

トンネル構造と地山評価に関する一考察 ～調査編～

JR 東日本 構造技術センター 正会員 ○齋藤 貴, 清水 満, 鈴木 尊
 JR 東日本 高崎土木技術センター 正会員 中島 仁志, 原田 悟
 JR 東日本 高崎支社 鈴木 誠治

1. はじめに

北陸新幹線安中榛名・軽井沢間に位置する碓氷峠トンネルにおいて, 平成 16 年に路盤隆起が確認された. 隆起速度は最大で 3mm/年と大きく, このままでは軌道変位が進行し, 徐行を余儀なくされる状況となったため, 平成 18 年に応急対策工として下向きのロックボルト(長さ 8m, 1 断面当り 6 本, 延長方向 1.5m ピッチ)を打設した¹⁾(図 1). 対策の結果, 急激な路盤の隆起は沈静化した, 継続的に監視を続けている状況である. ここでは, 隆起原因を推定するために実施した調査内容と, その結果を報告する.

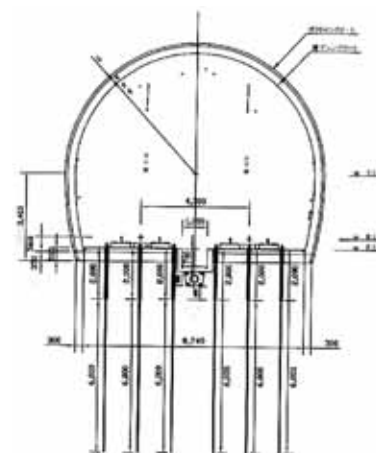


図1 路盤隆起対策断面図

2. 隆起原因調査の概要

路盤隆起の発生原因として, 塑性圧や, 緩み土圧等の地圧の影響や, トンネルの構造不良等によるものが考えられた. そこで, 変状発生箇所の地質状況を詳細に調査するとともに, 当該箇所の施工状況や支保パターン等を調査し, 構造不良があるか確認した. 以上の調査により, 変状原因の推定を試みた.

3. 調査内容と結果

3. 1 地質調査内容

今回実施した地質調査は, トンネル内部において変状の発生している箇所を 3 箇所, 変状の発生していない箇所を 2 箇所の合計 5 箇所で行った. 調査は, 地山の岩質および土質を把握するためにトンネル内部からのボーリング調査を実施し, 採取されたコアおよびボーリング孔を使用して, 物理的性質を把握するため PS 検層, 超音波伝播速度試験, 力学的性質を把握するため一軸圧縮試験, 鉱物化学的性質を把握するため X 線回折分析, CEC 試験, 浸水崩壊度試験をそれぞれ実施した.

3. 2 地質調査結果

調査結果を表 1, 表 2 に示し, 詳細を以下に述べる.

表 1 各種調査結果一覧(その 1)

	調査深度 (m)	路盤 隆起	主な地質	地山強度比	スメクタイト	CEC値 meq/100g	浸水崩壊度
37k128m(下り)	10.0	有	破碎質凝灰角礫岩	1.3	有	51.2	D
37k496m(上り)	10.0	有	強変質凝灰角礫岩	1.7	有(多量)	64.4	D
37k501m(上り)	2.0	有	変質凝灰角礫岩	—	有	66.4	—
37k508m(下り)	6.5	無	安山岩質凝灰角礫岩	9.5	無	14.9	A
38k070m(下り)	6.0	無	安山岩	12.1	有	27.5	A

表 2 各種調査結果一覧(その 2)

	深度(m)	PS検層速度(m/s)		超音波伝播速度(m/s)	
		P波	S波	P波	S波
37k128m(下り) (隆起有)	0.85~1.0	1,900	920	—	—
	2.3~3.5	2,800	1,350	2,620	1,130
	4.1~5.4	3,200	1,300	3,080	1,220
	9.1~9.5	3,600	1,600	3,370	1,395
37k496m(上り) (隆起有)	0.65~0.75	2,160	880	—	—
	2.6~3.8	2,850	1,150	1,481	614
	5.05~5.7	3,250	1,400	1,703	770
	7.9~8.53	4,700	2,300	4,837	2,478
37k508m(下り) (隆起無)	0.8~0.9	2,150	940	—	—
	1.25~1.6	4,000	1,900	3,955	1,991
	4.0~4.52	4,000	1,900	4,198	1,908
38k070m(下り) (隆起無)	0.38~0.5	2,600	1,200	—	—
	1.5~1.9	4,500	2,200	4,020	2,206
	5.0~5.4	4,500	2,200	4,132	2,086

当該箇所付近の地質は建設時の調査によれば新第三紀中新世の霧積層であり, 今回の地質調査で確認されたものは, 霧積層の中の凝灰角礫岩と考えられる. 採取されたコアからは, 全体に乳灰色や淡灰色を呈し粘土状のものも確認されるなど, 強い熱変質作用を受けたと考えられるものがあつた.

また土被り厚は 200m 前後あり, 一軸圧縮強度から求まる地山強度比は, 変状の無い箇所では 12 と大きな値を示していたが, 変状発生箇所

キーワード 新幹線トンネル, 路盤隆起, 変状原因

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 構造技術センター TEL 03-5334-1288

では2未満と非常に小さい値を示した。この値は、一般的に押し出し性～膨張性があると言われているものである²⁾。なお地山強度比は、当該箇所の地山が亀裂等の影響が大きいものと判断して、準岩盤強度を用いて算出した。

X線回折分析では、不定位法測定によりスメクタイトの含有が確認されており、変状発生箇所では変状の無い箇所に比べて含有量が多いことも確認された。また、スメクタイトの同定を行なった結果、2八面体型のモンモリロナイト-バイデライトであることが確認された。

CEC値試験では、変状発生箇所では非常に大きな値が確認された。最大では66.4meg/100gであり、変状発生箇所では50以上の値を示していた。一般的に20meg/100gを超えると膨張性の可能性が高く、35meg/100gを超えると膨張性が非常に高いと判断している²⁾ことを考えると、当該箇所は膨張性地山であるといえる。

浸水崩壊度試験では、変状発生箇所の試料では浸水と同時に亀裂が入り、1時間後には細片化と泥状化を起し、24時間待つことなく、わずか6時間後に大半が泥状化した。また、浸水と同時に崩壊し数分後に泥状化するものもあった。変状の無い箇所では、全く変化が見られなかった。

PS検層と採取コアによる超音波伝播速度測定では、変状発生箇所では深度が増すに連れて速度も徐々に速くなる様子が見られた。これは、トンネル掘削に伴う緩みが発生していると考えられる。変状の無い箇所では、いずれの速度にも有意な差は見られず、緩みのない状態と考えられた。

3. 3 構造調査

当該箇所付近の施工時の状況を、工事資料を基に聞き取りも含めて調査した。また、図面により当該箇所の支保構造を把握することとした。

工事誌や聞き取りによれば、当該トンネルの建設時には特筆すべき施工困難箇所はなく、掘進速度も100m/月以上を記録するなど、地質の問題は考えられなかった記録が相次いだ。しかしながら、建設当時の切羽観察日報によれば、変状箇所近傍において膨張性を示唆する記述が散見されていた。また、当該箇所の支保構造は、吹付けコンクリート厚平均10cm、ロックボルト長3m×6本/断面が採用され、路盤にインバートの設置は無く、りょう盤コンクリート構造であった(図2)。

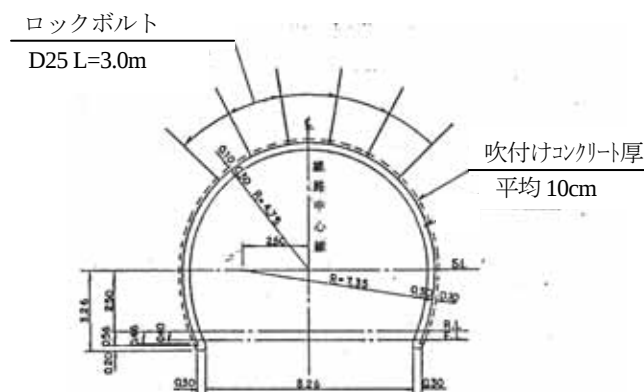


図2 碓氷峠トンネル断面図

4. 推定される変状原因と考察

今回の調査によると、変状発生箇所の地質は地山強度比が低く、スメクタイト(モンモリロナイト)の存在が確認され、CEC値も大きな値を示した。また、トンネル周辺の緩みが確認されるとともに、浸水崩壊度はDを示すなど、スレーキング特性の強い膨張性地山であることを示した結果となった。このような地質におけるトンネルの支保構造としては、吹付けコンクリート厚最小15cm以上、ロックボルト長3~4m×20本/断面を必要とし³⁾、インバートコンクリートの設置は必須であったと考えられる。しかしながら、当該箇所の支保構造はそうになっていなかったことから、トンネル掘削時あるいはその後の、周辺地山の大きな変位を収束させることができず、トンネルに変状を発生させたものと考えられる。

供用中の鉄道トンネルの補修・補強工事は、短い作業時間、狭隘な施工箇所、競合する他系統との調整等、多くの制約条件があるため、多くの期間と費用を要する。今回の変状に対して行った対策¹⁾では、トンネル延長20mに対し、200日の期間と建設時の約3倍の費用を費やした。これは通常のメンテナンスの範囲を超えており、トンネルの建設時には、十分な調査と適切な地山評価に基づく設計・施工の判断が必要だと考えられる。

参考文献

- 1) 中島仁志他：トンネル構造と地山評価に関する一考察～施工編～，第62回土木学会年次講演会概要集，2007.9
- 2) 土木学会：トンネル標準仕様書 山岳工法・同解説，2006年制定
- 3) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，平成8年2月