



鳥取西道路重山地区の地すべりとその対策



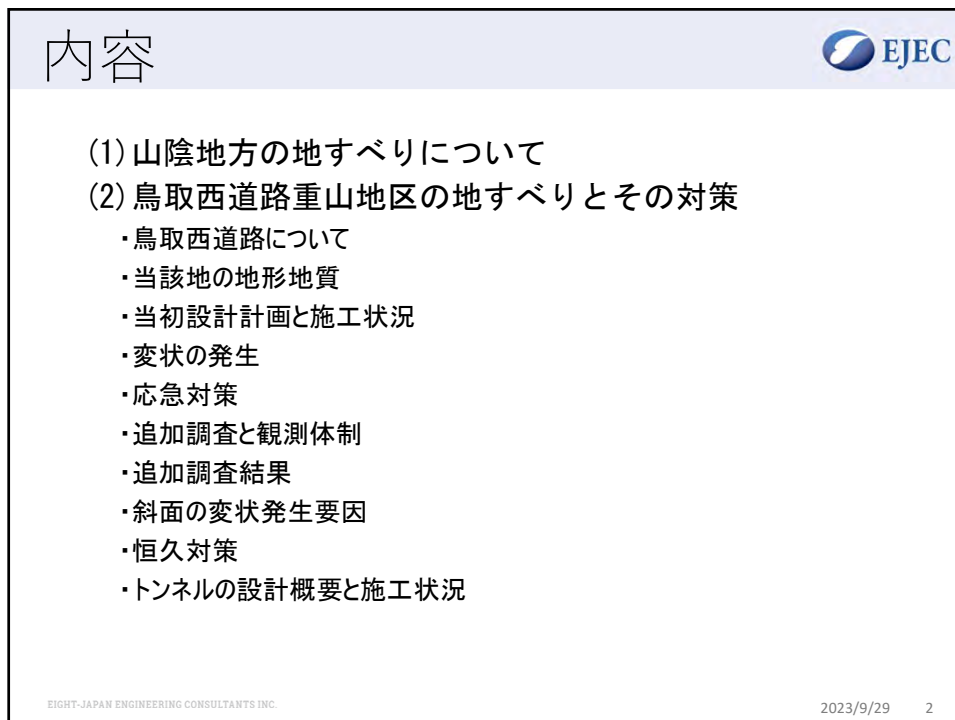
 **EJEC** 株式会社
エイト日本技術開発

2023年9月26日


今田 真治

価値ある環境を未来に

1



内容



- (1) 山陰地方の地すべりについて
- (2) 鳥取西道路重山地区の地すべりとその対策
 - ・鳥取西道路について
 - ・当該地の地形地質
 - ・当初設計計画と施工状況
 - ・変状の発生
 - ・応急対策
 - ・追加調査と観測体制
 - ・追加調査結果
 - ・斜面の変状発生要因
 - ・恒久対策
 - ・トンネルの設計概要と施工状況

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 2

2

山陰地方の地すべりについて

「山陰地域の斜面災害」

(公益社団法人 日本地すべり学会「山陰地域の斜面災害」編集委員会 編)

鳥取の地すべり地の地質として4つを例示

(1)新第三紀層

- ・堆積岩類(泥岩類が主で凝灰岩を含む箇所あり)、
火山岩類(流紋岩、安山岩など)

(2)白亜紀～古第三紀初期の深成岩・火山岩類

- ・花崗岩類など(貫入岩や破碎帯に起因するすべり)

(3)三郡変成岩

- ・泥質片岩など

(4)大山火山碎屑岩

- ・浮力を受けやすい発泡岩片で土石流が主体。
- ・稀に、傾斜地に堆積した降下軽石をすべり面とした地すべりを生じる。



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 3

3

山陰地方の地すべりについて

「らんどすらいど」2010

(公益社団法人 日本地すべり学会 関西支部)

島根の地質を大きく3つに区分

(1)第四紀の火山岩、未固結被覆層

- ・都野津層(石見地方に広く分布)と基盤岩の境界の傾斜面で地すべりが生じる。

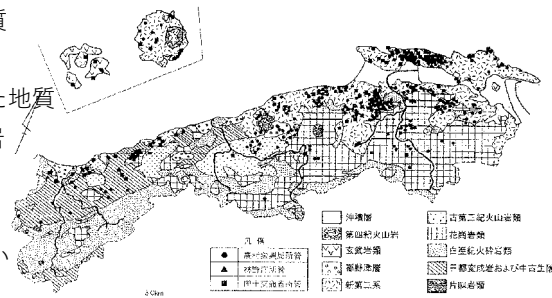
(2)新第三紀に形成された地質

- ・隠岐、島根半島、内陸

(3)古第三紀以前に形成された地質

- ・隠岐片麻岩類、三郡変成岩
火成岩類(花崗岩など)

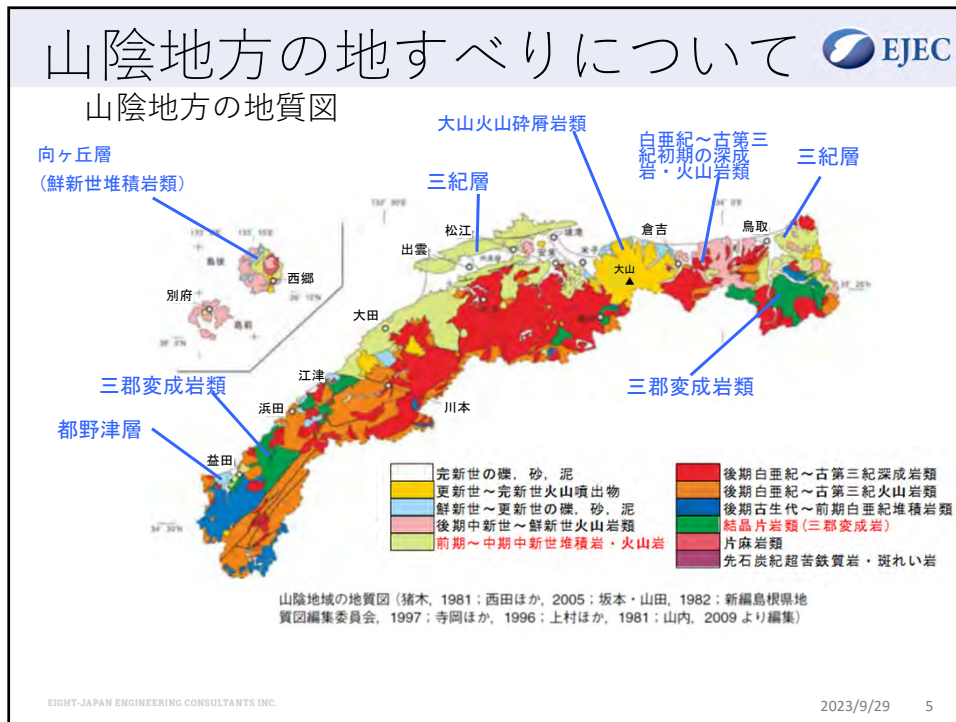
(1)と(2)に地すべり分布が多い



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 4

4





5

山陰地方の地すべりについて

(1)三郡変成岩類の地すべり

- 泥質片岩などで地すべりが形成されるケースがある。

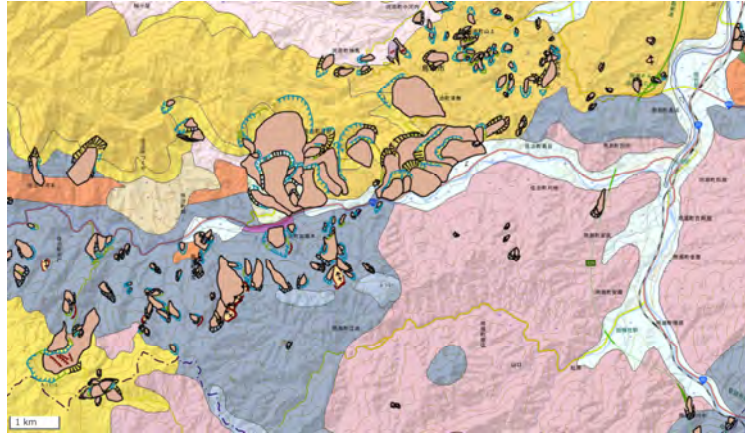
泥質片岩の切土面(島根県内)
層理面が発達している。
※地すべり地の露頭ではない

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 6

6

山陰地方の地すべりについて

- 三郡変成岩類（鳥取県東部）



産総研シームレス地質図と防災科研地すべり分布図の重ね合わせ

- 灰色で表示された三郡変成岩分布域に多くの地すべり地形がある。

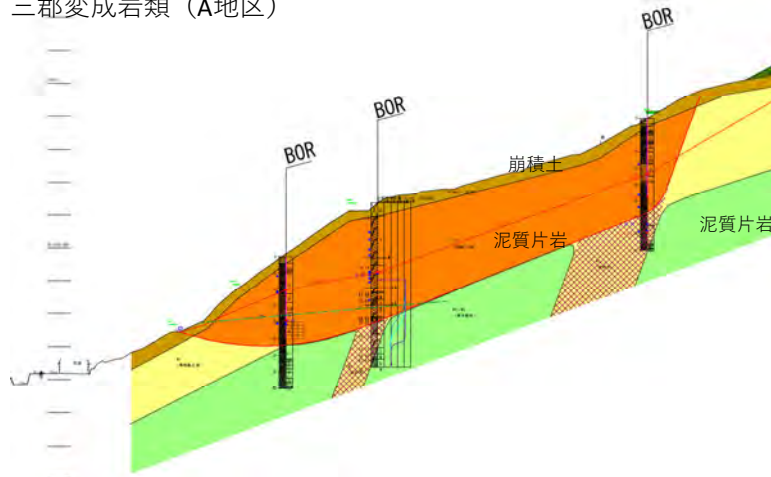
EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 7

7

山陰地方の地すべりについて

- 三郡変成岩類（A地区）



幅約50～80m、すべり面深度約30m程度、すべり面勾配約18度程度
斜面末端部には佐治川が流下

- 地下水も高く、対策は主として地下水排除工採用

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 8

8

山陰地方の地すべりについて

(2)三紀層の地すべり

第三紀層(鳥取県東部) B地区



頭部滑落崖



付近の凝灰岩露頭

- 基盤岩(泥岩、凝灰岩)ともに固結度が低い
- 地下水は地表近くに存在

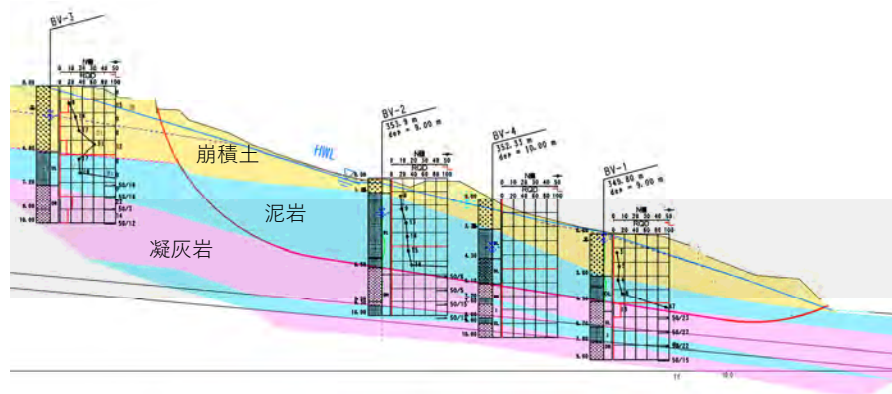
EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 9

9

山陰地方の地すべりについて

第三紀層(鳥取県東部) B地区



幅約30m、すべり面深度約6m程度、すべり面勾配約9度程度

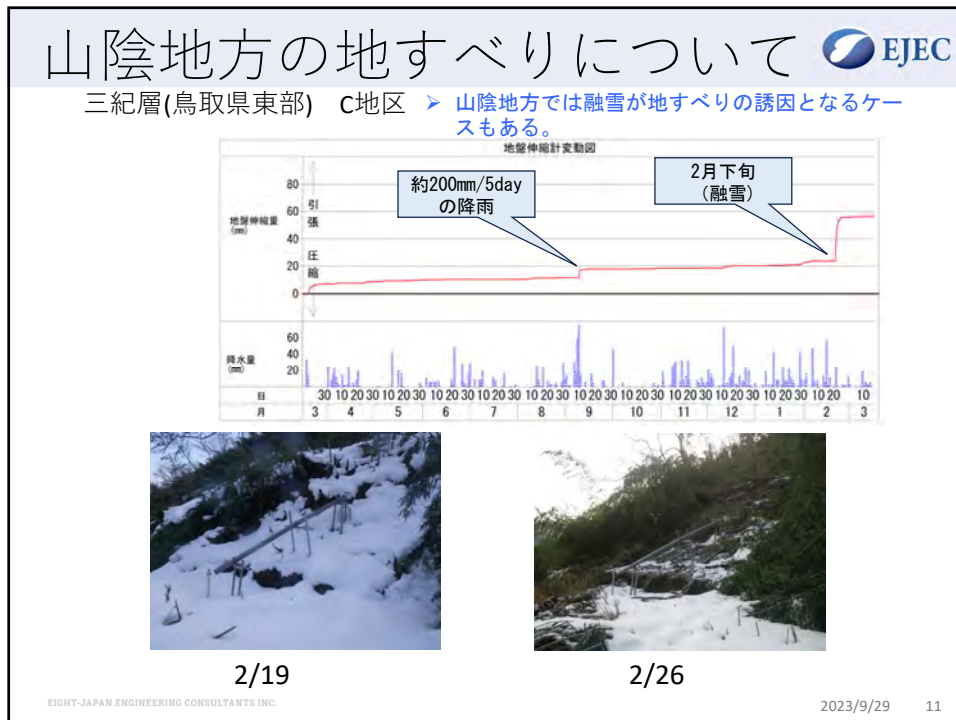
(一般に三紀層のすべり面はほぼ10°で火山岩、変成岩のすべり面よりゆるい)

- 地下水 (HWL) は地表水に近く、地すべり末端部には平坦面あり
- 対策は「押え盛土」「地下水排除工(横ボーリング)」「地表水排除工(暗渠工)」を併用し、変動は沈静化する。

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 10

10



11



12

当該地の地形地質



- 日本海に向かって南北に尾根地形が伸びる





直接切土を行った斜面は瘦せ尾根地形

オープンカットの道路センター付近に鞍部地形が確認されている




出典：地理院地図に加筆

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.
2023/9/29 13

13

当該地の地形地質



- 周辺の基盤地質は花崗岩類を主体とする。



(日本海)

重山地区



周辺の切土面に出現した貫入岩（ひん岩）

ひん岩の上位からわずかな湧水が確認された

ds: 砂および粘土(砂丘砂)

a: 礫・砂および粘土(沖積層)

Gs: 粗粒黒雲母花崗岩・アプライト質黒雲母花崗岩および斑状アプライト質黒雲母花崗岩

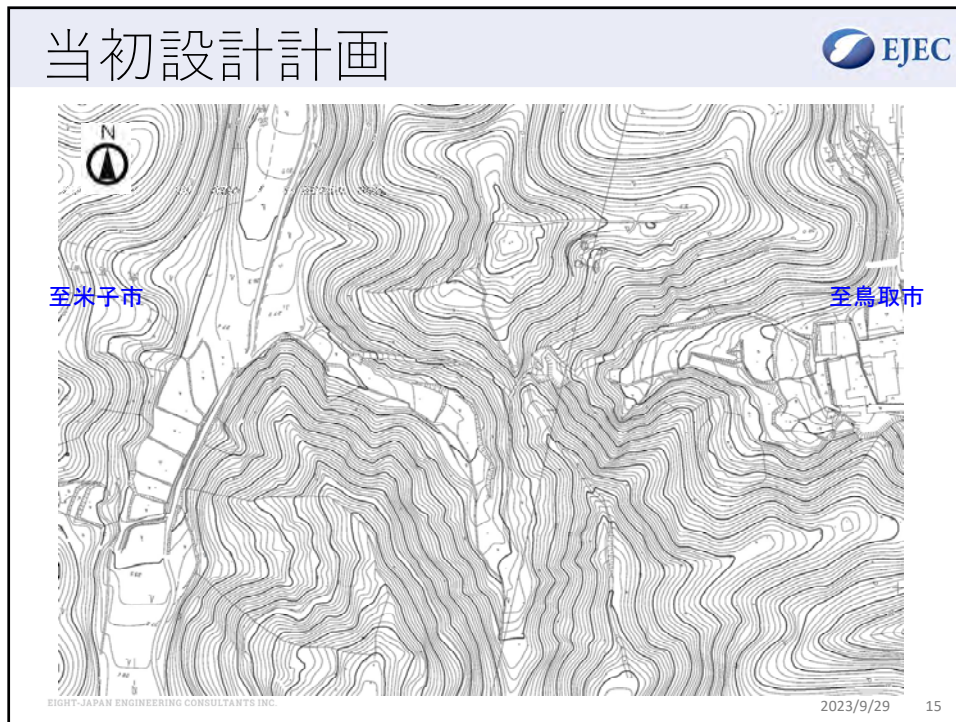
Van: 安山岩溶岩流

Vpy: 凝灰角礫岩・火山円礫岩および凝灰岩

出典：5万分の1地質図幅（鳥取北部、鳥取南部）
地質調査総合センター

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.
2023/9/29 14

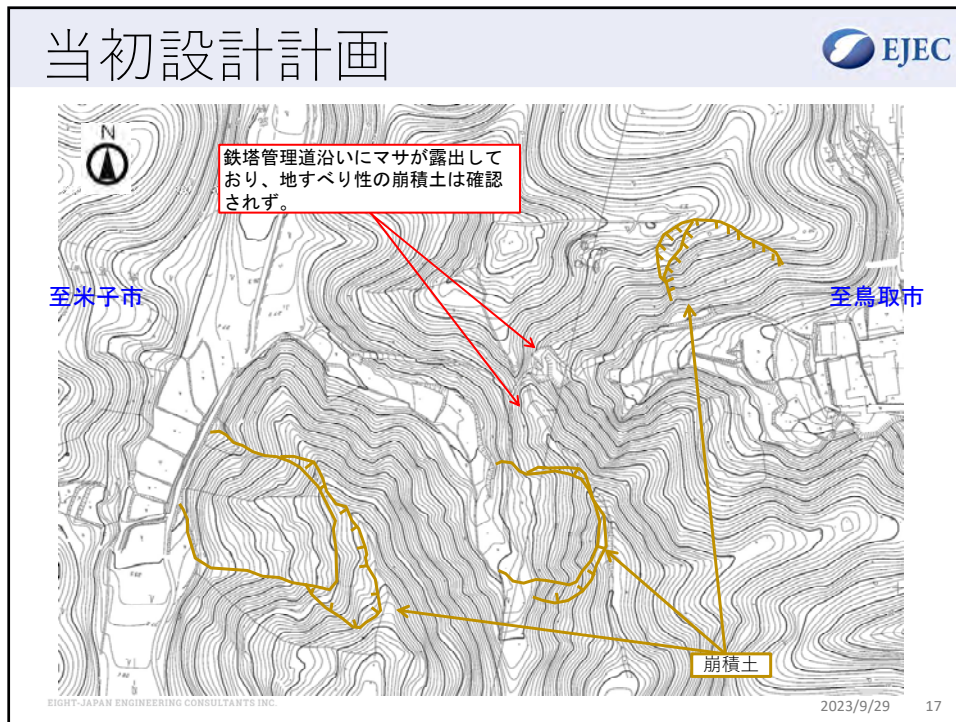
14



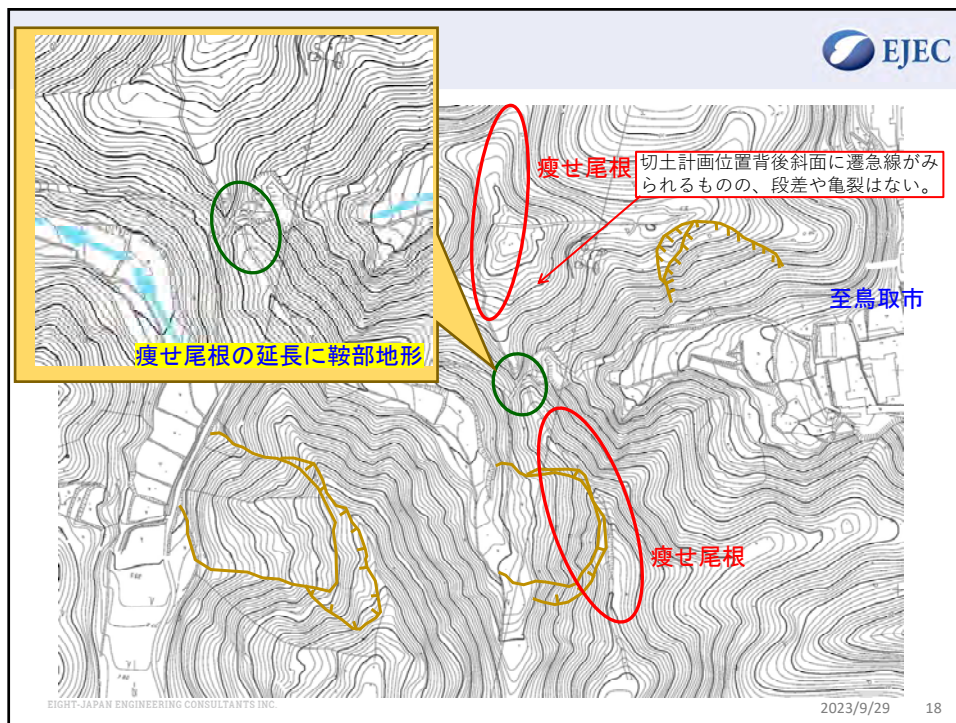
15



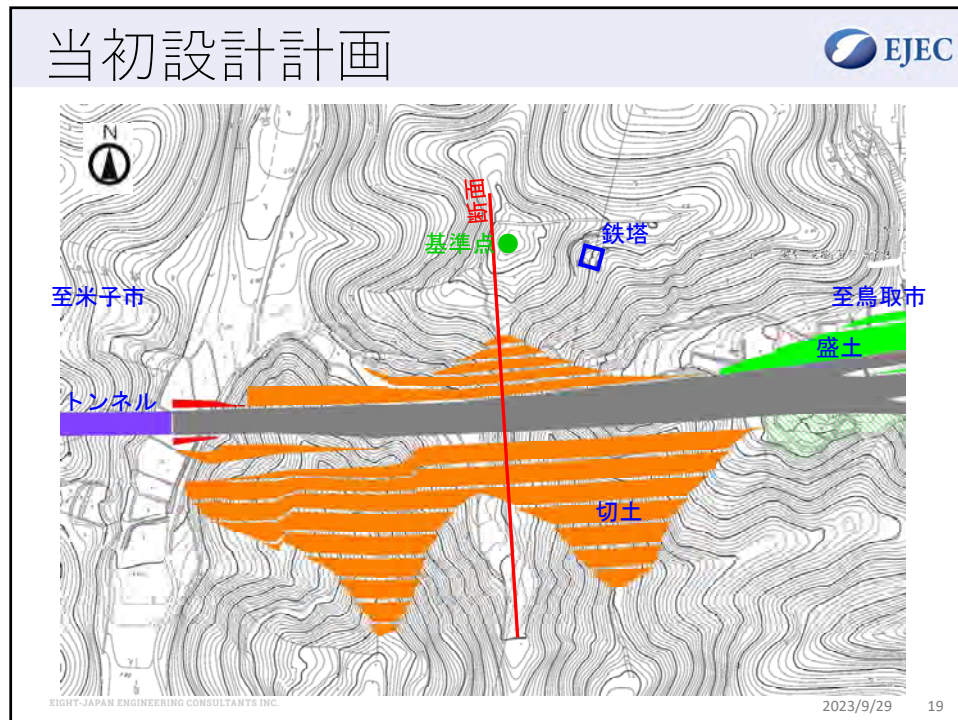
16



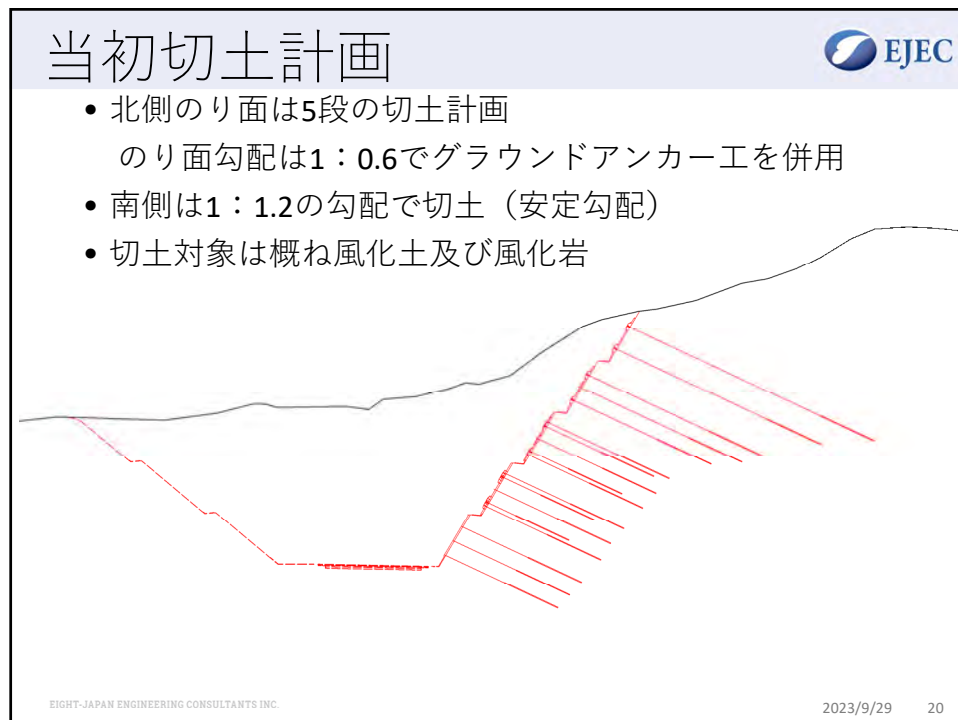
17



18



19



20

当初の施工状況



施工前地形

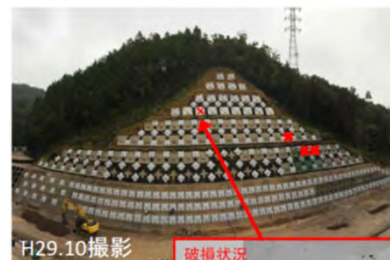


EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 21

21

変状の発生



- H29. 8. 下旬最下段切土完了
- H29. 8. 下旬法面アンカーに設置した荷重計の値が上昇
- H29. 9.18 法面アンカー破損1箇所
- H29. 9.28 法面アンカー破損1箇所
- H29.10. 2 法面アンカー破損2箇所

9/17 89.5mm/Dayの降雨
(アメダス湖山)

出典：鳥取西道路技術検討委員会資料 に追記
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/road/torinishi_iinkai/index.html

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 22

22

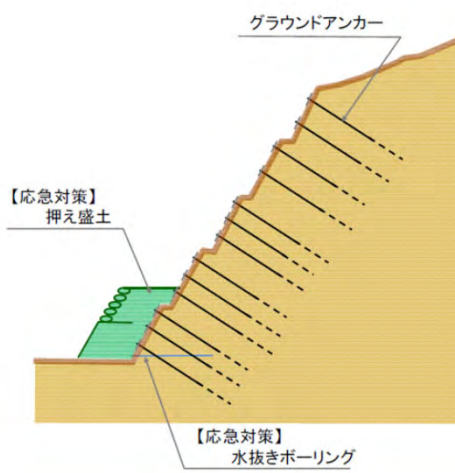
変状の発生



- のり面小段のコンクリートには変状があるが、滑落崖等は確認できず
- のり面背後の基準点約10cm移動
- 境界杭等の再測量を行い移動範囲（地すべりブロック）を設定

23

応急対策



押え盛土全景

応急対策断面図

出典：鳥取西道路技術検討委員会資料
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/road/torinishi_jinkai/index.html

24

応急対策



既設アンカー飛び出し防止対策

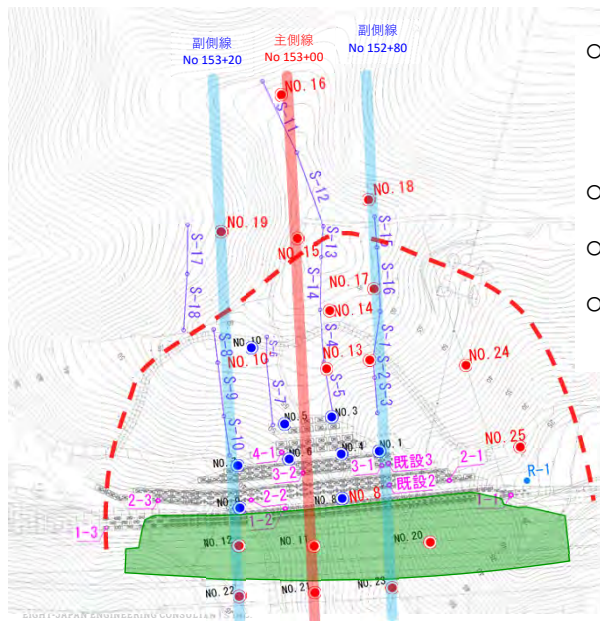
水抜ボーリング
(アンカーと平行に掘削)

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 25

25

追加地質調査と観測体制



- 調査ボーリング15本追加
 - ・路面部や尾根の背後まで配置
 - : 既存 ● : 追加
 - ・孔内傾斜計、自記水位観測実施
- 地盤伸縮計 8基追加
- アンカー荷重計 8基追加
- 雨量計1基

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

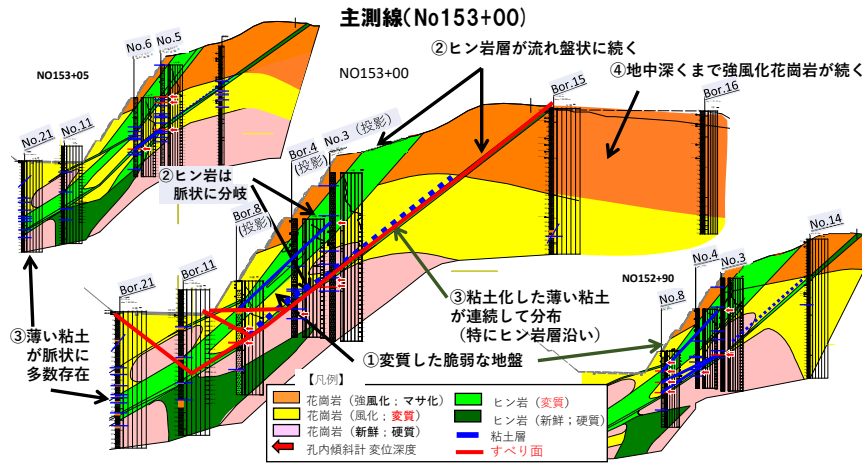
2023/9/29 26

26

追加調査結果



- ① 変質した脆弱なヒン岩および花崗岩の地盤が広く存在している。
- ② ヒン岩は花崗岩中に脈状に分岐して貫入しており、大きく2つのヒン岩が道路本線に対して流れ盤状に連続。またヒン岩の地質境界部は粘土化し膨潤性粘土鉱物も含まれている。
- ③ 熱水変質した地盤には薄い粘土が脈状かつ面的に多数存在し、複数の変状が発生。
- ④ 法面背後では花崗岩が深い所まで強風化しマサ状となっている。



27

斜面の変状発生要因



◇地質的素因

- ・ 地盤内にすべり面となりうる熱水変質した薄い粘土が面的に複数存在。
- ・ 大きく2つのヒン岩層が流れ盤状に存在しており、かつ地質境界部は粘土化。
- ・ この粘土部は部分的に膨潤性鉱物を含有。

◇水文的素因

- ・ 強風化した深い花崗岩層に雨水等が浸透。
- ・ ヒン岩層の地質境界部の粘土層は難透水層を形成。
- ・ 周辺から地下水の集まりやすい地形であった。

◇メカニズム

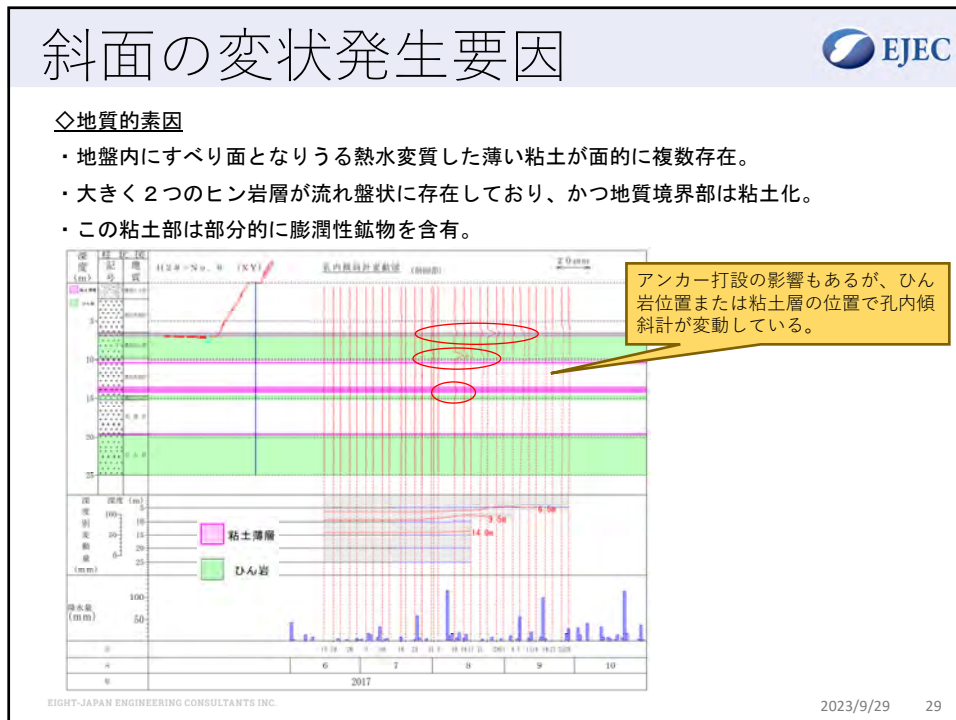
- ・ 雨水等が強風化花崗岩部より深層部 (粘土層上層) へ浸透。その粘土層上層に沿って雨水等が流下し、乾湿が繰り返されることで粘土層が脆弱化。
 - ・ 地盤内に薄く複数存在する粘土層が切土による応力開放に合わせてすべりを発生。
- ⇒ 複数の薄い粘土層において変状が存在し、またヒン岩層の地質境界部の粘土層の脆弱化によりすべり範囲が拡大。複雑で大きな地すべりであることが判明

出典：鳥取西道路技術検討委員会資料
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/road/torinishi_iinkai/index.html

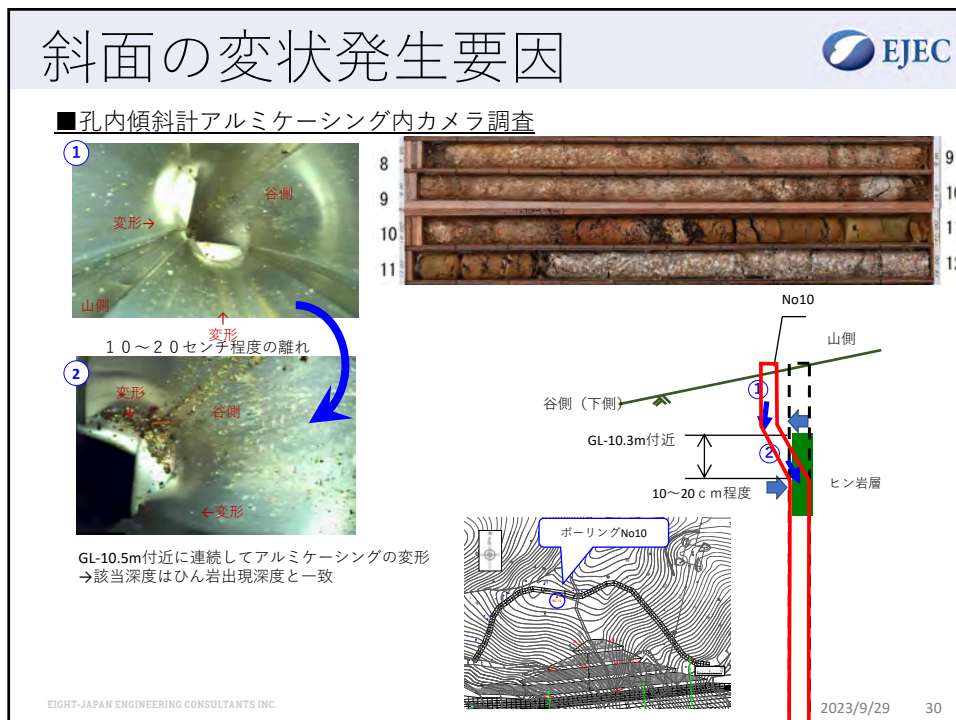
EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 28

28



29



30

斜面の変状発生要因



◇水文的因素

- ・ 強風化した深い花崗岩層に雨水等が浸透。
- のり面背後のボーリングでは花崗岩は最大20m程度と深層まで風化が進行。
- 厚い風化花崗岩に吸収されて変状が地表面へ現れていない可能性(委員会コメント)



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 31

31

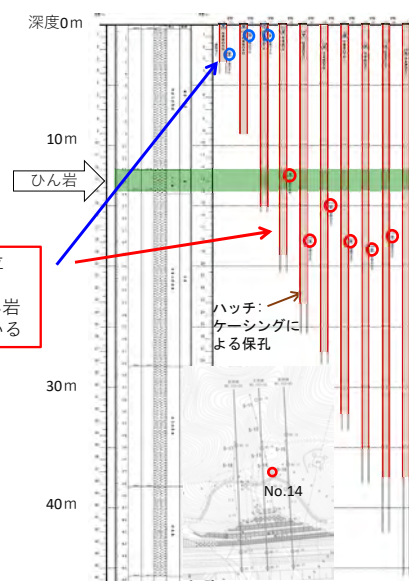
斜面の変状発生要因



◇水文的因素

- ・ ヒン岩層の地質境界部の粘土層は難透水層を形成。

ひん岩を掘り抜いた後、孔内水位(翌朝)が低下
→ひん岩が不透水層となり、ひん岩の上面に地下水が形成されている



No. 14孔試錐日報解析図
(掘進時水位変動図)

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 32

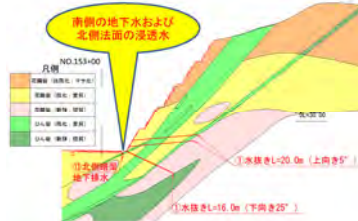
32

斜面の変状発生要因



◇水文的因素 ・周辺から地下水の集まりやすい地形（・地質）であった。

①北側斜面からの排水量



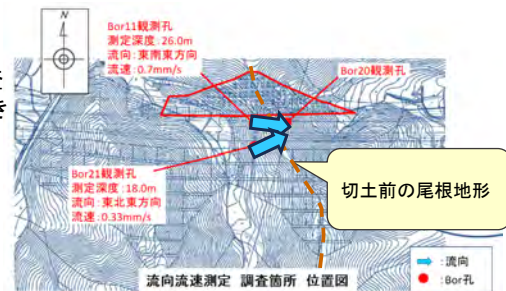
北側法面の流域が約5,070m²、周辺の年平均降水量は約1,950mm

→年間降水量から流域に降る降雨は年間9,750m³となる。(1分当たり約18.6L)
一方、北側法面の水抜Br+暗渠排水の平均流量は毎分44.8L

(流域に対し過大な排水)

②流向流速計調査

ボーリング孔を利用した流向調査では、元の尾根地形を越え東向き
の地下水流向も確認



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 33

33

斜面の変状発生要因



◇メカニズム

- ・雨水等が強風化花崗岩部より深層部（粘土層上層）へ浸透。その粘土層上層に沿って雨水等が流下し、乾湿が繰り返されることで粘土層が脆弱化。
 - ・地盤内に薄く複数存在する粘土層が切土による応力開放に合わせてすべりが発生。
- ⇒複数の薄い粘土層において変状が存在し、またヒン岩層の地質境界部の粘土層の脆弱化によりすべり範囲が拡大。複雑で大きな地すべりであることが判明。

◇地すべりの誘因

- 切土の施工（土塊バランス、応力開放）
 - 降雨や融雪による間隙水圧の上昇
- 切土前には変動していなかった地すべり

◇地すべりの規模


- 幅約110m程度
- 層厚(最大) 約25m程度
- 尾根を超える形状の地すべり

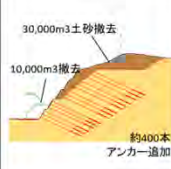
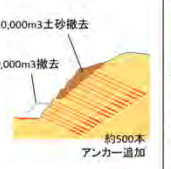
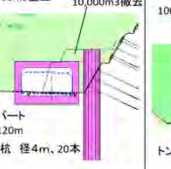

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 34

34

恒久対策




	【案1】 排土(頭部+緩勾配) +グラウンドアンカー	【案2】 排土(緩勾配) +グラウンドアンカー	【案3】 ボックスカルバート	【案4】 トンネル
概要	<ul style="list-style-type: none"> ●頭部排土及び法面上段を緩勾配で排土 ●法面にはグラウンドアンカーを再施工 	<ul style="list-style-type: none"> ●法面上段を緩勾配で排土 ●法面にはグラウンドアンカーを再施工 	<ul style="list-style-type: none"> ●法面側に斜面変状抑止及び土留工を施工 ●ボックスカルバート構築後に斜面変状抑止を兼ねた盛土施工 	<ul style="list-style-type: none"> ●斜面変状抑止を兼ねた盛土(改良土)を施工後にトンネル工を施工
概要図	 <p>30,000m³土砂撤去 10,000m³撤去 約400本アンカー追加</p>	 <p>10,000m³土砂撤去 10,000m³撤去 約500本アンカー追加</p>	 <p>100,000m³盛土 10,000m³撤去 カルバートは約120m 深礎杭 径4m、20本</p>	 <p>100,000m³ソイル盛土 10,000m³撤去 トンネルは約120m</p>
安全性	○法面の排土により、将来的に新たな法面変状が懸念	○法面の排土により、将来的に新たな法面変状が懸念	○既設アンカーを切断等、施工時に安全性の確保が懸念 ○将来の法面変状について、ボックス盛土により安全の確保可能	○施工時に安全性の確保可能 ○将来の法面変状についてもトンネル盛土により安全の確保可能
施工範囲	追加用地買収が必要	現在の用地内で施工可能	現在の用地内で施工可能	現在の用地内で施工可能
備考	当初施工では、用地取得(収用手続きの準備含む)に約3年を要した	当初施工では、アンカー383本に約13ヶ月で施工(30本/月)	トンネル案に比べ、法面崩落防止のための杭施工に時間を要する	安全性等において、他家より優位

出典：鳥取西道路技術検討委員会資料
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/road/torinishi_iinkai/index.html

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 35

35

恒久対策

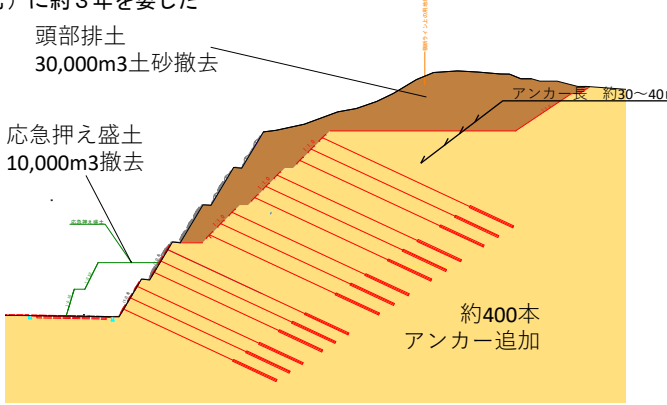


案1 頭部大規模排土+グラウンドアンカー

概要：頭部排土及び法面上段を緩勾配で排土
法面にはグラウンドアンカーを再施工

安全性：法面の排土により、将来的に新たな法面変状が懸念

備考：追加用地取得が必要となるが、当初施工では、用地取得(収用手続きの準備含む)に約3年を要した



頭部排土
30,000m³土砂撤去

応急押え盛土
10,000m³撤去

アンカー長 約30~40m

約400本
アンカー追加

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 36

36

恒久対策

EJEC

案2 排土(緩勾配)+グラウンドアンカー

概要：法面上段を緩勾配で排土
法面にはグラウンドアンカーを再施工

安全性：法面の排土により、将来的に新たな法面変状が懸念

備考：用地内で施工。当初施工では、アンカー383本に約13ヶ月で施工（30本/月）

排土
10,000m³土砂撤去

応急押え盛土
10,000m³撤去

アンカー長 約30~40m

約500本
アンカー追加

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 37

37

恒久対策

EJEC

案3 ボックスカルバート

概要：法面側に斜面変状抑止のため深礎杭施工
ボックスカルバート構築後に斜面変状抑止を兼ねた盛土施工

安全性：ボックス施工時に現況よりさらに掘削が必要となる
既設アンカーを切断等、施工時に安全性の確保が懸念
将来の法面変状について、ボックス盛土により安全の確保可能

備考：用地内で施工可能であるが、トンネル案に比べ、法面崩落防止のための杭施工に時間を要する

100,000m³盛土

10,000m³撤去

カルバート L=約120m

深礎杭 φ4.0m @5.0m
L=30.5m

深礎杭 径4m、20本

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 38

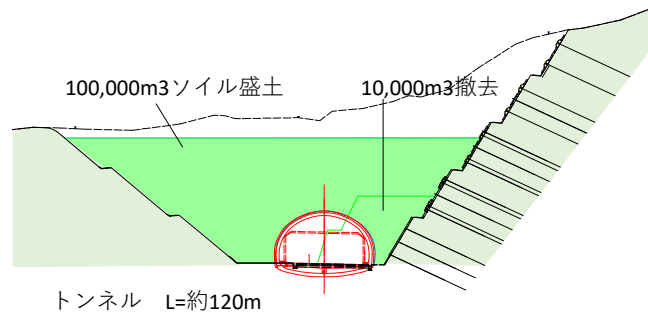
38

恒久対策



案4 トンネル

概要：斜面変状抑止を兼ねた盛土（改良土）を施工後にトンネル工を施工
 安全性：施工時に安全性の確保可能
 将来の法面変状についてもトンネル盛土により安全の確保可能
 備考：用地内で施工可能。安全性等において、他案より優位。



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 39

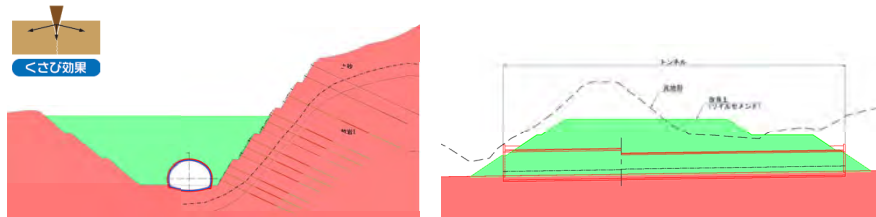
39

トンネルの設計概要



☆設計の考え方

1. 北側法面の安定対策
地山と同等以上の強度を持つ改良土（ソイルセメント）による先行盛土（くさび効果）で斜面変位を抑制する。
2. トンネル変状対策
内空断面は、完成後（将来）の不測の変状を考慮し、内部補強が可能な余裕幅を確保する。
3. トンネル盤膨れ対策
施工時の路面下（ひん岩層）からの不測変状も考慮し、早期閉合工法とシインバートストラッドを設置する。
4. トンネル構造
現地条件等を踏まえるとともに、上記事項を考慮したトンネル構造とする。




EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 40

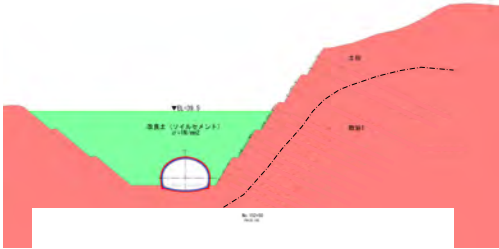
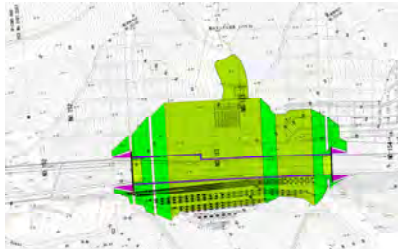
40

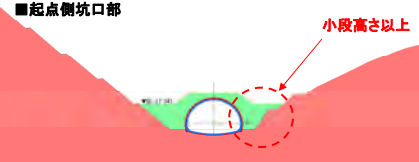

トンネルの設計概要



1. 北側法面の安定対策

- 地山と同等以上の強度を持つ改良土（ソイルセメント）による先行盛土（くさび効果）で斜面変位を抑制とする。⇒ 改良土強度は 1 N/mm² 以上とする。
- 坑口は、北側斜面の変状抑制のため、1 段目小段を覆うことができる範囲とする。





EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 41

41

トンネルの設計概要



1. 北側法面の安定対策

- 現況（応急押え盛土施工前）の初期安全率をFs0=0.98と設定（降雨時に変動）
- 計画安全率をpFs=1.20と設定

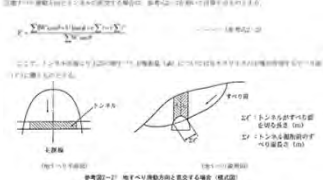
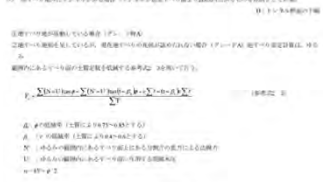
ただし、安定計算時はトンネル影響を考慮

- ・ トンネル断面：γ（単位体積重量）=0kN/m³
- ・ トンネルがすべり面を切る（接する）区間
 - ：強度0で検討
- ・ トンネル近接区間
 - ：強度を低減して検討

（NEXCO設計要領の考え方を基本とした）

→ 当該トンネルはランプに近接し、拡幅部が存在するため、検討上のトンネル断面は拡幅断面とした。

→ 検討結果で盛土高はEL=39.5mとした。

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 42

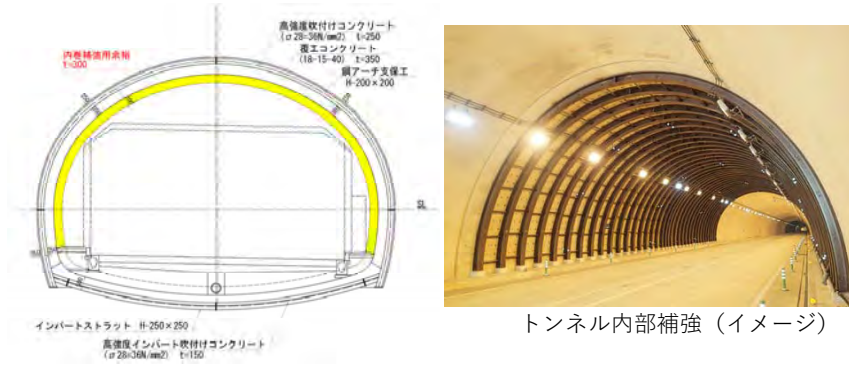
42

トンネルの設計概要



2. トンネル変状対策

- 内空断面は、完成後（将来）の不測の変状を考慮し、内部補強が可能な余裕幅を確保
- 余裕幅は、300mm（H200+Co吹付t=100mm）を見込む。



トンネル内部補強（イメージ）

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 43

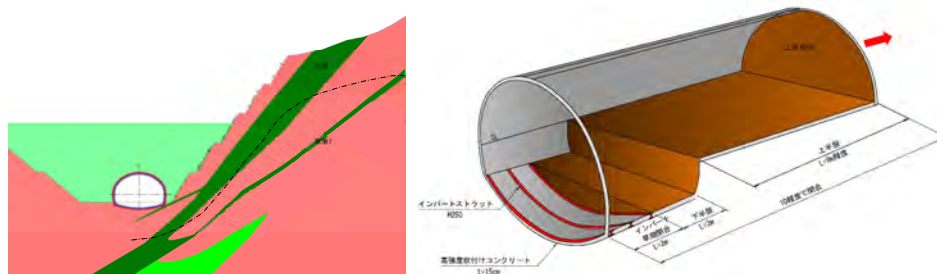
43

トンネルの設計概要



3. トンネル盤膨れ対策

- 地質状況等を勘案した結果、あらかじめ路面下を改良することは行わない。
- 施工時の路面下（ひん岩層）からの不測変状も考慮し、早期にトンネルの全変位を収束させるため、インバートストラッドを設置する。
- インバートストラッドは、路面下からの変状に対応させるため H250を採用する。
- また、吹付コンクリートも高強度コンクリートを採用する。




EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 44

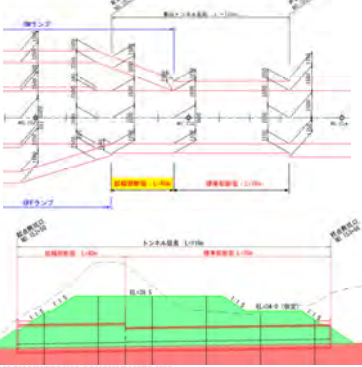
44

トンネルの設計概要

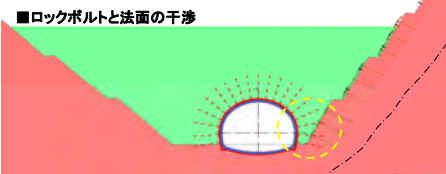
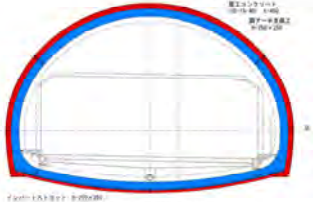


4. トンネル構造

- 支保パターンは、改良土により構築した土被り1D程度の地山に対して施工するため、坑口部相当の「DⅢ」とする。
- 起点側の約40m区間はオンランプすり付け区間であり拡幅断面とする。
- 北側斜面との離隔も少なく、グラウンドアンカーへの影響及び改良土盛土での施工を考慮しロックボルトは省略する。
- なお、ロックボルト省略に伴う代替措置として、吹付コンクリートは高強度吹付コンクリートを採用する。




■ロックボルトと法面の干渉

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 9 45

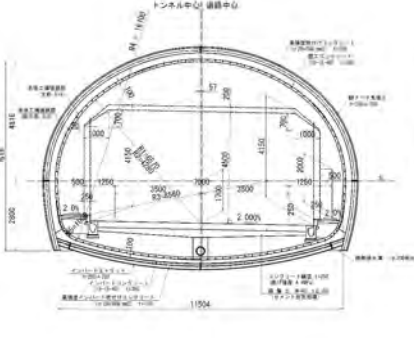
45

トンネルの設計概要

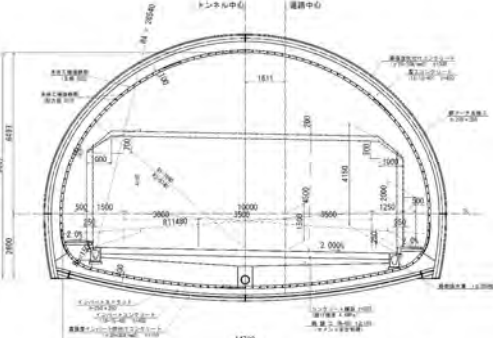


標準断面図

標準部



拡幅部



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC. 2023/9/29 46

46

恒久対策施工時の観測体制



トンネル計測

トンネル本体の地山と支保の安定性に関する監視を目的として、計測工A及び計測工Bを行った。

計測工A・・・孔内観察調査、内空変位測定、天端沈下測定、脚部沈下測定、地表面沈下測定

計測工B・・・地表面沈下測定（横断方向）、吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定、覆工応力測定

地すべり観測

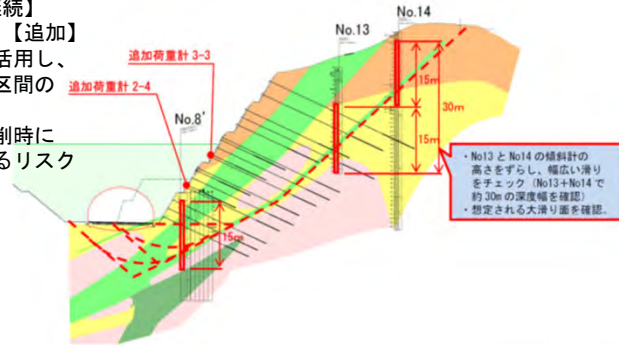
① アンカー荷重計（自動監視）【継続+追加】

② 伸縮計（自動監視）【継続】

③ 孔内傾斜計（自動監視）【追加】

既存のボーリング孔を活用し、想定すべりを含む15m区間の孔内変位を監視。

→恒久盛土時、トンネル掘削時に新たなすべり面が発生するリスクに対応



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

47

恒久対策施工状況



20180605 ソイルセメント盛土1段目着手

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 48

48

恒久対策施工状況



排水材

- 応急押え盛土撤去～ソイルセメント盛土構築
- 応急押え盛土をすべて撤去すると一時的に安全率が低下するため、スパン分けし撤去～盛土を繰り返す。
- 切土面との境界に排水材を設置

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 49

恒久対策施工状況



※ソイルセメント用土砂は一部場外から搬入

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 50

恒久対策施工状況



20180622 ソイルセメント盛土1段目施工中

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 51

51

恒久対策施工状況



20180717 ソイルセメント盛土1段目ほぼ完成

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 52

52

恒久対策施工状況



20180903 ソイルセメント盛土2段目施工中

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 53

53

恒久対策施工状況



20180910 ソイルセメント盛土2段目施工中

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 54

54

恒久対策施工状況



トンネル掘削開始

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 55

55

恒久対策施工状況



トンネル掘削

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 56

56

恒久対策施工状況



20190124 貫通後

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 57

57

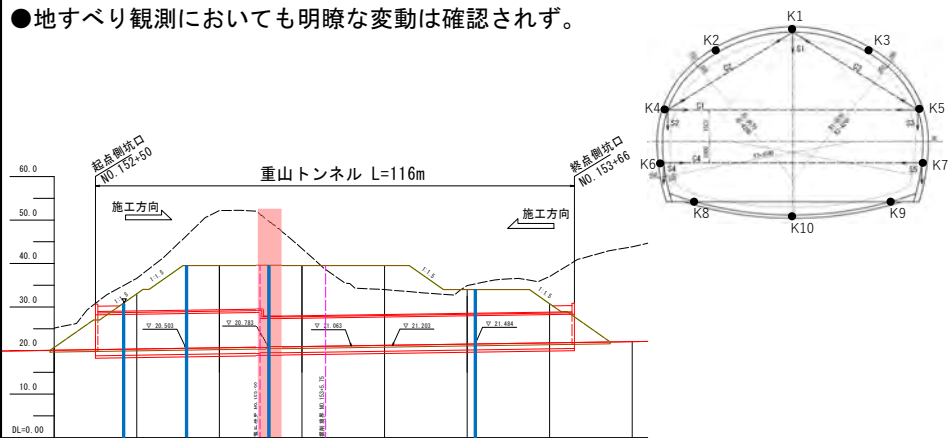
供用後



○施工中、内空応力確認として計測Bを実施したが、内空変位は確認されず。

計測B：吹付コンクリート応力測定、覆工応力測定、鋼7チ支保工応力測定、地表面沈下測定

●地すべり観測においても明瞭な変動は確認されず。



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 58

58

供用後



国土地理院(2021)

EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 59

供用後



EIGHT-JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS INC.

2023/9/29 60

謝辞



本資料の作成にあたり、以下の機関の既往業務の成果を使用させていただきました。

貴重な資料について本シンポジウムでの使用を快諾いただき、ありがとうございました。

- ・国土交通省鳥取河川国道事務所様
- ・鳥取県県土整備部治山砂防課様
- ・鳥取県鳥取県土整備事務所様



ご清聴いただきありがとうございました