2019/01/29
平成30年度　第13回十勝川千代田実験水路等アドバイザー委員会
平成30年度　第19回十勝川千代田実験水路等検討会

資料1

H30千代田実験水路における堤防決壊実験

○堤防決壊現象の把握

○新しい観測技術の実証

・物理探査による堤防内浸透状況の把握（北海道大学・北見工業大学）
・ドローン搭載型電波式流速計・水位計を用いた氾濫流量の計測（土木研究所）

国土交通省北海道開発局
（国研）土木研究所寒地土木研究所

○堤防決壊現象の把握

○新しい観測技術の実証

・物理探査による堤防内浸透状況の把握（北海道大学・北見工業大学）
・ドローン搭載型電波式流速計・水位計を用いた氾濫流量の計測（土木研究所）

0. 目的～平成28年8月北海道において発生した災害を受けて

H28北海道における災害では、越水と河岸侵食による堤防決壊や護岸の被害が数多く発生

・決壊口から氾濫流がある中で緊急締切工事等を行った事例を対象に河川管理者・災害対応業者への聞き取りを行い課題を抽出

→①H29に重機作業の効率化実験を実施し、現場の緊急対策工事の効率化に資する資料の公開

本資料はここ

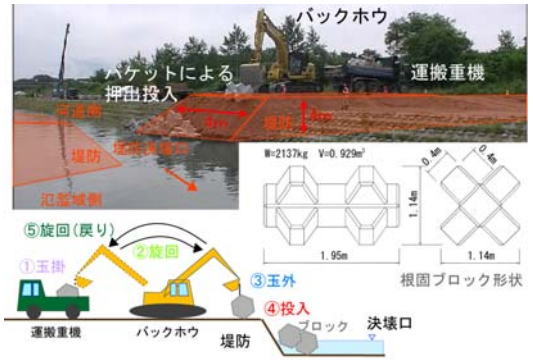
・越水堤防決壊は土質等の違いにより決壊まで至らなかった事例もあり

→②H30に粘性土を対象とした越水堤防決壊実験を実施し、土質相違によるメカニズムの理解

・河岸侵食が堤防まで到達した事例、高水敷に水が乗り上げ護岸背面を侵食した事例

・堤防決壊には至らなかったものの、堤防と護岸の両方が被災した事例

→③河岸侵食対策については調査・分析、模型実験等により検討を進めている

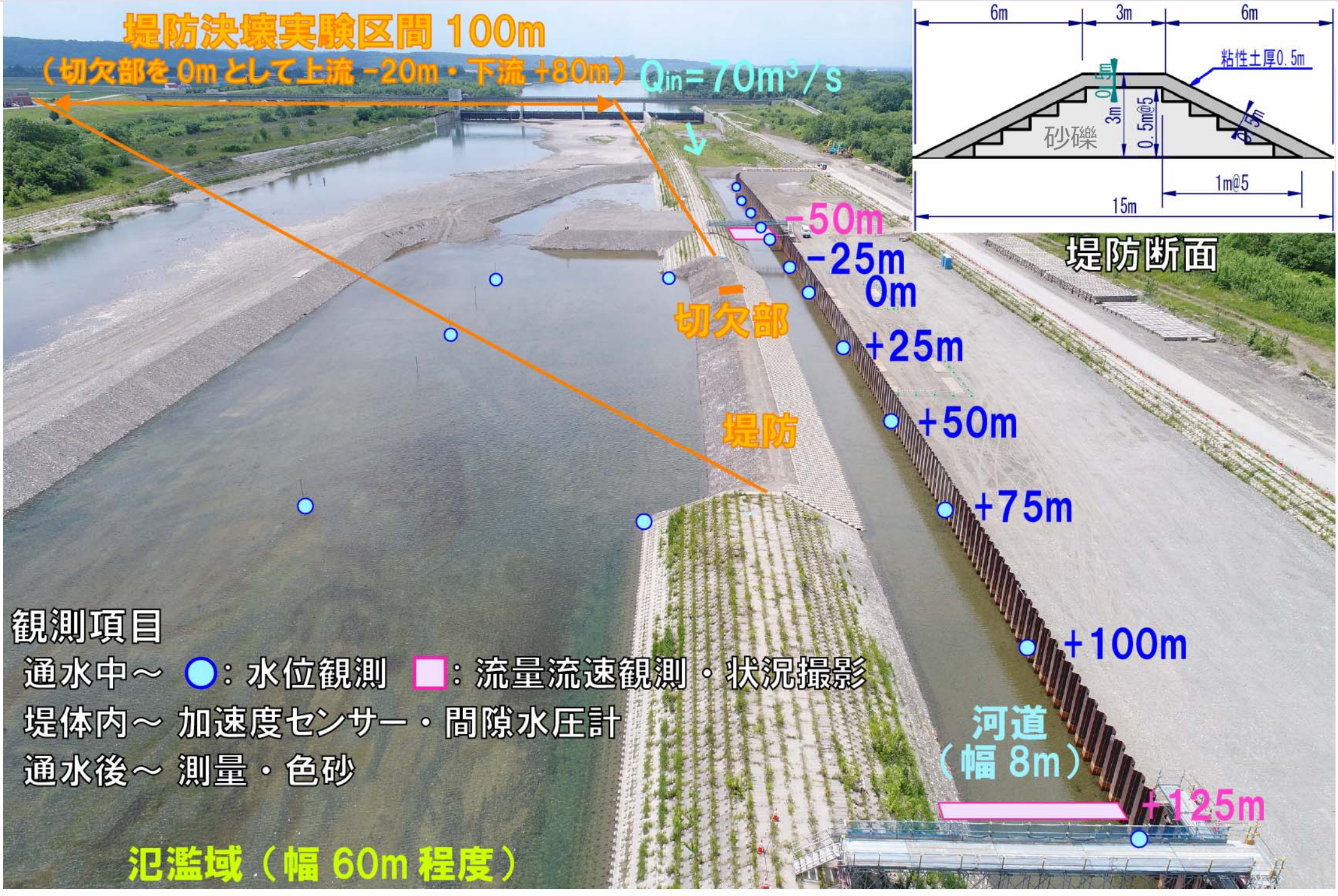


①H29重機作業実験状況

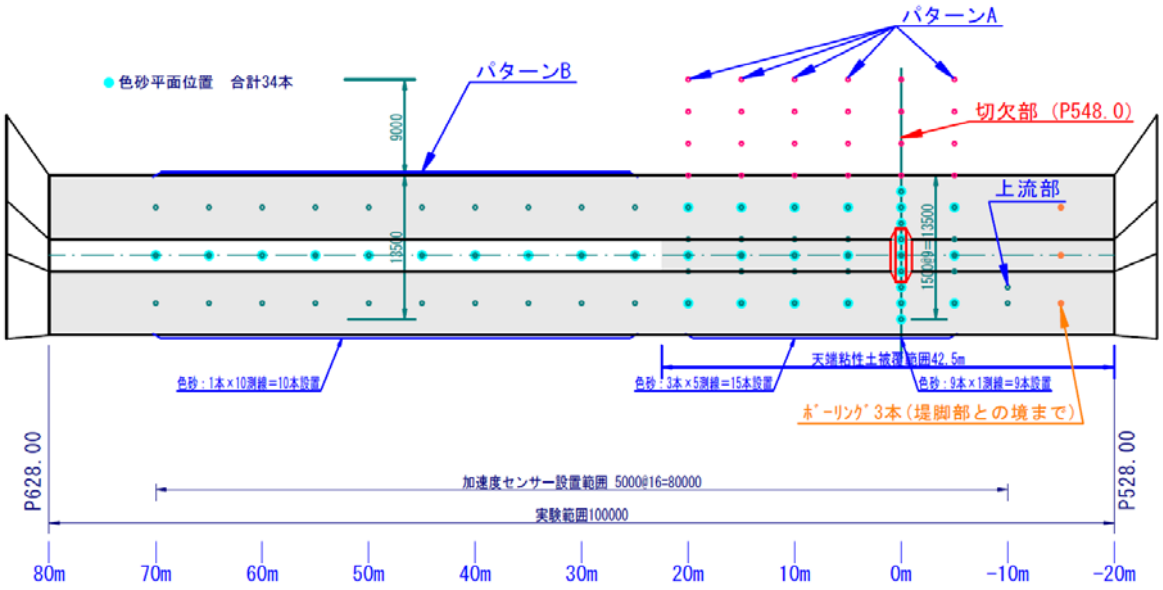
②常呂川の堤防被災状況（左：柴山沢川の決壊、右：常呂川の裏法崩れ）

1. 実験概要

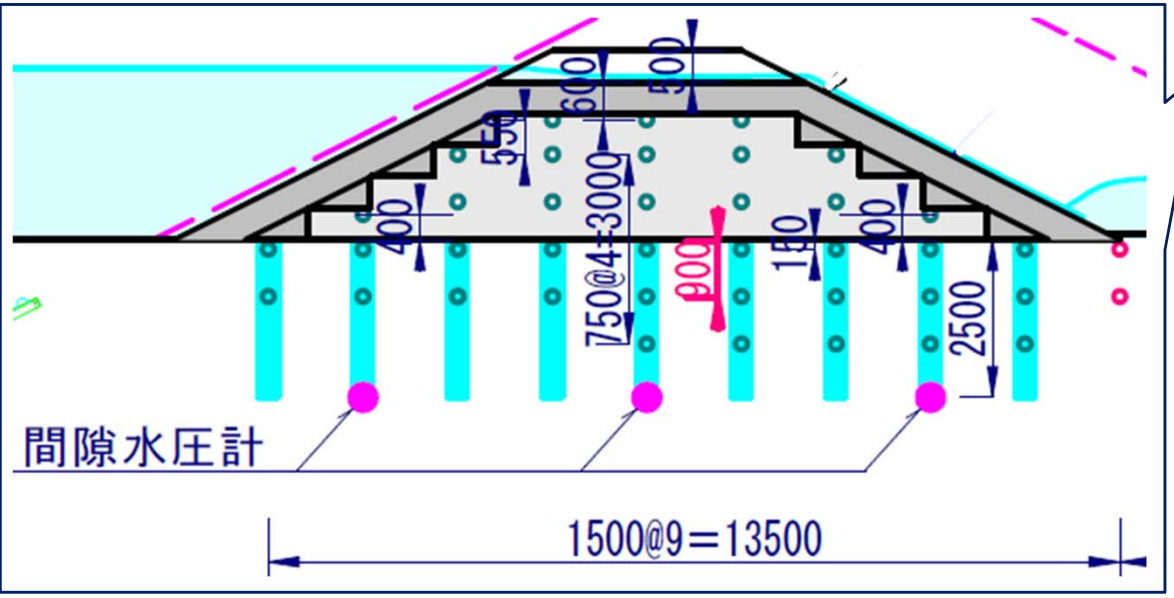
1-1. 実験概要(全体)


堤防決壊実験区間 100m
(切欠部を 0m として上流 -20m・下流 +80m)
Qin=70m³/s
-50m
-25m
0m
+25m
+50m
+75m
+100m
+125m
切欠部
堤防
河道
(幅 8m)
氾濫域(幅 60m 程度)
観測項目
通水中～ ●: 水位観測 ■: 流量流速観測・状況撮影
堤体内～ 加速度センサー・間隙水圧計
通水後～ 測量・色砂
6m
3m
6m
粘性土厚0.5m
3m
0.5m@5
1:5
砂礫
1m@5
15m
堤防断面

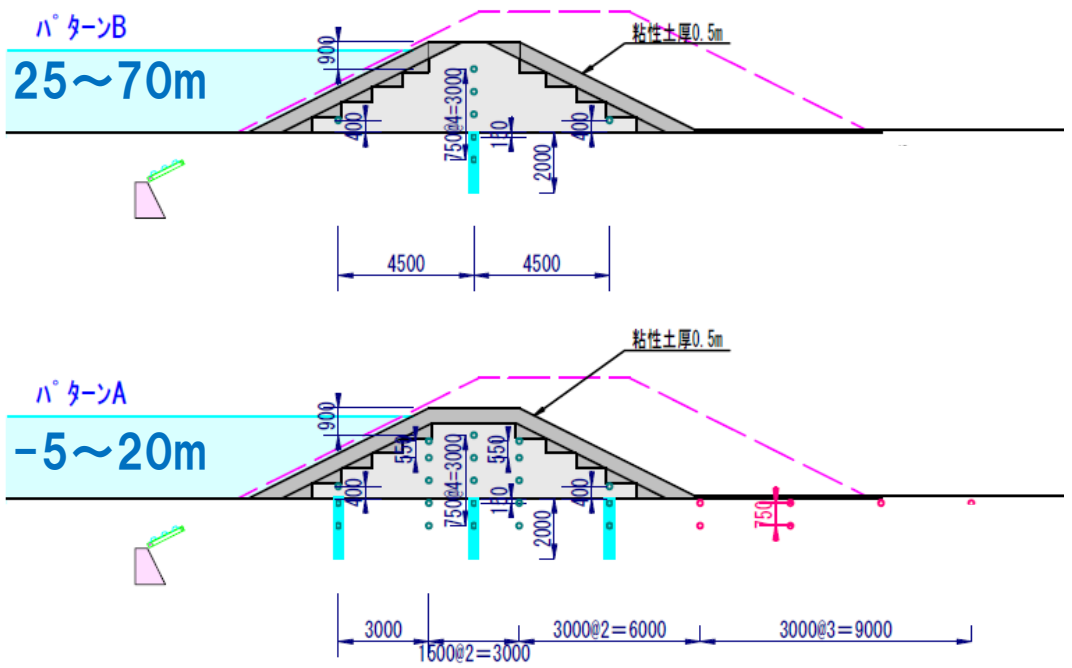
1-2. 堤体内部の観測（加速度センサー・間隙水圧計）

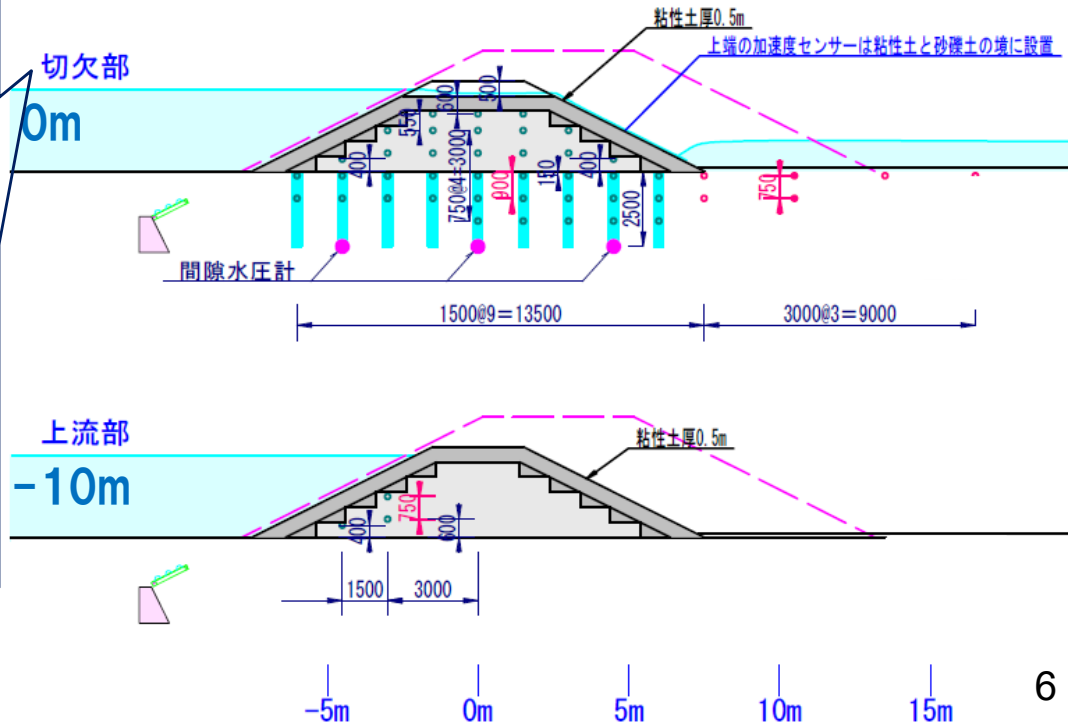


切欠位置を0mとして、下流方向をプラス、上流方向をマイナス



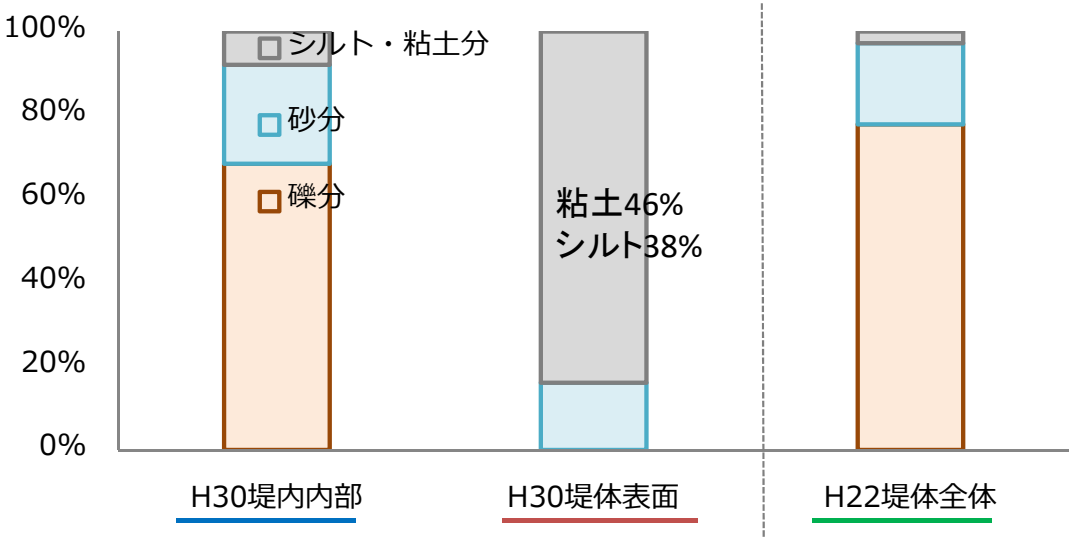
切欠部拡大





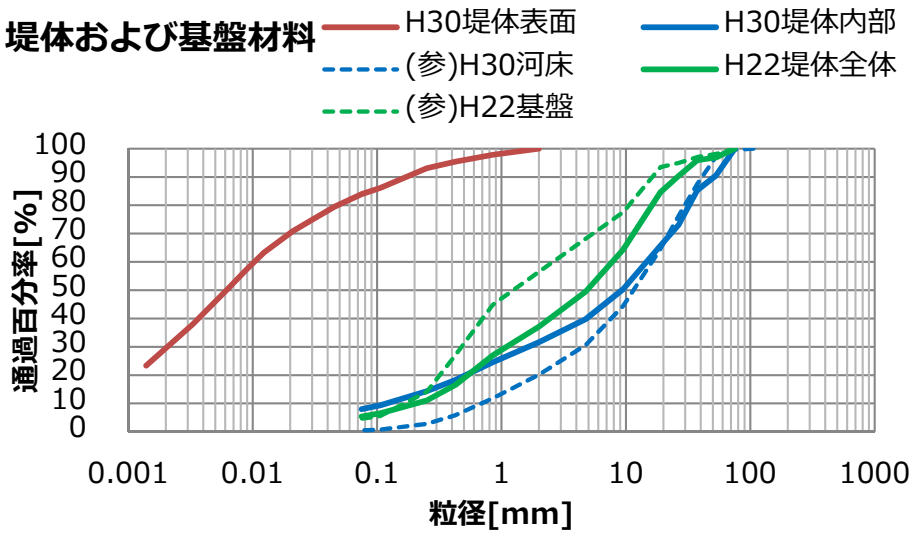
1-3. 堤体材料

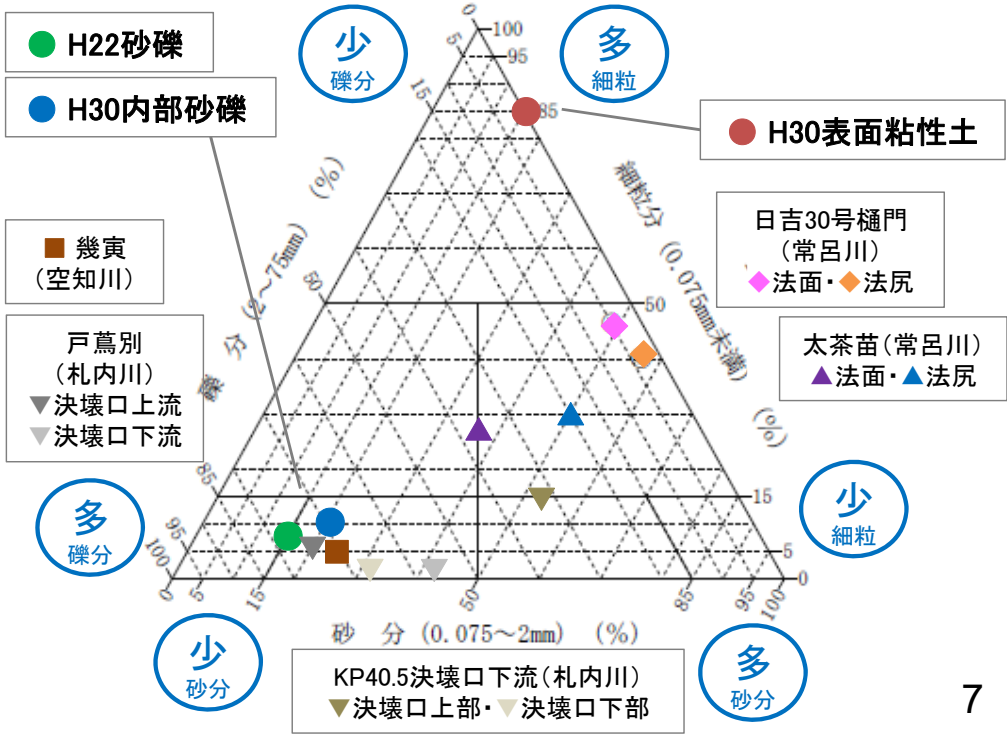
堤体材料の比較



分類	粘性土まじり砂質礫（GS-Cs）	砂まじりシルト（高液性限界）（MH-S）	粒径幅の広い砂質礫（GWS）
密度[g/cm3]	2.68	2.61	2.70
透水係数[m/s]	3.81E-05	3.56E-06～7.46E-10	3.40E-02
液性限界[%]	26.8	68.1	
塑性限界[%]	18.9	33.5	
塑性指数	7.9	33.6	

【参考】

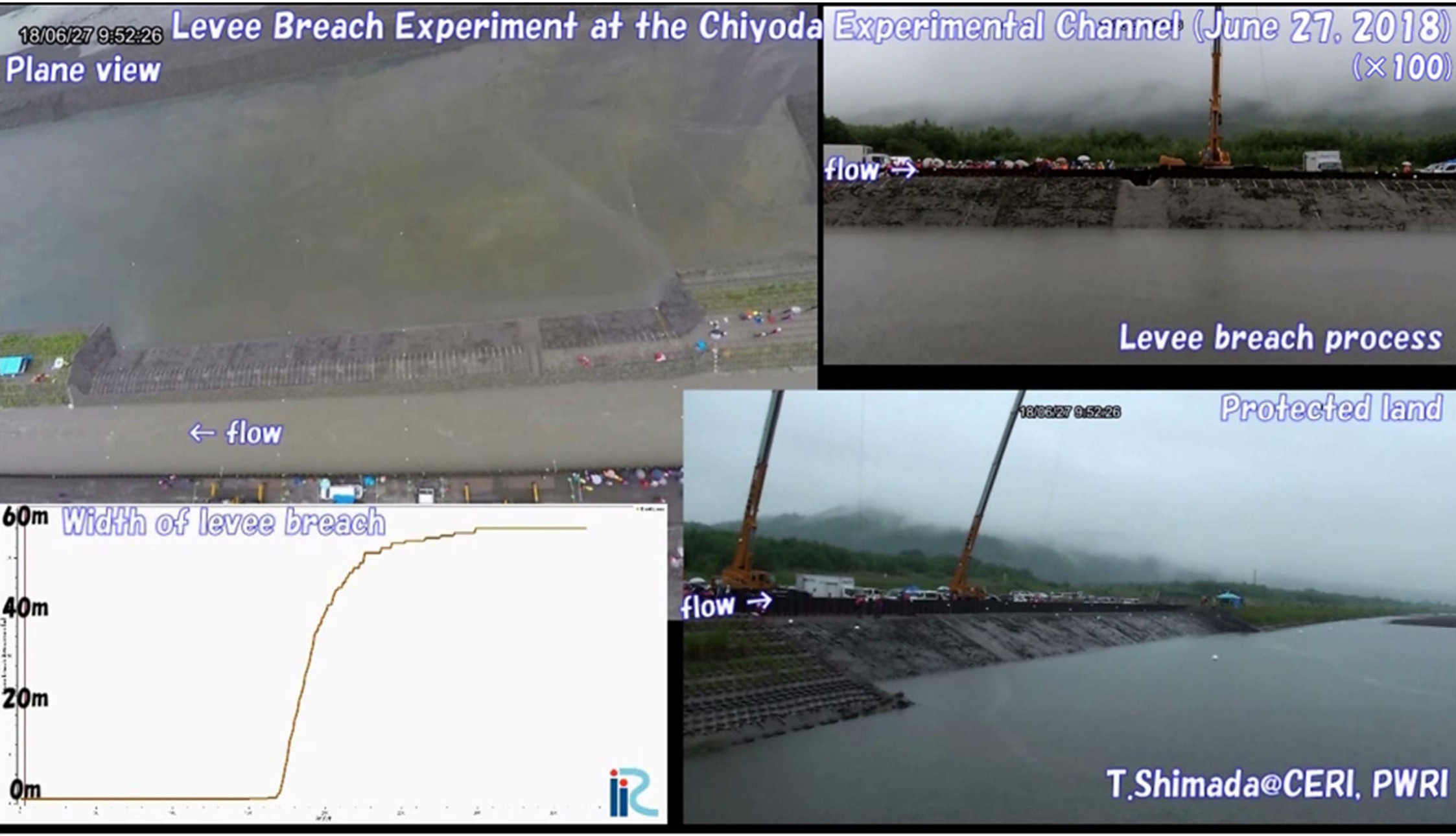




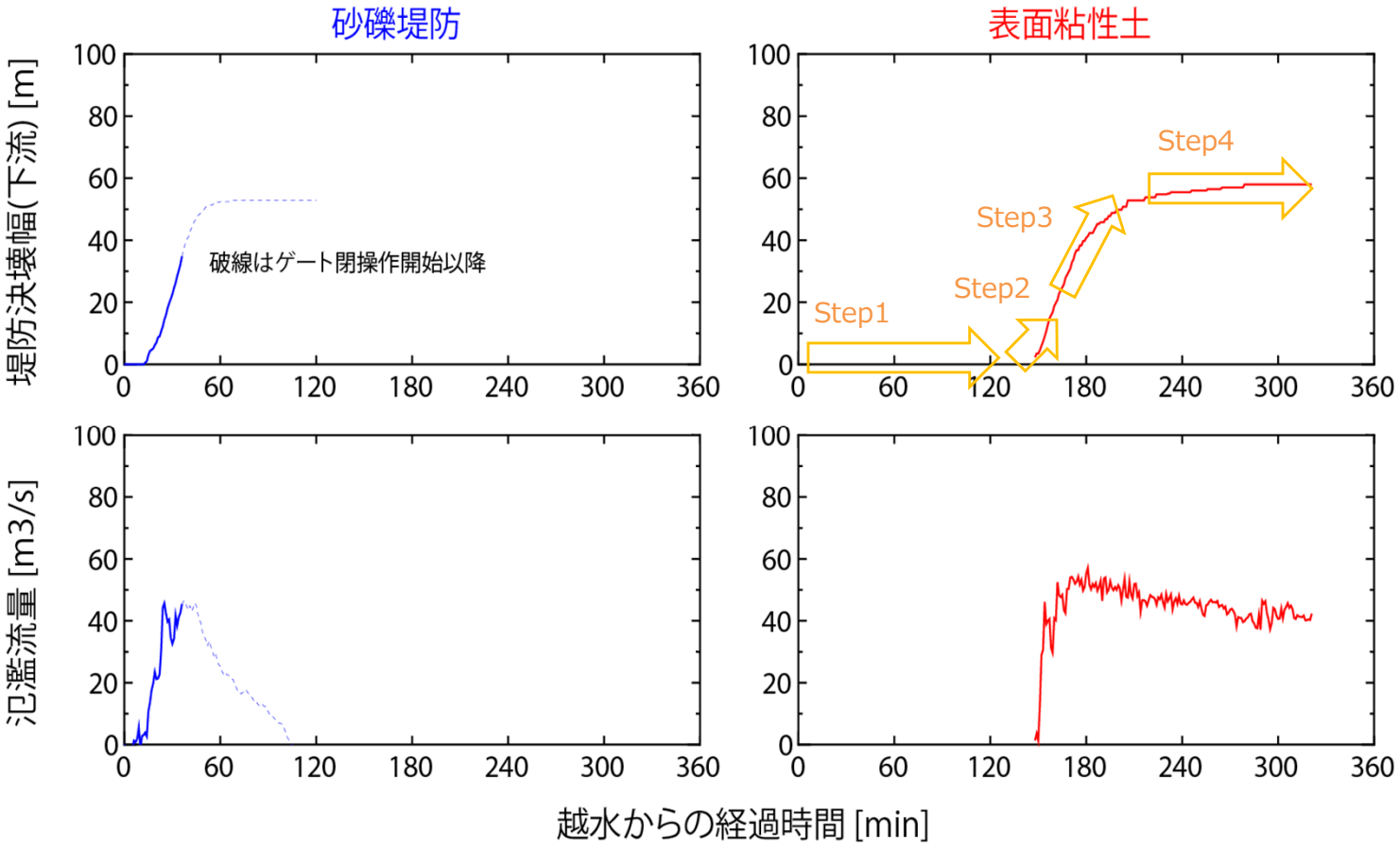
2. 実験結果（全体概要）

2-1. 実験状況(H22砂質礫)

2-1. 実験状況(H30表面:粘性土・内部:砂質礫)



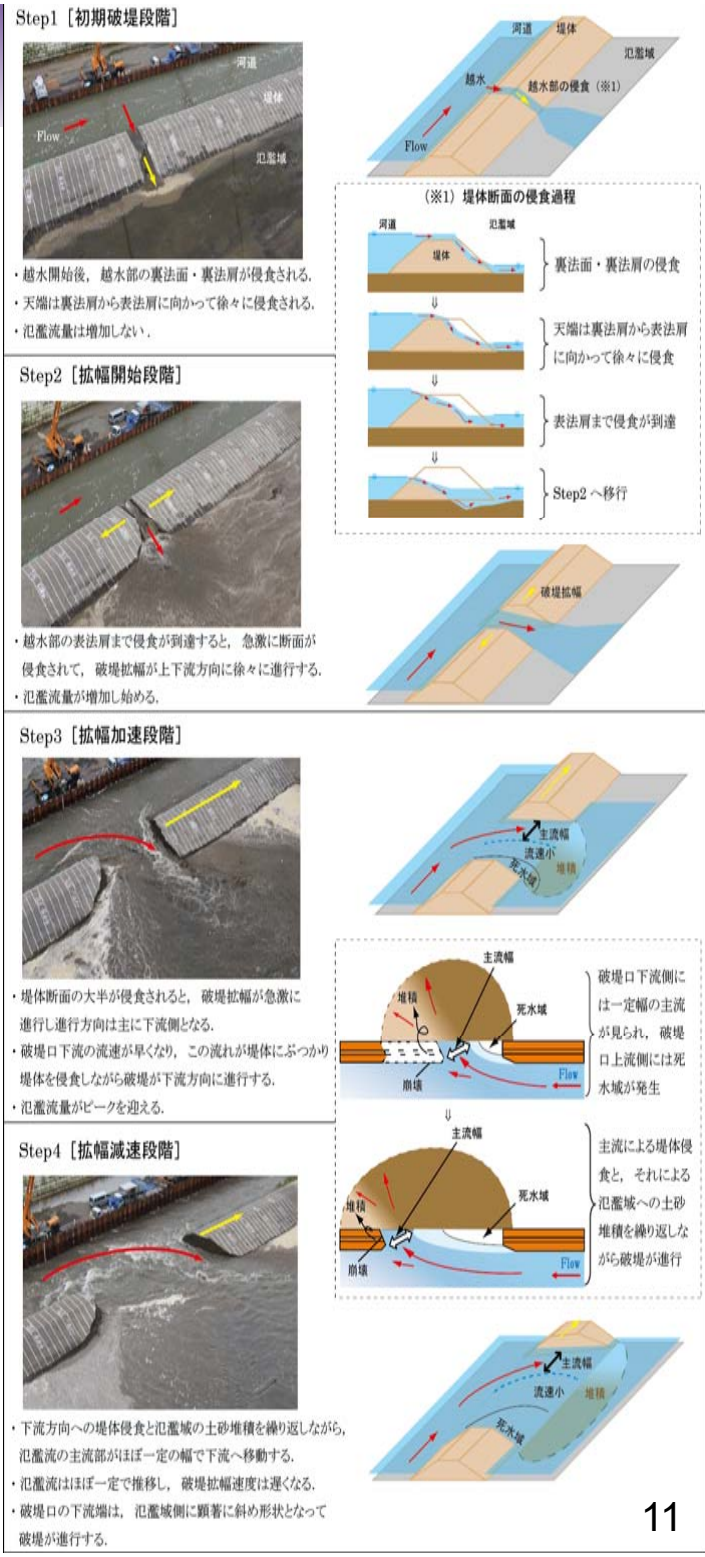
2-2. 時系列比較(決壊幅・氾濫流量)



- Step1～4のプロセスを経て現象が進行（右図参照）
- 越水から決壊拡幅開始までに要した時間を比較すると、
  砂礫堤防は約20分、表面粘性土は約150分

- 一方で拡幅が始まると急激に拡幅進行し、氾濫流量も増加
- 拡幅速度は砂礫堤防、表面粘性土堤防ともに同程度

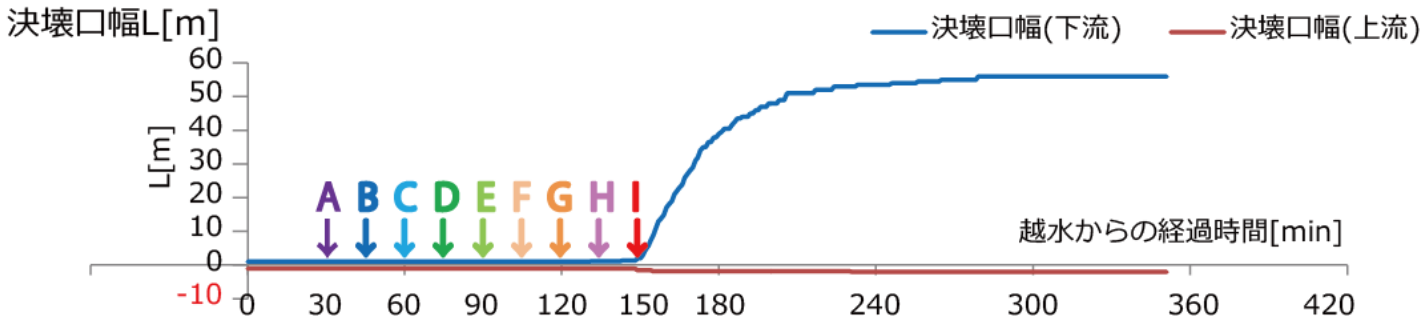
- 以降では越水から拡幅開始までを対象に整理



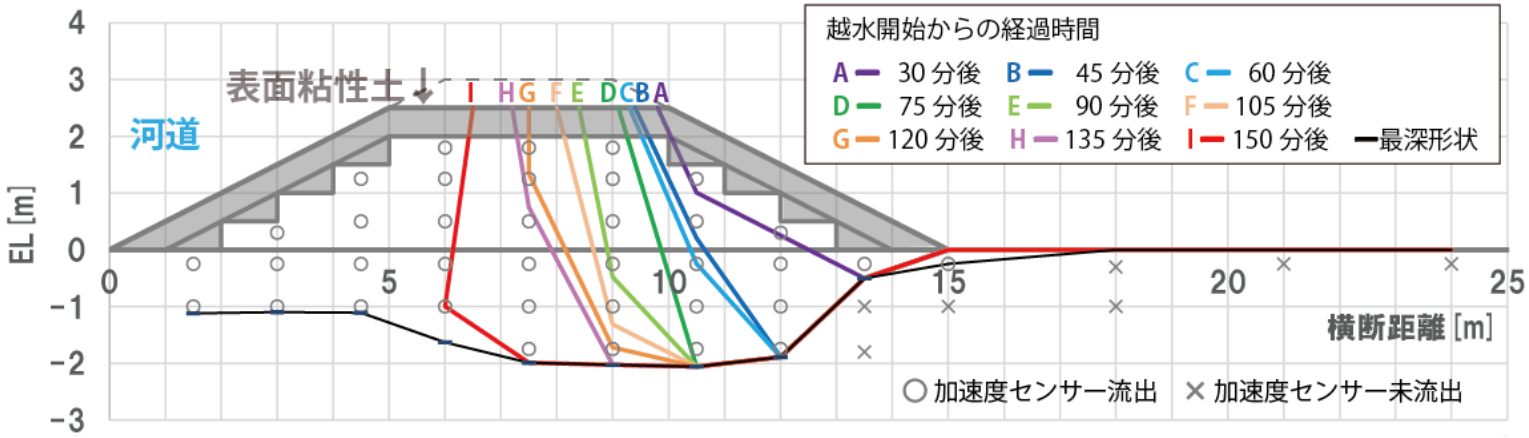
3. 実験結果（越水から決壊拡幅開始まで）

3-1. 切欠部形状(時系列変化)

堤防決壊口幅の時系列変化



切欠部における横断面形状の時系列変化 (加速度センサー：内部崩壊、ビデオ：天端後退、色砂：最大洗掘より推定)



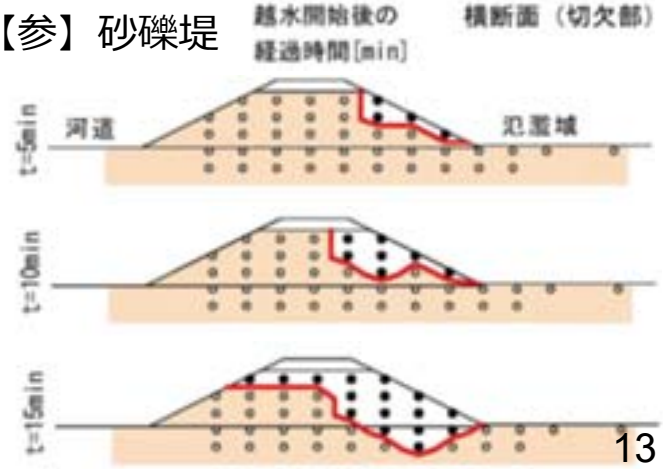
【参】崩壊時間の詳細（数値は越水開始からの経過時間[min])

：内部砂礫　：表面粘土　：欠測等のため周辺からの推定値

数値は越水からの経過時間[分]

				151.2	115.4	79.5				
			150.6	151.1	120.8	80.2	27.5			
		151.3	151.2	151.4	142.0	83.6	35.3	23.4		
	153.5	151.7	151.5	149.0	143.0	88.5	60.2	35.4	19.3	153.1
	155.3	152.5	151.9	149.2	145.0	93.4	62.9	35.1	×	×
					148.7	121.0	74.0	38.2	×	

【参】砂礫堤



3-1. 切欠部形状(時系列変化)

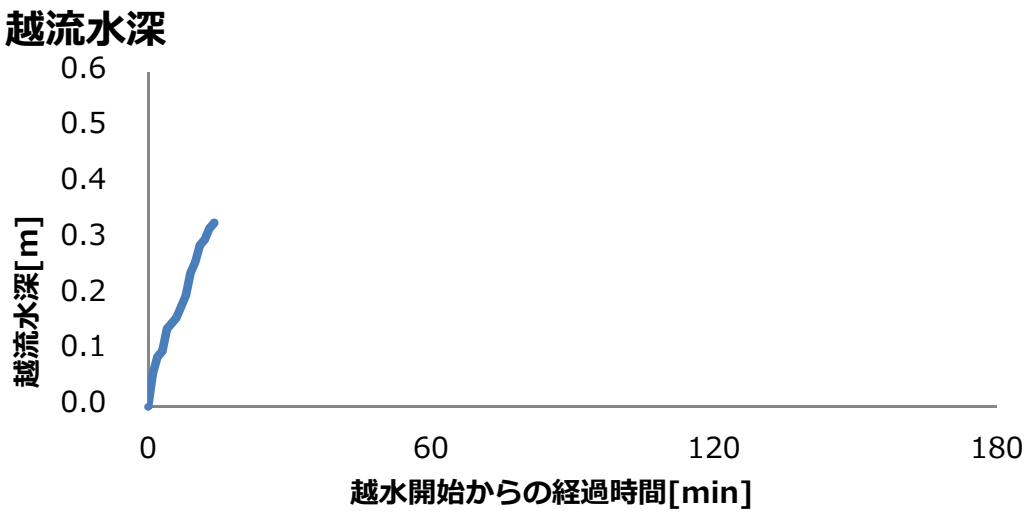
A：越水から20分後には裏法尻、30分後には裏法面全体において砂礫部分まで侵食。砂礫堤防ではこの段階に到達するまで5分程度であり、堤体が粘性土の場合、越流水による侵食速度は遅くなる。

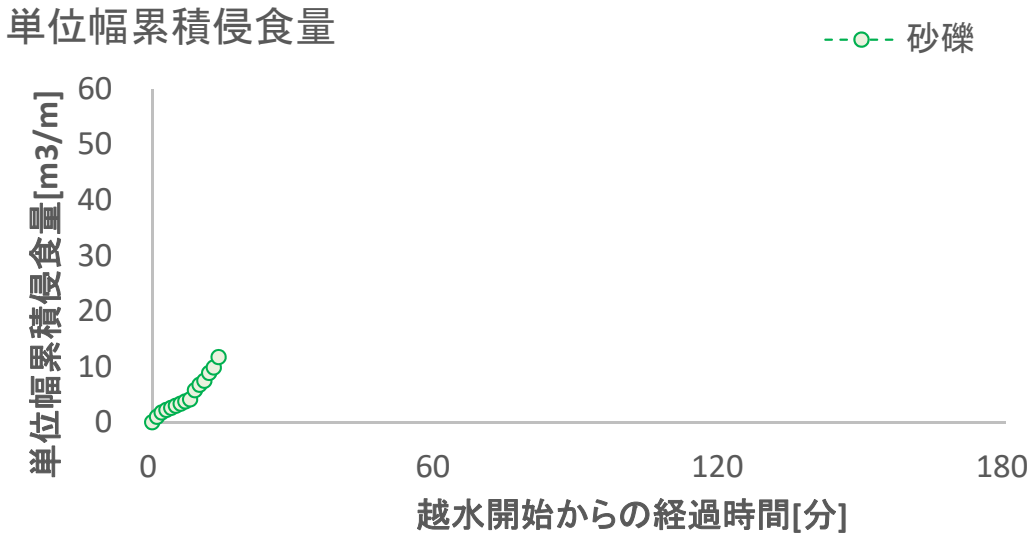
B・C ・D ：裏法面から天端崩壊過程に移行。天端の後退よりも基盤の侵食が顕著である。映像からも越流水が天端から落下するように流れ、基盤が侵食されていたと考えられる。

E・F・G・H・I：以降も同様のプロセスを経て、堤体が切り立った形状で徐々に河道側へ後退している。なお後退過程において、間欠的に進行していることも確認出来る。
　またIの時間では天端の粘性土および堤体上部が崩壊せず、ひさし状となっている状況も確認された。
　なおIから数分後には一気に表法部分も崩壊し、これ以降、堤防決壊拡幅過程に移行している。

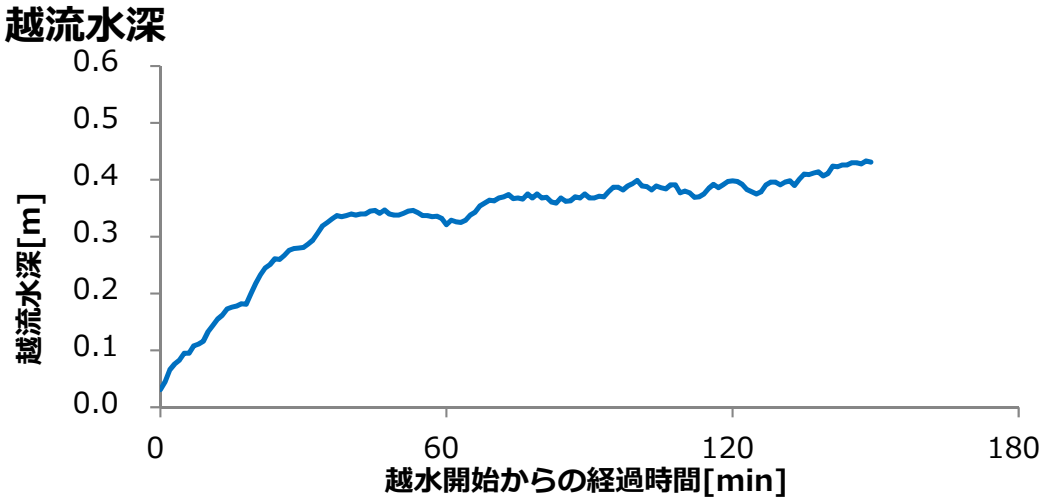
3-2. 越水から決壊開始までの越流水深と堤体侵食量

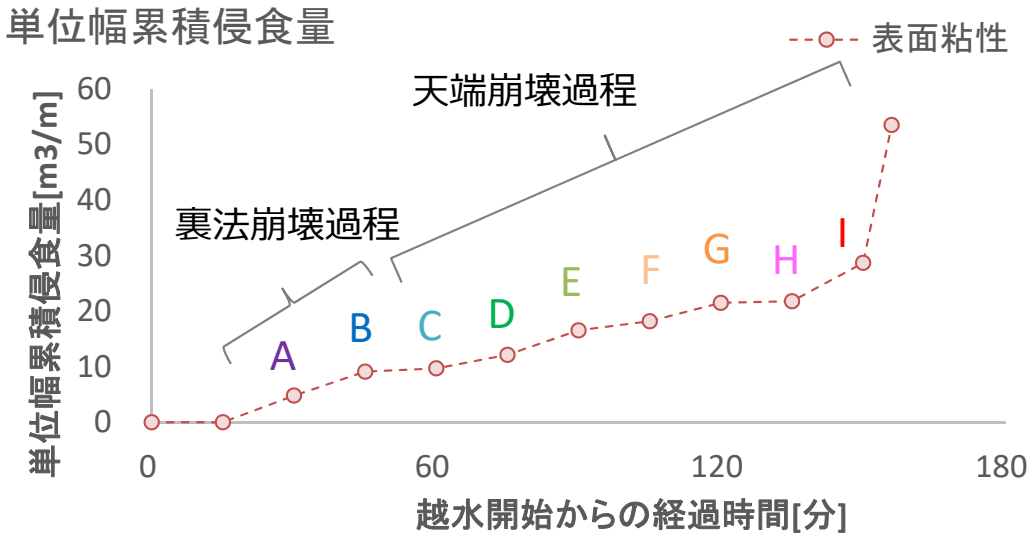
砂礫堤





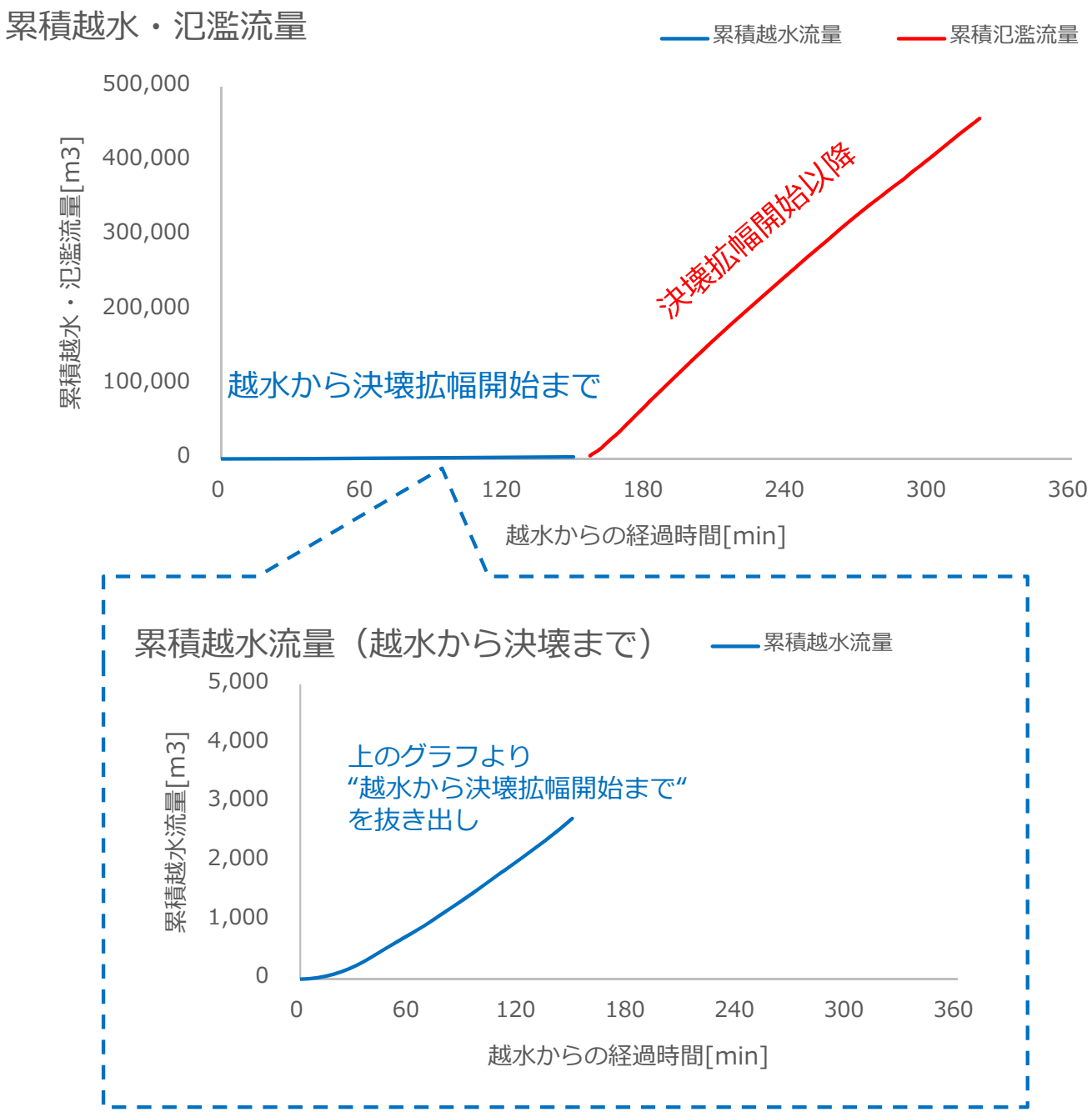
表面粘性土





砂礫堤：越水から拡幅開始まで20分程度
粘性堤：越水から拡幅開始まで150分程度
→砂礫と比べると粘性では決壊に至るまでに要した時間は2時間程度長くなった

3-2. 越水～決壊開始～堤防決壊拡幅までの累積越水・氾濫流量



堤防決壊後の累積氾濫流量は今回の実験では450,000m3程度

一方で決壊開始までの累積越水流量は3,000m3と、累積氾濫流量の1%程度

3-3. まとめ

H28北海道における災害を受けて、緊急締切工事等に対する課題抽出、土質等の違いによる堤防決壊現象の理解、河岸侵食事例の調査・分析等を実施している

堤体土質が粘性土の場合の堤防決壊現象の理解を目的に、十勝川千代田実験水路において堤防決壊実験を実施

越水初期段階においては、砂礫の場合は越流水による法面侵食が顕著であるが、粘性土の場合は侵食されづらく天端崩壊過程に移行するまでの時間は長くなる

また天端崩壊過程において、粘性土では天端が河道側に向かって、切り立った形状で後退、崩壊が進行し表法肩に到達すると堤防決壊拡幅過程へと移行する

粘性土では砂礫と比べると越水から決壊拡幅開始まで、今回の条件では約2時間程度長くなった

○堤防決壊現象の把握

○新しい観測技術の実証

・物理探査による堤防内浸透状況の把握（北海道大学・北見工業大学）

・ドローン搭載型電波式流速計・水位計を用いた氾濫流量の計測（土木研究所）

KITAMI
Institute of Technology

物理探査による実物大破堤実験の堤防内浸透状況の把握

【参考文献】
川尻俊三，小西千里，木佐貫寛，小笠原明信，西村聡，島田友典：物理探査による実物大破堤実験の堤防内浸透状況の把握，土木学会河川堤防技術シンポジウム講演概要集，第6回，pp.71-72，2018-12

1 はじめに

堤防は最後の「要」

- 現地でのストレステストは不可能
- 河川水位上昇時の挙動から重要水防箇所の妥当性や危険箇所を把握できないか?

2016.8.21

2 目的：迅速な堤防の状態把握手法の検討

1 堤防内部の大まかな水位情報

➡ 裏のり面の浸透崩壊危険箇所を把握

2 堤防内部の局所的な浸透箇所

➡ パイピング発生危険箇所を把握

把握するタイミングによっては・・・
迅速な応急対応箇所の選定に資する結果となる

実施内容：

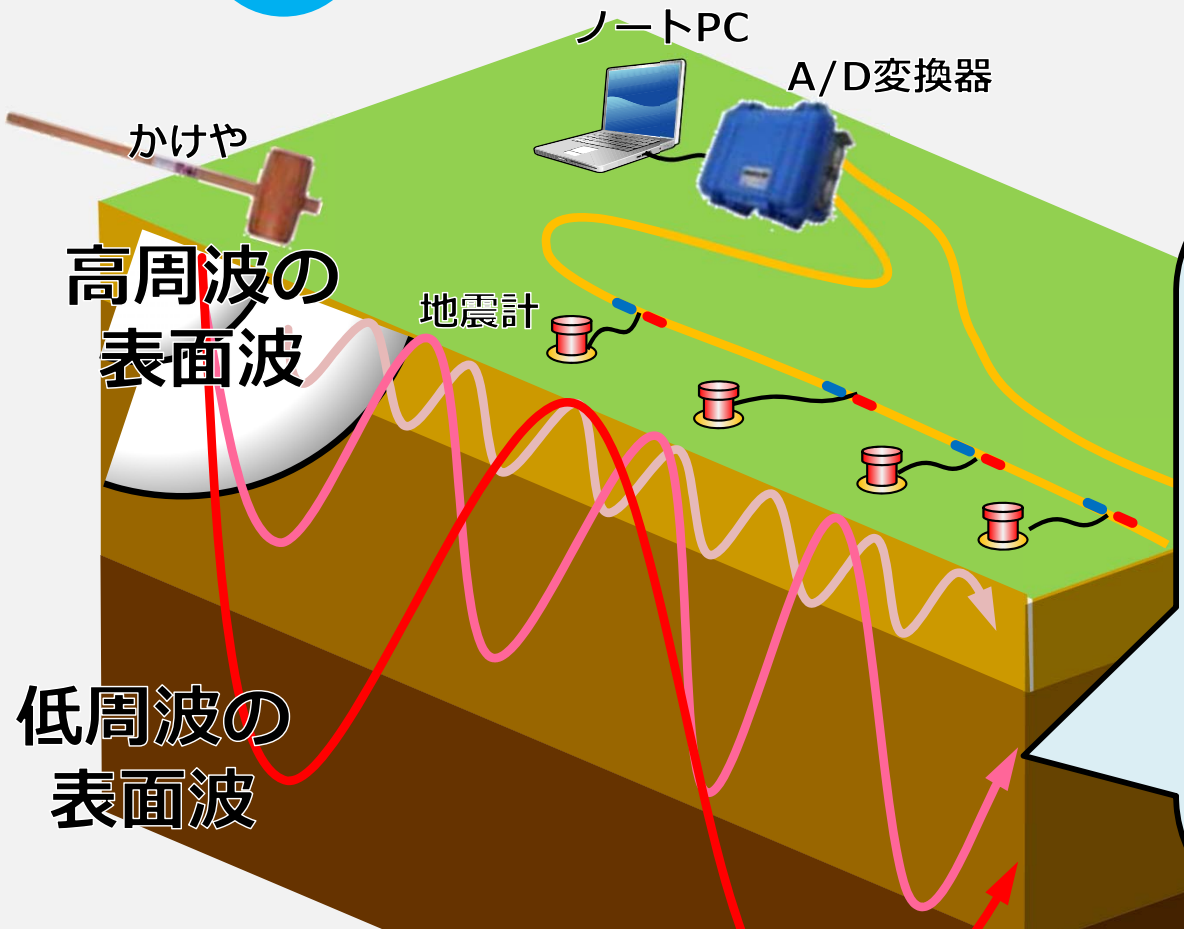
超過洪水（越水）を想定した実物大堤防実験において，
2種類の非破壊物理探査（地盤調査）を実施

検討内容：

堤防内水位と物理探査結果を比較し，結果の妥当性を検証

3-1 用いた物理探査の概要

1 表面波探査(弾性波探査)



表面波の分散性を利用

高周波 → **浅い層**を伝播

低周波 → **深い層**を伝播

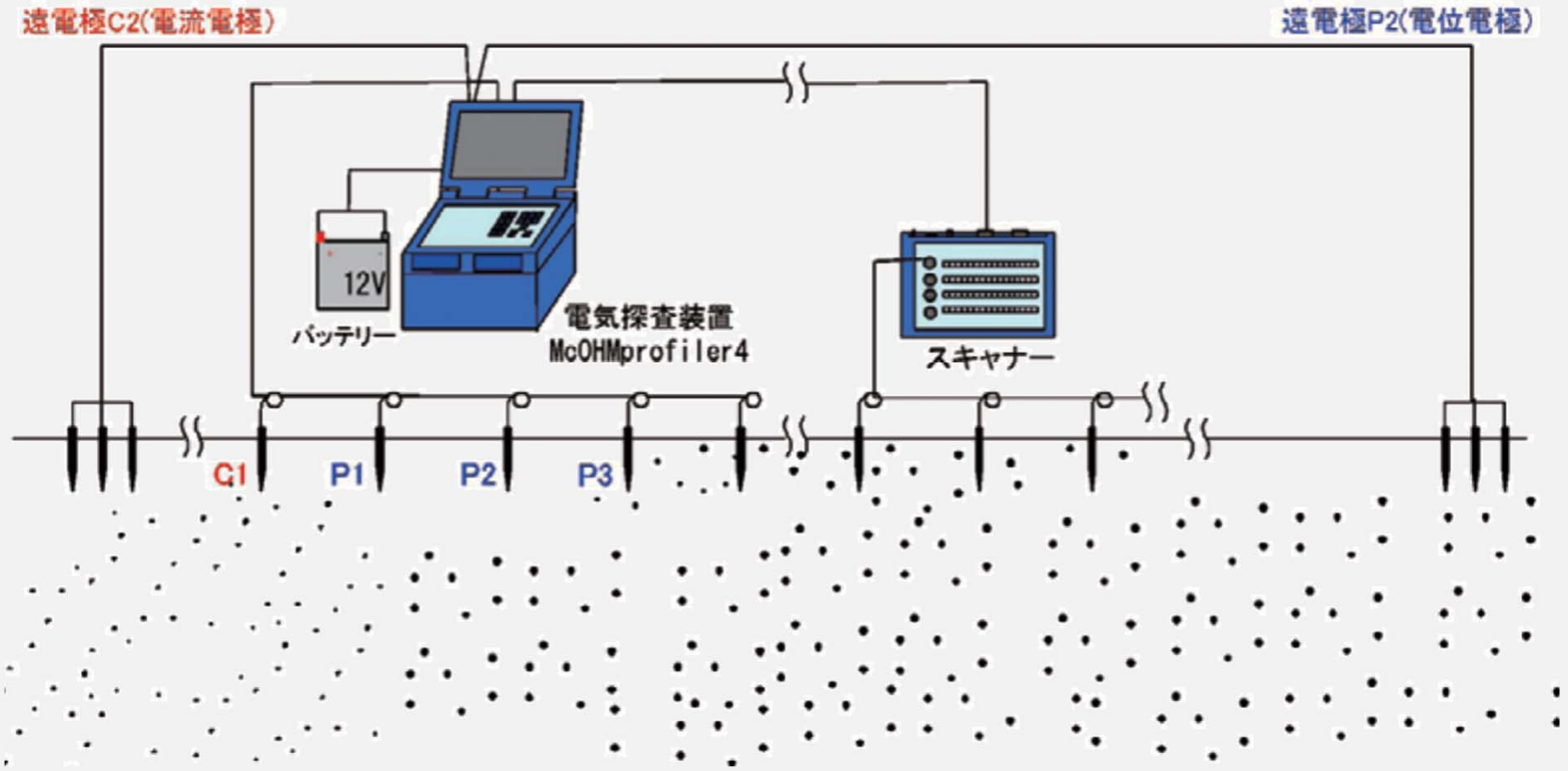
延長および深度方向の
2次元的なV_Sの分布

せん断剛性$G = \rho_t \times (V_S)^2$
(ρ_t :湿潤密度)

- ✓S波速度は地盤のせん断剛性率を間接的に表すパラメータ
- ✓河川水が堤防内に浸透→飽和度や間隙水圧上昇→土のせん断剛性が低下→S波速度が低下→堤防内の浸透状況を把握出来ると予想

3-1 用いた物理探査の概要

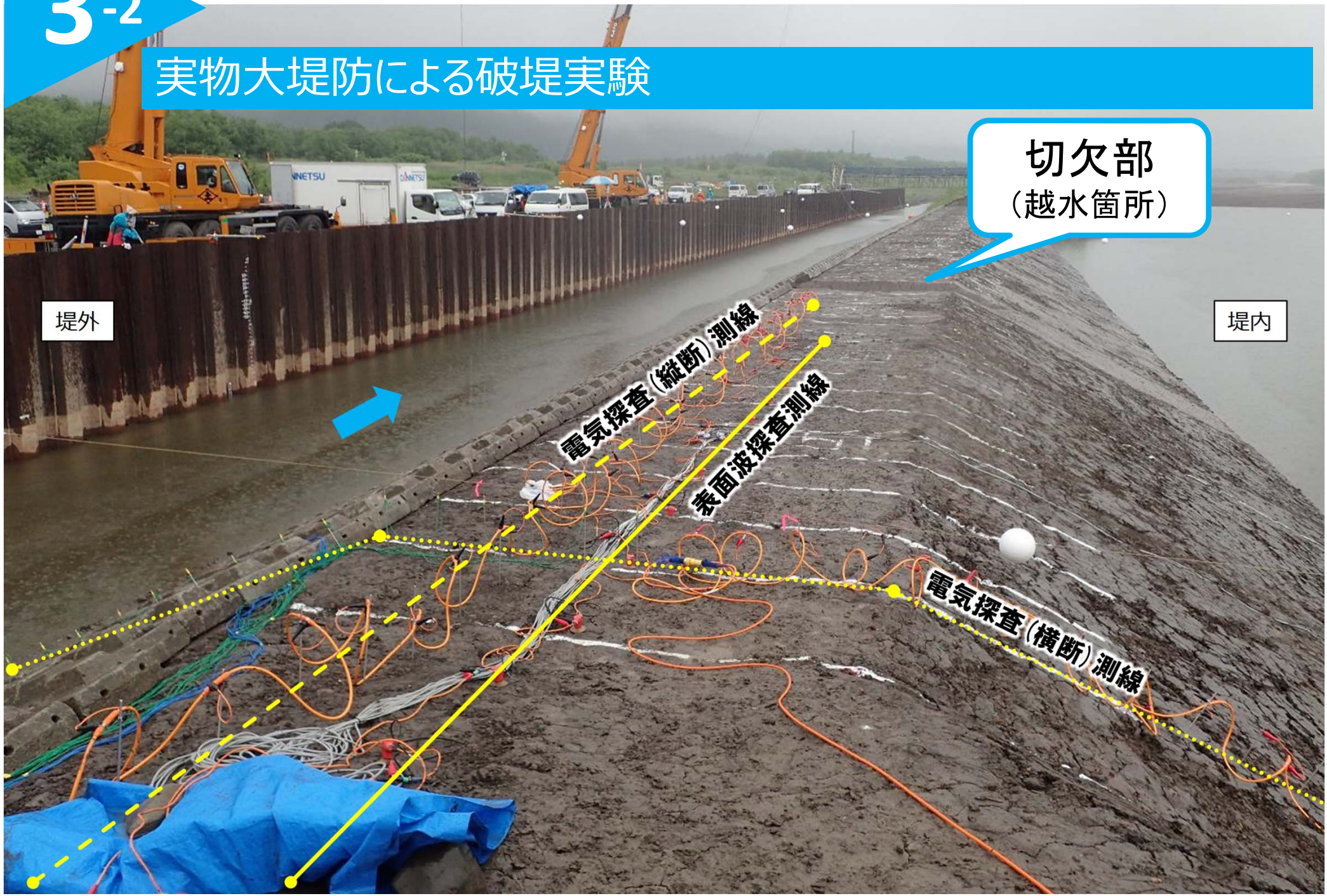
2 電気探査



- ✓地盤内の電気応答を測定・解析して比抵抗分布を求める手法
- ✓地盤の比抵抗は土の粒度特性や飽和度と関連
- ✓比抵抗分布から堤防の土質構成や浸潤状況を把握可能

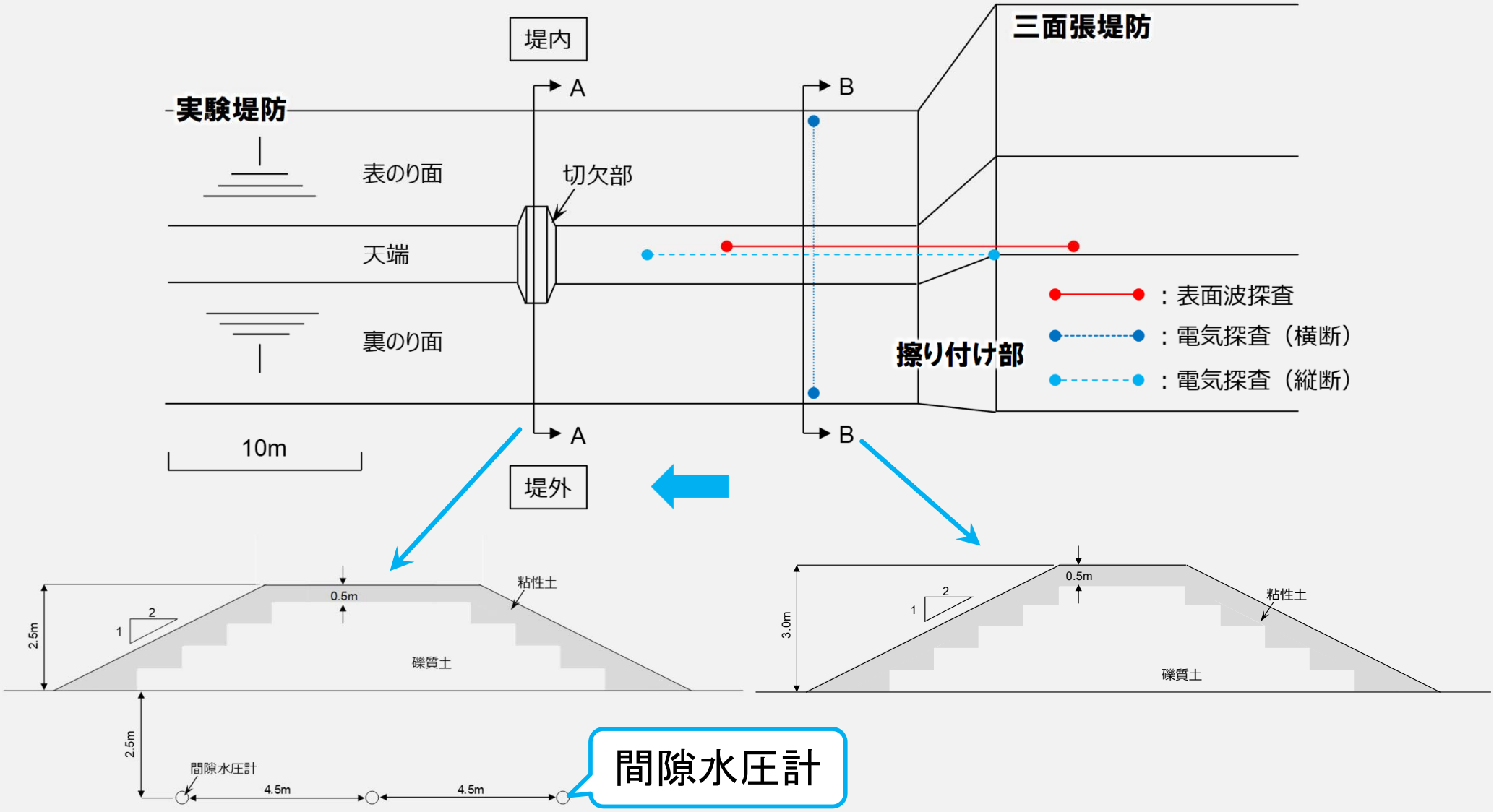
3-2 実験堤防の概要

実物大堤防による破堤実験



3-2 実験堤防の断面と探査測線

実物大堤防による破堤実験：北海道開発局と寒地土研が実施

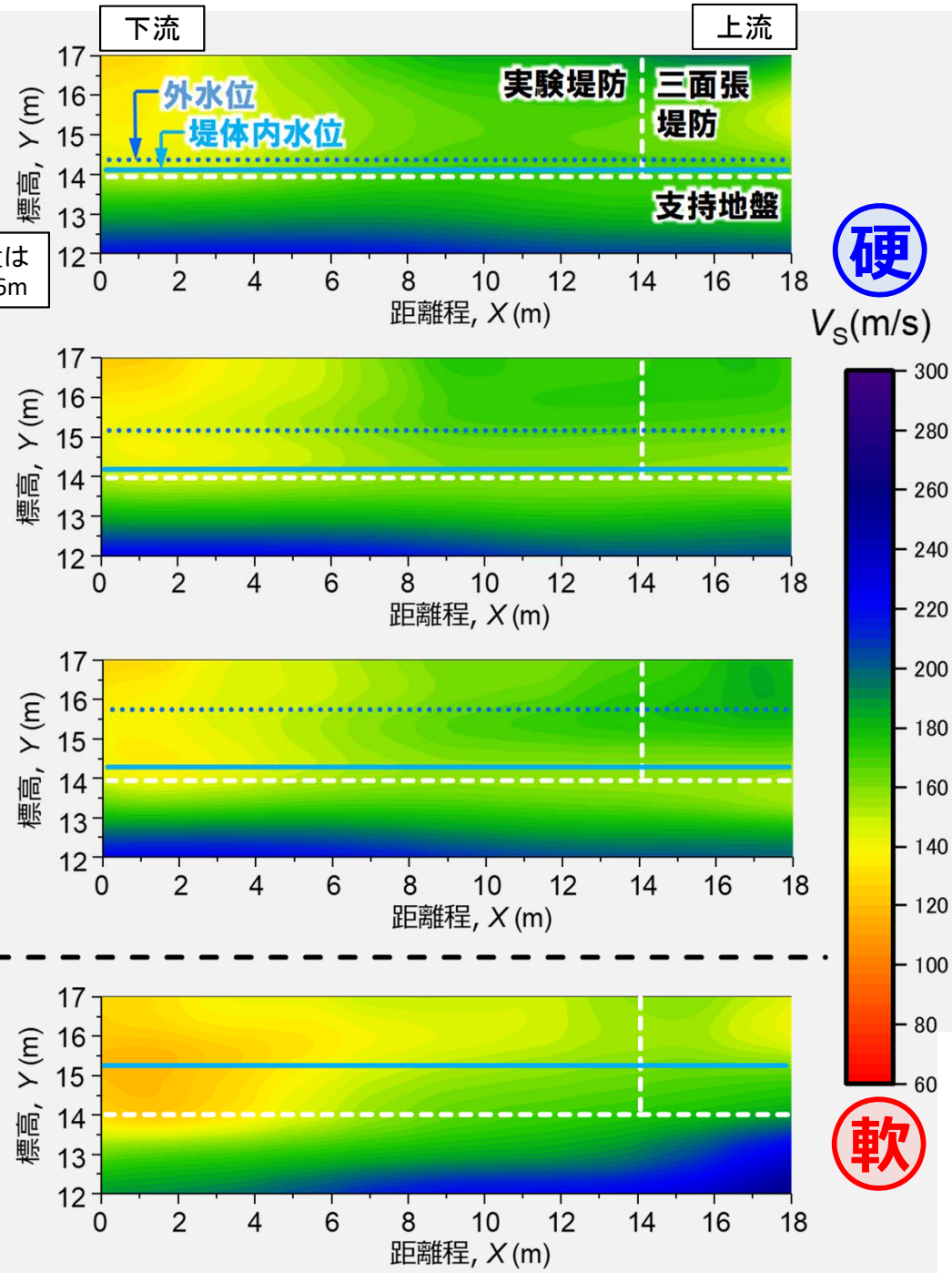


3-3 物理探査実施のタイミング

表面波探査：安全上の配慮から越水前(計画高水位付近まで)の3回

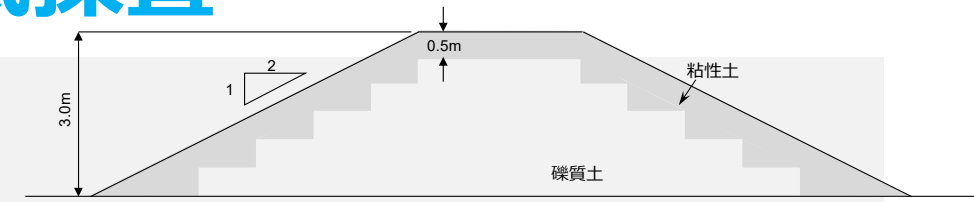
電気探査：計画高水位付近までは縦断方向，それ以降は横断方向

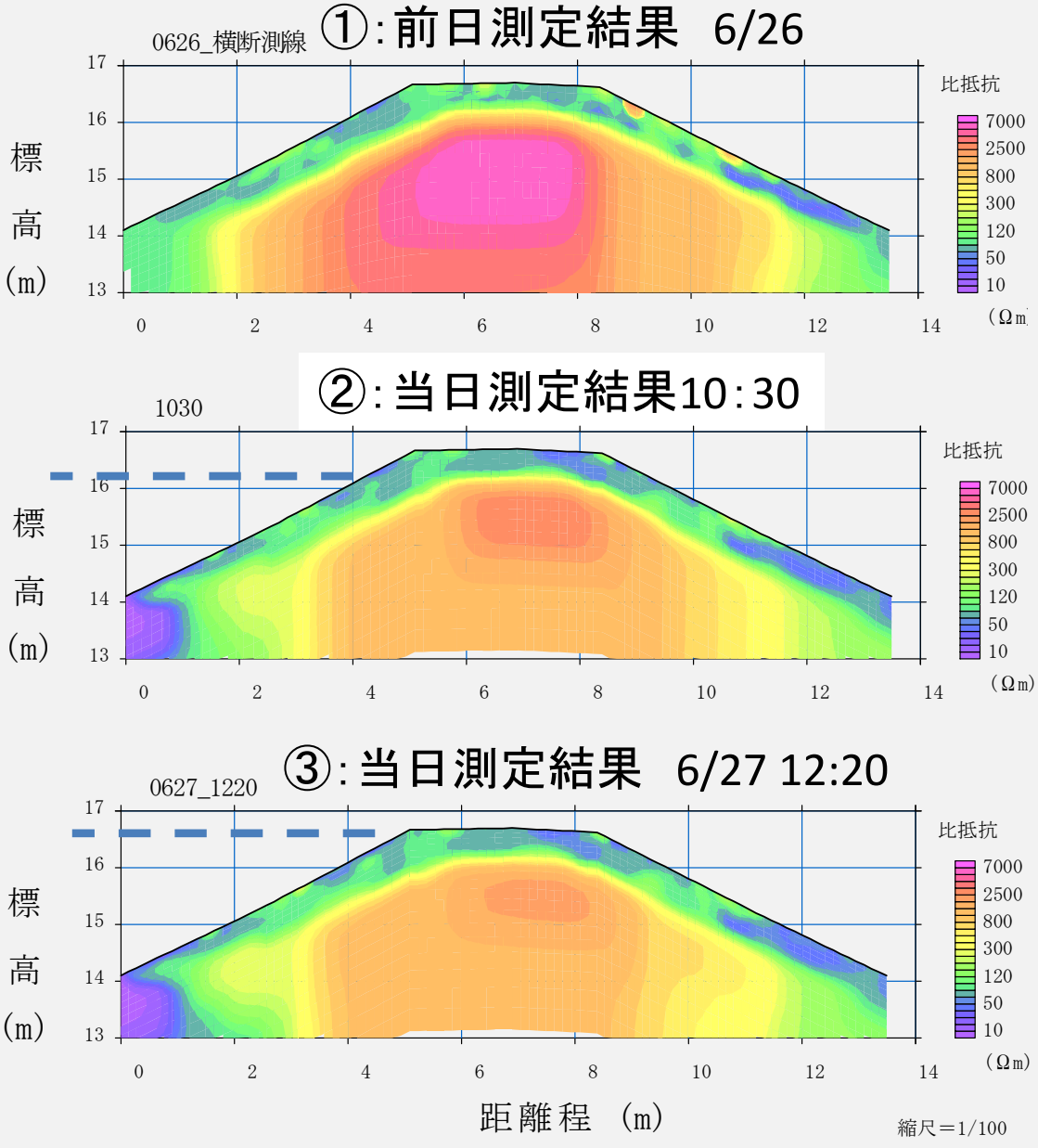
4-1 結果および考察：表面波探査

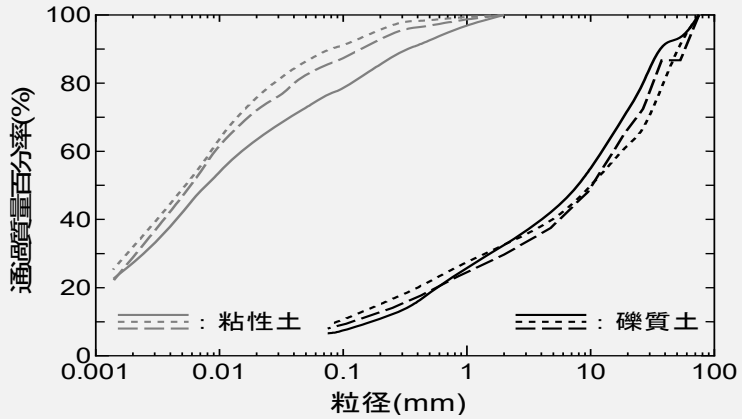


V_S分布➡
浸潤領域を剛性の変化として大まかに把握

4-2 結果および考察：電気探査







①は実験前日に得られたデータを解析した結果。表層の粘性土が80Ωm程度を示し、堤体の砂礫層は1000Ωm程度を示した。このことから、堤体の砂礫層の含水率が低いことが分かる。

→土質の違いを反映

②③は決壊前に得られた測定データを解析した図である。砂礫層の比抵抗が低下しており、体積含水率が上がった、という結果が得られた。

→湿潤領域の進展を把握

5 まとめ

堤体内部の大まかな水位情報

V_S分布
→湿潤領域を剛性の変化としてから大まかに把握可能

比抵抗分布
→土質の違いを判定
→湿潤領域の進展を把握することが可能

把握するタイミングによっては・・・
迅速な応急対応箇所の選定に資する結果となる

○堤防決壊現象の把握

○新しい観測技術の実証

・物理探査による堤防内浸透状況の把握（北海道大学・北見工業大学）

・ドローン搭載型電波式流速計・水位計を用いた氾濫流量の計測（土木研究所）