

## 神戸の減災研究会WG3 -のり面, 斜面の点検に関する研究

1

### メンバー

- 河井克之 (近畿大学): WG長
- 沖村孝 ((一財)建設工学研究所)
- 芥川真一(神戸大学)
- 鍋島康之(明石工業高等専門学校)
- 野並賢 (神戸市立工業高等専門学校)
- 桃井信也 (㈱アサノ大成基礎エンジニアリング)
- 北田憲嗣 (応用地質㈱)
- 古田研二 (大嘉産業㈱)
- 甲斐誠士 (大日本ダイヤコンサルタント㈱)
- 大原一哲, 西村正人 (㈱日建設計)
- 西川大亮 (㈱パスコ)
- 尾方武文 (ヒロセ補強土㈱)
- 宮田浩志郎, 高橋宏文, 奈良杏子, 青木一真 (明治コンサルタント㈱)
- 歳藤修一 (ライト工業㈱)
- 伊藤修二 (前田工織㈱)
- 神戸市関連部局 技術管理課, 防災課, 道路工務課

2

### のり面, 斜面点検に関わる問題

- ✓ 線状降水帯の発達頻度
- ✓ 残土・発生土, 不正な地形変更
- ✓ 多くの点検対象
- ✓ アクセスの制約
- ✓ 外観から健全度を評価することの困難さ
- ✓ 盛土の経年劣化や外環境変化
- ✓ 構造の多様性
- ✓ 地域特性
- ✓ 季節的变化

求められるスケール, 量, 質に  
応じて使い分け

- 踏査・目視
- ボーリング～要素試験
- 定点観測
- サウンディング・物理探査
- リモートセンシング

3

### WGの実施

5月31日

第1回WG

1. 話題提供: 宇宙線イメージング技術を用いた土木構造物の観測  
森島准教授 (名古屋大学理学部物理学科)
2. 神戸市における衛生SAR活用事例について-玉坂トンネル  
神戸市道路工務課

7月10日

第2回WG

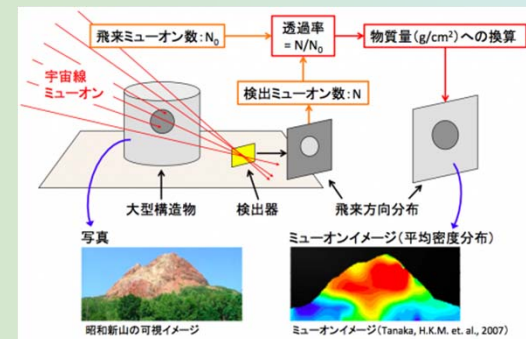
1. 話題提供: 衛星SAR干渉レーダー解析による玉坂トンネル坑口変状  
基礎地盤C
2. 2015年トンネル調査時の報告書抜粋  
河井

4

## 宇宙線イメージングを用いた土木構造物の観測

5

## 宇宙線ミュオン

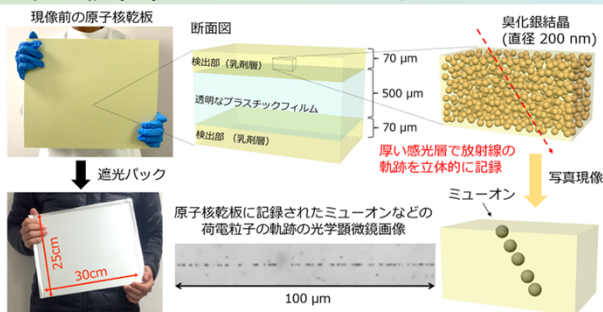


名古屋大学F研基本粒子研究室HP

- 宇宙からの放射線で手のひらの面積で1秒間に1個程度の面積で
- 数kmの透過性があり, 透過途中に減衰→到達粒子数から透過物を推定

6

## 原子核乾板によるミュオン計測

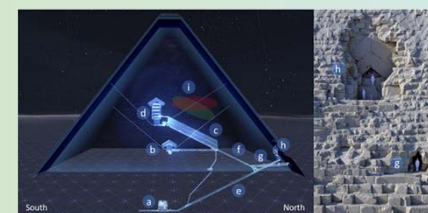


北川ら:地盤工学会誌 (2024)

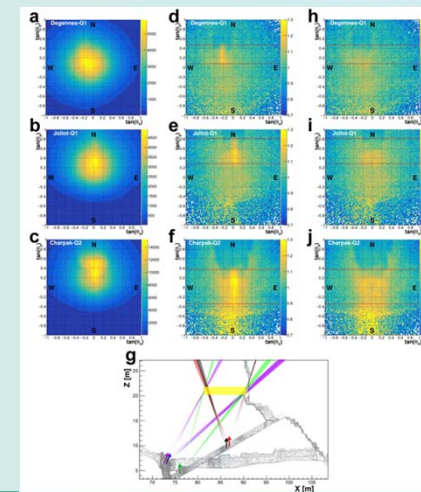
- 複層構造のX線フィルム
- 透過粒子数と飛来方向を記録
- 電源を必要としない
- 複数設置された原子核乾板記録を解析することで透過物を同定

7

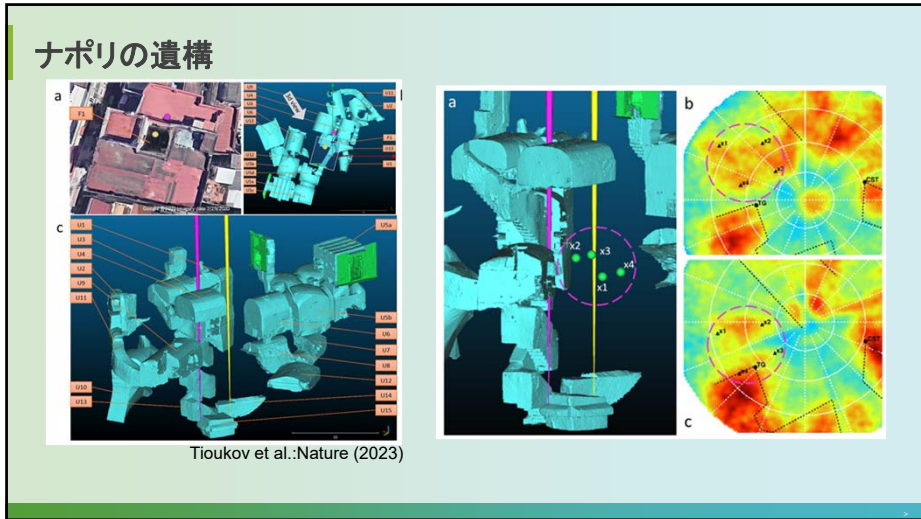
## ピラミッド内部構造



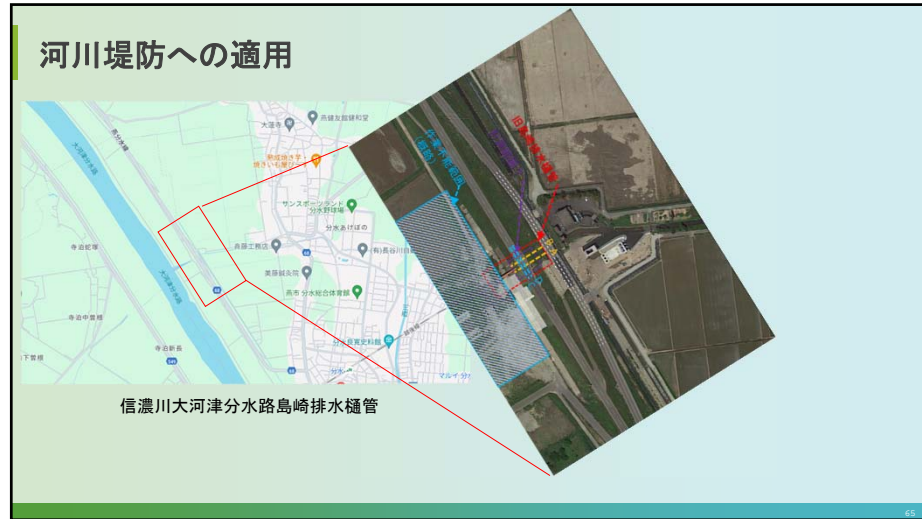
- ピラミッド内の未発見の空間を検出



8



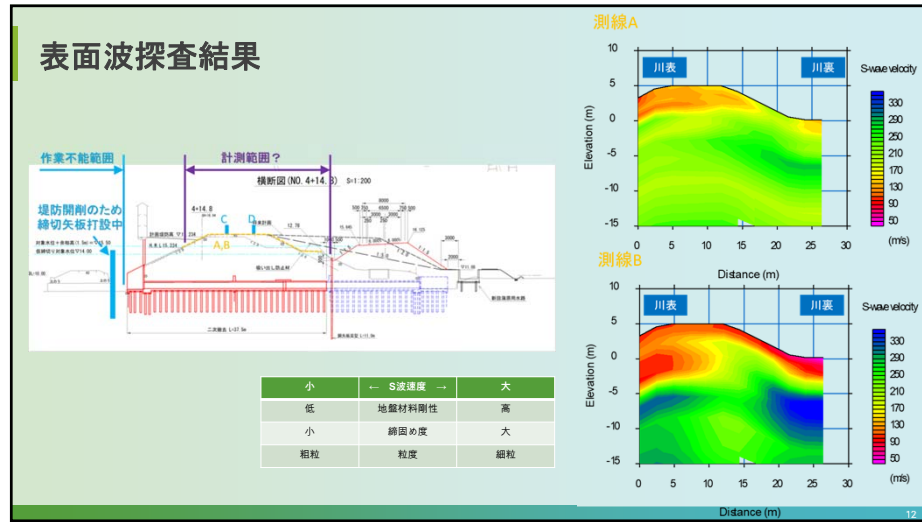
9



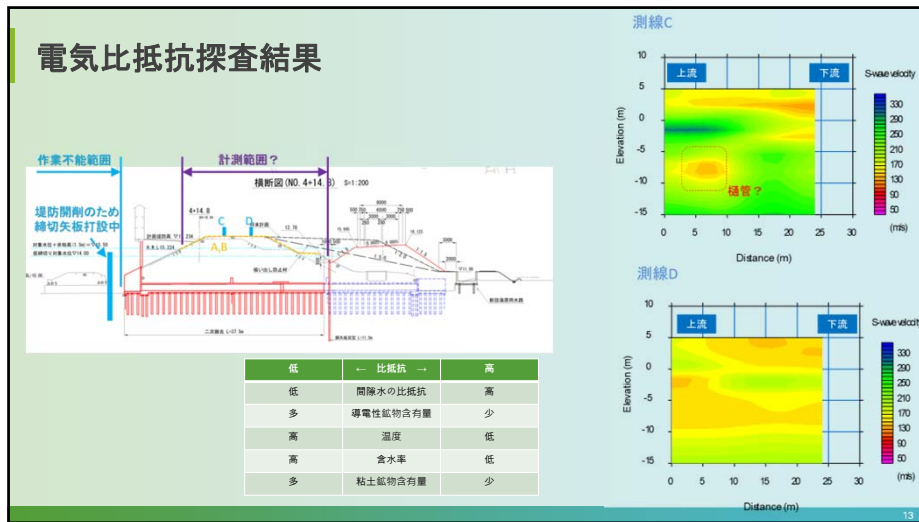
10



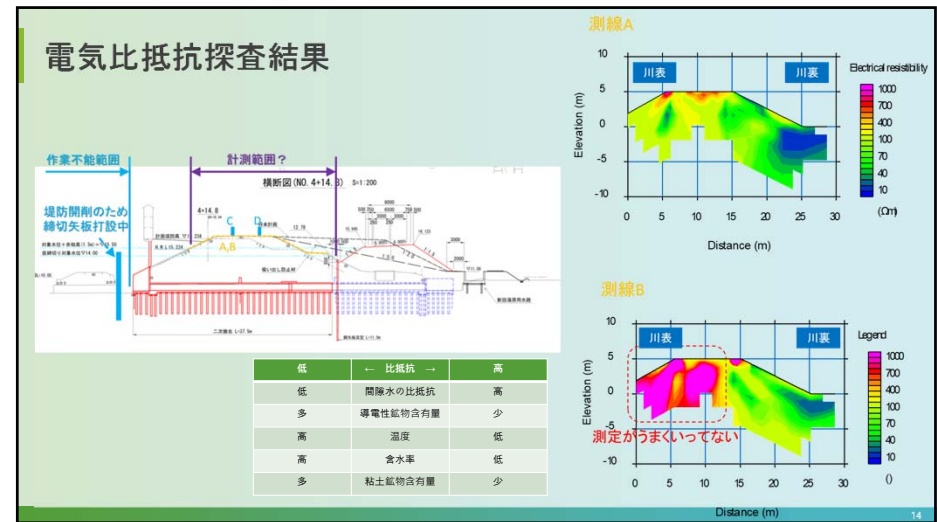
11



12



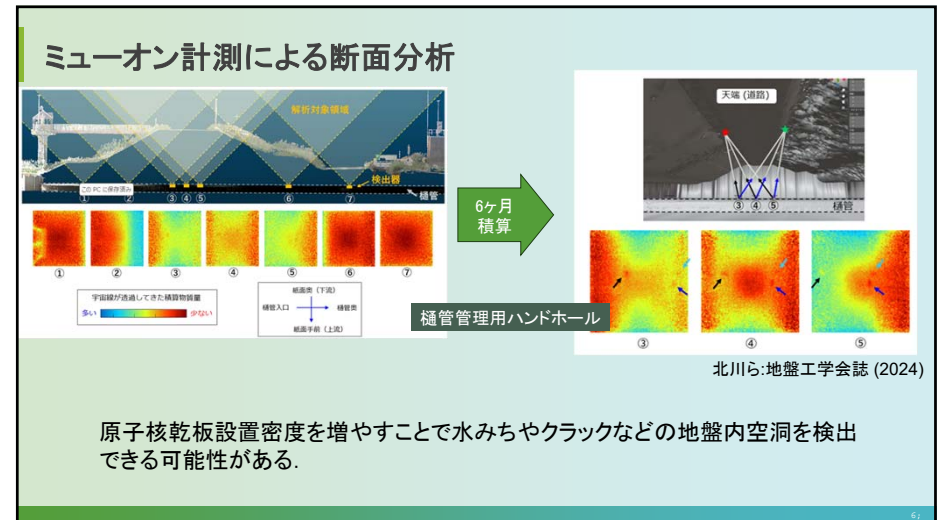
13



14



15



原子核乾板設置密度を増やすことで水みちやクラックなどの地盤内空洞を検出できる可能性がある。

16

# 衛星SAR干渉レーダーの玉坂トンネル坑口変状調査

17

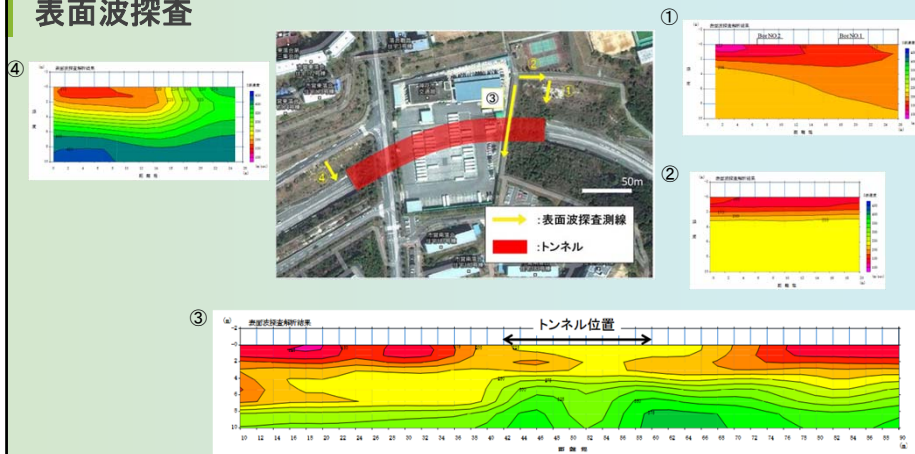
# 玉坂トンネル概況



東側坑口上部パラペット、道路擁壁、北側法面変状(2012)

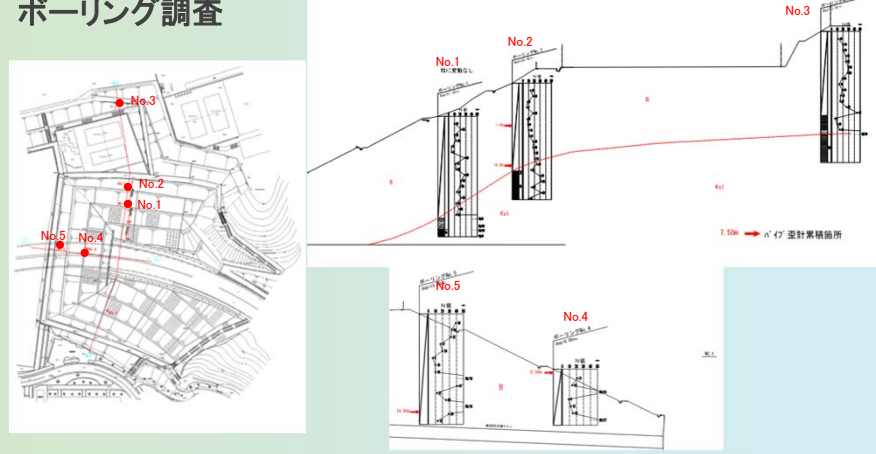
18

# 表面波探査



19

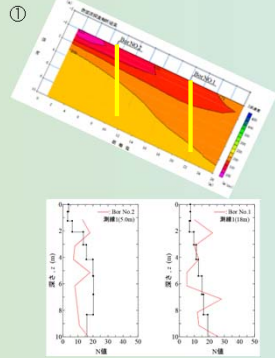
# ボーリング調査



20

### 表面波探査まとめ

トンネル東側は西側に比べて緩い状態

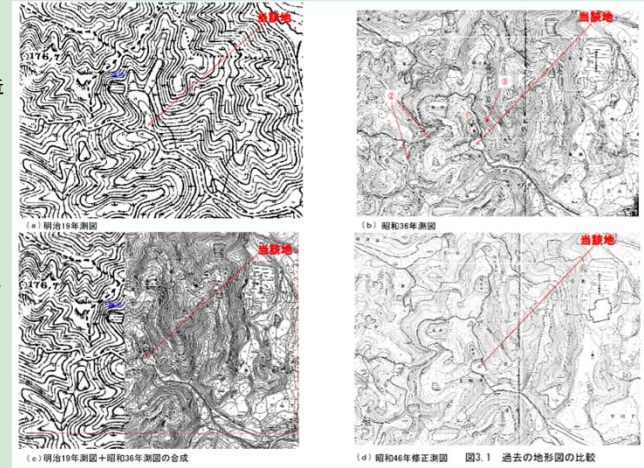


### 地歴調査1

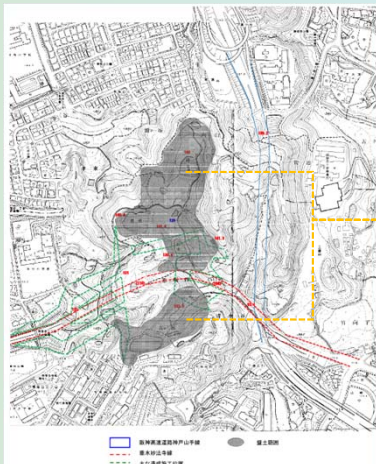
- トンネル東口坑口付近で新しい池
- 血池南側の尾根形状の変化→急崖の発現
- 新池に隣接する東側斜面の形状変化



圃場整備に伴う人的掘削を誘因とする地すべり、崩壊？



### 地歴調査2

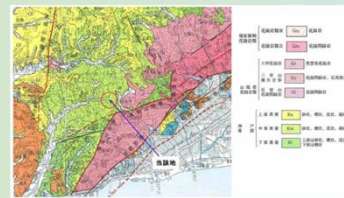


谷埋め盛土

坑口東側でより多くのため池を埋めているので変状がより顕著？

昭和46年→平成22年

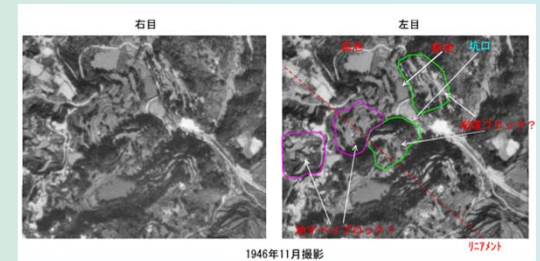
### 空中写真判読



地質学的には、トンネル東口で受盤、西口で流れ盤



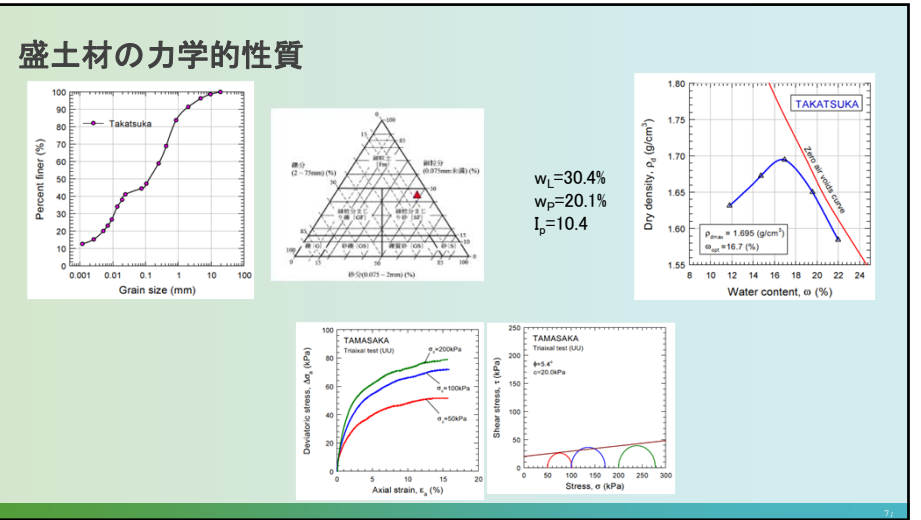
- 断層による亀裂発達、地層勾配の変化？
- 地表浸食や人的地形改変によって異なるブロックが形成？



1946年11月撮影



図4 トンネル東側坑口周辺の状況



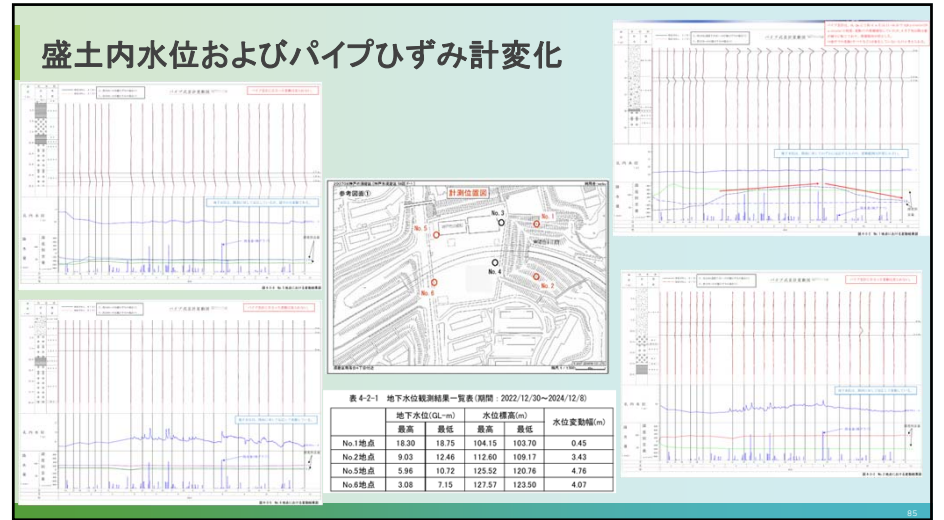
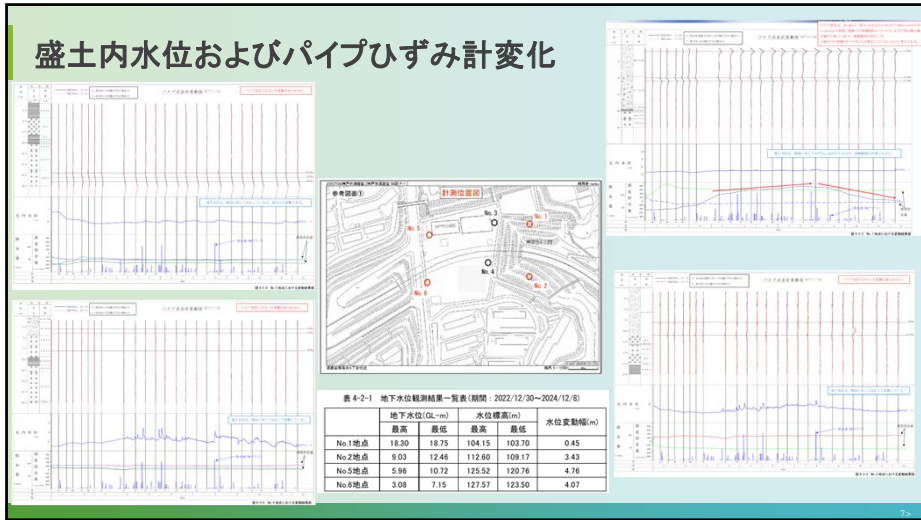
### 総合評価

- パラペット変位
  - 降雨時にパラペットひび割れ部から漏水→降雨との相関はない。
  - 背面の排水施設が損壊
  - パラペットに過大な土圧
- 道路擁壁のひび割れ
  - 擁壁自体の移動、傾きはなし。ひび割れの主要因はアルカリ骨材反応。
- 擁壁上部地盤変形
  - 非常に脆弱な地盤。擁壁や構造物に重大な損壊を生じさせるような変状ではない

パラペット背面の排土、ボーリング位置での孔内水位観測

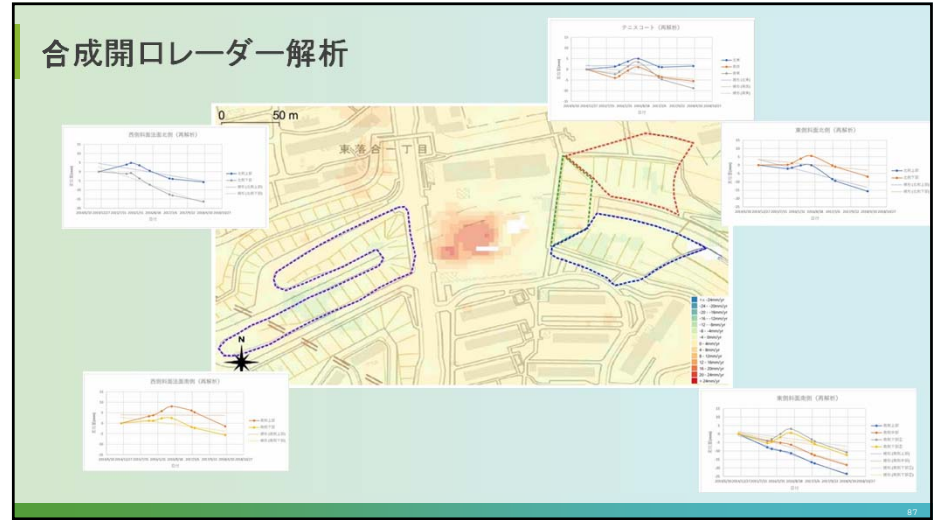
### 令和5年度の追加調査

垂水妙法寺線(須磨区東落合地区)において、過年度からひび割れや湧水等の変状や不具合が生じている現地盤、道路(造成)盛土、トンネル躯体(玉坂トンネル)および擁壁躯体等について、道路を維持管理していくにあたって、最適な対策工法や補修方法の選定を行うことを目的に、令和4年度に行った地質調査結果や、継続している変状等調査を引継ぎ、解析のうえ、変状メカニズムの解明および原因推定を行う。



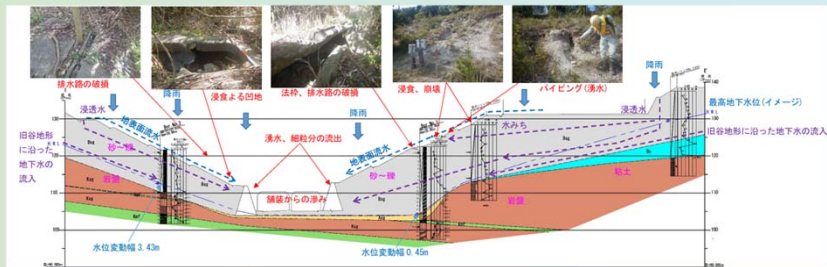
### 各箇所における変状および素因・誘因、対策(案)

|          | 現地の主な変状                    | 素因   | 誘因  | 対策(案)                                     |
|----------|----------------------------|--|---|---|
| 玉坂トンネル東側 | ①法面表層部の浸食、崩壊、パイピング(水みち)、湧水 | ・盛土は、層厚最大20m程度であり、砂質土～礫質土が分布している。<br>・劣化(スレーキング)しやすい軟岩(神戸層群)を盛土材とした深い容積の盛土である。<br>・排水施設や表面保護工が機能低下(経年劣化、土砂堆積など)している。<br>・盛土が不均質で部分的に粘性土層(不透水層)が分布し、その上に雨水や水みちが形成されている。 | ・降雨による地表面流水<br>・降雨による浸透水による飽和や地下水の上昇<br>・旧谷地形に沿った地下水の流入 | ・法面保護工(浸食防止対策)の追加<br>・地表面排水工の補修、もしくは追加、清掃 |
|          | ②法枠工の破損、特内の地盤の流出           | ・排水施設や表面保護工が機能低下(経年劣化により破損など)している。<br>・木の根などの侵入など<br>・地表面排水工の機能低下(破損、土砂等の堆積)   | ・降雨による地表面流水<br>・破損箇所からの湧水                               | ・地表面排水工の補修、清掃                             |
|          | ③地表面排水工の破損、破損箇所への孔         | ・隣壁背後に高強度土が分布している。<br>・腐葉土等に排水工が位置する。  | ・排水工からの漏水や溢れた水<br>・地下水の流動                               | ・地表面排水工の補修、清掃<br>・埋戻しの水抜き工の清掃             |
|          | ④隣壁からの湧水および部分的流出           | ・道路勾配および法面より、東側車道への地下水が流動している可能性。  | ・降雨による浸透水による地下水位の上昇                                     | ・水抜き工や隣壁排水工などの追加<br>・地表面排水工の補修、清掃         |
|          | ⑤車道舗装からの湧み(観測時未確認)         |  |   |   |
| 玉坂トンネル上側 | ①東側状口上部の浸食、小崩壊             | ・劣化(スレーキング)しやすい軟岩(神戸層群)を盛土材とした盛土である。<br>・排水施設や表面保護工が機能低下(経年劣化により破損など)している。   | ・降雨による地表面流水<br>・降雨による浸透水による飽和や地下水の上昇                    | ・法面保護工(浸食防止対策)の追加<br>・地表面排水工の補修、清掃        |
|          | ②法枠工特内の地盤の流出               | ・周辺部から調査地へ表層水などの流入<br>・アスファルト舗装からの地盤へ浸透水   | ・水利用時の排水<br>・降雨による浸透水                                   |   |
|          | ③地表上部からの水の流入               | ・盛土や劣化(スレーキング)しやすい軟岩(神戸層群)は分布している。<br>・浸食や崩壊により植生がない箇所が分布し、法面表層の浸食耐性が低下している。<br>・水工に亀裂が発生している。   | ・降雨による地表面流水<br>・降雨による浸透水による飽和や地下水の上昇                    | ・法面保護工<br>・水工からの漏水                        |
| 玉坂トンネル西側 | ①法面表層部の浸食、崩壊               | ・盛土や劣化(スレーキング)しやすい軟岩(神戸層群)は分布している。   | ・降雨による地表面流水   | ・法面保護工<br>・水工からの漏水                        |
|          | ②法枠工の破損                    | ・盛土や劣化(スレーキング)しやすい軟岩(神戸層群)は分布している。   | ・降雨による地表面流水による斜面変動                                      | ・法面保護工(浸食防止対策)の追加                         |
|          | 水路工の亀裂                     | ・水路工が傾斜地であり、水路に対して下方に引っかけられ、開口亀裂が形成しやすい。<br>・施工(1970年台?)が長期間経過している。  | ・経年劣化   | ・水路工の亀裂の補修                                |





## 玉坂トンネル変状イメージ



当時の対策工施工時には  
注入薬液がなかなか充填できなかった

パイピング跡があるなど土中の局所的な  
流れが原因となっている可能性も

33

## 今後の活動

- 玉坂トンネルで土宙水の局所化およびそれによる浸食に着目した調査を行う
- 電気比抵抗探査→土中水分分布
- ハイパースペクトル撮影→植生分布, 湧水箇所
- ポータブル貫入試験→浸食による締固め度低下
- 光ファイバー観測→降雨～浸食関係
- 宇宙線イメージング→盛土内空洞箇所

34