

山岳トンネルにおける路盤下地山の特性の把握

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○藤田健史, 水野光一郎, 阿部光三

1. 研究の背景と目的

山岳トンネルの路盤部の安定性は、列車の安全な運行に必要な性能である。そのため、筆者らはこれまで地山の強度や固結度、水位に着目して路盤部の安定性に影響を与える路盤下の調査を行ってきた。そして、路盤下地山の細粒化現象は、砂岩・凝灰岩等の軟岩系地質で生じやすい傾向があること^{1),2)}、列車通過時の繰り返し载荷によって生じる間隙水圧の変動の影響を受けて促進される可能性があること³⁾、水位が発生要因に影響を与える可能性があること⁴⁾を確認している。他方で、地山の物性や水位が類似していると想定される同一のトンネル内の比較的近傍においても、細粒化現象が確認されている箇所と確認されていない箇所が存在し、更なる発生要因の分析が必要である。

本稿では、凝灰岩の地山に建設された山岳トンネル内で、細粒化現象が確認されている箇所と確認されていない箇所におけるボーリング調査、室内試験を行い、両者の地山の状態や物性を比較し、確認されている現象が異なる要因を考察する。

2. 調査内容

(1) 対象としたトンネル

調査の対象としたトンネルは、矢板工法で建設された複線断面の山岳トンネルで、建設時の資料によれば地質は凝灰岩、路盤構造はインバートのないりょう盤構造である。当該トンネルの中で、路盤下地山の細粒化現象が確認されている箇所（以下、A地点）と確認されていない箇所（以下、B地点）を調査対象とした。

(2) コアボーリングおよび物性試験

両地点の地山の状態および特性を比較するため、それぞれの地点でコアボーリング（ $\phi=66\text{mm}$ 、路盤面より鉛直に $L=3.0\text{m}$ ）を実施し、水位測定を行った。また、採取されたコアを用いて以下を実施した。

- ・コア観察
- ・一軸圧縮試験
- ・浸水崩壊度試験

3. 調査結果

(1) 水位測定・コア観察

水位は、各地点のコア採取後にボーリング孔よりロープ式水位計を用いて測定した結果、路盤面から水面までの距離は、A地点が 0.38m 、B地点が 0.66m であった。

コア観察においては、A地点で採取されたコア（以下、コアA）は、路盤面から $0\sim 0.85\text{m}$ が概ね新鮮な路盤コンクリートおよびりょう盤コンクリート、コンクリート直下の $0.85\text{m}\sim 1.00\text{m}$ は片状コア主体の風化凝灰岩、その下部 $1.00\text{m}\sim 3.00\text{m}$ は $50\sim 400\text{mm}$ 程度の棒状で割れ目の変色が少なく概ね新鮮で硬質な凝灰岩と判定した（図-1）。特に、列車通過時の繰り返し载荷の影響を受けやすいコンクリート直下の風化凝灰岩部は、ハンマー打撃で濁音を発し容易に砕ける状態であった。

一方、B地点で採取されたコア（以下、コアB）は、路盤面から $0\sim 0.88\text{m}$ が概ね新鮮な路盤コンクリートおよびりょう盤コンクリート、コンクリート直下の $0.88\text{m}\sim 1.00\text{m}$ は礫～短柱状を呈し基質部の一部が流出した強風化火山礫凝灰岩、 $1.00\text{m}\sim 1.23\text{m}$ は軟質棒状を呈する風化火山礫凝灰岩と判定し、以下、 $1.23\text{m}\sim 1.60\text{m}$ は風化凝灰角礫岩、 $1.60\sim 2.00\text{m}$ は風化火山礫凝灰岩、 $2.00\sim 2.70\text{m}$ は火山礫凝灰岩、 $2.70\sim 3.00\text{m}$ は凝灰角礫岩と判定した（図-2）。全体的に硬質な安山岩礫・岩塊を多く含んでいた。また、基質部は中～細粒砂で、ハンマー軽打で割れる程度であった。コアA・コアB共に、採取時の送排水状況より、コンクリートと地山との間に明確な空隙は確認されなかった。



図-1 コアA コンクリート直下（0.85～1.00m 付近）



図-2 コアB コンクリート直下（0.88～1.00m 付近）

(2) 一軸圧縮試験

コアA・コアB共に、コンクリート下端付近では地山の軟質化や基質の流出により供試体を作成できない範囲があったため、供試体の作成が可能な範囲の複数箇所において一軸圧縮試験を行った。その結果、コアAは $3\sim 5\text{N/mm}^2$ 程度で軟岩相当、コアBは 2N/mm^2 程度で土砂（未固結）～軟岩相当の一軸圧縮強度が得られた。一

キーワード：山岳トンネル、地山特性、水位、細粒化、路盤、鉄道

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿 2-6-1 新宿住友ビル 31 階 JR 東日本 構造技術センター TEL 03-6851-0086

例として、最も浅い箇所で行われた試験の結果を表-1に示す。

表-1 一軸圧縮試験の結果の一例

| | 深さ(m) | 一軸圧縮強度(N/mm ²) |
|-----|-----------|----------------------------|
| コアA | 1.00~1.10 | 3.66 |
| コアB | 1.08~1.18 | 1.70 |

(3) 浸水崩壊度試験

浸水崩壊度試験は、コアA・コアB共に、コンクリート下端付近を含む複数箇所を試料を採取して実施した。ここで、コアBについては、大小の岩片が多く含まれており、岩片部と基質部で水浸に対する抵抗性が異なると考えられたため、岩片を多く含む部分と基質を多く含む部分を区別して試験を行うこととした。また、コンクリート下端付近の0.88~0.98mでは基質の一部がコアリングにより流出していたため、岩片部と基質部のいずれも2試料ずつのみ試験を行った。コンクリート下端付近の試験結果を表-2に示す。コンクリート下端付近の結果について、コアAは、いずれの試料も原形を留めなかった(図-3)。コアBは、基質の多い部分ではコアAと同様に原形を留めなかった一方で、岩片の多い部分では一部稜角部の欠けが見られたものの硬質な岩片は形状を崩さずに残存していた(図-4)。

表-2 浸水崩壊度試験の結果の一例

| | 深さ(m) | 浸水崩壊度 | 備考 |
|-----|-----------|-------|---------|
| コアA | 0.85~1.00 | DDD | |
| コアB | 0.88~0.93 | AC | 岩片の多い部分 |
| | 0.93~0.98 | DC | 基質の多い部分 |



図-3 水浸24時間後の状態(コアA 0.85~1.00m)



図-4 水浸24時間後の状態(コアB 0.88~0.93m)

4. 試験結果の評価

A地点・B地点では、いずれも、水位がりょう盤コンクリート下端より高い位置にあったことから、路盤下地山が恒常的に水浸していると考えられ、かつ、浸水崩壊度試験の結果から路盤下地山は水により軟質化しやすい

性質を有している。更に、供試体を作成可能な範囲の地山の一軸圧縮強度が土砂(未固結)~軟岩相当であったことからコンクリート下端付近での地山の強度は更に小さいと想定され、間隙水圧の変動の影響により潜在的に細粒化現象の発生し得る地山と考えられる。一方で、地山の組成には明確な違いが見られ、凝灰岩と判定されたコアAに対し、コアBには安山岩礫を主体とする硬質な礫が多数存在していた。浸水崩壊度試験においては、それらの硬質な礫は水浸24時間後にも形状を崩さずに残存していた。

これらのことから、B地点において路盤上から確認できる程に細粒化が顕在化していないのは、列車通過時の繰り返し载荷によって生じる間隙水圧の変動の影響により、基質部の細粒化が発生しても、多数の硬質な礫が残存することで、細粒化は局所的な範囲に止まり、路盤下地山の全体的な細粒化には至らなかったことが一因と考えられる。

5. まとめ

本稿では凝灰岩の地山に建設された山岳トンネルにおいて、細粒化現象の発生の有無に着目して、比較的近傍の2箇所における地山の状態や物性の比較を行った。その結果、いずれの箇所も潜在的に細粒化現象の発生し得る地山であるが、細粒化現象が確認されていない箇所においては、多数の硬質な礫が存在することで、細粒化が局所的な範囲に止まり、路盤上から確認できるほどに細粒化が顕在化していないと考えられた。

今後も各調査・試験等により、路盤下地山の細粒化現象の要因分析を深度化し、予防保全を含めたトンネルの維持管理に活用していく。

本調査に際し、JR東日本コンサルタンツ(株)、(株)北杜地質センターの関係技術者に尽力頂いた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 中村宏, 清水満, 橋本芳輝, 土田大輔: トンネル内噴泥・路盤沈下対策に場所打ち杭を採用 東北新幹線白坂トンネル, トンネルと地下, 2002.10
- 2) 小瀬喜巳, 水野光一郎, 山村啓一, 藤田健史: トンネル路盤下の地山評価, 土木学会第74回年次学術講演会, III-319, 2019.9
- 3) 水野光一郎, 小瀬喜巳, 神山真樹, 阿部光三: 山岳トンネルの路盤下地山における動的な応答の計測, 土木学会第75回年次学術講演会, III-95, 2020.9
- 4) 籠雅貴, 水野光一郎, 神山真樹, 阿部光三: 細粒化に着目した山岳トンネルにおける路盤下地山の特性の把握, 土木学会第76回年次学術講演会, III-27, 2021.9