

地下鉄構築振動と隣接建物への影響

真藤利孝 吉田克雄

Tunnel Vibrations of Underground Railway and Effects on Nearby Buildings

Toshitaka Shindo Katsuo Yoshida

Abstract

Tunnel vibrations of underground railways propagate to nearby buildings where structure-borne sound is generated, and often cause trouble. However, technical data concerning these matters are still insufficient. The authors recently were involved in a project in which a concrete bed track was changed to a ballast mat and a scissors crossing was provided after improving the tunnel. Therefore, vibration and noise caused by train operation in the tunnel and a nearby building were studied. As a result, the vibration-proofing by ballast was more effective than rise of level by scissors, and about 5 dB (63 Hz) reduction was achieved in comparison of the conditions before and after the construction. Structure-borne sounds in the building were also reduced; the noise level after the work was low at approximately 30 dBA. This was almost the same as background noise, and did not cause any problem.

概要

地下鉄振動が隣接する建物へ伝搬し、建物内で固体音が発生して問題となることがしばしばあるが、これらに関する技術資料は未だ十分ではない。筆者らは、今回地下鉄軌道のコンクリート道床を防振マット敷き砂利道床とし、構築変更後に渡り線を設置する工事に伴い、構築内と隣接建物内における電車走行による振動・騒音を調査した。

その結果、振動は、渡り線によるレベル上昇よりも砂利道床による防振効果の方が大きく、工事前、後で比べるとほぼ 5dB (63Hz) の減衰が得られた。また、隣接建物内の固体音についても振動とほぼ同様の減衰を示し、工事後の騒音レベルでは約 30dBA と小さく暗騒音とほぼ同じ程度で問題となるようなことはなかった。

1. まえがき

都市の過密化により地下鉄と建物とが接近して建設されることが多くなり、このため地下鉄走行による振動が隣接する建物へ伝搬し建物内で固体音となって問題となることがしばしばある。

しかしながら、地下鉄走行によりトンネル構築が振動し地盤に伝わり更に建物内の各部位を振動させる状況は極めて複雑であり、又これらに関する技術資料も未だ十分でないため、これらの振動の正確な予測は困難であり、今後の予測解析のためにも実測データの蓄積が必要といえる。

今回、筆者らは既設の地下鉄軌道のコンクリート道床を防振マット敷き砂利道床とし、トンネル構築の一部変更後に渡り線を設置する工事に伴い、構築内と隣接建物

内において電車走行による振動・騒音を測定する機会を得た。測定は工事の進捗に合わせて行なって、防振マット、砂利道床、構築重量、渡り線などの振動・騒音に与える影響について調査したのでその結果を報告する。

2. 構築変更の概要

今回の構築変更は、駅ホーム拡張にもとづき行なわれたもので、主な内容は線路勾配の変更による道床の嵩上

	旧線	新線
構築重量	31 t/m	67 t/m
軌道構造	コンクリート道床	防振マット敷き砂利道床
渡り線	無し	有り
構築上部状況	土被厚 1 m, 公園	アスファルト道路厚 0.4 m
構築側部状況	公共埋設管のみ	水路新設, 一部土中発泡ウレタン

表一 新・旧構築、軌道関係変更内容

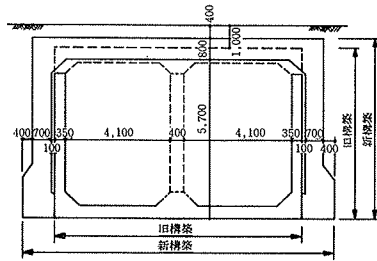
げに伴う新構築天井、壁の建設と渡り線の移設である。

測定対象とした地点の構築、軌道における変更内容を表一1、図一1、2に示す。

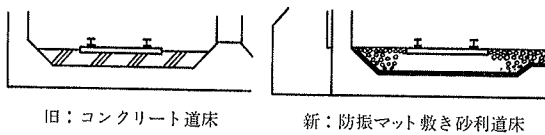
3. 測定概要

3.1. 測定箇所

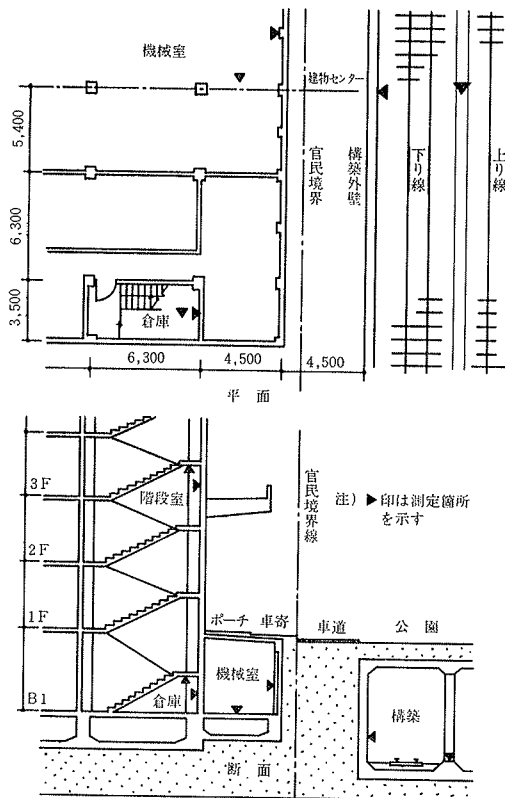
測定した地点の構築と隣接の建物の位置関係及び測定点を図一3に示す。なお隣接建物は既設のもので居室はすべて使用されているため、測定点を設定した箇所は図中に示した場所とした。



図一1 新・旧構築コンクリート断面



図一2 新・旧道床断面

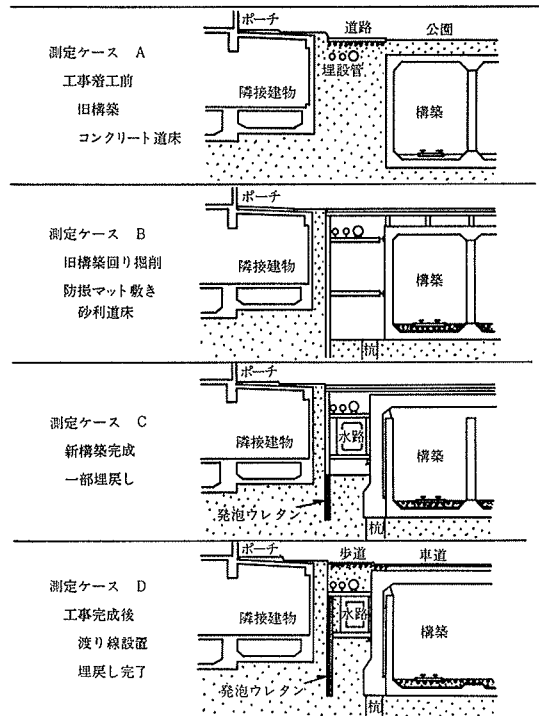


図一3 地下鉄構築と建物の位置関係および測定点

3.2. 測定ケース

測定は先ず工事着工前の旧線の状態から行ない、その後は構築内外における工事の並行作業の進捗状況に合わせて極力砂利道床、構築変更、渡り線などの個別の影響が調査できるような状態を選んで行なった。

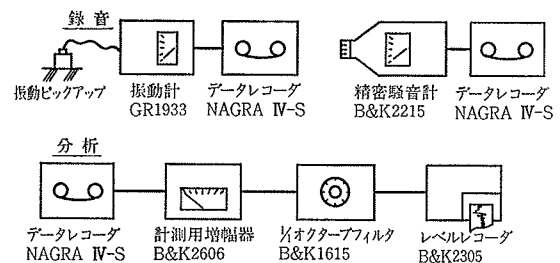
主な測定ケースにおける構築及び軌道などの状態を図一4に示す。



図一4 各測定ケースの構築内外および軌道の状態

3.3. 測定方法

測定は構築側と建物側の2系統で同時測定を行ない、建物側は地下室2室と中3階階段室の3室を移動して測定した。測定列車数は建物側1室当たり10列車とし、3室合計で30列車を構築側と同時測定した。測定は現地録音を行ない、分析はオクターブバンド中心周波数 31.5～500 Hz とし実験室で行なった。又列車の通過時間を測定し列車速度を求めた。振動加速度レベルの測定は音と相関のある面に垂直方向とした。測定ブロックダイヤグラムを図一5に示す。



図一5 測定ブロックダイヤグラム

測定値の読みとりは列車通過時のレベル波形のピークレベルとした。構築内における列車毎のレベルのバラツキは多少あるが、建物側1室との同時測定分の10列車ごとのピークレベルの平均値でみるとほとんど±1 dBの範囲に収まっており、建物側3室を移動した場合の振動源側のレベル変動は無視できる状況であった。従って、測定結果は各測点でのピークレベルの平均値で表わした。なお列車速度は各測定ケースとも40 km/h前後でケース間での速度によるレベル差は無視できた。

4. 測定結果と考察

4.1. 着工前の振動・騒音

構築内と建物内の各測定点における振動の測定結果を図-6に、構築内の床、壁のレベルの平均値を基準とした時の周波数ごとの建物内床(天井を含む)での相対レベルを図-7に示す。

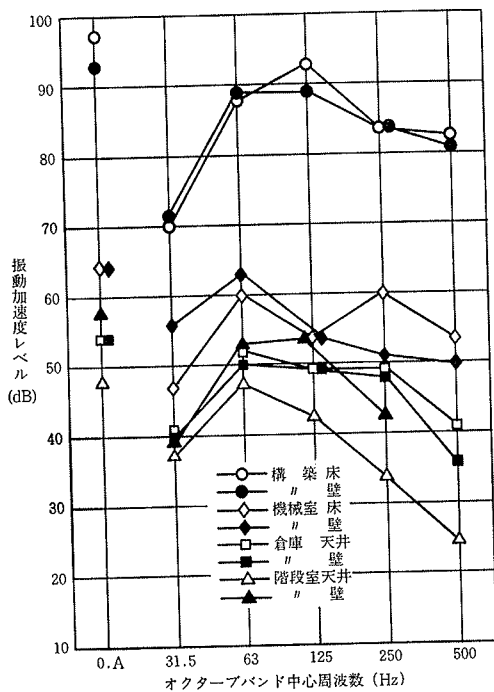


図-6 工事前の振動測定結果

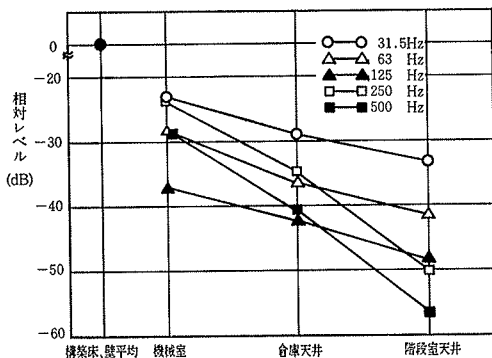


図-7 建物内床、天井の振動の相対レベル

構築内の振動はオーバーオールで、床が97 dBで壁は床よりやや減衰しており、それらの周波数特性は床、壁とも31.5 Hzは小さく63 Hz~125 Hz主成分であり、250 Hz以上でもそれ程減衰していない。これらの傾向は既往の測定データとも類似しており、コンクリート道床としての特徴を示している¹⁾。

建物内の振動については、地盤を伝搬する過程で高い周波数程減衰が大きいので周波数特性としては概ね63 Hzが主成分となることが多く、測定結果もほぼその傾向を示している。又、建物内における床の振動の減衰状況は振動源(構築)からの距離に比例して減少し、その減衰勾配は周波数が高くなるに従いやや大きくなっていく。一方壁の減衰の状況は床とはやや異なるが、これは各壁の剛性の違いによるものと思われる。

騒音については、機械室及び階段室は暗騒音レベルが高く測定不能であり、倉庫における1室のみで測定を行った。測定結果を図-8に示す。騒音の周波数特性は63 Hzが主成分となっておりオーバーオールでは59 dBであるが、A特性では40ホン程度あり、空調設備を休止した時の暗騒音よりやや大きい程度で、聴感としては地下鉄走行がわずかに感じられる程度であった。

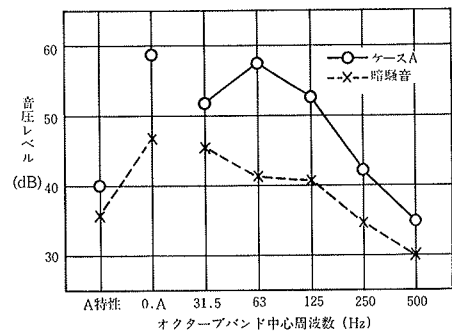


図-8 工事前の騒音測定結果

4.2. 防振マット、砂利道床による構築の防振効果

構築内の軌道をコンクリート道床から防振マット敷き砂利道床とした測定ケースBの構築内における振動を着工前と比較して図-9に示す。なお参考として防振マットなしの砂利道床(図-3の位置から約50m地点)における床振動の測定結果を図中に点線で示した。

構築内床面での測定結果からコンクリート道床を基準にして防振マット、砂利道床の効果を求めた結果を表-2に示す。ただし、防振マット敷き砂利道床の場合は構築回りの土を除去した影響も含んでいるが、床面に対してはそれ程影響はないと思われる。

道床による防振効果としては砂利道床によるものが効果的であり、今回の調査では防振マットは低い周波数ではほとんど効果がみられず、地下鉄振動の周辺建物への伝搬を防止するものとしては効果的ではなかった。なおこ

た防振マッパで用いたのは厚さ 25 mm, ばね定数 4.3 トン/cm のものである。

測定ケース B による構築壁の振動は工事前と比べると床のレベル程は下がっていないが, これは壁の回りの土を除去したことにより振動し易くなったものといえる。

4.3. 構築の質量増加による振動の減衰量

新構築の壁, 天井が完成した状態の測定ケース C の構築内における振動の測定結果を測定ケース B と比較して図-10 に示す。

新, 旧構築のコンクリート断面は床は変化なく, 壁の厚さは新構築が約 2.5 倍である。図-10 の測定結果も床についてはほとんど同一であり, 壁, 天井の質量が増加しても床に対しては全く防振効果がないことが分かる。

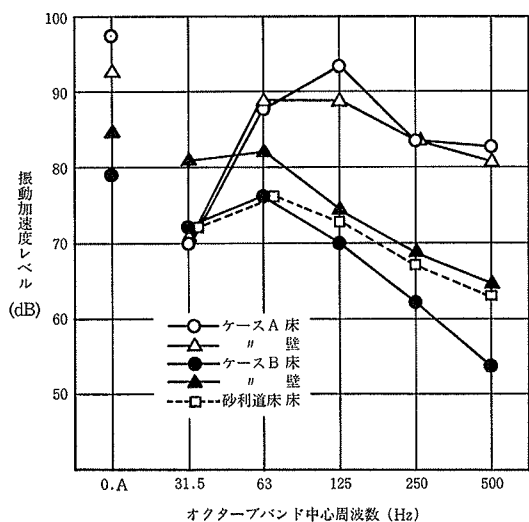


図-9 道床の違いによる構築の振動

	周波数 Hz	31.5	63	125	250	500
① 防振マット敷き砂利道床		-1	11	23	22	29
② 砂利道床		-1	11	21	17	20
①-② 防振マットのみ		0	0	2	5	9

表-2 防振マット, 砂利道床の防振効果 dB

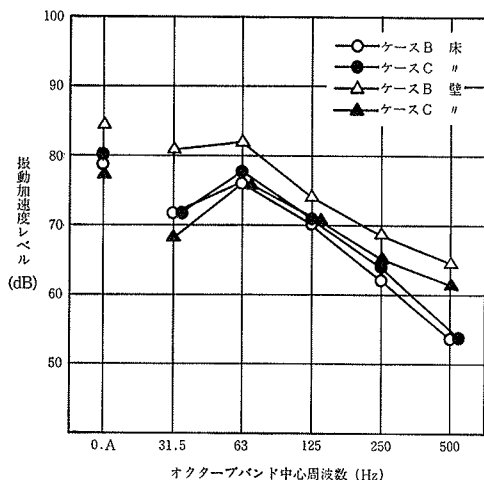


図-10 構築重量の違いによる構築振動の影響

一方壁については周波数で多少違いはあるが 6 dB 程度の減衰がみられ, 一部埋戻していることを無視すれば質量増加による減衰量として考えられる。一般に質量 m_1 が m_2 に変化すれば加速度レベルの減衰量は $20 \log (m_2/m_1)$ dB で表わされ質量が倍になれば 6 dB の減衰量となり, 今回の測定結果による減衰量は概ね妥当なものといえる。

4.4. 渡り線設置後の構築振動

渡り線を設置し, 埋戻し後の完成した状態の測定ケース D における構築内の振動の測定結果を工事前と比較して図-11 に示す。なお図中の点線は構築床の測定点が渡り線設置段階で撤去されたので推定値として示した。推定値は工事前, 後による壁の減衰量から質量増加による 6 dB を差し引いたものを工事前, 後の床の減衰量として求めたものである。

工事前, 後の構築の振動としては 31.5 Hz を除き, 砂利道床の防振効果が渡り線のレベル上昇分より大きく, 63 Hz 以上でかなりの減衰が得られている。渡り線によるレベル上昇分としては, 壁の工事前, 後のレベル差が質量増加による減衰量と防振マット敷き砂利道床による防振効果 (表-2 による) と渡り線による上昇分で決まると考えれば表-3 に示すように求められる。

4.5. 隣接建物への振動の影響

測定ケース A, B, D の建物床, 壁における振動測定結果を図-12 に示す。測定ケース C は建物内ではケース

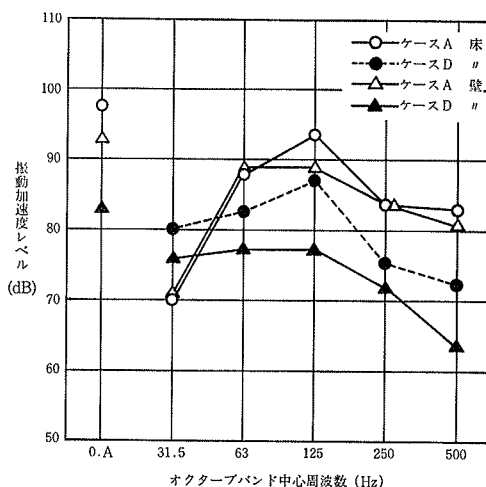


図-11 工事前, 後における構築振動

	周波数 Hz	31.5	63	125	250	500
① 防振マット砂利道床の効果		-1	11	23	21	29
② 壁, 質量増加による減衰量		6	6	6	6	6
③ 壁の工事前, 後の減衰量		-5	11	11	12	17
①+②-③ 渡り線によるレベル上昇分		10	6	18	15	18

表-3 渡り線によるレベル上昇 (dB)

Bとほとんど同じであり表示は省いた。なお表示外の周波数については測定ケースB～Dで減衰が大きく、暗振動と同じか小さく分析不能であった。

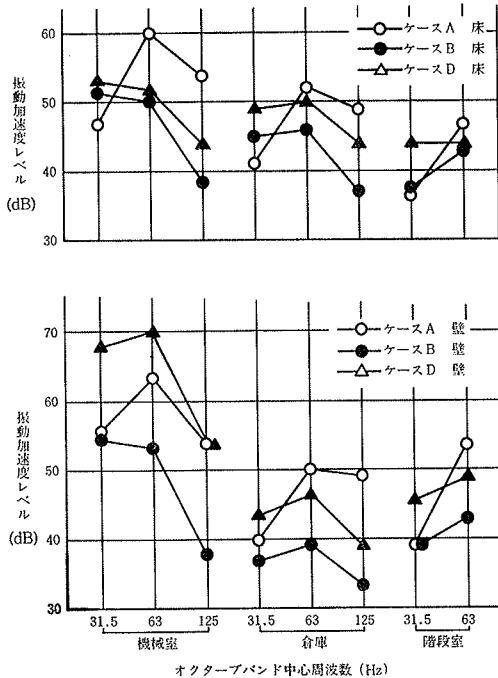


図-12 建物内振動の工事による影響

工事前、後で比較すると機械室壁を除くと 63 Hz で平均約 5 dB, 125 Hz で 9 dB の減衰となり、構築内床、壁の減衰量にはほぼ近い値といえ、振動源側とほぼ対応している。ケース B で建物内の減衰が大きいのは図-4 に示すように土を除去した影響が含まれているといえる。又、機械室壁では、工事後のレベルが他の箇所のように減衰していないが、これは構築壁との結び付きが工事前に比べて大きくなったと考えられ、その主な原因としては新設された水路及び公共埋設物などを受ける切梁、杭などの影と思われる、発泡ウレタン(厚 150)についても部分的な施工であるためその効果が得られていないといえる。

4.6. 隣接建物への騒音の影響

測定ケース A, D の地下倉庫における騒音測定結果を図-13 に示す。ケース B, C と D の 63 Hz と 125 Hz 以外は倉庫内の暗騒音レベルとの比が十分でなく分析不能であった。工事前、後の減衰量では 63 Hz, 125 Hz で 6~7 dB で振動の場合とほぼ対応している。又、完成後のケース D の A 特性では 32 ホン程度であり、上階の一般居室ではそれ以下となると予想され、地下鉄走行による固体音としてほとんど聞えず問題となるようなレベルで

はないといえる。なお室内の固体音は、室内の各面の振動加速度レベルから求まる放射音響パワーと室内の吸音力から計算され²⁾、床、壁がほぼ同じ振動、加速度レベルとすれば下式で表わされ、倉庫におけるケース A での振動から固体音を計算すると表-4 に示すように実測値とほぼ対応していることが分かる。但し、 $\bar{\alpha}=0.2$, $k=1$ とした。

$$SPL = VL + 10 \log 1/\bar{\alpha} + 10 \log k - 20 \log f + 36$$

(但し, SPL: 音圧レベル, VL: 振動加速度レベル,
 $\bar{\alpha}$: 平均吸音率, k: 放射係数, f: 周波数)

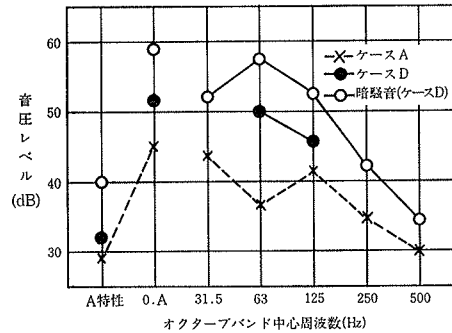


図-13 工事前、後の建物内の騒音

	周波数 Hz	31.5	63	125	250	500
① 振動実測値 (ケースA, 倉庫)		40	51	49	48	39
② $10 \log 1/\bar{\alpha} + 10 \log k$ ($\bar{\alpha}=0.2$, $k=1$)		7	7	7	7	7
③ $-20 \log f + 36$		6	0	-6	-12	-18
固体音計算値(①+②+③)		53	58	50	43	28
騒音実測値		52	57	52	42	35

表-4 固体音の計算値と騒音の実測値 (dB)

5. あとがき

今回の調査により、地下鉄構築側での防振効果と隣接建物への振動及び固体音への影響についてある程度定量的に把握できた。今後、建物内での地下鉄走行による固体音の正確な予測を進めていく上で更にデータの蓄積が必要であると思われる。

おわりに、今回の測定に当社吉村敦土木主任、宝来貞潔職員(現、本社工務部)以下関係各位の御協力を得た。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 石井: 地下鉄から建物への固体音の伝搬, 日本音響学会誌, Vol. 38, No. 5, (1982), pp. 277~284
- 2) 日本音響材料協会編: 騒音対策ハンドブック, 技報堂