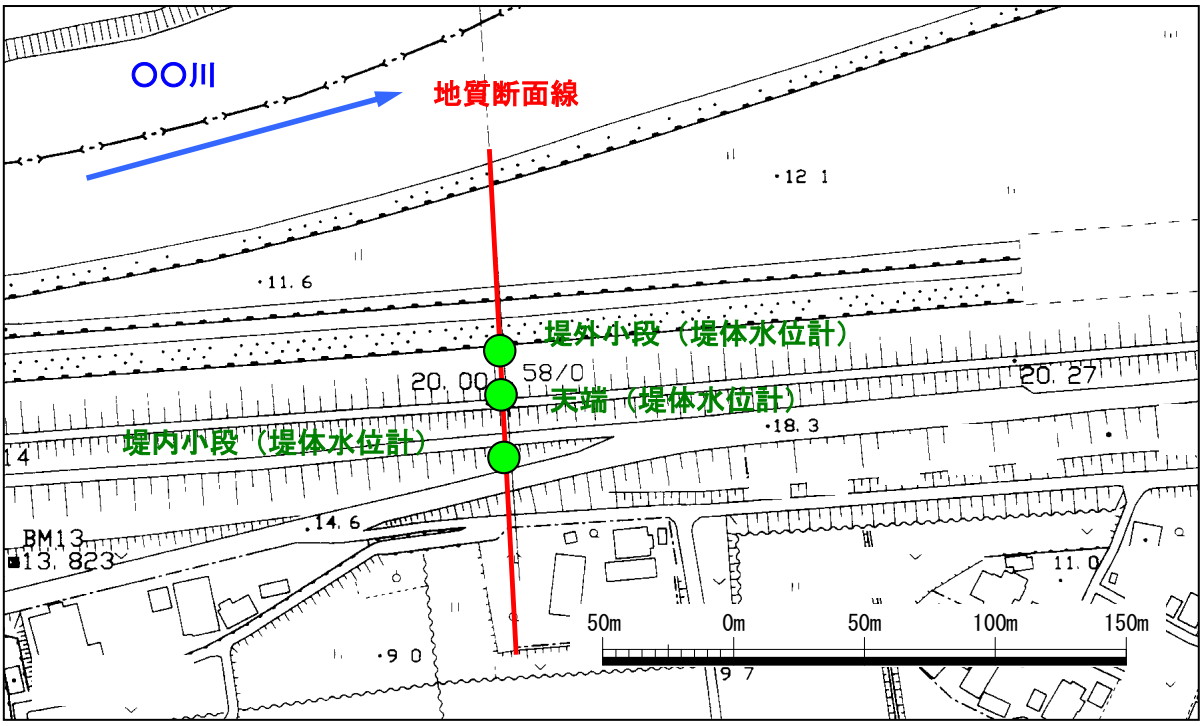


図 3.2　水位観測箇所の平面図の例

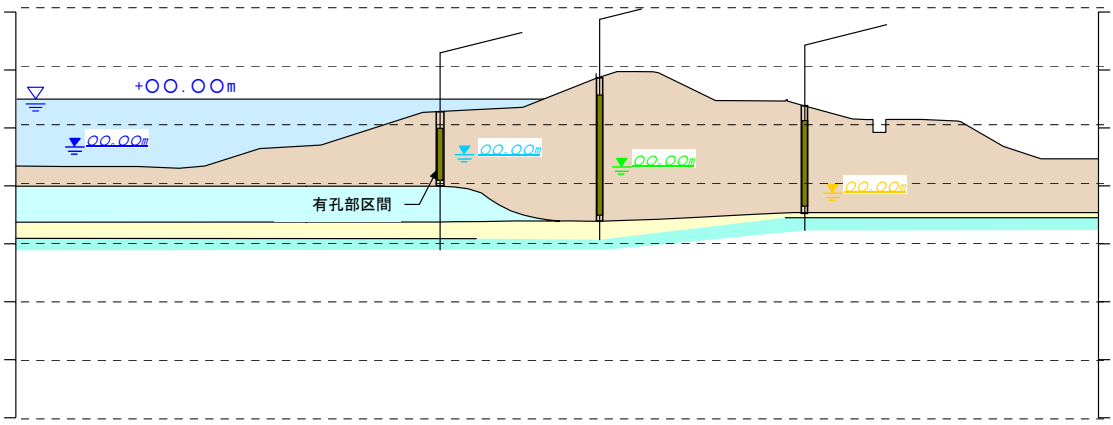


図 3.3　水位観測箇所の地質断面と堤体内水位とりまとめの例

５）観測データの保存

観測データの保存期間は、観測の目的に応じて適切に設定する。堤防強化工法の効果検証や樋門・樋管周辺堤防の管理等に利用する場合は、堤体内水位の長期的な変化を監視する必要があるため、保存期間を十分確保する必要がある。

４．維持管理

４．１　点検時期

以下の時期を基本として観測システムの点検を行う。

（１）出水期前

（２）河川巡視時

（３）データ回収時

（４）地震発生後

（解説）

観測機器は、長期にわたり外部環境にさらされた状態で設置されるものであるため、定期的に点検を行うことが望ましい。

点検の時期には以下のようなものがある。

(1)出水期前

(2)河川巡視時

(3)オフライン観測の場合のデータ回収時

(4)比較的大きな地震発生後

また、観測システムがバッテリー仕様の場合は、バッテリー交換時に合わせて点検することが望ましい。

４．２　点検方法

適切な手法を用いて、水位計等、観測システムの作動確認を行う。

（解説）

４．１に示すような点検時期に応じて、以下に示すような点検を行う。また、異常が見られた場合は、４．３を参考に対策を講じて、機能を回復させる。

１）出水期前（定期点検）

観測システム全体を対象とする出水期前の定期点検内容を以下に示す。

① 供給電源の点検

・ 電源に電池を使用する場合には、電源配線を外して電池の端子電圧を確認する。

・ ソーラーなどの発電装置を介して電源を供給している場合には、発電装置の発電能力の確認と、電源配線を外して電池の端子電圧の確認を行う。

・ 商用電源を使用している場合には、電源電圧を計測し確認する。

② 耐雷器の点検

・ 電源および信号線に接続している耐雷器が、正常な状態であるか確認する。

③ 観測システムの基本動作点検

・測定動作ができるかを確認する。また、欠測の有無も確認する。（最新の収録データや、リアルタイムモニター値で確認する）

・通信動作ができるかを確認する。（データ通信端末間の通信ができるか）

・データ送信ができるかを確認する。（河川事務所との通信を確認：オンライン観測の場合）

④ 測定値の評価

・観測孔に水位がある場合は、水位計の測定値と手測り水位との比較を行い、測定値の評価を行う。水位が無い場合は、観測孔に適量の水を入れて、同様に手測り水位との比較を行う、または、観測孔から水位計を取り出し、バケツ等を利用して水位を測定し、測定値の評価を行う。

・明らかに異常な値を示していないか、確認する。

⑤ その他外観上の異常の有無

・観測孔について、保孔管の破損や土砂の堆積がないか確認する。また、フロート式水位計の場合は、保孔管内側壁面に付着物がないか確認する。

・水位計の外観に損傷や腐食などが生じていないか確認する。

・水位計のフィルタに、泥等による目詰まりがないか確認する。

・収録装置や電源などに腐食や結露が生じていないか確認する。また、接続部端子に緩みがないか確認する。

・ケーブルに傷や、割れなどが生じていないか確認する。

２）河川巡視時

観測機器に異常がないか、目視で確認する。埋設型の観測システムの場合は、蓋を開けて確認することが望ましい。

３）オフライン観測の場合のデータ回収時

観測機器に異常がないか、目視で確認する。埋設型の観測システムの場合は、蓋を開けて確認することが望ましい。

４）比較的大きな地震発生後

観測孔について、地震による保孔管の損傷や曲がり、浮き上がり等を目視で確認する。変状が確認された場合は、水位計を引き上げて外観を確認するとともに、観測孔に適量の水を入れて、水位計の測定値と手測り水位との比較を行い、測定値の評価を行うのが望ましい。また、各ケーブルの接続、およびケーブルが損傷を受けていないことを目視で確認する。

４．３　機能低下からの回復

点検の結果、観測機器の機能低下が確認された場合は、補修等を行う。

（解説）

４．２に示すような方法により、観測機器に異常が認められた場合は、観測機器の交換・修理などの対応をとり、観測データの欠測を最小限に留めるように迅速な対応が必要である。以下に機能低下原因の特定方法を示す。具体的な対応方法については設置した観測システムの取扱説明書等の資料を参照する。また、前述の共同研究において生じた不具合と、その対応方法について、巻末資料⑤に示す。

１）観測データが事務所において受信できない（オンライン観測の場合）

①データ通信回線の異常を調べ、通信回線自体に問題が無いか調査する。(有線の場合は観測地点の電線なども調査する)

②観測地点に設置しているデータロガーの電源を調査する。通常時にデータロガーの電源電圧をモニターしている場合は、その電源電圧変化を確認する。

２）観測データの異常

観測孔内に水が無い場合は、水位はゼロを示し観測データは一定になっているが、一般的に、水位計およびデータロガーの故障時には、データが急激に大きく変化する。洪水時のデータと比較して異常が無いかを確認して､観測地点に設置されているデータロガーの故障(①データロガーの故障を参照)、または水位計の異常（②水位計の故障を参照)、および観測孔の不具合（③観測孔の不具合を参照）であるかを特定して、適切な対応を行う。

①データロガーの故障

・データロガーの電源電圧が正常であるか確認する。

・データロガーが複数の水位計を接続できる形式である場合は、他の水位計データの妥当性も確認する。

他の水位計が正常である場合は、当該水位計の故障（②水位計の故障を参照）であると考えられる。なお、データロガーの固有チャンネルの故障の可能性もあるため、チャンネルの故障の有無も確認する。

②水位計の故障

・観測孔から水位計を取り出し、バケツ等を利用して水位を測定し、その測定値をデータロガーでモニターして、水位計の動作を確認する。

正常な場合は、観測孔の不具合（③観測孔の不具合を参照）と考えられる。

③観測孔の不具合

・観測孔の開孔部が粘土等により詰まり、水が出入りしづらくなっている場合は、測定水位の変化が異常となる。その場合は、エアリフト法やベーラー法などにより孔内の洗浄を行う。

・雨水の浸入による異常と思われる場合は、観測孔内の水を汲み出して、その後の水位変化の様子を見るなどして、観測孔の状態を確認し、必要に応じてエアリフト法やベーラー法などにより孔内の洗浄を行うと同時に、保孔管口元処理の改善等を行う。

第２編　堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する共同研究
－実験結果等に関する資料－

第１章　河川堤防の堤体内水位観測実験

１．実験概要

１．１　実験目的

河川堤防の変状誘因の一つとして堤体内水位の上昇が挙げられることから、その検知技術が必要とされている。しかし、現在用いられている水位計測手法は、一般的に計測器を水中もしくは飽和した地盤に設置して測定することを想定しており、堤体内水位のように乾湿を繰り返す箇所での適用性については明らかになっていない。

そこで、堤体内水位計測手法の確立を目的に、実験により各種水位計測手法の堤体への適用可能性を検証した。

１．２　実験内容

① 水位計測器の耐久性に関する基礎実験

目的：水槽実験により乾湿の繰り返しに対する水位計測器の耐久性を明らかにする。

② 堤体内水位計測への適用可能性に関する実験

目的：透水係数が異なる２種類の大型堤防模型を用いて洪水時の状況を再現し、各種水位計測手法の堤体内水位観測への適用可能性を検討する。

本実験における共同研究者の担当一覧を以下に示す。

表 1-1　担当一覧

グループ名	共同研究者
A	応用地質株式会社
B	川崎地質株式会社※1
C	サンコーコンサルタント株式会社 株式会社東京測器研究所
D	パシフィックコンサルタンツ株式会社※2
E	復建調査設計株式会社 綜合計測株式会社 株式会社エヌ・ティ・ティ ネオメイト

グループは会社名の五十音順

（※1：オブザーバーとして、曙ブレーキ工業株式会社が協力
※2：オブザーバーとして、坂田電機株式会社が協力）

２．水位計測器の耐久性に関する基礎実験

２．１　実験方法

（１）実験概要および施設

屋外の実験水槽の中に水位計測器を設置し、水槽に給水することにより堤体内浸潤線以下の条件（湿潤条件）を、排水して土槽を空にすることにより非出水時の条件（乾燥条件）を再現した（図 2-1）。水位計は、水圧式のものを中心に計８種類設置した。

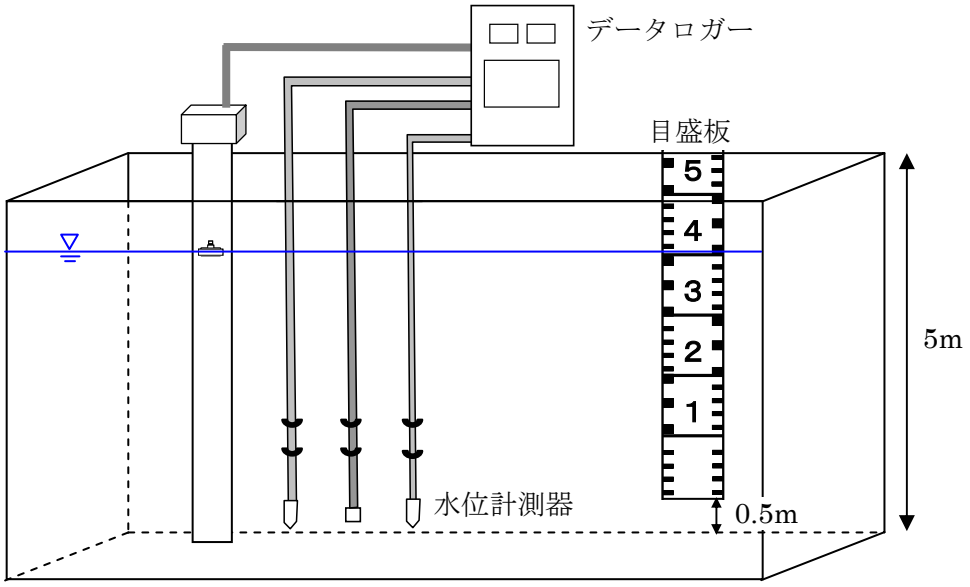


図 2-1　実験概要

実験には、土木研究所土工管理実験場に備わっている水槽（長さ 10m、幅 5.7m、高さ 5m）を使用した（写真 2-1）。また、給排水装置として、ポンプ、流量調整弁、通水経路を仮設した（写真 2-2）。



写真 2-1　実験水槽

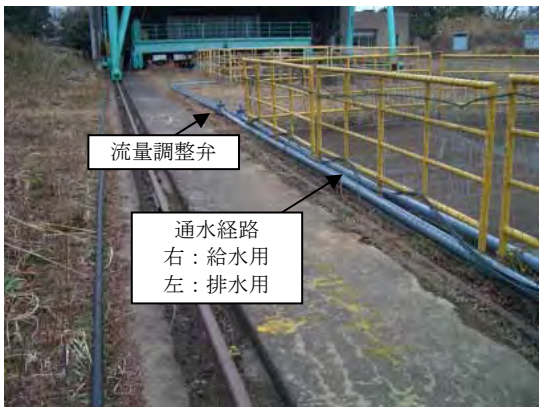


写真 2-2　給排水設備

（２）水位計の種類と設置方法

水位計は計８種類設置した。表 2-1 にその一覧を示す（詳細は巻末②を参照）。

表 2-1　水位計測器の一覧

グループ	水位計のタイプ	大気圧補正	定格容量	精度等
A	水圧式	不要	10m	精度±0.25%F.S.
B-1	水圧式	不要	10m	精度±0.05%F.S.
B-2	水圧式	必要	24.5m	精度±2%F.S.
C-1	水圧式	不要	10m	非直線性 0.2%R.O.
C-2	水圧式－改良型	不要	10m	非直線性 0.5%R.O.
D	水圧式	不要	10m	精度±0.1%F.S.
E-1	フロート式	不要	0.2～12.0m	精度±1.5mm
E-2	水圧式	不要	10m	精度±0.3%F.S.

F.S.：Full scale、R.O.：Rated output

水位計の設置状況を、写真 2-3 に示す。水槽には、各水位計に対して内径 100mm、高さ約 1m の塩化ビニールパイプを立てている（C-2 は途中参加のため、C-1 と同じパイプ内に設置）。水圧式の水位計測器は、主にパイプを使用して固定し、直射日光が当たらないような条件で設置している。フロート式の水位計測器は、湿潤条件の時の最高水位より高い位置までの長さを持つパイプを立てて、パイプの中をフロートが上下するようにした。

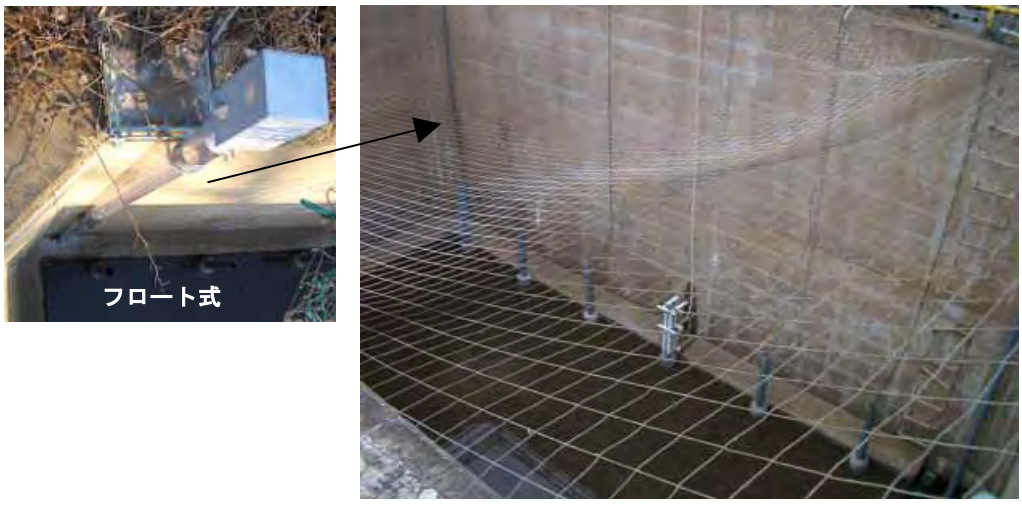


写真 2-3　水位計の設置状況

なお、計測環境を把握するため、気圧（気圧計：測定範囲 800～1060hPa）と水位計設置箇所周辺の気温および水温（熱電対：耐熱温度 100℃）も測定した。

（３）試験条件

実験水槽の水位を上下させることにより、水位計測器に対して、湿潤条件と乾燥条件を交互に与えた。湿潤条件では、図 2-2 のような手順で水位を調整した。

計測頻度は、湿潤条件の場合２時間に１回、乾燥条件の場合 24 時間に１回とした。

湿潤条件の実験は合計９回実施した。

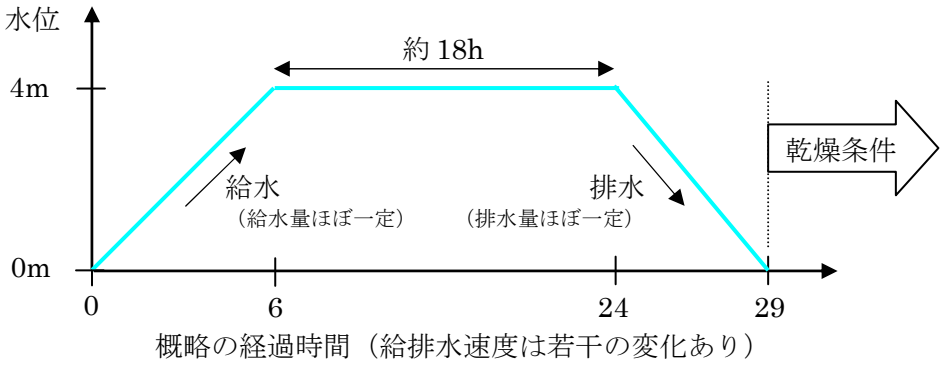


図 2-2　湿潤条件時の水位変化

２．２　実験結果および考察

水位計測結果を図 2-3～2-11 に示す。

計測結果の差異は、第１、２回では最大で 5cm 以内に、第３回以降も B グループ（水圧式_絶対圧）と C グループ（水圧式_改良型）を除けば、最大で 3cm 程度以内に収まる。

B グループ（水圧式_絶対圧）は、第３～７回湛水時に他の水位計による計測結果よりもやや大きく、5cm 程度以上（最大 5.8cm）の差異を示した。この値は水位計の精度（±2% F.S., F.S.=24.5m）を考慮すれば想定内の誤差であり、第８回以降は他の計測結果と同程度の値に落ち着いていることから、乾湿繰り返しによる耐久性の問題は認められない。ただし、堤体の規模によってはより精度の高い水位計の選択が必要となる可能性も考えられる。

第６回以降に設置した C グループ（水圧式_改良型）の計測値が他の計測結果に比べてやや差異が大きいのは、水位計の設置位置の問題であり、実際の堤体に設置する際にも注意が必要である。

２．３　耐久性に関する基礎実験結果のまとめ

今回の実験期間中、乾燥時に異常な値は確認されなかった。したがって、いずれの水位計も今回の実験期間では、常時乾燥状態でかつ乾湿繰り返しを受けるような条件において概ね問題無く計測できることを確認した。

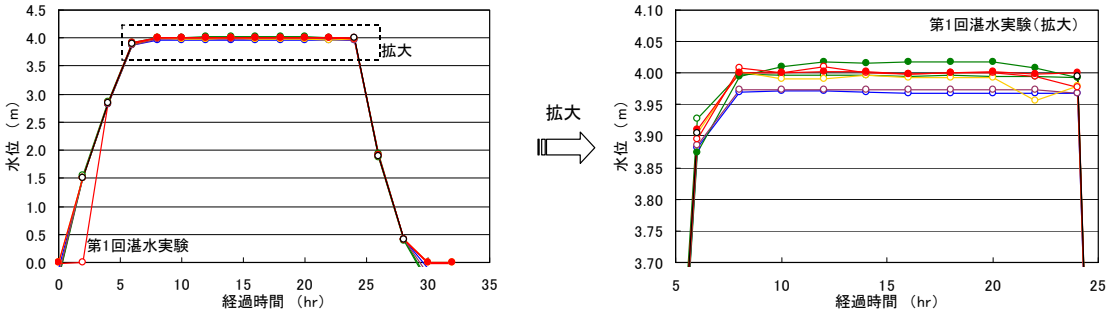


図 2-3　湿潤条件の水位測定結果（第１回湛水実験）

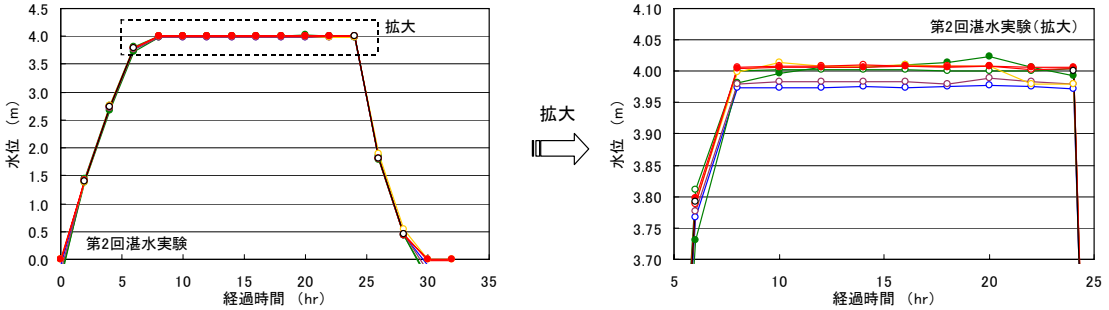


図 2-4　湿潤条件の水位測定結果（第２回湛水実験）

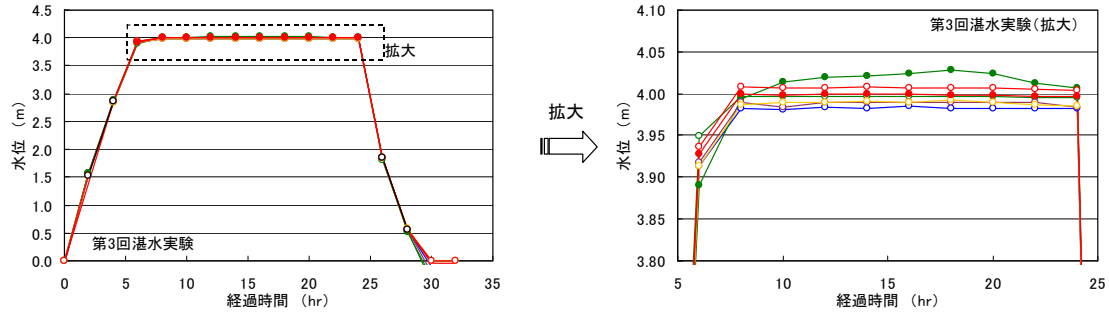
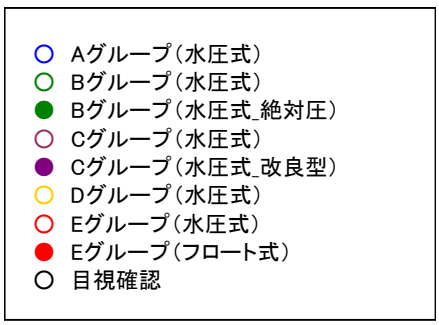


図 2-5　湿潤条件の水位測定結果（第３回湛水実験）



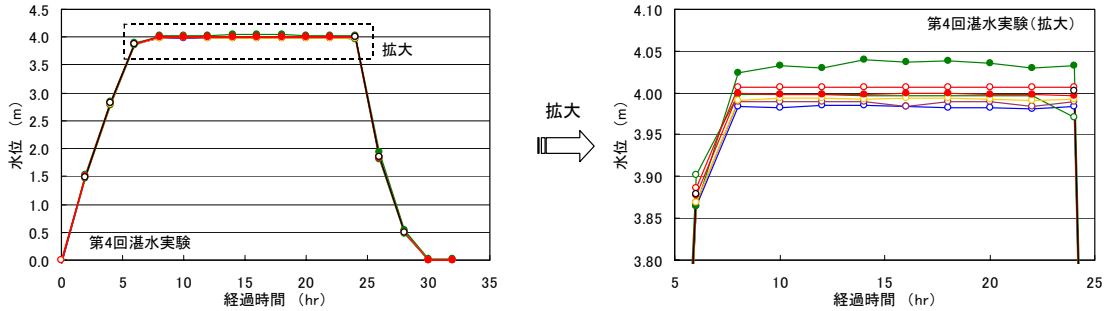


図 2-6　湿潤条件の水位測定結果（第４回湛水実験）

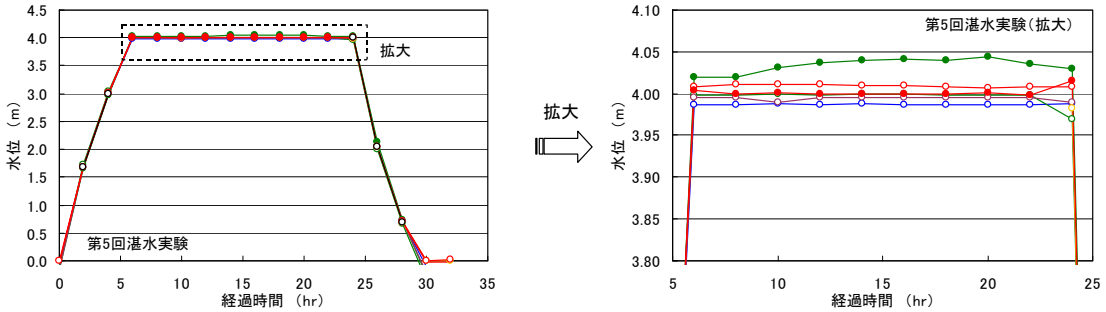


図 2-7　湿潤条件の水位測定結果（第５回湛水実験）

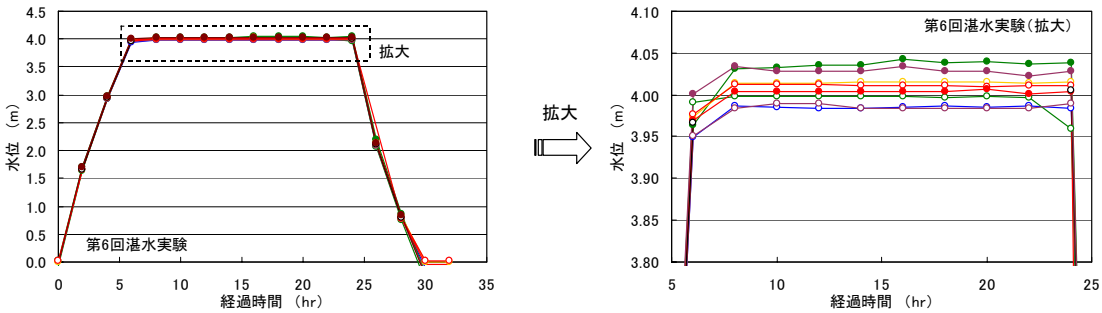
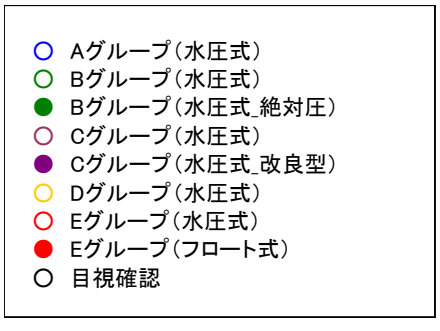


図 2-8　湿潤条件の水位測定結果（第６回湛水実験）



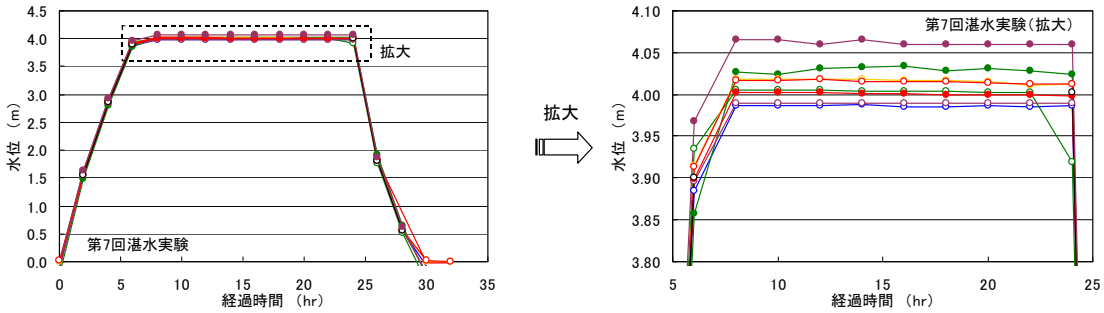


図 2-9　湿潤条件の水位測定結果（第７回湛水実験）

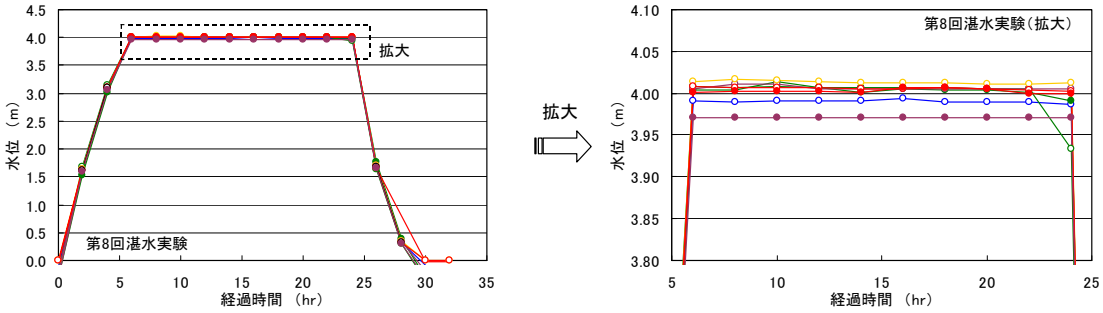


図 2-10　湿潤条件の水位測定結果（第８回湛水実験）

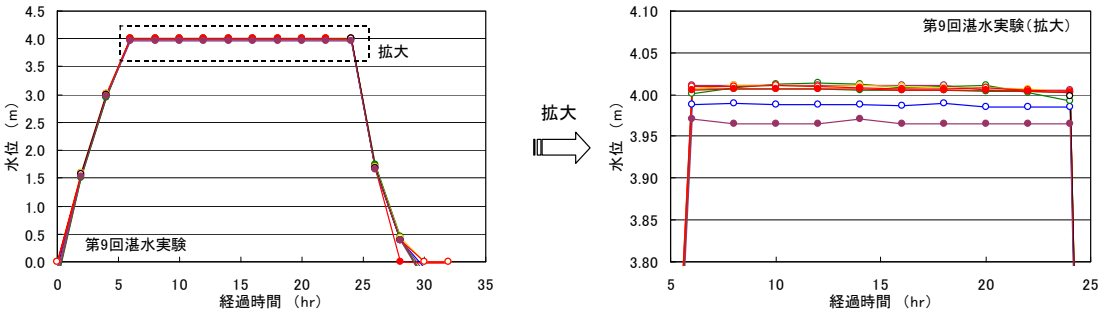
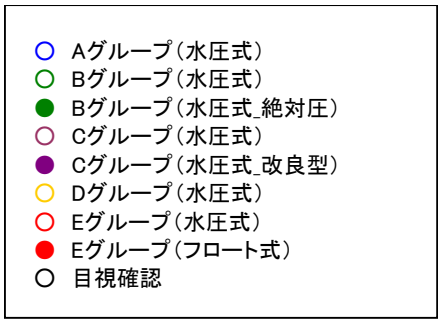


図 2-11　湿潤条件の水位測定結果（第９回湛水実験）



３．堤体内水位計測への適用可能性に関する実験

３．１　実験方法

（１）実験概要および施設

本実験では、各種水位計測手法の堤体への適用性を検討するために、実物大の堤防模型を作製し、模型背面の給水槽の水位を変化させて洪水時の状況を再現し、観測孔に設置した各種水位計を用いて堤体内における水位計測を行った。

模型実験は透水係数を変化させた以下の２種類の堤防模型について実施した。

・堤防模型１（半断面堤防模型、透水係数 $k=2.0\times10^{-3}$cm/s、全 10 回）
・堤防模型２（全断面堤防模型、透水係数 $k=8.5\times10^{-5}$cm/s、全 5 回）

実験場所は土木研究所の水中環境実験施設にある実験槽である。実験施設の平面図を図 3-1 に、模型作製前の実験槽状況を写真 3-1～3-2 に示す。

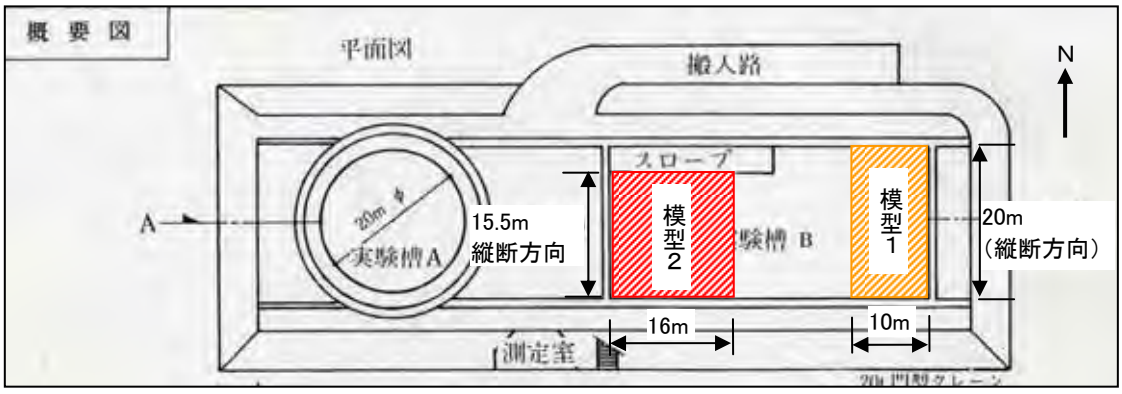


図 3-1　実験施設平面図



写真 3-1　模型１作製前



写真 3-2　模型２作製前

（２）模型の仕様と堤体材料

各模型の断面を図 3-2～3-3 に、堤体状況を写真 3-3～3-4 に示す。いずれの堤体も締固め度 D=90%程度を目標として施工した。また、壁面との境界面にはルーフィングによる止水対策を行った。

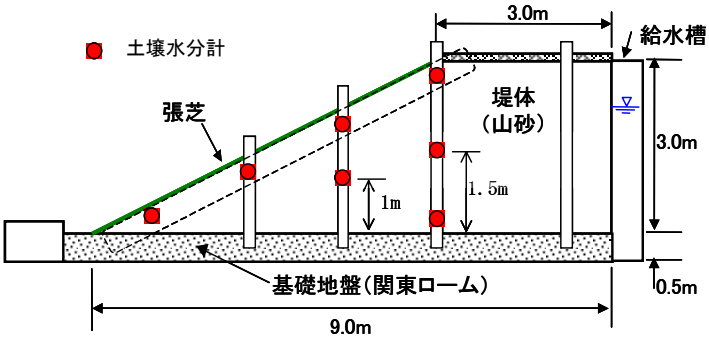


図 3-2　模型１の断面構成



写真 3-3　模型１の状況

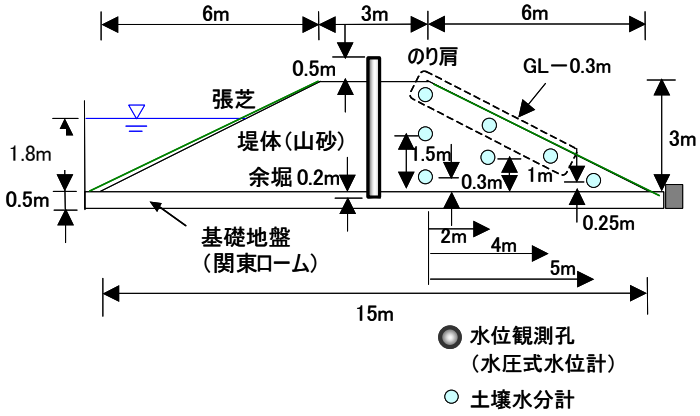


図 3-3　模型２の断面構成

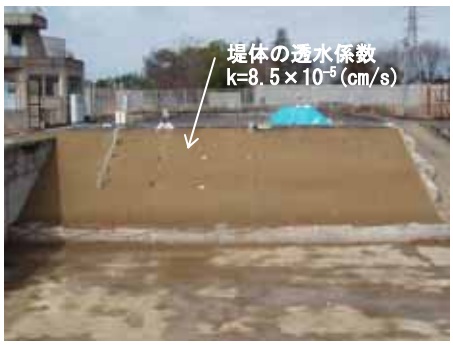


写真 3-4　模型２の堤体

実験では計測環境を把握するため、マノメータ、土壌水分計、熱電対、気圧計により模型の水分状態や気象データの測定を行っており、表 3-1 にそれらの仕様を示す。

表 3-1　水位計以外の計測機器とその仕様

計測器名称	測定項目	仕様
マノメータ (写真 3-5 参照)	水位	内径 6mm のビニールチューブを使用 先端の加工は図 3-4 参照
土壌水分計	飽和度	測定範囲 0～1.0$m^3 \cdot m^{-3}$，精度±5%(0.05 $m^3 \cdot m^{-3}$)
熱電対	温度	耐熱温度約 100℃
気圧計	気圧	測定範囲 800～1060hPa，出力 0～5VDC， 直線性±0.20hPa，精度(＋20℃時)±0.3hPa



写真 3-5　マノメータ

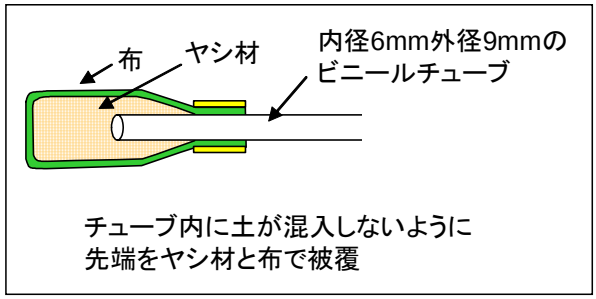


図 3-4　マノメータ先端部の加工

堤体の材料はいずれも茨城県稲敷市江戸崎産の山砂を使用した。各模型における堤体材料の物性を表 3-2 に、粒径加積曲線を図 3-5 に示す。

表 3-2　実験材料の物性値

材料名		模型 1	模型 2
土粒子の密度　ρ_s		2.672 g/cm^3	2.696 g/cm^3
粒度特性	最大粒径	4.75mm	2.00mm
	細粒分含有率	4.6%	17.4%
	均等係数 *Uc*	2.00	2.50
	曲率係数 *Uc'*	0.89	0.90
締固め特性	最大乾燥密度	1.701 g/cm^3	1.575 g/cm^3
	最適含水比	16.1%	20.9%
地盤材料の工学的分類		砂（S）	細粒分質砂（SF）

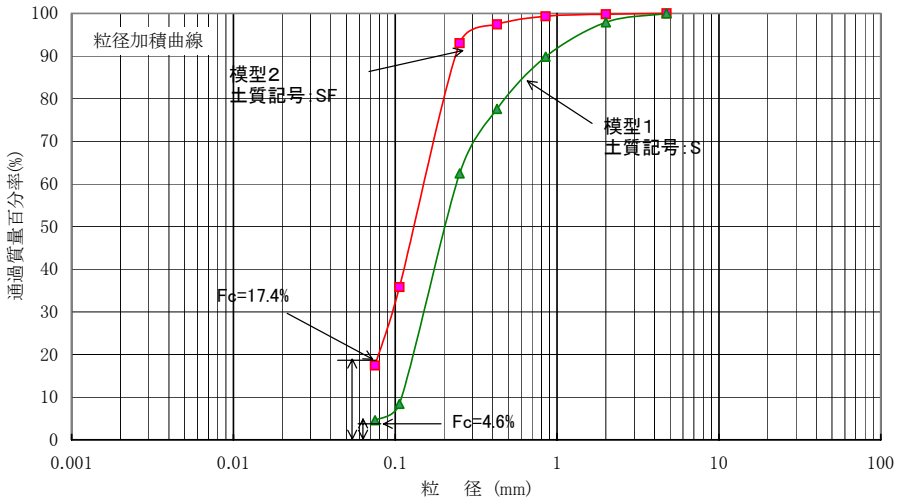


図 3-5　粒径加積曲線

（３）水位観測孔の設置位置と仕様

模型１，２における水位観測孔の設置位置を図 3-6～3-7 に示す。

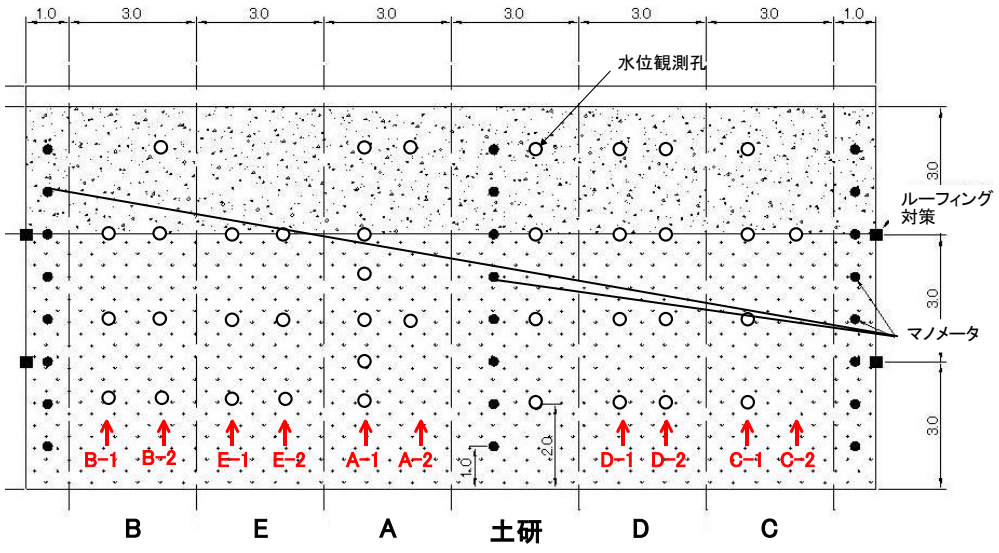


図 3-6　模型１における水位観測孔の設置位置

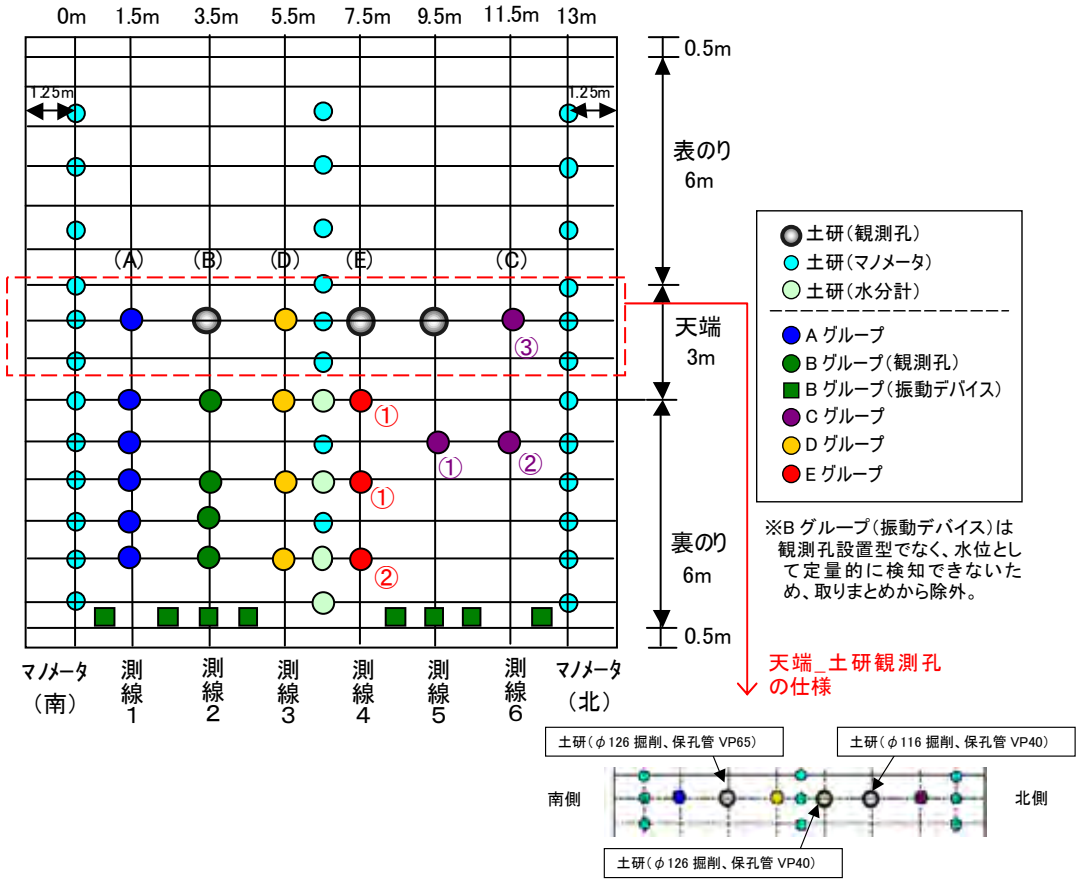


図 3-7　模型２における水位観測孔の設置位置

また、各模型に設置した A～E グループの水位観測孔の主な仕様を表 3-3～3-4 に示す（詳細は巻末①を参照）。

表 3-3　模型１における水位観測孔の仕様

グループ名		Aグループ		Bグループ		Cグループ			Dグループ	Eグループ
設置列・位置		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-1	C-2	D-1, 2	E-1, 2
掘削	掘削方法	先端コーン付き鋼管打ち込み（ラムサウンディング）	機械ボーリング	天端：バイブロドリルのり面：ハンドオーガー	天端：バイブロドリルのり面：ハンドオーガー	機械ボーリング	機械ボーリング	機械ボーリング	ハンドオーガー	機械ボーリング
	掘削水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水
	ケーシング	無し	有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
	掘削孔径	36mm（管の外径）	116mm	116mm	116mm	125mm	100mm	200mm	100mm	116mm
	余掘り	11.5～14.4cm	9.7～12.3cm	20cm程度	20cm程度	約10cm	約10cm	約10cm	約10cm	20cm程度
	孔内洗浄	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
保孔管	材質	ステンレス管	塩ビ管(VP50)	塩ビ管(VP40)	塩ビ管(VP65) 内管：アルミガイドパイプ(φ56mm)	塩ビ管 （外管：VP75、 内管：VP50）	塩ビ管(VP50)	塩ビ管(VP125)	塩ビ管(VP65)	E-1：塩ビ管(VP75) E-2：塩ビ管(VP65)
	管径	外径φ36mm 内径φ26mm	外径φ60mm 内径φ50mm	外径φ48mm 内径φ40mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外管： 外φ89mm、 内φ75mm 内管： 外φ60mm、 内φ50mm	外径φ60mm 内径φ50mm	外径φ140mm 内径φ125mm	外径φ76mm 内径φ67mm	E-1： 外径φ89mm 内径φ75mm E-2： 外径φ76mm 内径φ67mm
有孔部	開口率	外管7%、内管12.3%	2%	5%	5%	2% （有孔径：外管φ6mm、 内管φ5mm）	2% （有孔径φ5mm）	2% （有孔径φ8mm）	1% （有孔径φ7mm）	20%
	区間位置 区間長	コーン部の上0.15m	孔底から0.50m （基盤から0.40m）	口元以外は 全区間有孔	口元以外は 全区間有孔	孔底から0.6～2.6m （基盤から0.5～2.5m）	孔底から0.60m （基盤から0.50m）	孔底から2.60m （基盤から2.50m）	孔底から0.50m （基盤から0.40m）	基盤から0.5m
保孔管外周	材料等 仕様	無し	有孔部：3号砂利 無孔部_下：ベントナイト 無孔部_上：CBモルタル	2号珪砂 （φ2～4mm程度） 管周面：不織布	2号珪砂 （φ2～4mm程度）	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 外管周面：高密度PE （40メッシュ） 内管周面：不織布	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）	有孔部：小砂利 （＜φ10mm程度） 無孔部：堤体砂 ＋小砂利 管周面：不織布	有孔部：7号砕石 （φ5～2.5mm） 無孔部：堤体砂 管周面：防虫ネット
	口元処理	モルタル	モルタル	モルタル	モルタル	セメント	セメント	セメント	セメント＋発生土	モルタル
水位計	設置位置	孔底+31.5cm程度 （基盤＋17.5cm程度）	孔底+8cm程度 （基盤－2cm程度）	孔底+2.3cm程度 （基盤-17.7cm程度）	孔底+16.4cm程度 （基盤-3.6cm程度）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	基盤±0cm

表 3-4　模型２における水位観測孔の仕様

グループ名		Aグループ	Bグループ	Cグループ			Dグループ	Eグループ	
設置位置		－	－	①	②	③	－	①	②
掘削	掘削方法	先端コーン付き鋼管打ち込み（ラムサウンディング）	ハンドオーガー	機械ボーリング			ハンドオーガー	ハンドオーガー	
	掘削水	無水	無水	無水		泥水	無水	無水	
	ケーシング	無し	無し	無し			無し	無し	
	掘削孔径	40mm（管の外径）	116mm	86mm		116mm	100mm	100mm	
	余掘り	13～19cm	20cm程度	20cm			10cm	20cm程度	
	孔内洗浄	無し	無し	無し		有り	無し	無し	
保孔管	材質	ステンレス管	塩ビ管(VP65) 内管：アルミガイドパイプ(φ56mm)	塩ビ管（VP40）			塩ビ管(VP65)	塩ビ管 (VP65)	塩ビ管 (VP40)
	管径	外径φ40mm 内径φ26mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ48mm 内径φ40mm			外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ48mm 内径φ40mm
有孔部	開口率	外管k=4E-3cm/s（フィルター） 内管5.2%	5%	2% （φ5mm孔）	10% （φ5mm孔）	2% （φ5mm孔）	1% （φ7mm孔）	20%	
	区間位置 区間長	基盤から0.2m	口元以外は 全区間有孔	孔底から0.7m （基盤から0.5m）			孔底から0.1～0.6m （基盤から0.5m）	基盤から0.5m	
保孔管外周	材料等 仕様	充填材：無し 外管周面：フィルター	有孔部：2号珪砂 （φ2～4mm） 管周面：不織布	有孔部：3号珪砂 （φ0.5～2.36mm） 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）			有孔部：豆砂利3号 （＜φ3～9mm） 無孔部：堤体砂 ＋ベントナイト 管周面：不織布	有孔部：7号砕石 （φ5～2.5mm） 無孔部：堤体砂 管周面：防虫ネット	
	口元処理	モルタル	モルタル	セメント			セメント＋発生土	モルタル	
水位計	設置位置	コーン上面＋0.175m （基盤±0cm）	孔底＋0.124m （基盤-0.177～+0.007m）	孔底＋20cm程度 （基盤±0cm）			孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	基盤±0cm	

なお、各実験ともに各グループの計測結果と比較する目的で、土木研究所（以下、土研とする）も別途水位観測孔を設置し、水位を計測した。主な仕様を記す。

①模型１（半断面模型）

・設置方法：模型築造に合わせて設置

・保孔管に関する仕様：以下のとおり

（保孔管径（内径）：φ100mm、有孔部開孔率：1%、有孔部区間長：全区間、外周処理：管周辺を不織布巻き）

②模型２（全断面模型）

・設置方法：機械ボーリングによる無水掘進～設置

（堤防での一般的な設置方法を想定）

・保孔管に関する仕様（共通部）：模型１での知見を参考に以下のように設定

（開孔率：1%、有孔部区間長：基礎地盤面＋0.5m、外周処理：有孔部は砂利、無孔部は発生土で埋戻し、管周面は金網巻き）

・その他：掘削孔径および保孔管径は孔ごとに変化させており、図 3-7 を参照

（４）水位計の仕様と観測システム

本実験に用いた水位計の主な仕様を表 3-5 に示す（詳細は巻末②参照）。

表 3-5　本実験に用いた水位計の主な仕様

グループ	水位計のタイプ	大気圧補正	定格容量	精度等	使用模型
土研	水圧式	不要	10m	非直線性±0.15%R.O.	1，2
A	水圧式	不要	10m	精度±0.25%FS	1，2
	水圧式	不要	10m	精度±0.1%FS	1のみ
B	水圧式	不要	10m	精度±0.05%FS	1のみ
	水圧式	必要	24.5m	精度±2%FS	1，2
C	水圧式	不要	10m	非直線性 0.2%R.O.	1のみ
	水圧式	不要	20m	非直線性 0.2%R.O.	2のみ
D	水圧式	不要	10m	精度±0.1%FS	1，2
	水圧式	必要	10m	精度±0.1%FS	1のみ
	フロート式	不要	制限無し	精度 1.0cm	1のみ
E	フロート式	不要	0.2～12.0	精度±1.5mm	1，2
	水圧式	不要	10m	精度±0.3%FS	1，2

F.S.：Full scale、R.O.：Rated output

また、観測システムは使用機器によって構成が異なる。本実験における観測システム

の構成を表 3-6 に示す（観測システムおよびシステムを構成する水位計やデータロガー、送信機器の詳細は、第２章および巻末②～④を参照）。

表 3-6　本実験の観測システム

グループ名	Aグループ		Bグループ		Cグループ	Dグループ			Eグループ	
適用箇所	模型1（A-1） 模型2	模型1（A-2）	模型1（B-1）	模型1（B-2） 模型2	模型1，2	模型1（D-1） 模型2	模型1（D-2）	模型1（D-2）	模型1（E-1） 模型2	模型1（E-2） 模型2
水位計	水圧式 水位計	水圧式 水位計 （ロガー一体）	水圧式 水位計 （ロガー一体）	水圧式 水位計	水圧式 水位計	水圧式 水位計 （ロガー一体）	水圧式 水位計	フロート式 水位計 （ロガー一体）	フロート式 水位計	水圧式 水位計
↑ 接続 媒体 ↓	ケーブル 接続			ケーブル 接続	ケーブル通信 （ネットワーク モジュール経由）		ケーブル 接続		ケーブル 接続	ケーブル 接続
データ ロガー	携帯電話回線 による 無線送信 （データ通信 ユニット経由）			データロガー	データロガー		データロガー		データロガー	データロガー
↑ 接続 媒体 ↓		携帯電話回線 による 無線送信 （データ通信 ユニット経由）	ケーブル接続	ケーブル接続、 携帯電話回線 による 無線送信	省電力無線 による 無線送信	送受信器 による 無線送信 （地中無線）	送受信器 による 無線送信	Smart Media メモリカード	携帯電話回線 による 無線送信 （変換装置経由）	携帯電話回線 による 無線送信 （変換装置経由）
表示 装置	PC, 携帯端末	PC, 携帯端末	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC, 携帯端末	PC, 携帯端末

なお、土研の観測システムを以下に記す。

・水圧式水位計 → ケーブル接続 → データロガー → 記録媒体(FD) → PC

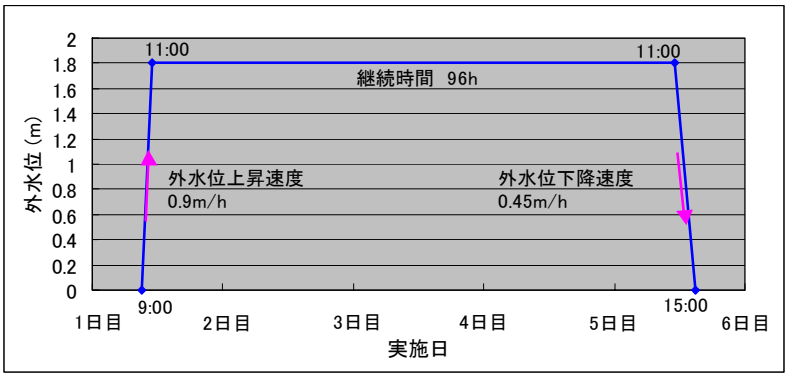
（５）試験条件と計測項目

①模型１（半断面堤防模型）

実験時の外力（外水位）条件を図 3-8～3-9 に示す。第４回のみ２山洪水を想定した外力条件とした。第１～３回湛水実験中はのり面全体をシートで被覆し、第４回以降は被覆していない。

計測期間は、第１回湛水実験では水位一定期間までとしたが、第２回以降は水位低下後の堤体内水位の変化を計測するために、低下後も 3,4 日間程度の計測を継続した。

水位計の測定は1時間間隔とし、任意の頻度でポータブル水位計による手測り計測（土研の観測孔のみ）やマノメータ、土壌水分計による堤体内の水位および飽和度の確認を行った。また、実験時の基礎データとなる気温・気圧・雨量等の気象データを1時間間隔で観測した。



計測期間

・第１回
水位上昇～
水位一定後 96 時間

・第１回以外
水位上昇～
水位一定後 96 時間
水位低下後 72 時間

図 3-8　第１～３、５～10 回湛水実験の外力条件（１山洪水）

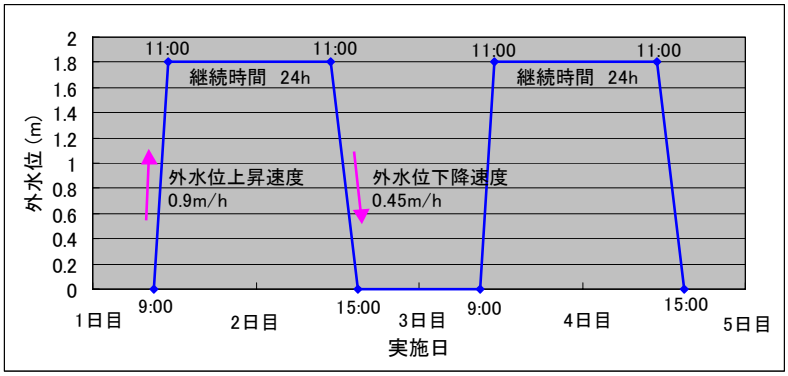


図 3-9 第４回湛水実験の外力条件（２山洪水）

②模型２（全断面堤防模型）

実験時の外力（外水位）条件を図 3-10～3-11 に示す。外水位一定となる継続時間は変化させていないが、第１回湛水実験時に急激な水位低下による模型の不安定化が懸念されたことから、第２回以降は水位下降速度を遅くした（第１回：0.45m/h→第２回以降：0.3m/h）。なお、模型２ではのり面のシート被覆は行っていない。

計測期間は、第１回湛水実験の計測結果を踏まえ、第２回以降の水位低下後の計測期間を延長した（第１回：96 時間→第２回以降：432 時間）。また、計測項目および頻度は模型１と同様とした。

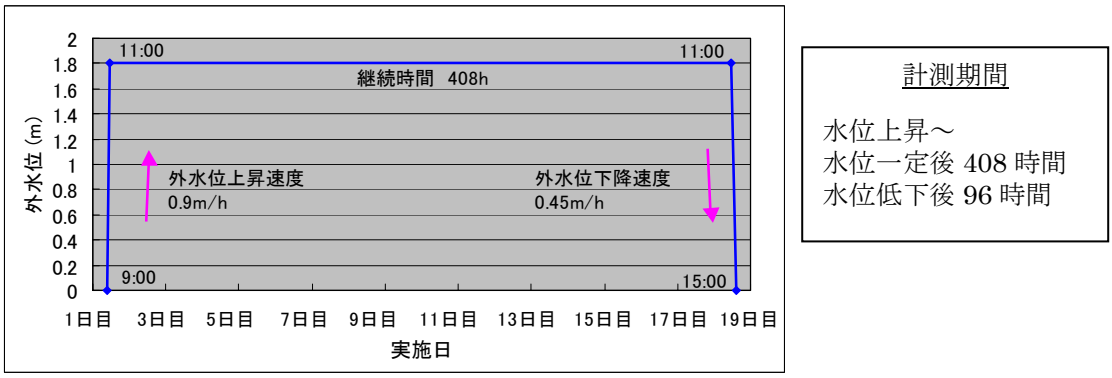


図 3-10 第１回湛水実験の外力条件

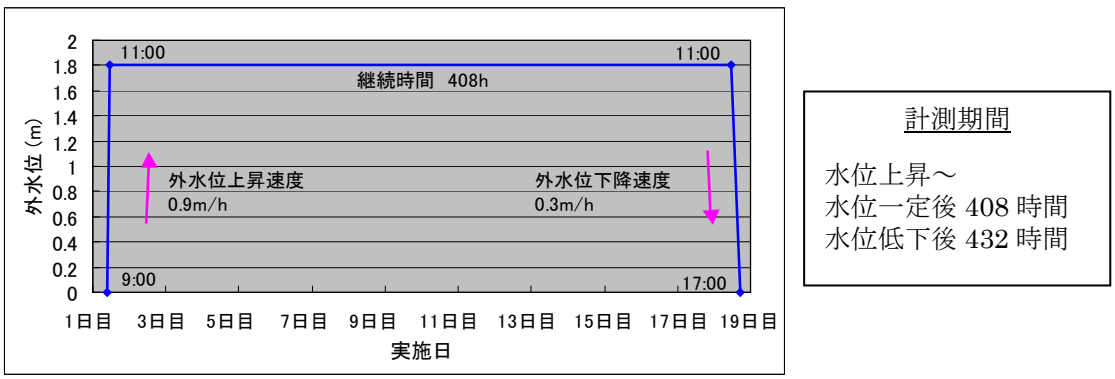


図 3-11 第２～５回湛水実験の外力条件

３．２　実験結果および考察

３．２．１　模型１（半断面堤防模型）の実験結果および考察

（１）堤体内水位の経時変化

全 10 回の実験結果のうち、５回分を選定し経時変化について整理したものを図 3-12～3-15 に示す（全実験結果の詳細は巻末⑥を参照）。

１年経過後の同時期（第１回と第５回（６月）、第３回と第８回（９月））および初回と最終回（第１回と第 10 回）について経時変化を比較できるように、第１，３，５，８，10 回実験結果を選定した。

［全体の傾向］

いずれの地点でも外水位の昇降に伴う水位計の計測値の変化を確認した。また、各グループの水位計の計測値は、概ねマノメータおよびポータブル水位計による手測り値と同様の傾向を示した。したがって、堤体内への水の浸透および外水位低下後の堤体内水位の低下状況を捉えることができているようである。B-2 でややバラツキが大きく認められるのは、他の水位計に比べて、計測範囲（B-2：24.5m、他の水位計：概ね 10m 程度まで）や精度（B-2：FS±2%、他の水位計：概ね FS±0.3%以下）の違いが大きいためと考えられる。

水位変化の傾向は、給水槽に近い計測地点ほど水位の上昇や低下速度が速く、遠くなる（のり尻に近づく）に伴って遅くなる。また、堤体の不均質性（詳細については巻末⑧参照）からか、のり尻に近づき浸透経路長が長くなるほど計測値のバラツキが大きくなる傾向（例：第 10 回湛水実験での水位一定後 96 時間経過時の天端での異常値を除く水位差について、天端＝0.22m→のり肩＋4m＝0.6m）が認められた。

なお、２山洪水を想定した第４回実験結果でも同様の傾向が得られており、外力条件を変化させた場合でも問題なく計測できていると考えられる（結果は巻末⑥を参照）。

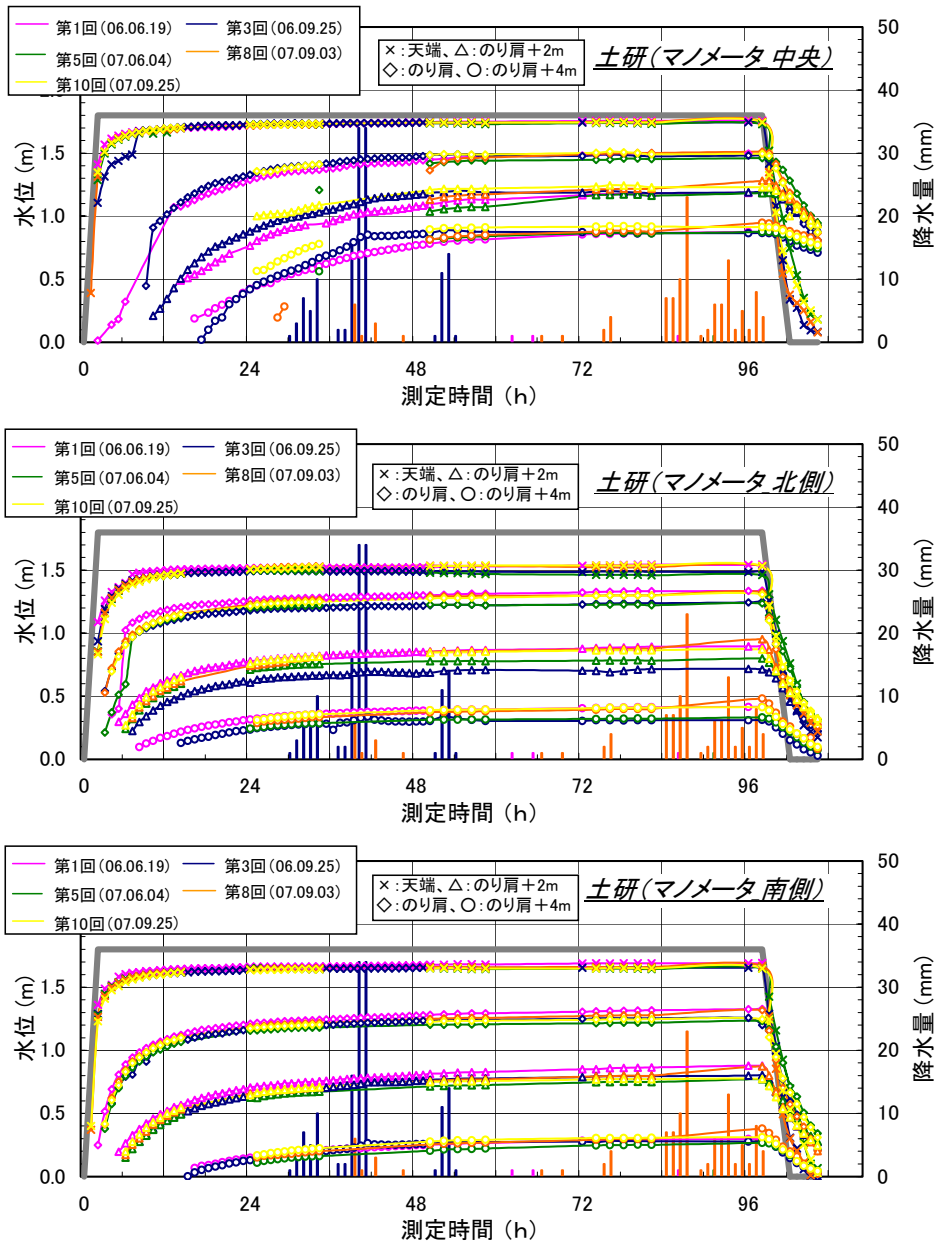
［耐久性の確認］

実験回数を経ても最終的にほぼ同様の値が得られており、本実験期間内では乾燥～湿潤状態を繰り返す堤体での耐久性について、概ね問題なく計測できているようである。

［不具合等への対策］

縦断方向が同じ計測位置の計測値を比較したところ、他の水位計の計測結果に比べて差異が大きいケースが何点かで見られた。それらについては、原因を明らかにした上で、観測孔や水位計、観測システムなどの不具合による場合は適切な対策を施した（個別の不具合の種類と対策についての詳細は巻末⑤を参照）。

以上より、本実験で確認された各グループの水位計測手法は、本実験の堤体条件（$k=2.0\times10^{-3}$cm/s 程度）では概ね堤体内水位計測に適用可能と考えられる。



※ 土研(マノメータ)、A-1については、他の地点でも測定を行っているが、
ここではX=1,3,5,7のみで比較を行う。

図 3-12　模型１における水位計測結果の経時変化（マノメータ）

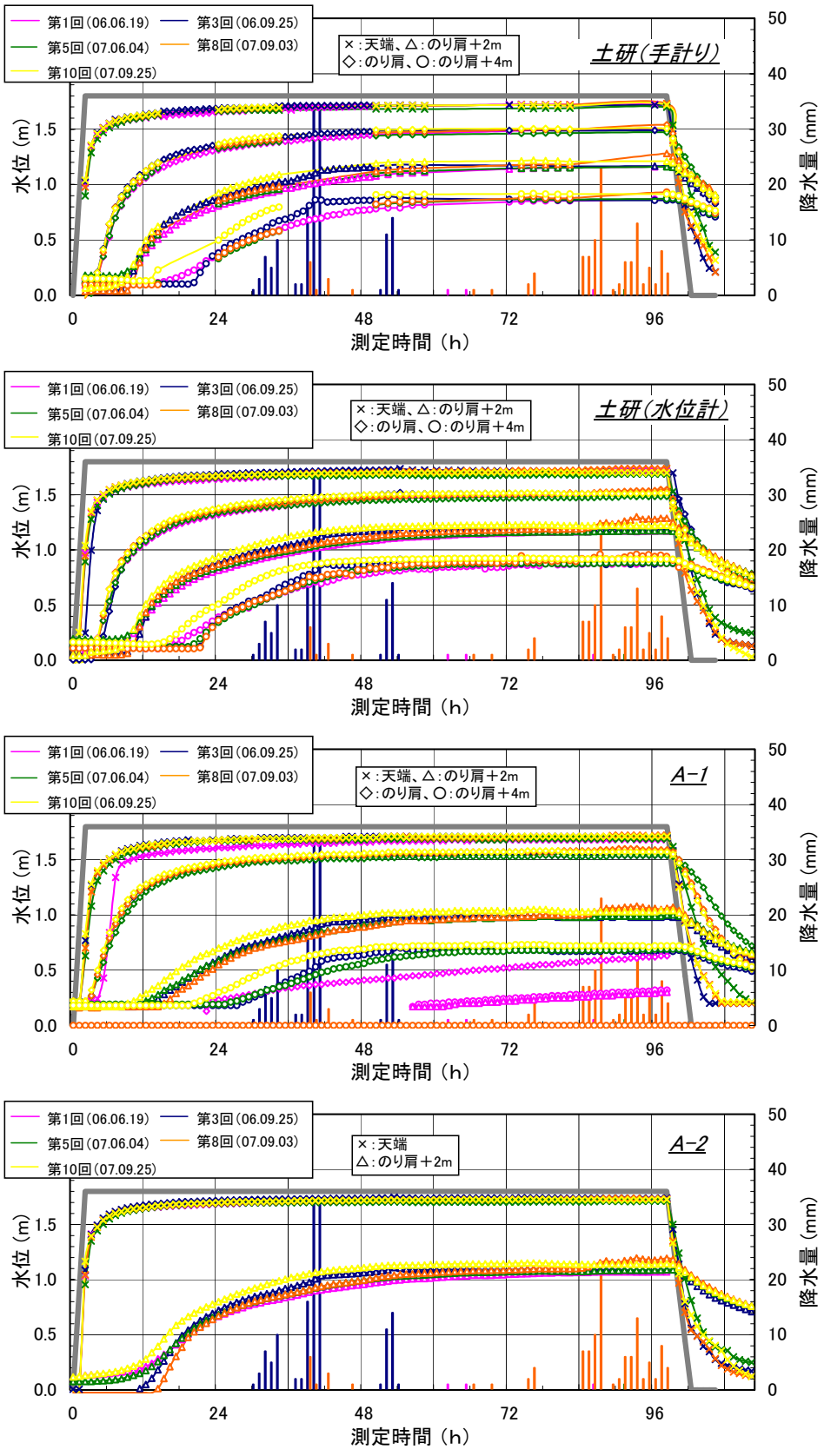


図 3-13　模型 1 における水位計測結果の経時変化（土研観測孔、A グループ）

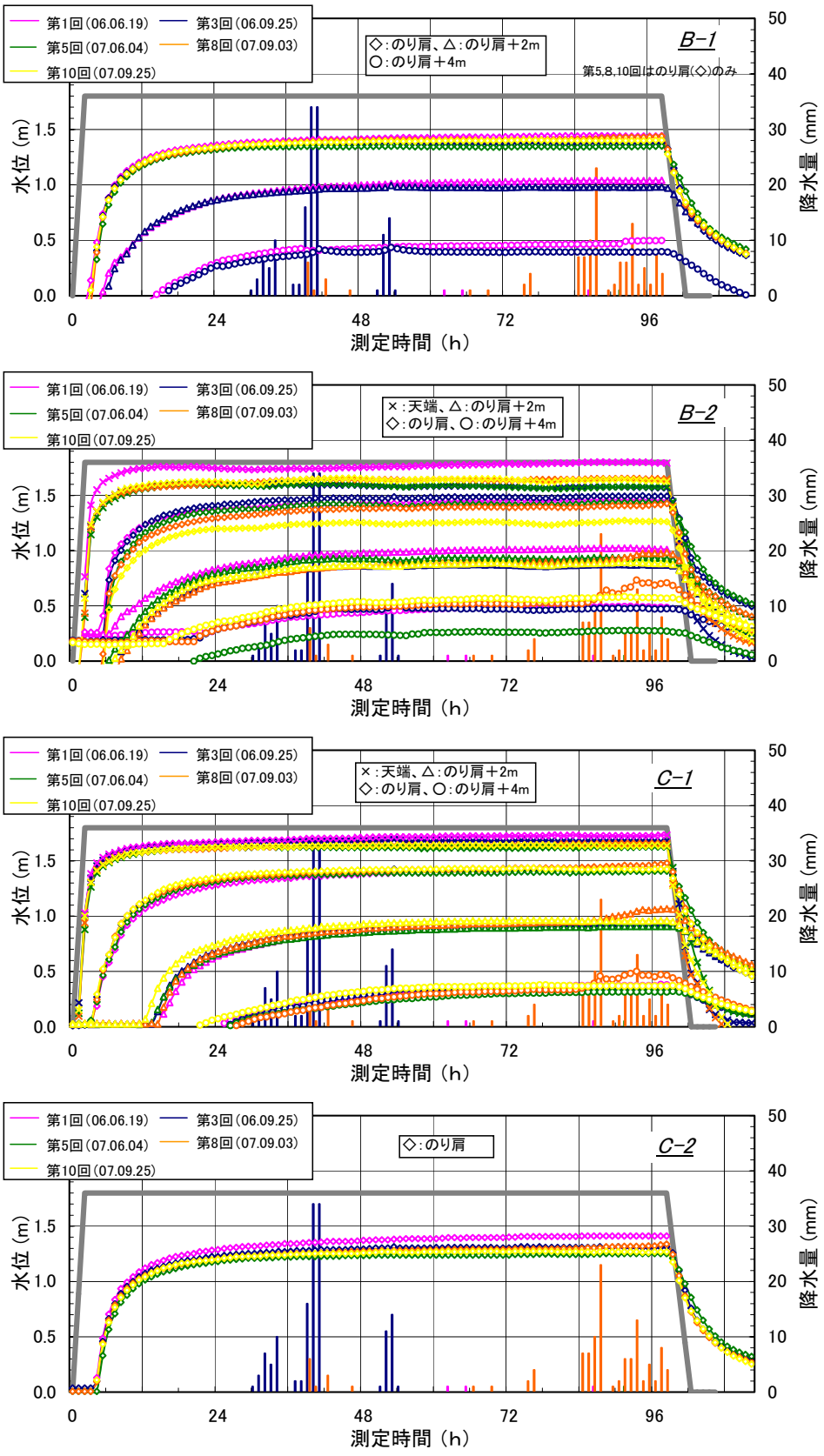


図 3-14　模型 1 における水位計測結果の経時変化（B, C グループ）

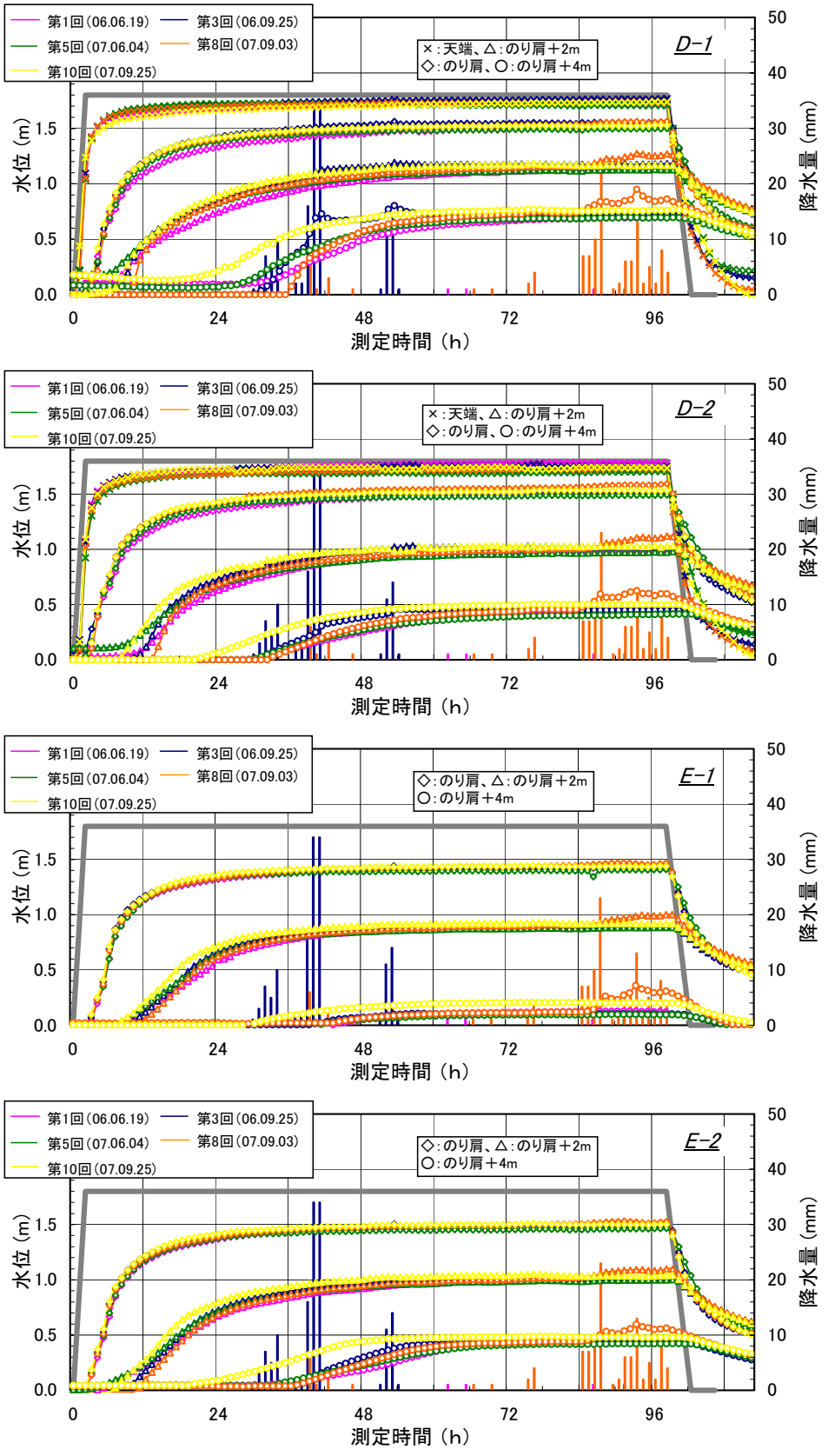


図 3-15　模型１における水位計測結果の経時変化（D,E グループ）

（２）観測孔の仕様の違いに関する検討

各グループで水位計等の性能に差はないと仮定し、実験結果から観測孔の仕様の違いに着目して整理し、考察を行った。のり肩での観測結果から、観測孔の仕様の違いに着目して整理したものを図 3-16～3-25 に示す。

①掘削方法の影響（図 3-16～3-17 参照）

掘削方法の違いによる影響を検討する目的で、A-1 の打ち込み式（ラムサウンディング）と他のグループ（機械ボーリング、ハンドオーガ）を比較した。

第 1 回の湛水実験結果では、A-1 の水位は他の計測結果と比べて一部で水位の上昇が遅いもしくは水位が低い傾向が見られた。その後、第 1 回実験終了後に孔内洗浄を実施したところ、第 2 回以降は他の観測結果とほぼ同様の傾向を示した。A-1 は第 1 回実験までに孔内洗浄を実施していなかったことから、打ち込み式による観測孔設置を行う場合には、掘削後に孔内洗浄を実施しなければならないと考えられる。

したがって、今回の実験条件では一部孔内洗浄が必要となったものの、掘削方法の影響はあまり見られなかった。

②保孔管有孔部の開孔率の影響（図 3-18～3-19 参照）

有孔部開孔率の違いによる影響を検討する目的で、開孔率以外の条件がほぼ同じ D-1、D-2（いずれも開孔率 1%）、E-2（開孔率 20%）の水位を比較した。

いずれのケースでも開孔率の大きい E-2 に比べて開孔率の小さい D-1 や D-2 の方が水位の上昇が早いもしくは同程度を示し、開孔率と水位の上昇および低下傾向に明確な相関傾向は認められない。また、目詰まり等の影響も今回の実験では認められなかった。

したがって、今回の実験条件では、保孔管有孔部周辺を珪砂等の透水性の高い材料で埋め戻した場合、1%以上の開孔率では水位に影響しないと考えられる。

③保孔管有孔部の区間長の影響（図 3-20～3-21 参照）

有孔部区間長の違いによる影響を検討する目的で、区間長以外の条件がほぼ同じ B-2（全区間有孔）、D-1、D-2（いずれも基礎地盤+0.4m）、E-2（基礎地盤+0.5m）の水位を比較した。

第１，２回実験結果では、全区間有孔の B-2 の水位上昇が早いように見受けられたが、第 3 回以降は必ずしも B-2 の水位上昇が早いとは言えず、有孔部の区間長と水位上昇の相関は明らかではない。地下水位の測定方法を記した文献 [1)2)]によれば、必ずしも全層を対象とする必要はなく、水位の変動に十分追随できるもの、とされている。また、目詰まり等の影響も今回の実験では認められなかった。

したがって、今回の実験条件では、有孔部の区間長が基礎地盤+0.4m 以上であれば、区間長の違いによる影響は少ないものと考えられる。

---

1) (社)地盤工学会編：「地盤調査の方法と解説」、2004.6、p.364

2) (財)国土開発技術研究センター：「地下水調査および観測指針(案)」、1993.3、pp.127-128

④保孔管外周の埋め戻し、口元処理（図 3-22～3-23 参照）

保孔管外周の埋め戻し条件および口元処理の違いによる影響を検討する目的で、埋め戻し以外の条件がほぼ同じ B-1、B-2（いずれも管外周を不織布巻き＋珪砂による埋め戻し、モルタルで口元保護）、土研（管外周不織布巻き＋ゴム製カバーで口元保護）の水位を比較した。

B-1,2 のように管の外周に透水性の高い埋め戻し材料がある方が水位上昇が速いケースも一部認められるが、全体的に明確な傾向認められない。

したがって、今回の実験条件では、外周埋め戻し方法の差は明確でない。

⑤保孔管径、掘削孔径の影響（図 3-24～3-25 参照）

保孔管径および掘削孔径の違いによる影響を検討する目的で、管径・孔径以外の条件がほぼ同じ B-1（保孔管外径 48mm(内径 40mm)、掘削孔径φ116mm）、B-2（保孔管外径 76mm(内径 67mm)、掘削孔径φ116mm）、C-2（保孔管外径 140mm(内径 125mm)、掘削孔径φ200mm）の水位を比較した。

第１～３回実験結果では、管径および掘削孔径の最も大きい C-2 の水位上昇がやや遅いように見受けられたが、それ以降は明らかでなく、水位下降時の傾向にも明確なタイムラグは認められない。また、掘削孔径が同じ B グループ同士の比較結果から、保孔管径の大小によるタイムラグへの影響も認められない。

したがって、今回の実験条件では保孔管径および掘削孔径の大小による明確な水位への影響は認められない。

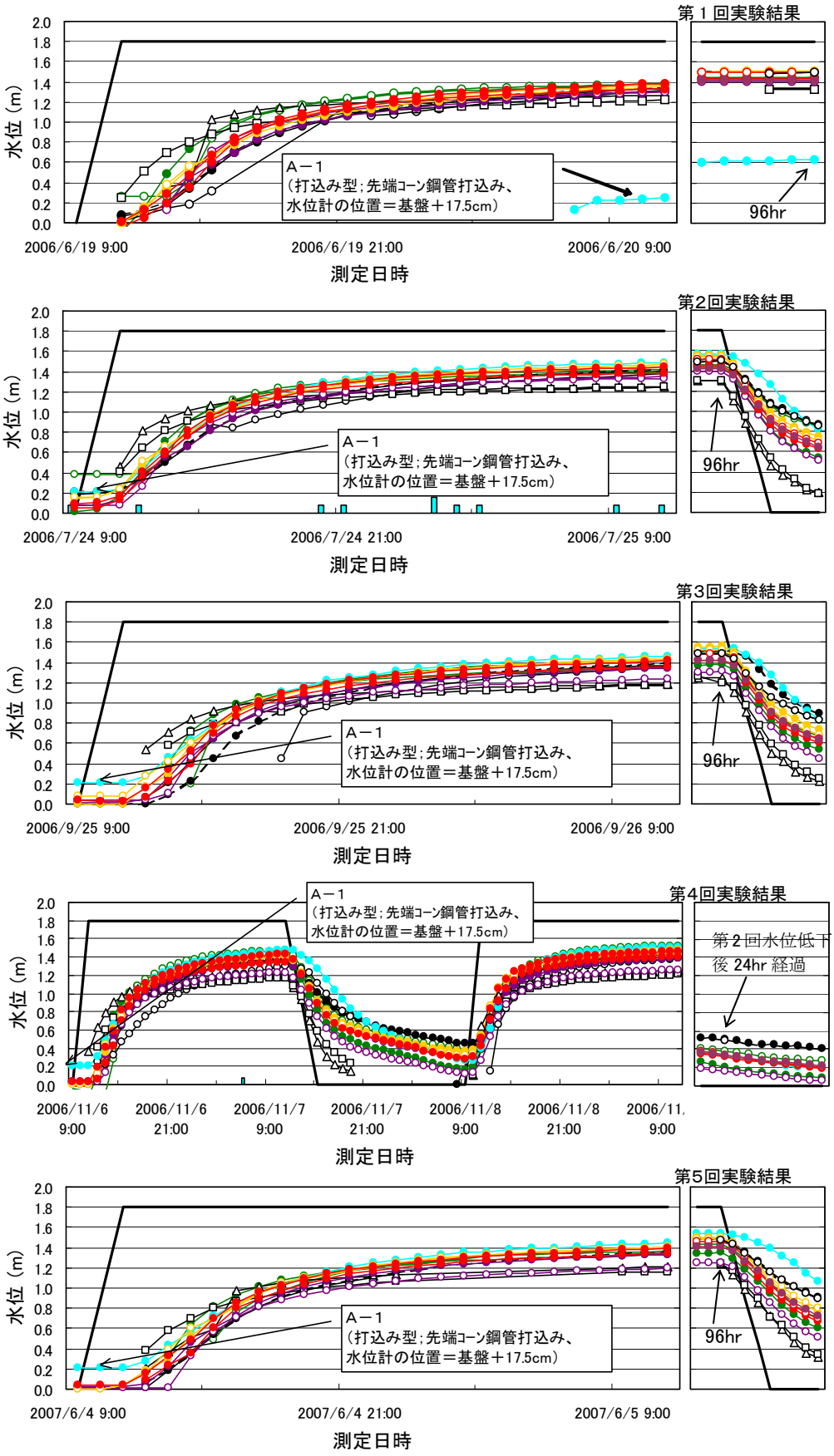


図 3-16　掘削方法の違いによる影響（第１～５回湛水実験：のり肩）

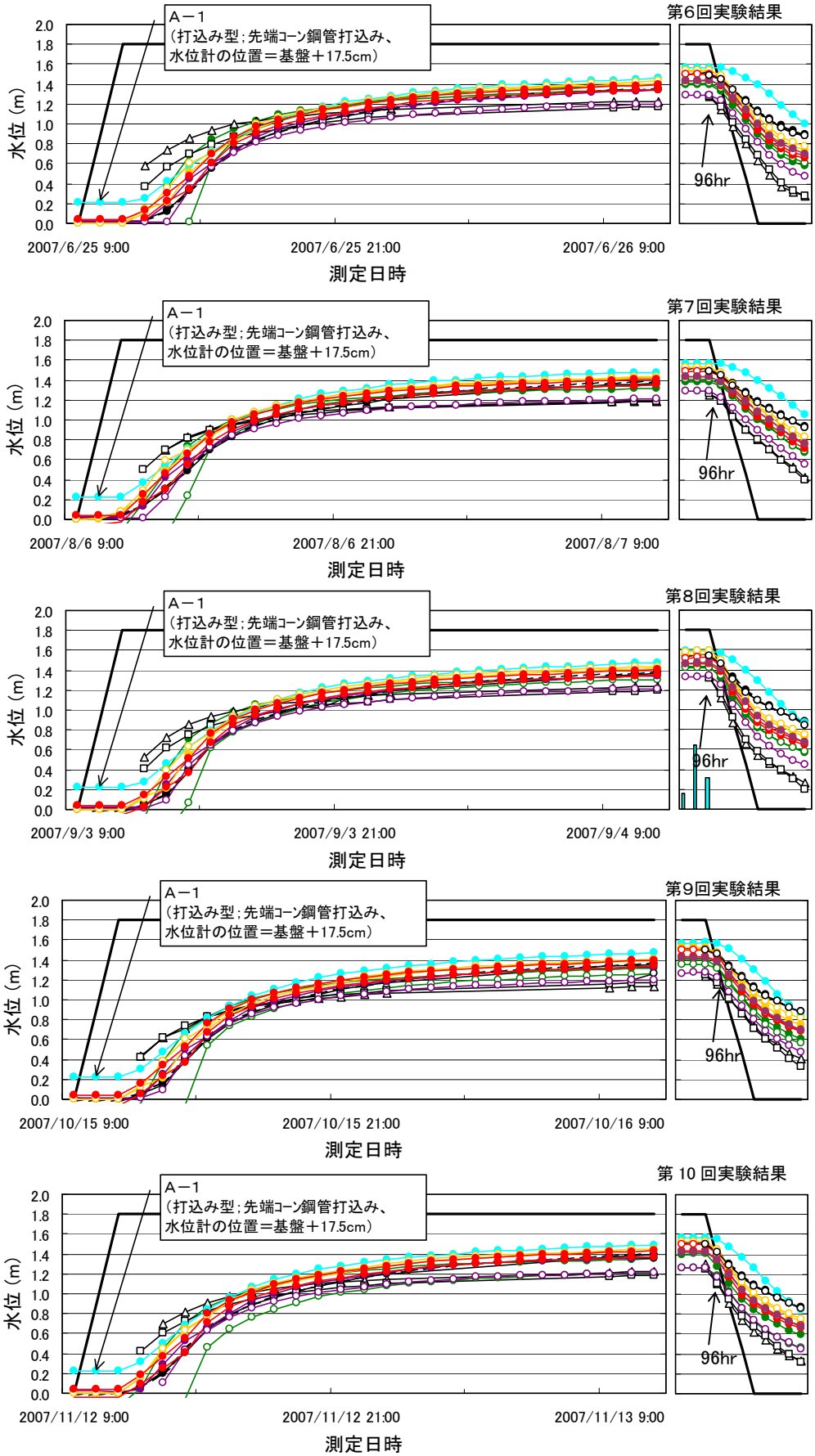


図 3-17　掘削方法の違いによる影響（第６～10 回湛水実験：のり肩）

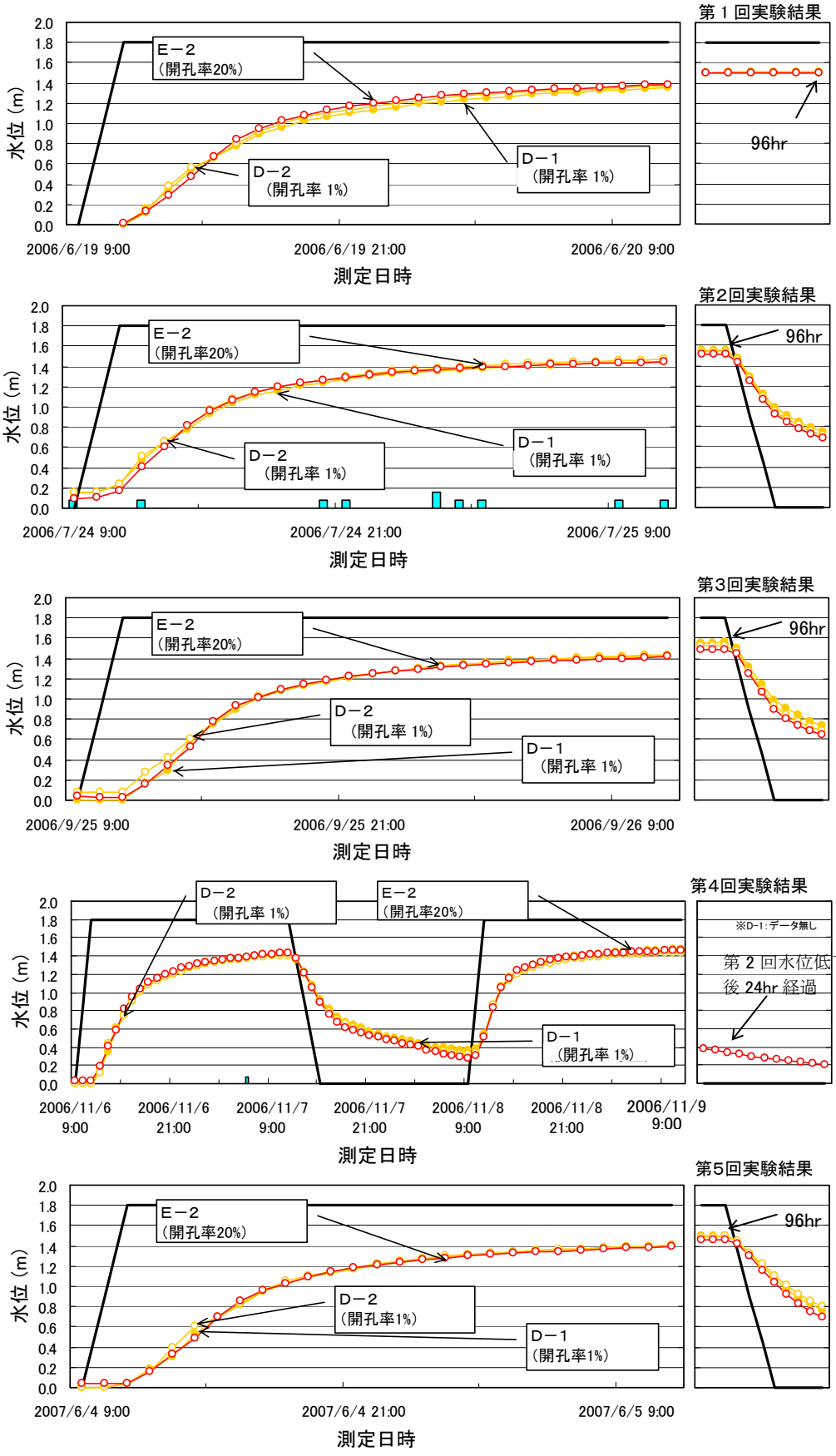


図 3-18　保孔管有孔部の開孔率の違いによる影響（第１～５回湛水実験：のり肩）

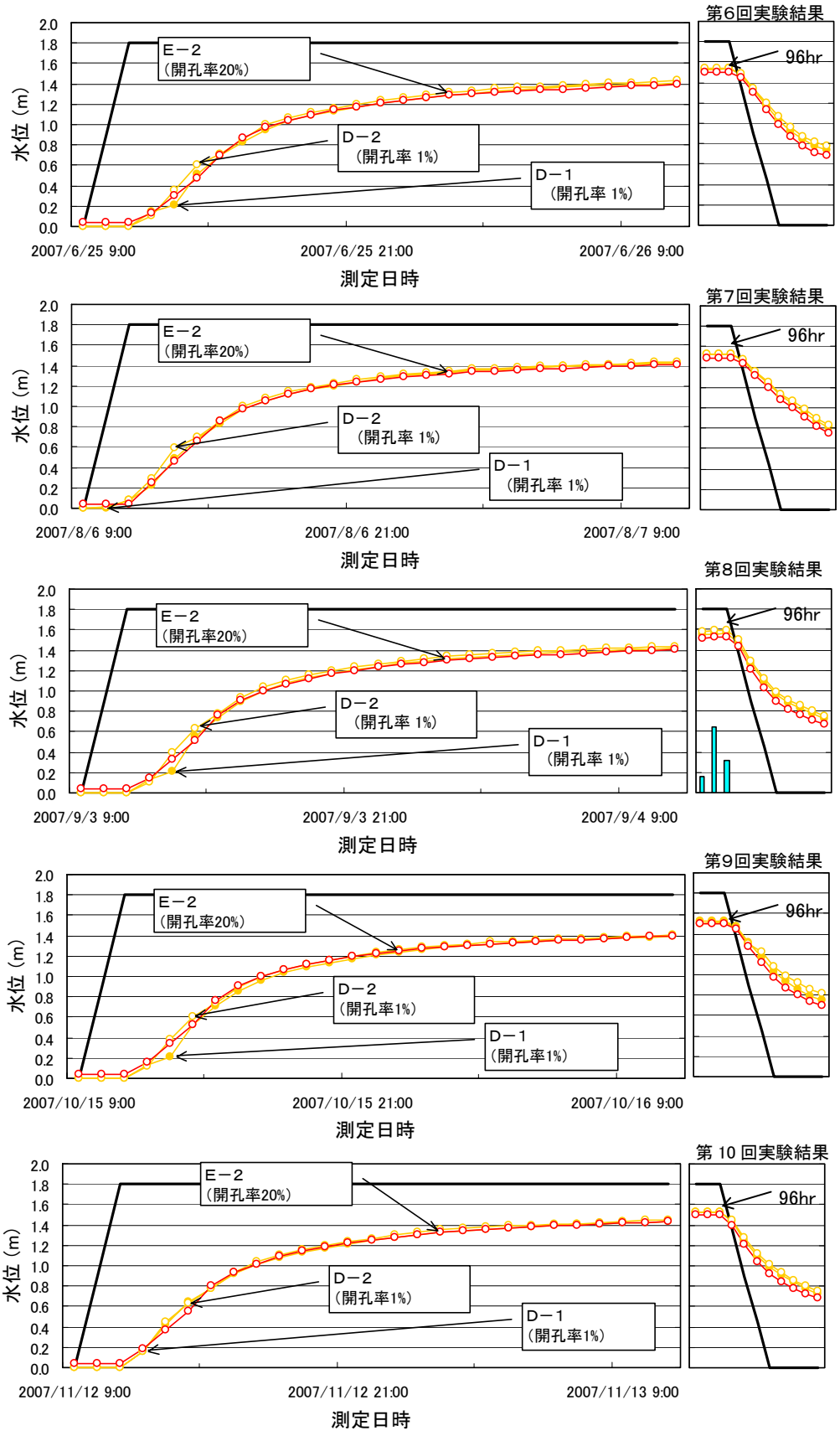


図 3-19　保孔管有孔部の開孔率の違いによる影響（第６～10 回湛水実験：のり肩）

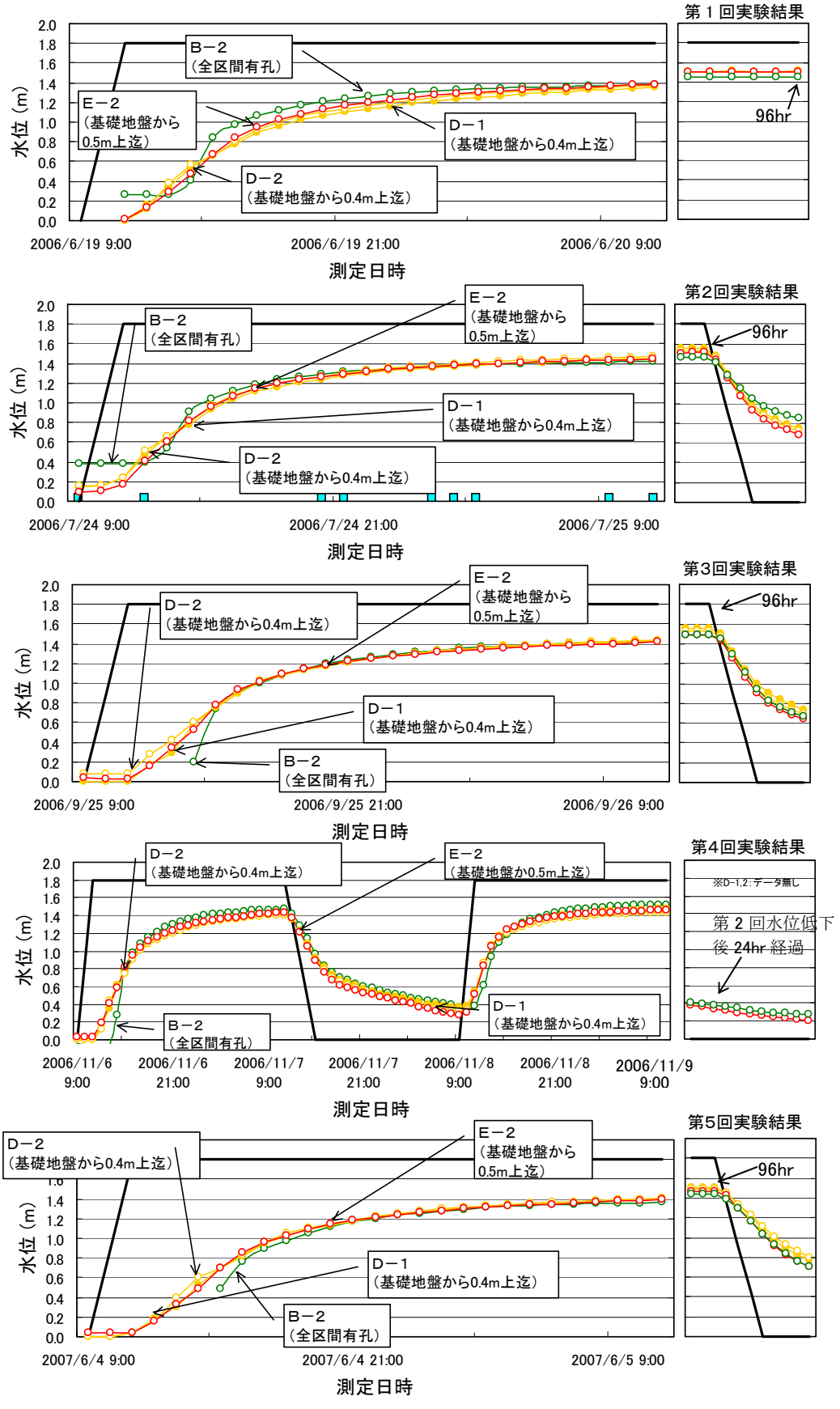


図 3-20　保孔管有孔部の区間長の違いによる影響（第１～５回湛水実験：のり肩）

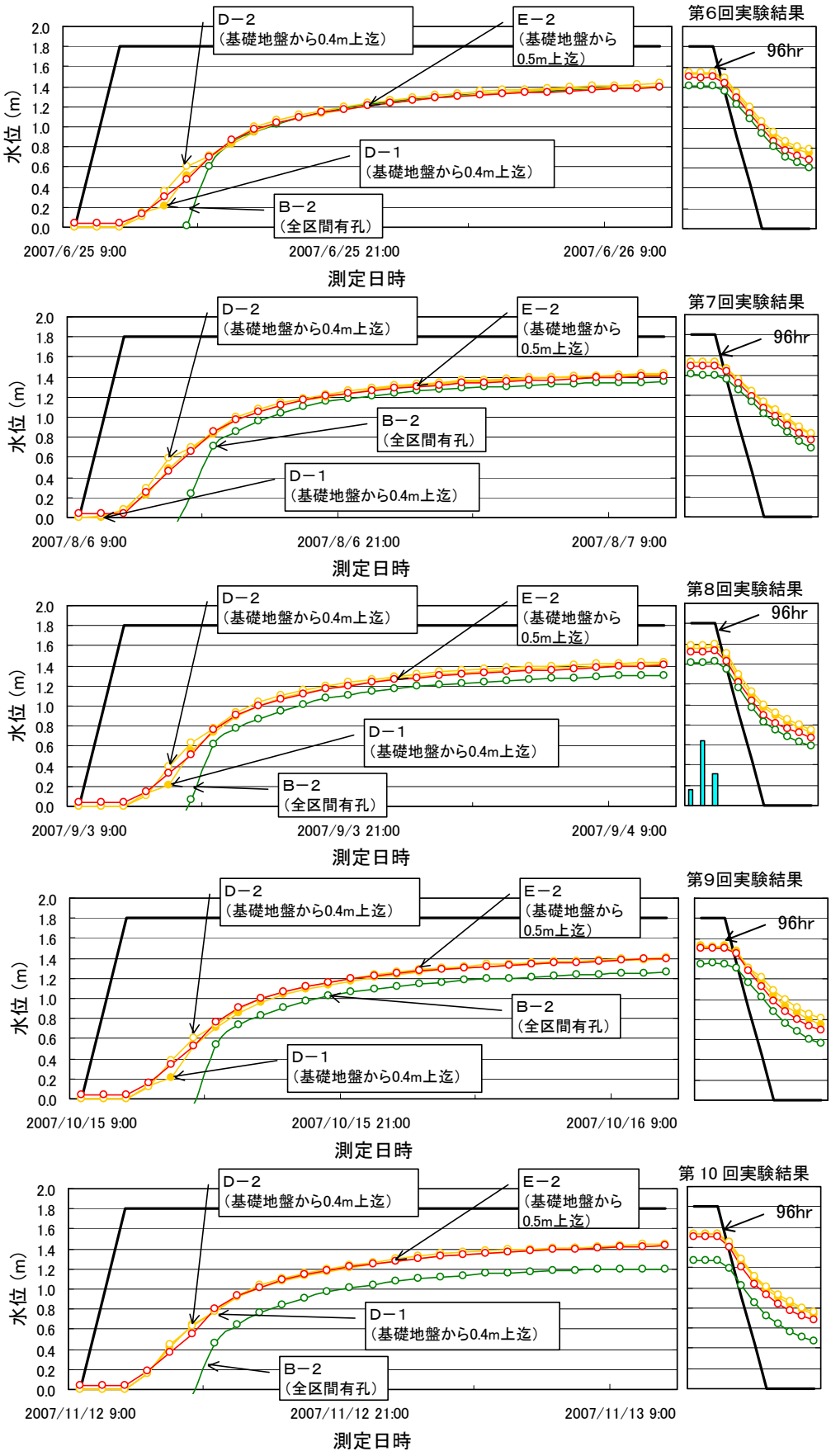


図 3-21　保孔管有孔部の区間長の違いによる影響（第６～10 回湛水実験：のり肩）

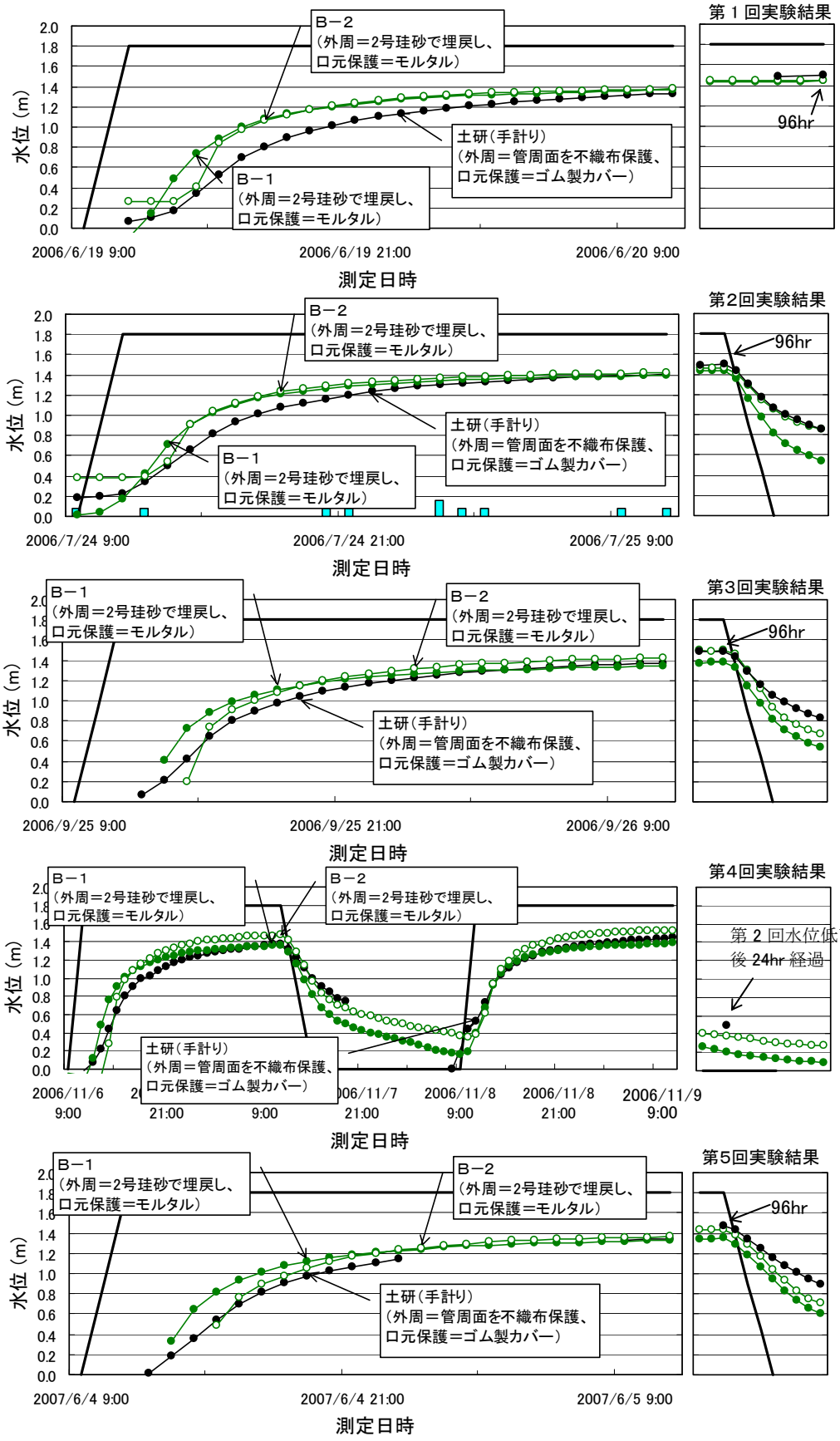


図 3-22　保孔管外周処理の違いによる影響（第１～５回湛水実験：のり肩）

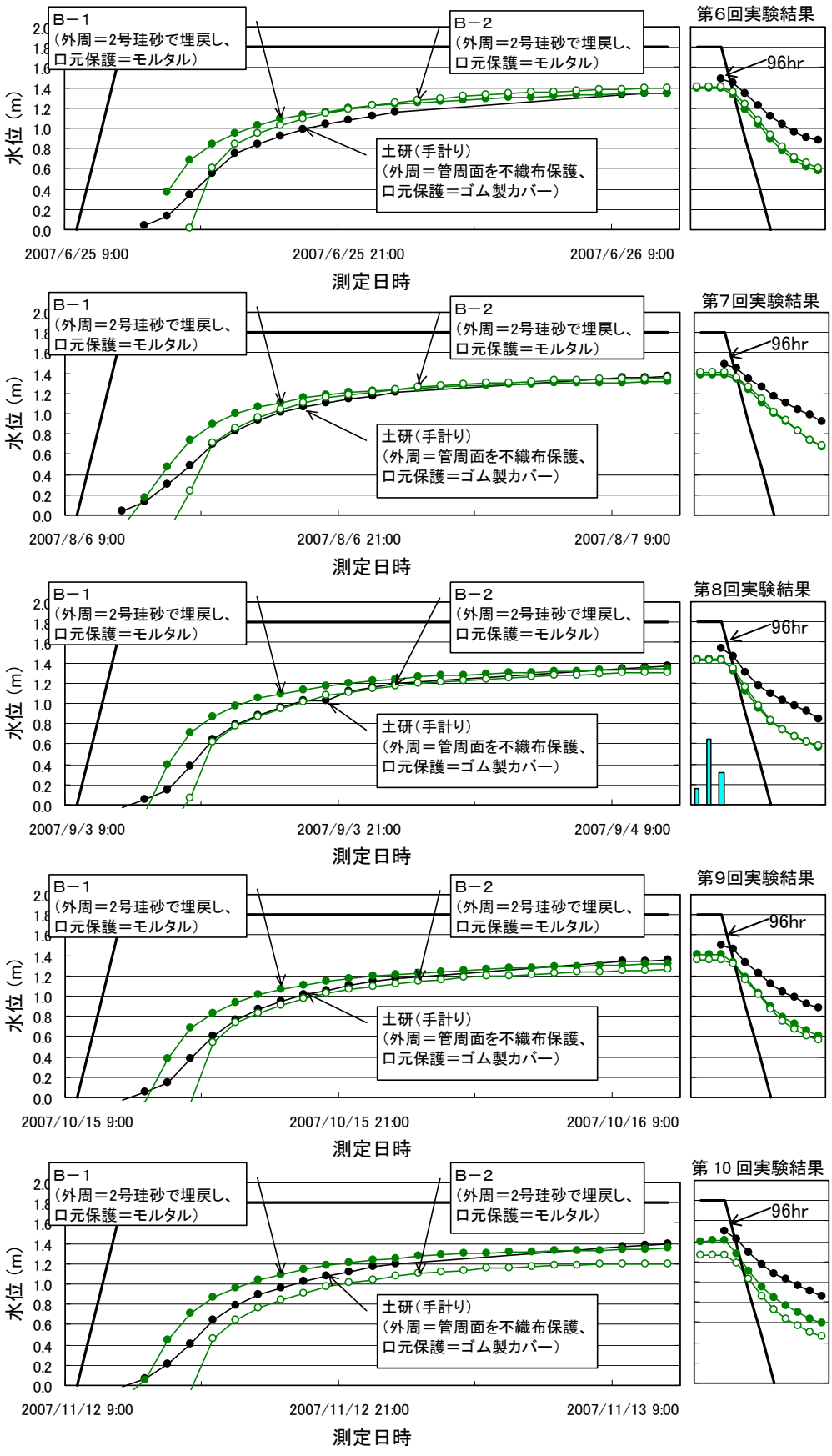


図 3-23　保孔管外周処理の違いによる影響（第６～10 回湛水実験：のり肩）

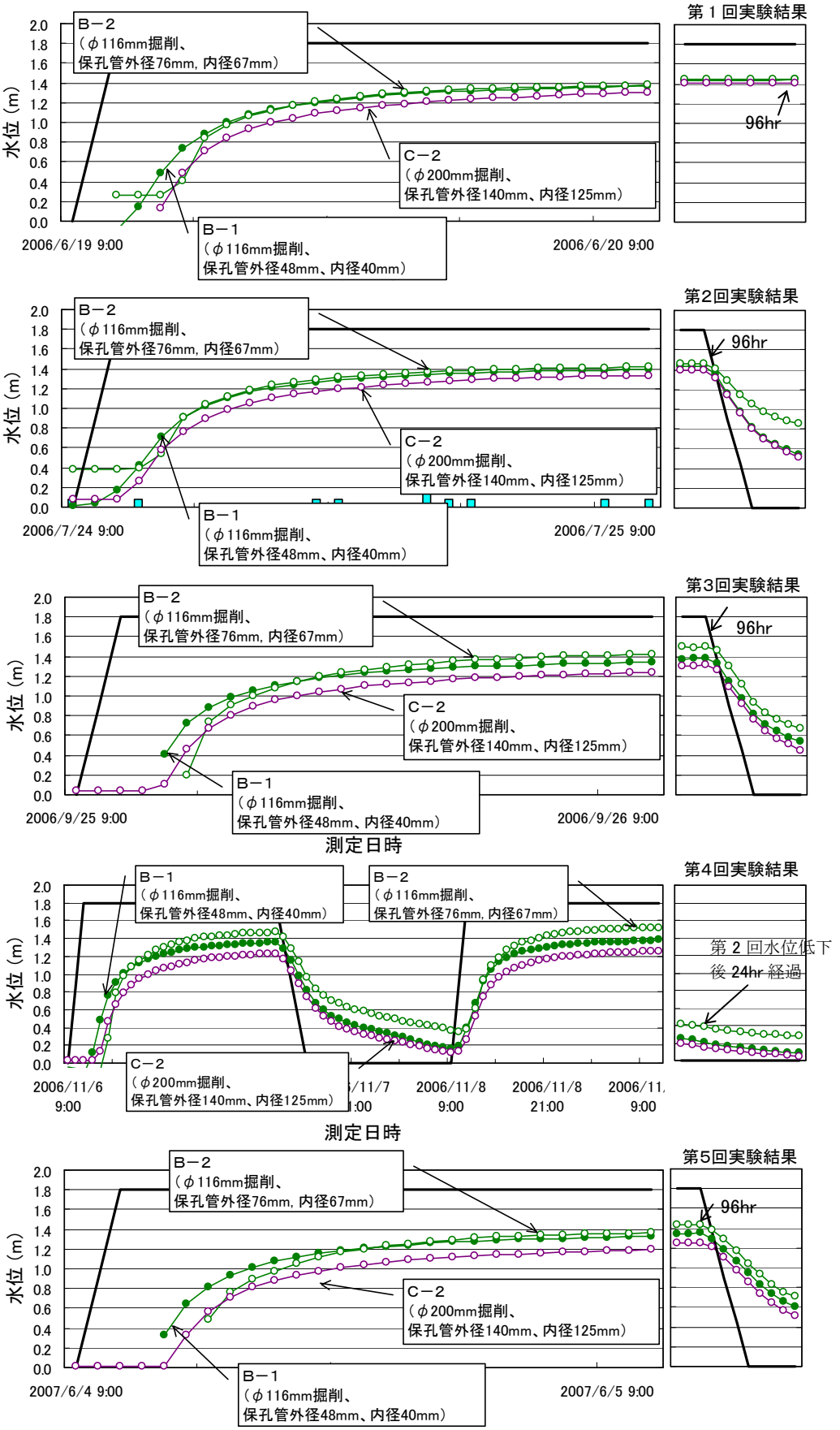


図 3-24　掘削孔径・保孔管径の違いによる影響（第１～５回湛水実験：のり肩）

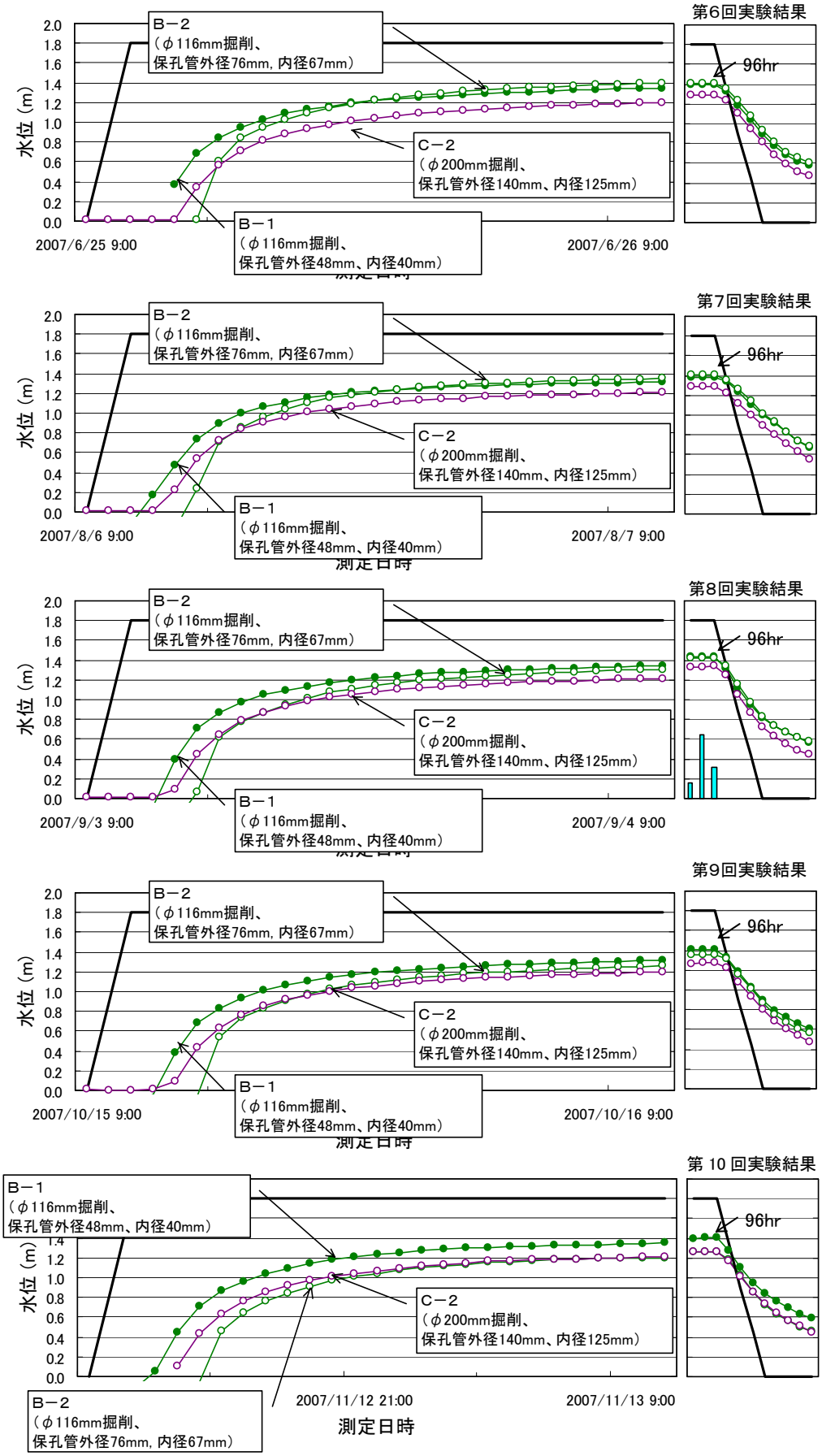


図 3-25　掘削孔径・保孔管径の違いによる影響（第６～10 回湛水実験：のり肩）

３．２．２　模型２（全断面堤防模型）の実験結果および考察

（１）堤体内水位の経時変化

全５回の実験結果から経時変化について整理したものを図 3-26～3-28 に示す（全実験結果の詳細は巻末⑦を参照）。

［全体の傾向］

いずれの検討地点でも外水位の昇降に伴って水位計の計測値が変化した。また、各グループの水位計の計測値は、概ねマノメータおよびポータブル水位計による手測り値（天端のみ）と同様の傾向を示した。したがって、模型１と同様に堤体内への水の浸透および外水位低下後の堤体内水位の低下状況を捉えることができているようである。

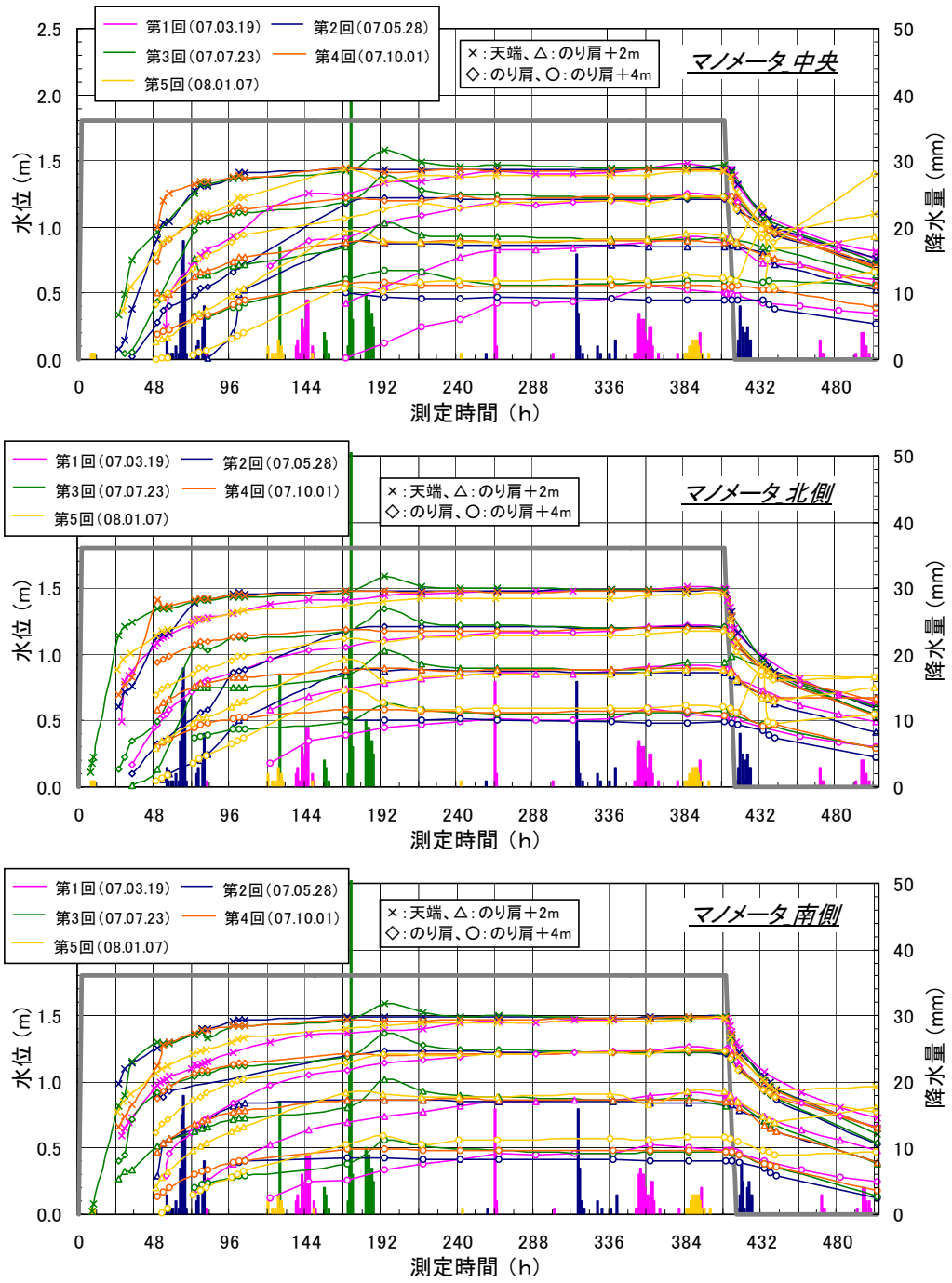
水位変化の傾向は、給水槽に近い計測地点ほど水位の上昇や低下速度が速く、遠くなる（のり尻に近づく）に伴って遅くなる。また、堤体の不均質性からか、のり尻に近づくほど浸透経路長が長くなるために計測値のバラツキが大きくなる傾向が認められた。

［耐久性の確認］

第１回および第５回湛水実験における水位上昇が遅れているが、これは初期飽和度の違いによるもので、第２回以降は概ね同様の水位変化傾向を示した。また、実験回数を経ても最終的にほぼ同様の値が得られており、本研究期間内では常時湿潤状態ながらも水位変化を繰り返す堤体模型での耐久性についても概ね問題なく計測できているようである。

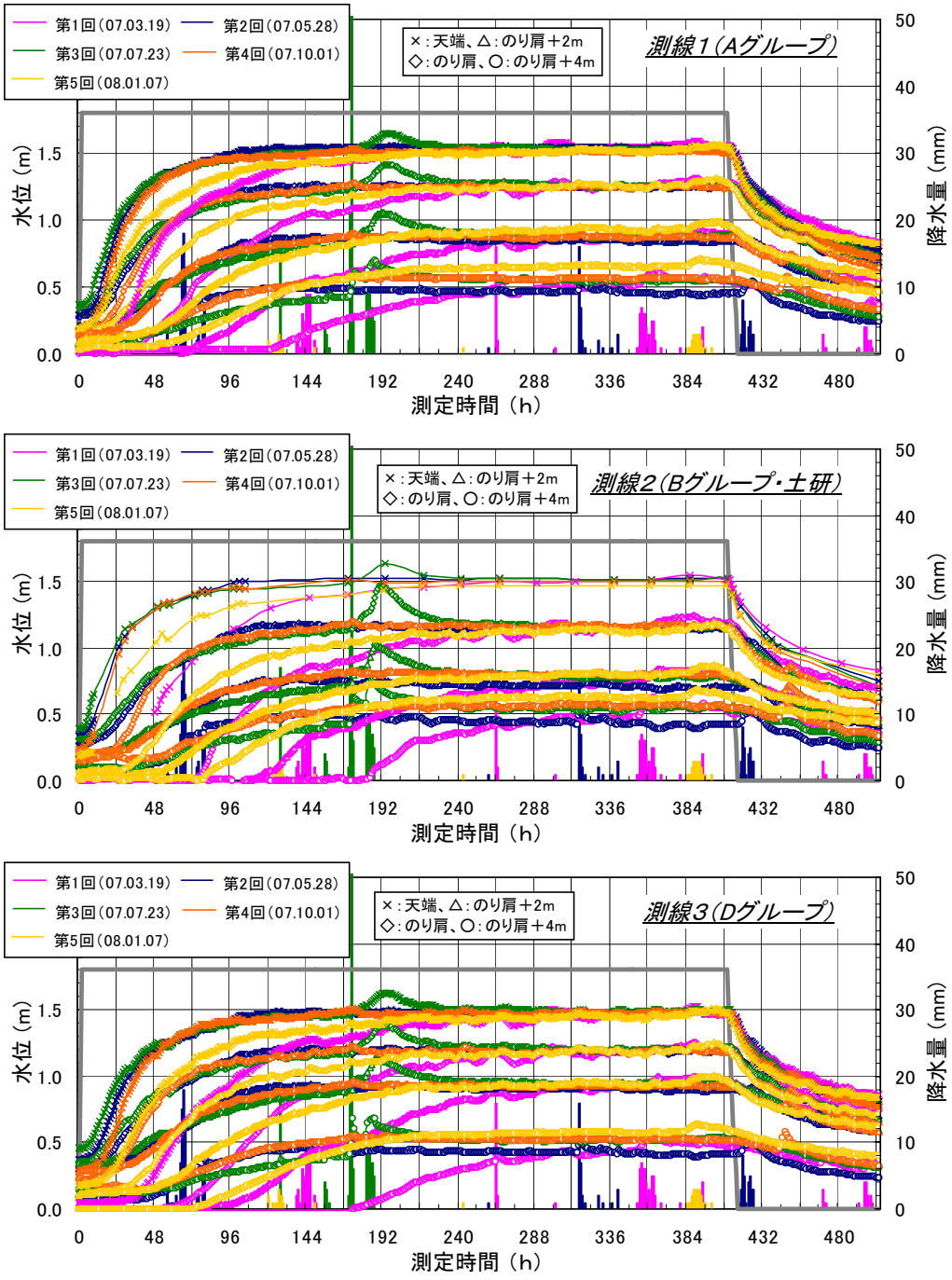
また、第５回湛水実験の水位低下後のマノメータの計測値について、実験時の気温が氷点下以下であったためか、凍結により異常値と思われる値を示した。一方、この期間およびそれ以降の計期間中も各グループの水位計は概ね妥当と思われる値を計測できていた。この模型では、水位低下時にも堤体内の水位が確認されており、水位計は常時水面以下に存在している状態にある。このような条件において、氷点下を下回るような外気温条件（最低気温－6.1℃）でも概ね問題なく計測出来ることがわかった。

以上より、本実験で確認された各グループの水位計測手法は、本実験の堤体条件（$k=8.5\times10^{-5}$cm/s 程度）では概ね堤体内水位計測に適用可能と考えられる。



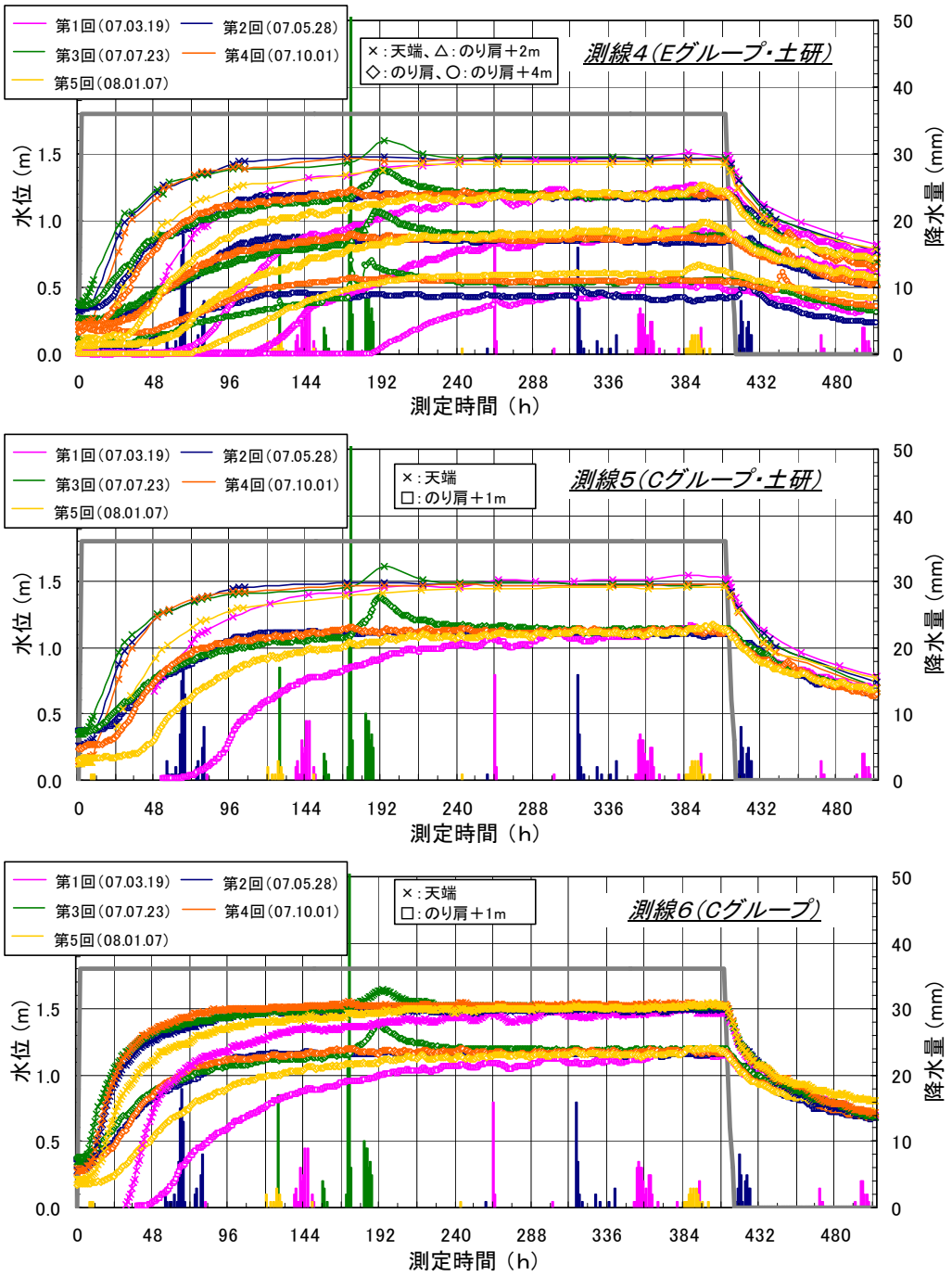
※ マノメータの列については、測定個数が多いため Y=7,9,11,13 の 4 地点のみの図化とする。

図 3-26　模型２における水位計測結果の経時変化（マノメータ）



※ 測線1(Aグループ)の列については、測定個数が多いため、
Y=7,9,11,13 の 4 地点のみの図化とする。

図 3-27　模型２における水位計測結果の経時変化（測線１～３）



※ 測線5，6の比較地点は天端、のり肩＋1m の 2 地点とする。

図 3-28　模型２における水位計測結果の経時変化（測線４～６）

（２）観測孔の仕様の違いに関する検討

各グループで水位計等の性能に差はないと仮定し、実験結果から観測孔の仕様の違いに着目して整理し、考察を行った。なお、堤体の浸潤傾向は概ね以下のとおりである。

第１回：中央付近よりも両端に近い方が水位上昇が早い。
第２回以降：第１回と同様の傾向が多少見られるが極端な差は無し。北側は壁寄りの方が水位上昇が若干早い傾向。

①保孔管径の違いによる影響（図 3-29 参照）

保孔管径の違いによる影響を検討する目的で、保孔管径以外の条件を同じとした土研観測孔の２箇所（保孔管外径 48mm(内径 40mm)と 76mm(内径 65mm)、いずれも掘削孔径φ126mm）の水位を比較した。

両者の違いは明確でないか、必ずしも管径が小さいほうが水位応答が早いとは言えず、今回の実験条件では保孔管径の違いによる明確な水位への影響は認められない。

②掘削孔径の違いによる影響（図 3-30～3-31 参照）

掘削孔径の違いによる影響を検討する目的で、掘削孔径以外の条件を同じとした土研観測孔の２箇所（掘削孔径φ116mm とφ126mm、保孔管 VP40）、および土研観測孔と D グループ（掘削孔径φ126mm とφ100mm、保孔管 VP65）の水位を比較した。

第１回は上昇傾向に差が認められるが、全体の傾向（中央付近より両端の方が水位上昇が速い）と同様である。第２回以降は土研観測孔の２箇所については明確な差異が認められない。また、土研観測孔と D グループの比較では、全体の傾向と同様（中央付近より両端の方が水位上昇が速い）の傾向を示す。

したがって、今回の実験条件では掘削孔径の違いによる明確な水位への影響は認められない。

③掘削時使用水の違いによる影響（図 3-32 参照）

ボーリング掘削時の使用水の違いによる影響を検討する目的で、無水条件で掘削した土研観測孔と泥水掘削を行った C グループの水位を比較した。

第１回は掘削時の水の違いによる影響があると考えられた（水位上昇は同程度だが、両者の位置関係と全体の水位上昇傾向を考慮すると、泥水掘削により水位上昇が遅れる可能性有り）が、第２回以降は、無水掘削による方が水位上昇が遅くなっており、明確な相関は認められない。また、水位低下の傾向も無水掘削の方がやや遅い。

泥水掘削による観測孔は、掘削後に数時間の孔内洗浄を行っており、今回の実験条件では、泥水を使用しても孔内洗浄を行えば水位への影響は認められないと考えられる。

④有孔部開孔率の違いによる影響（図 3-33～3-36 参照）

有孔部開孔率の違いによる影響を検討する目的で、開孔率以外の条件が概ね同じＣグループの２箇所（のり肩＋１ｍ地点；開孔率２％と 10%）、およびＢ,D,E グループ（のり肩，のり肩＋２ｍ，のり肩＋４ｍ地点；開孔率５％と１％と 20%）の水位を比較した。

各実験時の傾向を要約すると以下のとおりである。また、目詰まり等の影響も今回の実験では認められなかった。

のり肩＋１ｍ：開孔率 10%の方が早いが、位置関係を考慮すると全体の傾向どおり。

のり肩：B,D,E グループ間に明確な差は認められず。

のり肩＋２ｍ：D（開孔率 1%）、E（開孔率 20%）、B（開孔率 5%）の順。開孔率の最も大きいＥの水位上昇が速いとは言えない。

のり肩＋４ｍ：第１回は B、D および E の順。第２回以降は明確な差は認められず。

したがって、今回の実験条件では、保孔管有孔部周辺を珪砂等の透水性の高い材料で埋め戻した場合、1%以上の開孔率では水位に影響しない。

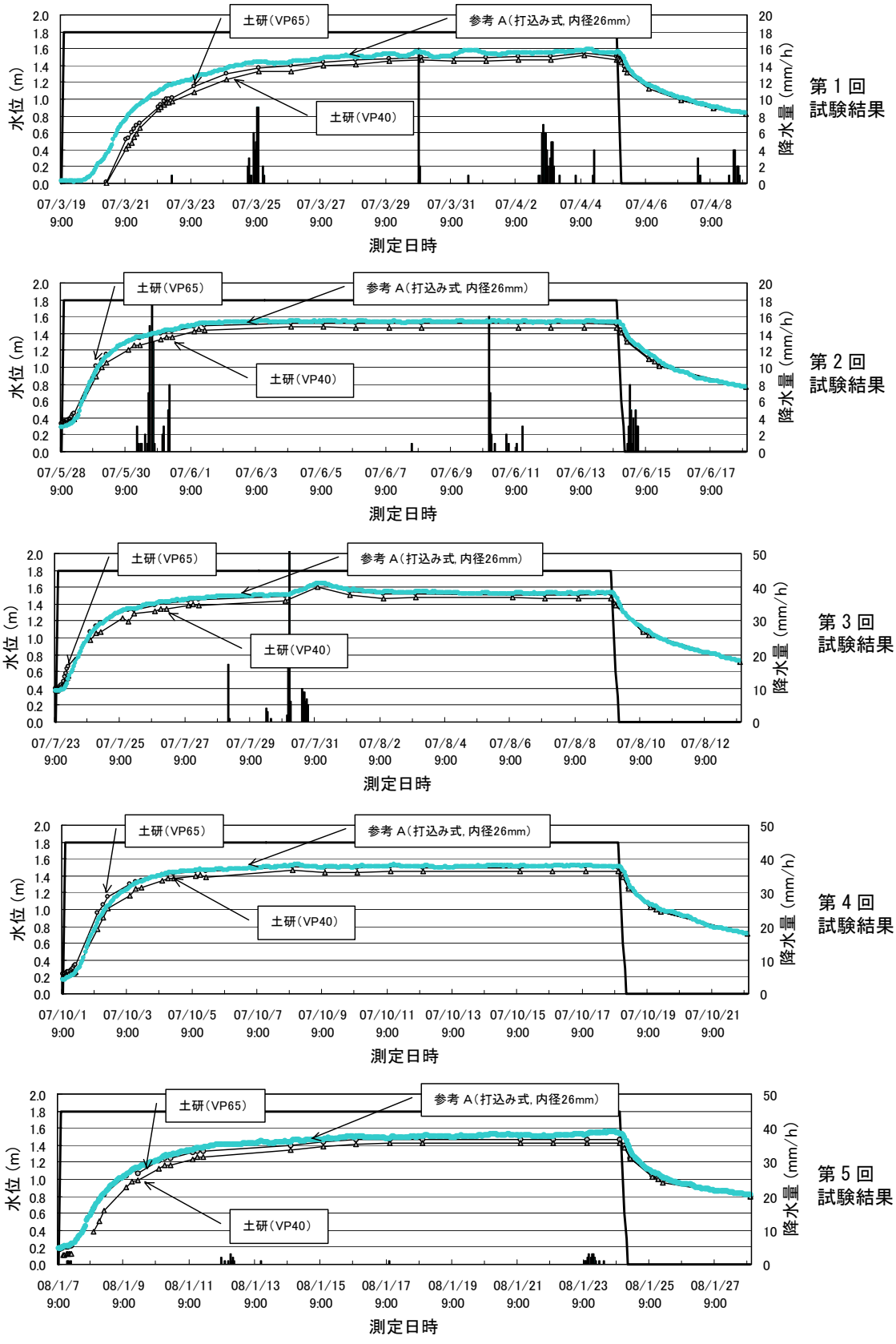
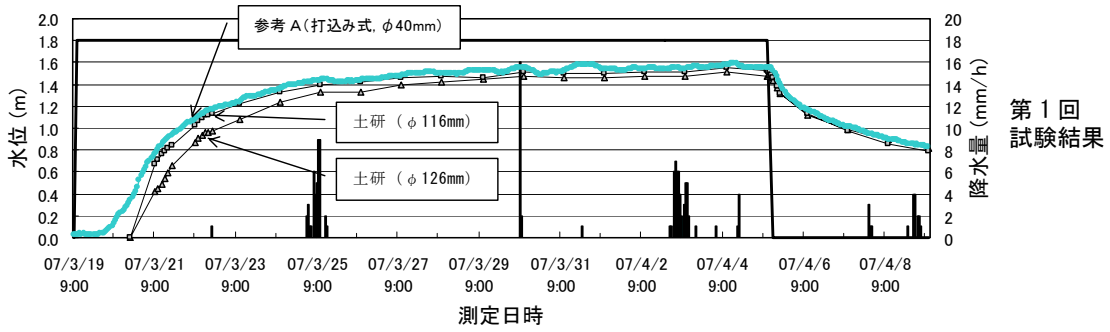
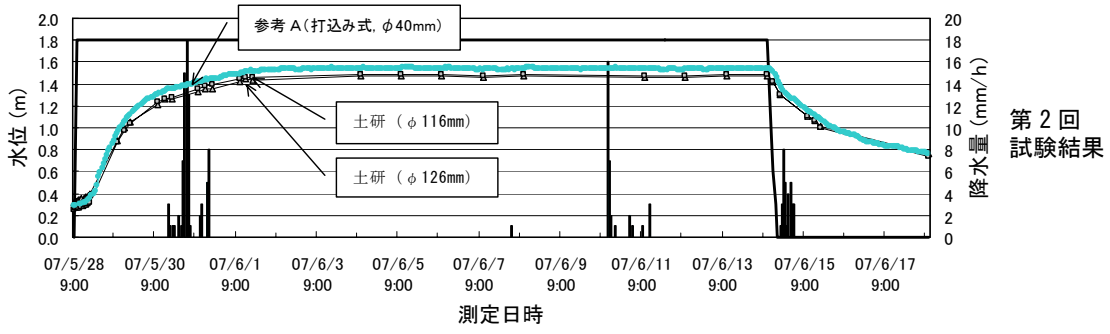


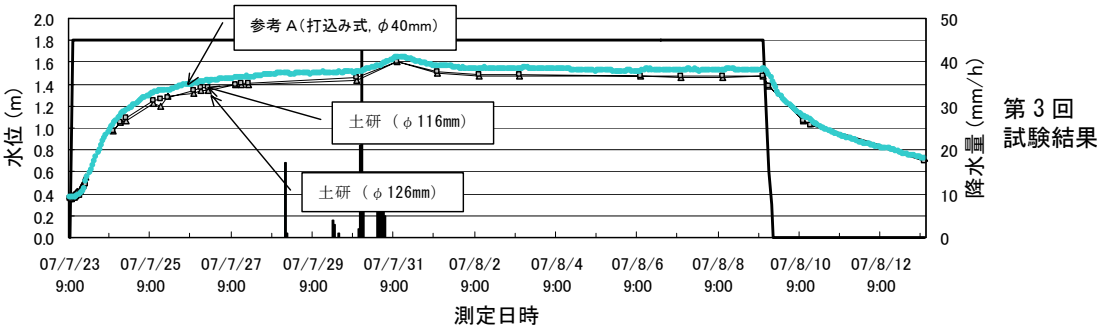
図 3-29　保孔管径の違いによる影響（天端）



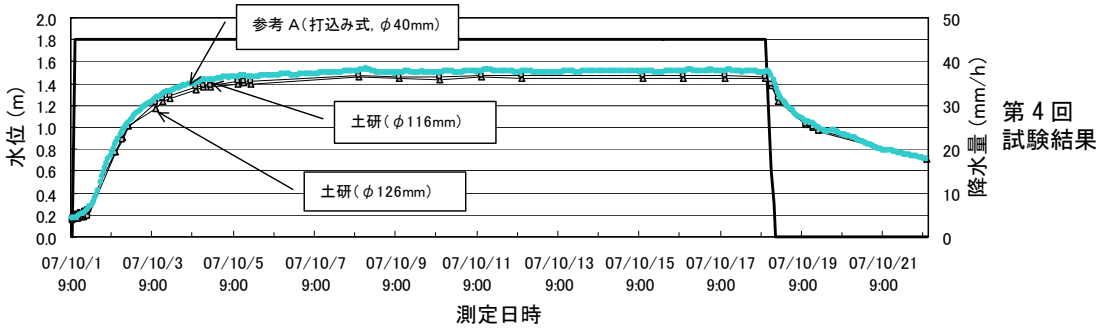
第 1 回
試験結果



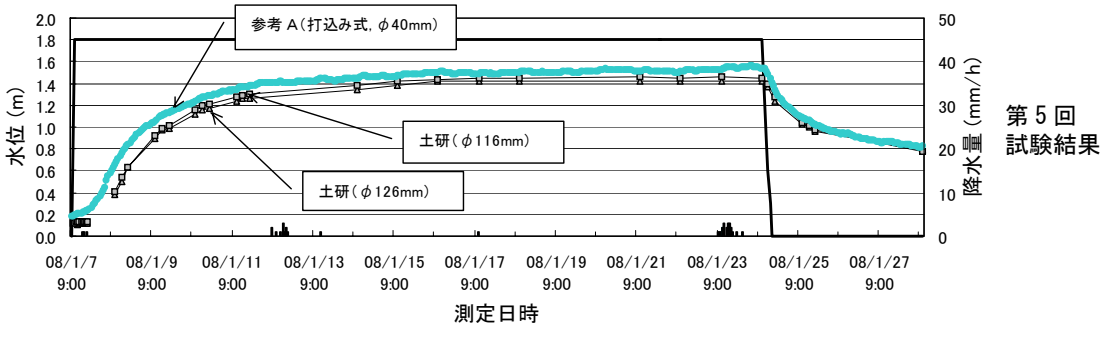
第 2 回
試験結果



第 3 回
試験結果



第 4 回
試験結果



第 5 回
試験結果

図 3-30　掘削孔径の違いによる影響 1 （天端）

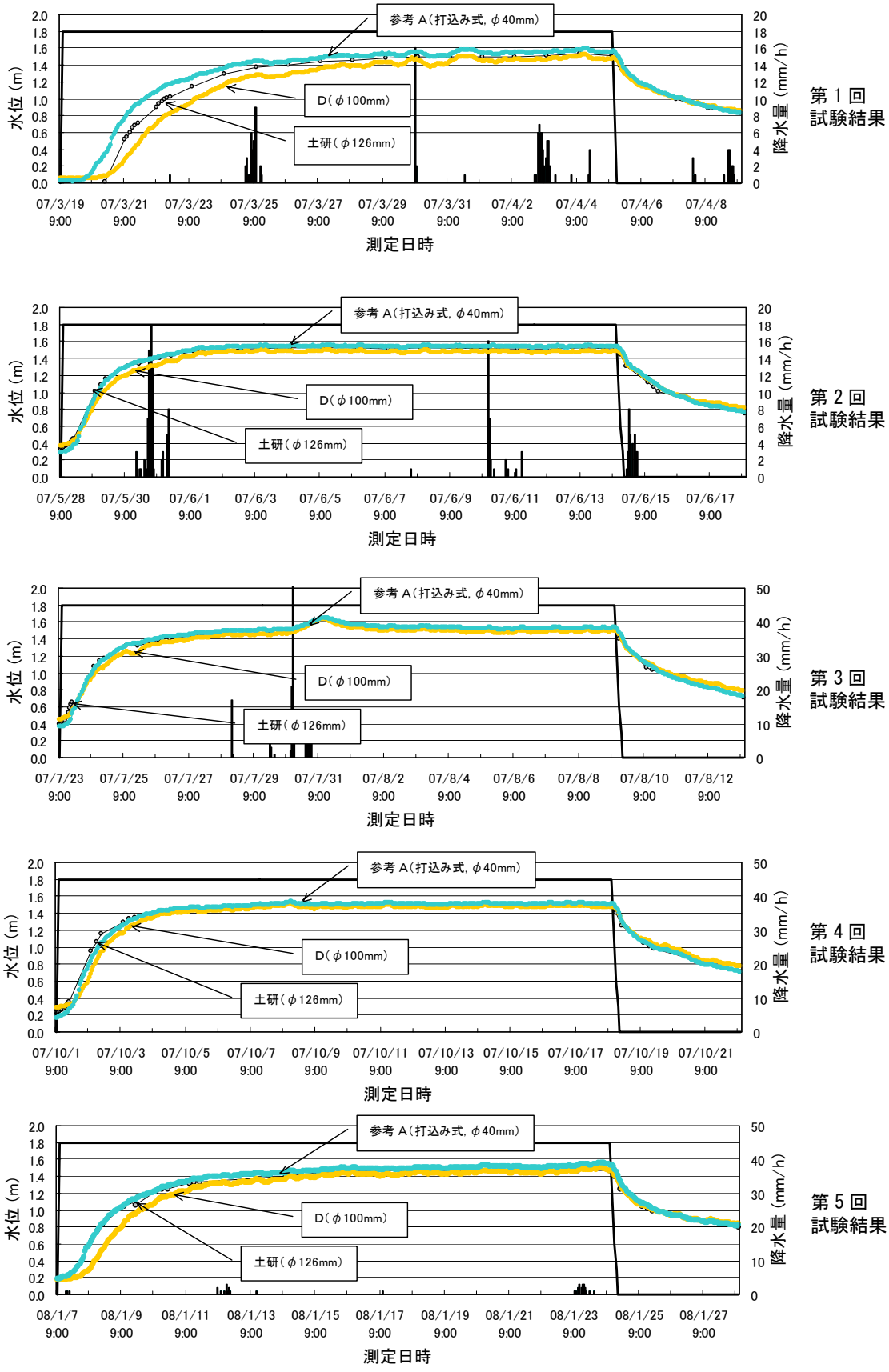


図 3-31　掘削孔径の違いによる影響２（天端）

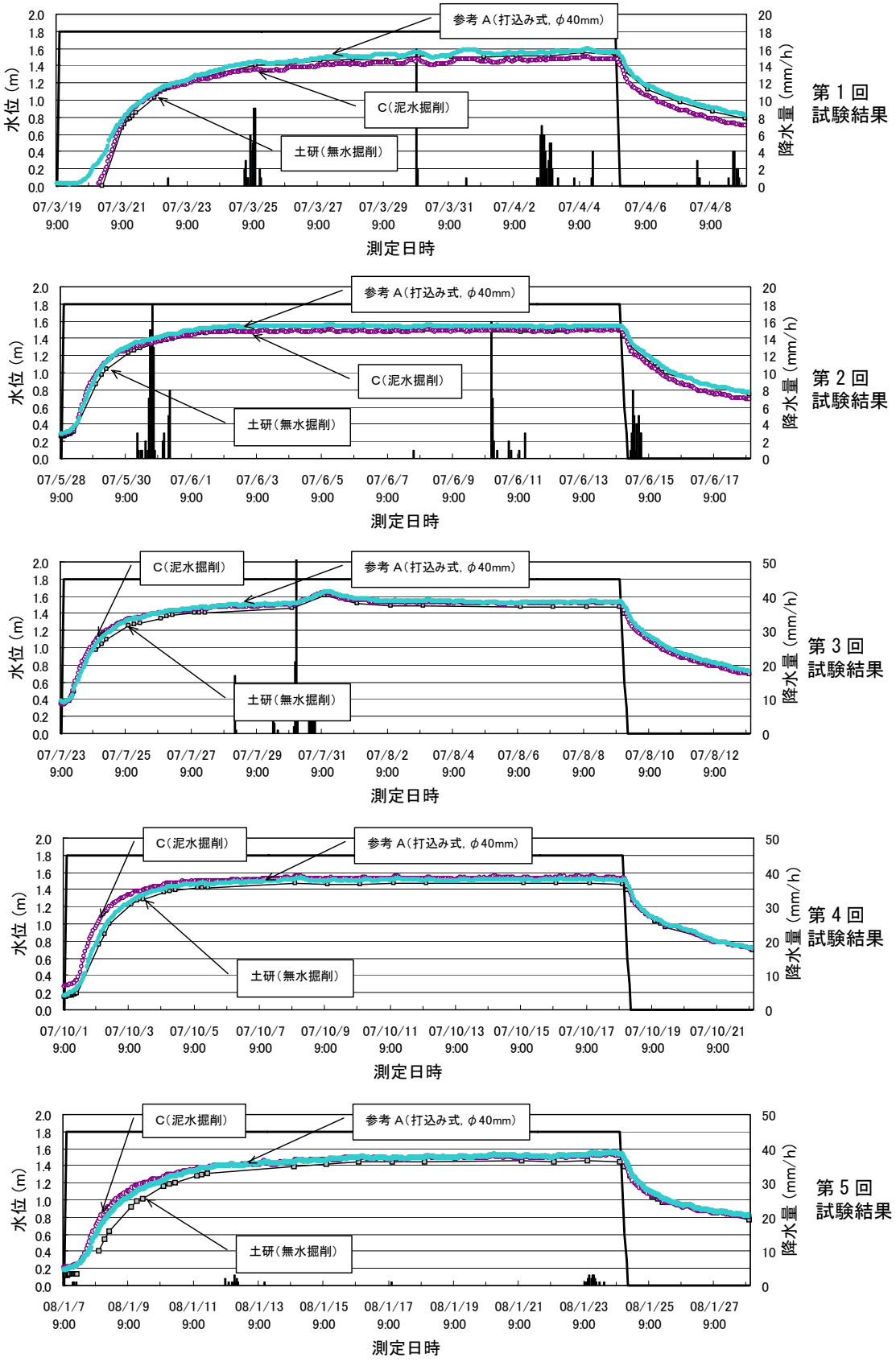
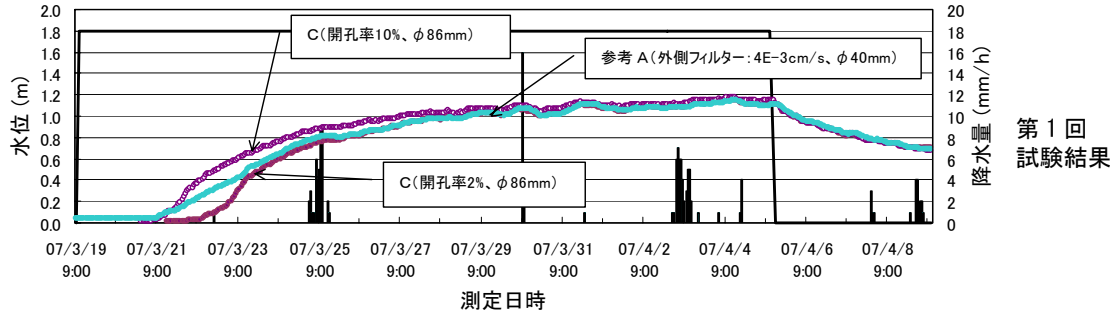
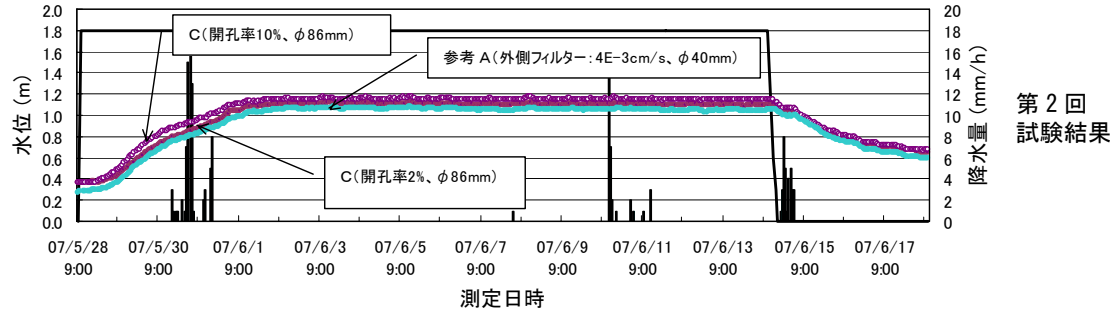


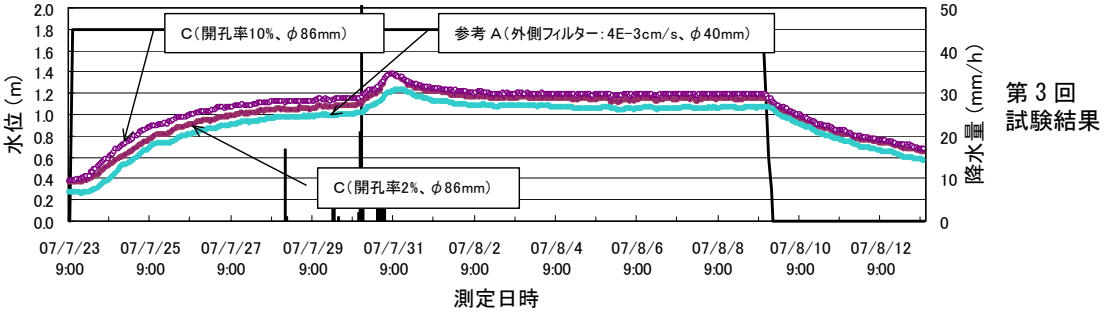
図 3-32　ボーリング掘削時の使用水の違いによる影響（天端）



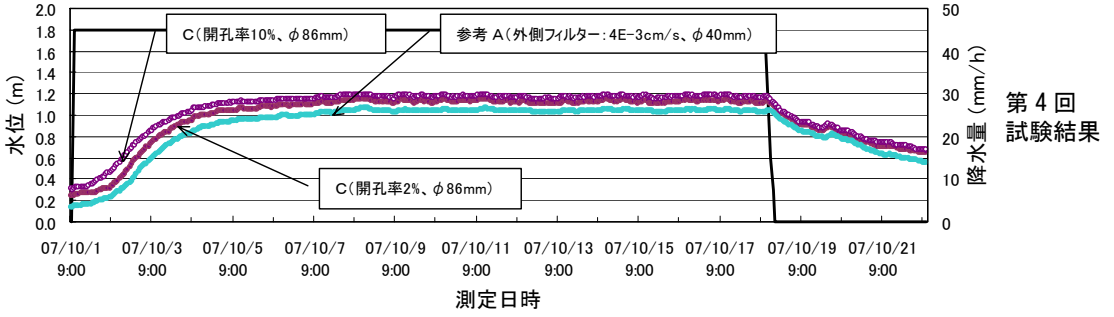
第１回
試験結果



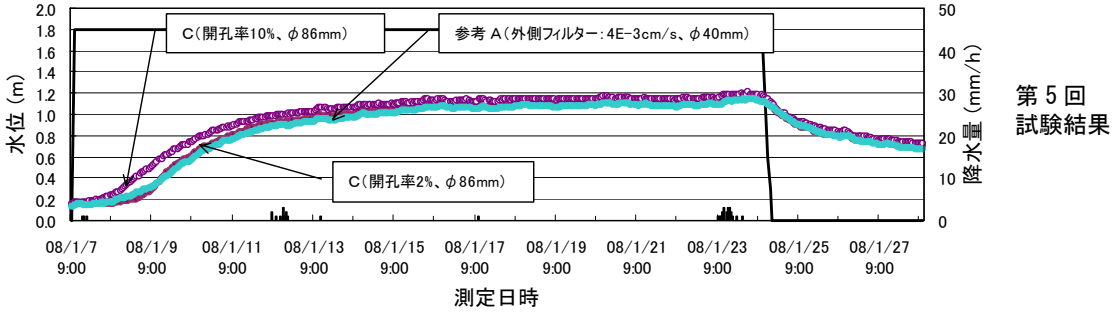
第２回
試験結果



第３回
試験結果



第４回
試験結果



第５回
試験結果

図 3-33　有孔部開孔率の違いによる影響（のり肩＋１ｍ）

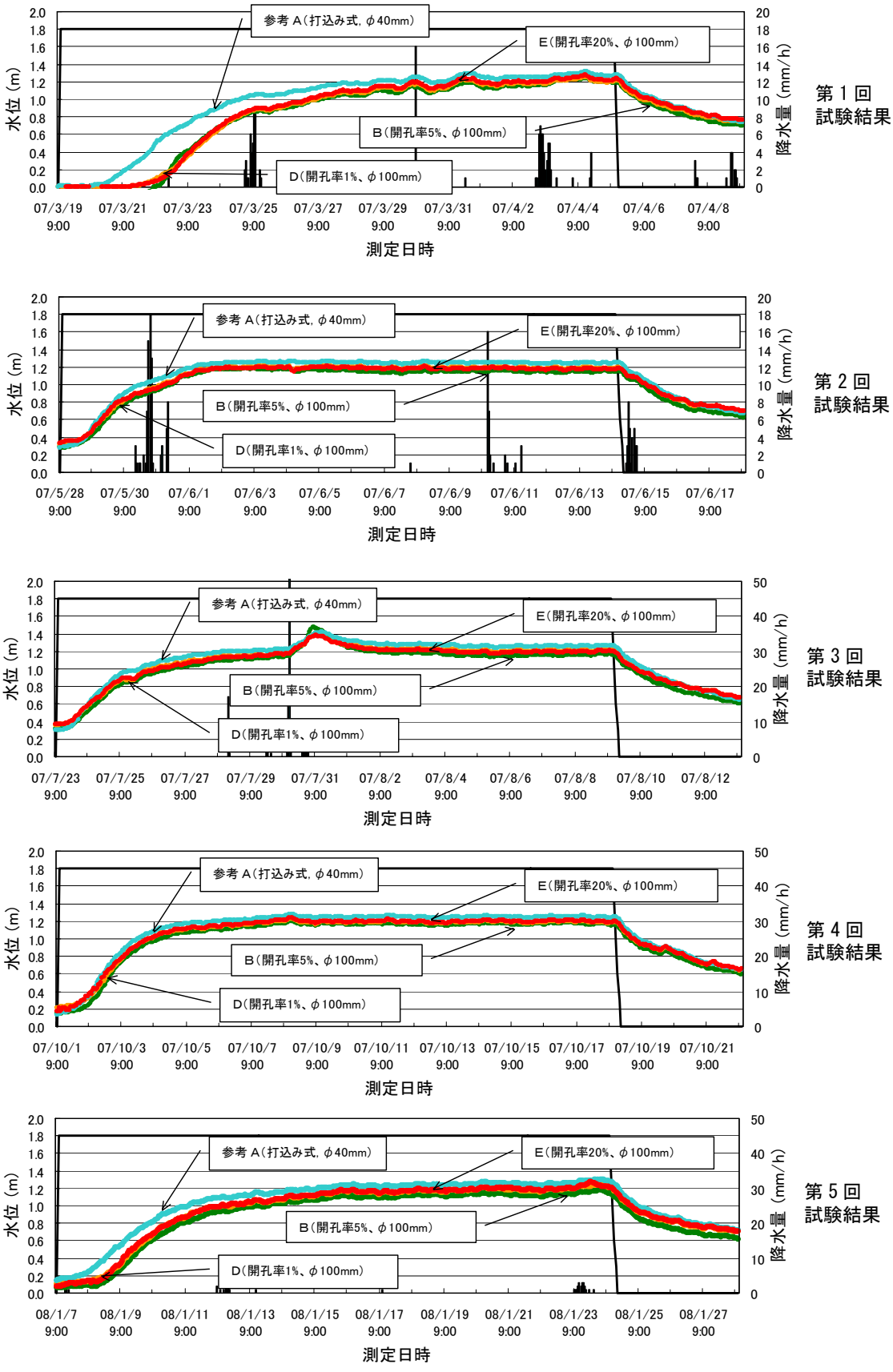


図 3-34　有孔部開孔率の違いによる影響（のり肩）

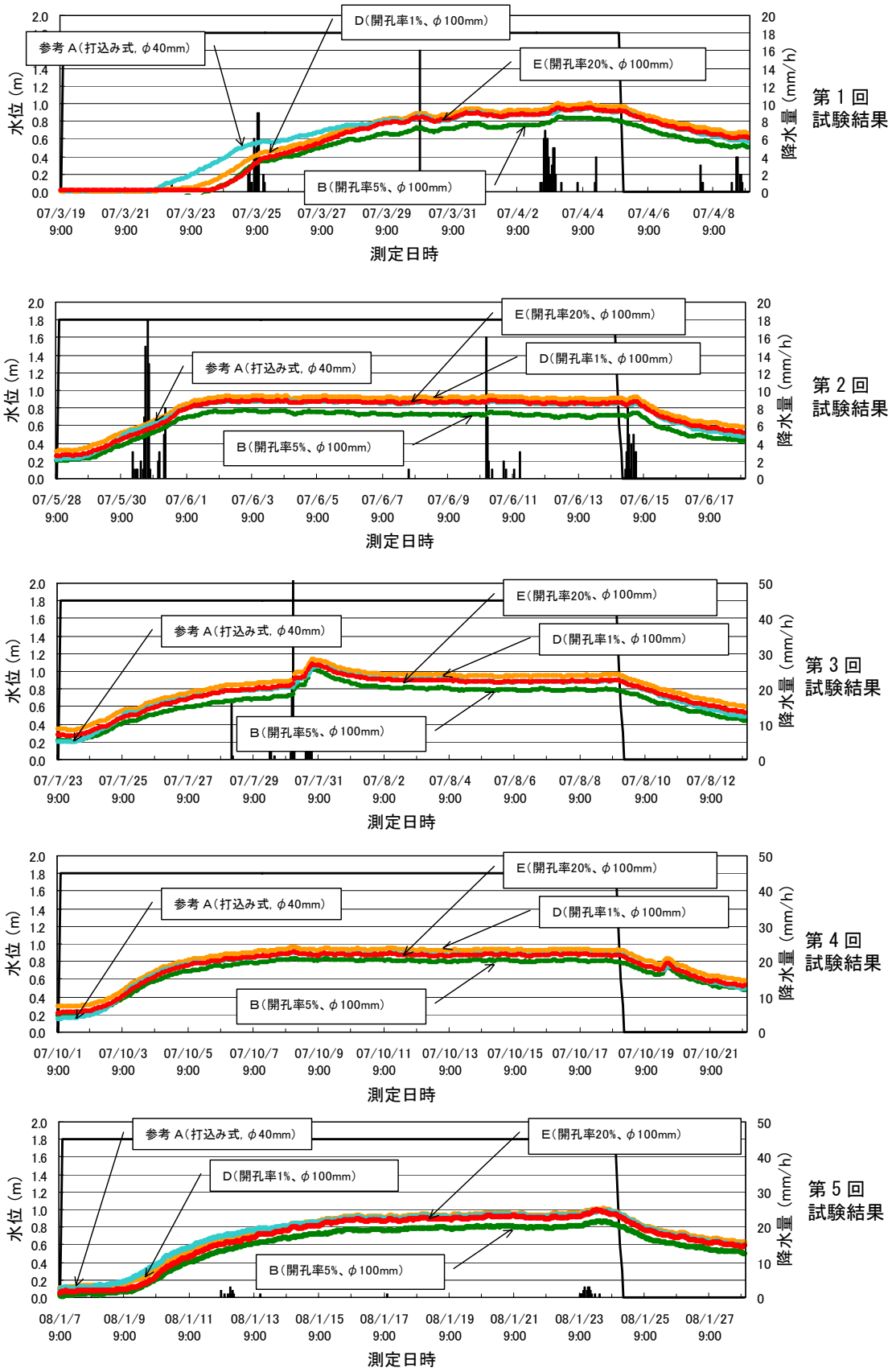


図 3-35　有孔部開孔率の違いによる影響（のり肩＋２ｍ）

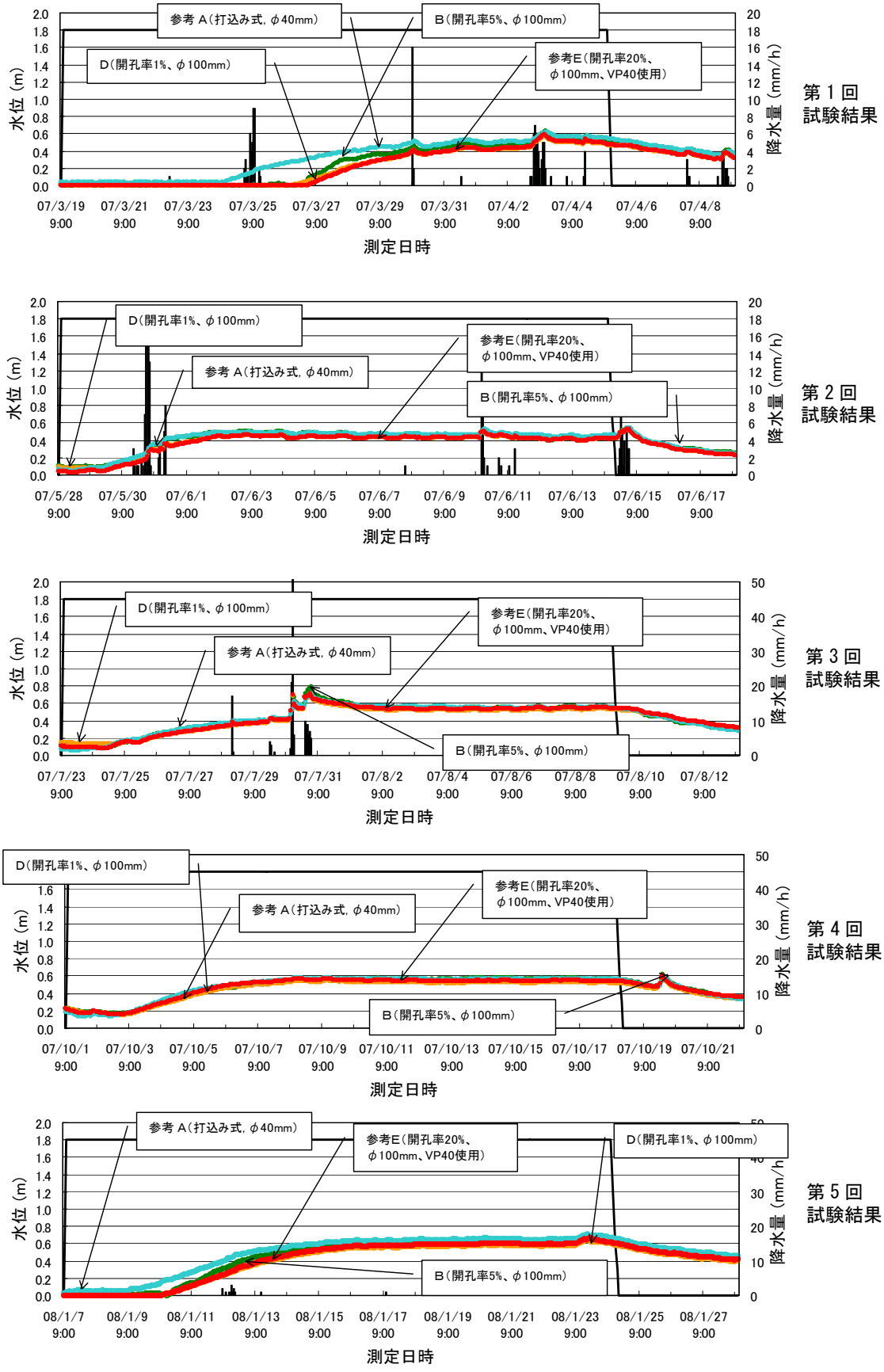


図 3-36　有孔部開孔率の違いによる影響（のり肩＋４ｍ）

３．３　適用可能性に関する実験結果のまとめ

・ 観測孔仕様の水位計測への影響を検討した結果、本実験の堤体条件（$k=2.0\times10^{-3}$～8.5×10^{-5}cm/s 程度）では、有孔部の開孔率や区間長、保孔管径や掘削孔径の違い等による水位への影響は認められなかった。

・ 本実験で確認された各グループの水位計測手法は、本実験の堤体条件（$k=2.0\times10^{-3}$～8.5×10^{-5}cm/s 程度）では概ね堤体内水位計測に適用可能と考えられる。

第２章　本共同研究における観測システム

本共同研究では、**第１章１．**に示すＡ～Ｅグループが、それぞれ個別に観測システムを構築し、堤防模型を用いた観測実験を行った。本章では、各グループの観測システムの概要を示す。

①システム構成（ラムサウンド等による打ち込み式観測孔の場合）

システム構成を図 A-1 に、データ表示例を図 A-2 に示す。

無線機能付きデータロガーは、最大４台のアナログセンサと雨量計感部を接続することができる。測定値はディジタル化して収録する。測定値や異常通報は携帯電話網を用いて指定メールアドレスに送信できる。測定値は専用サーバで管理することにより、インターネットブラウザー上で、数値およびグラフデータとして確認、取得ができる。

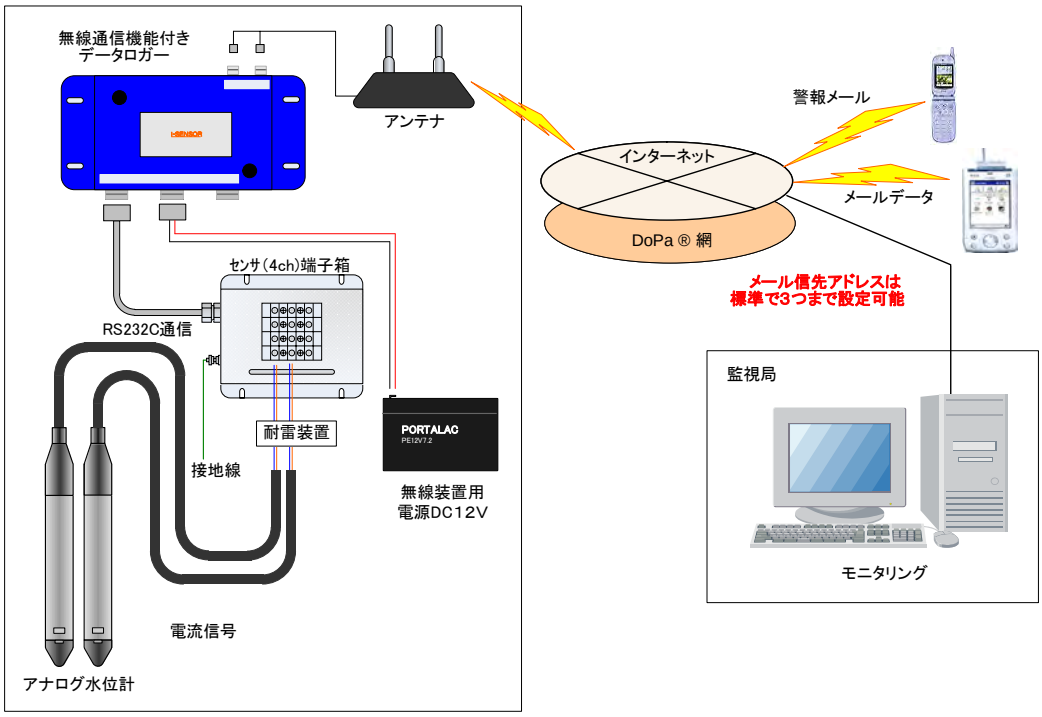


図 A-1　システム構成

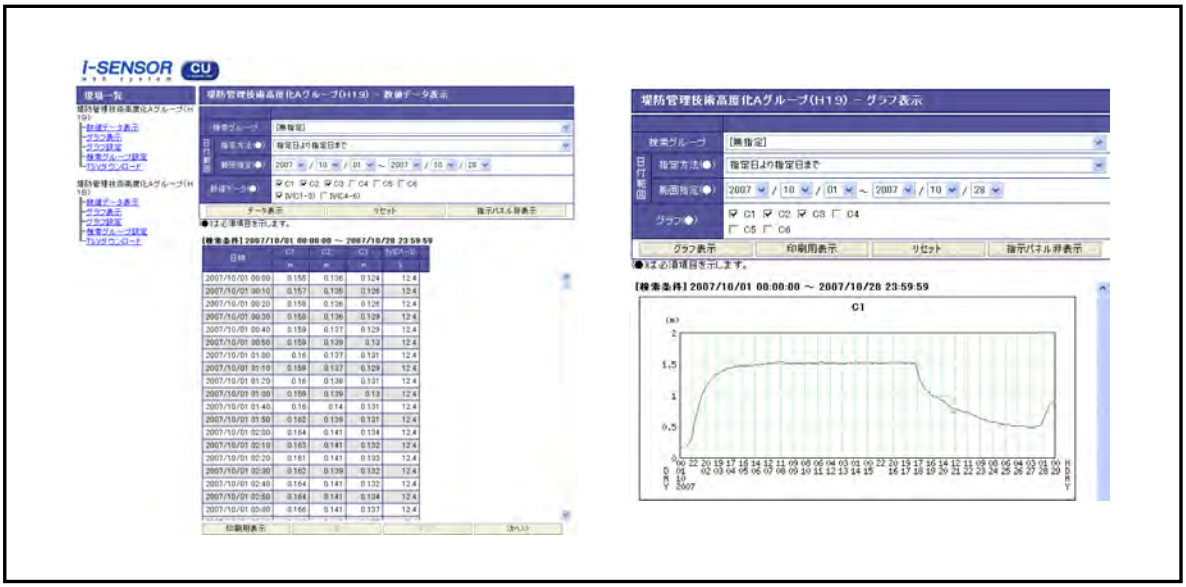


図 A-2　データ表示

②観測孔

打込式観測孔の概要を図 A-3 に示す。

・先端にコーンのついた鋼管を打ち込み、所定の深度で有孔部を開き、観測孔を形成する。

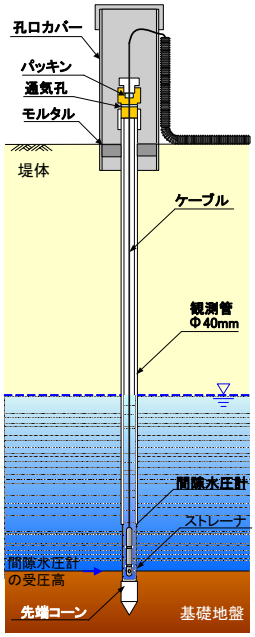


図 A-3　観測孔

③水位計

水位計の概要を図 A-4、写真 A-1 に示す。

・外径φ17.5mm の小口径水位計である。

・電流出力型であり、出力値はケーブル長の影響を受けにくい。

・ベントチューブ先端に除湿剤を取り付け、水位計内部に湿気が入らないようにしている。

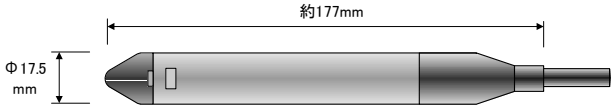


図 A-4　水位計



写真 A-1　水位計

④データロガーおよび送信機器

データロガーおよび無線装置の概要を図 A-5 に示す。

・４つの電圧出力アナログセンサと雨量計の測定値をディジタル化して収録できる。

・携帯電話網の無線機能を有しており、携帯電話が受信できるところであれば測定値を指定メールアドレスに任意の時間間隔で送信することができる。

・バッテリー切れやあらかじめ設定した測定基準値を超えた際などに警報メールを送信することができる。

・駆動電源は、12V である。

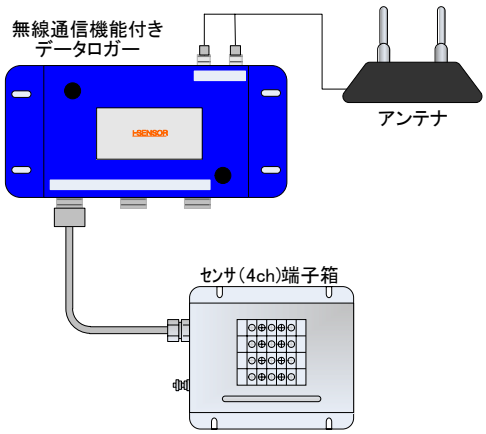


図 A-5　データロガーおよび無線装置

①システム構成（機械ボーリングによる観測孔の場合）

システム構成を図 A-6、に、データ表示例を図 A-7 に示す。

データロガー一体型水位計は、任意の測定時間間隔ごとに圧力値をディジタル化して収録する。無線装置はデータロガー一体型水位計と接続することで、測定値や異常通報を携帯電話網を用いて指定メールアドレスに送信する。測定値は専用サーバで管理することにより、インターネットブラウザー上で、数値およびグラフデータとして確認、取得ができる。

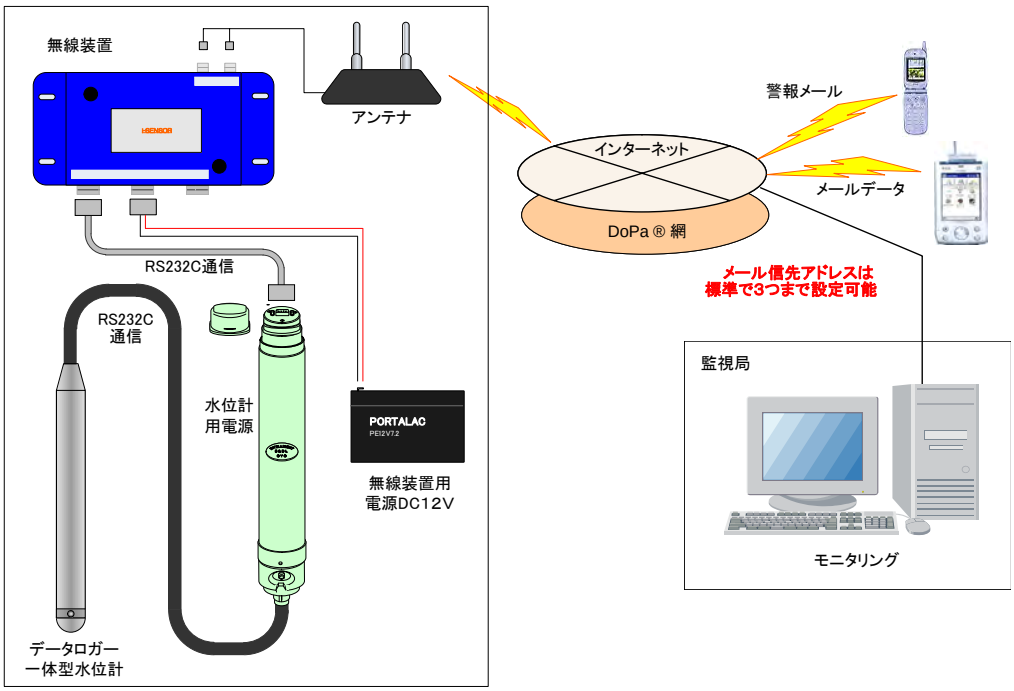


図 A-6　システム構成

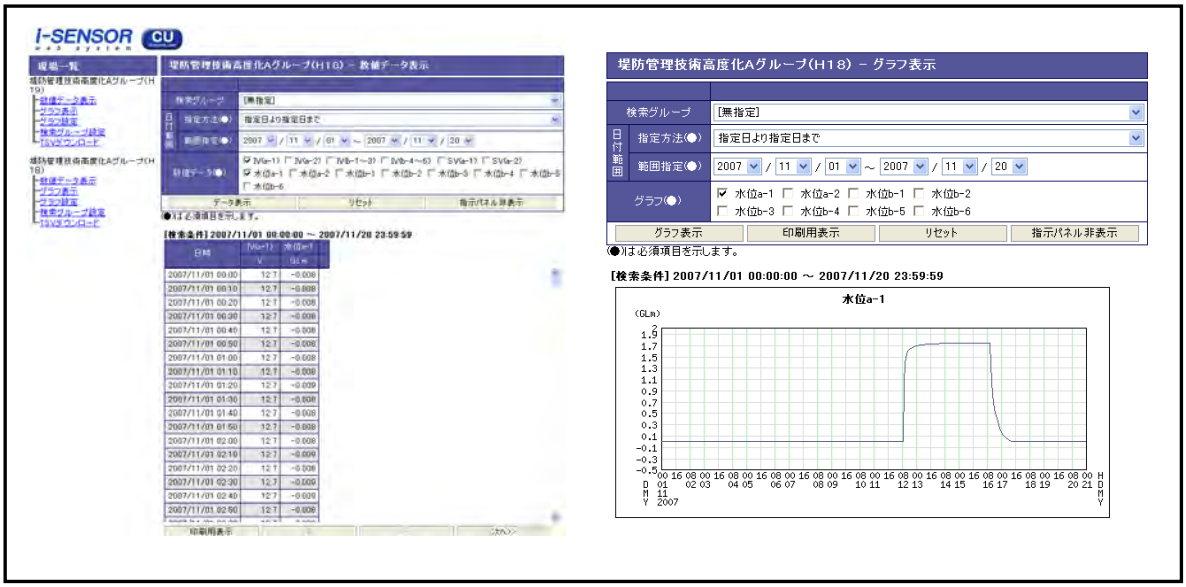


図 A-7　データ表示例

②観測孔

観測孔の概要を図 A-8 に示す。

・観測孔は機械ボーリングで削孔する。

・目的の深度に有孔部を設けた観測管を孔内に設置し、有孔部の深度には砂や砂利を詰めてストレーナ層を形成する。

・ストレーナ層より上はベントナイトおよびグラウトでシールし、観測孔を形成する。

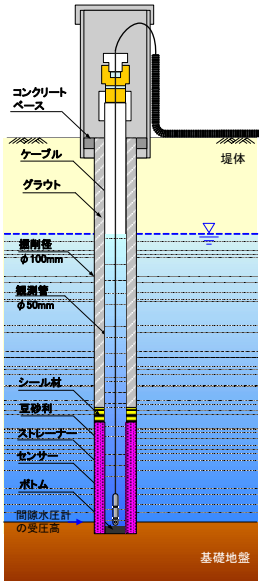


図 A-8　観測孔

⑤送信機器

送信機器の外観を写真 A-2 に示す。

・データロガー一体型水位計の専用無線装置である。

・携帯電話網の無線機能を有しており、測定値や異常警報を指定メールアドレスに任意の時間間隔で送信することができる。

・駆動電源は、12V である。



写真 A-2　無線装置

③データロガー一体型水位計

水位計の概要を図 A-9、写真 A-3 に示す。

・圧力センサとデータロガーをプローブ内に一体化した水位計である。

・水位計出力値は地下水位（mm）である。

・低消費電力の水位計のため単一アルカリ乾電池 3 本で長期観測が可能である。

・測定間隔は、1 分～10 日の間で設定できる。

・データ容量は、最大 57000 データである。

・プローブは、外径φ2.5cm、長さ 29cm である。

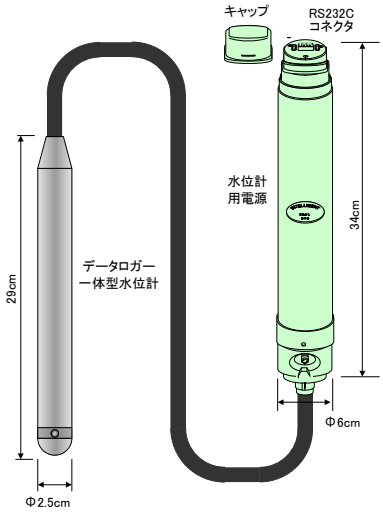


図 A-9　データロガー一体型水位計



写真 A-3　データロガー一体型水位計

①システム構成

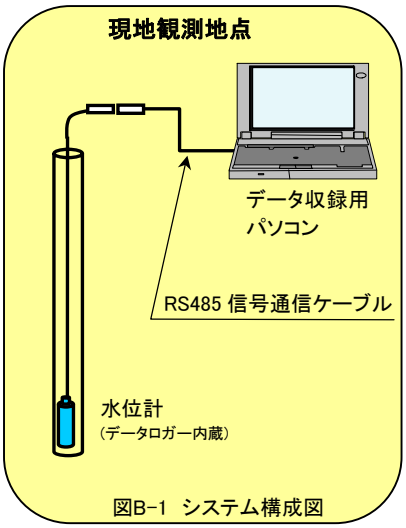
1）概要

水位計は、気圧補正型圧力センサを使用した水圧式水位計である。水位は、受圧部での水圧をシリコンストレインゲージの抵抗値変化を算出し求めている。

従来型の水位計では地上部にデータロガーがあり、ケーブルにより水位計とデータロガーを接続する必要があった。本品は、水位計本体にデータロガー・電源が内蔵されている。記録されたデータは現地にてデータ収録用パソコン等を接続して回収を行う(**図 B-1** 参照)。

【特徴】

・直径 18.3mm で、小口径の観測孔への対応が可能
・頑丈なチタン製であり、幅広い環境に適応可能
・圧力と温度センサを内蔵し、圧力の読み取りは気圧と温度に応じて自動的に補正を行う
・１MB のメモリを搭載し、100,000 データの読み取り記録が可能
・バッテリー交換なしで長期間のモニタリングが可能(超低電力消費システム)



図B-1 システム構成図

2）システム構成

a）水位計

大気圧補正型水圧式水位計であり、水位計本体に圧力センサ・温度センサ・データロガー・電源が一体となっている。ケーブル内には、大気圧補正用の通気管がある。

b）データ回収方法

計測データは、全て水位計本体に内蔵されているロガーに記録されており、現地でデータ回収を行う方法とする。パソコンと水位計ケーブルを RS485/RS232C コンバータケーブルを介して接続し、専用ソフトを起動させデータ回収を行う。

c）仕様

水位計の仕様を**表 B-1** に示す。

表B-1 水位計の仕様

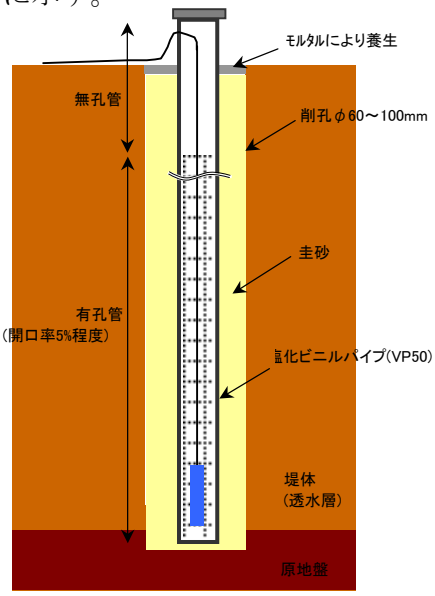
項目	仕様
直径	18.3mm
長さ	21.6cm
重さ	0.197kg
通信方式	RS-485,Modbus,SDI-12,4-20mA(4方式から選択可)
電源	3.6Vリチウム （電池寿命5年またはデータ点数200万点）
センサ	圧力センサ(シリコン･ストレイン･ゲージ)
タイプ	大気圧補正型 (絶対圧型のタイプもあり)
計測範囲	0～3.5m (3.5m,11m,21m,70m,210m,351mのタイプあり)
精度	±0.05%FS(15℃)、±0.1%FS(-5～50℃)、±0.25%FS(-20～5&50～80℃)
仕様温度範囲	-20℃～80℃(凍結は除く)
温度センサ精度	±0.1℃

３）設置方法

・オーガーボーリングによりφ100㎜程度で所定の深度まで掘削を行う。
・掘削孔内に補孔管を設置し、補孔管と掘削孔の間にφ2～4㎜程度の圭砂で充填する。
・水位計のケーブルに接続したワイヤーを用いて、観測孔内の所定の深度までおろす。
・設置深度にてワイヤーを固定する。
・ケーブル先端部を防水・防滴加工する。

②観測孔

観測孔は、オーガーボーリングにより掘削し，保孔管として開効率 5%程度の VP65 塩化ビニルパイプを挿入し、掘削孔と保孔管の間には透水性の良い圭砂を充填した。概要図を**図 B-2** に示す。



図B-2 観測孔概要図

③水位計

水位計の概要を**図 B-3**、**写真 B-1** に示す。仕様については**表 B-1** 参照。

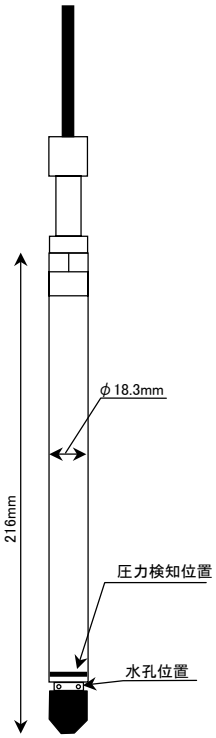


図 B-3 水位計



写真 B-1 水位計

④データロガー

水位計と一体となり本体へ内蔵されている。仕様は、以下の通りである。

・使用温度範囲：-20℃～80℃
・通信方法：RS-485,Modbus,SDI-12,
4-20mA(4 方式から選択可)
・データ保存： 1 MB/100000 点
・ソフトウェア：データ収集・表示専用ソフトウェアを必要とする
・外観寸法：水位計本体に内蔵
・電源：3.6V リチウム

⑤送信機器

ロガーからの収録は現地収録とし、水位計(内蔵データロガー)から RS485 信号ケーブルを用いる。パソコンとの接続は、RS485/RS232C コンバータケーブルを使用し、水位計との通信を行う(**写真-2** 参照)。



写真 B-2 RS485/RS232C コンバータケーブルとパソコン

①システム構成

システム構成の概念図を**図 B-4** に示し、水位計およびデータロガーの仕様を**表 B-2**、**B-3** に示す。

システム構成は、水圧を感知する水位計と、データを収集するデータロガーがあり、それらは水位計に電力供給およびＣＡＮ通信を行うためのケーブルで接続されている。

水位計は、水位変動を水圧測定して求める方法である（**表 B-2** 参照）。

データロガーは、ＣＡＮ通信にて接続された水位計を最大 50 測定点まで計測可能であり、1 系統最大長は 100m となる（**表 B-3** 参照）。

情報監視端末へのデータ送信は、有線によるデータ回収方法と無線によるデータ回収方法がある。有線の場合、シリアル通信または専用モデムを設置することにより電話回線、光ファイバー網によるデータ回収方法が可能となる。無線の場合、携帯電話によるデータ回収方法となる。

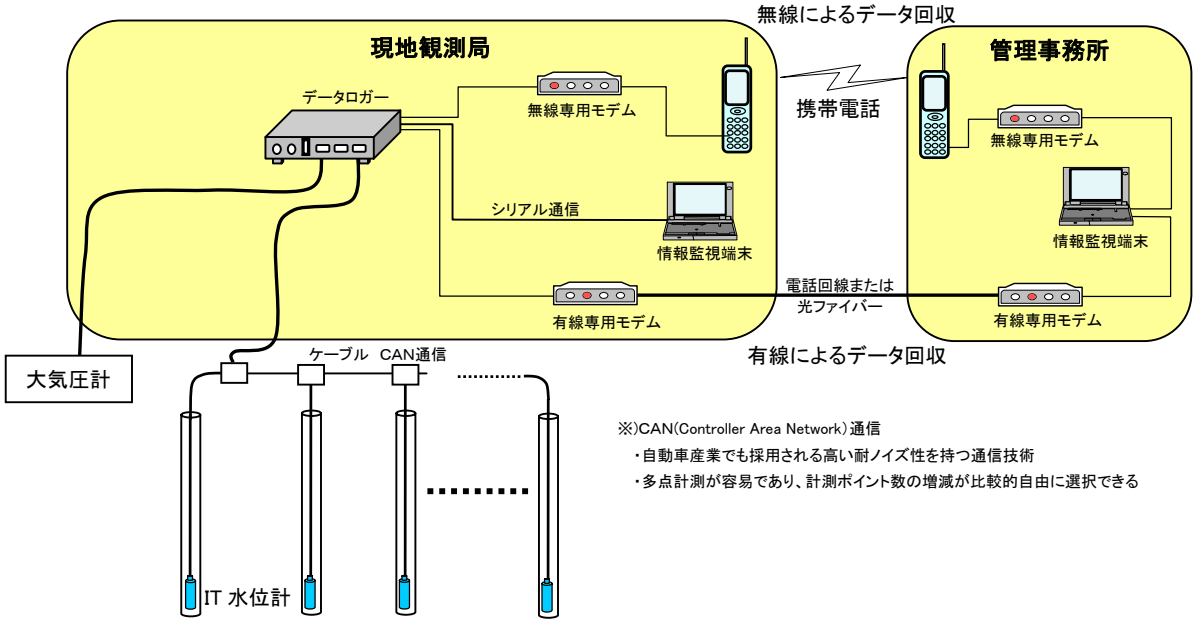


図 B-4 システム構成

表 B-2 水位計仕様

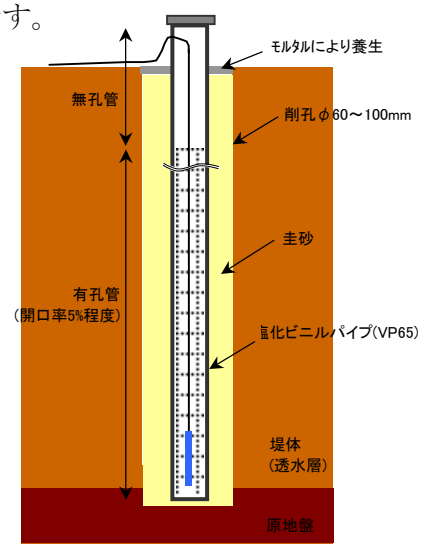
項目	仕様	備考
測定範囲(F.S.)	24.5m	大気圧補正必要
圧力検知部	ステンレスダイアフラム	
精度	±2.0%F.S.	
使用温度範囲	-30℃～60℃	凍結しないこと
入出力ケーブル	φ9mm 4 心シールド	
耐水圧	0.5 M Pa	
重量	0.88kg	本体部分

表 B-3 データロガー仕様

項目	仕様	備考
使用温度範囲	-20℃～60℃	
測定点数	最大 50	
延長距離	1 系統 100m	
通信方法	CAN V2.0B 1.25kbit/sec	センサー間
通信方法	RS-232C	PC 間、モデム間
データ保存方法	EEPROM	不揮発性メモリ
内蔵バックアップバッテリ	1Ah	瞬停対応用
ソフトウェア	データ収集・表示ソフト添付	
重量	2.0kg	
電源	AC85V～132V	

②観測孔

観測孔は、オーガーボーリングにより掘削し，保孔管として開孔率 5%程度の VP65 塩化ビニルパイプを挿入し、掘削孔と保孔管の間には透水性の良い珪砂を充填した。概要図を**図 B-5** に示す。



図B-5 観測孔概要図

③水位計

水位計の概要を**図 B-6**、**写真 B-3** に示す。

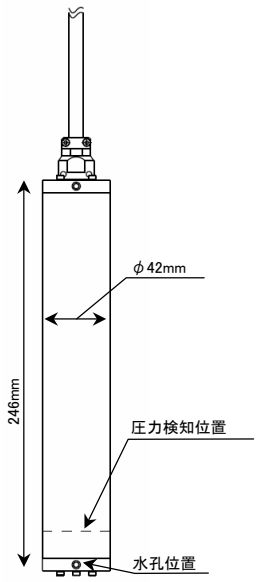


図 B-6 水位計



写真 B-3 水位計

④データロガー

データロガーの概要を**図 B-7**、**写真 B-4** に示す。

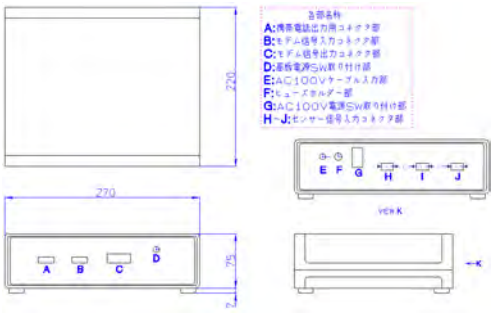


図 B-7



写真 B-4

⑤送信機器

送信機器は、有線方式と無線方式があり、有線方式（シリアル通信）の概要を**写真 B-5** に、無線方式の概要を**写真 B-6** に示す。



写真 B-5 有線(RS-232C)



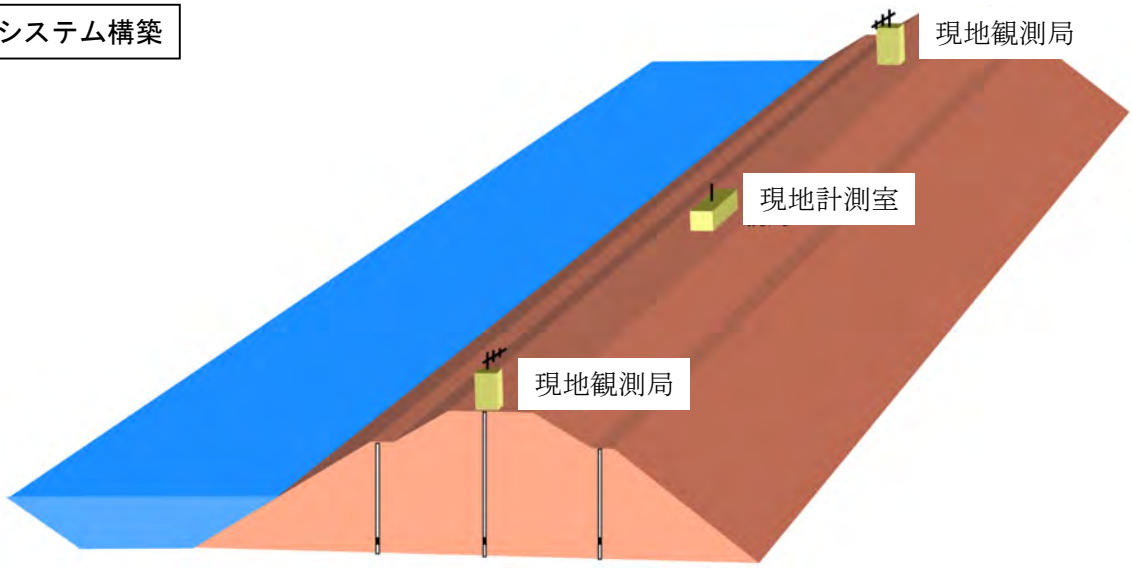
写真 B-6 無線(携帯電話)

共同研究における観測システムの構築	Cグループ

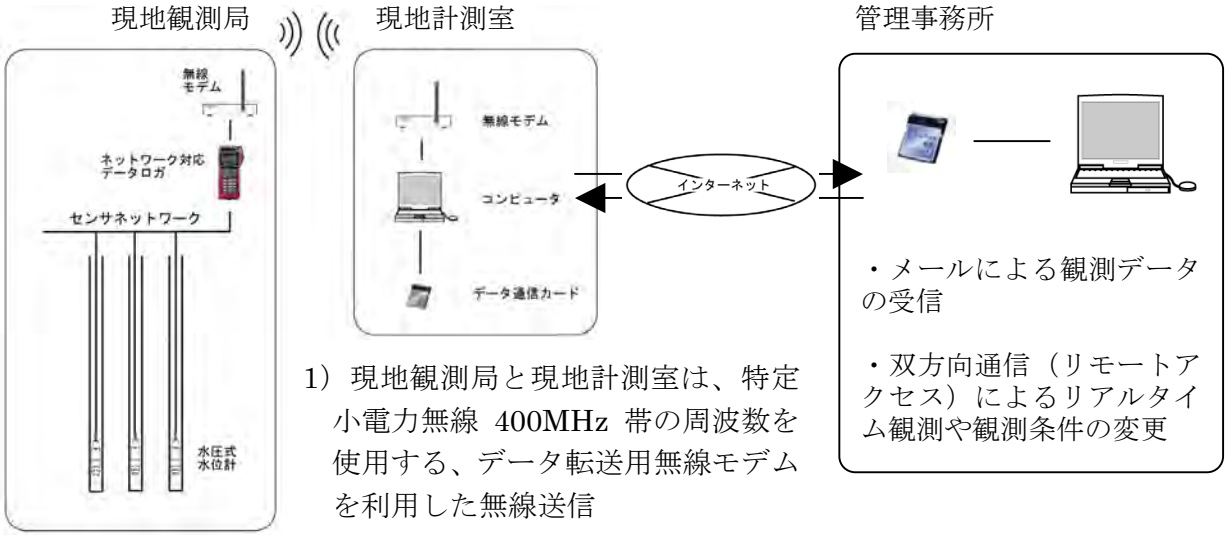
①システム構成

- 水位計などの測定値をデジタル化し、2 心ケーブルによる自在なネットワークの構築が可能。測定点の拡張や配線が容易。
- データロガー（現地観測局）と制御コンピュータ（現地計測室）間を、特定小電力無線モデムで結ぶことで、対岸などに分散した現地観測局（最大 10 箇所）の管理が可能。
- コンピュータは収録したデータをメールで管理事務所などに送るほか、アラームの発令やリモートアクセスによるリアルタイム観測や観測条件の変更に対応が可能。

システム構築



システム構成



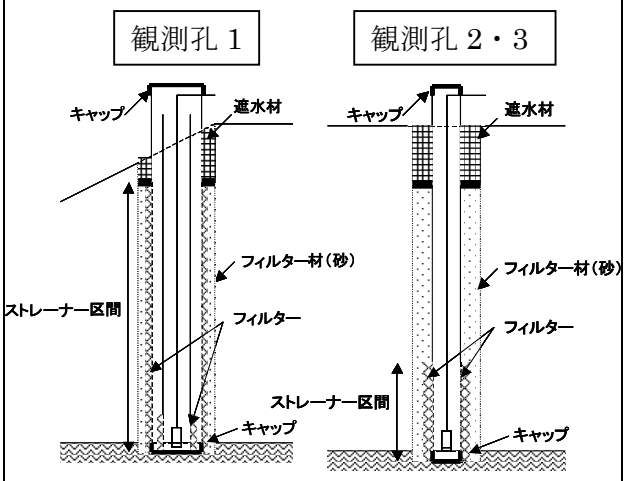
1）現地観測局と現地計測室は、特定小電力無線 400MHz 帯の周波数を使用する、データ転送用無線モデムを利用した無線送信

2）現地計測室を設置しない場合には、データ通信カード等を利用して、現地観測局から直接管理事務所にデータ送信が可能

②観測孔

・観測孔 1 は維持管理を容易にするために、二重管構造（外管＋内管）とし、外管は全区間ストレーナー，内管はストレーナー区間長＝0.5m）

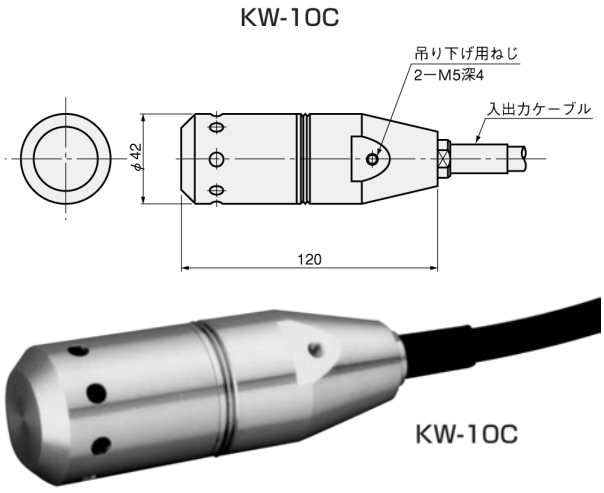
・観測孔 2 と 3 はストレーナー長さを変化（観測孔 2 は全区間ストレーナー）（観測孔 3 はストレーナー区間長＝0.5m）



③水位計［水圧式水位計（ひずみゲージ式）］

・大気圧の変動による影響の補正を必要としない構造で、落雷対策のアレスタを内蔵しており、湿度の影響を除去するシリカゲル容器を接続可能

・乾湿繰り返しの影響を軽減させるため、水位計自体を保護する構造に改良することが可能



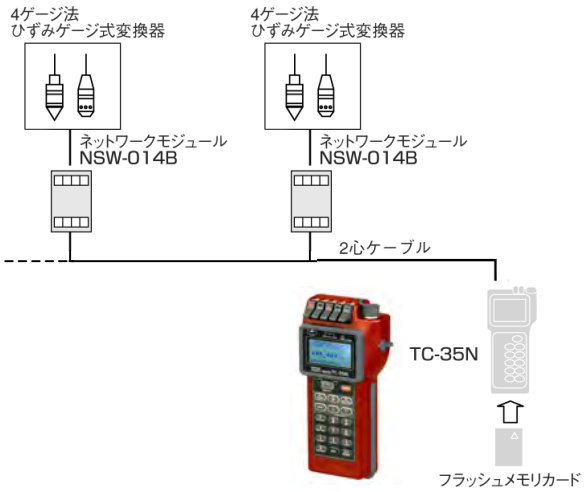
④データロガー

・ネットワーク型計測システムで最大 100 点接続可能

・小型・軽量・防滴構造

・小規模～大規模な計測システムに利用可能（現場におけるデータチェック～長期の自動計測が可能）

・デジタルデータを転送するため、安定した計測が可能



⑤送信機器

［遠距離用］

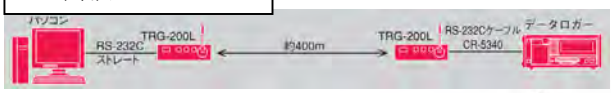
・携帯電話やデータ通信カードを利用した無線送信（メール送信やリモートアクセスが可能）

［近距離用］

・特定小電力無線 400MHz 帯の周波数を使用するデータ転送用無線モデムを利用した無線送信システム

・通信最大距離は最大約 1.5km（オプション）

近距離用システム



無線モデム



現地観測局



共同研究における観測システムの構築	Dグループ

①システム構成

（1） 半断面堤防実験（地中無線通信器一体型水位計、水圧式水位計、フロート式水位計）

○地中無線通信器一体型水位計

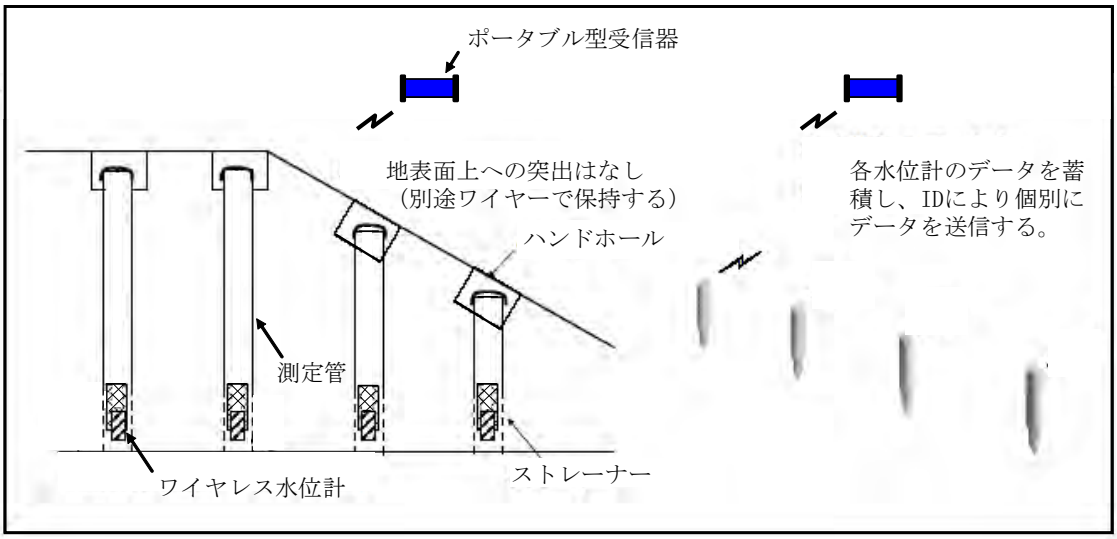
水圧式水位計と計測用ロガーおよびデータ通信機能が一体化しており、観測孔内に直接設置可能なシステムである。よって、観測孔周辺の地表には機器を配置する必要がない。通信手段に低周波電磁波を用いることで、ワイヤレスで土中・水中・空気中のすべての自然環境で計測およびデータ通信可能なシステムである。

○水圧式水位計

差動トランスを変換部に用いた水圧式水位計。地表部に設置されたデータロガーで測定

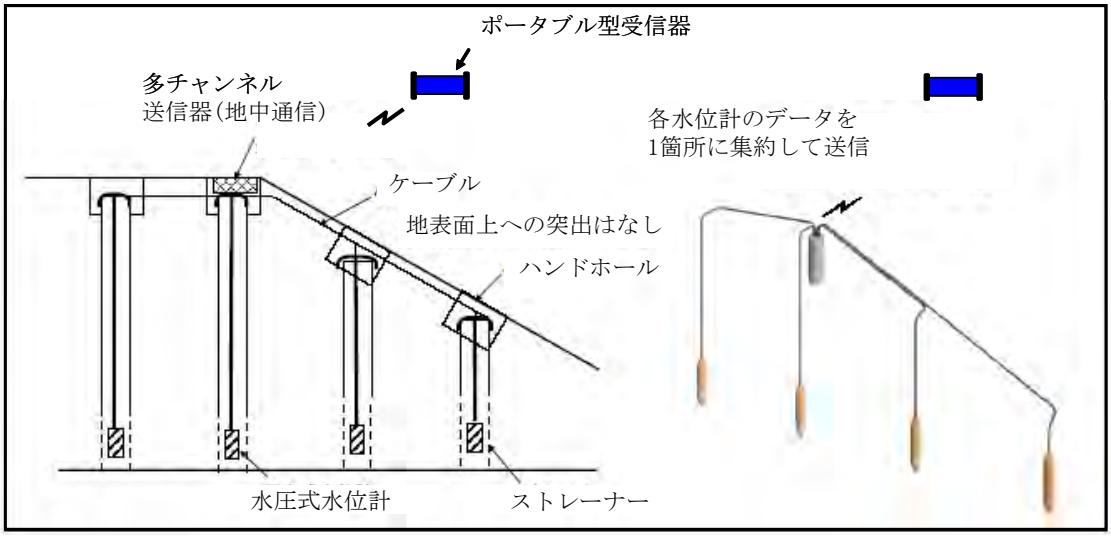
○フロート式水位計

水位の変動をフロートの移動で検出する水位計。記録紙にペン書きすると同時にメモリカードにデジタル記録を行う。

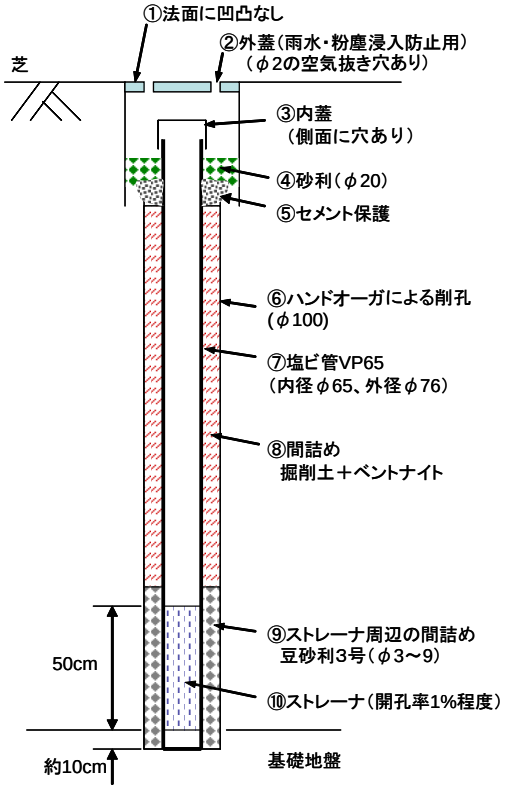


（2） 全断面堤防実験（中継用多チャンネル式地中無線通信器＋水圧式水位計）

各水圧式水位計は中継用多チャンネル型地中無線通信器に接続され、通信機はデータロガー機能を有している。データは受信器により定期的に回収する。遠隔システム構築の際には、設置型受信器により無線でデータを収録し、送信機器により光ファイバや携帯電話により監視用 PC まで伝送される。受信器以外の機器は全て地中にあるため、観測孔周辺の地表部に機器を設置する必要がない。



②観測孔



③水位計

-1 設置状況写真（左：半断面、右：全断面）



（地表への機器設置が無い）

-2 水位計写真



-3 フロート式



④データロガー

-1 地中無線通信送信器（ロガー機能付）



地中無線通信器にデータロガーが内蔵されている。地中に埋設可能で地中から無線でデータを伝送する。

-2 ケーブル式水圧式水位計用ロガー



最も一般的なデータ回収方法である。実績も多く安全にデータを蓄積することができる。

-3 フロート式



水位変動をメモリカードに記録する。また、記録ドラムに巻きつけたき記録紙により、直接現場でデータの確認をすることができる。

⑤送信機器

受信器以降のシステム構成図



共同研究における観測システムの構築	Ｅグループ（フロート式）

①システム構成

この観測システムは、現地で取得した水位計などの観測データを、無線パケット網（DoPa 網）を通じてデータセンタに送信・蓄積し、事務所などに設置したパソコン、あるいは携帯電話からインターネット経由で観測データを閲覧・ダウンロードすることができるシステムである。

また、急激な水位上昇が生じた場合などの異常時には、関係者にメールで通知する。

システムの構成は下記のとおりである。

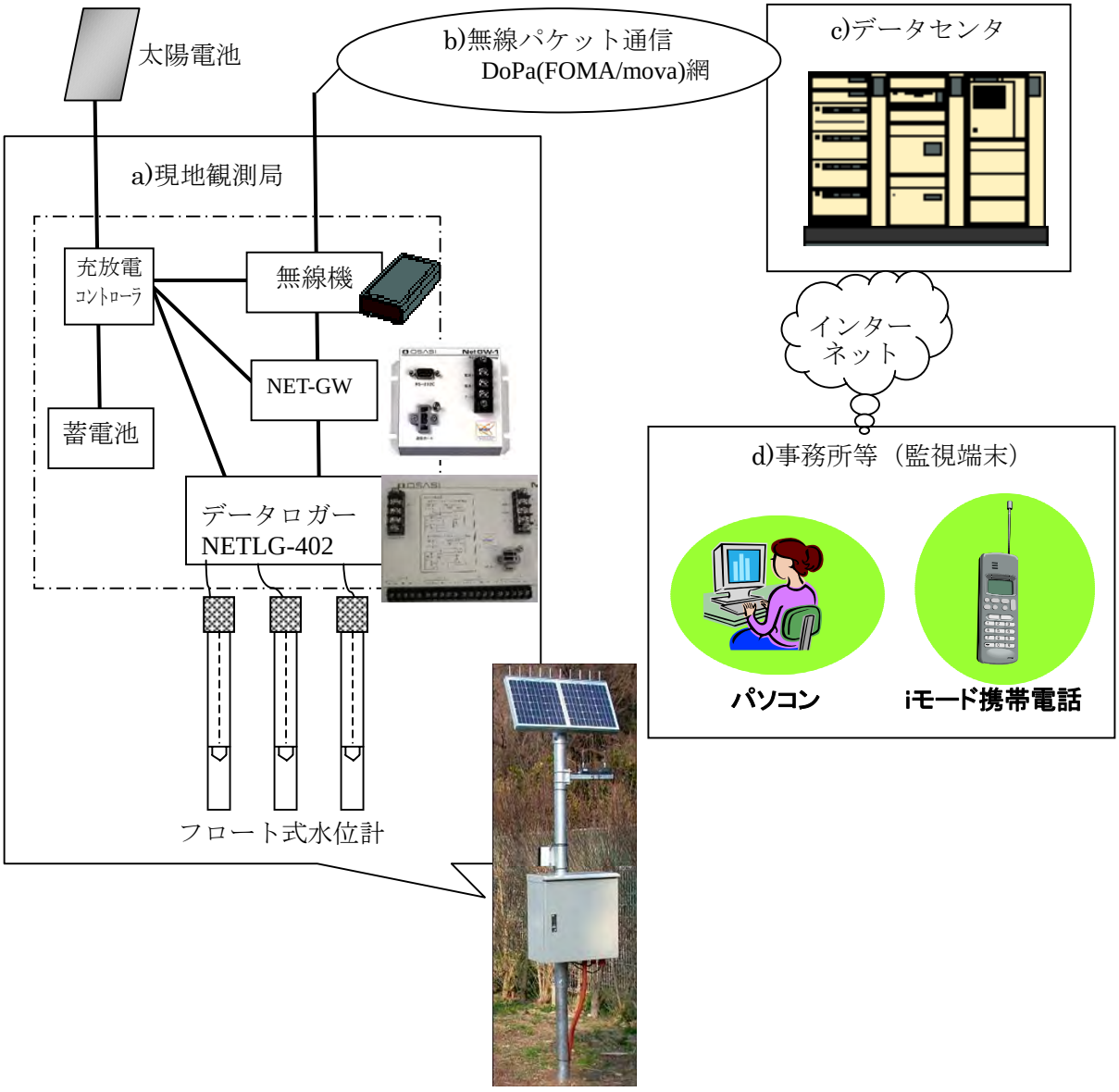
a)現地観測局：観測機器（水位計など）、データロガー、通信機器、
太陽電池（商用電源等も可能）

b)現地観測局からのデータ送信：データ通信専用（無線パケット通信）の DoPa(FOMA/mova)網を利用

c)データセンタ：共同利用センタを活用

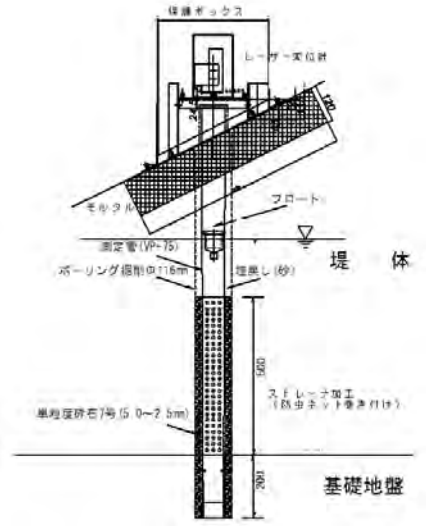
d)事務所等（監視端末）：インターネット環境の PC および i モード携帯電話

システムの概念図を下図に示す。



②観測孔

観測孔はボーリング(φ116mm)により掘削し、ストレーナ加工を施した保孔管(VP-75)を挿入して設置する。なお，保孔管の周辺にはフィルター材を巻き付け，ボーリング孔との間には単粒度砕石を投入する。



③水位計（フロート式水位計）

観測孔内に水位変動に追従するフロートを設置し、頭部に設置したレーザー変位計にてフロートまでの距離を測定し、水位を求める。



外　観



保護ボックス



レーザー変位計



フロート

④データロガー

・NET-GW1 (RS－232C 変換)
データロガーの信号を無線機用に変換する。



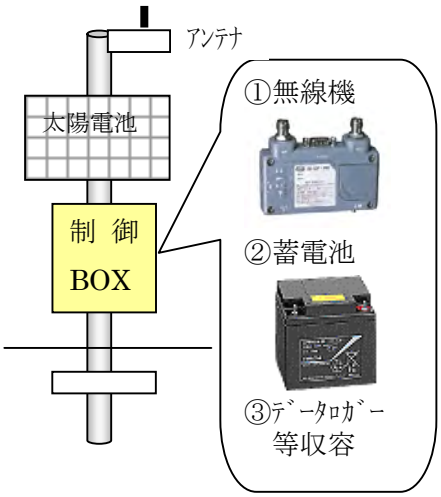
・NET- LG402 (電圧データ収録装置)
水位計 4 台（最大）のアナログ信号をデジタルデータに変換し記録する。



⑤送信機器

制御 BOX 内に、ロガー、電源機器、通信機器を収容する。通信は無線パケット(FOMA または mova 網)により行う。

電源は太陽電池または商用電源を利用する。





⑥その他（必要ない場合は、この項目削除）

・データセンタの機能・特徴
- 取得した水位等のデータは、信頼性があるデータ通信専用の無線パケット DoPa 網(FOMA または mova)を利用し、データセンタで定期的に取得・蓄積する。
- 取得・蓄積した水位等のデータは、インターネット経由で PC または携帯電話で閲覧・ダウンロードできる。
- 取得した水位等のデータが閾値を超えた場合は、定期取得の間隔を変更することができる。
- 取得した水位等のデータが閾値を超えた場合は、関係者にメールで通報する。
- データセンタは共同利用で経済的。ID/PW でセキュリティを確保している。
- データセンタのサーバ等は通信ビル内の無停電電源、耐震対策、セキュリティ対策完備のデータセンタに設置し、安全を確保している。

共同研究における観測システムの構築	Ｅグループ（水圧式）

①システム構成

この観測システムは、現地で取得した水位計などの観測データを、無線パケット網（DoPa 網）を通じてデータセンタに送信・蓄積し、事務所などに設置したパソコン、あるいは携帯電話からインターネット経由で観測データを閲覧・ダウンロードすることができるシステムである。

また、急激な水位上昇が生じた場合などの異常時には、関係者にメールで通知する。

システムの構成は下記のとおりである。

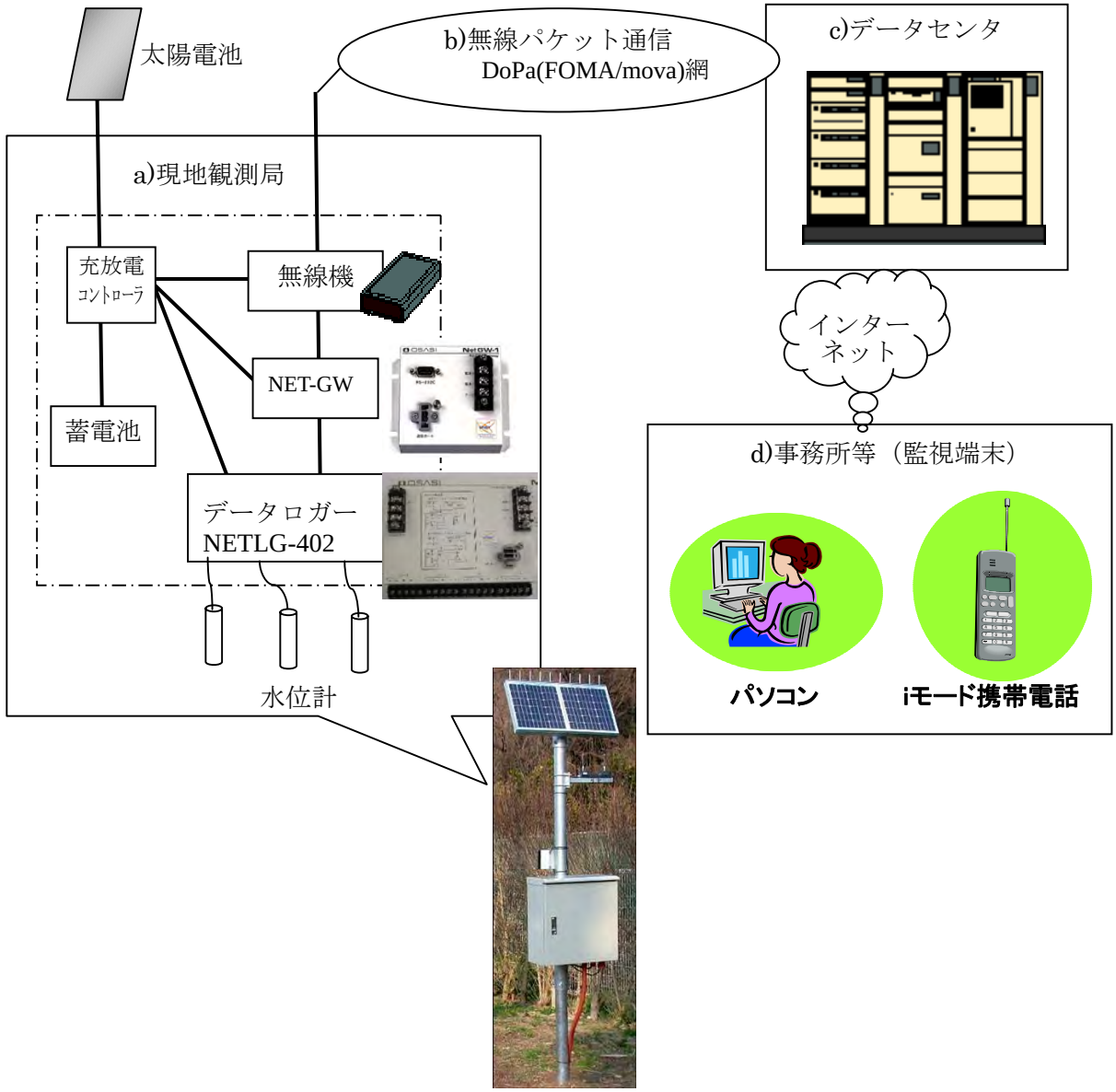
a)現地観測局：観測機器（水位計など）、データロガー、通信機器、
太陽電池（商用電源等も可能）

b)現地観測局からのデータ送信：データ通信専用（無線パケット通信）の DoPa(FOMA/mova)網を利用

c)データセンタ：共同利用センタを活用

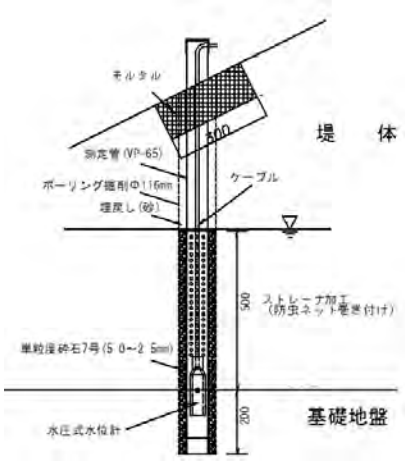
d)事務所等（監視端末）：インターネット環境の PC および i モード携帯電話

システムの概念図を下図に示す。



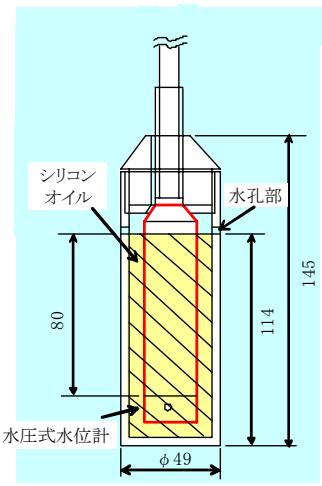
②観測孔

観測孔はボーリング(φ116mm)により掘削し、ストレーナ加工を施した保孔管(VP-65)を挿入して設置する。なお，保孔管の周辺にはフィルター材を巻き付け，ボーリング孔との間には単粒度砕石を投入する。



③水位計（水圧式水位計）

受感部（水圧式水位計）がケーシング内のシリコンオイル中にある構造が特徴で、乾燥状態においても性能悪化しないとともに、凍結しにくい。



水圧式水位計概念図





水圧式水位計

④データロガー

・NET-GW1 (RS－232C 変換)
データロガーの信号を無線機用に変換する。

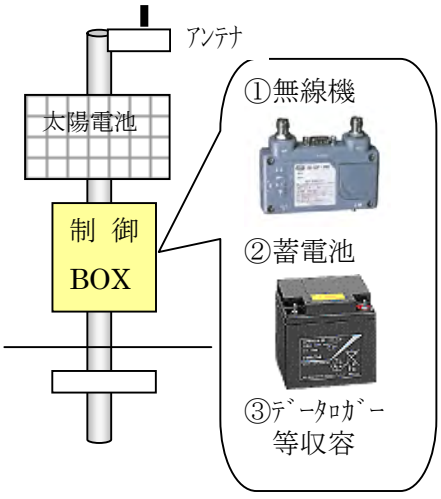


・NET- LG402 (電圧データ収録装置)
水位計 4 台（最大）のアナログ信号をデジタルデータに変換し記録する。



⑤送信機器

制御 BOX 内に、ロガー、電源機器、通信機器を収容する。通信は無線パケット(FOMA または mova 網)により行う。
電源は太陽電池または商用電源を利用する。

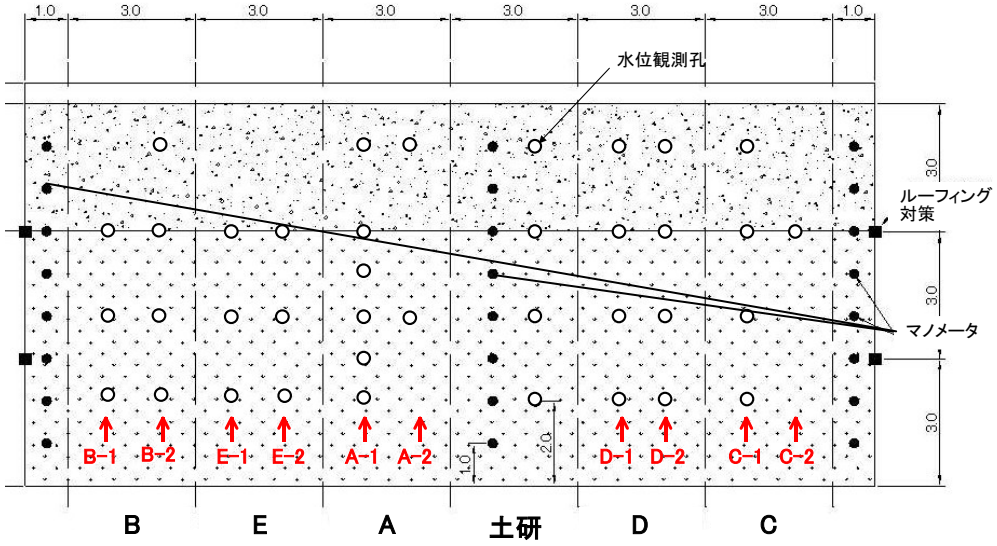




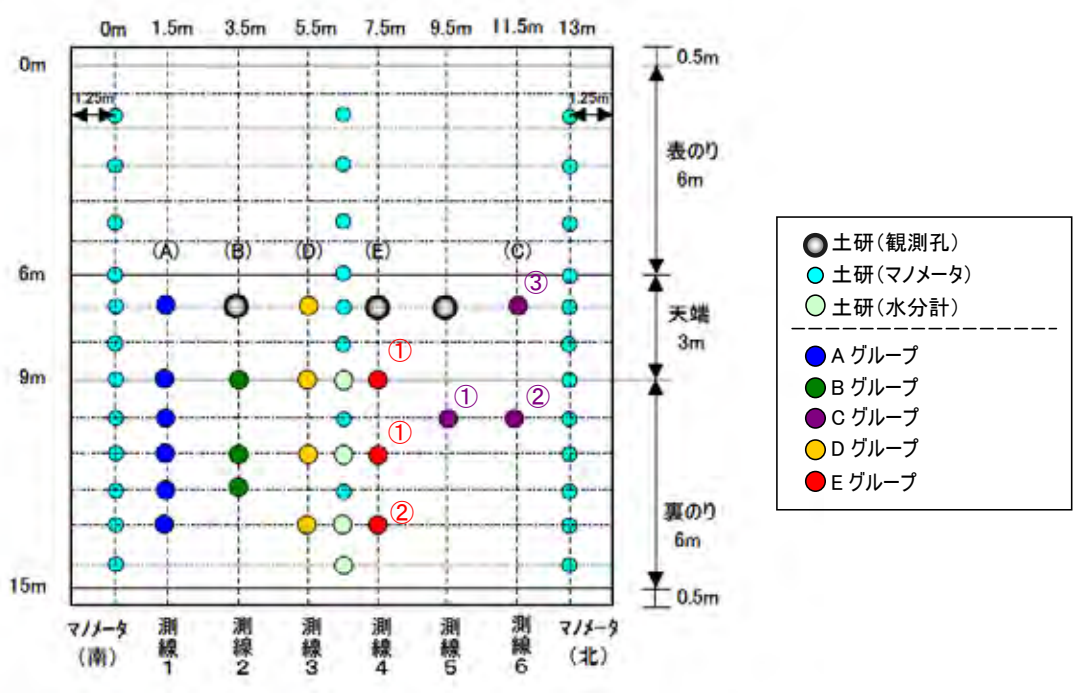
⑥その他（必要ない場合は、この項目削除）

・データセンタの機能・特徴
- ➢取得した水位等のデータは、信頼性があるデータ通信専用の無線パケット DoPa 網(FOMA または mova)を利用し、データセンタで定期的に取得・蓄積する。
- ➢取得・蓄積した水位等のデータは、インターネット経由で PC または携帯電話で閲覧・ダウンロードできる。
- ➢取得した水位等のデータが閾値を超えた場合は、定期取得の間隔を変更することができる。
- ➢取得した水位等のデータが閾値を超えた場合は、関係者にメールで通報する。
- ➢データセンタは共同利用で経済的。ID/PW でセキュリティを確保している。
- ➢データセンタのサーバ等は通信ビル内の無停電電源、耐震対策、セキュリティ対策完備のデータセンタに設置し、安全を確保している。

〈参考〉各模型での水位観測孔の設置位置



堤防模型１（半断面堤防模型）



堤防模型２（全断面堤防模型）

本共同研究で使用した観測孔の諸元（堤防模型１、半断面堤防模型）

グループ名		Aグループ		Bグループ		Cグループ			Dグループ	Eグループ
設置列・位置		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-1	C-2	D-1, 2	E-1, 2
掘削	掘削方法	先端コーン付き 鋼管打ち込み （ラムサウンディング）	機械ボーリング	天端：バイブロドリル のり面：ハンドオーガー	天端：バイブロドリル のり面：ハンドオーガー	機械ボーリング	機械ボーリング	機械ボーリング	ハンドオーガー	機械ボーリング
	掘削水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水	無水
	ケーシング	無し	有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
	掘削孔径	36mm（管の外径）	116mm	116mm	116mm	125mm	100mm	200mm	100mm	116mm
	余掘り	11.5～14.4cm	9.7～12.3cm	20cm程度	20cm程度	約10cm	約10cm	約10cm	約10cm	20cm程度
	孔内洗浄	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
保孔管	材質	ステンレス管	塩ビ管(VP50)	塩ビ管(VP40)	塩ビ管(VP65) 内管：アルミガイド パイプ(φ56mm)	塩ビ管 （外管：VP75、 内管：VP50）	塩ビ管(VP50)	塩ビ管(VP125)	塩ビ管(VP65)	E-1：塩ビ管(VP75) E-2：塩ビ管(VP65)
	管径	外径φ36mm 内径φ26mm	外径φ60mm 内径φ50mm	外径φ48mm 内径φ40mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外管： 外φ89mm、 内φ75mm 内管： 外φ60mm、 内φ50mm	外径φ60mm 内径φ50mm	外径φ140mm 内径φ125mm	外径φ76mm 内径φ67mm	E-1： 外径φ89mm 内径φ75mm E-2： 外径φ76mm 内径φ67mm
有孔部	開口率	外管7%、内管12.3%	2%	5%	5%	2% （有孔径：外管φ6mm、 内管φ5mm）	2% （有孔径φ5mm）	2% （有孔径φ8mm）	1% （有孔径φ7mm）	20%
	区間位置 区間長	コーン部の上0.15m	孔底から0.50m （基盤から0.40m）	口元以外は 全区間有孔	口元以外は 全区間有孔	孔底から0.6～2.6m （基盤から0.5～2.5m）	孔底から0.60m （基盤から0.50m）	孔底から2.60m （基盤から2.50m）	孔底から0.50m （基盤から0.40m）	基盤から0.5m
保孔管外周	材料等 仕様	無し	有孔部：3号砂利 無孔部_下：ベントナイト 無孔部_上：CBモルタル	2号珪砂 （φ2～4mm程度） 管周面：不織布	2号珪砂 （φ2～4mm程度）	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 外管周面：高密度PE （40メッシュ） 内管周面：不織布	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）	有孔部：3号珪砂 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）	有孔部：小砂利 （＜φ10mm程度） 無孔部：堤体砂 ＋小砂利 管周面：不織布	有孔部：7号砕石 （φ5～2.5mm） 無孔部：堤体砂 管周面：防虫ネット
	口元処理	モルタル	モルタル	モルタル	モルタル	セメント	セメント	セメント	セメント＋発生土	モルタル
水位計	設置位置	孔底+31.5cm程度 （基盤＋17.5cm程度）	孔底+8cm程度 （基盤－2cm程度）	孔底+2.3cm程度 （基盤-17.7cm程度）	孔底+16.4cm程度 （基盤-3.6cm程度）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	基盤±0cm

本共同研究で使用した観測孔の諸元（堤防模型２、全断面堤防模型）

グループ名		Aグループ	Bグループ	Cグループ			Dグループ	Eグループ	
設置位置		―	―	①	②	③	―	①	②
掘削	掘削方法	先端コーン付き 鋼管打ち込み （ラムサウンディング）	ハンドオーガー	機械ボーリング			ハンドオーガー	ハンドオーガー	
	掘削水	無水	無水	無水		泥水	無水	無水	
	ケーシング	無し	無し	無し			無し	無し	
	掘削孔径	40mm（管の外径）	116mm	86mm		116mm	100mm	100mm	
	余掘り	13～19cm	20cm程度	20cm			10cm	20cm程度	
	孔内洗浄	無し	無し	無し		有り	無し	無し	
保孔管	材質	ステンレス管	塩ビ管(VP65) 内管：アルミガイド パイプ(φ56mm)	塩ビ管（VP40）			塩ビ管(VP65)	塩ビ管 (VP65)	塩ビ管 (VP40)
	管径	外径φ40mm 内径φ26mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ48mm 内径φ40mm			外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ76mm 内径φ67mm	外径φ48mm 内径φ40mm
有孔部	開口率	外管k=4E-3cm/s（フィルター） 内管5.2%	5%	2% （φ5mm孔）	10% （φ5mm孔）	2% （φ5mm孔）	1% （φ7mm孔）	20%	
	区間位置 区間長	基盤から0.2m	口元以外は 全区間有孔	孔底から0.7m （基盤から0.5m）			孔底から0.1～0.6m （基盤から0.5m）	基盤から0.5m	
保孔管外周	材料等 仕様	充填材：無し 外管周面：フィルター	有孔部：2号珪砂 （φ2～4mm） 管周面：不織布	有孔部：3号珪砂 （φ0.5～2.36mm） 無孔部：山砂 管周面：高密度PE （40メッシュ）			有孔部：豆砂利3号 （＜φ3～9mm） 無孔部：堤体砂 ＋ベントナイト 管周面：不織布	有孔部：7号砕石 （φ5～2.5mm） 無孔部：堤体砂 管周面：防虫ネット	
	口元処理	モルタル	モルタル	セメント			セメント＋発生土	モルタル	
水位計	設置位置	コーン上面＋0.175m （基盤±0cm）	孔底＋0.124m （基盤-0.177～+0.007m）	孔底＋20cm程度 （基盤±0cm）			孔底＋10cm程度 （基盤±0cm）	基盤±0cm	

本共同研究で使用した水位計の諸元

水位計タイプ	ｸﾞﾙｰﾌﾟ	ｾﾝｻｰ種別	測定範囲 (m)	精度	センサー寸法			観測環境		ﾃﾞｰﾀ回収	備　考
					直径 (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	電源	温度範囲 (℃)		
水圧式水位計	A	半導体ｾﾝｻｰ	0～10	±0.25%FS	1.75	17.7	−	DC9～30V	−20～60	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	測定範囲は最大50mまで対応可
	A	半導体ｾﾝｻｰ	0～10	±0.1%FS	2.50	29.0	−	DC3.2～9V	0～50	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ不要	測定範囲は最大35mまで対応可 データロガー機能付
	B	ｼﾘｺﾝ・ｽﾄﾚｲﾝ・ｹﾞｰｼﾞ	0～3.5	±0.1%FS	1.83	21.6	0.197	ﾘﾁｭｰﾑ3.6V	−20～80	ｵﾌﾗｲﾝ ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ不要	温度測定機能付属 測定範囲は最大351mまで対応可
	C	ひずみゲージ	0～10	0.2%RO	4.20	12.0	0.700	DC3V	−20～60	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	測定範囲は最大50mまで対応可
	C	ひずみゲージ	0～20	0.2%RO	3.00	10.0	0.250	DC3V	−20～60	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	測定範囲は最大50mまで対応可
	D	差動トランス	0～10	±0.1%FS	3.50	15.1	1.00	内蔵電池	−30～80	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ不要	多チャンネル式地中無線通信機・ロガー 測定範囲は最大100mまで対応可
	D	差動トランス	0～10	±0.1%FS	3.50	15.1	1.00	専用電源	−30～80	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	測定範囲は最大100mまで対応可
	E	半導体ｾﾝｻｰ	0～10	±0.3%FS	49.0	14.5	0.550	DC24V	−30～50	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	ｼﾘｺﾝｵｲﾙによる乾湿繰返し対応ﾀｲﾌﾟ 測定範囲は最大20mまで対応可
水圧式水位計 （絶対圧）	B	半導体抵抗 (ﾋﾟｴｿﾞ素子)	0～24.5	±2.0%FS	4.20	27.1	0.880	DC7.0～15V	−30～60	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	大気圧補正必要
	D	差動トランス	0～10	±0.1%FS	4.80	72.0	2.00	内蔵電池	0～40	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ不要	地中無線通信機能付ロガー地中埋設用 測定範囲は最大100mまで対応可
フロート式 水位計	D	光学式 エンコーダ	特に 制限なし	1.0cm	フロート 3.80	フロート 32.5	フロート 0.310	単一 乾電池	−10～50	ｵﾌﾗｲﾝ ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ不要	測定範囲は最大20mまで対応可
	E	可視光ﾚｰｻﾞｰ式	0～12	±0.15cm	フロート 6.10	フロート 9.80	フロート 0.180	DC8～36V	−10～50	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	測定範囲は最大20mまで対応可
振動デバイス式 水位計	B	振動デバイス式	0～1	−	1.8X1.8	0.5 (厚さ)	−	AC90～110V	0～50	ｵﾝ・ｵﾌﾗｲﾝ可 ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ必要	水の有無を検知するON/OFF型センサ センサ異常検知機能付

本共同研究で使用したデータロガーの諸元

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	種別	測定点数	データ容量(ﾃﾞｰﾀ)		外形寸法 (mm)			重量	ｲﾝﾀｰﾌｪｲｽ	観測環境		ﾃﾞｰﾀ回収	備 考
		最大※	標準	最大	W	H	D	(kg)		電源	温度範囲(℃)		
A	水位計と一体型	1	—	約57000	−	370	φ62	—	RS-232C	DC3.2～9V	0～50	オン・オフライン可	外部寸法は孔口ユニット（電池部）
	電圧・電流入力型	4	—	13000	500	250	700	—	RS-232C および無線	DC12	−10～50 (結露なきこと)	オン・オフライン可	ﾊﾞｯﾃﾘｰおよび保護箱含む
B	水位計と一体型	1	100000 データ	100000 データ	水位計に内蔵			−	RS-485.Modbus SDI-12,4-20mA	3.6Vﾘﾁｳﾑ	−20～80	オフライン可	
	絶対圧水位計用	50	4778データ (5測定点)	562データ (最大測定点)	270	75	220	2.0	RS-232C	AC85～132V DC11.5～15V	−20～60	オン・オフライン可	
	振動デバイス用	16	3000データ	3000データ	280	200	110	2.8	RS-232C	AC90～110V	0～40	オン・オフライン可	
C	センサー ネットワーク型	100	—	177397	102	55	223	0.85	RS-232C	AC, DC6V	−10～50	オン・オフライン可	
D	水位計、地中無線器と一体型	1	3600ﾃﾞｰﾀ	約10000 (ﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟﾒﾓﾘ)	φ48	約900	−	2.0	地中無線通信機	ﾘﾁｳﾑ	0～40	オン・オフライン可	データロガーは地中 耐圧1.0MPa、直接埋設可
	多ch地中無線器と一体型	1～10	3600ﾃﾞｰﾀ	約10000 (ﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟﾒﾓﾘ)	φ165	260	−	−	地中無線通信機	ﾘﾁｳﾑ	0～40	オン・オフライン可	データロガーは地中
	4ch携帯電話転送機能付データロガー	4	—	6746データ (4ch時)	200	400	132	4.0	RS-232C、携帯電話	単一乾電池	−10～40	オン・オフライン可	
	フロート式水位計と一体型	1	—	内部メモリ 約68000データ	337	151	193	3.7	記録紙に直書 スマートメディアに保存	単一乾電池	−10～50	オフライン可	
E	アナログ(電圧・電流)データ収録タイプ	4	254日 (1回/時間)	16.7年 (1回/日)	143	183	67	1.5	RS-232C 変換機経由	DC5～15V	−20～55	オン・オフライン可	DC：太陽電池+ﾊﾞｯﾃﾘｰなど データ容量は1時間に1回（標準）観測した場合

※測定点数最大は、オプション(OP)のスイッチボックスを使用した場合を含む

本共同研究で使用した送信機器の諸元

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	センサ ～ データロガー間の通信			データロガー ～ 監視端末(PC)間の通信				備考
	回線	プロトコル	通信速度 (bps)	回線	プロトコル	通信速度 (bps)	データ 取得方法	
A	有線	電流	―	無線パケット 通信ｻｰﾋﾞｽ (Dopa)	TCP/IP	9600	メール	
	―	センサー・データロガー一体型	―	無線パケット 通信ｻｰﾋﾞｽ (Dopa)	TCP/IP	9600	メール	
B	有線	CAN V2.0B	1250	無線	RS232C	115200	データ通信	ロガーから監視端末(PC)間の通信は有線も可能
	有線	RS485,Modbus,SDI-12,電流	記載無し	有線	RS232C	230000	データ通信	RS232C-USB変換使用
	有線	電圧	―	有線	RS232C	38400	データ通信	
C	有線	電圧(ひずみ)	―	無線	専用無線ﾓﾃﾞﾑ	4800	データ通信	近距離用(周波数帯域400MHzを使用し 単一機器による通信到達距離は約1.5km)
	有線 無線	2線式センサーネットワーク	―	無線	データ通信カード	64000	メール リモートソフト	遠距離用
D	人力	記録紙とメモリ	―	→	→	→	手動回収	
	地中 無線	センサ・データロガー一体型 ロガー・送信機器間地中無線通信	75 (地中無線)	有線	RS232C	9600	データ通信	センサ・ロガー(地中)から地上の送信機器まで 低周波磁界による無線通信
	地中 無線	多ch型地中無線機(ロガー) ロガー・送信機器間地中無線通信	75 (地中無線)	有線	LAN	9600	データ通信	センサ・ロガー(地中)から地上の送信機器まで 低周波磁界による無線通信
E	有線	電流(4-20mA)	―	無線パケット 通信ｻｰﾋﾞｽ (DopaまたはFOMA)	RS232C	9600	データ通信 (ポーリング)	水位データはデータセンタに格納 監視端末PCからはデータセンタへ インターネット経由でアクセス 異常時はセンターからメールで通報

本共同研究で生じた不具合等への対応（半断面模型湛水実験）

グループ名 （測線およびタイプ）	Aグループ	Bグループ		Cグループ	Dグループ		Eグループ
	（A-1：水圧式，打込み式観測孔）	（B-1：水圧式）	（B-2：水圧式_絶対圧）	（C-2：水圧式）	（D-1：水圧式）	（D-2：フロート式）	（E-1：フロート式）
半断面堤防 第1回湛水実験 H18.6.19-23	【不具合等】 ①水位が低く、目詰まりの可能性あり	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①想定外の初期水位あり	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①最終的な水位が、第2回目以降と比較して低め →エクセルファイルの参照箇所ミス（ヒューマンエラー）	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①のり肩+4m地点の水位が低い
	【実験後の対処】 ①エアリフトによる洗浄	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①参照ファイル修正	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 経過観察
半断面堤防 第2回湛水実験 H18.7.24-31	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①前回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①前回同様
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①センサー設置時の不具合と考えられ、センサー再設置により解決	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①周辺に水位計を設置し次回確認
半断面堤防 第3回湛水実験 H18.9.25-10.2	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ②天端地点の水位が、時間とともにやや低下 ③一部（9/30 18:00以降）で水位データなし	【不具合等】 ①計測値のゼロ点誤差を確認	【不具合等】 ②降雨による水位変動あり →のり肩+4m地点で降雨による水位上昇が顕著	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①のり肩+4m地点周辺の水位が低いことを確認
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ②センサの測定精度（±2%FS, FS=24.5cm）以内であるが、新規センサーに交換 ③接触不良部処理	【実験後の対処】 ①湿気の混入による影響の可能性があり大気圧補正用のチューブにシリカゲルを設置	【実験後の対処】 ②第4回以降も同様の傾向 堤体模型自体の不均質性による可能性があり、特に対策せず	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①堤体模型自体の不均質性による可能性があり、特に対策せず 今後はこの水位の再現性を確認することで対応
半断面堤防 第4回湛水実験 H18.11.6-9	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ②外力の付与条件が異なる（2山洪水）ため不具合は確認できず	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①のり肩+4m地点の水位データなし →外的衝撃によるペン落下に伴う欠測	【不具合等】 ②一部水位データなし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	①ペンを所定の位置に戻す	【実験後の対処】 ②フロートの不具合を確認～修理
半断面堤防 第5回湛水実験 H19.6.4-11	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①のり肩+2m地点およびのり肩+4m地点の水位データなし	【不具合等】 ②第3回と同様（要検討）	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①のり肩+2m→水位センサー移設により以後データ収録無し のり肩+4m→接触不良によりデータ回収できず（実験終了後に内蔵ロガーからデータ回収予定）	【実験後の対処】 ②センサの測定精度（±2%FS, FS=24.5cm）以内であり、第3回結果より振幅低下（効果改善）	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
半断面堤防 第6回湛水実験 H19.6.25-7.2	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①第5回と同様 ②一部で水位データなし →データ記入ミス（ヒューマンエラー）と判明	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①第5回と同様	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
半断面堤防 第7回湛水実験 H19.8.6-13	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①第5回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①第5回と同様	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
半断面堤防 第8回湛水実験 H19.9.3-7	【不具合等】 ②のり肩+4m地点での水位計のデータがゼロに	【不具合等】 ①第5回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ②水位センサーの故障と考えられたため、センサーを交換	【実験後の対処】 ①第5回と同様	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
半断面堤防 第9回湛水実験 H19.10.15-19	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①第5回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①第5回と同様	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
半断面堤防 第10回湛水実験 H19.11.12-16	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①第5回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①第5回と同様	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー

※ A-2（水圧式）、C-1（水圧式）、D-2（水圧式）、E-2（水圧式）では不具合無し

※ 全断面模型では不具合無し

本共同研究で生じた不具合等への対応（乾湿繰り返し湛水実験）

グループ名 （水位計の種類）	Bグループ （水圧式_絶対圧）	Cグループ （水圧式_改良型）	Eグループ （フロート式）	Eグループ （水圧式）	土研データロガー
乾湿繰り返し 第1回湛水実験 H19.3.12-13	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 異常値が一時的なものであることから、経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第2回湛水実験 H19.3.22-23	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①乾燥中（07/3/25）に異常値	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①異常値が一時的なものであることから経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第3回湛水実験 H19.6.11-12	【不具合等】 ①湛水中に水圧式水位計（絶対圧）の水位が、他のグループの値よりやや高め	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 ①乾燥中の水圧式水位計の水位がゼロより大きい	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 センサの測定精度（±2%FS, FS=24.5m）以内であり、経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①アクリル管を測定管として使用していたため、日射の影響受けたと考え、経過観察	【実験後の対処】 ①センサの測定精度（±0.3%FS, FS=10.0m）以内であり、経過観察	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第4回湛水実験 H19.7.9-10	【不具合等】 ①前回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①湛水中および乾燥中（07/7/31）に異常値	【不具合等】 ①前回同様	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ①センサの測定精度（±2%FS, FS=24.5cm）以内であり、経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①太陽光線の影響による異常値と考え測定管内への遮光を行う（07/7/31）・・・写真1	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第5回湛水実験 H19.8.2-3	【不具合等】 ①前回と同様	【不具合等】 なし	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 ①前回同様	【不具合等】 ①8/22落雷により欠測。電源基盤の故障。
	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ①測定管の温度変形による影響と考え経過観察	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ①基盤の交換・・・写真3
乾湿繰り返し 第6回湛水実験 H19.9.10-11	【不具合等】 ①前回と同様	【不具合等】 ①湛水中に水圧式水位計（改良型）の水位が、他のグループの値よりやや高め	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 ①前回同様	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ①温度変形を防止するため測定管の補強を行う(07/10/5)・・・写真2	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第7回湿潤状態 H1910.11-12	【不具合等】 ①前回と同様	【不具合等】 ①湛水中に水圧式水位計（改良型）の水位が、他のグループの値よりやや高め	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 ①前回同様	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ①経過観察 （第8回以降この傾向が見られなくなったが、センサの想定精度内の誤差と認識）	【実験後の対処】 ①水位計設置高さに誤りがあったため、07/11/2に再設置	【実験後の対処】 ①次回立会による状況把握	【実験後の対処】 ①経過観察	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第8回湿潤状態 H1911.8-9	【不具合等】 なし	【不具合等】 ②湛水中に水圧式水位計（改良型）の水位が、他のグループの値よりやや低め	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 ①前回同様	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ②ゼロ点の位置が合っていなかった可能性あり。経過観察	【実験後の対処】 ①立会監視するが原因特定できず(07/11/8,9)	【実験後の対処】 ①水圧式水位計の設置位置について、設置時の深度との差を確認、シフト値を修正	【実験後の対処】 ー
乾湿繰り返し 第9回湿潤状態 H1912.20-21	【不具合等】 なし	【不具合等】 ②前回と同様	【不具合等】 ①湛水中に異常値	【不具合等】 なし	【不具合等】 なし
	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ②撤去時に水位計等を確認、ゼロ点位置を補正	【実験後の対処】 フロートの不良を確認。修理後の実験により機能回復を確認	【実験後の対処】 ー	【実験後の対処】 ー

※ Aグループ（水圧式），Bグループ（水圧式），Cグループ（水圧式），Dグループ（水圧式）では不具合無し



写真1



写真2

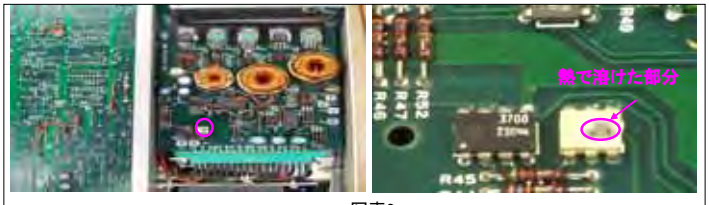
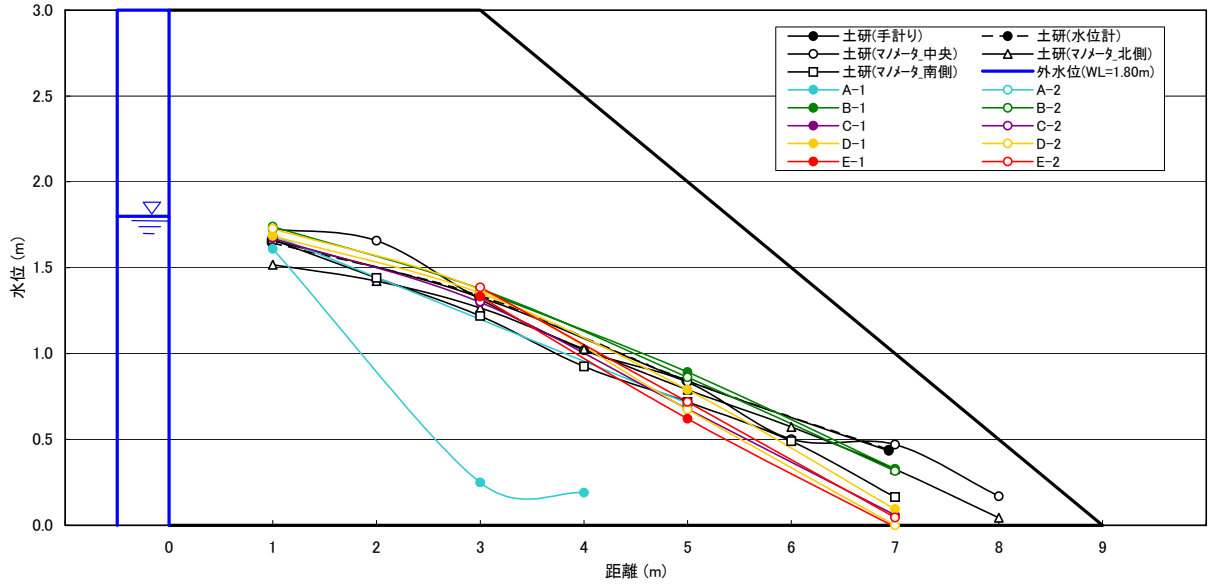
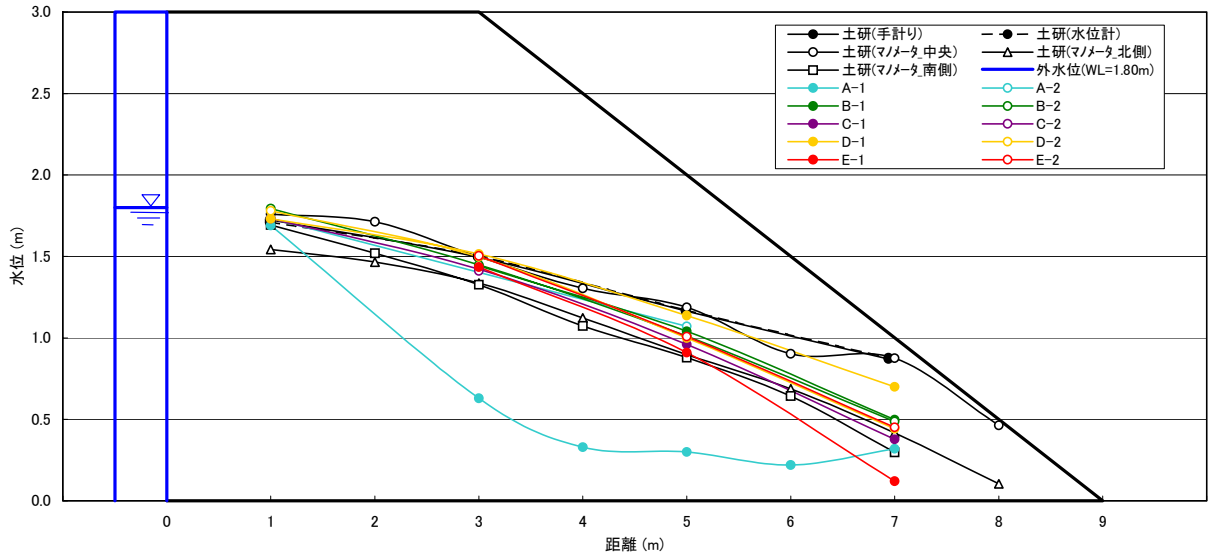


写真3

任意経過時間における水位断面図：第１回湛水実験

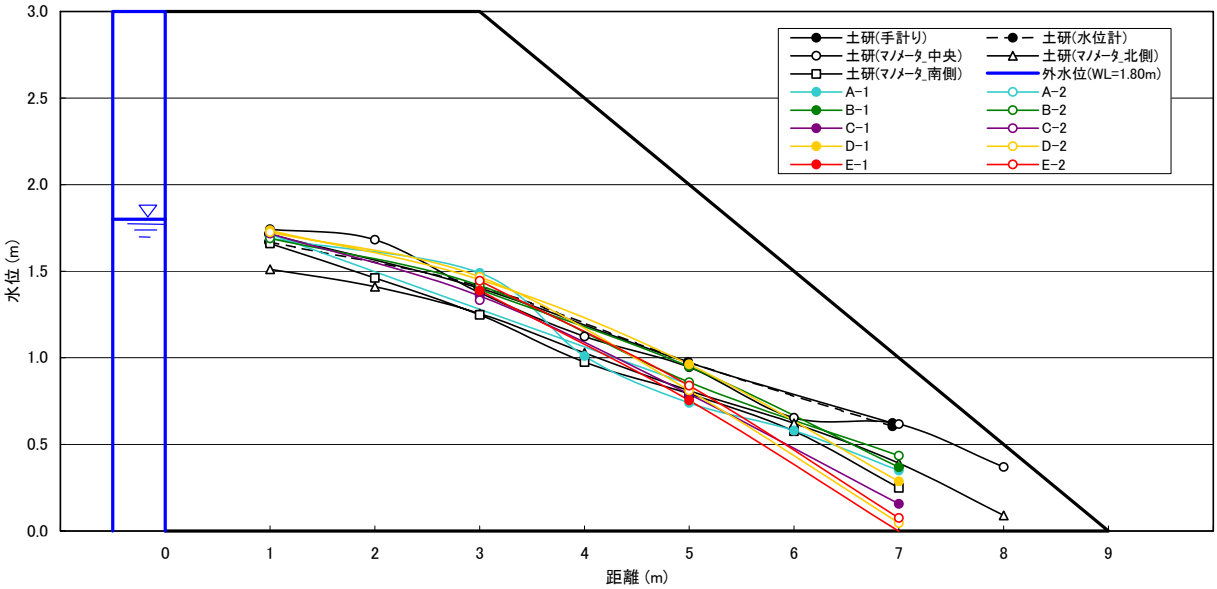


任意時刻での水位断面図　(06/6/20 11:00(外水位一定後24hr経過))

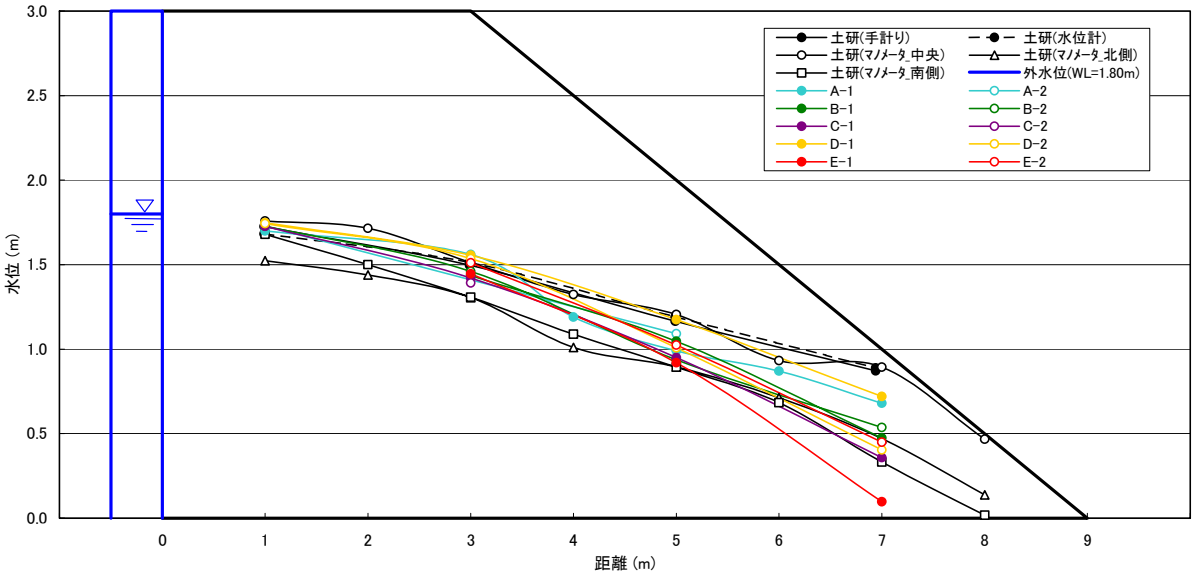


任意時刻での水位断面図　(06/6/23 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第２回湛水実験

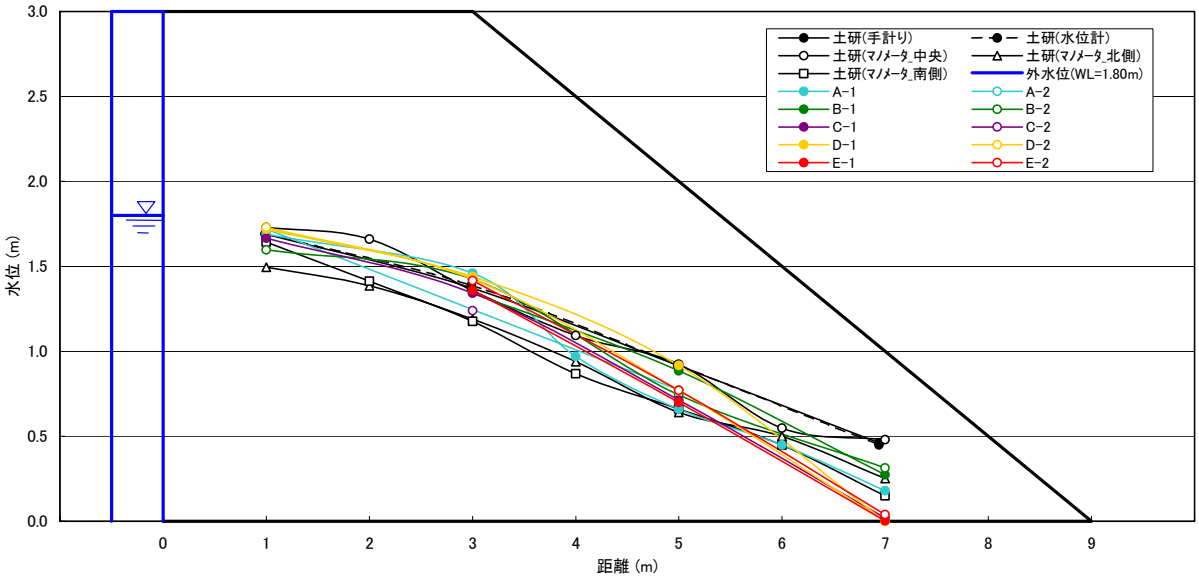


任意時刻での水位断面図　(06/7/25 11:00(外水位一定後24hr経過))

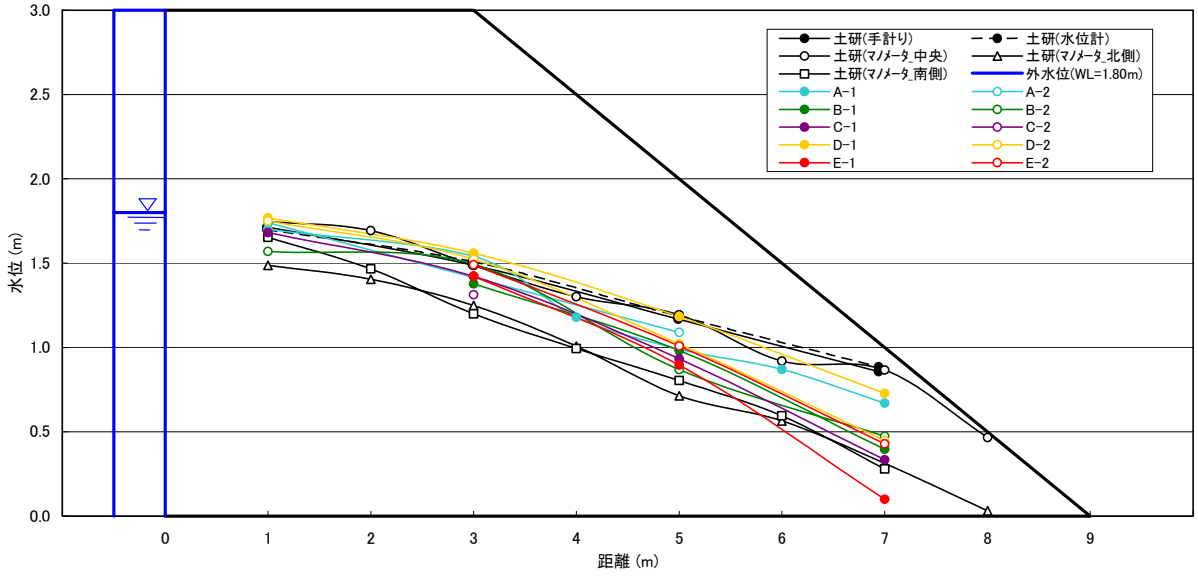


任意時刻での水位断面図　(06/7/28 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第３回湛水実験

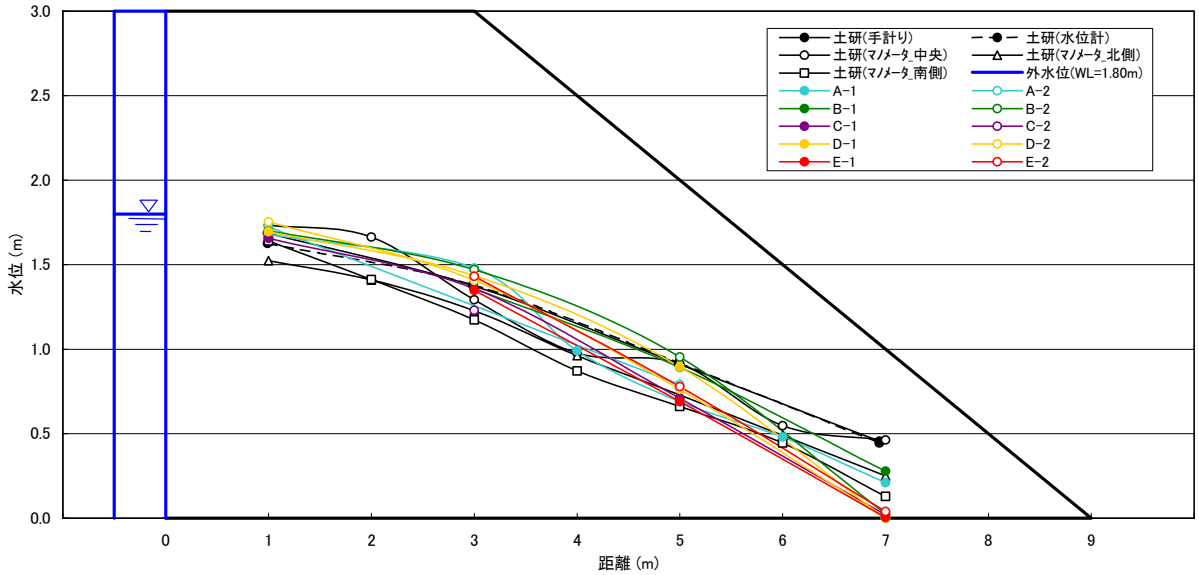


任意時刻での水位断面図　(06/9/26 11:00(外水位一定後24hr経過))

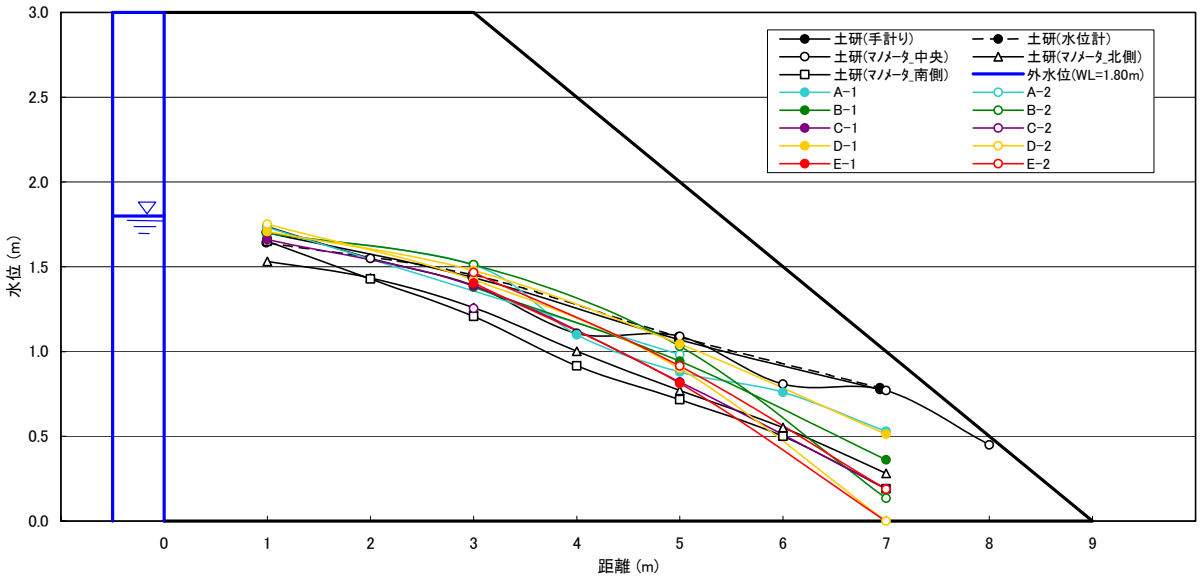


任意時刻での水位断面図　(06/9/29 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第４回湛水実験

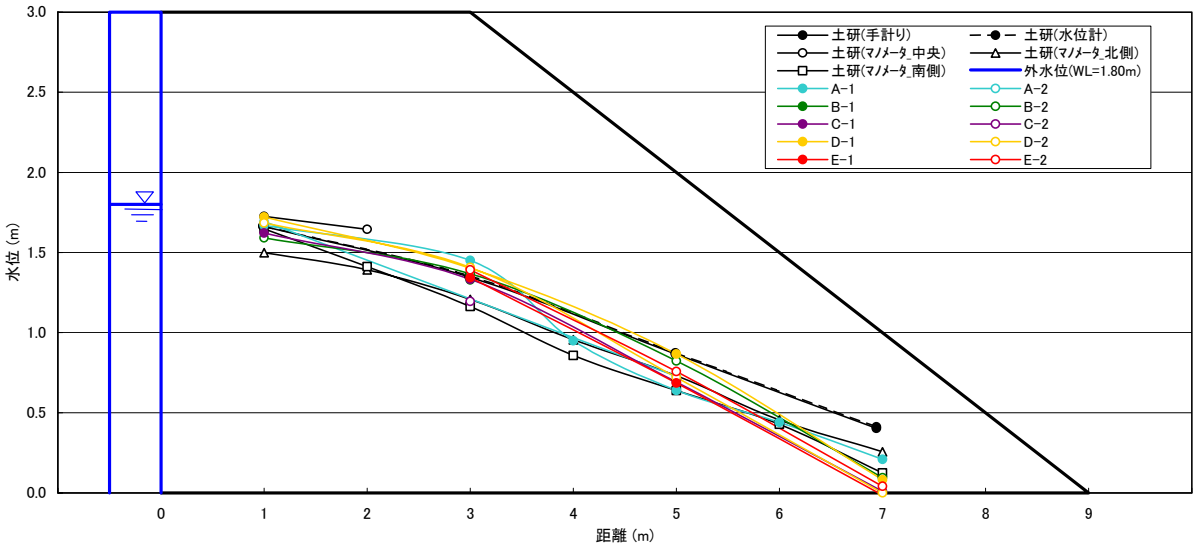


任意時刻での水位断面図　(06/11/ 7 11:00(第1回水位上昇_外水位一定後24hr経過))

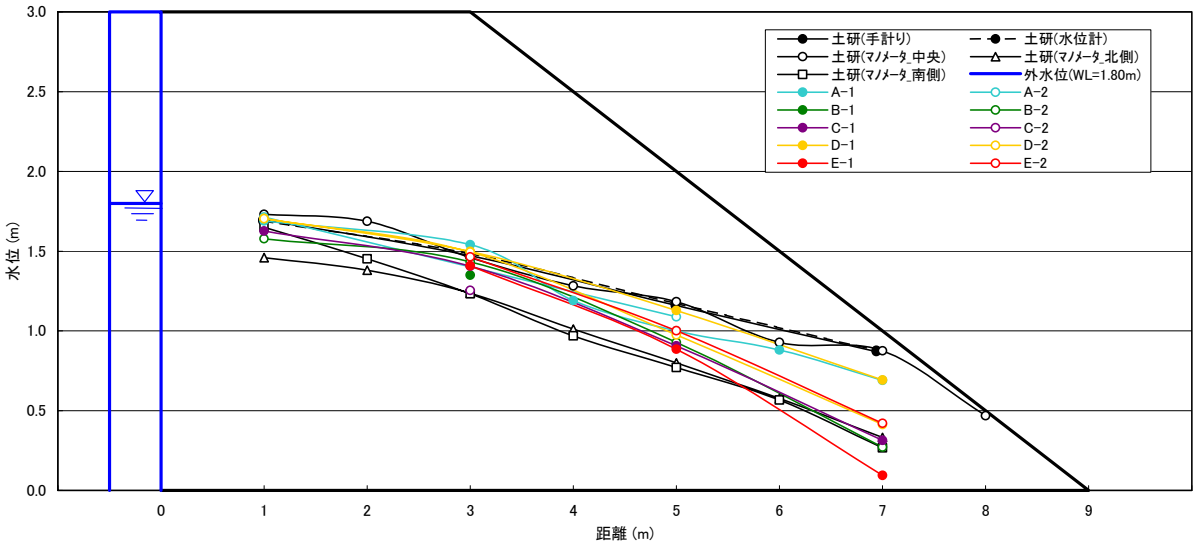


任意時刻での水位断面図　(06/11/ 9 11:00(第2回水位上昇_外水位一定後24hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第５回湛水実験

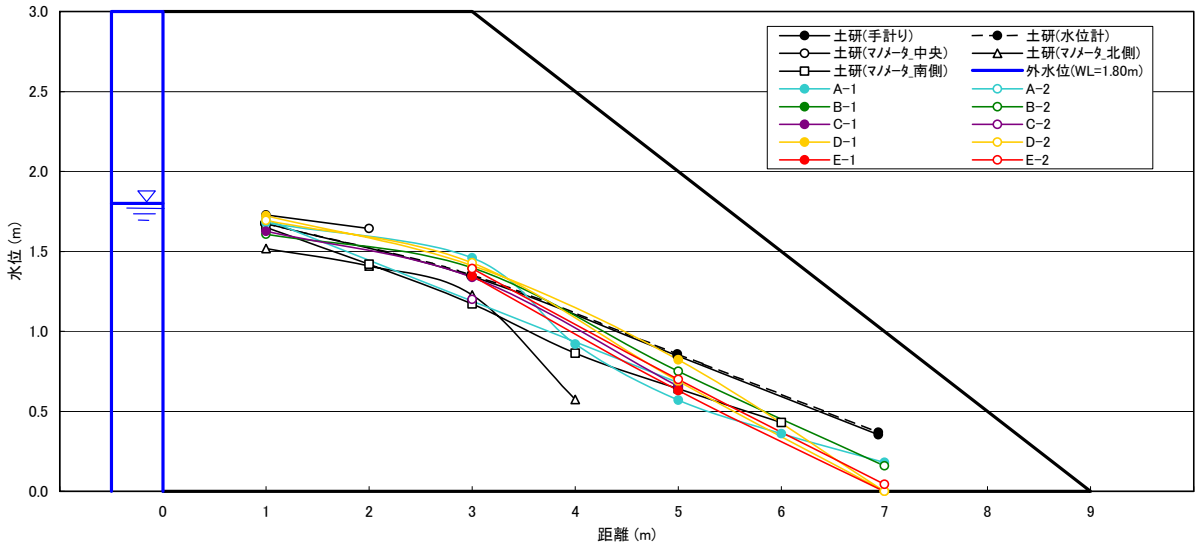


任意時刻での水位断面図　(07/6/5 11:00(外水位一定後24hr経過))

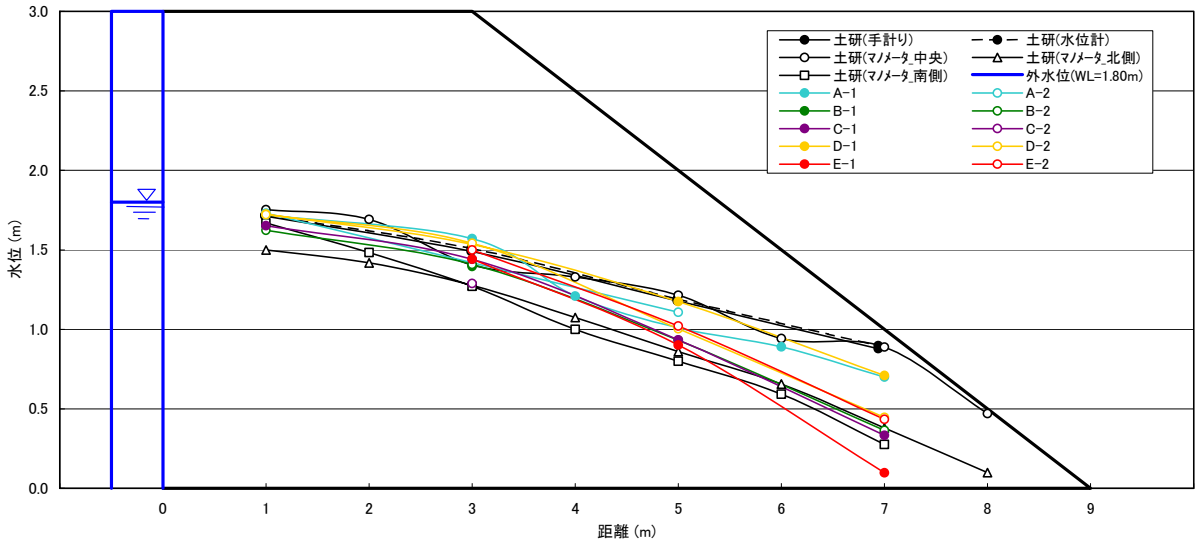


任意時刻での水位断面図　(07/6/8 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第６回湛水実験

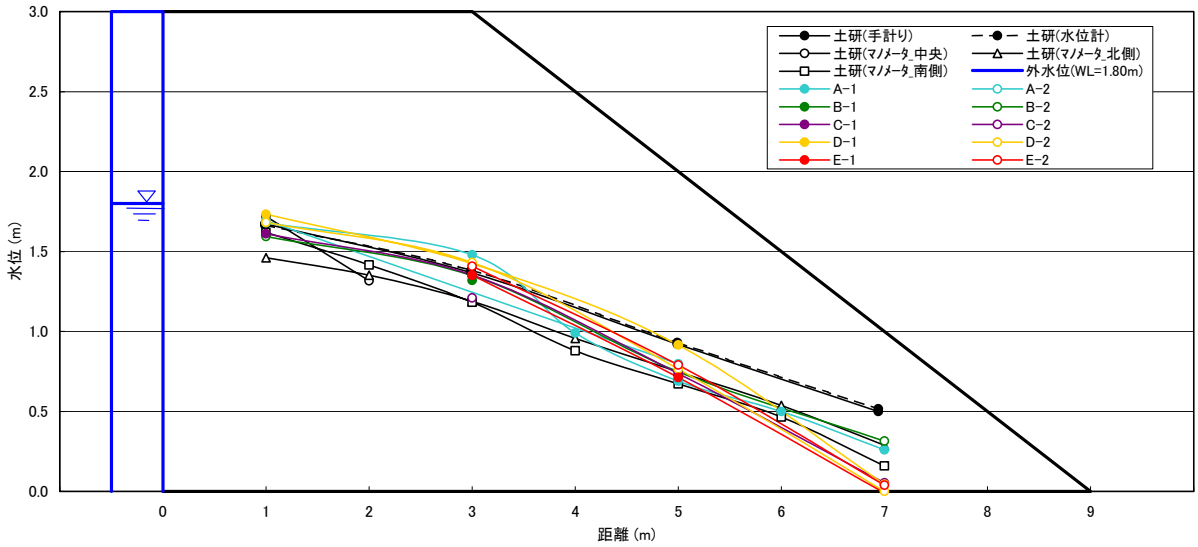


任意時刻での水位断面図　(07/6/26 11:00(外水位一定後24hr経過))

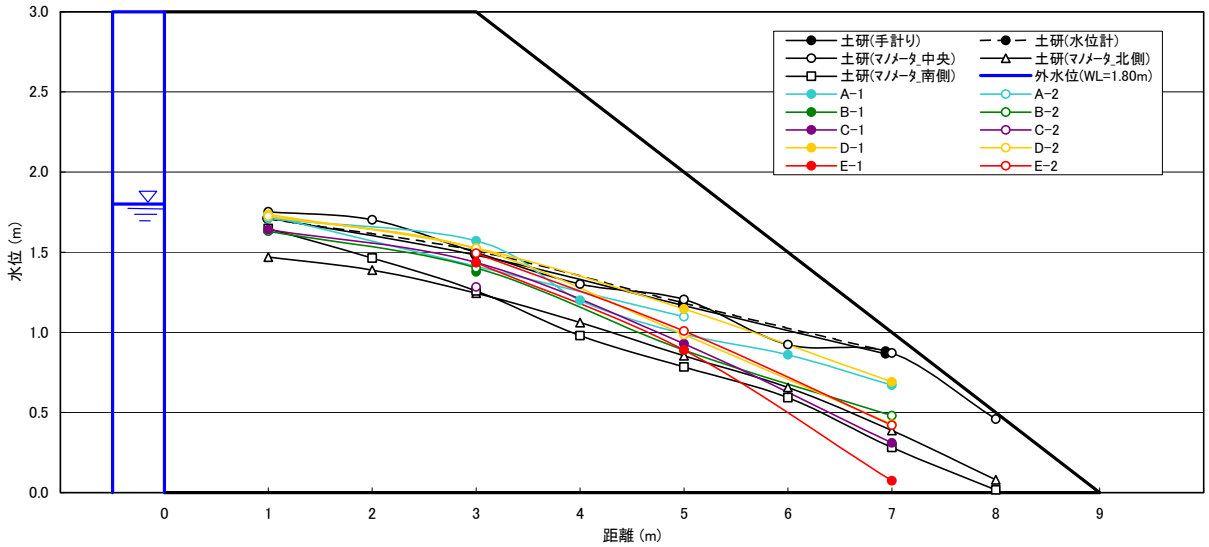


任意時刻での水位断面図　(07/6/29 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第７回湛水実験

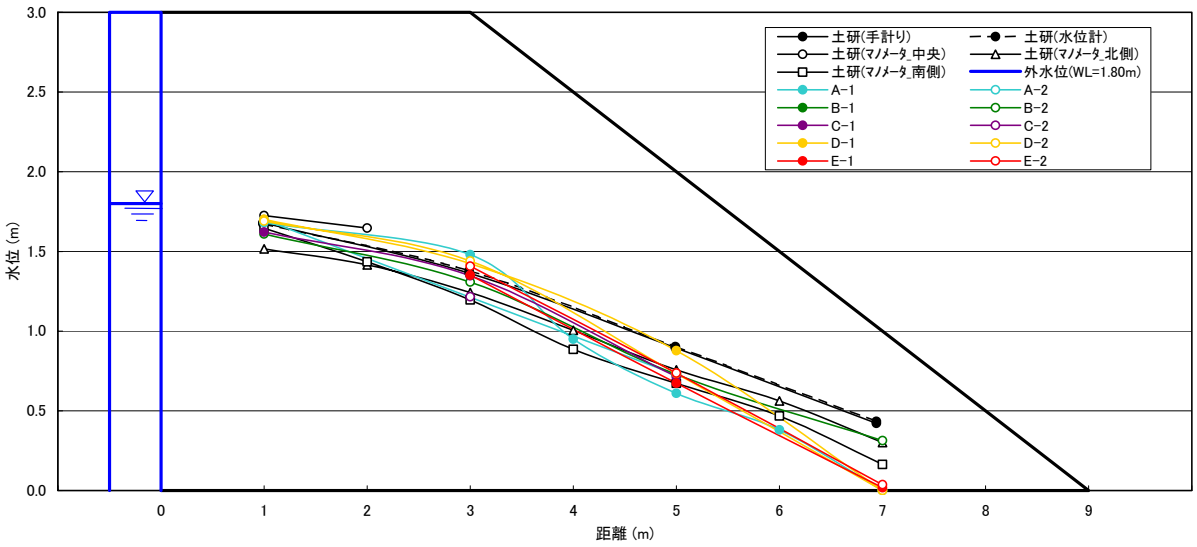


任意時刻での水位断面図　(07/6/5 11:00(外水位一定後24hr経過))

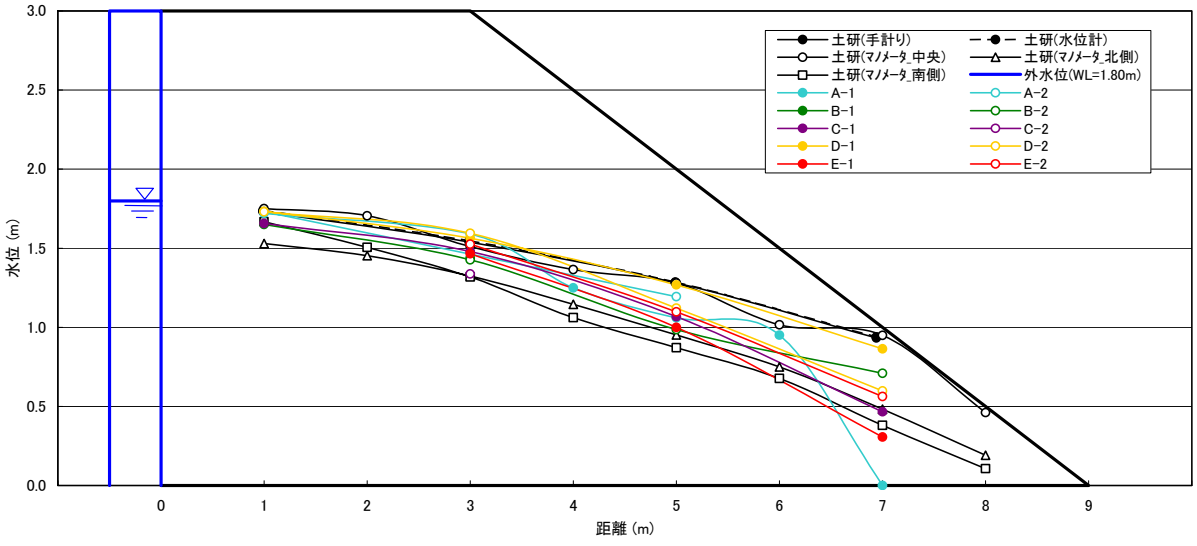


任意時刻での水位断面図　(07/6/8 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第８回湛水実験

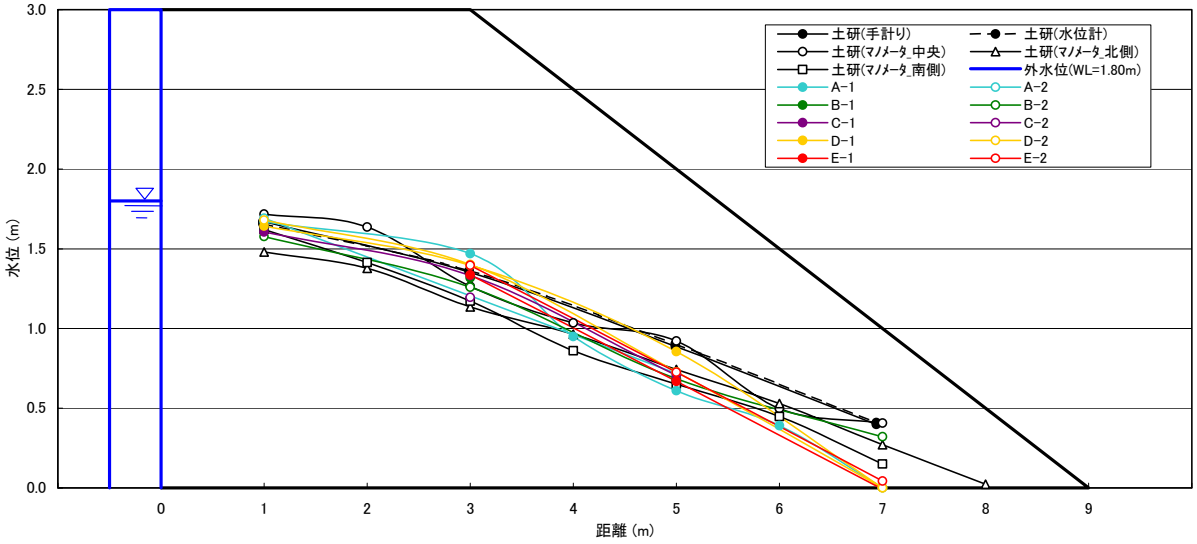


任意時刻での水位断面図　(07/9/4 11:00(外水位一定後24hr経過))

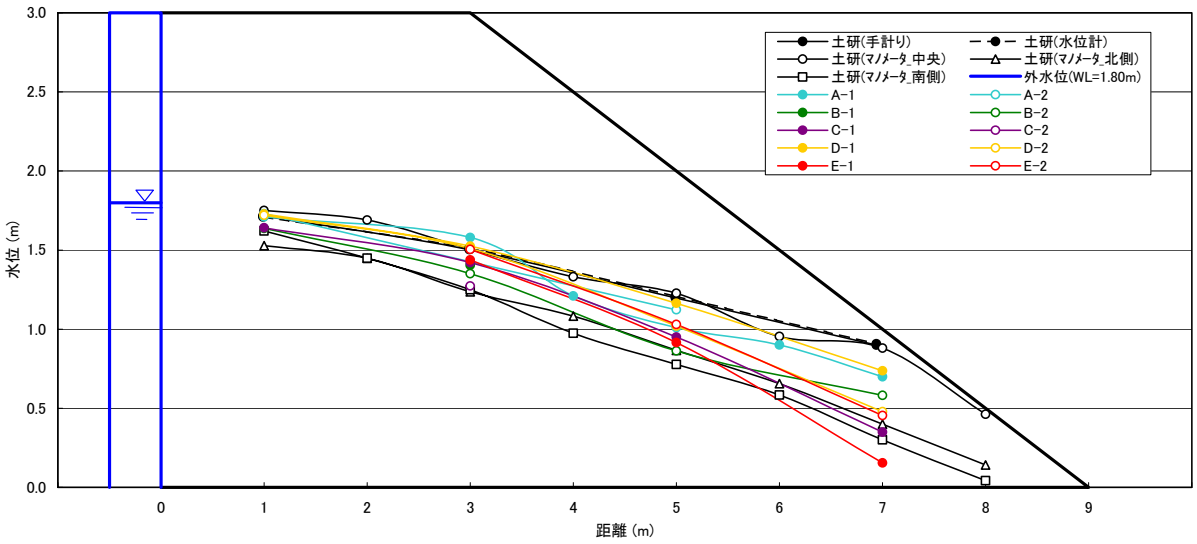


任意時刻での水位断面図　(07/9/7 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第９回湛水実験

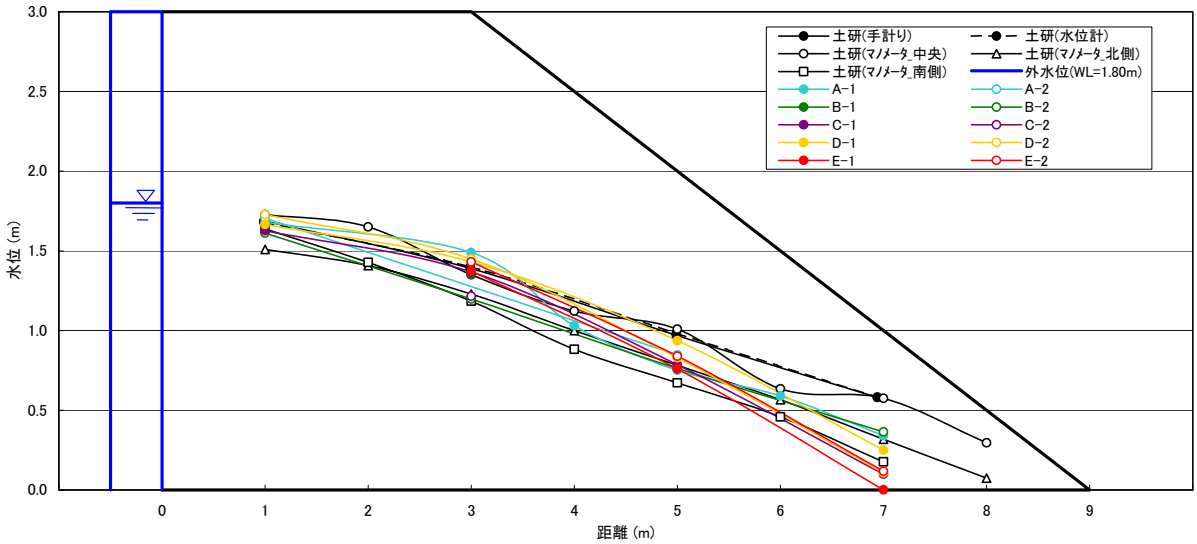


任意時刻での水位断面図　(07/10/16 11:00(外水位一定後24hr経過))

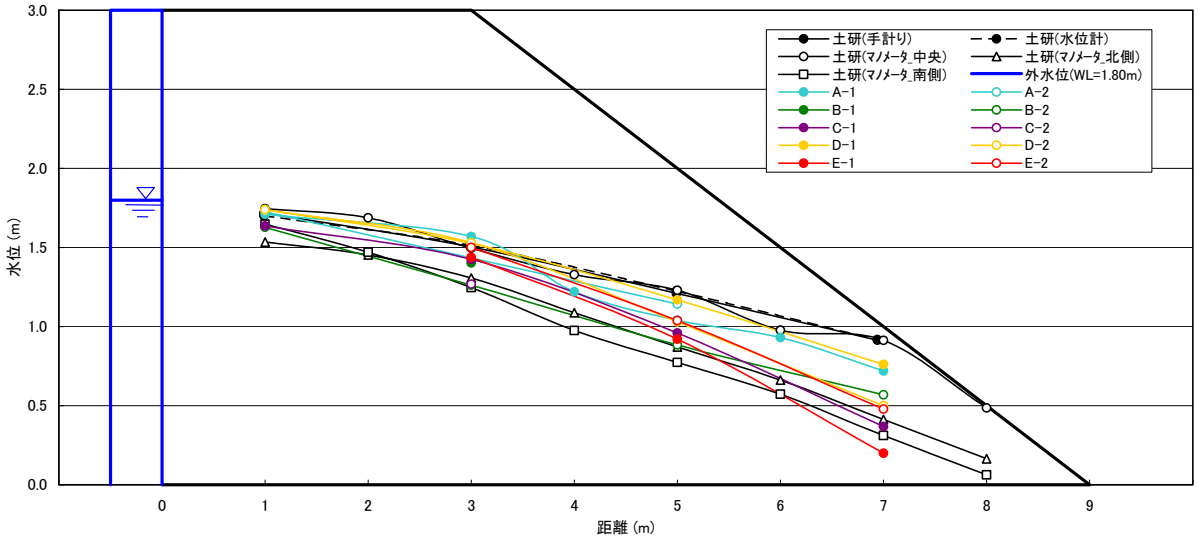


任意時刻での水位断面図　(07/10/19 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第 10 回湛水実験

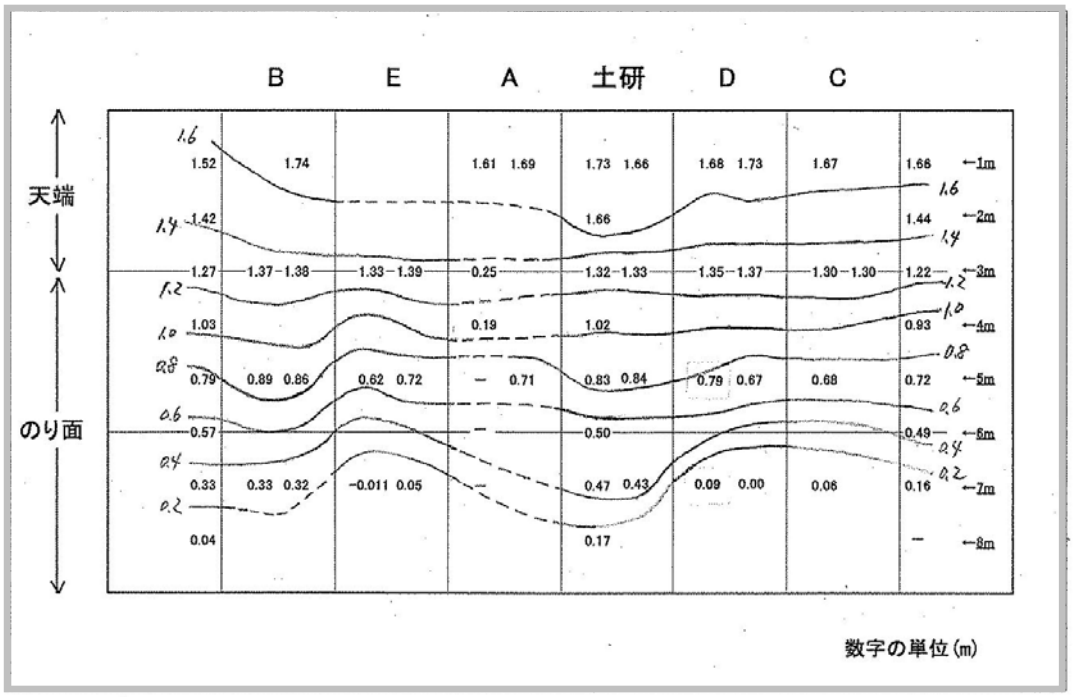


任意時刻での水位断面図　(07/11/13 11:00(外水位一定後24hr経過))

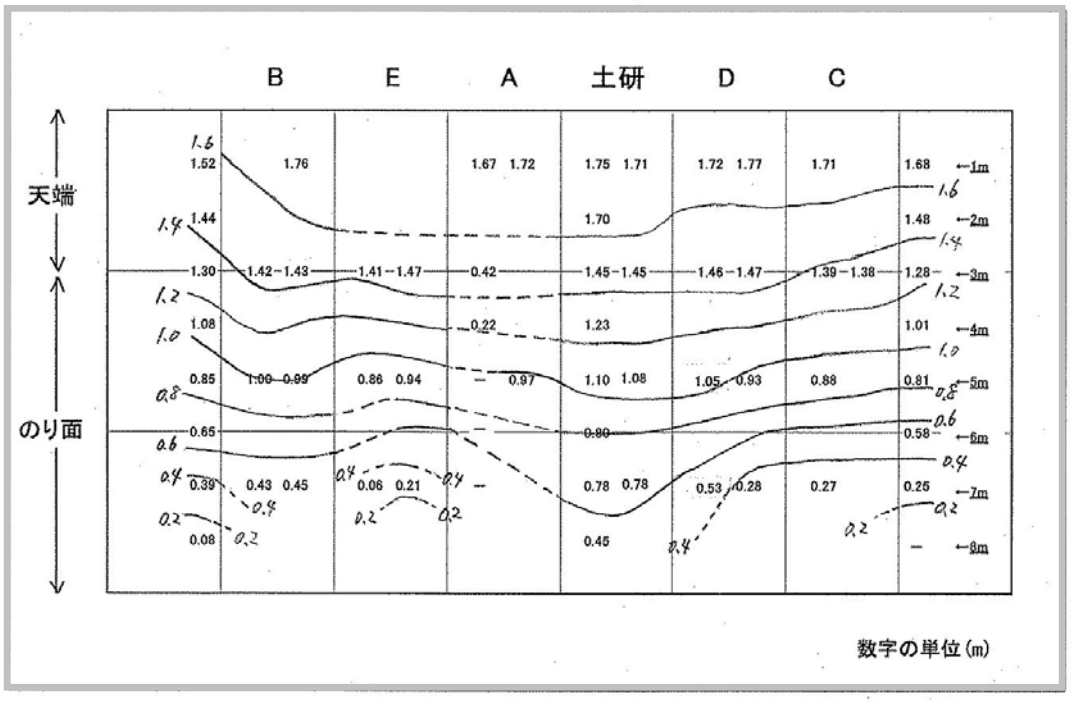


任意時刻での水位断面図　(07/11/16 11:00(外水位一定後96hr経過))

水位コンター図：第１回湛水実験（１）

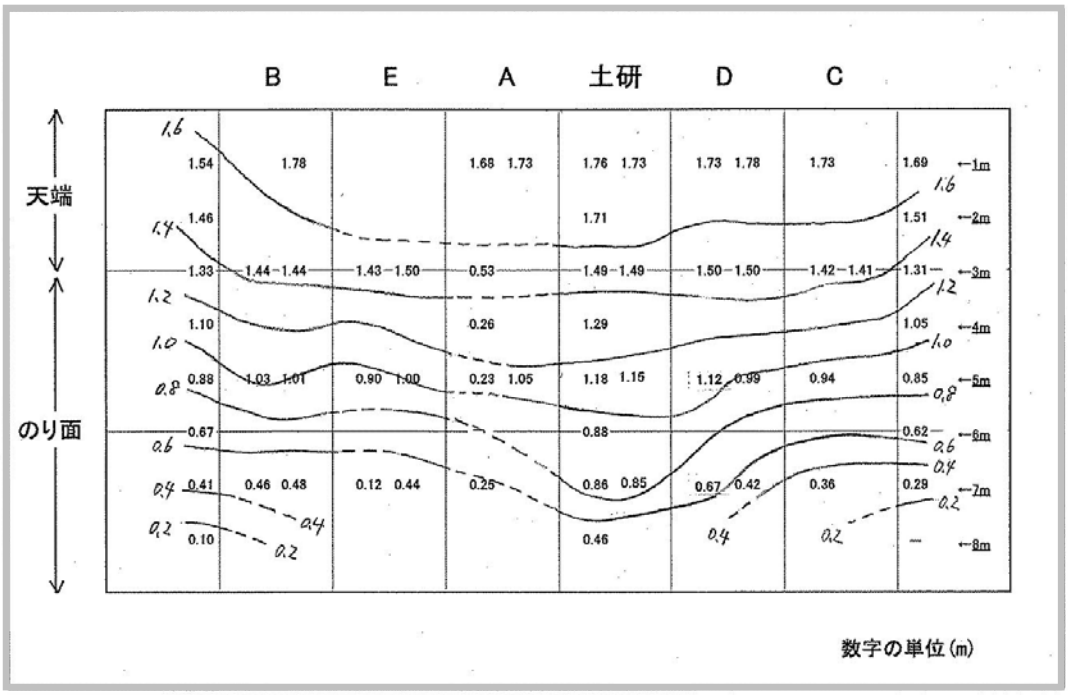


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

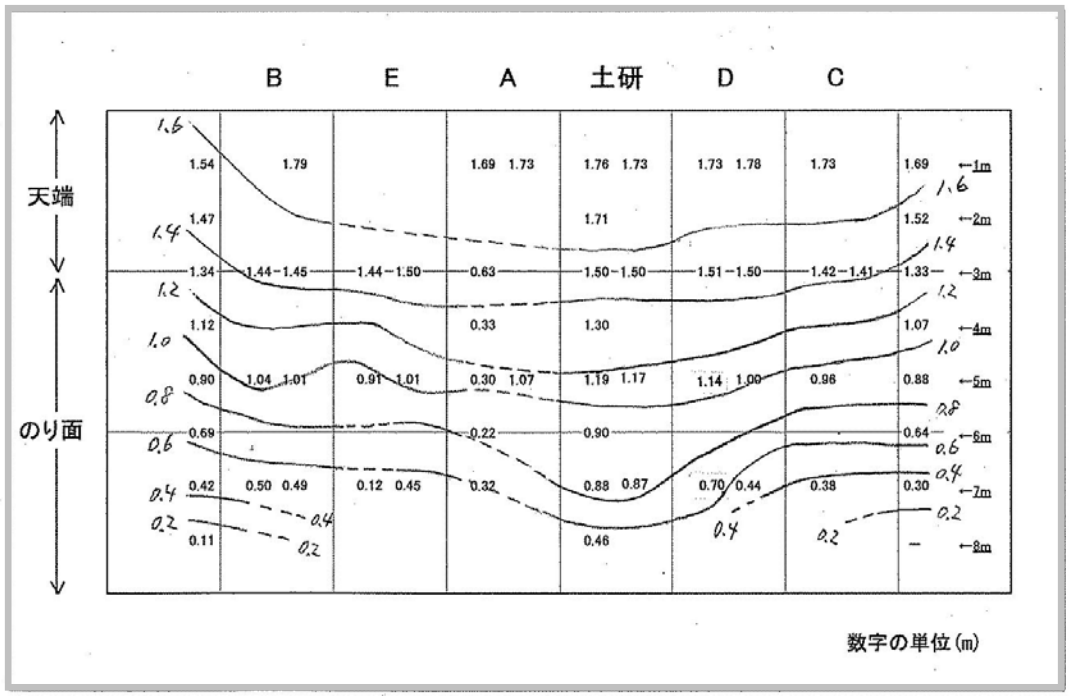


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第１回湛水実験（２）

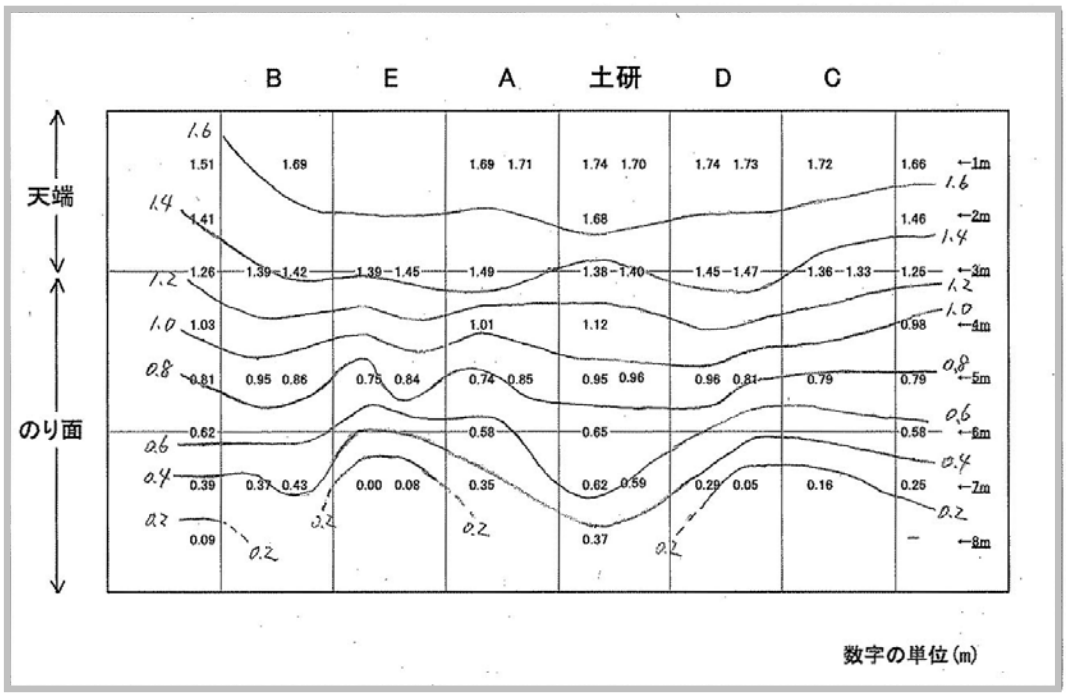


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

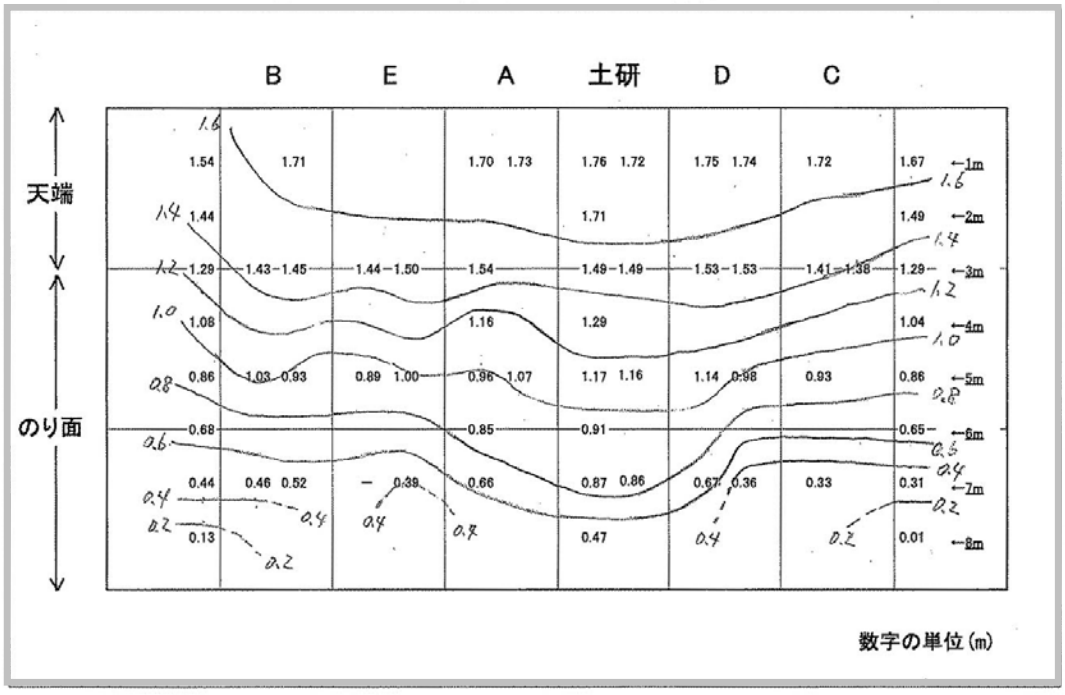


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第２回湛水実験（１）

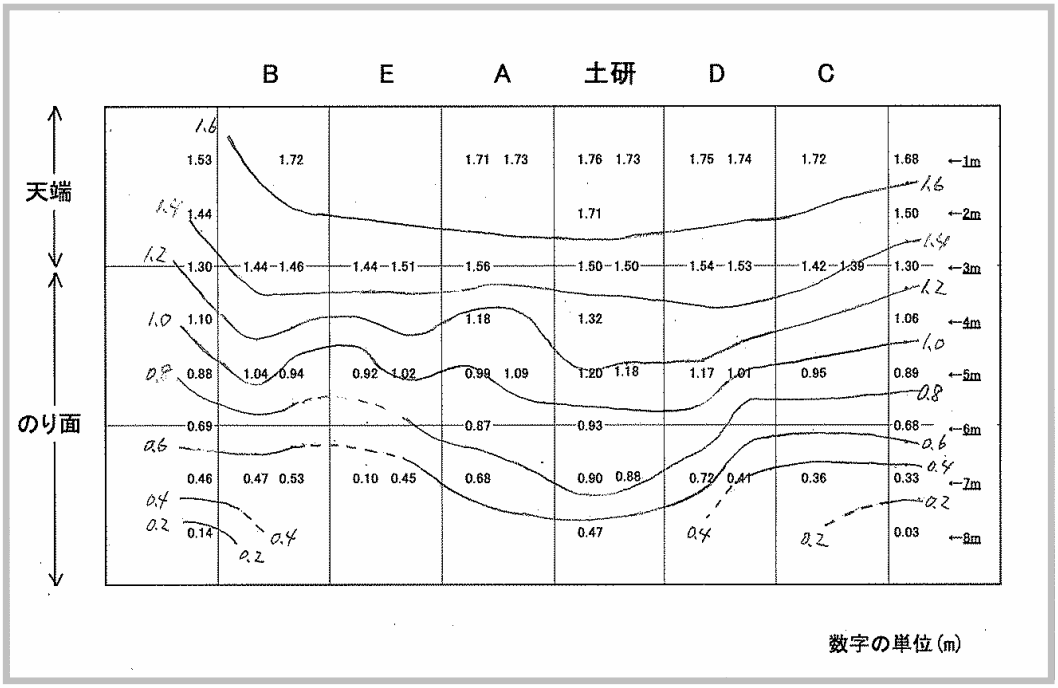


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

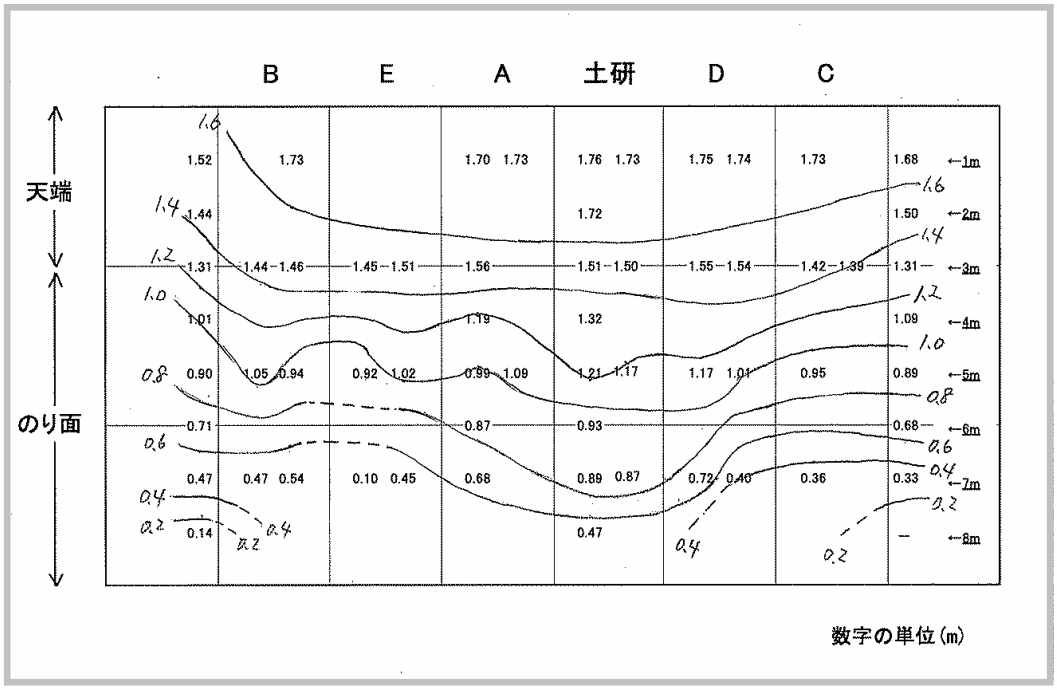


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第２回湛水実験（２）

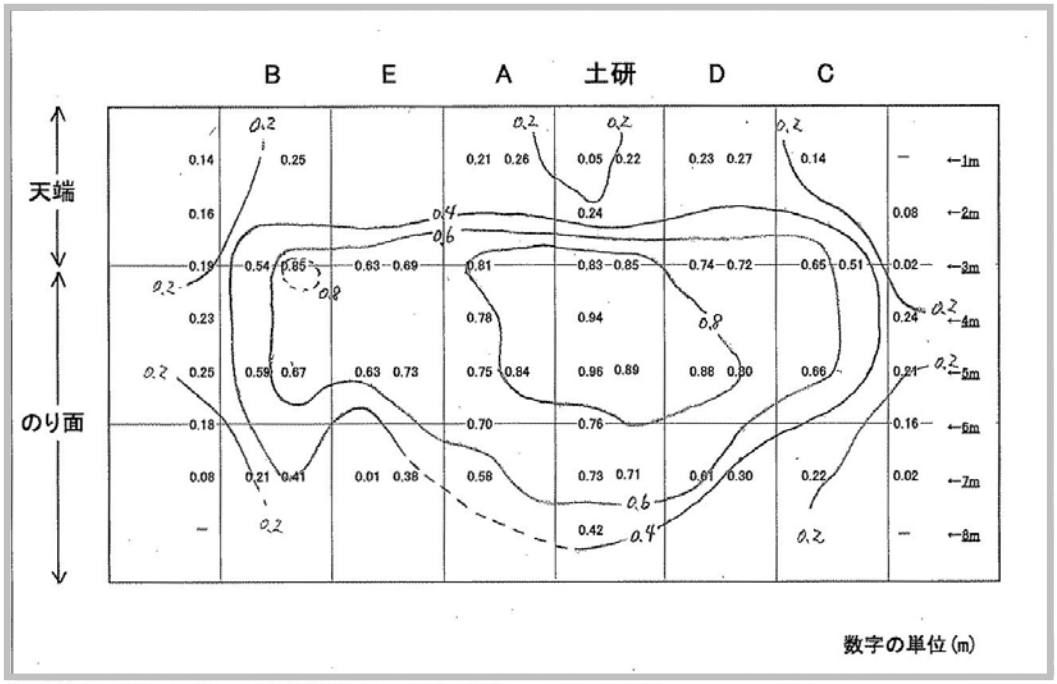


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

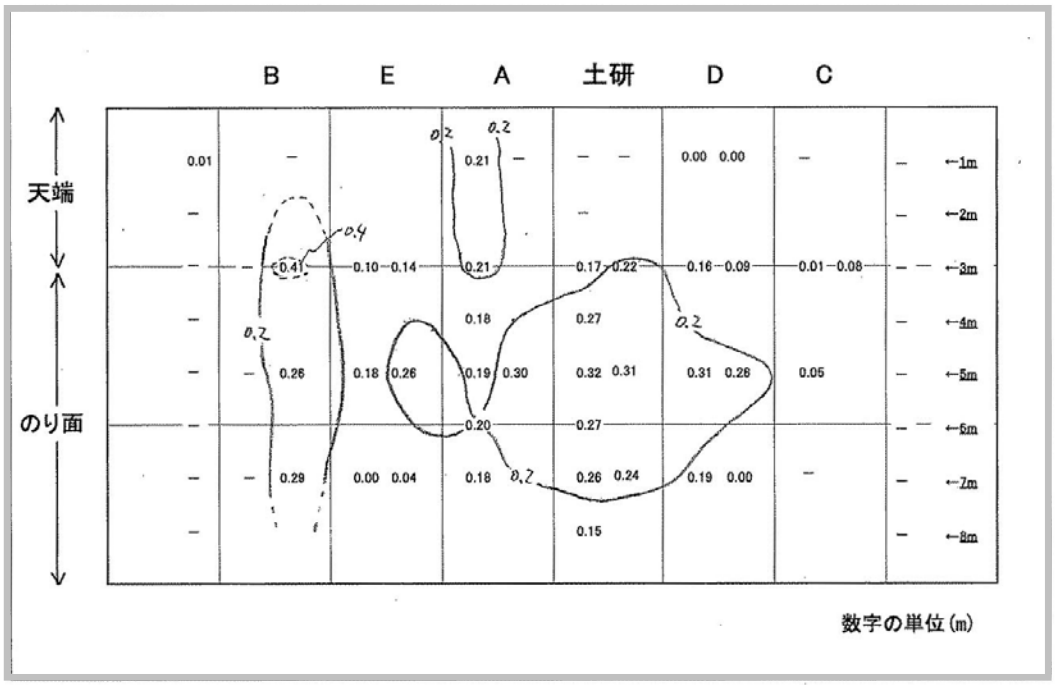


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第２回湛水実験（３）

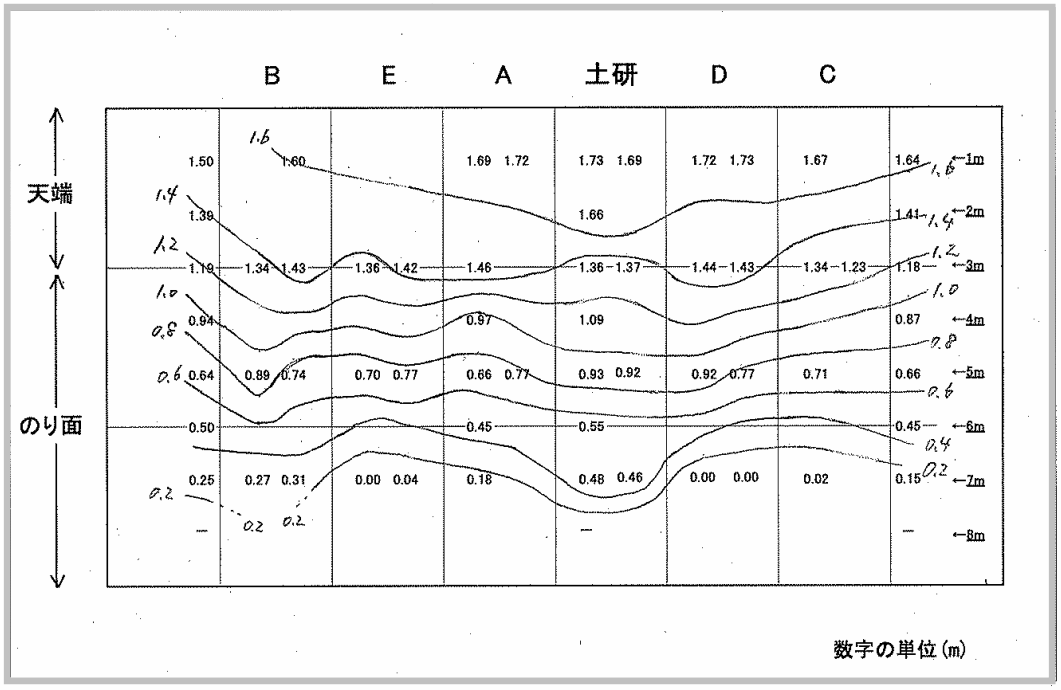


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

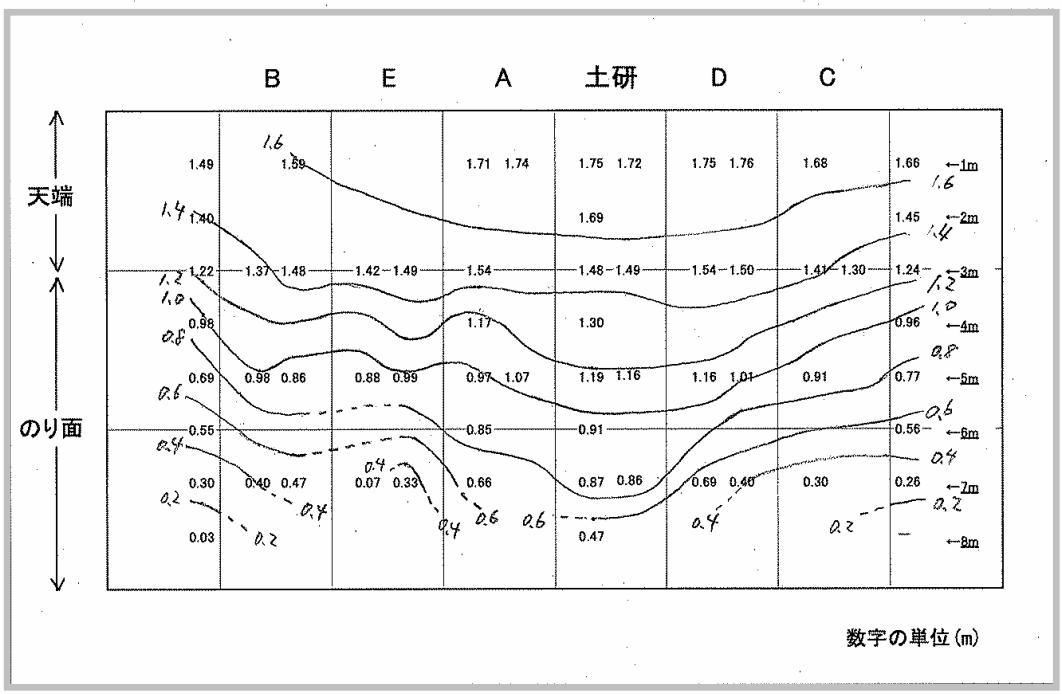


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第３回湛水実験（１）

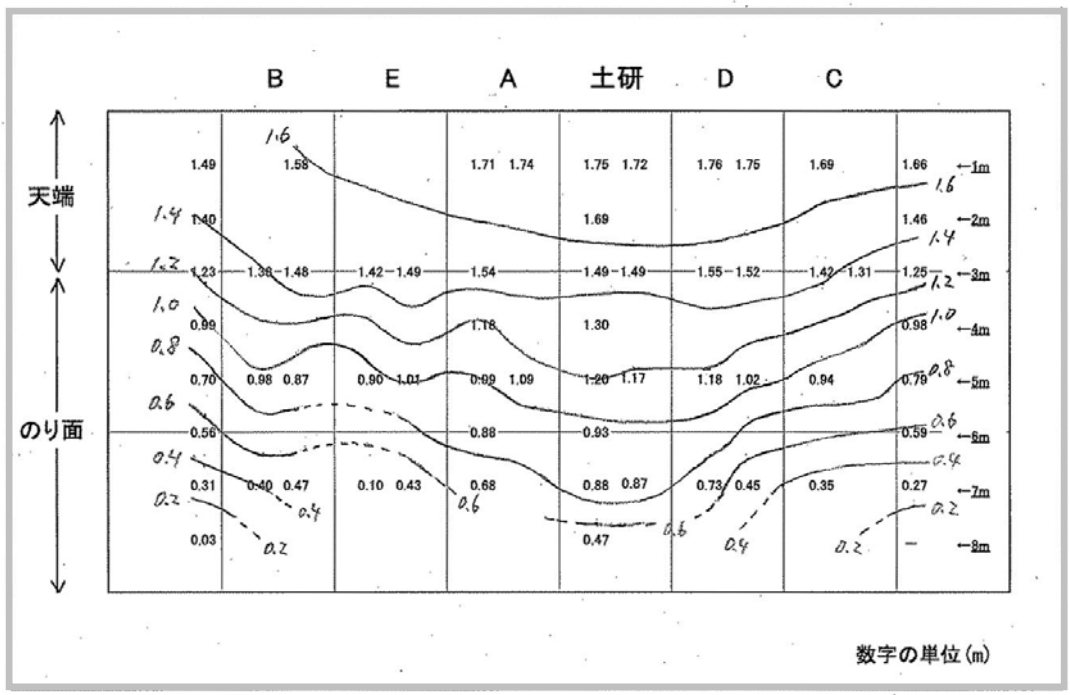


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

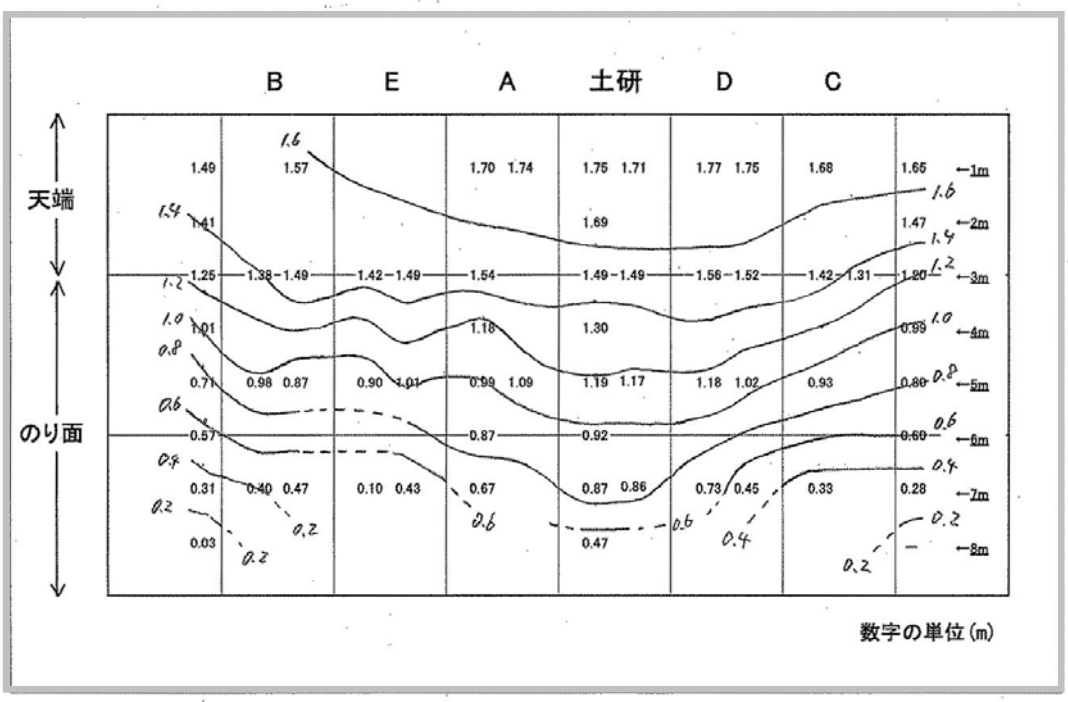


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第３回湛水実験（２）

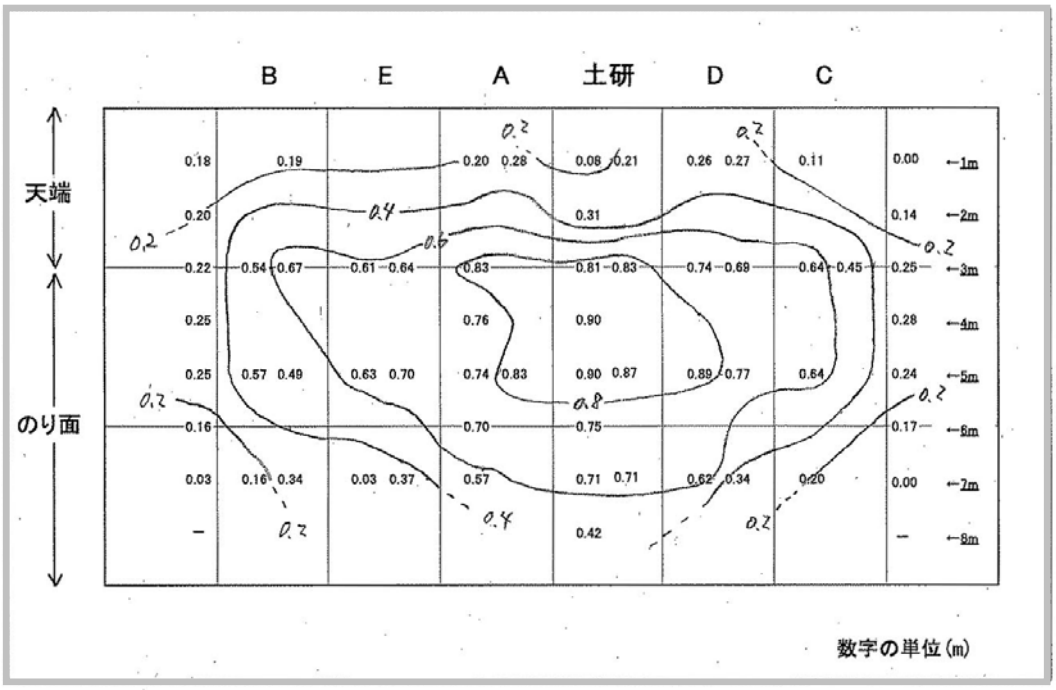


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

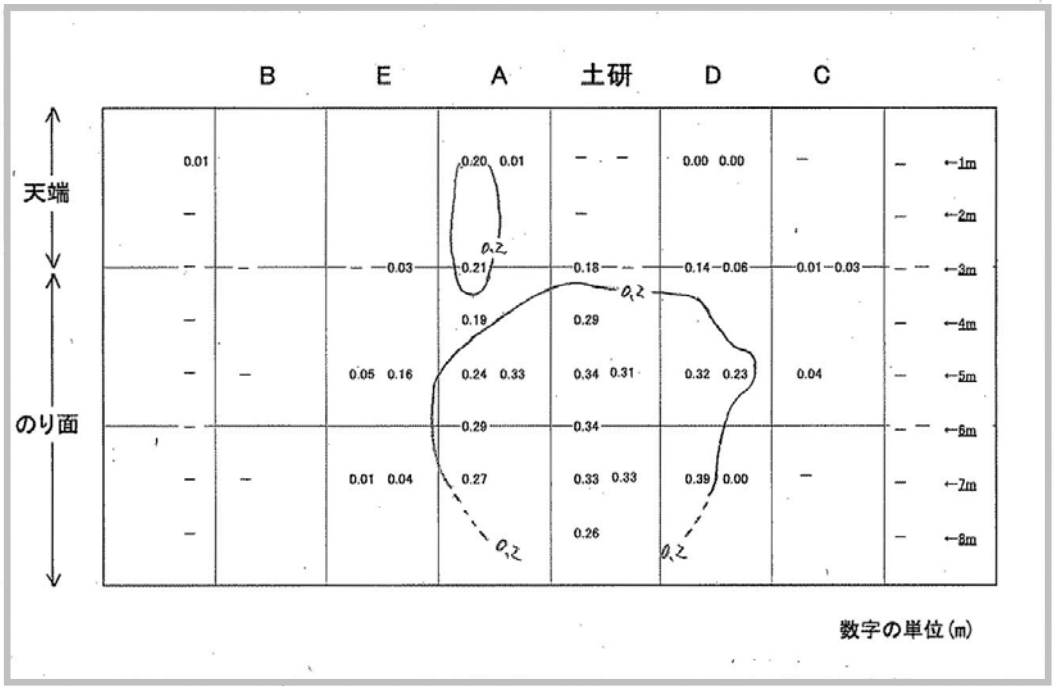


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第３回湛水実験（３）

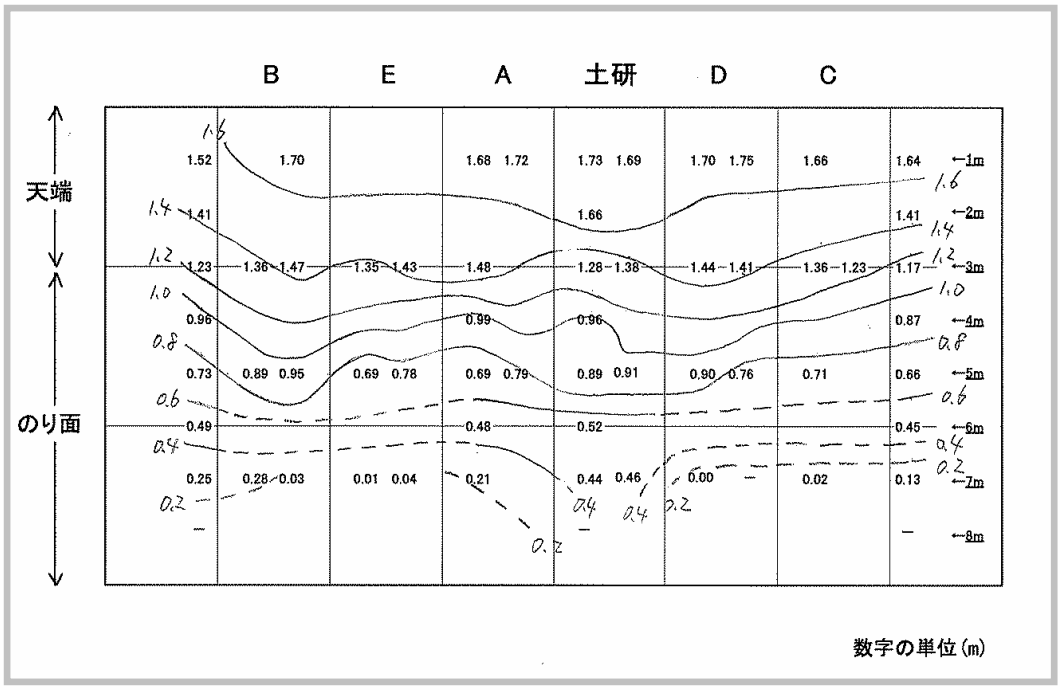


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

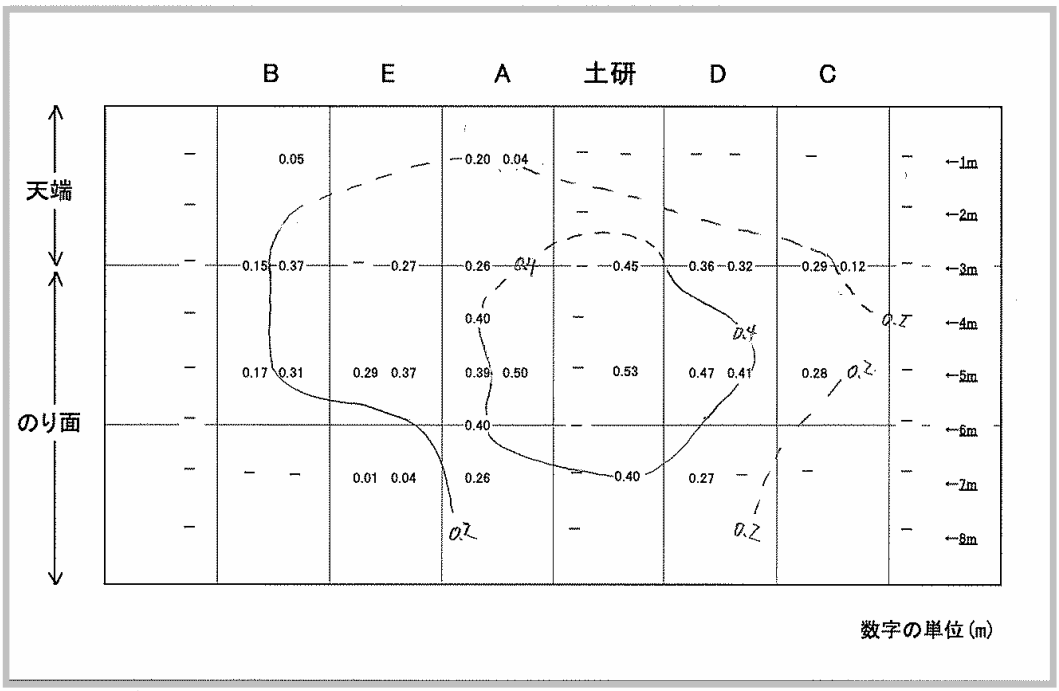


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第４回湛水実験（１）

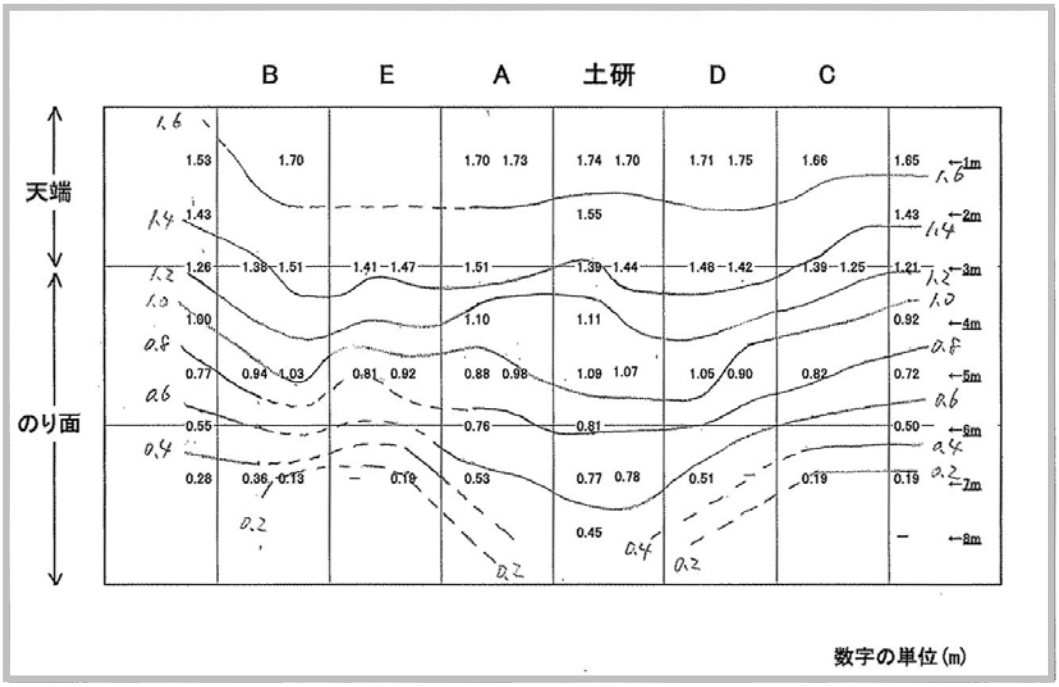


水位コンター図①（第１回水位上昇_外水位一定後 24hr 経過）

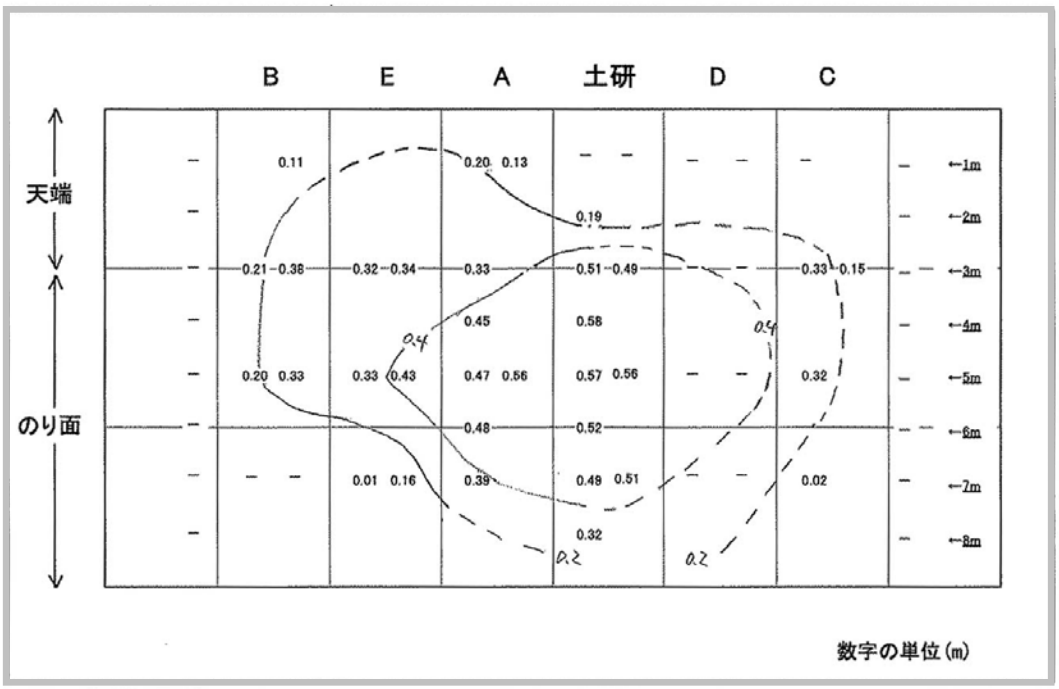


水位コンター図②（第１回水位低下後 22hr 経過）

水位コンター図：第４回湛水実験（２）

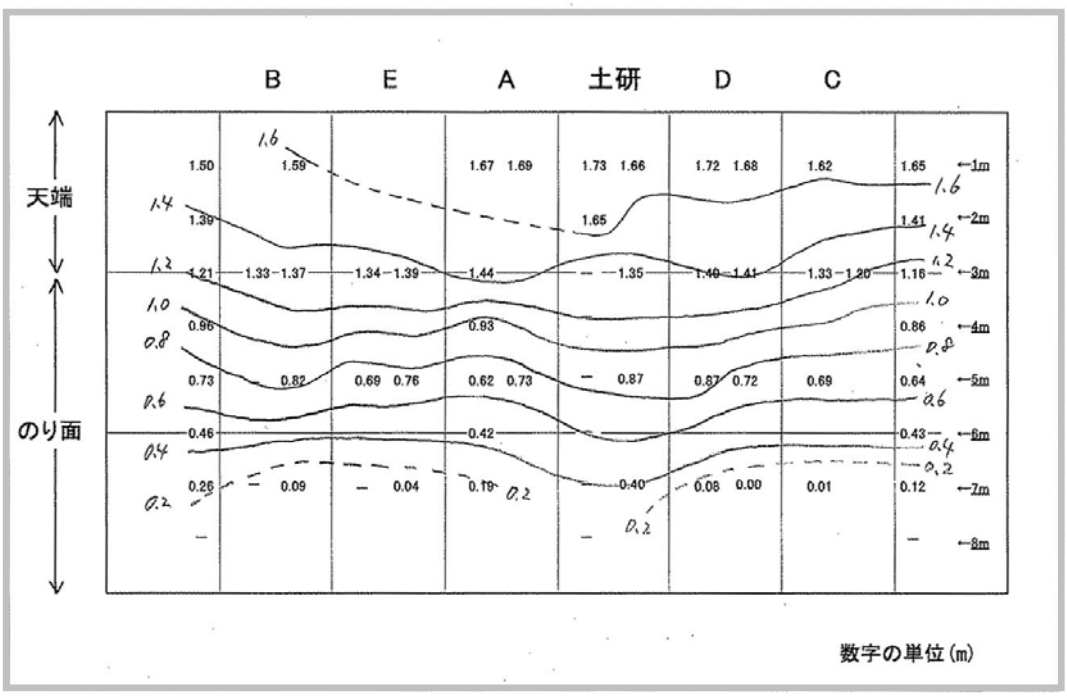


水位コンター図③（第 2 回水位上昇_外水位一定後 24hr 経過）

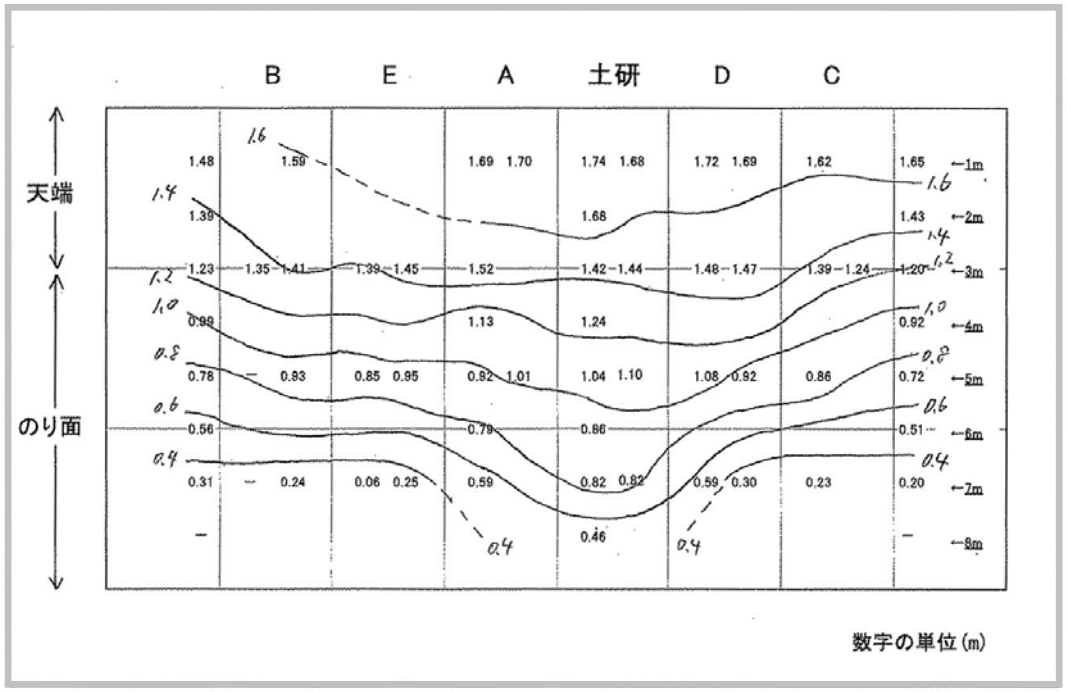


水位コンター図④（第 2 回水位低下後 24hr 経過）

水位コンター図：第５回湛水実験（１）

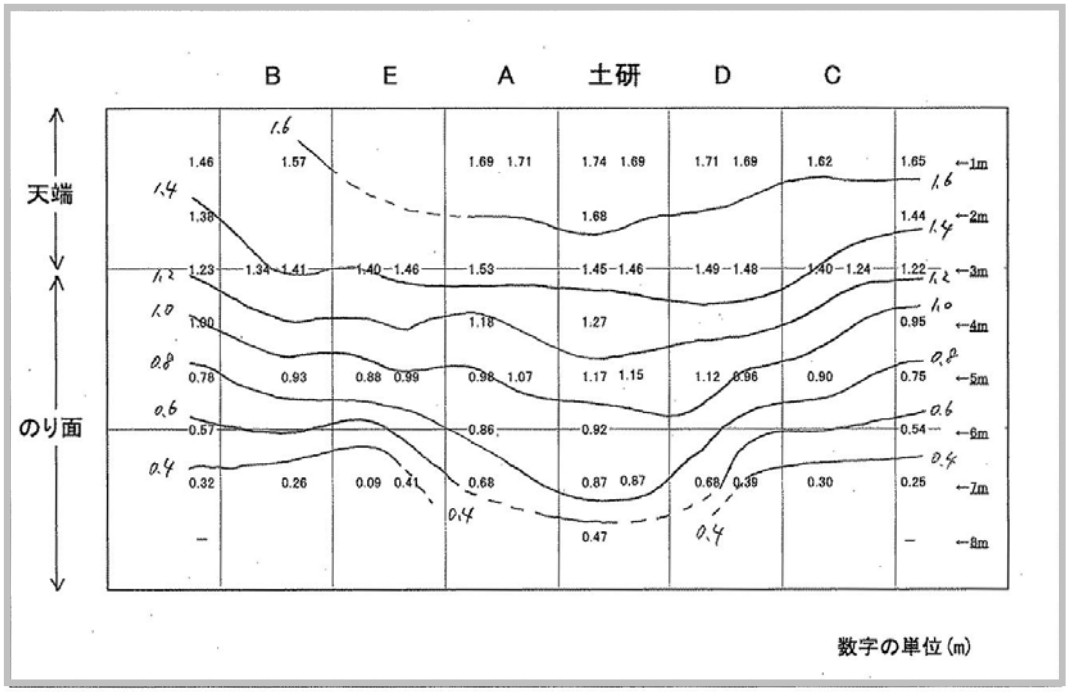


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

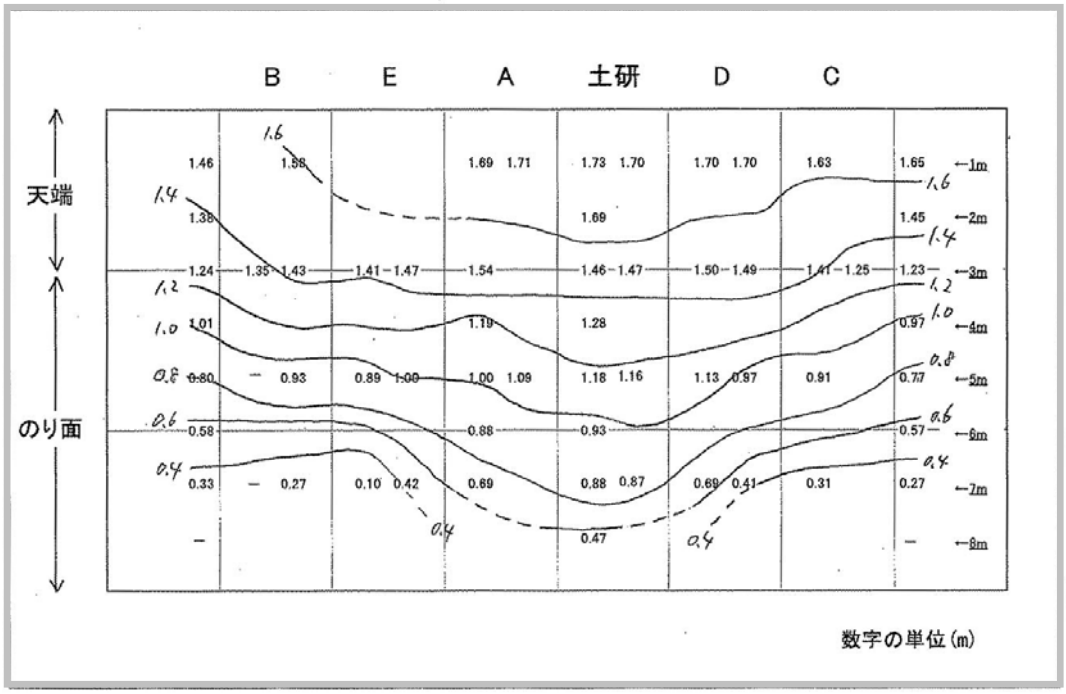


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第５回湛水実験（２）

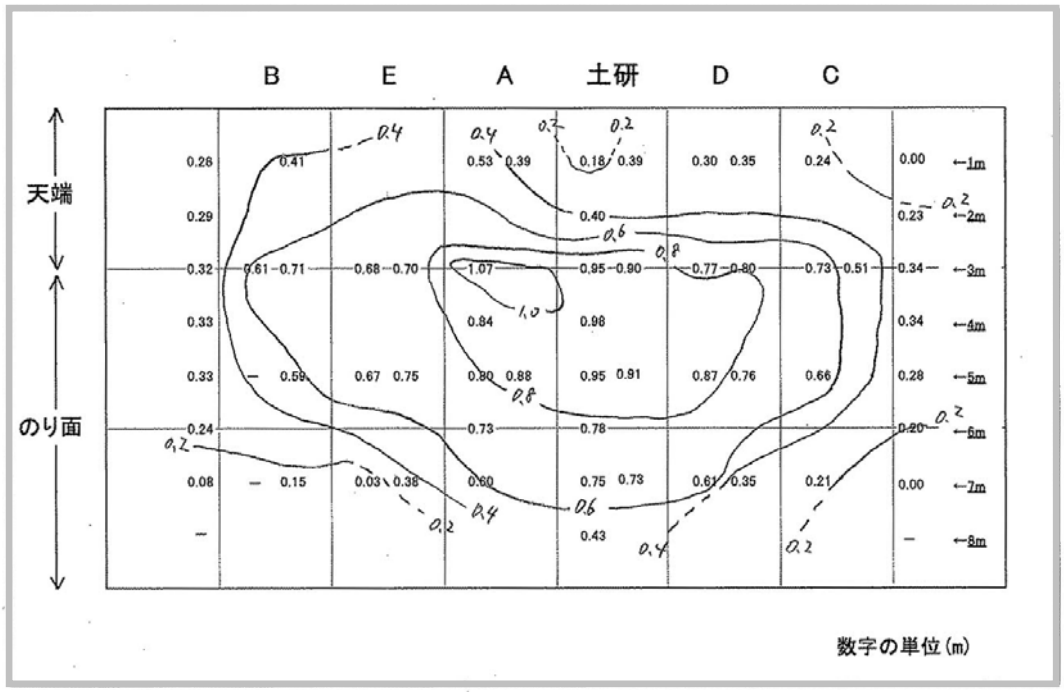


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

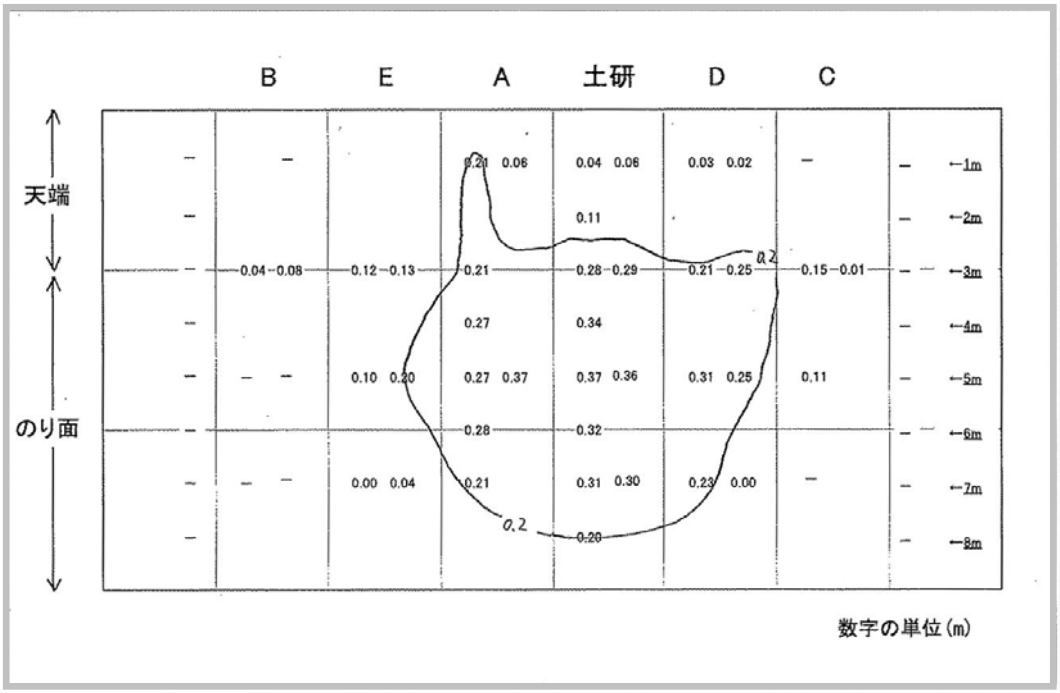


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第５回湛水実験（３）

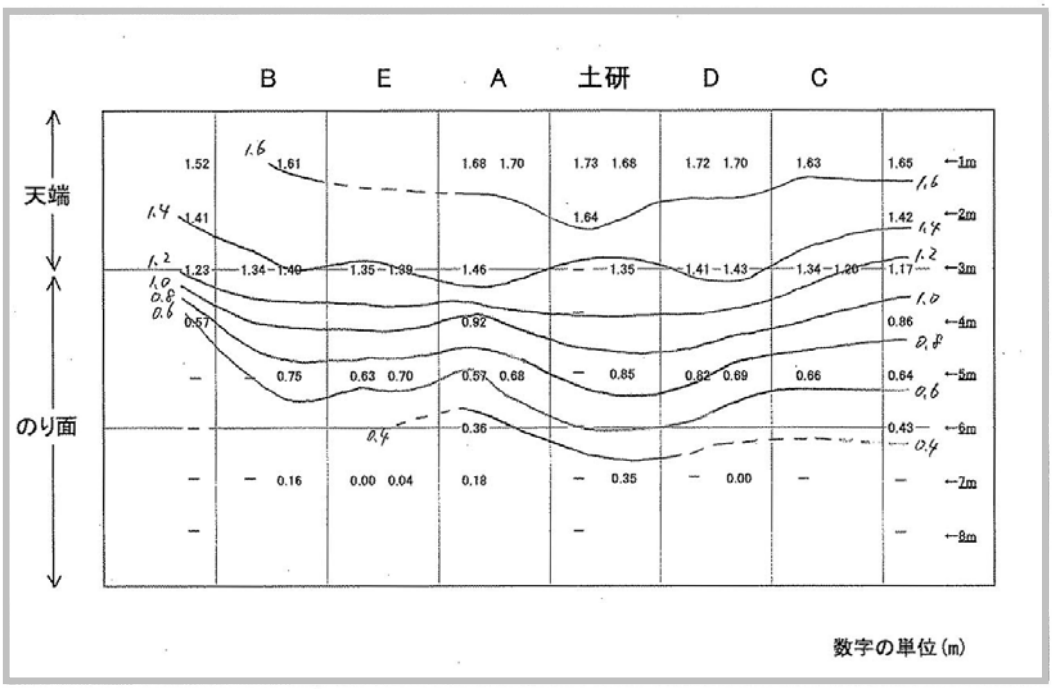


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

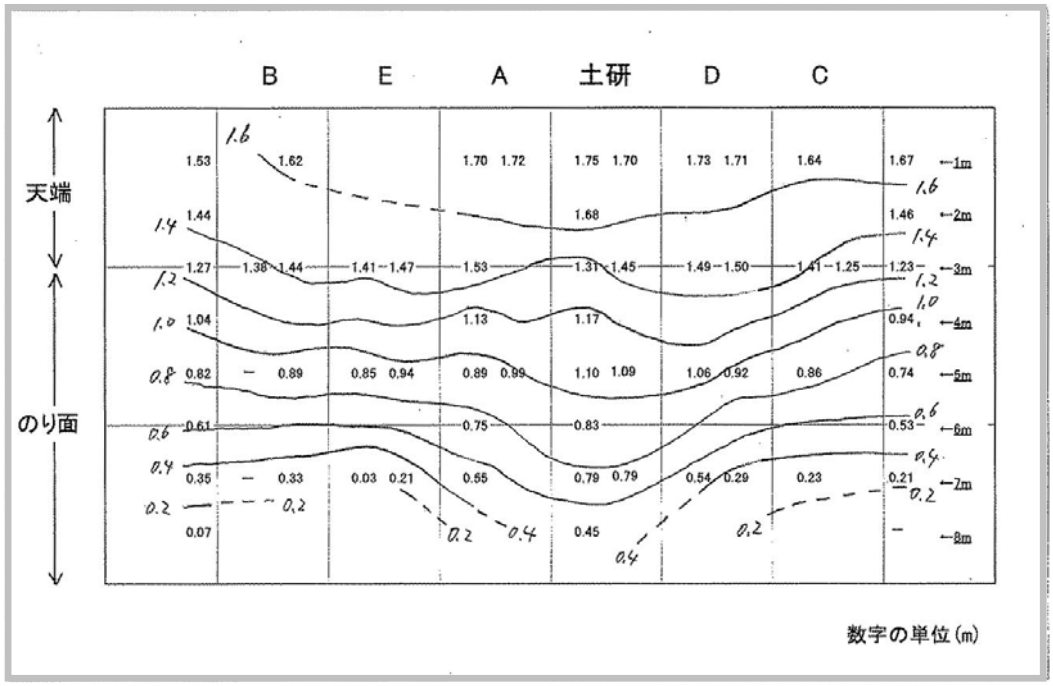


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第６回湛水実験（１）

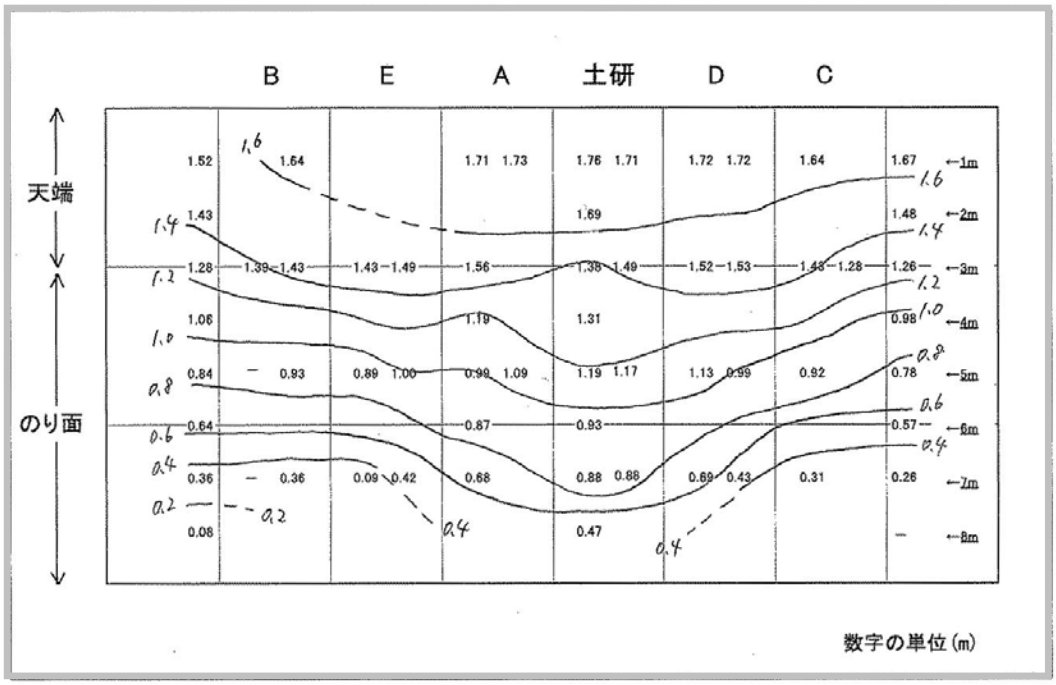


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

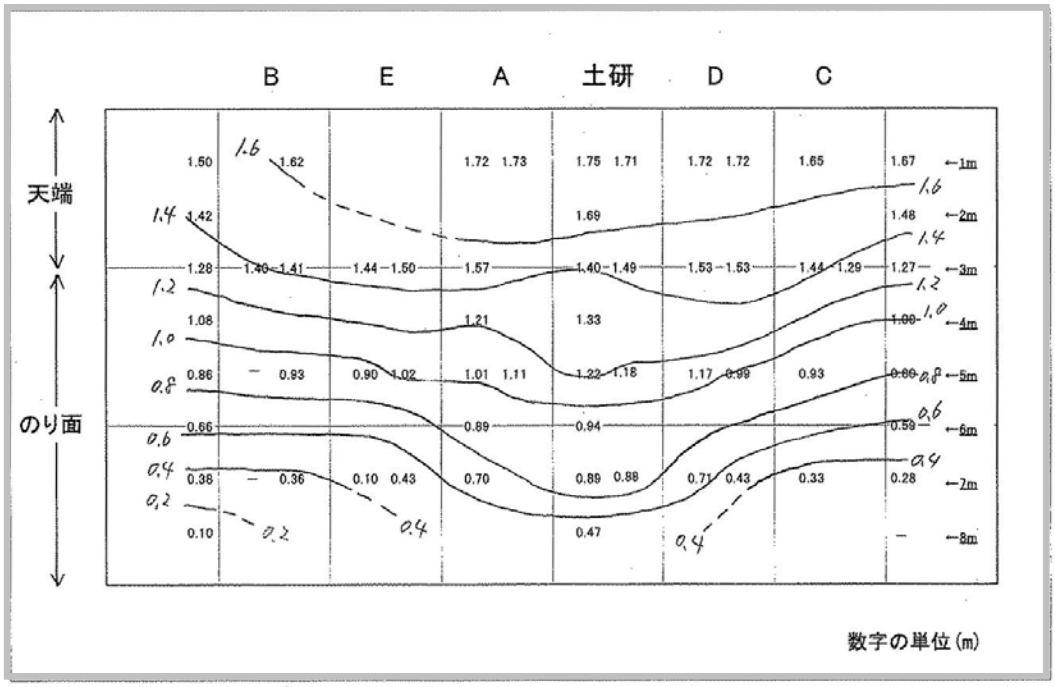


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第６回湛水実験（２）

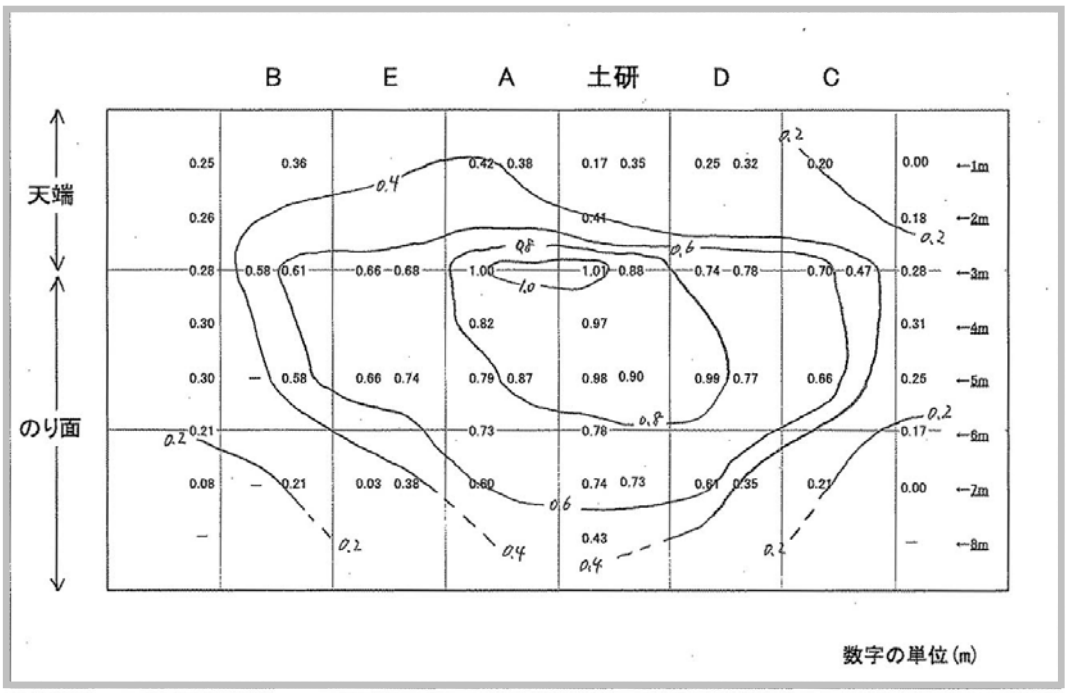


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

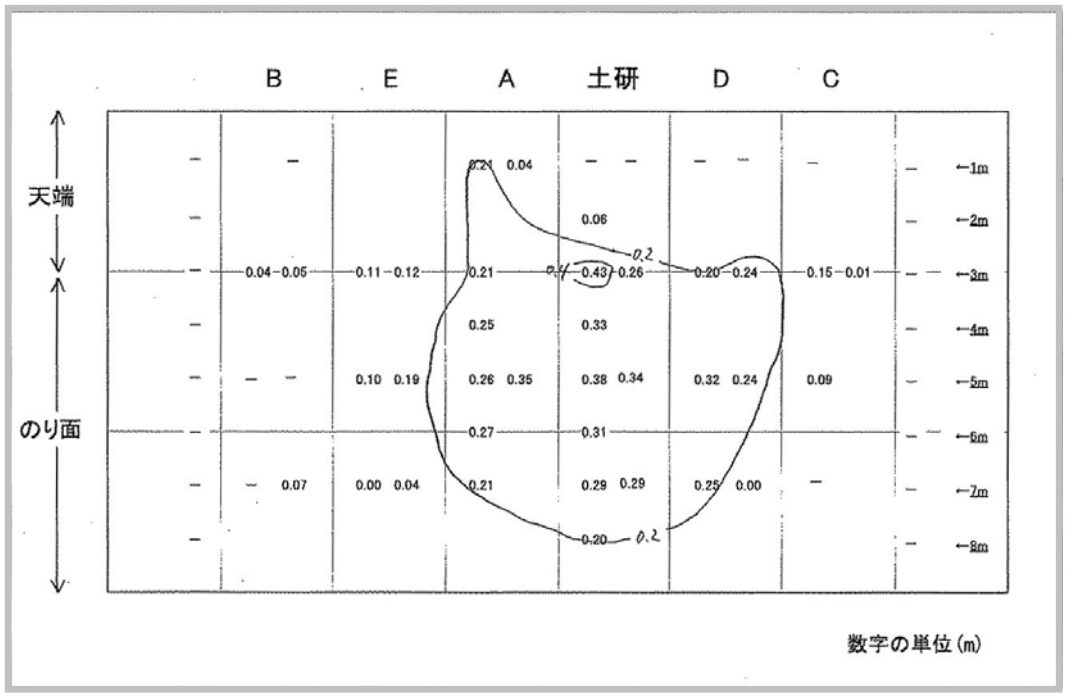


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第６回湛水実験（３）

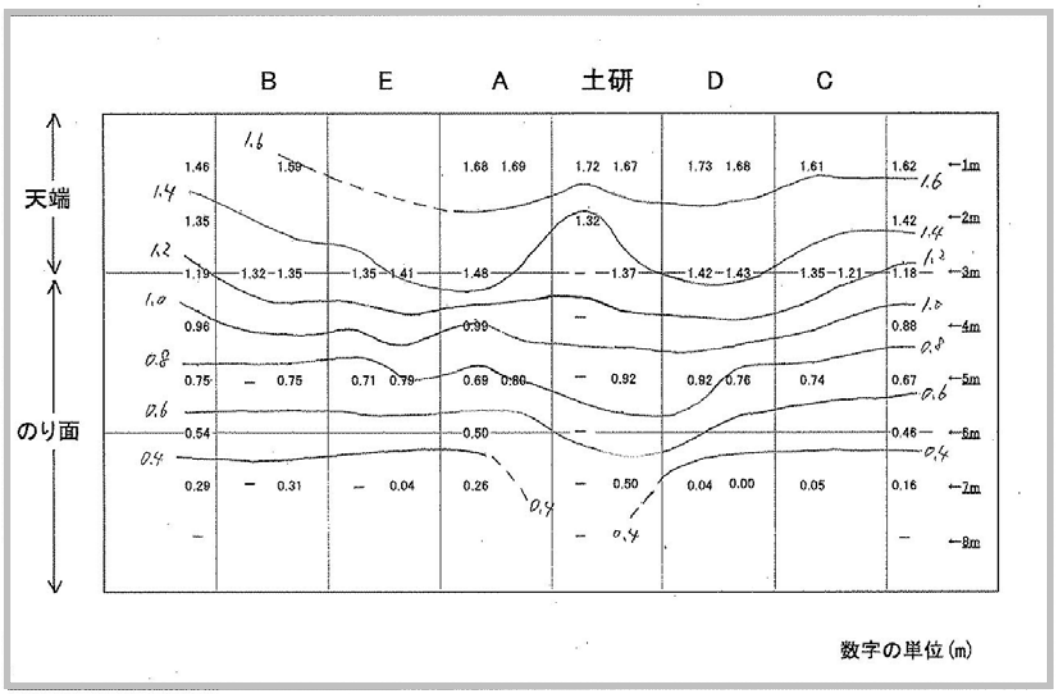


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

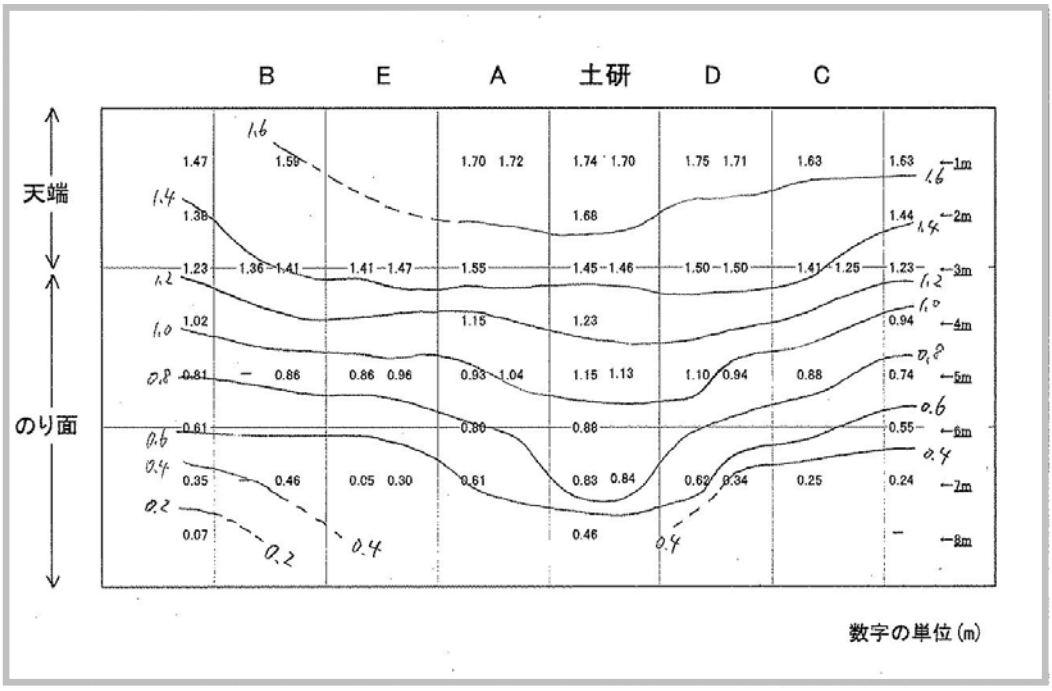


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第７回湛水実験（１）

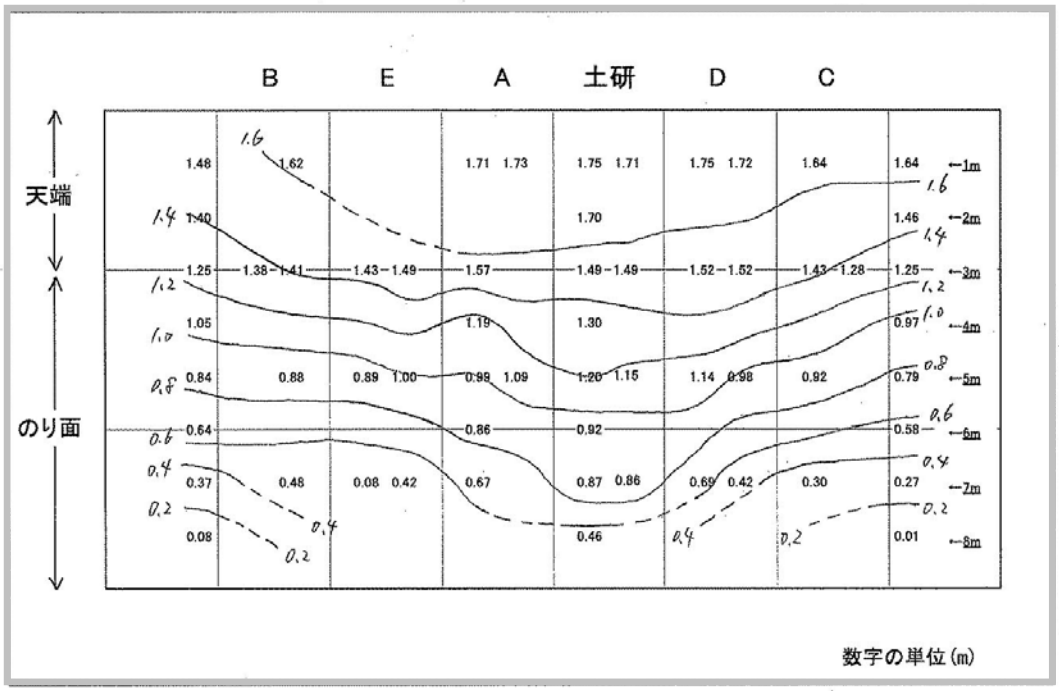


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

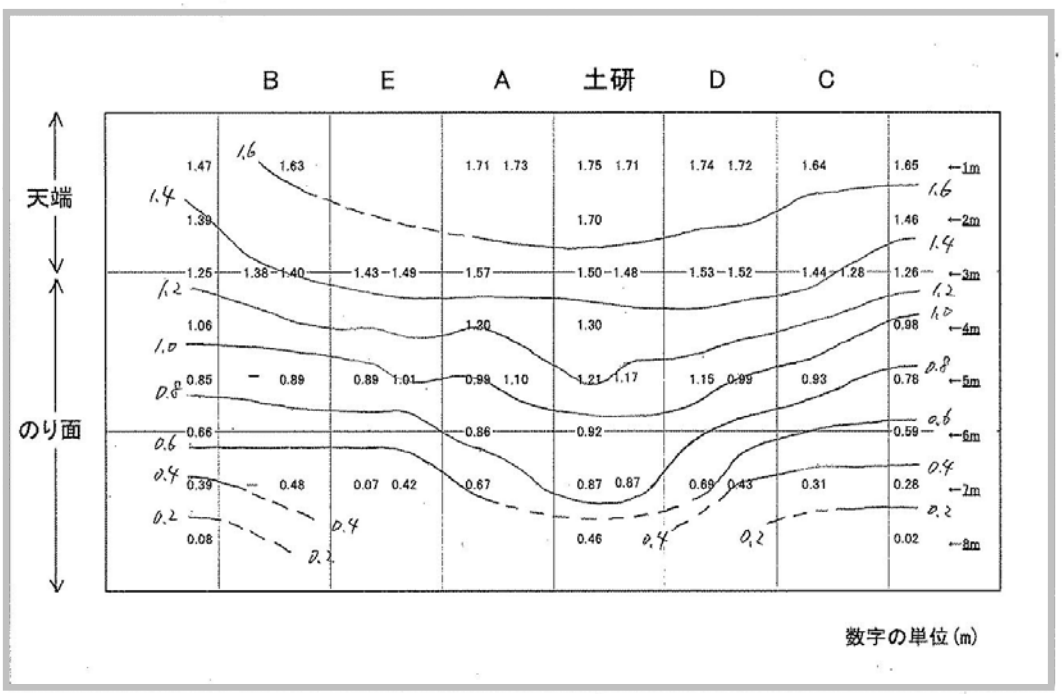


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第７回湛水実験（２）

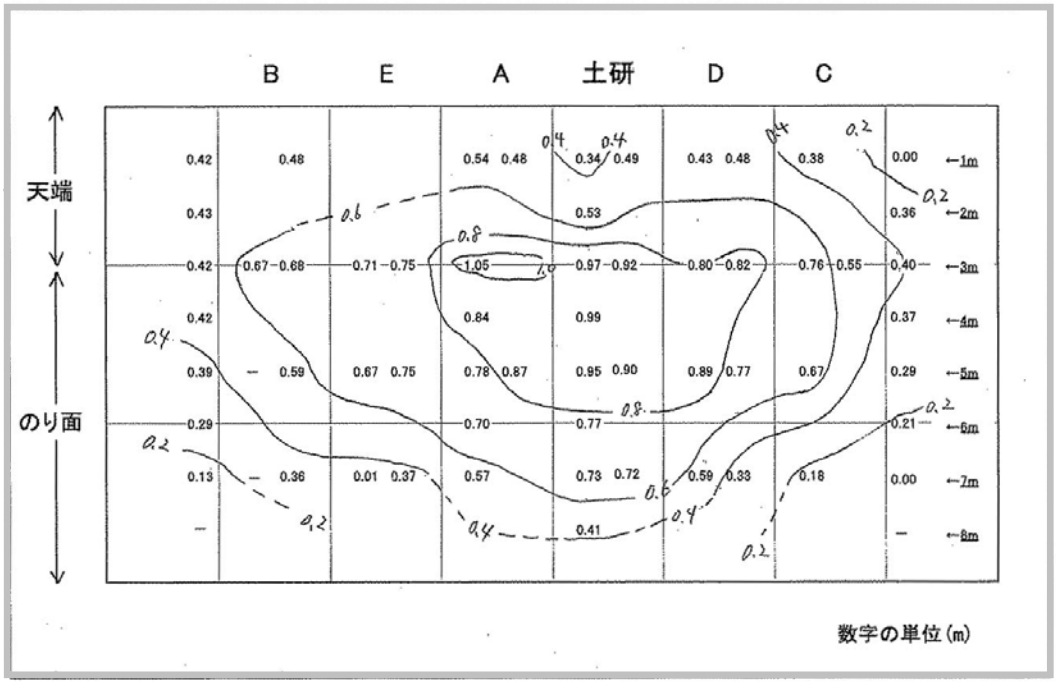


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

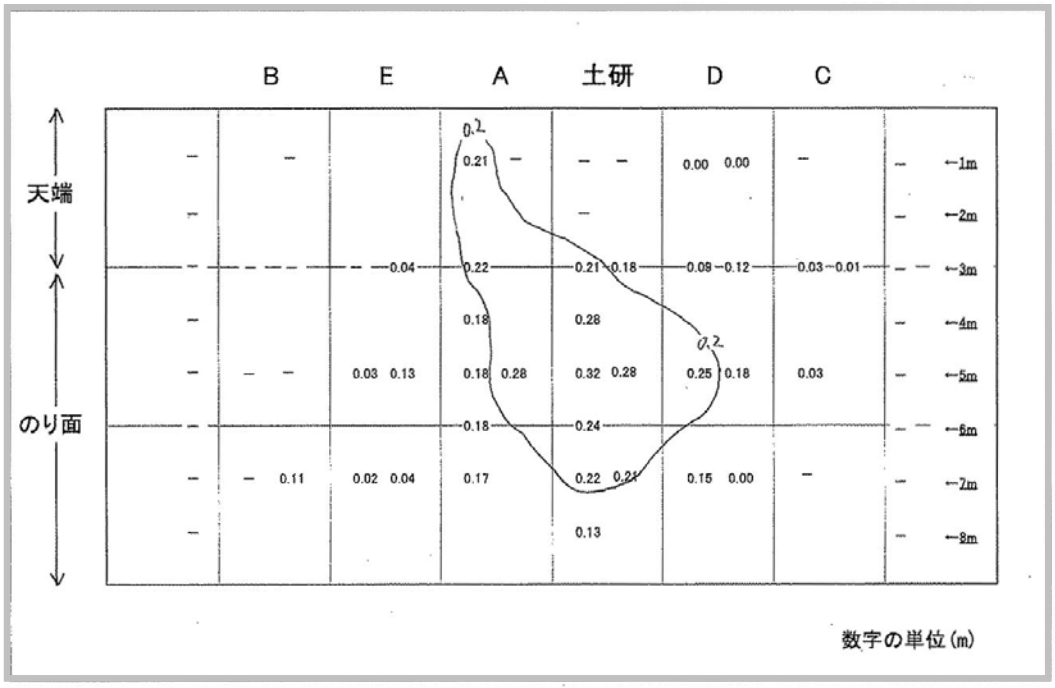


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第７回湛水実験（３）

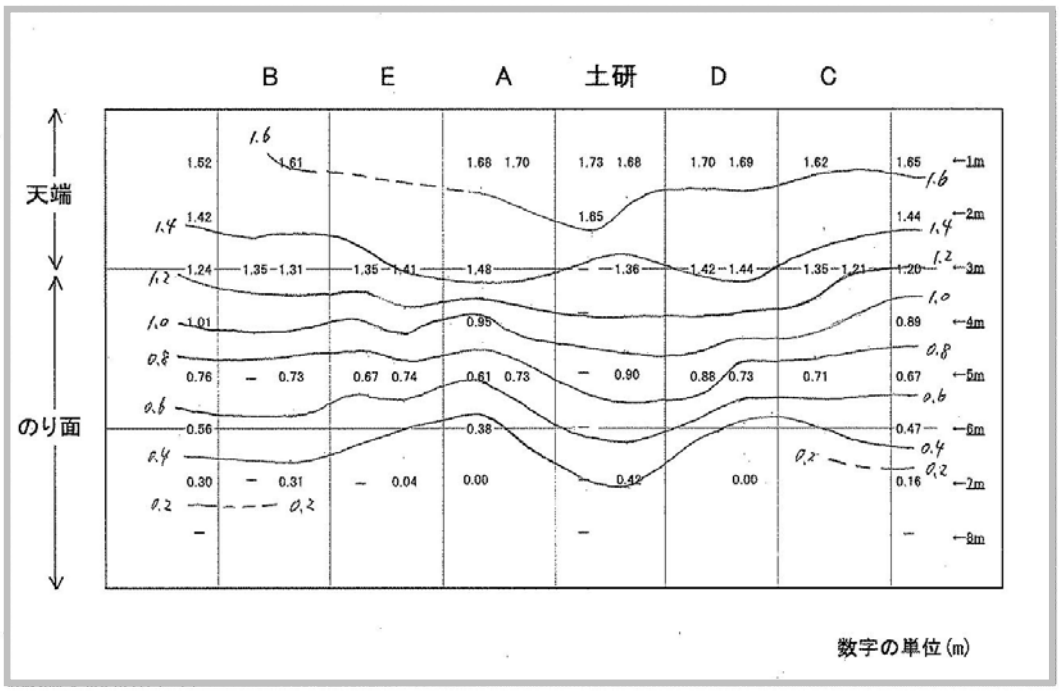


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

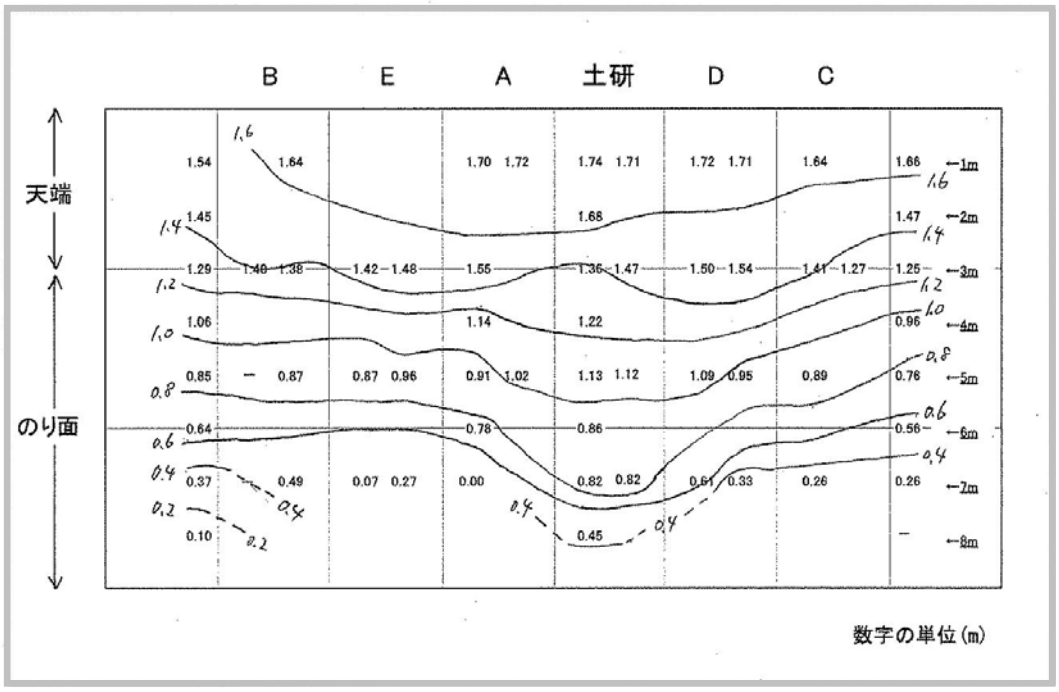


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第８回湛水実験（１）

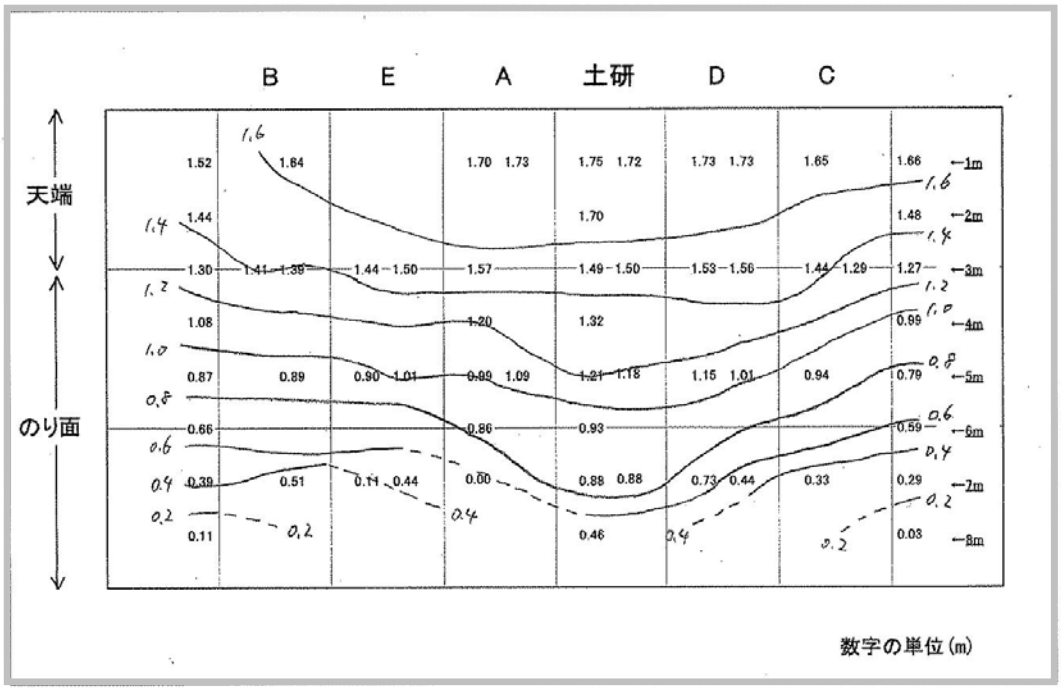


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

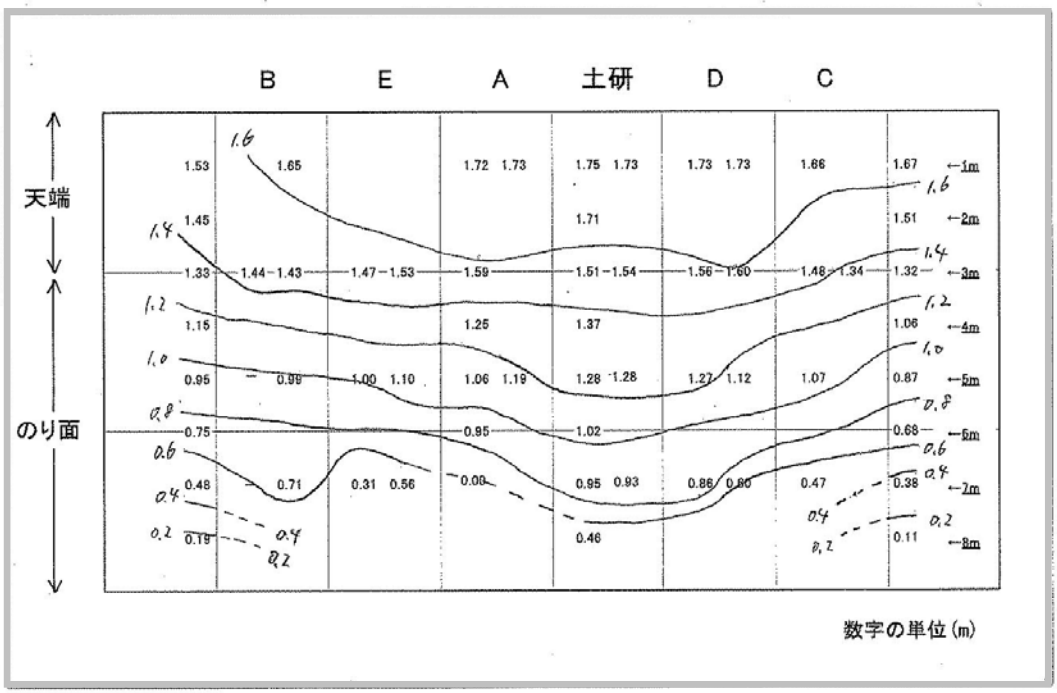


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第８回湛水実験（２）

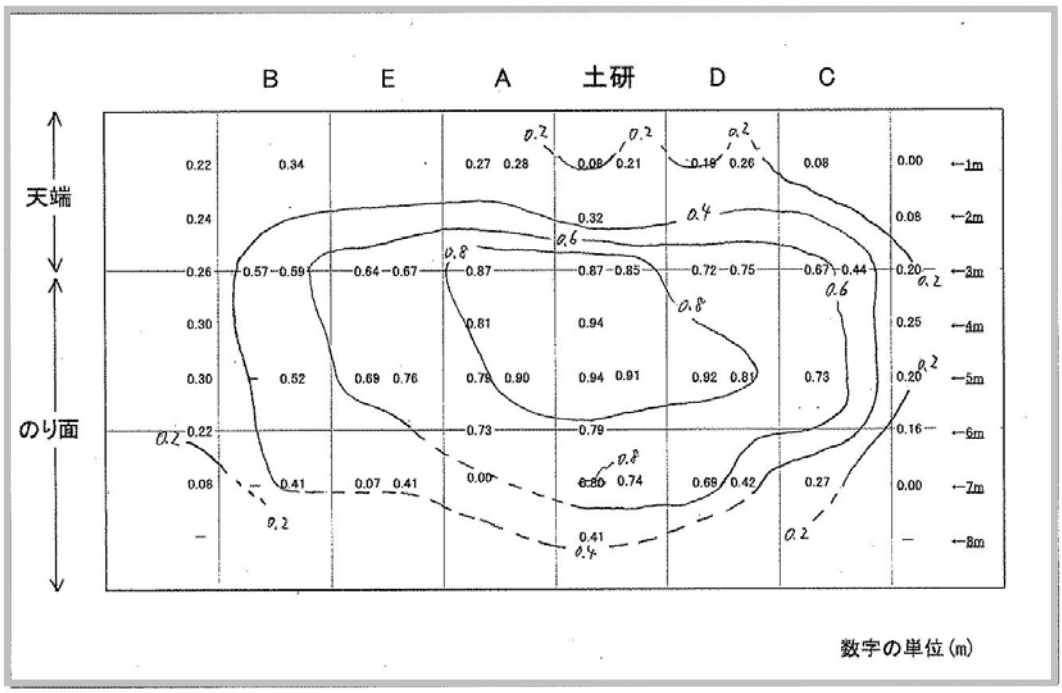


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

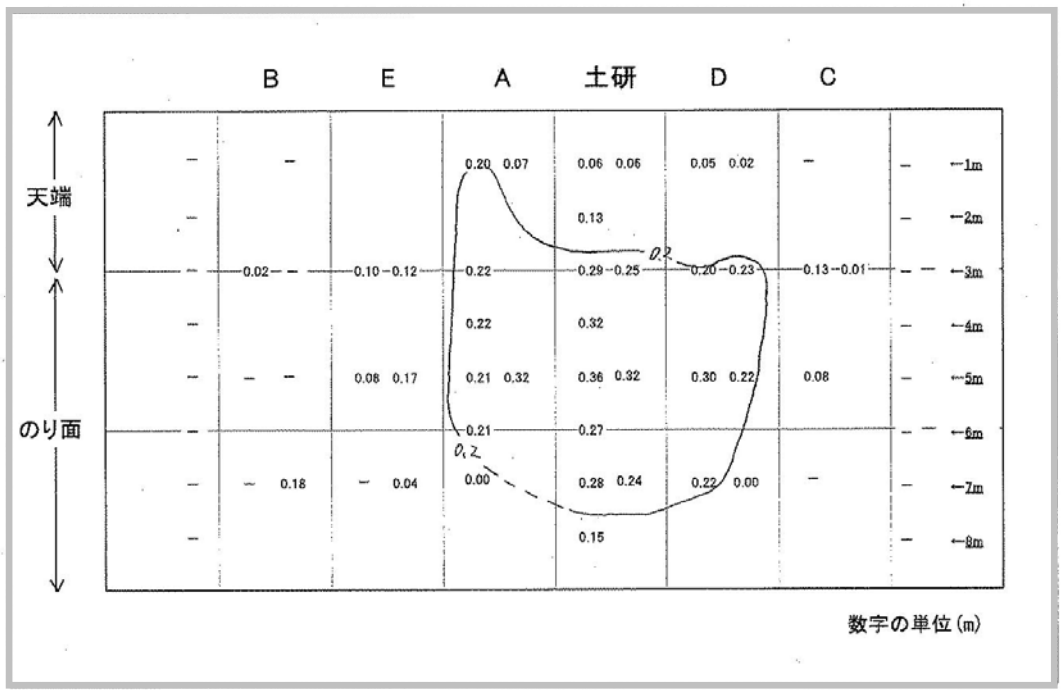


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第８回湛水実験（３）

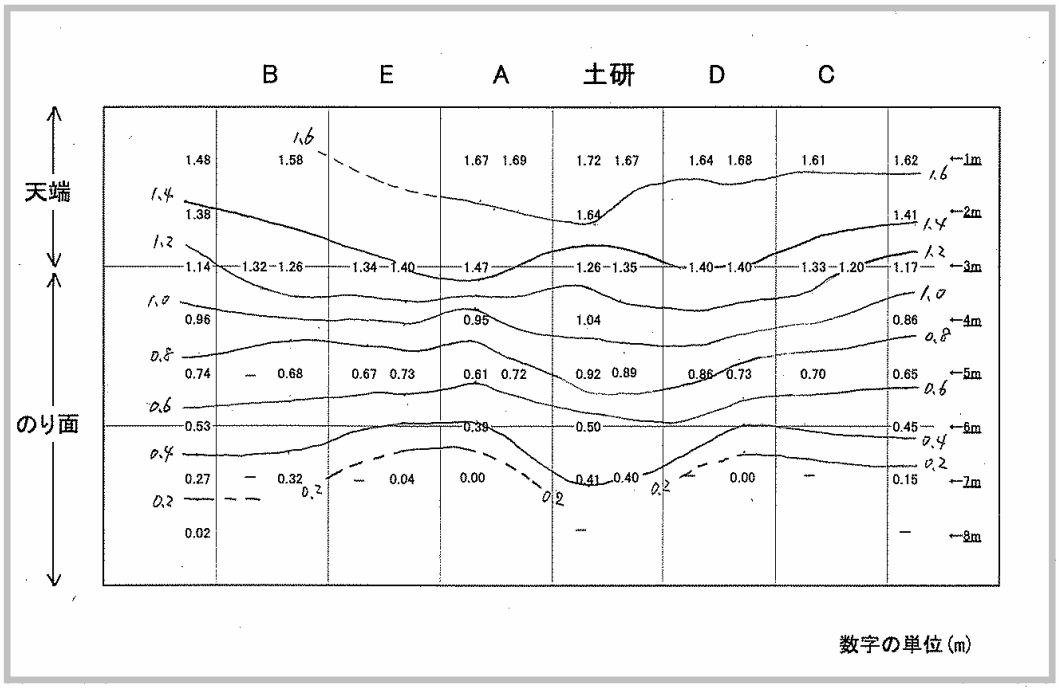


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

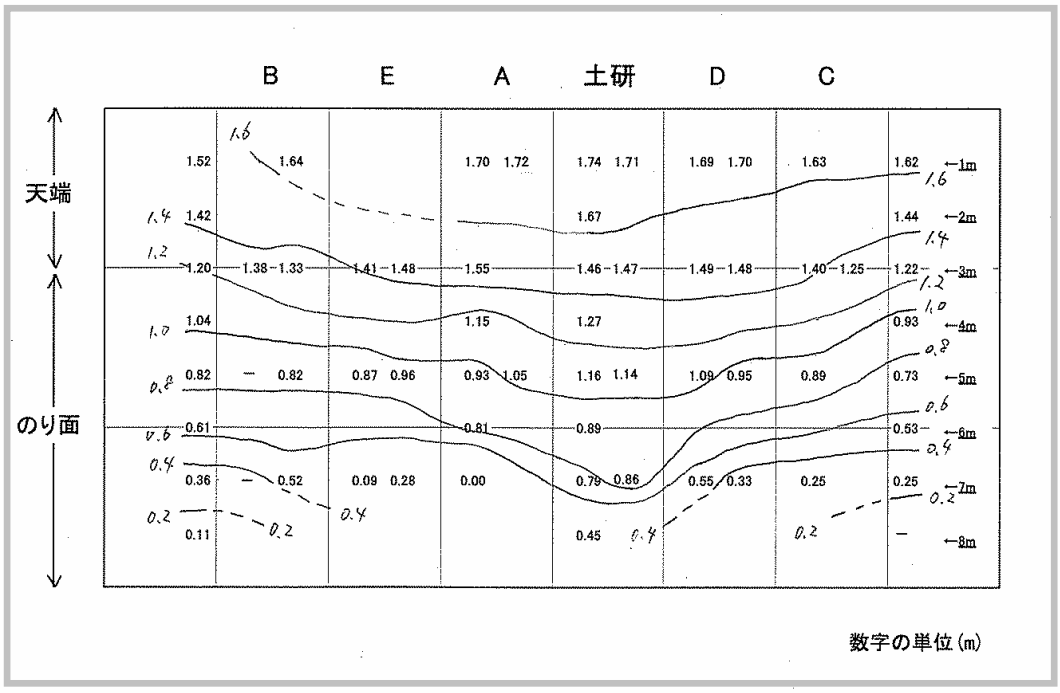


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第９回湛水実験（１）

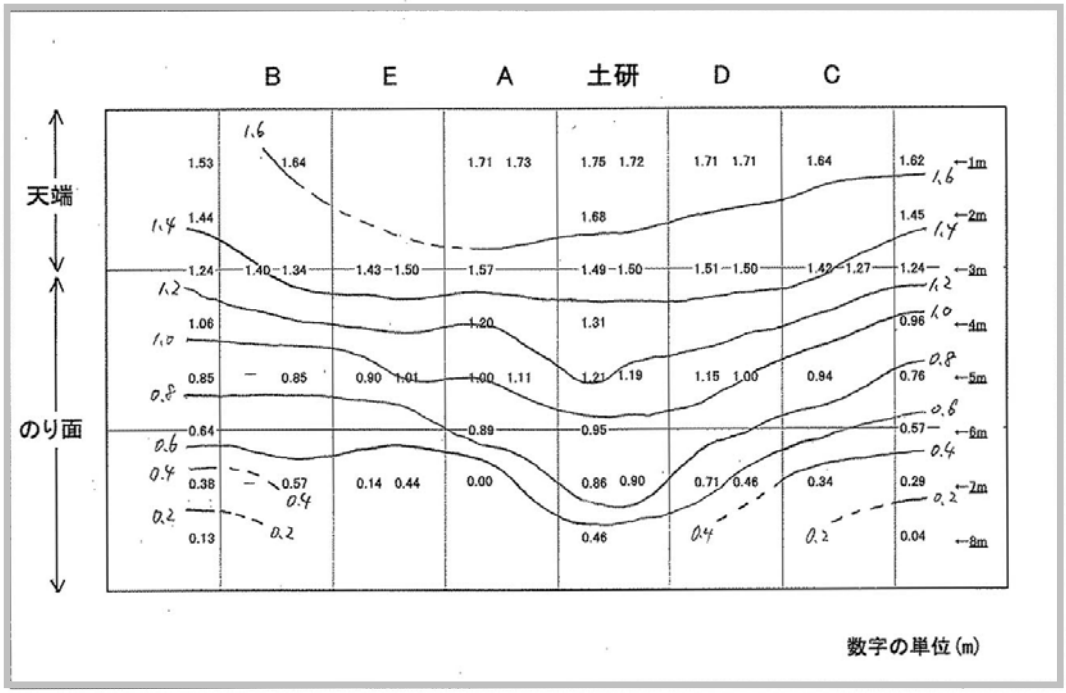


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

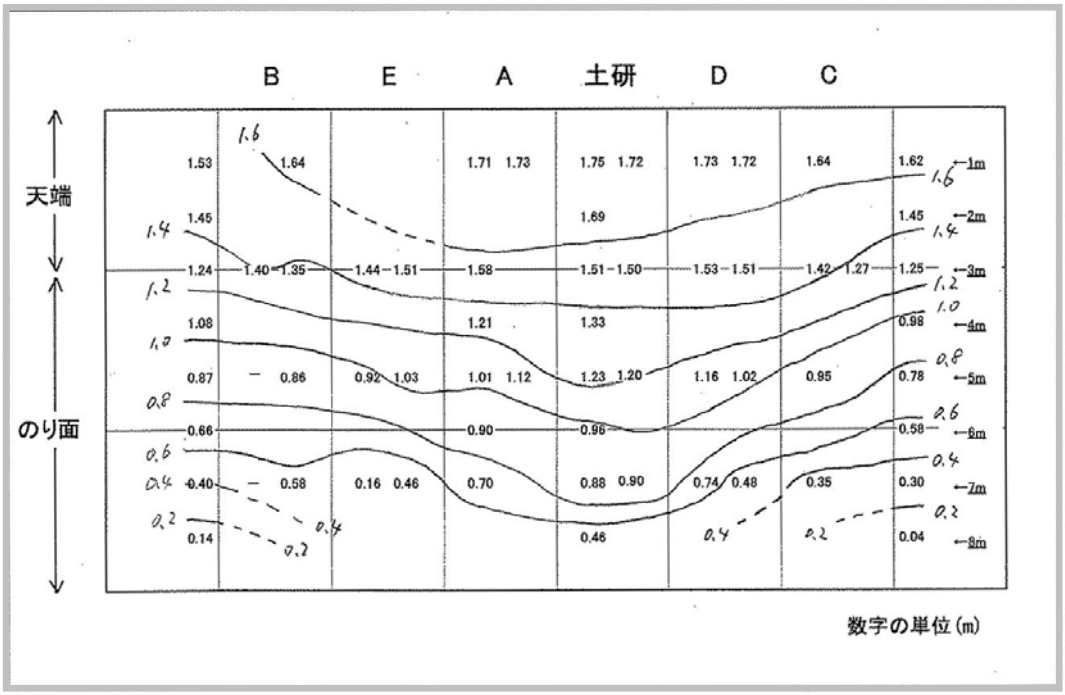


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第９回湛水実験（２）

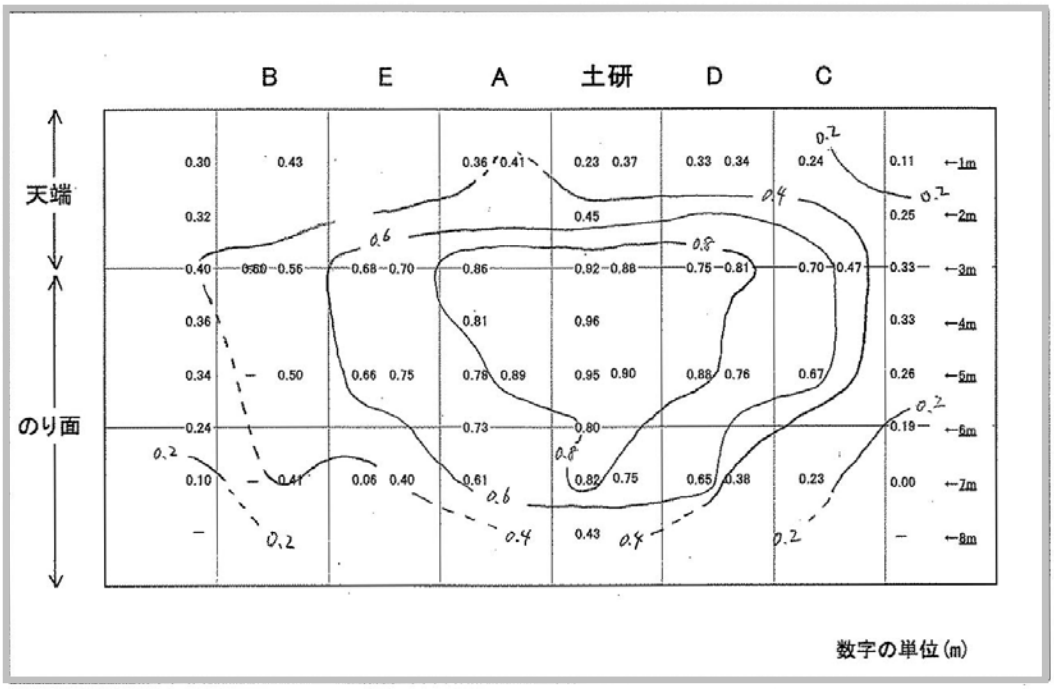


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

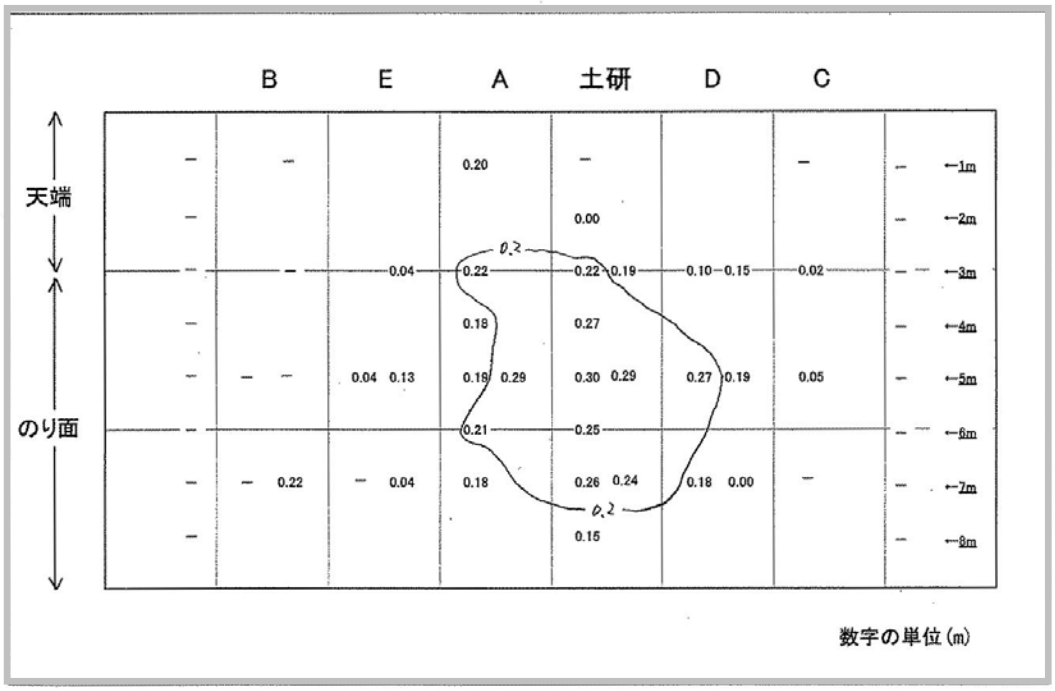


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第９回湛水実験（３）

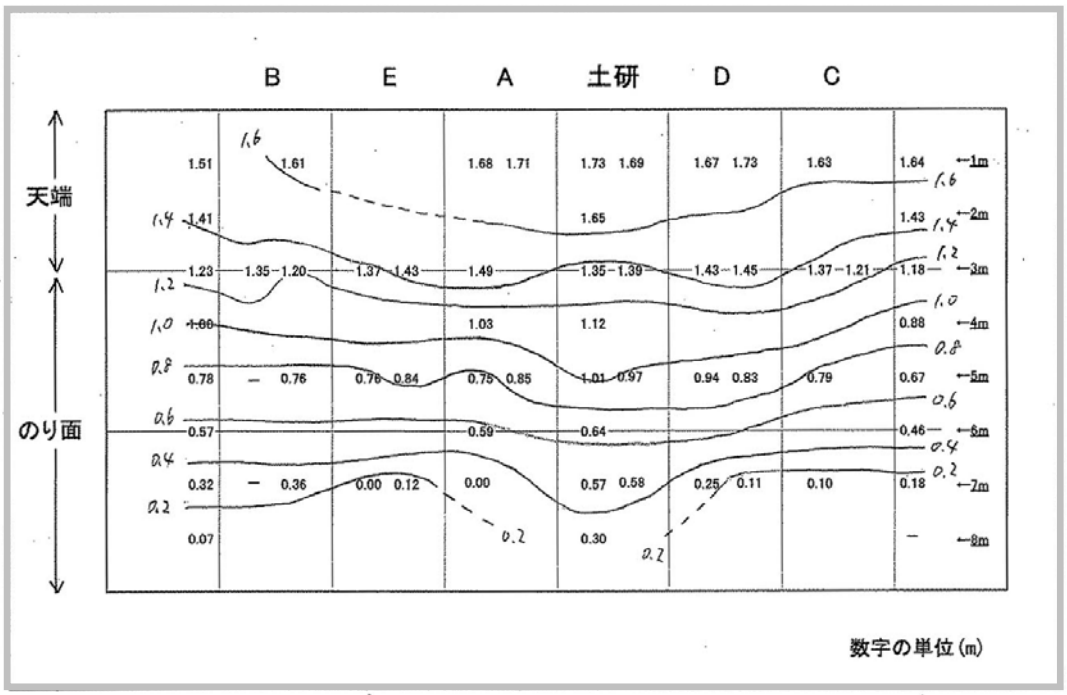


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

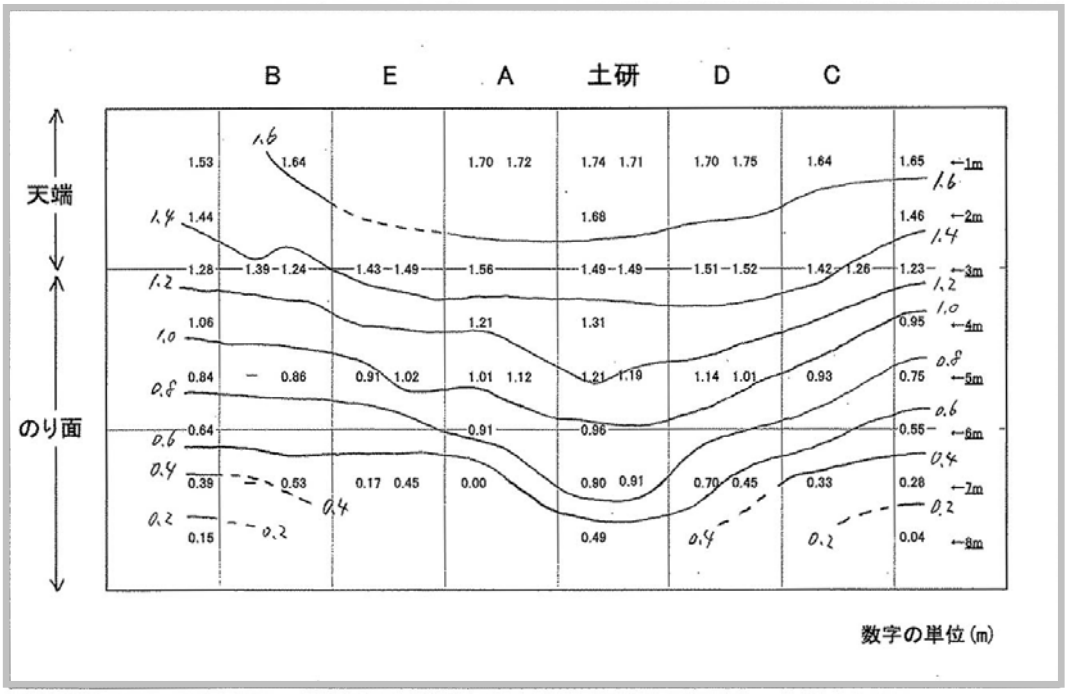


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位コンター図：第 10 回湛水実験（１）

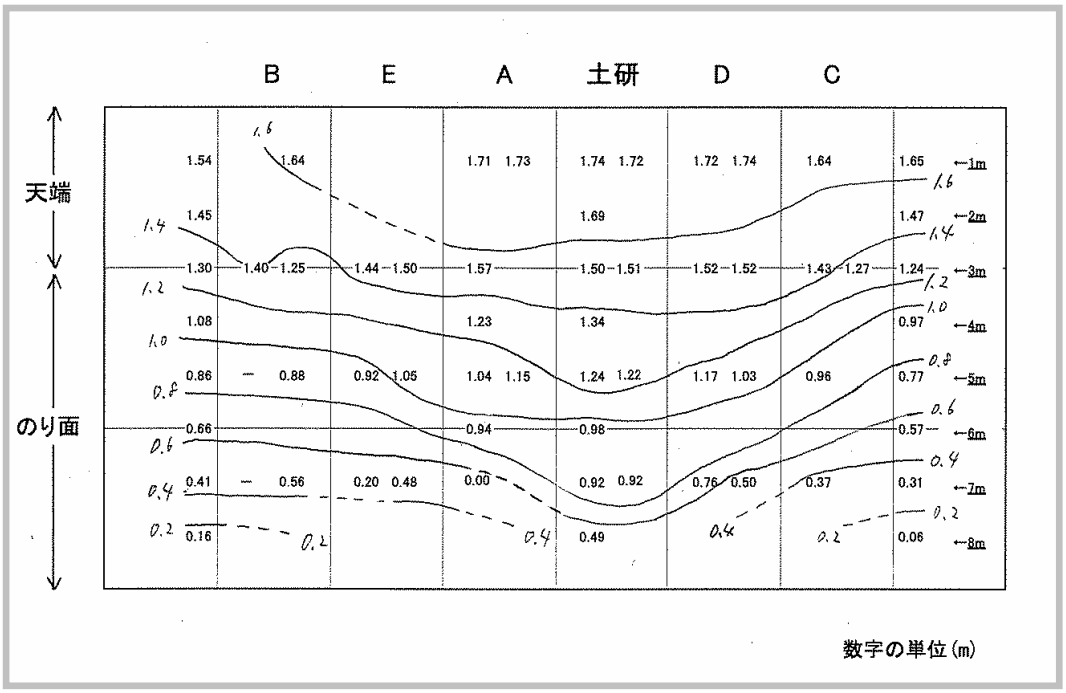


水位コンター図①（外水位一定後 24hr 経過）

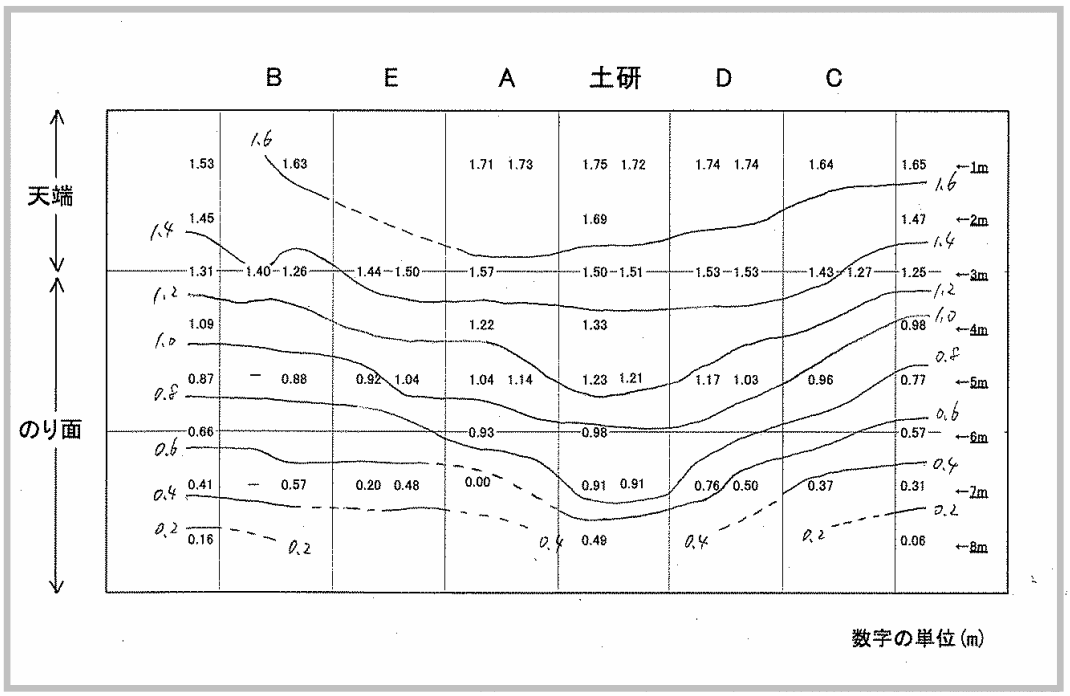


水位コンター図②（外水位一定後 48hr 経過）

水位コンター図：第 10 回湛水実験（２）

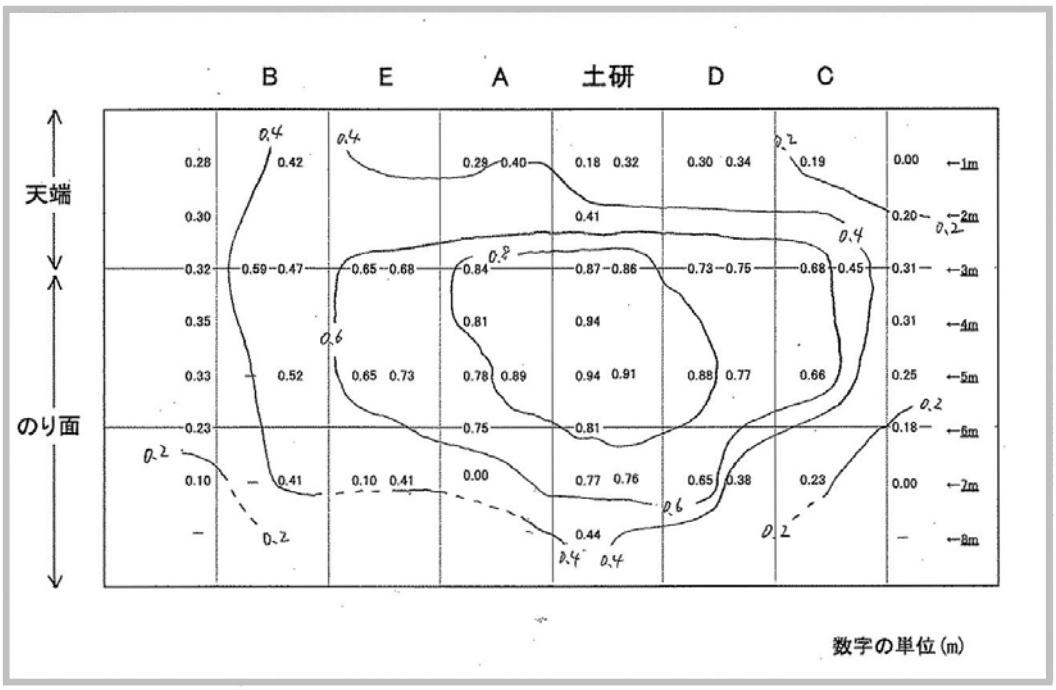


水位コンター図③（外水位一定後 72hr 経過）

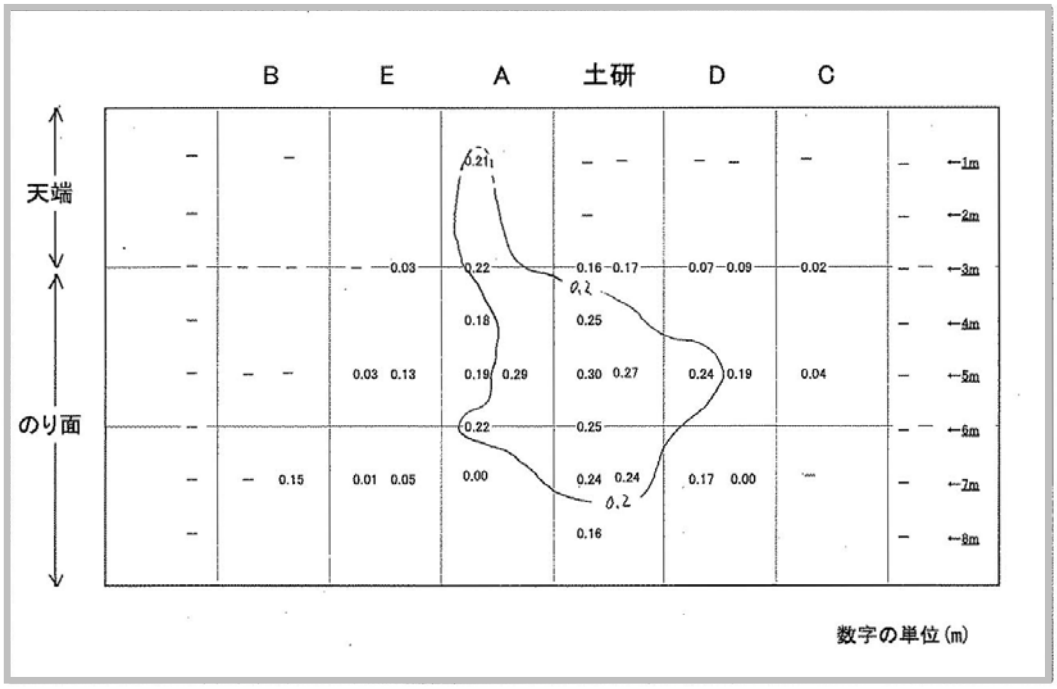


水位コンター図④（外水位一定後 96hr 経過）

水位コンター図：第 10 回湛水実験（３）

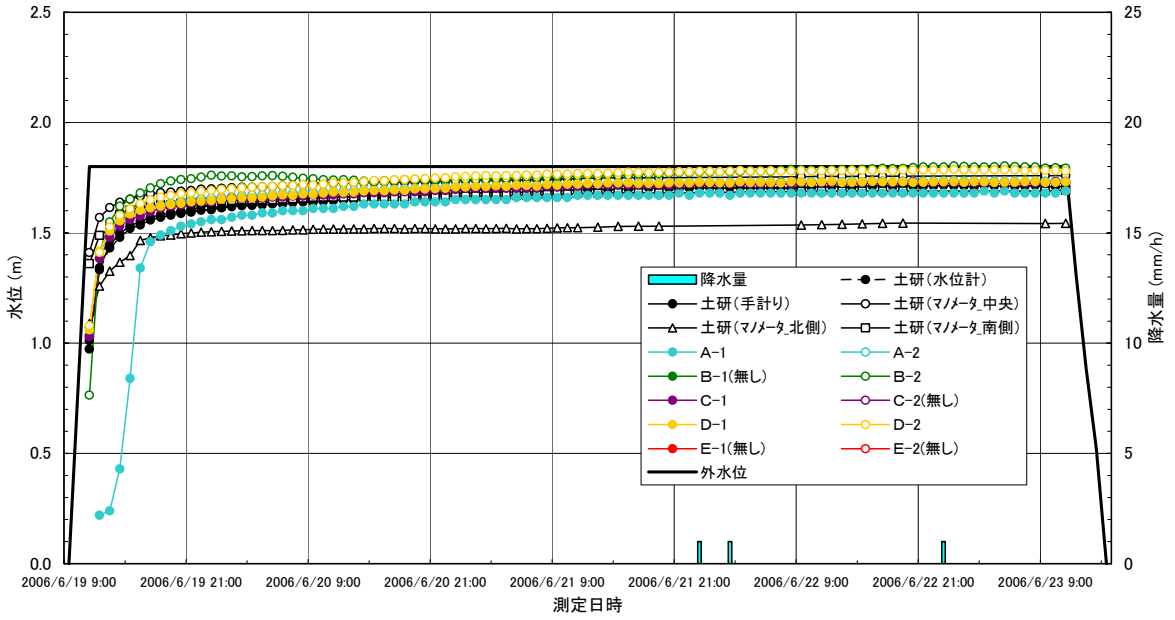


水位コンター図⑤（外水位低下後 8hr 経過）

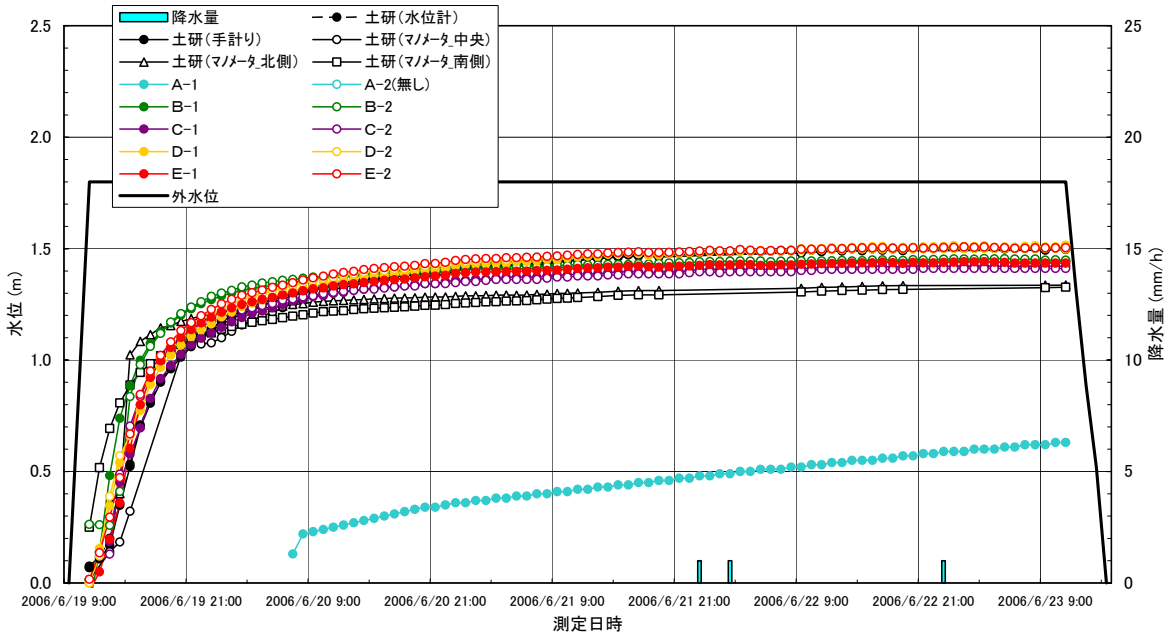


水位コンター図⑥（外水位低下後 72hr 経過）

水位経時変化図：第１回湛水実験（１）

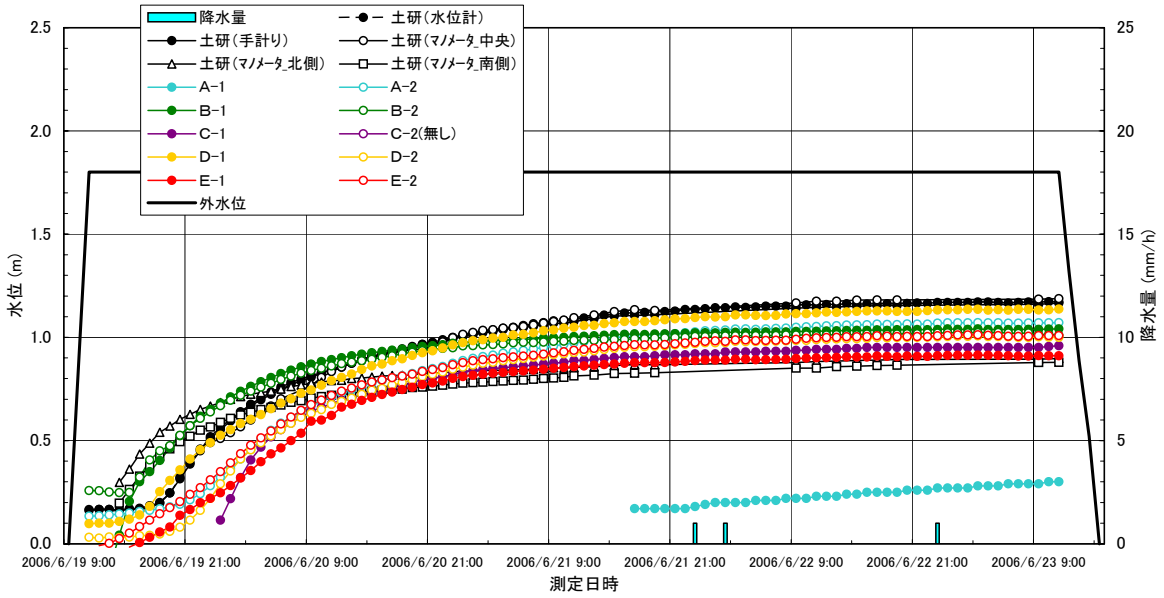


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

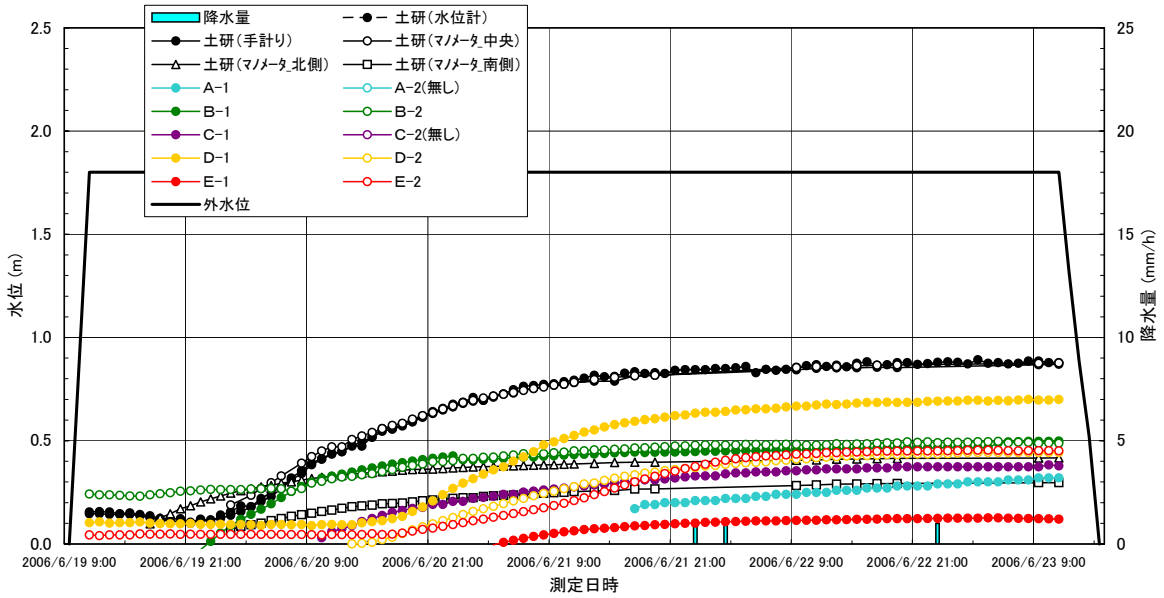


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第１回湛水実験（２）

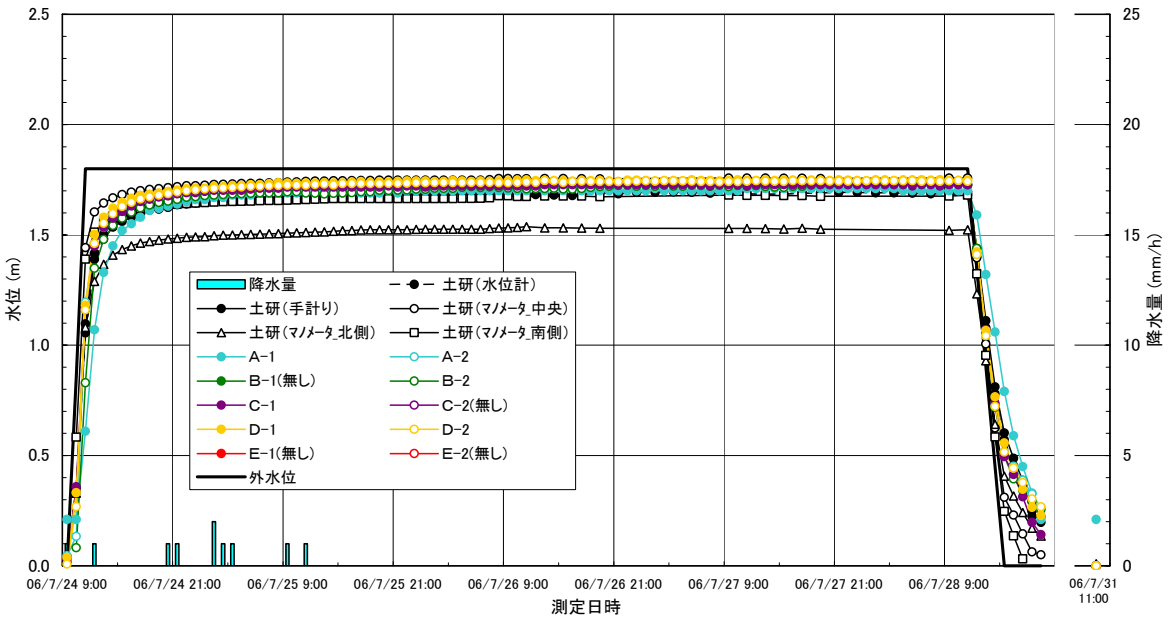


観測地点別の水位変化図(地点③_のり肩＋2m)

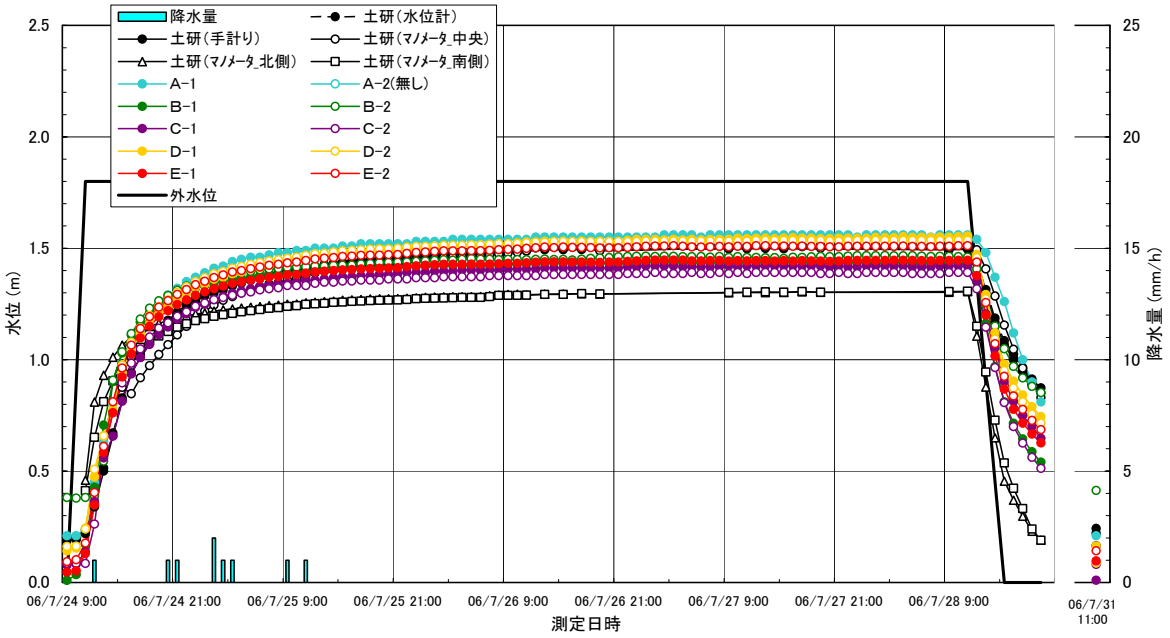


観測地点別の水位変化図(地点④_のり肩＋4m)

水位経時変化図：第２回湛水実験（１）

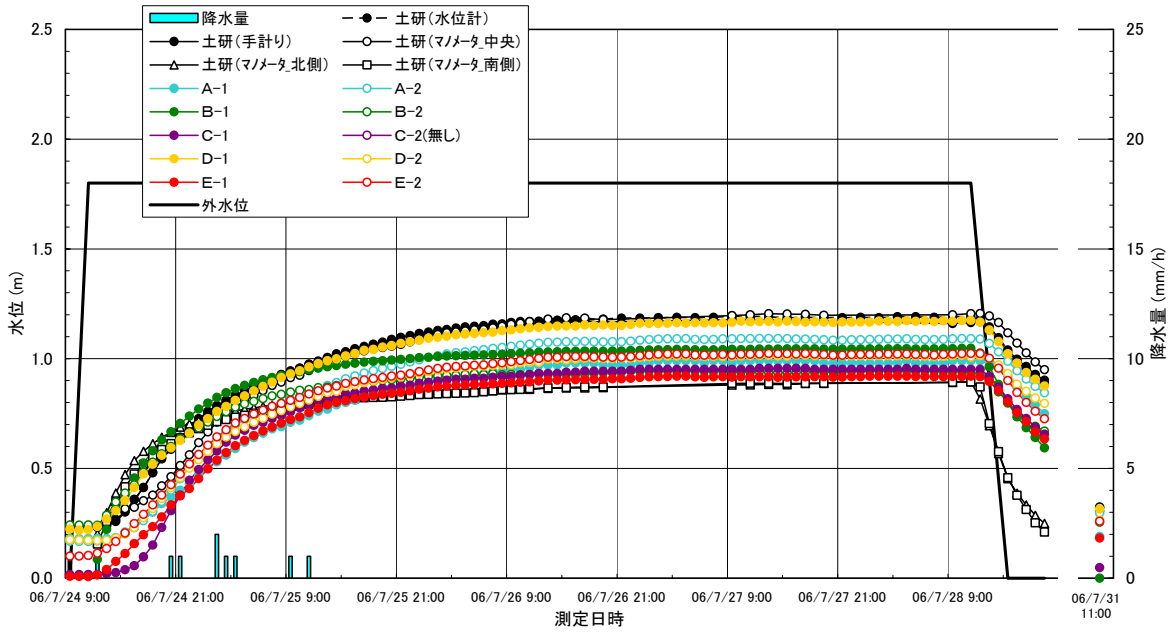


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

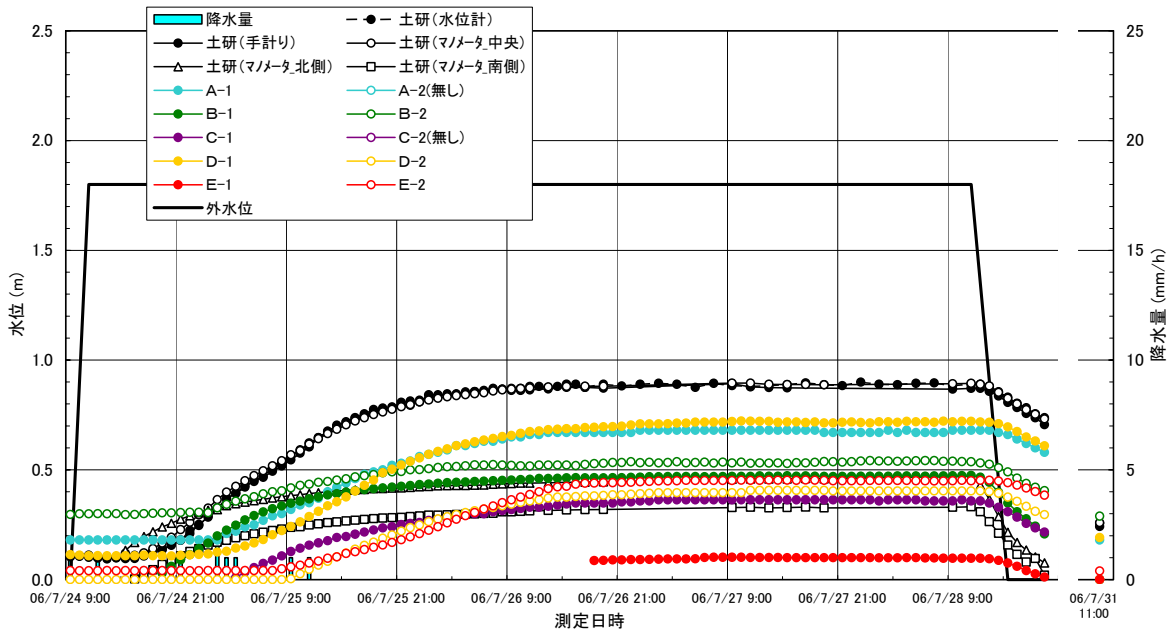


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第２回湛水実験（２）

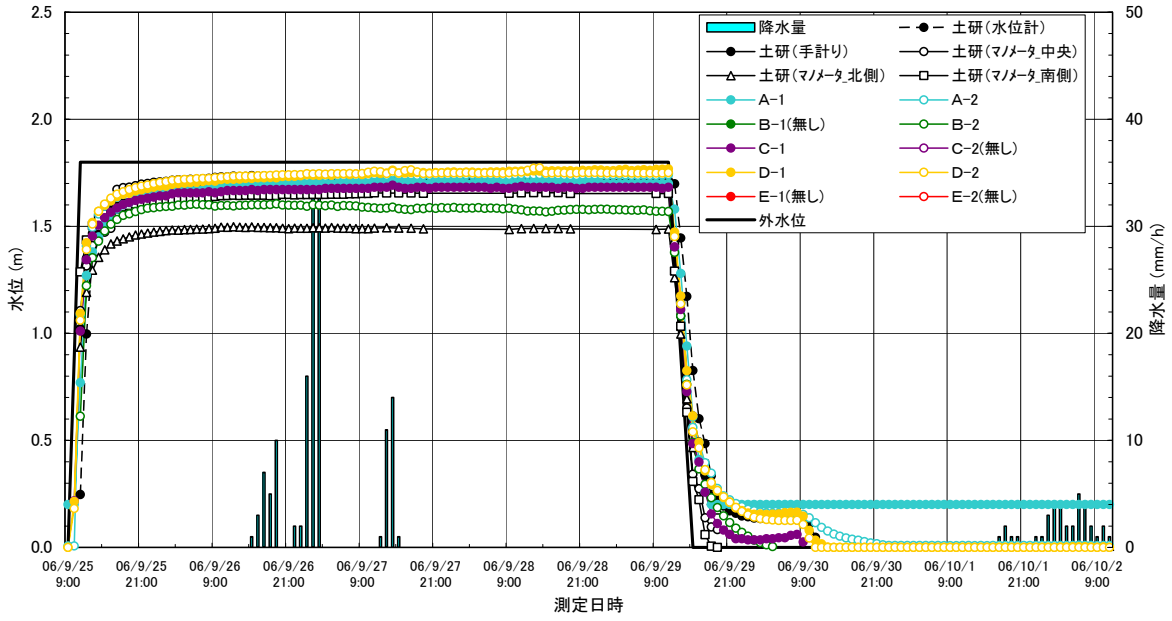


観測地点別の水位変化図(地点③_のり肩＋2m)

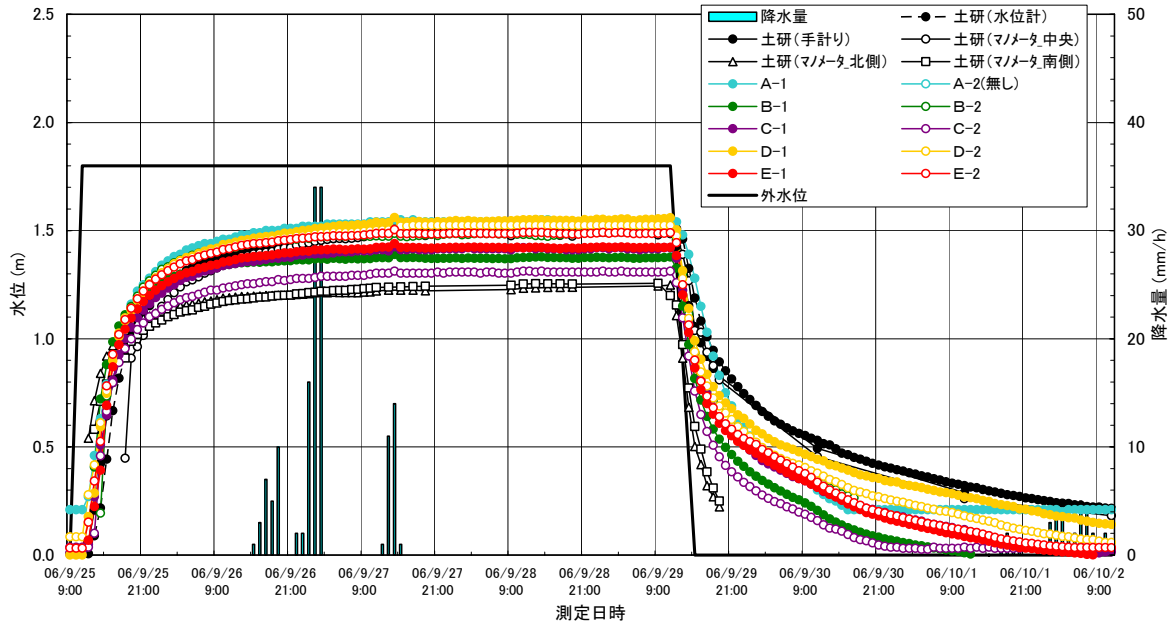


観測地点別の水位変化図(地点④_のり肩＋4m)

水位経時変化図：第３回湛水実験（１）

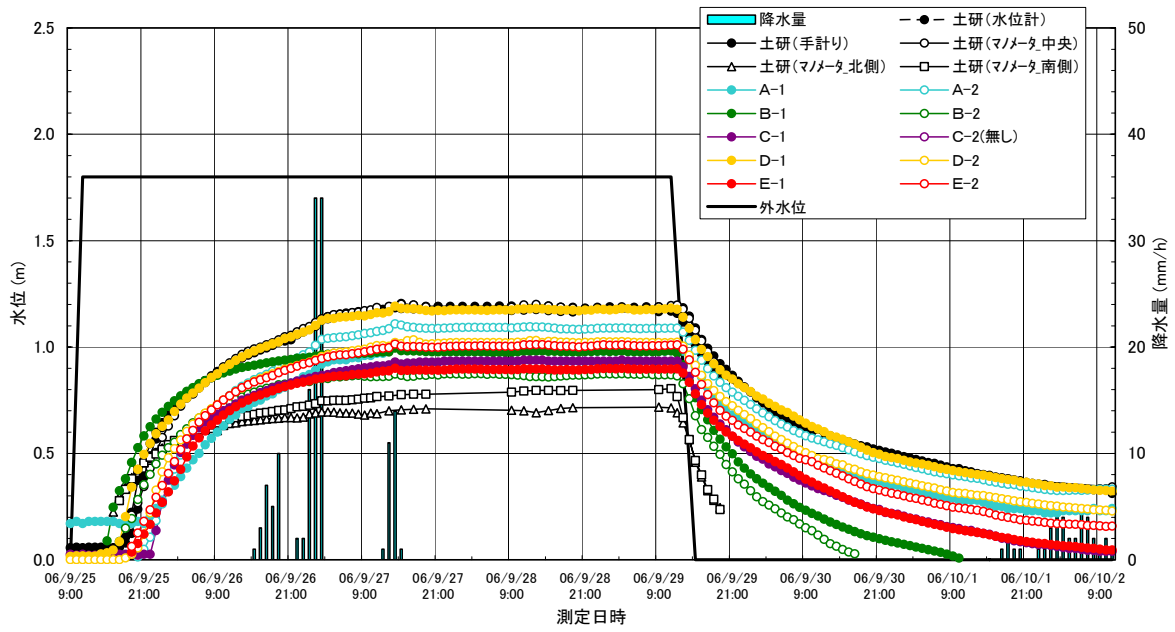


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

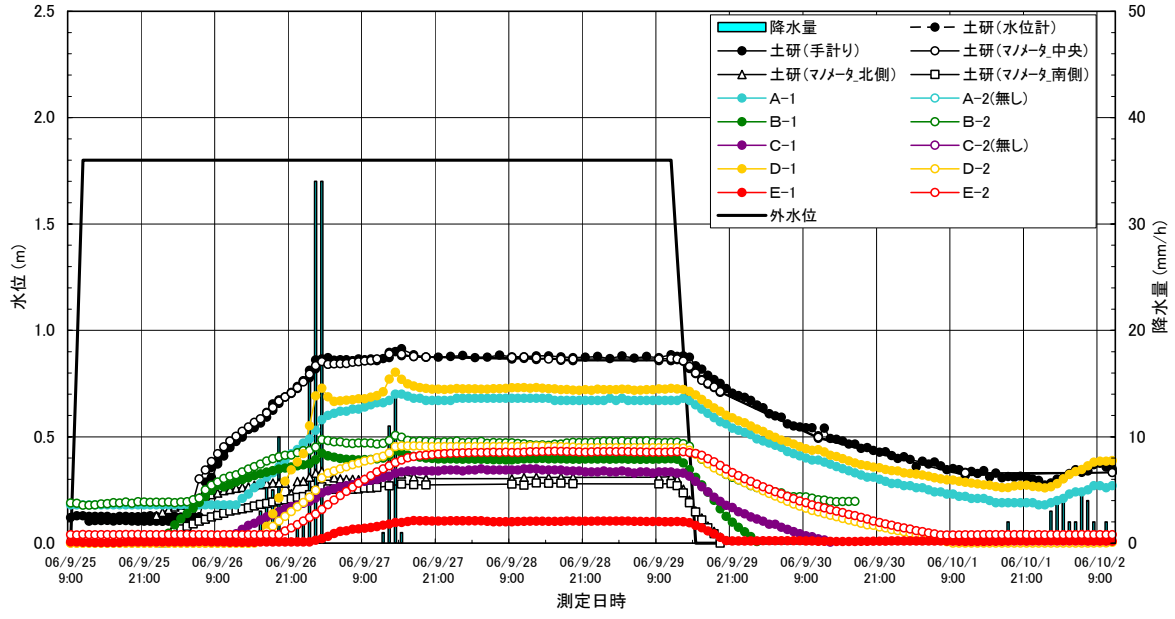


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第３回湛水実験（２）

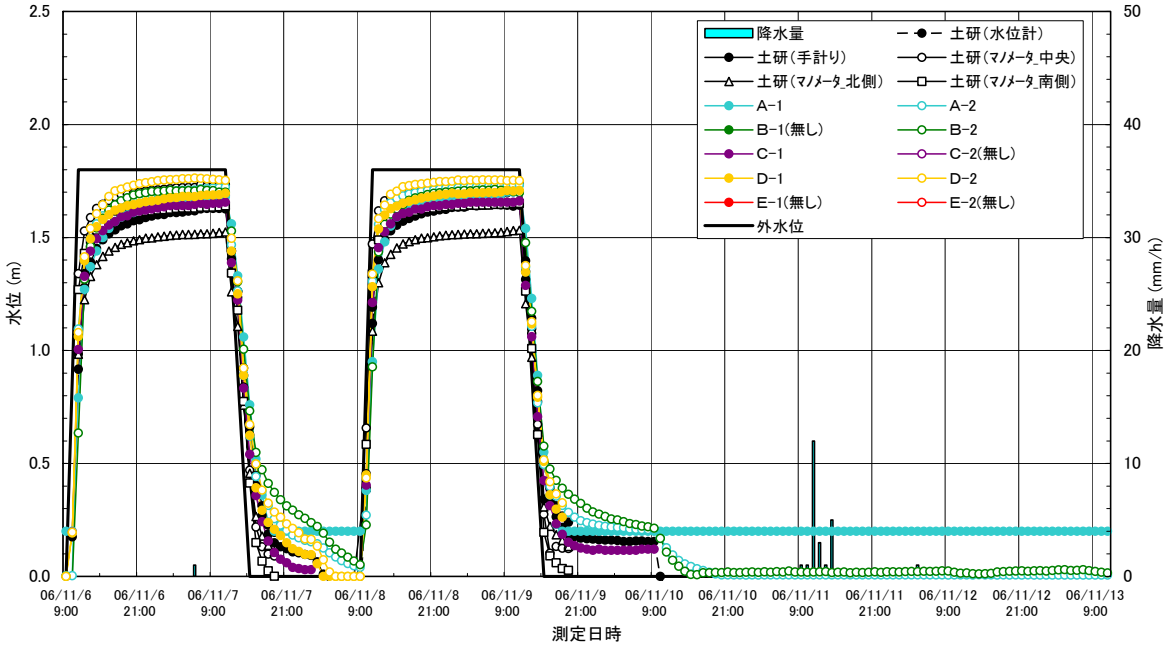


観測地点別の水位変化図(地点③_のり肩＋2m)

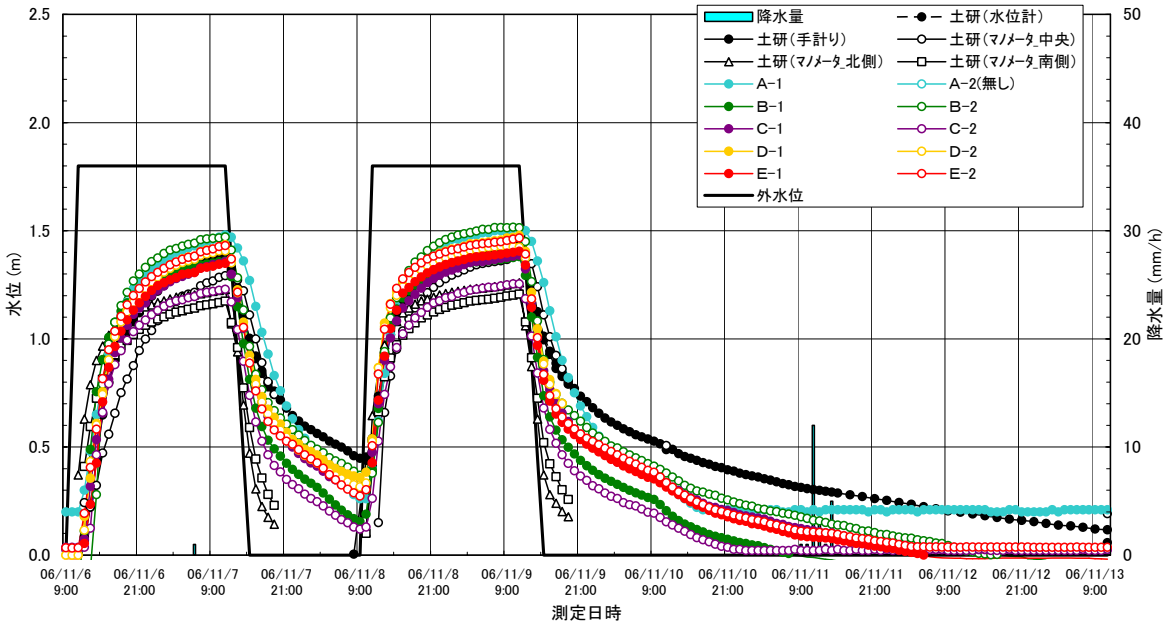


観測地点別の水位変化図(地点④_のり肩＋4m)

水位経時変化図：第４回湛水実験（１）

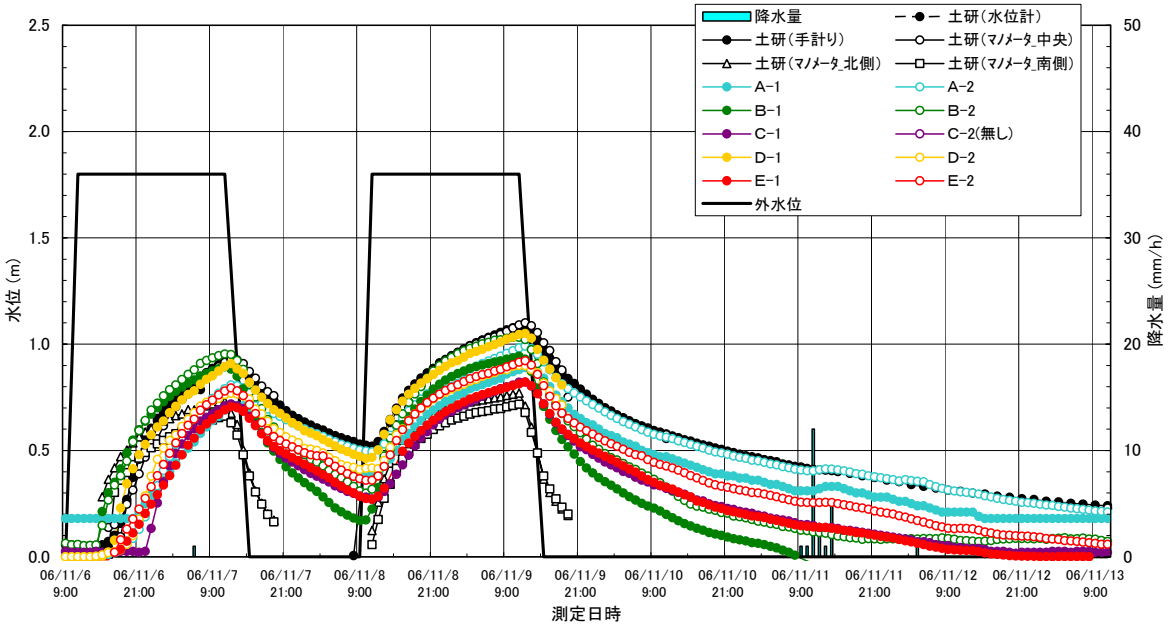


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

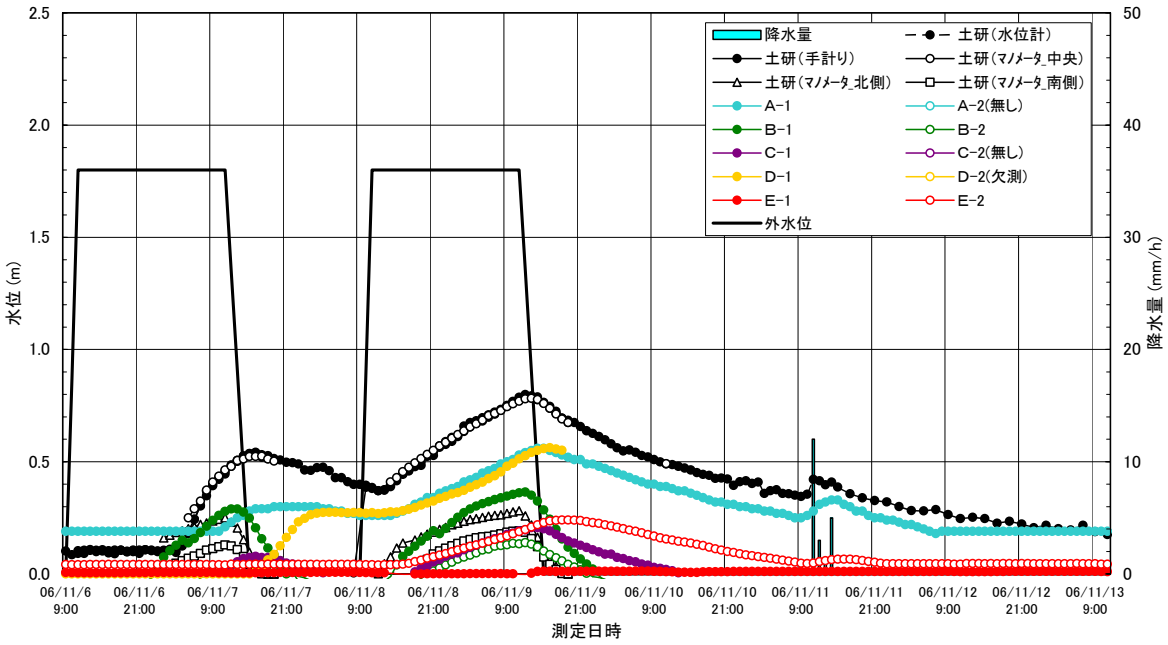


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第４回湛水実験（２）

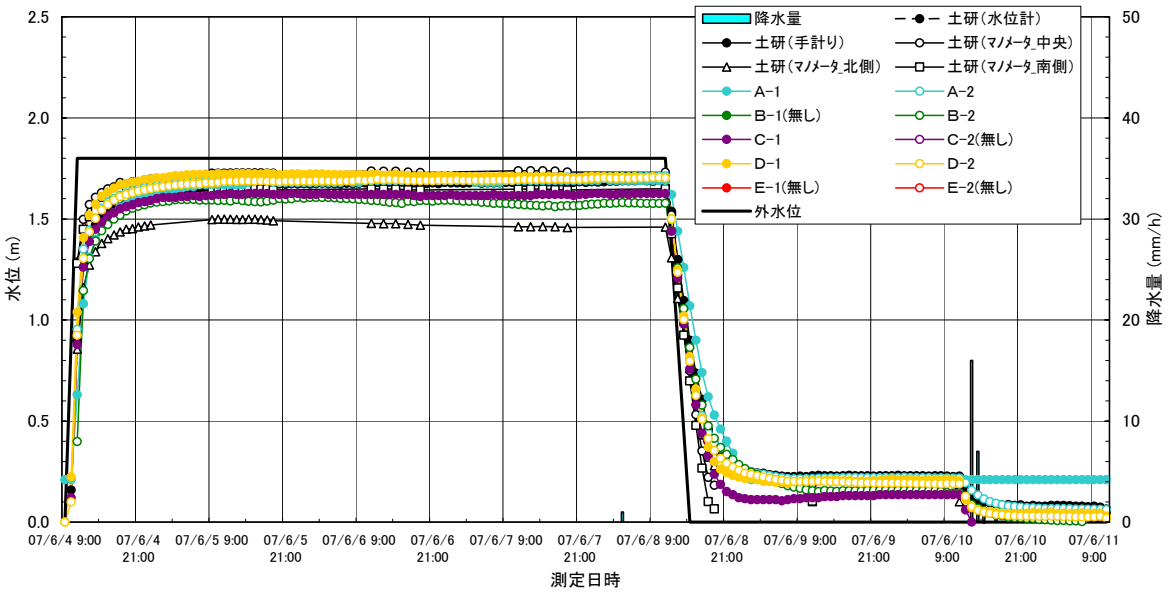


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

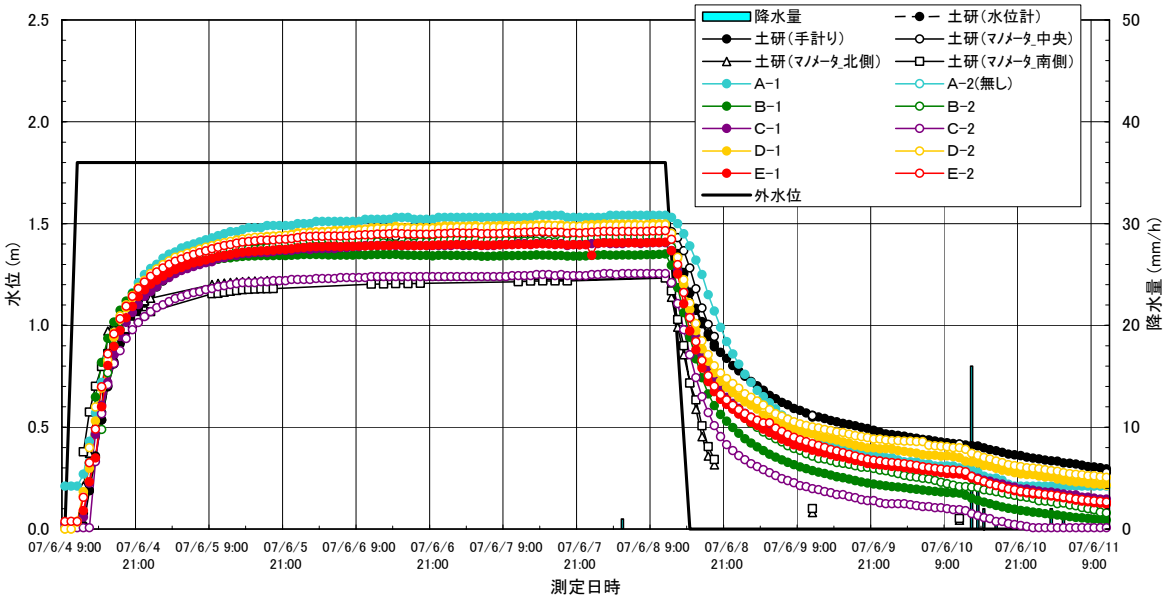


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第５回湛水実験（１）

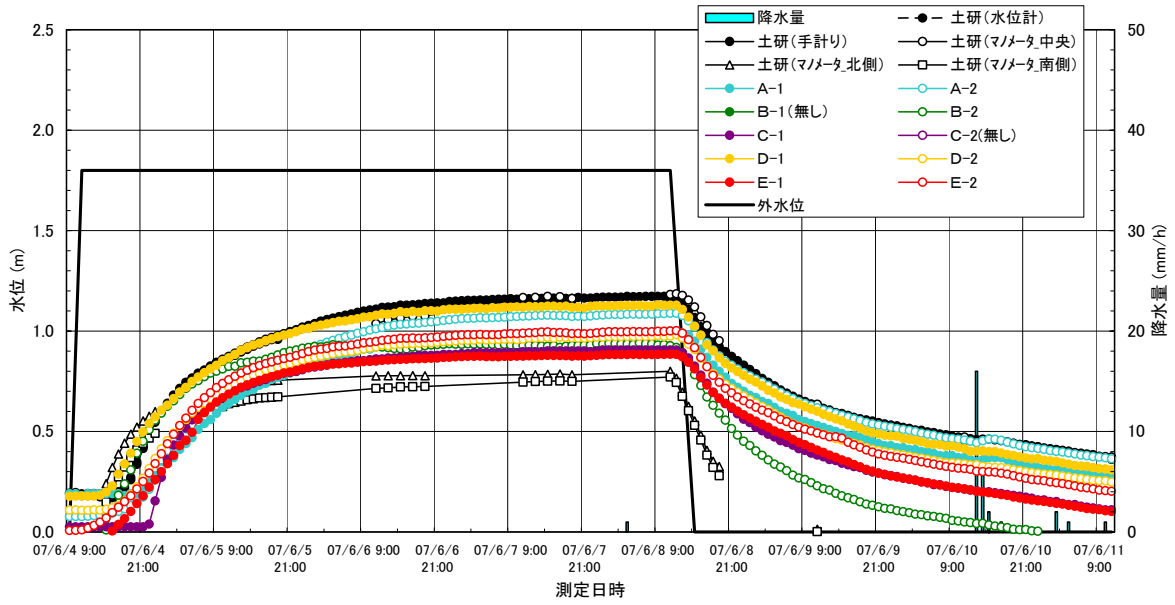


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

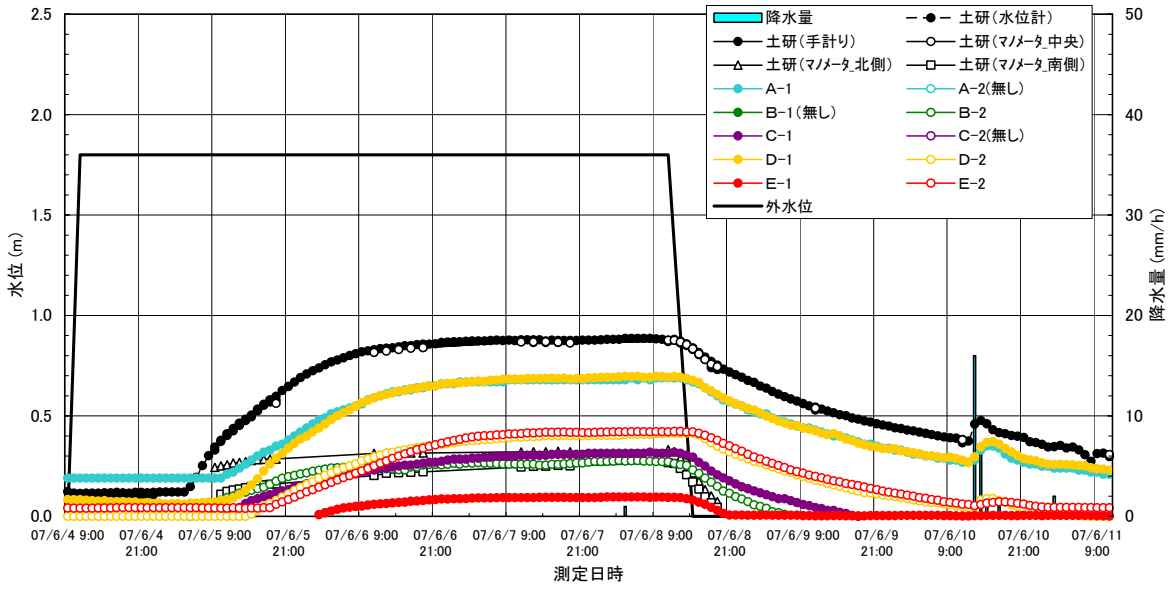


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第５回湛水実験（２）

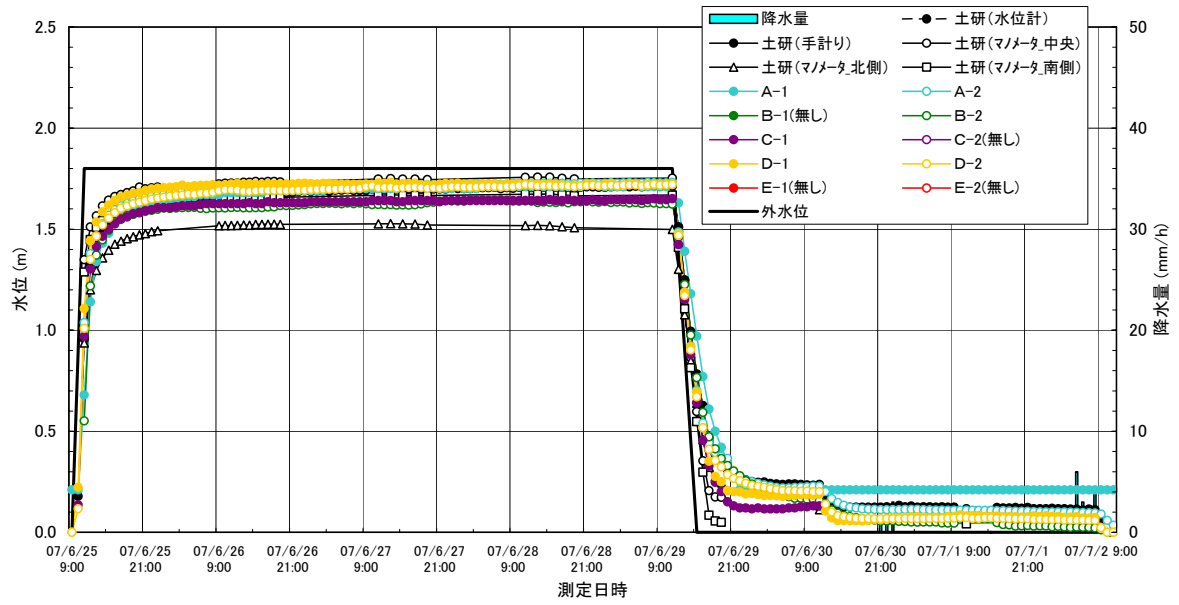


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

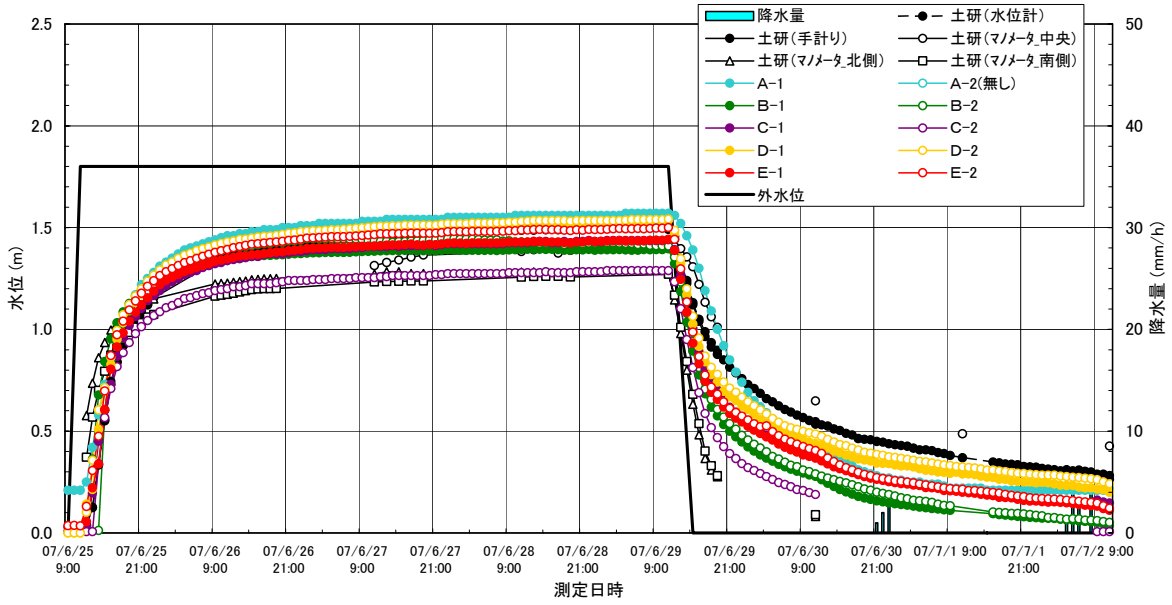


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第６回湛水実験（１）

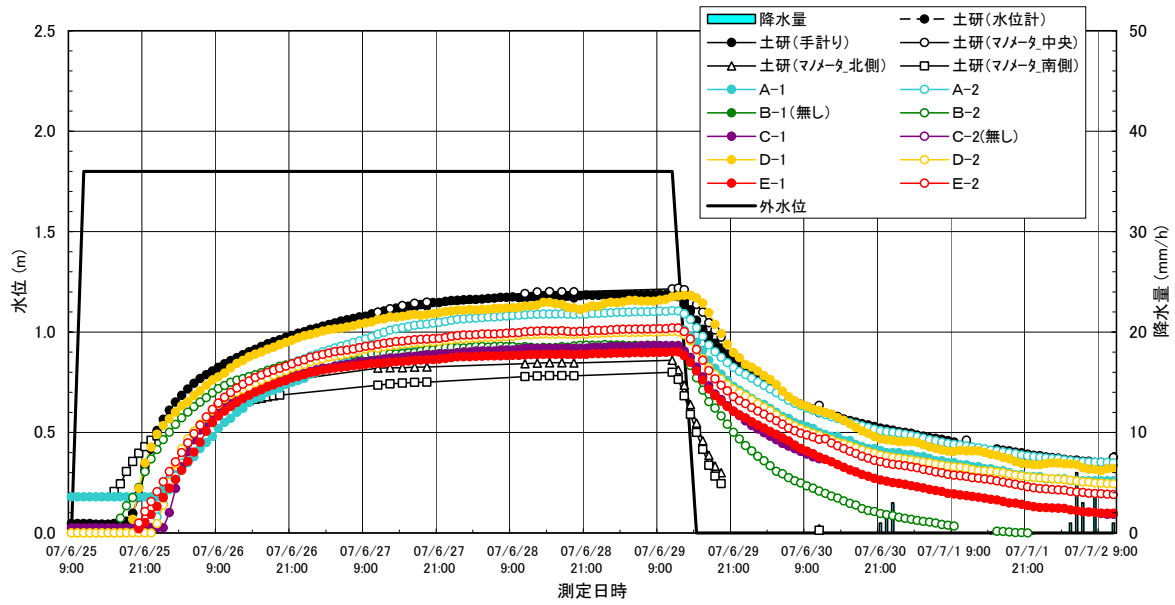


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

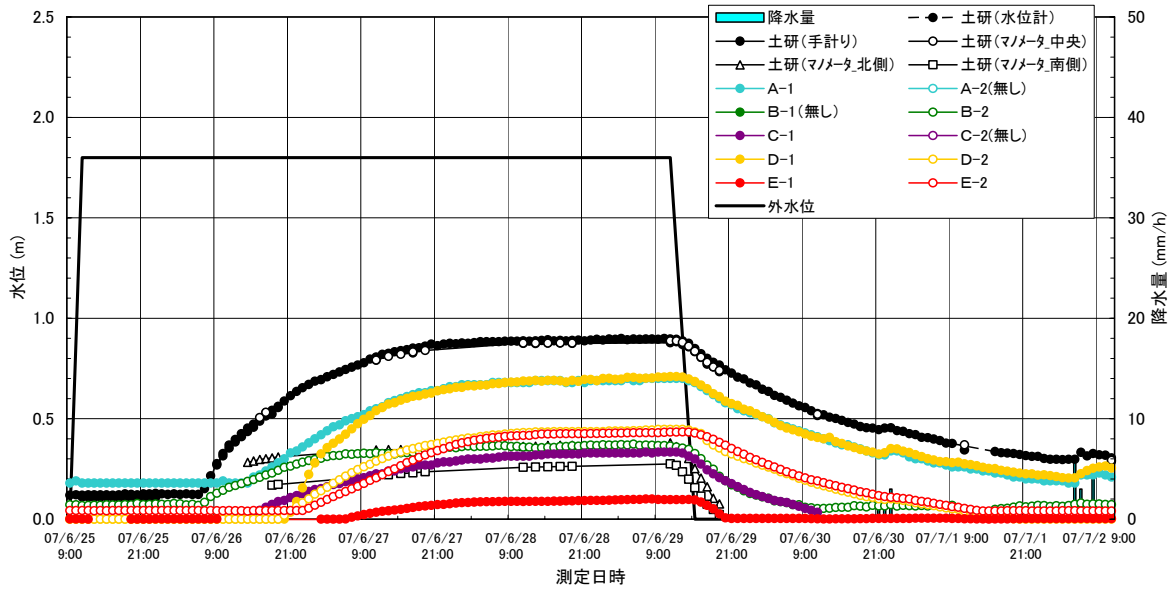


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第６回湛水実験（２）

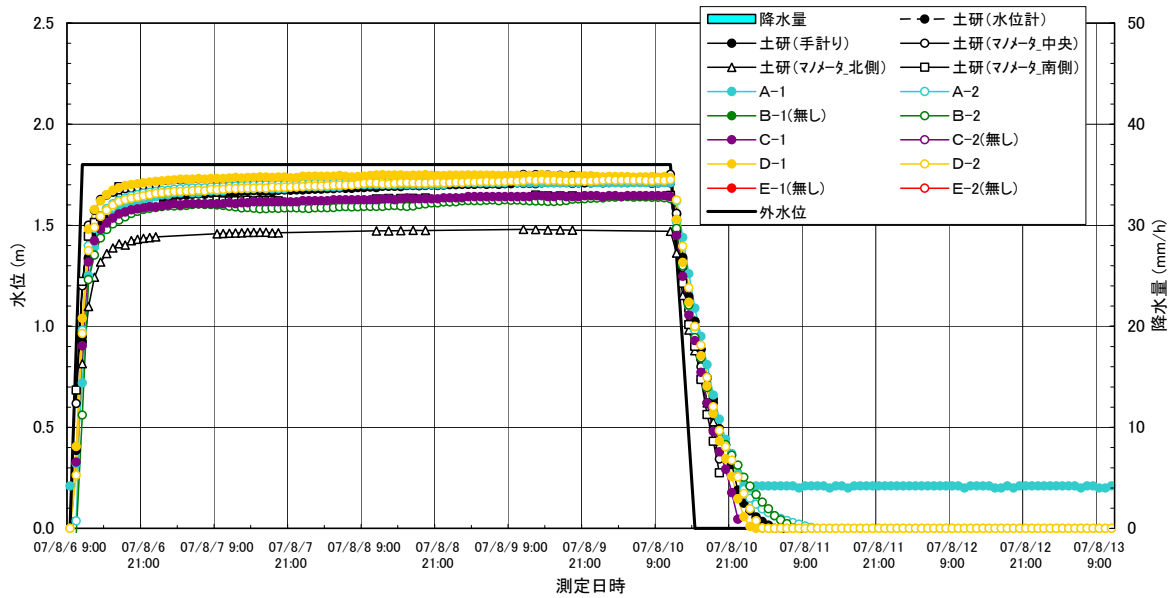


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

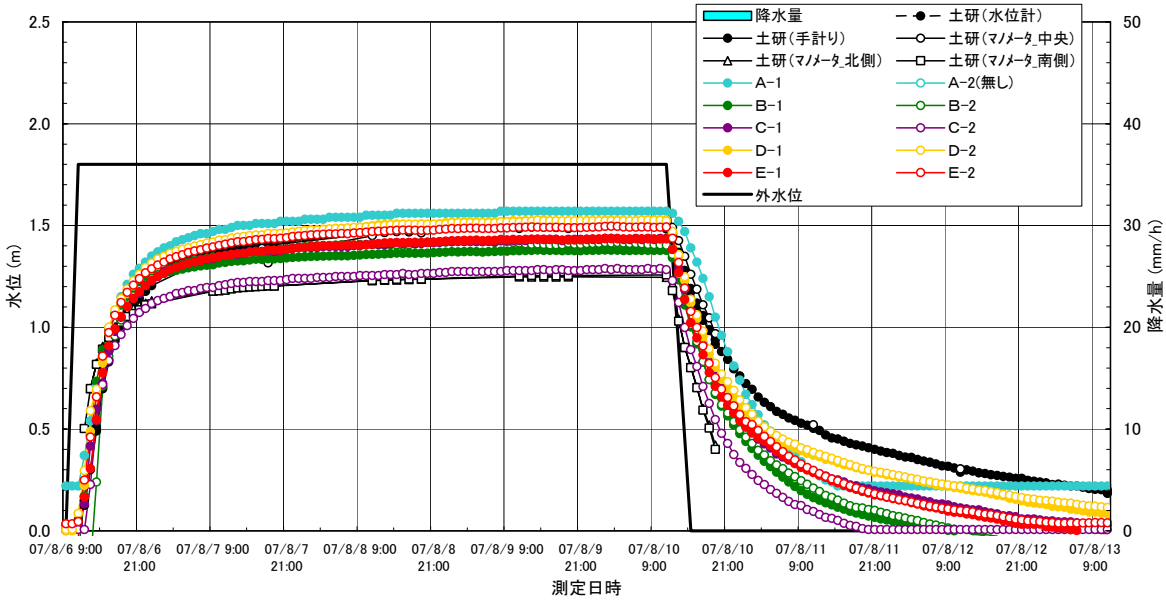


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第７回湛水実験（１）

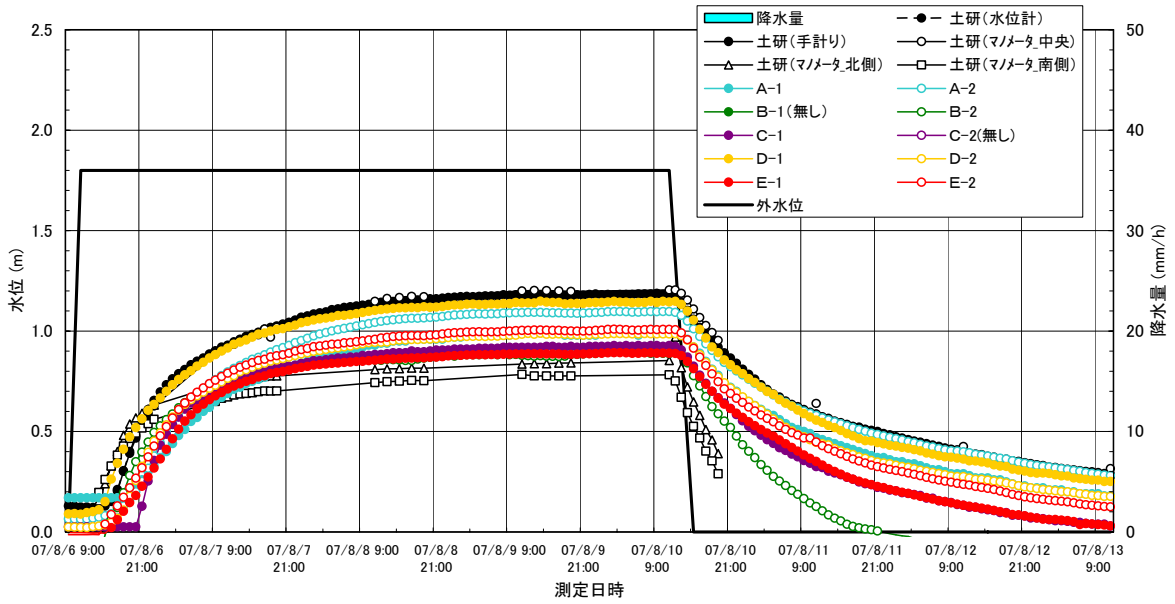


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

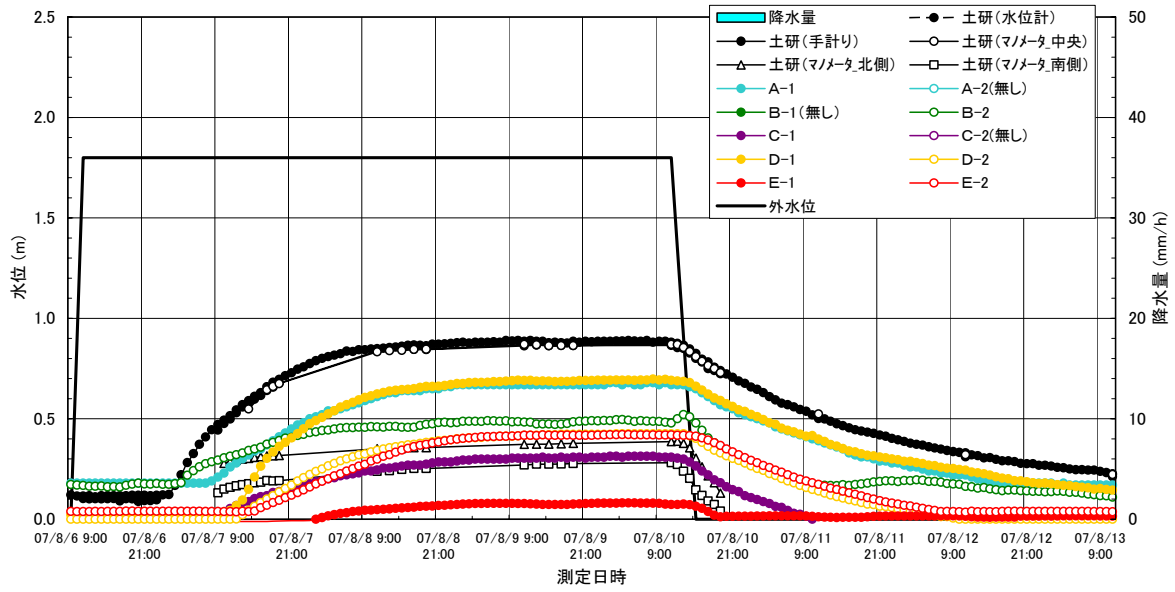


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第７回湛水実験（２）

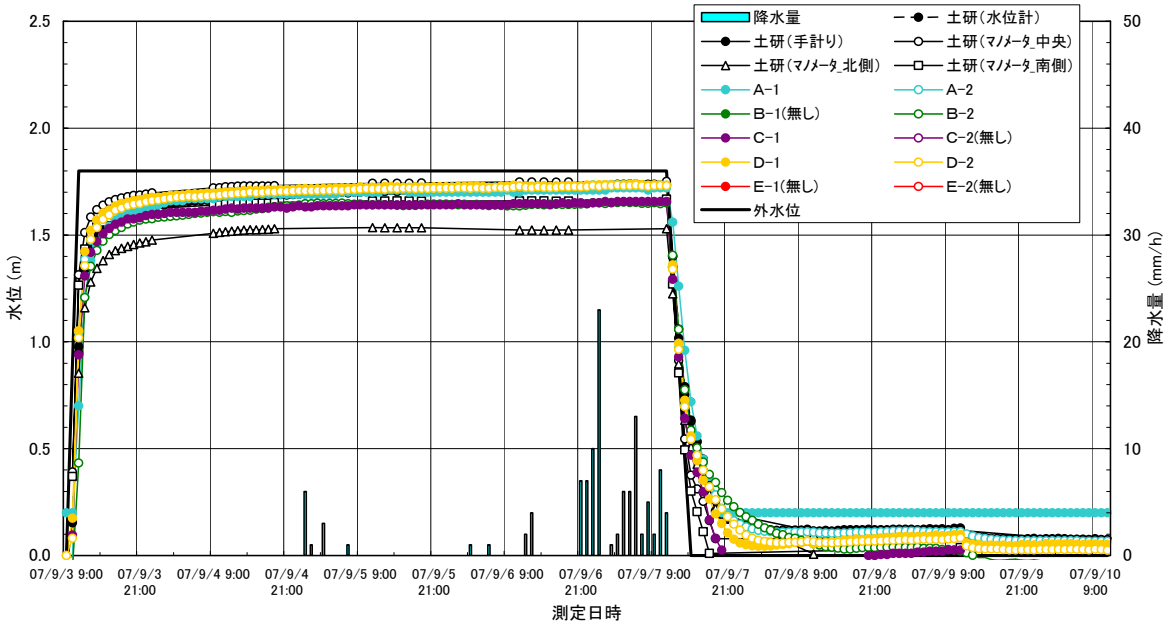


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

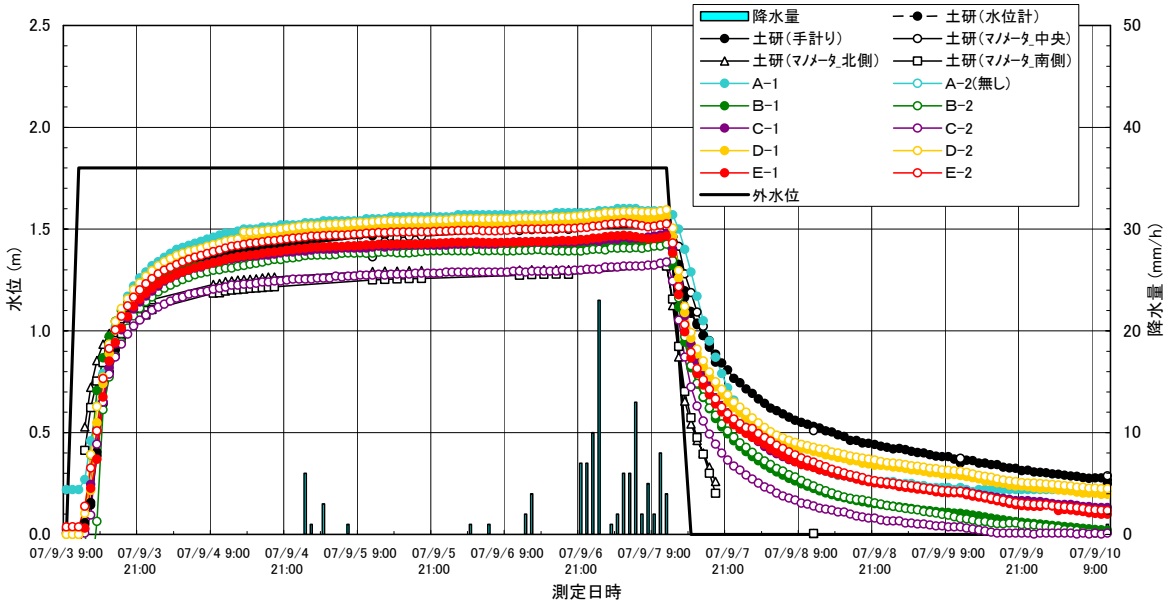


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第８回湛水実験（１）

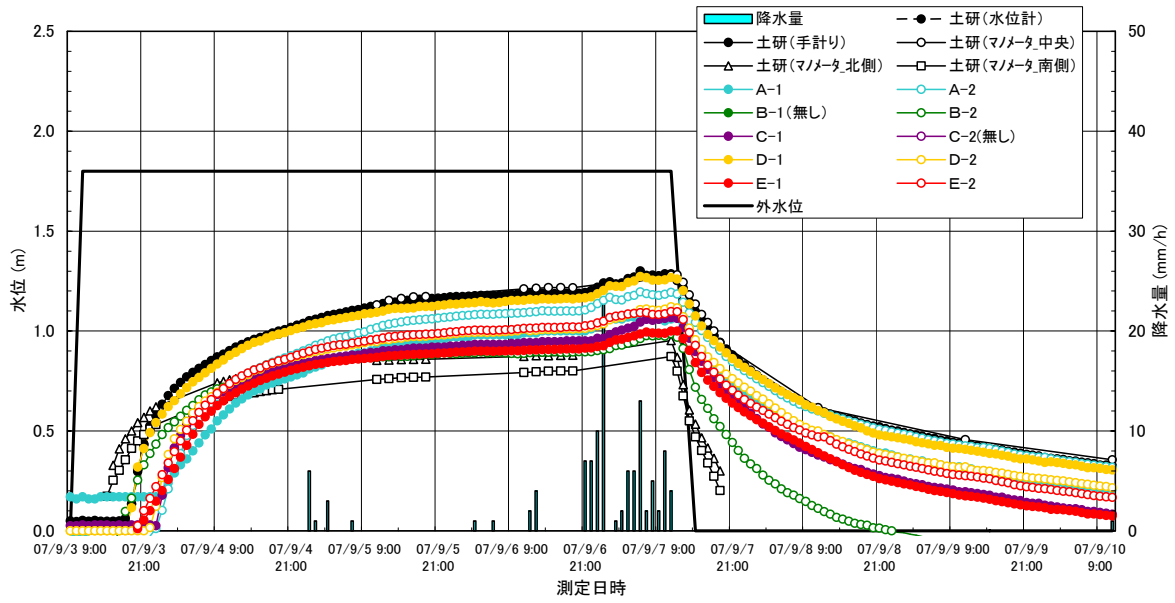


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

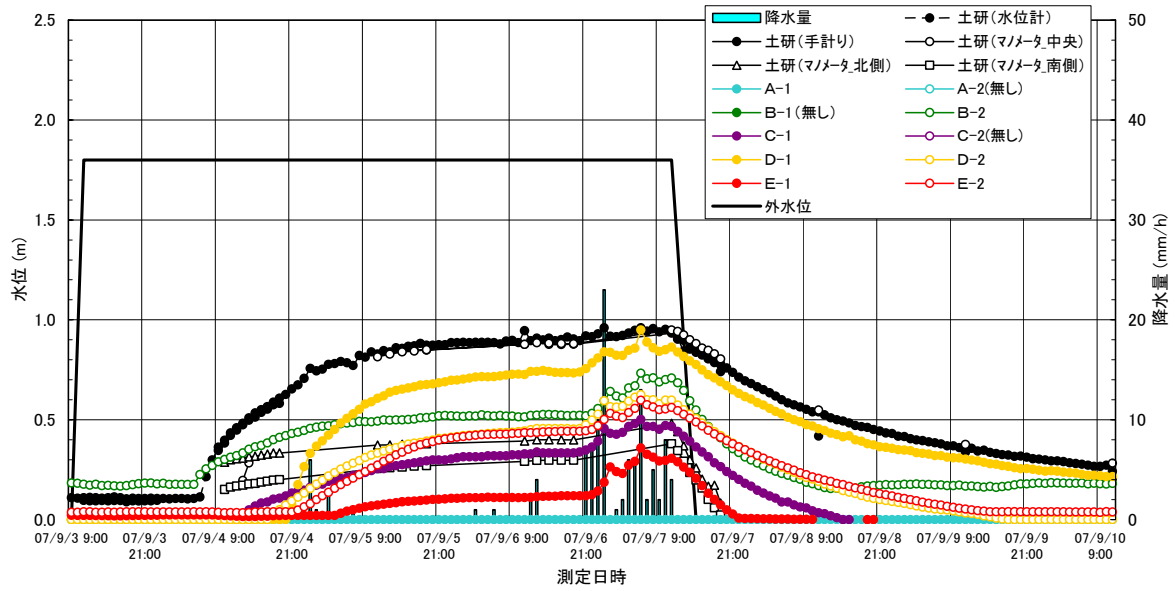


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第８回湛水実験（２）

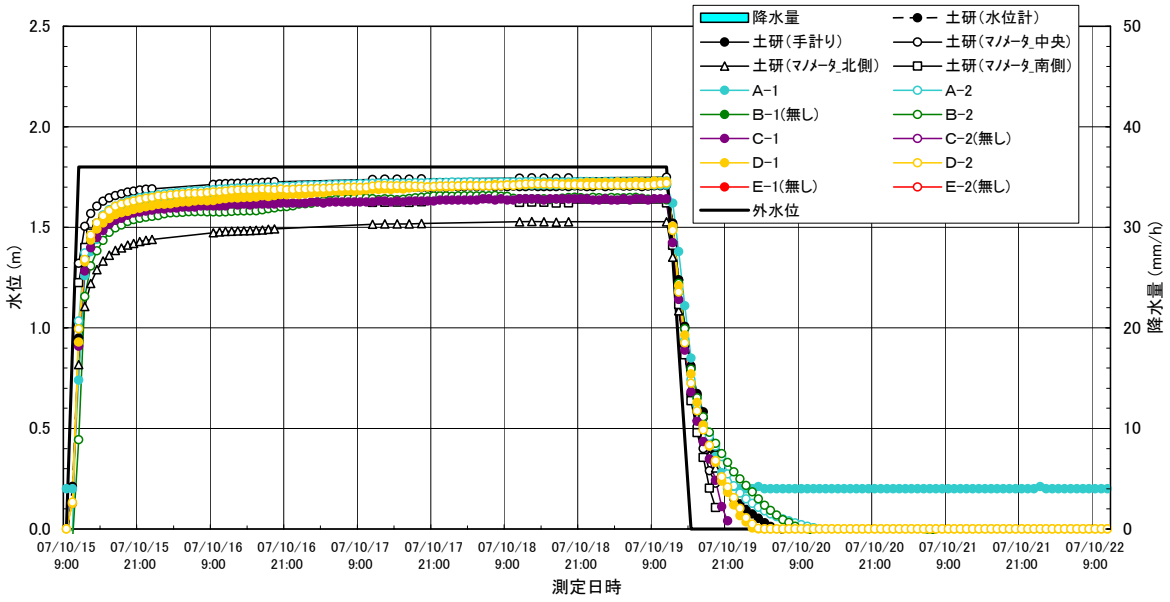


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

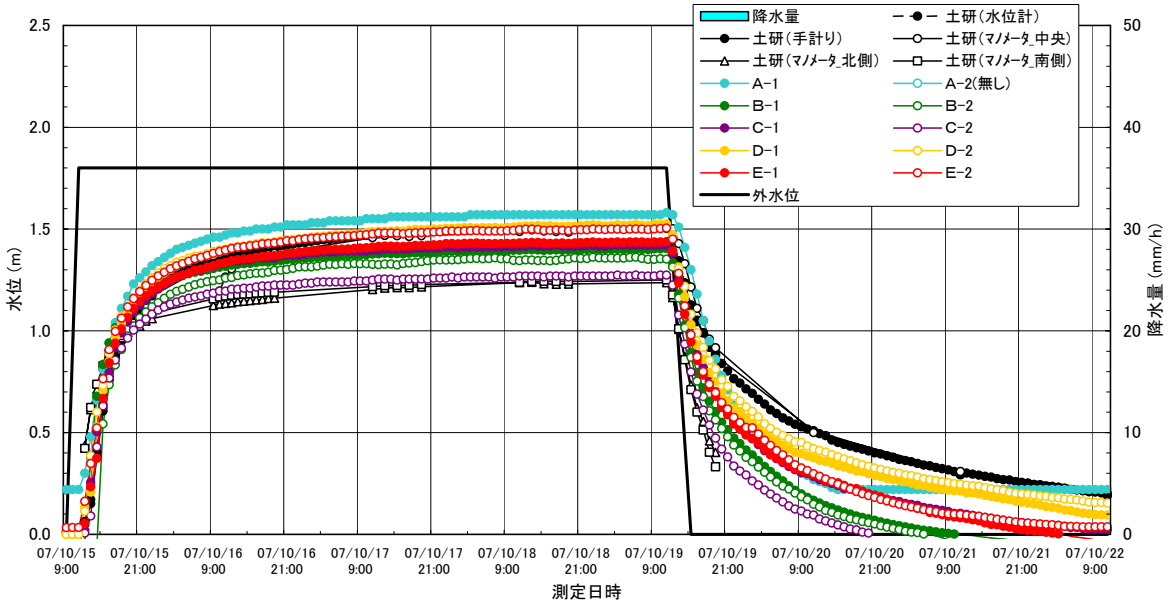


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第９回湛水実験（１）

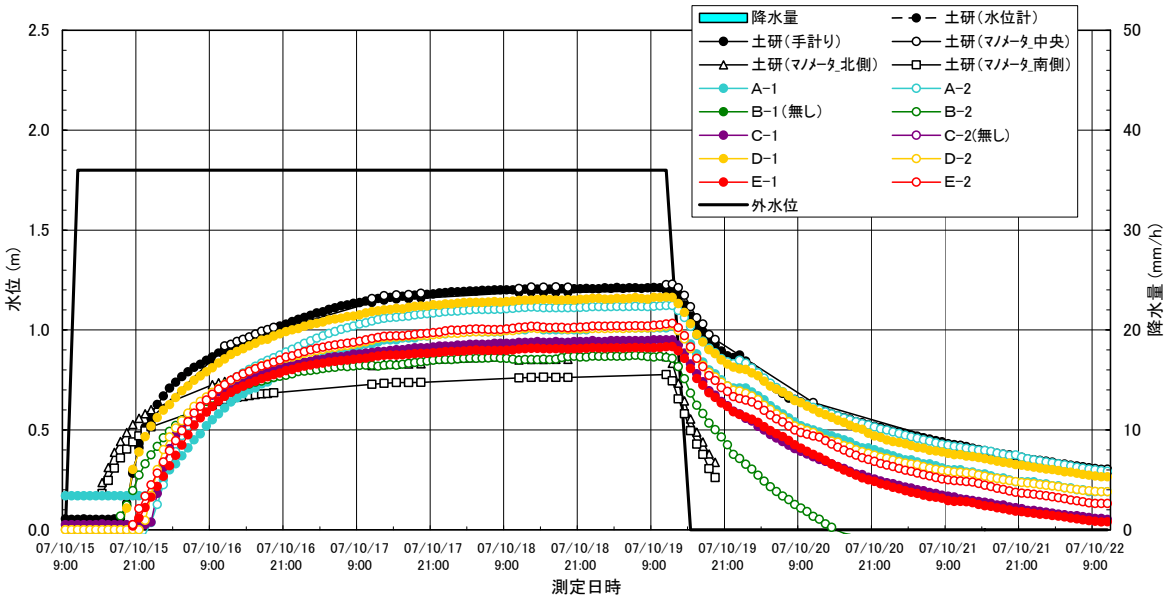


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

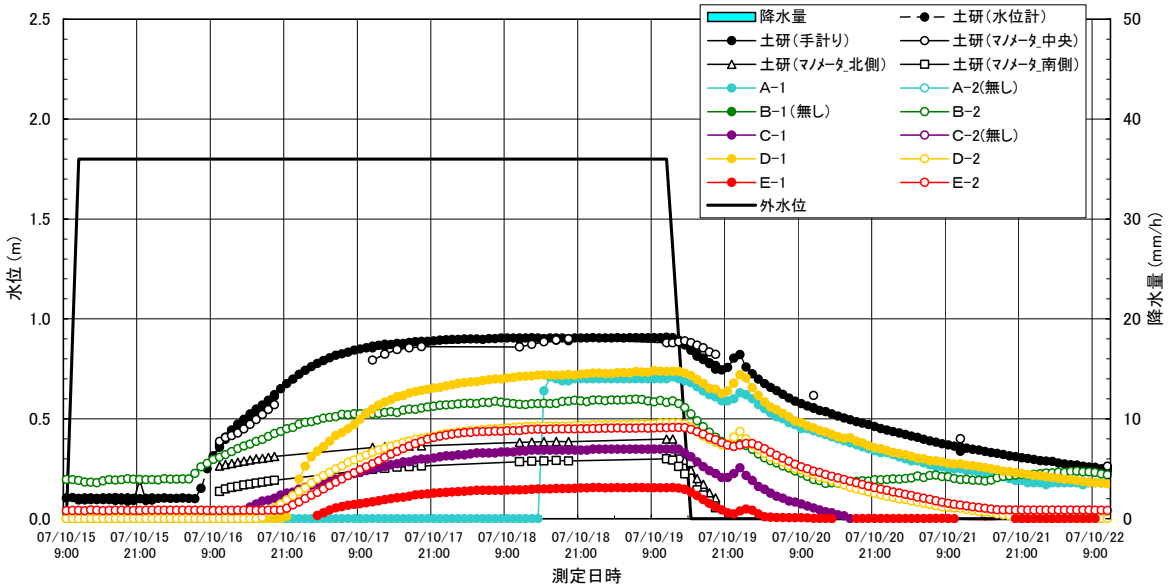


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第９回湛水実験（２）

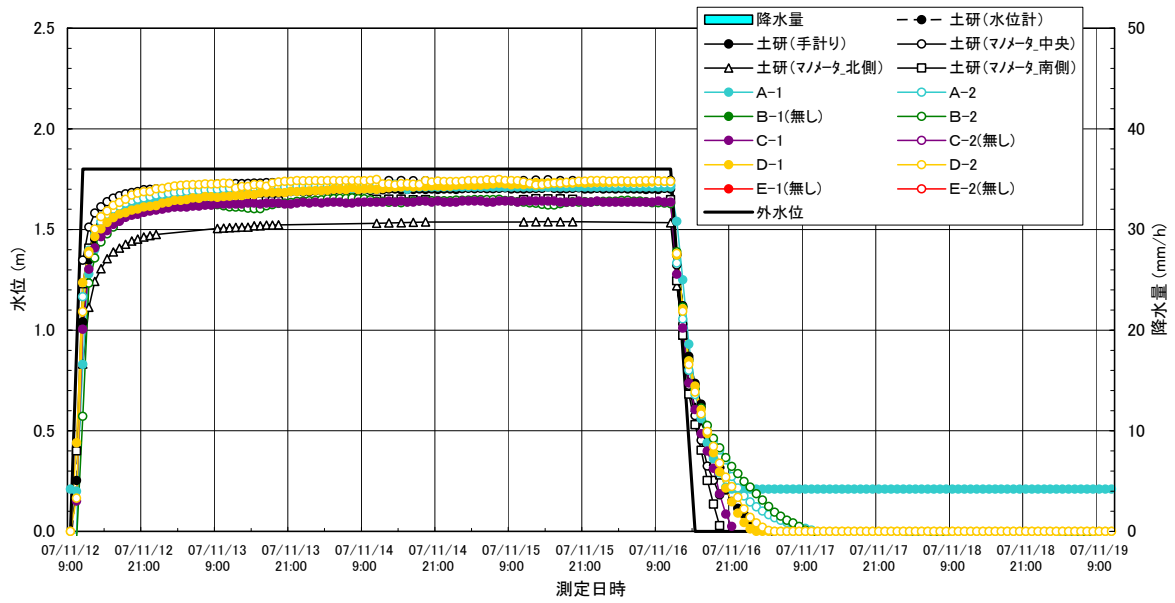


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

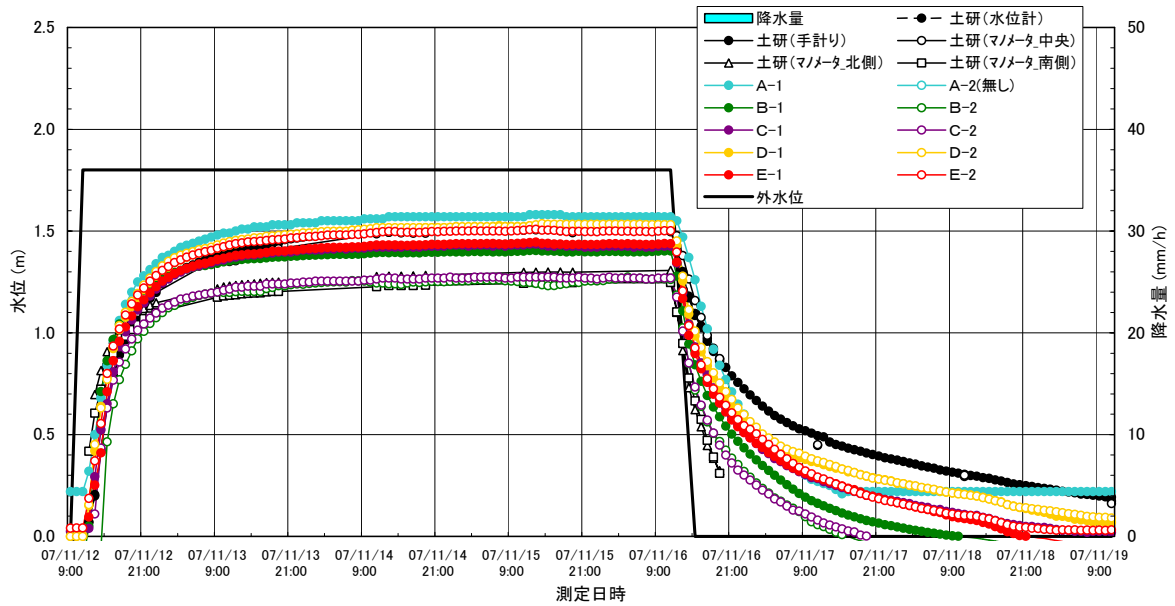


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第 10 回湛水実験（１）

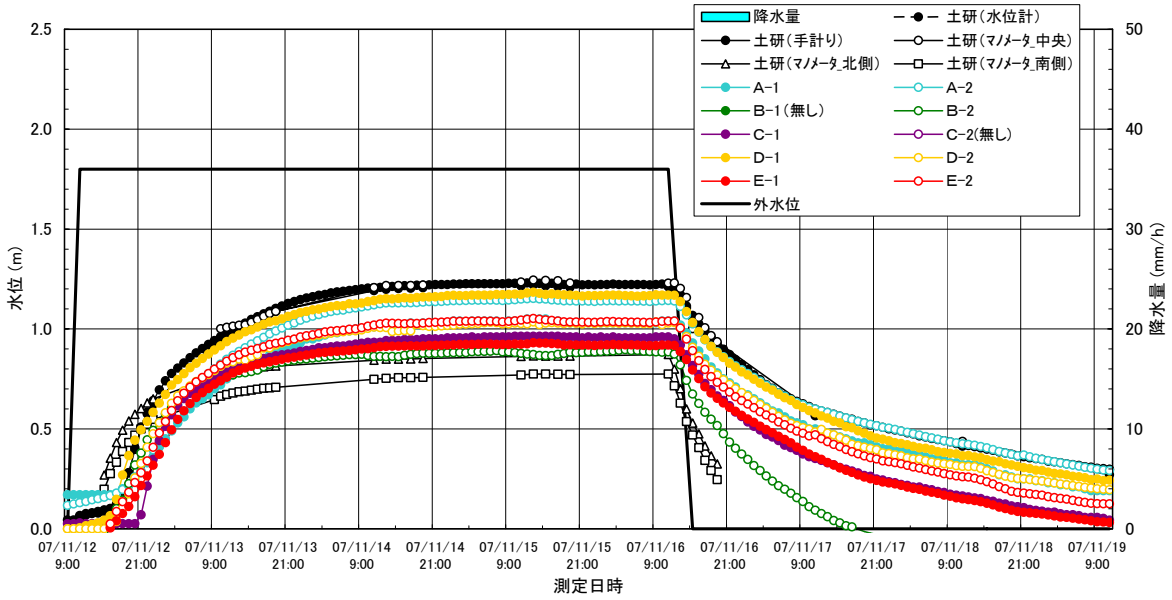


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

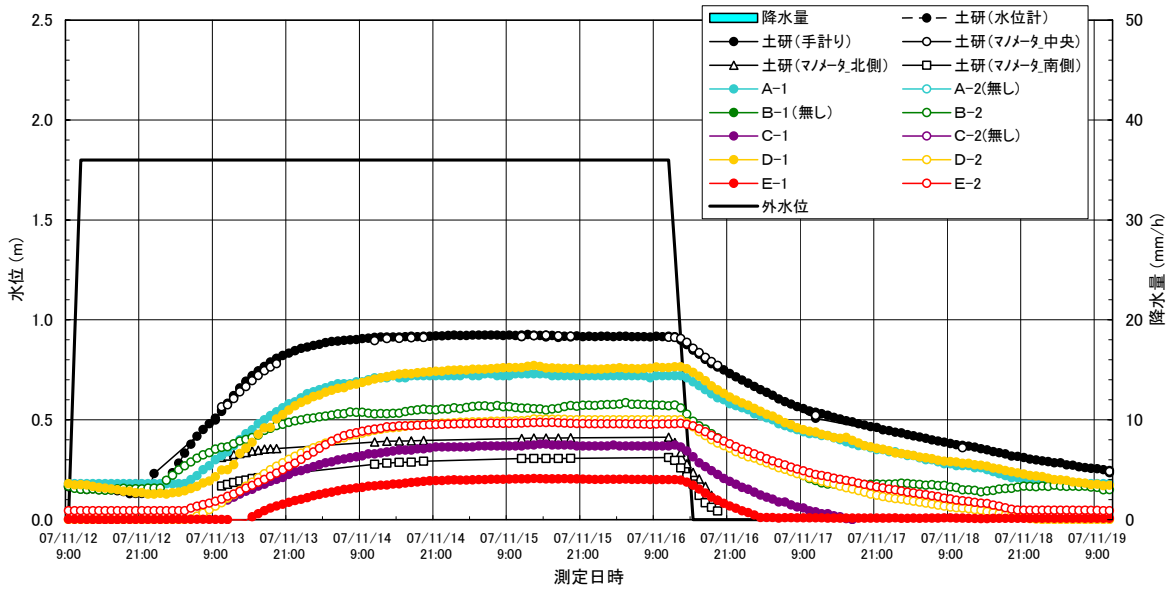


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第 10 回湛水実験（２）

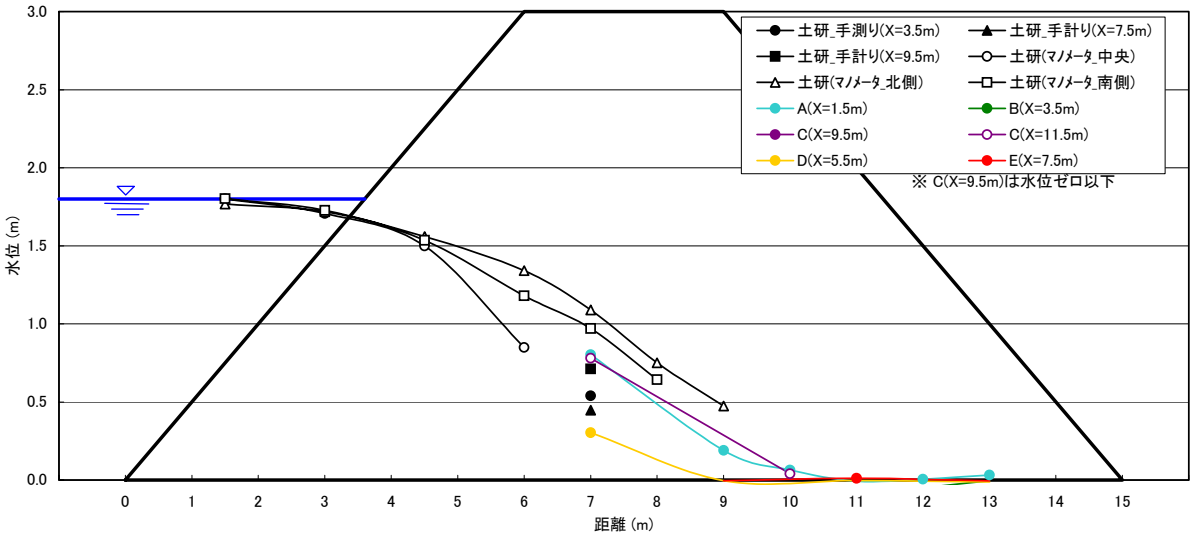


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋2m）

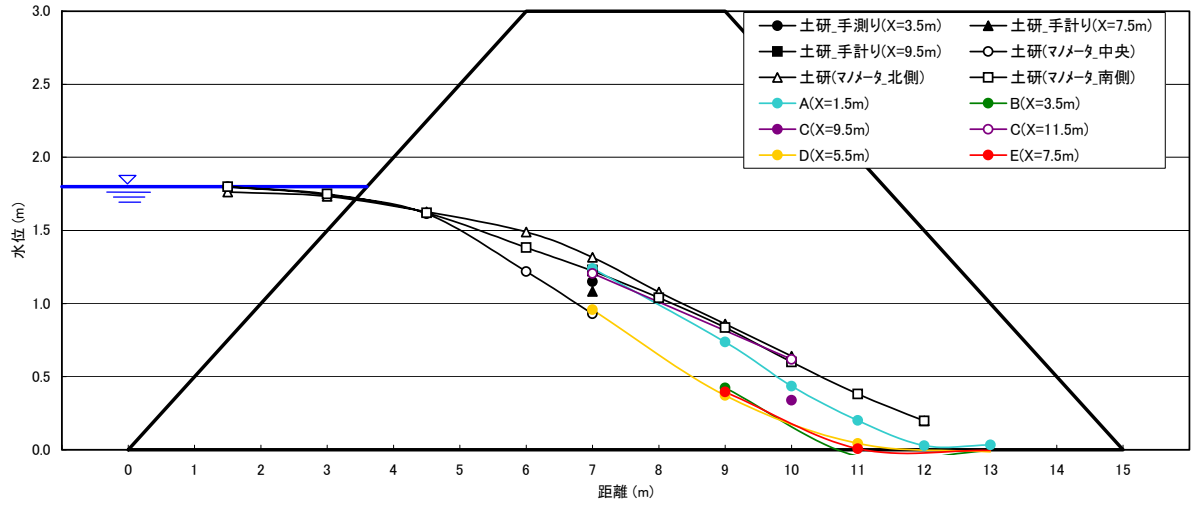


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋4m）

任意経過時間における水位断面図：第１回湛水実験（１）

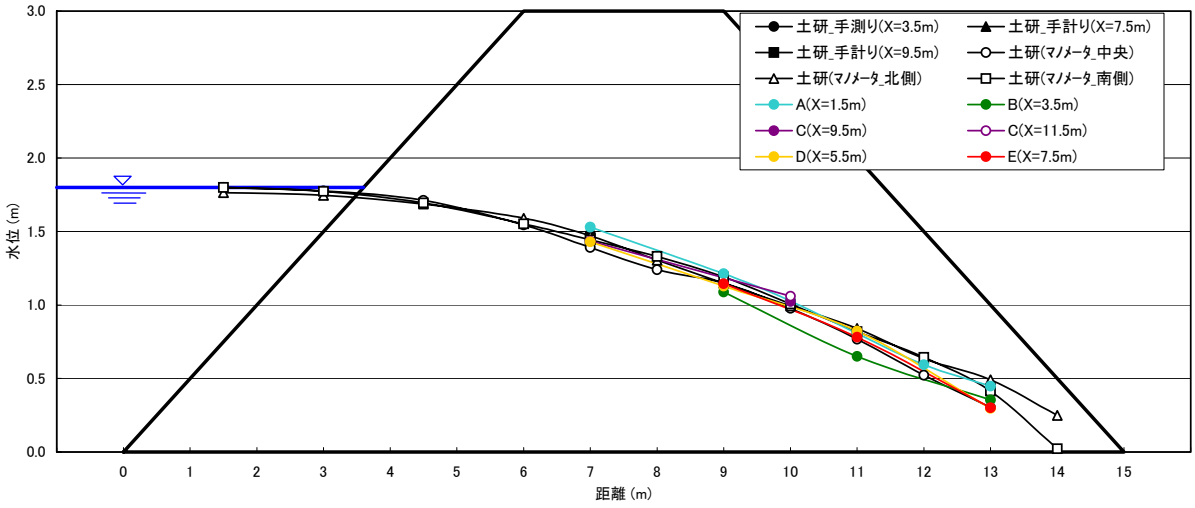


任意時刻での水位断面図　(07/03/21 11:00(外水位一定後48hr経過))

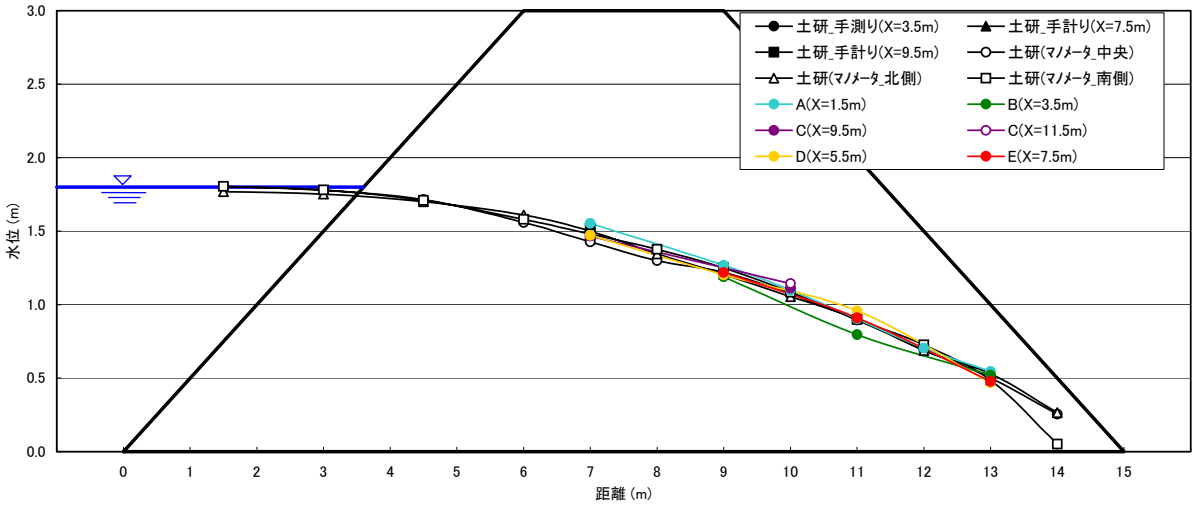


任意時刻での水位断面図　(07/03/23 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第１回湛水実験（２）

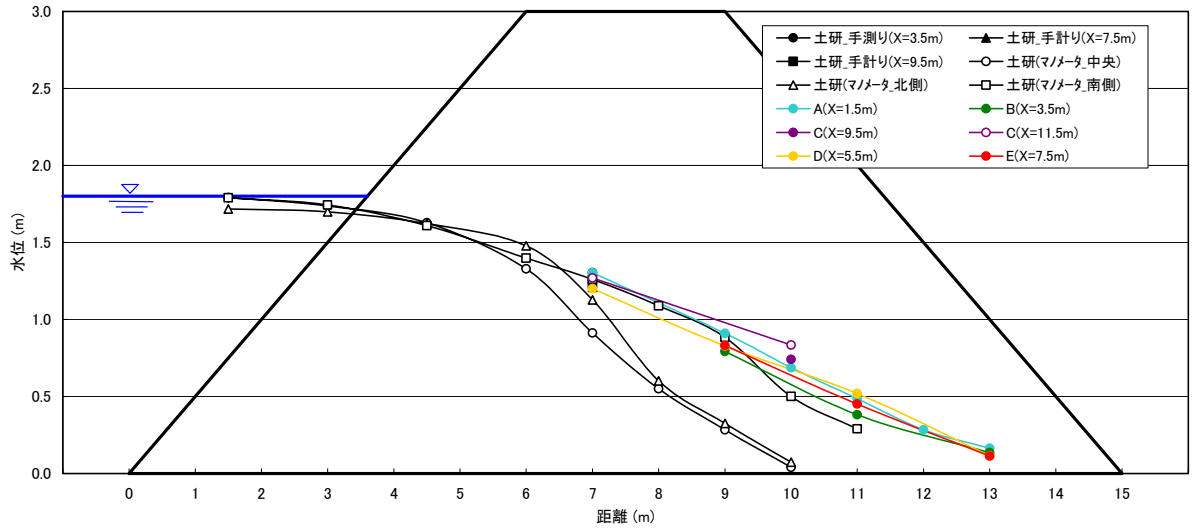


任意時刻での水位断面図　(07/03/29 11:00(外水位一定後240hr経過))

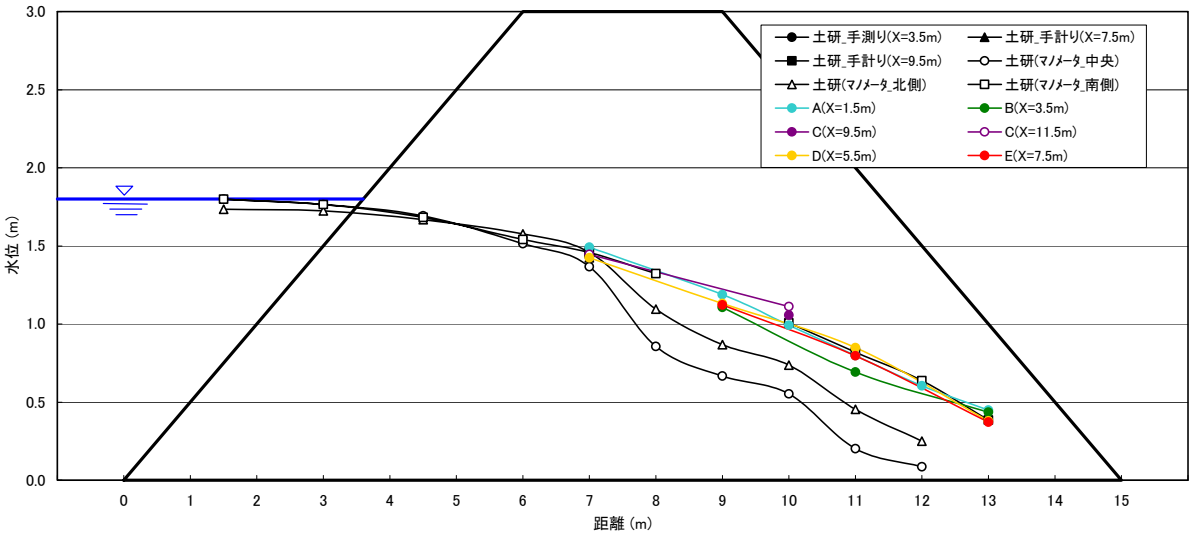


任意時刻での水位断面図　(07/04/05 11:00(外水位一定後408hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第２回湛水実験（１）

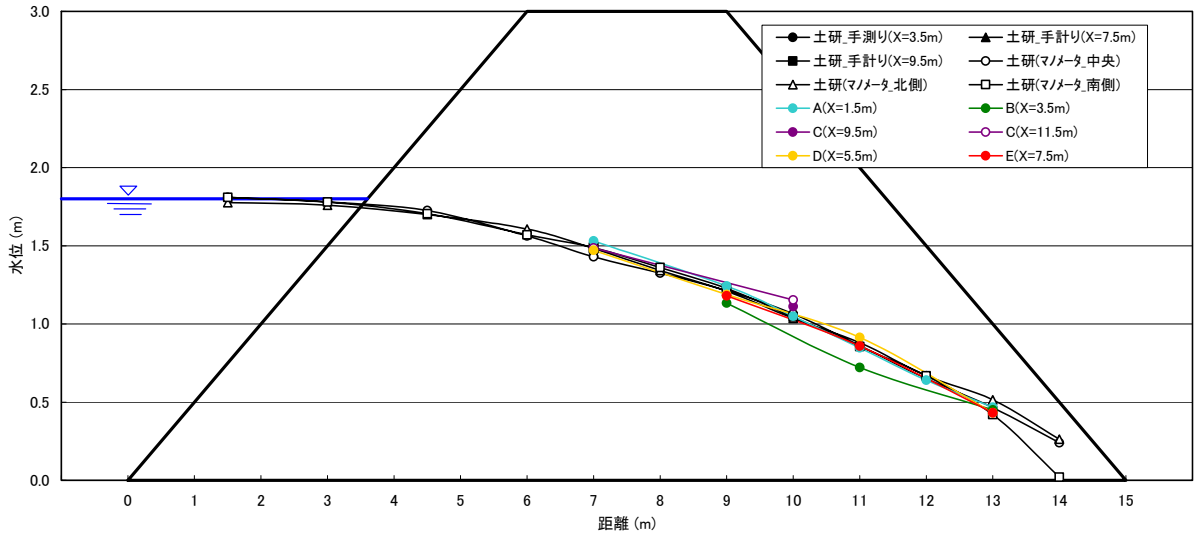


任意時刻での水位断面図　(07/05/30 11:00(外水位一定後48hr経過))

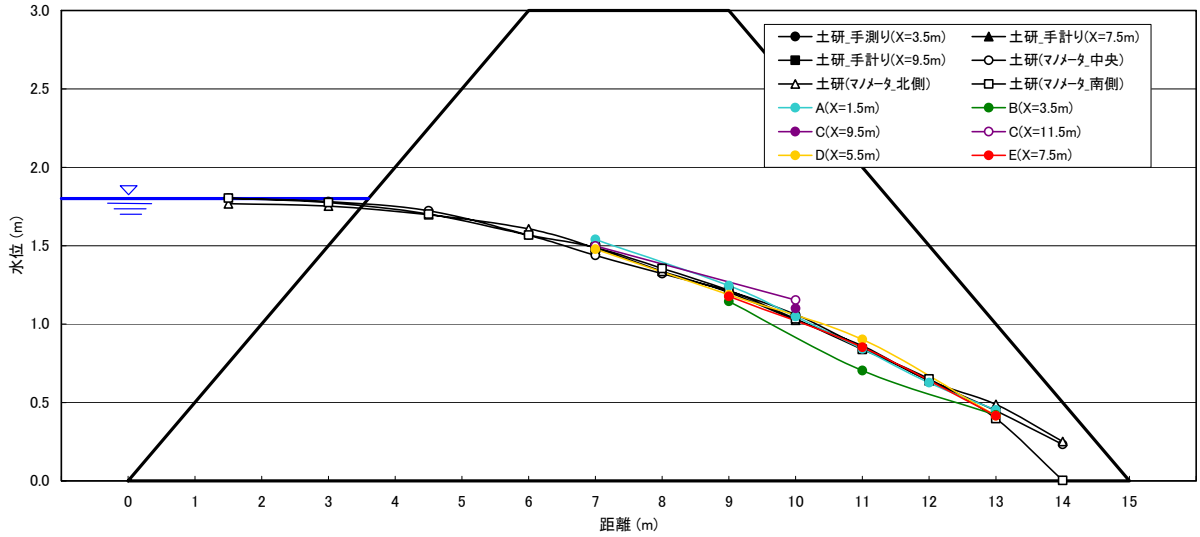


任意時刻での水位断面図　(07/06/01 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第２回湛水実験（２）

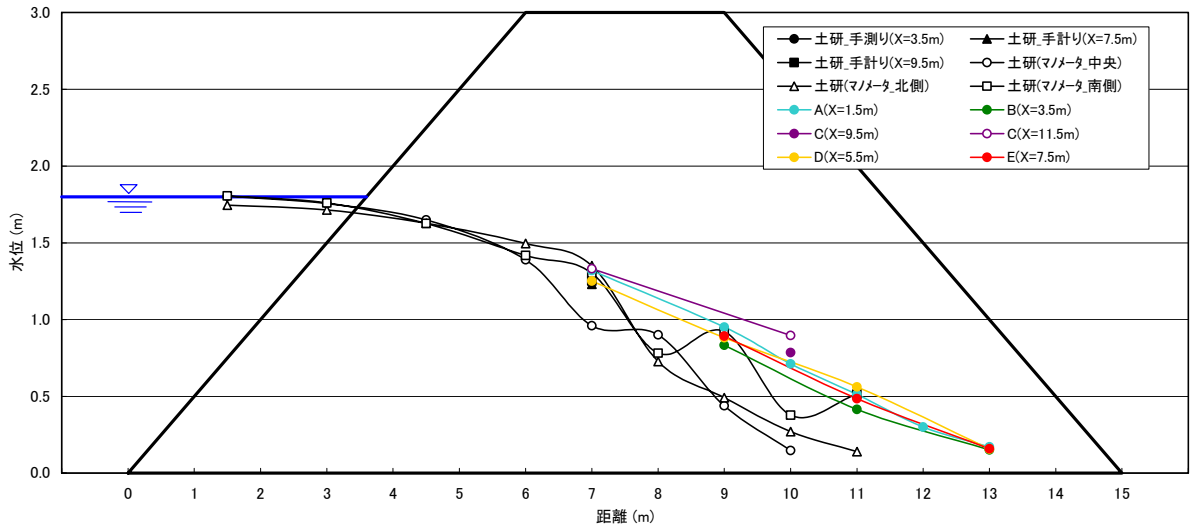


任意時刻での水位断面図　(07/06/07 11:00(外水位一定後240hr経過))

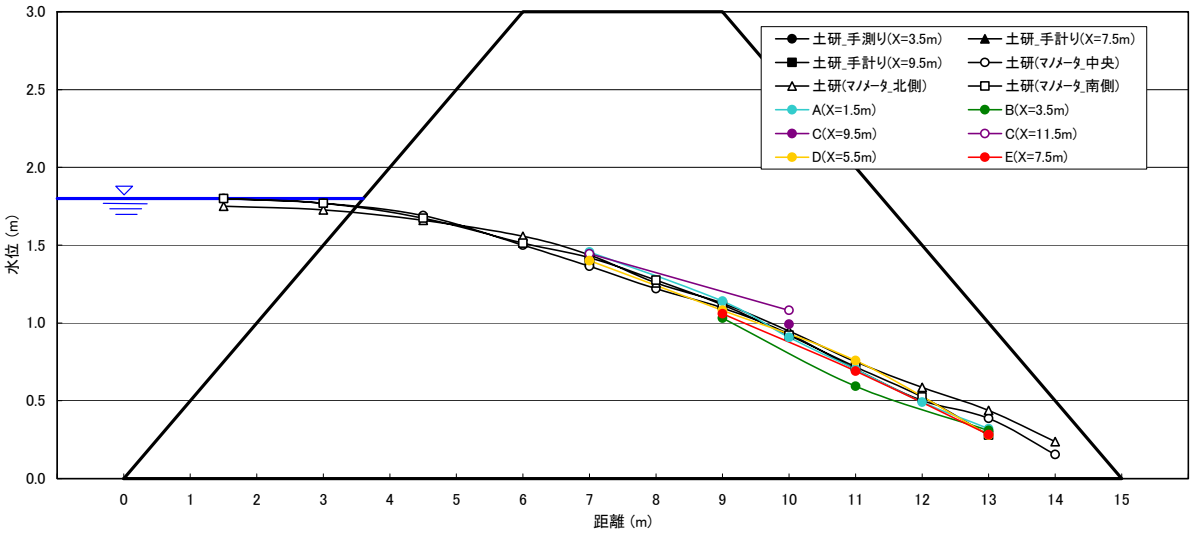


任意時刻での水位断面図　(07/06/14 11:00(外水位一定後408hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第３回湛水実験（１）

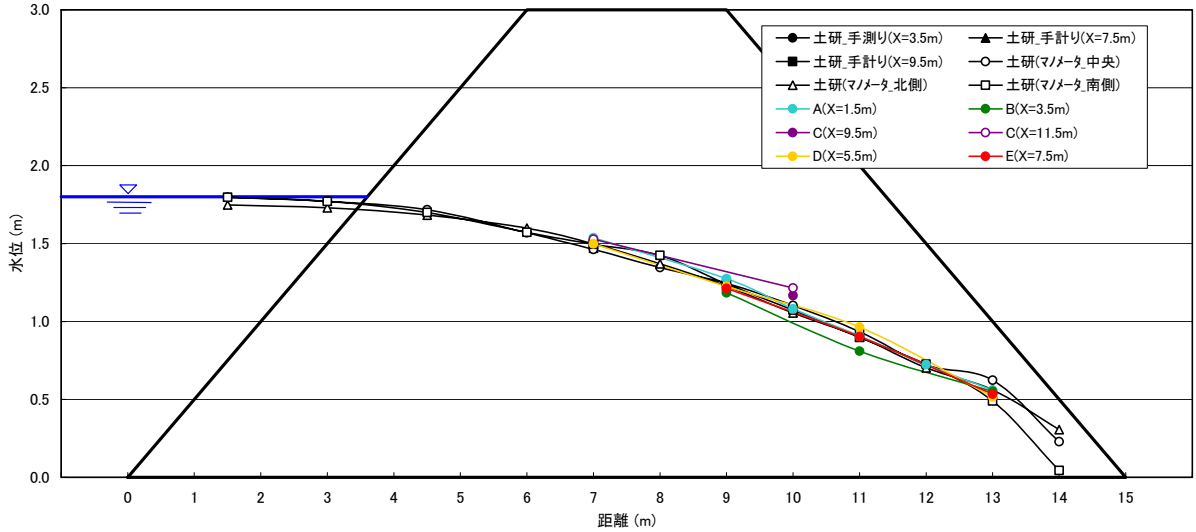


任意時刻での水位断面図　(07/07/25 11:00(外水位一定後48hr経過))

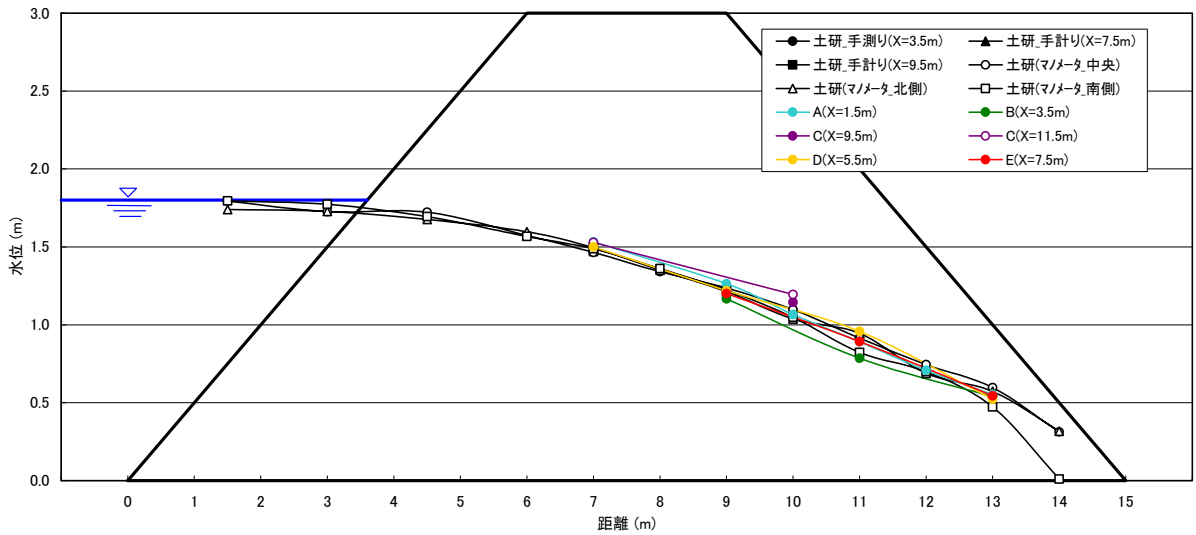


任意時刻での水位断面図　(07/07/27 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第３回湛水実験（２）

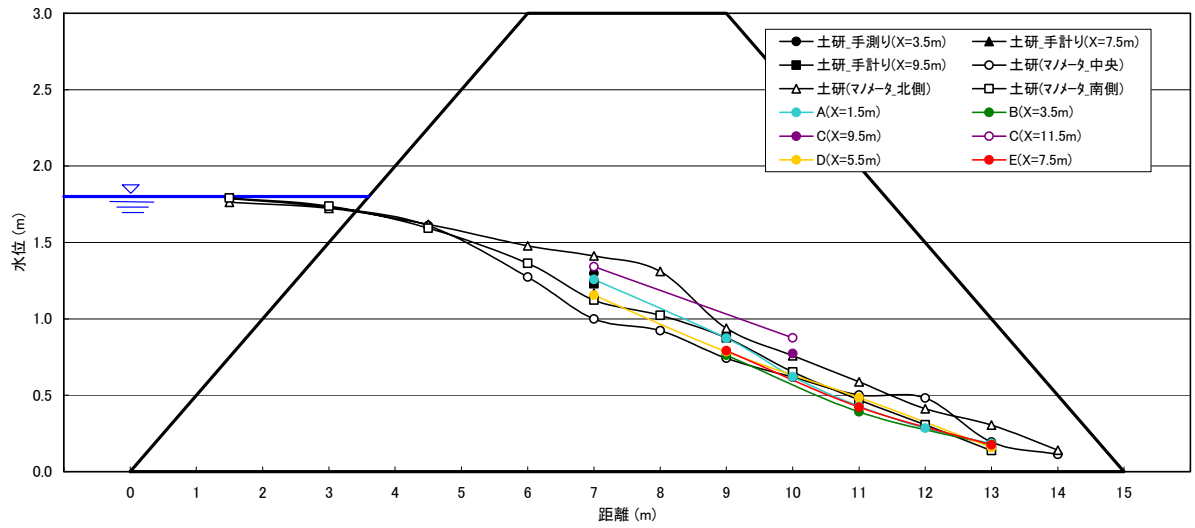


任意時刻での水位断面図　(07/08/02 11:00(外水位一定後240hr経過))

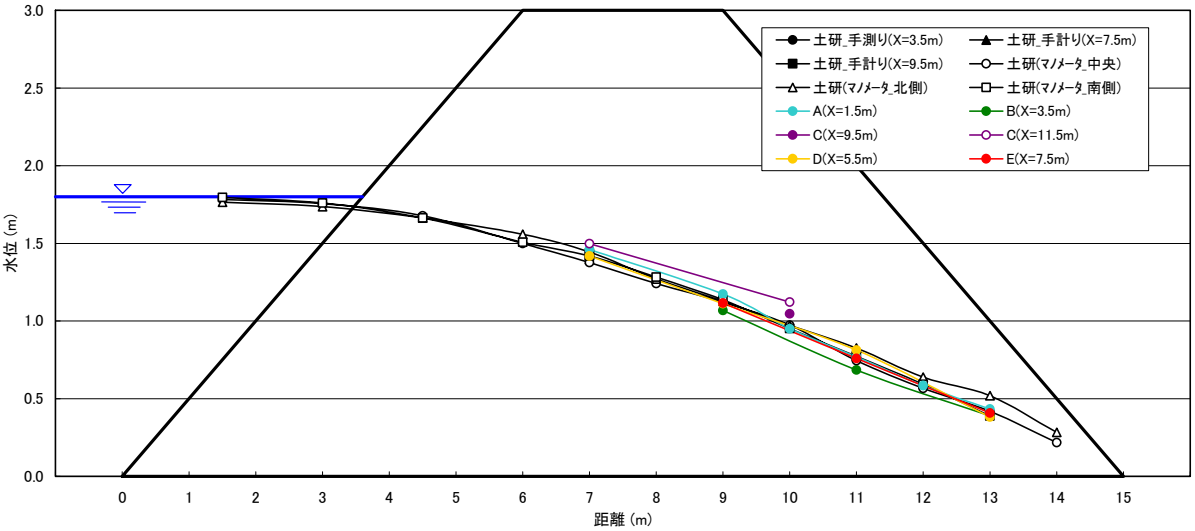


任意時刻での水位断面図　(07/08/09 11:00(外水位一定後408hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第４回湛水実験（１）

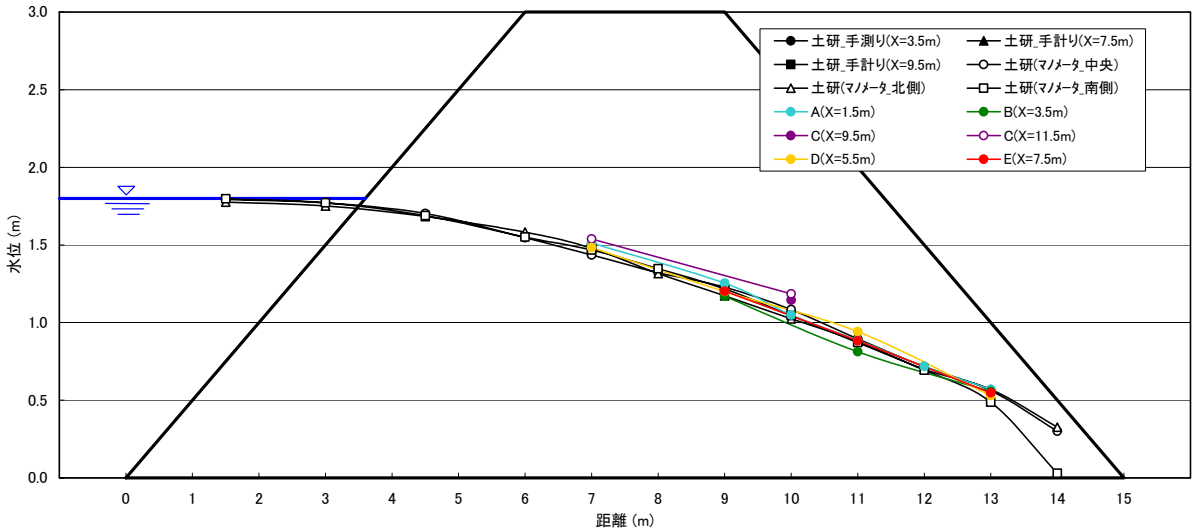


任意時刻での水位断面図　(07/10/3 11:00(外水位一定後48hr経過))

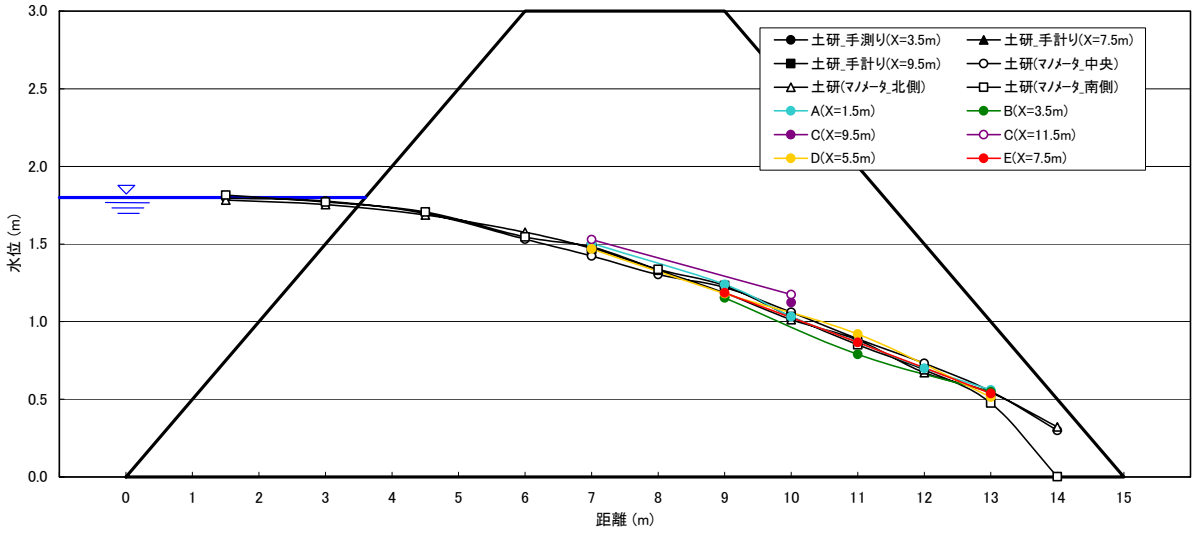


任意時刻での水位断面図　(07/10/5 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第４回湛水実験（２）

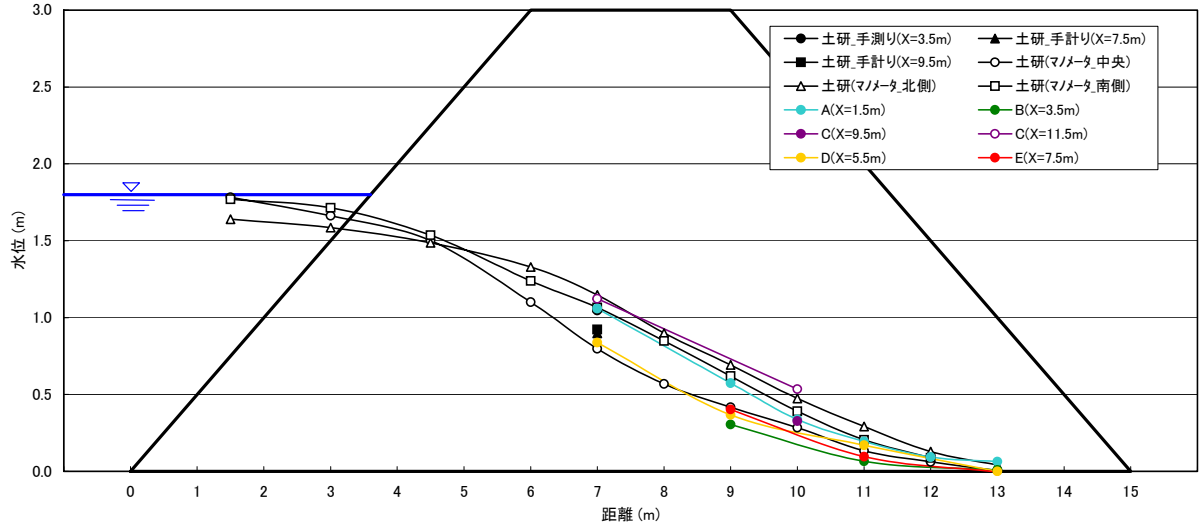


任意時刻での水位断面図　(07/10/11 11:00(外水位一定後240hr経過))

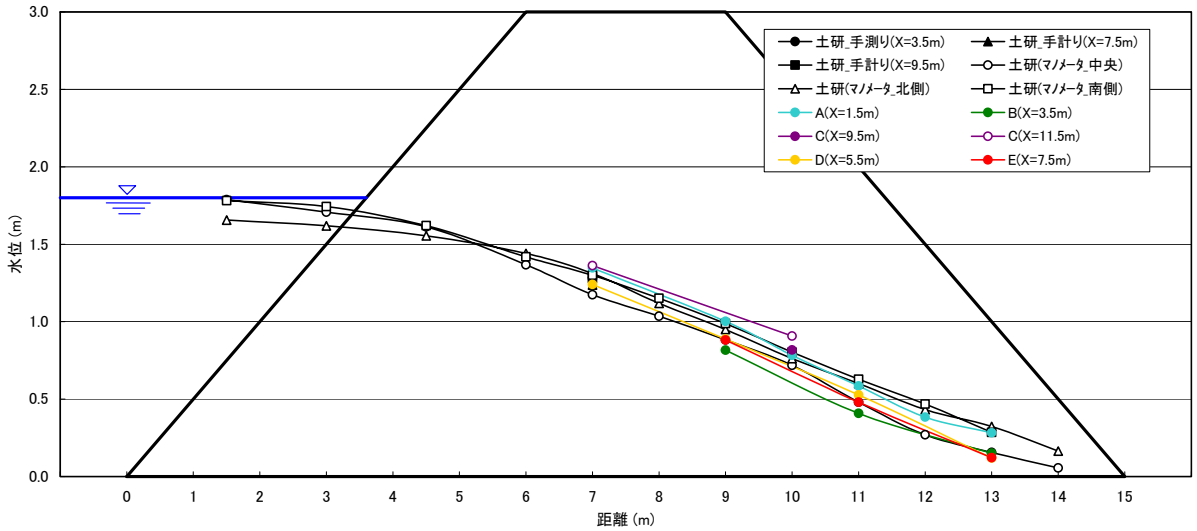


任意時刻での水位断面図　(07/10/18 11:00(外水位一定後408hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第５回湛水実験（１）

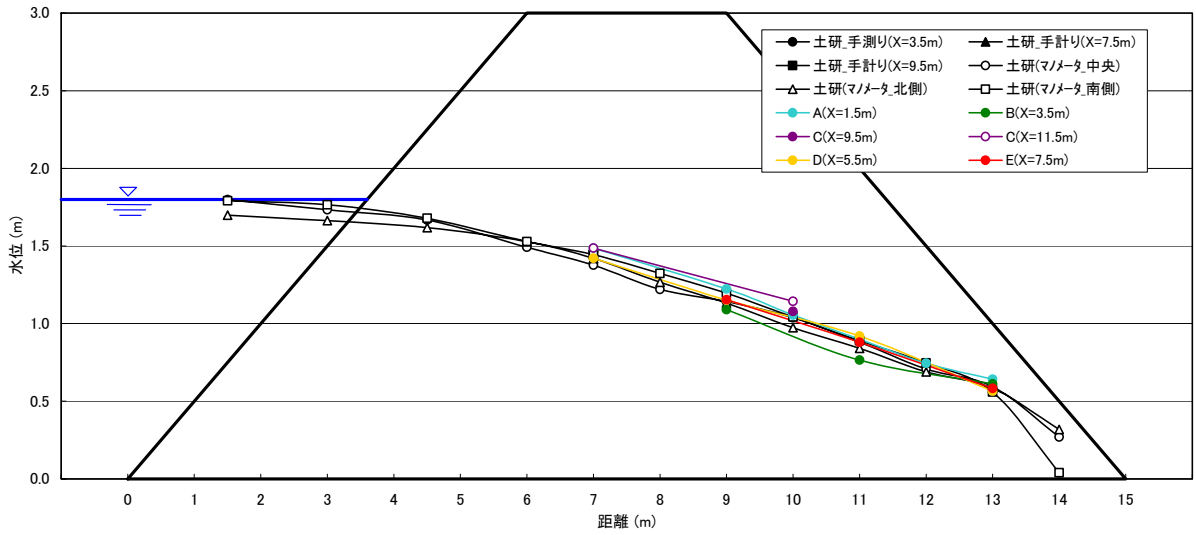


任意時刻での水位断面図　(08/1/9 11:00(外水位一定後48hr経過))

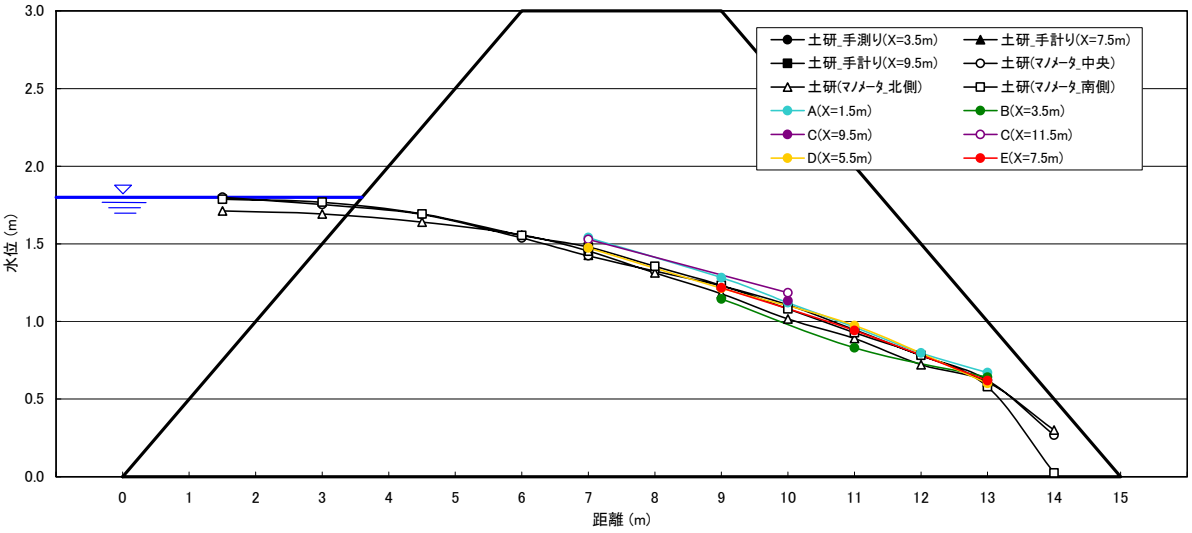


任意時刻での水位断面図　(08/1/11 11:00(外水位一定後96hr経過))

任意経過時間における水位断面図：第５回湛水実験（２）

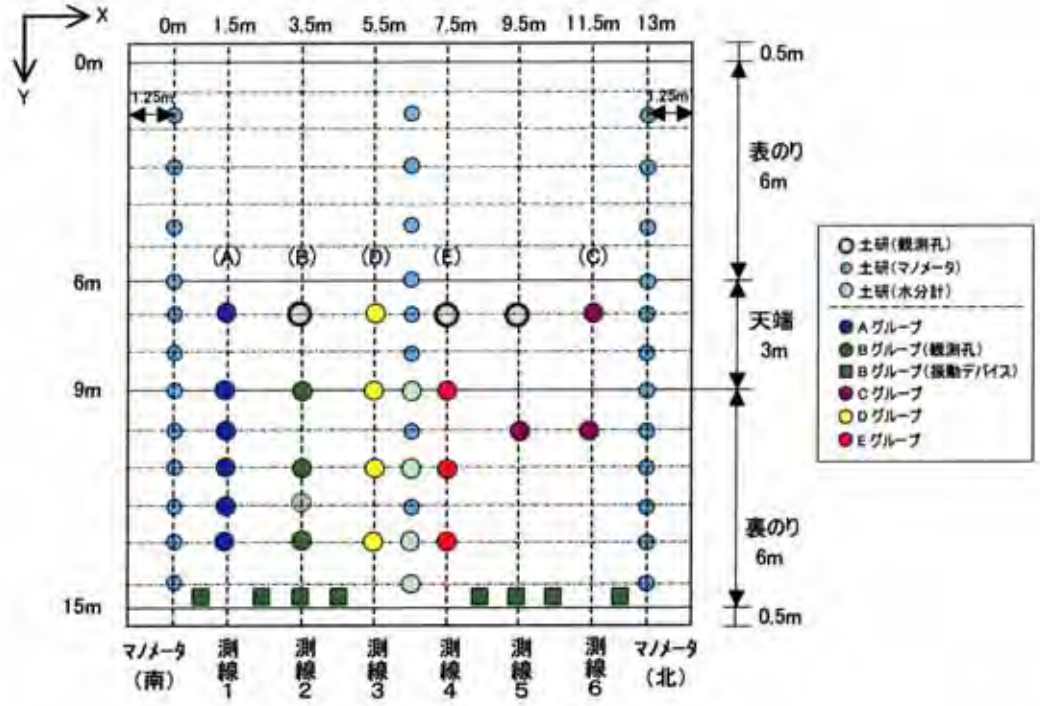


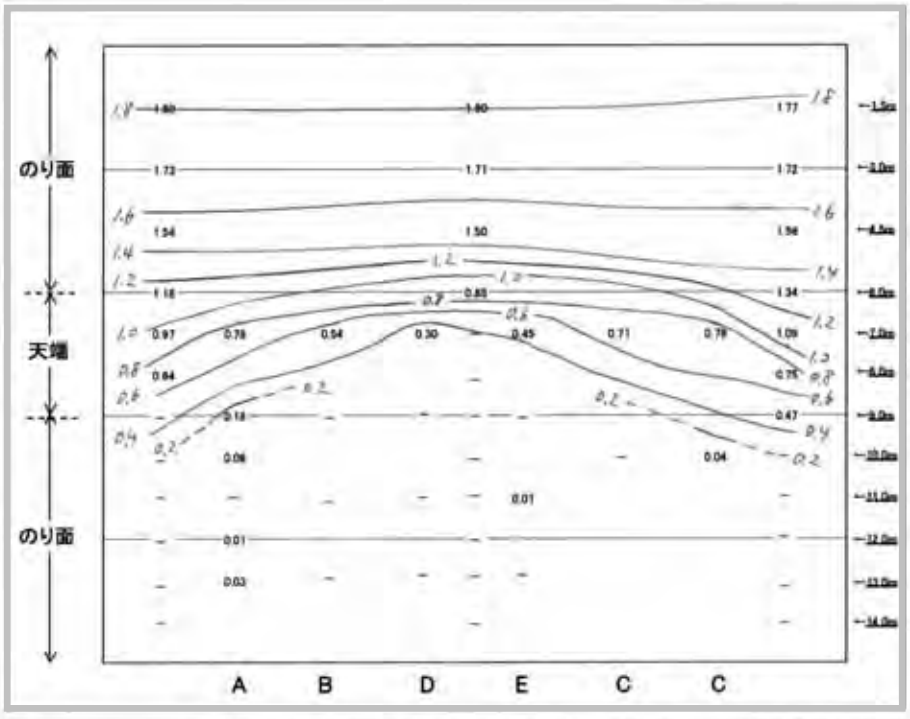
任意時刻での水位断面図　(08/1/17 11:00(外水位一定後240hr経過))



任意時刻での水位断面図　(08/1/24 11:00(外水位一定後408hr経過))

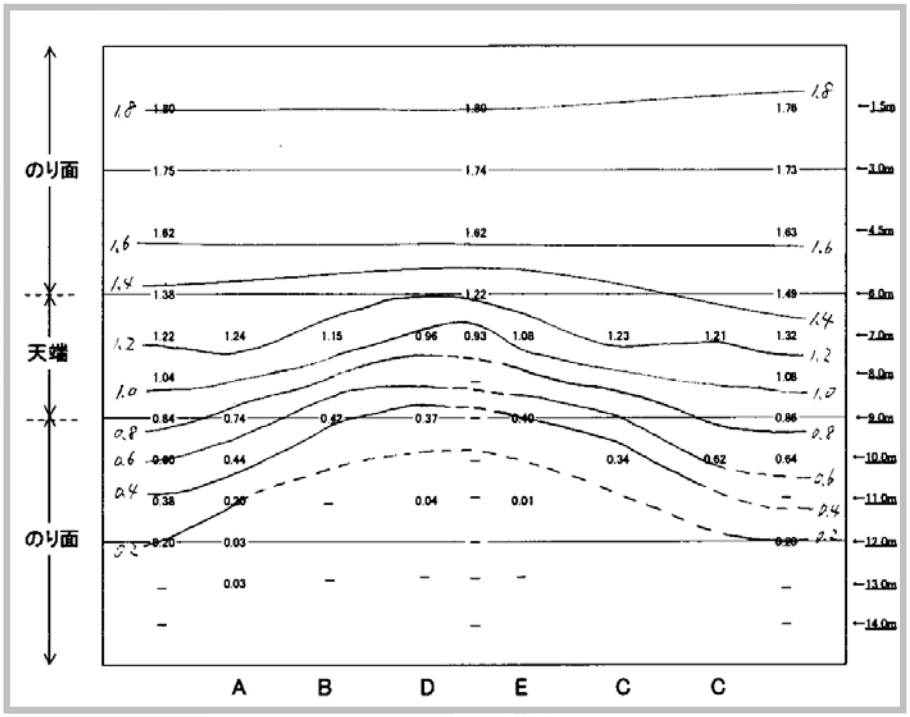
水位コンター図：第１回湛水実験（１）



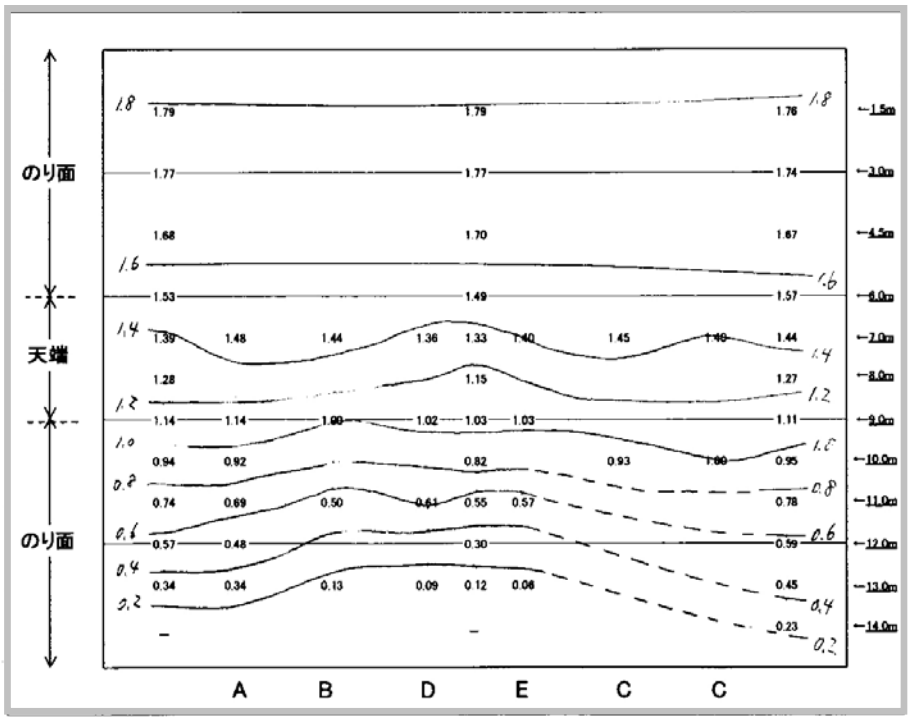


水位コンター図①（外水位一定後 48hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第１回湛水実験（２）

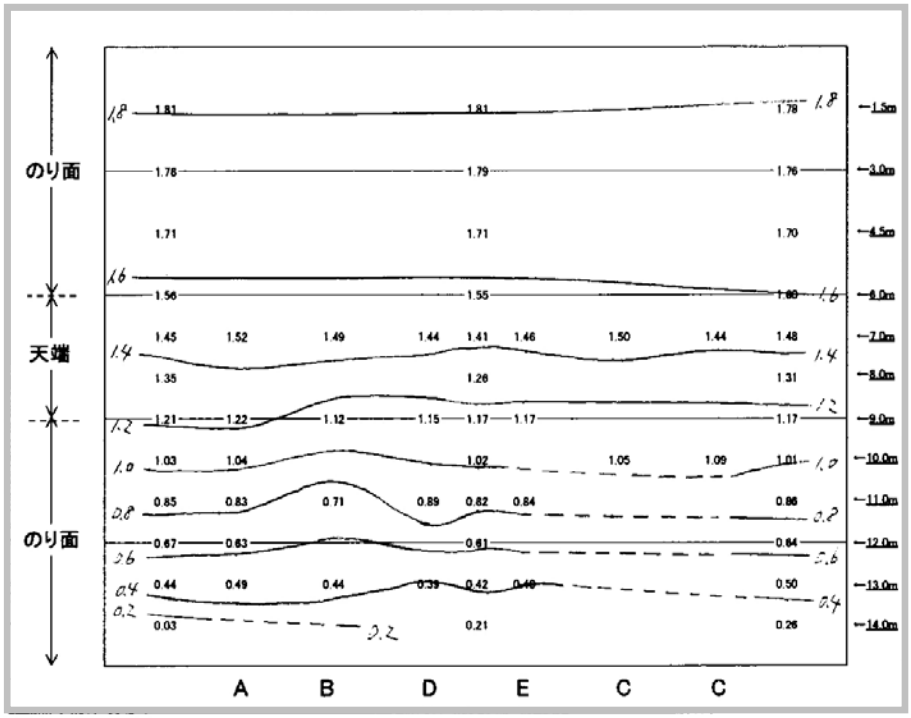


水位コンター図②（外水位一定後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

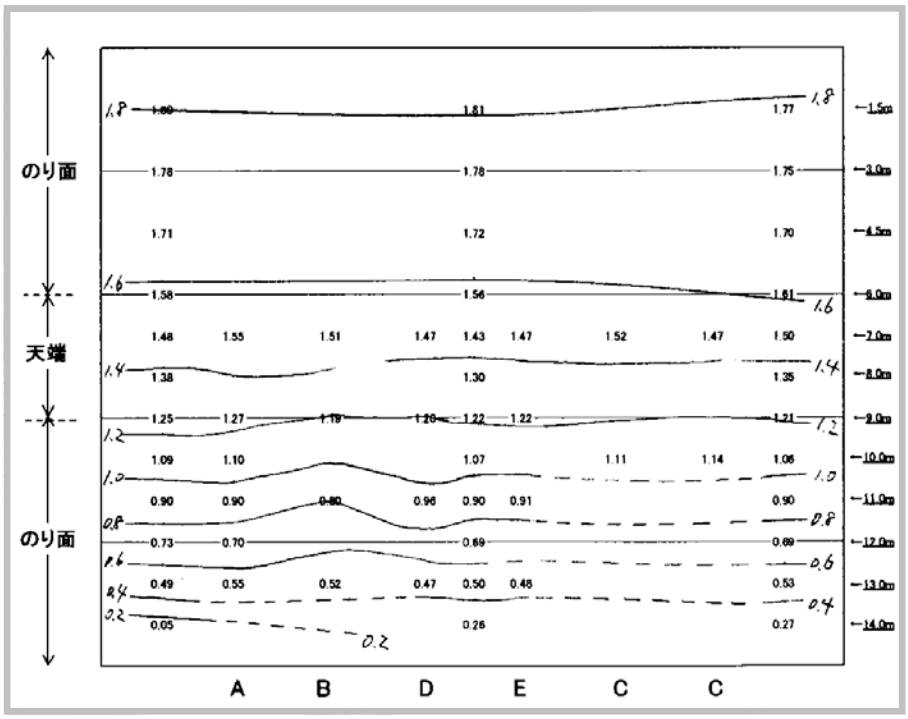


水位コンター図③（外水位一定後 192hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第１回湛水実験（３）

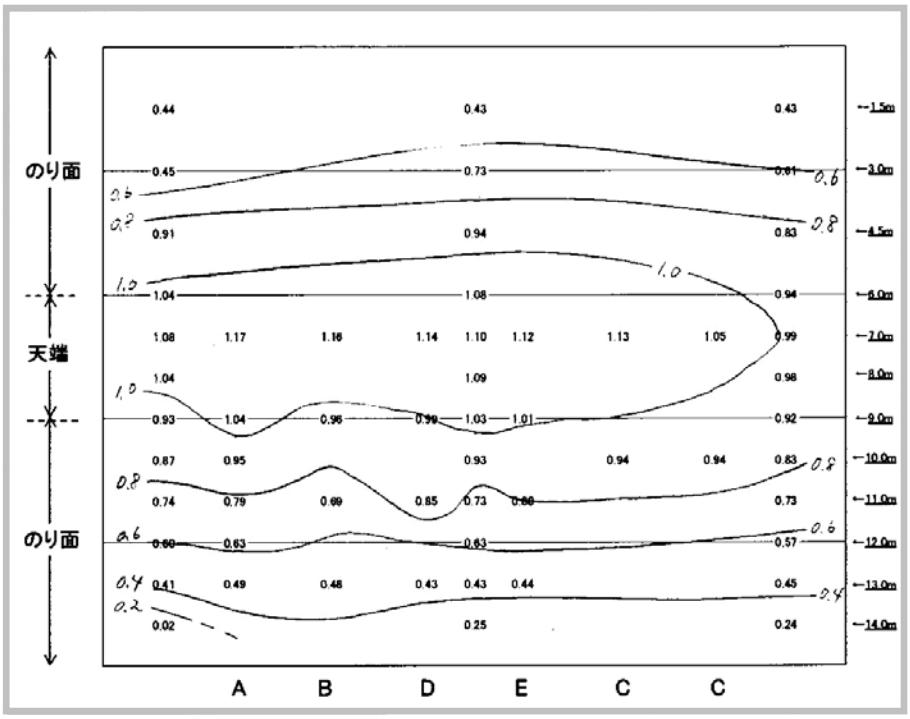


水位コンター図④（外水位一定後 288hr 経過）　　数字の単位(m)

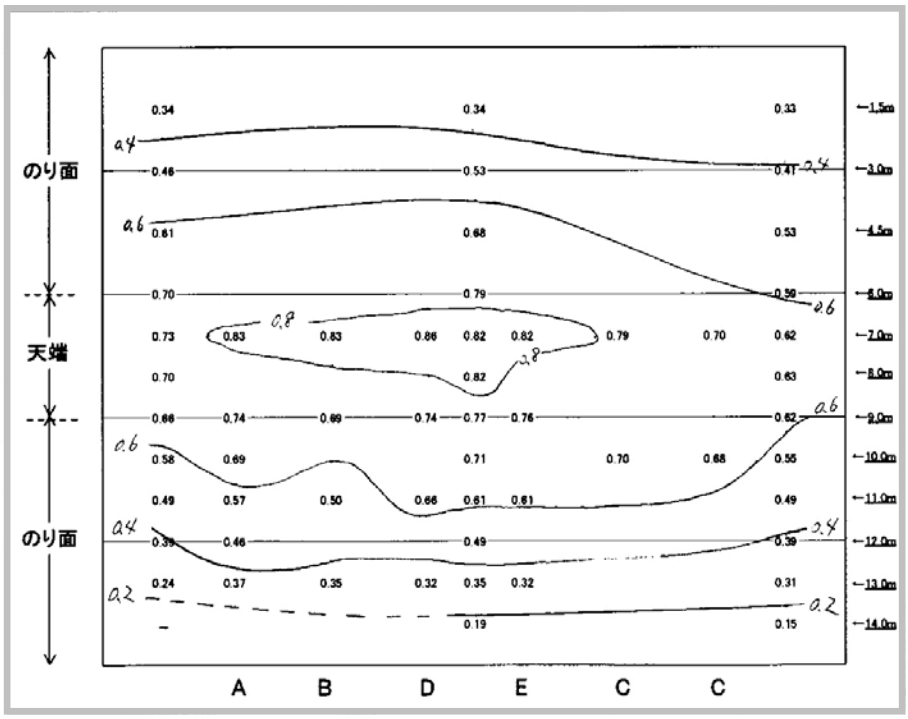


水位コンター図⑤（外水位一定後 408hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第１回湛水実験（４）

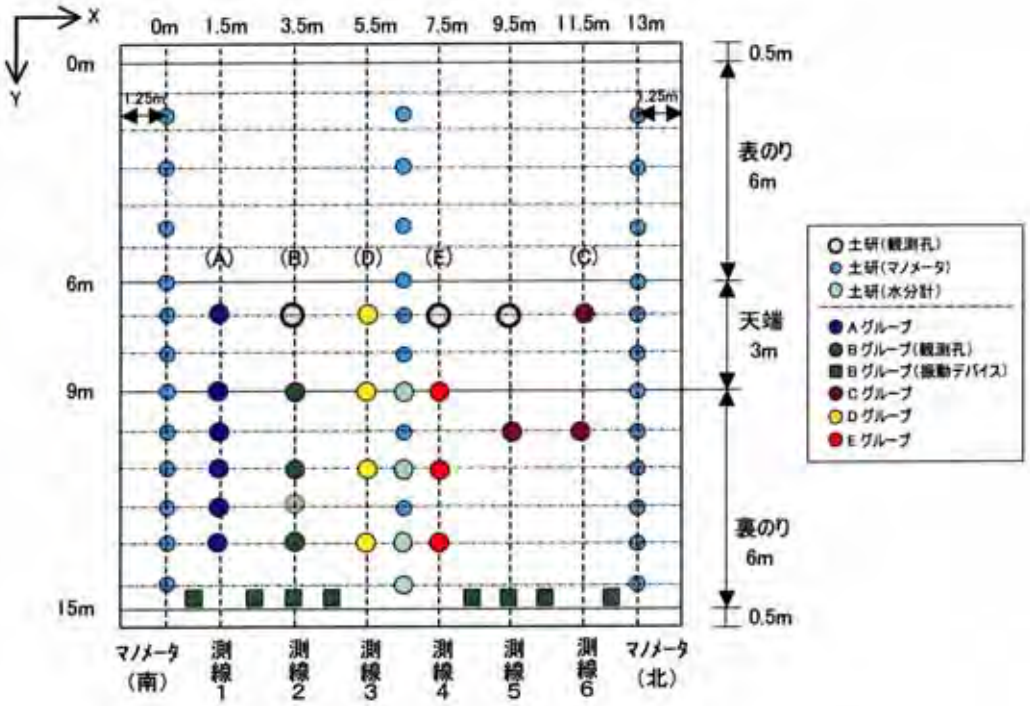


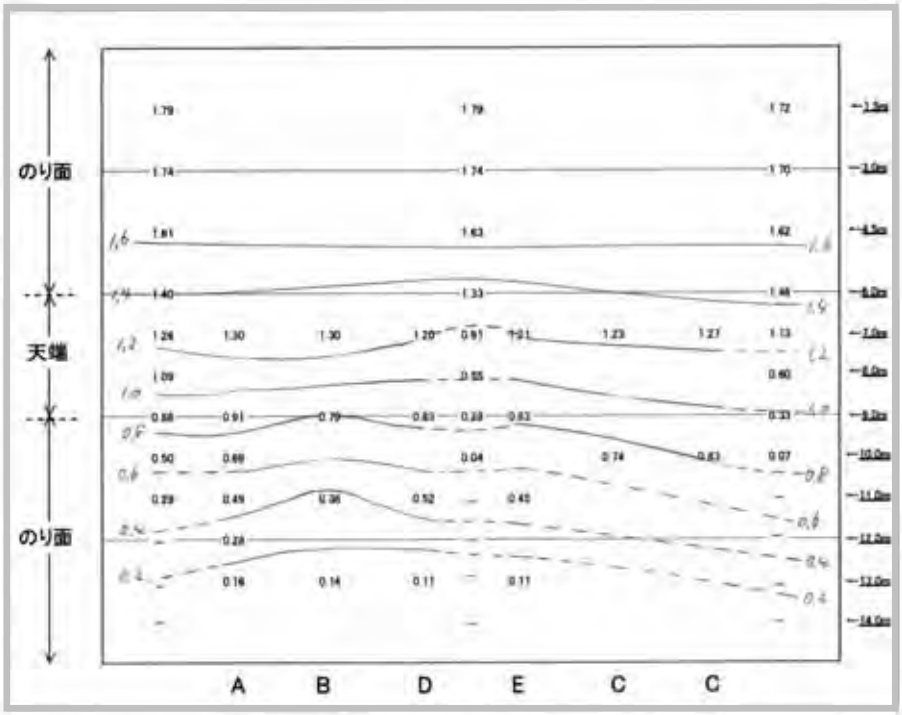
水位コンター図⑥（外水位低下後 24hr 経過）　　数字の単位(m)



水位コンター図⑦（外水位低下後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

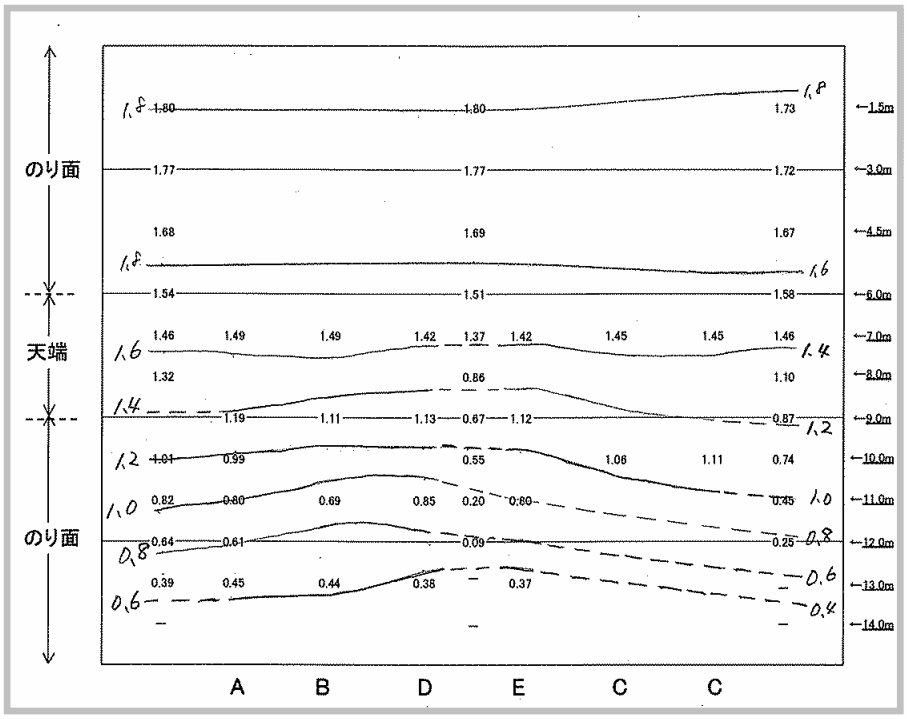
水位コンター図：第２回湛水実験（１）



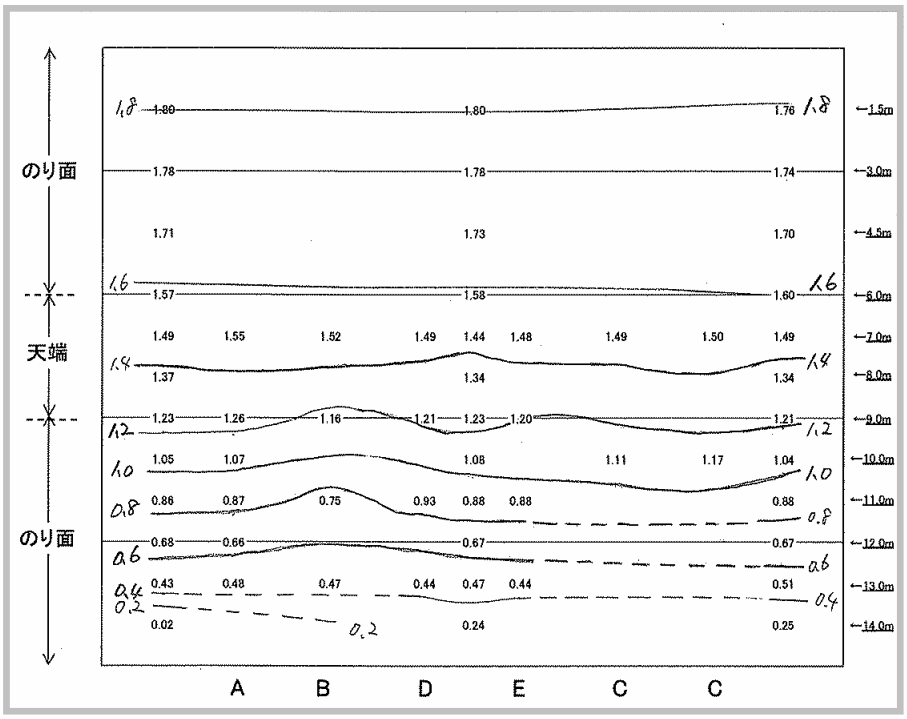


水位コンター図①（外水位一定後 48hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第２回湛水実験（２）

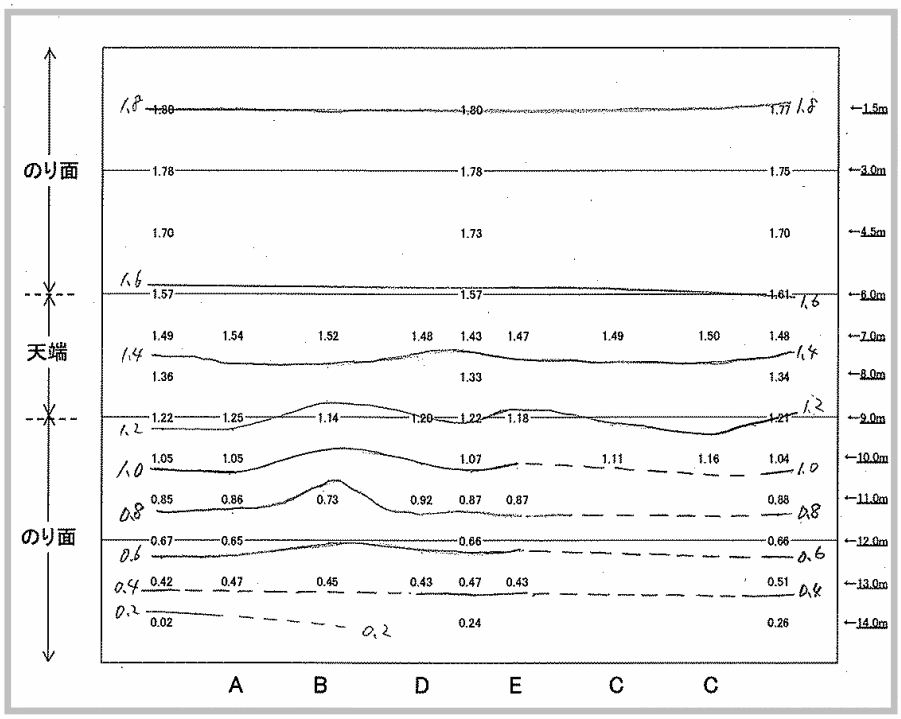


水位コンター図②（外水位一定後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

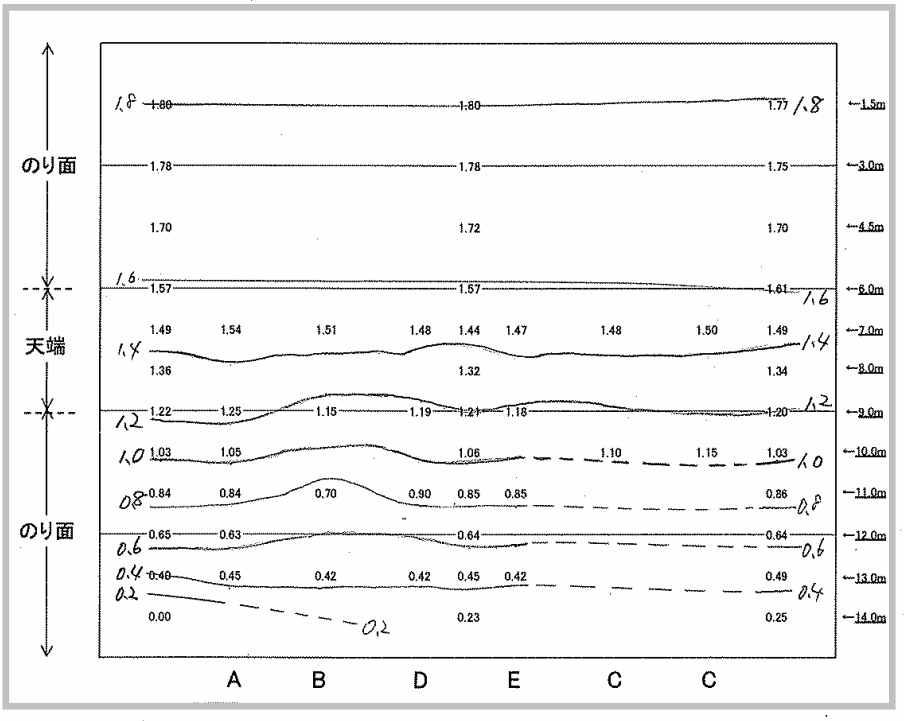


水位コンター図③（外水位一定後 192hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第２回湛水実験（３）

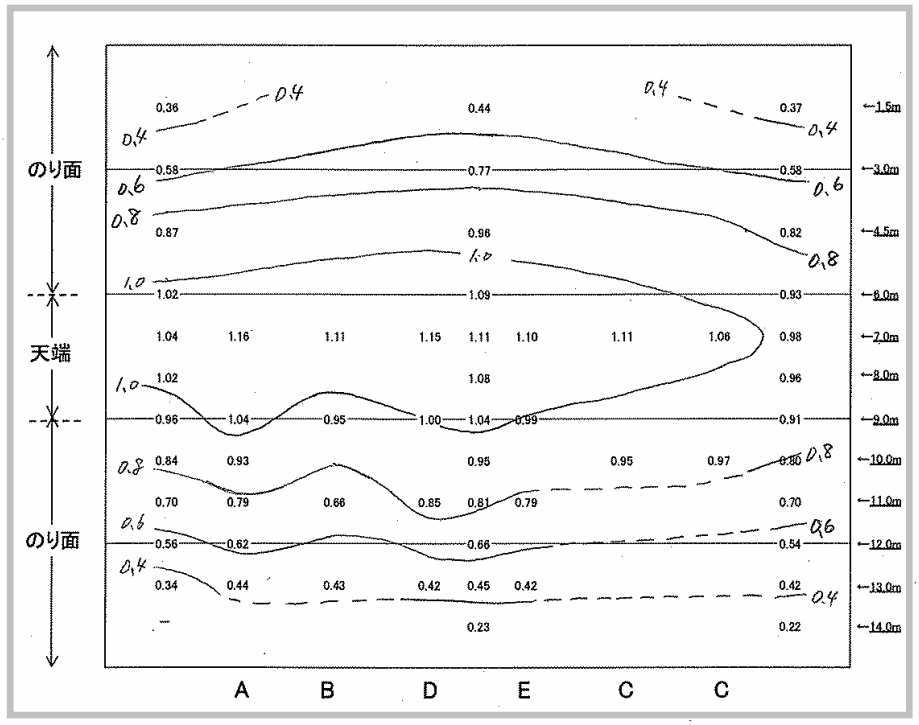


水位コンター図④（外水位一定後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

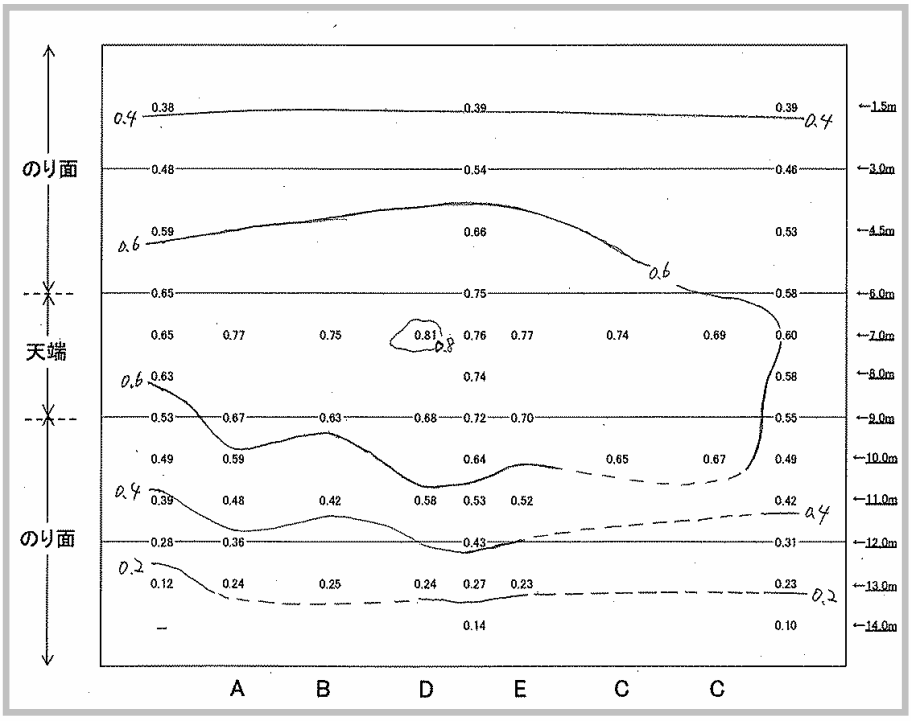


水位コンター図⑤（外水位一定後 408hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第２回湛水実験（４）

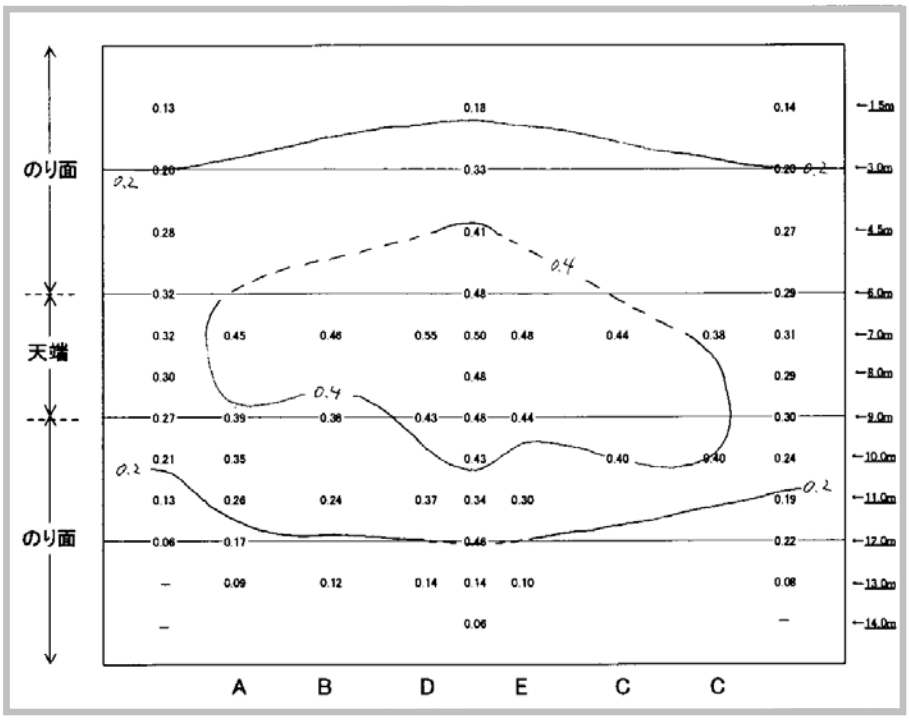


水位コンター図⑥（外水位低下後 24hr 経過）　　数字の単位(m)

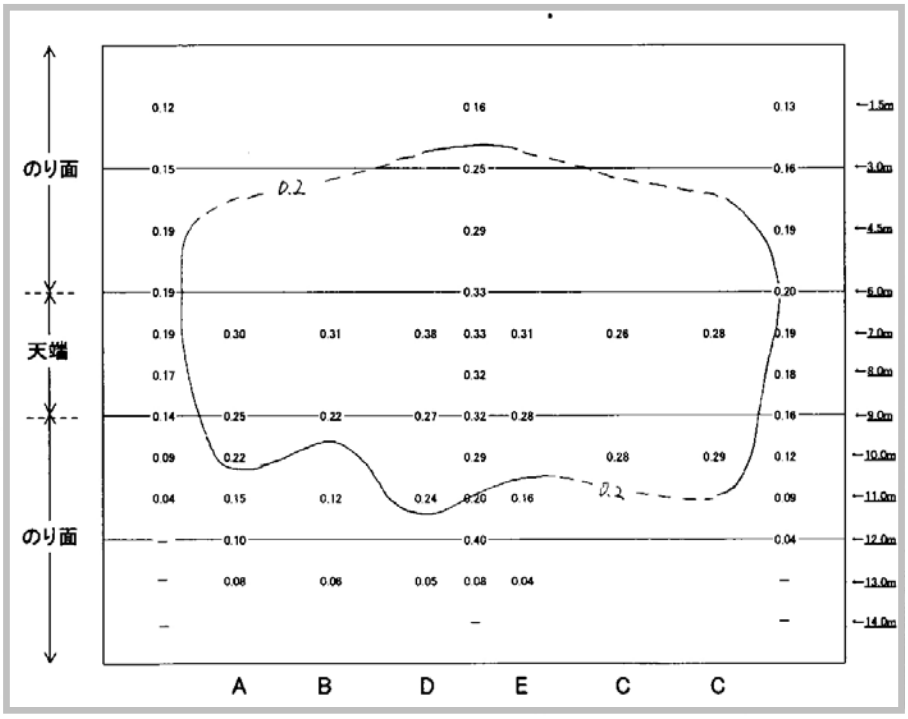


水位コンター図⑦（外水位低下後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第２回湛水実験（５）

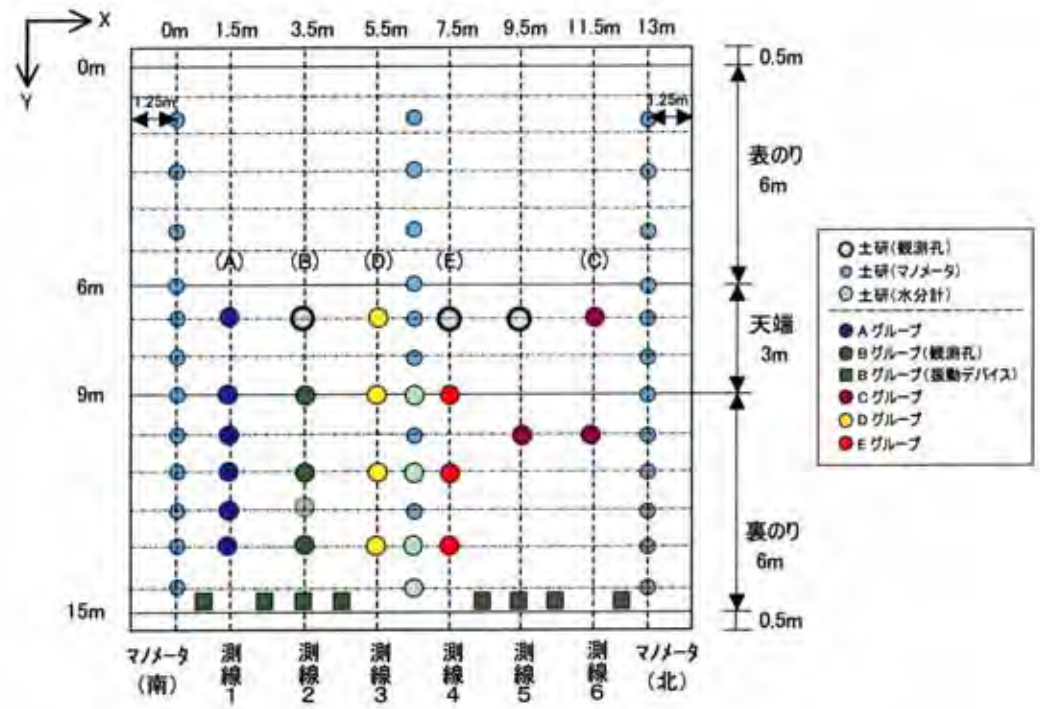


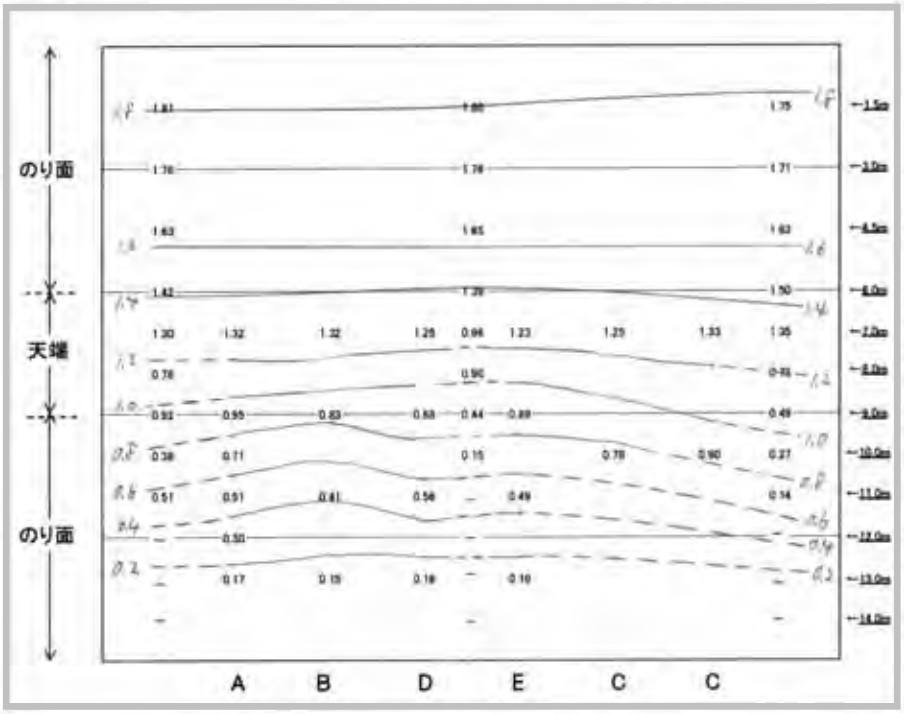
水位コンター図⑧（外水位低下後 264hr 経過）　　数字の単位(m)



水位コンター図⑨（外水位低下後 432hr 経過）　　数字の単位(m)

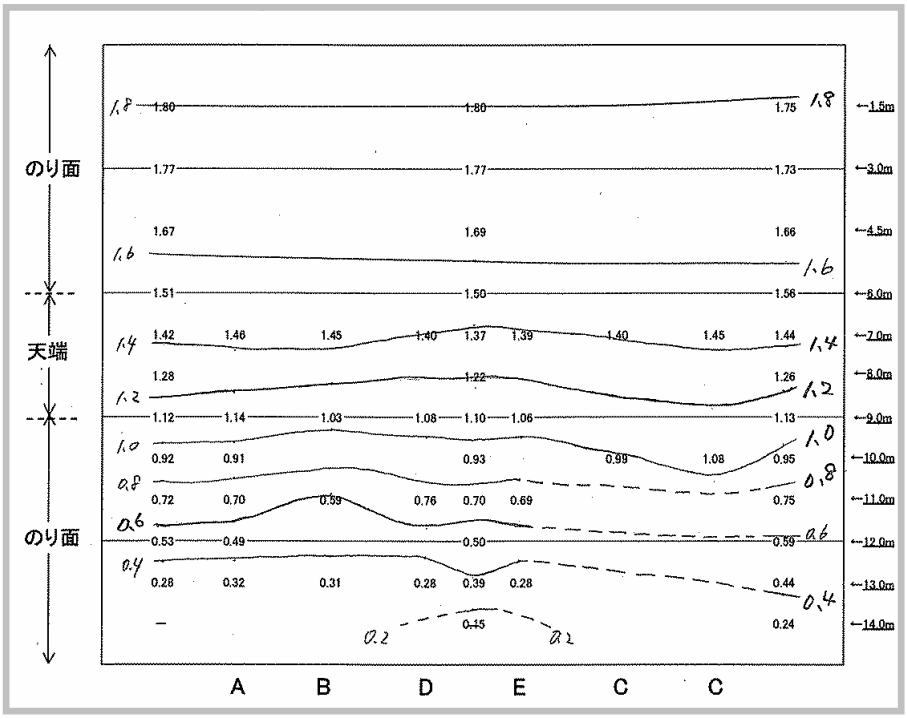
水位コンター図：第３回湛水実験（１）



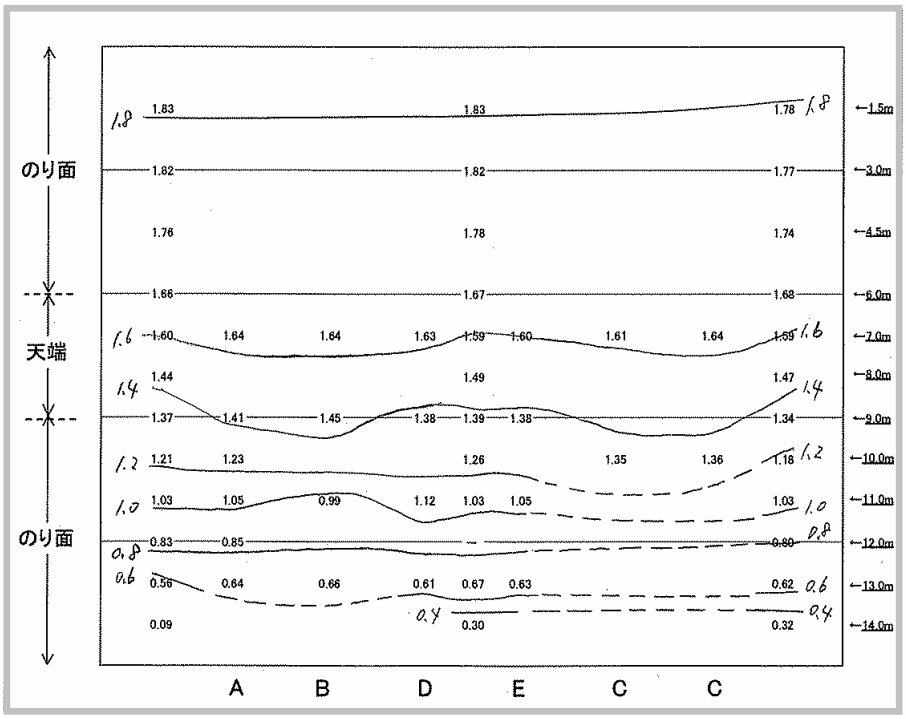


水位コンター図①（外水位一定後 48hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第３回湛水実験（２）

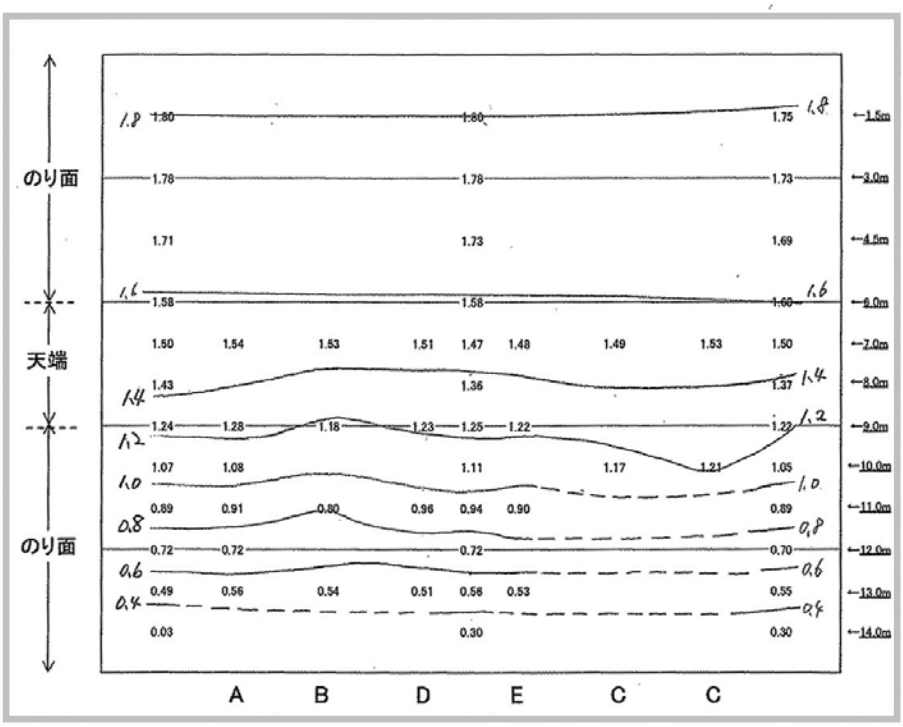


水位コンター図②（外水位一定後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

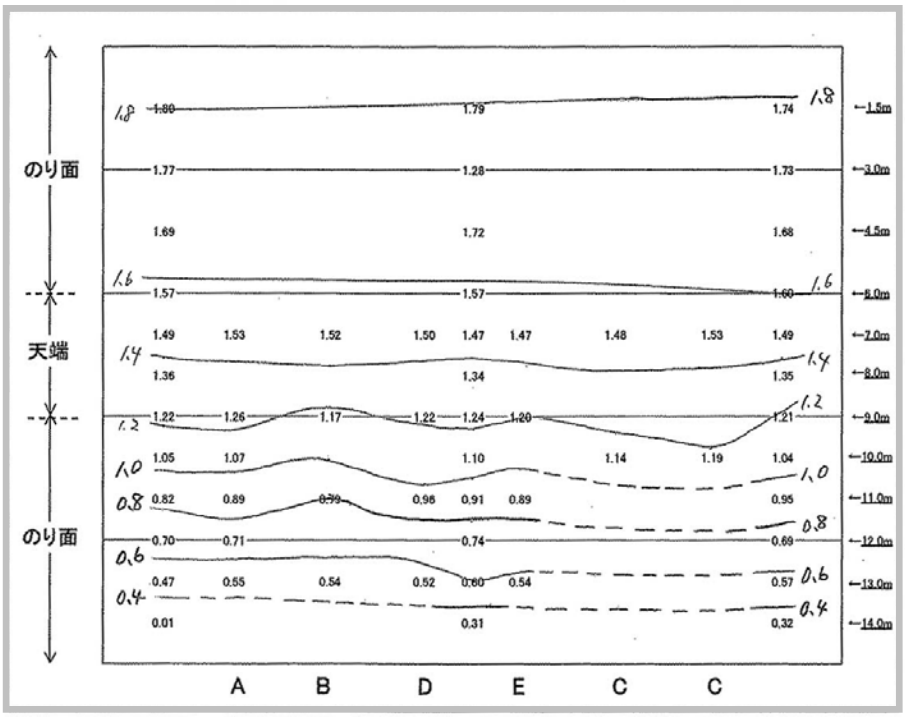


水位コンター図③（外水位一定後 192hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第３回湛水実験（３）

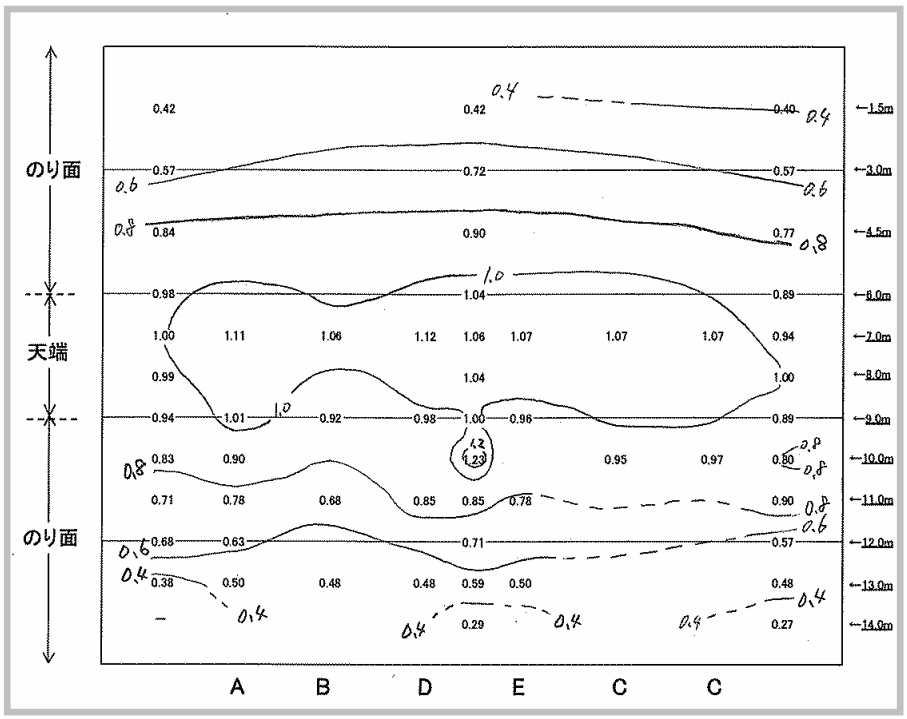


水位コンター図④（外水位一定後 264hr 経過）　数字の単位(m)

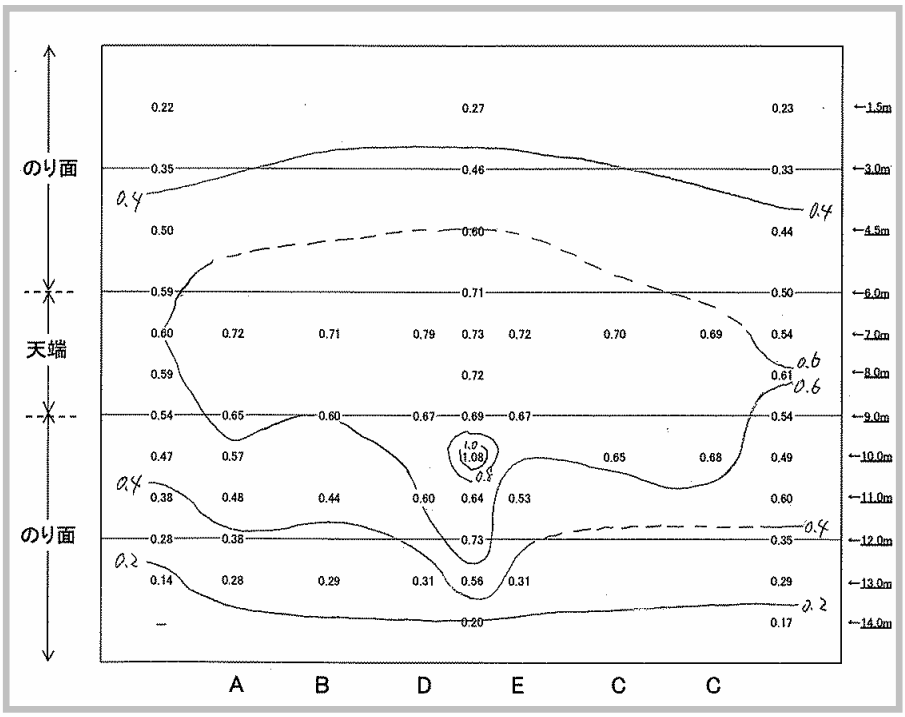


水位コンター図⑤（外水位一定後 408hr 経過）　数字の単位(m)

水位コンター図：第３回湛水実験（４）

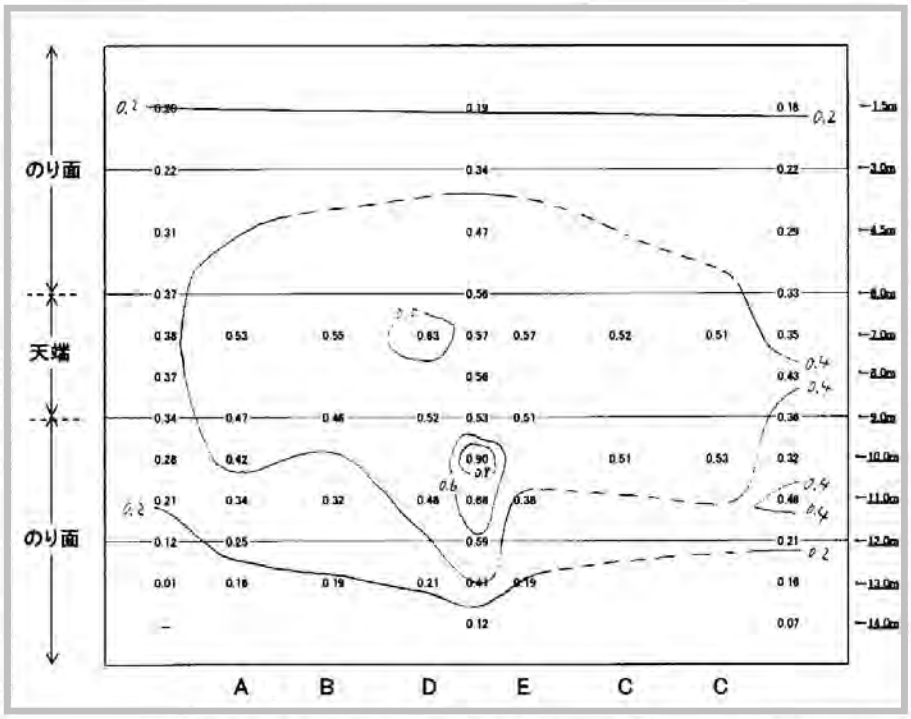


水位コンター図⑥（外水位低下後 24hr 経過）　　数字の単位(m)

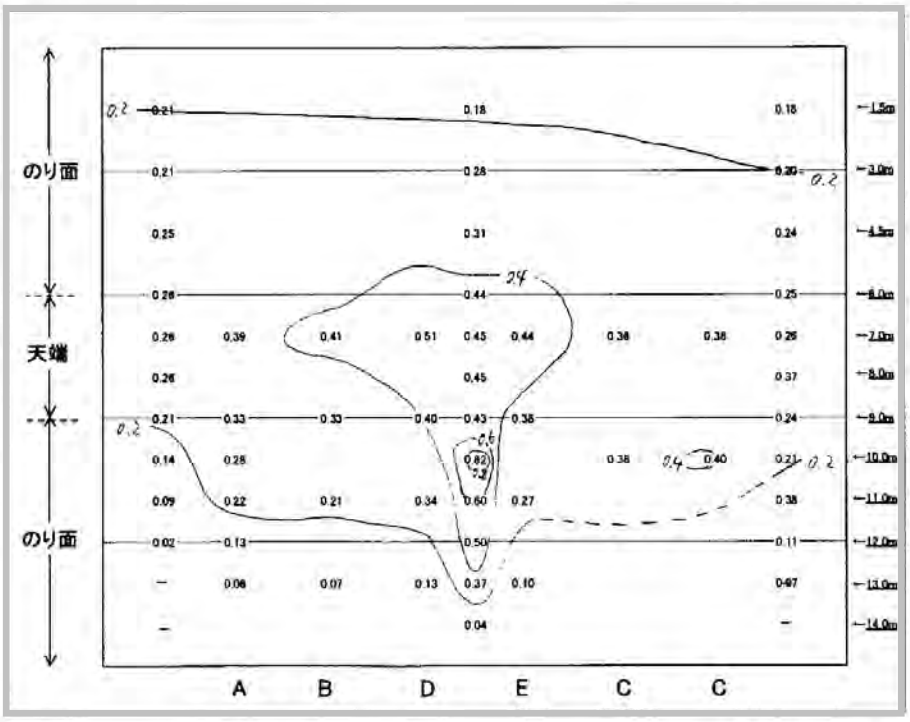


水位コンター図⑦（外水位低下後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第３回湛水実験（５）

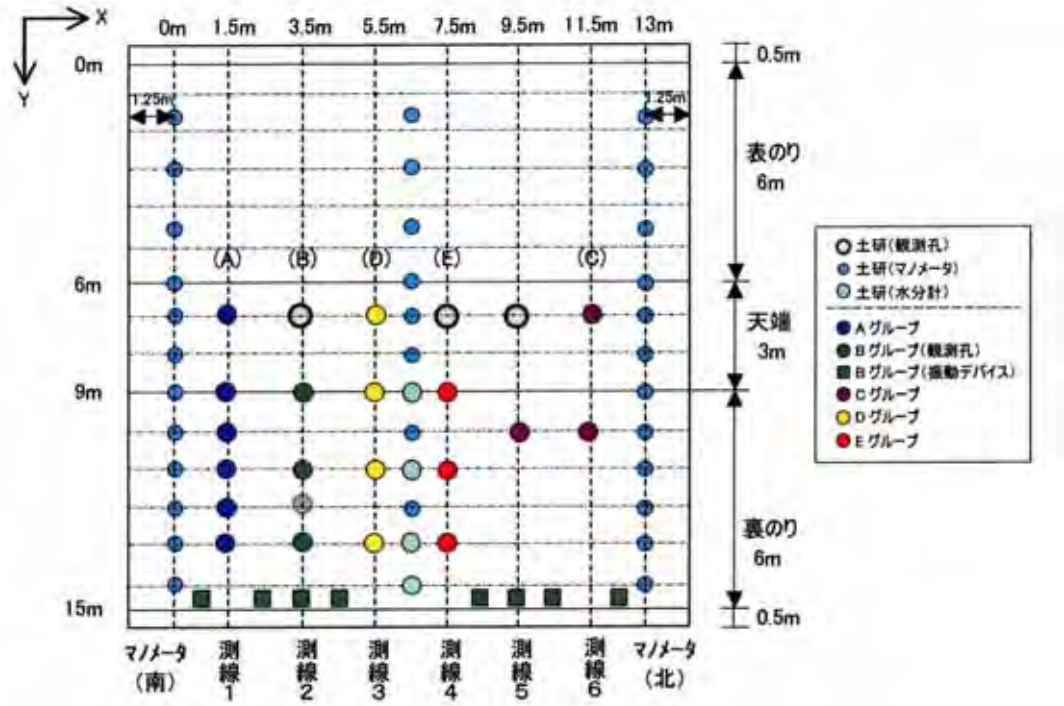


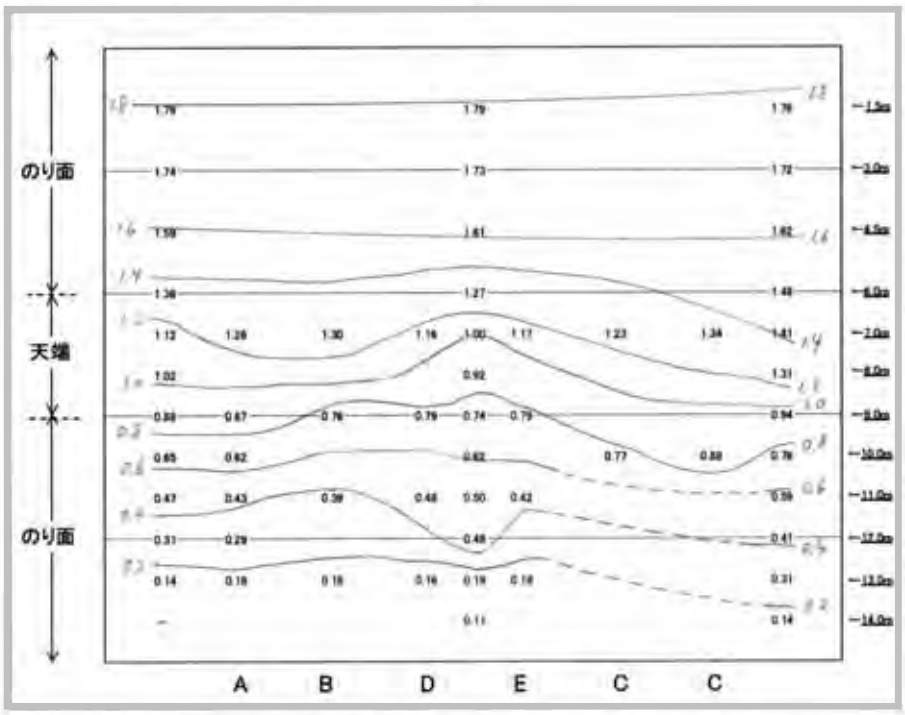
水位コンター図⑧（外水位低下後 168hr 経過）　　数字の単位(m)



水位コンター図⑨（外水位低下後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

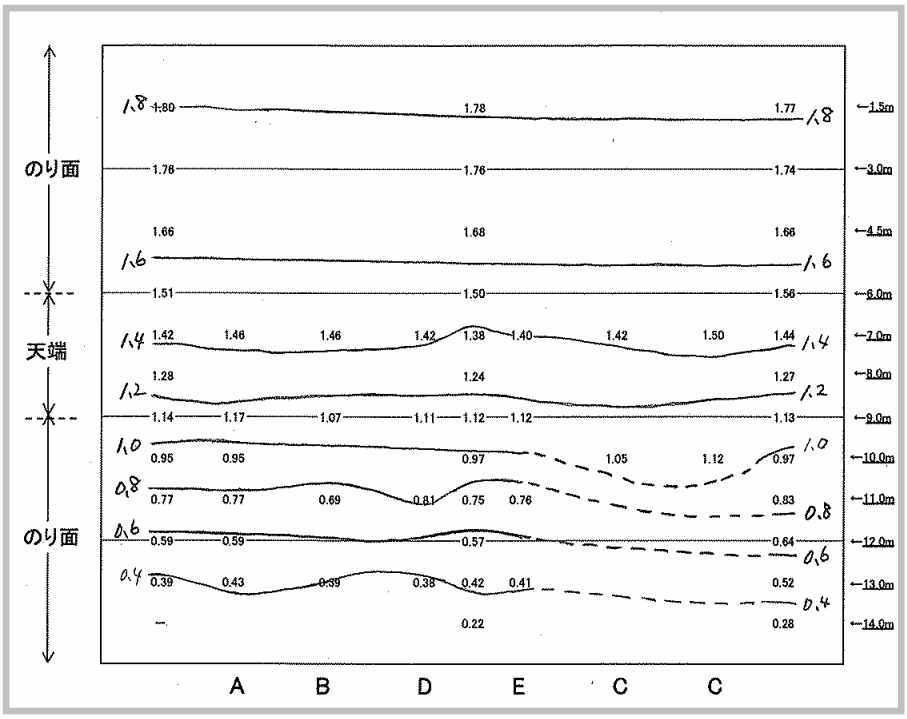
水位コンター図：第４回湛水実験（１）



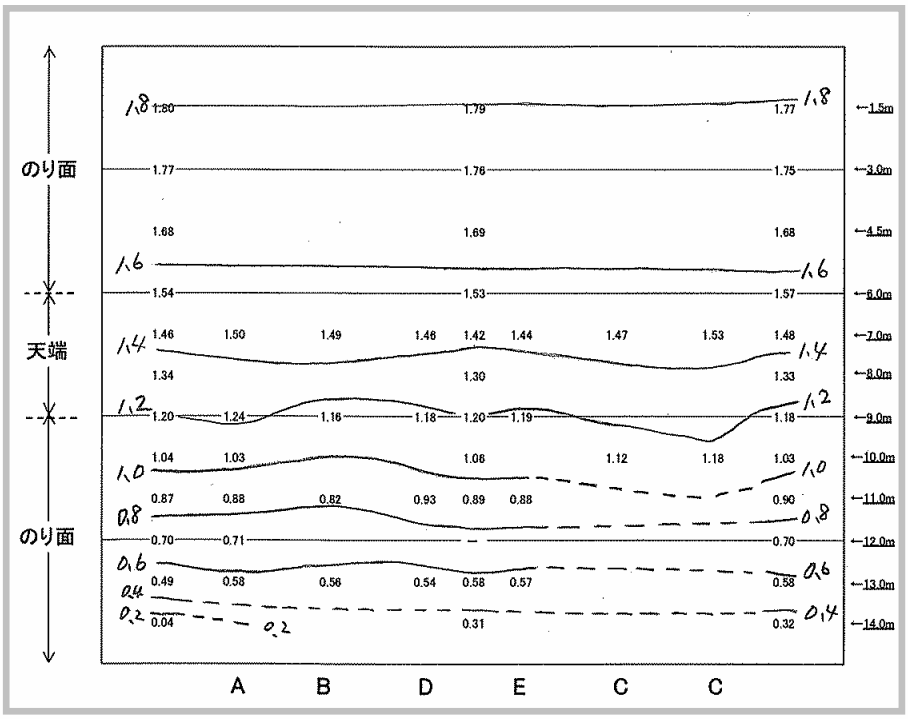


水位コンター図①（外水位一定後 48hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第４回湛水実験（２）

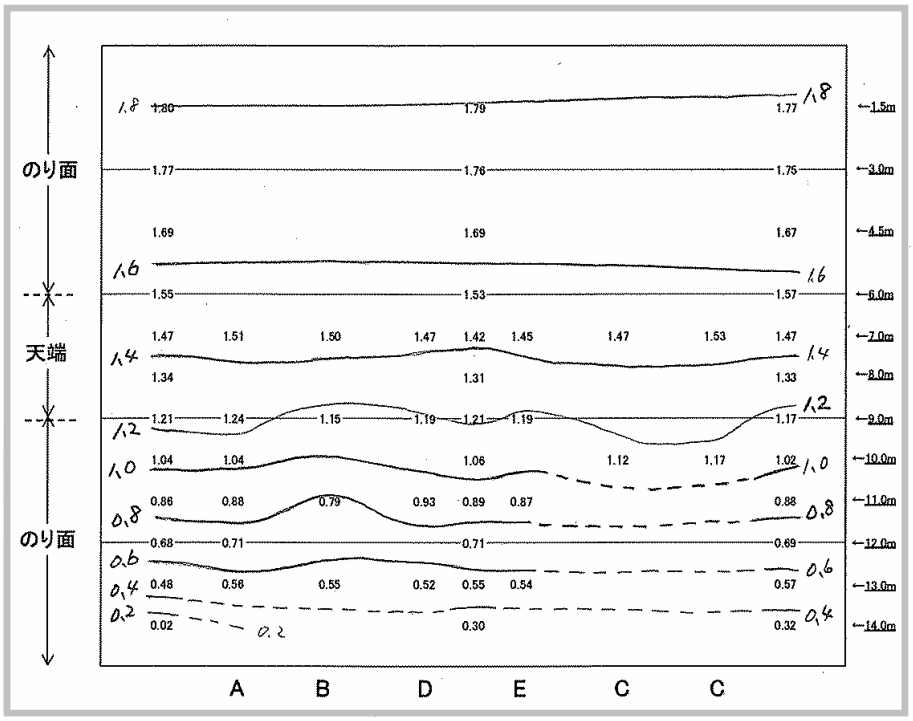


水位コンター図②（外水位一定後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

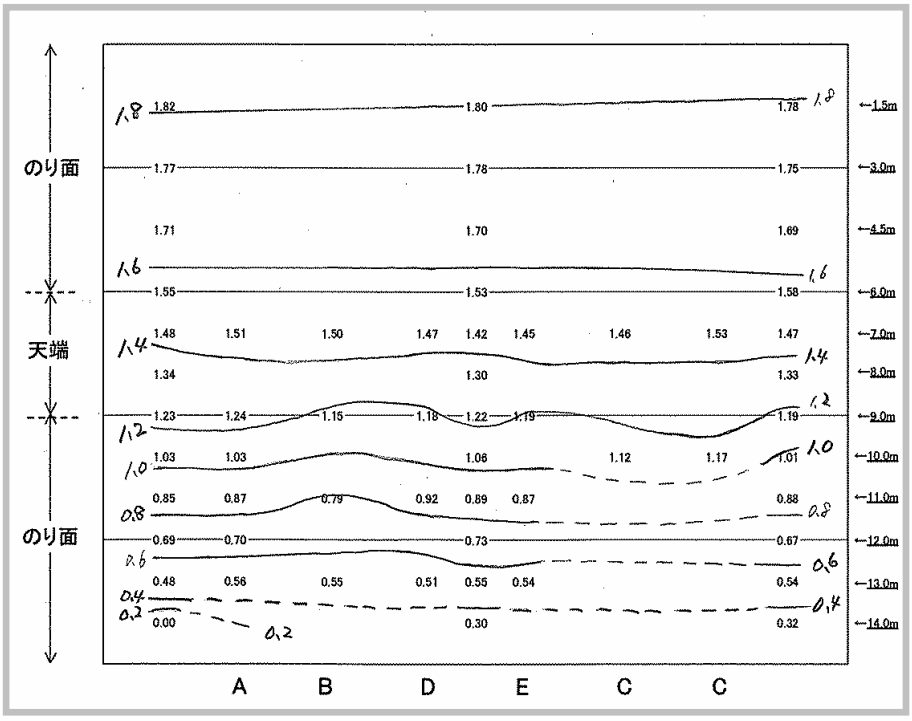


水位コンター図③（外水位一定後 192hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第４回湛水実験（３）

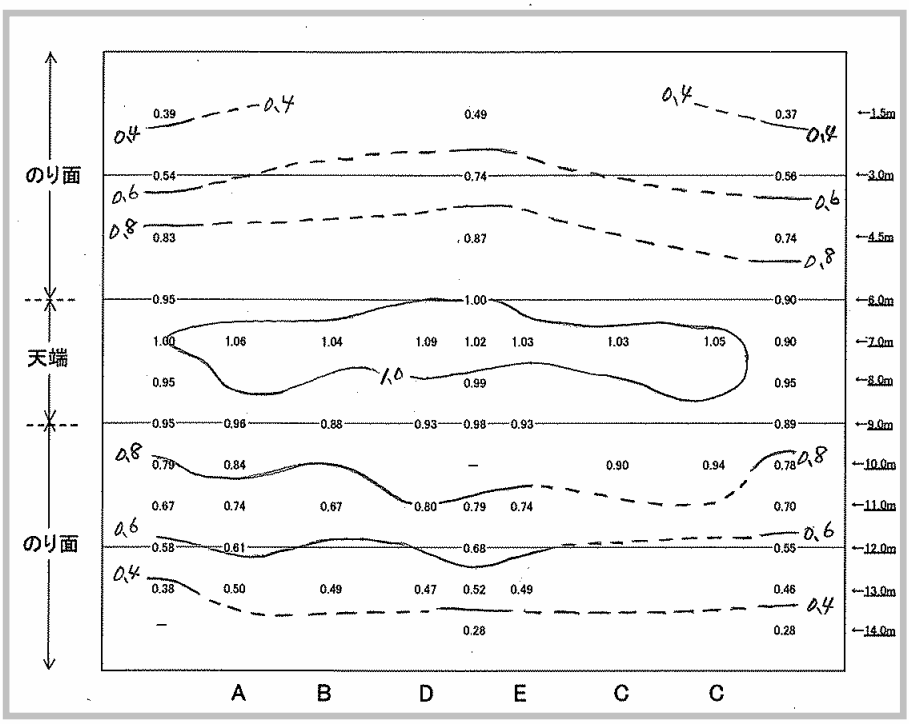


水位コンター図④（外水位一定後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

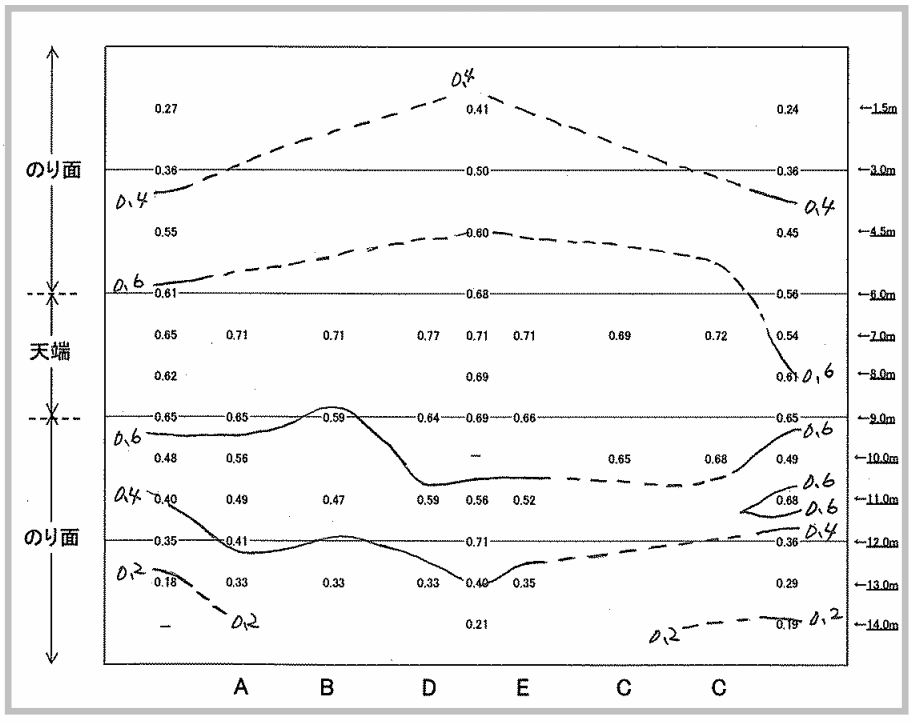


水位コンター図⑤（外水位一定後 408hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第４回湛水実験（４）

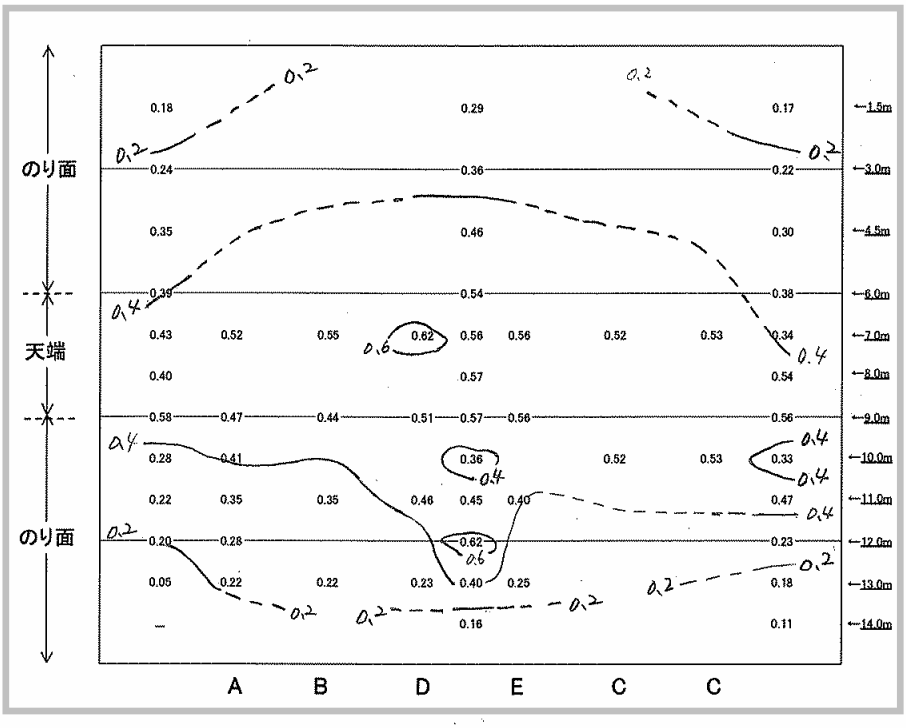


水位コンター図⑥（外水位低下後 24hr 経過）　　数字の単位(m)

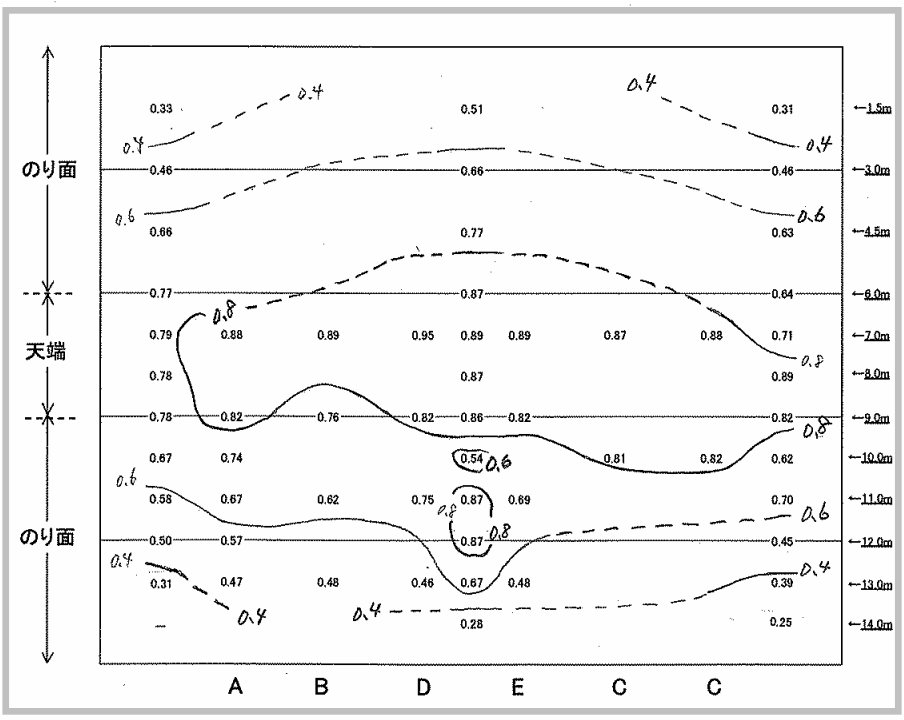


水位コンター図⑦（外水位低下後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第４回湛水実験（５）

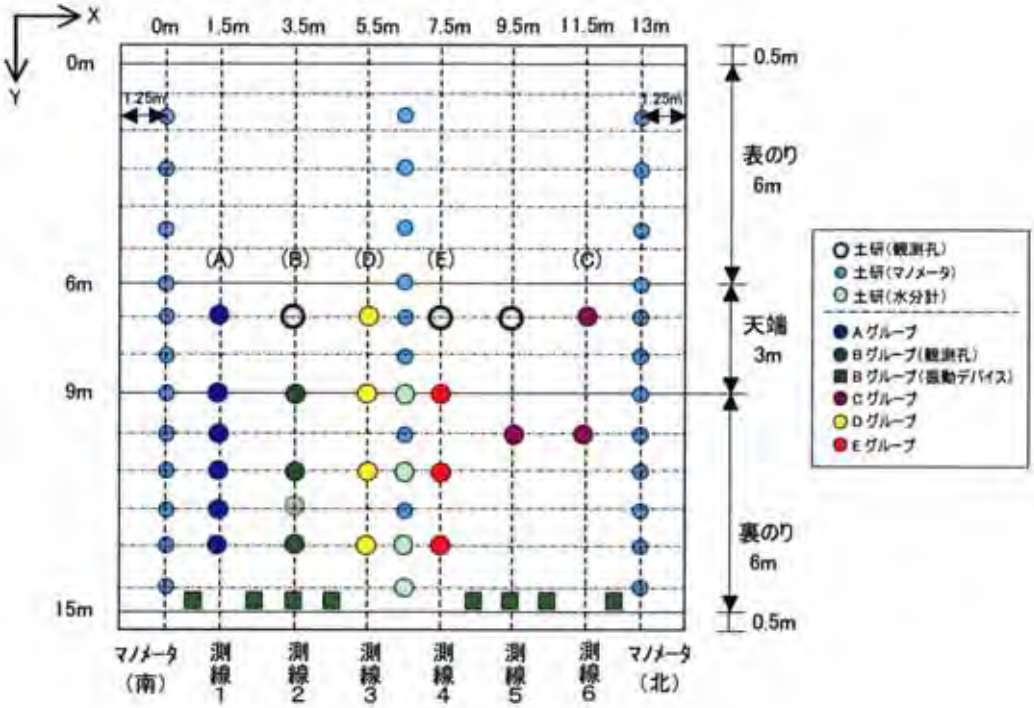


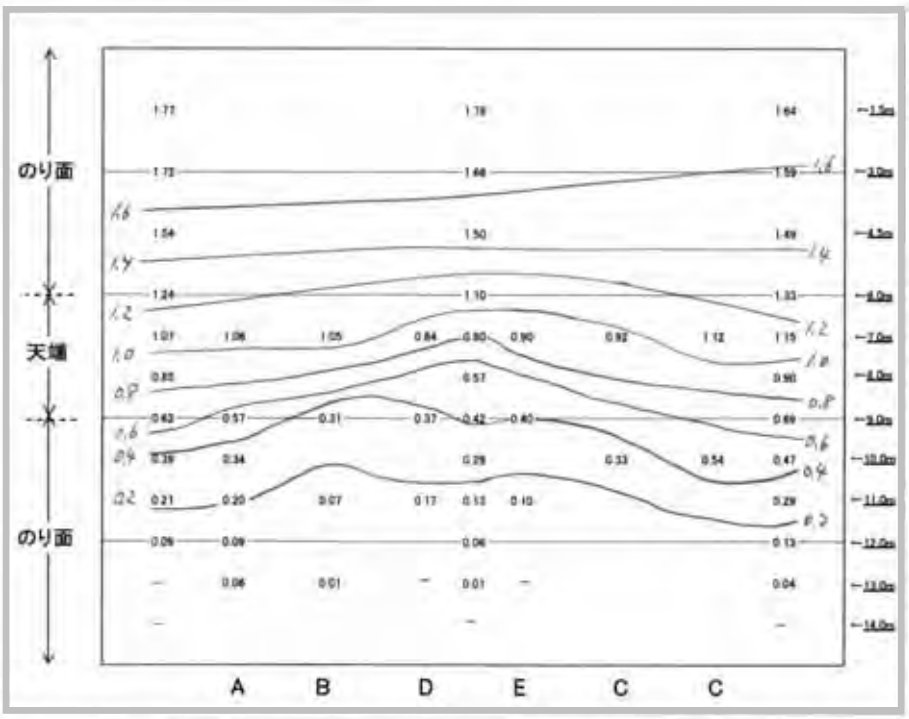
水位コンター図⑧（外水位低下後 168hr 経過）　　数字の単位(m)



水位コンター図⑨（外水位低下後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

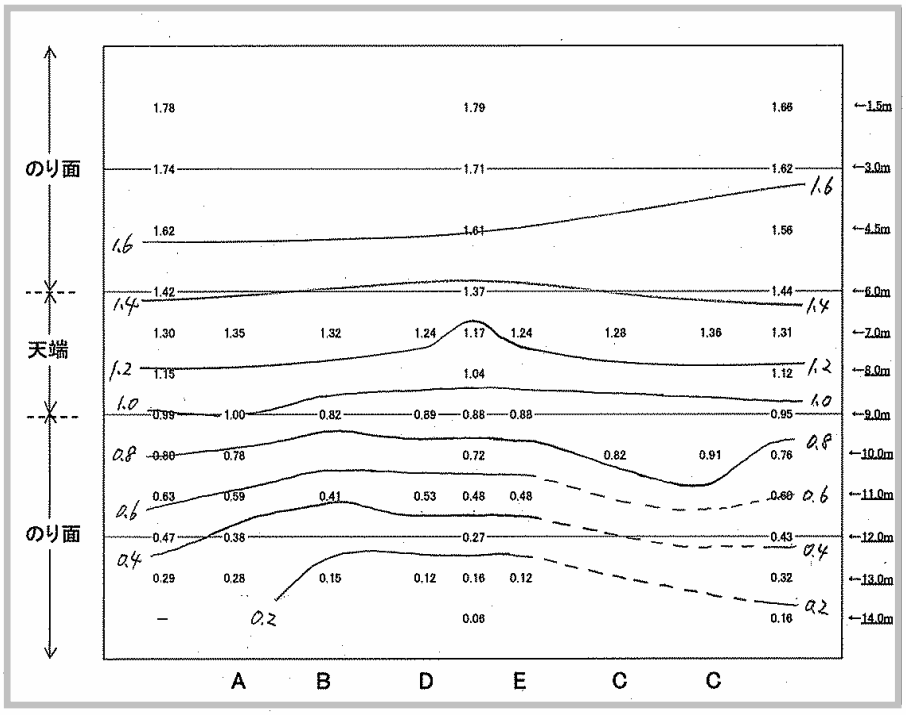
水位コンター図：第５回湛水実験（１）



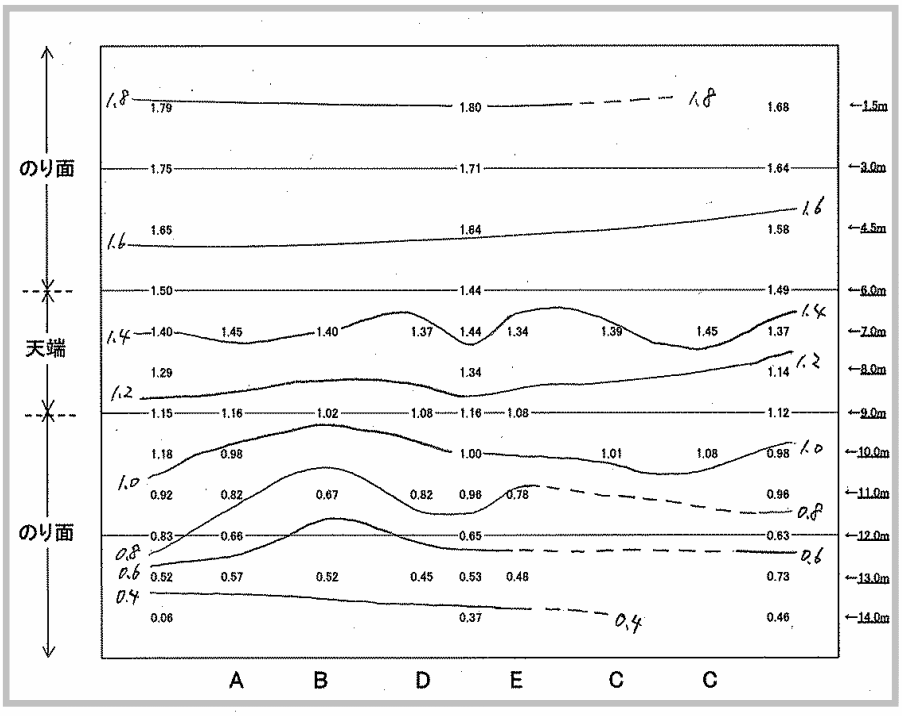


水位コンター図①（外水位一定後 48hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第５回湛水実験（２）

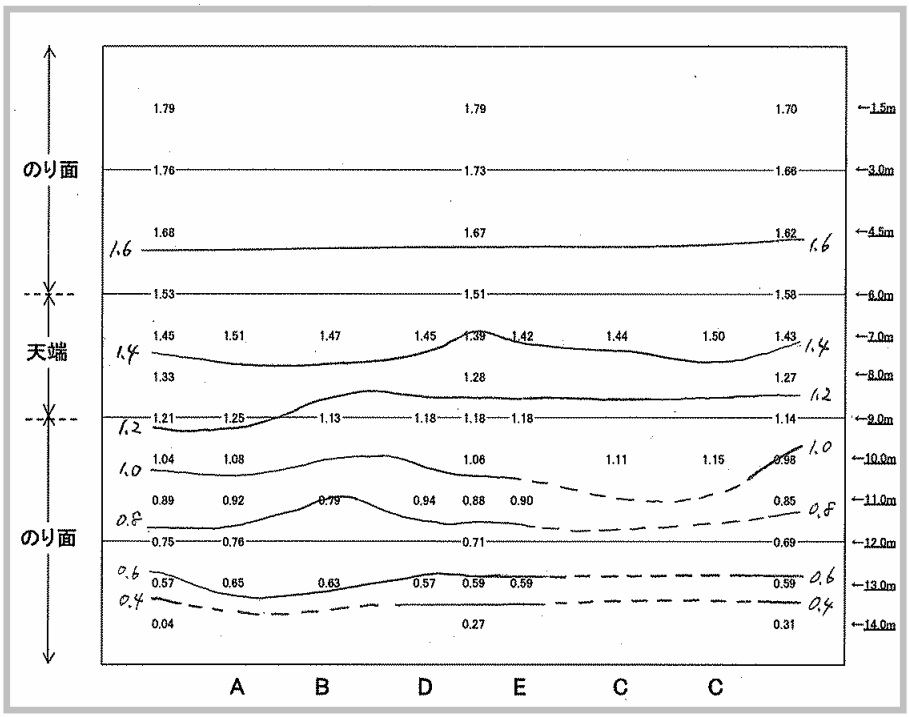


水位コンター図②（外水位一定後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

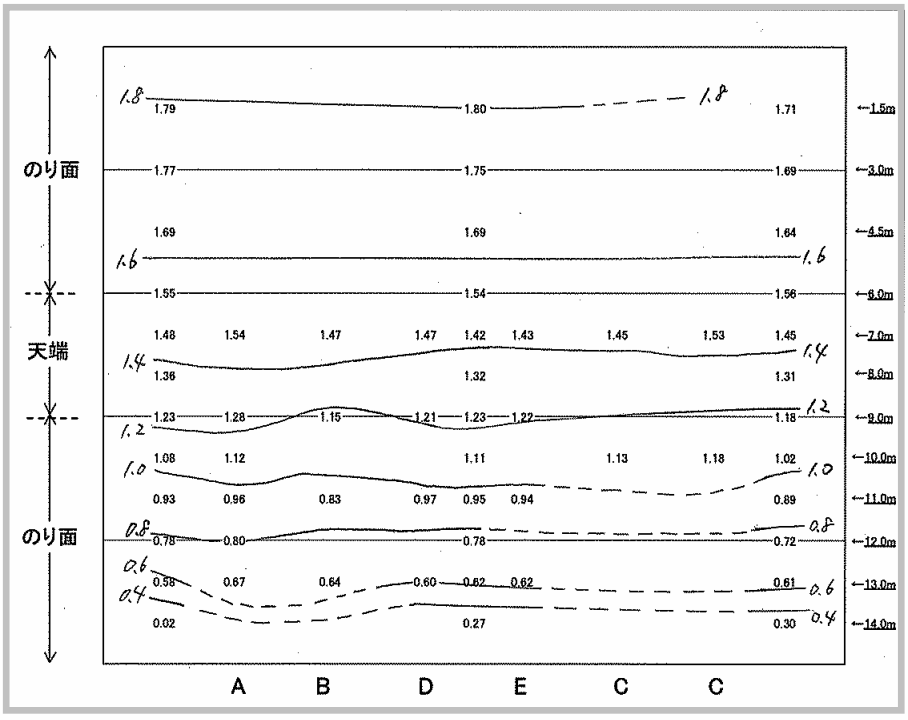


水位コンター図③（外水位一定後 192hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第５回湛水実験（３）

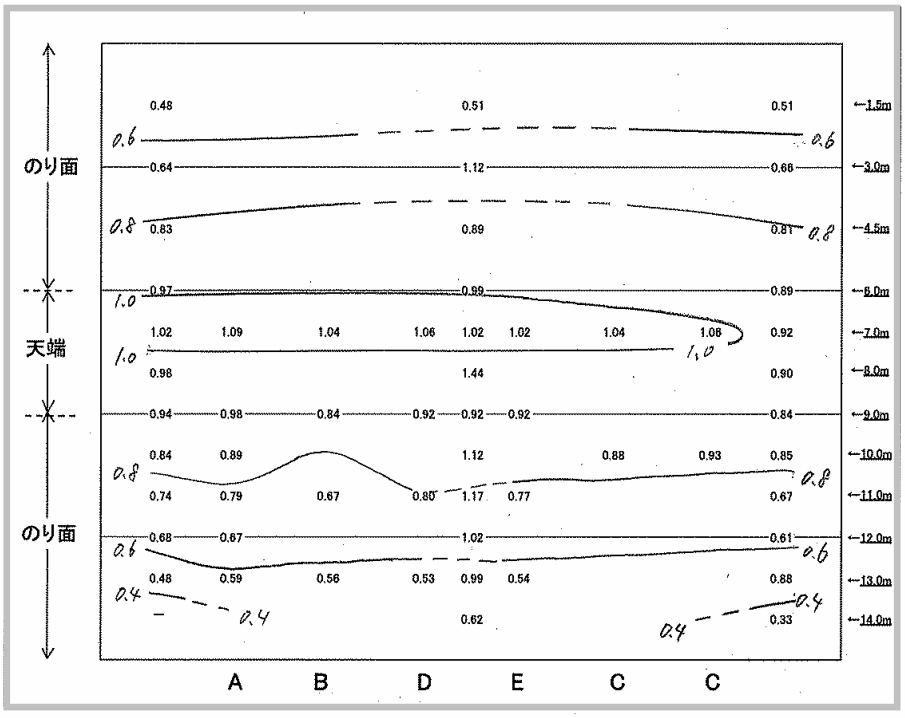


水位コンター図④（外水位一定後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

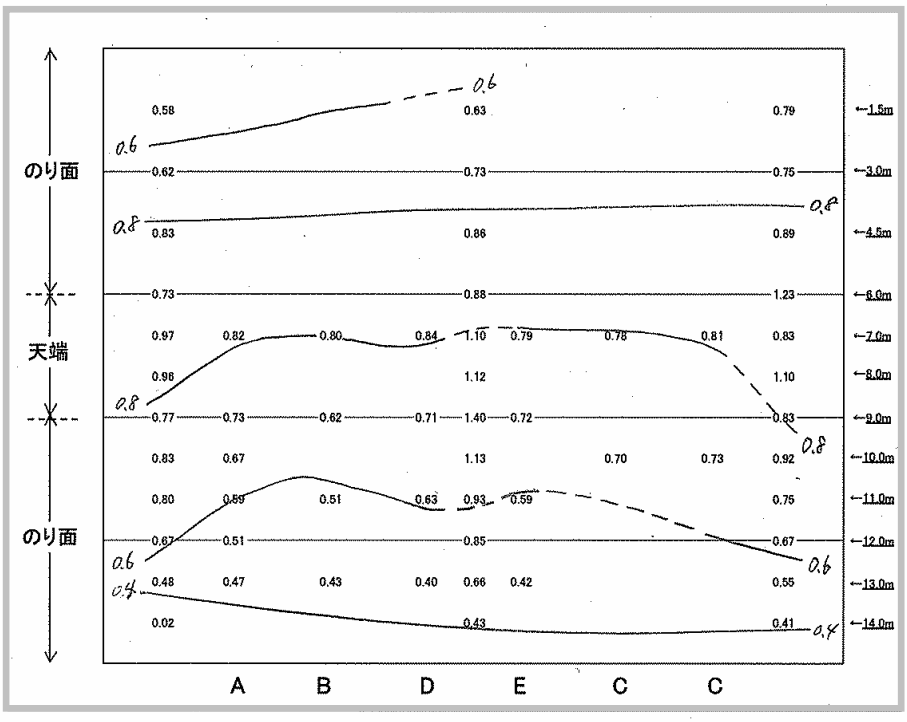


水位コンター図⑤（外水位一定後 408hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第５回湛水実験（４）

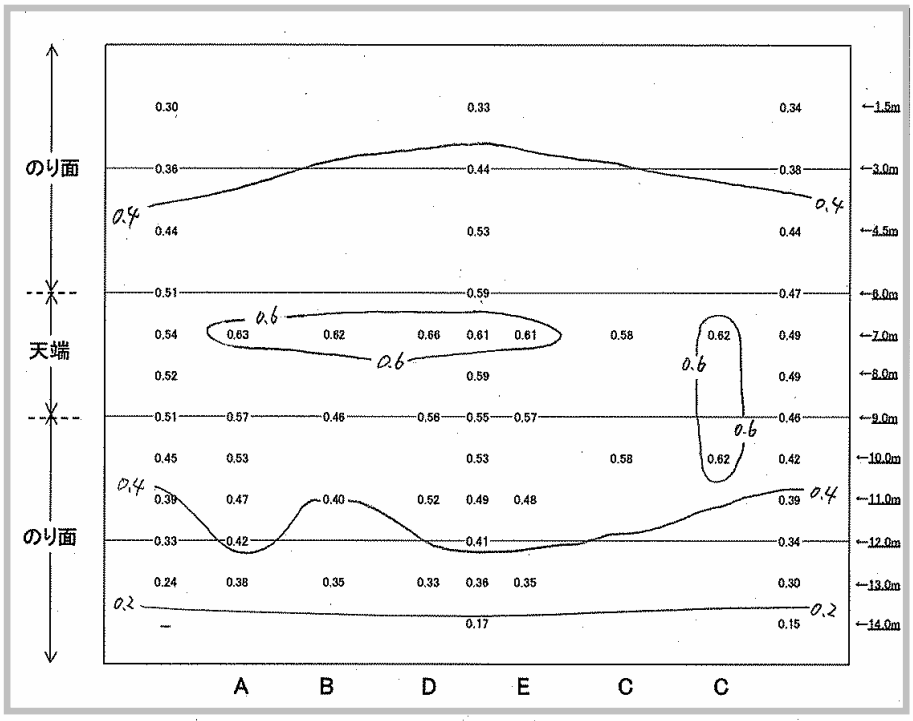


水位コンター図⑥（外水位低下後 24hr 経過）　　数字の単位(m)

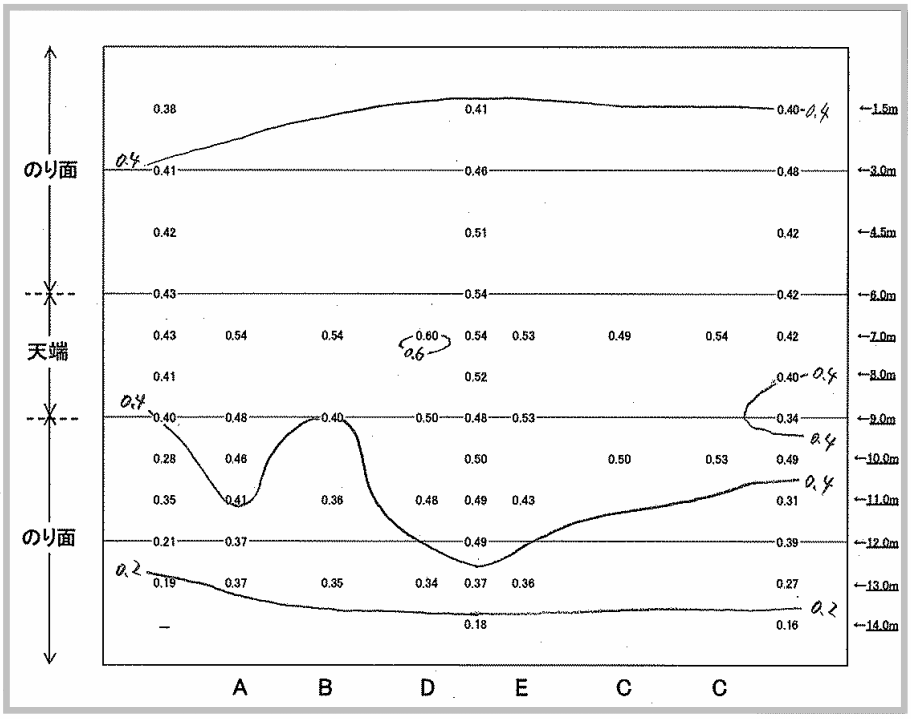


水位コンター図⑦（外水位低下後 96hr 経過）　　数字の単位(m)

水位コンター図：第５回湛水実験（５）

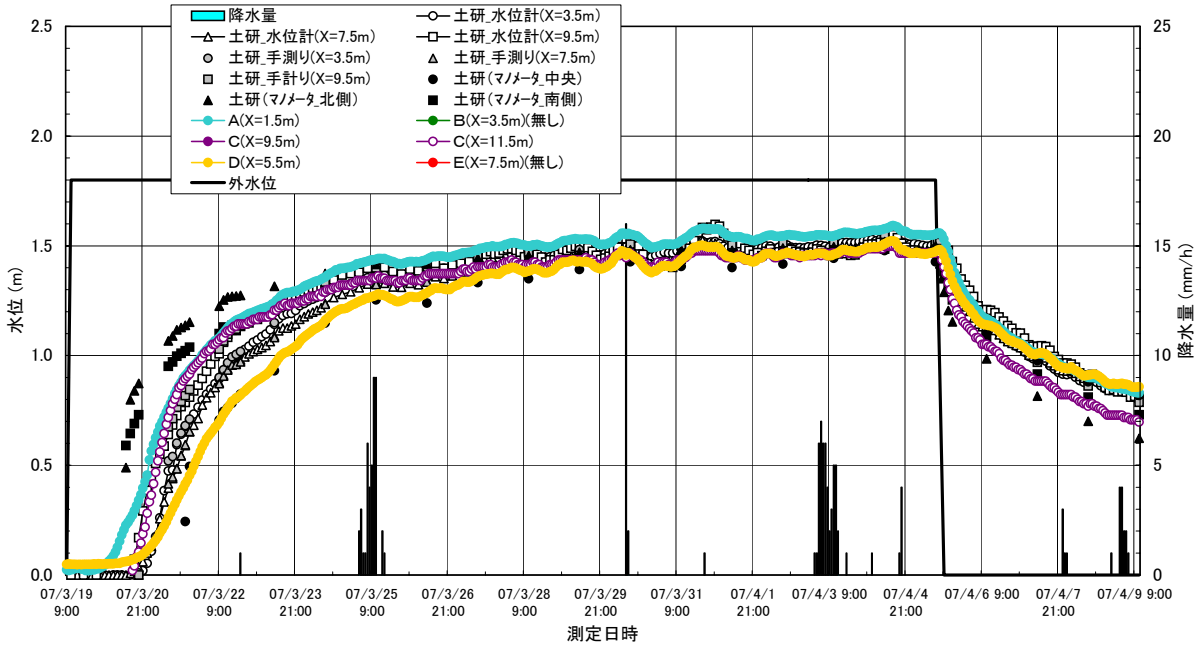


水位コンター図⑧（外水位低下後 168hr 経過）　　数字の単位(m)

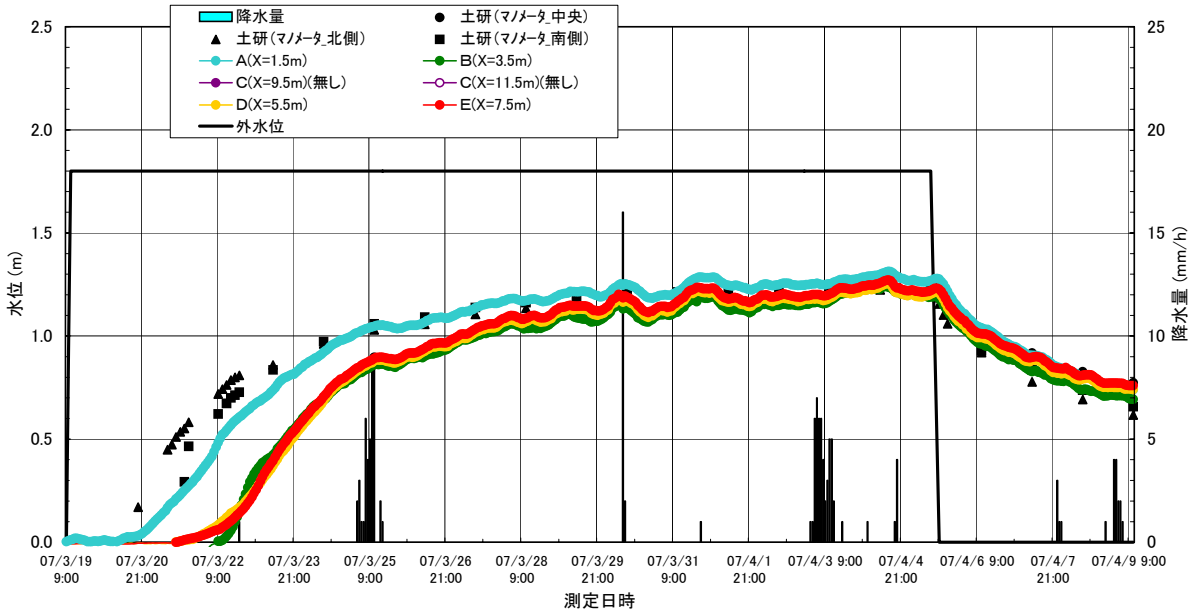


水位コンター図⑨（外水位低下後 264hr 経過）　　数字の単位(m)

水位経時変化図：第１回湛水実験（１）

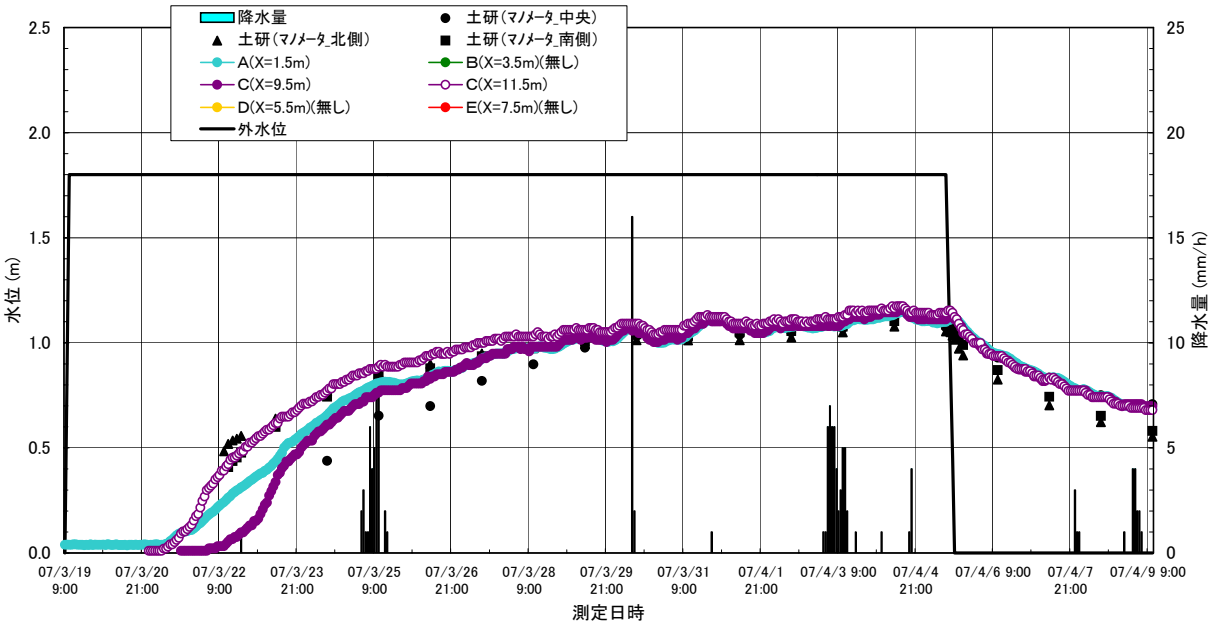


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

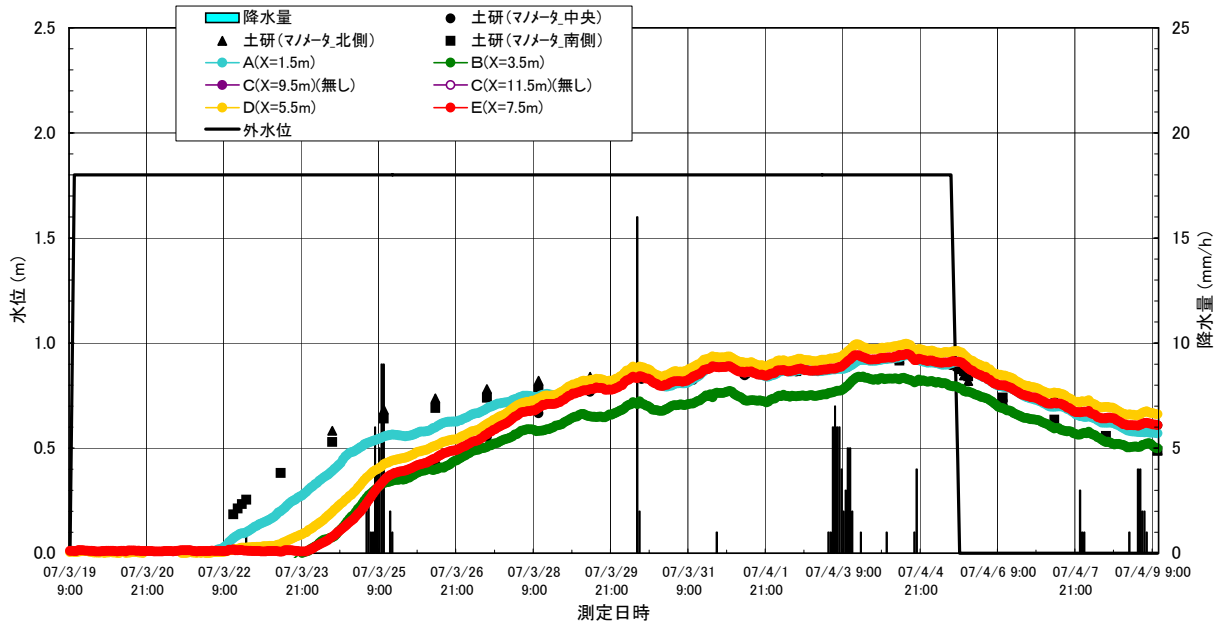


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第１回湛水実験（２）

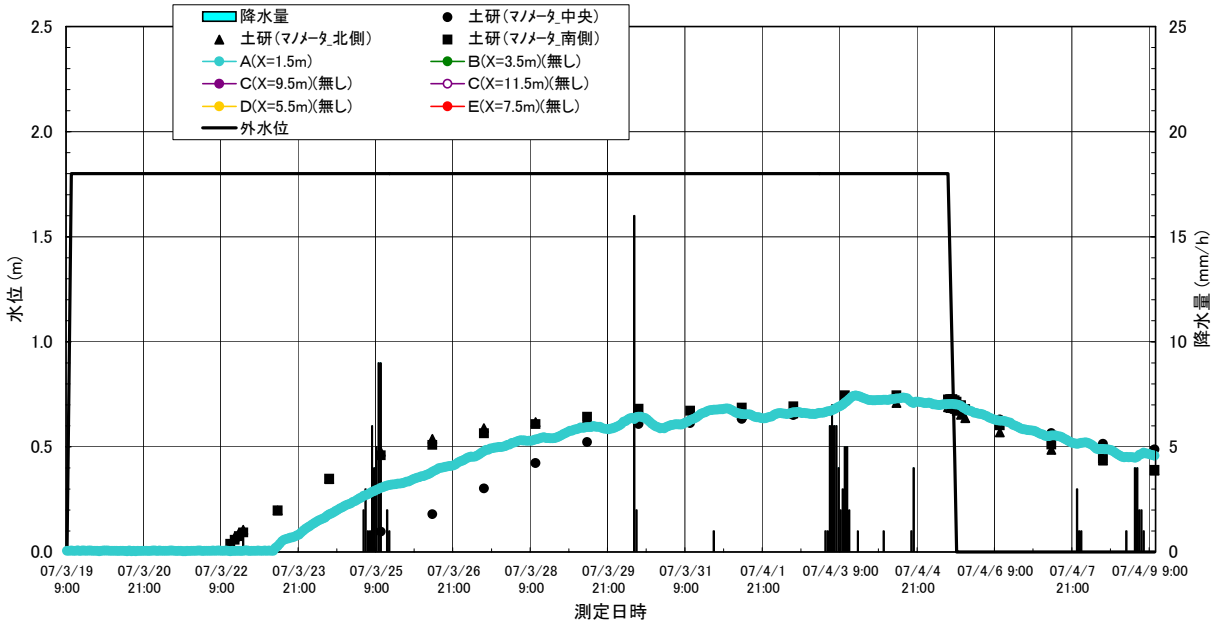


観測地点別の水位変化図(地点③_のり肩＋1m)

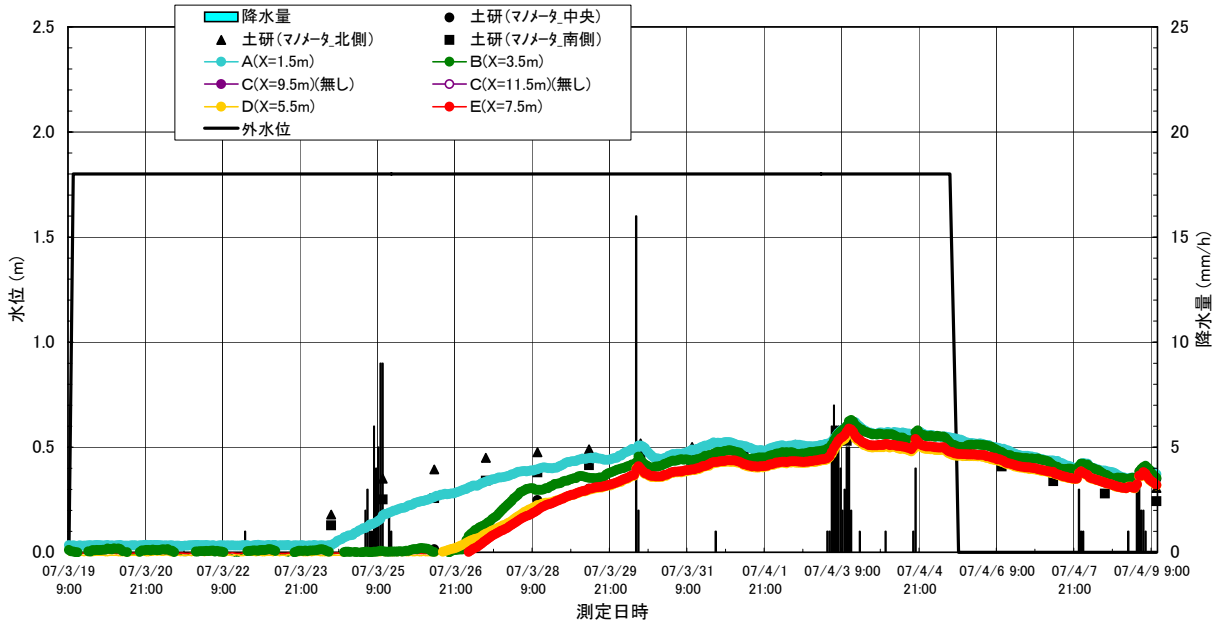


観測地点別の水位変化図(地点④_のり肩＋2m)

水位経時変化図：第１回湛水実験（３）

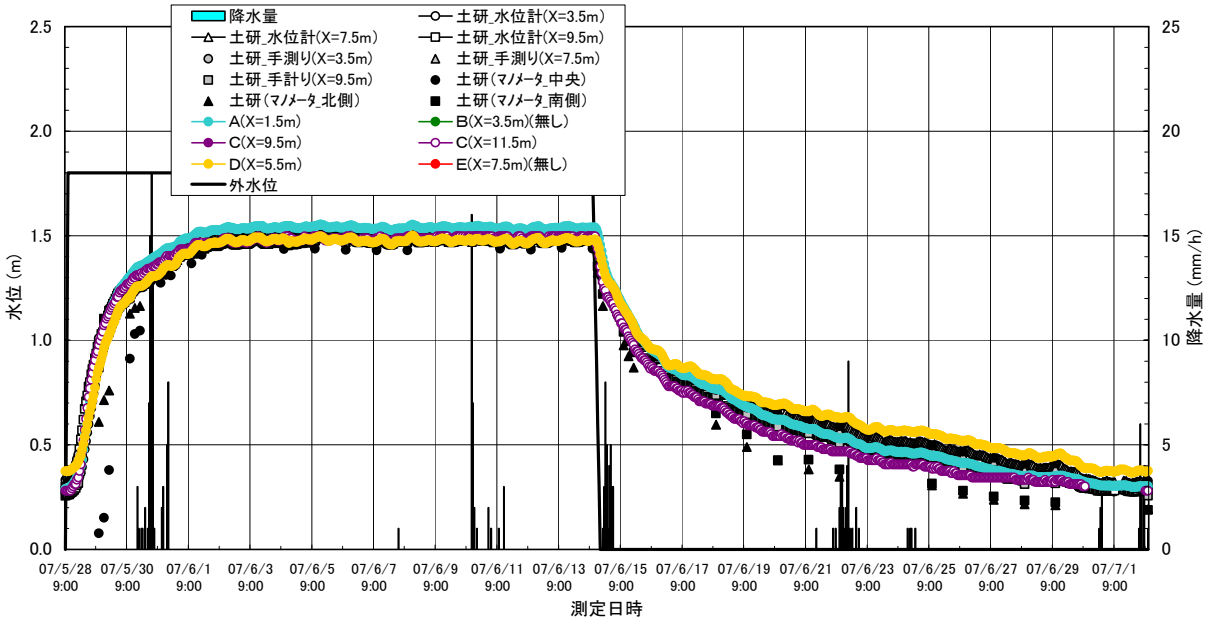


観測地点別の水位変化図（地点⑤_のり肩＋3m）

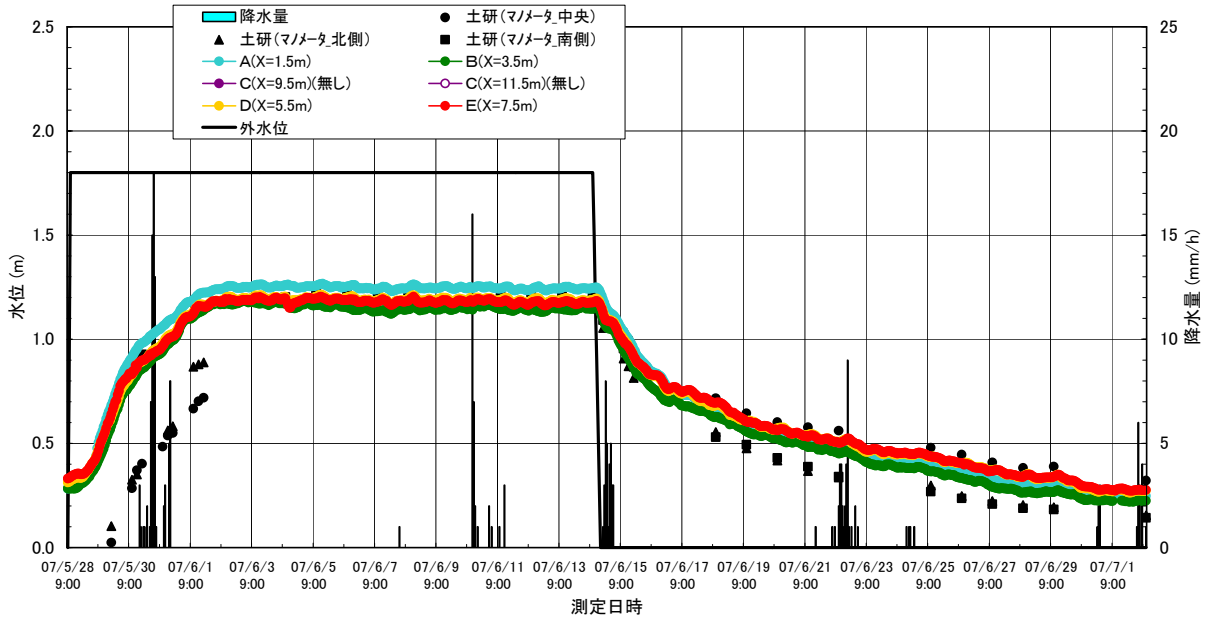


観測地点別の水位変化図（地点⑥_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第２回湛水実験（１）

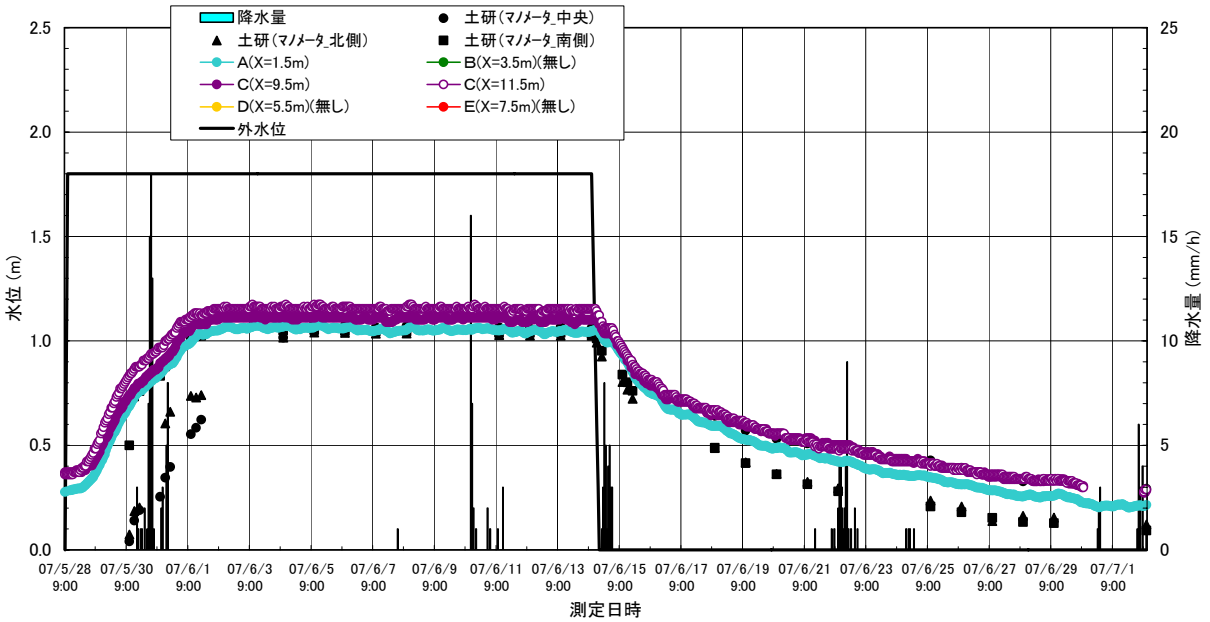


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

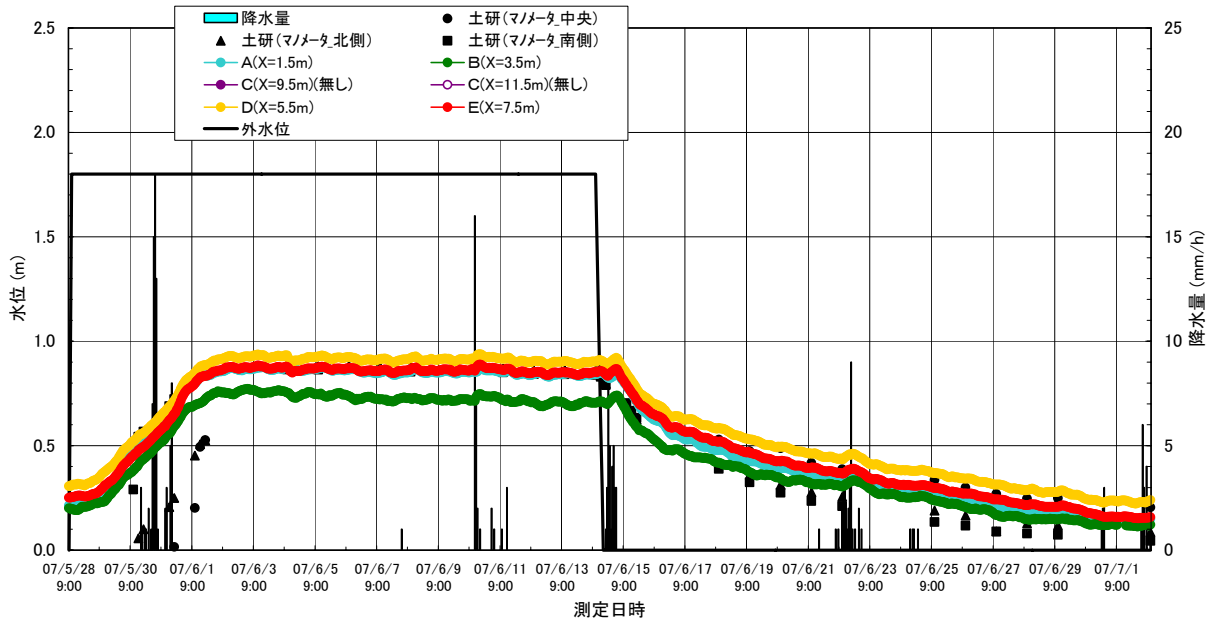


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第２回湛水実験（２）

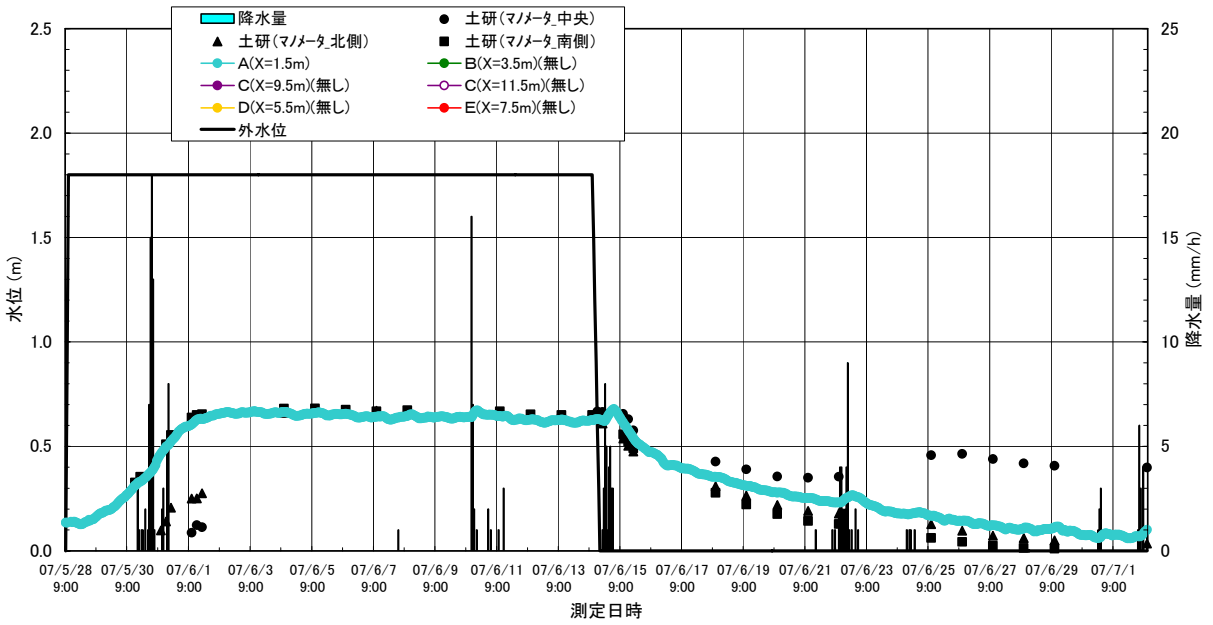


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋1m）

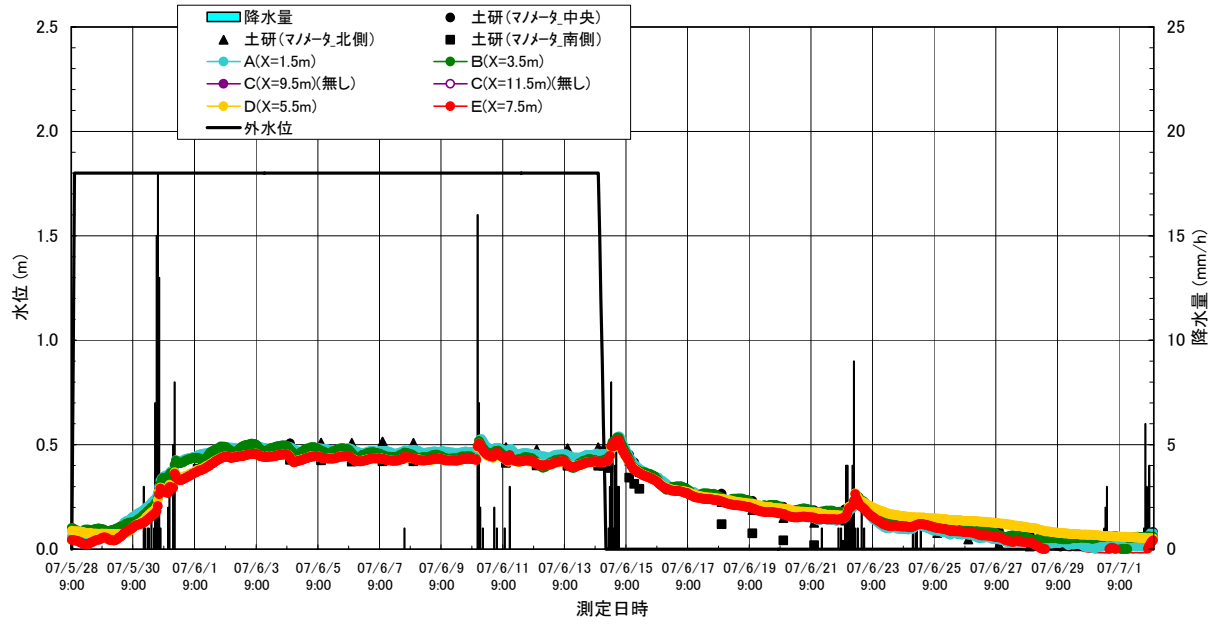


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋2m）

水位経時変化図：第２回湛水実験（３）

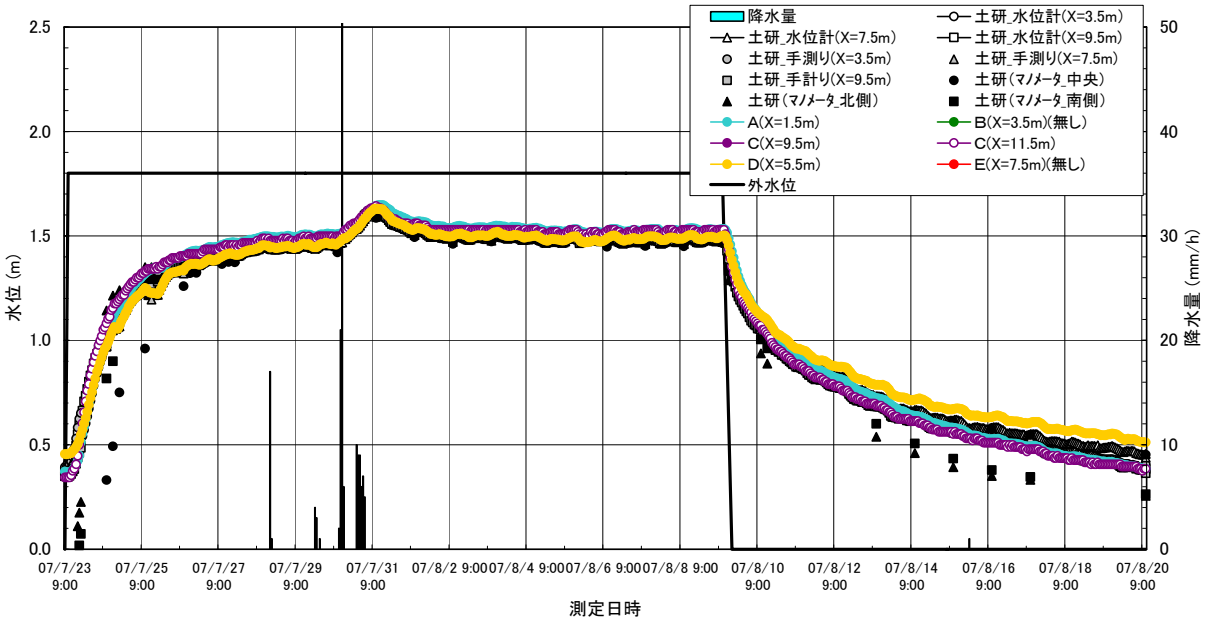


観測地点別の水位変化図（地点⑤_のり肩＋3m）

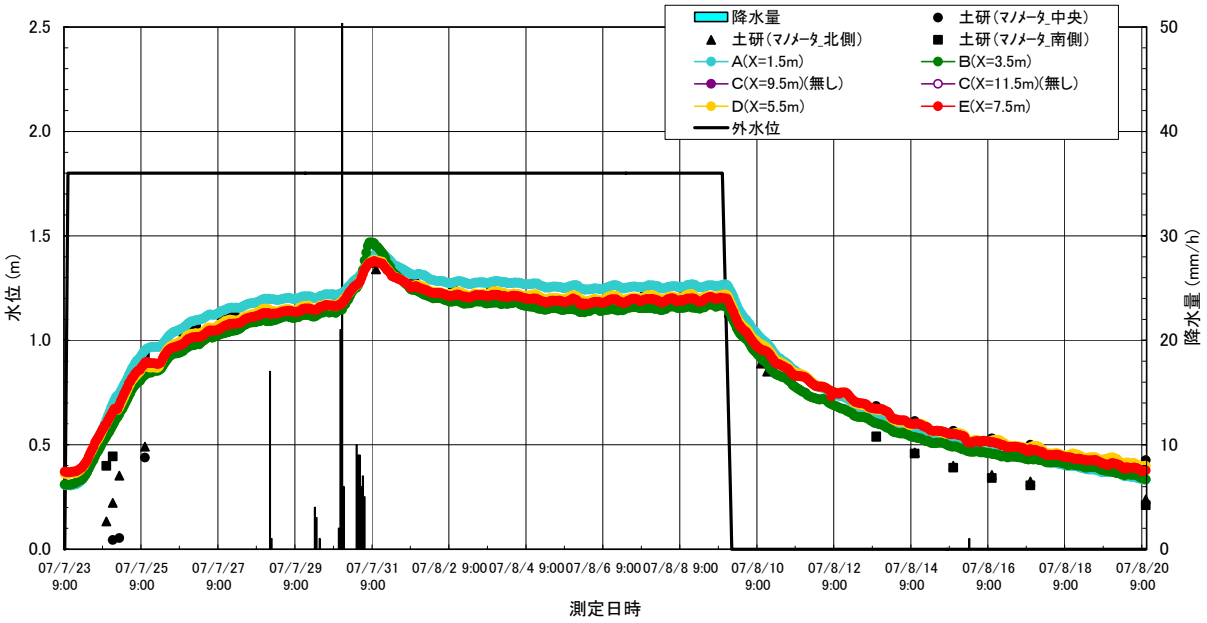


観測地点別の水位変化図（地点⑥_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第３回湛水実験（１）

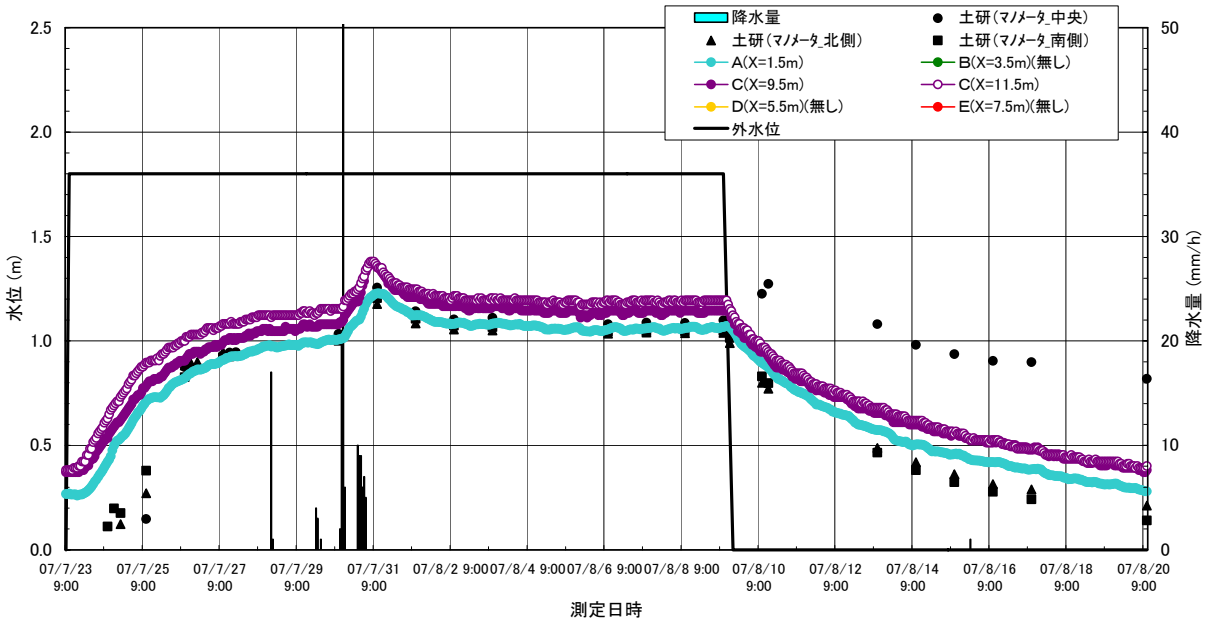


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

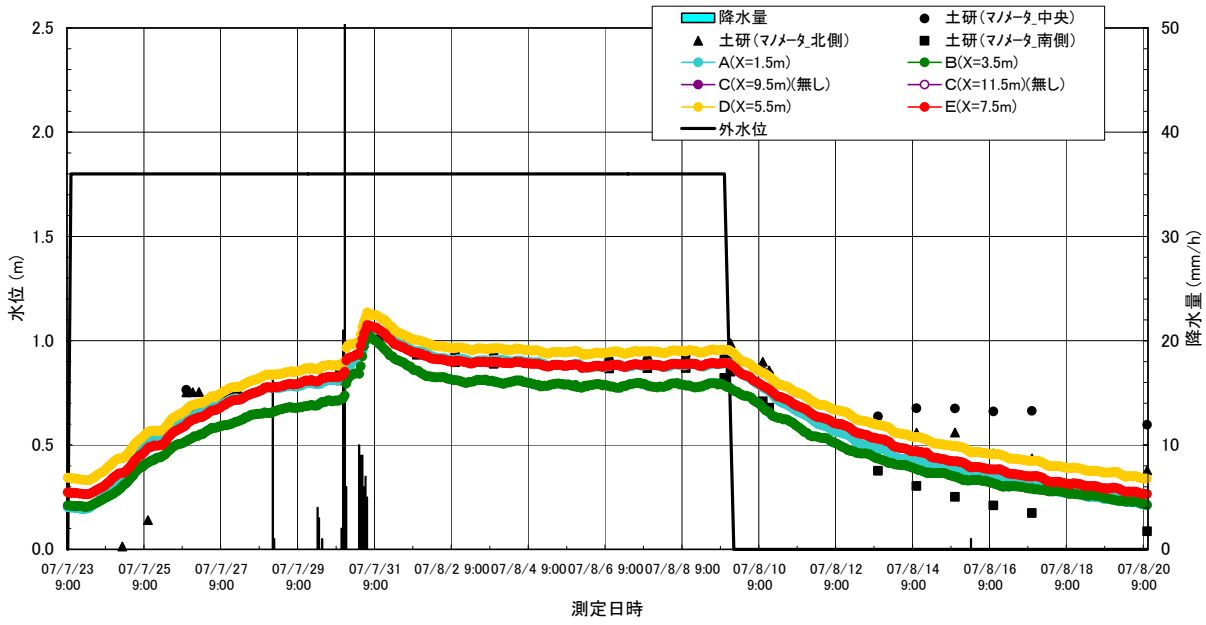


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第３回湛水実験（２）

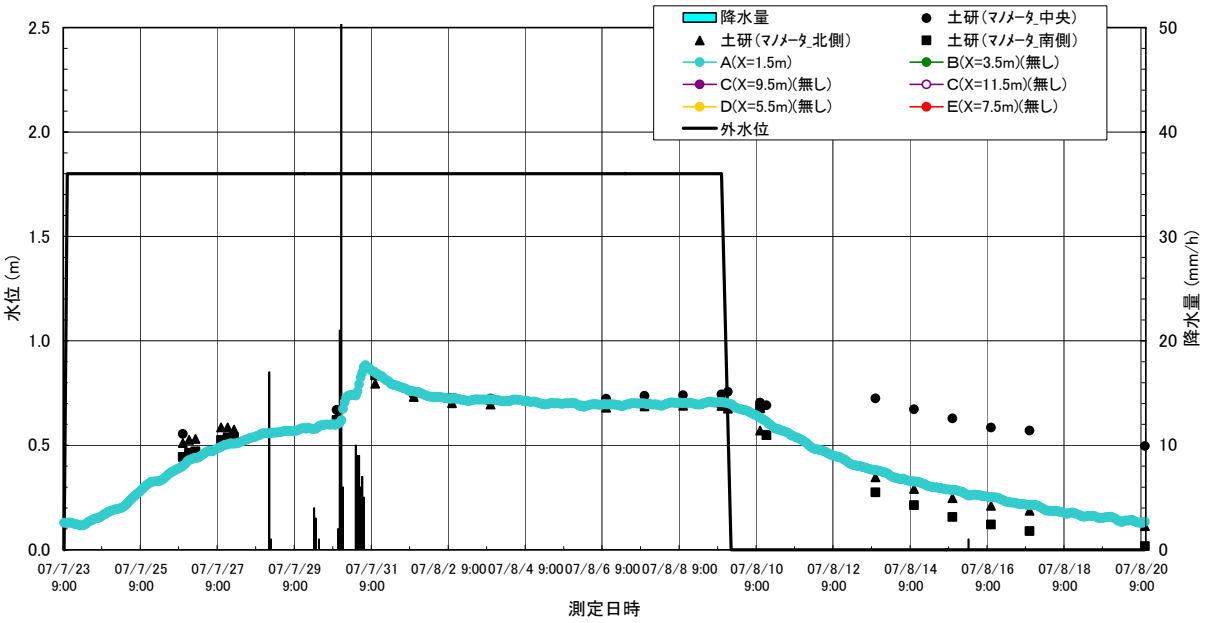


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋1m）

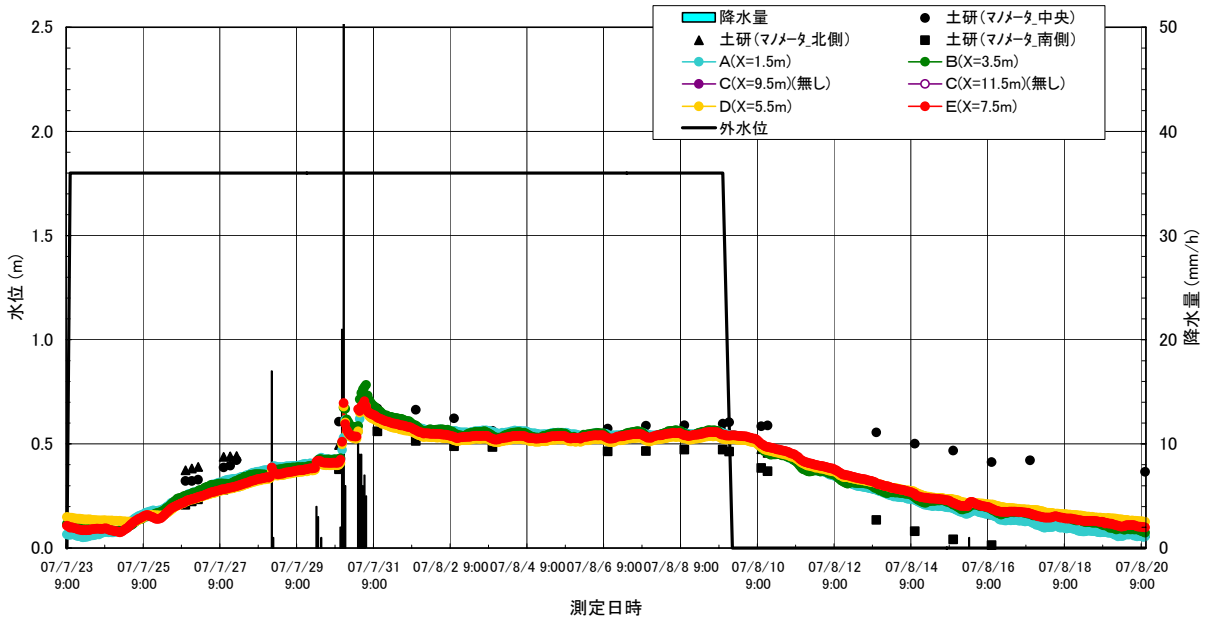


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋2m）

水位経時変化図：第３回湛水実験（３）

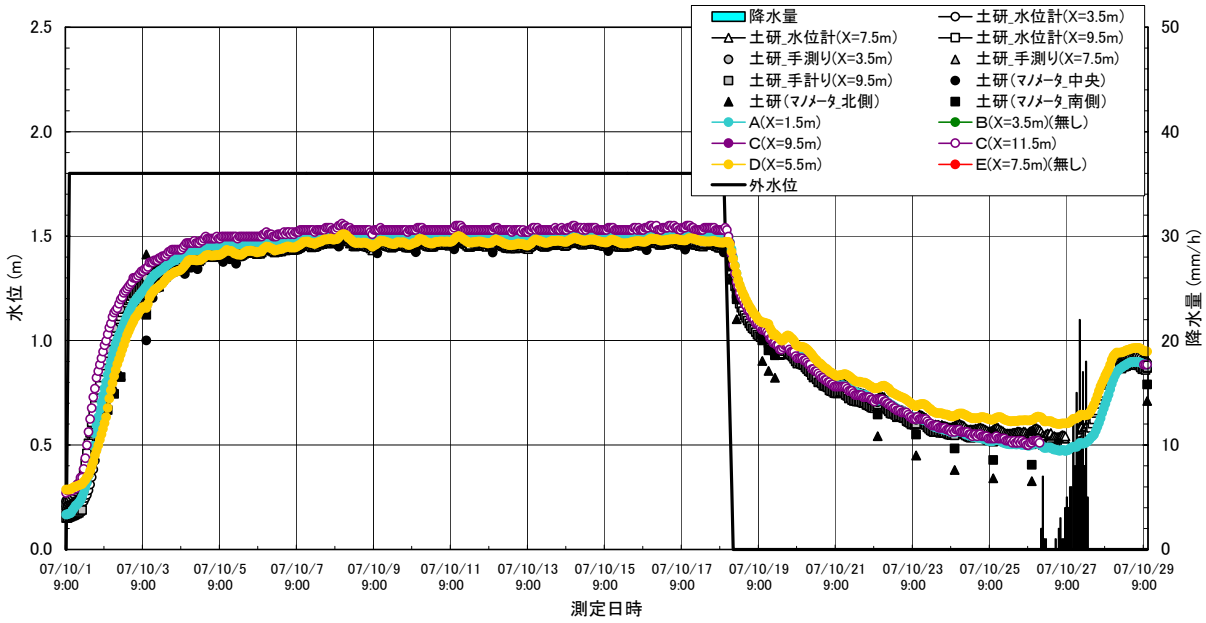


観測地点別の水位変化図（地点⑤_のり肩＋3m）

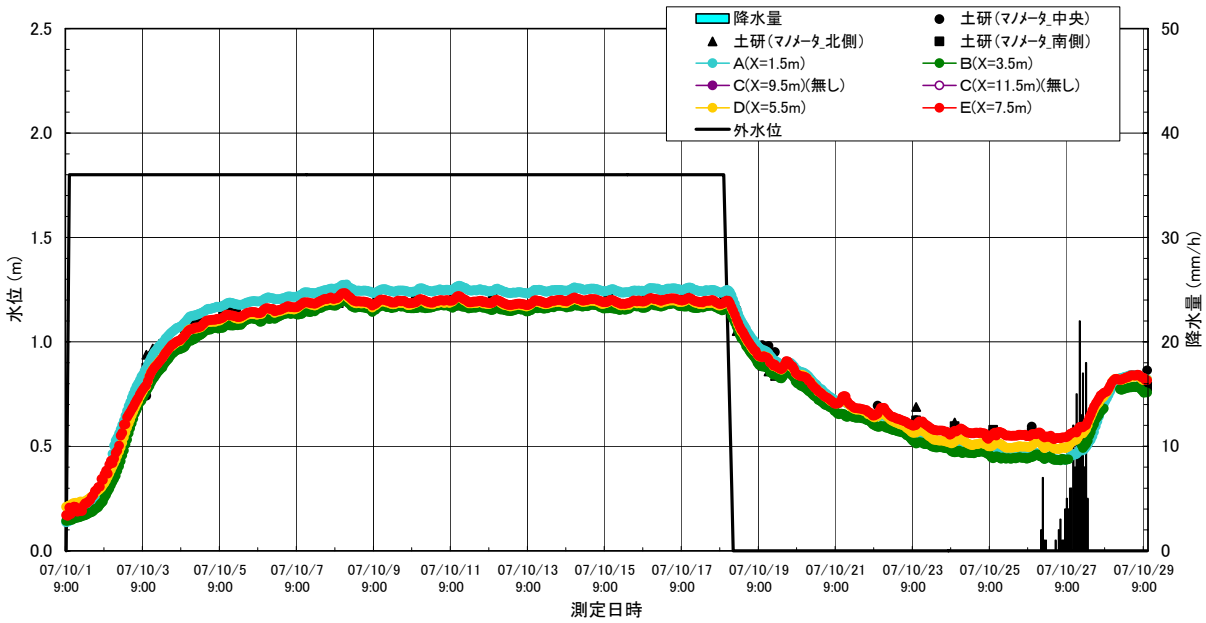


観測地点別の水位変化図（地点⑥_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第４回湛水実験（１）

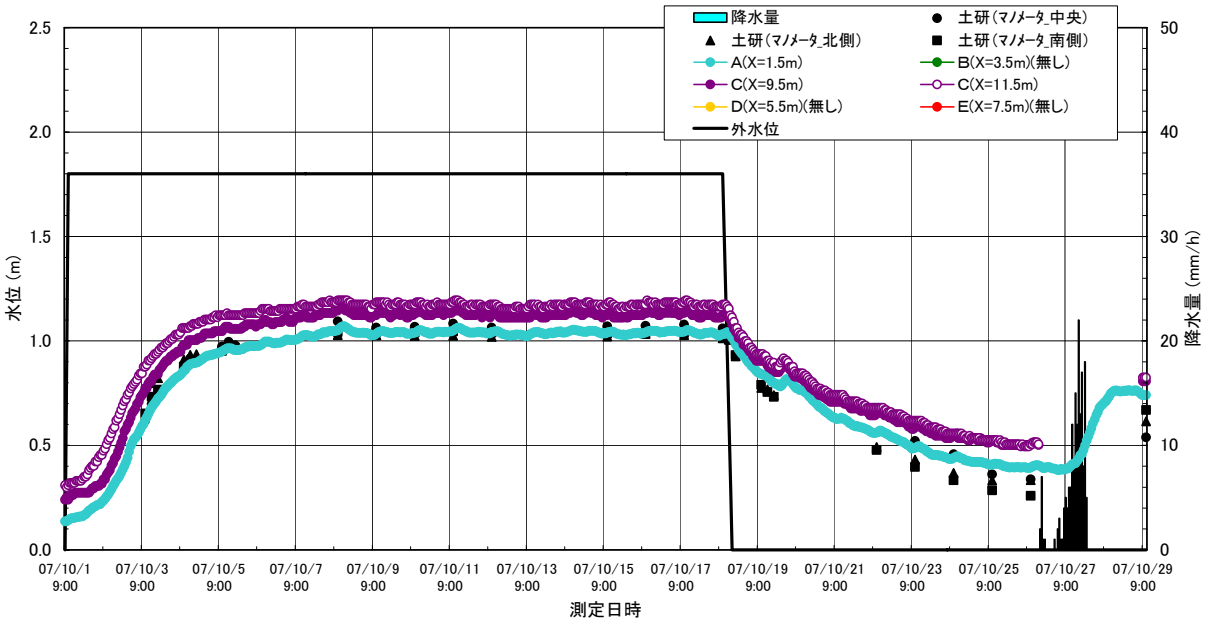


観測地点別の水位変化図(地点①_天端)

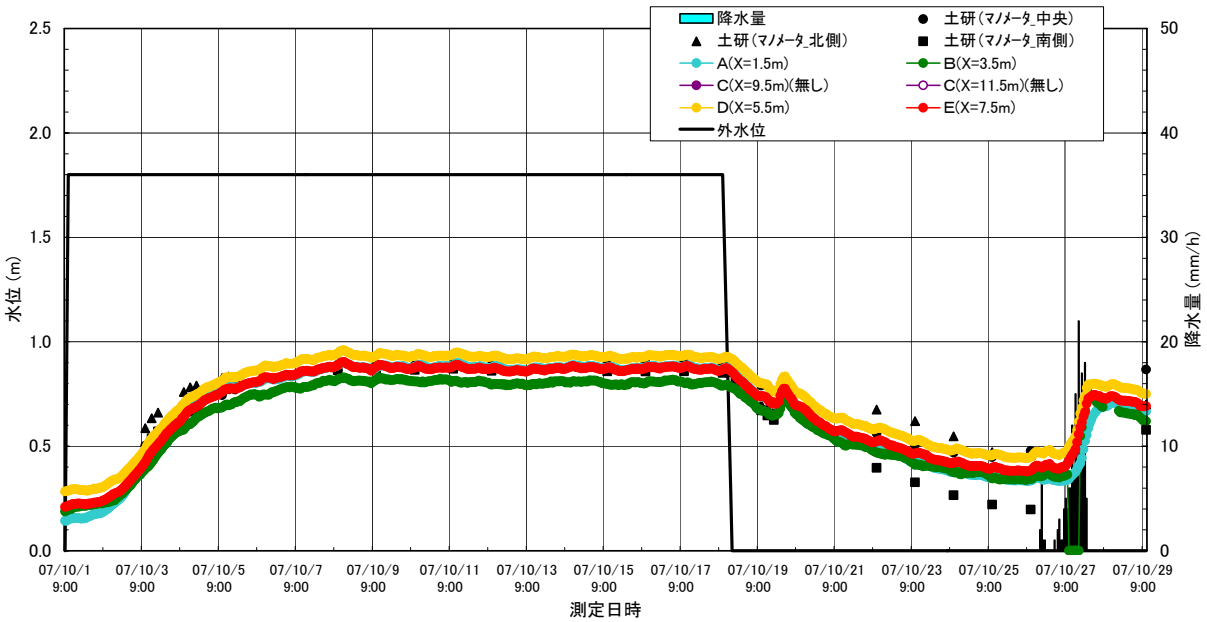


観測地点別の水位変化図(地点②_のり肩)

水位経時変化図：第４回湛水実験（２）

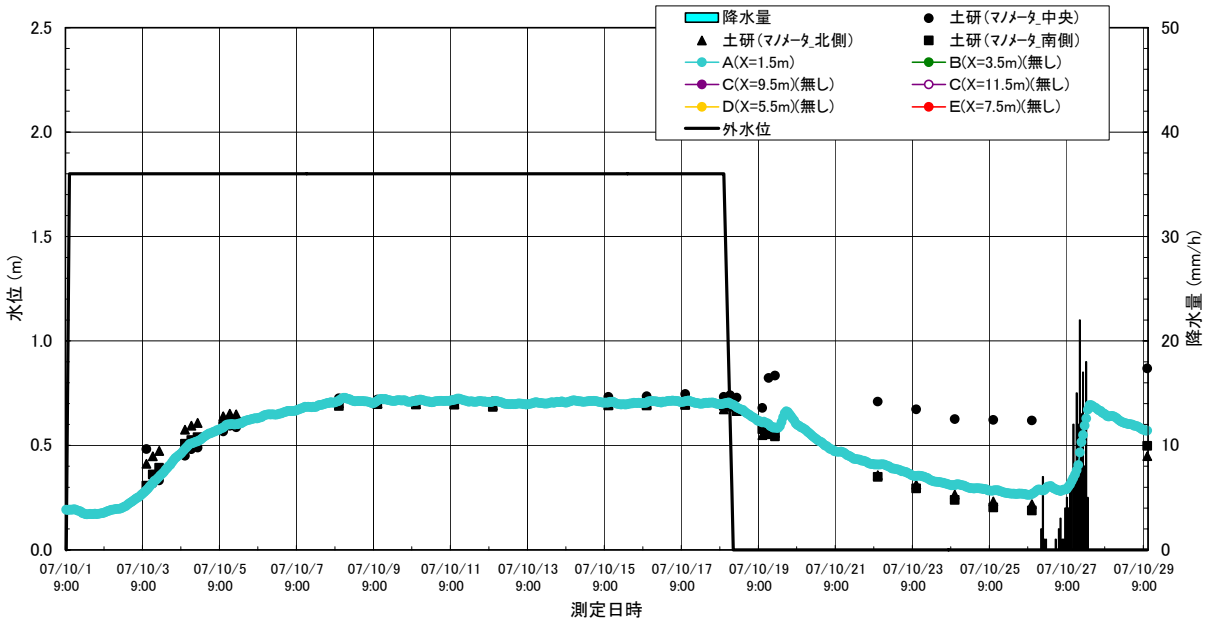


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋1m）

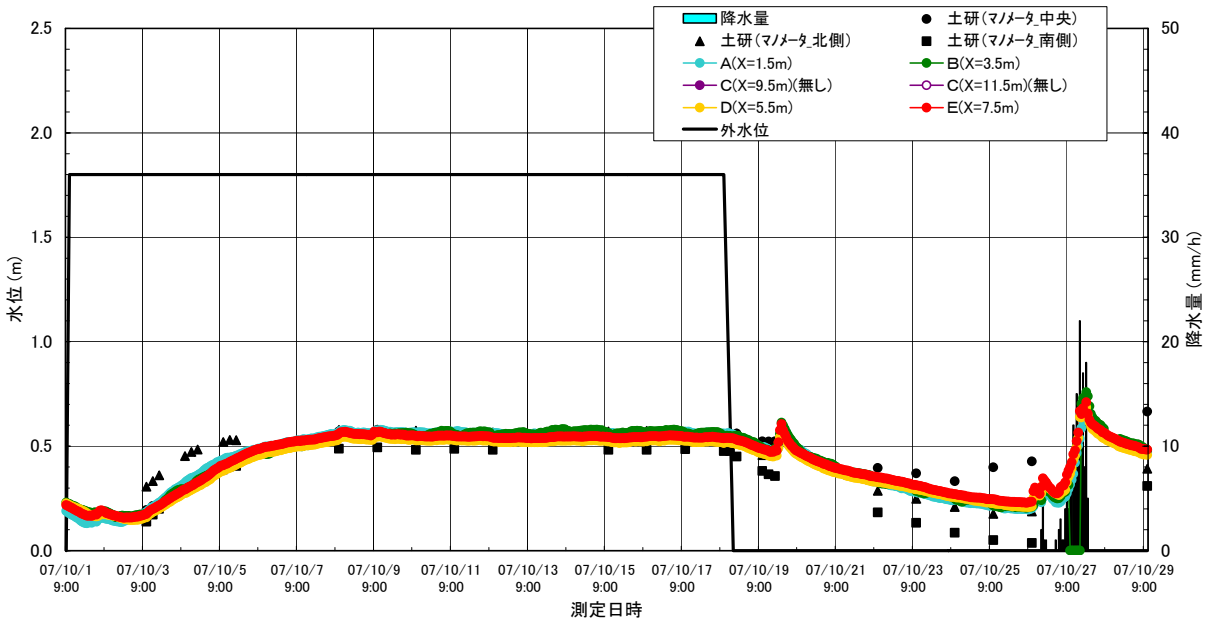


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋2m）

水位経時変化図：第４回湛水実験（３）

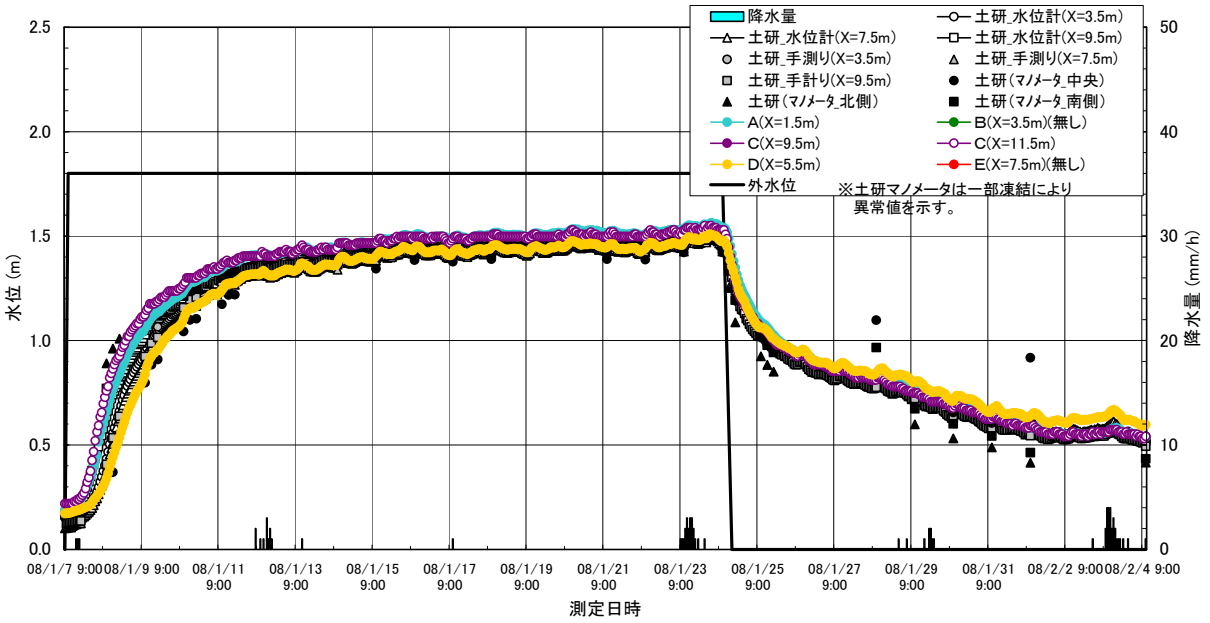


観測地点別の水位変化図（地点⑤_のり肩＋3m）

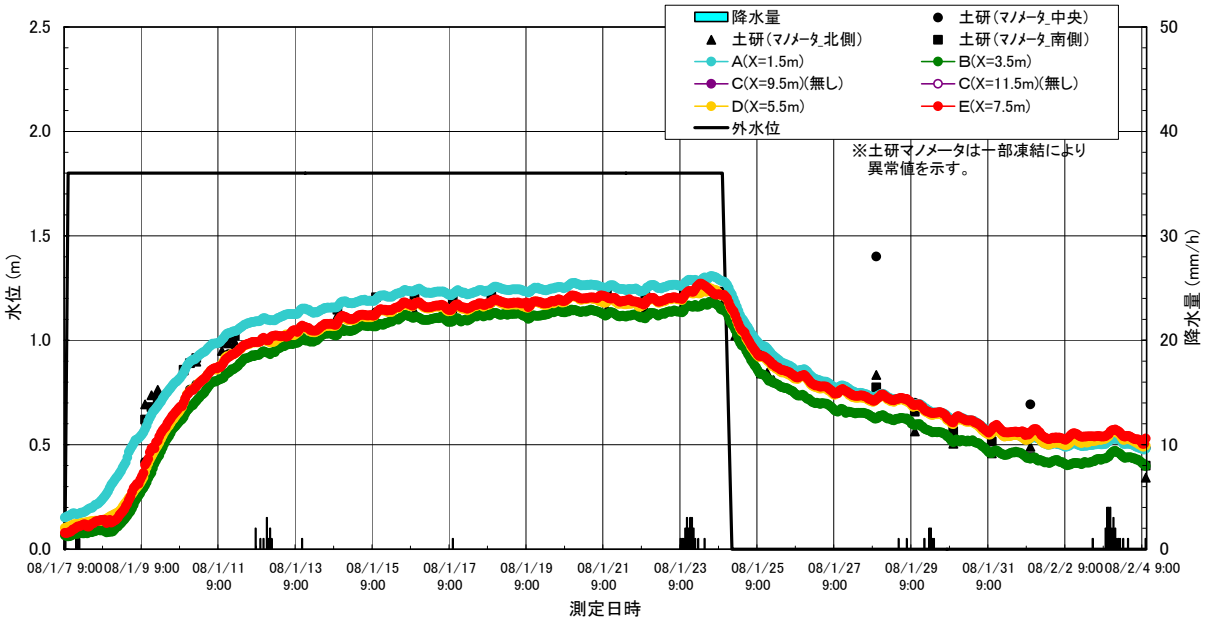


観測地点別の水位変化図（地点⑥_のり肩＋4m）

水位経時変化図：第５回湛水実験（１）

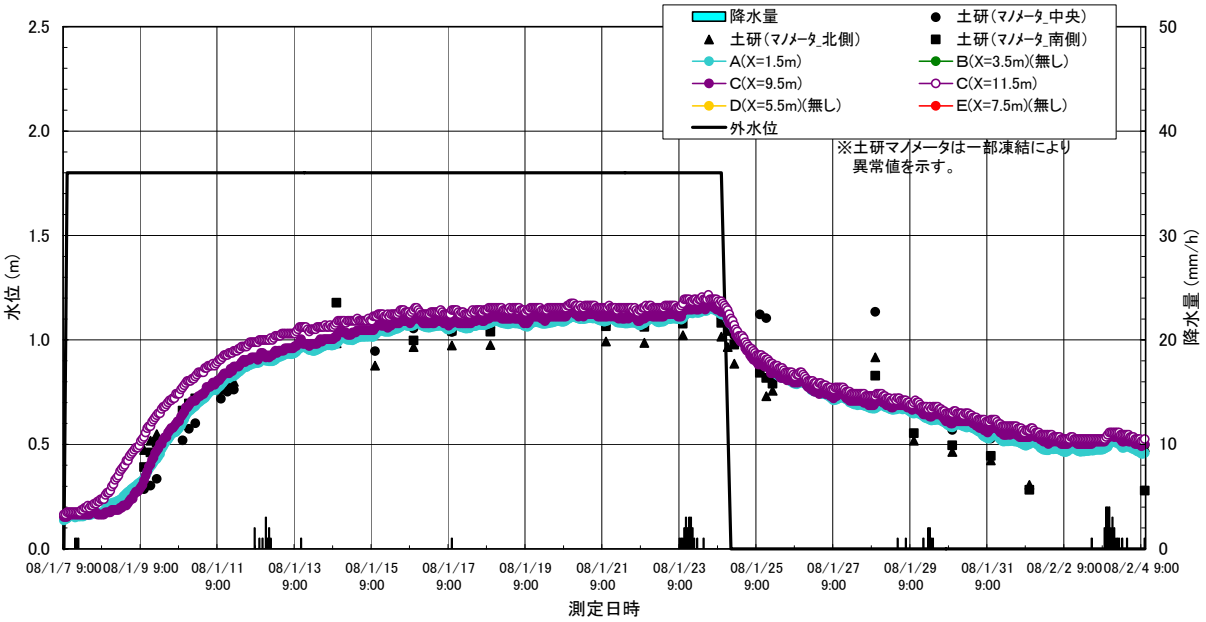


観測地点別の水位変化図（地点①_天端）

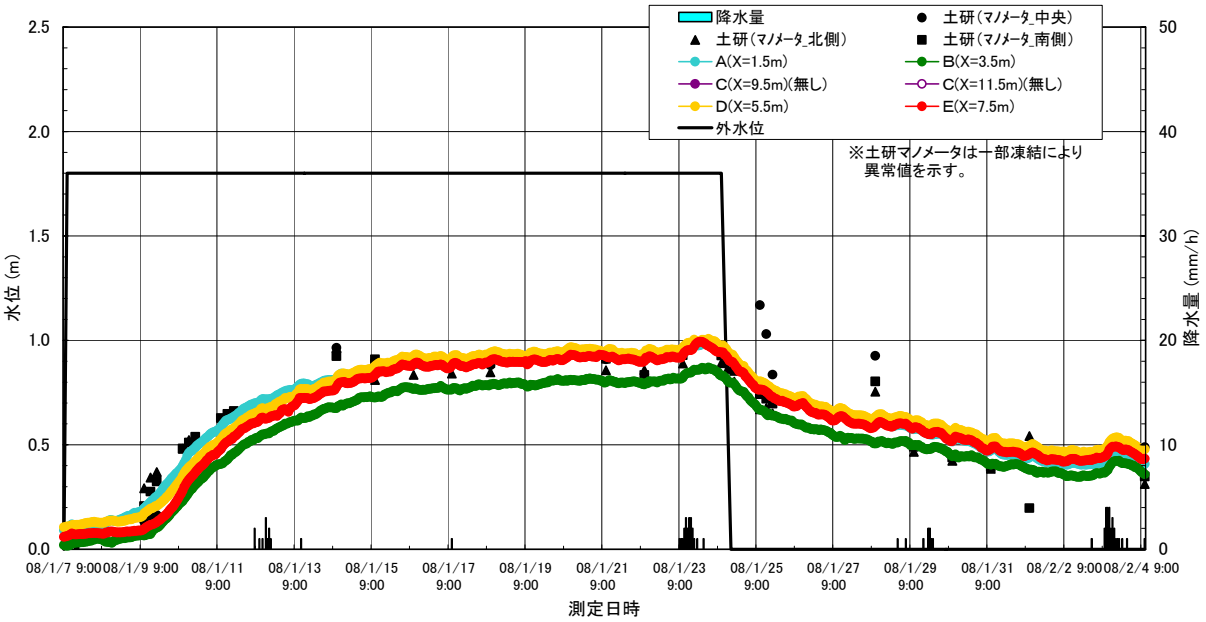


観測地点別の水位変化図（地点②_のり肩）

水位経時変化図：第５回湛水実験（２）

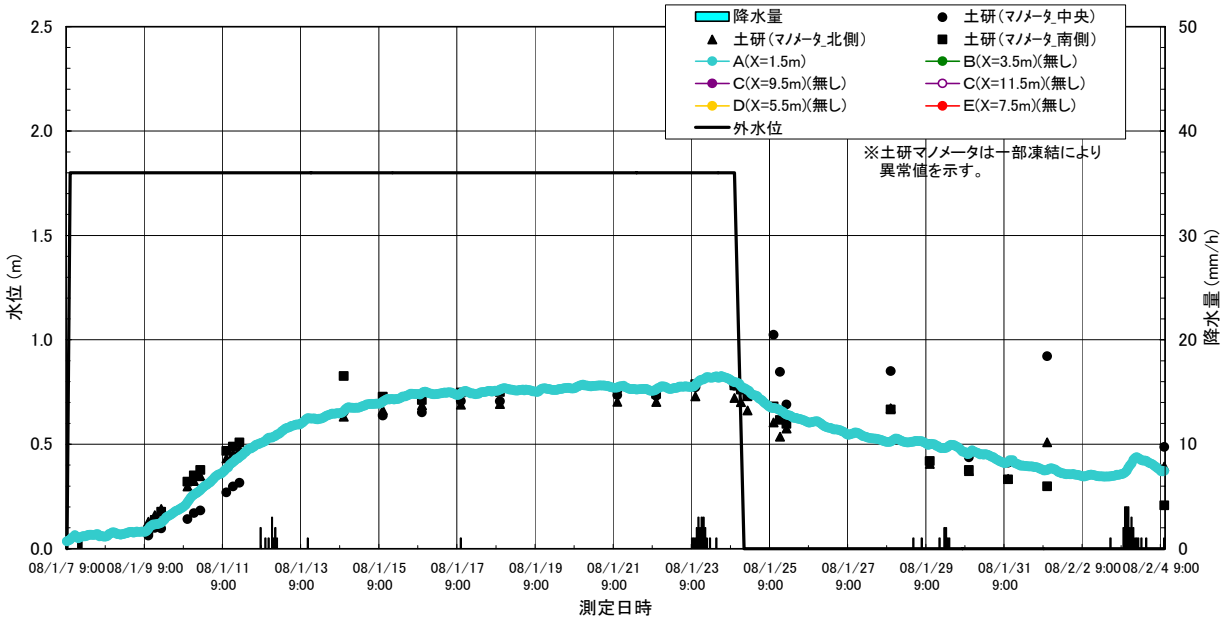


観測地点別の水位変化図（地点③_のり肩＋1m）

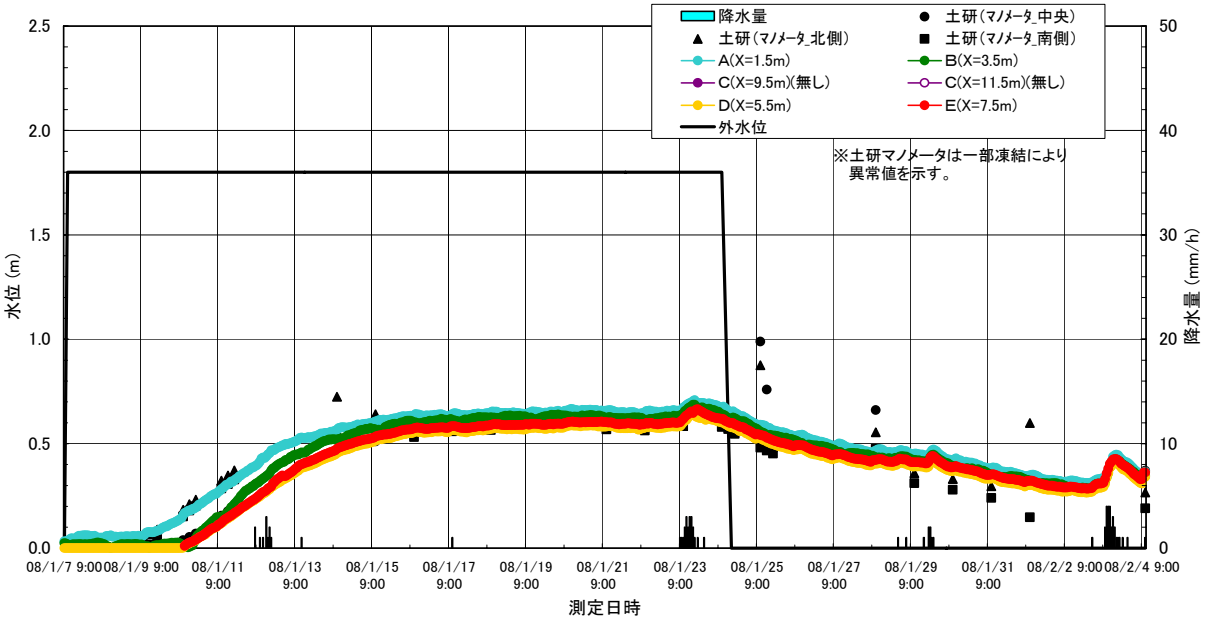


観測地点別の水位変化図（地点④_のり肩＋2m）

水位経時変化図：第５回湛水実験（３）



観測地点別の水位変化図（地点⑤_のり肩＋3m）



観測地点別の水位変化図（地点⑥_のり肩＋4m）

半断面堤防模型における土質調査・解析結果

〈目的〉

半断面堤防模型の堤体のバラツキや透水性を確認する目的で各種土質調査および解析による検討を実施した。

〈調査・解析内容〉

①現場密度試験（打込み式（11 箇所)、砂置換法（２箇所))

：堤体の締固め度のバラツキについて評価する目的で実施。

②現場透水試験（天端２箇所）

：堤体の透水係数を確認する目的で実施。

③室内透水試験

：透水係数に対する締固め度の影響を確認する目的で実施。

④二次元浸透流計算

：実験から得られた透水係数を元に計算した結果と、実際のマノメータの計測値を比較することにより、堤体の透水性について把握する目的で実施。

〈結果および考察〉

・現場密度試験より、堤防模型の締固め度は 80～91%程度の範囲でばらつきがあることが分かった。しかしながら、特定の横断方向に密度の偏りがあるわけではない（図１参照)。

・締固め度 80～91%における透水係数は、室内透水試験によると 2×10^{-3}～2×10^{-4}cm/s 程度である。また、現場透水試験で求めた透水係数は、室内で求めた結果よりも半オーダー程度大きめの値が得られた（図２参照)。

・二次元浸透流計算において、堤体模型で想定され得る透水係数の最大値・最小値を入力した場合、堤体内水位には大きな差が出る結果となった。第３回湛水実験結果との比較から、本堤防模型の透水係数は 2×10^{-3}cm/s 程度であると考えられる。また、第３回湛水実験結果から、実測における堤体縦断方向の水位の差（マノメータ参照）は、計算結果ほど大きく生じていない（図３参照)。

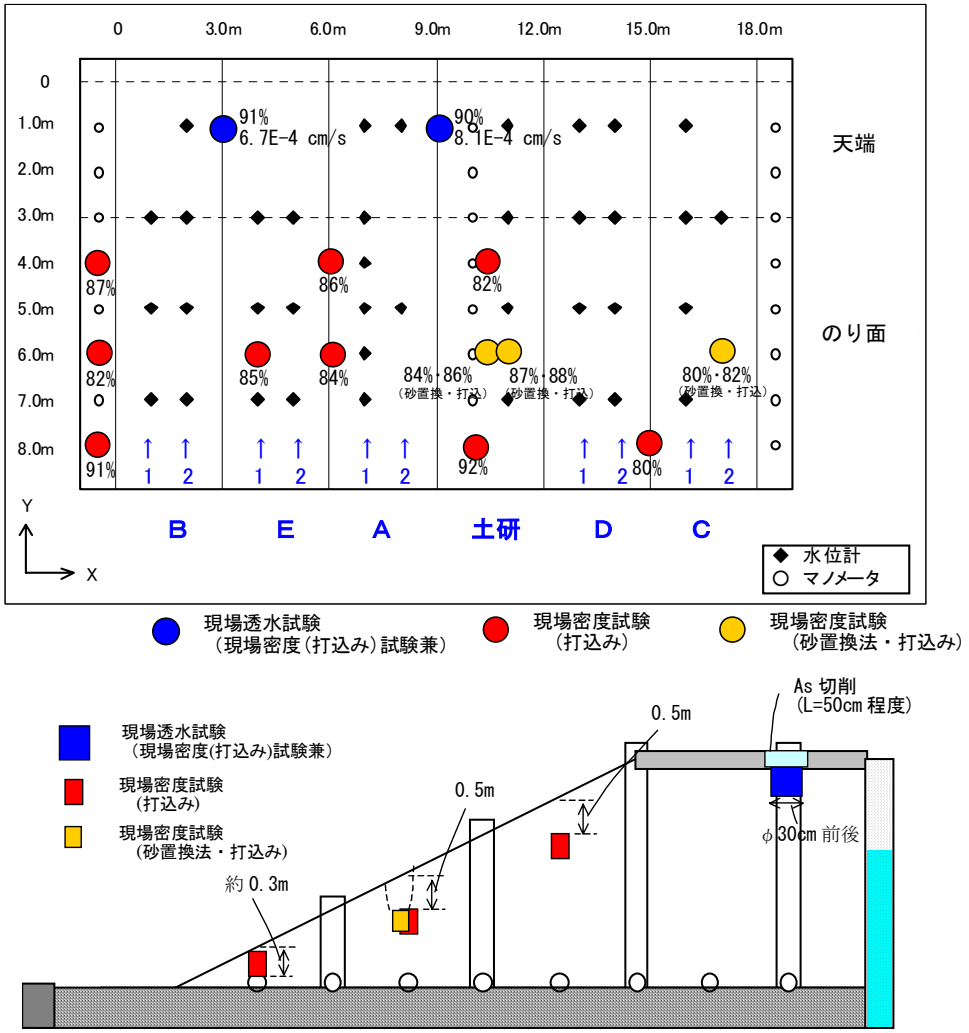


図１　堤防模型での調査位置および調査結果

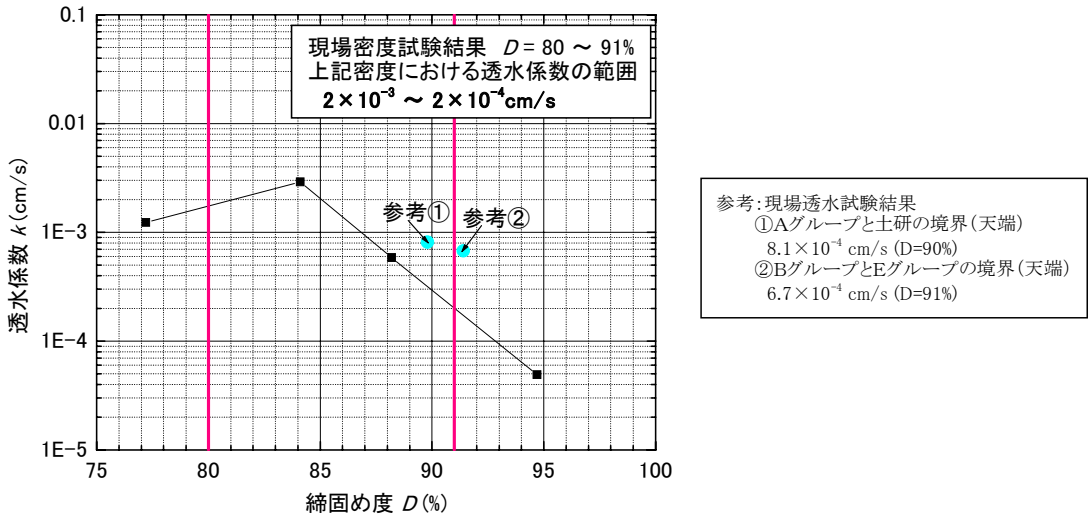


図２　締固め度と透水係数の関係

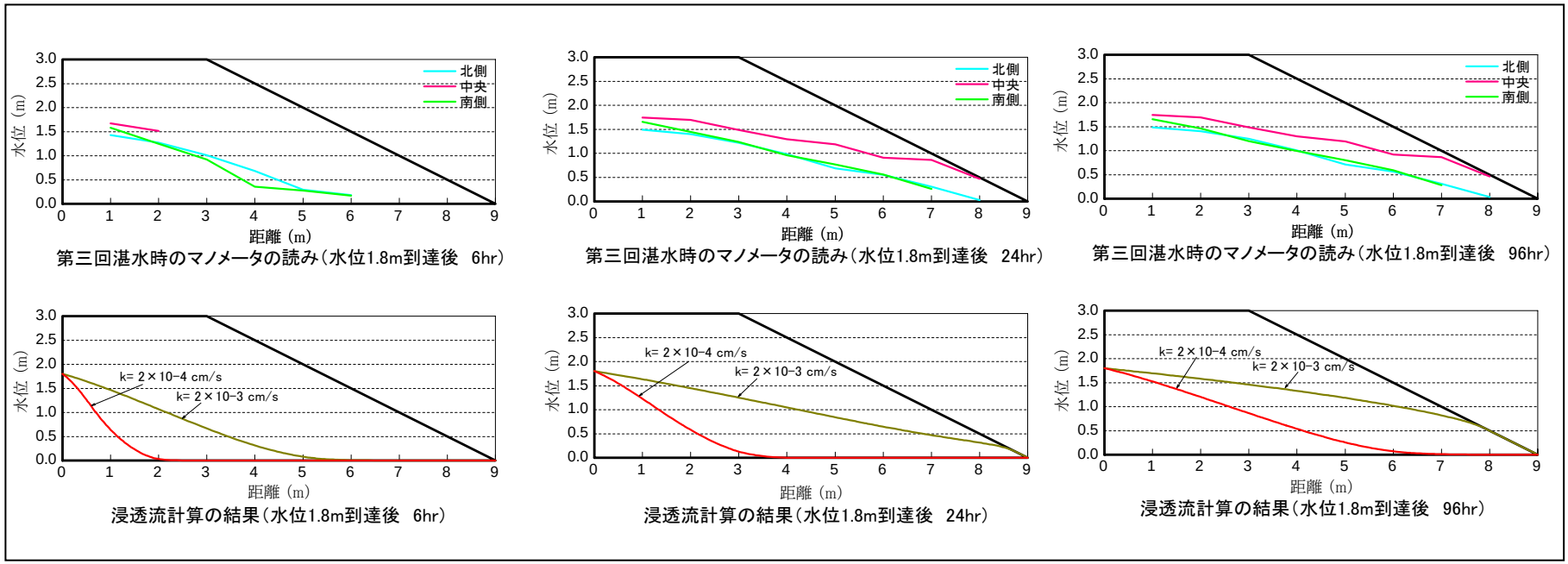


図３　第３回湛水実験におけるマノメータの読み値の幅（南・北・中央）と浸透流計算結果