

山岳トンネルのインバート下部の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

〇水野光一郎

正会員

阿部 翼

鈴木 理

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構造の下部の地山の特性の調査^{例えば1)~3)}を行っている。また、路盤部の安定性を評価するに際し、路盤構造の下部の地山への作用の評価も重要であると考えられる。

以上を背景に、本稿では山岳トンネルを対象に、列車荷重によるインバート下部の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った結果を報告する。

2. 計測内容

(1) 対象としたトンネルの概要

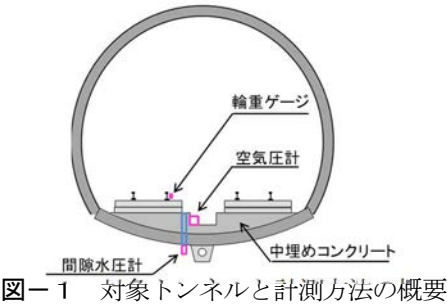
計測対象としたトンネルは、NATMで建設された複線断面の山岳トンネルである。第四紀更新世後期・中期の砂質土・粘性土に位置し、土被りが10~15m程度の土被りの小さいトンネルである。計測箇所における周辺の地山の物性の一例を表-1に示す。これらの物性はトンネル建設時の坑外の地山の試験結果である。

(2) 計測内容および方法

複線のうちの片側の線路および周辺に計測器を設置した。計測の内容と計測器を設置した位置を図-1および表-2に示す。計測時の地下水位は中埋めコンクリートの上面付近であった。計測の間隔は1/1000secとした。

表-1 計測箇所周辺の地山の主な物性

項目	代表値
土質	更新世後期・砂質土
湿潤密度 [kN/m ³]	17
N 値	10
透水係数 [cm/sec]	10 ⁻⁴ ~10 ⁻²



3. 計測結果

計測結果の一例を以下に示す。
(1) 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（当該線）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。

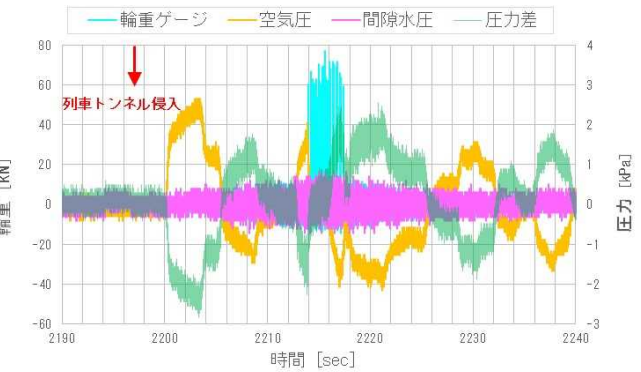
輪重は、各車軸が輪重ゲージの上を通過するごとの応答がみられた。当該の列車編成の車両数、台車数、車軸数から考えられる作用の数と計測で得られた輪重の応答は一致していた。

空気圧は、列車がトンネル内に侵入し、計測位置に列車が到達する時間よりも前に増加している。これは、列車が計測位置に到達する時間は輪重ゲージが応答した時間であり、この時間よりも前に空気圧が増加していることからわかる。また、空気圧は2.5kPa程度となった後、減少し、その後、正負交番で一定の周期で変動していた。この空気圧の変動については、坑口から計測位置までの距離や通過した列車の速度、空気圧の計測結果の周期から、列車が突入する際に発生した微気圧波の影響⁴⁾であると考えられる。

間隙水圧は、微気圧波が到達してから上昇し、列車が計測箇所を通過中に最大値となり、通過後に減少する結果であった。

表-2 計測内容と計測器の設置位置

計測器の種類	設置位置
輪重ゲージ	右レールの腹部
間隙水圧計	インバート下面から0.1m程度下部
空気圧計	中央通路壁部



(2) 列車通過時に着目した場合の計測結果

筆者らは、これまで路盤下の地山への作用について着目している。本稿においても、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、インバート下部の地山の応答を想定できると考えた³⁾。

車軸通過中に着目した圧力差の結果を図-3に示す。図-3において、圧力差が上昇する過程で、圧力差が車軸通過時のタイミングに増減して応答しているようにみえる。計測は的確に行われているものの、計測間隔が1msecの動的な計測において、圧力差の変動の値が小さいため、正確に挙動を把握するためにはノイズを除去する必要があると考えた。そのため、圧力差の計測結果に移動平均で平滑化を行った。移動平均の時間の幅は列車の速度と車両長を参考に定めた。図-4に移動平均で平滑化した圧力差の計測結果を示す。これをみると、圧力差が車軸が通過する際に増減していることがわかる。また、複数の車軸に対して1つのピークを持つ形態で応答していることがわかる。

4. 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、ノイズはみられるものの、インバート下部の地山の動的な応答を計測できたと思われる。特に、間隙水圧と空気圧の圧力差に着目し、列車通過によるインバート下部の地山の間隙水圧の応答を計測することにより、以下のことが確認された。

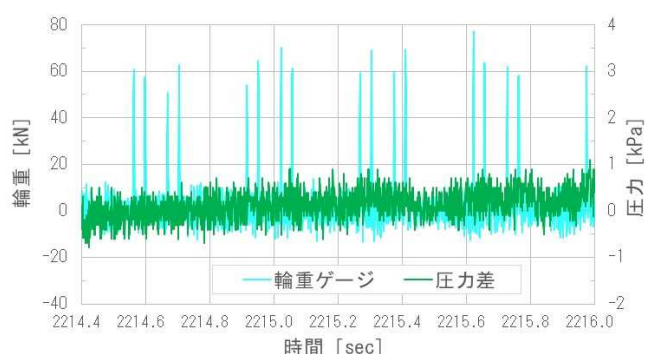


図-3 計測結果 (車軸通過着目時)

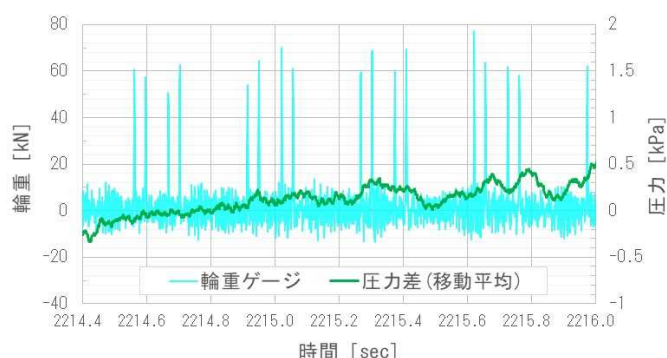


図-4 計測結果 (車軸通過着目時 移動平均)

- ・車軸通過時に圧力差が増減し、列車荷重に起因するインバートの下部の地山の間隙水圧の応答がみられた。
- ・列車荷重による間隙水圧の変動は、インバ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。
- ・列車荷重による間隙水圧の地山への作用としての振幅は小さく、作用時間は短かった。

ここで、文献 2) のインバートのないりょう盤構造の下部の地山における既往の検討との比較を行うと、今回の計測では、列車荷重による間隙水圧の地山への作用時間は大きく変わらないものの、間隙水圧の上昇が小さい結果となった。地山への作用が小さいのは、インバートの設置面積拡大効果という力学的効果⁹⁾や、計測箇所ではインバートと中埋めコンクリートと重ねばりの構造であり、路盤構造の剛性の大きさが発現されたためと思われる。

5. まとめ

本稿ではインバートの下部の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、インバート構造のトンネルでは列車荷重による地山への作用は小さいという特徴を確認できたと思われる。

今後も路盤構造や地山の固結度、水位に着目し、調査・試験により、山岳トンネルの路盤やインバートの下部の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、(株) 福建コンサルタンツ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) 水野光一郎、藤田健史、阿部翼、阿部光三：山岳トンネルの路盤下地山の動的な応答の計測，土木学会第 77 回年次学術講演会，III-338，2022.9
- 4) 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
- 5) 土木学会：トンネル・ライブラリー第 25 号 山岳トンネルのインバート，2013
- 6) 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