

# 令和8年度宅地防災技術研修会

## 宅地造成及び特定盛土等規制法の施行に伴う宅地盛土の調査・設計から施工まで

2026年 5月 18日 @大阪府新別館北館4階の多目的ホール

澁谷 啓

## 盛土等防災マニュアルの改正概要と考え方

---

令和5年5月

<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001611604.pdf>

# 宅地造成・特定盛土等

## (宅地造成、特定盛土等)

・盛土箇所の原地盤が不安定な場合や、谷埋め盛土等の崩落リスクが高い盛土の場合は安定計算により安全を確認することを求める  
 ・特に、山間部における河川の流水が継続して存する土地等における15メートル超の盛土の場合は、安定計算を行うことを政令で義務付け  
 ※マニュアル等で暗渠等の構造について具体的に記載

崖面以外の地表面には植栽、芝張り等の措置\*

擁壁等の設置を要さない崖面には石張等の措置

道路の路面の部分その他の植栽、芝張り等の措置の必要がないことが明らかな地表面

盛土等上面の排水勾配

水抜き穴、透水層設置

宅地擁壁

盛土内排水層 (水平排水層)

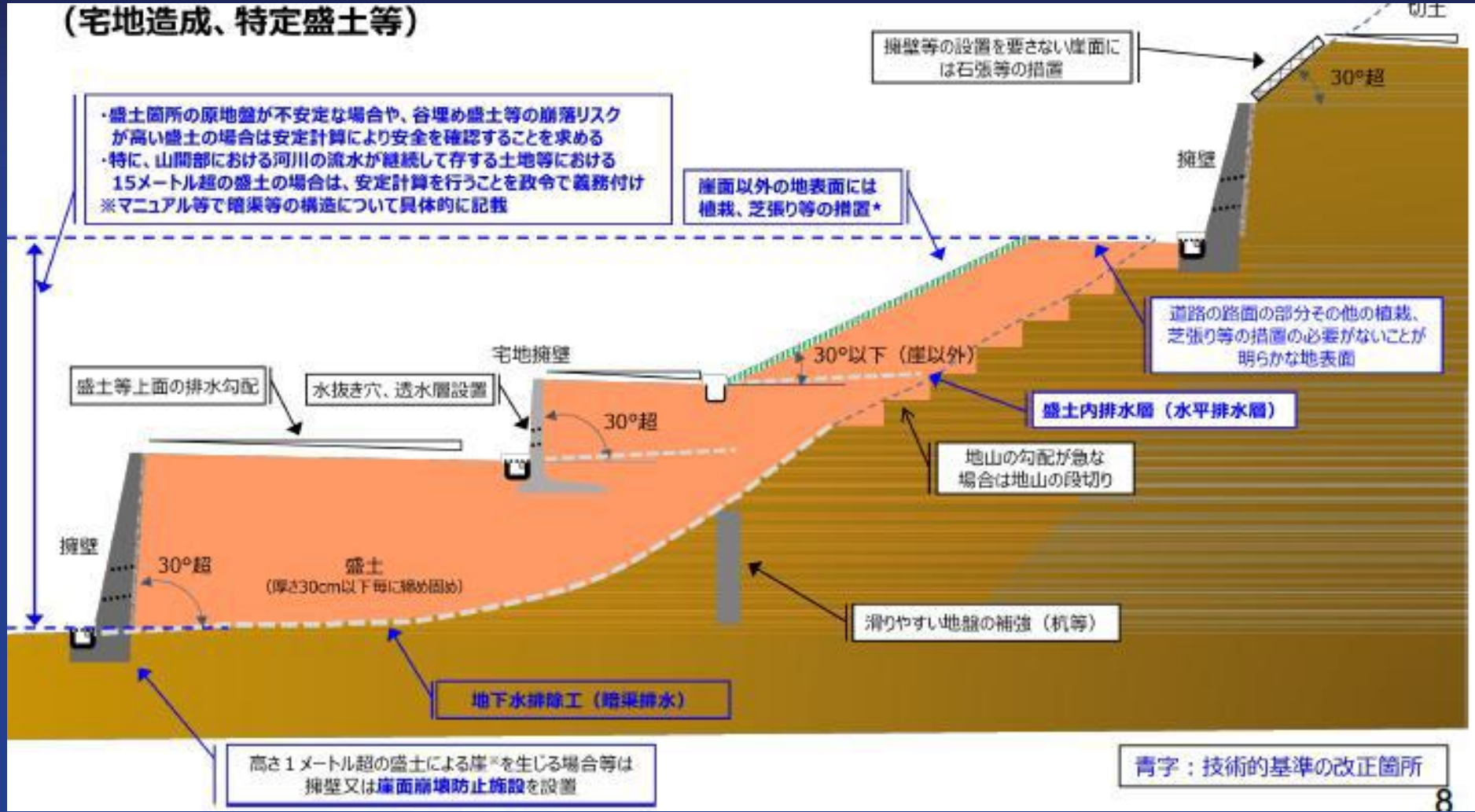
地山の勾配が急な場合は地山の段切り

滑りやすい地盤の補強 (杭等)

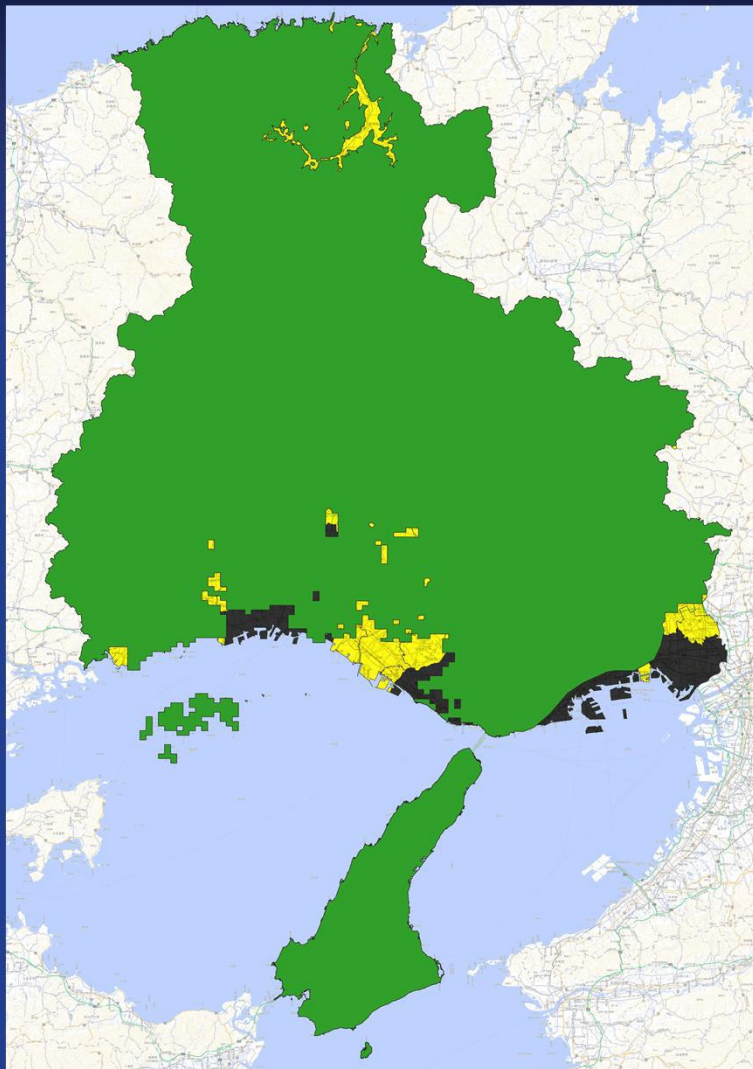
地下水排除工 (暗渠排水)

高さ1メートル超の盛土による崖<sup>※</sup>を生じる場合等は擁壁又は崖面崩壊防止施設を設置

青字：技術的基準の改正箇所



# DEMデータ活用による盛土の抽出（兵庫県の場合）



緑:50cm mesh DEM

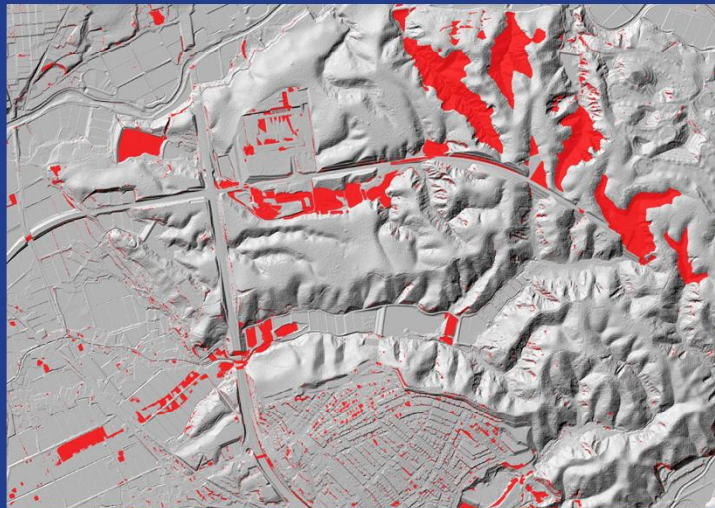
黒:50cm mesh DEM  
未整備



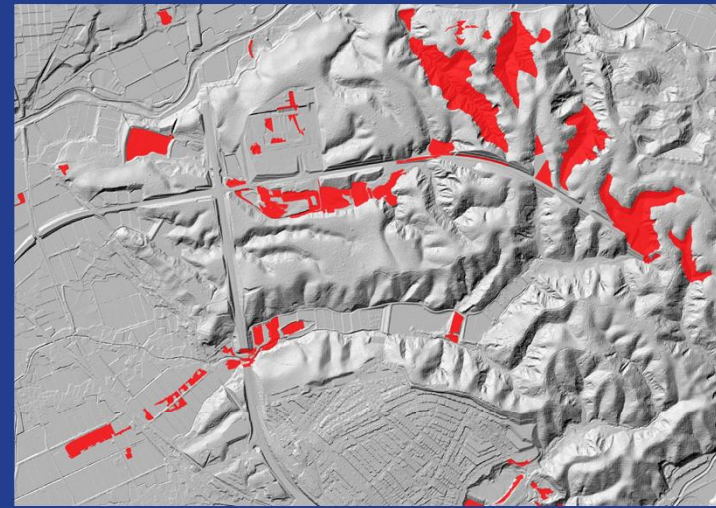
①DEM (2010-2013)



②DEM (2021-2022)



③標高差分が+1m以上の領域を抽出



④500m<sup>2</sup>を超える領域を抽出

# 実務に役立つ土質試験・ 地盤調査法

## 【参考文献】

軽部大蔵, 野並 賢, 鶴ヶ崎和博, 山口充: 相似粒度に調整した粗粒材料の強度特性に及ぼす粒子形状と粒子破碎の影響, 土木学会論文集, No. 617, p. 201-211, 1999.

上本雄也, 澁谷啓, 橋元洋典, 川尻峻三: 砂礫盛土材の締固め特性および変形・強度特性に及ぼす粒度特性の影響, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.2, pp.181-190, 2011.

川尻峻三, 澁谷啓, 川口貴之, 鳥居宣之: 現場調査および室内試験による砂丘斜面の安定性の評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.3, pp.233-244, 2009.

Kawajiri, S., Shibuya, S., Torii, N. and Kawaguchi, T. : In-situ and laboratory tests for evaluating the stability of a sand dune, Proceedings of the 14th Asian Regional Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.221-226, 2011.

# 地盤工学

地盤工学特有の研究テーマ

地盤/土構造物

精度？  
客観性？

自然の産物  
未知/非一様

地盤調査

材料・物性  
多様・複雑

室内実験

設計  
経験則  
N値  
qu値

力学挙動のモデル化

適切な単純化？

解析(境界値問題)

手法？条件？

地盤挙動の予測と評価

# 我国の地盤調査・設計の現状(実務)

標準貫入試験(1951~)  
N値万能主義



未知・非一様

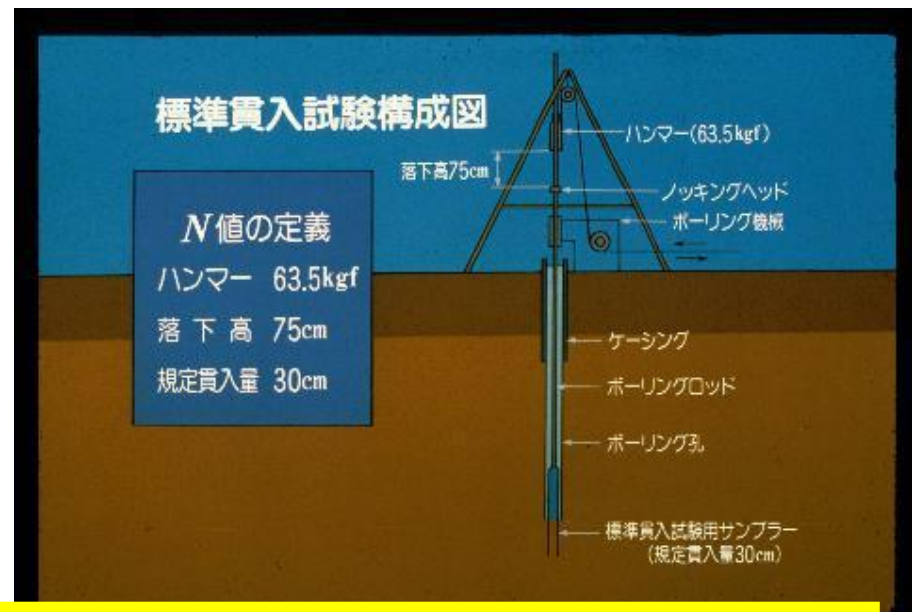
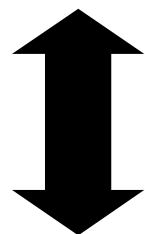
地盤調査

限界状態設計→破壊問題( $c, \phi$ )

性能設計→変形問題(ヤング”弾性”率,  $E$ )

# 我国の地盤調査の現状（実務）

標準貫入試験(1951～)  
N値万能主義



限界状態設計法から性能設計へ→N値から地盤の硬さを  
推定すると相当な過小評価

N値を用いた既存盛土の安定性評価

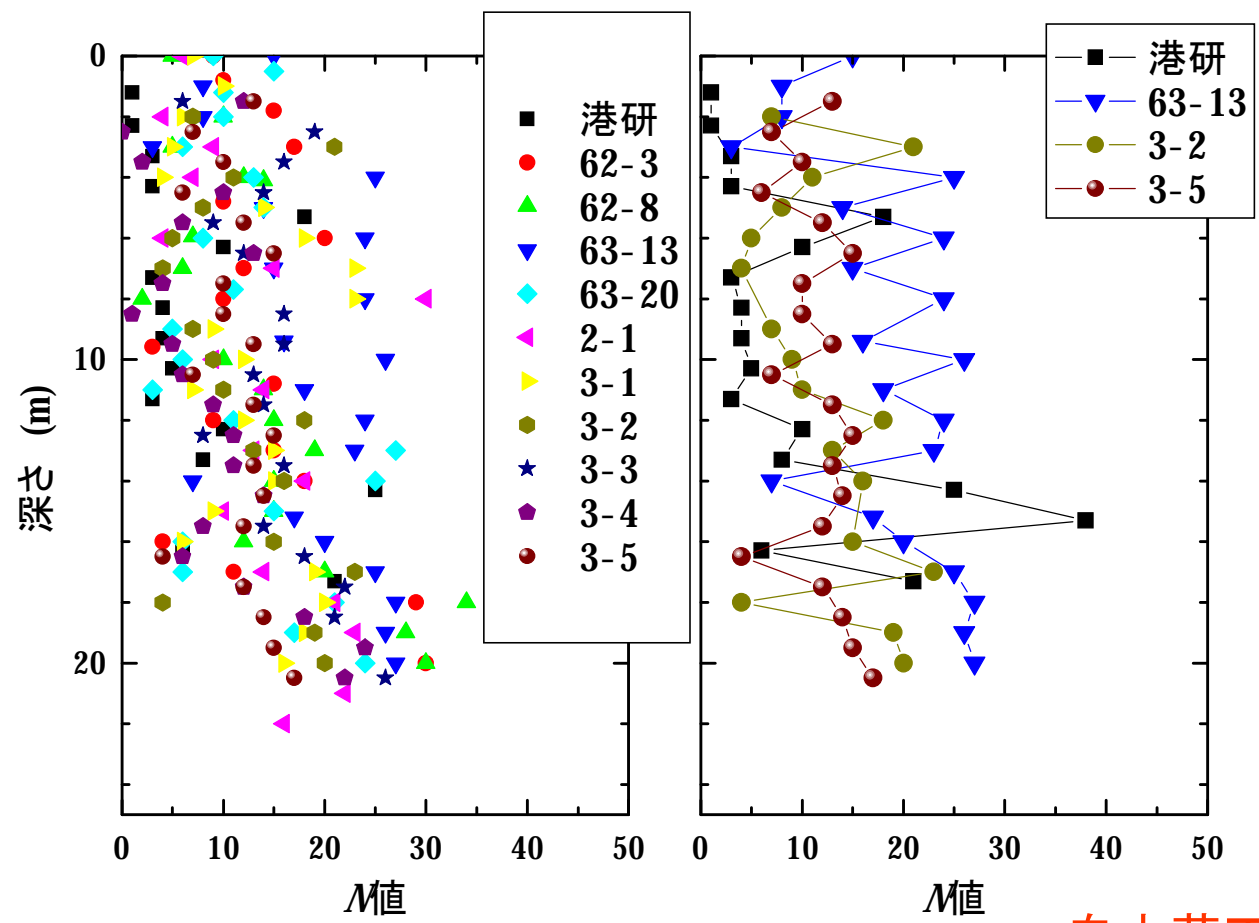
→安定勾配(1:1.8)でもほぼout!

# N値のバラツキ

(調査者 + 地盤の非一様性)

未知・非一様

地盤調査



自由落下

# 豆知識：ボーリング方法の違い

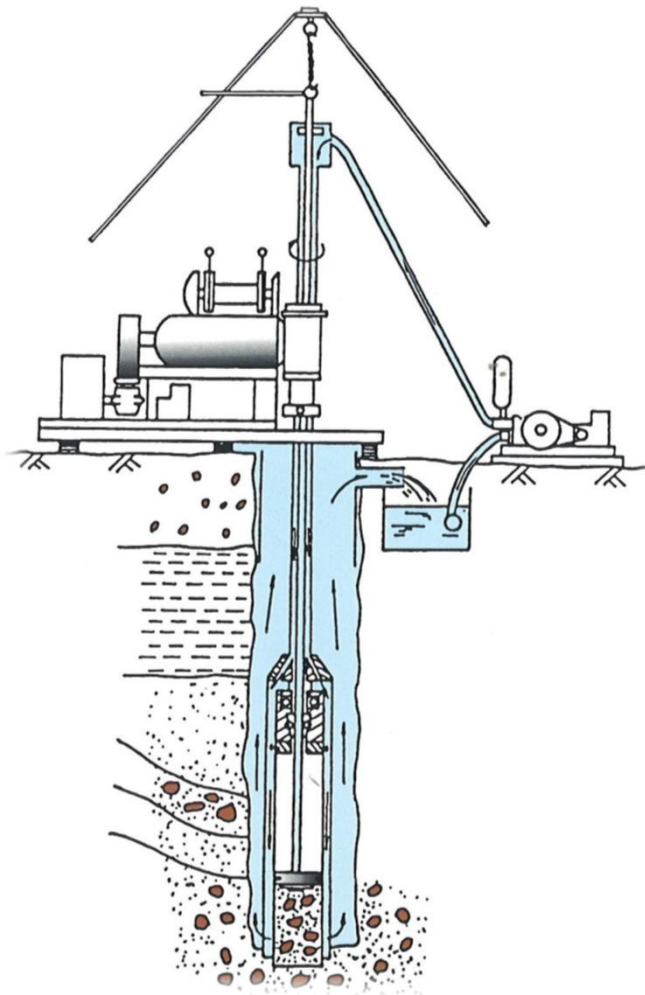


Wash-Bohring  
(タイ王国)



ロータリー式ボーリング  
(日本)

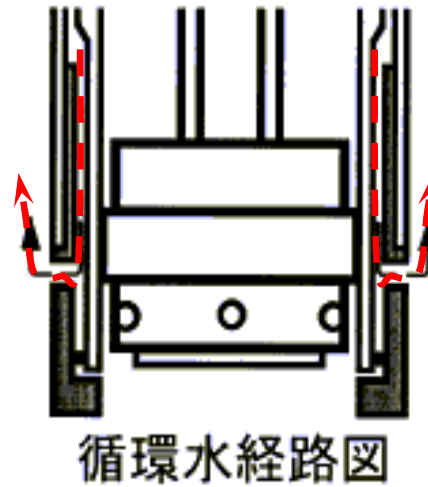
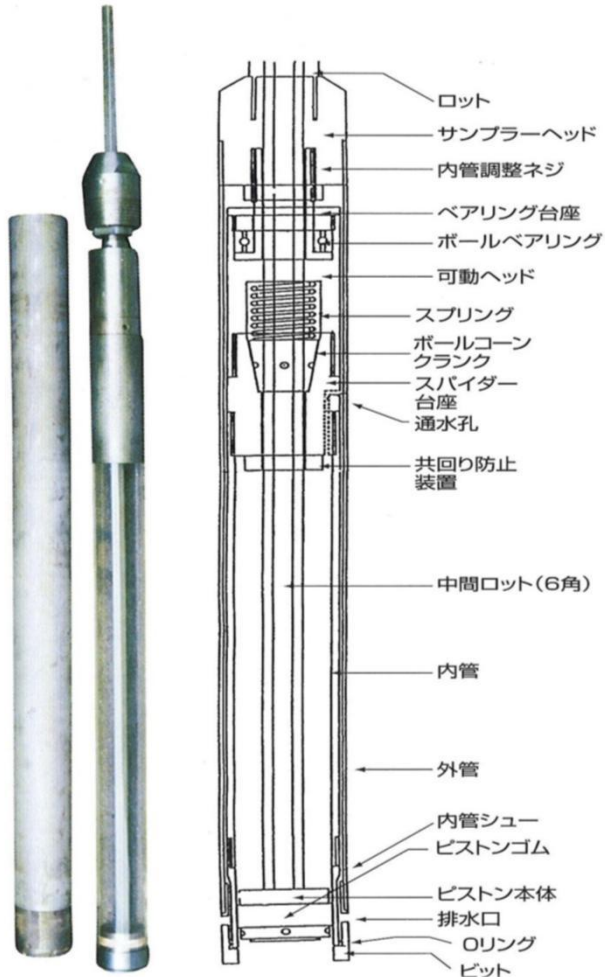
固定ピストン式二重管サンプラー(GSサンプラー)による  
乱れの少ない盛土材の採取→室内土質試験による地盤強度  
Safeになる場合が多い！



1) GSサンプリングは、一般的な調査ボーリング工法の範囲で実施可能なサンプリング技術

2) GSサンプラーは中間ロッドを介して、サンプリング試料の脱落及び共回りを強制的に抑えている。この中間ロッドにより定方位サンプリングが可能となり、地層傾斜の推定にも寄与する。

# GSサンプラーの構造図と送水経路



掘削水はビット側面から送水されるので、送水圧による地盤への影響を抑えることができる。

# サンプリング試料の品質について

## サンプリング試料の品質

サンプリングの品質は、一言でいえば「乱れの少ないこと」で評価。

乱れの程度の評価:

- ・試料の採取率
- ・見た目の試料状態
- ・せん断弾性波速度の比較  
原地盤 vis 室内試験試料



N値23回の沖積砂質土の成形



N値7回の沖積砂質土の成形

## その他の採取例



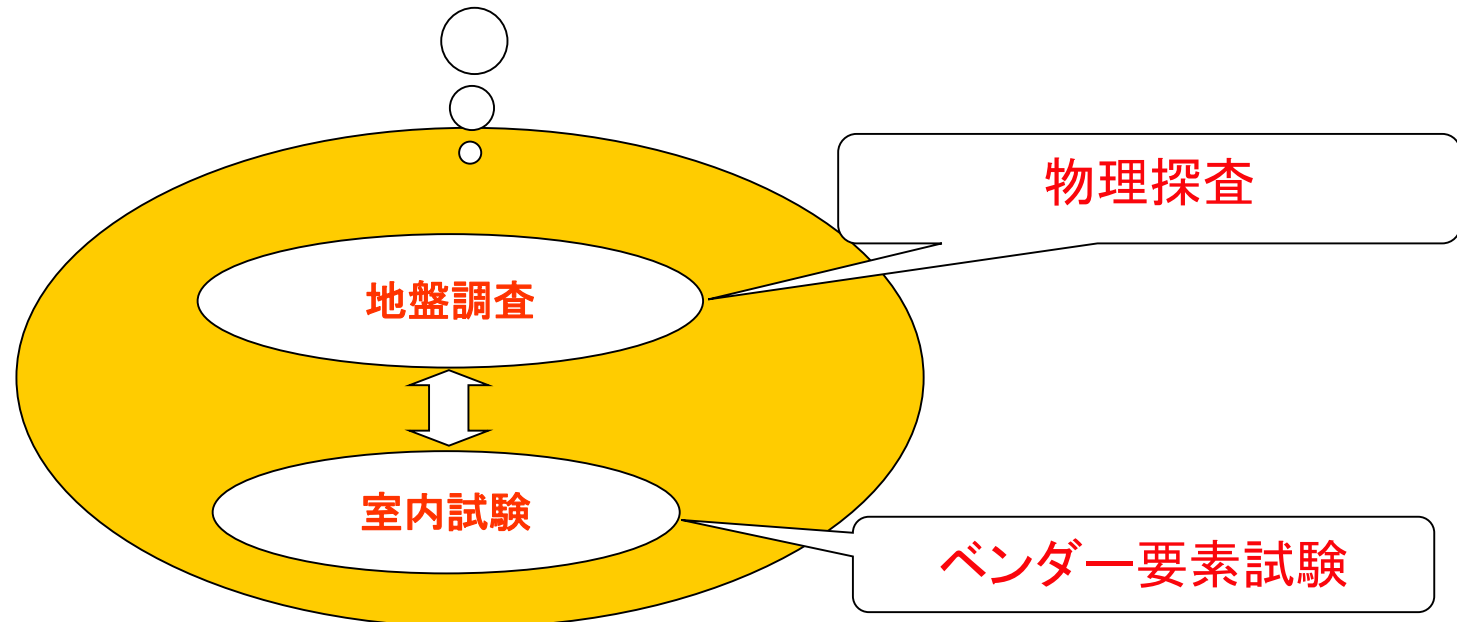
Φ200 玉石混じり砂礫



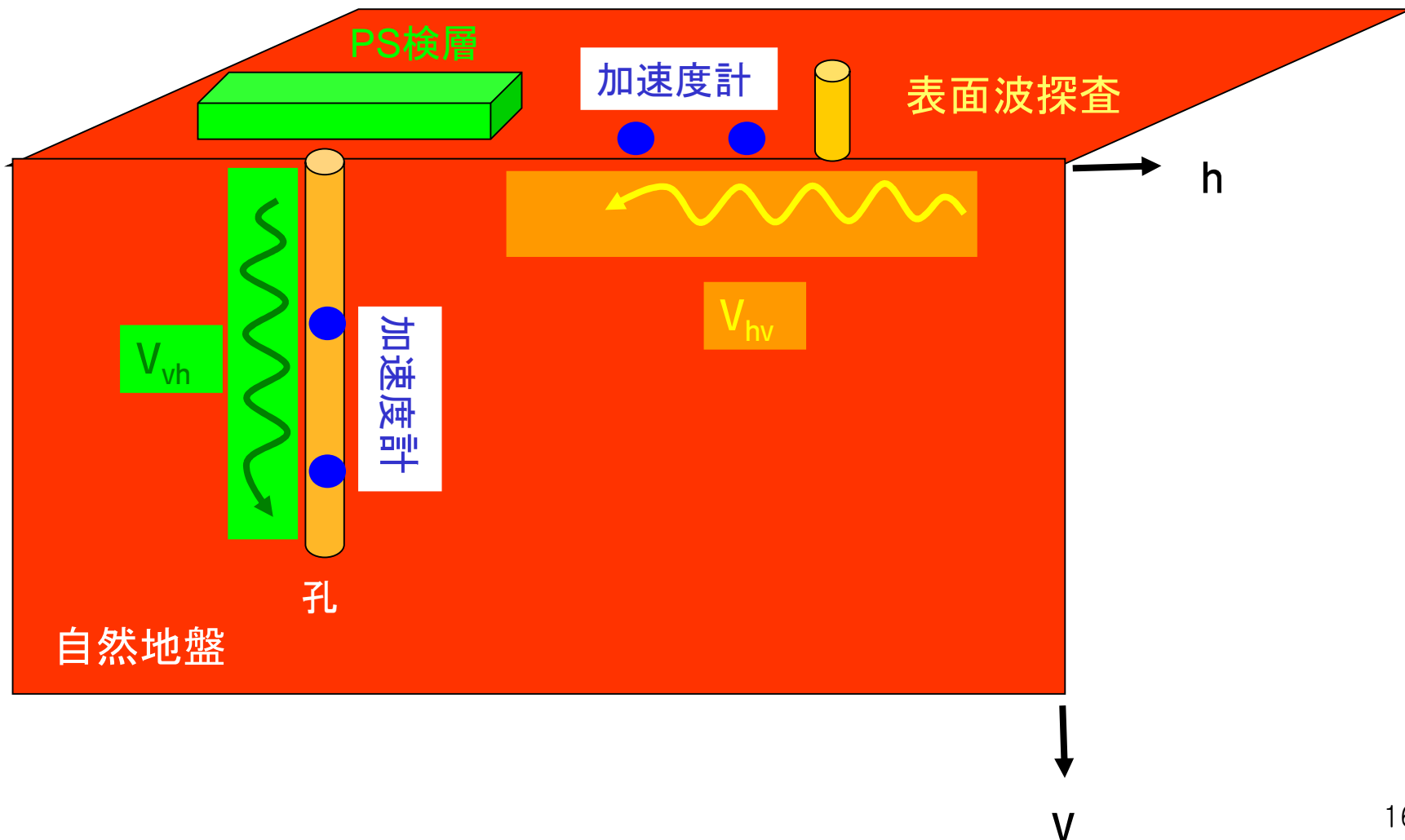
Φ70 N値4回の緩い砂質土

# せん断弾性波速度測定

土の弾性係数の測定  
 $G (= \rho V_s^2)$  or  $E (= G/[2(1+\nu)])$



# 現場での弾性波速度測定



# 高精度表面波探査 (2次元非破壊調査、林宏一さん)

未知・非一様

地盤調査

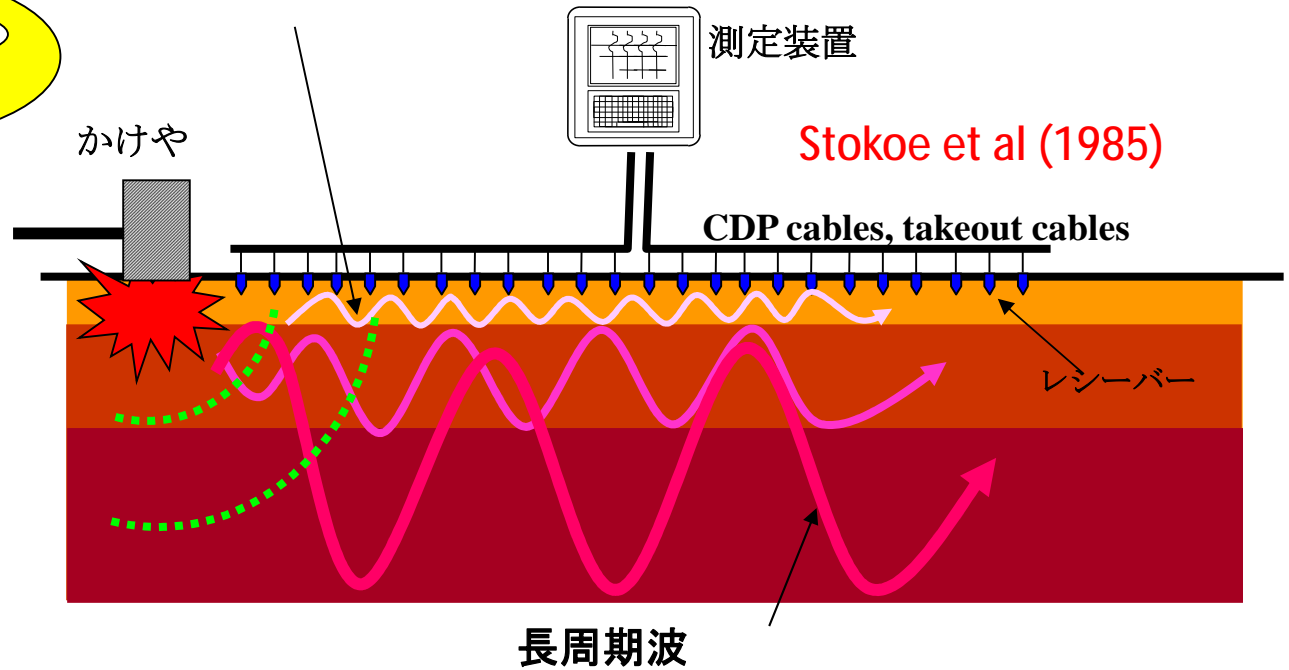
人工地震



測定装置



短周期波



レシーバー

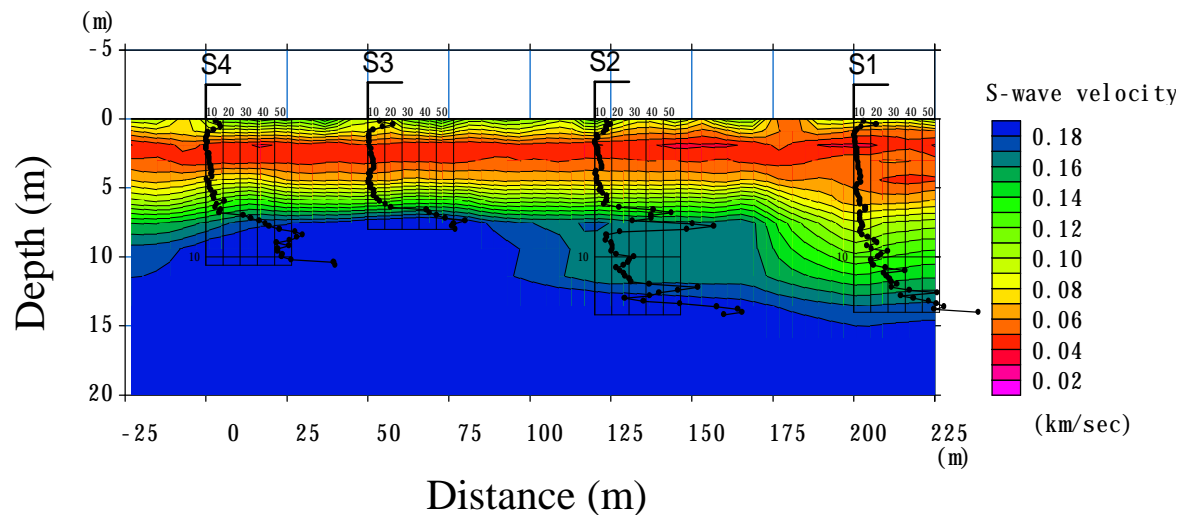


側線

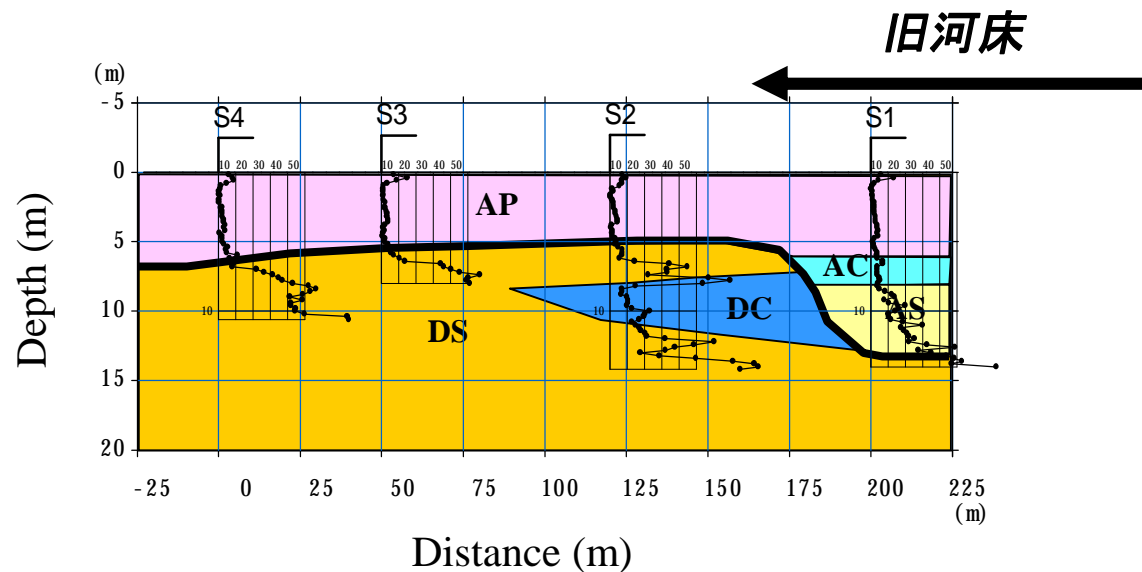


# 高精度表面波探査の適用例 (林ら 2004)

S波の構造



N値との対応



# 原地盤のせん断弾性剛性率 ( $G_f = \rho \times V_s^2$ ) の測定 → 3つのお役立ち

1) 圧縮強さ  $q_{\max}$  が推定できる

or  $q_{\max} \rightarrow E_{\max}$

$$E_{\max} = G_f / \{1 + 2(1 + \nu)\} ; \nu = \text{約}0.3$$

$$E_{\max} / q_{\max} = \text{約}1,000$$

2) 試料の乱れが評価できる

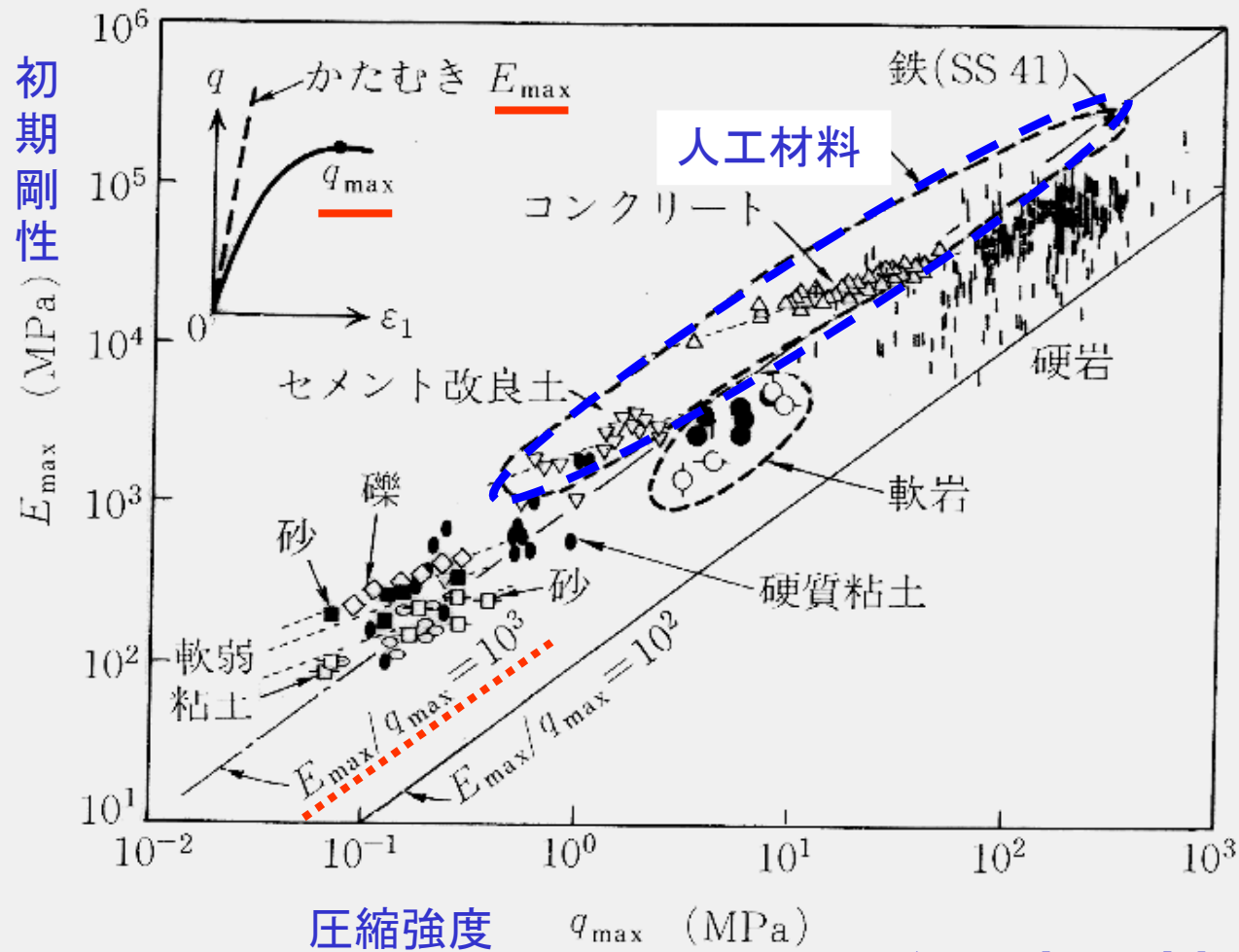
3) 地層 (2D/3D) が推定できる

地盤調査

室内実験

材料・物性  
多様・複雑

多様・複雑な地盤材料  
広範囲な硬さ/強さ



(Tatsuoka & Shibuya, 1991)

# 原地盤のせん断弾性剛性率 ( $G_f = \rho \times V_s^2$ ) の測定 → **3つのお役立ち**

1) 圧縮強さ  $q_{\max}$  が推定できる

or  $q_{\max} \rightarrow E_{\max}$

2) **試料の乱れが評価できる**

3) 地層 (2D/3D) が推定できる

$G_f$  : 弾性波速度測定による原地盤のせん断剛性率(乱れなし)  
 $(G_{max})_{lab}$  : 室内試験による0.0001%ひずみレベルでのせん断剛性率(乱れあり)

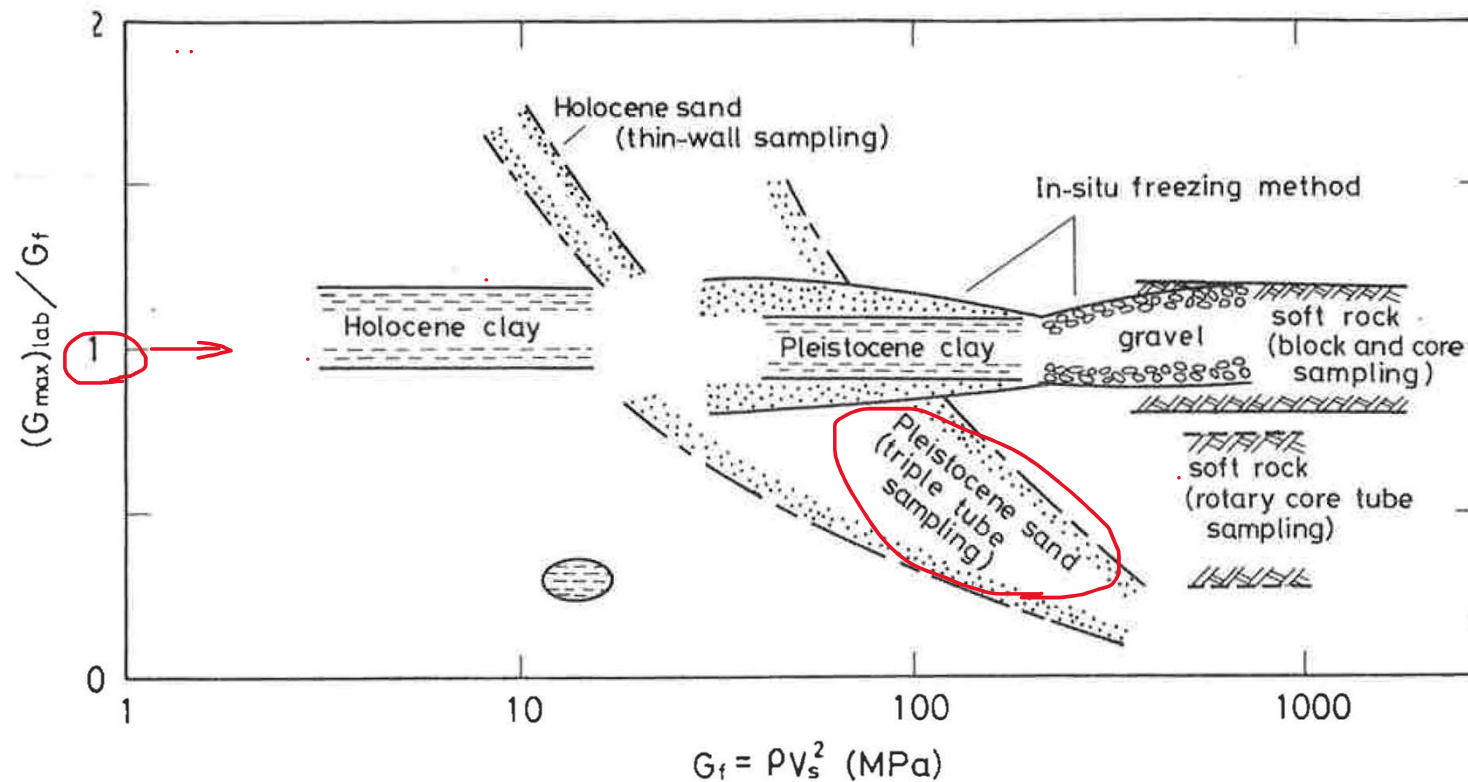


Fig. 2-2 Comparison of pseudo-elastic shear modulus between in-situ and laboratory measurements

Reference: Shibuya et al. Edns : Pre-failure Deformation of Geomaterials, IS-Hokkaido, Balkema, September, 1994.

# 原地盤のせん断弾性剛性率 ( $G_f = \rho \times V_s^2$ ) の測定 → **3つのお役立ち**

1) 圧縮強さ  $q_{\max}$  が推定できる

or  $q_{\max} \rightarrow E_{\max}$

2) 試料の乱れが評価できる

3) **地層 (2D/3D) が推定できる**



# 質問



Q. ピサの斜塔の高さと基礎の大きさは  
いくらでしょうか？

解答あてもんでもいいので  
？



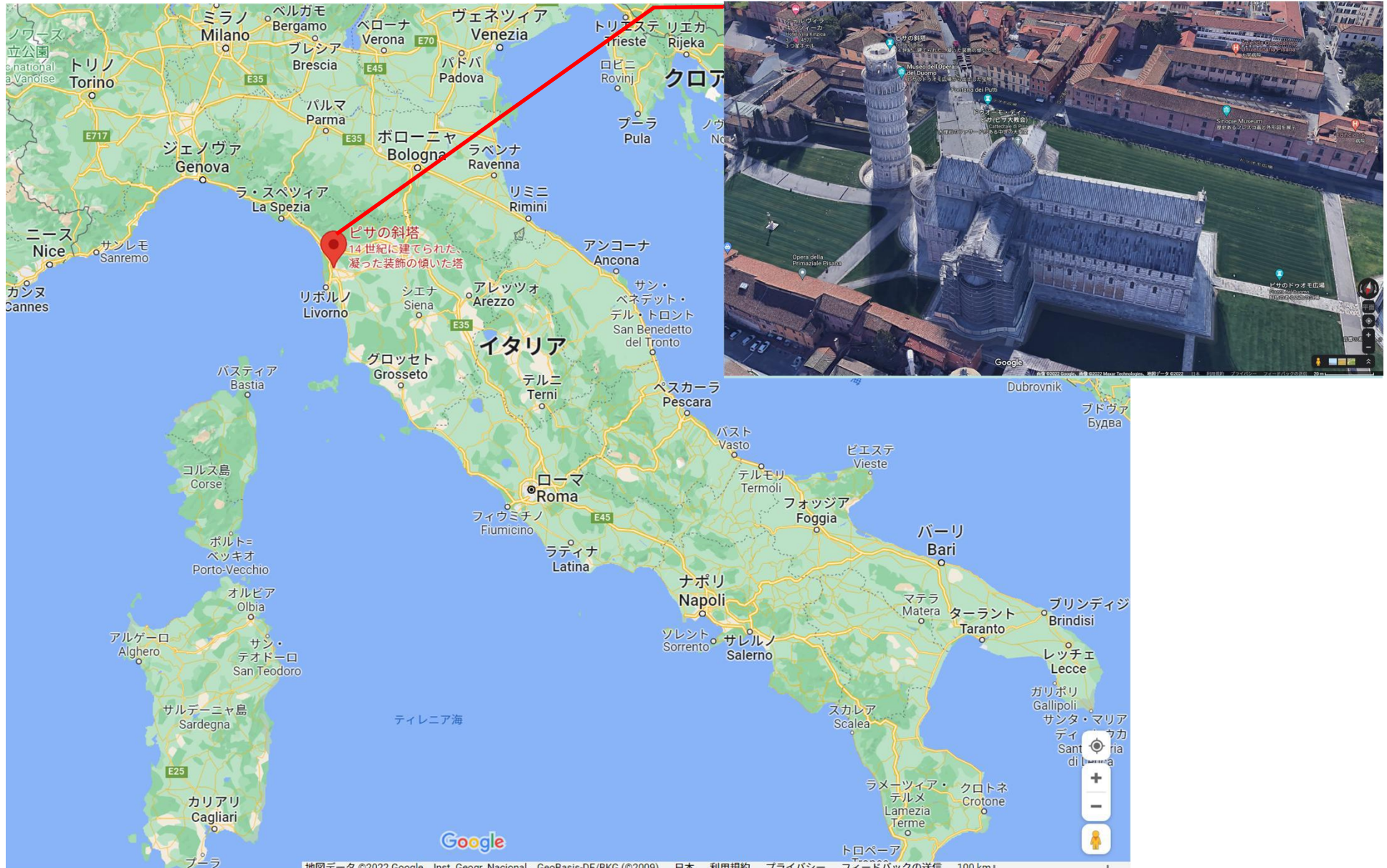
# 矢継ぎ早の質問です



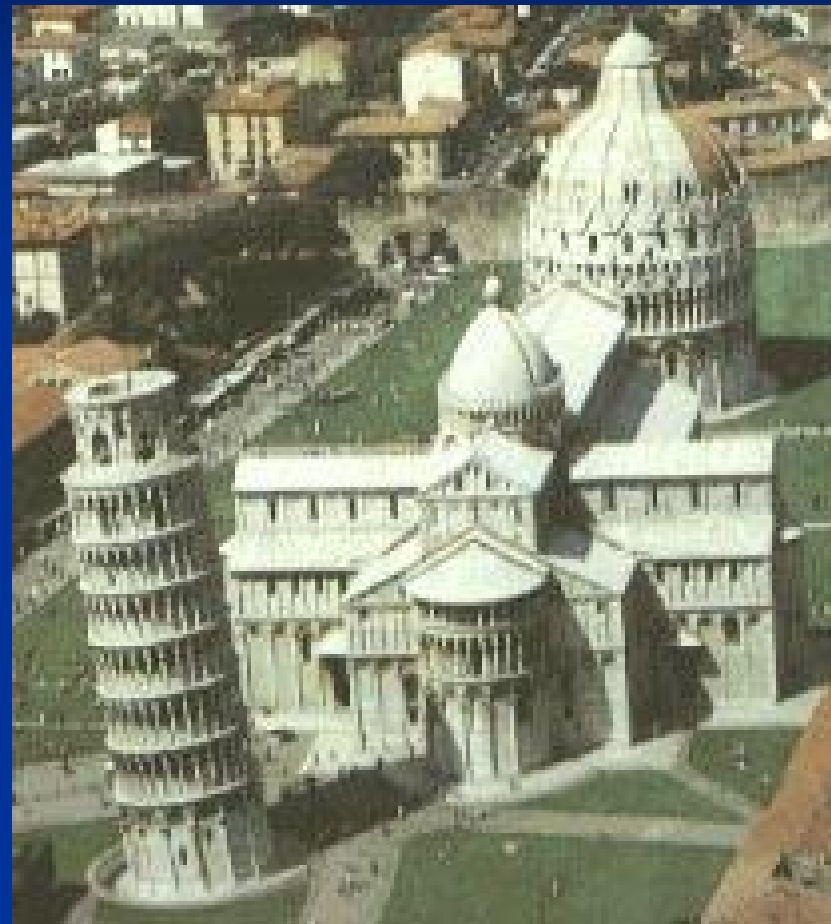
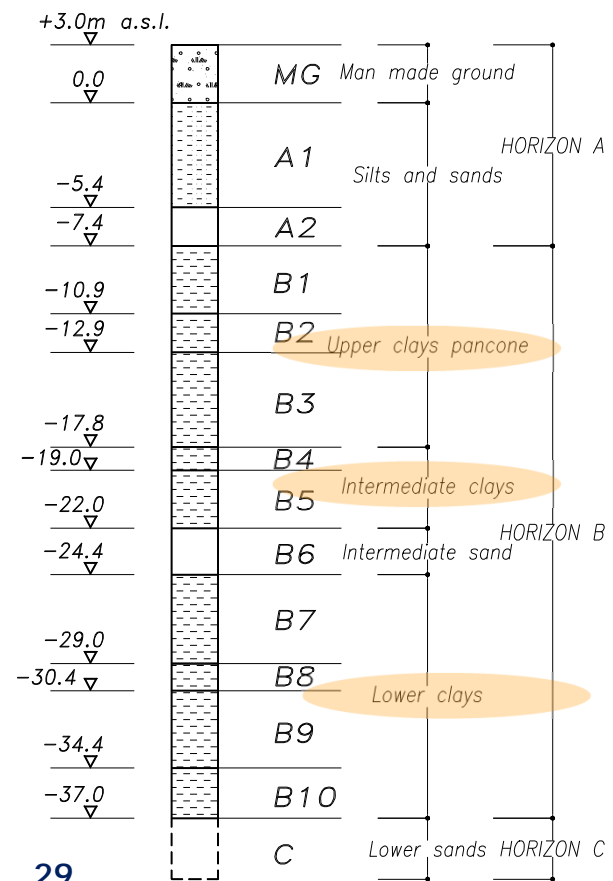
- Q. ピサの斜塔の傾きはつぎのどれでしょうか？
- ① 約5度
  - ② 約10度
  - ③ 約15度

解答  
？

# ピサの斜塔での調査例(2003年)



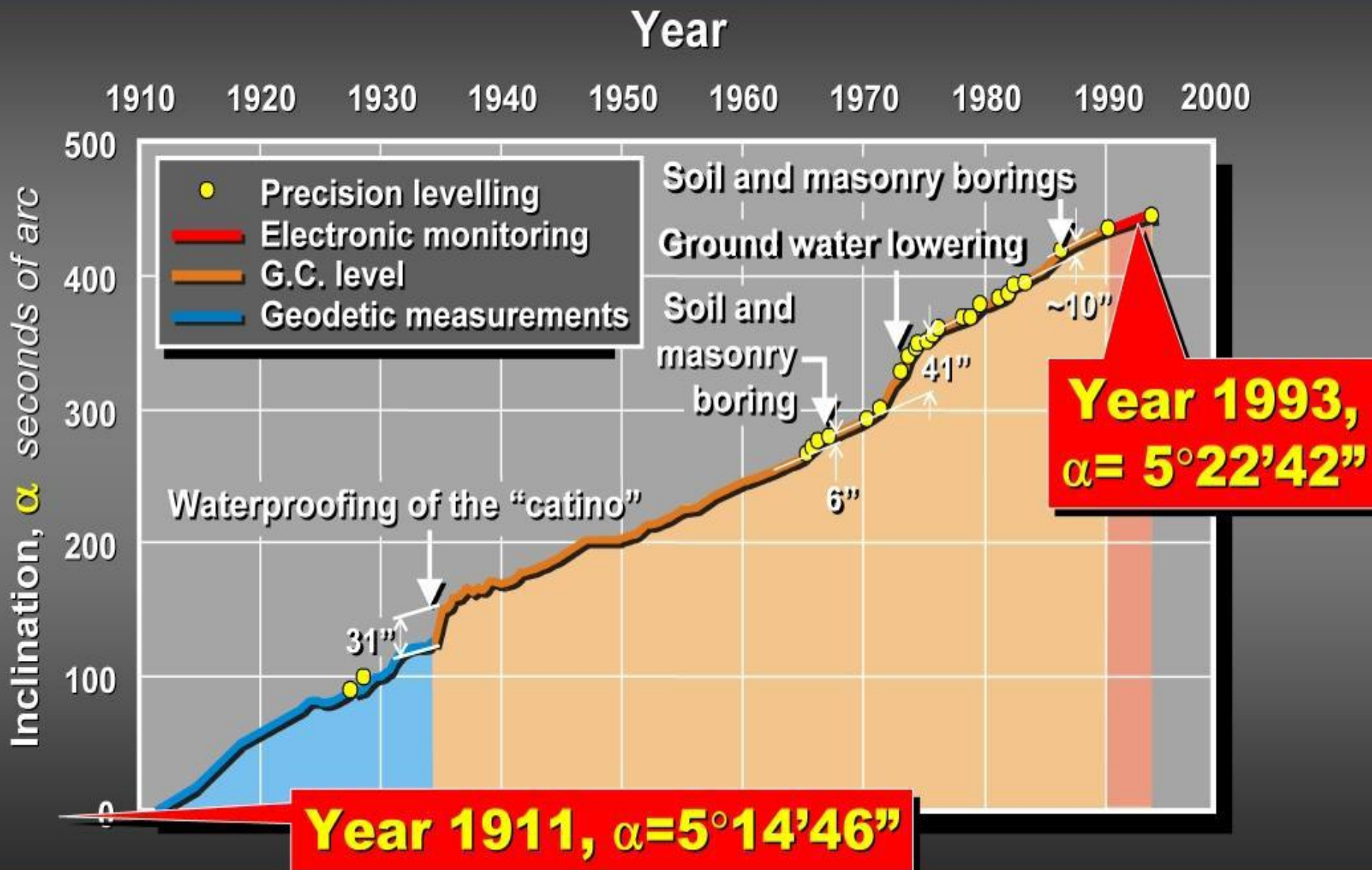
# 表面波探査の適用例 ～ピサの斜塔基礎地盤の安定

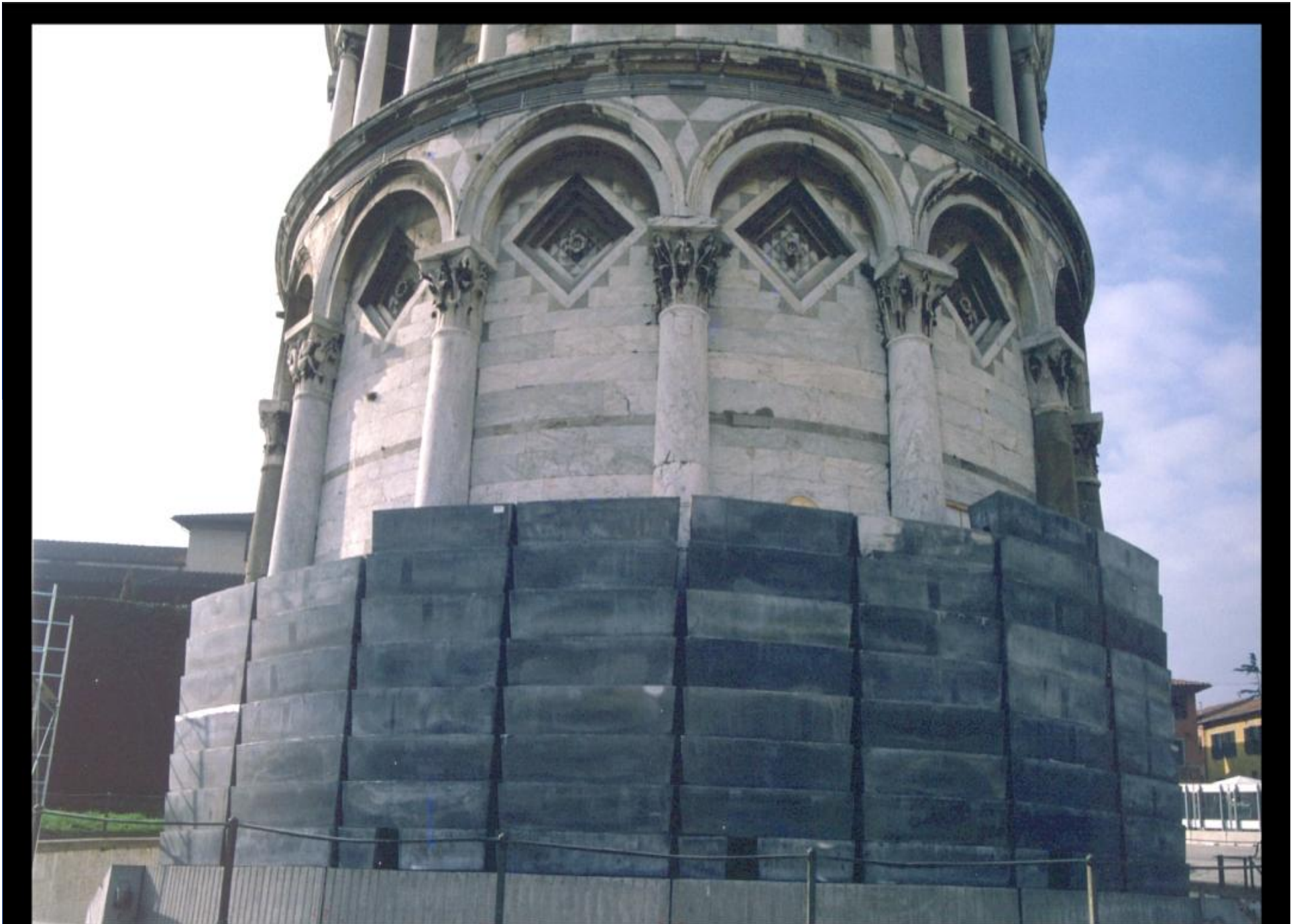


基礎地盤の概要  
(Lo Presti et al. 2003)

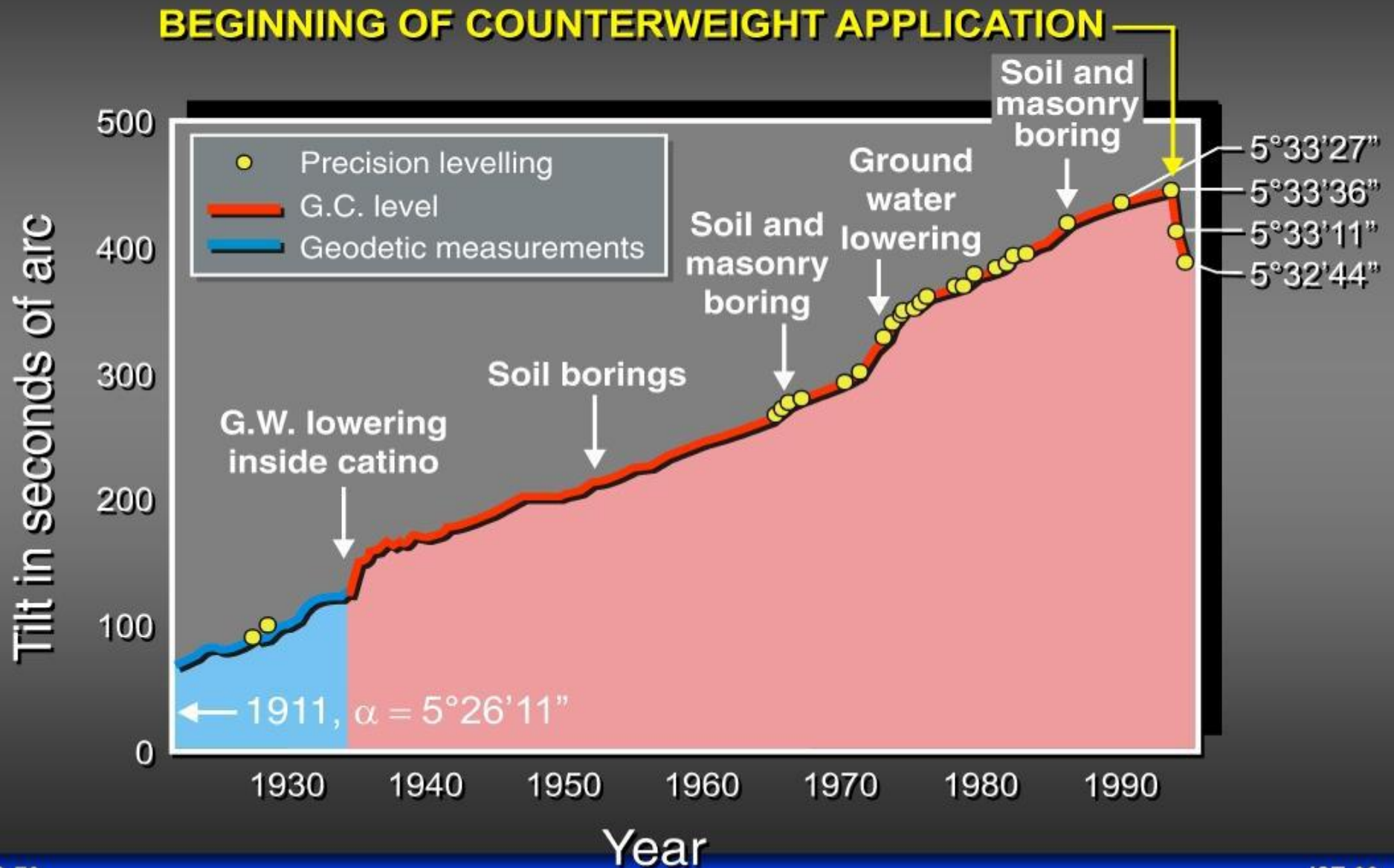


# ピサの斜塔の傾斜の歴史 (Jamiołkowski, 2004)



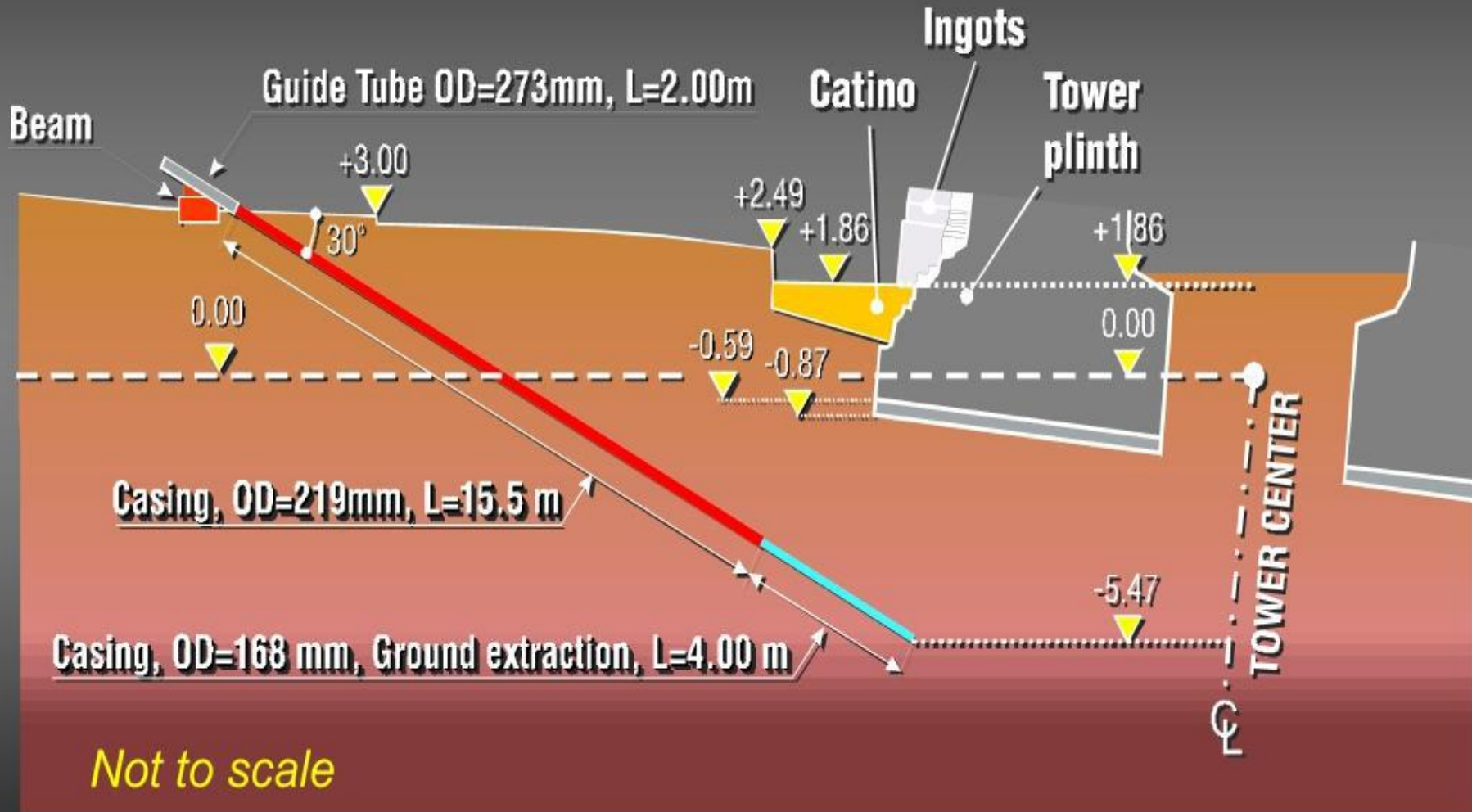


# カウンターウェイト効果 (Jamiolkowski,2004)

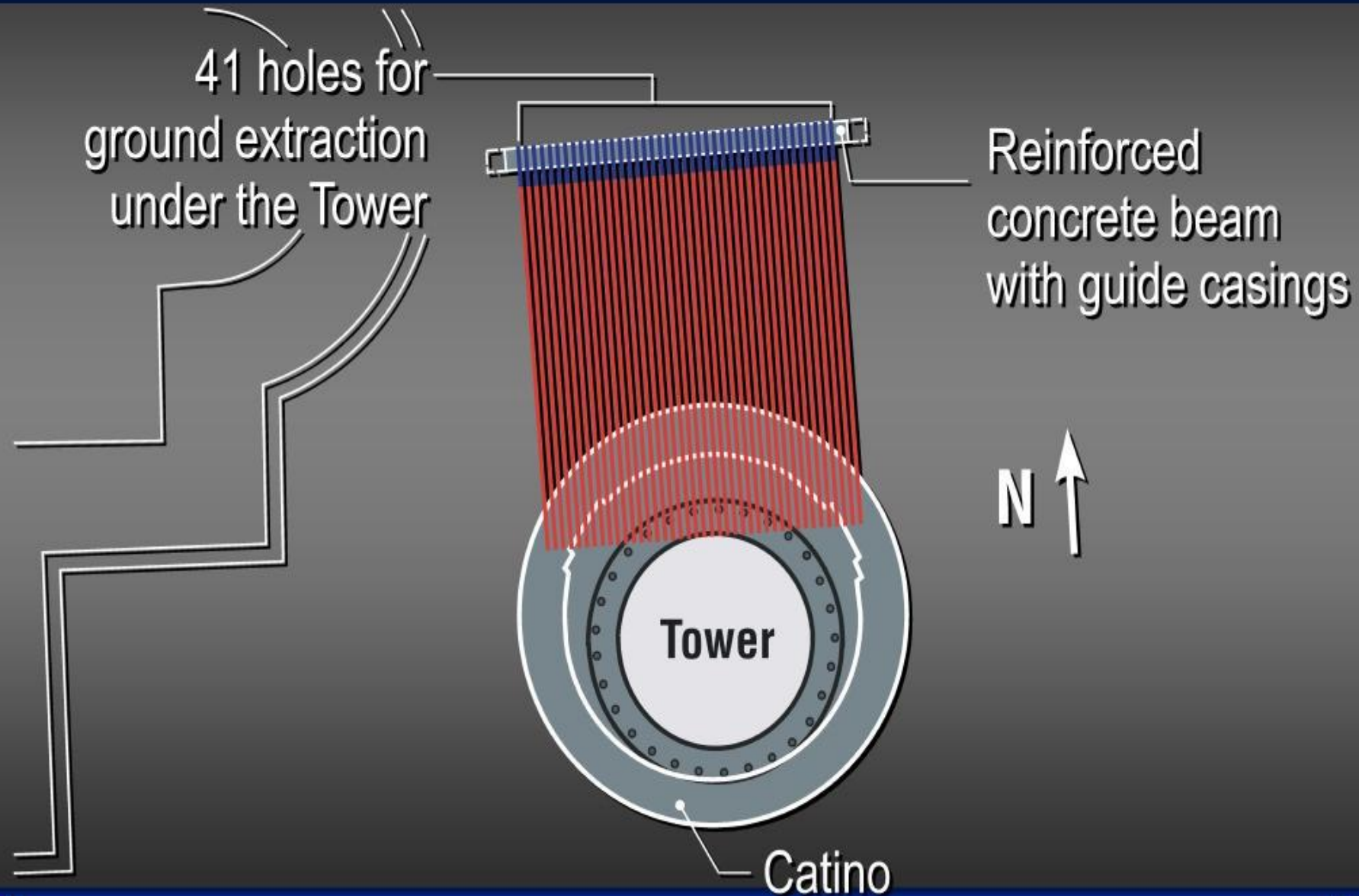


# Underexcavation工法

(Jamiolkowski, 2004)



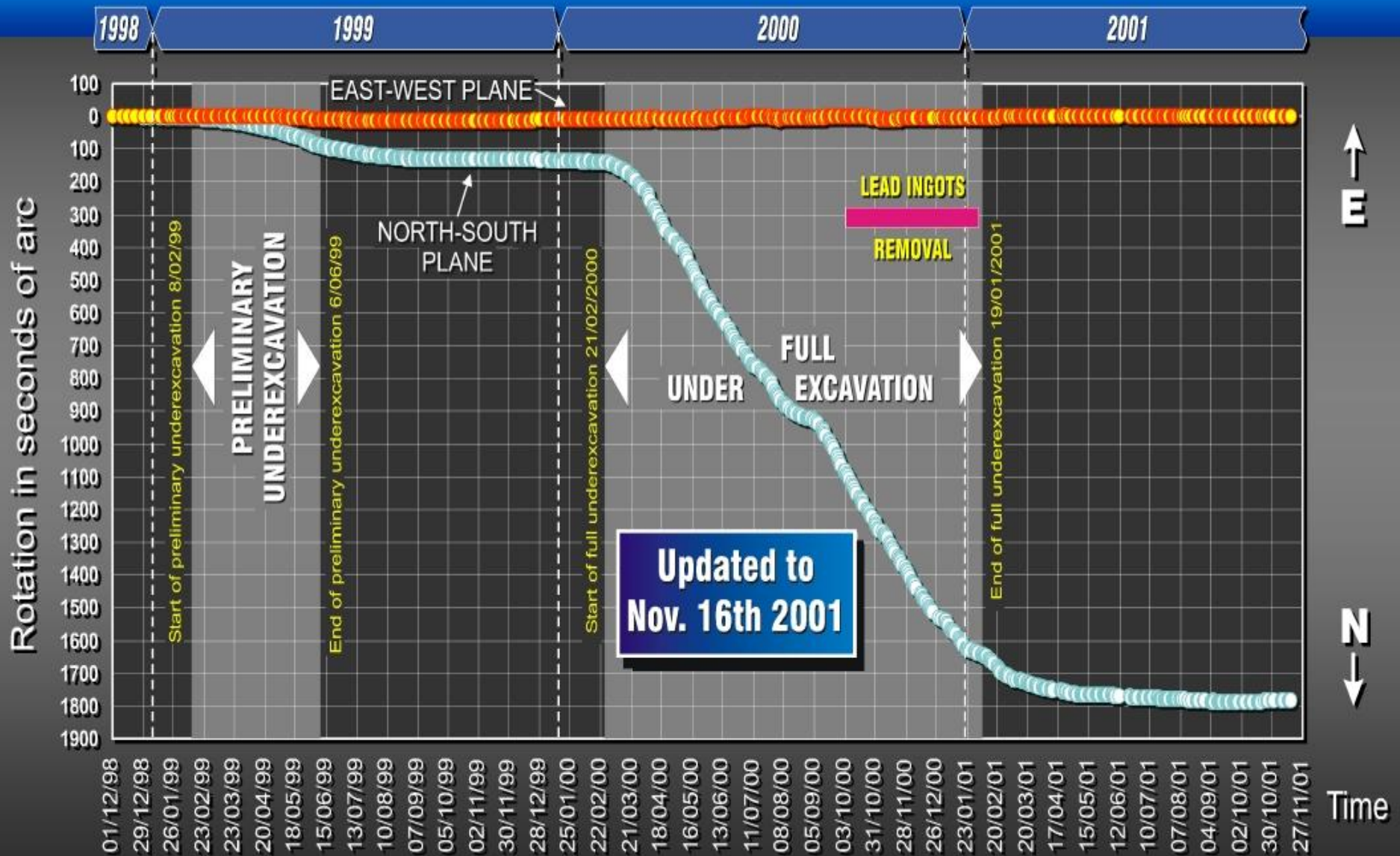
# Underexcavation工法の概要



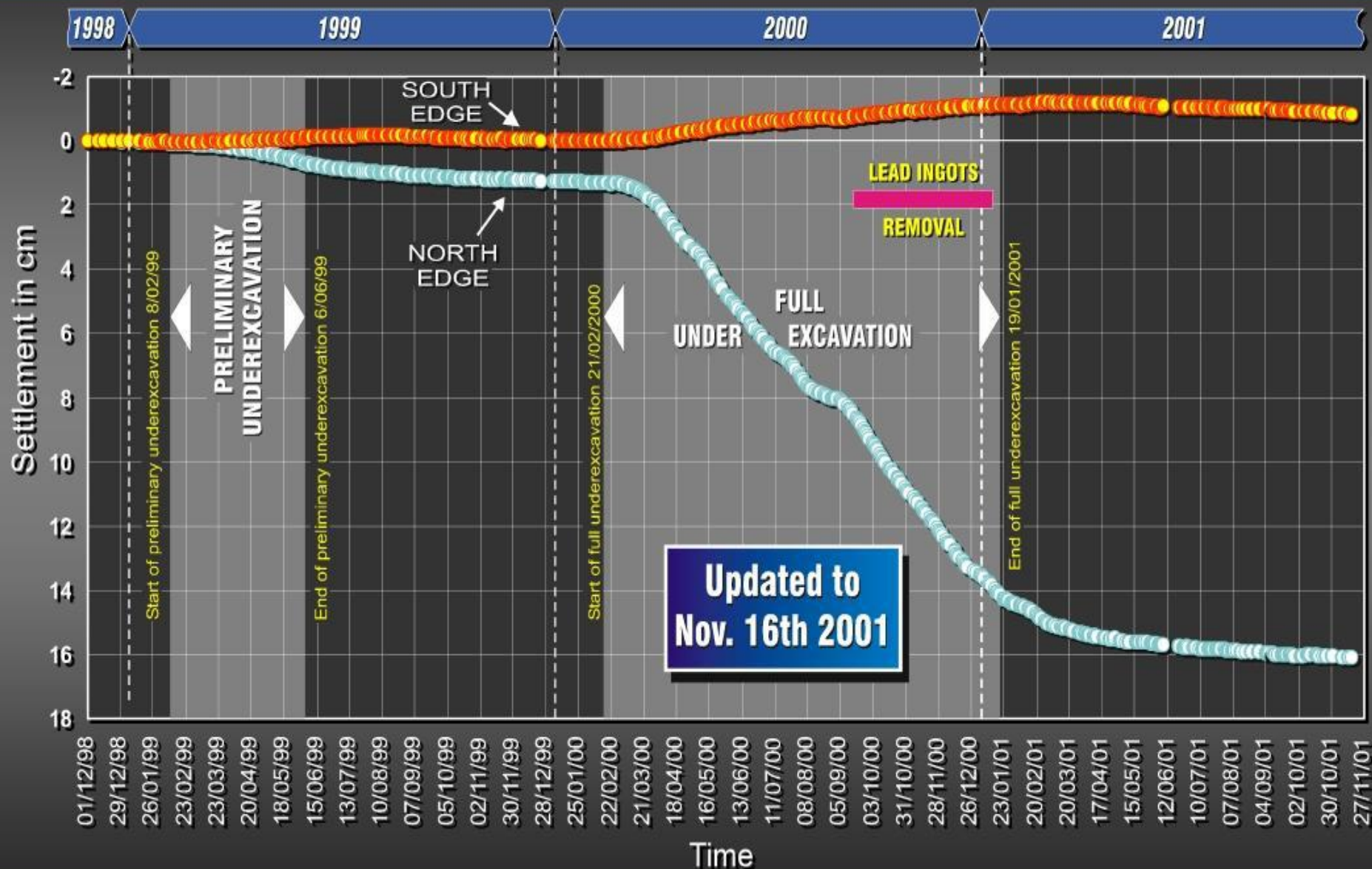




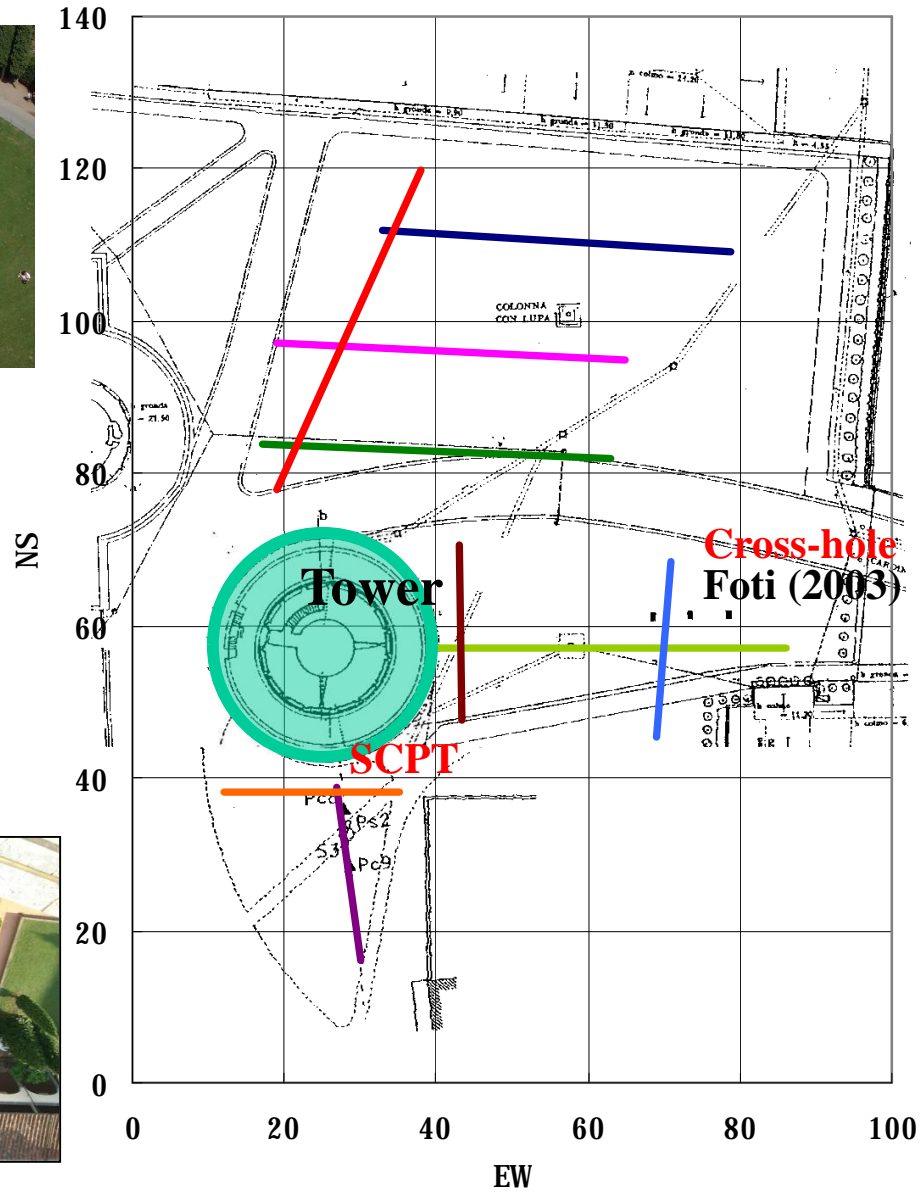
# Underexcavation工事中の塔の動き



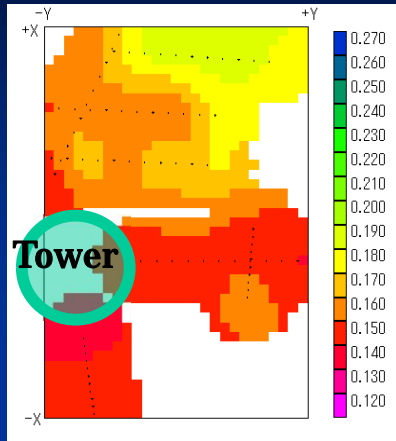
# Underexcavation工事中の地盤の動き



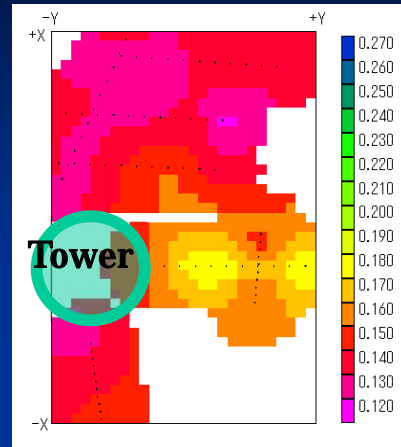
# 表面波探査の実施



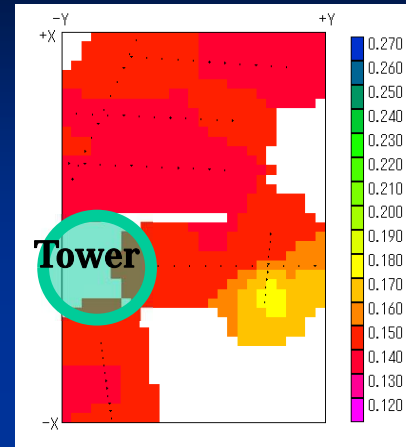
# 表面波探査の結果



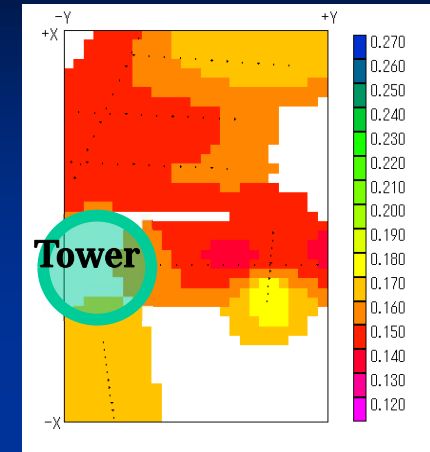
depth 2-3m



depth 4-5m

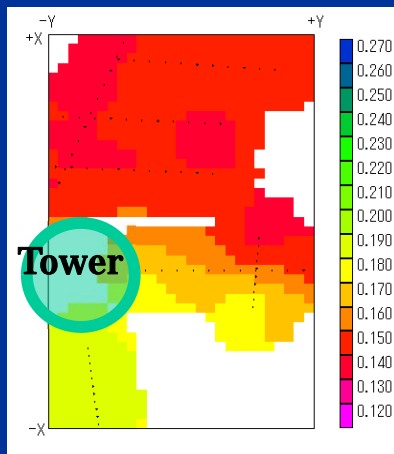


depth 6-7m

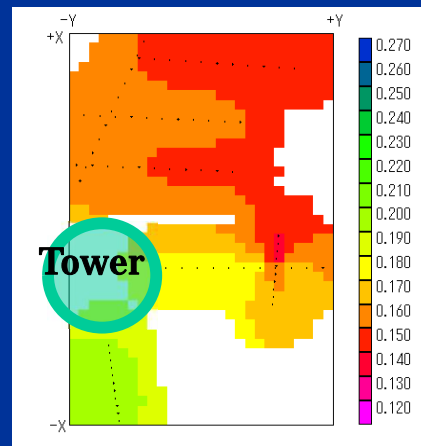


depth 8-9m

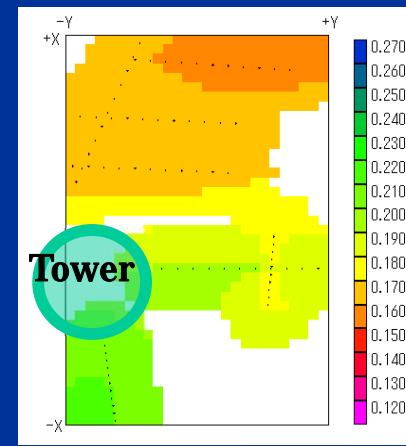
$V_s$  (km/s)



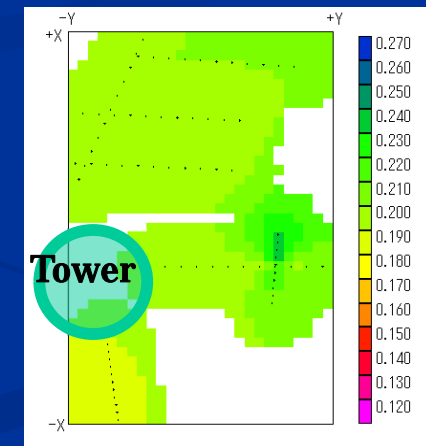
depth 10-11m



depth 15-16m



depth 20-21m



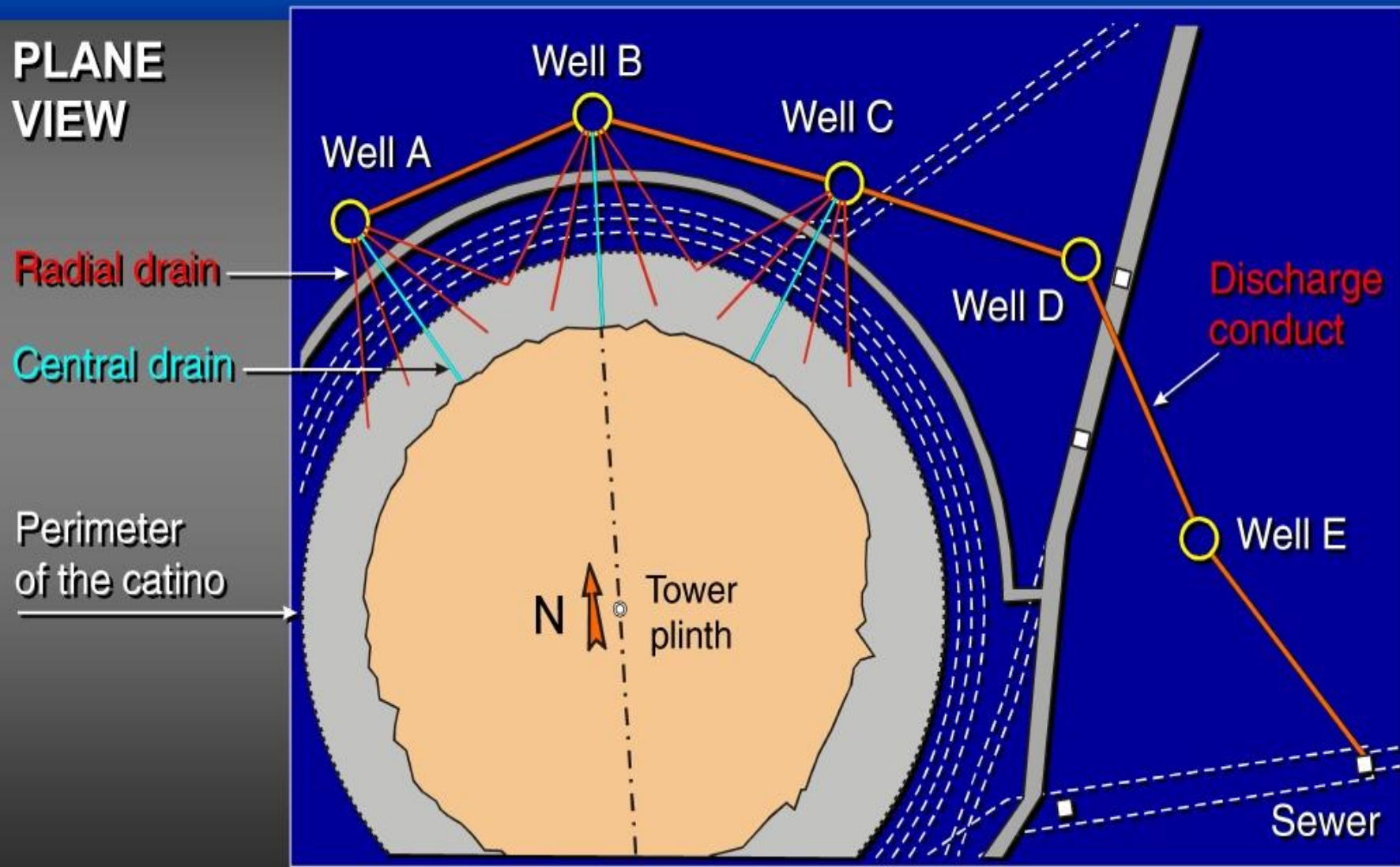
depth 25-26m

$V_s$  (km/s)

## S波速度の深さ方法の分布

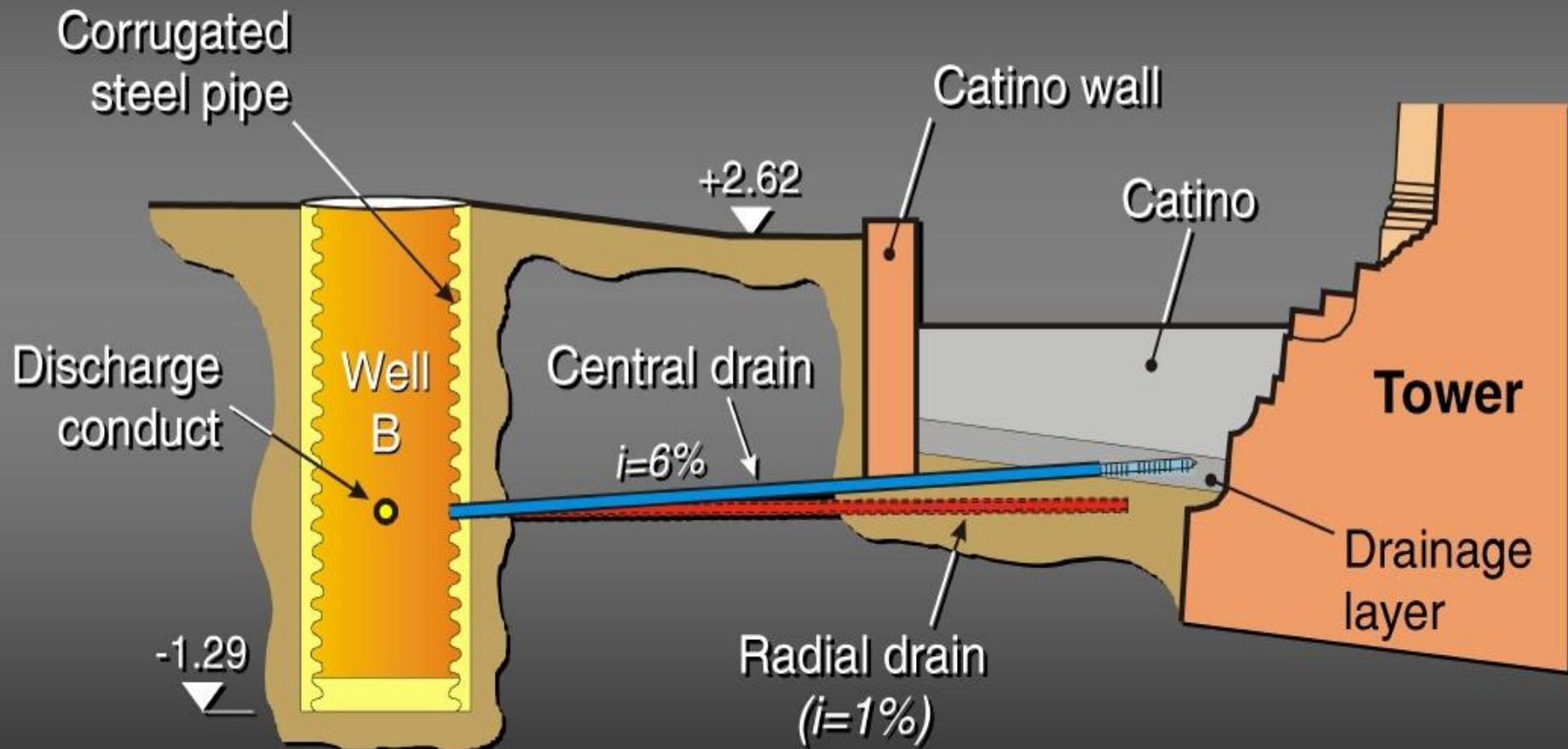
# 水抜き工法の採択（北側）

PLANE  
VIEW

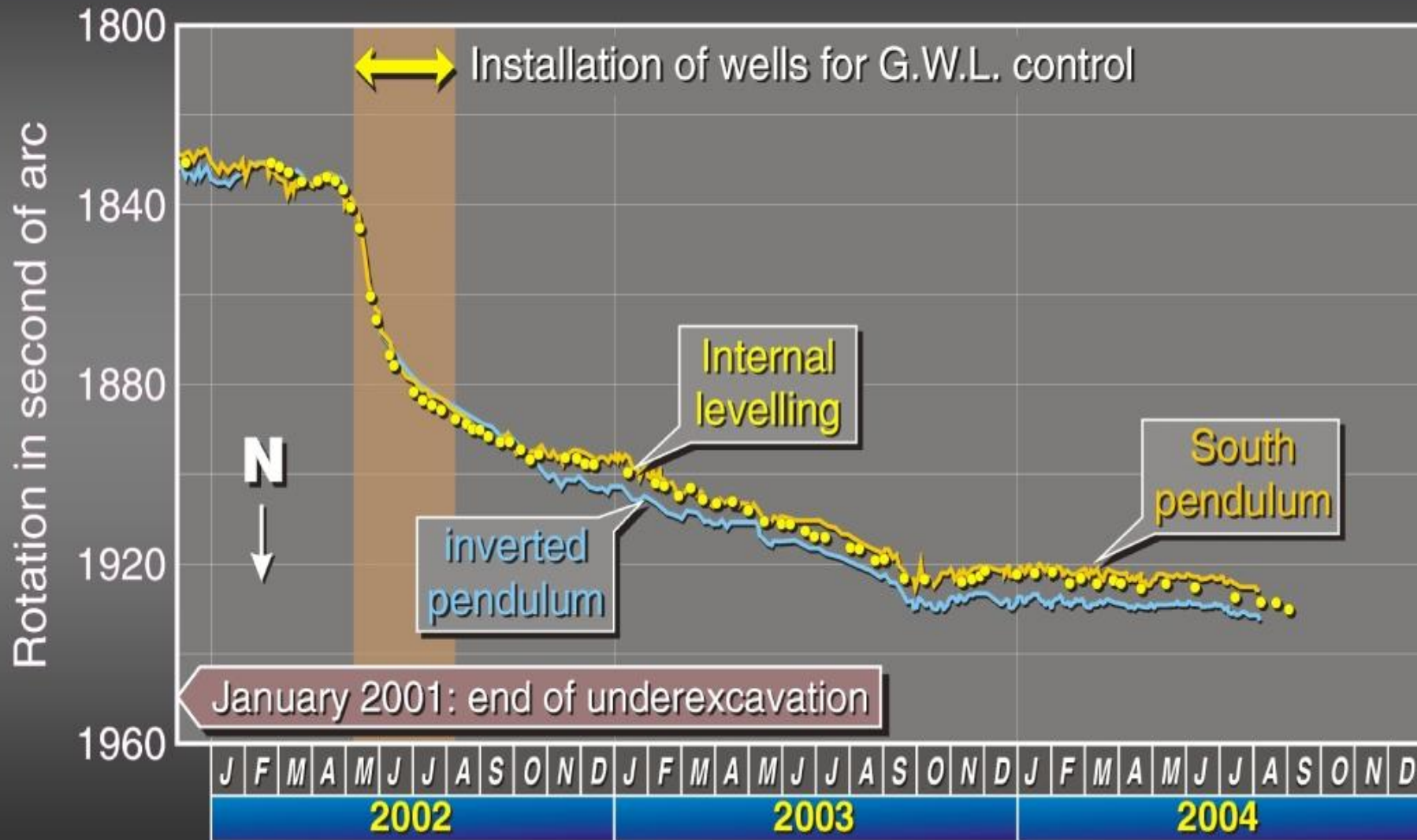


# 水抜き工法の詳細(北側)

## CROSS-SECTION



# 水抜き後の塔の安定化



# 地盤工学

## 地盤/土構造物

自然の産物  
未知/非一様

地盤調査

室内実験

材料・物性  
多様・複雑

精度？  
客観性？

三軸試験  
一面せん断

設計

経験則

N値

q値

力学挙動のモデル化

適切な単純化？

解析(境界値問題)

手法？条件？

地盤挙動の予測と評価

# 大規模盛土工事に関する 数値解析ガイドライン(案)

一般財団法人建設工学研究所(CERI)

「盛土等防災マニュアル解説」では、**高さ15メートル超、盛土量5万立方メートル超の盛土**を行う場合、**基礎地盤や周辺地盤の地形・地質、地下水の浸透、地震時の複雑な応答**など、さまざまなリスク要因が盛土の安定性に大きく影響すると指摘している。

2次元安定計算では、これらのリスクを適切に反映できない可能性があるため、計算モデルや結果の妥当性を検証する必要がある。そのため、とりわけ**沢埋め盛土では3Dモデル**を用いて、**浸透水の予測（浸潤線や間隙水圧の分布）、変位・ひずみの分布を評価し、過大な水圧・速度・変位・ひずみが発生しないかを確認し、安定計算モデルや滑り面の発生位置の妥当性を検証することが求められている。****浸透流解析、変形解析、地震動の影響評価**は、盛土の安定性を検討する上で重要な要素である。三次元解析は高精度なシミュレーションが可能であるが、適切なモデル化と情報収集が求められる。解析の妥当性を確保するためには、適切な手法の選択と慎重な評価が不可欠である。

## ① 浸透流解析

三次元の浸透流解析を標準とし、対象の流域をモデル化して、基礎地盤からの地下水流および降雨による盛土内の浸潤線、間隙水圧、流速・流向分布を詳細に予測する。また、周辺斜面からの地下水流動を考慮し、安定計算モデルの妥当性（水位分布等）を検証し、盛土内の地下水・間隙水圧分布を変形解析に反映させる。浸透流解析には、適切な境界条件、地形・地質、基盤深度、飽和・不飽和の水理特性、地下浸透量などの入力条件を設定する必要がある。なお、二次元モデルを使用しても、三次元モデルと同等の解析結果が得られる場合は、二次元解析を採用することも可能である。

## ②変形解析

変形解析には、静的解析（自重変形解析など）と地震応答解析があり、逐次残留変位を求める動的解析が用いられる。解析手法には全応力法と有効応力法があり、液状化による過剰間隙水圧の発生とそれに伴う変形挙動を予測する場合は、有効応力法が一般的である。

これらの解析を通じて、盛土内の過剰間隙水圧の分布や剛性低下を求め、盛土全体の変形・ひずみ量を予測し、安定計算モデルの妥当性を検証する。

三次元解析は、地形効果や面的な地下水分布を考慮できる利点があるが、必要な情報量が多く、計算時間や精度に限界がある。そのため、3次元変形解析を実施する際は、モデルの妥当性や解析結果の評価に慎重な判断が求められる。

また、適切なモデル化や解析結果の評価が難しい場合は、三次元浸透流解析による地下水流動の予測結果を、二次元解析の代表断面または複数断面に反映させる手法も考えられる。

代替法として、・道路で多用されている**Newmark-D法**、簡易**Newmark法**により地震時の累積残留変位を求めて宅盤のずれ量を評価指標とすることも可能。

### ③地震応答解析

解析で用いる地震動は、表層地盤の影響を受けない工学的基盤で設定する。変形解析に用いる地震動は、大規模地震動を想定し、過去の地震情報、活断層情報、地盤構造、既往の地震記録を反映して設定することが望ましい。また、地域防災計画で設定された想定地震を参考にすることも重要。地震動の設定では、最大振幅、周期、継続時間、盛土や基礎地盤への影響を考慮し、複数の想定地震に対する時刻歴加速度波形を使用する。

地震動の作成方法には、①加速度応答スペクトルを基に観測記録を適合させる経験的手法、②震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮する半経験的手法があり、国や地方公共団体が作成した波形を利用することも可能である。適切な方法を総合的に判断し、地震動の方向性（NS方向、EW方向、UD方向）にも配慮して設定する必要がある。

特に宅地利用を想定した盛土では、宅地建築物の設計地震動を下回る設定は避けるべきであり、対象地盤や施設の固有周期帯域に着目し、弾性加速度応答スペクトルを比較して設定することが求められる。

### ◆3次元 FEM 浸透流解析シナリオ

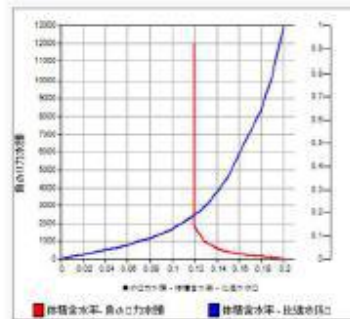
#### 1. 3次元地形地層モデル化

- ・集水地形及び水の流れを考慮して適切な解析範囲を設定し、3次元地形データを用いて地表面をモデル化
- ・ボーリング調査結果を反映した地層線を用いて3次元モデル化し、解析メッシュを作成

#### 2. 材料の透水特性の設定

- ・透水試験結果、土の性状及び粒度分布等による推定値等により飽和時の透水係数を設定
- ・不飽和透水特性設定 (van Genuchten モデル、文献提案関係式 (例えば、国土技術研究センターの「河川堤防の構造検討手引き」) 等参照)

解析に入力した不飽和透水特性 (例)  
 (「河川堤防の構造検討手引き」参照)



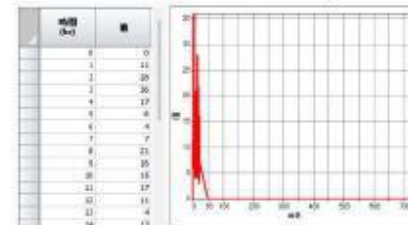
#### 3. 初期地下水位設定

- ・地形形状及び地下水位観測データを反映して解析モデルの節点に全水頭を設定し、定常流解析 (steady state analysis) を実施し、初期地下水位条件を再現

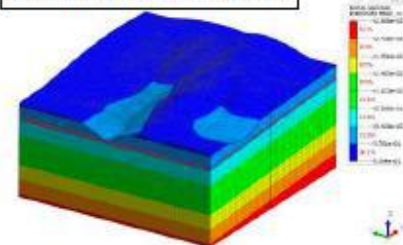
#### 4. 降雨シナリオを反映した非定常流解析

- ・当該地域の降雨記録データ及び設計降雨強度を反映して非定常流解析 (transient analysis) を実施し、時間経過に伴う間隙水圧の変化及び地下水位変化を検討
- ・検討位置での流出量の検討

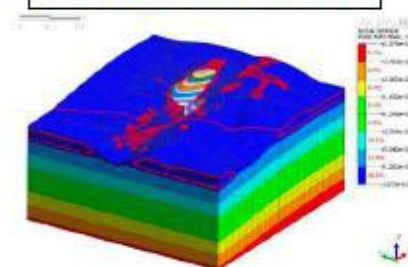
降雨シナリオ (1日間観測降雨データ)



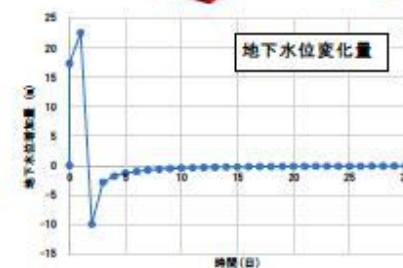
初期状態間隙水圧分布及び地下水位



1日間降雨後の間隙水圧分布及び地下水位



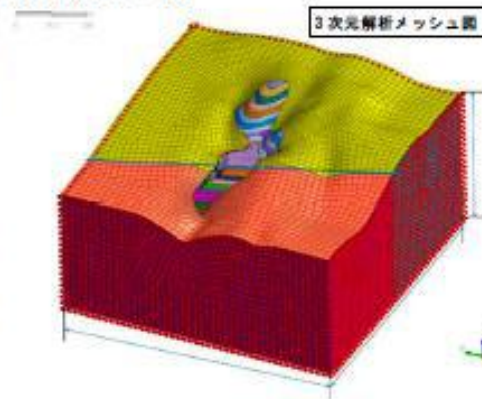
地下水位変化量



## ◆施工段階を反映した3次元FEM地盤変形解析シナリオ

### 1. 3次元地形地層モデル化

- ・解析の目的及び対象構造物の影響範囲を考慮して、適切な解析範囲を設定し、3次元地形データを用いて地表面をモデル化
- ・ボーリング調査結果を反映した地層線を用いて3次元モデル化し、解析メッシュを作成
- ・主な検討断面においては、3次元モデルより2次元断面の抽出が可能となるようにモデル段階で設定



### 2. 材料モデル及び入力パラメータ設定

- ・土材料の応力-ひずみ挙動モデルを設定(線形弾性-完全塑性の Mohr-Coulomb モデル、Hardening soil モデル、修正 Cam-Clay モデル等)
- ・ボーリング調査及び室内試験結果、文献値、推定式により入力パラメータを決定(単位体積重量、変形係数、ポアソン比、強度定数、透水係数等)
- ・構造物及び補強材の諸元(剛性、配置間隔、形状等)を確認し、適切な入力パラメータ設定

### 3. 境界条件及びインタフェース要素設定

- ・モデルのXYZ境界面に対し、変形拘束及び変形自由条件を適切に設定
- ・地盤と構造物の境界部の挙動及び相互挙動を考慮し、インタフェース要素を再現

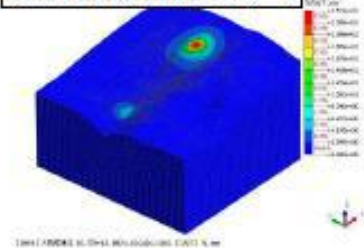
### 4. 施工段階の再現

- ・施工計画を反映し、着手前の現況地盤から要検討工程を順次モデル化(切土及び盛土、床掘、構造物設置、埋戻、地盤改良及び補強、供用荷重の載荷等)

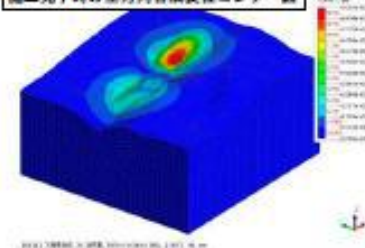
### 5. 解析実施及び結果分析

- ・主な施工段階ごとの解析を実施し、結果を分析(応力-ひずみ挙動、照査点の変位発生履歴、変位ベクトル、3次元合成変位、各施工段階での最大変位等)

切土施工時の全方向合成変位コンター図



施工完了時の全方向合成変位コンター図



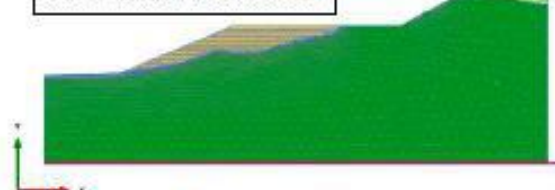
◆ 動的解析シナリオ（時刻履歴動的解析）

1. 当該構造物の地震時の主な挙動及び破壊形態を想定

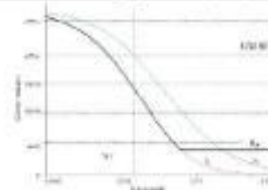
- ・ 時刻履歴動的解析：地盤の加速度応答に伴う応力-ひずみ挙動による変形検討
- ・ 円弧すべり残留変位解析：地震時の応答特性を反映した円弧すべり残留変位検討
- ・ 液状化解析：液状化評価に基づき、液状化による地盤の変形検討

2. 地形・地質状況及び構造物のモデル化及び解析領域設定

2次元FEM動的解析モデル(メッシュ図)



Hardin-Drnevich 関係式に基づいた small strain stiffness with hardening soil mode(Plaxis)



3. 材料モデル及び入力パラメータ設定

- ・ 土材料の微小変形剛性及びせん断剛性のひずみ依存性を反映した材料モデルを採用 (Hardin-Drnevich モデル、Ramberg-Osgood モデル等)
- ・ ボーリング調査及び室内試験結果、文献値、推定式により入力パラメータを決定

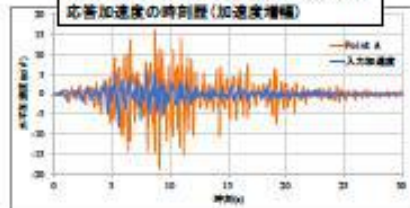
4. 境界条件及び入力地震波決定

- ・ 境界の変形拘束条件及び反射波の影響を考慮した動的境界条件設定(自由地盤境界、粘性境界等)
- ・ 強震観測データ或いは人工地震波を作成し、解析モデルの下部境界に与える(加速度時間履歴データ)

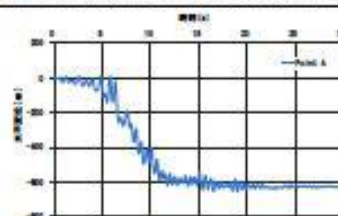
5. 時間履歴動的解析実施及び結果分析

- ・ 加速度応答特性を含め、時刻歴変位及び残留変位、せん断ひずみ分布等を検討・評価

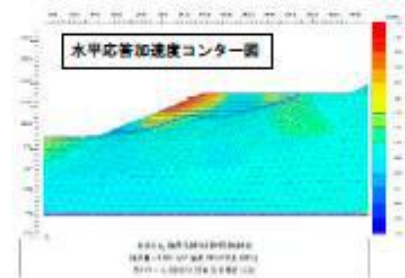
入力地震波(阪神淡路地震観測データ)及び応答加速度の時刻歴(加速度増幅)



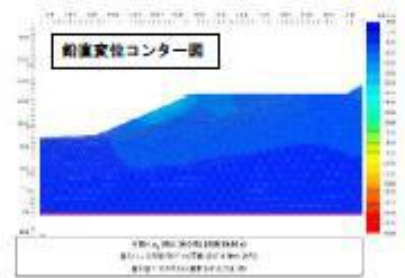
露土の法面部における鉛直変位時刻歴及び残留変位



水平応答加速度コンター図



鉛直変位コンター図



# 盛土締固め管理

## 【参考文献】

澁谷啓, 片岡沙都紀, 堀田崇由 : 塑性を有する盛土材料の締固め施工管理基準値の簡易推定法, 基礎工, Vol.42, No.9, pp.62-65, 2014.

堀田崇由, 澁谷啓, 北島明, 松田健斗, 片岡沙都紀 : 粒度の三角座標分類図を用いた最大乾燥密度の推定法, Kansai Geo-Symposium 2020 論文集, Vol.8, pp.80-83, 2020.

椎葉偉久, 小泉圭吾, 澁谷啓 : ICTを活用した盛土材料管理システムによる締固め管理技術の合理化, 基礎工, Vol50, No.4, pp.87-90, 2022.

# まじめな質問です



Q. 一般に盛土材料の締固めの管理基準値は何でしょうか？

解答  
？

# 背景・目的

## ・ 盛土（もりど）

道路・宅地・堤防などの盛土は**締固め**が一番大事



### 土の締固め

土は振動ローラー等の転圧機械で十分に**締固め**ることで構造物として**所要の強さと性能**を発揮する



酒井重工業株式会社HP : [https://www.sakainet.co.jp/products/soil\\_compactor/sv900-1.html](https://www.sakainet.co.jp/products/soil_compactor/sv900-1.html)

### 盛土の施工管理

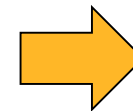
#### 材料試験

- ・ 粒度試験
- ・ 締固め試験
- ・ 各種力学試験 etc.

#### 現場管理

- ・ RI, 砂置換法
- ・ 転圧回数
- ・ 撒出厚さ etc.

#### 管理基準値の設定



- ・ 乾燥密度（**締固め度, Dc**）
- ・ 空気間隙率, **飽和度**
- ・ 含水比 etc.

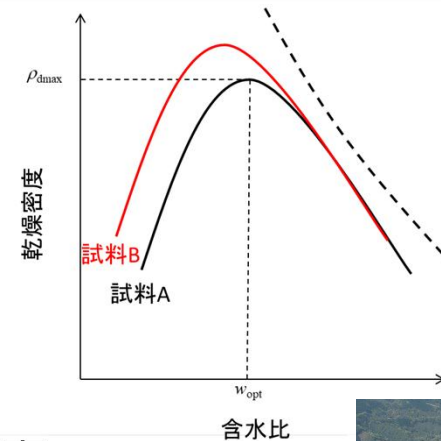
# 土の締固めにおける管理基準値

## • 土の締固め特性

締固め曲線から求まる

最大乾燥密度( $\rho_{dmax}$ )と最適含水比( $w_{opt}$ )

→土質、締固めエネルギー等に依存



$$\text{締固め度 } D_c = \frac{\text{現場で測定された乾燥密度}}{\text{室内試験による最大乾燥密度}} \times 100(\%)$$

大規模盛土造成工事では

同一現場内でも土質が微妙に変化

- 土質の変化の判断基準が曖昧
- 土が微妙に変わるたびに締固め試験を実施して  $D_c$  を再設定するのはひと手間



研究目的：簡単な指標を用いて締固め管理基準値を推定

## 低品質土とは？

### 締固めにくい土

- ・ 水を多く含む細粒土（シルト、粘性土等）
  - 細粒分(0.075mm以下)含有率 $F_c$ が25%程度より大きい土
  - 最適含水比が13%程度より大きい土
  - 自然含水比が最適含水比よりもかなり大きい土
  - 雨が降るとぬかるむ土、等々

※ 最適含水比よりも高い含水比で安易に造成すると、過大な圧縮沈下やせん断変形による多種多様な性能問題が発生する虞があるため、締固め管理には特段の注意が必要となる。

## 低品質土を用いて造成した高盛土の変状事例

△ 場所：兵庫県内某所

△ 形態：切盛り工事による谷埋め大規模盛土

※完成時の盛土高さ→谷筋①盛土：約25m、谷筋②盛土と谷筋③盛土：約30m

※鉛直方向2.5mピッチ で高強度なジオテキスタイル（不透水の布）を敷設

△ 施工履歴：2020年1月～2022年5月までの3年5ヶ月間

→トラブルその1：2020年4月～10月；盛土③ののり面変状発生のため半年間施工が中断；

原因究明と応急対策工の検討 by CERI

→トラブルその2：盛土造成完了後6ヶ月経過し、引き渡し直前、盛土②と盛土①の天端にクラックが発生

原因究明と対策工の検討 by CERI

△ 盛土材：現地発生土、大阪層群の地山掘削土、細粒分含有率 $F_c=30\sim40\%$ 、無視できない量の礫が混入

△ 締固め施工管理基準値 (@ 2019)

標準プロクター(1.0Ec、B法)試験により求めた最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$  (g/cm<sup>3</sup>)に対して、

①締固め度 (Dc)：90%以上

②空気間隙率 (Va)：8%以下

③含水比 (w)：22%以下 (noting 自然含水比=約19%、最適含水比：13%~19%の範囲でバラつく)

★最適含水比よりかなり高い上に自然含水比よりも高い含水比を許容上限値とする管理は、含水比管理に全くなっていない!

## 実施工における締固め施工管理基準値決定の経緯

※低品質土→施工費縮減のため盛土本体は未改良 (by 施主)

※ 底盤(5m高さ) only セメント改良

※管理基準値 (by 施工者)

宅地造成のため、標準プロクター(1.0Ec、B法)室内試験により求めた最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  (g/cm<sup>3</sup>) に対して、

①締固め度 (Dc) : 90%以上 (下限値管理)

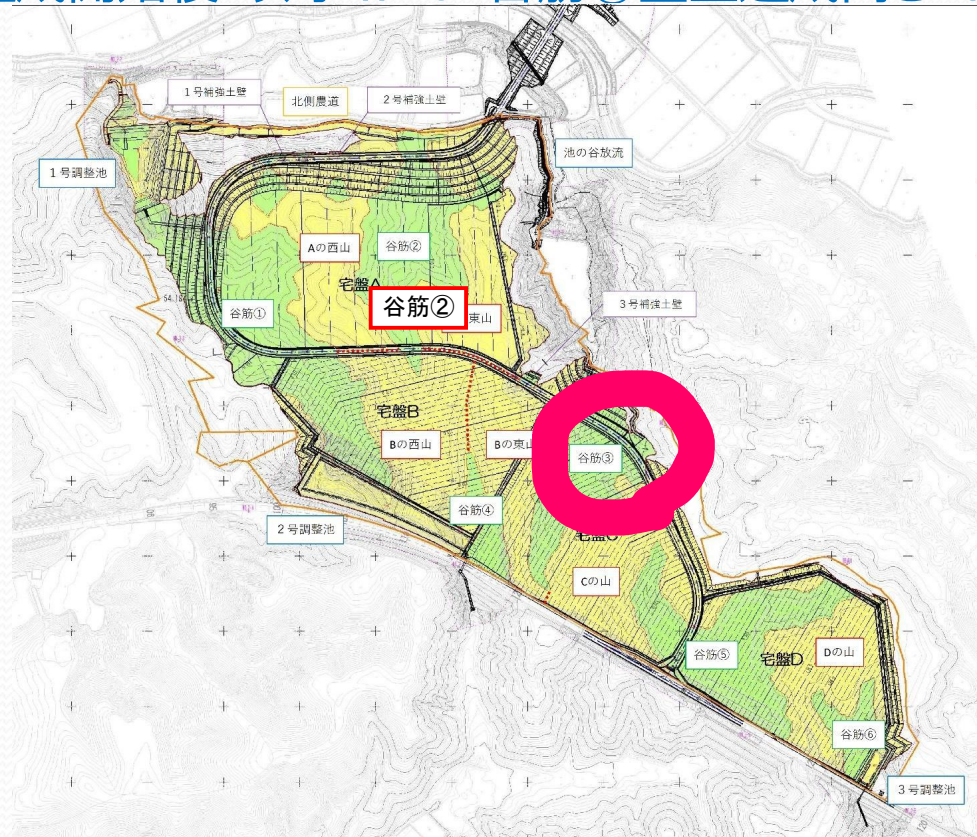
②空気間隙率 (Va) : 8%以下

③含水比 (w) : 22%以下 (n. b.; 自然含水比=約19%)

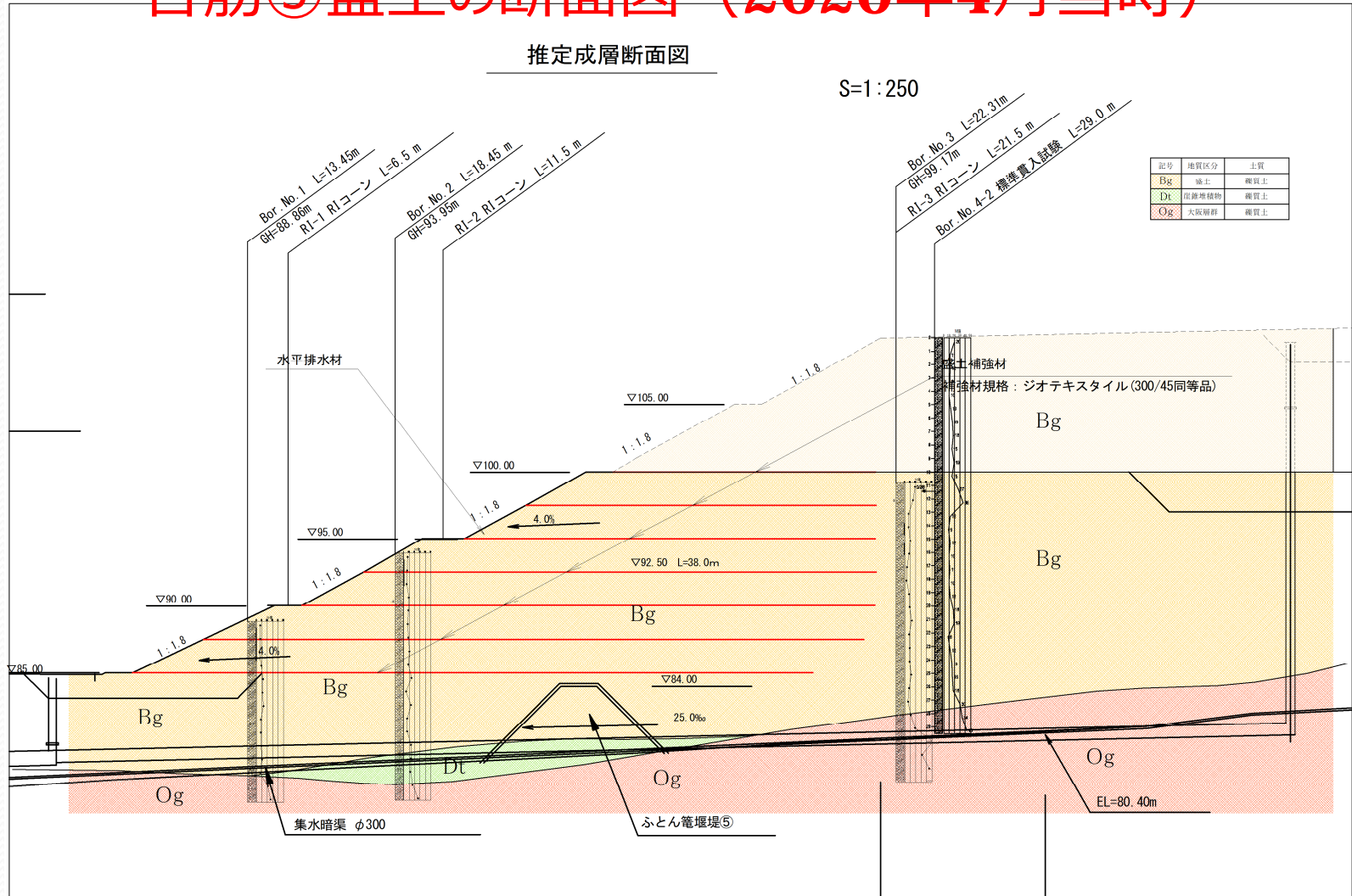
※当初より、自然含水比より大きく、最適含水比より最大9%も大きいw=22%を許容することの是非に関する議論あり！

# トラブルその1 (2020年4月末) 谷筋③盛土

造成開始後4ヶ月 when谷筋③盛土造成高さ20m



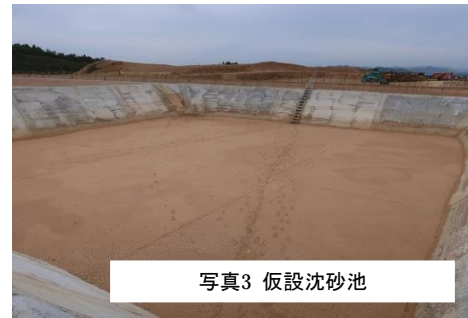
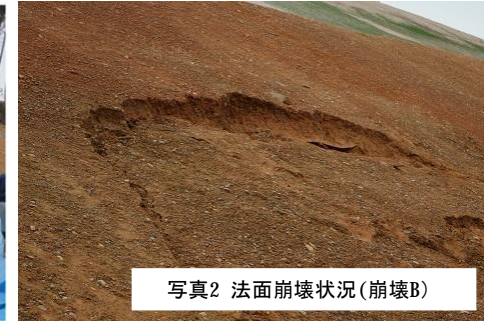
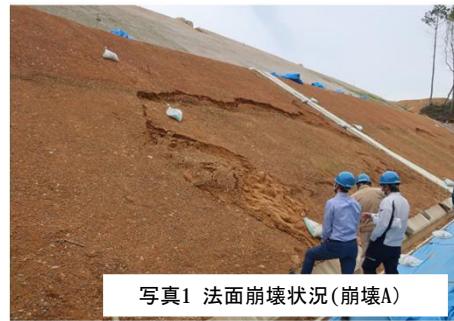
# 谷筋③盛土の断面図 (2020年4月当時)



## 不透水ジオテキスタイルの敷設状況



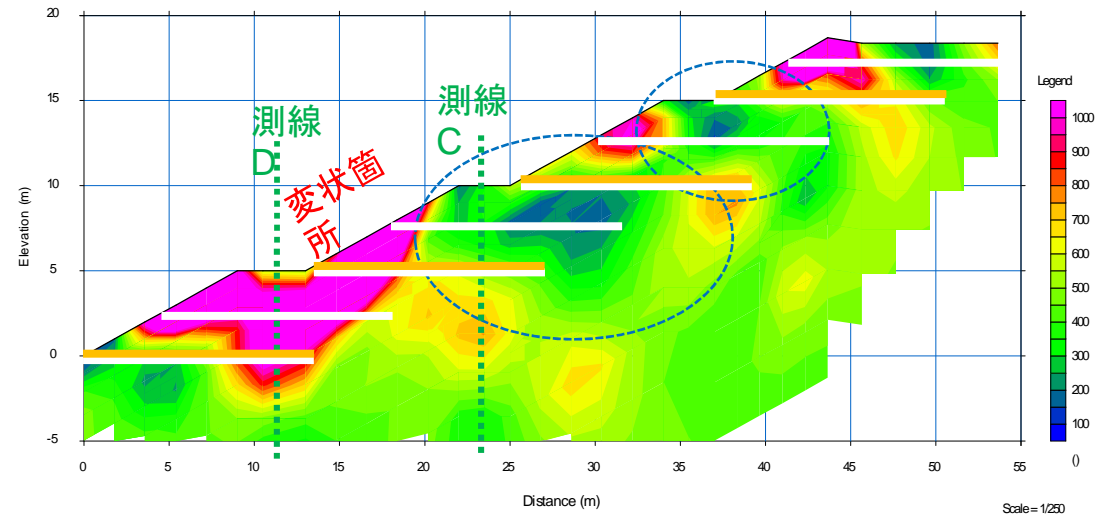
# トラブルその1 : 2020年4月谷筋③盛土のり面の変状



高強度でも不透水のジオテキスタイルシート上に水が溜まり盛土が濃んでのり面が変状

# 谷筋③盛土の電気探査結果@2020年6月9日

シート周辺の高含水比領域に注目





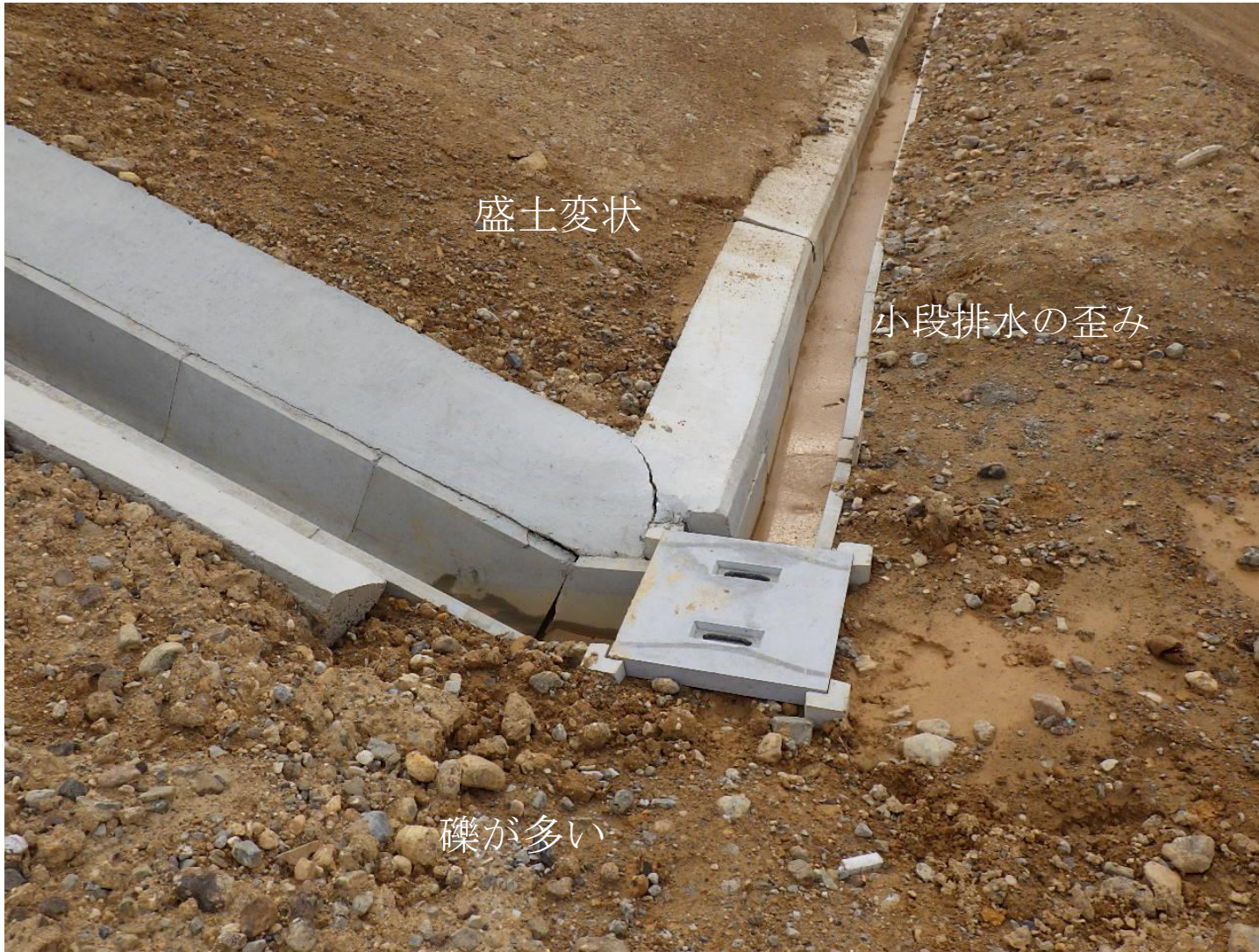
クラック



クラック

クラック

盛土の沈下



盛土変状

小段排水の歪み

礫が多い

**不透水ジオテキスタイルの直上に狭い帯状の排水材  
(不織布、高圧下での通水性能?)**



**不透水ジオテキスタイル・排水材と小段排水コンクリーに段差**  
**排水材が逆勾配に！**  
**where the drained water to go?**





# 盛土天端亀裂発生メカニズムの推定

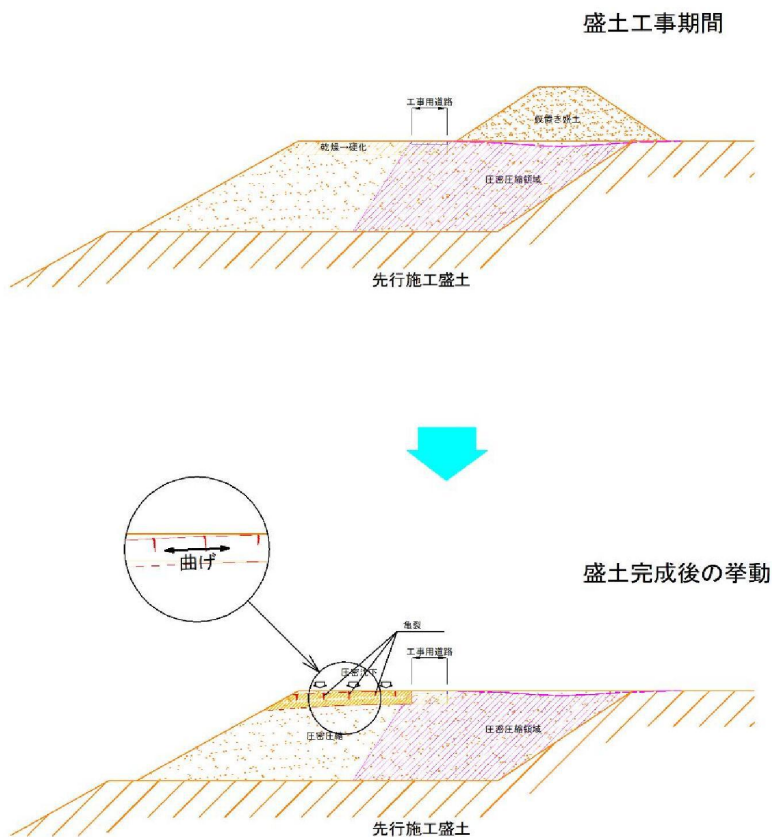


図-6.1.11 亀裂発生メカニズムの推定

- ①過転圧を生じやすい材料であったことや、圧縮沈下による高飽和度、高含水状態の発生
- ②盛土上を盛土材料のストックヤードとして利用していたことにより、ストックヤード周辺の圧密沈下が進行し、**盛土内で圧密度の違いが発生**していたこと
- ③盛土表面近傍が乾燥により固化し、変形に追従しにくい状態であった。
- ④盛土の施工に中断期間があり、中断前後で盛土の性状が異なっており、中断前の盛土材料は安定化していると推定される。

- ①仮置き盛土影響範囲のプレロード効果による圧密進行によって、**盛土内の圧密進行の状態が、一様でなくなり、工事用道路の法面側の圧密の進行が遅れる結果**となった。
- ②盛土天端表面の乾燥が進み、盛土天端部分は乾燥固化した。
- ③仮置き盛土撤去後には、仮置き盛土影響範囲と工事用道路の法面側との圧密沈下差が発生（仮置き盛土側で小さく、無荷の工事用道路法面側で大きな沈下）
- ④工事用道路法面側で不等沈下が発生した結果、固化し変形に追従しにくい表面付近に曲げが作用し、変形限界を超えた時点で亀裂が発生した。

## 得られた教訓

- ① 細粒分含有率が30%~40%で礫を混入しているが、自然含水比が最適含水比よりもかなり高い低品質土を無乾燥、無改良で盛土材料として用いた施工計画自体が無謀であった。
- ② 高含水比の現地発生土（自然含水比19%>最適含水比13%-16%）に対して、管理値として含水比22%を許容したことが不合理であった。自然含水比でオーバーコンパクションが生じる可能性が高い土材料であることが計画段階で分かっていたら、決して許されなかった判断であった。
- ③ i) 高強度なジオテキスタイルを敷設して盛土全体の安定性を確保すること、ii) 圧密沈下、水浸沈下、せん断変形等に関する所定の要求性能を満足すること、i) とii) は別問題として考える必要がある。
- ④ 不透水ジオテキスタイルを盛土内に敷設すべきでなかった。現場では、不透水ジオテキスタイルの上部に宙水が形成され、盛土内部が膿んでのり面が変状した。
- ⑤ 本事例のように、通常の変形管理値そのものあるいはこれらに大きく影響を及ぼす要因（最大乾燥密度、最適含水比、礫混入率、土粒子形状）が変化する盛土材の変形特性において、最適飽和度は土質材料の工学的特性の違いに影響されにくい普遍的な指標であるため、現場変形管理においては、従来からの変形管理と含水比管理を適切に実施することに加えて、最適飽和度の実現を目指す飽和度管理の導入が望ましい。

# 盛土防水

## 【参考文献】

澁谷啓：盛土崩壊のメカニズムと対策工，ジオシンセティックスシンポジウム論文集 第23巻,pp.1-14, 2008年12月

澁谷 啓, 齋藤 雅彦, 原 健二, 柘尾 孝之：ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工— 数値シミュレーションと模型実験による評価 —, ジオシンセティックス論文集 第23巻, pp.139-146 2008年12月

原 健二, 澁谷 啓, 齋藤 雅彦, 鳥居 宣之, 蔡 鍾吉, 柘尾 孝之：ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工— 実物大実験による評価 —, ジオシンセティックス論文集 第23巻,pp.147-154 2008年12月

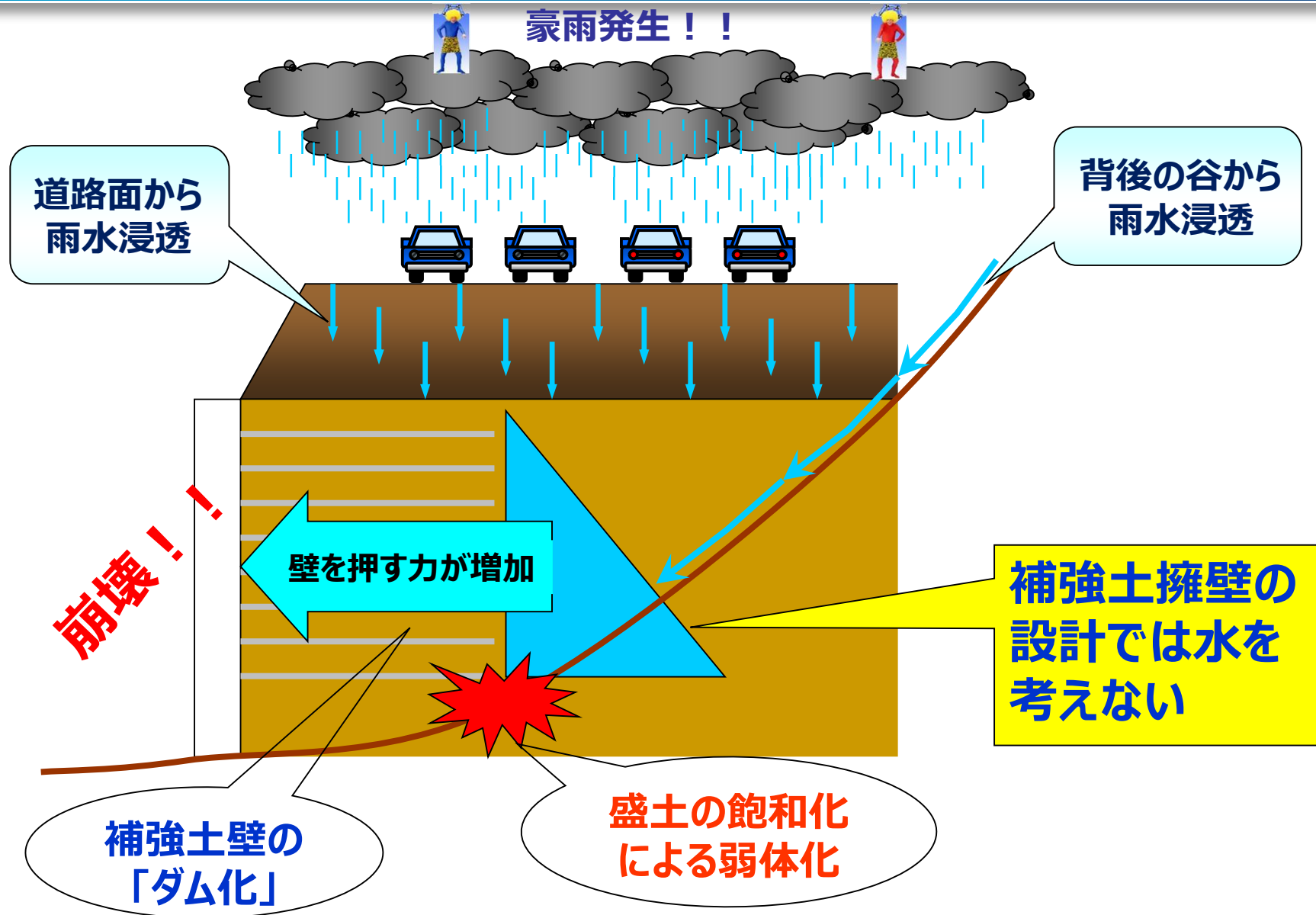
白濟民, 許晋碩, 尾方武文, 金秉洙, 忠野祐介, 澁谷啓：補強土におけるL型防水工の適用性に関する実験的研究，一般財団法人建設工学研究所論文報告集第54号[論文], pp.123~134, 2012.

白濟民, 許晋碩, 尾方武文, 金秉洙, 忠野祐介, 澁谷啓：製鋼スラグを用いたテールアルメ擁壁の適用性に関する実物大盛土実験，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2012論文集，公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.111-118, 2012.

齋藤雅彦, 吉田明日香, 白濟民, 原健二, 澁谷啓：数値シミュレーションによるL型排水盛土防水工における盛土内外の水位上昇抑制効果の評価，ジオシンセティックス論文集, 第28巻, pp.23-30, 2013.

白濟民, 澁谷啓, 許晋碩, 尾方武文, 金秉洙, 忠野祐介：大型土槽実験によるジオシンセティックスL型排水盛土防水工の補強土壁への適用性，ジオシンセティックス論文集, 第28巻, pp.353-360, 2013.

# 2004年養父市の補強土壁の崩壊の教訓



# L型排水盛土防水工の着想

降雨

◆ 地山からの浸透水を、鉛直に設置したジオシンセティックス排水材により下方に落とし、底部の排水層から効率よく盛土外へ排水することで、盛土に浸透する雨水の低減が図られる。

盛土自体を防水領域と考え、ただ、遮水することではなく、十分な排水によって、盛土背面からの水の浸透および蓄積を防ぐことが特徴である。

盛土材の研究開発

【鉄鋼スラグ及びスラグ混合土の工学的特性が地盤構造物に及ぼす影響の検討】

- ・ 盛土内への雨水の浸入を防ぐ
- ・ 盛土内の飽和化を防止
- ・ 盛土内背後に水が溜まらない

ジオシンセティックス  
鉛直排水材

浸透水

スラグ混合土

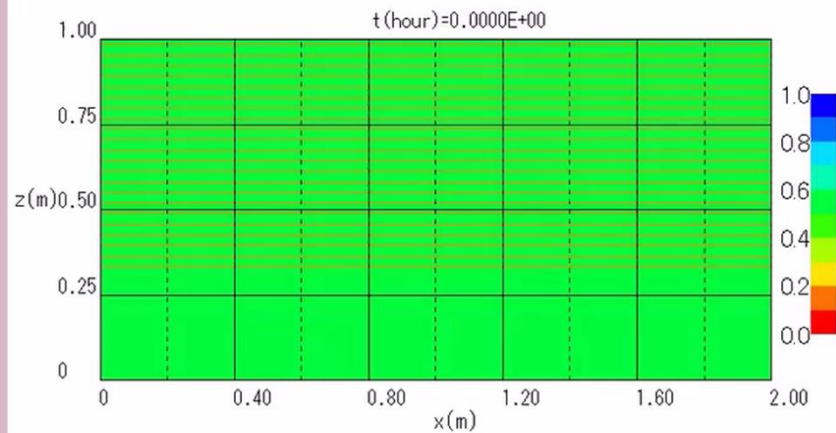
帯鋼補強土壁  
(テールアルメ工法)

水平排水層

ジオシンセティックス排水材を用いた「L型排水盛土防水工」の効果の検討

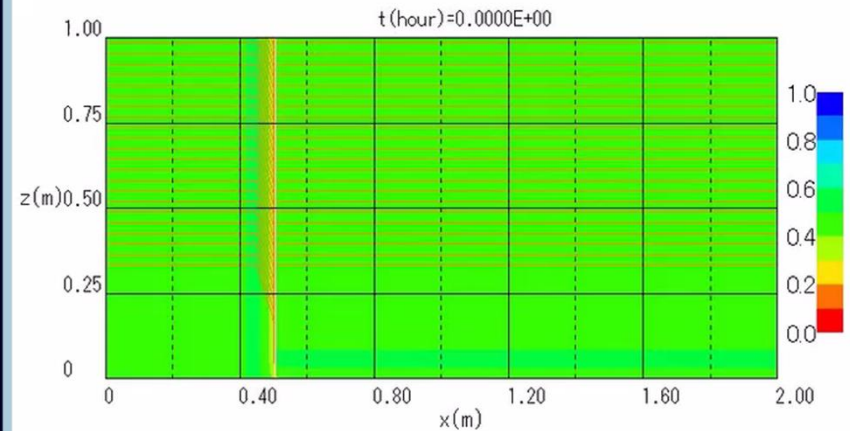
# 浸透流解析による L 型排水材の効果

## 排水材なし



降雨による飽和度の上昇が  
広い範囲で生じる

## L型排水材

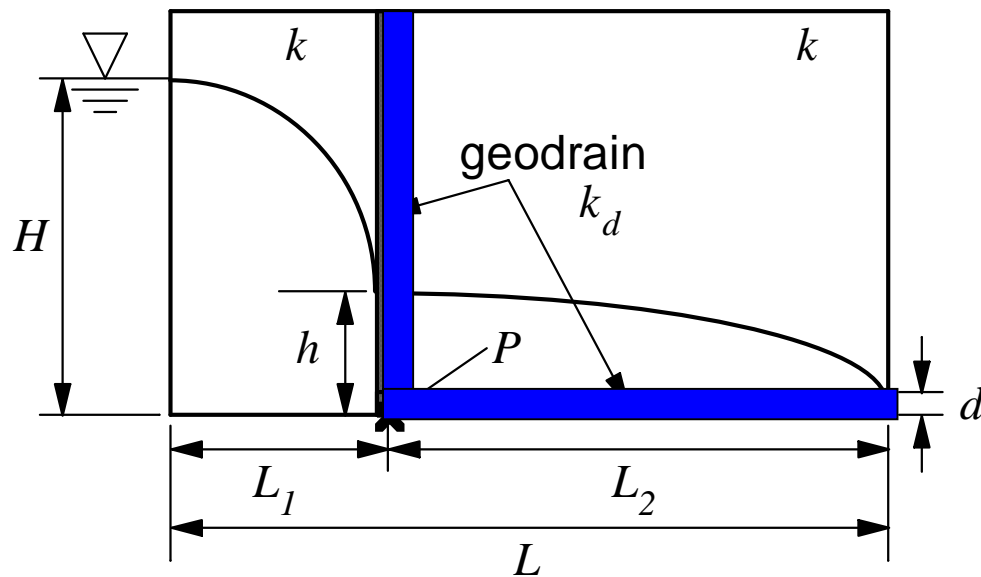


降雨による飽和度の上昇は  
遮水領域で小さい

齋藤ら(2008)

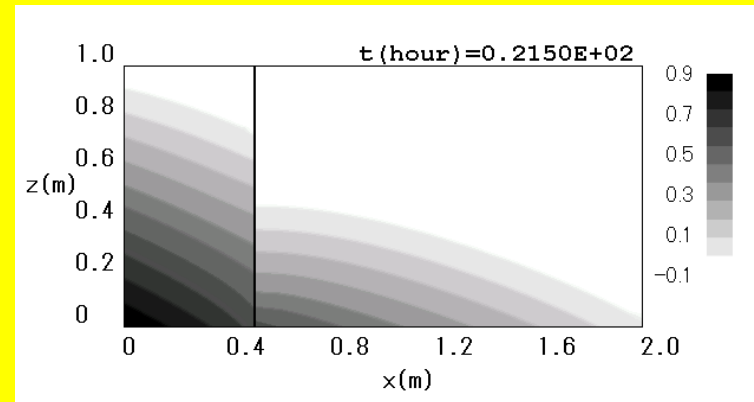
# L型ジオシンセテックス排水材の設計

遮水領域の水位は、排水材の透水性能と配置により決まる!!

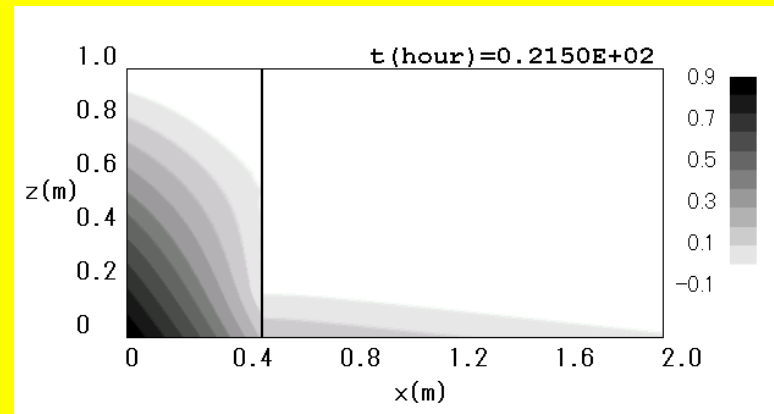


$$\beta = \sqrt{\alpha^2 \gamma^2 + 1} - \gamma - \alpha \gamma$$

$$\alpha = \frac{k_d d}{kH}, \quad \beta = \frac{h}{H}, \quad \gamma = \frac{L_1}{L}$$



排水材の  $K_d = 1$  (cm/sec)



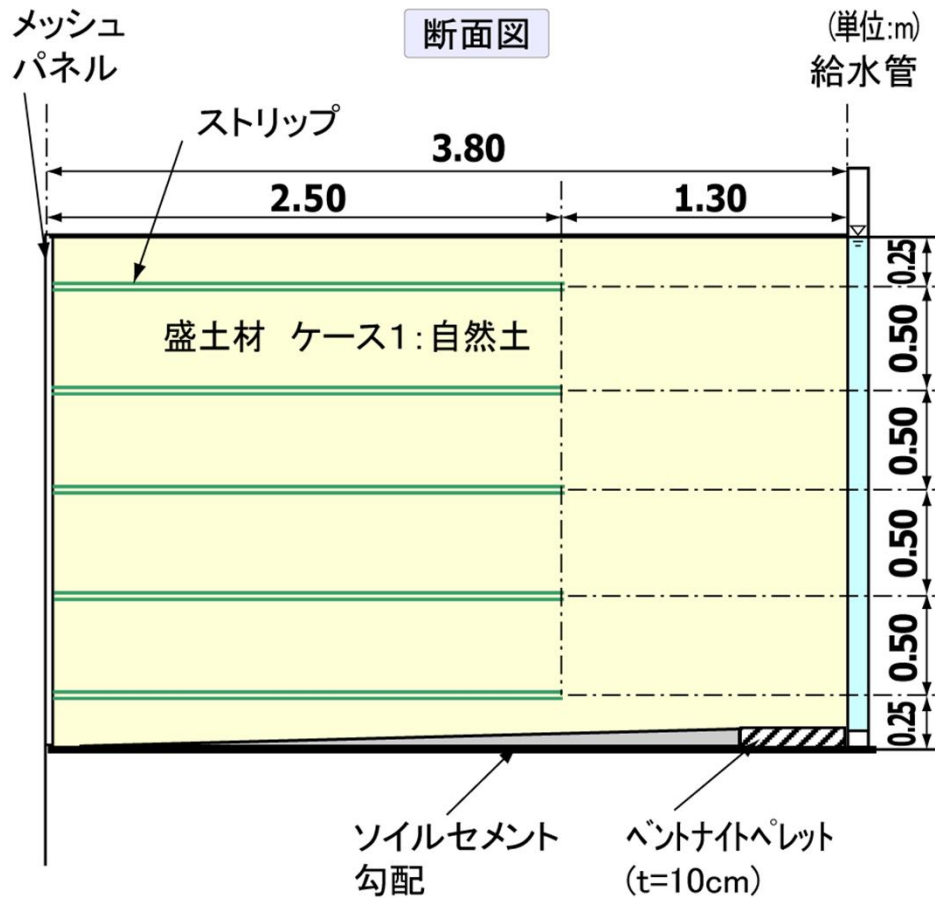
排水材の  $K_d = 10$  (cm/sec)

小型土槽実験のシミュレーション

齋藤ら(2008)

# 実物大盛土実験の概要①

## ● 採用工法： テールアルメ擁壁



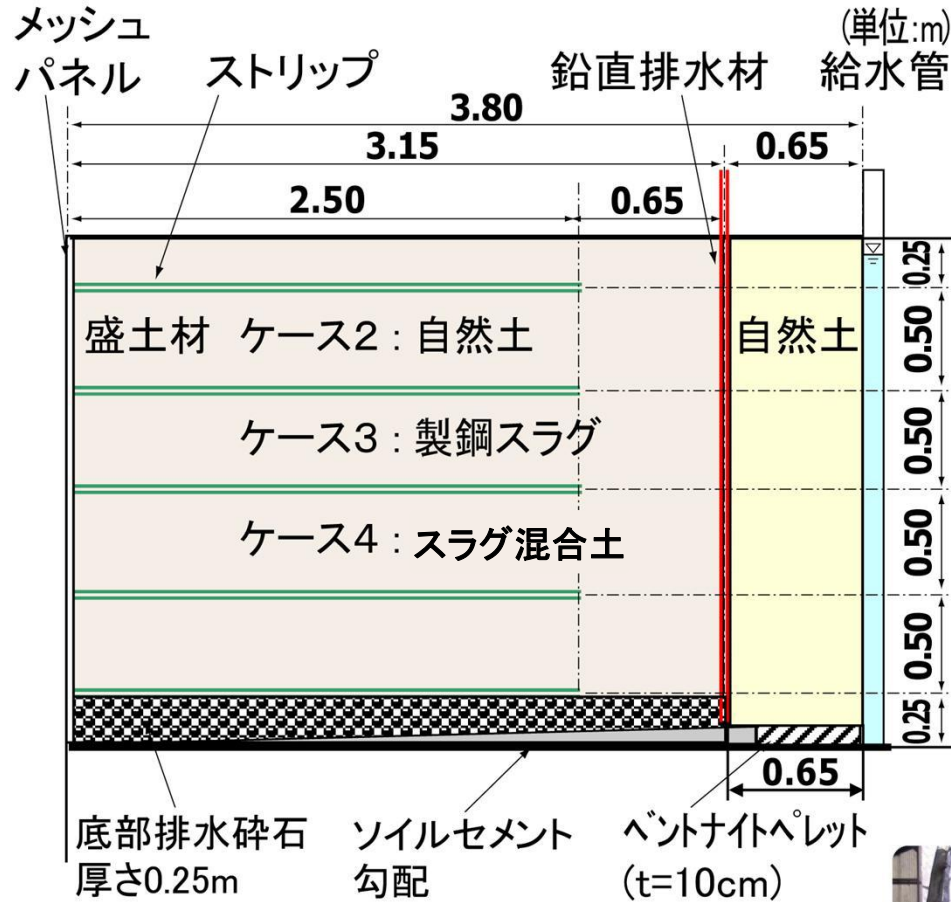
## 無対策盛土：ケース1

区分	ケース1
盛土材	自然土
目標締固め度 Dc(%)	90
鉛直排水材	無し
底部排水層	無し

## ● 自然土：細粒分質礫質砂(SFG)

# 実物大盛土実験の概要②

## ● 採用工法： テールアルメ擁壁 + L型排水盛土防水工



### L型排水盛土防水工：ケース2,3,4

区分	ケース2	ケース3	ケース4
盛土材	自然土	製鋼スラグ	スラグ混合土
目標締固め度 Dc(%)	90	80~85※	85※
鉛直排水材	あり	あり	あり
底部排水層	あり	あり	あり

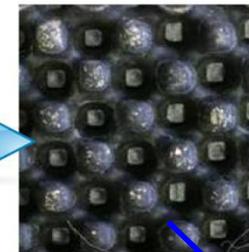
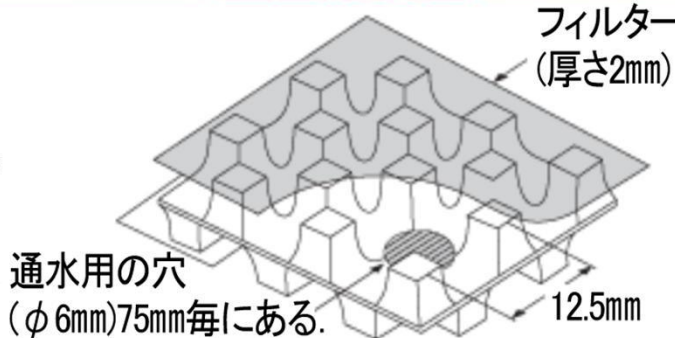
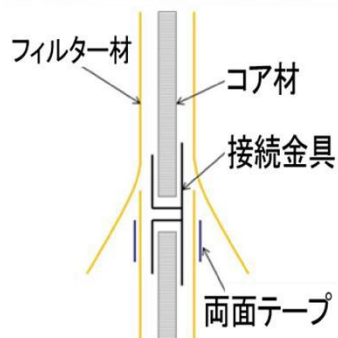
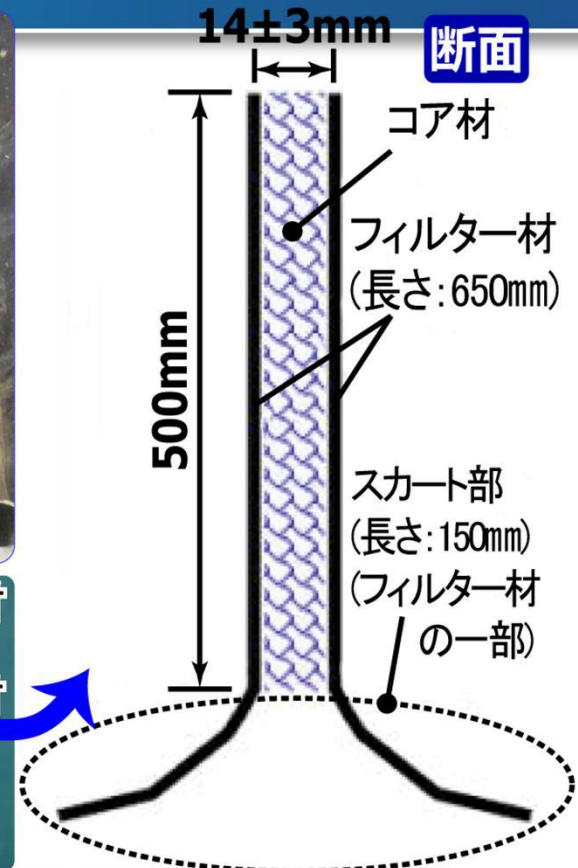
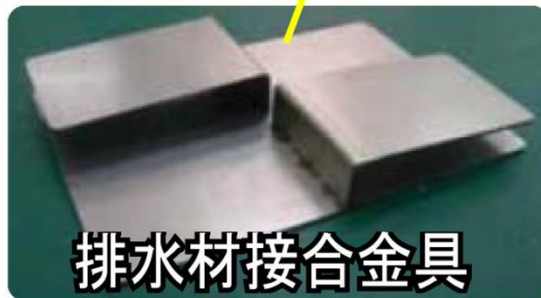
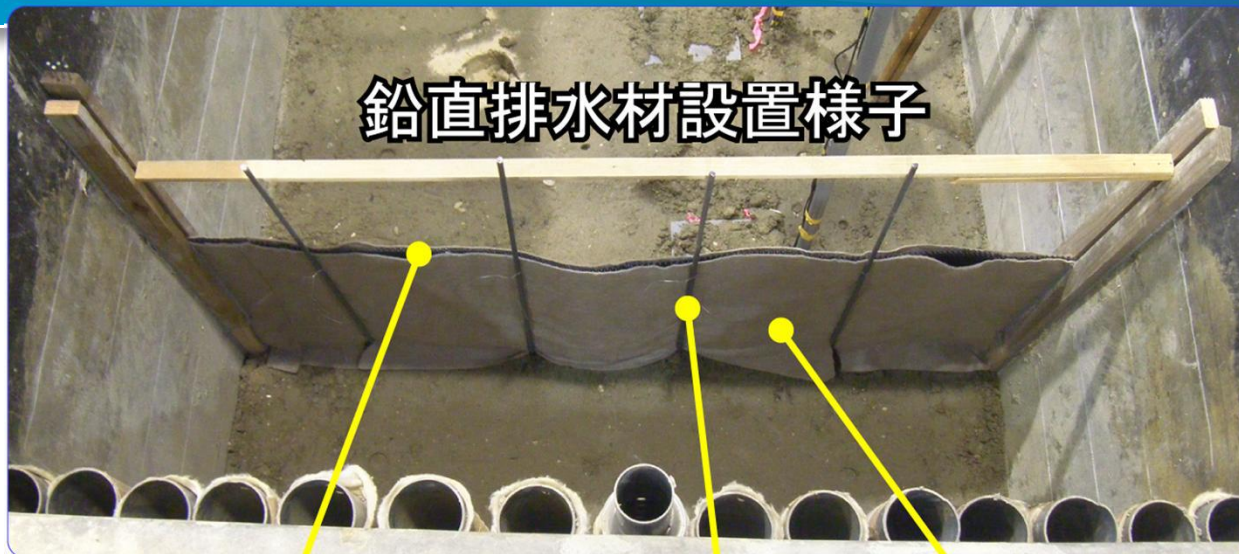
※ 一般的な道路盛土の締固め度の下限値：Dc=90%

◆ 製鋼スラグの強度特性が優れるので、意図的に緩い締固め度で施工して、盛土の挙動を観測する。

### ● 混合土：施工性を考慮して現場で混合

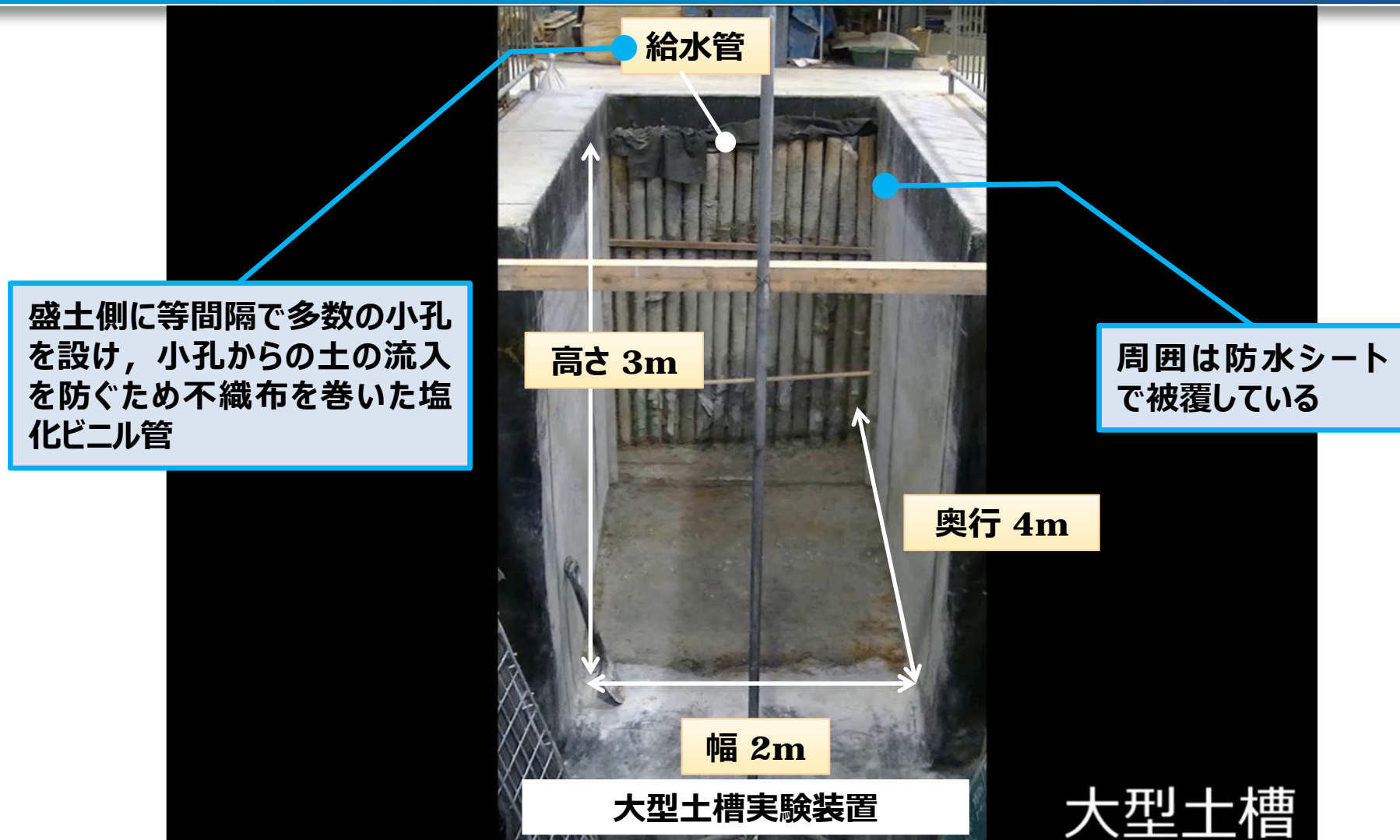


# ジオシンセティックス鉛直排水材



通水断面を確保

# 実験装置および施工過程



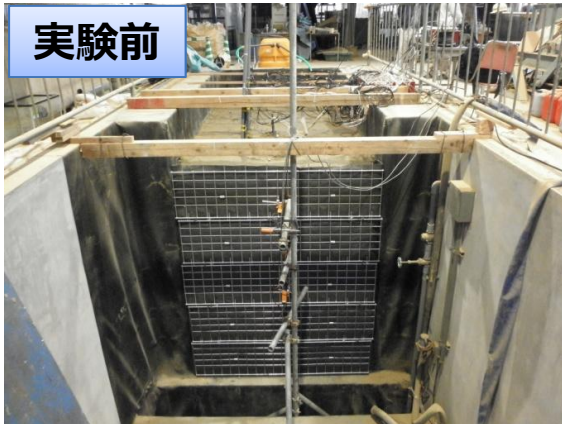
- ▶ 施工は、壁面メッシュパネル、排水材、計測器、ストリップ<sup>®</sup>を設置した。そして、土撒きだしをして転圧と締固め管理を行った。

## 観察結果：ケース1盛土の崩壊状況



- ▶ ケース1は、給水した後、約25分でストリップ先端部に亀裂が発生  
さらに、排水量は少なく、水位上昇に伴い変形が増加  
最終には、壁と一体になってブロック形で崩壊に至った。

# 観察結果：ケース1(自然土, 無対策)



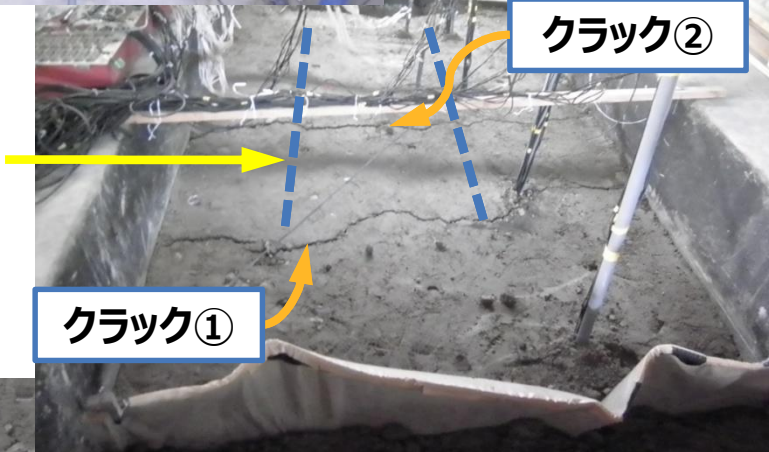
- 注水後約25分でストリップ先端部に亀裂 (クラック①)発生し前方へ拡大
- 壁面は下段中心にとしたはらみ出しが発生
- 盛土内水位の上昇に伴い補強土背面部での亀裂が拡大 (50分)
- 注水停止したが水位低下は鈍く, 壁は一体で大きく前方へ拳動し, **崩壊に至る**

- 前面への排水は少なく, 水位上昇に伴い拳動増加
- 崩壊形態はブロック崩壊

# 観察結果：ケース2(自然土+L型排水)



ストリップの  
投影位置

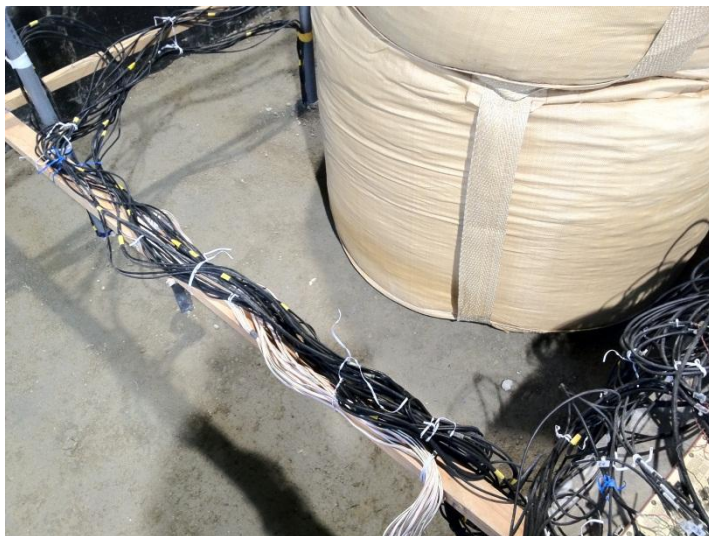


- ストリップ先端部付近で亀裂の発生が確認された
- 壁面に目立った変化無く、変位量も4mmと小変形
- 背面部での沈下進行に伴い、排水材の変形が大きくなり機能低下

水位上昇無く、補強土壁に目立った変形なし

※亀裂は背面側への押し戻しにより生じた可能性が考えられる。

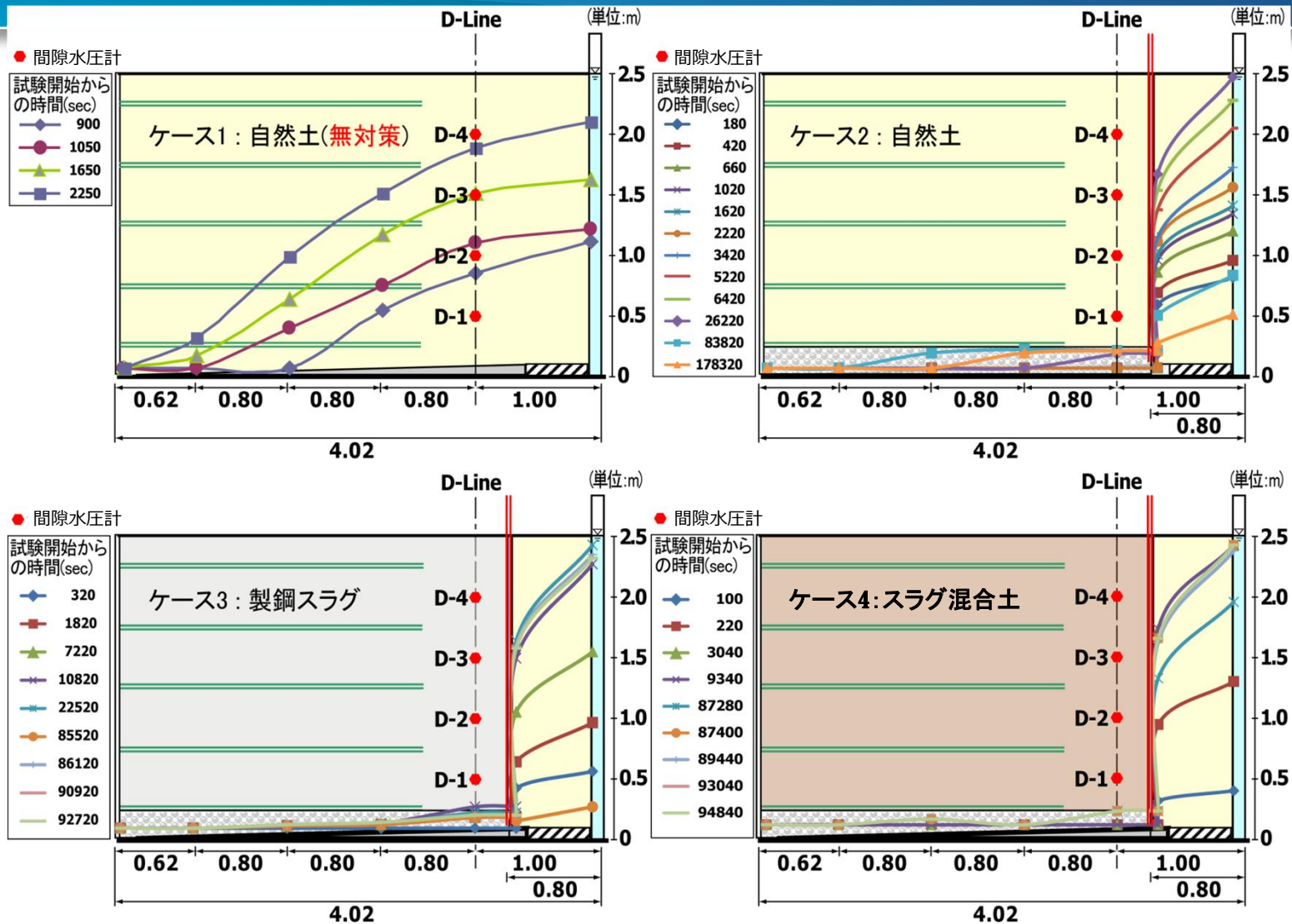
## 観察結果：ケース4(スラグ混合土)



- **クラックなし**
- 荷重載荷後も変化はほとんど見られなかった
- 壁面に目立った変化無く、最大変位量も**0.3mm**と小変形
- 背面土の沈下が生じなかったため、排水材は**健全**に機能し、2日間通じて排水量の低下は見られなかった

地盤内の水位上昇無く、補強土壁および盛土は変形しなかった

# 計測結果：浸潤線および間隙水圧の変化①



- ▶ **L型排水材が設置されているケース2,3,4の場合、盛土内部への水の浸透はないことが確認できる。これは、L型排水材の排水および盛土防水効果が発揮されたものと考えられる。**

# まとめ

- ※ **L型排水盛土防水工**を設けた鉄鋼スラグ混合盛土の実物大盛土実験を実施し、新たな補強土壁工法の豪雨に対する安定性を検証した。
- **ケース1(無対策盛土)**では、背面からの給水に伴い盛土内の水位が上昇し、ストリップ先端部に亀裂が発生、壁面は**80~100mm**水平変位し、最終的には**崩壊**に至った。
- **ケース2(L型排水盛土防水工)**の場合、盛土内への水位上昇は認められず、補強土壁面の水平変位も**最大4.7mm**と**小変形に留まり**、安定した状態を保持。
- ▶ 以上より、**L型排水盛土防水工**を補強土壁に適用した場合、**豪雨による背面からの水の浸透を防ぐことができ**、擁壁の外的安定性を確保することができる。
- 締固めが**不十分**な**ケース3(製鋼スラグ :  $D_c = 80 \sim 85\%$ )**においても
  - ・ 変位量が自然土(ケース2)を用いた場合より極めて小さい。
  - ・ 全体的な安全率も、常時・地震時の安全率を満たす。
- **ケース4(スラグ混合土)**の場合、細粒分の多い自然土(盛土材として不良土)の**改良効果**が確認できる。
- ▶ ジオシンセティックス排水材を採用した**製鋼スラグ混合土補強土壁**は、**施工性に優れ高い安定性を有する**。

## 適用事例1

# 兵庫県佐用町におけるジオテキスタイル 補強土壁の変形事例

### 【参考文献】

Satoru Shibuya, Jinsuk Hur, Minsu Jung, Byeongsu Kim : Case study on rainfall-induced behavior of unsaturated soils in natural slopes and reinforced-earth walls, 5th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, pp. 141 - 180, 2011

Jung, M.S., Kawajiri, S., Hur, J.S. and Shibuya, S.(2010)  
: CASE STUDY ON SEVERELY-DAMEAGED REINFORCED EARTH WALL WITH GEO-TEXTILE IN  
HYOGO, JAPAN

*Part I :Site Investigation into the cause of damage, pp.3~10*

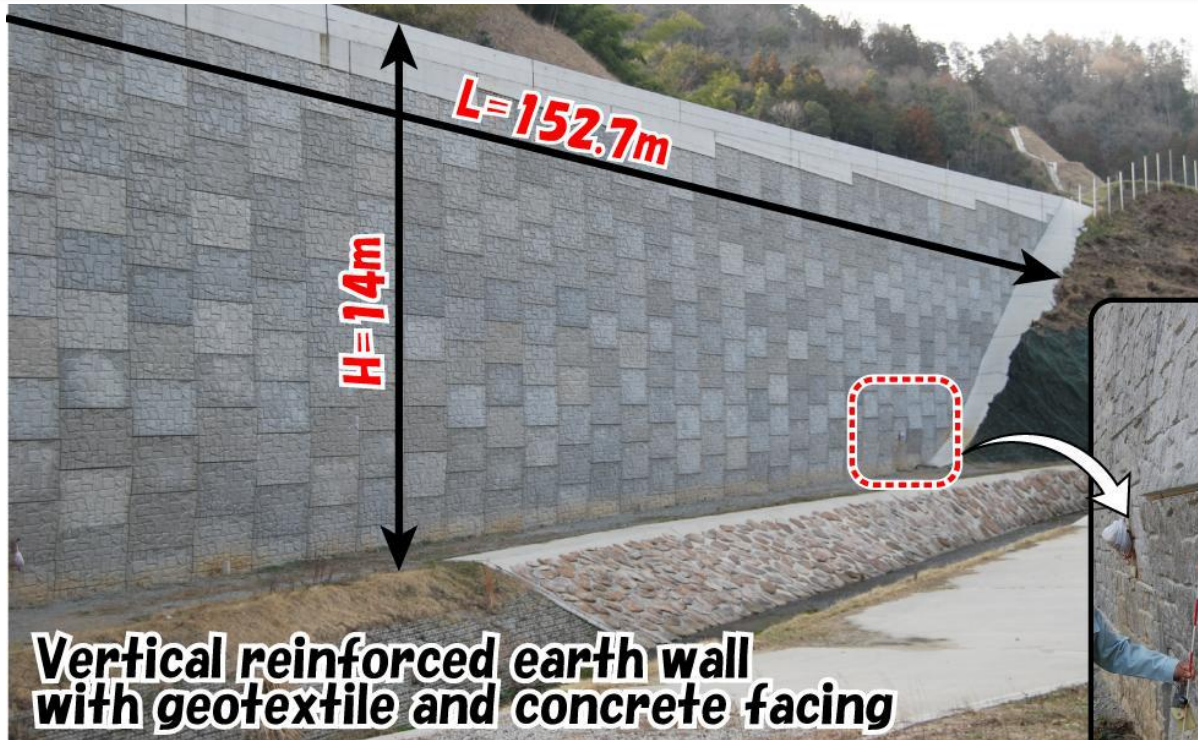
Hur, J.S., Kawajiri, S., Jung, M.S. and Shibuya, S.(2010)

*Part II :Numerical simulation into causes and countermeasure, pp.11~17*

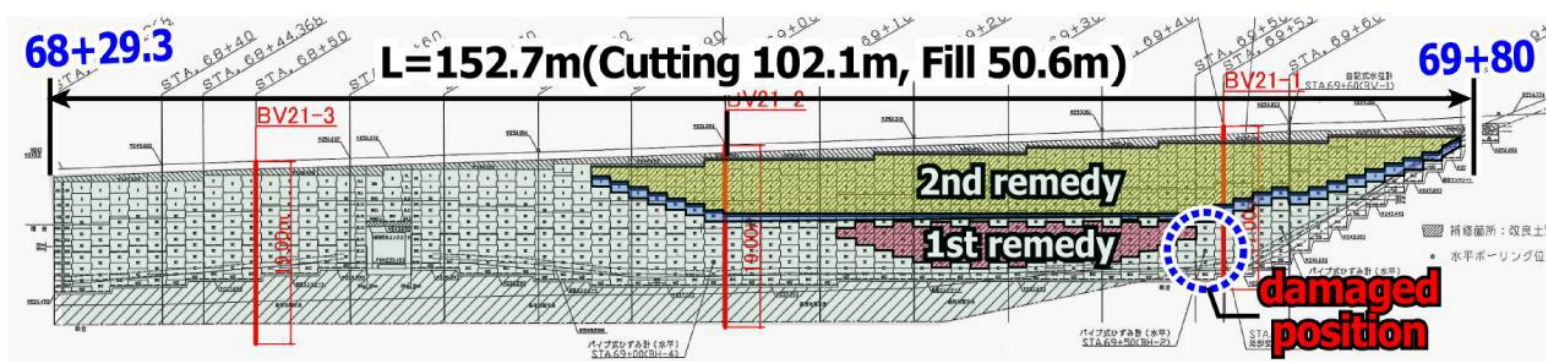
Proc. of 3rd Japan-Korea Geotechnical Engineering Workshop-Geotechnics in Urban Areas, Japanese Geotechnical Society & Korean Geotechnical Society , Ansan

# ジオテキスタイル補強土壁の新設施工中に発生した変状トラブル

兵庫県  
佐用郡佐用町

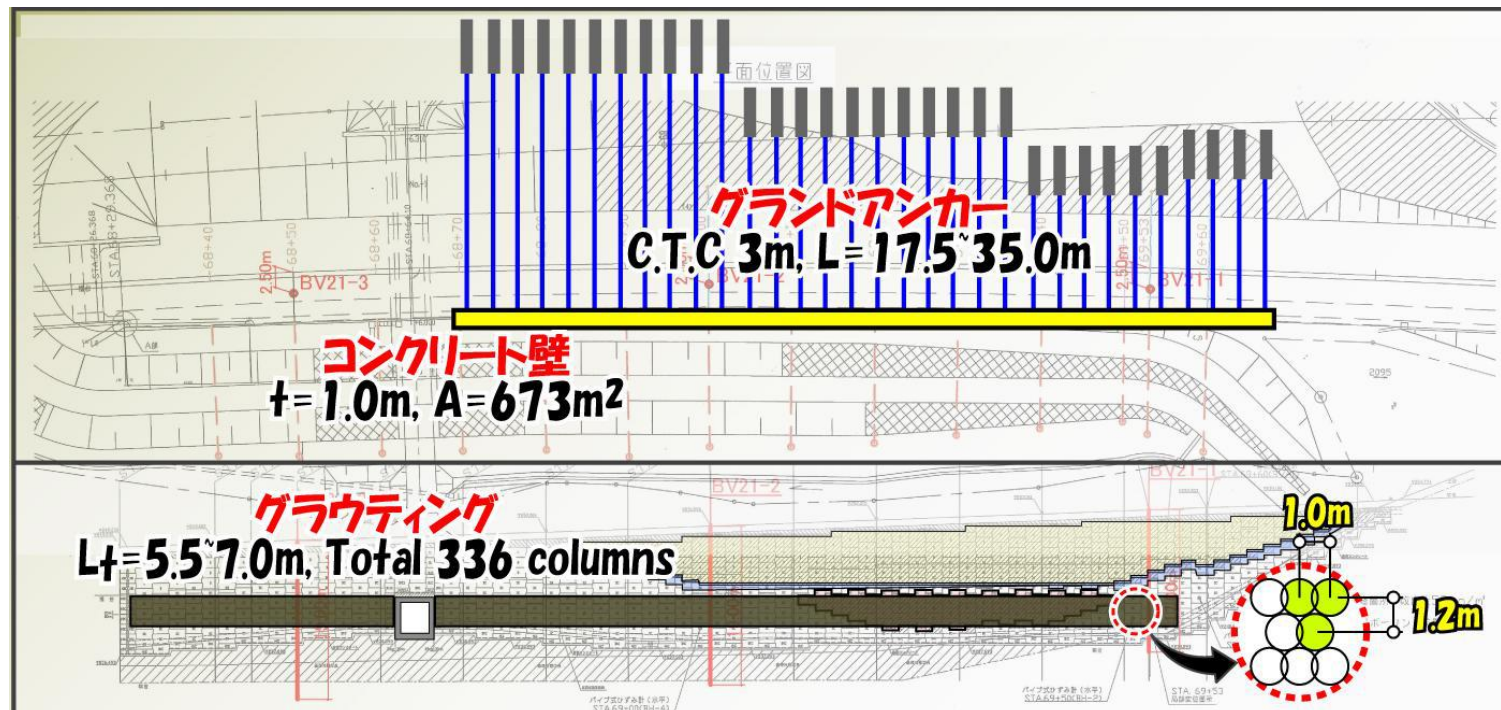
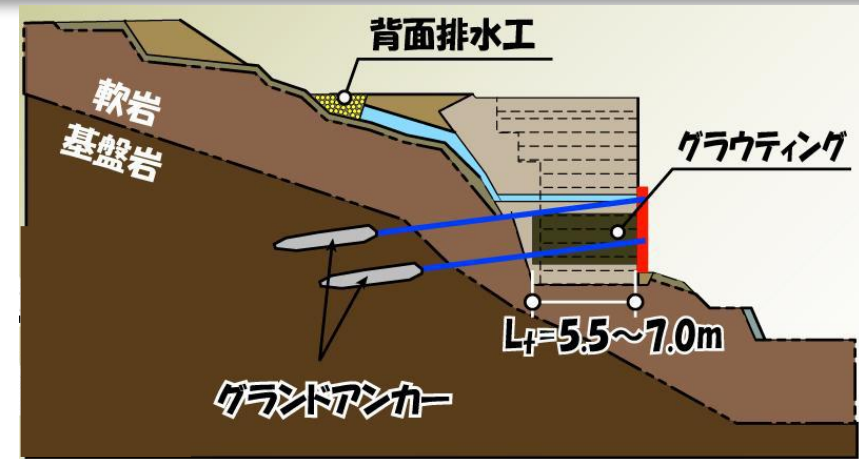


**Compressive fracture**  
**Severely-damaged wall facing**



# 対策工の採用

- ・ 背面排水工：盛土防水工
- ・ グランドアンカー：壁全体の安定化
- ・ グラウティング：圧縮沈下の抑制



# 背面排水工の設置

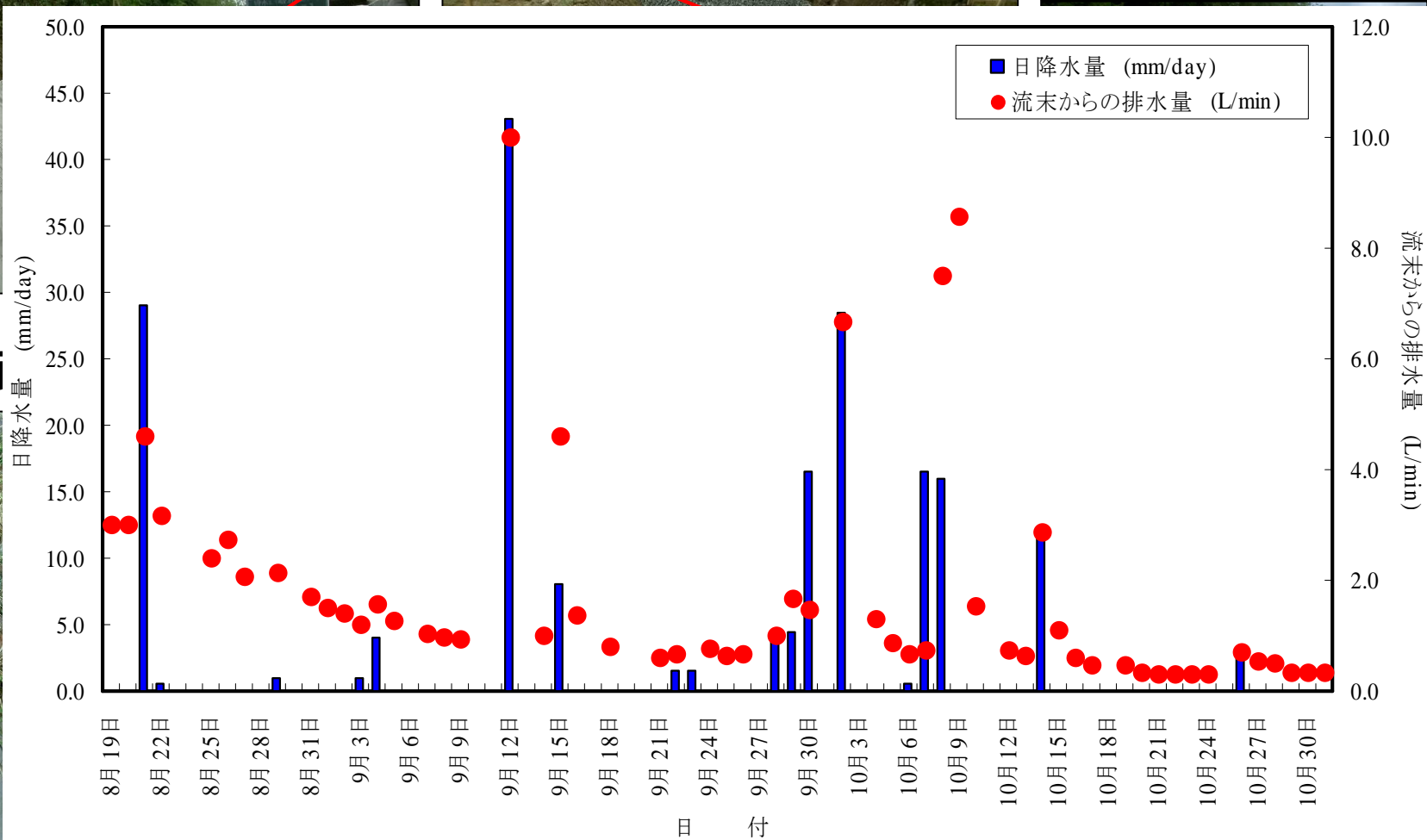
## 工事中の全景



Geosynthetics



## 工事完了



## 適用事例 2

# ジオテキスタイル補強土壁（福井）

### 【参考文献】

西岡孝尚・澁谷啓・片岡沙都紀・許晋碩・渡邊浩幸：集水地形上の「高盛土補強土擁壁」の構造計画，**Kansai Geo-Symposium2015** -地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム-，**2015.11**。

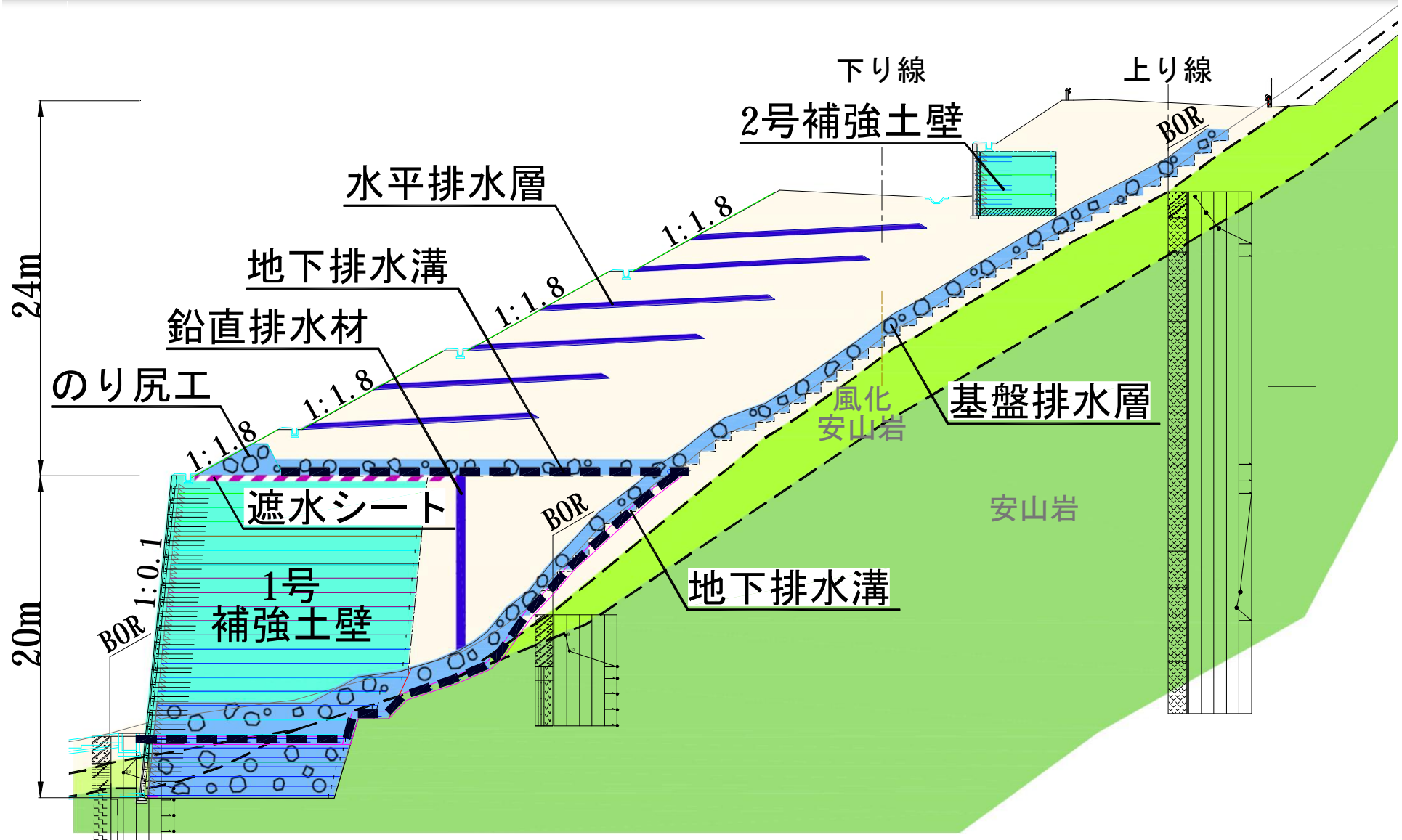
小山智也・片岡沙都紀・ロハニ タラニディ・澁谷啓・西岡孝尚：セメント混合シルト質現地発生土の盛土材料としての適性の評価，**第50回地盤工学研究発表会（札幌）**，**2015.9**。

西岡孝尚・許晋碩・小山智也・片岡沙都紀・澁谷啓：安山岩風化残積土の工学的特性と利用，**第51回地盤工学研究発表会**，**2016.9**。

# 計画の背景と課題

- 対象：高規格幹線道路
- 当初：沢部を橋梁（橋長L=63m）にて横過する計画
- **路線の重要課題**
  - ①残土処理 ②現地発生土の有効活用 ③コスト縮減
  - ↳ **盛土構造へ変更設計**
    - ・ 橋梁案：トータルコスト（上下線）約6.5億
    - ・ 盛土案：**約2.9億円のコスト縮減**  
約6万m<sup>3</sup>の残土処理を実現
- **盛土案の課題**
  - ①地震や豪雨時の被災が危惧される**沢埋めの高盛土**
  - ②改定後の補強土壁マニュアル適用範囲外の**「高盛土補強土擁壁」**

# 高盛土補強土壁 横断図

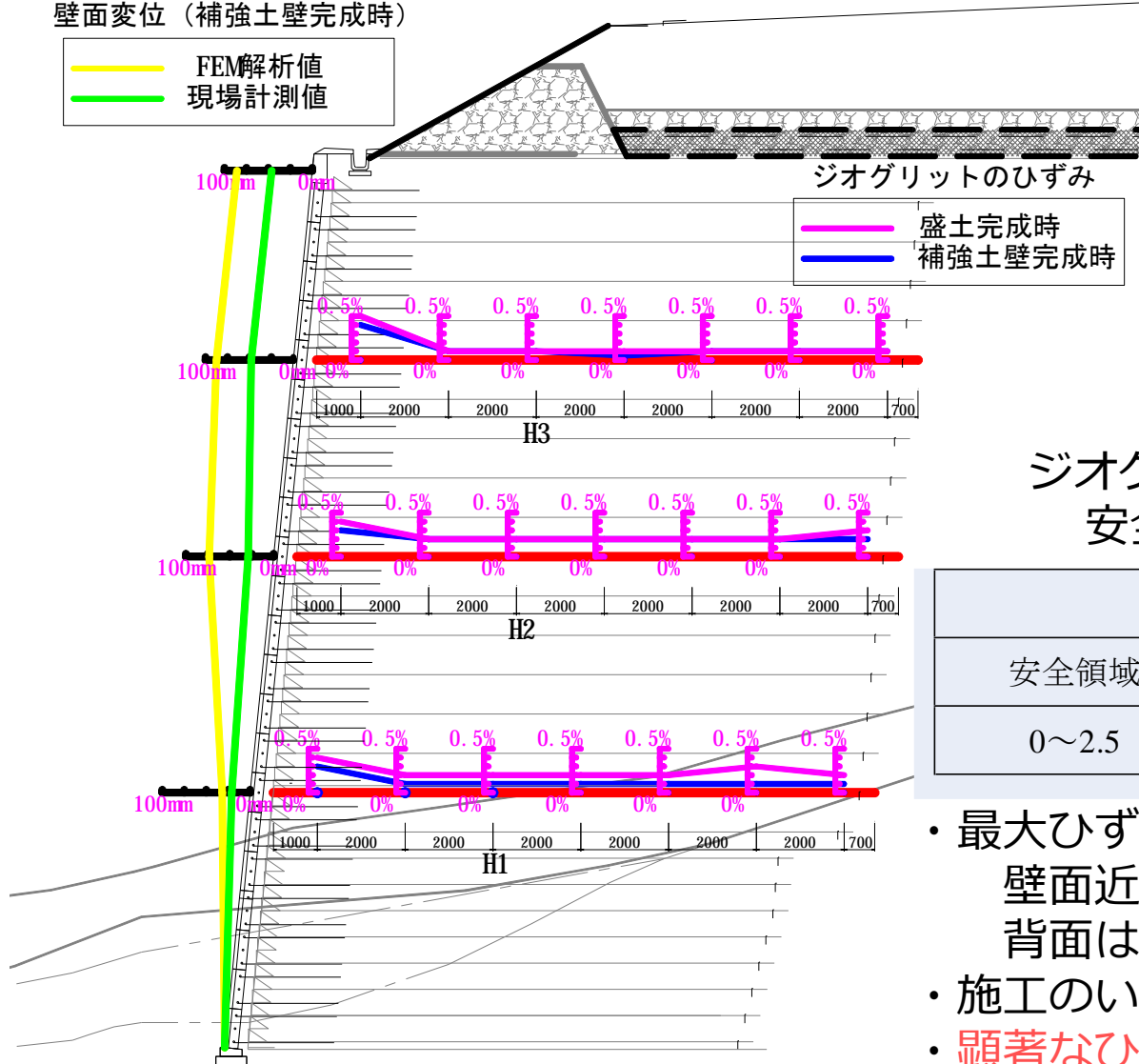


# 補強材（ジオグリッド）のひずみ計測

## ●ジオグリッドのひずみ計測結果 : 施工時の管理値

壁面変位（補強土壁完成時）

— FEM解析値  
— 現場計測値



## ジオグリッドに作用するひずみ量 安全度評価指標（目安値）

ひずみ $u$ (%)		
安全領域	注意領域	危険領域
0~2.5	2.5~4.0	4.0以上

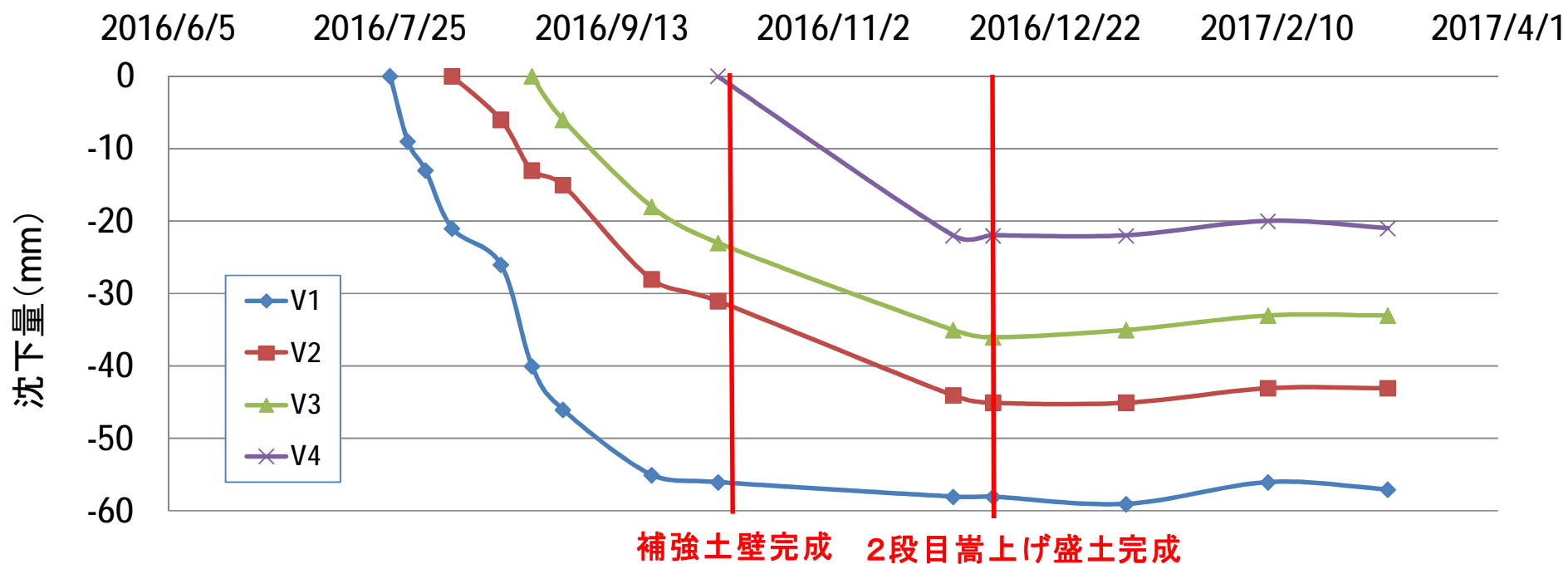
- 最大ひずみ  
壁面近傍  $u \approx 0.5\%$  程度  
背面は一律  $u \approx 0.2\%$  程度
- 施工のいずれの段階でも安全領域
- 顕著なひずみの増加領域なし

# 沈下量の計測結果

- 最下段の計測位置で**最大6cm程度**
- 2段目の盛土を構築した時点で沈下収束
- 壁面変位やジオグリットのひずみも収束



沈下板計測データ





# まとめ①

- ・ 高規格幹線道路の沢部を橋梁で通過する当初計画
- ・ **現地発生土の有効活用**によるコスト縮減のため、  
**壁面の最大高さ20m、嵩上げ盛土を含めた全高44m**  
土量約6万m<sup>3</sup>の「**高盛土補強土壁**」に計画変更
- ・ 実事例の紹介
- ・ **工事は2017年3月に無事に完了**
- ・ 当該事例の全貌  
**事前調査から始まる計画・設計・施工の流れと基本的な考え方を提示**
- ・ 基本計画の段階・壁高20m  
用地の制約および施工に伴う壁面のオーバーハング回避のため  
**1分勾配のジオテキスタイル補強土壁を採用**

# まとめ②

・一方，設計段階における課題と対策 大きく3点

## ①集水地形の端部における補強土壁の施工

- ・沢筋に地下暗渠排水工
- ・谷水を排水するための基盤の砕石層
- ・補強土壁の背面には鉛直排水壁
- ・上面に遮水シート
- ・補強領域には透水性に優れた購入土（砕石）

→万全の排水・防水対策

## ②現地発生土の利用

- ・細粒分含有率50% 風化残積土をセメント改良
- ・目標改良強度（ $c, \phi$ ）を定め
- ・発生土の工学的特性に応じて改良強度を適宜，調整し立ち上げた

## ③巨大補強土壁と大規模嵩上げ盛土

- ・「補強土工壁工法設計・施工マニュアル」で規定している適用高さを超える構造
- ・FEM解析値に基づく施工時の管理基準値を設定
- ・壁面変位，ジオテキスタイルのひずみ，等を観測
- ・解析値と観測値の対比による情報化施工
- ・安全性と品質を管理

## 観測結果

観測された水平方向の壁面変位の最大値は3cm

ジオテキスタイルのひずみの最大値は0.5%

盛土の沈下量の最大値は底部で6cm

観測値は一度も注意レベルに達することはなかった

# 盛土耐震補強

## 【参考文献】

- ・ 澁谷啓, 中西典明, 小阪拓哉, 鈴木聡, 龍岡文夫, 歳藤修一: 地山・盛土補強土工法による既設道路盛土の耐震補強事例, ジオシンセティックス論文集, Vol.31, pp.219-226, 2016.
- ・ K. Jeong., S. Shibuya., T. Kawabata., Y. Sawada. & H. Nakazawa. : Seismic performance and numerical simulation of earth-fill dam with geosynthetic clay liner in shaking table test. Geotextiles and Geomembranes, Volume 48, Issue 2, pp.190-197, 2020.
- ・ 澁谷啓, 谷和夫, 片岡沙都紀, 中澤博志: 「土のう構造体」を用いた既設盛土の耐震補強, 地盤工学会誌, 66-6, pp.28-31, 2018.
- ・ 九田敬行, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 森吉勇氣, 石田正利: 土のう構造体の耐震性能に関する室内実験, Kansai Geo-Symposium 論文集, 地盤工学会関西支部, pp.216-221, 2018.
- ・ 丁經凡, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 白濟民: 土のう構造体を用いた盛土の耐震補強工法に関する解析的検討, Kansai Geo-Symposium 2019 論文集, pp.221-226, 2019.
- ・ 加藤卓彦, 澁谷啓, 片岡沙都紀, 中澤博志, 中西典明, 歳藤修一, 石田正利, 伊藤修二, 片山政和, 由井洋和, 丁經凡: 土のう構造体を用いた法先補強工法による盛土耐震補強の設計法検討. ジオシンセティックス論文集, 第35 巻, 95-102, 2020.
- ・ 澁谷啓, 丁經凡, 白濟民, 中澤博志, 河又洋介: 道路盛土における土のう構造体を用いた耐震補強工法の耐震性評価のための実物大震動台実験, 建設工学研究所論文報告集, 第62号, pp.1-14, 2020.

# 質問です



Q. 現行の宅地防災マニュアルにおける盛土構造物に作用する地震時の水平加速度はいくらに設定されているのでしょうか？

解答  
？

# 研究背景

## 1) 阪神・淡路大震災（1995）後の動向

- **L1・L2という段段階の地震レベル**を考慮した新たな設計体系の導入
- **既存土構造物**の「耐震診断」と優先順位を設けた「**耐震補強**」の推進

## 2) 東日本大震災（2011）後の動向

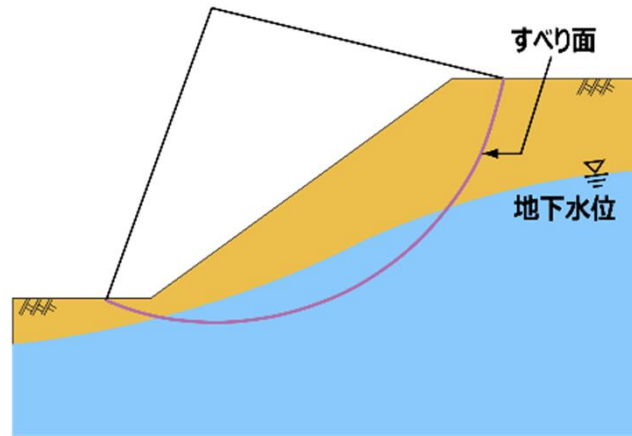
- 西日本においても**M9級「南海トラフ巨大地震」**を想定（M8級の見直し）
- 各自治体において防災・減災計画が積極的に強化・推進されている

喫緊の課題（（公社）地盤工学会の提言，2012）

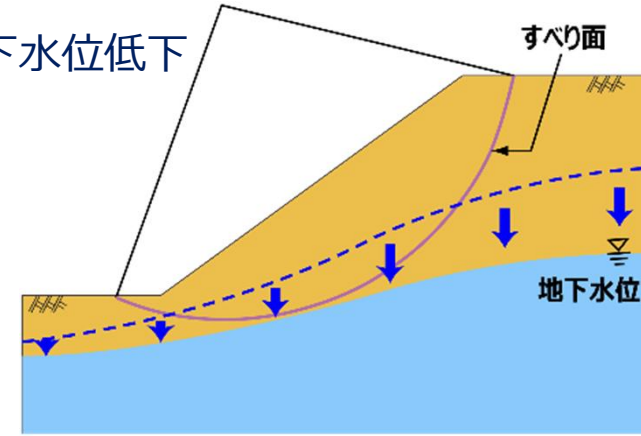
膨大なストックである道路盛土の危険箇所を素早く低廉で確度高く判定できる技術と，効率的・経済的に実施可能な補強工法開発

# 既設道路盛土の耐震補強の考え方

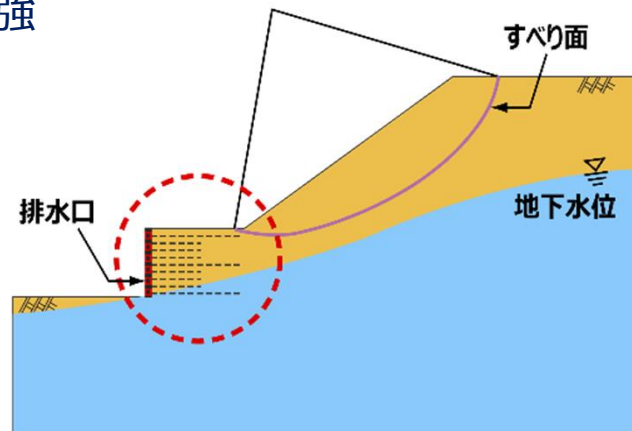
(a) 現況



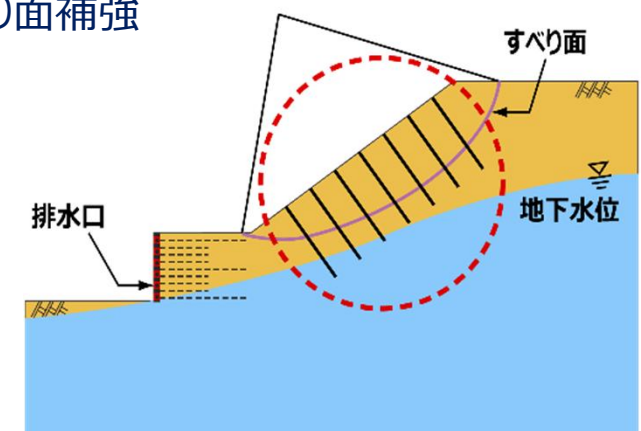
(b) 地下水位低下



(c) のり先補強



(d) のり面補強



## Reference

- ➡ 澁谷啓・中西典明・小阪拓哉・鈴木聡・龍岡文夫・歳藤修一：地山・盛土補強土工法による既設道路盛土の耐震補強事例，ジオシンセティックス論文集(第31回ジオシンセティックスシンポジウム)，Vol.31，pp.219-226，2016.

# 玉坂トンネルの既設盛土の耐震化の事例@神戸市須磨区



集水地形にあり、幹線道路が直下を通過する**重要度 I の既設低品質盛土を補強し、排水性能を向上させ、レベル 2 地震動に対して安定を確保した。**

# 鉄鋼スラグ

## 【参考文献】

**Satsuki Kataoka, Satoru Shibuya and Shoudai Uematsu: Laboratory tests and a full-scale embankment of the mixture of slag and fine-grained soil, The 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.949-952, 2017.**

片岡沙都紀, 澁谷啓, 河井克之, 石原朱莉, 山里拓也, 丁経凡, 佐藤厚子: 鉄鋼スラグ混合土を用いた実大道路盛土での現場実証実験, 第13回地盤改良シンポジウム論文集, pp.59-64, 2018.

杉村 裕二, 篠崎 晴彦, 赤司 有三, 植松 尚大, 澁谷 啓, 片岡 沙都紀: 製鋼スラグを混合した特殊土の化学および一軸圧縮強度特性, 地盤工学ジャーナル, Vol.15, No.3, pp.509-517, 2020.

# またまた質問です



Q. 鉄鋼スラグの種類について述べてください.

解答  
?

# TOPICS

- **盛土材としての鉄鋼スラグ混合土の研究開発**
  - 1)鉄鋼スラグ混合土の水理・力学特性に関する**基礎実験**
  - 2)実物大試験盛土の**性能評価**
  - 3)鉄鋼スラグ混合土盛土の**実施工**
  
- **鉄鋼スラグ混合攪拌による特殊土の改良方法の研究**

高有機質土，火山灰質土などの**特殊土**に鉄鋼スラグを改良材として混合した場合の力学挙動

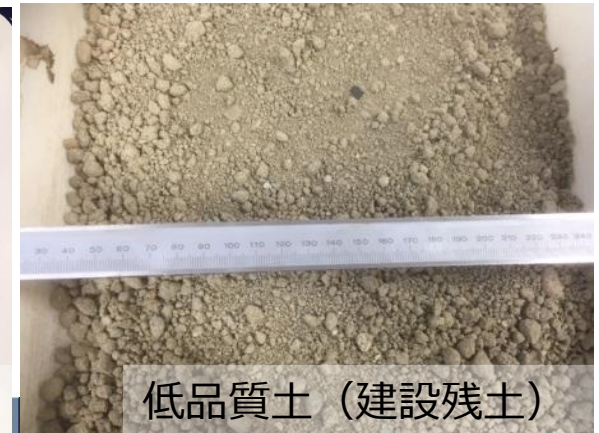
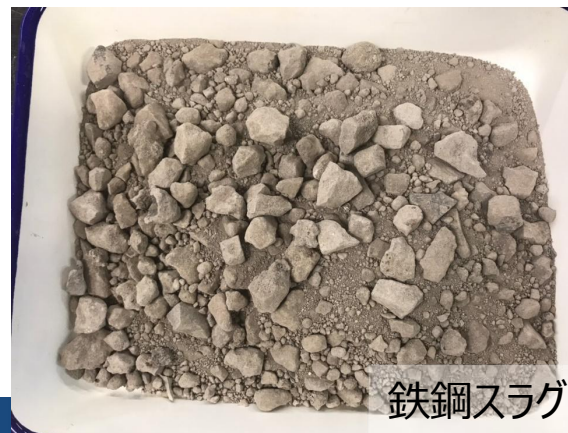
# 背景・目的



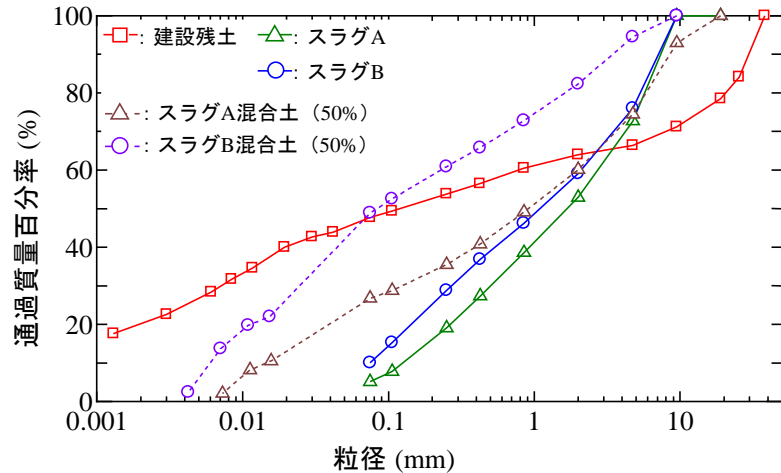
- 低品質現地発生土を用いた盛土造成
  - ☞ 低コスト
    - 締固め不良 (e.g., 過転圧)
    - 地震・豪雨に対して脆弱
- 細粒分リッチな低品質土に鉄鋼スラグを混合
  - 環境に優しいリサイクル材料
  - 地震・豪雨に強い盛土！？



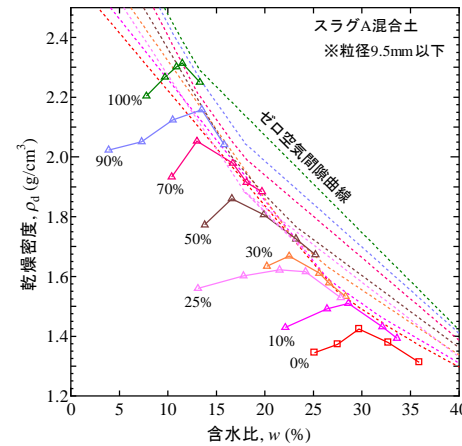
- キーワード
  - 粒度改善効果、締固め特性の向上
    - $\phi$ 材料、最大乾燥密度の増加、最適含水比の減少



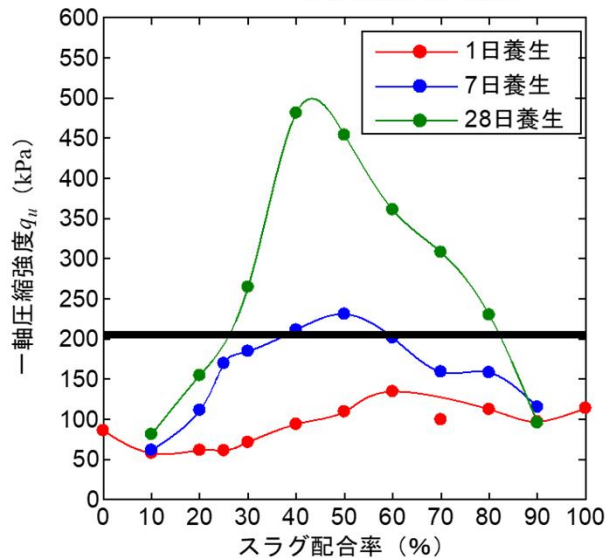
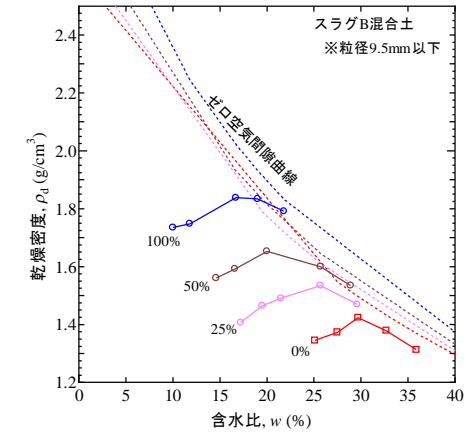
# 粒度改善効果・締固め特性



粒径加積曲線



締固め曲線

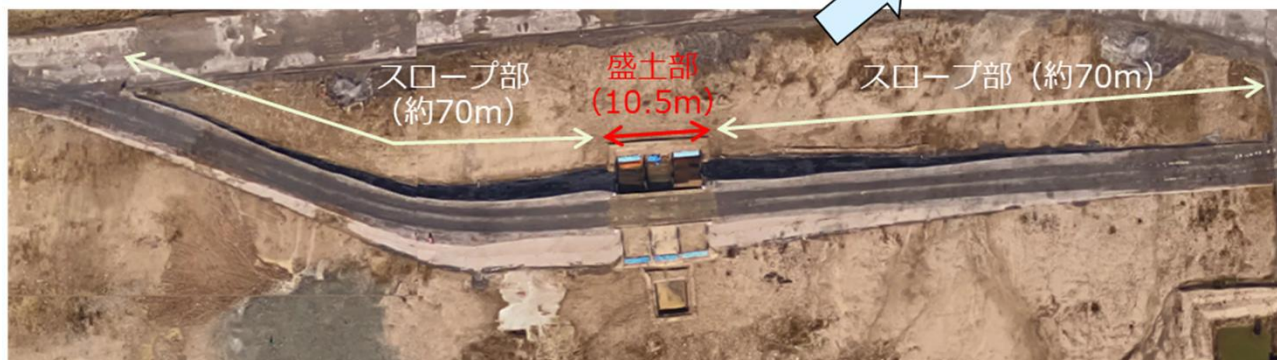
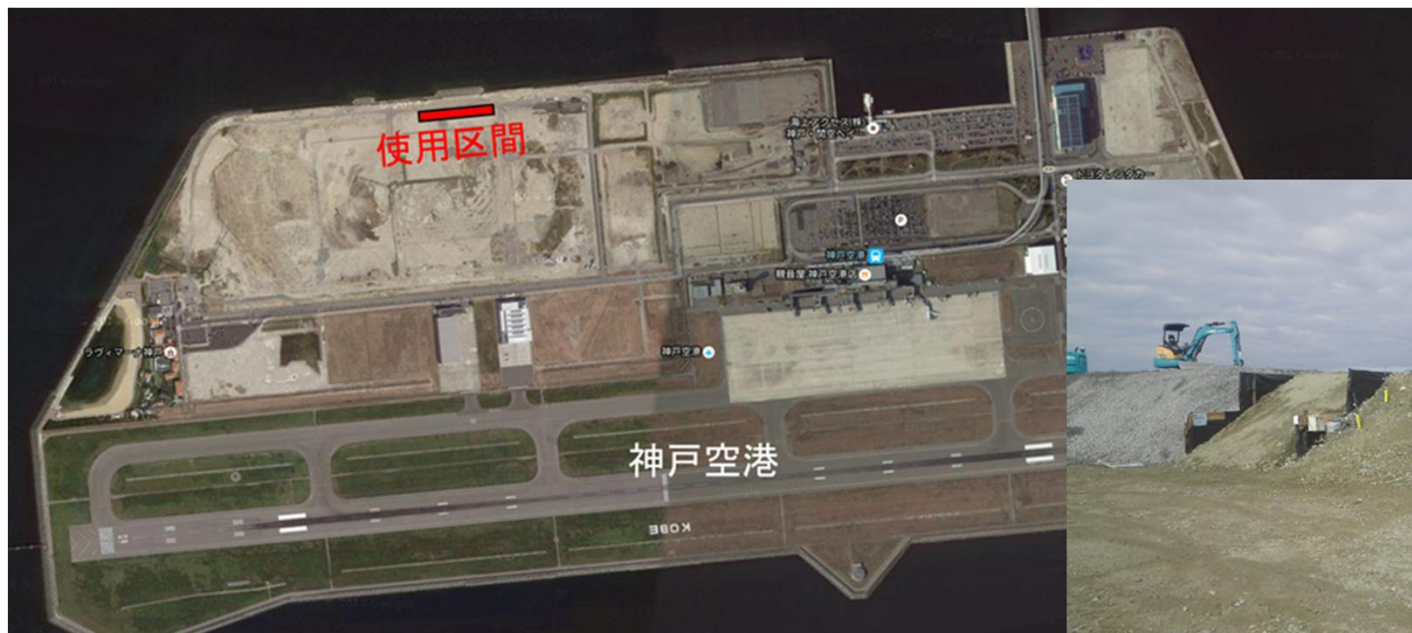


←スラグ配合率と一軸圧縮強度との関係

細粒分リッチな土 + 鉄鋼スラグ  
→ 粒度改善効果による締固め特性の向上

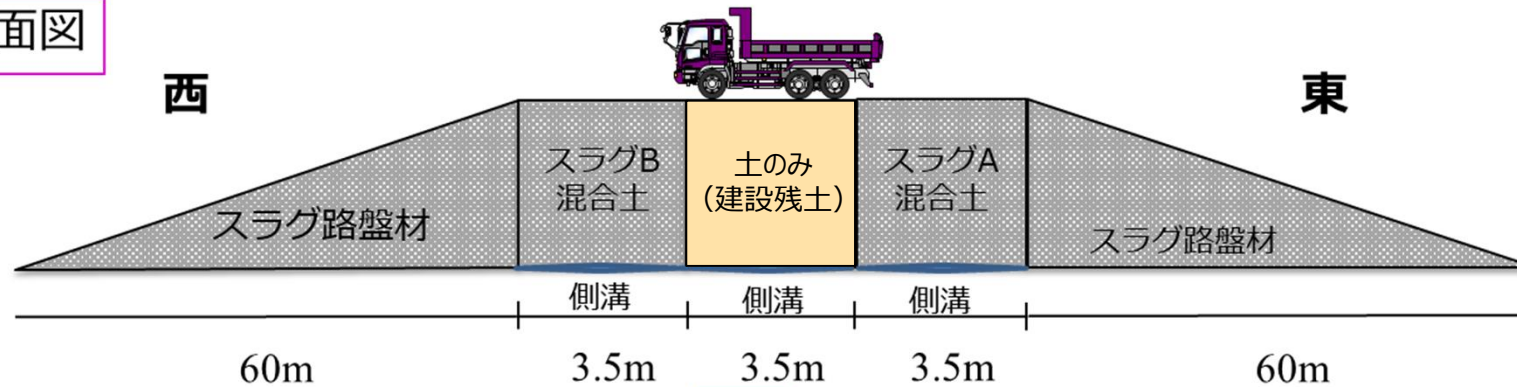
鉄鋼スラグの適切な配合率?  
(実大試験盛土・実施工ではスラグ配合率25%を採用)

# 実物大試験盛土@神戸空港島

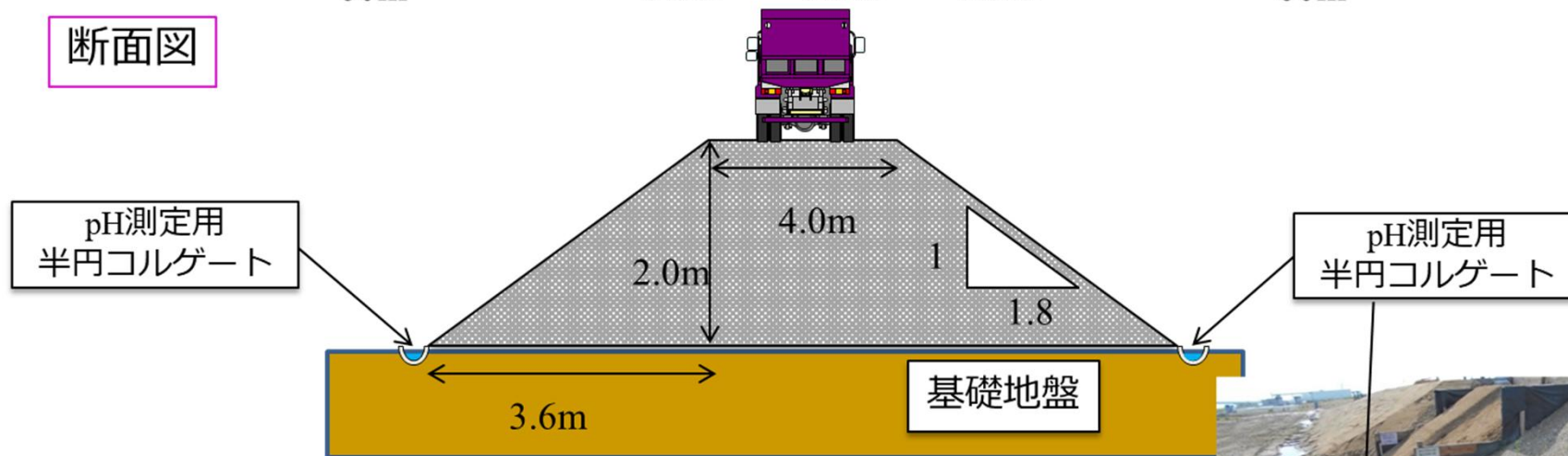


# 試験盛土の概要

側面図



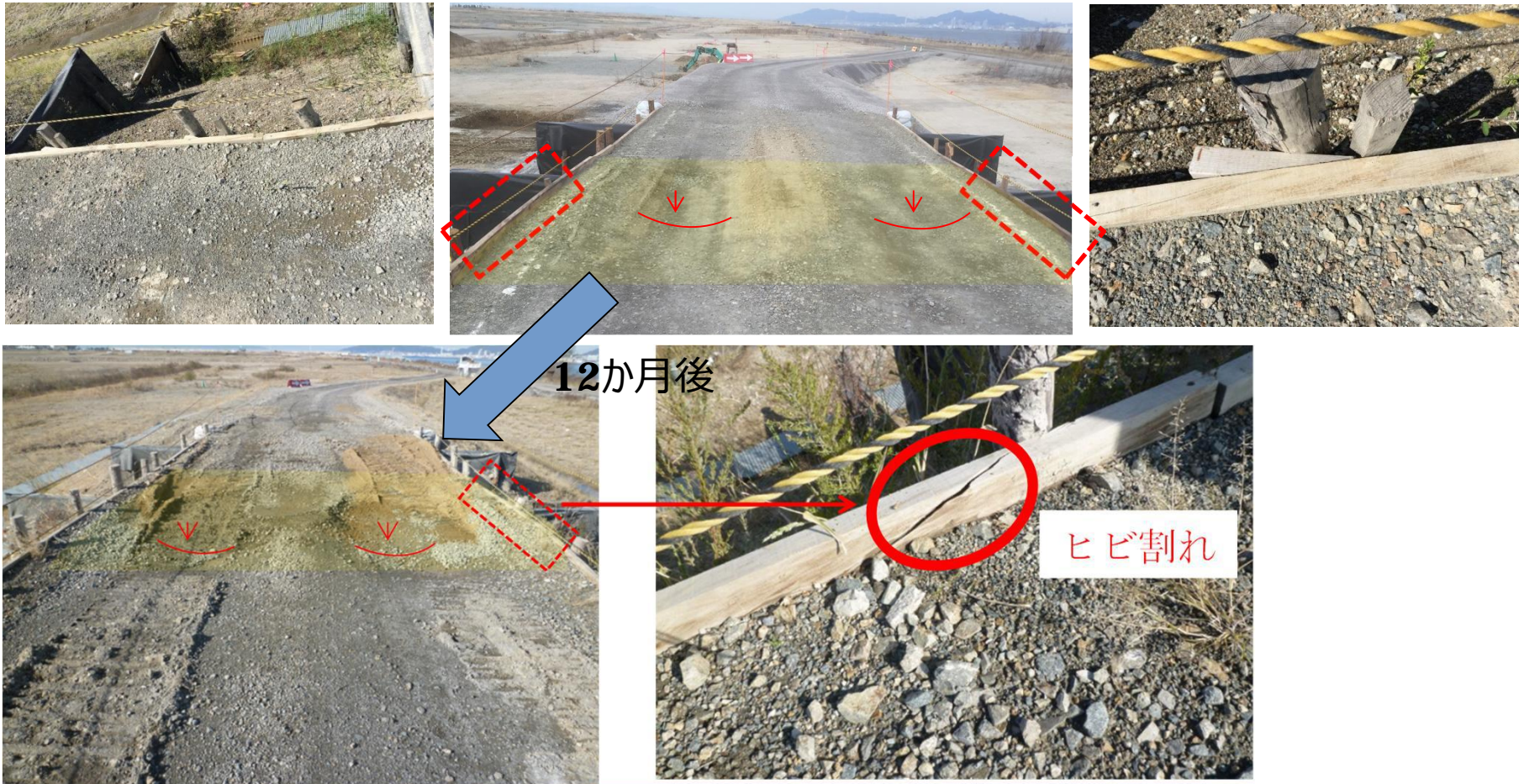
断面図



実大試験盛土を施工し，約2年間土砂運搬用トラックの通行道路として供用（⇒延べ20,000台が通過），盛土の変形・強度 & 環境負荷(pH値)を定期的に調査・計測



# トラック走行による盛土の性能

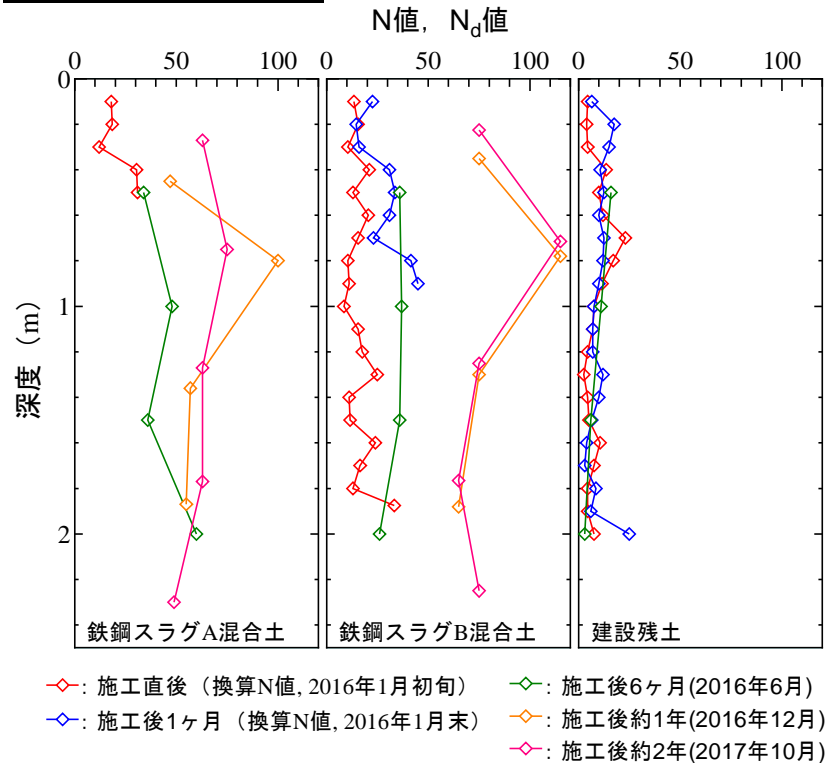


**土の盛土**：盛土供用開始から約1か月でわだち掘れにより走行不能  
(何度直しても変形し、しまいには抑え矢板にヒビ割れが発生)

**鉄鋼スラグ混合盛土**：目立った変状なし

# 地盤調査 & pH値測定結果

## 原位置調査

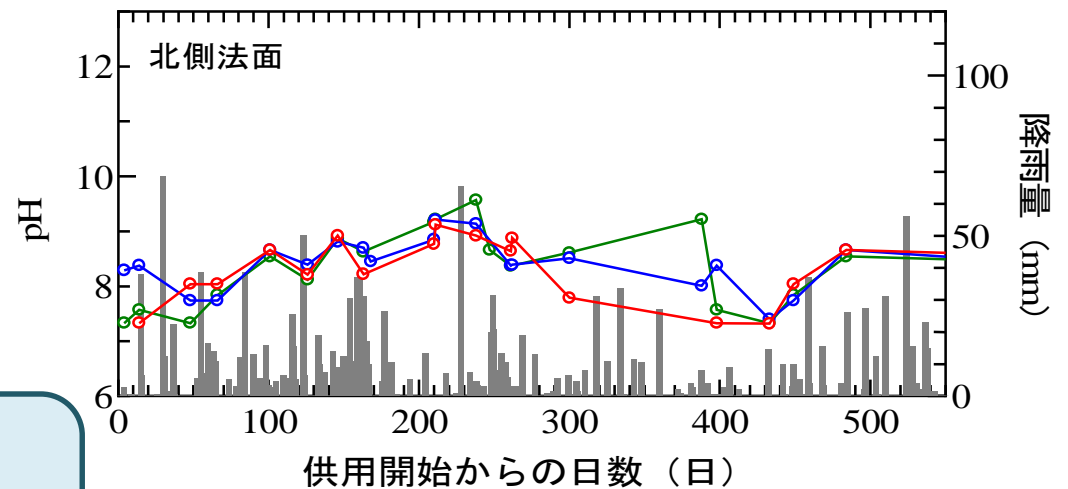


↑ N値,  $N_d$ 値での盛土強度の比較

- 鉄鋼スラグ混合土→供用後1ヶ月で  
Nは値30程度、ひび割れなし
- 盛土外に高アルカリ水の浸出なし



- : 鉄鋼スラグA混合土    ○: 建設残土
- : 鉄鋼スラグB混合土    ■: 日降雨量

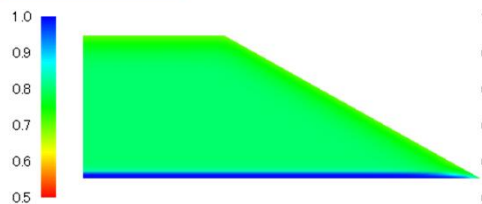


↑ 盛土外部に浸出した水のpH計測

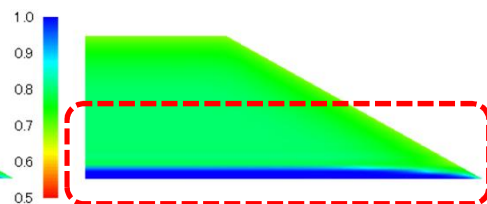
# 不飽和浸透流解析（盛土への降雨浸透）

※降雨強度を10mm/hと仮定した際の盛土への降雨浸透シミュレーション

放置



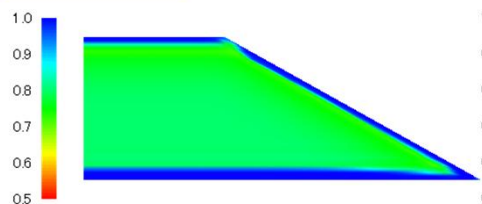
12時間後



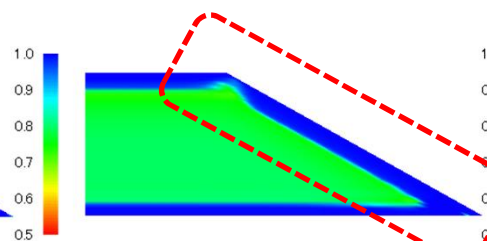
24時間後

盛土材料に含まれる水分の再分布によって、底部の水分量が増加する

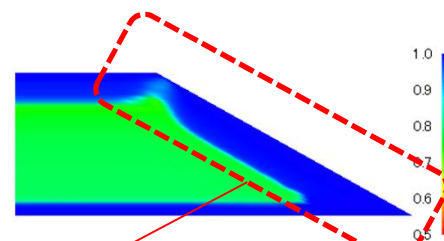
降雨



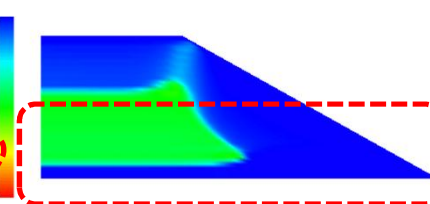
1時間後



3時間後



6時間後



24時間後

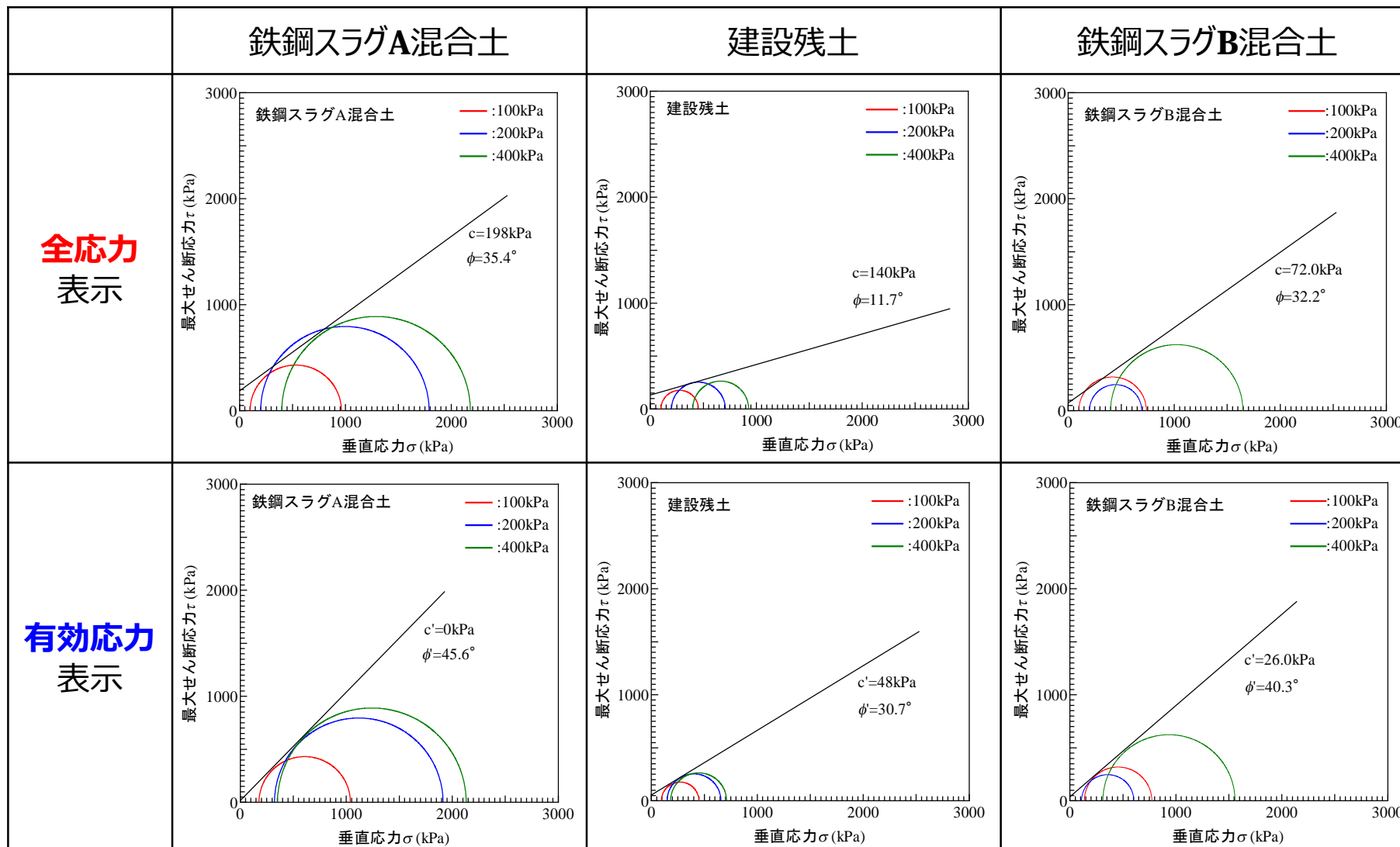
浸透雨水は法面近傍の飽和度が高く透水係数が高まった部分を優先して流れる

総雨量が大きくなると盛土底部にまで雨水が到達

降雨は表層を流れ内部に浸透しにくくなるため、結果としてスラグに起因するアルカリ水発生源が封じ込められる。

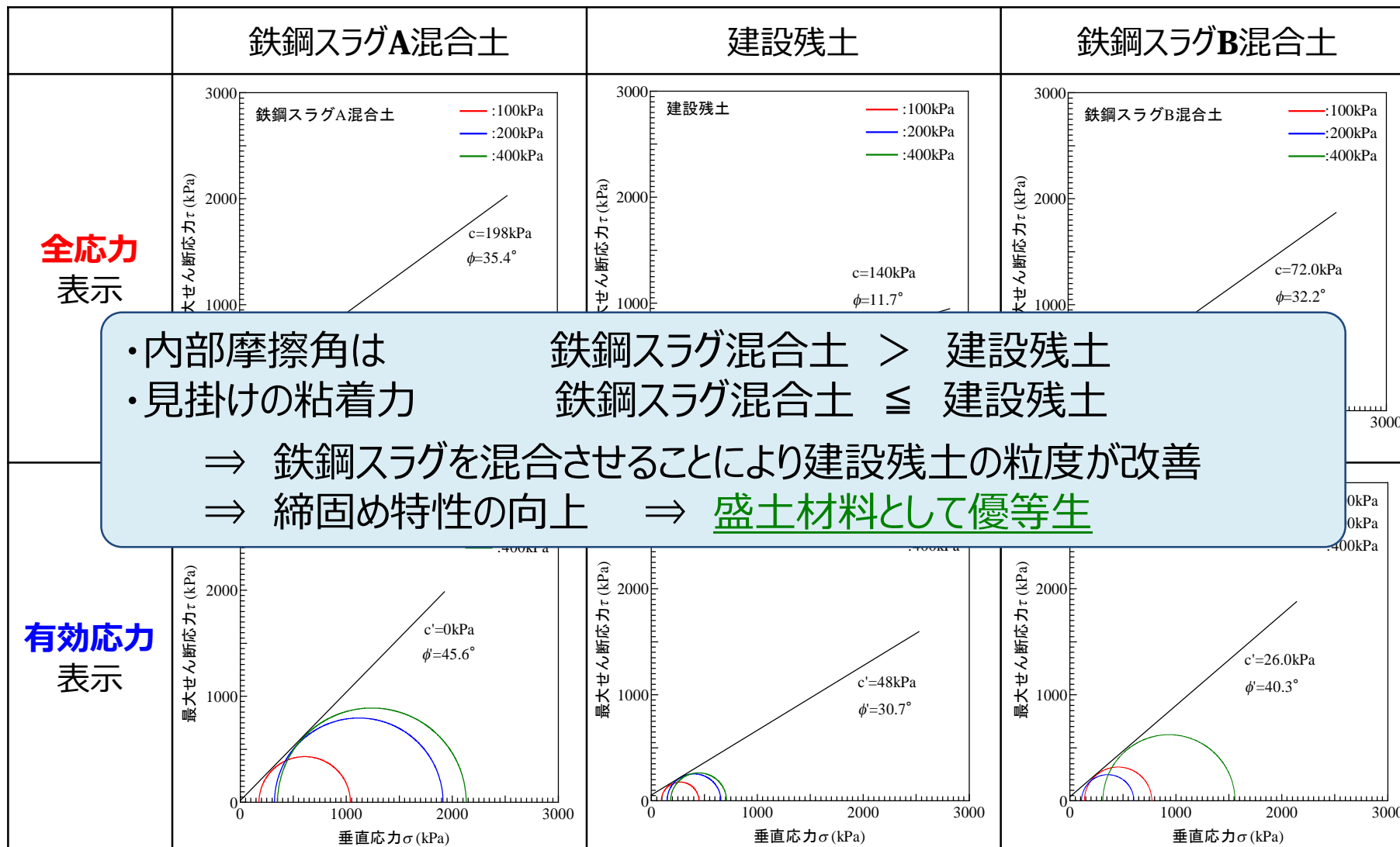
# 現場から採取した試料の三軸圧縮 (CUB) 試験

## 試験結果 (施工後6か月経過)



# 現場から採取した試料の三軸圧縮（CUB）試験

## 試験結果（施工後6か月経過）



# 実盛土施工@神戸市西区

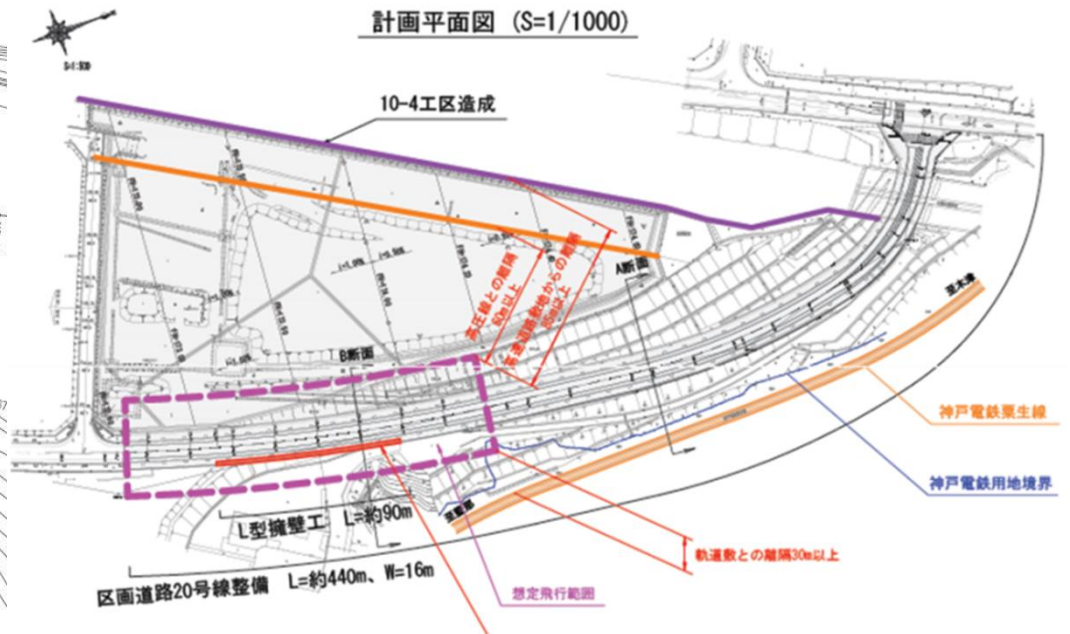
## 【鉄鋼スラグ混合土を用いた腹付け盛土の実施工・挙動観測】

施工場所：神戸市西区複合産業団地内

盛土材料：スラグS混合土（オレンジ）  
スラグN混合土（緑）

配合比率：鉄鋼スラグ：建設残土＝1:3（体積比）

締固め度：90%（目標下限値）



# 実盛土（本施工）の様子



施工完了後の様子（アスファルト舗装前）



（アスファルト舗装後）

## まとめ（盛土材としての鉄鋼スラグ混合土）

- 低品質土に鉄鋼スラグを混合することで、**粒度改善効果**により**締固特性が向上**し、さらに**盛土内に水が入りにくくなり**、かつ、**内部摩擦角 $\phi$ が増加**.  
→ **盛土の安定性および性能が格段に向上**
- **盛土からの高アルカリ水の浸出が抑制される（アルカリ水発生源の封じ込め）**

# 一言でまとめると、

## 実務の現状

- N値万能主義（砂質土、硬質粘土地盤）
- 一軸圧縮試験・圧密試験一辺倒（軟弱地盤）
- 性能設計に対応できない

## 近未来予想図

- 三位一体型：地盤調査・室内土質試験・解析による盛土の設計・施工が重要