

中央構造線に近接する大土被りトンネルの施工 【青崩峠トンネル(仮称)】

安藤ハザマ 永井亮真

- 工事概要
- E I パターンでの施工
- 大土被り部までの区間の施工
- 大土被り部の掘削方法の検討
- 二重支保工の施工
- 超高強度吹付けコンクリートの適用
- おわりに

工事概要

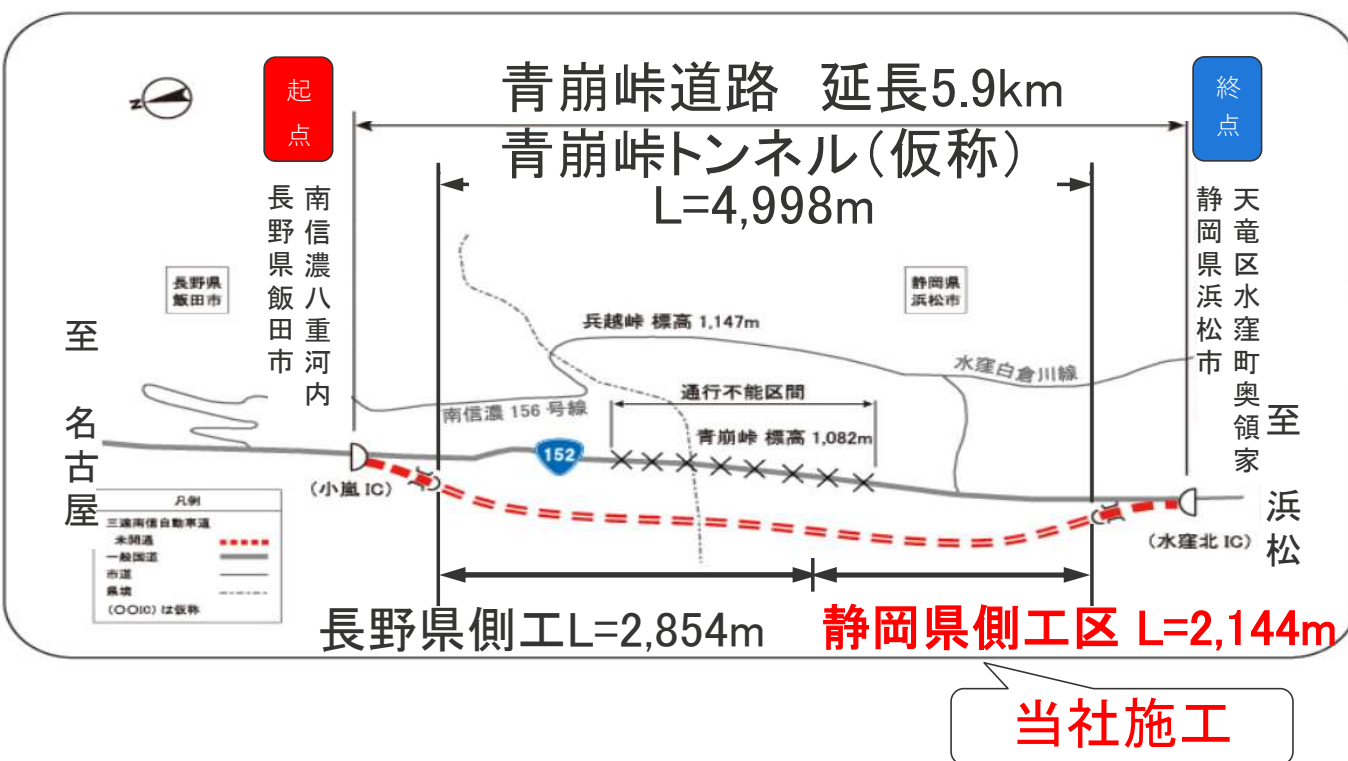


工事概要

□工事概要

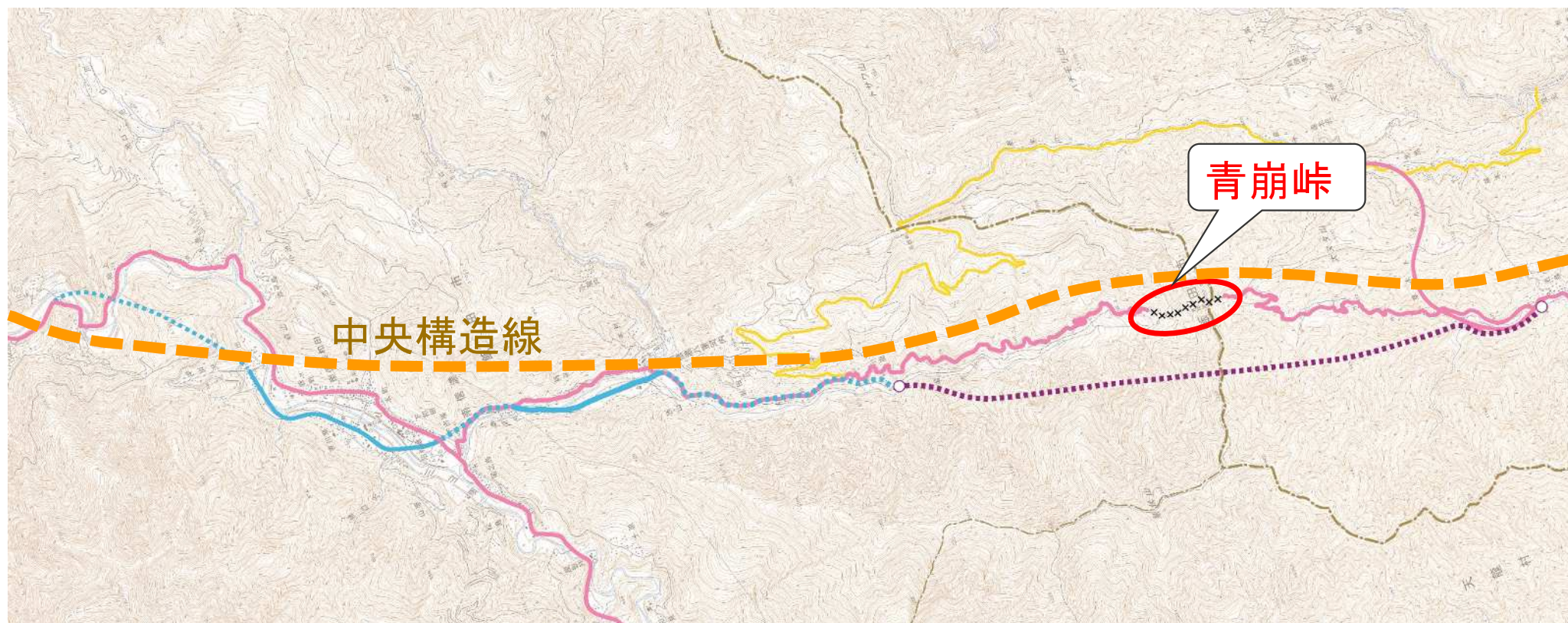
長野県飯田市南信濃八重河内～静岡県浜松市天竜区水窪町奥領家を結ぶ

全長L=4,998mの高規格の2車線道路トンネル



□ 青崩峠

- ・近くを通る中央構造線の影響を受けて地質が脆弱で崖崩れが頻発する地形



青崩峠と中央構造線

□ 青崩峠

- ・近くを通る中央構造線の影響を受けて地質が脆弱で崖崩れが頻発する地形



青っぽくみえるため青崩

青崩峠付近より

□ 静岡県側の地山



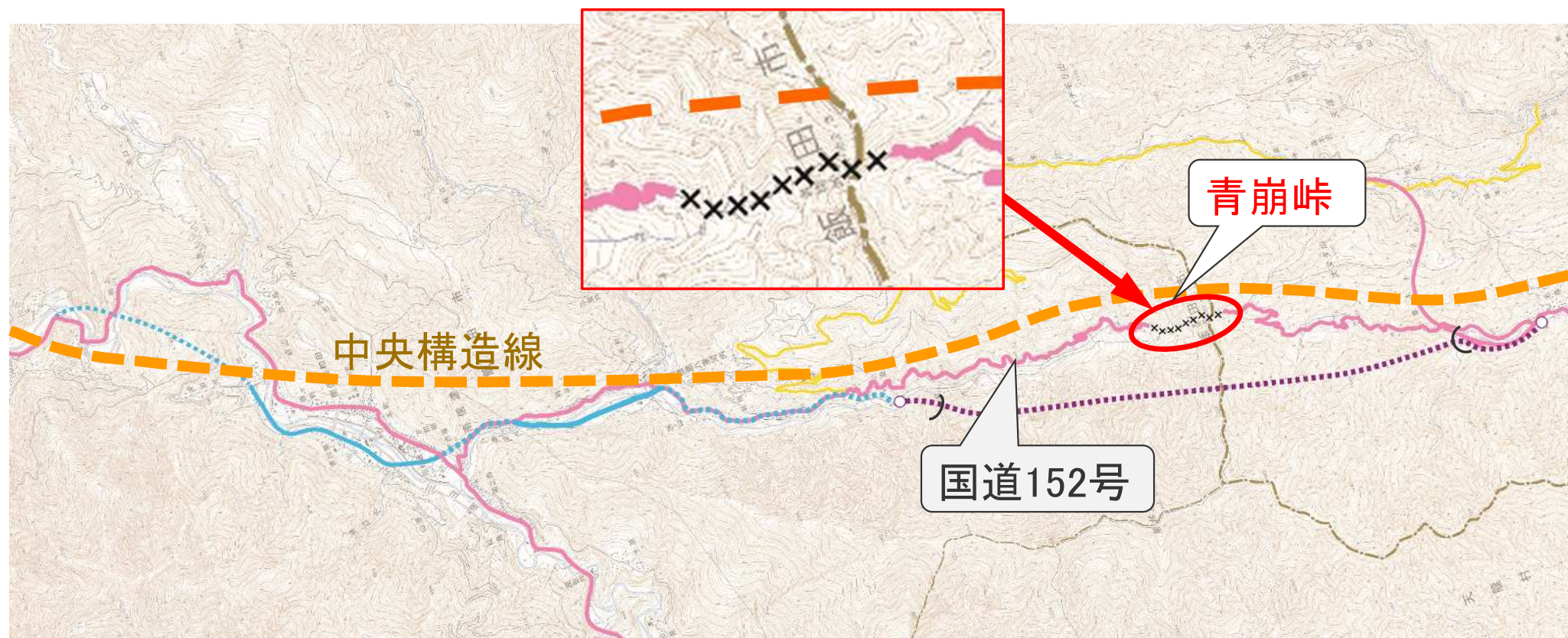
静岡県側の崩壊の様子



切羽の崩落の状況

□ 青崩峠

- ・国道152号は青崩峠を通りますが、青崩峠は整備できず、未だ車が通れません



青崩峠(旧国道152号)

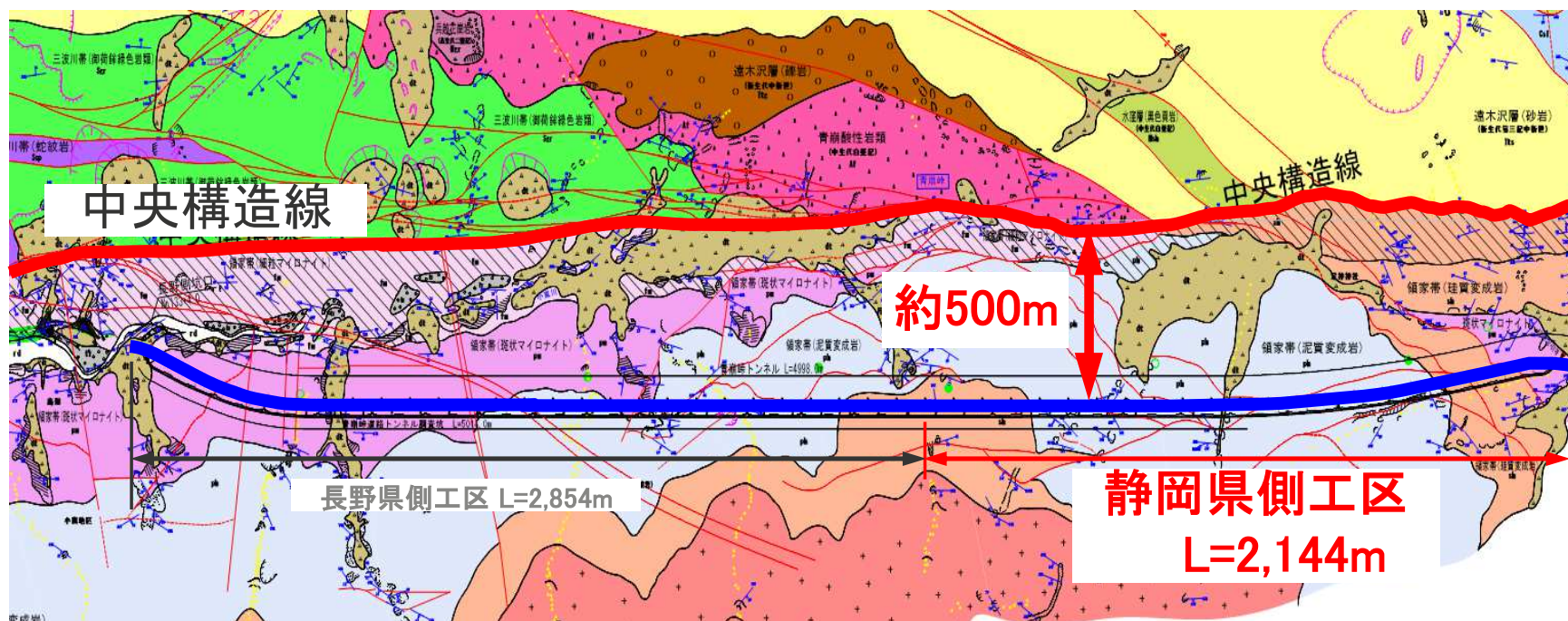
□工事概要

- 工 事 名 : 平成30年度 三遠南信池島トンネル本坑工事
- 発 注 者 : 国土交通省中部地方整備局(飯田国道事務所管内)
- 受 注 者 : 株式会社 安藤・間
- 工 期 : 平成30年8月10日～令和5年3月24日(当初)
平成30年8月10日～令和7年8月29日(第8回変更)
- 工事場所 : 静岡県浜松市天竜区水窪町
- 工事内容 : 工事延長L=2,790m(トンネル延長L=2,144m)
トンネル工1式、坑門工1基、道路改良1式、仮設工1式
- 掘削工法 : NATM(発破掘削方式、タイヤ方式)
- ※有識者による技術検討委員会対応のトンネル

工事概要

□工事の特徴

- 離隔約500mで中央構造線と並走している。⇒脆弱かつ複雑な地層が出現

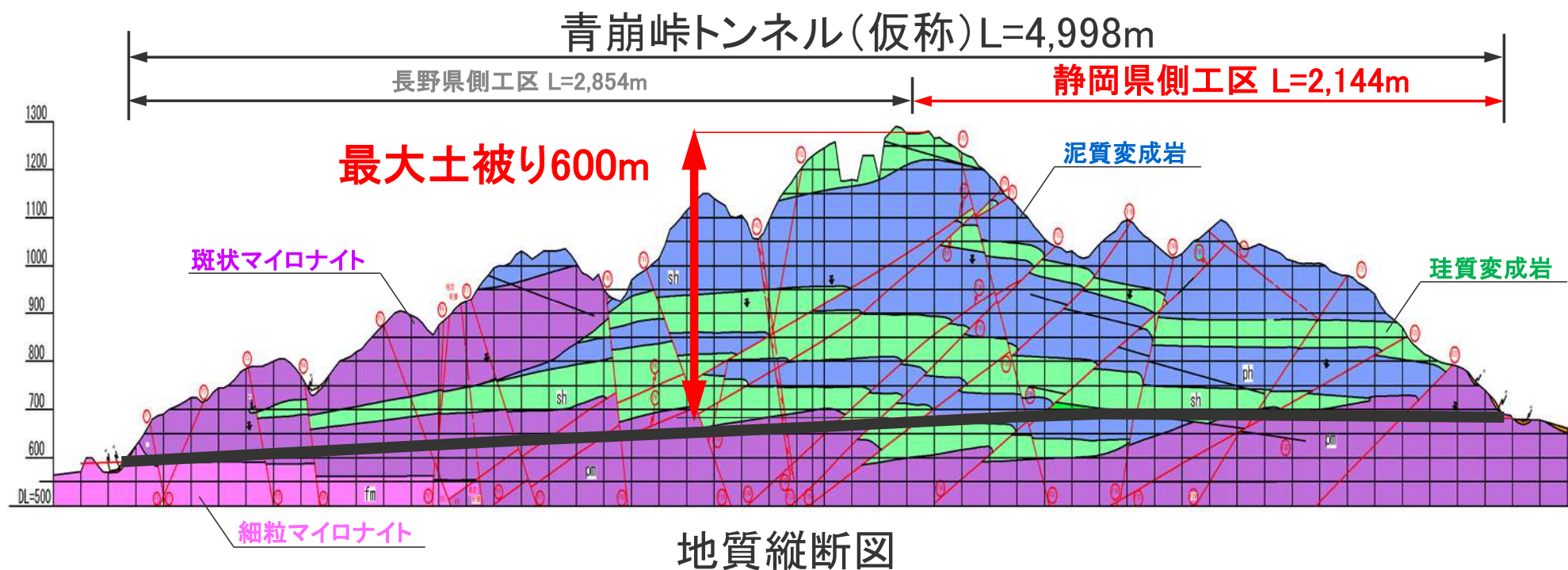


地質凡例	
被覆層	崩積土
	段丘堆積物
遠木沢層	礫岩
戸台帯	青崩酸性岩類
	頁岩
	砂岩
	泥質変成岩
領家帯	珪質変成岩
	細粒マイロナイト
	斑状マイロナイト
	花崗岩類
三波川帯	御荷鉾緑色岩類
	超塩基性岩類
秩父帯	粘板岩
	兵越花崗岩

地質平面図

□工事の特徴

- ・離隔約500mで中央構造線と並走している。⇒脆弱かつ複雑な地層が出現
- ・最大土被りが600mと土被りが大きい。⇒きわめて大きな土圧が作用



□地質の概要

- ・領家変成岩類で堆積岩系の地山が出現。



珪質変成岩

堅硬

※ハンマーでは割れない



砂質変成岩

比較的堅硬

※ハンマーの打撃で碎ける



泥質変成岩

比較的～かなり脆弱

※手で割れる一部粘土化

※鏡肌を呈する



細粒マイロナイト

堅硬～脆弱

※せん断面が発達し

剥離性に富む

□地質の概要

- ・領家変成岩類で堆積岩系の地山が出現。
- ・泥質変成岩は鏡肌を呈し、剥離性に富み脆弱

これが問題



珪質変成岩

堅硬

※ハンマーでは割れない



砂質変成岩

比較的堅硬

※ハンマーの打撃で碎ける



泥質変成岩

比較的～かなり脆弱

※手で割れる一部粘土化

※鏡肌を呈する



細粒マイロナイト

堅硬～脆弱

※せん断面が発達し

剥離性に富む

□地質の概要

- ・泥質変成岩は鏡肌を呈し、剥離性に富み脆弱

これが
問題



□地質の概要

- ・領家変成岩類で堆積岩系の地山が出現。
- ・泥質変成岩は鏡肌を呈し、剥離性に富み脆弱

これが問題



珪質変成岩

堅硬

※ハンマーでは割れない



砂質変成岩

比較的堅硬

※ハンマーの打撃で碎ける



泥質変成岩

比較的～かなり脆弱

※手で割れる一部粘土化

※鏡肌を呈する



細粒マイロナイト

比較的堅硬～脆弱

※せん断面が発達し

剥離性に富む

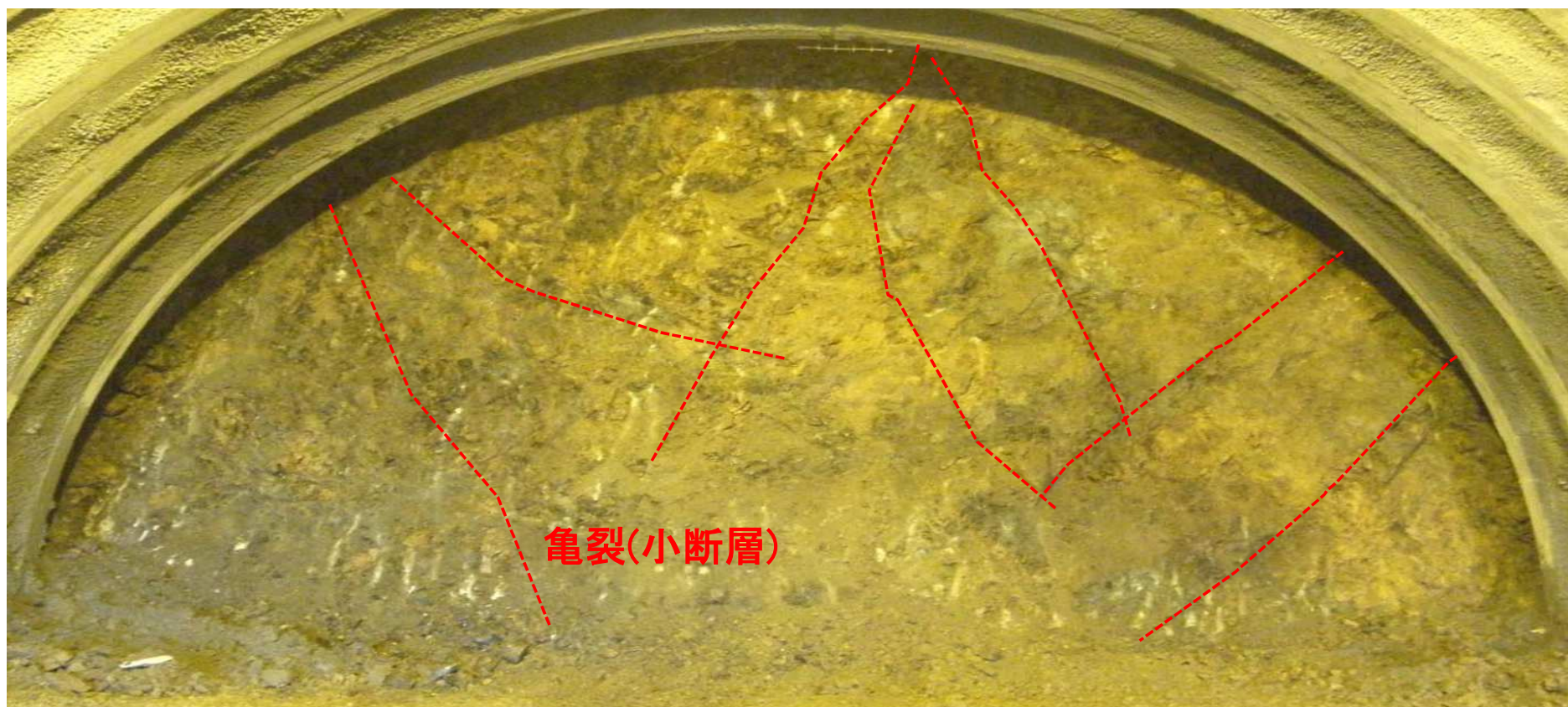
□地質の概要

- ・**細粒マイロナイト**はせん断面が発達し剥離性に富むためザラメ状に碎ける。



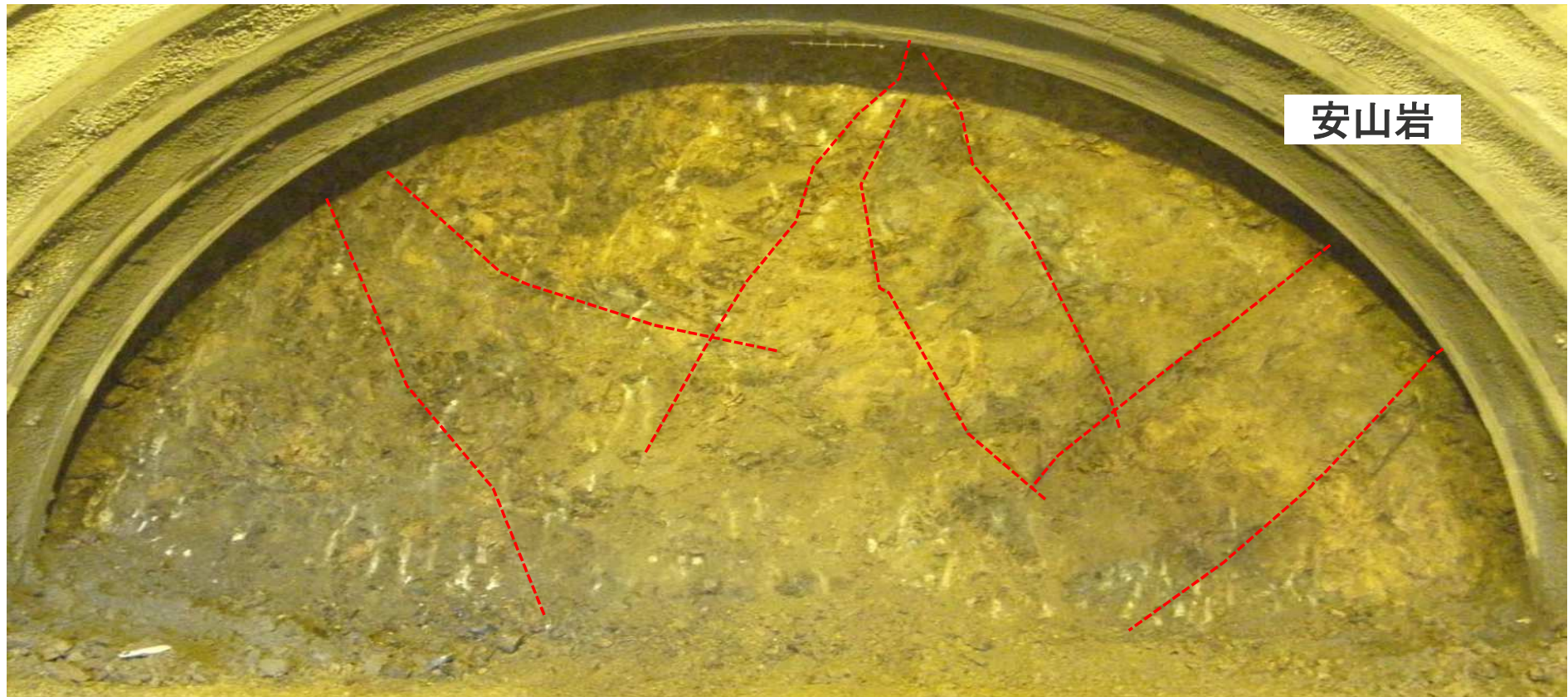
□地質の概要

- ・切羽の写真



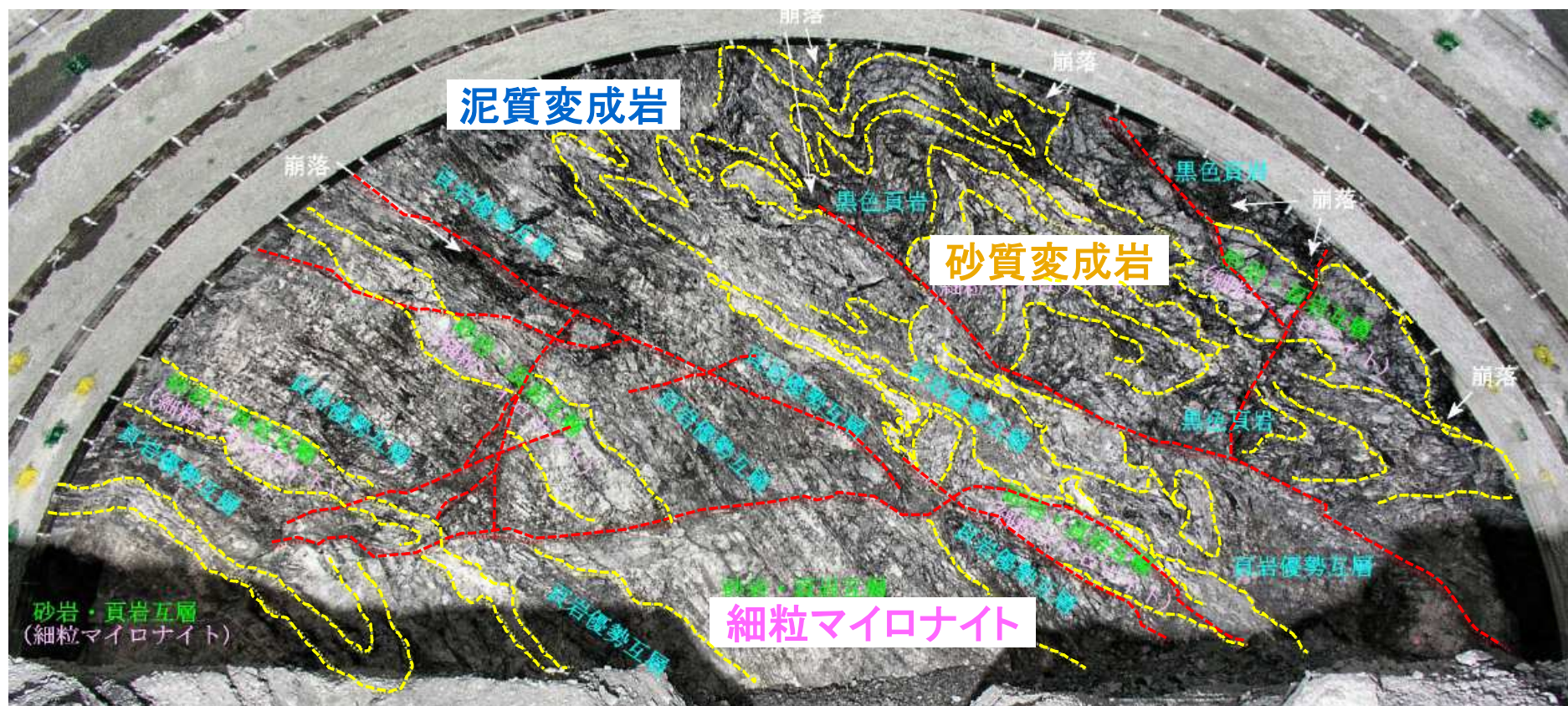
□地質の概要

- ・通常のトンネルの切羽の写真(この切羽は全面が安山岩)



□地質の概要

- ・複数の岩石が折り重なり、褶曲が激しく、細かな断層も多い



切羽の状況(No.285+14.5, TD=1,9480m)

・調査坑の地質と整合しないことも ⇒ 地質の予測が難しい。



□工事の特徴

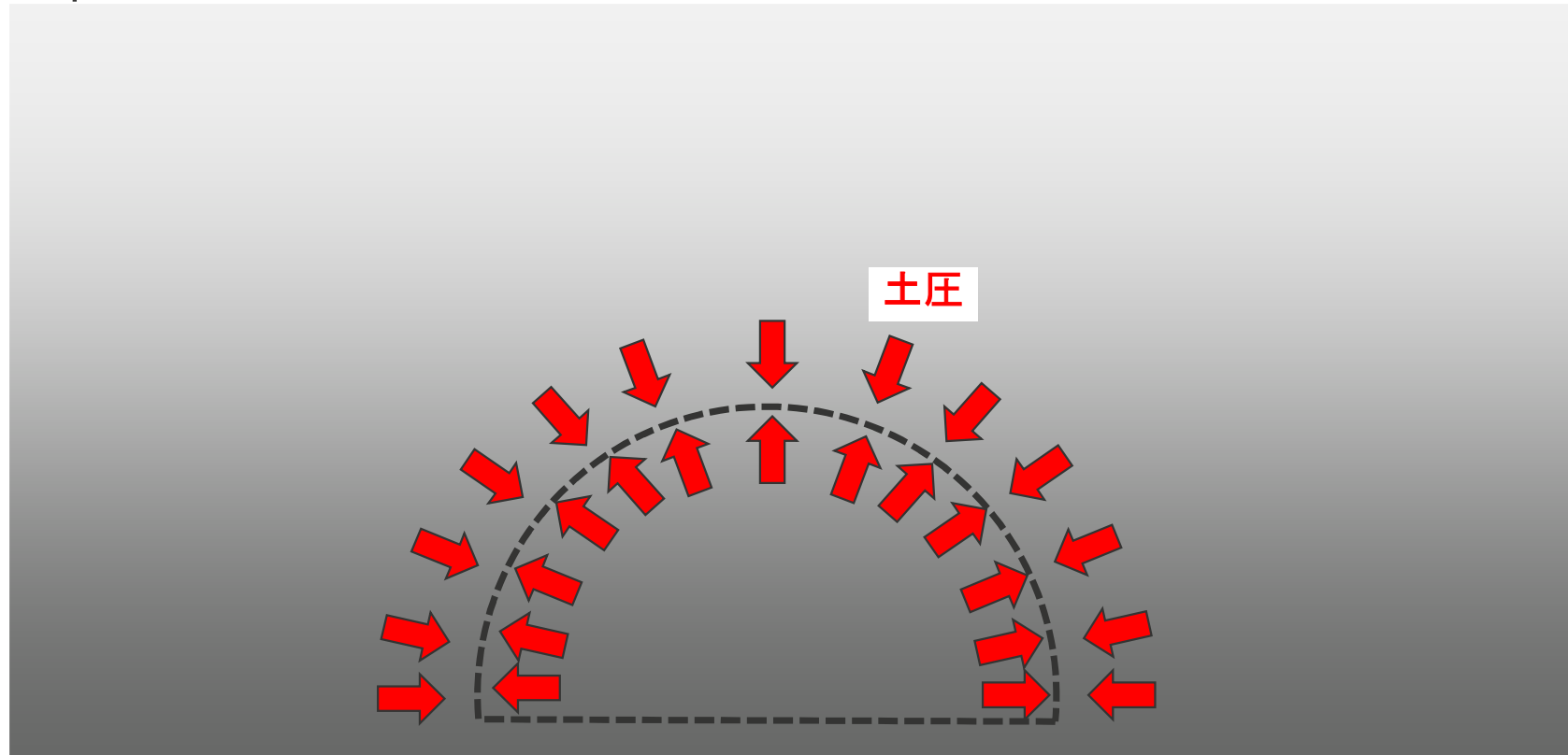
- ・離隔約500mで中央構造線と並走している。⇒脆弱かつ複雑な地層が出現
- ・最大土被りが600mと**土被りが大きい**。⇒**きわめて大きな土圧**が作用

□地質の特徴

- ・領家変成岩類が出現。
- ・泥質変成岩は鏡肌を呈し、剥離性に富み脆弱
- ・中央構造線の影響により激しく褶曲。小断層も多く、地質が非常に複雑

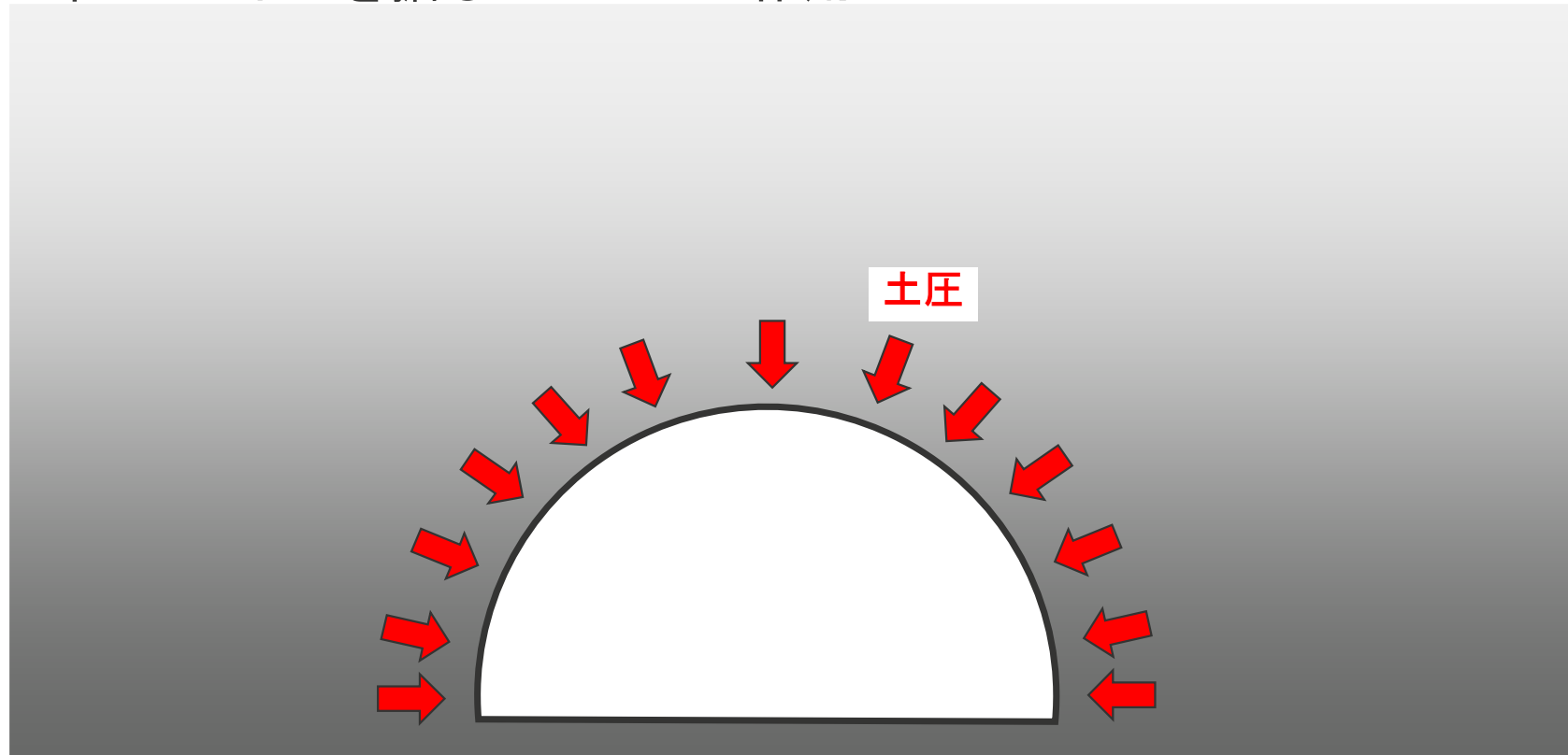
□土被り

- ・地山の中に



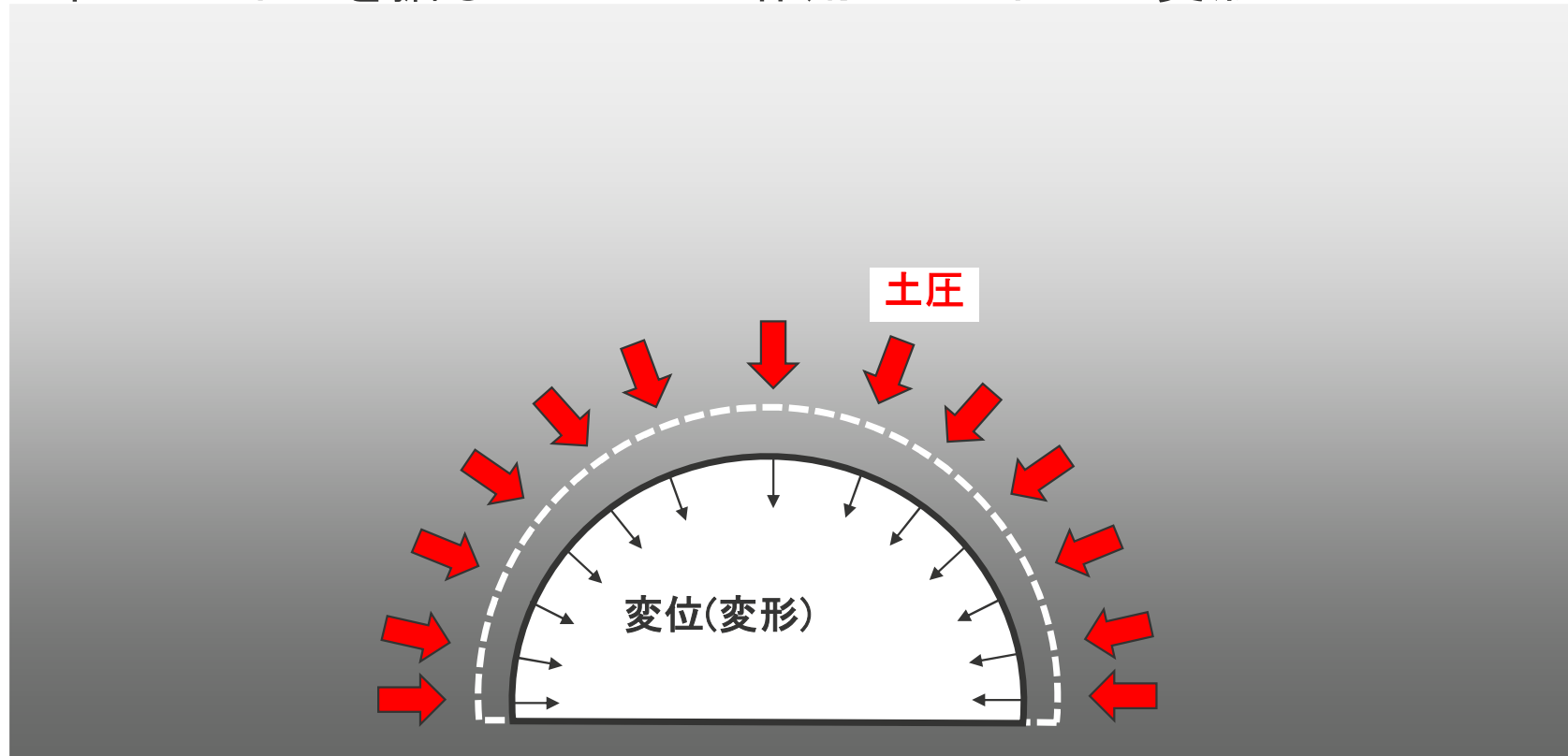
□土被り

- ・地山の中にトンネルを掘ると⇒土圧が作用



□土被り

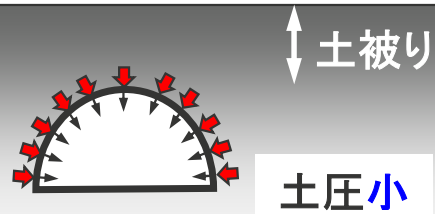
- ・地山の中にトンネルを掘ると⇒土圧が作用⇒トンネルが変形



□土被り

- ・土被りが小さい場合 ⇒ 作用する土圧は小さい

土被りが小さい

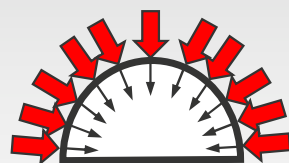


□土被り

- ・土被りが大きい場合 ⇒ 作用する土圧も**大きく**なる

土被りが大きい

土被り

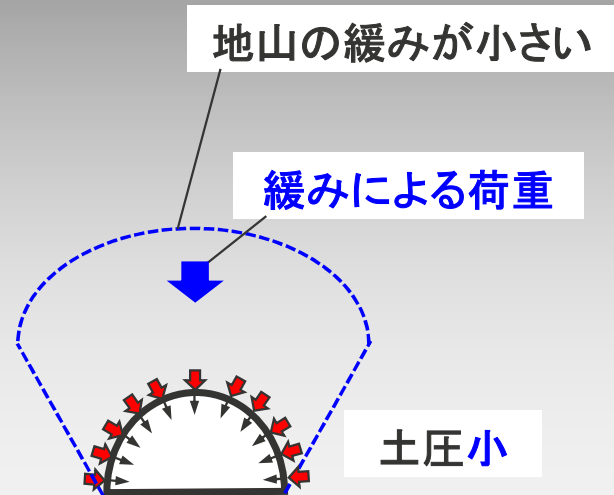


土圧**大**

□土被り

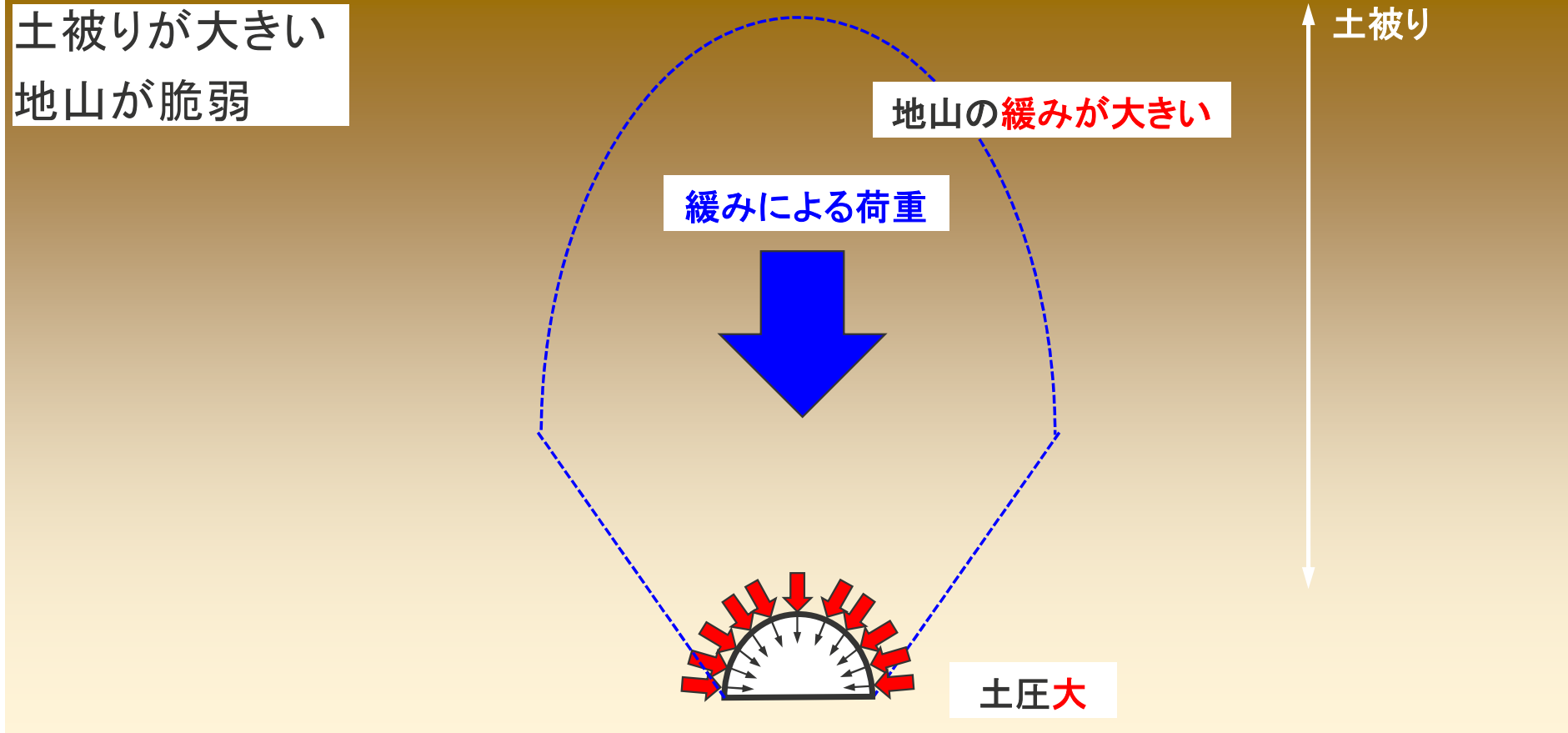
- ・地山が堅硬 ⇒ 緩みが小さい ⇒ 土圧も小さい

土被りが大きい
地山が堅硬



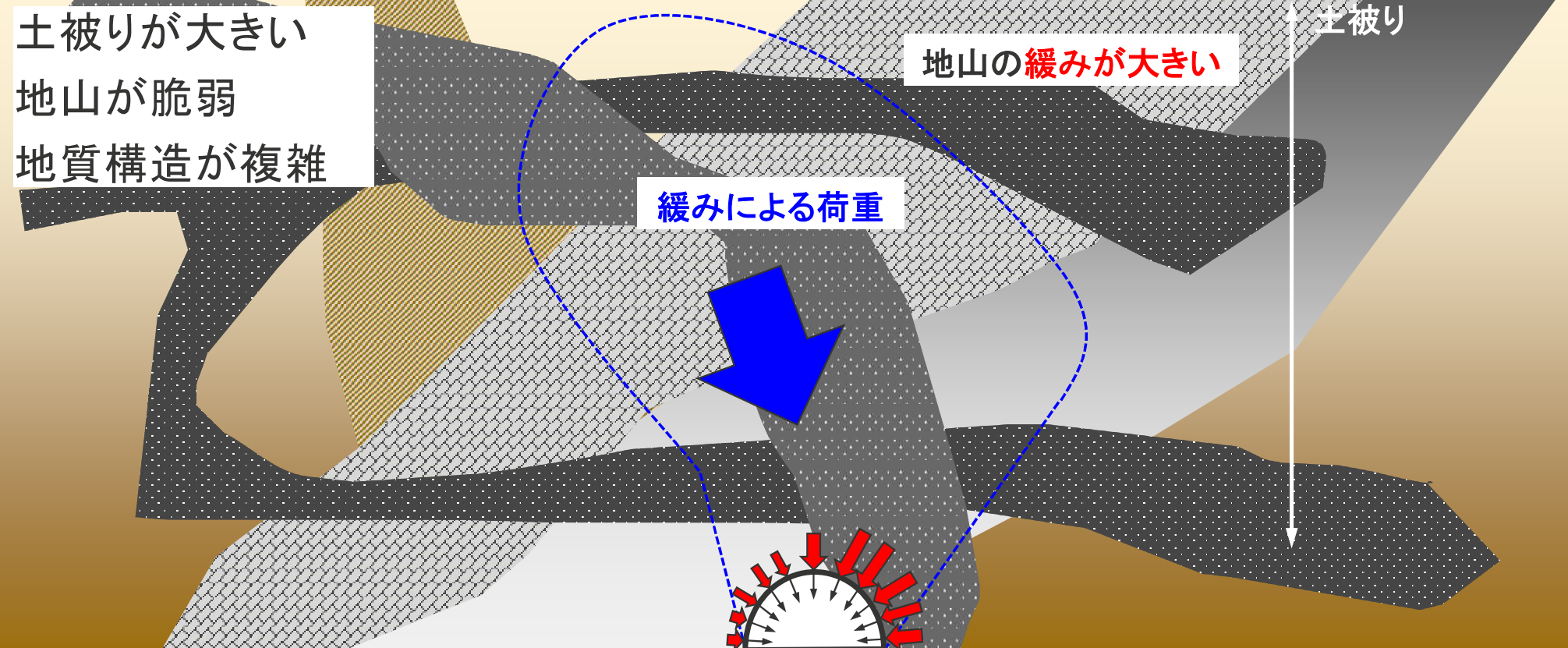
□土被り

- ・地山が脆弱 ⇒ 緩みが大きい ⇒ 土圧も**大きく**なる
⇒この土圧に耐えうる構造にしておく必要がある。



□土被り

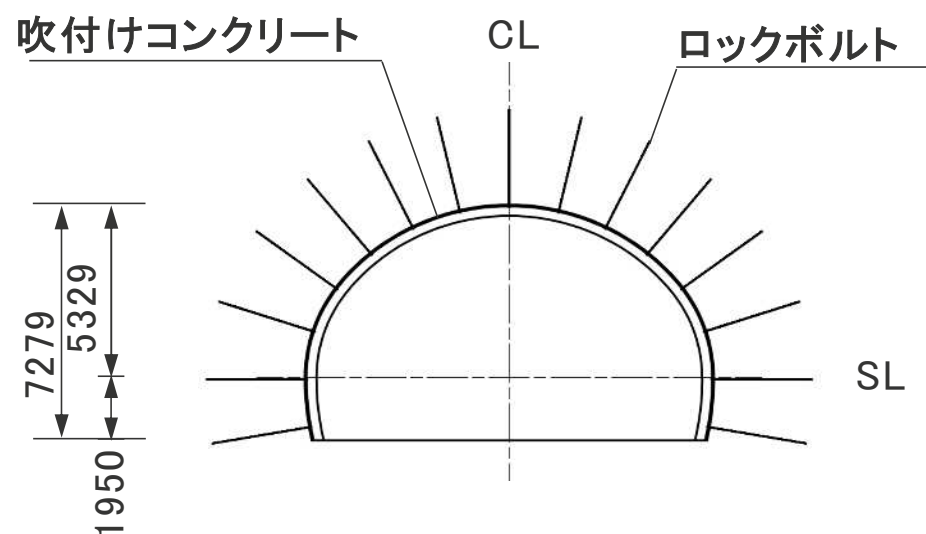
- ・地質構造が複雑 ⇒ 地質の構造によって作用する土圧が変化 ⇒ 予測が難しい
⇒ 右か左か上か下か 地質状況によって変形のモードが大きく変化



本トンネルの難しさ: 大きな土圧がどのように作用するか予測が困難

□支保パターン

- ・山岳工法では、地山の硬軟に応じて支保パターンを設定して掘り進める。

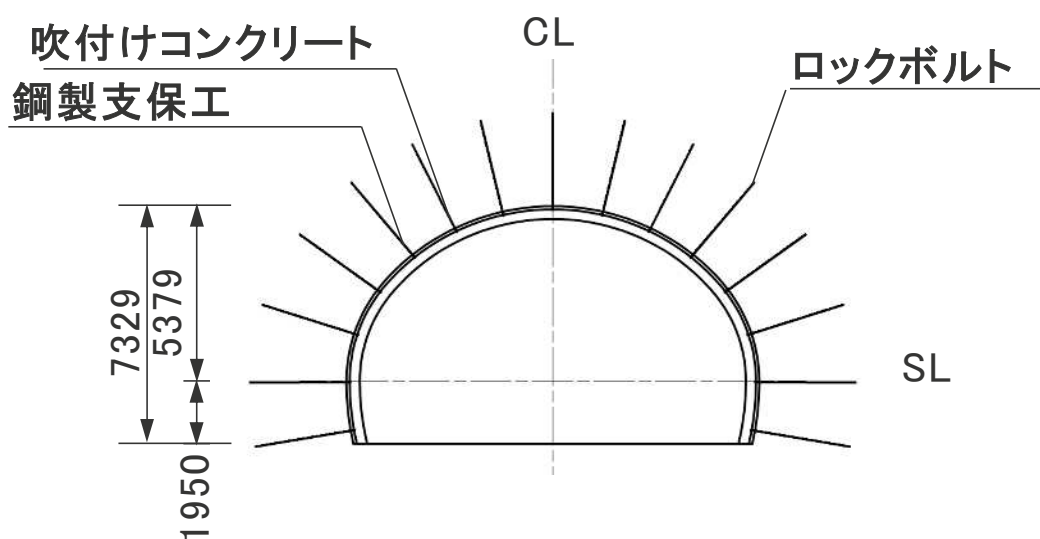


パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
B	5cm	18N/mm ²	117.7	3	—

Bパターン(硬質な地山で適用)

□支保パターン

- ・山岳工法では、地山の硬軟に応じて支保パターンを設定して掘り進める。

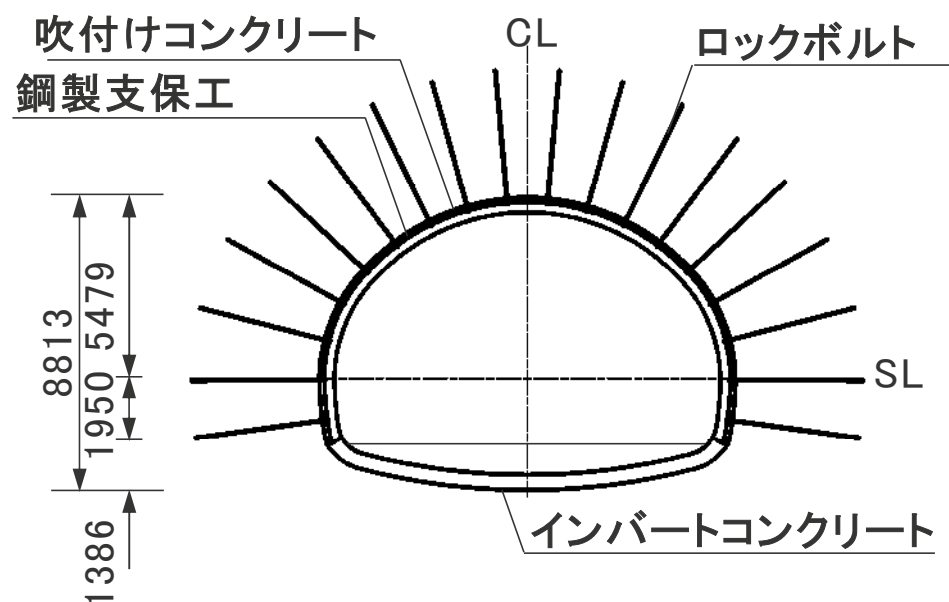


パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
B	5cm	18N/mm ²	117.7	3	—
C II -b	10cm	18N/mm ²	176.5	3	H-125 (245N/mm ²)

C II -bパターン(比較的硬質な地山で適用)

□ 支保パターン

- ・山岳工法では、地山の硬軟に応じて支保パターンを設定して掘り進める。

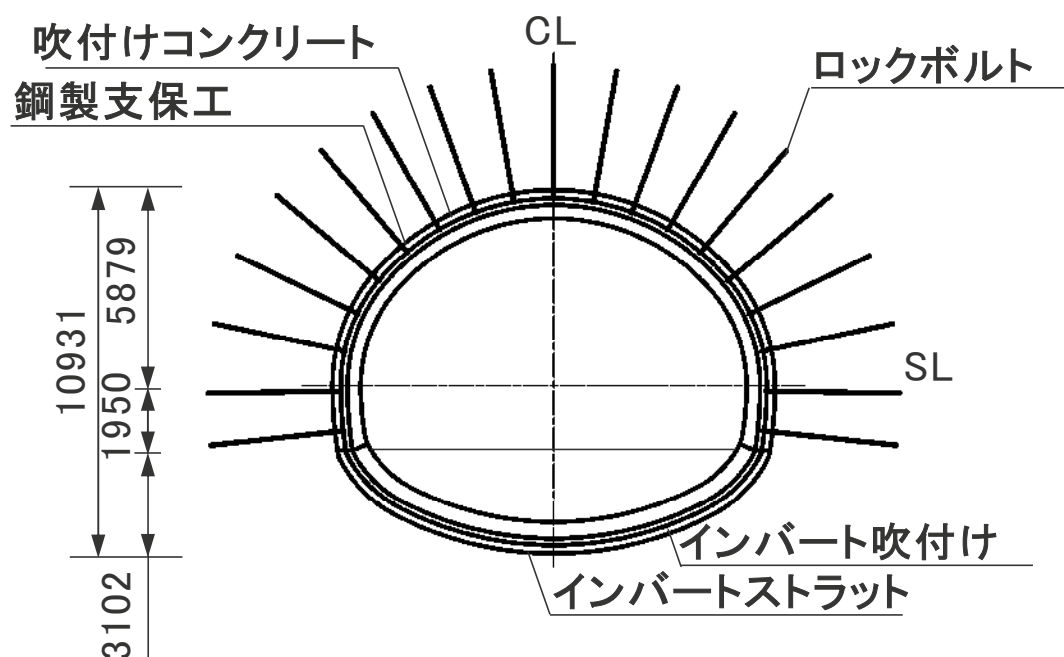


パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
B	5cm	18N/mm ²	117.7	3	—
C II -b	10cm	18N/mm ²	176.5	3	H-125 (245N/mm ²)
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)

D I -bパターン(比較的脆弱な地山で適用)

□支保パターン(当初)

- ・大きな土圧を想定して、全体の約35%をEパターン(特殊パターン)で計画
- ・Eパターン: 一次インバートで断面を閉合、より円形に近い形状

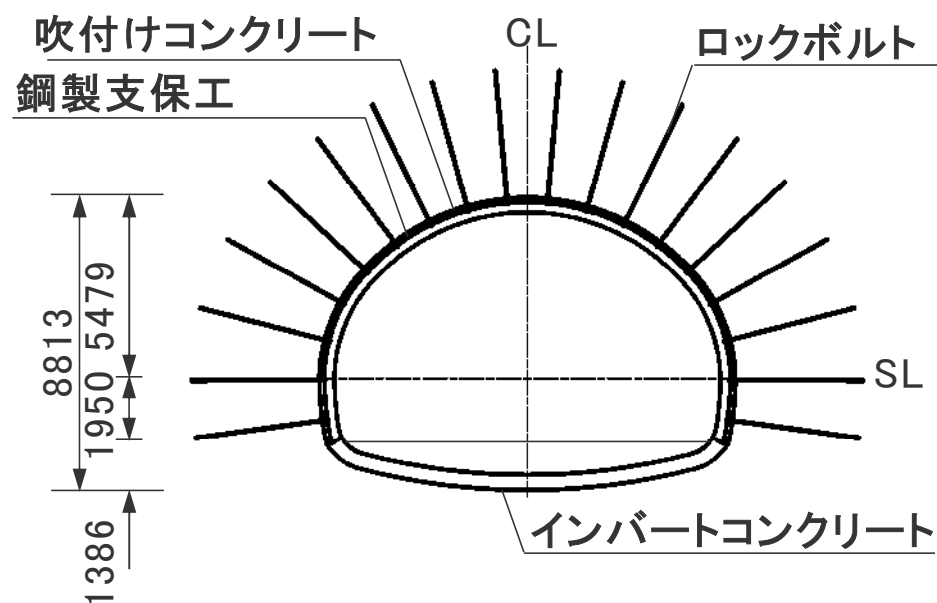


パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
B	5cm	18N/mm ²	117.7	3	—
C II -b	10cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)
E I	25cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)

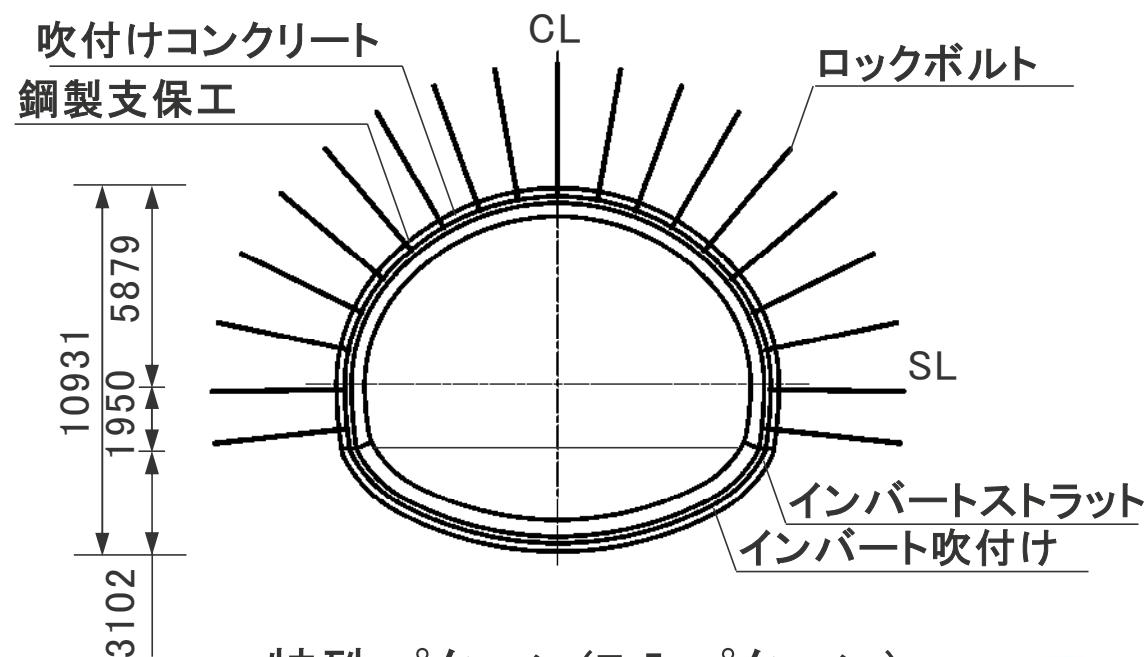
E I パターン(本トンネル専用特殊パターン)

□支保パターン(当初)

- ・大きな土圧を想定して、全体の約35%をEパターン(特殊パターン)で計画
- ・Eパターン: 一次インバートで断面を閉合、より円形に近い形状



標準パターン(D I -bパターン)



特殊パターン(E I パターン)

□支保パターン(当初)

- ・高規格の支保部材を用いており、大幅に**耐力を高めた構造**

支保部材の仕様

パターン名	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製支保工 ()内降伏応力
	厚さ	設計 基準強度	耐力	長さ	
D I -b (標準パターン)	15cm	18N/mm ²	176.5kN以上	L=4m	H-125 (245N/mm ²)
E I (特殊パターン)	25cm	36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 (440N/mm ²)

□支保パターン(当初)

- ・高規格の支保部材を用いており、大幅に耐力を高めた構造

支保部材の仕様

パターン名	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製支保工 ()内降伏応力
	厚さ	設計 基準強度	耐力	長さ	
D I -b (標準パターン)	15cm	18N/mm ²	176.5kN以上	L=4m	H-125 (245N/mm ²)
	1.5倍	2倍	1.6倍		1.8倍
E I (特殊パターン)	25cm	36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 (440N/mm ²)

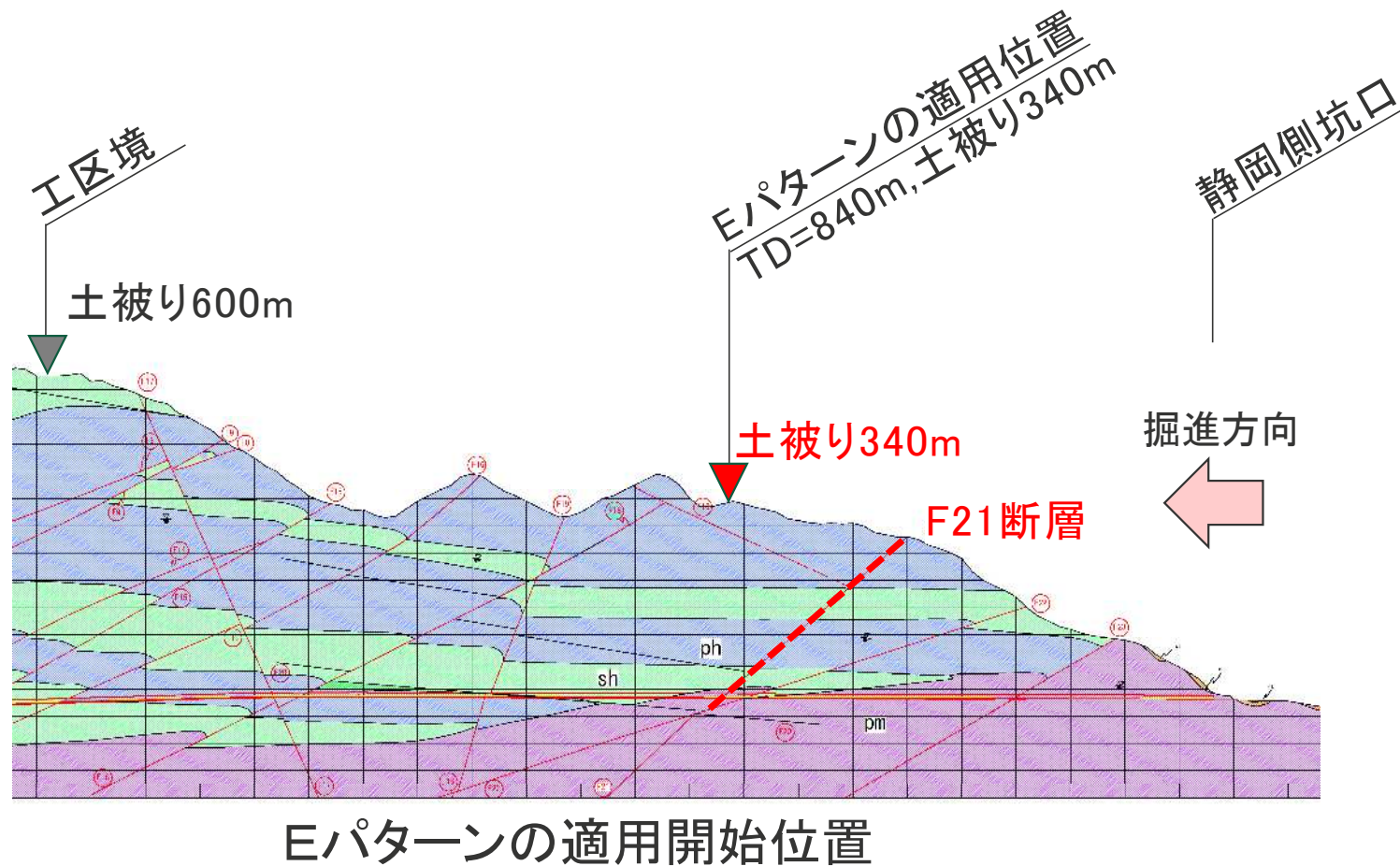
E I パターンでの施工



E I パターンでの施工

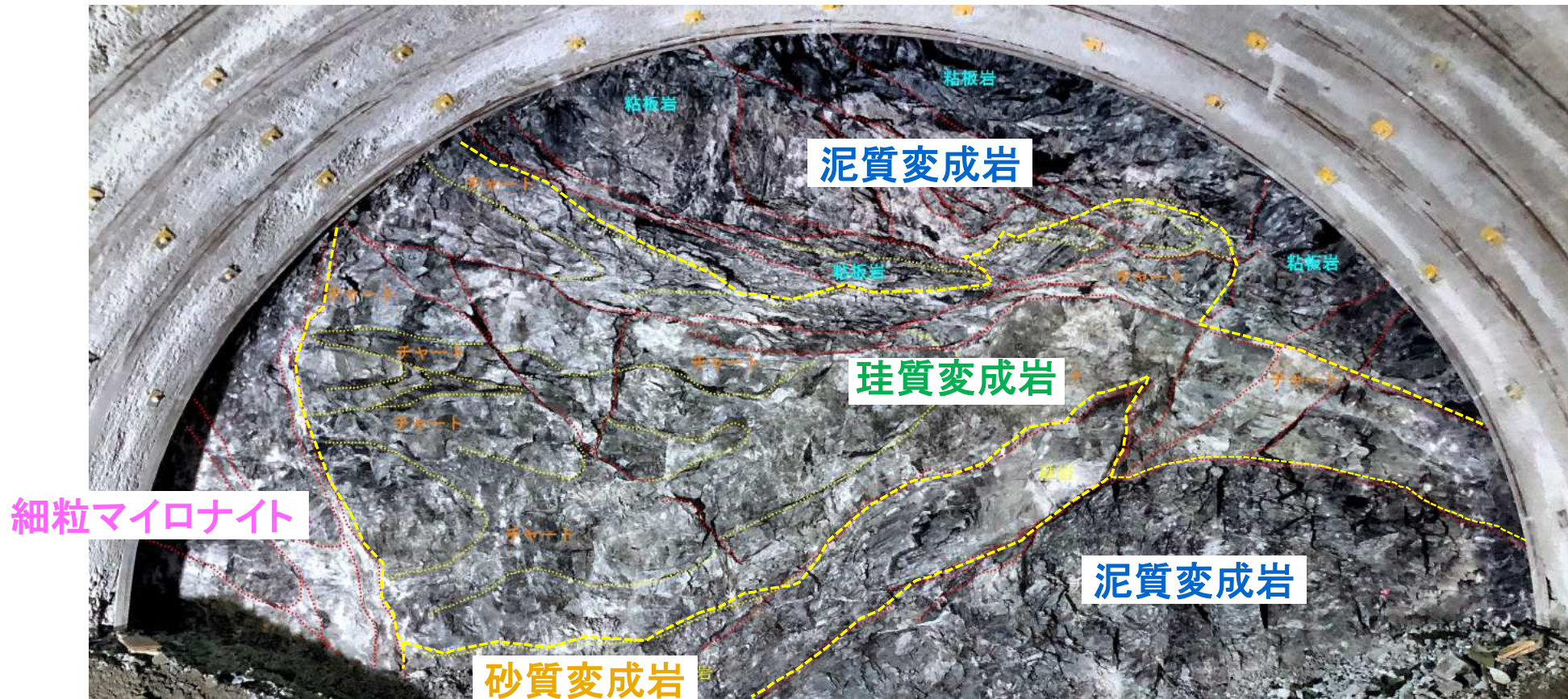
□Eパターンを適用

- ・TD840mの断層部でEパターンを適用(土被り340m)



E I パターンでの施工

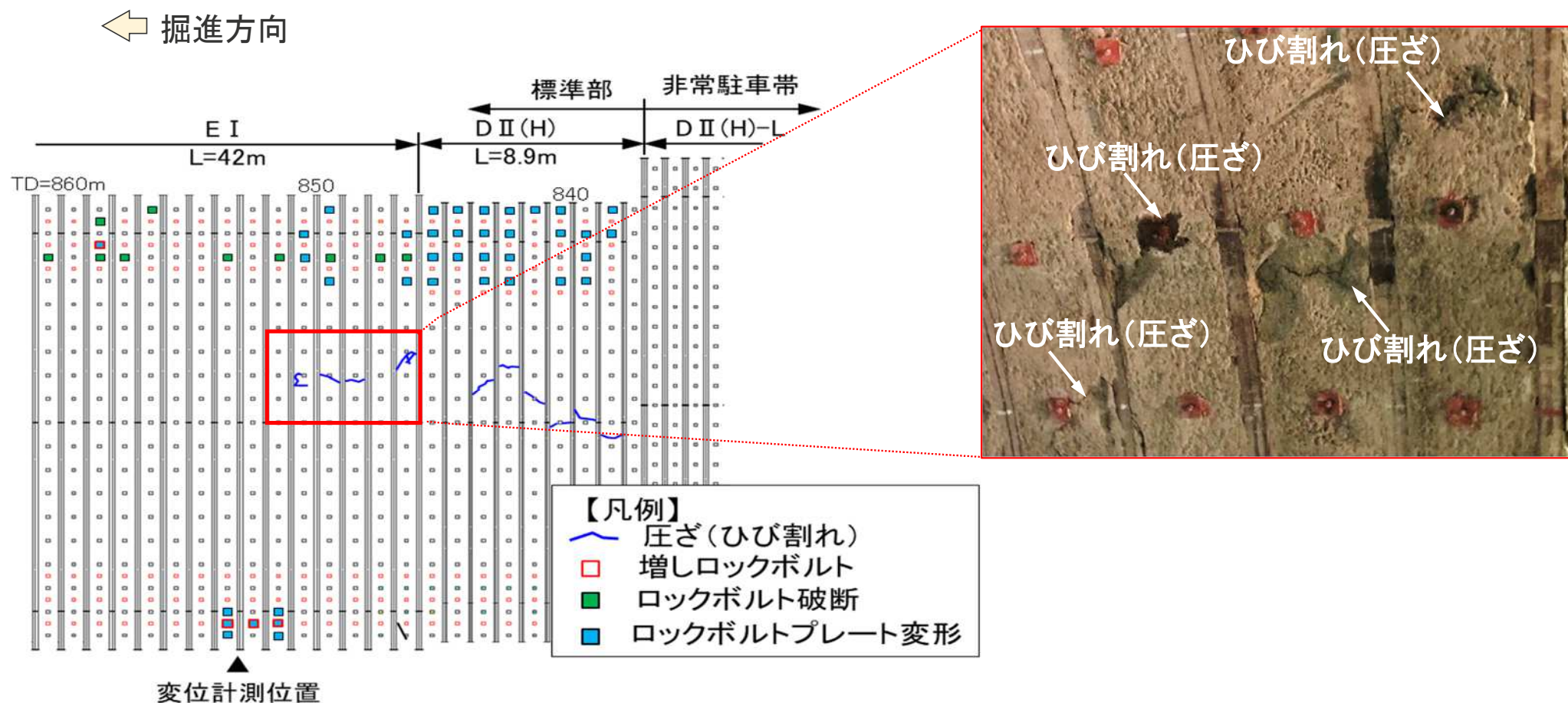
□ 切羽の状況(TD=840m、土被り340m)



切羽の状況

E I パターンでの施工

□変状の発生状況(TD=840m、土被り340m)

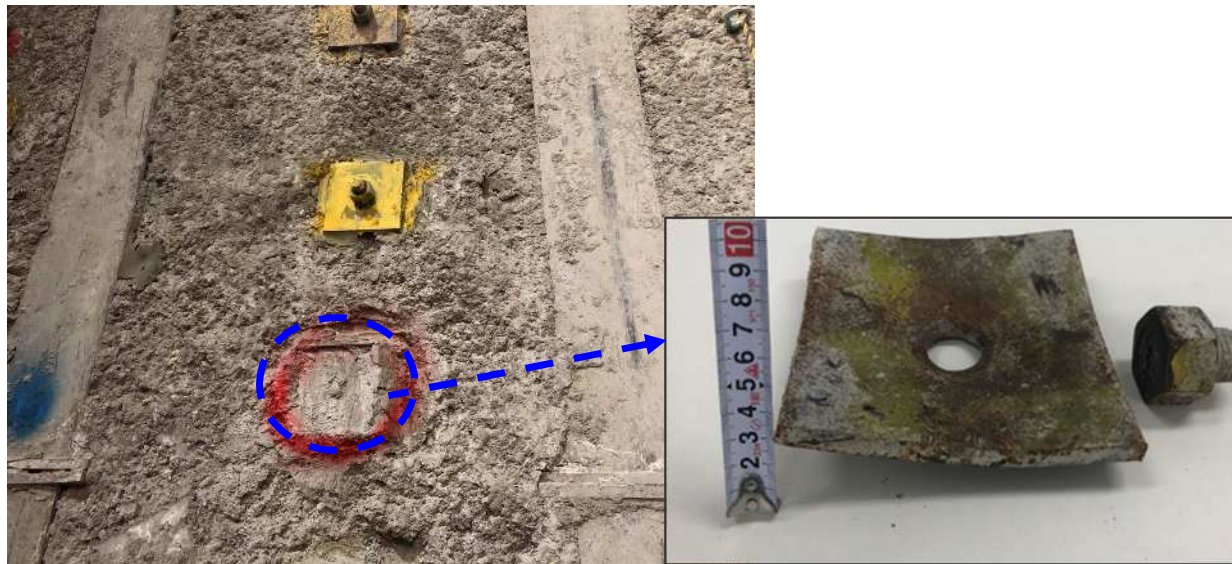


変状の発生状況

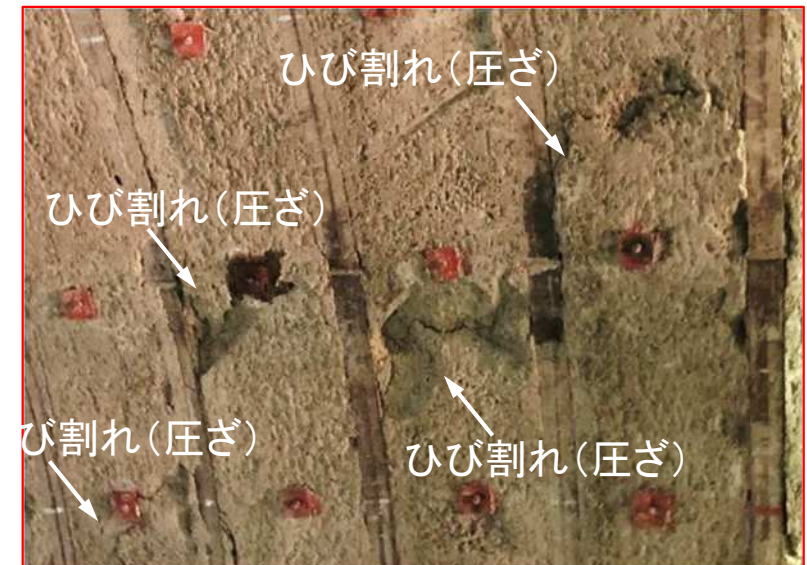
E I パターンでの施工

□変状の発生状況(TD=840m、土被り340m)

- ・側壁部の**ロックボルト**のプレートが変形し、その一部は**破断**
- ・天端から肩部にかけて、**吹付けコンクリートにひび割れ(圧ざ)**が発生
- ・設計の**Eパターン**では、**350m以上の大土被り区間**に対応できない！！



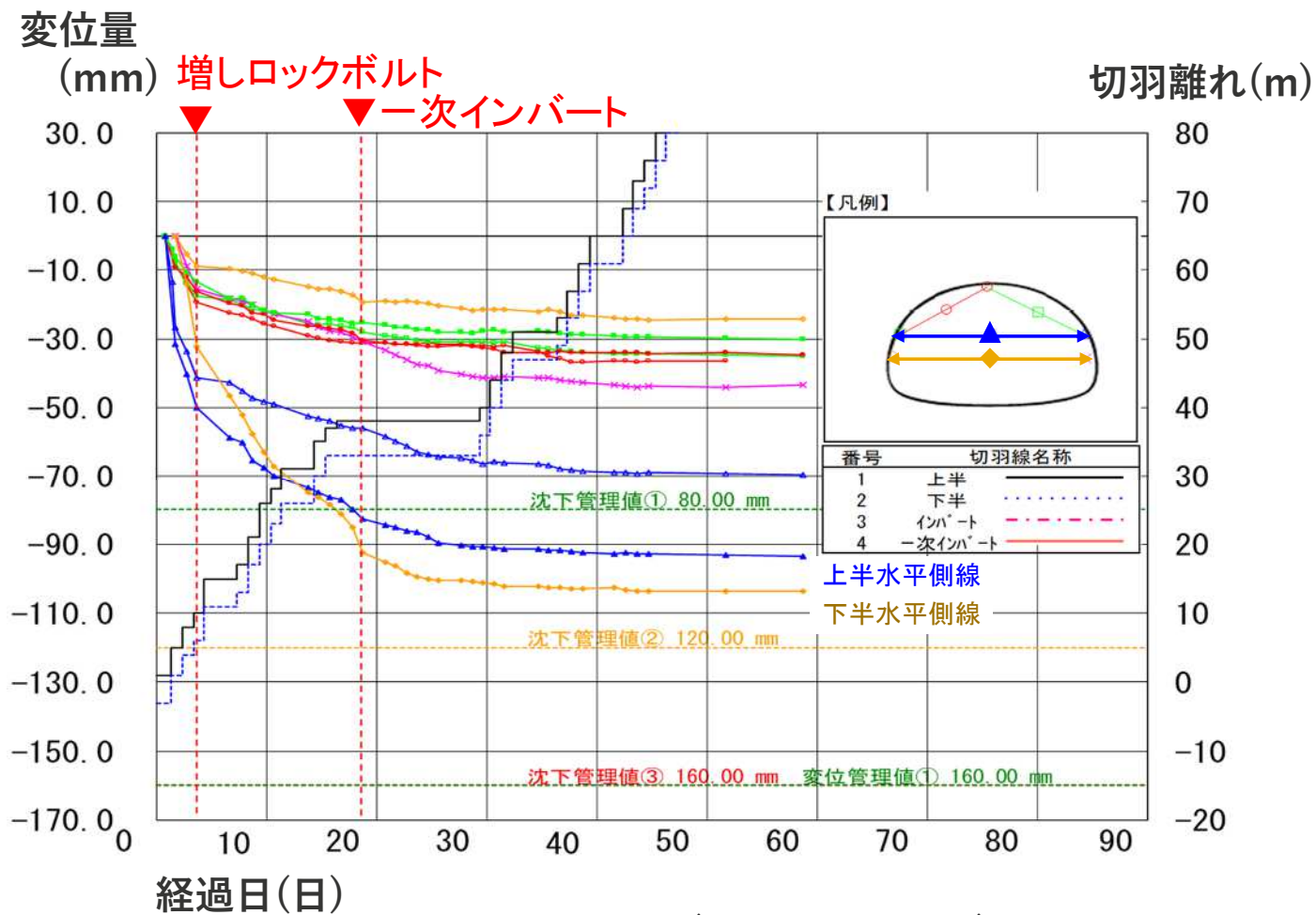
破断したロックボルト



ひび割れの発生状況

変状の発生

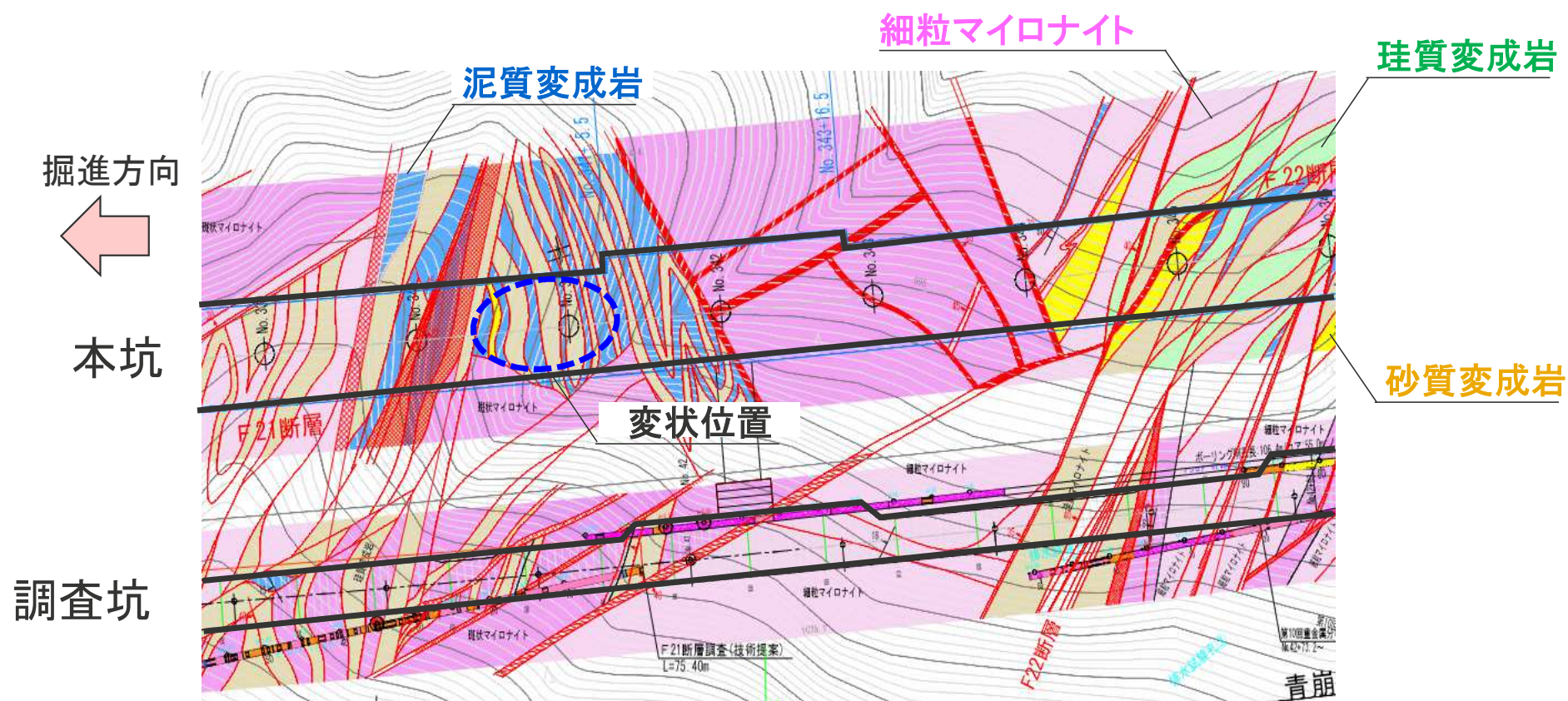
□ 変状の発生状況(TD=840m、土被り340m)



変位計測結果(TD .850m)

変状の発生

□ 変状の発生状況(TD=840m、土被り340m)

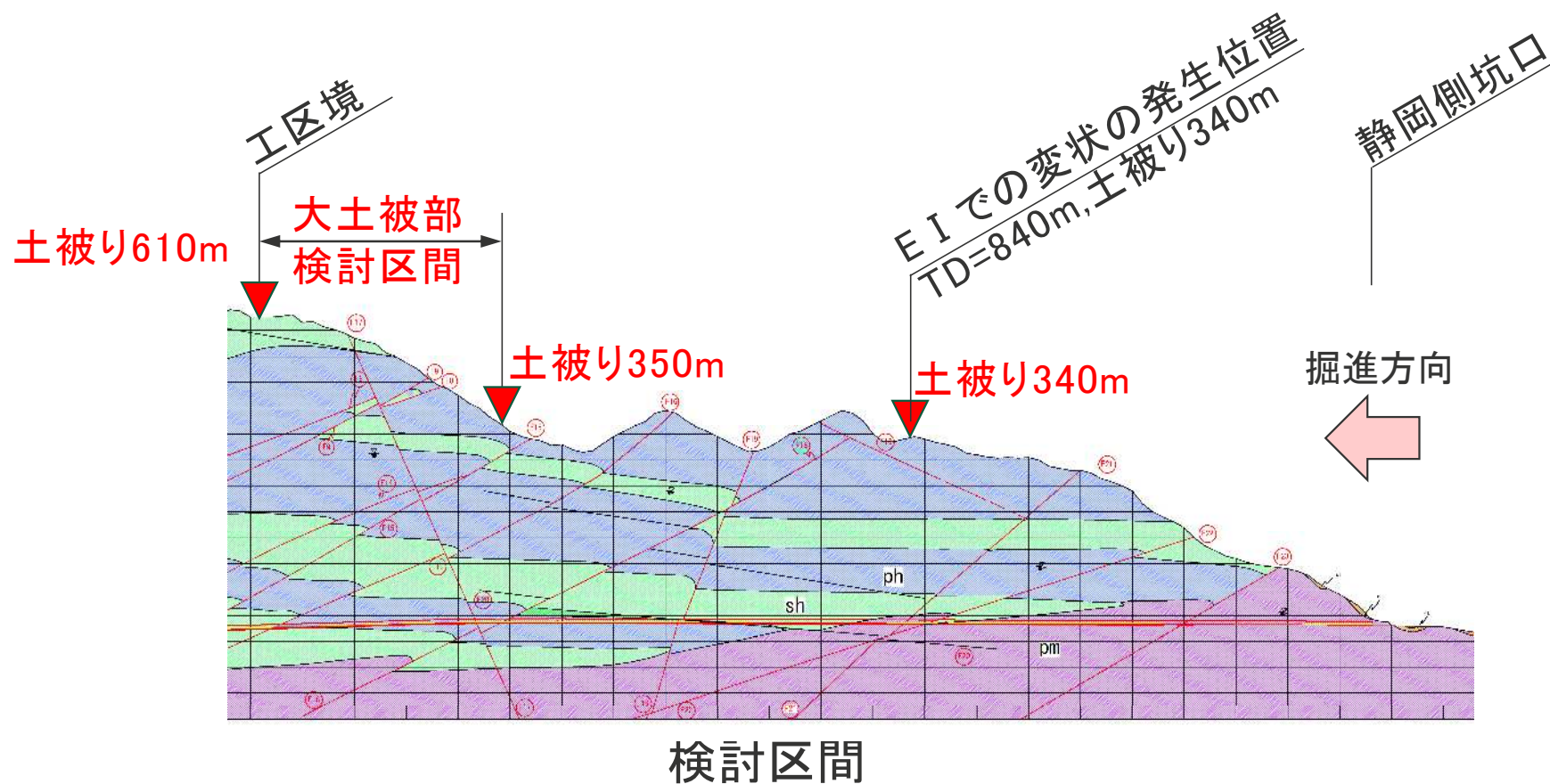


変状の発生位置

変状の発生

□大土被り部の掘削方法の検討

- ・大土被り区間(土被り350～610m)の支保の検討がはじまる。

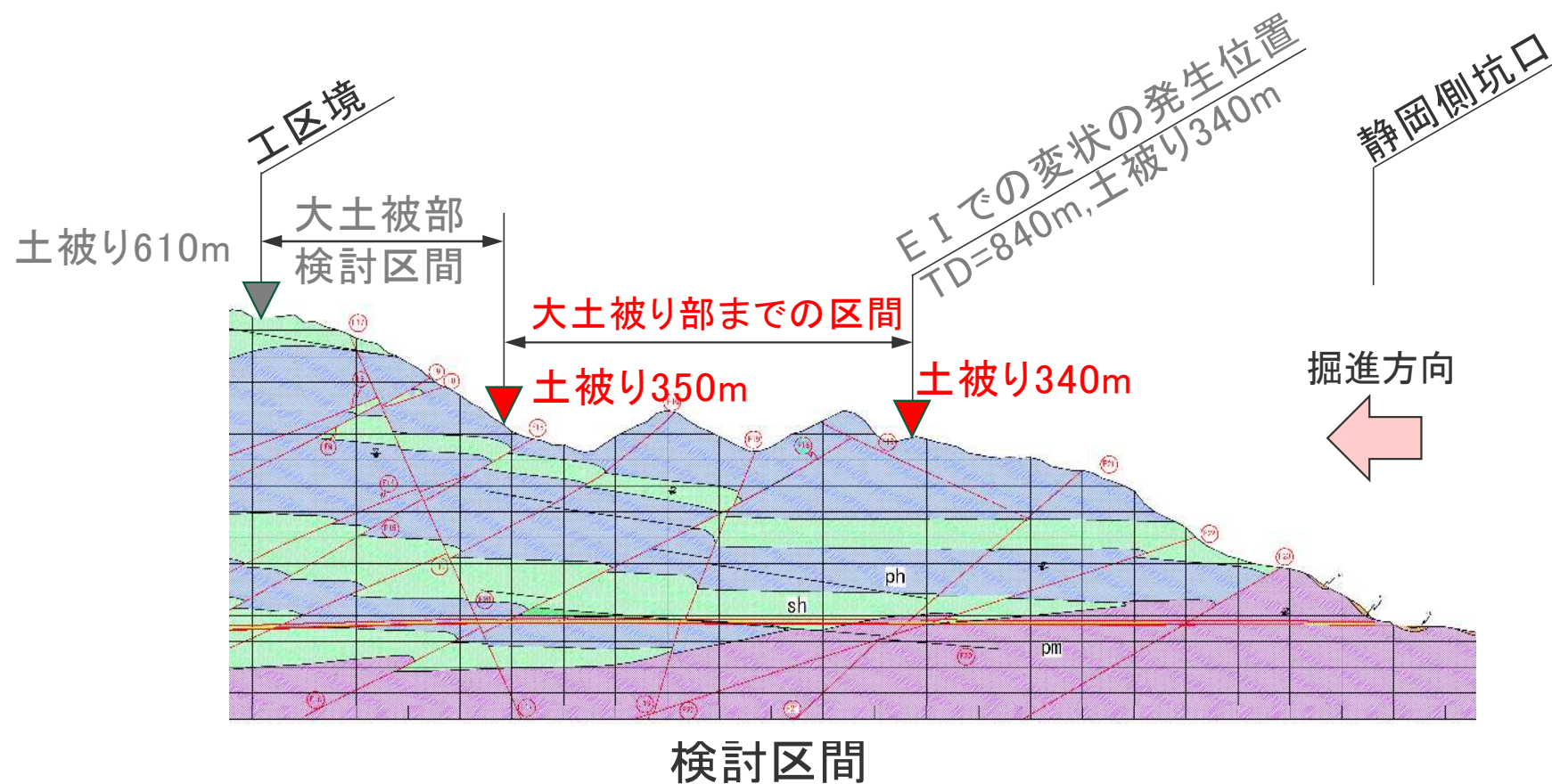


大土被り部までの区間の施工



大土被り部までの支保パターン

□大土被り部までの支保パターン



大土被り部までの支保パターン

□大土被り部までの支保パターン

- ・鋼製支保工の手配に2カ月かかる(最大のネック)。
- ・地質構造が複雑、土被りは増加 ⇒ 変位、変状が突如として増大する恐れ。

⇒鋼製支保工の形状を変えずに、吹付け厚の増で対応

支保パターン一覧(当面)

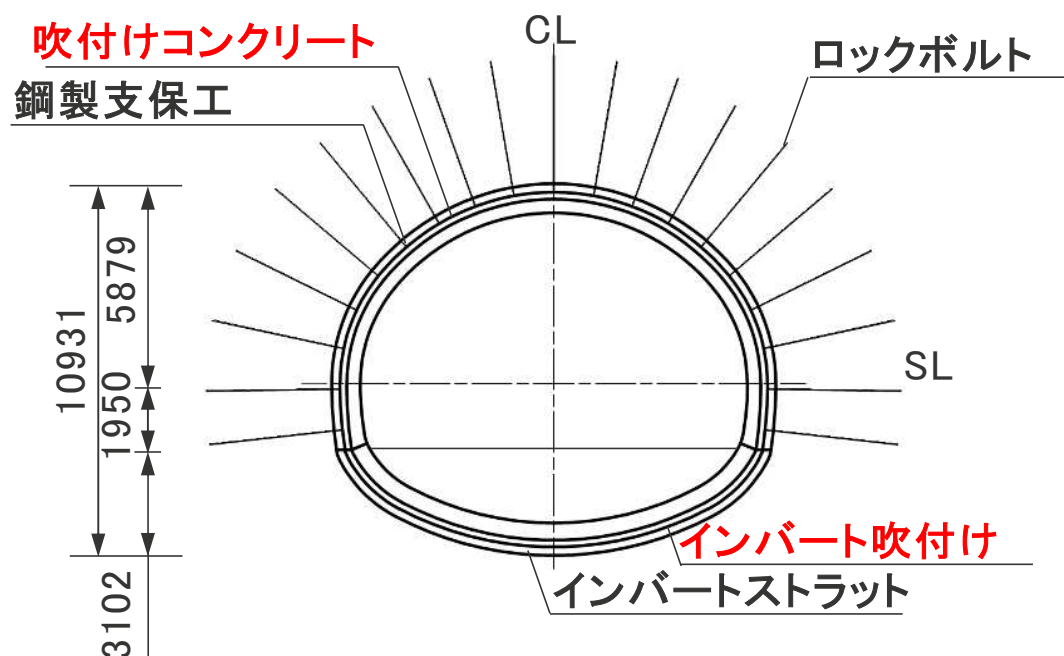
パターン名	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製支保工
	厚さ	設計基準強度	耐力	長さ	
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5kN以上	L=4m	H-125
E I	 25cm	36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200
E II	 35cm	36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200
E III	 45cm	36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200

※安全上、吹付け厚の上限は45cmとした。

大土被り部までの支保パターン

□大土被り部までの支保パターン

- ・吹付けコンクリート厚の増で対応



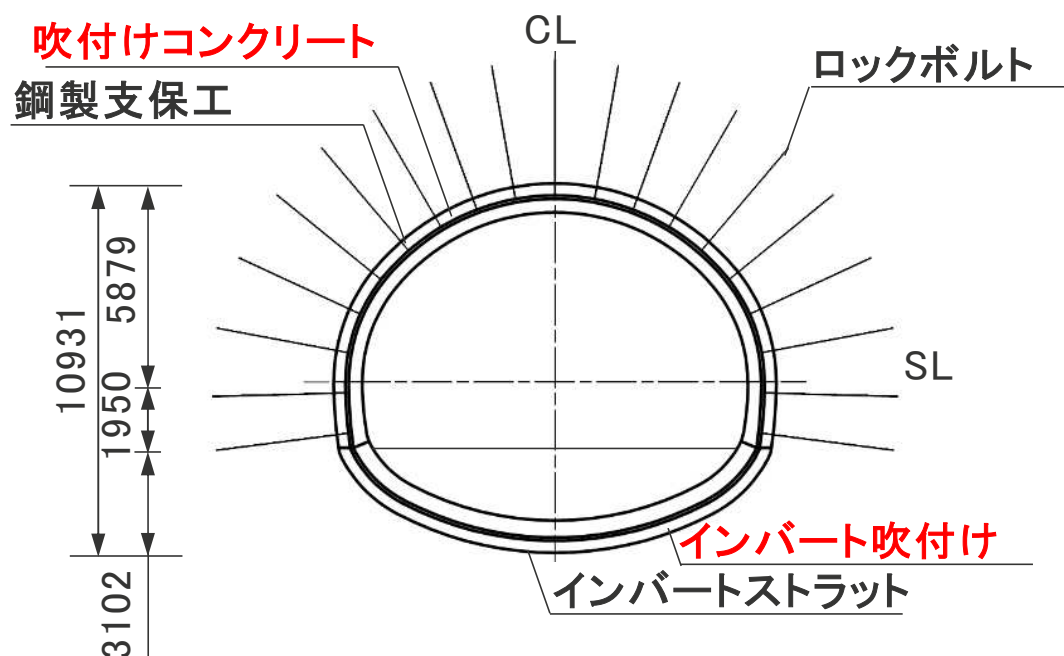
E I パターン(本トンネル専用特殊パターン)

パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)
E I	25cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)

大土被り部までの支保パターン

□大土被り部までの支保パターン

- ・吹付けコンクリート厚の増で対応



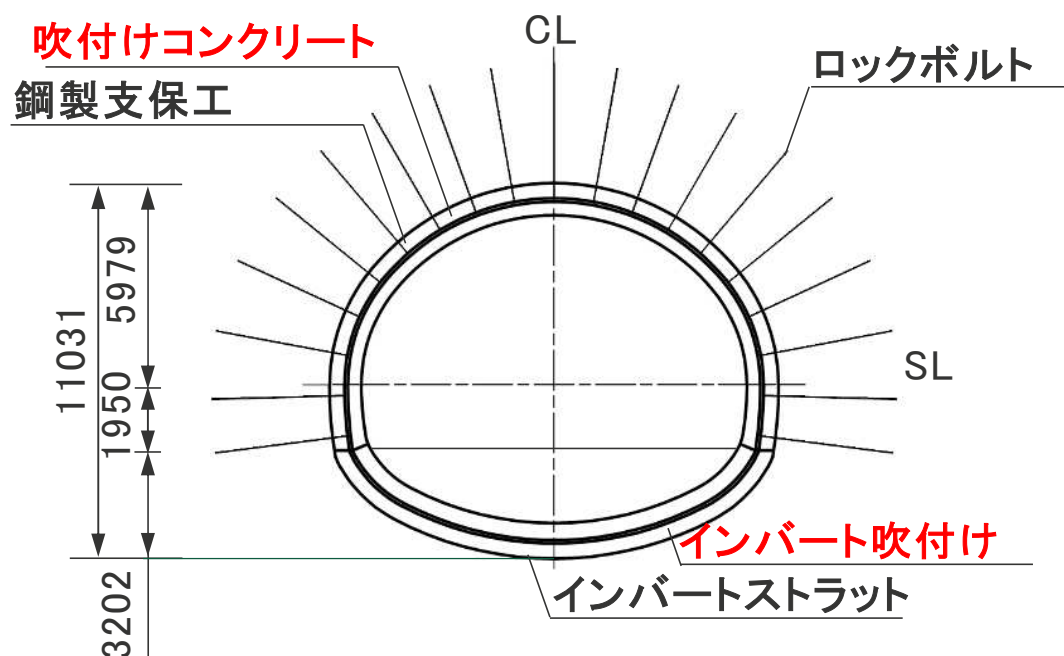
パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)
E I	25cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)
E II	35cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)

E II パターン(本トンネル専用特殊パターン)

大土被り部までの支保パターン

□大土被り部までの支保パターン

- ・吹付けコンクリート厚の増で対応



E III パターン(本トンネル専用特殊パターン)

パターン	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製 支保工 (降伏応力)
	厚さ	設計 基準強度	耐力 (kN)	長さ (m)	
D I -b	15cm	18N/mm ²	176.5	4	H-125 (245N/mm ²)
E I	25cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)
E II	35cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)
E III	45cm	36N/mm ²	290.0	4	HH-200 (440N/mm ²)

大土被り部の掘削方法の検討



大土被り部の掘削方法の検討

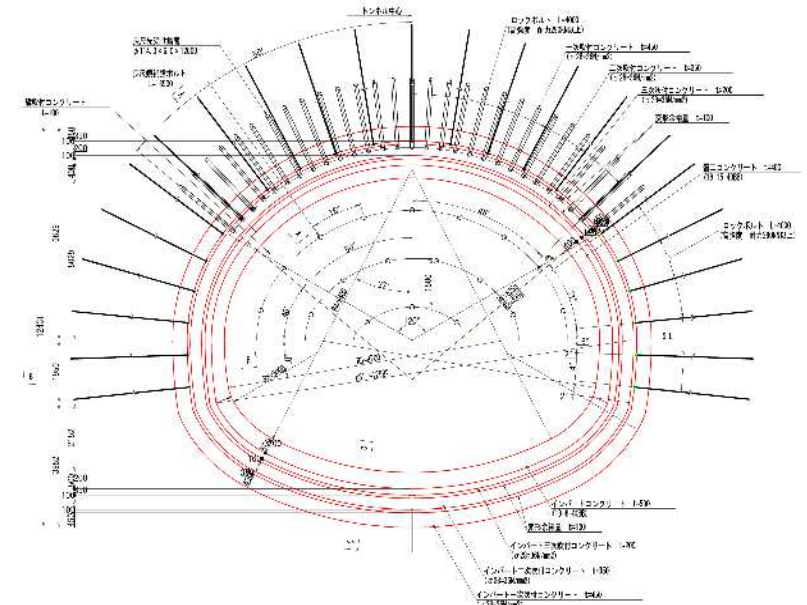
□大土被り部の掘削方法の検討

- ・FEM解析では、最大土被り部で三重支保工で、合計100cmの吹付け厚が必要との結果。

※もっと合理的な施工方法はないか!?吹付け厚を低減できないか

- ・多重支保工を基本として以下の2案を検討

- ①多重支保工
- ②トンネル断面形状の近真円化(円形に近づける)
- ③中央導坑



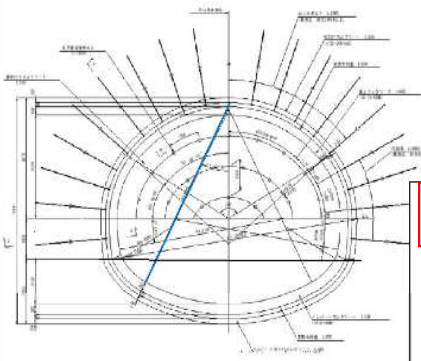
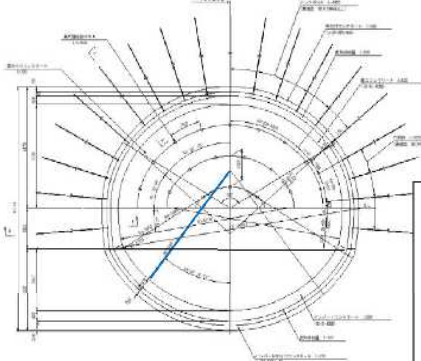
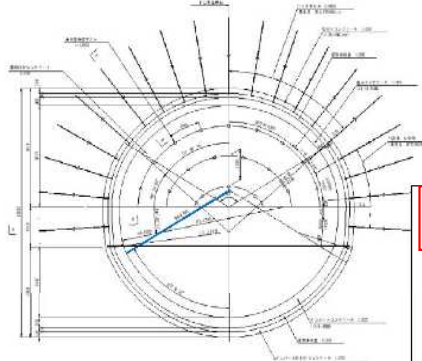
検討断面(三重支保工)

大土被り部の掘削方法の検討

□大土被り部の掘削方法の検討

②トンネル断面形状の近真円化(円形に近づける)

検討断面

E1 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)	E2 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)	E3 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)
 インバート内空半径 9.400mm インバート内空断面積 17.2m² 内空全断面積 85.0m²	 インバート内空半径 6.740mm インバート内空断面積 23.0m² 内空全断面積 90.8m²	 インバート内空半径 6.250mm インバート内空断面積 28.0m² 内空全断面積 95.9m²
掘削土量最大増加量:5556m ³		掘削土量最大増加量:10442m ³

大土被り部の掘削方法の検討

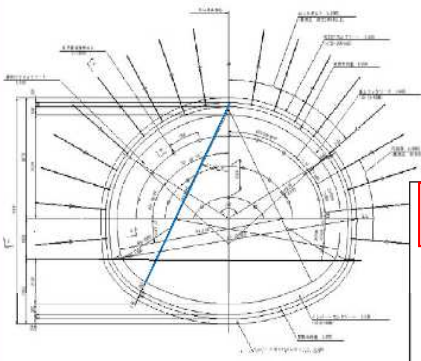
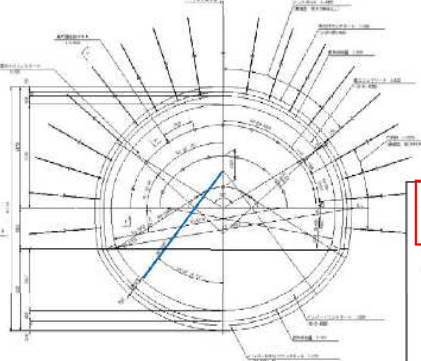
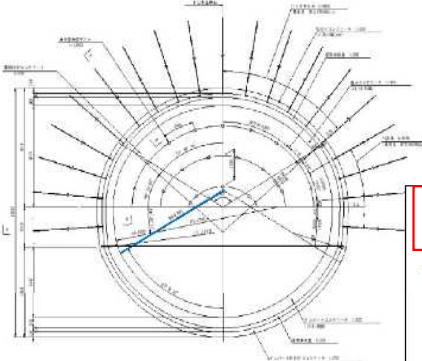
□大土被り部の掘削方法の検討

②トンネル断面形状の近真円化(円形に近づける)

- ・断面が大きくなるデメリットもあり
- ・インバートが深くなり施工性も△、材料や掘削量も増加

⇒ 吹付け厚100cm
⇒ 採用のメリットが小さい

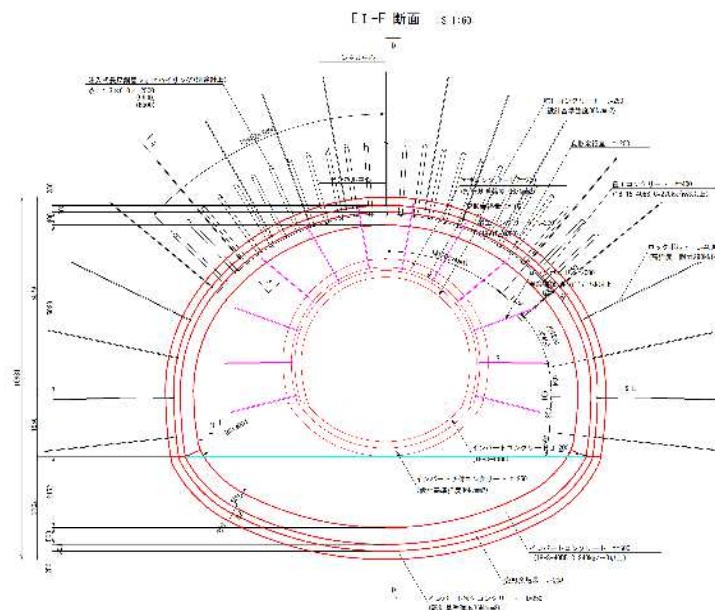
検討断面

E1 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)	E2 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)	E3 (AGF なし、三重支保、吹付け 100cm、 $\alpha=0.8$)
 インバート内空半径 9.400mm インバート内空断面積 17.2m² 内空全断面積 85.0m²	 インバート内空半径 6.740mm インバート内空断面積 23.0m² 内空全断面積 90.8m²	 インバート内空半径 6.250mm インバート内空断面積 28.0m² 内空全断面積 95.9m²
掘削土量最大増加量: 5556m ³		掘削土量最大増加量: 10442m ³

大土被り部の掘削方法の検討

□大土被り部の掘削方法の検討

③中央導坑

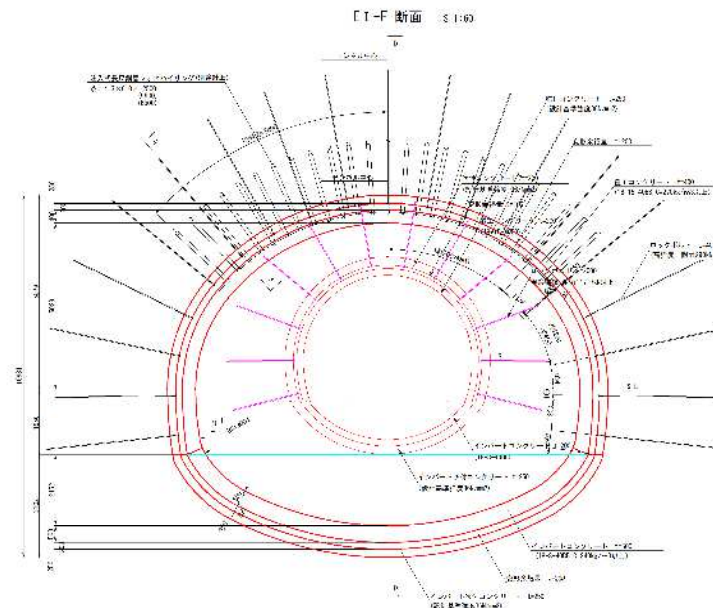


検討断面の例(中央導坑)

□大土被り部の掘削方法の検討

③中央導坑

- ・中央導坑:二重支保工(合計吹付け厚50cm)、本坑:二重支保工(合計吹付け厚80cm)
- ・中央導坑と本坑、二回掘ることになり工程、工費が増 ⇒メリットが小



検討断面の例(中央導坑)

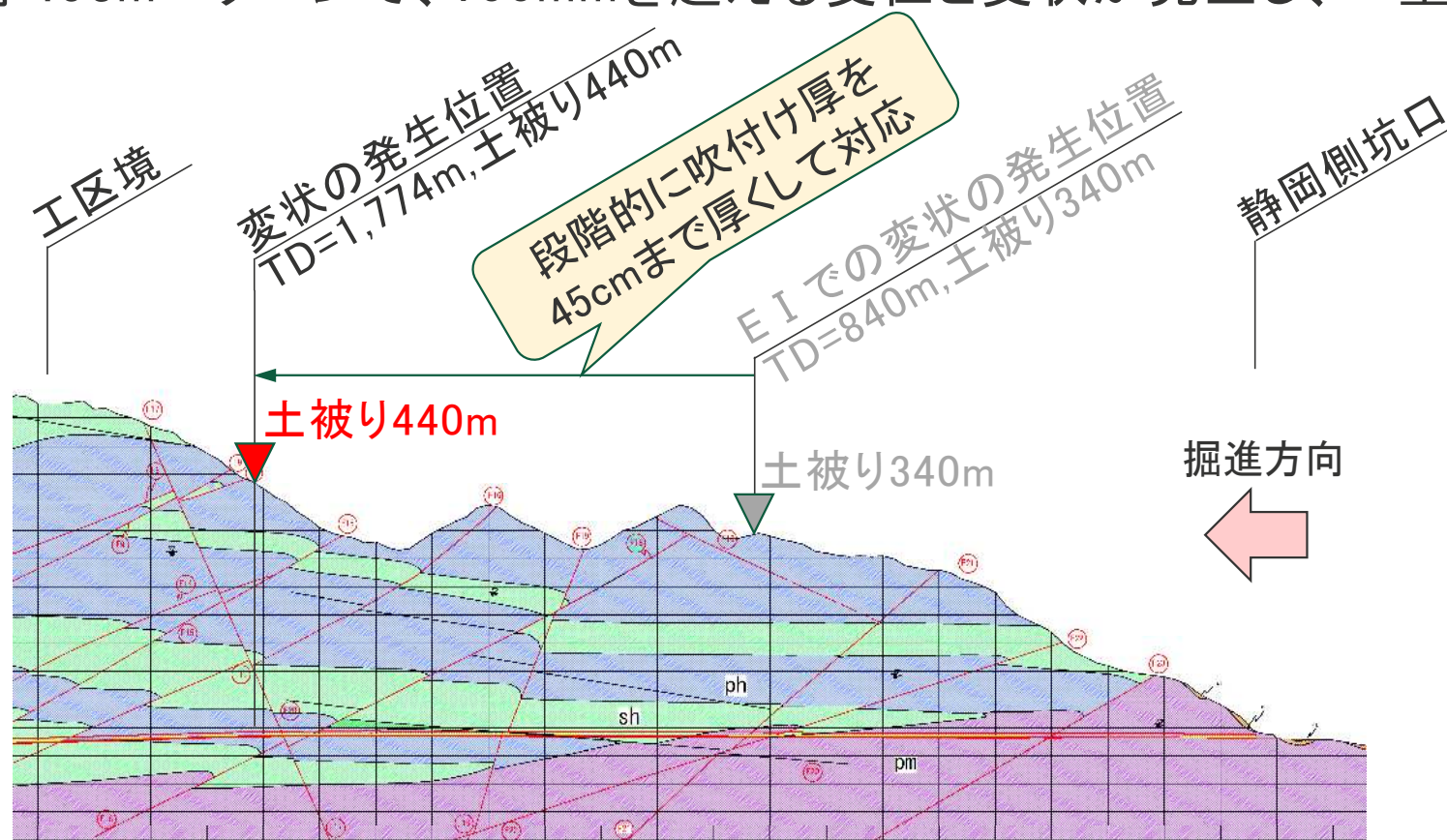
二重支保工の施工



二重支保工の施工

□変状の発生により二重支保工に移行(土被り440m)

- ・吹付け厚45cmパターンで、100mmを超える変位と変状が発生し、二重支保工に移行。



二重支保工の適用開始位置

二重支保工の施工

□変状の発生により二重支保工に移行(土被り440m)

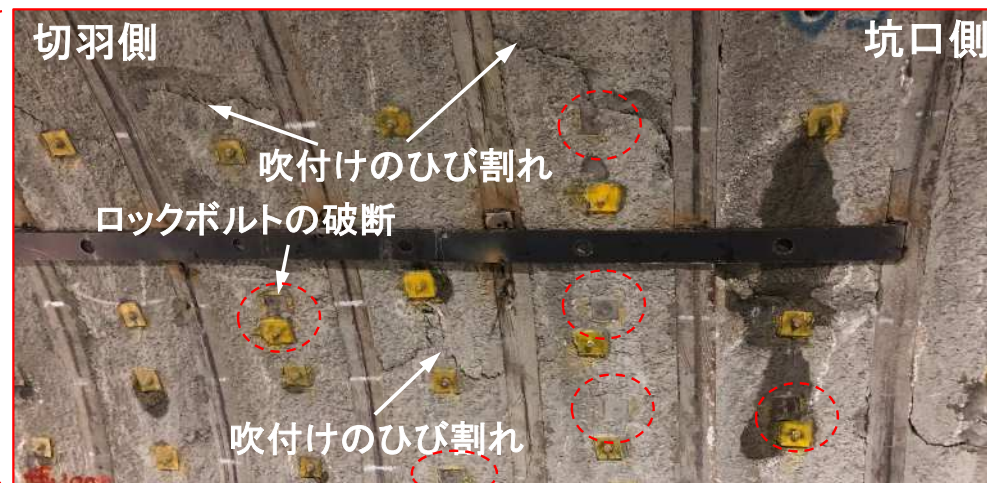
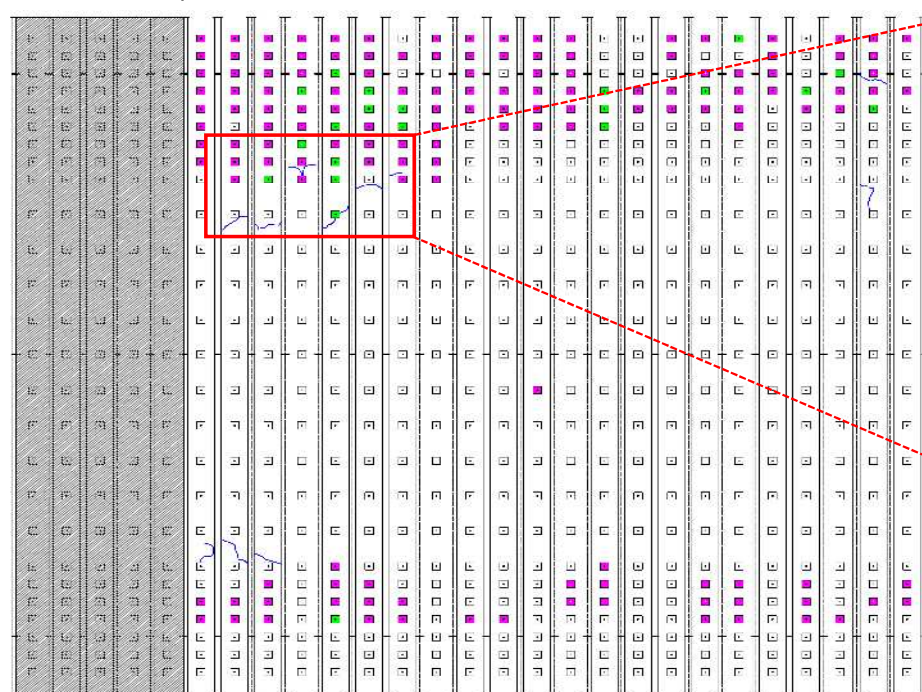
- ・吹付け厚45cmパターンで、100mmを超える変位と変状が発生し、**二重支保工に移行**。

掘進方向

TD=1.774m

二重支保工

EⅢ-b-F区間(一重支保工)



- ロックボルトの破断
- ロックボルトプレートの変形箇所
- 〰 吹付けコンクリートのひび割れ

変状の発生状況

□二重支保工の施工方法の検討

どのタイミングで二次支保工(二重目の支保工)を施工するか

二重支保工の施工

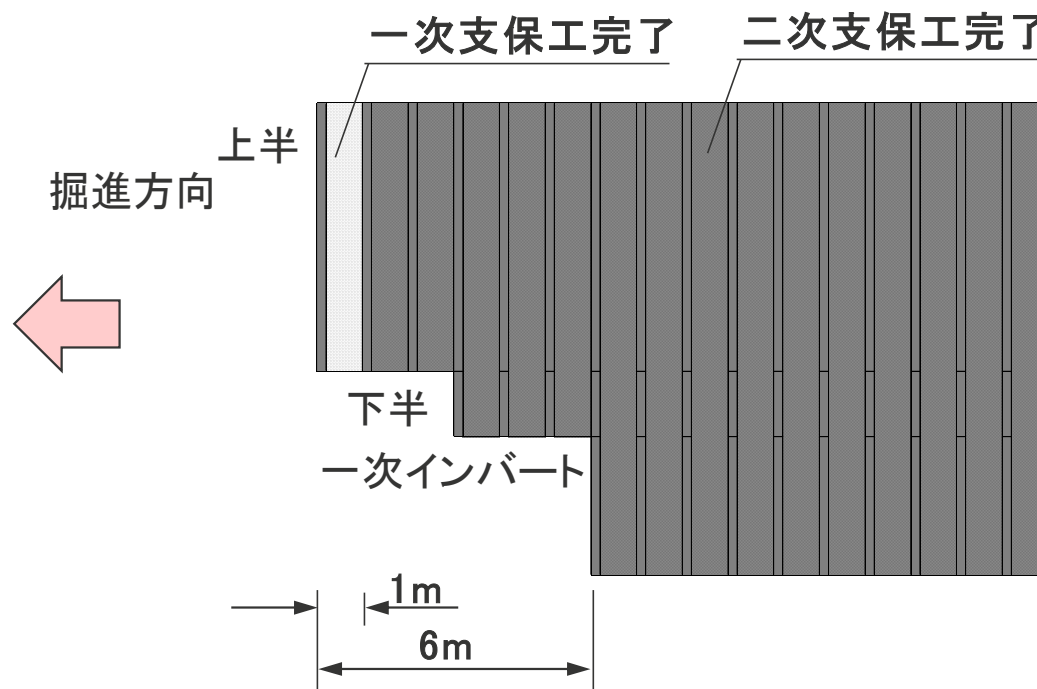
□二重支保工の施工方法の検討

- ・できるだけ早く施工

(力で抑え込む剛な考え方)

メリット : 変位を小さくできる

デメリット: 支保工に大きな荷重がかかる、施工性△
支保工が厚くなる(剛性が必要)



二重支保工の施工方法の例(できるだけ早く施工)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工方法の検討

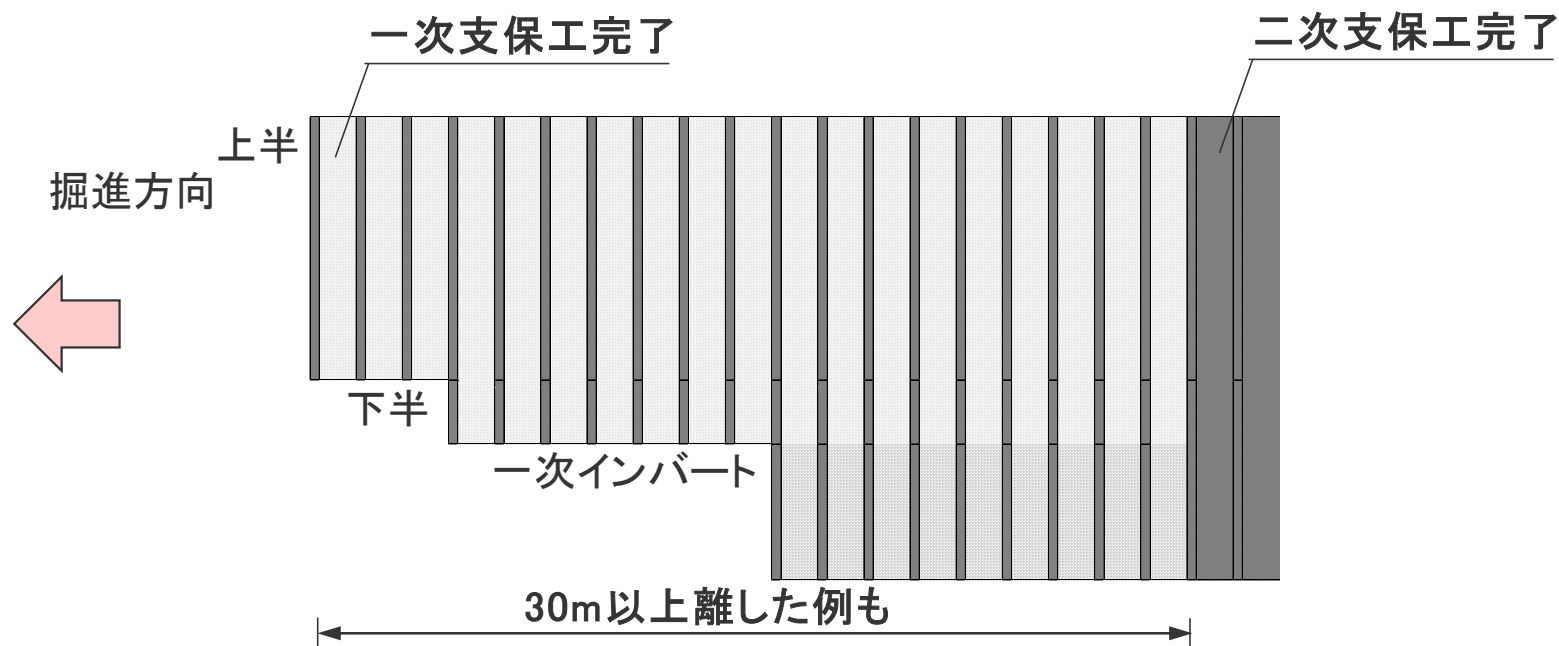
・極力遅く施工

(土圧を「いなす」柔な考え方)

メリット : 二次支保工の負担が減る

支保工を薄くできる(剛性を少なくできる)

デメリット: 大きな変位、変状が発生(リスク)



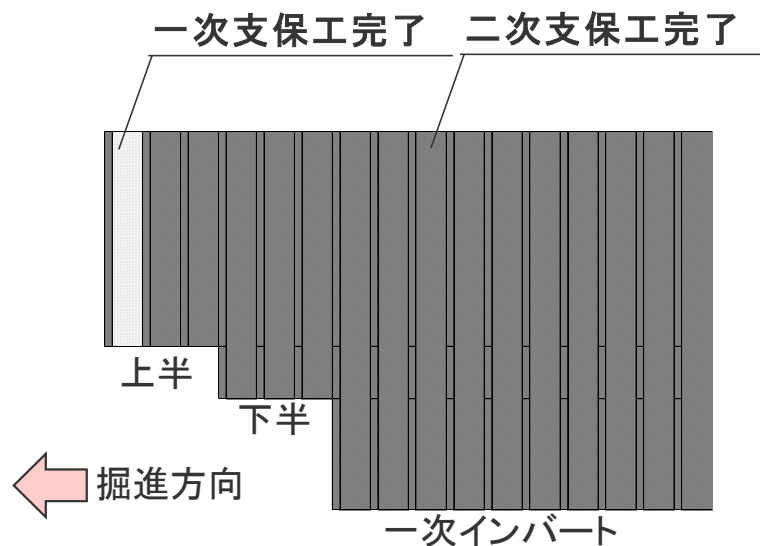
二重支保工の施工方法の例(極力遅く施工)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工方法の検討

①二次支保工を切羽近傍で施工

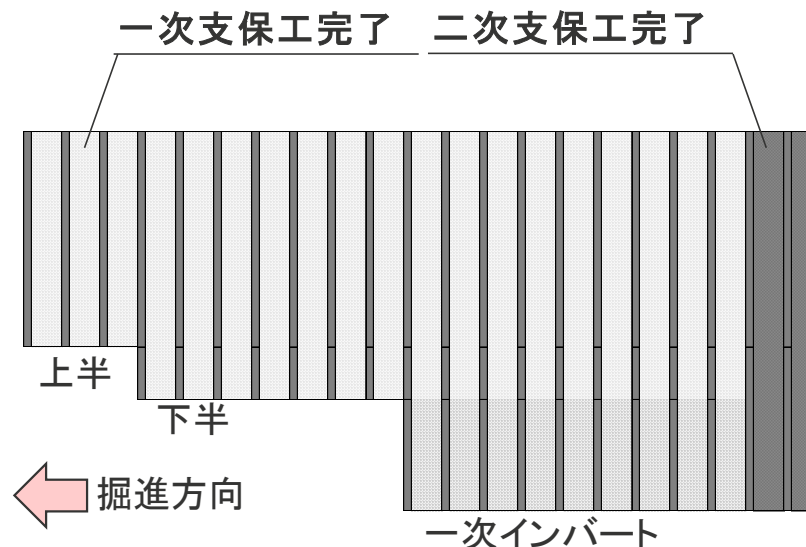
- ・変位を小さくできる
- ・支保工に大きな荷重がかかる



二重目の支保工を早く施工

②二次支保工を切羽から離して施工

- ・二次支保工の負担が少なくなる
- ・大きな変位や変状が発生する



二重目の支保工を切羽から離して施工

二重支保工の施工方法の例

□二重支保工の施工方法の検討

○この地山の特徴

- ・切羽に近いほど変位が大きい(土圧が大きい)
- ・膨張性はなく時間の経過による変位(土圧)の増加はほとんどない。
- ・掘ると変位(土圧)は増え、掘らないと増えない。

□二重支保工の施工方法の検討

○この地山の特徴

- ・切羽に近いほど変位が大きい(土圧が大きい)
- ・膨張性はなく時間の経過による変位(土圧)の増加はほとんどない。
- ・掘ると変位(土圧)は増え、掘らないと増えない。

⇒ **二次支保工**の設置位置を**切羽から離せば**、二次支保工の負担を減らせる?!!

□二重支保工の施工方法の検討

○この地山の特徴

- ・切羽に近いほど変位が大きい(土圧が大きい)
- ・膨張性はなく時間の経過による変位(土圧)の増加はほとんどない。
- ・掘ると変位(土圧)は増え、掘らないと増えない。

⇒二次支保工の設置位置を切羽から離せば、二次支保工の負担を減らせる?!!

- ・切羽から6m程度で変状が発生しはじめる

□二重支保工の施工方法の検討

○この地山の特徴

- ・切羽に近いほど変位が大きい(土圧が大きい)
- ・膨張性はなく時間の経過による変位(土圧)の増加はほとんどない。
- ・掘ると変位(土圧)は増え、掘らないと増えない。

⇒二次支保工の設置位置を切羽から離せば、二次支保工の負担を減らせる?!!

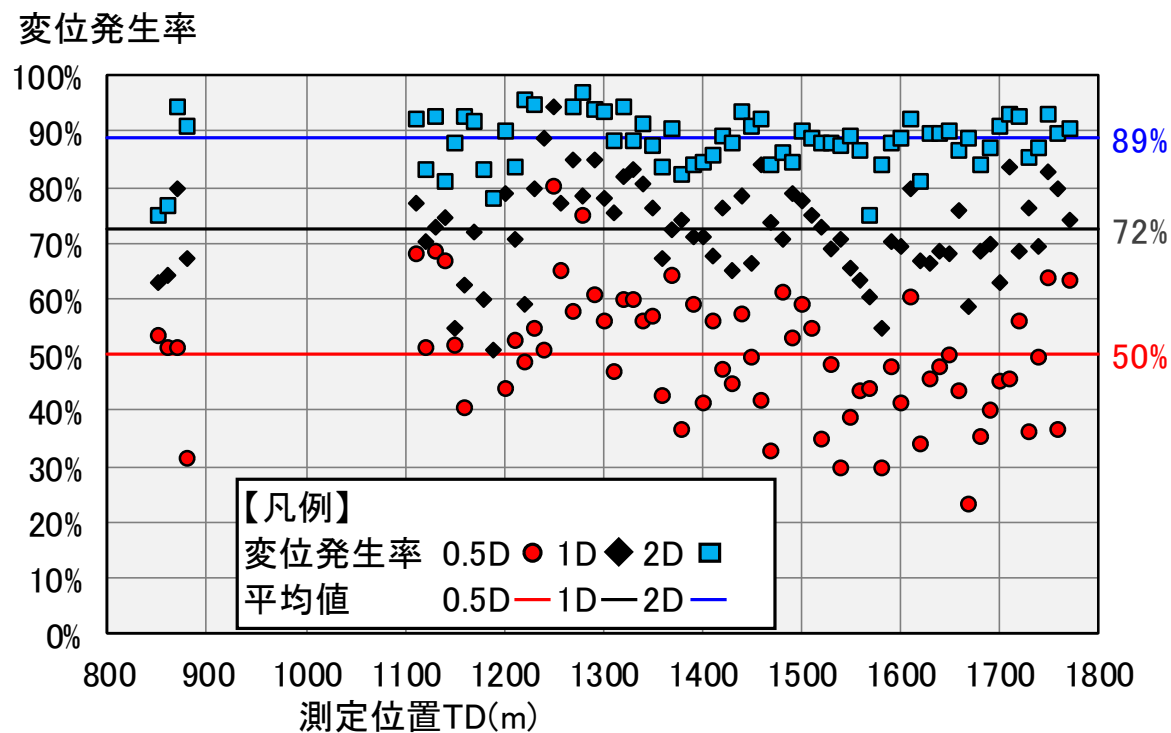
- ・切羽から6m程度で変状が発生しはじめる

⇒二次支保工の施工が遅いと危険

二重支保工の施工

□二重支保工の施工方法の検討

- ・切羽から6m程度離れた位置で二次支保工を設置の効果の検討



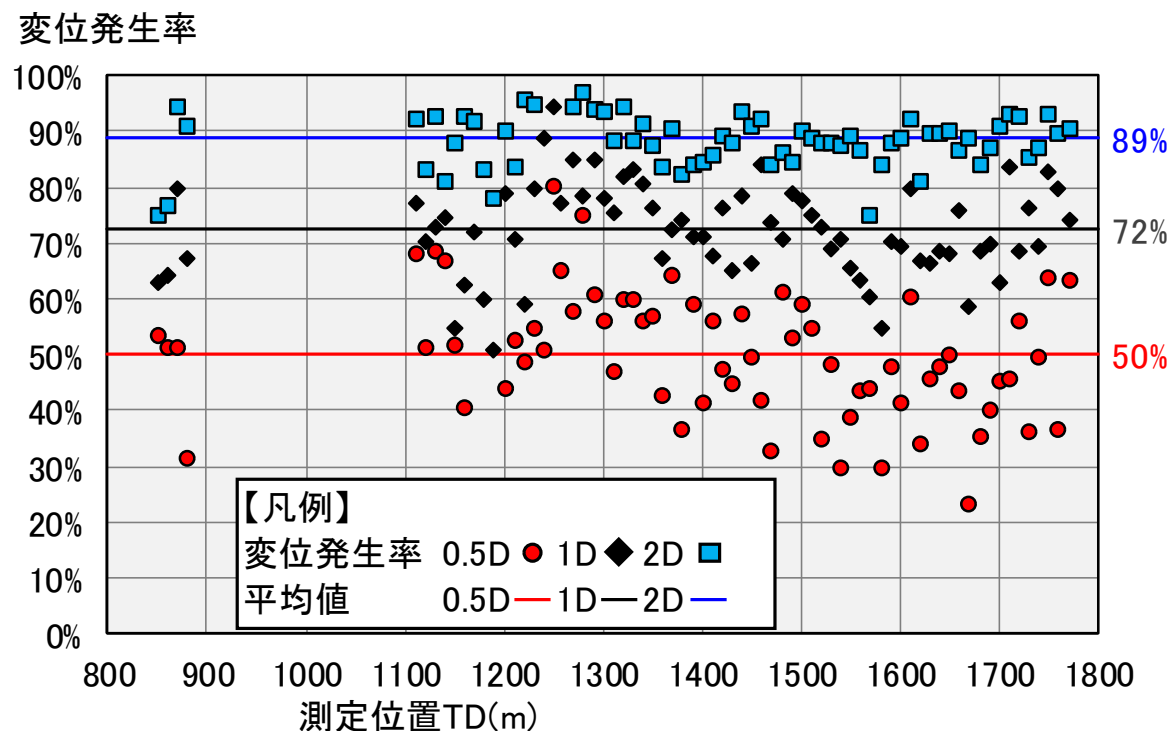
支保パターン	EI	DII(+)	EI-a	EI	EI-b	EII-b	EIII-b
--------	----	--------	------	----	------	-------	--------

切羽離れに応じた変位の発生率(E I ~E IIIパターンの上半水平側線の集計結果)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工方法の検討

- 切羽から数m離すだけでも、ある程度の「いなし」効果を期待できる



切羽から0.5D(6m) 離
れで約50%の変位が
発生
⇒0.5D離すと土圧の
50%軽減できる?

支保パターン	E I	D II (H)	E I-a	E I	E I-b	E II-b	E III-b
--------	-----	----------	-------	-----	-------	--------	---------

切羽離れに応じた変位の発生率(E I ~E IIIパターンの上半水平側線の集計結果)

□二重支保工の施工方法の検討

○この地山の特徴

- ・切羽に近いほど変位が大きい(土圧が大きい)
- ・膨張性はなく時間の経過による変位(土圧)の増加はほとんどない。
- ・掘ると変位(土圧)は増え、掘らないと増えない。

⇒二次支保工の設置位置を切羽から離せば、二次支保工の負担を減らせる?!!

- ・切羽から6m程度で変状が発生しはじめる

⇒二次支保工の施工が遅いと危険

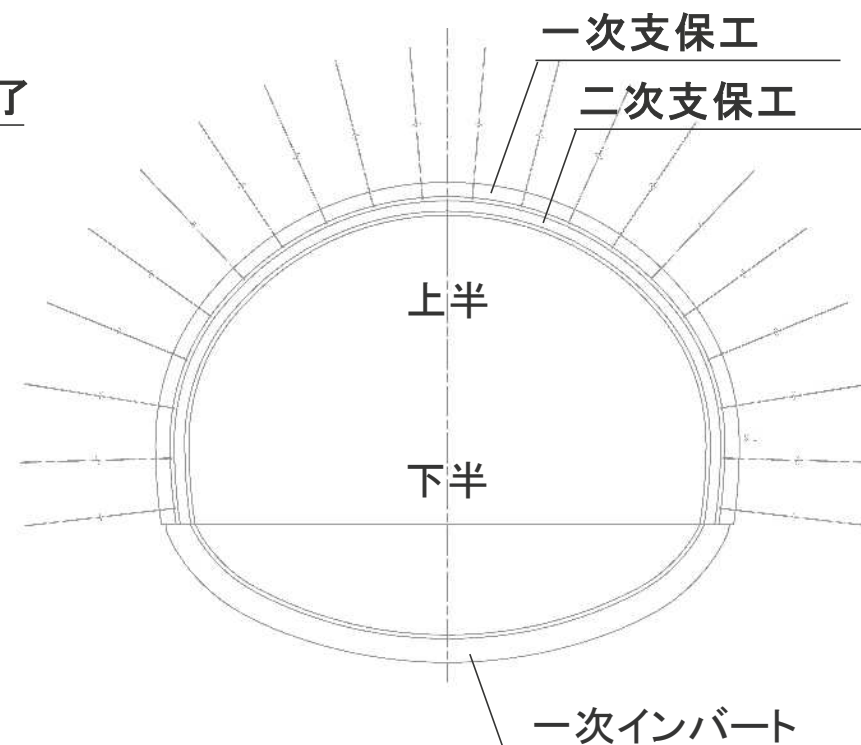
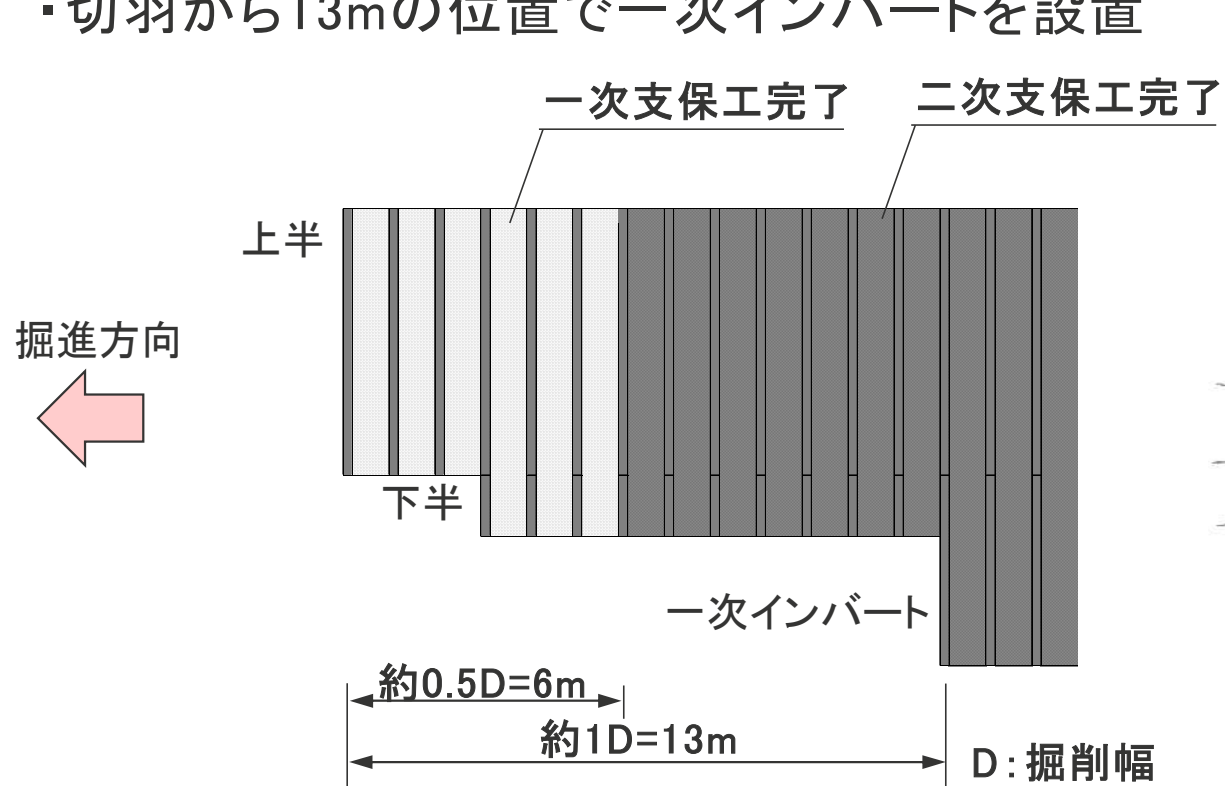
- ・一次インバートを施工すると変位は収束する

⇒これまでの施工実績(本坑、調査坑)に基づき1D(D=掘削幅約13m)で断面を閉合

二重支保工の施工

□二重支保工の施工ステップ

- ・切羽から6m程度離れた位置で二次支保工を設置
- ・切羽から13mの位置で一次インバートを設置

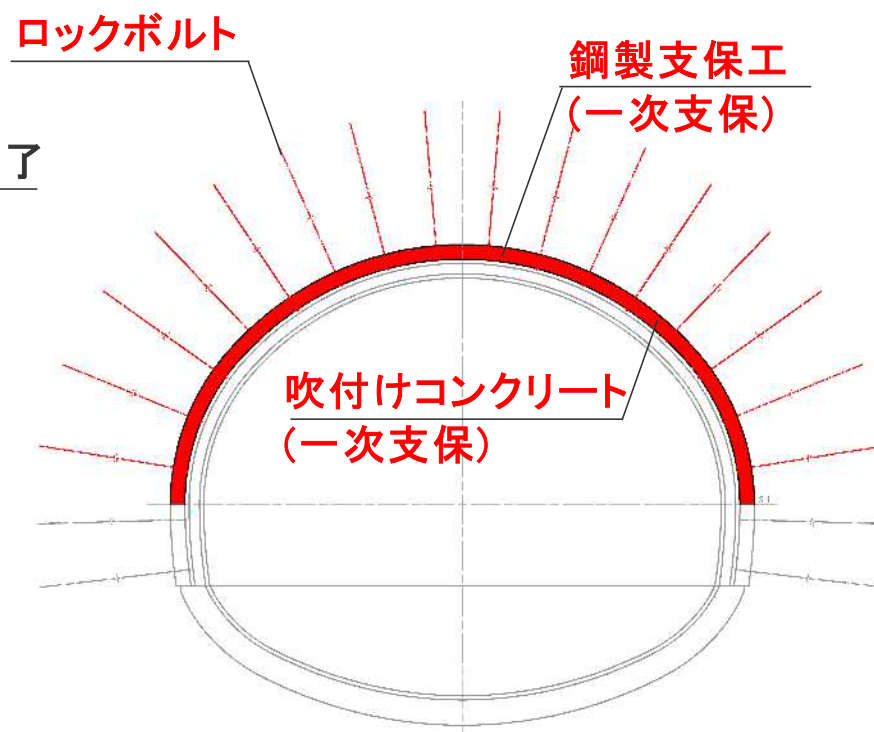
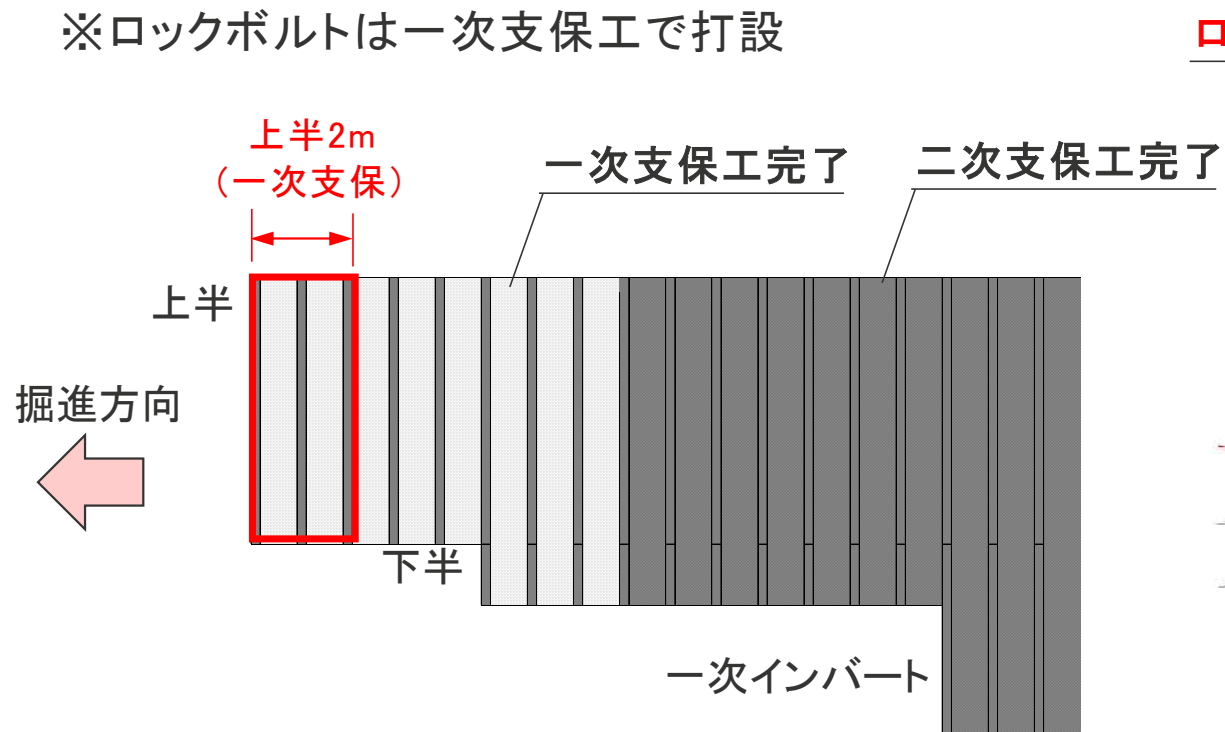


二重支保工の施工

□二重支保工の施工ステップ

- ・上半掘削(1m毎2m)

※ロックボルトは一次支保工で打設

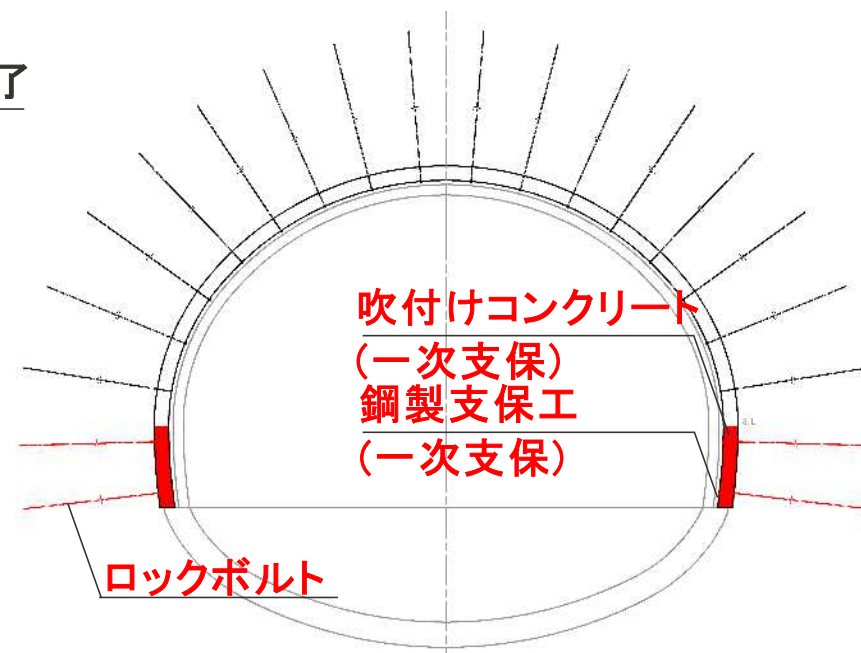
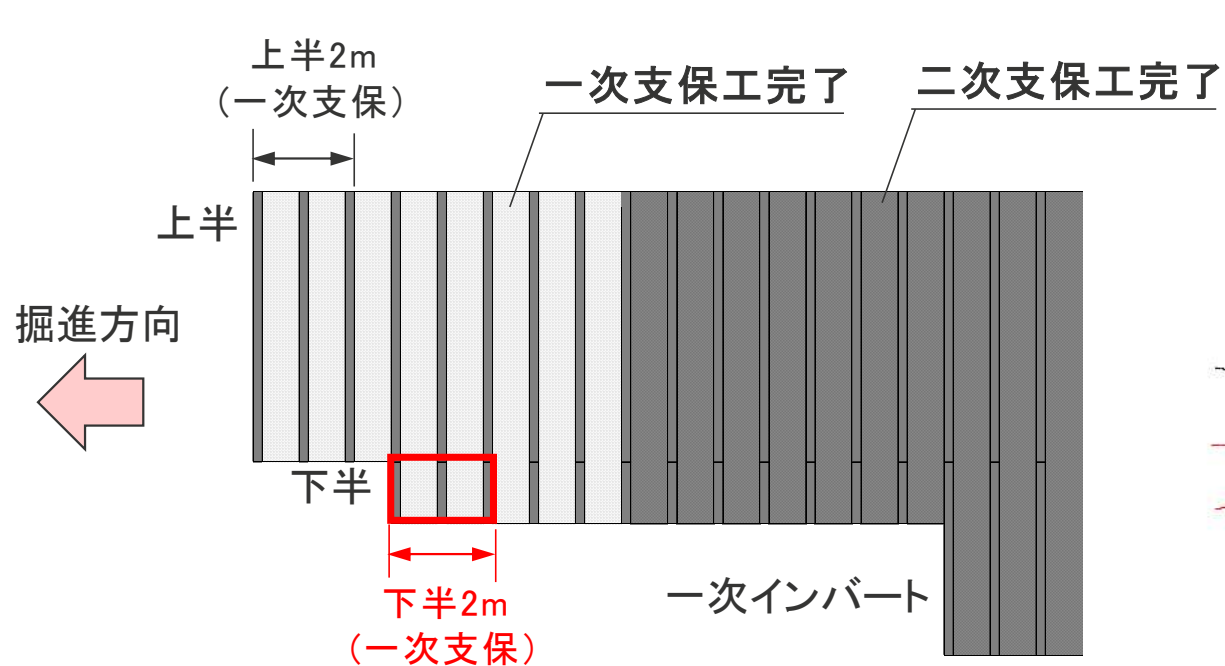


二重支保工の施工

□二重支保工の施工ステップ

- ・下半掘削(2m)

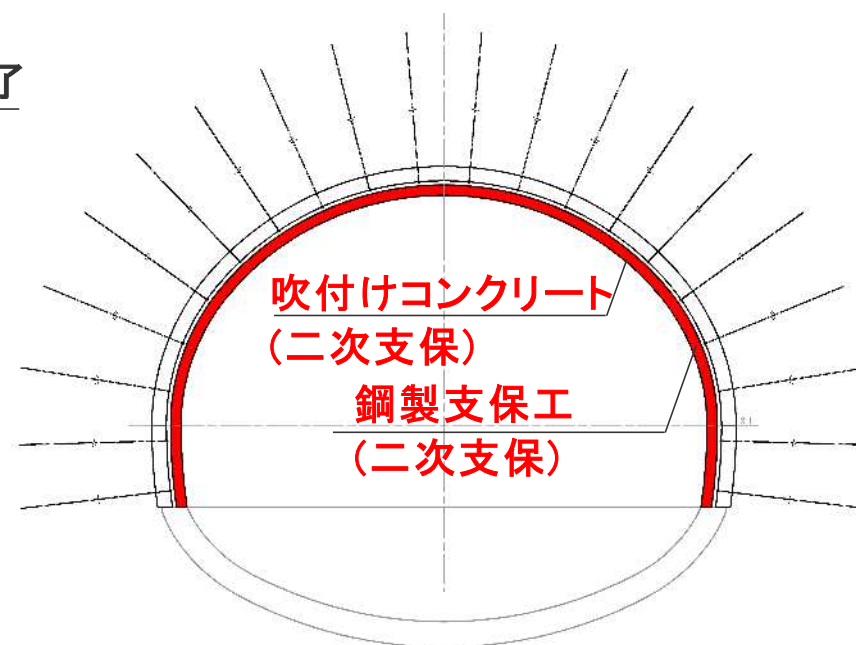
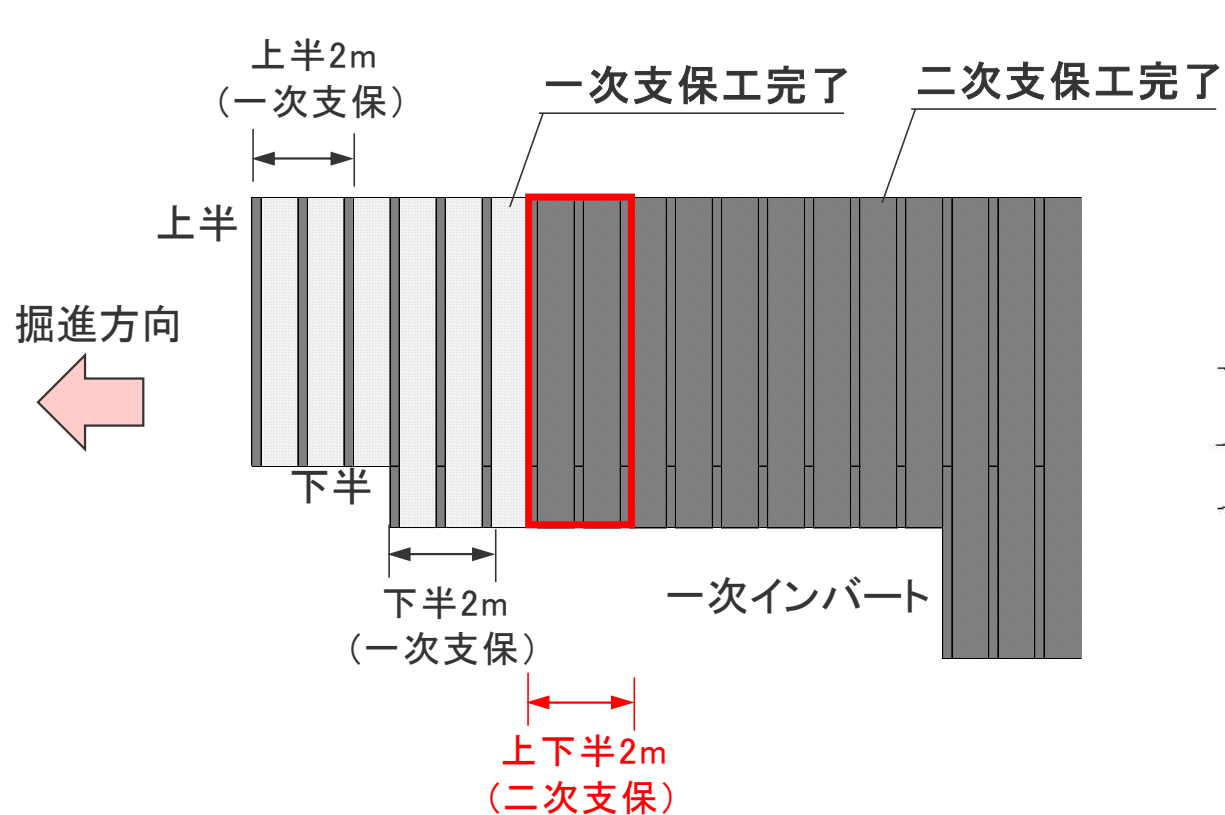
※ロックボルトは一次支保工で打設



二重支保工の施工

□二重支保工の施工ステップ

- ・上下半二次支保工(上下半同時施工、L=2m)



二重支保工の施工

□二重支保工の施工

- ・上下半二次支保工(上下半同時施工、L=2m)



二次支保工施工状況(支保工建込み)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工

- ・上下半二次支保工(上下半同時施工、L=2m)



鋼製支保工

吹付けコンクリート

吹付けコンクリート
鋼製支保工

一次支保工

ロックボルト

二次支保工

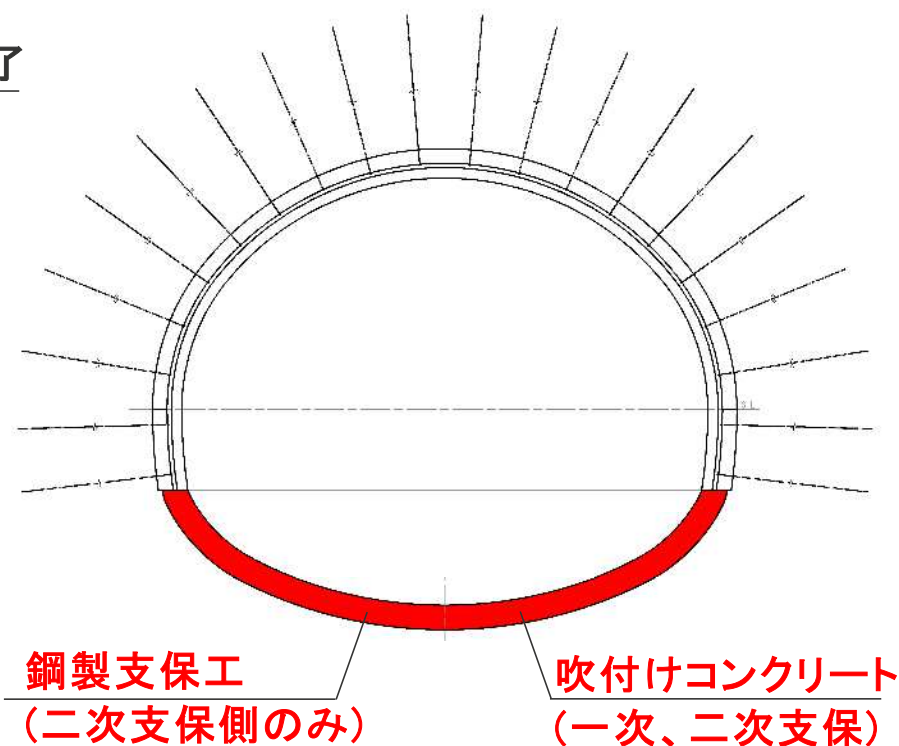
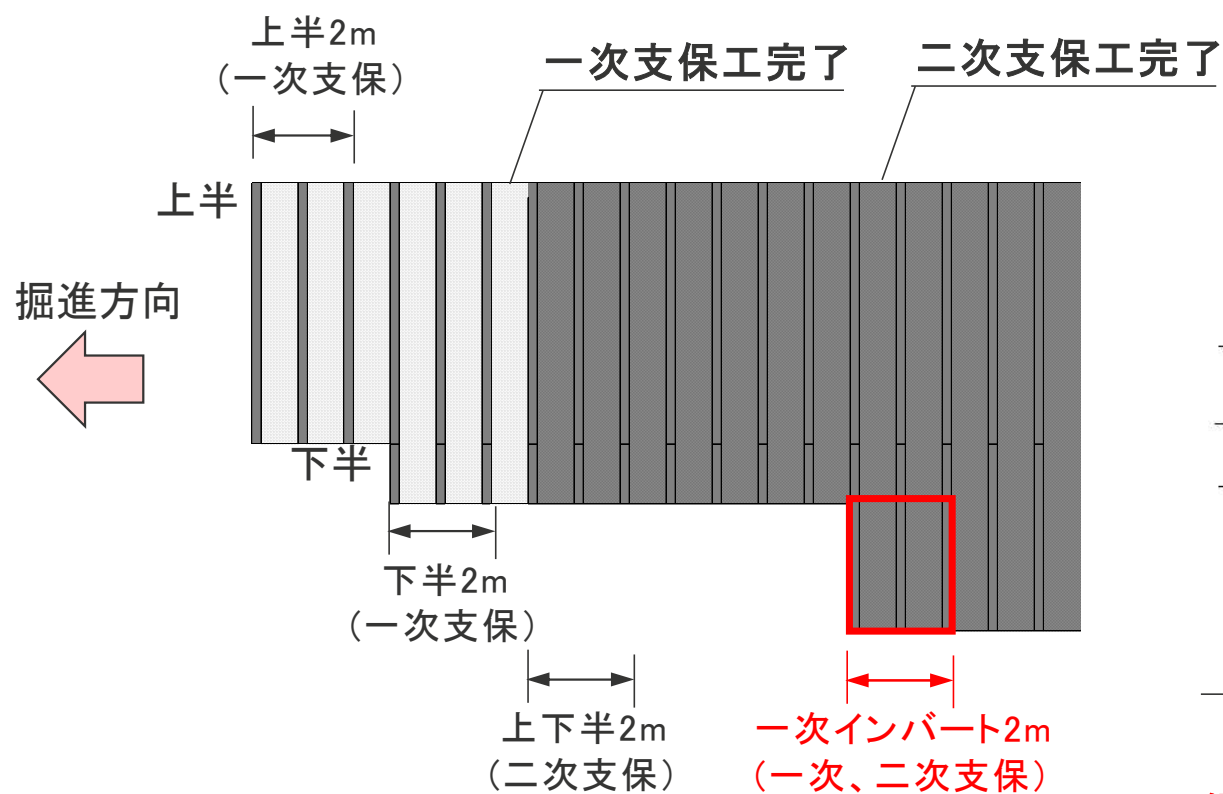
二次支保工施工状況(吹付けコンクリート)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工ステップ

- ・一次インバート(一括施工、L=2m)

※鋼製支保工(インバートストラット)は二次側のみ設置



鋼製支保工: インバートストラット

□二重支保工の施工ステップ

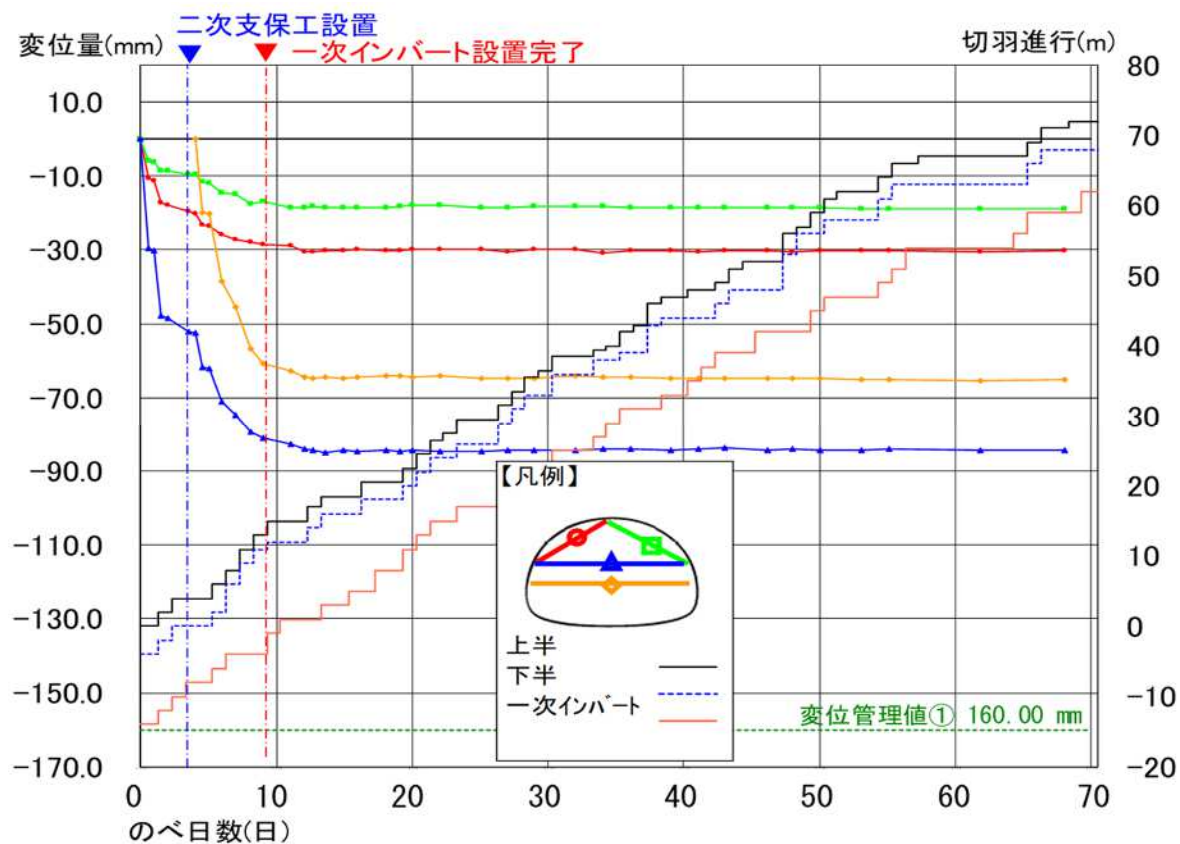
- ・一次インバート(一括施工、L=2m) ※鋼製支保工(インバートストラット)は二次側のみ設置



一次インバート施工状況

二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（変位計測結果）

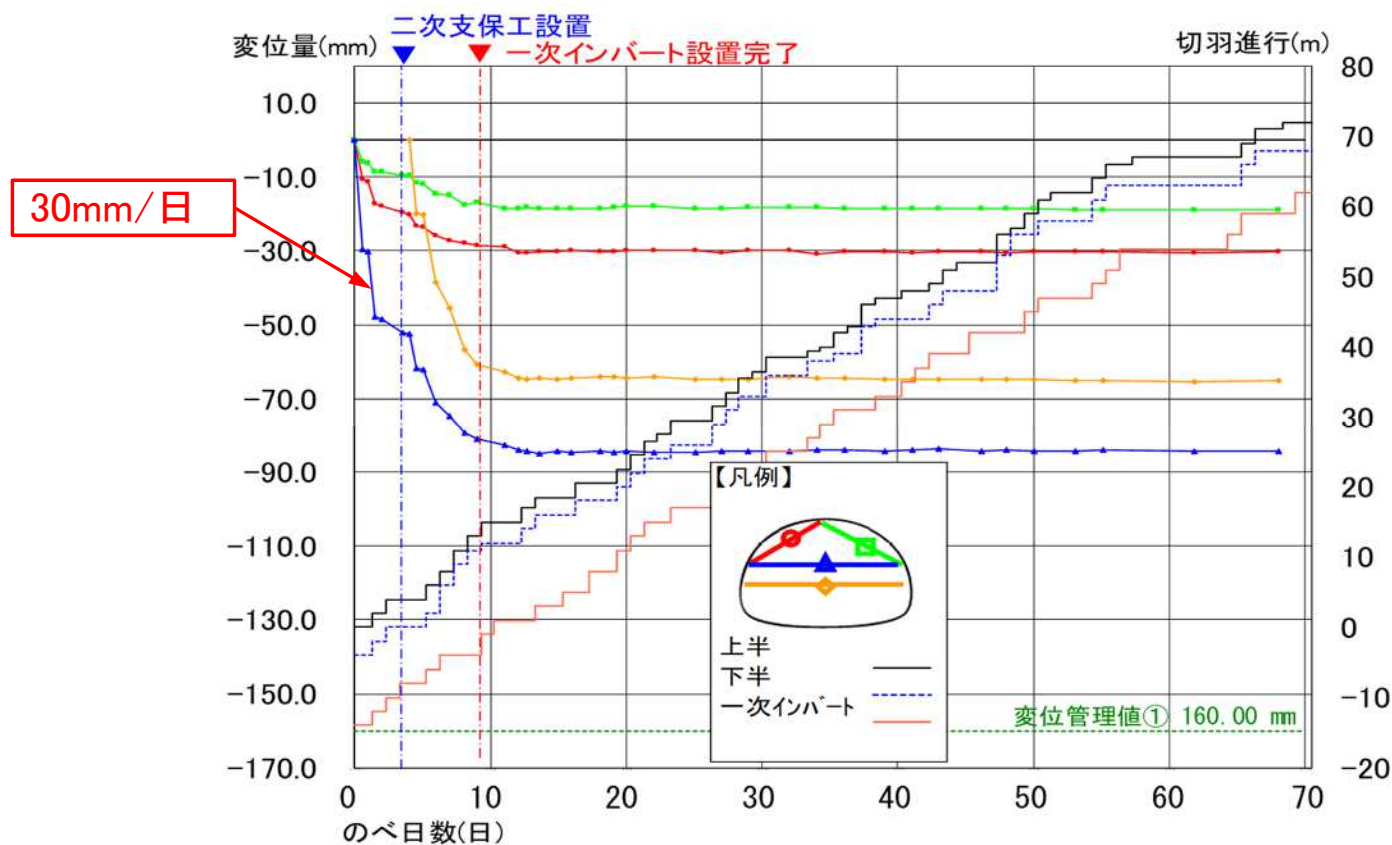


変位計測結果, 内空変位(TD.1,920m, 土被りH=535m)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（変位計測結果）

- 掘削後、急激に変位が増加

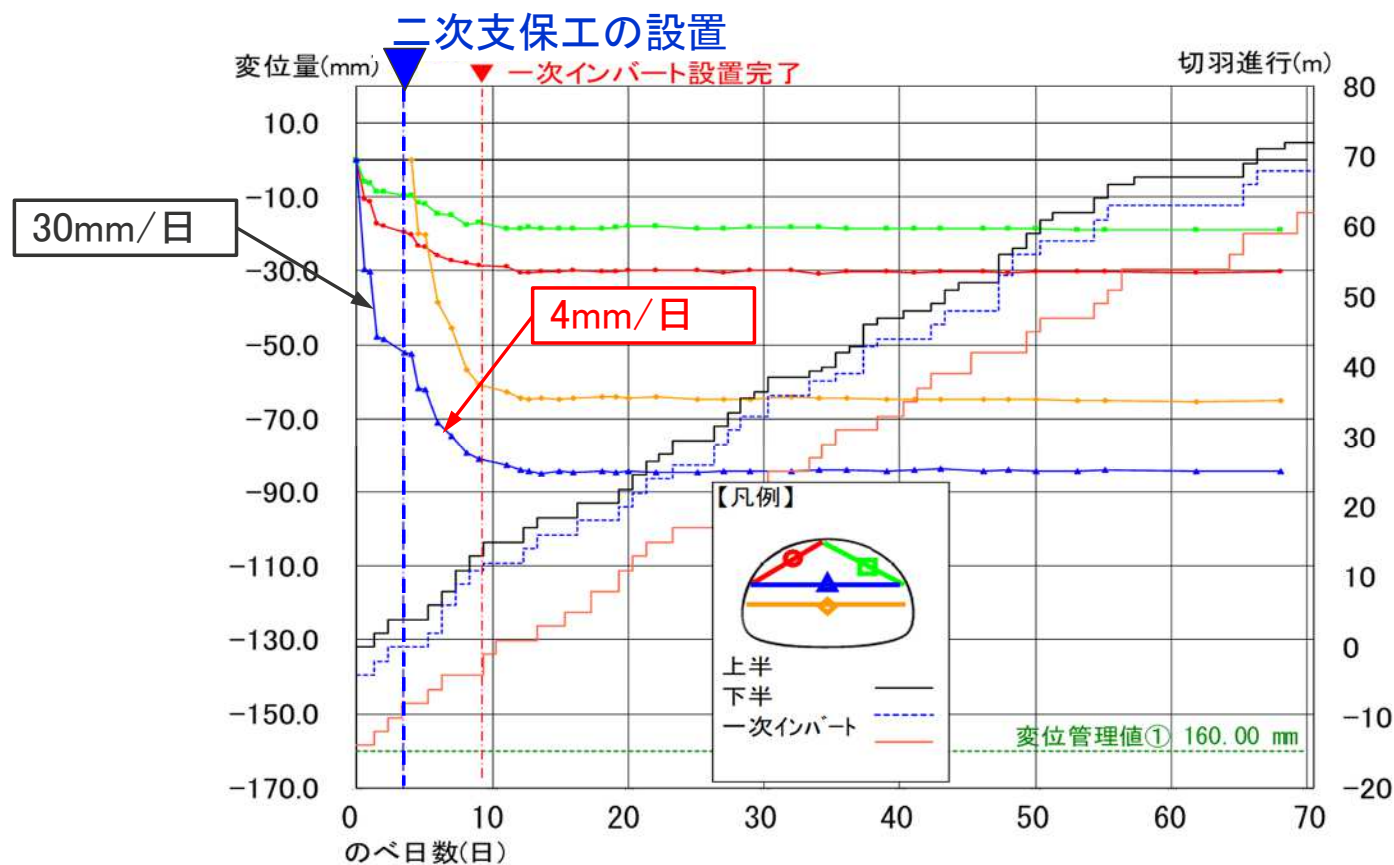


変位計測結果, 内空変位(TD.1,920m, 土被りH=535m)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（変位計測結果）

- 二次支保工を設置することで変位速度が低減

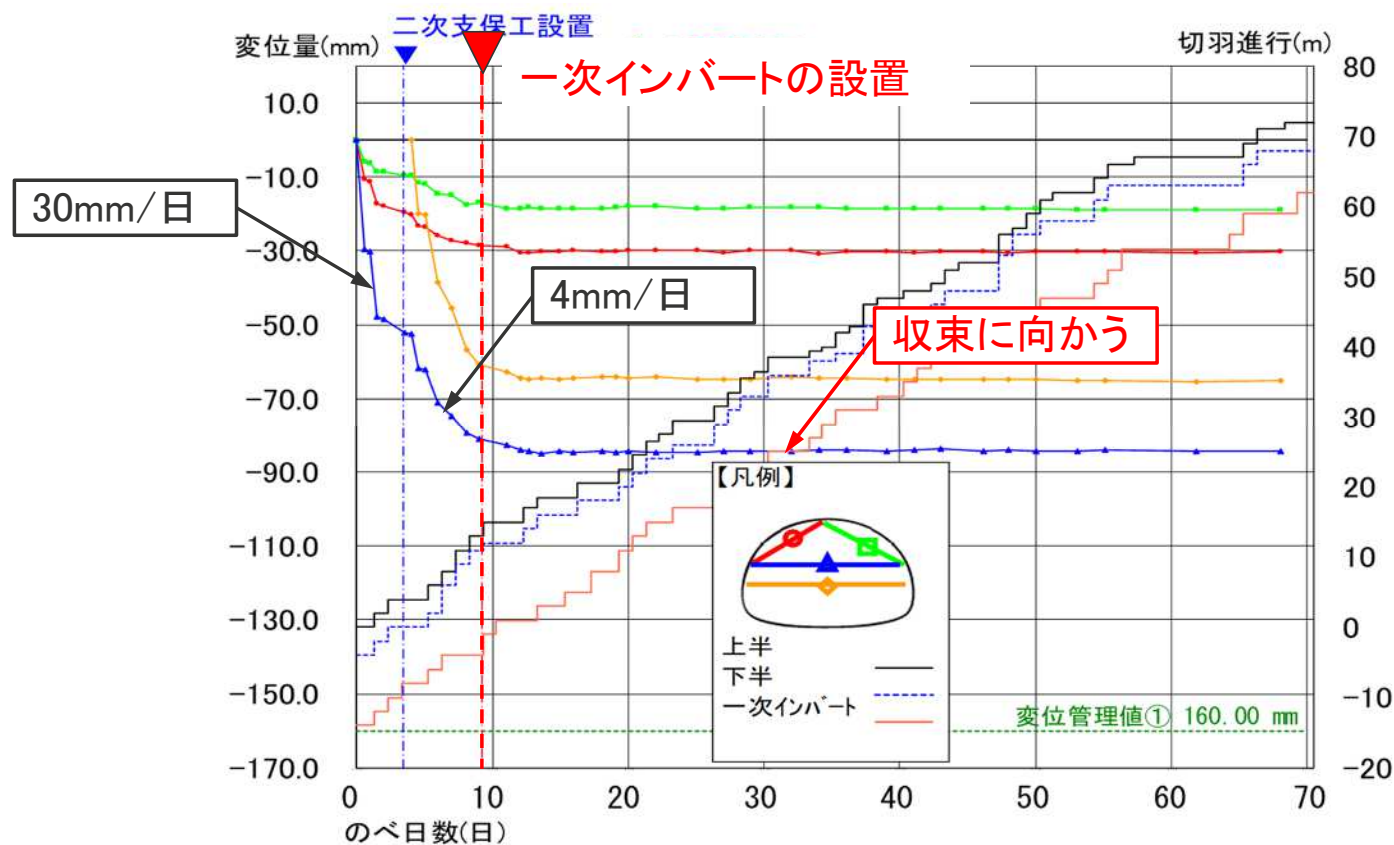


変位計測結果, 内空変位(TD.1,920m, 土被りH=535m)

二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（変位計測結果）

- ・一次インバートを施工することにより収束に向かう

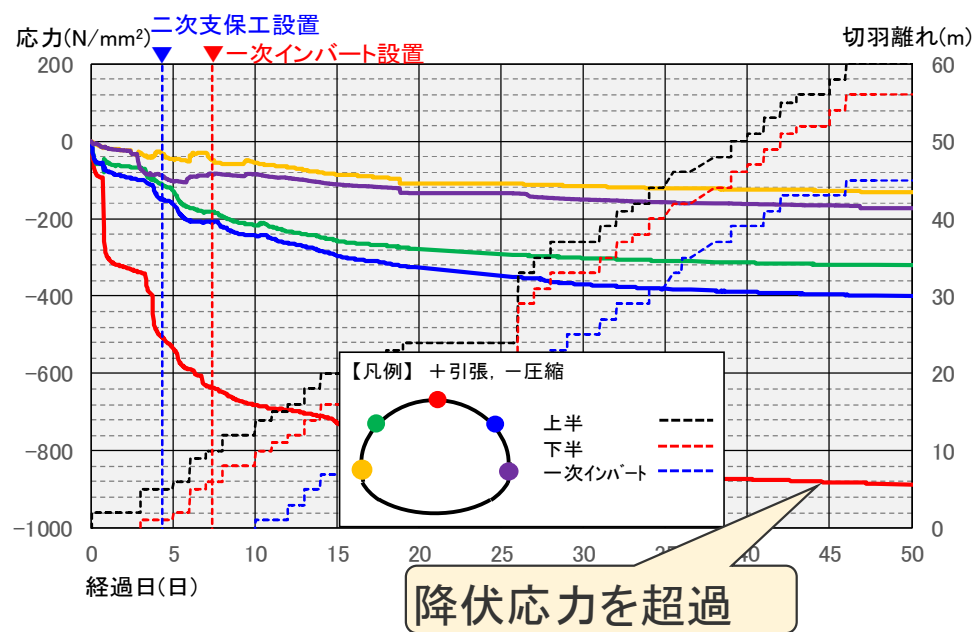


変位計測結果, 内空変位(TD.1,920m, 土被りH=535m)

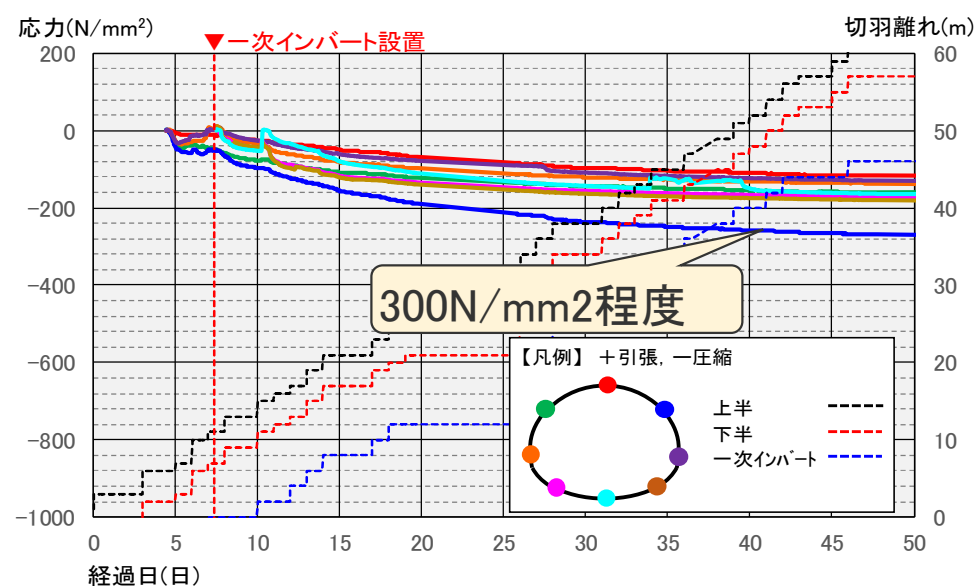
二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（応力測定結果）

- ・ 一支保工側：天端の応力値が**降伏応力 440N/mm^2 をはるかに超過**。
- ・ 二支保工側：**応力値は 300N/mm^2 程度**。



一次支保工



二次支保工

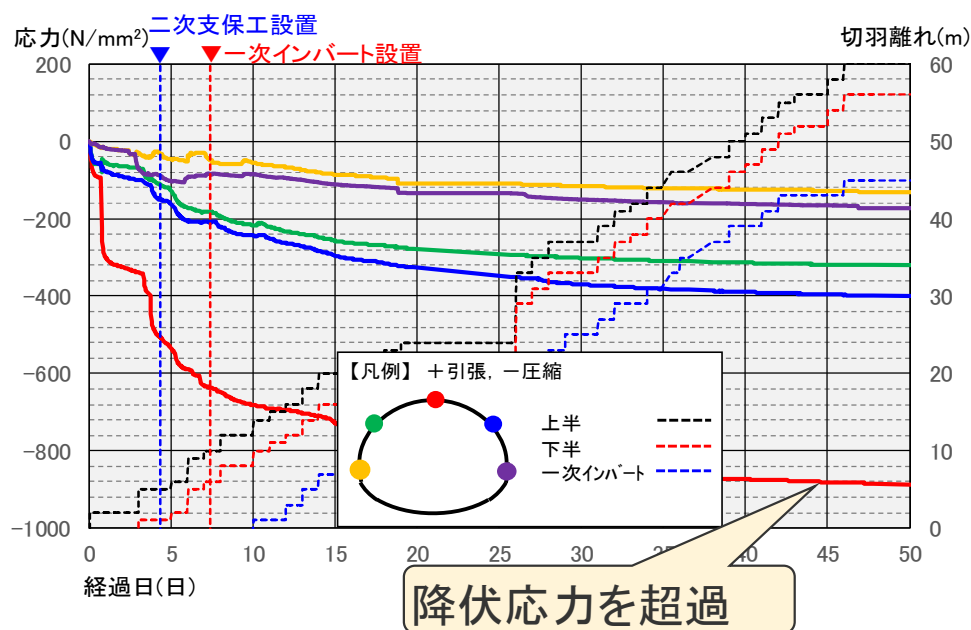
鋼製支保工縁応力 (TD=1,787m, H=447m)

二重支保工の施工

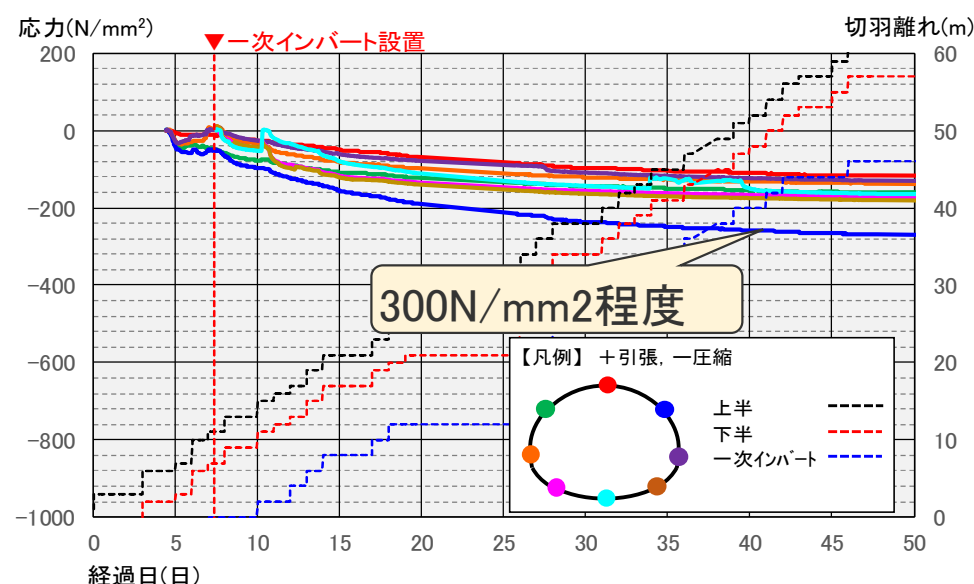
□二重支保工の施工結果（応力測定結果）

- ・一次支保工側：天端の応力値が**降伏応力 440N/mm^2** をはるかに**超過**。
- ・二支保工側：**応力値は 300N/mm^2 程度**。

⇒一次支保工側に荷重を受け持たせ、**二次支保工の負担を軽減**できている。



一次支保工



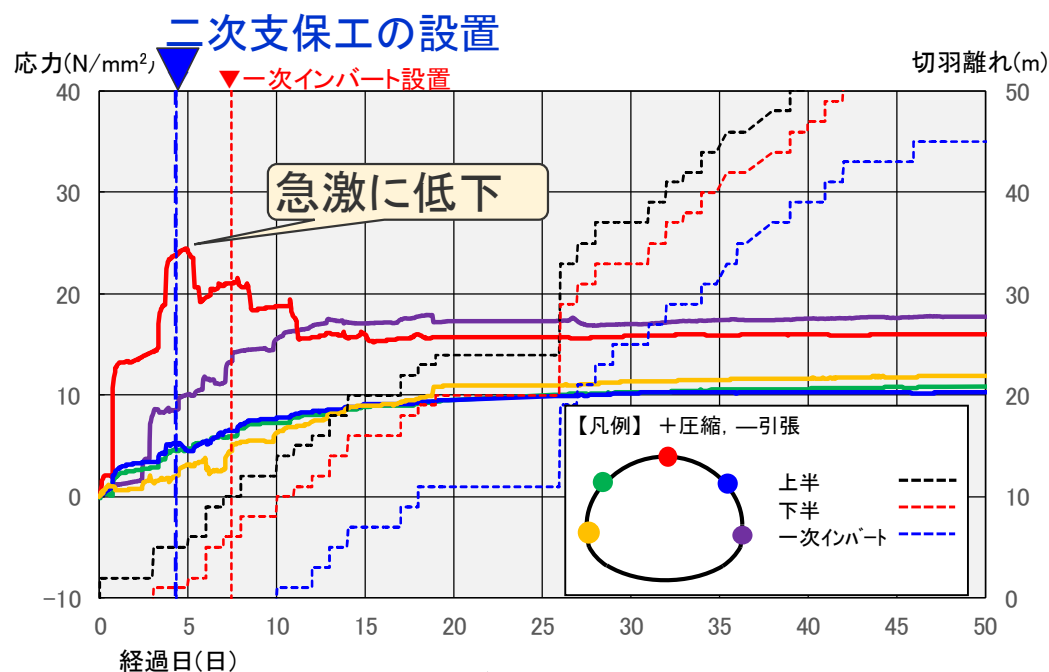
二次支保工

鋼製支保工縁応力 (TD=1,787m, H=447m)

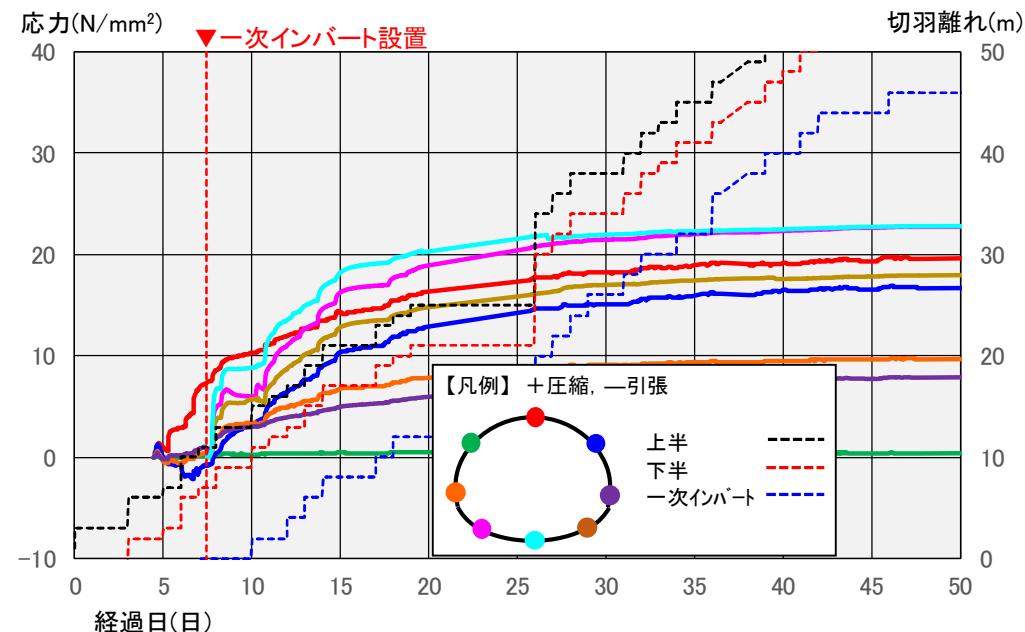
二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（応力測定結果）

- ・一支保工側：天端の応力が二次支保工設置のタイミングで急激に低下



一次支保工



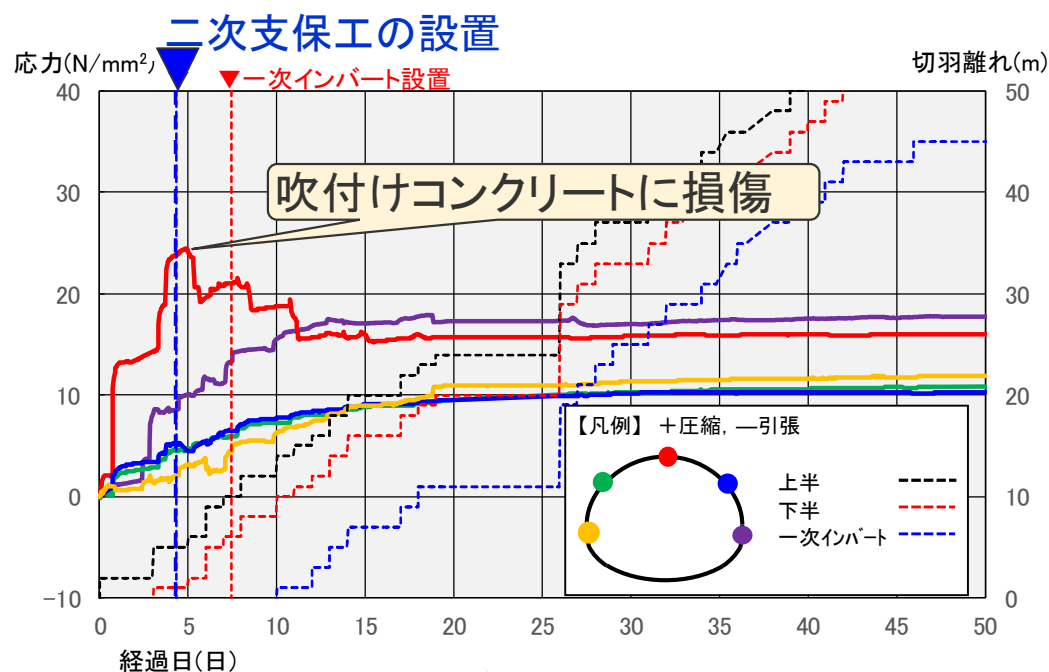
二次支保工

吹付けコンクリート応力 (TD=1,787m, H=447m)

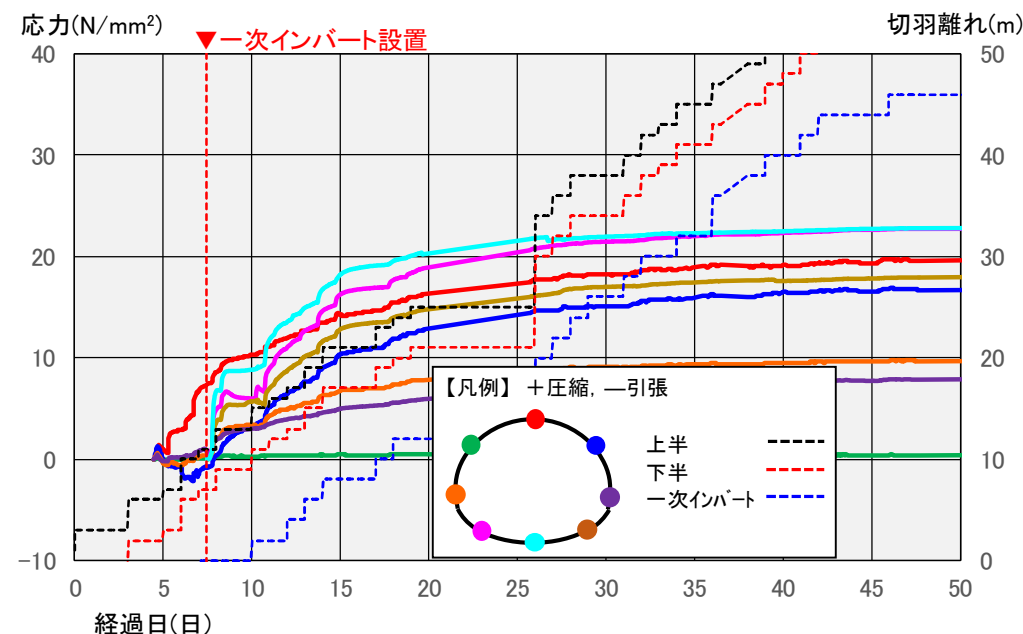
二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（応力測定結果）

- ・一次支保工側：天端の応力が二次支保工設置のタイミングで急激に低下
⇒一次支保工の耐力が限界に達するタイミングで二次支保工を設置。



一次支保工



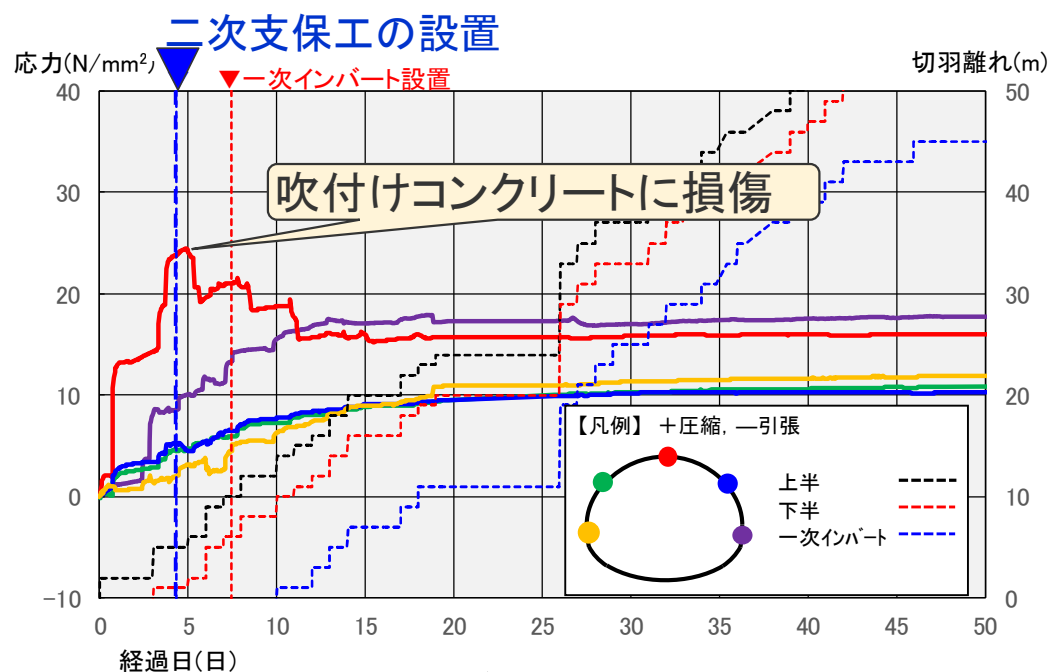
二次支保工

吹付けコンクリート応力 (TD=1,787m, H=447m)

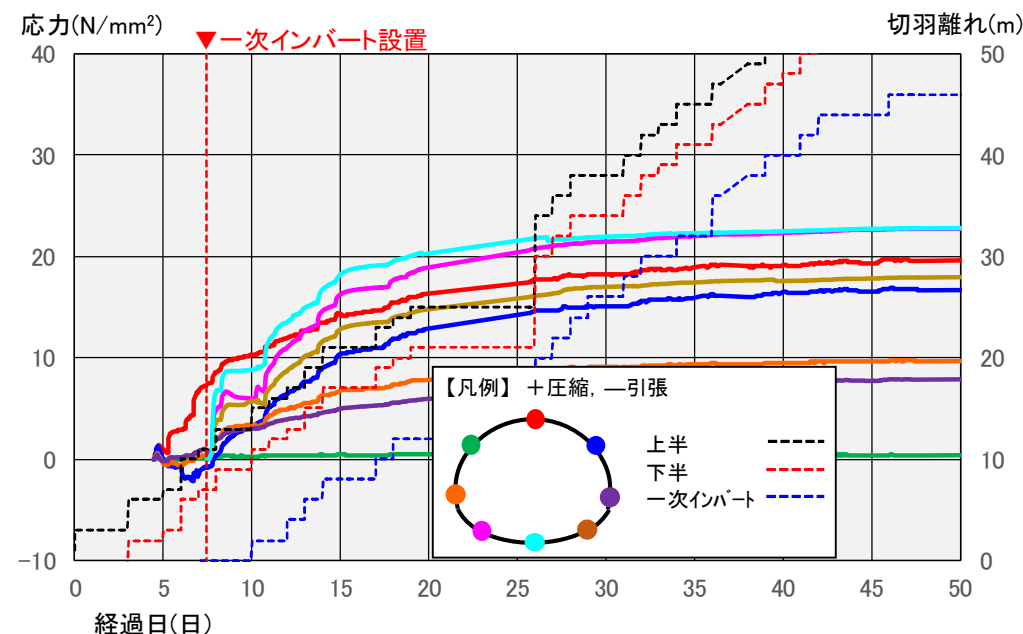
二重支保工の施工

□二重支保工の施工結果（応力測定結果）

- ・一次支保工側：天端の応力が二次支保工設置のタイミングで急激に低下
⇒一次支保工の耐力が限界に達するタイミングで二次支保工を設置。
- ・二次支保工側：応力は緩やかに増加し20N/mm²程度で収束傾向。



一次支保工



二次支保工

吹付けコンクリート応力 (TD=1,787m, H=447m)

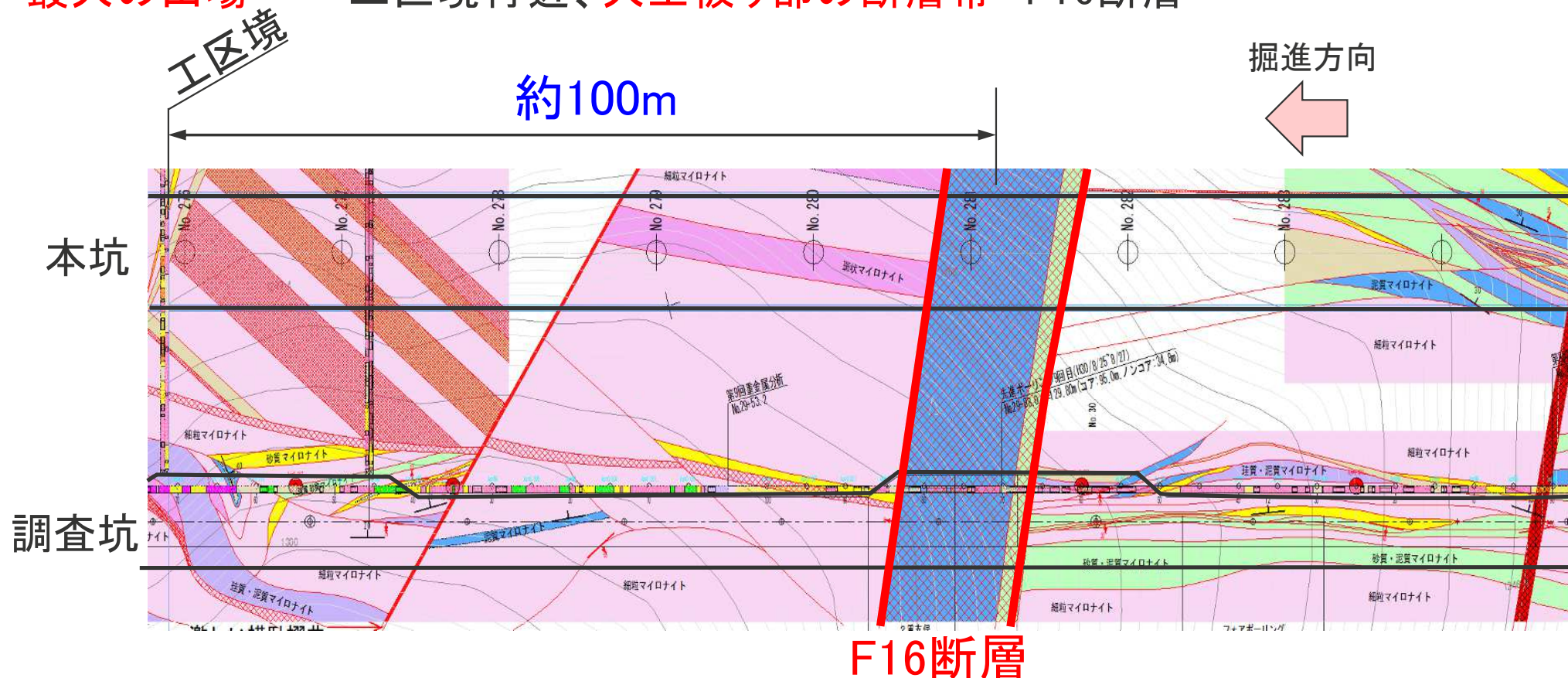
超高強度吹付けコンクリートの適用



超高強度吹付けコンクリートの適用

□ 超高強度コンクリートの適用

- ・ **最大の山場** 工区境付近、**大土被り部の断層帯** F16断層

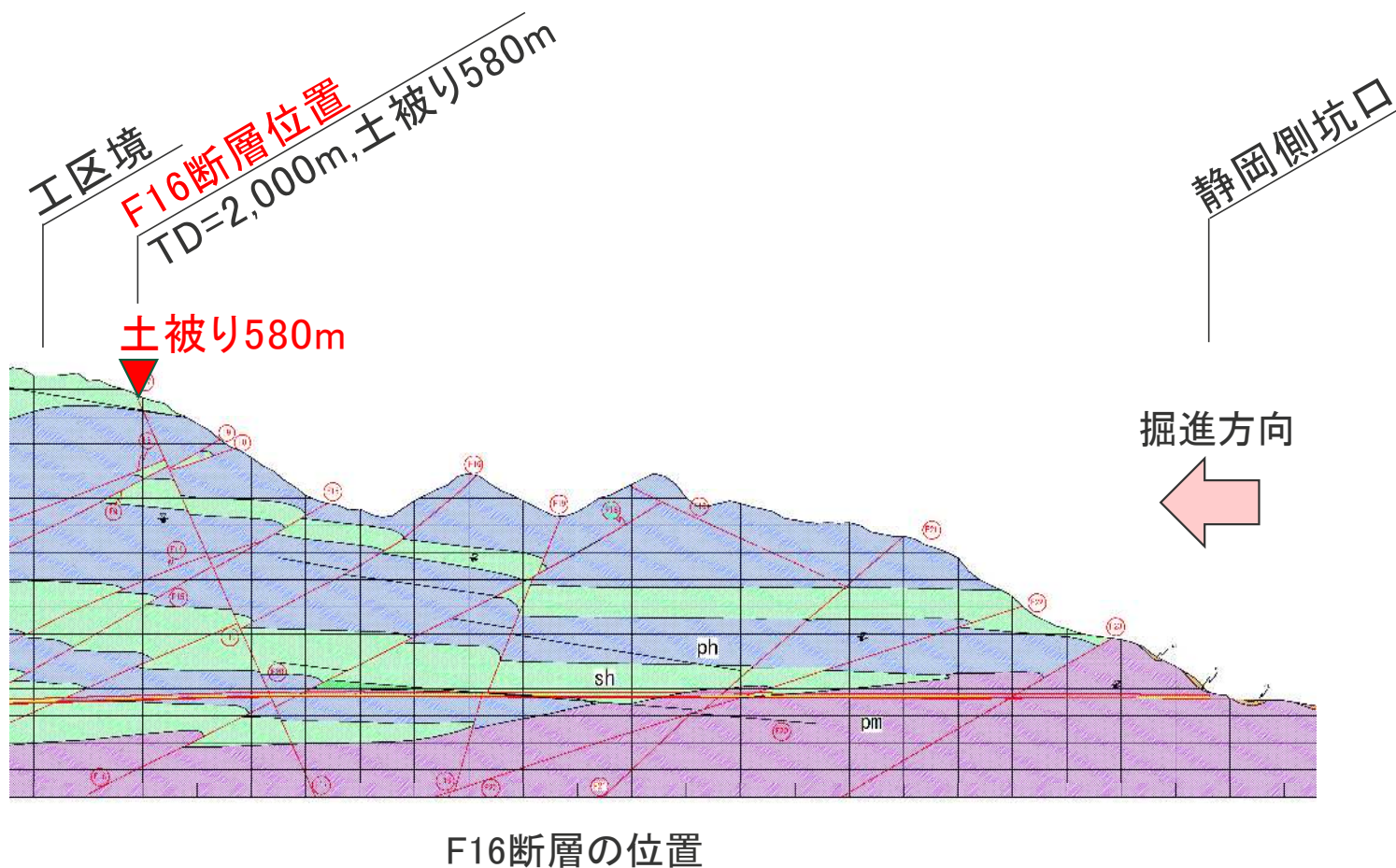


地質平面図(工区境付近)

超高強度吹付けコンクリートの適用

□ 超高強度コンクリートの適用

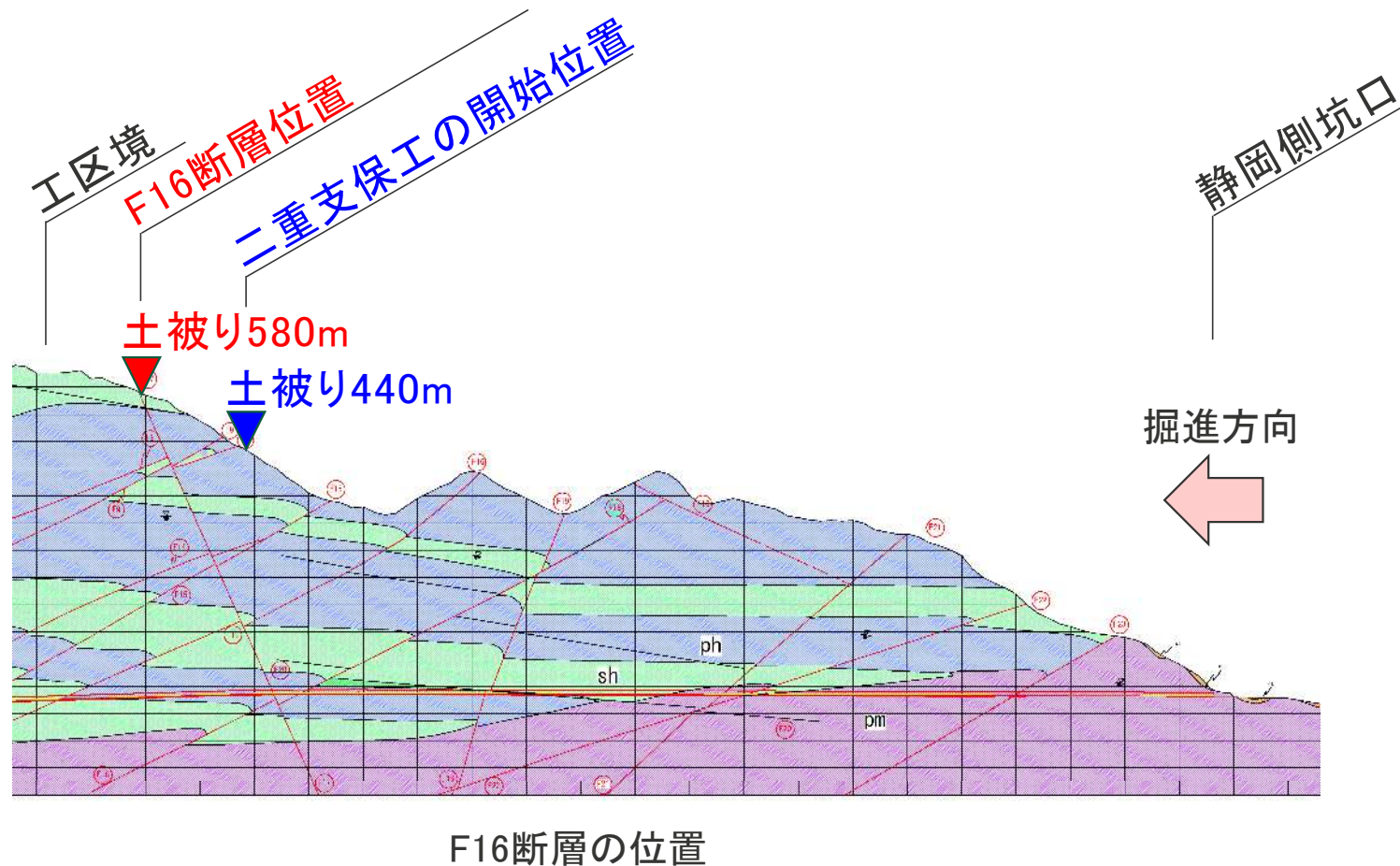
- ・最大土被り600mに迫る **土被り580m**



超高強度吹付けコンクリートの適用

□ 超高強度コンクリートの適用

- ・二重支保工の開始位置から土被りは1.3倍(140m高い)⇒土荷重も大きくなっている



□ 超高強度コンクリートの適用

- ・地質構造が複雑なため、**突然、変位や変状が増大**する恐れがある。
- ・ネック：**鋼製支保工の手配には2カ月**を要する。⇒鋼製支保工は簡単に変更できない

支保パターンのランクアップ案

パターン名	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製支保工
	厚さ	設計基準強度	耐力	長さ	
Ed I (二重支保工)	35cm 25cm	36N/mm ² 36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 HH-200
Ed II (二重支保工)	45cm 45cm	36N/mm ² 36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 HH-200

上段：一次支保工
下段：二次支保工

吹付け厚を厚くすると
鋼製支保工も変更となる

形状が変更になる

□ 超高強度コンクリートの適用

- ・二次支保工の耐力はそろそろ限界？ 強度の65%×土被りが1.3倍=強度の84.5%
- ・地質構造が複雑なため、突然、変位や変状が増大する恐れがある。
- ・ネック: 鋼製支保工の手配には2カ月を要する。⇒鋼製支保工は簡単に変更できない

⇒ 吹付けコンクリートの強度を上げて耐力を確保(36N/mm²⇒54N/mm²に向上)
支保パターンのランクアップ案

パターン名	吹付けコンクリート		ロックボルト		鋼製支保工
	厚さ	設計基準強度	耐力	長さ	
Ed I (二重支保工)	35cm 25cm	36N/mm ² 36N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 HH-200
Ed I (HH) (二重支保工)	35cm 25cm	54N/mm ² 54N/mm ²	290kN以上	L=4m	HH-200 HH-200

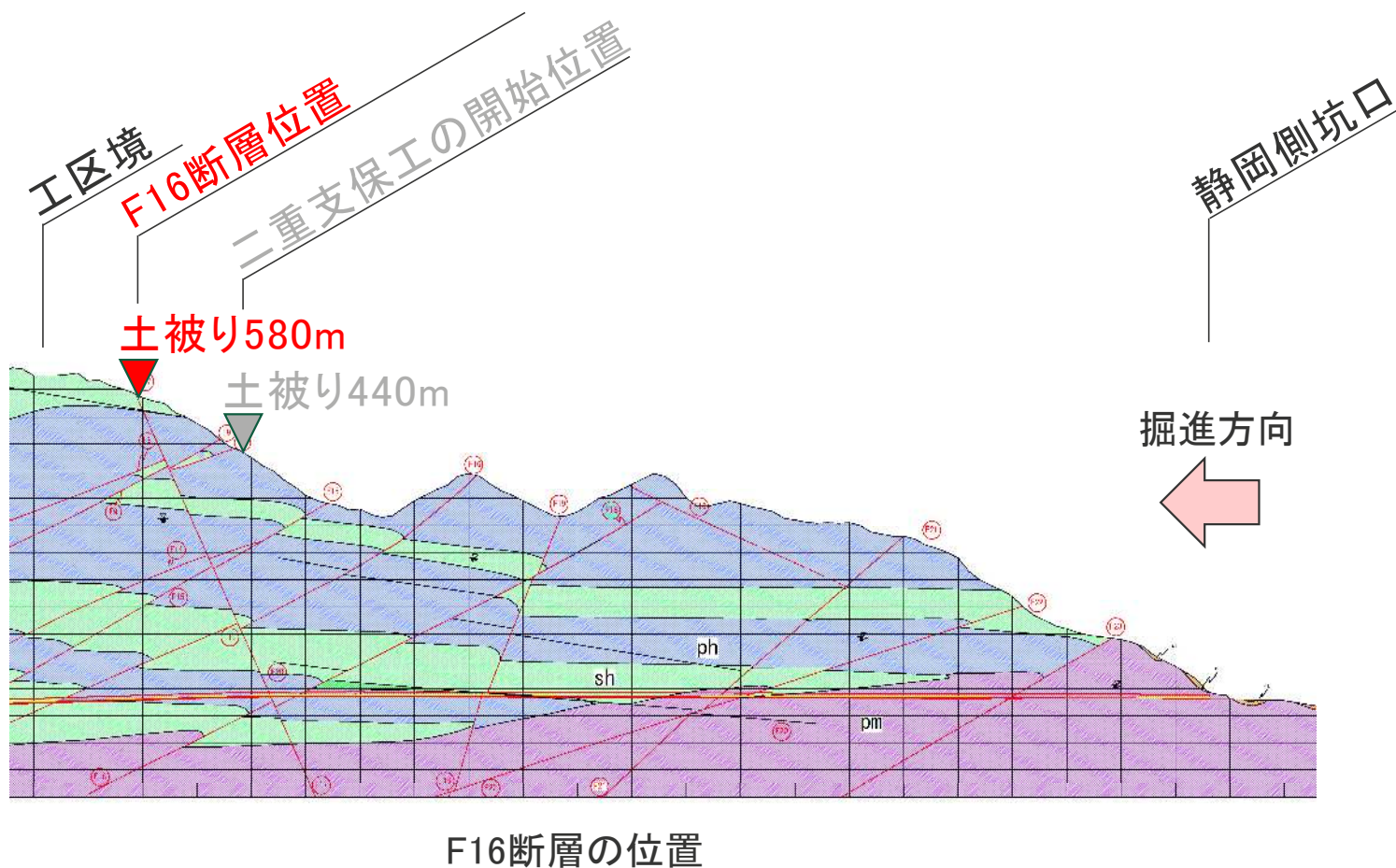
上段: 一次支保工
下段: 二次支保工

吹付けコンクリートの
強度を1.5倍に向上

超高強度吹付けコンクリートの適用

□ 超高強度コンクリートの適用

- ・F16断層帯より超高強度吹付けコンクリートの適用を開始。



□ 超高強度コンクリートの仕様

【設計基準強度】

- ・二重支保工の適用位置での土被りH=440m ⇔ 最大土被りH=600m(約1.36倍)
⇒設計基準強度を36N/mm²の1.5倍の54N/mm²とした。

【初期強度】

- ・ある程度の「いなし」効果を期待するため、高強度吹付けコンクリート同等
1日強度で10 N/mm²を目標とした。

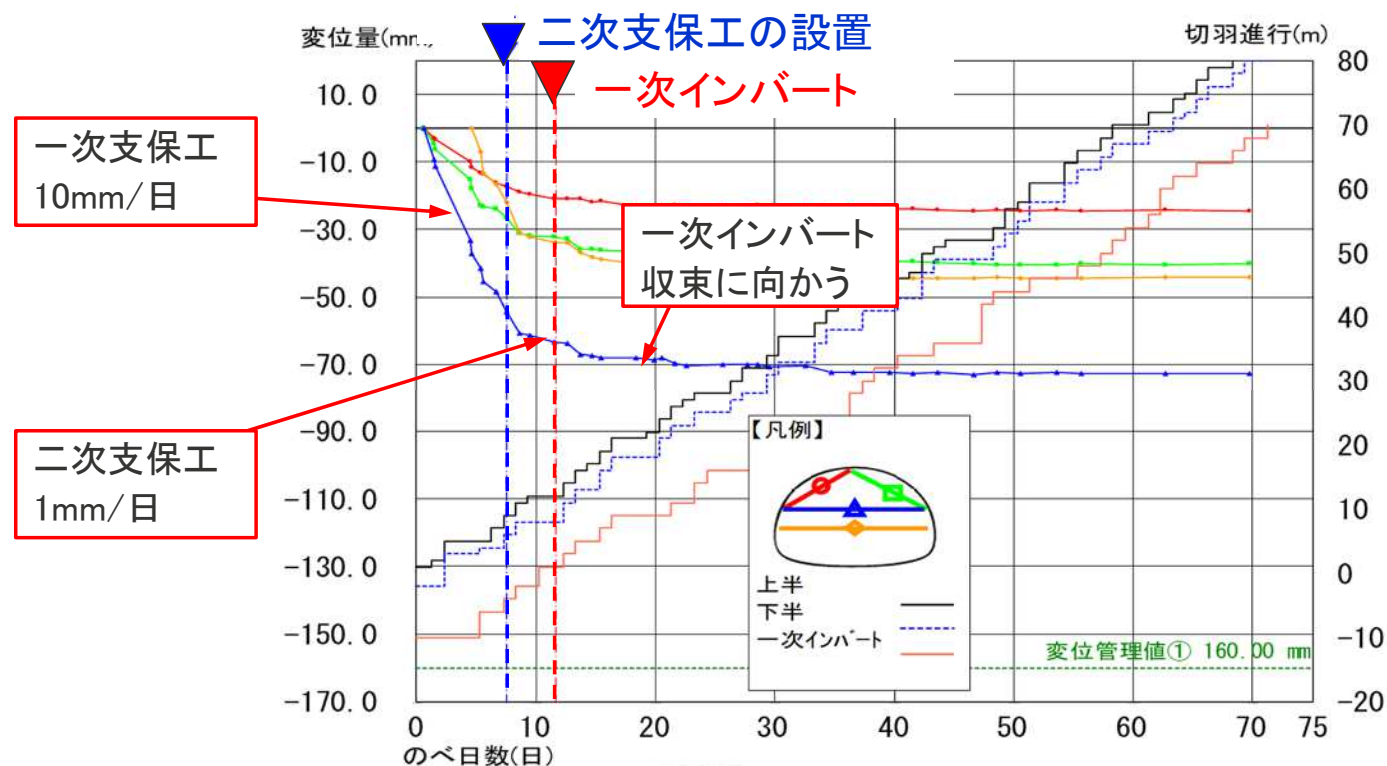
超高強度吹付けコンクリートの配合

設計基準 強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					Ad (C×%)	液体 急結剤 (C×%)	粉体 助剤 (C×%)
			W	C	FA	S	G			
$\sigma_{28d} = 36\text{N/mm}^2$	42	70	197	470	127	1060	594	1.2	7.0	5.0
$\sigma_{28d} = 54\text{N/mm}^2$	35	55	210	600	—	868	813	1.4	7.0	5.0

超高強度吹付けコンクリートの適用

□ 超高強度吹付けコンクリートの施工結果（変位計測結果）

- ・ これまでの二重支保工と同様の、適度に「いなす」施工ができている。



変位計測結果, 内空変位(TD.2,010m、土被りH=570m)

おわりに

□2023/5/26 無事故で貫通



静岡県側から長野県側を撮影

ご清聴ありがとうございました

