

気候変動による降雨量増加を考慮した実大試験堤防への散水実験

Full scale test levee watering experiment considering the increase in rainfall due to climate change.

(第 62 回地盤工学会北海道支部技術報告会 北海道支部 発表論文の再構成)

共通事業本部 地質部 不動 充
共通事業本部 地質部 鈴木 智之

釧路川では、平成 28 年 8 月、記録的な降雨により釧路川左岸 45.8～46.0k の川表で法面すべり等の河川被害が発生した。被災後から調査・検討を行い、平成 30 年には被災メカニズム解明を反映した解析結果から対策工法は法面緩勾配化（3 割以上）が妥当であると結論を得た。本実験は、3 割勾配の試験堤防に対し、堤防の安定検討への反映を目的とし、釧路川流域の計画降雨及び気候変動を考慮した降雨を人工的に作用させ、降雨浸透に対する堤体の強度変化や浸透挙動を調査したものである。

1 はじめに

釧路川では、平成 28 年 8 月に 3 つの台風上陸に伴い、観測史上最多の記録的な降雨によって左岸 45.8～46.0k の川表で堤防法面すべりの河川被害が発生した。被災後は被災要因の検証や復旧工法が検討され、同年に復旧されている¹⁾。被災直後からこれまでの調査や検討により、被災は降雨が堤防法面に浸透し、法面が飽和状態となり被災した可能性が考えられた²⁾。このため、筆者らは平成 30 年に被災堤防を再現した実大試験堤防に対して、被災時の降雨履歴を再現した散水実験を行い、被災メカニズムの解明を試みた³⁾。さらに被災メカニズム解明を反映した浸透流及び安定解析結果から、法面勾配は 3 割以上が妥当であるとの結論を得た²⁾。このような経緯から現在、法面すべりの対策として法面の緩勾配化が検討されており、釧路川で検討されている法勾配 3 割の試験堤防が令和 2 年に造成された。試験堤防には、釧路川の堤防材料として主に使用される材料を用いており、実堤防の条件が再現されている。

本実験は、3 割法勾配の試験堤防に対して、堤防の安定検討への反映を目的として、釧路川流域における計画降雨及び気候変動を考慮した降雨を人工的に作用させ、降雨浸透に対する堤体の強度変化や浸透挙動を調査したものである。

2 実験概要

散水実験は、釧路川左岸 44.6k 付近の洪水敷に造成された実物大の試験堤防 2 堤（写真 2.1）に対して実施した。降雨は、釧路川流域における計画降雨 213mm 及び当該地周辺流域の気候変動を考慮した降雨 315mm を与えた。

試験堤防は、No.1 と No.2 が造成されており、No.2 の試験堤防には、堤内側法尻にドレーン工が設置されている。また、実験中の堤体内水位を計測する目的で水位計、堤体への降雨の浸透挙動を把握する目的で土壌水分計が設置されており、実験中の降雨の浸透挙動や浸潤面を観測した。実験の各段階では法面に対してポータブルコーン貫入試験を実施し、法面強度と降雨の浸透挙動の関係性について調査した。



写真 2.1 試験堤防全景

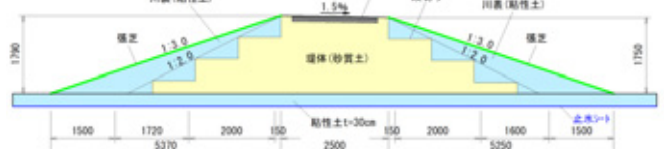


図 2.1 試験堤防標準図(試験堤防 No. 1)

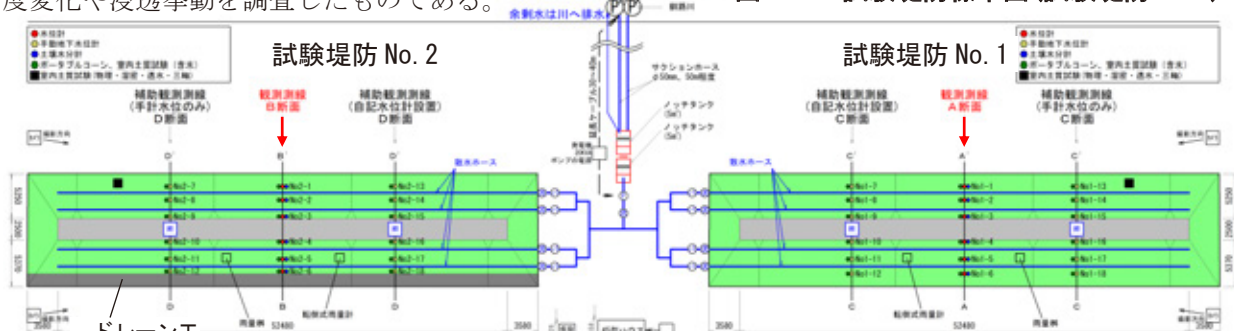


図 2.2 試験堤防平面図

3 実験方法

実験の方法及び試験堤防のモデル化の詳細を以下に示す。

3.1 試験堤防の土質

試験堤防の土質は、釧路川で実際に使用されている土質が使用されており、堤体は細粒分含有率が20%程度の砂質土で構成し、川表、川裏法面の表層は、細粒分含有率40%程度の中間土(ここでは粘性土扱いとする)で拡幅されている(図 3.1)。堤体の砂質土は近傍の土取り場(山)から採取し、法面表層の粘性土は高水敷より採取した。

表 3.1 盛土材料の物性値

盛土材料	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	含水比 Wn (%)	飽和度 Sr (%)	透水係数 K (m/s)
堤体土(砂質土)	1.713	24.9	73.6	7.22×10^{-5}
拡幅土(粘性土)	1.477	33.7	65.8	1.27×10^{-5}

3.2 試験堤防の形状,境界条件,観測計器の配置

試験堤防の法面勾配は3割勾配である。境界条件は、今回の実験が法面への降雨の浸透の把握等を目的としており、かつ、被災時の基礎地盤が粘性土(不透水性)であったことから、基礎地盤表面には止水シートと粘性土が敷設されている。また、被災箇所(堤防天端)には、アスファルト舗装が施工されていることから、試験堤防に対しても同様にアスファルト舗装が施工されている。これにより、堤体内水位の基礎地盤への浸透、堤防天端からの雨水の浸透などの影響を排除することができ、不透水性を確保することが可能となった。

表 3.2 観測項目

測線	項目
観測測線 (A, B)	水位計 土壌水分計 ポータブルコン入試験
補助観測測線 (C, D)	自記水位計(片側のみ) ポータブルコン入試験

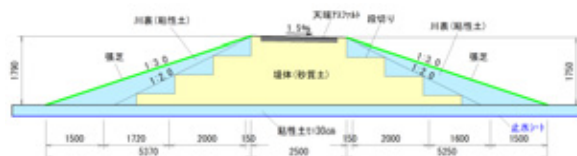


図 3.1 試験堤防横断面図 (試験堤防 No. 1)

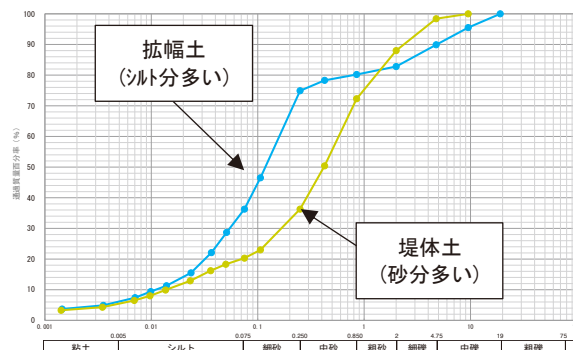


図 3.2 粒径加積曲線

観測計器は、水位計と土壌水分計を設置し、実験中の堤体内水位と体積含水率を継続的に観測した。水位計の設置位置は、川表と川裏法面のそれぞれの法肩、法面中央、法尻とし、各水位計の近傍に土壌水分計(深度0.20m, 0.40m, 0.60m, 0.80m)を設置した(図 3.3)。水位計や土壌水分計の観測は、試験前～試験終了の翌日まで実施した。観測は、試験堤防縦断方向中央の観測測線(A,B)を主要な観測測線とし、その上下流に一定の離れで補助観測測線(C,D)を設置した(図 3.4)。

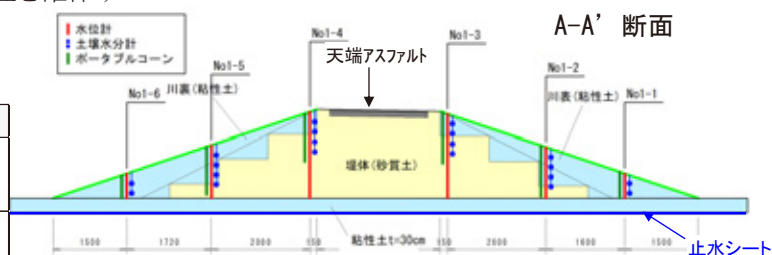


図 3.3 観測箇所横断面図 (試験堤防 No. 1)

試験堤防 No. 1

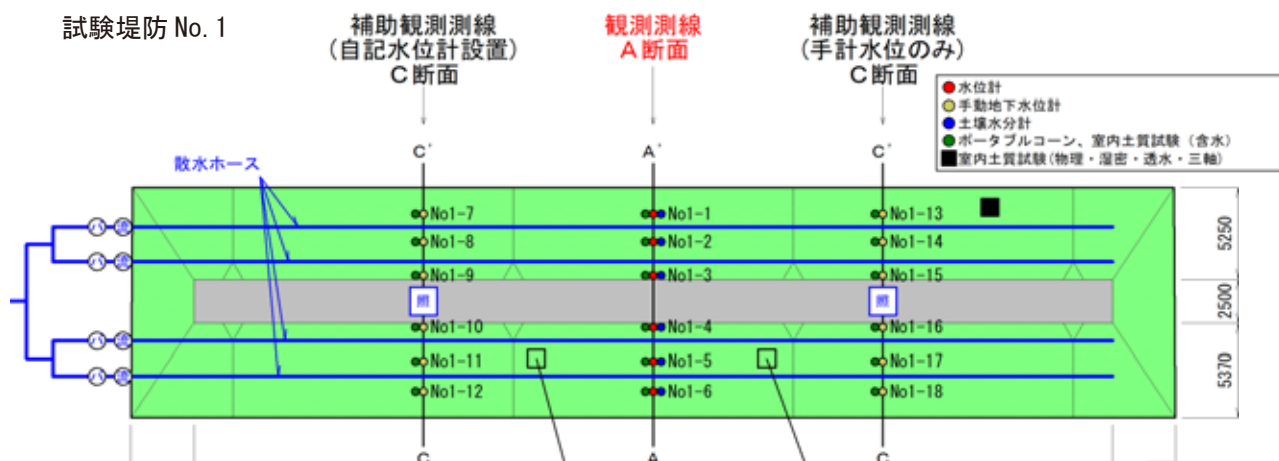


図 3.4 観測箇所平面図 (試験堤防 No. 1)

3.3 散水方法

散水は、散水孔の空いた農業用散水ホースを川表、川裏法面にそれぞれ設置し、平面的な散水を行った(写真 3.1)。

散水は、釧路川から水中ポンプにより取水した水をノッチタンクへ貯水し、ノッチタンクから給水ポンプを用いて農業用散水ホースへ給水した。ノッチタンクに貯水した際には、ノッチタンク内で濁水処理を行い、ホースや機器類の目詰まりを防ぐためにゴミを除去するよう計画した。給水ポンプには、圧力を一定圧力に制御することが可能なポンプを用い、長時間安定して散水ホースへの給水を行うことを可能とした。降雨量は、事前降雨(5mm/h×2 時間)、計画降雨(10mm/h×21.3 時間、総降雨量 213mm)、気候変動を考慮した降雨(10mm/h×21.3h+20mm/h×5.1 時間、総降雨量 315mm)を与える計画とした。降雨強度は、各散水ホースに設置したバルブ及び流量計により送水量を調整し、送水量と散水面積により調整した。気候変動を考慮した降雨については、試験堤防 No.1 のみを対象とし、No.2 の散水ホースを移設することで 20mm/h の降雨を作用させた。

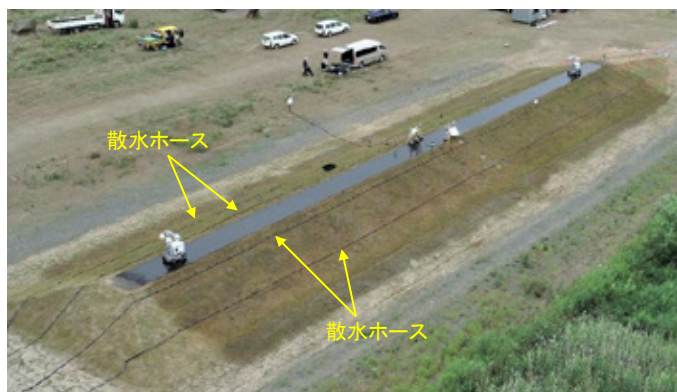


写真 3.1 散水ホース

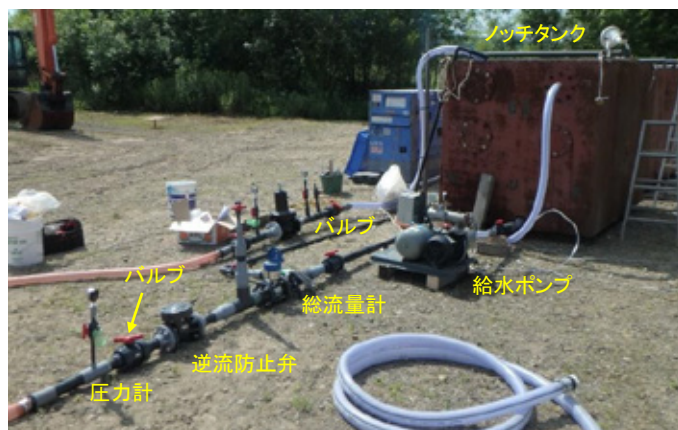


写真 3.2 散水装置写真



写真 3.3 散水状況写真

4 散水試験の結果

前述の方法で実施した散水試験結果を以下に示す。

4.1 実験スケジュール(図 4.1)

実験は、試験堤防 No.1 と No.2 に対して散水したもので、事前降雨を与えてから計画降雨 213mm (10mm/h×21.3h)を与え、その後、気候変動降雨 315mm (10mm/h×21.3h+20mm/h×5.1h)を与えた。気候変動降雨を与える際には、試験堤防 No.2 に設

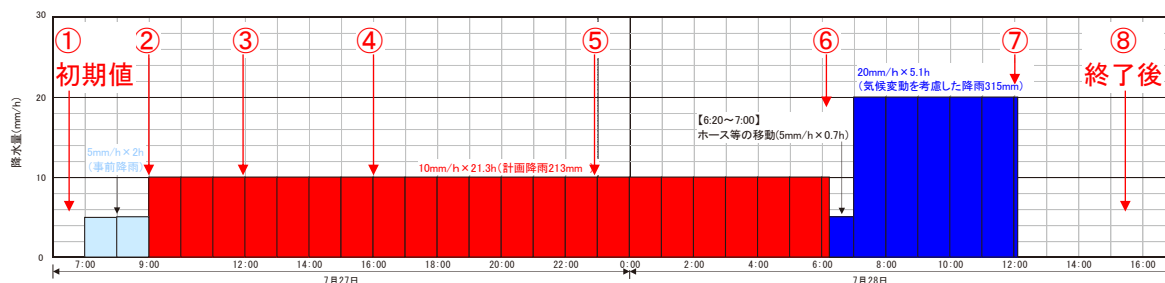
[illegible]

図 4.1 散水実験タイムスケジュール

置した散水ホースを試験堤防 No.1 に移設し、合計 8 本の散水ホースを用いて 20mm/h 降雨相当の再現し、気候変動を考慮した降雨を作用させた。このため、試験堤防 No.2 については、計画降雨後に散水を終了しており、気候変動降雨は作用させていない。

水位計や土壌水分計については、実験開始前から観測を開始しており、実験終了翌日まで観測を続けた。ポータブルコーン貫入試験は、各法面の観測計器埋設箇所付近で各試験段階で実施した。

なお、本稿では、試験堤防 No.1 の堤体内水位計、土壌水分計、ポータブルコーン貫入試験についての結果を整理した。

4.2 堤体内浸潤面(図 4.2)

堤体内浸潤面は図 4.1 タイムスケジュールの①～⑧の各試験段階で整理しており、試験堤防 No.1 の主要な観測測線 A と補助観測測線 C の浸潤面を併せて整理した。補助観測測線による浸潤面は、観測側線 A と同様に推移している状況が確認され、観測側線 A の浸潤面は妥当であると評価できる。

- ①観測開始時には、堤体内にはほぼ水位が無い状態が確認された。実験前、降雨がない期間が続いたことによる影響と考えられた。
- ②事前降雨の影響では、浸潤面に顕著な変化は認められない。
- ③10mm/h×3h の降雨の影響では、浸潤面に顕著な変化は認められない。
- ④10mm/h×7h の降雨の影響では、浸潤面は法尻付近で上昇し、堤体中央部は低い状態が確認された。
- ⑤10mm/h×14h の降雨の影響では、浸潤面は堤体中央部でも上昇し、ほぼ堤防満杯の状態となっていることが確認された。
- ⑥ 10mm/h×21.3h (計画降雨 213mm) の降雨の影響では、浸潤面に顕著な変化はなく、⑤の状況と大きく変わらない。
- ⑦ 10mm/h×21.3h+20mm/h×5.1h

(気候変動を考慮した降雨 315mm) の降雨の影響では、浸潤面が川裏側法肩でやや上昇している状況が確認された。

- ⑧降雨終了後約 20h 後は、浸潤面の低下している状況が確認された。

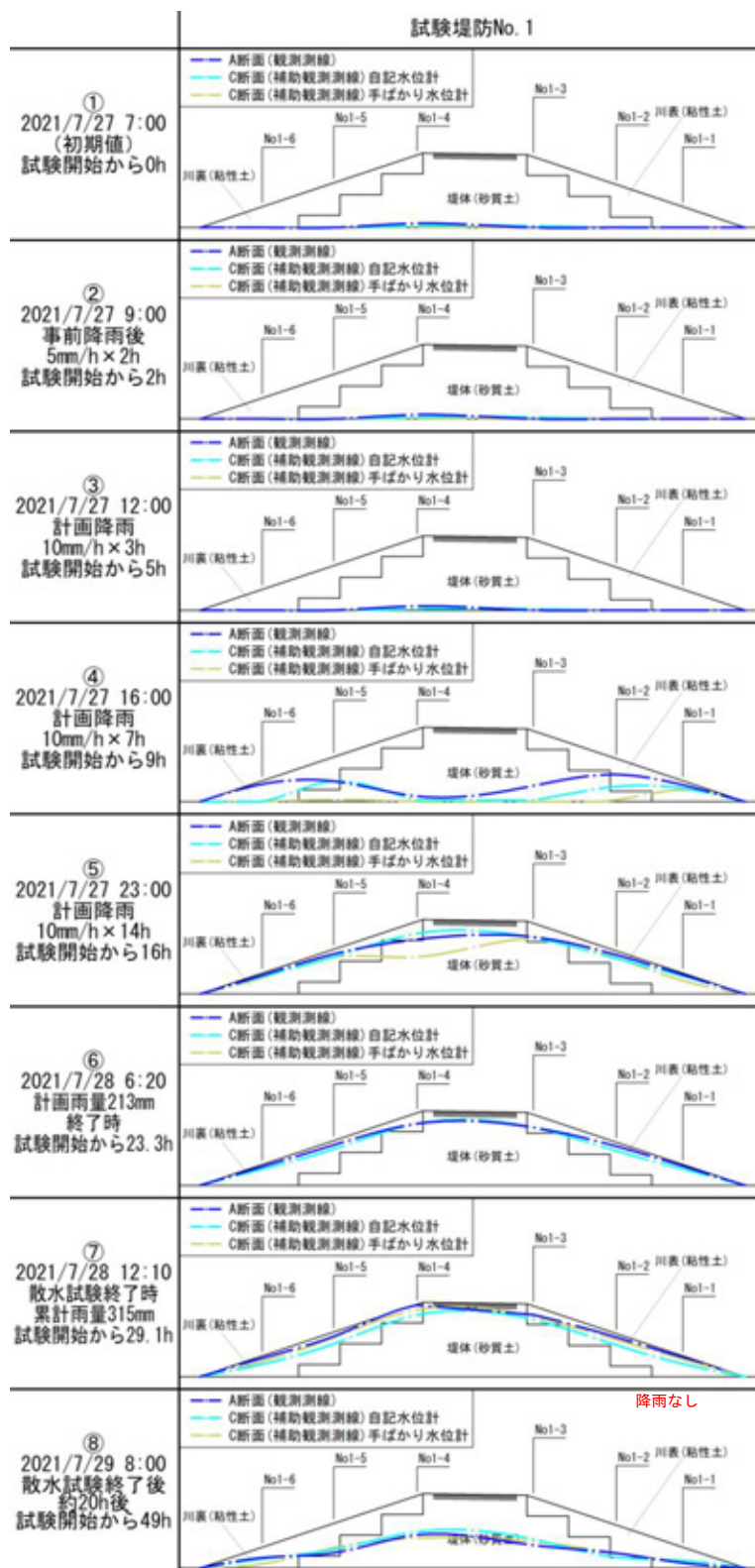


図 4.2 浸潤面

4.3 土壌水分計(図 4.3)

土壌水分計より得られた体積含水率の変化率コンター図を整理した。変化率は、体積含水率の初期値を0%、最大上昇時を100%として、各試験段階時の(体積含水率の値)/(最大値)で計算した。体積含水率コンター図は、初期値から体積含水率が上昇するにしたがって赤→青に変化し、青は水分をより多く含むことを示す。図 4.3 には観測測線の水位観測による浸潤面(図中水色線)を併せて示す。実験時の浸潤面と体積含水率の変化について、以下に概要を示す。

- ①体積含水率は初期値を示す。
- ②事前降雨による影響では、体積含水率に顕著な変化は認められない。
- ③10mm/h×3hの降雨の影響では、法面表層でやや上昇している状況が確認された。
- ④10mm/h×7hの降雨の影響では、堤体の法尻付近から徐々に体積含水率が上昇し、最大値に近い状態を示すことが確認された。
- ⑤10mm/h×14hの降雨の影響では、全体の体積含水率が上昇し、堤体中央部のみがやや低い状態を示す。
- ⑥10mm/h×21.3h(計画降雨 213mm)降雨の影響では、体積含水率はほぼ最大値となる。
- ⑦10mm/h×21.3h+20mm/h×5.1h(気候変動を考慮した降雨 315mm)体積含水率は⑥から顕著な変化は認められない。
- ⑧散水実験終了後約20h後では、体積含水率は堤体法肩付近から徐々に低下する状況が確認された。

4.4 降雨の影響によるコーン強度と体積含水率の関係(図 4.4)

ポータブルコーン貫入試験は、原則として貫入不可となる深度まで実施した。降雨の影響による体積含水率の上昇とコーン強度の関係について整理した。

法面の粘性土のコーン貫入抵抗値は、①散水実験前(初期値)で740~1990kN/m²(平均1340kN/m²程度)であった。①観測開始~②事前降雨後では体積含水率の上昇は少ないが、490~1890kN/m²(平均1080kN/m²程度)とやや強度低下が見られる。④10mm/h×7hによる影響では、体積含水率は法面表層で上昇しており、470~1900kN/m²(平均1050kN/m²程度)強度低下が確認され、⑤10mm/h×14h

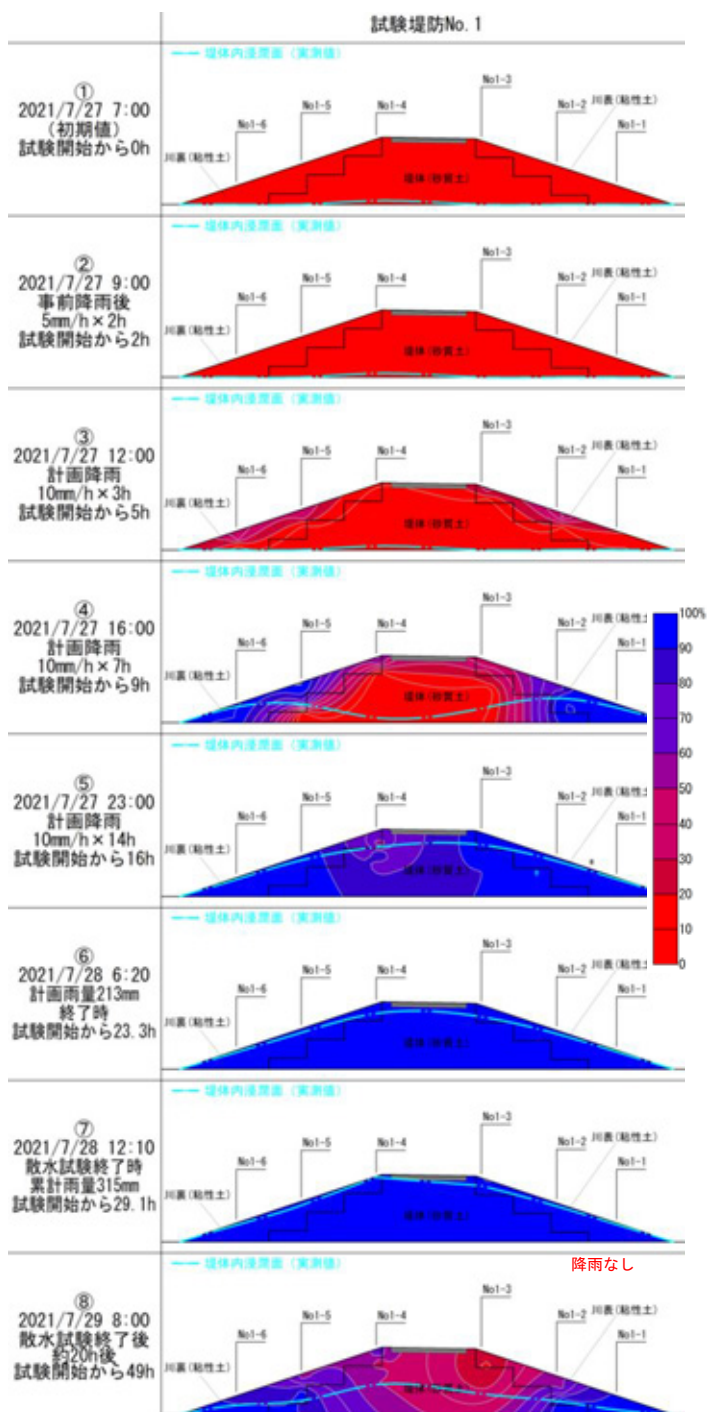


図 4.3 体積含水率コンター図

による影響では、250~1860kN/m²程度(平均900kN/m²程度)、⑥10mm/h×21.3h(計画降雨213mm)による影響では、220~1860kN/m²(平均880kN/m²程度)、⑦10mm/h×21.3h+20mm/h×5.1h(気候変動を考慮した降雨315mm)による影響では、230~1530kN/m²程度(平均720kN/m²程度)となる。コーン強度にバラつきは見られるが、降雨が浸透するに従い、法面強度が低下しており、特に最低値の低下が顕著に確認された。

また、コーン貫入深度より、降雨が浸透するに従い、初期値貫入時に比べて貫入深度が深くなる傾

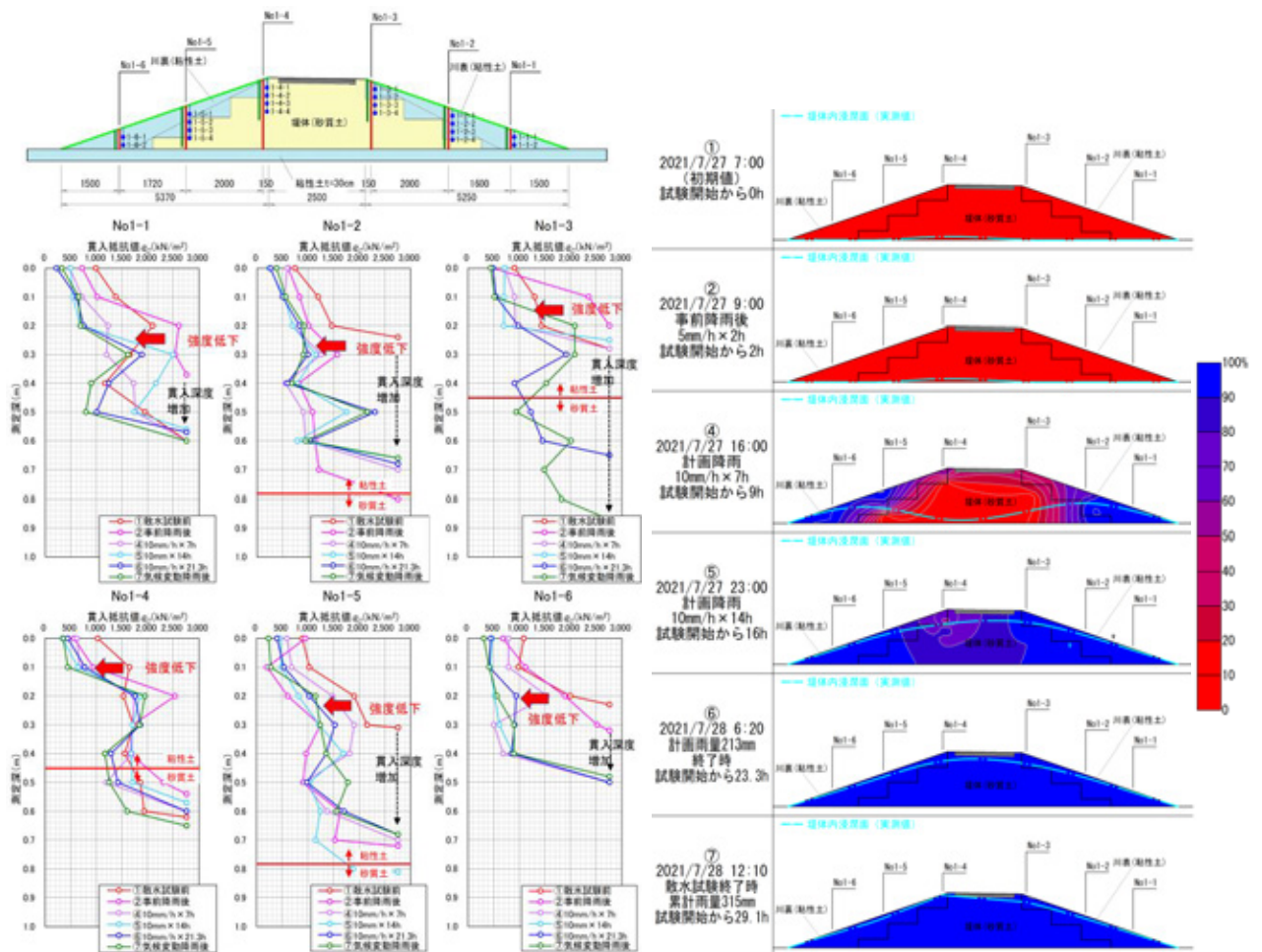


図 4.4 コーン強度(左図), 体積含水率(右図) (試験堤防 No. 1)

向がみられた。これは、降雨が深い位置まで浸透し、強度が徐々に低下していることを示す。

5 まとめ

散水実験で得られた結果を以下に示す。

- ・法勾配 3 割の試験堤防に対して計画降雨 213mm 及び気候変動降雨 315mm を作用させても、変状等は発生しなかった。
- ・変状は発生しなかったが、計画降雨散水後以降は法面が高飽和状態となっていた。(写真 4.1)
- ・降雨に対する浸透挙動、及び法面強度の低下状況を確認することができた。

本散水実験で得られた結果を基に、H28 年被災箇所を含めた釧路川中上流域の堤防断面の検討が進められている。

最後に今回の散水実験の実施にあたり、ご協力いただいた施工会社の方々や、多くのご助言を頂いた関係者の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。



写真 4.1 高飽和状態の状態

【参考文献】

- 1) 釧路川堤防調査検討会:平成 28 年 8 月の大雨により発生した釧路川の堤防法面被災に係る報告書(案), 平成 28 年 10 月
- 2) 釧路川堤防技術検討委員会:釧路川堤防技術検討委員会報告書, 平成 31 年 3 月
- 3) 不動充,鈴木智之,若松延幸,川岸秀敏,川尻峻三:釧路川流域標茶における平成 28 年北海道豪雨の降雨及び河川水位履歴を再現した実大堤防実験,地盤工学会北海道支部技術報告集 Vol. 60, p.215-220,令和 2 年 1 月