

海岸・河川沿い道路の 空洞及び陥没の 発生・発達過程に関する研究

山口大学 大学院創成科学研究科

准教授 森 啓年

本日の話題

- ① 背景と目的
- ② 模型実験
- ③ 現地調査
- ④ まとめ

① 背景と目的

道路の陥没発生件数とその要因（令和4年度）

道路陥没は年間1万件以上発生

- ・ 半数程度が道路施設（道路排水施設等）に起因
- ・ 15%程度が道路占用物件（下水道等）に起因

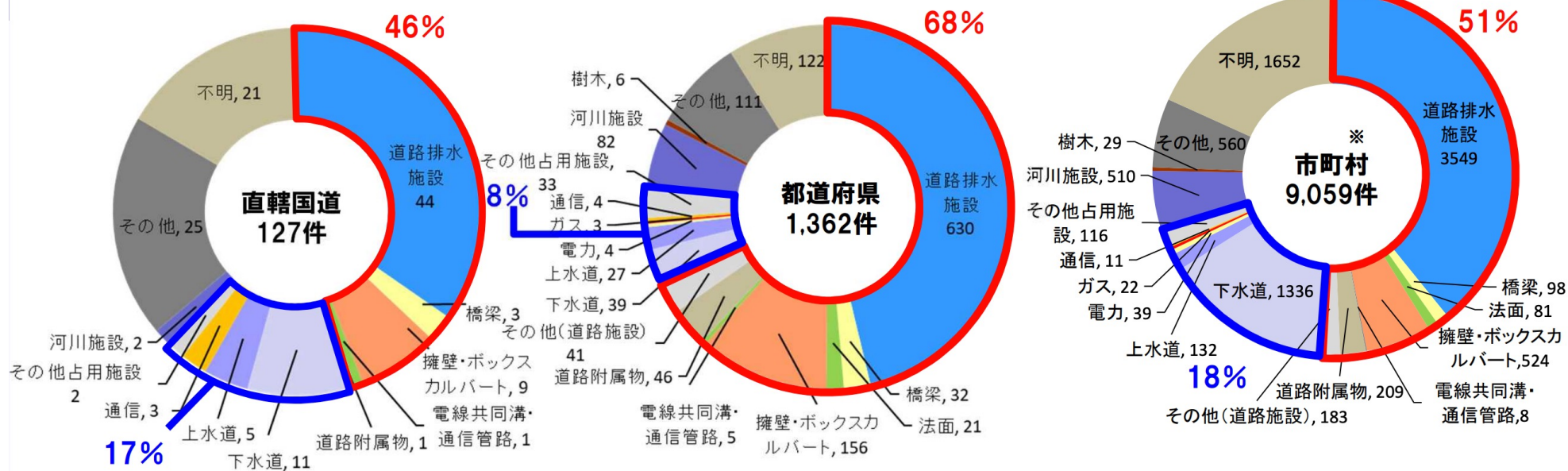


土と水の相互作用
により発生

- ・ 擁壁や河川施設に起因するケースも多い

2023年3月には道路土工構造物点検要領の「特定土工構造物」に
「河川隣接区間として前面に並行して河川がある盛土及び擁壁」追加

令和4年度



下水道などの埋設管渠による空洞と陥没の発生過程

ムービーです

地下水位下で空洞は横に拡大

- 地下水位より上では空洞は縦に拡大
- 地下水位が高いと大きな陥没
- 深いほど大規模な陥没になる可能性



護岸損傷による空洞と陥没の発生過程

ムービーです

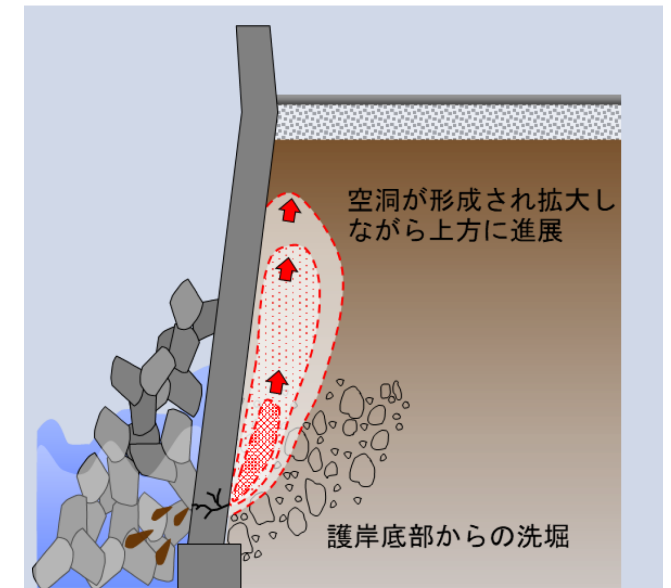
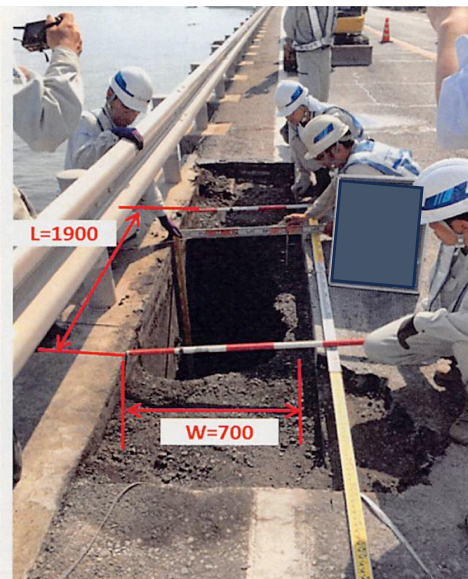
- 地下水と土砂流出が排水孔や護岸損傷部付近で発生
- 地下水位より上の空洞は擁壁に沿って上昇
 - 地表付近で横断方向に成長
 - 洪水や高潮などのイベントで一気に拡大する傾向



目的

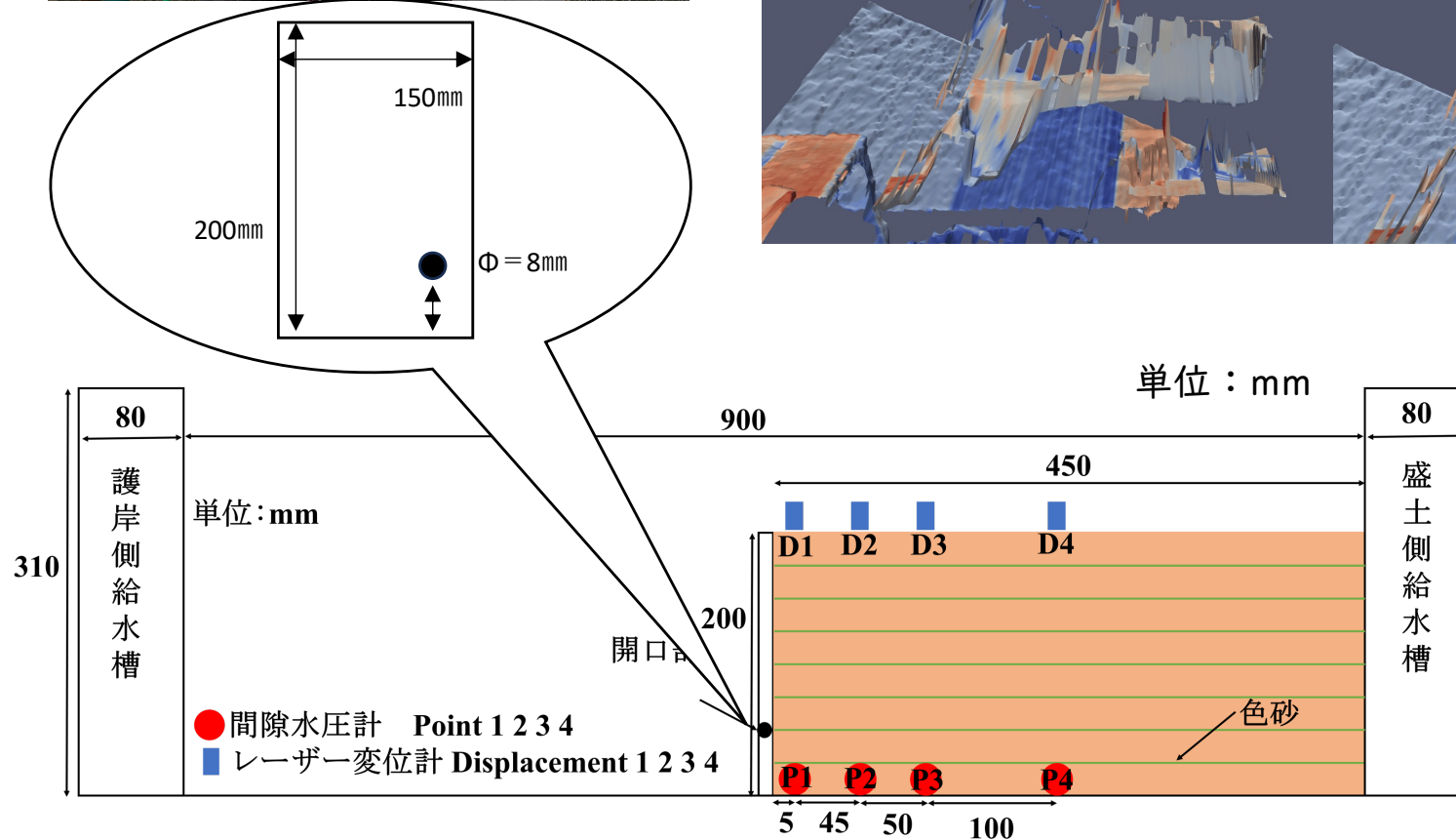
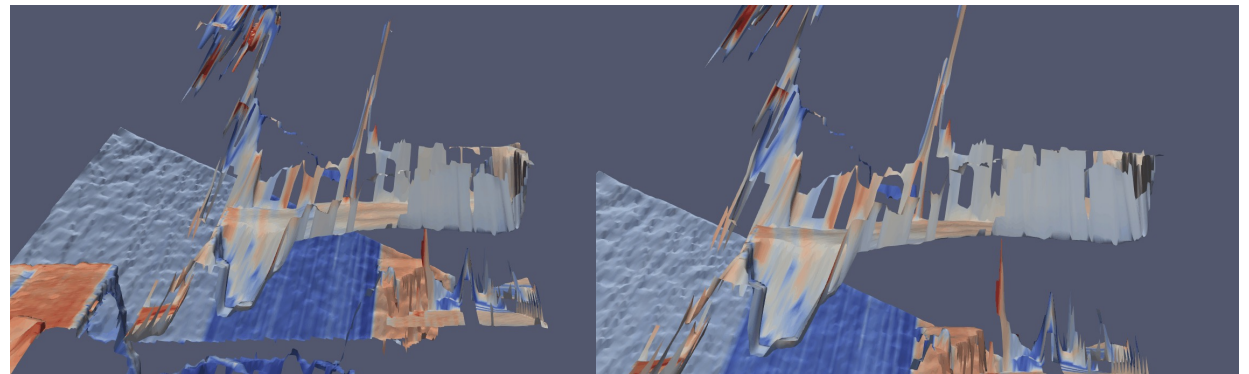
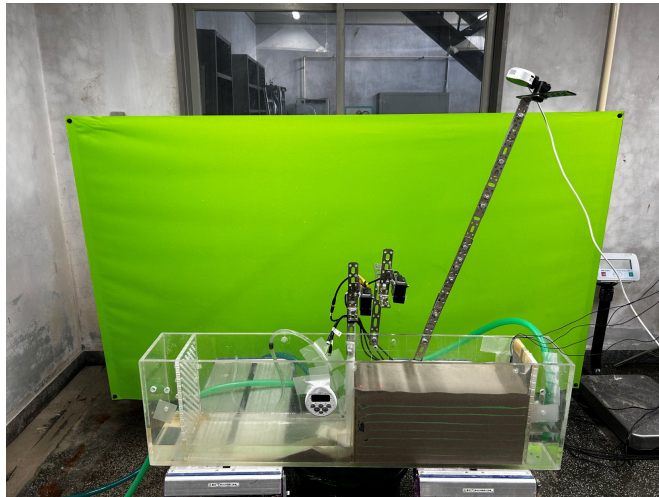
海岸・河川沿い道路における比較的深い空洞および陥没の発生・発達過程を，模型実験や現地調査によって明らかにすることを目的

- ① 護岸付近に発生する空洞に対して，盛土の土質および擁壁摩擦が与える影響を把握するための**模型実験**
- ② 山口県内の国道において**現地調査**を実施し，発見された比較的深い位置の空洞について経過観察

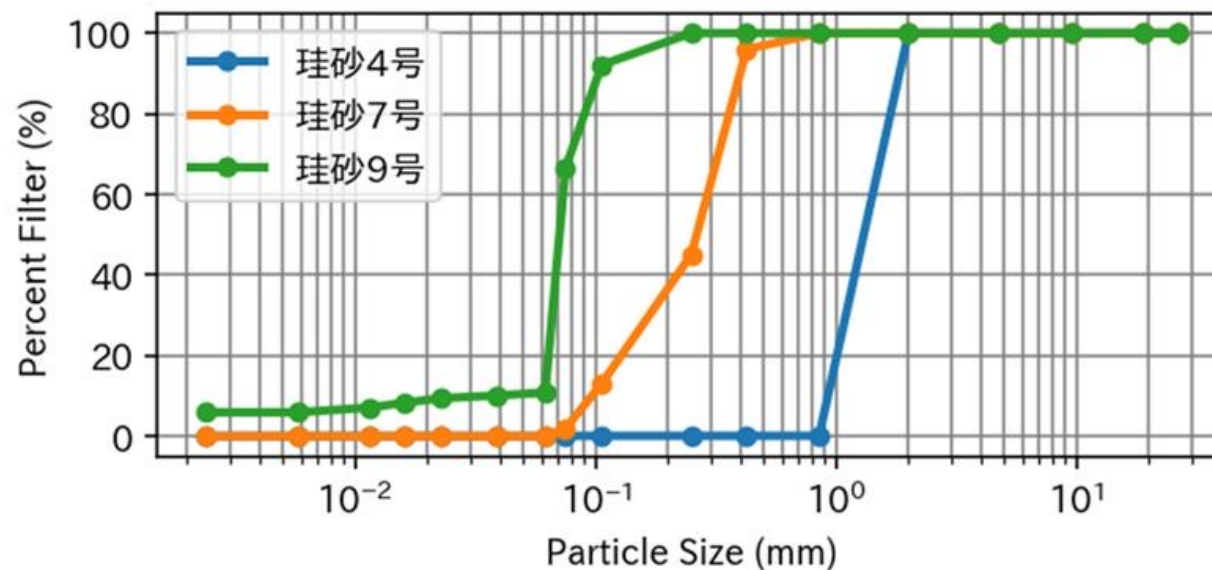


② 模型実験

模型実験：実験模型



模型実験：土質試料



粒度分布図

土質性状

試料	透水係数 (m/s)	最大乾燥密度 (g/mm ³)	締固め 度 (%)	粘着力 (kN/ m ²)	内部摩擦 角 (°)
珪砂4号	4.04×10^{-3}	1.42×10^{-3}	90	7.5	34.66
珪砂7号	2.39×10^{-4}	1.44×10^{-3}	90	2.2	32.24
珪砂9号	4.18×10^{-5}	1.38×10^{-3}	90	0.9	31.75

模型実験：実験過程

実験開始前

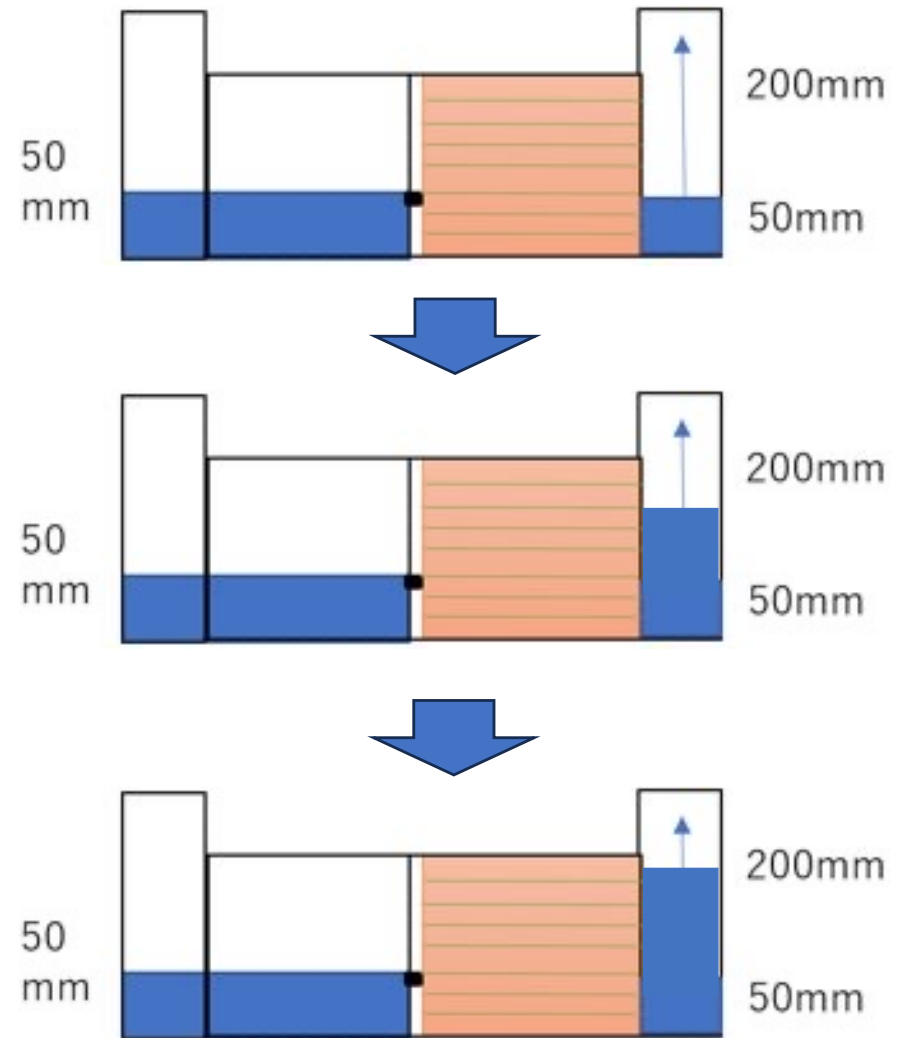
- 土槽水位を200 mmに上げ完全飽和させる
- 水位を初期水位まで下げる

実験(排水)開始

- 護岸側水位: 一定
- 盛土側水位: 10分毎に50 mm上昇

実験終了

- ① 陥没が発生した時点
- ② 40分が経過



模型実験：実験ケース

盛土の土質による影響の確認

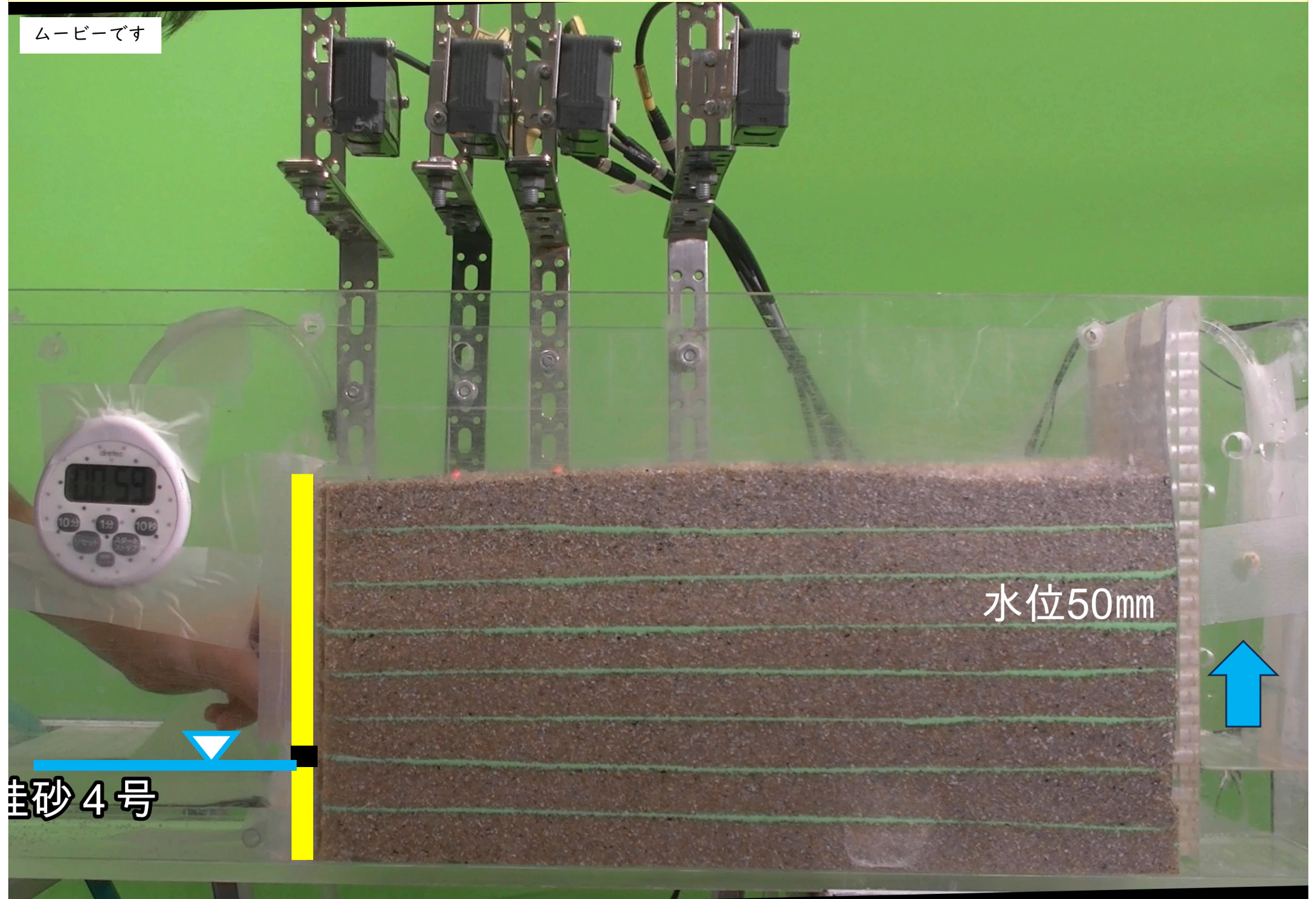
ケース	試料	擁壁	開口径	開口部位置
1	珪砂4号	アクリル	8mm	底部から50mm
2	珪砂7号	アクリル	8mm	底部から50mm
3	珪砂9号	アクリル	8mm	底部から50mm

擁壁の摩擦による影響の確認

ケース	試料	擁壁	開口径	開口部位置
4	珪砂4号	耐水 ペーパー	8mm	底部から50mm
5	珪砂7号	耐水 ペーパー	8mm	底部から50mm
6	珪砂9号	耐水 ペーパー	8mm	底部から50mm

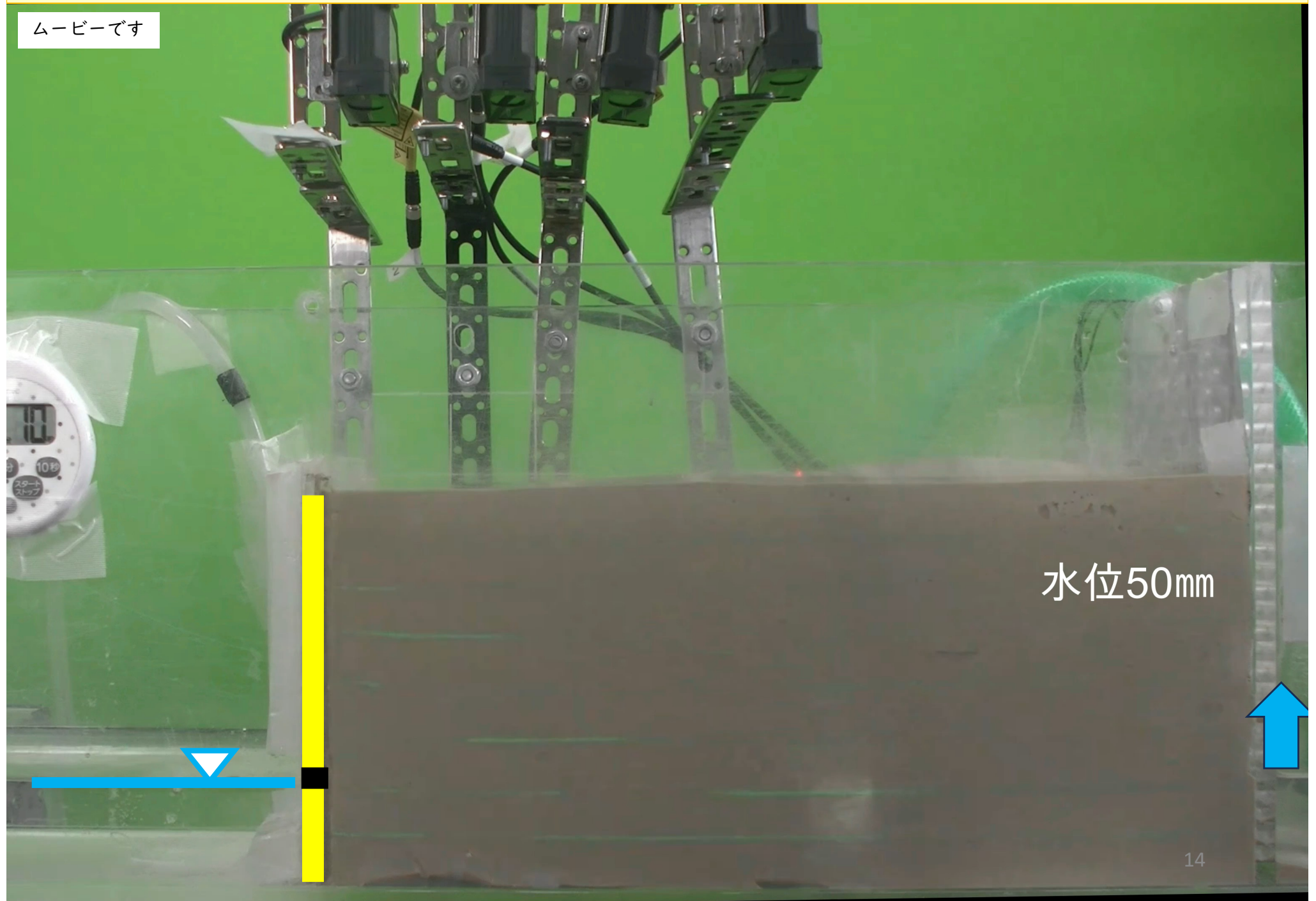
模型実験：実験結果（ケースⅠ：珪砂4号-摩擦なし）

ムービーです



模型実験：実験結果（ケース3：珪砂9号-摩擦なし）

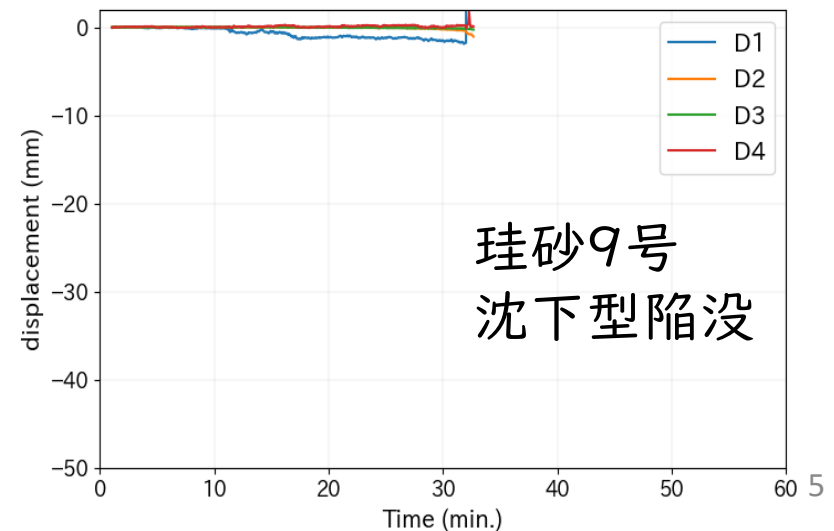
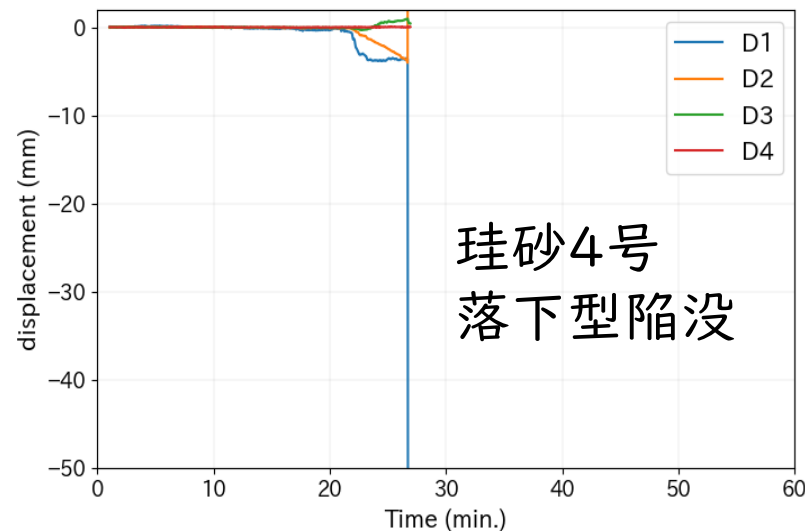
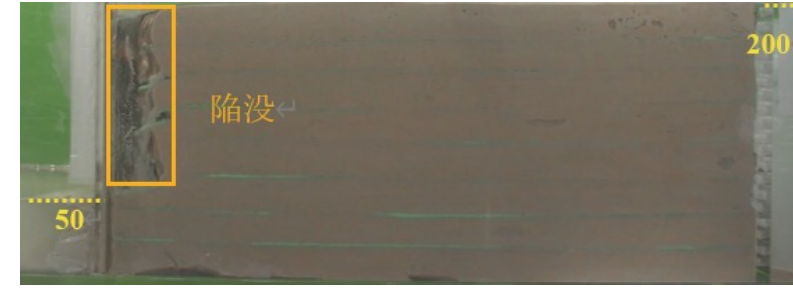
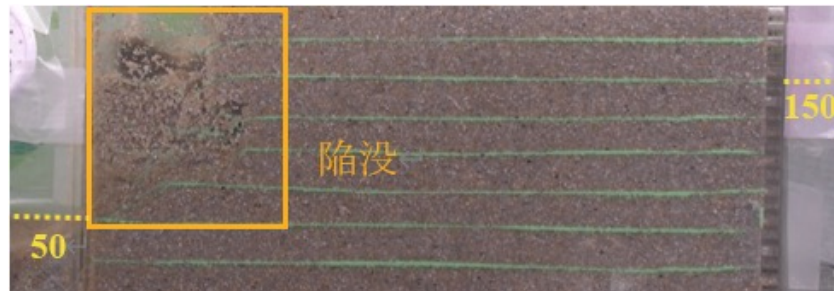
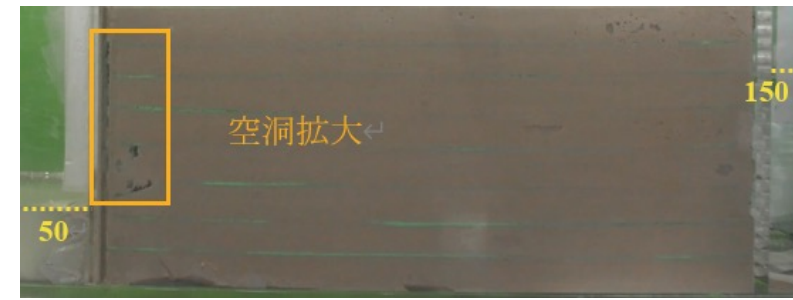
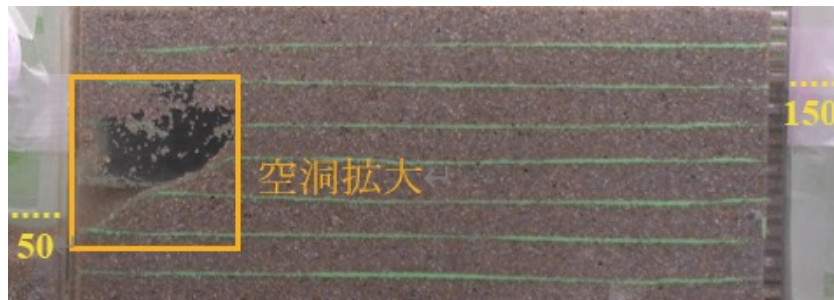
ムービーです



模型実験：実験結果（盛土の土質の影響）

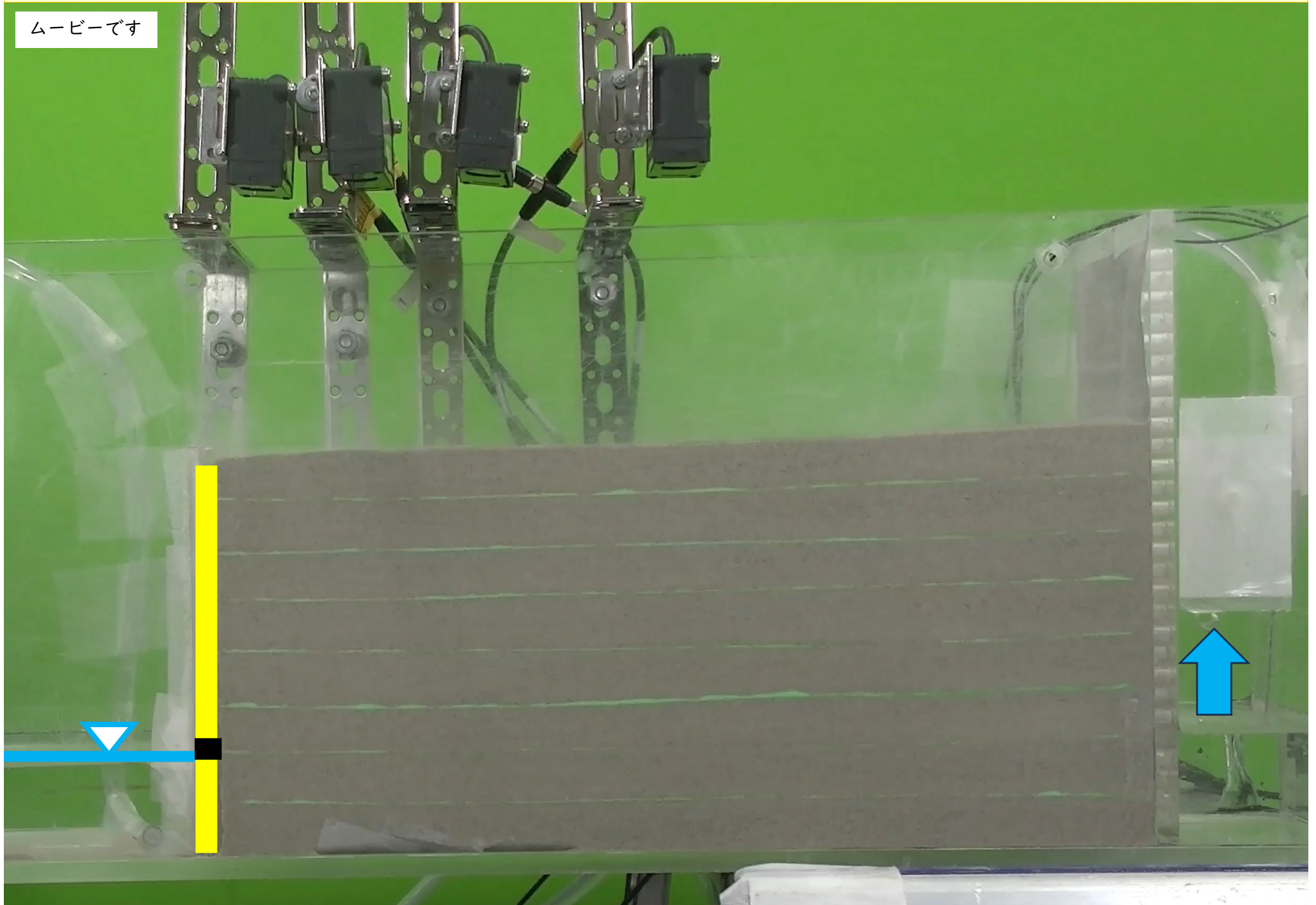
珪砂4号・7号：空洞拡大後，短時間に陥没発生（落下型陥没）

珪砂9号：空洞拡大せず，徐々に陥没発生（沈下型陥没）



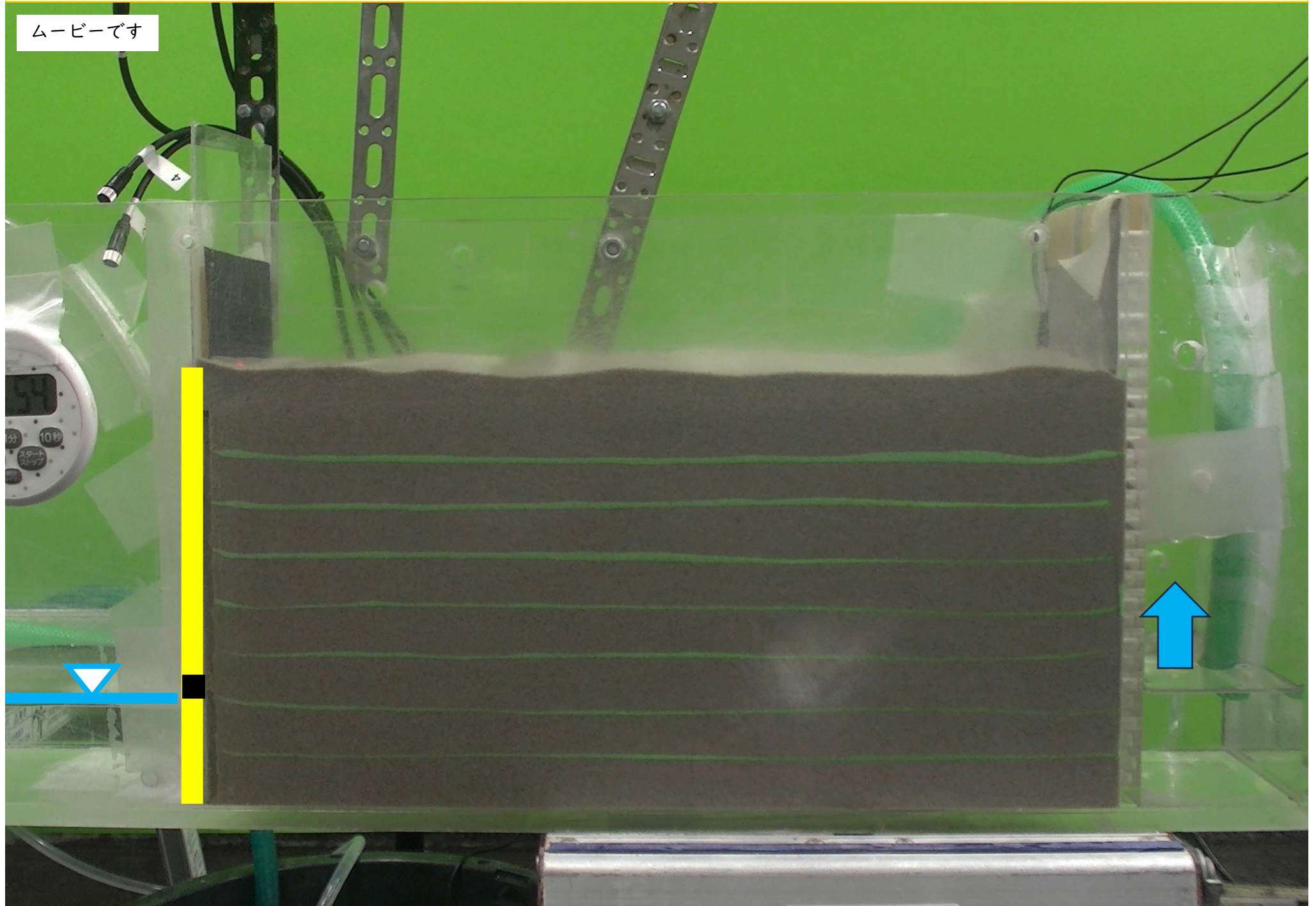
模型実験：実験結果（ケース2：珪砂7号-摩擦なし）

ムービーです



模型実験：実験結果（ケース5：珪砂7号-摩擦あり）

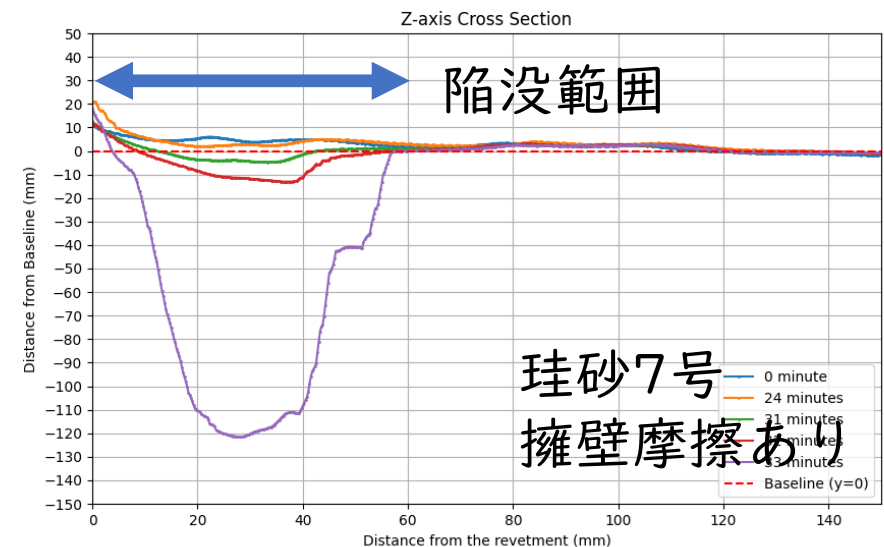
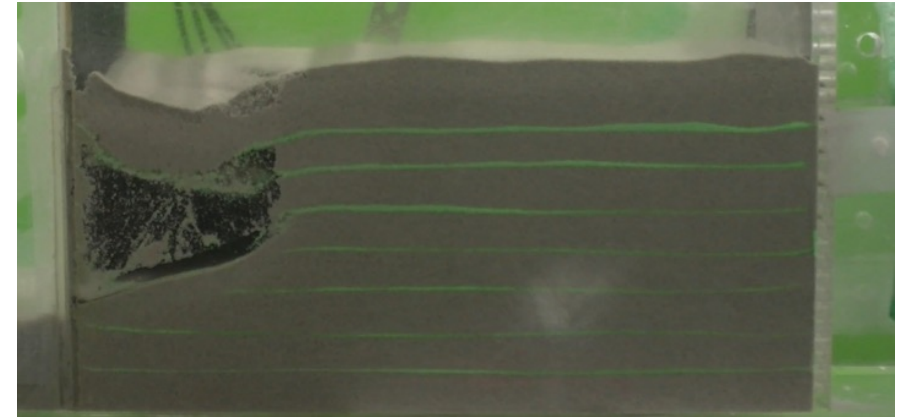
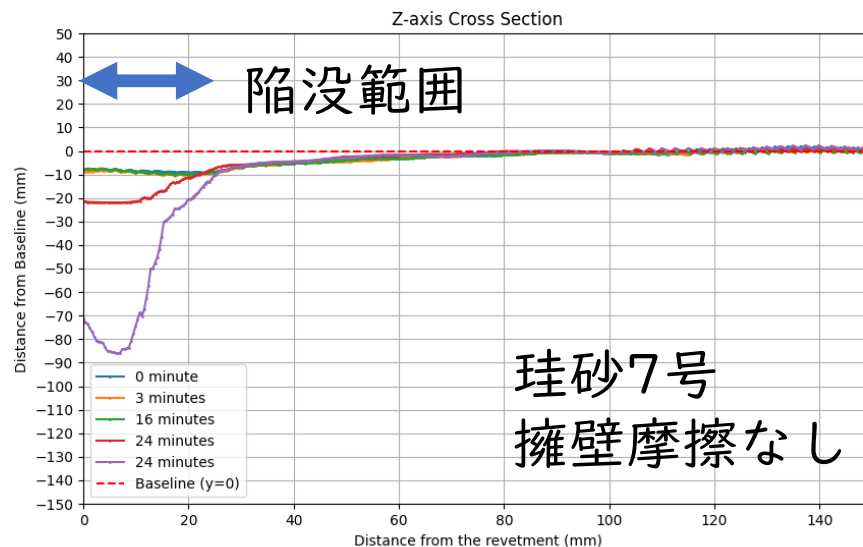
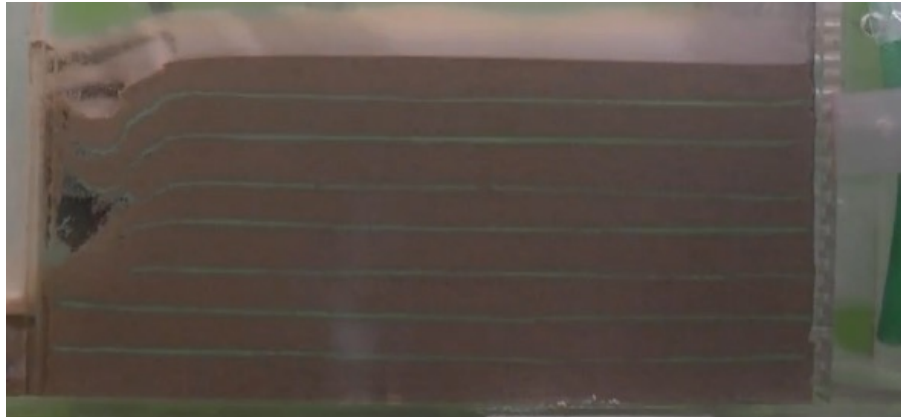
ムービーです



模型実験：実験結果（摩擦の影響）

擁壁摩擦なし：空洞拡大後，限られた範囲に陥没発生

擁壁摩擦あり：空洞拡大後，広い範囲に陥没発生



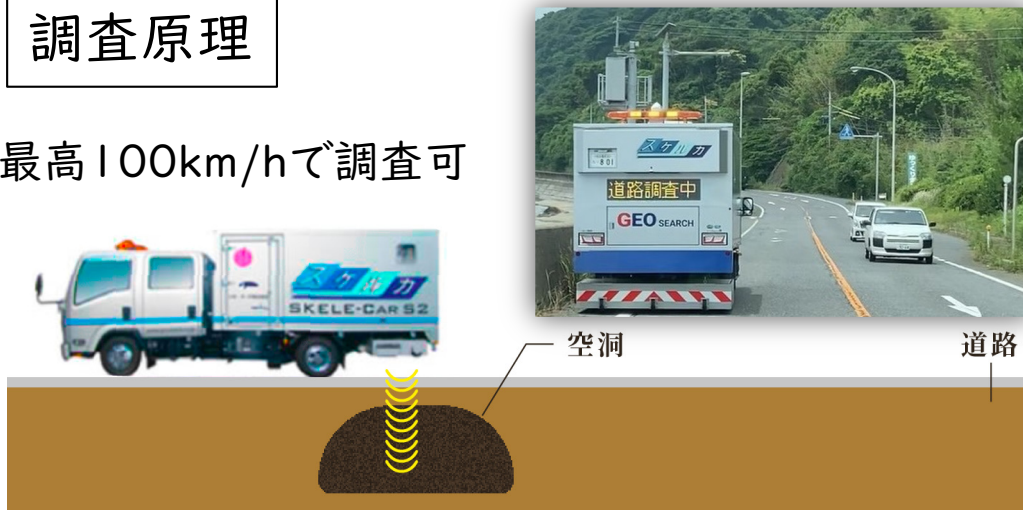
③ 現地調査

レーダー調査で空洞を事前把握し，埋め戻しで対応

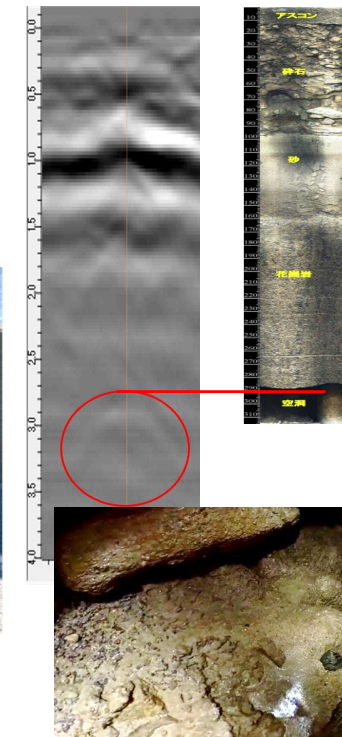
従来のレーダー探査技術の適用最大深度は1.5m．護岸付近の深い空洞を早期に探知するため，適用最大深度が3.0mまでのレーダー探査技術を新たに開発

調査原理

最高100km/hで調査可



異常信号箇所

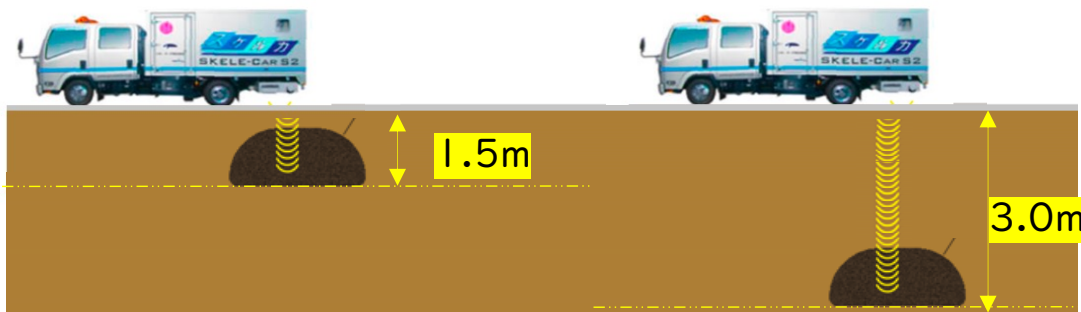


種類

八潮市道路陥没の
周辺調査でも使用

従来型（スケルカD）

深部型（スケルカDper）



空洞探査車	従来型 スケルカD	深部型 スケルカ Dper
探査深度	1.5m	3.0m
探査幅	2.5m	2.0m
最小検知 空洞規模 (広がり縦×横 ×厚さ)	0.5×0.5m ×0.1m	1.0×1.0m ×0.3m

空洞探査車のさらなる改良

2～3回/年（梅雨前，台風期後，豪雨後） 空洞探査車を走行させ，経過観察

2022年6月～2023年10月



2024年1月～



通常探査範囲

1.5m

深部探査範囲

3.0m

横に30cm張り出す

＜計測範囲をより護岸側へ＞

レーダー調査で異常が見つかった例

ムービーです



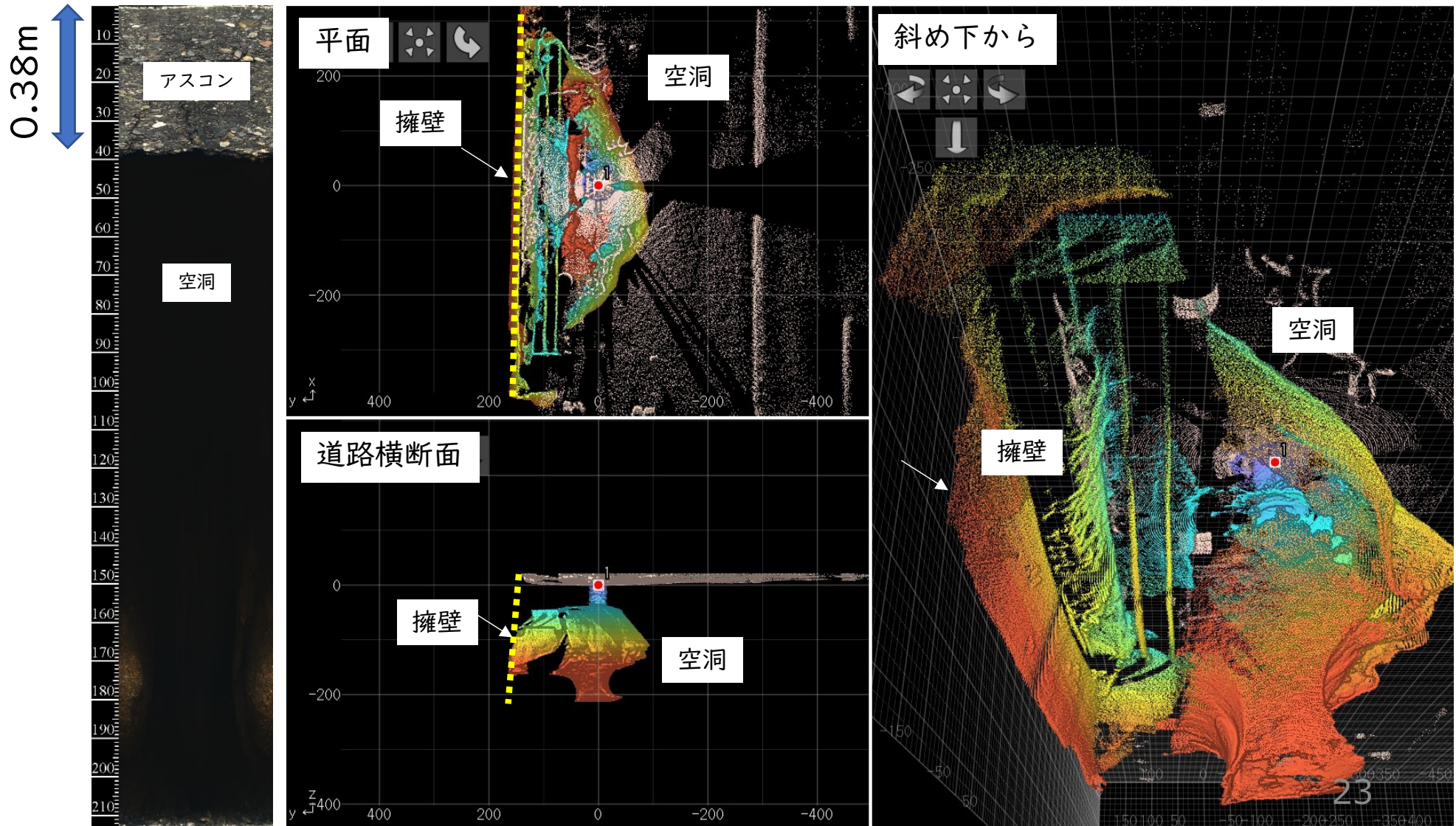
動画です

レーダー調査で異常が見つかった例①

護岸に沿って空洞が発達，アスコン下に空洞が拡大

ランクB，発生深度：0.38m， 空洞厚：1.74m
概略広がり：縦断4.5m×横断1.6m

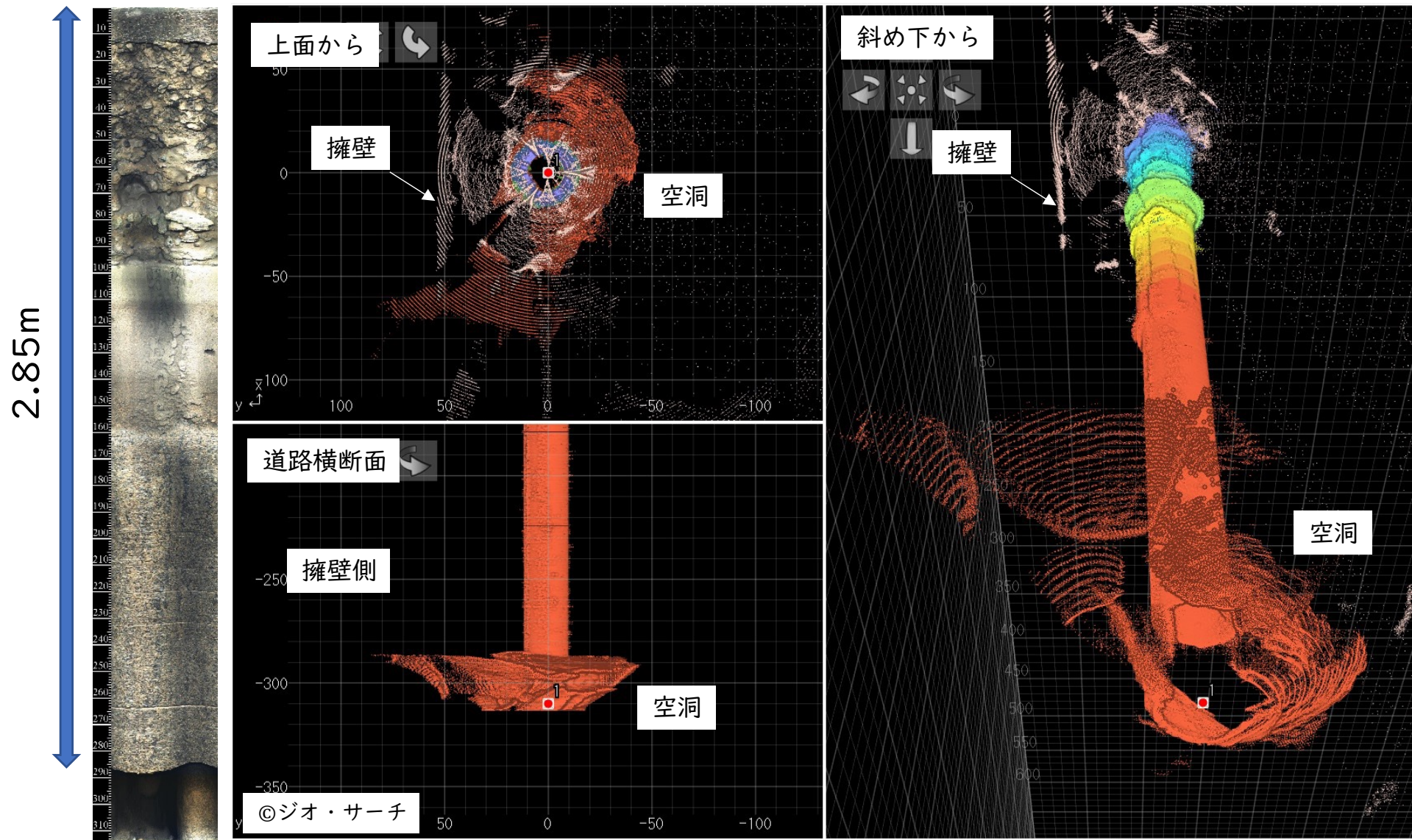
➡ 即日埋戻し復旧完了



レーダー調査で異常が見つかった例②

深い位置から護岸に沿って空洞が発達．花崗岩下に空洞が拡大

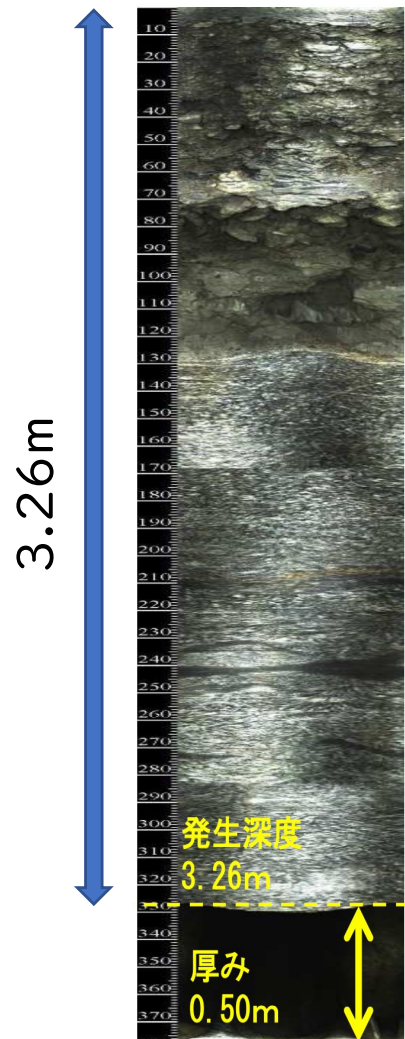
ランク判定外， 発生深度：2.85m， 空洞厚：0.30m



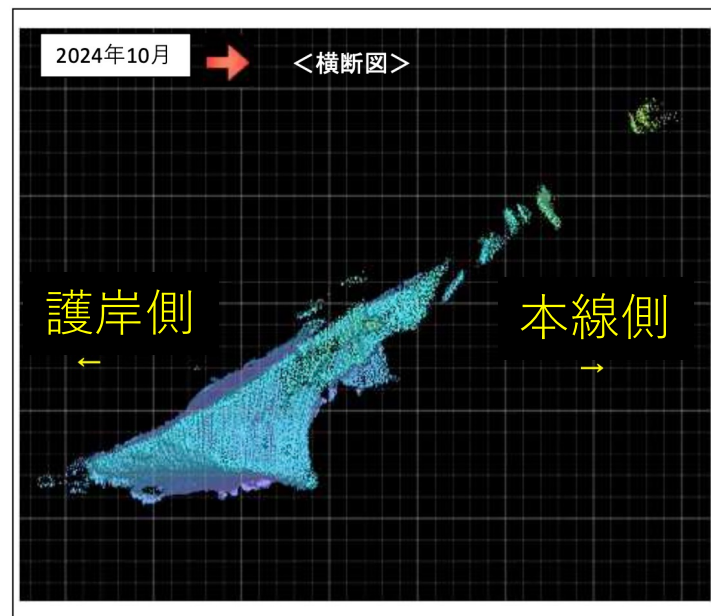
レーダー調査で異常が見つかった例③

深い位置から護岸に沿って空洞が発達．花崗岩下に空洞が拡大

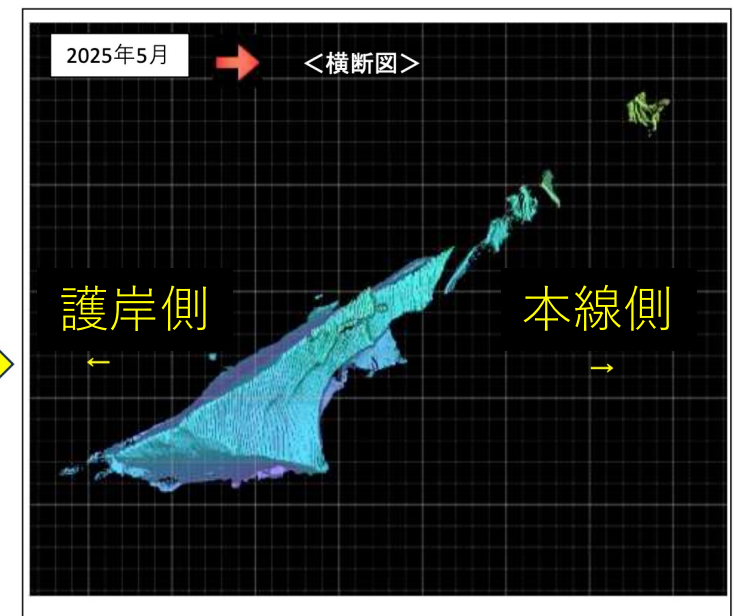
ランク判定外， 発生深度：3.26m， 空洞厚：0.50m



3～4回/年 内部観察を実施



7か月後



例②③については経過観察中

例③ <2024年2月>



<2024年10月>



<2025年5月>



<2025年2月>

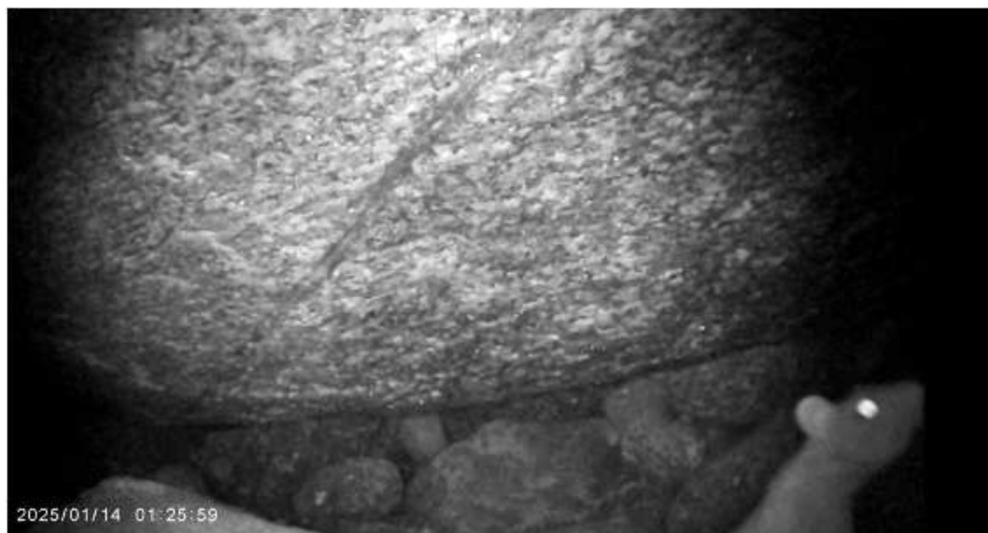


発泡スチロールの
移動を確認

例②③については経過観察中

例③

2025年1月14日 AM1:25



- ・ ネズミが確認されたため、小規模な侵入口が存在

④ ま と め

まとめ

①模型実験：

護岸に沿って上方に空洞が発達，表層に達すると横断方向に拡大
盛土側水位が護岸側水位より高い場合に急速に空洞が発達

- ＋ ・ 盛土の土質により陥没発生形態が異なる
- ・ 擁壁の摩擦により陥没範囲が変わる

②現地調査：

比較的深い空洞を対象とした空洞探査車開発

- ＋ ・ 現地調査でも模型実験におけるプロセス確認
- ・ 深い位置の空洞に雨水・波浪によると思われる水の動き存在
(外力となり空洞を拡大する要因の可能性)



壊れ方が分かれば，
計り方が見えてくる

深い空洞の探査技術の実用化

← 早期発見による陥没防止の実現

