

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の報告書

令和元年10月

東海旅客鉄道株式会社

1. はじめに

平成31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た。

その後、当該工事の発注者である独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構（以下「鉄道・運輸機構」という。）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た。

さらに、「中央新幹線、中央アルプストンネル工事（山口）における地盤沈下に係る環境保全措置に対する知事意見書（令和元年10月7日、岐阜県）」に記載の山口工区に対する意見について、事業者の見解を取りまとめたので報告する。

2. 東海旅客鉄道株式会社（以下「JR東海」という。）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）には以下のように記載されている。

「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次のような取り決めをしている。

- ・ 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

3. 工事概要

当該工事の概要は次のとおりである（付図1参照）。

- ・ 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（鹿島建設株式会社・日本国土開発株式会社・吉川建設株式会社で構成、以下「JV」という。）
- ・ 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4.7 km、斜坑約0.3 km、その他（工事ヤード〔非常口〕等）

4. 崩落事故の概要

平成31年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、斜坑入口から200m付近の地上部（雑木林）にて、直径8m程度、深さ5m程度の土砂崩落を確認した。

なお、第三者及び斜坑内の作業員の被災はなかった。

5. 環境保全措置

(1) 「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

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」の中で、地盤沈下について、表8-3-2-2にて以下のように記載している。

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	

(2) 「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」の中で、表3-4-3-1にて、地盤沈下に関して以下のように記載している。

環境要素	環境保全措置	環境保全措置の効果	実施箇所等
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。

また、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」にて、次のように記載している。

- 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。

(3) 適切な構造及び工法について (付図2参照)

山岳部における標準的な工法であるNATMを採用する。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する。

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、次の手順で適切に設定する。

なお工事中は、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。

① 岩種分類 (付図3参照)

鉄道・運輸機構の「山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月)」の岩種分類表に基づき岩種を判定する。地質調査の結果、一軸圧縮強さが49.9~128.0N/mm²であったことからB岩種とした。

このボーリングでは深層の一部で 8.58~9.99 N/mm² という箇所があったが、近傍で実施した他の 2 箇所のボーリングでは 54.6~136.0 N/mm²、53.1~129.0 N/mm² であるため、B 岩種と判断した。

②地山等級（付図 4 参照）

鉄道・運輸機構の「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008 年 4 月）」の計画段階における地山分類基準に基づき地山等級を判定する。地質調査の結果、弾性波速度が 2.97~3.15km/sec であったことから地山等級を I_{N-1} とした。

なお、弾性波速度の測定方法は付図 5 に示す。

③支保パターン（付図 6 参照）

鉄道・運輸機構の「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008 年 4 月）」の標準支保パターンの選定表に基づき、支保パターンを選定する。B 岩種で地山等級が I_{N-1} であることから、支保パターンを I_{N-1P} とした。

④標準支保パターンによるトンネル支保構造

上記支保パターンにおける構造は、JR 東海の技術基準により次のとおり定めた。

- ・ 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
- ・ 吹付コンクリート : 厚さ 15cm（最小）

この構造は JR 東海が決定して鉄道・運輸機構へ通知し、鉄道・運輸機構は JR 東海が決定した構造で JV に工事発注している。

⑤補助工法

補助工法は、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である。

補助工法の選定フロー及び補助工法の分類表は付図 7, 8 のとおりである。

地質調査の結果、計画時には補助工法を不要とした（詳細は 7（1）に記述）。

6. 崩落事故の推定原因

有識者の指導のもと、崩落事故の原因究明のため追加鉛直ボーリングを 6 箇所実施した（付図 9 参照）。以下に推定原因を取りまとめた。

（1）事故発生前（付図 10 参照）

- ・ 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

※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

（2）4 月 4 日の坑内崩落発生時（付図 11 参照）

- ・ 掘削面より約 5 m 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
- (3) 4月8日の地上部崩落時 (付図 12 参照)
- ・ 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

7. 崩落事故の原因の分析

(1) 計画時 (付図 13 参照)

山口非常口工事ヤード付近において、施工検討のために鉛直 1 2 箇所、水平 2 箇所のボーリングを実施した。また、本坑と斜坑の接続位置付近においても、鉛直 3 箇所、水平 2 箇所のボーリングを実施した。

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。

なお、ベンチカット工法を採用しているが、ベンチカット工法の採用や掘削断面形状については、JV が作成した施工計画書に記載され、鉄道・運輸機構がその内容を確認し承諾している。

(2) 工事中 (付図 14 参照)

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。

崩落部付近の切羽観察の記載内容(抜粋)は「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」である。

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。

その結果、4月4日にトンネル内で土砂崩落が発生した。

一般的に斜坑などの小断面のトンネルでは、掘削機械の作業スペース確保のために、下段ベンチの中央部を掘削することがある。その場合、地山状況に応じて脚部の補強を行うことがあるが、工事前に実施した地質調査の結果、補強しなくても問題ないと判断していた。

※切羽観察の項目は、切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、破砕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、割目の方向性である

(3) 崩落事故後の地質調査結果 (付図 15, 16 参照)

有識者の指導のもと、崩落事故の原因究明のための追加鉛直ボーリングを 6 箇所実施した。その結果は次のとおりである。

- ・ 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 6～8 m 程度まで分布し、更にその上部は土石流堆積物が 10～12 m 程度堆積していた。

※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

(4) 崩落事故の原因の分析

以上を踏まえ、崩落事故の原因を次のように分析した。

- ・ 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。

- 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。
- 切羽観察を行いながら掘削を行っていて、切羽観察簿の報告を鉄道・運輸機構はJVから毎日、JR東海は鉄道・運輸機構から1週間分まとめて受けていた。
- 観察の結果、当該箇所では左側の強度が低くなったものの、切羽全体としては大幅な変化はなかった。ここに至るまでも補助工法を用いずに掘削を行ってきたという実績から、補助工法を用いなくても、また掘削断面形状を変更しなくても掘削可能であると判断した。
- しかし、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。

8. 復旧計画（付図 17 参照）

崩落箇所の復旧計画は次のとおりである。

- 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
- なお、ロックボルトおよび支保工等の再配置は9（1）に記述する。

9. 今後の対策

「7. 崩落事故の原因の分析」を踏まえ、環境保全措置をより確実に履行するため、施工段階で、今後の対策として以下を実施する。

（1）崩落箇所

【原因】

崩落箇所においては、トンネル左上部の地山荷重を支えられず、トンネル内で土砂崩落が発生し、さらに地上部の崩落に至った。

【対策】

崩落箇所の再掘削にあたり、支保パターンを変更する。具体的には、縦断間隔を1.0mから0.7mに、ロックボルト長さを3mから4.5mに、鋼製支保工を125Hから200Hに変更するとともに、インバートを設置する。

（2）斜坑、本坑

【原因】

- 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にも関わらず、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。
- 切羽観察を行いながら掘削を行っていたが、観察の結果、当該箇所では左側の強度が低くなったものの、切羽全体としては大幅な変化はなかった。ここに至るまでも補助工法を用いずに掘削を行ってきたという実績から、補助工法を用いなくても、また掘削断面形状を変更しなくても掘削可能であると判断した。

【対策】（付図 18 参照）

- ①地山状況を掘削面ごとに適切に評価する

<具体的な実施内容>

- ・ J Vは既に現場に地質の専門家を常駐させていて、今後は、鹿島建設本社関係者とも地質の情報を共有しながら、地山の状態を確認するとともに鉄道・運輸機構に報告する。

②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する

<具体的な実施内容>

- ・ 不安定な地山の場合は、掘削断面形状を見直す。斜坑については、掘削断面形状を、付図 18 左下の図に示すとおりベンチ下半の中央部を削らない形状とする。
- ・ 切羽観察や坑内計測の結果等から不安定な地山と判断した場合は、坑内計測の頻度を上げる。斜坑では、坑内計測を 10 m 以下の間隔で実施する。
- ・ 慎重な施工管理の一例として、切羽面から前方の探査を行い、前方の地質や地下水の状況を把握する。斜坑では、削孔検層を実施する。本坑では、阿寺断層や断層破碎帯部分については、先進坑を施工する。加えて、先進ボーリングを実施し、切羽前方の地質を確認する。

③不安定な地山の場合は、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

<具体的な実施内容>

- ・ 切羽観察や坑内計測の結果を踏まえ、管理基準値を参考に地山状況を確認したうえで、J Vと鉄道・運輸機構で支保パターンの確認や、補助工法の必要性を判断し、例えば天端が脆い場合には、補助工法として先行支保工を実施するなど、現場に即した補助工法を選定する。
- ・ 降雨時の湧水量の増加等の把握を含めた切羽ごとの監視を確実に実施するとともに、湧水に伴う不安定地山に対しては、先行支保工や鏡面の補強などの補助工法を実施する。

なお、今回の地上部土砂崩落を踏まえ、関係者は今後次のように取り組んでいく。

・ J V

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する。また、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する。

・ 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 J Vを指導していく。

・ J R 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、J R 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く。

また、緊急時の連絡体制の強化を目的に、地域住民への連絡等について、連絡体制表の見直しを行った（付図 19 参照）。

10. 山口工区に対する意見についての事業者の見解

山口工区に対する意見についての事業者の見解を以下に記載する。

(1) 施工段階における環境保全措置について

①復旧工事について

《知事意見》

今後、陥没部分の復旧工事が最初に行われることとなるが、エアモルタルによる空隙充填箇所であり、既に設置した支保工の撤去を伴ったトンネル掘削になることから、住民及び工事関係者の安全性を十分に確保するとともに、環境影響に配慮して、より慎重に施工すること。

《事業者の見解》

住民及び工事関係者の安全性を十分に確保するとともに、環境影響に配慮して、より慎重に施工する。

②斜坑について

《知事意見》

残りの斜坑部分については、不安定な地山であることを前提に、慎重に施工すること。具体的には、

- ・ 切羽面から前方の地質及び地下水の状況を把握するための「削孔検層」を実施すること。
- ・ 地質の専門職員を現場に常駐させ、専門的な見地から、切羽観察に基づき地山状態を確認すること。その上で、必要に応じ、天端の補強等の補助工法を採用すること。
- ・ 坑内計測を10m以下の間隔で実施すること。その上で、内空変位やゆがみ、脚部沈下等に係る管理基準値を厳しく設定し、必要に応じ、脚部の補強等を行うこと。
- ・ 上記の管理基準値については、地山状態を確認しながら、さらに厳しい値を設定する等、必要な見直しを行うこと。

《事業者の見解》

- ・ 残りの斜坑部分については、不安定な地山であることを前提に、上記4項目を実施し、慎重に施工する。

③本坑について

《知事意見》

本坑には阿寺断層や断層破碎帯が存在することから、一層慎重に施工すること。具体的には、

- ・ 「先進坑」を採用すること。加えて、施工中に「先進ボーリング」による切羽前方の地質調査を実施すること。これらにより、施工区域の断層破碎帯の分布状況及び性状等を十分に把握し、施工すること。
- ・ 審査会に設置されている地盤委員会の意見を踏まえ、当該地域の地質に精通する専門家を選定し、随時意見を聴取することのできる体制を整備すること。
- ・ 現場に常駐する地質の専門職員による切羽観察の結果や坑内計測の結果に基づき、より厳しく設定した内空変位やゆがみ、脚部沈下等に係る管理基準値を踏まえ、不安定な地山の判断を行うこと。

当該判断に際しては、上記専門家の意見聴取を行うこと。

- 不安定な地山と判断した場合には、掘削断面形状の見直しや坑内計測の頻度を上げる等、より慎重な施工管理を行うとともに、トンネル上部や脚部の補強等適切な補助工法を採用すること。
- 上記の管理基準値については、地山状態を確認しながら、さらに厳しい値を設定する等、必要な見直しを行うこと。
- なお、恵那山トンネル等、断層破碎帯におけるトンネル施工例等の情報を収集し、施工にあたっての参考とすること。

《事業者の見解》

- 本坑と斜坑との交差部から品川方の阿寺断層や断層破碎帯部分については、先進坑を施工する。加えて、先進ボーリングを実施し、切羽前方の地質を確認する。これらにより、施工区域の断層破碎帯の分布状況及び性状等を十分に把握し、施工する。

本坑と斜坑との交差部から名古屋方については、削孔検層により前方の地質及び地下水の状況を把握する。

- 不安定な地山の判断等においては、当該地域の地質に精通する専門家を選定し、随時意見を聴取することのできる体制を整備する。
- 現場に常駐する地質の専門職員による切羽観察の結果や坑内計測の結果に基づき、より厳しく設定した内空変位やゆがみ、脚部沈下等に係る管理基準値を踏まえ、不安定な地山の判断を行う。
また、当該判断に際しては、専門家の意見聴取を行う。
- 不安定な地山と判断した場合は、前方の地質や地下水の状況を確認しながら、掘削断面形状の見直しや坑内計測の頻度を上げる等、慎重な施工管理を行うとともに、適切な補助工法を採用する。
- 坑内計測の管理基準値は、地山の状況に応じて厳しい値を設定する等、必要な見直しを行う。
- 施工にあたっては、恵那山トンネル等、断層破碎帯におけるトンネル施工例等の情報を参考にする。

(2) 今後の進め方について

《知事意見》

JR東海として、今回の陥没の原因とともに、復旧工事、斜坑、本坑の地盤沈下に係る今後の環境保全措置について、以下の事項に関し、地盤委員会で説明された内容に基づき、具体的に整理した上で、「中央新幹線（東京都・名古屋市間）環境影響評価書【岐阜県】」（平成26年8月）及び「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」（平成29年5月）を補完するものとして、報告書を作成すること。

- 陥没事故を踏まえた改善策
- 不安定な地山と判断する場合のメルクマール
- 施工中に不安定な地山と判断した場合の具体的な対策

また、当該報告書を公表し、地域住民に説明した上で、その状況について、岐阜県及び関係市に報告すること。

《事業者の見解》

- 陥没事故を踏まえた改善策は次のとおりである。

- ① 崩落箇所の再掘削にあたり、支保パターンを変更する。具体的には、縦断間隔を1.0mから0.7mに、ロックボルト長さを3mから4.5mに、鋼製支保工を125Hから200Hに変更するとともに、インバートを設置する。
- ② 斜坑および本坑において、慎重な施工管理を行うため、JVは既に現場に地質の専門家を常駐させていて、今後は、鹿島建設本社関係者とも地質の情報を共有しながら、地山の状態を確認するとともに鉄道・運輸機構に報告する。
- ③ 斜坑および本坑において、切羽観察や坑内計測の結果等から不安定な地山と判断した場合は、坑内計測の頻度を上げるほか、慎重な施工管理の一例として、切羽面から前方の探査を行い、前方の地質や地下水の状況を把握する。なお、斜坑では、坑内計測を10m以下の間隔で実施する。

- ・ 不安定な地山と判断する場合のメルクマールについては次のとおりである。

JVが既に現場に地質の専門家を常駐させていて、今後は、鹿島建設本社関係者とも地質の情報を共有し、切羽観察や坑内計測の結果等から不安定な地山と判断する。メルクマールとしては、切羽観察においては天端が脆い場合や湧水量の著しい増加がある場合、坑内計測においては内空変位や脚部沈下の測定値が管理基準値を超過する場合などがある。

- ・ 施工中に不安定な地山と判断した場合の具体的な対策は次のとおりである。

- ① 斜坑および本坑において、切羽観察や坑内計測の結果を踏まえ、支保パターンの確認や、補助工法の必要性を判断し、例えば天端が脆い場合には、補助工法として先行支保工を実施するなど、現場に即した補助工法を選定する。
- ② 斜坑および本坑において、降雨時の湧水量の増加等の把握を含めた切羽ごとの監視を確実に実施するとともに、湧水に伴う不安定地山に対しては、先行支保工や鏡面の補強などの補助工法を実施する。

なお、本報告書は当社ホームページにて公表するとともに、地域住民への説明状況について、岐阜県及び関係市である中津川市に報告する。

(3) 管理監督体制について

《知事意見》

JR東海、鉄道・運輸機構、JVの三者の間で、積極的に情報共有を図り、不安定な地山の判断や補助工法の採用等の環境保全措置を確実に履行すること。

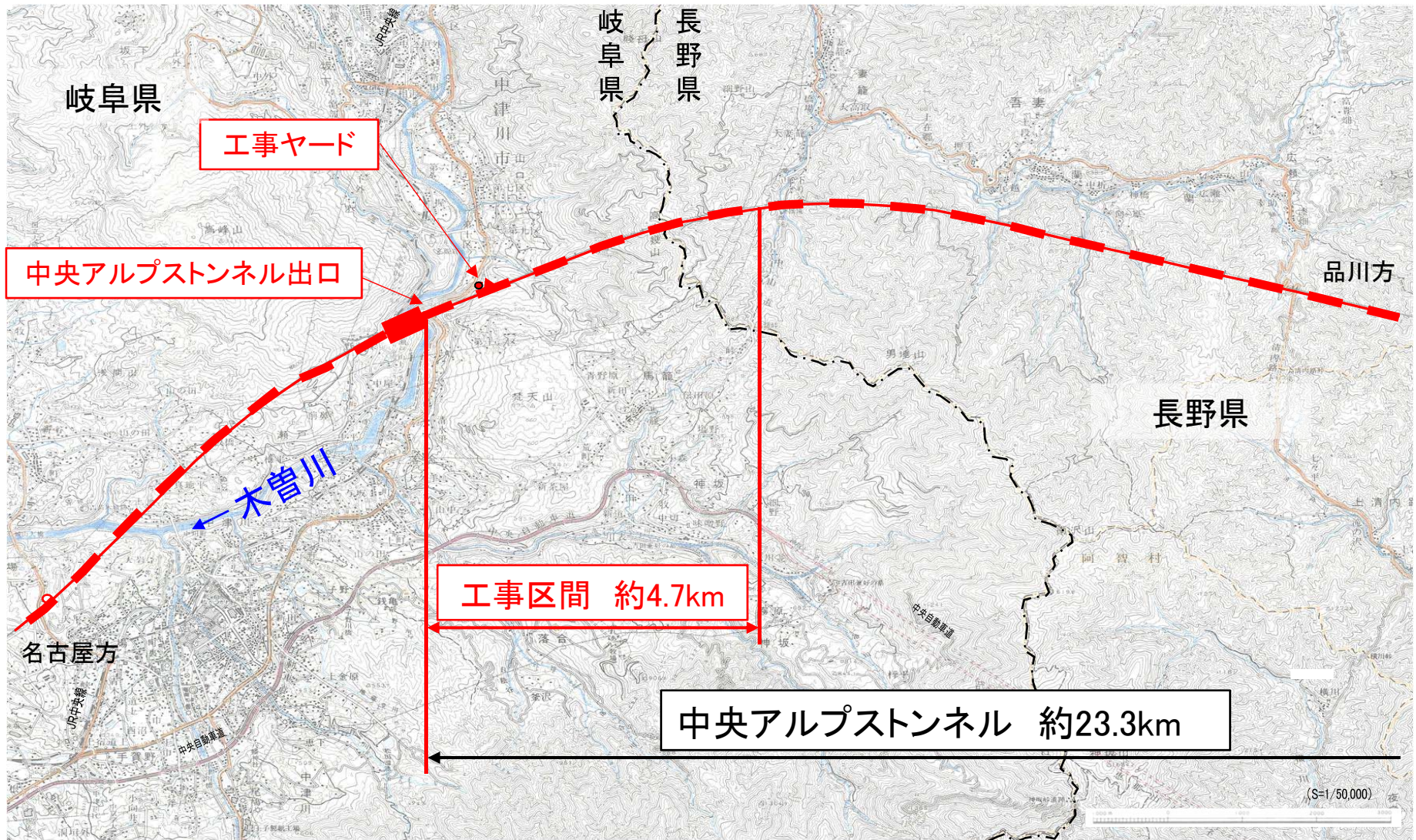
上記判断に当たっては、地盤委員会の意見を踏まえて選定した専門家の意見を聴取すること。

《事業者の見解》

JR東海、鉄道・運輸機構、JVの三者の間で、積極的に情報共有を図り、不安定な地山の判断や補助工法の採用等の環境保全措置を確実に履行する。

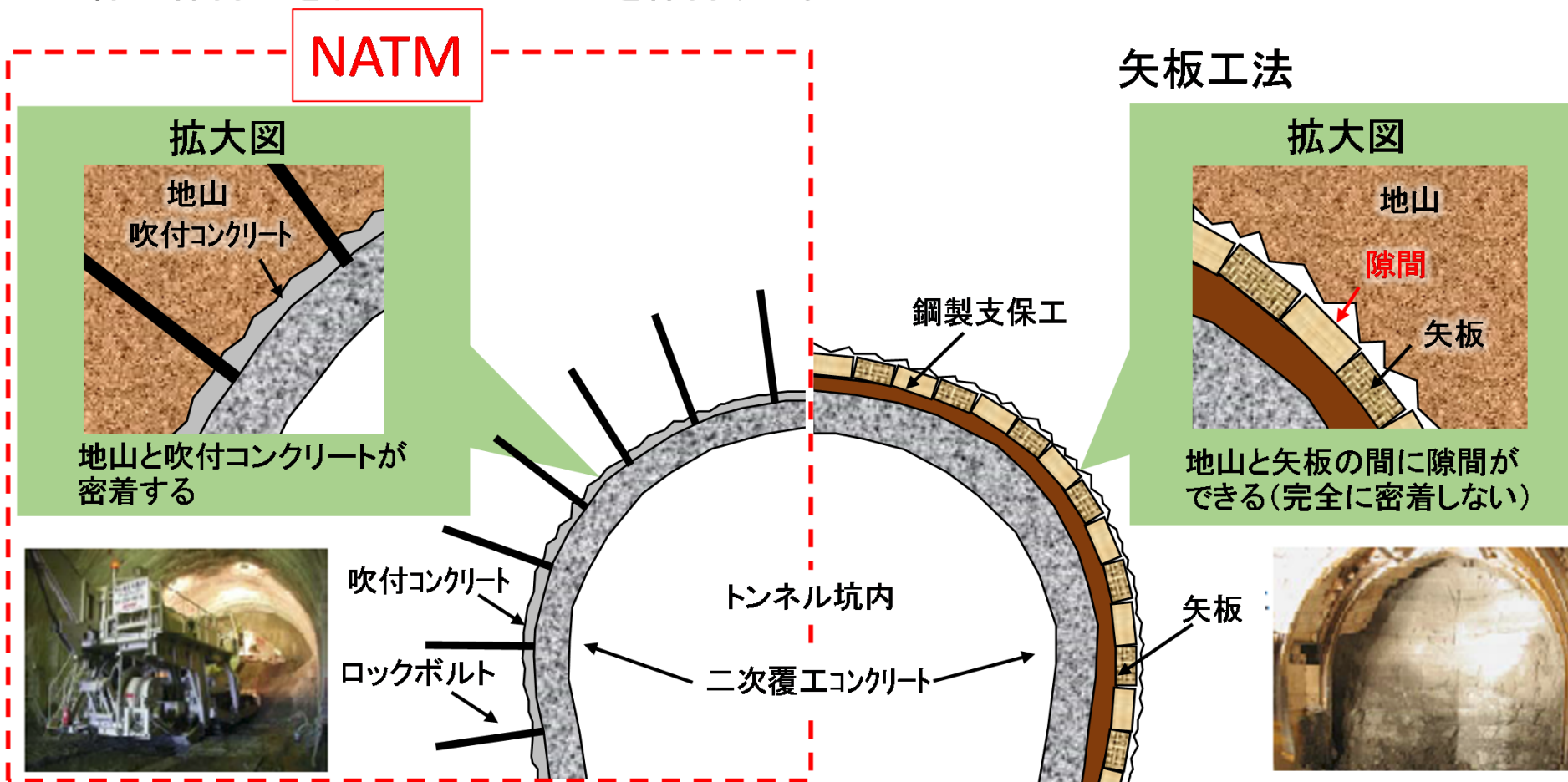
上記判断に当たっては、地盤委員会の意見を踏まえて選定した専門家の意見を聴取する。

<付図1> 平面図



<付図2>適切な構造及び工法について

山岳部における標準的な工法であるNATMを採用する。
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する。



- 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

<付図3>適切な構造及び工法について

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）	↑ 硬 岩 ↓ 一軸圧縮強さは、 以下の数値を目安 とする $50 \text{ N/mm}^2 \leq q_u$
	塊状の硬岩（亀裂面の剥離性が小さい）	
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	↓ 中 硬 岩 ↑ $15 \text{ N/mm}^2 \leq q_u < 50 \text{ N/mm}^2$
	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）	↓ 軟 岩 ↑ $2 \text{ N/mm}^2 \leq q_u < 15 \text{ N/mm}^2$
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	↓ 土 砂 ↑ $q_u < 2 \text{ N/mm}^2$
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	
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

<付図4> 適切な構造及び工法について

②地山等級

岩種と弾性波速度(V_p)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 $V_p=2.97\sim 3.15\text{km/sec}$ → 地山等級は I_{N-1}

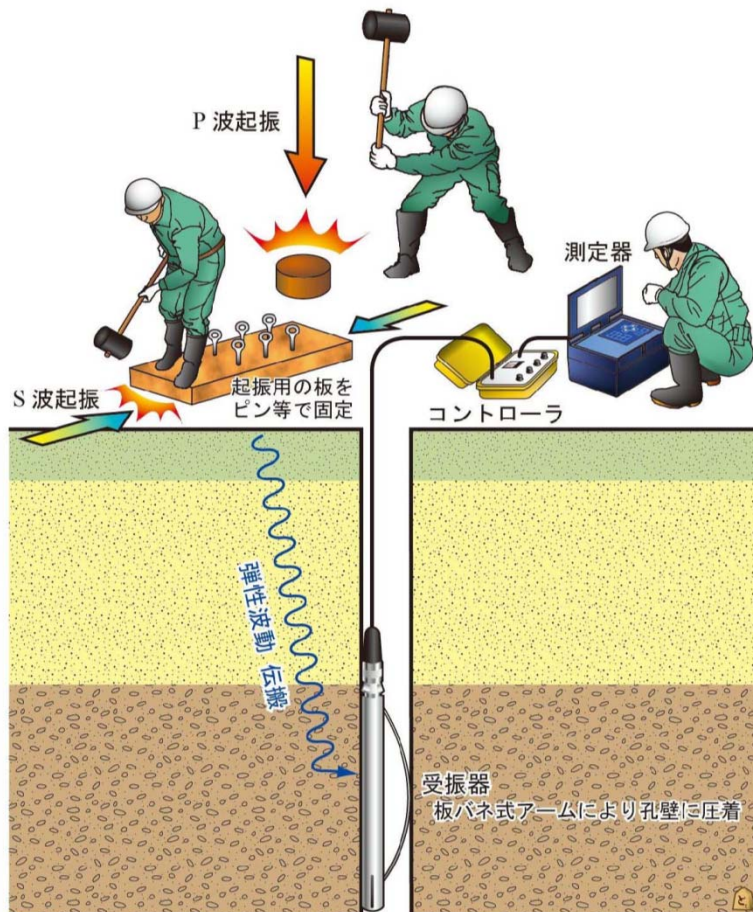
地山種類 地山等級	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F、G岩種	
						粘性土	砂質土
V_N	$V_p \geq 5.2$	-	$V_p \geq 5.0$	$V_p \geq 4.2$	-	-	-
IV_N	$5.2 > V_p \geq 4.6$	-	$5.0 > V_p \geq 4.4$	$4.2 > V_p \geq 3.4$	-	-	-
III_N	$4.6 > V_p \geq 3.8$	$V_p \geq 4.4$	$4.4 > V_p \geq 3.6$	かつ $G_n \geq 5$	かつ $G_n \geq 6$	-	-
II_N	$3.8 > V_p \geq 3.2$	$4.4 > V_p \geq 3.8$	$3.6 > V_p \geq 3.0$	かつ $5 > G_n \geq 4$	かつ $6 > G_n \geq 4$	-	-
I_{N-2}	$3.2 > V_p \geq 2.5$	-	$3.0 > V_p \geq 2.5$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $4 > G_n \geq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 2$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $4 > G_n \geq 3$	-	-
I_{N-1}	-	$3.8 > V_p \geq 2.9$	-	-	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $3 > G_n \geq 2$	$G_n \geq 2$	$D_r \geq 80$ かつ $F_c \geq 10$
I_S	-	-	-	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$2 > G_n \geq 1.5$	-
I_L	$2.5 > V_p$	$2.9 > V_p$	$2.5 > V_p$	-	-	-	$D_r \geq 80$ 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 (%)

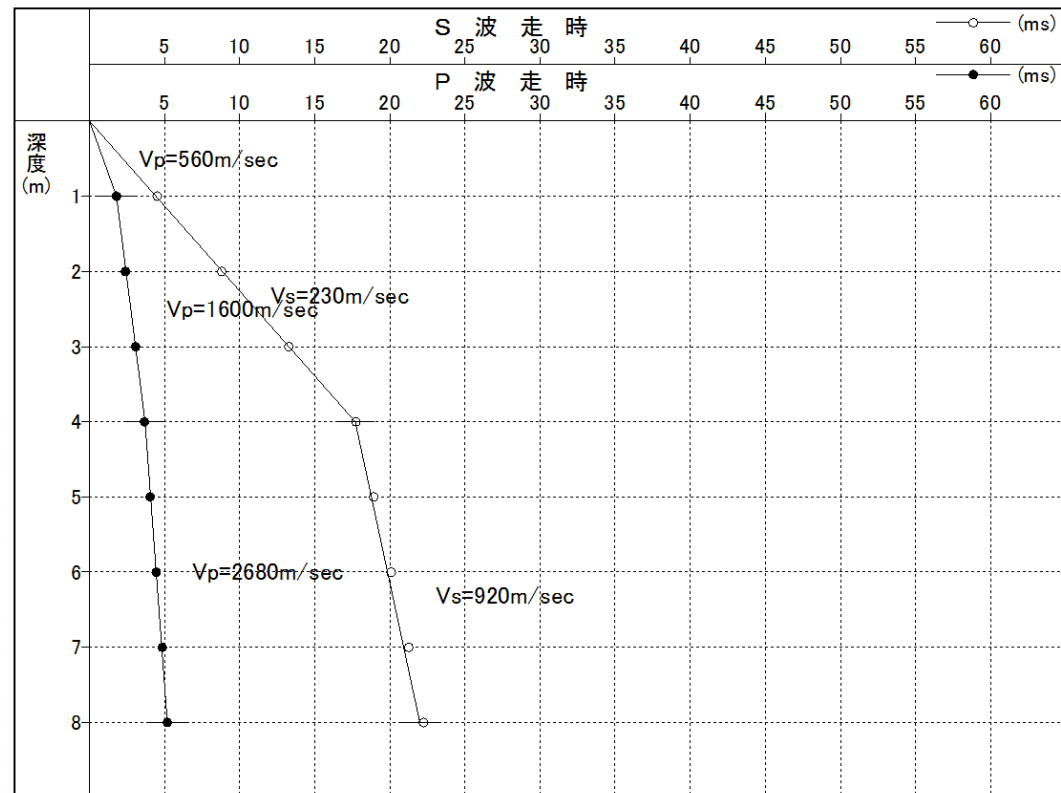
出典: 山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月、鉄道・運輸機構)

<付図5> 適切な構造及び工法について

地質調査において、PS検層(下図参照)という方法にて弾性波速度を測定した。測定の結果、深度11~22mにおける弾性波速度は2.97km/secで、深度22~38mにおける弾性波速度は3.15km/secであった。なお、測定箇所近傍における斜坑の深度は25~32mである。



走時曲線



<付図6>適切な構造及び工法について

③支保パターン

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}

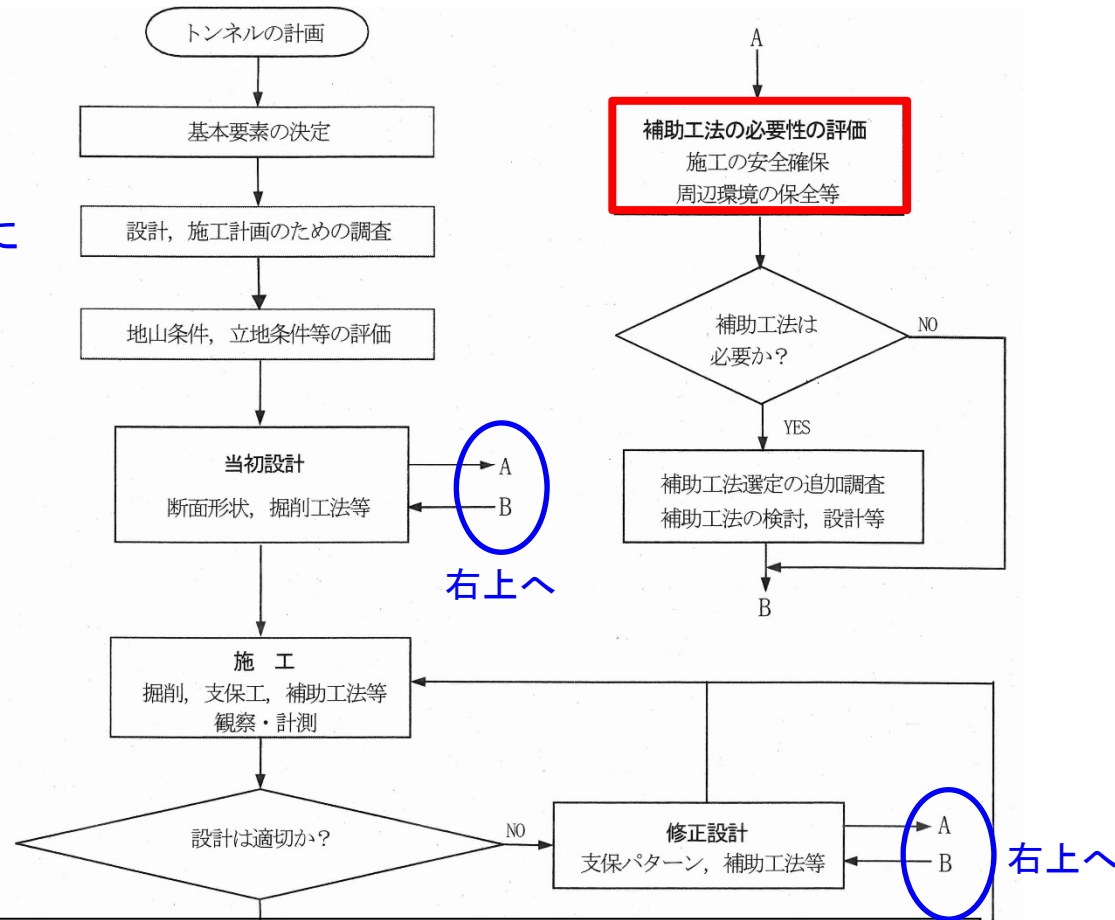
地山等級 \ 岩種	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F、G岩種	
						粘性土	砂質土
V_N	IV_{NP}	—	IV_{NP}	IV_{NP}	—	—	—
IV_N	IV_{NP}	—	IV_{NP}	IV_{NP}	—	—	—
III_N	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	—	—
II_N	II_{NP}	II_{NP}	II_{NP}	II_{NP}	II_{NP}	—	—
I_{N-2}	I_{N-2P}	—	I_{N-2P}	I_{N-2P}	I_{N-2P}	—	—
I_{N-1}	—	I_{N-1P}	—	—	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。

<付図7> 適切な構造及び工法について

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



<参考:山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月、鉄道・運輸機構)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。

<付図8>適切な構造及び工法について

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		
	切羽安定対策			地下 水 対 策	地 表 面 沈 下 対 策	近 接 構 造 物 対 策						
	天端の 安 定	鏡面の 安 定	脚部の 安 定									
天 端 の 補 強	フォアボーリング	○						○	○	○	*1	
	長尺フォアパイリング	○					○	○		○	*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	
補 鏡 面 の 強	鏡吹付けコンクリート		○					○	○	○	*1	
	鏡ボルト		○					○	○	○	*1	
脚 部 の 補 強	ウイングリブ付き鋼製支保工			○			○		○	○	*1	
	脚部吹付けコンクリート			○			○		○	○	*1	
	仮インパート			○			○		○	○	*1	
	脚部補強ボルト			○			○		○	○	*1	
	脚部補強パイル			○			○		○	○	*2	
	脚部補強サイドパイル			○			○		○	○	*2	
	脚部補強注入			○			○		○	○	*3	
地 下 水 位 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	垂直縫地工法	○		○			○		○	○	*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。

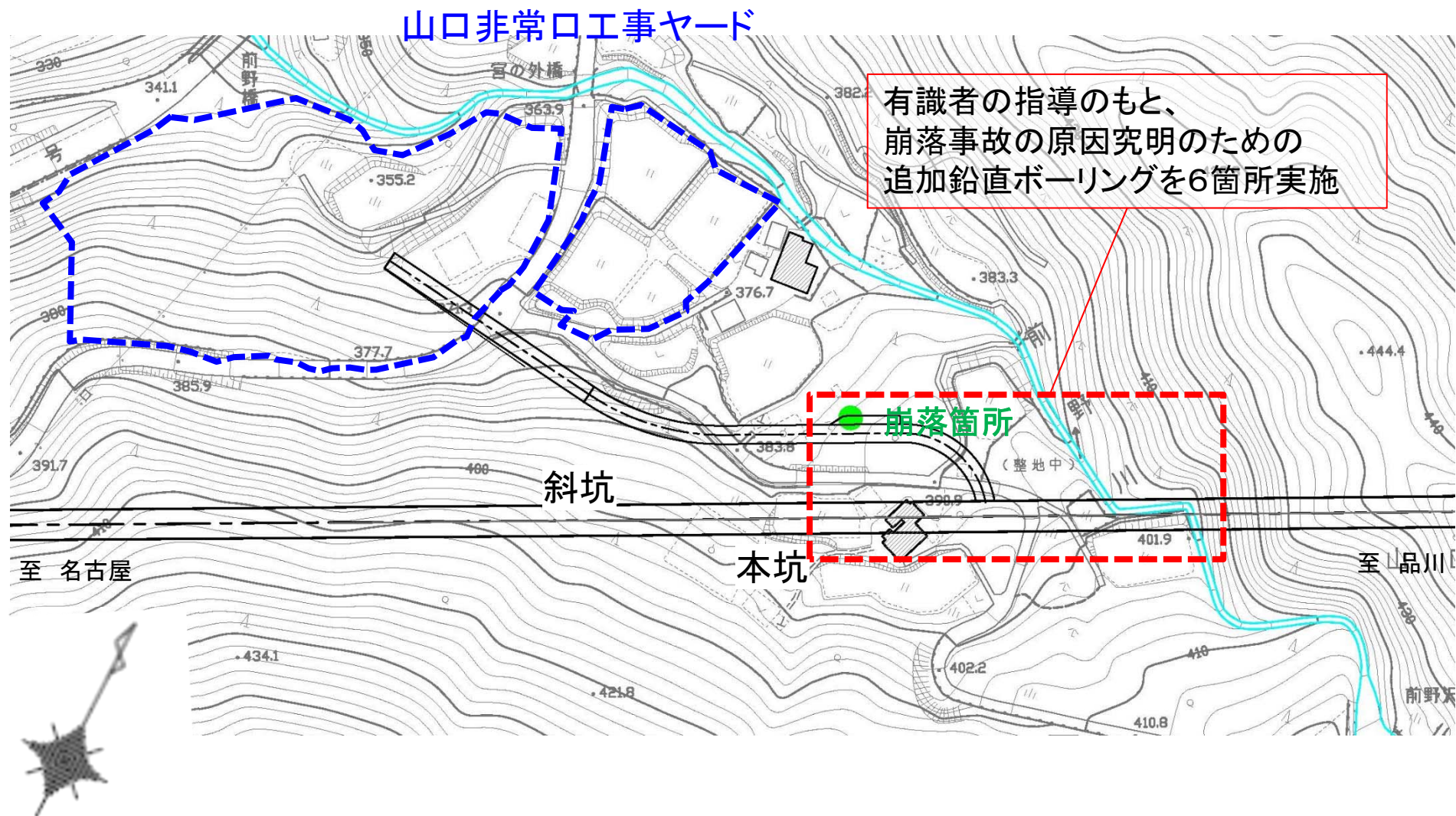
注) ○ 比較的良好に採用される工法

*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

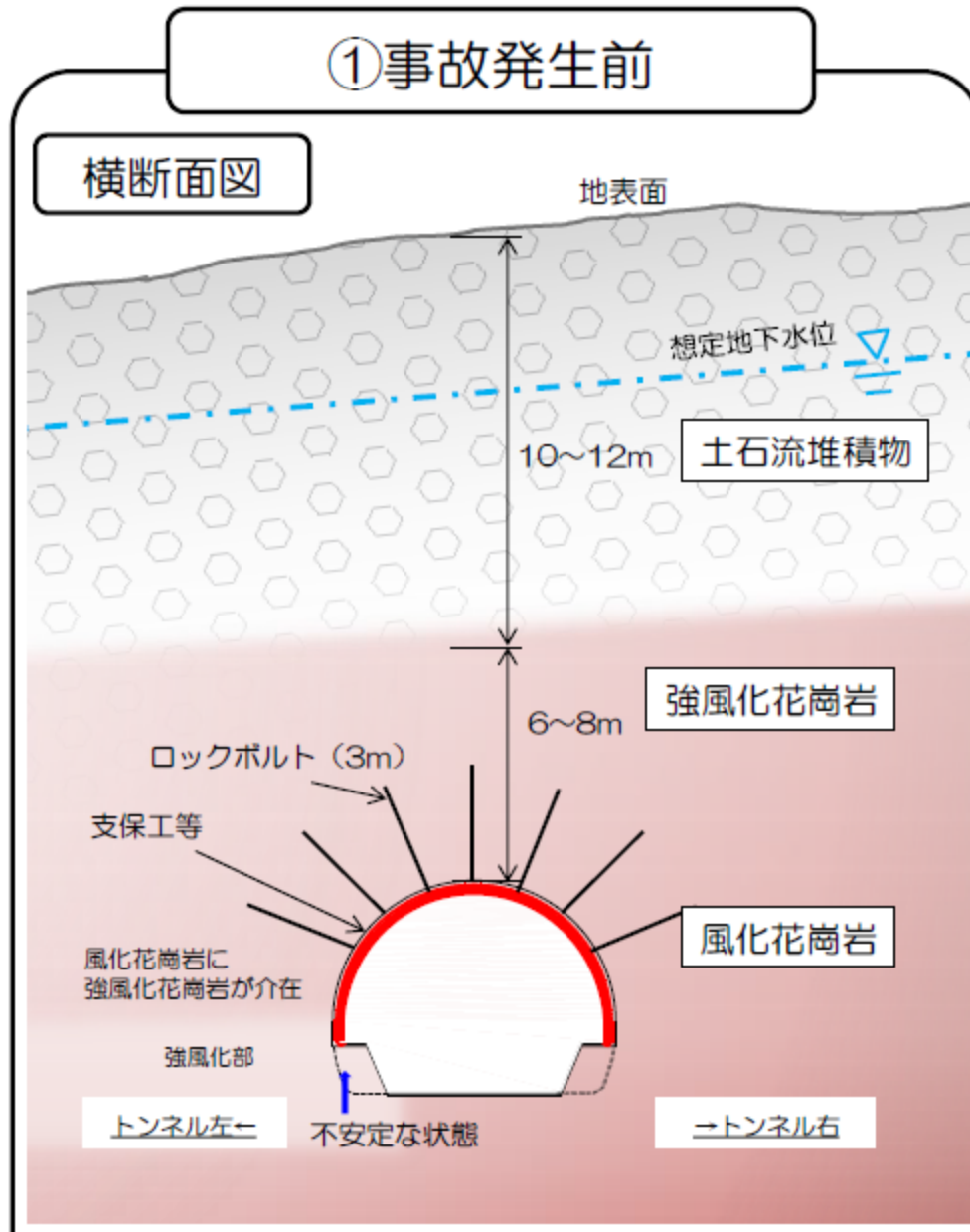
*2 適用する工法によって通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な工法と困難な工法がある対策

*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

<付図9> 崩落事故後に実施した地質調査箇所



<付図10> 崩落事故の推定原因



- ✓ 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

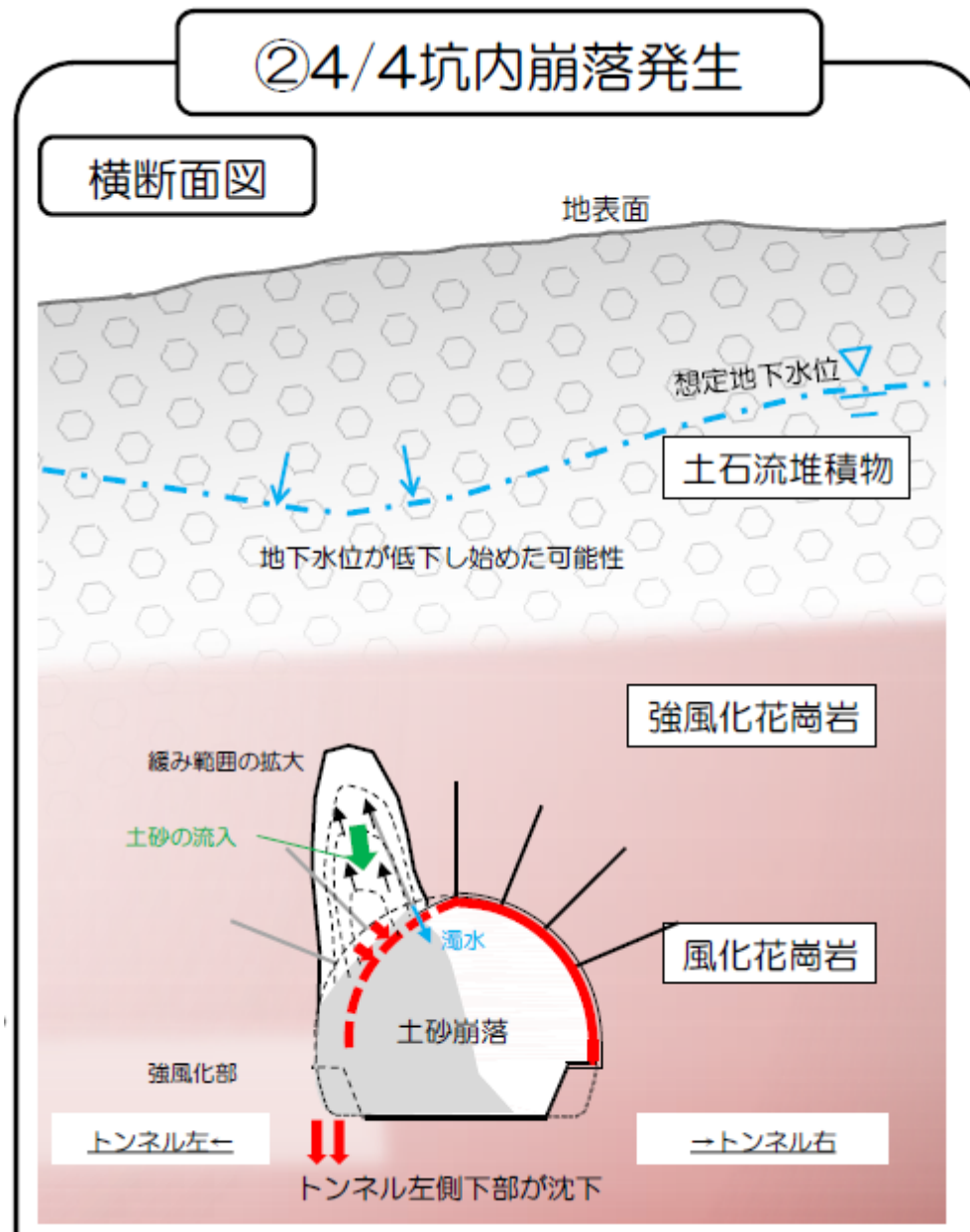
※風化花崗岩

⇒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

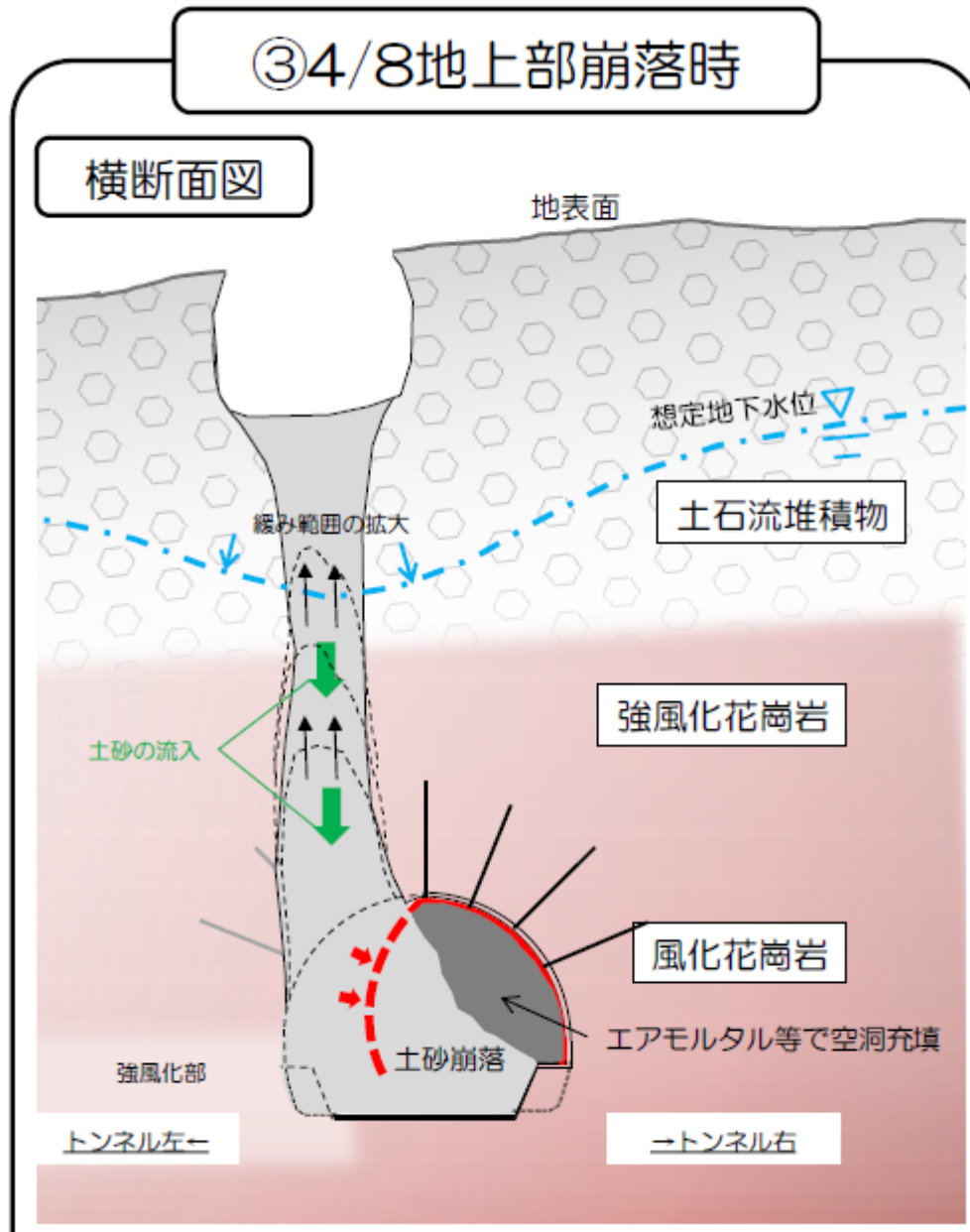
<付図11> 崩落事故の推定原因



- ✓ 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

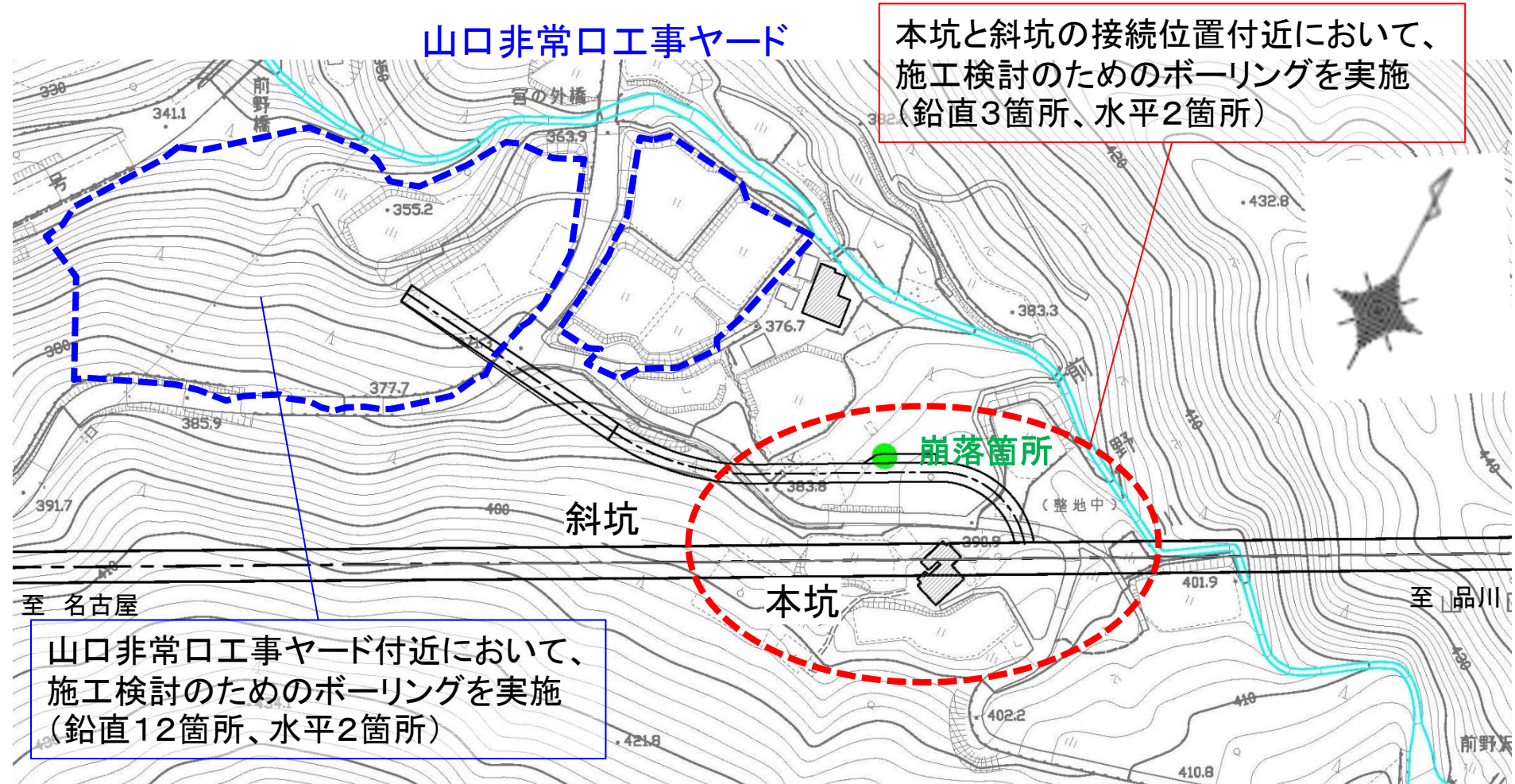
<付図12> 崩落事故の推定原因



- ✓ 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

<付図13> 崩落事故の原因の分析(計画時)

工事前に実施した地質調査箇所

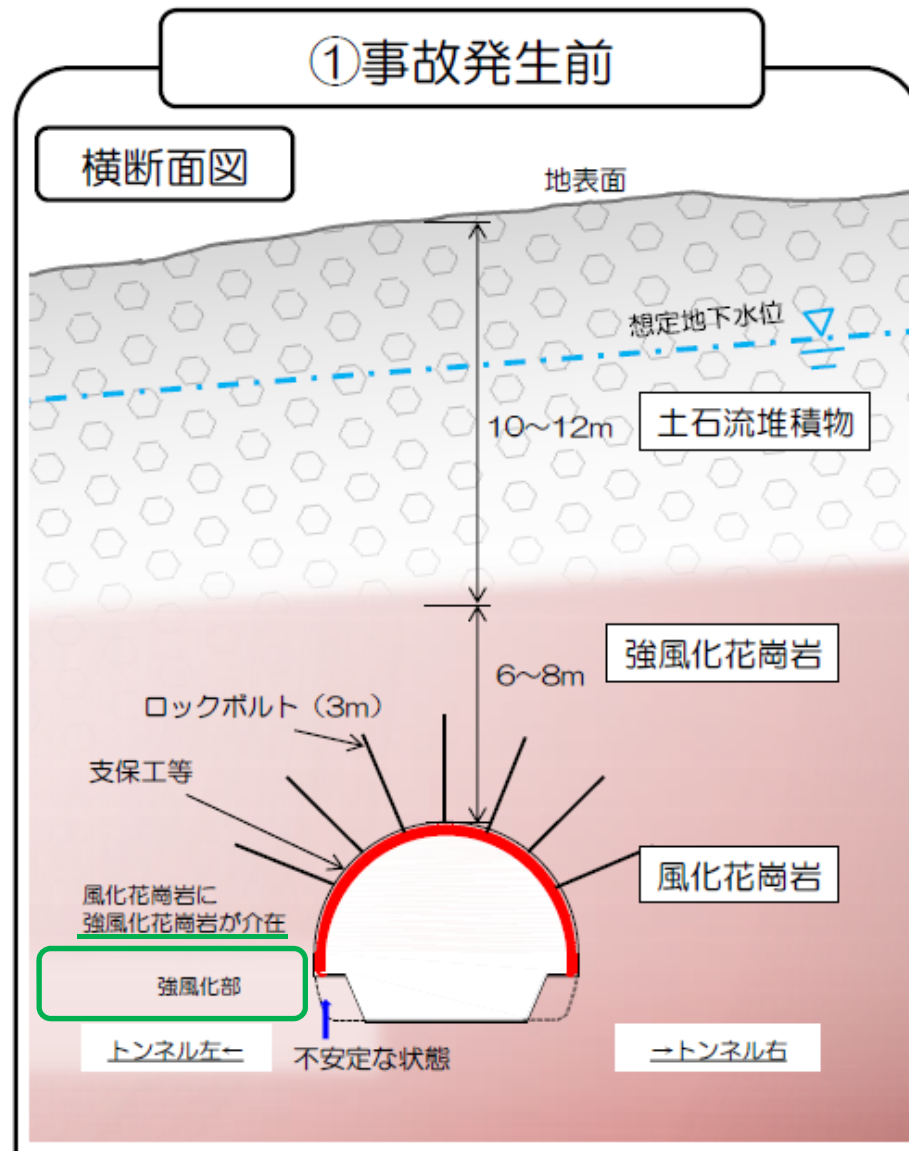


山口非常口工事ヤード付近において、
施工検討のためのボーリングを実施
(鉛直12箇所、水平2箇所)

本坑と斜坑の接続位置付近において、
施工検討のためのボーリングを実施
(鉛直3箇所、水平2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。
ベンチカット工法を採用しているが、ベンチカット工法の採用や掘削断面形状については、JVが作成した施工計画書に記載され、鉄道・運輸機構がその内容を確認し承諾している。

<付図14> 崩落事故の原因の分析(工事中)



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。

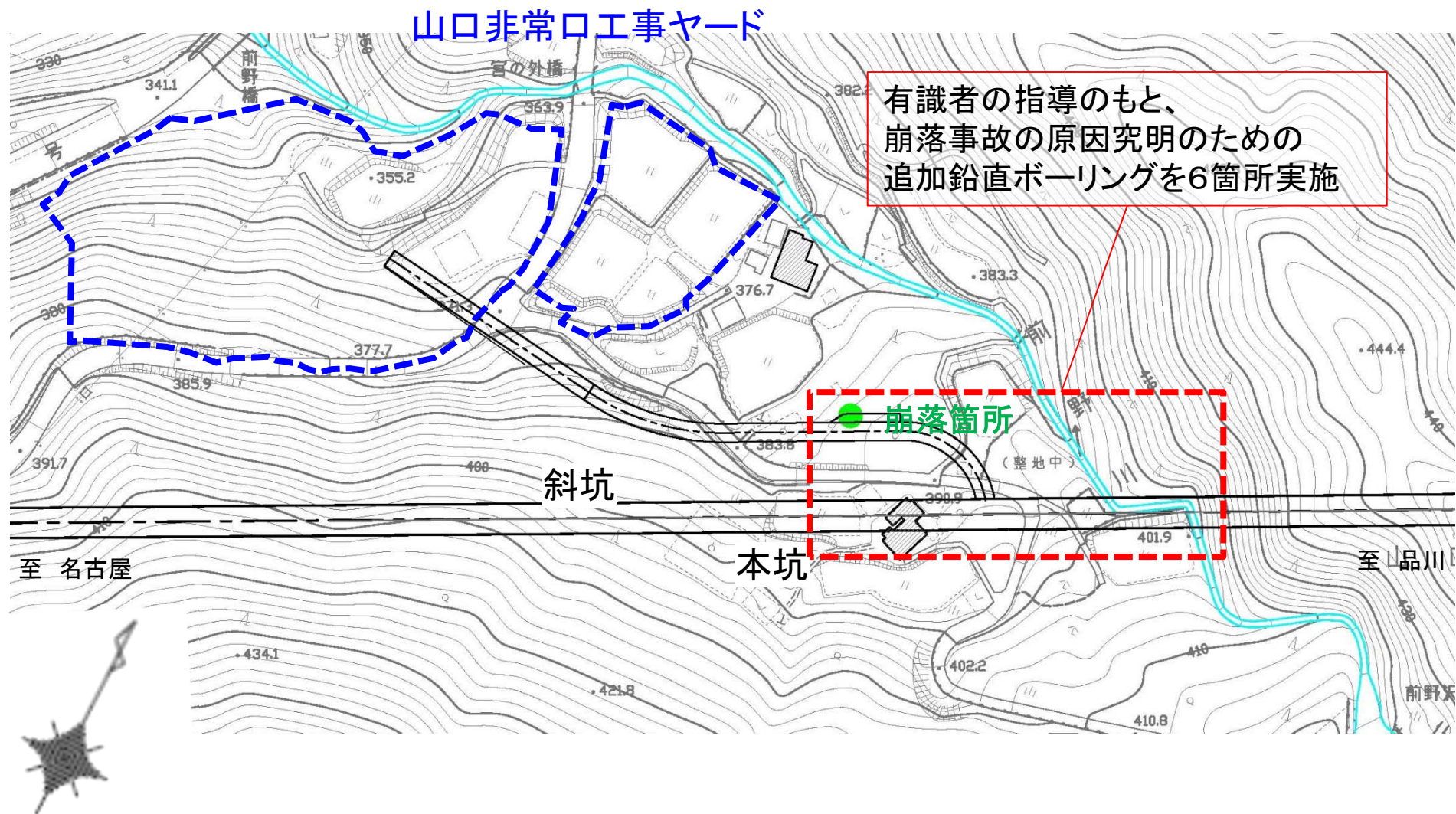


4月4日にトンネル内で土砂崩落が発生した。

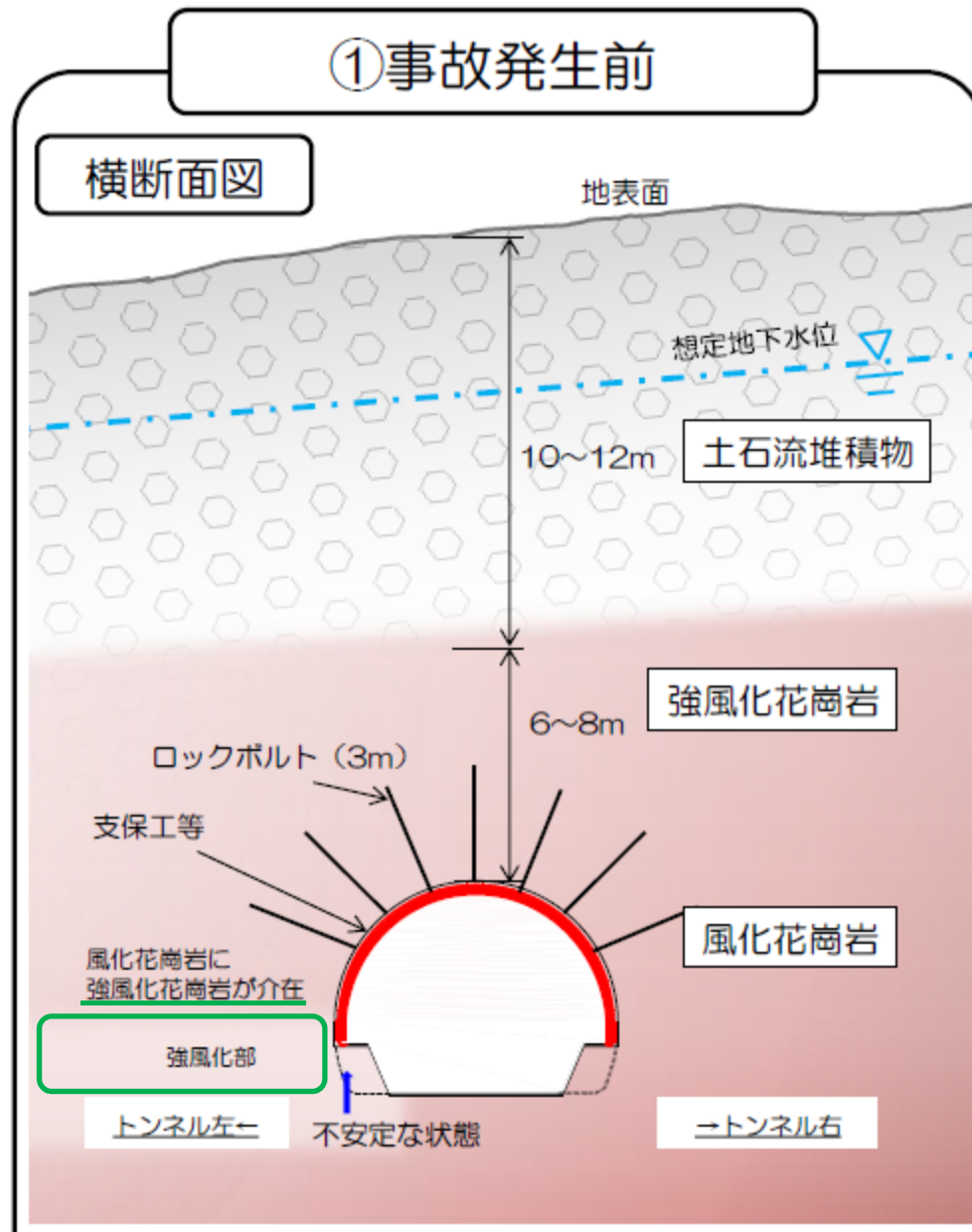
一般的に斜坑などの小断面のトンネルでは、掘削機械の作業スペース確保のために、下段ベンチの中央部を掘削することがある。その場合、地山状況に応じて脚部の補強を行うことがあるが、工事前に実施した地質調査の結果、補強しなくても問題ないと判断していた。

<付図15> 崩落事故後の地質調査

崩落事故後に実施した地質調査箇所

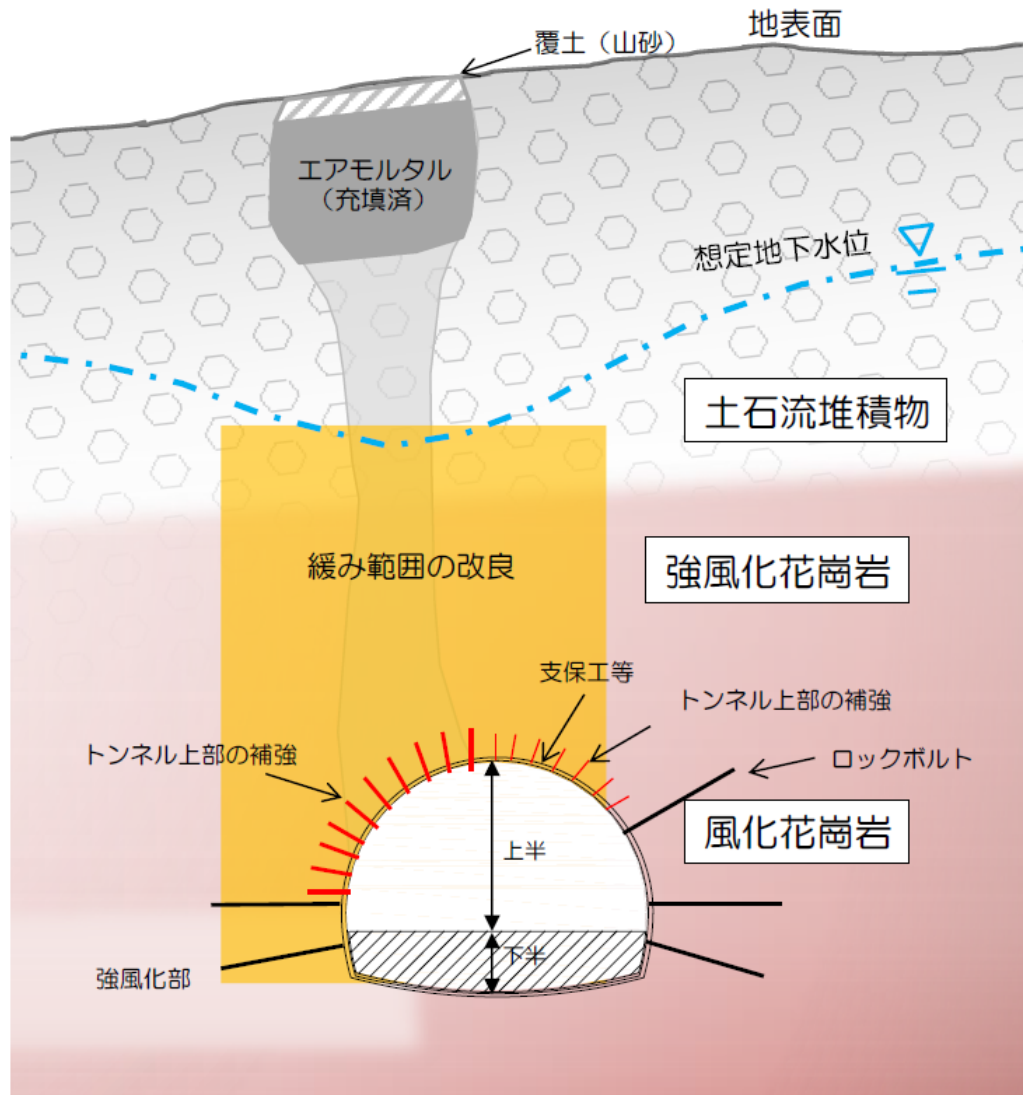


<付図16> 崩落事故後の地質調査結果



- 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。

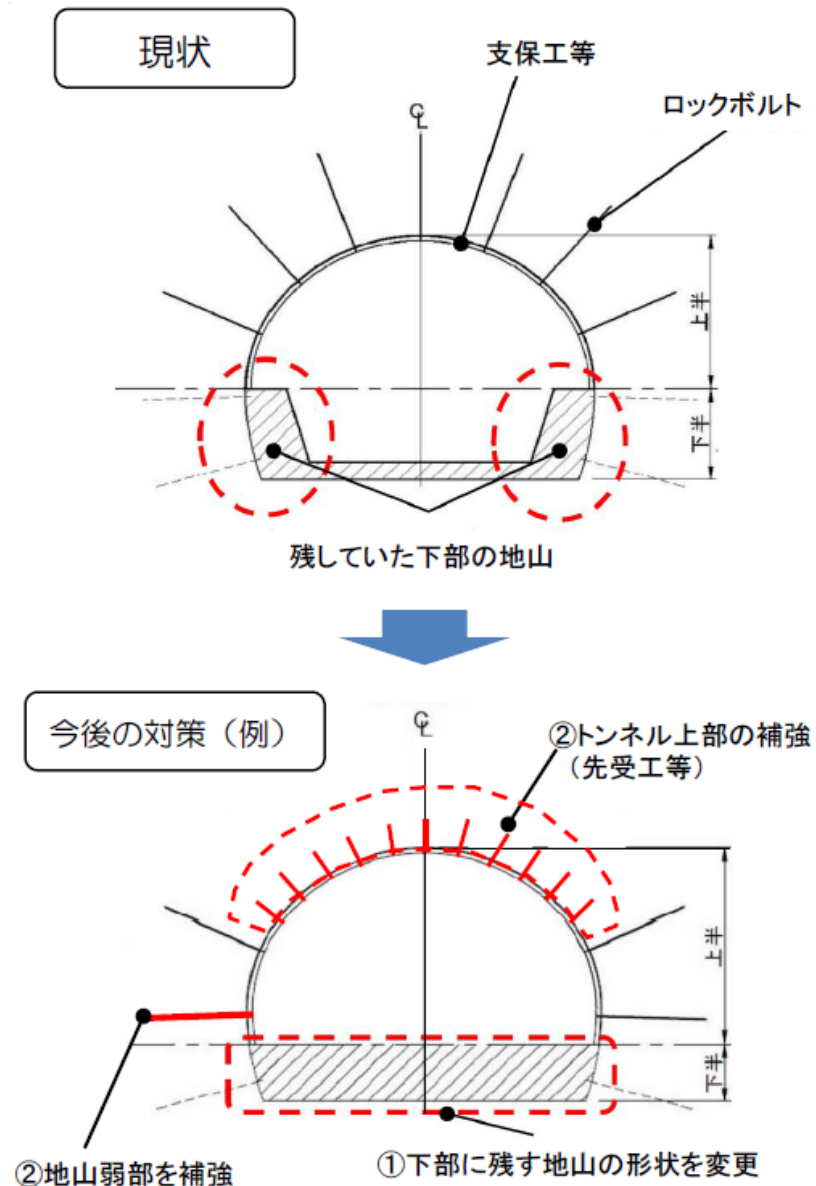
<付図17> 復旧計画



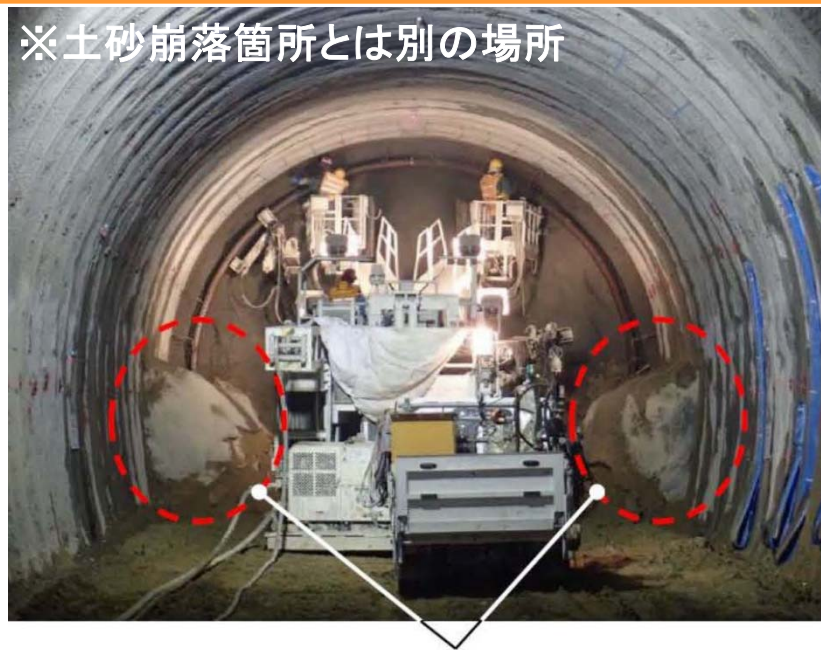
- ✓ 土砂崩落部周辺の緩み範囲の改良(セメント系)作業をトンネル内から施工
- ✓ 改良の状態を確認のうえ、先受工等、トンネル上部の補強をした後に、トンネル内の崩落土砂等を撤去し、ロックボルトおよび支保工等の再設置を実施

<付図18> 今後の対策

環境保全措置をより確実に履行するため、
施工段階で、今後の対策として、以下を実施。



※土砂崩落箇所とは別の場所

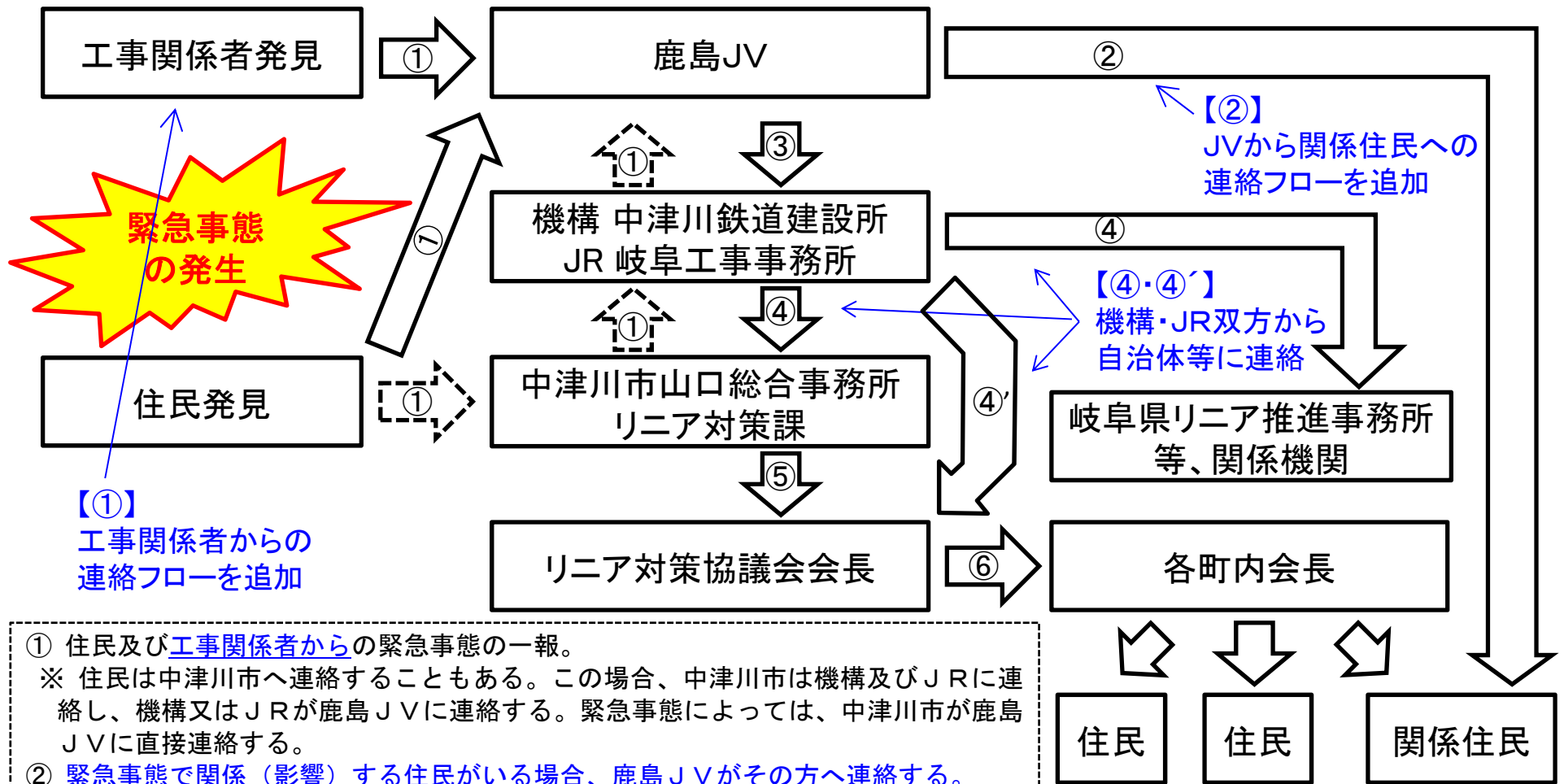


トンネル下部の地山の掘削前状況

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

<付図19> 工事に関する緊急時の連絡体制



【①】
工事関係者からの
連絡フローを追加

【②】
JVから関係住民への
連絡フローを追加

【④・④'】
機構・JR双方から
自治体等に連絡

【④・④'・⑤】
緊急事態発生時は、JVから
直接、自治体等に連絡

- ① 住民及び工事関係者からの緊急事態の一報。
※ 住民は中津川市へ連絡することもある。この場合、中津川市は機構及びJRに連絡し、機構又はJRが鹿島JVに連絡する。緊急事態によっては、中津川市が鹿島JVに直接連絡する。
- ② 緊急事態で関係（影響）する住民がいる場合、鹿島JVがその方へ連絡する。
- ③ 鹿島JVが機構に連絡し、機構がJRに連絡する。
- ④・④' 機構及びJRは、中津川市とリニア対策協議会会長等に連絡する。
※ 緊急事態に応じて岐阜県のほか関係機関に連絡し、中津川市等は機構及びJRを指示・指導する。また、協議等が必要な場合は、別途実施する。
※ 緊急事態によっては、鹿島JVが直接連絡する。←
- ⑤ 中津川市は、リニア対策協議会会長に連絡する。
※ 緊急事態によっては、鹿島JVが直接連絡する。←
- ⑥ リニア対策協議会会長は、各町内会長に連絡する。
※ 今後の対応等で説明が必要な場合は、機構及びJRが別途説明する。