

トンネル内路盤コンクリートの健全度評価法に関する検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○坂本 寛章, 正会員 近藤 政弘
中国施設設計株式会社 正会員 小山 真, 新谷 星児

1. はじめに 鉄道トンネル内の路盤構造は、新幹線等の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で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している箇所がみられる。路盤変状が進行すれば、軌道狂いが進行し安全な列車運行の妨げになる恐れがある。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¹⁾や、路盤コンクリートに直接コア削孔を行い空洞の状況を把握する方法を採用してきた。ただし、いずれの方法も間接的、局所的であり、健全度を定量的に評価できる手法とはいえない。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評価法を検討してきた。本稿では、トンネル内路盤コンクリートの健全度評価法に関して報告する。

2. 起振器試験法 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0.1~1000 Hz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。実務上は加振加速度1 Gの条件で3~200 Hzの範囲で加振可能であり、この条件で加振を行う。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。また写真1に起振器試験の実施状況を示す。

3. 評価法 これまでの検討結果²⁾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おり、これに対応した評価方法が必要となる。ここでは、伝達関数のスペクトル面積を用いた評価法を用いる。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³⁾。

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

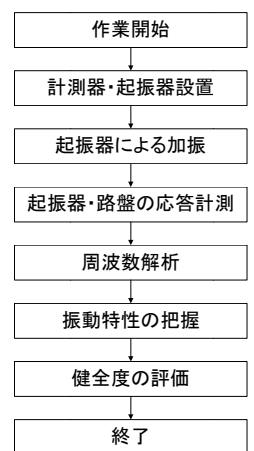


図1 試験フロー

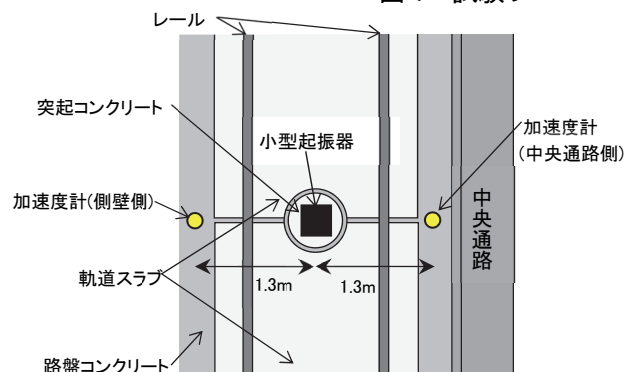


図2 加速度計の配置



写真1 起振器試験実施状況

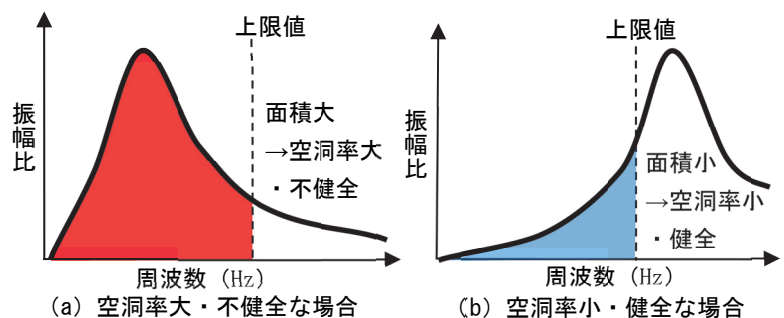


図3 空洞率と伝達関数(振幅)の関係

キーワード トンネル, 路盤コンクリート, 起振器, 健全度評価

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 06-6305-6957

4. 標準値算定法 スペクトル面積を用いた評価を行う場合、評価基準すなわち標準値の算定が必要となる。路盤コンクリートの振動特性に影響を及ぼす要素として、評価の対象である路盤下の変状以外に、路盤コンクリート厚さ、地山物性が影響すると考えられた。ここでは、地山物性を利用した標準値算定について述べる。地山物性の一つとして、トンネル建設時に計測された弾性波速度がある。路盤変状のない健全な箇所の起振器試験結果を利用した、地山弾性波速度と振動特性の関係を図4に示す。また、各周波数帯域における決定係数 R^2 を図5に示す。これより、上限値を50 Hzとした場合に最も相関が強い。そこで、健全度評価の基準となる標準値として、図4(b)で示した弾性波速度と3～50 Hz帯域におけるスペクトル面積との相関関係を利用して式(1)を提案する。

$$y = 0.121 \cdot e^{-0.713x} \quad (1)$$

ここに、 x : 地山弾性波速度(km/s), y : スペクトル面積の標準値

5. 健全度評価法の提案および検証 式(1)を利用した健全度評価フローを図6に示す。また、健全度判定指標 κ を式(2)に示す。

$$\kappa = \frac{\text{スペクトル面積の標準値 (3～50Hz)}}{\text{スペクトル面積の実測値 (3～50Hz)}} \quad (2)$$

健全度指標 κ を用いて評価を行う際には、健全・不健全の閾値が必要である。そこで、対策工施工前後の試験結果を用いて、閾値の検討を行う。式(2)で定義した対策工施工前後の κ を図6に示す。A・Bトンネルは路盤注入の施工前後、Cトンネルは、改良杭施工前後のデータを用いた。対策工施工後の健全な状態では、各トンネルにおける κ がいずれも0.25以上であることから、健全と判断できる κ の閾値を0.25とする。また、 κ が0.1未満となれば3トンネルにおける κ のそれぞれの最小値を包含し、これらの箇所が対策工施工の判断の根拠と考えられることから、不健全と判断できる閾値を0.1とする。これらの閾値を利用した健全度判定区分を表2に提案する。

6. おわりに 本稿では、路盤コンクリートの健全度評価法を提案した。今後、計測実績を増やすことで標準値および健全度評価指標の閾値の精度を高め、評価法としての確立を目指していきたい。

【参考文献】1)佐々木陽,武山和生:路盤下空洞の影響を受ける軌道狂い発生メカニズムの解明と管理方法に関する一考察,土木学会第65回年次学術講演会概要集,pp.491-492,2010. 2)坂本寛章,真井哲生,篠田昌弘,御崎哲一,坂本保彦,藤井大三: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. 3)窪田勇輝,篠田昌弘,中島進,阿部慶太,江原季映,坂本寛章,御崎哲一,高橋康将: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回年次学術講演会概要集,pp.179-180,2013.

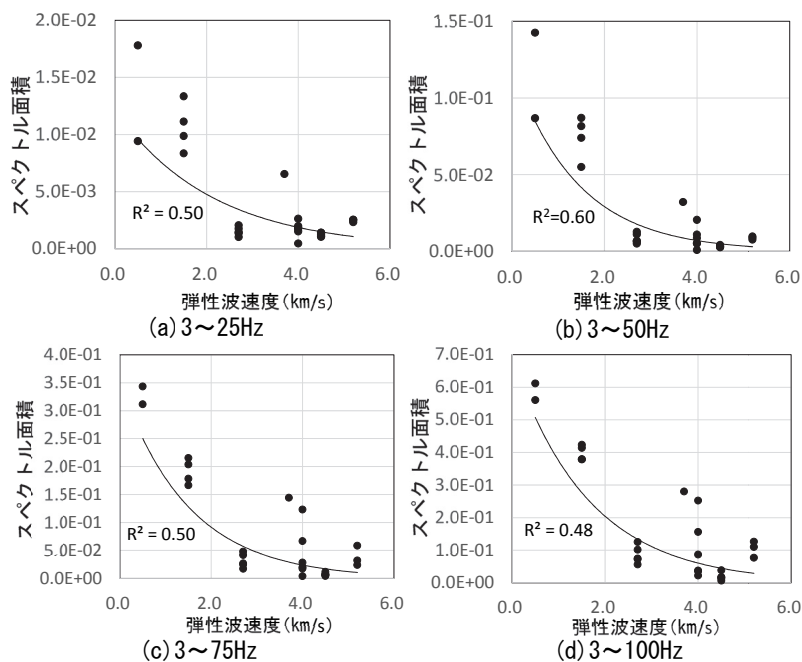


図4 弾性波速度と振動特性との関係

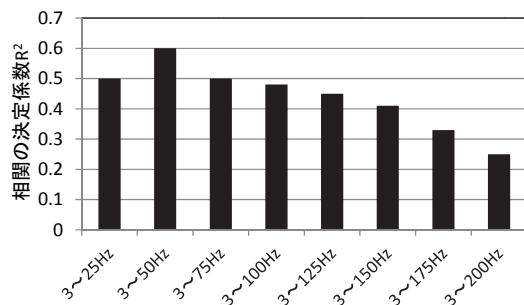


図5 相関関係における決定係数 R^2

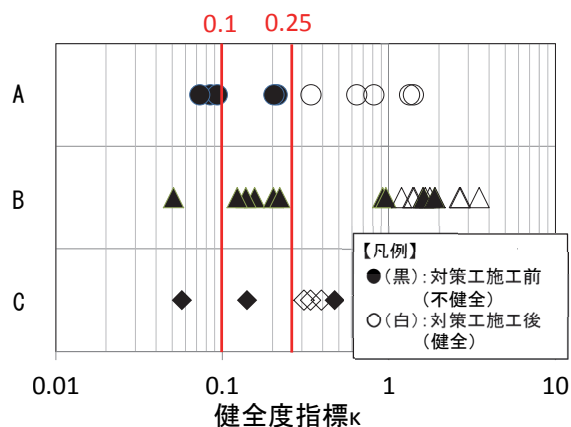


図6 対策工施工前後の健全度指標 κ

表2 健全度判定区分

健全度指標値 κ	判定 ランク	処置等
$\kappa < 0.1$	A	対策を要する
$0.1 \leq \kappa < 0.25$		進行性の把握を行う
$0.25 \leq \kappa < 1.0$	B	現状では問題は少ない
$\kappa \geq 1.0$	S	健全と考えられる