

土木研究所資料

河川堤防の進行性破壊に対する 対策工法に関する模型実験

令和4年3月

国立研究開発法人土木研究所
地質・地盤研究グループ土質・振動チーム

Copyright © (2022) 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、国立研究開発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、国立研究開発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。

河川堤防の進行性破壊に対する 対策工法に関する模型実験

地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム

地質・地盤研究グループ

地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム

〃

〃

〃

〃

上席研究員 佐々木 哲也

上席研究員 石原 雅規

主任研究員 東 拓生

研究員 佐々木 亨^{※1}

研究員 青柳 悠大

交流研究員 杉山 詠一^{※2}

交流研究員 西村 圭右

要 旨:

2017年度から2021年度にかけて、河川堤防の進行性破壊に対する対策工に関する模型実験を実施した。対策工としては、ドレーン工法と礫混合土置換工法の2工法を対象として、堤防高0.75m程度の中型模型を用いた実験と、堤防高3mの大型模型を用いた実験を実施し、各工法の進行性破壊に対する対策工としての有効性を検証した。結果として、適切な規格を満足することで、各工法とも進行性破壊に対する対策工として有効となることが確認されたが、大型模型実験において、礫混合土置換工法については、課題も確認される結果となった。

キーワード: 浸透対策、進行性破壊、ドレーン工法、礫混合土置換工法

※1: 現 道路技術研究グループ トンネルチーム

※2: 現 株式会社ダイヤコンサルタント

目次

1.	はじめに	1
1.1	研究の背景と目的.....	1
1.2	実験概要.....	1
2.	中型模型実験	2
2.1	実験目的.....	2
2.2	実験概要.....	2
2.3	実験ケース.....	3
2.4	実験実施手順.....	7
2.4.1	実験装置の作製.....	7
2.4.2	実験模型の作製.....	9
2.4.3	計測内容.....	26
2.5	実験結果.....	28
2.5.1	H29 Case1.....	28
2.5.2	H29 Case2.....	36
2.5.3	H29 Case3.....	45
2.5.4	H29 Case4.....	53
2.5.5	H29 Case4'.....	58
2.5.6	H29 Case5.....	67
2.5.7	H30 Case1-1.....	75
2.5.8	H30 Case1-2.....	83
2.5.9	H30 Case2-1.....	90
2.5.10	H30 Case2-2.....	96
2.5.11	H30 Case2-3.....	106
2.5.12	H30 Case3-1.....	118
2.5.13	H30 Case3-2.....	125
2.5.14	H30 Case3-3.....	132
2.6	中型模型実験結果のまとめ.....	140
3.	大型模型実験	146
3.1	実験目的.....	146
3.2	実験概要.....	146
3.3	実験ケース.....	146
3.4	実験実施手順.....	149
3.4.1	実験装置の作製.....	149
3.4.2	実験模型の作製.....	150

3.4.3	計測内容	160
3.5	実験結果	161
3.5.1	Case1	161
3.5.2	Case2	173
3.5.3	Case3	185
3.5.4	Case4	192
3.6	大型模型実験結果のまとめ	212
4.	まとめ	213
5.	参考文献	214
6.	関係発表論文	214
7.	巻末資料	215
7.1	模型作製時の密度管理状況	215
7.1.1	中型模型実験時	215
7.1.2	大型模型実験時	224
7.2	間隙水圧計および土壌水分計観測データ	228
7.2.1	中型模型実験	228
7.2.2	大型模型実験	255
7.3	室内試験結果	260

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

河川堤防に降雨や河川水が浸透すると、法面にすべり等の変状が発生することがあり、最悪の場合、これが原因で決壊に至ることがある。1976年9月12日の台風17号接近に伴う豪雨による9.12豪雨災害（安八豪雨）では、長良川の堤防が1次すべり、2次すべりと、すべりによる崩壊範囲を拡大させ、遂には決壊に至っている。長良川の事例からも明らかなように1回のすべりで終わる場合だけではなく、すべりが次のすべりを誘発することで徐々に崩壊範囲が拡大し、危険な状態に至る場合もある。このような、徐々に崩壊範囲が拡大する破壊形態は進行性破壊と呼ばれ、現在、堤防のすべり破壊に対する安全性照査では円弧すべり安全率が用いられているが、この安全率はすべり範囲の大きさに関わらず、すべり破壊の発生し易さを表すものであり、破壊の進行性の有無については評価していないため、すべり破壊が生じた後の堤防の決壊に対する安全性を必ずしも表しているものではない。このような背景から、堤防決壊に至るまでの破壊の進行性を考慮した評価技術及び対策技術の開発が求められている。

進行性破壊に関する小規模～大規模模型実験による既往の研究より、進行性破壊は堤体内水位の上昇とともに法尻部から天端に向かって泥濘化と変状が進行すること¹⁾、礫を多く含む材料は進行性の破壊のきっかけとなる泥濘化やすべり等の法面の変状が起きにくいこと²⁾等が明らかにされている。また、進行性破壊の評価技術に関しては、所定の円弧すべり安全率以下となった範囲をすべり崩壊が生じた範囲とみなし、この範囲の強度を低下させることにより、進行性破壊を表現する手法について、大型模型実験とも整合性が高いことが示されている³⁾。

このような既往研究より得られた知見から、進行性破壊への対策としては、進行性のきっかけとなる泥濘化のような小規模な変状が生じないように、堤体内の水位の上昇を抑えることや、法面のせん断強度を強化することが有効であると考えられる。このような考え方のもと、堤体内水位の上昇を抑えるための対策工としてドレーン工法を、堤体との一体性やなじみを考慮したうえで法面のせん断強度を強化するための対策工として、法面から法尻の一部を、堤体材料に礫材を混合した礫混合土へ置き換える礫混合土置換工法を対象として、各工法の効果検証・対策技術の開発を目的に模型実験を実施した。

1.2 実験概要

本資料で対象とした模型実験は、模型の大きさによって、中規模、大規模の2種類に分類できる。

中規模模型実験は堤体模型の高さが0.75mで、平成29年度、平成30年度に実施した14ケースであり、ドレーン工の形状や、礫混合土の配合比率・形状等を変化させた複数ケースの実験を実施し、対策効果の検証を目的とした実験を実施した。第2章にその結果を示す。

大規模模型実験は堤体模型の高さが3.0mで、令和2年度、令和3年度に実施した4ケースであり、各工法の実大スケールでの対策効果の検証を目的とした実験を実施した。第3章にその結果を示す。

2. 中型模型実験

2.1 実験目的

進行性破壊を抑制するための対策工として、ドレーン工法と礫混合土置換工法の2種類の対策工法について、対策効果の検証のための実験を実施した。堤体高 0.75m の中型模型を用い、対策工の種類・サイズ等を変化させた複数ケースの実験を実施した。

2.2 実験概要

模型実験は、図 2.2.1 に示す鋼製実験土槽（幅 1.5m×長さ 3.0m×高さ 1.0m）を用いて実施した。厚さ 20cm のロームからなる基礎地盤上に高さ 0.75m、天端幅 0.25m、法勾配 1:1.6~1:2.0、奥行き 1.75m の堤体模型を構築し、堤体内水位等の計測、変状の発生・進行状況の記録を行った。初めに無対策の場合の実験を実施し、その後、法尻部にドレーン工を設置した場合の実験を実施し、さらに、法尻部を礫混合土に置換えた場合の実験を実施した。



図 2.2.1 実験土槽



図 2.2.2 模型作製状況

2.3 実験ケース

実験ケース毎の実験模型の諸元を表 2.3.1 に示す。

実験ケースとして、無対策の場合（1 ケース）、法尻部にドレーン工を設置した場合（4 ケース）および、法面もしくは法尻部を礫混合土に置き換えた場合（9 ケース）の実験を実施した。ケースにより堤体諸元、対策工の諸元、外力（給水槽水位）を変化させ、対策工の効果について検証した。

以下に各ケースの概要と目的を示す。

- H29 Case1：無対策の実験ケース。他ケースとの比較に用いる。
- H29 Case2,3：ドレーン工形状を揃えて、フィルター材の材質を変化させたケース群。フィルター材の違いによるドレーン工の効果の差を検証する。
- H29 Case3,4,4'：ドレーン工のフィルター材の材質を揃えて、幅を変化させたケース群。ドレーン工の幅の違いによるドレーン工の効果の差を検証する。
- H29 Case5：堤体法面表面から厚さ 10cm の範囲を礫混合土により置き換えたケース。礫混合土置換工法の効果を検証する。
- H30 Case1-1,1-2：礫混合土の配合比率と締固め度を揃えて、形状を変化させたケース群。置換範囲の形状による効果の差を検証する。
- H30 Case2-1~3：礫混合土の配合比率と締固め度を揃えて、形状を変化させたケース群。締固め度は H30 Case1-1、2 と同様だが、砕石の配合比率を大きくしたケース。置換範囲の形状による効果の差を検証するとともに、H30 Case1-1、2 との比較から、礫混合土の配合比率による効果の差を検証する。
- H30 Case3-1~3：礫混合土の配合比率と締固め度を揃えて、形状を変化させたケース群。締固め度は H30 Case1-1~2-3 より 10%低い値とし、砕石の配合比率は H30 Case2-1~3 と同様の比率としたケース。置換範囲の形状による効果の差を検証するとともに、H30 Case1-1~2-3 との比較から、礫混合土の配合比率、締固め度による効果の差を検証する。

各ケースの模型形状を図 2.3.1～図 2.3.5 に示す。

表 2.3.1 実験ケース一覧

CASE		対策工							堤体			基盤	外水位		
実施年度	No.	種類	ドレーン工			礫混合土			堤体高さ	勾配	作製条件	作製条件			
			フィルター材	親水性	形状	配合比率 (乾燥質量比)	作製条件	形状							
H29	1	無対策	-	-	-	-	-	-	0.75m	1:2.0	堤体材料： 香取砂 締固め度： Dc=86% 含水比： 約14%	材料： ローム 締固め度： Dc=90%以上 含水比： 42%	堤高の 90%		
	2	ドレーン工	不織布	無し	幅：15.0cm 高さ：7.5cm	-	-	-					堤高の 90~99%		
	3		植生シート	有り		-	-	-							
	4		植生シート	有り	幅：45.0cm 高さ：7.5cm	-	-	-							
	4'		植生シート	有り	幅：30.0cm 高さ：7.5cm	-	-	-							
	5	礫混合土	-	-	-	砂：路盤材= 7:3(乾燥重量比)	-	法面表面 厚さ10cm					堤高の 90%		
H30	1-1	礫混合土	-	-	-	5号碎石：16.7% 6号碎石：16.7% 香取砂：66.6%	締固め度： Dc=100%	幅：60cm 高さ：60cm	0.75m	1:2.0	堤体材料： 香取砂 締固め度： Dc=86% (両端部10cm はDc=90%) 含水比： 約14%	材料： ローム 締固め度： Dc=90%以上 含水比： 42%	堤高の 90%		
	1-2		-	-	-			幅：30cm 高さ：37.5cm					0.667m	1:1.8	堤高の 50~70%
	2-1		-	-	-	5号碎石：25.0% 6号碎石：25.0% 香取砂：50.0%	締固め度： Dc=100%	幅：60cm 高さ：60cm	0.75m	1:2.0			堤高の 90%		
	2-2		-	-	-			幅：45cm 高さ：56.25cm					0.75m	1:1.8	堤高の 50~90%
	2-3		-	-	-			幅：30cm 高さ：50cm					0.75m	1:1.6	堤高の 50~95%
	3-1		-	-	-	5号碎石：25.0% 6号碎石：25.0% 香取砂：50.0%	締固め度： Dc=90%	幅：60cm 高さ：60cm	0.75m	1:2.0			堤高の 90%		
	3-2		-	-	-			幅：45cm 高さ：56.25cm					0.75m	1:1.8	堤高の 50~65%
	3-3		-	-	-			幅：30cm 高さ：50cm					0.75m	1:1.6	堤高の 50~90%

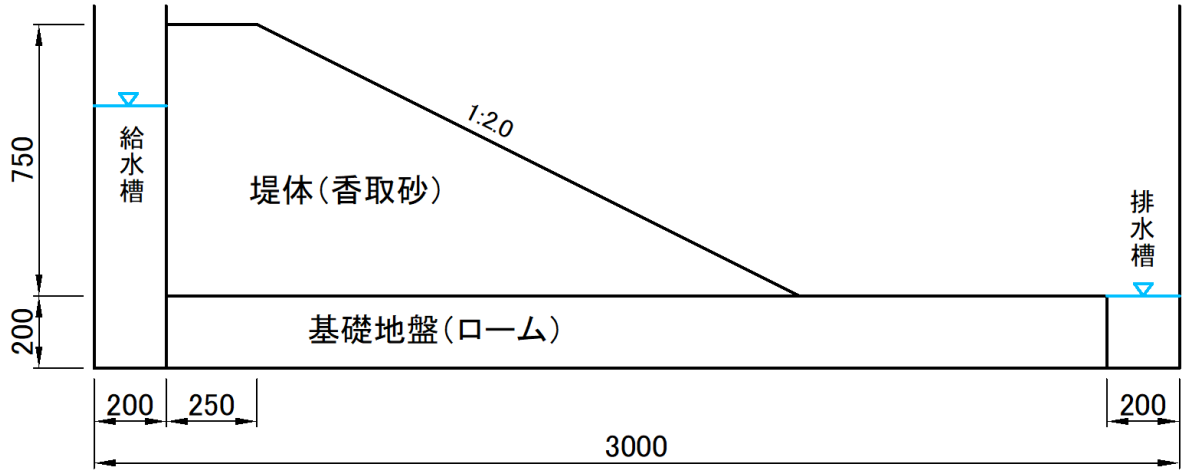


図 2.3.1 模型断面形状 (H29 Case1 無対策) (寸法 : mm)

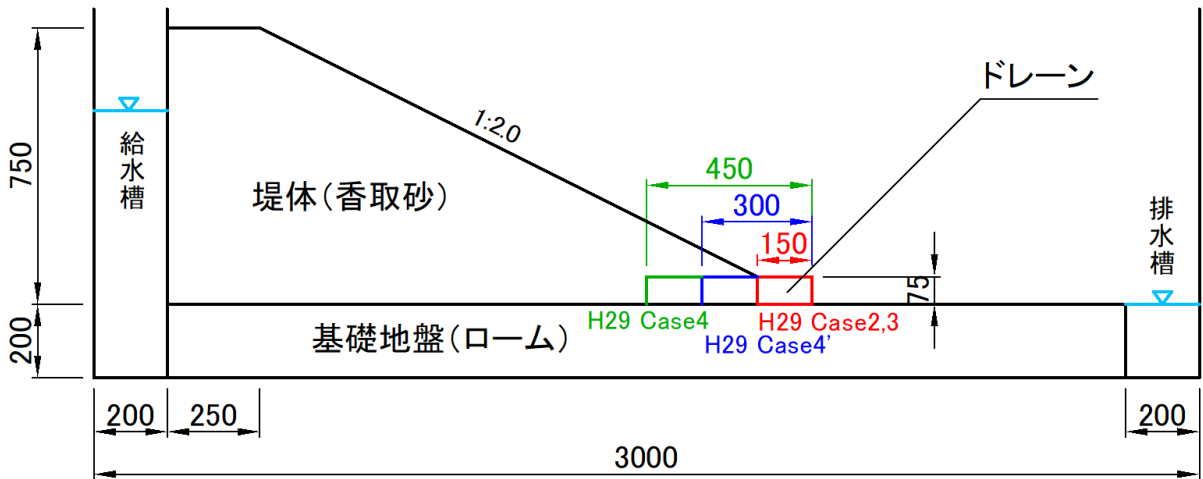


図 2.3.2 模型断面形状 (H29 Case2~4' ドレーン工法) (寸法 : mm)

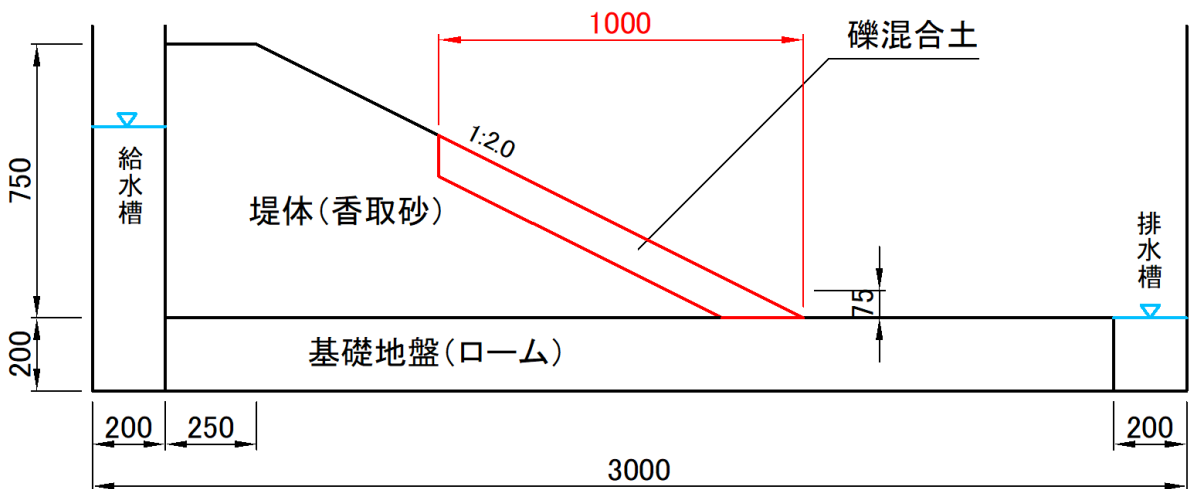


図 2.3.3 模型断面形状 (H29 Case5 礫混合土置換工法) (寸法 : mm)

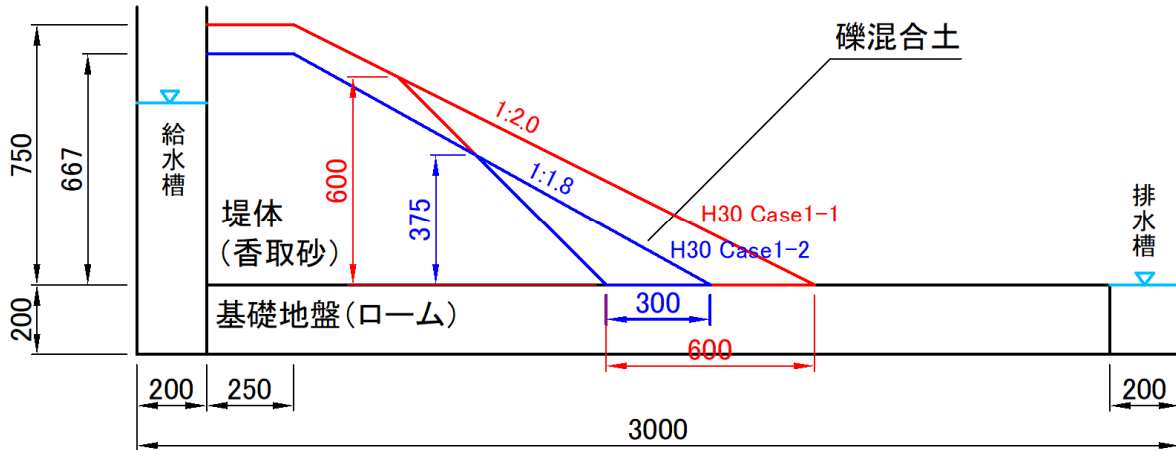


図 2.3.4 模型断面形状 (H30 Case1-1、1-2 礫混合土置換工法) (寸法 : mm)

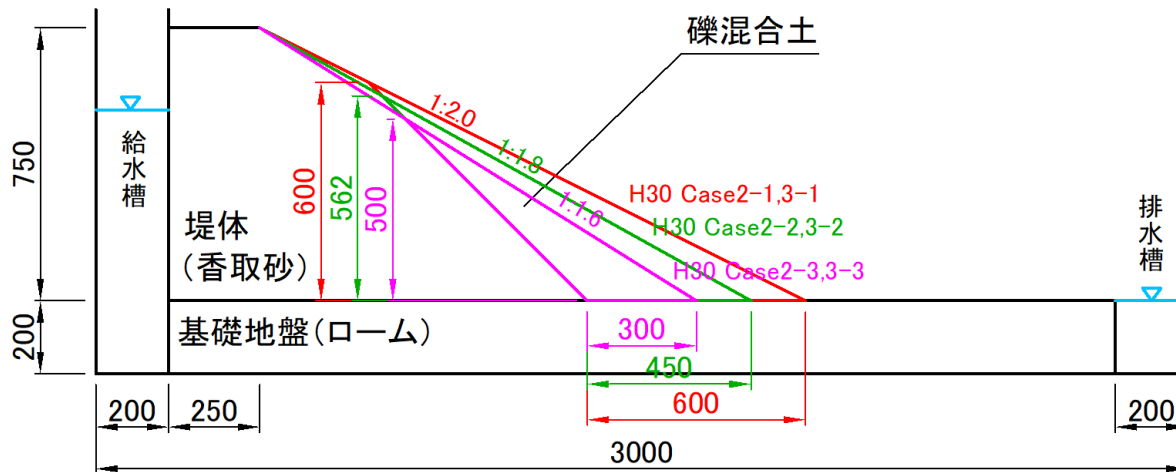


図 2.3.5 模型断面形状 (H30 Case2-1~3、3-1~3 礫混合土置換工法) (寸法 : mm)

2.4 実験実施手順

実験の実施にあたり、各種装置および模型を作製した。併せて、各種計測機器を堤体内や模型周辺に設置した。実験実施時は基盤層を飽和状態にした後に給水槽水位を上昇させ、実験を実施した。

詳細な手順を以下に示す。

2.4.1 実験装置の作製

土槽は鋼製土槽（幅 1.5m×長さ 3.0m×高さ 1.0m）を用い、図 2.4.1 に示すように土槽の壁面に、ルーフィング対策として、幅 45mm×奥行 45mm 程度の角材を縦方向に設置した。また、ルーフィング対策強化のため、取り付け角材に幅 200mm×厚さ 12mm の合板を取り付けた。合板の固定にはシーリング材を用いた。実験土槽の長手方向側面には、図 2.4.2 に示す給水槽と排水槽を設置した。給水槽の仕切り板は、側壁面から 0.2m 離れた位置に高さ 1m で設置した。給水槽の仕切り板はコンクリートパネル及び角材等を組み立てて作製し、地盤内に均等に浸透するよう、パネル間に 10mm の隙間を設け、設置した。給水槽表面は不織布で全面を覆った。一方、排水槽は側壁面から 0.2m 離れた位置に高さ 0.2m で設置した。排水槽についても、給水槽と同様に全面を不織布で覆った。完成時の状況を図 2.4.2 に示す。

土槽からの排水量を測定するために、図 2.4.3 に示す外部排水槽（硬質ポリ塩化ビニル管（以下、塩ビ管））を設置した。土槽下部の排水弁から 1/2 インチの塩ビ管を伸ばし、実験棟ピット内に設置した外部排水槽に貯水する構造とした。塩ビ管の内径は 200mm、長さは 6m である。外部排水槽の底面には間隙水圧計を取り付けており、浸透実験時の間隙水圧計出力値から排水量を計算できる構造とした。外部排水槽が満水になると、図 2.4.4 に示す、下部に取り付けた蛇口により排水させた。



図 2.4.1 ルーフィング対策実施状況

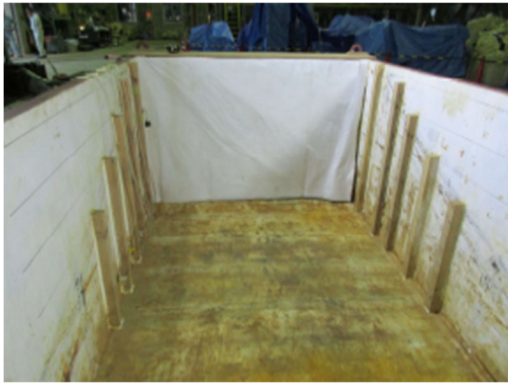


图 2.4.2 左：給水槽構築状況、右：排水槽構築状況



图 2.4.3 外部排水槽構築状況



图 2.4.4 外部排水槽下部蛇口

2.4.2 実験模型の作製

(1) 盛土、対策工の作製

無対策の場合の H29 Case1 の模型、法尻部にドレーン工を設置した場合の H29 Case2～H29 Case4' (4 ケース) の模型、法面もしくは法尻部を礫混合土に置換した場合の H29 Case5～H30 Case 3-3 (9 ケース) の模型を作製し、実験を実施した。

詳細な模型作製手順を以降に示す。

1) H29 Case1

まず、ロームを用い、厚さ 20cm の基礎地盤を作製した。

その後、堤体部を作製した。堤体を精度良く作製するために、仕上がり層厚 15cm 毎に木製型枠を組み、盛土を行った。木製型枠を用いた盛土が完了した後、型枠を撤去し、余剰部を除去した後に法面を整形し堤体を作製した。



図 2.4.5 左：基礎地盤作製状況、右：基礎地盤完成状況



図 2.4.6 左：木製型枠設置・盛土状況 1、右：木製型枠設置・盛土状況 2

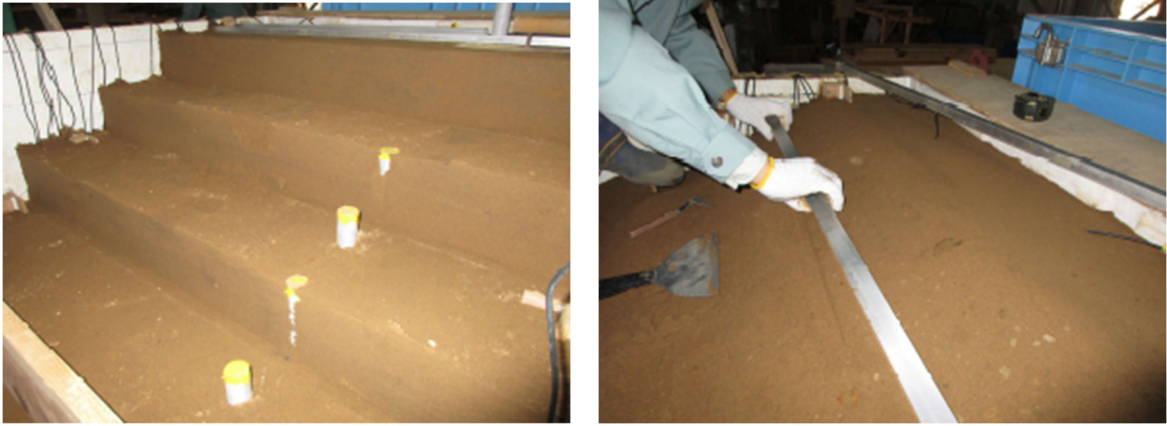


図 2.4.7 左：木製型枠撤去時の状況、右：法面整形状況

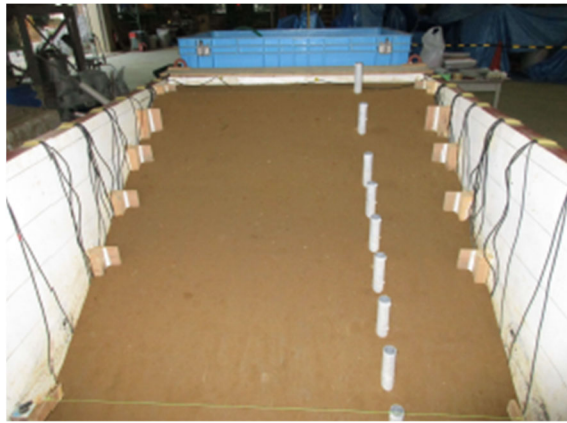


図 2.4.8 堤体完成状況

2) H29 Case2~H29 Case4'

H29 Case1 の実験後の基礎地盤を除く堤体部を一度撤去した後、法尻部にドレーン工を設置した模型を作製した。ドレーン工は、金網に 6 号碎石を詰めたものを使用して、いくつか細分化したドレーン工を作製し、それらを針金を用いて連結することで模型用のドレーン工を作製した。また、ドレーン工を覆うフィルター材について、実験ケースにより親水性のない不織布と親水性のある植生シートを使い分けた。表 2.4.1、表 2.4.2 に作製したドレーン工の仕様一覧を示す。

なお、H29 Case2、H29 Case3 の各ケースの実験終了後、一度ドレーン工および堤体部を全て撤去した後、次のケースのドレーン工を設置し堤体を作製した。H29 Case4 終了後は実験終了後に堤体を撤去せず、模型の一部を再利用し、H29 Case4'の模型を作製した。

表 2.4.1 ドレーン工の仕様 (1/2)

試験ケース	長さ	ドレーン工仕様			
		フィルター材	親水性	タイプ	使用数量
H29 Case2	15cm	不織布	無し	A	2
				B	1
				C	1
H29 Case3	15cm	植生シート	有り	A	2
				B	1
				C	1
H29 Case4	45cm	植生シート	有り	A	6
				B	3
				C	3
H29 Case4'	30cm	植生シート	有り	A	4
				B	2
				C	2

表 2.4.2 ドレーン工の仕様 (2/2)

ドレーン工タイプ	幅 (cm)	高さ (cm)	長さ (cm)	質量 (g)	密度 (g/cm ³)
A	53.5	7.5	15.0	9450	1.57
B	38.0	7.5	15.0	6710	1.57
C	3.5	7.5	10.0	410	1.56

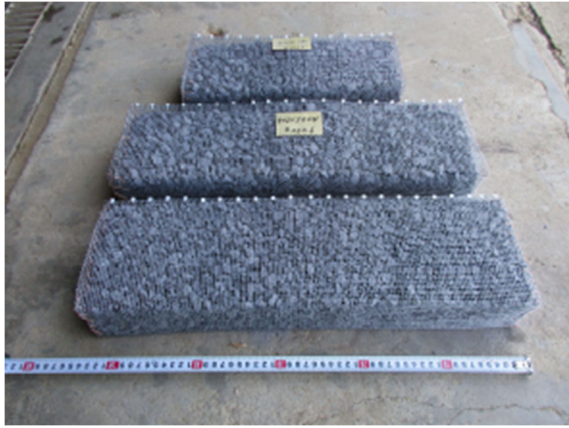


図 2.4.9 左：碎石充填後のドレーン工、右：ドレーン工設置状況（H29 Case2）

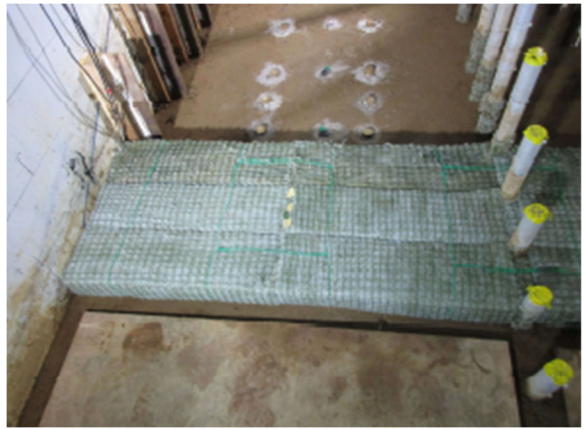


図 2.4.10 左：ドレーン工設置状況（H29 Case3）、右：ドレーン工設置状況（H29 Case4）

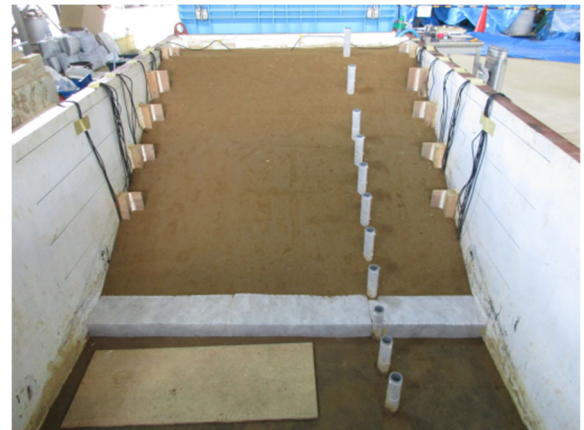
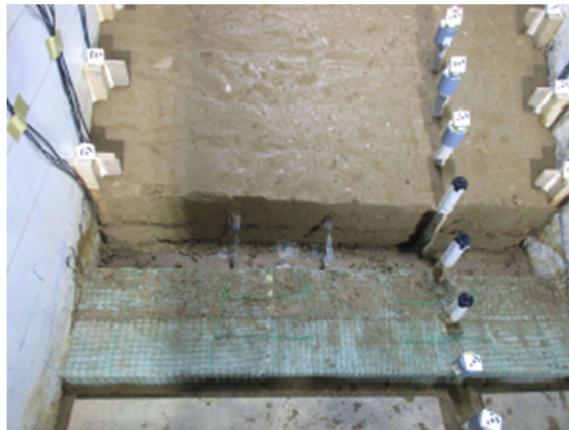


図 2.4.11 左：ドレーン工設置状況（H29 Case4'）、右：完成模型例（H29 Case2）

3) H29 Case5

H29 Case4'の実験終了後、基礎地盤を除く堤体を撤去し、無対策の場合と同様の堤体を再構築した。その後、堤体表面から深さ 10cm の範囲を掘削し、礫混合土により置き換えた。なお、礫混合土については、堤体に用いた香取砂と、路盤材の内 20mm ふるいを通過した材料を、乾燥質量比で 7:3 の配合率で混合したものを用いた。



図 2.4.12 左：使用路盤材、右：礫混合土作製状況



図 2.4.13 左：置換範囲掘削状況、右：礫混合土置換範囲作製状況

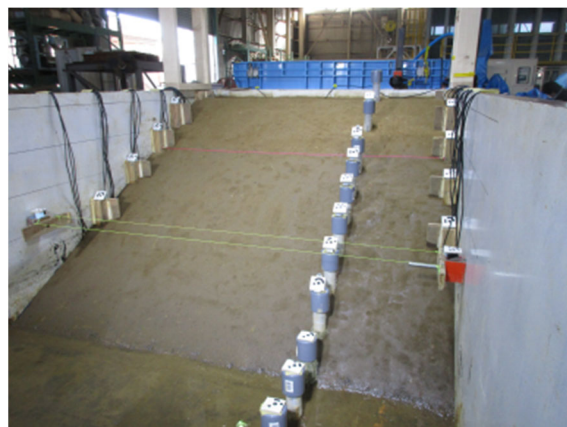


図 2.4.14 完成模型 (H29 Case5)

4) H30 Case1-1~H30 Case3-3

H29Case5の実験終了後、基礎地盤を除く堤体を撤去し、まず礫混合土を除く堤体部分の盛土を実施した。盛土時はこれまでのケース同様、木製型枠を用い盛土を実施した後、余剰部分を掘削する形で作製した。なお、各ケースにおける礫混合土の仕様は表 2.4.3 に示す通りであり、堤体に用いた香取砂、5号砕石、6号砕石を混合して作製し、ケースにより配合比率を乾燥重量比で、香取砂：5号砕石：6号砕石=4:1:1 もしくは2:1:1 とし、目標締固め度を90%もしくは100%として模型を作製した。

図 2.4.19、図 2.4.20 に示す通り、H30 Case1-1~3-3 までのケースでは礫混合土の仕様（締固め度、混合比率）が同様の場合は、実験を実施した後に、堤体を撤去せずに、次のケースの堤体形状まで掘削し実験を実施した。礫混合土の仕様が直前のケースと変わる際には、基礎地盤を除く堤体部を全て撤去し、新規に堤体を作製し、実験を行った。

表 2.4.3 各ケースの礫混合土仕様

Case	配合率（乾燥質量比）（%）			締固め度
	配合比率			
	香取砂	5号砕石	6号砕石	Dc(%)
Case1-O	66.6	16.7	16.7	100
	4	1	1	
Case2-O	50.0	25.0	25.0	100
	2	1	1	
Case3-O	50.0	25.0	25.0	90
	2	1	1	



図 2.4.15 左：盛土部作製状況、右：盛土部法面整形状況

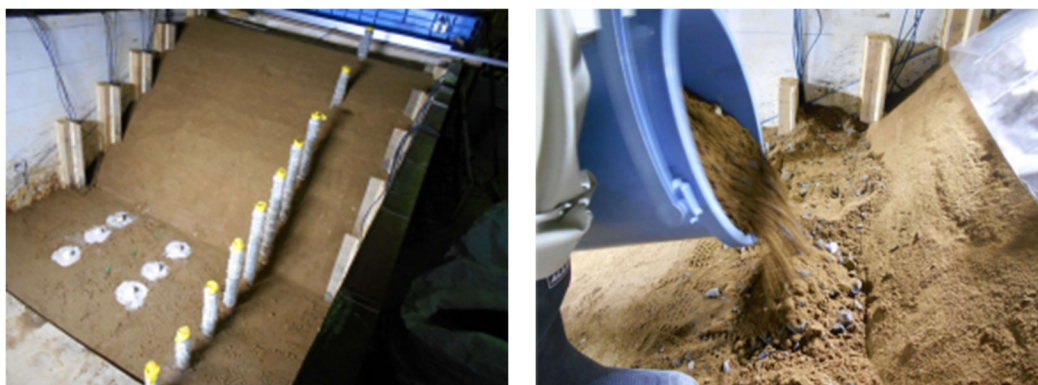


図 2.4.16 左：盛土部完成状況、右：礫混合土置換範囲作製状況



図 2.4.17 左：礫混合土置換範囲整形状況、右：礫混合土置換範囲締固め状況



図 2.4.18 完成模型例 (H30 Case1-1)

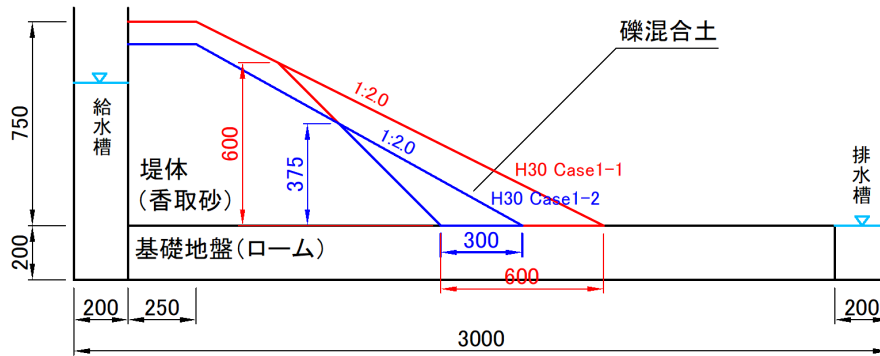


図 2.4.19 模型横断形状 (H30 Case1-1、1-2 礫混合土置換工法) (寸法：mm) (再掲)

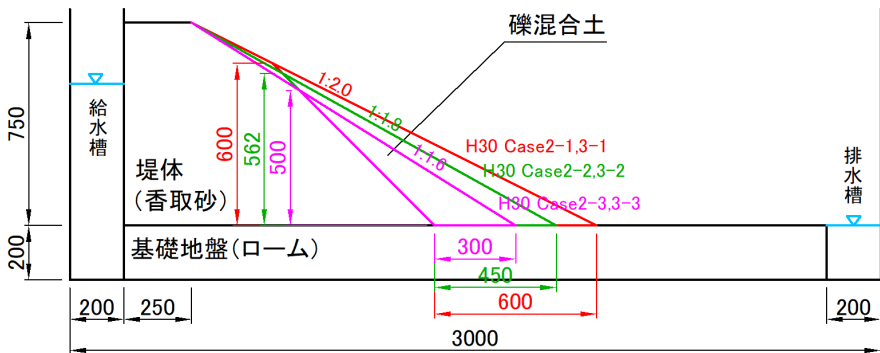


図 2.4.20 模型横断形状 (H30 Case2-1~3、3-1~3 礫混合土置換工法) (寸法：mm) (再掲)

(2) 模型作製時の密度管理方法および使用材料

基礎地盤は、ロームを用いて締固め度が90%以上となるように締め固めて作製した。層厚は、1層あたり10cmとし、最終的に全層厚20cmの基盤層を作製した。各層締固め後、コアカッターにより乱さない試料を2個採取し、乾燥密度と締固め度を確認した。

堤体材料には香取砂を用い、目標締固め度を86%として作製した。H29実験模型においては、堤体は仕上がり層厚15cmとし、5層繰り返して高さ75cmの堤体を作製した。各層締固め後、コアカッターにより試料を2個採取し、締固め度を確認した。H30実験模型においては、1層あたり7.5cmとし、10層繰り返して高さ75cmの堤体を作製した。締固め度の確認は2層ごとに実施した。土槽長手方向側壁から20cmの位置までは、堤体中央部に間隙水が均一に浸透するように締固め度を大きくしているが、この密締め部分は多めの土量を盛って締め固めた。

礫混合土について、H29 Case5の実験模型では、20mmふるいを通した路盤材と堤体材料の香取砂を混合した材料を用いた。配合は乾燥重量比で香取砂：路盤材=7:3とした。

一方で、H30 Case1-1~3-3の実験模型では、礫材として5号砕石と6号砕石を用い、香取砂との混合比率や締固め度の組み合わせを変えて実験を実施した。配合比率は乾燥重量比で香取砂：5号砕石：6号砕石=4:1:1もしくは2:1:1の2ケース、目標締固め度は90%もしくは100%の2ケースとした。礫混合土置換部は一層当たりの層厚を7.5cmとして作製し、2層目及び4層目において、各層2箇所コアカッターにより試料を採取し、乾燥密度と締固め度を確認した。なお、礫混合土については、締固め後にコアカッターで試料を採取しようとしても礫によりうまく貫入できないため、コアカッターは模型作成時にあらかじめ礫混合土に埋設して採取した。

密度管理の作業状況を図 2.4.21 に示す。また、使用した材料の基本的性質を表 2.4.4、粒径加積曲線を図 2.4.22 に、盛土時の密度管理結果を表 2.4.5 に示す。



図 2.4.21 密度管理作業状況（コアカッター法）

表 2.4.4 使用材料の基本的性質

実験Case			全ケース共通				H29	H30	
模型材料			基礎地盤	堤体土			対策工		
			ローム	香取砂①	香取砂②	平均	礫混合土 砂：路盤材 =7:3	砂：碎石= 2:1 (5,6号碎石 各16.7%)	砂：碎石= 1:1 (5,6号碎石 各25.0%)
一般	土粒子の密度 ρ_s	g/cm ³	2.654	2.695	2.694	2.695	-	-	-
粒度	礫分	%	-	0.0	0.0	0.0	20.3	-	-
	砂分	%	-	77.8	78.4	78.1	57.0	-	-
	シルト分	%	-	14.2	13.5	13.9	22.7	-	-
	粘土分	%	-	8.0	8.1	8.1	-	-	-
	10%粒径D ₁₀	mm	-	0.009	0.009	0.009	-	-	-
	20%粒径D ₁₀	mm	-	0.063	0.068	0.066	-	-	-
	50%粒径D ₅₀	mm	-	0.247	0.228	0.238	-	-	-
	60%粒径D ₆₀	mm	-	0.291	0.275	0.283	-	-	-
	最大粒径D _{max}	mm	-	2.000	2.000	2.000	-	-	-
	均等係数 U _c	-	-	32.34	31.27	31.81	-	-	-
曲率係数 U _c '	-	-	7.15	5.64	6.40	-	-	-	
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/cm ³	0.973	1.682	1.702	1.692	(1.846)	1.948	2.081
	最適含水比 W _{opt}	%	56.0	18.2	17.7	18.0	(14.0)	12.0	9.6
透水	透水係数 k ₁₅	m/s	-	-	-	6.10E-06	1.63E-05	-	-
	設定含水比	%	-	-	-	13.2	19.3	-	-
	設定乾燥密度	ρ_d	-	-	-	1.455	1.588	-	-
	締固め度	%	-	-	-	86.0	86.0	-	-

※H29 実験時の礫混合土の締固め特性については、簡易的な締固め試験により確認したもの。

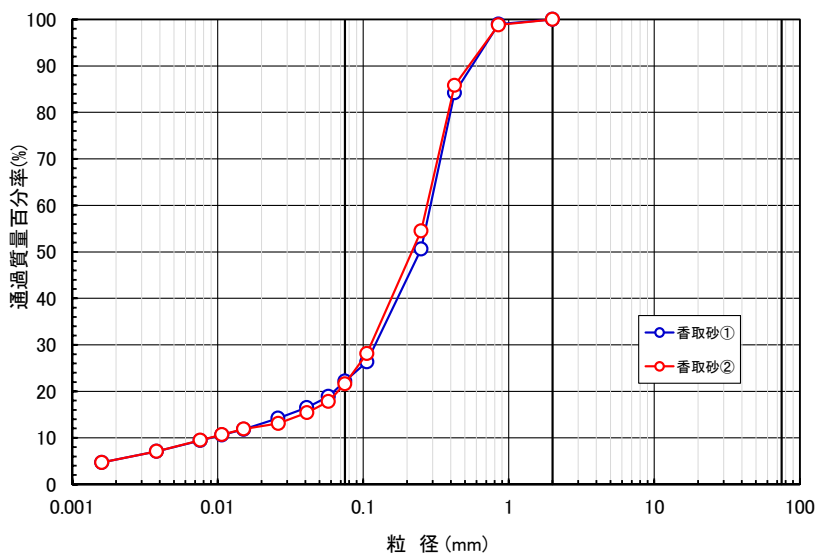


図 2.4.22 使用材料の粒径加積曲線

表 2.4.5 模型作製時密度管理結果

Case	模型材料	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	目標締固め度 (%)
H29 Case1	香取砂	41.9	1.169	120.1	86.0
	ローム	15.3	1.450	85.7	90.0
H29 Case2	香取砂	15.5	1.447	85.0	86.0
H29 Case3	香取砂	15.5	1.447	85.5	86.0
H29 Case4, 4'	香取砂	13.9	1.449	85.7	86.0
H29 Case5	香取砂	13.4	1.457	86.1	86.0
	礫混合土	10.4	1.555	84.2	86.0
H30 Case1-1, 2	香取砂	12.8	1.456	86.1	86.0
	礫混合土	10.8	1.917	98.4	100.0
H30 Case2-1~3	香取砂	12.5	1.459	86.2	86.0
	礫混合土	9.8	2.033	97.7	100.0
H30 Case3-1~3	香取砂	13.2	1.455	86.0	86.0
	礫混合土	10.2	1.880	90.3	100.0

※H29 Case2 以降のケースの基礎地盤部（ローム）については、H29 Case1 のものを流用

(3) 計測機器の設置

実験模型作製と併せて、図 2.4.24 に示す位置に、間隙水圧計（株式会社共和電業製 BPR-A-50KPS）17 個、土壌水分計（メーター社製 CDC-EC-5）36 個、水位計設置のための水位観測孔（水位計：応用地質株式会社製 S&DL mini Model-4800）11 本（模型付近に別途、大気圧補正用の同社製大気圧計を設置）設置した。また、マンメーターによる観測を 8 箇所で行った。

間隙水圧計は、図 2.4.23 に示すように受圧面を上向きにし、受圧面上面を基盤層上面に合わせて設置した。間隙水圧計本体は地盤材料が入り込まないように薄い不織布で覆った状態とし、水圧計周辺の基盤層を掘削し、珪砂 4 号を敷詰め平らに整形にした後に基盤層内に設置し、水を垂らし受圧面を飽和させた状態とした。

水位観測孔は堤体内の範囲に開孔部を設けたストレーナ管に不織布を巻き、土槽底面に固定した。

また、堤体形状把握のため、カメラを最大 5 台設置し、インターバル撮影を実施した。インターバル撮影時は、模型付近に、撮影画像を用いた画像解析の際に、標定点として利用するためのマーカーを設置したうえで撮影を行った。

図 2.4.25～図 2.4.31 に、計測機器および計測機器設置状況を示す。

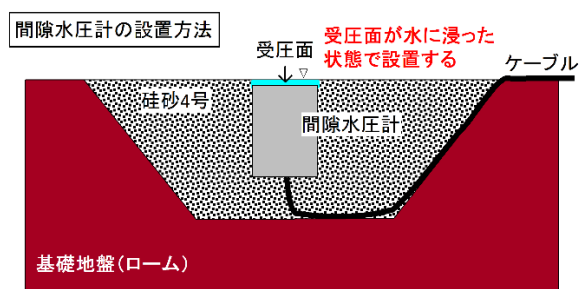
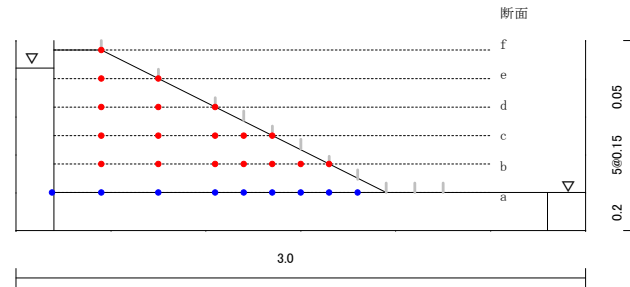


図 2.4.23 間隙水圧計の設置方法

<A断面図>



<平面図>

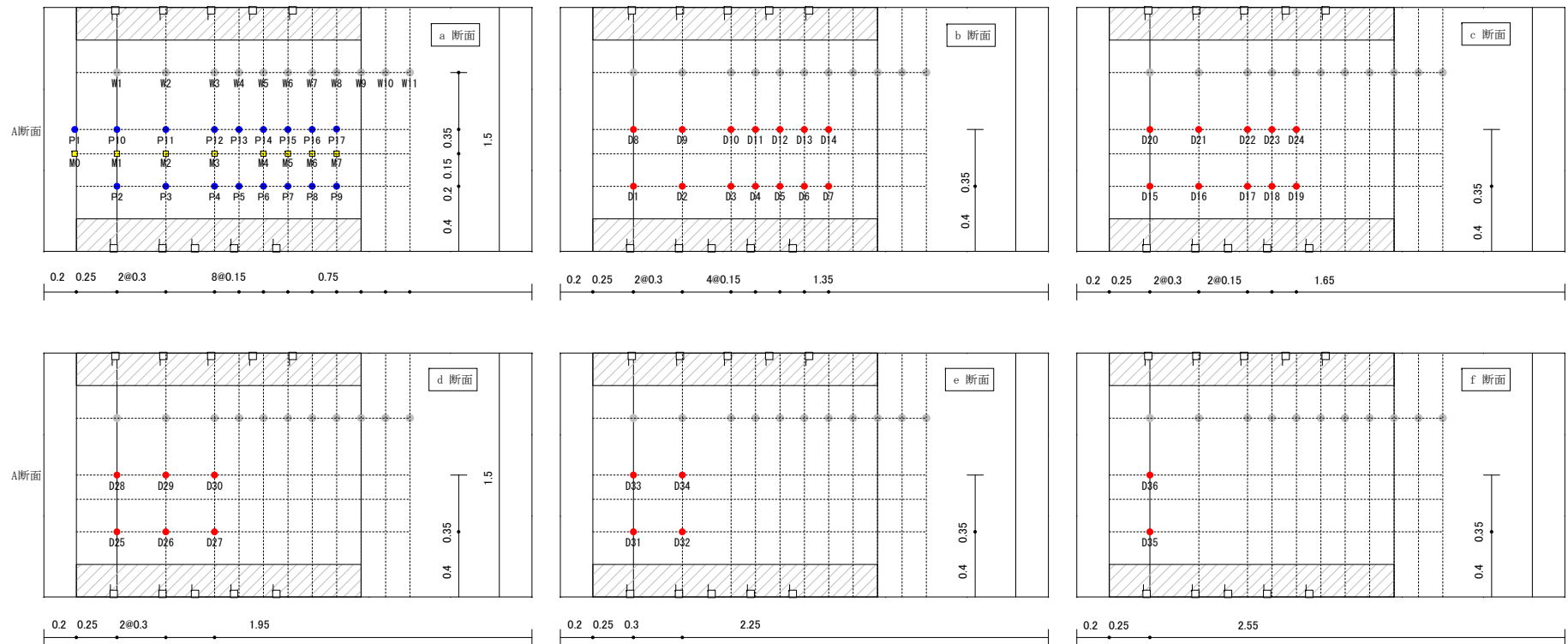


図 2.4.24 実験模型概要図およびセンサー設置位置図 (単位 : m)



図 2.4.25 左：使用間隙水圧計、右：間隙水圧計センサー加工状況



図 2.4.26 左：間隙水圧計設置状況



図 2.4.27 左：使用土壌水分計、右：土壌水分計設置状況



図 2.4.28 ストレーナー管加工状況



図 2.4.29 左：水位観測孔設置状況、右：使用水位計



図 2.4.30 左：マンメーター計測位置、右：マンメーター観測位置



図 2.4.31 左：カメラ設置状況、右：マーカ―設置状況

(4) 設置機器のキャリブレーション

間隙水圧計については、塩ビ管内に間隙水圧計を入れ、管内の水位を変化させ、その際の出力ひずみ値との関係を用いてキャリブレーションを実施した。キャリブレーションの結果を表 2.4.6 に示す。

土壌水分計については、使用する全てのセンサーについて気中および水中において計測し動作確認を実施した後に、5 台分のセンサーを抽出し、検定用に作製した模型地盤内に設置し、含水比を 5 種類に変化させた際の計測値と飽和度の関係を線形近似することにより、キャリブレーションを実施した。キャリブレーションの結果を表 2.4.7、図 2.4.32 に示す。

表 2.4.6 間隙水圧計のキャリブレーション結果

No.	センサー No.	製造番号	出力ひずみの 区分 ($\mu\varepsilon$)	水深 (m)						校正係数 kPa/ $\mu\varepsilon$
				0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	
				静水圧 (kPa)						
				0	4.9	9.8	14.7	19.6	0	
				出力ひずみ ($\mu\varepsilon$)						
1	P1	GU1400005	ダイレクト値	163	260	360	459	558	165	0.04968
			差分	0	97	197	296	395	2	
2	P2	GU1400004	ダイレクト値	119	196	275	355	433	121	0.06247
			差分	0	77	156	236	314	2	
3	P3	GU1400007	ダイレクト値	120	200	282	362	442	122	0.06079
			差分	0	80	162	242	322	2	
4	P4	GU1400006	ダイレクト値	104	187	272	356	440	107	0.05835
			差分	0	83	168	252	336	3	
5	P5	GU1400009	ダイレクト値	128	207	289	370	451	129	0.06077
			差分	0	79	161	242	323	1	
6	P6	GU1400003	ダイレクト値	149	234	322	408	495	150	0.05671
			差分	0	85	173	259	346	1	
7	P7	GG396001	ダイレクト値	217	305	394	483	573	217	0.05518
			差分	0	88	177	266	356	0	
8	P8	526970018	ダイレクト値	217	315	414	510	608	219	0.05008
			差分	0	98	197	293	391	2	
9	P9	GE3260009	ダイレクト値	121	213	306	400	493	123	0.05274
			差分	0	92	185	279	372	2	
10	P10	918040012	ダイレクト値	88	196	306	415	523	91	0.04502
			差分	0	108	218	327	435	3	
11	P11	046770028	ダイレクト値	103	180	260	339	419	105	0.06211
			差分	0	77	157	236	316	2	
12	P12	GU1400010	ダイレクト値	-89	-10	69	148	227	-87	0.06202
			差分	0	79	158	237	316	2	
13	P13	GE3260004	ダイレクト値	84	165	248	330	413	86	0.05968
			差分	0	81	164	246	329	2	
14	P14	046770029	ダイレクト値	145	225	309	390	470	148	0.06017
			差分	0	80	164	245	325	3	
15	P15	046770027	ダイレクト値	139	214	293	370	448	141	0.06358
			差分	0	75	154	231	309	2	
16	P16	GU1400002	ダイレクト値	125	208	291	374	457	127	0.05904
			差分	0	83	166	249	332	2	
17	P17	GU1400008	ダイレクト値	130	216	305	393	481	132	0.05591
			差分	0	86	175	263	351	2	

表 2.4.7 土壌水分計のキャリブレーションのための計測値一覧

供試体の状態特性					地盤内土壌水分計出力 θ (m^3/m^3)						
締固め度	乾燥密度	間隙比	飽和度	含水比	経過時間 (分)	センサー検定No.					平均値
D値 (%)	ρ_d (g/cm^3)	e	Sr (%)	ω (%)		1	2	3	4	5	
86	1.455	0.853	25.3	8.0	1	0.132	0.121	0.120	0.127	0.128	0.126
					2	0.132	0.121	0.120	0.127	0.128	
					3	0.132	0.121	0.120	0.127	0.128	
					4	0.132	0.121	0.120	0.127	0.128	
					5	0.132	0.121	0.120	0.127	0.128	
			35.6	11.3	1	0.161	0.156	0.164	0.169	0.179	0.166
					2	0.161	0.156	0.164	0.169	0.178	
					3	0.161	0.156	0.164	0.170	0.178	
					4	0.161	0.156	0.164	0.169	0.179	
					5	0.161	0.156	0.164	0.169	0.179	
			48.4	15.3	1	0.208	0.207	0.202	0.200	0.227	0.209
					2	0.208	0.207	0.202	0.200	0.227	
					3	0.208	0.207	0.202	0.200	0.227	
					4	0.208	0.207	0.202	0.200	0.227	
					5	0.208	0.207	0.202	0.200	0.227	
			58.5	18.5	1	0.247	0.242	0.270	0.286	0.249	0.259
					2	0.247	0.242	0.270	0.286	0.249	
					3	0.247	0.242	0.270	0.287	0.249	
					4	0.247	0.242	0.270	0.286	0.249	
					5	0.247	0.242	0.270	0.287	0.249	
72.5	22.9	1	0.397	0.387	0.394	0.380	0.375	0.387			
		2	0.397	0.387	0.394	0.380	0.375				
		3	0.397	0.387	0.394	0.380	0.375				
		4	0.397	0.387	0.394	0.380	0.375				
		5	0.397	0.387	0.394	0.380	0.375				

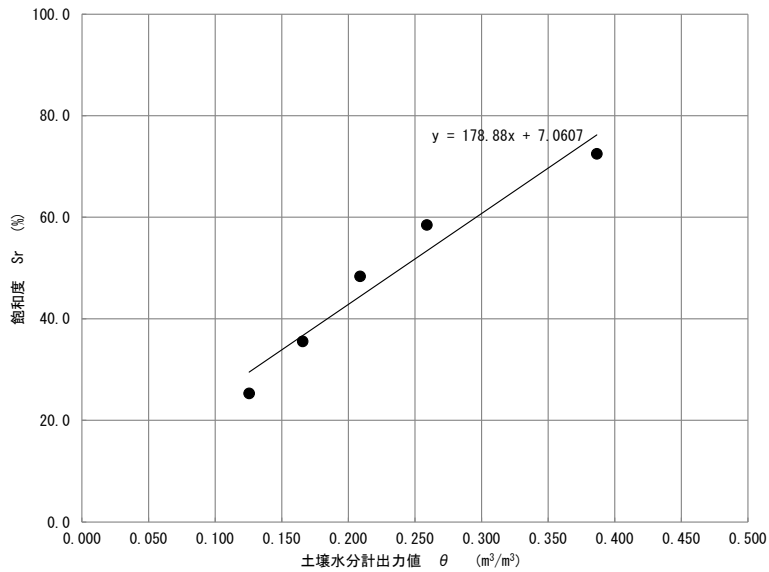


図 2.4.32 土壌水分計のキャリブレーション結果

2.4.3 計測内容

実験にあたっては、2.4.2 で示した計測機器による各種計測を実施した。堤体に変状が見られた場合は実験終了後に土層強度検査棒を貫入し、実験後の堤体表面から貫入時の抵抗が急増する範囲までの深さを計測し、変状発生範囲の堤体のゆるみ範囲を確認した。土層強度検査棒による調査は、図 2.4.35 に示す堤体の基本測線に沿って実施した。

また、実験中の堤体形状の経時的な変化を把握するため、カメラによりインターバル撮影を行い、撮影した画像を用いて 3D モデルを作製し、堤体模型表面の座標を計測した。併せて、ハンディタイプのレーザー変位計を用いて、実験後の堤体表面の高さを測定することで、実験後の堤体形状を計測した。



図 2.4.33 土層強度検査棒を用いたゆるみ範囲の計測状況



図 2.4.34 レーザー変位計を用いた計測状況

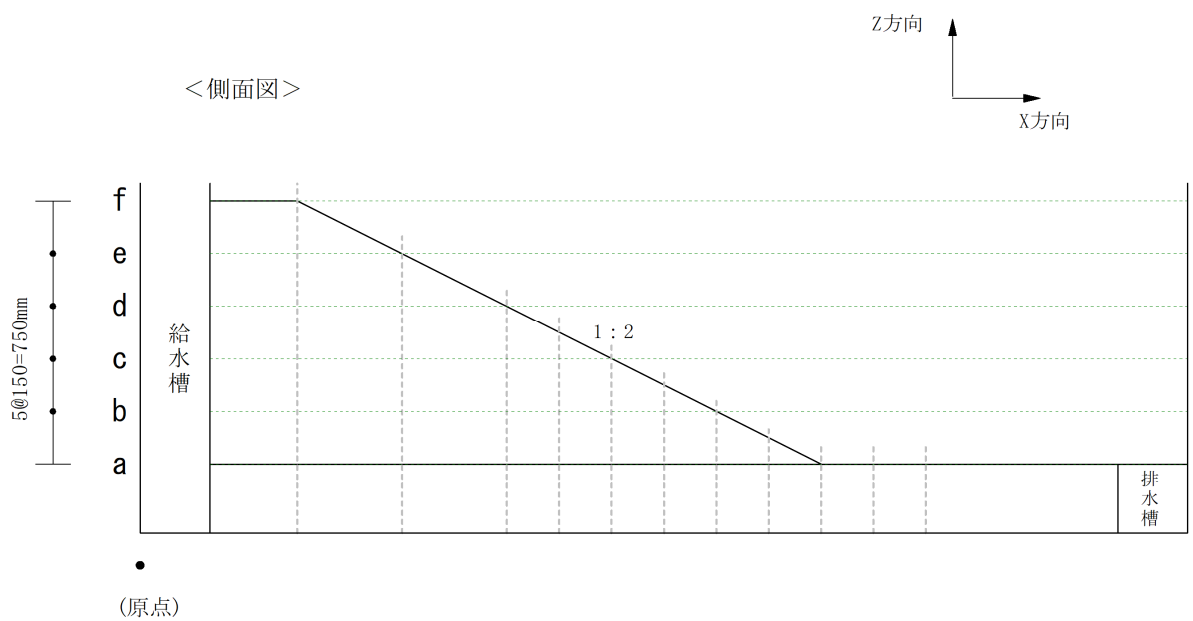
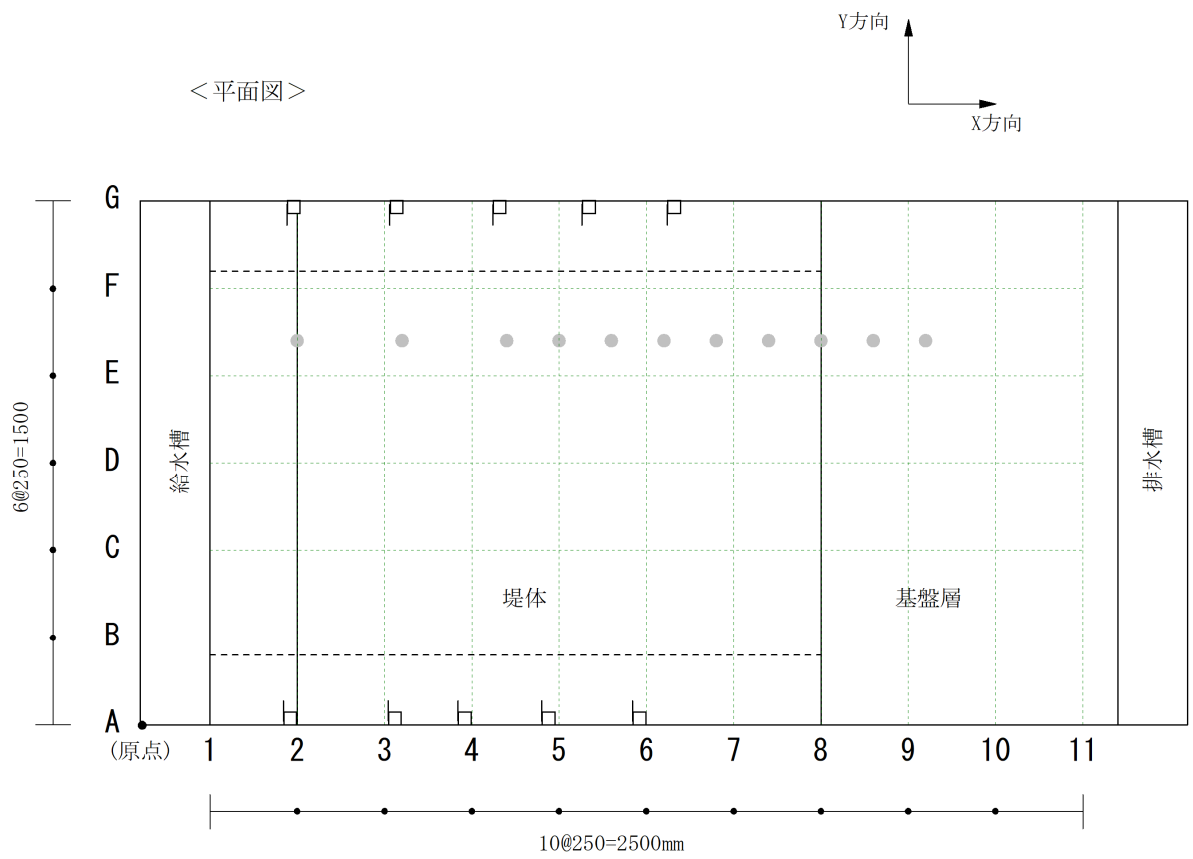


図 2.4.35 堤体の基本測線

2.5 実験結果

2.5.1 H29 Case1

H29 Case1 は無対策の模型を用いて実験を行ったケースである。対策を施さない場合の変状の発生状況等について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.1 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.1 実験経過 (H29 Case1)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
11/14	10:30	0→90.0	給水開始 (所要時間7分程度)
	11:50	90.0	堤体法尻が一部泥濘化。
	12:22	90.0	泥濘化範囲上部でクラックが発生。
		90.0	変状が徐々に法肩に向かって進行。
	14:20	90.0	崩壊範囲が法面の2/3程度まで拡大したため給水停止。実験を終了した。
		-	水位低下時も若干変状が拡大した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、図 2.5.1 に示すとおり、A 断面より 0.6m 付近の堤体形状を示す。

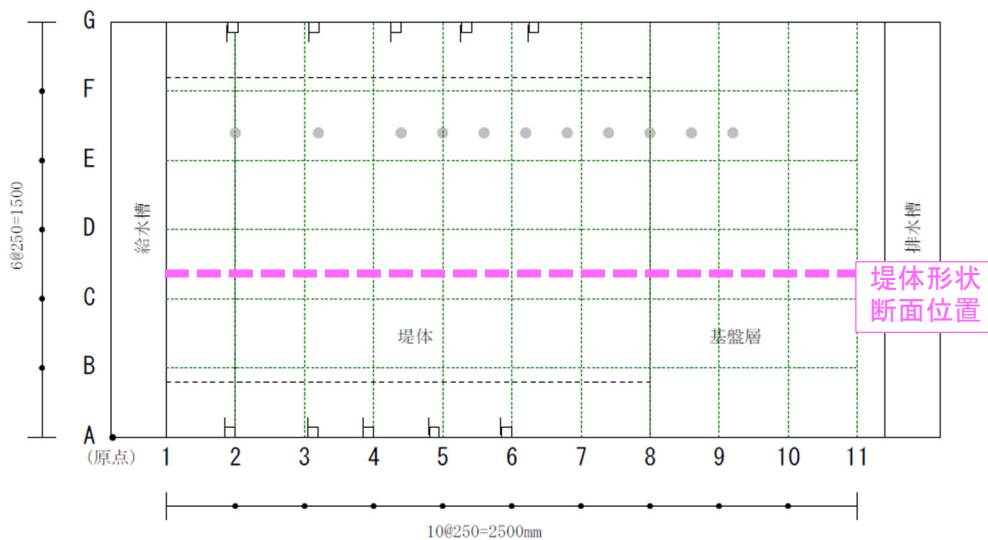


図 2.5.1 堤体形状 断面位置 (H29 Case1)

1) 堤体形状および堤体内水位

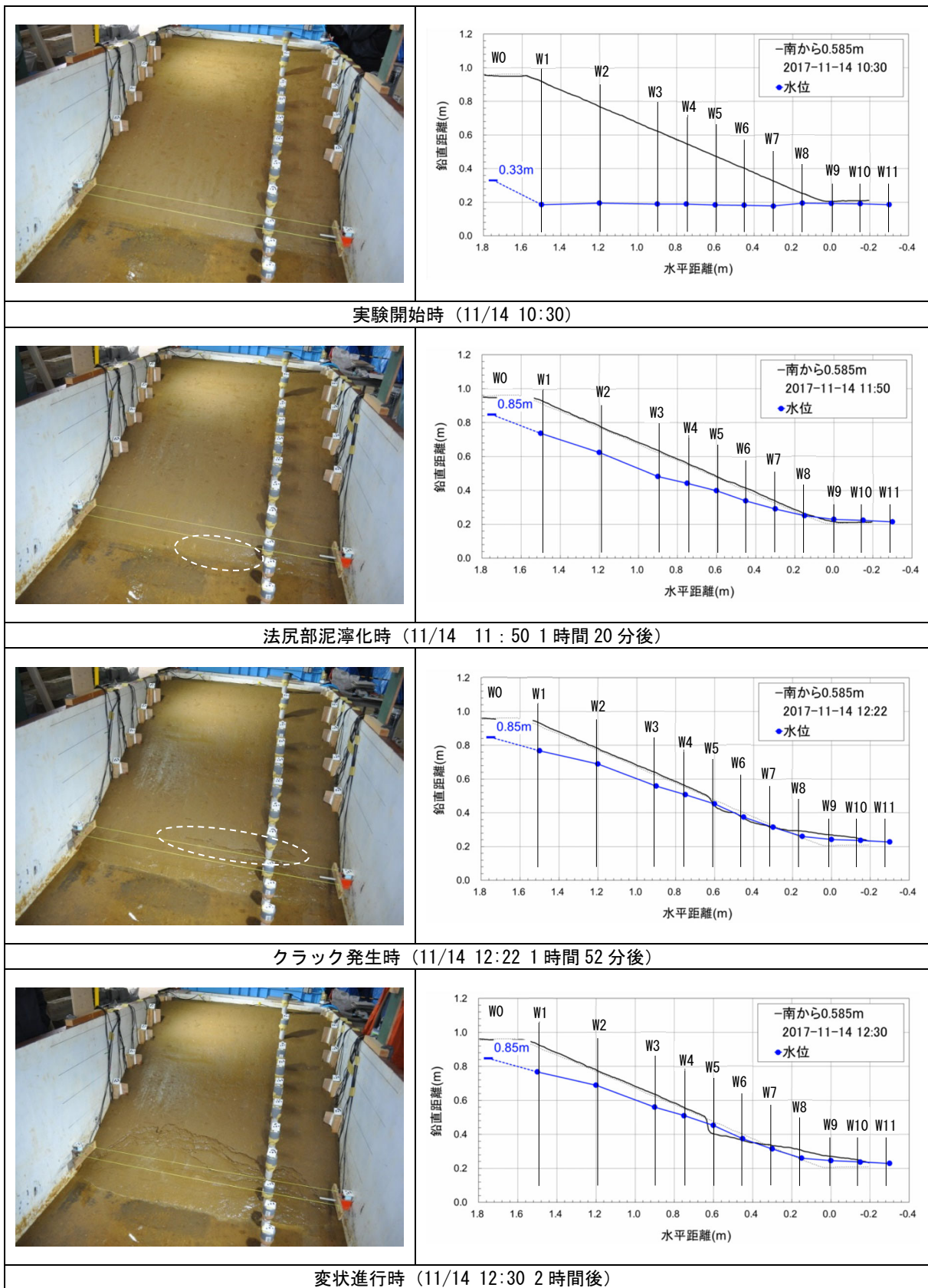
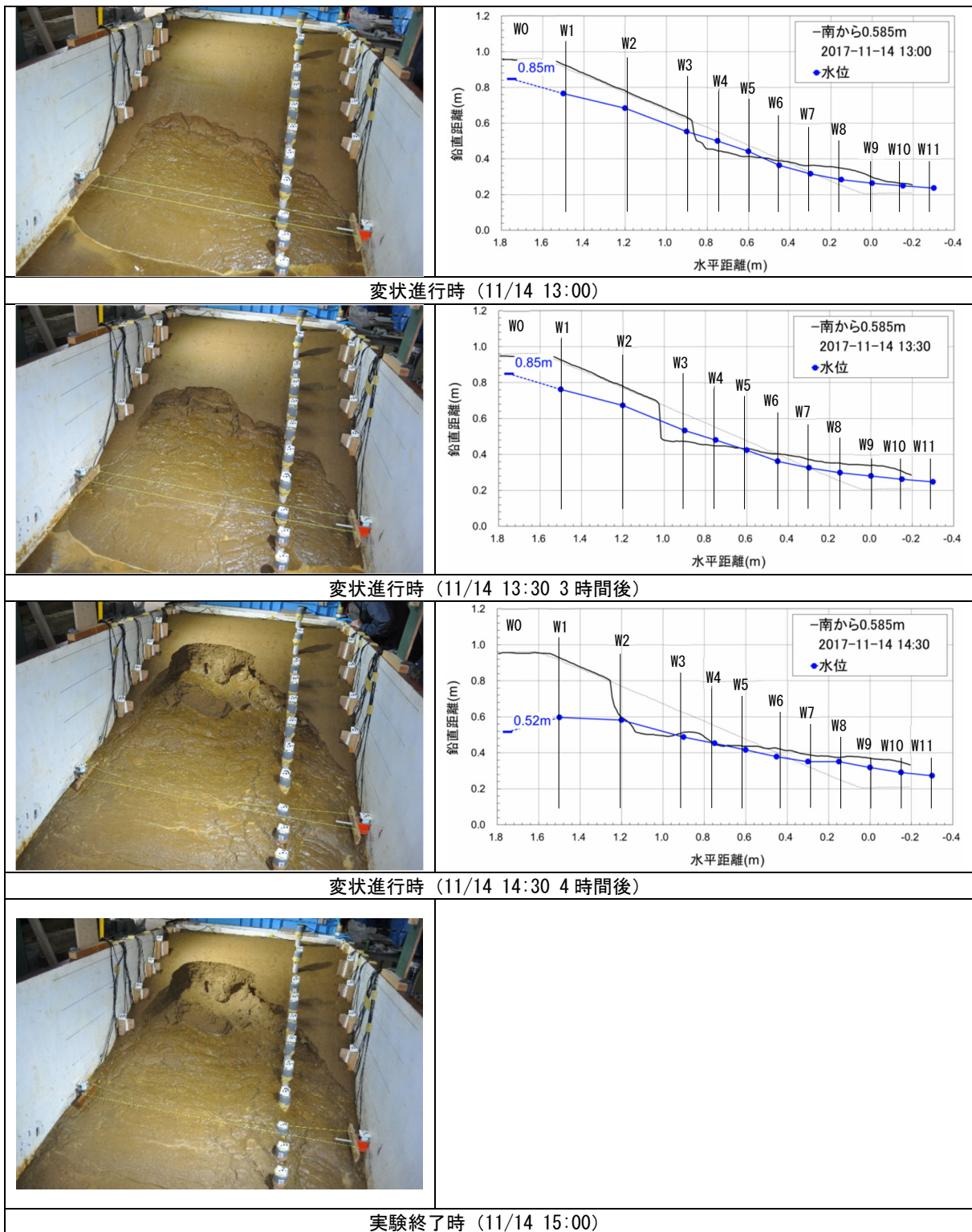


図 2.5.2 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.6m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case1)
(1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.2 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.6m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case1)
(2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

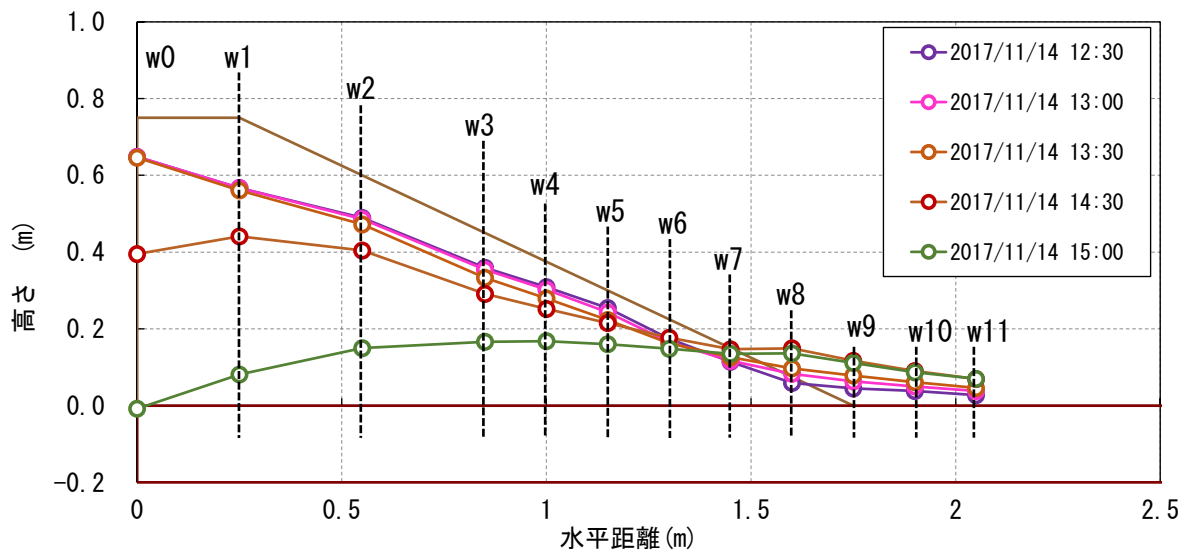
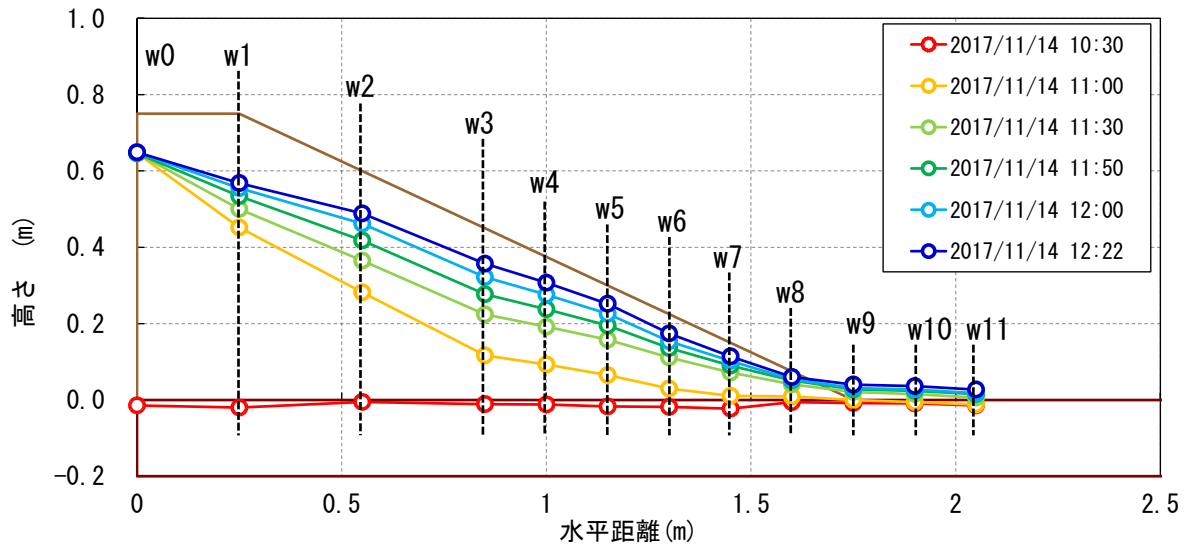


図 2.5.3 堤体内水位の横断分布の経時変化

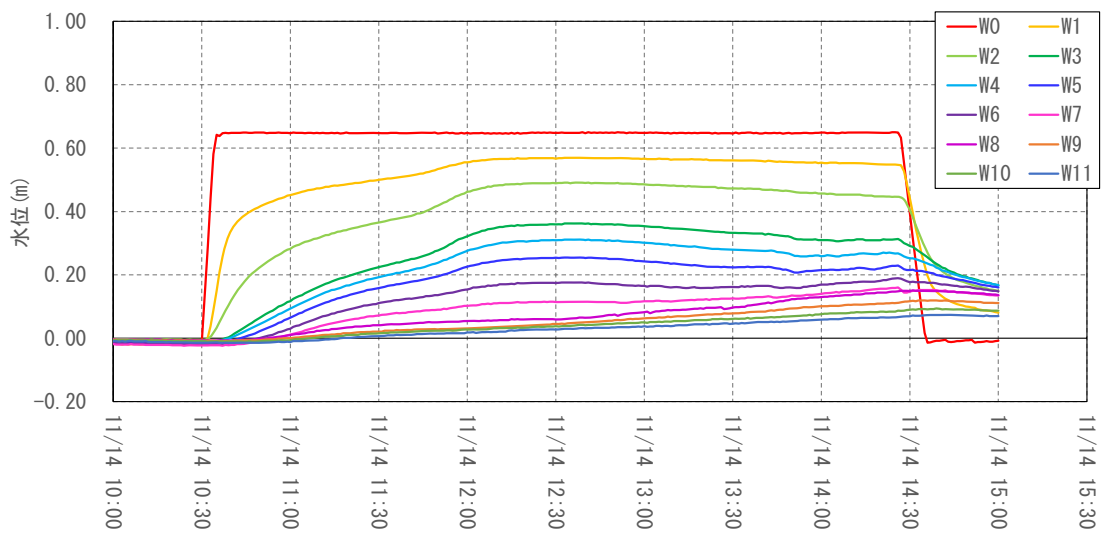
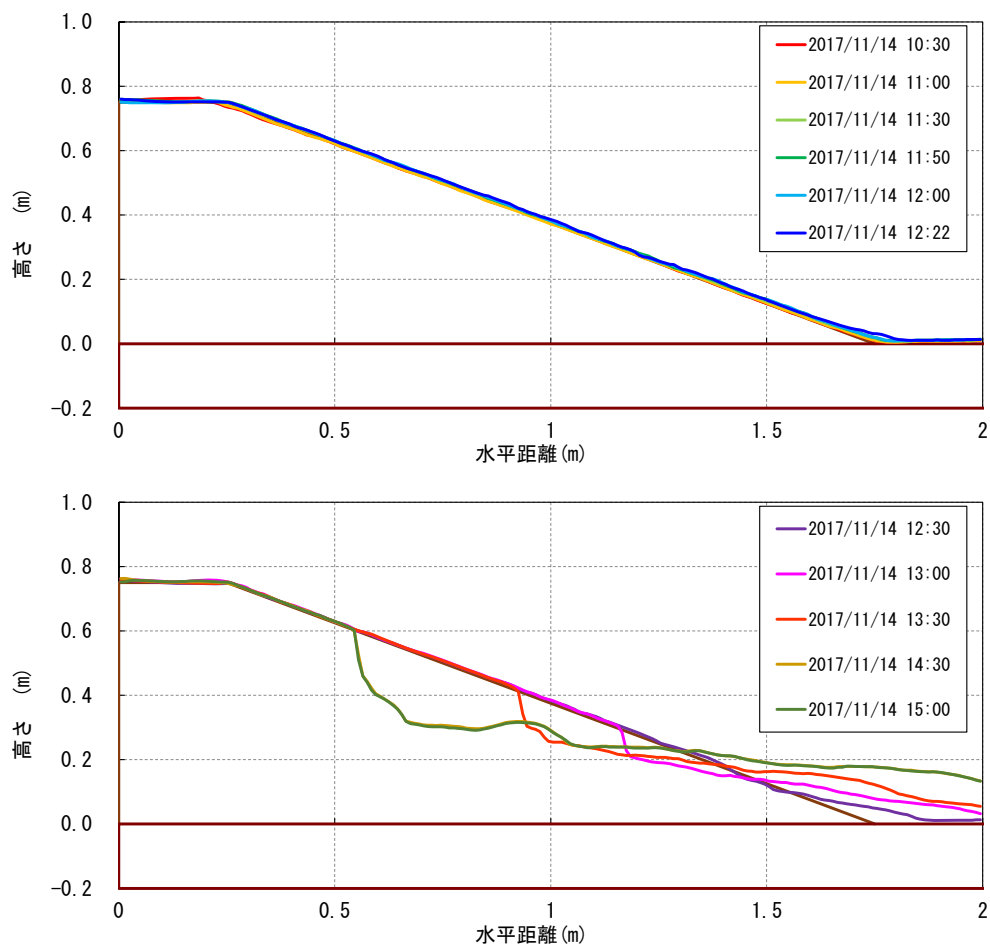


図 2.5.4 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.5 法面形状の経時変化 (A (南側) 断面より 0.6m)

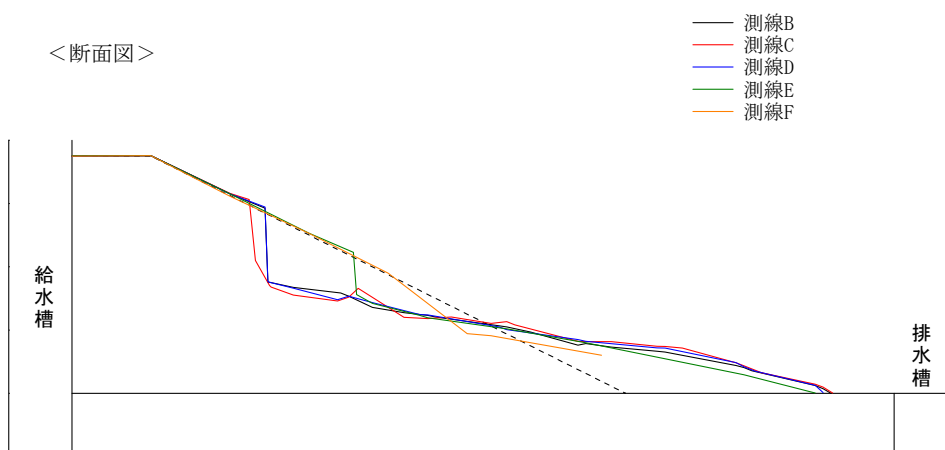


図 2.5.6 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

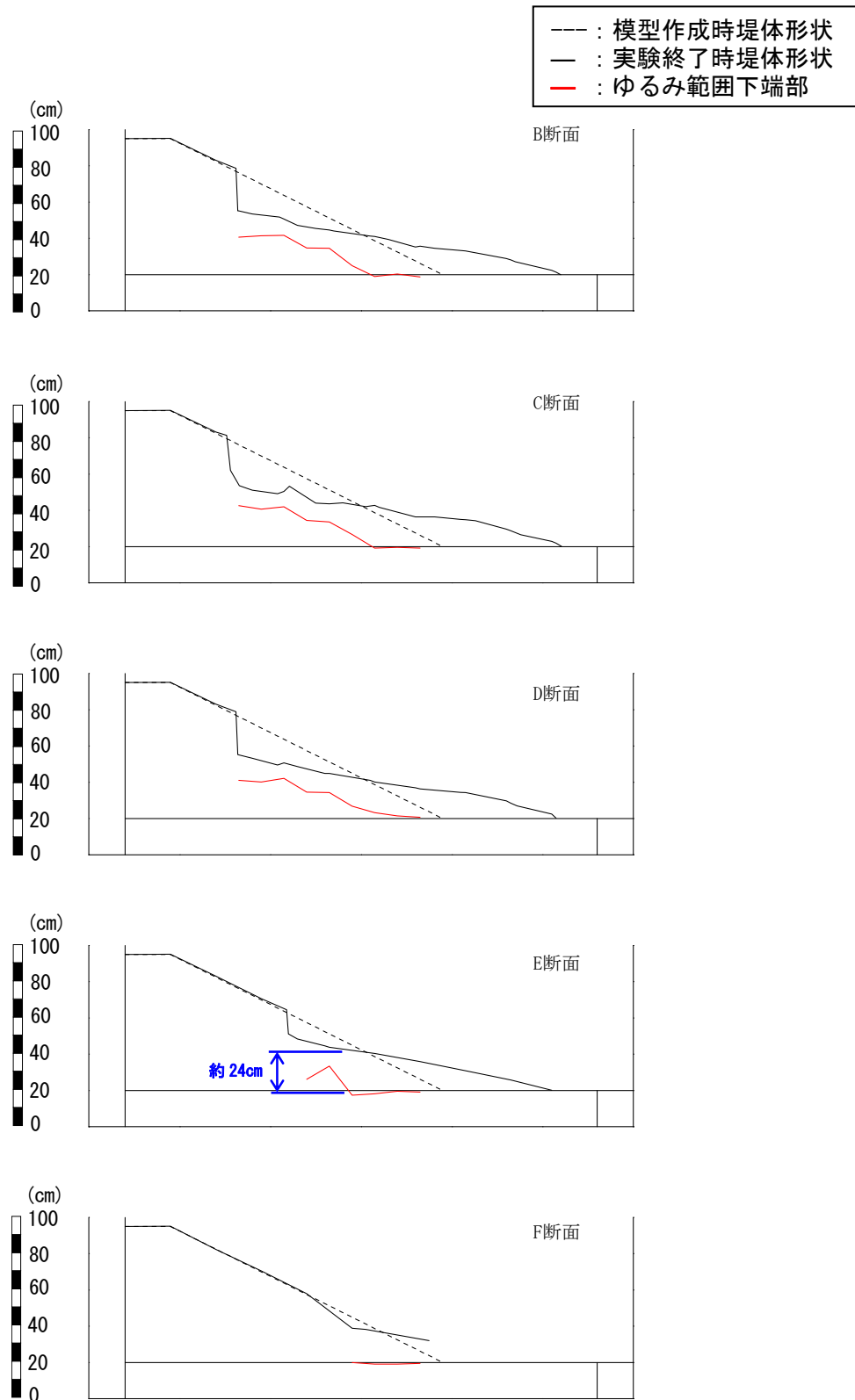


図 2.5.7 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.2 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.8 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させた後、1 時間 20 分程度が経過した時点（11/14 11:50）で、水位計 W8（法尻から水平距離 15cm）の水位が堤体表面まで上昇し、堤体法尻部が湿潤化し液体状に崩れる泥濘化が発生した。泥濘化が法尻部から徐々に法肩に向けて進行していき、ある程度範囲が拡大すると、泥濘化範囲上端部付近でクラックが発生し、クラックより下の範囲が土塊状に崩壊するすべり破壊が発生し、すべり破壊の範囲が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。破壊範囲の拡大は実験終了時まで続き、最終的に法肩からの水平距離で 30cm 程度の位置まで崩壊が進行した。

図 2.5.7 に実験後の崩壊部のゆるみ範囲の計測結果を示す。最大 24cm 程度のゆるみ範囲が確認されており、崩壊が深い範囲にまで及んでいる事が分かる。

以上の結果より、浸潤域が法尻部に到達した時点から法尻付近で泥濘化が生じ、変状発生範囲より上部で前面抵抗を失ったことにより徐々に崩壊範囲が拡大していったと考えられる。

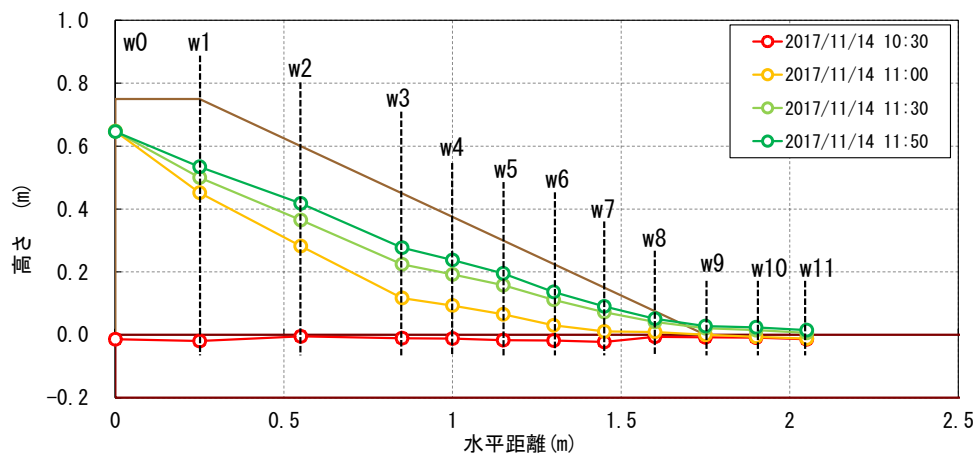


図 2.5.8 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.9 法面崩壊進行状況



図 2.5.10 実験終了後の堤体の状況 (11/14 15:00)

2.5.2 H29 Case2

H29 Case2 は堤体の法尻部に幅 15cm、高さ 7.5cm のドレーン工を設置した模型を用いて実験を行ったケースである。ドレーン工のフィルター材には親水性の無い不織布を使用した。ドレーン工を設置した場合の変状発生状況等の検証を行う。

(1) 実験経過

表 2.5.2 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.2 実験経過 (H29 Case2)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
11/27	10:30	0→90.0	給水開始 (所要時間6分程度)
	11:06	90.0	盛土法尻が一部泥濁化。
	11:40	90.0	泥濁化範囲上部でクラックが発生。
		90.0	変状が徐々に法肩に向かって拡大。
	17:20	90.0	崩壊範囲が法面の2/3程度まで拡大したため給水停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A 断面より 0.5m 付近の堤体形状を示す。

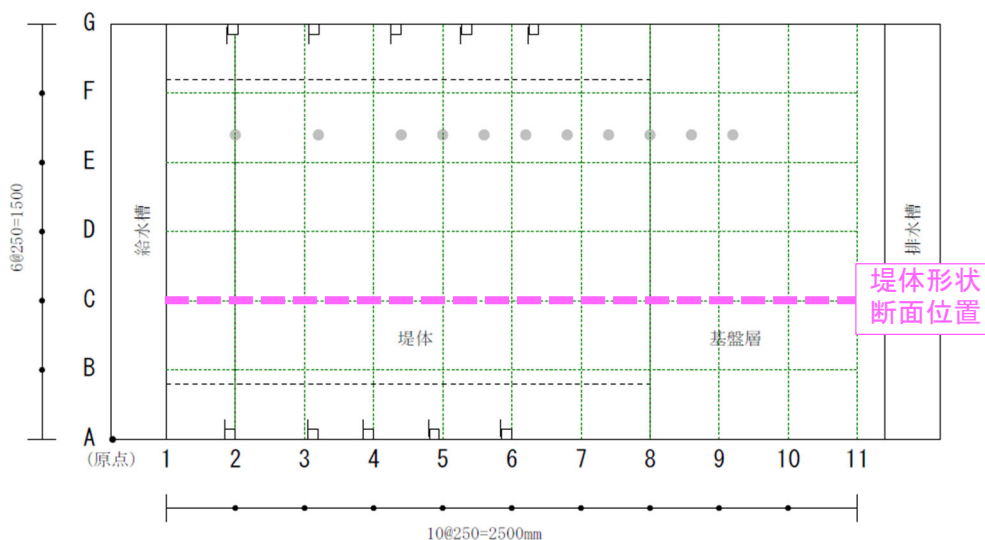


図 2.5.11 堤体形状 断面位置 (H29 Case2)

1) 堤体形状および堤体内水位

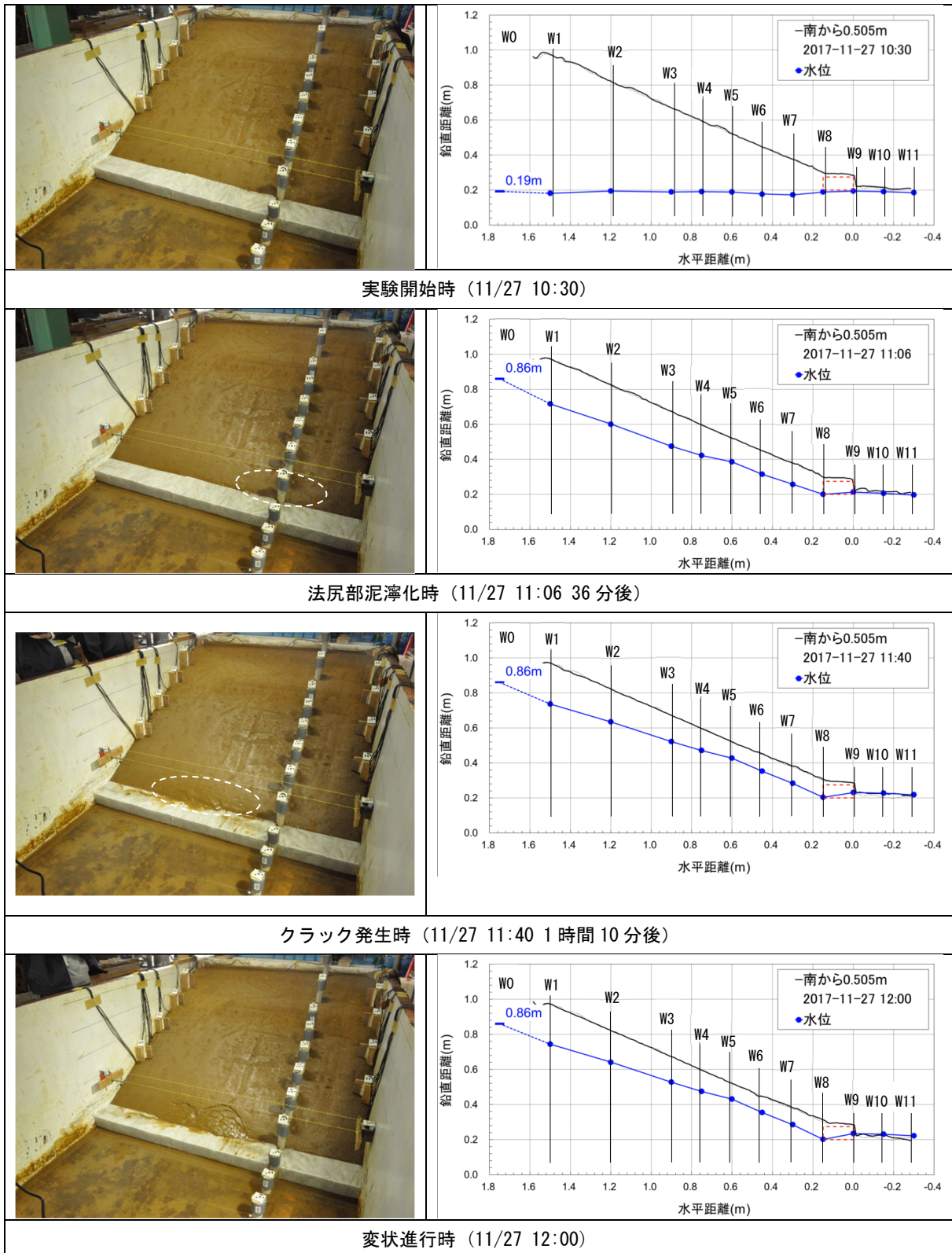


図 2.5.12 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case2) (1/3)

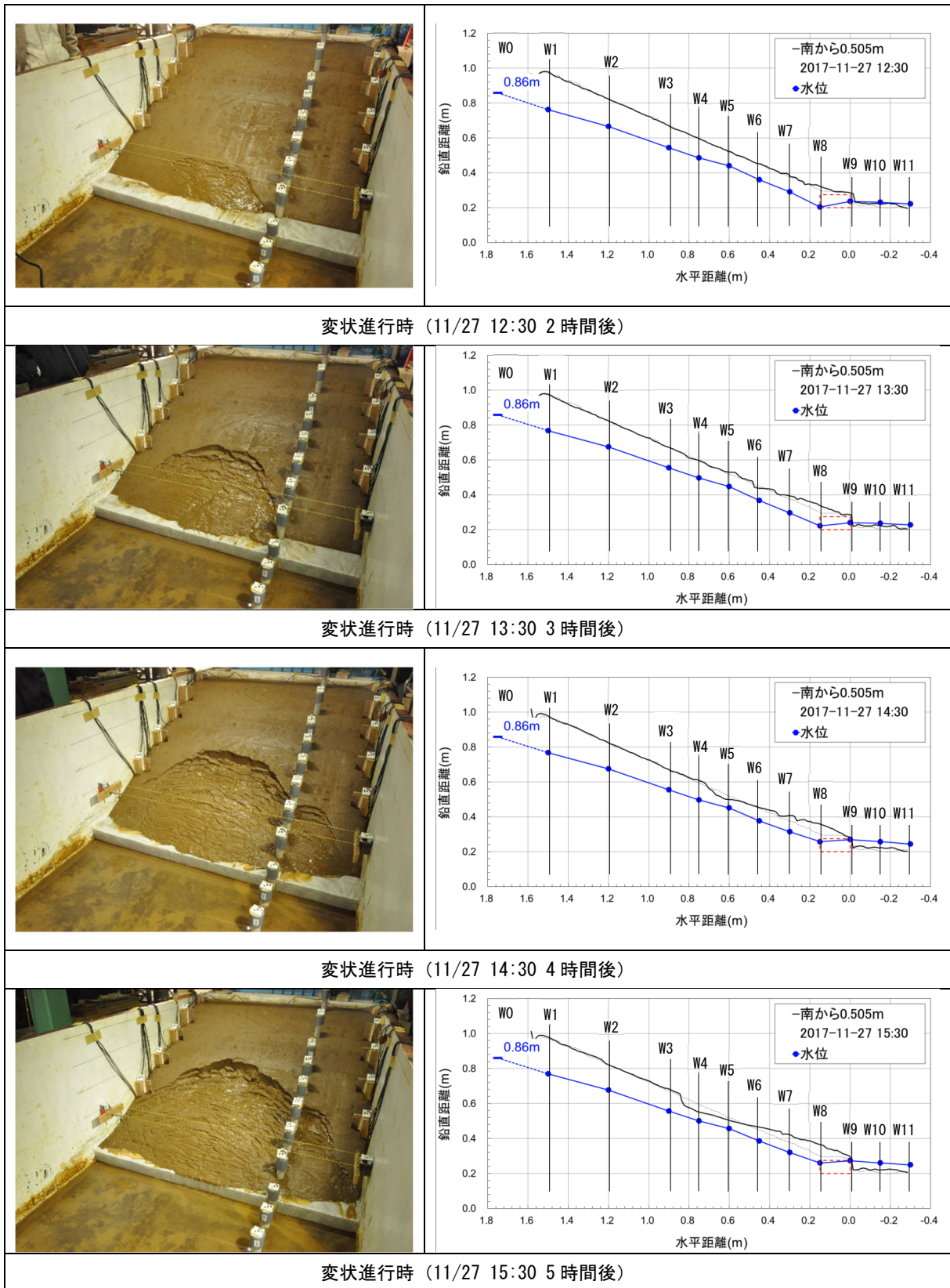
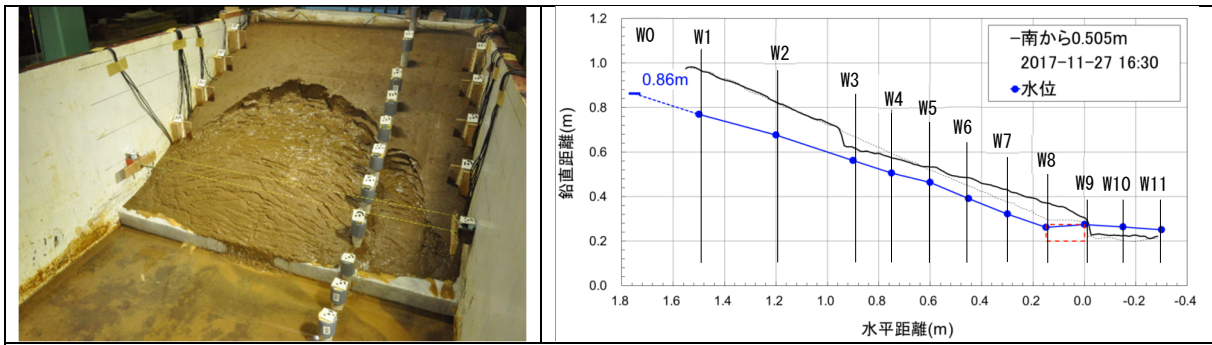
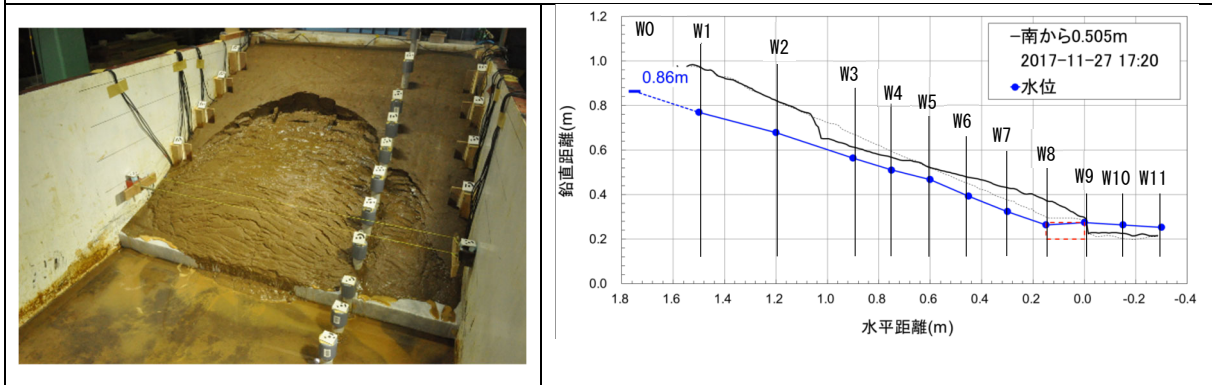


図 2.5.12 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case2) (2/3)



変状進行時 (11/27 16:30 6時間後)



実験終了時 (11/27 17:20)

※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.12 堤体状況、堤体形状 (A断面から0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case2)
(3/3)

2) 堤体内水位の経時変化

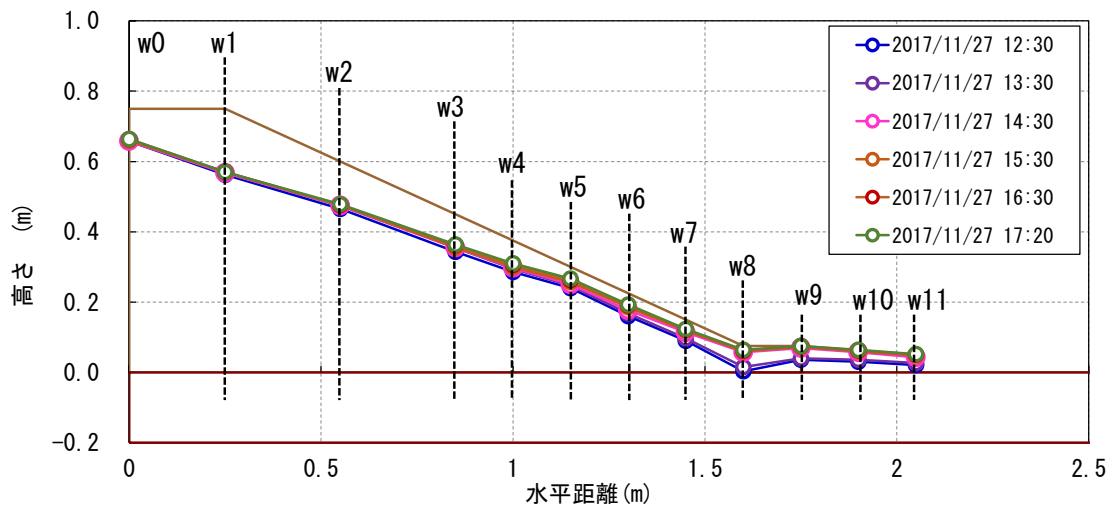
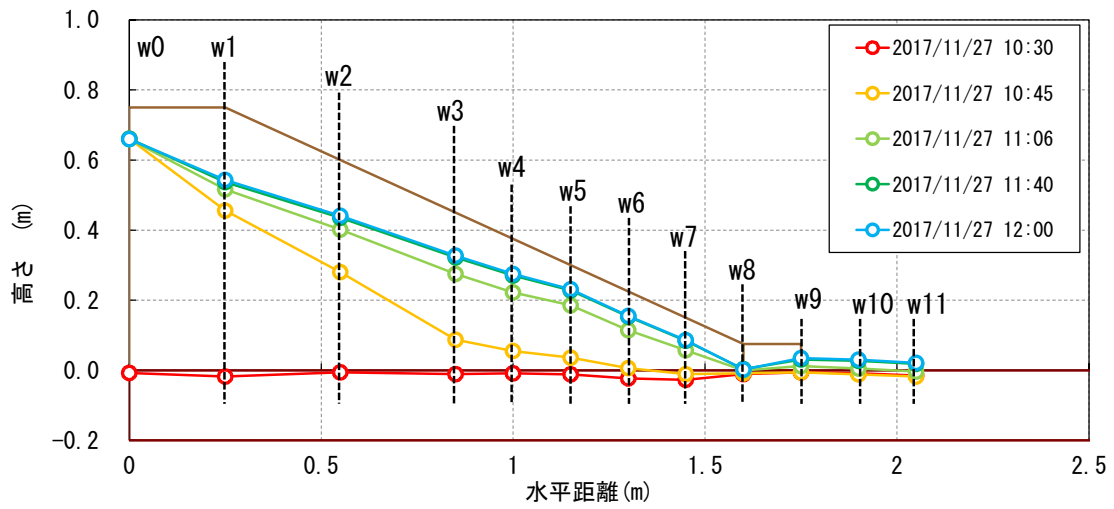


図 2.5.13 堤体内水位の横断分布の経時変化

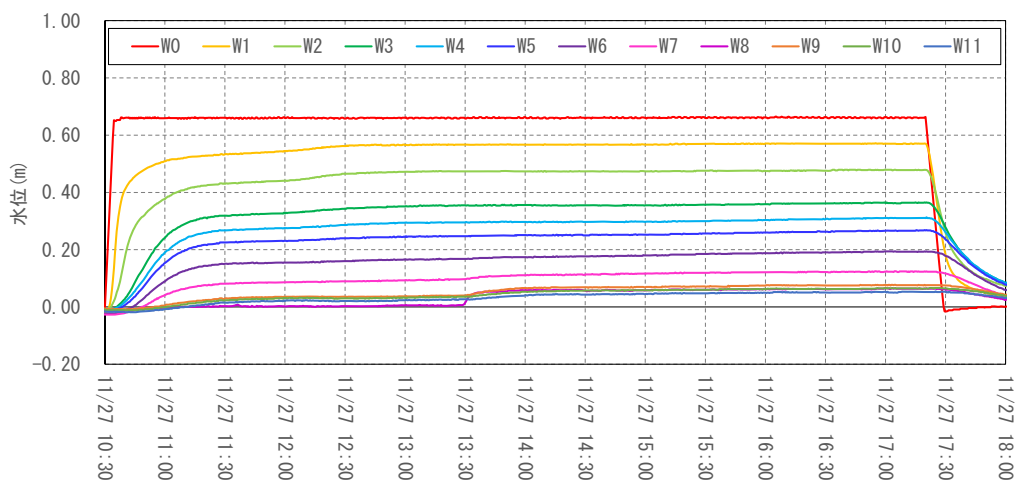
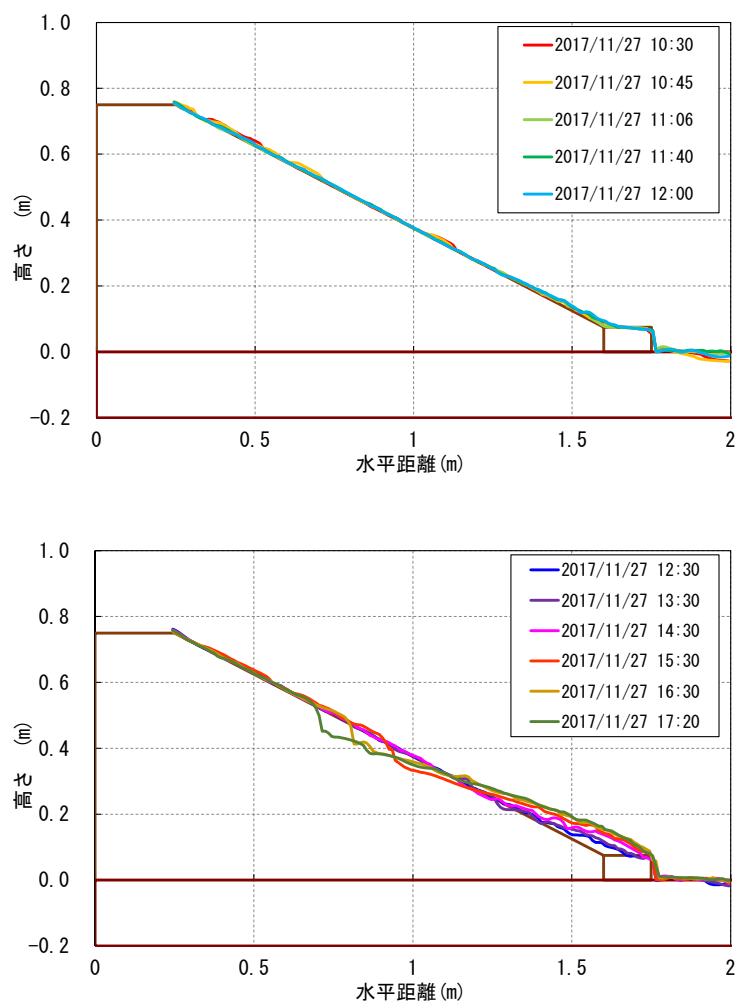


図 2.5.14 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.15 法面形状の経時変化 (A 断面より 0.5m)

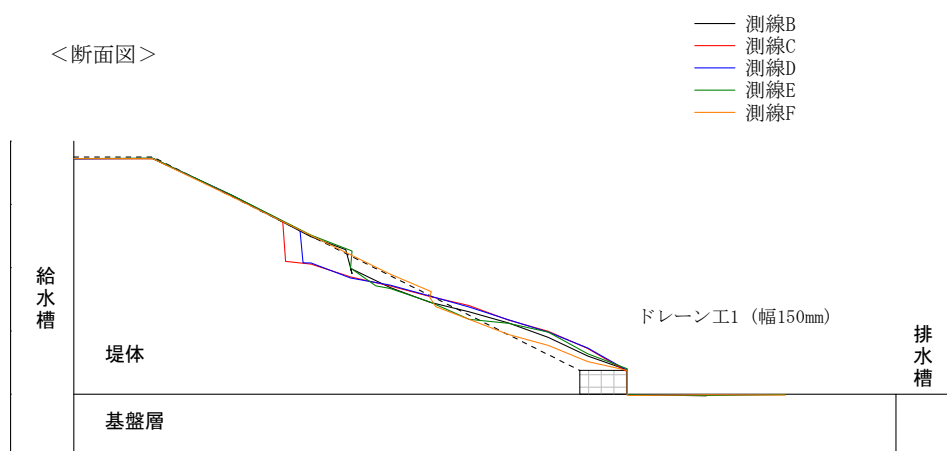


図 2.5.16 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

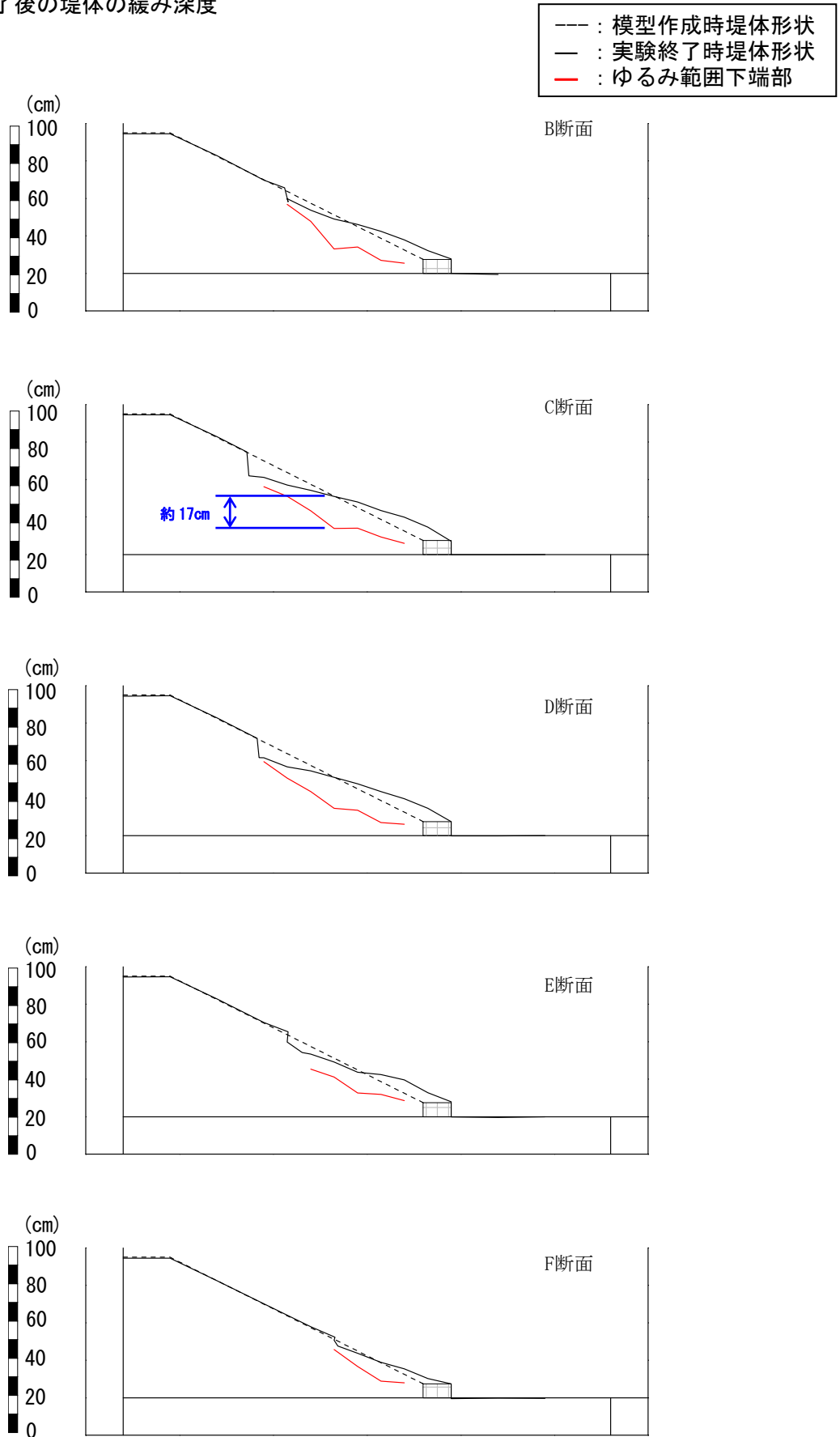


図 2.5.17 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.12 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.18 に、泥濘化発生までの堤体内水位の変動を示す。実験開始後、給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させ、約 36 分が経過した時点 (11/27 11:06) で、ドレーン上部の盛土法尻部で泥濘化が確認された。その際の堤体内水位分布は、水位計 W7 (ドレーン堤体内側側面から水平距離 15cm) の水位が法面から 8cm の深さまで上昇した状態であった。実験開始から 1 時間 10 分程度が経過し (11/27 11:40)、水位計 W5 (ドレーン堤体内側側面から水平 45cm) ~水位計 W7 までの水位が法面から 7cm 程度の深さまで上昇した時点で泥濘化部上端付近でクラックが発生し、クラック下部が土塊状に崩壊するすべり破壊が発生し、崩壊範囲が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。最終的に法肩から水平距離で 40cm 程度の位置まで崩壊が進行した。また、実験開始後 4 時間が経過した時点 (11/27 14:30) でドレーン内の水位が上昇していることが分かる。

図 2.5.17 に実験後の崩壊箇所の緩み深度の計測結果を示す。緩みの範囲は最大 17cm 程度であり、崩壊が深い範囲にまで及んでいることが分かる。

以上のことから、本実験の場合は、堤体内水位が法面から 7~8cm 程度の深さまで接近した範囲の下部の法面から泥濘化もしくはすべり破壊が発生することが確認された。また、幅 15cm、高さ 7.5cm のドレーン工を親水性の無い不織布で覆った場合にはドレーン内の水位が上昇していることから、十分な排水能力を確保できていないと考えられる。

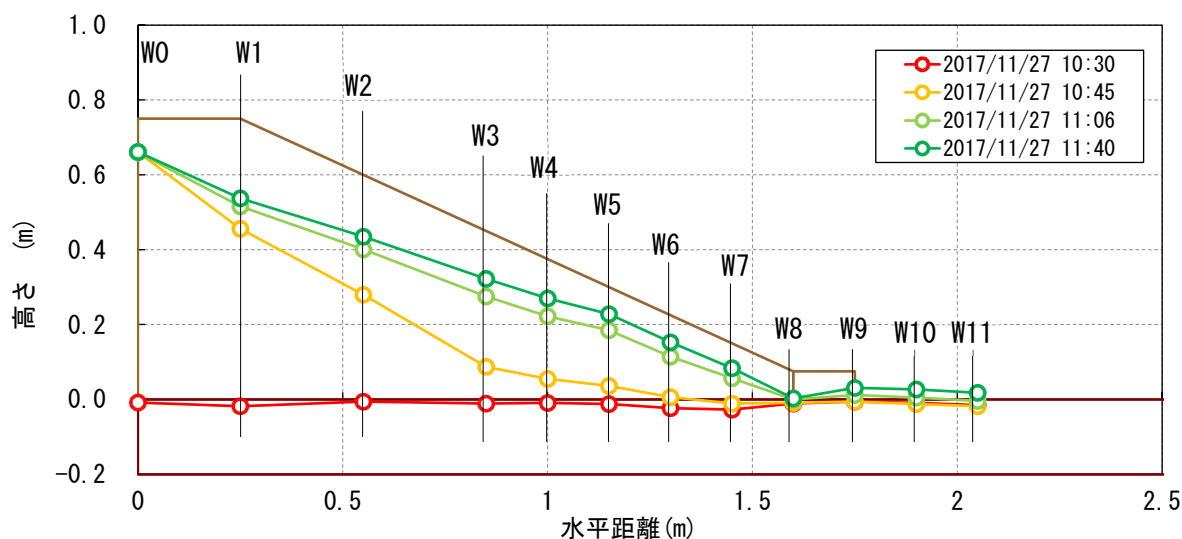


図 2.5.18 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.19 実験終了後の堤体の状況 (11/27 17:20)

2.5.3 H29 Case3

H29 Case3 は H29 Case2 と同様、堤体の法尻部に幅 15cm、高さ 7.5cm のドレーン工を設置した模型を用いて実験を行ったケースである。ドレーン工のフィルター材には親水性を有し、透水性に優れる植生シートを使用した。シートの材質による変状発生状況等の差について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.3 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.3 実験経過 (H29 Case3)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/4	14:40	0→90.0	給水開始 (所要時間6分程度)
	16:30	90.0	盛土法尻が一部泥濁化。
	16:35	90.0	泥濁化範囲上部でクラックが発生。
		90.0	変状が徐々に法肩に向かって拡大。
	19:00	90.0	崩壊範囲が法面の2/3程度まで拡大したため給水停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A 断面より 0.5m 付近の堤体形状を示す。

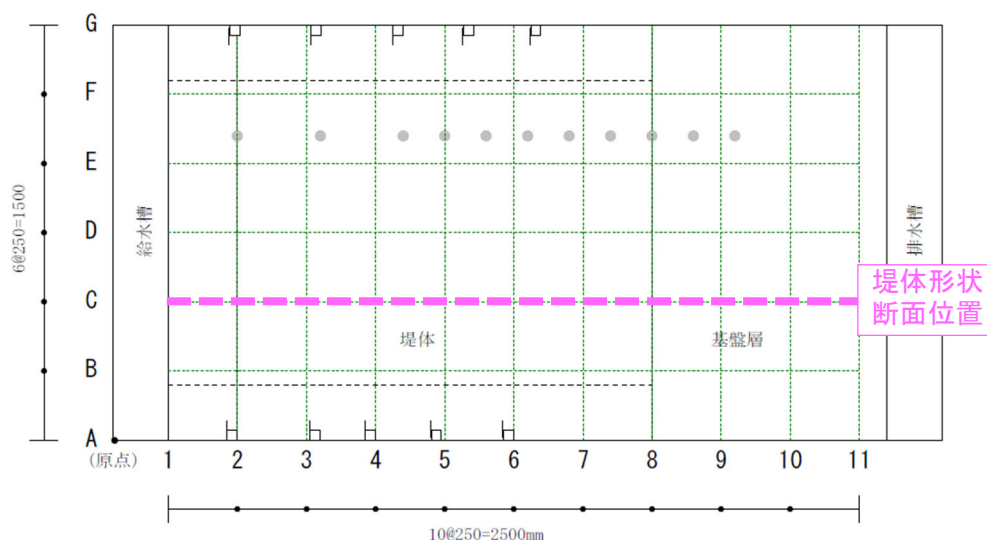


図 2.5.20 堤体形状 断面位置 (H29 Case3)

1) 堤体形状および堤体内水位

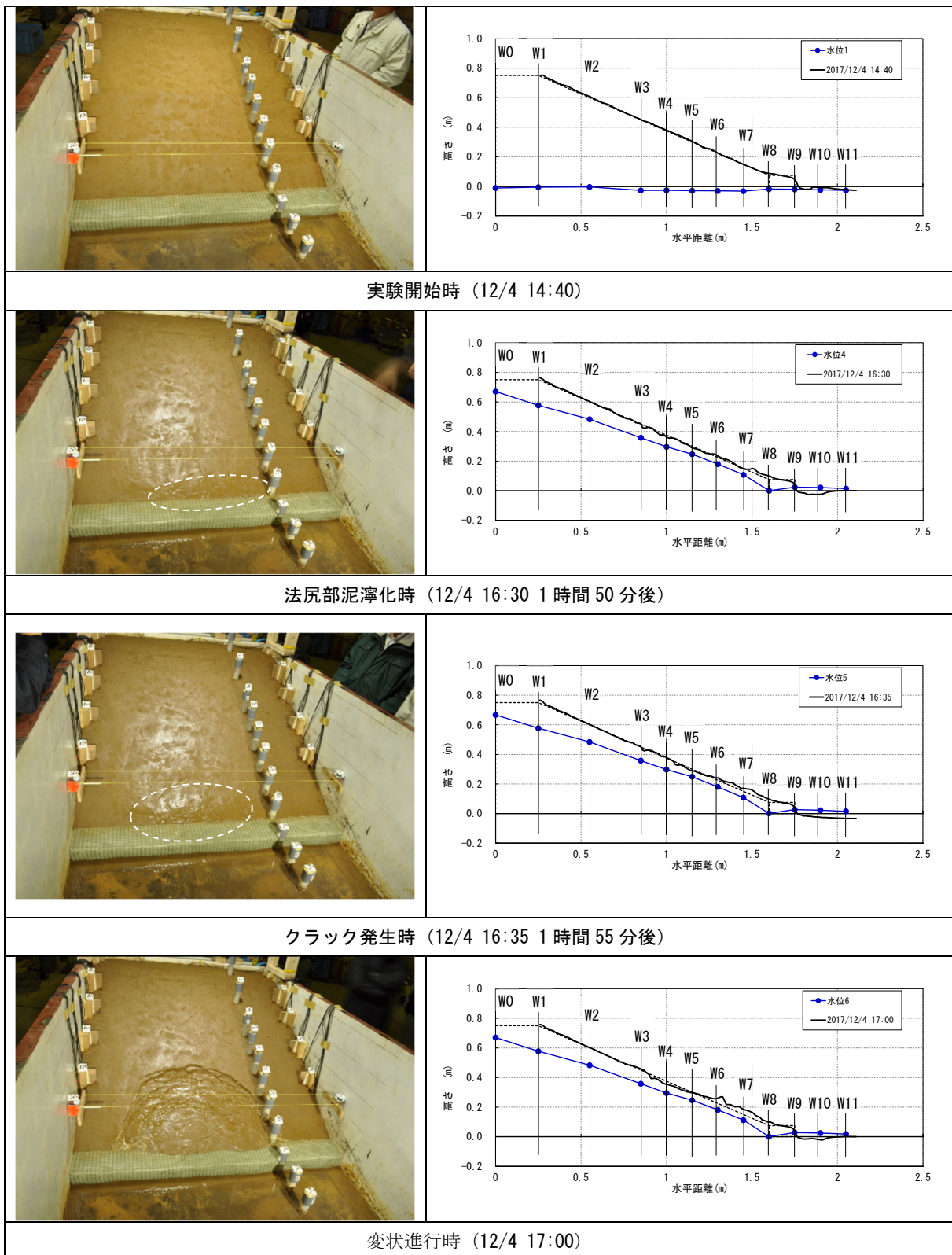
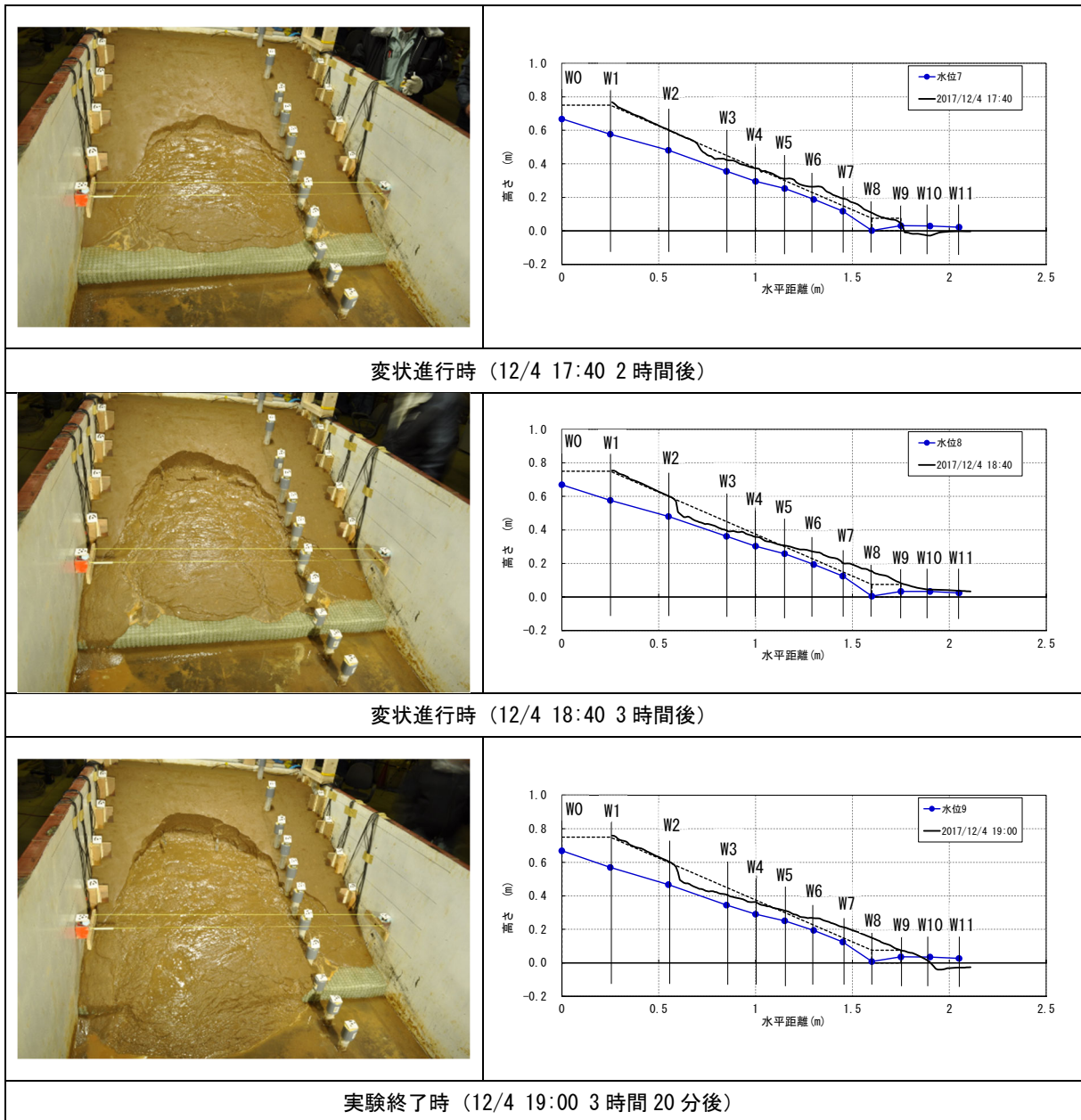


図 2.5.21 堤体状況、堤体形状 (A断面から0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case3) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.21 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case3) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

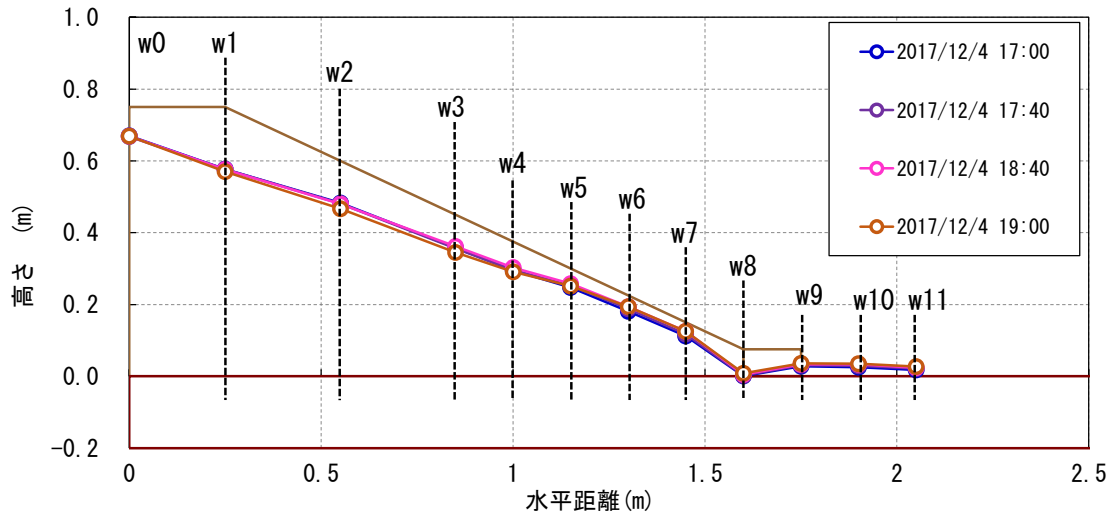
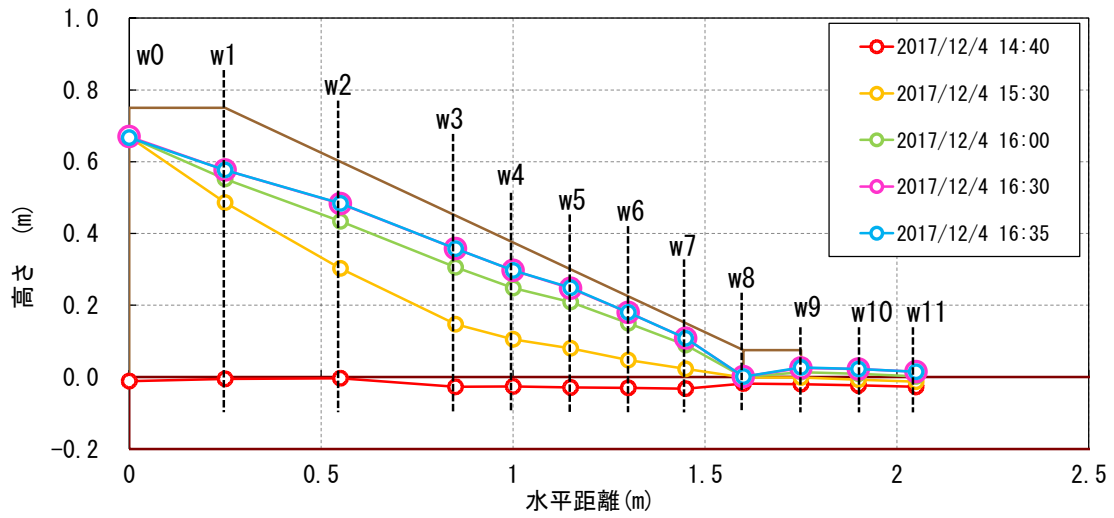


図 2.5.22 堤体内水位の横断分布の経時変化

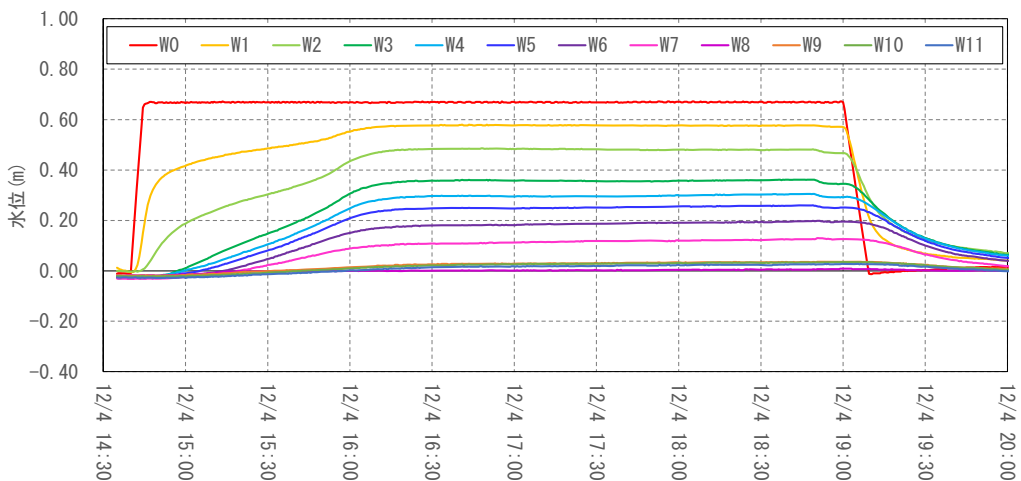
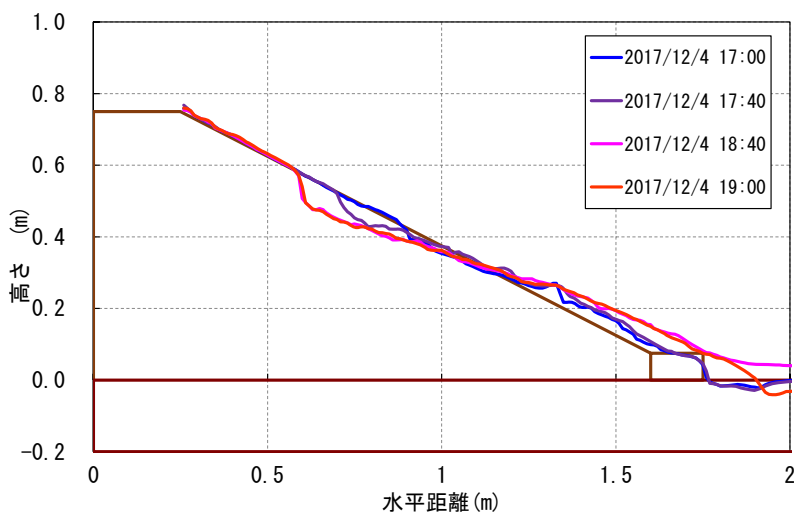
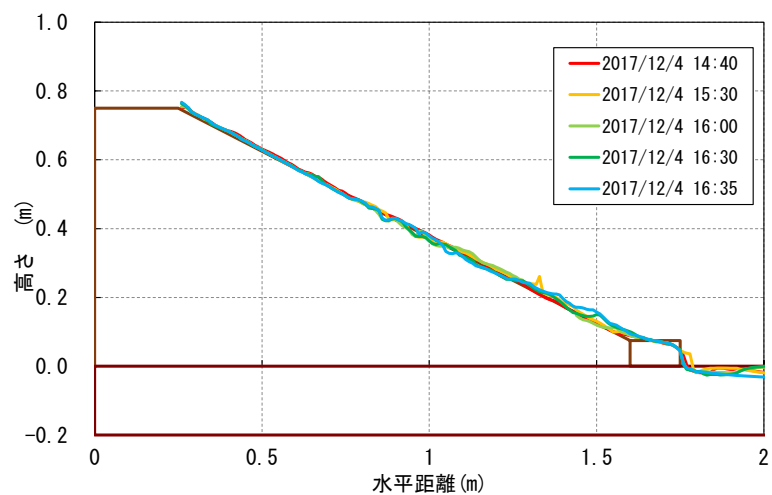


図 2.5.23 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.24 法面形状の経時変化 (A断面より 0.5m)

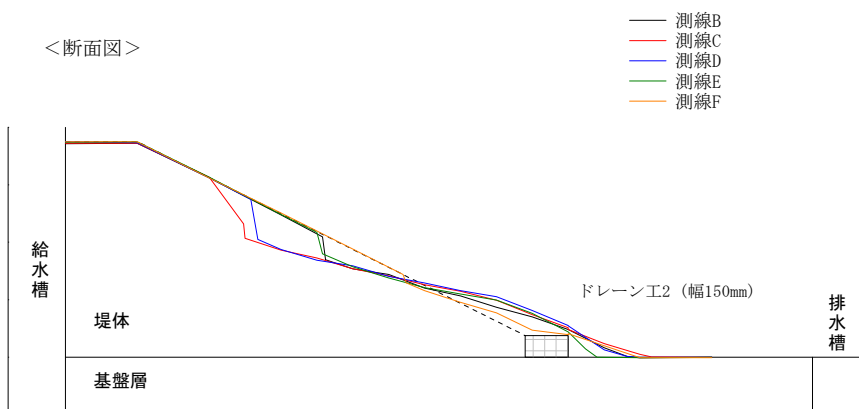


図 2.5.25 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

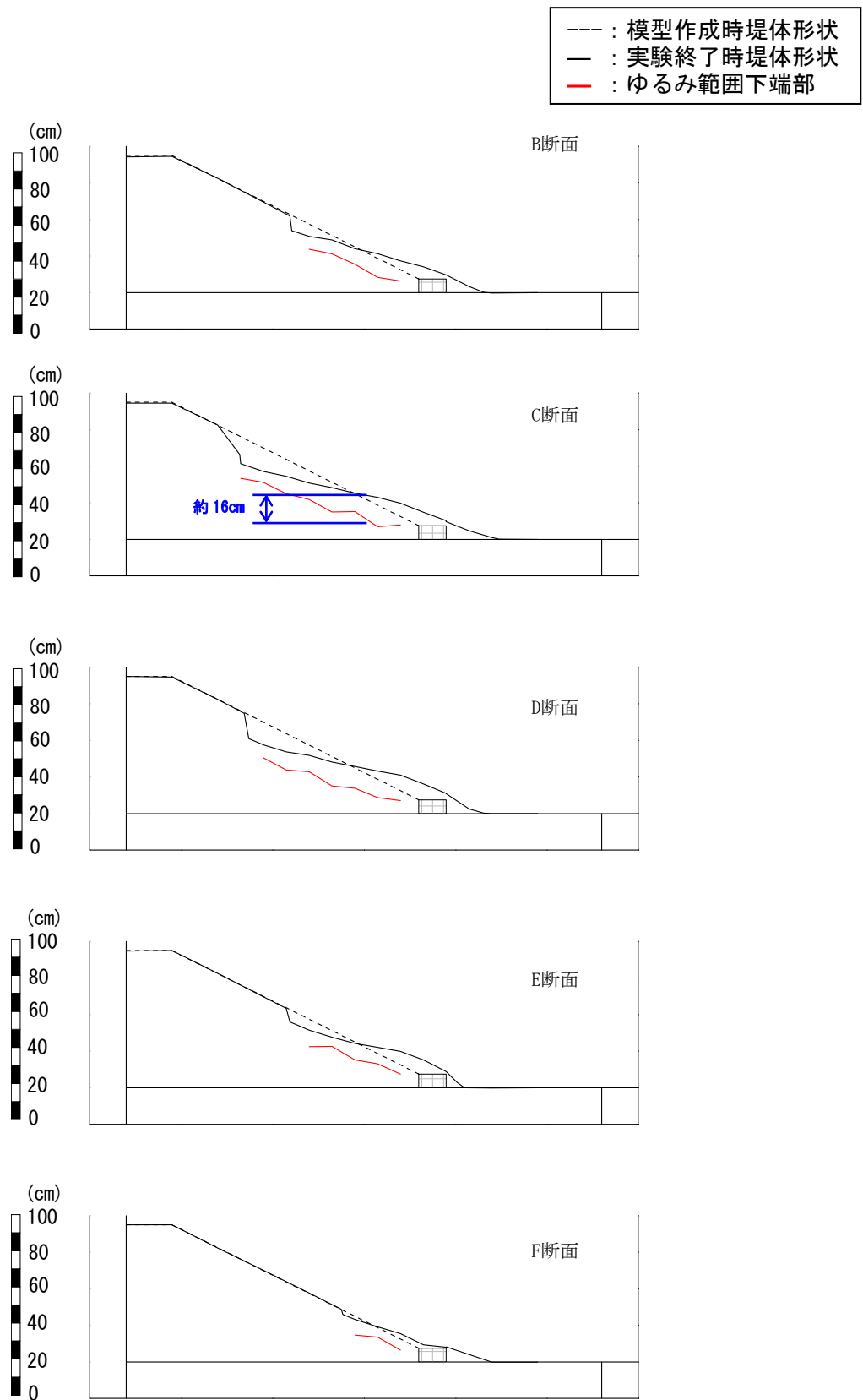


図 2.5.26 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.21 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.27 に泥濘化発生までの堤体内水位の変動を示す。実験開始後、給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させ、約 1 時間 50 分が経過した時点（12/4 16:30）で、ドレーン工上部の盛土法尻部で泥濘化が確認された。その際の堤体内水位分布は、水位計 W5（ドレーン堤体内側側面から水平 45cm）～水位計 W7（ドレーン堤体内側側面から水平 15cm）までの水位が法面から 5cm 程度の深さまで上昇した状態であった。その後、5 分後には泥濘化部上端付近でクラックが発生し、クラック下部ですべり破壊が発生し、崩壊範囲が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。最終的に法肩から水平距離で 35cm 程度の位置まで崩壊が進行した。また、ドレーン内での水位上昇は確認されなかった。

図 2.5.26 に実験終了後の崩壊箇所の緩み範囲の計測結果を示す。緩みの範囲は最大 16cm 程度であり、崩壊が深い範囲まで及んでいることが分かる。

以上の結果から、本実験の場合は、堤体内水位が法面から 5cm 程度下に接近した範囲の下部の法面から泥濘化もしくはすべり破壊が発生することが確認された。また、H29 Case2 と比較すると、同様の給水槽水位であっても泥濘化発生までの時間が長くなり、ドレーン内での水位上昇も生じていないことから、ドレーン工のフィルター材に植生シートを用いることで、ドレーン工の排水能力が向上していると考えられるが、最終的な崩壊範囲はほとんど同程度となっており、崩壊範囲を縮小させるほどの排水能力の向上は確認されなかった。

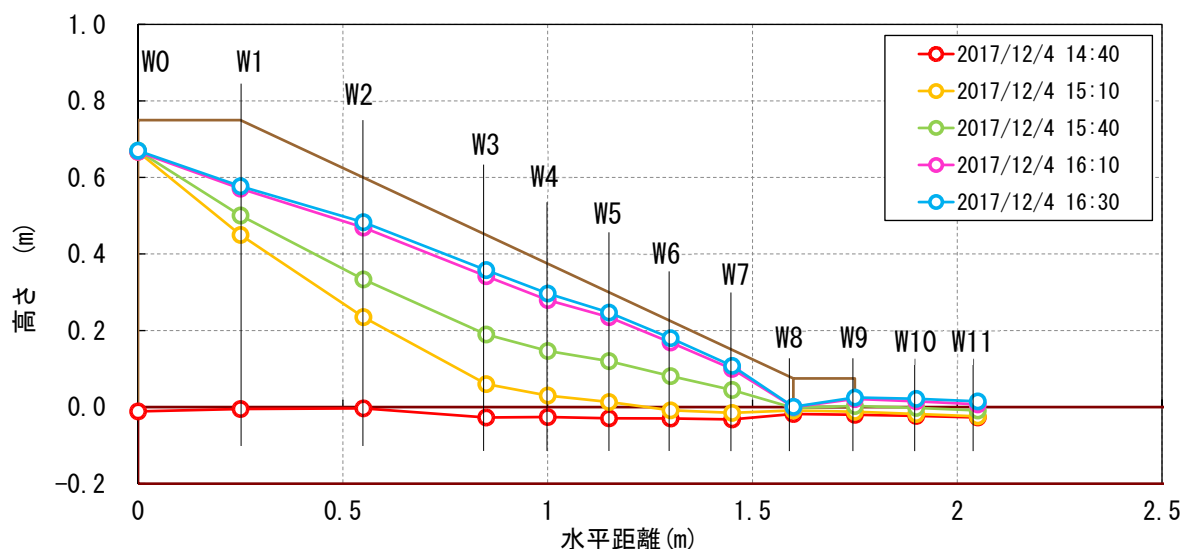


図 2.5.27 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.28 実験終了後の堤体の状況 (12/4 19:00)

2.5.4 H29 Case4

H29 Case4 は H29 Case3 と同様、フィルター材に親水性を有する植生シートを用いたドレーン工を法尻部に設置した模型を用いて実験を行ったケースである。ドレーン工のサイズを幅 45cm に拡大（高さは H29 Case3 と同様）し、ドレーン工の幅による変状発生状況等の差について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.4 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.4 実験経過 (H29 Case4)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/11	10:30	0→90.0	給水開始（所要時間6分程度）
12/12	10:30	90.0→0	給水停止。給水槽内の水を排水。
		0⇔90	給水槽からの排水・給水を繰り返し作用させる実験を実施。特に変状は確認されなかった。
	20:00	90.0	水位を再上昇させ、給水停止。以降水位保持のため間欠的に給水。
12/13	9:10	90.0→0	給水停止。給水槽内の水を排水。
	10:30	0→99.0	再度給水開始（所要時間6分程度）
	12:00	99.0	特に変状が確認されないため、給水停止。実験終了とした。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化を示す。なお、堤体形状については、実験終了後に変状がないことが確認されたため、水位のデータのみを示す。

1) 堤体形状および堤体内水位

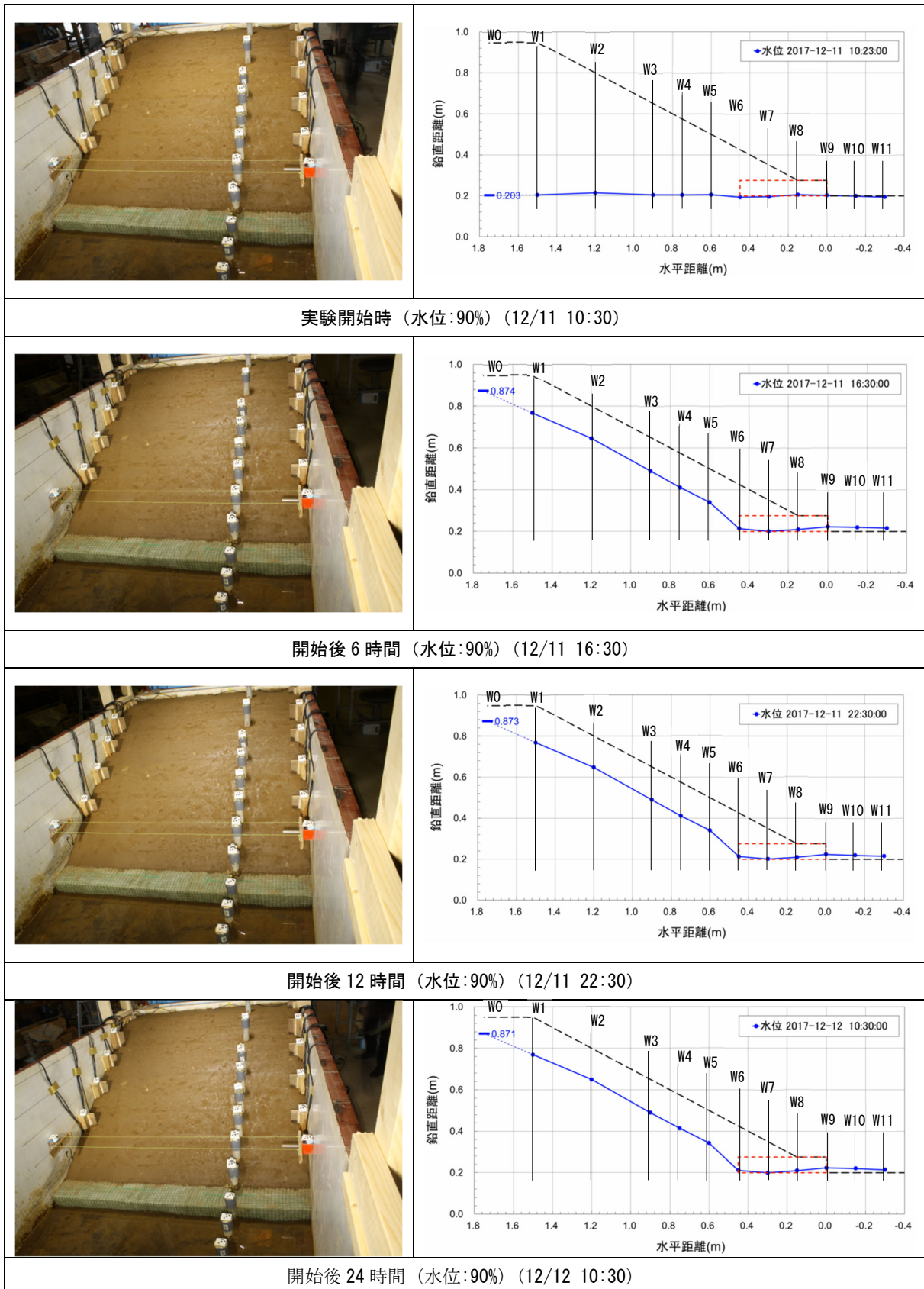


図 2.5.29 堤体状況および堤体内水位 (水位計) (H29 Case4) (1/2)

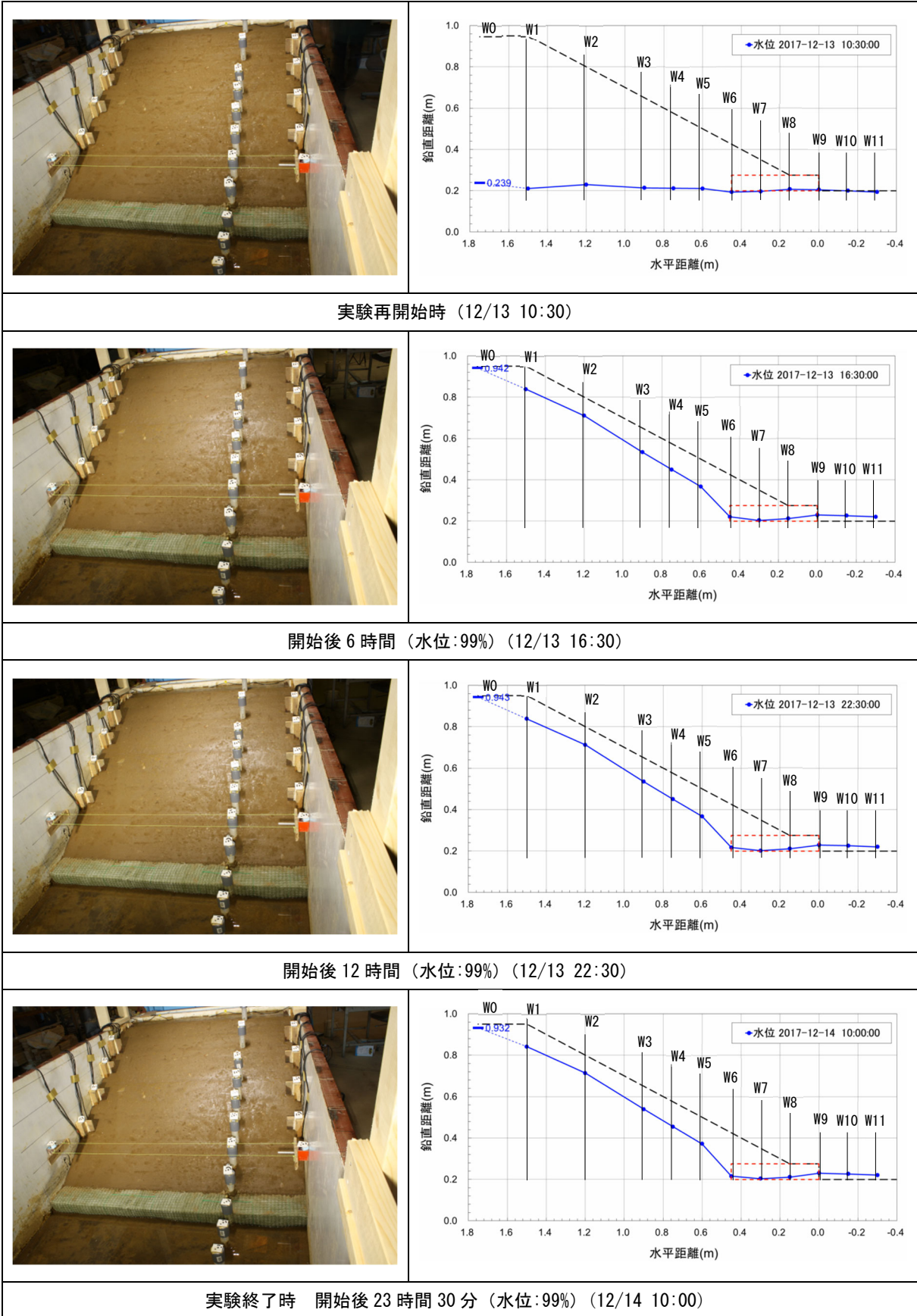


図 2.5.29 堤体状況および堤体内水位 (水位計) (H29 Case4) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

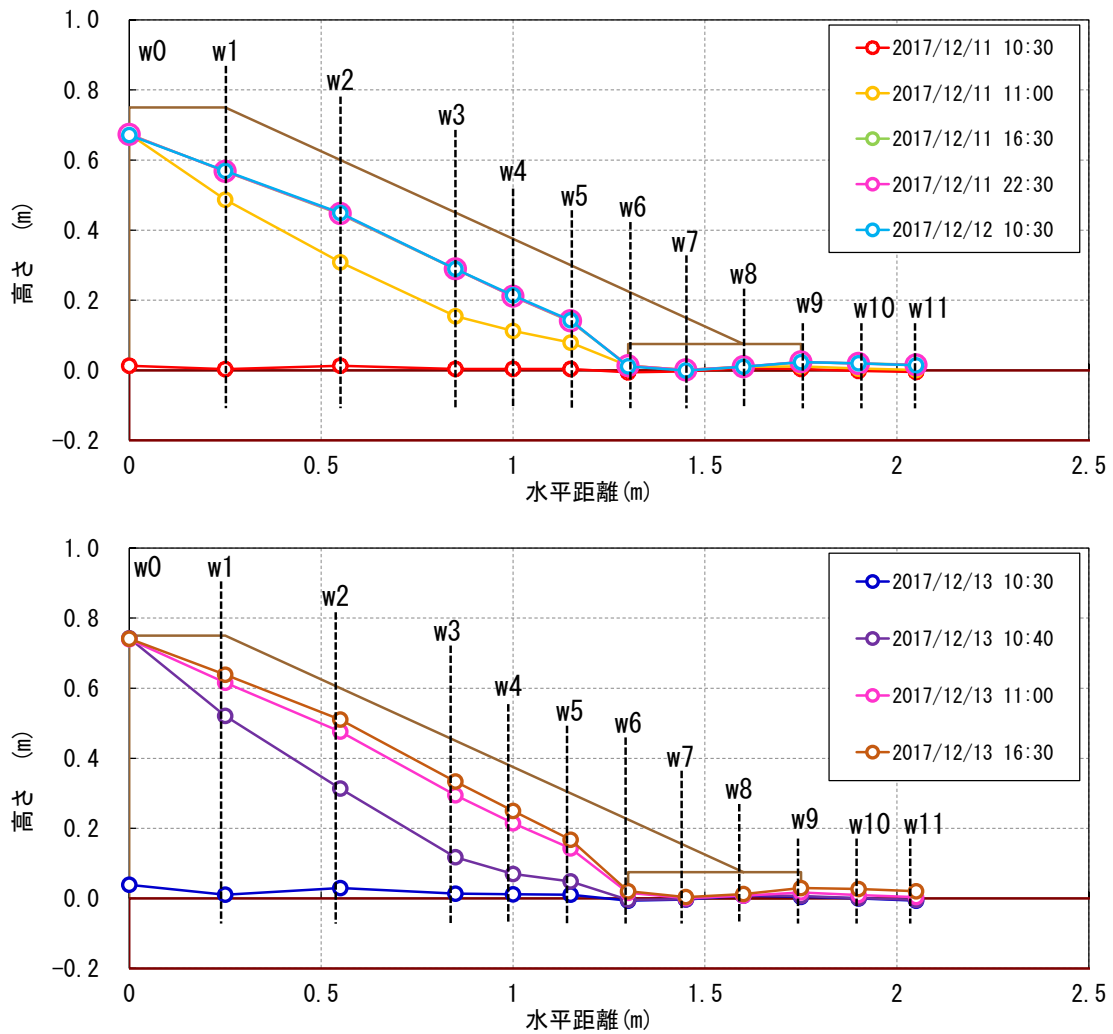
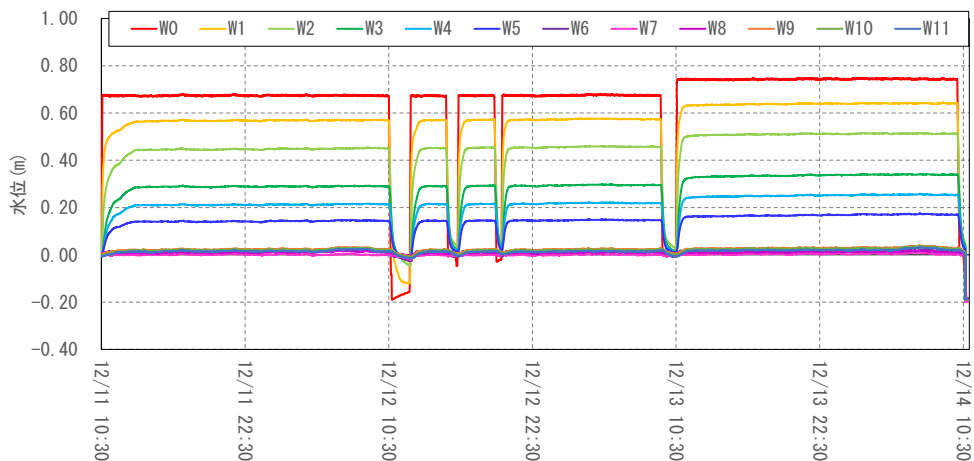


図 2.5.30 堤体内水位の横断分布の経時変化



※実験中、12/12 に3回および12/13 に1回、排水・給水により水位低下・上昇を繰り返している。

図 2.5.31 観測孔毎の観測水位経時変化

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.29 に実験中の堤体状況および堤体内水位の状況を示す。給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させた際には、水位計 W2（ドレーン堤体内側側面から水平距離 75cm）～水位計 W5（ドレーン堤体内側側面から水平距離 15cm）の水位が法面から 15cm の深さまで上昇した状態であったが、特に変状は確認されなかった。給水槽水位を堤体高の 99%まで上昇させた際に水位計 W2（天端から水平距離 30cm）の水位が法面から 9cm の深さまで上昇したが、その際にも特に変状は確認されなかった。

以上の結果より、堤体内の深い位置までドレーンを設置することにより、法面への堤体内水位の接近を抑え、変状の発生を抑制することができたと考えられる。

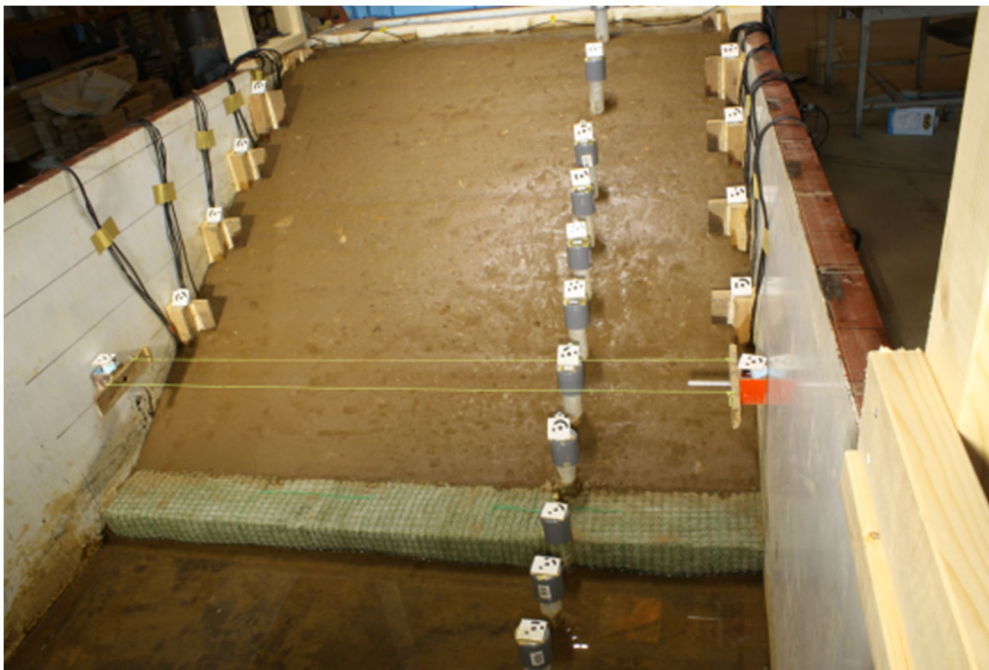


図 2.5.32 実験終了時の堤体の状況（12/4 15:00）

2.5.5 H29 Case4'

H29 Case4'は H29 Case4 と同様、フィルター材に親水性を有する植生シートを用いたドレーン工を法尻部に設置した模型を用いて実験を行ったケースである。ドレーン工のサイズを幅 30cm に縮小（高さは H29 Case4 と同様）し、ドレーン工の幅による変状発生状況等の差について検証する。また、給水槽水位による堤体内水位の変動と変状の発生状況を詳細に検証するために、給水槽水位を少しずつ上昇させて実験を実施した。

(1) 実験経過

表 2.5.5 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.5 実験経過 (H29 Case4')

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/18	10:00	0→80.0	給水開始（所要時間5分程度）
	12:00	80.0	法面中腹で一部法面が泥濁化。
	13:00	80.0→82.5	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
	13:10	82.5	泥濁化範囲上部でクラック発生。
		82.5	若干崩壊範囲が拡大。
	14:00	82.5→85.0	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
		85.0	若干崩壊範囲が拡大。
	15:00	85.0→87.5	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
		87.5	若干崩壊範囲が拡大。
	16:00	87.5→90.0	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
		90.0	若干崩壊範囲が拡大。
	17:00	90.0→93.0	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
		93.0	崩壊範囲が拡大。
	18:00	93.0→99.0	水位上昇のため、給水。（所要時間1分程度）
		99.0	崩壊範囲が拡大。
	20:30	99.0	崩壊範囲が法面の2/3程度まで進行したため給水停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、A 断面より 0.5m 付近の堤体形状を示す。

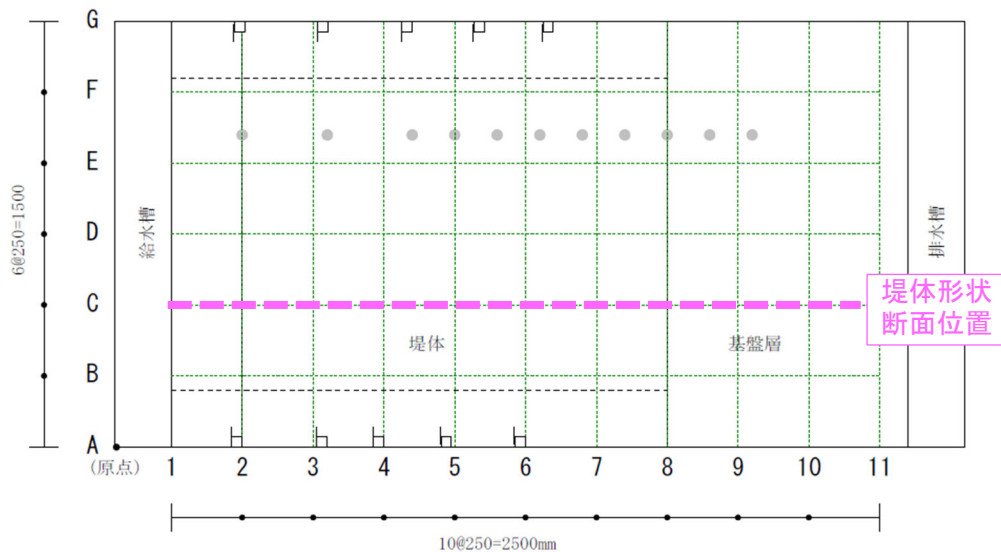


図 2.5.33 堤体形状 断面位置 (H29 Case4')

1) 堤体形状および堤体内水位

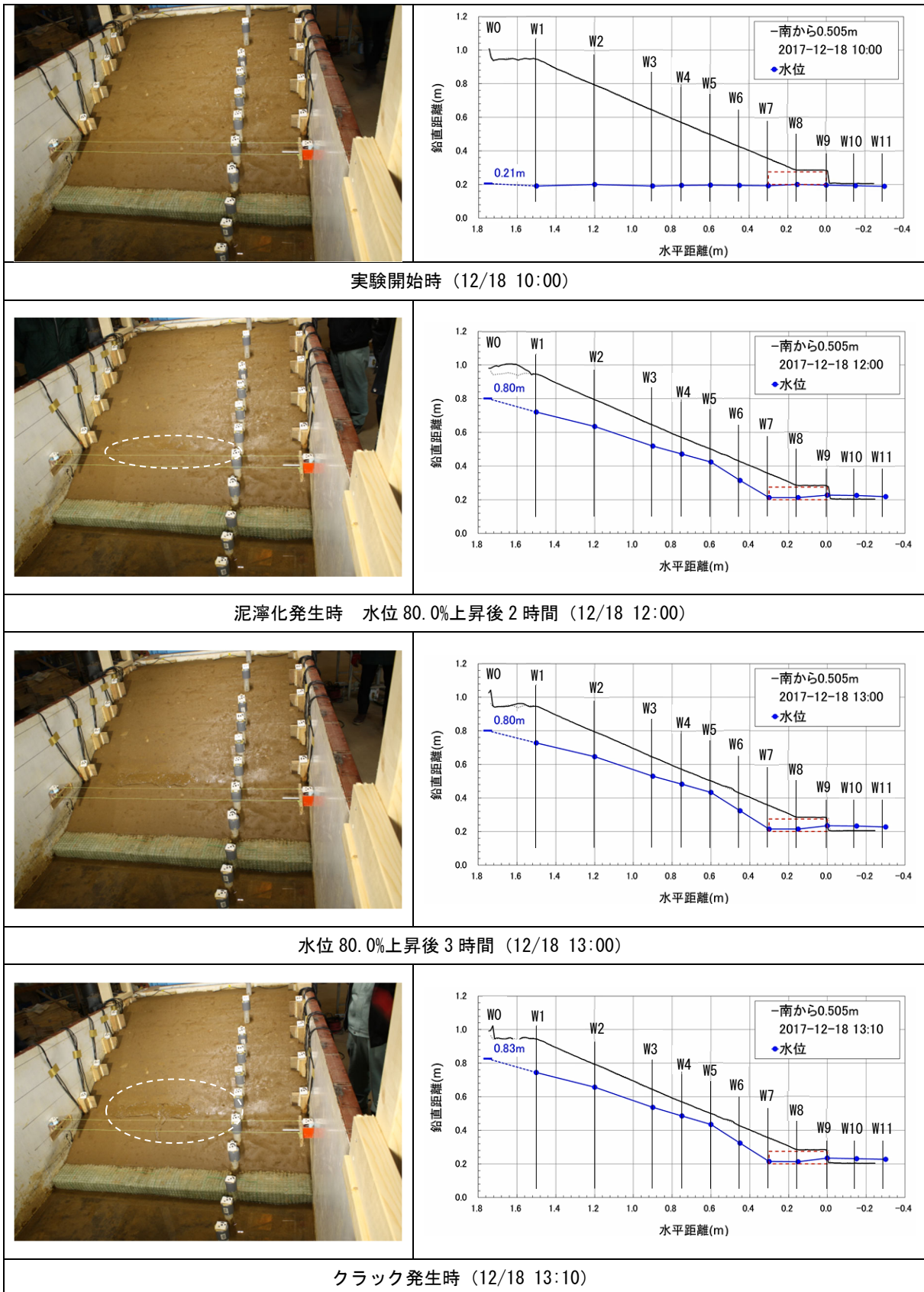


図 2.5.34 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H29 Case4') (1/3)

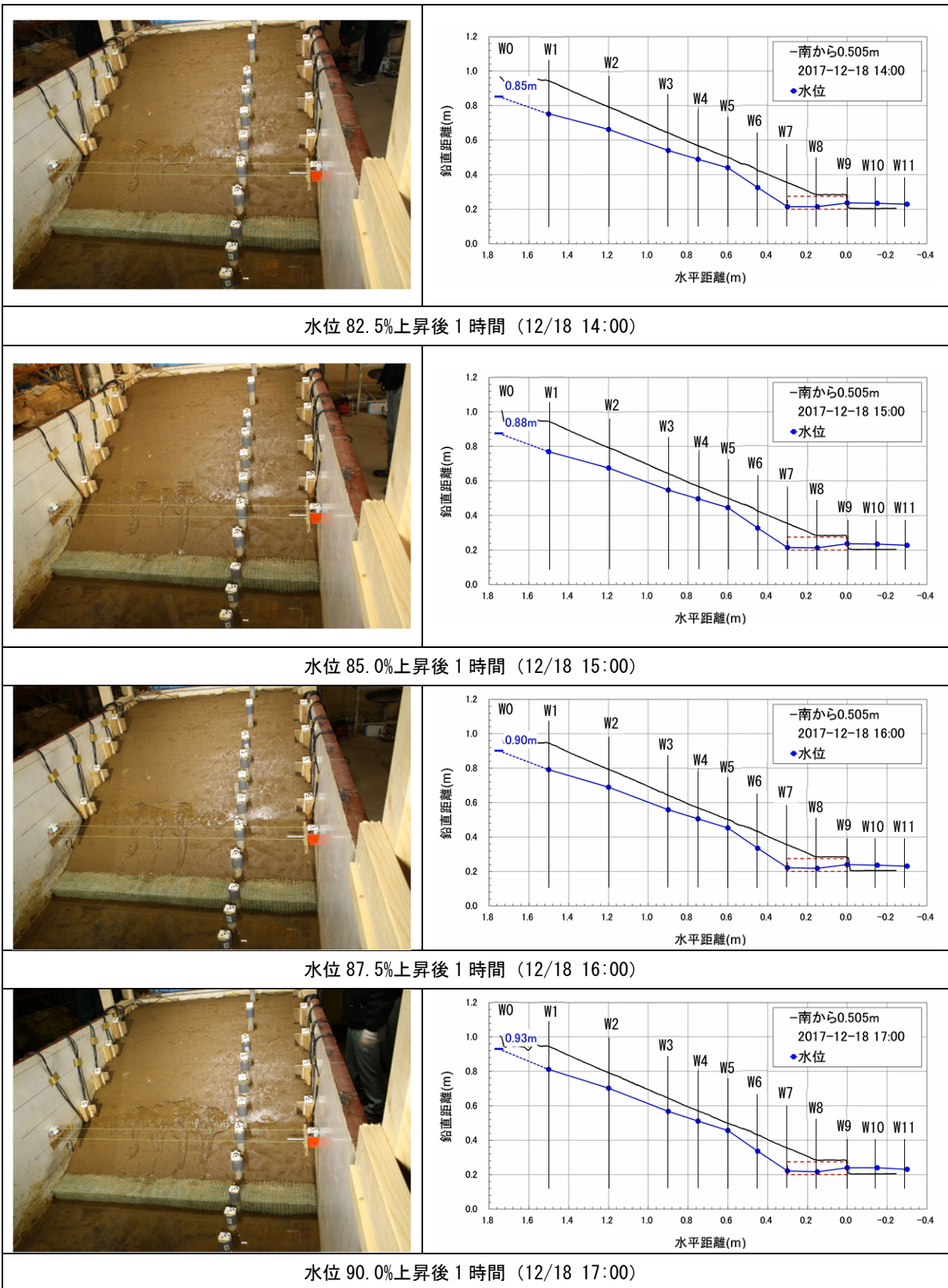
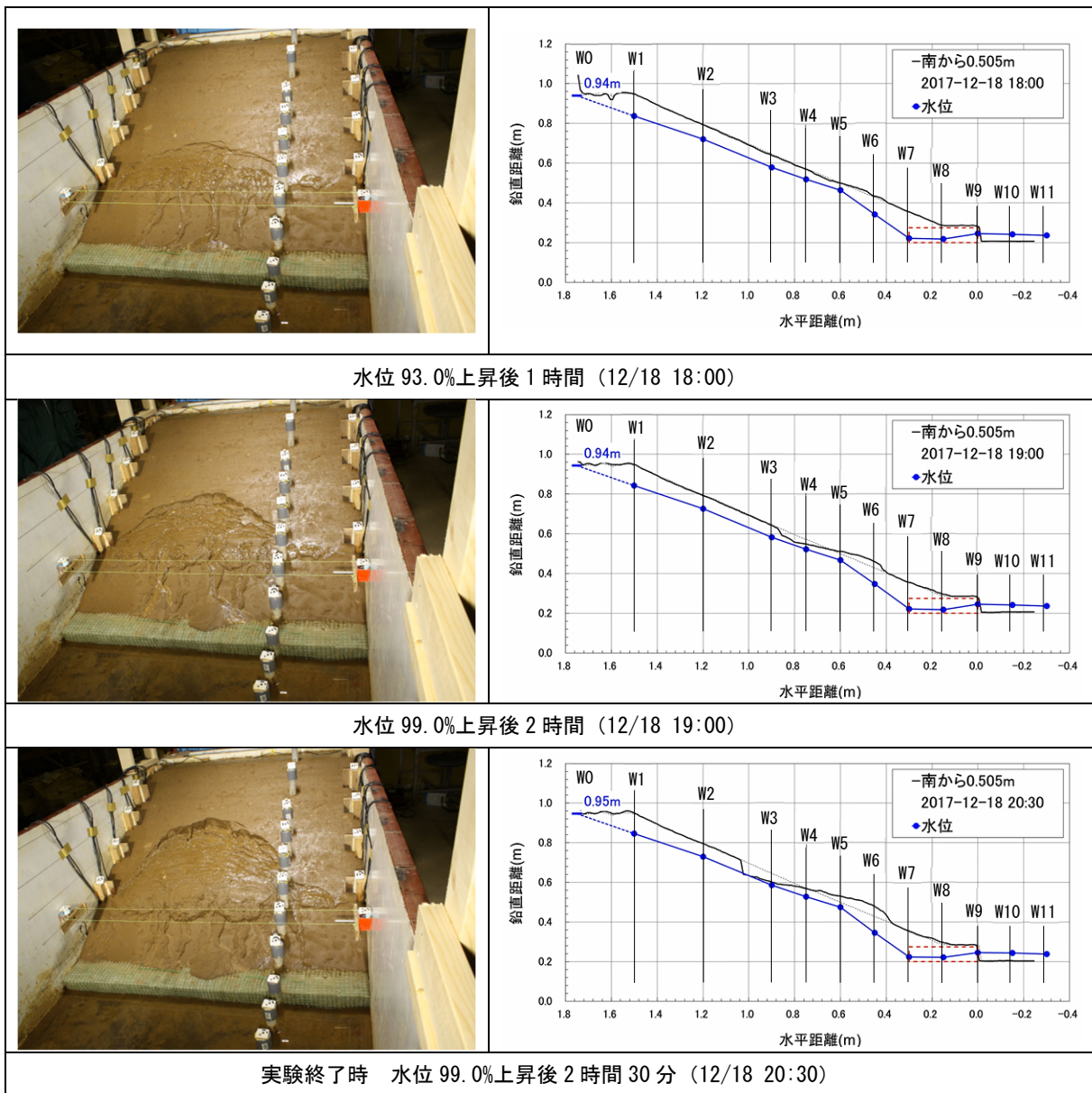


図 2.5.34 堤体状況、堤体形状 (A断面から0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H29 Case4') (2/3)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.34 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)

(H29 Case4') (3/3)

2) 堤体内水位の経時変化

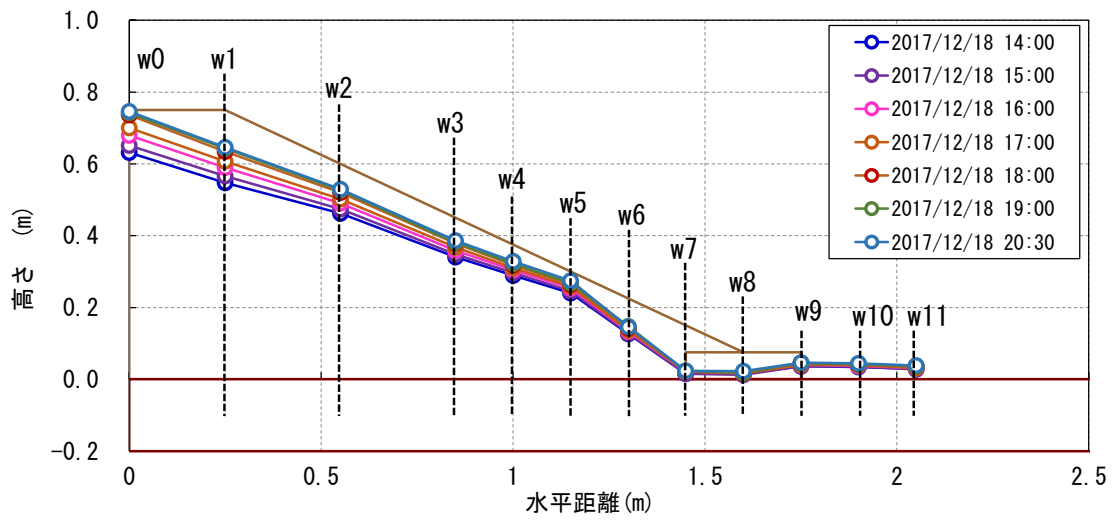
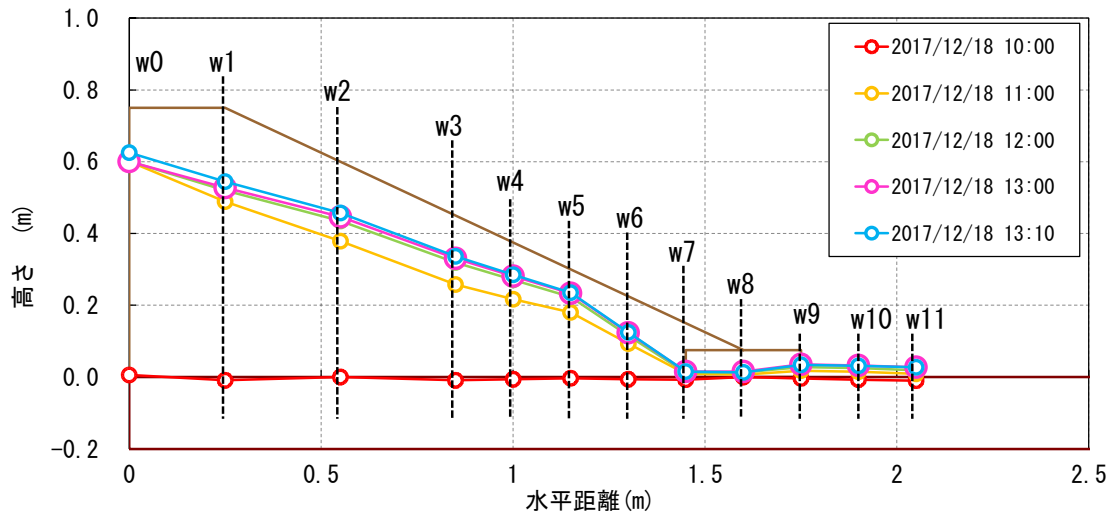


図 2.5.35 堤体内水位の横断分布の経時変化

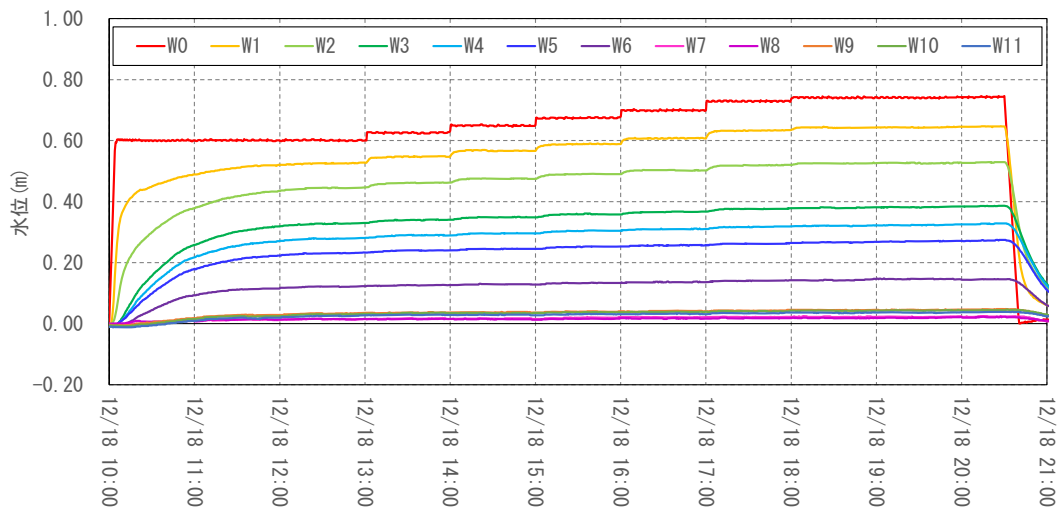
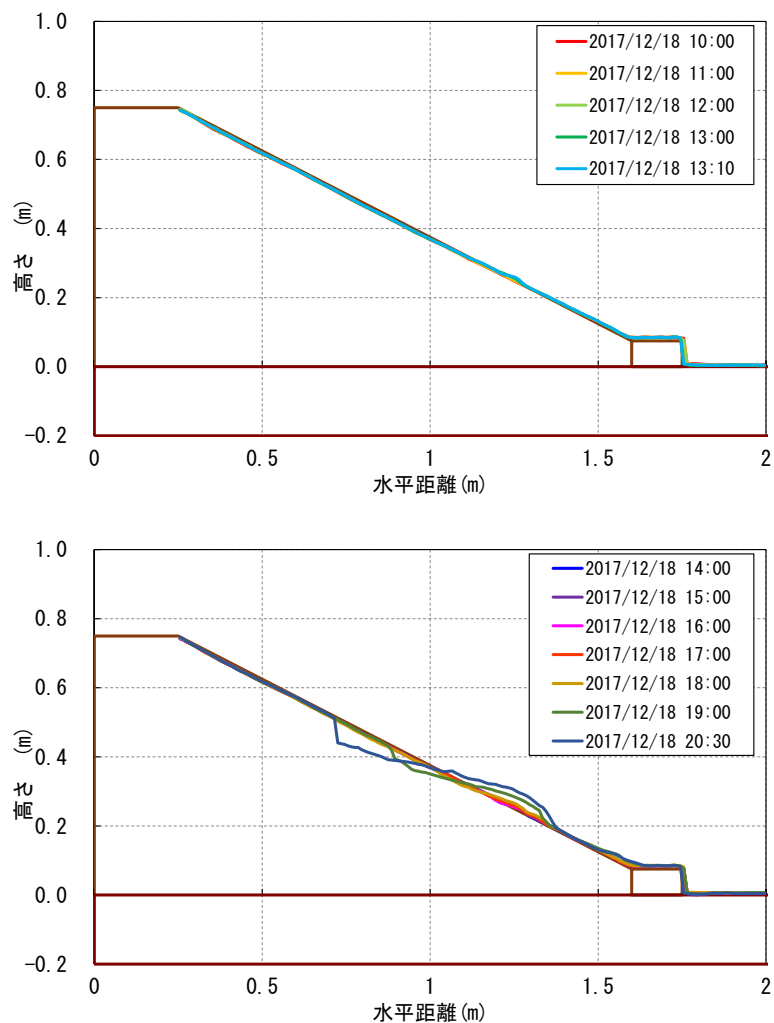


図 2.5.36 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.37 法面形状の経時変化 (A断面より0.5m)

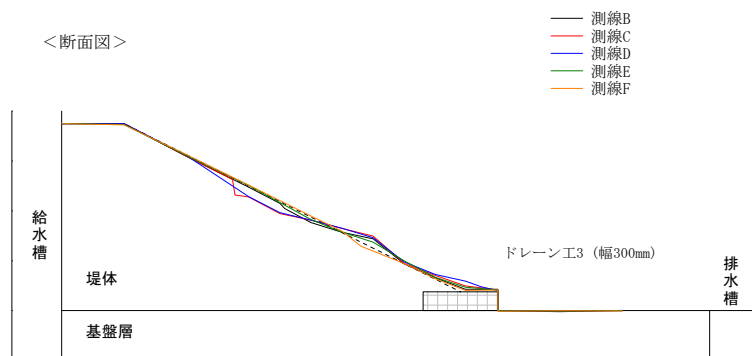


図 2.5.38 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

実験終了後の堤体の緩み深度

- : 模型作成時堤体形状
- : 実験終了時堤体形状
- (赤) : ゆるみ範囲下端部

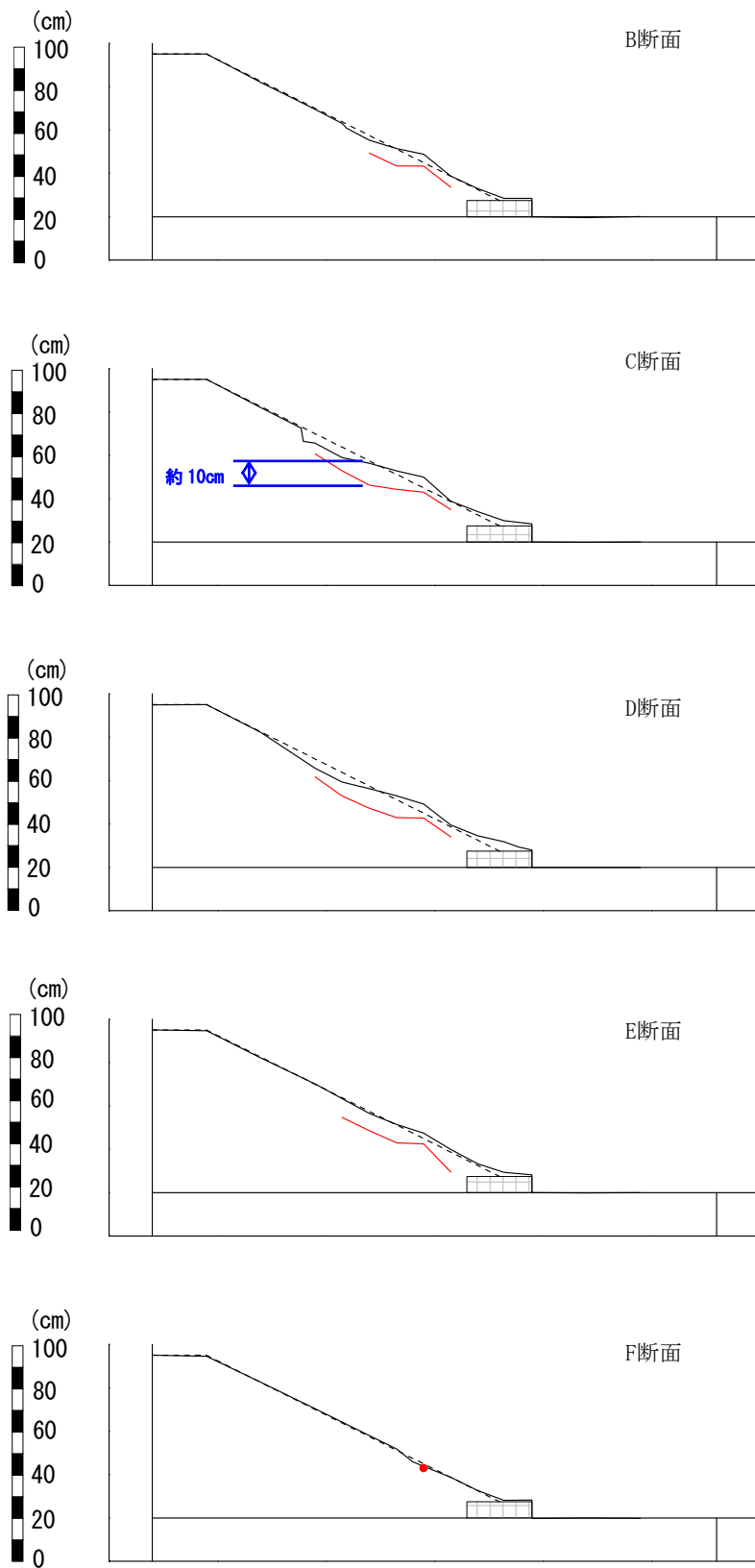


図 2.5.39 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.34 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.40 に泥濁化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。実験開始後、給水槽の水位を 80%まで上昇させ、約 2 時間が経過した時点 (12/18 12:00) で、水位計 W5 (ドレーン工堤体内側側面より水平距離 30cm) の水位が法面から 7cm の深さまで上昇し、水位計 W5 の位置より法面に沿って若干下方の法面中腹で泥濁化が発生したが、しばらく変状範囲の拡大は見られなかった。その後、12/18 13:00 より徐々に給水槽水位を上昇させた。給水槽の水位が上昇するにつれて、泥濁化箇所より上部で堤体内水位が法面に接近する範囲が広がっていき、法面から 7cm 程度の深さまで堤体内水位が上昇した範囲に、すべり破壊の範囲が広がっていく様子が確認された。最終的には法肩から水平距離で 45cm 程度の位置まで崩壊が進行した。実験終了時まで、法尻付近では変状は発生せず、最初に泥濁化が生じた法面中腹部から法肩に向かって崩壊が進行する結果となった。

図 2.5.39 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。最大で 10cm 程度の深さまでゆるみ範囲が見られるが、H29Case3 と比較すると崩壊の範囲は浅く留まっている事が確認された。

以上の結果より、ドレーン工の設置により法尻付近では堤体内水位が法面に接近しないため変状が発生しなかったが、法面中腹付近で水位が法面付近まで上昇することで、その地点で泥濁化が発生し、その後も水位上昇に伴い、水位が法面に接近する範囲が徐々に法肩に向けて拡大していき、その範囲ですべり破壊が発生することで、崩壊範囲が法肩に向けて拡大していったと考えられる。

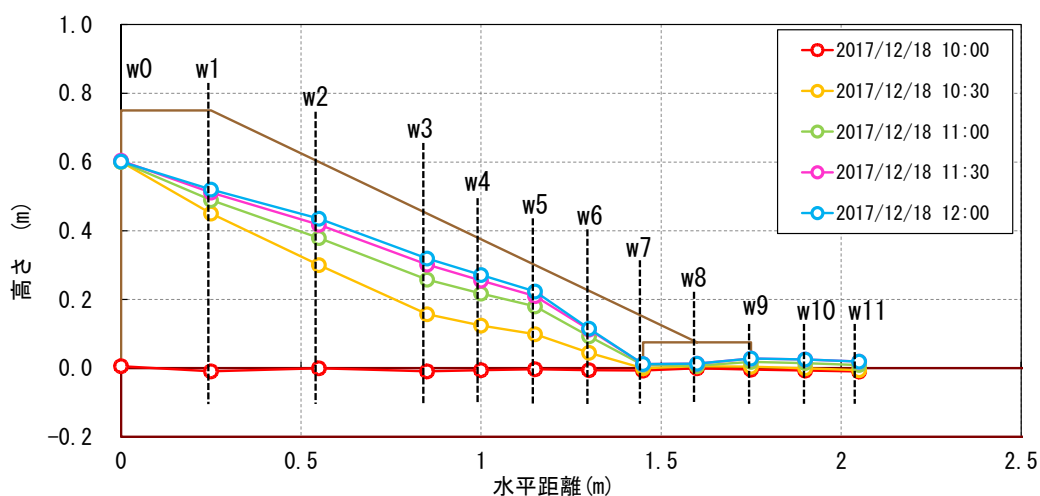


図 2.5.40 泥濁化発生時点までの堤体内水位変動

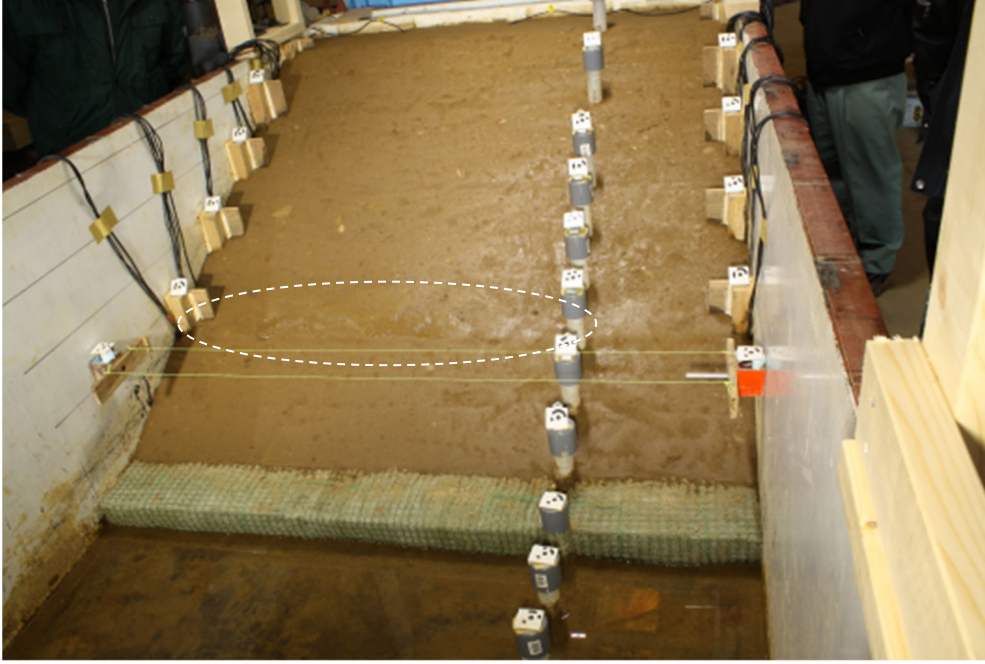


図 2.5.41 泥濁化発生位置 (12/18 12:00)



図 2.5.42 実験終了時の堤体の状況 (12/18 20:30)

2.5.6 H29 Case5

H29 Case5 は堤体の法面表面から厚さ 10cm の範囲を礫混合土により置き換えたケース。法面付近を礫混合土で置き換えた場合の変状発生状況の変化について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.6 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.6 実験経過 (H29 Case5)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
1/16	10:00	0→90.0	給水開始 (所要時間4分程度)
	11:00	90.0	盛土法尻が一部泥濁化。
	11:20	90.0	礫混合土置換部中間よりやや下部においてクラック発生。
		90.0	クラック発生箇所から法肩に向けて崩壊が進行。
	13:05	90.0	礫混合土置換部上端より上まで変状が進行したため給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、A 断面より 0.5m 付近の堤体形状を示す。

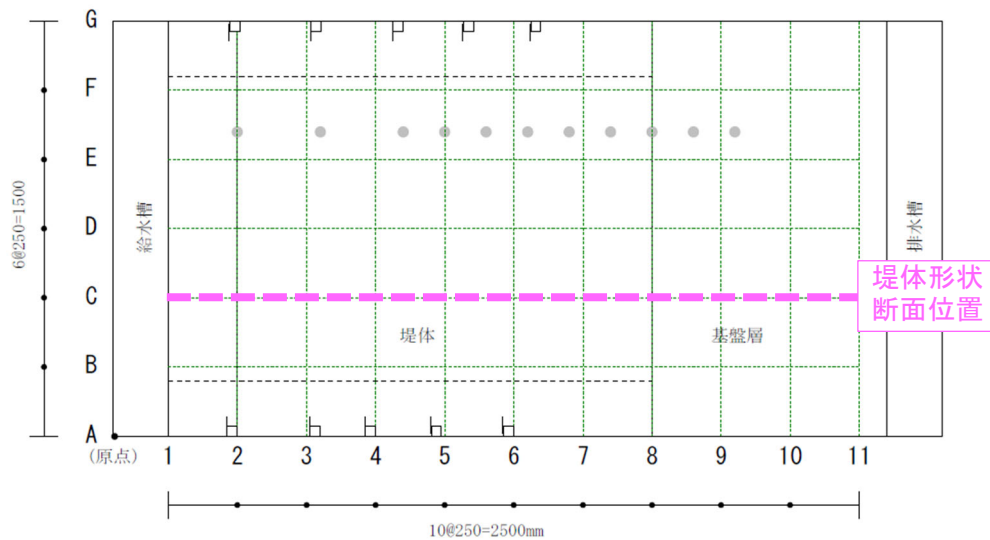


図 2.5.43 堤体形状 断面位置 (H29 Case5)

1) 堤体形状および堤体内水位

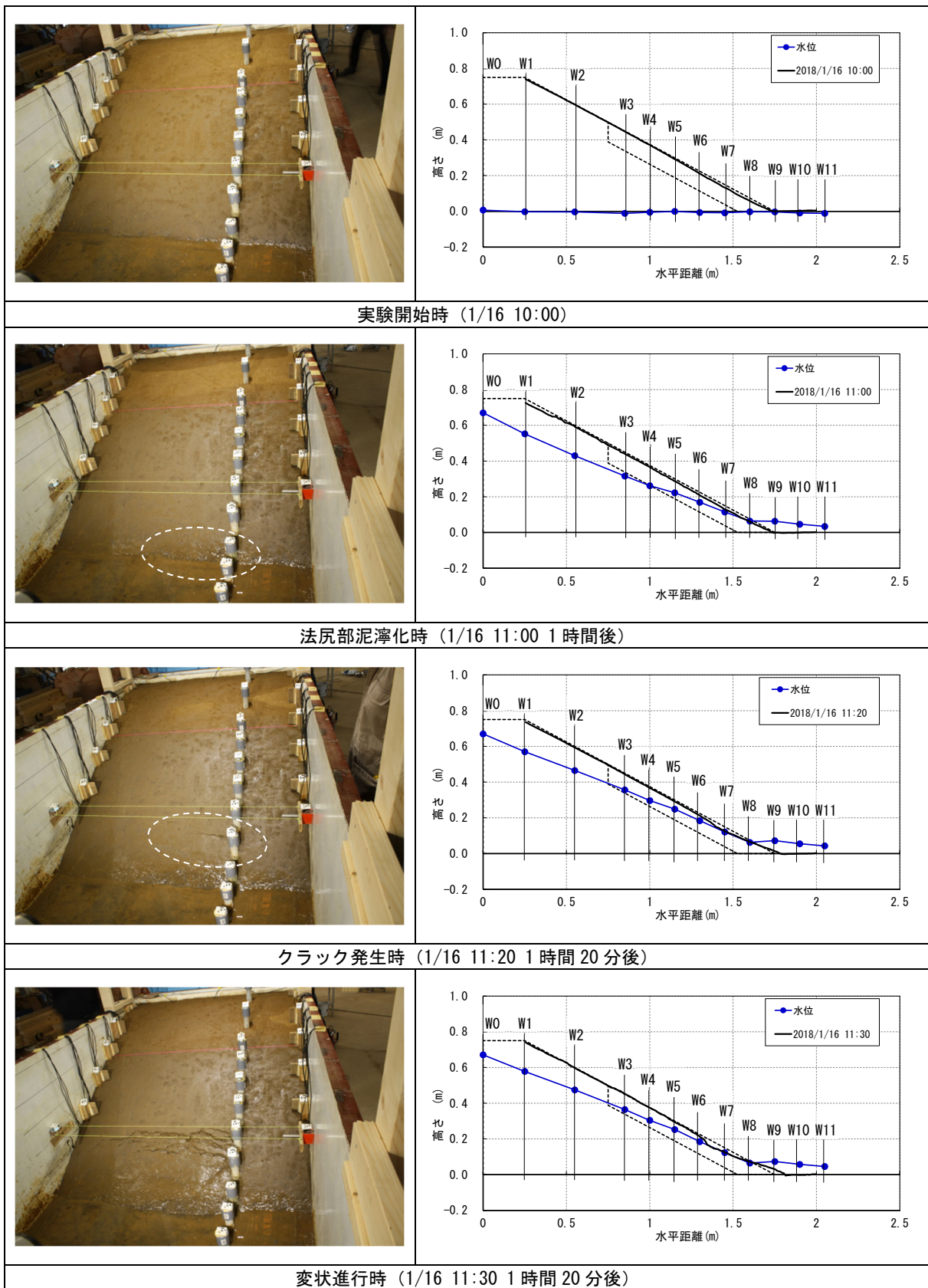
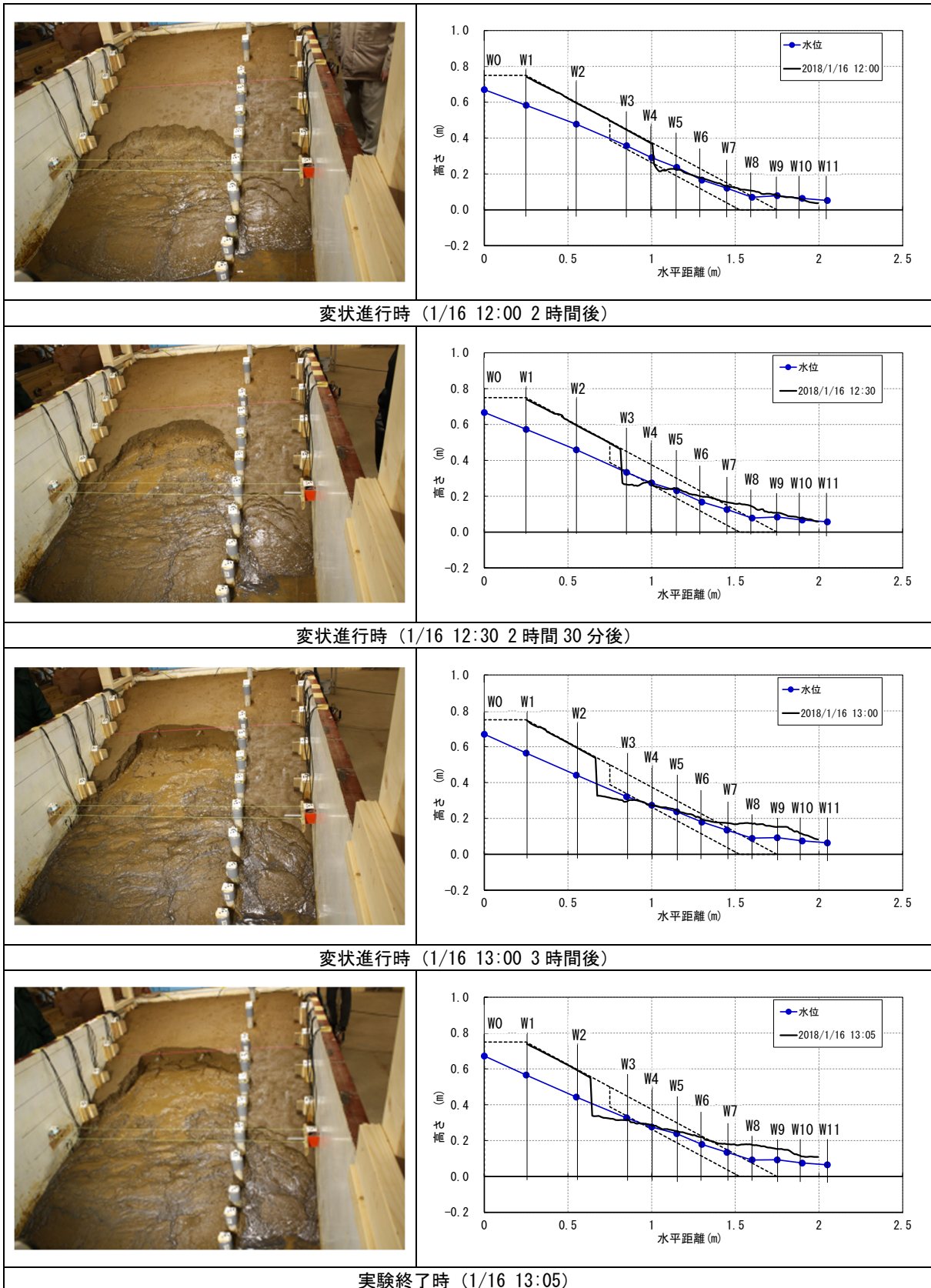


図 2.5.44 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case5) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.44 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計) (H29 Case5)
(2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

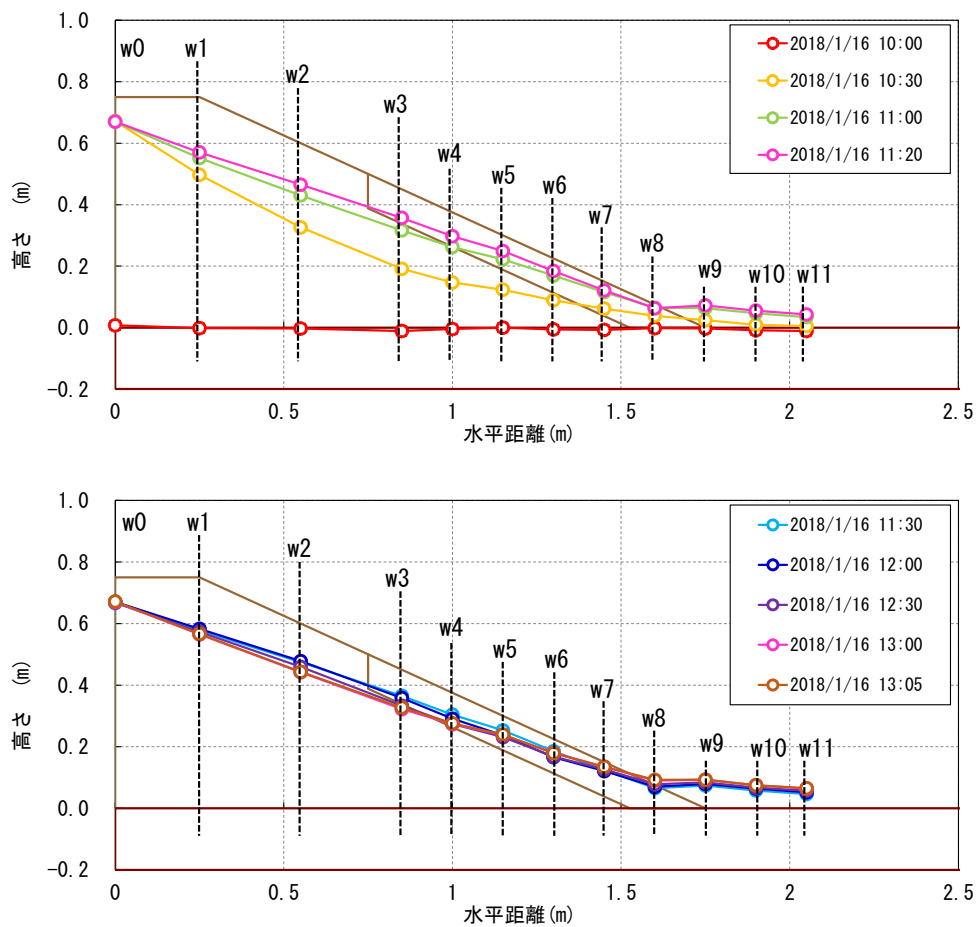


図 2.5.45 堤体内水位の横断分布の経時変化

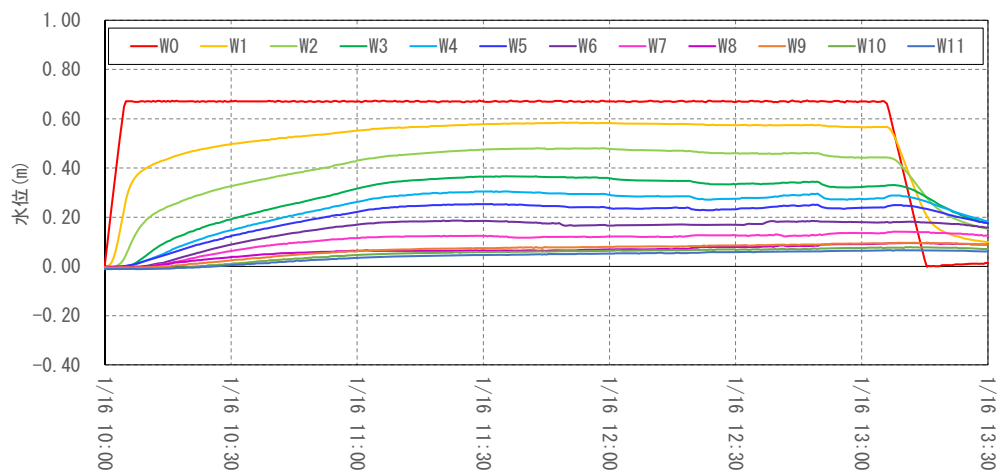
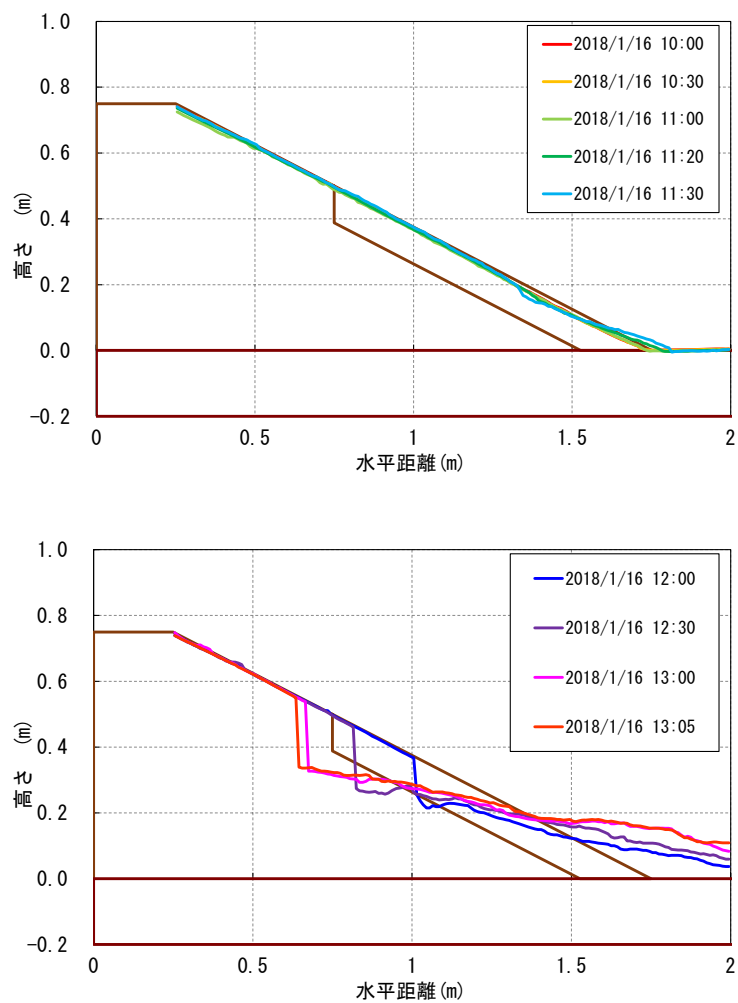


図 2.5.46 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.47 法面形状の経時変化 (A断面より0.5m)

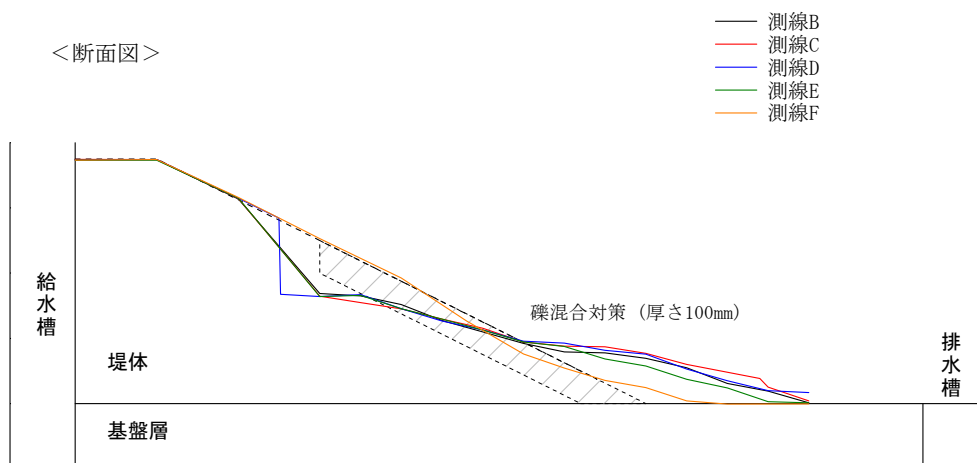


図 2.5.48 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

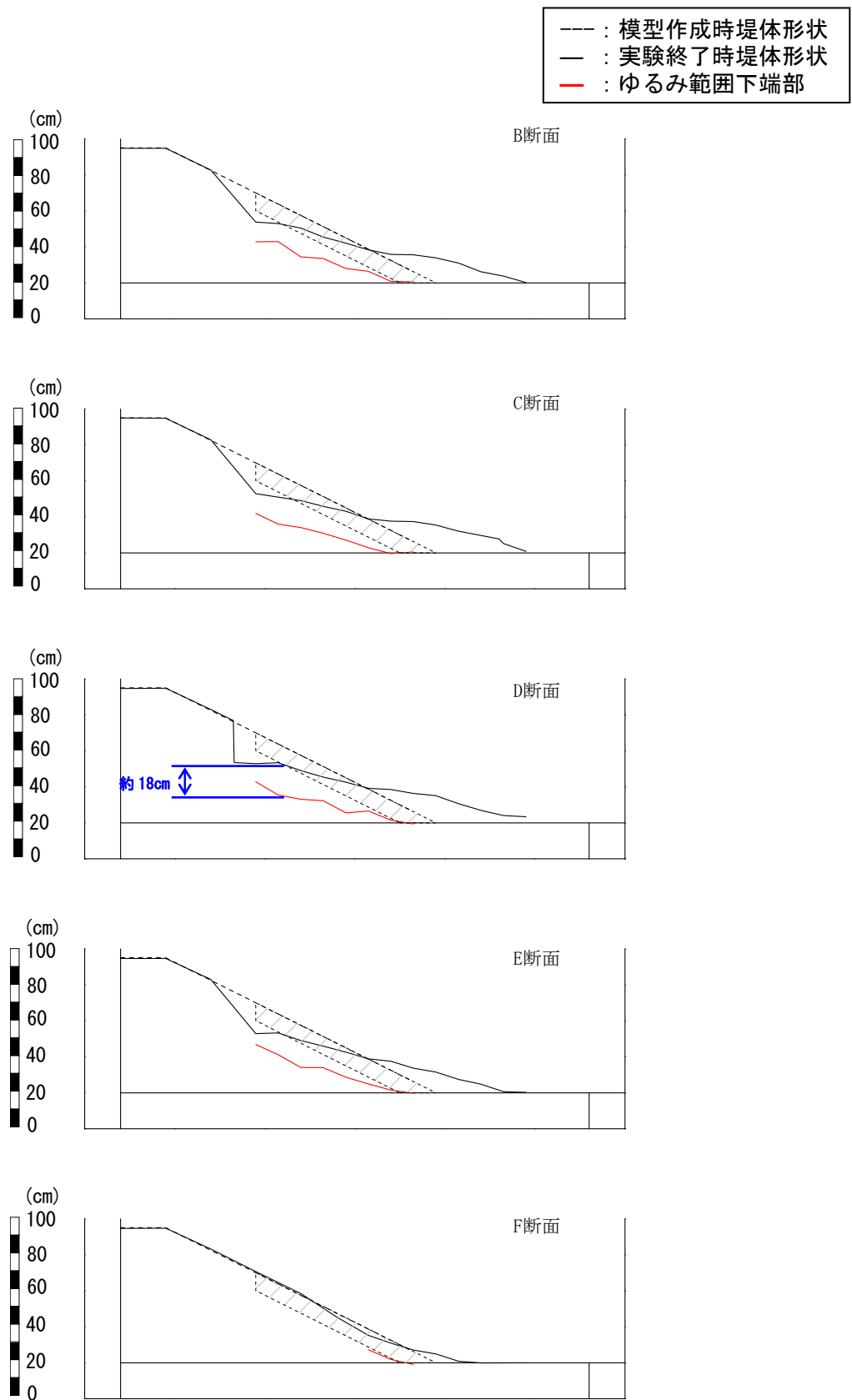


図 2.5.49 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.44 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.50 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。実験開始後、給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させた後、約 1 時間後 (1/16 11:00) に水位計 W7 (法尻から水平距離 30cm) の水位がほぼ法面まで上昇した時点で、法尻部の泥濘化が確認された。その後、徐々に泥濘化の範囲が法肩の方向に広がっていき、水位計 W6 (法尻から水平距離 45cm) における水位が法面まで上昇した時点で、水位計 W7 下部の法面にクラックが発生し、クラックより下の範囲ですべり破壊が発生し、崩壊範囲が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。最終的には法肩から水平距離で 40cm 程度の位置まで崩壊が進行した。

図 2.5.49 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。法面から最大 18cm の範囲でもゆるみが発生しており、礫混合土による置換範囲より深い範囲にまで崩壊が及んでいることが分かる。

以上の結果より、無対策の場合と比較すると、若干崩壊範囲は狭くなるものの、崩壊の範囲が礫混合土の置換範囲外にまで及ぶことで、結果的に崩壊範囲が広がったと考えられる。また、H29 Case1~H29Case4'までは、堤体内水位が法面よりおおむね 7cm 程度の深さまで上昇した際に泥濘化が発生していたが、本ケースでは堤体内水位が法面まで上昇した際に泥濘化が発生しており、法面付近のせん断強度は強化されていると考えられる。

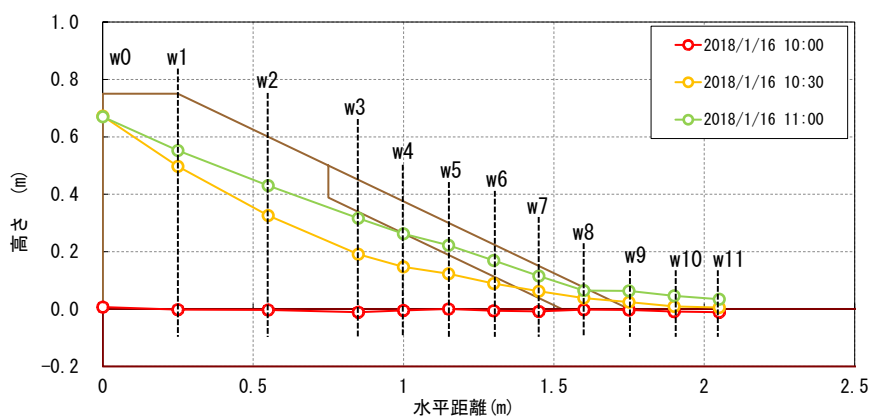


図 2.5.50 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.51 実験終了後の堤体の状況 (1/16 13:13)

2.5.7 H30 Case1-1

H30 Case1-1 は堤体の法尻部の底幅 60cm、高さ 60cm の範囲を礫混合土で置き換えた場合のケースである。なお、礫混合土は香取砂：5号碎石：6号碎石=4:1:1の比率で作製し、模型作製時の礫混合土置換範囲の締固め度は100%とした。法尻付近を礫混合土で置き換えることによる対策効果について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.7 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.7 実験経過 (H30 Case1-1)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
10/1	14:00	0→90.0	給水開始 (所要時間5分程度)
	15:10	90.0	堤体法尻が一部泥濁化。
		90.0	泥濁化後、礫混合土置換部表層付近がすべり、徐々に変状範囲が法尻に向けて拡大した。
	16:20	90→63.3	変状範囲が法面の1/3程度まで達した時点で一度給水を中止した。その後、排水により水位低下 (所要時間3分程度)
	16:50	63.3→76.7	水位上昇のため、給水。(所要時間2分程度)
		76.7	変状範囲の変化は殆ど確認されなかった。
	17:20	76.7→83.3	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
		83.3	変状範囲の変化は殆ど確認されなかった。
	17:51	83.3→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
		90.0	変状範囲の変化は殆ど確認されなかった。
	18:20	90.0	変状範囲に若干の拡大が見られたものの、殆ど進行が見られないため、給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A断面より0.5m付近の堤体形状を示す。

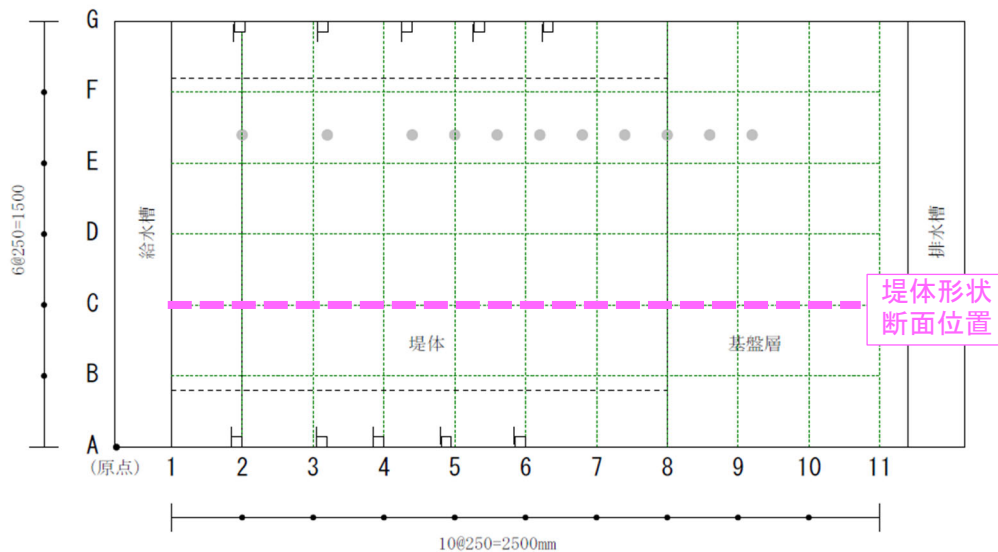


図 2.5.52 堤体形状 断面位置 (H30 Case1-1)

1) 堤体形状および堤体内水位

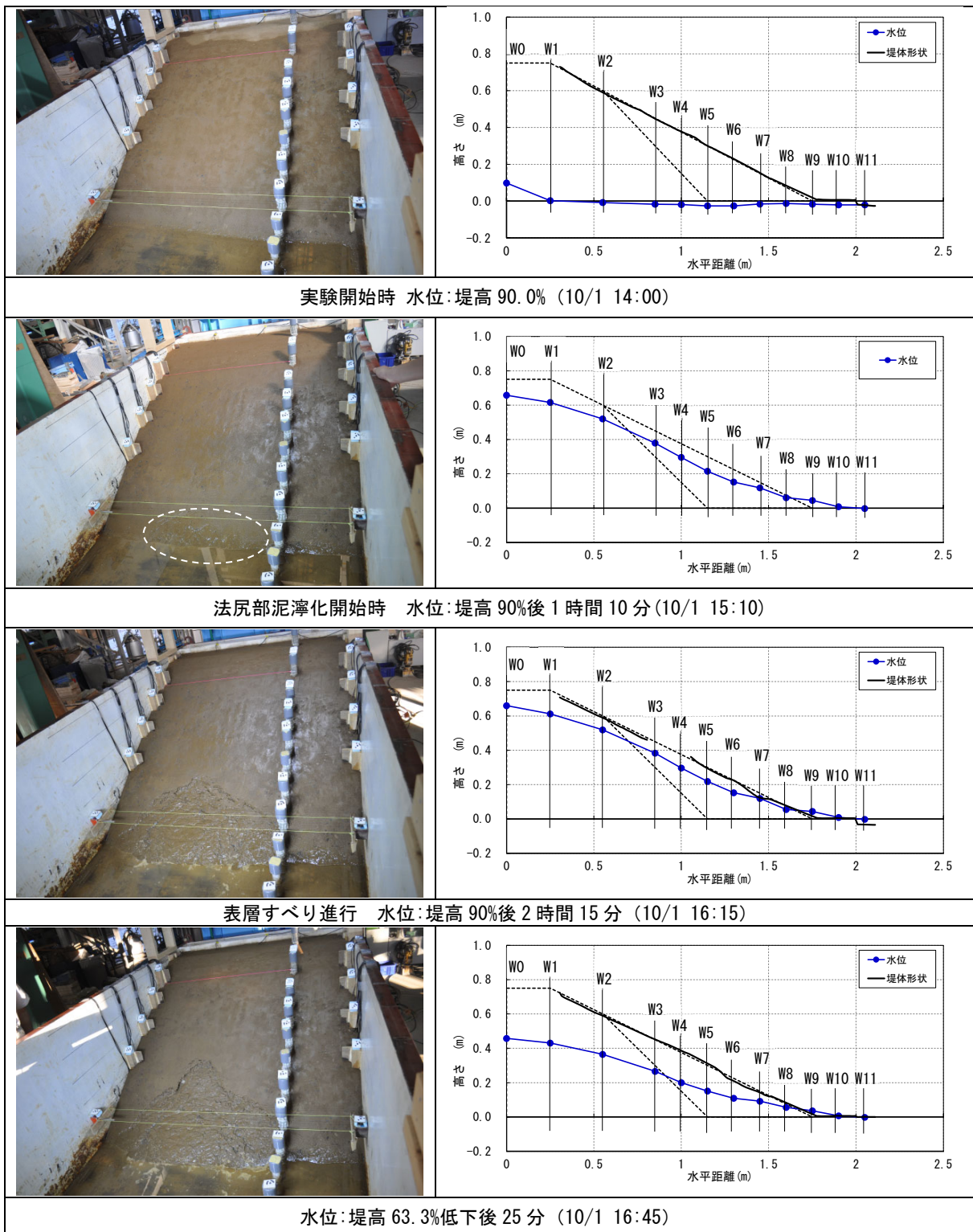
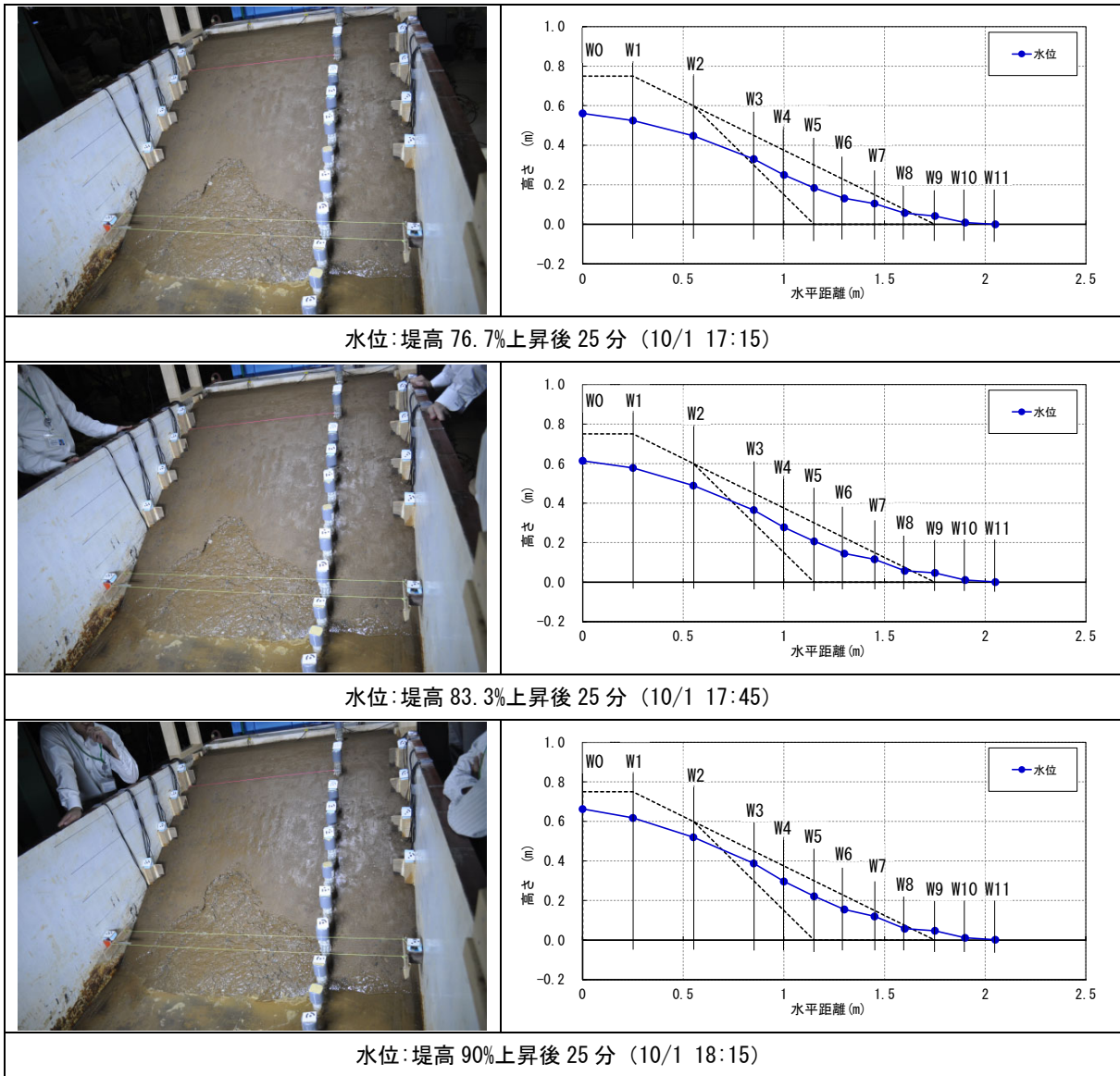


図 2.5.53 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case1-1) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.53 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case1-1) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

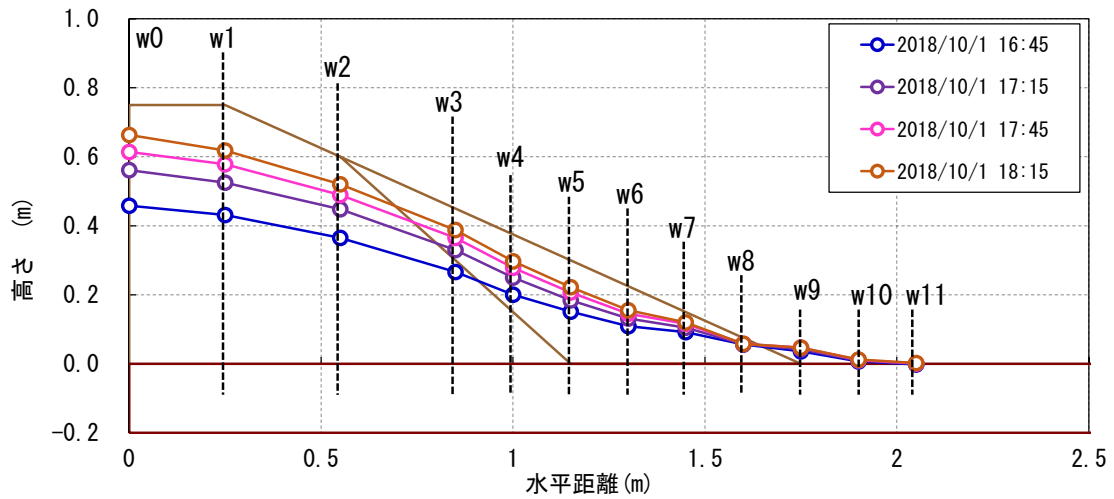
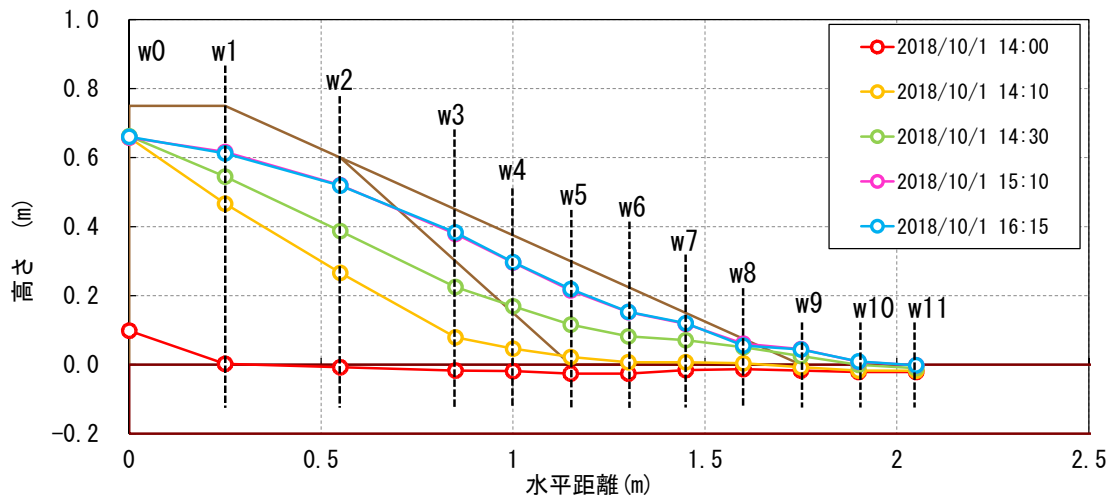


図 2.5.54 堤体内水位の横断分布の経時変化

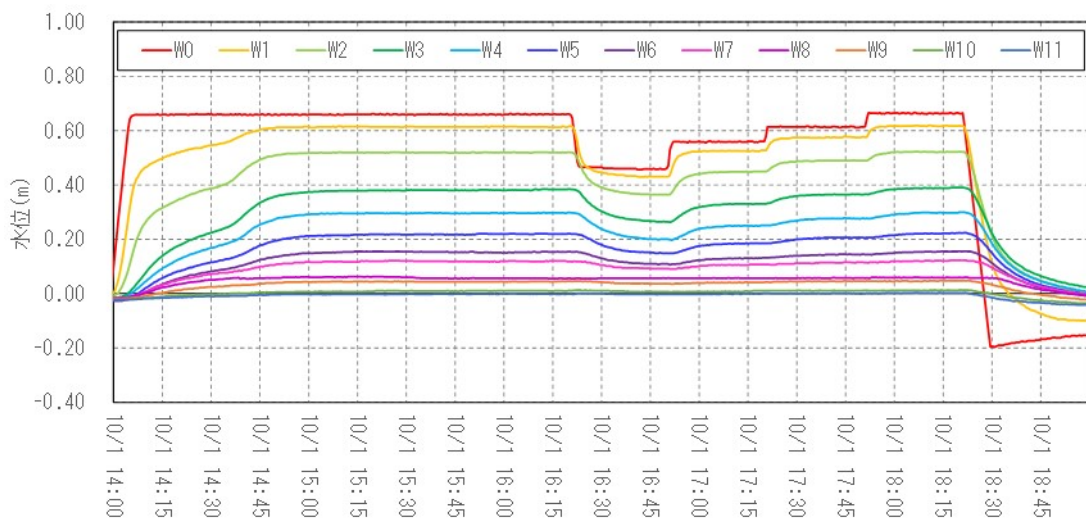
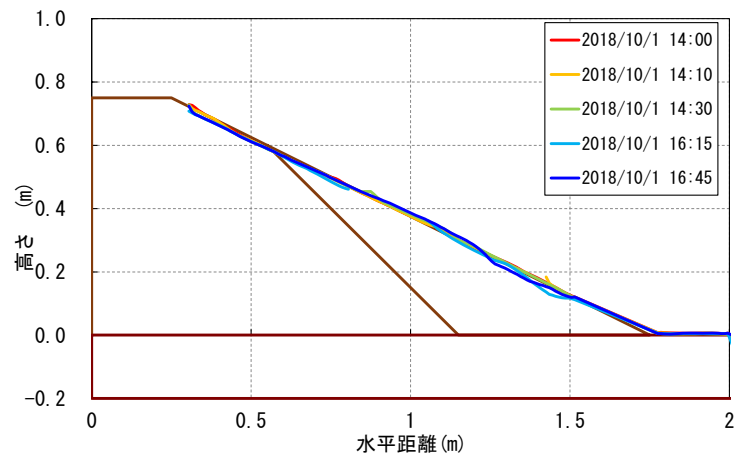


図 2.5.55 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.56 法面形状の経時変化 (A断面より 0.5m)

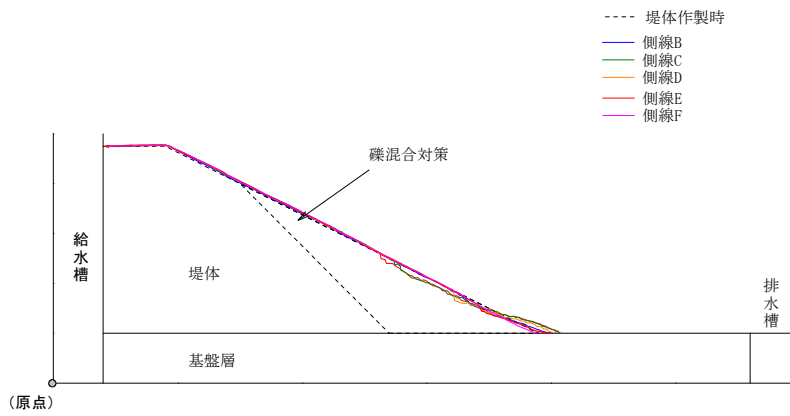


図 2.5.57 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

実験終了後の堤体の緩み深度

--- : 模型作成時堤体形状
 — : 実験終了時堤体形状
 — : ゆるみ範囲下端部

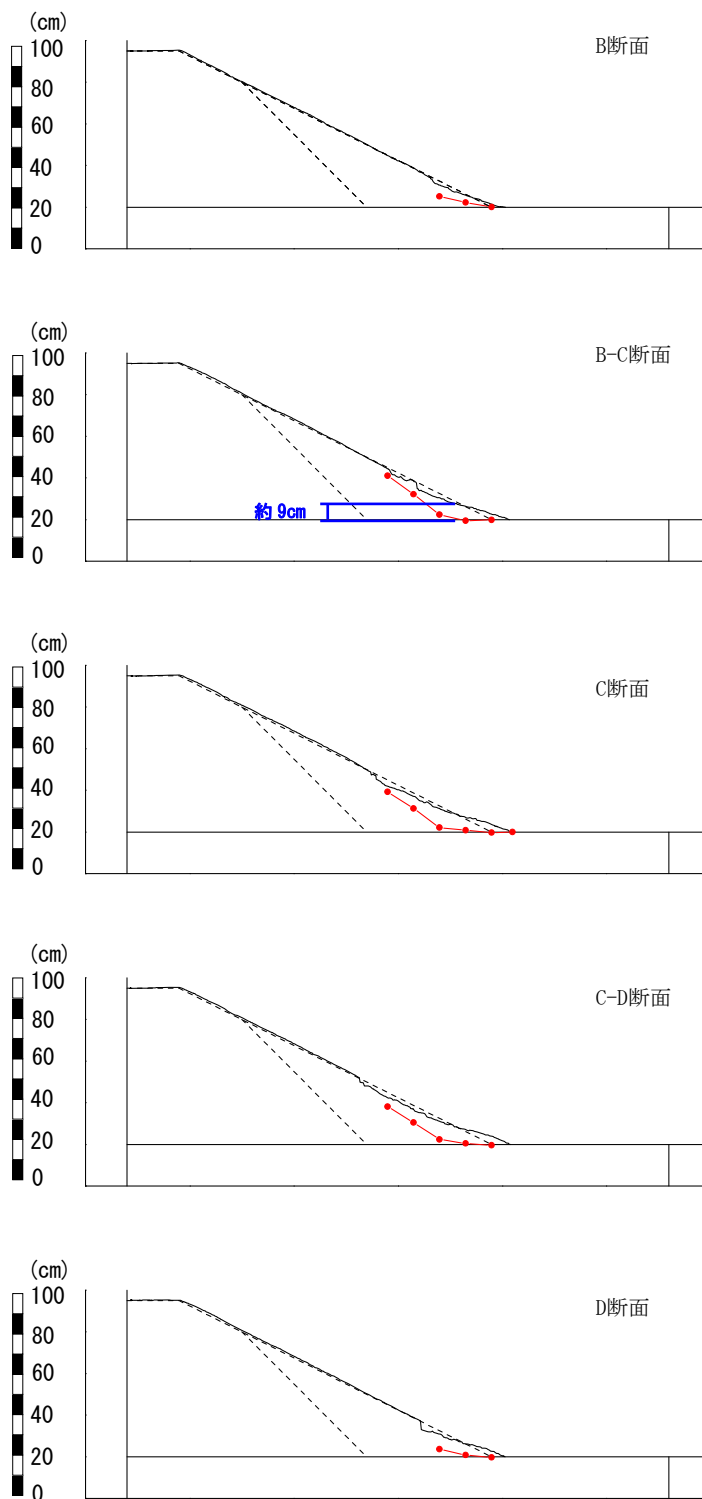


図 2.5.58 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.53 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.59 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。実験開始後、給水槽の水位を堤体高の 90%まで上昇させ、約 1 時間 10 分経過した後 (10/1 15:10) に、水位計 W8 (法尻から水平距離 15cm) における水位が法面まで上昇し、法尻部の泥濘化が確認された。その後、変状が法肩に向かって拡大していく様子が確認されたが、H29 Case1~H29 Case3 のように泥濘化上端部付近で土塊状の崩壊が生じるような比較的深い範囲までのすべり破壊ではなく、礫混合土置換範囲の表層部での滑りが生じ、その範囲が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。また、崩壊が進行している間の堤体内水位分布としては、水位計 W3 (法尻から水平距離 90cm、法肩から水平距離 60cm) ~ 水位計 W6 (法尻から水平距離 45cm) までの堤体内水位が法面から 8cm 程度の深さまで上昇している状態であった。その後、一度給水槽内の水位を堤体高の 63%程度まで低下させ、その後に水位を 77%、83%、90%と段階的に上昇させた。その際の堤体内水位の経時変化を図 2.5.54 の下側の図に示す。水位低下後、一度すべり範囲の拡大は止まり、給水槽水位を 77%、83%と上昇させても変状の範囲は拡大しなかった。その後、給水槽水位を 90%まで上昇させ、水位計 W3~水位計 W5 (法尻から水平距離 60cm) の水位がのり面から 8cm 程度の深さまで上昇した時点で再度崩壊箇所上端部付近で表層すべりが発生し、その後もすべり範囲が拡大する様子が確認された。最終的に法肩より水平距離で 90cm 程度の位置まで表層すべりが進行した。

図 2.5.58 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。ゆるみの深さは最大で法面から 9cm 程度の範囲となっており、H29 Case1 や H29 Case2 と比較すると浅い範囲に留まっている事がわかる。

以上の結果より、堤体内水位が法面まで達した時点で泥濘化が発生し、法面から 8cm 程度の深さまで堤体内水位が上昇した場合にすべり破壊が発生するものの、すべりの範囲は無対策の場合等と比較すると浅い範囲にとどまっており、礫混合土によって法尻~法面付近のせん断強度が強化されていると考えられる。

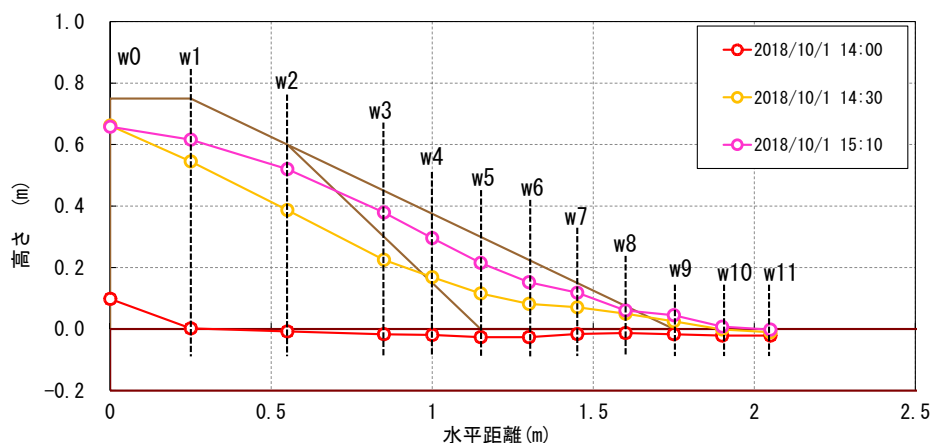


図 2.5.59 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.60 実験終了時の堤体の状況 (10/1 18:15)

2.5.8 H30 Case1-2

H30 Case1-2 は実験終了後の H30 Case1-1 の崩壊部を掘削し、天端～法面を整形し、堤防高を 67cm 程度、法面勾配を 1:1.8 としたケースである。礫混合土置換範囲は底幅 30cm、高さ 38cm 程度の範囲となる。H30 Case1-1 の礫混合土置換範囲を縮小し、対策効果の差について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.8 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.8 実験経過 (H30 Case1-2)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
10/9	11:00	0→50.0	給水開始 (所要時間5分程度)
	13:30	50.0→55.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	14:03	55.0	堤体法尻で一部泥濁化し、泥濁化範囲上部でクラック発生。
		55.0	変状発生範囲に殆ど変化はない。
	15:00	55.0→60.0	堤体法尻で一部泥濁化し、泥濁化範囲上部でクラック発生。
		60.0	変状発生範囲が若干拡大。
	16:00	60.0→65.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
		65.0	法面表層でのすべりが法肩に向けて拡大。
	17:00	65.0→70.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
		70.0	法面表層でのすべりが法肩に向けてやや拡大。
	18:00	70.0	変状に殆ど進行が見られなくなったため、給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A 断面より 0.5m 付近の堤体形状を示す。

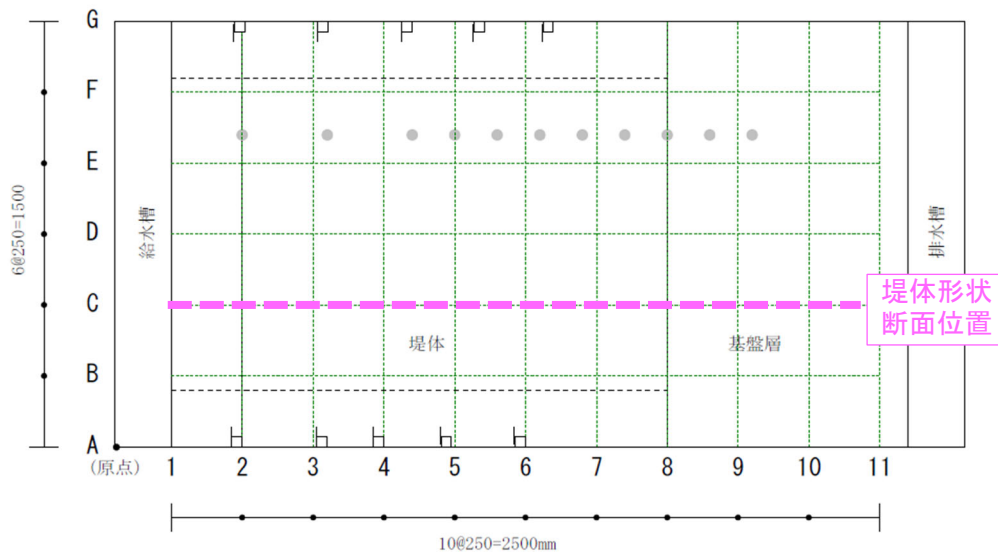


図 2.5.61 堤体形状 断面位置 (H30 Case1-2)

1) 堤体形状および堤体内水位

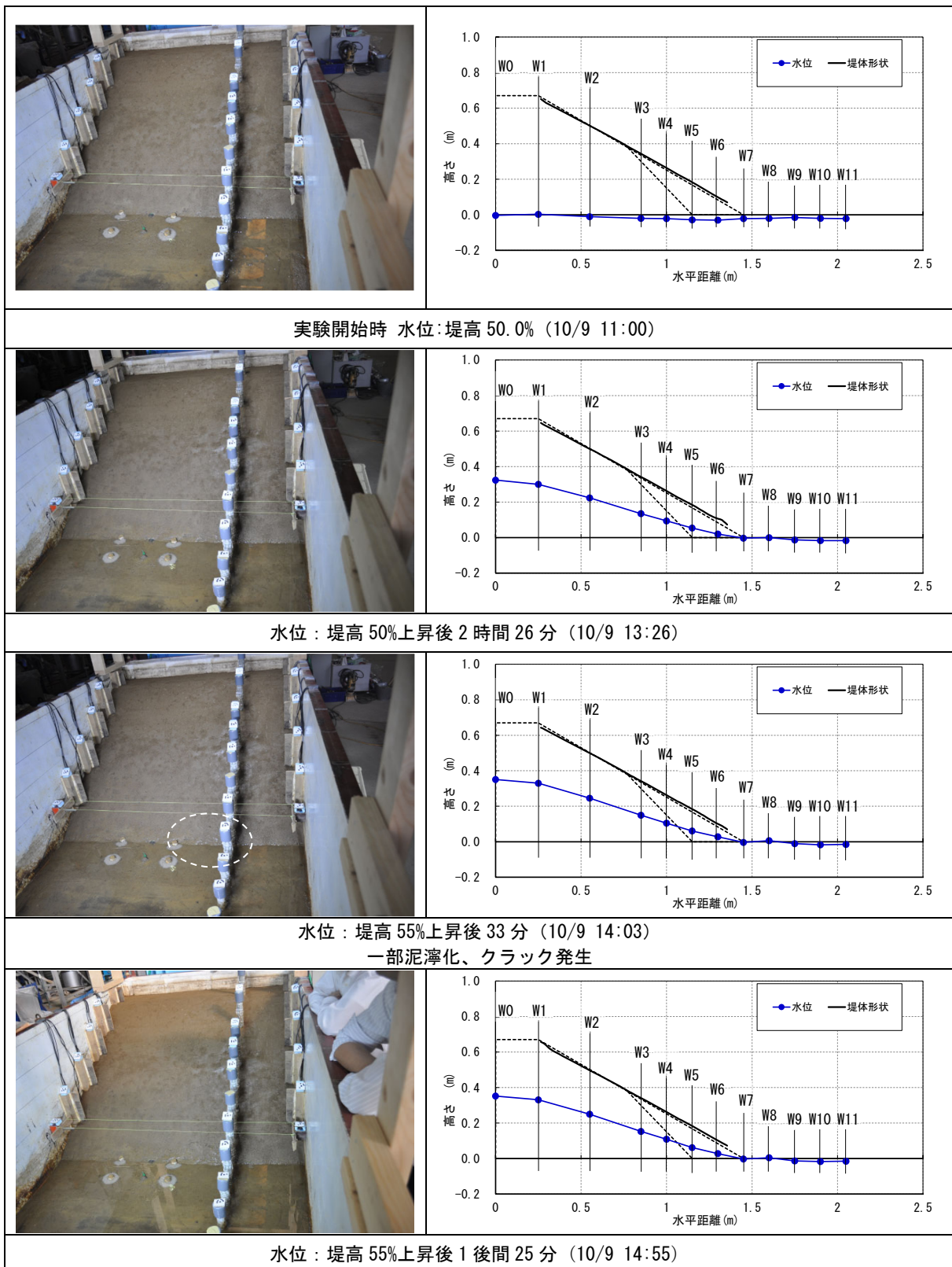
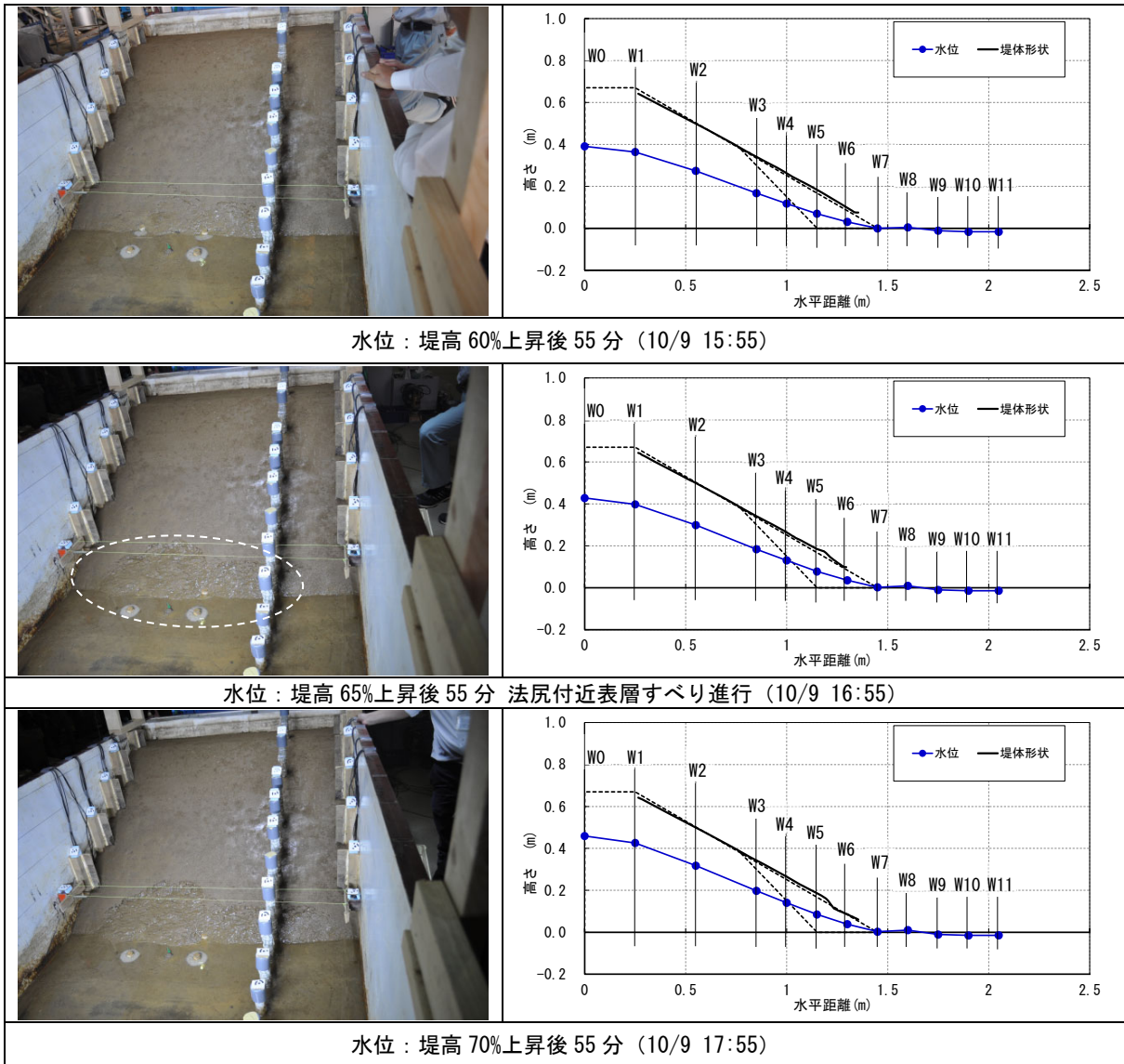


図 2.5.62 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case1-2) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.62 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)

(H30 Case1-2) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

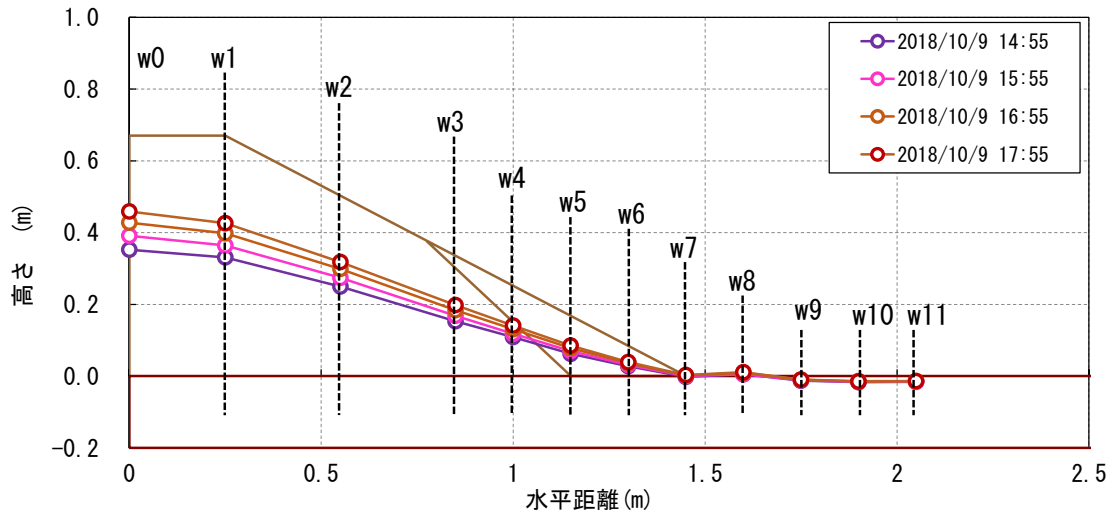
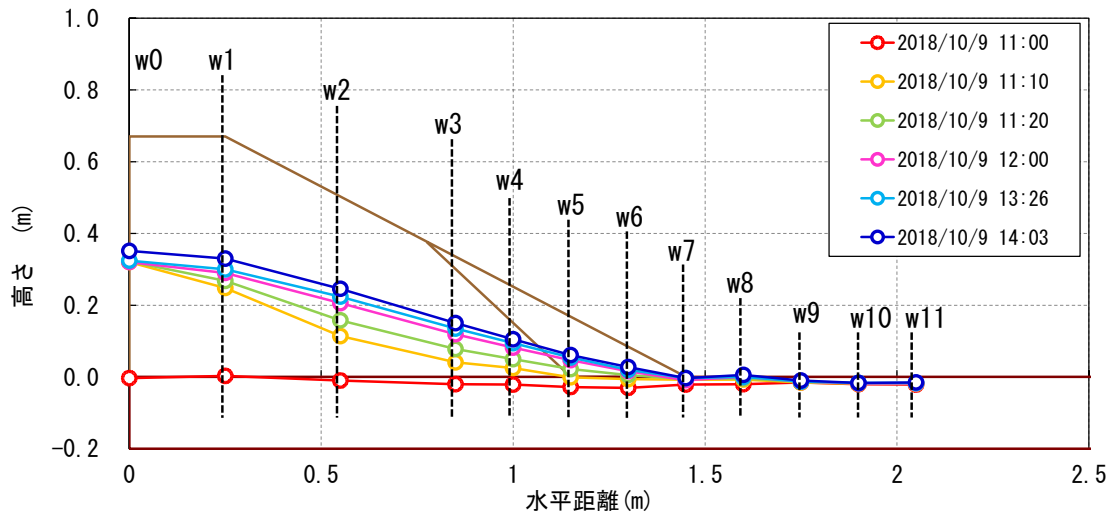


図 2.5.63 堤体内水位の横断分布の経時変化

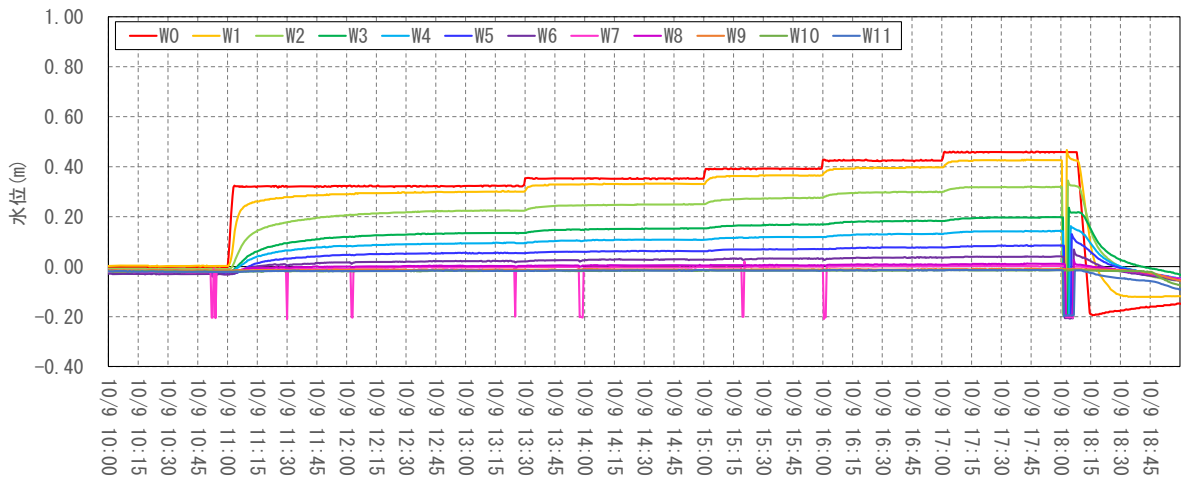
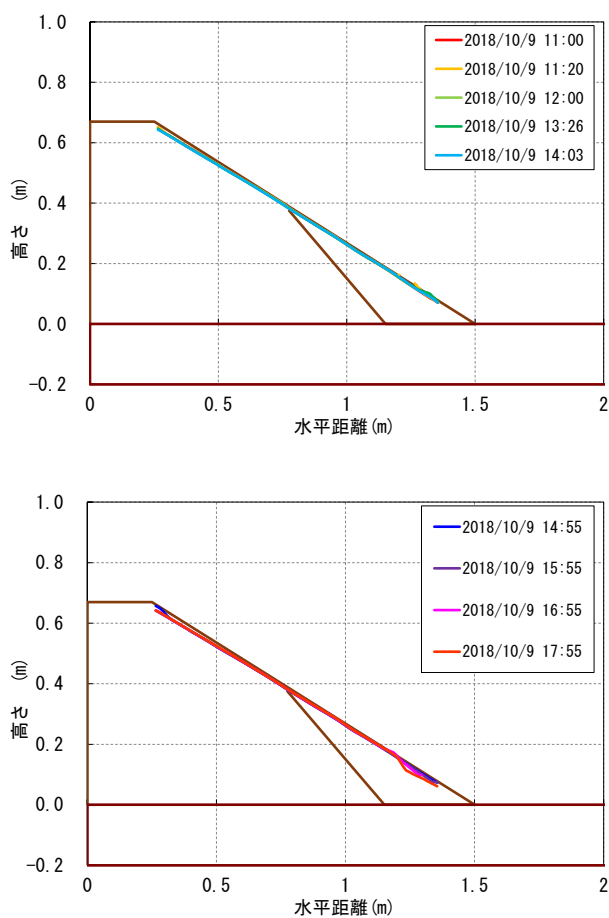


図 2.5.64 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.65 法面形状の経時変化 (A断面より0.5m)

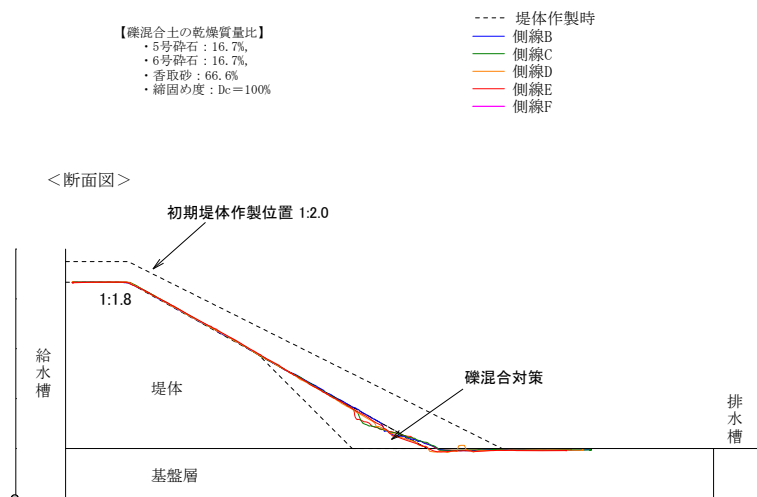


図 2.5.66 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

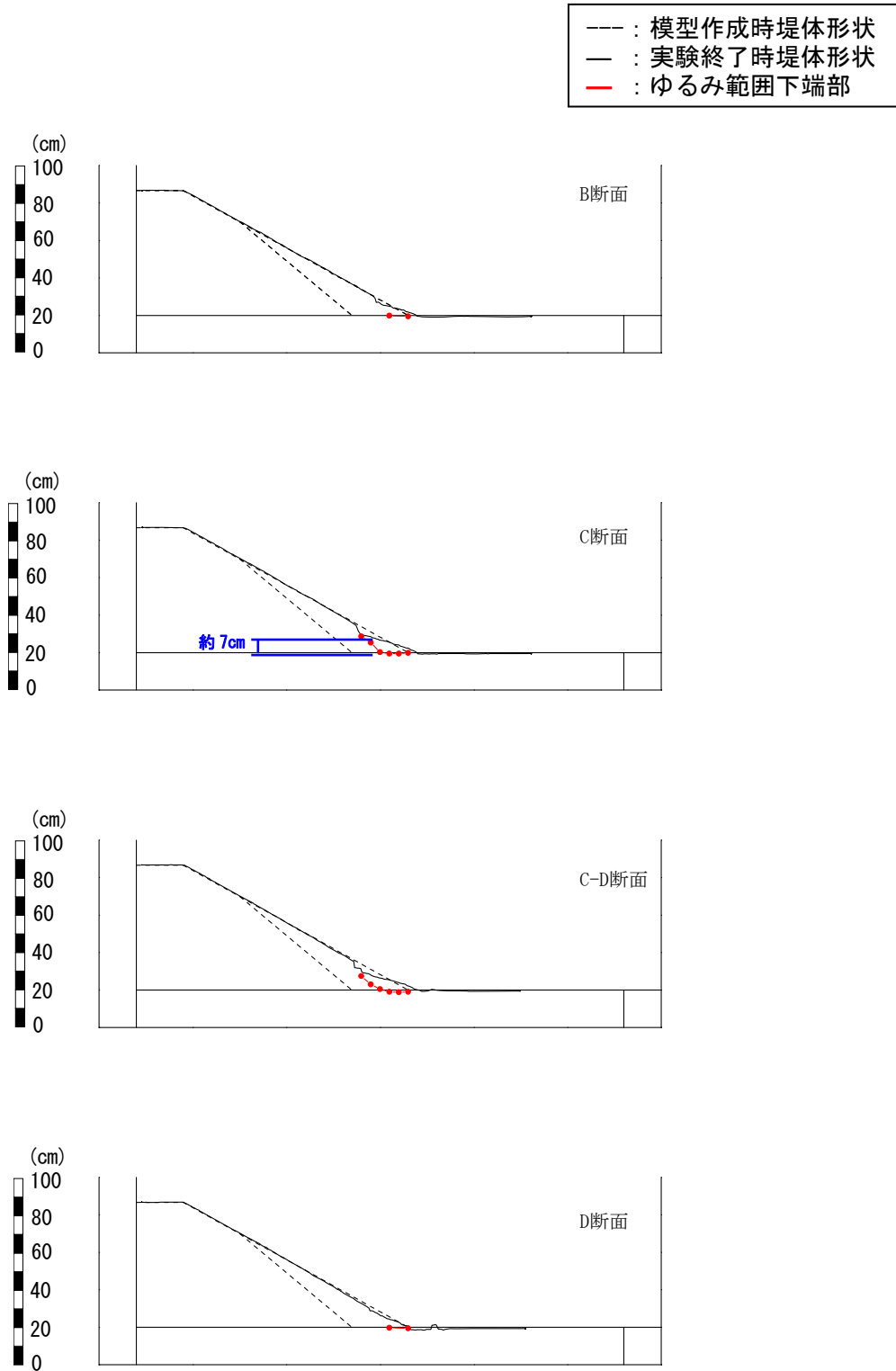


図 2.5.67 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.62 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.68 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。実験開始後約 3 時間が経過 (10/9 14:03) し、給水槽の水位を堤体高の 55%まで上昇させた時点で、法尻部の泥濘化・泥濘化範囲上端部付近でクラックの発生が確認され、その後、表層のすべりが確認された。その際の堤体内水位は、水位計 W6 (法尻から水平距離 15cm) における水位が法面から 7cm 程度の深さまで上昇した状態であった。その後、給水槽水位を堤体高の 70%まで上昇させる際に、徐々に表層のすべり範囲が法肩に向けて拡大していく様子が確認された。最終的に堤体内水位は水位計 W4 (法尻から水平距離 45cm) における水位が法面から 6cm 程度まで上昇しており、それより法面に沿って若干下部の水位計 W4 ~W5 (法尻から水平距離 30cm) 間の位置 (法肩より水平距離で 90cm 程度) まですべりによる崩壊範囲が拡大した。

図 2.5.67 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。計測結果より、ゆるみ範囲は法面から最大でも 7cm 程度の範囲の比較的浅い範囲に留まっている事がわかる。

以上の結果より、法面より 7cm 程度の深さまで水位が上昇した時点で礫混合土置換範囲で変状が発生し始めていることから、礫混合土置換範囲の法面勾配が急になることで、H30 Case1-1 と比較すると、法面付近の安定性が低下していると考えられる。

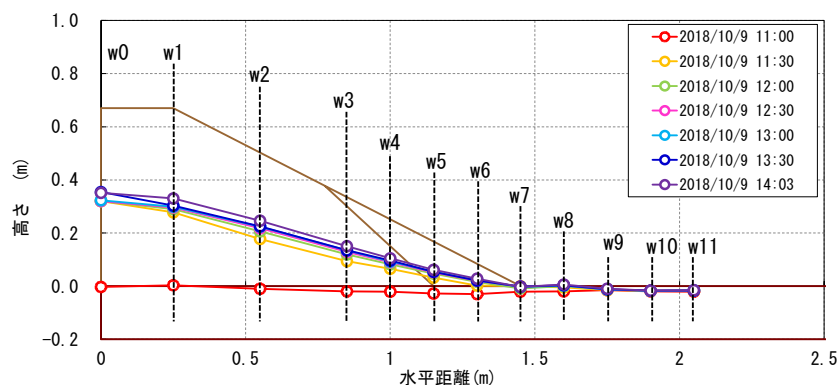


図 2.5.68 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.69 実験終了時の堤体の状況 (10/9 17:55)

2.5.9 H30 Case2-1

H30 Case2-1 は堤体の法尻部の底幅 60cm、高さ 60cm の範囲を礫混合土で置き換えた場合のケースである。なお、礫混合土は香取砂：5号砕石：6号砕石=2:1:1 の比率で作製し、模型作製時の礫混合土置換範囲の締固め度は 100%とした。H30 Case1-1 と礫混合土の混合比率を変化させ、対策効果の差について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.9 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.9 実験経過 (H30 Case2-1)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
10/30	13:40	0→90.0	給水開始 (所要時間6分程度)
	16:40	90.0	給水を停止。
10/31		-	特に操作は実施せず。
11/1	8:50	→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間5分程度)
11/2	13:40	90.0	変状が確認されないため、給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、C断面 (A断面より 0.5m) 付近の堤体形状を示す。

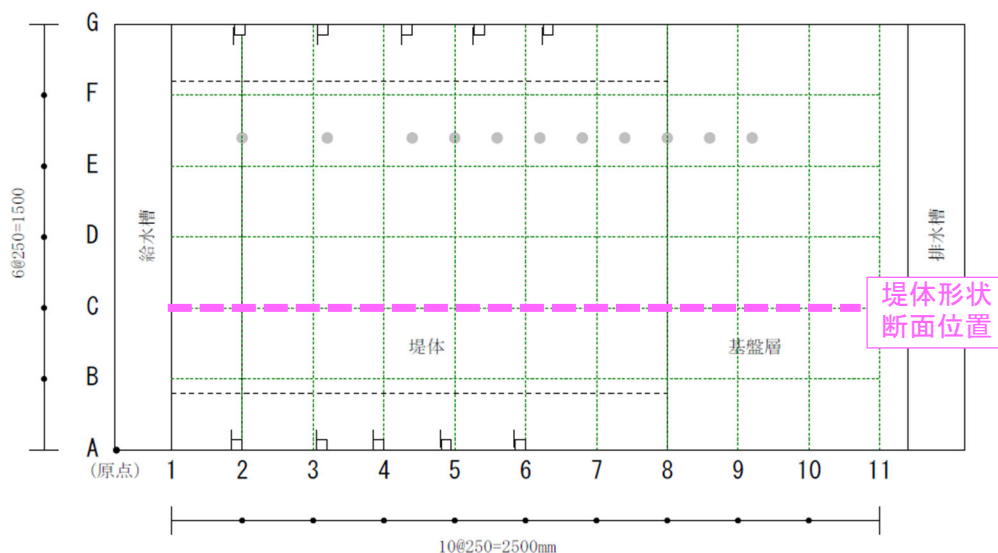


図 2.5.70 堤体形状 断面位置 (H30 Case2-1)

1) 堤体形状および堤体内水位

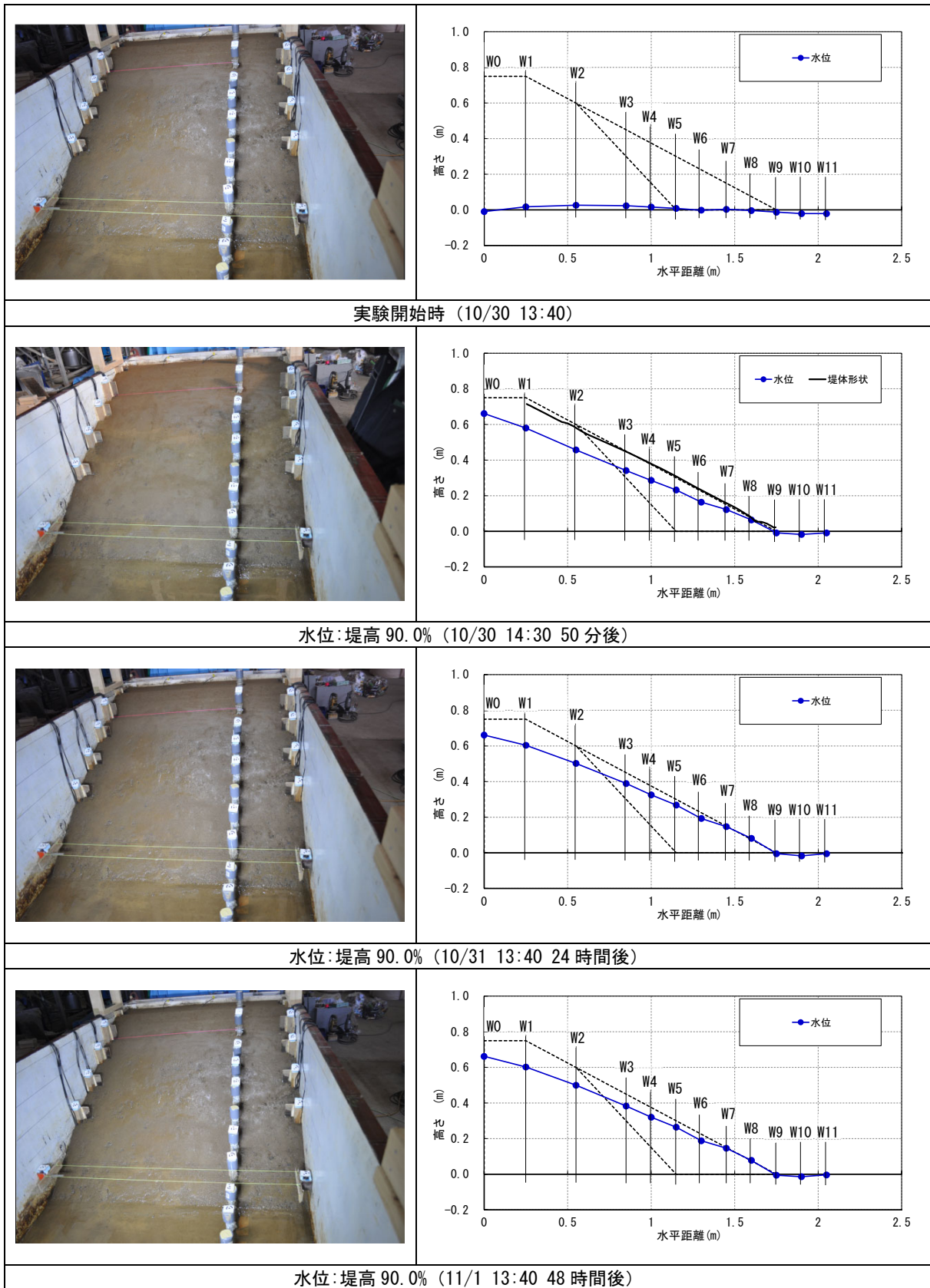
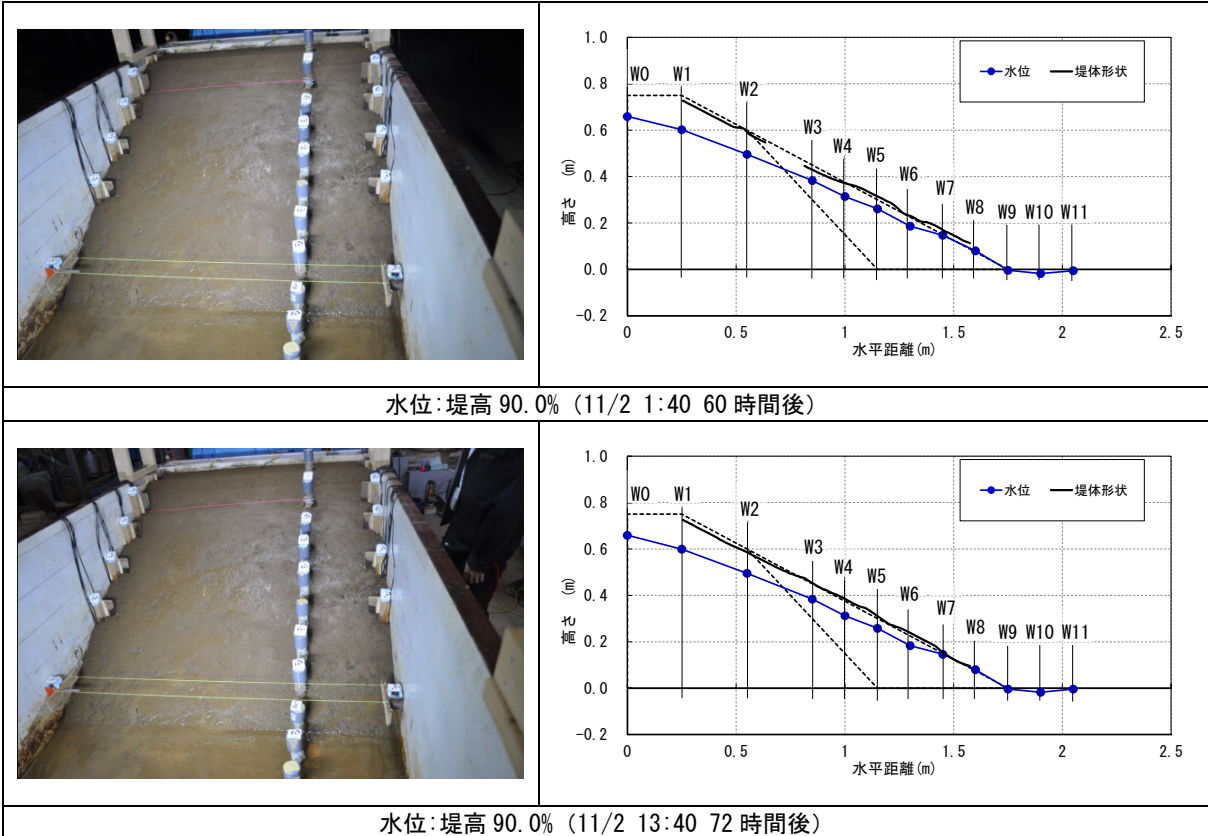


図 2.5.71 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-1) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.71 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.5m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-1) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

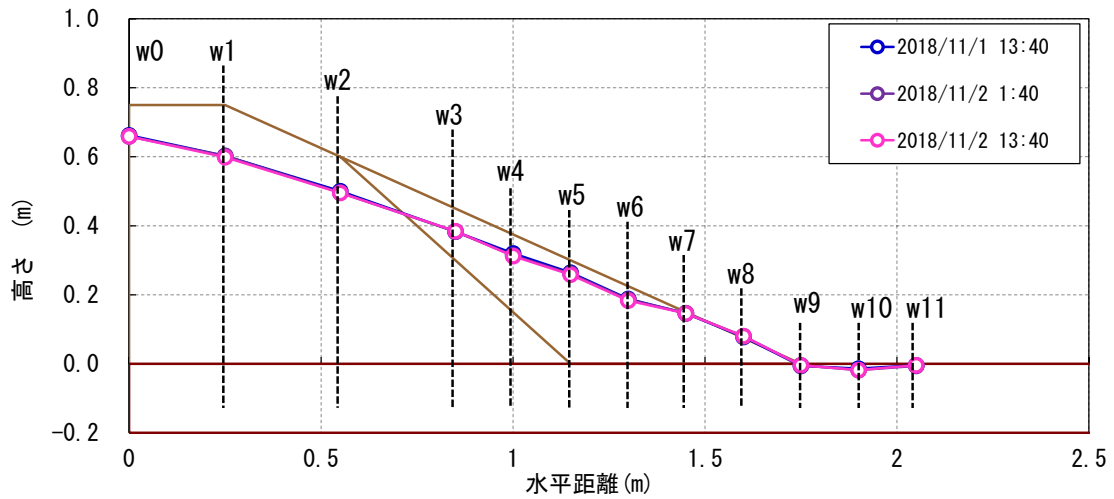
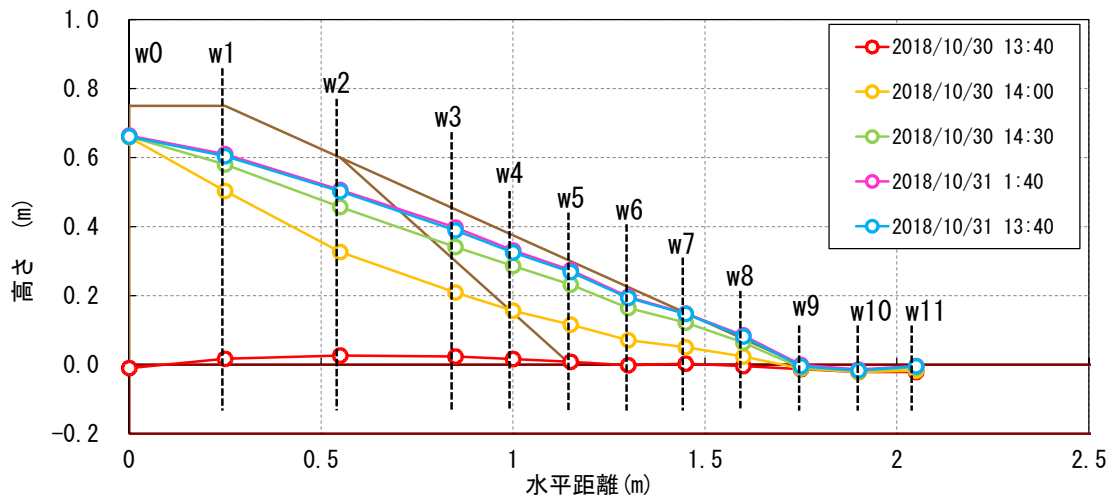


図 2.5.72 堤体内水位の横断分布の経時変化

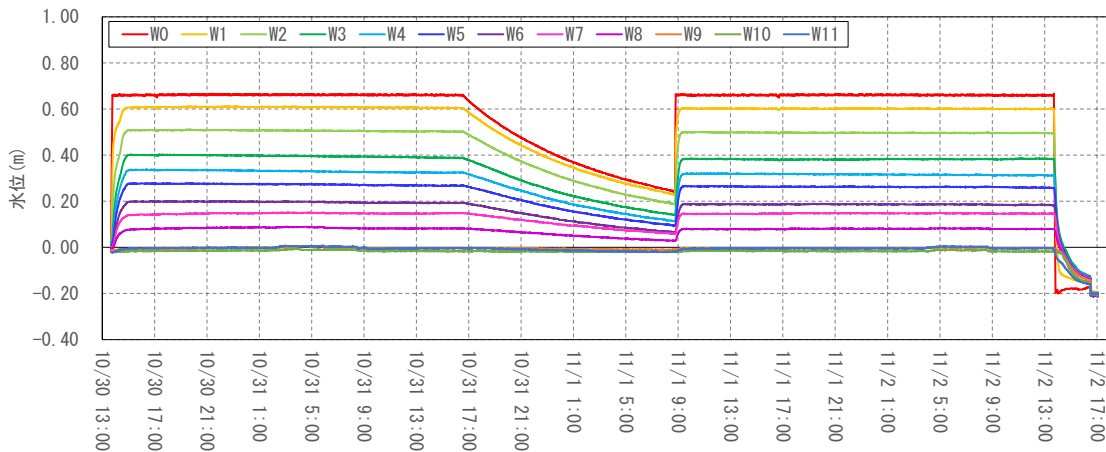
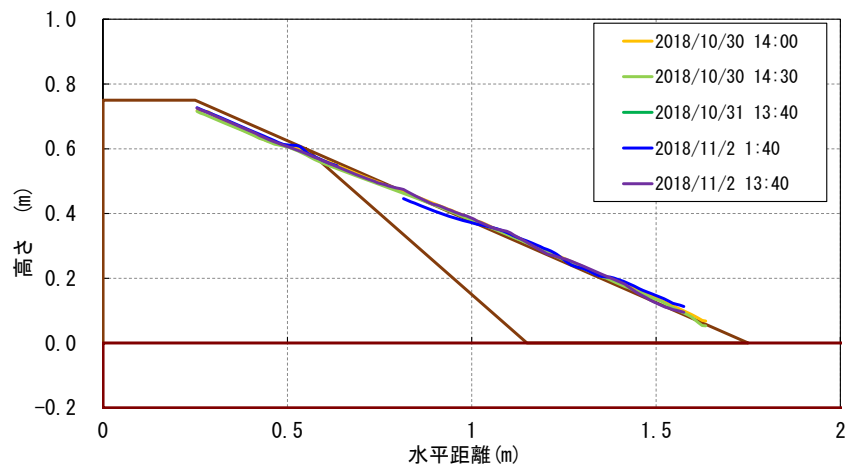


図 2.5.73 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.74 法面形状の経時変化 (A 断面より 0.5m)

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.71 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。実験開始後、給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させた後、50 分時点（10/30 14:30）で水位計 W7（法尻から水平距離 30cm）の水位が法面に達する状態となったが、特に変状は見られなかった。その後、長時間水位を保持しても変状は生じなかった。

以上の結果より、堤体内水位が法面にまで達した場合にも変状の発生が見られないことから、堤体形状および礫混合土置換範囲が同様な H30 Case1-1 と比較すると、礫混合土の碎石の比率を増すことで、せん断強度が増加していると考えられる。



図 2.5.75 実験終了時の堤体の状況（11/2 13:40）

2.5.10 H30 Case2-2

H30 Case2-2 は実験終了後の H30 Case2-1 の法面の一部を掘削し、法面を整形し、法面勾配を 1:1.8 としたケースである。礫混合土置換範囲は底幅 45cm、高さ 56cm 程度の範囲となる。H30 Case2-1 より礫混合土置換範囲を縮小し、対策効果の差について検証する。堤体内水位と変状が発生するタイミングの関係をより詳細に確認するために、給水槽の水位を堤体高の 50%から 90%まで 5%ずつ上昇させた。

(1) 実験経過

表 2.5.10 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.10 実験経過 (H30 Case2-2)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
11/7	13:30	0→50.0	給水開始 (所要時間3分程度)
	14:30	50.0→55.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	15:30	55.0→60.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	16:30	60.0→65.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	17:30	65.0→70.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
11/8	9:00	70.0→75.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	10:00	75.0→80.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	13:00	80.0→85.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	13:20	85.0	堤体法尻で一部泥濁化。その後泥濁化範囲が若干拡大
	14:00	85.0→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
		90.0	変状範囲が若干拡大。
	17:10	90.0	給水を停止。排水を実施。
11/9	9:10	0→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間6分程度)
		90.0	変状範囲が若干拡大。
	17:00	90.0	変状に目立った進行が見られないため、給水を停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、E 断面 (A 断面より 1.0m) 付近の堤体形状を示す。

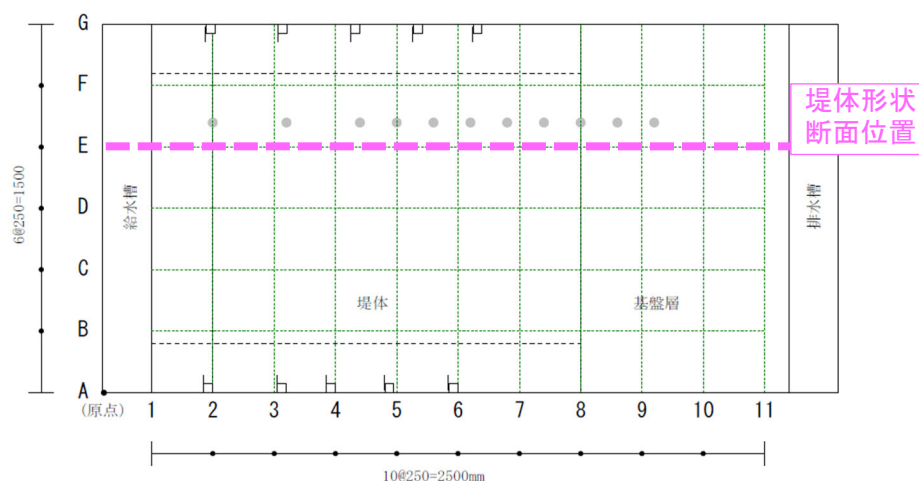


図 2.5.76 堤体形状 断面位置 (H30 Case2-2)

1) 堤体形状および堤体内水位

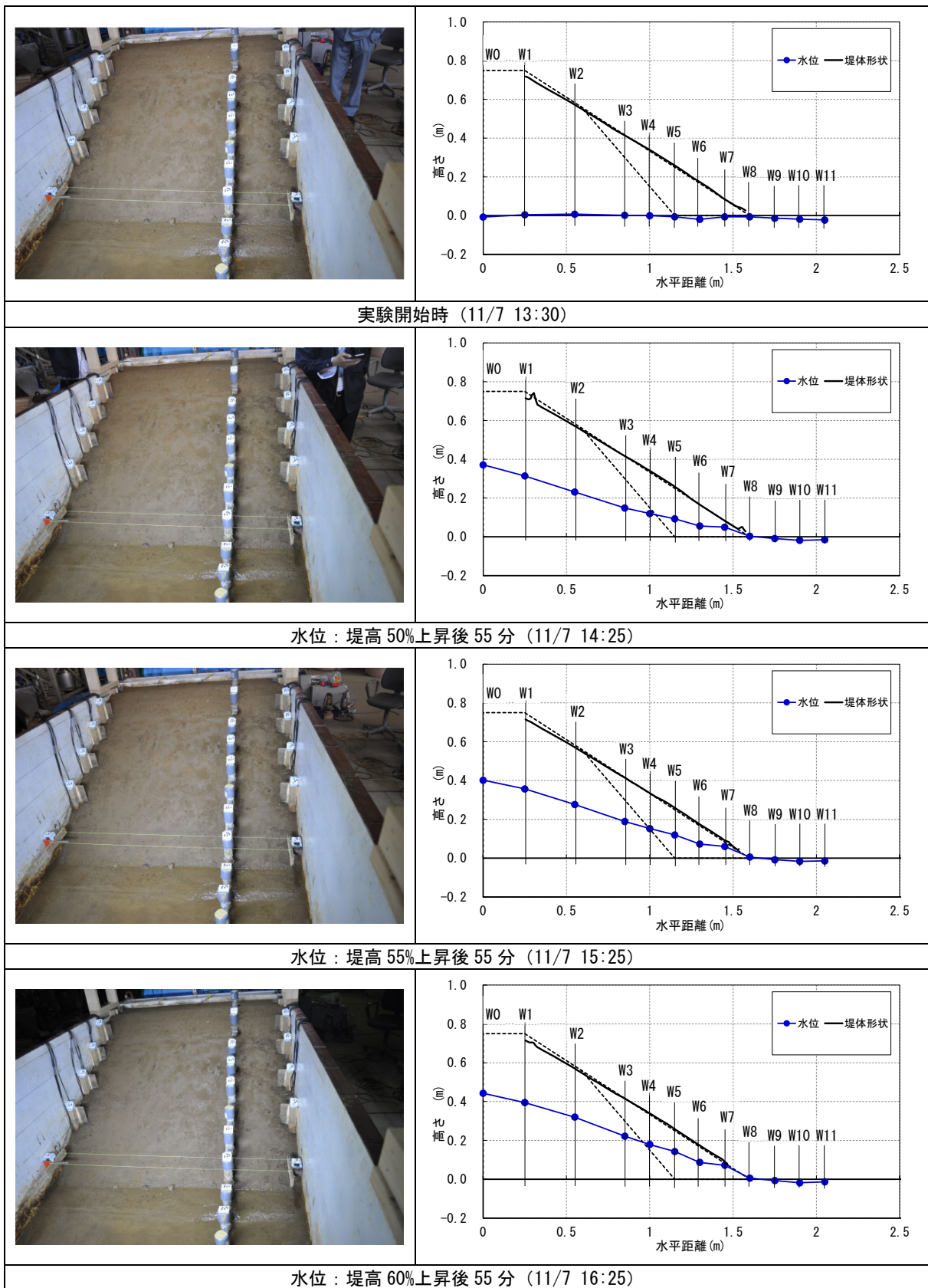
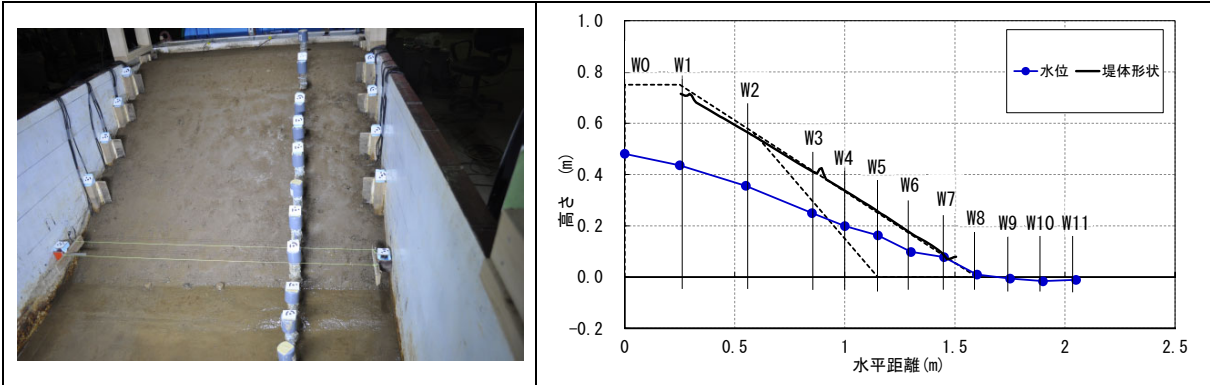
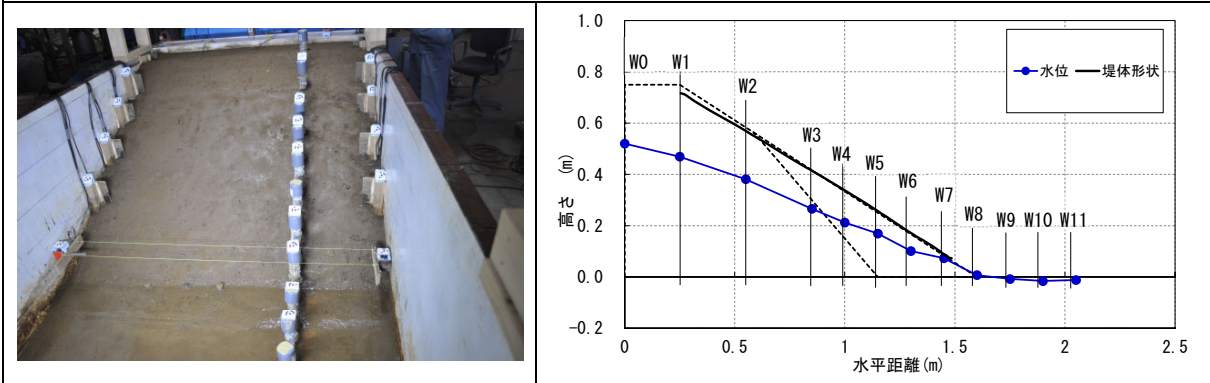


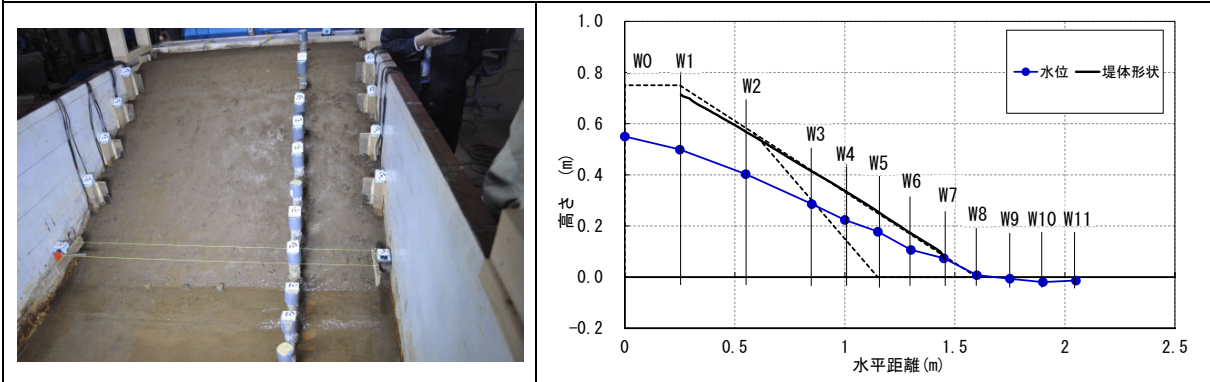
図 2.5.77 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-2) (1/4)



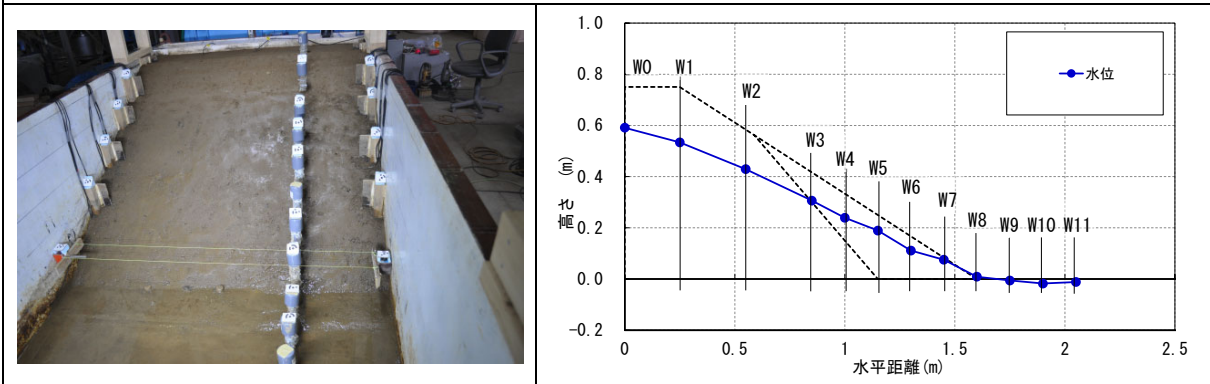
水位：堤高 65%上昇後 55 分 (11/7 17:25)



水位：堤高 70%上昇後 15 時間 25 分 (11/8 8:55)



水位：堤高 75%上昇後 55 分 (11/8 9:55)



水位：堤高 80%上昇後 2 時間 55 分 (11/8 12:55)

図 2.5.77 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-2) (2/4)

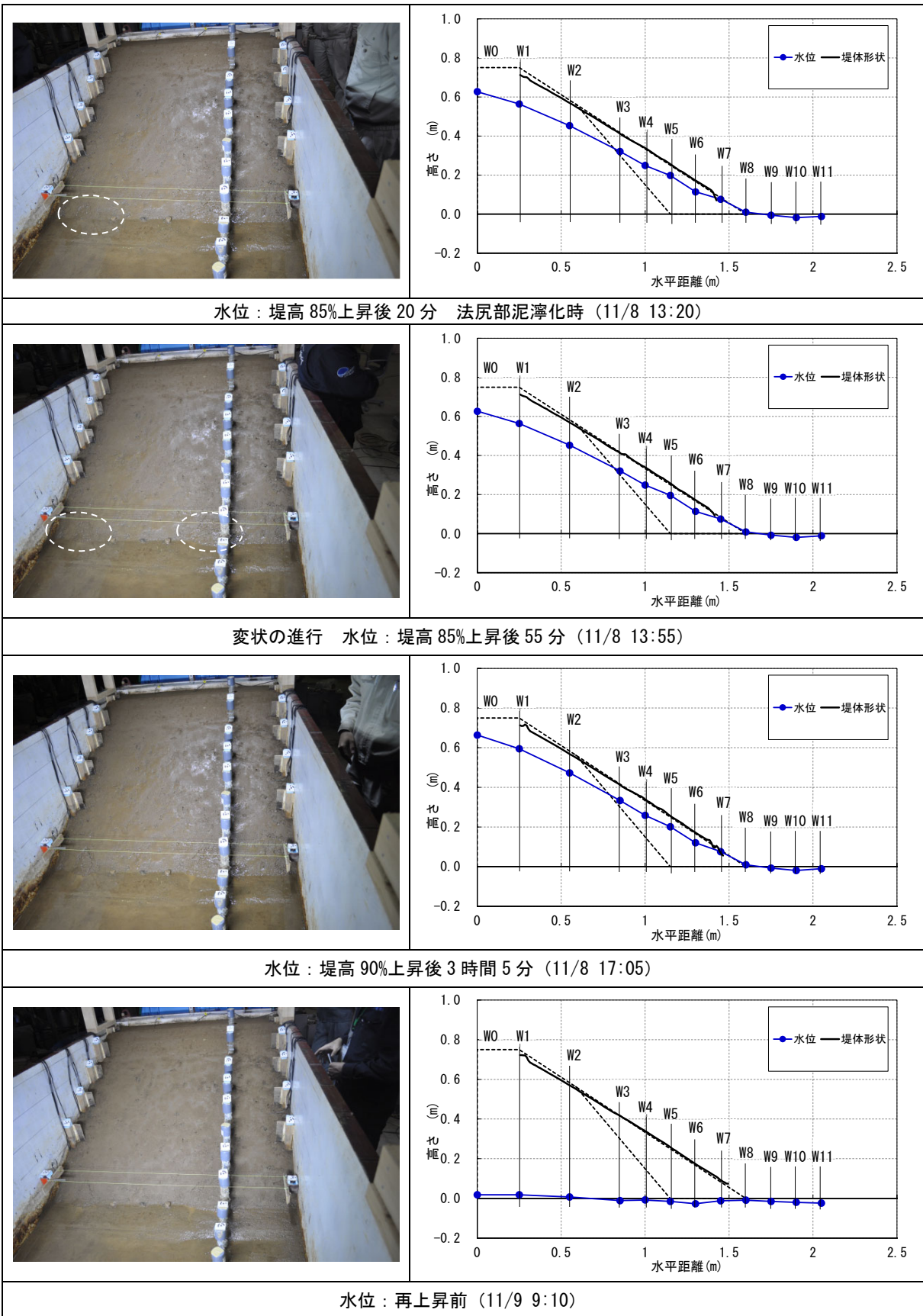
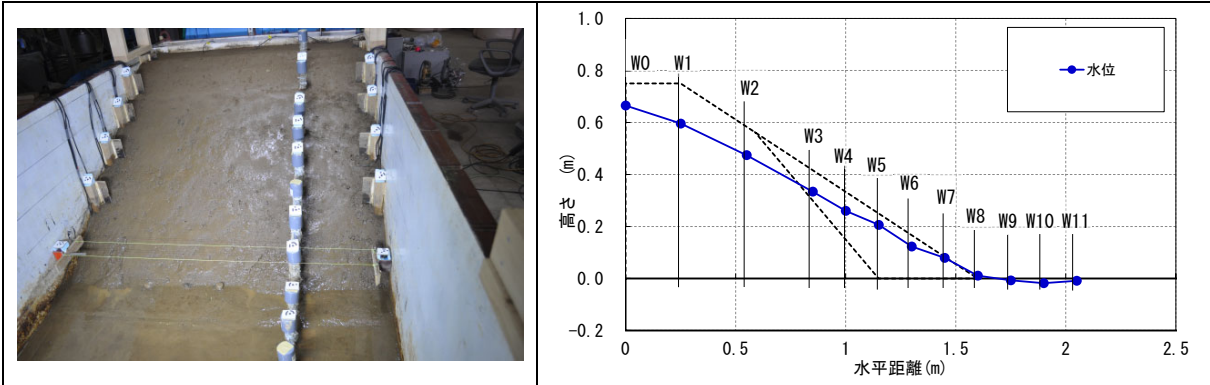
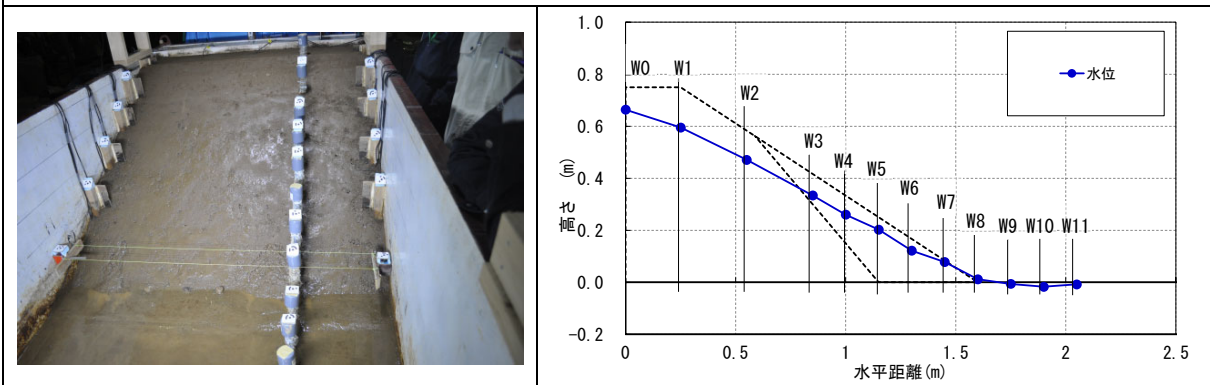


図 2.5.77 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-2) (3/4)



水位：堤高 90%上昇後 3 時間 50 分 (11/9 13:00)



水位：堤高 90%上昇後 7 時間 45 分 (11/9 16:55)

※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.77 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)

(H30 Case2-2) (4/4)

2) 堤体内水位の経時変化

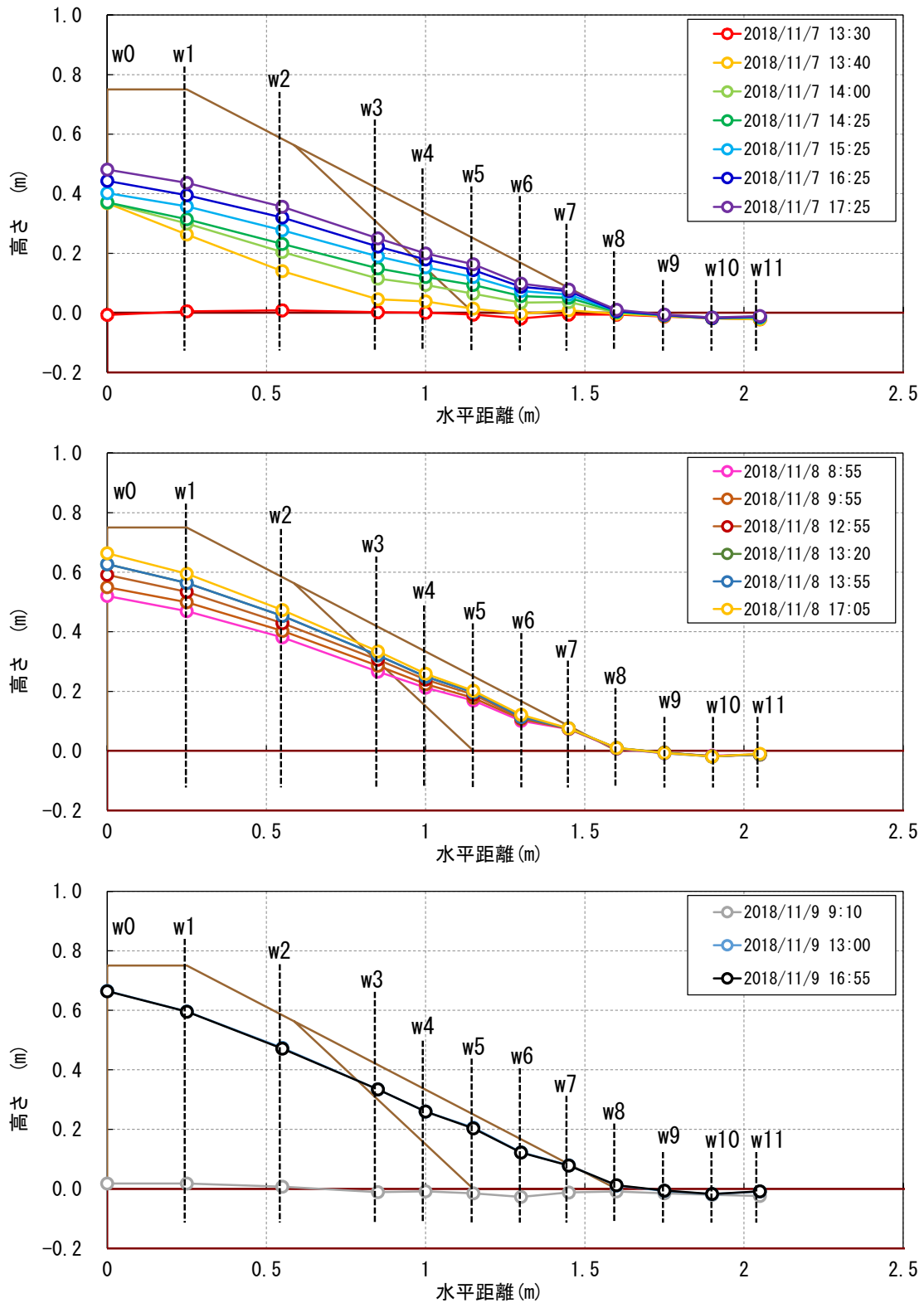
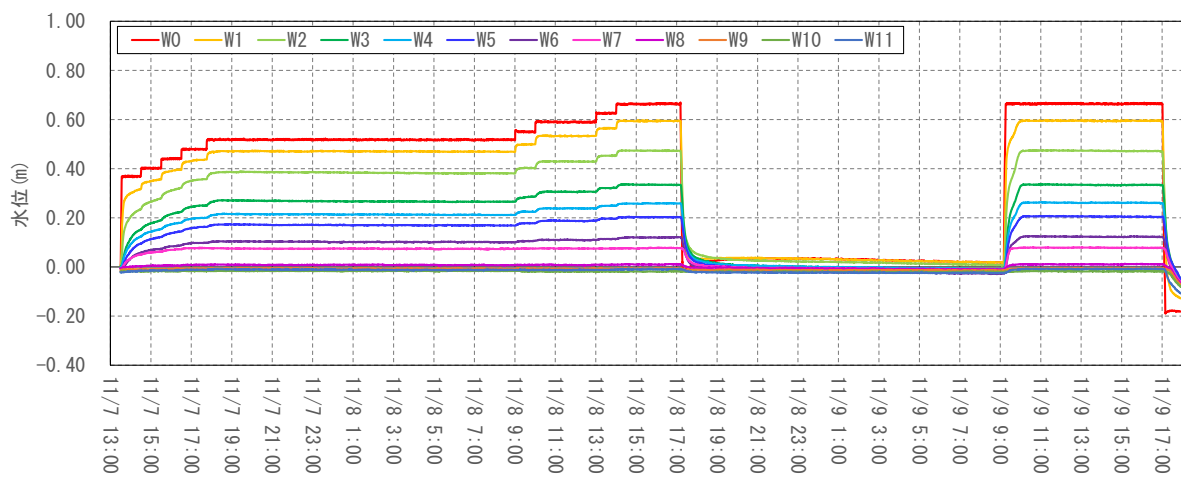


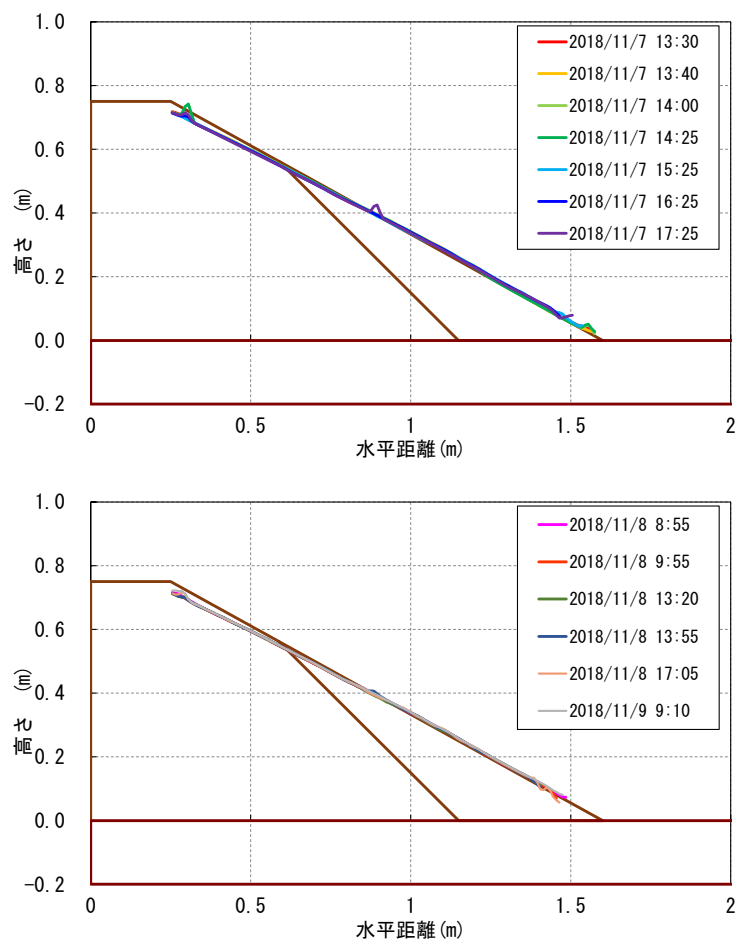
図 2.5.78 堤体内水位の横断分布の経時変化



※11/8 17:10~11/9 9:10 までは水位を低下させた状態で存置。

図 2.5.79 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.80 法面形状の経時変化 (A断面より1m)

【礫混合土の乾燥質量比】
 ・5号砕石：25.0%
 ・8号砕石：25.0%
 ・香取砂：50.0%
 ・締固め度：Dc=100%

---- 堤体作製時
 側線B
 側線C
 側線D
 側線E
 側線F

<断面図>

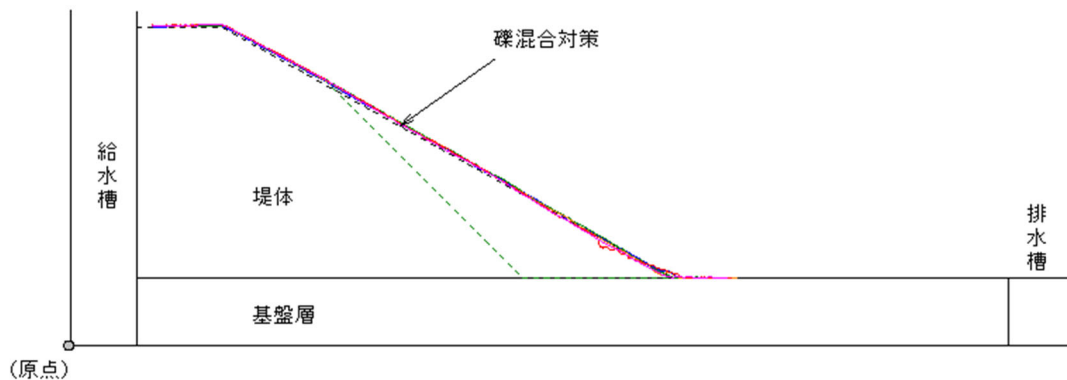


図 2.5.81 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

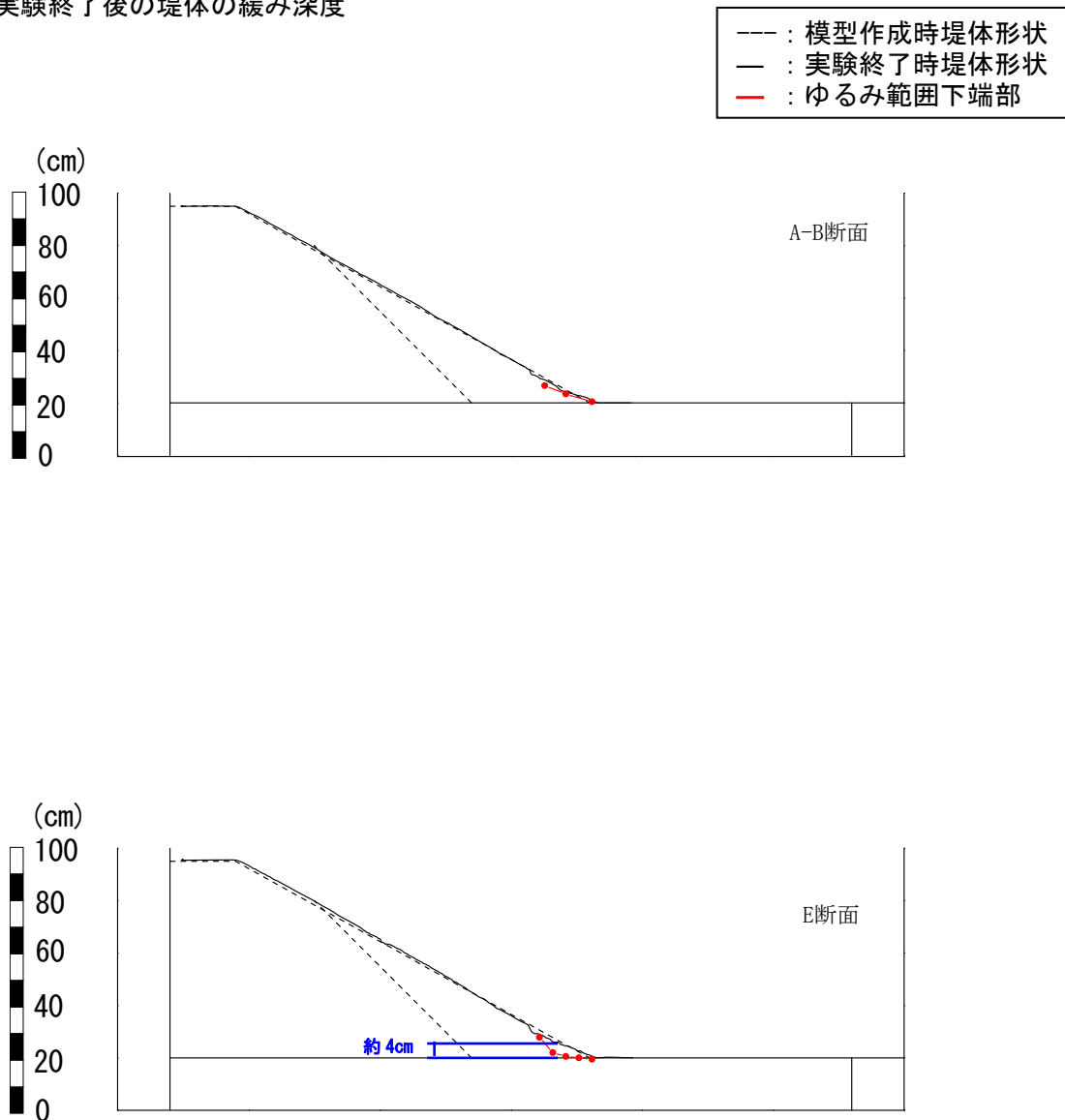


図 2.5.82 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.77 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.83 に泥濁化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。給水槽の水位を 85%に上昇させるまで、特に変状は見られなかったが、給水槽の水位を堤防高の 85%に上昇させて 20 分が経過した際 (11/8 13:20) に、法尻の一部で泥濁化が確認された。その際の堤体内の水位分布は、水位計 W7 (法尻から水平距離 15cm) の水位が法面に達している状態であった。その後、給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させ実験を続行し、堤体内の水位が若干上昇し、給水槽水位を 90%に上昇させてから 3 時間が経過した際 (11/8 17:05) に水位計 W6 (法尻から水平距離 30cm) の水位が法面から 5cm 程度の深さまで上昇したが、変状自体は法尻付近に留まっていた。最終的な変状の範囲は法肩より水平距離で 110cm 程度の位置までであった。

図 2.5.82 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。緩みの深さは、最大でも法面から 4cm 程度と、比較的浅い範囲に留まっていた。

以上の結果より、H30 Case2-1 と比較すると、法面勾配が急になることによって安定性は低下していると考えられる。しかし、堤体形状および礫混合土置換範囲が同様な H30 Case1-2 と比較すると、堤体内水位が法面から 5cm 程度の深さまで上昇しても変状の進行が見られなかったことから、礫混合土の砕石の比率を増すことで、せん断強度が増加していると考えられる。

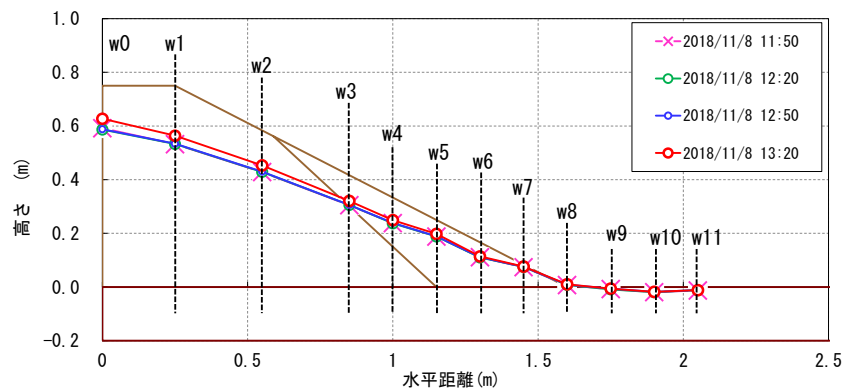


図 2.5.83 泥濁化発生時点までの堤体内水位変動

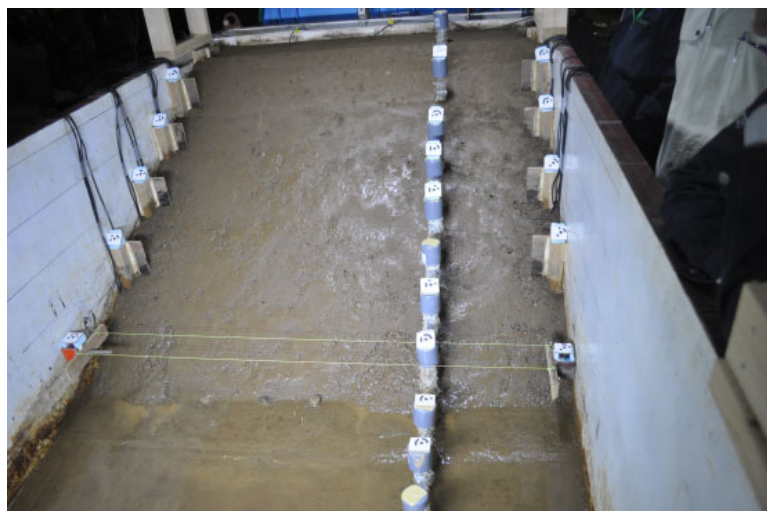


図 2.5.84 実験終了時の堤体の状況 (11/9 16:55)

2.5.11 H30 Case2-3

H30 Case2-3 は実験終了後の H30 Case2-2 の法面の一部を掘削し、法面を整形し、法面勾配を 1:1.6 としたケースである。礫混合土置換範囲は底幅 30cm、高さ 50cm 程度の範囲となる。H30 Case2-2 より礫混合土置換範囲を縮小し、対策効果の差について検証する。堤体内水位と変状が発生するタイミングの関係をより詳細に確認するために、給水槽の水位を堤体高の 50%から 95%まで 5%ずつ上昇させた。

(1) 実験経過

表 2.5.11 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.11 実験経過 (H30 Case2-3)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
11/20	9:10	0→50.0	給水開始 (所要時間4分程度)
	10:10	50.0→55.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	11:10	55.0→60.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	13:10	60.0→65.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	14:10	65.0→70.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	15:10	70.0→75.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	16:30	75.0→60.0	給水を停止。排水により水位低下。(所要時間1分程度)
11/21	8:30	60.0→75.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	9:00	75.0→80.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	10:00	80.0→85.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	11:00	85.0→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	17:00	90.0→60.0	給水を停止。排水により水位低下。(所要時間1分程度)
11/22	9:00	60.0→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間3分程度)
	10:12	90.0	堤体法尻の一部が泥濁化。その後変状範囲は殆ど変化なし。
	15:00	90.0→95.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	16:08	95.0	泥濁化箇所 で表層すべりが発生。その後変状範囲は殆ど変化なし。
	17:00	95.0	変状に目立った進行が見られないため、給水を停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、E 断面 (A 断面より 1m) 付近の堤体形状を示す。

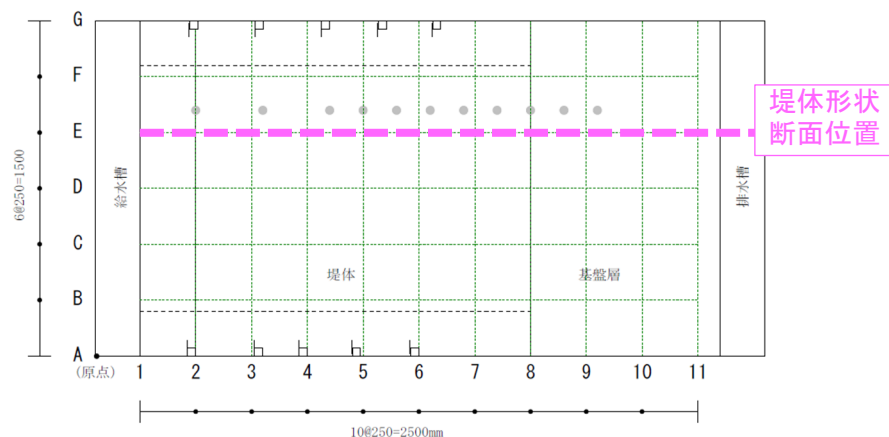


図 2.5.85 堤体形状 断面位置 (H30 Case2-3)

1) 堤体形状および堤体内水位

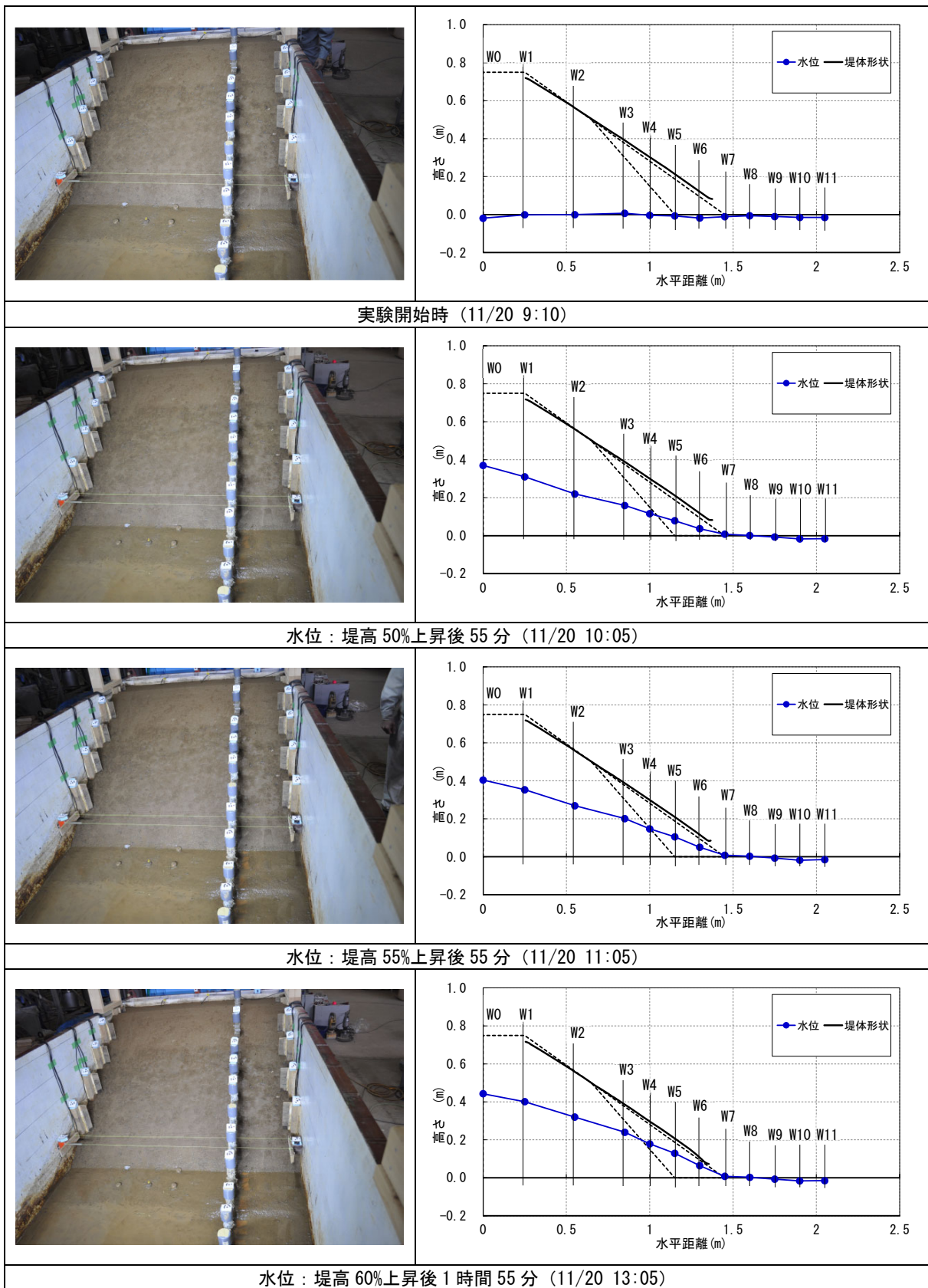


図 2.5.86 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-3) (1/5)

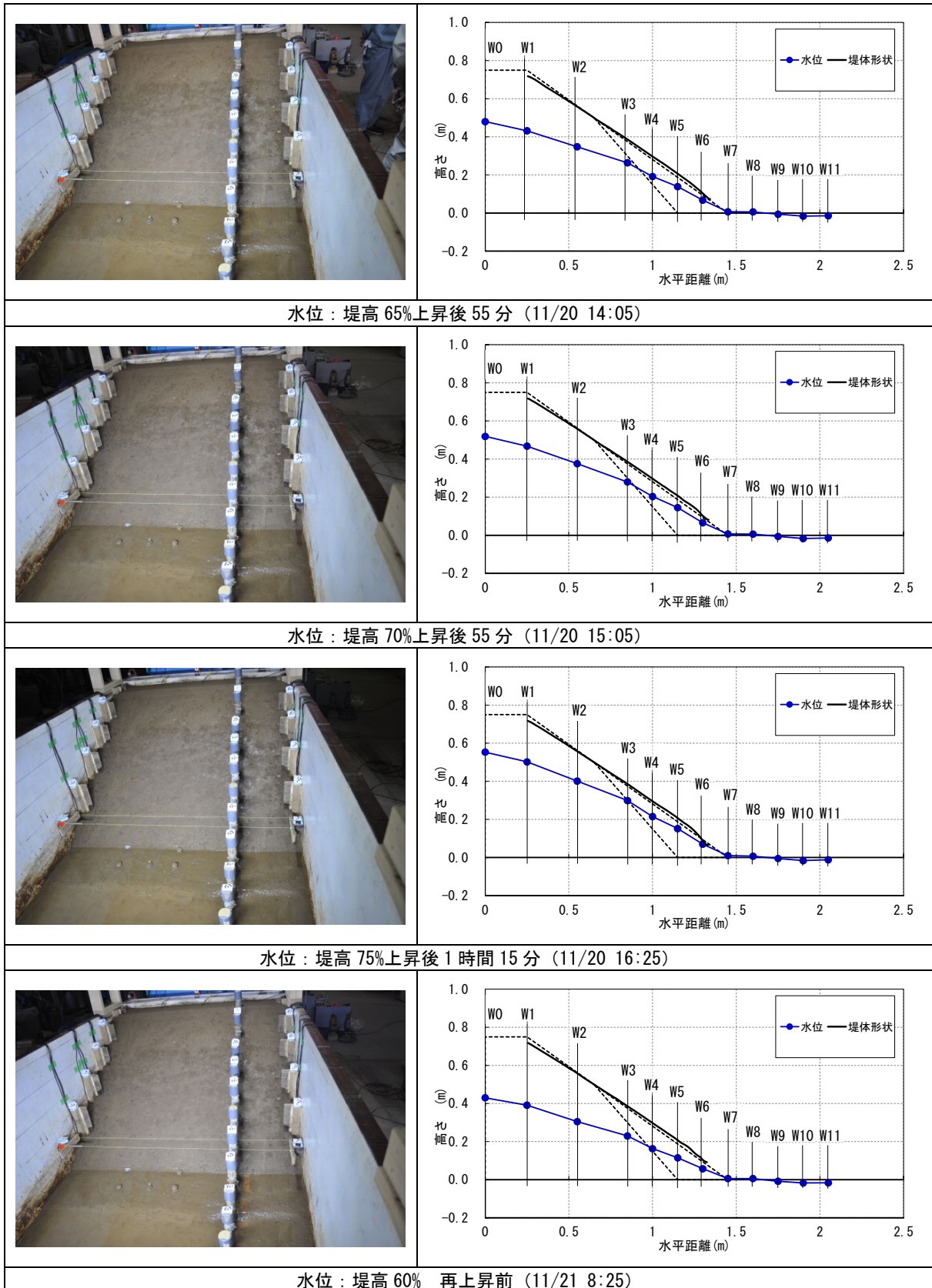


図 2.5.86 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-3) (2/5)

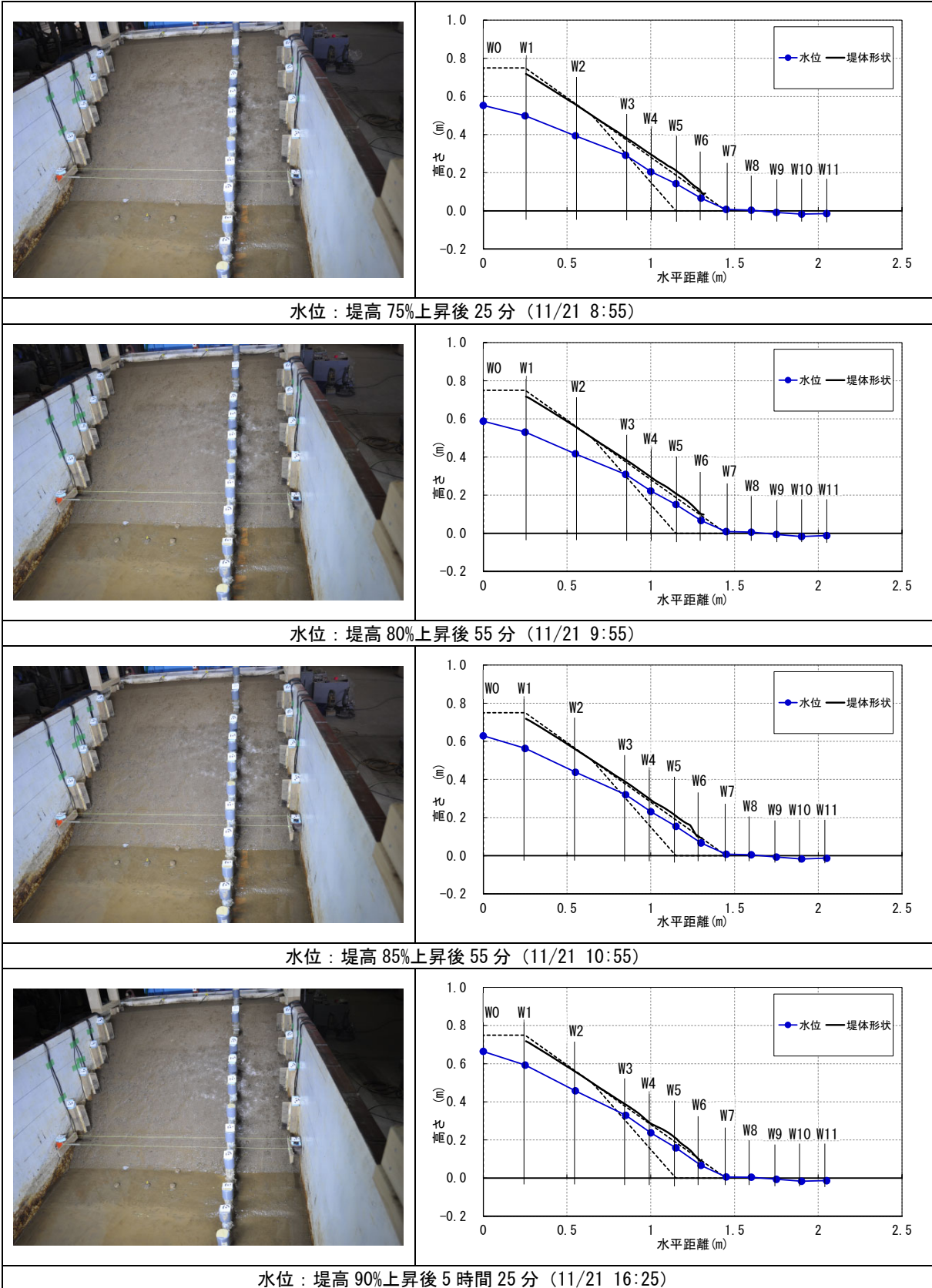


図 2.5.86 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-3) (3/5)

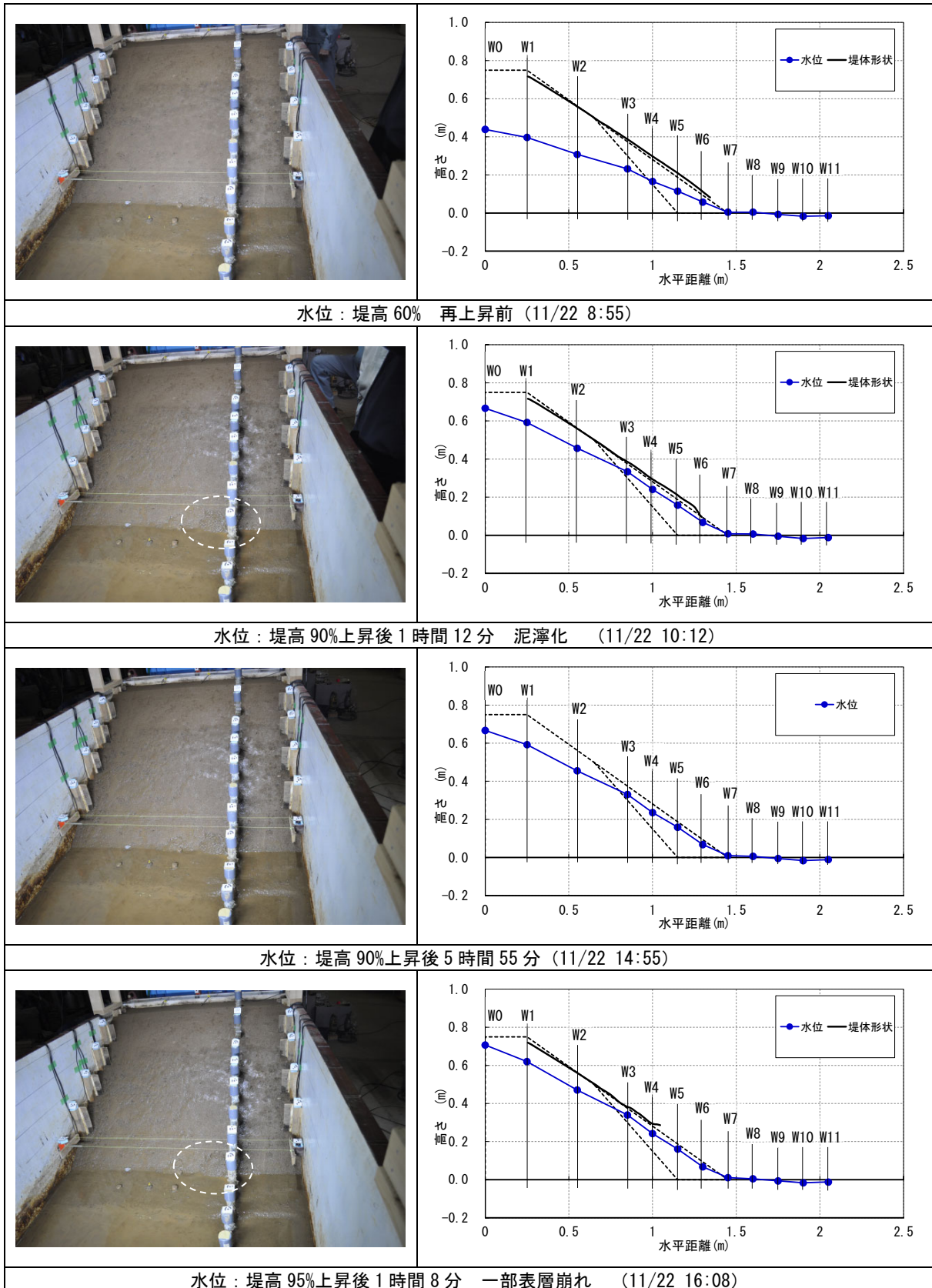
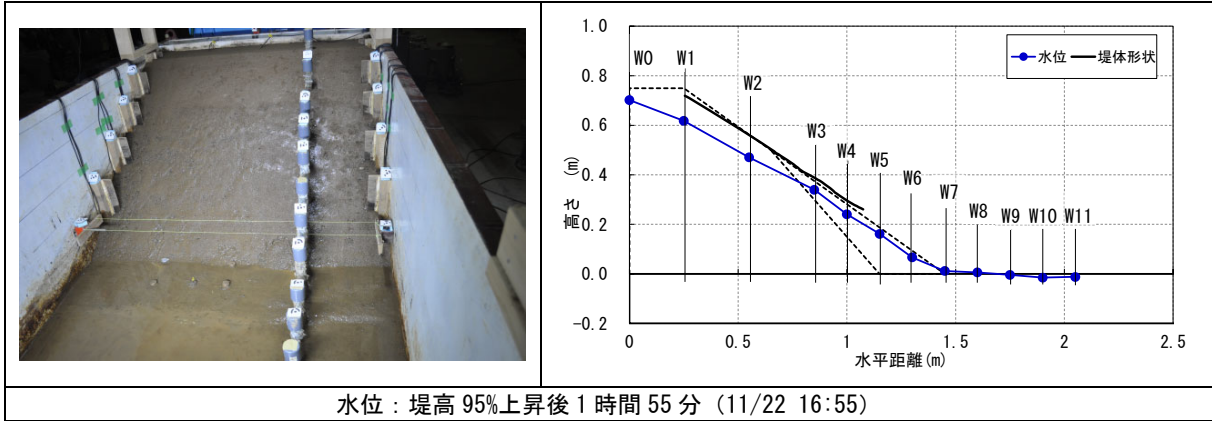


図 2.5.86 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case2-3) (4/5)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.86 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 1m) および堤体内水位 (水位計)

(H30 Case2-3) (5/5)

2) 堤体内水位の経時変化

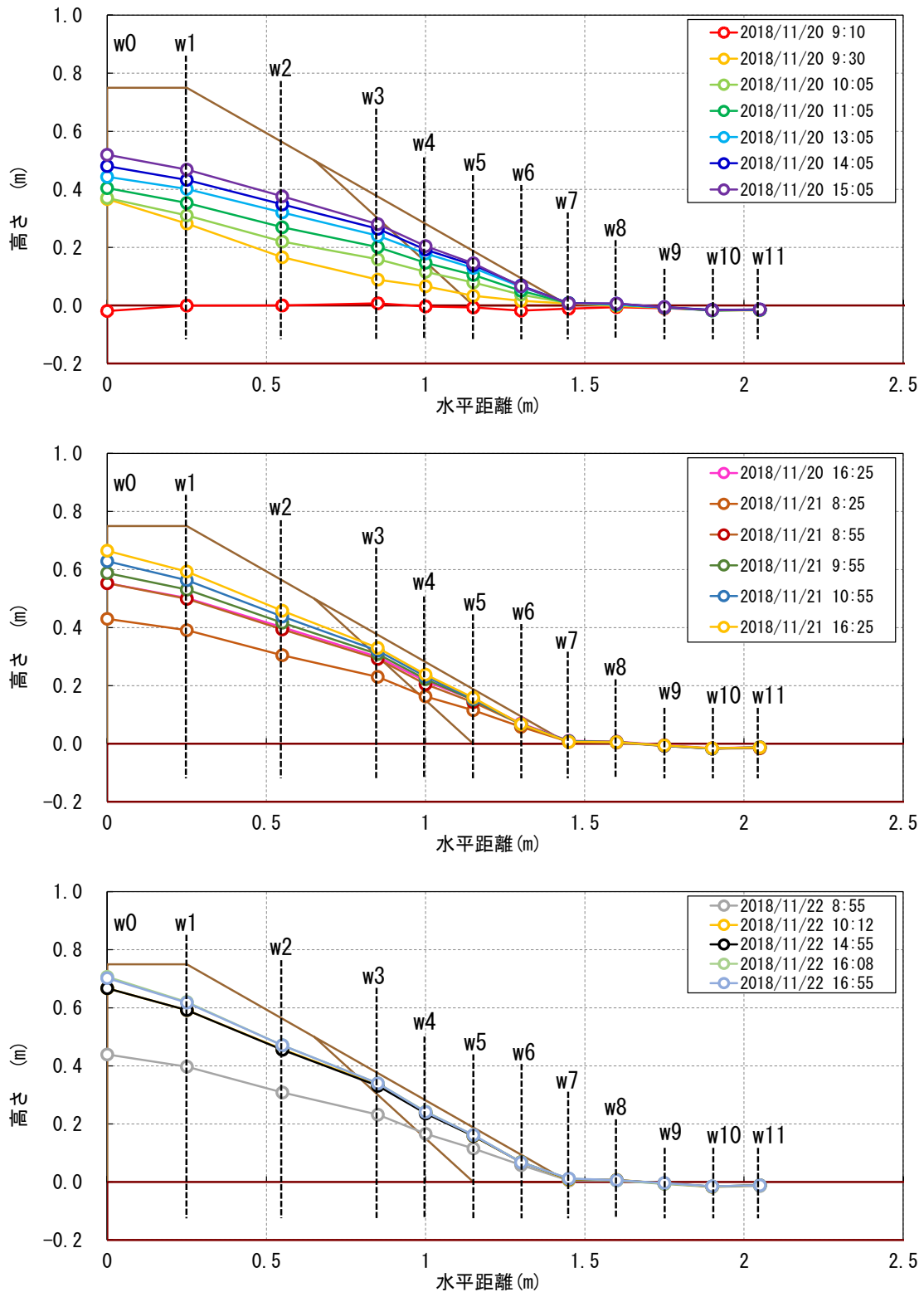


図 2.5.87 堤体内水位の横断分布の経時変化

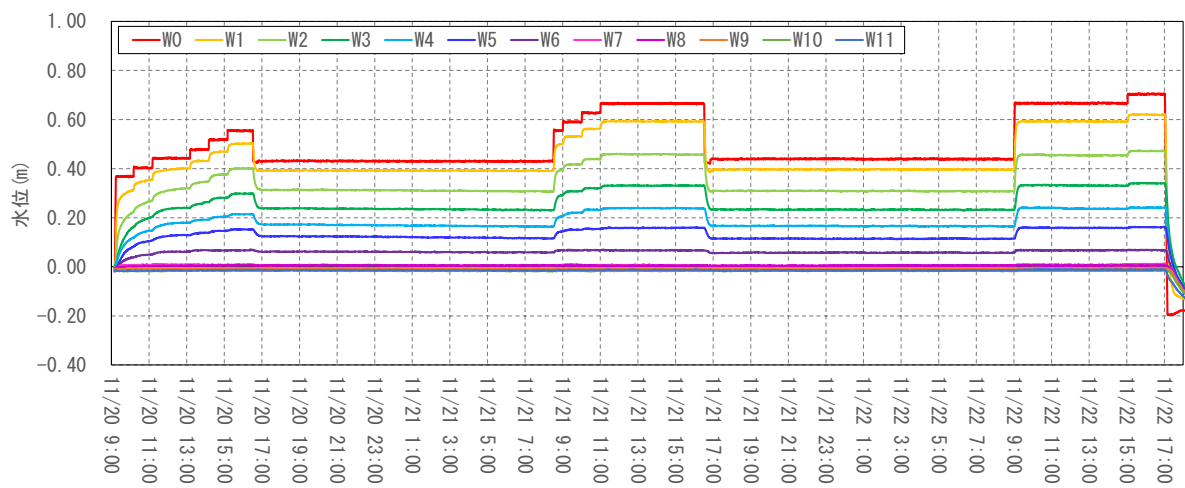
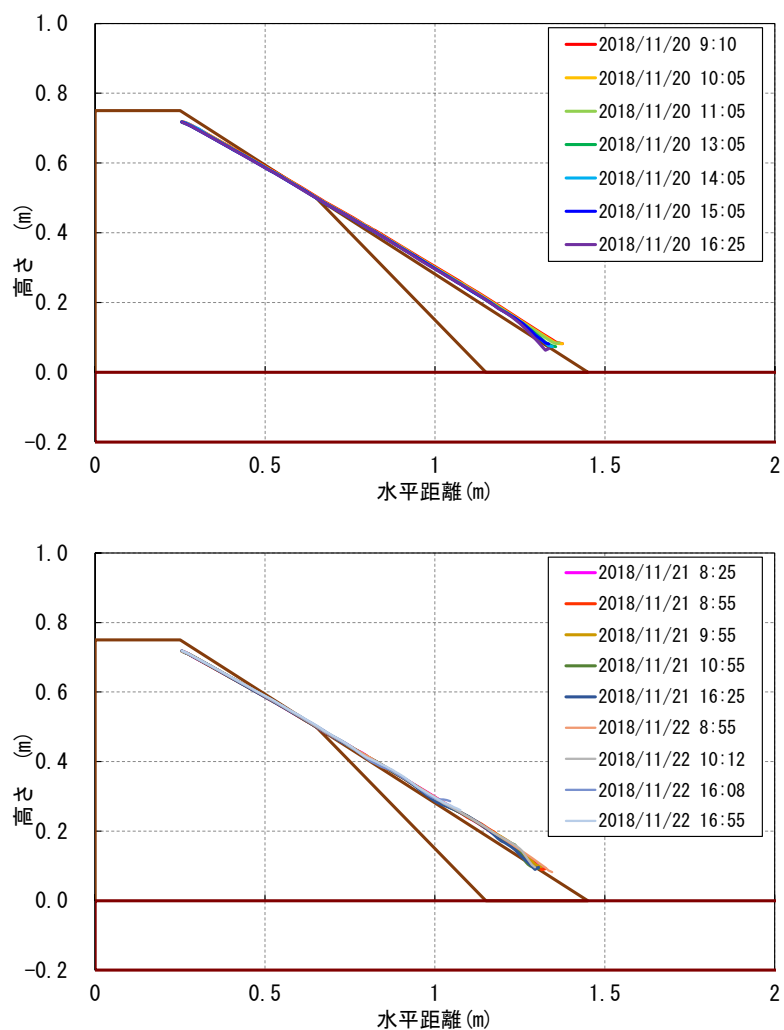


図 2.5.88 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.89 法面形状の経時変化 (A断面より1m)

【礫混合土の乾燥質量比】
 ・5号砕石：25.0%
 ・6号砕石：25.0%
 ・香取砂：50.0%
 ・締固め度： $D_c=100\%$

--- 堤体作製時
 --- 側線B
 --- 側線C
 --- 側線D
 --- 側線E
 --- 側線F

<断面図>

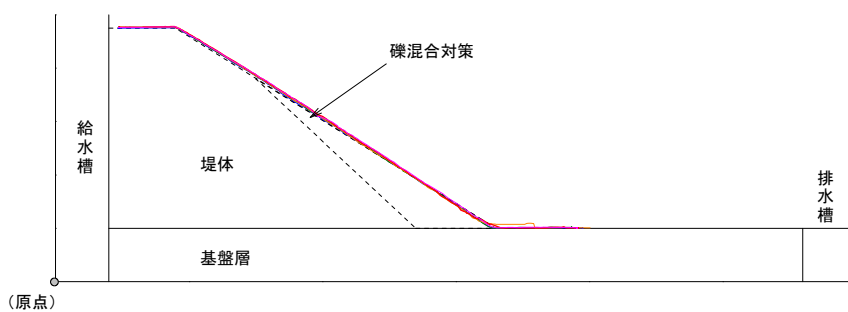


図 2.5.90 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

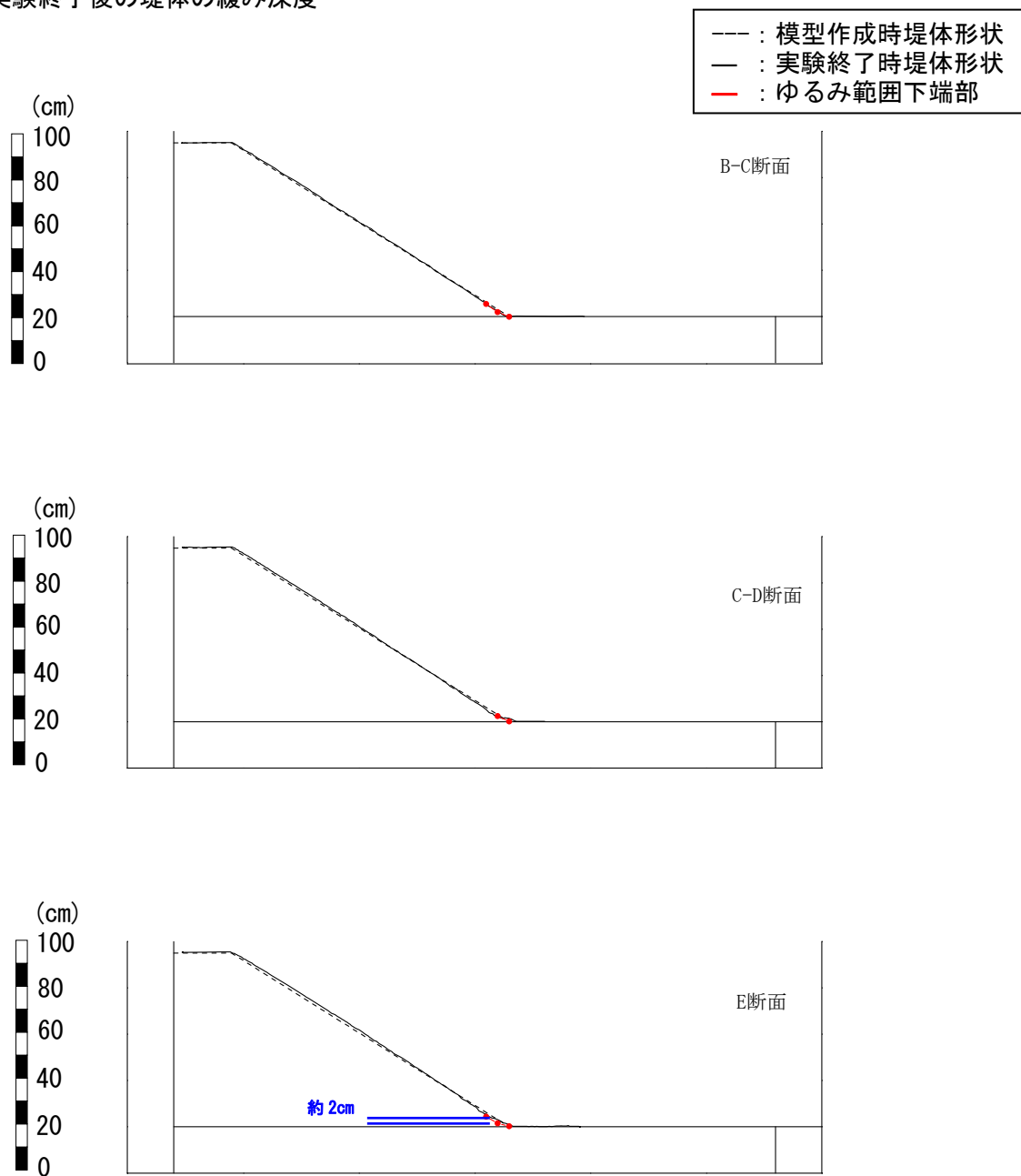


図 2.5.91 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.86 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.92 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。結果として、実験 2 日目（11/21）に給水槽水位を堤体高の 90%に上昇させても変状の発生は確認されなかった。2 日目の実験が終了した後に、一度給水槽内の水を排水し、実験 3 日目（11/22）に再度給水槽水位を堤体高の 90%まで上昇させた後 1 時間 12 分程度が経過した際（11/22 10:12）に法尻の一部が泥濘化した。その際の堤体内の水位分布としては水位計 W5（法尻から水平距離 30cm）、W6（法尻から水平距離 15cm）での水位がほぼ法面まで上昇している状態であった。その後、給水槽水位を堤体高の 95%まで上昇させ、法尻から水位計 W3（法尻から水平距離 60cm）までの水位がほぼ法面に達した際に、泥濘化部範囲の上端部付近で小規模なすべり破壊が発生した。最終的な変状発生範囲は法肩より 110cm 程度の位置までの法尻付近のみに留まっている。

図 2.5.91 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。緩みの範囲は法面から最大でも 2cm 程度と、法尻部の極めて浅い範囲に留まっている事が分かる。

以上の結果より、H30 Case2-1 と比較すると、法面が急勾配になることで、安定性が低下し若干変状が発生したことが分かる。しかし、H30 Case1-2 と比較すると、本ケースの方が給水槽水位が高く、法面が急勾配であるにも関わらず、礫混合土置換範囲がほぼ飽和状態となるような場合であっても変状発生範囲は法尻付近に留まっていることから、礫混合土の砕石の比率を増すことで、せん断強度が増加していると考えられる。

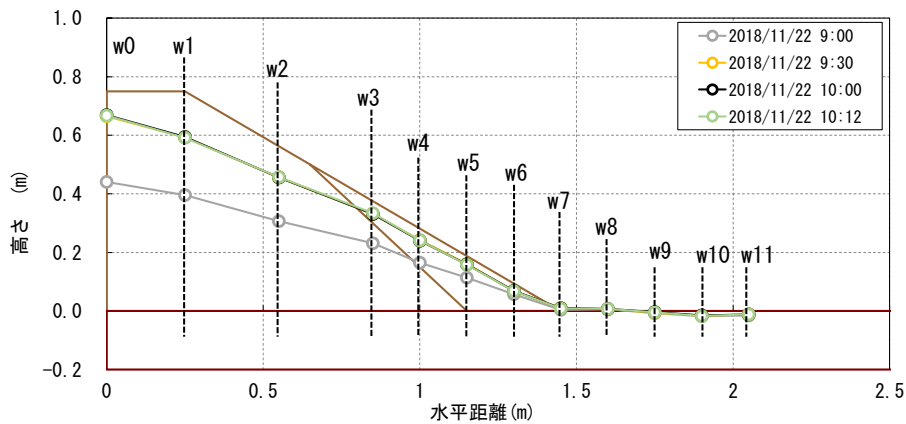


図 2.5.92 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動

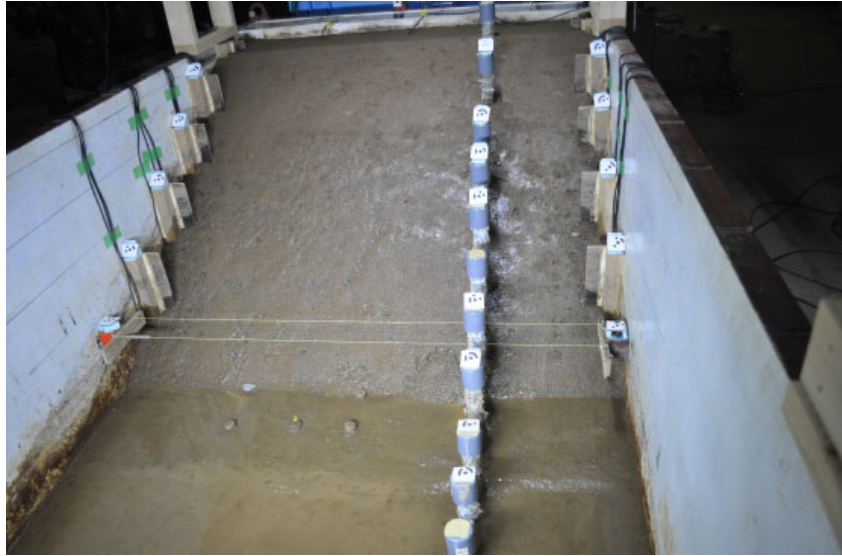


図 2.5.93 実験終了時の堤体の状況 (11/22 16:55)

2.5.12 H30 Case3-1

H30 Case3-1 は堤体の法尻部の底幅 60cm、高さ 60cm の範囲を礫混合土で置き換えた場合のケースである。なお、礫混合土は香取砂：5号碎石：6号碎石=2:1:1の比率で作製し、模型作製時の礫混合土置換範囲の締固め度は90%とした。H30 Case2-1 と礫混合土の締固め度を変化させ、対策効果の差について検証する。

(1) 実験経過

表 2.5.12 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.12 実験経過 (H30 Case3-1)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/4	9:00	0→90.0	給水開始 (所要時間7分程度)
	10:14	90.0	堤体法尻の一部が泥濁化。
		90.0	変状範囲が法肩に向けて拡大。
	16:10	90.0	変状に目立った進行が見られないため、給水を停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A断面より0.8m付近の堤体形状を示す。

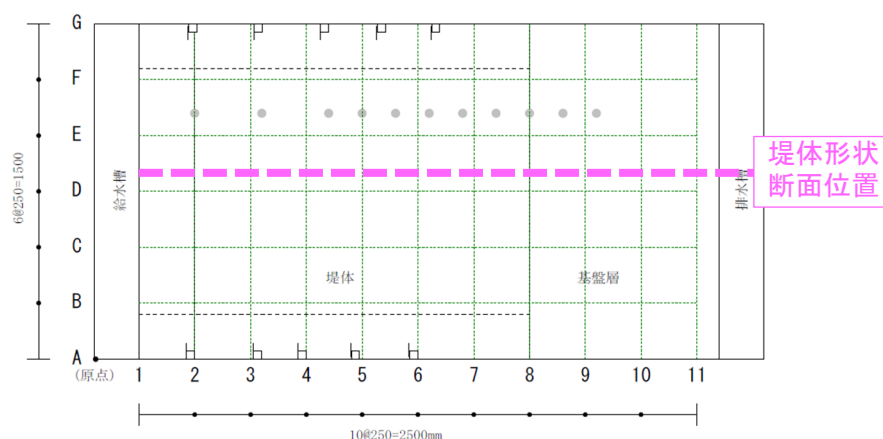


図 2.5.94 堤体形状 断面位置 (H30 Case3-1)

1) 堤体形状および堤体内水位

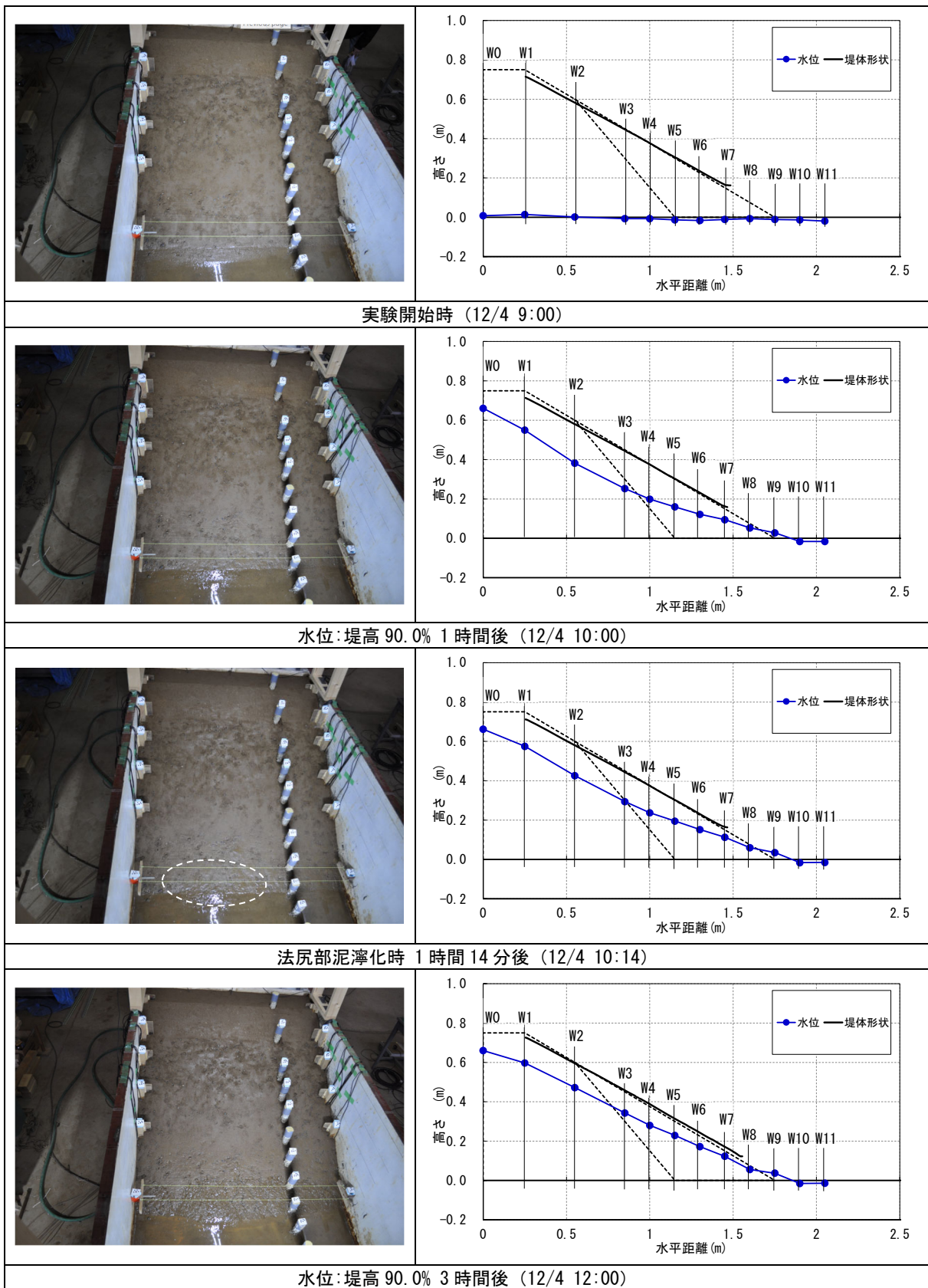
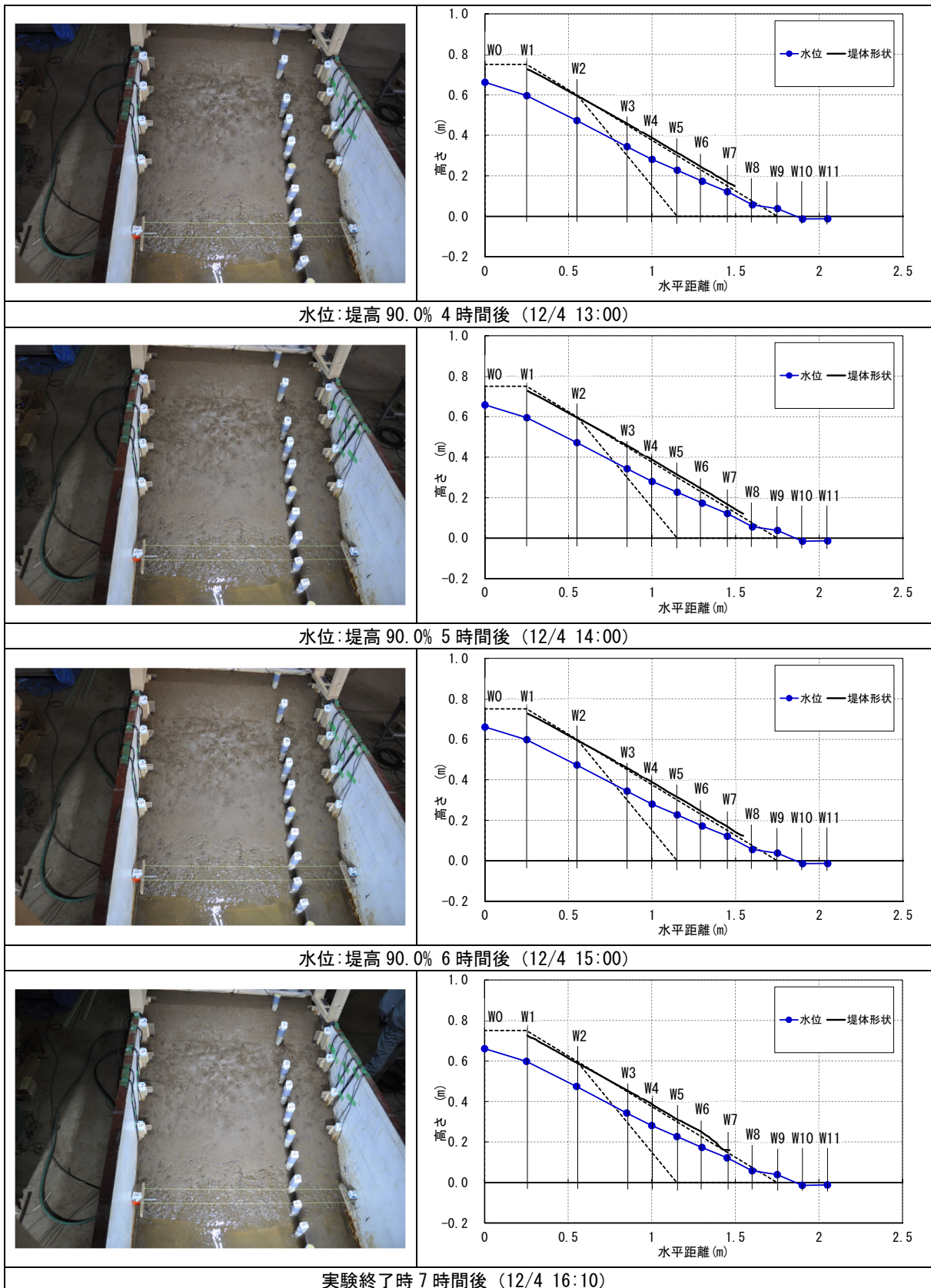


図 2.5.95 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.8m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-1) (1/2)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.95 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.8m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-1) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

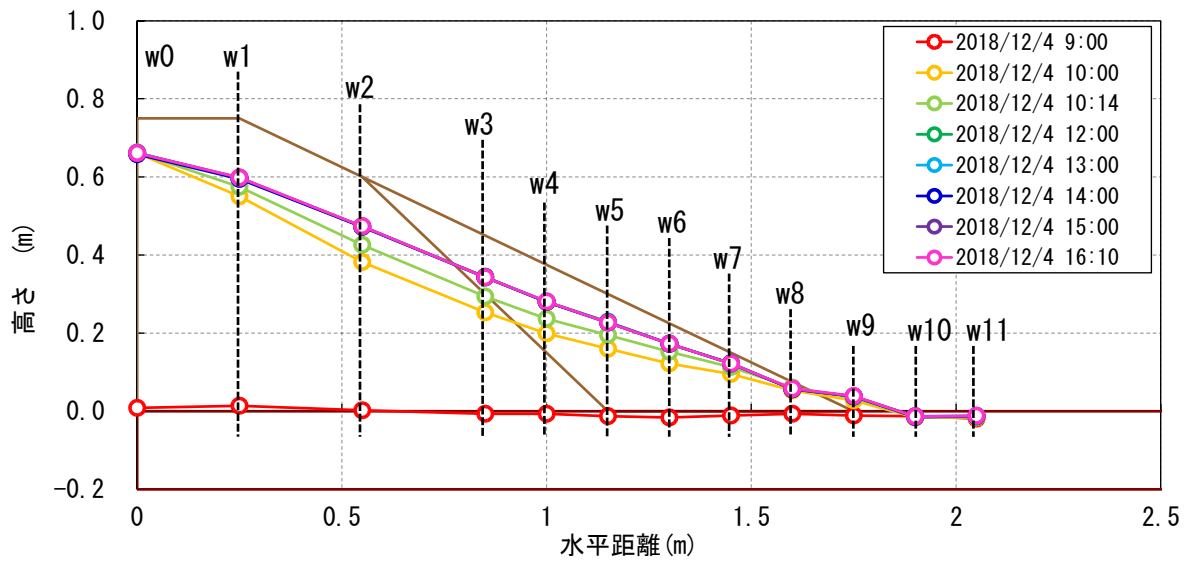


図 2.5.96 堤体内水位の横断分布の経時変化

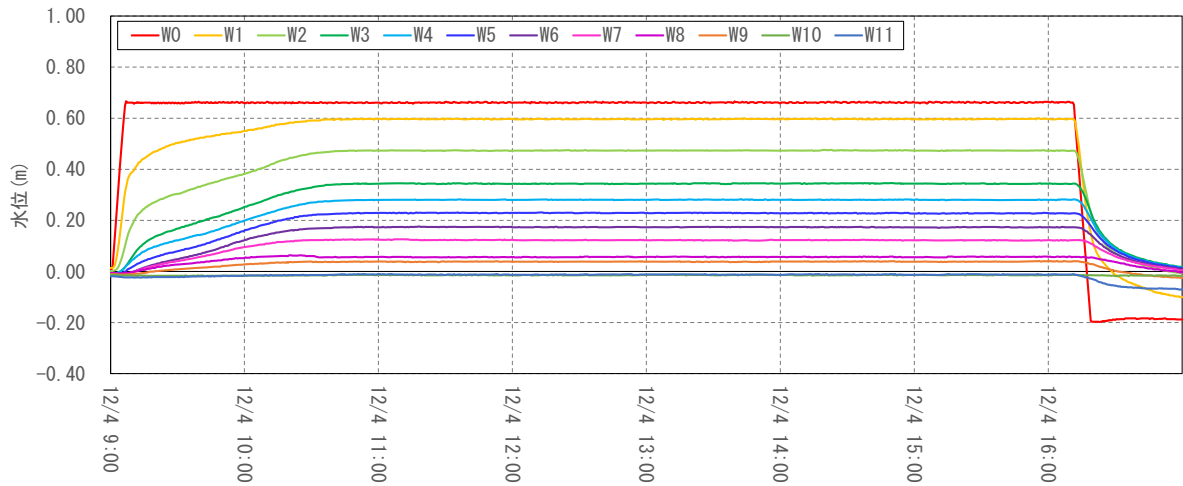
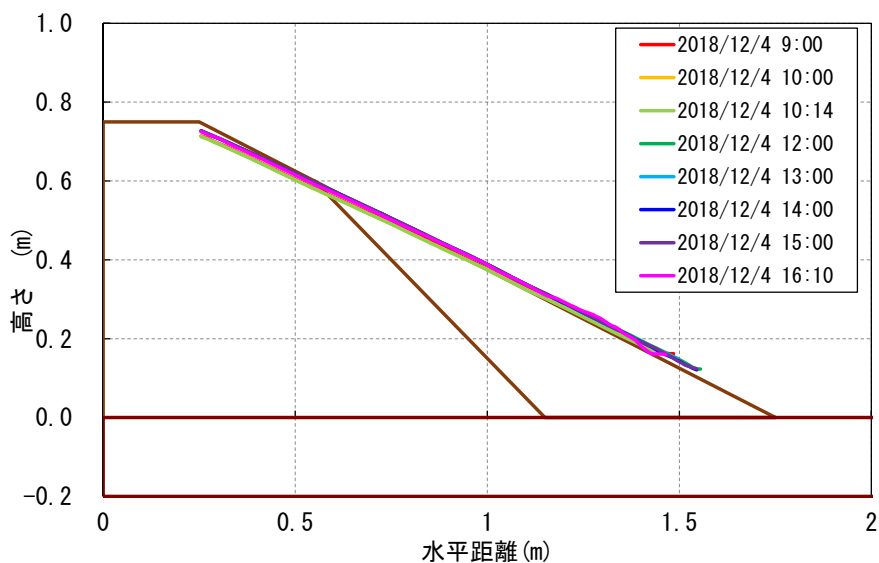


図 2.5.97 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.98 法面形状の経時変化 (A 断面より 0.8m)

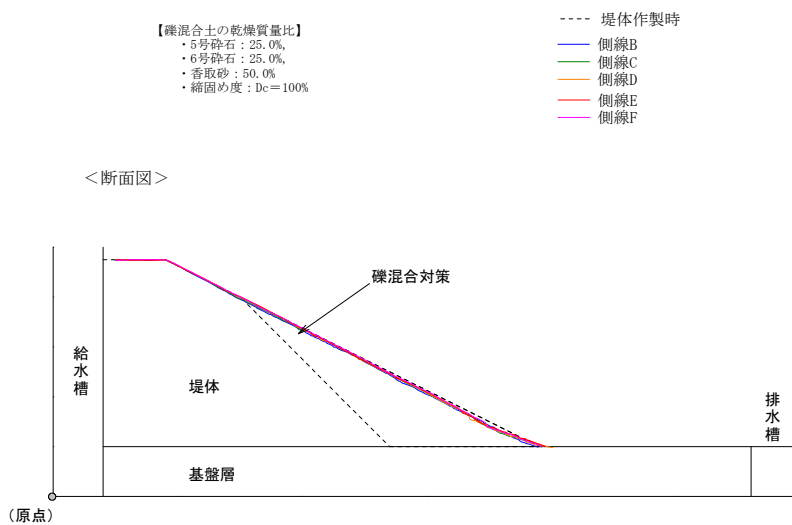


図 2.5.99 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

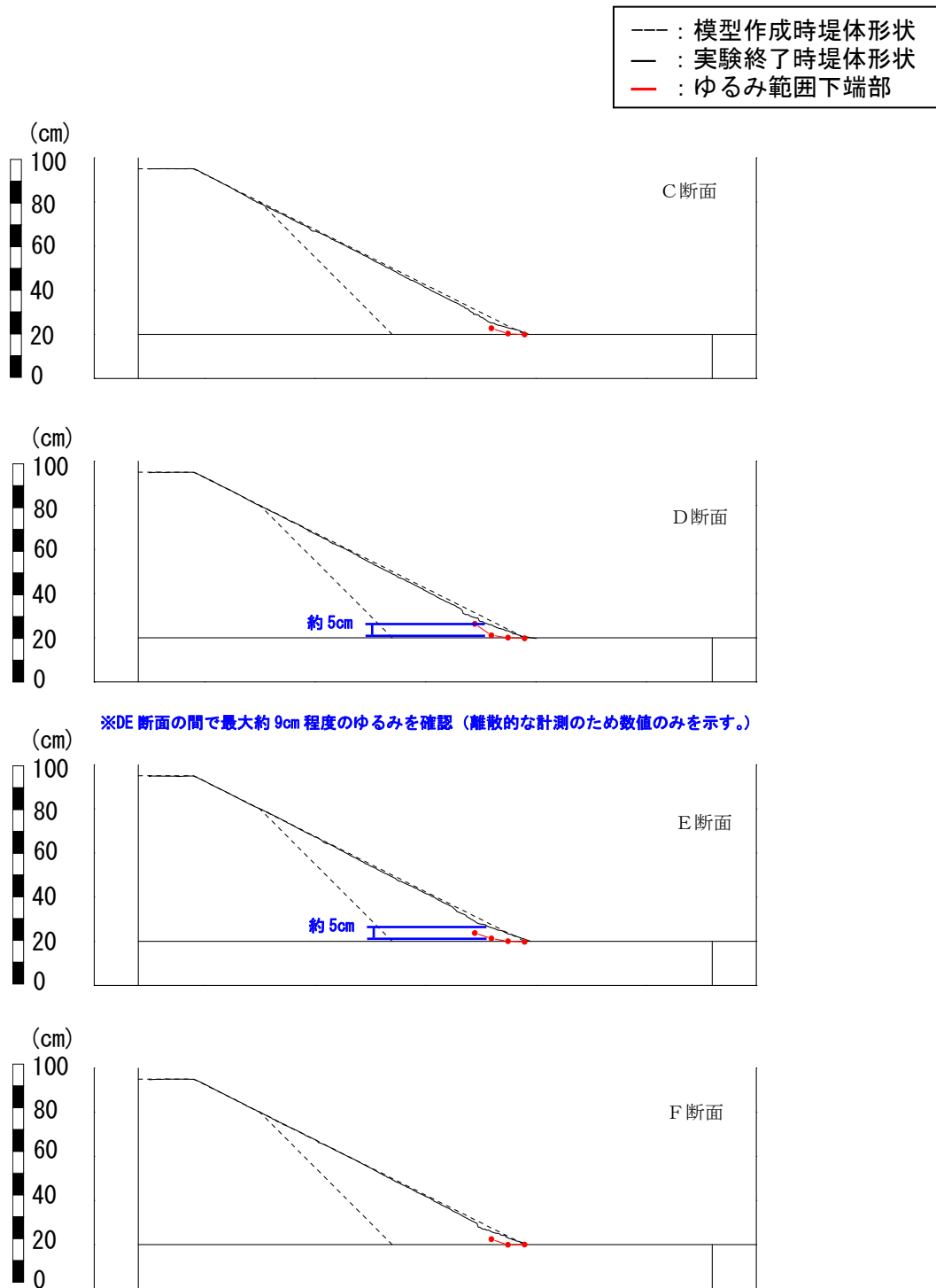


図 2.5.100 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.95 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.101 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。実験開始後、堤防高の 90%の高さまで給水槽の水位を上昇させた後、1 時間 14 分程度 (12/4 10:14) で、法尻部の泥濘化が確認された。その際の堤体内の水位分布としては水位計 W8 (法尻から 15cm) における水位が法面まで上昇している状態であった。その後も堤体内水位の上昇に伴い泥濘化の範囲が法肩に向かって広がっていく様子が確認されたが、すべり破壊には発展しなかった。最終的に泥濘化の範囲は法肩から水平距離 120cm 程度の位置まで拡大した。

図 2.5.100 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。緩みの範囲は法面から最大で 9cm 程度となっていた。

以上の結果より、同様の堤体形状、給水槽水位であり、締固め度が 100%の H30 Case2-1 と比較すると、法尻付近で堤体内水位が法面まで上昇した際に泥濘化が発生することから、締固め度が低くなることでせん断強度が低下していると考えられる。しかし、無対策のケースと比較すると、変状の範囲は小規模に留まっていることから、無対策の場合より、せん断強度は増加していると考えられる。

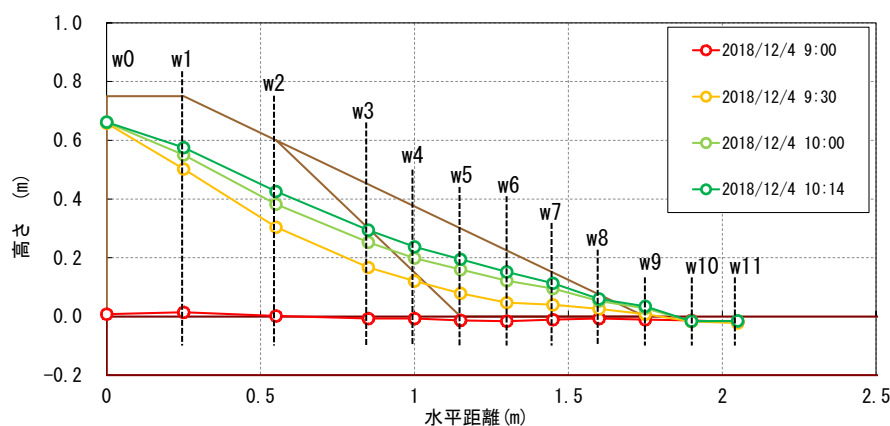


図 2.5.101 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動

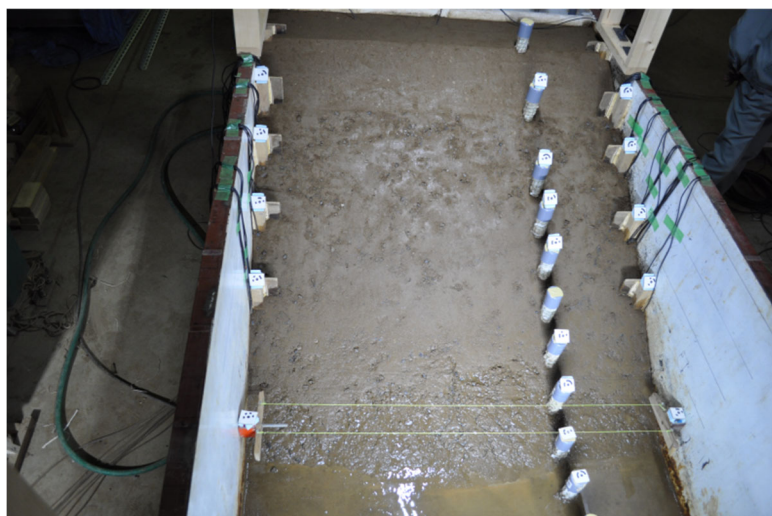


図 2.5.102 実験終了時の堤体の状況 (12/4 16:10)

2.5.13 H30 Case3-2

H30 Case3-2 は実験終了後の H30 Case3-1 の法面の一部を掘削し、法面を整形し、法面勾配を 1:1.8 としたケースである。礫混合土置換範囲は底幅 45cm、高さ 56cm 程度の範囲となる。H30 Case3-1 より礫混合土置換範囲を縮小し、対策効果の差について検証する。堤体内水位と変状が発生するタイミングの関係をより詳細に確認するために、給水槽の水位を堤体高の 50%から 65%まで 5%ずつ上昇させた。

(1) 実験経過

表 2.5.13 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.13 実験経過 (H30 Case3-2)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/12	9:10	0→50.0	給水開始 (所要時間6分程度)
	10:10	50.0→55.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	11:10	55.0→60.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	12:10	60.0→65.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	12:45	65.0	堤体の法尻において泥濁化と同時に法面表層のすべりが発生。
		65.0	変状の範囲が徐々に法肩にむけて拡大。
	14:25	65.0	変状が目立った進行が見られないため、給水を停止。実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状、土層強度検査棒により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A 断面より 0.7m 付近の堤体形状を示す。

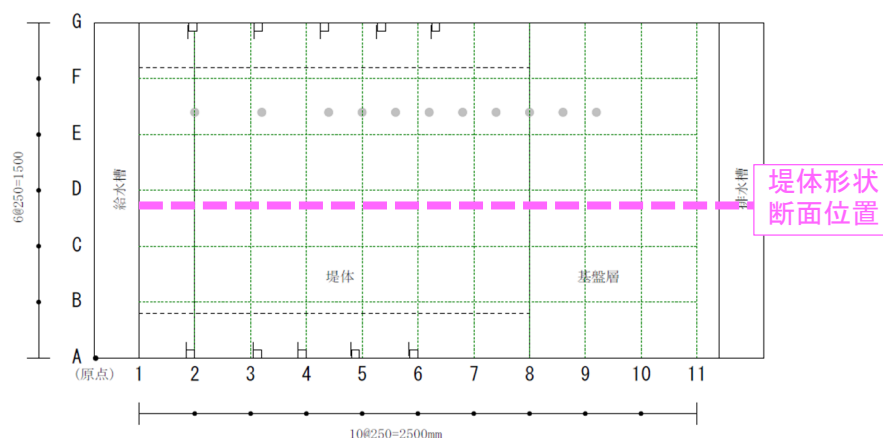


図 2.5.103 堤体形状 断面位置 (H30 Case3-2)

1) 堤体形状および堤体内水位

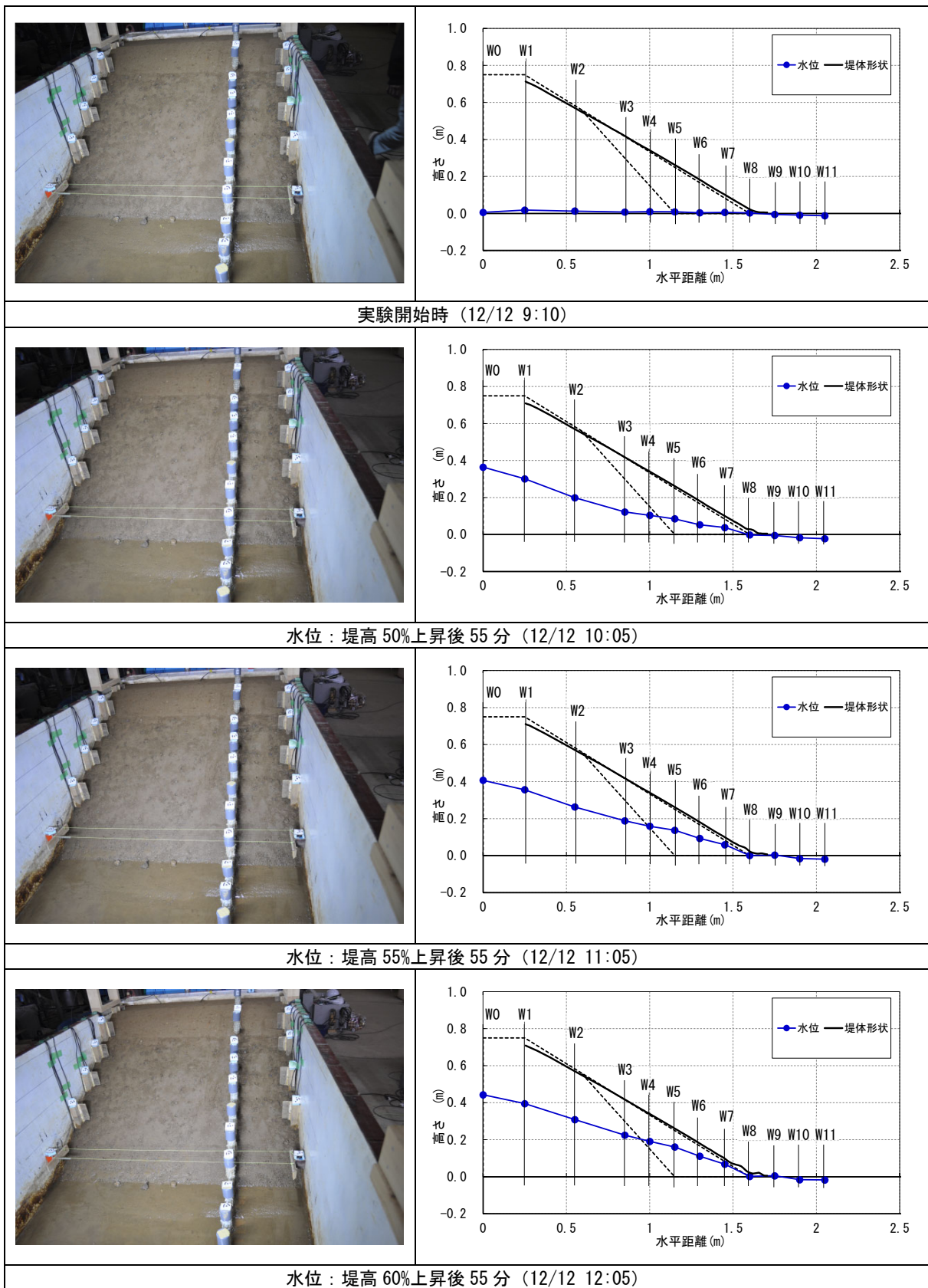
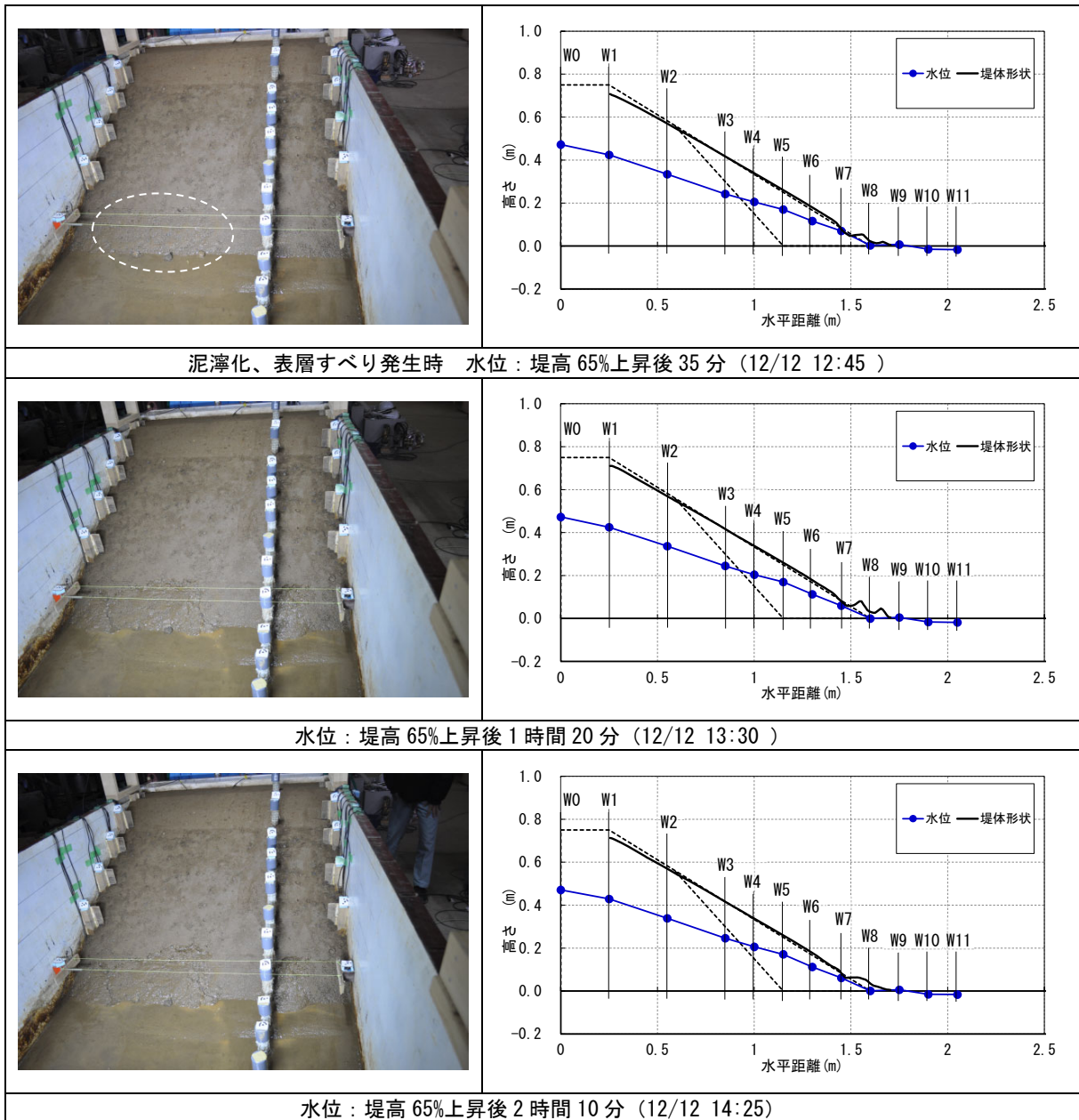


図 2.5.104 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.7m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-2) (1/2)



泥濘化、表層すべり発生時 水位：堤高 65%上昇後 35 分 (12/12 12:45)

水位：堤高 65%上昇後 1 時間 20 分 (12/12 13:30)

水位：堤高 65%上昇後 2 時間 10 分 (12/12 14:25)

※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.104 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.7m) および堤体内水位 (水位計)

(H30 Case3-2) (2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

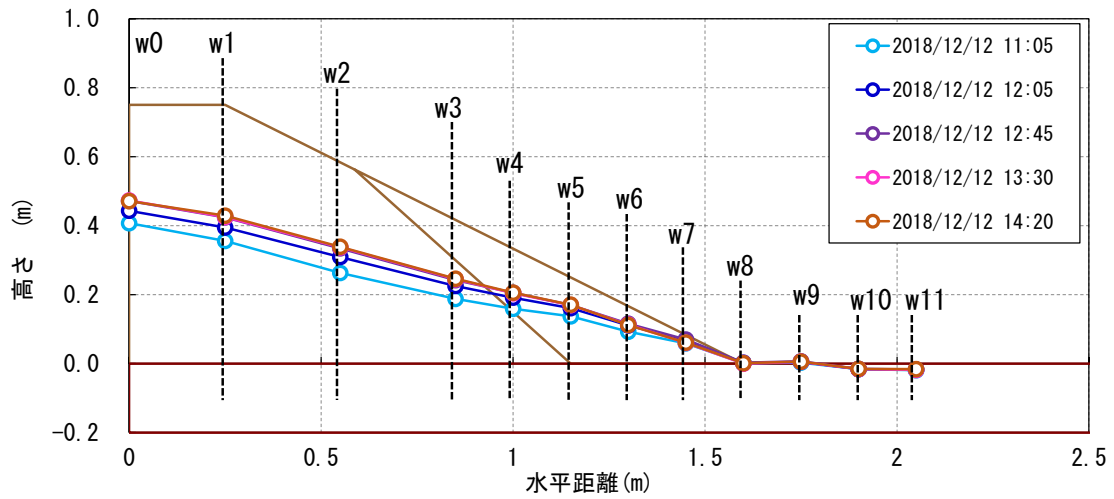
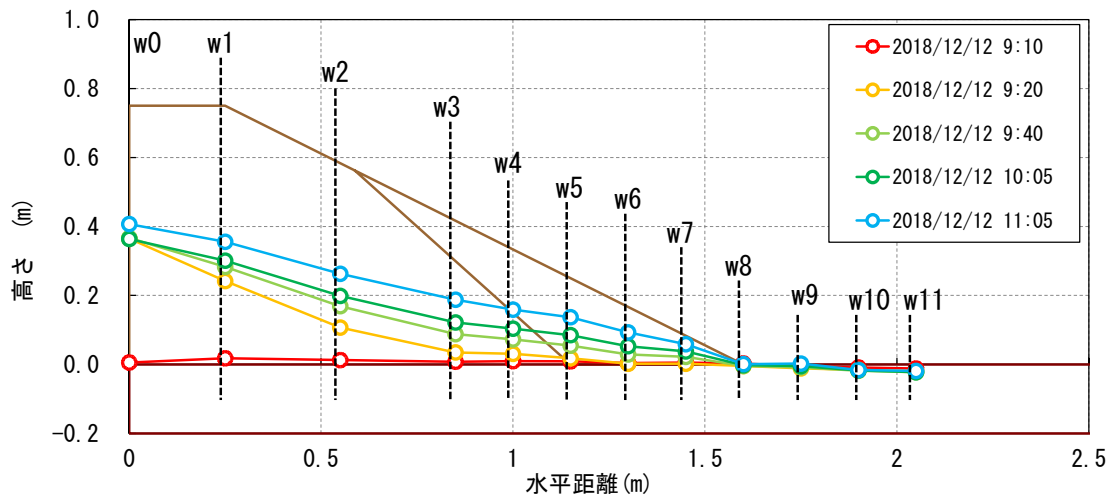


図 2.5.105 堤体内水位の横断分布の経時変化

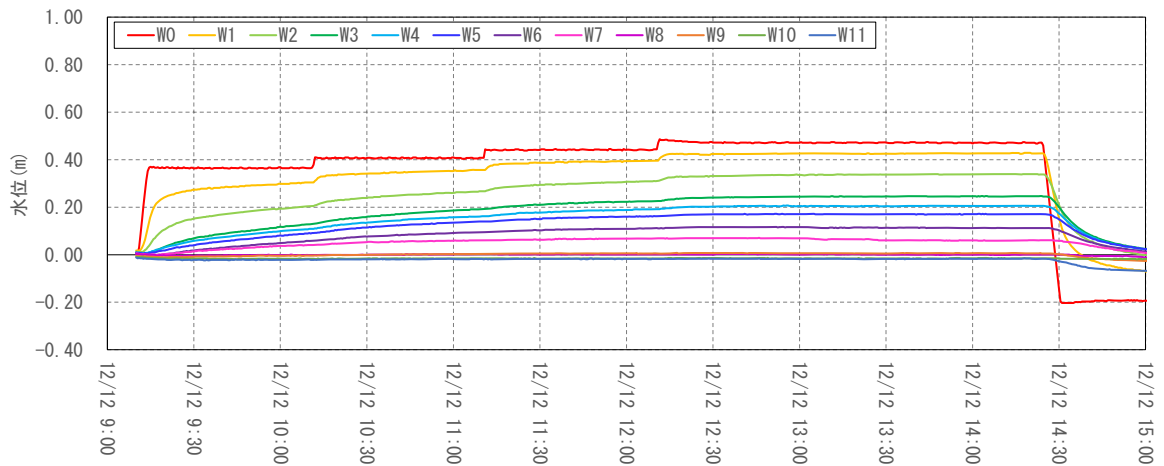
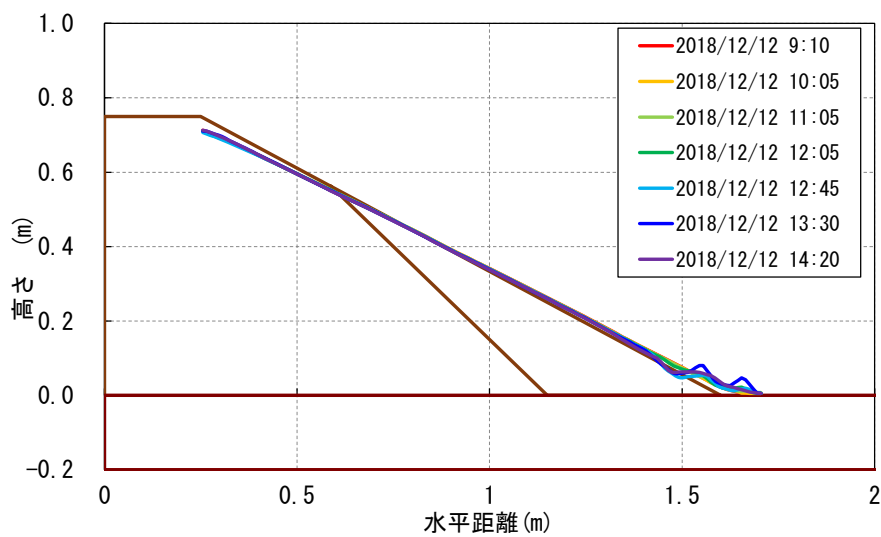


図 2.5.106 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.107 法面形状の経時変化 (A断面より 0.7m)

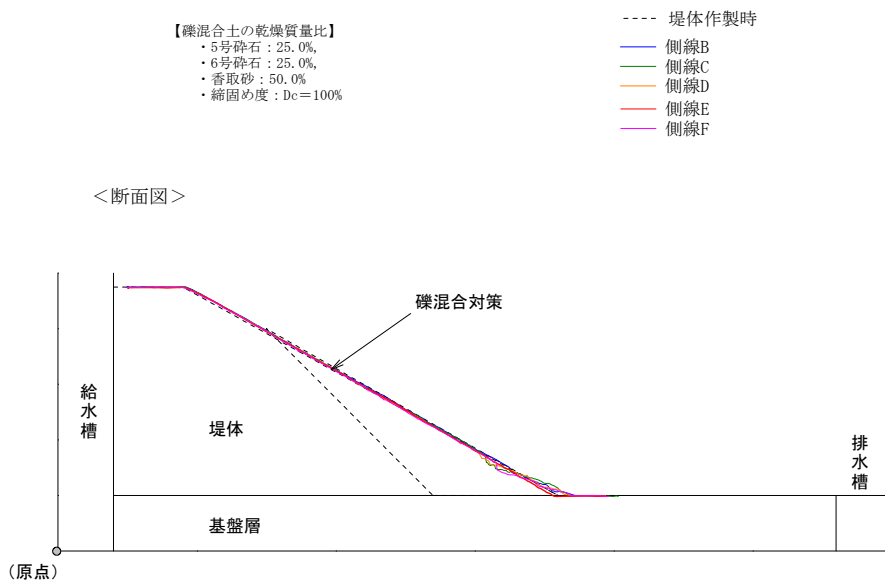


図 2.5.108 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

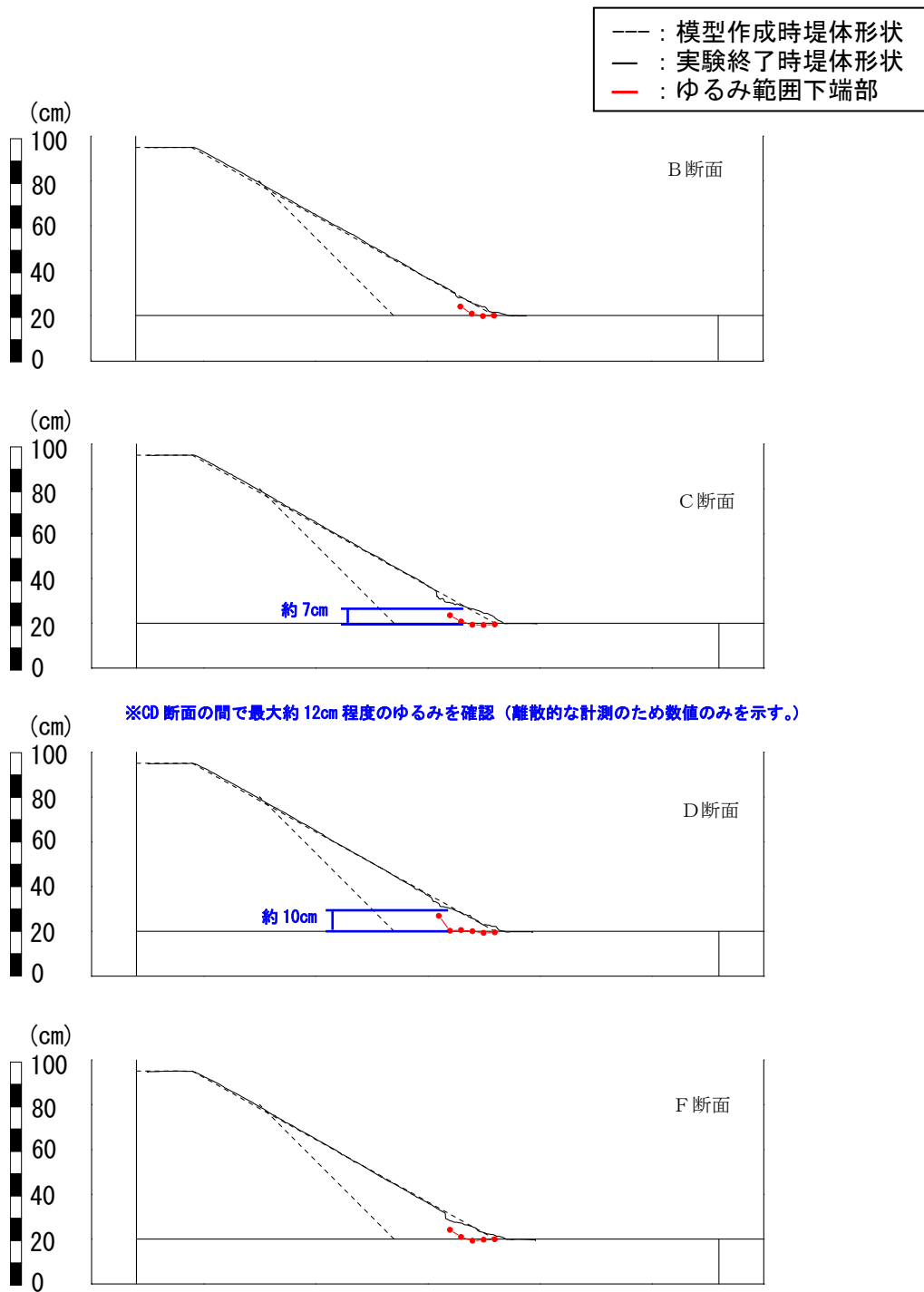


図 2.5.109 緩み深度計測結果

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.104 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.110 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。給水槽の水位を堤防高の 65% まで上昇させた後、35 分が経過した時点 (12/12 12:45) で法尻部が泥濘化し、その後、泥濘化範囲上端部付近で表層すべりが発生した。その際の堤体内の水位分布としては水位計 W7 (法尻から水平距離 15cm) における水位が法面まで上昇している状態であった。その後、給水槽の水位を 65% で維持して実験を継続したが、堤体内の水位にほとんど変動はなく、若干変状範囲が広がり、最終的に法肩から水平距離で 115cm 程度まで変状が進行した。

図 2.5.109 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。緩みの範囲は最大で法面から 12cm 程度となっていた。

以上の結果より、法尻付近の水位が法面まで上昇するまでは特に変状が発生していないことから、一定程度せん断強度が増加していると考えられるが、同様の堤体形状となる H30 Case2-2 と比較すると、本ケースの方が給水槽の水位が低いにも関わらず、変状の発生範囲が広がっていることから、締固め度が 100% から 90% となることで、せん断強度は低下していると考えられる。

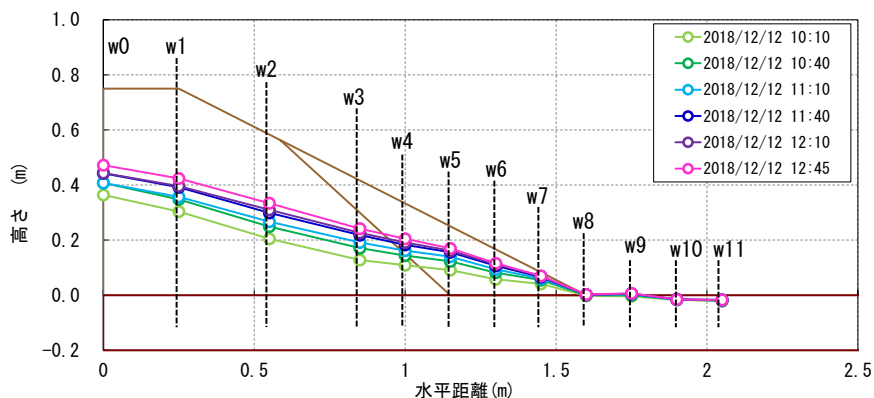


図 2.5.110 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



図 2.5.111 実験終了時の堤体の状況 (12/12 14:25)

2.5.14 H30 Case3-3

H30 Case3-3 は実験終了後の H30 Case3-2 の法面の一部を掘削し、法面を整形し、法面勾配を 1:1.6 としたケースである。礫混合土置換範囲は底幅 30cm、高さ 50cm 程度の範囲となる。H30 Case3-2 より礫混合土置換範囲を縮小し、対策効果の差について検証する。堤体内水位と変状が発生するタイミングの関係をより詳細に確認するために、給水槽の水位を堤体高の 50%から 95%まで 5%ずつ上昇させた。

(1) 実験経過

表 2.5.14 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 2.5.14 実験経過 (H30 Case3-3)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/18	10:50	0→50.0	給水開始 (所要時間5分程度)
	11:50	50.0→55.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	13:13	55.0	堤体の法尻において泥濁化と同時に法面表層のすべりが発生。
		55.0	以降、変状の範囲が徐々に法肩にむけて拡大。
	15:20	55.0→60.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	16:20	60.0→65.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	17:00	65.0	給水を停止。翌日まで放置。
12/19	9:00	→50.0	給水開始 (所要時間3分程度)
	9:30	65.0→70.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	10:30	70.0→75.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	11:30	75.0→80.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	13:00	80.0→85.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	14:00	85.0→90.0	水位上昇のため、給水。(所要時間1分程度)
	16:20	90.0	崩壊範囲が法肩付近にまで及んだため、給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、実験終了後のレーザー変位計による計測から得られた堤体形状を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、A 断面より 0.6m 付近の堤体形状を示す。

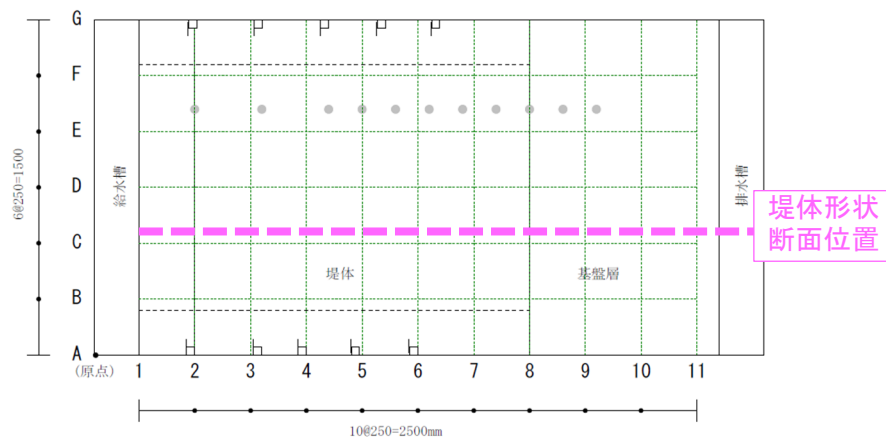


図 2.5.112 堤体形状 断面位置 (H30 Case3-3)

1) 堤体形状および堤体内水位

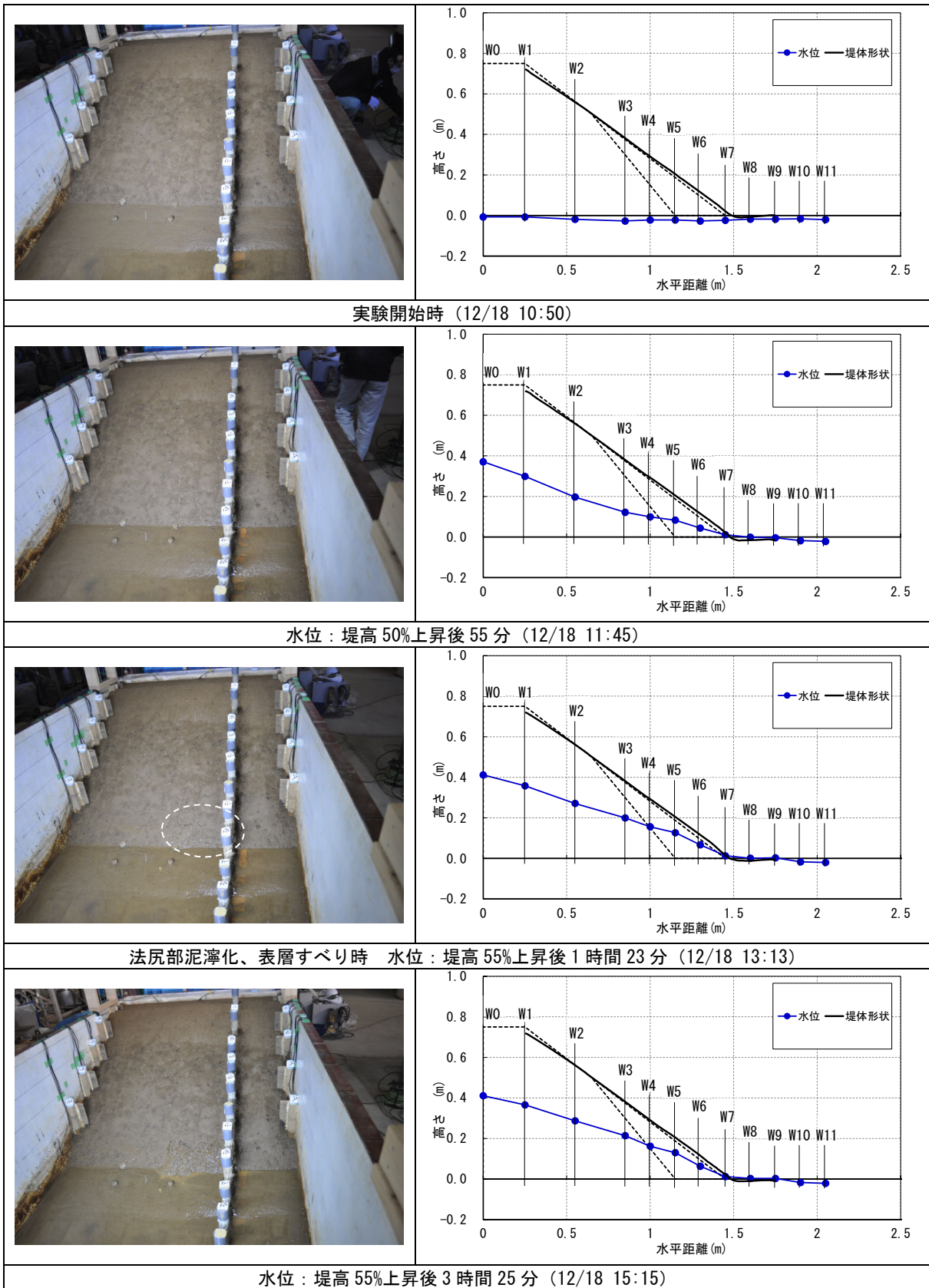


図 2.5.113 堤体状況、堤体形状 (A断面から0.6m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-3) (1/4)

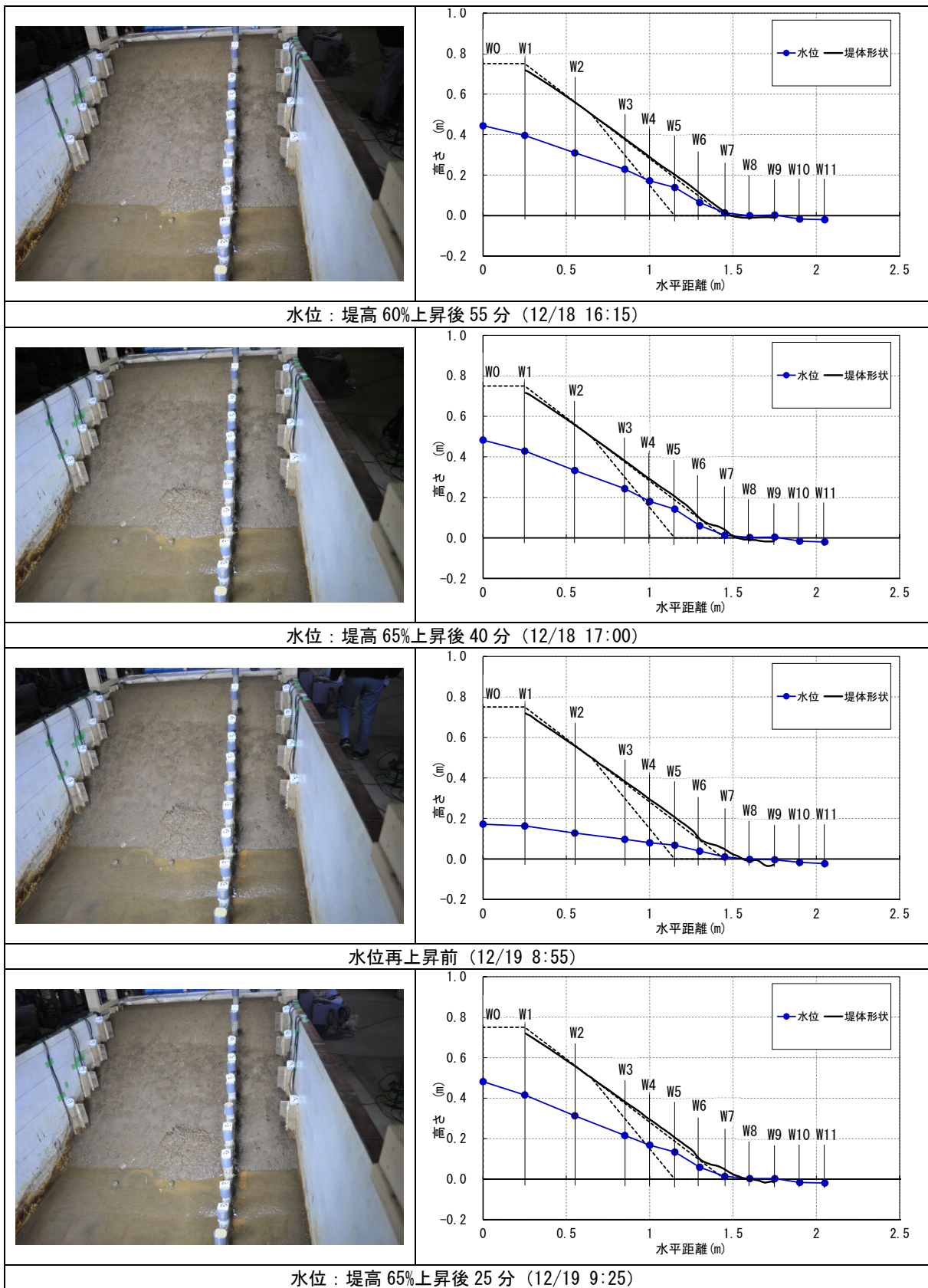


図 2.5.113 堤体状況、堤体形状 (A断面から0.6m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-3) (2/4)

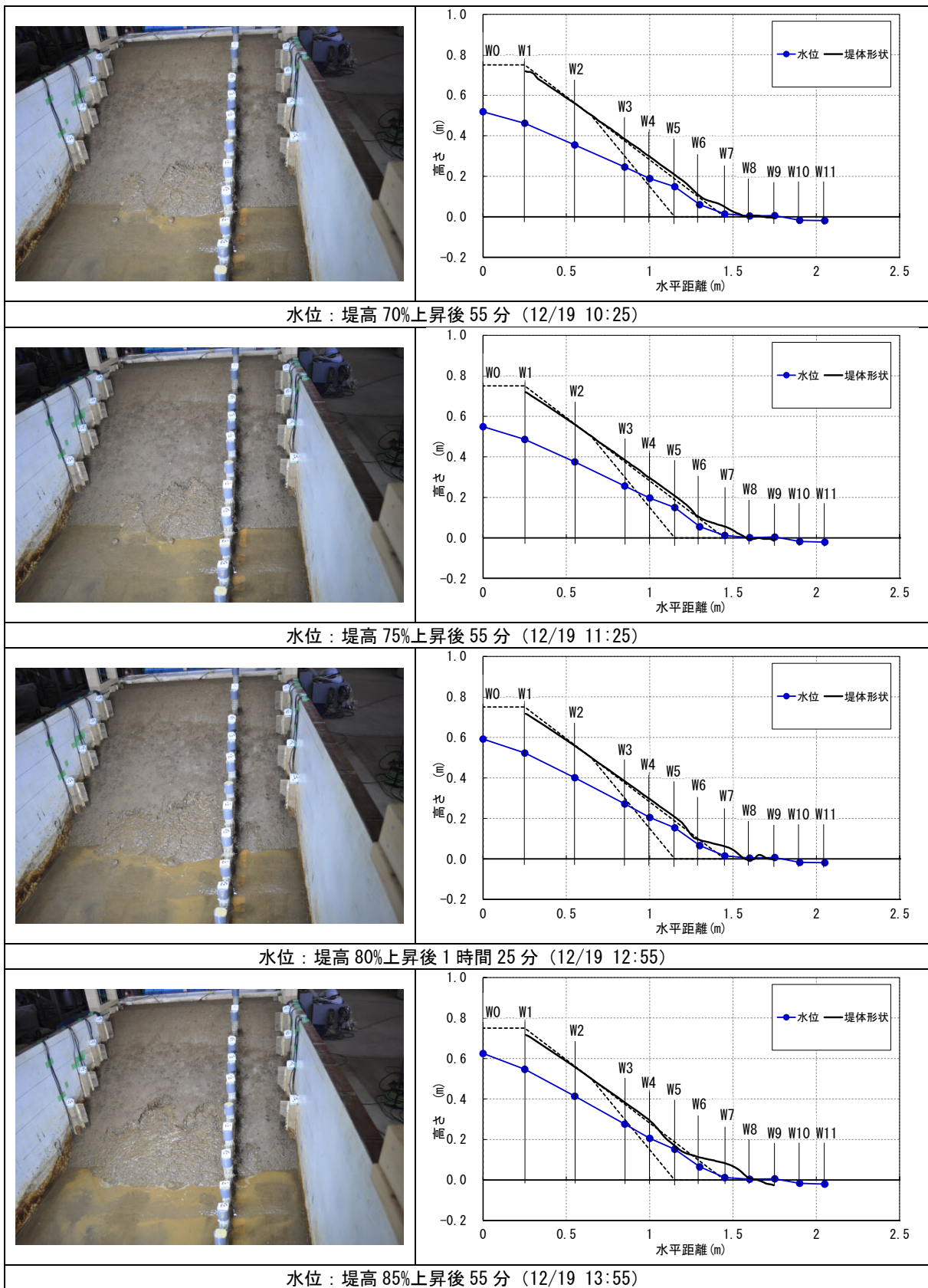
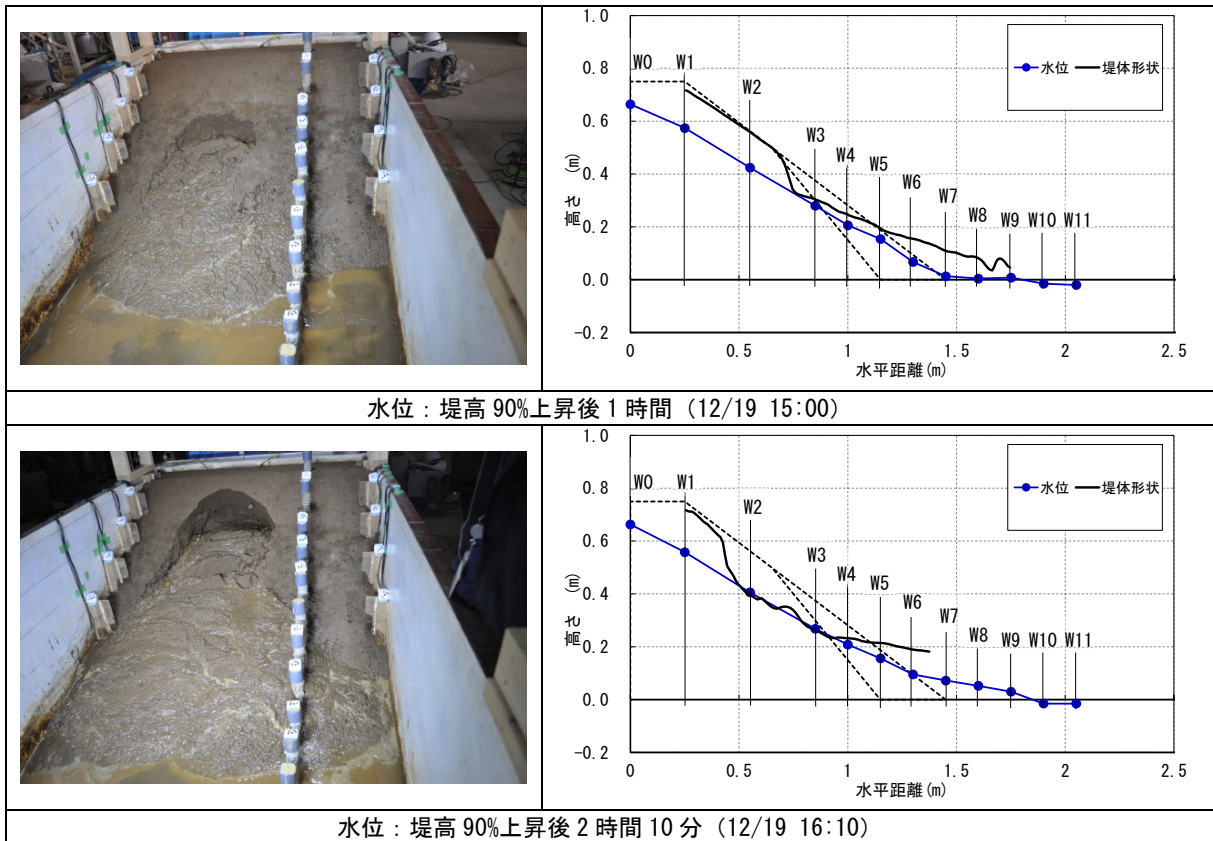


図 2.5.113 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.6m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-3) (3/4)



※堤体形状については正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.113 堤体状況、堤体形状 (A 断面から 0.6m) および堤体内水位 (水位計)
(H30 Case3-3) (4/4)

2) 堤体内水位の経時変化

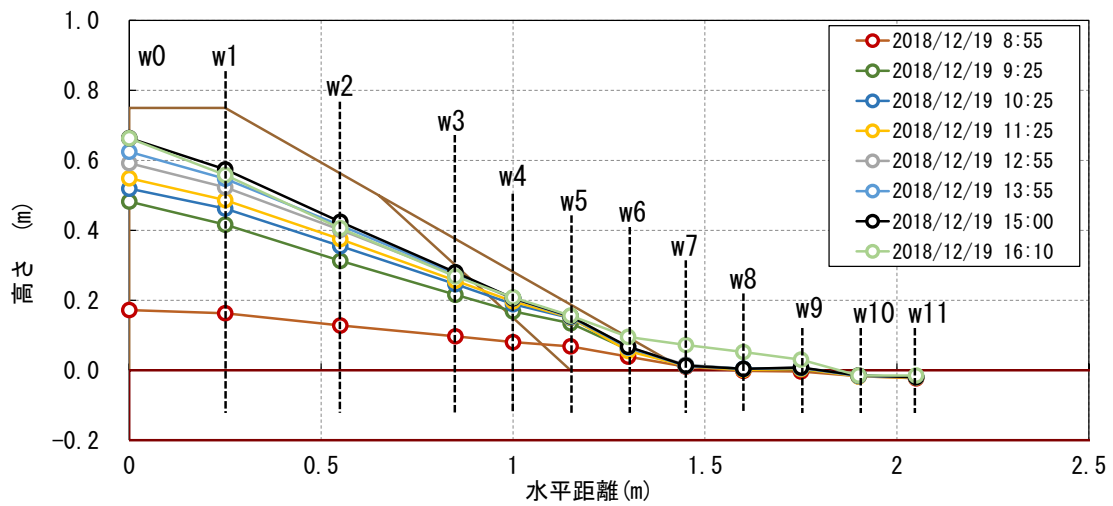
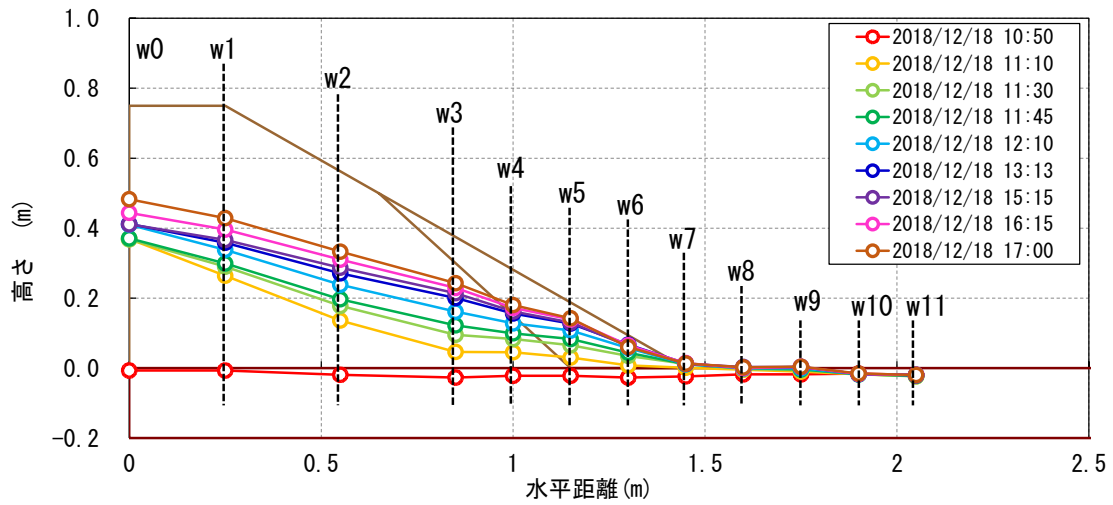


図 2.5.114 堤体内水位の横断分布の経時変化

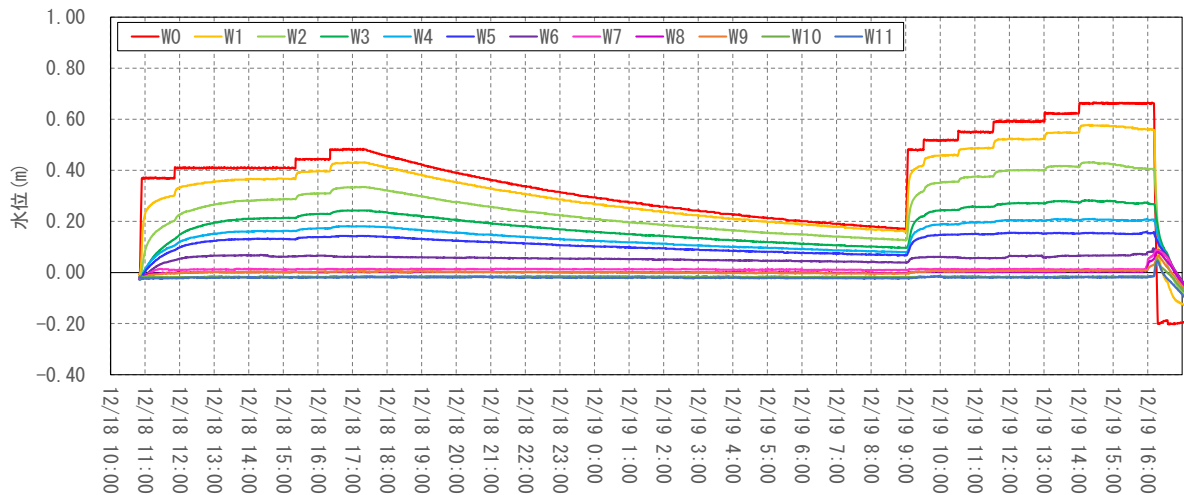
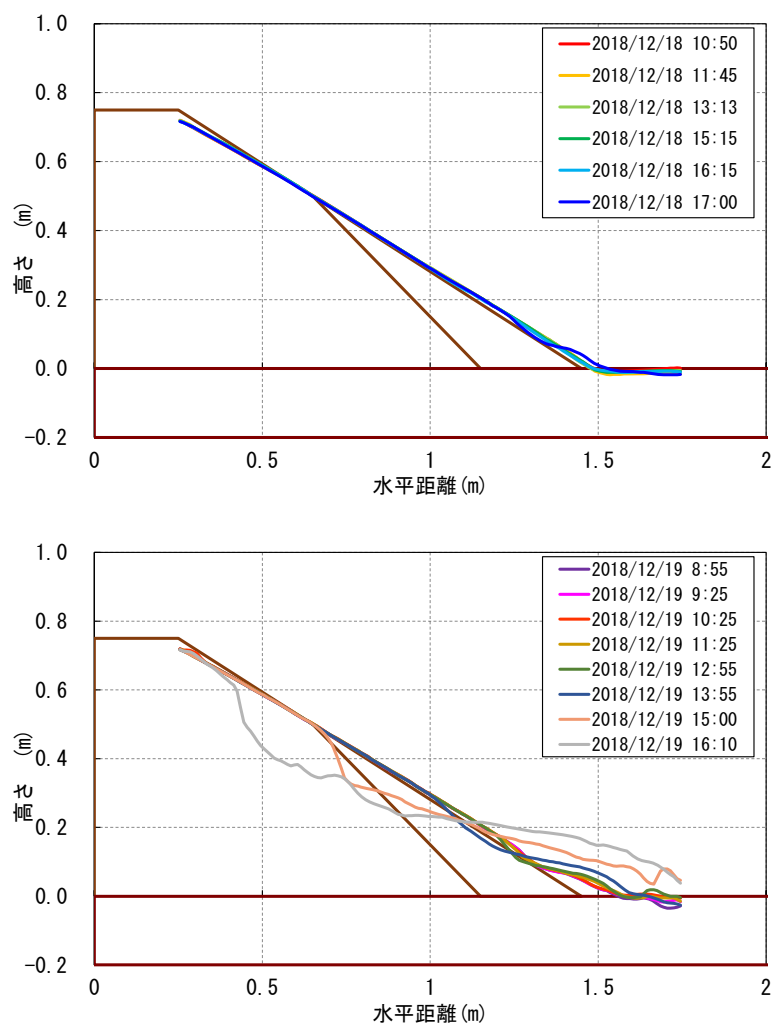


図 2.5.115 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化



※正常にデータが得られた時刻・範囲のデータのみを示す

図 2.5.116 法面形状の経時変化 (A断面より0.6m)

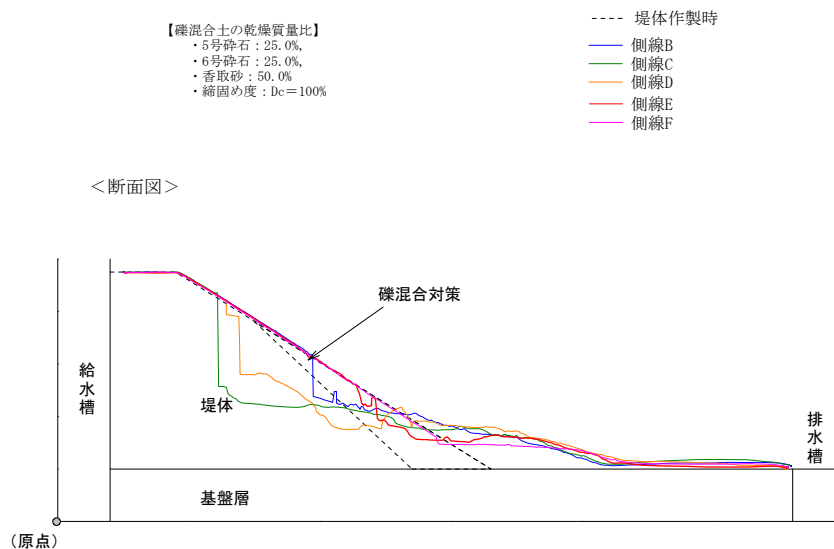


図 2.5.117 実験終了後の法面形状 (レーザー変位計による計測結果)

(3) 実験結果に関する考察

図 2.5.113 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。また、図 2.5.118 に泥濘化発生までの堤体内水位の経時変化を示す。給水槽の水位を堤体高の 55%まで上昇させた後、1 時間 23 分が経過した時点（12/18 13:13）で法尻部が泥濘化し、その後、泥濘化範囲上端部付近で表層すべりが発生した。その際の堤体内の水位分布としては、水位計 W6（法尻から水平距離 15cm）の水位が法面付近まで上昇しており、水位計 W5（法尻から水平距離 30cm）の水位が、法面から 7cm 程度の深さまで上昇している状態であった。その後、給水槽の水位を堤防高の 55%に保った状態で保持した際に、若干表層部のすべりが進行する様子が確認された。その後給水槽水位を 65%まで上昇させた後に一度給水槽の水位を排水し、再度 65%～90%まで徐々に水位を上昇させた。水位を上昇させるとともに変状範囲が拡大する様子が確認された。給水槽水位を 80%まで上昇させた後に、水位計 W5（法尻から水平距離 30cm）の水位が法面付近まで上昇し、徐々に表層すべり範囲の上端部付近で土塊状に崩壊が生じるすべり破壊が発生し始め、その後、崖状に崩壊範囲が拡大していく様子が確認された。最終的に給水槽水位を 90%まで上昇させた後 2 時間 10 分程度（12/19 16:10）で法肩から水平距離で 15cm 程度まで法面が崩壊した。

以上の結果より、同様の堤体形状、礫混合比率、である H30 Case2-3 と比較すると、同様の給水槽水位であっても法肩付近まで崩壊が拡大していることから、礫混合土の締固め度が 100%から 90%となることで、せん断強度は低下していると考えられる。

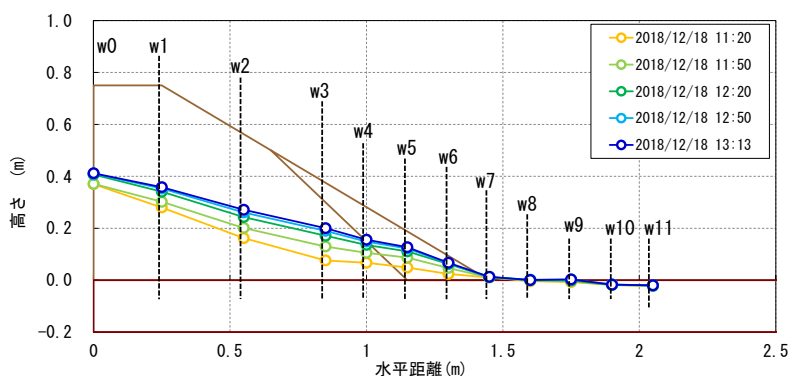


図 2.5.118 泥濘化発生時点までの堤体内水位変動



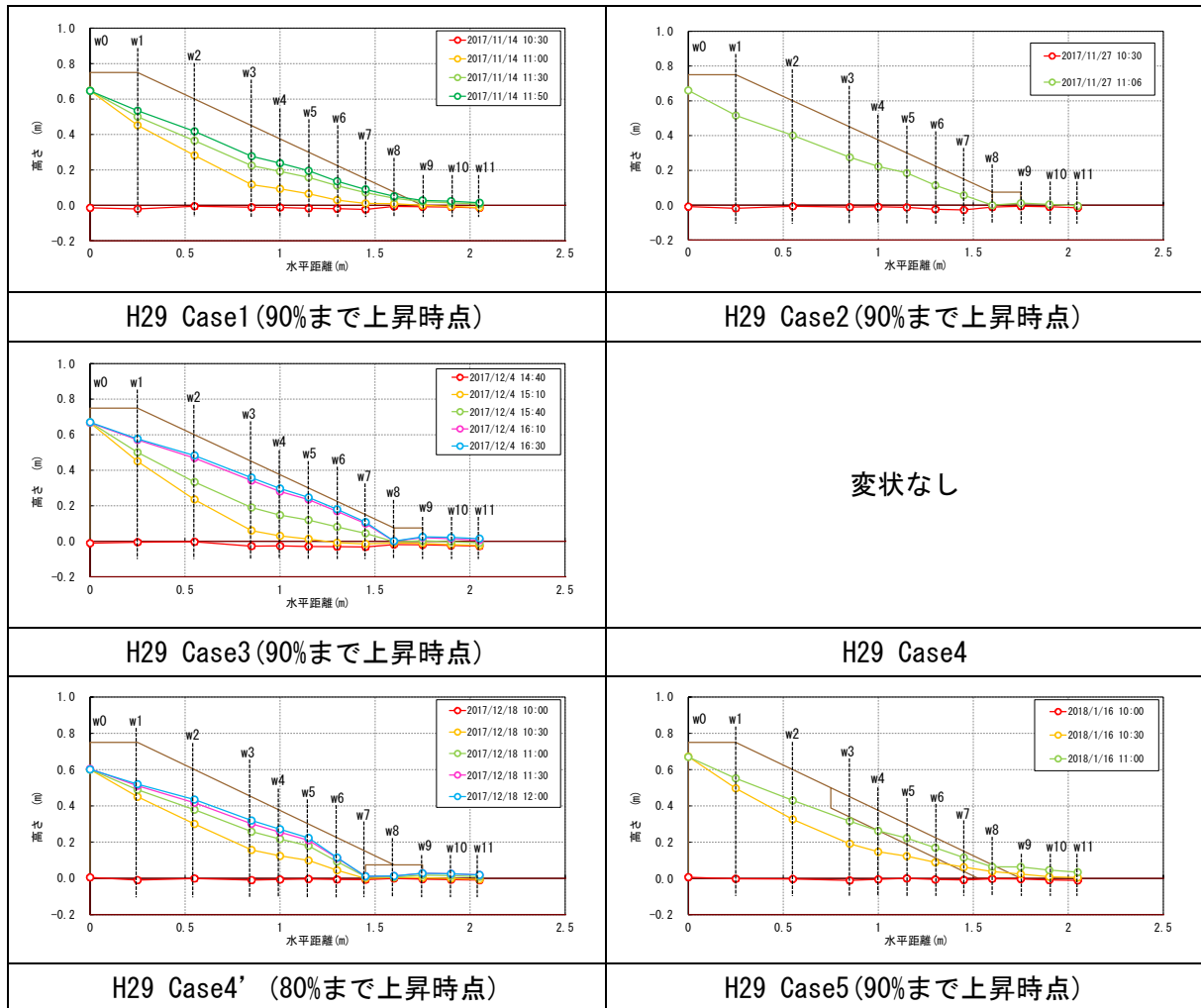
図 2.5.119 実験終了時の堤体の状況（12/19 16:10）

2.6 中型模型実験結果のまとめ

初期変状発生時までの水位変動状況を図 2.6.1、図 2.6.3 に、実験終了後の模型の状況を図 2.6.2 図 2.6.4 に、実験結果の概要の一覧を表 2.6.1 に示す。

ドレーン工については、いずれのケースにおいても無対策のケースより崩壊範囲、ゆるみ範囲ともに減少し、進行性破壊に対する対策工としての効果が確認された。ただし、ドレーン工を設置した場合でも、法面付近まで堤体内水位が上昇した場合に、その点を起点として変状が発生し、進行性の破壊に発展する場合も確認された。一方で、堤体内の深い位置までドレーン工を設置した場合には、堤体内水位の上昇が抑えられ、崩壊範囲・ゆるみ範囲ともに縮小することが確認された。また、フィルター材については、不織布を用いた場合より、親水性を有し、排水能力に優れた植生シートを用いた場合の方が堤体内の水位上昇が緩やかになる傾向が確認された。これらの結果より、ドレーン工の排水効果を考慮した上で堤体内の水位を予測し、水位上昇時の法尻部及び法面の状況を評価し、適切なサイズのドレーン工を設置することで、進行性破壊に対する対策工として有効となることが確認された。

礫混合土置換工法については、変状の範囲が礫混合土による置換範囲外まで及んだ H29 Case5 と H30 Case3-3 を除き、無対策のケースより崩壊範囲、ゆるみ範囲ともに減少し、進行性破壊に対する対策工としての有効性が確認された。全体的な傾向としては、礫混合比率が大きい場合・締固め度が高い場合・置換範囲が広い場合に、概ね変状範囲・緩み範囲ともに小さくなっている事がわかる。これらの結果より、適切な礫混合比率、締固め度の確保、置換範囲の設定により、進行性破壊に対する対策工として有効となることが確認された。



※括弧内の記載は給水槽水位の状況を示す。

図 2.6.1 初期変状（泥濁化）発生時点までの堤体内水位変動（H29）

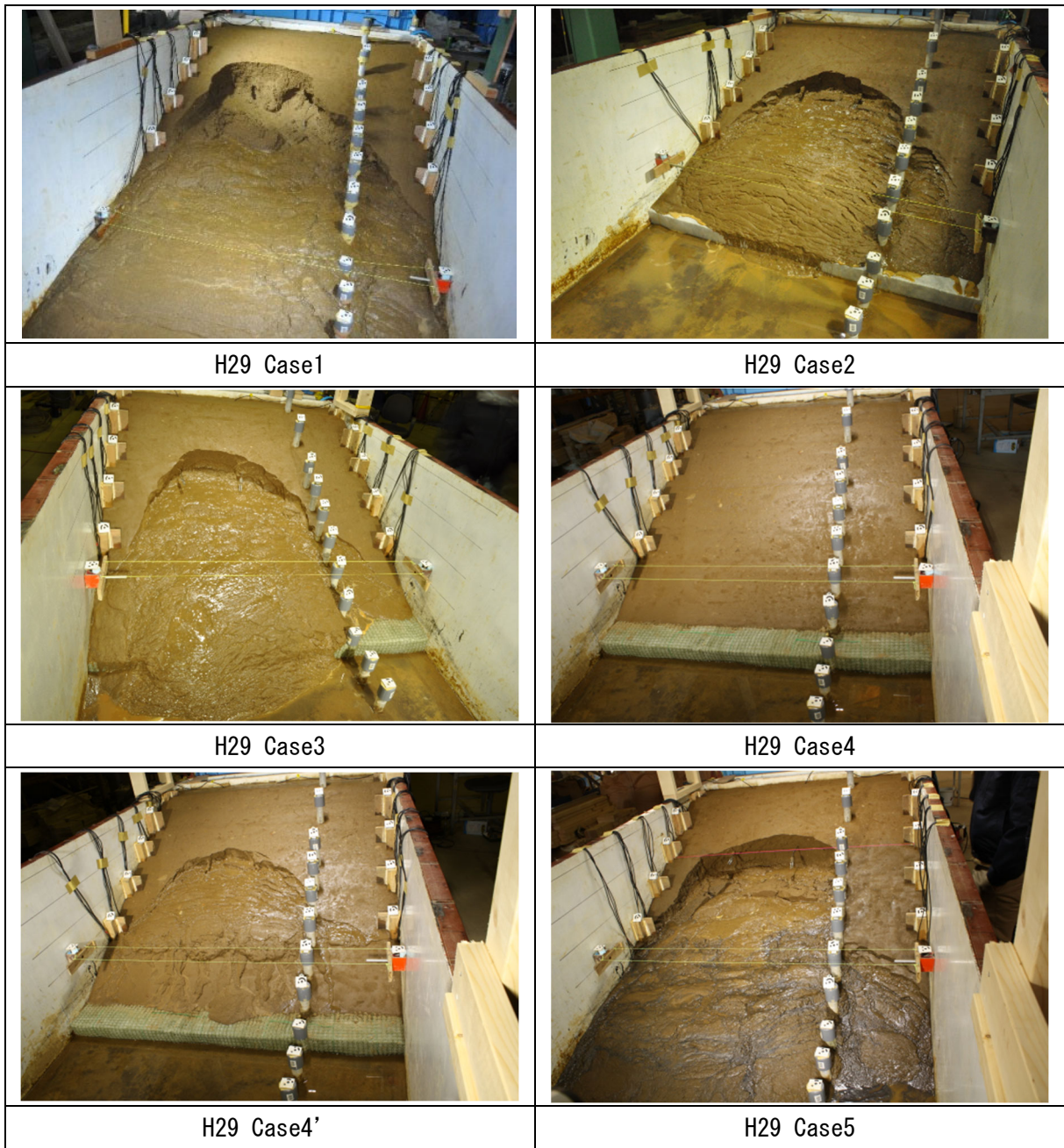


図 2.6.2 実験終了時の堤体の状況一覧 (H29)

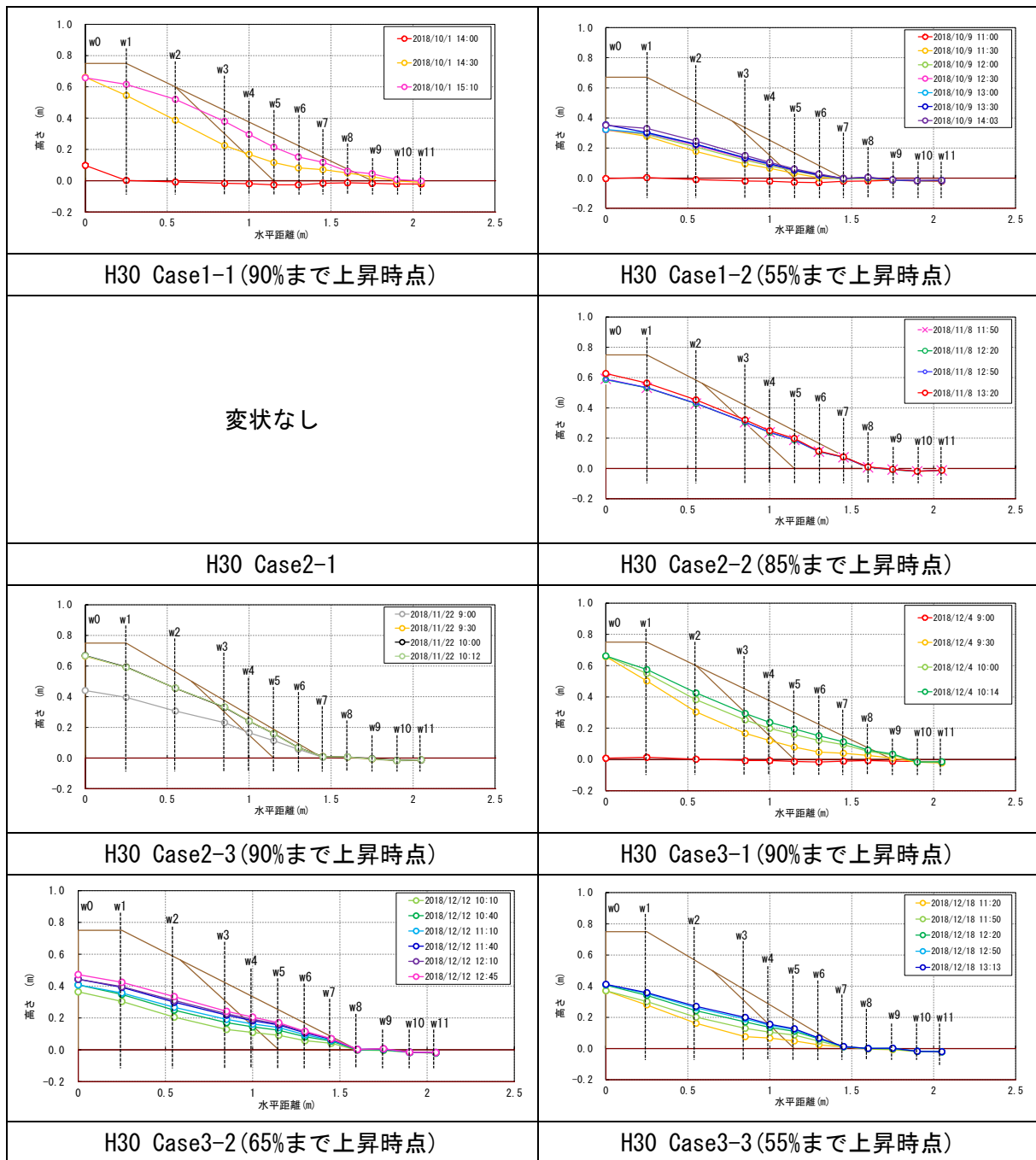


図 2.6.3 初期変状（泥濘化）発生時点までの堤体内水位変動（H30）

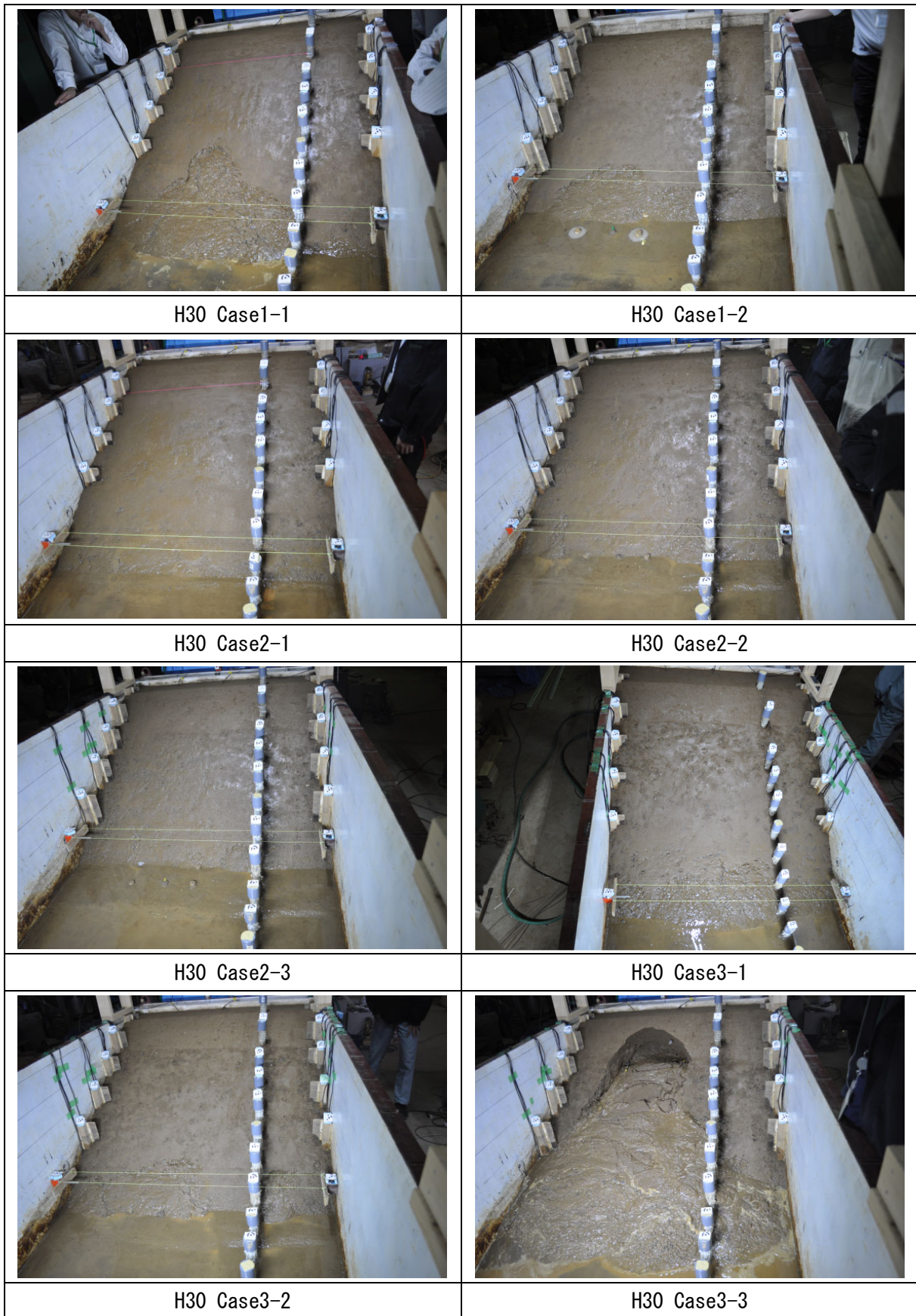


図 2.6.4 実験終了時の堤体の状況一覧 (H30)

表 2.6.1 実験条件および実験結果の概要一覧

CASE	対策工								堤体		外水位	泥浄化開始の タイミング 水位・経過時間	泥浄化開始時水位状況	崩壊進行形態	最終崩壊幅	ゆるみ 深度
	実施 年度	No.	種類	ドレーン工			礫混合土		堤体高 さ	勾配						
				フィルター材	親水性	形状	配合比率 (乾燥質量比)	作製条件							形状	法肩からの 水平距離
H29	1		無対策	-	-	-	-	-	-	-	90%上昇後 1時間20分	W8(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後徐々にすべり破壊が進行	30cm程度	24cm程度	
	2	ドレーン工	不織布	無し	幅: 15.0cm 高さ: 7.5cm	-	-	0.75m	1:2.0	堤高の 90%	90%上昇後 36分後	W7(ドレーン内側側面から水平15cm) 法面から8cm程度下	泥浄化後約30分後にクラックが発生、そ の後徐々にすべり破壊が進行	40cm程度	17cm程度	
	3		植生シート	有り		-	-				90%上昇後 1時間50分	W5(ドレーン内側側面から水平45cm)~ W7(ドレーン内側側面から水平15cm) 法面から5cm程度下	泥浄化後徐々にすべり破壊が進行	35cm程度	16cm程度	
	4		植生シート	有り	幅: 45.0cm 高さ: 7.5cm	-	-				堤高の 90~99%	99%上昇後 23時間30分 W2(ドレーン内側側面から水平75cm) で法面から9cm程度下まで上昇するが、変状なし	-	-	-	
	4'		植生シート	有り	幅: 30.0cm 高さ: 7.5cm	-	-				堤高の 80~99%	80%上昇後 2時間	W5(ドレーン内側側面から水平30cm) 法面から7cm程度下	泥浄化後、水位を上昇させた際にクラッ クが発生し、その後も水位上昇に伴い、 すべり破壊が進行	45cm程度	10cm程度
	5		礫混合土	-	-	-	砂:路盤材= 7:3(乾燥重量 比)				法面表面 厚さ10cm	堤高の 90%	90%上昇後 1時間	W7(法尻から水平30cm) 法面付近	泥浄化後徐々にすべり破壊が進行	40cm程度
H30	1-1	礫混合土	-	-	-	5号砕石: 16.7% 6号砕石: 16.7% 香取砂: 66.6%	締固め度: Dc=100%	幅: 60cm 高さ: 60cm	0.75m	1:2.0	堤高の 90%	90%上昇後 1時間10分	W8(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後徐々に表層すべりが進行	90cm程度	9cm程度
	1-2		-	-	-	幅: 30cm 高さ: 37.5cm		0.667m	1:1.8	堤高の 50~70%	55%上昇後 33分	W6(法尻から水平15cm) 法面から7cm程度下	泥浄化後徐々に表層すべりが進行	90cm程度	7cm程度	
	2-1		-	-	-	5号砕石: 25.0% 6号砕石: 25.0% 香取砂: 50.0%	締固め度: Dc=100%	幅: 60cm 高さ: 60cm	0.75m	1:2.0	堤高の 90%	90%上昇後 72時間 W7(法尻から水平30cm)で法面付近まで上昇 するが、変状なし	-	-	-	-
	2-2		-	-	-			幅: 45cm 高さ: 56.25cm	0.75m	1:1.8	堤高の 50~90%	85%上昇後 20分	W7(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後、若干表層すべりが法尻付近で 拡大	110cm程度	4cm程度
	2-3		-	-	-			幅: 30cm 高さ: 50cm	0.75m	1:1.6	堤高の 50~95%	90%上昇後 1時間12分 (+前日5時間30分)	W5(法尻から水平30cm) W6(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後、水位上昇とともに若干表層す べりが法尻付近で拡大	110cm程度	2cm程度
	3-1		-	-	-			幅: 60cm 高さ: 60cm	0.75m	1:2.0	堤高の 90%	90%上昇後 1時間14分	W8(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後、泥浄化が法尻付近で拡大	120cm程度	9cm程度
	3-2		-	-	-	5号砕石: 25.0% 6号砕石: 25.0% 香取砂: 50.0%	締固め度: Dc=90%	幅: 45cm 高さ: 56.25cm	0.75m	1:1.8	堤高の 50~65%	65%上昇後 35分	W7(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後、法尻部で表層すべり破壊発 生。その後、若干すべり破壊範囲が拡大	115cm程度	12cm程度
	3-3		-	-	-	幅: 30cm 高さ: 50cm		0.75m	1:1.6	堤高の 50~90%	55%上昇後 1時間23分	W6(法尻から水平15cm) 法面付近	泥浄化後、法尻部で表層すべり破壊発 生。その後、水位上昇とともにすべり破 壊が進行	15cm程度	計測無し	

3. 大型模型実験

3.1 実験目的

進行性破壊を抑制するための対策工として、ドレーン工法と礫混合土置換工法との2種類の対策工法に関して、模型縮尺による影響を受けない実大スケールでの対策効果検証のための大型模型実験を実施した。

3.2 実験概要

浸透実験施設内の横幅 6.5m、奥行き 9.0m、深さ 3.3m のピットを用い、厚さ 30cm の関東ロームからなる基礎地盤上に高さ 3.0m、天端幅 1.0m、のり勾配 1:2、奥行き 7.0m の堤体模型を構築し、堤体内水位の上昇と変状の発生状況について観察・計測を実施した。

最初に無対策の場合の実験を実施した後、模型の一部を流用しつつ、法尻部にドレーンを設置した場合、法面から法尻の一部を礫混合土に置換した場合の実験を実施した。



図 3.2.1 左：ピット全景、右：模型作製状況（無対策）



図 3.2.2 左：模型作製状況（礫混合土置換工法）、右：模型作製状況（ドレーン工法）

3.3 実験ケース

実験ケースの一覧を表 3.3.1 に示す。

無対策の場合と、ドレーン工法の効果検証のため、法尻部にドレーン工を設置した場合の実験をそれぞれ1ケースずつ、礫混合土置換工法に関して、置換範囲による対策効果の違いを検証するために、置換範囲の大きさを変えた2ケースの実験を実施した。

各ケースの模型断面形状を図 3.3.1～図 3.3.4 に示す。

表 3.3.1 実験ケース一覧

Case		対策工						堤体			基盤	外水位
実施年度	No.	種類	ドレーン工		礫混合土			堤体高さ	勾配	作製条件	作製条件	
			フィルター材	形状	配合比率 (乾燥質量比)	作製条件	形状					
R2	1	無対策	-	-	-	-	-	3.0m	1:2.0	堤体材料： 山砂 締固め度： Dc=86% 含水比： 13~14%	材料： ローム 締固め度： Dc=90%	堤高の 70%
	2	礫混合土	-	-	5号碎石：16.7% 6号碎石：16.7% 山砂：66.7%	締固め度： Dc=90% 含水比： 11%	幅：1.0m 高さ：1.0m					堤高の 70, 90%
	3	ドレーン工	不織布 (t=2.5mm~3mm程度)	幅：2.0m 高さ：0.5m	-	-	-				含水比： 50%	
R3	4	礫混合土	-	-	5号碎石：16.7% 6号碎石：16.7% 山砂：66.7%	締固め度： Dc=90% 含水比： 11%	幅：2.0m 高さ：2.0m				堤高の 70, 80%	

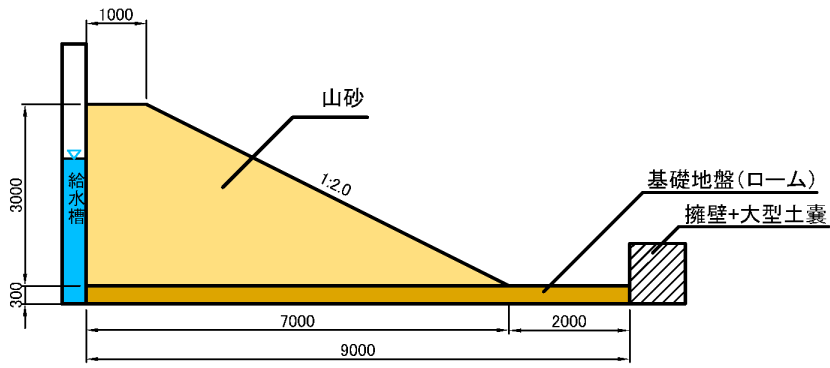


図 3.3.1 模型断面形状 (Case1 無対策)

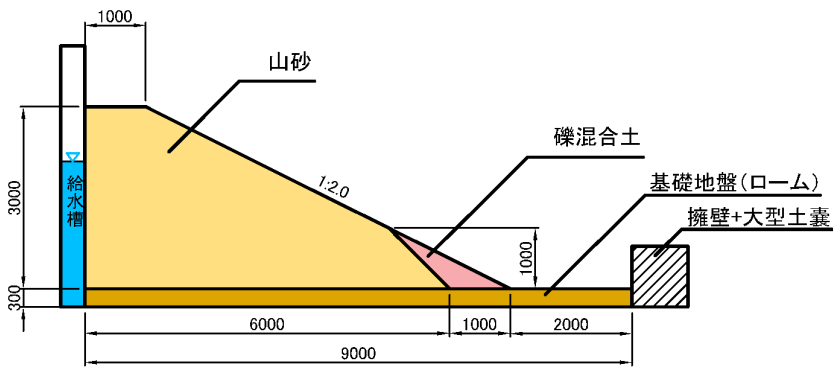


図 3.3.2 模型断面形状 (Case2 礫混合土 (幅 1.0m、高さ 1.0m))

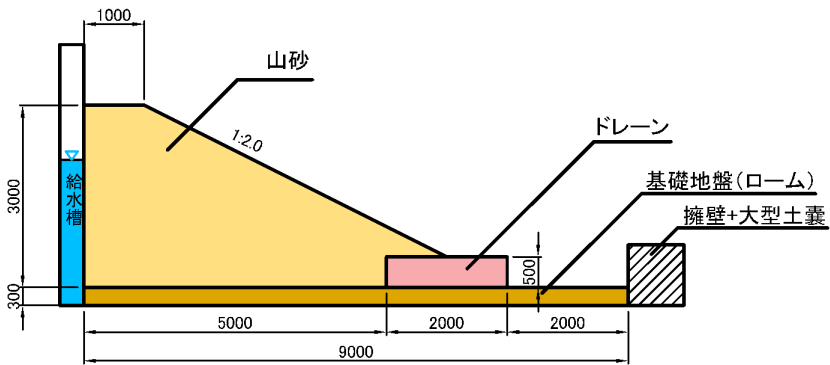


図 3.3.3 模型断面形状 (Case3 ドレーン工 (幅 2.0m、高さ 0.5m))

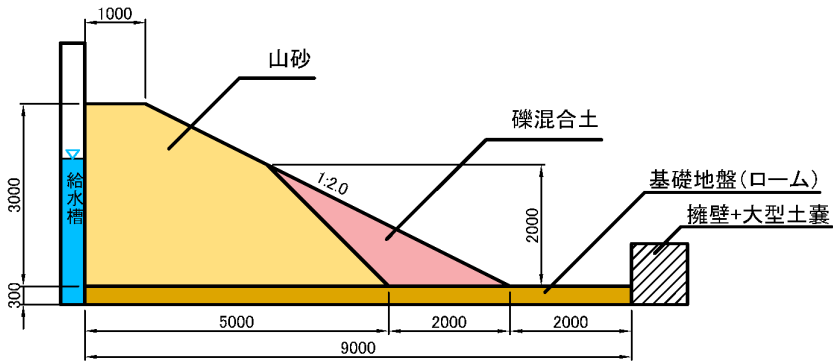


図 3.3.4 模型断面形状 (Case4 礫混合土 (幅 2.0m × 高さ 2.0m))

3.4 実験実施手順

実験の実施にあたり、各種装置および模型を作製した。併せて、各種計測機器を模型内や模型周辺に設置した。実験実施時は基盤層を飽和状態にした後に給水槽水位を上昇させ、実験を実施した。

詳細な手順を以下に示す。

3.4.1 実験装置の作製

浸透実験施設のピット内に実験実施のための各種装置を作製・設置した。ピット側壁はコンクリート壁となっており、コンクリートの壁面にルーフィング対策として、幅 40mm、奥行 30mm 程度の角材を堤防横断方向に 1.0~1.3m 程度の間隔で設置した。実験模型の天端側壁面には、模型に水を浸透させるために奥行き約 35cm の水位調節槽を作製し、水位調節槽の内側には高さ方向に 50cm 間隔で幅 2cm のスリットを設けた。さらに、土砂流入防止のためのジオテキスタイルを束にしたマットを調節槽と模型地盤の間に設置し、水位調節槽から模型地盤へ浸透する構造とした。実験模型の法尻側端部は擁壁および大型土のうを設置のうえ、実験時の排水および排水流量の計測を目的とし、ピット外への排水パイプを設置した。



図 3.4.1 左：ルーフィング対策状況、右：給水槽構築状況（マット設置前）



図 3.4.2 左：給水槽構築状況（マット設置後）、右：排水パイプ設置状況

3.4.2 実験模型の作製

(1) 盛土、対策工の施工

Case1～Case4の4ケースの模型を作製した。堤体の高さ(3.0m)、法面勾配(1:2.0)は全ケース共通であり、無対策の模型、法面部せん断強度の強化のための法尻部を礫混合土(底幅1.0m、高さ1.0mおよび底幅2.0m、高さ2.0m)で置き換えた模型、排水機能向上のための対策工としてドレーン工(幅2.0m、高さ0.5m)を法尻部に設置した模型を作製した。

模型作製順序を以下に示す。

1) Case1

まず、関東ロームを用いて、厚さ30cmの基礎地盤を作製し、その後、山砂を用い、堤体を作製した。



図 3.4.3 左：基礎地盤作製状況、右：堤体作製状況

2) Case2

Case1の実験終了後、崩壊部分(法尻付近の底幅3.6m、高さ1.8m程度)を撤去した後、法尻部の底幅1.0m、高さ1.0mの範囲を礫混合土に置き換えた模型を作製しCase2の実験を実施した。



図 3.4.4 左：崩壊部付近解体状況、右：完成後模型状況

3) Case3

Case2 の実験終了後、変状の見られた礫混合土および礫混合土付近の山砂を撤去し、法尻部にドレーン工を設置した模型を作製し、Case3 の実験を実施した。ドレーン工は、碎石を詰めた鉄筋カゴをフィルター材（不織布）で覆い、作製した。ドレーン工のサイズは高さ 0.5m、奥行き 2.0m とした。



図 3.4.5 左：礫混合土置換部付近解体状況、右：ドレーン工構築状況



図 3.4.6 完成後模型状況

4) Case4

Case3 の実験終了後、ドレーン工およびドレーン工周辺の山砂を撤去し、法尻部の底幅 2.0m、高さ 2.0m を礫混合土で置き換えた模型を作製し、Case4 の実験を実施した。



図 3.4.7 ドレーン工付近模型解体状況



図 3.4.8 左：ドレーン工撤去状況、右：完成後模型状況

(2) 模型作製時の密度管理方法および使用材料

模型作製時の密度管理に関しては、基礎地盤は関東ロームを用い、目標締固め度は90%とし、厚さ15cm毎に投入土砂量と高さの管理を行った。また、基礎地盤表面の3箇所において、コアカッターを用いて湿潤密度および乾燥密度を確認した。

堤体部に関しては山砂もしくは礫混合土を用い、目標締固め度は、山砂部：86%、礫混合土：90%とした。基礎地盤と同様に厚さ15cm毎に投入土砂量と高さの管理を行った。また、4、8層目では5箇所、12、16、20層目では3箇所においてコアカッターを用いて不攪乱試料を採取し、湿潤密度及び乾燥密度を確認した。なお、礫混合土は盛土材料に5号砕石、6号砕石を加え、山砂：5号砕石：6号砕石=4：1：1の乾燥重量比で混合した。

密度管理の作業状況を図3.4.9、図3.4.10に示す。また、使用した材料の基本的性質を表3.4.1、図3.4.11に、模型作製時の密度管理結果を表3.4.2に示す。



図 3.4.9 密度管理作業状況（コアカッター法）



図 3.4.10 密度管理作業状況（砂置換法）

表 3.4.1 使用材料の基本的性質

実験Case			1~4		2, 4
模型材料			基礎地盤	堤体土	対策工
			ローム	山砂	礫混合土
一般	土粒子の密度 ρ_s	g/cm ³	-	2.678	2.676
粒度	礫分	%	-	0.4	32.7
	砂分	%	-	84.5	56.4
	シルト分	%	-	8.6	7.9
	粘土分	%	-	6.5	3.0
	10%粒径 D_{10}	mm	-	0.031	0.0565
	20%粒径 D_{10}	mm	-	0.117	0.156
	50%粒径 D_{50}	mm	-	0.229	0.364
	60%粒径 D_{60}	mm	-	0.272	0.533
	最大粒径 D_{max}	mm	-	4.75	26.5
	均等係数 U_c	-	-	8.76	9.43
	曲率係数 U_c'	-	-	2.81	1.54
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/cm ³	1.306	1.665	1.901
	最適含水比 W_{opt}	%	-	17.2	12.9
透水	透水係数 k_{15}	m/s	-	7.89E-05	4.23E-05
	設定含水比	%	-	14.7	12.9
	設定乾燥密度	ρ_d	-	1.432	1.711
	締固め度	%	-	86	90

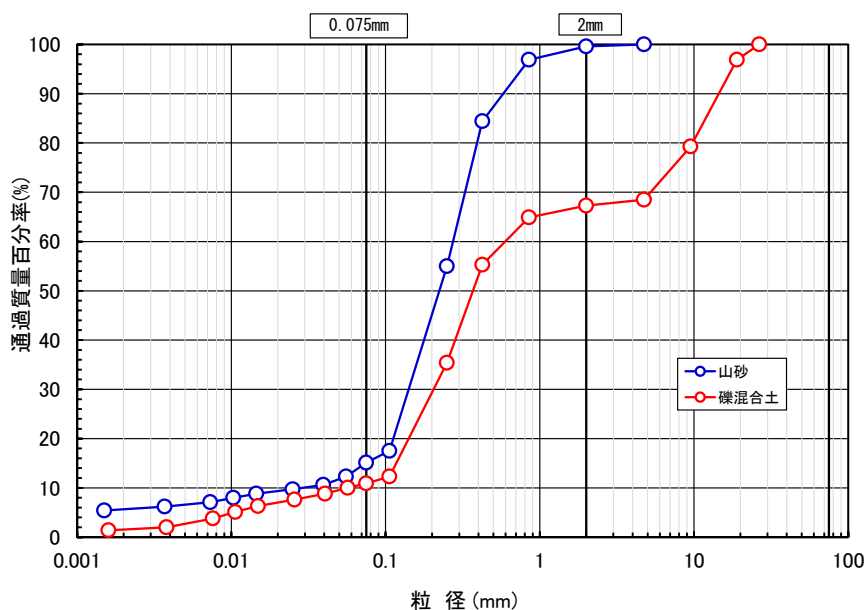


図 3.4.11 使用材料の粒径加積曲線

表 3.4.2 模型作製時密度管理結果

Case	模型材料	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	目標締固め度 (%)	備考
1	山砂	14.7	1.430	85.9	86.0	
	ローム	51.1	1.186	90.8	90.0	
2	山砂	13.1	1.426	85.6	86.0	再構築部
	礫混合土	10.9	1.665	87.6	90.0	
	ローム	Case1模型を流用				
3	山砂	13.7	1.429	85.8	86.0	再構築部
	ローム	Case1模型を流用				
4	山砂	Case2模型を流用				
	礫混合土	11.6	1.736	91.3	90.0	
	ローム	Case1模型を流用				

(3) 計測機器の設置

模型作製に併せて、図 3.4.12 に示す位置に間隙水圧計（株式会社共和電業製 BPR-A-50KPS）を 25 個、土壌水分計（メーター社製 CDC-EC-5）を 18 個設置した。また、マノメータによる観測を 3 箇所で行った。水位計（応用地質株式会社製 S&DL mini Model-4800）は、水位観測孔を 9 箇所を設置し、管内に水位計を設置し、堤体内水位の計測を行った。水位観測孔は堤体内の範囲に開孔部を設けたストレーナ管に不織布を巻き、土槽底面に固定した。

なお、別途模型付近に大気圧補正用の応用地質株式会社製大気圧計を設置し、大気圧の計測を行った。また、4 層（高さ 60cm）盛り立てるごとに、厚さ 1cm、幅約 20cm の色砂（堤体材料に着色したもの）を薄層・破線状（50cm 間隔）に、法肩と平行な方向に 1m 間隔で 5 本設けた。模型再構築時にも礫混合土内やドレーン工上部に色砂を敷設した。また、堤体形状把握のため、カメラ 3 台を設置し、インターバル撮影を実施した。インターバル撮影時は、模型付近に、撮影画像を用いた画像解析の際に、標定点として利用するためのマーカーを設置したうえで撮影を行った。計測機器の設置状況等を図 3.4.13～図 3.4.19 に示す。

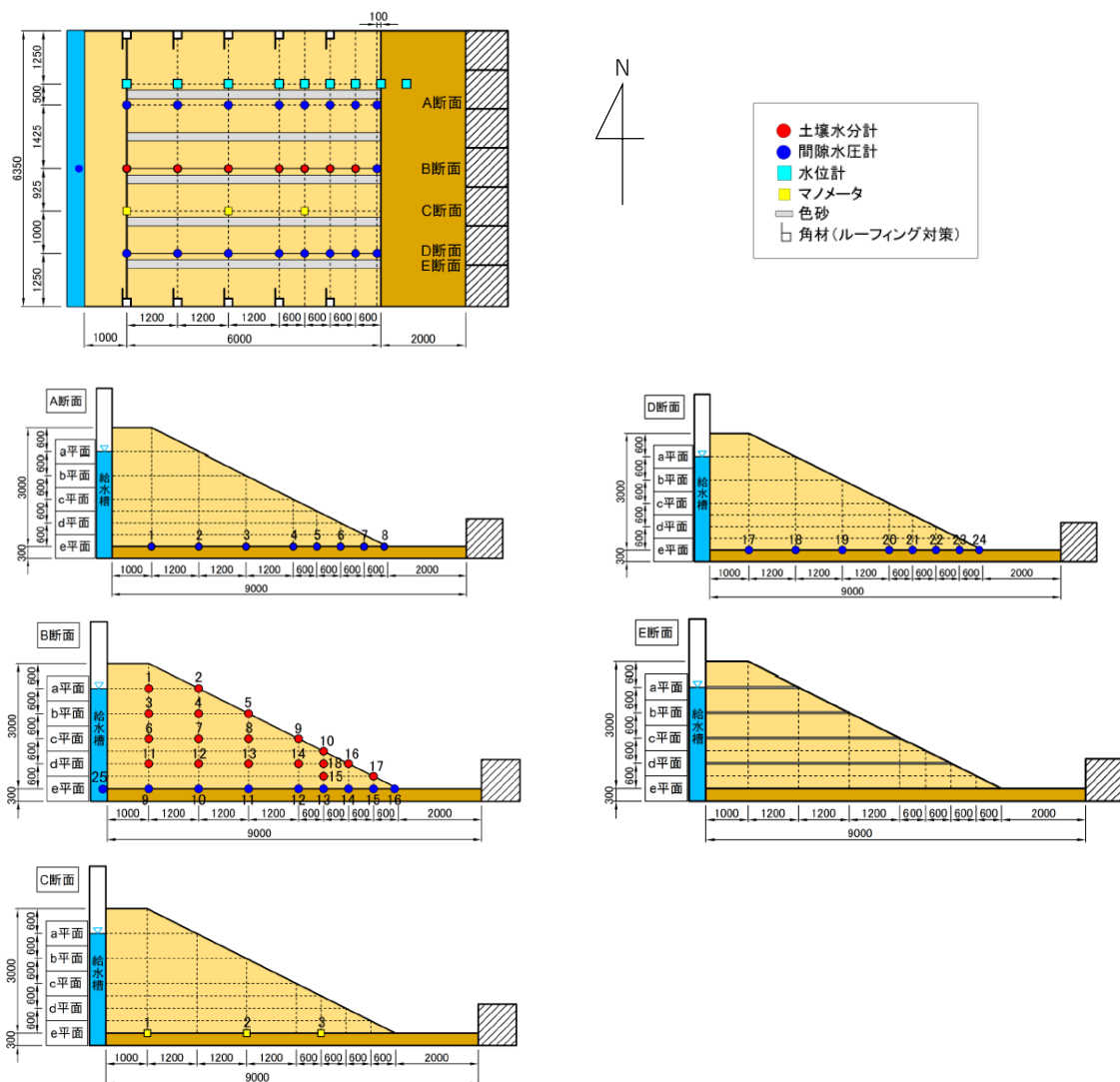


図 3.4.12 実験模型概要図およびセンサー設置位置図（単位：mm）



図 3.4.13 間隙水圧計設置状況



図 3.4.14 土壌水分計設置状況

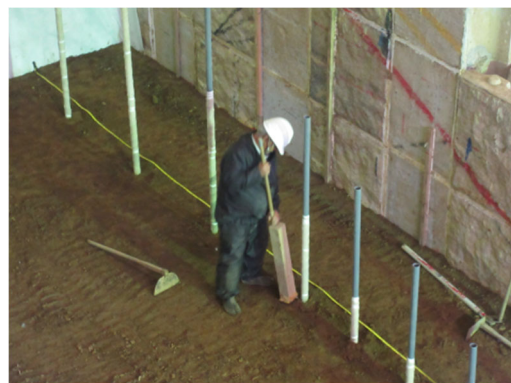


図 3.4.15 左：水位観測孔作製状況、右：水位観測孔設置状況



図 3.4.16 左：水位観測孔設置状況全景、右：使用水位計



図 3.4.17 左：マンメータ一計測部設置状況、右：マンメータ一読取部設置状況



図 3.4.18 カメラ設置状況



図 3.4.19 マーカー設置位置

(4) 設置機器のキャリブレーション

間隙水圧計は、塩ビ管内に間隙水圧計を入れ、管内の水位を変化させた際のひずみとの関係を用いてキャリブレーションを実施した。キャリブレーションの結果を表 3.4.3 に示す。

表 3.4.3 間隙水圧計のキャリブレーション結果

(出力ひずみ: $\mu\epsilon$)

テープNo.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	
水深 (m)	0.0	73	75	-120	144	185	106	2	127
	0.5	153	152	-43	251	271	191	111	205
	1.0	235	233	37	354	358	278	223	284
	1.5	318	308	117	464	449	365	327	364
	2.0	403	386	196	572	537	454	437	442
	2.5	484	467	273	680	628	538	542	527
	3.0	569	545	353	789	717	624	654	605
	3.5	647	624	431	899	801	714	763	684
4.0	733	702	510	1006	890	797	873	764	
テープNo.	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	
水深 (m)	0.0	58	81	118	220	61	82	586	196
	0.5	140	157	213	309	149	168	683	301
	1.0	222	236	312	412	239	256	785	408
	1.5	305	315	412	509	330	346	887	520
	2.0	390	390	512	608	416	433	990	619
	2.5	472	468	610	704	509	522	1092	725
	3.0	552	544	709	807	599	611	1194	829
	3.5	635	621	809	900	688	699	1296	933
4.0	720	697	909	998	774	788	1397	1037	
テープNo.	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24	
水深 (m)	0.0	-25	395	85	-30	94	-5	100	66
	0.5	56	822	177	61	176	99	186	144
	1.0	141	1254	273	151	255	206	286	222
	1.5	224	1689	365	241	338	314	362	303
	2.0	307	2112	459	332	418	420	448	381
	2.5	397	2545	547	420	500	528	540	461
	3.0	472	2971	645	512	580	635	625	539
	3.5	555	3398	740	604	663	744	714	618
4.0	637	3814	832	691	743	853	801	697	
テープNo.	No.25								
水深 (m)	0.0	108							
	0.5	191							
	1.0	271							
	1.5	353							
	2.0	433							
	2.5	513							
	3.0	594							
	3.5	674							
4.0	755								

テープNo.	校正係数
No.1	0.0061
No.2	0.0064
No.3	0.0063
No.4	0.0046
No.5	0.0057
No.6	0.0058
No.7	0.0046
No.8	0.0063
No.9	0.0060
No.10	0.0065
No.11	0.0050
No.12	0.0051
No.13	0.0056
No.14	0.0057
No.15	0.0049
No.16	0.0048
No.17	0.0060
No.18	0.0012
No.19	0.0054
No.20	0.0055
No.21	0.0062
No.22	0.0047
No.23	0.0057
No.24	0.0063
No.25	0.0062

3.4.3 計測内容

実験にあたっては、図 3.4.12 に示す機器による観測に加え、堤体に変状が見られた場合は実験終了後にピンポールを貫入し、実験後の堤体表面から貫入時の抵抗が急増する範囲までの深さを計測し、変状発生範囲の堤体のゆるみ範囲を確認した。Case2、4 終了後には、模型を開削し、礫混合土および山砂部に対して簡易的な原位置透水試験（簡易透水試験）を実施した。

また、必要に応じて、法尻部の排水パイプからの排水の重量の経時変化を計測し、排水流量を計測した。

併せて、3 方向よりカメラを用いたインターバル撮影を実施し、写真中の画像変換用マーカを参照し 3 次元モデル（DEM）を作成することにより、実験中の堤体形状を求めた。



図 3.4.20 簡易透水試験実施状況

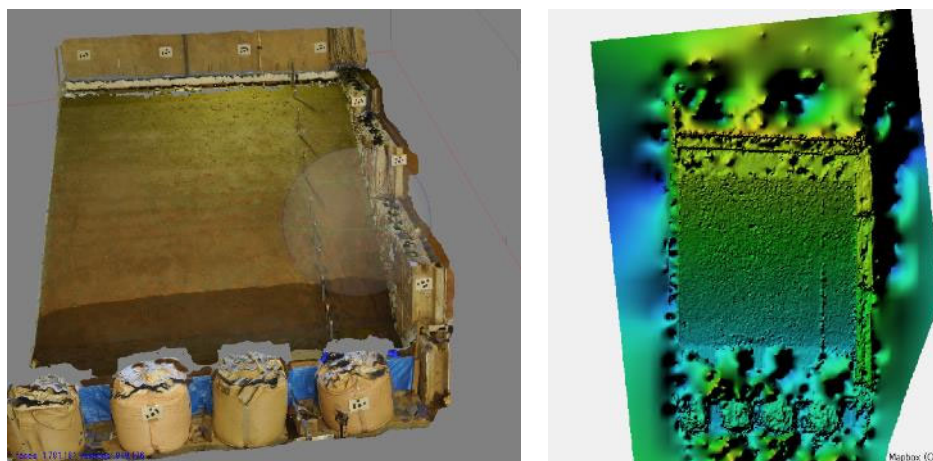


図 3.4.21 左：3次元モデル例、右：実験模型 DEM 例

3.5 実験結果

3.5.1 Case1

Case1 は無対策の模型を用いて実験を行ったケースである。対策を施さない場合の変状の発生状況について検証する。

(1) 実験経過

表 3.5.1 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 3.5.1 実験経過 (Case1)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
12/9	10:00	0→70.0	給水開始 (所要時間40分程度)
	16:40	70.0	法尻部の泥濁化が確認された。
		70.0	崩壊範囲が法肩に向けて広がっていった
	19:20	70.0	破壊モードが、すべり破壊から侵食が優位となったため、給水を停止し、実験を終了した。
			水位低下中も崩壊が進行した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、貫入試験により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。なお、画像解析より得られた堤体形状については、最終的に最も変状が大きくなる位置の近傍として、図 3.5.1 に示す、南側壁面より 2.05m 地点の堤体形状を示す。

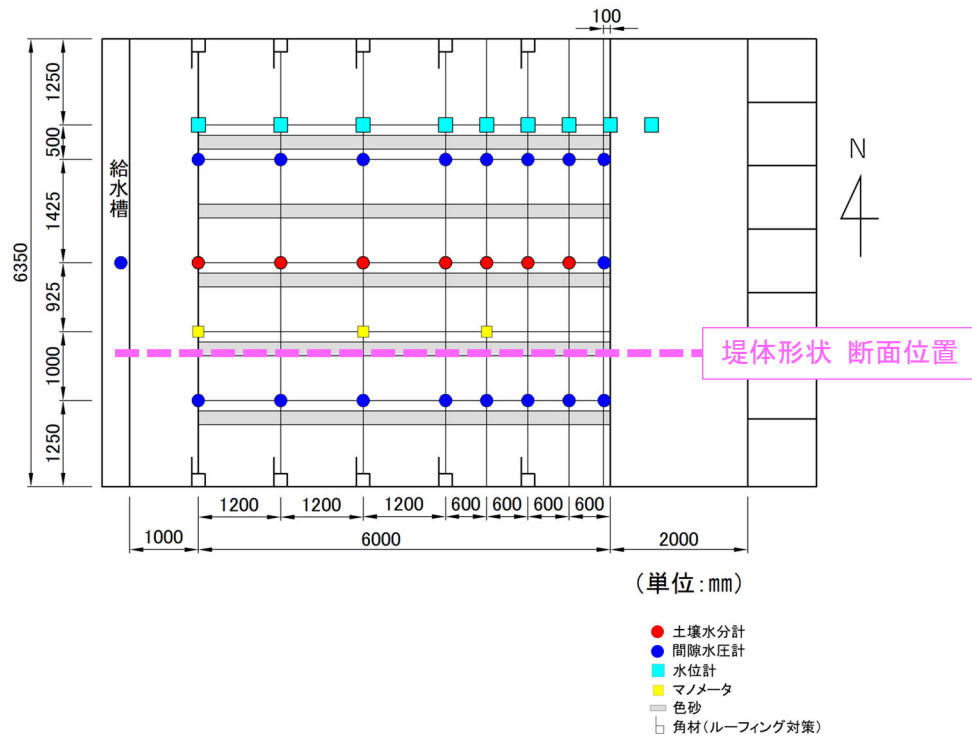


図 3.5.1 堤体形状 断面位置 (Case1)

1) 堤体形状および堤体内水位

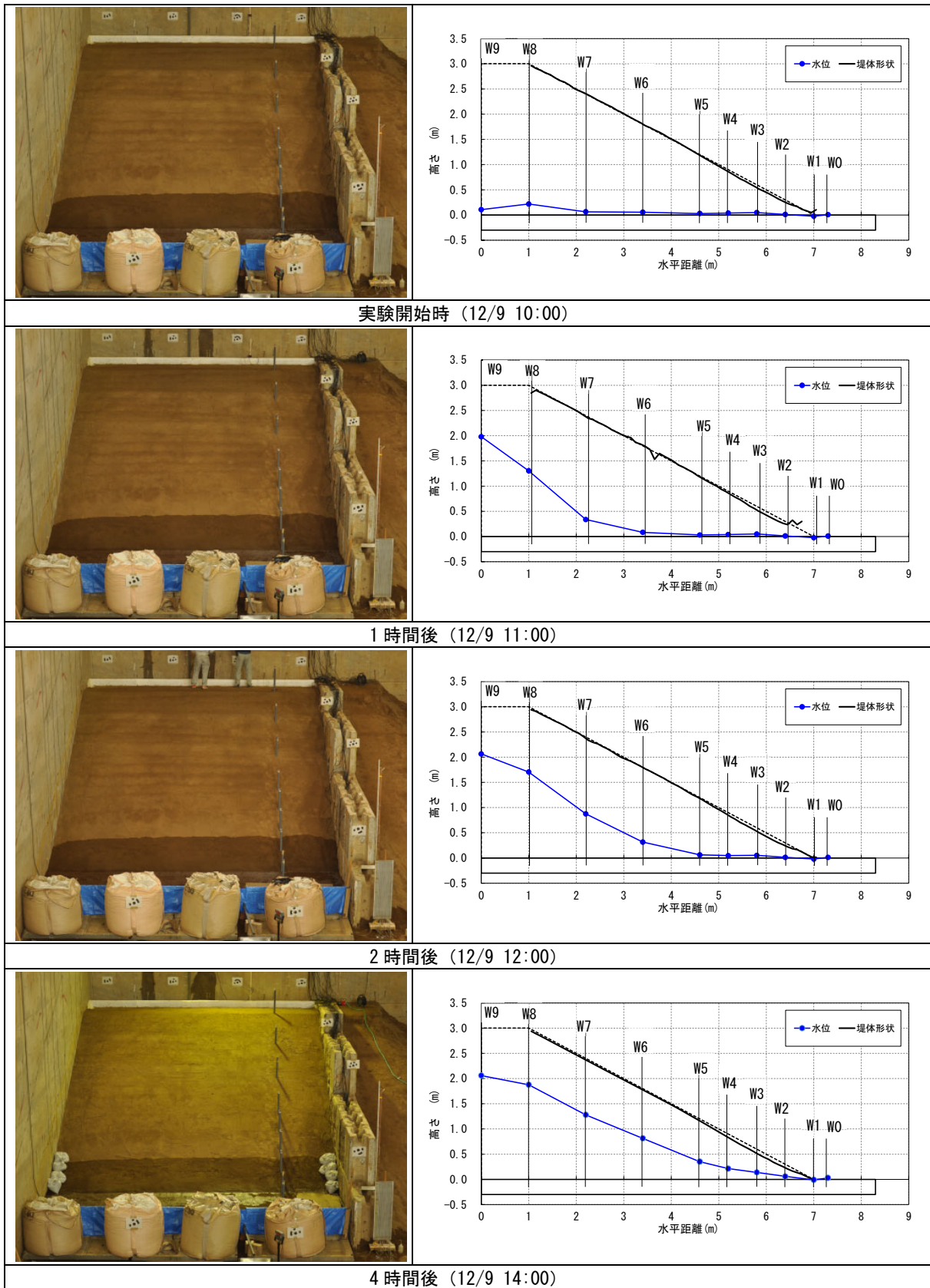


図 3.5.2 堤体状況、堤体形状（南端から 2.05m）および堤体内水位（水位計）（Case1）（1/3）

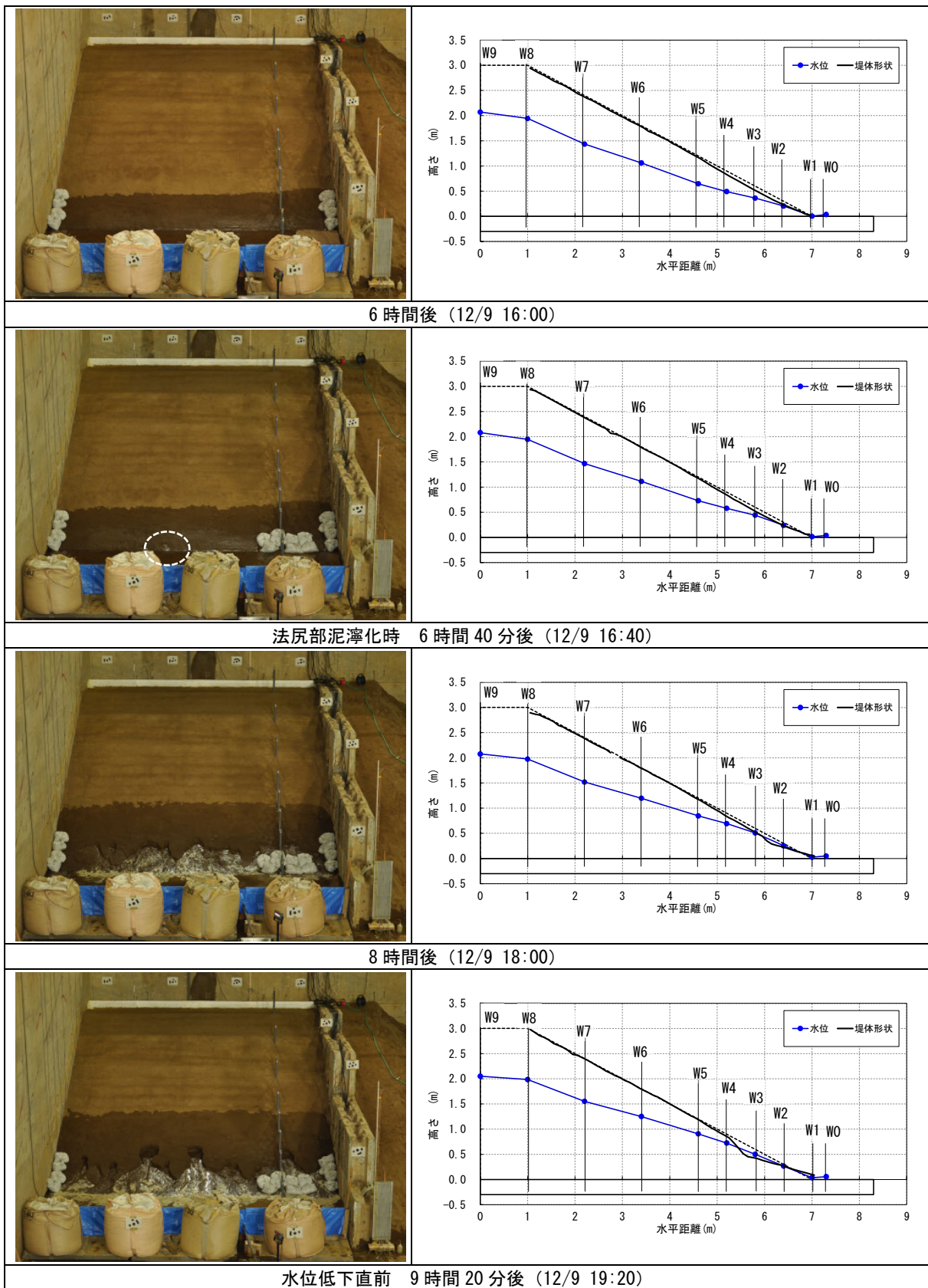


図 3.5.2 堤体状況、堤体形状（南端から 2.05m）および堤体内水位（水位計）(Case1) (2/3)

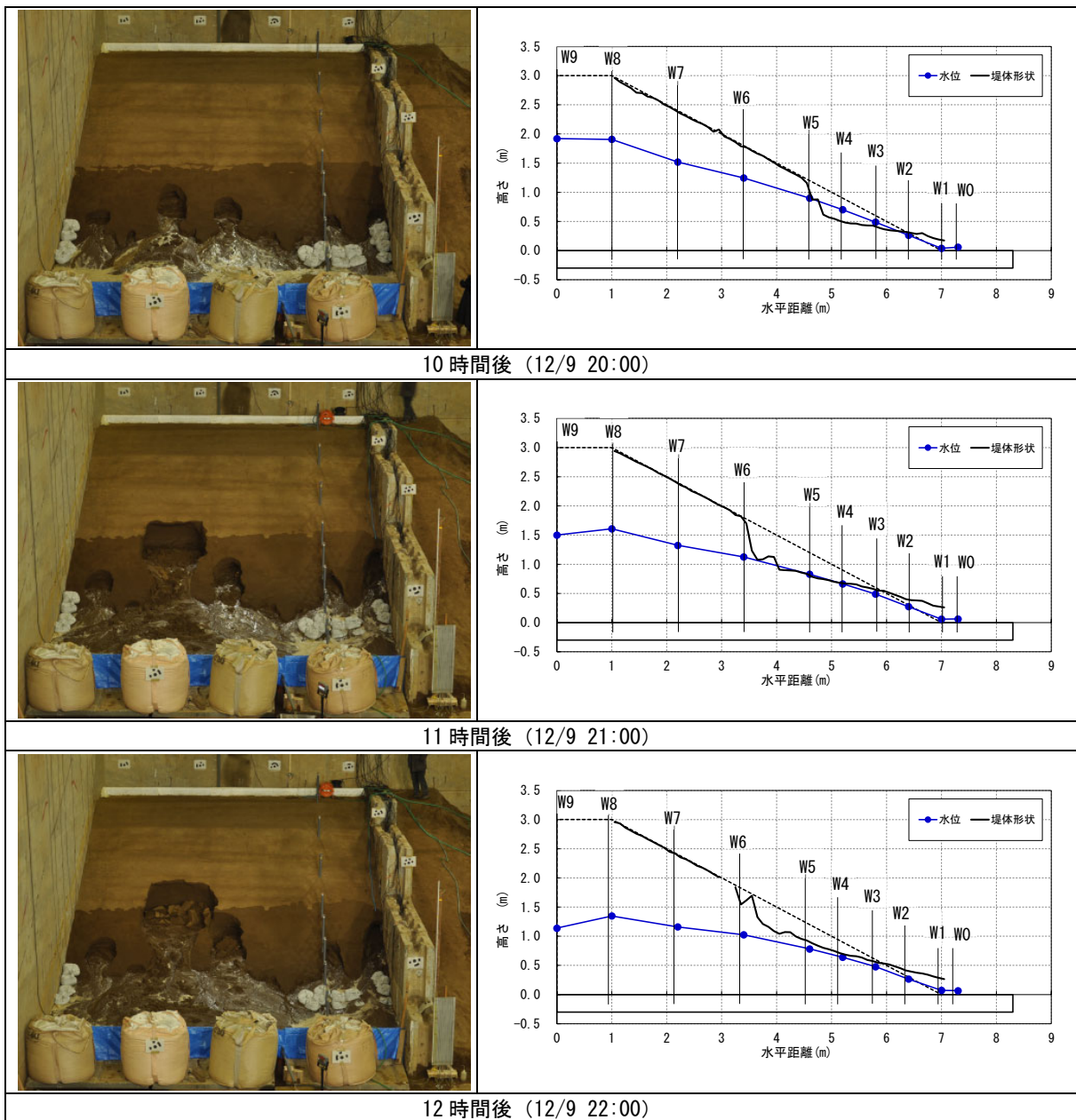


図 3.5.2 堤体状況、堤体形状（南端から 2.05m）および堤体内水位（水位計）（Case1）（3/3）

2) 堤体内水位の経時変化

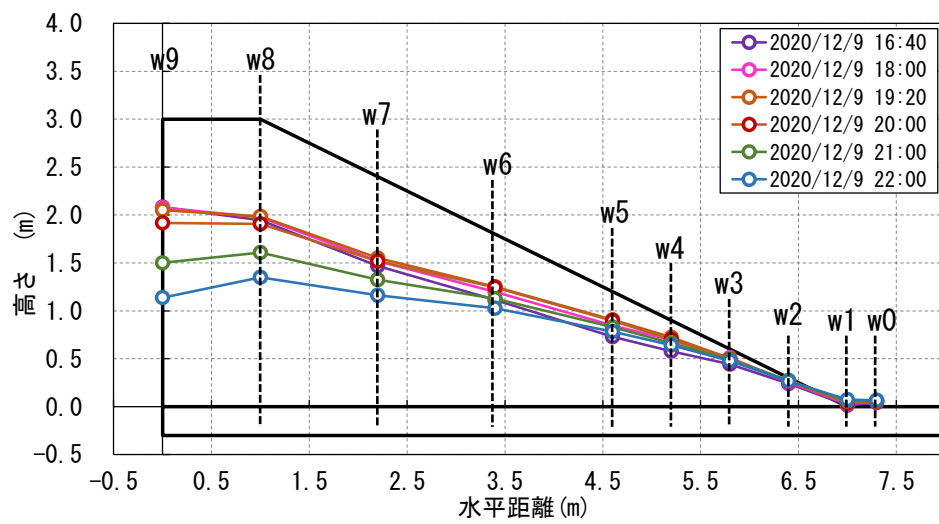
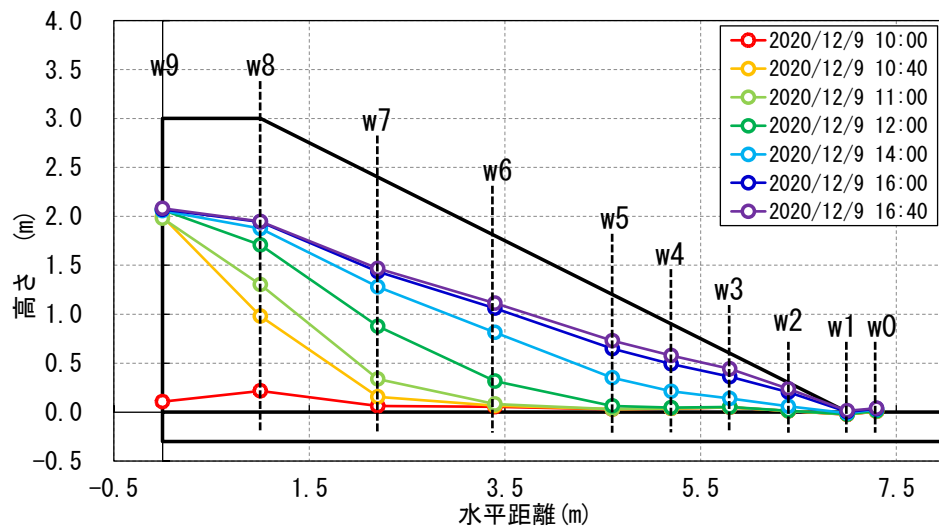


図 3.5.3 堤体内水位の横断分布の経時変化

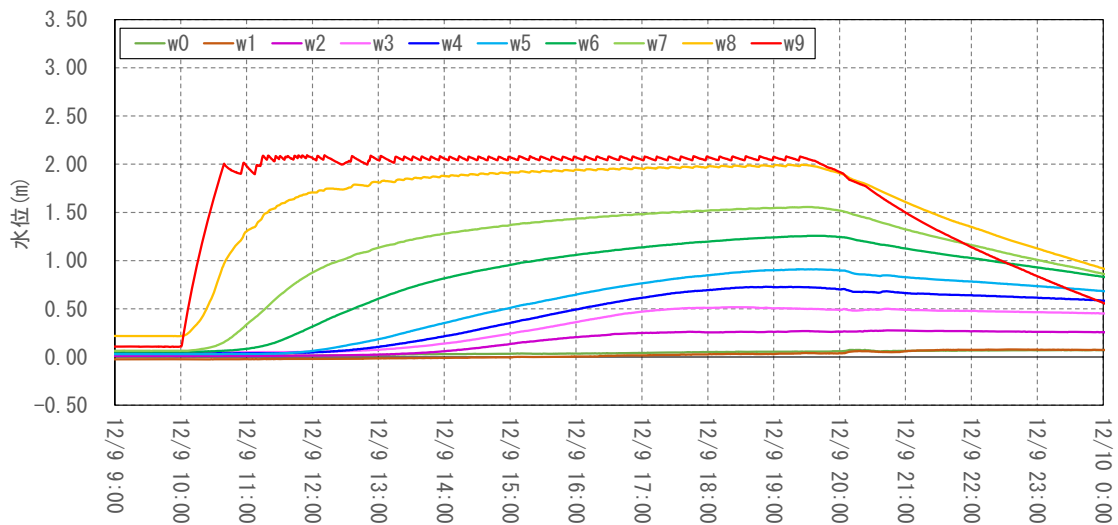


図 3.5.4 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化

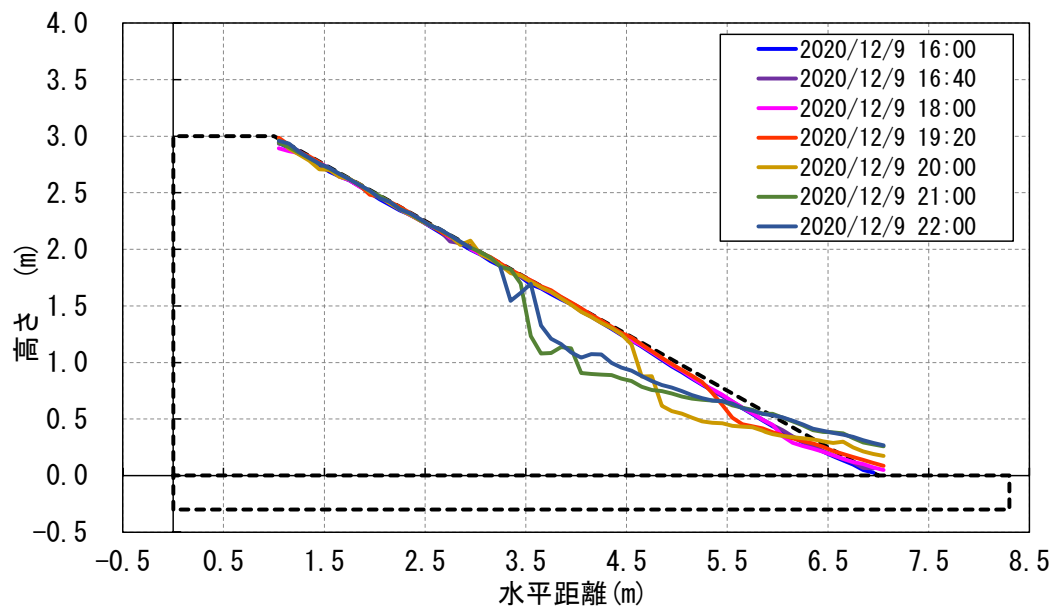


図 3.5.5 法面形状の経時変化 (南側壁面より 2.05m)

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

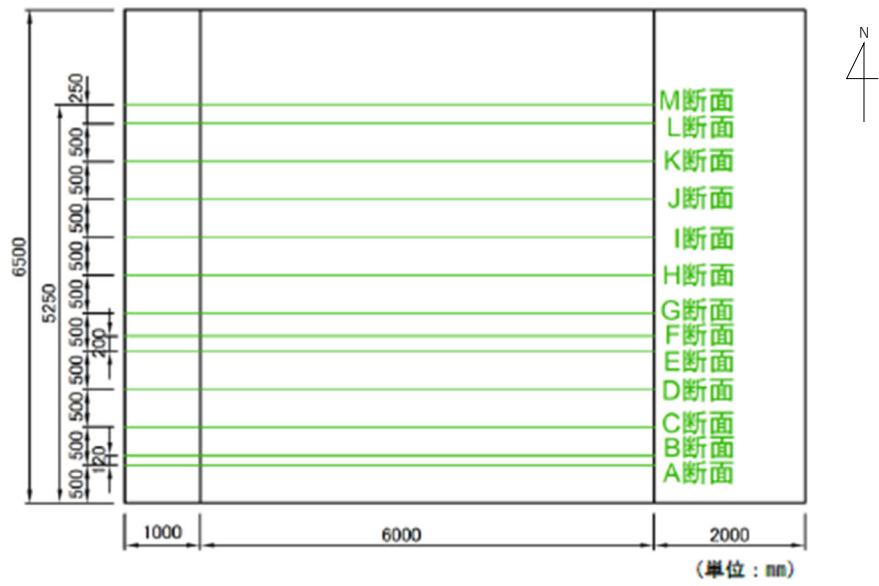


図 3.5.6 緩み深度計測位置図

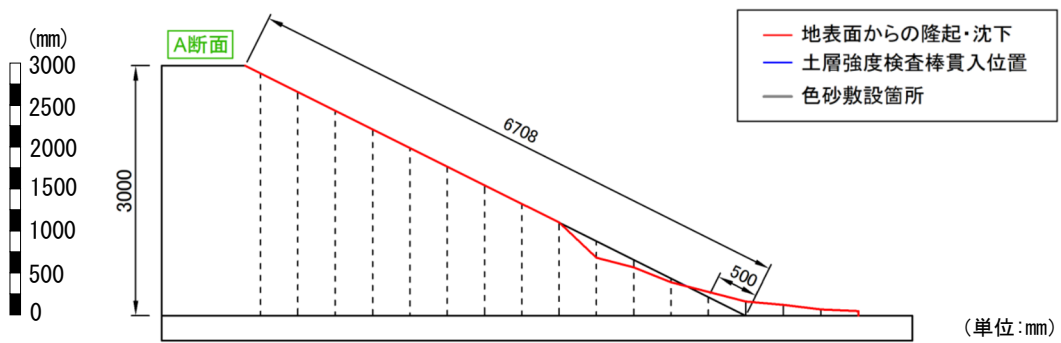


図 3.5.7 緩み深度計測結果 (A断面：南側壁面より 0.5m)

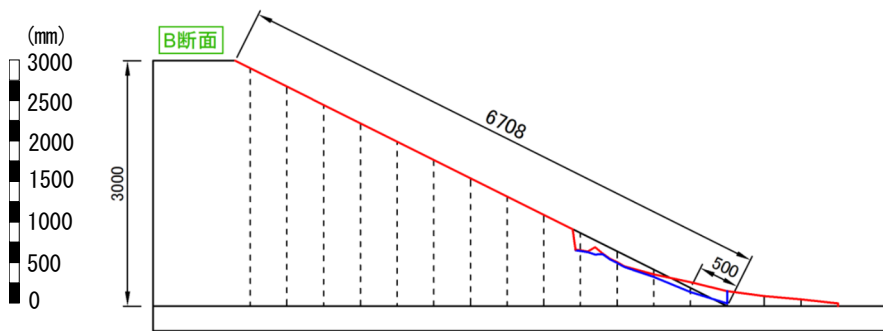


図 3.5.8 緩み深度計測結果 (B断面：南側壁面より 0.62m)

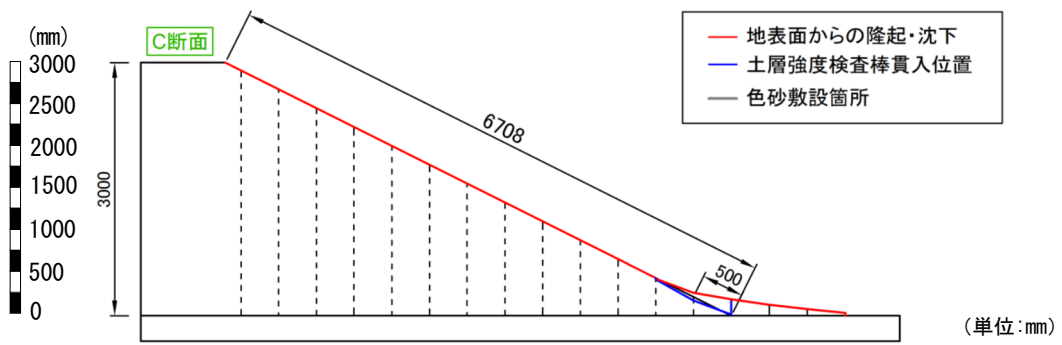


図 3.5.9 緩み深度計測結果（C断面：南側壁面より 1.0m）

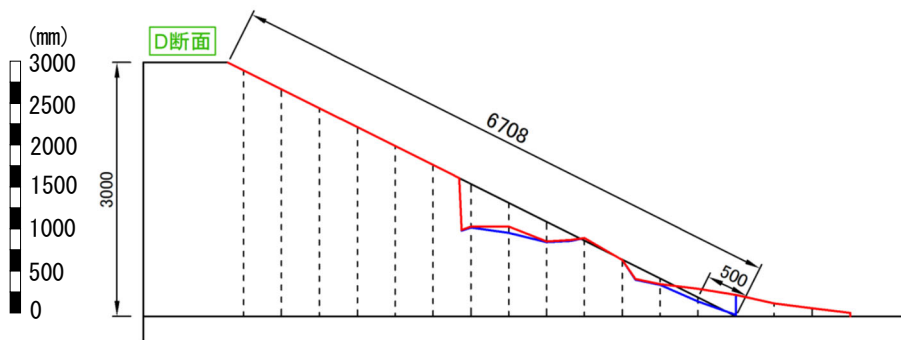


図 3.5.10 緩み深度計測結果（D断面：南側壁面より 1.5m）

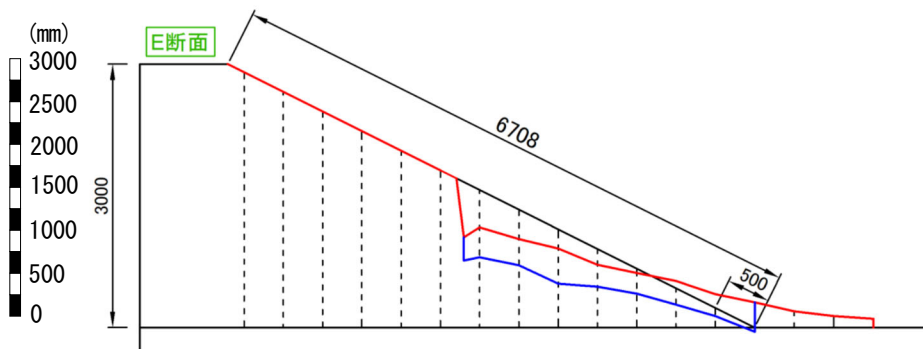


図 3.5.11 緩み深度計測結果（E断面：南側壁面より 2.0m）

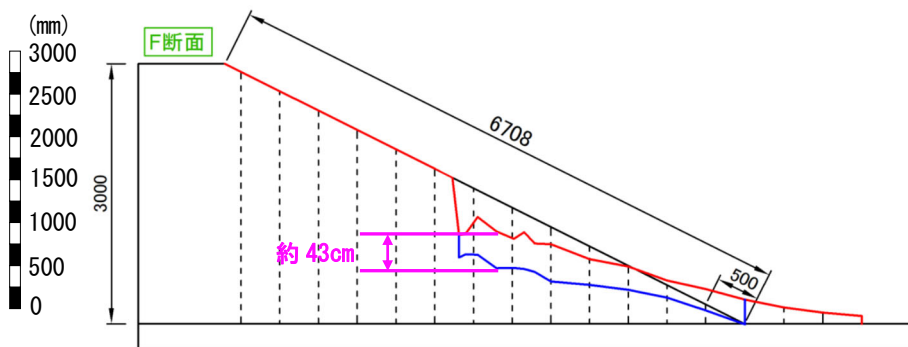


図 3.5.12 緩み深度計測結果（F断面：南側壁面より 2.2m）

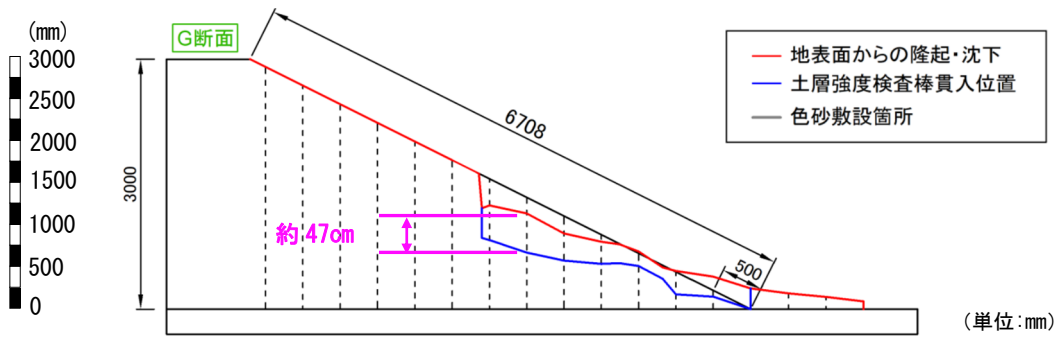


図 3.5.13 緩み深度計測結果（G断面：南側壁面より 2.5m）

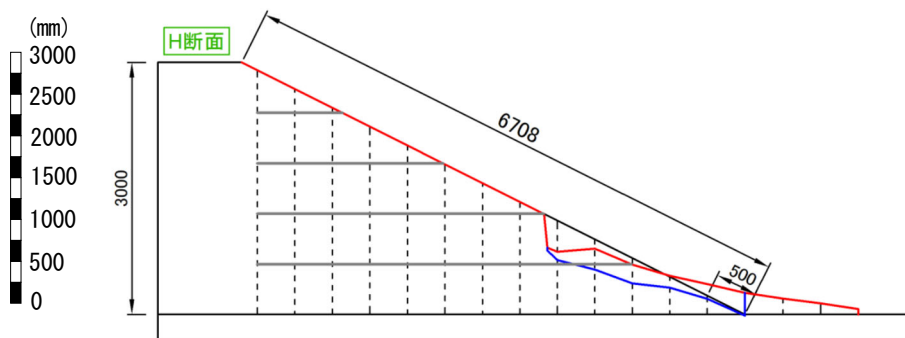


図 3.5.14 緩み深度計測結果（H断面：南側壁面より 3.0m）

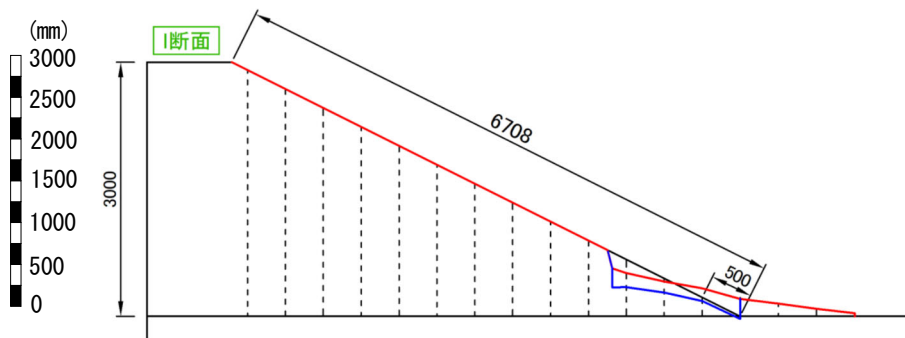


図 3.5.15 緩み深度計測結果（I断面：南側壁面より 3.5m）

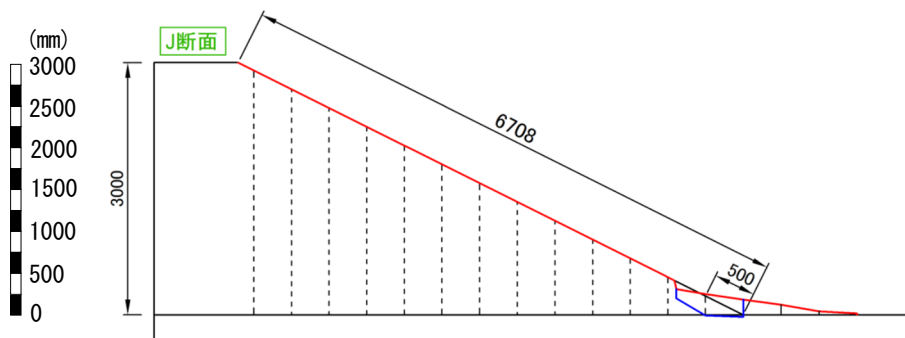


図 3.5.16 緩み深度計測結果（J断面：南側壁面より 4.0m）

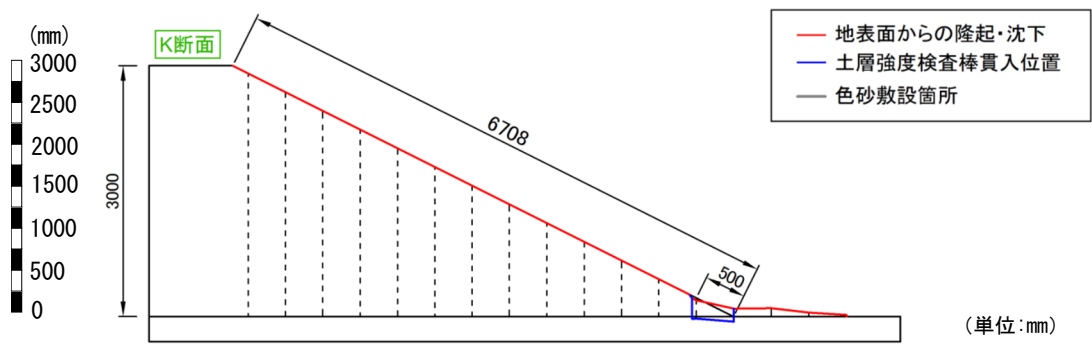


図 3.5.17 緩み深度計測結果 (K断面 : 南側壁面より 4.5m)

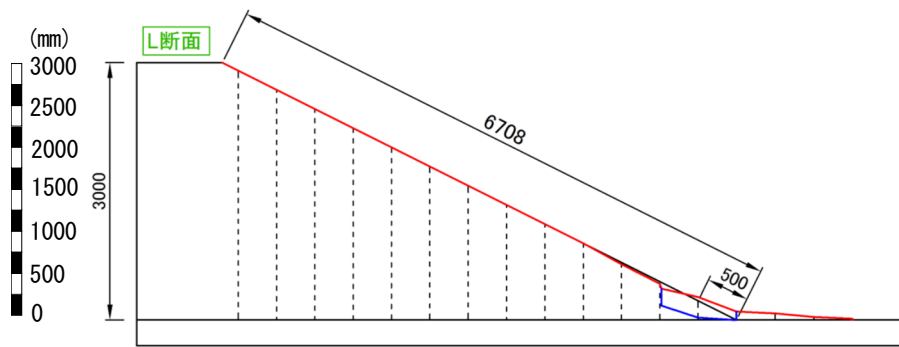


図 3.5.18 緩み深度計測結果 (L断面 : 南側壁面より 5.0m)

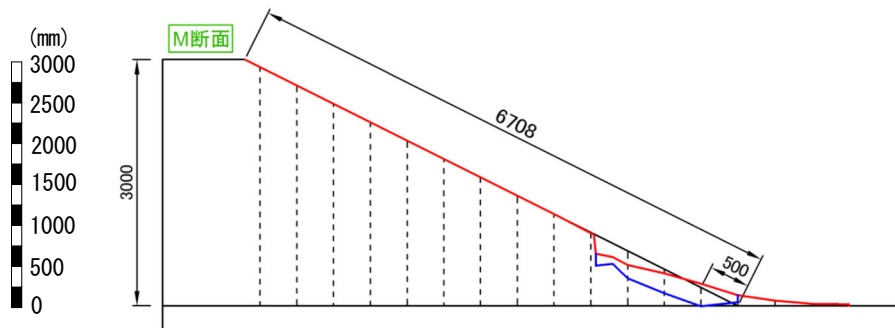


図 3.5.19 緩み深度計測結果 (M断面 : 南側壁面より 5.25m)

(3) 実験結果に関する考察

図 3.5.2 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。給水槽の水位上昇後、堤体内水位が上昇し、およそ 4 時間後 (12/9 14:00) に浸潤域が法尻に達した。その後、水位計 W3 (法尻から水平方向に 1.2m) の水位が法面付近に達した時点 (6 時間 40 分後 12/9 16:40) で法尻部が湿潤化し液体状に崩れていく泥濘化が発生した。泥濘化後には泥濘化範囲上端部で軽微な段差が生じ、さらに、泥濘化が徐々に法肩に向けて進行していくにつれて段差が大きくなり、段差が発生した箇所が土塊状に崩壊するすべり破壊が発生し、その崩壊が法肩に向かって拡大していく様子が確認された。水位を低下させた後も崩壊は進行し、最終的に最も変状が大きい位置で、法肩から水平方向に 2.5m 程度の位置まで崩壊が進行した。

図 3.5.3 に堤体内水位の経時変化を示す。水位の上昇傾向としては、下に凸の形で浸潤面が上昇し、概ね給水槽の水面位置と法尻を結んだラインまで水位が上昇した後、若干上に凸の浸潤面形になるまで水位が上昇した。

図 3.5.7～図 3.5.19 に実験後の堤体の緩み範囲計測結果を示す。実験後の堤体の緩み深度を見ると、最大で崩壊後の地表面から 47cm 程度の範囲が緩んでいることが確認されており、深い範囲まで変状が及んでいることが分かる。

また、図 3.5.20 に示すように、変状が進行していく状況としては、初期段階では上述の通り泥濘化からすべり破壊につながっていく様子が確認されたが、ある程度変状が進行した後に破壊のモードが変化し、堤体内部から流出する水によって崩壊部の法面が侵食される様子が見られ、それにより崩壊部上端部での段差がより拡大し、崩落が進行していく様子が確認された。

以上の結果から、中型模型実験の無対策の場合と同様、泥濘化が発生した後、泥濘化上端部から、前面抵抗を失ったことによりすべり破壊に発展し、崩壊範囲が拡大していく進行性破壊が発生したと考えられる。



図 3.5.20 左：破壊進行初期（すべり破壊）の状況（17:15）
右：破壊進行モード変化後（侵食破壊）の状況（17:38）



図 3.5.21 実験終了後 14 時間程度存置後の状況

3.5.2 Case2

Case2 は堤体の法尻部の底幅 1.0m、高さ 1.0m の範囲を礫混合土により置き換えた模型を用いて実験を行ったケースであり、礫混合土置換工法の対策工としての効果について検証する。

(1) 実験経過

表 3.5.2 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 3.5.2 実験経過 (Case2)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
1/26	8:30	0→70.0	給水開始 (所要時間40分程度)
	16:20	70.0	礫混合土上端付近でクラック発生。
		70.0	クラック発生位置以下の範囲の礫混合土の沈み込み・法尻付近ではらみ出しが進行。
	17:00	70.0	上記の変状が一定程度進行し、その他の変状が確認されないため、給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、貫入試験により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。

なお、画像解析より得られた堤体形状については、実験後の法尻付近全体がはらみ出す形状となっていたため、模型中心部の南側壁面より 3.25m 地点の堤体形状を示す。

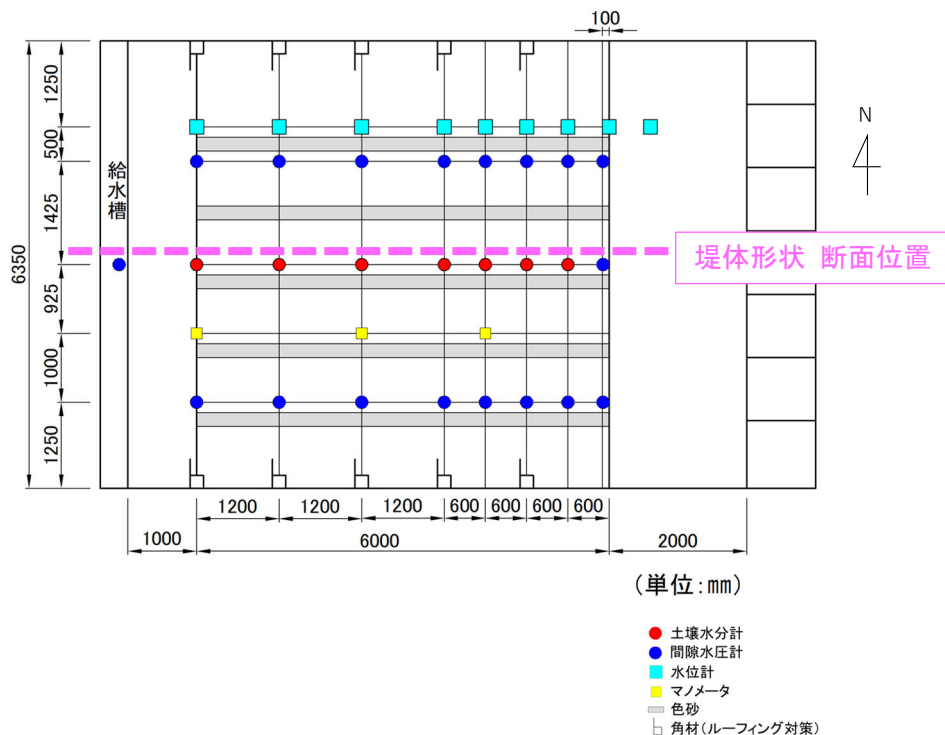


図 3.5.22 堤体形状 断面位置 (Case2)

1) 堤体形状および堤体内水位

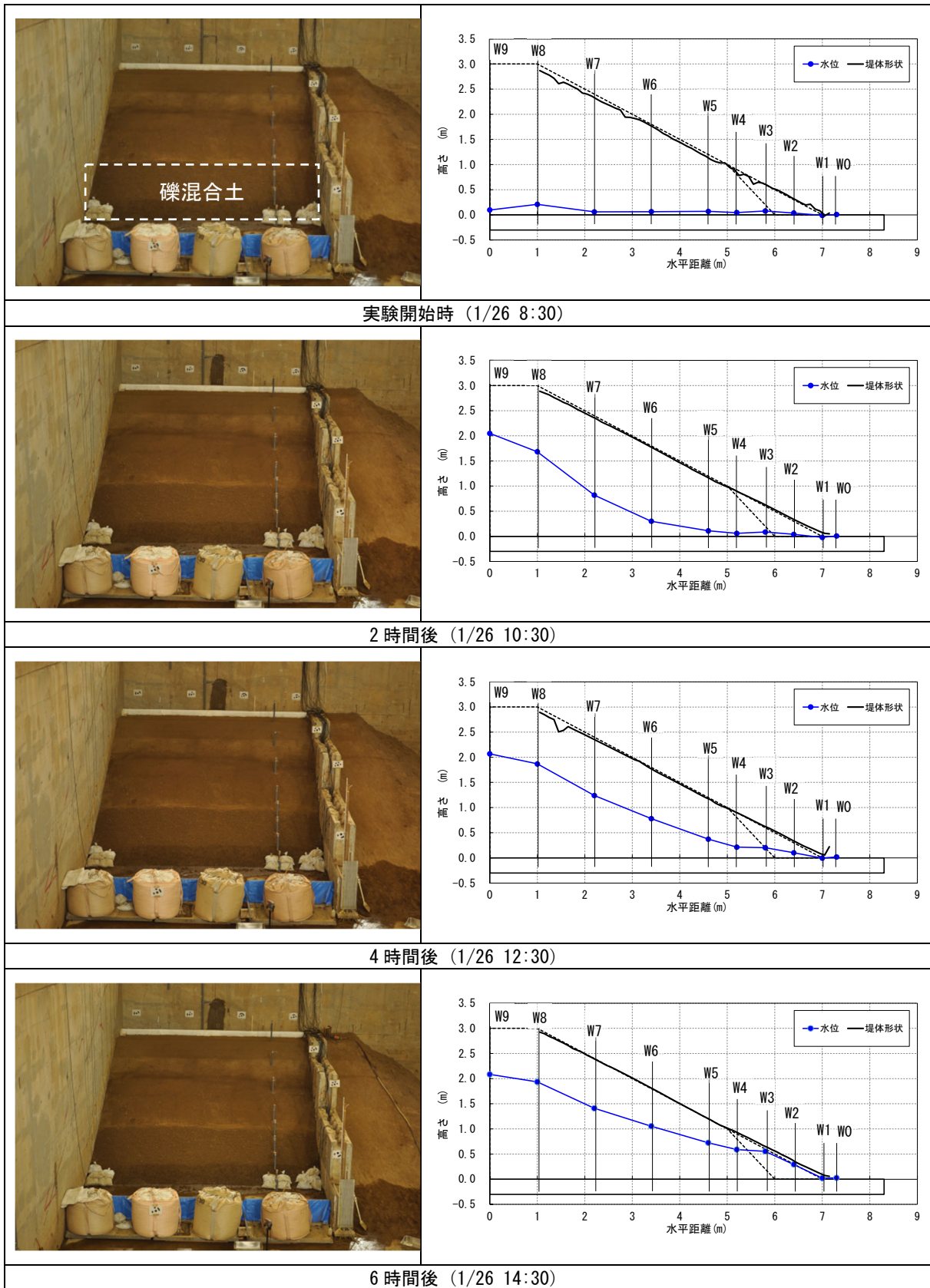


図 3.5.23 堤体状況、堤体形状 (南端から 3.25m) および堤体内水位 (水位計) (Case2)
(1/2)

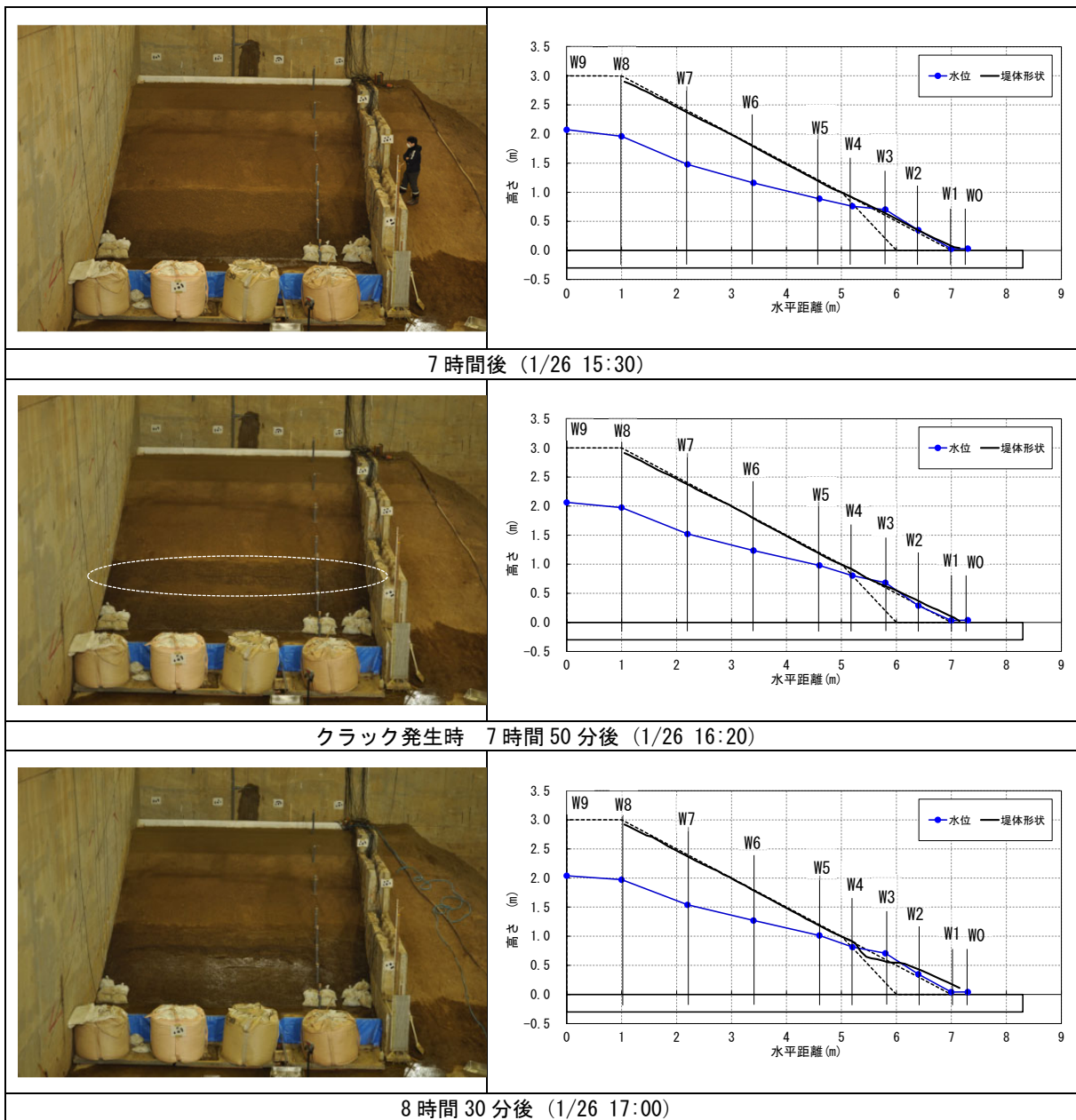


図 3.5.23 堤体状況、堤体形状（南端から 3.25m）および堤体内水位（水位計）（Case2）
(2/2)

2) 堤体内水位の経時変化

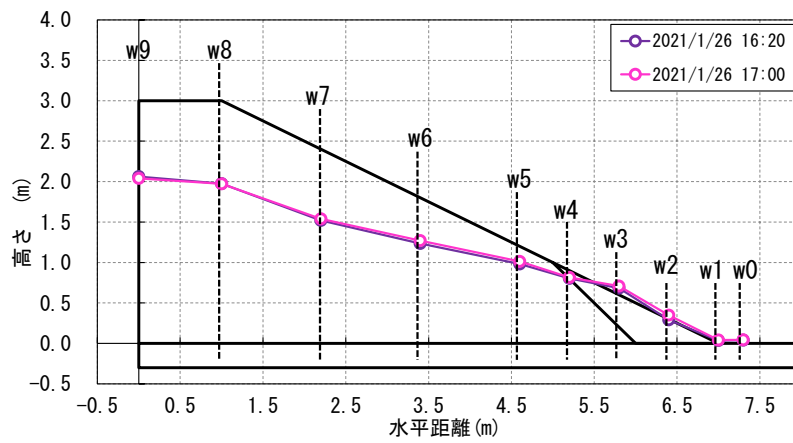
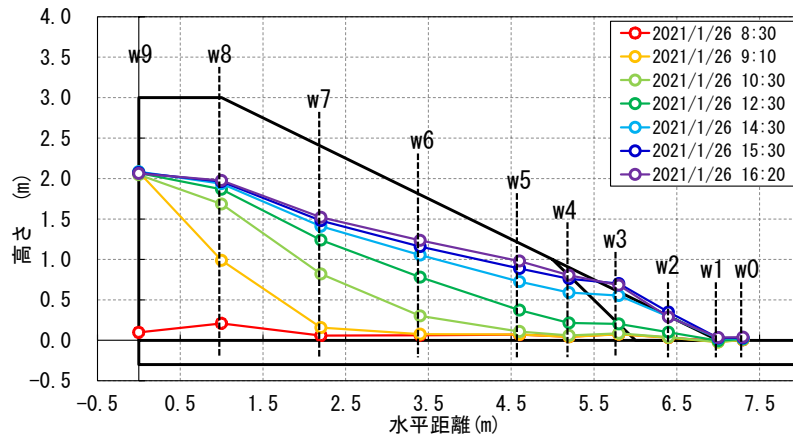


図 3.5.24 堤体内水位の横断分布の経時変化

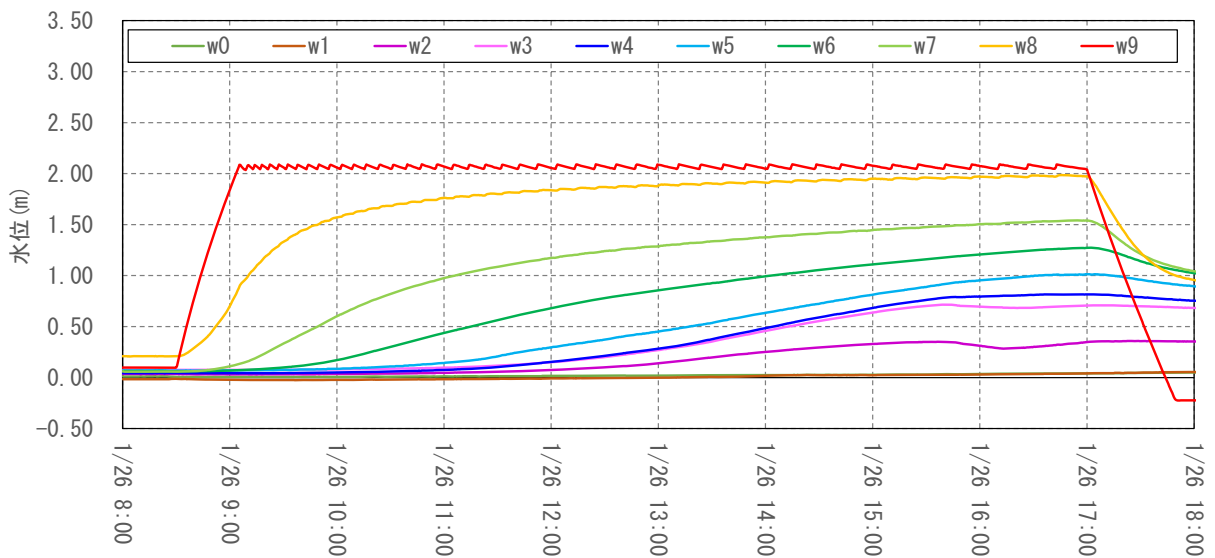


図 3.5.25 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化

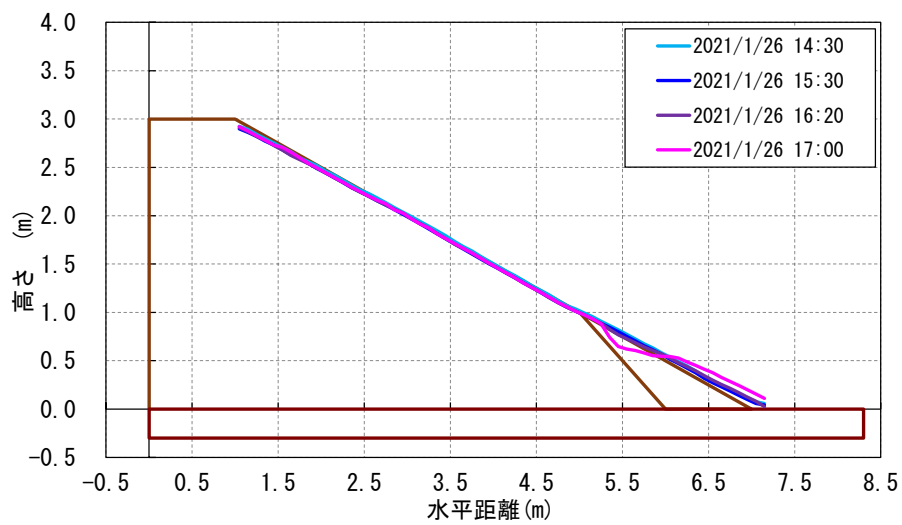


図 3.5.26 法面形状の経時変化（南側壁面より 3.25m）

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

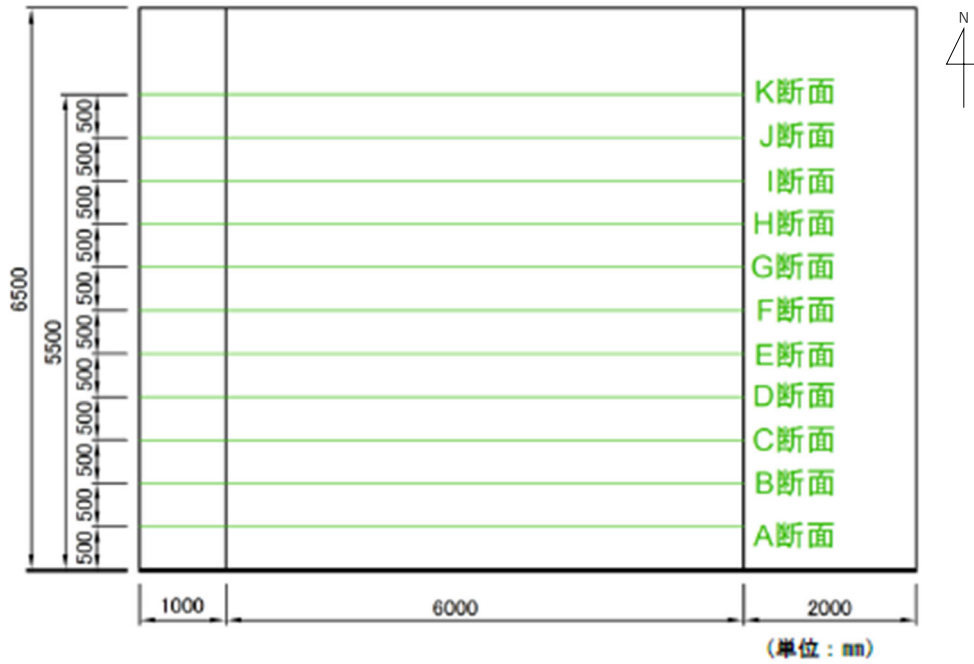


図 3.5.27 緩み深度計測位置図

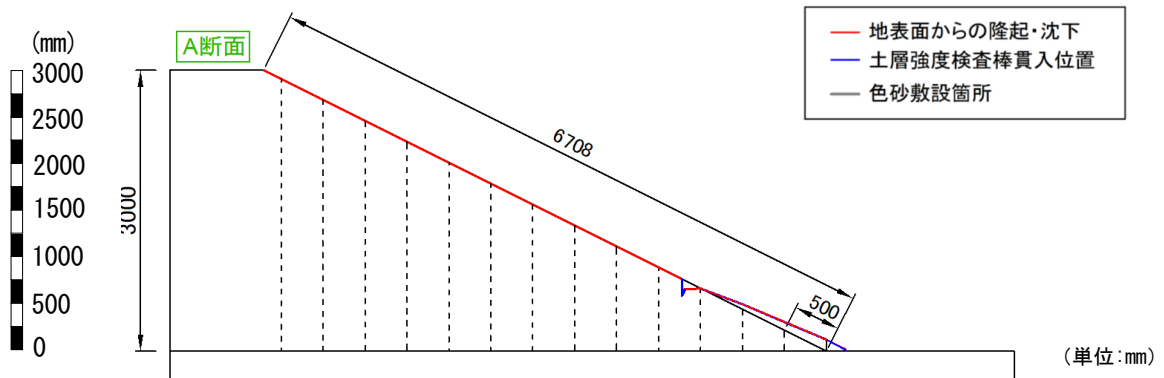


図 3.5.28 緩み深度計測結果 (A断面: 南側壁面より 0.5m)

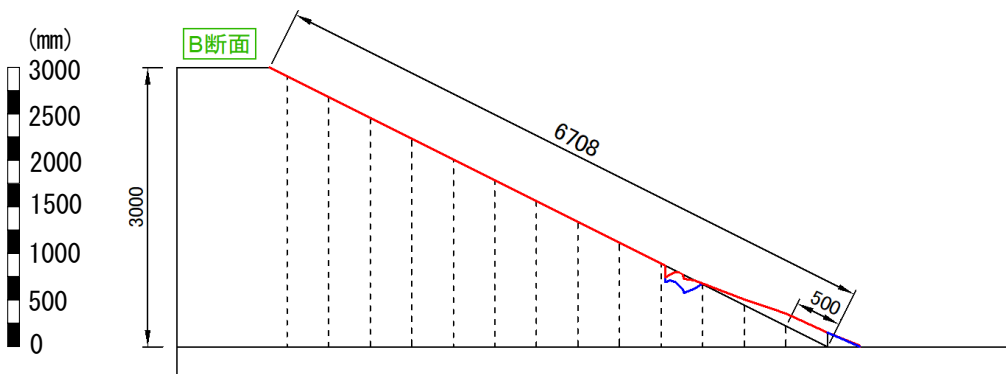


図 3.5.29 緩み深度計測結果 (B断面: 南側壁面より 1.0m)

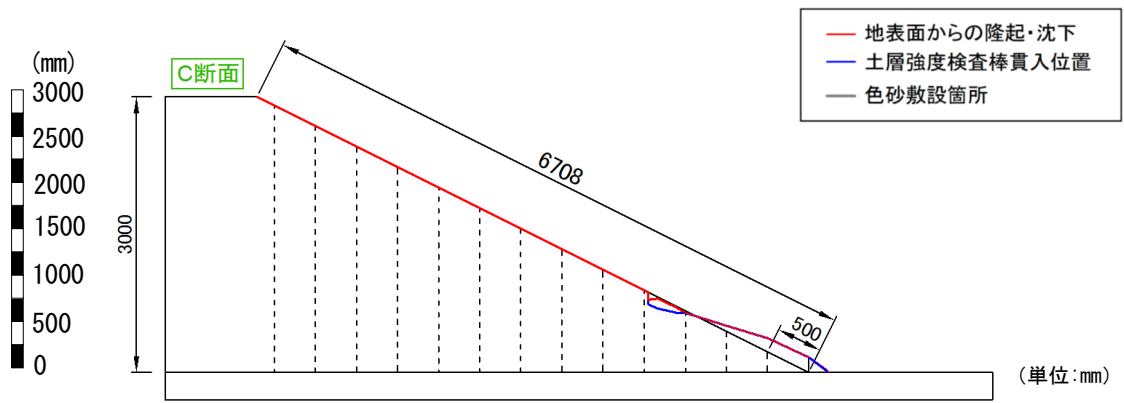


図 3.5.30 緩み深度計測結果（C断面：南側壁面より 1.5m）

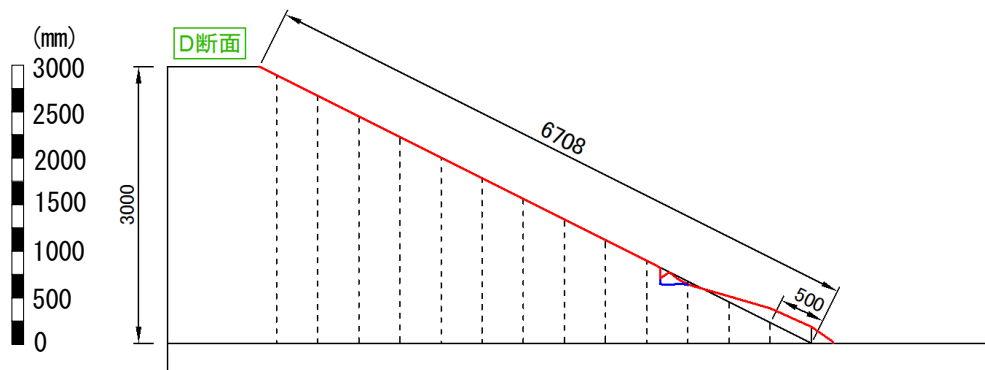


図 3.5.31 緩み深度計測結果（D断面：南側壁面より 2.0m）

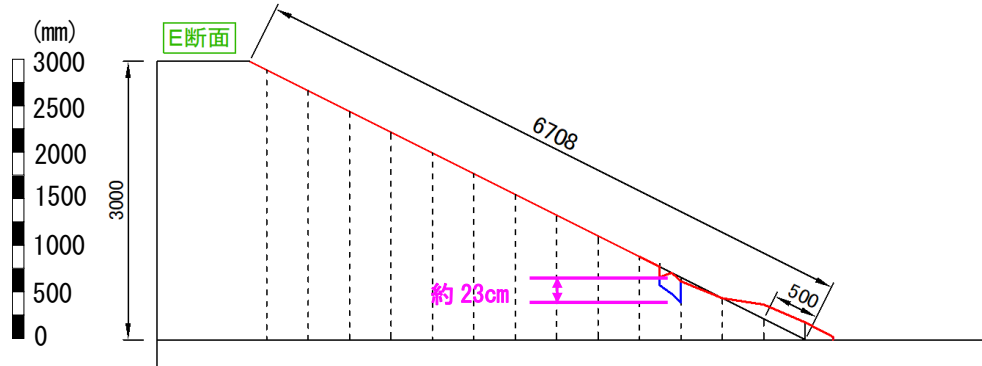


図 3.5.32 緩み深度計測結果（E断面：南側壁面より 2.5m）

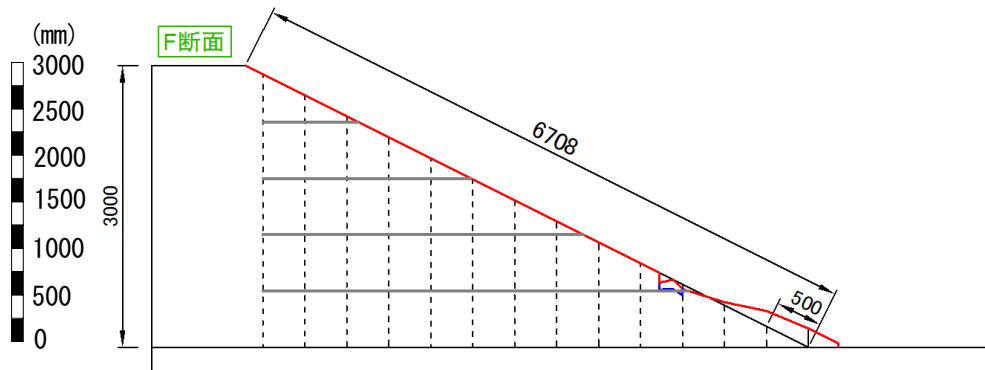


図 3.5.33 緩み深度計測結果（F断面：南側壁面より 3.0m）

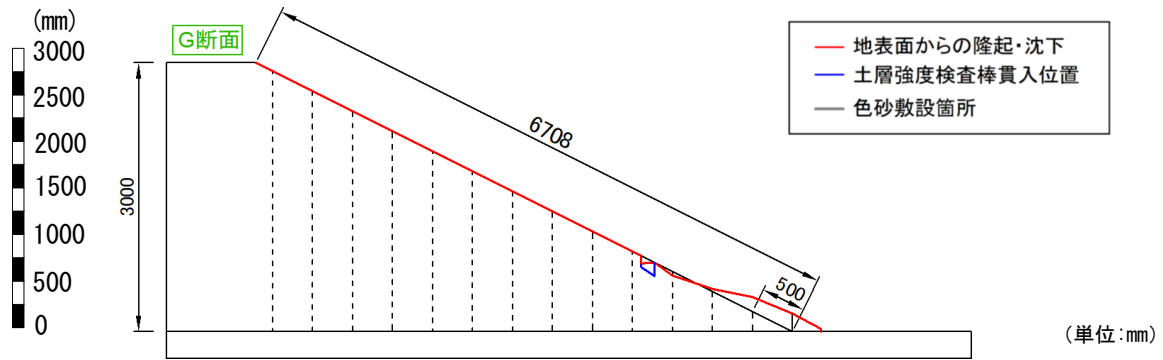


図 3.5.34 緩み深度計測結果 (G断面: 南側壁面より 3.5m)

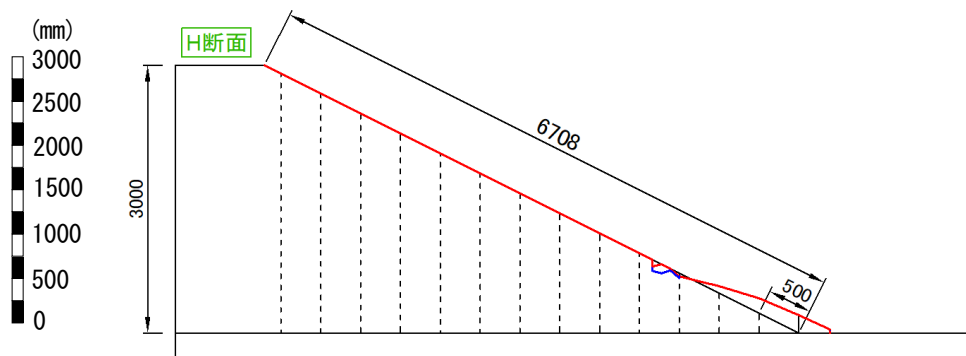


図 3.5.35 緩み深度計測結果 (H断面: 南側壁面より 4.0m)

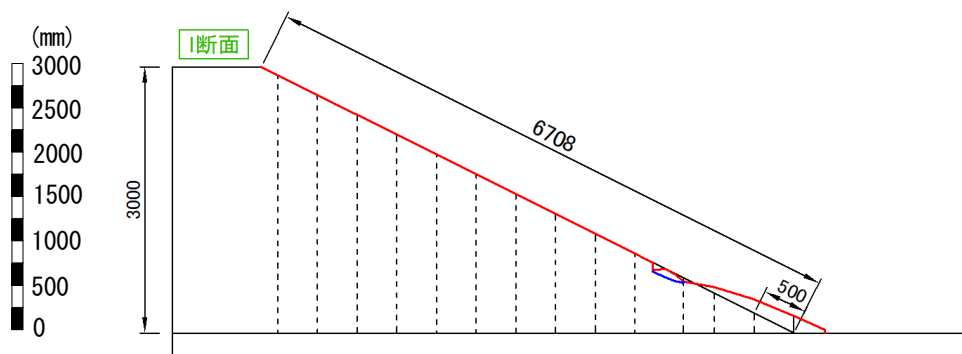


図 3.5.36 緩み深度計測結果 (I断面: 南側壁面より 4.5m)

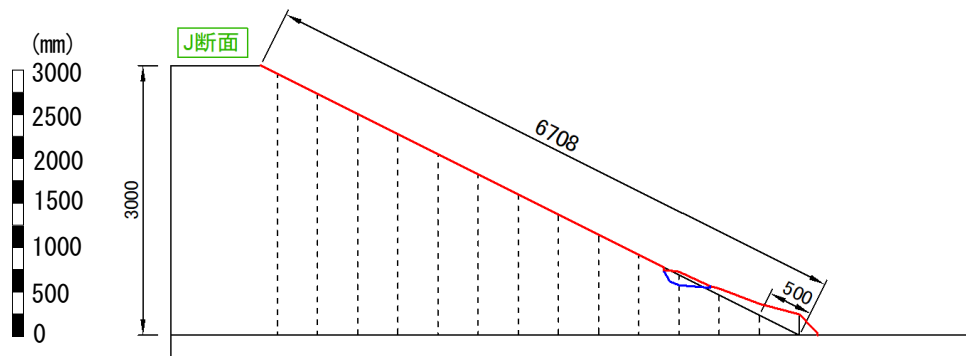


図 3.5.37 緩み深度計測結果 (J断面: 南側壁面より 5.0m)

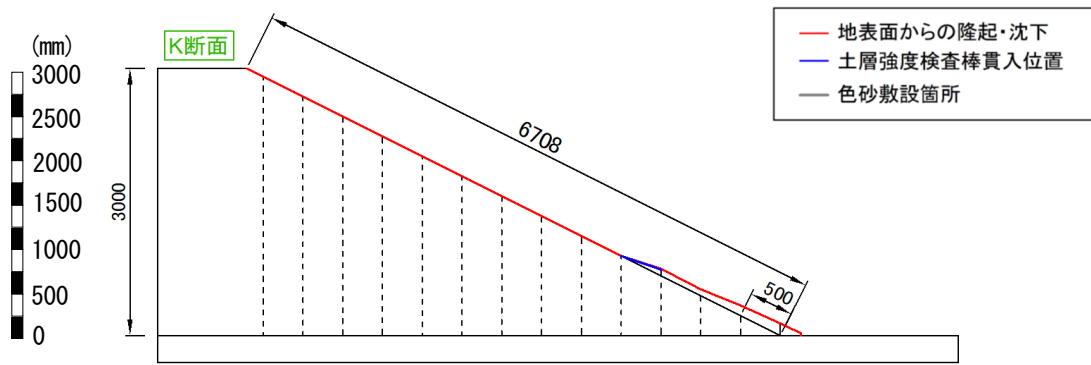


図 3.5.38 緩み深度計測結果 (K断面：南側壁面より 5.5m)

(3) 法尻部開削調査結果

法尻付近の山砂部と礫混合土置換部において、簡易透水試験を実施した。

試験結果から、山砂部と比較して、礫混合土置換部の方が透水性が低く、透水係数は1/10～1/100程度となっている事が分かった。これは、礫混合に伴う乾燥密度の増加および、礫混合土の締固め度が山砂より高いことが影響していると考えられる。⁴⁾



図 3.5.39 簡易透水試験実施状況

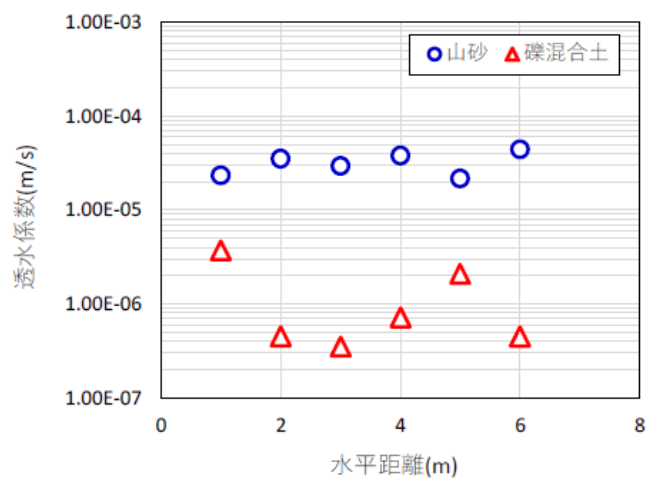


図 3.5.40 簡易透水試験により算出した透水係数の分布⁴⁾

(4) 実験結果に関する考察

図 3.5.23 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。給水槽の水位上昇とともに堤体内水位が上昇し、およそ 4 時間後 (1/26 12:30) に浸潤域が法尻に達した。その後、水位計 W4 (法尻より水平距離 1.8m) での観測水位が法面付近まで上昇した時点 (実験開始後 7 時間 50 分後 1/26 16:20) で、礫混合土上端部付近でクラックが発生した。クラックの発生位置と堤体内水位の関係 (図 3.5.43) を見ると、礫混合土置換範囲のクラック発生位置より下の範囲が概ね飽和状態となっていることが分かる。その後、礫混合土置換部が全体的にはらみ出し、上部付近が沈み込むことで山砂部と段差が生じた。

図 3.5.24 に堤体内水位の経時変化を示す。水位の上昇傾向としては、Case1 と比較すると、礫混合土と山砂との境界前後で上に若干凸となるような形で堤体内水位が上昇する傾向が見られた。図 3.5.40 に示す実験終了後の法尻部における簡易透水試験結果をみると、山砂部と比較して、礫混合土置換部の透水性が低くなっていることから、山砂部からの浸透水が礫混合土置換範囲より手前でせき止められる形になったと考えられる。

図 3.5.28～図 3.5.38 に実験後の堤体の緩み範囲の計測結果を示す。いずれの測線においても礫混合土置換範囲上端部のクラック発生箇所以外ではほとんどゆるみが確認されない状況であった。

このように、法尻部全体で変状が発生したものの、貫入試験を実施すると、ほとんど緩みが見られないことから、礫混合土内部でのせん断破壊は発生しておらず、礫混合土置換範囲が全体的に滑動したと考えられる。また、礫混合土置換範囲の透水性が比較的 low、礫混合土と山砂の境界で堤体内水位が上昇したことも、滑動が発生した要因の一つであると考えられる。



図 3.5.41 左：クラック発生時の状況、右：実験終了時の状況



図 3.5.42 実験終了後 12 時間程度存置後の堤体状況

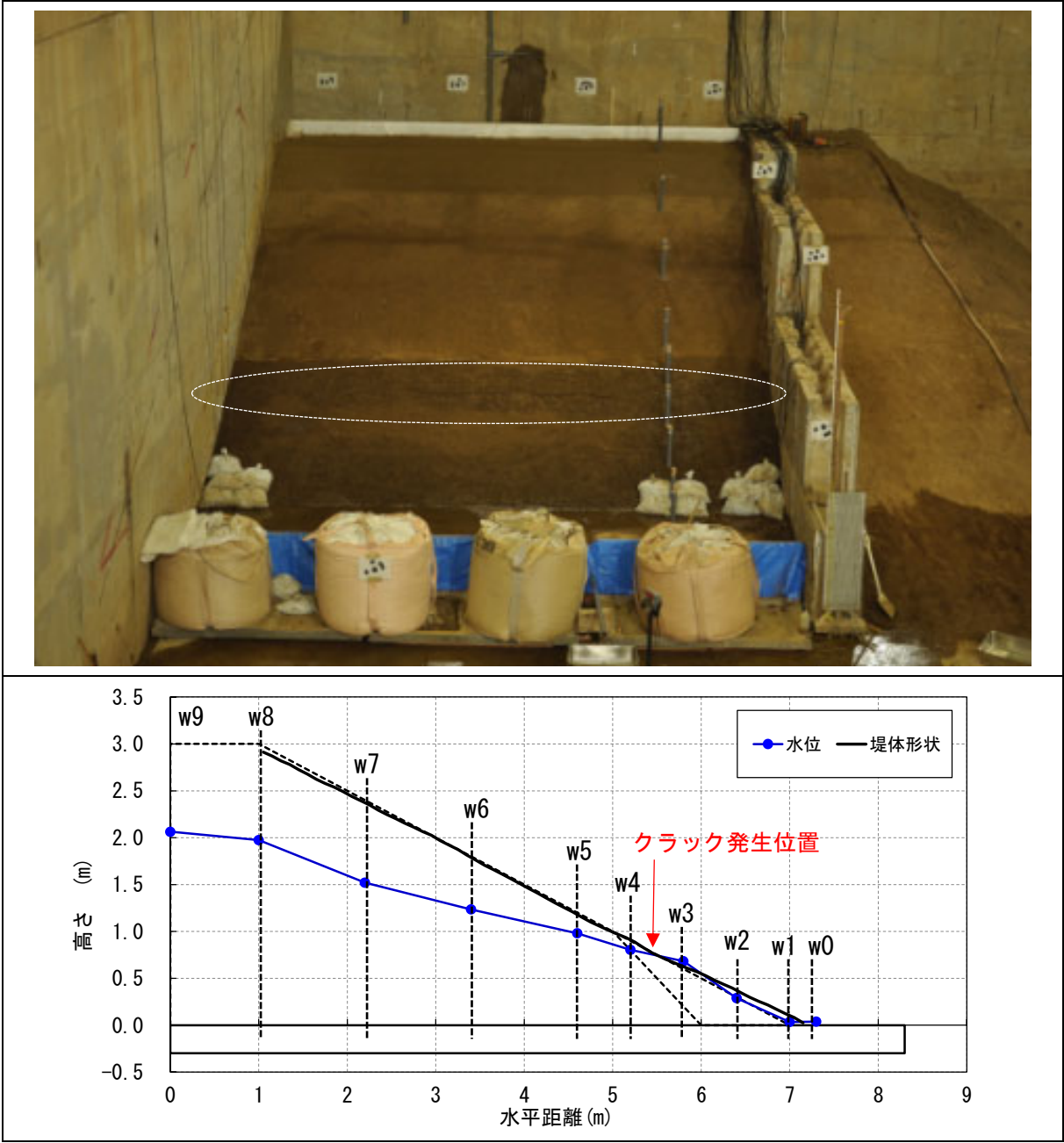


図 3.5.43 Case2 クラック発生時の状況（給水槽水位堤体高の70%）

3.5.3 Case3

Case3 は堤体の法尻部に幅 2.0m、高さ 0.5m のドレーン工を設置した模型を用いて実験を行ったケースであり、ドレーン工法の対策工としての効果について検証する。

(1) 実験経過

表 3.5.3 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 3.5.3 実験経過 (Case3)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
3/15	9:00	0→70.0	給水開始 (所要時間40分程度)
	18:10	70.0→60.0	特に変状が見られないため、一時給水停止。 その後水位を低下させた。(所要時間20分程度)
3/16	9:00	60.0→90.0	水位上昇のため、給水開始。(所要時間20分程度)
	20:00	90.0	特に変状が見られないため、給水を停止し実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、貫入試験により計測された実験終了後の堤体の緩み深度を示す。

なお、画像解析より得られた堤体形状については、模型中心部の南側壁面より 3.25m 地点の堤体形状を示す。

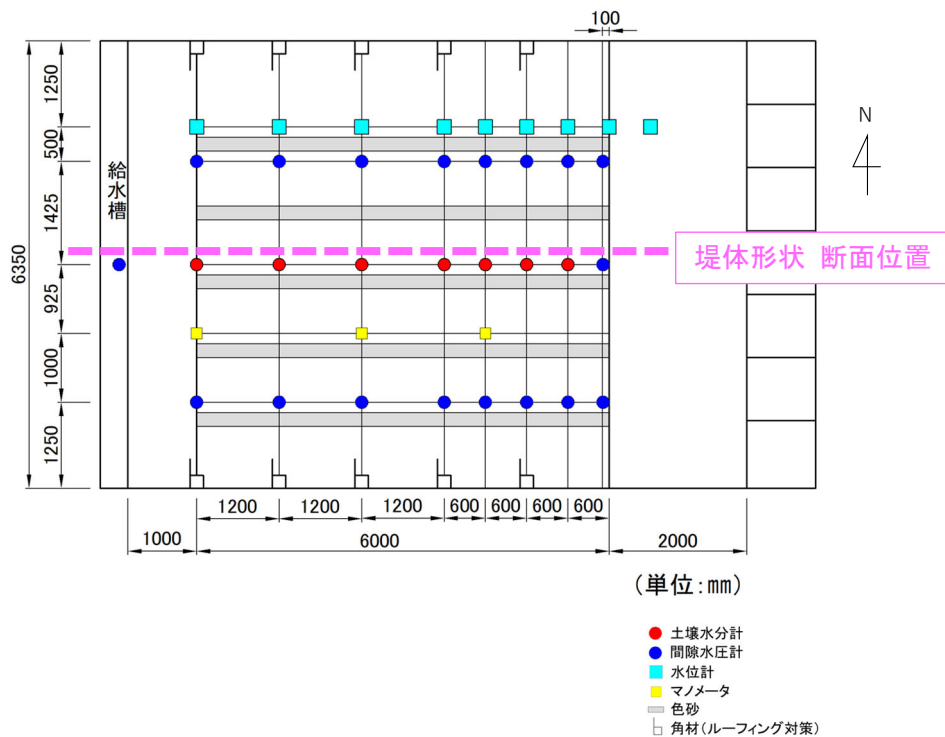


図 3.5.44 堤体形状 断面位置 (Case3)

1) 堤体形状および堤体内水位

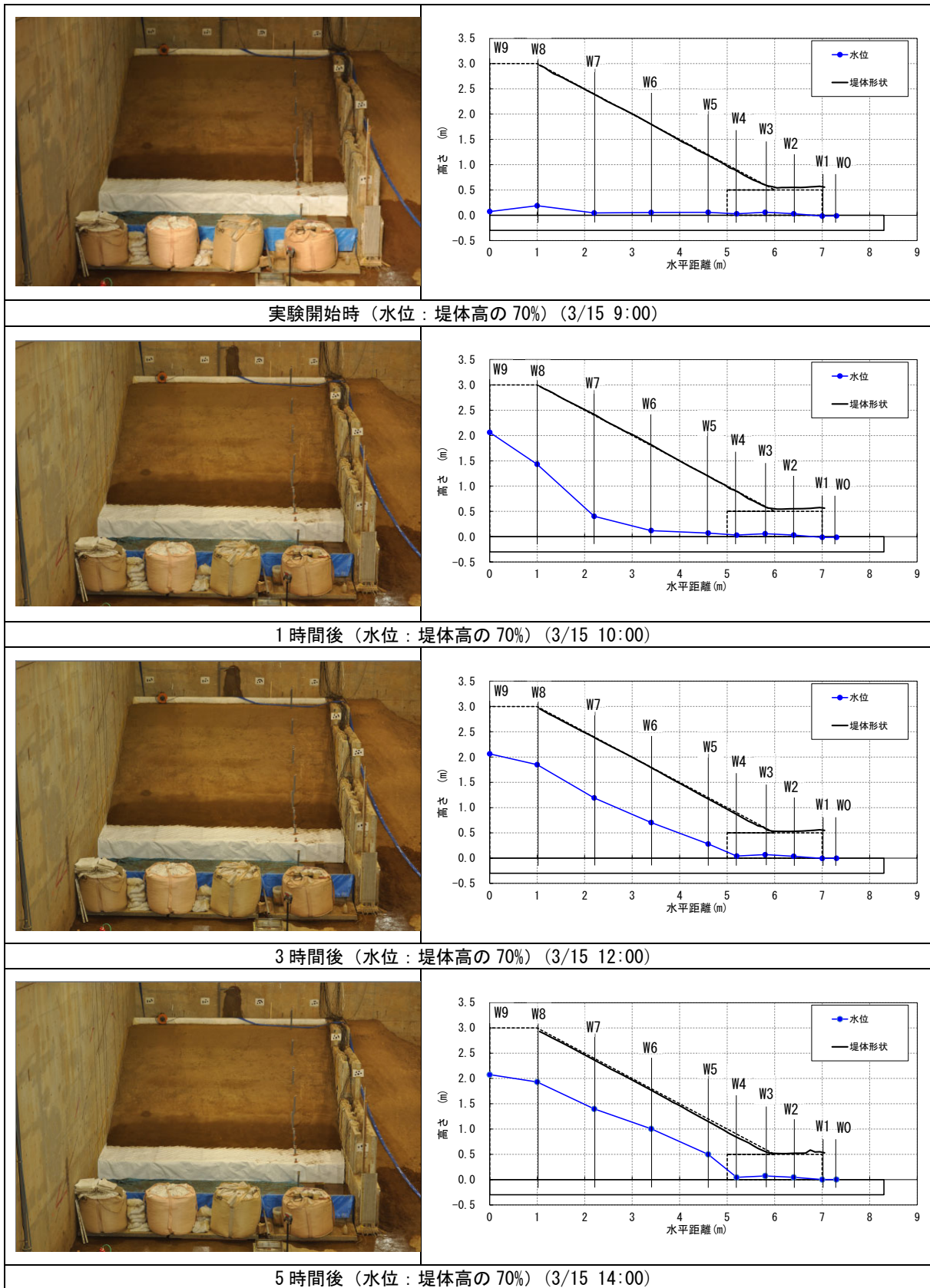


図 3.5.45 堤体状況、堤体形状 (南端から 3.25m) および堤体内水位 (水位計) (Case3)
(1/3)

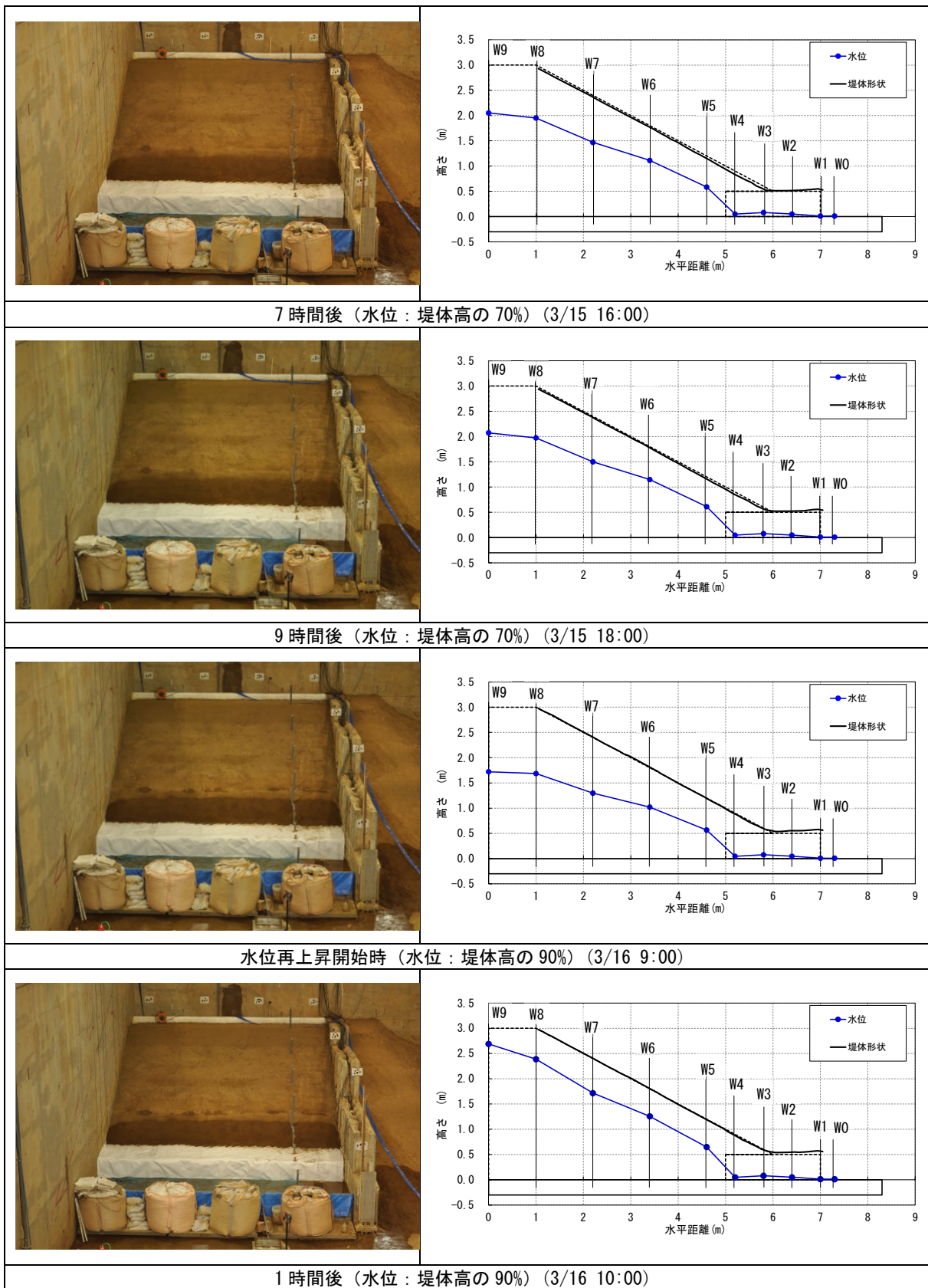


図 3.5.45 堤体状況、堤体形状（南端から 3.25m）および堤体内水位（水位計）（Case3）
(2/3)

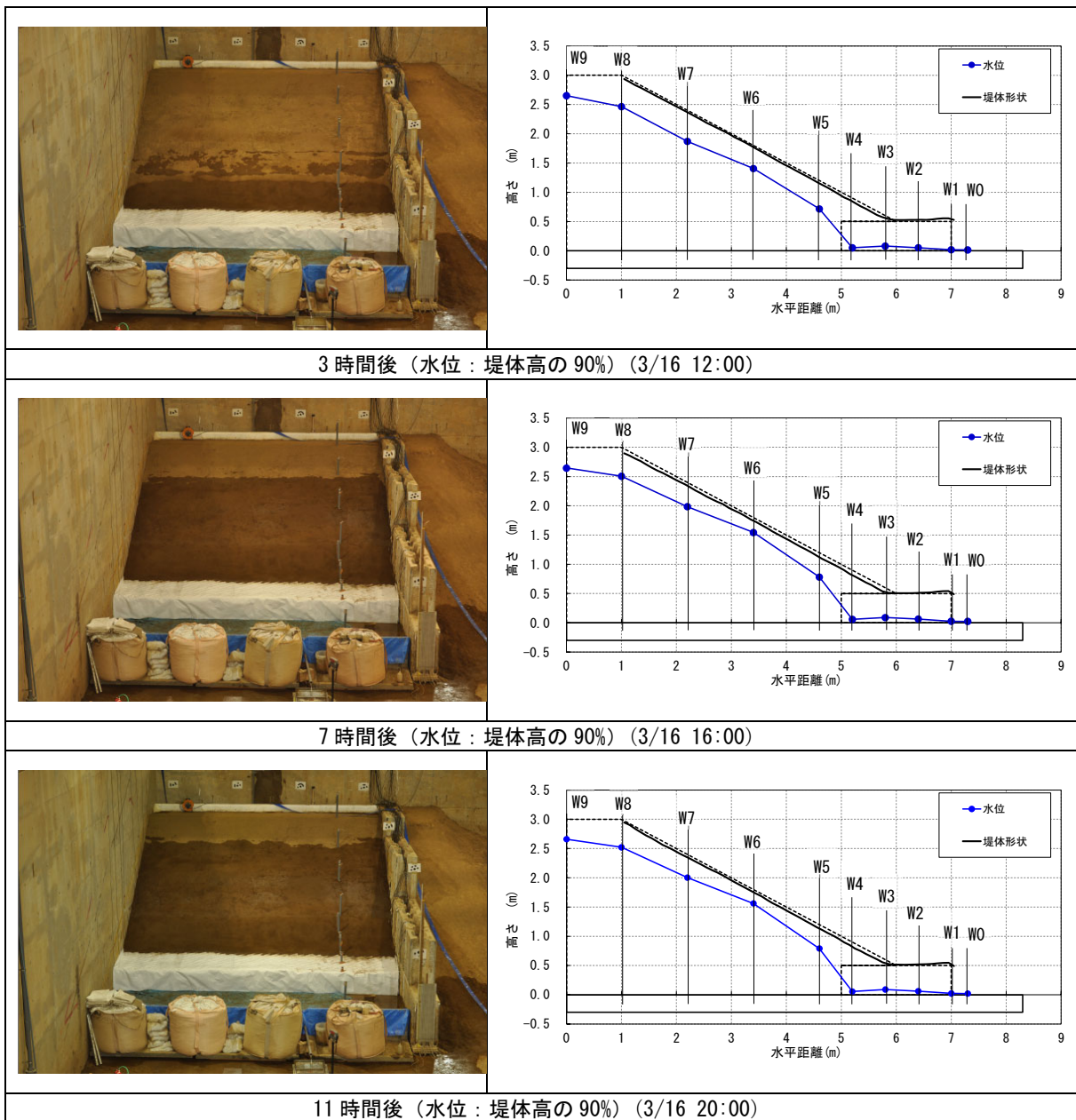


図 3.5.45 堤体状況、堤体形状 (南端から 3.25m) および堤体内水位 (水位計) (Case3)
(3/3)

2) 堤体内水位の経時変化

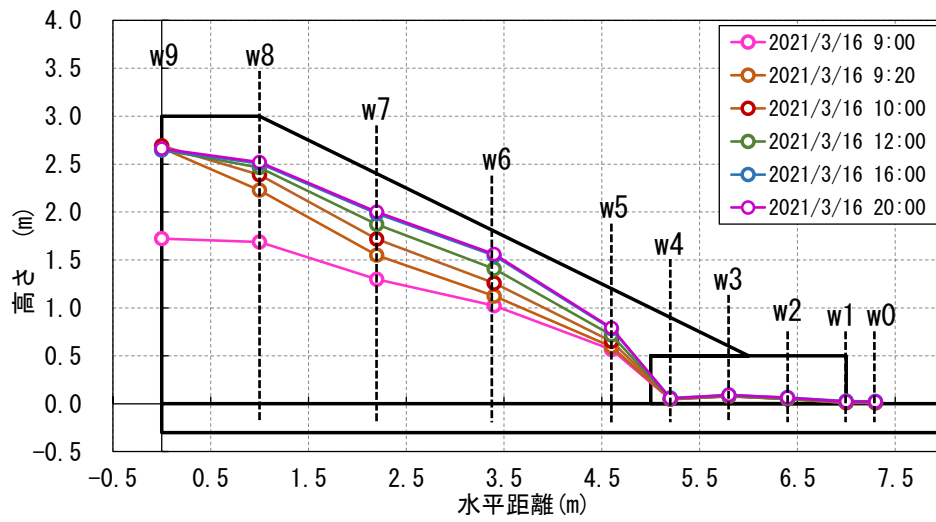
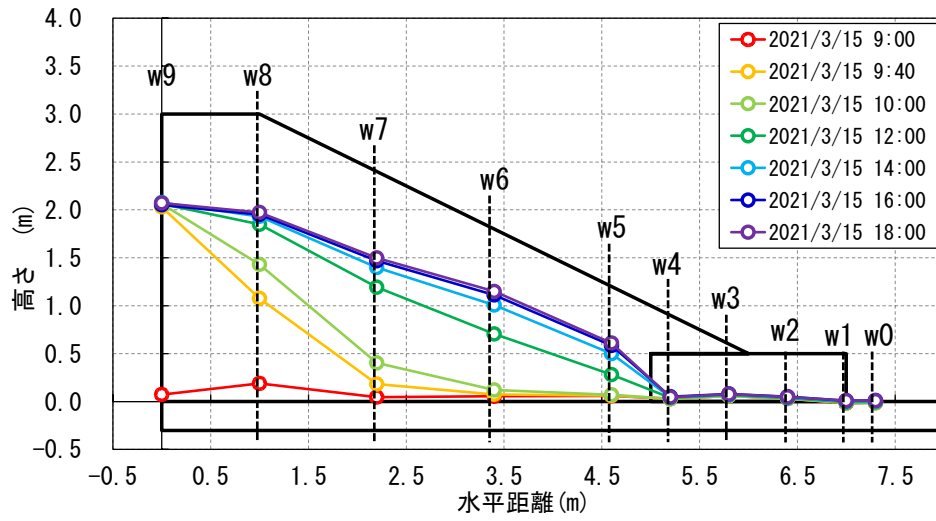


図 3.5.46 堤体内水位の横断分布の経時変化

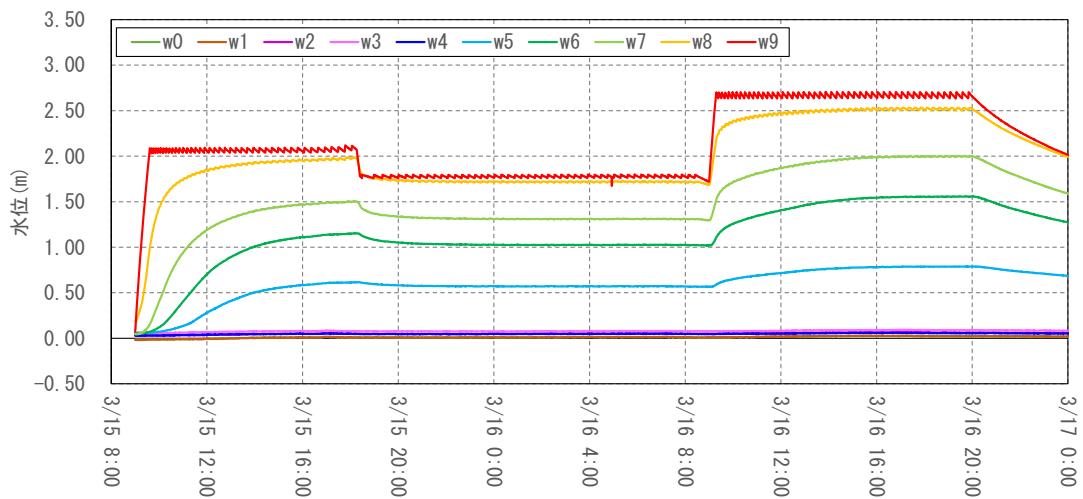


図 3.5.47 観測孔水位の経時変化

3) 法面形状の経時変化

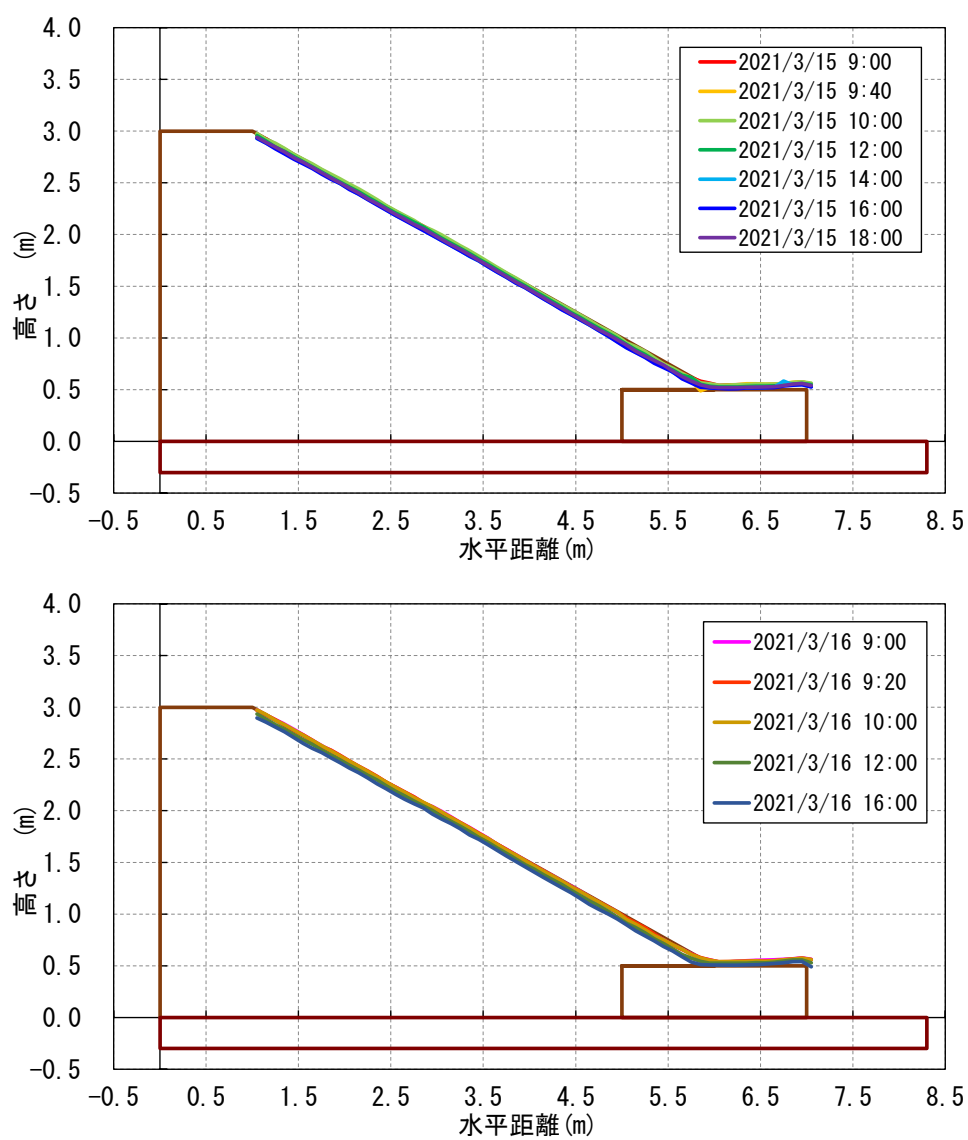


図 3.5.48 法面形状の経時変化 (南側壁面より 3.25m)

(3) 実験結果に関する考察

給水槽の水位を堤体高の70%とした場合と90%とした場合の実験終了直前の様子を図 3.5.49、図 3.5.50 に示す。水位を高くすることで、法面の湿潤範囲が拡大することが確認されたものの、法面の形状に変化は見られず、特に変状は確認されなかった。

図 3.5.47 に堤体内水位の経時変化を示す。いずれの水位の場合でも、ドレーン内の水位はほとんど上昇しない状況であった。一方で、堤体内のドレーンを除く範囲では経時的に水位が上昇し、水位が堤体高の90%の場合では水位計 W6（法尻から水平距離 2.4m）で最大で法面下 20cm 程度まで水位が上昇することが確認されたが、浸潤面が法面に達することはなかった。

以上の結果より、堤体内の浸潤線が法面に達しないように適切な幅のドレーン工を設置することにより、変状の発生を防止することが可能となることが確認された。



図 3.5.49 9 時間後（水位：堤体高の 70%）（3/15 18:00）



図 3.5.50 11 時間後（水位：堤体高の 90%）（3/16 20:00）

3.5.4 Case4

Case4 は堤体の法尻部の底幅 2.0m、高さ 2.0m の範囲を礫混合土により置き換えた模型を用いて実験を行ったケースであり、礫混合土置換工法の対策工としての効果および、置換範囲による効果の差について検証する。

(1) 実験経過

表 3.5.4 に実験時の給水槽水位の変化、給排水操作および変状の発生状況等の実験経過を示す。

表 3.5.4 実験経過 (Case4)

日付	時刻	水位 (%)	実験操作・変状の状況
6/29	9:00	0→70.0	給水開始 (所要時間60分程度)
	17:00	70.0	法尻表層ですべりが発生。
	17:00	70.0	すべり範囲が徐々に拡大。 大きな変状の進行が見られないため給水停止、給水槽内の水を排水した。
6/30	10:00	33.0→80.0	再度給水を開始 (所要時間30分程度)
	14:20	80.0	既すべり範囲から漏水が発生。
	14:45	80.0	礫混合土上端付近でクラック発生。
	16:00	80.0	クラック発生位置以下の範囲の上側で礫混合土の沈み込み・下側ではらみ出しが進行。沈み込みが進行した後、それより上部でもクラックが発生し、徐々に崩壊範囲が法肩に向けて広がっていった。 崩壊範囲が礫混合土上端付近に達した時点で給水を停止し、実験を終了した。

(2) 計測結果

次頁以降に堤体状況の経時変化、インターバル撮影画像を用いた画像解析より得られた堤体形状の経時変化、水位計により計測された堤内水位の経時変化、貫入試験により計測された実験終了後の堤体の緩み深度および実験終了後の堤体開削調査結果を示す。

なお、画像解析より得られた堤体形状については、実験後の法尻付近全体がはらみ出す形状となっていたため、南側壁面より 3 m 近傍の模型中心部付近の堤体形状を示す。

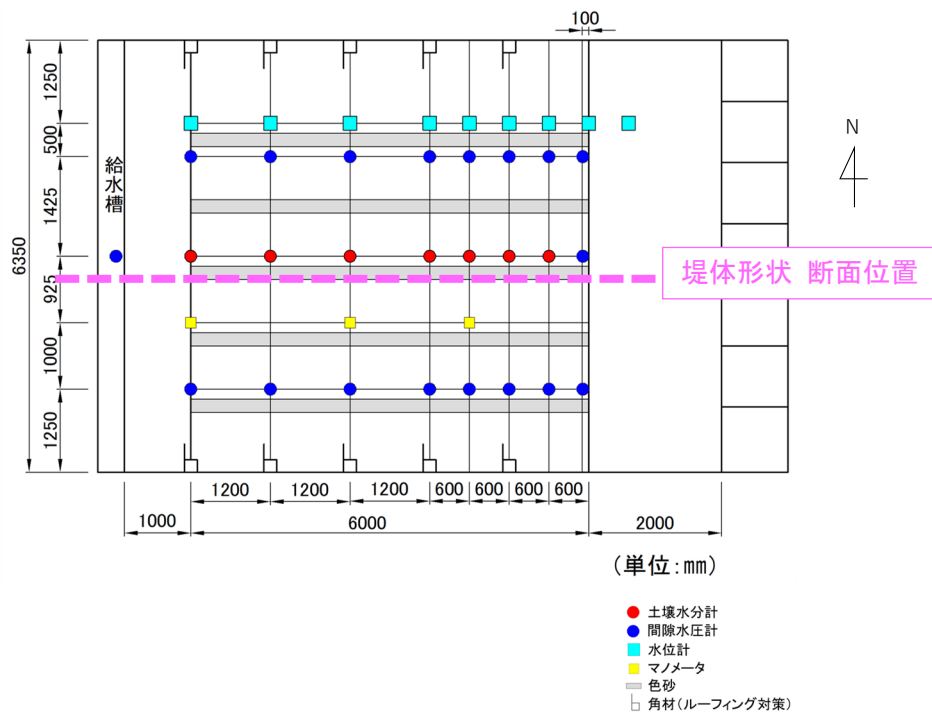


図 3.5.51 堤体形状 断面位置 (Case4)

1) 堤体形状および堤体内水位

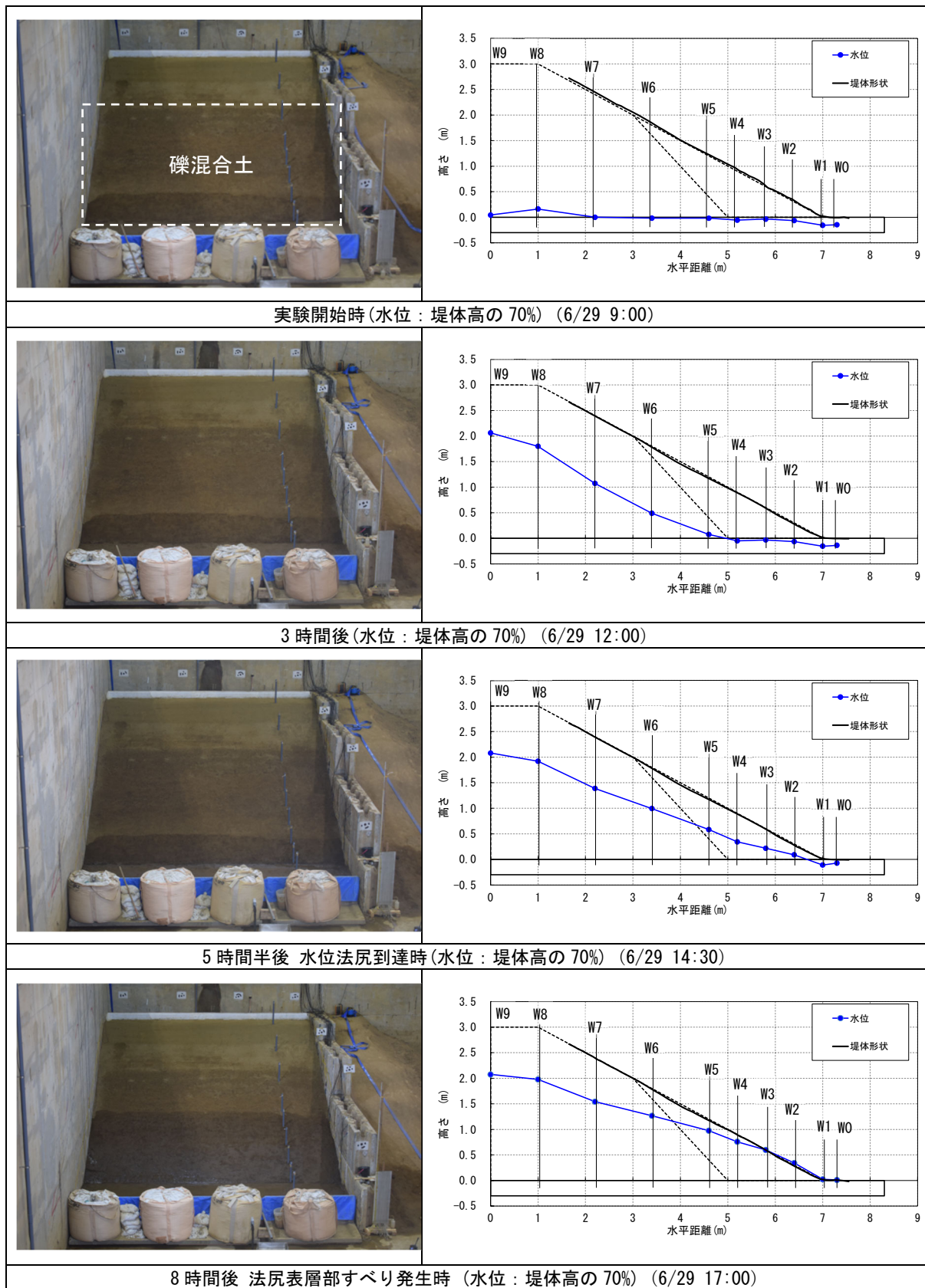


図 3.5.52 堤体状況、堤体形状(南端から3.05m)および堤体内水位(水位計)(Case4)
(1/3)

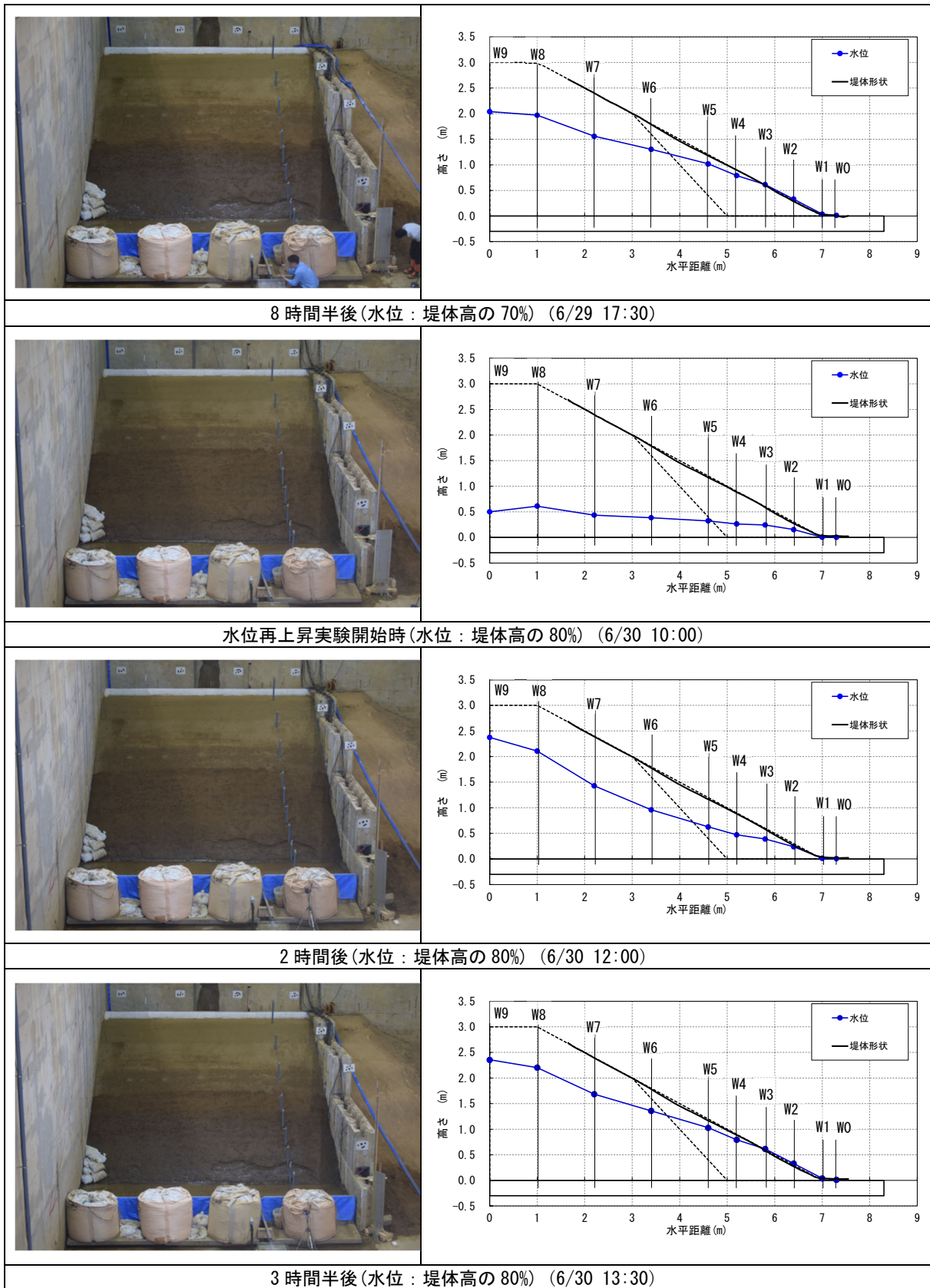


図 3.5.52 堤体状況、堤体形状 (南端から 3.05m) および堤体内水位 (水位計) (Case4)
(2/3)

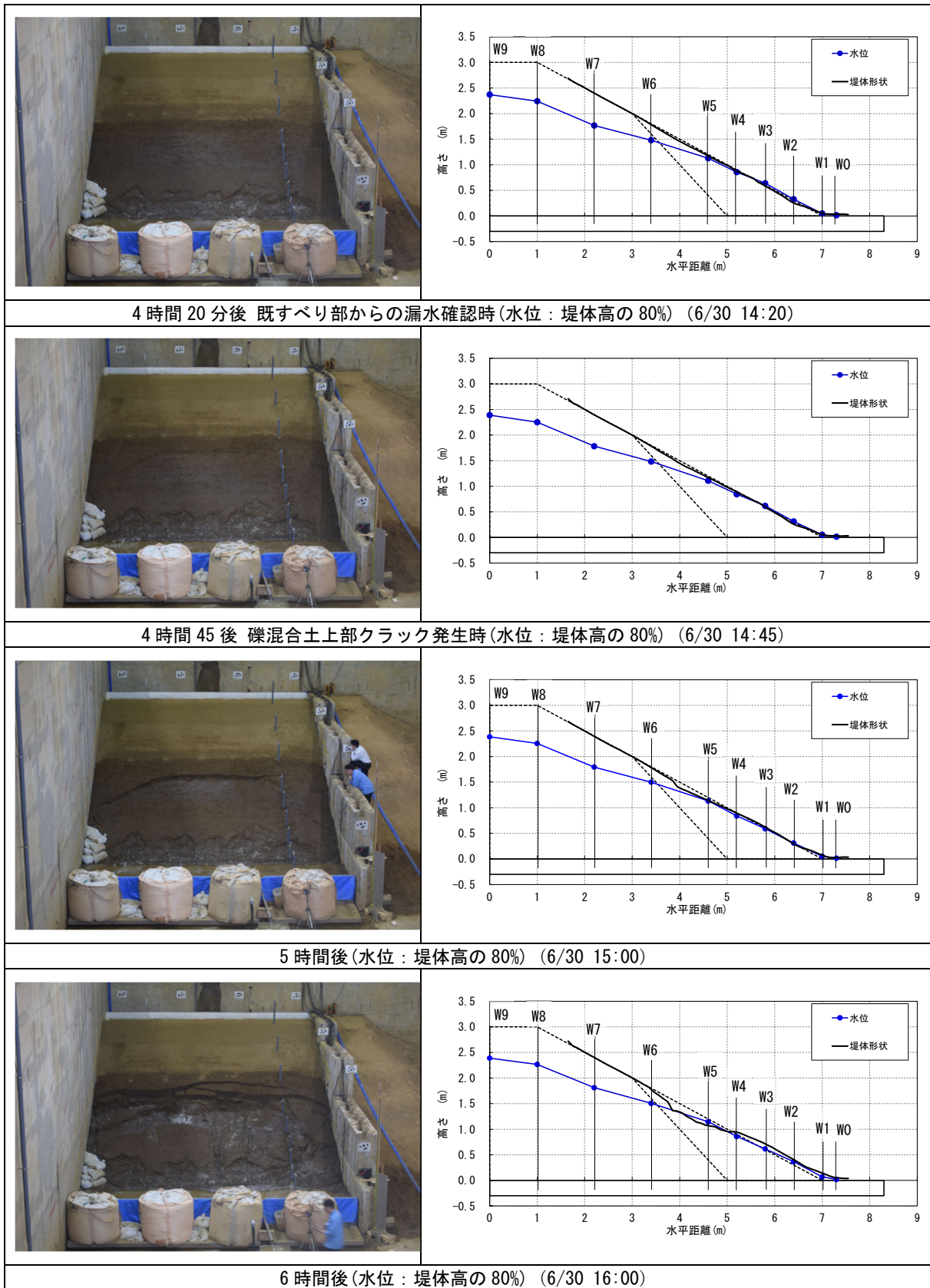


図 3.5.52 堤体状況、堤体形状（南端から 3.05m）および堤体内水位（水位計）（Case4）
(3/3)

2) 堤体内水位の経時変化

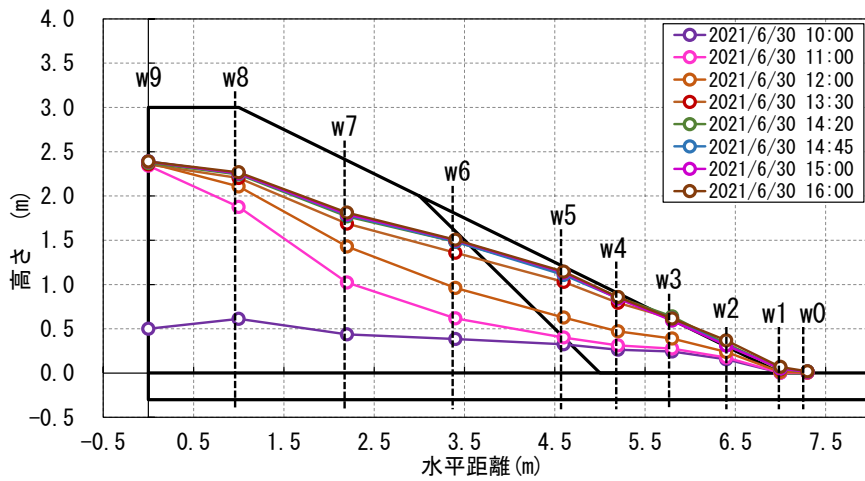
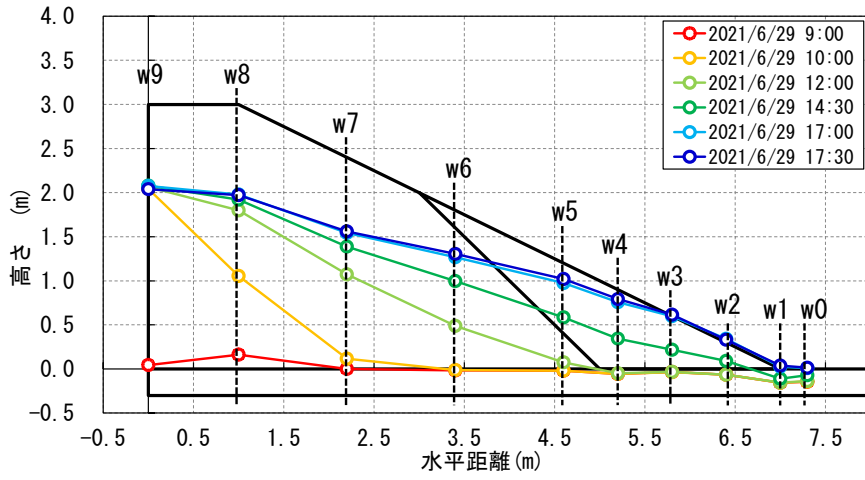


図 3.5.53 堤体内水位の横断分布の経時変化

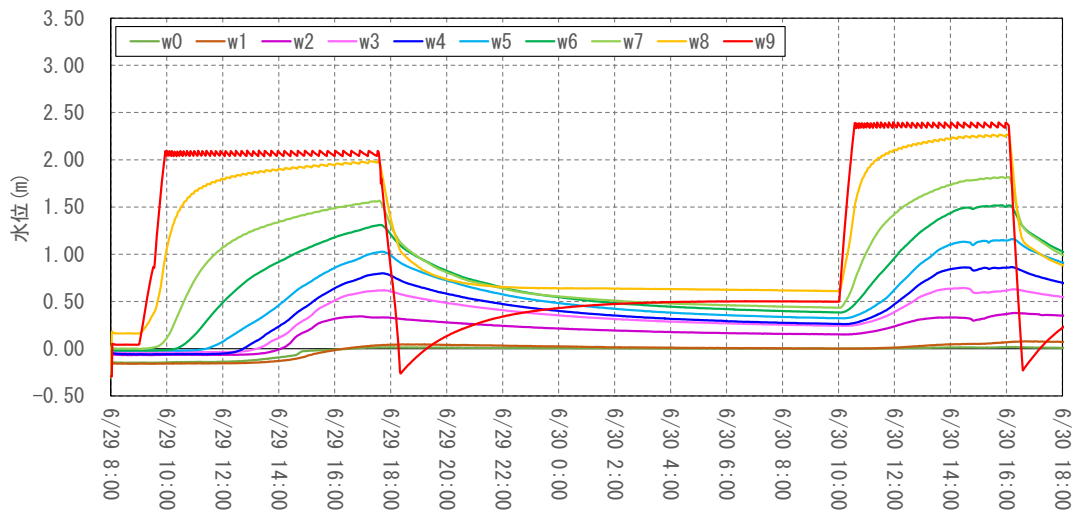


図 3.5.54 観測孔毎の観測水位経時変化

3) 法面形状の経時変化

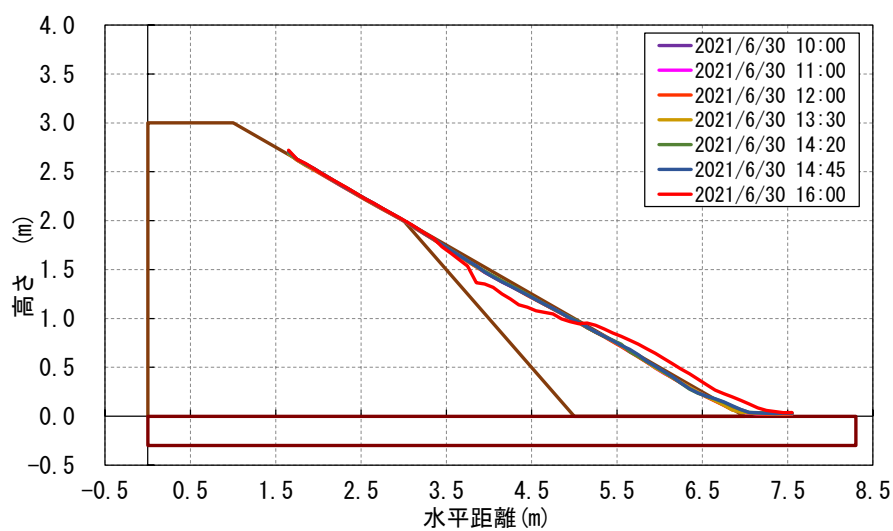
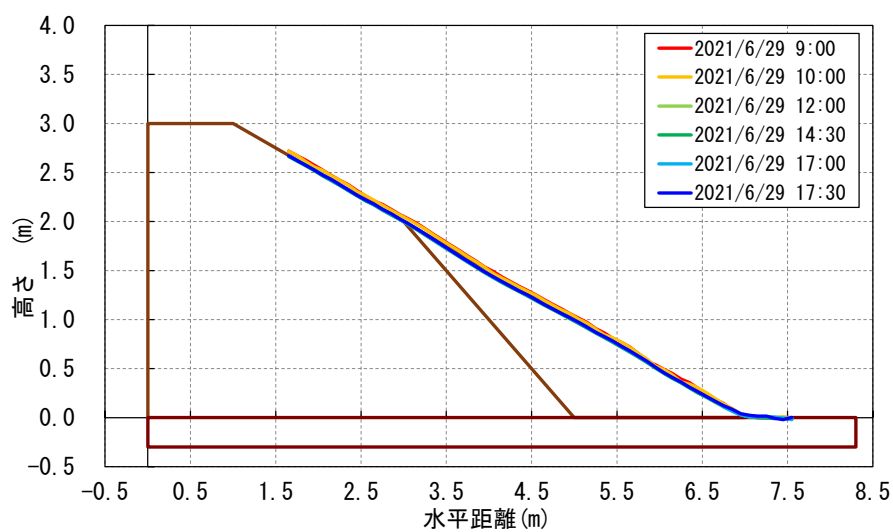


図 3.5.55 法面形状の経時変化（南側壁面より 3.05m）

4) 実験終了後の堤体の緩み深度

i) 実験 1 日目終了後

1 日目の実験（給水槽水位：2.1m）終了後に、法尻付近の横 2.6m、縦 0.7m 程度の範囲で滑りが発生した範囲において堤体の緩み深度を確認した結果を以下に示す。緩みの範囲としては表層付近にとどまっていることが確認された。



図 3.5.56 緩み深度計測位置

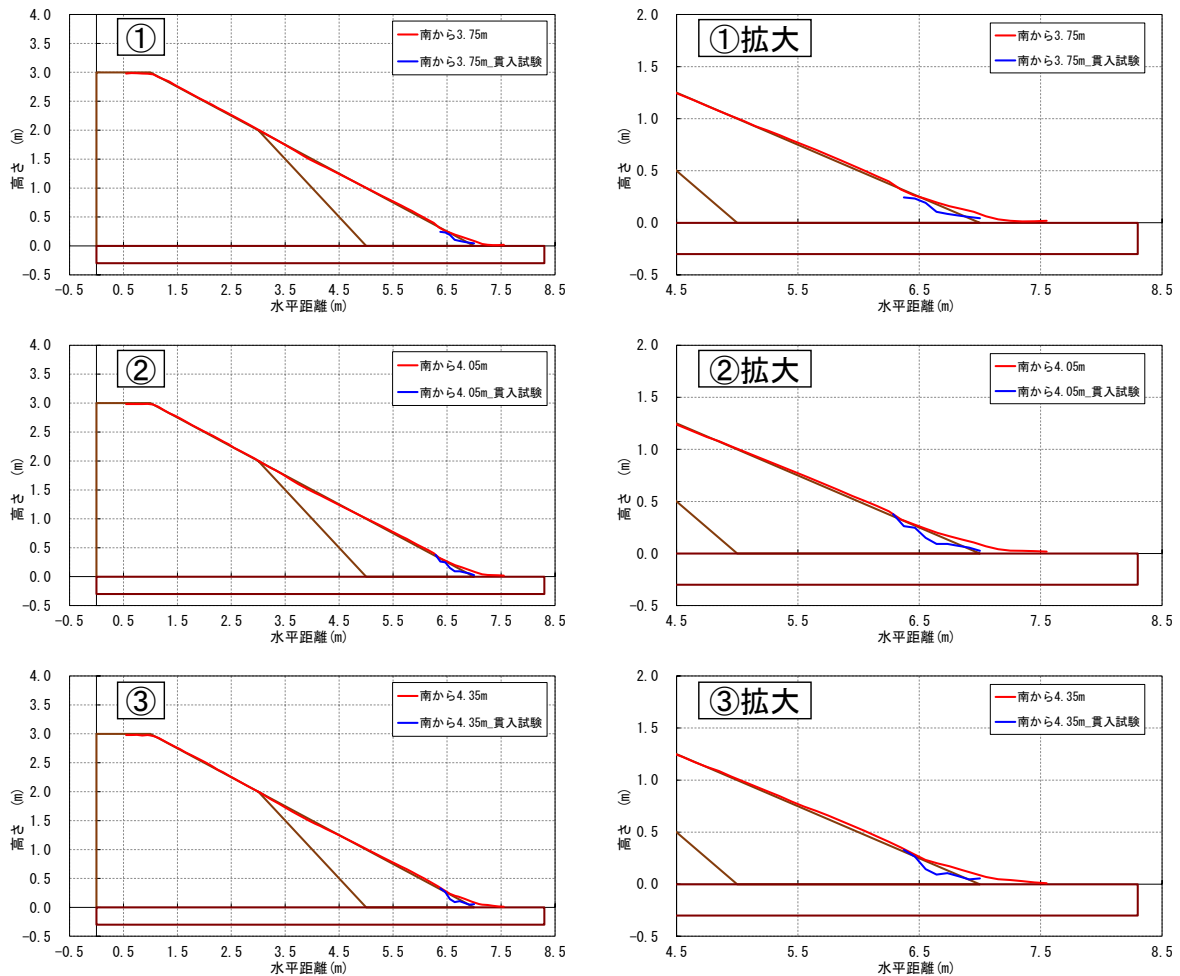


図 3.5.57 緩み深度計測結果

ii) 実験 2 日目終了後

2 日目の実験（給水槽水位：2.4m）終了後に、礫混合土置換範囲上端付近の亀裂発生箇所から法尻までの範囲において堤体の緩み深度を確認した結果を以下に示す。緩みの範囲としては表層付近にとどまっていることが確認された。



図 3.5.58 緩み深度計測位置図

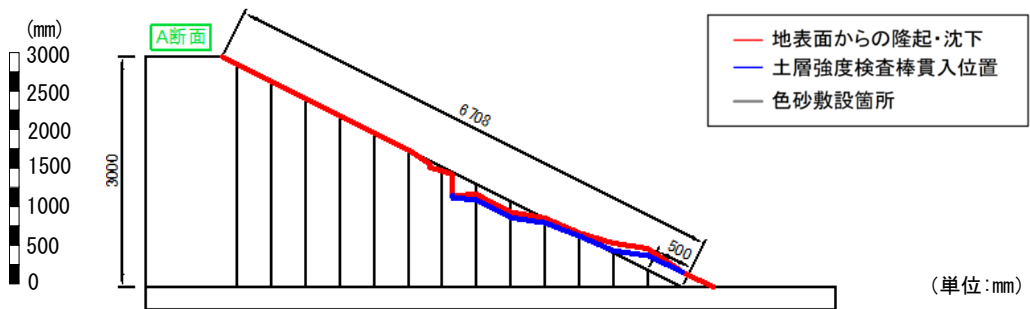


図 3.5.59 緩み深度計測結果（A断面：南側壁面より 0.0m）

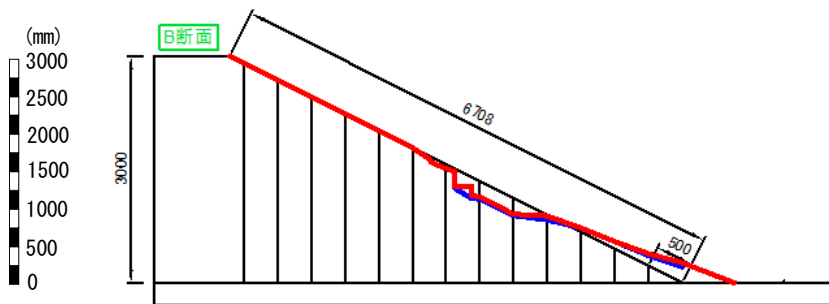


図 3.5.60 緩み深度計測結果（B断面：南側壁面より 0.5m）

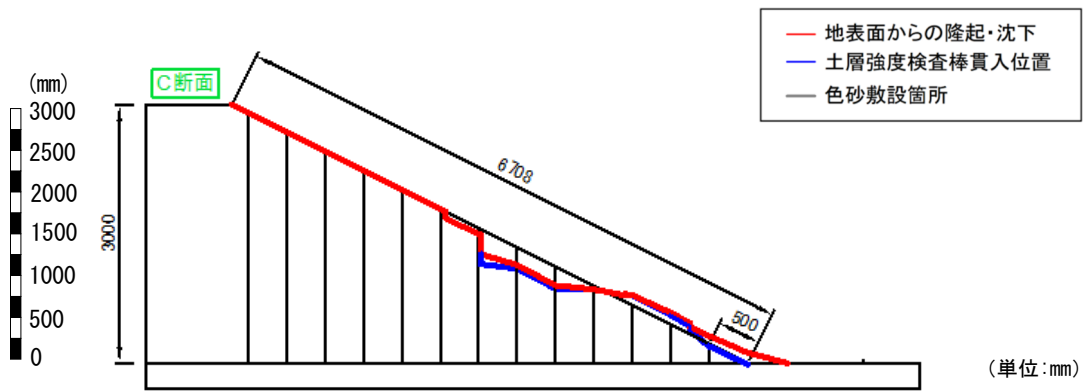


図 3.5.61 緩み深度計測結果 (C断面 : 南側壁面より 1.0m)

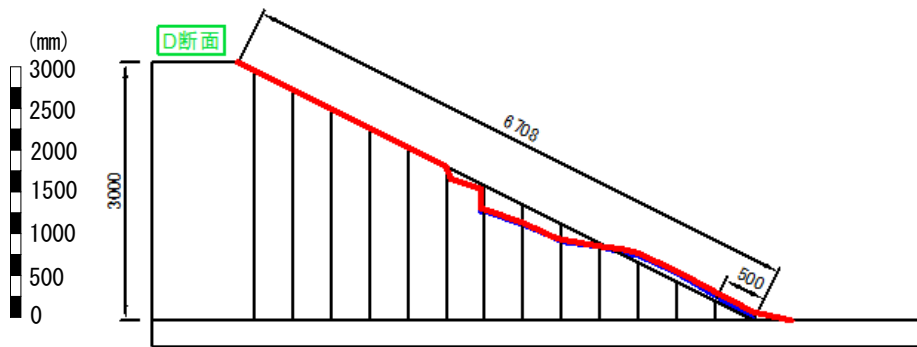


図 3.5.62 緩み深度計測結果 (D断面 : 南側壁面より 1.5m)

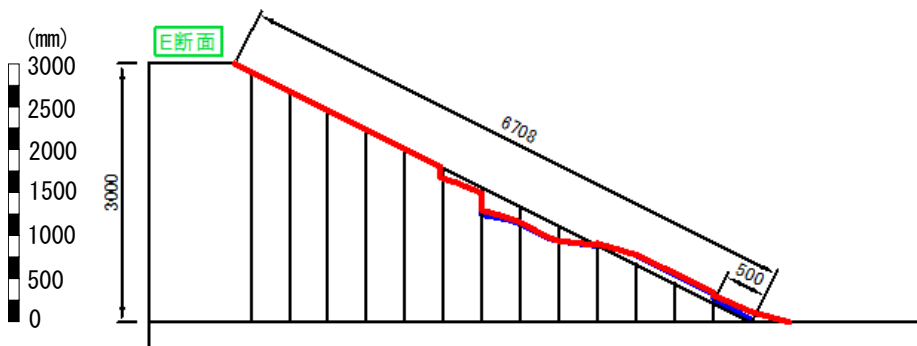


図 3.5.63 緩み深度計測結果 (E断面 : 南側壁面より 2.0m)

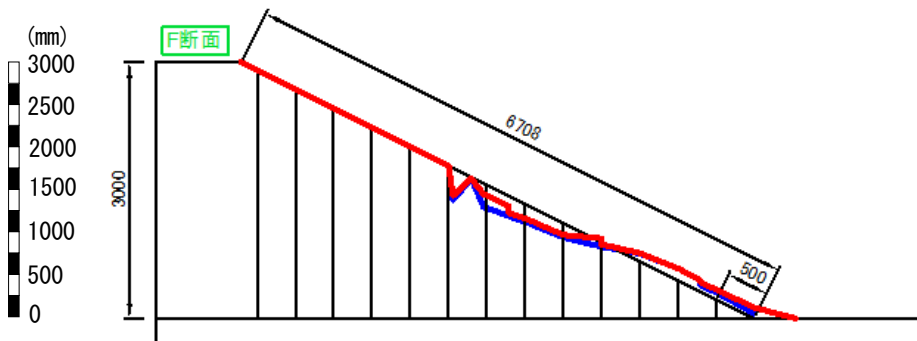


図 3.5.64 緩み深度計測結果 (F断面 : 南側壁面より 2.5m)

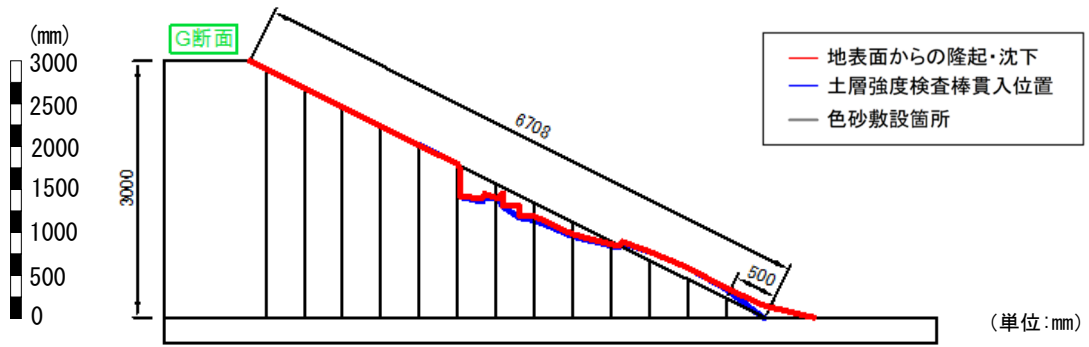


図 3.5.65 緩み深度計測結果 (G断面：南側壁面より 3.0m)

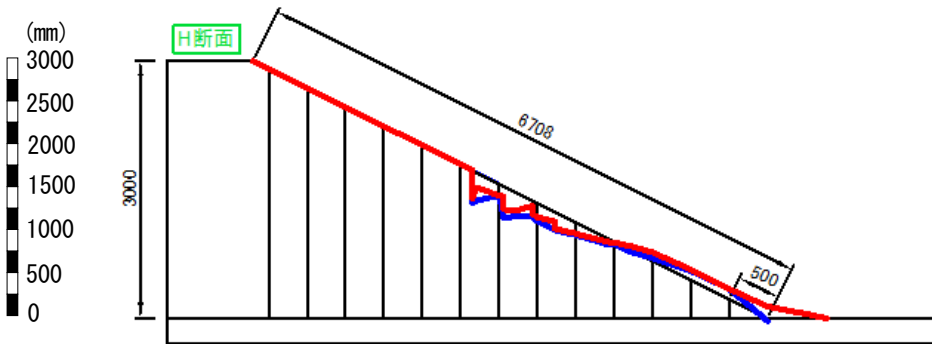


図 3.5.66 緩み深度計測結果 (H断面：南側壁面より 3.5m)

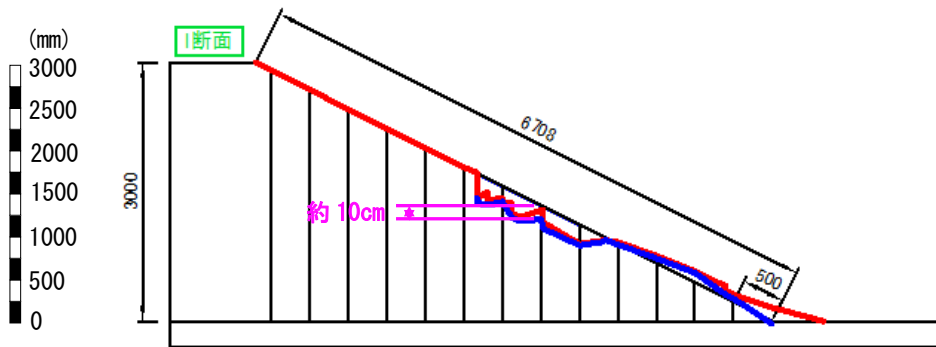


図 3.5.67 緩み深度計測結果 (I断面：南側壁面より 4.0m)

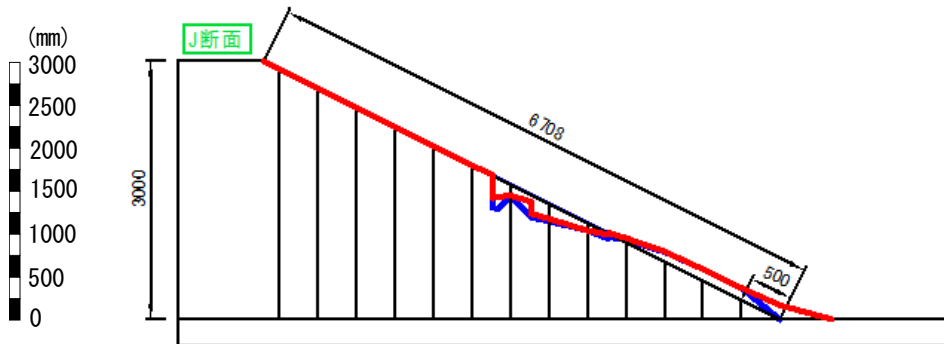


図 3.5.68 緩み深度計測結果 (J断面：南側壁面より 4.5m)

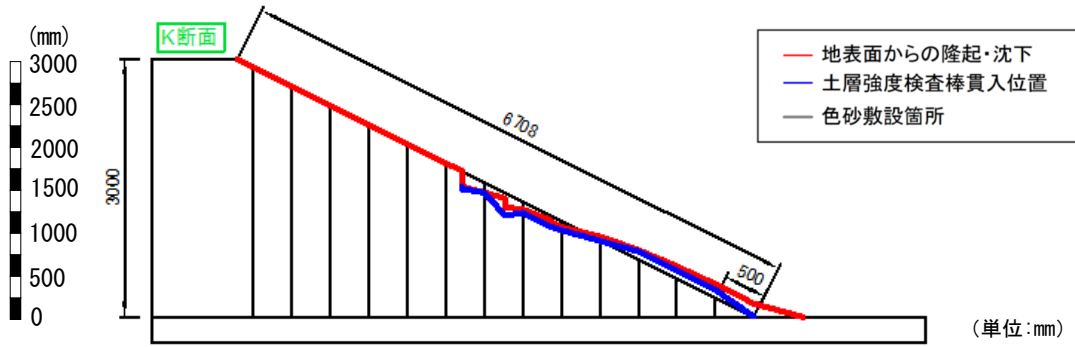


図 3.5.69 緩み深度計測結果 (K断面 : 南側壁面より 5.0m)

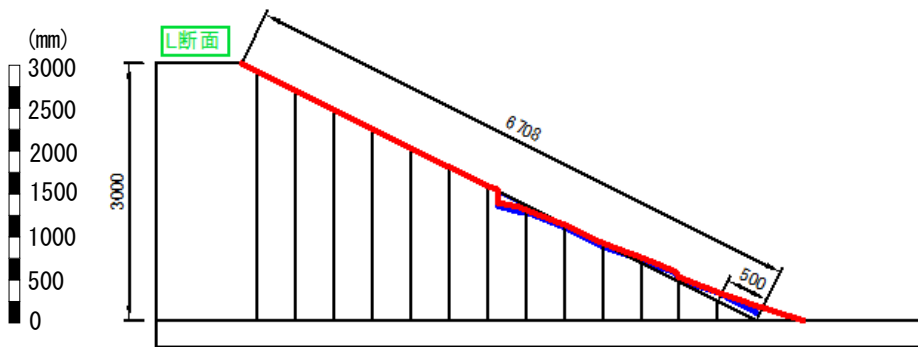


図 3.5.70 緩み深度計測結果 (L断面 : 南側壁面より 5.5m)

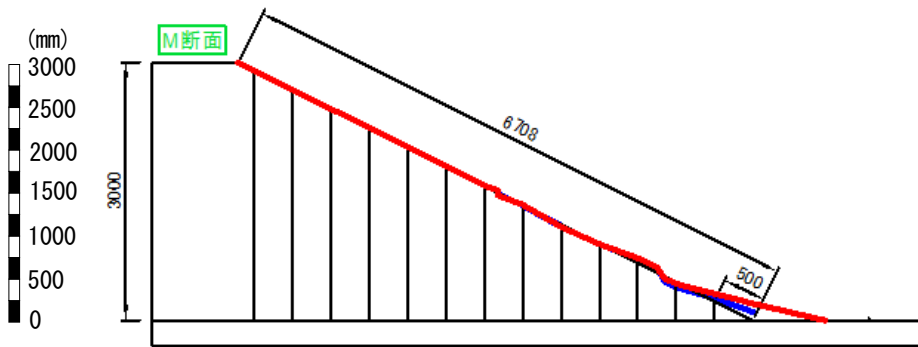


図 3.5.71 緩み深度計測結果 (M断面 : 南側壁面より 6.0m)

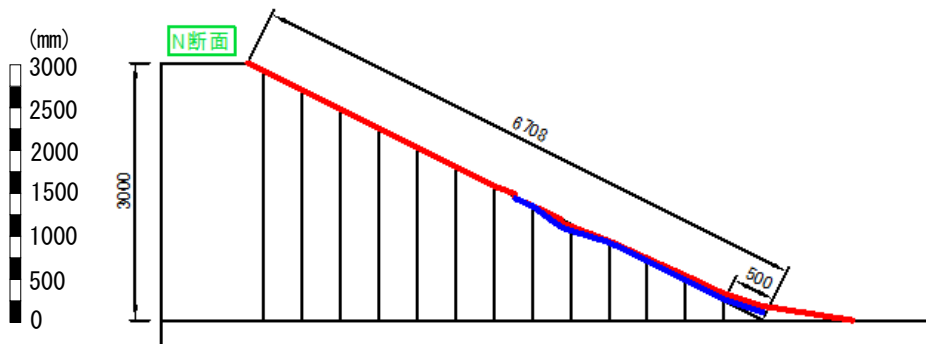


図 3.5.72 緩み深度計測結果 (N断面 : 南側壁面より 6.3m)

(3) 開削調査結果

実験終了後に実験模型の開削調査を実施した。

1) 調査内容

図 3.5.73 に示す位置において、密度試験（山砂部：コアカッター法、礫混合土置換部：砂置換法）および簡易透水試験を実施した。基盤上面から鉛直方向に 0.6m および 1.8m の高さの平面でそれぞれ調査を実施した。また、すべり範囲の断面の確認のため、まず、南側半分の断面を切り下げ、断面観察の後、北側半分を切り下げ各掘削段階において調査を実施した。

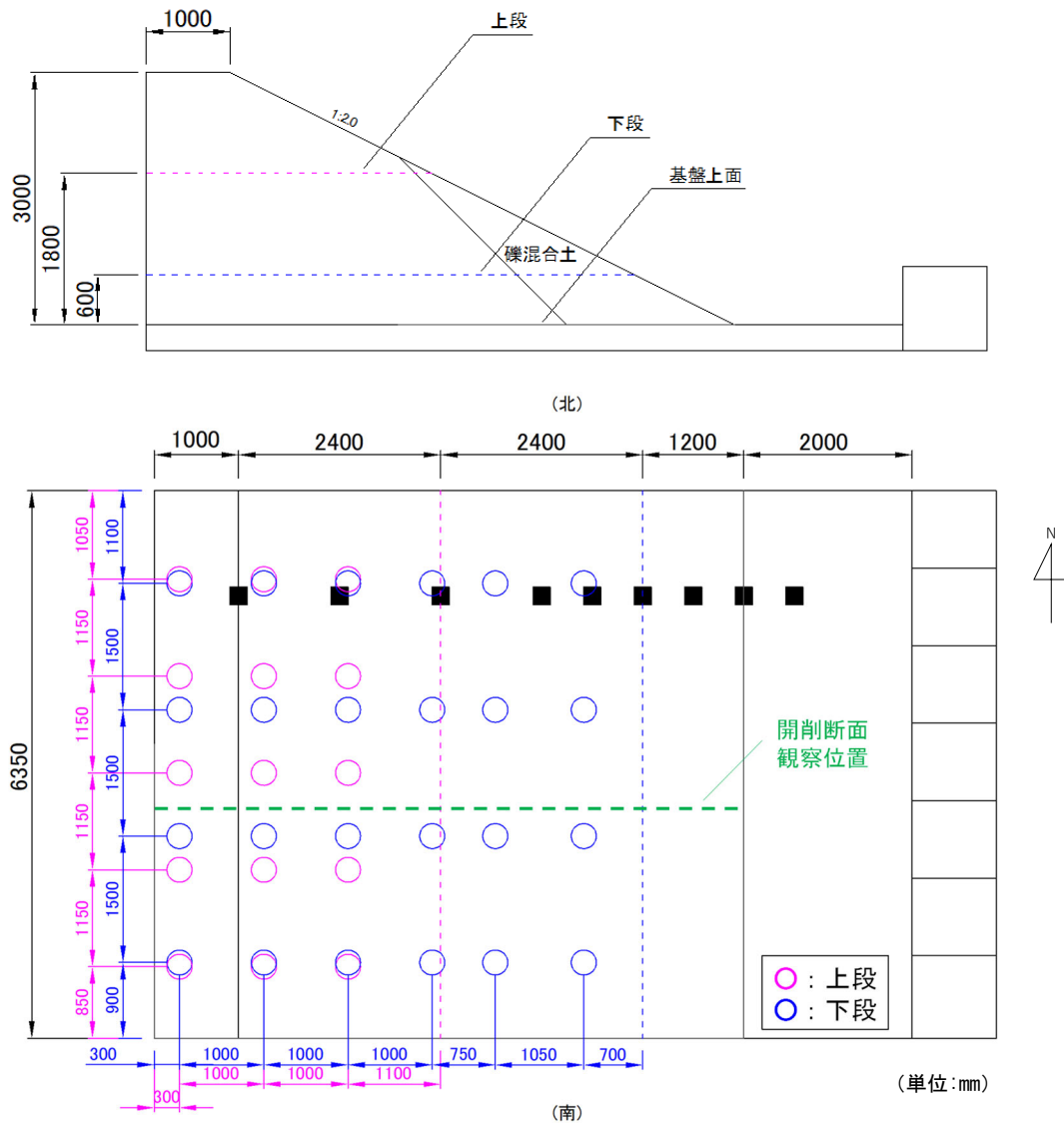


図 3.5.73 Case4 開削調査実施位置および断面観察位置



図 3.5.74 左：南側上段開削状況、右：南側下段調査実施状況



図 3.5.75 北側下段開削調査実施状況

2) 調査結果

図 3.5.76 に、密度試験結果より求めた締固め度および、簡易透水試験結果から得られた透水係数のコンター図を示す。あわせて、図 3.5.77 に南北方向（法肩に平行な方向）の透水係数の分布を、図 3.5.78、図 3.5.79 に透水係数と締固め度および間隙比との関係を示す。なお、山砂部および礫混合土置換部でそれぞれ 2 試料に関して室内透水試験を実施している。室内透水試験の結果も図 3.5.77～図 3.5.79 に示す。結果として、透水係数はおおむね $6.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 程度の範囲で、締固め度は 78～90%程度の値となっている。

平面的な分布については明確な傾向は確認できないが、礫混合土置換範囲において、元々作製時の目標締固め度が大きかったこともあり、実験後の調査時においても山砂部と比較すると締固め度が大きい値となっている箇所が見られる。

透水係数については、法肩に平行となる方向である南-北方向の分布（図 3.5.77）を見ると、礫混合土置換範囲の透水係数はおおむね山砂部の下限値程度となっていることが分かる。また、簡易透水試験結果と室内透水試験結果を比較すると、礫混合土の場合も山砂の場合も、室内透水試験によって得られた透水係数が、簡易透水試験より得られた透水係数の上限値程度となっているが、両手法による透水係数の差はおおむね 1 オーダー内に収まっていることから、ほぼ同程度の透水係数が得られていると考えられる。

締固め度と間隙比の関係も併せてみると、全体的な傾向として、山砂部は比較的締固め度が低く間隙比が大きいため透水係数が比較的大きくなる傾向にあり、礫混合土置換部は比較的締固め度が高く間隙比が小さいため透水係数が比較的小さくなる傾向にあると考えられる。

また、図 3.5.80 に開削断面の状況を示す。図中には断面から読み取った山砂と礫混合土との境界線を記載している。

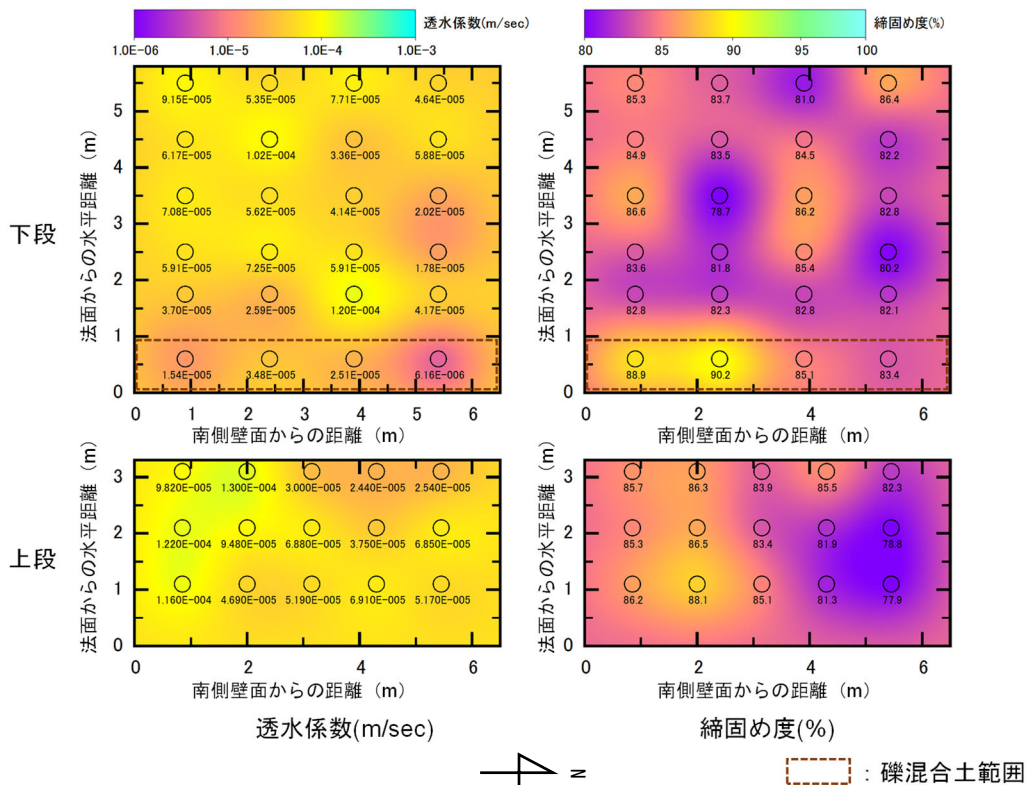


図 3.5.76 試験結果のコンター図（左：透水係数、右：締固め度）

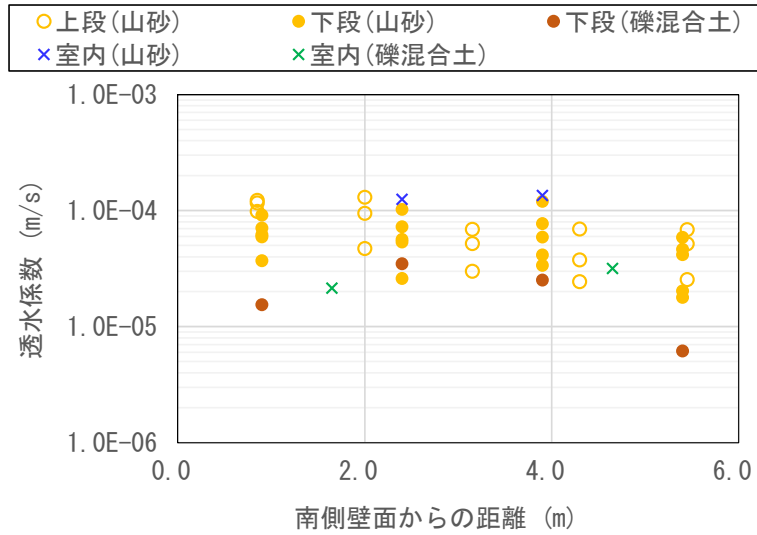


図 3.5.77 透水試験結果の（南-北方向）分布

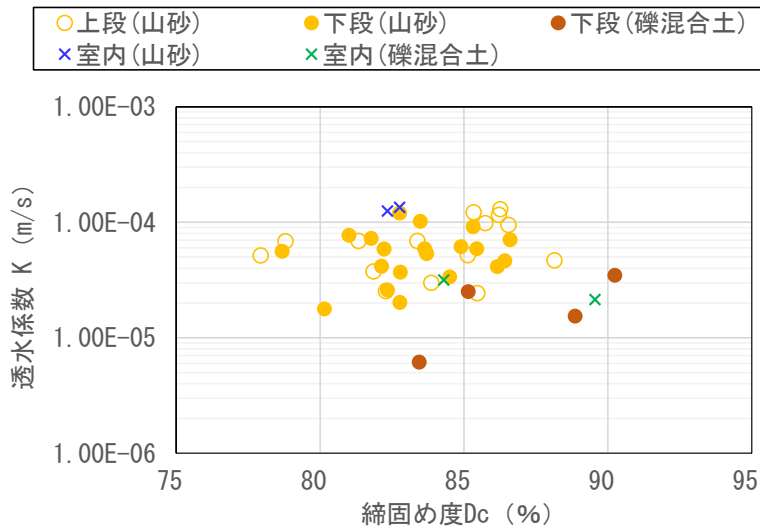


図 3.5.78 透水係数と締固め度の関係

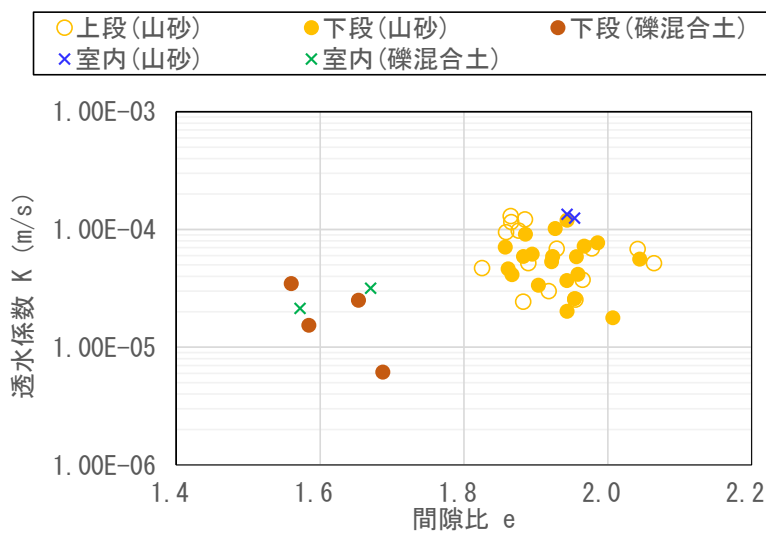


図 3.5.79 透水係数と間隙比の関係



図 3.5.80 開削断面の状況（破線は山砂と礫混合土の境界部）

(4) 実験結果に関する考察

図 3.5.52 に実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。まず、実験 1 日目に堤体高の 70%まで給水槽水位を上昇させた。水位上昇後、徐々に堤体内水位が法尻付近に近付き、およそ 5 時間半後（6/29 14:30）に水位が法尻に達した。その後も堤体内水位が上昇し続け、水位計 W3（法尻より水平距離 1.2m）の水位が法面に達した時点（8 時間後 6/29 17:00）で、礫混合土置換範囲の法尻付近の法面表層ですべりが発生した。

図 3.5.57 に示す実験 1 日目終了後の貫入試験の結果、緩みの範囲は最大でも 10cm 程度であり、崩壊は礫混合土置換範囲の表層付近に留まっていることが分かる。

実験 2 日目には堤体高の 80%まで水位を上昇させ、実験を実施した。図 3.5.52 に 1 日目の実験の場合と同様、実験中の堤体状況、堤体形状および堤体内水位の状況を示す。実験開始から約 3 時間半後（6/30 13:30）に、1 日目のすべり発生範囲から漏水が生じ始めた。その後、徐々に堤体内の水位が上昇し、法面の湿潤範囲が拡大していくにつれて、表層すべりの範囲が拡大した。実験開始から 4 時間 45 分後（6/30 14:45）に水位計 W5（法尻より水平距離 2.4m）での水位が概ね法面に達した時点で礫混合土置換範囲上端部付近でクラックが発生した。図 3.5.84 に示すクラック発生時の、法面表層におけるクラックの発生位置と堤体内水位の関係をみると、礫混合土置換範囲のクラック発生位置より下の範囲が概ね飽和状態となっていることが分かる。クラック発生後、徐々にクラックより下の礫混合土置換範囲が沈み込み、法尻付近が全体的にはらみ出す様子が確認された。同時に、クラック発生後に法面からの排水が一時的に弱まり、しばらく時間が経過した後にクラックから水が溢れ出す様子が確認された。図 3.5.83 に示す実験模型端部に設けた排水孔からの排水流量の経時変化からも、クラック発生後に一度排水流量が低下していることが分かる。

1 日目の場合と同様、実験終了後に貫入試験を実施した。図 3.5.59～図 3.5.72 に試験結果を示す。礫混合土上端部付近のクラック発生箇所付近で部分的に 20cm 程度の緩みも見られたが、その他の箇所では緩みの範囲は 0~10cm 程度の範囲に留まっていた。

これらの結果から、Case2 と同様、礫混合土自体はほとんど破壊せず、表層部でのすべり破壊にとどまっているものの、一定程度水位が上昇した場合に礫混合土置換範囲が全体的に滑動したと考えられる。また、図 3.5.77 に示すように、山砂と比較すると礫混合土の透水性が低くなっていることも堤体内水位の上昇に影響を与えたと考えられることから、礫混合土置換範囲が滑動した要因の一つであると考えられる。

図 3.5.80 に示す開削調査時の断面観察結果から、山砂・礫混合土境界位置を横断図に反映し、推定される変状発生状況をまとめた図を図 3.5.85 に示す。全体的に礫混合土置換範囲が法尻側へ滑動し、滑動後の隙間に山砂が流れ込んでいると推定される。また、部分的に礫混合土の沈み込みが発生しており、沈み込みに伴う法面の折れ曲がり箇所では法面表層に小規模なクラックが見られた。このことから、礫混合土がいくつかのブロックに分かれ滑動・沈下していると考えられる。また、礫混合土と基盤層との境界を見ると、境界付近の礫混合土は滑動前後で概ね元の幅を保っていることや、法尻より先の基盤面で隆起等の変状が見られないことから、基盤層との境界付近でも礫混合土は破壊しておらず、基盤層の関東ロームのごく浅い範囲ですべりが発生しているものと考えられる。



図 3.5.81 左：実験 1 日目終了時の状況、右：実験 2 日目クラック発生時の状況



図 3.5.82 実験 2 日目実験終了時の状況
(左：礫混合土の滑動状況、右：クラックからの流水の状況)

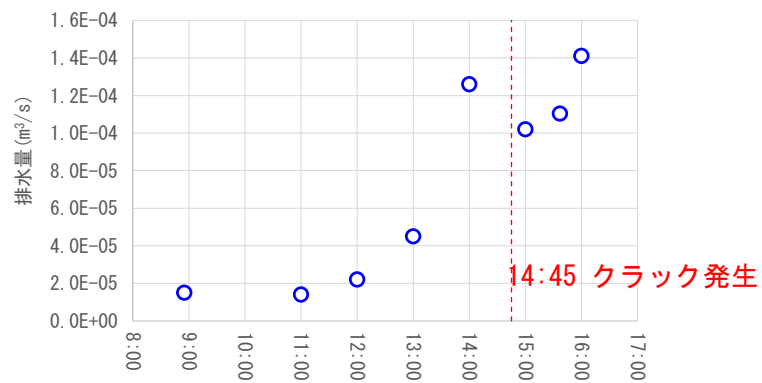


図 3.5.83 実験 2 日目（水位：堤体高の 80%）の排水流量

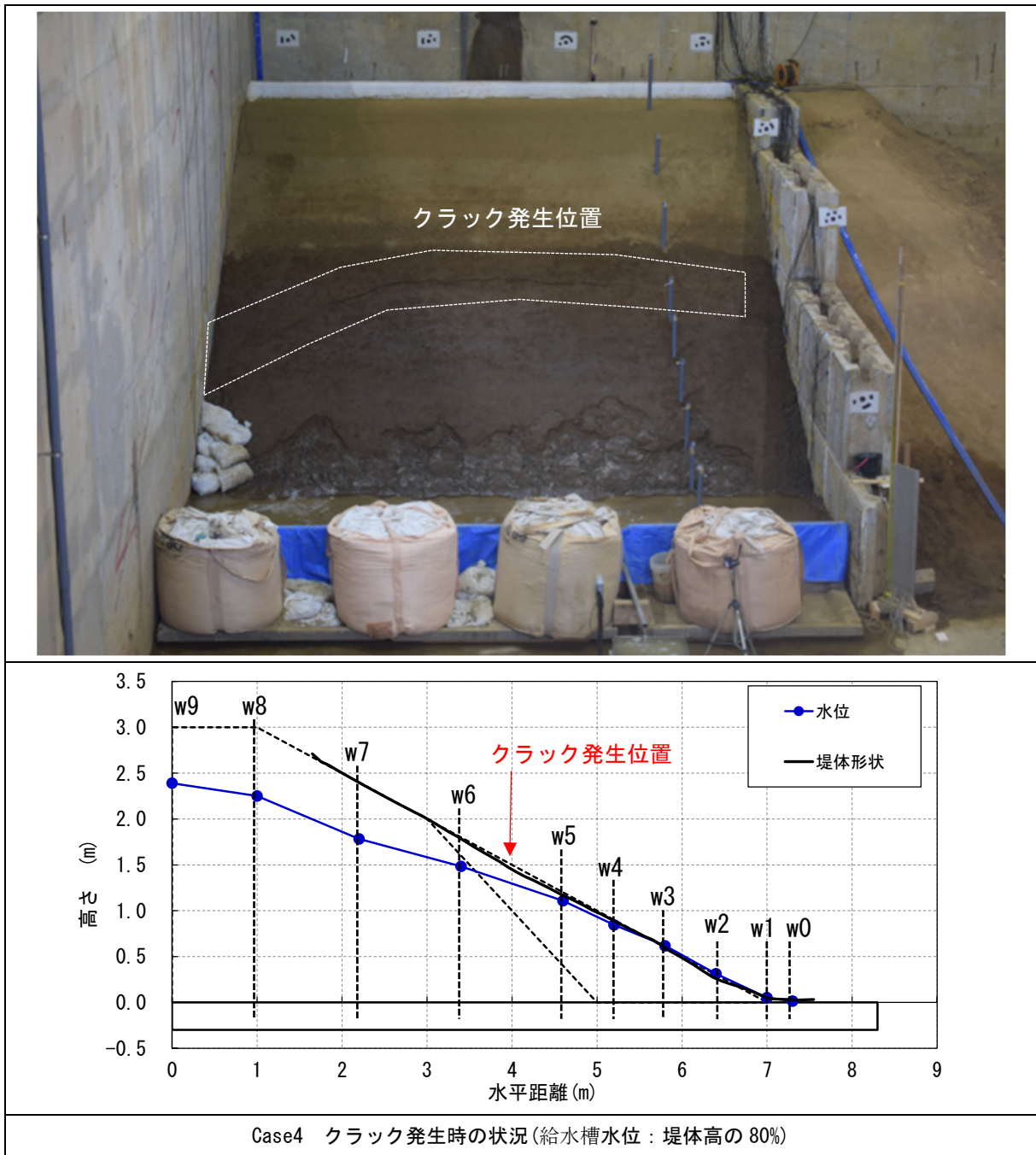


図 3.5.84 礫混合土置換工法に関する実験時のクラック発生時の状況

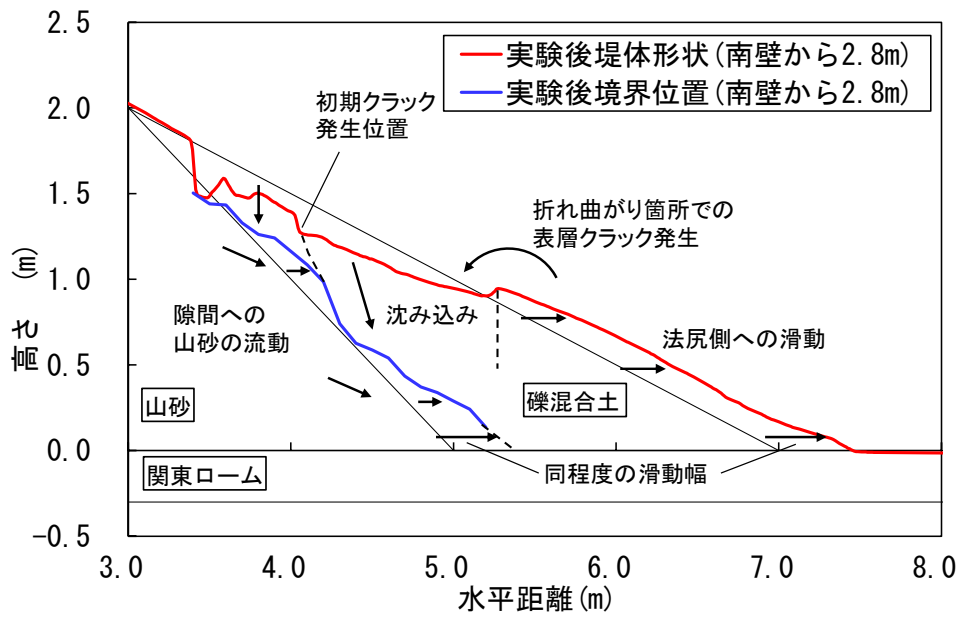


図 3.5.85 実験後の堤体形状および山砂・礫混合土境界位置

3.6 大型模型実験結果のまとめ

礫混合土置換工法およびドレーン工の2種類の浸透対策工の効果を確認するために、大型模型を用いた浸透実験を実施した。各ケースの実験終了後の模型の状況を図 3.6.1 に示す。

対策を施さない Case1 の実験では法尻より水平距離 1.2m 地点の水位観測箇所で水位が法面に達した時点で法尻が泥濁化し始め、徐々にすべりの範囲が広がり、最終的に法尻より水平距離 2.5m 程度の位置まで崩壊が進んだ。

一方で、ドレーン工を法尻部に設置した Case3 では、給水槽水位を 90%まで上昇させた場合でも法面まで堤体内の水位は上昇せず、すべり破壊も生じなかった。この結果から、堤体内の水位の上昇を法面に接近しない程度（本実験の場合は法面直下 20cm 程度以深）に抑えることが可能となるサイズのドレーン工を設置することで、進行性の破壊を防ぐことができることが確認された。

礫混合土置換工法については、Case2 と Case4 で置換範囲を変えて実験を行ったが、いずれのケースにおいても、礫混合土置換範囲では、礫混合土自体の破壊は見られないか、表層部でのすべり破壊にとどまっていたが、一定程度堤体内水位が上昇した場合に礫混合土置換範囲が全体的に滑動する変状が発生する結果となった。礫混合土置換により置換範囲のせん断強度は強化されていると考えられるが、礫混合土置換範囲の全体的な滑動については、安定計算法等を検討し、滑動が生じない置換範囲の設定等を行う必要がある。

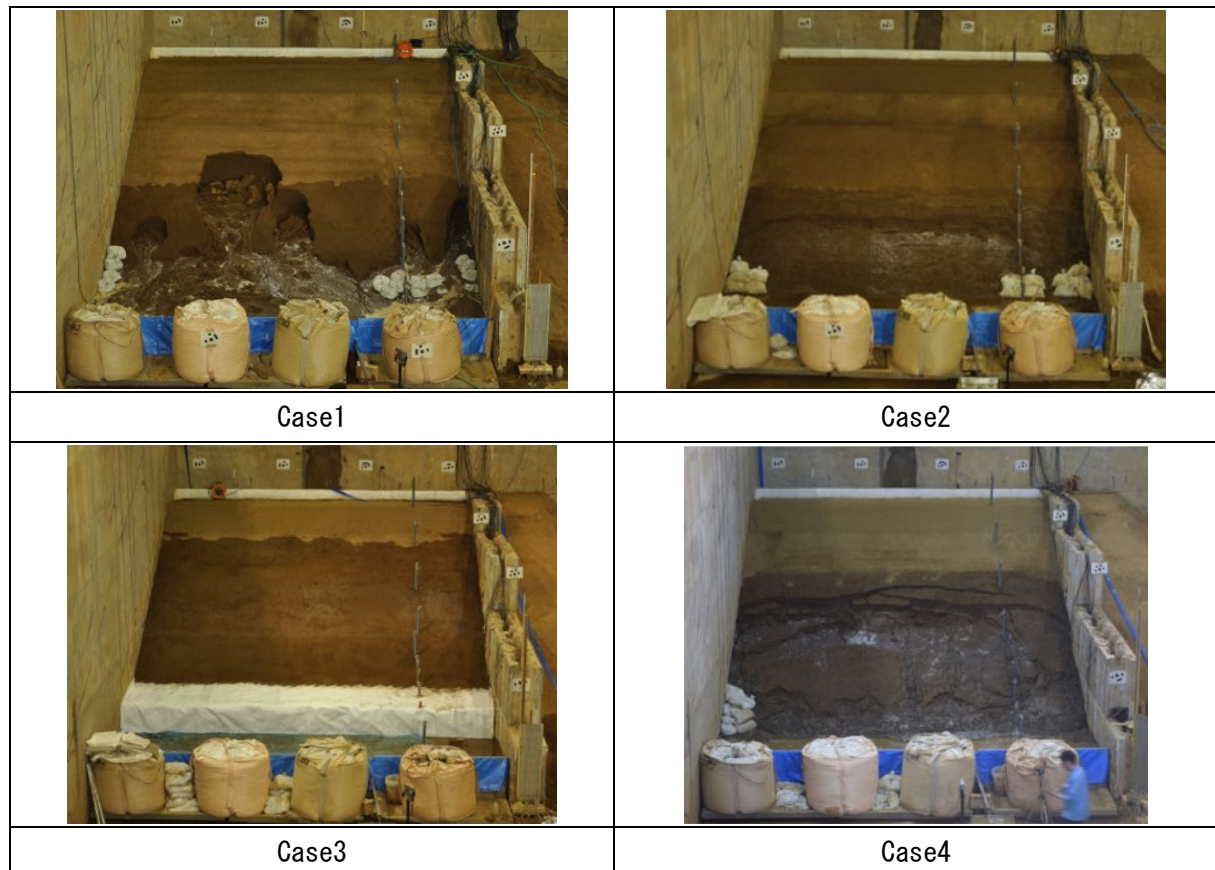


図 3.6.1 各ケースの実験終了後の模型の状況

4. まとめ

河川堤防の浸透による法尻からの進行性破壊に対する対策工の検討のための模型実験を行い、それらの実験から得られた知見を整理した。

中型模型実験では、ドレーン工法、礫混合土置換工法を対象とし、ドレーン工法についてはフィルター材や形状を変化させて、礫混合土置換工法については、礫混合比率や締固め度、置換範囲を変化させて複数ケースの実験を実施し、各ケースの比較により破壊形態の変化や対策工としての効果について検証した。ドレーン工法については、使用するドレーンの規格による堤体内の水位分布を適切に予測し、堤体法面に浸潤線が接近しないようなドレーンを用いる事で進行性破壊に対する対策工として有効となることが確認された。礫混合土については、礫混合時の砕石の比率や締固め度が大きいほど、変状は小規模に留まっており、進行性破壊に対する対策工として有効となることが確認された。また、置換範囲の形状については、底幅が広く、法面勾配が緩いほど、変状の規模が小さくなり、対策工としての効果が増すことが確認された。

中型模型実験で得られた知見も踏まえて、模型縮尺による影響を受けない実大サイズの大型模型を用いた実験を実施した。大型模型実験ではドレーン工法について1ケース、礫混合土について、置換範囲の異なる2ケースの実験を行った。ドレーン工法については、中型模型実験の際に、ドレーン工のフィルター材として、比較的堤体内の水位上昇に対して不利な結果となった不織布を用い、幅2.0m、高さ0.5mのドレーン工を設置した実験を行った。その結果最大で水位が法面下20cm程度まで接近したが、変状は発生せず、進行性破壊に対する対策工としての有効性が確認された。礫混合土については、礫混合比率および締固め度について、中型模型実験の際に比較的変状規模が大きくなった礫混合比率および締固め度で実験を実施した。結果として、礫混合土自体は破壊しないか、破壊しても表層の浅い範囲ですべりが発生するに留まったが、一方で、置換範囲の異なる2ケースいずれの場合でも礫混合土全体が滑動する結果となった。

今後、これらの結果を踏まえて、礫混合土置換工法については、引き続き適切な置換範囲の設定のための知見の蓄積および照査方法の検討、施工性・経済性等も踏まえたドレーン工法等との組み合わせについて検討していく必要がある。

5. 参考文献

- 1) 東 拓生、秋場 俊一、石原 雅規、佐々木 哲也：河川堤防のり面の進行性破壊に関する大型模型実験、土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-097、2017
- 2) 佐々木 哲也、石原雅規、齋藤 由紀子、吉田 直人、秋場 俊一、川井 正彦：浸透に起因する河川堤防のり尻からの進行性破壊現象に関する実験、土木研究所資料第 4300 号、2015
- 3) 石原 雅規、東 拓生、佐々木 哲也：浸透による堤防のり尻からの崩壊の円弧すべり計算を用いた評価法の提案、河川技術論文集第 24 巻、pp. 595-600、2018
- 4) 杉山 詠一、石原 雅規、佐々木 哲也：浸透による進行性破壊に対する礫混合土の対策効果に関する大型模型実験、土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-115、2021

6. 関係発表論文

- ① 東 拓生、石原 雅規、佐々木 哲也：河川堤防の浸透による進行性破壊に対するドレーン工法の対策効果に関する模型実験、第 53 回地盤工学研究発表会、pp. 1021-1022、2018
- ② 杉山 詠一、石原 雅規、佐々木 亨、佐々木 哲也：礫混合による堤防の浸透による法尻からの崩壊抑制効果と強度定数推定、河川堤防技術シンポジウム、vol. 6 pp. 37-40、2018
- ③ 佐々木 亨、杉山 詠一、石原 雅規、佐々木 哲也：浸透による進行性破壊に対する礫混合土の対策効果に関する模型実験、第 54 回地盤工学研究発表会、pp. 987-988、2019
- ④ 杉山 詠一、佐々木 亨、石原 雅規、佐々木 哲也：円弧すべり計算を用いた強度定数の推定による礫混合土の対策効果の検討_第 54 回地盤工学研究発表会、pp. 989-990、2019
- ⑤ 杉山 詠一、石原 雅規、佐々木 哲也：浸透による進行性破壊に対する礫混合土の対策効果に関する大型模型実験、土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-115、2021

7. 巻末資料

7.1 模型作製時の密度管理状況

7.1.1 中型模型実験時

第2章において、模型作製時の密度管理結果に関して、使用材料毎の平均値を示したが、以下に各実験 Case における密度管理結果の詳細を示す。

(1) H29 Case1

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
ローム	0.973	56.0
香取砂	1.692	18.0

採取位置			採取試料情報							含水比測定				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
層区分	層番号	地盤高さ (cm)	名称	モールド番号	(モールド+試料) 質量 (g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+湿潤土) 質量 (g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥土) 質量 (g)			含水比 ω (%)
基盤	1	10	10-1	1	485.2	137.7	347.5	217.40	1.598	3	617.3	271.5	522.2	37.9	1.159	119.1
			10-2	2	500.4	138.2	362.2	221.37	1.636	4	635.9	277.3	535.1	39.1	1.176	120.9
	2	20	20-1	1	504.8	137.7	367.1	217.40	1.689	5	623.6	257.5	508.8	45.7	1.159	119.1
			20-2	2	516.5	138.2	378.3	221.37	1.709	6	707.8	330.6	591.1	44.8	1.180	121.3
堤体	3	35	35-1	1	498.9	137.7	361.16	217.40	1.661	5	618.34	257.5	572.6	14.5	1.451	85.7
			35-2	2	502.7	138.2	364.47	221.37	1.646	6	693.85	330.6	648.0	14.4	1.439	85.0
	4	50	50-1	1	504.3	137.7	366.58	217.40	1.686	3	637.36	271.5	588.8	15.3	1.462	86.4
			50-2	2	512.8	138.2	374.59	221.37	1.692	4	651.52	277.3	601.3	15.5	1.465	86.6
	5	65	65-1	1	500.0	137.7	362.3	217.40	1.667	3	631.13	271.5	582.7	15.6	1.442	85.2
			65-2	2	508.1	138.2	369.9	221.37	1.671	4	636.15	277.3	585.8	16.3	1.436	84.9
	6	80	80-1	1	506.7	137.7	368.96	217.40	1.697	5	616.93	257.5	567.0	16.1	1.461	86.4
			80-2	2	505.5	138.2	367.28	221.37	1.659	6	670.54	330.6	625.6	15.2	1.440	85.1
	7	95	95-1	1	501.5	137.7	363.79	217.40	1.673	1	787.22	440.06	741.9	15.0	1.455	86.0
			95-2	2	506.8	138.2	368.61	221.37	1.665	2	589.85	247.67	545.0	15.1	1.447	85.5

(2) H29 Case2

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
ローム	0.973	56.0
香取砂	1.692	18.0

採取位置			採取試料情報							含水比測定				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
層区分	層番号	地盤高さ (cm)	名称	モールド番号	(モールド+試料) 質量 (g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+湿潤土) 質量 (g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥土) 質量 (g)			含水比 ω (%)
基盤	1	10	10-1	1	485.2	137.7	347.5	217.40	1.598	3	617.3	271.5	522.2	37.9	1.159	119.1
			10-2	2	500.4	138.2	362.2	221.37	1.636	4	635.9	277.3	535.1	39.1	1.176	120.9
	2	20	20-1	1	504.8	137.7	367.1	217.40	1.689	5	623.6	257.5	508.8	45.7	1.159	119.1
			20-2	2	516.5	138.2	378.3	221.37	1.709	6	707.8	330.6	591.1	44.8	1.180	121.3
堤体	3	35	35-1	1	493.4	137.7	355.66	217.40	1.636	1	639.07	293.71	596.9	13.9	1.436	84.9
			35-2	2	497.5	138.2	359.28	221.37	1.623	2	596.41	247.67	552.3	14.5	1.417	83.8
	4	50	50-1	1	493.5	137.7	355.78	217.40	1.637	3	626.13	271.5	580.1	14.9	1.424	84.2
			50-2	2	503.1	138.2	364.86	221.37	1.648	4	624.38	277.3	580.5	14.5	1.440	85.1
	5	65	65-1	1	513.8	137.7	376.11	217.40	1.730	1	834.92	440.06	778.3	16.8	1.482	87.6
			65-2	2	522.6	138.2	384.36	221.37	1.736	2	640.84	247.67	585.5	16.4	1.492	88.2
	6	80	80-1	1	495.3	137.7	357.6	217.40	1.645	3	627.6	271.5	582.2	14.6	1.435	84.8
			80-2	2	505.7	138.2	367.48	221.37	1.660	4	639.87	277.3	593.8	14.6	1.449	85.6
	7	95	95-1	1	516.8	137.7	379.07	217.40	1.744	5	626.1	257.5	566.6	19.2	1.462	86.4
			95-2	2	506.3	138.2	368.08	221.37	1.663	6	698.49	330.6	648.1	15.9	1.435	84.8

(3) H29 Case3

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
ローム	0.973	56.0
香取砂	1.692	18.0

採取位置			採取試料情報							含水比測定				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
層区分	層番号	地盤高さ (cm)	名称	モールド番号	(モールド+試料) 質量 (g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+湿潤土) 質量 (g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥土) 質量 (g)			含水比 ω (%)
基盤	1	10	10-1	1	485.2	137.7	347.5	217.40	1.598	3	617.3	271.5	522.2	37.9	1.159	119.1
			10-2	2	500.4	138.2	362.2	221.37	1.636	4	635.9	277.3	535.1	39.1	1.176	120.9
	2	20	20-1	1	504.8	137.7	367.1	217.40	1.689	5	623.6	257.5	508.8	45.7	1.159	119.1
			20-2	2	516.5	138.2	378.3	221.37	1.709	6	707.8	330.6	591.1	44.8	1.180	121.3
堤体	3	35	35-1	1	482.4	137.7	344.65	217.40	1.585	1	638.06	293.71	595.7	14.0	1.390	82.2
			35-2	2	505.3	138.2	367.11	221.37	1.658	2	614.65	247.67	568.9	14.3	1.451	85.8
	4	50	50-1	1	500.1	137.7	362.36	217.40	1.667	3	636.99	271.5	590.4	14.6	1.455	86.0
			50-2	2	494.9	138.2	356.66	221.37	1.611	4	633.51	277.3	592.1	13.2	1.424	84.1
	5	65	65-1	1	501.2	137.7	363.45	217.40	1.672	1	660.7	293.71	616.2	13.8	1.469	86.8
			65-2	2	505.5	138.2	367.27	221.37	1.659	2	624.62	247.67	579.2	13.7	1.459	86.3
	6	80	80-1	1	500.6	137.7	362.94	217.40	1.669	3	643.9	271.5	598.3	14.0	1.465	86.6
			80-2	2	510.9	138.2	372.71	221.37	1.684	4	664.54	277.3	617.3	13.9	1.478	87.4
	7	95	95-1	1	501.7	137.7	364	217.40	1.674	5	627.92	257.5	582.5	14.0	1.469	86.8
			95-2	2	499.7	138.2	361.54	221.37	1.633	6	690.01	330.6	645.9	14.0	1.433	84.7

(4) H29 Case4,4'

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
ローム	0.973	56.0
香取砂	1.692	18.0

採取位置			採取試料情報							含水比測定				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
層区分	層番号	地盤高さ (cm)	名称	モールド番号	(モールド+試料) 質量 (g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+湿潤土) 質量 (g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥土) 質量 (g)			含水比 ω (%)
基盤	1	10	10-1	1	485.2	137.7	347.5	217.40	1.598	3	617.3	271.5	522.2	37.9	1.159	119.1
			10-2	2	500.4	138.2	362.2	221.37	1.636	4	635.9	277.3	535.1	39.1	1.176	120.9
	2	20	20-1	1	504.8	137.7	367.1	217.40	1.689	5	623.6	257.5	508.8	45.7	1.159	119.1
			20-2	2	516.5	138.2	378.3	221.37	1.709	6	707.8	330.6	591.1	44.8	1.180	121.3
堤体 (CASE4)	3	35	35-1	1	479.6	137.7	341.85	217.40	1.572	1	634.88	293.71	595.2	13.2	1.390	82.1
			35-2	2	499.0	138.2	360.76	221.37	1.630	2	607.48	247.67	563.3	14.0	1.430	84.5
	4	50	50-1	1	500.4	137.7	362.69	217.40	1.668	3	645.59	271.5	601.0	13.5	1.469	86.8
			50-2	2	504.8	138.2	366.64	221.37	1.656	4	643.42	277.3	600.7	13.2	1.463	86.5
	5	65	65-1	1	515.9	137.7	378.19	217.40	1.740	1	694.15	293.71	636.3	16.9	1.488	88.0
			65-2	2	520.3	138.2	382.13	221.37	1.726	2	629.07	247.67	574.6	16.7	1.480	87.5
	6	80	80-1	1	514.6	137.7	376.88	217.40	1.734	3	667.6	271.5	612.0	16.3	1.490	88.1
			80-2	2	513.8	138.2	375.57	221.37	1.697	4	652.25	277.3	601.7	15.6	1.468	86.7
	7	95	95-1	1	515.3	137.7	377.62	217.40	1.737	5	654.45	257.5	594.5	17.8	1.475	87.1
			95-2	2	517.7	138.2	379.52	221.37	1.714	6	729.33	330.6	671.0	17.1	1.464	86.5
堤体 (CASE4')	3	35	35-1	1	490.5	137.7	352.8	217.4002	1.623	3	610.59	271.5	571.76	12.9	1.437	84.9

注記) ・CASE4'は、堤体材料を置き換えた法尻のみ。

(5) H29 Case5

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
ローム	0.973	56.0
香取砂	1.692	18.0
礫混合土	1.846	-

簡易締固め試験結果による

採取位置		採取試料情報								含水比測定				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
層区分	層番号	地盤高さ (cm)	名称	モールド番号	(モールド+試料) 質量 (g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+湿潤土) 質量 (g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥土) 質量 (g)			含水比 ω (%)
基盤	1	10	10-1	1	485.2	137.7	347.5	217.40	1.598	3	617.3	271.5	522.2	37.9	1.159	119.1
			10-2	2	500.4	138.2	362.2	221.37	1.636	4	635.9	277.3	535.1	39.1	1.176	120.9
	2	20	20-1	1	504.8	137.7	367.1	217.40	1.689	5	623.6	257.5	508.8	45.7	1.159	119.1
			20-2	2	516.5	138.2	378.3	221.37	1.709	6	707.8	330.6	591.1	44.8	1.180	121.3
堤体	3	35	35-1	1	493.6	137.7	355.91	217.40	1.637	1	628.9	293.71	590.5	12.9	1.449	85.7
			35-2	2	493.7	138.2	355.47	221.37	1.606	2	602.25	247.67	562.0	12.8	1.423	84.1
	4	50	50-1	1	501.7	137.7	364	217.40	1.674	1	656.87	293.71	614.7	13.1	1.480	87.5
			50-2	2	499.0	138.2	360.83	221.37	1.630	2	602.71	247.67	560.4	13.5	1.436	84.8
	5	65	65-1	1	500.3	137.7	362.62	217.40	1.668	3	634.98	271.5	593.5	12.9	1.478	87.3
			65-2	2	507.4	138.2	369.19	221.37	1.668	4	645.75	277.3	604.0	12.8	1.479	87.4
	6	80	80-1	1	503.7	137.7	365.96	217.40	1.683	5	622.41	257.5	577.5	14.0	1.476	87.2
			80-2	2	510.3	138.2	372.11	221.37	1.681	6	709.98	330.6	661.7	14.6	1.467	86.7
	7	95	95-1	1	494.1	137.7	356.44	217.40	1.640	1大	785.93	440.06	744.9	13.5	1.445	85.4
			95-2	2	499.8	138.2	361.64	221.37	1.634	7ボール	438.55	82.2	396.3	13.5	1.440	85.1
	礫混合土	35	95-1	1	512.8	137.7	375.1	217.40	1.725	1	648.36	293.71	615.5	10.2	1.565	84.8
		55	95-2	2	516.1	138.2	377.92	221.37	1.707	2	585.16	247.67	552.9	10.6	1.544	83.7

(6) H30 Case1-1,1-2

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
香取砂	1.692	18.0
混合土(33.4%)	1.948	12.0

採取位置			試料情報						含水比測定結果				乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締固め度 Dc (%)	
区分	層	地盤高さ	容器番号	(モールド+試料) 質量(g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	容器番号	(容器+試料) 質量(g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥試料) 質量(g)	含水比 ω (%)		
堤体部分	2	35	1	493.3	137.7	355.6	217.4	1.636	1	643.9	293.5	603.0	13.2	1.445	85.4
			2	507.8	138.2	369.6	221.4	1.670	2	616.2	247.4	571.5	13.8	1.467	86.7
	4	50	1	490.6	137.7	352.9	217.4	1.623	1	646.1	293.5	608.6	11.9	1.451	85.7
			2	499.6	138.2	361.4	221.4	1.633	2	608.6	247.4	568.9	12.3	1.453	85.9
	6	65	1	497.7	137.7	360.0	217.4	1.656	1	652.9	293.5	612.8	12.6	1.471	86.9
			2	498.2	138.2	360.0	221.4	1.626	2	589.0	247.5	553.5	11.6	1.457	86.1
	8	80	1	501.4	137.7	363.7	217.4	1.673	3	634.7	271.6	592.4	13.2	1.478	87.4
			2	498.2	138.2	360.0	221.4	1.626	4	797.7	440.0	756.7	12.9	1.440	85.1
10	95	1	496.4	137.7	358.7	217.4	1.650	1	651.9	293.6	610.3	13.1	1.459	86.2	
		2	499.5	138.2	361.3	221.4	1.632	2	606.5	247.5	564.1	13.4	1.440	85.1	
礫混合部分	2	35	1	602.7	137.7	465.0	217.4	2.139	1	746.2	293.5	697.6	12.0	1.909	98.0
			2	608.2	138.2	470.0	221.4	2.123	2	714.1	247.4	668.3	10.9	1.915	98.3
	4	50	1	599.4	137.7	461.7	217.4	2.124	1	751.5	293.5	708.6	10.3	1.925	98.8
			2	605.6	138.2	467.4	221.4	2.111	2	710.9	247.4	668.9	10.0	1.920	98.6

(7) H30 Case2-1,2-2,2-3

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
香取砂	1.692	18.0
混合土(50%)	2.081	9.6

採取位置			試料情報						含水比測定結果				乾燥密度	締固め度	
区分	層	地盤高さ	容器番号	(モールド+試料) 質量(g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ(g/cm ³)	容器番号	(容器+試料) 質量(g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥試料) 質量(g)	含水比 ω(%)	ρ _d (g/cm ³)	D _c (%)
堤体部分	2	35	1	489.2	137.7	351.5	217.4	1.617	3	592.6	271.4	559.1	11.7	1.448	85.6
			2	502.5	138.2	364.3	221.4	1.646	4	599.3	277.3	564.8	12.0	1.469	86.8
	4	50	1	490.1	137.7	352.4	217.4	1.621	3	593.1	271.4	563.2	10.2	1.470	86.9
			2	505.3	138.2	367.1	221.4	1.658	4	628.8	277.3	587.0	13.5	1.461	86.3
	6	65	1	500.7	137.7	363.0	217.4	1.670	1	657.7	293.5	616.2	12.9	1.479	87.4
			2	498.7	138.2	360.5	221.4	1.629	2	607.7	247.5	568.3	12.3	1.450	85.7
	8	80	1	498.2	137.7	360.5	217.4	1.658	3	631.6	271.4	586.4	14.4	1.450	85.7
			2	502.9	138.2	364.7	221.4	1.647	4	624.2	277.3	588.2	11.6	1.476	87.2
	10	95	1	492.4	137.7	354.7	217.4	1.632	1	651.9	293.5	610.3	13.1	1.442	85.2
			2	499.6	138.2	361.4	221.4	1.633	2	606.5	247.5	564.1	13.4	1.440	85.1
礫混合部分	2	35	1	627.7	137.7	490.0	217.4	2.254	1	771.2	293.5	726.6	10.3	2.043	98.2
			2	625.2	138.2	487.0	221.4	2.200	2	728.1	247.4	688.6	9.0	2.019	97.0
	4	50	1	624.4	137.7	486.7	217.4	2.239	1	771.5	293.5	727.6	10.1	2.033	97.7
			2	632.6	138.2	494.4	221.4	2.233	2	731.9	247.4	688.9	9.7	2.035	97.8

(8) H30 Case3-1,3-2,3-3

モールド情報				
番号	高さ (cm)	内径 (cm)	質量 (g)	体積 (cm ³)
1	4.93	7.495	137.7	217.4
2	5.02	7.495	138.2	221.4

締固め特性		
地盤材料	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
香取砂	1.692	18.0
混合土(50%)	2.081	9.6

採取位置			試料情報						含水比測定結果					乾燥密度	締固め度
区分	層	地盤高さ	容器番号	(モールド+試料) 質量(g)	モールド質量 (g)	試料質量 (g)	モールド体積 (cm ³)	湿潤密度 ρ(g/cm ³)	容器番号	(容器+試料) 質量(g)	容器質量 (g)	(容器+乾燥試料) 質量(g)	含水比 ω(%)	ρ _d (g/cm ³)	D _c (%)
堤体部分	2	35	1	493.0	137.7	355.3	217.4	1.634	1	81.4	27.8	75.4	12.6	1.451	85.8
			2	499.6	138.2	361.4	221.4	1.633	5	85.6	27.3	78.8	13.2	1.442	85.2
	4	50	1	496.0	137.7	358.3	217.4	1.648	4	84.5	27.8	77.7	13.6	1.450	85.7
			2	503.6	138.2	365.4	221.4	1.651	2	95.5	27.5	87.8	12.8	1.464	86.5
	6	65	1	501.3	137.7	363.6	217.4	1.672	3	89.7	26.7	81.9	14.1	1.465	86.6
			2	499.2	138.2	361.0	221.4	1.631	6	95.9	32.6	88.7	12.8	1.445	85.4
	8	80	1	492.3	137.7	354.6	217.4	1.631	1	92.0	27.8	84.9	12.4	1.451	85.7
			2	505.8	138.2	367.6	221.4	1.661	6	91.9	32.6	85.1	13.0	1.470	86.9
10	95	1	499.3	137.7	361.6	217.4	1.663	2	82.6	27.5	76.1	13.4	1.467	86.7	
		2	501.3	138.2	363.1	221.4	1.640	5	87.5	27.3	80.3	13.6	1.444	85.3	
礫混合部分	2	35	1	586.3	137.7	448.6	217.4	2.063	1	735.1	293.5	693.7	10.3	1.870	89.9
			2	596.5	138.2	458.3	221.4	2.070	2	687.7	247.4	648.6	9.7	1.886	90.7
	4	50	1	590.4	137.7	452.7	217.4	2.082	1	743.3	293.5	700.3	10.6	1.883	90.5
			2	597.4	138.2	459.2	221.4	2.074	2	687.9	247.4	646.7	10.3	1.880	90.4

7.1.2 大型模型実験時

第3章において、作製時の密度管理結果に関して、使用材料毎の平均値を示したが、以下に各実験 Case における密度管理結果の詳細を示す。

なお、密度管理頻度については第3章でも述べた通り、基礎地盤については、厚さ 15cm 毎に投入土砂量と高さの管理を行い、3 箇所において、コアカッターを用いて湿潤密度および乾燥密度を求めた。堤体部に関しては、厚さ 15cm 毎に投入土砂量と高さの管理を行った。4、8 層目では 5 箇所、12、16、20 層目では 3 箇所においてサンプリングを実施し、湿潤密度及び乾燥密度を確認した。

(1) Case1

Case1 実験模型作製時の密度管理結果の一覧を以下に示す。

表 7.1.1 密度管理結果 (Case1、コアカッター法 (内部体積 : 785cm³))

最大乾燥密度(関東ローム) : 1.306 g/cm³

最大乾燥密度(山砂) : 1.665 g/cm³

		湿潤重量 (g)	ma (g)	mb (g)	mc (g)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
関東ローム		1398.6	110.5	83.8	30.2	49.8	1.782	1.189	91.1
		1390.1	121.6	90.8	29.6	50.3	1.771	1.178	90.2
		1432.5	98.5	74.2	28.5	53.2	1.825	1.191	91.2
平均						51.1	1.792	1.186	90.8
山砂	4層目	1283	1780.6	1616.2	497.6	14.7	1.634	1.425	85.6
		1289.3	1775.8	1612.3	486.5	14.5	1.642	1.434	86.1
		1287.7	1776.6	1613.5	488.9	14.5	1.640	1.433	86.0
		1284.3	1780.5	1618.1	496.2	14.5	1.636	1.429	85.8
		1287.5	1789.1	1623.4	501.6	14.8	1.640	1.429	85.8
	8層目	1290.4	1790.5	1625.8	500.1	14.6	1.644	1.434	86.1
		1283.1	1811.6	1647.1	528.5	14.7	1.635	1.425	85.6
		1285.5	1762.4	1597.9	476.9	14.7	1.638	1.428	85.8
		1291.9	1778.4	1612.4	486.5	14.7	1.646	1.434	86.1
		1299.5	1803.4	1636.1	503.9	14.8	1.655	1.442	86.6
	12層目	1294.8	1809.5	1643.8	514.7	14.7	1.649	1.438	86.4
		1283.4	1784.3	1618.0	500.9	14.9	1.635	1.423	85.5
		1283.1	1759.9	1594.4	476.8	14.8	1.635	1.424	85.5
	16層目	1295.6	1798.2	1631.6	502.6	14.8	1.650	1.438	86.4
		1292	1784.5	1620.5	492.5	14.5	1.646	1.437	86.3
		1289.9	1789.7	1623.4	499.8	14.8	1.643	1.431	86.0
	20層目	1285.6	1781.2	1617.5	495.6	14.6	1.638	1.429	85.8
		1284.9	1818.5	1656.2	533.6	14.5	1.637	1.430	85.9
		1274.8	1789.6	1625.3	514.8	14.8	1.624	1.415	85.0
	平均						14.7	1.640	1.430

(2) Case2

Case2 実験模型作製時の密度管理結果の一覧を以下に示す。

表 7.1.2 密度管理結果 (Case2、コアカッター法 (内部体積 : 785cm³))

最大乾燥密度(山砂): 1.665 g/cm³
 最大乾燥密度(礫混合土): 1.901 g/cm³

		湿潤重量 (g)	ma (g)	mb (g)	mc (g)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
山砂	1	1266.5	1798.3	1645.6	533.6	13.7	1.613	1.419	85.2
	2	1268.9	1771.9	1624.3	503.9	13.2	1.616	1.428	85.8
	3	1261.3	1789.3	1647.2	528.5	12.7	1.607	1.426	85.6
	4	1270.6	1758.5	1614.2	488.9	12.8	1.619	1.435	86.2
	5	1262.3	1758.4	1610.5	497.6	13.3	1.608	1.419	85.2
	6	1266.8	1758.3	1612.3	492.5	13.0	1.614	1.428	85.7
	7	1268.1	1744.8	1597.5	476.9	13.1	1.615	1.428	85.8
平均値						13.1	1.613	1.426	85.6
礫混合土	1	1467.7	1963.6	1822.5	498.5	10.7	1.870	1.690	88.9
	2	1464.5	1942.5	1794.6	480.5	11.3	1.866	1.677	88.2
	3	1397.8	1875.2	1739.6	479.9	10.8	1.781	1.608	84.6
	4	1433.3	1933.7	1790.1	502.9	11.2	1.826	1.643	86.4
	5	1469.8	1970.1	1820.3	501.6	11.4	1.872	1.681	88.4
	6	1453.7	1999.7	1854.3	500.1	10.7	1.852	1.672	88.0
	7	1440.3	2016.9	1872.6	528.5	10.7	1.835	1.657	87.2
	8	1464.2	1940.5	1805.6	476.9	10.2	1.865	1.693	89.1
平均値						10.9	1.846	1.665	87.6

(3) Case3

Case3 実験模型作製時の密度管理結果の一覧を以下に示す。

表 7.1.3 密度管理結果 (Case3、コアカッター法 (内部体積 : 785cm³))

最大乾燥密度(山砂): 1.665 g/cm³

		湿潤重量 (g)	ma (g)	mb (g)	mc (g)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
1		1276.5	1775.9	1625.4	500.1	13.4	1.626	1.434	86.1
2		1273.5	1770.2	1612.4	498.5	14.2	1.622	1.421	85.3
3		1278.9	1803.9	1652.9	528.5	13.4	1.629	1.436	86.3
4		1273.6	1752.7	1598.6	479.9	13.8	1.622	1.426	85.6
平均値						13.7	1.625	1.429	85.8

(4) Case4

Case4 実験模型作製時の密度管理結果の一覧を以下に示す。

表 7.1.4 密度管理結果 (Case4、砂置換法)

最大乾燥密度(礫混合土): 1.901 g/cm ³							
	ma (g)	mb (g)	mc (g)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
1	1330.0	1247.9	495.4	10.9	1.892	1.706	89.8
2	1459.5	1352.9	504.9	12.6	1.993	1.771	93.1
3	1200.2	1109.2	301.1	11.3	1.926	1.731	91.1
平均値				11.6	1.937	1.736	91.3

表 7.1.5 密度試験結果 (較正) (Case4、砂置換法)

JIS A 1214	砂置換法による土の密度試験 (較正)					
調査件名	盛土実験棟内模型部分解体・再構築業務			試験年月日	2021/6/8	
測定器No.				試験者	川畑	
I. ジャーとピクノメータートップとの体積の較正						
測定 No.		1	2	3	4	5
ジャーとピクノメータートップに水を満たした質量 m_2 g		5809	5813	5814		
測定器の質量 m_1 g		1726	1726	1726		
満たした水の質量 $m_2 - m_1$ g		4083	4087	4088		
測定器中の水の温度 t °C		22	22	22		
t°Cにおける水1g当たりの体積 K cm ³ /g		1.00221	1.00221	1.00221		
ジャーとピクノメータートップとの体積 $V_1 = K(m_2 - m_1)$ cm ³		4092	4096	4097		
平均値 V_1 cm ³		4095				
II. 試験用砂の乾燥密度の較正						
測定 No.		1	2	3	4	5
ジャーとピクノメータートップに砂を満した質量 m_3 g		7214	7198	7207		
測定器の質量 m_1 g		1726	1726	1726		
測定器中の砂の質量 $m_4 = m_3 - m_1$ g		5488	5472	5481		
試験用砂の乾燥密度 $\rho_{ds} = m_4 / V_1$ g/cm ³		1.34	1.34	1.34		
平均値 ρ_{ds} g/cm ³		1.338				
III. 漏斗を満たすのに必要な砂の質量の較正						
測定 No.		1	2	3	4	5
測定器と入れた砂との質量 m_3' g		4250	4685	5231		
漏斗を満たした砂を除き測定器と残った砂の質量 m_5 g		2760	3194	3744		
漏斗を満たすのに必要な砂の質量 $m_6 = m_3' - m_5$ g		1490	1491	1487		
平均値 m_6 g		1489				

特記事項

表 7.1.6 密度試験結果（測定）（Case4、砂置換法）

JIS A 1214		砂置換法による土の密度試験（測定）			
調査件名	盛土実験棟内模型部分解体・再構築業務		試験年月日	2021/6/8	
地点番号(地盤高)			試験者	川畑 裕也	
測定器 No.	-		土質名称		礫混合土
試験用砂の乾燥密度 ρ_{ds}	g/cm^3	1.338	漏斗を満たすのに必要な砂の質量 m_6		g 1489
試験孔 No.	4層目①		4層目②	8層目	
最大粒径	mm				
容器 No.					
容器質量	g	-	-	-	
(試験孔から取り出した土+容器)質量	g	-	-		
試験孔から取り出した湿潤土の質量 m_7	g	834.6	954.6	899.1	
試験孔から取り出した土の炉乾燥質量 $m_0=100m_7/(w+100)$	g	752.5	848.0	808.1	
ジャーとピクノメータートップに砂を満たした質量 m_3	g	7412.6	6387.6	6756.3	
測定器と残った砂の質量 m_8	g	5333.0	4257.3	4642.1	
試験孔および漏斗に入った砂の質量 $m_9=m_3-m_8$	g	2079.6	2130.3	2114.2	
試験孔を満たすのに要する砂の質量 $m_{10}=m_9-m_6$	g	590.2	640.9	624.8	
試験孔の体積 $V_0=m_{10}/\rho_{ds}$	cm^3	441.0	478.9	466.9	
湿潤密度 $\rho_t=m_7/V_0$	g/cm^3	1.892	1.993	1.926	
乾燥密度 $\rho_d=m_0/V_0$	g/cm^3	1.706	1.771	1.731	
含水比	容器 No.	503	570	75	
	m_a	g 1330.0	1459.5	1200.2	
	m_b	g 1247.9	1352.9	1109.2	
	m_c	g 495.4	504.9	301.1	
	w	% 10.9	12.6	11.3	
平均値	容器 No.				
	m_a	g			
	m_b	g			
	m_c	g			
	w	%			
平均値	含水比 w	%	11.6		
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.937		
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	1.736		

特記事項

- ・試験孔は、ハンドスコップ、ストレートエッジ等で掘削した。
- ・試験孔それぞれに同じジャーと漏斗のセットを用意したので漏斗を満たすそれぞれの質量は次のとおりである。

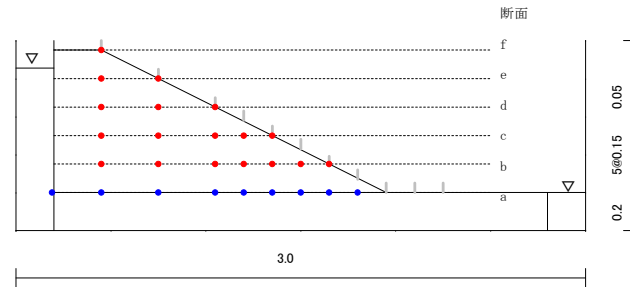
試験孔No.1	No.2	No.3
1489g	1489g	1489g

7.2 間隙水圧計および土壌水分計観測データ

7.2.1 中型模型実験

中型模型実験における間隙水圧計および土壌水分計の観測データを示す。

<A断面図>



<平面図>

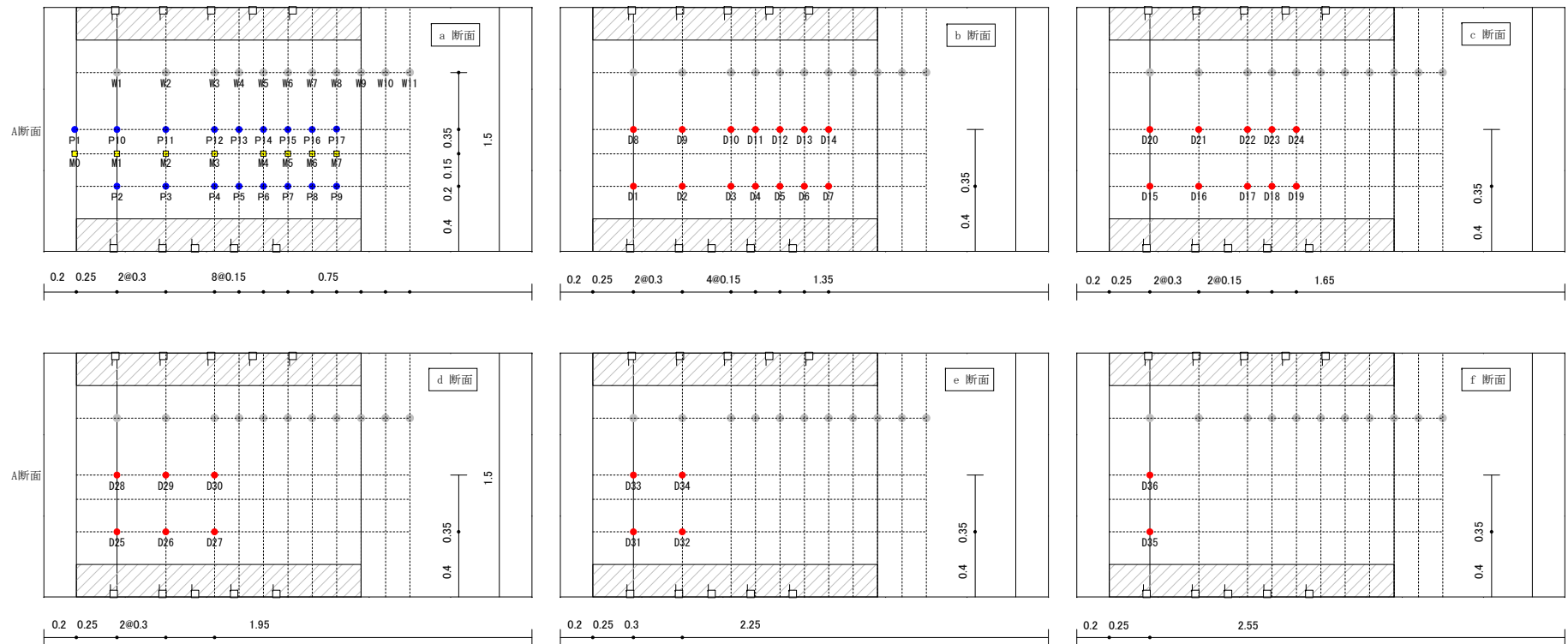


図 7.2.1 実験模型概要図およびセンサー設置位置図 (単位 : m)

(1) H29 Case1

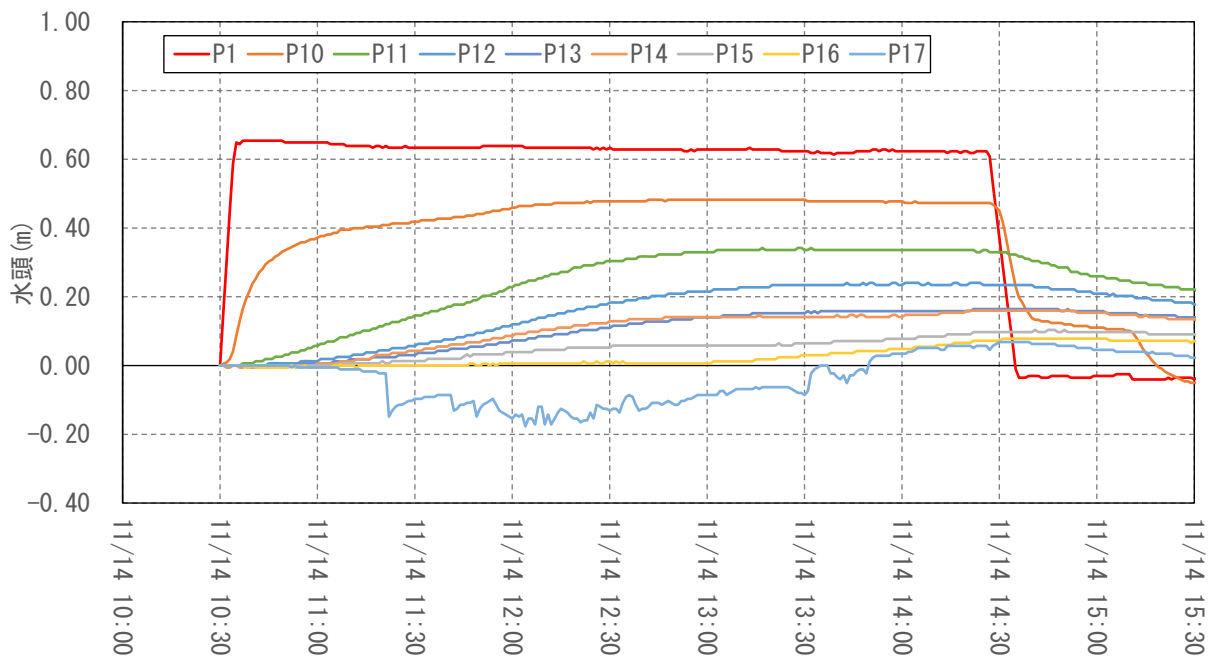


図 7.2.2 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 1

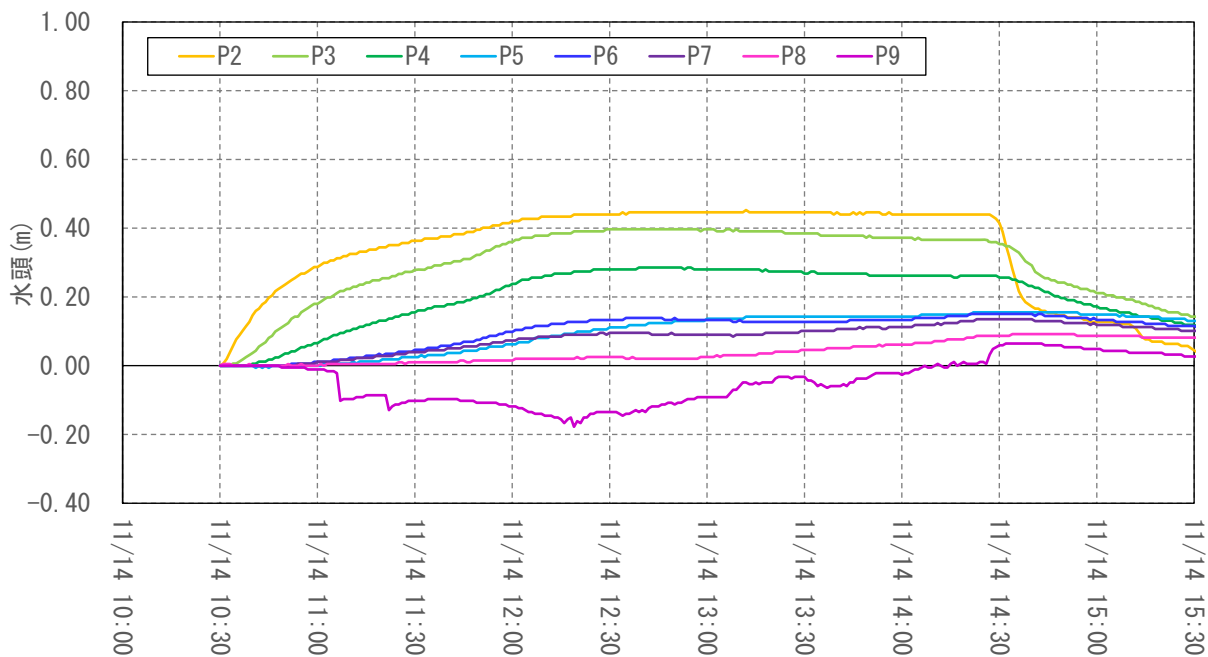


図 7.2.3 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 2

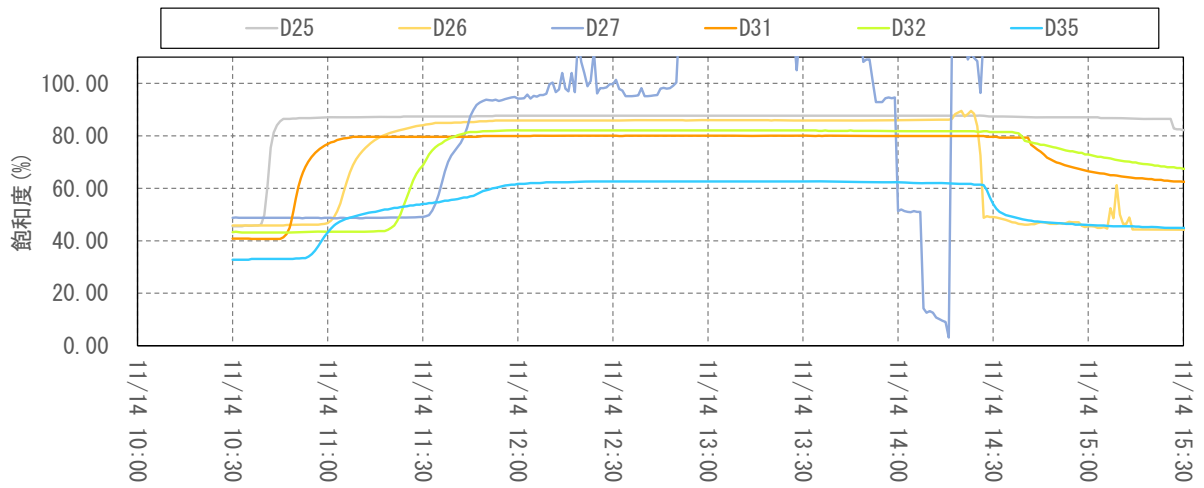


図 7.2.4 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

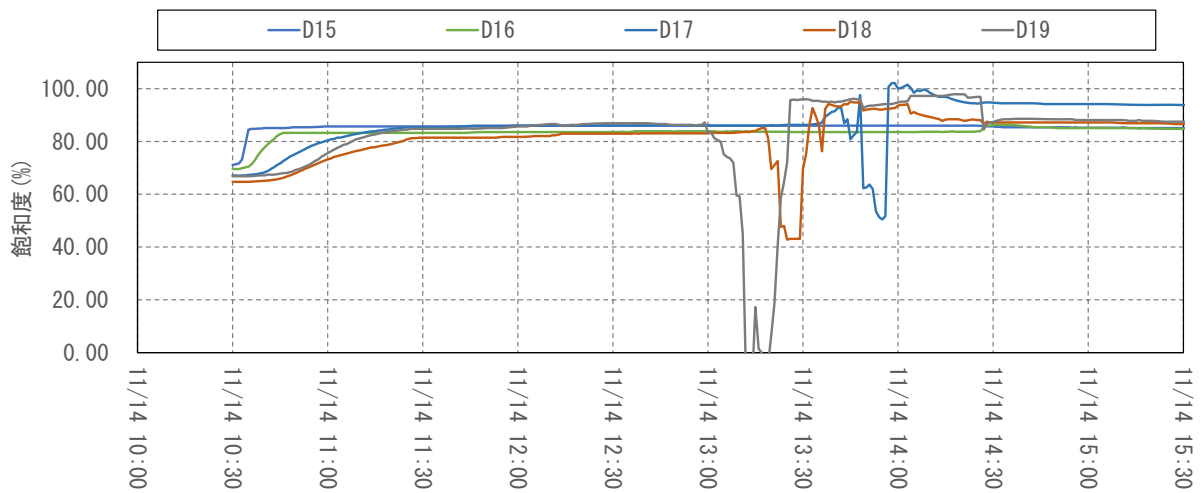


図 7.2.5 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

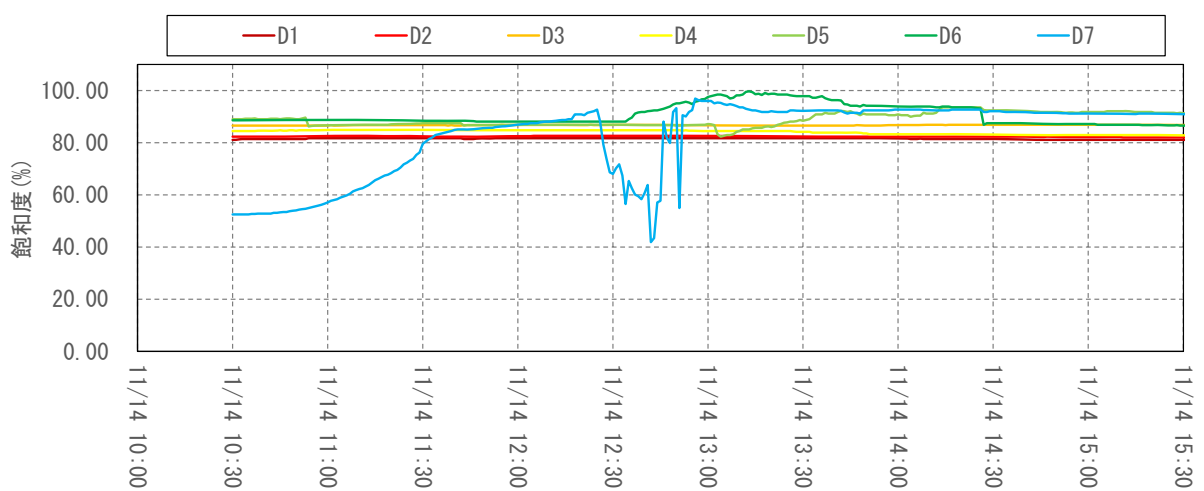


図 7.2.6 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

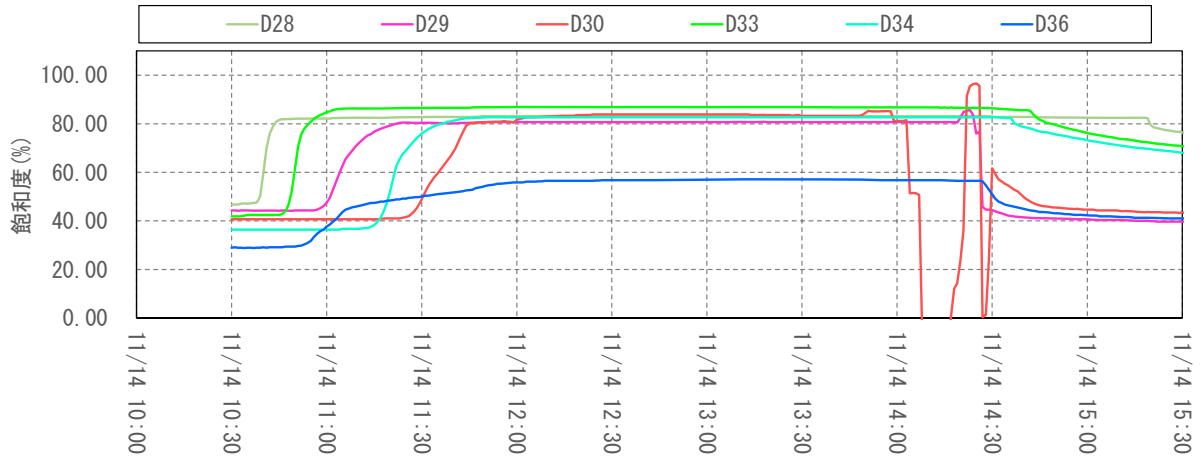


図 7.2.7 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

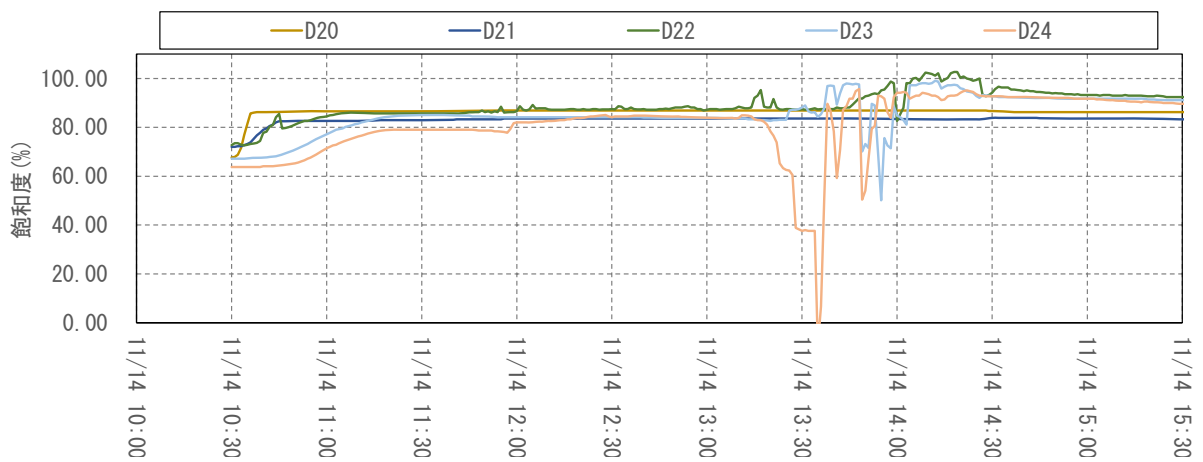


図 7.2.8 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

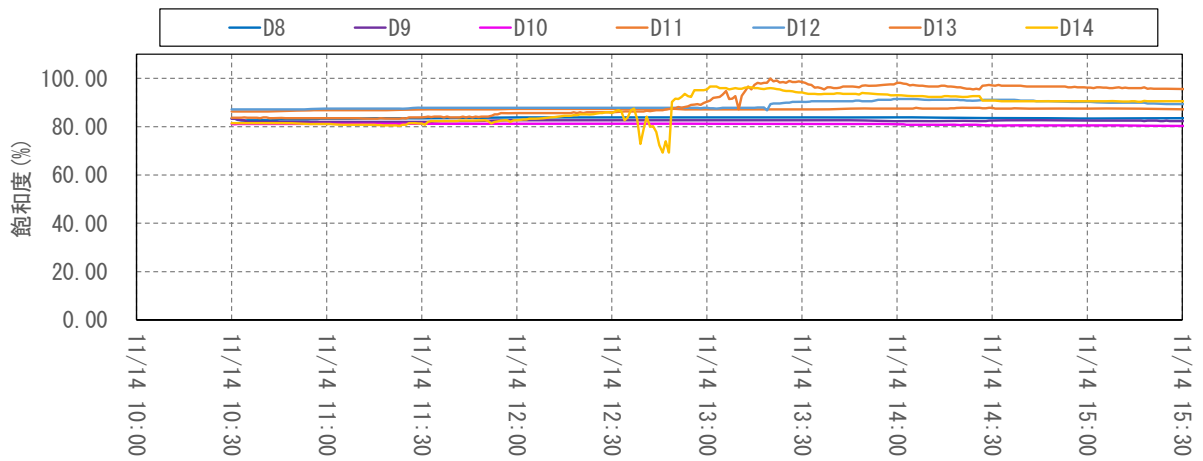


図 7.2.9 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(2) H29 Case2

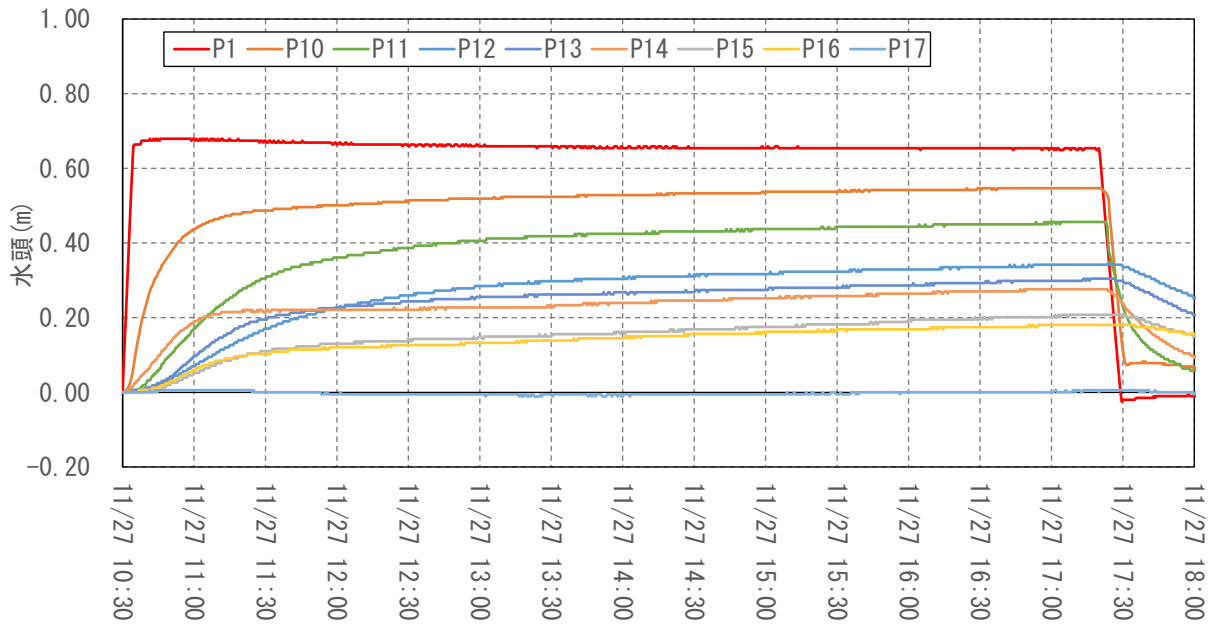


図 7.2.10 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 1

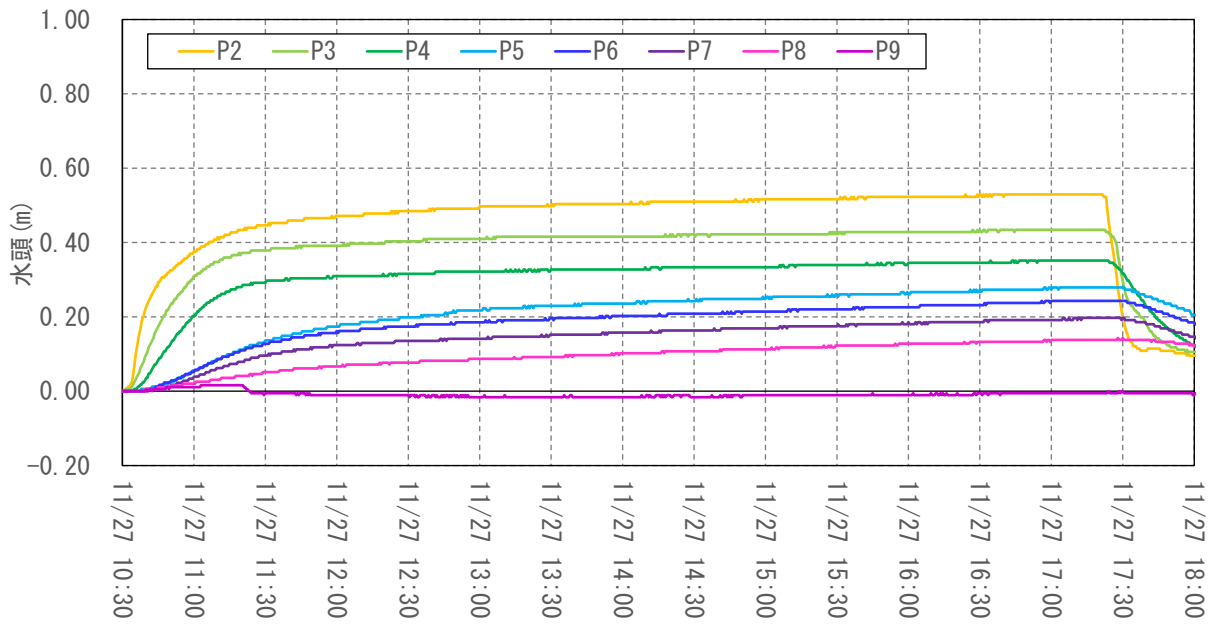


図 7.2.11 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 2

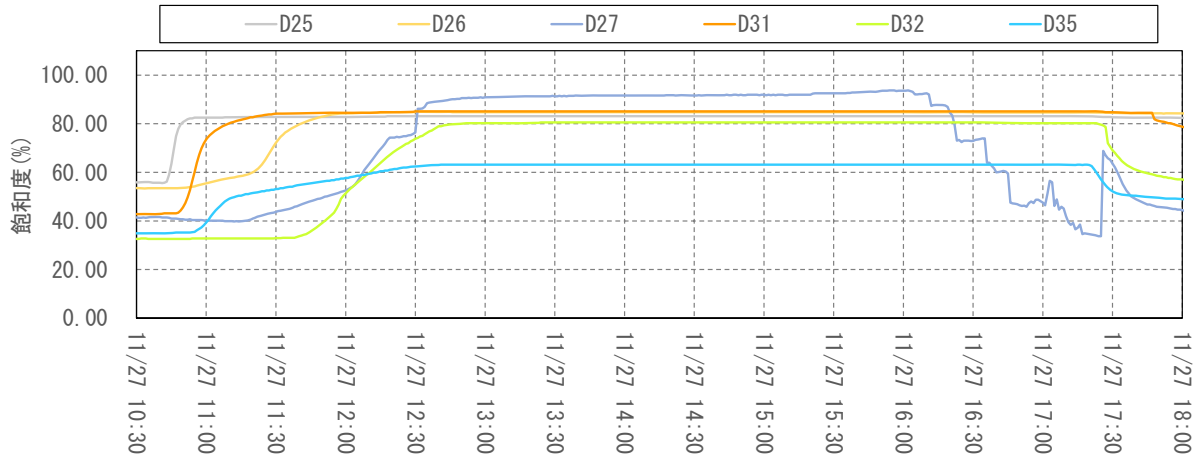


図 7.2.12 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

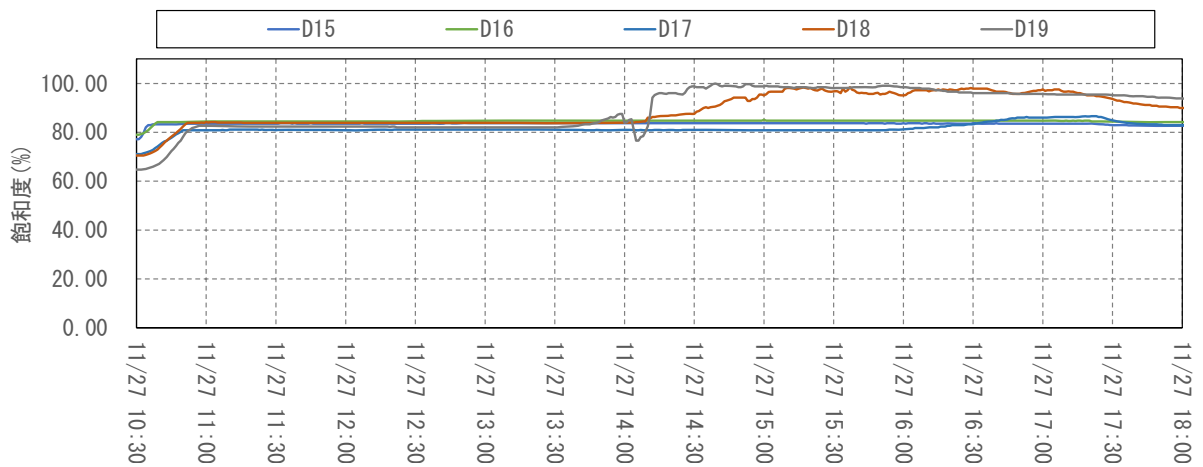


図 7.2.13 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

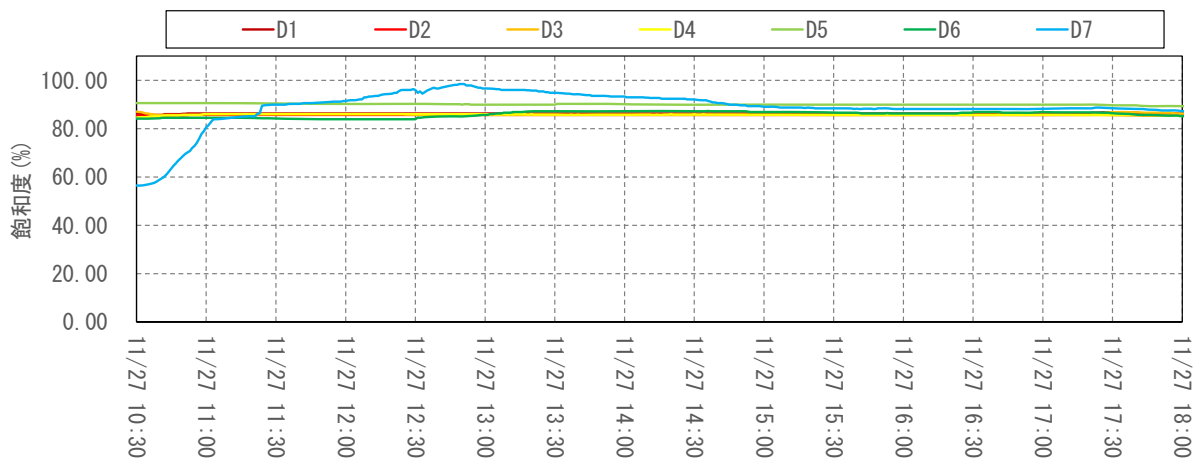


図 7.2.14 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

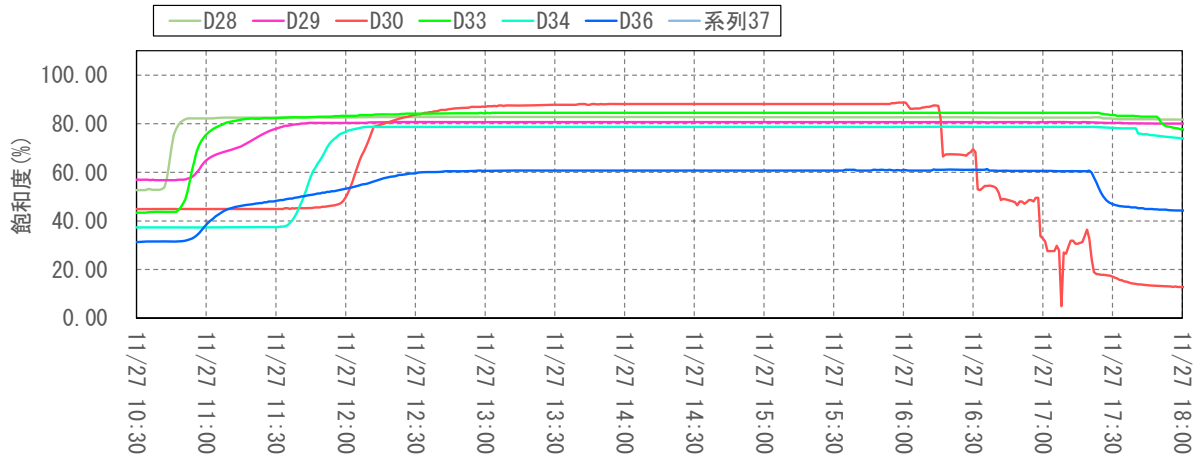


図 7.2.15 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

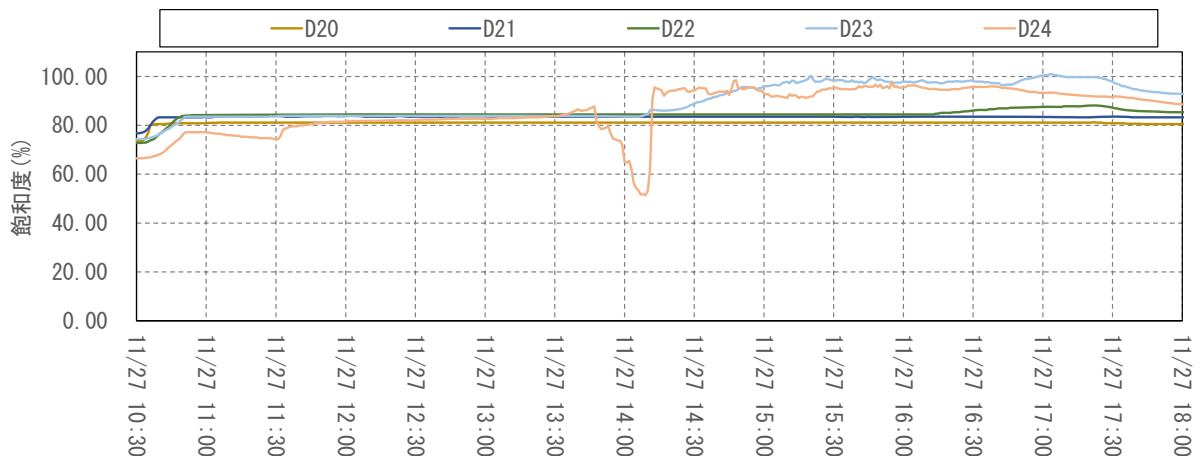


図 7.2.16 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

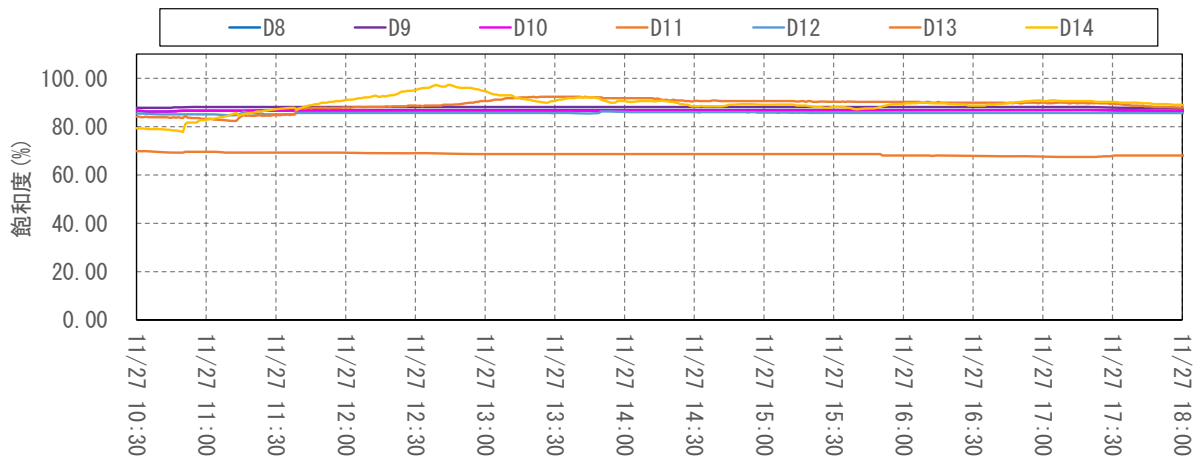


図 7.2.17 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(3) H29 Case3

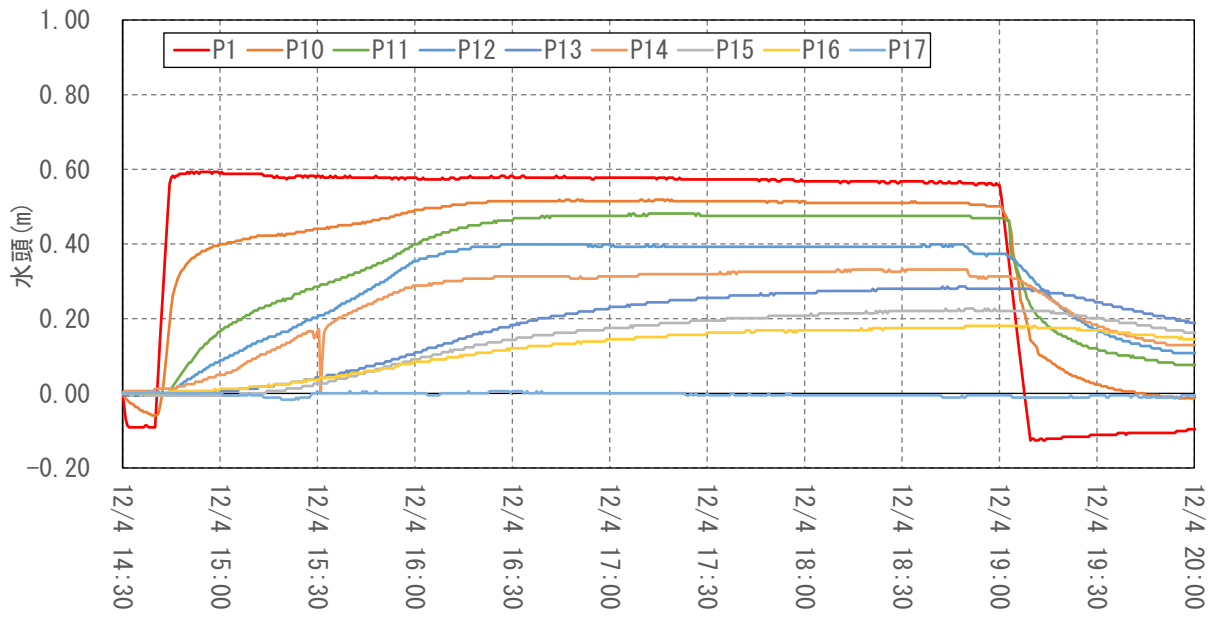


図 7.2.18 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 1

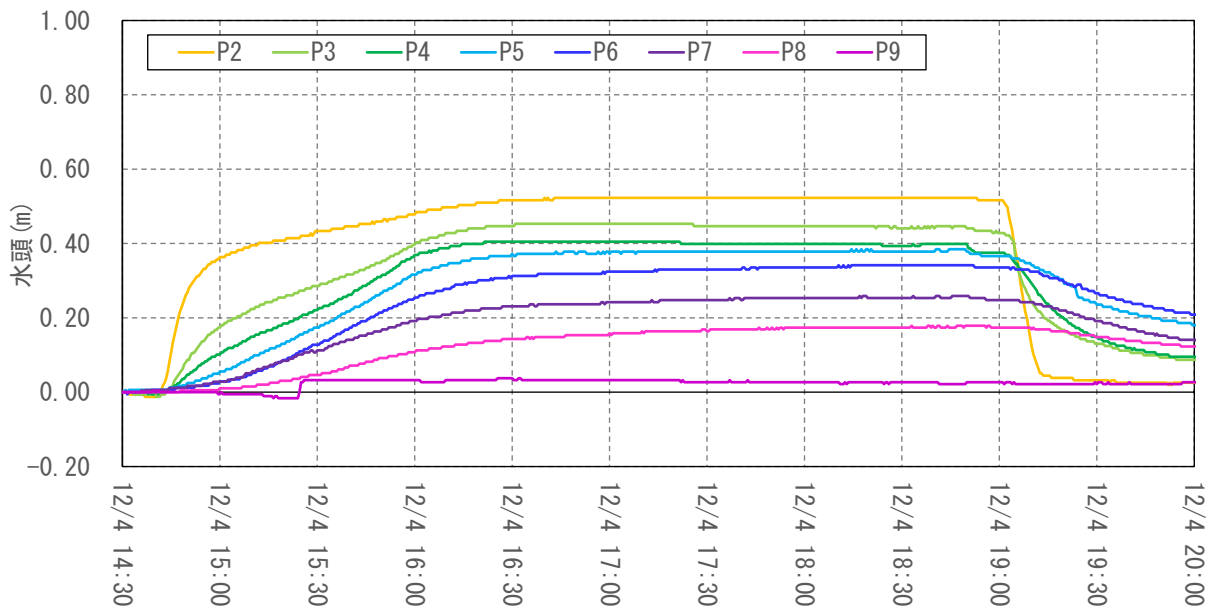


図 7.2.19 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 2

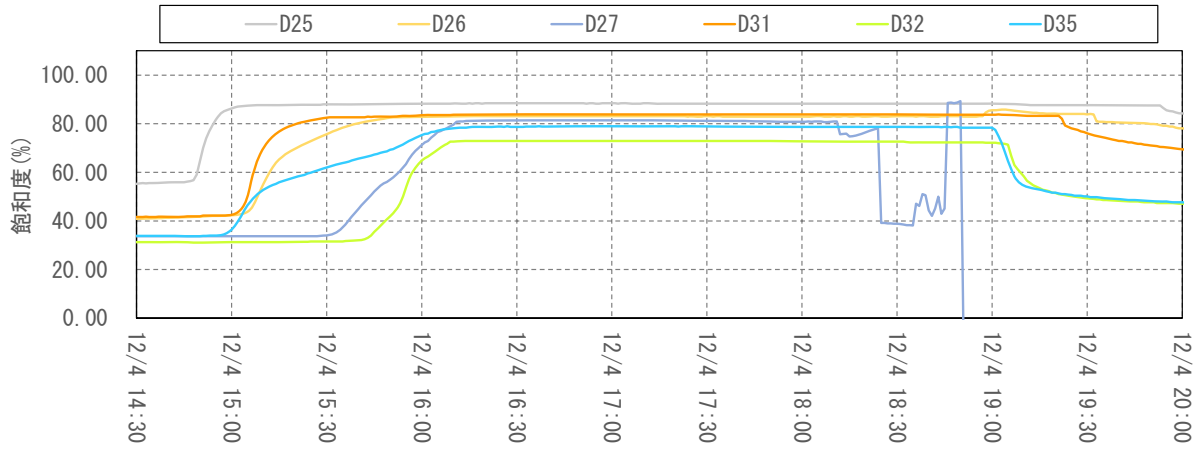


図 7.2.20 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

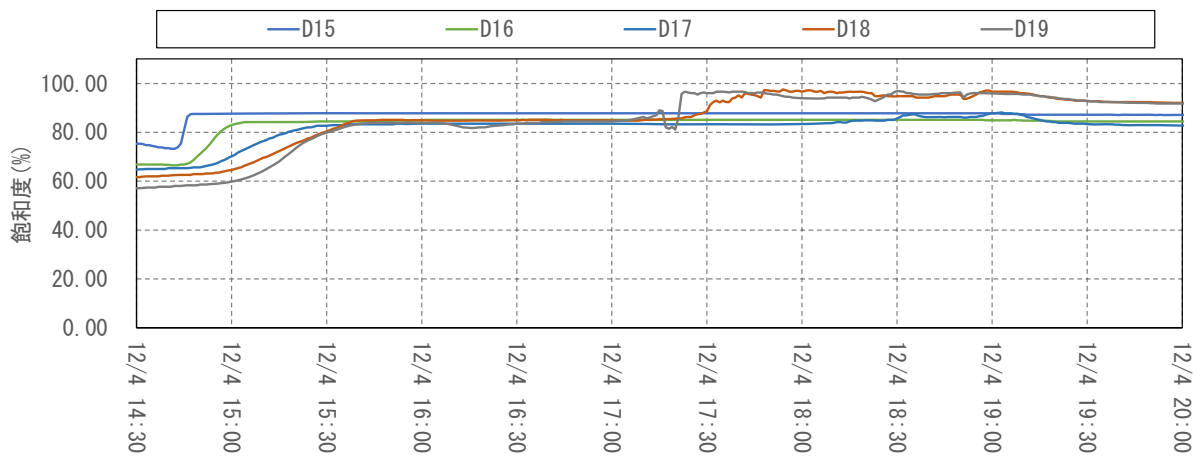


図 7.2.21 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

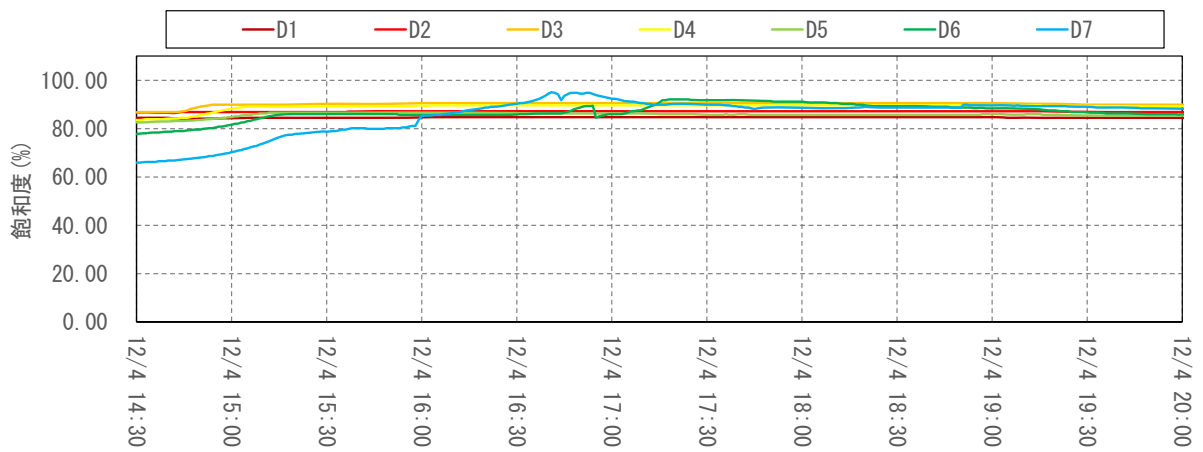


図 7.2.22 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

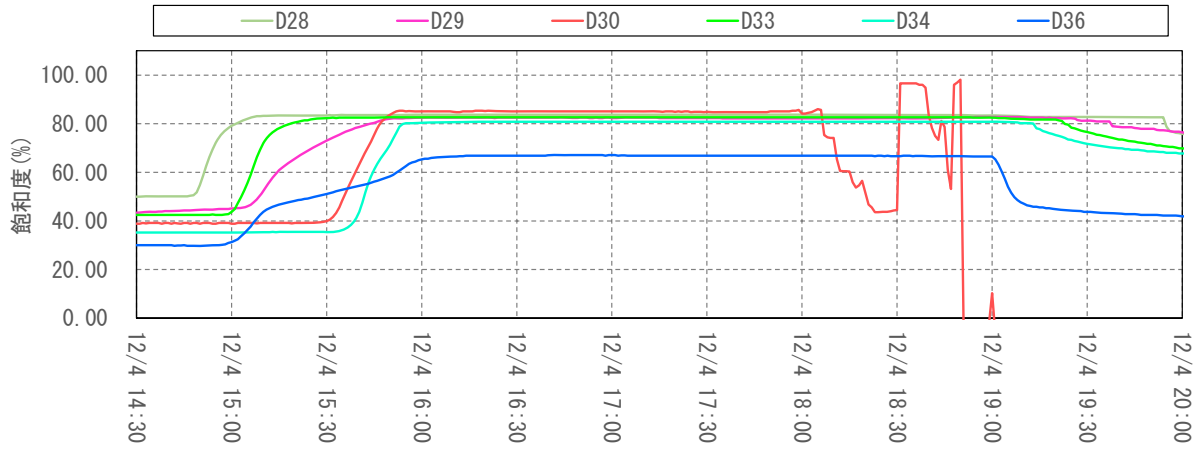


図 7.2.23 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

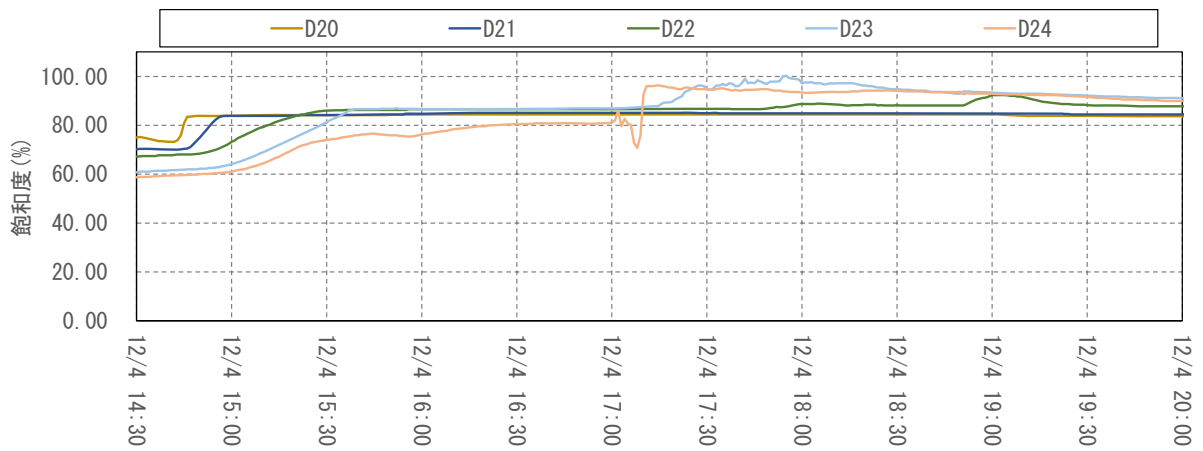


図 7.2.24 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

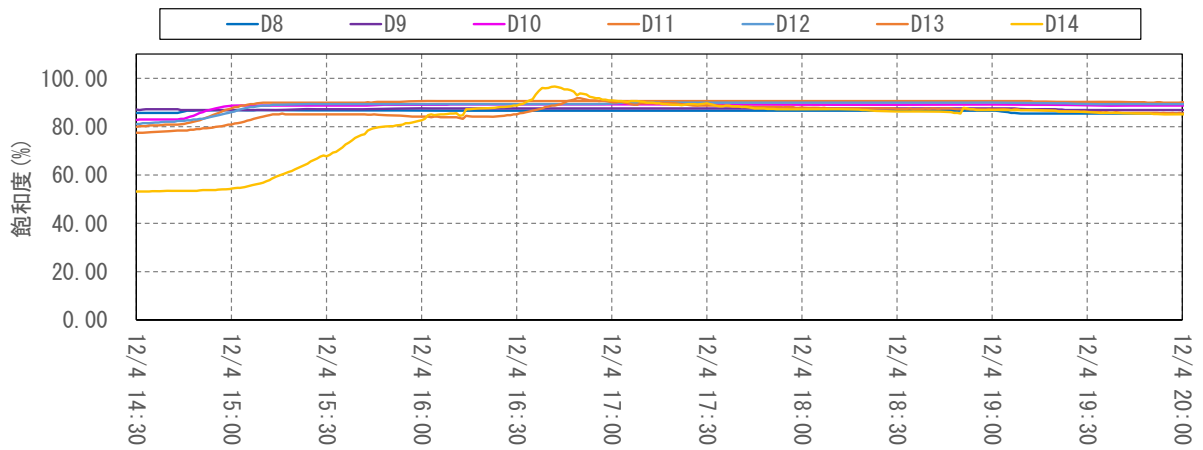


図 7.2.25 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(4) H29 Case4

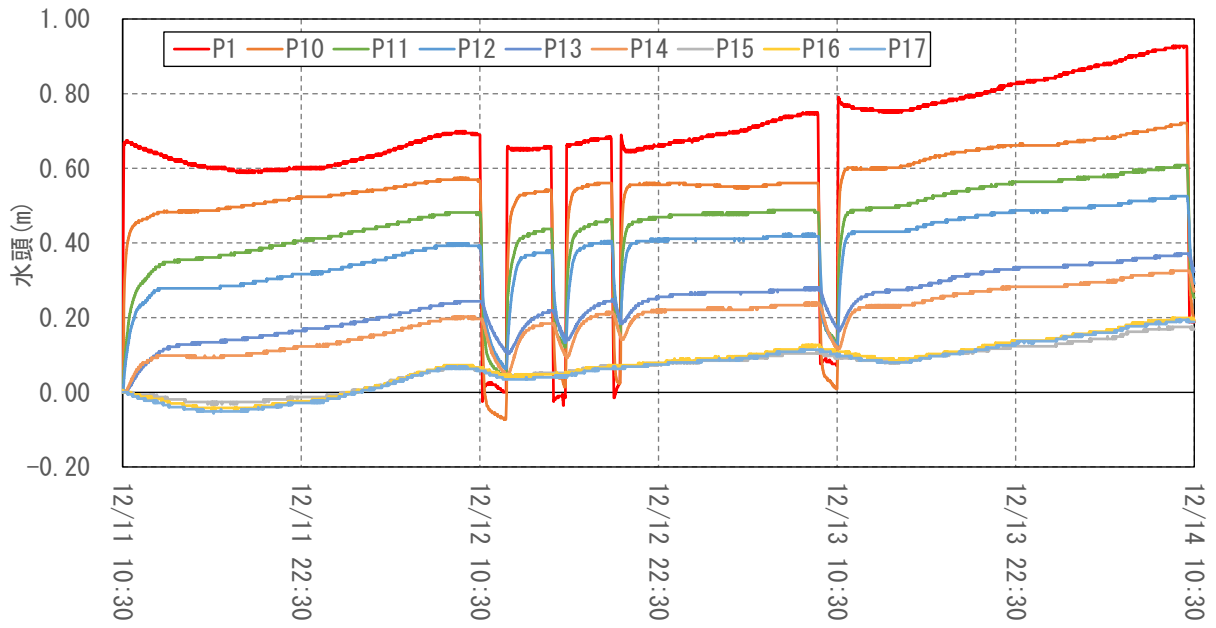


図 7.2.26 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 1

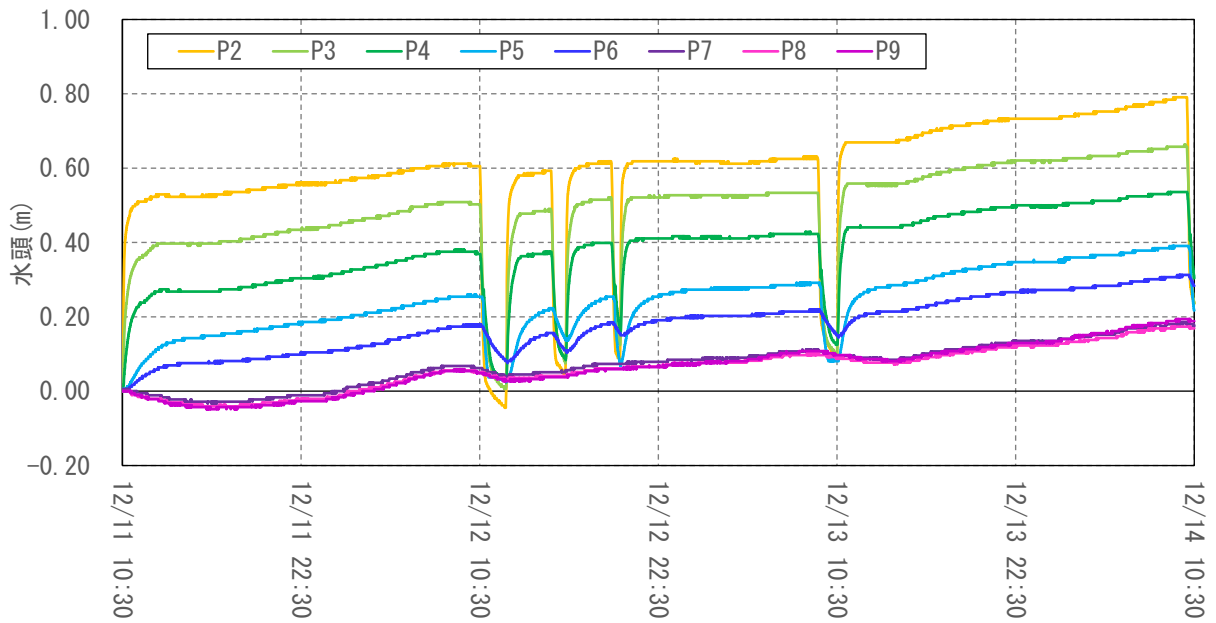


図 7.2.27 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 2

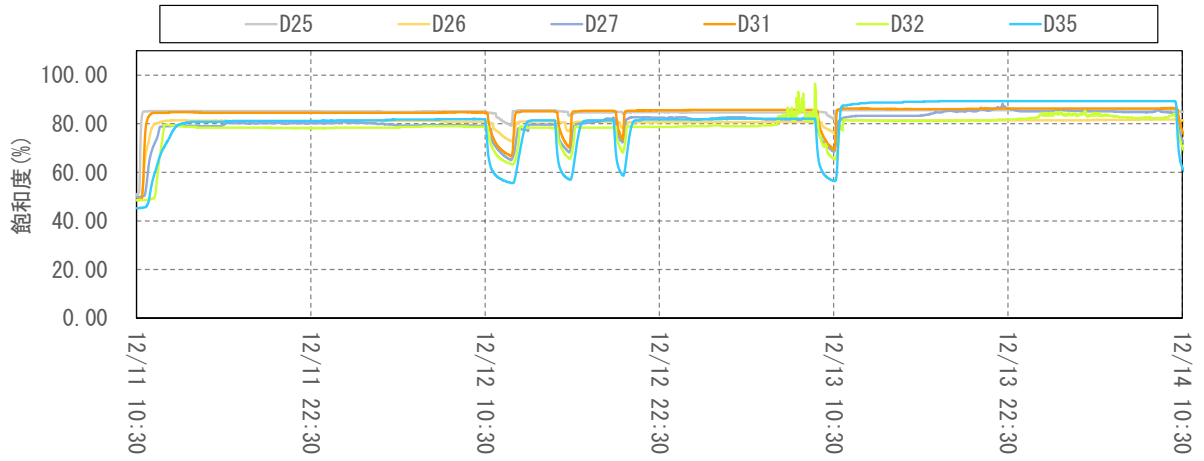


図 7.2.28 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

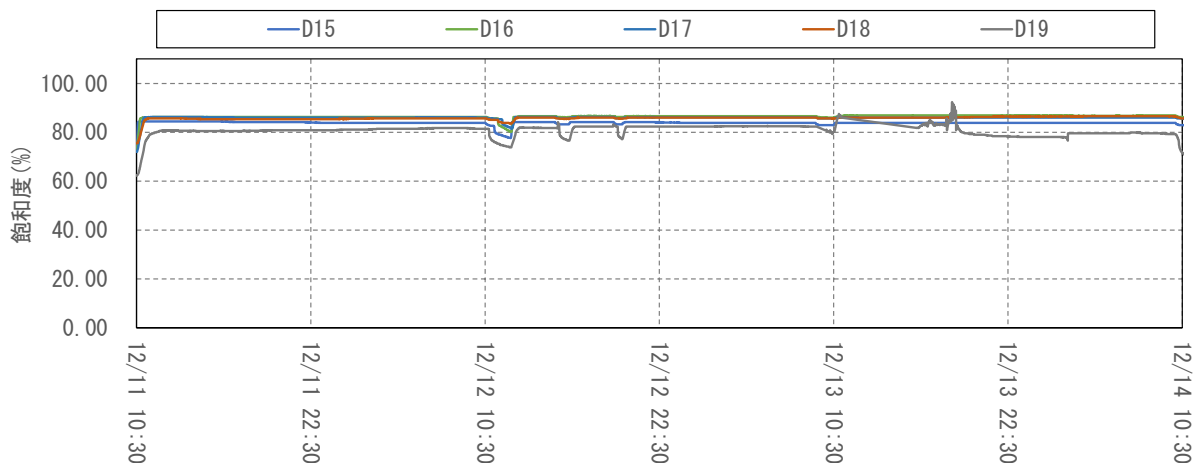


図 7.2.29 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

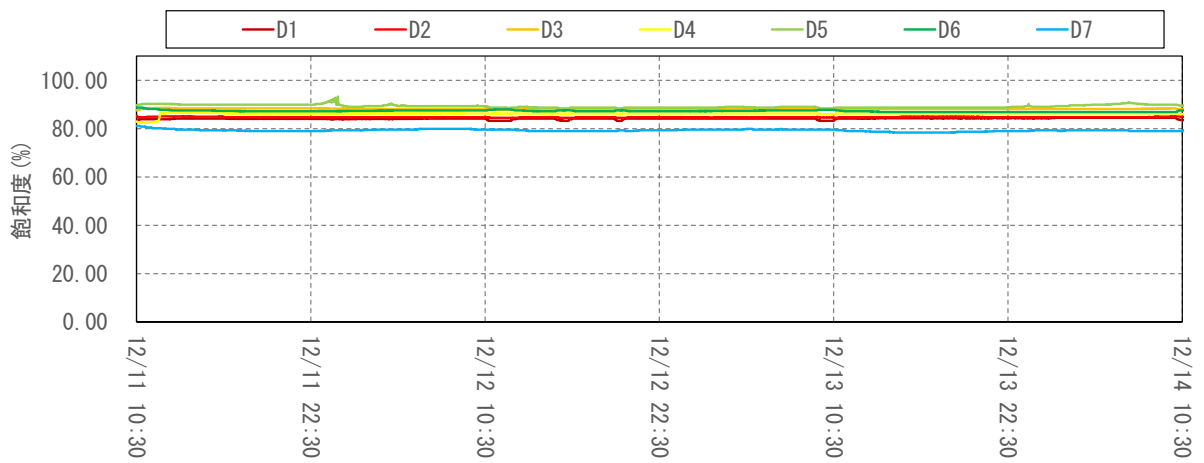


図 7.2.30 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

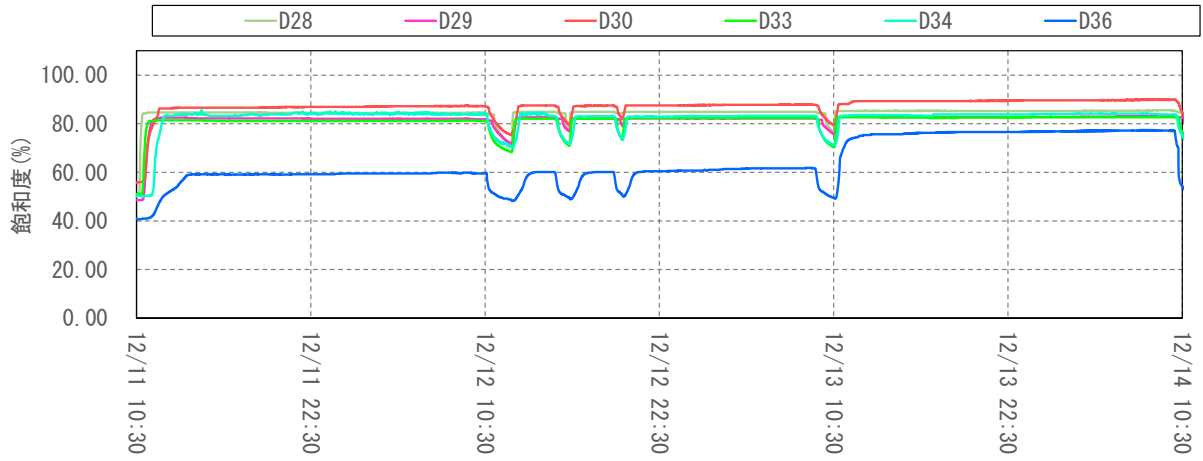


図 7.2.31 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

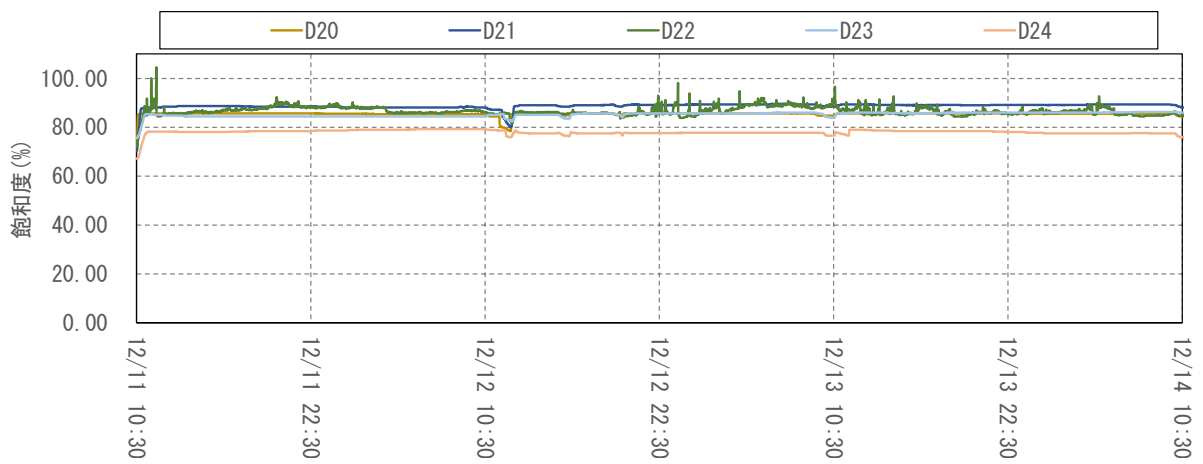


図 7.2.32 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

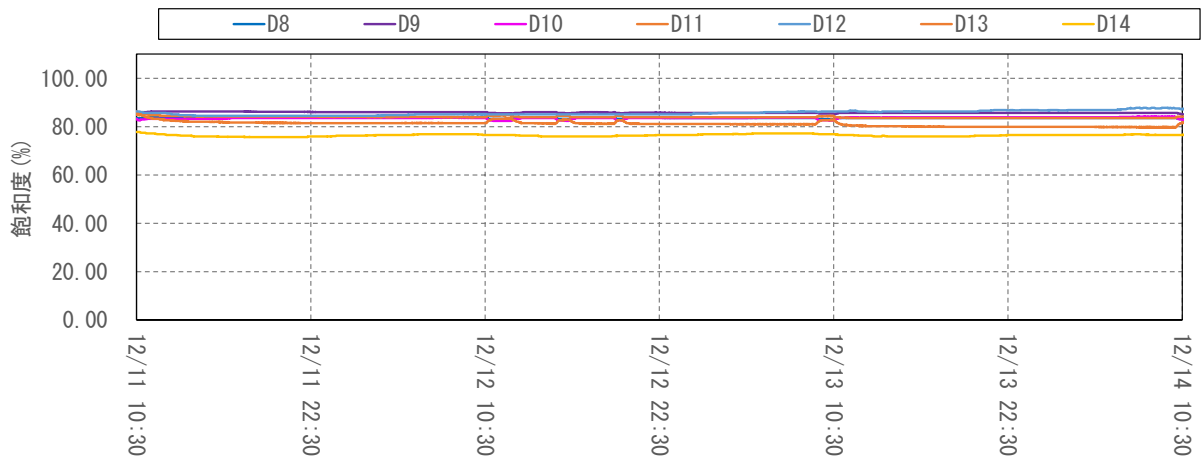


図 7.2.33 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(5) H29 Case4'

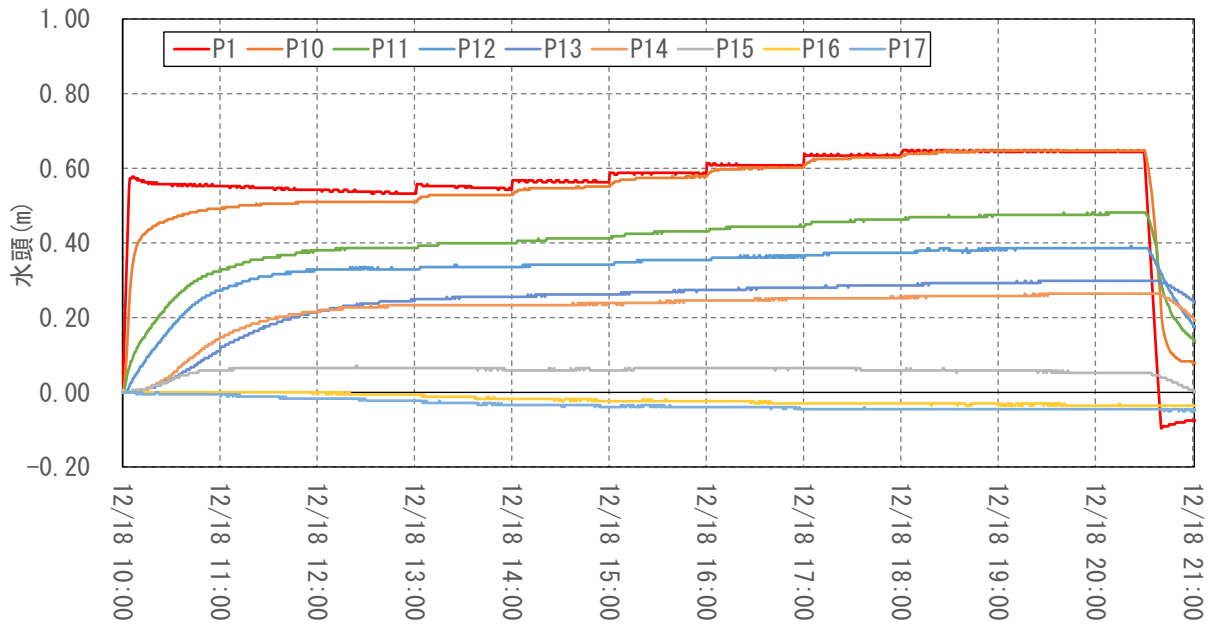


図 7.2.34 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 1

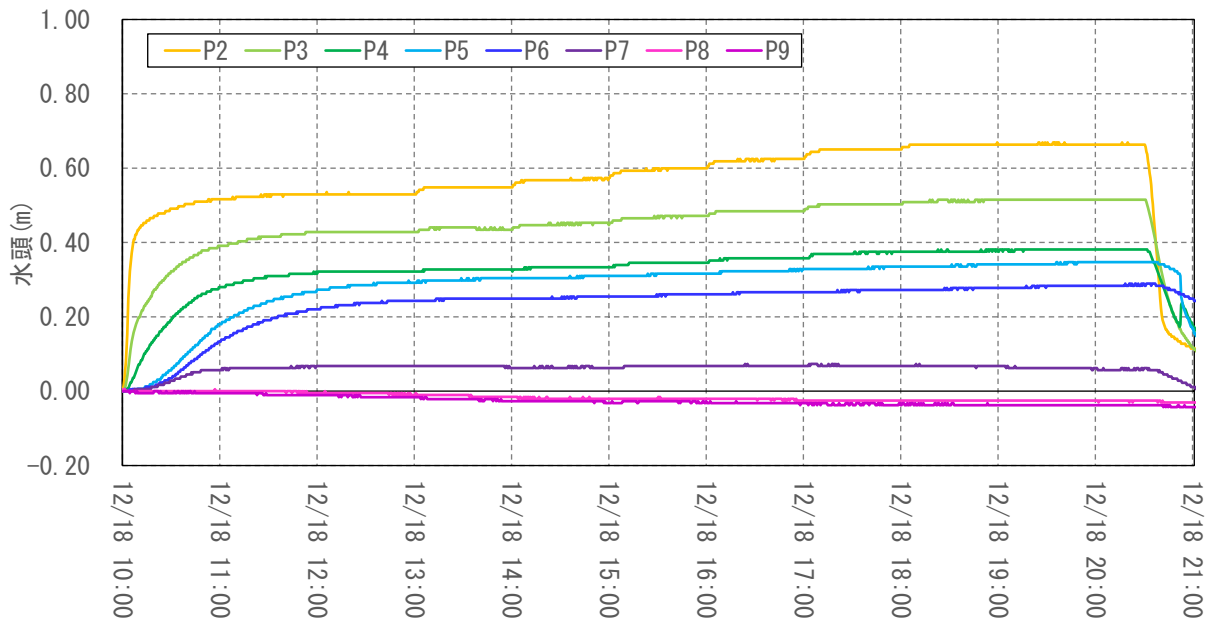


図 7.2.35 間隙水圧計計測結果による水頭の経時変化 2

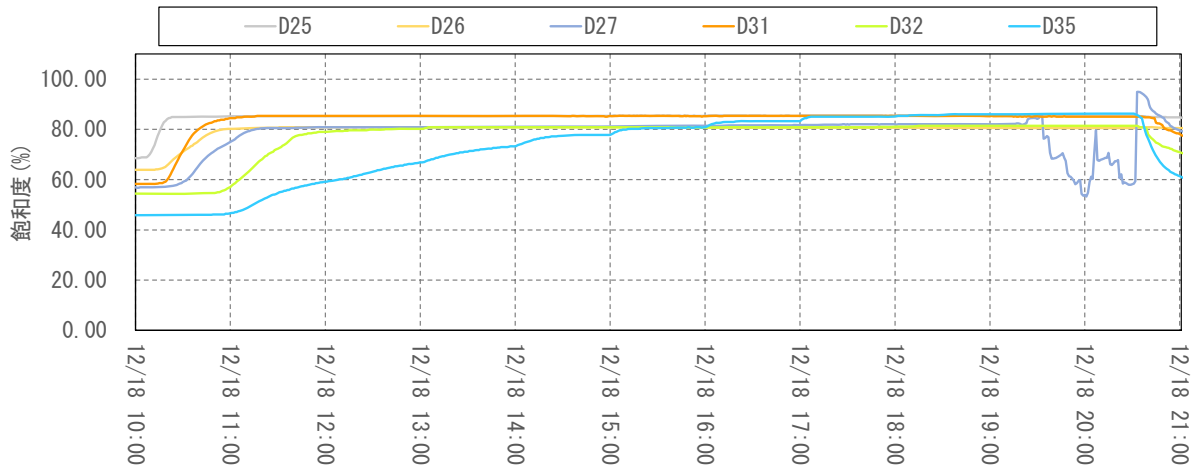


図 7.2.36 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

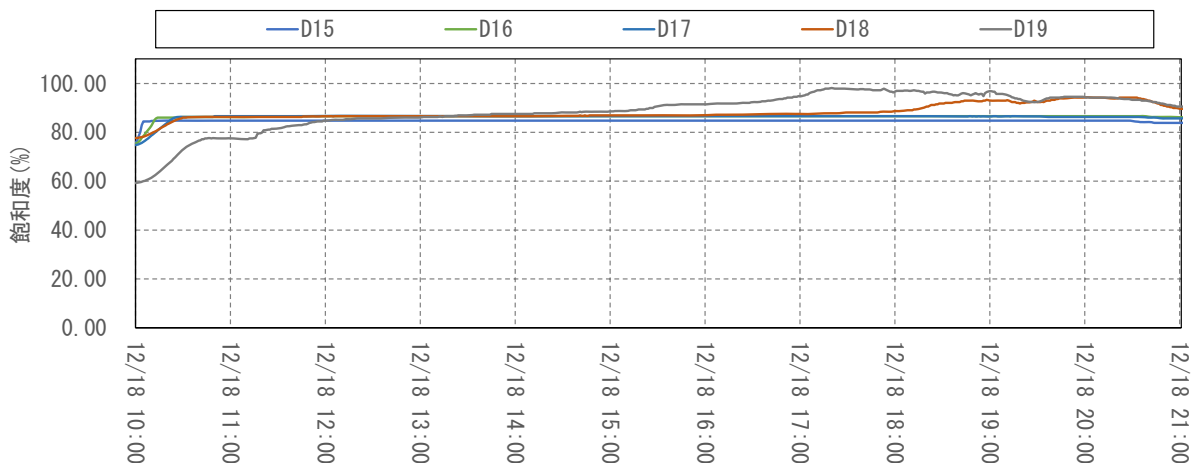


図 7.2.37 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

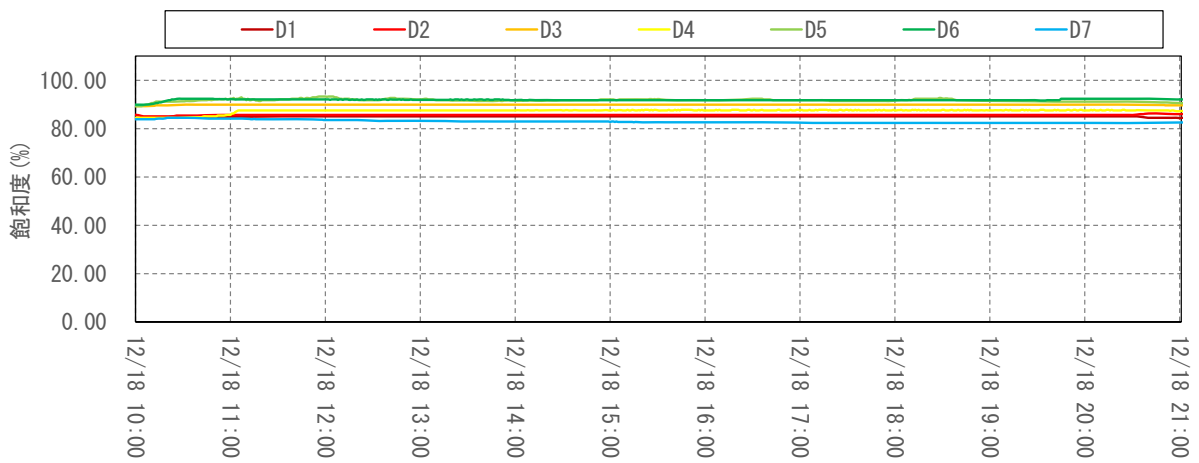


図 7.2.38 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

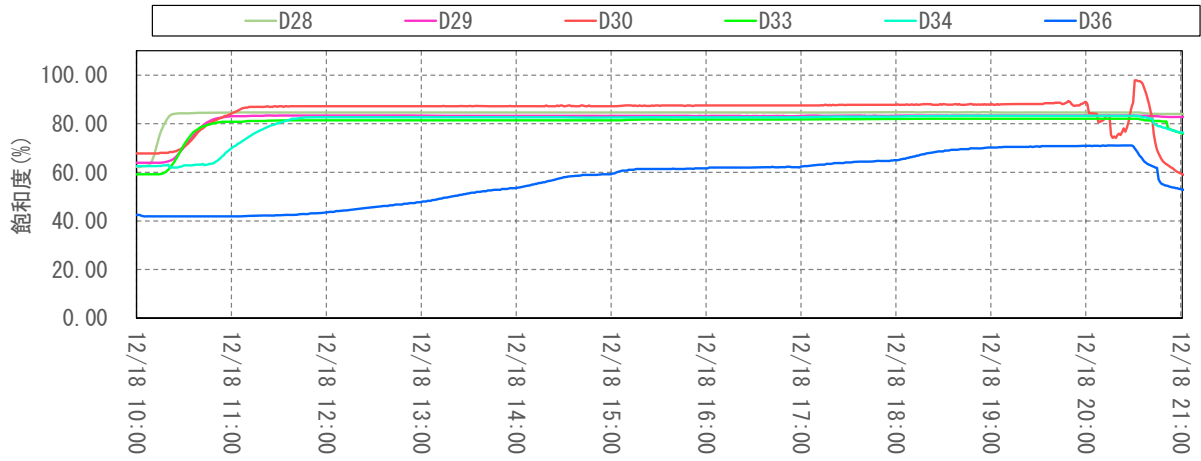


図 7.2.39 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

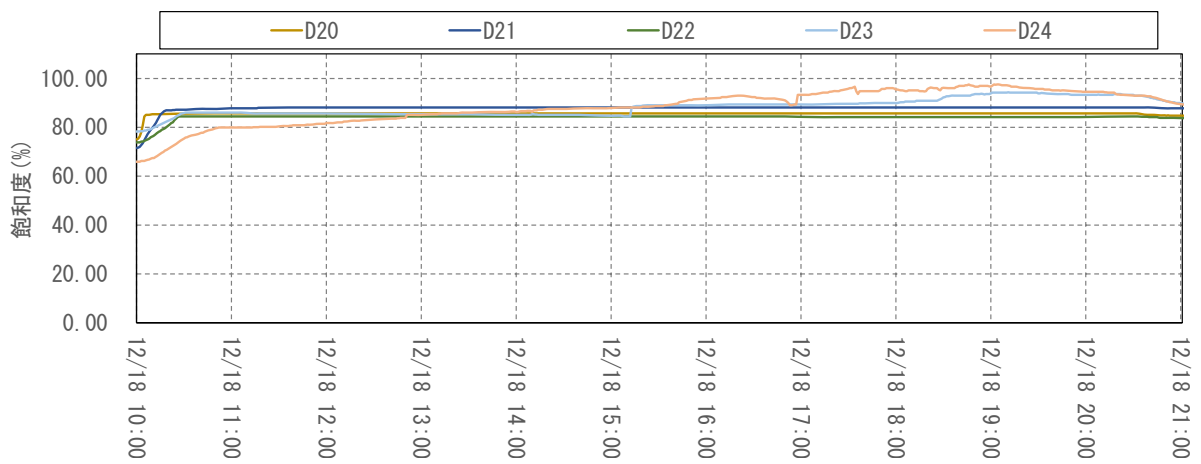


図 7.2.40 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

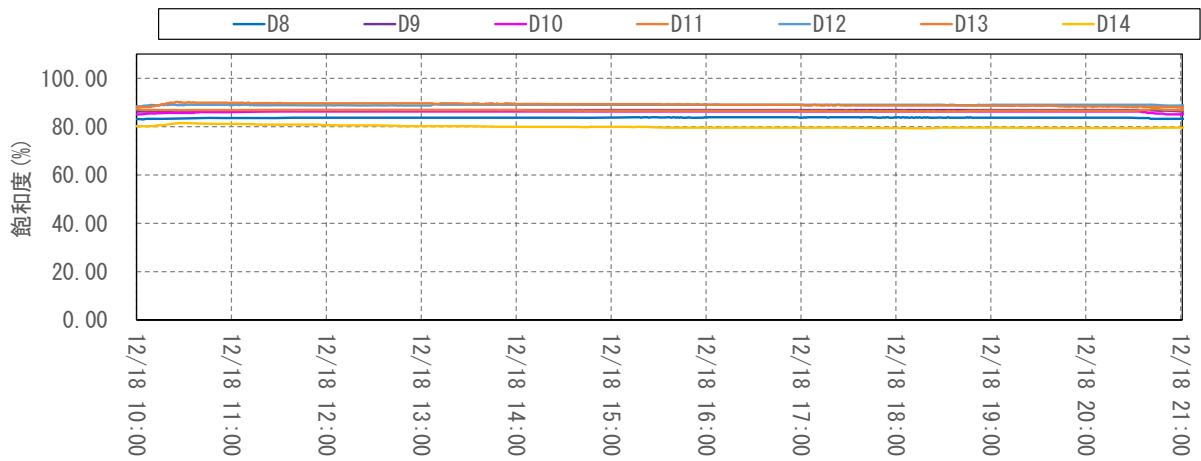


図 7.2.41 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(6) H30 Case1-1

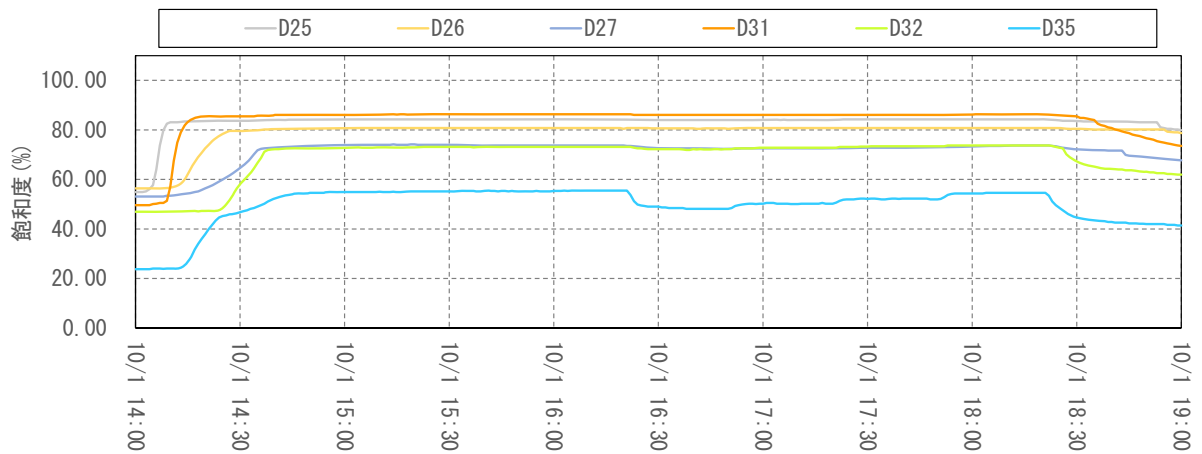


図 7.2.42 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

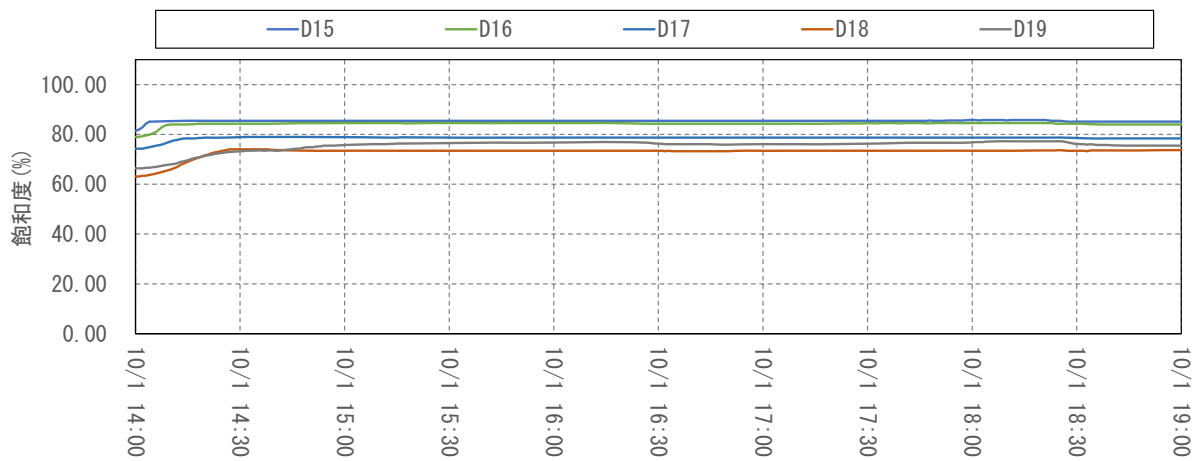


図 7.2.43 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

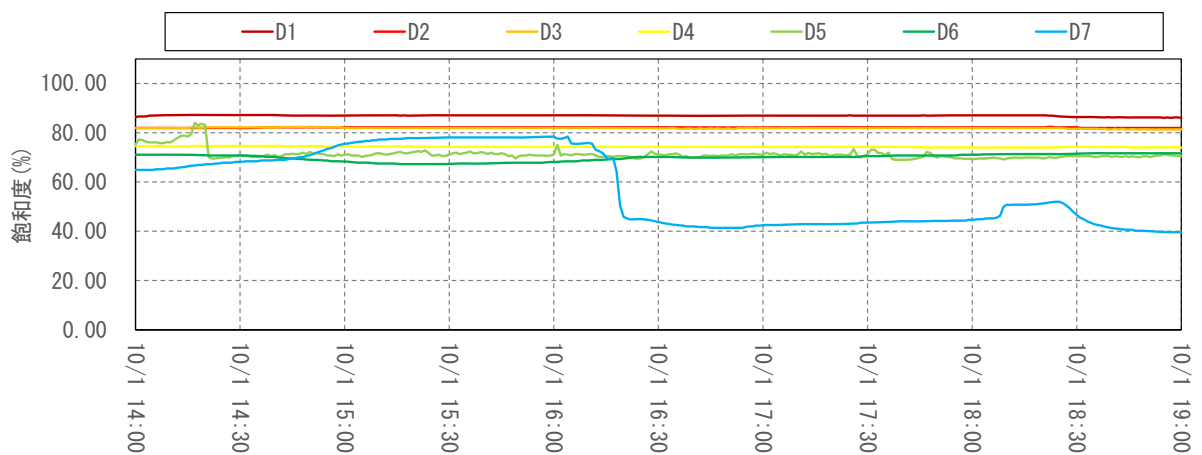


図 7.2.44 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

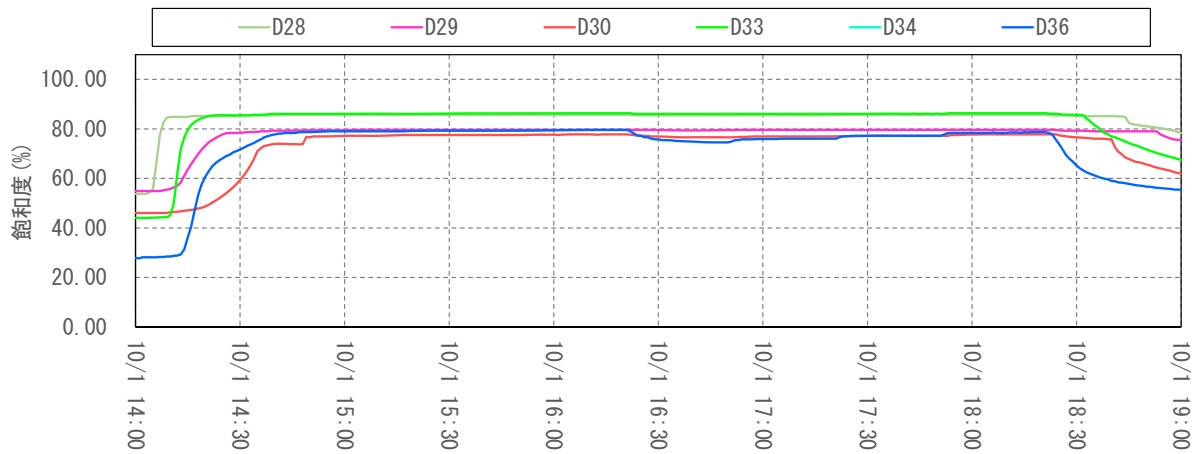


図 7.2.45 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

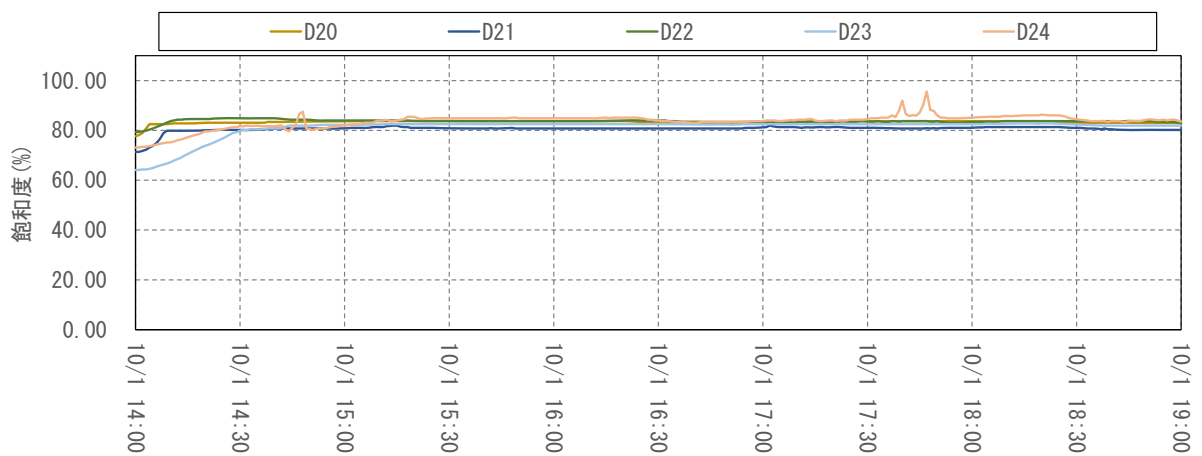


図 7.2.46 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

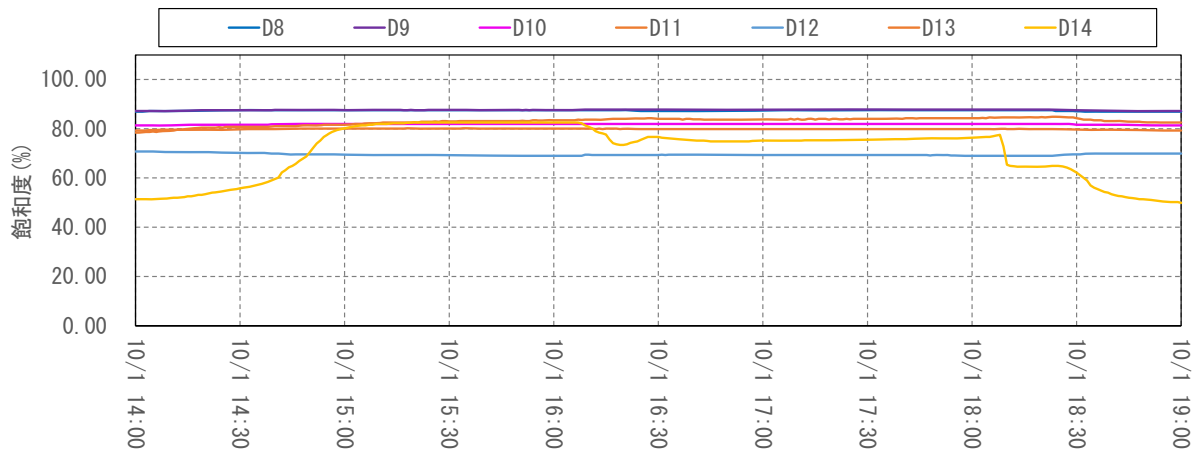


図 7.2.47 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(7) H30 Case1-2

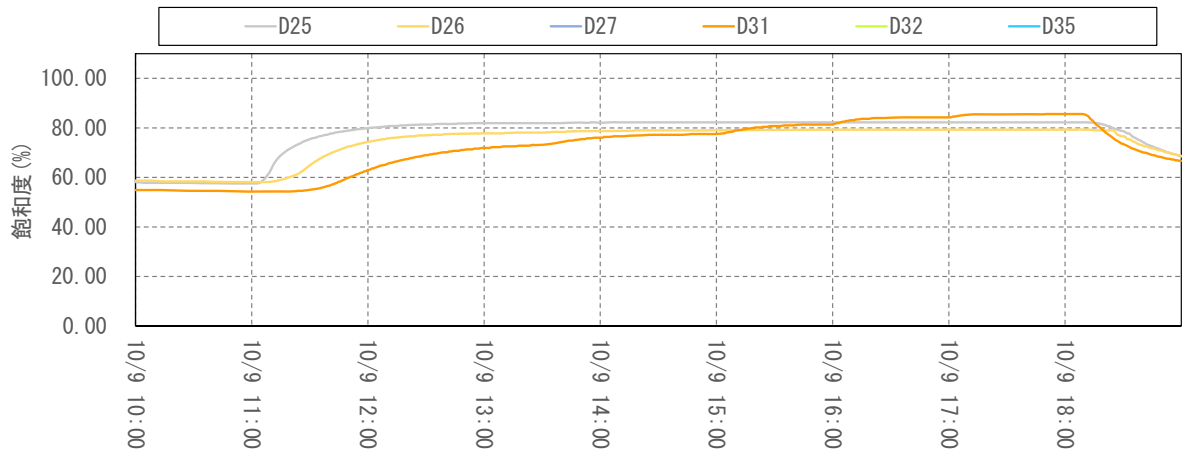


図 7.248 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

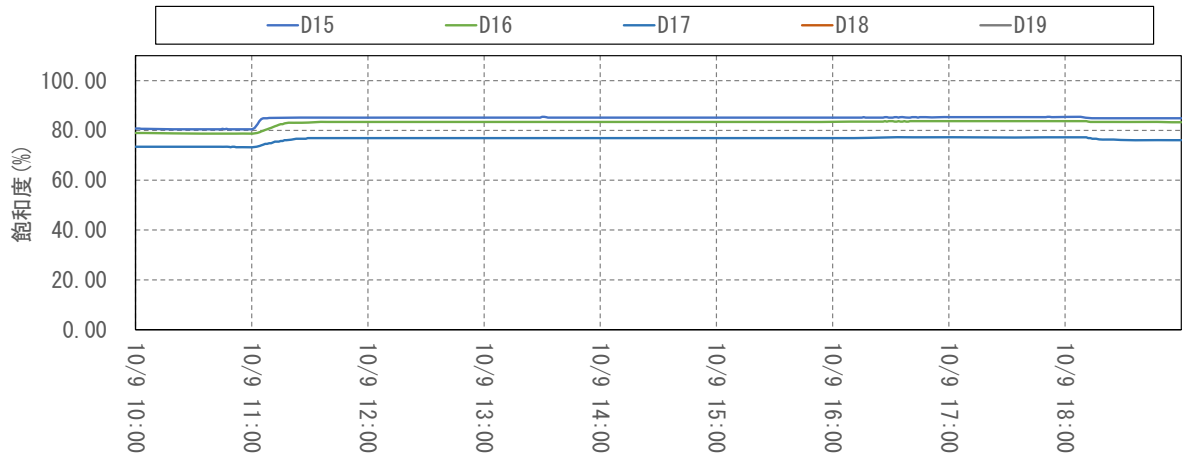


図 7.249 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

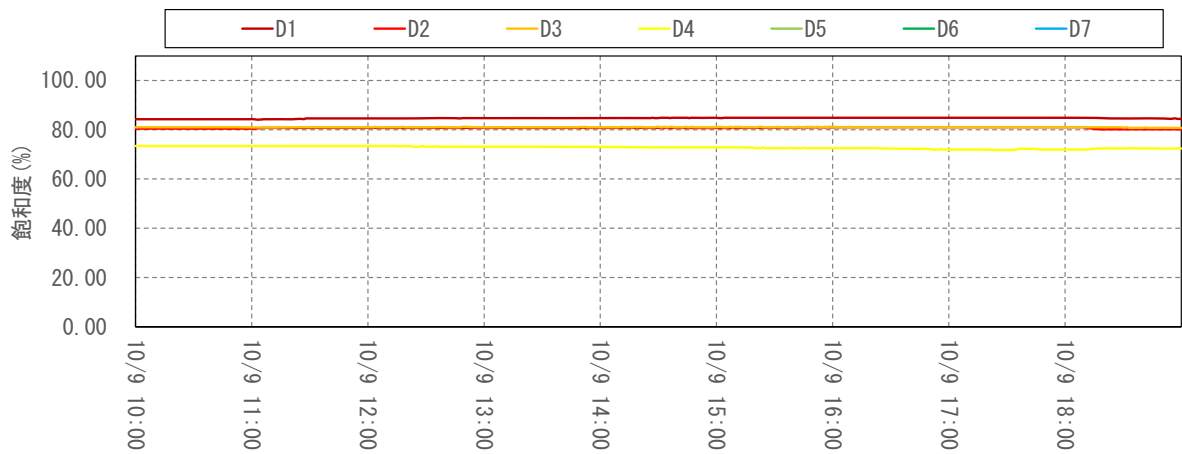


図 7.250 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

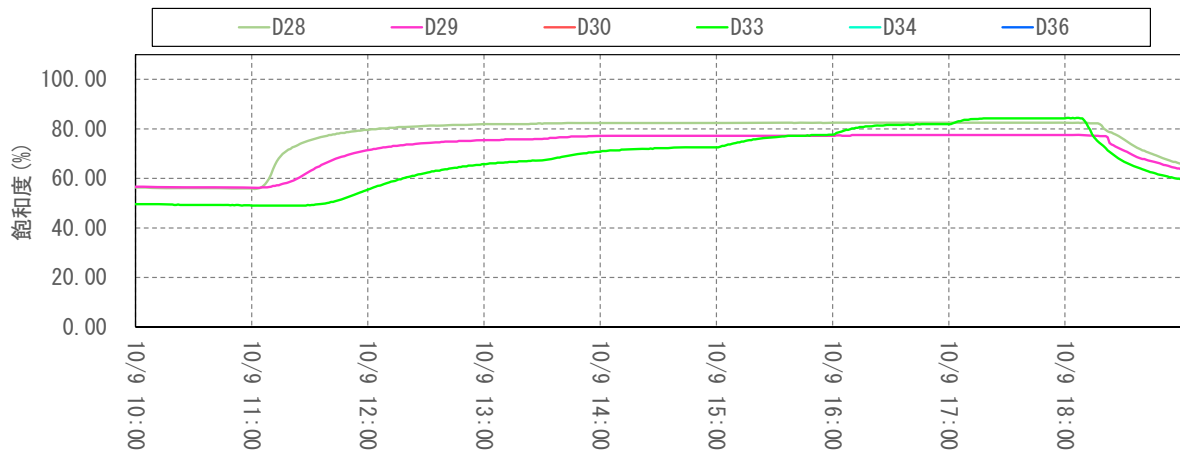


図 7.251 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

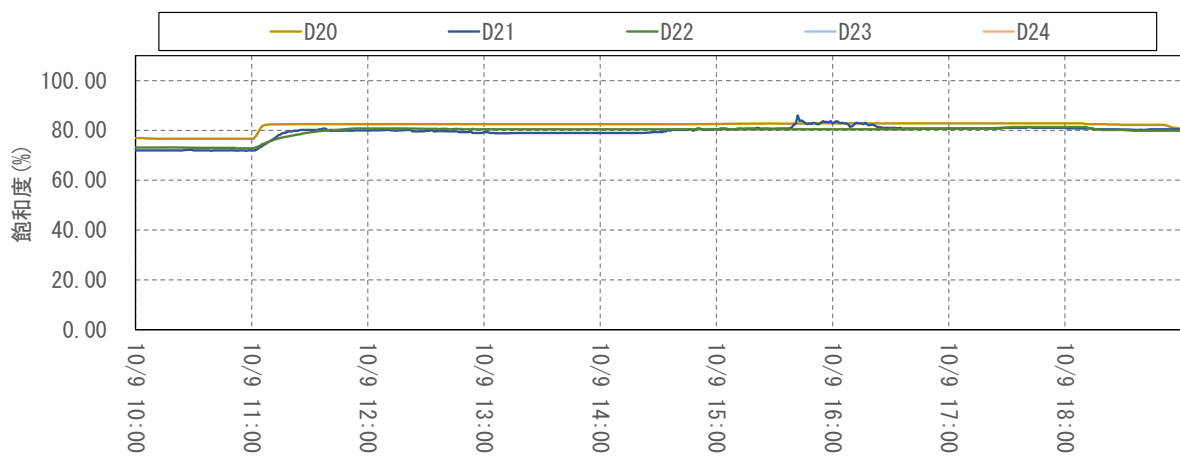


図 7.252 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

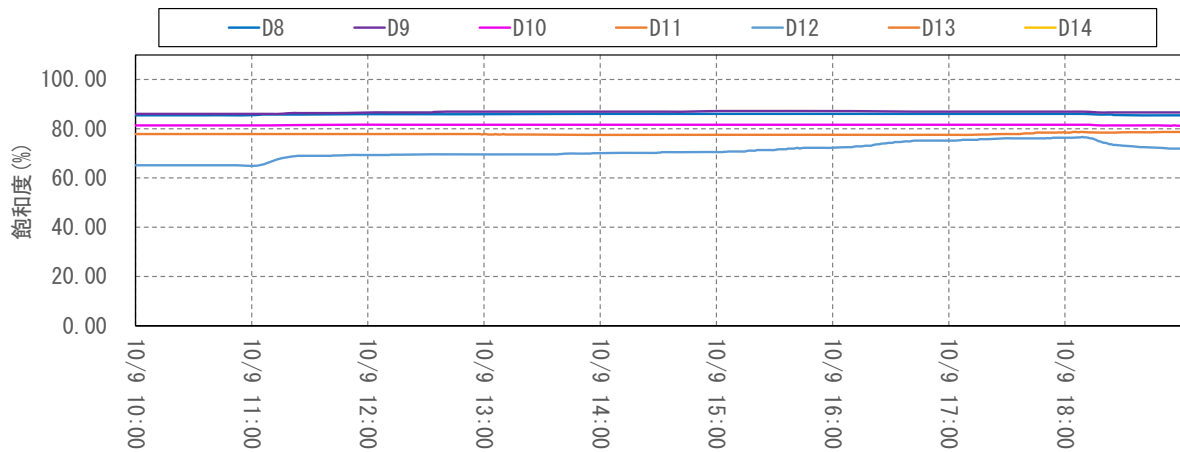


図 7.253 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(8) H30 Case3-1

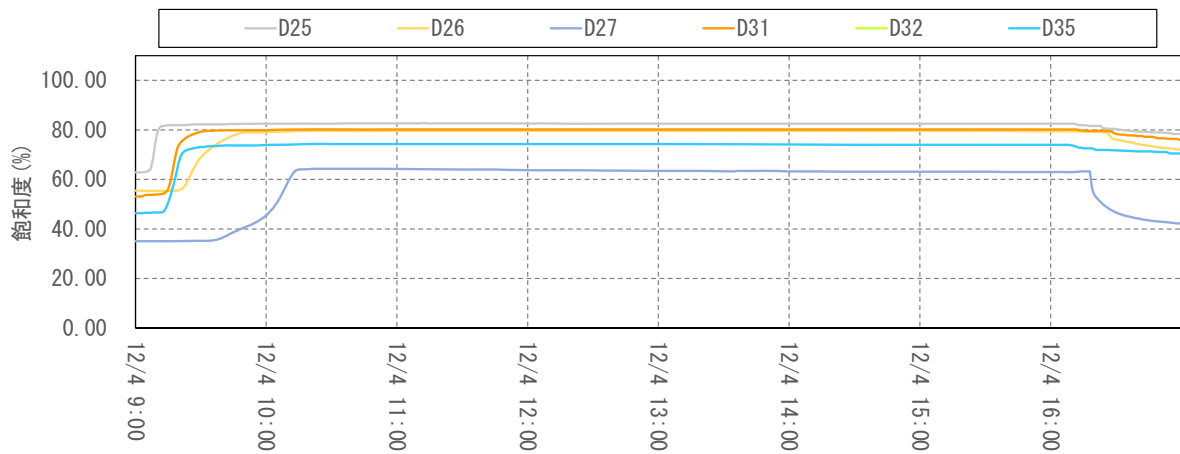


図 7.2.54 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

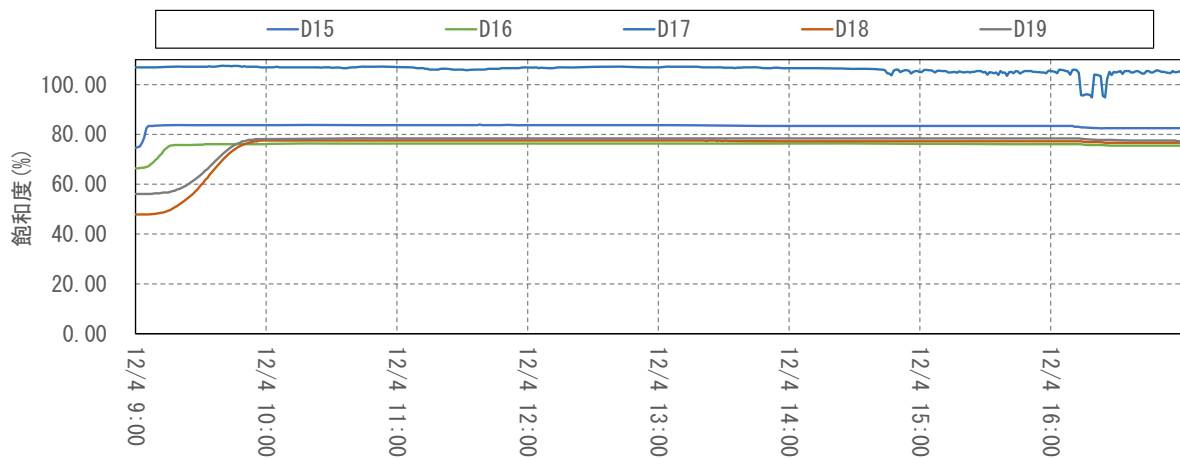


図 7.2.55 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

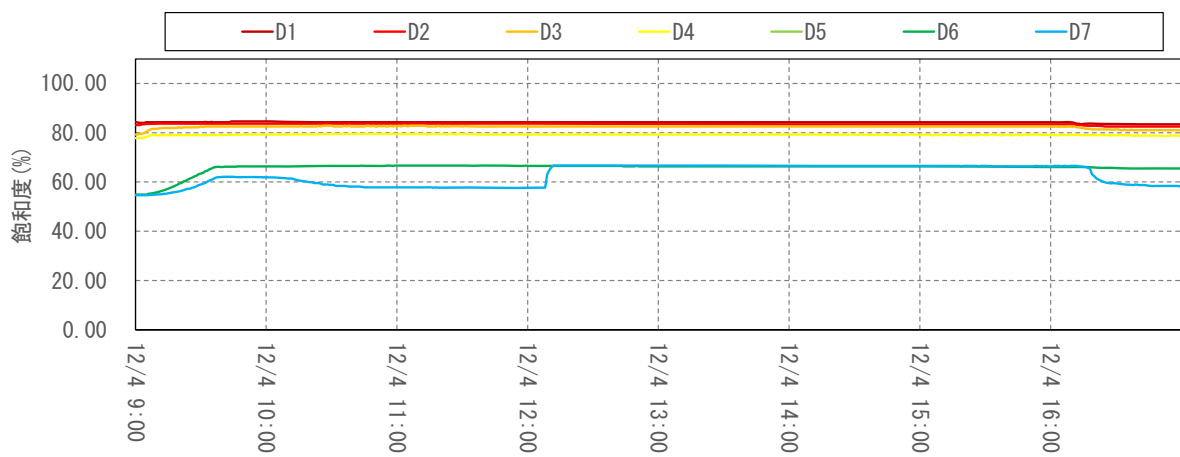


図 7.2.56 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

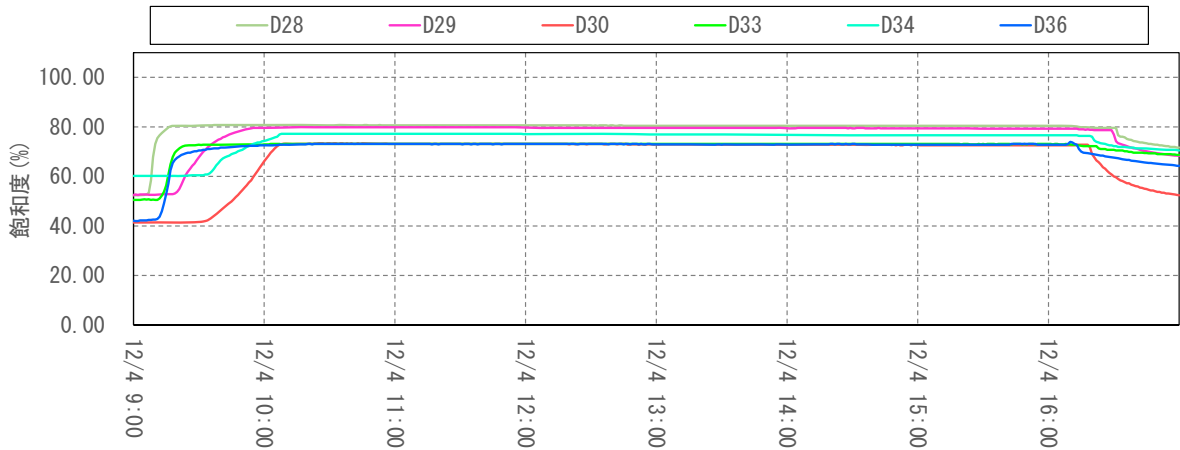


図 7.2.57 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

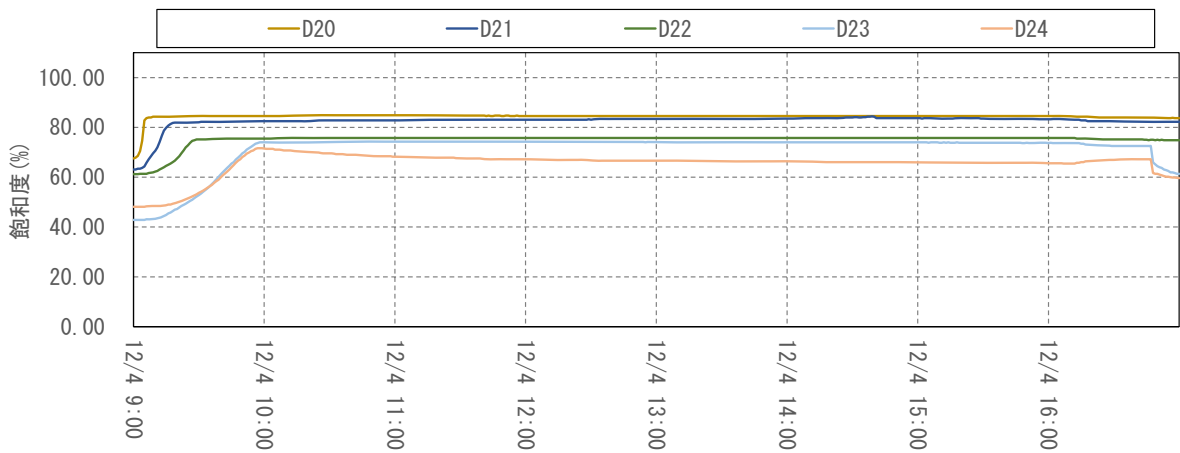


図 7.2.58 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

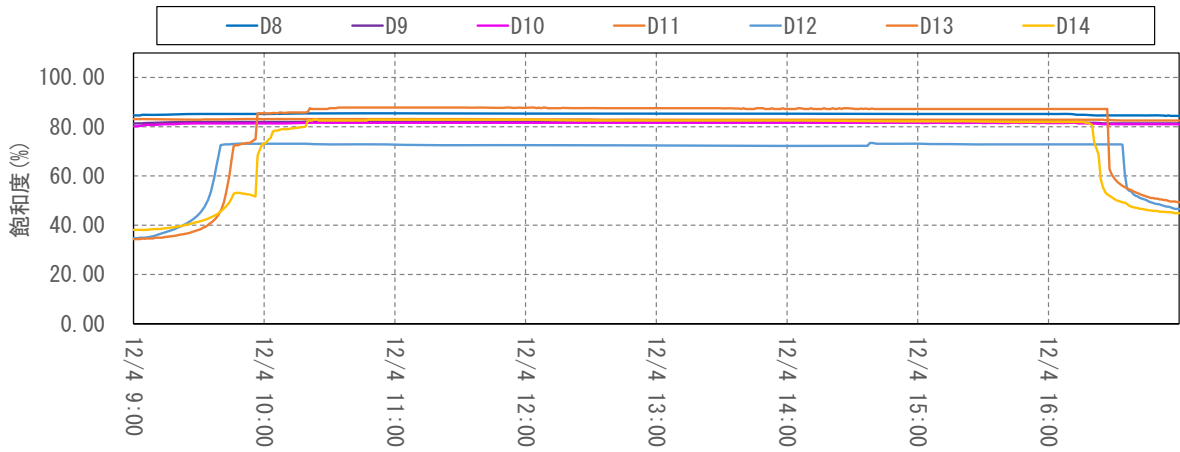


図 7.2.59 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(9) H29 Case3-2

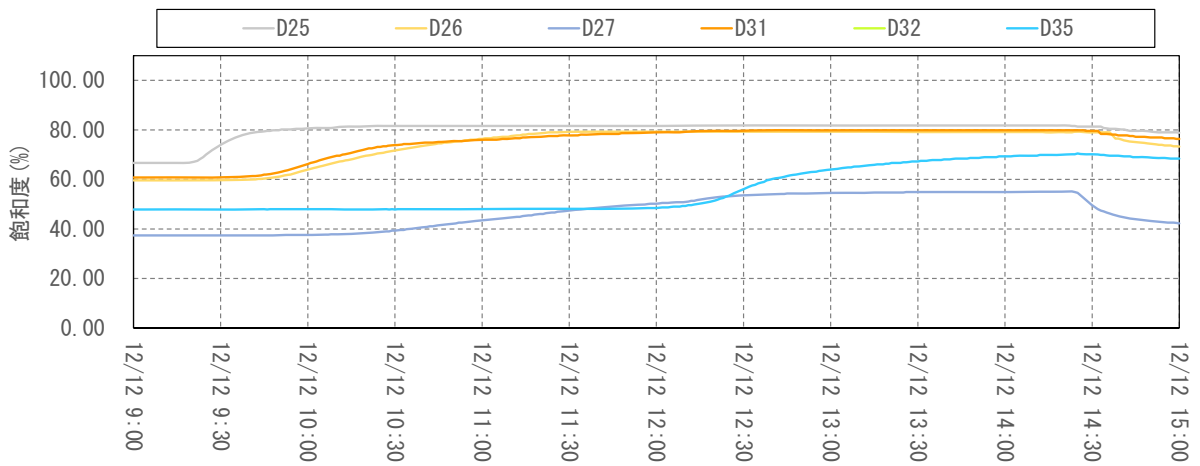


図 7.2.60 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

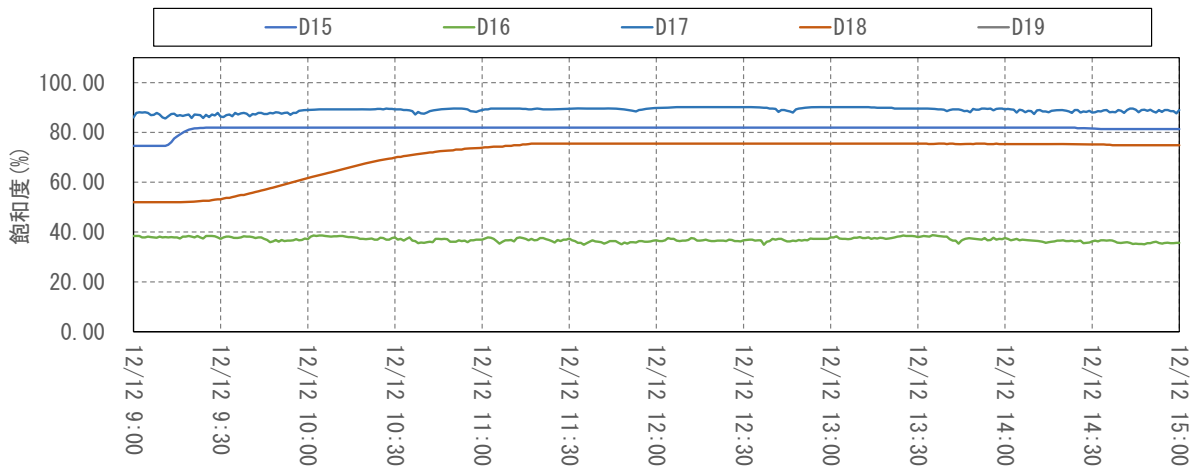


図 7.2.61 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

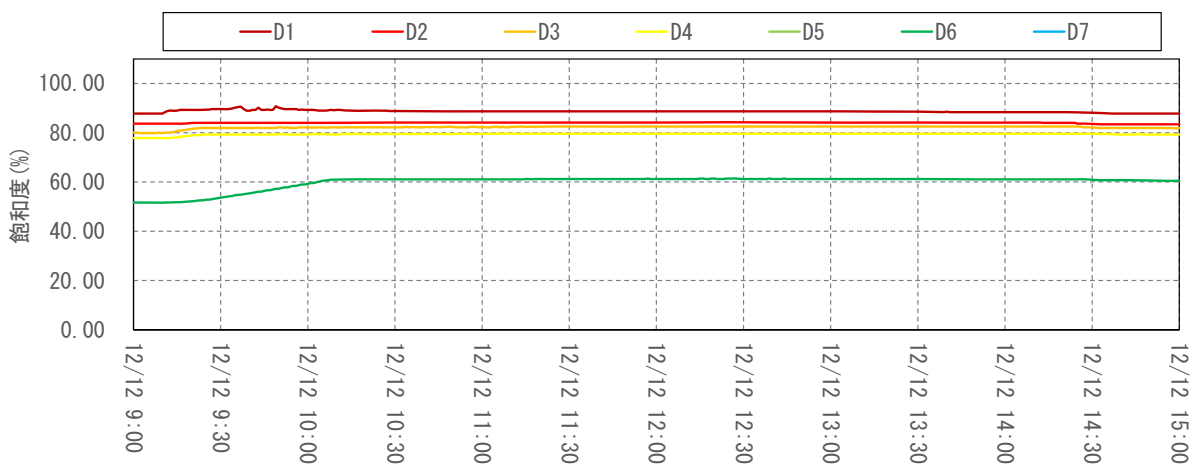


図 7.2.62 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

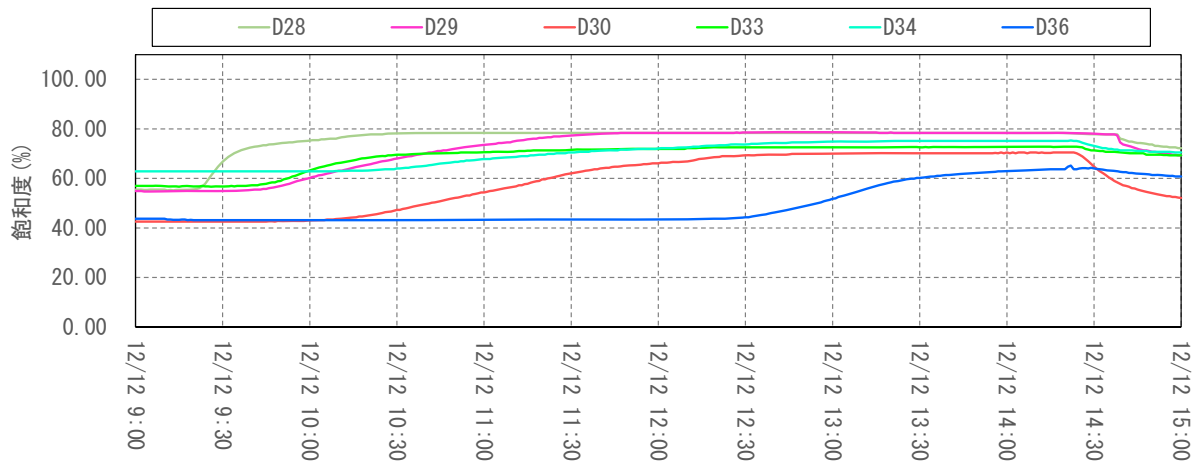


図 7.2.63 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

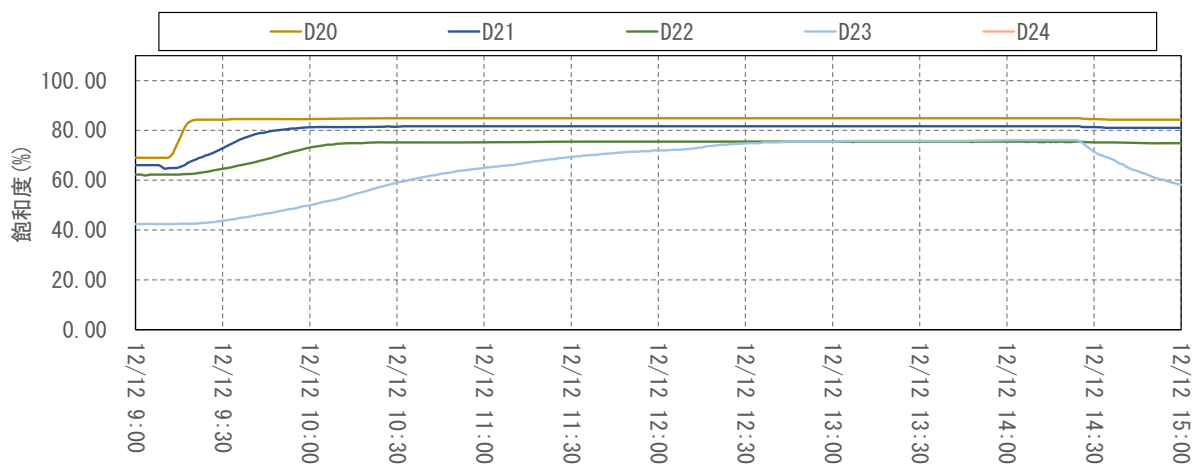


図 7.2.64 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

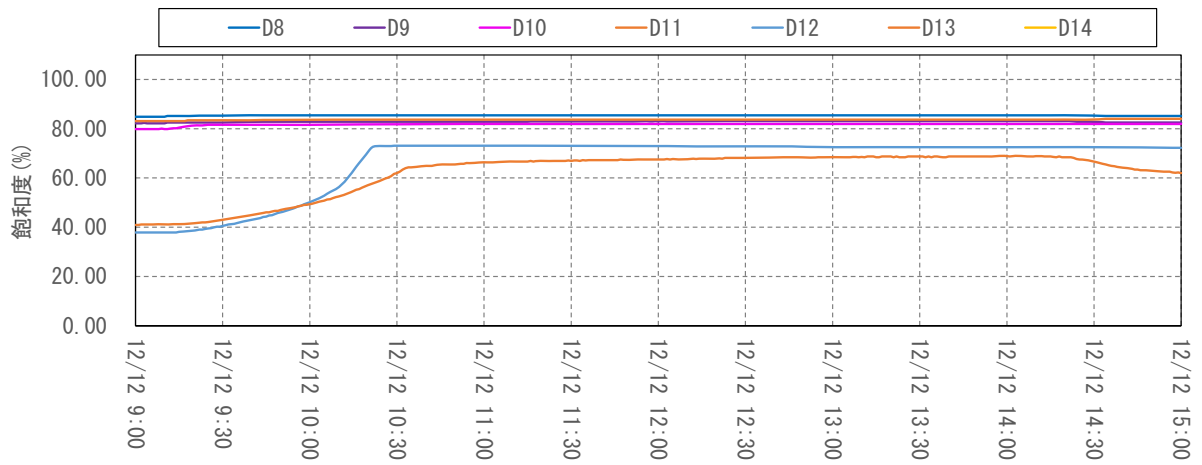


図 7.2.65 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

(10) H29 Case3-3

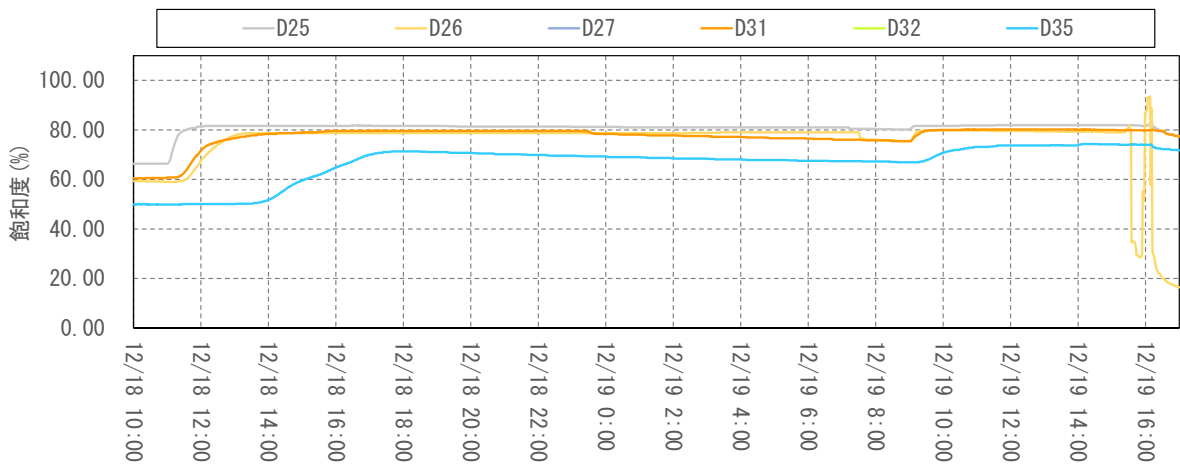


図 7.2.66 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 1

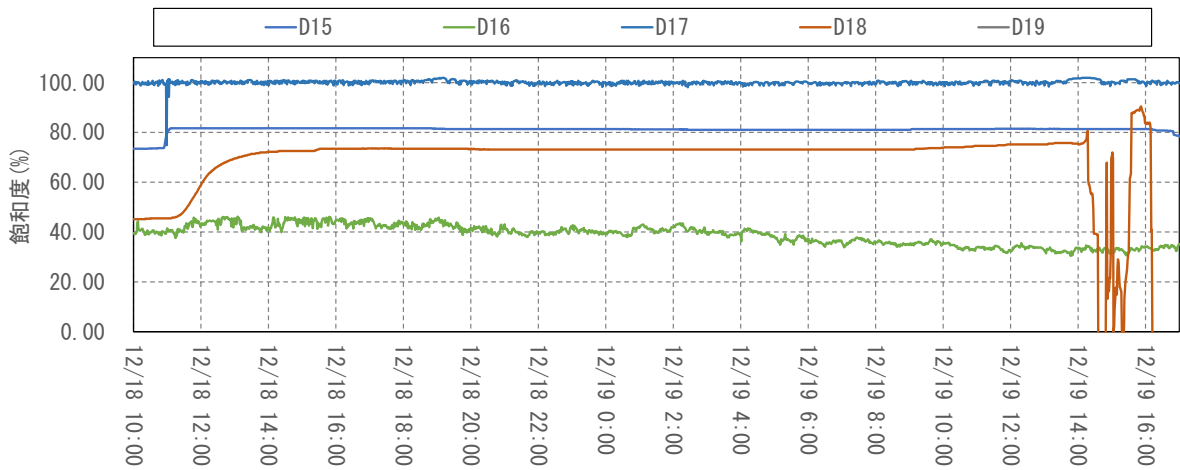


図 7.2.67 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 2

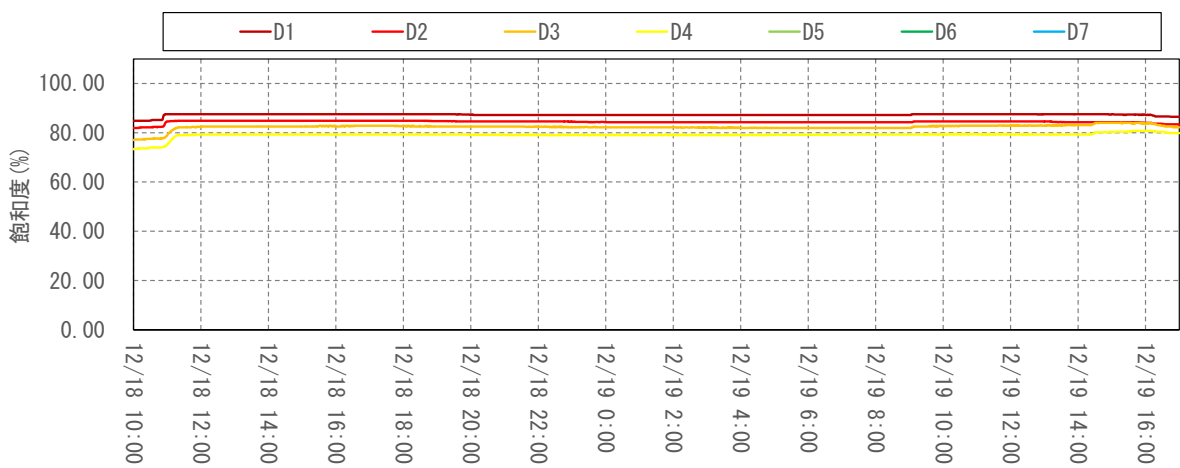


図 7.2.68 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 3

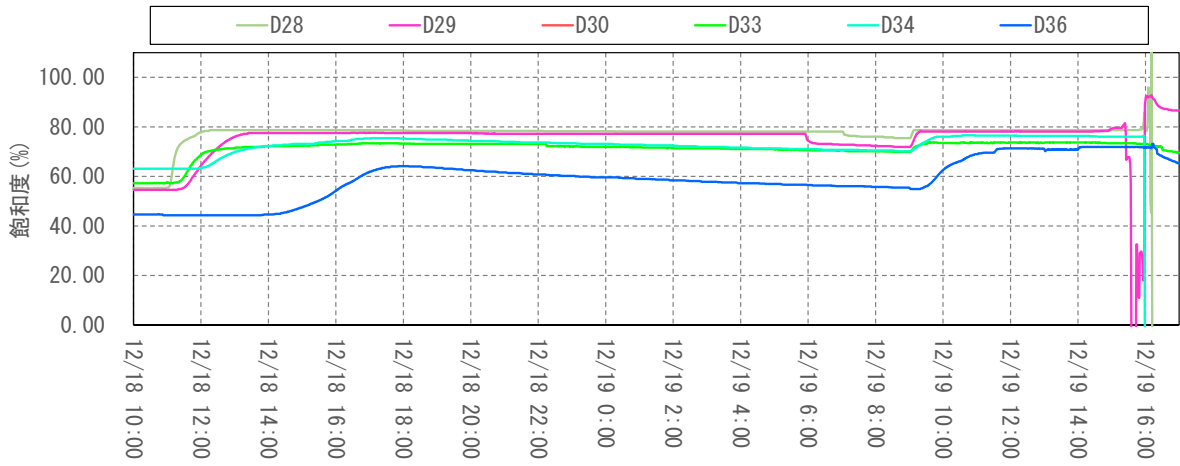


図 7.2.69 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 4

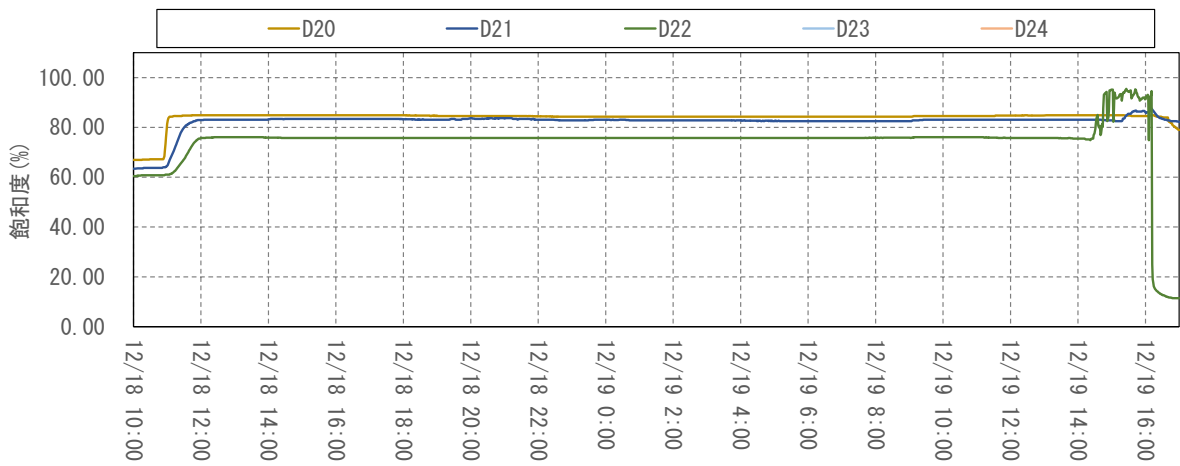


図 7.2.70 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 5

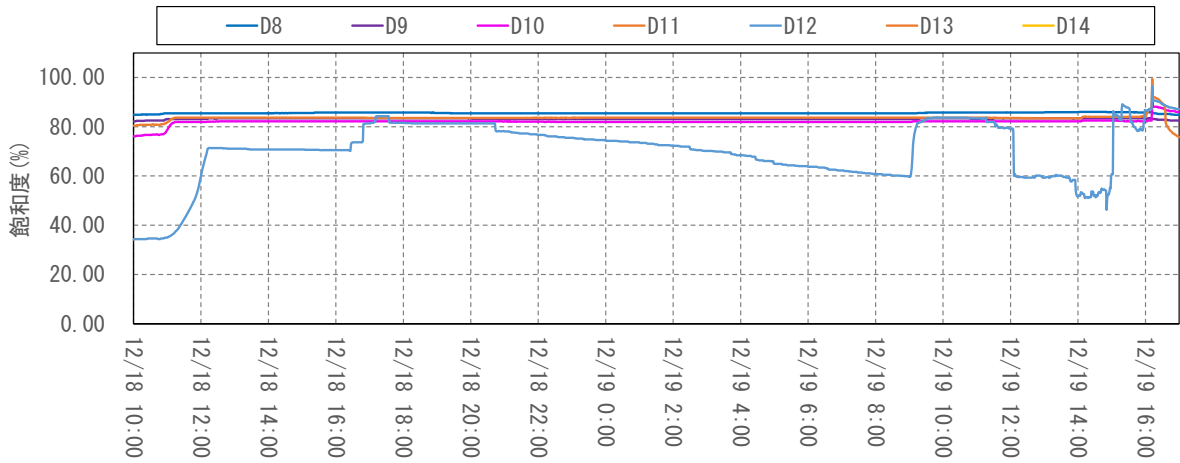


図 7.2.71 土壤水分計測結果による飽和度の経時変化 6

7.2.2 大型模型実験

大型模型実験における間隙水圧計の観測データを示す。

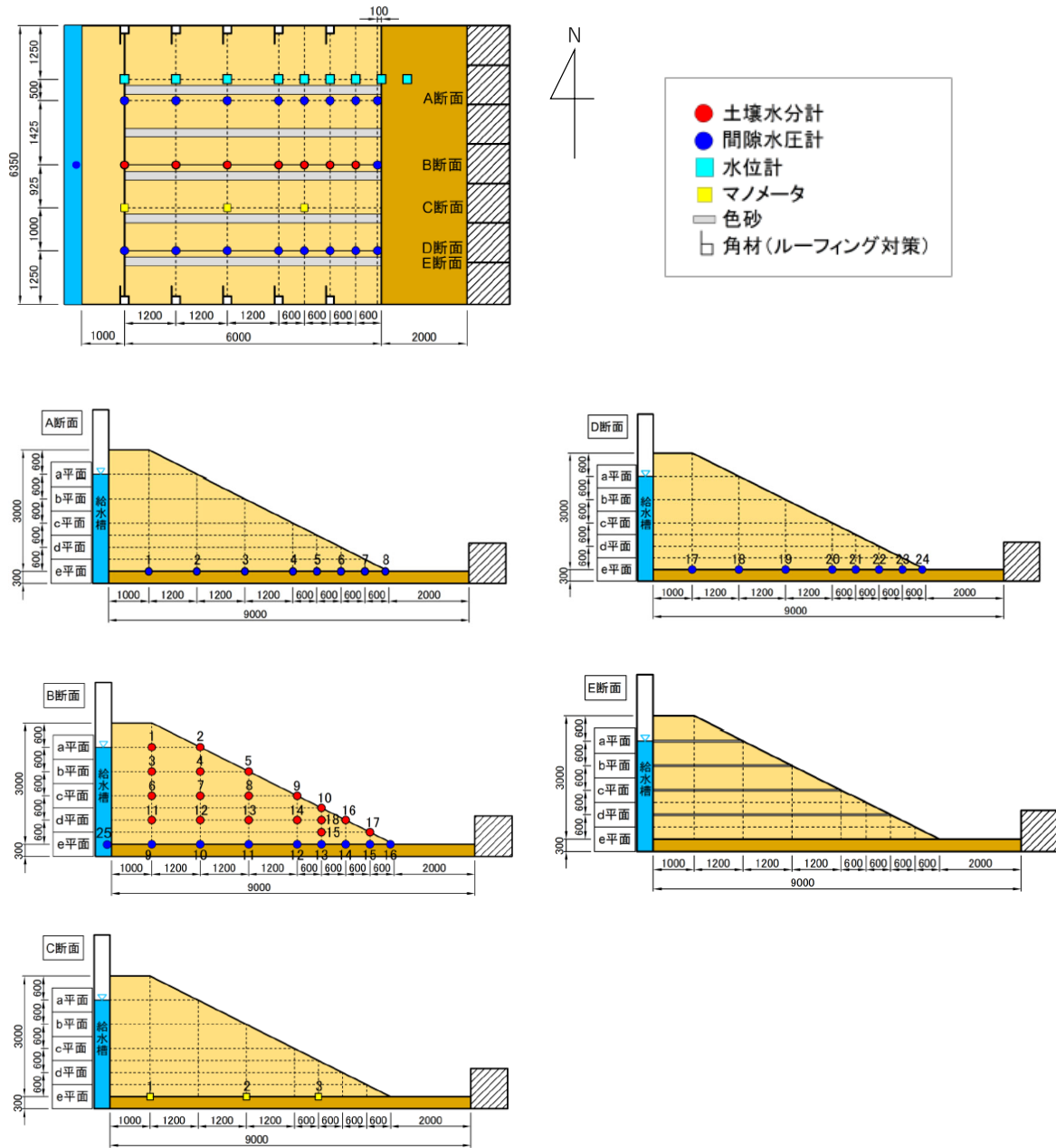


図 7.2.72 実験模型概要図およびセンサー設置位置図 (単位 : mm)

(1) Case1

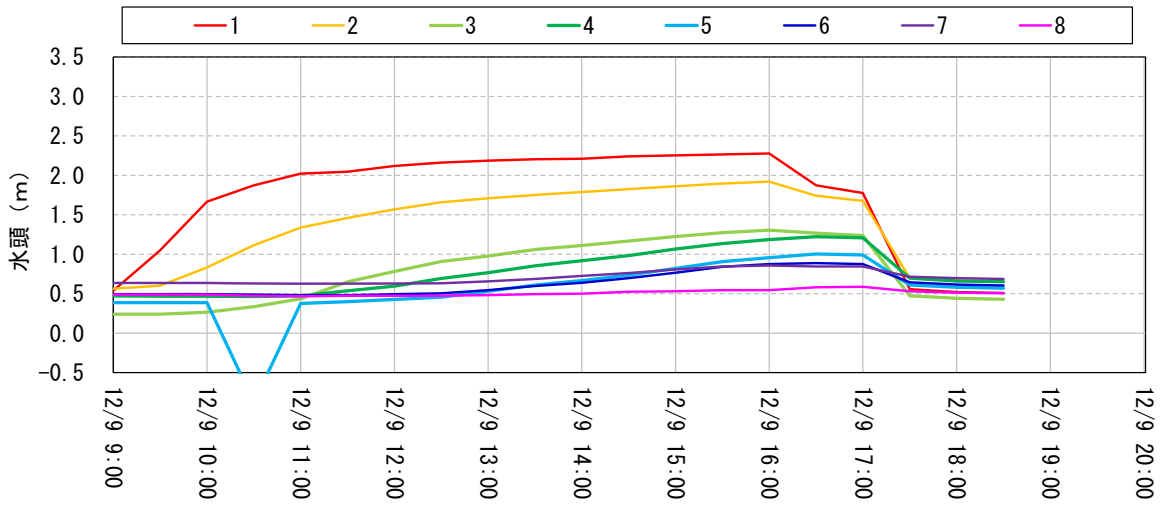


図 7.2.73 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 1

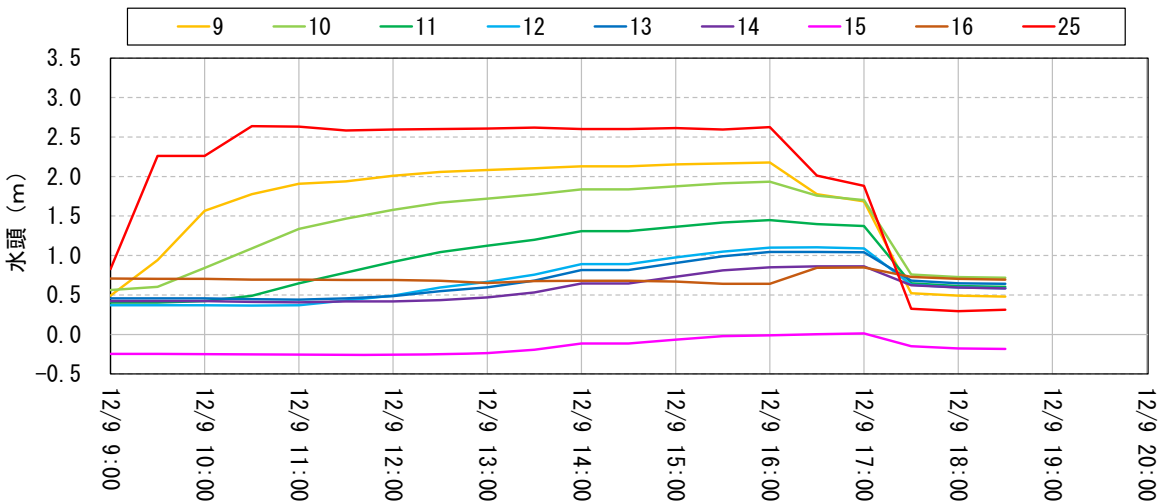


図 7.2.74 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 2

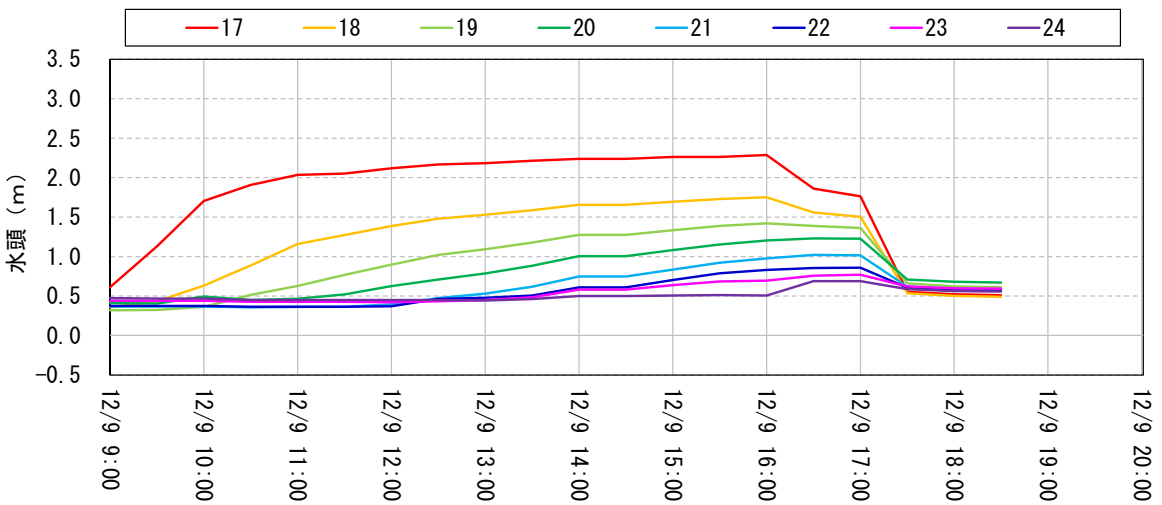


図 7.2.75 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 3

(2) Case2

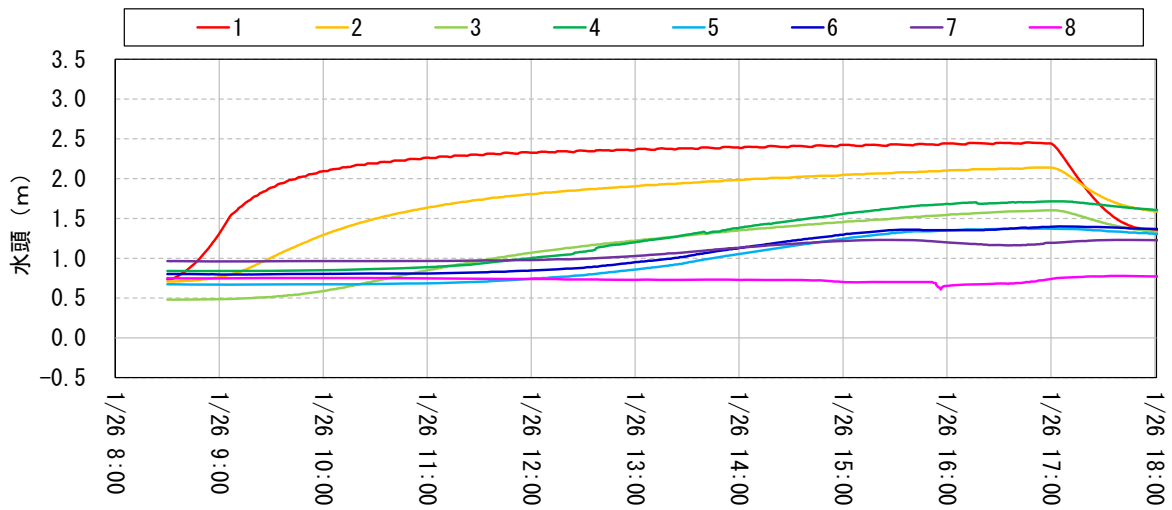


図 7.2.76 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 1

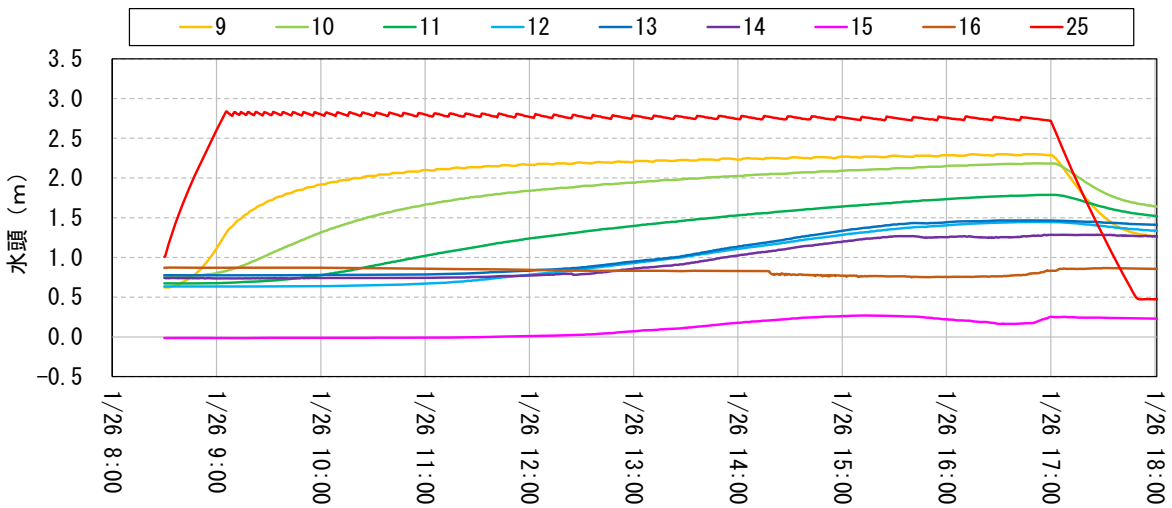


図 7.2.77 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 2

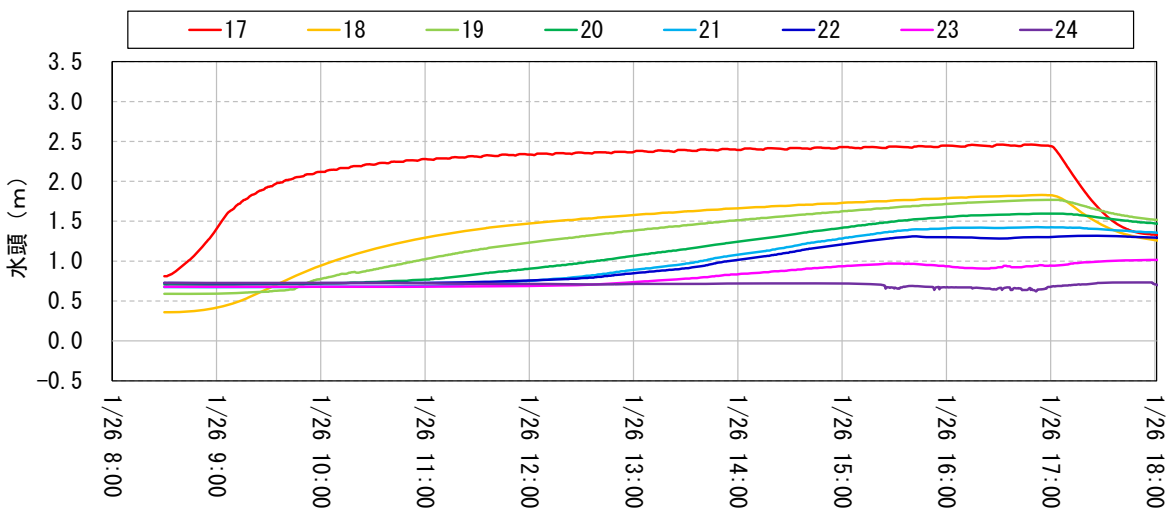


図 7.2.78 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 3

(3) Case3

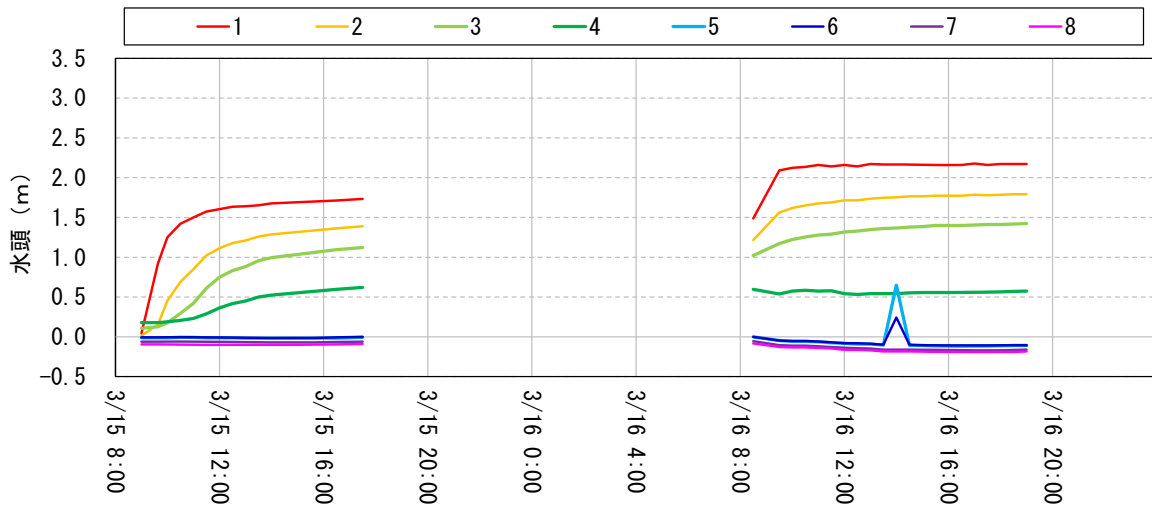


図 7.2.79 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 1

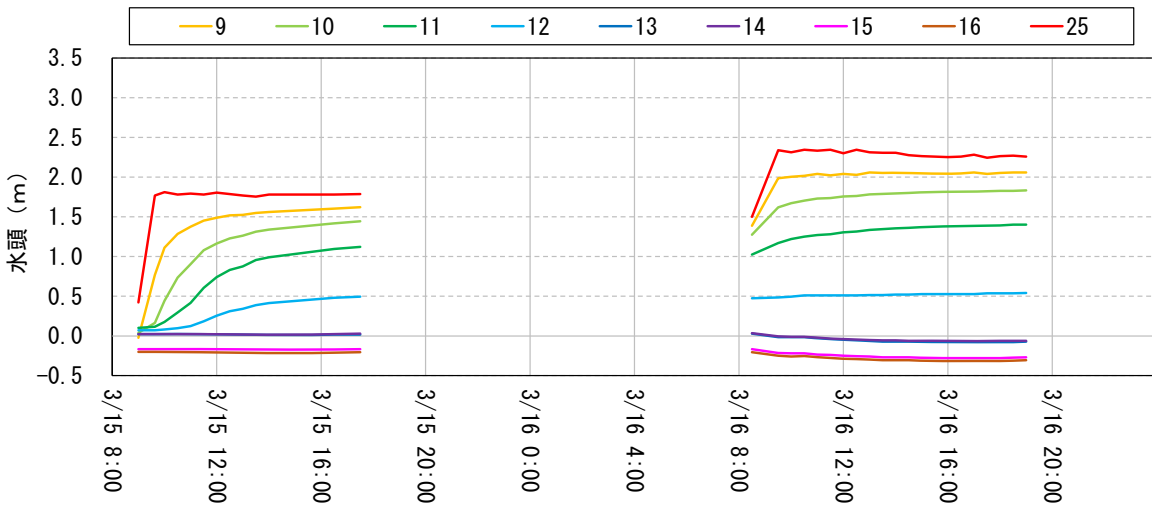


図 7.2.80 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 2

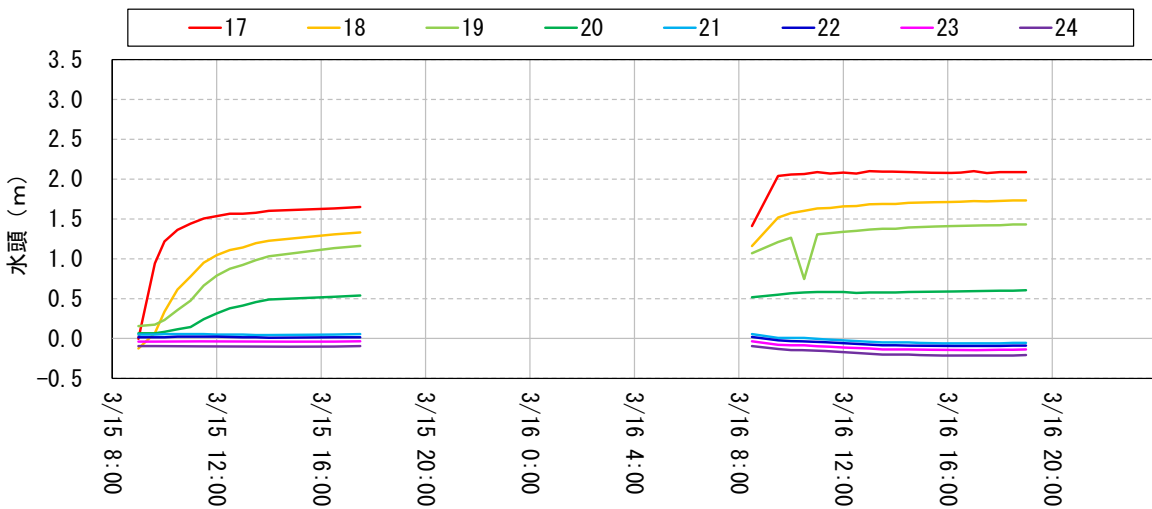


図 7.2.81 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 3

※3/15 夜間～3/16 朝までは計測を中断した。

(4) Case4

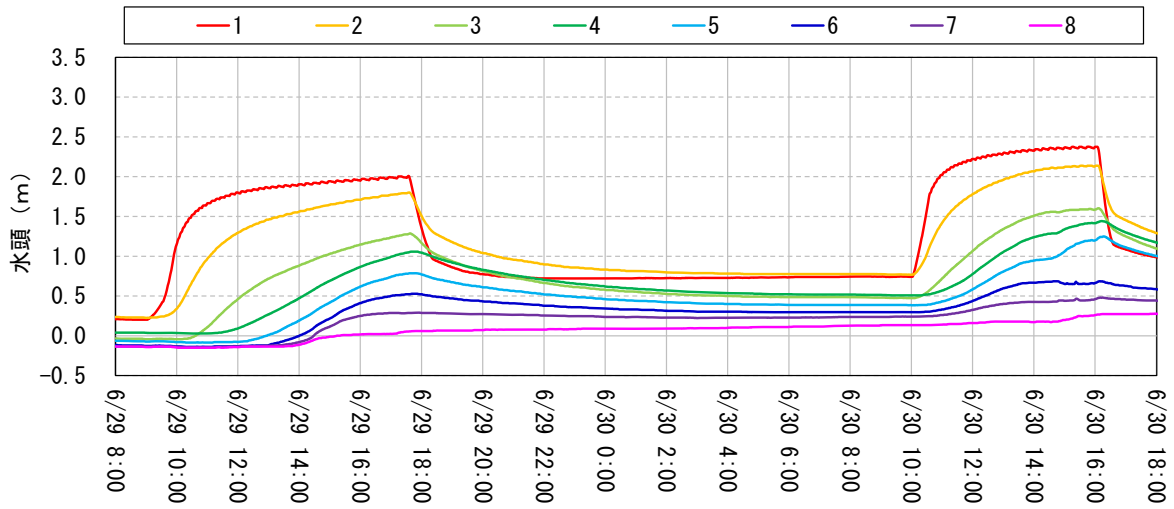


図 7.2.82 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 1

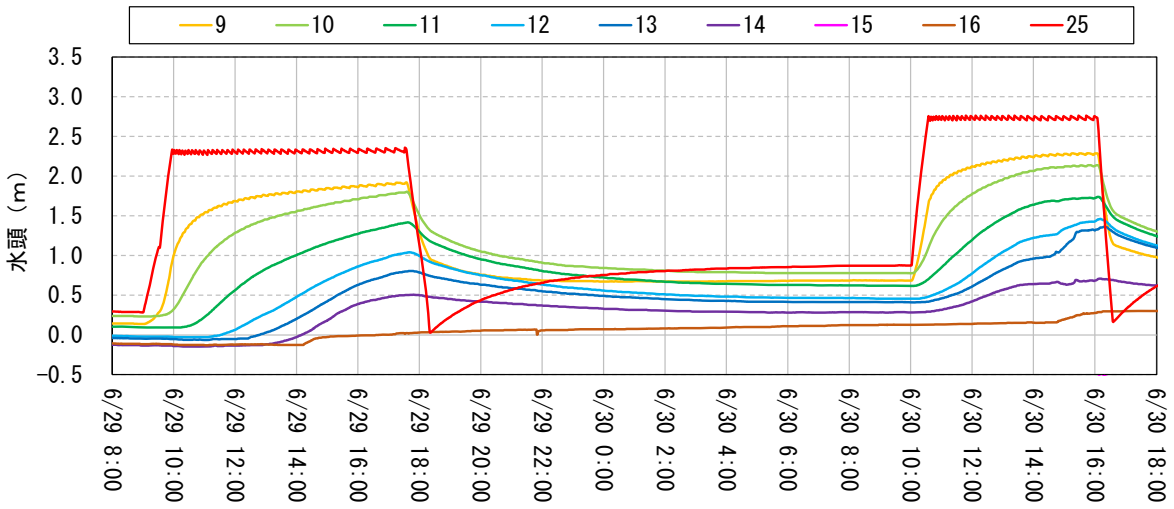


図 7.2.83 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 2

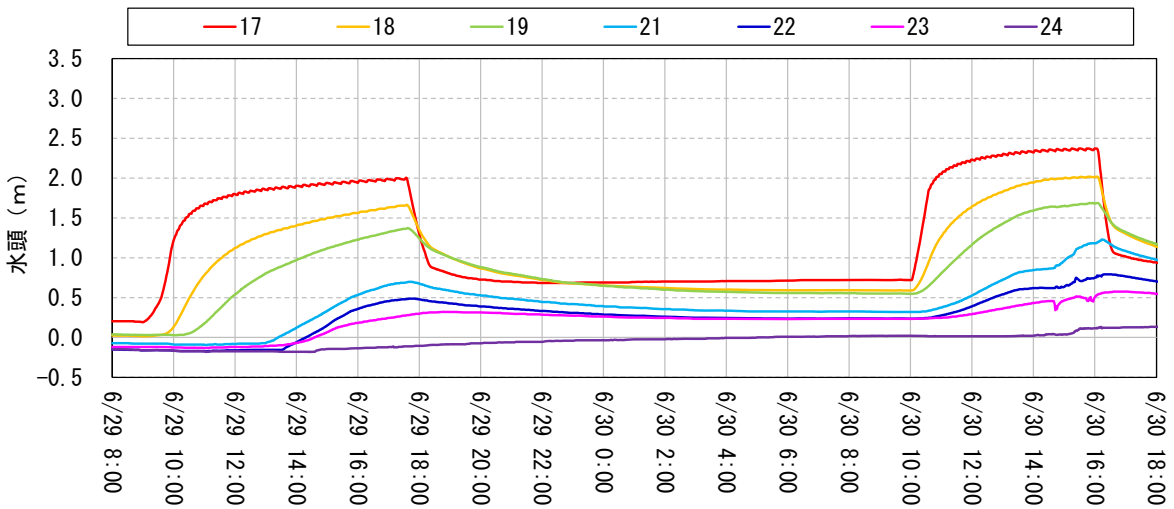


図 7.2.84 間隙水圧計測結果による水頭の経時変化 3

7.3 室内試験結果

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務

整理年月日

2016年 11月 1日

整理担当者

大谷 雅之

試料番号 (深 さ)		No. 2-1 香取砂①	No. 2-2 香取砂②	No. 2-3			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.695	2.694	2.698			
	自然含水比 w_n %	19.9	20.7	21.3			
	間隙比 e						
	飽和度 S_r %						
粒度	石分 (75mm以上) %						
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	0.0	0.0	4.1			
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	77.8	78.4	72.9			
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	14.2	13.5	14.9			
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	8.0	8.1	8.1			
	最大粒径 mm	2	2	19			
	均等係数 U_c	32.34	31.27	32.14			
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %						
	塑性限界 w_p %						
	塑性指数 I_p						
分類	地盤材料の 分類名	細粒分質砂	細粒分質砂	細粒分質砂			
	分類記号	(SF)	(SF)	(SF)			
締固め	試験方法						
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³						
	最適含水比 w_{opt} %						
C B R	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_2 %						
	平均 CBR % %修正CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m ²						
	透水試験方法						
	透水係数 k_{15} m/s						

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務

試験年月日

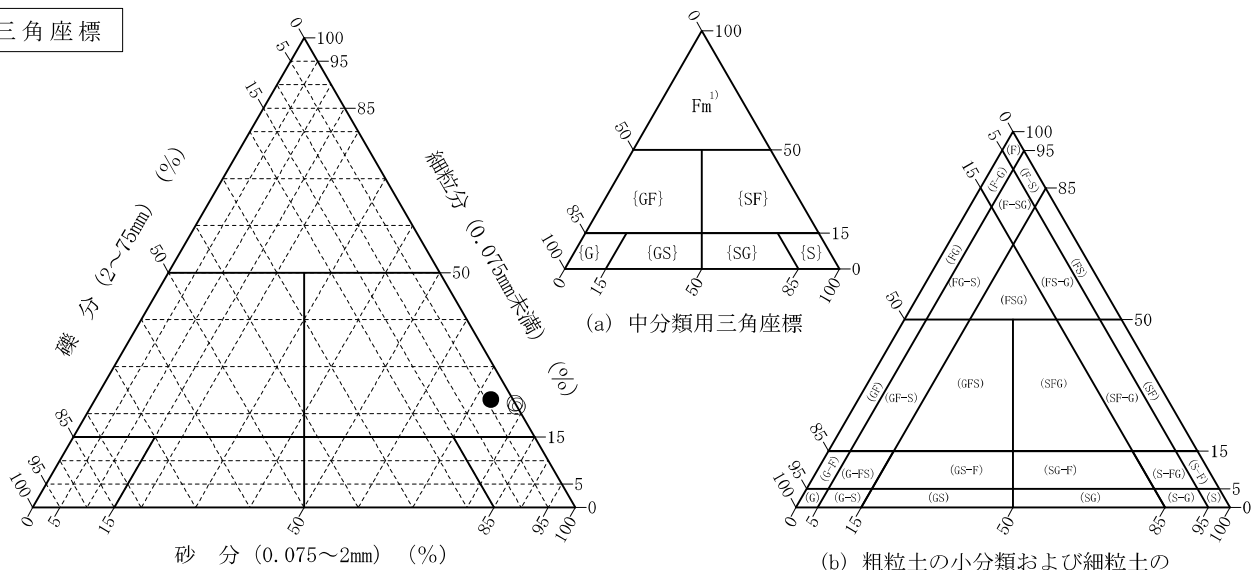
2016年 11月 1日

試験者

大谷 雅之

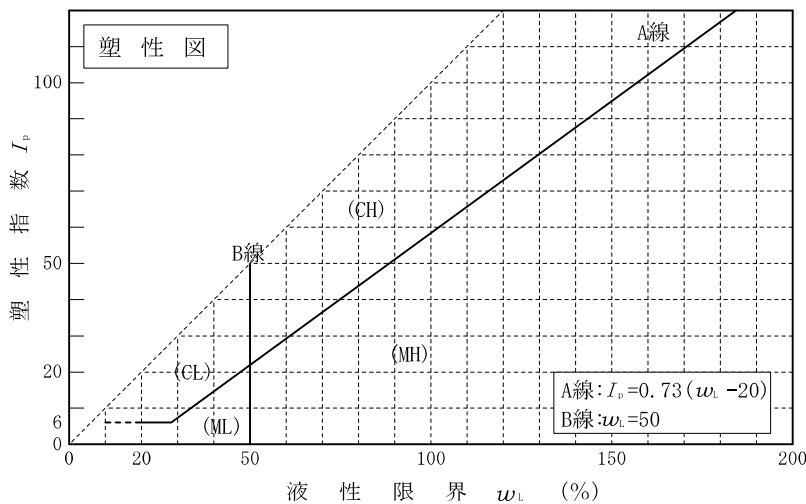
試料番号 (深さ)	No. 2-1 香取砂①	No. 2-2 香取砂②	No. 2-3			
石分(75mm以上) %						
礫分(2~75mm) %	0.0	0.0	4.1			
砂分(0.075~2mm) %	77.8	78.4	72.9			
細粒分(0.075mm未満) %	22.2	21.6	23.0			
シルト分(0.005~0.075mm)%	14.2	13.5	14.9			
粘土分(0.005mm未満) %	8.0	8.1	8.1			
最大粒径 mm	2	2	19			
均等係数 U_c	32.34	31.27	32.14			
液性限界 w_L %						
塑性限界 w_P %						
塑性指数 I_p						
地盤材料の分類名	細粒分質砂	細粒分質砂	細粒分質砂			
分類記号	(SF)	(SF)	(SF)			
凡例記号	○	◎	●			

三角座標



(a) 中分類用三角座標

(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細分類用三角座標



特記事項 1) 主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1202 JGS 0111	土 粒 子 の 密 度 試 験 (測定)
------------------------	----------------------

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 10月 27日

試 験 者 飯島 かおる

試料番号(深さ)		No. 2-1 香取砂①			No. 2-2 香取砂②		
ピクノメーター No.		501	502	503	504	505	506
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g		164.436	174.414	164.552	168.853	169.955	167.367
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C		18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³		0.99860	0.99860	0.99860	0.99860	0.99860	0.99860
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g		150.296	160.484	150.864	152.308	153.386	150.625
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器)質量g	22.462	22.142	21.736	26.254	26.295	26.682
	容器質量 g						
m_s g		22.462	22.142	21.736	26.254	26.295	26.682
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.695	2.693	2.697	2.700	2.700	2.681
平均値 ρ_s g/cm ³		2.695			2.694		
試料番号(深さ)		No. 2-3					
ピクノメーター No.		507	508	509			
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g		168.662	178.542	165.195			
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C		18.0	18.0	18.0			
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³		0.99860	0.99860	0.99860			
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g		152.155	161.999	148.510			
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器)質量g	26.204	26.232	26.517			
	容器質量 g						
m_s g		26.204	26.232	26.517			
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.698	2.704	2.693			
平均値 ρ_s g/cm ³		2.698					
試料番号(深さ)							
ピクノメーター No.							
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量 m_b g							
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C							
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³							
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター)質量 m_a g							
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器)質量g						
	容器質量 g						
m_s g							
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³							
平均値 ρ_s g/cm ³							

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 10月 27日

試験者 飯島 かおる

試料番号 (深さ)	No. 2-1 香取砂①			No. 2-2 香取砂②		
容器 No.	4754	4569	600	509	4689	4334
m_a g	52.44	48.12	50.13	57.70	54.56	53.09
m_b g	45.49	41.91	43.64	49.93	46.86	45.84
m_c g	10.60	10.27	11.59	11.38	10.21	10.96
w %	19.9	19.6	20.2	20.2	21.0	20.8
平均値 w %	19.9			20.7		
特記事項						

試料番号 (深さ)	No. 2-3					
容器 No.	4759	4767	4724			
m_a g	46.00	44.11	54.92			
m_b g	39.97	37.94	47.17			
m_c g	10.34	10.37	10.45			
w %	20.4	22.4	21.1			
平均値 w %	21.3					
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

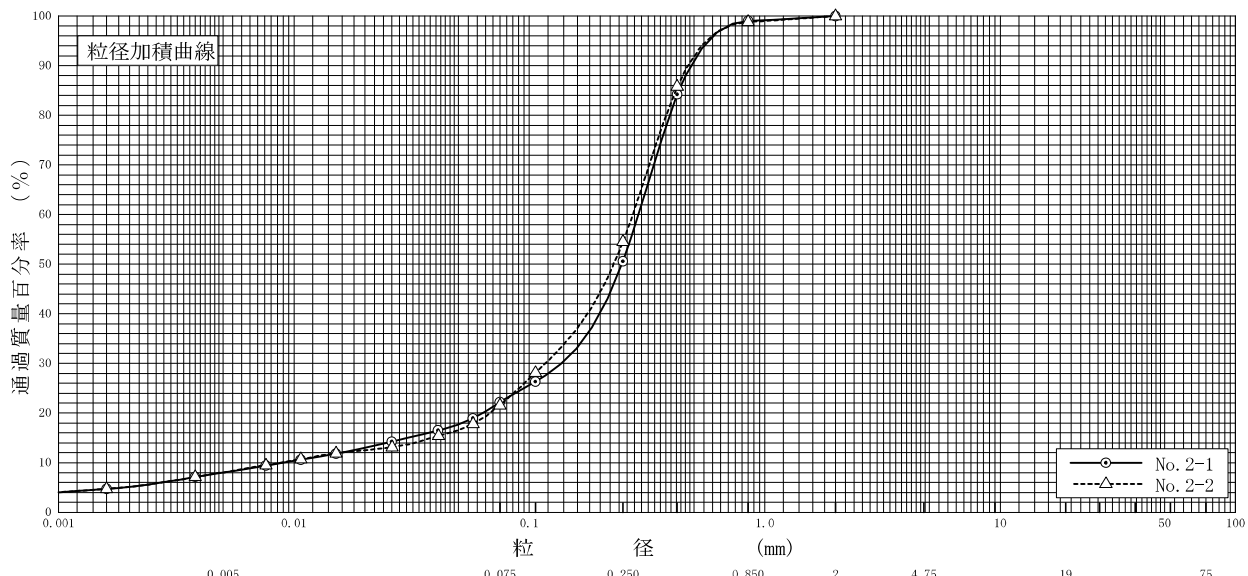
$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100$$

m_a : (試料+容器)質量
 m_b : (炉乾燥試料+容器)質量
 m_c : 容器質量

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 10月 27日

試験者 飯島 かおる

試料番号 (深さ)	No. 2-1 香取砂①		No. 2-2 香取砂②		試料番号 (深さ)		No. 2-1	No. 2-2
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分 %			
ふるい	75		75		中礫分 %	0.0	0.0	0.0
	53		53		細礫分 %	0.0	0.0	0.0
	37.5		37.5		粗砂分 %	1.0	1.2	1.2
	26.5		26.5		中砂分 %	48.4	44.3	44.3
	19		19		細砂分 %	28.4	32.9	32.9
	9.5		9.5		シルト分 %	14.2	13.5	13.5
	4.75		4.75		粘土分 %	8.0	8.1	8.1
	2	100.0	2	100.0	2mmふるい通過質量百分率 %	100.0	100.0	100.0
	0.850	99.0	0.850	98.8	425μmふるい通過質量百分率 %	84.2	85.8	85.8
	0.425	84.2	0.425	85.8	75μmふるい通過質量百分率 %	22.2	21.6	21.6
	0.250	50.6	0.250	54.5	最大粒径 mm	2	2	2
	0.106	26.3	0.106	28.1	60% 粒径 D_{60} mm	0.2911	0.2752	0.2752
	0.075	22.2	0.075	21.6	50% 粒径 D_{50} mm	0.2472	0.2284	0.2284
沈降	0.0576	18.9	0.0577	17.8	30% 粒径 D_{30} mm	0.1369	0.1169	0.1169
	0.0409	16.5	0.0411	15.4	10% 粒径 D_{10} mm	0.0090	0.0088	0.0088
	0.0260	14.2	0.0261	13.1	均等係数 U_c	32.34	31.27	31.27
	0.0151	11.8	0.0151	11.9	曲率係数 U'_c	7.15	5.64	5.64
	0.0107	10.6	0.0107	10.7	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.695	2.694	2.694
	0.0076	9.4	0.0076	9.5	使用した分散剤	ヘキサメタリン酸ナトリウム	ヘキサメタリン酸ナトリウム	ヘキサメタリン酸ナトリウム
	0.0038	7.1	0.0038	7.1	溶液濃度, 溶液添加量	4%, 10ml	4%, 10ml	4%, 10ml
0.0016	4.7	0.0016	4.7	20% 粒径 D_{20} mm	0.0633	0.0680	0.0680	



特記事項

土質試験結果一覧表（材料）

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務

整理年月日

2016年 11月 1日

整理担当者

大谷 雅之

試料番号 (深 さ)		No. 2-1 香取砂①	No. 2-2 香取砂②	No. 2-3			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.695	2.694	2.698			
	自然含水比 w_n %	19.9	20.7	21.3			
	間隙比 e						
	飽和度 S_r %						
粒度	石分 (75mm以上) %						
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	0.0	0.0	4.1			
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	77.8	78.4	72.9			
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	14.2	13.5	14.9			
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	8.0	8.1	8.1			
	最大粒径 mm	2	2	19			
	均等係数 U_c	32.34	31.27	32.14			
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %						
	塑性限界 w_p %						
	塑性指数 I_p						
分類	地盤材料の 分類名	細粒分質砂	細粒分質砂	細粒分質砂			
	分類記号	(SF)	(SF)	(SF)			
締固め	試験方法	A-c	A-c				
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³	1.682	1.702				
	最適含水比 w_{opt} %	18.2	17.7				
C B R	試験方法						
	膨張比 r_e %						
	貫入試験後含水比 w_2 %						
	平均 CBR % %修正CBR %						
コーン指数	突固め回数 回/層						
	コーン指数 q_c kN/m ²						
	透水試験方法						
	透水係数 k_{15} m/s						

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験（測定）	
------------------------	-------------------	--

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 11月 7日

試料番号（深さ）No. 2-1 香取砂①

試験者 桑野 浩

試験方法		A-c	土質名称	細粒分質砂 (SF)			
試料の準備方法		乾燥法, 湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モ ー ル ド	内径 cm	10.00
試料の使用方法		繰返し法, 非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ ¹⁾ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25		容量 V cm ³	1000
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		質量 m_1 ²⁾ g	2013
測定 No.		1	2	3	4		
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾ g		3633	3827	3952	4003		
湿潤密度 ρ_s g/cm ³		1.620	1.814	1.939	1.990		
平均含水比 w %		7.8	13.3	16.3	18.3		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.503	1.601	1.667	1.682		
含 水 比	容器 No.	3048	3057	3097	3012		
	m_a g	331.33	328.20	335.62	316.55		
	m_b g	313.02	298.88	299.78	279.36		
	m_c g	77.71	79.56	80.01	77.73		
	w %	7.8	13.4	16.3	18.4		
含 水 比	容器 No.	3006	3074	3073	3030		
	m_a g	353.65	322.16	336.59	329.84		
	m_b g	333.81	293.79	300.85	291.62		
	m_c g	78.44	79.40	79.77	80.55		
	w %	7.8	13.2	16.2	18.1		
測定 No.		5	6	7	8		
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾ g		3974	3920				
湿潤密度 ρ_s g/cm ³		1.961	1.907				
平均含水比 w %		23.4	25.7				
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.589	1.517				
含 水 比	容器 No.	3009	3092				
	m_a g	361.79	383.41				
	m_b g	308.23	319.74				
	m_c g	79.76	78.60				
	w %	23.4	26.4				
含 水 比	容器 No.	3010	3076				
	m_a g	355.85	363.40				
	m_b g	303.48	306.66				
	m_c g	78.67	78.89				
	w %	23.3	24.9				

特記事項

- 1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
- 2) モールドの質量は底板を含む。

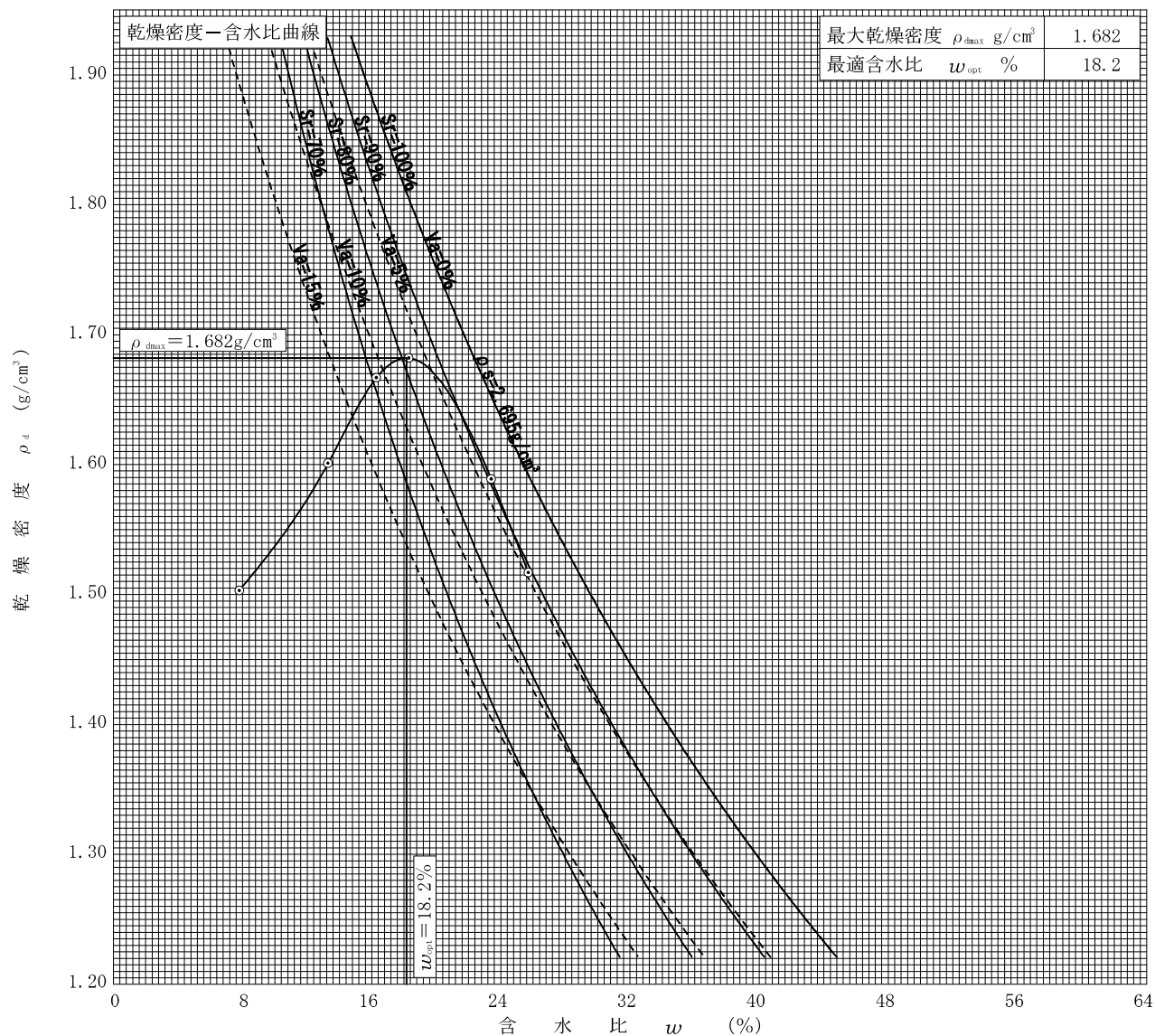
$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1 + w/100}$$

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 11月 7日

試料番号 (深さ) No. 2-1 香取砂①

試験者 桑野 浩

試験方法	A-c		土質名称		細粒分質砂 (SF)		
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法		ランマー質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.695	
試料の使用方法	繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	30	試料調製前の最大粒径 mm	2	
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25	モールド	内径 cm	10.00
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		高さ ¹⁾ cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7
平均含水比 w %	7.8	13.3	16.3	18.3	23.4	25.7	
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.503	1.601	1.667	1.682	1.589	1.517	



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$$

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験（測定）	
------------------------	-------------------	--

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 11月 8日

試料番号（深さ）No. 2-2 香取砂②

試験者 桑野 浩

試験方法		A-c	土質名称	細粒分質砂 (SF)			
試料の準備方法		乾燥法, 湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モ ー ル ド	内径 cm	10.00
試料の使用方法		繰返し法, 非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ ¹⁾ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25		容量 V cm ³	1000
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		質量 m_1 ²⁾ g	2013
測定 No.		1	2	3	4		
(試料+モールド) 質量 m_2 g		3745	3863	3932	4004		
湿潤密度 ρ_s g/cm ³		1.732	1.850	1.919	1.991		
平均含水比 w %		9.4	13.0	15.0	17.1		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.583	1.637	1.669	1.700		
含 水 比	容器 No.	3100	3044	3070	3032		
	m_a g	339.75	331.17	328.17	324.76		
	m_b g	317.26	302.14	295.71	288.68		
	m_c g	79.26	77.69	79.17	79.33		
	w %	9.4	12.9	15.0	17.2		
含 水 比	容器 No.	3015	3052	3089	3003		
	m_a g	329.12	323.79	336.16	315.62		
	m_b g	307.74	295.48	302.62	281.38		
	m_c g	77.63	77.85	79.34	79.20		
	w %	9.3	13.0	15.0	16.9		
測定 No.		5	6	7	8		
(試料+モールド) 質量 m_2 g		3988	3952				
湿潤密度 ρ_s g/cm ³		1.975	1.939				
平均含水比 w %		22.7	24.9				
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.610	1.552				
含 水 比	容器 No.	3007	3011				
	m_a g	340.23	372.23				
	m_b g	292.23	313.92				
	m_c g	78.39	79.72				
	w %	22.4	24.9				
含 水 比	容器 No.	3062	3023				
	m_a g	349.71	358.17				
	m_b g	299.30	302.21				
	m_c g	79.72	77.75				
	w %	23.0	24.9				

特記事項

- 1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
- 2) モールドの質量は底板を含む。

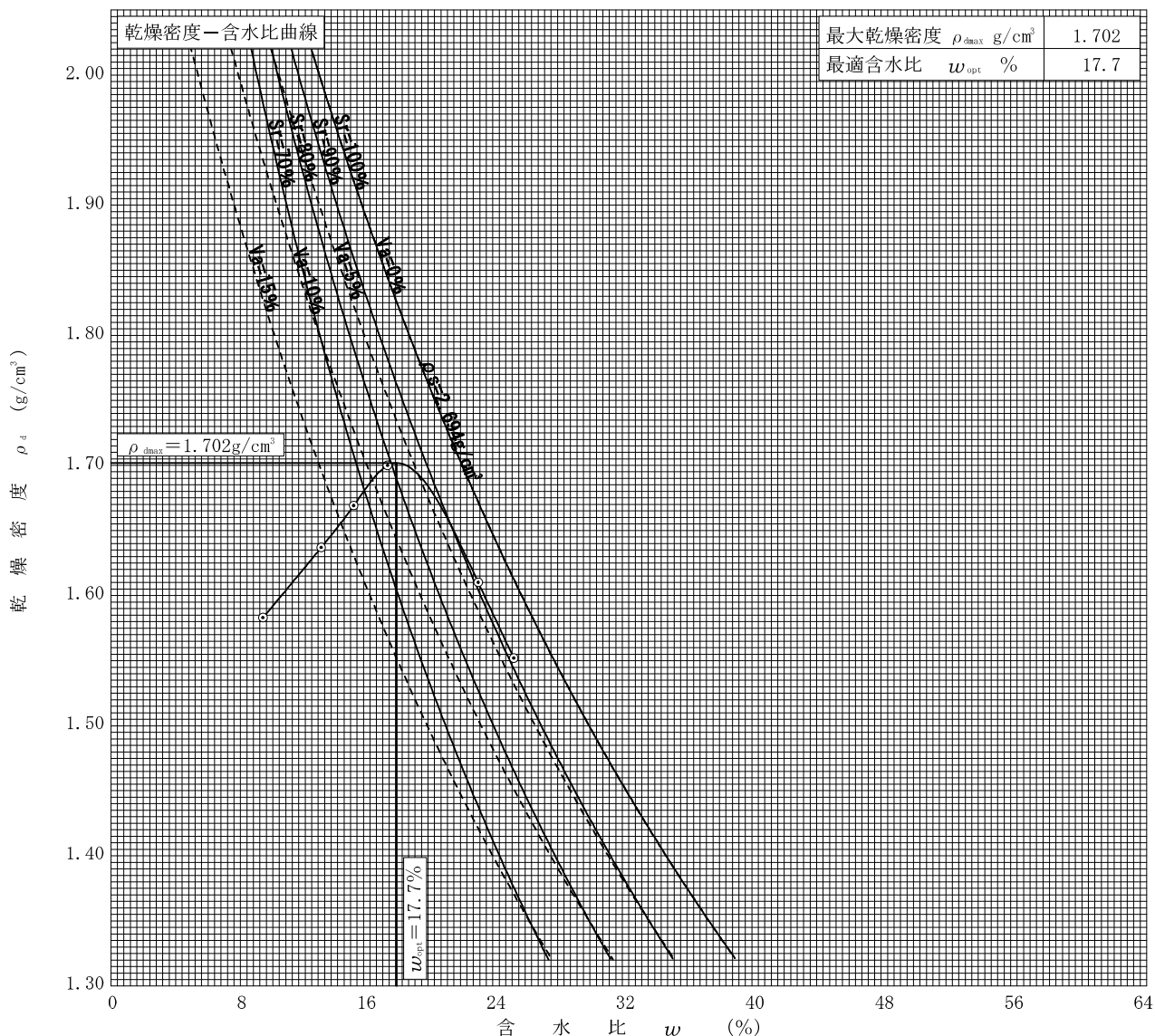
$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1 + w/100}$$

調査件名 平成28年度河川堤防の浸透破壊に関する大型模型実験業務 試験年月日 2016年 11月 8日

試料番号 (深さ) No. 2-2 香取砂②

試験者 桑野 浩

試験方法	A-c		土質名称		細粒分質砂 (SF)			
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法		ランマー質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.694	
試料の使用方法	繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	30	試料調製前の最大粒径 mm			
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25	モールド	内径 cm	10.00	
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		高さ ¹⁾ cm	12.73	
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	9.4	13.0	15.0	17.1	22.7	24.9		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.583	1.637	1.669	1.700	1.610	1.552		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w/100}$$

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 平成30年度室内土質試験業務(単価契約)

整理年月日

2018年 5月 11日

整理担当者

大谷 雅之

試料番号 (深 さ)		礫混合土	堤体土			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³					
	自然含水比 w_n %					
	間隙比 e					
	飽和度 S_r %					
粒度	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	20.3				
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	57.0				
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	22.7				
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %					
	最大粒径 mm	19				
	均等係数 U_c	-				
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %					
	塑性限界 w_p %					
	塑性指数 I_p					
分類	地盤材料の 分類名	細粒分質礫質砂				
	分類記号	(SFG)				
圧密	試験方法					
	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²					
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²					
	破壊ひずみ ϵ_f %					
	変形係数 E_{50} MN/m ² %					
せん断	試験条件					
	全応力	c kN/m ²				
		ϕ °				
	有効応力	c' kN/m ²				
ϕ' °						
透水性	透水試験方法	定水位	定水位			
	透水係数 k_{TS} m/s	1.63E-5	6.10E-6			
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³	1.887				
	最適含水比 w_{opt} %	13.3				

特記事項

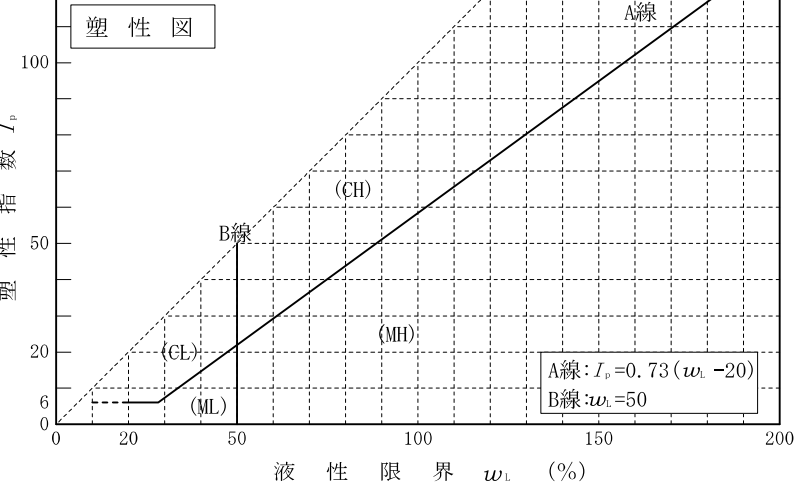
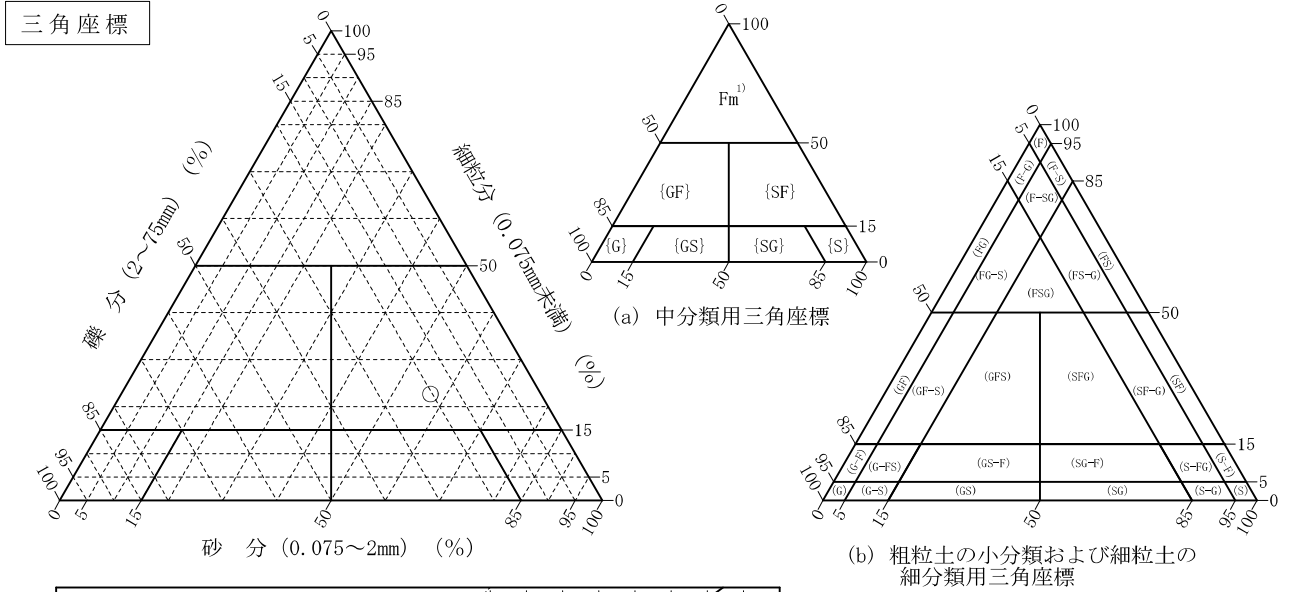
1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

調査件名 平成30年度室内土質試験業務(単価契約) 試験年月日 2018年 5月 11日

試験者 大谷 雅之

試料番号 (深 さ)	礫混合土				
石 分(75mm以上) %					
礫 分(2~75mm) %	20.3				
砂 分(0.075~2mm) %	57.0				
細 粒 分(0.075mm未満) %	22.7				
シルト分(0.005~0.075mm)%					
粘 土 分(0.005mm未満) %					
最 大 粒 径 mm	19				
均 等 係 数 U_c	-				
液 性 限 界 w_L %					
塑 性 限 界 w_P %					
塑 性 指 数 I_p					
地盤材料の分類名	細粒分質礫質砂				
分 類 記 号	(SFG)				
凡 例 記 号	○				



特記事項 1) 主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 平成30年度室内土質試験業務(単価契約) 試験年月日 2018年 5月 17日

試料番号 (深さ) 礫混合土 試験者 桑野 浩

試料	土質名称	細粒分質礫質砂 (SFG)	透 水 円 筒	容器 No.	2025
	最大粒径 mm	19		内径 D_n cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			長さ L_n cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm		試験用水	質量 m_2 ²⁾ g	2025.0
	断面積 a cm ²			水道水	

供試体作製, 飽和方法 密度調整による。

供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒) 質量 m_1 g	3920.0	3954.0
	断面積 A cm ²	78.540		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	1895.0	1929.0
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.895	1.929
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_t / (1+w/100)$ g/cm ³	1.588	1.590
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
		飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %				

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器 No.	4388	4114		924	
	m_a g	35.99	41.99		2851.00	
	m_b g	31.89	37.00		2513.00	
	m_c g	10.76	10.99		924.00	
	w, w_f %	19.4	19.2		21.3	
	平均値 %	19.3			21.3	

測定 No.	1	2	3	4	5	
測定開始時刻 t_1						
測定終了時刻 t_2						
測定時間 $t_2 - t_1$ s	3600	3600	3600	3600	3600	
定水位	水位差 h cm	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
	透水量 Q cm ³	158.0	158.0	160.0	160.0	162.0
	T°Cに対する透水係数 k_T ⁴⁾ m/s	1.87E-5	1.87E-5	1.90E-5	1.90E-5	1.92E-5
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
	T°Cに対する透水係数 k_T ⁵⁾ m/s					
測定時の水温 T °C	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	
温度補正係数 η_T / η_{15}	0.859	0.859	0.859	0.859	0.859	
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s	1.61E-5	1.61E-5	1.63E-5	1.63E-5	1.65E-5	
代表値 k_{15} m/s	1.63E-5					

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
 - 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
 - 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。
 - 4) $k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \times \frac{1}{100}$
 - 5) $k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{100}$
- $$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 平成30年度室内土質試験業務(単価契約) 試験年月日 2018年 5月 18日

試料番号 (深さ) 堤体土 試験者 桑野 浩

試料	土質名称		透 水 円 筒	容器 No.	2032
	最大粒径 mm			内径 D_n cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			長さ L_n cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm		質量 m_2 ²⁾ g	2032.0	
	断面積 a cm ²			試験用水 水道水	

供試体作製, 飽和方法 密度調整による。

供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒) 質量 m_1 g	3679.0	3804.0
	断面積 A cm ²	78.540		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	1647.0	1772.0
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.647	1.772
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_t / (1+w/100)$ g/cm ³	1.455	1.457
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
				飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %		

含水比	試験前			試験後 ³⁾		
	容器 No.	4805	4346	924		
	m_a g	35.51	40.59	2693.00		
	m_b g	32.54	37.24	2379.00		
	m_c g	10.54	11.06	924.00		
	w, w_f %	13.5	12.8	21.6		
平均値 %	13.2			21.6		

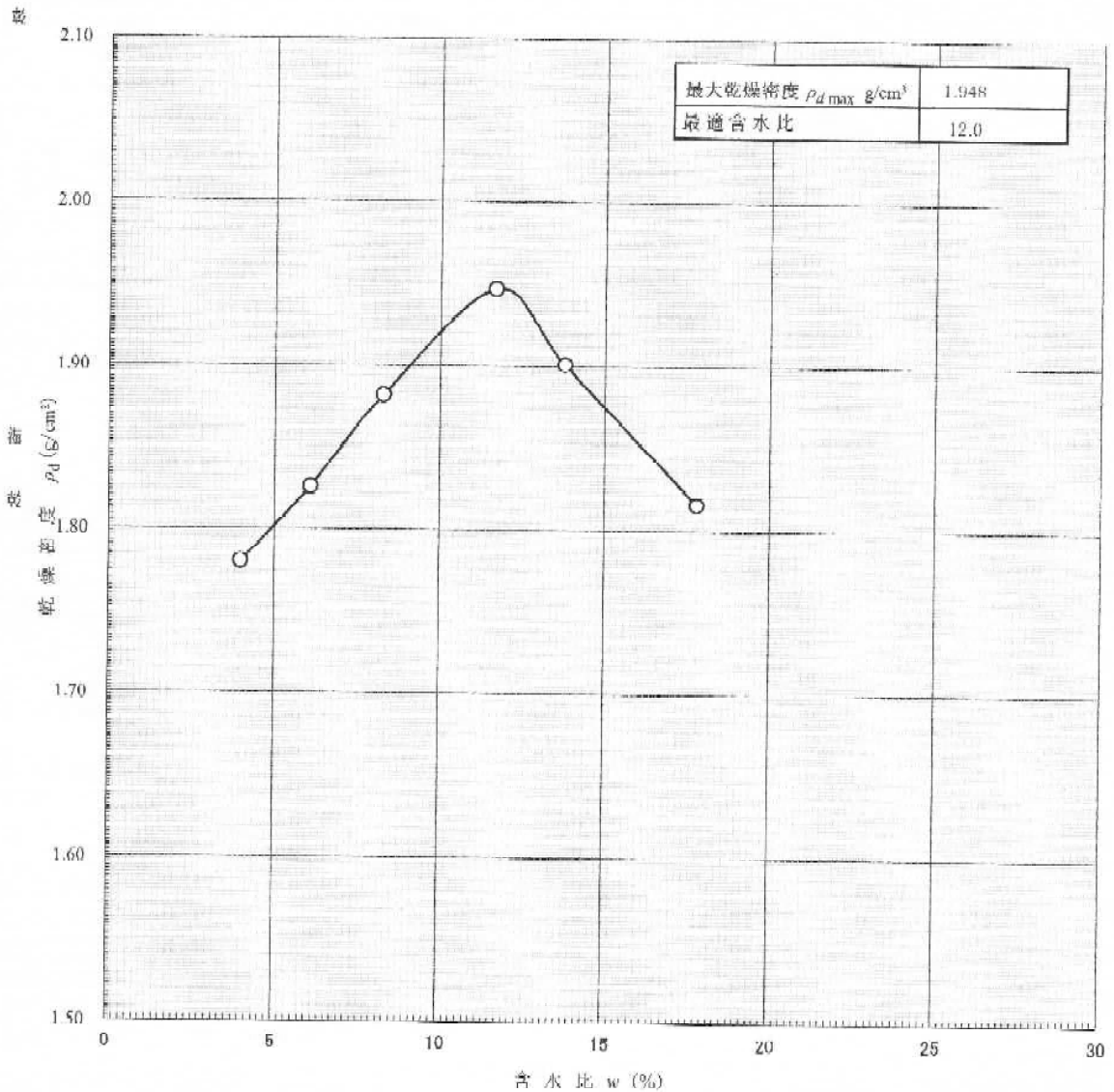
測定 No.	1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1					
測定終了時刻 t_2					
測定時間 $t_2 - t_1$ s	3600	3600	3600	3600	3600
定水位	水位差 h cm	3.8	3.8	3.8	3.8
	透水量 Q cm ³	62.0	64.0	66.0	64.0
	T°Cに対する透水係数 k_T ⁴⁾ m/s	7.35E-6	7.58E-6	7.82E-6	7.58E-6
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm				
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm				
	T°Cに対する透水係数 k_T ⁵⁾ m/s				
測定時の水温 T °C	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
温度補正係数 η_T / η_{15}	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s	5.88E-6	6.06E-6	6.26E-6	6.06E-6	6.26E-6
代表値 k_{15} m/s	6.10E-6				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。
- 4) $k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \times \frac{1}{100}$
- 5) $k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{100}$
 $k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$

JIS A 1210 JGS 0714		突固めによる土の締固め試験 (測定)			
調査件名		平成30年度河川堤防の浸透対策に関する模型実験業務		試験年月日	
試料番号 (深さ)		試験者			
試験方法		A-b		上質名称	
試料の準備方法		乾燥法, 湿潤法		機混合土(香取砂に5、6号砕石を16.7%拌入混合)	
試料の使用方法		繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	
含水比	試料分取後 w_0 %	突固め回数 回/層		モールド	内径 cm
	乾燥処理後 w_1 %	突固め回数 層			高さ ¹⁾ cm
					容積 V cm ³
					質量 m_1 ²⁾ g
測定 No.		1	2	3	4
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾		5877.4	5963.9	6066.6	6202.8
湿潤密度 ρ_t g/cm ³		1.851	1.937	2.039	2.174
平均含水比 w %		4.0	6.1	8.3	11.7
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.780	1.826	1.882	1.947
含水比	容器 No.	17	19	7	21
	m_a	116.43	105.92	91.77	86.01
	m_b	113.07	101.39	86.73	79.17
	m_c	30.21	30.55	28.90	28.26
	w	4.1	6.4	8.7	13.4
含水比	容器 No.	18	20	14	22
	m_a	121.79	103.13	108.05	94.14
	m_b	118.24	98.98	102.18	88.15
	m_c	27.67	26.78	28.21	27.64
	w	3.9	5.7	7.9	9.9
測定 No.		5	6	7	8
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾		6212.4	6164.6		
湿潤密度 ρ_t g/cm ³		2.184	2.136		
平均含水比 w %		14.9	17.7		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.901	1.816		
含水比	容器 No.	23	2		
	m_a	110.94	122.13		
	m_b	100.79	107.79		
	m_c	27.32	27.33		
	w	13.8	17.8		
含水比	容器 No.	25	26		
	m_a	92.54	127.91		
	m_b	83.80	113.06		
	m_c	28.98	28.11		
	w	15.9	17.5		
特記事項		1) 内径 15 cm のモールドの場合はスパーサーディスクの高さを差引く。 2) モールドの質量は底板を含む。 $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w/100}$			

JIS A 1210 JGS 0711		突固めによる土の締固め試験 (締固め特性)					
調査件名		平成30年度河川堤防の浸透対策に関する模型実験業務 試験年月日					
試料番号 (深さ)		試験者					
試験方法	A-b		土質名称		磯混合土(香取砂に5、6号碎石を16.7%ずつ混合)		
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法		ランマー質量 kg	内径 cm	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		
試料の使用方法	繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	高さ ¹⁾ cm	試料調製前の最大粒径mm		
含水比	試料分取後 w_0 %	突固め回数/層		25	モールド ²⁾	内径 cm	10.00
	乾燥処理後 w_1 %	突固め層数		質量 m_1 ³⁾ g		高さ ¹⁾ cm	12.8
測定 No.	1	2	3	4	5	6	
平均含水比 w %	4.0	6.1	8.3	11.7	13.8	17.8	
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.780	1.826	1.882	1.947	1.901	1.816	



特記事項

1) 内径 15 cm のモールドの層厚は入
ペー
サーディスクの高さを差引く。
ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dskt} = \frac{\rho_w}{\rho_w / \rho_s + w / 100}$$

JIS A 1202 JGS 0111	土粒子の密度試験(測定)	
------------------------	--------------	--

調査件名 R1大型模型浸透実験の採取試料 試験年月日 2020年9月24日

試験者 安斉 仁

試料番号(深さ)		R2山砂		
ピクノメータ No		178	179	180
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g		179.064	187.673	191.904
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C		21	21	21
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³		0.9980	0.9980	0.9980
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g		165.662	174.819	179.037
試料の	容器 No	178	179	180
	(炉乾燥試料+容器)質量 g	69.949	91.636	99.253
炉乾燥質量	容器質量 g	48.598	71.144	78.731
	m_s g	21.351	20.492	20.522
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.681	2.677	2.676
平均値 ρ_s g/cm ³		2.678		
試料番号(深さ)				
ピクノメータ No				
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g				
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C				
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³				
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g				
試料の	容器 No			
	(炉乾燥試料+容器)質量 g			
炉乾燥質量	容器質量 g			
	m_s g			
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³				
平均値 ρ_s g/cm ³				
試料番号(深さ)				
ピクノメータ No				
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g				
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C				
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³				
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g				
試料の	容器 No			
	(炉乾燥試料+容器)質量 g			
炉乾燥質量	容器質量 g			
	m_s g			
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³				
平均値 ρ_s g/cm ³				

特記事項

1) ピクノメータの検定結果から求める。

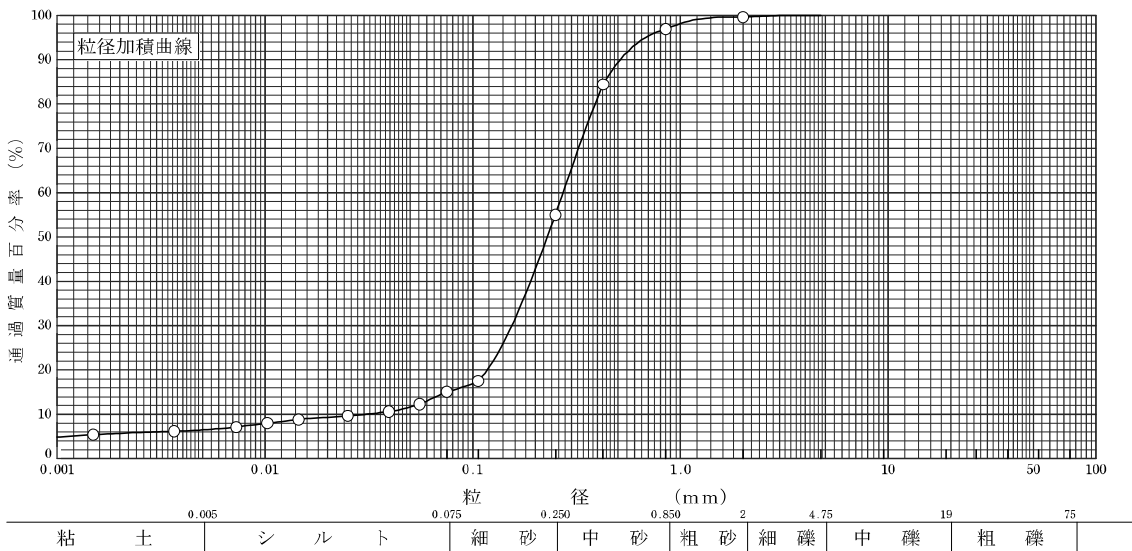
$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \rho_w(T)$$

J I S A 1 2 0 4 J G S 0 1 3 1	<h2 style="margin: 0;">土 の 粒 度 試 験 (粒 径 加 積 曲 線)</h2>	
----------------------------------	---	--

調査件名 R1大型模型浸透実験の採取試料 試験年月日 2020年9月24日

試 験 者 安 齊 仁

試料番号 (深さ)	R2山砂				試料番号 (深さ)		R2山砂
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗 礫 分 %		
ふ る い	75		75		中 礫 分 %		0.0
	53		53		細 礫 分 %		0.4
	37.5		37.5		粗 砂 分 %		2.7
	26.5		26.5		中 砂 分 %		41.9
	19		19		細 砂 分 %		39.9
	9.5		9.5		シルト分 %		8.6
	4.75	100.0	4.75		粘土分 %		6.5
	2	99.6	2		2mmふるい通過質量百分率 %		99.6
	0.850	96.9	0.850		425μmふるい通過質量百分率 %		84.4
	0.425	84.4	0.425		75μmふるい通過質量百分率 %		15.1
分 析	0.250	55.0	0.250		最大粒径 mm		4.75
	0.106	17.5	0.106		60 % 粒径 D_{60} mm		0.272
	0.075	15.1	0.075		50 % 粒径 D_{50} mm		0.229
	0.0555	12.3			30 % 粒径 D_{30} mm		0.154
	0.0395	10.6			10 % 粒径 D_{10} mm		0.0310
	0.0250	9.7			均等係数 U_c		8.76
	0.0145	8.8			曲率係数 U'_c		2.81
	0.0103	8.0			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.678
	0.0073	7.1			使用した分散剤	ヘキサメタリン 酸ナトリウム 10ml	
	0.0037	6.2			溶液濃度、溶液添加量		
0.0015	5.4			20 % 粒径 D_{20} mm		0.117	
				記 号		—○—	



特記事項

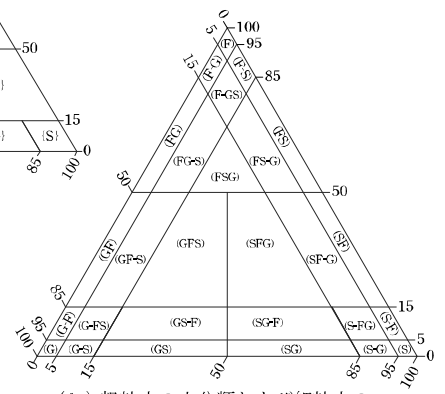
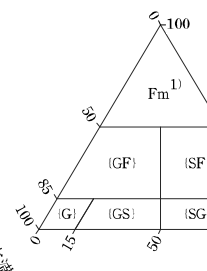
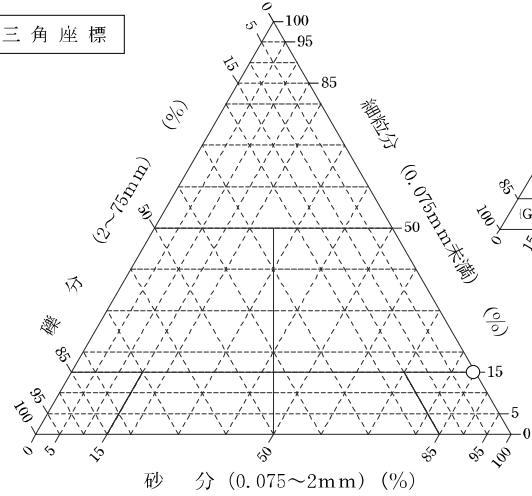
JGS 0051	地盤材料の工学的分類	
----------	------------	--

調査件名 R1大型模型浸透実験の採取試料 試験年月日 2020年9月24日

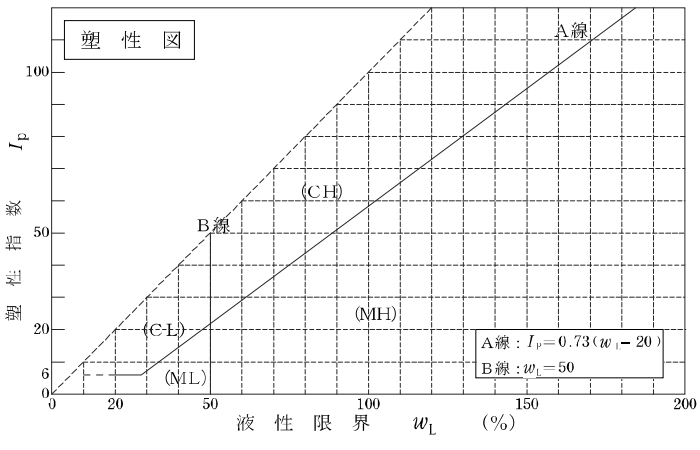
試験者 安斉 仁

試料番号 (深さ)	R2山砂				
石分(75mm以上) %					
礫分(2~75mm) %	0.4				
砂分(0.075~2mm) %	84.5				
細粒分(0.075mm未満) %	15.1				
シルト分(0.005~0.075mm) %	8.6				
粘土分(0.005mm未満) %	6.5				
最大粒径 mm	4.75				
均等係数 U_c	8.76				
液性限界 w_L					
塑性限界 w_p %					
塑性指数 I_p %					
地盤材料の分類名	細粒分質砂				
分類記号	(SF)				
凡例記号	○				

三角座標



(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細区分用三角座標



特記事項 1)主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験 (測定)
------------------------	--------------------

調査件名 R1大型模型浸透実験の採取試料 試験年月日 2020年9月15日

試料番号(深さ) R2山砂 試験者 中野 孝一

試験方法	A-c	土質名称	細粒分質砂			
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モ ル ド	内径 cm	10.00
試料の使用法	繰返し法, 非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ ¹⁾ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %	突固め回数/層	25		容量 V cm ³	1000
	乾燥処理後 w_1 %	突固め層数 層	3		質量 m_1 ²⁾ g	1610
測定 No.	1	2	3	4		
(試料+モ-ルト)質量 m_2 ²⁾ g	3199	3322	3481	3578		
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.589	1.712	1.871	1.968		
平均含水比 w %	5.8	9.8	14.0	18.4		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.502	1.559	1.641	1.662		
含水比	容器 No.	849	835	808	827	
	m_a g	384.8	403.6	407.5	408.7	
	m_b g	370.9	378.8	373.5	365.6	
	m_c g	129.9	127.0	130.7	131.8	
	w %	5.8	9.8	14.0	18.4	
比	容器 No.	861	895	870	889	
	m_a g	381.2	385.7	389.8	385.8	
	m_b g	367.4	362.8	357.3	345.7	
	m_c g	130.6	128.2	125.9	128.0	
	w %	5.8	9.8	14.0	18.4	
測定 No.	5	6	7	8		
(試料+モ-ルト)質量 m_2 ²⁾ g	3554	3494				
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.944	1.884				
平均含水比 w %	22.3	26.5				
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.590	1.490				
含水比	容器 No.	832	872			
	m_a g	477.0	465.3			
	m_b g	413.9	393.9			
	m_c g	130.6	124.6			
	w %	22.3	26.5			
比	容器 No.	900	885			
	m_a g	479.6	509.6			
	m_b g	415.3	430.2			
	m_c g	127.2	129.4			
	w %	22.3	26.4			

特記事項

- 1) 内径15cmのモ-ルトの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
- 2) モ-ルトの質量は底板を含む。

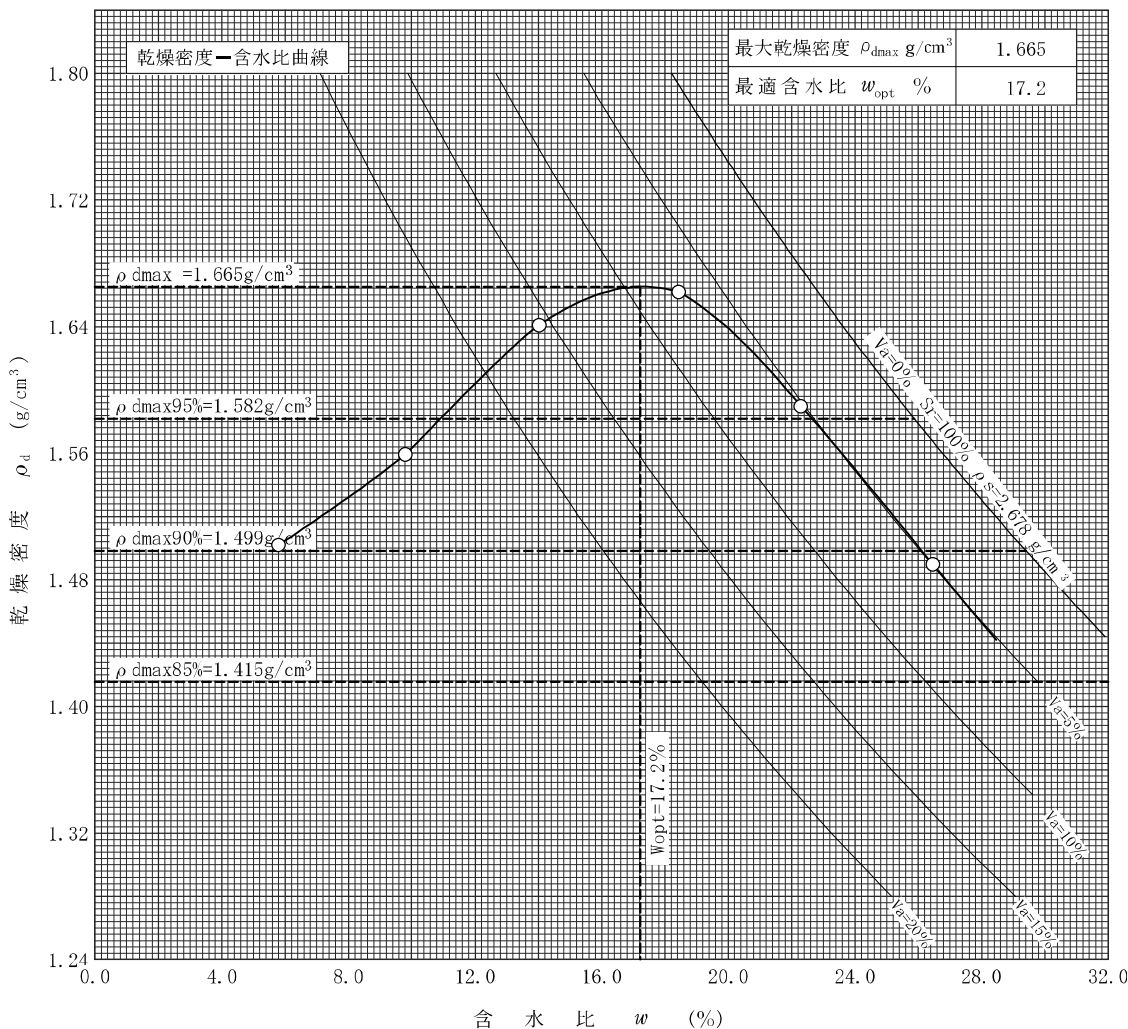
$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + w/100}$$

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験 (締固め特性)
------------------------	-----------------------

調査件名 R1大型模型浸透実験の採取試料 試験年月日 2020年9月15日

試料番号(深さ) R2山砂 試験者 中野 孝一

試験方法	A-c		土質名称		細粒分質砂			
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法		ランマ質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.678	
試料の使用方法	繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	30	試料調整前の最大粒径 mm		4.75	
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層		25	モールド	内径 cm	10.00
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層		3		高さ ¹⁾ cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	5.8	9.8	14.0	18.4	22.3	26.5		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.502	1.559	1.641	1.662	1.590	1.490		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスベ
ーサーディスクの高さを差引く。

ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\rho_u/\rho_s + w/100}$$

土質試験結果一覧表 (材料)

調査件名 R2大型模型浸透試験

整理年月日 2020年12月9日

整理担当者 安斉 仁

試料番号 (深さ)	礫混合土				
一般	湿润密度 ρ_f g/cm ³				
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³				
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.676			
	自然含水比 w_n %				
	間隙比 e				
	飽和度 S_r %				
粒度	石分 (75mm以上) %				
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %				
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %				
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %				
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %				
	最大粒径 mm				
度	均等係数 U_c				
	曲率係数 U_c'				
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %				
	塑性限界 w_P %				
	塑性指数 I_P				
分類	地盤材料の分類名				
	分類記号				
締め固め	試験方法	A-c			
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³	1.901			
	最適含水比 w_{opt} %	12.9			
C B R	試験方法				
	膨張比 r_e %				
	貫入試験後含水比 w_2 %				
	平均CBR %				
コンシ ン 指 数	%修正CBR %				
	突固め回数 回/層				
	コンシ指数 q_c kN/m ²				

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

JIS A 1202 JGS 0111	土 粒 子 の 密 度 試 験 (測 定)	
------------------------	-----------------------	--

調査件名 R2大型模型浸透試験 試験年月日 2020年12月3日

試験者 安斉 仁

試料番号(深さ)		礫混合土				
ピクノメータ No		139	140	141		
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g		188.939	184.624	174.619		
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C		20	20	20		
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³		0.9982	0.9982	0.9982		
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g		175.779	171.766	161.643		
試料の	容器 No	139	140	141		
	(炉乾燥試料+容器)質量 g	94.813	86.226	70.335		
炉乾燥質量	容器質量 g	73.829	65.741	49.616		
	m_s g	20.984	20.485	20.719		
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.677	2.681	2.671		
平均値 ρ_s g/cm ³		2.676				
試料番号(深さ)						
ピクノメータ No						
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g						
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C						
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³						
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g						
試料の	容器 No					
	(炉乾燥試料+容器)質量 g					
炉乾燥質量	容器質量 g					
	m_s g					
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³						
平均値 ρ_s g/cm ³						
試料番号(深さ)						
ピクノメータ No						
(試料+蒸留水+ピクノメータ)の質量 m_b g						
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C						
T °Cにおける蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³						
温度 T °Cの蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメータ)質量 $m_a^{1)}$ g						
試料の	容器 No					
	(炉乾燥試料+容器)質量 g					
炉乾燥質量	容器質量 g					
	m_s g					
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³						
平均値 ρ_s g/cm ³						

特記事項

1) ピクノメータの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \rho_w(T)$$

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験 (測定)	
------------------------	--------------------	--

調査件名 R2大型模型浸透試験 試験年月日 2020年12月7日

試料番号(深さ) 礫混合土 試験者 中野 孝一

試験方法	A-c	土質名称				
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モ ル ド	内径 cm	10.00
試料の使用	繰返し法, 非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ ¹⁾ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %	突固め回数/層	25		容量 V cm ³	1000
	乾燥処理後 w_1 %	突固め層数 層	3		質量 m_1 ²⁾ g	1610
測定 No.	1	2	3	4		
(試料+モ-ルト)質量 m_2 ²⁾ g	3488	3564	3680	3757		
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.878	1.954	2.070	2.147		
平均含水比 w %	5.0	7.1	10.6	12.9		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.789	1.824	1.872	1.901		
含水比	容器 No.	852	872	846	811	
	m_a g	482.2	472.7	471.1	505.6	
	m_b g	465.4	449.1	438.2	461.2	
	m_c g	131.9	124.6	131.2	130.7	
	w %	5.0	7.3	10.7	13.4	
比	容器 No.	889	876	899	824	
	m_a g	496.4	472.5	475.1	533.7	
	m_b g	479.1	450.0	442.1	489.1	
	m_c g	128.0	128.5	127.4	130.5	
	w %	4.9	7.0	10.5	12.4	
測定 No.	5	6	7	8		
(試料+モ-ルト)質量 m_2 ²⁾ g	3752	3707				
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	2.142	2.097				
平均含水比 w %	15.0	17.0				
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.862	1.792				
含水比	容器 No.	833	877			
	m_a g	527.0	482.6			
	m_b g	475.4	433.2			
	m_c g	130.3	129.4			
	w %	15.0	16.3			
比	容器 No.	900	878			
	m_a g	500.5	491.3			
	m_b g	451.6	436.4			
	m_c g	127.2	128.4			
	w %	15.1	17.8			

特記事項

- 1) 内径15cmのモ-ルトの場合はスペ-サ-ディスクの高さを差引く。
- 2) モ-ルトの質量は底板を含む。

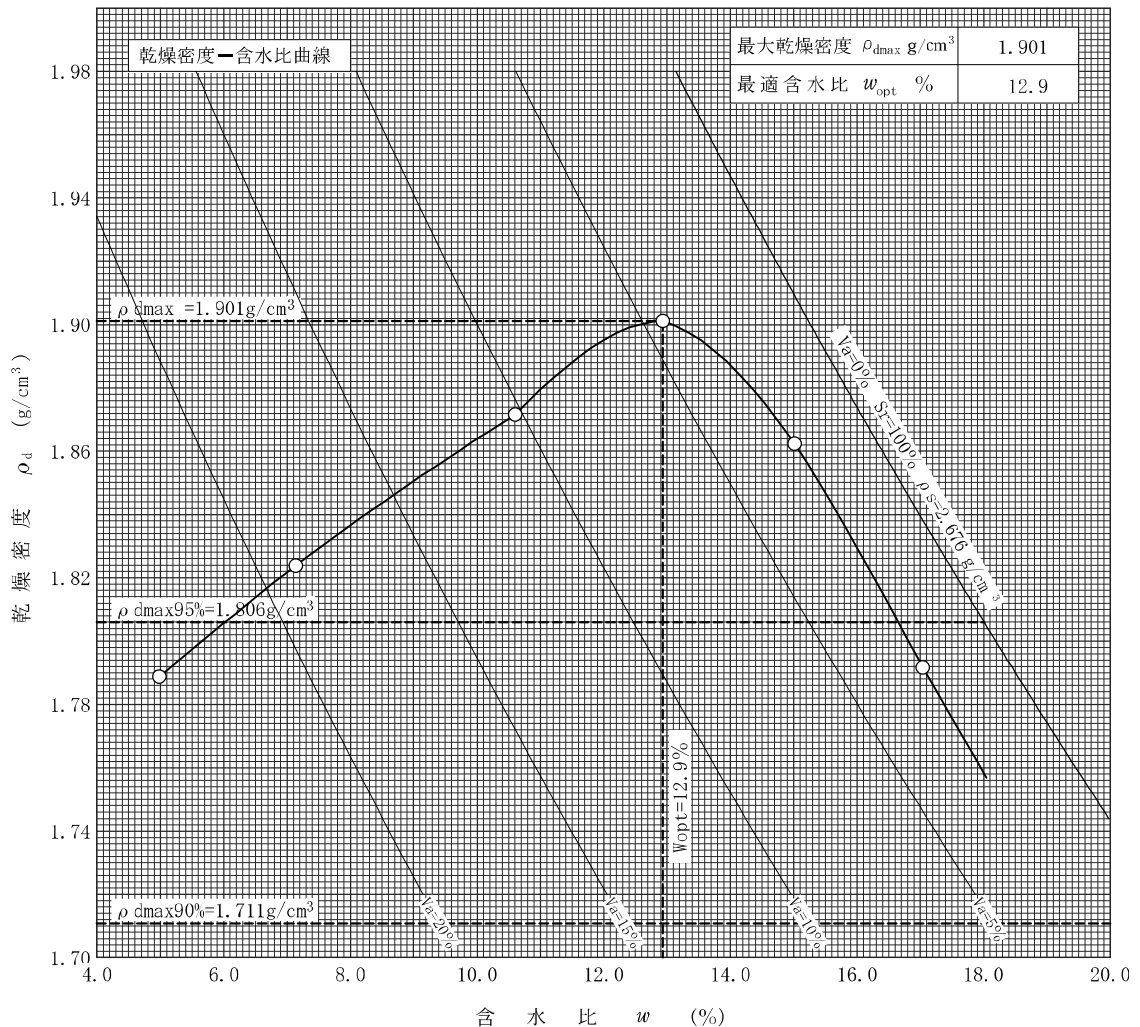
$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + w/100}$$

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験 (締固め特性)
------------------------	-----------------------

調査件名 R2大型模型浸透試験 試験年月日 2020年12月7日

試料番号(深さ) 礫混合土 試験者 中野 孝一

試験方法	A-c		土質名称					
試料の準備方法	乾燥法, 湿潤法		ランマ質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.676		
試料の使用方法	繰返し法, 非繰返し法		落下高さ cm	30	試料調整前の最大粒径 mm			
含水比	試料分取後 w_0 %			突固め回数 回/層	25	モールド	内径 cm	10.00
	乾燥処理後 w_1 %			突固め層数 層	3		高さ ¹⁾ cm	12.73
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	5.0	7.1	10.6	12.9	15.0	17.0		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.789	1.824	1.872	1.901	1.862	1.792		



特記事項

1) 内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。

ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{d_{sat}} = \frac{\rho_w}{\rho_u/\rho_s + w/100}$$

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 R2 大型模型浸透試験 整理年月日 2021年2月18日

整理担当者 安斉 仁

試料番号 (深さ)	R2山砂	礫混合土			
一般	湿润密度 ρ_r g/cm ³				
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³				
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.676		
	自然含水比 w_n %				
	間隙比 e				
	飽和度 S_r %				
粒度	石分 (75mm以上) %				
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %		32.7		
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %		56.4		
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %		7.9		
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %		3.0		
	最大粒径 mm		26.5		
	均等係数 U_c		9.43		
曲率係数 U_c'		1.54			
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %				
	塑性限界 w_P %				
	塑性指数 I_P				
分類	地盤材料の分類名		細粒分まじり礫質砂		
	分類記号		(SG-F)		
圧密	試験方法				
	圧縮指数 C_c				
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²				
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²				
	試験条件				
せん断	全応力 $\begin{matrix} c & \text{kN/m}^2 \\ \phi & \circ \end{matrix}$				
	有効応力 $\begin{matrix} c' & \text{kN/m}^2 \\ \phi' & \circ \end{matrix}$				
	透水係数 k15 m/sec	7.89E-05	4.23E-05		

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

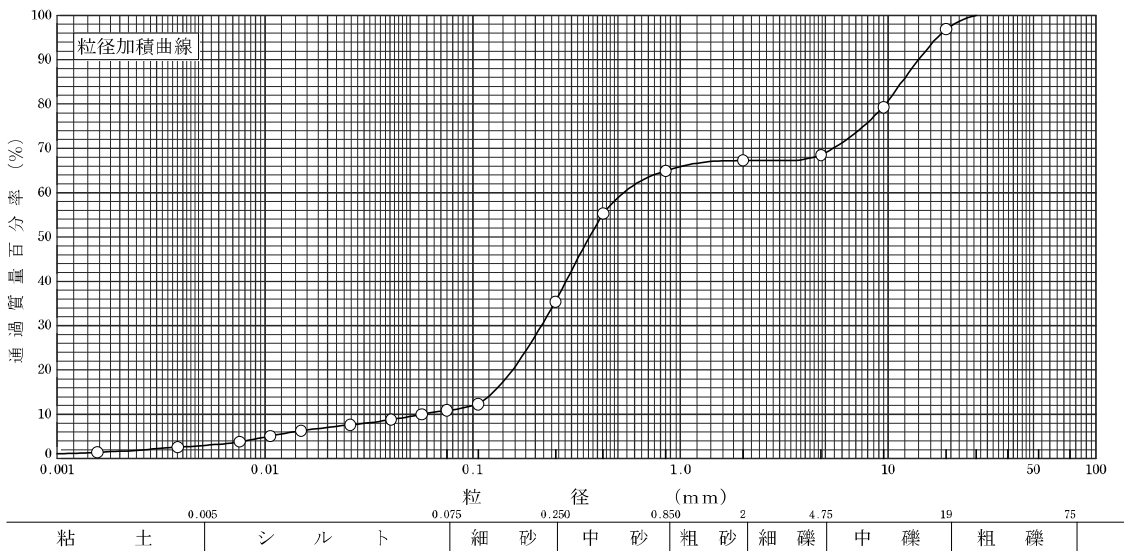
[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

JIS A 1204 JGS 0131	土の粒度試験 (粒径加積曲線)
------------------------	-----------------

調査件名 R2 大型模型浸透試験 試験年月日 2021年2月17日

試験者 安斉 仁

試料番号 (深さ)	礫混合土				試料番号 (深さ)		礫混合土	
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗 礫 分 %		中 礫 分 %	
ふ る い 分 析	75		75		粗 礫 分 %		3.1	
	53		53		中 礫 分 %		28.4	
	37.5		37.5		細 礫 分 %		1.2	
	26.5	100.0	26.5		粗 砂 分 %		2.4	
	19	96.9	19		中 砂 分 %		29.5	
	9.5	79.3	9.5		細 砂 分 %		24.5	
	4.75	68.5	4.75		シルト分 %		7.9	
	2	67.3	2		粘土分 %		3.0	
	0.850	64.9	0.850		2mmふるい通過質量百分率 %		67.3	
	0.425	55.3	0.425		425μmふるい通過質量百分率 %		55.3	
沈 降 分 析	0.250	35.4	0.250		75μmふるい通過質量百分率 %		10.9	
	0.106	12.3	0.106		最大粒径 mm		26.5	
	0.075	10.9	0.075		60 % 粒径 D_{60} mm		0.533	
	0.0569	10.0			50 % 粒径 D_{50} mm		0.364	
	0.0405	8.8			30 % 粒径 D_{30} mm		0.215	
	0.0257	7.6			10 % 粒径 D_{10} mm		0.0565	
	0.0149	6.3			均等係数 U_c		9.43	
	0.0106	5.1			曲率係数 U'_c		1.54	
	0.0076	3.8			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.676	
	0.0038	2.6			使用した分散剤		ヘキサメタリン酸ナトリウム 10ml	
0.0016	1.4			溶液濃度、溶液添加量				
				20 % 粒径 D_{20} mm		0.156		
				記 号		—○—		



特記事項

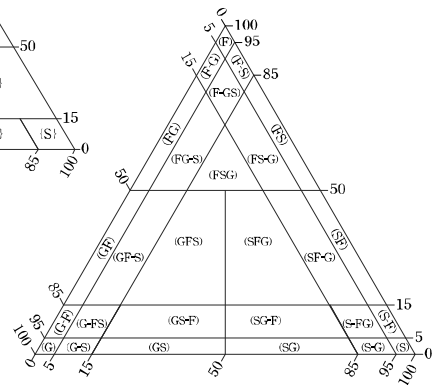
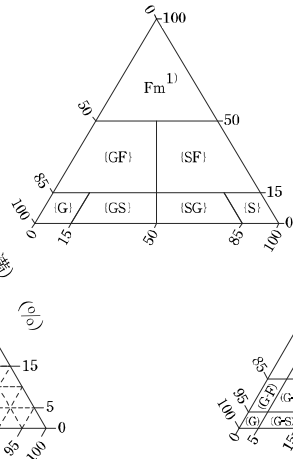
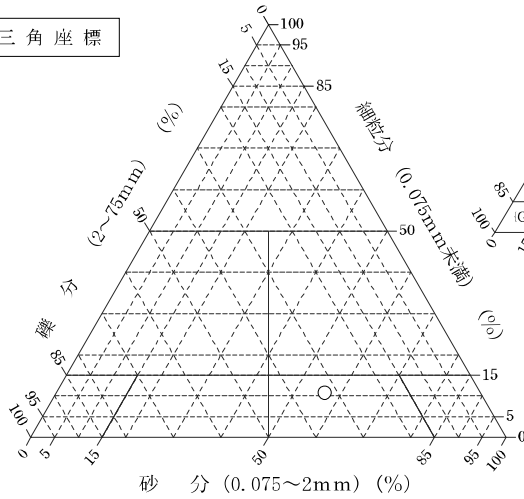
JGS 0051	地盤材料の工学的分類
----------	------------

調査件名 R2 大型模型浸透試験 試験年月日 2021年2月17日

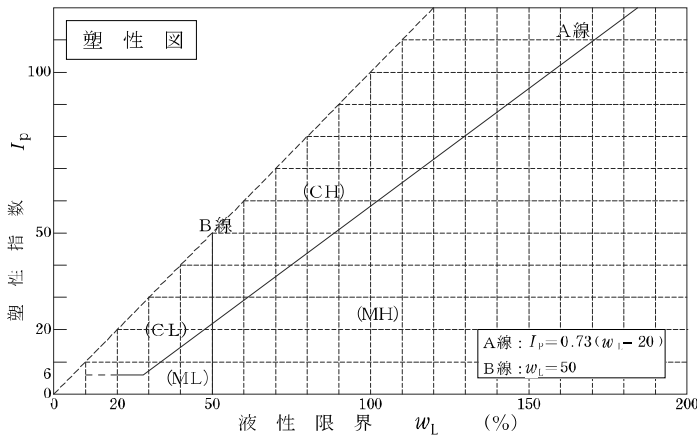
試験者 安斉 仁

試料番号 (深さ)	礫混合土		
石分(75mm以上) %			
礫分(2~75mm) %	32.7		
砂分(0.075~2mm) %	56.4		
細粒分(0.075mm未満) %	10.9		
シルト分(0.005~0.075mm) %	7.9		
粘土分(0.005mm未満) %	3.0		
最大粒径 mm	26.5		
均等係数 U_c	9.43		
液性限界 w_L			
塑性限界 w_p %			
塑性指数 I_p %			
地盤材料の分類名	細粒分まじり礫質砂		
分類記号	(SG-F)		
凡例記号	○		

三角座標



(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細区分用三角座標



特記事項 1)主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 R2 大型模型浸透試験 試験年月日 2021年2月10日

試料番号(深さ) R2山砂 試験者 安斉 仁

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm		質量 $m_2^{2)}$ g	2020	
	断面積 a cm ²			試験用水	水道水

供試体作製, 飽和方法 乾燥密度1.432g/cm³ W=14.7%に合わせて作製
水浸脱気法

供試体寸法	供試体No.	1	供試体の状態		試験前	試験後 ³⁾
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒)質量 m_1 g	3662	3916
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	1642	1896
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.642	1.896
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_t / (1+w/100)$ g/cm ³	1.432	1.432
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
		飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %				

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器No.	832	844	866	138	
	m_a g	318.3	319.7	317.5	2601.6	
	m_b g	294.9	294.3	294.1	2137.2	
	m_c g	130.6	130.9	130.7	705.4	
w, w_f %	14.2	15.5	14.3	32.4		
平均値 %		14.7			32.4	

測定 No.	1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻 t_2	01:00:00	01:30:00	00:30:00	00:50:00	01:00:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s	3600	5400	1800	3000	3600
定水位					
水位差 h cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
透水量 Q cm ³	308.6	472.7	154.7	256.1	303.4
$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	6.95E-05	7.09E-05	6.97E-05	6.92E-05	6.83E-05
変水位					
時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s					
測定時の水温 T °C	14	14	14	14	0
温度補正係数 η_7/η_{15}	1.027	1.027	1.027	1.027	1.575
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s	7.13E-05	7.29E-05	7.15E-05	7.11E-05	1.08E-04
代表値 k_{15} m/s	7.89E-05				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_7 / \eta_{15}$$

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)
------------------------	-------------------

調査件名 R2 大型模型浸透試験 試験年月日 2021年2月10日

試料番号(深さ) 礫混合土 試験者 安斉 仁

試料	土質名称	細粒分まじり礫質砂	透水円筒	容器 No.	
	最大粒径 mm	26.500		内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.676		高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm			質量 $m_2^{2)}$ g	2028
	断面積 a cm ²			試験用水	水道水

供試体作製, 飽和方法 乾燥密度1.711g/cm³ W=12.9%に合わせて作製
水浸脱気法

供試体寸法	供試体No.		供試体の状態	(供試体+透水円筒)質量 m_1 g	試験前	試験後 ³⁾
	直径 D cm	10.00		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	3959	4092
	断面積 A cm ²	78.54		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.931	2.064
	長さ L cm	12.73		乾燥密度 $\rho_d = \rho_t / (1+w/100)$ g/cm ³	1.711	1.711
	体積 V cm ³	999.81		間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$	0.564	0.564
				飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %	61.1	97.9

含水比	試験前			試験後 ³⁾		
	容器No.	806	823	900	91	
	m_a g	467.1	488.6	477.1	2748.0	
	m_b g	427.3	447.7	438.5	2396.1	
	m_c g	128.7	131.0	127.2	689.6	
	w, w_f %	13.3	12.9	12.4	20.6	
平均値 %	12.9			20.6		

測定 No.	1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻 t_2	01:15:00	00:50:00	00:40:00	01:00:00	01:20:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s	4500	3000	2400	3600	4800
定水位					
水位差 h cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
透水量 Q cm ³	239.5	159.0	118.2	176.1	238.1
$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	4.31E-05	4.30E-05	3.99E-05	3.96E-05	4.02E-05
変水位					
時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s					
測定時の水温 T °C	14	14	14	14	14
温度補正係数 η_7/η_{15}	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s	4.43E-05	4.41E-05	4.10E-05	4.07E-05	4.13E-05
代表値 k_{15} m/s	4.23E-05				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_7 / \eta_{15}$$

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 大型模型開削調査採取試料 (21. 9. 14)

整理年月日

2021年10月5日

整理担当者

安齊 仁

試料番号 (深 さ)		大型模型① 山砂	大型模型② 礫混合土 (山砂+礫)			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³					
	自然含水比 w_n %					
	間隙比 e					
	飽和度 S_r %					
粒度	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %					
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %					
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %					
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %					
	最大粒径 mm					
	均等係数 U_c					
曲率係数 U_c'						
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %					
	塑性限界 w_P %					
	塑性指数 I_P					
分類	地盤材料の 分類名					
	分類記号					
圧密	試験方法					
	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²					
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²					
	試験条件					
せん断	全応力	c kN/m ²				
		ϕ °				
	有効応力	c' kN/m ²				
		ϕ' °				
透水係数 k15 m/sec	1. 25E-04	2. 14E-05				

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0. 0102kgf/cm²]

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 大型模型開削調査採取試料(21.9.14) 試験年月日 2021年10月4日

試料番号(深さ) 大型模型① 山砂 試験者 安斉 仁

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	1
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm		試験用水	質量 $m_2^{2)}$ g	2020.0
	断面積 a cm ²			水道水	

供試体作製, 飽和方法 乱さない 水浸脱気法

供試体寸法	供試体No.	1	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	5.00		(供試体+透水円筒) 質量 m_1 g	2164.6	2189.8
	断面積 A cm ²	19.63		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	144.6	169.8
	長さ L cm	4.56		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.615	1.896
	体積 V cm ³	89.54		乾燥密度 $\rho_d = / (1+w/100)$ g/cm ³	1.430	1.431
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
		飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %				

含水比		試験前			試験後 ³⁾		
	容器No.	145			878		
	m_a g	17.27			169.20		
	m_b g	15.35			127.64		
	m_c g	0.52			0.00		
	w, w_f %	12.9			32.6		
	平均値 %	12.9			32.6		

測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻	t_1	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻	t_2	01:00:00	01:00:00	01:10:00	00:50:00	01:15:00
測定時間	$t_2 - t_1$ s	3600	3600	4200	3000	4500
定水位	水位差 h cm	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	透水量 Q cm ³	255.8	258.2	334.5	237.9	370.6
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	1.38E-04	1.39E-04	1.54E-04	1.53E-04	1.59E-04
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s					
測定時の水温	T °C	22	22	22	22	22
温度補正係数	η_T/η_{15}	0.839	0.839	0.839	0.839	0.839
15°Cに対する透水係数	k_{15} m/s	1.15E-04	1.16E-04	1.29E-04	1.29E-04	1.34E-04
代表値	k_{15} m/s	1.25E-04				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 大型模型開削調査採取試料(21.9.14) 試験年月日 2021年10月1日

試料番号(深さ) 大型模型② 礫混合土(山砂+礫) 試験者 安斉 仁

試料	土質名称		透	容器 No.	2
	最大粒径 mm		水	内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		円	高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ	1) 内径 cm		筒	質量 $m_2^{2)}$ g	2049
	断面積 a cm ²			試験用水	水道水

供試体作製, 飽和方法 W=11.6%、 $\rho_d=1.736$ Mg/m³の密度に合わせて3層で作製
水浸脱気法

供試体寸法	供試体No.	2	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒) 質量 m_1 g	3986	4140
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	1937	2091
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.937	2.091
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = / (1+w/100)$ g/cm ³	1.736	1.736
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
				飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %		

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器No.	846	861	862	108	
	m_a g	311.8	331.7	314.3	2794.6	
	m_b g	292.5	311.1	295.4	2438.7	
	m_c g	131.2	130.6	129.8	700.8	
	w, w_f %	12.0	11.4	11.4	20.5	
	平均値 %	11.6			20.5	

測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻 t_2		01:10:00	00:40:00	01:40:00	01:40:00	01:50:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s		4200	2400	6000	6000	6600
定水位	水位差 h cm	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	透水量 Q cm ³	310.0	172.3	423.7	412.8	451.0
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	2.66E-05	2.59E-05	2.54E-05	2.48E-05	2.46E-05
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s					
測定時の水温 T $^\circ\text{C}$		22	22	22	22	22
温度補正係数 η_T/η_{15}		0.839	0.839	0.839	0.839	0.839
15 $^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_{15} m/s		2.23E-05	2.17E-05	2.13E-05	2.08E-05	2.07E-05
代表値 k_{15} m/s		2.14E-05				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)

調査件名 大型模型開削調査採取試料 (21. 11. 4)

整理年月日

2021年11月19日

整理担当者

安齊 仁

試料番号 (深 さ)		大型模型③ 山砂	大型模型④ 礫混合土 (山砂+礫)			
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³					
	自然含水比 w_n %					
	間隙比 e					
	飽和度 S_r %					
粒度	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %					
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %					
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %					
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %					
	最大粒径 mm					
	均等係数 U_c					
曲率係数 U_c'						
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %					
	塑性限界 w_P %					
	塑性指数 I_P					
分類	地盤材料の 分類名					
	分類記号					
圧密	試験方法					
	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_c kN/m ²					
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m ²					
	試験条件					
せん断	全応力	c kN/m ²				
		ϕ °				
	有効応力	c' kN/m ²				
		ϕ' °				
透水係数 k15 m/sec	1.35E-04	3.17E-05				

特記事項

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 大型模型開削調査採取試料(21.11.4) 試験年月日 2021年11月17日

試料番号(深さ) 大型模型③ 山砂 試験者 安斉 仁

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	1
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm		試験用水	質量 $m_2^{2)}$ g	2020.0
	断面積 a cm ²			水道水	

供試体作製, 飽和方法	乱さない 水浸脱気法				
----------------	---------------	--	--	--	--

供試体寸法	供試体No.	1	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	5.00		(供試体+透水円筒)質量 m_1 g	2177.1	2192.9
	断面積 A cm ²	19.63		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	157.1	172.9
	長さ L cm	4.52		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.770	1.948
	体積 V cm ³	88.75		乾燥密度 $\rho_d = / (1+w/100)$ g/cm ³	1.515	1.515
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
		飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %				

含水比	試験前			試験後 ³⁾		
	容器No.	189		824		
	m_a g	19.43		168.88		
	m_b g	16.70		131.36		
	m_c g	0.52		0.00		
	w, w_f %	16.9		28.6		
平均値 %	16.9			28.6		

測定 No.	1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻 t_2	01:00:00	00:50:00	01:20:00	00:50:00	01:00:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s	3600	3000	4800	3000	3600
定水位	水位差 h cm	1.6	1.6	1.6	1.6
	透水量 Q cm ³	125.4	1105.4	160.0	107.6
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	5.01E-05	5.30E-04	4.80E-05	5.16E-05
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm				
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm				
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s				
測定時の水温 T °C	18	18	18	18	18
温度補正係数 η_T/η_{15}	0.925	0.925	0.925	0.925	0.925
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s	4.64E-05	4.90E-04	4.44E-05	4.77E-05	4.81E-05
代表値 k_{15} m/s	1.35E-04				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

JIS A 1218 JGS 0311	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
------------------------	-------------------	--

調査件名 大型模型開削調査採取試料(21.11.4) 試験年月日 2021年11月15日

試料番号(深さ) 大型模型④ 礫混合土(山砂+礫) 試験者 安斉 仁

試料	土質名称		透水管	容器 No.	2
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³			高さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm			質量 $m_2^{2)}$ g	2028
	断面積 a cm ²			試験用水	水道水

供試体作製, 飽和方法 W=11.6%、 $\rho_d=1.736$ Mg/m³の密度に合わせて3層で作製
水浸脱気法

供試体寸法	供試体No.	1	供試体の状態	試験前	試験後 ³⁾	
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水管)質量 m_1 g	3966	4116
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_1 - m_2$ g	1938	2088
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.938	2.088
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = / (1+w/100)$ g/cm ³	1.736	1.736
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$		
				飽和度 $S_r = w \rho_s / (e \rho_w)$ %		

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器No.	830	866	897	92	
	m_a g	309.8	373.5	370.4	2760.5	
	m_b g	290.8	348.3	345.7	2414.1	
	m_c g	131.0	130.7	130.2	705.6	
	w, w_f %	11.9	11.6	11.5	20.3	
	平均値 %	11.6			20.3	

測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1		00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
測定終了時刻 t_2		01:00:00	00:50:00	01:00:00	01:20:00	00:45:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s		3600	3000	3600	4800	2700
定水位	水位差 h cm	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
	透水量 Q cm ³	381.3	315.8	379.9	488.0	276.5
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{4)}$ m/s	3.58E-05	3.55E-05	3.56E-05	3.43E-05	3.46E-05
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm					
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm					
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{5)}$ m/s					
測定時の水温 T °C		19	19	19	19	19
温度補正係数 η_T/η_{15}		0.902	0.902	0.902	0.902	0.902
15°Cに対する透水係数 k_{15} m/s		3.23E-05	3.21E-05	3.21E-05	3.10E-05	3.12E-05
代表値 k_{15} m/s		3.17E-05				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水管, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4431 March 2022

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 電話 029-879-6754