

固結度の小さい地山に造られたトンネルの路盤変状発生機構について

JR 東日本 正会員 ○中村 宏
JR 東日本 正会員 志野達也
JR 東日本 正会員 戸澤孝夫
JR 東日本 正会員 興石逸樹

1. はじめに

インバートの無い鉄道トンネルにおいて、地下水を伴った土砂の細粒分噴出現象（噴泥現象）が発生するために、路盤（りょう盤）下には空隙が生じ、路盤の沈下・軌道狂い等が発生することがある。本稿では、実際に噴泥現象が発生している営業線鉄道トンネルにおいて、路盤変状の実態と路盤下の地山特性等の調査を実施し、路盤変状発生機構を推定したので報告する。

2. トンネル概要および周辺の地形・地質

当該トンネルは、昭和 48 年に着工し 52 年にしゅん功した複線断面トンネルである。トンネルの緒元を表-1 に示す。

トンネル周辺地形は、丘陵地および丘陵を開削する河谷に沿

表-1 トンネル諸元

インバート区間	2,164.8m
りょう盤区間	800.2m（総延長 2965m）
巻 厚	50～70cm
掘削工法	底設導工先進上半工法(南工区)
	上半断面先進工法（北工区）

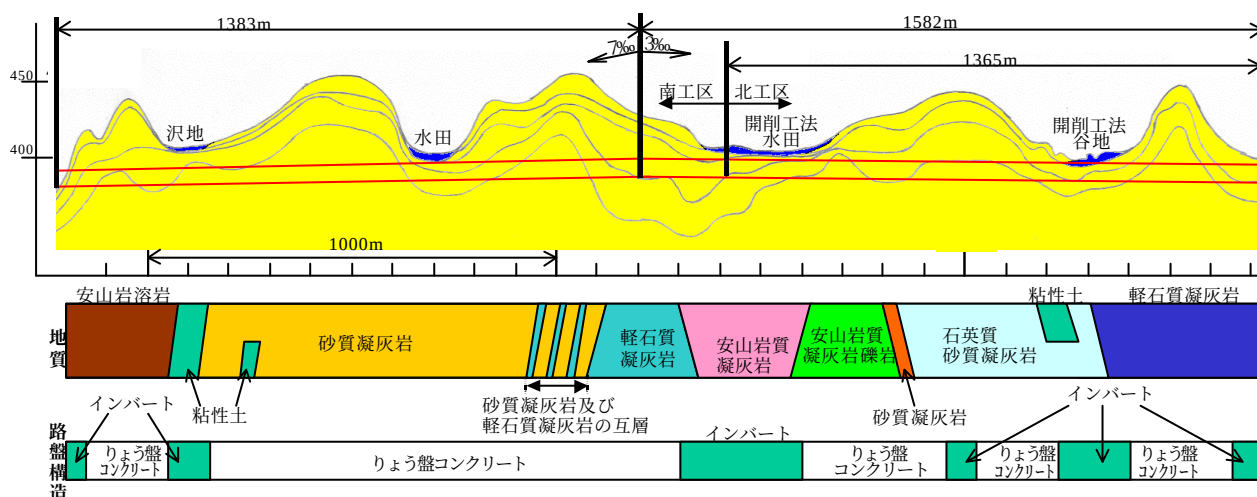


図-1 地形・地質縦断図および路盤構造図

った平坦地からなる。この付近の丘陵は西方に位置する火山帯の東方山麓部にあたっている。トンネル付近の基盤岩は安山岩質凝灰岩であり、これを不整合で覆って鮮新世～更新世の地層が分布する。この層は砂質凝灰岩、軽石質凝灰岩、石英質砂質凝灰岩から構成される（図-1）。

3. トンネル変状の概要

当該トンネルに発生している主な変状を図-2 に示す。噴泥は、センタードレーンや構造物のひび割れ部から生じている。これによりりょう盤の下では、空隙が生じて路盤とりょう盤が沈下するため軌道狂いが発生している。

4. 原因究明調査

変状メカニズムを推定するために、変状実態調査・地山特性調査・地下水調査を実施した。以下に調査結果を総括する。

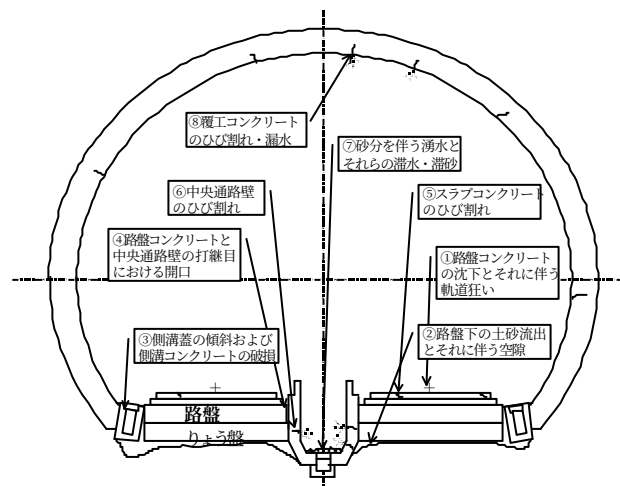


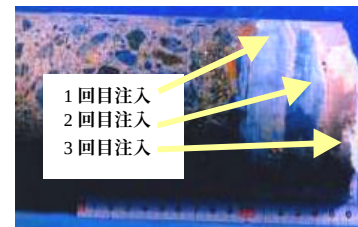
図-2 変状の概要図

キーワード：固結度、噴泥、地下水、凝灰岩、動的荷重、細粒化

連絡先：〒114-8550 東京都北区東田端 2-20-68 TEL03-5692-6140 FAX03-5692-6141

4-1 変状実態調査

1 軌道狂い調査：軌道変状は南工区のインバート未施工区間に偏在している。また、その変状箇所は毎年のように軌道整備や注入等を実施しているが変状が解消されていない。



2 ボーリング調査：1) の箇所を中心にボーリングを実施したところ、岩種別では砂質凝灰岩区間に変状が多いことが判明した。路盤・りょう盤のコアを抜いた際、写真-1 に示すようにりょう盤下の注入剤が3層に重なっているのが確認された。また、りょう盤と地山の境界には5～40mm 程度の空隙が認められた。

3 堆砂量・浮遊物質量調査：ボーリング調査時、りょう盤下空洞部からボーリング孔内に堆積する砂分の量を掘削 24 時間後に測定したところ、φ 60、深さ 50cm の管が満杯になるほどの細粒分の移動がある孔があった。さらに浮遊物質量を調査した結果、列車通過時間帯の浮遊物質量は列車が走らない時間帯の約 14 倍であり、列車通過時に噴に噴泥量が著しく増加することが半明した。

表-2 岩種別地山物性値の比較

岩種	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	透水係数 (cm/s)	浸水 崩壊度	軌道整備回数 (回/箇所)
強風化 砂質凝灰岩	389 (97.9～685)	2.33E-04	D	12.5
弱風化 砂質凝灰岩	22900 (22100～23700)	1.80E-04	A	0
風化石英質 砂質凝灰岩	2800 (2370～3230)	1.64E-04	A	2
強風化軽石 質凝灰岩	1800 (1740～1850)	5.70E-04	B	1

浸水崩壊度試験凡例
A: ほとんど崩壊しない B: 岩塊として分離するが、粒子は分散しない
C: 稜角部が崩壊する D: ほとんど原形をとどめない

4-2 地山特性調査

1 岩種別の地山物性調査等：表-2 から軌道変状の多い区間の強度の小さい砂質凝灰岩（以下：強風化砂質凝灰岩と呼ぶ）は、浸水状態での抵抗性も小さいことが分かる。強風化砂質凝灰岩の粒度組成は細粒分約 30%、湿潤密度は約 17.7kN/m³ であり、ある程度粘着力を有するものの固結度は小さいと判断される。

2 細粒化試験：この強風化砂質凝灰岩が壊れていく様子を確認するため、りょう盤下から不攪乱資料を採取し繰返し非排水三軸圧縮試験により細粒化率を求めた。図-3 から細粒化率は繰返し回数が増えるにしたがって増加する。但し増加の割合は小さくなる。また写真-2 から、試験後の供試体の

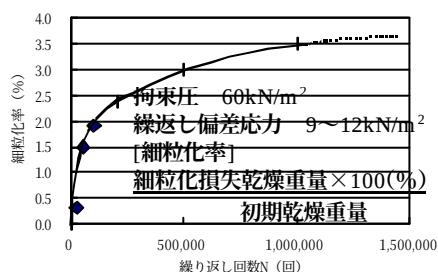


図-3 細粒化率

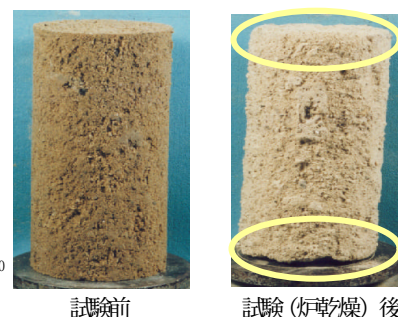


写真-2 試験前後の供試体

の上下端部がややすいており、主としてこの部分の細粒分が繰返し荷重により流失したと考えられる。

4-3 地下水調査：周辺の地下水位分布は、トンネルのレールレベル (RL) 付近へ収斂しており、りょう盤下の地山は常に浸水状態にある。また、土被りの浅い沢部直下では、トンネル建設時に陥没したこと、トンネル背面水位が水田涵養期をピークとして RL より上で年間変動していることから、地表水浸透の影響も大きいと推定される。

5. 路盤変状発生機構の推定

トンネルりょう盤下では、強度・固結度・浸水状態での抵抗が小さい強風化砂質凝灰岩が常に浸水状態にある。この状態で作用する列車荷重、およびその時発生する過剰間隙水圧により、りょう盤直下の凝灰岩は少しずつ壊されていく。列車振動のアップリフト時の負圧により細粒分が流失し、噴泥としてトンネル内に出たり、水流で運ばれたりしてりょう盤下に空隙ができていく。このため不同沈下が生じ、軌道狂いが発生するものと推定される。なお、注入剤の分布状況・細粒化試験で繰返し回数と供に供試体上下端がすいてくる現象等から、変状は緩慢な進行性があり、トンネル建設時に荒らされた影響というよりは、強風化砂質凝灰岩の性質に起因して変状が継続的に発生するものと考えられる。