

振動計測によるトンネル内スラブ軌道路盤の健全度評価に関する検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○塩谷 敦
 正会員 小湊 祐輝
 正会員 濱田 吉貞
 中国施設設計株式会社 新谷 星児

1. はじめに

鉄道トンネルにおけるスラブ軌道区間では、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下の地山が劣化することで空洞が発生し、路盤コンクリートの沈下により軌道変位を生じている箇所がある。このような箇所に対する定量的な評価法として、既往の研究¹⁾²⁾により路盤コンクリートの振動特性を利用した起振器試験法が提案され、応答振動の低周波領域(3~50Hz)のスペクトル面積を健全なものと比較することで、試験箇所の健全度を相対的に評価する方法の妥当性が示されている。しかし、比較評価のためには路盤下注入を行う等して健全度を回復した状態での測定結果が必要であり、路盤下注入等の施工後に対策効果を評価することは可能であるものの、施工前に要対策箇所を抽出する手法として適用するには課題が残る。そこで本稿では、絶対評価による健全度評価が可能な指標として、卓越振動数に着目した評価法を整理するとともに評価閾値の検討結果について報告する。

2. 卓越振動数を用いた評価法の検討

過去の検討¹⁾において、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を得られないとされている一方で、路盤下注入によって健全度が回復した後は卓越振動数が高振動数域に遷移する²⁾ことが確認されており、卓越振動数を用いた評価の可能性が示唆されている。

軌道変位の推移から路盤下空洞の存在が疑われる箇所における起振器試験の結果を図-1に示す。強制振動に対する応答加速度のフーリエスペクトルは位相差が±90度となることから、振幅のピークと位相差が-90度となる振動数が概ね一致している120Hzを固有振動数として判断することができる。

ここで、スペクトル面積を用いた評価法では、3~50Hzの周波数帯域が軌道検測値の進行値と高い相関を示す³⁾ことが確認されており、路盤の健全度を評価する場合は比較的低い帯域の振動特性を把握することが重要である。

一方で、加速度計測で得られる応答振幅の大きさは振動数の2乗と相関関係にあることから、比較的高い帯域の応答振幅が大きく表れることで着目すべき低周波領域の応答振幅が相対的に小さくなり、明瞭な卓越が確認できなかつた可能性がある。

そこで、加速度計測で得られた応答波形を2重積分することで変位に換算し、振幅と振動数の相関による影響を除去した振幅スペクトルを図-2に示す。これにより45Hz付近の応答振幅に明瞭な卓越が確認できるようになり、振幅のピークと位相差90度となる振動数が一致することから、当該箇所の固有振動数は45Hzであると判断することができる。

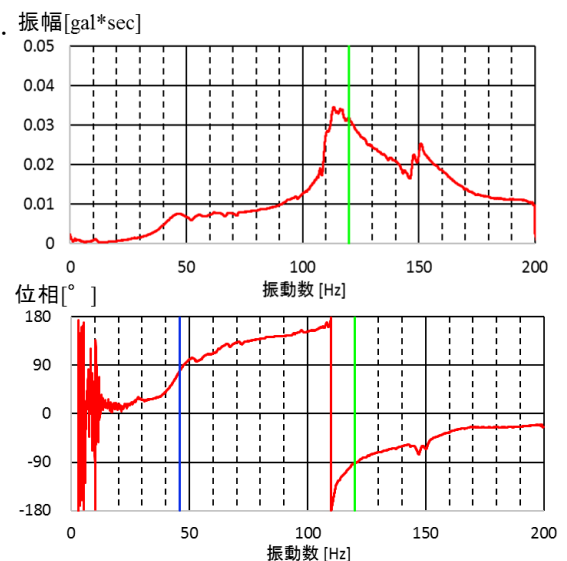


図-1 振幅スペクトルと位相差スペクトル

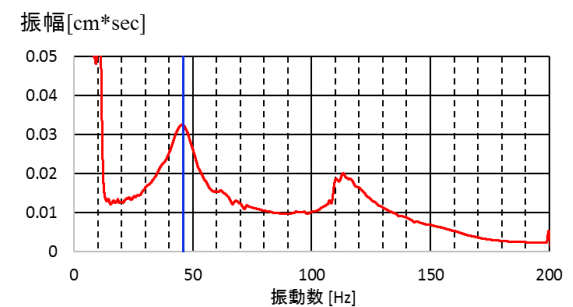


図-2 振幅スペクトル(変位換算)

キーワード 山岳トンネル, 路盤コンクリート, 振動計測

連絡先 〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2-4-24 西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部構造技術室 TEL:06-6375-2275

3. 路盤下注入前後における卓越振動数の変化

前述とは異なるトンネルで同様に算出した路盤下注入前後における卓越振動数を図-3に示す。何れの箇所も注入後は卓越振動数が概ね100~120Hzに遷移していることから、路盤コンクリートの振動特性として、路盤下空洞の有無に関わらず概ね100Hz以上の帯域に卓越振動が表れ、路盤下空洞が存在する場合には概ね50Hz以下の比較的低い帯域にも卓越振動が表れると考えられる。このことから、起振器試験で収録した加速度の応答波形を2重積分により変位に換算し、位相差±90度となる最小の卓越振動数を指標とすることで、卓越振動数を用いた路盤の健全度評価が可能であると考えられる。

4. スペクトル面積による評価と卓越振動数による評価の比較

図-4に6トンネル124箇所（同箇所における注入前後の測定を含む）における起振器試験の結果から算出したスペクトル面積と卓越振動数の関係を示す。これまでの検討において、スペクトル面積による健全度評価の指標として健全度指標 κ が提案され、評価閾値を0.5とすることの有効性が示されている⁴⁾ことから、 κ による健全度評価の結果を区分して図示している。

全体の傾向として、スペクトル面積の増加に伴い卓越振動数が低下する傾向が見られることから、卓越振動数を用いた評価手法でも従来手法と同様の評価を行うことが可能であると考えられる。

健全度指標 κ により健全と評価されている箇所の卓越振動数は50Hz以上であり、特に100Hz以上に集中している一方で、不健全と評価されている箇所は概ね100Hz以下に広く分布しており、軌道検測値の進行値と高い相関を示すことが確認されている。50Hz以下の帯域ではスペクトル面積が大きく増加する傾向が確認された。

また、これまでの結果から、路盤下空洞の拡大に伴い卓越振動数が低下していくと推察されることから、健全と不健全が混在する50~100Hzの帯域では路盤下空洞が形成され拡大しつつある状況にあり、今後の変状発生や進行に注意が必要な箇所であると考えられる。

これらの結果から、表-1に示す卓越振動数による評価閾値を健全度の目安とすることで、路盤下注入等の対策を実施する前であっても路盤の健全度評価が可能であると考えられる。

5. まとめ

起振器試験によるトンネル内スラブ軌道路盤の健全度評価法について、卓越振動数を用いた評価法を新たに提案するとともに、スペクトル面積と卓越振動数の関係から評価閾値を提案したほか、以下を確認した。

- ・起振器試験により得られる加速度の応答波形を2重積分により変位に換算することで、着目すべき比較的低い帯域の卓越振動の有無を確認することが可能となる。
- ・路盤コンクリートの振動特性として、路盤下空洞の有無に関わらず概ね100Hz以上の帯域に卓越振動が表れ、路盤下空洞が存在する場合は、50Hz以下等の比較的低い帯域にも卓越振動が表れる。

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手法,土木学会第68回年次学術講演会,pp.179-180,2013. 3)窪田ほか：スラブ軌道を有するトンネル路盤の振動特性と列車走行安定性の相関分析,地盤工学シンポジウム論文集,第57回,pp.247-252,2012. 4)小湊ほか：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,土木学会第76回年次学術講演会,VI-358,2021.

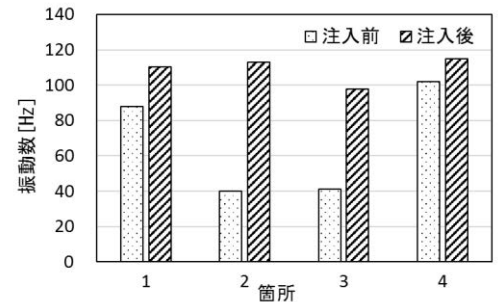


図-3 路盤下注入前後の卓越振動数

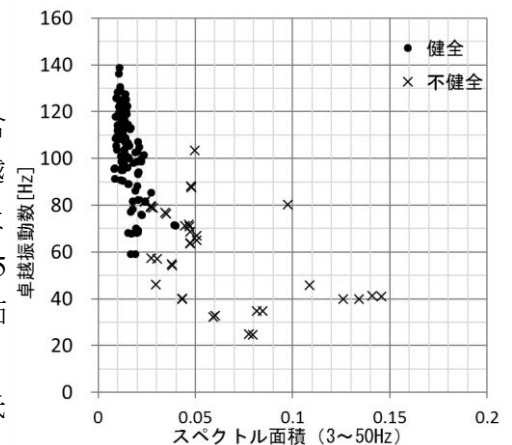


図-4 スペクトル面積と卓越振動数の関係

表-1 卓越振動数による評価閾値

卓越振動数	健全度
100Hz以上	健全
50~100Hz	要観察
50Hz以下	不健全