

トンネル内路盤コンクリートの健全度評価に関する検討

JR 西日本 正会員 ○坂本 寛章, 田中 成昂, 近藤 政弘
中国施設設計(株) 正会員 新谷 星児

1. はじめに

鉄道トンネル内の路盤構造は、高速鉄道の普及に伴いスラブ軌道が多く採用されてきた。その一方で、列車走行に伴う繰返し荷重や湧水の影響により路盤コンクリートと地山の境界部に空洞が発生し、路盤コンクリートの沈下や噴泥といった変状が発生するケースがある。このような変状に対する検査方法として、これまで軌道検測値の進行性から判断する方法等により評価が実施されてきたが、変状発生後の把握となることや、間接的な手法であることから課題があった。そこで筆者らは、このような課題を克服するため、小型の起振器を用いた振動試験を行い路盤コンクリートの振動特性を利用した定量的な評価法を検討してきた。本稿では、トンネル内の路盤コンクリートに対する健全度評価事例について報告する。

2. 健全度評価法

本検討では、永久磁石を用いた動電式の小型起振器を用いた。小型起振器の概要を表1に示す。性能上0.1~1000Hzの周波数域で加振可能であるが、加速度レベルが高いと低周波数で起振することは困難である。実務上、加振加速度1Gの条件で3~200Hzの範囲で加振可能である。図1に試験フローを示す。また、図2に路盤コンクリート上への小型起振器、加速度計の配置状況を示す。加速度計は小型起振器に近接した箇所2箇所に設置する。

これまでの検討結果¹⁾から、路盤コンクリートの振動特性として、必ずしも明確な固有振動数が得られないことがわかっていく。これに対応した評価方法として、伝達関数のスペクトル面積を用いた評価法を用いた。図3に評価方法の概念を示す。この方法を用いることで、対策工施工前後で明確にスペクトル面積が低減することから、評価法の妥当性が示されている²⁾。

健全度評価法の検討にあたり、同一箇所での路盤注入前後の比較を実施した。過去に実施した検討²⁾において、10箇所の突起コンクリートで加振した際の振動計測データを用いた。路盤注入後の健全と考えられる状態を基準として、路盤注入前の不健全と考えられる状態を評価した。この際の健全度指標として式(1)を定義し、健全度指標 κ における健全・不健全の閾値について検討した。

$$\kappa = \frac{\text{スペクトル面積基準値 (健全箇所, 3~50Hz)}}{\text{スペクトル面積実測値 (3~50Hz)}} \quad \text{式(1)}$$

表1 小型起振器の仕様

項目	内容
最大加振力 (N)	490
最大変位 (mm)	150
最大速度 (cm/s)	100
最大加速度 (m/s ²)	152.9
周波数範囲 (Hz)	0.1~1000
起振器重量 (kg)	48.0
可動部重量 (kg)	30.4

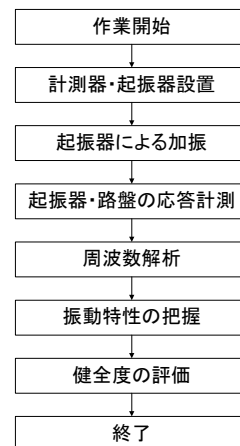


図1 試験フロー

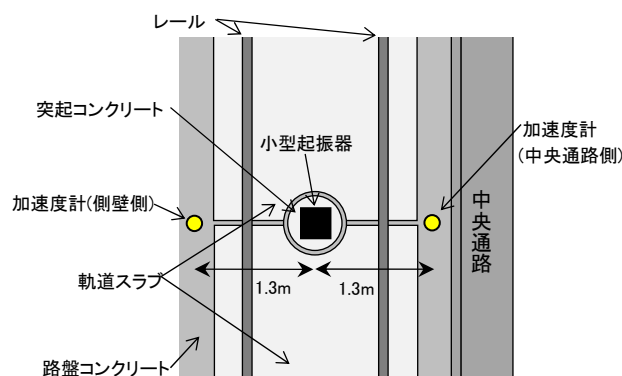


図2 加速度計の配置

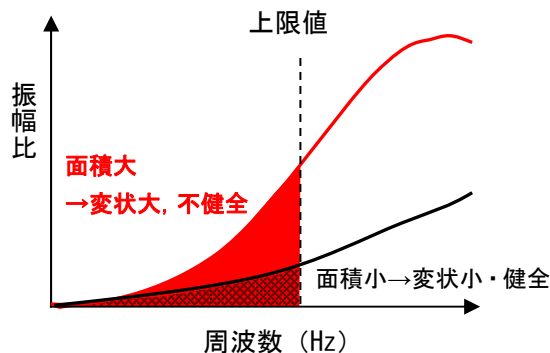


図3 スペクトル面積による評価

キーワード トンネル, 路盤コンクリート, 小型起振器

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 JR 西日本構造技術室 TEL 06-63005-6957

式(1)を用いて A トンネルで評価した結果を図 4 に示す。A トンネルは風化花崗岩が主体の地山である。図にはあわせて試験箇所周辺での路盤注入実績も示している。図より、路盤注入量が 20L/m 以上施工できた箇所(試験箇所①～⑦)の健全度指標 κ は 0.5 未満であり、路盤注入量が 20L/m 未満の箇所は健全度指標 κ が 0.5 以上を有している。この結果から、健全と不健全の閾値を暫定的に 0.5 とすることにした。

3. 評価事例

2. で示した健全度評価法を用いて健全度評価を実施した。対象は B トンネル、C トンネルである。B トンネル 11 箇所、C トンネル 5 か所で実施した。各トンネルの試験箇所の概要を表に示す。B トンネルでは試験箇所⑧～⑪、C トンネルでは試験箇所④、⑤を評価した。なお式(1)における基準値として、B トンネルでは①～⑦におけるスペクトル面積の平均値、C トンネルでは①～③のスペクトル面積平均値を適用した。図 6 に各トンネルにおける健全度評価結果を示す。B トンネルにおいては、各箇所で $\kappa \geq 0.5$ となり健全と評価でき、路盤注入による対策効果が確認できる。また C トンネルにおいては、 $\kappa < 0.5$ となり不健全と評価できる。

4. 健全度評価法の検証

これまで述べた健全度評価の妥当性を検証するため、解析結果およびコア調査との比較を実施した。コア調査は A トンネルおよび B トンネルで注入箇所周辺を数か所削孔し、各削孔箇所における空洞の有無から空洞率に換算した。解析結果は過去の検討結果³⁾に対し、空洞率 25%のケースを基準として、各空洞率における解析上の健全度指標 κ を算出したものである。なお、空洞率は路盤コンクリートの底面積のうち地山に接触していない割合とした。この結果から、空洞率の増加に伴い路盤コンクリートの振動特性が変化し、健全度指標 κ が低下することが確認できた。

5. まとめ

路盤コンクリートの健全度評価に関する検討を実施し、路盤コンクリート直下の空洞率に応じた健全度を評価できることを示した。今後同様の計測事例を積み重ねることで、健全度評価法の精度を高めていきたい。

《参考文献》 1)坂本ほか：起振器を用いたスラブ軌道の走行安定性に関する評価法、鉄道工学シンポジウム論文集、第 15 号、pp.124-131、2011。 2)窪田ほか：起振器試験を用いたスラブ軌道を有するトンネル路盤の変状対策工評価方法、土木学会第 68 回年次学術講演会、pp.179-180、2013。 3)坂本ほか：トンネル内路盤コンクリートの健全性に関する解析的評価、第 51 回地盤工学研究発表会、pp.1475-1476、2016。

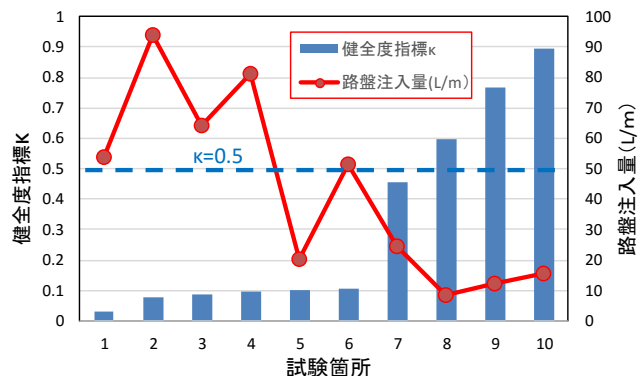


図 4 健全度指標と路盤注入量の関係

表 2 試験箇所の概要

トンネル	地質	箇所	概要
B トンネル	風化花崗岩が主体の地山であり湧水も多い(特に⑧～⑪)	①～⑦	35 年前に路盤注入実施後は健全
		⑧～⑪	振動試験実施直前に路盤注入実施
C トンネル	風化花崗岩が主体の地山	①～③	2 年前に路盤注入実施しその後健全
		④、⑤	①～③の隣接区間で注入実績無

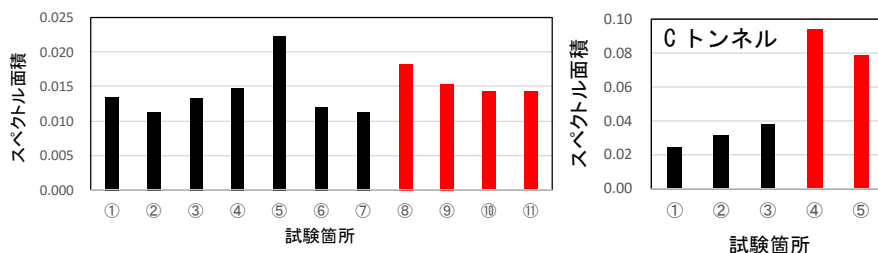


図 5 起振器試験結果

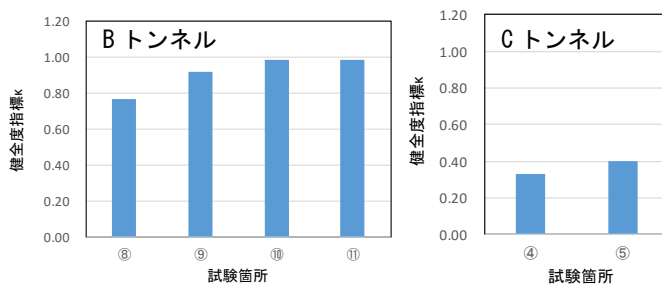


図 6 健全度評価結果

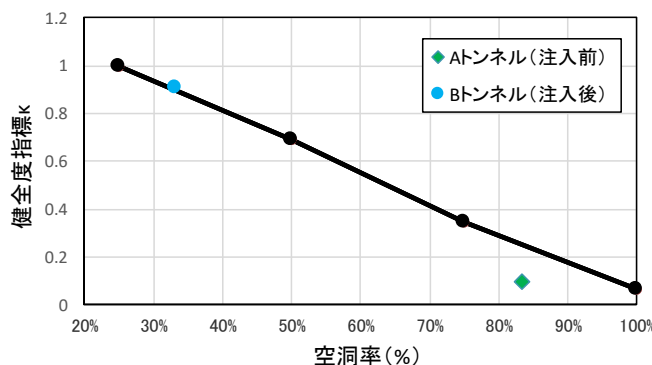


図 7 解析結果との比較