釧路川堤防技術検討委員会

報　告　書

平成 31 年 3 月

釧路川堤防技術検討委員会

はじめに

平成 28 年 8 月、停滞する前線と台風第 11 号の影響により釧路川流域に強い雨が降り続きました。この大雨により、標茶町中心部に程近い釧路川の堤防で法面すべりによる被災が発生しました。

このような被災は釧路川で繰り返されており、河川管理の大きな課題となっています。この度、その被災原因を特定し、雨水や外水に対して安全性の高い堤防形状について検討を行うとともに、釧路川の川づくりに向けた助言を行うため、国土交通省北海道開発局釧路開発建設部により「釧路川堤防技術検討委員会」が設置されました。

委員会では、まず現地調査を行うとともに、旧河道に着目した河道変遷の確認や簡易的な土質調査による堤防基盤状況の把握や、釧路川の堤体土質や基礎地盤土質の特徴を検討しました。委員会では、河川工学、地盤工学等の各委員の専門にとらわれず、相互の分野の知見を共有しながら、活発な議論が行われました。その上で、釧路川の特性を踏まえ、実物大の試験堤防による現地実験を実施し、堤防への雨水浸透による法面部分の強度変化など釧路川の堤防の被災原因の解明の基礎となる現象を確認し、対策への手がかりとなる貴重な知見を得ました。

これらの調査や実験を行いながら平成 30 年 5 月から平成 31 年 3 月に亘り、5 回の委員会を開催し、集中的な議論を重ね、被災の機構を解明し、「釧路川の特性を生かした堤防整備手法の提案」として取りまとめました。

委員各位には、全国各地から釧路管内での委員会に出席いただき、現地観測や現地実験への参画に加え、データの分析や数値解析などにも取り組んで頂きました。さらに、取りまとめに当たっては、委員会での議論に限らず助言を頂きました。改めて、深く感謝を申し上げます。

流域の水害リスクを低減するためには延長の長い堤防の状況を把握し、的確に対策を講じることが重要です。今回取りまとめられた知見や視点が釧路川のみならず、北海道そして全国における堤防に関する技術の発展に貢献するものとなれば幸いです。釧路開発建設部においては、本委員会による知見を基に、今後の堤防の整備並びに維持管理を進める過程で、設計、施工、モニタリングによる技術検討により継続的に対応の改善に努めて頂き、より良い堤防づくり、ひいては安全で安心な川づくりを先導されることを期待します。

平成３１年３月

釧路川堤防技術検討委員会委員長

福岡　捷二

釧路川堤防技術検討委員会報告書

目　　次

Ⅰ.釧路川の特性を活かした堤防整備手法の提案..... Ⅰ-1

Ⅱ.釧路川堤防技術検討会における検討..... Ⅱ-1-1
1. 検討の概要 Ⅱ-1-1
1-1 目的、委員の構成、検討の経過..... Ⅱ-1-1
1-1-1 目的 Ⅱ-1-1
1-1-2 委員の構成..... Ⅱ-1-1
1-1-3 検討の経過..... Ⅱ-1-2
2. 釧路川流域と堤防被災の概要..... Ⅱ-2-1
2-1 釧路川流域の概要..... Ⅱ-2-1
2-1-1 流域の概要、地形・地質特性、気候、土地利用..... Ⅱ-2-1
2-1-2 河道特性（河床勾配、河道と堤防の整備状況）..... Ⅱ-2-6
2-1-3 釧路川の治水（捷水路事業など）..... Ⅱ-2-7
2-2 堤防被災の概要..... Ⅱ-2-8
2-2-1 平成 26 年、平成 28 年の洪水特性と堤防被災..... Ⅱ-2-8
2-2-2 過去の堤防被災の概要..... Ⅱ-2-15
2-2-3 標茶築堤左岸の堤防被災（平成 28 年度調査：被災直後の調査）..... Ⅱ-2-18
3. 現地調査と被災（平成 30 年調査）..... Ⅱ-3-1
3-1 現地調査による状況の把握..... Ⅱ-3-1
3-1-1 平成 28 年被災箇所の平面的土質調査による基礎地盤土質の把握..... Ⅱ-3-1
3-1-2 高水敷調査による基礎地盤土質の把握..... Ⅱ-3-5
3-1-3 雨水の堤体への浸透調査..... Ⅱ-3-9
3-1-4 釧路川の河床材料..... Ⅱ-3-13
3-2 堤防の縦断形と低い箇所の発生要因..... Ⅱ-3-15
3-2-1 堤防天端の不陸箇所の抽出..... Ⅱ-3-15
3-2-2 旧河道の把握..... Ⅱ-3-17
3-2-3 堤防天端の不陸箇所、旧河道、基礎地盤土質の関係..... Ⅱ-3-21
3-2-4 堤防天端の不陸箇所の発生要因..... Ⅱ-3-42
4. 実物大の現地堤防実験..... Ⅱ-4-1
4-1 雨水の堤体浸透に関する現地実験..... Ⅱ-4-1
4-1-1 現地実験の目的、概要..... Ⅱ-4-1
4-1-2 現地実験の結果..... Ⅱ-4-17
4-2 現地実験より得られた情報..... Ⅱ-4-39
4-2-1 降雨の影響によるコーン強度と体積含水率の関係..... Ⅱ-4-39
4-2-2 川表法面の変状時の堤体内水位および体積含水率の状況..... Ⅱ-4-43
4-2-3 川裏法面の変状時の堤体内水位および体積含水率の状況..... Ⅱ-4-46

5. 堤防被災の解析 **Ⅱ-5-1**
5-1 平成 28 年被災時の再現解析..... Ⅱ-5-1
5-1-1 検討条件 Ⅱ-5-1
5-1-2 検討結果 Ⅱ-5-3
5-1-3 数値解析による堤防被災の再現..... Ⅱ-5-4
5-2 堤防強化工法の検討..... Ⅱ-5-5
5-2-1 検討条件 Ⅱ-5-5
5-2-2 検討結果 Ⅱ-5-5
6. 堤防被災原因 **Ⅱ-6-1**
6-1 雨水集中箇所の把握..... Ⅱ-6-1
6-2 堤防被災原因 Ⅱ-6-2
7. 堤防破壊危険確率縦断分布と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標..... **Ⅱ-7-1**
7-1 外水浸透に対する堤防脆弱性指標の算定..... Ⅱ-7-1
7-1-1 外水浸透に対する堤防の脆弱性指標の算定方法..... Ⅱ-7-1
7-1-2 堤防脆弱性指標 t *算出の計算条件 Ⅱ-7-2
7-1-3 堤防脆弱性指標 t *と破壊危険確率の関係 Ⅱ-7-3
7-1-4 堤防脆弱性指標 t *の算出結果 Ⅱ-7-4
7-2 降雨・外水浸透に対する堤防の破壊危険確率の算定..... Ⅱ-7-9
7-2-1 降雨・外水浸透に対する堤防の脆弱性指標の算定方法..... Ⅱ-7-9
7-2-2 降雨・外水浸透に対する堤防脆弱性指標 t*算出の計算条件..... Ⅱ-7-16
7-2-3 降雨・外水浸透に対する堤防脆弱性指標 t*の算出結果..... Ⅱ-7-17
8. 大雨に強い堤防整備手法の検討..... **Ⅱ-8-1**
8-1 堤防天端の排水方法の検討..... Ⅱ-8-1
8-2 釧路川の特性を活かした堤防整備手法の提案..... Ⅱ-8-2
8-3 水害リスクに対応した川づくり..... Ⅱ-8-3

参考文献

I. 釧路川の特性を活かした堤防整備手法の提案

北海道では平成 28 年 8 月 17 日から 23 日までの 1 週間に 3 つの台風が上陸し、道東を中心に記録的な大雨となり、北海道内各地で河川の氾濫や家屋の浸水、農地浸水、道路冠水など甚大な被害が発生した。

釧路地方では、停滞する前線の影響により 8 月 20 日から各地で雨が降り続き、8 月 21 日には台風第 11 号の影響により釧路川流域に強い雨が降り続いた。特に標茶雨量観測所における 8 月の降水量は観測史上最多雨量となる 561mm を記録するなど各観測所で最多雨量を観測した。この大雨により、釧路川で急激に水位が上昇し、標茶水位観測所では、観測史上 2 番目（当時）となる水位を記録した。

釧路川の増水に伴い、内水による浸水被害のおそれのあった標茶町市街地の一部、1,152 世帯 2,376 人に避難勧告が発令された。避難勧告の発令は、標茶町で初めてのことであり、多くの住民が不安な夜を過ごした。

この大雨により、釧路川左岸 45.8k 付近（標茶町富士樋門上流地先）で堤防の法面すべりなどの河川被害も発生した。この堤防の法面すべりに対し、再度の被災防止に向けた復旧及び対策を検討するため、北海道開発局釧路開発建設部では「釧路川堤防調査検討会」を設置して被災直後から現地調査を実施し、被災要因を検証して、復旧工法についてとりまとめ、平成 28 年 12 月までに原形復旧工事を完了させた。

平成 28 年 8 月の被災については、計画高水位まで水位が上昇するような大洪水ではなく、降雨のみがきっかけで被災を受けていた。また、当該箇所は、平成 26 年 8 月にも降雨による法面すべりが発生した箇所である。そのことからも、釧路川の堤防強化対策を講じる上で、被災を受けた標茶左岸堤防の被災要因を現地調査や観測から得られた情報を基に解明し、大雨に強い堤防整備と併せて洪水に対して堤防の安全性を向上させることを目的に、北海道開発局釧路開発建設部は、河川工学、地盤工学などの専門的知識を有する有識者からなる「釧路川堤防技術検討委員会」を平成 30 年 5 月に設置し、釧路川の堤防強化対策を検討することとした。

(1) 堤防被災の概要

平成 28 年 8 月 21 日、釧路川左岸の KP45.8 付近において、堤防川表の法面すべりが上下流 2 箇所で発生した。被災延長は、発見時、下流側では延長約 10m であったが１週間後には約 65m にまで広がった。上流側の被災も約 65m に達し、合わせて約 130m の被災まで広がった。河川水位の状況については、被災発見時、釧路川の外水位は上昇中であったものの、高水敷上の水深は堤防法尻が浸かる程度であった。降雨の状況については、法面すべりを発見する直前には、時間 10mm を超える降雨が 4 時間程度継続し、更にその前には、時間 10mm 程度の降雨が 1 日に 1 回以上、１週間にわたり観測されていた。このことから、堤防の湿潤状態が継続しているところに、被災直前の強い雨が重なり、法面すべりが発生したものと考えられる。

なぜ降雨のみで被災したのか。釧路川の堤体土質や基礎地盤土質を調査するとともに旧河道などの河道変遷に着目し、更に現地の試験堤防における実験などを基に被災のメカニズムを整理することとした。

(2) 釧路川の堤体土質、基礎地盤土質の特徴

釧路川では、平成 16 年から平成 17 年にかけて堤防の浸透に対する照査が実施されている。照査時のボーリング調査結果から、釧路川の堤防の堤体土質は、大部分が火山灰質の砂質土や礫質土で構築されていることが確認できる。また、被災を受けた堤防の川表法面は、火山灰質でシルトを多く含む粘性土により被覆されている断面である。火山灰質でシルトを多く含む粘性土や火山灰質の砂質土は、降雨により水が浸透しやすく、強度低下を起こしやすい性質をもつ。火山灰質でシルトを多く含む粘性土については、降雨が浸透しやすい一方で、外水に対しては比較的遮水性が高い性質である。

また、釧路川の堤防基礎地盤の土質は、過年度に実施された土質調査結果を整理した土層縦断図より判断すると、砂質土や礫質土が主体となっている。一方、被災箇所の堤防基礎地盤に粘性土が見られたことが特徴的であると言える。

(3) 堤防の被災形態

平成 28 年に被災した上下流 2 箇所の堤防法面被災には、被災形状に違いが見られた。上流側は堤防天端の法肩からの崩壊であり、下流側は法面の中腹からの崩壊であった。被災堤防の堤防天端はアスファルトによる舗装が施されており、被災当時の堤防天端の勾配は、上流から下流に向かった縦断勾配と、堤防の川裏から川表に向かった横断勾配がついている形状となっていた。

被災前に得られていた MMS 測量（モービルマッピングシステム）の３次元データを基に堤防天端の形状をモデル化して、平面 2 次元流況解析により雨水の流れの集中箇所を把握したところ、堤防天端の法肩から崩壊した箇所では、堤防天端に降った雨水の流れが堤防の川表側へ集中していたと考えられる。つまり、法肩から崩壊した箇所では、堤防天端の高さが周りに比べて低くなっている箇所に雨水の流れが集中し、法肩や法面のシルトを多く含む粘性土に浸透して強度低下を起こしたことが要因と推測される。また、法面の中腹から崩壊した箇所は、堤防天端に降った雨水の流れの集中は少なかったものの、堤体表層のシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して、強度低下を起こしたことが要因と推測される。

(4) 雨水の流れが集中しやすい堤防天端の不陸箇所の発生要因分析

堤防の法肩から被災した箇所の堤防天端は、縦横断方向に局所的に低い部分が生じていた。また、堤防の基礎地盤には粘性土も見られた。長大な河川堤防は、堤防築造後に、盛土の沈下や車両通行などの増加荷重により堤防天端が低くなることがある。堤防天端の不陸箇所は、堤防天端の上下流から雨水の流れが集中して、今回のような法面崩壊の発生要因のひとつとなることから、釧路川の堤防において堤防天端の不陸箇所の抽出を行い、その発生要因分析を実施した。

釧路川の治水事業は、広大な原野や原生林の開拓とともにあり、低平地の洪水氾濫を減少させるとともに、地下水低下による土地利用を可能とすることを目的に、捷水路掘削（28 箇所）や堤防整備が進められてきた。また、釧路川流域においては、土地利用の拡大は喫緊の課題でもあったことから、捷水路掘削と併せて旧河道が埋め立

てられ、その際に発生した掘削土（粘性土など）が埋め立ての材料として使用されていた。そのことから、堤防天端の不陸箇所の発生は、旧河道の位置と関連しているものと仮定し、治水地形分類図（更新版）（国土地理院，2018.2）から旧河道の位置などを整理した。

今回、旧河道を把握する手段として、治水地形分類図のほか、昭和23年撮影の航空写真、明治や大正年代の国土地理院地形図を用い、それぞれを重ねることで、釧路川の河道変遷を把握した。治水地形分類図により把握した旧河道と、MMS測量成果を用いて抽出した堤防天端の不陸箇所（29 箇所）の関係を整理したところ、大部分の低い箇所が旧河道に該当していることが判明し、旧河道の位置が堤防天端の不陸箇所の発生と関係していることが考えられた。

次に、釧路川の堤防と旧河道が交わる箇所で、旧河道を中心に地表面から 2～3m程度のオーガーボーリングによる土質調査を実施した。その結果、高水敷の旧河道跡には粘性土が多く分布していることが確認された。

堤防天端の不陸箇所は旧河道の箇所に当たることから、旧河道が埋め立てられて出来た粘性土の基礎地盤が圧密し、堤体盛土の沈下が発生したものと考えられる。今後の釧路川の堤防天端の高さ管理を行う上では、旧河道の位置を把握することが重要である。

(5) 既設堤防の現地調査や実物大の試験堤防による雨水浸透などの確認

堤防の被災形態から、堤防法面の被災は、堤防天端の不陸箇所に集中した雨水の流れに加え、法肩や法面のシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して強度低下を起こしたことが要因と考えられた。また、堤防基礎地盤の粘性土が不透水層となって堤体内の浸潤面を上昇させたことも要因の1つとして考えられた。そのため、既設堤防の現地調査に加え、雨水や外水の浸透による堤体の強度低下などを検証するため、実物大の試験堤防による現地実験を実施した。

既設堤防の現地調査については、被災を受けたKP45.8左岸堤防と同様の形状及び堤体材料で構築され、かつ、平成28年8月に被災を受けていないKP45.7左岸付近にて雨水の堤体浸透調査を実施した。調査は、平成29年10月から平成30年8月まで、堤防の川表・川裏法面に、深さ方向20cm、40cm、60cm、80cmに土壌水分計を設置して降雨に対する体積含水率の観測を行った。観測期間中にまとまった降雨を観測した期間を抽出して分析した結果から、体積含水率は、降雨開始後1時間から2時間程度の遅れを生じて、地表面からの深さ方向20cm、40cm、60cmと、順番に上昇する傾向が確認された。地表面から深度方向に向けて順番に降雨の影響が伝播することが捉えられていることから、この観測結果は被災を受けた釧路川の堤防の堤体表層の粘性土部分に降雨が浸透する現象をよく表しているものと言える。

次に、雨水や外水の浸透による堤体の強度低下などの被災への影響を検証するため、平成30年11月に釧路川の高水敷で実物大の現地堤防実験を実施した。盛土の飽和度が上がるとコーン貫入抵抗値が低下することが既往の実物大実験の結果で明らかにされている（山村和也，久楽勝行，川口丸尾：降雨実験からみた斜面の安定解析方法，土木技術資料，Vol15，No.3，1973）。釧路川の堤体においても、降雨の浸透による強

度低下があったことを想定し、平成 28 年 8 月被災時の堤体内の浸潤面と堤体の飽和度上昇時の堤防表面の強度変化の推移を把握することとした。

現地実験では、釧路川での実現象を再現出来るように、堤体は全体を基本的に火山灰質の砂質土とし、堤防の川表法面部分は火山灰質でシルトの多い粘性土とした。法面勾配は既設堤防と同様に 2 割勾配とした。今回の現地実験は法面から堤体への降雨の浸透、法面から堤体内への水分の把握を目的としていることから、基礎地盤への浸透と堤防天端からの雨水の浸透など境界条件の影響を排除するため、堤防天端と基盤面に止水シートを敷設して不透水性を確保した。降雨については農業用散水ホースにより散水することとしたが、現地実験当日、事前降雨に相当する自然の雨が降ったことから、それを事前降雨とした。降雨による散水後、外水による堤体内浸潤面の上昇を確認することを目的に外水位を上昇させた。

主な観測項目は、法面部分の体積含水率を把握するための土壌水分計を設置し、降雨の状況に合わせてポータブルコーン貫入試験による法面強度の把握、堤体内浸潤面の観測と堤体材料の室内力学試験を実施した。

雨水の浸透試験では、試験堤防の川表法面（火山灰質でシルトを多く含む粘性土）の表層の土壌水分計の反応より、雨水のみでも堤体表層に浸透することが確認された。さらに、ポータブルコーン貫入試験より、試験堤防の川表法面のシルトを多く含む粘性土には、雨水の浸透後、法面全体の強度低下が確認された。また、川裏法面（火山灰質の砂質土）にも雨水の浸透が見られ、強度低下については回復している場合もあるが、強度の低下が確認された。この試験堤防の川裏法面のように火山灰質の砂質土であっても雨水の浸透により強度低下し、特に基礎地盤が不透水性の場合、法尻が先行的に飽和状態となり弱点になることが考えられる。

今回の現地実験では、実際の洪水を想定して外水を湛水させた実験を行った。満水状態まで湛水し、水位を低下させた直後から試験堤防の川表法肩でクラックの発生が確認され、その後、外水位が完全に低下した後、法面の中腹から法尻にかけて大きな崩落が発生した。大きな崩落が発生する際は、外水位が完全に下がりきっていた一方で、堤体内に浸潤面が形成されていることが確認された。

(6) 釧路川堤防の法面被災の原因

堤防天端や法面に降った雨により、堤体に浸透して法尻から飽和度が上昇する。これは、降雨のみで法尻の変状が発生した現地実験でも確認された。

このことにより、釧路川の堤防で発生した法面被災は、堤防天端の不陸箇所に集中した雨水の流れに加え、法肩や法面の火山灰質でシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して飽和度が上昇し、表層の強度低下を起こしたことが被災要因であると考えられる。また、火山灰質の砂質土部分についても雨水の浸透による強度低下が発生することとなり、特に基礎地盤が不透水性の場合、法尻の被災の危険性がより高くなると考えられる。

(7) 大雨に強い釧路川の堤防づくり

今回の堤防法面被災は、堤防法面が 2 割勾配の部分に、堤防天端に降った雨水の集中や堤防法面への雨水の直接浸透によって、堤体表層の火山灰質でシルトを多く含む粘性土が崩壊したことから、雨水の量と法面土質、法面勾配の影響が被災の要因として大きかったと考えられる。また、堤防の川裏法面に対しては、長時間継続する洪水で堤体内の浸潤面が上昇する前に、降雨が原因で堤防の川裏法尻が変状してはならないことにも留意しなければならない。

そのため、堤防の川表と川裏法面の降雨に対する安定性が確保されていない可能性がある法勾配が 2 割の釧路川の堤防では、法面崩壊など、堤防の被災の機構を考慮した堤防断面の検討が必要である。

堤防断面の検討は、被災箇所の調査や試験堤防による現地実験により得られた各種分析結果を適用した浸透流解析及び安定解析を実施した。その結果、堤防の表法面で安全率を下回る結果となり、平成 28 年の堤防法面被災を再現することができた。

この堤防法面被災の再現性を確認できたモデルを用い、降雨に対する安全な堤防断面を検討した結果、堤防の川表川裏法勾配を 3 割とすることで安全率を満足することできた。また、堤防の川裏法面も必要安全率を満足することができたことから、釧路川では堤防を 3 割以上の緩傾斜化が必要である。

なお、釧路川では、今後、高水敷の河道掘削を実施して流下能力不足の解消を図る予定であり、河道掘削により発生する粘性土を活用した堤防の整備がコストの面からも効率的である。堤防整備の実施に当たっては、流域内で確保できる砂質土などを用いる他、掘削発生土の利用を含めて十分検討した上で施工することが重要である。

(8) 水害リスクに対応した川づくり

既往のボーリング調査結果では、釧路川の堤防の堤体土質は、大部分が火山灰質の砂質土や礫質土で構築されていることがわかる。その状態で洪水時の堤防脆弱性指標 t^*（以下 t^*という）を用いた検証を行うと、浸透に対する堤防の安全性は比較的高い結果となる。t^*は、河川水の浸透のみを対象としており、降雨により堤体の安全度が低下する釧路川の堤防特性を踏まえると、堤防法面に浸透する降雨の影響を考慮することが必要になる。そこで、今回は、降雨の影響を考慮した t^*を試算した。その結果、河川水位のみを考慮した場合に比べて t^*の値が増大し、浸透破壊に対する危険性が高まる傾向となることが分かった。釧路川の標茶町市街地下流部や、標茶町市街地上流部では、流下能力が不足しており、t^*も増大している。特に標茶町市街地上流部の対策については、上下流バランスを考慮した上で早急に堤防の緩傾斜化を含めた河川改修を行うことで、降雨や外水に対する安全度を向上させ、流域の水害リスクを低減する必要がある。

(9) まとめ

釧路川堤防技術検討委員会は、平成30年5月から平成31年3月まで5回の委員会、並びに現地調査、実物大の試験堤防による現地実験を行い、雨水や外水に対して安全性の高い堤防形状について検討を行うとともに、釧路川の堤防整備手法を立案するため、専門的知見から助言を行ってきた。以下、これまでの議論や検討を踏まえ、釧路川の河川整備の進め方に対して委員会のまとめとして提言する。

堤防の材料が火山灰質の砂質土と火山灰質でシルトを多く含む粘性土の被覆により構築されている釧路川の堤防においては、降雨により法面崩壊が繰り返し発生している。このことについて、その後の現地調査及び実物大の現地堤防実験による降雨の浸透現象の観測結果や、降雨による堤体法面表層の強度観測結果を踏まえると、堤体表層の土質が火山灰質でシルトを多く含む粘性土の部分に、雨水が浸透して飽和度が上昇し、表層の強度が低下したことが被災原因であると結論づけた。

現地堤防実験では、火山灰質の砂質土である川裏法面でも降雨の浸透により強度低下が発生しており、特に堤防の基礎地盤が浸透しづらい粘性土の場合、川裏の火山灰質の砂質土法面でも法尻の被災の危険性が高くなるおそれがある。また、現地堤防実験では、堤体内に浸潤面が形成されれば外水位が低下した後であっても、堤体内に浸潤面が残り、法面変状が発生する可能性が明らかになった。

降雨を考慮した洪水時の堤防脆弱性指標 t^* を算定し、河川水位のみを考慮した場合に比べて t^* の値が増大し、浸透破壊に対する危険性が高まる傾向となることを確認した。更に算定した t^* により流域の水害リスクの検討を行った。

堤防天端の不陸箇所に、雨水の流れが集中することにより法肩や法面が被災する危険性が高まる他、堤防天端の不陸箇所は、洪水時の越流により破堤リスクが高くなることにも留意すべきである。このため、捷水路掘削や堤防整備の治水事業変遷などによって生じた旧河道の把握、可能な限り現況堤防基盤の簡易調査や堤防天端高さの把握に努め、堤防天端がアスファルトで舗装されている箇所ではオーバーレイによる不陸の是正などを検討するなど、必要な監視、維持管理を行うべきである。

また、標茶町は比較的冬期の気温が低く、降雪が少ない地域である。粘性土の中でもシルトは凍上を受けやすい土質であることが文献などからわかっている。釧路川での現地観測結果から堤防法面の凍上を確認しており、凍上による表面の緩みが発生している可能性もあるため、今後もデータを蓄積する必要がある。

以上のことから、釧路川の堤防特性を踏まえると、現況堤防の安定性確保のためには堤防の川表及び堤防の川裏法面勾配3割以上の緩傾斜化が必要となる。これからの河川整備については、堤防法面の緩傾斜化に加え、堤防天端の高さが周りに比べての低い箇所などの河川の状況把握に留意した河川の管理、氾濫による水害リスクの状況を考慮した河川整備が推進されることを望む。

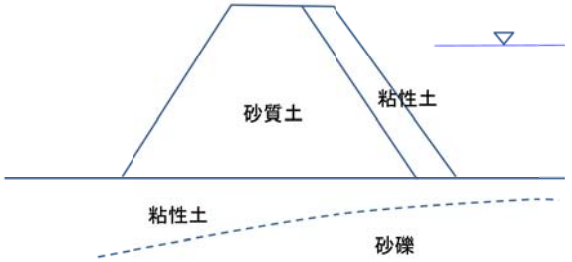
平成28年8月
釧路川の堤防川表で法面すべりが発生

・被災を発見した当時、釧路川の外水位は上昇中であったものの、
高水敷上の水深は堤防法尻が浸かる程度

被災のきっかけは「降雨のみ」

☆なぜ降雨のみで変状が発生したのか？

堤体土質及び基礎地盤土質



【堤体材料】
・堤体の多くは火山灰質の砂質土や礫質土
・川表法面は火山灰質でシルトを多く含む粘性土

性質
降雨により水が浸透しやすく、強度低下を起こしやすい性質をもつ

【基礎地盤】
・被災箇所の堤防基礎地盤に粘性土が見られた

・基礎地盤に浸透しづらい

・過去の土質調査結果の整理では、釧路川の堤防基礎地盤の土質は概ね砂質土・砂礫が主体

☆なぜ被災箇所の基礎地盤は粘性土だったのか？

性質
一般的には基礎地盤が砂質土や礫質土に比べ堤体の浸潤面が上昇しやすい

・旧河道等の河道変遷、河川改修の経過から、捷水路掘削と併せて旧河道が埋めたてられ、発生した掘削土（粘性土等）が埋め立ての材料として使用されていたと推測

堤防の被災形態

①法肩からの崩壊

・堤防天端の高さが周りに比べて低くなっているところに雨水の流れが集中し、法肩や法面のシルト分を多く含む粘性土に浸透して強度低下を起こした

低いところと旧河道が概ね一致

・旧河道や治水事業による河道変遷
・堤防天端の高さが周りに比べて低いところ
・堤体基礎地盤の粘性土
に関係性が見られた

堤防と旧河道が交わる箇所の高水敷の旧河道跡には粘性土が多く分布（オーガーボーリングによる調査）

②法面中腹からの崩壊

・堤体表層のシルト分を含む粘性土のところに雨水が直接浸透して強度低下を起こした

粘性土は同様の粒度

・旧河道が埋め立てられて出来た粘性土の基礎地盤が圧密
・堤体盛土の沈下が発生

堤防天端の高さが周りに比べて低くなっている箇所は、洪水時の越流による破堤リスクが高くなる

☆雨水の浸透により強度低下を起こすのか？堤体内の浸潤面は上昇するのか？

河川の管理に活用

・治水地形分類図等による旧河道の把握
・可能な限り基礎地盤の土質調査
・MMS測量等による堤防天端高さの把握

既設堤防の現地調査、実物大の試験堤防による雨水浸透等の確認

既設堤防の現地調査、実物大の試験堤防による実験（雨水浸透等の確認）

・既設堤防での現地調査
・実物大の堤防現地実験

・法面部分の体積含水率把握（土壌水分計）
・法面強度の把握（コーン貫入試験）
・堤体内浸潤面の観測
・堤体材料の室内力学試験

堤防の川表法面（火山灰質でシルトを多く含む粘性土）

【降雨】
・雨水のみでも堤体表層に浸透
（既設堤防および試験堤防）
・雨水浸透後、法面全体の強度低下、法尻付近が変状
（試験堤防）

【外水】
・外水位が低下した後、川表法面の中腹から法尻にかけて大きな崩落が発生
・堤体内に浸潤面が形成されれば外水位が低下した後であっても法面変状が発生（試験堤防）

川裏（火山灰質の砂質土）

【降雨】
・雨水のみでも堤体表層に浸透（試験堤防）
・雨水浸透により強度低下、法尻付近が一部変状（試験堤防）

【外水】
・堤体内の大きな浸潤面の上昇は見られない
（川表粘性土に加え今回の湛水試験継続時間が短いため）

・現地試験では降雨により「早々に変状」
・長時間継続する洪水で堤体内の浸潤面が上昇する前に、降雨が原因で堤防の川裏法尻が変状してはならないことにも留意

☆釧路川堤防の法面被災の原因
・堤防天端の高さが周りよりも低い箇所に集中した雨水の流れに加え、法肩や法面の火山灰質でシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して飽和度が上昇し、表層の強度低下を起こしたことが被災要因である。
・火山灰質で砂質土部分についても雨水の浸透による強度低下が発生することとなり、特に基礎地盤が不透水層の場合、法尻の被災の危険性が高くなると考えられる。

法勾配が2割の釧路川の堤防では、
・堤防の川表と川裏法面の降雨に対する安定性が確保されない
・法面崩壊等、堤防の被災の機構を考慮した堤防断面の検討が必要

・被災箇所や現地堤防実験により得られた各種分析結果を適用した浸透流解析及び安定解析
・堤防の表法面で安全率Fs=1.0を下回る結果となった
・法勾配を3割とすることで川表法面と川裏法面で安全率を満足

まとめ～川づくり（河川整備）に向けて

・被災原因
堤体表層の土質が火山灰質でシルトを多く含む粘性土の部分に、雨水が浸透して飽和度が上昇し、表層の強度が低下

・堤防現地実験
火山灰質の砂質土である川裏法面でも、降雨の浸透により強度が低下
特に堤防の基礎地盤が浸透しづらい粘性土の場合、先行的に飽和状態となり変状が発生

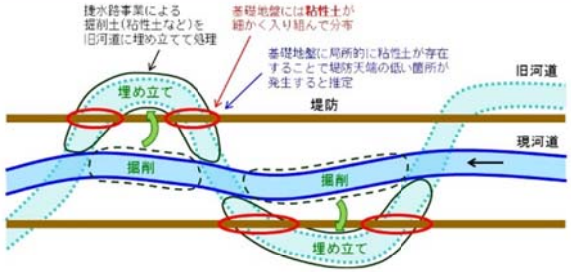
・堤防脆弱性指標t^*と流域の水害リスク
降雨を考慮した洪水時の堤防脆弱性指標t^*の算定では、河川水位のみを考慮した場合に比べてt^*の値が増大し、浸透破壊に対する危険性が高まることから、流下能力が不足している区間や市街地などの上下流バランスを考慮したうえで流域の水害リスクを低減する必要がある。

・堤防天端の高さが周りに比べて低くなっている箇所
洪水時の越流により破堤リスクが高くなることに留意し、
治水事業変遷等によって生じた旧河道の把握、可能な限り現況堤防基盤の簡易調査、
堤防天端高さの把握に努め、必要な監視や不陸の是正、維持管理を行う。

○まとめ（釧路川の特性を踏まえて）
・堤防法面に浸透する降雨を考慮することが重要であり、現況堤防の安定性確保のためには、堤防の川表および堤防の川裏法面勾配の緩傾斜化が必要。

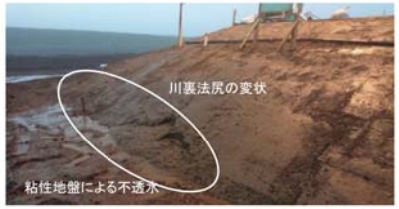
・堤防天端の高さが周りに比べて低くなっている箇所など、河川状況の把握に留意した河川の管理に加え、堤防からの氾濫による水害リスクの状況を考慮した河川整備の実施、河川及び流域の状況に応じた取り組みが重要。

① 釧路川の多くの旧河道と堤防の交点に粘性土が存在しており、天端の高低差の発生や詳細点検で把握しきれない不透水性地盤が存在。
② 雨水浸透で含水比が上がりやすく強度低下し易い釧路川堤防材料の特性から法面の変状が発生。
③ 一方、川裏が砂質土堤防であっても変状が発生。特に、基礎地盤が不透水性の場合、法尻の被災の危険性が高い。



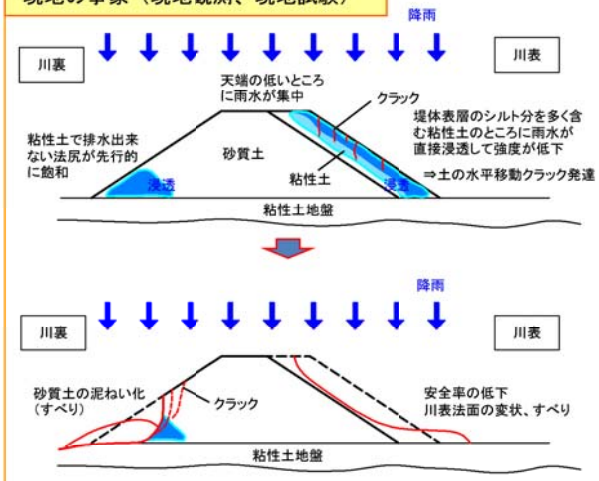
①捷水路掘削により埋め立てられた旧河道跡と堤防交点

②雨水の浸透により被災した堤防法面(H28.8)

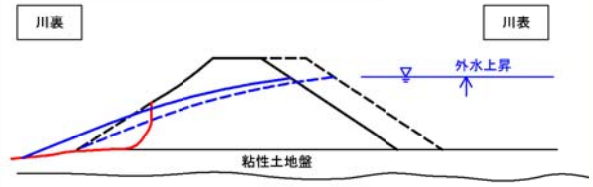


③降雨による川裏法尻の変状(現地試験)

現地の事象（現地観測、現地試験）



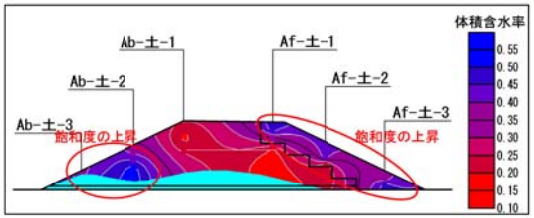
釧路川堤防の考え方



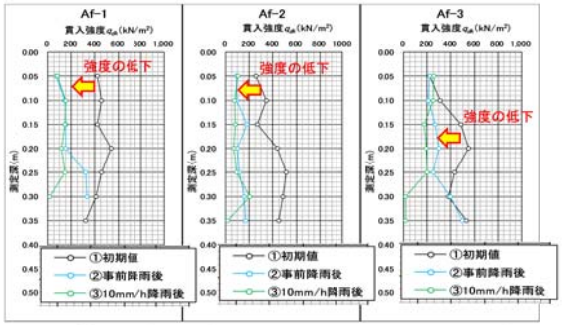
釧路川堤防の整備計画断面

釧路川の堤防特性を踏まえ川表及び川裏法面勾配を3割以上とする

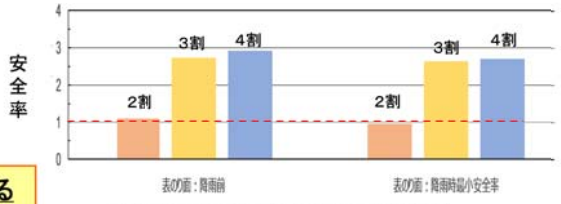
④ 川表法面に雨水が浸透し、法面全体が飽和状態になる。また、川裏法尻も先行的に飽和状態となる。
⑤ 雨水浸透後、法面全体の強度低下が発生。
⑥ 現地で得られた不飽和水理特性による安定解析結果から、現況の2割勾配では安定しない。



④降雨の堤体浸透(現地試験による体積含水率の変化)



⑤降雨時の強度低下(現地試験によるコーン強度)



⑥降雨による安全率の推移(安定解析)

Ⅱ.　釧路川堤防技術検討会における検討

1.検討の概要

1-1　目的、委員の構成、検討の経過

1-1-1　目的

近年、大雨による堤防の被災が発生している釧路川を対象として、雨水や外水に対して安全性の高い堤防整備手法を立案するため、専門的知見から技術的検討を行う「釧路川堤防技術検討委員会」（以下、委員会という。）を設置した。

写真Ⅱ-1-1　標茶町の堤防法面被災の状況（H28.8）

1-1-2　委員の構成

釧路川堤防技術検討委員会における委員の構成を以下に示す。

委　　員　　川口　貴之（北見工業大学 准教授）

委　　員　　川尻　峻三（北見工業大学 助教）

委　　員　　早川　　博（北見工業大学 教授）

委　　員　　林　　宏親（土木研究所寒地土木研究所 総括主任研究員）

委　員　長　　福岡　捷二（中央大学 教授）

委　　員　　前田　健一（名古屋工業大学 教授）

委　　員　　森　　啓年（山口大学 准教授）

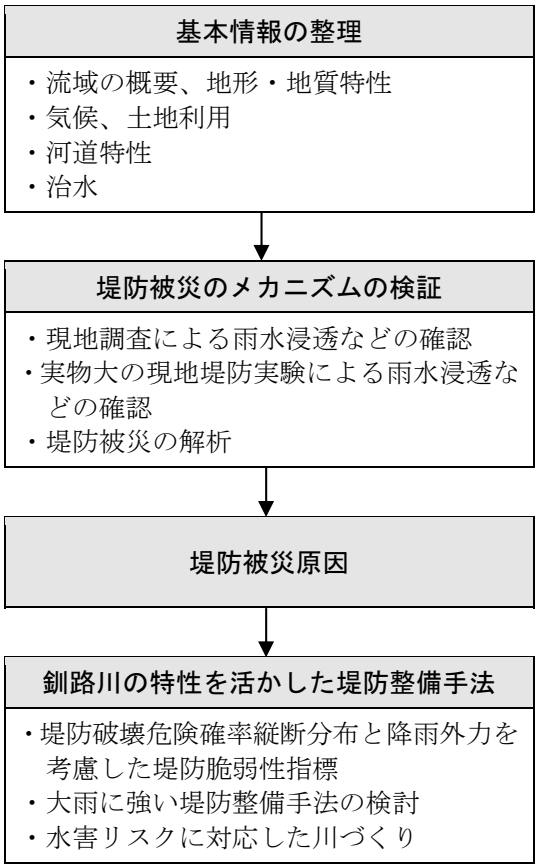
委　　員　　矢部　浩規（土木研究所寒地土木研究所 上席研究員）

（敬称略）

1-1-3　検討の経過

本委員会は、平成 30 年 5 月 29 日、平成 30 年 8 月 6 日、平成 30 年 10 月 11 日、平成 31 年 1 月 22 日、平成 31 年 3 月 25 日の延べ 5 回開催した。また、実物大の現地堤防実験を平成 30 年 10 月 24 日～26 日に行った。

検討フローを図Ⅱ-1-1 に、本委員会及び実物大の現地堤防実験の開催状況をそれぞれ表Ⅱ-1-1、表Ⅱ-1-2 に示す。



図Ⅱ-1-1　検討フロー図

表Ⅱ-1-1　委員会の開催状況

回数	開催日	議事内容
1	平成 30 年 5 月 29 日	・平成 28 年 8 月大雨時の堤防被災とその後 ・釧路川の堤防のり面の表層崩壊に関する地盤調査と浸透流・安定解析
2	平成 30 年 8 月 6 日	・堤防天端の不陸箇所の発生要因分析 ・現地状況の把握 ・現況堤防の破壊メカニズム把握 ・外水浸透に対する堤防の脆弱性指標の算定
3	平成 30 年 10 月 11 日	・堤防天端の不陸箇所の発生要因分析 ・堤防縦断形状の検討 ・現地堤防実験の実施概要 ・堤防断面の検討
4	平成 31 年 1 月 22 日	・雨水の堤体浸透に関する現地堤防実験の報告 ・平成 28 年 8 月被災の発生要因 ・堤防断面の検討
5	平成 31 年 3 月 25 日	・釧路川堤防技術検討委員会のまとめ

表Ⅱ-1-2　実物大の現地堤防実験の開催状況

回数	開催日	内容
1	平成 30 年 10 月 24 日 ～26 日	・実物大の現地堤防実験 釧路川 KP44.2 左岸の高水敷

写真Ⅱ-1-2　委員会の様子（第１回）

写真Ⅱ-1-3　委員会の様子（第２回）

写真Ⅱ-1-4　委員会の様子（第 3 回）

写真Ⅱ-1-5　委員会の様子（第 4 回）

写真Ⅱ-1-6　委員会の様子（第５回）

2. 釧路川流域と堤防被災の概要

2-1　釧路川流域の概要

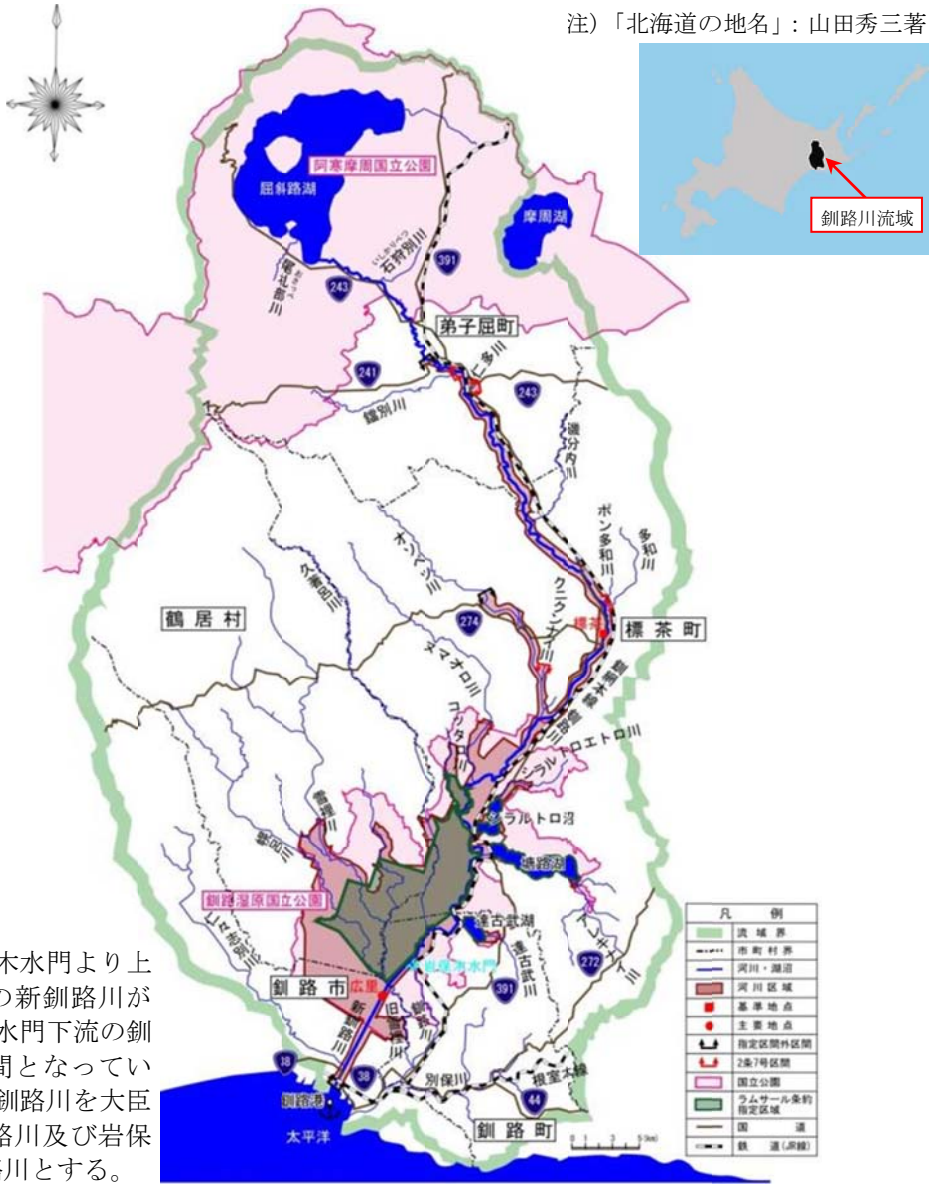
2-1-1　流域の概要、地形・地質特性、気候、土地利用

(1) 流域の概要

「北海道の地名」注)によれば釧路という名は、アイヌ語のクシル(kush-ru 通る・道)、チクシル(chi-kush-ru 我ら・通る・道)に由来しているという説や、クスリ(kusuri 温泉)などに由来しているなど、幾つかの説がある。

釧路川は、北海道東部の太平洋側に位置し、その源を藻琴山(標高 1,000m) など、屈斜路カルデラの外輪山に発し、屈斜路湖の南端から流れ出て、弟子屈原野を流れ、弟子屈町で鐺別川、標茶町でオソベツ川などの支川を合流し、釧路湿原に入り、さらに久著呂川、雪裡川の支川を湿原内で合わせ、岩保木地点において新釧路川となり、釧路市街地を貫流し太平洋へ注ぐ、幹川流路延長 154km、流域面積 2,510km^2 の一級河川である。

注)「北海道の地名」: 山田秀三著



※釧路川水系では、岩保木水門より上流の釧路川及び下流の新釧路川が大臣管理区間であり、水門下流の釧路川は北海道管理区間となっている。よって、便宜上、釧路川を大臣管理区間である新釧路川及び岩保木水門より上流の釧路川とする。

図Ⅱ-2-1　流域図

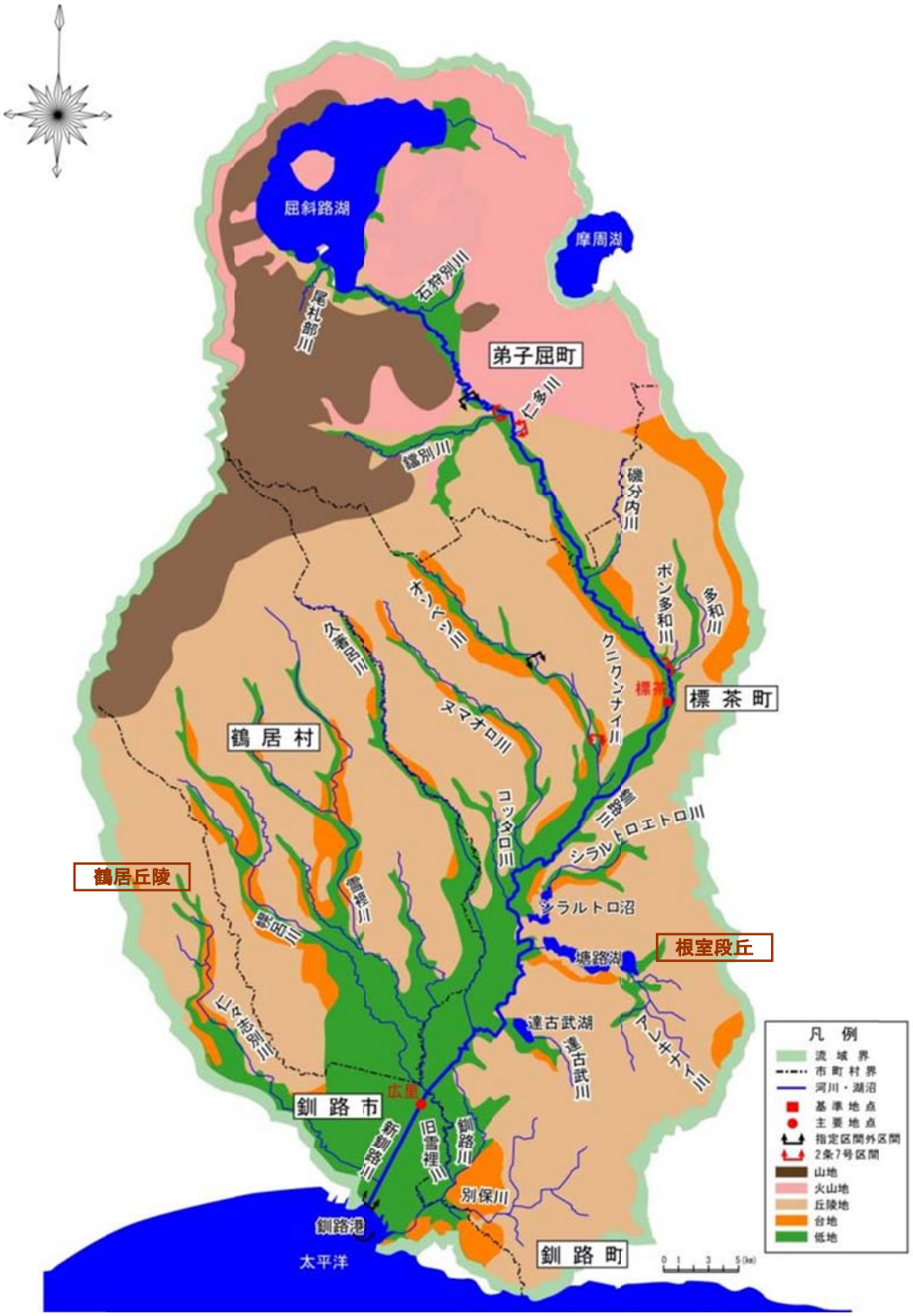
(2) 地形・地質特性

釧路川流域は、大きく 3 つの地形区に分かれる。上流域は山地、火山地であり、中流域は丘陵地、下流域に入ってからは台地及び低地である。

上流域は、屈斜路、摩周のカルデラや活火山などがあって起伏が激しい。

中流域は、鐺別川合流点付近から南西にかけては標高 120m～300m の鶴居丘陵、南東には標高 40m～120m の根室段丘が広がっている。

下流域は、標高 10m 以下の平坦な釧路湿原が広がっている。

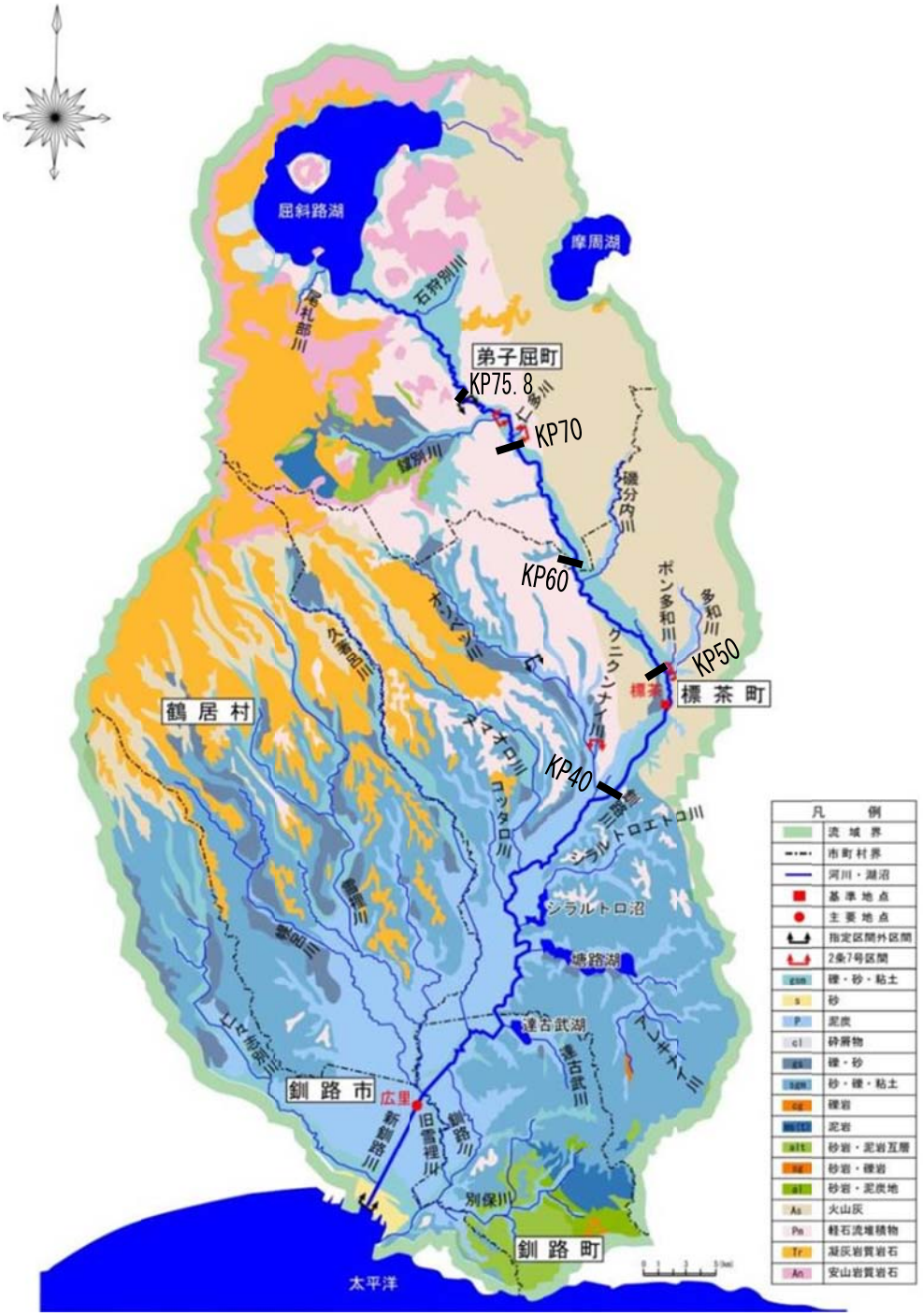


図Ⅱ-2-2　流域地形図

出典:「土地分類図　北海道Ⅷ(釧路根室支庁)　財団法人 日本地図センター発行」

釧路川流域の地質分布としては、上流域は安山岩や凝灰岩が主体であり、中流域は火山灰や軽石などの火山砕屑物におおわれ、下流域は湿原を構成する泥炭層や砂層からなっている。

これらの地形や地質分布を背景に、釧路川中流域の堤防周辺の地盤は以下の特性をもつ。上流部の KP60～KP75 では、表層より砂礫が分布している。中流部の KP41～KP60 付近では、火山灰を含んだ砂質土または礫質土が堆積している。KP41 付近より下流では、表層に泥炭または粘性土の薄層が分布している。

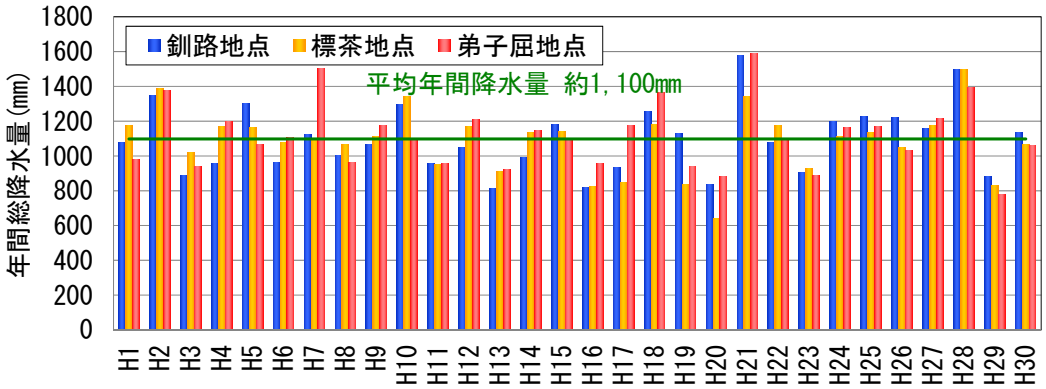


図Ⅱ-2-3　地質図

出典:「土地分類図　北海道Ⅷ(釧路根室支庁)　財団法人 日本地図センター発行」

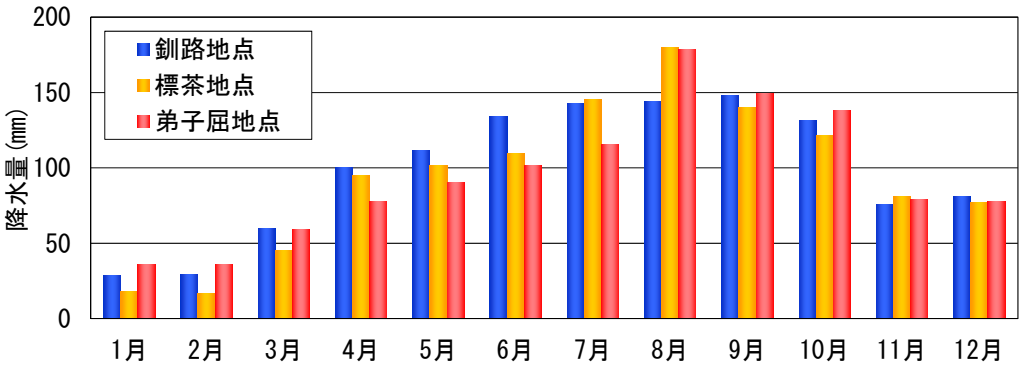
(3) 気候

釧路川流域の平均年間降水量は約 1,100㎜ で、月別降水量は 8 月、9 月が多い。



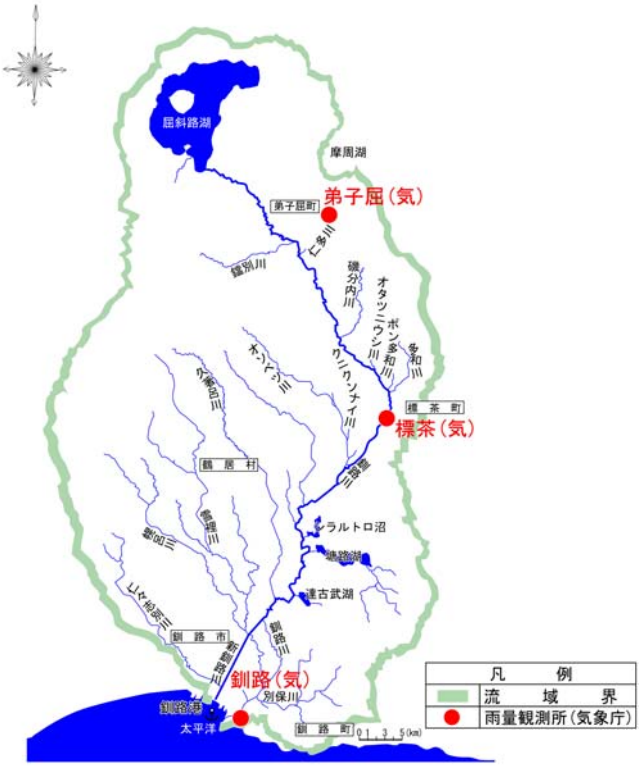
図Ⅱ-2-4　釧路川流域の年間降水量

出典:「気象庁　統計期間:2009～2018 年（近年 10 ヵ年平均値)」



図Ⅱ-2-5　釧路川流域の月別平均降水量

出典:「気象庁　統計期間:2009～2018 年（近年 10 ヵ年平均値)」



図Ⅱ-2-6　観測所位置図

(4) 土地利用

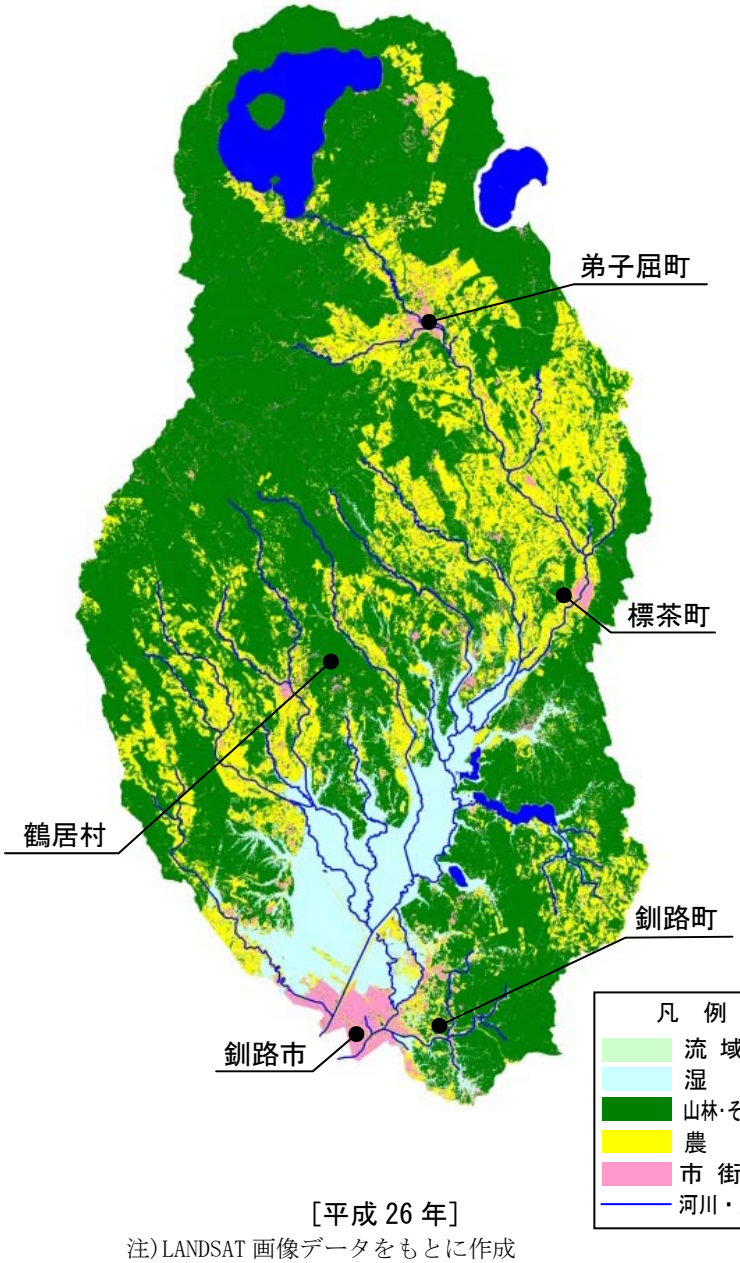
上流の屈斜路湖などは阿寒摩周国立公園に、下流の釧路湿原はラムサール条約[注)]登録湿地及び釧路湿原国立公園に指定されているなど、豊かな自然環境に恵まれている。

釧路川流域には、釧路市、釧路町、標茶町、弟子屈町、鶴居村の 1 市 3 町 1 村が存在し、その人口は約 21 万人である(平成 27 年国勢調査)。釧路市は、流域内最大の都市であり、道東地域の社会・経済・文化の中心地である。

また、流域の土地利用は、山林などが約 67%、牧草地などの農地が約 21%、湿原が約 8%、宅地などの市街地が約 4%となっている。

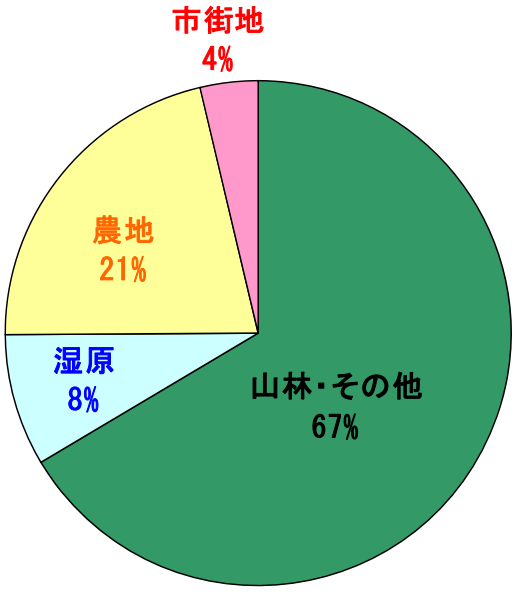
流域内の農業形態は、酪農(生乳生産)が盛んであり、特に生乳の生産量は、全国の約5割のシェアを占める北海道の生乳生産のうち、約1割を釧路川流域が占めている。

注)ラムサール条約：特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約。1971 年イランのラムサール(Ramsar)で採択されたことからラムサール条約と呼ばれている。



[平成 26 年]

注)LANDSAT 画像データをもとに作成



[平成 26 年]

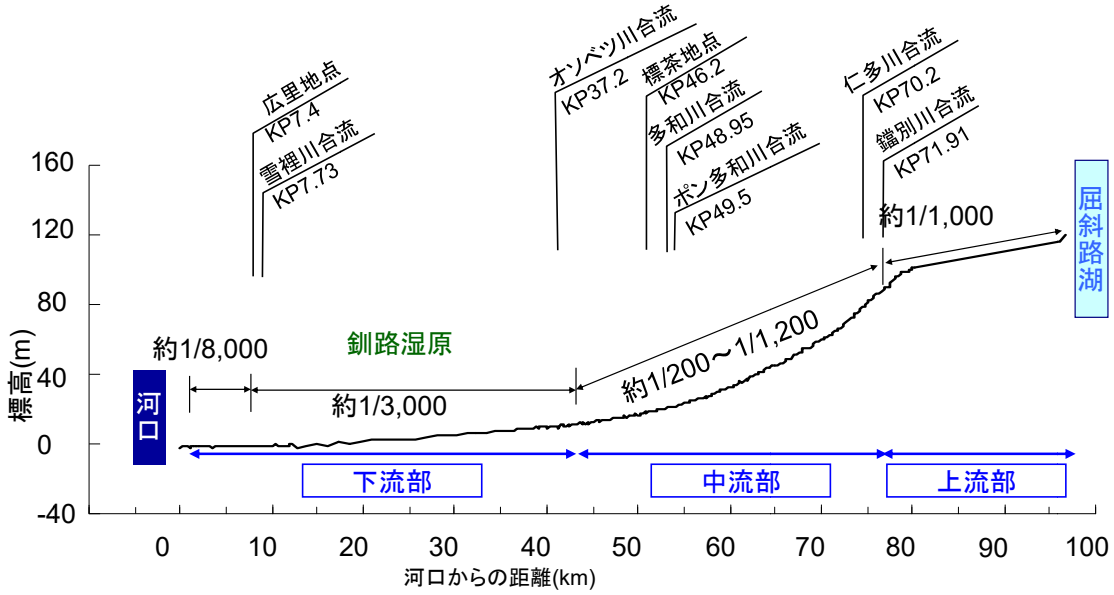
図 2-1　流域の土地利用状況

図Ⅱ-2-7　土地利用の経年変化図

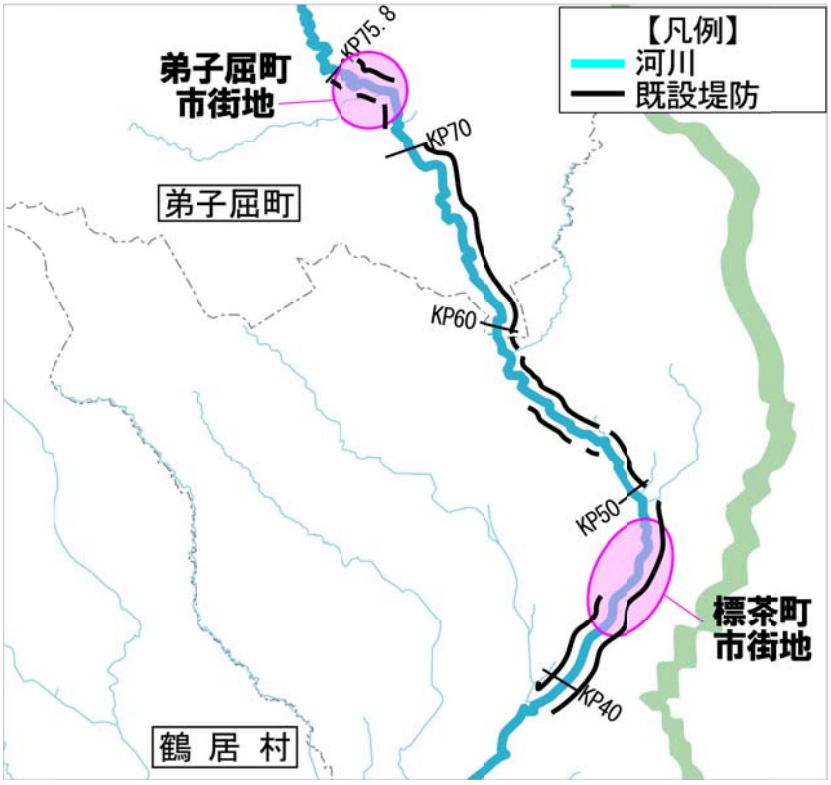
2-1-2　河道特性（河床勾配、河道と堤防の整備状況）

釧路川の河床勾配は、屈斜路湖から弟子屈市街部付近(以下「上流部」という)が1/1,000 程度、弟子屈市街部付近からオソベツ川合流点(釧路湿原流入部)付近(以下「中流部」という)が 1/200～1/1,200 程度、さらに釧路湿原から新釧路川河口部(以下「下流部」という)が 1/3,000～1/8,000 程度である。

堤防は、オソベツ川合流点（KP37 付近）から KP75 まで概ね概成している。



図Ⅱ-2-8　平均河床高縦断図



図Ⅱ-2-9　河道と堤防の状況

2-1-3　釧路川の治水（捷水路事業など）

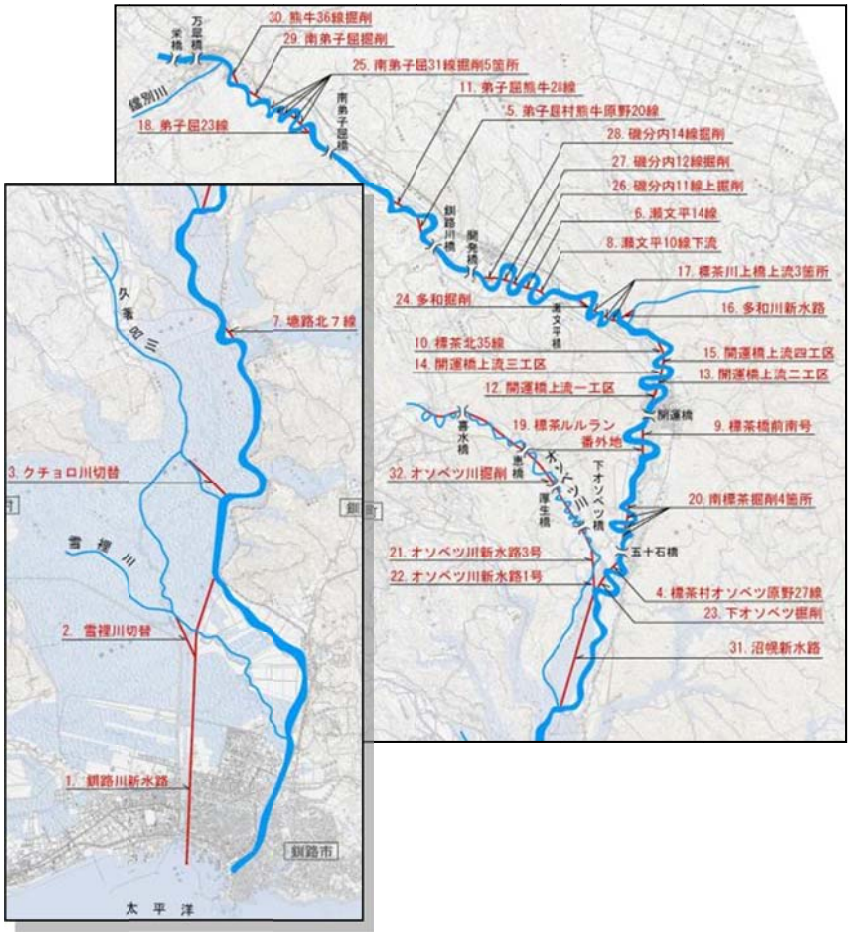
釧路川の治水事業は、広大な原野や原生林の開拓とともにあり、低平地の洪水氾濫を減少させるとともに、地下水を低下させることにより、土地利用を可能とすることを目的とし、捷水路事業を中心に進められた。

本格的な治水事業は、既往最大の洪水である大正 9 年 8 月洪水を契機に実施され、釧路市街のある下流部において、大正 10 年より岩保木から阿寒新川河口まで現在の新釧路川となる延長 11.2km の新水路掘削を実施し、昭和 6 年に通水した。

戦後、昭和 22 年 9 月及び昭和 23 年 9 月洪水を契機として、標茶・弟子屈市街のある中・上流域において浸水被害を防止するため、捷水路掘削、堤防工事などを実施した。

昭和 40 年の新河川法施行を受け、昭和 42 年に釧路川水系が一級河川に指定され、釧路川水系工事実施基本計画を策定し、標茶地区の引堤や熊牛地区などの堤防の新築及び拡築、河道の掘削、浚渫、護岸設置などを実施した。

平成 20 年 3 月に、当面の具体的な河川整備に関する事項を示した釧路川水系河川整備計画を策定し、洪水を安全に流下させるための対策として堤防整備や標茶地区および弟子屈地区の河道整備を実施している。また、地震・津波対策として地震・津波発生時の被害軽減対策を実施している。



番号	名　　称	新水路延長(m)	旧河道延長(m)	着工年	通水年
1	新釧路川新水路	10,850	17,000	T10年	S6年
2	雪裡川切替	1,065	10,200	S2年	S5年
3	クチョロ川切替	2,656	4,000	S5年	S6年
4	標茶村オソベツ原野27線	112	650	S8年	S8年
5	弟子屈村熊牛原野20線	404	550	S7年	S7年
6	瀬文平14線	118		S8年	S8年
7	塘路北7線	75		S10年	S10年
8	瀬文平10線下流	101	350	S13年	S13年
9	標茶橋前南号	67		S15年	S15年
10	標茶北35線	37	450	S16年	S16年
11	弟子屈熊牛28線	148	400	S17年	S18年
12	開運橋上流一工区		630		
13	開運橋上流二工区	126	550	S26年	S26年
14	開運橋上流三工区	180	450	S26年	S27年
15	開運橋上流四工区	200	350	S26年	S26年
16	多和川新水路	309	350	S27年	S27年
17	標茶川上橋上流3箇所	675	1,100	S27年	S28年
18	弟子屈23線	389	900	S27年	S28年
19	標茶ルルラン番外地	170	500	S28年	S28年
20	南標茶掘削4箇所	700	1,250	S32年	S33年
21	オソベツ川新水路3号	343	600	S33年	S34年
22	オソベツ川新水路1号	619	8,000	S35年	S35年
23	下オソベツ掘削	300	700	S34年	S35年
24	多和掘削	440	650	S35年	S36年
25	南弟子屈31線掘削5箇所	330	1,650	S36年	S36年
26	磯分内(いそぶんない)11線上掘削	605	850	S37年	S37年
27	磯分内12線掘削	200	400	S38年	S38年
28	磯分内14線掘削	250	350	S39年	S39年
29	南弟子屈掘削	1,540	2,200	S41年	S41年
30	熊牛36線掘削	695	920	S44年	S45年
31	沼幌新水路	4,970	8,926	S48年	S56年
32	オソベツ川掘削	11,230	20,310	S40年	S56年

図Ⅱ-2-10　捷水路事業の実施状況

2-2　堤防被災の概要

2-2-1　平成 26 年、平成 28 年の洪水特性と堤防被災

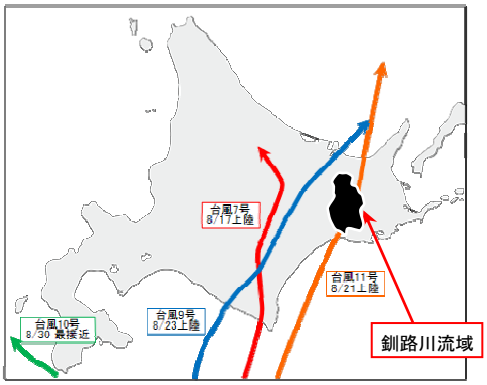
標茶町市街地の釧路川左岸 45.8k 付近（標茶町富士地先）で発生した法面すべりなどの河川被害は、平成 28 年 8 月の大雨により発生したが、それ以前の平成 26 年 8 月の大雨でも発生しているため、被災発生時の洪水特性について整理した。

(1) 平成 28 年 8 月北海道豪雨の概要

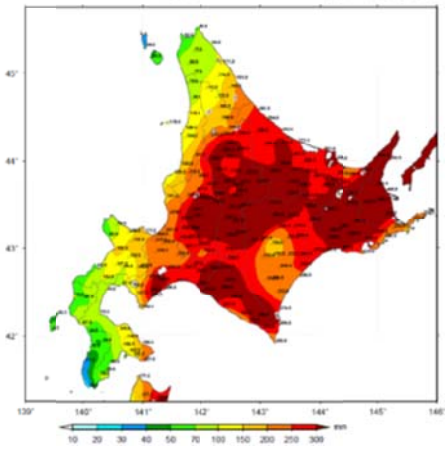
1) 北海道全体の豪雨概要

北海道地方では、平成 28 年 8 月 17 日～23 日の 1 週間に 3 個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。

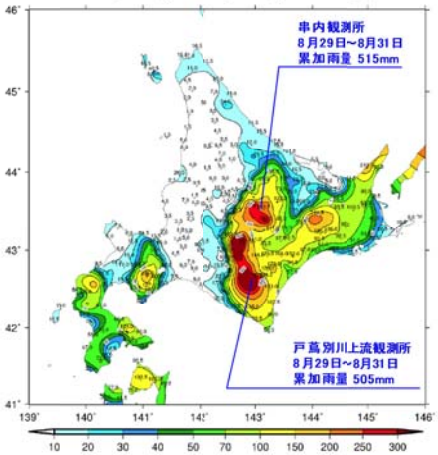
また、8 月 29 日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第 10 号が北海道に接近し、串内観測所では 8 月 29 日から 8 月 31 日までの累加雨量が 500mm を超えるなど、各地で大雨となった。



図Ⅱ-2-11　台風経路図（第 7 号・第 11 号・第 9 号・第 10 号）



（平成 28 年 8 月 15 日 1 時～24 日 24 時）



（平成 28 年 8 月 29 日 1 時～31 日 9 時）

図Ⅱ-2-12　アメダス降雨量分布

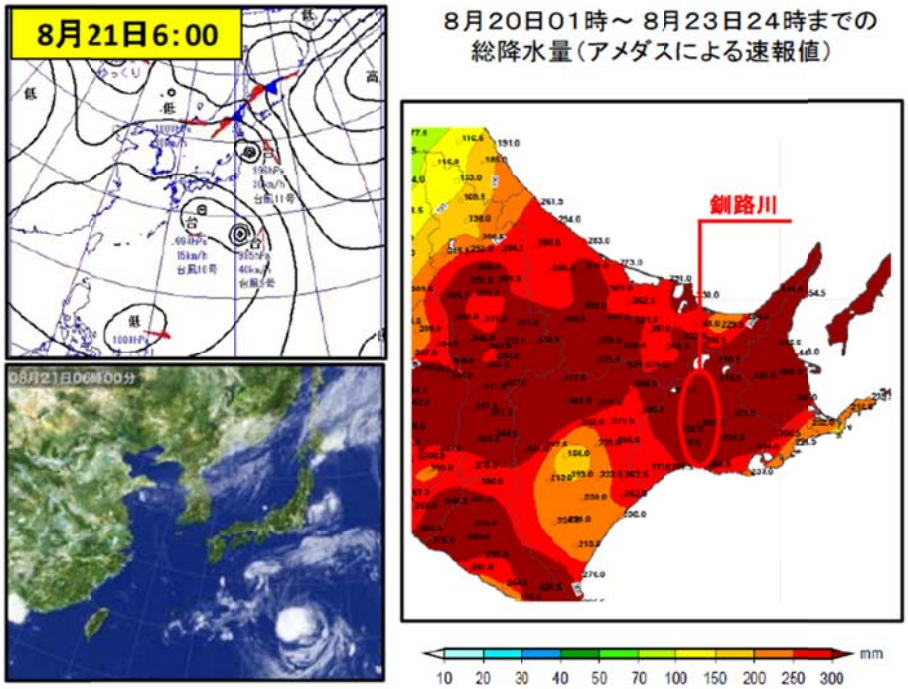
出典：「日本気象協会　配布資料から転載」

表Ⅱ-2-1　道内の主要な地点における年平均降水量(mm)

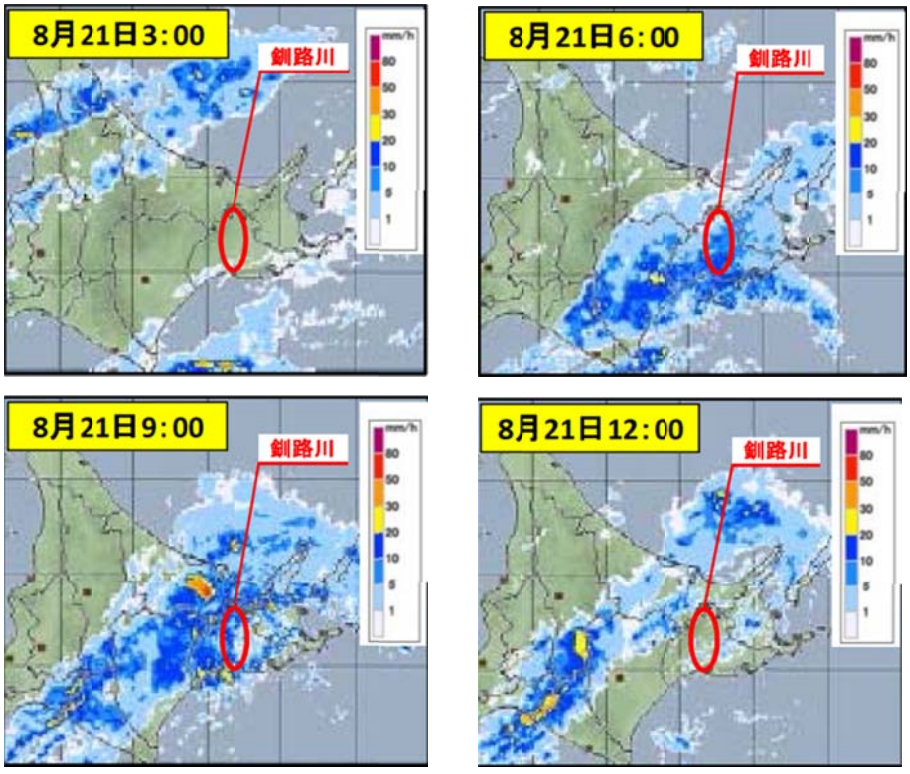
地点名	年平均降水量(mm)	統計期間	地点名	年平均降水量(mm)	統計期間
札幌	1,097	1876～2015	釧路	1,077	1890～2015
函館	1,170	1873～2015	帯広	934	1892～2015
小樽	1,241	1943～2015	網走	829	1889～2015
旭川	1,097	1888～2015	北見	766	1976～2015
室蘭	1,183	1923～2015	留萌	1,244	1943～2015

2) 釧路川の平成 28 年 8 月豪雨の概要

釧路地方では、停滞する前線の影響により 8 月 20 日から各地で雨が降り続き、8 月 21 日には台風第 11 号の影響により釧路川流域に強い雨が降った。特に標茶雨量観測所における 8 月の降水量は、観測史上 1 位となる 561mm を記録するなど、各観測所で観測史上最多雨量を観測した。



図Ⅱ-2-13　気象の概要

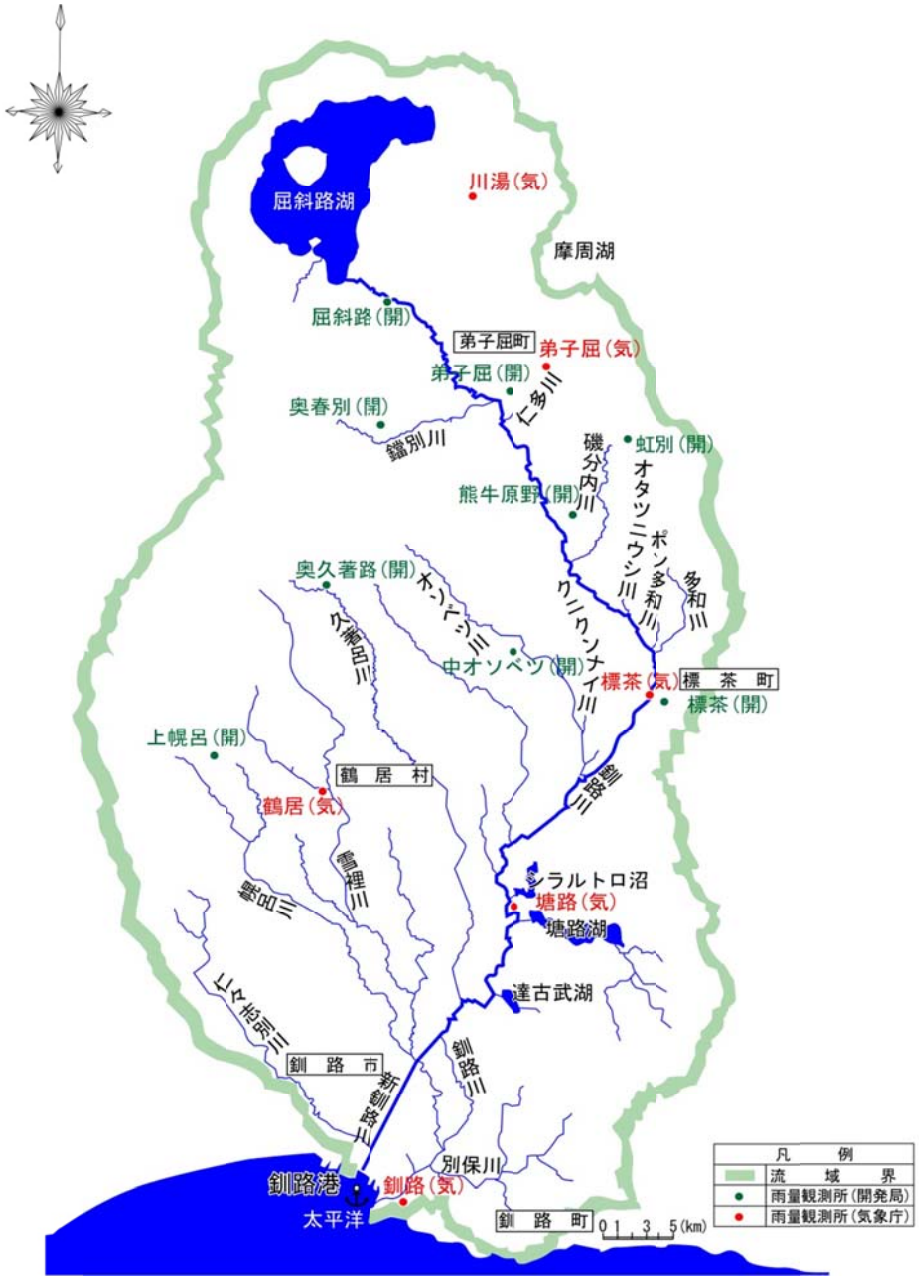


図Ⅱ-2-14　レーダー雨量図

出典：「日本気象協会　配布資料から転載」

表Ⅱ-2-2　釧路川流域の平成 28 年 8 月の降水量（mm）

8 月降水量の月最大値						
都道府県	観測所名	平成 28 年 8 月の降雨量		これまでの 1 位の値		統計開始年
		mm	日時分	mm	年月日	
北海道　釧路地方	屈斜路	520	8 月 21 日	355	1992 年 9 月	1955 年
北海道　釧路地方	弟子屈	545	8 月 21 日	326	1992 年 9 月	1954 年
北海道　釧路地方	虹別	662	8 月 21 日	310	1992 年 9 月	1987 年
北海道　釧路地方	奥春別	596	8 月 21 日	460	1967 年 6 月	1960 年
北海道　釧路地方	熊牛原野	568	8 月 21 日	340	1985 年 9 月	1958 年
北海道　釧路地方	奥久著呂	729	8 月 21 日	414	2003 年 8 月	1982 年
北海道　釧路地方	中オソベツ	557	8 月 21 日	351	1985 年 9 月	1961 年
北海道　釧路地方	標茶	561	8 月 21 日	383	1992 年 9 月	1947 年
北海道　釧路地方	上幌呂	594	8 月 21 日	356	2009 年 6 月	1988 年



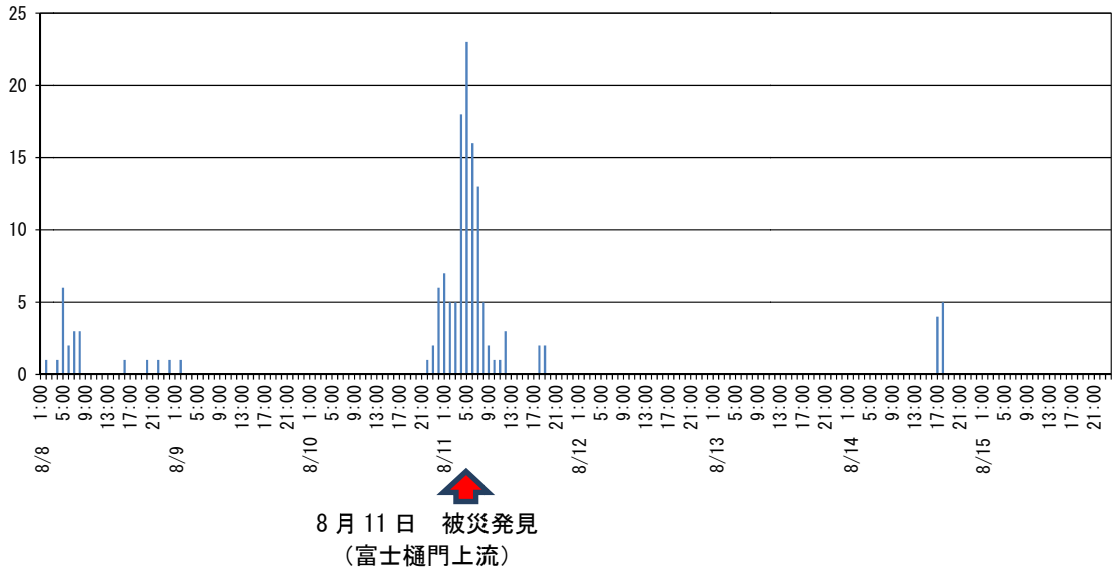
(2) 降雨の状況

釧路川左岸 45.8k 付近において法面すべりが発生した平成 26 年 8 月、平成 28 年 8 月の降雨について整理した（図Ⅱ-2-15、図Ⅱ-2-16）。法面すべり発生時の降雨強度を調べると、15㎜/時間を超える雨量、または 10㎜/時間程度以上の降雨が数時間続く場合に、法面すべりが発生している。

写真Ⅱ-2-1　堤防法面被災箇所

1) 平成 26 年 8 月の降雨の状況

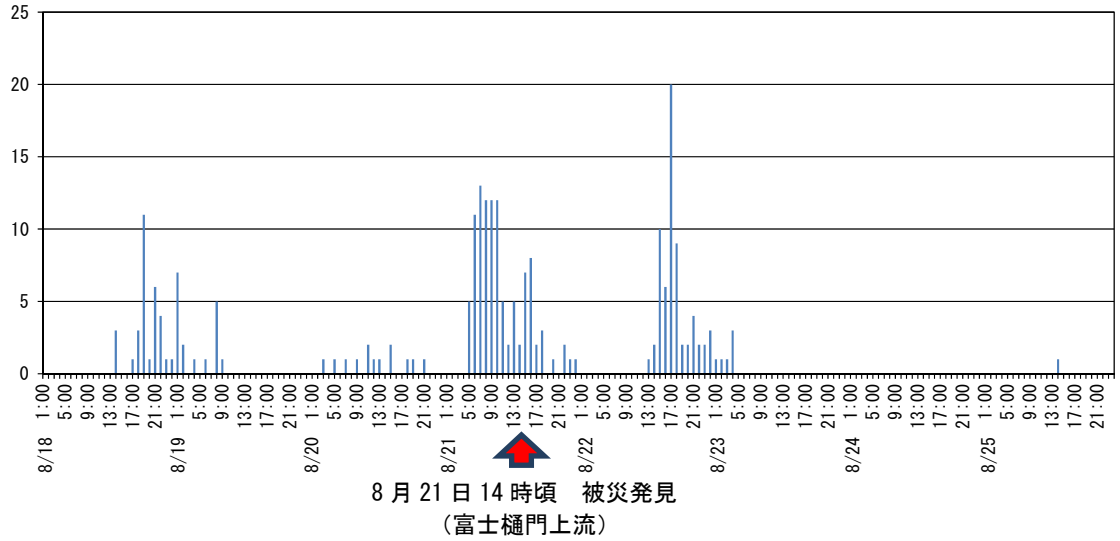
8 月 10～11 日の台風第 11 号により、標茶で午前 3 時～7 時の 4 時間に 20㎜/時間前後の雨が継続して降り、総雨量 112㎜ を記録し、法面すべりが発生した。



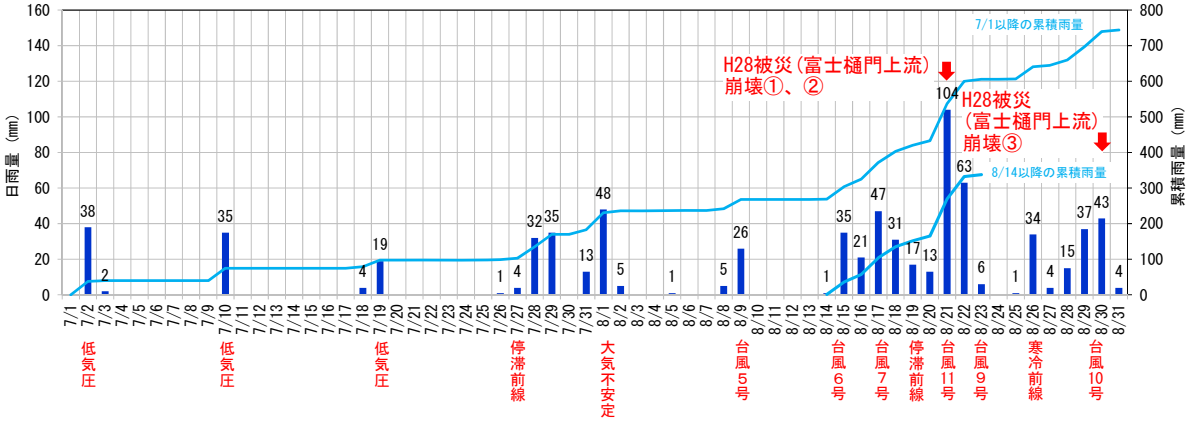
図Ⅱ-2-15　堤防法面被災時（平成 26 年 8 月）の時間降水量【標茶雨量観測所】

2）平成 28 年 8 月の降雨の状況

8 月からの度重なる台風により、8 月としては観測史上最大となる月降水量を記録している。北上した台風第 11 号により、最大 13mm/時間（総雨量 77mm ※発見時までの連続降水量）の降雨により、8 月 21 日 14 時頃に富士樋門上流地先の崩壊①、②で法面すべりが発見された。富士樋門上流地先の表法肩開口は、8 月 23 日に確認されたが、詳細な発生時期は不明である。富士樋門上流地先の崩壊③は、8 月 31 日 7 時頃に発見され、時間降水量は 10mm 以下であったが、台風第 10 号の影響により、29 日昼頃から 31 日の朝にかけて総降水量は 80mm に達しており、それ以前にも降雨が断続的に続いている状況であった。



図Ⅱ-2-16　堤防法面被災時（平成 28 年 8 月）の時間降水量【標茶雨量観測所（開発局）】



図Ⅱ-2-17　平成 28 年 7 月以降の日降水量【標茶雨量観測所（開発局）】

(3) 平成 28 年 8 月の河川水位の状況

平成 28 年 8 月 17 日からの降雨により、釧路川流域の水位観測所 6 箇所※1の内、避難判断水位超過 1 箇所及び氾濫注意水位超過 5 箇所において基準水位を上回る水位を記録した。

※1　氾濫注意水位などの基準水位を設定している観測所数

表Ⅱ-2-3　平成 28 年 8 月の河川水位の状況

河川名	観測所名	河口（合流点）からの距離（km）	基準水位					既往最高水位（m）	今回最高水位		
			水防団待機水位（m）	氾濫注意水位（m）	避難判断水位（m）	氾濫危険水位（m）	計画高水位（m）		月 日 時		水位（m）
釧路川	弟子屈	74.70	100.50	100.70	101.80	102.00	102.09	101.62	8 月 21 日	16 時	100.88
	標茶	46.10	20.10	20.80	21.80	22.50	23.50	23.10	8 月 21 日	16 時	22.55
	岩保木	11.00	3.30	3.40	－	－	6.51	4.44	8 月 24 日	9 時	4.55
新釧路川	広里	7.40	2.40	2.60	5.00	5.10	5.30	3.38	8 月 24 日	23 時	4.02
	鳥取	1.10	0.80	1.00	－	－	2.81	1.32	8 月 24 日	19 時	1.48
オソベツ川	下オソベツ	5.30	16.70	17.40	－	－	19.28	19.26	8 月 21 日	15 時	18.46

氾濫注意水位超過

避難判断水位超過

位置図

標茶市街地は内水による浸水被害が発生し、標茶水位観測所付近では高水敷（堤外側法尻）より 0.5～1.0m 程度の高さまで水位が上昇した。

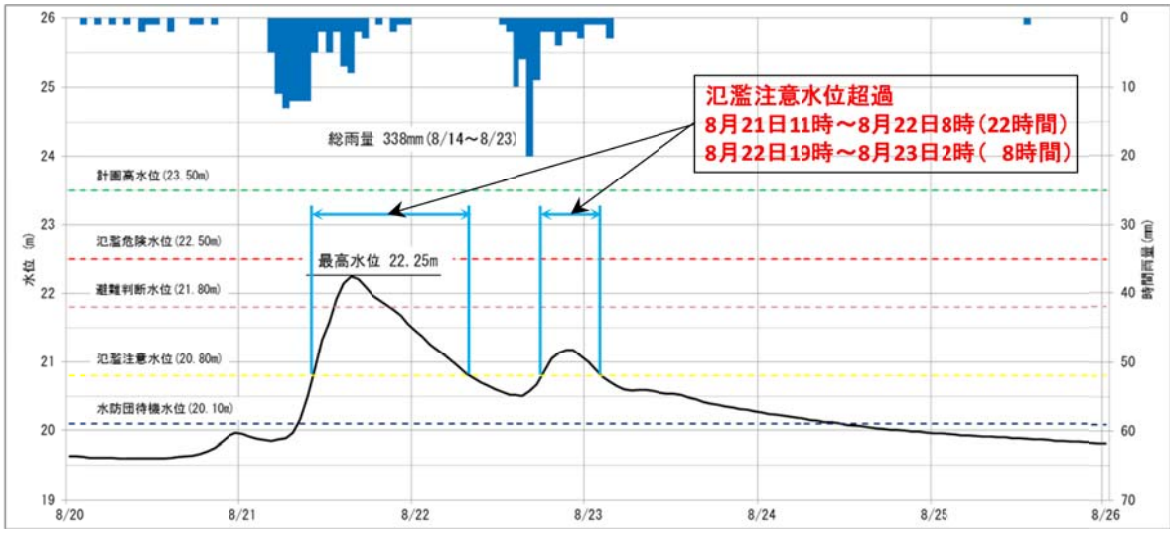
写真Ⅱ-2-2　標茶町市街地の浸水状況（内水）

写真Ⅱ-2-3　標茶地点（KP46 付近）河道状況

写真Ⅱ-2-4　平成 28 年 8 月 20 日（土）13 時頃

写真Ⅱ-2-5　平成 28 年 8 月 21 日（日）14 時頃

釧路川水系釧路川標茶水位観測所地点では、8 月 21 日 9 時から 24 日 12 時までの 76 時間にわたり水防団待機水位(20.10m)を超過し、さらに 21 日 11 時から 22 日 8 時までの 22 時間と 22 日 19 時から 23 日 2 時までの 8 時間にわたり、氾濫注意水位(20.80m)を超過した。



図Ⅱ-2-18　河川水位の状況（標茶水位観測所地点）※雨量データは熊牛原野雨量観測所

2-2-2　過去の堤防被災の概要

近年多発している大雨により、釧路川中流部では平成 25 年以降、堤防の法面すべりなどによる被災が発生している。以下に平成 25 年以降の被災事例を示す。

表Ⅱ-2-4　釧路川の堤防の被災（平成 25 年～27 年）

被災箇所		被災年	被災状況	復旧状況	被災形態	検討･復旧
①	左岸 42.2	H25.9			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧 堤防天端低み 解消
②	左岸 43.1	H25.9			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧
③	右岸 38.2	H25.9			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧
④	左岸 43.5	H25.9			ガリ浸食 ・ 法面すべり	H25　原形復旧 H26　堤防天端 舗装 法面補修
⑤	右岸 45.2～ 45.5 （5 箇所）	H26.4			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧
⑥	右岸 45.6	H26.4			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧
⑦	左岸 45.9	H26.8			ガリ浸食 ・ 法面すべり	H26 業務で検討 法面補修
⑧	右岸 38.0	H27.8			ガリ浸食 ・ 法面すべり	原形復旧

表Ⅱ-2-5　釧路川の堤防の被災（平成 28 年）

被災箇所		被災年	被災状況	復旧状況	被災形態	検討・復旧
⑨	左岸 42.2	H28.8		（応急復旧中）	ガリ浸食 ・ 法面すべり	ー
⑩	左岸 45.8 （崩壊①）	H28.8		（応急復旧中）	ガリ浸食 ・ 法面すべり	ー
⑪	左岸 46.0 （崩壊②、③）	H28.8		（応急復旧中）	ガリ浸食 ・ 法面すべり	ー

⑧
右38.0
⑧H27.8 確認箇所
（川裏：光F盛土）
③
右38.2
③H25 確認箇所
（川裏：光F盛土）
⑤
右45.0，右45.2～45.5：5箇所
⑤H26 確認箇所
（川表法肩）
⑥
右45.6
⑥H26 確認箇所（川裏）
堤防詳細点検結果（赤：要対策、青：対策不要）
川に対し外側の線：裏法すべり
川に対し中央の線：パイピング（局所動水勾配または揚圧力）
川に対し内側の線：表法すべり
標茶
ルルラン樋門
富士樋門
亀裂(H6.10)
富士樋門開削調査(S57)
右39.40
右41.20
右41.50
右40.60
右43.40
右45.10
右46.00
左38.60
左40.80
左42.00
左42.80
左44.20
左44.40
左46.40
左47.80
①
左42.2
②
左43.1
④
左43.5
①②④
H25.9　10確認箇所
（天端または川裏）
⑦
左45.9
⑦H26.8確認箇所
（川表）
⑦
左45.9
⑦H26確認箇所
（川裏）
⑨
左42.2
（ルルラン樋門下流）
⑨H28.8 確認箇所
（川裏）
⑩
左45.8付近
⑪
左46.0付近
⑩⑪H28.8確認箇所
（川表）
（富士樋門上流）

2-2-3　標茶築堤左岸の堤防被災（平成 28 年度調査：被災直後の調査）

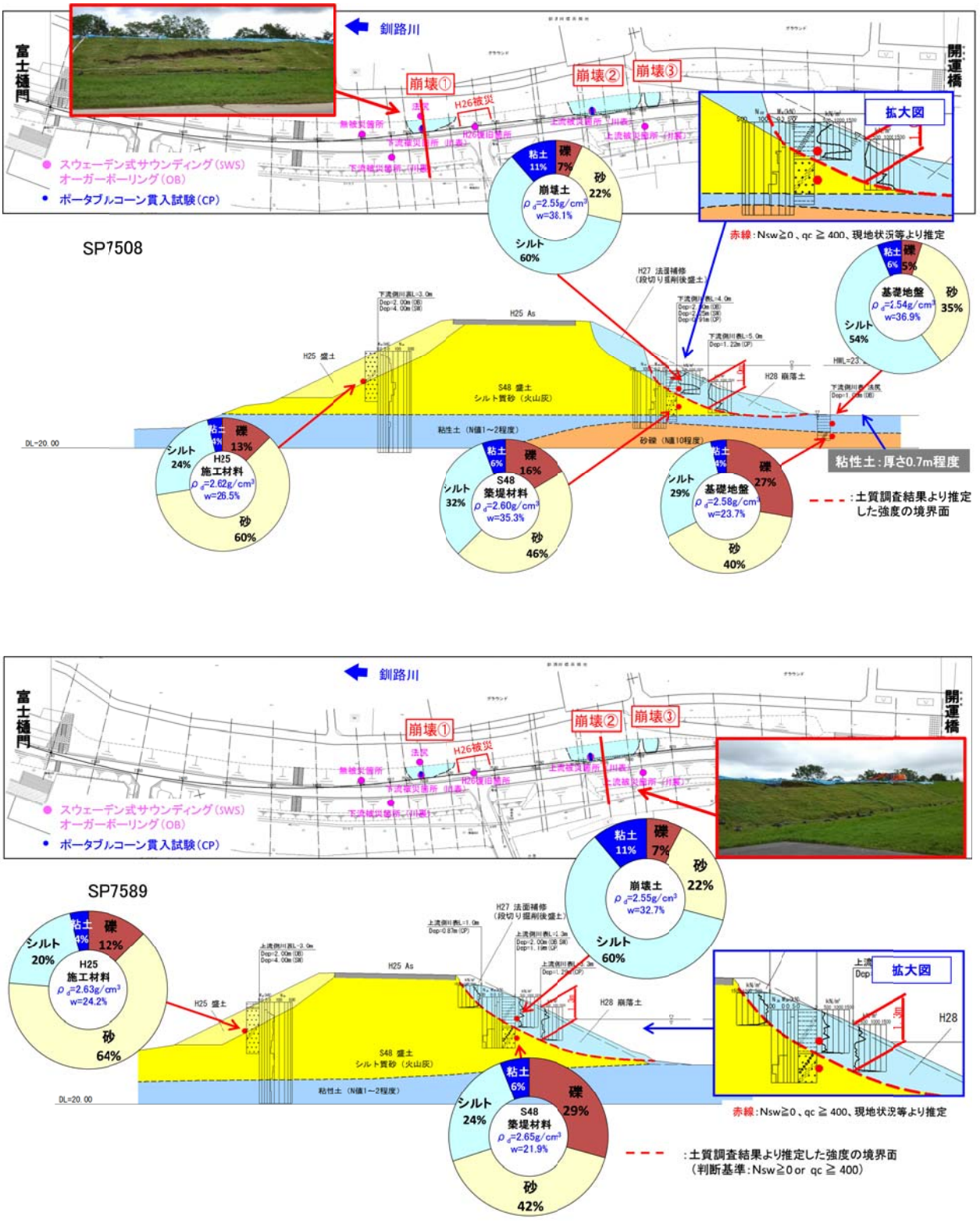
(1) 標茶築堤左岸の被災状況

平成 28 年に KP45.8 左岸付近（崩壊①）、KP46.0 左岸付近（崩壊②、③）にて縦断的な低みに雨水が集中し、堤外側に法面すべりが発生した。平成 26 年にも KP45.8 左岸付近（崩壊①）で法面すべりが発生している。

図Ⅱ-2-19　被災状況（平成 26、28 年）

(2) 標茶築堤左岸の堤体及び基礎地盤の土質

崩壊①、②ともに、堤体は、S48 築堤盛土はシルト質砂（火山灰質）、H25 拡幅盛土は砂質土、H27 法面補修盛土は粘性土である。基礎地盤の表層は、粘性土が分布している。

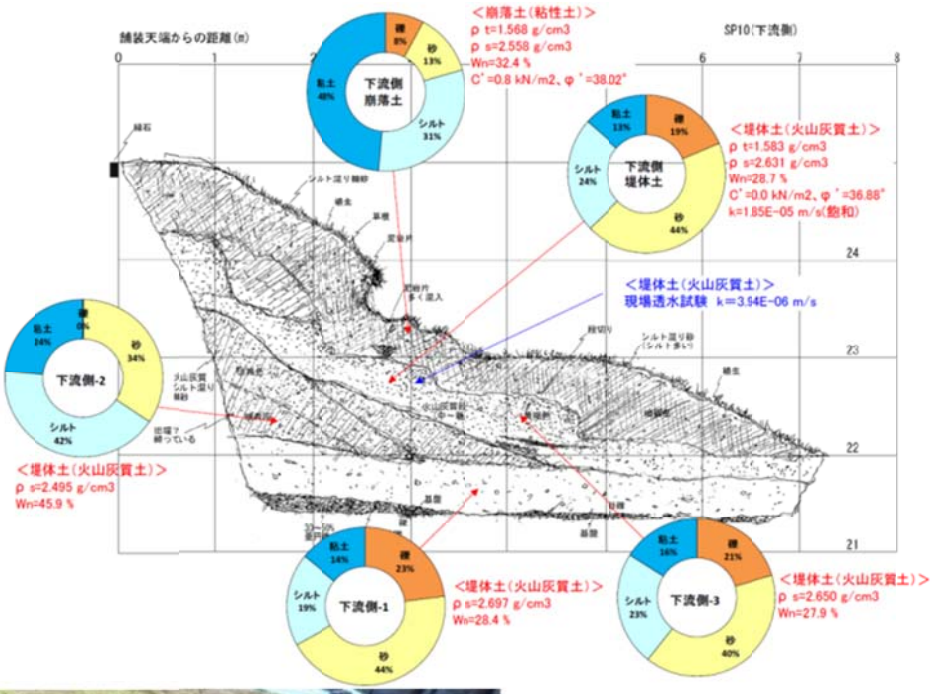


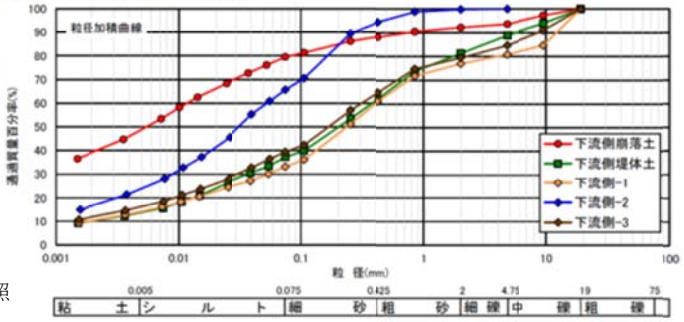
図Ⅱ-2-20　堤体及び基礎地盤の土質（崩壊①、②）

(3) 標茶築堤左岸の開削調査

崩壊土は H27 に法面補修した粘性土である。施工時の段切りラインが確認できた。

〈崩壊①〉



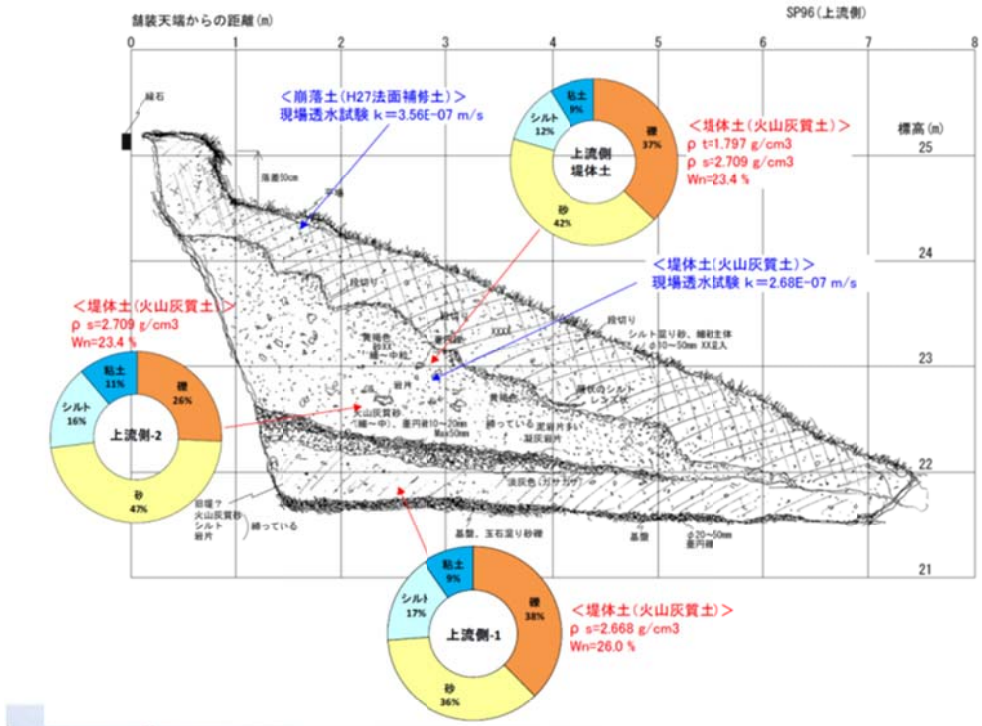


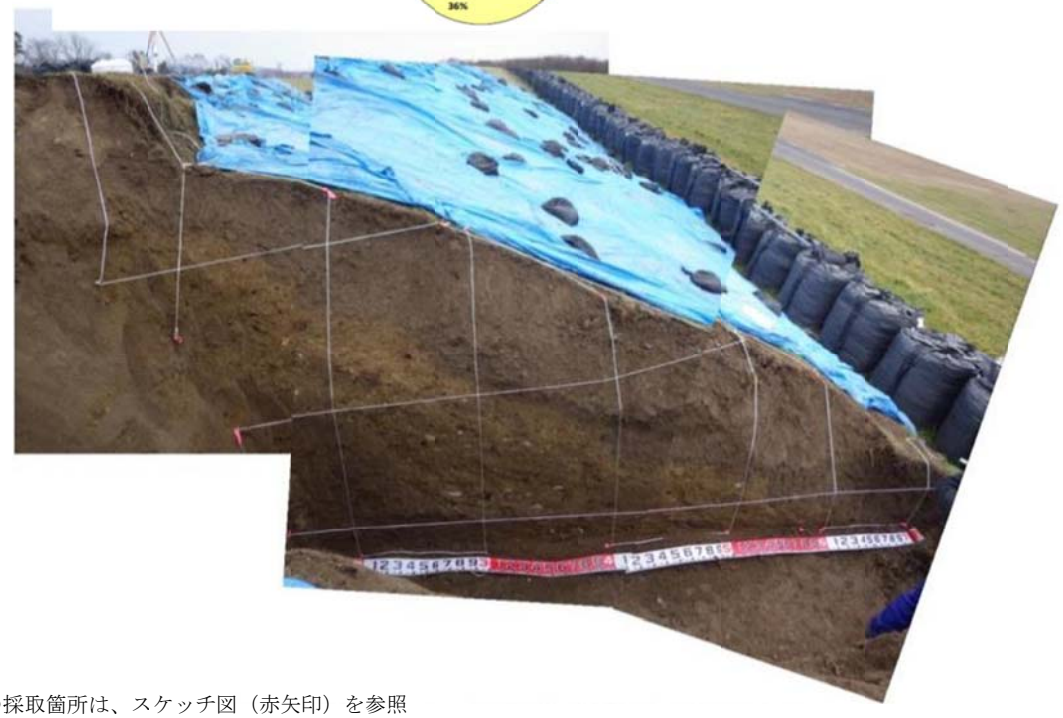
各試料の採取箇所は、スケッチ図（赤矢印）を参照

試料名		崩落土	堤体土	下流側-1	下流側-2	下流側-3
湿潤密度		1.568	1.583	—	—	—
乾燥密度		1.184	1.230	—	—	—
土粒子密度		2.558	2.631	2.697	2.495	2.650
自然含水比		32.4	28.7	28.4	45.9	27.9
間隙比		1.160	1.139	—	—	—
飽和度		71.5	66.3	—	—	—
粒度	礫分	7.8	18.6	23.0	0.2	20.5
	砂分	12.7	44.2	43.9	34.2	40.1
	ｼﾙﾄ分	30.9	23.7	19.0	41.9	23.4
	粘土分	48.6	13.5	14.1	23.7	16.0
液性限界		42.5	—	—	—	—
塑性限界		30.8	—	—	—	—
工学的分類		砂礫混じりｼﾙﾄ	細粒分質礫質砂	細粒分質礫質砂	砂質細粒土	細粒分質礫質砂
三軸試験	全応力C	0.0	0.0	—	—	—
	全応力φ	20.36	20.52	—	—	—
	有効応力C'	0.8	0.0	—	—	—
	有効応力φ'	38.02	36.88	—	—	—
透水係数 (m/s)	室内	—	1.85E-05	—	—	—
	現場	—	3.94E-06	—	—	—

図Ⅱ-2-21　開削調査（崩壊①）

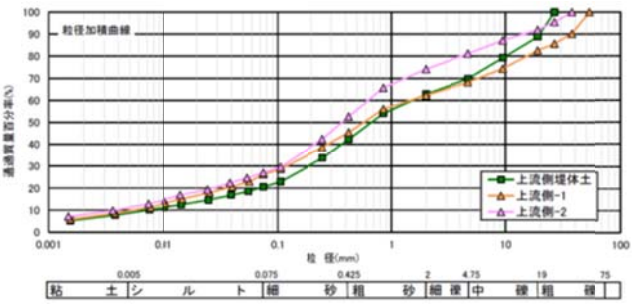
〈崩壊②〉





各試料の採取箇所は、スケッチ図（赤矢印）を参照

試料名		上流側堤体土	上流側-1	上流側-2
湿潤密度		1.797	—	—
乾燥密度		1.514	—	—
土粒子密度		2.690	2.668	2.709
自然含水比		18.7	26.0	23.4
間隙比		0.777	—	—
飽和度		64.8	—	—
粒度	礫分	37.2	37.7	25.8
	砂分	42.3	36.1	47.2
	シルト分	11.8	16.6	15.9
	粘土分	8.7	9.6	11.1
液性限界		—	—	—
塑性限界		—	—	—
工学的分類		細粒分質礫質砂	細粒分質砂質礫	細粒分質礫質砂
三軸試験	全応力C	—	—	—
	全応力φ	—	—	—
	有効応力C'	—	—	—
	有効応力φ'	—	—	—
透水試験	室内	—	—	—
	現場	2.68E-07	—	—



図Ⅱ-2-22　開削調査（崩壊②）

3. 現地調査と被災（平成 30 年調査）

3-1　現地調査による状況の把握

3-1-1　平成 28 年被災箇所の平面的土質調査による基礎地盤土質の把握

平成 28 年 8 月に表層すべりが発生した釧路川左岸 KP45.8～46.0 周辺について、平面的な基礎地盤の分布状況を把握する目的で、堤防法尻付近でオーガーボーリングおよび室内土質試験を実施した。

図Ⅱ-3-1　調査位置図

(1) 土層構成

当該箇所周辺では、上流側では表層に砂質土が部分的に分布しており、下流側の主に旧川部分では、表層に砂質シルトなどの粘性土が多く確認された。

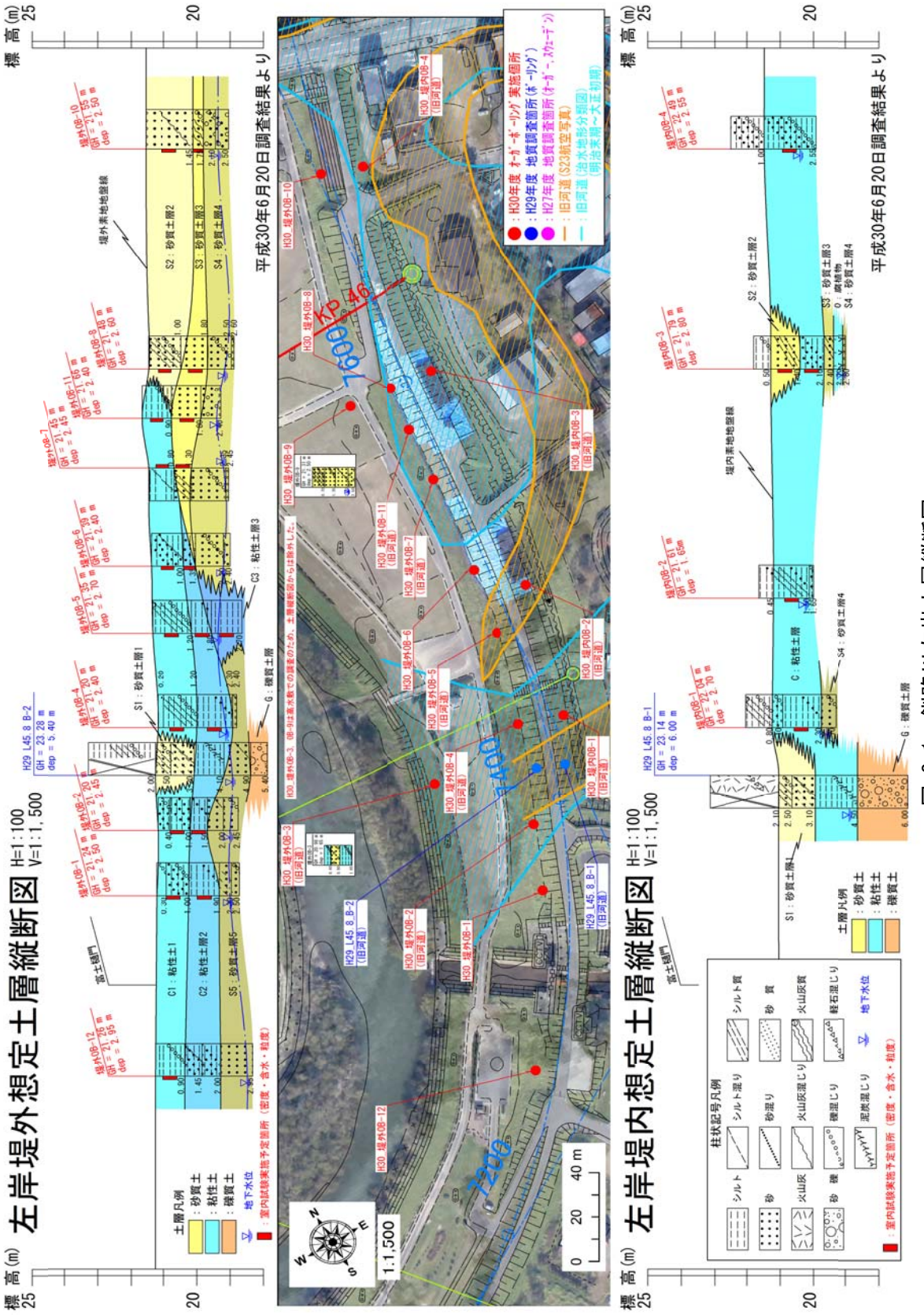


図 3-1 釧路川左岸土層縦断図

(2) 室内土質試験

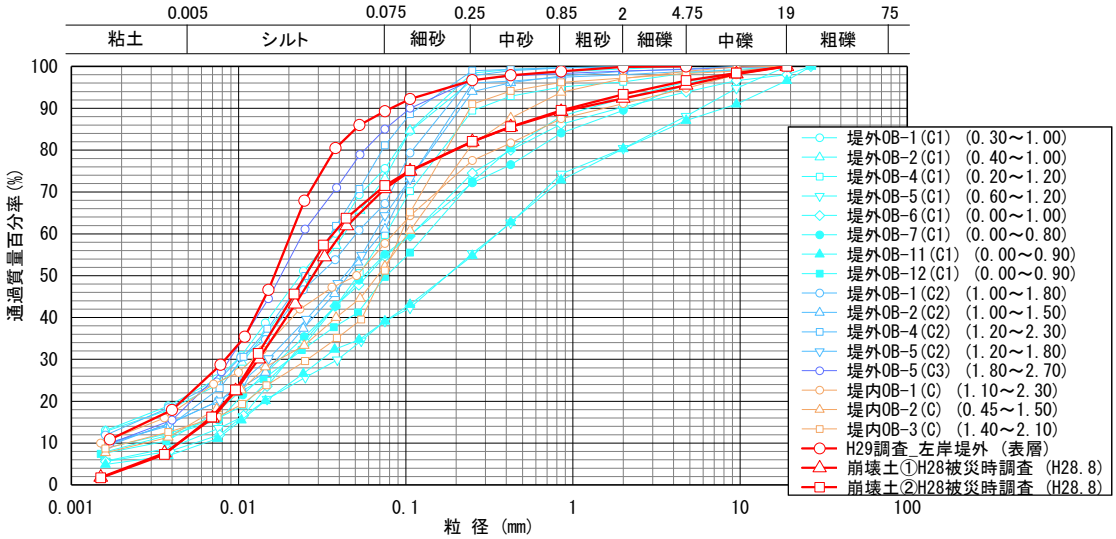
オーガーボーリングで採取した試料を用いて室内土質試験を実施した。以下に室内土質試験結果及び粒径加積曲線を示す。なお、粒径加積曲線には平成 28 年 8 月に被災した表層の調査結果を併せて示す。

1) 粘性土

表Ⅱ-3-1　室内土質試験結果一覧（粘性土）

堤内外		堤外								
孔番号		堤外OB-1		堤外OB-2		堤外OB-4		堤外OB-5		
試験深度(m)		0.30～1.00	1.00～1.80	0.40～1.00	1.00～1.50	0.20～1.20	1.20～2.30	0.60～1.20	1.20～1.80	1.80～2.70
土層記号		C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C3
土層		粘性土1	粘性土2	粘性土1	粘性土2	粘性土1	粘性土2	粘性土1	粘性土2	粘性土3
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.564	2.540	2.535	2.546	2.546	2.482	2.548	2.454	2.431
土の含水比 (%)		52.5	58.8	53.1	51.1	40.9	61.8	26.2	59.4	73.2
粒度	礫分 (%)	0.6	0.1	0.1	1.2	3.7	0.1	19.6	2.0	1.1
	砂分 (%)	23.8	32.7	26.6	37.7	36.6	18.8	41.3	33.6	13.9
	シルト分 (%)	54.4	46.9	53.4	44.6	46.0	65.0	28.9	48.1	67.3
	粘土分 (%)	21.2	20.3	19.9	16.5	13.7	16.1	10.2	16.3	17.7
	最大粒径 (mm)	4.75	4.75	4.75	9.50	19.00	4.75	19.00	19.00	19.00
	均等係数 U_c	*	*	*	39.83	31.58	21.12	72.45	32.55	13.44
分類	分類名	砂質粘性土	砂質粘性土	砂質粘性土	砂質粘性土	砂質火山灰質粘性土	砂質粘性土	火山灰質礫質砂	砂質粘性土	砂混じり粘性土
	分類記号	(CsS)	(CsS)	(CsS)	(CsS)	(VS)	(CsS)	(SVG)	(CsS)	(Cs-S)

堤内外		堤外					堤内			
孔番号		堤外OB-6		堤外OB-7	堤外OB-11	堤外OB-12	堤内OB-1	堤内OB-2	堤内OB-3	堤内OB-4
試験深度(m)		0.00～1.00	1.00～1.35	0.00～0.80	0.00～0.90	0.00～0.90	1.10～2.30	0.45～1.50	1.40～2.10	1.00～2.00
土層記号		C1	C2	C1	C1	C1	C	C	C	C
土層		粘性土1	粘性土2	粘性土1	粘性土1	粘性土1	粘性土	粘性土	粘性土	粘性土
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.549	2.620	2.490	2.593	2.566	2.542	2.501	2.532	2.634
土の含水比 (%)		29.5	24.4	31.7	26.8	30.8	41.7	43.3	43.9	21.8
粒度	礫分 (%)	9.7	18.0	10.5	19.7	7.6	8.9	2.9	2.8	34.7
	砂分 (%)	35.7	61.5	34.4	41.2	42.7	33.4	44.8	46.0	43.2
	シルト分 (%)	45.2	13.1	41.8	30.6	37.3	37.6	38.9	37.3	14.8
	粘土分 (%)	9.4	7.4	13.3	8.5	12.4	20.1	13.4	13.9	7.3
	最大粒径 (mm)	26.50	26.50	19.00	26.50	19.00	19.00	19.00	19.00	26.50
	均等係数 U_c	20.30	24.10	40.11	58.11	42.31	56.20	38.11	40.70	121.97
分類	分類名	礫混じり砂質火山灰質粘性土	粘性土質礫質砂	礫混じり砂質火山灰質粘性土	粘性土質礫質砂	礫混じり粘性土質砂	礫混じり砂質粘性土	礫質火山灰質粘性土	砂質粘性土	粘性土質礫質砂
	分類記号	(VS-G)	(SCsG)	(VS-G)	(SCsG)	(SCs-G)	(CsS-G)	(VS)	(CsS-G)	(SCsG)

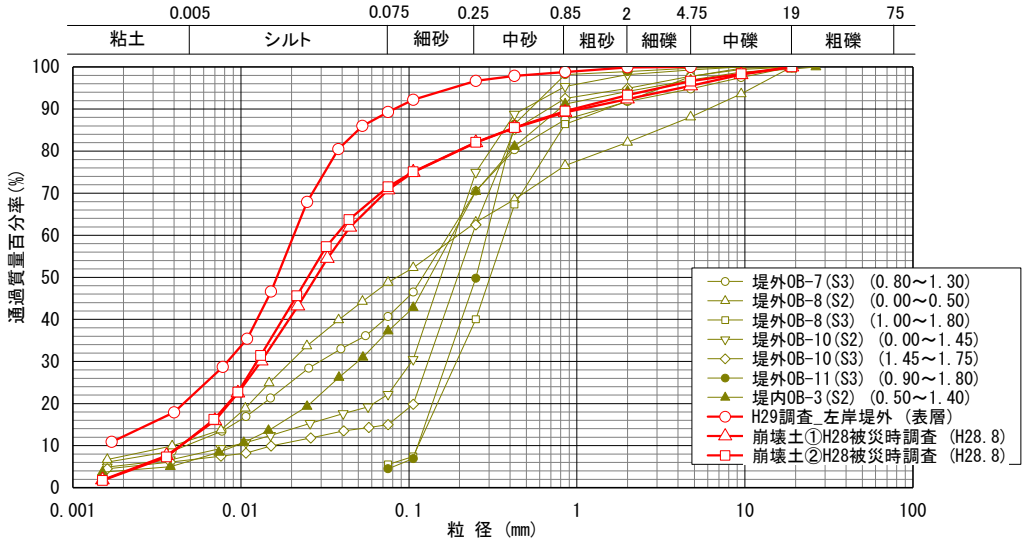


図Ⅱ-3-2　粒径加積曲線（粘性土）

2) 砂質土

表Ⅱ-3-2　室内土質試験結果一覧（砂質土）

堤内外		堤外						堤内
孔番号		堤外OB-7	堤外OB-8		堤外OB-10		堤外OB-11	堤内OB-3
試験深度(m)		0.80～1.30	0.00～0.50	1.00～1.80	0.00～1.45	1.45～1.75	0.90～1.80	0.50～1.40
土層記号		S3	S2	S3	S2	S3	S3	S2
土層		砂質土3	砂質土2	砂質土3	砂質土2	砂質土3	砂質土3	砂質土2
土粒子の密度 $\rho s(g/cm^3)$		2.523	2.502	2.619	2.633	2.638	2.694	2.565
土の含水比 (%)		37.1	29.9	13.8	35.2	26.5	13.4	25.4
粒度	礫分 (%)	8.2	17.9	8.1	1.8	5.1	1.1	5.8
	砂分 (%)	51.1	33.3	86.4	76.0	79.9	94.4	57.0
	シルト分 (%)	30.9	37.6	5.5	14.8	8.3	4.5	31.3
	粘土分 (%)	9.8	11.2		7.4	6.7		5.9
	最大粒径 (mm)	19.00	19.00	19.00	9.50	19.00	9.50	26.50
	均等係数 U_C	33.42	48.83	2.88	20.84	15.48	2.26	19.49
分類	分類名	礫混じり火山灰質砂	粘性土質礫質砂	粘性土礫混じり砂	火山灰質砂	礫混じり火山灰質砂	分球された砂	礫混じり粘性土質砂
	分類記号	(SV-G)	(SCsG)	(S-CsG)	(SV)	(SV-G)	(SP)	(SCs-G)



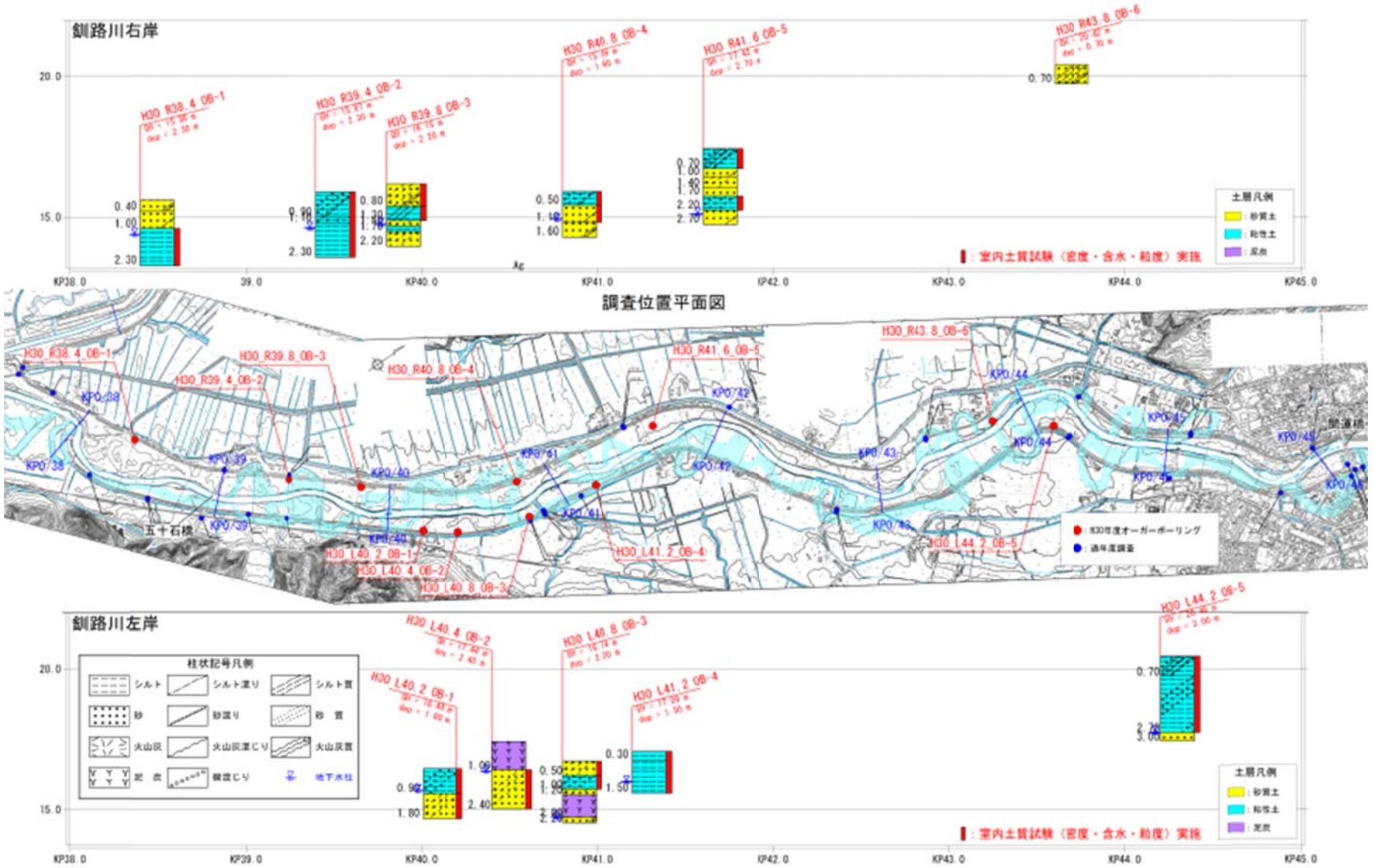
図Ⅱ-3-3　粒径加積曲線（砂質土）

3-1-2　高水敷調査による基礎地盤土質の把握

釧路川中流域の河道掘削予定の箇所でオーガーボーリングおよび室内土質試験を実施し、釧路川全体の粘性土の分布を把握した。

(1) 土層構成

一部で泥炭が確認されているが、基本的にはシルトや砂質土が堆積しており、砂質土においてもシルト質を帯びる場所が多い。



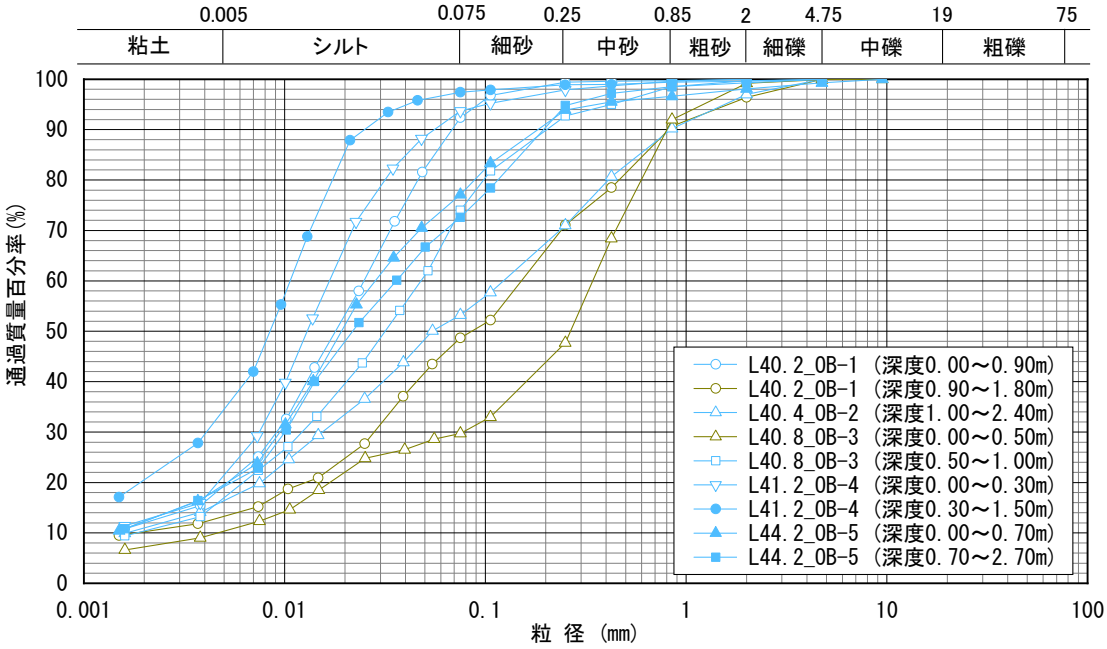
図Ⅱ-3-4　高水敷調査結果

(2) 室内土質試験

1) 左岸

表Ⅱ-3-3　室内土質試験結果（左岸高水敷）

左右岸		左岸								
孔番号		H30-L40.2 OB-1		H30-L40.4 OB-2	H30-L40.8 OB-3		H30-L41.2 OB-4		H30-L44.2 OB-5	
試験深度(m)		0.00～0.90	0.90～1.80	1.00～2.40	0.00～0.50	0.50～1.00	0.00～0.30	0.30～1.50	0.00～0.70	0.70～2.70
土層記号		Ac	As	Ac	As	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
土層		粘性土	砂質土	粘性土	砂質土	粘性土	粘性土	粘性土	粘性土	粘性土
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)		2.505	2.533	2.500	2.506	2.464	2.418	2.535	2.518	2.508
自然含水比 W_n(%)		57.3	99.3	87.9	43.3	60.9	56.5	55.2	32.4	45.4
粒度	礫分 (%)	0.0	3.6	3.0	0.8	0.3	0.0	0.4	1.9	0.7
	砂分 (%)	7.6	47.7	43.8	69.5	25.7	6.3	2.2	21.0	26.7
	シルト分 (%)	74.4	35.5	37.3	19.7	58.1	74.3	64.5	58.4	54.3
	粘土分 (%)	18.0	13.2	15.9	10.0	15.9	19.4	32.9	18.7	18.3
	最大粒径 (mm)	2.00	4.75	4.75	9.50	4.75	2.00	4.75	9.50	4.75
	均等係数 U_C	20.75	81.84	73.18	69.66	25.37	*	*	21.46	27.69
分類	分類名	砂まじり粘性土	粘性土質砂	砂質粘性土	粘性土質砂	砂質粘性土	砂まじり粘性土	粘性土	砂質火山灰質粘性土	砂質粘性土
	分類記号	(Cs-S)	(SCs)	(CsS)	(SCs)	(CsS)	(Cs-S)	(Cs)	(VS)	(CsS)

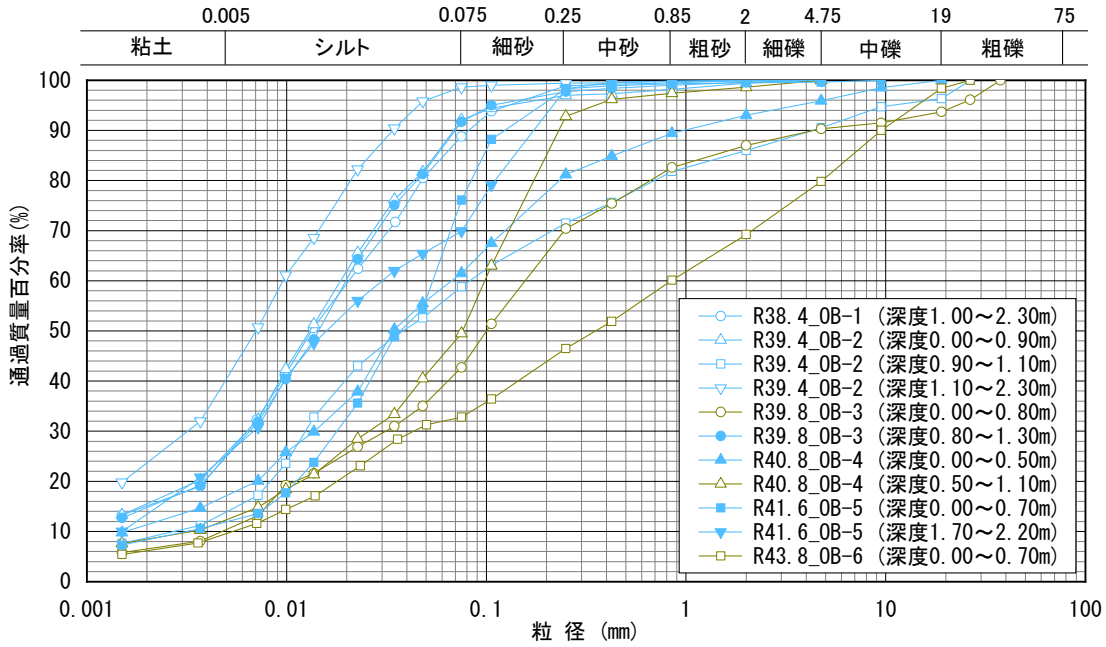


図Ⅱ-3-5　粒径加積曲線（左岸高水敷）

2）右岸

表Ⅱ-3-4　室内土質試験結果一覧（右岸高水敷）

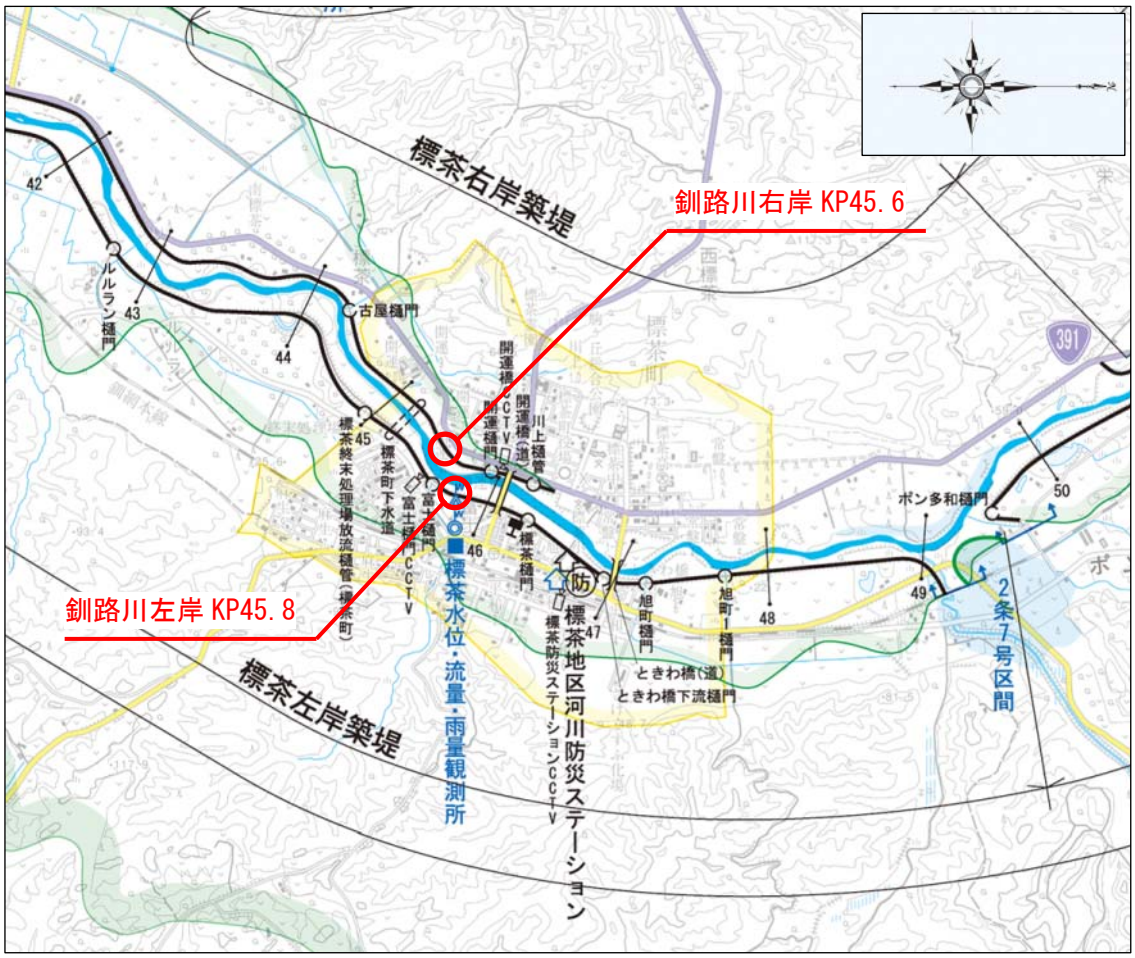
左右岸		右岸										
孔番号		H30-R38.4 OB-1	H30-R39.4 OB-2			H30-R39.8 OB-3		H30-R40.8 OB-4		H30-R41.6 OB-5		H30-R43.8 OB-6
試験深度(m)		1.00～2.30	0.00～0.90	0.90～1.10	1.10～2.30	0.00～0.80	0.80～1.30	0.00～0.50	0.50～1.10	0.00～0.70	1.70～2.20	0.00～0.70
土層記号		Ac	Ac	Ac	Ac	As	Ac	Ac	As	Ac	Ac	As
土層		粘性土	粘性土	粘性土	粘性土	砂質土	粘性土	粘性土	砂質土	粘性土	粘性土	砂質土
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)		2.530	2.508	2.515	2.502	2.534	2.530	2.421	2.537	2.526	2.517	2.584
自然含水比 W_n(%)		62.1	51.9	38.5	67.1	35.3	65.8	52.9	49.7	38.1	72.5	23.2
粒度	礫分 (%)	0.1	0.6	14.0	0.0	13.0	0.4	7.0	1.4	0.5	0.1	30.8
	砂分 (%)	11.1	7.3	27.2	1.4	44.3	7.9	31.5	49.1	23.4	30.0	36.4
	シルト分 (%)	65.5	67.8	46.0	58.0	33.7	67.6	45.5	38.0	64.3	45.9	23.7
	粘土分 (%)	23.3	24.3	12.8	40.6	9.0	24.1	16.0	11.5	11.8	24.0	9.1
	最大粒径 (mm)	4.75	4.75	26.50	2.00	37.50	4.75	19.00	4.75	9.50	4.75	26.50
	均等係数 U_C	*	*	29.32	*	25.83	*	41.12	29.09	16.94	19.75	145.43
分類	分類名	砂まじり粘性土	砂まじり火山灰質粘性土	礫まじり砂質粘性土	粘性土	礫まじり粘性土質砂	砂まじり火山灰質粘性土	礫まじり火山灰質粘性土	粘性土質砂	砂質粘性土	砂質粘性土	火山灰質礫質砂
	分類記号	(Cs-S)	(V-S)	(CsS-G)	(Cs)	(SCs-G)	(V-S)	(VS-G)	(SCs)	(CsS)	(CsS)	(SVG)



図Ⅱ-3-6　粒径加積曲線（右岸高水敷）

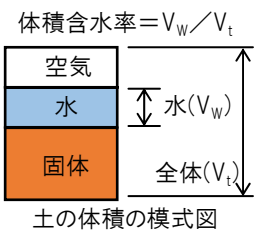
3-1-3　雨水の堤体への浸透調査

雨水の堤体への浸透状況把握を目的として、現地で観測している体積含水率と降雨の関係性について整理した。体積含水率※は、平成 29 年 10 月から継続して観測している左岸 KP45.8 と右岸 KP45.6 のデータを用いた。整理する期間は、観測期間中（平成 29 年 10 月～平成 30 年 7 月）で降水量の多い平成 30 年 6 月 12～13 日、6 月 27～28 日の値を用いた。



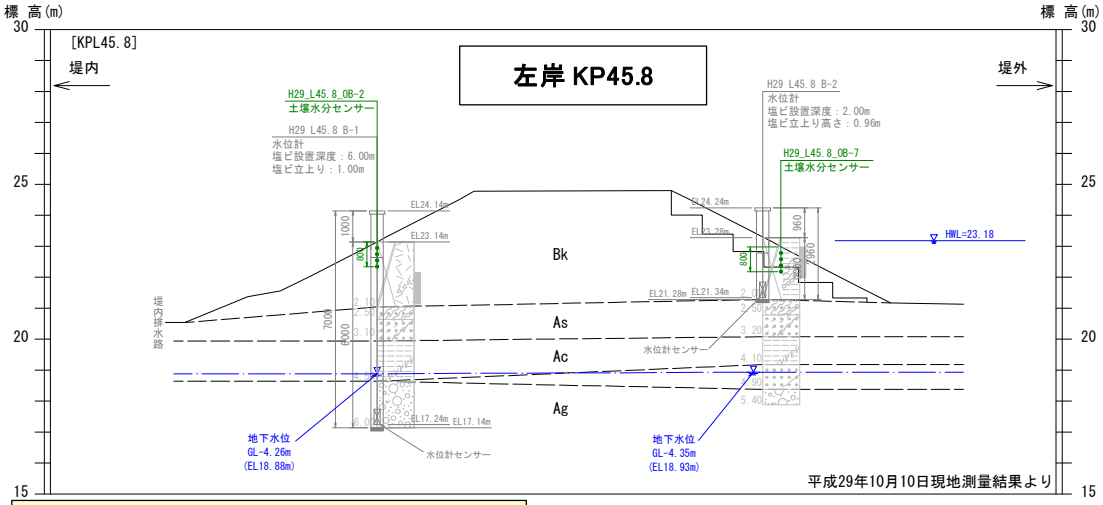
図Ⅱ-3-7　観測位置図

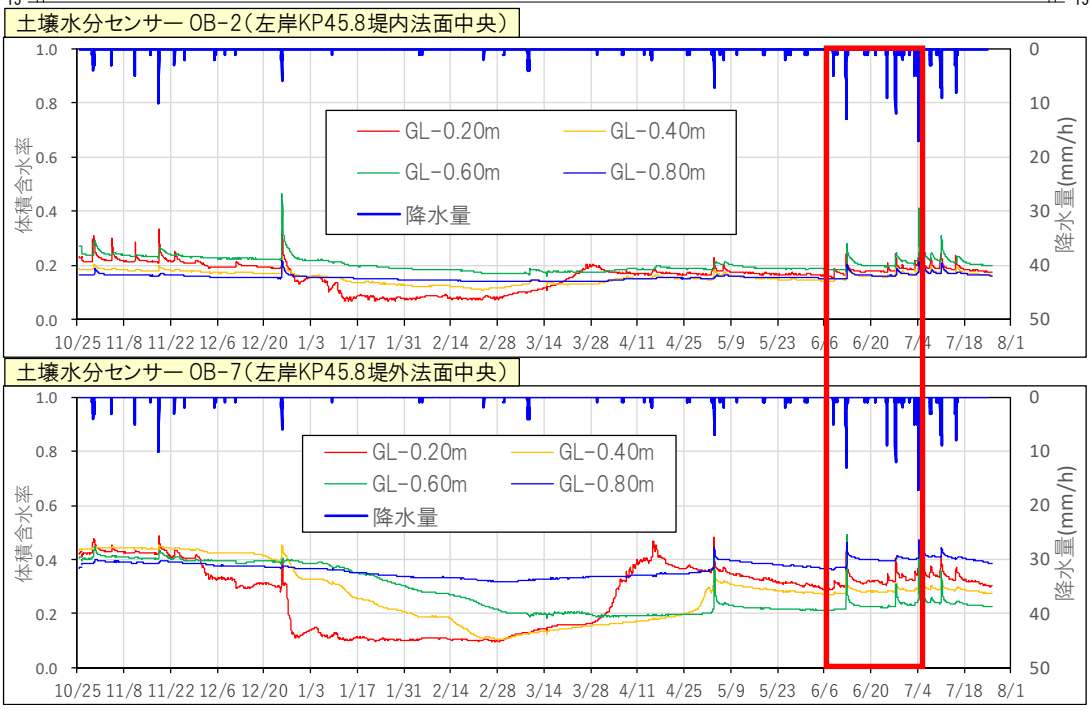
※体積含水率とは、土の全体積中に占める間隙水の体積の比



土の体積の模式図

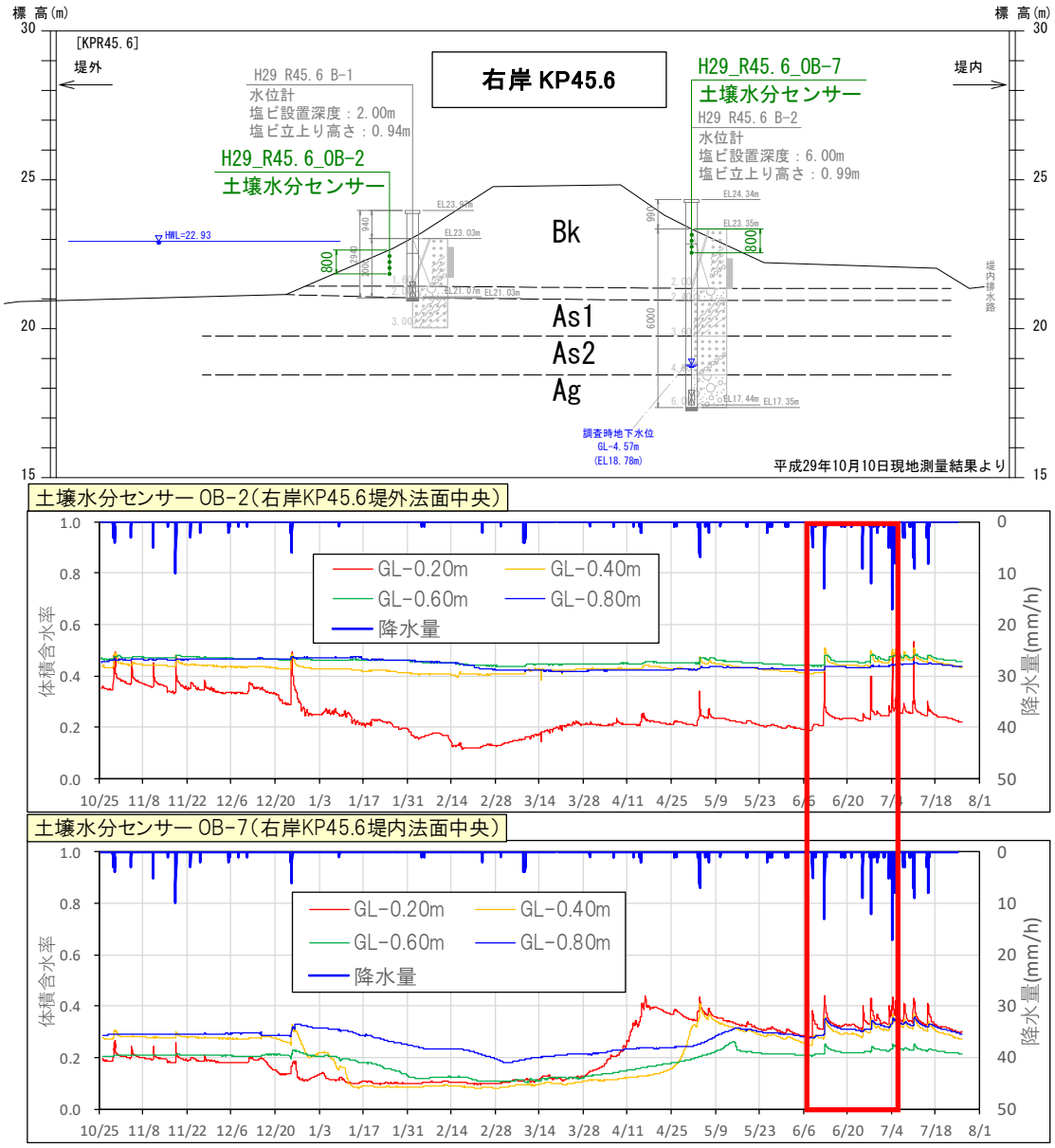
1）左岸観測結果





図Ⅱ-3-8　土壌水分センサー観測結果（左岸）

2）右岸観測結果

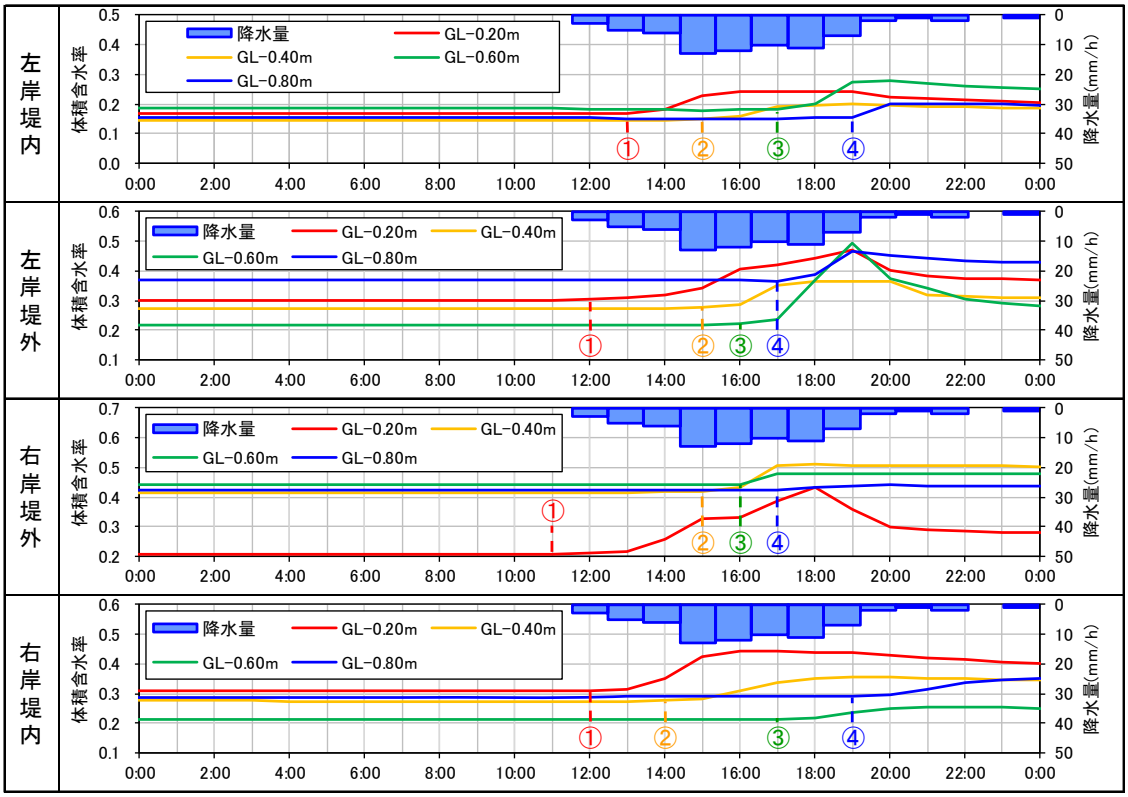


図Ⅱ-3-9　土壌水分センサー観測結果（右岸）

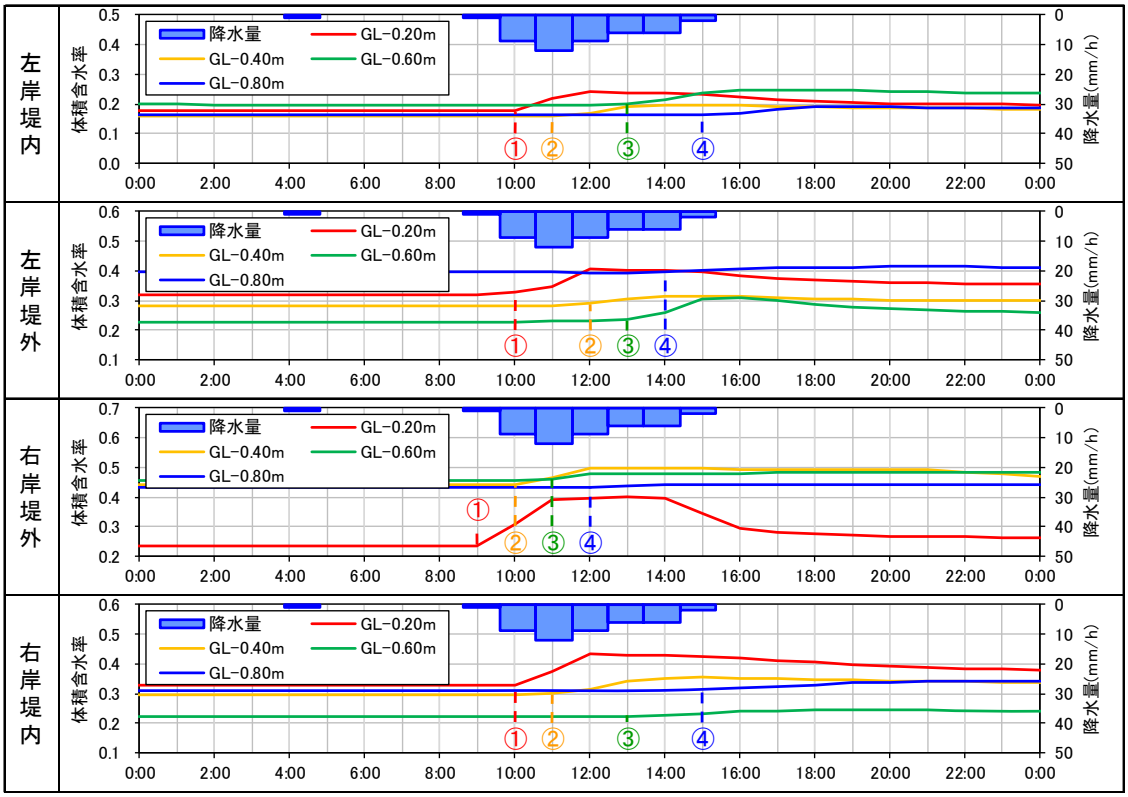
3）降雨と体積含水率の関係

降雨時の体積含水率は、1～2 時間程度の差を生じて、表層から深度方向へ順に反応していく傾向が確認された。これにより、降雨が堤体へ浸透していることが確認された。

H30.6.12～6.13



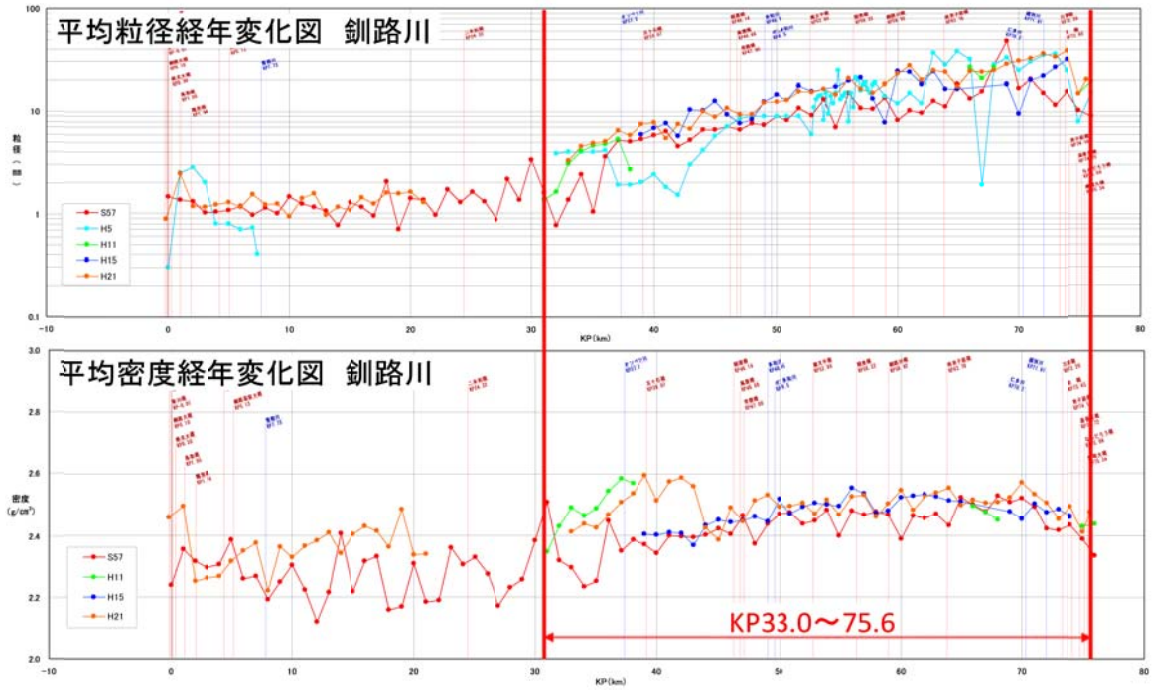
H30.6.27～6.28

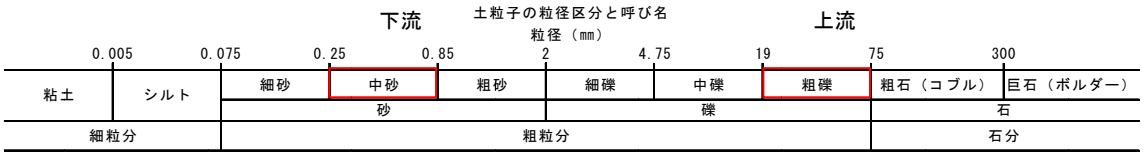


図Ⅱ-3-10　降雨と体積含水率の関係図

3-1-4　釧路川の河床材料

平成 21 年度に実施されている河床材料調査結果より、釧路川の河床材料を整理した。釧路川 KP33.0～75.6 の平均粒径は、3.29～38.93mm の範囲で礫分を主体とする。密度は 2.387～2.595g/cm^3 の範囲となる。



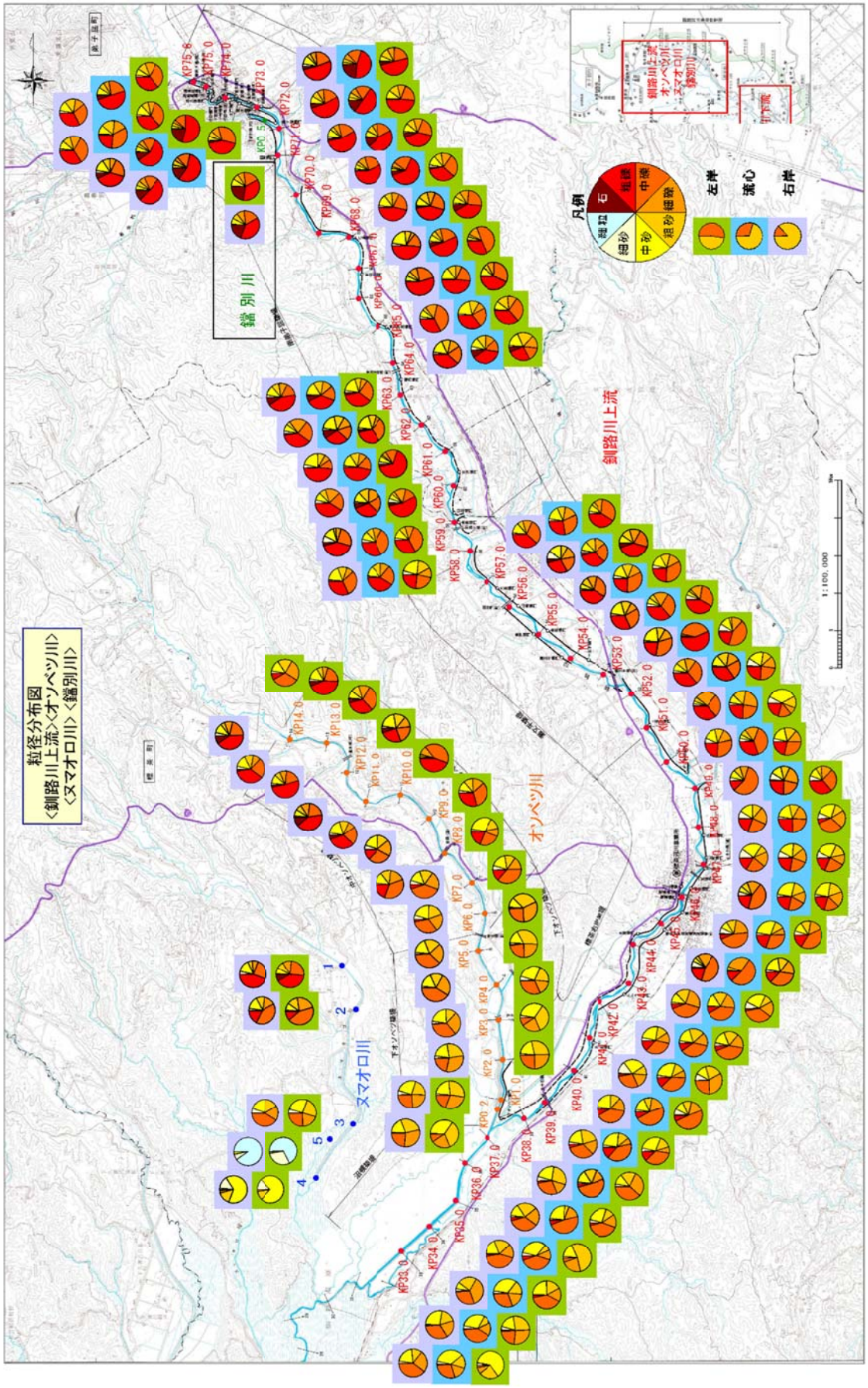


図Ⅱ-3-11　平均粒径及び平均密度経年変化図

粒径の縦断方向の変化図を以下に示す。釧路川全体の最大粒径は 2mm～150mm、平均粒径は 0.26mm～48.99mm（中砂～粗礫）で平均値が 11.50mm（中礫）を示す。

釧路川上流側は、細礫（2mm）以上の粒径を主体とする。

- 釧路川中流域（KP33.0～75.6）では、粒径分布が広く、粒径が不均一な砂および礫分が主体であった。
- 粗砂以上の粒径のものが多く、細粒分はほとんど確認されていない(0～4%)。



図Ⅱ-3-12　釧路川粒度分布図

3-2　堤防の縦断形と低い箇所の発生要因

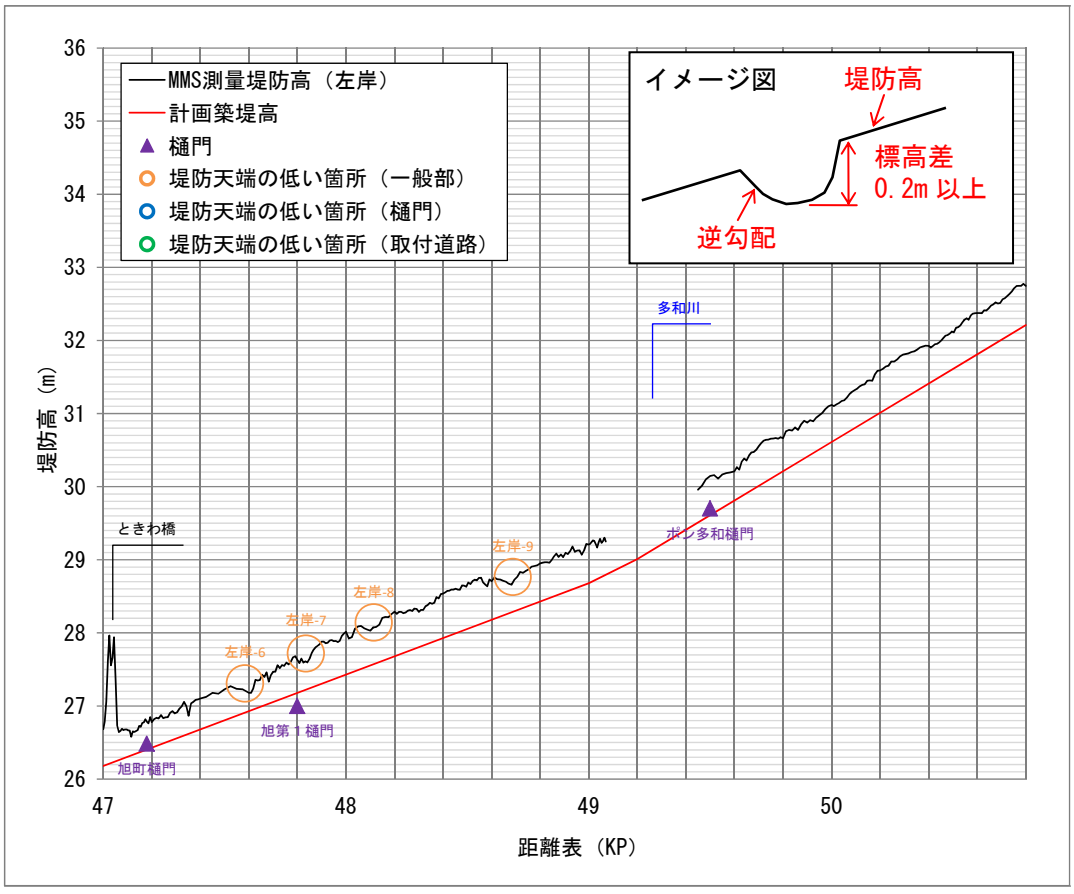
3-2-1　堤防天端の不陸箇所の抽出

雨水集中の可能性がある、堤防天端の不陸箇所を抽出するため、抽出条件を設定した。抽出条件は、上流との標高差があり、下流とは逆勾配である区間に設定した。(今回の抽出条件は標高差が 0.2m 以上と設定)

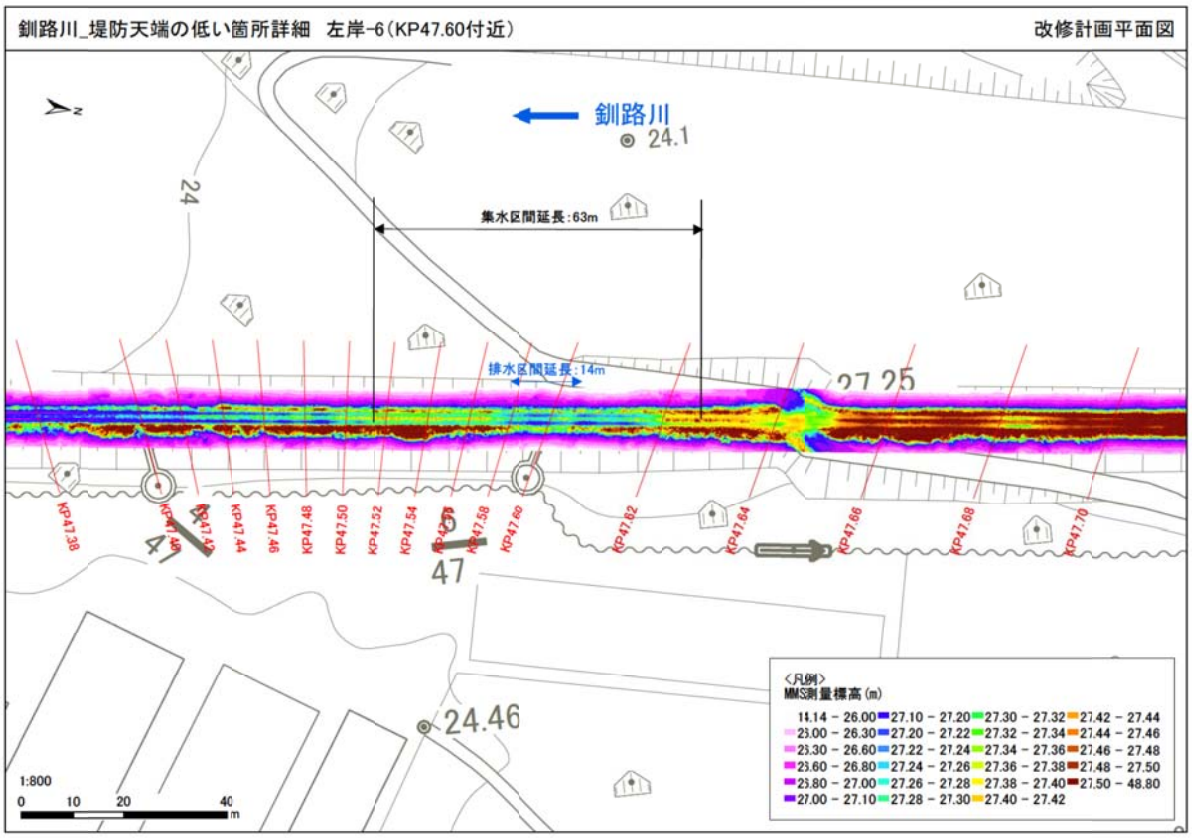
MMS 測量成果（平成 28 年）より、堤防天端縦断図やコンター図を作成し、堤防天端の不陸箇所として 34 箇所を抽出した。また、堤防天端コンター図（詳細図）を作成し、発生場所別に、①一般部、②樋門、③取付道路に分類した。

表Ⅱ-3-5　堤防天端の不陸箇所の箇所数

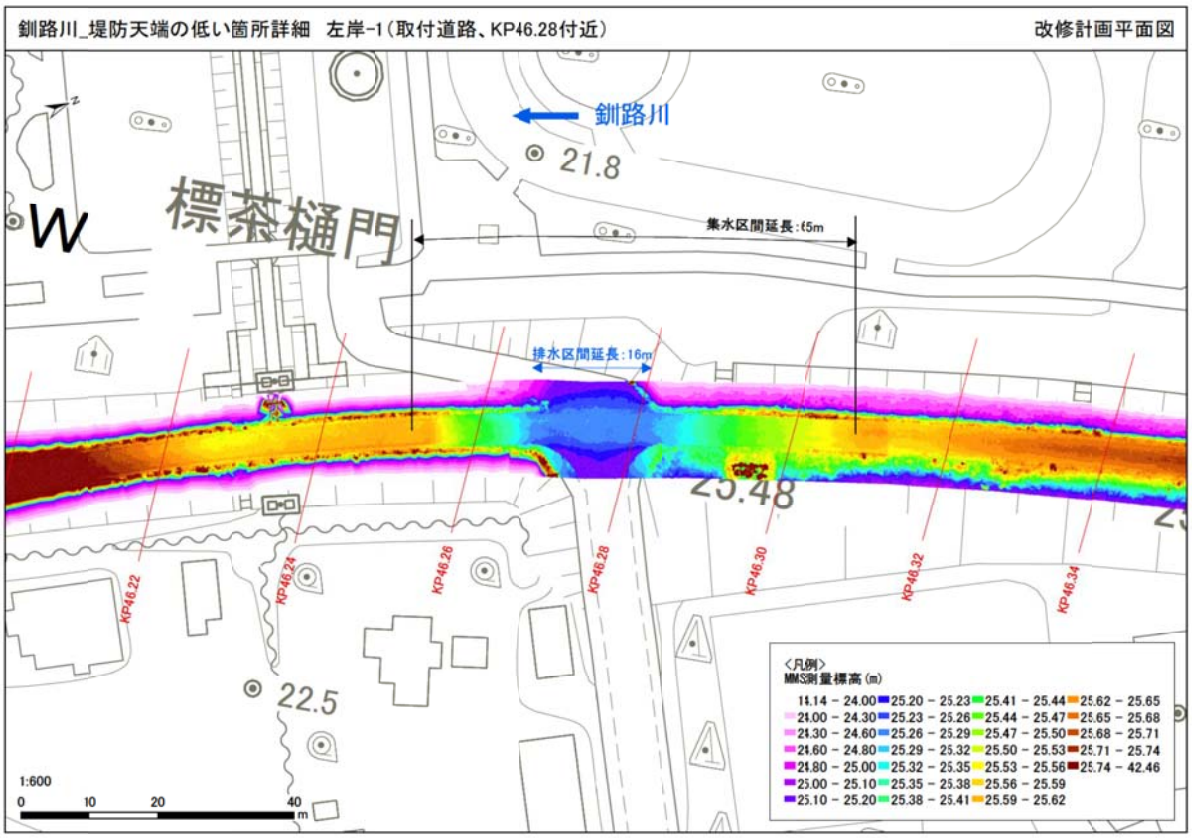
	箇所数		
	左岸	右岸	計
①一般部	23	6	29
②樋門	1	1	2
③取付道路	3	0	3
合計			34



図Ⅱ-3-13　堤防天端縦断図の例



図Ⅱ-3-14　堤防天端コンター図（詳細図）の例【一般部】



図Ⅱ-3-15　堤防天端コンター図（詳細図）の例【取付道路】

3-2-2　旧河道の把握

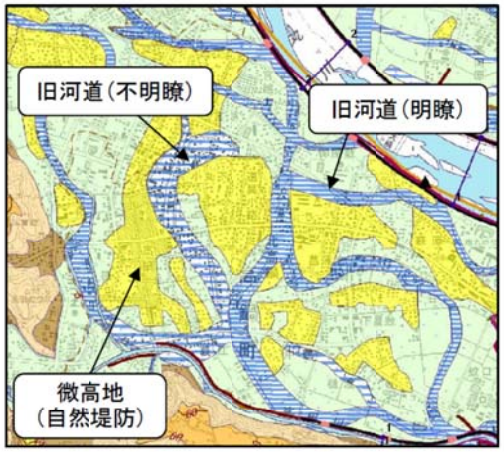
(1) 治水地形分類図更新版の概要

釧路川に関する治水地形分類図は平成 30 年 2 月に更新されており、「旧河道」を「明瞭な旧河道」と「不明瞭な旧河道」に分けている他、「旧流路」を新たに取得していて、旧河道・旧流路に関する情報が整理されている。

④旧河道（図－3.9、3.10 参照）

[地形の特徴及び取得基準]

旧河道は過去の河川流路の地形で、「①比高が判別でき、河道状の形態が見られる」、「②色調（土地利用含む）が判別でき、河道状の形態が見られる」という取得基準を設け、①または、①、②ともに確認できるものを「明瞭な旧河道」、②のみ確認できるものを「不明瞭な旧河道」に区分し取得しています。

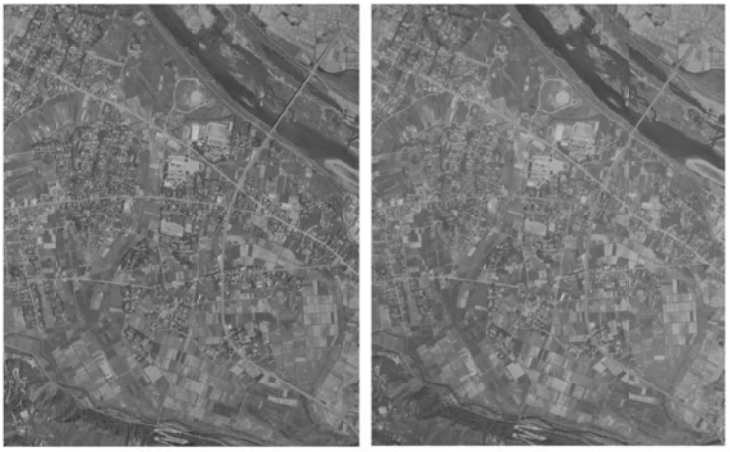


図－3.9　旧河道（「高鍋」部分、平成 23 年度更新）

[災害との関係]

明瞭な旧河道の部分は、周囲の氾濫平野より 1～2m程度(まれに 3m以上)低いため、現在も地表水が集まりやすく、地下水位も非常に浅くなっています。わずかな降雨でも浸水しやすく、浸水深・浸水時間とも大きくなります。上・下流側とも閉塞されている場合が少なくないことなども排水不良の原因となっています。

また、周囲に比べて、シルトや粘土が緩く堆積していたり、埋め立てが行われて軟弱地盤になっていたりすることが多くあります。そのため、堤体や土木構造物の基盤として利用する際には注意が必要です。地震時には軟弱地盤下の砂礫層で液状化が起こりやすいといえます。特に、旧河道と交差する地点にある堤防は、軟弱地盤による不等沈下や砂礫層でのパイピング現象（地盤内の脆弱な部分に浸透水が集中し、パイプ状の水の通りができる現象）、地震時の液状化などによる被災に注意が必要です。



図－3.10 旧河道（「高鍋」部分、国土地理院撮影 2 万分 1 空中写真、KU-67-9X C8-15・16　実体視可能写真）

出典：「治水地形分類図 解説書　平成 27 年 8 月　国土地理院、防災地理課」

3）旧流路

[取得基準]

旧版地形図に表示されている河川水面（河道）の形状を流下年代別に抽出し、「旧河道」とは別に「旧流路」として取得しました。流下年代の区分は、治水事業の進捗や全国的な人工改変の進捗経過、旧版地形図等の整備状況を考慮して、以下の４時期を基本としました。④と③時期の地形図及び②時期の一部の地形図は平板測量（現地において、各地物を直接三角測量にて位置を確認し平板に記入していく測量法）での作成であるため、戦後の写真測量（空中写真の実体視（P９参照）から図化機により地図を作成していく測量法）によるものに比べて位置精度が劣っています。このため、流路がずれて取得されている場合があるので注意が必要です。

① 昭和 30 年代後半～昭和 40 年代前半の流路
② 昭和 20 年代（終戦後）の流路
③ 大正末期～昭和初期の流路
④ 明治末～大正初期の流路

[災害との関係]

河川改修によって、かつての流路を横切って築堤した場所や、堤防と旧河道が重なっているような区間では、表層地質が周囲に比べて軟弱であったり、浅い地下水の流れが残っていたりする場合があり、漏水、破堤及び液状化に注意が必要です。

出典：「治水地形分類図 解説書　平成 27 年 8 月　国土地理院、防災地理課」

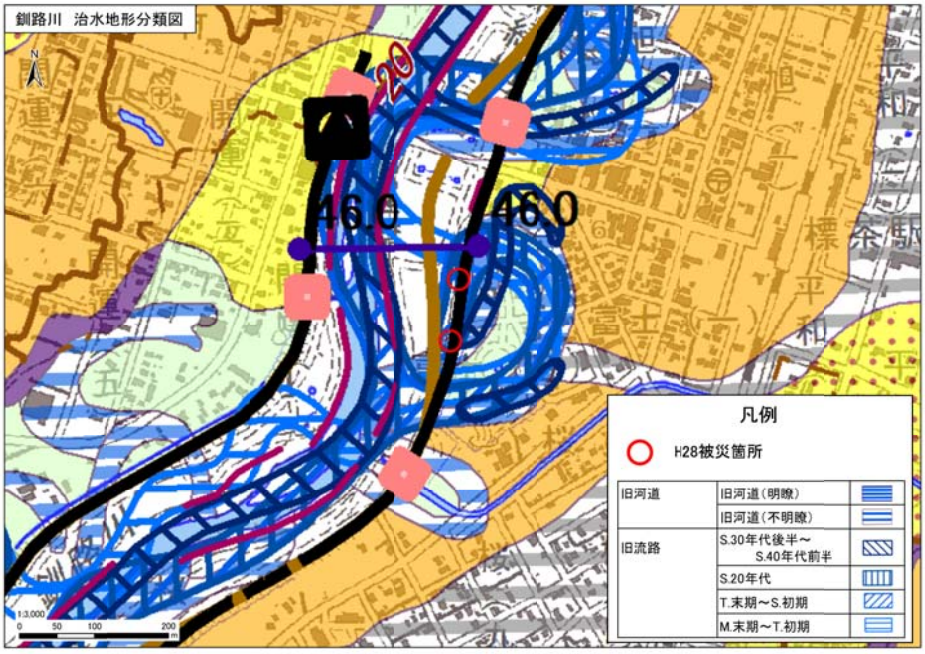
(2) 治水地形分類図更新版の旧流路位置の検証

治水地形分類図更新版（平成 30 年 2 月作成）にて、新たに取得された「旧流路」は、旧版地形図に表示されている河道形状を流下年代別に抽出したものである（治水地形分類図 解説書 参照）。旧流路位置の検証のため、治水地形分類図更新版に記載の旧流路と国土地理院の地形図や垂直写真を比較した結果、河道の位置は概ね一致していることを確認した。

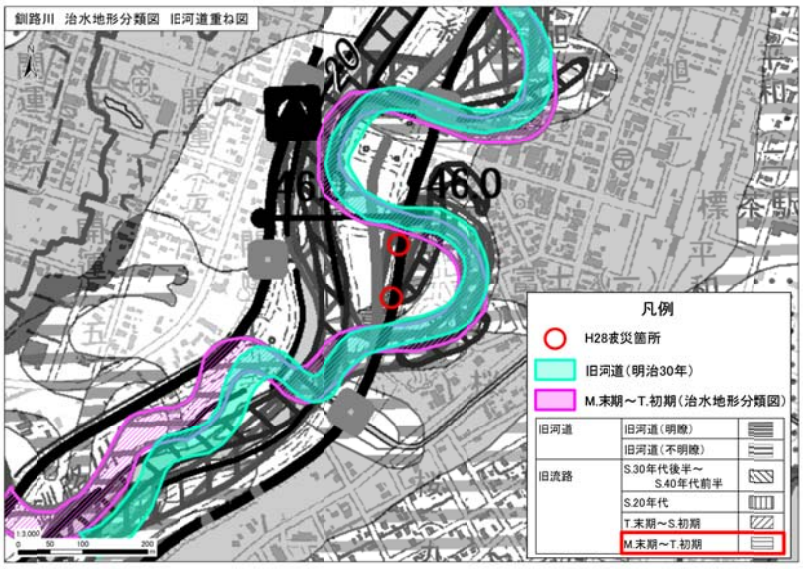
・治水地形分類図更新版における M.末期～T.初期の「旧流路」と、時期が近い明治 30 年の地形図（国土地理院）の河道を重ね合わせて、両者の位置を確認したところ、河道の位置は概ね一致している（図Ⅱ-3-17）。

・治水地形分類図更新版における T.末期～S.初期の「旧流路」と、時期が近い大正 10 年の地形図（国土地理院）の河道を重ね合わせて、両者の位置を確認したところ、河道の位置は概ね一致している（図Ⅱ-3-18）。

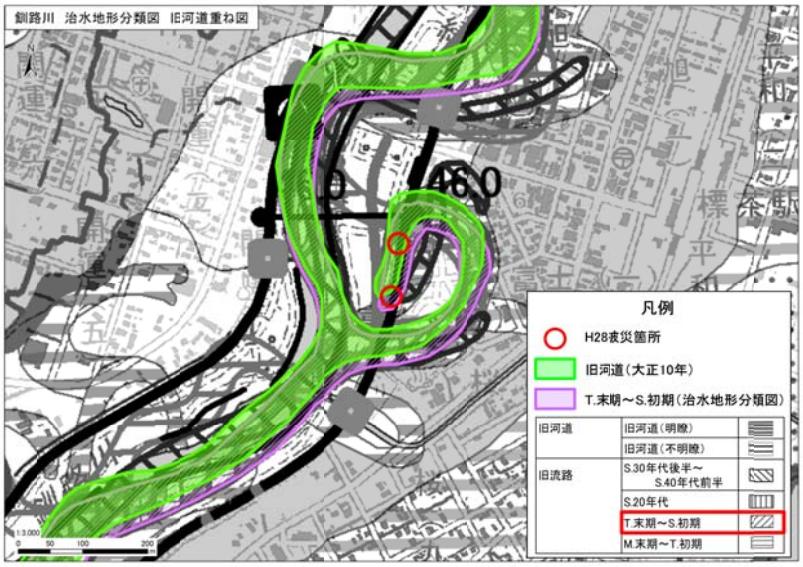
・治水地形分類図更新版における S.20 年代の「旧流路」と、時期が近い昭和 23 年撮影の垂直写真（国土地理院）の河道を重ね合わせて、両者の位置を確認したところ、河道の位置は一致はしなかったが、概ね同様である（図Ⅱ-3-19）。



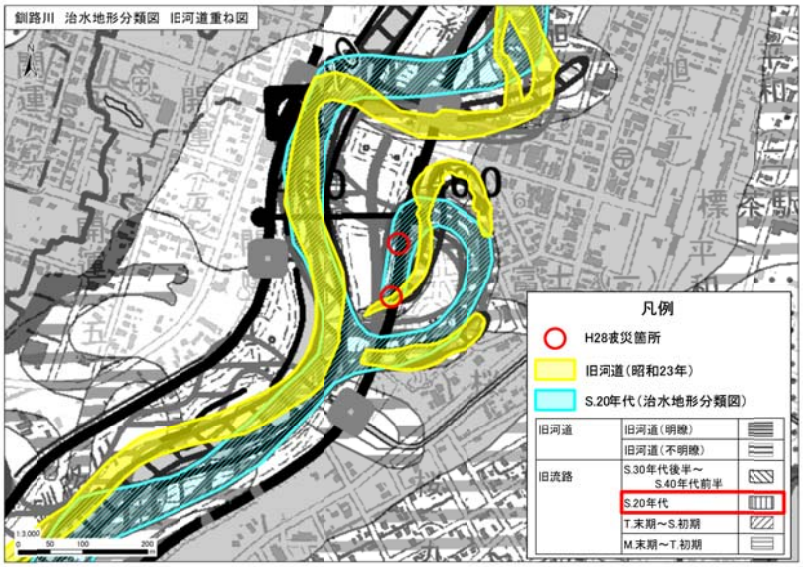
図Ⅱ-3-16　治水地形分類図更新版（標茶町市街地付近）



図Ⅱ-3-17　治水地形分類図更新版の旧流路位置の検証（1/3）



図Ⅱ-3-18　治水地形分類図更新版の旧流路位置の検証（2/3）



図Ⅱ-3-19　治水地形分類図更新版の旧流路位置の検証（3/3）

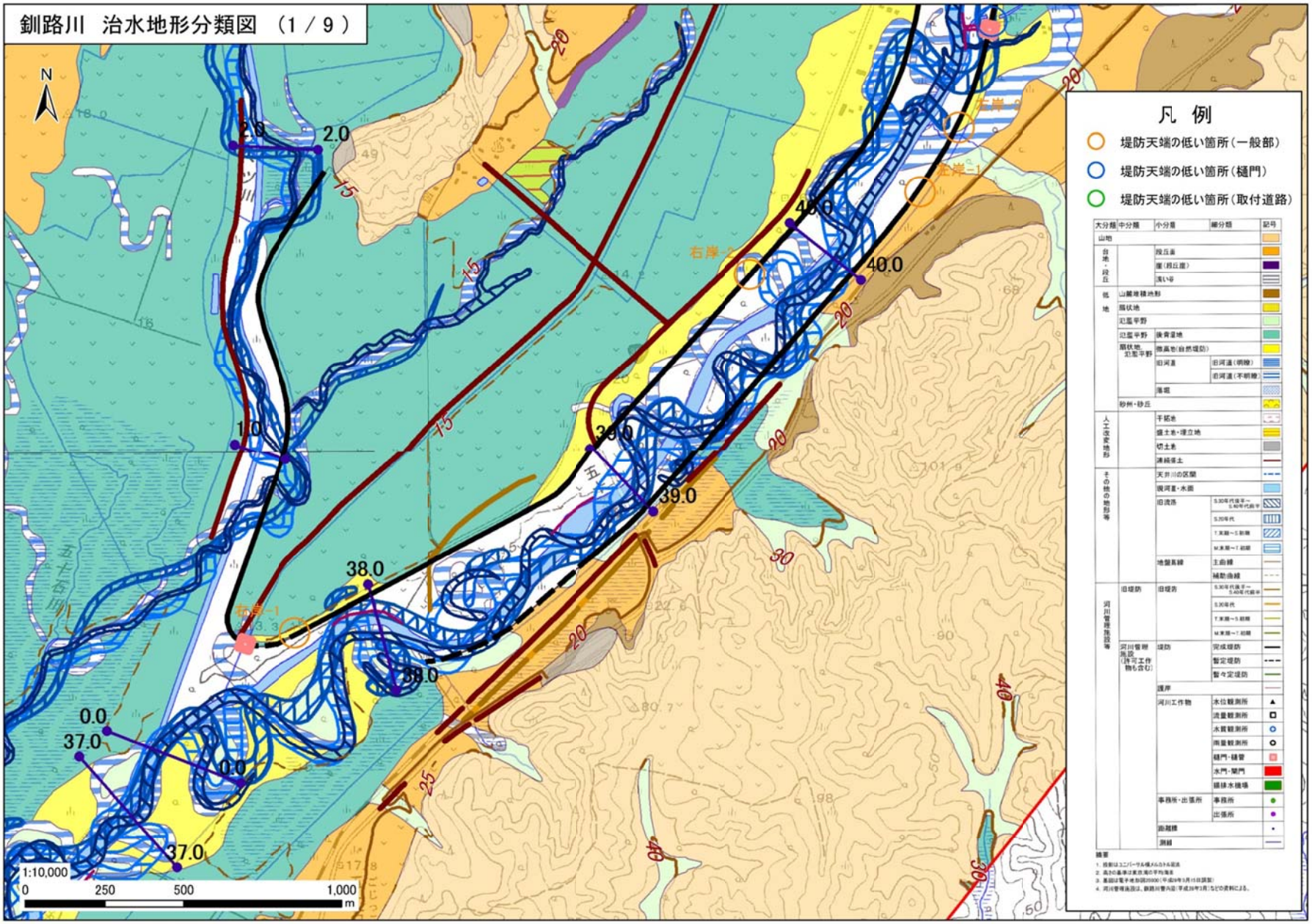
3-2-3　堤防天端の不陸箇所、旧河道、基礎地盤土質の関係

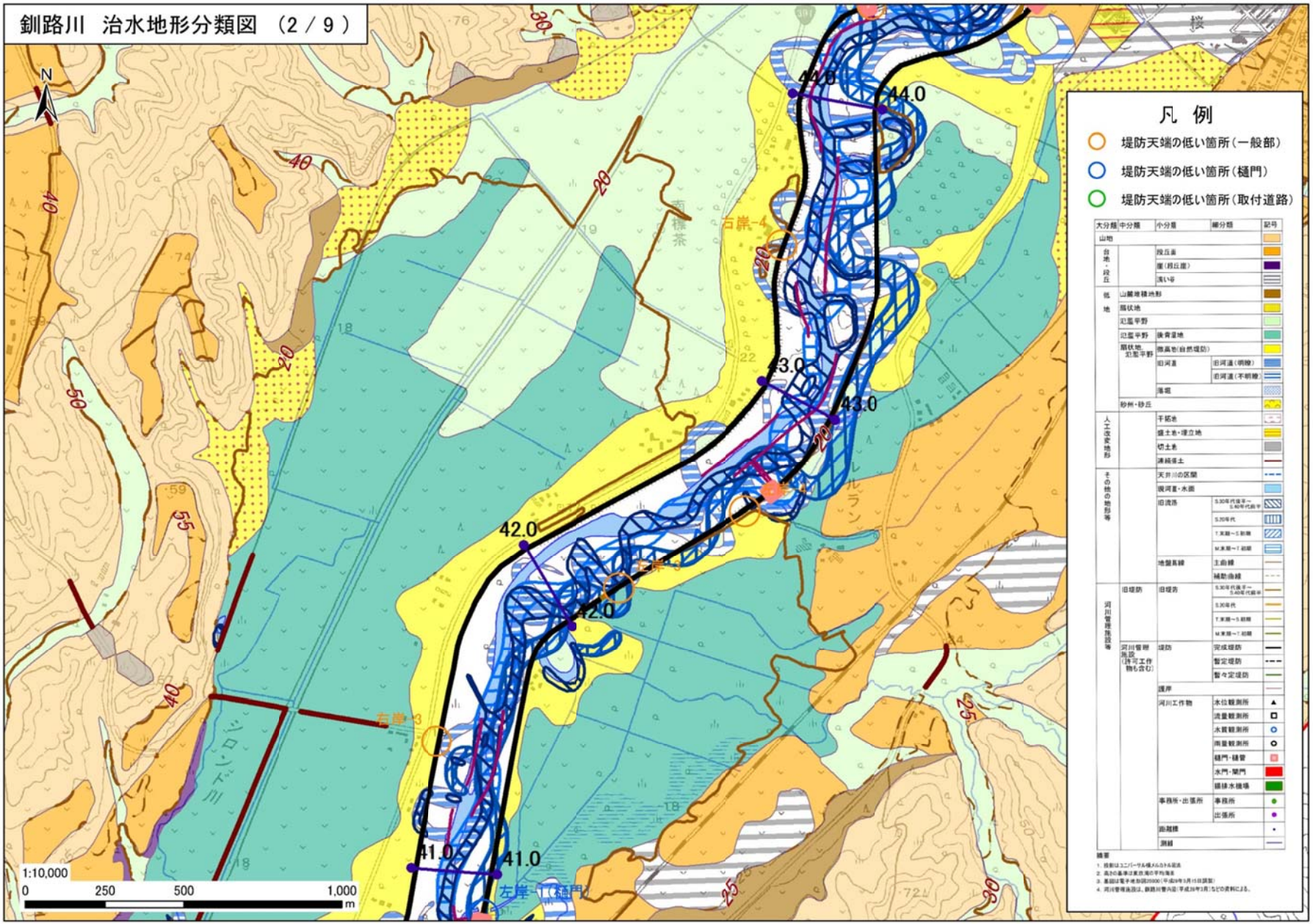
(1) 堤防天端の不陸箇所と旧河道との関係

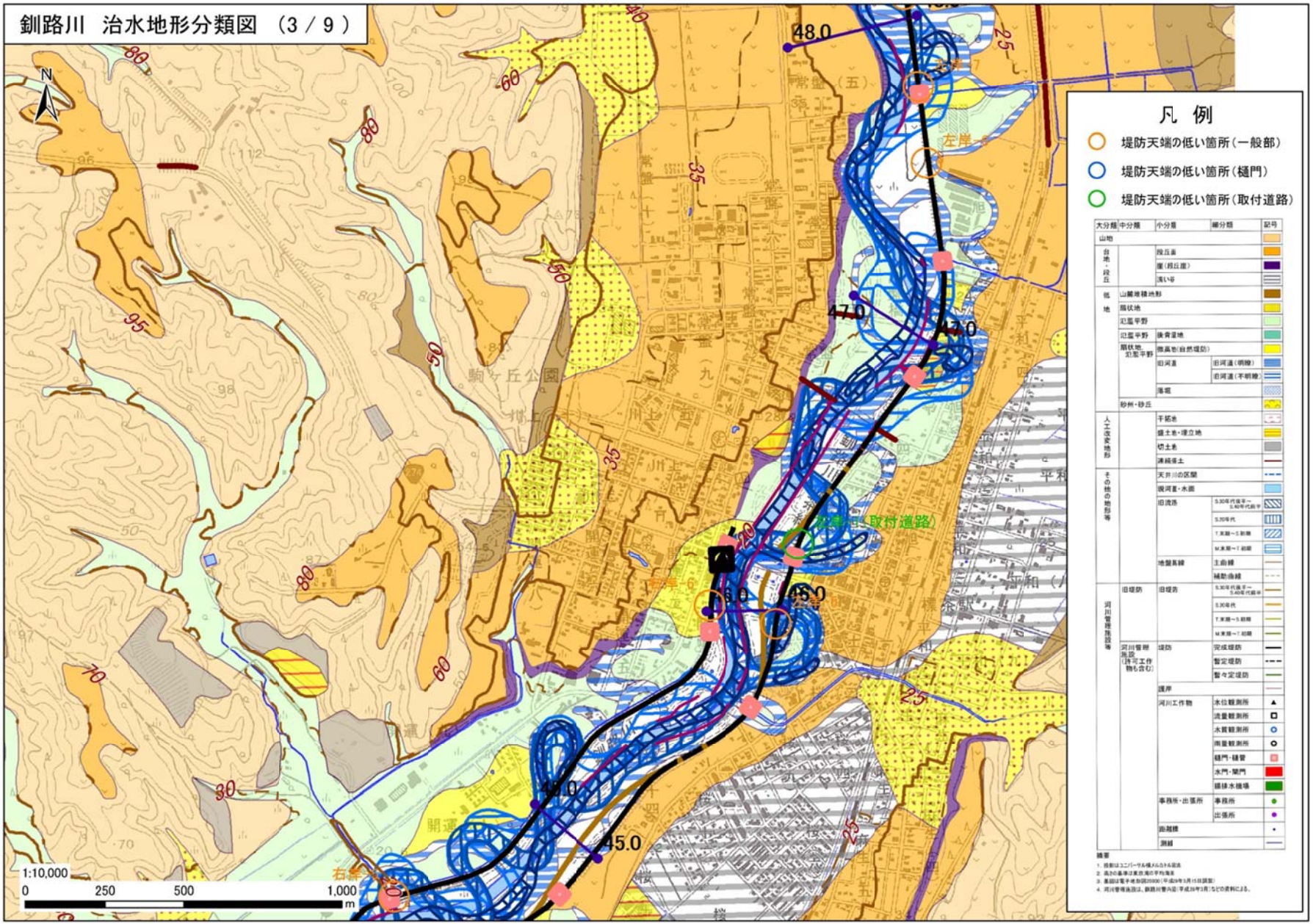
堤防天端の不陸箇所は、治水地形分類図より分析した結果、大部分の箇所が旧河道および旧流路に該当しており、旧河道・旧流路の存在が堤防天端の不陸箇所の発生と大きく関係していると考えられる。

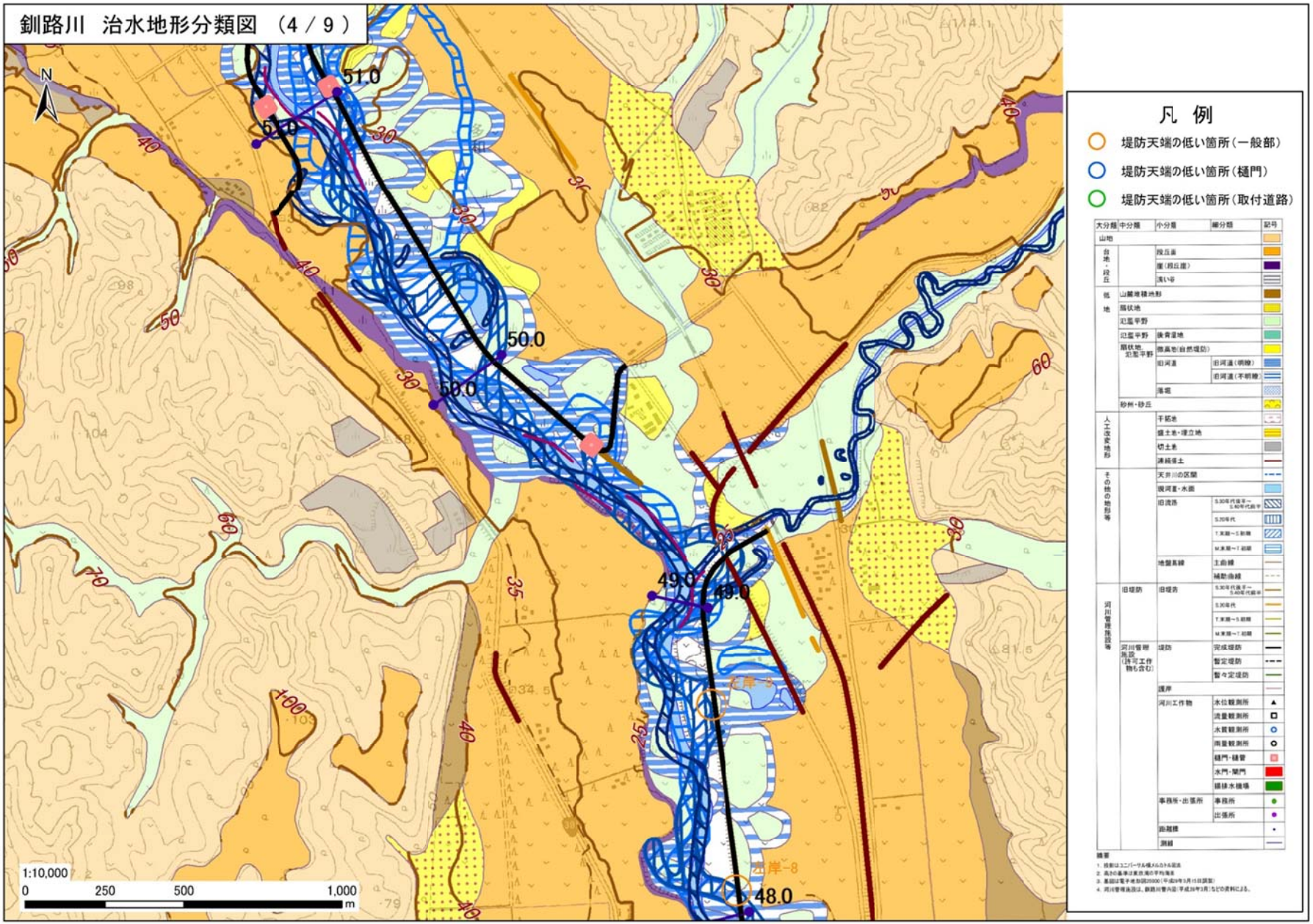
表Ⅱ-3-6　堤防天端の不陸箇所と旧河道・旧流路の関係

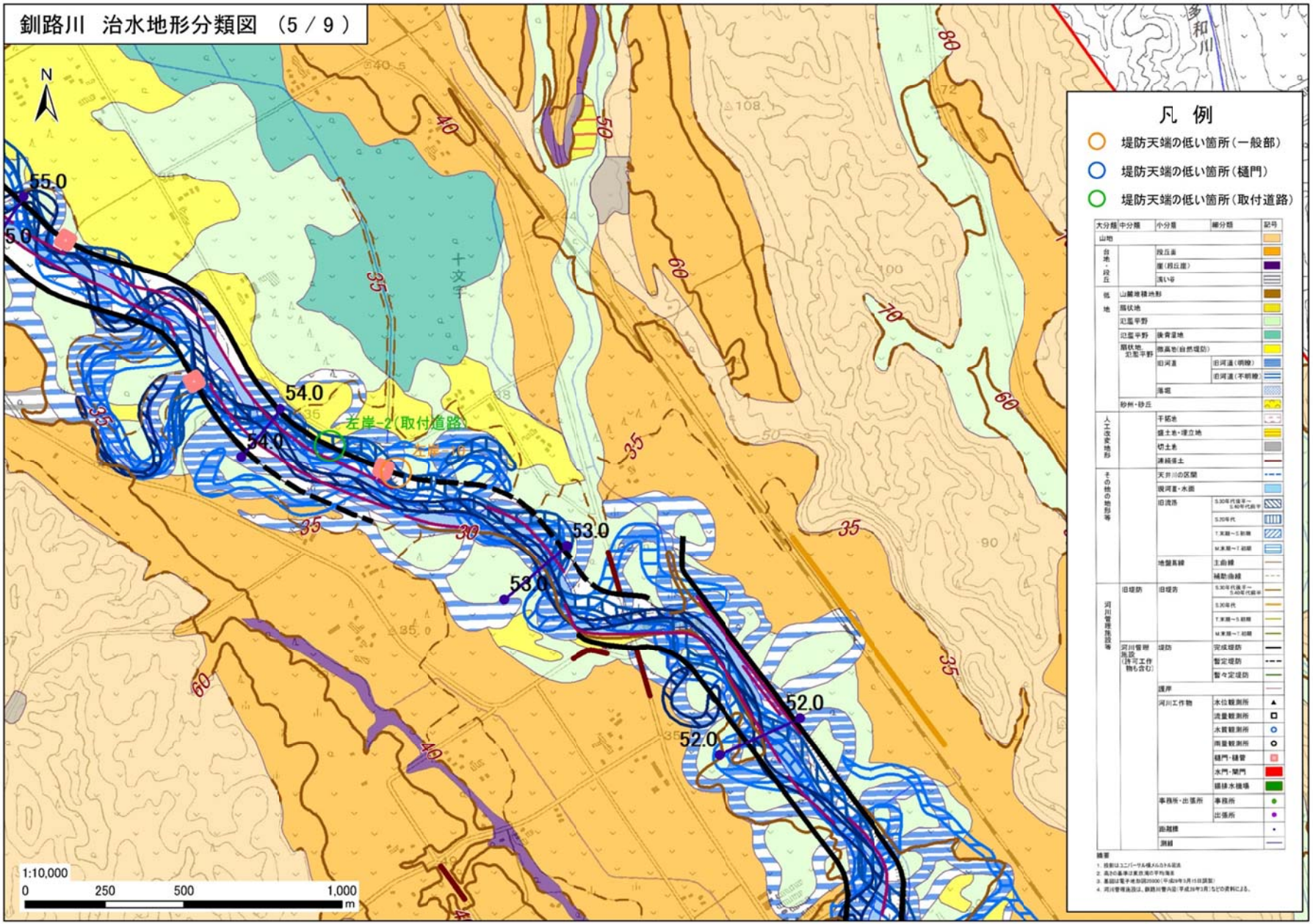
堤防天端の低い箇所			発生要因分析	
			治水地形分類図より	堤防天端コンター図より
左岸	左岸-1	KP 40.36 付近	-	
	左岸-2	KP 40.56 付近	旧河道(不明瞭)	
	左岸-1(樋門)	KP 40.88 付近	旧流路(S.20年代)	樋門の整備による影響
	左岸-3	KP 42.20 付近	旧流路(S.20年代)	
	左岸-4	KP 42.66 付近	-	
	左岸-5	KP 45.95 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-1(取付道路)	KP 46.28 付近	旧流路(S.20年代)	一般道路との擦り付けによる影響
	左岸-6	KP 47.60 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-7	KP 47.82 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-8	KP 48.10 付近	旧河道(不明瞭)	
	左岸-9	KP 48.68 付近	旧流路(T.末期～S.初期)	
	左岸-10	KP 53.54 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-2(取付道路)	KP 53.82 付近	旧河道(明瞭)	取付道路の利用による影響
	左岸-11	KP 55.15 付近	-	
	左岸-12	KP 57.60 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-13	KP 57.78 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-14	KP 57.87 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-3(取付道路)	KP 59.26 付近	旧流路(S.20年代)	取付道路の利用による影響
	左岸-15	KP 60.55 付近	旧流路(S.30年代後半～S.40年代前半)	
	左岸-16	KP 61.00 付近	旧河道(不明瞭)	
	左岸-17	KP 61.75 付近	旧流路(S.30年代後半～S.40年代前半)	
	左岸-18	KP 63.67 付近	旧流路(S.30年代後半～S.40年代前半)	
	左岸-19	KP 64.88 付近	旧河道(不明瞭)	
	左岸-20	KP 64.98 付近	旧河道(明瞭)	
	左岸-21	KP 66.68 付近	旧河道(不明瞭)	
	左岸-22	KP 67.85 付近	旧流路(M.末期～T.初期)	
	左岸-23	KP 68.00 付近	旧河道(明瞭)	
右岸	右岸-1	KP 37.76 付近	-	
	右岸-2	KP 39.76 付近	旧河道(不明瞭)	
	右岸-3	KP 41.40 付近	旧河道(明瞭)	
	右岸-4	KP 43.52 付近	旧河道(明瞭)	
	右岸-5	KP 44.30 付近	旧流路(S.20年代)	異なる堤防整備の擦り付けの影響
	右岸-6	KP 46.01 付近	-	
	右岸-1(樋門)	KP 55.13 付近	旧河道(明瞭)	樋門の整備による影響

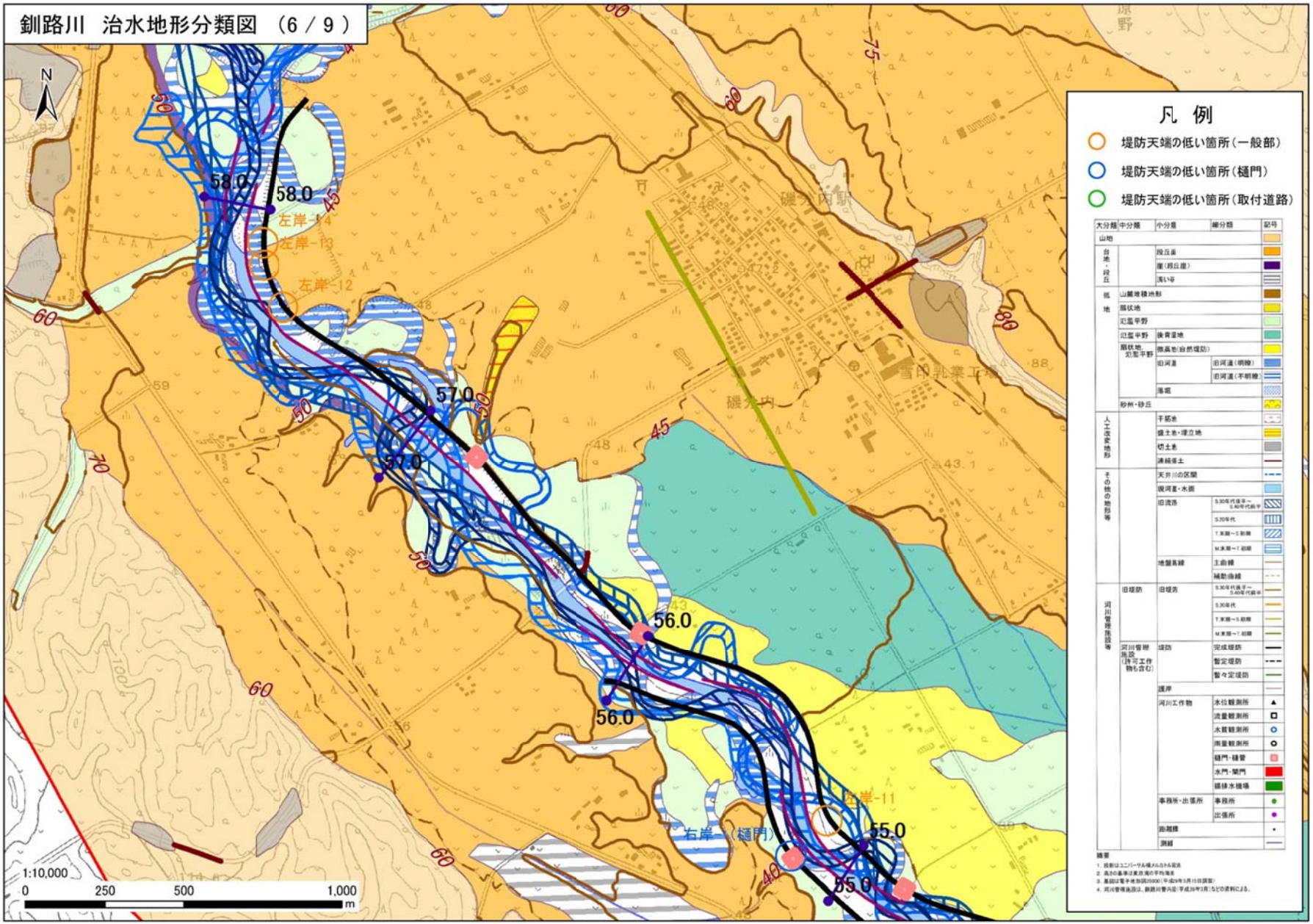

釧路川　治水地形分類図　（1 / 9 ）
N
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
1:10,000
0
250
500
1,000
m

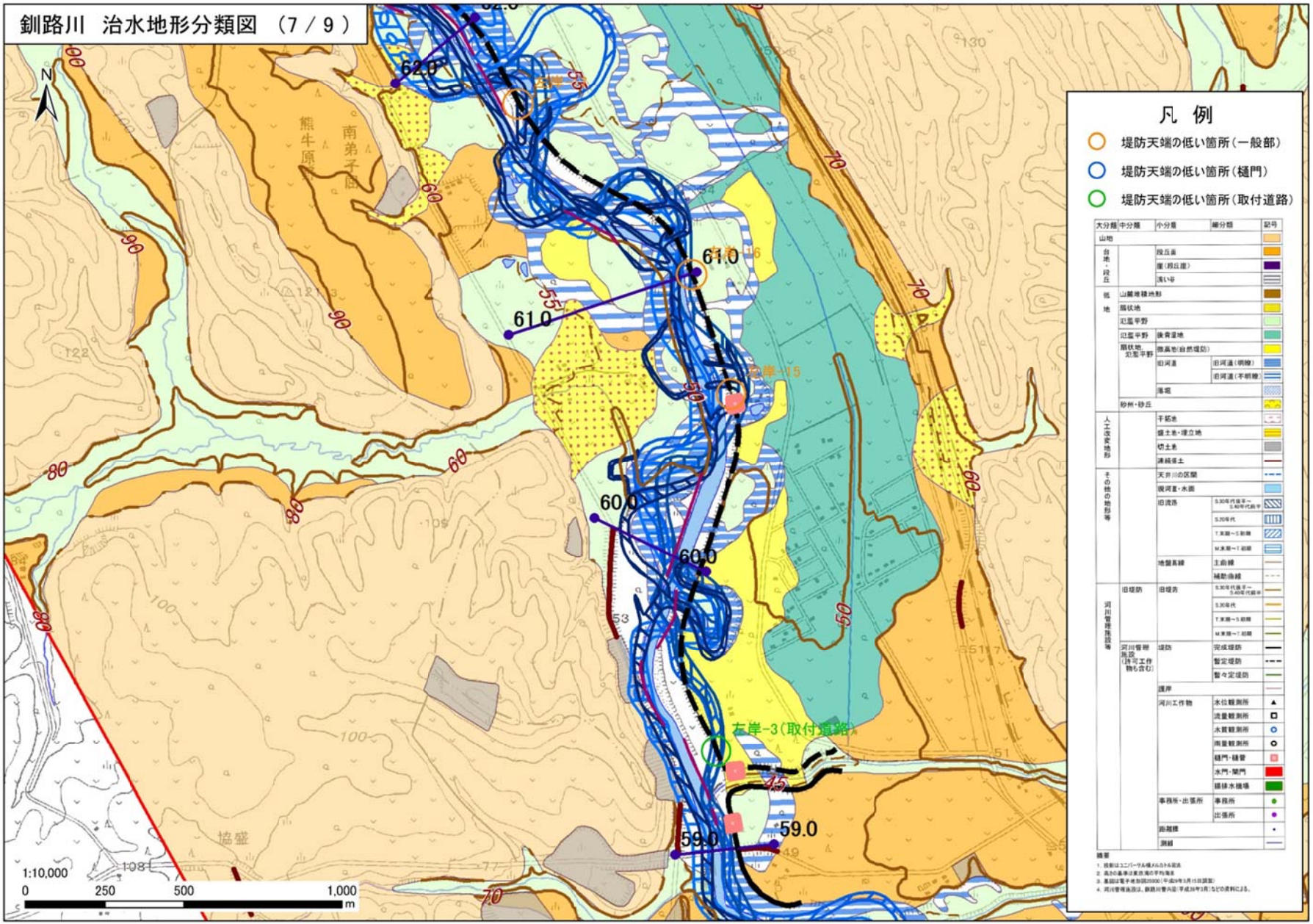

釧路川　治水地形分類図　（2 / 9 ）
N
44.0
44.0
43.0
43.0
42.0
42.0
41.0
41.0
右岸-4
右岸-3
左岸-1(樋門)
1:10,000
0
250
500
1,000
m
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
大分類
中分類
小分類
細分類
記号
山地
台地・段丘
段丘面
崖（段丘崖）
浅い谷
低地
山麓堆積地形
扇状地
氾濫平野
氾濫平野
後背湿地
扇状地、氾濫平野
微高地（自然堤防）
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
落堀
砂州・砂丘
人工改変地形
干拓地
盛土地・埋立地
切土地
護岸等土
その他の地形等
天井川の区間
現河道・水面
旧湿原
S.30年代後半～S.40年代前半
S.20年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
地盤高線
主曲線
補助曲線
河川管理施設等
旧堤防
旧堤防
S.30年代後半～S.40年代前半
S.20年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
河川管理施設（許可工作物も含む）
堤防
完成堤防
暫定堤防
暫々定堤防
護岸
河川工作物
水位観測所
流量観測所
水質観測所
雨量観測所
樋門・樋管
水門・閘門
排水機場
事務所・出張所
事務所
出張所
距離標
測線
備考
1. 図郭はユニバーサル横メルカトル図法
2. 高さの基準は東京湾の平均海水
3. 基図は電子地形図25000（平成29年3月15日調製）
4. 河川管理施設は、釧路川管内図（平成29年3月）などの資料による。

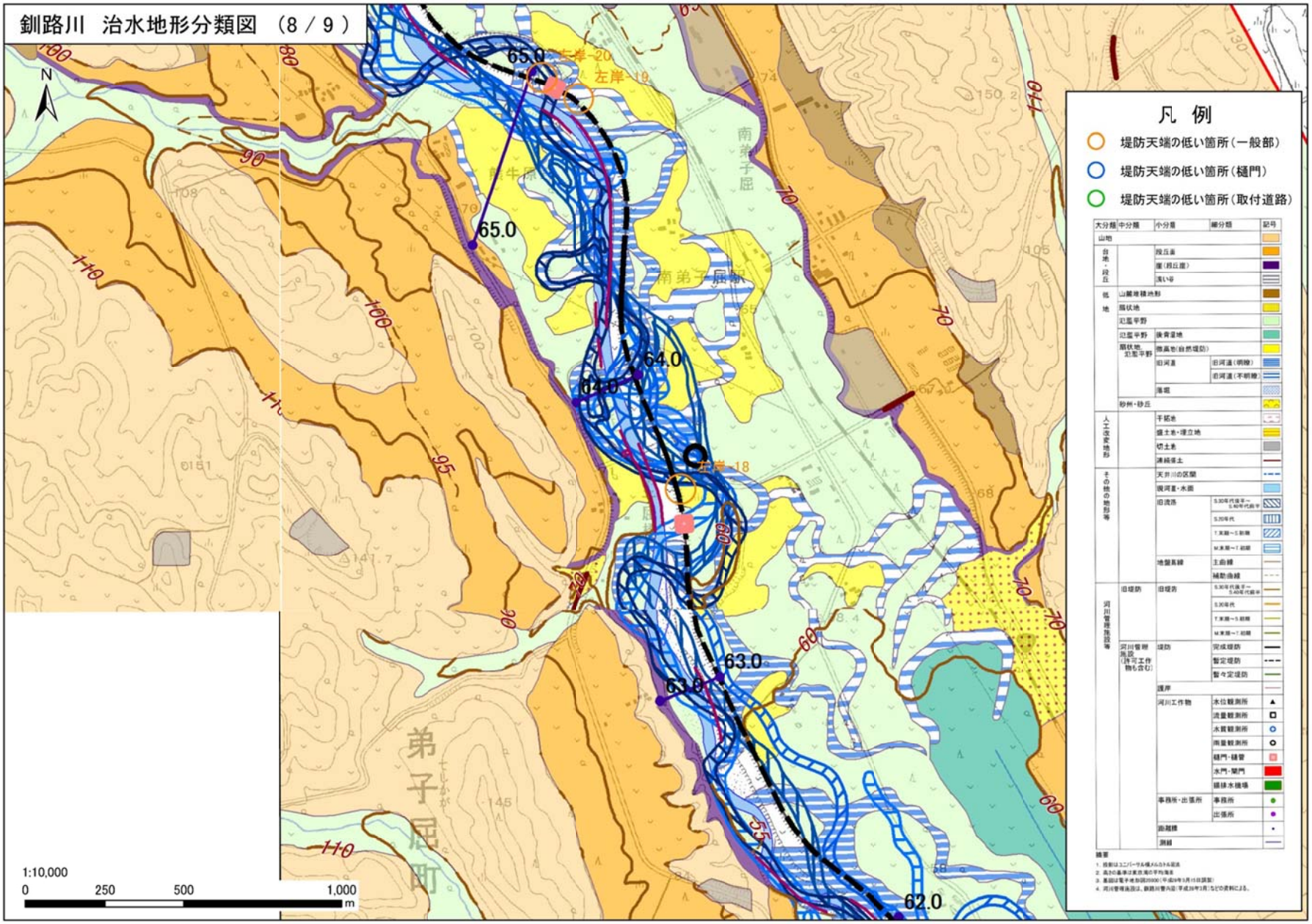

釧路川　治水地形分類図　（3 / 9 ）
N
48.0
47.0
47.0
45.0
45.0
45.0
左岸
右岸
左岸（取付道路）
駒ヶ丘公園
1:10,000
0
250
500
1,000
m
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
大分類
中分類
小分類
細分類
記号
山地
台地・段丘
段丘面
崖（段丘崖）
浅い谷
低地
山麓堆積地形
扇状地
氾濫平野
氾濫平野
後背湿地
扇状地、氾濫平野
微高地（自然堤防）
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
落堀
砂州・砂丘
人工改変地形
干拓地
盛土地・埋立地
切土地
連続保土
その他の地形等
天井川の区間
現河道・水面
旧湾岸
地盤高線
主曲線
補助曲線
河川管理施設等
旧堤防
旧堤防
河川管理施設（許可工作物も含む）
堤防
完成堤防
暫定堤防
暫々定堤防
護岸
河川工作物
水位観測所
流量観測所
水質観測所
雨量観測所
樋門・樋管
水門・閘門
排水機場
事務所・出張所
事務所
出張所
距離標
測線
備考
1. 図郭はユニバーサル横メルカトル図法
2. 高さの基準は東京湾の平均海水
3. 基図は電子地形図25000（平成29年3月15日調製）
4. 河川管理施設は、釧路川管内図（平成29年3月）などの資料による。

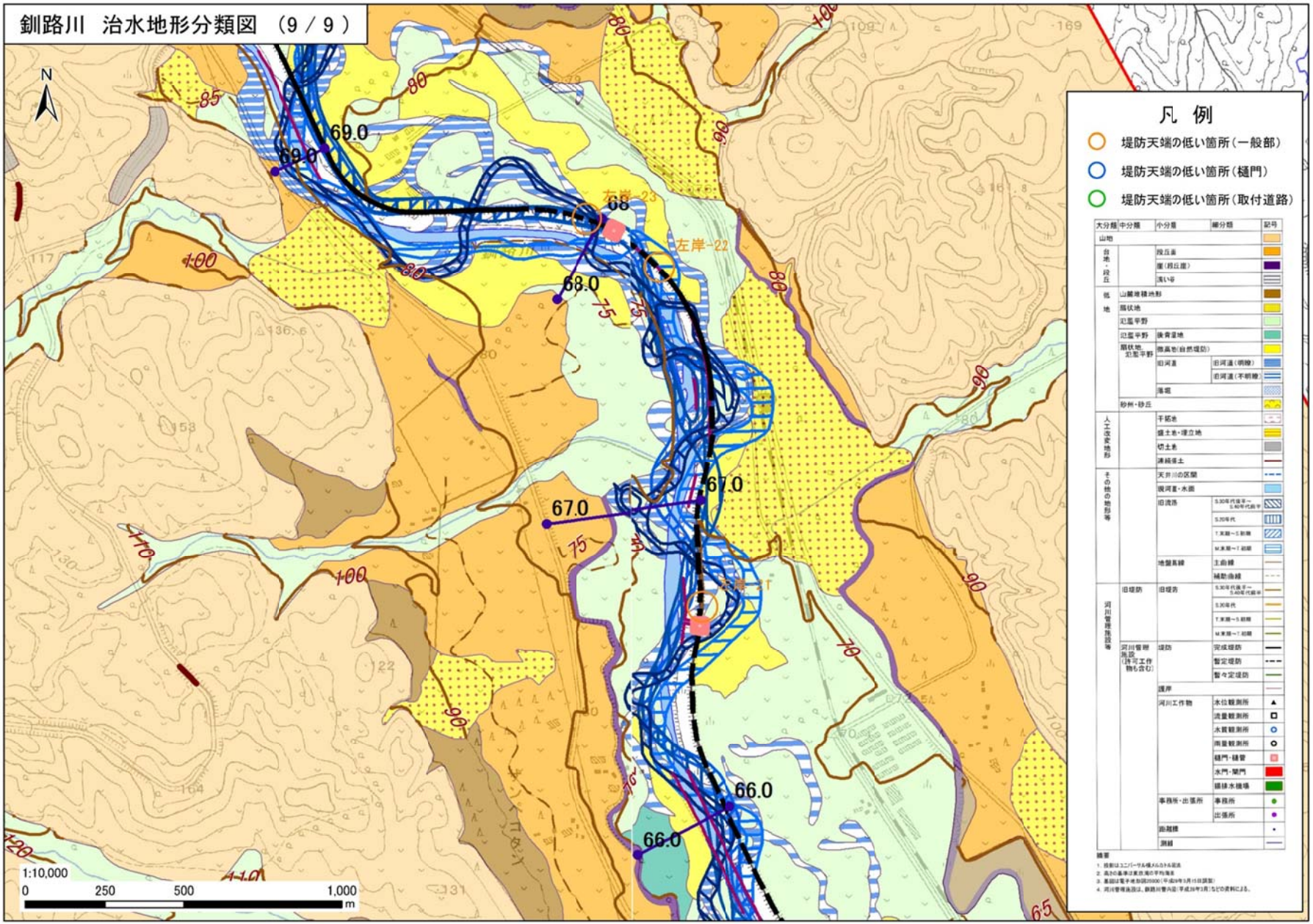

釧路川　治水地形分類図　（4 / 9 ）
N
51.0
50.0
50.0
49.0
49.0
48.0
左岸-9
左岸-8
1:10,000
0
250
500
1,000
m
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
大分類
中分類
小分類
細分類
記号
山地
台地・段丘
段丘面
崖（段丘崖）
浅い谷
低地
山麓堆積地形
扇状地
氾濫平野
後背湿地
自然堤防
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
落堀
砂州・砂丘
人工改変地形
干拓地
盛土地・埋立地
切土地
連続保土
その他の地形等
天井川の区間
現河道・水面
旧湧路
地盤高線
主曲線
補助曲線
河川管理施設等
旧堤防
河川管理施設（許可工作物も含む）
堤防
護岸
河川工作物
水位観測所
流量観測所
水質観測所
雨量観測所
樋門・樋管
水門・閘門
排水機場
事務所・出張所
事務所
出張所
距離標
測線
備考
1. 座標はユニバーサル横メルカトル図法
2. 高さの基準は東京湾の平均海水
3. 基図は電子地形図25000（平成29年3月15日調製）
4. 河川管理施設は、釧路川管内図（平成29年1月）などの資料による。


釧路川　治水地形分類図　（5 / 9 ）
N
55.0
54.0
54.0
53.0
53.0
52.0
52.0
左岸-2(取付道路)
左岸-1
十文字
多和川
1:10,000
0
250
500
1,000
m
凡 例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
大分類
中分類
小分類
細分類
記号
山地
台地・段丘
段丘面
崖（段丘崖）
浅い谷
低地
山麓堆積地形
扇状地
氾濫平野
後背湿地
自然堤防
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
落堀
砂州・砂丘
人工改変地形
干拓地
盛土地・埋立地
切土地
連続保土
その他の地形等
天井川の区間
現河道・水面
旧流路
地盤高線
主曲線
補助曲線
河川管理施設等
旧堤防
旧堤防
河川管理施設（許可工作物も含む）
堤防
完成堤防
暫定堤防
暫々定堤防
護岸
河川工作物
水位観測所
流量観測所
水質観測所
雨量観測所
樋門・樋管
水門・閘門
排水機場
事務所・出張所
事務所
出張所
距離標
測線
備考
1. 図郭はユニバーサル横メルカトル図法
2. 高さの基準は東京湾の平均海水
3. 基図は電子地形図25000(平成29年3月15日調製)
4. 河川管理施設は、釧路川管内図（平成29年3月）などの資料による。


釧路川　治水地形分類図　（6 / 9 ）
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
左岸-14
左岸-13
左岸-12
左岸-11
右岸-1（樋門）
58.0
58.0
57.0
57.0
56.0
56.0
55.0
55.0
1:10,000
0
250
500
1,000
m


釧路川　治水地形分類図　（7 / 9 ）
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
左岸-15
左岸-3（取付道路）
62.0
61.0
61.0
60.0
60.0
59.0
59.0
熊牛原
南弟子屈
協盛
1:10,000
0
250
500
1,000
m

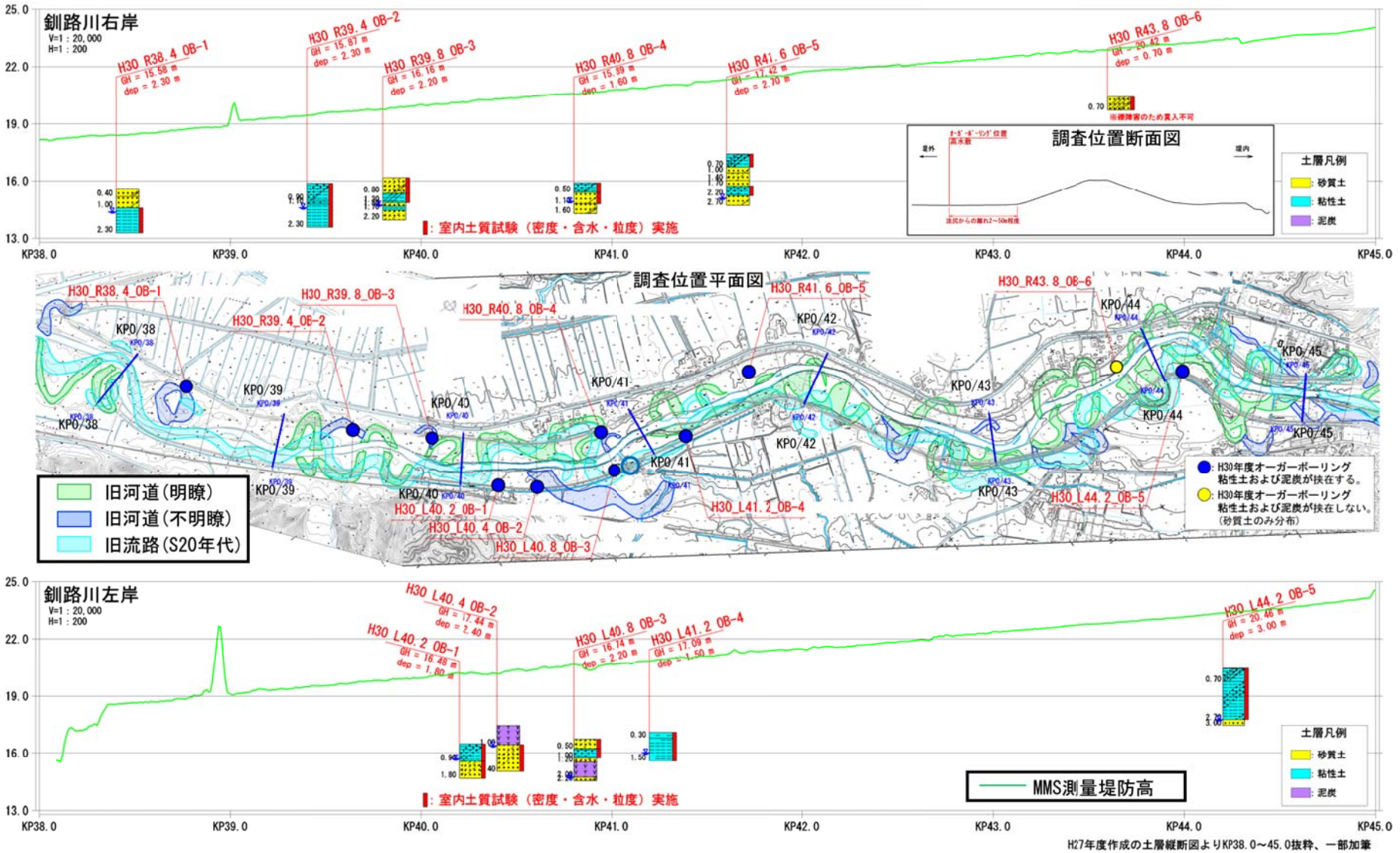

釧路川　治水地形分類図　（8 / 9 ）
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
65.0
64.0
63.0
62.0
左岸-20
左岸-19
左岸-18
南弟子屈
弟子屈町
1:10,000
0
250
500
1,000
m


釧路川　治水地形分類図　（9 / 9 ）
N
69.0
69.0
68
68.0
左岸-23
左岸-22
67.0
67.0
66.0
66.0
1:10,000
0
250
500
1,000
m
凡　例
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）
大分類
中分類
小分類
細分類
記号
山地
台地・段丘
段丘面
崖（段丘崖）
浅い谷
低地
山麓堆積地形
扇状地
氾濫平野
後背湿地
自然堤防
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
落堀
砂州・砂丘
人工改変地形
干拓地
盛土地・埋立地
切土地
連続保土
その他の地形等
天井川の区間
現河道・水面
旧流路
5.30年代後半～5.40年代前半
5.30年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
地盤高線
主曲線
補助曲線
河川管理施設等
旧堤防
旧堤防
5.30年代後半～5.40年代前半
5.30年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
河川管理施設（許可工作物も含む）
堤防
完成堤防
暫定堤防
暫々定堤防
護岸
河川工作物
水位観測所
流量観測所
水質観測所
雨量観測所
樋門・樋管
水門・閘門
排水機場
事務所・出張所
事務所
出張所
距離標
測線
備考
1. 座標はユニバーサル横メルカトル図法
2. 高さの基準は東京湾の平均海水
3. 基図は電子地形図25000（平成29年3月15日調製）
4. 河川管理施設は、釧路川管内図（平成29年3月）などの資料による。

(2) 堤防天端の不陸箇所と基礎地盤土質の関係

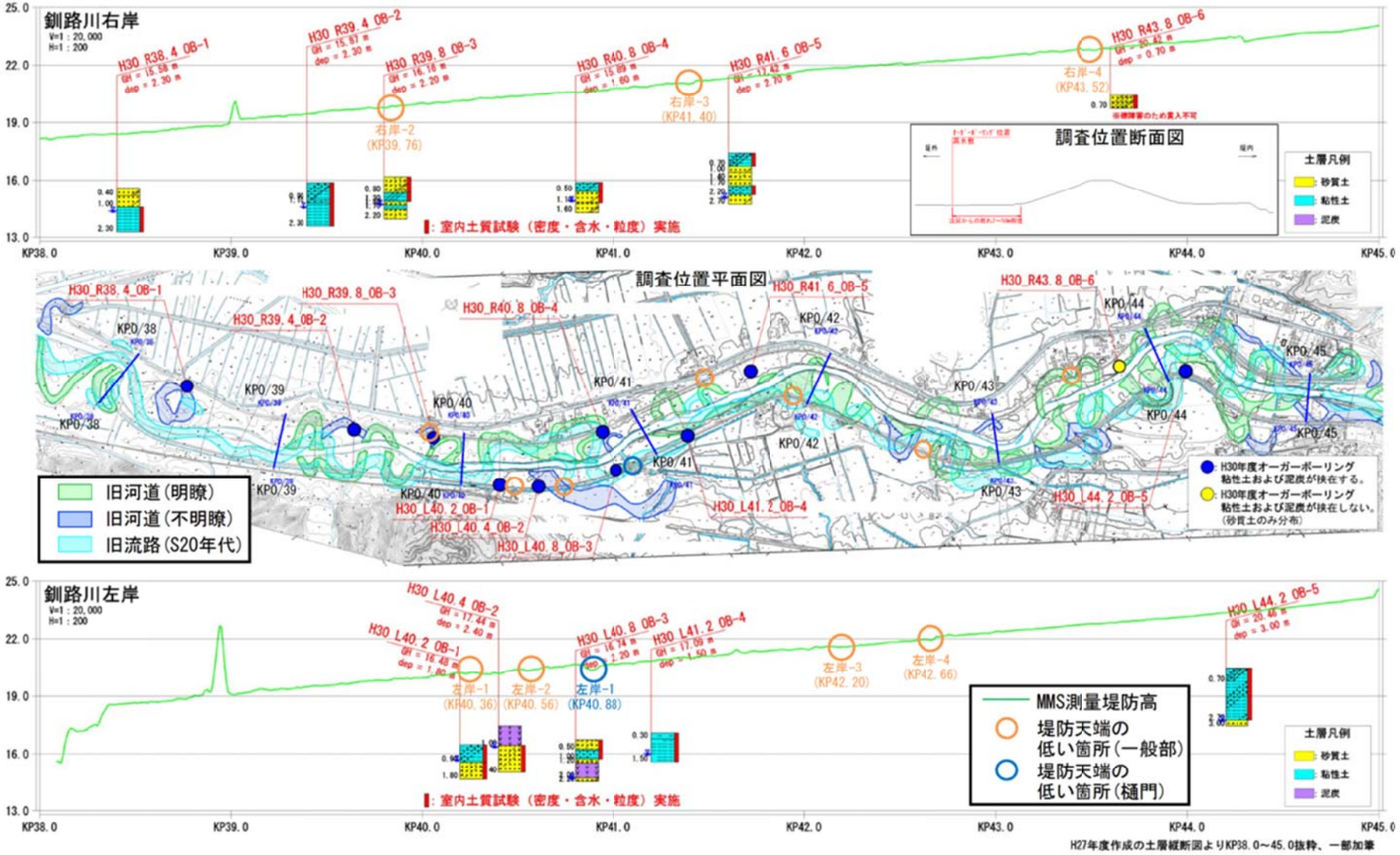
釧路川の堤防と旧河道が交わる箇所で、旧河道を中心に地表面から 2～3m 程度のオーガーボーリングによる土質調査を実施した。その結果、高水敷の旧河道跡には粘性土が多く分布していることが確認された。

堤防天端の不陸箇所は旧河道の箇所にあたることから、旧河道が埋め立てられて出来た粘性土の基礎地盤が圧密し、堤体盛土の沈下が発生したものと考えられる。



H27年度作成の土層縦断図よりKP38.0～45.0抜粋、一部加筆

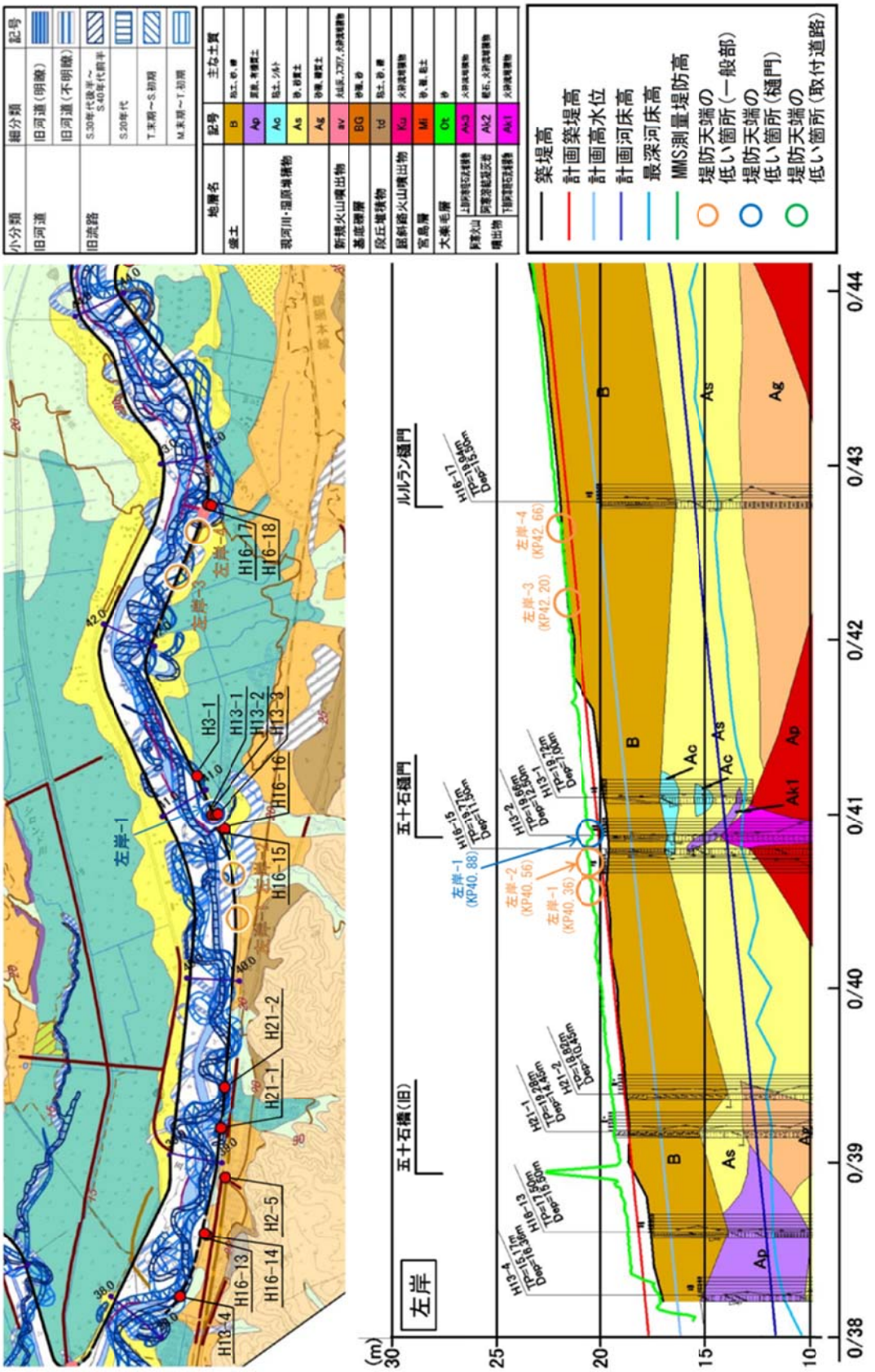
図Ⅱ-3-20　旧河道と基礎地盤土質の関係

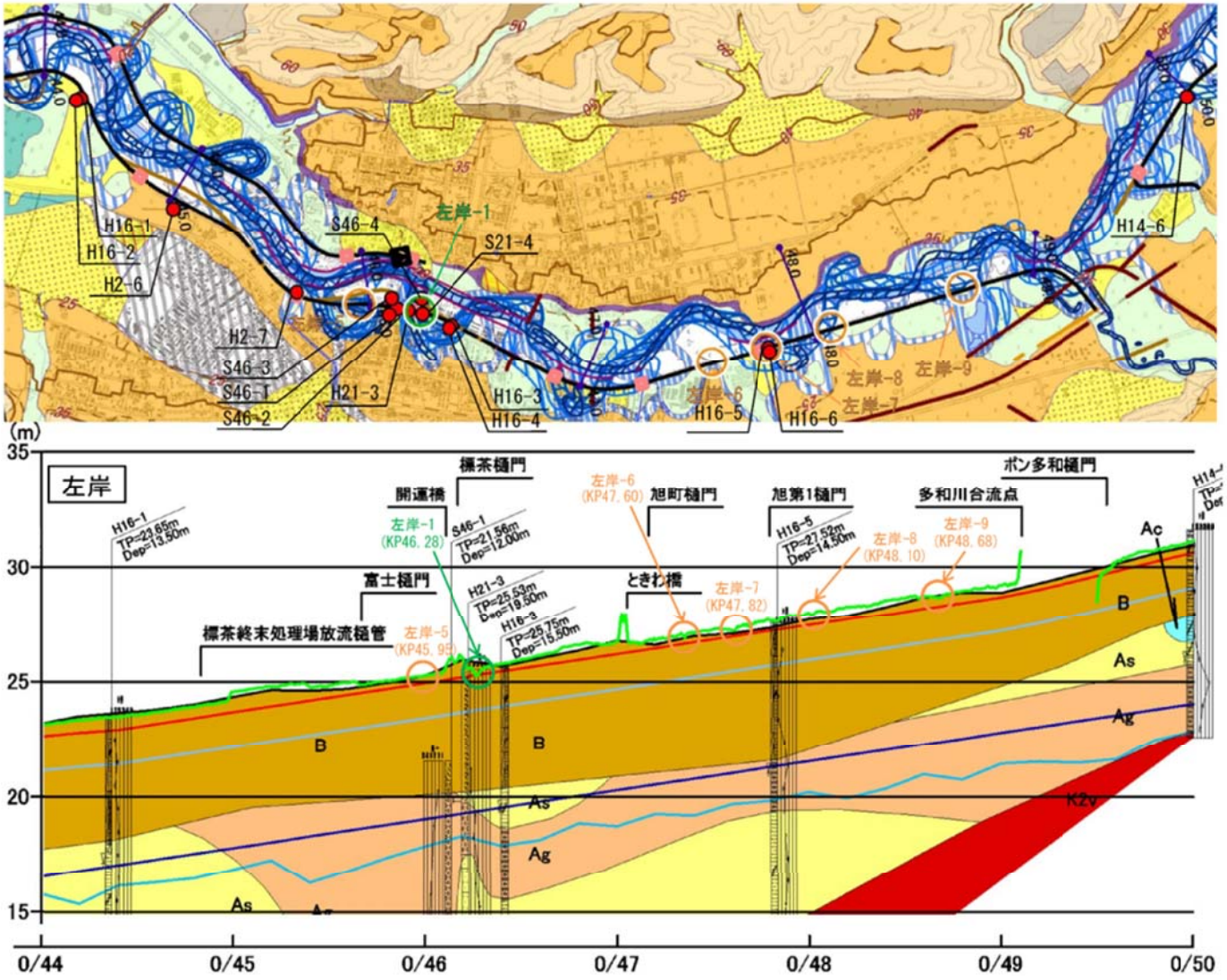


図Ⅱ-3-21　堤防天端の不陸箇所と基礎地盤土質の関係

(3) 土層縦断図による基礎地盤の土質の把握

土層縦断図から河川全体の基礎地盤の土層構成を把握した。その結果、局所的な粘性土分布は把握しきれていないが、当該地域は大略的には砂質土基盤であることが確認できた。

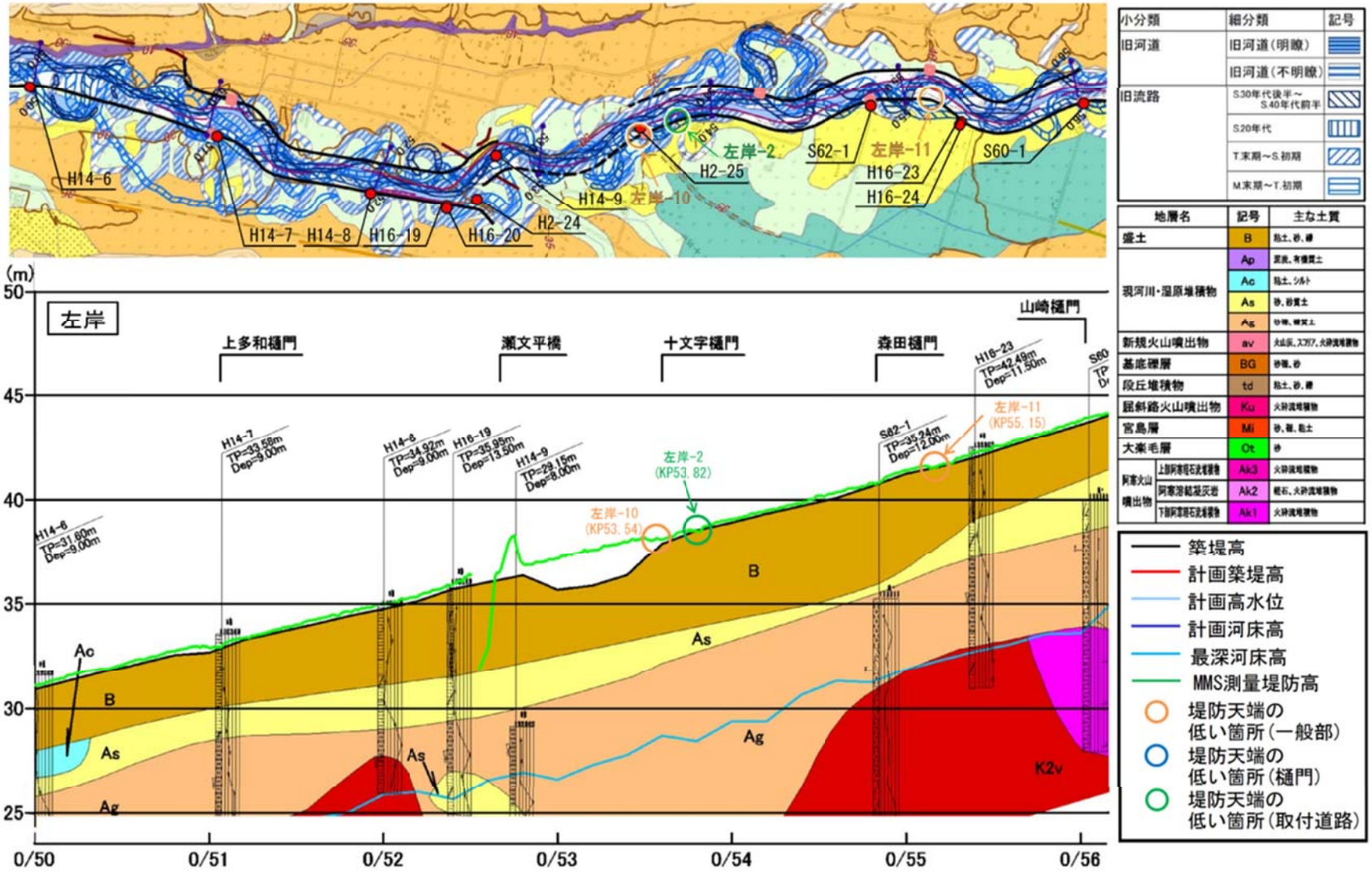


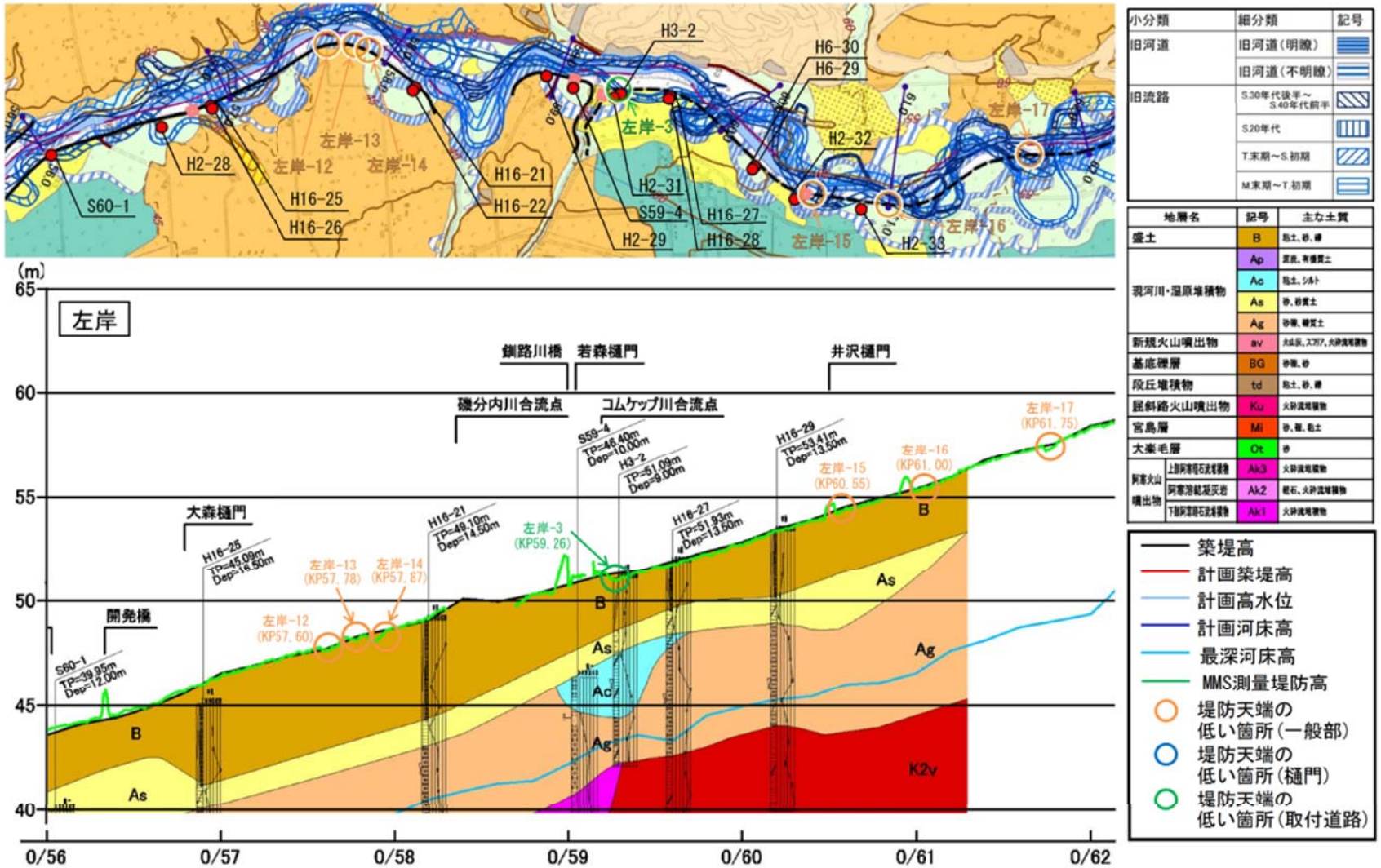


小分類	細分類	記号
旧河道	旧河道(明瞭)	
	旧河道(不明瞭)	
旧流路	S.30年代後半～S.40年代前半	
	S.20年代	
	T.末期～S.初期	
	M.末期～T.初期	

地層名		記号	主な土質
盛土		B	粘土、砂、礫
現河川・湿原堆積物		Ap	泥炭、有機質土
		Ac	粘土、シルト
		As	砂、砂質土
		Ag	砂礫、礫質土
新規火山噴出物		av	火山灰、スコリア、火砕流堆積物
基底礫層		BG	砂礫、砂
段丘堆積物		td	粘土、砂、礫
屈斜路火山噴出物		Ku	火砕流堆積物
宮島層		Mi	砂、礫、粘土
大楽毛層		Ot	砂
阿寒火山噴出物	上部阿寒湖成堆積物	Ak3	火砕流堆積物
	阿寒溶結凝灰岩	Ak2	軽石、火砕流堆積物
	下部阿寒湖成堆積物	Ak1	火砕流堆積物

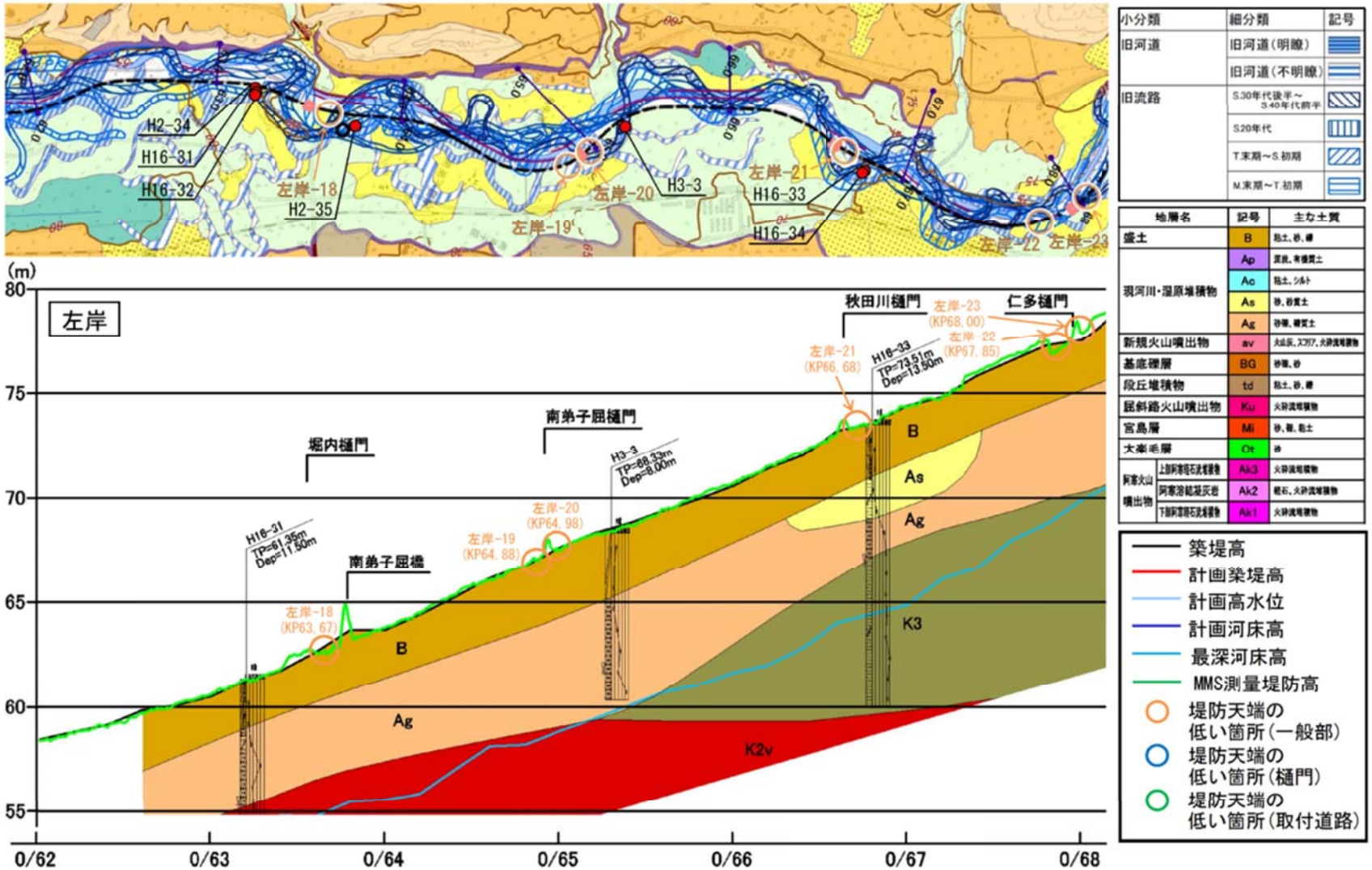
- 築堤高
- 計画築堤高
- 計画高水位
- 計画河床高
- 最深河床高
- MMS測量堤防高
- 堤防天端の低い箇所(一般部)
- 堤防天端の低い箇所(樋門)
- 堤防天端の低い箇所(取付道路)


H14-6
H14-7
H14-8
H16-19
H16-20
H2-24
H14-9
左岸-10
H2-25
左岸-2
S62-1
左岸-11
H16-23
H16-24
S60-1
(m)
左岸
上多和樋門
瀬文平橋
十文字樋門
森田樋門
山崎樋門
H14-7 TP=33.58m Dep=9.00m
H14-8 TP=34.92m Dep=9.00m
H16-19 TP=35.95m Dep=13.50m
H14-9 TP=29.15m Dep=8.00m
H14-6 TP=31.50m Dep=9.00m
S62-1 TP=35.24m Dep=12.00m
H16-23 TP=42.49m Dep=11.50m
左岸-2 (KP53.82)
左岸-10 (KP53.54)
左岸-11 (KP55.15)
Ac
B
As
Ag
K2v
50
45
40
35
30
25
0/50
0/51
0/52
0/53
0/54
0/55
0/56
小分類
細分類
記号
旧河道
旧河道(明瞭)
旧河道(不明瞭)
旧流路
S.30年代後半～S.40年代前半
S.20年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
地層名
記号
主な土質
盛土
B
粘土、砂、礫
現河川・湿原堆積物
Ap
泥炭、有機質土
Ac
粘土、シルト
As
砂、砂質土
Ag
砂礫、礫質土
新規火山噴出物
av
火山灰、スコリア、火砕流堆積物
基底礫層
BG
砂礫、砂
段丘堆積物
td
粘土、砂、礫
屈斜路火山噴出物
Ku
火砕流堆積物
宮島層
Mi
砂、礫、粘土
大楽毛層
Ot
砂
阿寒火山噴出物
上部阿寒期石武堆積物
Ak3
火砕流堆積物
阿寒溶結凝灰岩
Ak2
軽石、火砕流堆積物
下部阿寒期石武堆積物
Ak1
火砕流堆積物
築堤高
計画築堤高
計画高水位
計画河床高
最深河床高
MMS測量堤防高
堤防天端の低い箇所(一般部)
堤防天端の低い箇所(樋門)
堤防天端の低い箇所(取付道路)

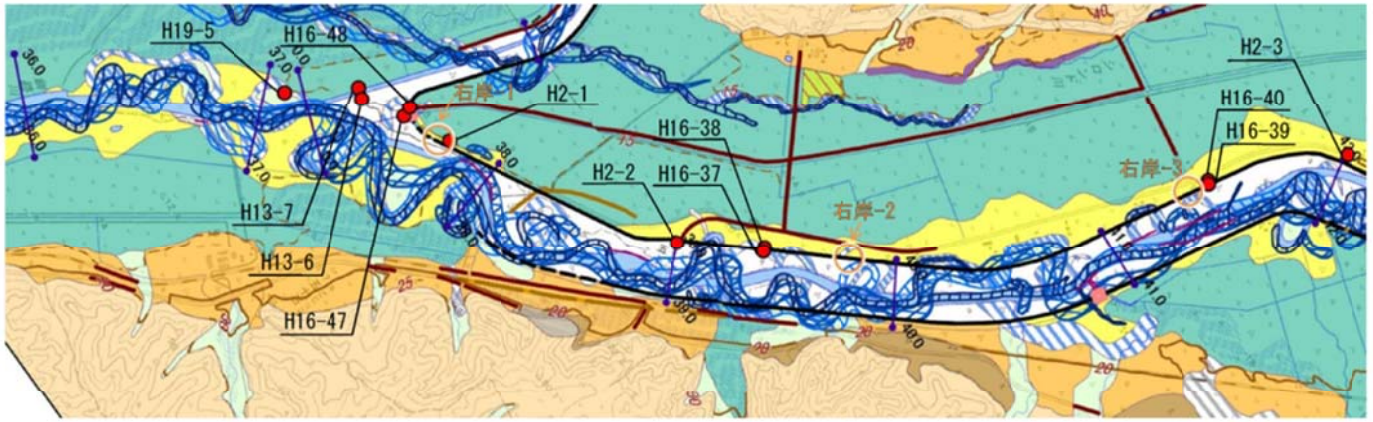


小分類	細分類	記号
旧河道	旧河道(明瞭)	
	旧河道(不明瞭)	
旧流路	S.30年代後半～S.40年代前半	
	S.20年代	
	T.末期～S.初期	
	M.末期～T.初期	

地層名		記号	主な土質
盛土		B	粘土、砂、礫
現河川・湿原堆積物		Ap	泥炭、有機質土
		Ac	粘土、シルト
		As	砂、砂質土
		Ag	砂礫、礫質土
新規火山噴出物		av	火山灰、スコリア、火砕流堆積物
基底礫層		BG	砂礫、砂
段丘堆積物		td	粘土、砂、礫
屈斜路火山噴出物		Ku	火砕流堆積物
宮島層		Mi	砂、礫、粘土
大楽毛層		Ot	砂
阿寒火山噴出物	上部阿寒砕石流堆積物	Ak3	火砕流堆積物
	阿寒溶結凝灰岩	Ak2	軽石、火砕流堆積物
	下部阿寒砕石流堆積物	Ak1	火砕流堆積物

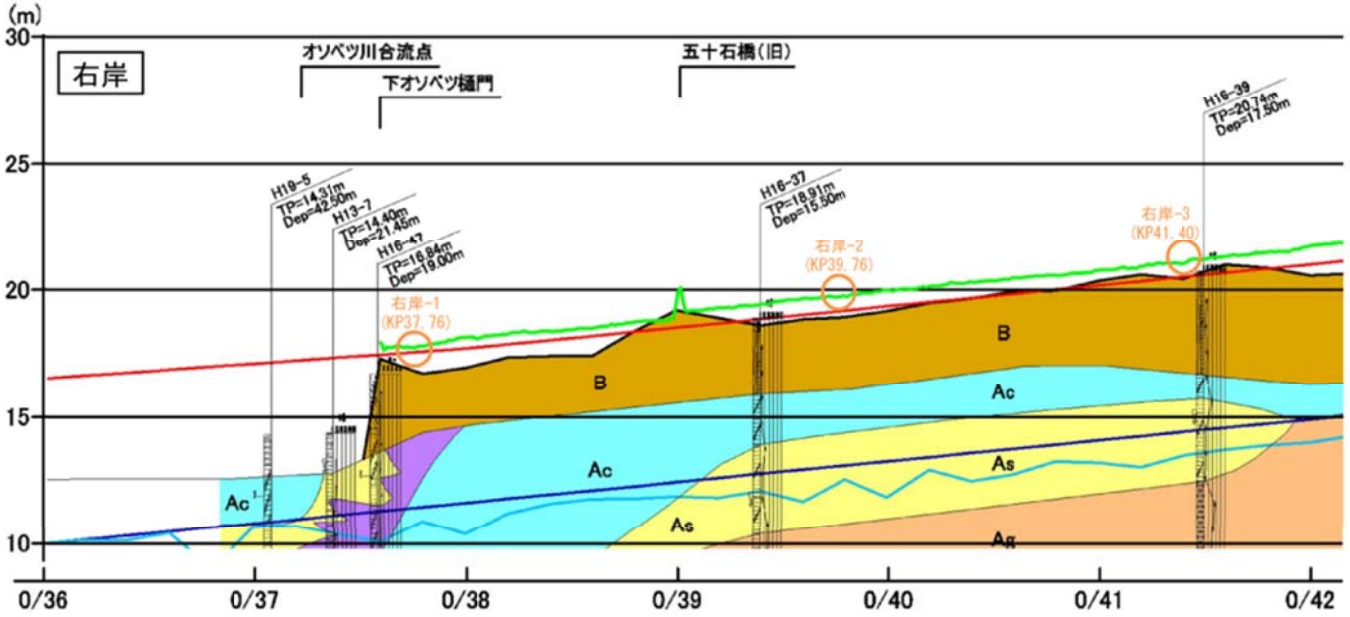


H2-34
H16-31
H16-32
左岸-18
H2-35
左岸-19
左岸-20
H3-3
左岸-21
H16-33
H16-34
左岸-22
左岸-23
(m)
左岸
秋田川樋門
仁多樋門
左岸-23
(KP68.00)
左岸-22
(KP67.85)
左岸-21
(KP66.68)
H16-33
TP=73.51m
Dep=13.50m
南弟子屈樋門
H3-3
TP=68.33m
Dep=8.00m
堀内樋門
左岸-20
(KP64.98)
左岸-19
(KP64.88)
H16-31
TP=61.35m
Dep=11.50m
南弟子屈橋
左岸-18
(KP63.67)
B
As
Ag
K3
K2v
80
75
70
65
60
55
0/62
0/63
0/64
0/65
0/66
0/67
0/68
小分類
細分類
記号
旧河道
旧河道(明瞭)
旧河道(不明瞭)
旧流路
S.30年代後半～S.40年代前半
S.20年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
地層名
記号
主な土質
盛土
B
現河川・湿原堆積物
Ap
Ac
As
Ag
新規火山噴出物
av
基底礫層
BG
段丘堆積物
td
屈斜路火山噴出物
Ku
宮島層
Mi
大楽毛層
Ot
阿寒火山噴出物
Ak3
Ak2
Ak1
築堤高
計画築堤高
計画高水位
計画河床高
最深河床高
MMS測量堤防高
堤防天端の低い箇所(一般部)
堤防天端の低い箇所(樋門)
堤防天端の低い箇所(取付道路)

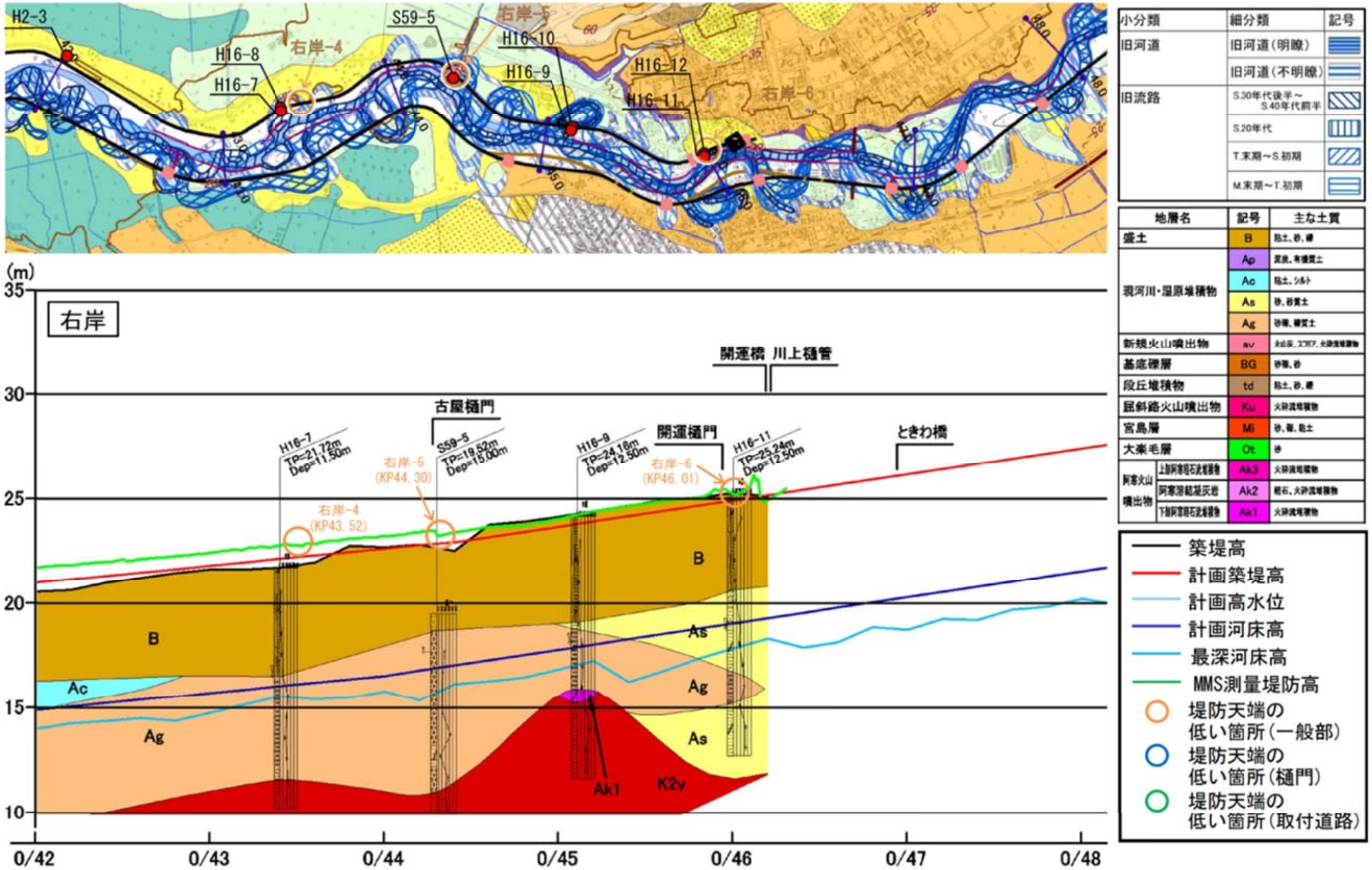


小分類	細分類	記号
旧河道	旧河道（明瞭）	
	旧河道（不明瞭）	
旧流路	S.30年代後半～S.40年代前半	
	S.20年代	
	T.末期～S.初期	
	M.末期～T.初期	

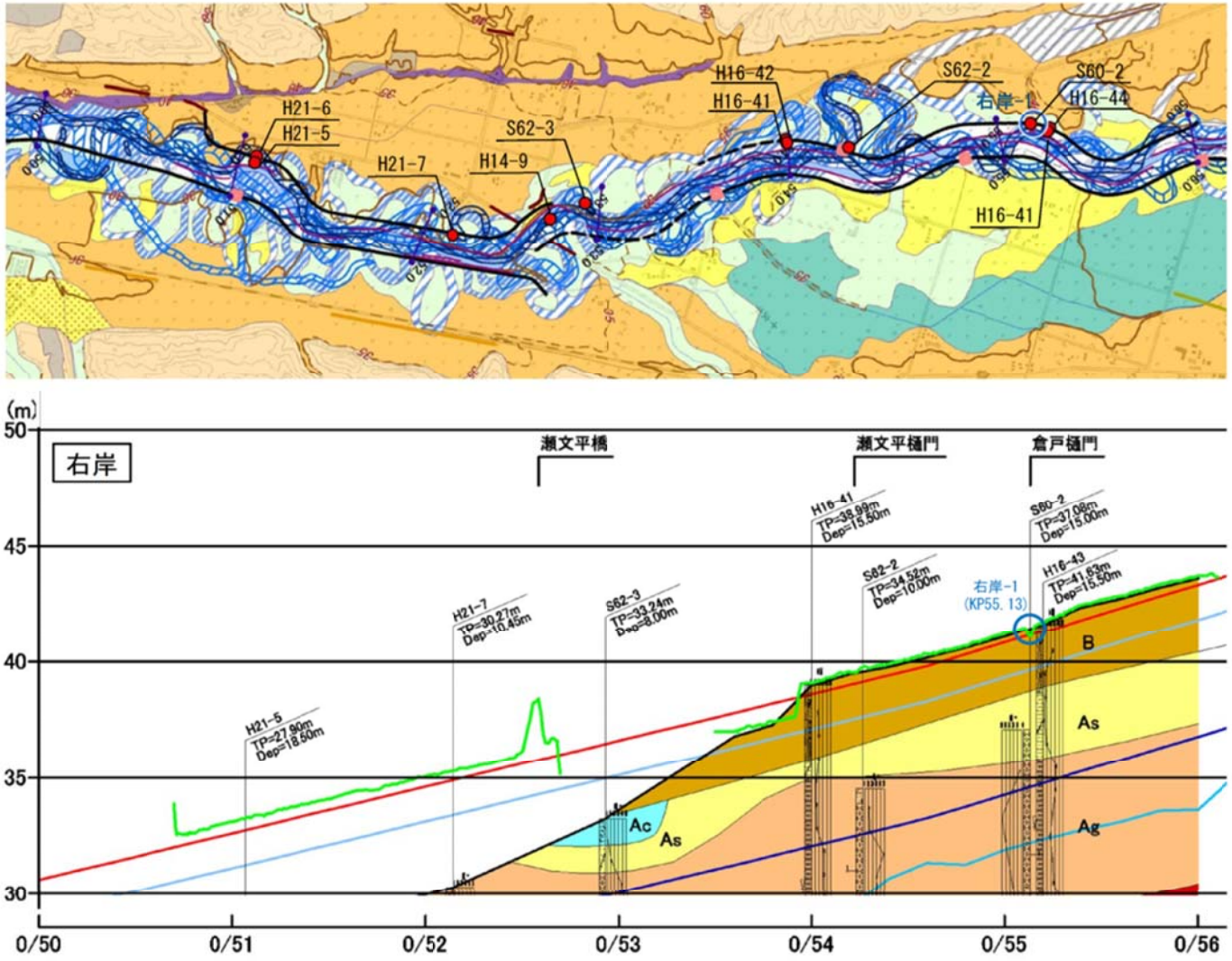
地層名	記号	主な土質
盛土	B	粘土、砂、礫
現河川・湿原堆積物	Ap	泥炭、有機質土
	Ac	粘土、シルト
	As	砂、砂質土
	Ag	砂礫、礫質土
新規火山噴出物	av	火山灰、スコリア、火砕流堆積物
基底礫層	BG	砂礫、砂
段丘堆積物	td	粘土、砂、礫
屈斜路火山噴出物	Ku	火砕流堆積物
宮島層	Mi	砂、礫、粘土
大楽毛層	Ot	砂
阿寒火山噴出物 上部阿寒期石武層群	Ak3	火砕流堆積物
阿寒溶結凝灰岩	Ak2	軽石、火砕流堆積物
下部阿寒期石武層群	Ak1	火砕流堆積物



- 築堤高
- 計画築堤高
- 計画高水位
- 計画河床高
- 最深河床高
- MMS測量堤防高
- 堤防天端の低い箇所（一般部）
- 堤防天端の低い箇所（樋門）
- 堤防天端の低い箇所（取付道路）



H2-3
H16-8
H16-7
右岸-4
S59-5
右岸-5
H16-10
H16-9
H16-12
H16-11
右岸-6
小分類
細分類
記号
旧河道
旧河道（明瞭）
旧河道（不明瞭）
旧流路
S.30年代後半～S.40年代前半
S.20年代
T.末期～S.初期
M.末期～T.初期
地層名
記号
主な土質
盛土
B
現河川・湿原堆積物
Ap
Ac
As
Ag
新規火山噴出物
av
基底礫層
BG
段丘堆積物
td
屈斜路火山噴出物
Ku
宮島層
Mi
大楽毛層
Ot
阿寒火山噴出物
Ak3
Ak2
Ak1
(m)
35
30
25
20
15
10
右岸
開運橋 川上樋管
古屋樋門
開運樋門
ときわ橋
H16-7
TP=21.72m
Dep=11.50m
右岸-4
(KP43.52)
S59-5
TP=19.52m
Dep=15.00m
右岸-5
(KP44.30)
H16-9
TP=24.18m
Dep=12.50m
H16-11
TP=25.24m
Dep=12.50m
右岸-6
(KP46.01)
B
Ac
Ag
As
Ak1
K2v
0/42
0/43
0/44
0/45
0/46
0/47
0/48
築堤高
計画築堤高
計画高水位
計画河床高
最深河床高
MMS測量堤防高
堤防天端の低い箇所（一般部）
堤防天端の低い箇所（樋門）
堤防天端の低い箇所（取付道路）



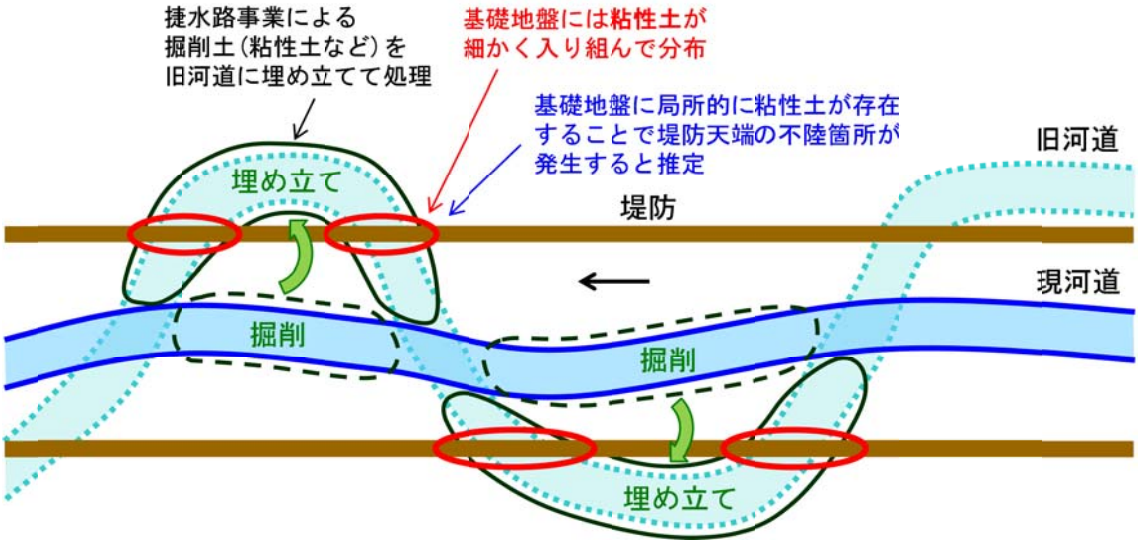
小分類	細分類	記号
旧河道	旧河道(明瞭)	
	旧河道(不明瞭)	
旧流路	S.30年代後半～S.40年代前半	
	S.20年代	
	T.末期～S.初期	
	M.末期～T.初期	

地層名		記号	主な土質
盛土		B	粘土、砂、礫
現河川・湿原堆積物		Ap	泥炭、有機質土
		Ac	粘土、シルト
		As	砂、砂質土
		Ag	砂礫、礫質土
新規火山噴出物		av	火山灰、スコリア、火砕流堆積物
基底礫層		BG	砂礫、砂
段丘堆積物		td	粘土、砂、礫
屈斜路火山噴出物		Ku	火砕流堆積物
宮島層		Mi	砂、礫、粘土
大楽毛層		Ot	砂
阿寒火山噴出物	上部阿寒期石北峠層群	Ak3	火砕流堆積物
	阿寒湖畔凝灰岩	Ak2	軽石、火砕流堆積物
	下部阿寒期石北峠層群	Ak1	火砕流堆積物

3-2-4　堤防天端の不陸箇所の発生要因

釧路川の基礎地盤は、過年度の土層縦断図より判断すると、砂質土が主体である。一方、釧路川の旧河道・旧流路は、細かい蛇行により非常に入り組んだ形状をしており、これを過去の捷水路事業で掘削土（粘性土など）が埋め立て材料として使用されていたと推測される。そのことから、堤防下の基礎地盤には局所的な粘性土が分布する状況であると考えられる。

この局所的な粘性土が圧密することにより、堤体盛土が沈下し、堤防天端の不陸箇所が発生しているとも考えられる。



図Ⅱ-3-22　「堤防天端の不陸箇所」と「旧河道」と「粘性土」の関係

4. 実物大の現地堤防実験

4-1　雨水の堤体浸透に関する現地実験

4-1-1　現地実験の目的、概要

(1) 目的

堤防の被災形態から堤防法面の被災は、堤防天端の不陸箇所に集中した雨水の流れに加え、法肩や法面のシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して強度低下を起こしたことが要因と考えられた。また、堤防基礎地盤の粘性土が不透水層となって堤体内の浸潤面を上昇させたことも要因の１つとして考えられた。そのため、既設堤防の現地調査に加え、実物大の試験堤防による雨水の浸透を考慮した現地実験を実施した。

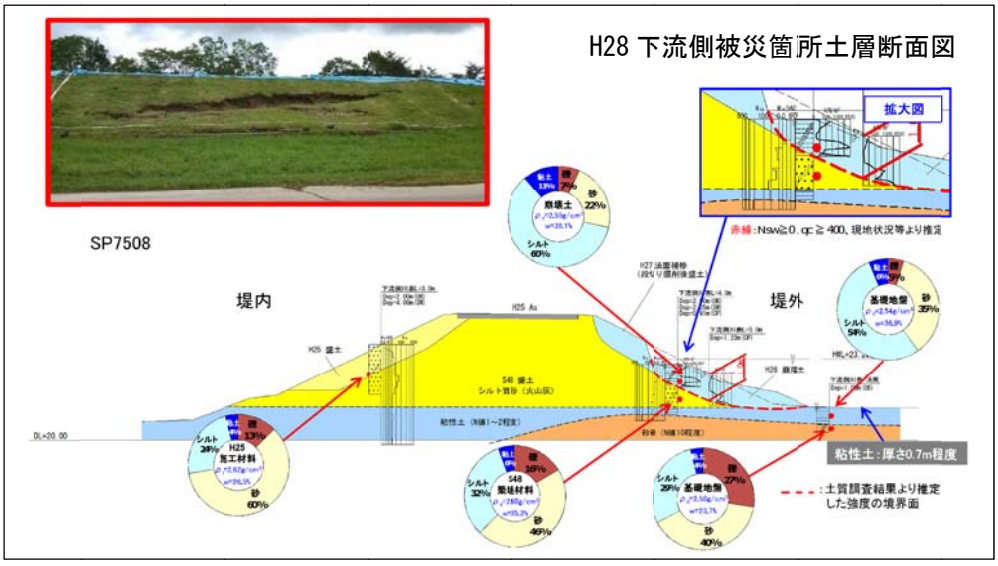
現地実験は、釧路川で実際に使用されている堤体材料で試験的に築造した堤防に対して、人工的に降雨および外水位を作用させ、堤体への浸透、浸潤面、堤防表面の強度変化を把握することを目的として実施した。

1) 変状時の状況が不明な点

被災箇所で、平成 28 年に実施された再現計算の不明な点は以下の通りである。

・被災時の堤体内水位（浸潤面）

・飽和度上昇時の堤防表面の強度



出典：「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)」

2) 堤防表面の飽和度上昇に伴う強度低下

堤体の飽和度が上がるとコーン貫入抵抗値が低下することが過去の実物大実験の結果で知られている（山村和也，久楽勝行，川口丸尾：降雨実験からみた斜面の安定解析方法，土木技術研究資料，Vol15，No.3，1973）。

当該箇所においても降雨が浸透しやすく、強度低下があった可能性がある。

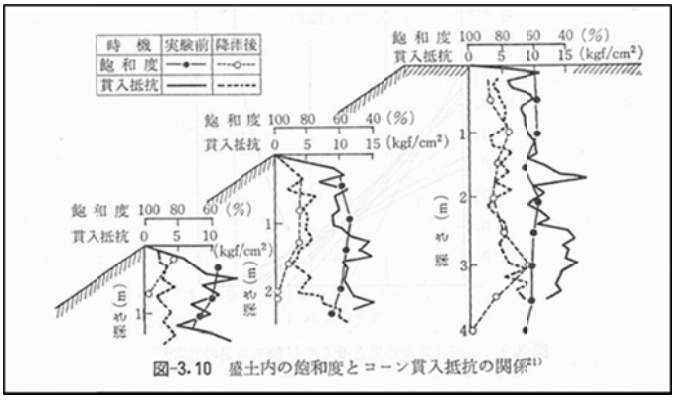
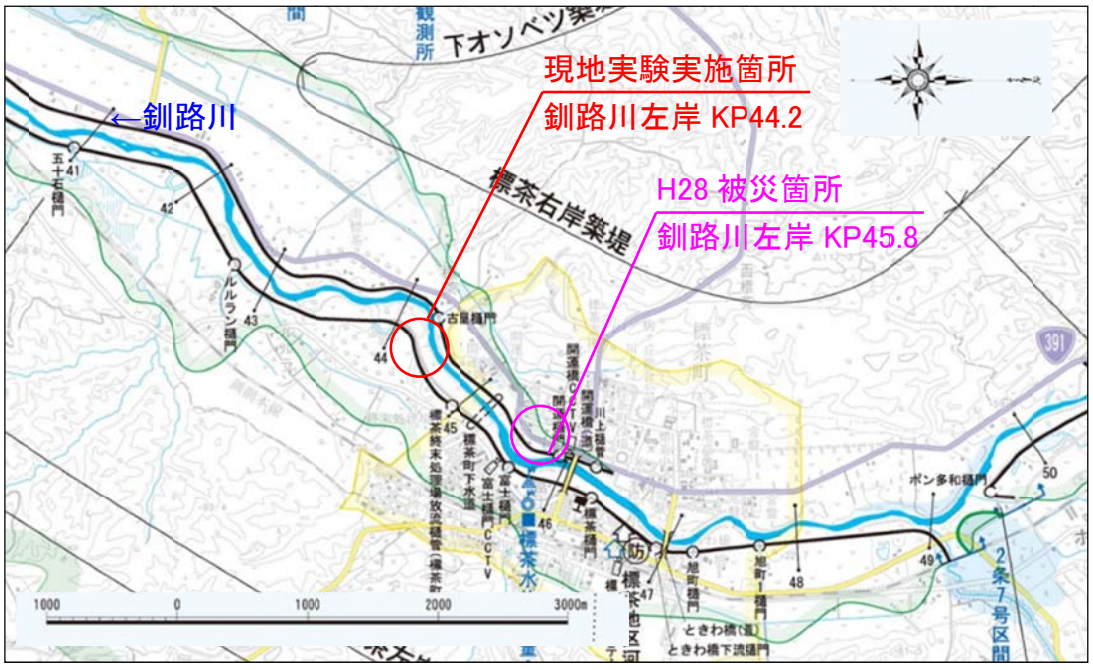


図-3.10 盛土内の飽和度とコーン貫入抵抗の関係[21]

出典：「設計における強度定数ＣφＮ値(P88　地盤工学会；旧土質工学会)」

(2) 現地実験の位置

現地実験は、雨水や外水位の浸透による堤体の強度低下などの被災への影響を検証するため、平成 30 年 11 月に釧路川左岸 KP44.2 高水敷で実物大試験堤防の現地実験を実施した。



図Ⅱ-4-1　現地実験位置図

写真Ⅱ-4-1　現地写真（H30.10.2 撮影）

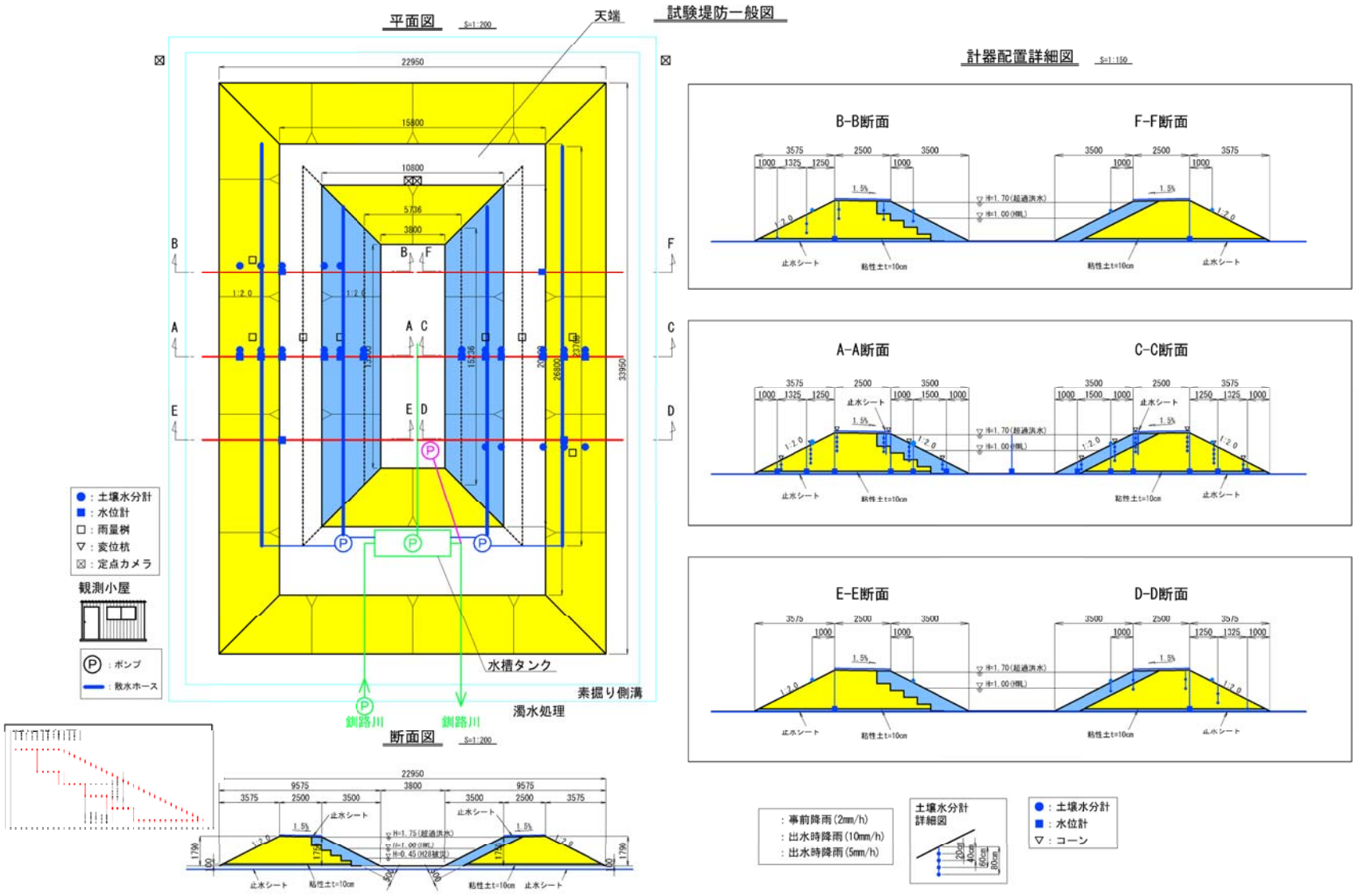
写真Ⅱ-4-2　現地写真（H30.10.20 撮影）

(3) 実堤防/実現象と現地実験の仕様

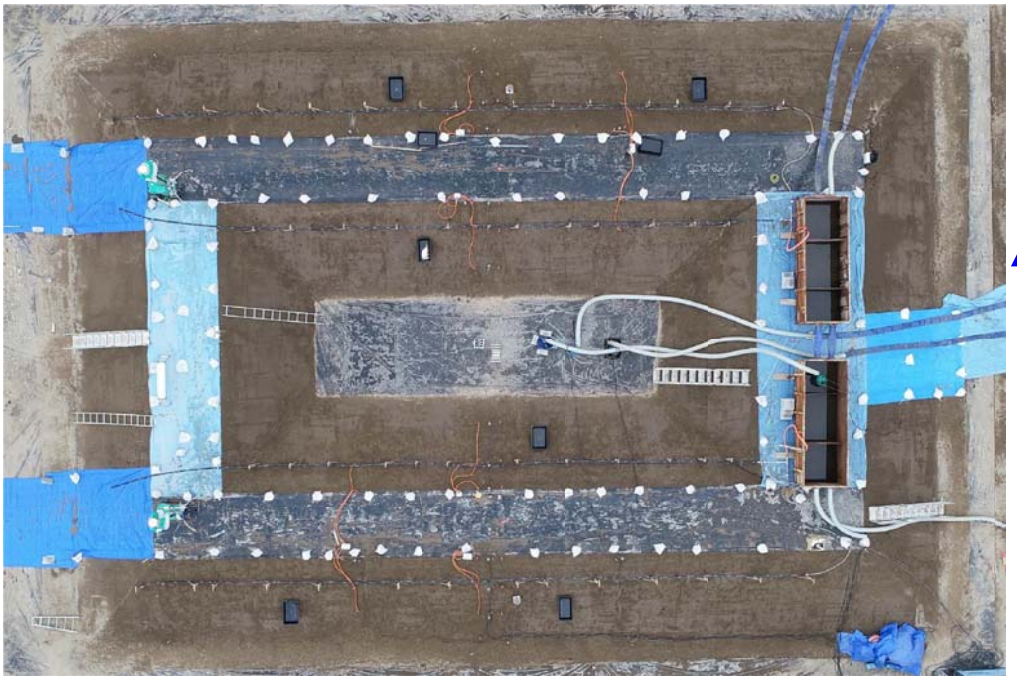
釧路川の堤防及び被災時の実現象を現地実験では、表Ⅱ-4-1 の仕様によりモデル化した。表Ⅱ-4-2～表Ⅱ-4-3 に現地実験一般図および現地写真を示す。また、表Ⅱ-4-1 の各項目の詳細については、以降に示す。

表Ⅱ-4-1　現地実験仕様

実堤防/実現象	現地実験
代表的な釧路川の堤防	堤体材料を砂質土、川表表面を粘性土とし、実堤防と同様の土取場を選定 (砂質土：購入土、粘性土：高水敷掘削土)
H26(表層)、H28(法肩、法中央の亀裂）の被災形態の違いを確認	川表表面の粘性土施工時の段切りの有無
基礎地盤土質が粘性土	基礎地盤表面に止水シートを敷設することにより、不透水性を再現。さらに止水シートと堤体の隙間からの漏水などを防ぐために、止水シートと堤体の接触面に粘性土を 10 ㎝敷設
堤防法面形状	2 割勾配
堤防天端状況 (アスファルト舗装)	止水シートで降雨浸透を抑止
降雨	農業用散水ホースによる平面的な散水、送水量により降雨強度を調整
外水位	枠堤内部の湛水、水深により調整。上昇・低下速度は実際の出水を参考に設定
降雨の堤体内への浸透	土壌水分計の設置
堤体内水位（浸潤面）	水位計の設置
飽和度上昇時の堤防強度	ポータブルコーン貫入試験の実施
湛水試験	Case1：HWL 程度、Case2：超過洪水（堤防満杯）



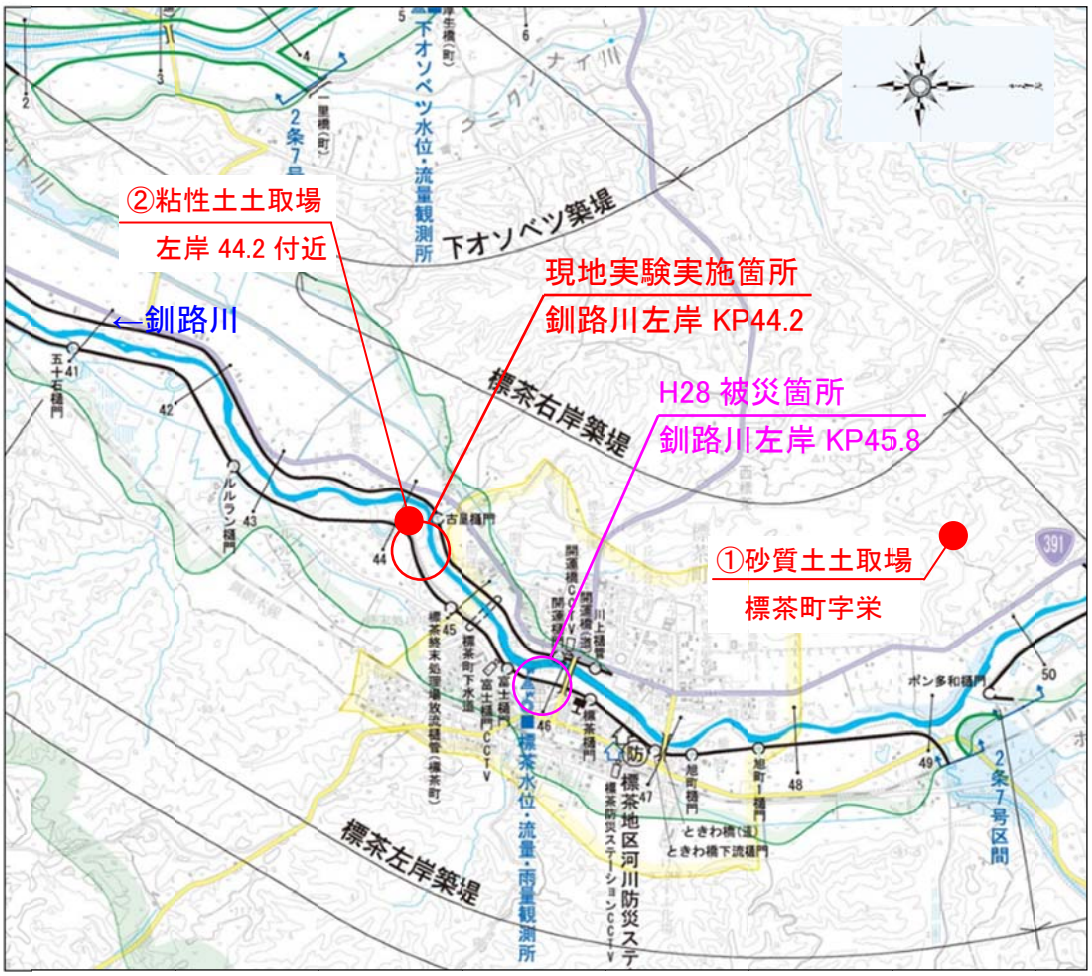
図Ⅱ-4-2　試験堤防一般図

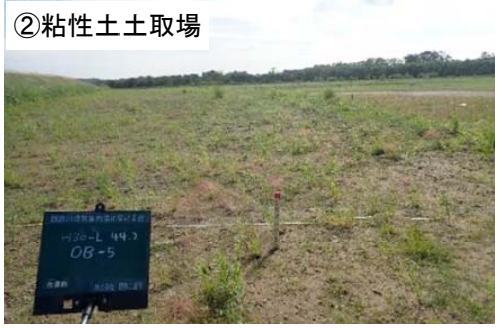


図Ⅱ-4-3　現地実験写真

1）代表的な釧路川の堤防材料の選定

現地実験に用いる堤体材料を採取して材料試験を実施した。堤体土に用いる砂質土は標茶町栄土取場、川表表面で用いる粘性土は釧路川左岸 KP44.2 高水敷より採取した。

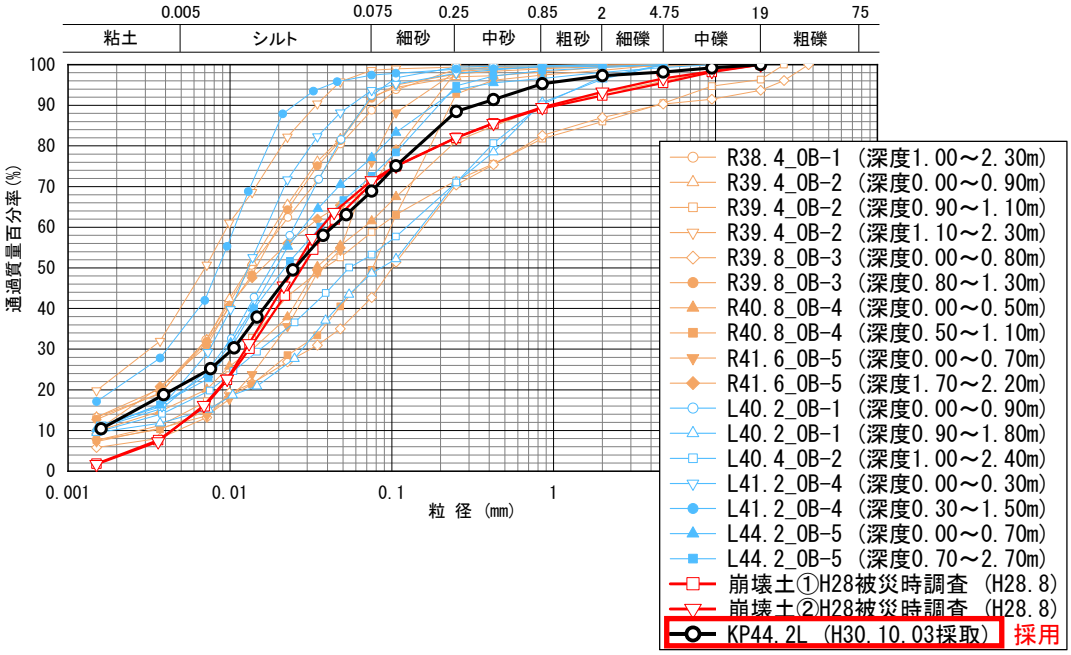




図Ⅱ-4-4　土取場位置図

a）粘性土

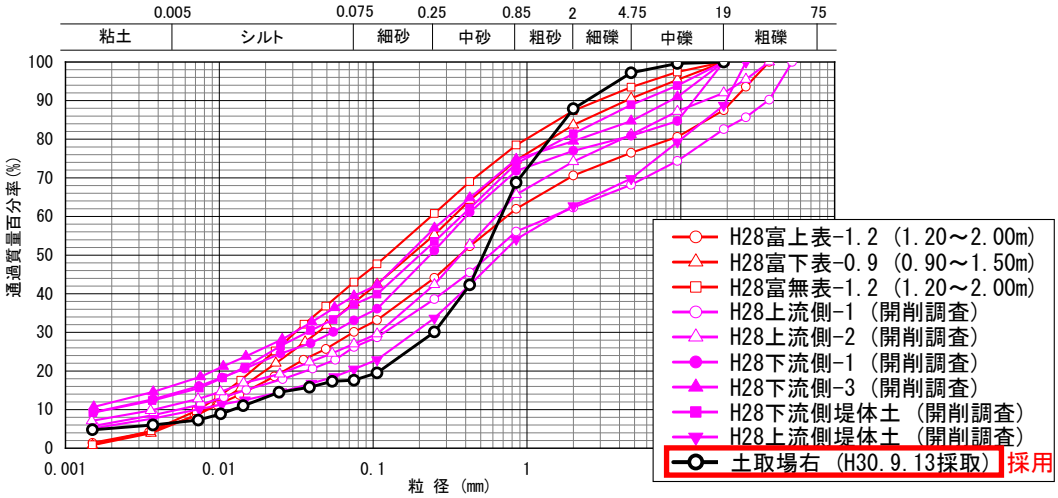
釧路川左岸 KP44.2 高水敷で採取した粘性土の粒径加積曲線を図Ⅱ-4-5 に示す。図Ⅱ-4-5 には被災箇所の川表法面の調査結果と、前出『3-1-2　高水敷調査による基礎地盤土質の把握』によって確認された粘性土の調査結果を併せて示す。被災箇所の調査結果（図中赤線）と粘性土（図中黒線）の粒度特性の比較より、釧路川左岸 KP44.2 高水敷で採取した粘性土は、平成 28 年に被災した堤体材料および高水敷で発生している粘性土の粒度の範囲内であることから、現地実験に採用するものとした。



図Ⅱ-4-5　粒径加積曲線（粘性土）

b）砂質土

土取場で採取した砂質土の粒径加積曲線を図Ⅱ-4-6 に示す。図Ⅱ-4-6 には平成 28 年度に採取した被災箇所の堤体の調査結果を併せて示す。被災箇所の調査結果（図中赤線）と砂質土（図中黒線）の粒度特性の比較より、土取場で採取した砂質土は、平成 28 年に被災した箇所の堤体材料の粒度の範囲内であることから、現地実験に採用するものとした。



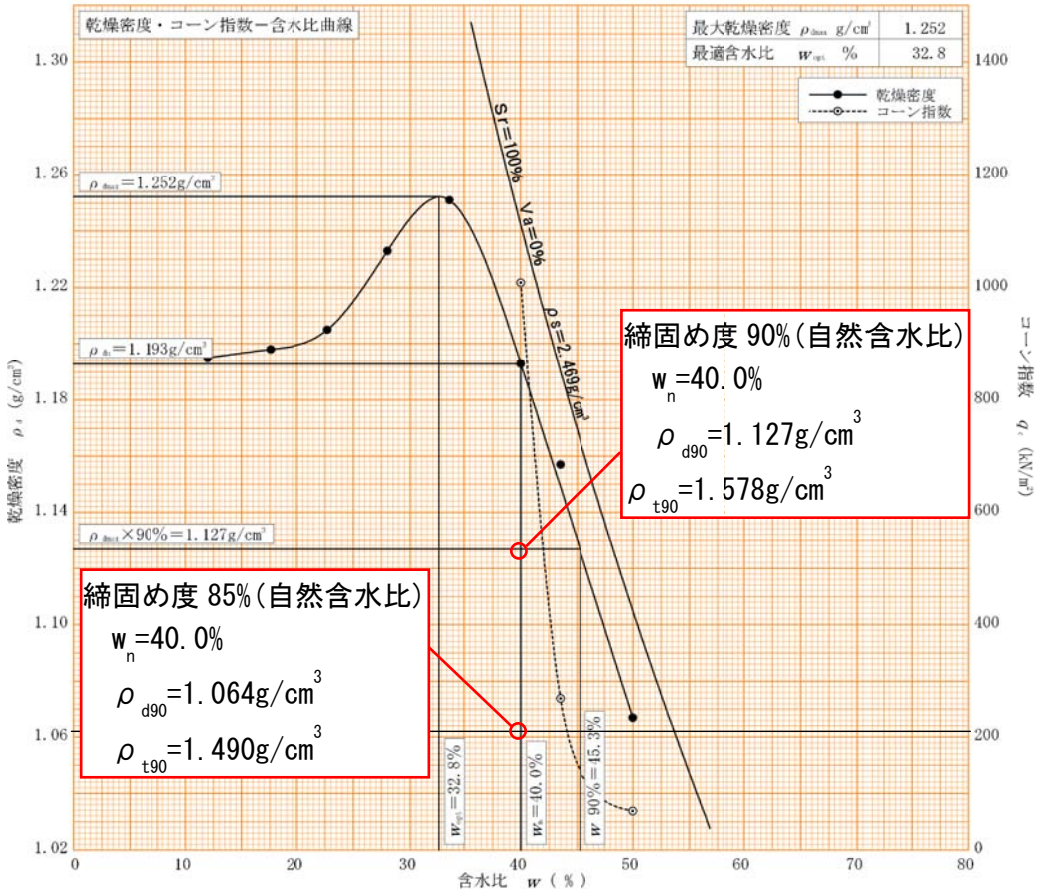
図Ⅱ-4-6　粒径加積曲線（砂質土）

c）粘性土の締固め特性

既設堤防の川表表面の湿潤密度と、締固め曲線による乾燥密度から求めた湿潤密度を比較して、本材料では自然含水比状態で締固め度 90%にすることで既設堤防と概ね同などの湿潤密度が得られると評価した。

表Ⅱ-4-2　既設堤防と試験結果の比較（粘性土）

調査年度	側線(SP)	対象	湿潤密度(g/cm3)	乾燥密度(g/cm3)	含水比(%)	締固度参考値(%)
H28	7508	被覆土	1.568	1.184	32.4	95
H28	7544	被覆土	1.649	1.217	35.5	97
H29	7415	被覆土	1.650	1.120	47.7	89
H30	KP44.2L(10.03採取)	締固土90(%)	1.578	1.127	40.0	-
H30	KP44.2L(10.03採取)	締固土85(%)	1.490	1.064	40.0	-



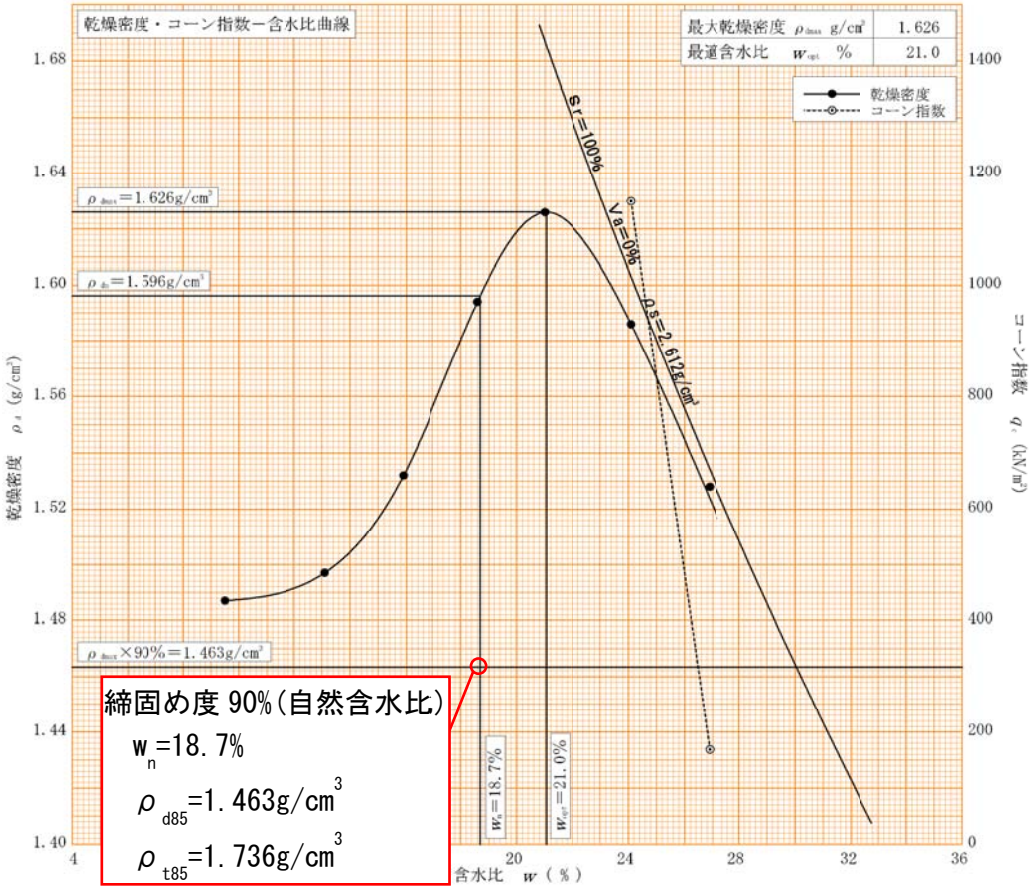
図Ⅱ-4-7　締固め曲線（粘性土）

d) 砂質土の締固め特性

既設堤防の湿潤密度と、締固め曲線による乾燥密度から求めた湿潤密度を比較して、本材料では自然含水比状態で締固め度 90%にすることで既設堤防と概ね同等の湿潤密度が得られると評価した。

表Ⅱ-4-3　既設堤防と試験結果の比較（砂質土）

調査年度	側線(SP)	対象	湿潤密度(g/cm3)	乾燥密度(g/cm3)	含水比(%)	締固度参考値(%)
H28	7508	堤体土	1.583	1.230	28.7	76
H28	7589	堤体土	1.797	1.514	18.7	93
H30	栄産	締固土90(%)	1.736	1.463	18.7	-
H30	栄産	締固土85(%)	1.640	1.382	18.7	-



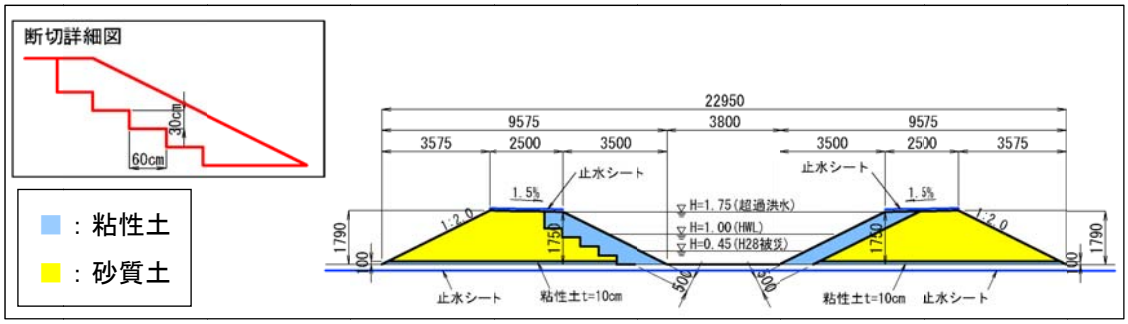
図Ⅱ-4-8　締固め曲線（砂質土）

2) 試験堤防の形状、境界条件

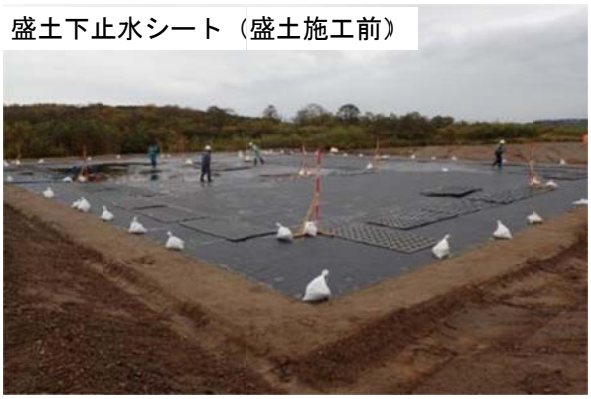
表Ⅱ-4-1 より、試験堤防の形状、境界条件に関する項目を抜粋したものを表Ⅱ-4-4 に示す。

表Ⅱ-4-4　現地実験仕様（試験堤防形状、境界条件抜粋）

実堤防/実現象	現地実験
H26（表層）、H28（法肩、法中央の亀裂）の被災形態の違いを確認	川表表面の粘性土施工時の段切りの有無
基礎地盤土質が粘性土	基礎地盤表面に止水シートを敷設することにより、不透水性を再現。さらに止水シートと堤体の隙間からの漏水などを防ぐために、止水シートと堤体の接触面に粘性土を 10 ㎝敷設
堤防法面形状	2 割勾配
堤防天端状況 （アスファルト舗装）	止水シートで降雨浸透を抑止
降雨の堤体内への浸透	土壌水分計の設置
堤体内水位（浸潤面）	水位計の設置



図Ⅱ-4-9　試験堤防断面図

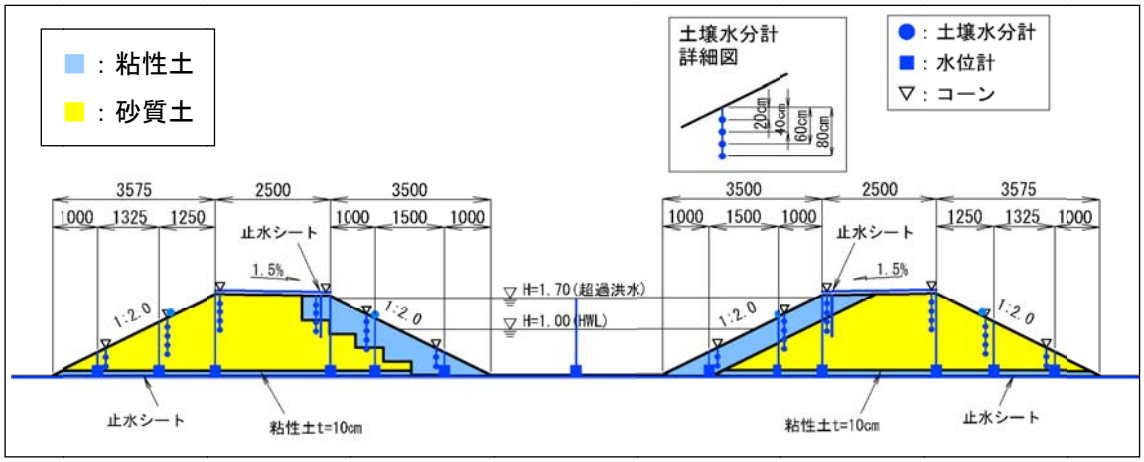


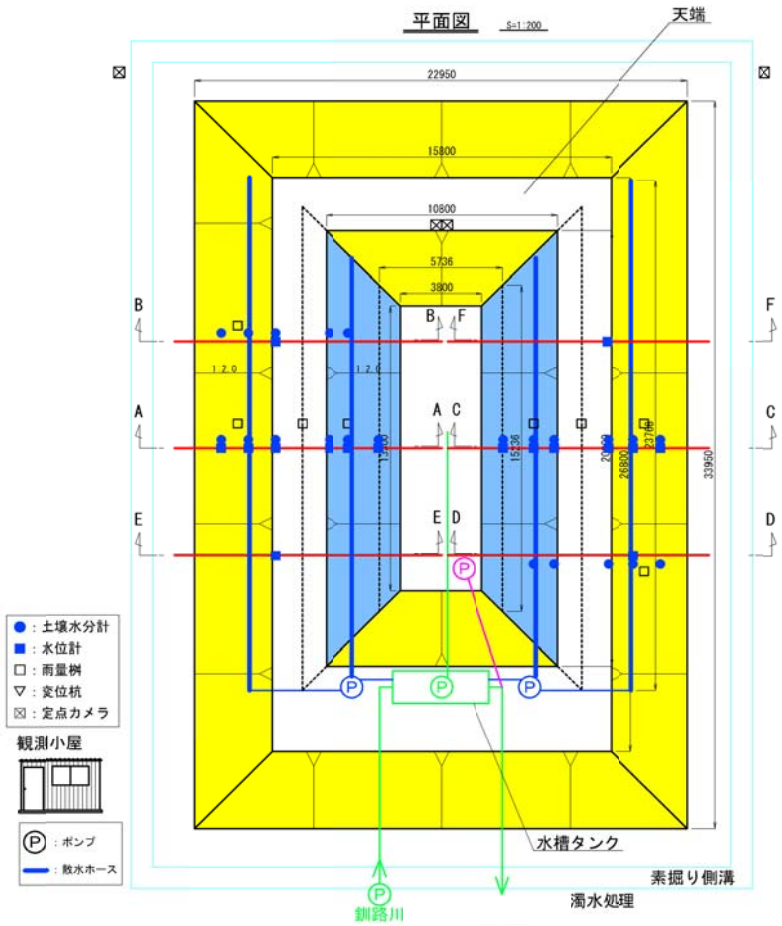
3) 観測計器

表Ⅱ-4-1 より、観測計器に関する項目を抜粋したものを表Ⅱ-4-5 に示す。

表Ⅱ-4-5　現地実験仕様（観測計器抜粋）

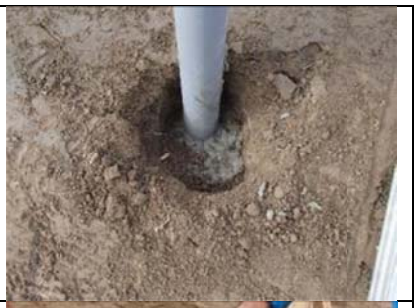
実堤防/実現象	現地実験
降雨の堤体内への浸透	土壌水分計の設置
堤体内水位	水位計の設置





図Ⅱ-4-10　観測計器配置平面図

表Ⅱ-4-6　現地実験に用いた観測計器

水位観測孔		
水位観測装置（左） 水位計（右）		
土壌水分計		
排水ポンプ		
降雨計（左） 農業散水ホース（右）		
ポータブルコーン 貫入試験		

4）現地実験の降雨・外水位条件

表Ⅱ-4-1 より、降雨・外水位に関する項目を抜粋したものを表Ⅱ-4-7 に示す。

表Ⅱ-4-7　現地実験仕様（降雨・外水位抜粋）

実堤防/実現象	現地実験
降雨	農業用散水ホースによる平面的な散水、総水量により降雨強度を調整
外水位	枠堤内部の湛水、水深により調整。上昇・低下速度は実際の出水を参考に設定
湛水試験	Case1：HWL 程度、Case2：超過洪水（堤防満杯）

a）降雨

平成 28 年の被災時の降雨の状況を参考として、以下とする。

・事前降雨：　2(mm/h)を 5 時間

・出水時降雨：10(mm/h)を 5 時間

・出水時降雨：　5(mm/h)を 5 時間

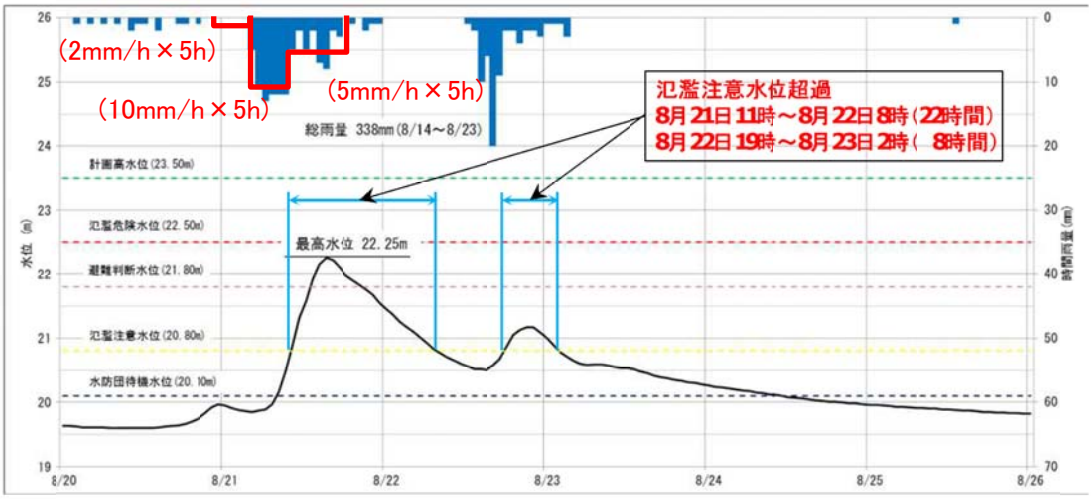
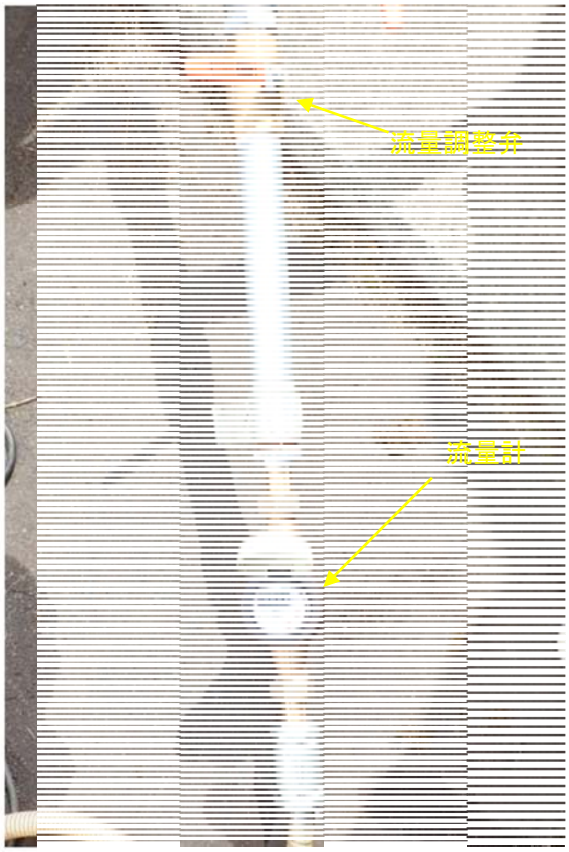


図 3.2.3　河川水位の状況（標茶水位観測所地点）

出典：「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)」に加筆

b）降雨の散水方法

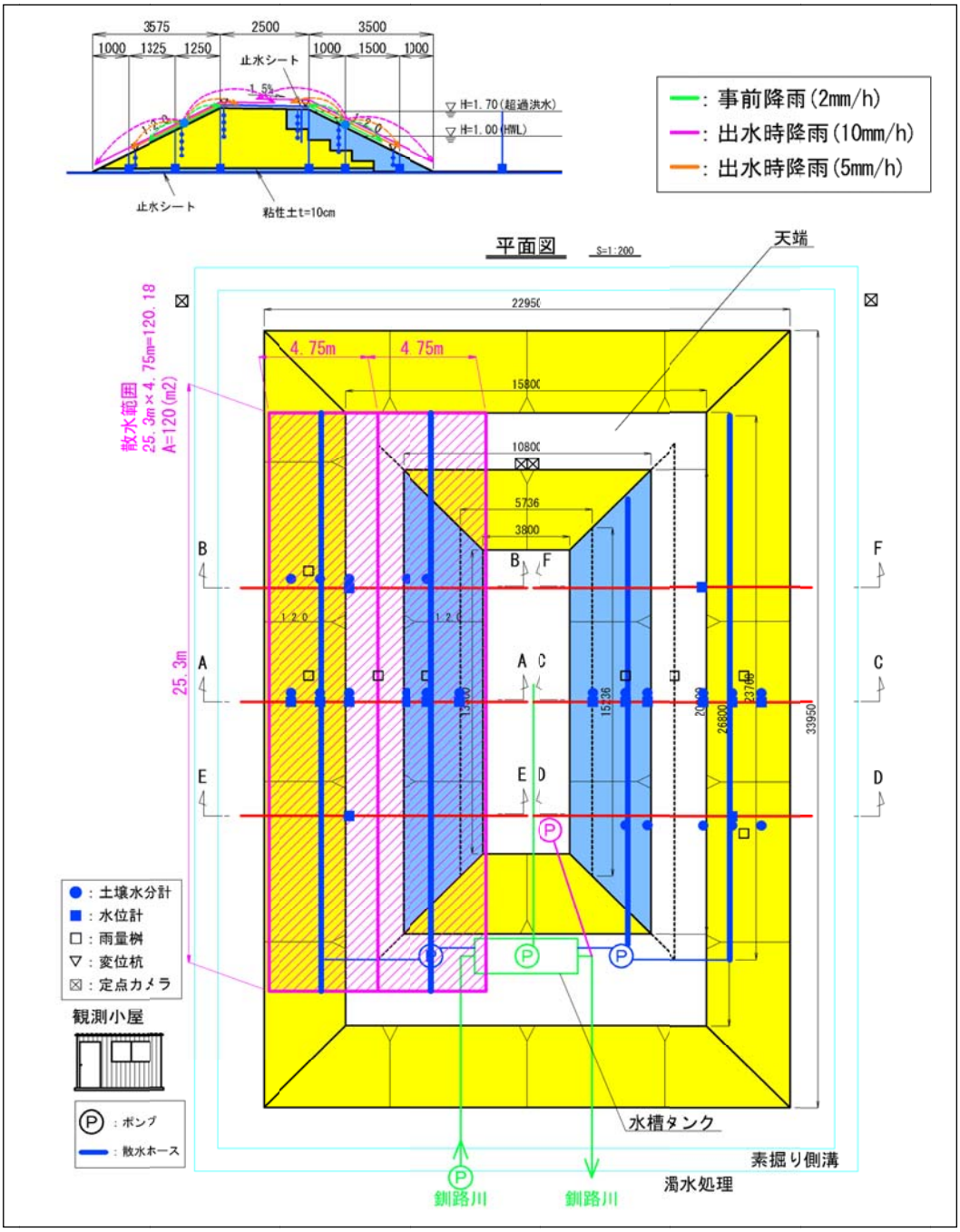
降雨装置は、農業用散水ホースを用いた。ポンプは２インチポンプを使用し、流量計によって流量を管理した。現地実験前に散水実験を実施し、必要な流量や散水面積などの検討を行った。使用した機材を以下に示す。



降水量は、散水ホース１本が担う散水面積(A=120m^2)への散水量により調整した。

表Ⅱ-4-81　降雨強度と総水量

降雨強度 (mm/h)		散水ホース1本25mの送水量			散水半径 (m)	
		1時間		1分		
		(m^3/h)	(L/h)	(L/min)	範囲	平均値
事前降雨	2	0.24	238	4.0	1.0程度	1.0
出水時降雨	10	1.20	1200	20.0	2.0～3.0	2.5
出水時降雨	5	0.60	595	10.0	1.0～2.0	1.5

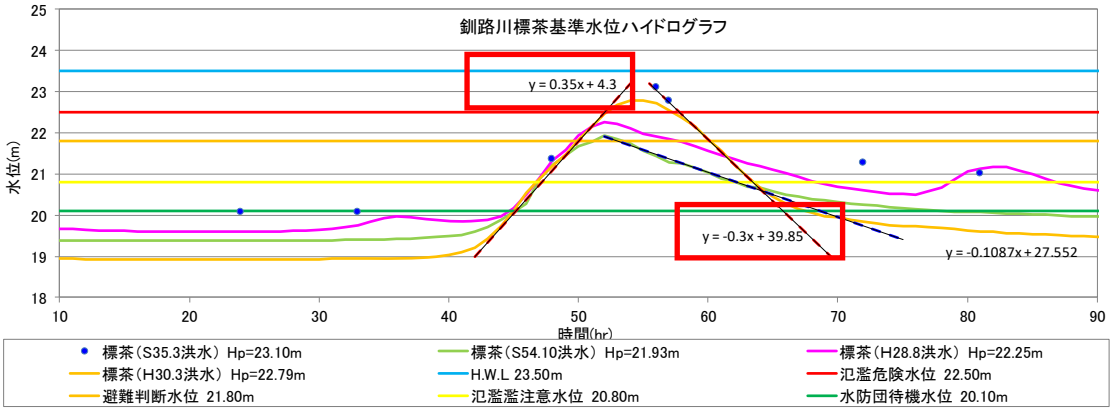


図Ⅱ-4-11　散水範囲図

c）外水位

外水位は以下の 2 ケースとし、外水位の変動速度は平成 28 年 8 月被災箇所（釧路川左岸 KP45.8）の実際の出水を参考に設定した。

・HWL 水位 （H=1.00m）
・超過洪水 （H=1.75m）



外水位上昇速度　0.35m/h
外水位低下速度　0.30m/h

5）計画の実験スケジュール

前項までに整理した降雨時間や外水位の変動速度をもとに、現地実験スケジュールを立案した。

表Ⅱ-4-9　計画実験スケジュール

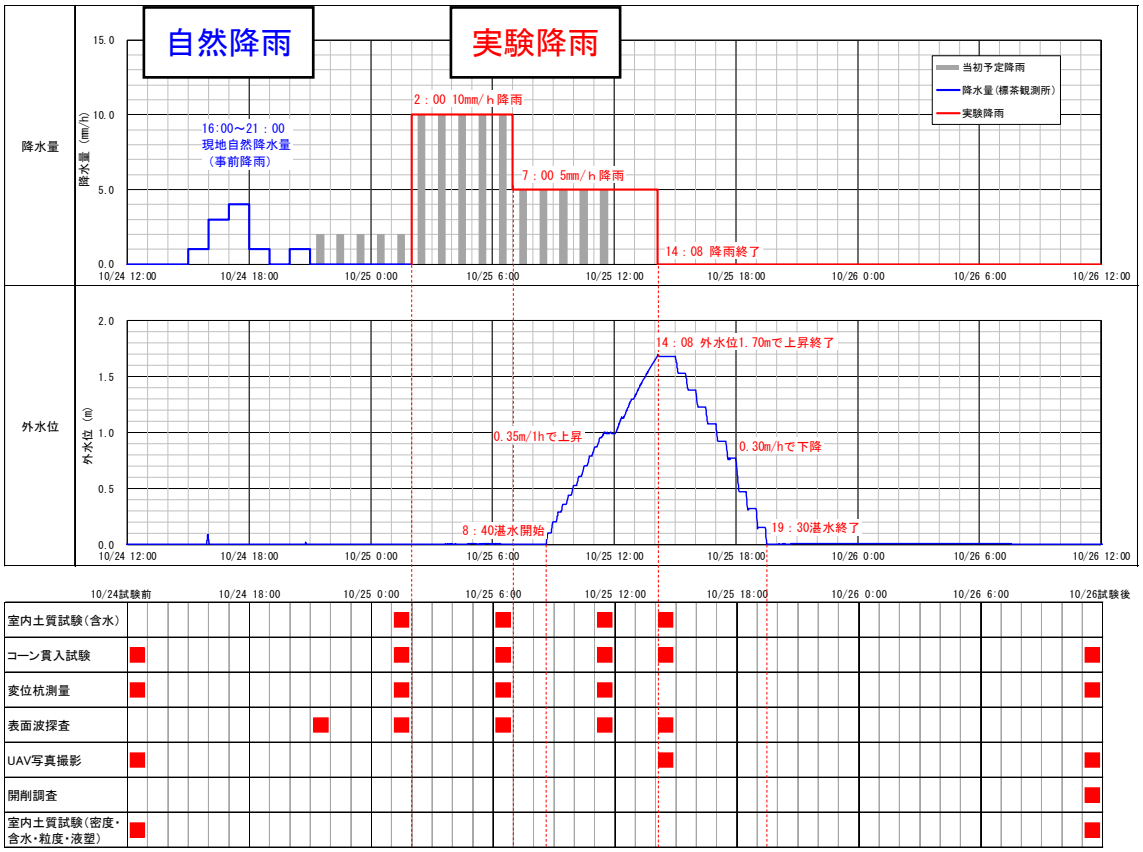
試験時間		(h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
事前降雨	2 (mm/h)								5hr																									
降雨	10 (mm/h)													5hr																				
	5 (mm/h)																		5hr															
水深 HWL	1.00 (m)																2.9hr																	
水深 超過洪水	1.75 (m)																		2.1hr															
水位低下	1.75 (m)																								6hr									

4-1-2　現地実験の結果

現地実験の結果を以降に示す。

(1) 実際の現地実験スケジュール

現地実験における実際のスケジュールを以下に示す。実際の現地では、予定していた事前降雨に相当する自然の雨が降ったため、予定していた事前降雨の代替とした。

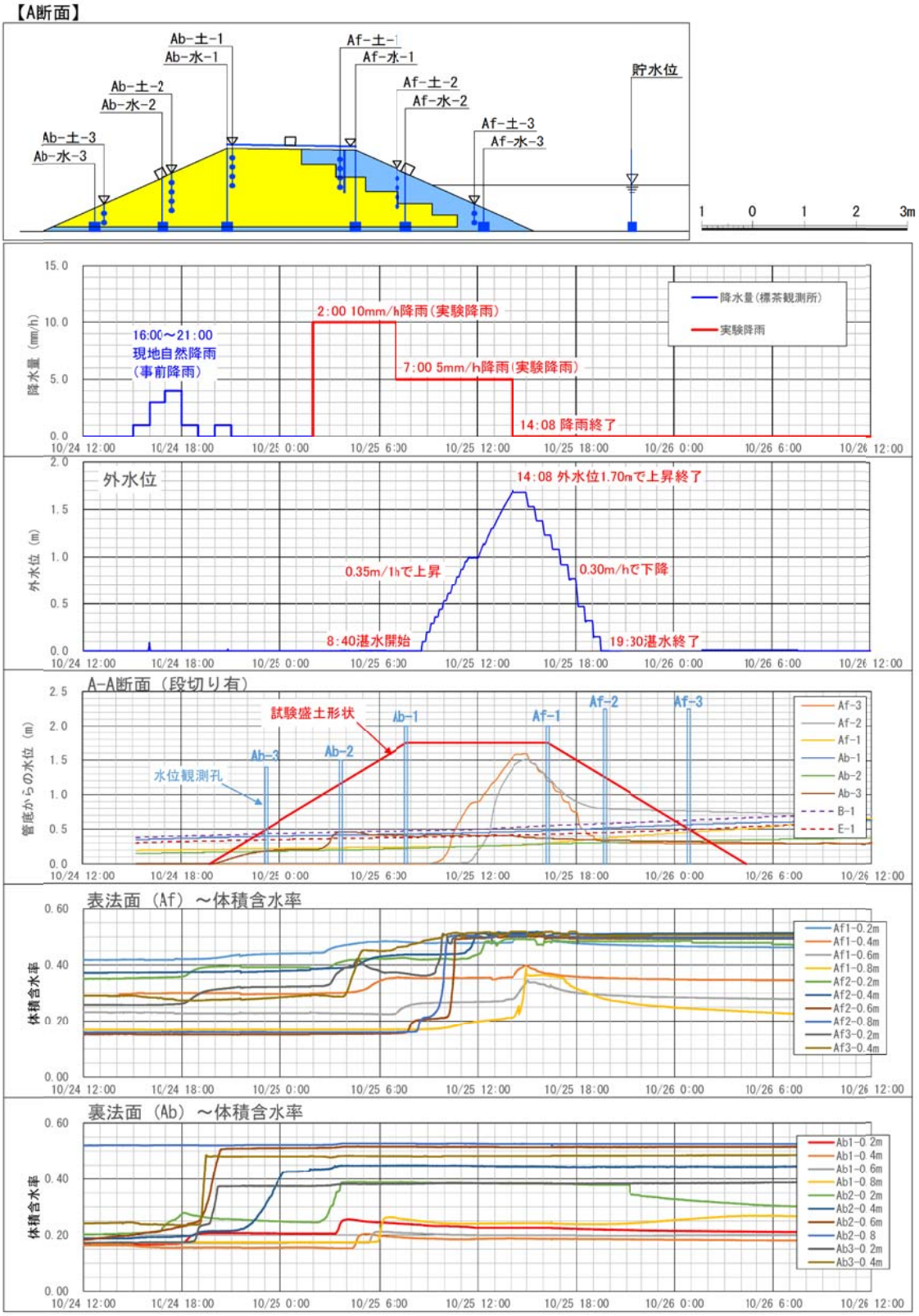


【降雨】
10/24　14:00～19:00　　事前降雨
10/25　2:00～ 7:00　10mm/h 降雨
7:00～14:08　5mm/h 降雨
【外水位】
10/25　8:40～11:29　上　昇
11:29～12:05　HWL(H=1.00m)
12:05～14:08　上　昇
14:08～15:00　H=1.70m
15:00～19:30　下　降

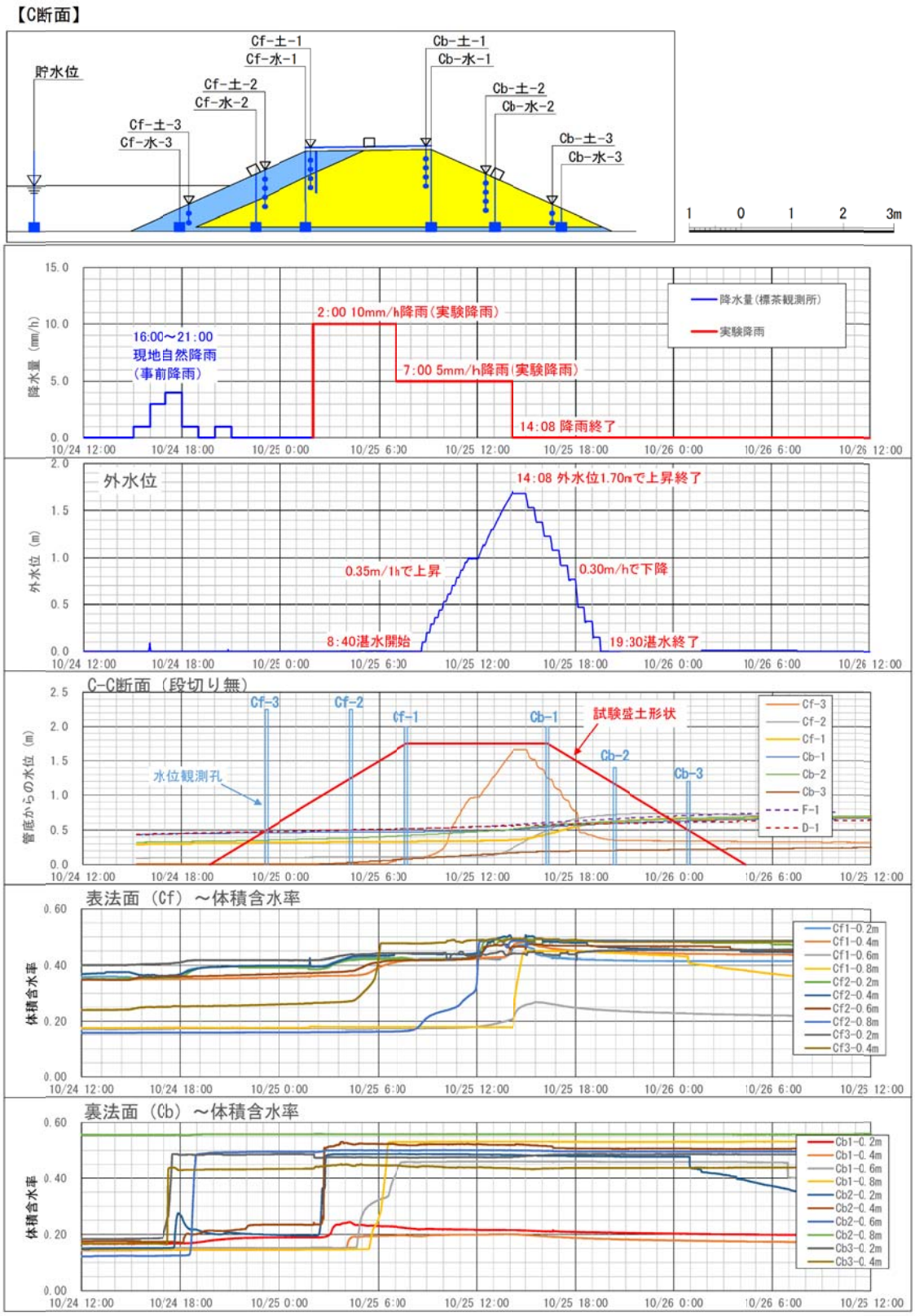
図Ⅱ-4-12　現地実験スケジュール

(2) 観測結果

水位計および土壌水分計の観測結果を図Ⅱ-4-13～図Ⅱ-4-14 に示す。



図Ⅱ-4-13　A 断面観測結果

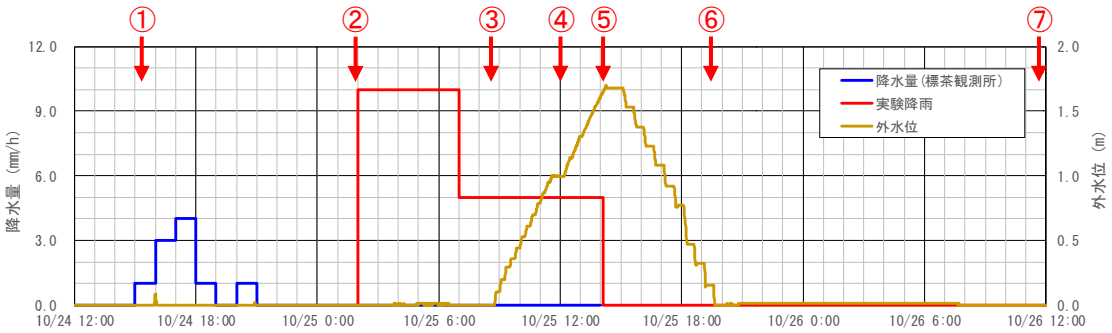


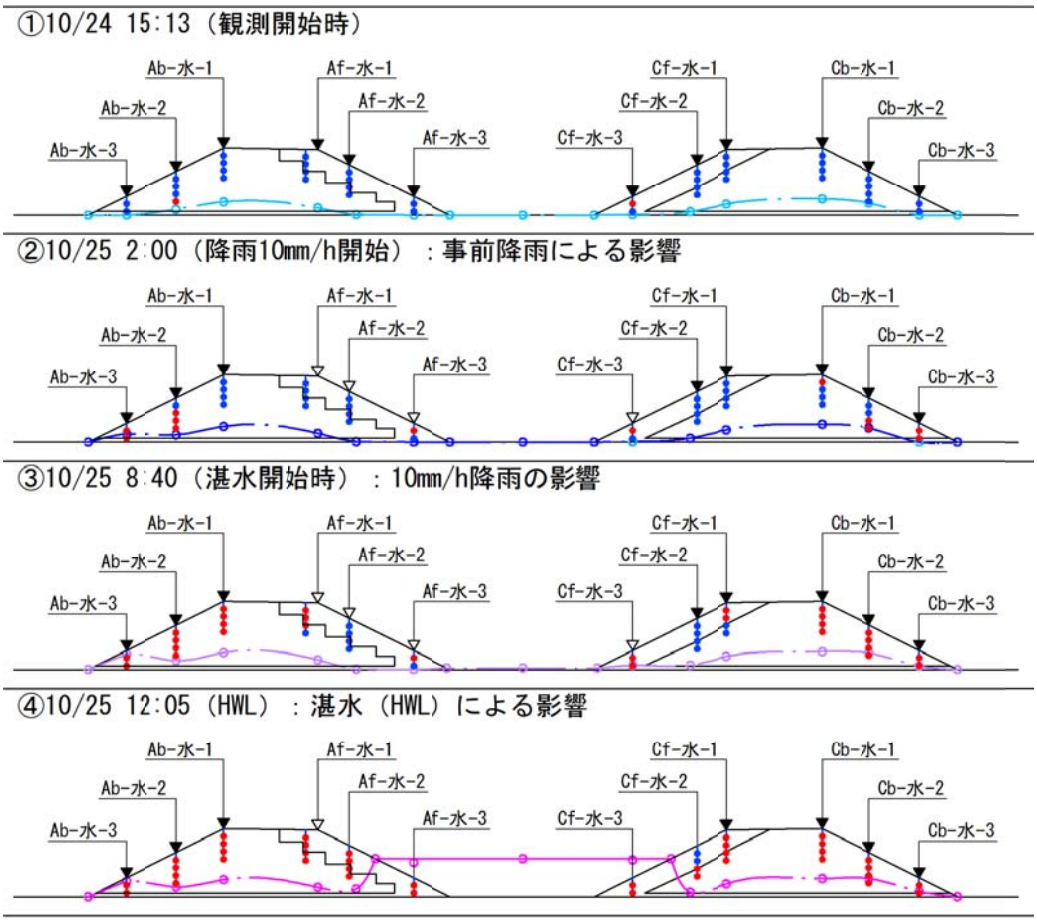
図Ⅱ-4-14　C 断面観測結果

(3) 堤体内浸潤面

観測結果の内、各試験段階における堤体内浸潤面について整理した。図Ⅱ-4-15 より、外水位低下後（図中⑥～⑦）も堤体内に浸潤面が維持されることが確認された。

なお、観測開始時には試験堤防施工前後に降雨が観測されていないにも関わらず、浸潤面が確認された。盛土底面には止水シートが敷設されており、基礎地盤からの水分供給も無いことから、盛土材の含水により浸潤面が観測されたと考えられた。

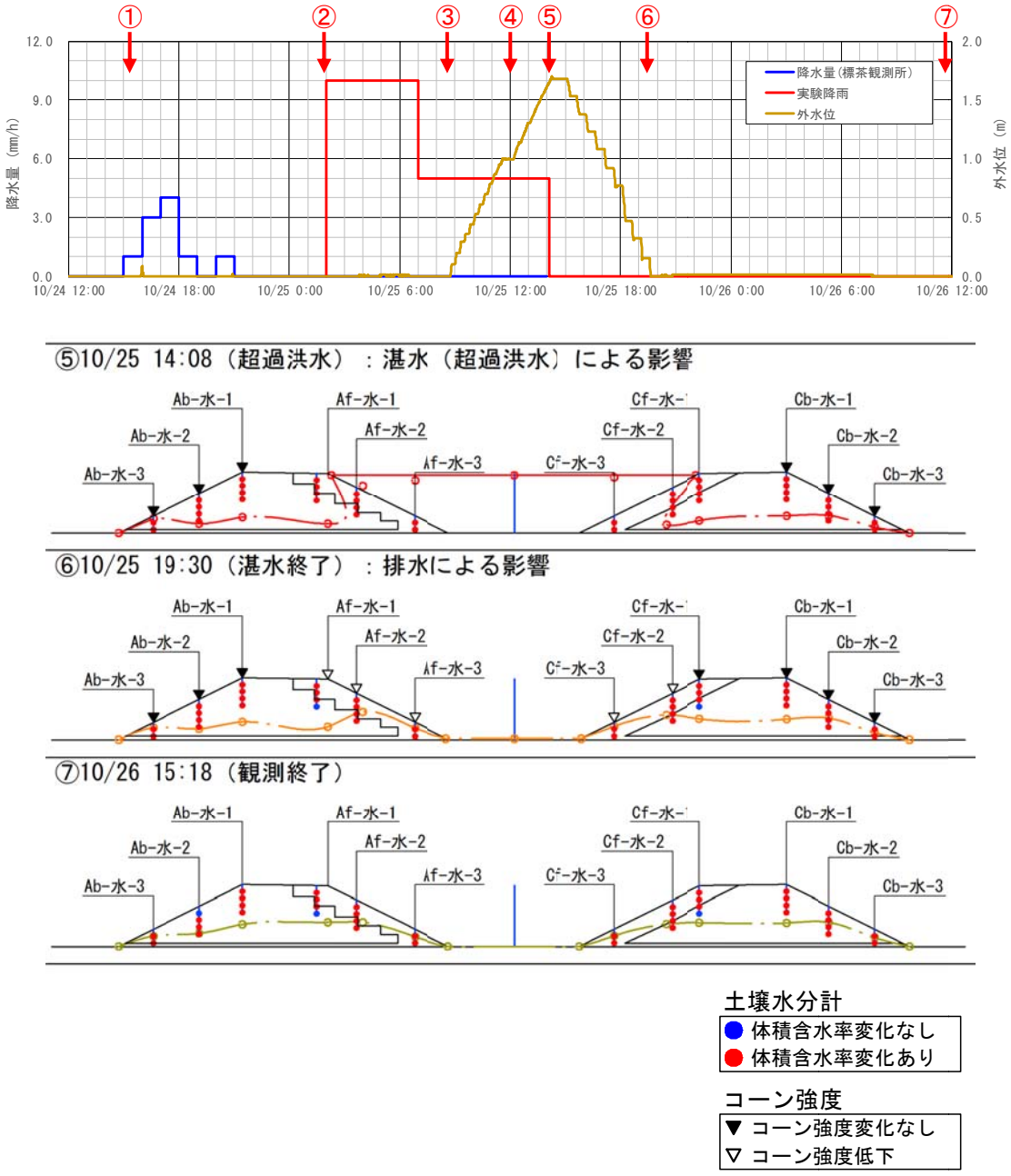




土壌水分計
- ● 体積含水率変化なし
- ● 体積含水率変化あり

コーン強度
- ▼ コーン強度変化なし
- ▽ コーン強度低下

図Ⅱ-4-15(1)　堤体内浸潤面整理図

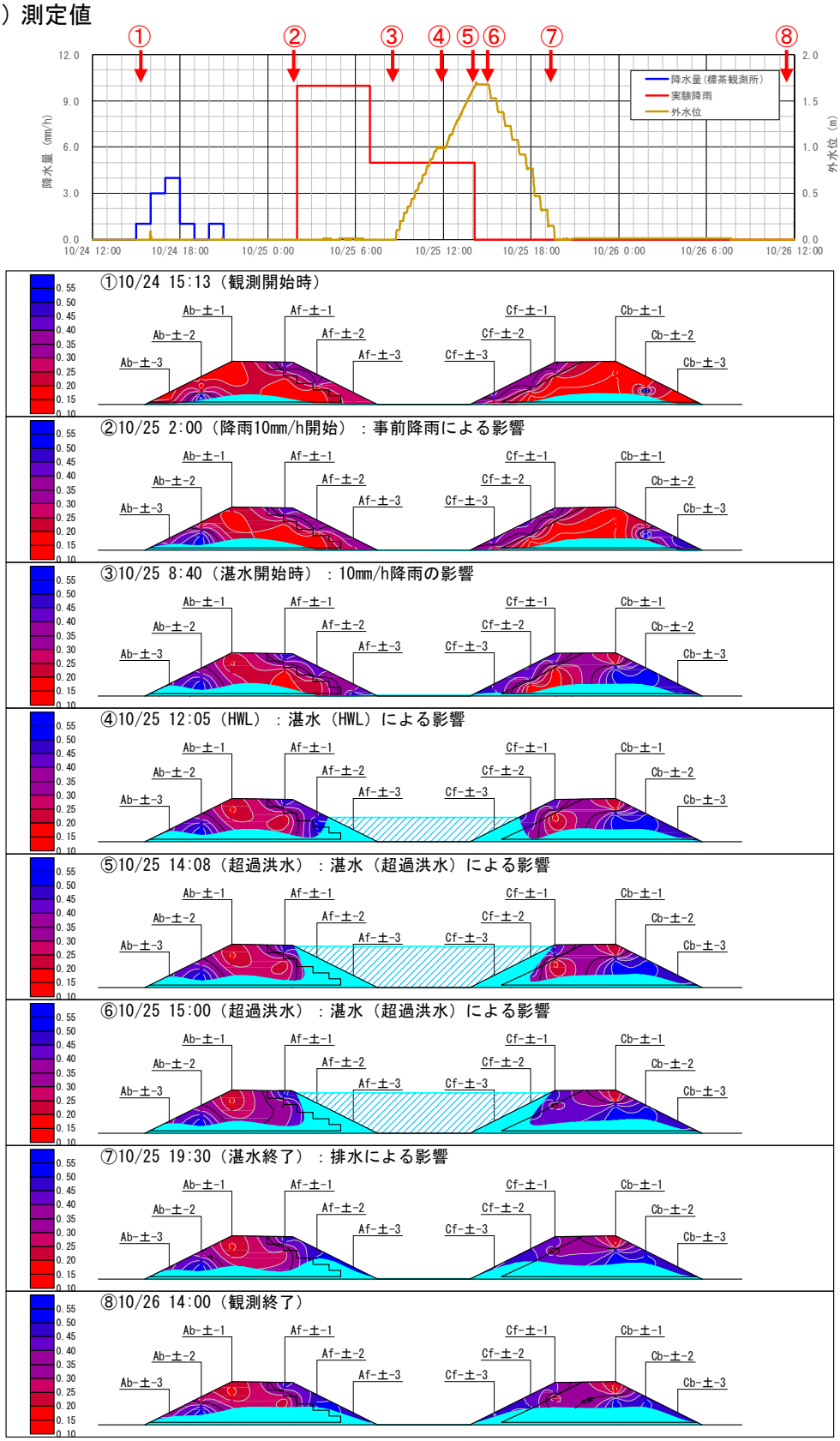


図Ⅱ-4-15(2)　堤体内浸潤面整理図

(4) 土壌水分計

土壌水分計の観測結果から、各段階における体積含水率のコンター図を整理した。図中水色は堤体内水位観測結果から得られた浸潤面を表記した。

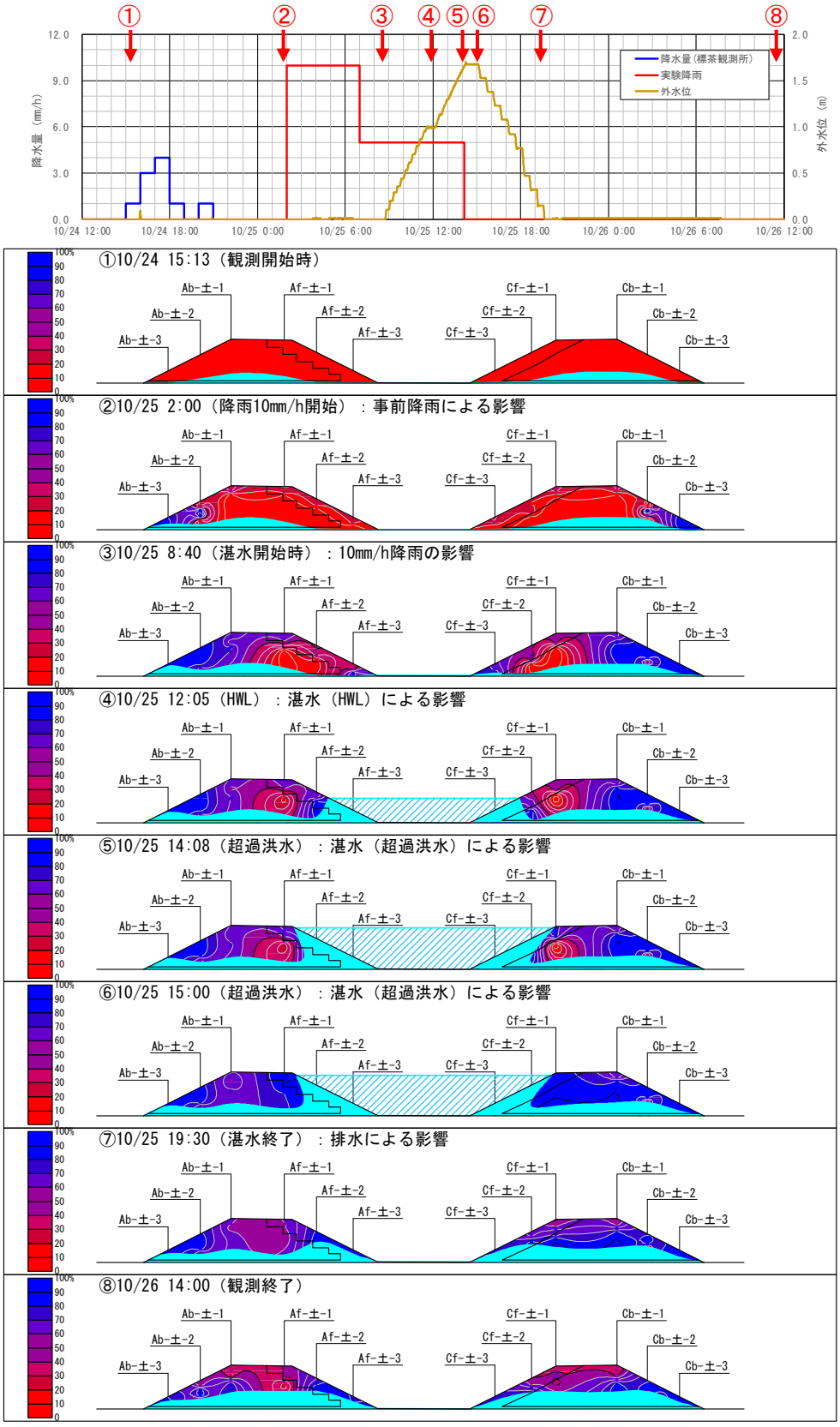
1) 測定値



図Ⅱ-4-16　体積含水率コンター図（測定値）

2) 変化率

体積含水率の変化率でコンターを整理した。変化率は、測定値の最大上昇時を100%として、各段階時の体積含水率の値/最大値で計算した。

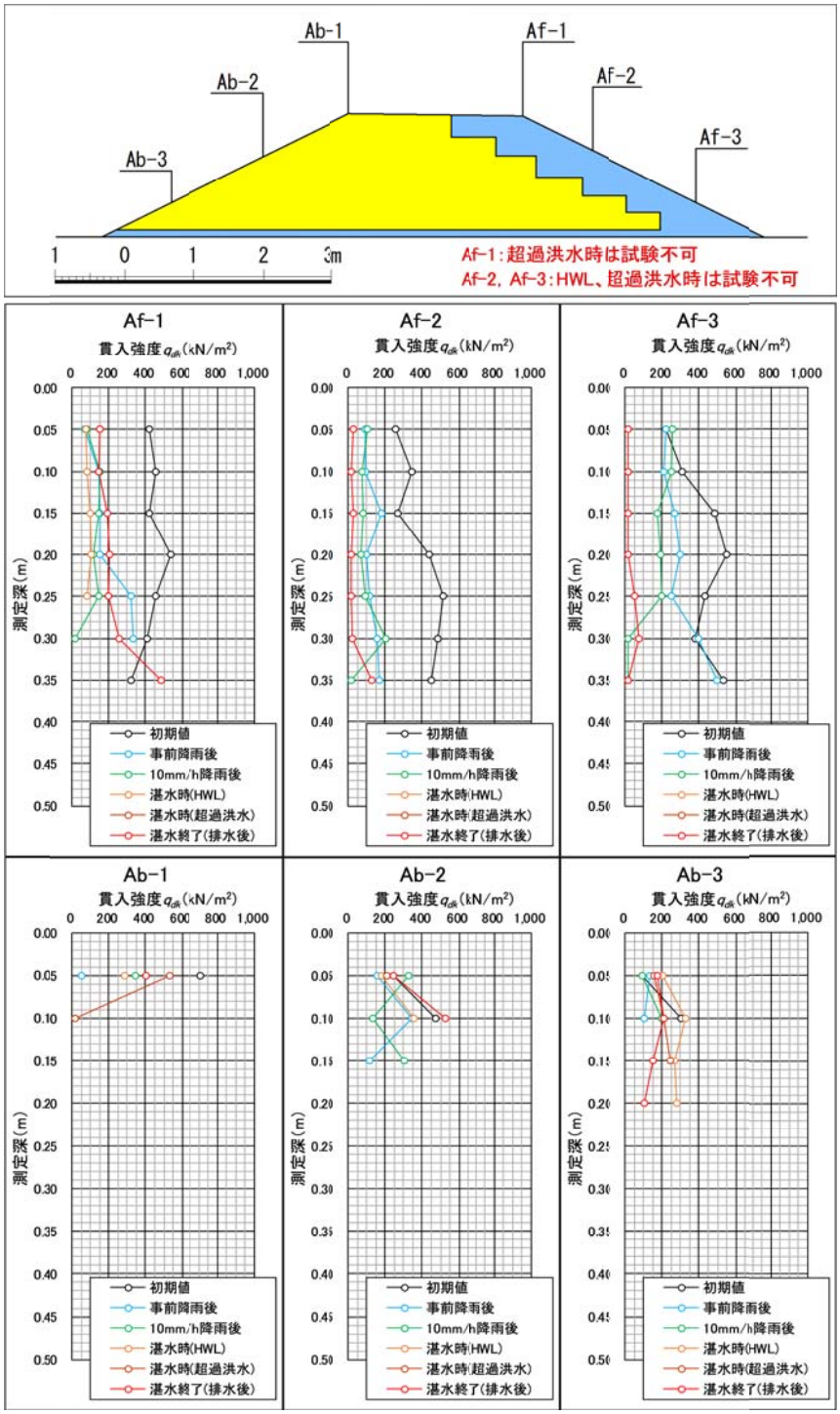


図Ⅱ-4-17　体積含水率コンター図（変化率）

(5) ポータブルコーン貫入試験

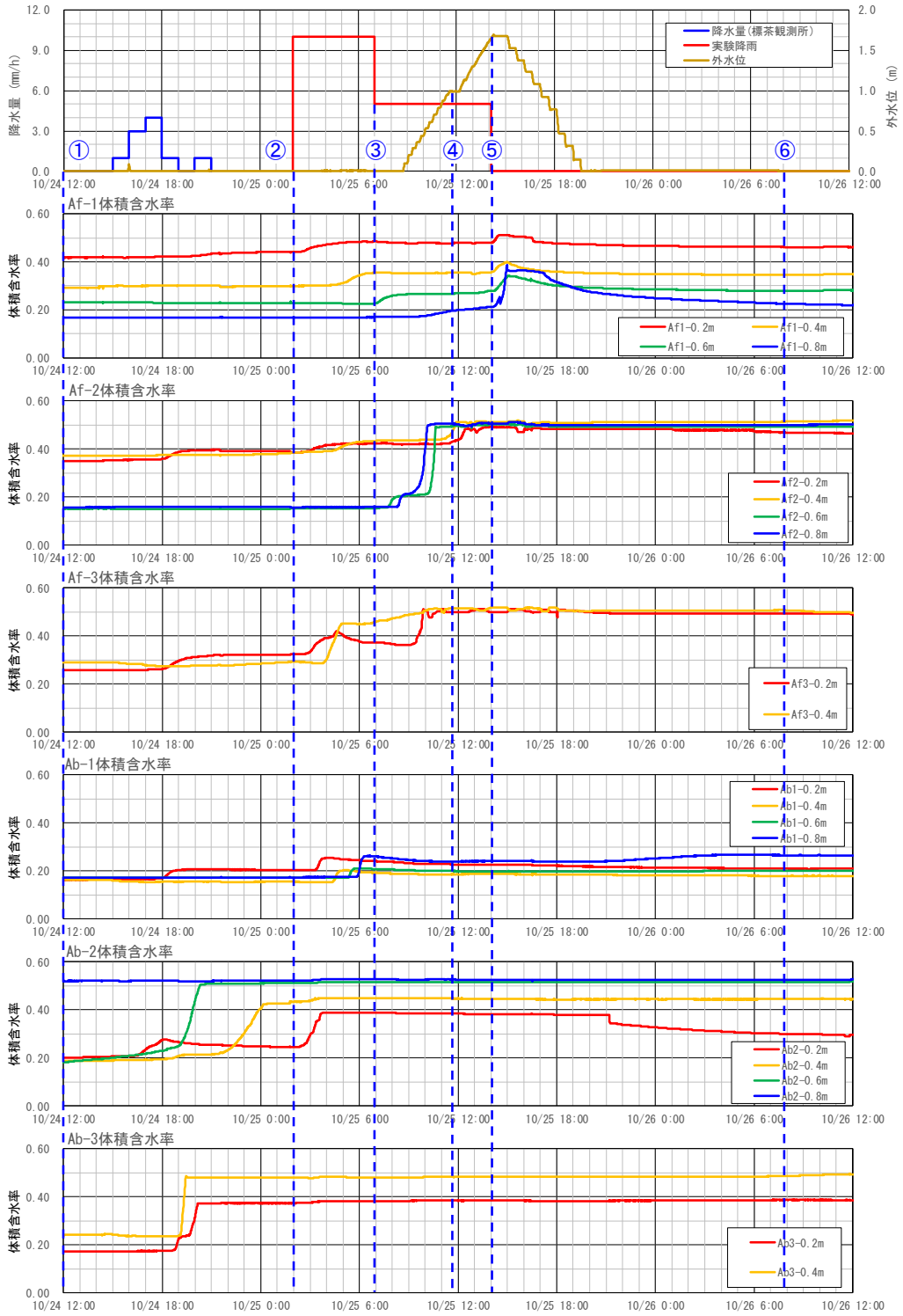
観測結果より、コーン強度の変化と体積含水率の関係について整理した。A 断面、C 断面ともに、粘性土を施工した川表法面（Af-1～Af-3、Cf-1～Cf-3）において、事前降雨が浸透した段階で強度低下が確認され､外水位低下後も強度は低下した状態であることが確認された。また、砂質土である川裏法面（Ab-1～Ab-3、Cb-1～Cb-3）においても､降雨の浸透が見られ、一部で回復している場合も見られるが強度低下が確認された。

1) A 断面



図Ⅱ-4-18　コーン強度（A 断面）

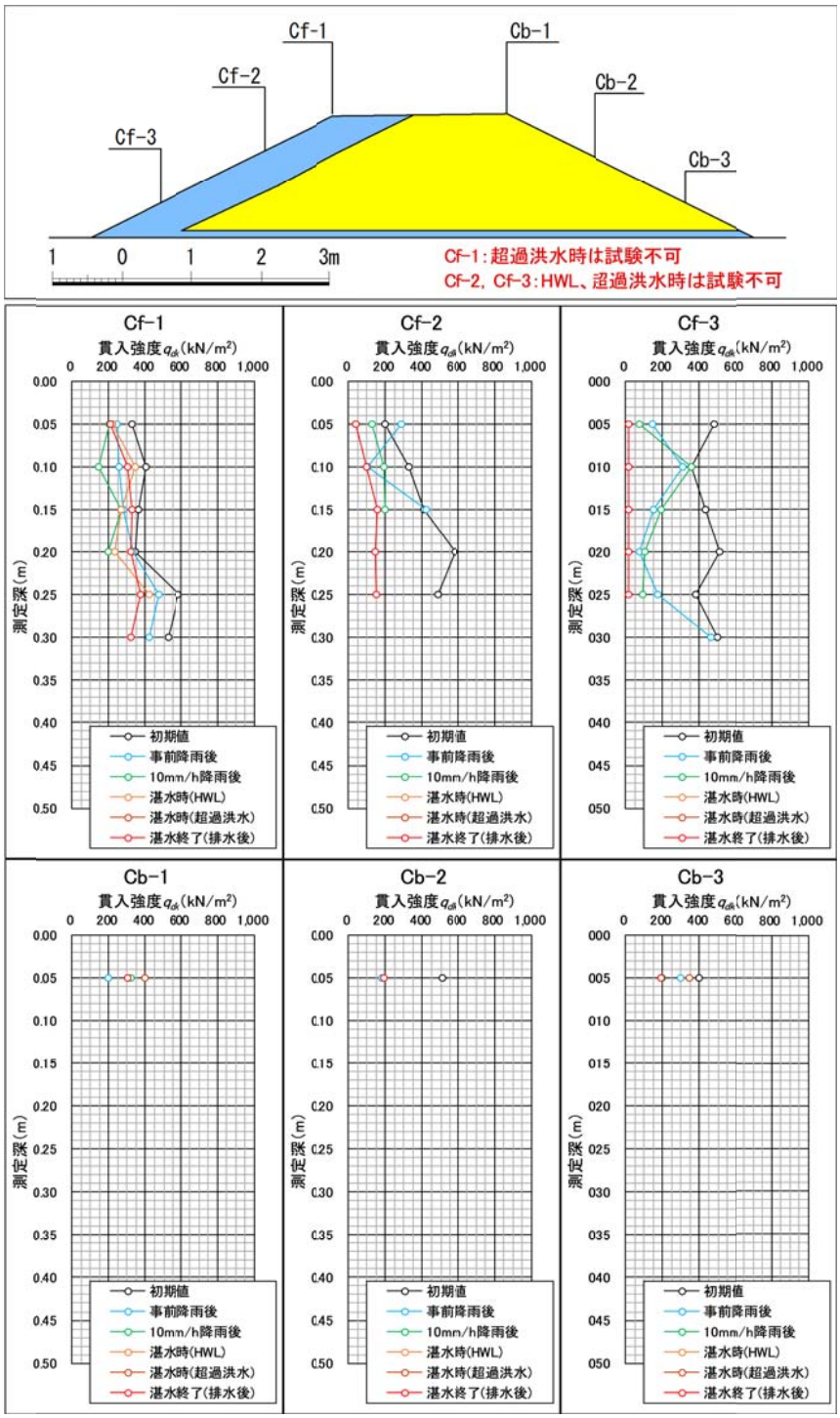
ポータブルコーン貫入試験時のA断面体積含水率を以下に示す。



図Ⅱ-4-19　コーン実施時の体積含水率（A断面）

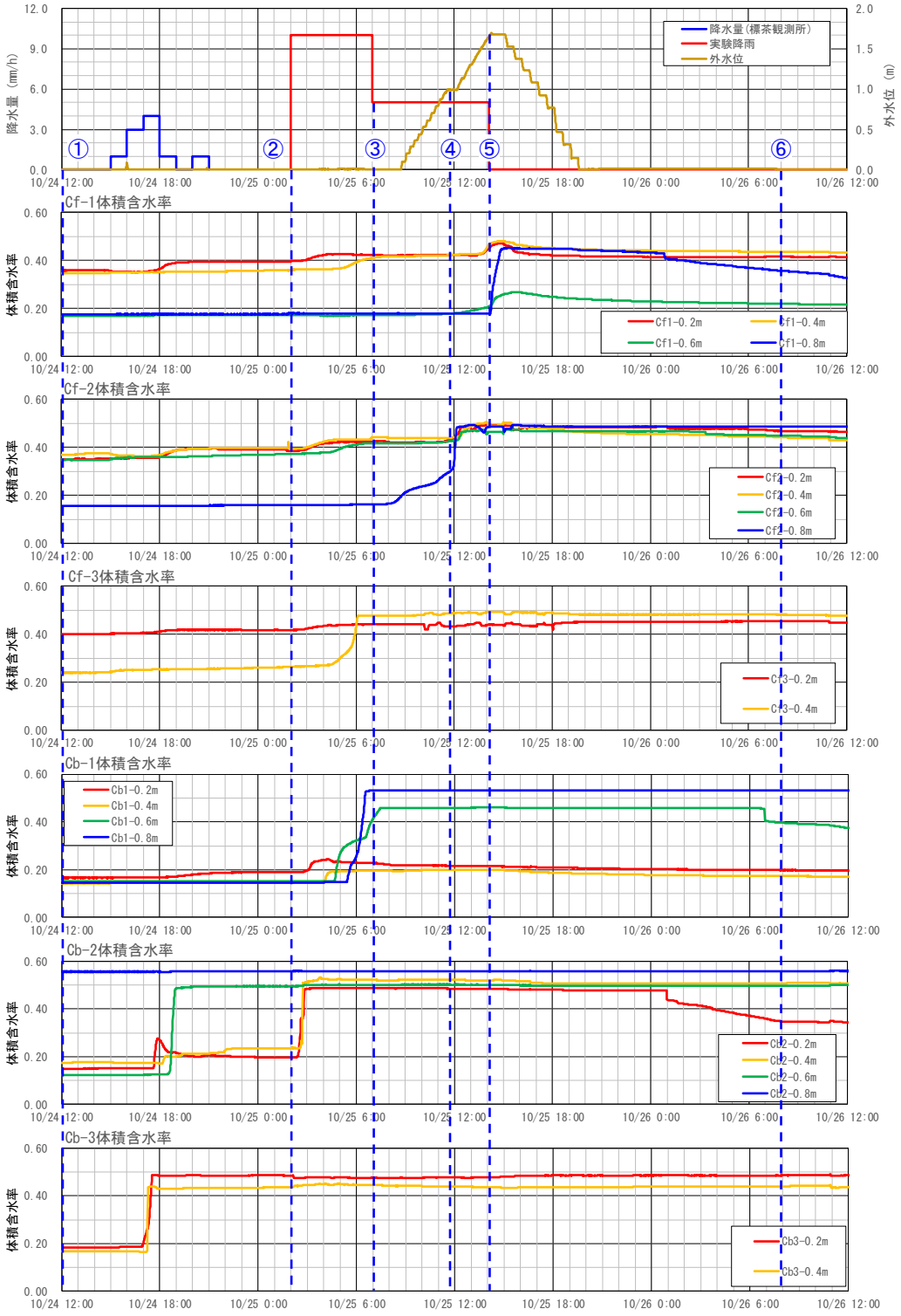
コーン実施
①初期値
②事前降雨後
③10mm/h 降雨後
④湛水時（HWL）
⑤湛水時（超過洪水）
⑥湛水終了後

2）C 断面



図Ⅱ-4-20　コーン強度（C 断面）

ポータブルコーン貫入試験時のＣ断面体積含水率を以下に示す。



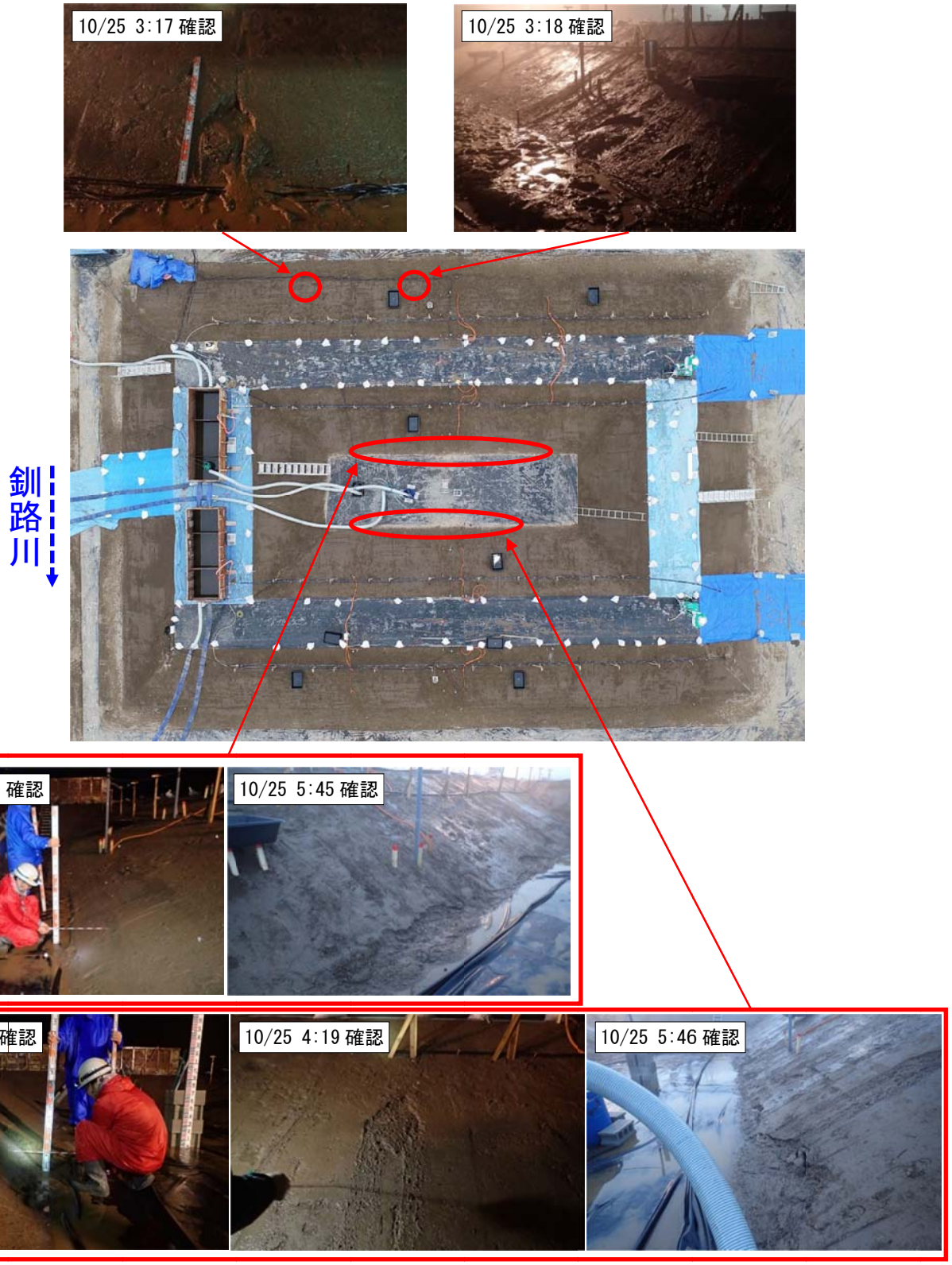
図Ⅱ-4-21　コーン実施時の体積含水率（C 断面）

コーン実施
①初期値
②事前降雨後
③10㎜/h 降雨後
④湛水時（HWL）
⑤湛水時（超過洪水）
⑥湛水終了後

(6) 変状の観察

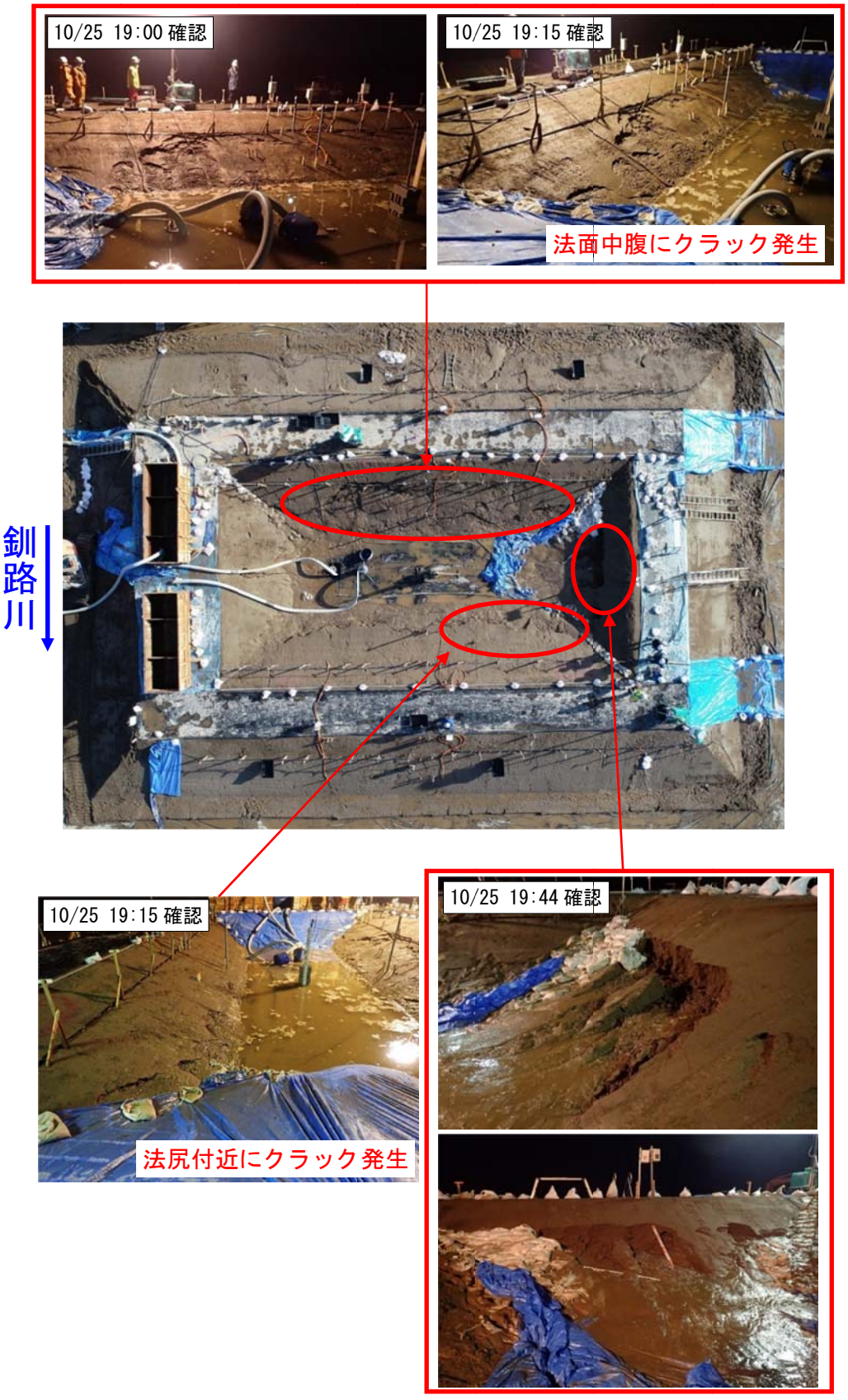
現地実験中に、川表法面でクラックの発生が確認された。ここではクラック発生位置や時間について整理した。クラックと浸潤面や体積含水率との関係性については後述「4-2　現地実験より得られた情報」に示す。

1) 10mm/h 降雨中に確認された変状



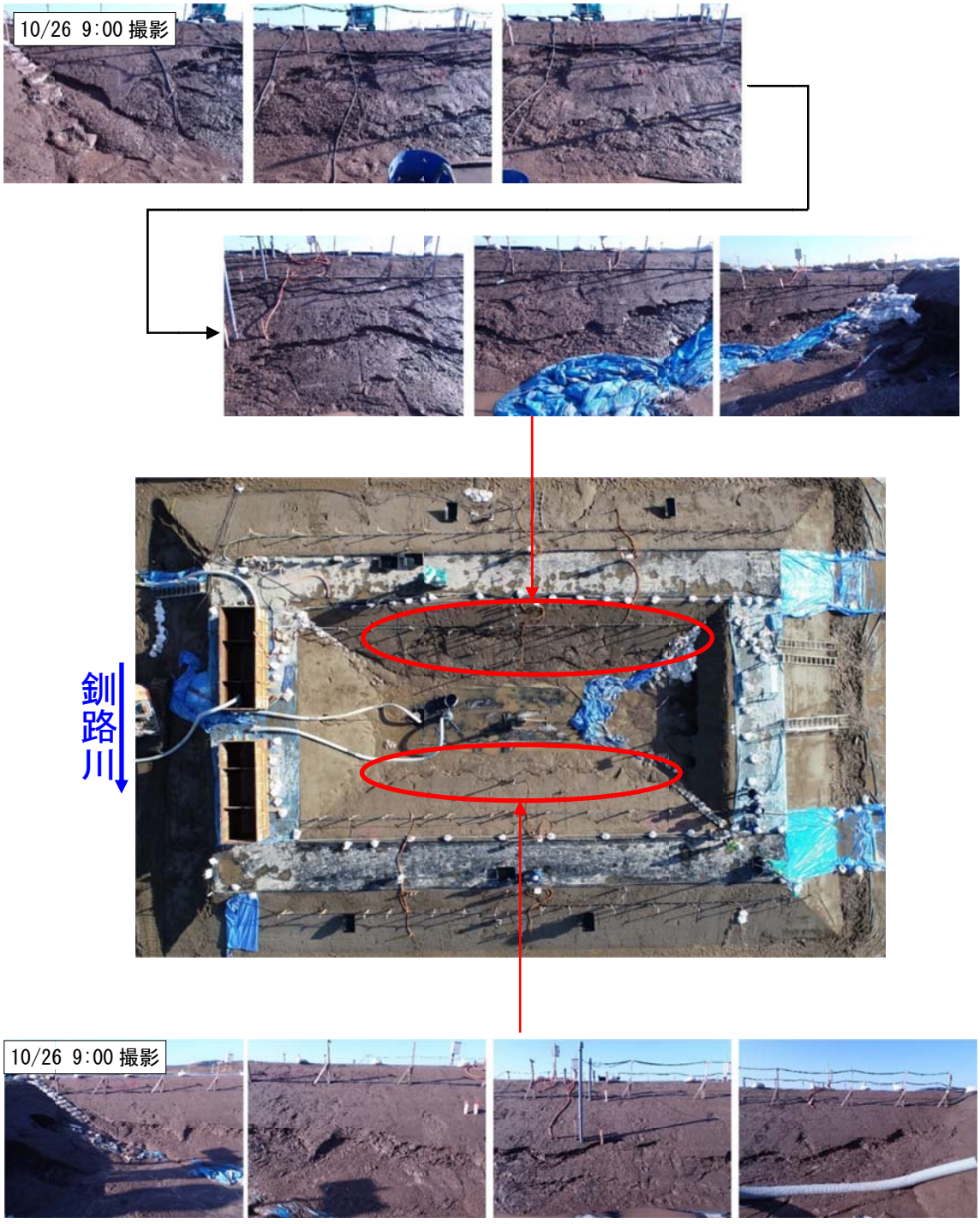
図Ⅱ-4-22　クラック位置図（10mm/h 降雨中に確認された変状）

2）排水後に確認された変状



図Ⅱ-4-23　クラック位置図（排水による影響）

3) 現地実験終了翌日に確認された変状



図Ⅱ-4-24　クラック位置図（現地実験終了翌日）

4）クラック展開図

現地実験終了翌日の川表法面状況を以下に示す。

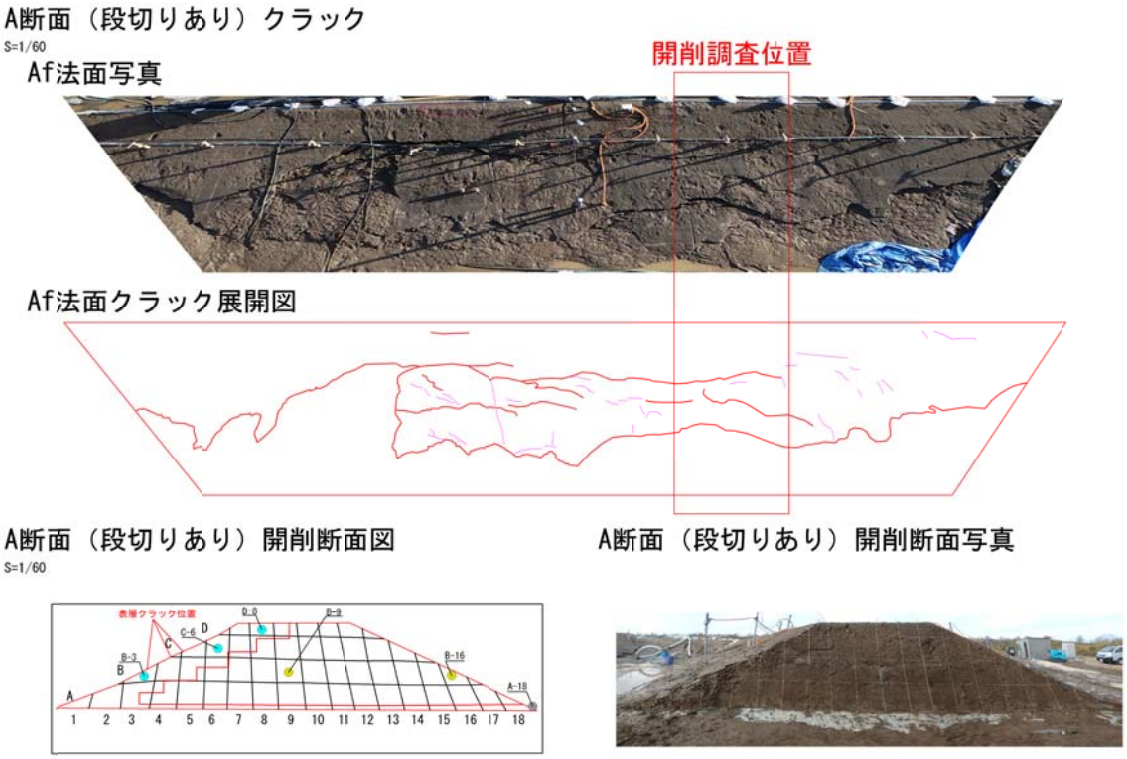
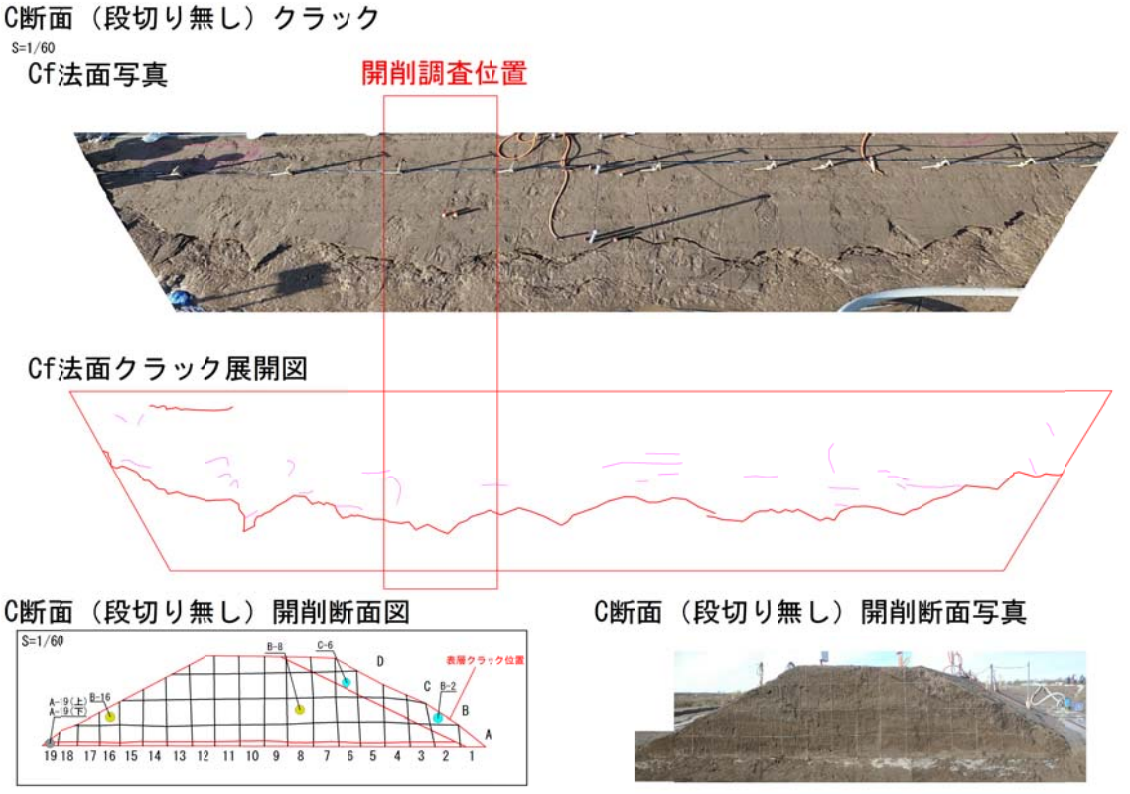


図 4-2　Af 法面クラック展開図

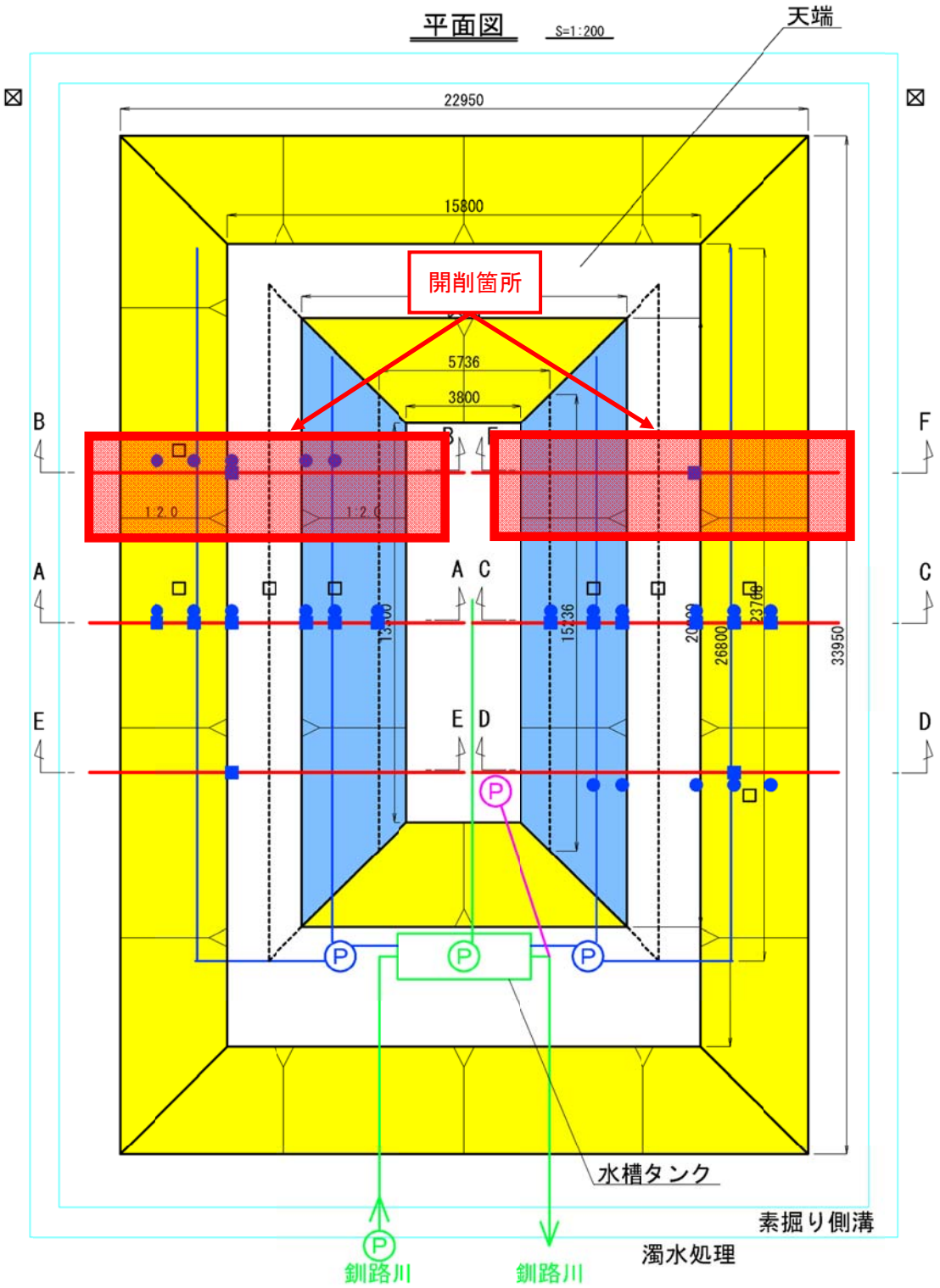


図Ⅱ-4-25　Cf 法面クラック展開図

(7) 開削調査

湛水の排水後、以下の箇所で試験堤防の開削調査を行い、開削断面から試料を採取して室内土質試験を実施した。

各断面について、次頁以降に調査結果を示す。

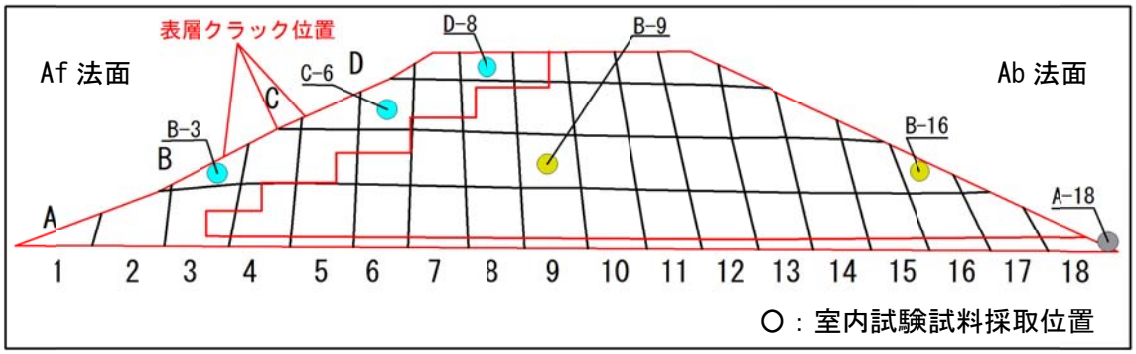


図Ⅱ-4-26　開削調査位置図

1）A 断面開削調査

A 断面の開削調査および室内土質試験結果を以下に示す。

a）開削断面

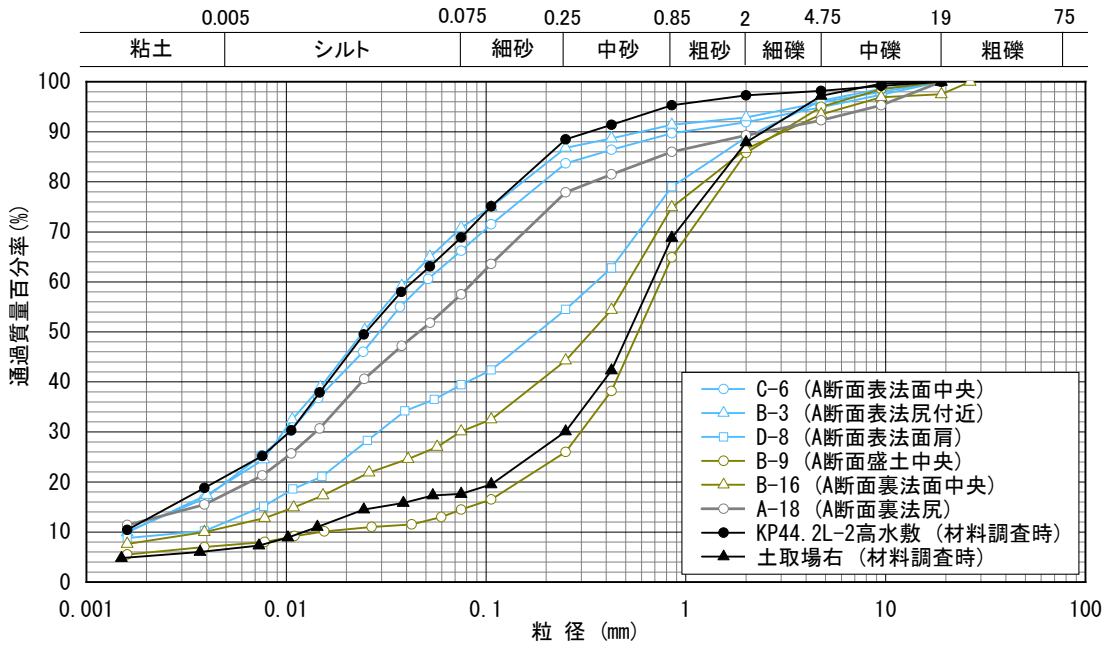


図Ⅱ-4-27　開削断面及び試料採取位置

a) 室内土質試験結果

表Ⅱ-4-10　室内土質試験結果一覧（A 断面開削）

試料名		C-6	B-3	B-9	B-16	A-18	D-8
一般	土粒子の密度 ρ_S(g/cm^3)	2.565	2.568	2.626	2.614	2.560	2.603
	自然含水比 Wn(%)	35.9	44.5	21.4	22.9	33.2	24.4
粒度	礫分 (2～75mm以上)(%)	8.1	7.1	14.2	13.4	10.7	11.1
	砂分 (0.075～2mm)(%)	25.7	22.1	71.3	56.5	31.8	49.5
	シルト分 (0.005～0.075mm)(%)	46.4	51.8	7.1	19.4	40.5	28.2
	粘土分 (0.005mm未満)(%)	19.8	19.0	7.4	10.7	17.0	11.2
	最大粒径 (mm)	19.00	19.00	19.00	26.50	19.00	19.00
	均等係数 U_C	31.00	24.81	50.46	133.00	*	107.06
ｺﾝｼｽﾃﾝｼｰ特性	液性限界 W_L(%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	塑性限界 W_P(%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	塑性指数 I_P	NP	NP	NP	NP	NP	NP
分類	分類名	礫混じり砂質シルト	礫混じり砂質シルト	粘性土混じり礫混じり砂	礫混じり粘性土質砂	礫混じり砂質シルト	礫混じり粘性土質砂
	分類記号	(MS-G)	(MS-G)	(S-CsG)	(SCs-G)	(MS-G)	(SCs-G)



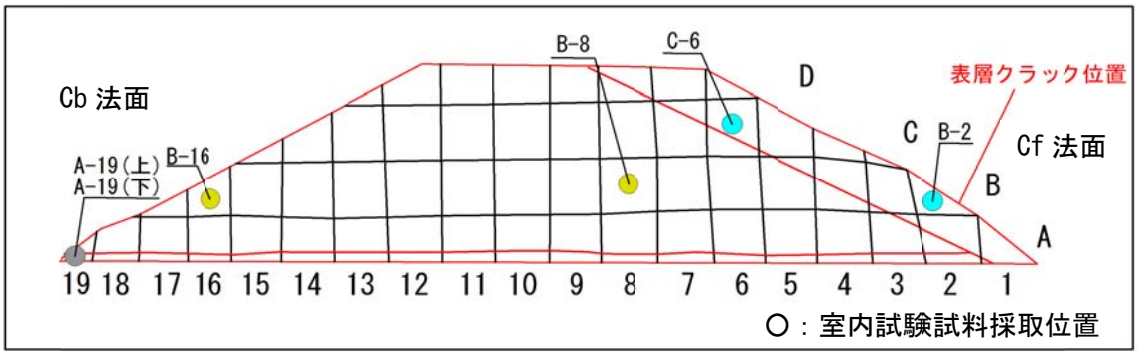
図Ⅱ-4-28　粒径加積曲線（A 断面開削）

開削調査で採取した試料は、土取場や高水敷で採取した試料と概ね同等の粒度特性であったが、川表の粘性土箇所の D-8（図Ⅱ-4-27 参照）で採取した試料が想定した粘性土の粒度分布より、やや砂分が多いことが確認された。

2) C 断面開削調査

C 断面の開削調査および室内土質試験結果を以下に示す。

a) 開削断面図

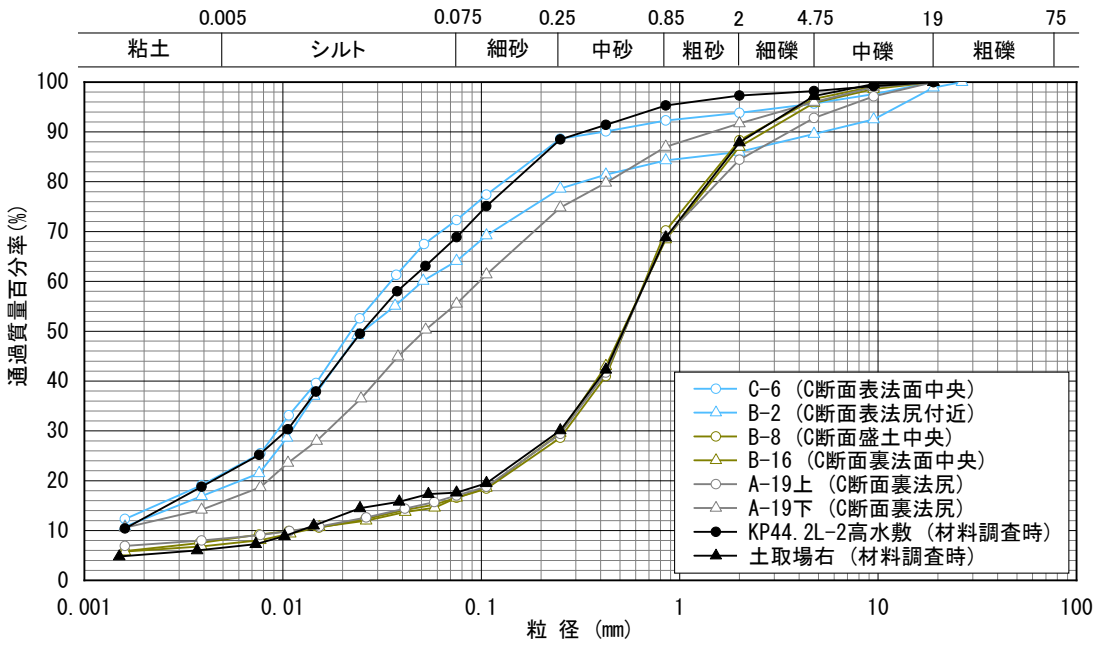


図Ⅱ-4-29　開削断面及び試料採取位置

b) 室内土質試験

表Ⅱ-4-11　室内土質試験結果一覧（C 断面開削）

対　象		C-6	B-2	B-8	B-16	A-19上	A-19下
一般	土粒子の密度 ρ_S (g/cm^3)	2.540	2.558	2.631	2.624	2.627	2.568
	自然含水比 Wn (%)	37.6	37.5	21.6	18.6	18.1	23.4
粒度	礫分 (2～75mm以上) (%)	6.2	14.0	11.7	13.0	15.6	8.3
	砂分 (0.075～2mm) (%)	21.5	21.9	71.7	70.4	67.4	36.2
	シルト分 (0.005～0.075mm) (%)	51.7	45.3	8.5	9.4	8.6	40.4
	粘土分 (0.005mm未満) (%)	20.6	18.8	8.1	7.2	8.4	15.1
	最大粒径 (mm)	19.00	26.50	19.00	19.00	19.00	19.00
	均等係数 U_C	*	38.92	59.13	54.01	60.14	81.92
ｺﾝｼｽﾃﾝｼｰ特性	液性限界 W_L (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	塑性限界 W_P (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	塑性指数 I_P	NP	NP	NP	NP	NP	NP
分類	分類名	礫混じり砂質シルト	礫混じり砂質シルト	礫混じり粘性土質砂	礫混じり粘性土質砂	粘性土質礫質砂	礫混じり砂質シルト
	分類記号	(MS-G)	(MS-G)	(SCs-G)	(SCs-G)	(SCsG)	(MS-G)



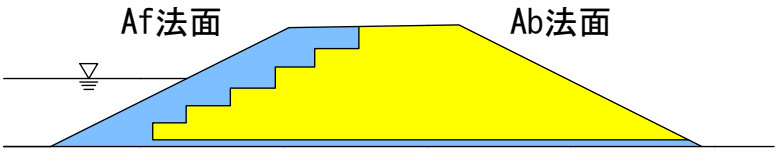
図Ⅱ-4-30　粒径加積曲線（C 断面開削）

開削調査で採取した試料は、想定した堤体の粒度分布と概ね同等の粒度特性であった。

(8) 実験状況

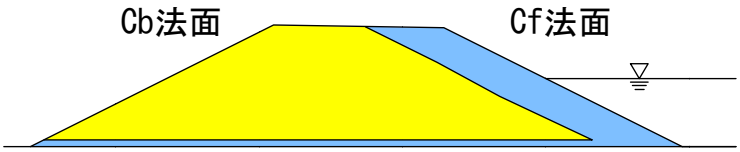
定点カメラの実験状況の撮影写真を以下に示す。

1) A 断面



	Af	Ab
湛水前		
HWL		
超過洪水		
試験後		

2）C 断面



	Cb	Cf
湛水前		
HWL		
超過洪水		
試験後		

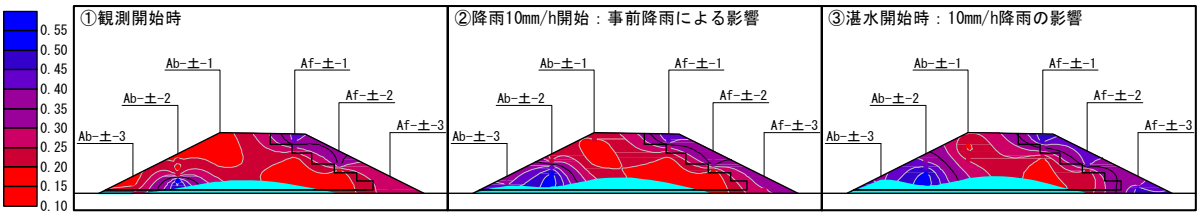
4-2　現地実験より得られた情報

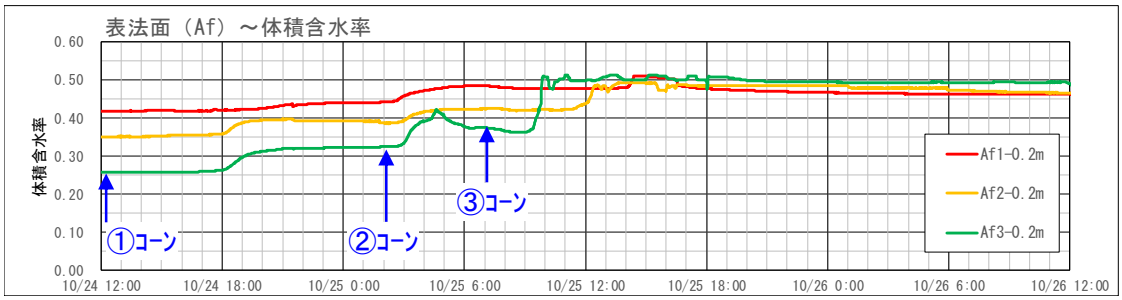
4-2-1　降雨の影響によるコーン強度と体積含水率の関係

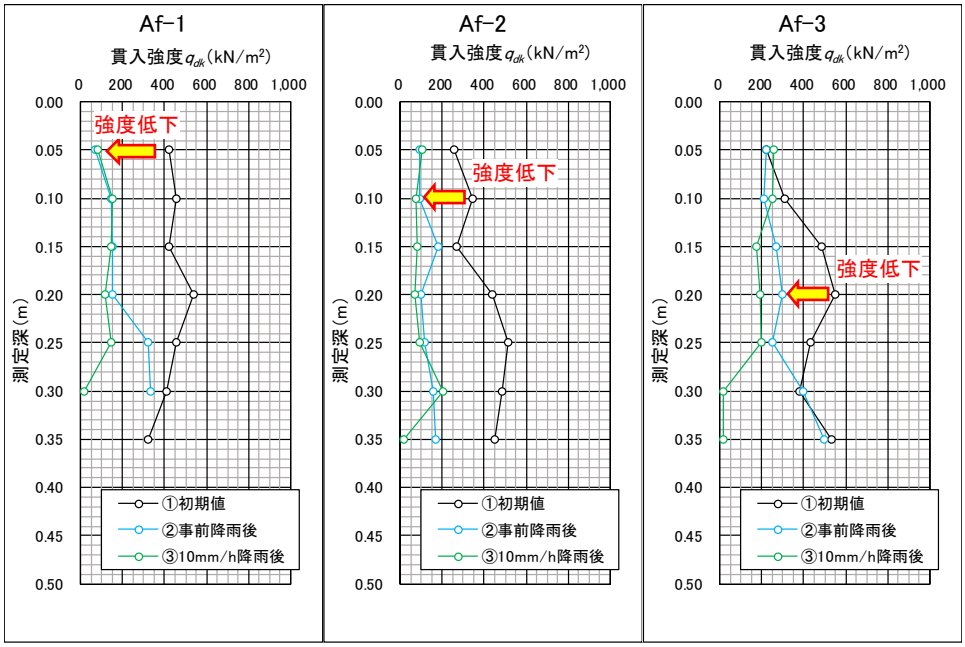
前述したように、現地実験中の降雨によって川表法面のコーン強度が低下したことが確認された。ここでは、体積含水率とコーン強度の関係について詳細に整理した。なお、体積含水率については、ポータブルコーン貫入試験が 0.30～0.35m の深度で貫入不可となっていることを勘案して深度 0.20m の値を使用する。

(1) Af 断面（川表法面）

Af 断面は、体積含水率が 0.031～0.067 上昇することにより、コーン強度は 37～266(kN/m²)程度低下することが確認された。





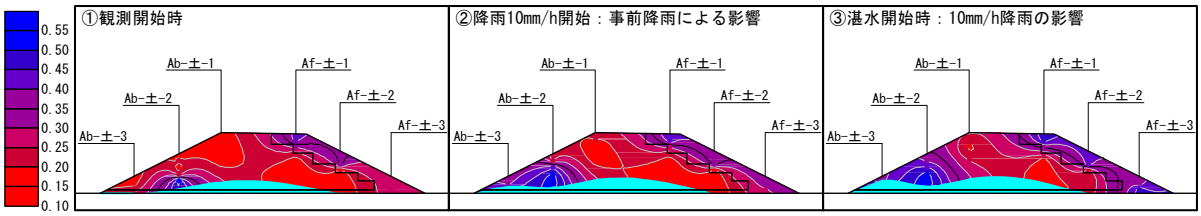


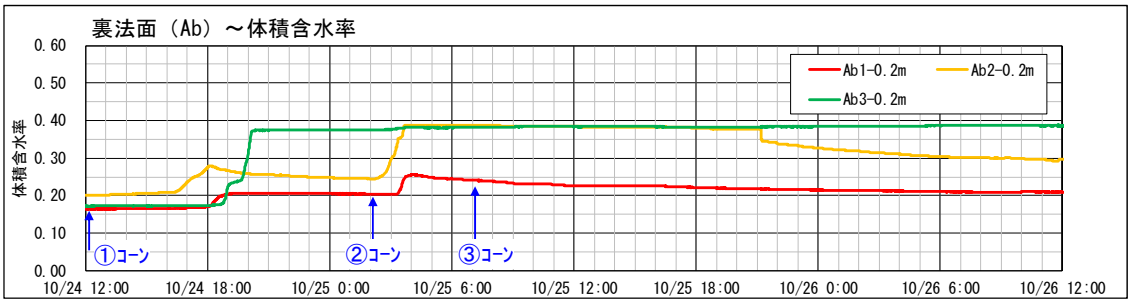
項目		Af-1			Af-2			Af-3		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
体積含水率	測定値	0.412	0.443	0.485	0.343	0.387	0.423	0.258	0.325	0.374
	変動値	-	0.031	0.042	-	0.044	0.036	-	0.067	0.049
ｺｰﾝ強度（平均値）	測定値	431.1	194.5	108.1	394.1	128.4	91.4	415.9	304.8	156.7
	変動値	-	-236.6	-86.4	-	-265.7	-37.0	-	-111.1	-148.1

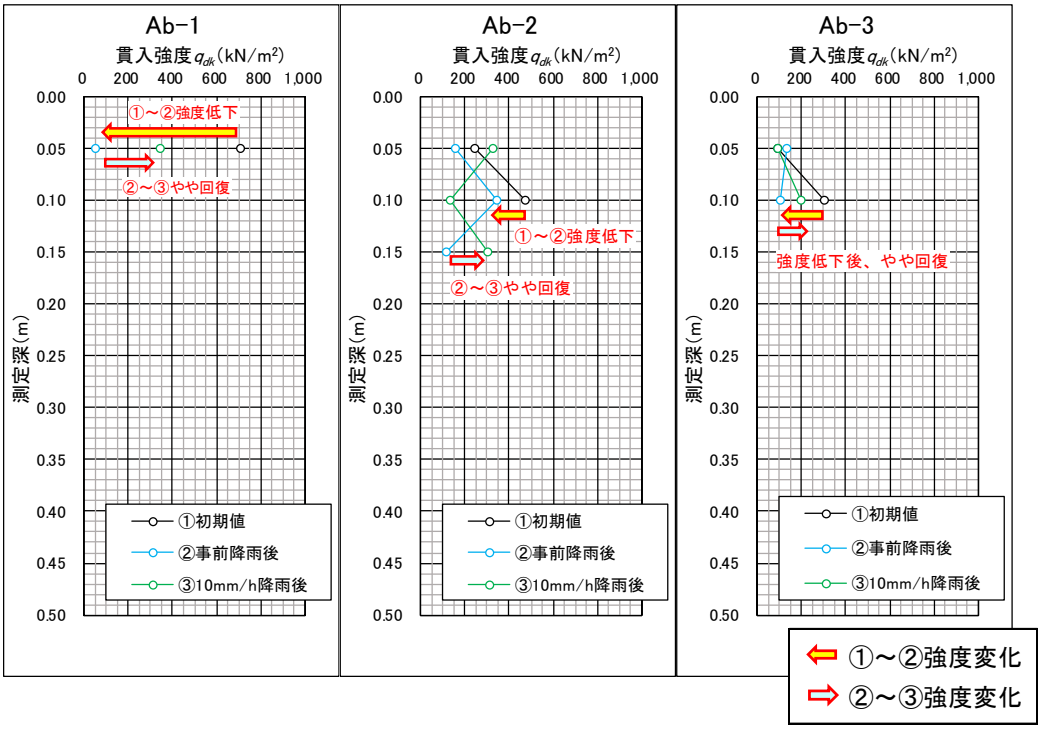
※変動値：②の値は①⇒②の差，③の値は②⇒③の差
※体積含水率の値：地表面に近いGL-0.20mの値
※コーン強度は平均値

(2) Ab 断面（川裏法面）

Ab断面は、体積含水率が0.040～0.202程度上昇することにより、コーン強度は76.2～655.5kN/m^2 程度低下することが確認された。なお、②事前降雨～③10mm/h 降雨の期間では、体積含水率が多少上昇するにも関わらず、強度がやや回復している状況が確認された。





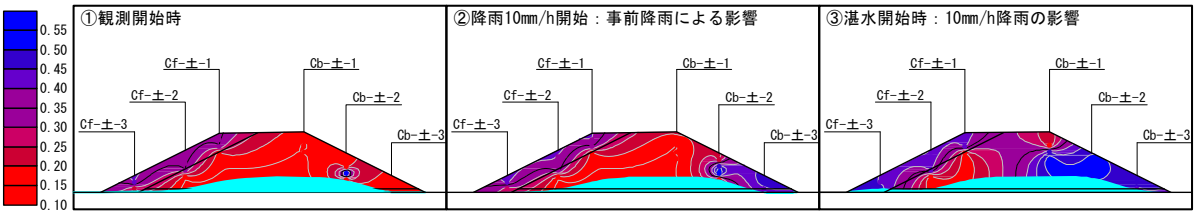


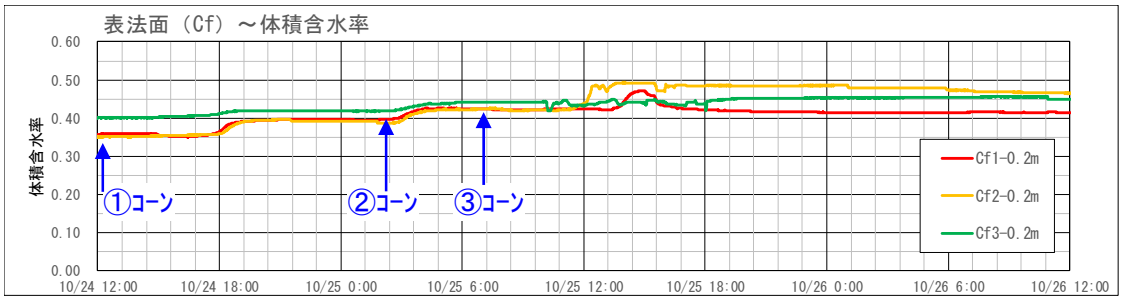
項目		Ab-1			Ab-2			Ab-3		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
体積含水率	測定値	0.165	0.205	0.242	0.202	0.245	0.388	0.173	0.375	0.382
	変動値	-	0.040	0.037	-	0.043	0.143	-	0.202	0.007
ｺｰﾝ強度（平均値）	測定値	707.7	52.2	341.8	357.1	204.6	255.5	197.0	120.8	143.7
	変動値	-	-655.5	289.6	-	-152.5	50.9	-	-76.2	22.9

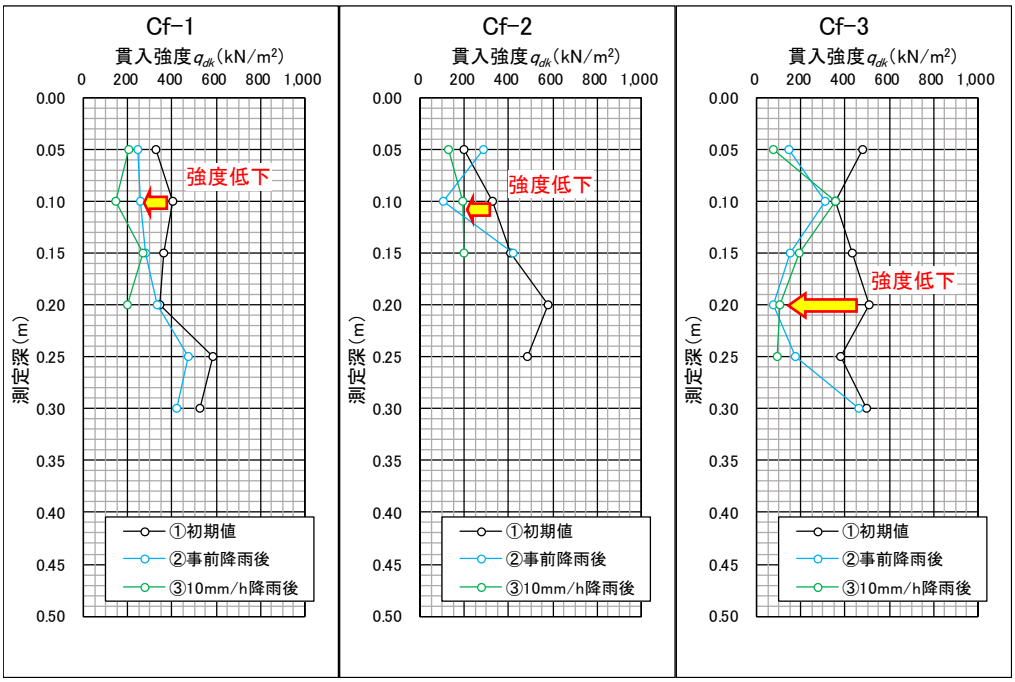
※変動値：②の値は①⇒②の差，③の値は②⇒③の差
※体積含水率の値：地表面に近いGL-0.20mの値
※コーン強度は平均値

(3) Cf 断面（川表法面）

C 断面は、体積含水率が 0.017～0.045 上昇することにより、コーン強度は 56～222(kN/m²)程度低下することが確認された。





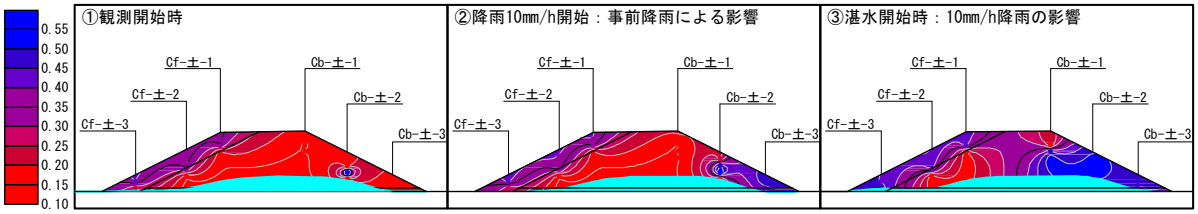


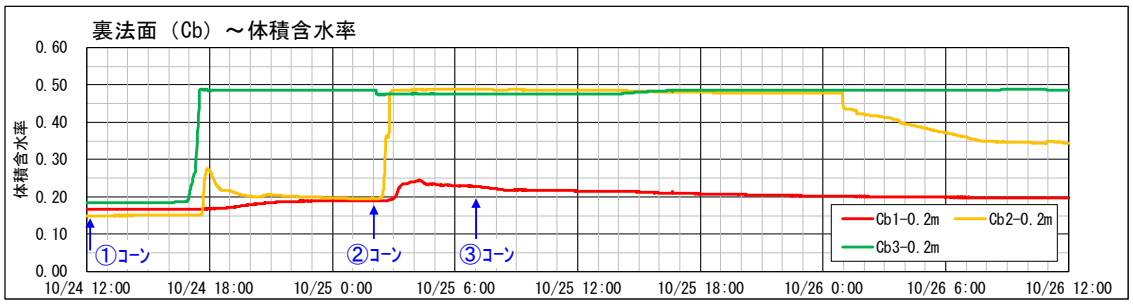
項目		Cf-1			Cf-2			Cf-3		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
体積含水率	測定値	0.364	0.396	0.424	0.372	0.397	0.442	0.401	0.418	0.441
	変動値	-	0.032	0.028	-	0.025	0.045	-	0.017	0.023
コーン強度 (kN/m²)	測定値	424.4	334.2	202.7	399.8	270.7	171.6	442.2	219.9	163.5
	変動値	-	-90.2	-131.5	-	-129.1	-99.1	-	-222.3	-56.4

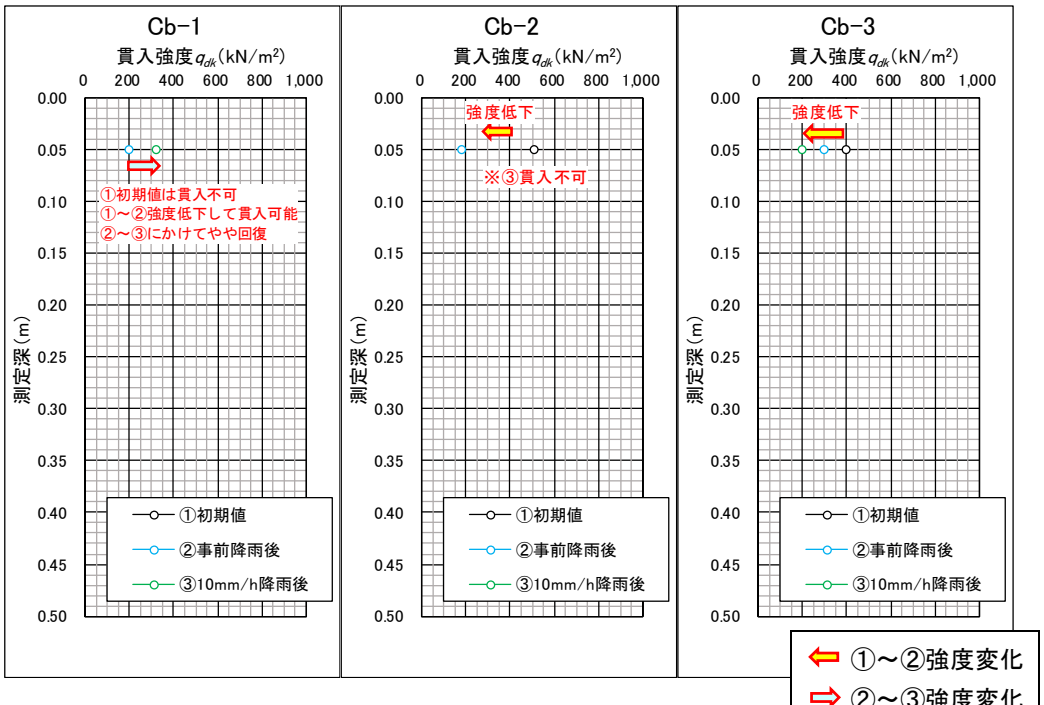
※変動値：②の値は①⇒②の差，③の値は②⇒③の差
※体積含水率の値：地表面に近いGL-0.20mの値
※コーン強度は平均値

(4) Cb 断面（川裏法面）

Cb断面は、体積含水率が0.022～0.301程度上昇することにより、コーン強度は99.1～327.1kN/m^{2}程度低下することが確認された。







項目		Cb-1			Cb-2			Cb-3		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
体積含水率	測定値	0.167	0.189	0.228	0.149	0.195	0.487	0.184	0.485	0.476
	変動値	－	0.022	0.039	－	0.046	0.292	－	0.301	-0.009
ｺｰﾝ強度 (kN/m^2)	測定値	貫入不可	197.0	319.0	509.5	181.8	貫入不可	395.2	296.1	197.0
	変動値	－	－	122.0	－	-327.7	－	－	-99.1	-99.1

※変動値：②の値は①⇒②の差，③の値は②⇒③の差
※体積含水率の値：地表面に近いGL-0.20mの値
※コーン強度は平均値

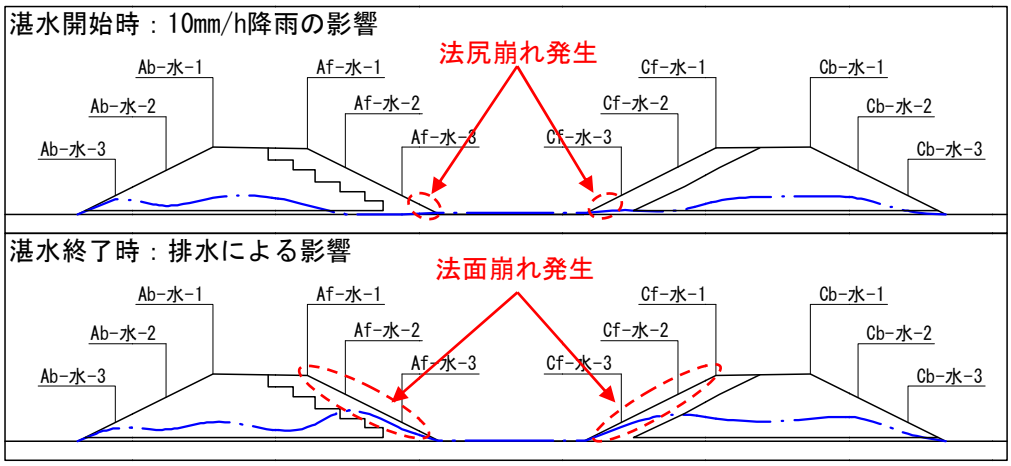
4-2-2　川表法面の変状時の堤体内水位および体積含水率の状況

現地実験に際しては、川表法面で湛水前の 10mm/h 降雨の影響で法尻崩れ、湛水後には法面が崩壊した。変状が発生した際の堤体内浸潤面と体積含水率の関係性について整理した。

(1) 堤体内浸潤面

湛水開始時の法尻崩れが発生した際は、法尻付近でも浸潤面は確認されていない。

湛水終了時の法面崩れが発生した際は、排水後も川表側法尻～法面中央付近で高い浸潤面を保っていることが確認された。



図Ⅱ-4-31　変状時の堤体内浸潤面

写真Ⅱ-4-3　湛水前 法尻崩れ(A 断面)

写真Ⅱ-4-4　湛水後 法面崩れ(A 断面)

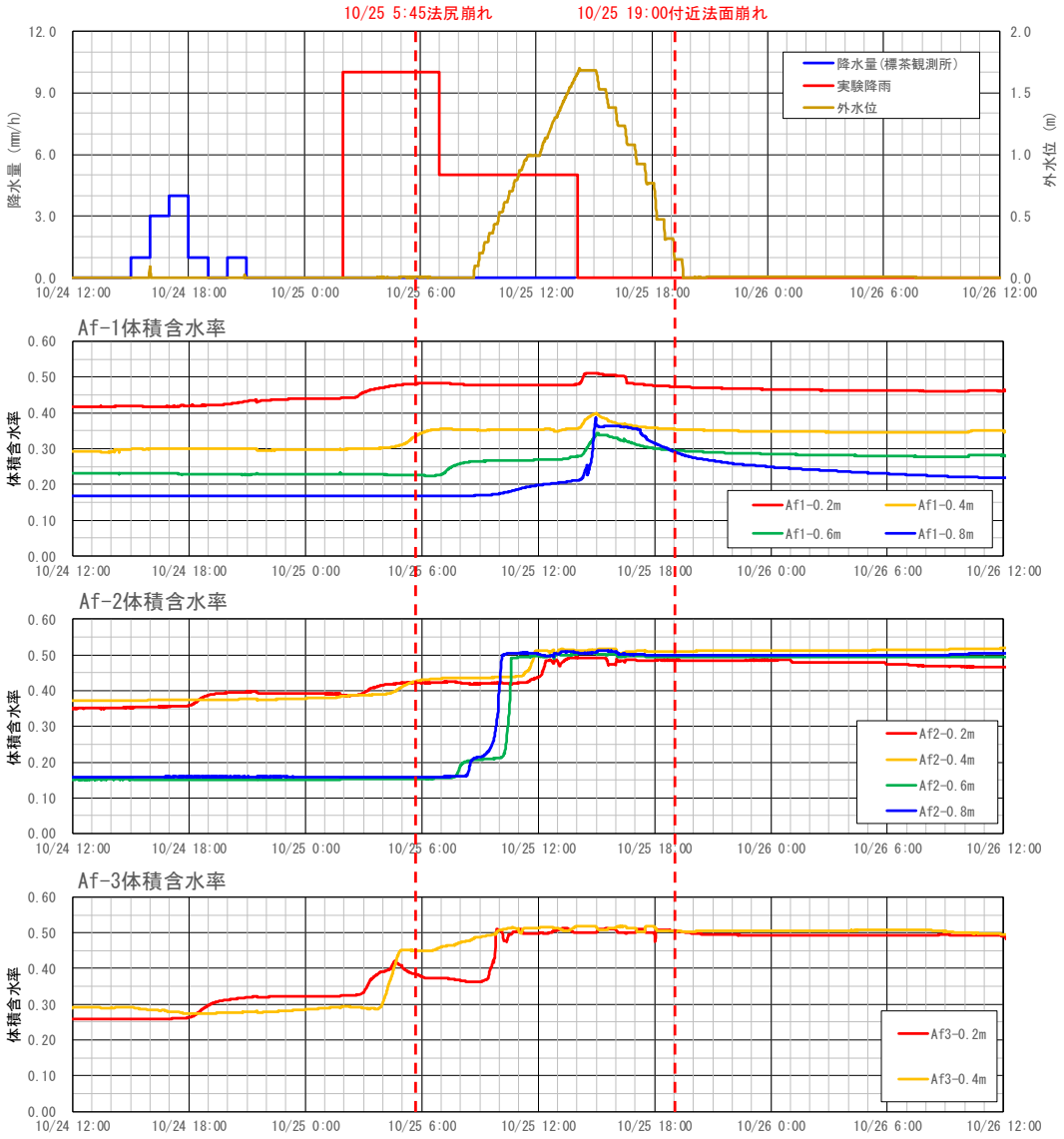
写真Ⅱ-4-5　湛水前 法尻崩れ(C 断面)

写真Ⅱ-4-6　湛水後 法面崩れ(C 断面)

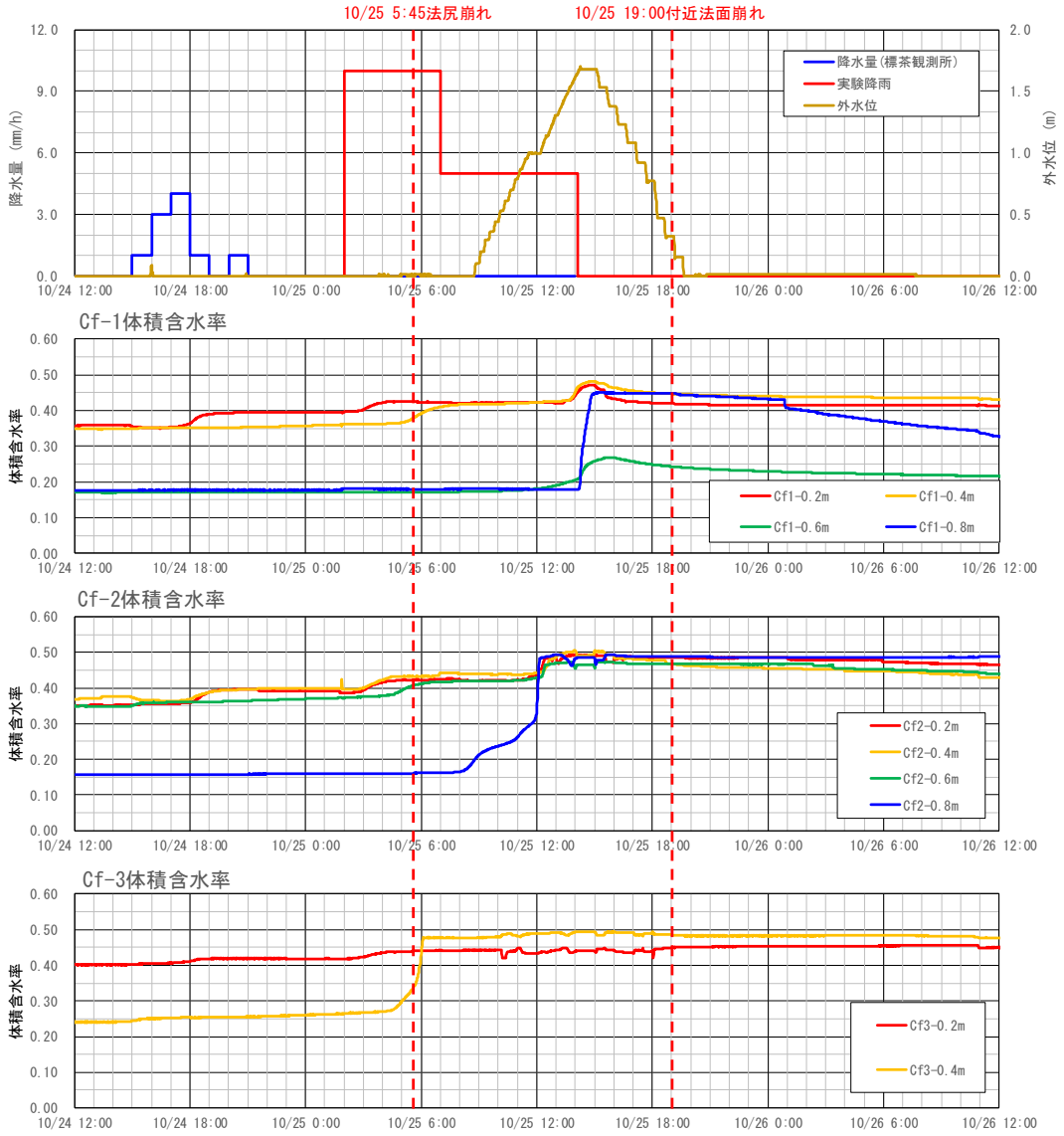
(2) 体積含水率

湛水前に法尻崩れが確認された際は、法尻付近（Af-3、Cf-3）の体積含水率が大きく上昇している。法尻以外でも表層～0.40m 程度までの体積含水率が少し上昇していることが確認された。

湛水後に法面崩れが確認された際は、A 断面及び C 断面ともに、湛水の影響で大きく体積含水率が上昇しており、排水後もしばらく高い状態を維持していることが確認された。



図Ⅱ-4-32　変状時の体積含水率（Af 法面）



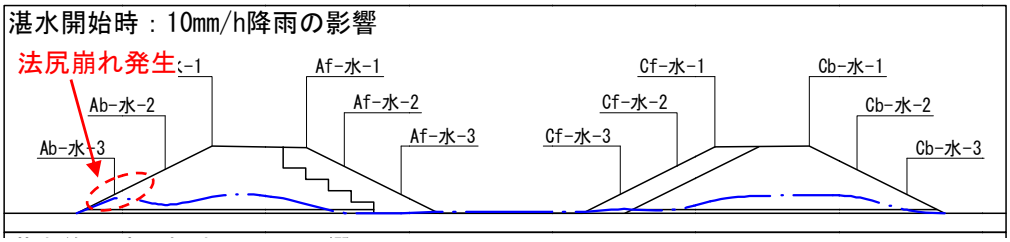
図Ⅱ-4-33　変状時の体積含水率（Cf 法面）

4-2-3　川裏法面の変状時の堤体内水位および体積含水率の状況

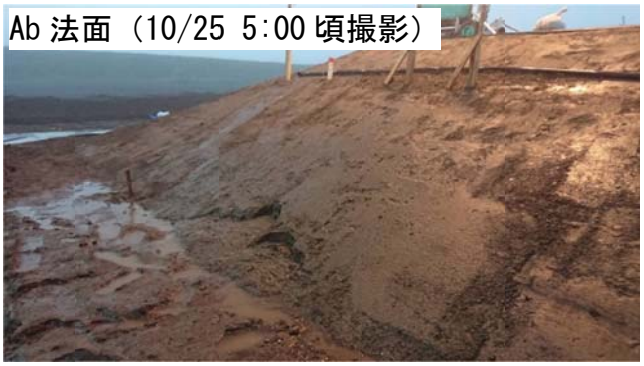
現地実験に際しては、川裏法面で湛水前の 10mm/h 降雨の影響で法尻崩れが発生した。変状が発生した際の堤体内浸潤面と体積含水率の関係性について整理した。

(1) 堤体内浸潤面

10mm/h 降雨の影響により法尻崩れが発生した際は、法尻付近の浸潤面は高い状態であった。



図Ⅱ-4-34　変状時の堤体内浸潤面



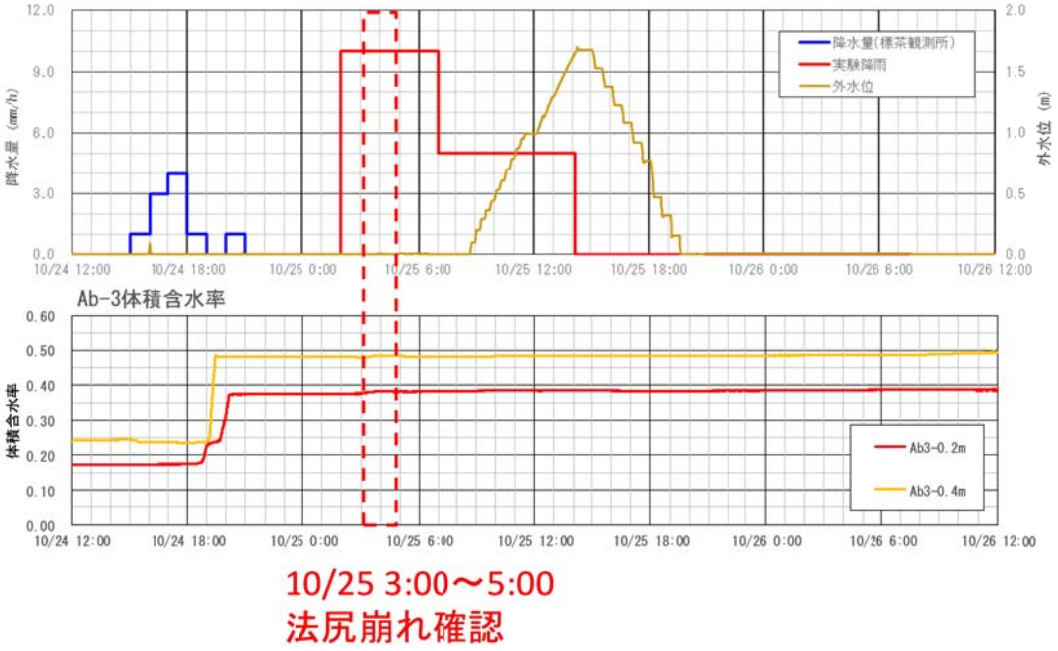
写真Ⅱ-4-7　法尻崩れ(Ab 断面)

写真Ⅱ-4-8　法尻崩れ(Ab 法面断面)

写真Ⅱ-4-9　法尻崩れ(Ab 法面)

(2) 体積含水率

川裏法面の法尻付近(Ab-3)の体積含水率は、事前降雨による影響で大きく上昇し、法尻崩れが確認された際も高い値を維持している状態であることが確認された。



図Ⅱ-4-35　変状時の体積含水率（Ab 法面）

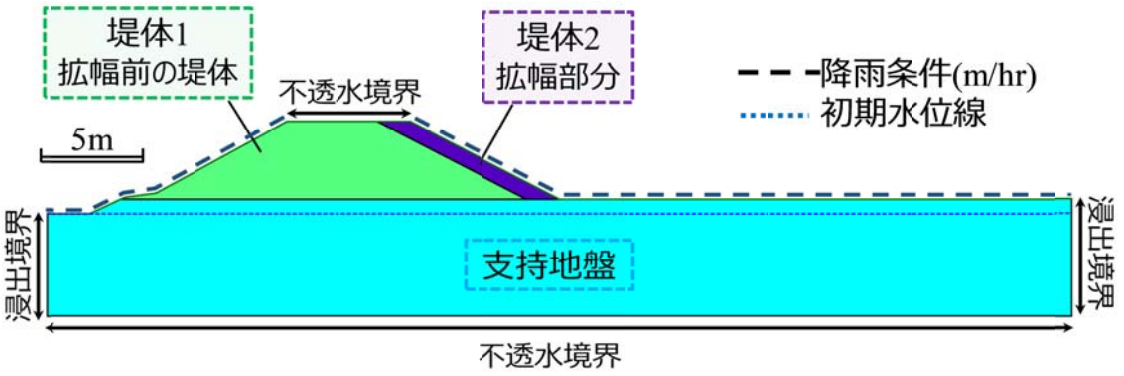
5. 堤防被災の解析

5-1　平成 28 年被災時の再現解析

5-1-1　検討条件

堤防断面の検討は、被災箇所の調査により得られた各種分析結果を適用した浸透流解析及び安定解析を実施した。

浸透に関する解析モデル及び設計土質定数を以下に示す。飽和透水係数は、堤体 1（火山灰質の砂質土）及び堤体 2（火山灰質でシルトを多く含む粘性土）については被災箇所における原位置透水試験結果から設定し、支持地盤については現地の様子から、雨が溜まりやすい地盤と想定し相対的に低く設定した。粘着力及び内部摩擦角は、被災箇所から採取した試料による三軸圧縮試験結果（CUB 条件）から設定するが、堤体 1 については、細粒分が少ない砂質土（火山灰質の砂質土）であるため、過剰間隙水圧を考慮しない有効応力状態の値を採用し、堤体 2 については、細粒分の多い粘性土（火山灰質でシルトを多く含む粘性土）のため、過剰間隙水圧を考慮し全応力状態の値を採用した。不飽和浸透特性は、「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」に示されている値をそのまま使用するのではなく、被災箇所で実施している保水性試験（連続加圧方式）結果に VG モデルを適用した曲線を使用した。降雨条件は、平成 28 年被災時の実際の降雨量（平成 28 年 8 月 14 日～22 日）を用いた。



図Ⅱ-5-1　解析モデル

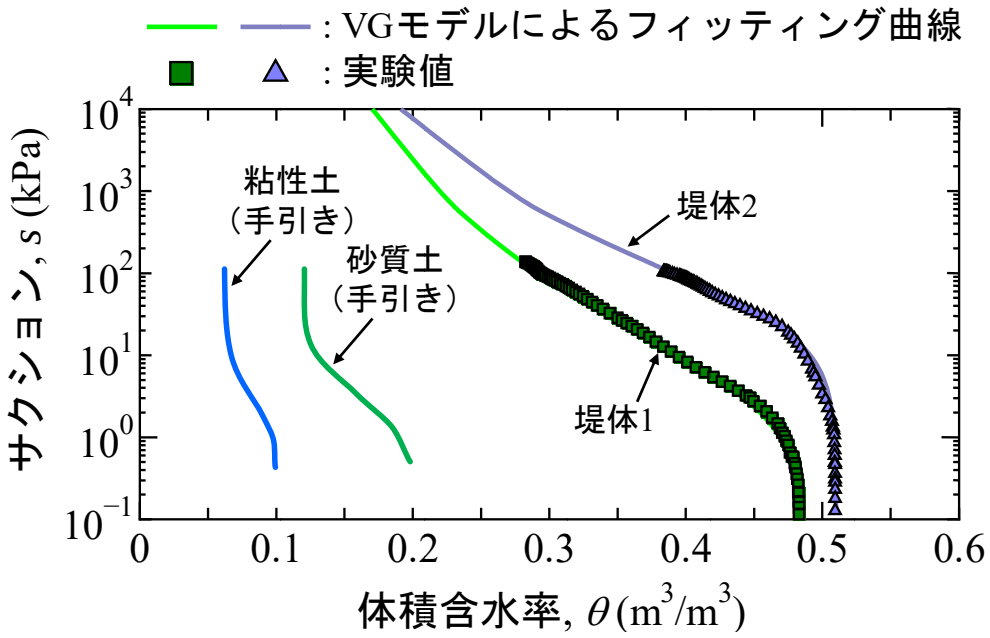
表Ⅱ-5-1　浸透流解析に用いたパラメータ

土層	VGモデルに関するパラメーター				飽和透水係数
	飽和体積含水率 $\theta_s(m^3/m^3)$	残留体積含水率 $\theta_r(m^3/m^3)$	α (1/kPa)	n	k_{sat}(m/hr)
堤体1	0.48	0.065	0.342	1.17	0.41
堤体2	0.51	0.067	0.034	1.23	1.96
支持地盤	0.41	0.095	5.3	1.31	0.01

表Ⅱ-5-2　粘着力 C 及び内部摩擦角 ϕ

土質区分	c_{cu}	ϕ_{cu}	c'	ϕ'
堤体1	0.0	20.5	0.0	36.9
堤体2	0.0	20.4	0.8	38.0

写真Ⅱ-5-1　被災箇所における原位置透水試験

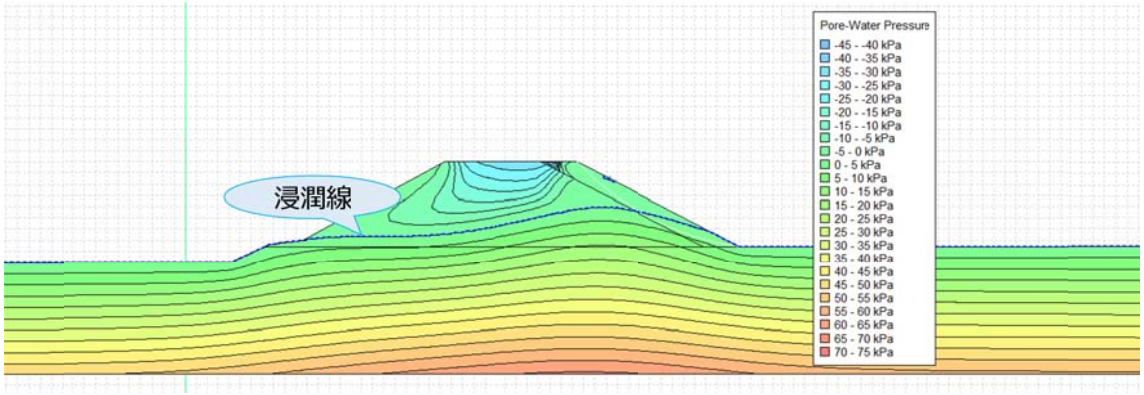


図Ⅱ-5-2　不飽和浸透特性

5-1-2　検討結果

(1) 浸透流解析

浸透流解析結果より、下図は平成 28 年の被災時おける実績降雨において堤体内水位が最も上昇した時間（平成 28 年 8 月 21 日 10:00）における堤体水位および間隙水圧分布を示している。この結果から、被災が発生した川表法面の法尻付近で浸潤線が形成されていることがわかる。

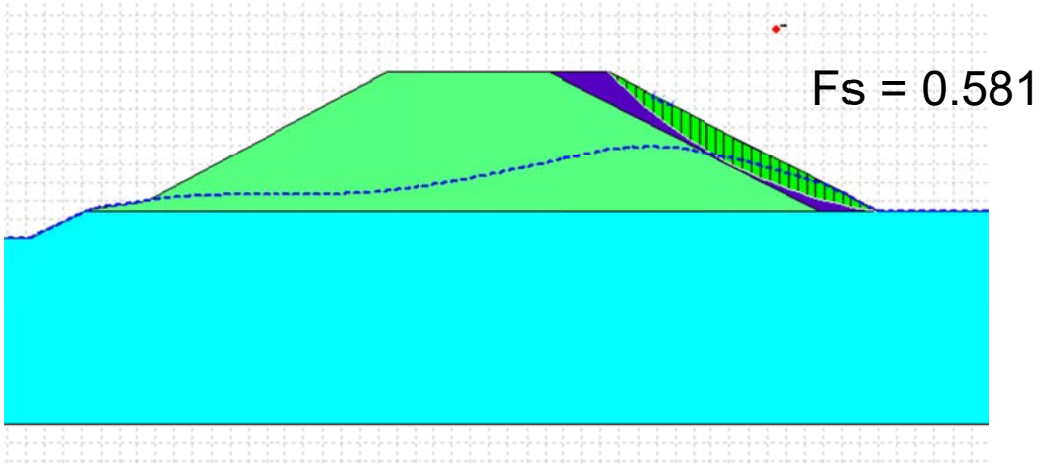


図Ⅱ-5-3　浸透流解析結果図（平成 28 年 8 月 21 日 10:00）

(2) 安定解析

浸透流解析結果から得られた、平成 28 年 8 月 21 日 10:00 の浸潤線を用いた安定解析を行った。その結果、すべり線は堤体 2 の拡幅部で発生しており、概ね被災条件と整合するものの、安全率 Fs=0.581 とかなり小さな値となった。

実際の法面すべりは、発見当時 10m 程度、その後、65m にまで広がった事実から考えると、すべりの初期段階は、土塊厚 80～90cm が動くすべりではなく、クラックが発生した程度と考えられる。このときに安全率 Fs が 1 を若干下回ったと考えられることから、今回の解析結果である安全率 Fs=0.581 はかなり小さく、また、堤体土質がシルトを多く含む粘性土であることから、圧密非排水三軸圧縮試験から得られた力学パラメータ粘着力 c=0 では、崩壊時の力学パラメータを過小評価している可能性がある。よって、すべりが発生した堤体 2 の拡幅部の粘着力 c を実現象に近似するように見直す必要がある。



図Ⅱ-5-4　安定解析結果図（平成 28 年 8 月 21 日 10:00）

5-1-3　数値解析による堤防被災の再現

法面すべりが発生した堤体2の拡幅部の粘着力cは、圧密非排水三軸圧縮試験から得られた粘着力c=0で解析した場合、安全率Fs=0.581とかなり小さな値となり、崩壊時の力学パラメータを過小評価している可能性があることから、実現象に近似するように見直す必要がある。よって、粘着力cを0.4kPaずつ増加させ、安全率Fsが1を若干下回るcを推定した結果、c=1.20kPaで表法面表層のすべりを再現できた。このことから、被災時の堤防の表法面表層では、圧密非排水三軸圧縮試験の供試体のような理想的な飽和状態にはなく、降雨浸透によって実物大試験堤防で観測されたような高飽和度状態であり、これによってある程度の粘着力が発揮された状態で崩壊に至ったと推定される。

表Ⅱ-5-3　粘着力cの増加に伴う安全率Fs

粘着力c kPa	安全率Fs	備考
0	0.581	三軸圧縮試験値
0.4	0.704	
0.8	0.827	
1.2	0.950	採用
1.6	1.073	

5-2　堤防強化工法の検討

5-2-1　検討条件

堤防法面被災を再現できたモデル、力学パラメータを用い、堤防強化対策である堤防緩傾斜化の断面を設定するために、平成 28 年被災時の実際の降雨量にて浸透流解析及び安定解析を実施した。

すべり破壊に対する必要安全率は、裏のりはすべり破壊が発生すれば破堤につながる可能性が高いため、築堤履歴の複雑さ、被災履歴、要注意地形を考慮し、Fs=1.2×1.1×1.1=1.452 とした。一方、表のりの必要安全率は、Fs=1.0 とした。

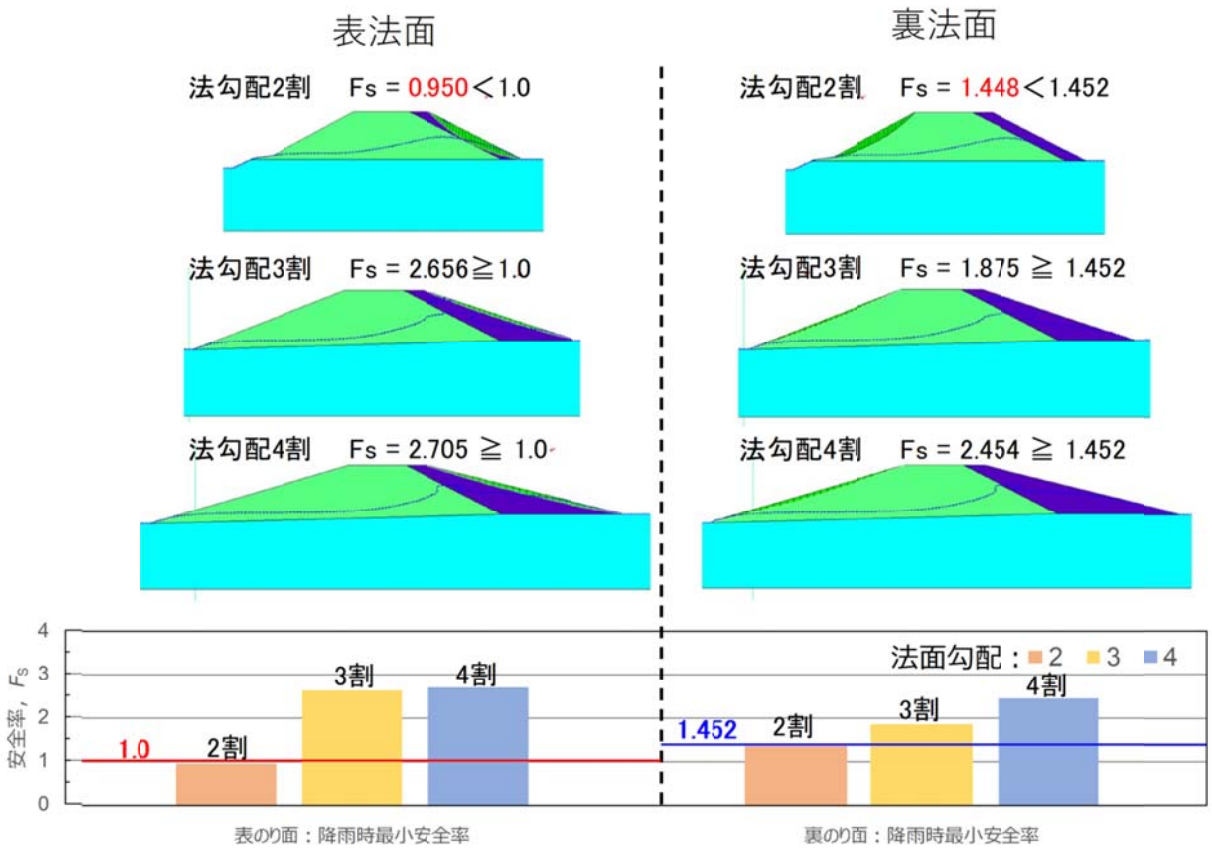
表Ⅱ-5-4　すべり破壊に対する安全性の照査基準

項　　目	部　位	照査基準
すべり破壊(浸潤破壊)に対する安全性	裏のり	$F_s \geqq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ F_s　：　すべり破壊に対する安全率 α_1　：　築堤履歴の複雑さに対する割増係数 築堤履歴が複雑な場合α_1=1.2 築堤履歴が単純な場合α_1=1.1 新設堤防の場合α_1=1.0 α_2　：　基礎地盤の複雑さに対する割増係数 被災履歴あるいは要注意地形がある場合α_2=1.1 被災履歴あるいは要注意地形がない場合α_2=1.0
	表のり	$F_s \geqq 1.0$ F_s　：　すべり破壊に対する安全率

出典：「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）平成 24 年 2 月 p47」

5-2-2　検討結果

堤防強化対策である堤防緩傾斜化は、浸透流解析結果において最も浸潤線が高い位置に達した状態に対して、法勾配を 2 割（現況堤防）、3 割、4 割に変化させた検討を行った。検討結果から、法勾配 3 割の結果を見ると、表法面では Fs=2.656 となり、目標安全率の Fs=1.00 を上回っている。また、裏法面についても法勾配 3 割では Fs=1.875 となり、目標安全率の Fs=1.452 を上回っている。よって、火山灰質でシルトを多く含む粘性土で被覆されている釧路川の堤防は、降雨に対する安全性を満足するためには、表法、裏法ともに法勾配 3 割以上の緩傾斜化が必要である。

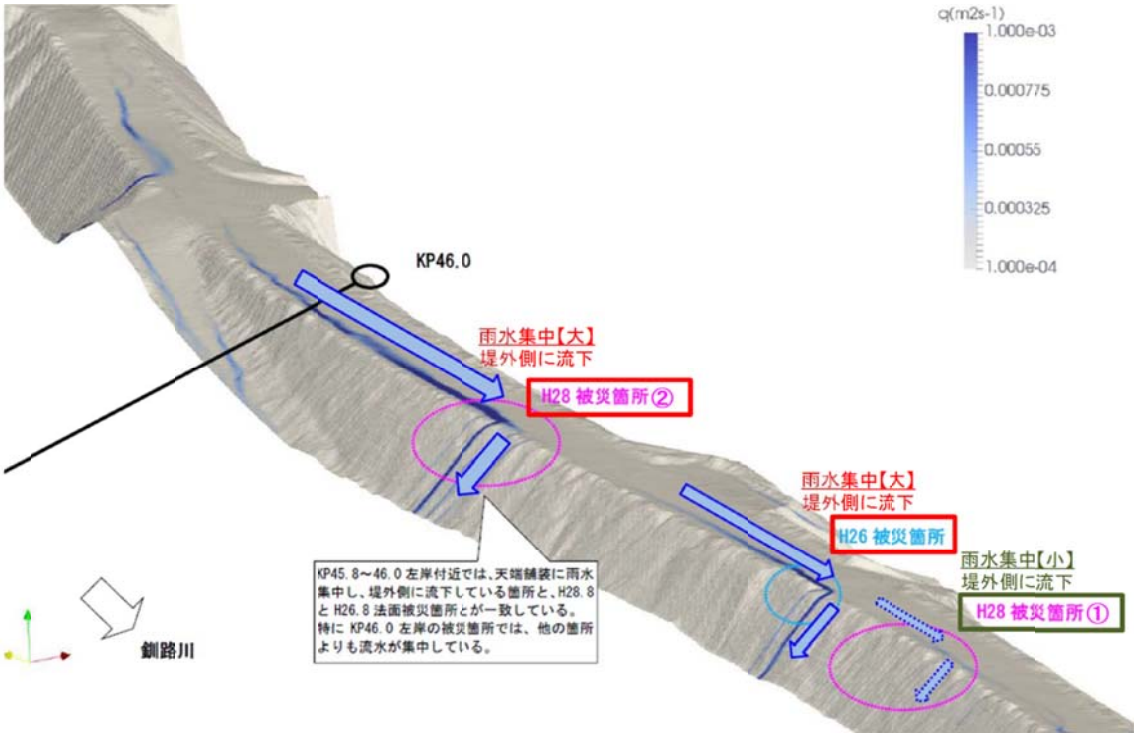


図Ⅱ-5-5　堤防強化工法検討結果図

6. 堤防被災原因

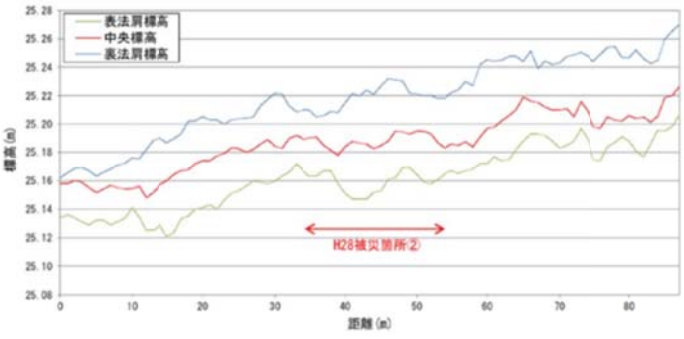
6-1　雨水集中箇所の把握

MMS 測量成果（平成 28 年）を用いて堤防天端をモデル化し、平面 2 次元流況解析を行って、雨水集中箇所を把握した。H28 被災箇所②、H26 被災箇所では、堤防天端に降った雨水が上流側から集中し、堤外側に流下している結果となった。また、H28 被災箇所①では、H26 被災箇所及び H28 被災箇所②ほどの雨水の集中は見られなかったが、MMS 測量縦断図から、表法肩標高では周辺より低くなっているため、若干の雨水の集中はあったと考えられる。

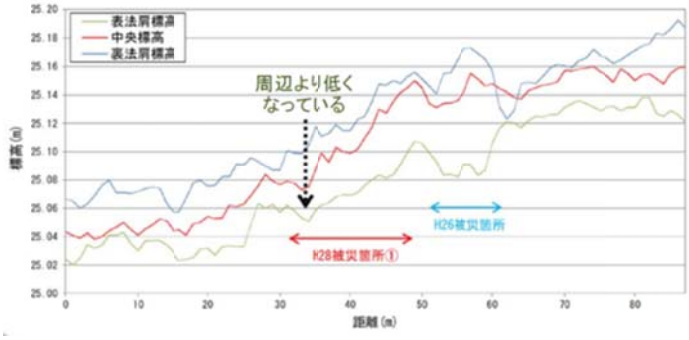


※この解析結果は、2016.8.21 早朝の降雨を想定した R=12mm/h の降雨とした解析結果、Z 方向の縮尺を 2 倍としている

図Ⅱ-6-1　単位幅流量コンター鳥瞰図（KP45.8～46.0 左岸）



H28 被災箇所②



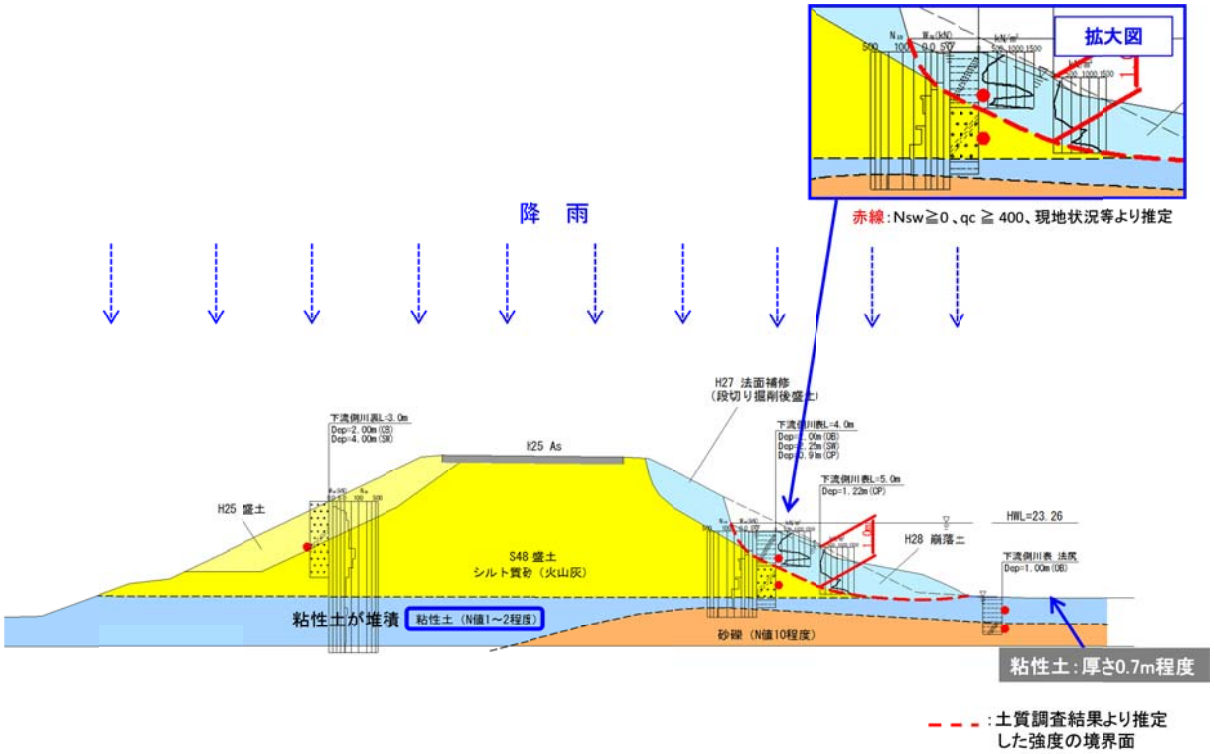
H28 被災箇所①、H26 被災箇所

図Ⅱ-6-2　MMS 測量縦断図

6-2　堤防被災原因

堤防天端や法面に降った雨により、堤体に浸透して法尻から飽和度が上昇する。これは、降雨のみで法尻の変状が発生した現地実験でも確認された。

このことにより、釧路川の堤防で発生した法面被災は、堤防天端の不陸箇所に集中した雨水の流れに加え、法肩や法面の火山灰質でシルトを多く含む粘性土の部分に雨水が直接浸透して飽和度が上昇し、表層の強度低下を起こしたことが被災要因であると考えられる。また、火山灰質の砂質土部分についても雨水の浸透による強度低下が発生することとなり、特に基礎地盤が不透水性の場合、法尻の被災の危険性がより高くなると考えられる。



図Ⅱ-6-3　発生要因模式図（H28 被災箇所①）

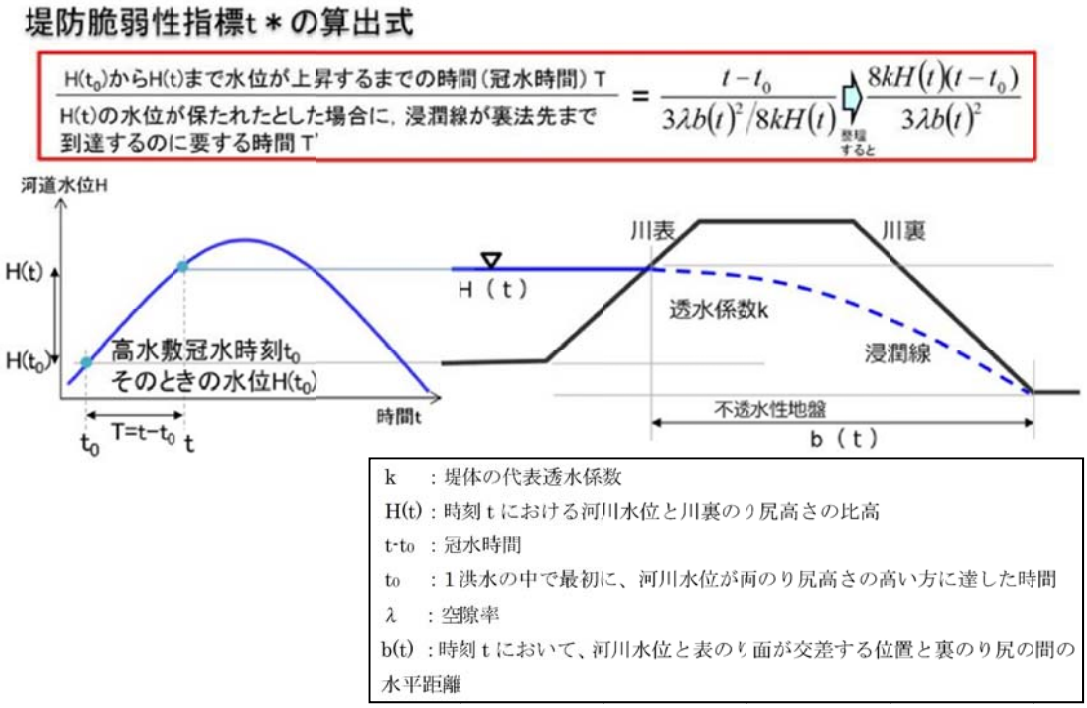
7. 堤防破壊危険確率縦断分布と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標

既往のボーリング調査結果では、釧路川の堤防の堤体土質は、大部分が火山灰質の砂質土や礫質土で構築されていることがわかる。その状態で洪水時の堤防脆弱性指標ｔ*（以下ｔ*という）を用いた検証を行うと、浸透に対する堤防の安全性は比較的高い結果となる。ｔ*は、河川水の浸透のみを対象としており、降雨により堤体の安全度が低下する釧路川の堤防特性を踏まえると、堤防法面に浸透する降雨の影響を考慮することが必要になる。そこで、今回は、降雨の影響を考慮したｔ*を試算した。

7-1　外水浸透に対する堤防脆弱性指標の算定

7-1-1　外水浸透に対する堤防の脆弱性指標の算定方法

洪水時に堤体内を浸透する水の移動の特徴を捉えた指標であるｔ*を「冠水時間／裏のり尻まで浸透するのに要する時間」より算定する。



図Ⅱ-7-1　堤防脆弱性指標ｔ* 算出方法

出典：「浸透に係る重要水防箇所設定手順（案）平成 31 年 3 月」

7-1-2　堤防脆弱性指標 t *算出の計算条件

近年の洪水外力の増大による甚大な水災害発生リスクを踏まえた堤防の破壊危険性を適切に評価するため、堤防の破壊危険確率算出のための計算条件を整理した。

【整理項目】

・平均透水係数（土質試験結果より設定）
・横断データ　（現況：最新測量年及び河川整備計画完了後）
・水位データ　（計画規模相当を対象）

【検討対象範囲】

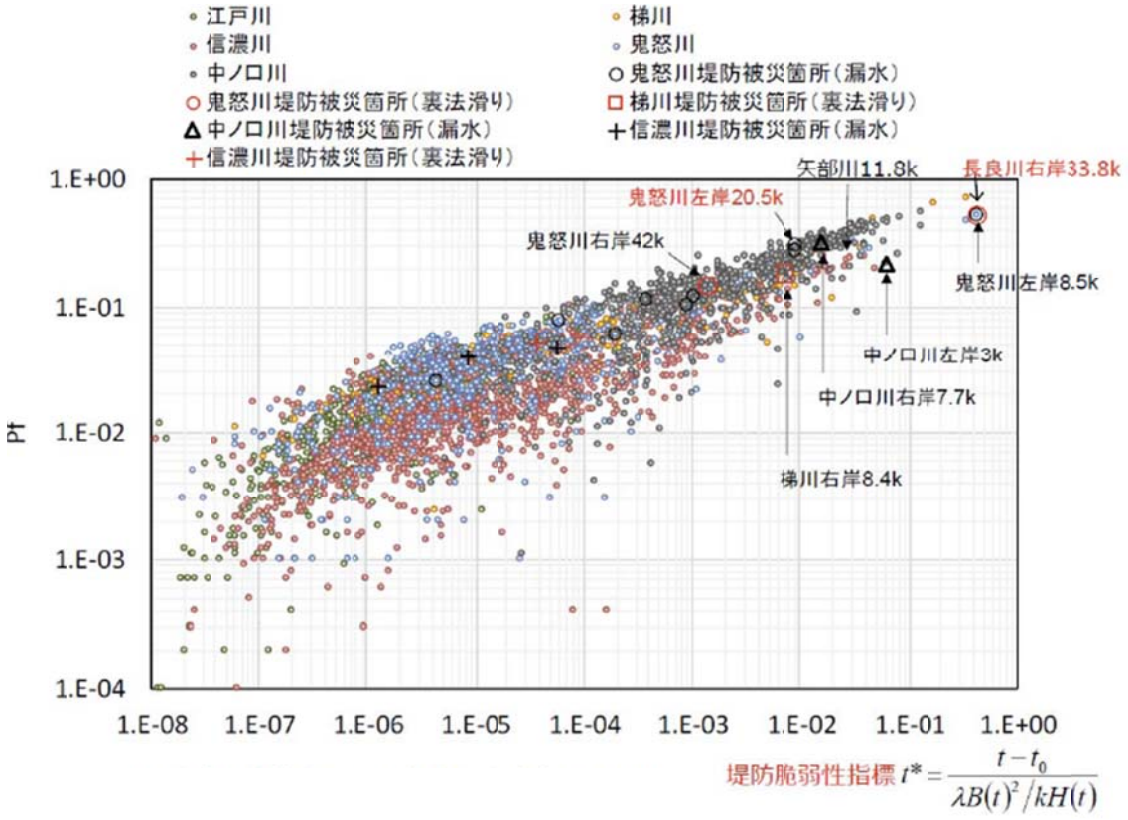
・釧路川　KP38.2～KP72.0：約 34km

表Ⅱ-7-5　計算条件表

項目	出典・条件・算出手法
平均透水係数	[透水係数] ・河川堤防の浸透に対する安全性の詳細点検結果情報（国土技術政策総合研究所河川部河川研究室）など [平均透水係数] ・浸透に係る重要水防箇所設定手順（案），一般財団法人国土技術研究センター，2019.
横断データ	堤防の測量年次は以下のとおり [左岸] ・KP38.20～KP58.20：H28 測量 ・KP58.40～KP58.60：H14 測量 ・KP58.80～KP70.00：H27 測量 [右岸] ・KP38.20～KP58.20：H28 測量 ・KP58.40～KP63.80：H14 測量 ・KP64.00～KP72.00：H20 測量
水位データ	・H4.9 型　W=1/100 の流量ハイドログラフ(Q-T)を河道 H-Q 式により水位ハイドログラフに換算 ・河道条件は H29 年度末河道 堤防、高水敷：上記の測量年度 低水路　　：H28 測量 樹木データ　：H28 垂直写真より判読

7-1-3　堤防脆弱性指標ｔ*と破壊危険確率の関係

堤防脆弱性指標ｔ*と破壊危険確率 Pf の関係について、下図に示す。



出典：「福岡委員より提供資料」

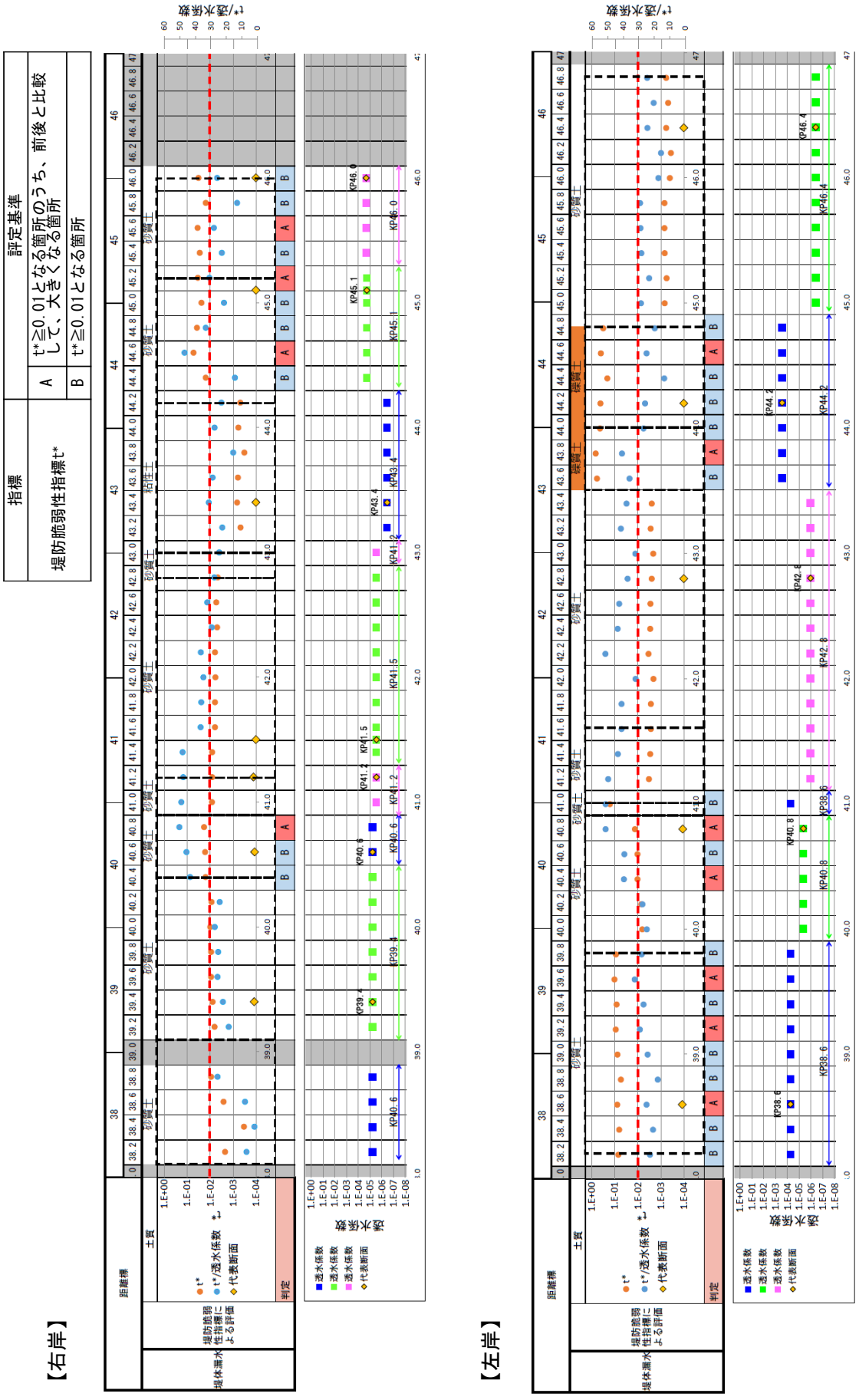
図Ⅱ-7-2　堤防脆弱性指標ｔ*と破壊危険確率 Pf の関係

7-1-4　堤防脆弱性指標ｔ*の算出結果

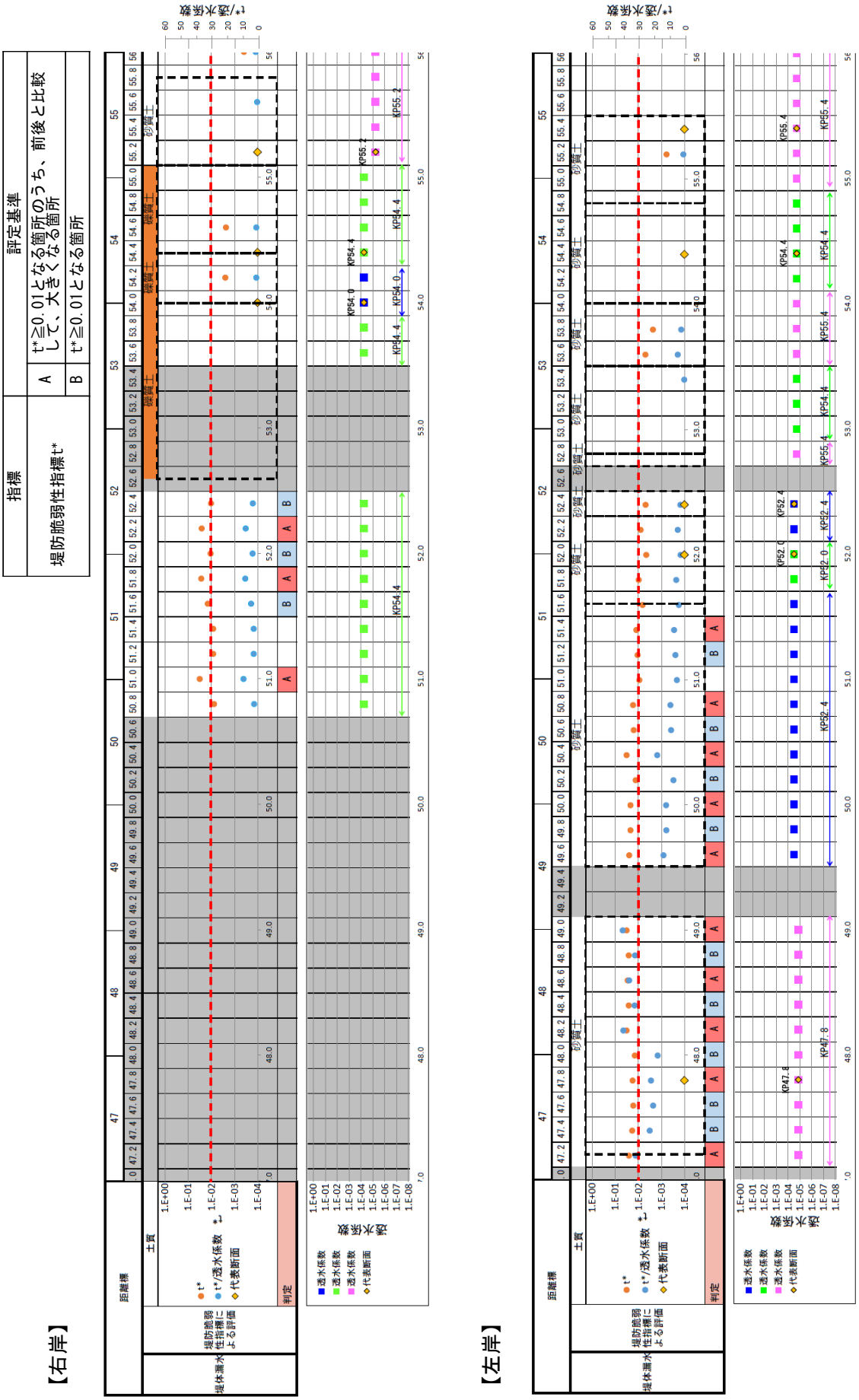
堤防脆弱性指標ｔ*の算出結果を次頁以降に示す。なお、ピーク水位が堤防法尻の高さに達しない場合は、外水位が堤防に浸透しないため、堤防脆弱性指標ｔ*は算定されない。

ｔ*は、主に堤体の透水係数に依存する指標であるため、礫堤防の方が危険だと判断されてしまう。そのため、予め礫堤防を検討対象区間から除いておく必要が考えられるが、本検討では参考値として算出した。

・既往のボーリング調査結果では、釧路川の堤防の堤体材料は、大部分が火山灰質の砂質土や礫質土で構築されていることがわかる。その状態で洪水時のｔ*を用いて検証した結果、浸透に対する堤防の安全性は比較的高い結果となった。



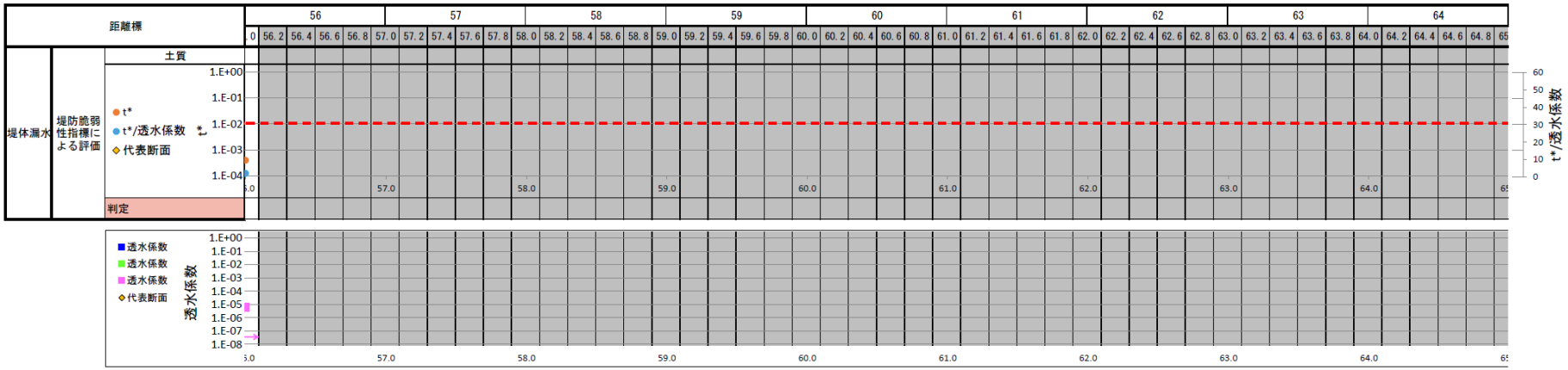
図Ⅱ-7-3(1)　堤防脆弱性指標ｔ*の算出結果



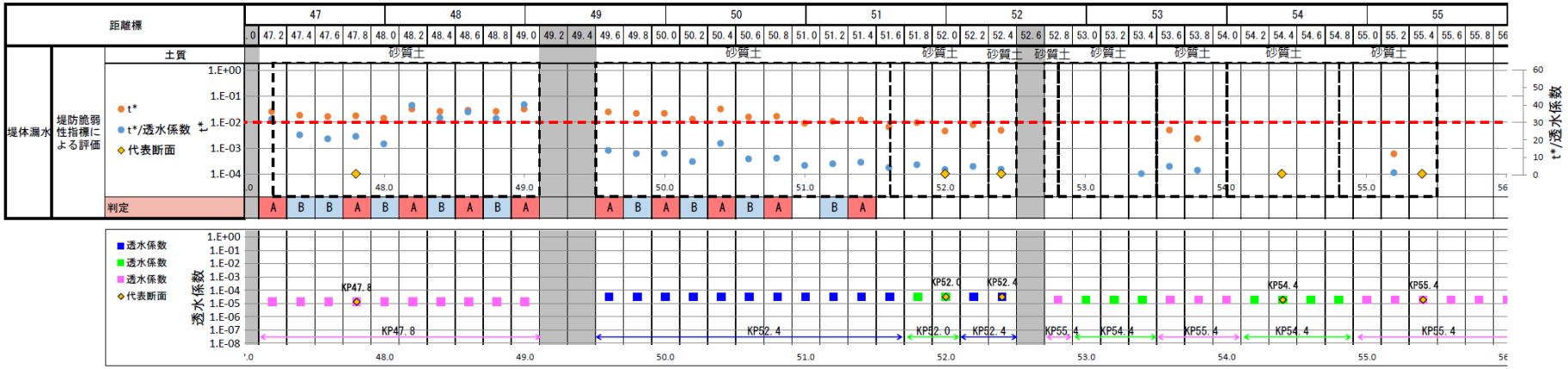
図Ⅱ-7-3(2)　堤防脆弱性指標ｔ*の算出結果

指標	評定基準	
堤防脆弱性指標t*	A	t*≧0.01となる箇所のうち、前後と比較して、大きくなる箇所
	B	t*≧0.01となる箇所

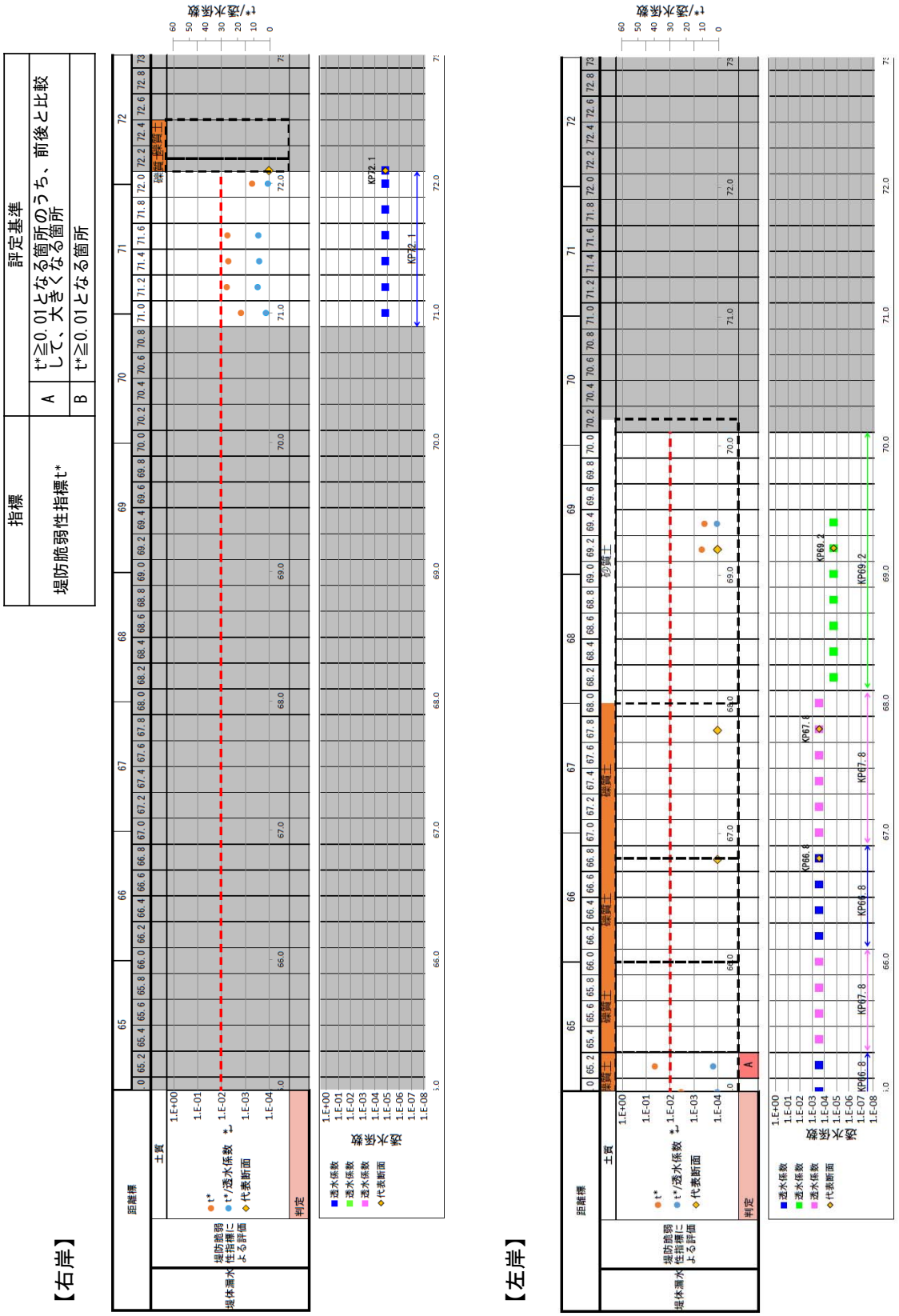
【右岸】



【左岸】



図Ⅱ-7-3(3)　堤防脆弱性指標ｔ＊の算出結果



図Ⅱ-7-3(4)　堤防脆弱性指標ｔ*の算出結果

7-2　降雨・外水浸透に対する堤防の破壊危険確率の算定

近年の大雨により被災を受けた釧路川の堤防は、堤防の浸透に対する詳細点検で安全性が確保されていたところに被災を受けていた。そのため、釧路川では降雨外力が浸透破壊危険性を高める可能性がある。長大な堤防の堤体漏水による危険性を把握する手法として「7-1　外水浸透に対する堤防脆弱性指標の算定」に示した堤防脆弱性指標 t *の算定手法が明らかになっているが、ここでは、これまでの河川水の浸透のみを対象としていた堤防脆弱性指標 t *に、降雨を考慮した指標の算定について試算した。

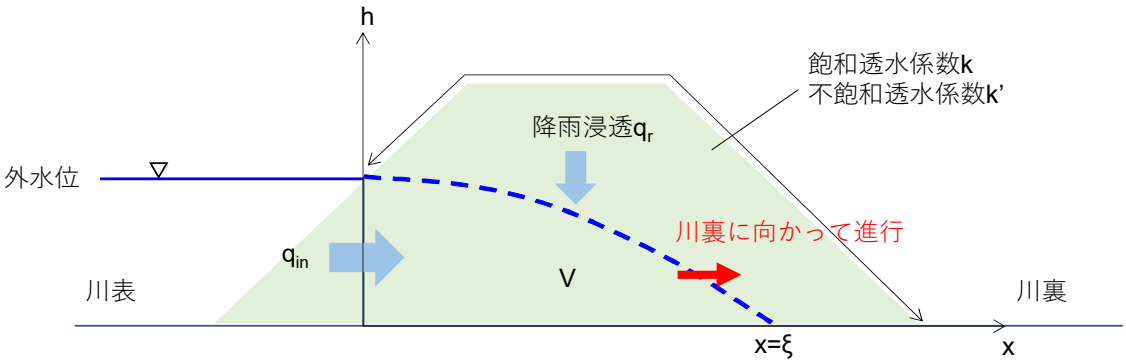
7-2-1　降雨・外水浸透に対する堤防の脆弱性指標の算定方法

(1) 基本的な考え方

「7-1　外水浸透に対する堤防脆弱性指標の算定」に示した t *では，河川水の浸透 q_{in} のみを対象としていた。ただし、釧路川のように降雨外力が浸透破壊危険性を高める可能性のある場合については、この手法では不十分であり、降雨浸透の影響を考慮していくことが必要となると考える。

ここでは準二次元の考え方による t *の導出過程に、降雨浸透による横流入条件を付加することで、河川水位と降雨を考慮した t *を新たに提示する。

基本的な考え方として、図Ⅱ-7-4 に示す堤体への河川水の流入量 q_{in} と降雨浸透量 q_r を考慮し、これらによる堤体内飽和領域 V の変化を取り扱うものとする。



図Ⅱ-7-4　河川水位と降雨外力による堤防浸透のイメージ

(2) 一般的な降雨浸透の表現

図Ⅱ-7-5 に、一般的な降雨浸透の概念を示す。

鉛直方向の Richards の式を有限の幅 δx で積分して表示すると、以下のように表される。

$$\frac{\partial \theta \delta x}{\partial t} = \frac{\partial q_r}{\partial z} \tag{1}$$

ここに、θ ：体積含水率、q_r：降雨流入量である.

この式を z=z_s(堤体内浸潤線高さ)から z=z_0(堤防表面の高さ)で積分して整理すると、以下の式が得られる。

$$q_r = q_{r0} + \frac{\partial}{\partial t}\int_{z_s}^{z_0} \theta \delta x dz \tag{2}$$

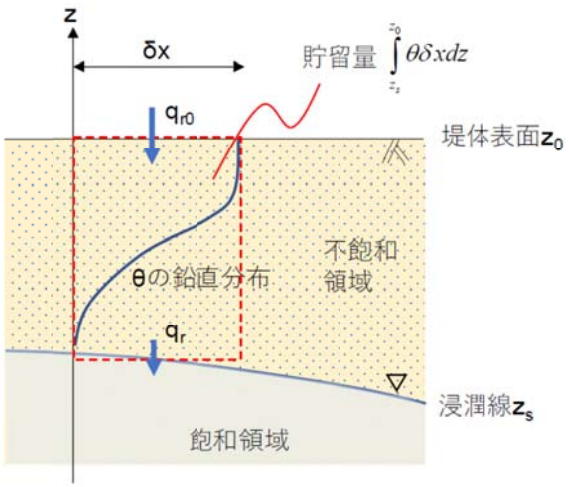
ここに、q_r：浸潤領域に流入する量、q_{r0}：堤体表面からの流入量である。

この式は、堤体表面に降った雨が、貯留しながら浸潤面に到達するという非定常的な挙動が表現されている。

なお、表面からの流入量 q_{r0} は，不飽和土中の鉛直方向流速を用いて次のように表される。

$$q_{r0} = -k'(\theta_0)\left\{1 + C_0(\theta_0)\frac{\partial \theta_0}{\partial z}\right\}\delta x \tag{3}$$

ここに、k’：不飽和透水係数、C：比貯留係数、添え字 0：堤体表面の値である。



図Ⅱ-7-5　一般的な降雨浸透の概念図

(3) 平均的な不飽和透水係数を用いた Darcy 則による降雨浸透の表現

土中の降雨浸透流速 w は、Darcy 則を用いると以下のように表される。

$$w = k' \frac{L(t) + \Delta h - h_f}{L(t)} \tag{4}$$

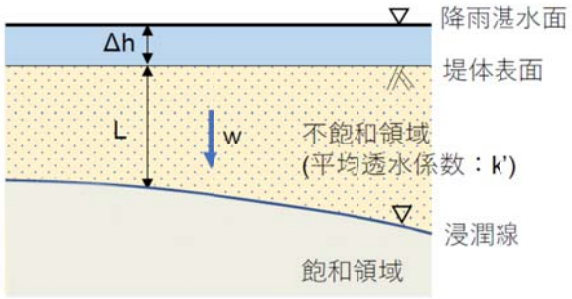
ここに、平均不飽和透水係数 k'、湛水深 Δh、浸透距離 L、浸潤面付近における毛管圧力 h_f(<0)である。

湛水深 Δh と毛管圧力 h_f の影響は相対的に小さいとすれば、鉛直流速は簡易的に以下のように表される。

$$w \approx k' \tag{5}$$

ここでは簡単のため、降雨浸透流速を平均飽和透水係数値で代表して表現することとした。

ただし、実際には、不飽和領域内において体積含水率が鉛直方向に変化する。このため、不飽和透水係数も鉛直方向に分布を持つと考えられるが、ここではこの影響を無視し、代表的な飽和透水係数値で表現している。この点については、現地実験などにより妥当性を検証し、見直していく必要がある。



図Ⅱ-7-6　降雨鉛直浸透を表現する際の変数の定義

表 7-1　毛管圧力水頭の大きさ

Sediment	Uniform Grain Diameter (cm)	Pore Radius (cm)	Capillary Rise (cm)
Fine silt	0.0008	0.0002	750
Coarse silt	0.0025	0.0005	300
Very fine sand	0.0075	0.0015	100
Fine sand	0.0150	0.003	50
Medium sand	0.03	0.006	25
Coarse sand	0.05	0.010	15
Very coarse sand	0.20	0.040	4
Fine gravel	0.50	0.100	1.5

出典：「Fetter, C. W. Applied Hydrogeology. 3rd ed. New York: Macmillan, 1994」

(4) 河川水位と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標 t*の導出

前述の過程を踏まえ、河川水位と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標ｔ*を導出する。

座標系を図Ⅱ-7-7 に示すように決め、水際からの水平距離 x に対する堤体内浸潤線の高さ h を、河川水位 H、浸潤線フロントξを用いて、以下に示す無次元形で表すものとする。

$$h(x,t) = H\left\{1-\left(\frac{x}{\xi(t)}\right)^{1.5}\right\} \tag{6}$$

これより、外水位の浸入量 q_{in}、堤体内水分量 V は以下のように表される。

$$\begin{aligned} q_{in} &= k\int_0^H \frac{H-h(x,t)}{x}dz = \frac{3}{4}\frac{k}{\xi(t)}H^2 \\ V &= \lambda\int_0^{\xi(t)} h(x,t)dx = \frac{3}{5}\lambda H\xi(t) \end{aligned} \tag{7}$$

ここで、降雨浸透量を不飽和透水係数 k’を用いて以下のように表すとする。

$$q_r = \int_0^S w dx = k'S = k'\alpha\xi \tag{8}$$

堤体内の水の連続条件に、左の式を与えると以下の微分方程式が得られる。

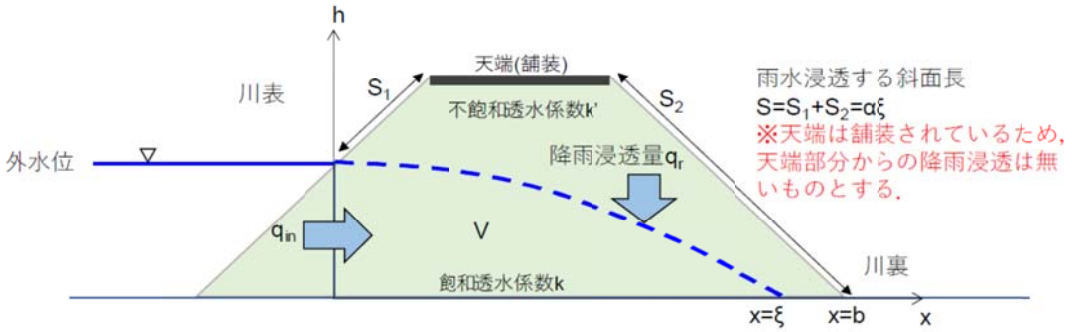
$$\begin{aligned} &\frac{dV}{dt} = q_{in} + q_r \\ &\therefore \frac{3}{5}\lambda H\frac{d\xi}{dt} = \frac{3}{4}\frac{k}{\xi}H^2 + k'\alpha\xi \end{aligned} \tag{9}$$

t=0 でξ=0 の境界条件の下、微分方程式を解くと、

$$\xi = \sqrt{\frac{3}{4}\frac{kH^2}{\alpha k'}\left\{\exp\left(\frac{10}{3}\frac{\alpha k'}{\lambda H}t\right)-1\right\}} \tag{10}$$

なお，k’をゼロに近づけると、以下の式形となり、外水位の浸透を考えた内田茂男の式と一致する。

$$\xi = \lim_{k'\to 0}\sqrt{\frac{3}{4}\frac{kH^2}{\alpha k'}\left\{\exp\left(\frac{10}{3}\frac{\alpha k'}{\lambda H}t\right)-1\right\}} = \sqrt{\left(\frac{3}{4}\frac{kH^2}{\alpha k'}\right)\left(\frac{10}{3}\frac{\alpha k'}{\lambda H}t\right)} = \sqrt{\frac{5}{2}\frac{kHt}{\lambda}} \tag{11}$$



図Ⅱ-7-7　河川水と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標ｔ＊の導出における各変数の定義

以上より、浸潤線のフロント位置ξは次のように表現される。

降雨鉛直浸透を考慮した場合の浸潤線フロント位置：

$$\xi = \sqrt{\frac{3}{4}\frac{kH^2}{\alpha k'}\left\{\exp\left(\frac{10}{3}\frac{\alpha k'}{\lambda H}t\right)-1\right\}} \tag{12}$$

外水位のみを考慮した場合の浸潤線フロント位置：

$$\xi_0 = \sqrt{\frac{5}{2}\frac{kHt}{\lambda}} \tag{13}$$

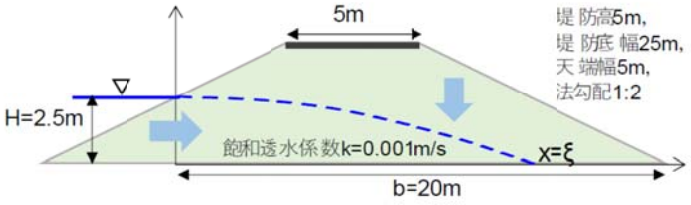
浸潤線フロント位置の時間変化の計算例：

ここで、式(12)を用いた浸潤線フロント位置の時間変化の計算例を示す。

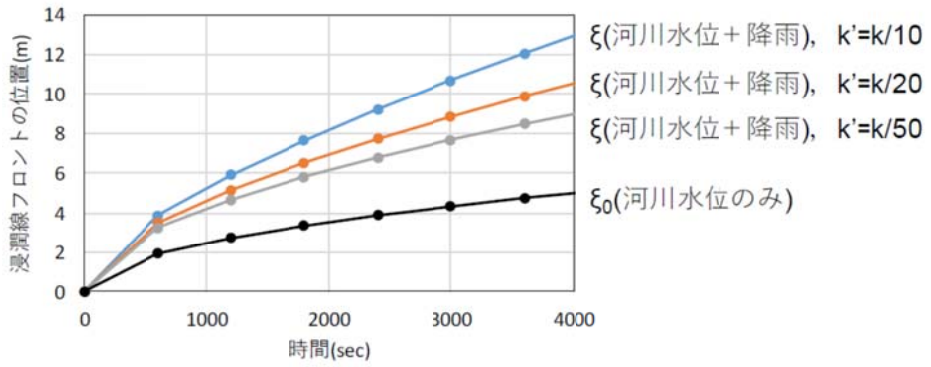
図Ⅱ-7-8 に示す仮想堤防を対象に、河川水位と降雨による外力を考慮した場合の浸透長ξの時間変化を計算した。図Ⅱ-7-9 は、不飽和透水係数を、飽和透水係数の 1/10、1/20、1/50 とした場合の結果を示している。これより、以下のことが確認できる。

・降雨浸透により、浸潤線の伝わる速度が大きくなる。つまり、裏法先に浸潤線が到達する時間が早くなる。

・飽和透水係数 k’の値によって、浸潤線の伝わる速さが異なる。



図Ⅱ-7-8　想定した堤防諸元及び計算条件



図Ⅱ-7-9　浸潤線フロント位置ξの時間変化の比較

式(12)において、ξ=b、t=T（浸透時間）とすると、以下の式が得られる。

$$T = \frac{3}{10}\frac{\lambda H}{\alpha k'}\ln\left\{\frac{4}{3}\frac{\alpha k'}{kH^2}b^2 + 1\right\} \tag{14}$$

浸透時間 T と洪水継続時間 t’との比をとることで、河川水位と降雨浸透の影響を考慮した t^*_R が得られる。

$$t^*_R = \frac{t'}{T} = \frac{10}{3}\frac{\alpha k' t'}{\lambda H \ln\left(\frac{4}{3}\frac{\alpha k'}{kH^2}b^2 + 1\right)} \tag{15}$$

k’の考え方：

本検討では、実績降雨（標茶観測点で代表）が、全て堤体内に浸透するとして、鉛直浸透速度（不飽和透水係数 k’）を求めるものとした。具体的な設定方法を以下に示す。

ある時点での累加雨量が V_r であったとする。この量が浸透時間 T の間に堤体内に浸透するとすれば、降雨流入量 q_r は以下のように表される。

$$q_r = k'S = V_r S/T \tag{16}$$

これを整理すると，浸透時間と k’の関係が得られる。

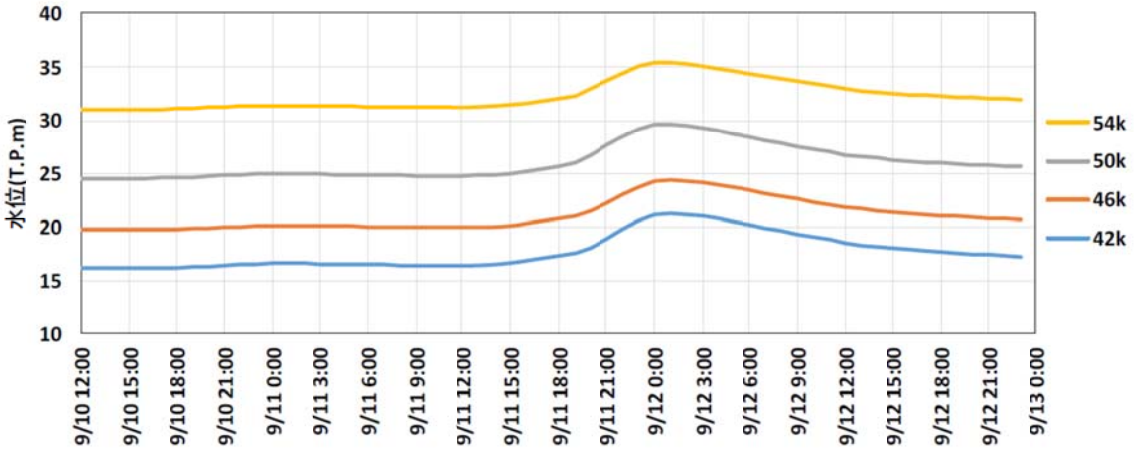
$$T = V_r/k' \tag{17}$$

本検討では、式(14)で得られる T と、この値とが一致するような k’を求め，これを不飽和透水係数値とした。

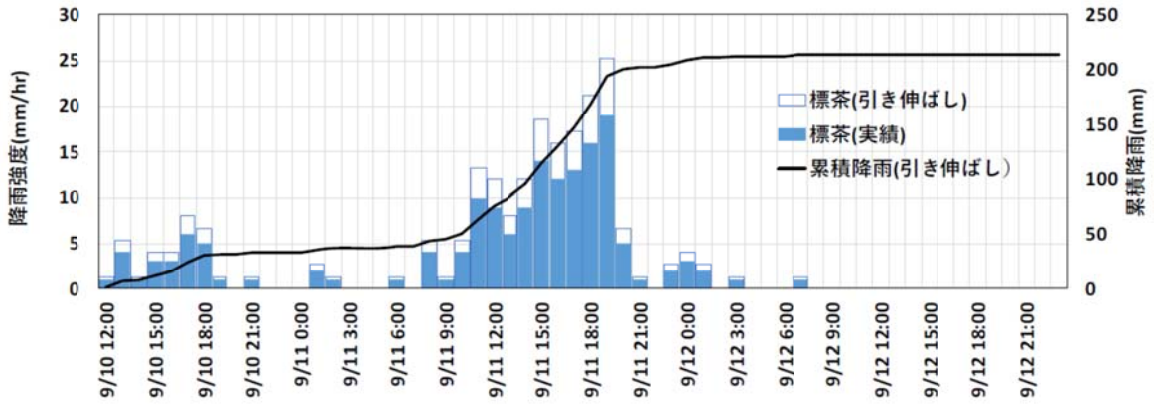
7-2-2　降雨・外水浸透に対する堤防脆弱性指標 t*算出の計算条件

図Ⅱ-7-10、図Ⅱ-7-11 に検討に用いた水位ハイドログラフ、降雨ハイエトグラフを示す。

水位データには、前述の検討と同様、現況河道の H-Q 換算値を用いた。また，降雨データは平成 4 年 9 月のハイエトグラフを基に，計画規模まで引き伸ばしたものを与えた。



図Ⅱ-7-10　検討に用いた釧路川の水位ハイドログラフ（4km ピッチで出力した例）



図Ⅱ-7-11　検討に用いた降雨ハイエトグラフ（標茶観測点の降雨で代表）

7-2-3　降雨・外水浸透に対する堤防脆弱性指標 t*の算出結果

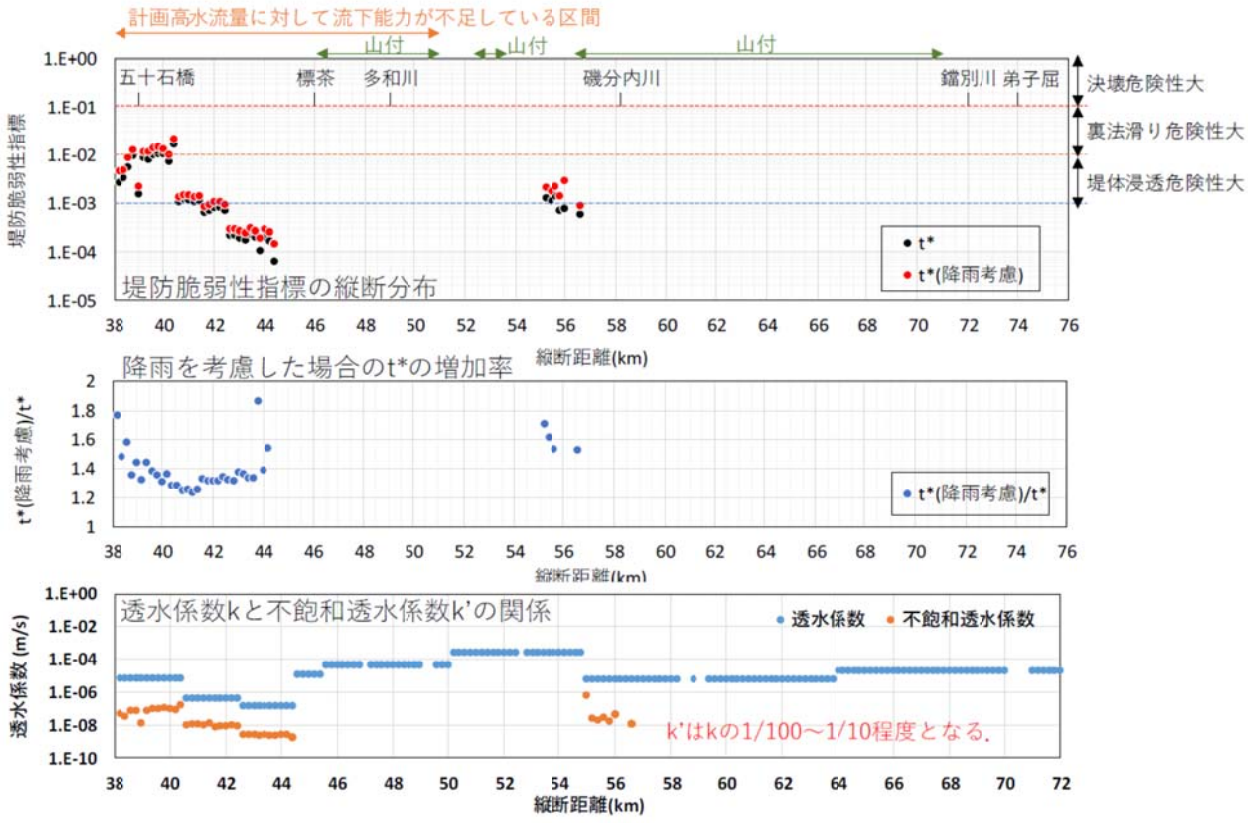
図Ⅱ-7-12(1)に河川水位と降雨による外力を考慮した堤防脆弱性指標ｔ*の算定結果を示す。図の中段には、降雨を考慮することによるｔ*の増加率、下段には、透水係数ｋと不飽和透水係数ｋ’の比較を併せて示す。

・河川水位だけでなく降雨外力も考慮したｔ*算定法を提示し、釧路川に適用した。この結果、河川水位のみを考慮した場合に比べてｔ*の値が 1.2～1.8 倍程度増大し、堤体浸透破壊に対する危険性がやや高まる傾向を表現できることが分かった。ただし、ｔ*値は堤防決壊の危険性が高まる領域（ｔ*>0.1）には達しないことが確認された。
・本検討では、鉛直浸透を不飽和透水係数ｋ’で代表し、実績降雨量が全量浸透するとしてｋ’を設定している。この結果、不飽和透水係数は、飽和透水係数ｋの 1/10～1/100 程度となった。

【右岸堤防】

降雨浸透を考慮したｔ*値（赤プロット）は、河川水位のみを外力としたｔ*値よりも大きくなるが、その増加率は概ね 1.2～1.8 倍程度である。

右岸 42～44.2k を除く区間でｔ*が 0.001 を超えることから、計画洪水時においては堤体浸透に伴う被災発生の危険性が高いと判断される。ただし，降雨の影響を考慮したとしても、ｔ*の最大値は右岸 38～40.4k で 0.01 程度（裏法滑りの危険性大の領域）であり、堤防決壊危険性が大きくなるｔ*値の範囲（t*>0.1）には達しない。

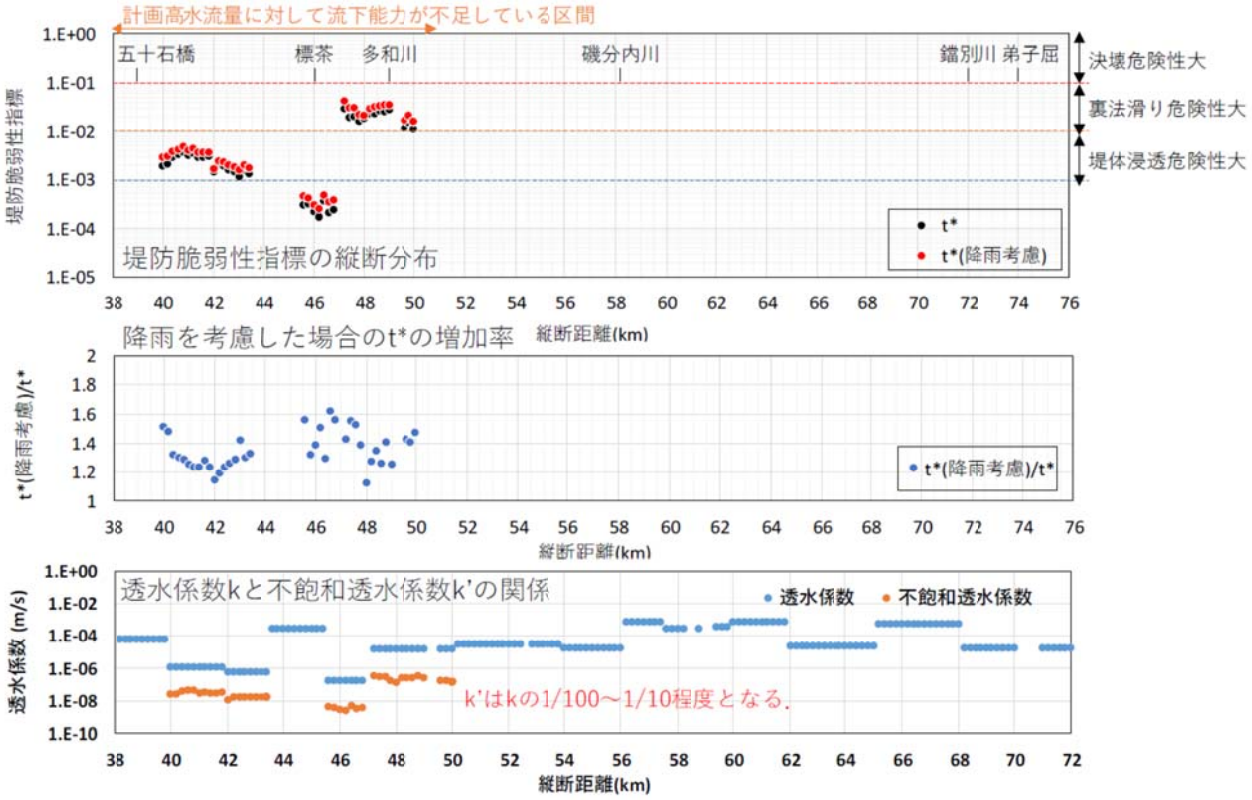


図Ⅱ-7-12(1)　河川水位と降雨による外力を考慮した堤防脆弱性指標ｔ*（右岸堤防）

【左岸堤防】

降雨浸透を考慮したｔ*値（赤プロット）は，河川水位のみを外力としたｔ*値よりも大きくなるが、その増加率は1.2～1.6倍程度である。

左岸堤防では、45.6～46.8kを除く区間でｔ*が0.001を超えることから、計画洪水時においては堤体浸透に伴う被災発生の危険性が高いと判断される。ただし，右岸堤防と同様、降雨の影響を考慮したとしても、ｔ*の最大値は，堤防決壊危険性が大きくなるｔ*値の範囲（ｔ*>0.1）には達しない。



図Ⅱ-7-12(2)　河川水位と降雨による外力を考慮した堤防脆弱性指標ｔ*（左岸堤防）

8. 大雨に強い堤防整備手法の検討

8-1　堤防天端の排水方法の検討

平成 26 年、28 年に発生した堤防法面被災は、堤防法面が 2 割勾配の部分に、堤防天端に降った雨水の集中や堤防法面への雨水の直接浸透によって、堤体表層の火山灰質でシルトを多く含む粘性土が崩壊したことから、雨水の量と法面土質、法面勾配の影響が被災の要因として大きかったと考えられる。

また、平成 28 年 8 月のように、堤防の川裏法面に対しては、長時間継続する洪水で堤体内の浸潤面が上昇する前に、降雨が原因で堤防の川裏法尻が変状してはならないことにも留意しなければならない。そのため、堤防の川表と川裏法面の降雨に対する安定性が確保されていない法勾配が 2 割の釧路川の堤防では、法面崩壊など、堤防の被災の機構を考慮した堤防断面の検討が必要である。

雨水の流れが堤防天端の不陸箇所に集中することを完全に排除することは困難であるが、巡視による堤体の監視に加え、堤防天端の不陸度合いに応じて必要に応じて不陸の是正などを検討することが重要である。

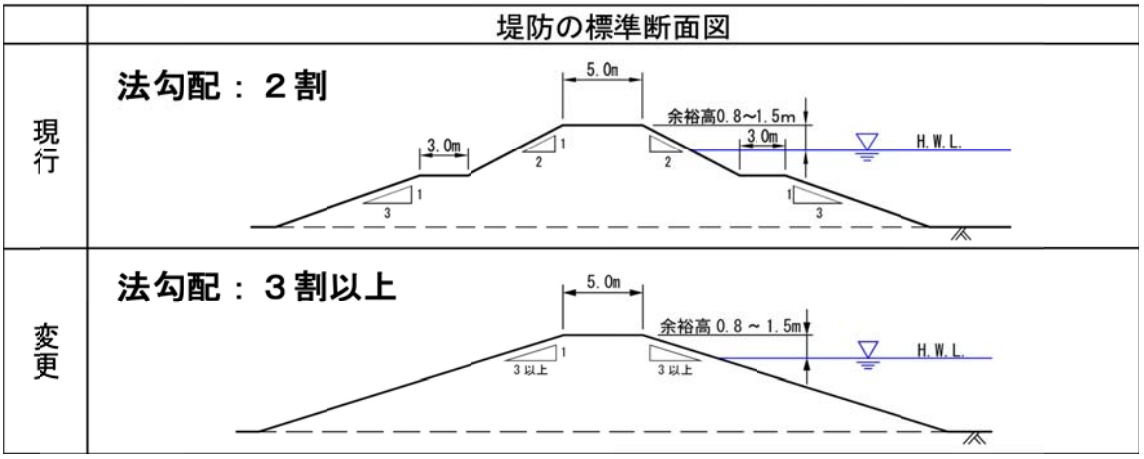
8-2　釧路川の特性を活かした堤防整備手法の提案

「5-2　堤防強化工法の検討」で安全な堤防断面を検討した結果、堤防の川表法勾配を3割とすることで安全率を満足することできた。また、堤防の川裏法面も必要安全率を満足することができたことから、釧路川では堤防を3割以上の緩傾斜化が必要である。

なお、釧路川では、今後、高水敷の河道掘削を実施して流下能力不足の解消を図る予定であり、河道掘削により発生する粘性土を活用した堤防の整備がコストの面からも効率的である。堤防整備の実施に当たっては、流域内で確保できる砂質土などを用いる他、掘削発生土の利用を含めて十分検討した上で施工することが重要である。

また、堤防天端の不陸箇所に、雨水の流れが集中することにより法肩や法面が被災する危険性が高まる他、堤防天端の不陸箇所は、洪水時の越流により破堤リスクが高くなることにも留意すべきである。このため、捷水路掘削や堤防整備の治水事業変遷などによって生じた旧河道の把握、可能な限り現況堤防基盤の簡易調査や堤防天端高さの把握に努め、堤防天端がアスファルトで舗装されている箇所ではオーバーレイによる不陸の是正などを検討するなど、必要な監視、維持管理を行うべきである。

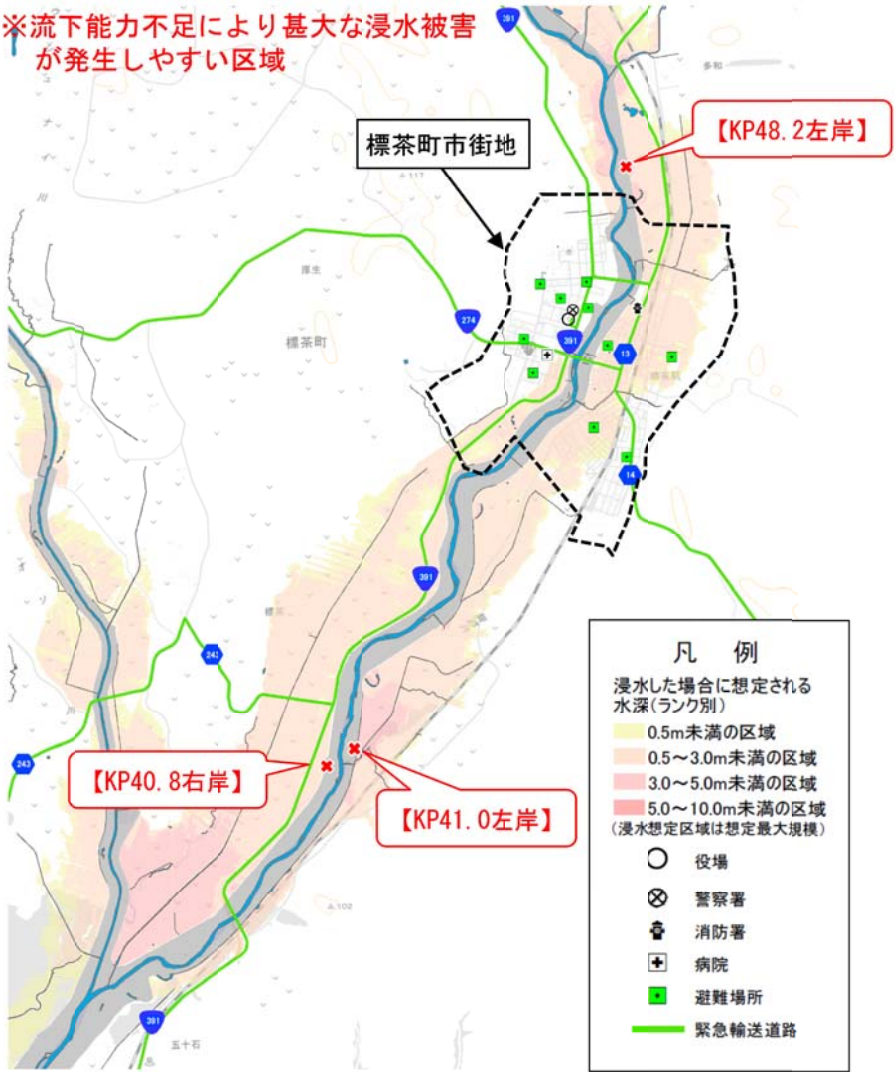
そして、堤防天端の高さが周りに比べての低い箇所など河川状況の把握などに留意した河川の管理に加え、堤防からの氾濫による水害リスクの状況を考慮した河川整備実施など河川及び流域の状況に応じた取り組みが重要である。



図Ⅱ-8-1　降雨に対する安全性確保を目的とした対策

8-3　水害リスクに対応した川づくり

釧路川の標茶町市街地下流部や、標茶町市街地上流部では、流下能力が不足しており、「7-2　降雨・外水浸透に対する堤防の破壊危険確率の算定」の検討結果より、堤防脆弱性指標ｔ*も増大している。特に標茶町市街地上流部の対策は、上下流バランスを考慮した上で早急に堤防の緩傾斜化を含めた河川改修を行うことで、降雨や外水に対する安全度を向上させ、流域の水害リスクを低減する必要がある。



図Ⅱ-8-2　洪水浸水想定区域図（計画規模）

参考文献

2.釧路川流域と堤防被災の概要

・北海道開発局：釧路川水系河川整備計画（国管理区間），平成 19 年 12 月

・北海道開発局釧路開発建設部：釧路川出水記録（速報），平成 28 年 8 月

・釧路川堤防調査検討会：釧路川の堤防法面被災に係る報告書（案），平成 28 年 10 月

3.現地調査と被災（平成 30 年調査）

・国土地理院、防災地理課：治水地形分類図 解説書，平成 27 年 8 月

4.実物大の現地堤防実験

・釧路川堤防調査検討会：釧路川の堤防法面被災に係る報告書（案），平成 28 年 10 月

・山村和也，久楽勝行，川口丸尾：降雨実験からみた斜面の安定解析方法，土木技術研究資料，Vol15，No.3，1973

7.堤防破壊危険確率縦断分布と降雨外力を考慮した堤防脆弱性指標

・一般財団法人国土技術研究センター：浸透に係る重要水防箇所設定手順（案），平成 31 年 3 月

・国土技術政策総合研究所河川部河川研究室：河川堤防の浸透に対する安全性の詳細点検結果情報

・田端幸輔，福岡捷二，瀬﨑智之：超過洪水時における堤防破堤確率評価手法に関する研究，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.71，No.4，I_1273-I_1278，2015.2.

・上村・福岡・田端：平成 27 年 9 月鬼怒川大洪水時における堤体浸透被害と透水性基盤を考慮した

・堤防脆弱性指標 t*m との関係，第 72 回年次学術講演会，Ⅱ-011，pp.21-22，2017.

・内田龍彦,福岡捷二:構造物を越流する流れの解析法の開発,河川技術論文集,第 18 巻,pp.351-356，2012.

・水谷英朗，中川 一，與田敏明，川池健司，張浩：砂質堤防越水時の浸透とすべり破壊を考慮した越流破壊解析法の検討，京大防災研年報，pp.459-469，2013.

・一般財団法人国土技術センター：河川堤防の構造検討の手引き，2012.

・内田茂男：自由境界を有する非定常浸透流について，土木学会誌，pp.58-62，1952.

・河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），財団法人国土技術研究センター，2012.

・星谷 勝，石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版社，1986.

・河原田礼次郎：非定常浸透流動の水理的相似律について，鹿児島大学農学部学術報告，第 5 巻，pp.115-117，1956.

・中村 充：浸透水運動の基礎理論(IV)模型実験理論，農業土木研究第 25 巻，第 6 号，pp.365-369，1957.

・G. L. Corey, A. T. Corey and R. H. Brooks; Similitude for non-steady drainage of partially saturated soils,

・Hydrology Papers 9, Colorado State University, 1965.

・福岡捷二，田端幸輔：堤体基礎地盤の透水性・堤防強化対策を考慮した堤体内非定常浸潤線解析法の開発と堤防破壊危険確率の低減効果の見積りに関する研究，河川技術論文集，第 22 巻，pp.261-266，2016.
・Hazen, Allen: Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration,Massachusetts State Board of Health, 24th Ann. Rept., pp.539-556, 1892.
・W.P.Creager, J.D.Justin and J.Hinds ： Engineering for Dams, Vol. III., John Wiley & Sons, 1945.
・石原雅規・平林学・吉田直人・佐々木哲也：圧密非排水三軸試験による強度定数と標準貫入試験及び物理試験結果の関係，第 58 回地盤工学シンポジウム，pp.211-216，2013.
・独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム：浸透に起因する河川堤防の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，平成 27 年 2 月.
・谷 誠：一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性，日林誌，64(11)，p.409-418，1982.
・Fetter, C. W. Applied Hydrogeology. 3rd ed. New York: Macmillan, 1994.

釧路川堤防技術検討委員会　事務局

釧路開発建設部治水課	石澤　　肇	治水課長
	川岸　秀敏	流域計画官
	八十嶋邦英	治水専門官
釧路河川事務所	渡邉　和好	所長
	坂井　一浩	河川課長
	大野　智樹	治水専門官

（役職は平成 31 年 3 月現在）