

列車の高速化に対応した列車風圧荷重の評価と防音壁設計

(独)鉄道・運輸機構 正会員 朝長 光, 正会員 谷田宗一郎
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 徳永 宗正
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 河内 一樹

1. はじめに

現在、建設を進めている北海道新幹線では、従来までの設計列車速度 260km/h ではなく 320km/h に高速化した条件にて検討を行っている。そのため、高速化に起因した環境対策が従来以上に必要となり、従来の防音壁は最大でもレール面（以下 R.L）+3.5m の高さだったのに対し、更に 1m 嵩上して R.L+4.5m の高さが必要と想定されている。また、列車通過の際に生じる列車風圧は、列車風とともに圧力変動が生じ、この圧力場が列車とともに移動するため、共振効果によりその応答が増幅されることが知られているが、高速走行による列車風圧が高さの増した防音壁へ与える影響は把握されていない。そこで、今回の検討では過去に提案されている力学モデルを参考にシミュレーションを実施し、列車風圧を算定した上で支柱の試設計を行ったのでその結果について報告する。

2. 整備新幹線の防音壁と列車風圧

整備新幹線で一般的に用いられている支柱式防音壁は大きく分けて直型（図-1(a)）と半雪覆い型（図-1(b)）の2通りがあり、底部には吸音板の設置を考慮しないため半雪覆い型防音壁の方が軽く振動数が高い。支柱式防音壁の構造は、床版から立ち上がった鉄筋コンクリート壁（地覆）に H 形鋼の支柱が埋め込まれており、その支柱間には空洞プレストレストコンクリート（PC 板）が配置され、支柱である H 形鋼フランジとの隙間はゴム楔により固定している。従来までの支柱式防音壁の場合、列車風圧は一律 1.0kN/m² としていたのに対し、暴風時の風荷重 3.0kN/m² が相対的に大きく、風荷重により支柱及び地覆が決定していた。しかしながら近年の研究においては、列車速度の向上等の観点から防音壁が高くなり、張出スラブを含めた固有振動数が小さい領域においては、列車走行時の共振による動的応答増幅が問題視されるようになってきている。共振等による動的応答については、その算出自体も複雑であるのに加え、現行の設計で考慮するのが煩雑であるため、設計実務上は共振を振動数に応じた衝撃係数で表現し、静的な作用に置き換えるのが一般的である。



(a) 直型防音壁



(b) 半雪覆い型防音壁

図-1 新幹線の支柱式防音壁

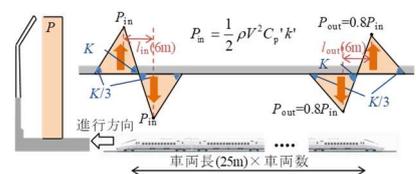


図-2 列車風圧分布

3. 衝撃係数及び列車風圧荷重の算定

(1) 解析モデル

列車通過時の防音壁の動的応答を評価する場合、防音壁の2次以上の振動モード、両端の拘束長や各支柱および PC 板の相互作用の影響を考慮する必要がある。これらの影響を考慮するために既往の文献¹⁾を参考に図-3 に示すとおりマルチボディーによりモデル化した数値解析を行った。このモデルでは、3m ごとに配置された各 H 形鋼支柱の橋軸直角方向応答を質量 m_r の 1

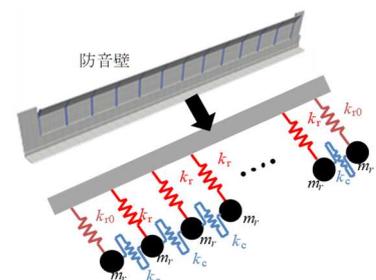


図-3 マルチボディー解析モデル

キーワード 新幹線, 防音壁, 列車風圧

連絡先 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー・電話 045-222-9082・FAX: 045-222-9102

自由度系で表し、H形鋼支柱剛性が k_r 、両端の剛なRC壁体の剛性を含んだ端部H形鋼支柱剛性が k_{r0} 、H形鋼支柱間の接続剛性が k_c のばねにより接続されたモデルである。また、構造物の減衰はモーダル減衰として考慮し、各モードのモード減衰比は1%とした。今回実施した解析ケースは、 f_{nbr} を1~10Hz、支柱本数 n_n は、RC壁体を有する電柱が50m程度ごとに設置されることを考慮して3~20本、列車速度 V は10~500km/hまでを5km/h刻みとした。なお、 k_r は梁理論により防音壁の固有振動数 f_{nbr} から求まる数値であり、 k_{r0} 、 k_c は既往の文献を基に一定値としている。

(2) 解析結果

図-4に最も応答が大きくなる支柱数 n_n が20本の衝撃係数を示す。縦軸の防音壁の衝撃係数 i_{nbr} は、列車速度10km/hの場合の応答変位を静的載荷時の応答と仮定し、それに対する各速度の応答変位の比率としている。ここで、支柱本数が多いほど応答が大きくなったのは、剛性の高い両端部からの距離が長くなったためである。また、振動数別に注目すると、振動数が小さい方が衝撃係数が大きくなる傾向が分かるが、各振動数のピーク値は列車速度によって異なることも確認できた。更に260km/hと320km/h

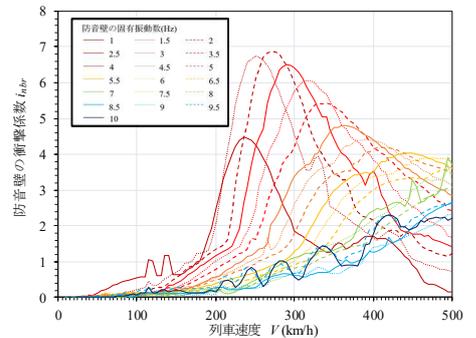


図-4 列車風圧による衝撃係数

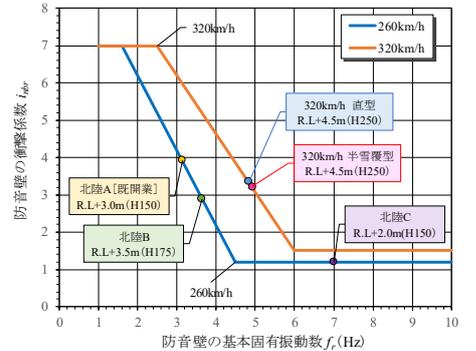


図5 260, 320km/h走行時の衝撃係数

に着目して横軸を防音壁の基本固有振動数とし、それらの包括線を示したものが図-5である。近年の防音壁に多い3~5Hz帯においては同一振動数でも列車速度が260km/hから320km/hとなることにより衝撃係数が大きくなる結果が得られた。

4. 防音壁の設計

設計で用いる防音壁の固有振動数 f_r は2次元の固有値解析にて算出し、設計列車風圧荷重 $q_{lk,d}$ は衝撃係数 i_{nbr} と列車風圧荷重の特性値から $q_{lk,d} = (1 + i_{nbr})q_{lk,s}$ として求めた。ここに列車風圧荷重の特性値 $q_{lk,s}$ は速度の2乗に比例する。図-6に320km/hでR.L.+4.5mの半雪覆い型防音壁の列車風圧荷重を示す。作用の組合せを考慮した結果、320km/hにおける作用としては風荷重最大時よりも列車風圧作用時の方が大きくなり、安全性疲労の照査を満足するためには、支柱にH-250を採用する必要がある(図-7)。

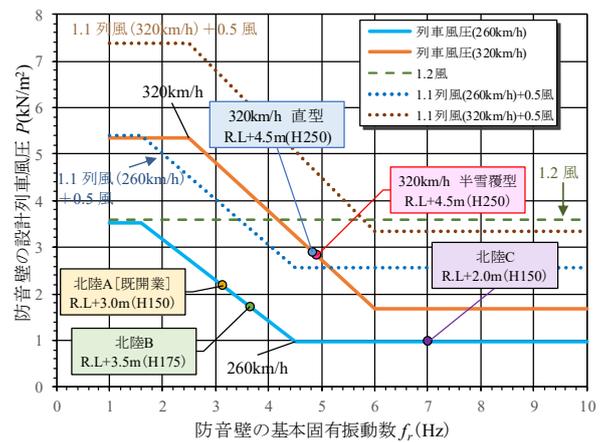


図-6 列車風圧荷重

なお、参考に図-5、図-6には過去に建設された新幹線の防音壁の衝撃係数および列車風圧荷重も示しているが、高速化することで列車風圧の特性値は320km/hの方が大きいものの、H-250とすることで剛性が上がっており、防音壁の衝撃係数は従来までの防音壁とほぼ同等に収まることが確認された。

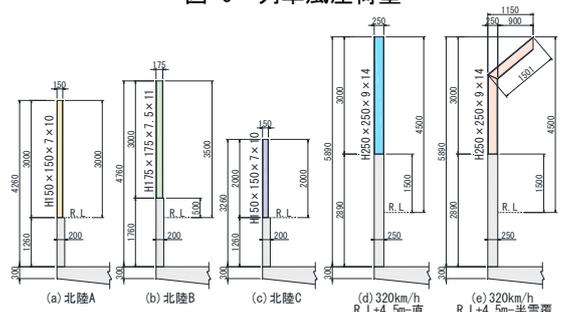


図-7 防音壁構造図

5. おわりに

今回の検討では、既往の研究を基に高速走行時の列車風圧荷重を算出し防音壁支柱の設計を行った結果、高速化および防音壁嵩上の影響により共振を考慮した列車風圧は増加するが、防音壁支柱をH-250にすることで照査を満足する結果となった。ただし、共振現象は当該部材だけでなく接続部材や付帯構造にも影響を及ぼす可能性があるため、静的設計で耐荷性能、耐疲労性能を満足させるだけでなく、共振が発生しづらい部材となるように配慮する必要がある。今後も高速化が図られる場合は、本検討のように支柱剛性を高めたり、より軽量の板を配置したりすることで固有振動数を上げて衝撃係数が小さくなるように配慮することが重要と考える。

参考文献) 1) 徳永ら, 列車通過時の鉄道構造物上防音壁の動的設計法, 土木学会論文集 Vol.69, No 2, pp.392-409, 2013.