

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意見書

令和元年 9 月 30 日

岐阜県環境影響評価審査会

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岐阜県環境影響評価審査会の意見

東海旅客鉄道株式会社（以下、「JR東海」という。）は、「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。以下「環境影響評価書」という。）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。以下、「環境保全計画書」という。）において、環境保全措置として、土被りが小さく、地山の地質条件が良くない場合には補助工法を採用することで、地盤沈下の影響を回避又は低減できる、としていたが、平成31年4月8日、中央アルプストンネル工事（山口）において地上部の陥没が発生した。

この陥没を受け、岐阜県環境影響評価審査会（以下、「当審査会」という。）は、当審査会の下に地盤委員会（以下「地盤委員会」という。）を設置し、トンネル工事における地盤沈下に係る環境保全措置等について、JR東海から説明を受け、その内容を審議した。

地盤委員会は、令和元年7月5日及び8月20日の2回の会議において、陥没の概要及びその原因、環境保全措置の履行状況、今後の対策について、下記Ⅰのとおり確認した。

総括すると、

- 陥没が発生した斜坑の設計段階では、文献や事前のボーリング結果により、地山に係る情報収集・評価が行われ、山岳トンネル設計施工標準・同解説（独立行政法人鉄道建設・運輸機構（以下、「鉄道・運輸機構」という。))に基づき、標準的な構造及び工法が採用されていた。

施工段階においても、切羽前方での地質変化を予測する切羽観察や掘削済み箇所の変位や沈下等を計測する坑内計測により、施工中の状況について一定の確認が行われていた。

これら確認の結果やそれまでの掘削時の実績等を踏まえ、掘削が行われていた。

- しかしながら、結果的には、残念ながら陥没が発生した。陥没発生箇所については、不安定な地山と判断されることはなく、追加的な対策は行われていなかった。
- 本地域は、阿寺断層の近傍で地質状況が良くない地域である。このことを踏まえば、標準的な方法による対処でなく、より慎重な方法で施工すべきだった、と考えられる。

今後のトンネル工事にあたっては、今回の陥没や周辺の地質状況を踏まえ、より一層慎重に施工する必要がある。そのため、地盤沈下に係る環境保全措置について、当審査会として、下記Ⅱのとおり意見する。

記

I 地盤委員会において確認した事項

1 中央アルプストンネル工事（山口）の工事概要

J R 東海は、当該工区の建設工事（本線トンネル（以下、「本坑」という。）、斜坑、工事ヤード等）を鉄道・運輸機構に委託しており、環境対策については、鉄道・運輸機構が環境影響評価書及び環境保全計画書に基づき実施し、その状況を J R 東海に定期的に報告している。

鉄道・運輸機構は、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（以下、「J V」という。）に工事を発注し、J V が工事を施工している。工期は平成 28 年 8 月 3 日～令和 5 年 7 月 24 日である。

また、鉄道・運輸機構は、環境影響評価書の記載内容を J V 職員に対し教育した上で、J V から工事関係者全員に、具体的な措置について教育を行ってきた。

2 陥没の概要

陥没箇所は、山口工区の工事ヤード（非常口）から、本坑までの延長約 300 m の斜坑（非常口トンネル 幅 7 m）のうち、斜坑入口から 200 m 掘削した地点（拡幅場所のため幅 9 m）である。

4 月 4 日、切羽（トンネル最前面）から約 5 m 後方の斜坑左上部のロックボルト坑から濁水が発生し、徐々に増加、その後、支保工等の脚部の地山が荷重に耐えきれず沈下し、支保工等が崩壊、斜坑内に土砂が崩落した。4 月 5 日から 4 月 7 日まで応急対策として、斜坑内の土砂崩落部にエアモルタル等の充填を実施していたが、4 月 8 日に地上部において直径約 8 m、深さ約 5 m の陥没が発生した。

なお、鉄道・運輸機構は、4 月 5 日に地権者や近隣家屋の住民に対し、斜坑内での土砂崩落を報告するとともに地上部分へ立ち入らないよう要請し、ロープによる立入防止措置を講じるとともに、地表の陥没の可能性も踏まえ、監視員を付けて監視をしていたところ、4 月 8 日に監視員が陥没を発見した。

また、工事は 1 日に 4 メートル程度進捗していたことから、おおむね 1 日前の掘削済箇所では陥没が発生していた。

3 工事前の環境保全措置（適切な構造及び工法の採用）

（1）構造の選定について

構造は、「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）に基づき、岩種分類及び地山等級から、これに対応した支保パターンが決められる。

J R 東海は、上記により決定した構造を鉄道・運輸機構へ通知し、鉄道・運輸機構は、J R 東海が決定した構造でJ Vに工事を発注している。

①岩種分類について

J R 東海は、文献及びボーリング調査の結果により形成時代・形態・岩石名による分類を、亀裂の発達した花崗岩とし、硬さによる分類を硬岩（一軸圧縮強さが49.9～128.0 N/mm² という数値から50N/mm² 以上）とし、B岩種と判断した。

なお、一軸圧縮強さについては、事前ボーリングの調査結果において、深層の一部で8.58～9.99 N/mm² という箇所があったが、他の深度での結果や近傍で実施した他の2箇所の地質調査結果(54.6～136.0 N/mm²、53.1～129.0 N/mm²)を踏まえると、一軸圧縮強さが小さいところは局所的であり、試料採取の影響も考えられたため、その値は採用されていない。

地盤委員会において、ボーリングの位置を映写された画像で確認したところ、ボーリングを実施した3か所の位置は、1か所目は「本坑の北側で斜坑の東側の河川の付近で一部弱い地質があった位置」、2か所目は「本坑の北側で斜坑の西側の位置」、3か所目は「本坑の南側で本坑と斜坑を取り囲むように三角形を構成する位置」であった。

②地山等級について

J R 東海は、岩種（B岩種）と弾性波速度（ V_p : 2.97～3.15km/sec）から、地山分類基準より、地山等級を「 I_{N-1} 」と判定した。

③支保パターンについて

J R 東海は、標準支保パターン選定表より、岩種（B岩種）と地山等級（ I_{N-1} ）から、陥没箇所の斜坑の支保パターンを I_{N-1P} とした。

なお、 I_{N-1P} の標準支保パターンによるトンネル支保構造は、J R 東海の技術基準により、縦断間隔1 m、ロックボルトはアーチと側壁に長さ3 mのものを11本配置し、鋼製支保工は125 H鋼、吹き付けコンクリートの厚さは最小15 cmとされていた。

(2) 工法（掘削断面形状を含む）の選定について

工法については、J Vが作成した施工計画書に記載されており、鉄道・運輸機構がその内容を承諾している。

①掘削工法について

トンネル掘削断面を上・下半に分割して上半断面を先進して掘削し、ベンチの長さを適切に選択することによって、硬岩地山から軟岩地山まで幅広く適用が可能な掘削工法であるベンチカット工法が採用されていた。

②掘削断面形状について

斜坑等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一般的であるため、ベンチカットの下段ベンチの中央を掘削する断面としていた。

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されていた。

③補助工法について

補助工法とは、トンネル掘削の施工の安全確保及び周辺環境の保全を目的として、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はない場合に用いられる対策手段の総称で、当初の設計時や施行中において、補助工法の必要性を検討するものである。

J R 東海は、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ケースが多いため、多くは施工中に得られる情報及び地質調査等の結果から補助工法の採用の可否及び適用範囲を判断することとなる、としている。

4 工事中の環境保全措置（適切な構造及び工法の採用）

（1）地山状況の確認について

J V が、先行支保工等の補助工法の要否を判断するための掘削面を観察する切羽観察、及び掘削済箇所への補強（仮インバートやウィングリブ付き鋼製支保工といった脚部の補強等）の必要性を判断するための坑内計測を実施していた。

J V は、切羽の観察を1 m ごとに行い切羽観察記録簿を1日1回作成し、毎日、切羽観察記録簿を鉄道・運輸機構に報告し、鉄道・運輸機構はJ R 東海に1週間分まとめて報告していた。資料として渡すのは、基本1週間に1回だが、切羽の状況がどうなっているというのは、電話連絡等で、適宜、J R 東海とは情報をやり取りしていた。

①切羽観察について

観察項目は、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。

なお、地盤委員会で映写された陥没箇所5 m 手前、陥没箇所付近、陥没箇所5 m 奥の切羽の写真によると切羽観察記録は次のとおりであった。

項目	陥没現場 5 m 手前	陥没現場付近	陥没現場 5 m 奥
強度	ブレーカで容易に掘削できる程度に軟らかい	ブレーカで容易に掘削できる程度に軟らかい	ブレーカで容易に掘削できる程度に軟らかい
性状	ずりは最大 30cm 程度の岩片を含む土砂状	切羽右側は比較的硬い岩片が残るが縦横割れ目あり	岩片残る箇所もあるが割れ目沿いは風化の影響で脆い
湧水	湧水は天端・肩付近から 5L/min 程度	湧水は天端・肩付近から滴水程度	湧水は左側壁から天端付近にかけて 5～10L/min 程度
留意事項	地質・湧水状況の変化に注視	水がつくと緩みやすく掘削に注意	水がつくと緩みやすく掘削に注意

J Vは、設計では火薬を使う工法だったが、陥没箇所は火薬を使ったり使わなかったりという状況であったことや切羽の 1 m ごとの確認では、一定の割れ目があったり土質が変わったりしていたことから変わりやすい地質とは認識していたが、直前に掘削土が土砂状であったところも、陥没現場 5 m 手前から掘り進めた早い段階で土砂状ではなく岩質に変化していたため、不安定な地山とは判断していなかった。

②坑内計測

J Vが、20 m ごとに、内空変位、天端沈下、脚部沈下等のトンネルの変位を計測していた。

なお、陥没箇所には坑内計測の測定地点がなく、補強の必要性を判断することはできなかった。

(2) 工法について

J Vは、掘削機械の作業スペース確保のため、ベンチカットの下段ベンチ部分の中央を掘削する断面形状を採用していたが、不安定な地山とは判断せず、掘削断面形状の変更や補助工法（脚部の補強）の採用は行わなかった。

5 陥没の原因

鉄道・運輸機構は、陥没後、地質やトンネルに関する有識者の意見を聞きながら、陥没発生箇所の周辺の 6 か所の追加ボーリングを実施した。

その結果、陥没部周辺に風化花崗岩及び強風化花崗岩がトンネル上部 6～8 m 程度まで分布し、特に斜坑左下部に地耐力が小さい強風化花崗岩が介在していたことを確認した。

斜坑左下部の地山自体の地耐力が小さいため、下段ベンチ部分の中央のベンチ部分を削った掘削断面形状では斜坑左上部の地山荷重を支えることがで

きなかったことが原因と推定した。

なお、地盤委員会で映写された陥没後の調査ボーリングの地質断面図の画像を確認したところ、斜坑左側の花崗岩には強風化部が混在し、斜坑右側の花崗岩は比較的新鮮な岩が分布していた。

また、J R 東海は、風化花崗岩とは「風化が進んで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もの」で、強風化花崗岩とは「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、一部粘土化するもの」を指しており、文献では、この付近に花崗閃緑斑岩が分布していることは確認しているが、一般の方々に分かり易い表現として、「花崗岩」としたとのことである。ボーリング結果では、斜坑右側で粘土化帯が確認され、断層破碎帯の影響の可能性はあるが、粘土化帯は一部のため、全体としては風化した花崗岩と判断したと説明があった。

さらに、J V から、湧水は、少しは発生していたが極端に増加する状況ではなく、少し予期せぬ場所に若干地下水があって作用したかもしれないが、追加ボーリングで大量に湧水の存在までは把握できていないため、湧水が陥没を誘発したとは考えていないと説明があった。

6 今後の対策

J R 東海は、今回の陥没原因は設計段階ではなく施工段階にあったとし、今後の施工に際し、以下の見直しを行った。

(1) 復旧工事について（陥没箇所）

鉄道・運輸機構は、緩みの改良を坑内崩落箇所の約 10メートル間で、セメント系の注入固化により実施した。

J R 東海は、エアモルタルの充填に伴うアルカリ性の高い湧水は、工事ヤード内の濁水処理設備で処理し排水するとしている。

陥没箇所の再掘削にあたって、より慎重に施工するため、鉄道・運輸機構において地質やトンネルに関する有識者にも相談したうえで、支保パターンを以下のとおり変更して施工とした。

- 鋼製支保工を 125 H 鋼から 200 H 鋼に変更する。
- 縦断間隔を 1.0 m から 0.7 m に変更する。
- ロックボルトの長さを 3 m から 4.5 m に変更する。
- インバートを設置する。

(2) 施工段階における環境保全措置（斜坑、本坑）について

①観察及び計測の見直しについて

ア 切羽より前方の確認について（掘削前）

今後、新たに切羽（掘削面）より、前方の地質や地下水の状況を事前把握するための前方探査を実施し、掘削時の参考とする。前方探査は、削孔検層、先進ボーリング、先進坑等がある。

斜坑については、すべて削孔検層を実施する。

本坑については、恵那山トンネルの事例も参考に、より安全に掘削を行えるよう本坑に入る前に先進坑を掘って、より詳細に地質を確認する。

イ 切羽観察について（掘削時）

J Vが陥没後に現場に常駐させている地質の専門職員が、鹿島建設本社関係者とも切羽の観察結果等の地質の情報を共有しながら地山の状態を確認する。

ウ 坑内計測（掘削済箇所）

斜坑は、全て坑内計測の頻度を20m毎から10m毎に変更し、地質状況が悪ければ、より短い5m等に変更する。その判断は、削孔検層や切羽観察の結果を見て、常駐している地質の専門職員と鉄道・運輸機構で行う。

坑内計測には目安として管理基準値を設けており、陥没を踏まえ、既に数値は厳しく設定しているが、施工しながらさらに数値を見直していく。

②工法の見直しについて

斜坑については、掘削断面形状をベンチ下半の中央部を削らない形状とすることや、ベンチの高さを低くすることで上半のロックボルトの本数を増やすとともに早期にトンネル支保構造を完成形にしていく。

さらに、削孔検層や切羽観察の結果について、J Vが既に現場に常駐させている地質の専門職員が、鹿島建設本社関係者とも地質の情報を共有しながら確認し、不安定な地山と判断した場合には補助工法を採用する。例えば、天端が脆い場合には、トンネル上部を補強する先行支保工を採用する。

坑内計測の結果は、管理基準値を参考に地山状況も確認した上で評価し、J Vと鉄道・運輸機構で支保パターンの確認や、仮インバートやウィングリブ付き鋼製支保工といった脚部の補強等の補助工法の必要性を判断する。

本坑については、鉄道・運輸機構が設置した委員会においても、恵那山トンネルの事例と同じように先進坑を掘って地山を確認しながら本坑を掘削するべきとの意見もあることから、鉄道・運輸機構は、本坑に入る前に、先進坑を掘って地質を確認しながら、必要により、先進坑から補助工法を採用する計画である。この際、恵那山トンネルの施工事例等を参考にしながら施工していくとしている。

(3) 住民への連絡体制について

J R 東海は、工事に関する緊急時の連絡体制について、陥没後、以下のとおり見直しを行った。

- これまで緊急事態の一報は、「住民から J V のルート」のみとしていたが、今後も工事関係者が地表の巡回監視を実施するため「工事関係者から J V へのルート」を追加した。
- 緊急事態で関係（影響）する住民がいる場合には、「J V から直接、関係住民へ連絡するルート」を追加した。
- 鉄道・運輸機構から自治体やリニア対策協議会長へ連絡する体制だったが、J R 東海及び鉄道・運輸機構の双方から連絡する体制に変更した。
- 緊急性を要する場合は、「J V から直接自治体等に連絡するルート」を追加した。

(4) 管理監督体制について

J R 東海は、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。

鉄道・運輸機構は、計測管理だけではなく、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する。

J V は、既に現場に地質の専門職員を常駐させており、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、地質状況等を鉄道・運輸機構に報告するとともに、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等、慎重な施工管理を徹底し、事前にトンネル上部の補強や、地山弱部を補強する等最適な補助工法を実施する。

II 当審査会の意見

1 山口工区に対する意見

(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

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。

②斜坑について

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。

③本坑について

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。

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、不安定な地山かどうかの判断を行うこと。

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。

(2) 地域住民への説明について

今後の工事を円滑に進めるためには、J R 東海として、地域住民のみならず社会に対し、今回の陥没の原因と対応策について、真摯な説明を行うことが必要不可欠となる。

そのため、J R 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、

- 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

について、地盤委員会で説明された内容に基づき、具体的にわかりやすく整理した上で公表し、地域住民に説明すること。

(3) 管理監督体制について

J R 東海、鉄道・運輸機構、J V 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。

2 山口工区以外の工区に対する意見

県内の路線延長 55.1 km の約 88% にあたるトンネル区間 (48.6 km) の工事が実施されることを踏まえ、山口工区以外の工区については、次の対応を行うこと。

(1) 今後のトンネル工事について

地盤沈下の環境保全措置として、切羽観察や坑内計測を行い、その結果を踏まえ、不安定な地山の判断を慎重かつ適切に行うこと。

今回の山口工区における事案では、「一定の割れ目があったり土質が変わったりしていたことから変わりやすい地質とは認識」(I 4 (1) ①参照) し

ながらも不安定な地山と判断せず、結果として陥没を招き、当審査会が「標準的な方法による対処でなく、より慎重な方法で施工すべきだった」と評価したことを受け止め、特に断層及びその周辺等注意を要する地域における工事に当たっては、標準的な方法ではなく、当委員会から意見した上記Ⅱ 1の取組を踏まえ、判断することが不可欠であること。

なお、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。

(2) 今後環境保全計画書を提出する工区について

今後提出される環境保全計画書においては、地盤沈下に係る環境保全措置として、以下の事項を含めること。

- 設計段階で採用した構造及び工法とその選定理由
- 施工中に実施する環境保全措置に係る地山状況を確認するための切羽観測や坑内計測の実施内容
- 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対策

岐阜県環境影響評価審査会 地盤委員会名簿

委員 6 名

(50音順・敬称略)

No	所属団体・役職等	氏 名	備 考
1	金城学院大学薬学部教授	奥村 典子	
2	岐阜大学工学部教授	神谷 浩二	委員長
3	美濃加茂市文化財審議会委員	鹿野 勘次	
4	名古屋大学大学院環境学研究科特任准教授	杉山 範子	
5	岐阜薬科大学教授	中西 剛	
6	岐阜大学流域圏科学研究センター准教授	廣岡 佳弥子	

専門調査員 2 名

No	所属団体・役職等	氏 名	備 考
1	岐阜大学インフラマネジメント技術研究センター教授	沢田 和秀	
2	名古屋大学博物館教授	吉田 英一	