

◇技術紹介 Technical Report◇

鉄道固体音対策用防振地中壁 Isolated Underground Wall for Reducing Structure-borne Sound by Railways

藤澤 康仁 Yasuhiro Fujisawa
須藤 敏己 Toshimi Sudo
(本社 特殊工法部)

1. はじめに

都市部において建設される建物は、高架軌道や地下軌道などの鉄道に近接した立地条件となることが多い。このような立地条件では、列車が通過する際に発生する振動が地盤を介して建物地下躯体へ入力され、躯体中を振動として伝わり、最終的に居室で音として放射される固体音が問題となることがある。

このような鉄道からの固体音を建物側で低減する方法の一つに、山留用地中壁に防振材を貼付け、地下外壁を施工する工法がある。防振材により固体音の原因となる振動を低減することを目的とした工法であるが、建物の地下が深い場合には工期や躯体量の面でコストが嵩むほか、コンクリートの回り込みや型枠用セパレータなどの振動伝搬経路が生じやすい、等の短所がある。

そこで鉄道に近接するような条件下の建物地下部の合理的な設計を目的として、地盤側に防振材を配置することで地中壁を本体利用でき、かつ地盤側と建物躯体を確実に防振材により分離できる防振地中壁工法を開発した。

2. 防振地中壁工法の概要

2.1 防振地中壁工法の特徴

防振地中壁工法と従来工法を比較して Fig. 1 に示す。従来工法では山留壁の内側(建物側)に防振材を配置するのに対し、防振地中壁工法では防振材を山留壁の外側(地盤側)に配置している。これにより地中壁の建物躯体としての利用が可能となり、地下外壁厚さや杭本数の低減により、合理的な地下部の設計が実現できる。

建物地下部を防振する目的は、地盤と建物躯体を防振材により絶縁することであるため、両者がコンクリートなどにより繋がるとその部分が振動伝搬経路となり、防振材の効果は低下する。

従来工法では地中壁のコンクリート打設後に地盤を掘削し、地中壁垂直面に防振材を手作業で貼付けていくため、貼付け面の不陸により防振材継ぎ目部に隙間ができやすく、コンクリートの回り込み防止用にシール等の隙間処理が必要となる。また地下外壁施工時に防振材を貫通して設置される型枠用セパレータは振動を伝えてしまうため、防振タイプのセパレータが必要となる。しかし実際には不陸が大きい場合には完全な隙間処理が困難であることや、防振タイプではない通常のセパレータが用いられる場合もあり、本来の防振材の効果を得られていないケースがある。

今回の開発工法では、あらかじめ地中壁の鉄筋かごに防振材を固定して防振材継ぎ目部の隙間処理を行った後、

掘削孔へ鉄筋かごを挿入しコンクリートを打設するため、従来工法のような振動伝搬経路が生じる懸念はない。

防振地中壁の打ち継ぎジョイント部を Fig. 2 に示す。図は防振材として防振ゴムパッド t25 を 2 枚重ねて使用する場合の納まりを表しており、先行打設側パネルと後行打設側パネルの防振ゴムパッドには、500mm 幅で防振ゴムパッドを別途重ねている。また防振ゴムパッドの重ね部からのコンクリートの回り込みを防止するため、ゴムシートを防振ゴムパッドの底部まで隙間ができないように設置している。防振ゴムパッドとゴムシートは、コンクリート打設時の圧力により、地盤と先行パネル側の鉄板に密着する。

これらの処置により本工法では、地盤側と建物躯体が確実に防振材により分離でき、かつ山留壁の機能を維持するという特徴を有している。

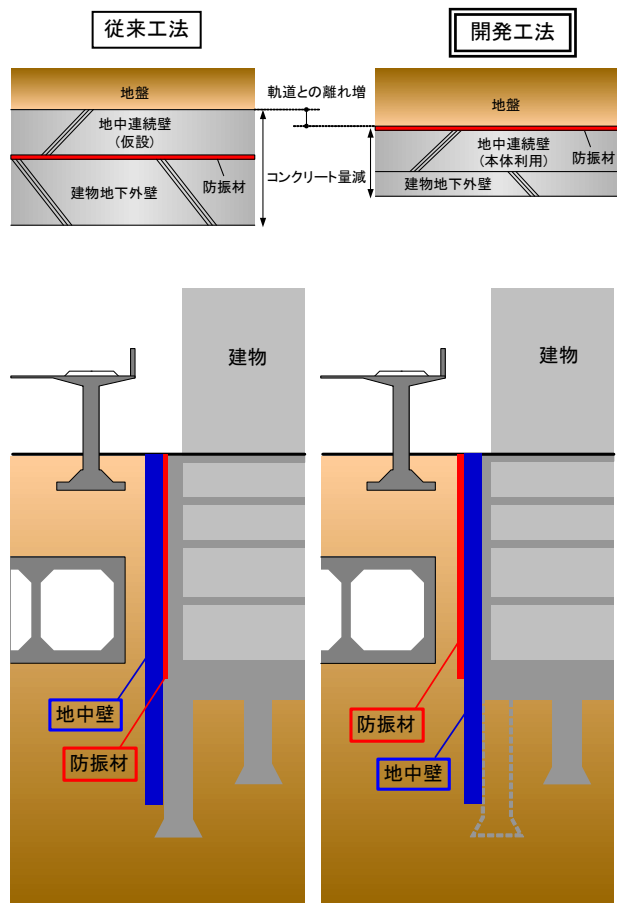


Fig. 1 従来工法との比較
Comparison of Vibration Isolating Methods

2.2 防振性能の検証

防振地中壁の振動低減効果は、地盤から地下躯体中までの異種媒質境界面におけるP波・S波の透過率・反射率から求まる波動エネルギーの伝達損失値により評価した。Fig. 3に従来工法と防振地中壁工法の振動低減効果を比較して示す。図より、可聴域である20Hz以上の周波数の振動に対して、従来工法とほぼ同等の振動低減効果が得られることがわかる。Fig. 3では、地盤にはN値50以上の硬質地盤を想定しているが、軟弱地盤の場合には地盤改良を行うことにより同等の性能が得られる。

2.3 実大モデルによる施工試験

Fig. 2のジョイント部納まりにより、防振材の連続性が確保できることを検証するため、実大モデルによる施工試験を行った。試験体の寸法は、地中壁厚さW=1000mm、パネル幅L=2800mm、深度=4000mmとし、2つのパネルを製作した。用いた防振ゴムパッドの物性をTable 1に示す。Photo 1に防振ゴムパッドとゴムシートを固定した鉄筋かごの状況と、コンクリート打設後に掘削した試験体の切断面の状況を示す。本施工試験により、地盤側へのコンクリートの回り込みや打ち継ぎ部の空隙はなく、防振ゴムの連続性とコンクリートの密実性が確認された。

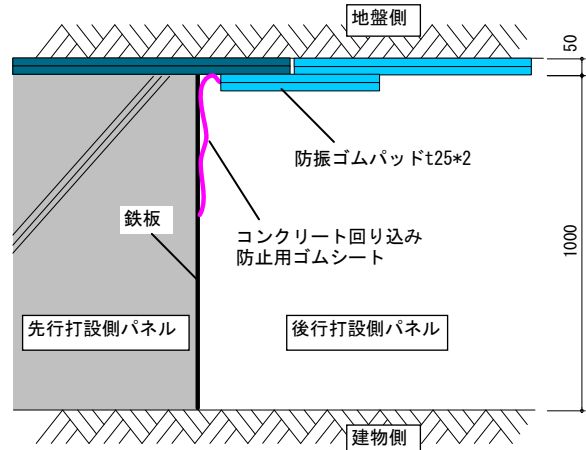


Fig. 2 防振地中壁のジョイント部納まり
Joint Part of Underground Wall

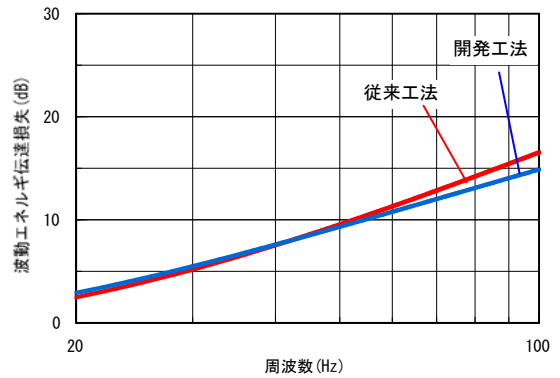
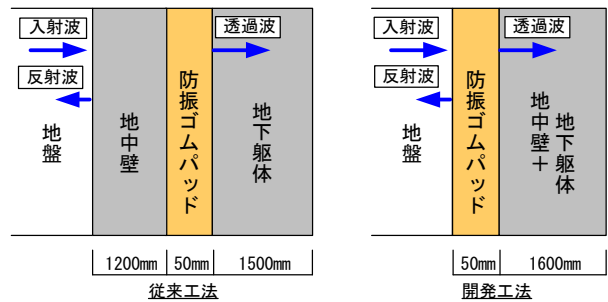
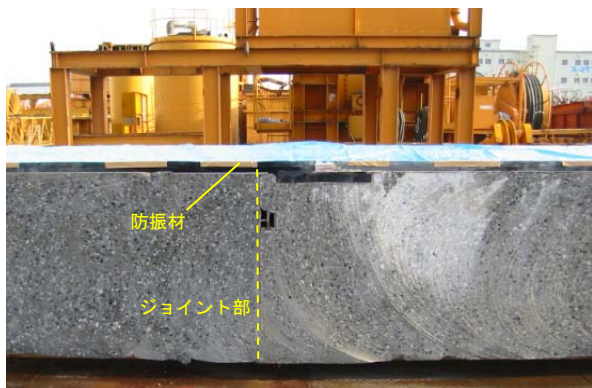


Fig. 3 防振地中壁の振動低減量の評価
Estimated Vibration Reduction Level



試験体鉄筋かご製作状況



試験体切断面

Photo 1 実大モデルによる施工試験
Construction Test by Full Scale Model

Table 1 防振ゴムパッドの物性
Material Properties of Rubber Pad

比重	1.15±0.05
せん断弾性係数	1.2*10 ⁶ N/m ²
ポアソン比	0.45
許容荷重	2.0*10 ⁶ N
定寸法	1000*2000*t25 mm

3. 防振地中壁工法の適用事例

3.1 建物概要

Fig. 4に防振地中壁工法を適用した駅ビルの概要を示す。地下4階、地上19階のS造建物で、用途は中低層階が駅施設と店舗、高層階がホテルとオフィスである。鉄道との位置関係は、建物長辺が高架軌道、建物短辺が地下鉄に面しており、高架軌道の柱脚基礎と建物地下躯体面との距離は約4mである。鉄道騒音に対する目標性能はホテル客室でNC-30、オフィス事務室でNC-40である。

固体音対策用の防振地中壁はFig. 4に示す平面位置に、深さ方向には地下4階レベルのGL-20mまでを防振範囲としており、総防振面積は約3400m²である。地盤は約4m深さからN値50以上の硬質地盤であり、軌道側の4m深さまでは地盤改良を行っている。本物件では防振地中壁工法の採用により、従来工法と較べ地中壁の仮設アンカーや軌道側逆打ち支柱杭の削減、地下壁厚の低減など地下部の設計・施工の合理化を実現している。防振材には防振ゴムパッドt25を2枚重ねて用いており、また防振地中壁を貫通する電気・衛生の配管類や、駅ビルと駅側躯体との接続部の防振処理も行っている。なお高架軌道からは空气中を伝搬する音の影響もあるため、窓の遮音対策も併用されている。

Photo 2に防振ゴムパッドを固定した鉄筋かごの組立、建込み状況写真を示す。防振ゴムパッドは、平地に設置した鉄筋かごにビスで固定している。防振効果を損なわないようビスは貫通させず、また防振ゴムパッドの1層目と2層目は目地をずらして重ね、テープ貼りを行っている。防振ゴムパッドは定尺で1000×2000mm、約60kgの重量であるため、地中壁垂直面への貼付け作業が必要な従来工法と比較すると、施工性が格段に良い。鉄筋かごは最大34mの長さであるため、形状保持のために専用の建起し装置を用いて吊り上げ、掘削孔に挿入している。

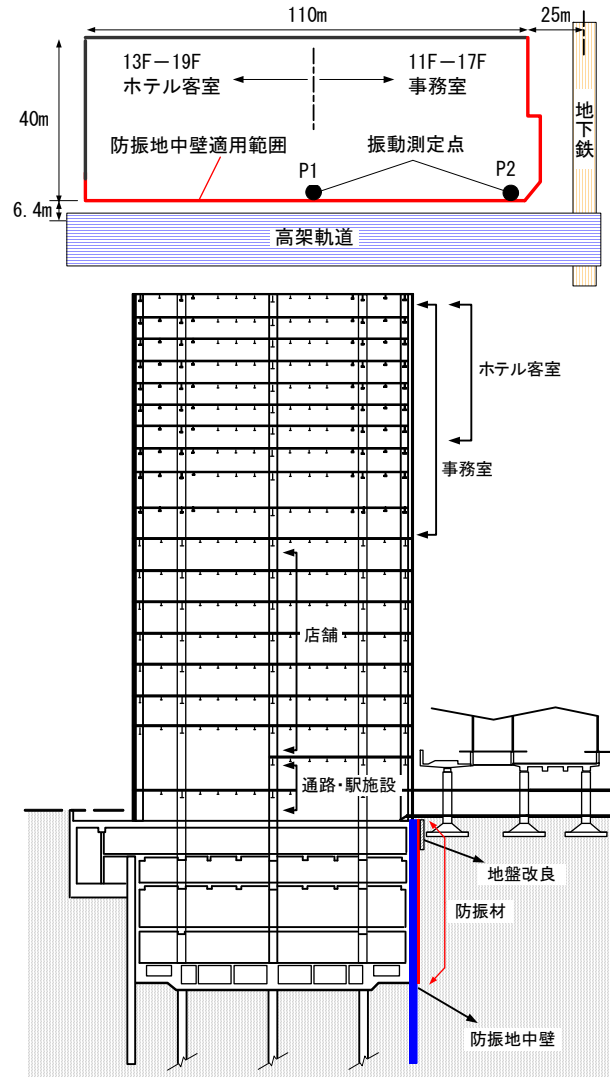


Fig. 4 防振地中壁工法の適用建物
Applied building of Isolated Underground Wall



Photo 2 防振ゴムパッド付き鉄筋かごの組立・建込み状況
Setting of Isolated Underground Wall

3. 2 振動・騒音実測結果

Fig. 5, Fig. 6に列車通過時の鉛直方向振動加速度レベルを施工段階ごとに比較して示す。測定位置はFig. 4に示す平面上2点で、建物施工前は地表面、防振地中壁施工後は地中壁天端面、建物躯体施工完了後は1階スラブ上柱際である。またFig. 7に駅躯体取り合い部施工後の1階駅側と駅ビル側スラブ上の発生振動を比較して示す。なお各図の結果は、列車による発生振動のばらつきを表している。

地表面における発生振動は、高架軌道列車では16Hzと63Hz付近のピークで60～65dB、地下鉄は63Hz付近のピークで50dB程度となっている。これに対して防振地中壁施工後は、高架軌道列車に対して約15dB～20dB、地下鉄に対して約3～10dBの振動低減効果が得られ、躯体完成時にはさらに数dB小さくなっていることがわかる。またFig. 7の駅側スラブとの発生振動の比較でも同様の効果が得られており、Fig. 3に示した推定値に対応した振動低減

効果が得られていることがわかる。

竣工時のホテル客室と事務室における室内騒音測定結果をFig. 8に、ホテル客室内の床面鉛直方向振動測定結果をFig. 9に示す。

ホテル客室では高架軌道列車通過時にNC-25～NC-30、事務室ではNC-35と、いずれも室内騒音に関する目標値を満足しており、また地下鉄の通過音は暗騒音以下である。Fig. 9のホテル客室内の振動測定結果では、室内騒音の主成分である31.5Hzから63Hz帯域で最大でも40dB程度の発生振動であり、室内騒音は窓を透過する空気音の影響が支配的であることがわかる。

4. まとめ

鉄道からの固体音対策として、地中壁の地盤側に防振材を配置する防振地中壁工法の概要と、実建物への適用事例、振動低減効果の実測事例を紹介した。

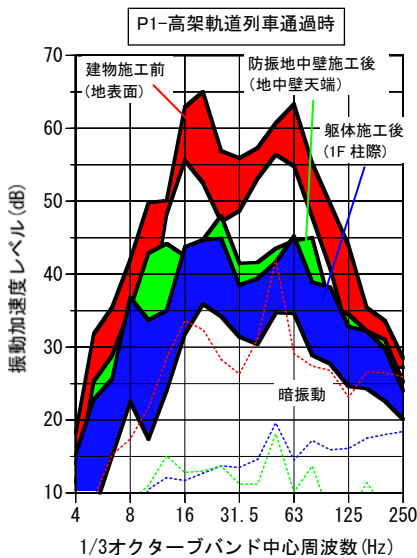


Fig. 5 振動測定結果 (P1)
Vibration Acceleration Level (P1)

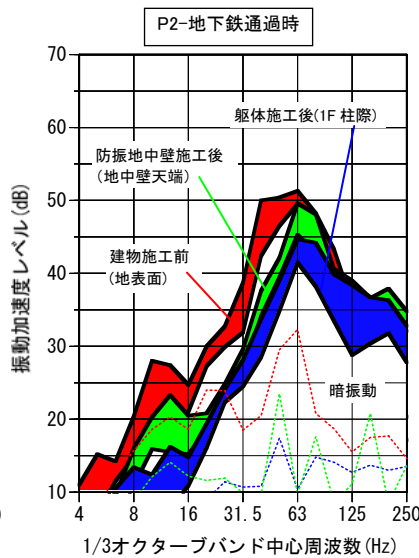


Fig. 6 振動測定結果 (P2)
Vibration Acceleration Level (P2)

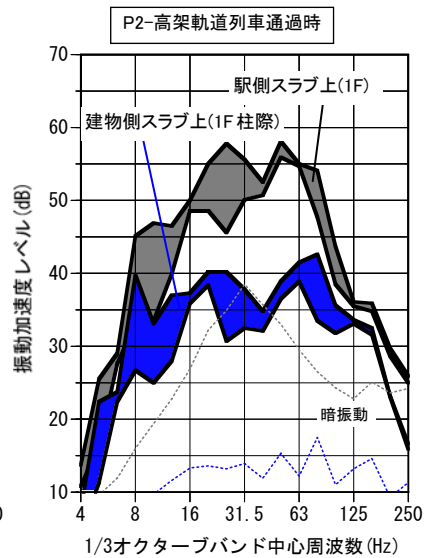


Fig. 7 振動測定結果 (P2)
Vibration Acceleration Level (P2)

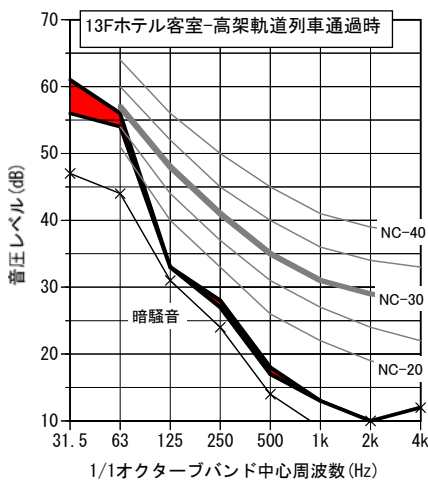


Fig. 8 竣工時室内騒音測定結果
Sound Pressure Level

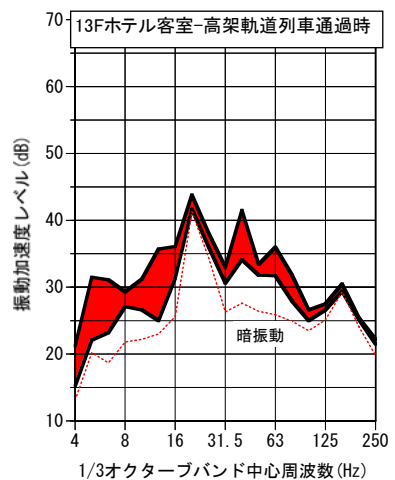
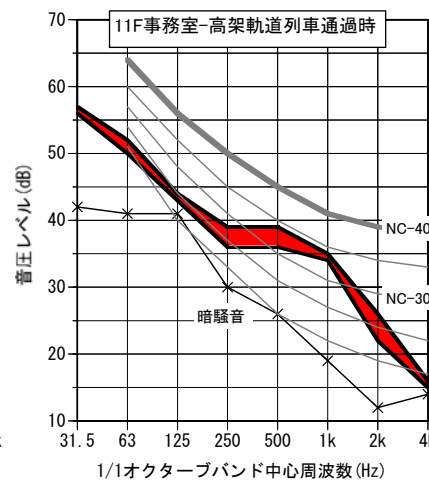


Fig. 9 竣工時振動測定結果
Vibration Acceleration Level