

中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)非常口トンネルの 地上部土砂崩落について

令和元年7月5日

- ・東海旅客鉄道株式会社
- ・独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- ・鹿島・日本国土開発・吉川
中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)特定建設工事共同企業体

1

本日の説明内容

資料 2

1. はじめに
2. JR東海と鉄道・運輸機構との関係
3. 工事概要
4. 崩落事故の推定原因と復旧計画
5. 「環境影響評価書(2014.8)」および「中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)工事における環境保全について(2017.5)」における環境保全措置
6. 崩落事故に至るまでの分析
7. 今後の対策

2

1. はじめに

3

本日の説明内容

- 本年4月8日に、中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)非常口トンネルにおいて、地上部土砂崩落事故が発生しました。
- その後、当該工事の発注者である鉄道・運輸機構において、大学の名誉教授や学会の名誉会員など、地質やトンネルに関する有識者の指導のもと、地質調査を行い、推定原因、復旧計画、今後の対策を取りまとめました。
- 次ページ以降において、詳細について説明します。

4

2. JR東海と鉄道・運輸機構との関係

5

JR東海と鉄道・運輸機構との関係

交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会答申

(平成23年5月12日)

「鉄道・運輸機構は、新幹線鉄道整備を含め我が国で最も鉄道建設の経験が蓄積されている機関であり、中央新幹線のように大規模な鉄道整備を円滑に進めるためにはその協力が不可欠である。建設主体としてはJR東海が適当であるが、鉄道施設の整備における鉄道・運輸機構の技術力等が積極的に活用されるべきである。」

このことから、JR東海は中央アルプストンネルなどの一部区間の建設工事を鉄道・運輸機構に委託することとし、環境関連業務に関して以下のような取り決めをしています。

- 鉄道・運輸機構は、環境影響評価書に基づき環境対策を行う
- 鉄道・運輸機構は、環境対策の状況について、JR東海に定期的に報告する

6

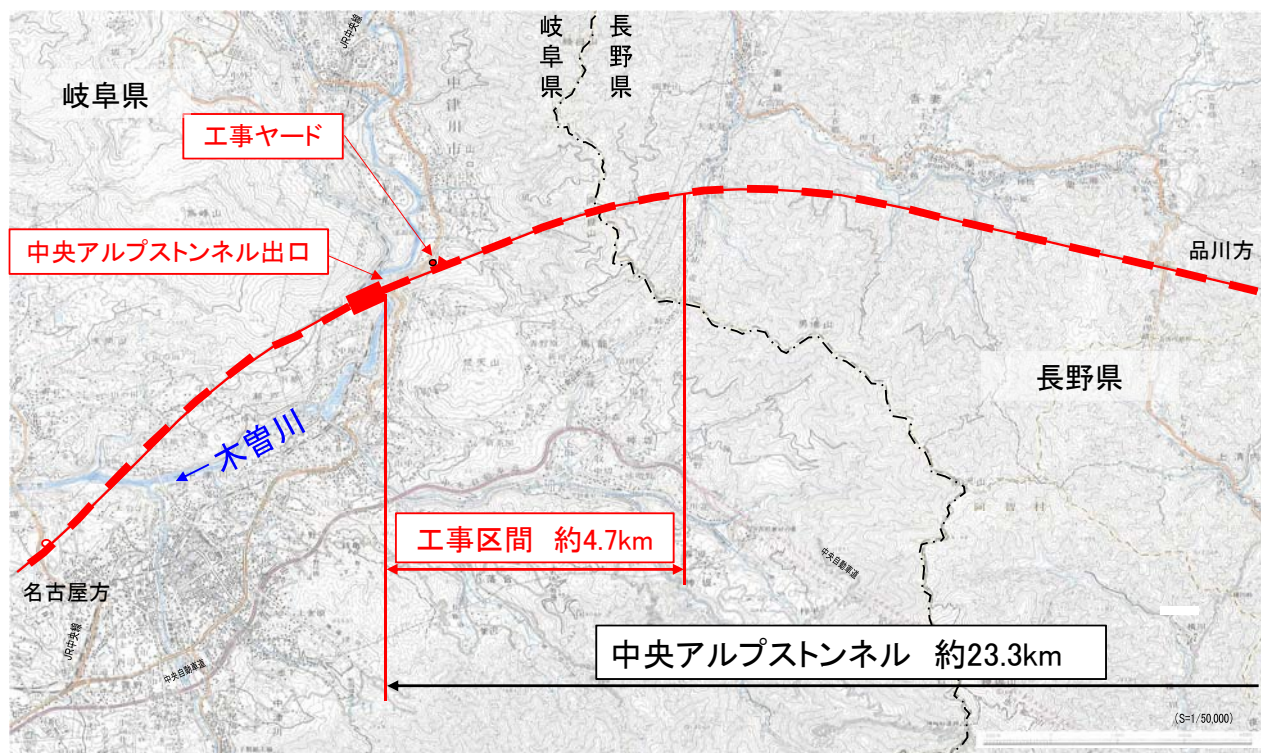
3. 工事概要

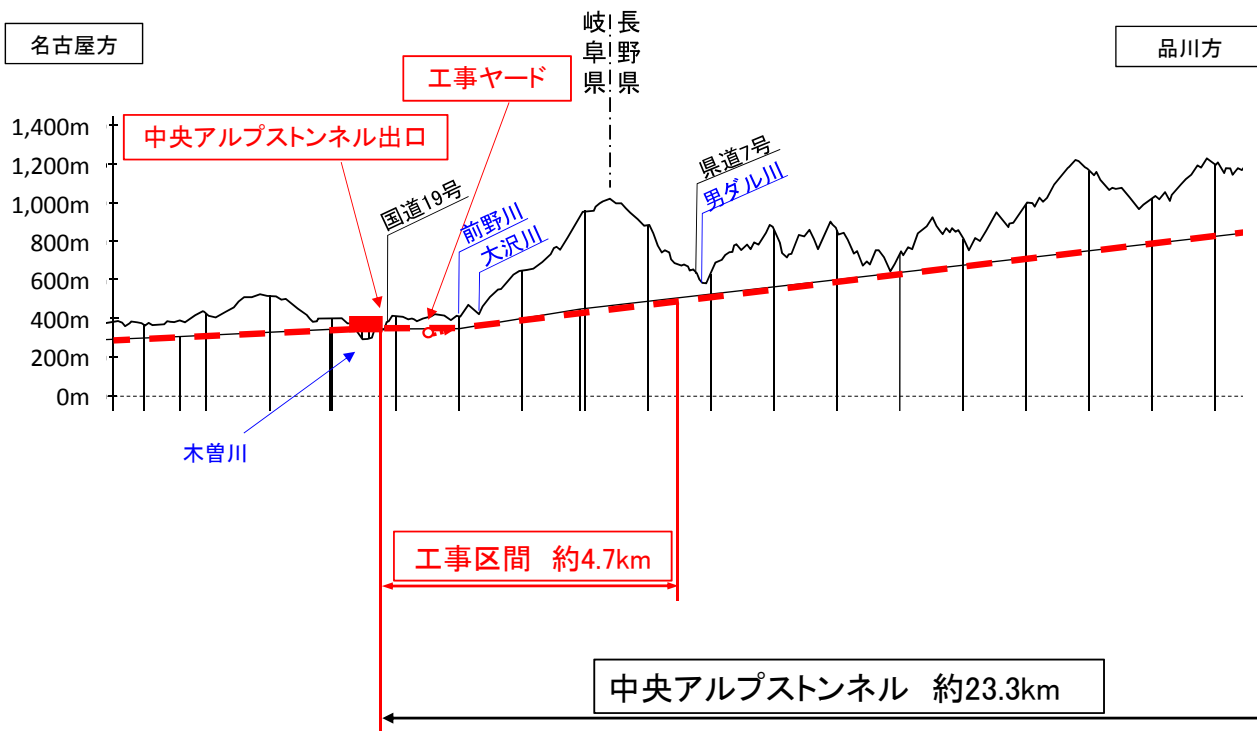
7

工事名等

- ・ 工 事 名 : 中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)
- ・ 発 注 者 : 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- ・ 施 工 者 : 鹿島・日本国土開発・吉川 中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)
特定建設工事共同企業体
(構成員:鹿島建設(株)・日本国土開発(株)・吉川建設(株))
- ・ 工 期 : 2016年8月3日～2023年7月24日
- ・ 工事場所: 岐阜県中津川市地内、長野県木曾郡南木曾町地内
- ・ 工事内容: 本線トンネル 約4.7km、斜坑約0.3km、
その他(工事ヤード〔非常口〕等)

8





4. 崩落事故の推定原因と復旧計画

非常口トンネル(斜坑)の作業中に地上部(雑木林)の土砂崩落を確認した。

日 時 : 平成31年4月8日(月)
午前7時00分頃 晴れ

場 所 : 岐阜県中津川市山口地内
斜坑入口から200m付近



13

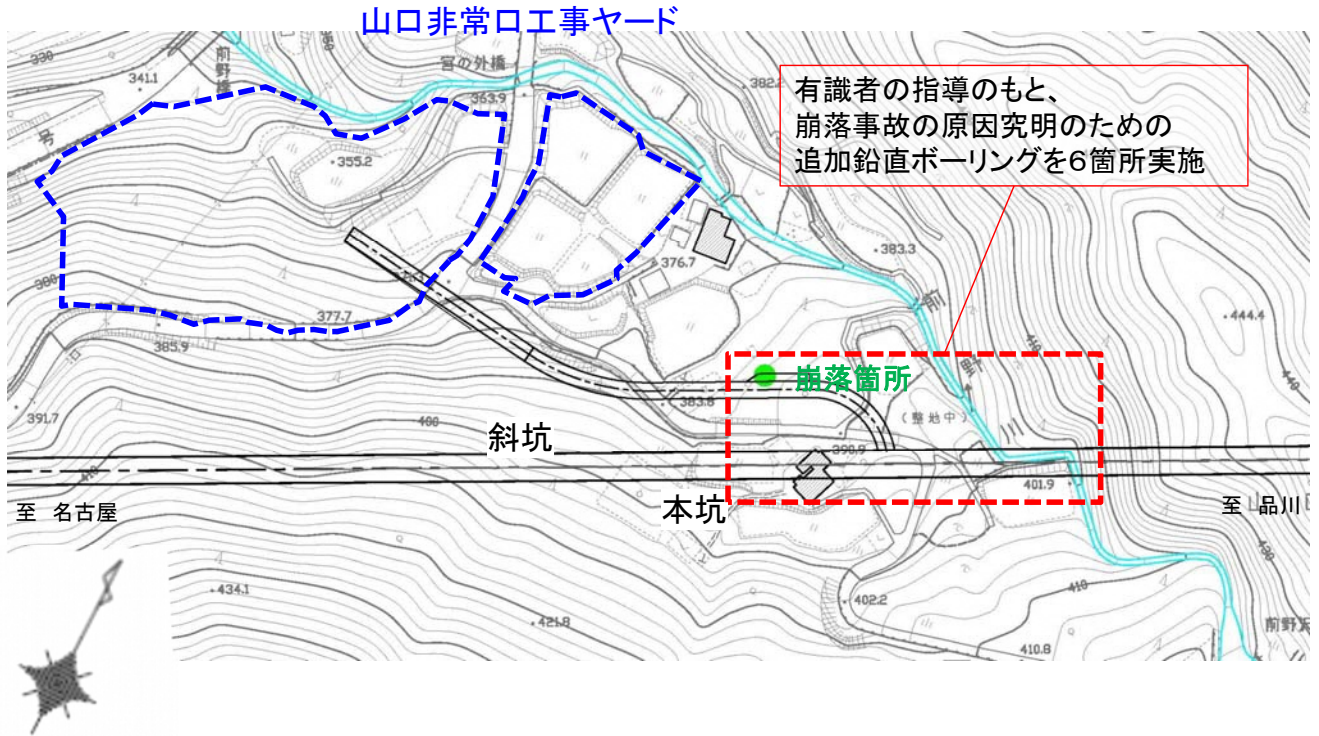
被害の状況 : 地上部(雑木林)の土砂崩落状況直径8m程度、深さ5m程度。
第三者及び斜坑内の作業員の被災はなかった。

発生状況 : 4月4日(木)斜坑内において小崩落が発生したため斜坑内の
復旧作業を実施していたところ、4月8日(月)午前7時頃、地上
部(雑木林)の土砂崩落を確認した。

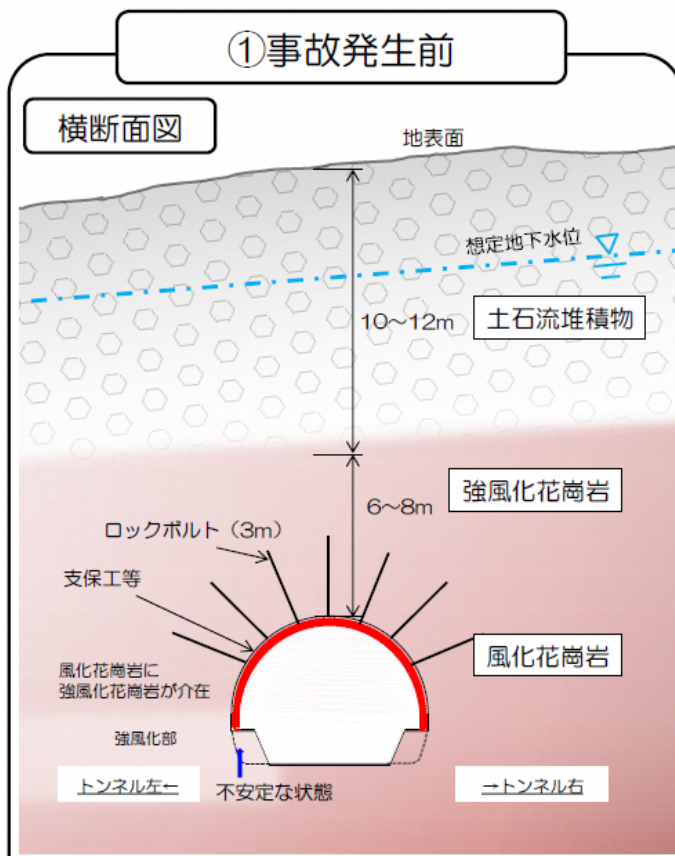


地上部土砂崩落状況(平成31年4月8日撮影)

14



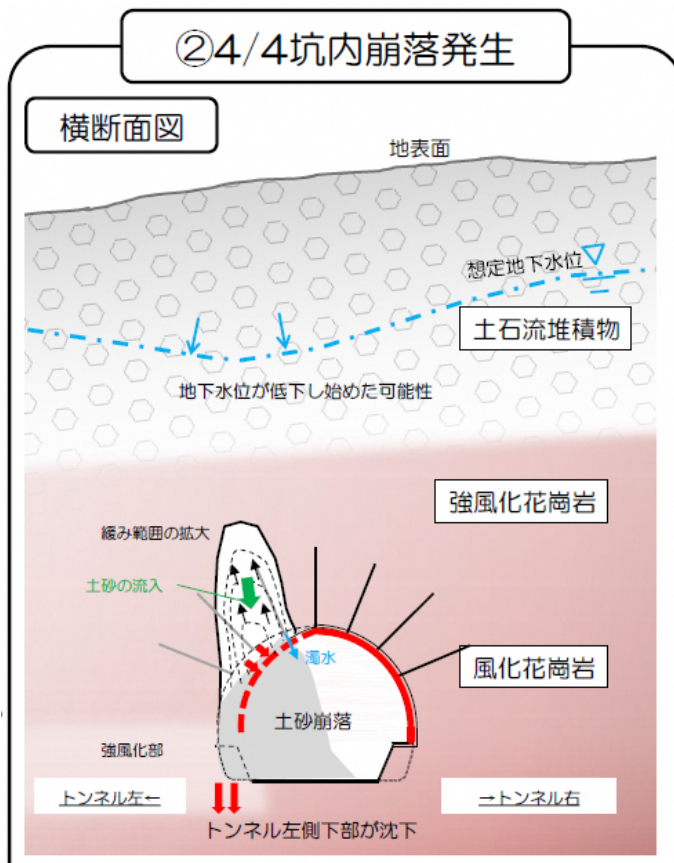
推定原因



- ✓ トンネル左上部から下部まで強風化花崗岩が介在
- ✓ 特にトンネル左下部付近は地耐力が小さい強風化花崗岩(不安定地山)が介在
- ✓ 掘削機械の作業スペース確保のため、不安定地山に適さない掘削断面形状

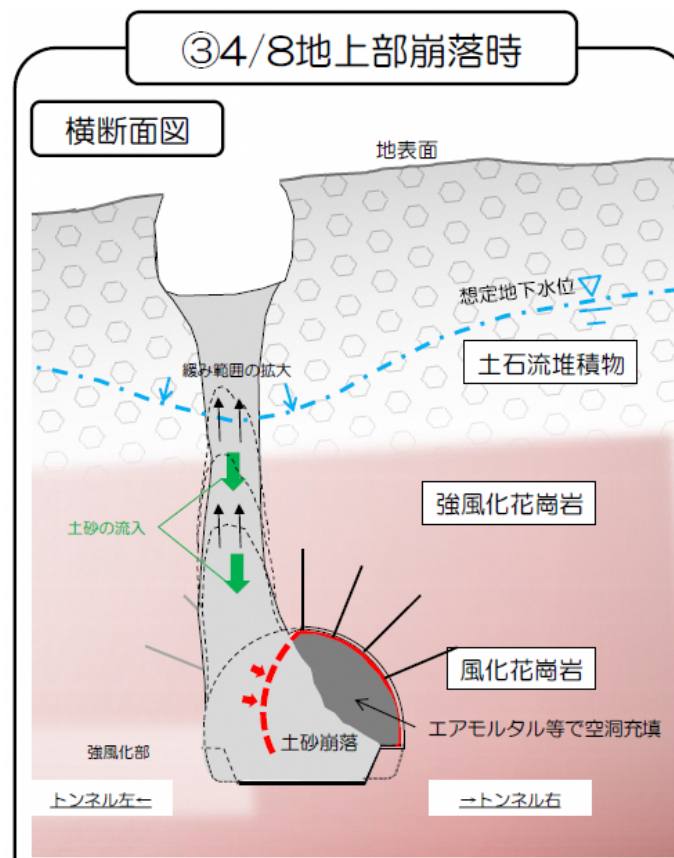
※風化花崗岩
⇒風化が進んで褐色を帯びているが、岩としての強度があり、概ね元の構造形状を残している状態の花崗岩

※強風化花崗岩
⇒褐色に変色し、手で触るとボロボロと崩れる程度に脆くなり、一部は粘土化するまで風化が進んだ状態の花崗岩

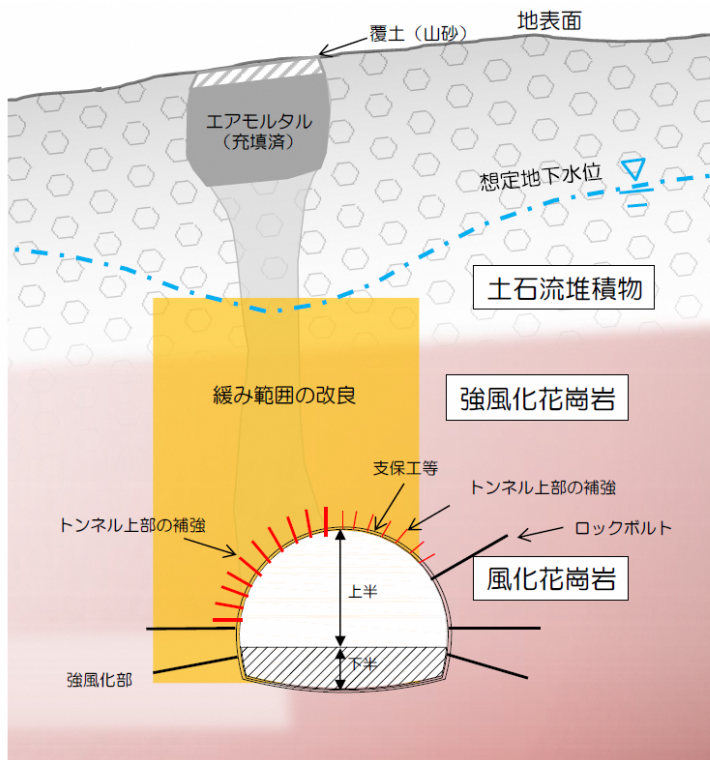


- ✓ 掘削面より約5m後方のトンネル左上部のロックボルト孔から濁水が発生し、徐々に増加
- ✓ 支保工等の脚部の強風化花崗岩が荷重の増加に耐え切れず沈下、支保工等が崩壊し、トンネル内に土砂が崩落。
- ✓ 土砂崩落によりトンネル上部が緩み、その範囲が徐々に拡大。

※ 4/5～4/7まで、応急対策としてトンネル内等の土砂崩落部に向け、エアモルタル等による空洞充填を実施

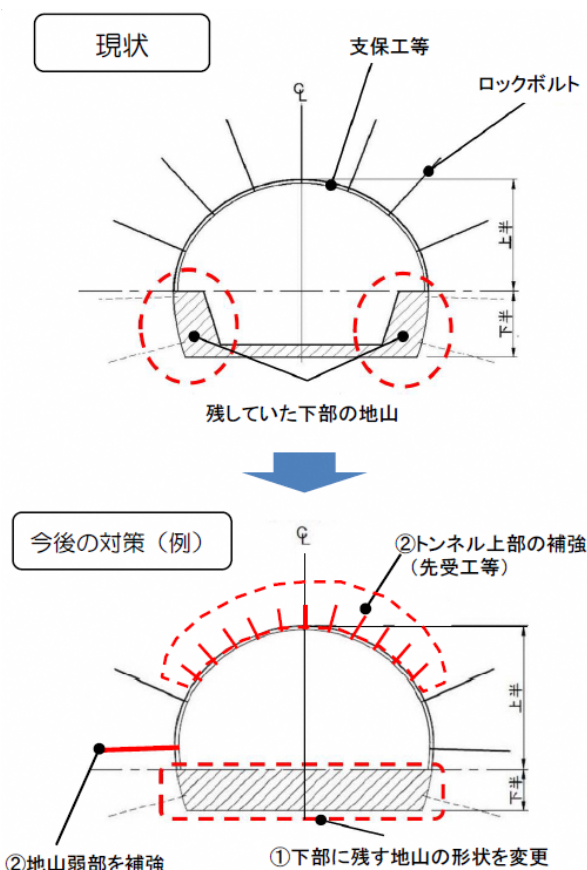


- ✓ 緩み範囲が徐々に上方へ拡大
- ✓ 土石流堆積物の層まで到達して地上部の崩落につながった



- ✓ 土砂崩落部周辺の緩み範囲の改良(セメント系)作業をトンネル内から施工
- ✓ 改良の状態を確認のうえ、先受工等、トンネル上部の補強をした後に、トンネル内の崩落土砂等を撤去し、ロックボルトおよび支保工等の再設置を実施

今後の対策



トンネル下部の地山の掘削前状況

復旧完了後の掘削にあたっては、地山状況を掘削面ごとに適切に評価(必要により、地質専門家の判断を求める)するとともに、不安定な地山の場合は下記の対策を実施

- ① 掘削断面形状を見直し、坑内計測の頻度を上げるなど、慎重な施工管理を徹底
- ② 事前にトンネル上部の補強や、地山弱部を補強するなど最適な補助工法を実施

5. 「環境影響評価書(2014.8)」および「中央新幹線、中央アル プストンネル(山口)工事における環境保全について (2017.5)」における環境保全措置

21

「環境影響評価書(2014.8)」における環境保全措置に関する記載内容

資料 2

第8章 環境影響評価の調査の結果の概要並びに予測及び評価の結果
8-3 土壌環境・その他
8-3-2 地盤沈下
(2) 予測及び評価

1) 環境保全措置の実施主体、方法その他の環境保全措置の実施の内容

本事業では、トンネルの工事による地盤沈下に係る環境影響を回避又は低減させるため、環境保全措置として「適切な構造及び工法の採用」を実施する。

環境保全措置の内容を表 8-3-2-2 に示す。

表 8-3-2-2 環境保全措置の内容

実施主体	東海旅客鉄道株式会社	
実施内容	種類・方法	適切な構造及び工法の採用
	位置・範囲	掘削を行う地点
	時期・期間	計画時及び工事中
環境保全措置の効果	土被りが小さく、地山の地質条件が良くない場合には、先行支保工（フォアパイリング等）などの補助工法を採用することで、地山の安定を確保することが可能であり、地盤沈下への影響を回避又は低減できる。	
効果の不確実性	なし	
他の環境への影響	なし	

22

「中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)工事における環境保全について(2017.5)」における環境保全措置に関する記載内容

第3章 環境保全措置の計画

3-4-3 土壌に係る環境その他の環境要素(重要な地形及び地質、地盤沈下、土壌汚染)

表3-4-3-1 土壌に係る環境その他の環境要素に関する計画面の環境保全措置

環境要素	環境保全措置	環境保全措置の効果	実施箇所等
重要な地形及び地質	地形の改変をできる限り小さくした工事施工ヤードの配置計画	工事施工ヤード(工事ヤード)の設置にあたっては、地形の改変をできる限り小さくした配置計画にすることにより、重要な地形及び地質への影響を回避できる。	工事ヤード等において仮設備の配置計画を行い、改変範囲をできる限り小さくする計画とした。
地盤沈下	適切な構造及び工法の採用	土被りが小さく、地山の地質条件が良くない場合には、先行支保工(フォアパイリング等)などの補助工法を採用することで、地山の安定を確保することが可能であり、地盤沈下への影響を回避又は低減できる。	土被りが小さく、地山の地質条件が良くない箇所において地上に保全対象施設のある場合は、補助工法を併用する計画とした。
土壌汚染	仮置き場における発生土の適切な管理	発生土の仮置き場(土砂ピット)に屋根、側溝、シート覆いを設置する等の管理を行うことで、重金属等の有無を確認するまでの間の雨水等による重金属等の流出を防止し、土壌汚染を回避できる。	工事ヤードに設置する土砂ピットについては、土間コンクリートを打設するとともに、周囲に側溝を設置し、自然由来重金属等が工事ヤード外に漏れ出さない構造にする計画とした。

23

「中央新幹線、中央アルプストンネル(山口)工事における環境保全について(2017.5)」における環境保全措置に関する記載内容

第3章 環境保全措置の計画

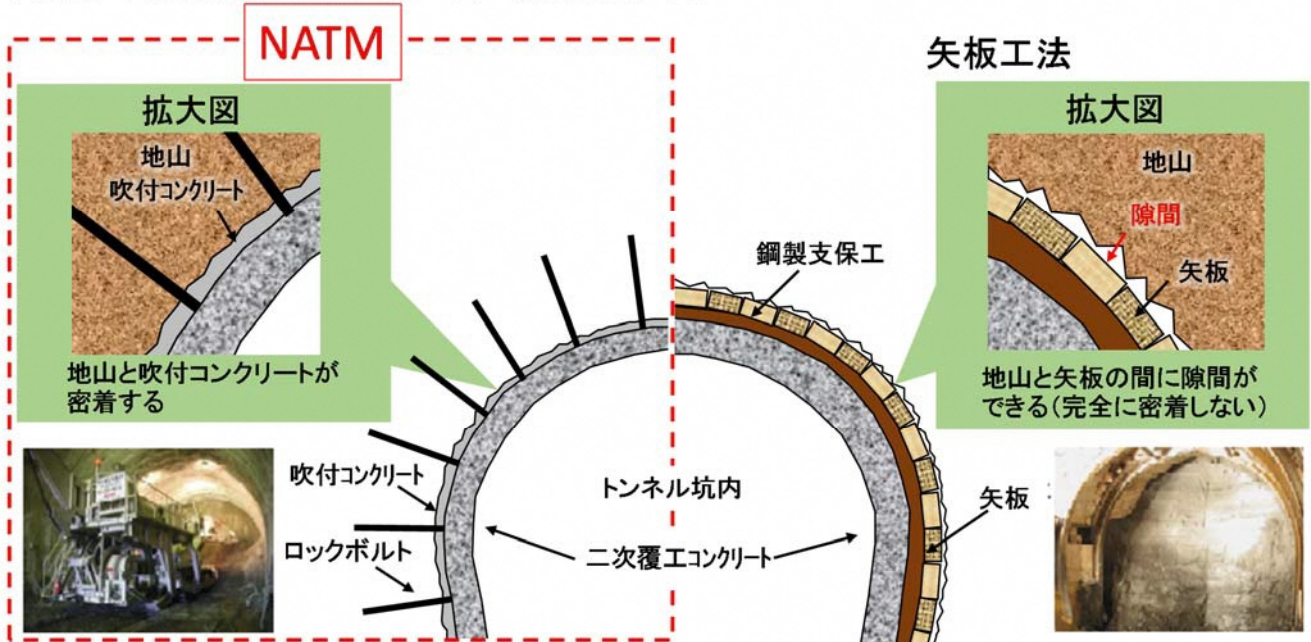
3-7 環境保全措置を実施していくにあたっての対応方針

3-7 環境保全措置を実施していくにあたっての対応方針

- ・環境保全措置については、工事契約に盛り込み確実な実施を図る。
- ・環境保全に資する仮設設備等については、現地の状況に合わせ、設置を行う。
- ・環境保全に資する仮設設備等については、定期的な設置状態や稼働状態の点検を行い、不具合のある場合には速やかに対応する。
- ・元請会社職員に対し環境影響評価書の記載内容について教育したうえで、元請会社から工事関係者全員に対し具体的に実施する措置について教育を行い、確実な遂行を図る。
- ・実施状況について定期的に確認し、必要な場合は指導を行う。

24

山岳部における標準的な工法であるNATMを採用します。
掘削した部分を素早く吹付コンクリートで固め、ロックボルトを岩盤に打ち込むことにより、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持します。



- NATMの場合、計画段階で岩種等の地山状況に応じて、ロックボルトの本数や長さ、鋼製支保工の間隔や大きさ、吹付コンクリートの厚さを適切に設定(支保パターン)
- 工事中は、切羽の状況に応じて、適宜支保パターンを変更して施工を進める 25

適切な構造及び工法について(設定手順①)

①岩種分類

岩種(A~G)は、下記の岩種分類表から判定する。

→ 亀裂が発達した花崗岩で、一軸圧縮強さ $q_u=49.9\sim 128.0\text{N/mm}^2$ → 岩種はB

岩種	形成時代、形態、岩石名	硬さによる分類
A	①中生代、古生代の堆積岩類(粘板岩、砂岩、礫岩、チャート、石灰岩等) ②深成岩(花崗岩類) ③半深成岩(ひん岩、花崗はん岩等) ④火山岩の一部(緻密な玄武岩、安山岩、流紋岩等) ⑤変成岩(片岩類、片麻岩、千枚岩、ホルンフェルス等) 塊状の硬岩(亀裂面の剥離性が小さい)	硬岩 $50\text{N/mm}^2 \leq q_u$
B	①はく離性の著しい変成岩類(片岩類、千枚岩、片麻岩) ②はく離性の著しいまたは細層理の中生代、古生代の堆積岩類(粘板岩、頁岩等) ③節理等の発達した火成岩 硬岩でありながら、亀裂が発達し、著しいはく離性を示す	
C	①中生代の堆積岩類(頁岩、粘板岩等) ②火山岩類(流紋岩、安山岩、玄武岩等) ③古第三紀の堆積岩類(頁岩、泥岩、砂岩等)	中硬岩 $15\text{N/mm}^2 \leq q_u < 50\text{N/mm}^2$
D	①新第三紀の堆積岩類(頁岩、泥岩、砂岩、礫岩)、凝灰岩等 ②古第三紀の堆積岩類の一部 ③風化した火成岩	軟岩 $2\text{N/mm}^2 \leq q_u < 15\text{N/mm}^2$
E	①新第三紀の堆積岩類(泥岩、シルト岩、砂岩、礫岩)、凝灰岩等 ②風化や熱水変質および破碎の進行した岩石(火成岩類や変成岩類および新第三紀以前の堆積岩類)	
F	①第四紀更新世の堆積物(礫、砂、シルト、泥および火山灰等より構成される低固結~未固結な堆積物) ②新第三紀堆積岩の一部(低固結層、未固結層、土丹、砂等) ③マサ化した花崗岩類	土砂 $q_u < 2\text{N/mm}^2$
G	表土、崩積土、崖錐等	

注) 主な岩石名を列記したものであって、分類の困難なものは地質技術者が判断するものとする
 q_u : 一軸圧縮強さ

②地山等級

岩種と弾性波速度(Vp)から、下記の地山分類基準より、地山等級を判定する。

→ B岩種でVp=2.97~3.15km/sec → 地山等級は I_{N-1}

地山種類 地山等級	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F、G岩種	
						粘性土	砂質土
V _N	V _p ≥5.2		V _p ≥5.0	V _p ≥4.2	—	—	—
IV _N	5.2>V _p ≥4.6		5.0>V _p ≥4.4	4.2>V _p ≥3.4	—	—	—
III _N	4.6>V _p ≥3.8	V _p ≥4.4	4.4>V _p ≥3.6	3.4>V _p ≥2.6 G _n ≥5	2.6>V _p ≥1.5 G _n ≥6	—	—
II _N	3.8>V _p ≥3.2	4.4>V _p ≥3.8	3.6>V _p ≥3.0	2.6>V _p ≥2.0 5>G _n ≥4	2.6>V _p ≥1.5 6>G _n ≥4	—	—
I _{N-2}	3.2>V _p ≥2.5		3.0>V _p ≥2.5	2.6>V _p ≥2.0 かつ 4>G _n ≥2 あるいは 2.0>V _p ≥1.5 かつ G _n ≥2	2.6>V _p ≥1.5 かつ 4>G _n ≥3	—	—
I _{N-1}		3.8>V _p ≥2.9	—	—	2.6>V _p ≥1.5 かつ 3>G _n ≥2	G _n ≥2	D _r ≥80 かつ F _c ≥10
I _S				1.5>V _p あるいは 2>G _n ≥1.5	1.5>V _p あるいは 2>G _n ≥1.5	2>G _n ≥1.5	—
I _L	2.5>V _p	2.9>V _p	2.5>V _p	2>G _n ≥1.5	2>G _n ≥1.5	—	D _r ≥80 かつ 10>F _c
特S				1.5>G _n	1.5>G _n	1.5>G _n	—
特L						—	80>D _r

V_p:弾性波速度(km/sec)、G_n:地山強度比、D_r:相対密度(%)、F_c:細粒含有率(%)
出典:山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月、鉄運機構)

③支保パターンの選定

岩種と地山等級から、下記の標準パターン選定表より、支保パターンを決定する。

→ B岩種で地山等級 I_{N-1} → 支保パターンは I_{N-1P}

地山等級 岩種	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F、G岩種	
						粘性土	砂質土
V _N	IV _{NP}	—	IV _{NP}	IV _{NP}	—	—	—
IV _N	IV _{NP}	—	IV _{NP}	IV _{NP}	—	—	—
III _N	III _{NP}	III _{NP}	III _{NP}	III _{NP}	III _{NP}	—	—
II _N	II _{NP}	II _{NP}	II _{NP}	II _{NP}	II _{NP}	—	—
I _{N-2}	I _{N-2P}	—	I _{N-2P}	I _{N-2P}	I _{N-2P}	—	—
I _{N-1}	—	I _{N-1P}	—	—	I _{N-1P}	I _{N-1P}	I _{N-1P}
I _S	I _{SP}	I _{SP}	I _{SP}	I _{SP}	I _{SP}	I _{SP}	—
I _L	I _{LP}	I _{LP}	I _{LP}	I _{LP}	I _{LP}	—	I _{LP}
特S	*	*	*	*	*	*	—
特L						—	*

注) *は特殊設計範囲を示す。

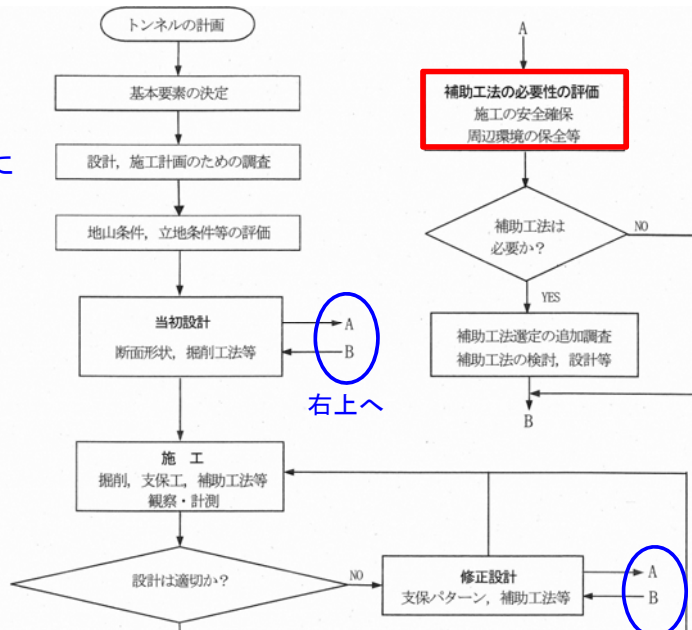
④標準支保パターンによるトンネル支保構造
 決定された支保パターン I_{N-1P} における構造は下記のとおり。

- 縦断間隔 : 1.0m
- ロックボルト : 配置 アーチ、側壁
 長さ3m×本数11本
- 鋼製支保工 : 125H
- 吹付けコンクリート : 厚さ15cm(最小)

出典:JR東海 技術基準

補助工法:トンネル掘削の施工の安全確保および周辺環境の保全を目的とし、通常の支保工や加背割等の工夫では対処できないか、対処することが得策でない場合に用いられる対策手段の総称

フロー図のとおり、
 当初設計時および施工中に
 補助工法の必要性を検討



右上へ

右上へ

<参考:山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月、鉄運機構)より>
 当初発注時の限られた調査結果では、判断材料が不足する場合が多い。
 このため、多くは施工中得られる情報および地質調査等の結果から
 補助工法の採用の可否および適用範囲を判断することとなる。

補助工法の分類表

工 法	目 的							対 象 地 山			適 用 区 分	
	施工の安全確保			周辺環境の保全				硬 岩	軟 岩	未 固 結		
	天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定	地下水対策	地表面沈下対策	近接構造物対策						
天端の補強	フォアボーリング	○						○	○	○	*1	
	長尺フォアバイリング	○				○	○		○	○	*3	
	水平ジェットグラウト	○	○	○		○	○			○	*3	
	スリットコンクリート	○				○	○			○	*3	
	パイプルーフ	○				○	○		○	○	*3	
鏡面の補強	鍍金付けコンクリート		○					○	○	○	*1	
	鍍金ボルト		○			○		○	○	○	*1	
脚部の補強	ウイングリブ付き鋼製支保工			○		○			○	○	*1	
	脚部欠けコンクリート			○		○			○	○	*1	
	仮インバート			○		○			○	○	*1	
	脚部補強ボルト			○		○			○	○	*1	
	脚部補強パイプ			○		○			○	○	*2	
	脚部補強サイドパイプ			○		○			○	○	*2	
	脚部補強注入			○		○			○	○	*3	
地下水対策	排水	水抜きボーリング	○	○	○	○			○	○	○	*1
		ウェルポイント	○	○	○	○					○	*3
		ディープウェル	○	○	○	○					○	*3
		水抜き坑	○	○	○	○			○	○	○	*3
	止水	止水注入工法	○	○	○	○	○			○	○	*3
		凍結工法				○	○				○	*3
		圧気工法				○	○				○	*3
		遮水壁工法				○	○				○	*3
地山補強	垂直締地工法	○		○		○			○	○	*3	
	注入工法、攪拌工法	○		○		○	○		○	○	*3	
	遮断壁工法							○		○	*3	

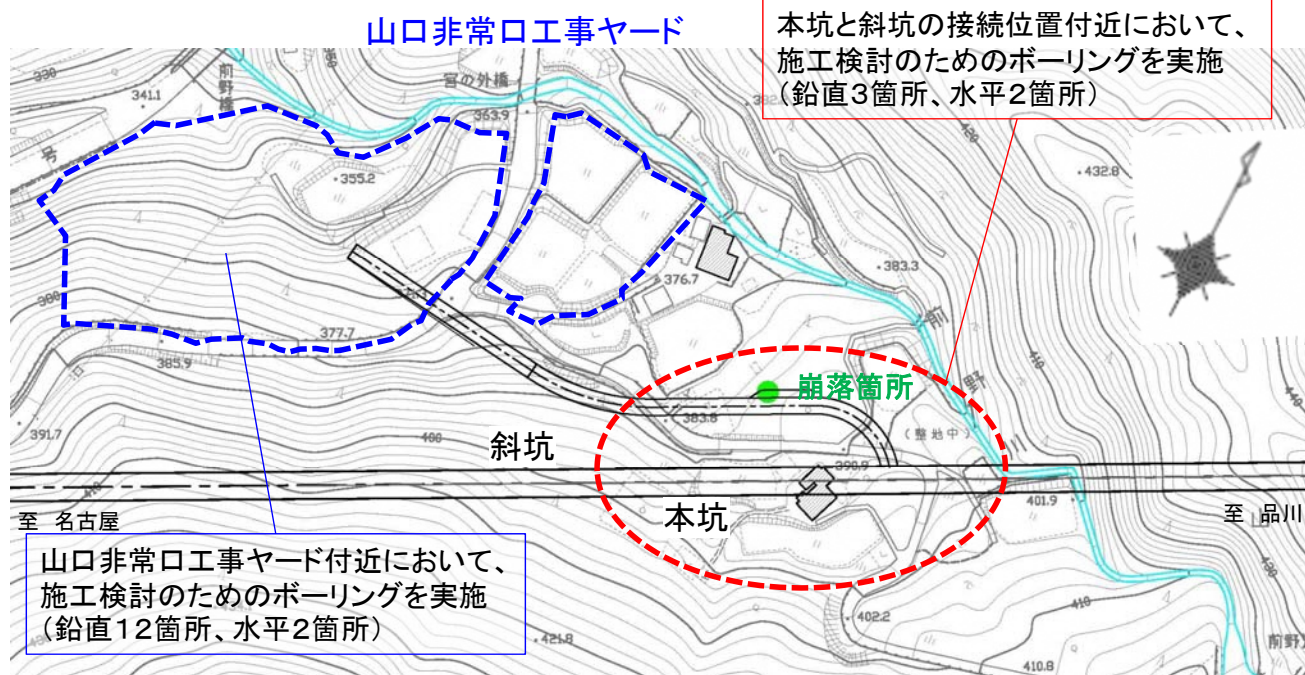
補助工法は、目的や対象地山によって様々な工法がある。

注) ○ 比較的良好に採用される工法
 *1 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な対策
 *2 適用する工法によって通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な工法と困難な工法がある対策
 *3 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が困難で、専用の設備等を要する対策

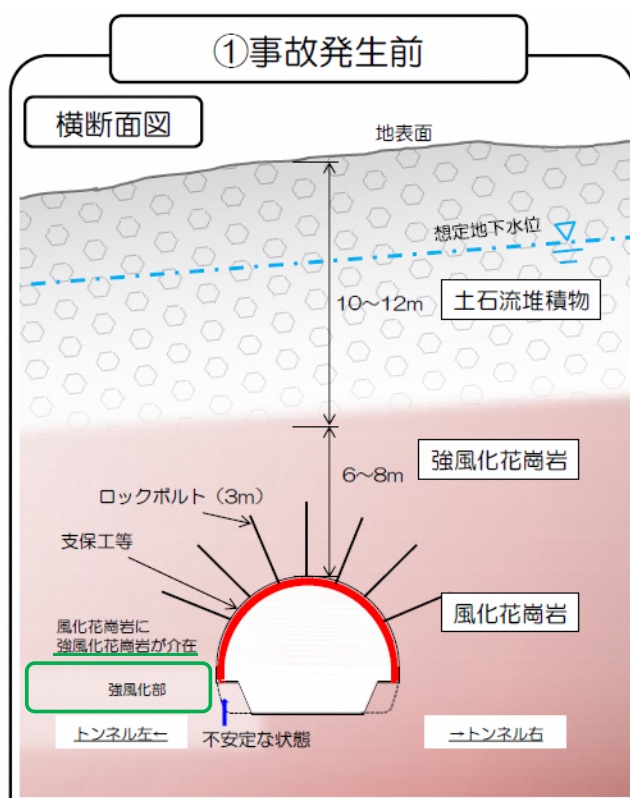
出典:トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(2016年、土木学会)

6. 崩落事故に至るまでの分析

工事前に実施した地質調査箇所



➡ 地質調査の結果により、先行支保工などの補助工法は不要とした。



切羽観察において、崩落部付近で左側の強度が低くなってきていることを確認していた。

<切羽観察項目>

切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、
破碎部の切羽に占める割合、割目間隔、割目状態、
割目の形態、湧水量(目視)、水による劣化、割目
の方向性

<崩落部付近の記載内容(抜粋)>

切羽左側は、風化の影響を強く受けた地山で、ブ
レーカーで容易に掘削できる程度に軟らかい

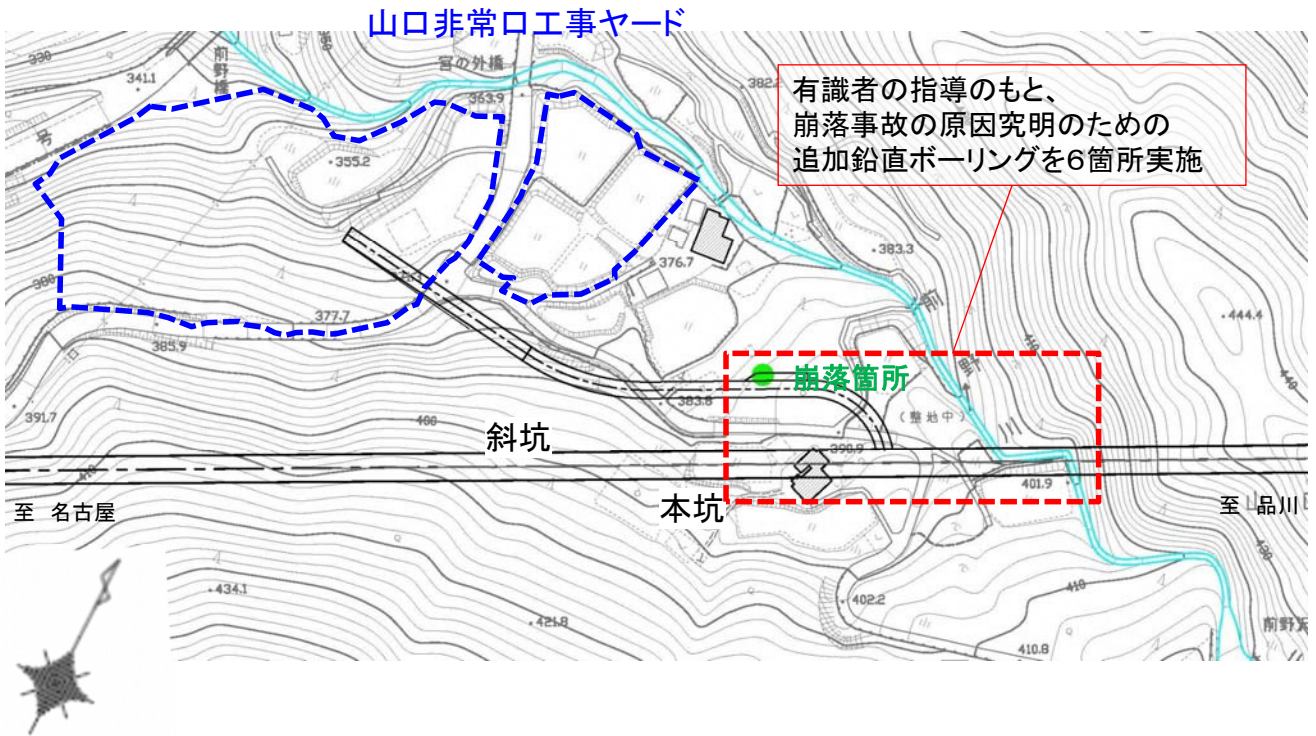


しかしながら、補助工法を適用せず、不安定地
山に適さない掘削断面形状のまま施工していた。

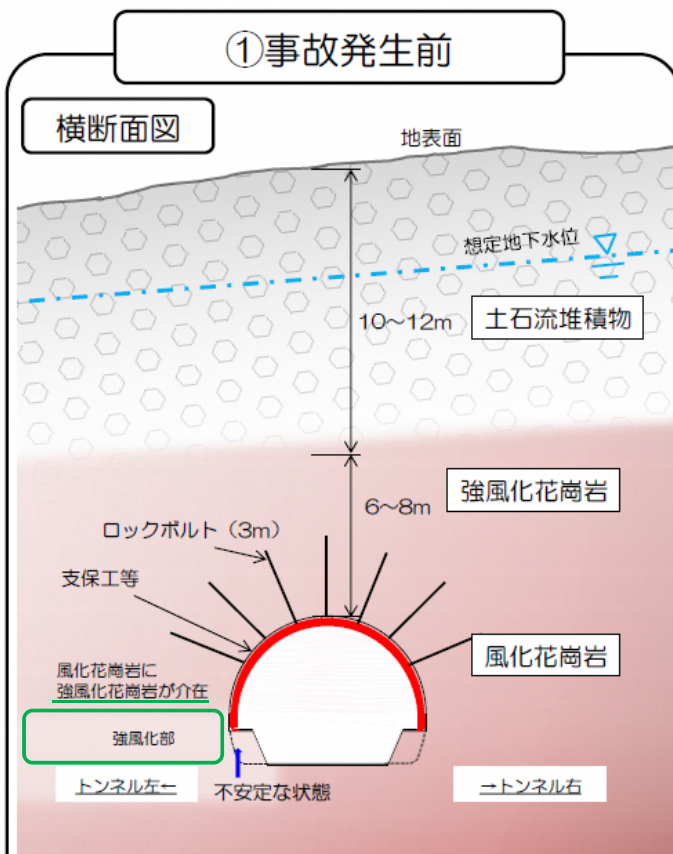


4月4日にトンネル内で土砂崩落が発生した。

崩落事故後に実施した地質調査箇所



追加鉛直ボーリングの結果

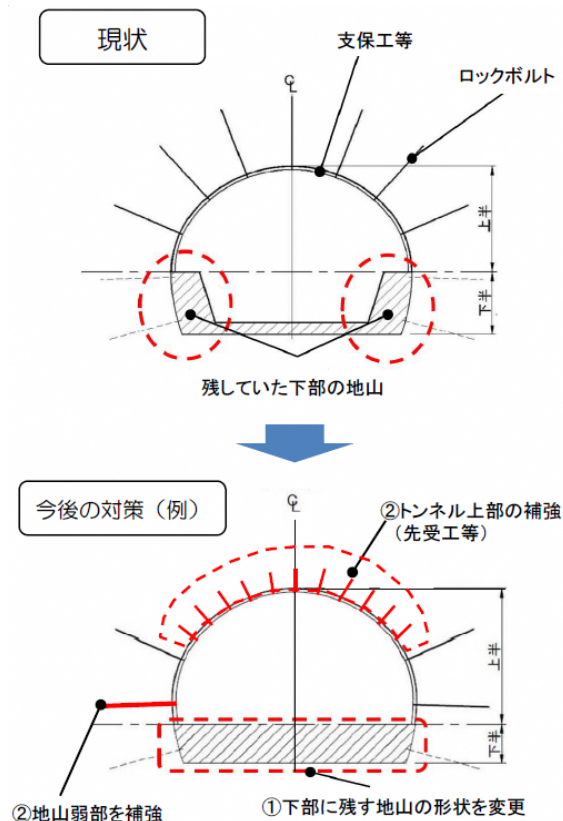


- トンネル左下部周辺は、風化花崗岩に強風化花崗岩が介在した地質であった。
- 崩落部周辺はトンネル直上に風化花崗岩及び強風化花崗岩が6~8m程度まで分布し、更にその上部は土石流堆積物が10~12m程度堆積していた。

- トンネル左下部付近に地耐力の小さい強風化花崗岩が介在していたことや、掘削機械の作業スペース確保のため、不安定地山に適さない掘削断面形状となっていたことから、トンネル左上部の地山荷重を支えられず、4月4日にトンネル内で土砂崩落が発生した。
- 4月5日～4月7日の間、トンネル内から土砂崩落部の空洞充填を実施したものの、緩み範囲が土石流堆積物まで拡がり地上部の崩落に至った。

7. 今後の対策

環境保全措置をより確実に履行するため、今後の対策として、以下を実施。



トンネル下部の地山の掘削前状況

復旧完了後の掘削にあたっては、地山状況を掘削面ごとに適切に評価(必要により、地質専門家の判断を求める)するとともに、不安定な地山の場合は下記の対策を実施

- ①掘削断面形状を見直し、坑内計測の頻度を上げるなど、慎重な施工管理を徹底
- ②事前にトンネル上部の補強や、地山弱部を補強するなど最適な補助工法を実施

39

今回の地上部土砂崩落を踏まえ、関係者は今後以下のように取り組んでいきます。

施工会社

不安定な地山の場合は、掘削断面形状を見直し、坑内計測の頻度を上げるなど、慎重な施工管理を徹底します。

事前にトンネル上部の補強や、地山弱部を補強するなど最適な補助工法を実施します。

鉄道・運輸機構

計測管理だけでなく、地山切羽ごとの状態変化を的確に確認、評価をして、慎重な施工管理を徹底するよう施工会社を指導していきます。

JR東海

鉄道・運輸機構に対してより一層、緊張感をもって工事を進めるよう要請するとともに、改めて、JR東海も安全に十分留意しながら、中央新幹線の建設に取り組んでいきます。