

山岳トンネルの路盤下地山の動的な応答の計測

東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○水野光一朗, 藤田健史, 阿部光三, 阿部翼

1. 研究の背景と目的

供用中の山岳トンネルにおいて、路盤部の安定性は列車の安全な運行に対して重要である。そのため、筆者らは地山の固結度や水位に着目して路盤下の地山の特性の調査(例えば1),2)を行っている。また、路盤部の安定性を評価するに際し、路盤下地山への作用の評価も重要と考えられる。

以上を背景に、本稿では山岳トンネルを対象に、列車荷重による路盤下地山の間隙水圧や空気圧の変動といった動的な応答の計測を行い、その結果を報告する。

2. 計測内容

(1) 対象としたトンネルの概要

計測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ある。計測位置では、図-1のようにインバートのないりょう盤コンクリートの路盤構造となっている。

当該トンネルは新第三紀稲瀬層に位置し、土被りが10m程度の土被りが小さい箇所を調査対象とした。ボーリングおよびコア観察の結果では、路盤下地山は一部礫状の部分があるが、比較的硬質な凝灰角礫岩であった。計測箇所の路盤下地山の物性の一例を表-1に示す。一軸圧縮強さの試験結果は、採取したコアを供試体として成形できる最も浅い位置のものである。また、透水試験は原位置透水試験(非定常法の回復法)の結果である。

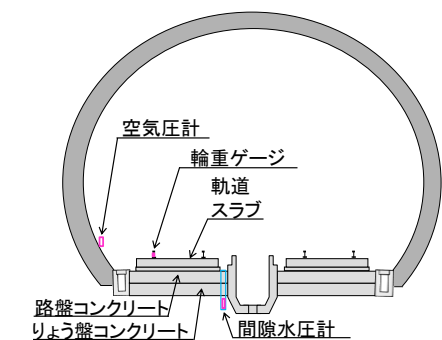


図-1 対象トンネルと計測方法の概要

表-1 路盤下地山の物性

項目	代表値
一軸圧縮強さ q_u [MPa]	33.8
密度 ρ_s [kN/m ³]	22.4
透水係数 k [cm/sec]	1.68×10^{-4}
浸水崩壊度*	A

*D: 原形を止めない C: 稜角部が崩壊する
B: 粒子の分散はない A: ほとんど変化が認められない

後述の計測器を設置した際の水位は路盤面から1.2m程度の位置であり、りょう盤コンクリートの下端から10cm程度に位置していた。りょう盤コンクリートの下端と地山の間には隙間はみられず、密着していた。

(2) 計測内容および方法

今回の計測では、列車荷重による作用を計測する輪重ゲージをレールに貼付した。路盤下の動的な応答のうち、間隙水圧に着目し、間隙水圧計を設置した。間隙水圧計はボーリング孔を活用し、路盤面から1.4mの位置に設置した。また、トンネル側壁に空気圧の変動を計測する機器(間隙水圧計と同種機器)を設置した。路盤下の間隙水圧計の計測結果から空気圧の変動を控除して両者の差の圧力差を求めることで、列車荷重に起因した間隙水圧の変動を計測し、路盤下地山の応答を想定できると考えた²⁾。計測器の配置を図-1に併せて示す。計測時間の間隔は1/1000secとした。計測位置はトンネル坑口から590m程度である。

3. 計測結果

計測結果の一例を以下に示す。

(1) 計測機を設置した線路における列車接近から通過までの計測結果

計測器を設置した側の線路で計測位置に列車が接近し、計測位置を列車が通過した時間の前後に着目した結果を図-2に示す。

図-2より、輪重については、各車軸が輪重ゲージの上を通過するごとの応答がみられた。当該の列車編成の車両数、台車数、車軸数から考えられる作用の数と計測で得られた輪重の応答は一致していた。

間隙水圧および空気圧について、最初の車軸が計測位置を通過する前に値が増加し、列車通過後も10秒程度の周期で変動していた。これらの変動については、坑口から計測位置までの距離や通過した列車の速度、計測結果の周期などから考えると、列車が突入する際に発生した微気圧波の影響³⁾であると推定された。

列車荷重による間隙水圧の変動を示す間隙水圧と空気圧の圧力差について、列車の通過に対する応答がみられた。また、その応答は列車の最後の車軸の通過後までであることがわかる。今回の計測事例では列車通過中に圧力差が2kPa程度の最大値で正側に上昇した。

列車の車軸が計測位置を通過する時間に着目した場

キーワード: 山岳トンネル, 動的応答, 間隙水圧, 固結度, 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

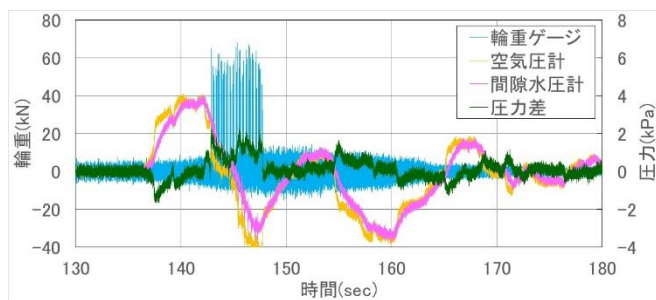


図-2 計測結果 (列車接近～通過後)

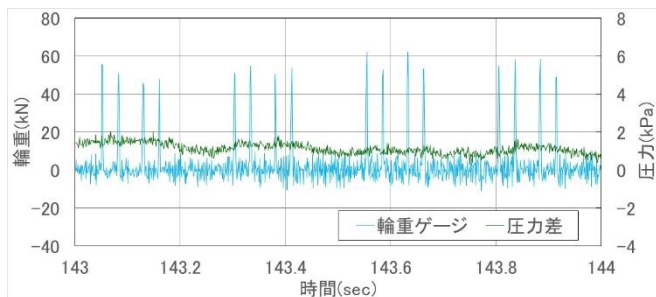


図-3 計測結果 (車軸通過着目時)

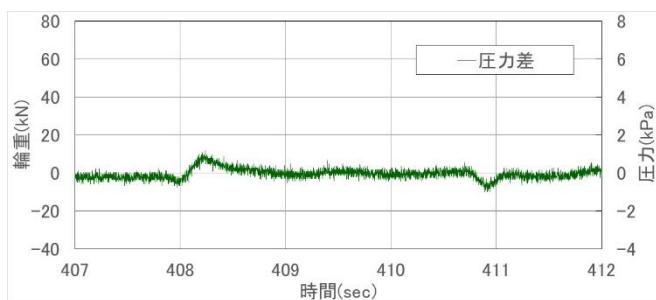


図-4 計測結果 (隣接線で列車通過時)

合の圧力差の計測結果を図-3に示す。この結果は、2つの台車(車両の後部2車軸と次車両の前部2車軸)が計測箇所を連続して通過した時刻のものである。図-3をみると、圧力差は各車軸の通過に対して若干の応答がみられるが、4つの車軸に対して1つのピークを持つ形態で応答していることがわかる。応答の時間は0.2sec程度と短い時間であった。

(2) 計測機を設置していない隣接線における列車接近から通過までの計測結果

計測器を設置していない側の線路で計測器を設置した断面に列車が接近し、列車が通過した時間の前後に着目した結果を図-4に示す。

図-4において、輪重ゲージが設置されていないため、列車の通過時間を詳細に確認はできないが、計測器を設置した断面を列車が通過した際には、図-2のような車軸の通過に伴う応答はみられず、車両の一編成が接近して通過するまでが1つの応答となっているように思われる。隣接線を列車が通過する際に、圧力差が1.5kPa程度の最大値で正側に上昇した。

(3) 計測結果のまとめ

今回の計測では、列車通過時の輪重、間隙水圧、空気圧を計測し、列車通過による路盤下地山の間隙水圧と空気圧の圧力差に着目した。その結果、以下のことが分かった。

- ①路盤下地山における間隙水圧が路盤コンクリートを介して複数の車軸の通過時にまとまって応答していた。作用時間は0.2sec程度と短い時間であった。
- ②計測器を設置した線路を列車が通過する作用としての間隙水圧の変動は2kPa程度の大きさで、正負交番でなく、正側への圧力差の上昇であった。
- ③計測器を設置した当該線のみでなく、隣接線においても列車の通過の作用により路盤下地山の間隙水圧に正側の上昇がみられた。

今回の調査箇所においては、路盤下地山の水位が低く、りょう盤下の地山が水で満たされていない条件であった。そのため、列車通過による動的な荷重が水位に伝達される際に、りょう盤と地山との間の隙間や地山の亀裂などから空気が漏れたことによるエネルギーとしての伝達ロスや圧縮性のある空気が圧縮される際に熱エネルギーに変換されたことによるエネルギーロスなどを生じ、りょう盤下の地山が水で満たされた条件の既往の研究²⁾と比較して間隙水圧の上昇が小さい値となったと考えられる。

4. まとめ

本稿では路盤下地山という閉塞された空間における列車荷重による間隙水圧の応答に特に着目し、計測を行った。その結果、りょう盤下の地山が水で満たされない条件となると、路盤下地山への作用が小さくなるという特徴を把握することができたと思われる。

今後も地山の固結度や、水位等に着目し、調査・試験により、山岳トンネルの路盤下地山の特性の評価を行い、予防保全を含めたトンネルの維持管理に活用したい。

本計測に際し、JR 東日本コンサルタンツ(株)、(株)北杜地質センター、(株)応用地質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) 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
- 2) 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
- 3) 原朝茂: 列車が高速で隧道に突入する場合の流体力学的諸問題, 鉄道技術研究報告, 第153号, 1960.9
- 4) 土木学会: 2016年制定トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, 2016