

河川堤防のパイピング対策の 健全性評価手法の研究

山口大学 大学院 創成科学研究科
准教授 森啓年

keywords: 河川堤防, パイピング, 対策工法, 維持管理

1. 序論

パイピングによる堤防決壊(矢部川2012)

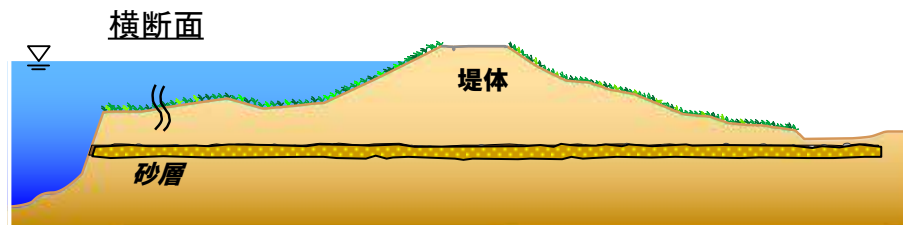
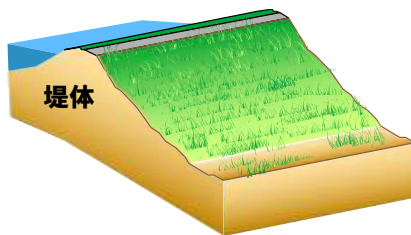


矢部川

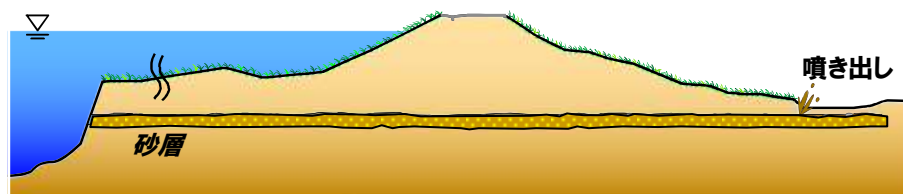
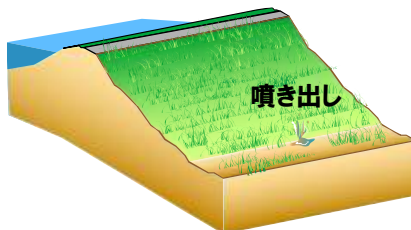


パイピングによる堤防決壊のメカニズム

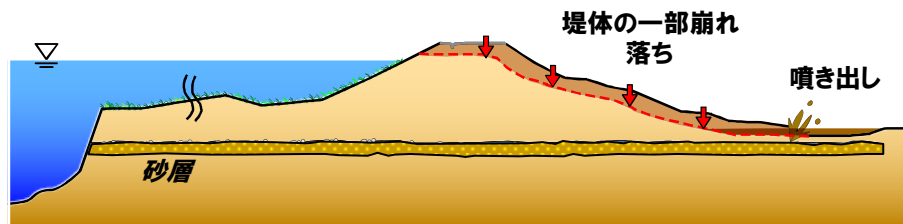
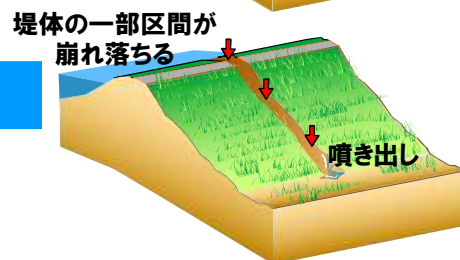
場面①



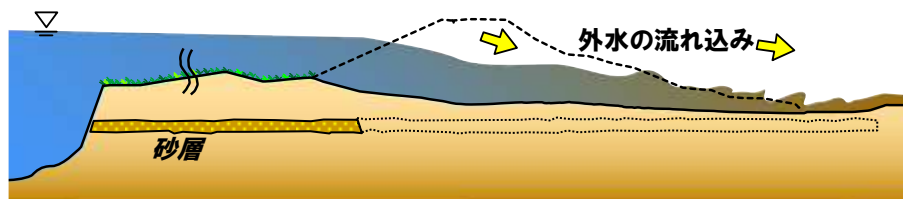
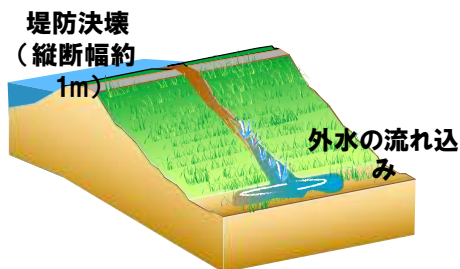
場面②



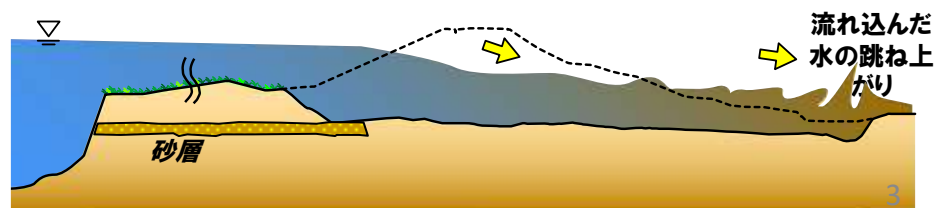
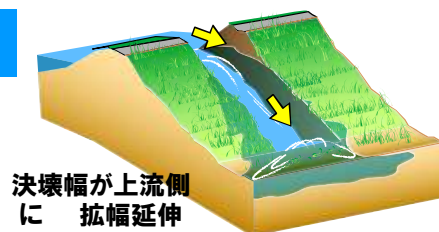
場面③



場面④



場面⑤



パイピングによる堤防被災(江の川2018)



パイピングによる堤防被災(江の川2018)



パイピングによる堤防被災（江の川2018）

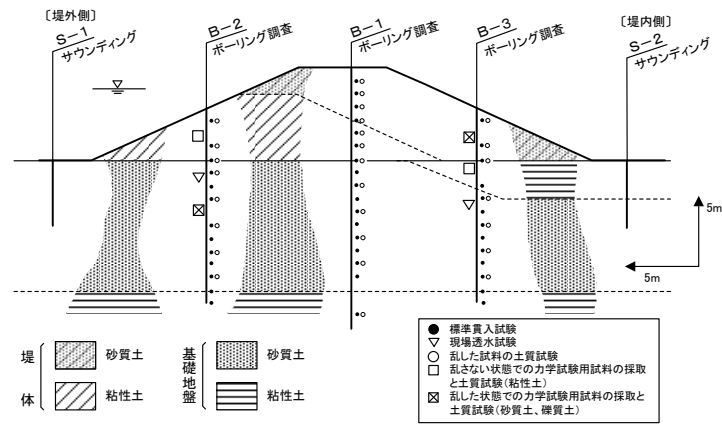


中型模型実験

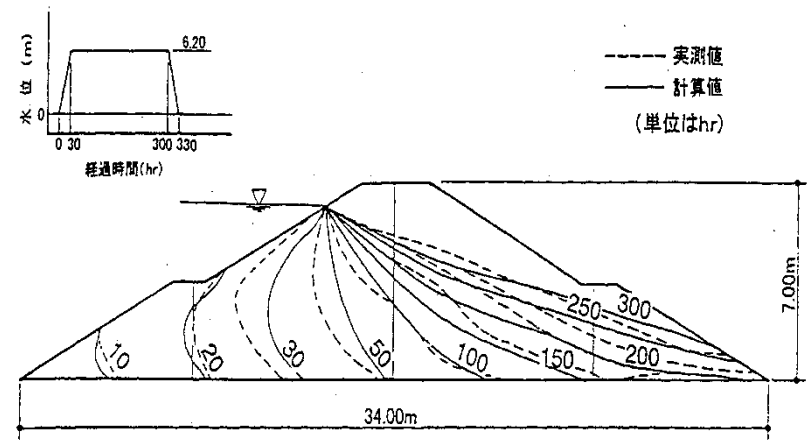


堤防の詳細点検(安全性照査)

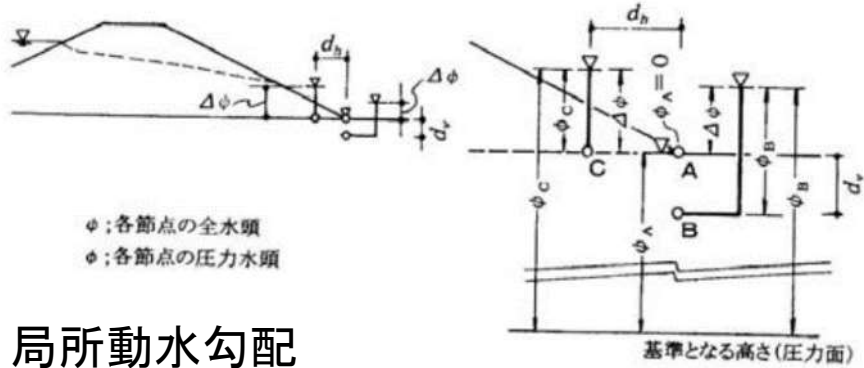
現状: 数百m～数km間隔のボーリングにより地盤条件を把握。
調査結果をもとに、すべり・パイピングに関する安全照査実施。



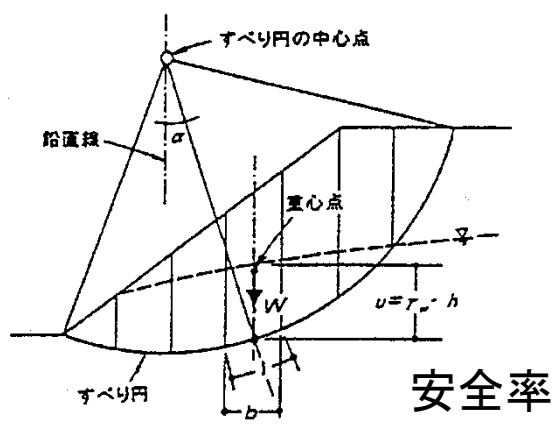
土質調査



浸透流解析



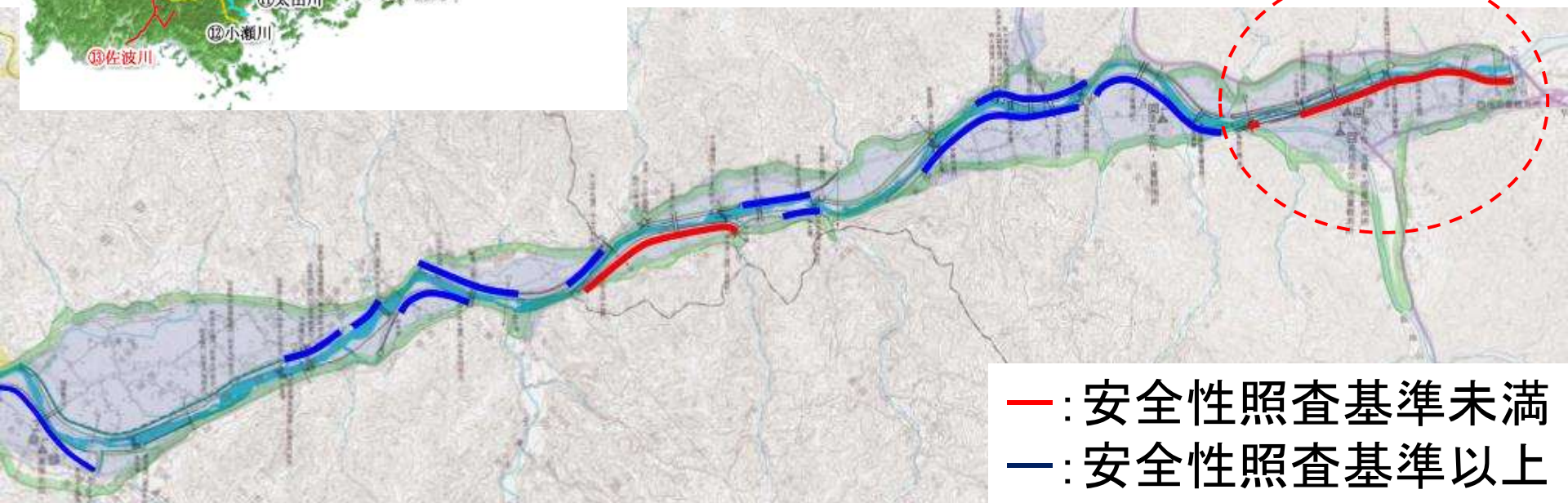
局所動水勾配



安全率

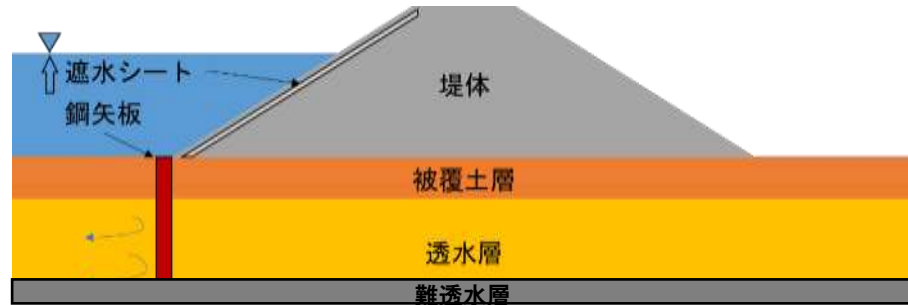
佐波川上流部の堤防詳細点検結果

山口市徳地堀地区の佐波川左岸では、
パイピングに対する安全性を満足していない区間が存在



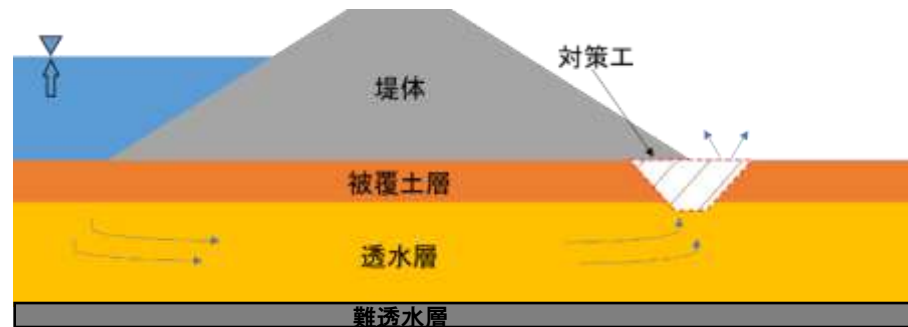
佐波川徳地堀地区の堤防強化対策

一般的な対策としては



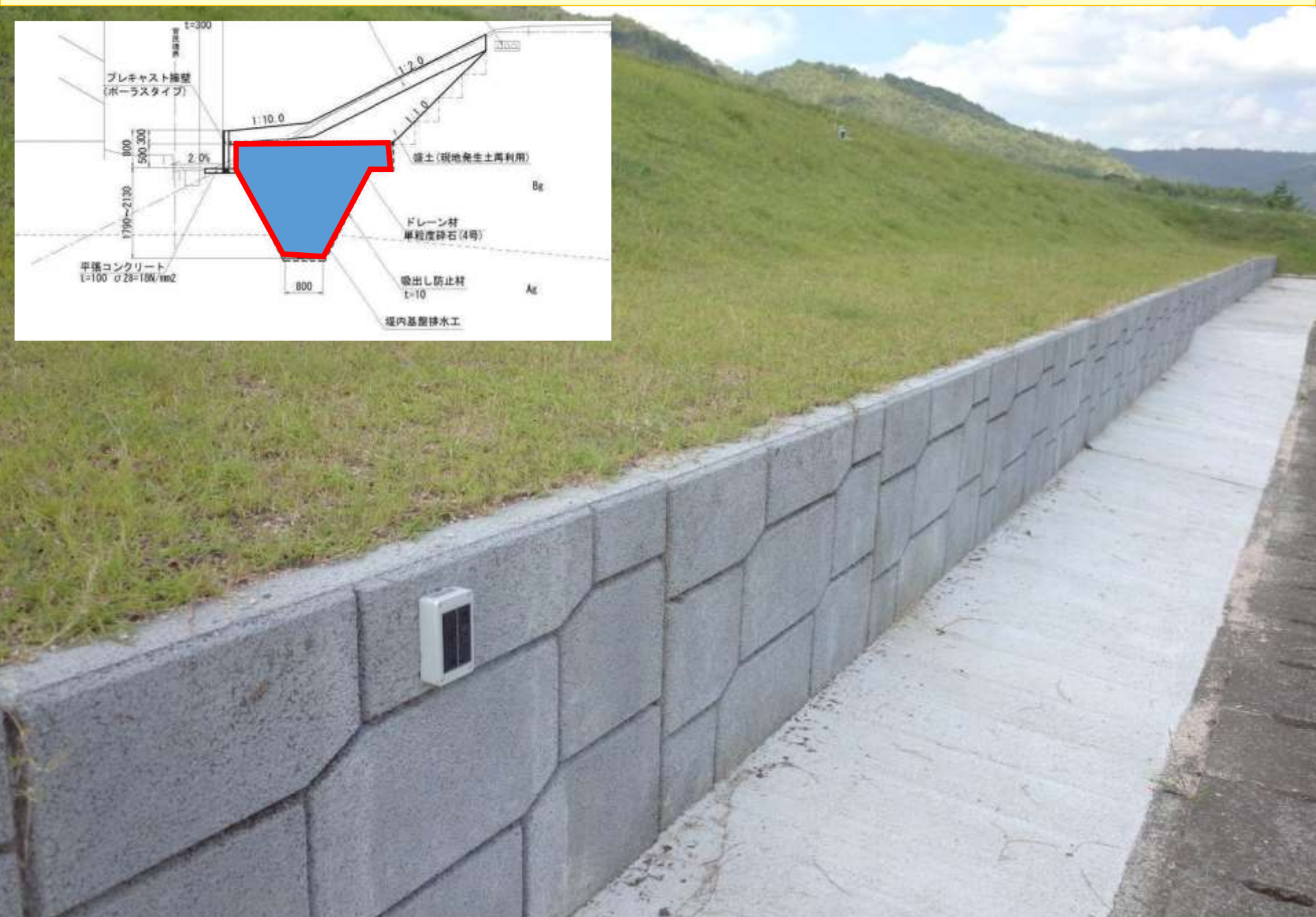
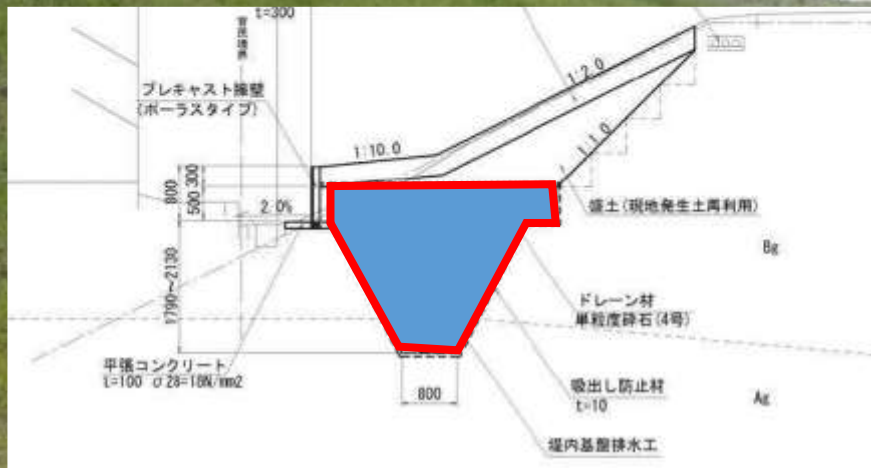
周辺地域の地下水利用により使用が困難

地下水の流動を妨げない
堤内基盤排水工法を利用



新工法であり、対策効果のモニタリングの実施が必要

佐波川徳地堀地区の堤内基盤排水工法



佐波川徳地堀地区の堤内基盤排水工法



観測孔

堤内基盤排水工法の適切な維持管理方法の確立を目的として

① シートの劣化や損傷による対策効果への影響に関する模型実験

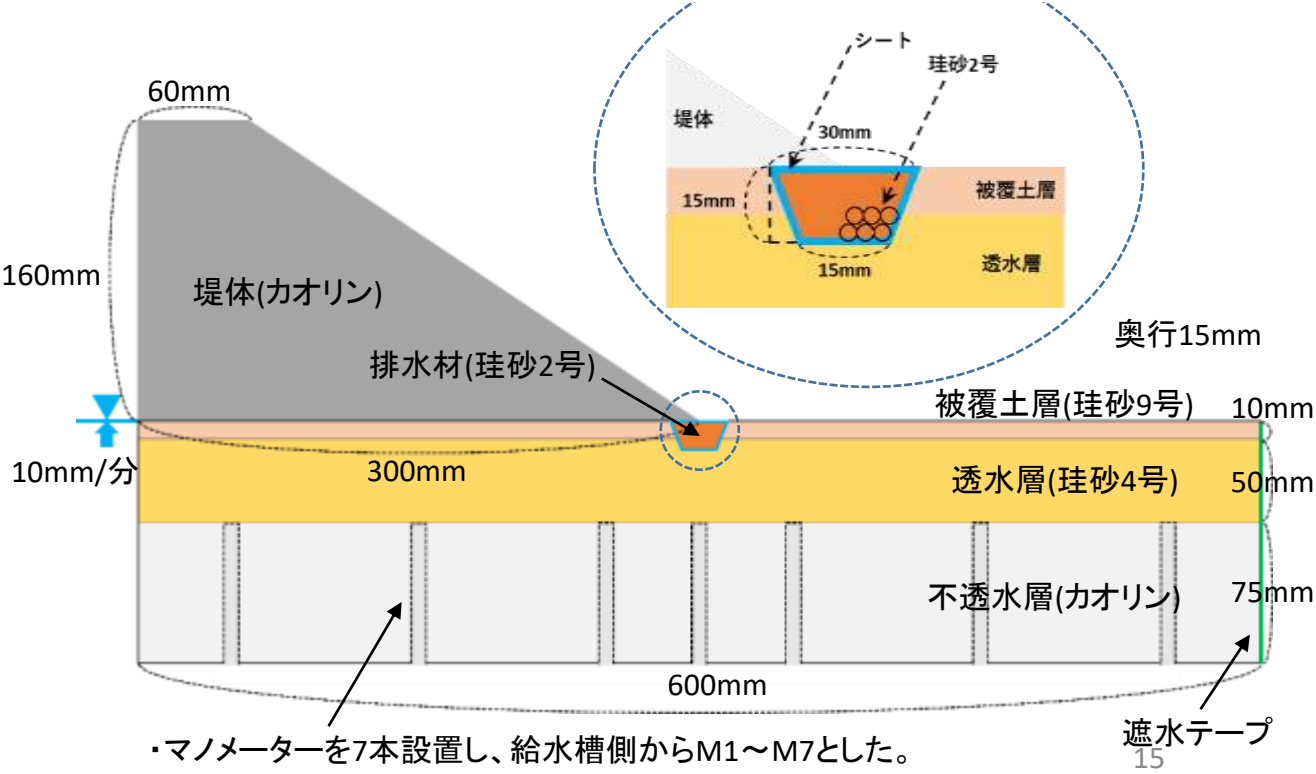
② 現地に適用可能な簡易なモニタリング手法の開発

中国地方発の堤防技術として提案

2. 模型実験

実験模型

ケース番号	ケース種類
1	対策工無
2	対策工有(シート健全)
3	対策工有(シート目詰り)
4	対策工有(シート無)



模型作成

基礎地盤飽和

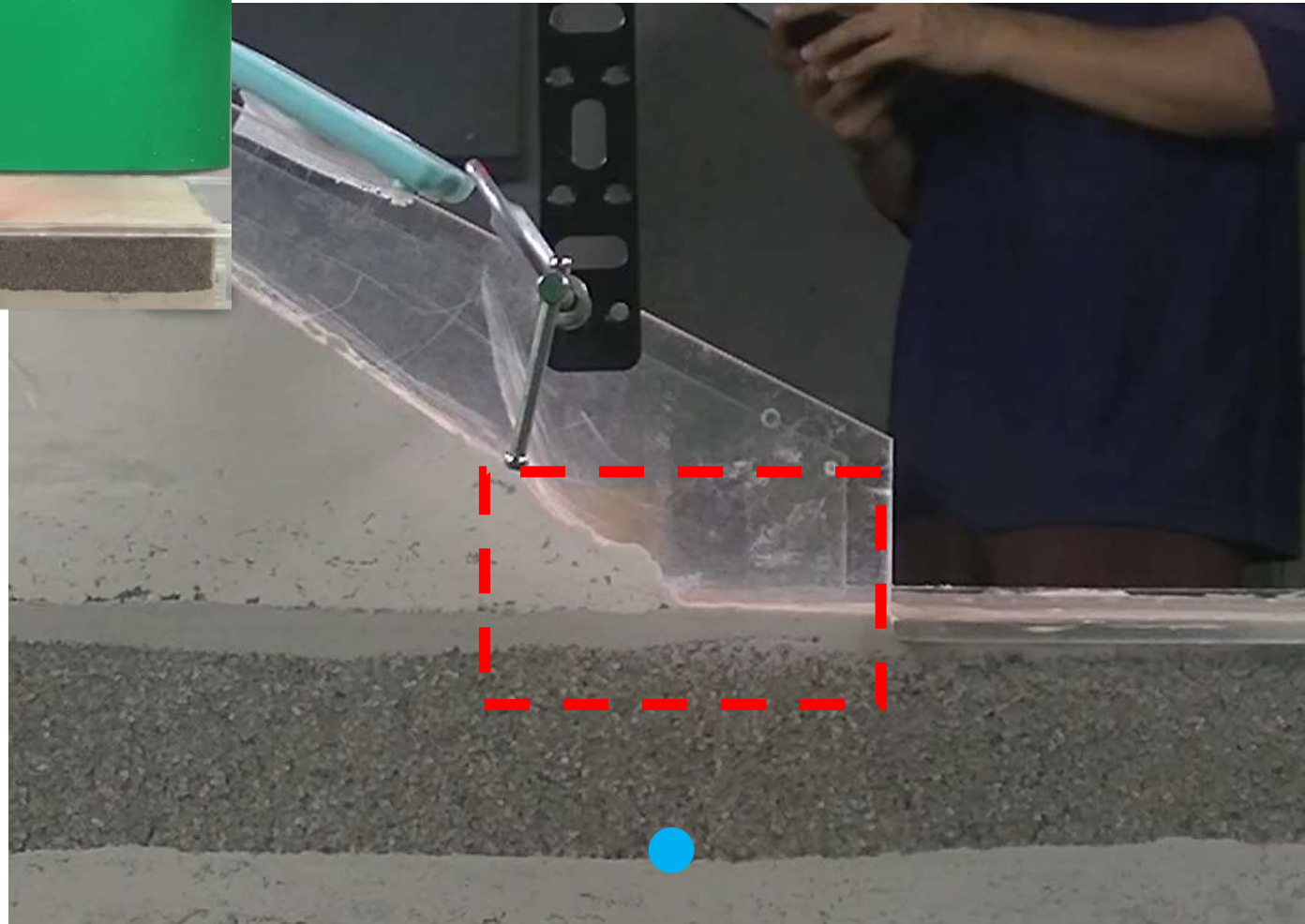
・2日間
実験開始

- ・圧力水頭
→ マノメータ
- ・法尻周辺の変形
→ ビデオカメラ
- レーザー距離計

実験終了

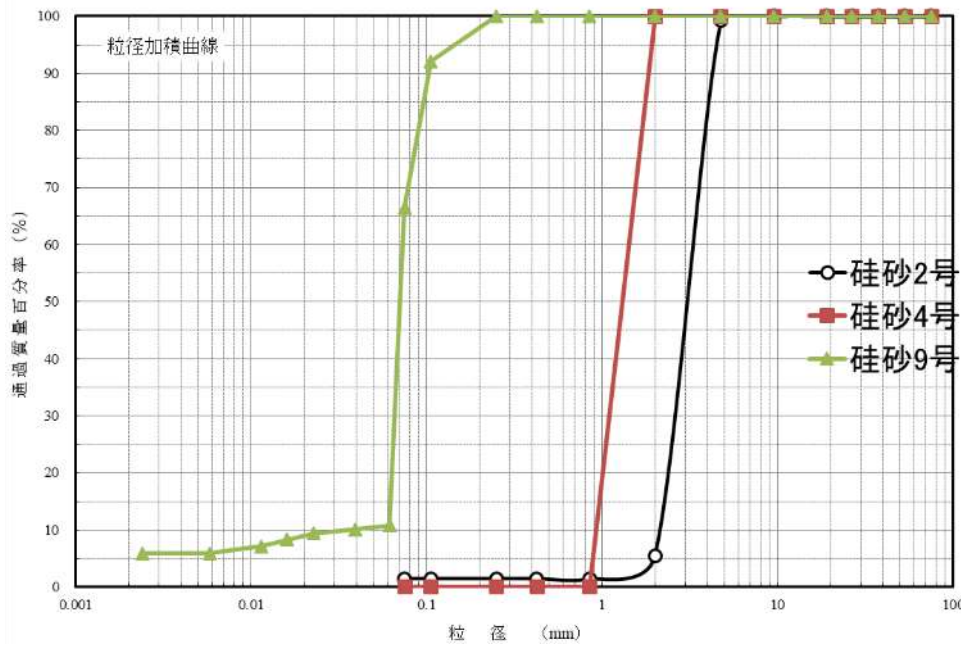
・パイピング発生後

実験観測(レーザー距離計, マノメータ)



模型材料

土層種類	土の種類
堤体・難透水層	金剛カオリン
対策工	硅砂2号
被覆土層	硅砂9号
透水層	硅砂4号



		金剛カオリン(堤体)	金剛カオリン(難透水層)	9号	4号	2号
施工時含水比	w(%)	30	20	10	10	10
乾燥密度	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.44		1.37	1.33	1.46
湿潤密度	$\rho_t(\text{g/cm}^3)$	1.87	1.73	1.507	1.463	1.606
透水係数	(m/s)	-	-	4.18×10^{-5}	4.04×10^{-3}	1.04×10^{-2}

実験結果(ケース1(対策工無))



・ 実験開始



・ 180s, 噴砂発生



・ 240s, 水みち発生



・ 480s, パイピング発生

実験結果(ケース2(対策工有(シート健全)))



・ 実験開始



・ 510s, 噴砂発生



・ 810s, 水みち発生, 対策工の移動



・ 840s, パイピング発生

実験結果(ケース3(対策工有(シート目詰まり)))



・ 実験開始



・ 330s, 噴砂発生



・ 810s, 水みち発生, 対策工の移動



・ 840s, パイピング発生

実験結果(ケース4(対策工有(シート無)))



・ 実験開始



・ 480s, 噴砂発生, 対策工内に9号が流入

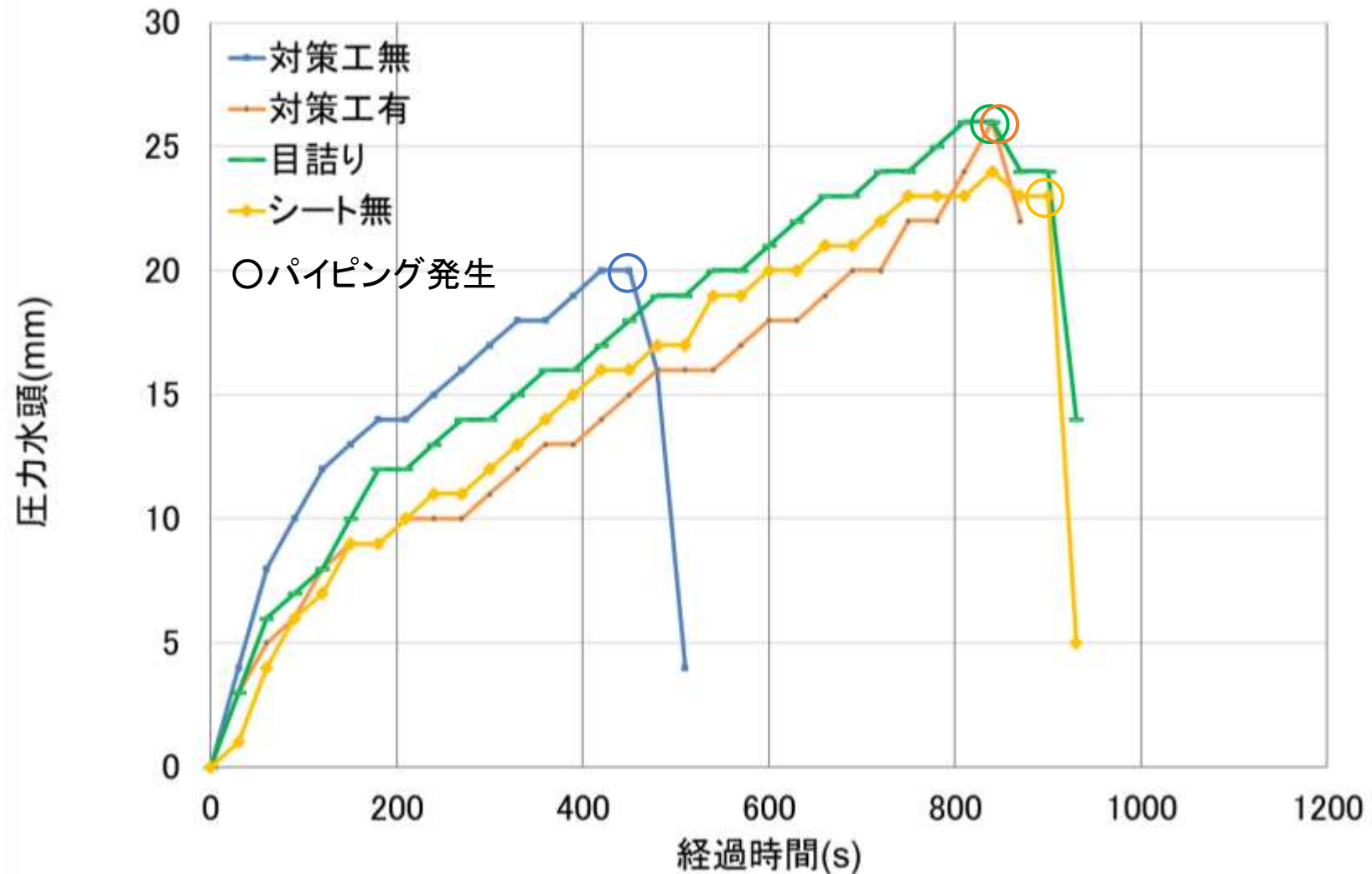


・ 840s, 水みち発生



・ 900s, パイピング発生

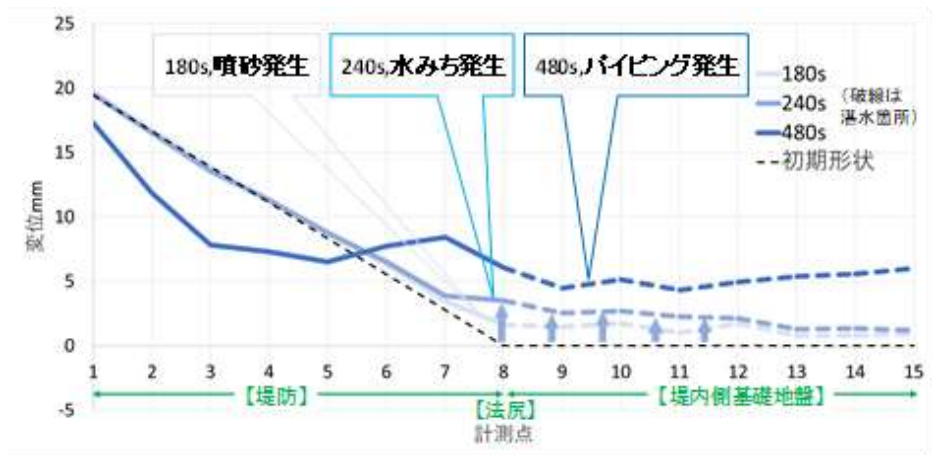
実験結果(対策工下の圧力水頭)



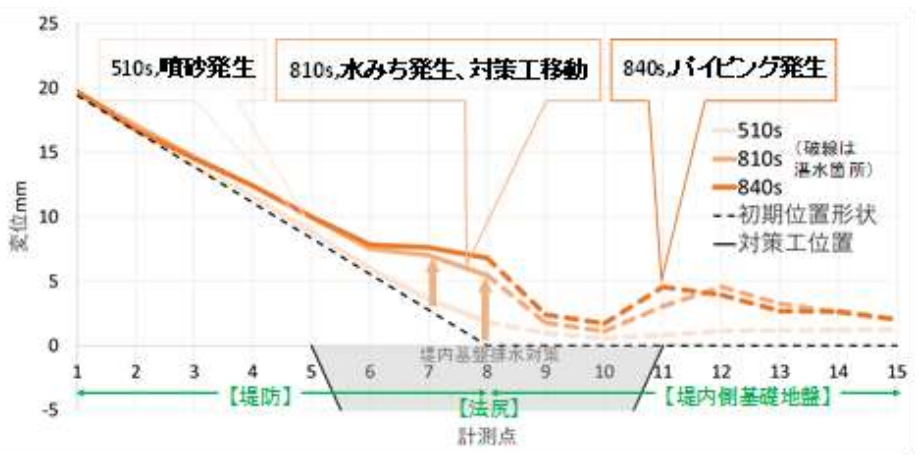
- 対策工はパイピング発生を抑制
- 間隙水圧上昇速度はシートが健全の場合が低い

実験結果(法尻付近の変形量)

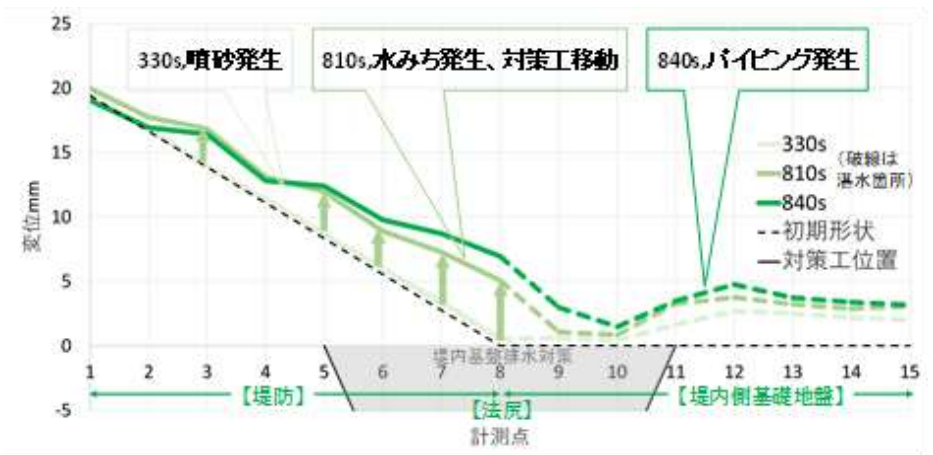
ケース1 対策無



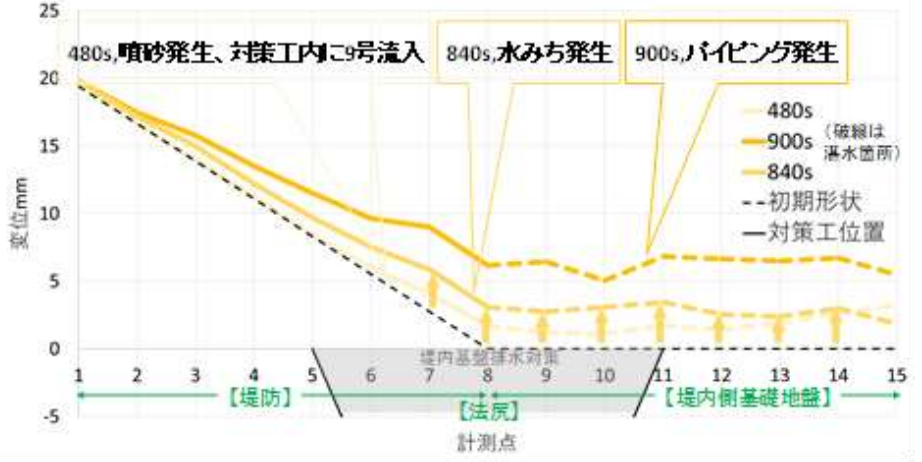
ケース2 対策有(シート健全)



ケース3 対策有(シート目詰まり)



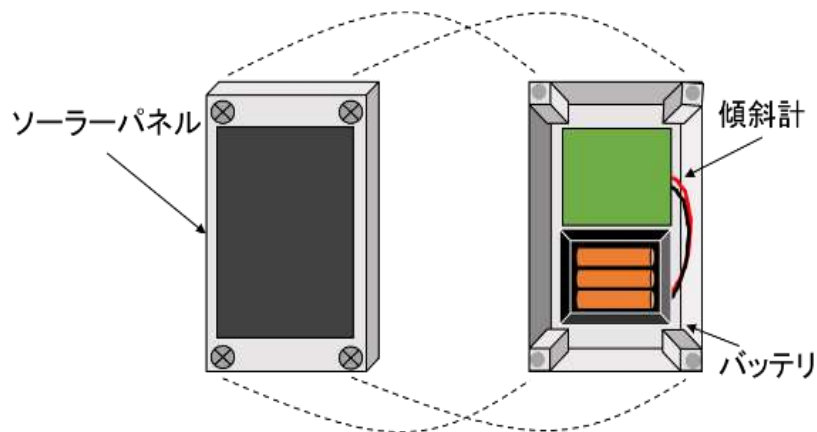
ケース4 対策有(シートなし)



- パイピング発生前から堤体変形が発生
- シートの状態により堤体変形の発生時刻・箇所が異なる³

3. モニタリング手法

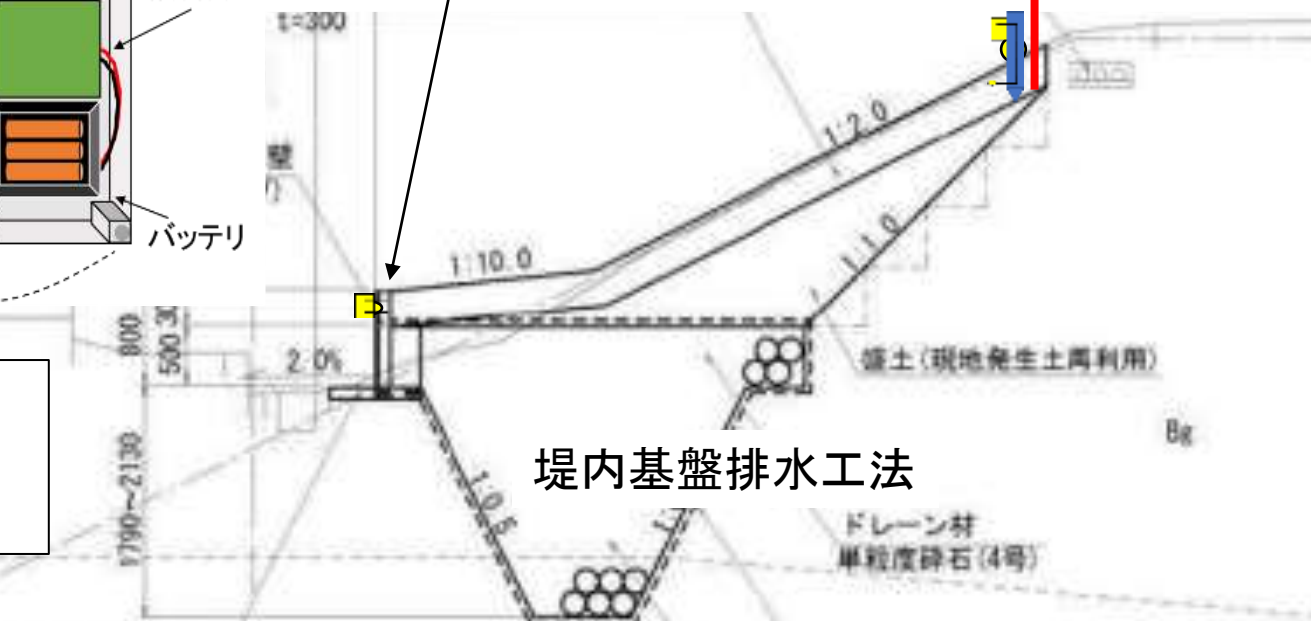
センサー設置方法



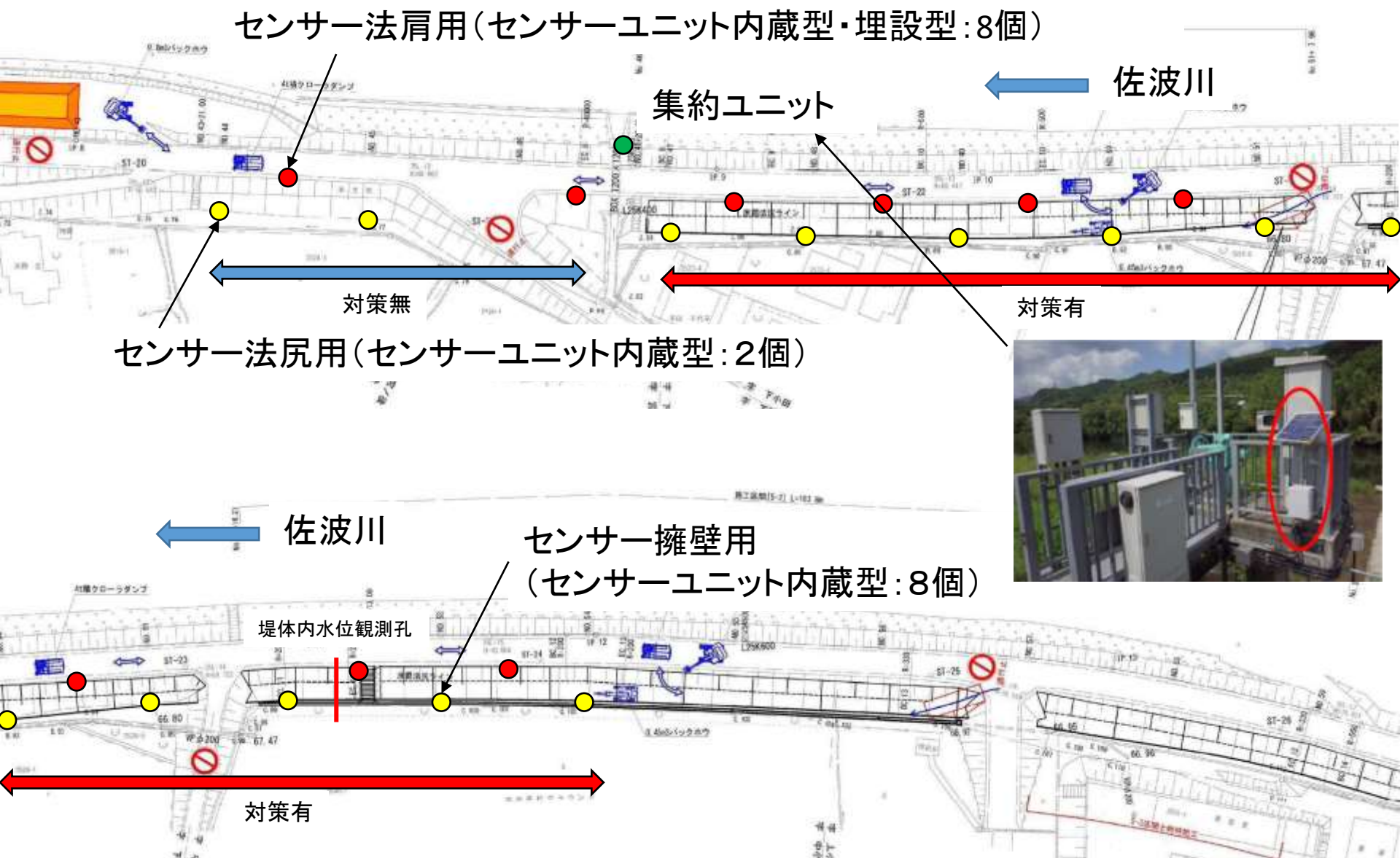
- ・配線, 電源不要
- ・低コスト
- ・設置, 維持管理が容易

ワイヤレス傾斜計

ロッドポール



センサー設置位置



センサー設置状況

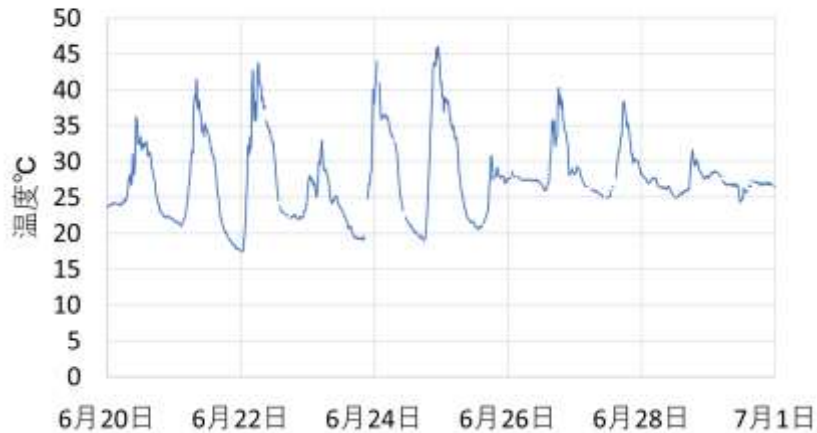


センサー設置状況



センサー観測値の補正

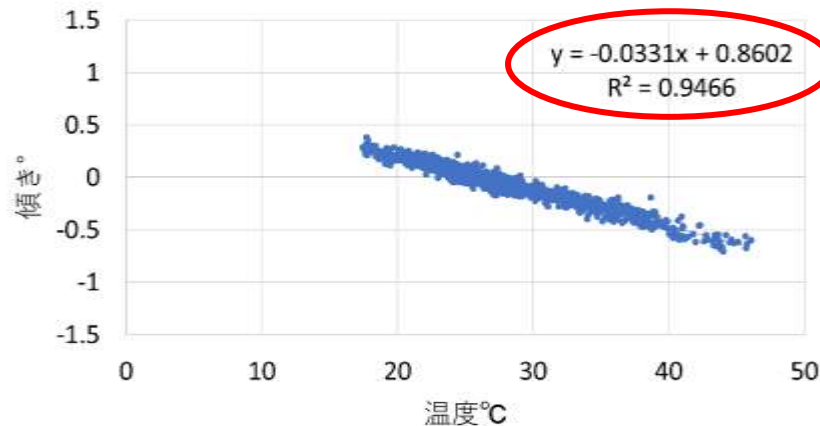
肩1地上センサが観測した温度



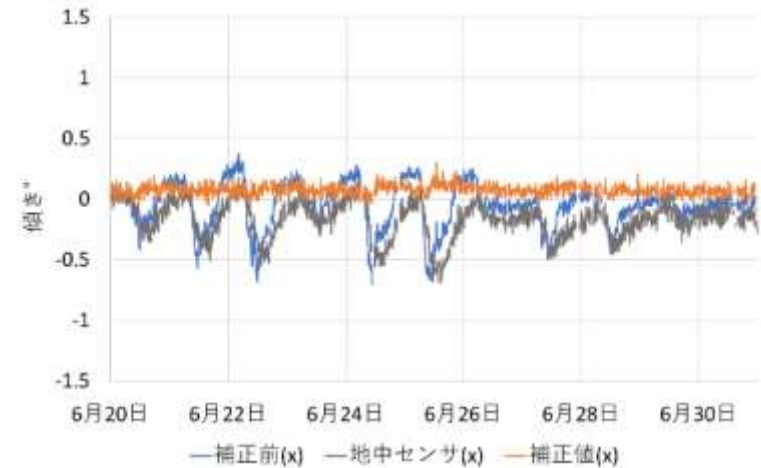
肩1地上センサが観測した傾き(x)



肩1地上センサの温度と傾き(x)の散布図



肩1地上センサと地中センサの比較



- 簡易な温度補正により, ある程度の精度を確保可能

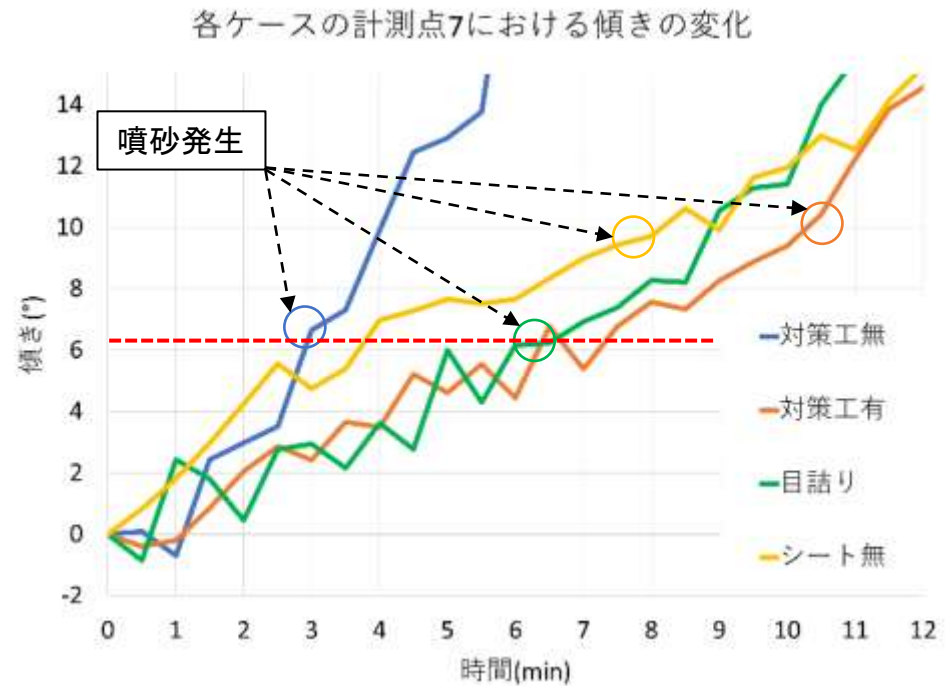
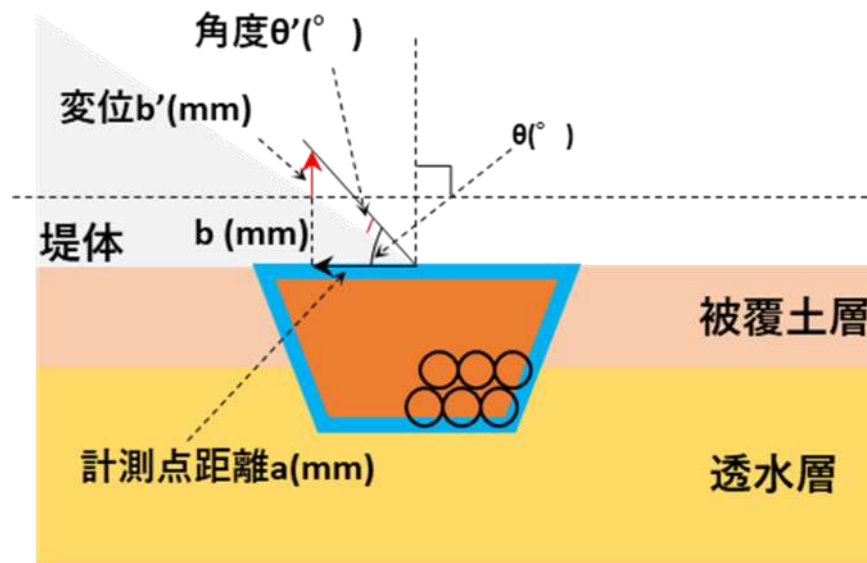
センサー観測値の補正

他のセンサーについても同様の傾向



- 簡易な温度補正により, ある程度の精度を確保可能

必要と想定される精度

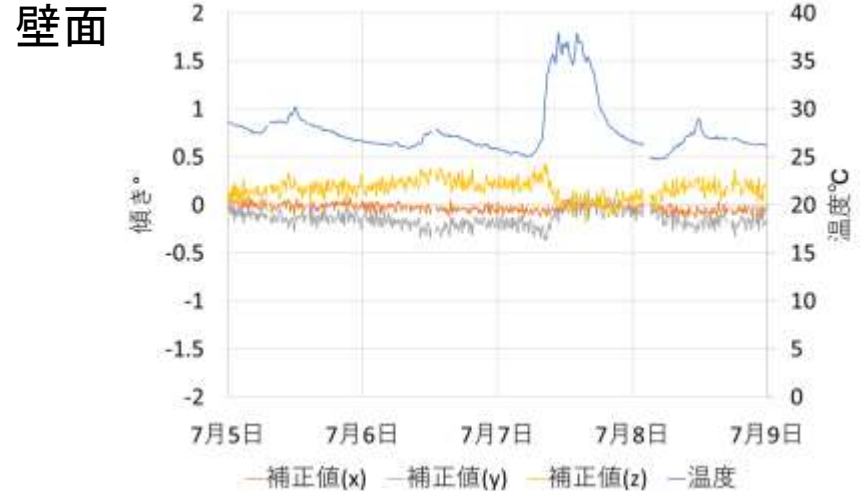
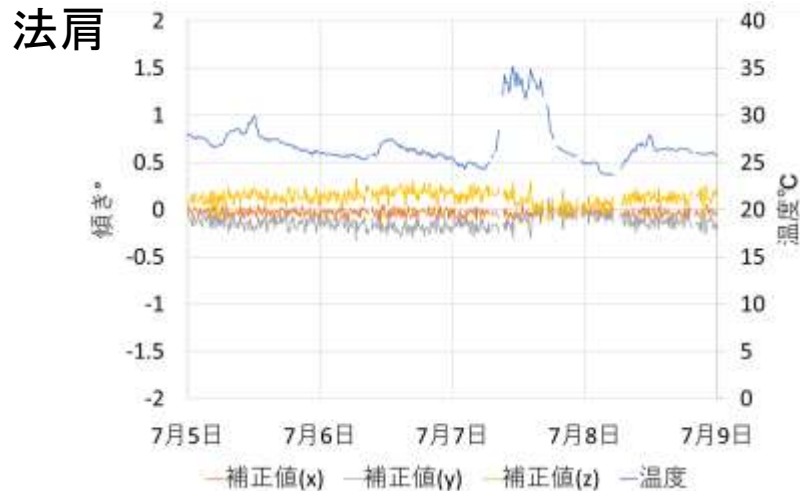
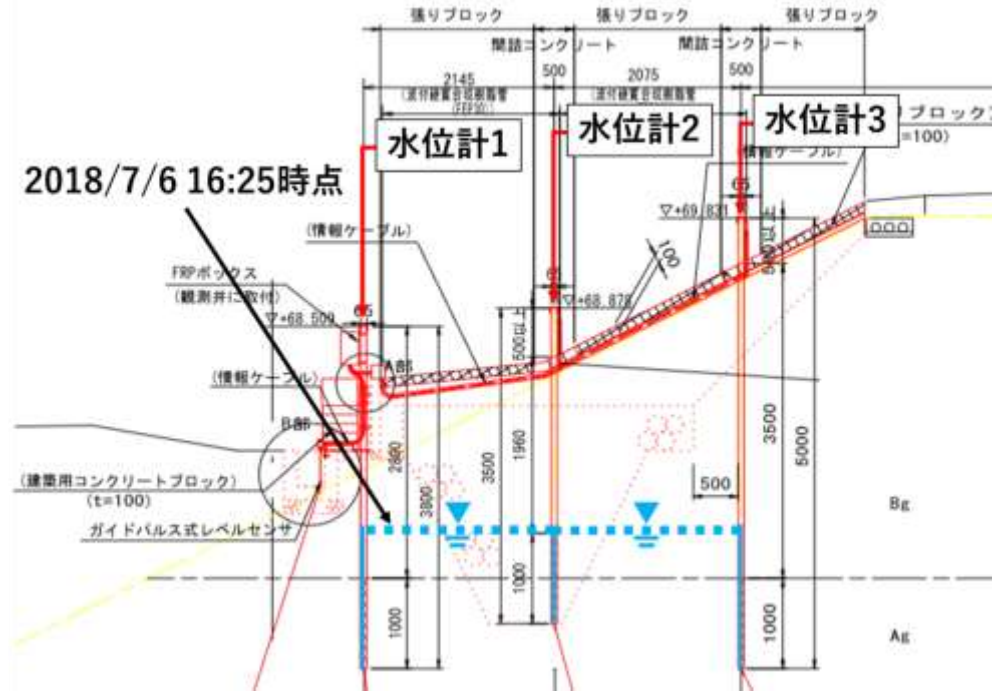
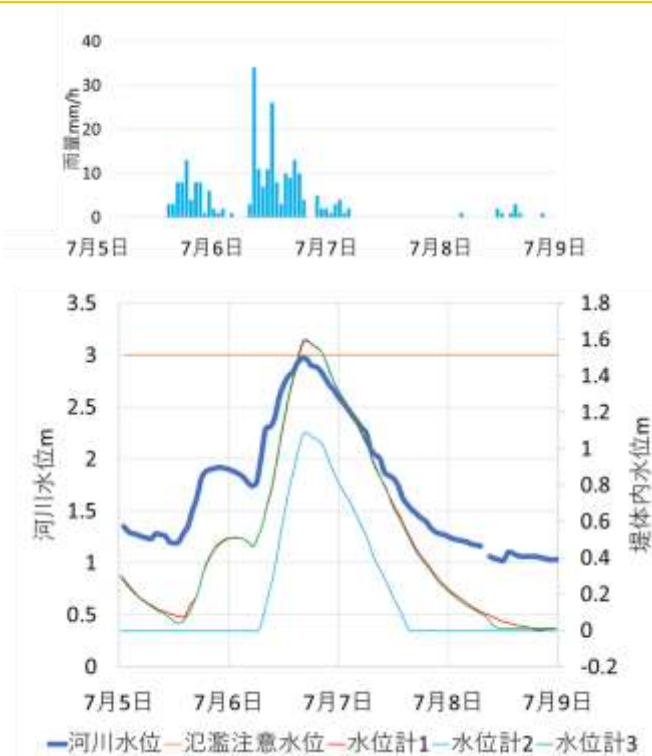


噴砂発生前から数(°)オーダーの傾きを計測



- パイピング発生時の堤体変形を把握できる可能性

観測例(平成30年7月豪雨(西日本豪雨))



4. 結論

堤内基盤排水工法の適切な維持管理方法の確立を
目的として研究開発を実施

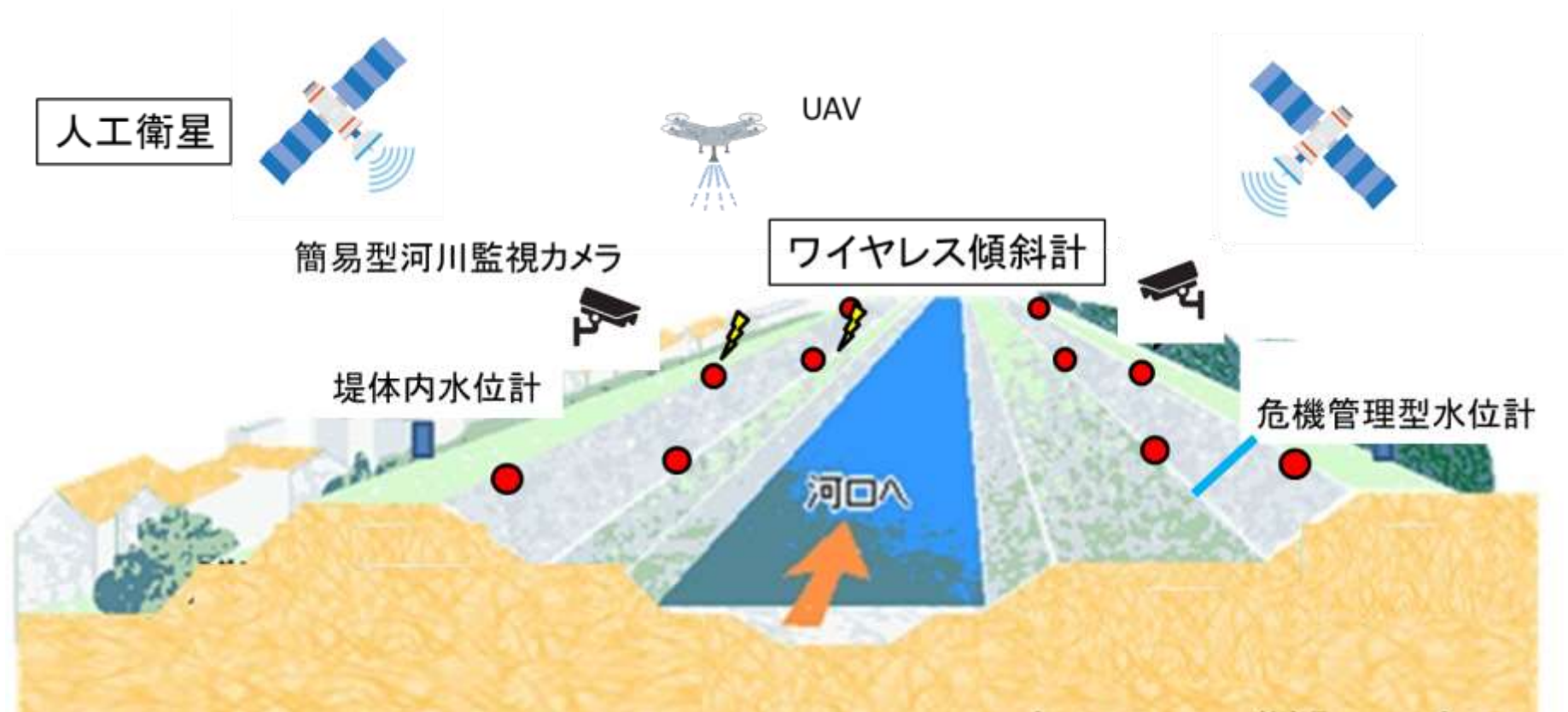
① 模型実験

- ・ 対策工はパイピング発生を抑制
- ・ 間隙水圧上昇速度はシートが健全の場合が緩やか
- ・ パイピング発生前から堤体変形が発生
- ・ シートの状態により堤体変形の発生時刻・箇所が異なる

② モニタリング技術

- ・ 簡易な温度補正により, ある程度の精度を確保可能
- ・ パイピング発生時の堤体変形を把握できる可能性

スマート堤防



従来:限られた点での観測

洪水・地震時:

河川巡視や住民からの通報で被災・決壊箇所を把握し、対応

平常時:

点検や巡視から不陸等の不具合箇所を把握し、対応

近い

将来:広域、多点での観測

洪水・地震時:

リアルタイムに被災・決壊箇所を把握し、迅速な対応

平常時:

経時的な変化を把握。不陸等の不具合が顕在化する前に対応

ご清聴ありがとうございました

研究をご支援頂きました中国建設弘済会，モニタリング現場を提供頂いた山口河川国道事務所に厚く御礼申し上げます



ご質問等は

mori@yamaguchi-u.ac.jp