

地下鉄振動の伝搬性状に関する研究（その1）

——地盤の振動伝搬性状について——

吉原 醇 一 中 村 充 安 井 讓
縄 岡 好 人 平 野 滋

Propagation Properties of Subway-induced Vibration (Part 1)

——Ground-borne Vibration——

Jun-ichi Yoshihara Mitsuru Nakamura Yuzuru Yasui
Yoshihito Nawaoka Shigeru Hirano

Abstract

Measurements of vibrations from subways were made at ground surfaces near subways to investigate the properties of vibration propagation from a subway into ground and to build up a data base for the prediction of vibration from a subway.

It is shown by the results of the measurements that the forces of vibration from a subway are prominent mainly in the 40-Hz to 80-Hz band, and that vibration from a subway propagates in a two-dimensional plane intersecting at a right angle with the subway structure.

Two types of simulations, one a simplified method using the principle of superposition, and the other an FEM simulation, were also performed and the analyses and the measurements corresponded satisfactorily.

概 要

地下鉄振動の地盤への伝搬性状を把握し、建物への影響予測のためのデータベースを得る目的で、地下鉄構築近傍における地盤振動の測定を行なった。振動測定は、いくつかの新築工事現場で、工事着工前の地表上あるいは建物地下部分の掘削終了後の根伐底地盤などで行なった。その結果、① 地下鉄振動は40～80 Hz付近で大きな振幅を示す、② 地下鉄構築近傍の地表の振動は、構築直交方向の垂直面内には2次元的に伝搬すること、また③ 掘削後の根伐底の振幅は、掘削前の地表における振幅より大きくなる場合があること、等が分かった。更に、波動重畳法及びFEMによるシミュレーション解析を行ない、実測結果と比較することで、これらの手法が地下鉄振動の地盤伝搬の予測を行なう際の有効な方法であることを確認した。

1. はじめに

近年、都市部においては、その過密化から、事務所ビルだけでなく研究施設や音楽ホールなどの振動を嫌うと共に静寂さも強く要求される建物も、鉄道や地下鉄構築に近接して建設されることが多くなってきている。そのため、電車により発生した振動が建物内に伝搬して生じる振動問題だけでなく振動から二次的に励起される固体伝搬音に関わる問題が生じる場合もある。

建物を設計するに当たっては、これらの振動及び固体伝搬音の影響を事前に予測し、防振・防音対策を検討する必要がある。ところで、鉄道振動が、建物に与える影響を見る際、振動源である軌道、地下鉄構築等の振動特性については、鉄道会社あるいは各種の研究機関等により、実測及び解析に関して研究が行なわれ、様々な知見が得られてい

る。しかし、振動源と建物間の中間媒体である地盤の伝搬性状及び受振側としての建物内の伝搬特性についてはまだ不明の点が多く、解明の遅れた部分でもあり、建物の振動予測を困難にしている大きな要因となっている。

本研究では、問題となる事例の多い地下鉄振動について、伝搬経路に従って下記の四つに大きく分けて検討した。

- ① 地盤の振動伝搬性状
- ② 地盤から建物への入力損失効果
- ③ 建物内の振動伝搬性状
- ④ 固体伝搬音の放射

本報告では、このうち1番目の「地盤の振動伝搬性状」について報告するものである。本報では、建物新築工事の敷地地盤で測定を行ない解析との比較・検討を行なった。その結果、得られたデータベースは予測の際の有効な資料となるものであり、更にここで検討したシミュレーション

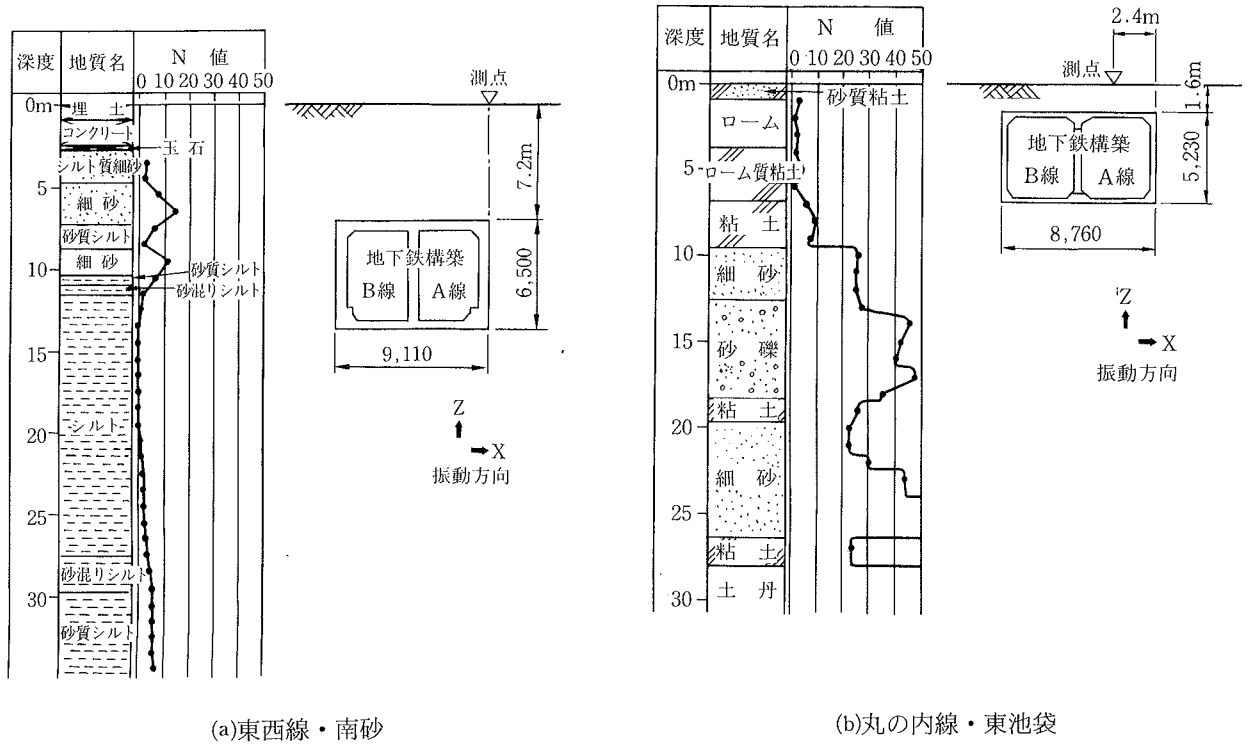


図-1 構築直上の基準点と付近地盤の土質柱状図

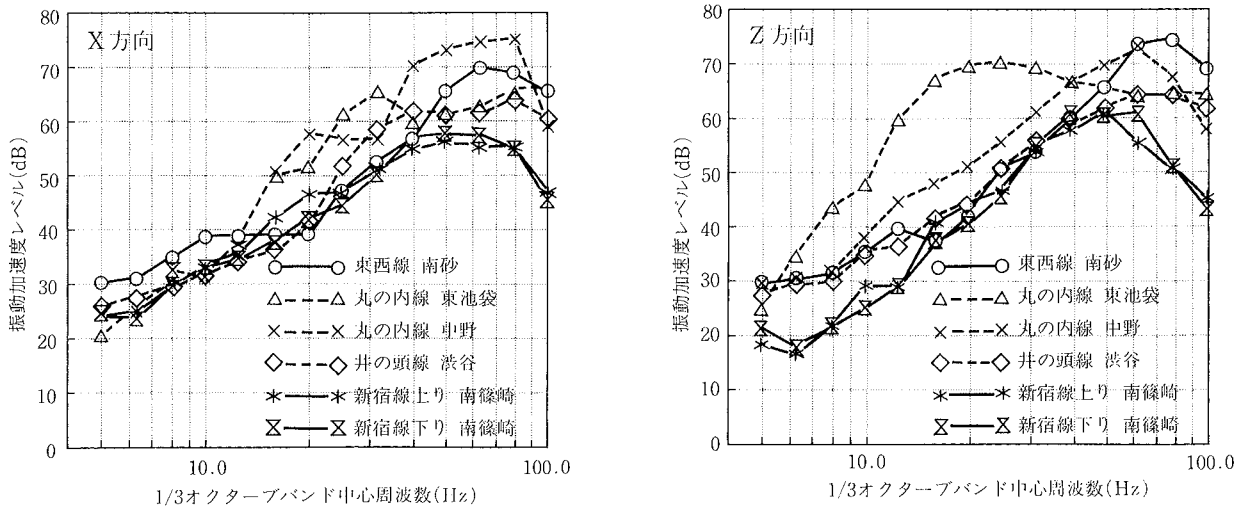


図-2 基準点の振動の1/3オクターブ分析結果

解析手法は予測の際の有効な手段となるものであることが示された。

2. 実測に基づく地盤の伝搬性状の把握

地下鉄振動の地盤の伝搬性状は、構築深さ、地盤構造などの種々の条件による影響を受けるものと考えられる。これらの地盤の伝搬性状を把握するために、様々な事例について実測を行ってきた。この章では、建設現場の地盤で行なった実測例の内、構築深さ及び地盤条件の異なる2例を中心に報告する。

2.1 地下鉄直上の地表における振動量

予測を行なうためには、地下鉄構築に関してある基準点を設け、その点の振動量に関するデータと共に、付近の地盤構造と軌道形式等を整理してデータベースとして、各々の構築ごとに豊富に持っていることが重要なことである。ここに基準点とは、図-1の(a)に示すような構築直上で、予測建物側の構築外壁延長線上の地盤上に設けた測点を呼ぶこととする。図-1は、構築深さと地盤構造との関係を示したものであり、(a)は東西線・南砂を、(b)は丸の内線・東池袋を各々示している。特徴的なこととして、南砂の場

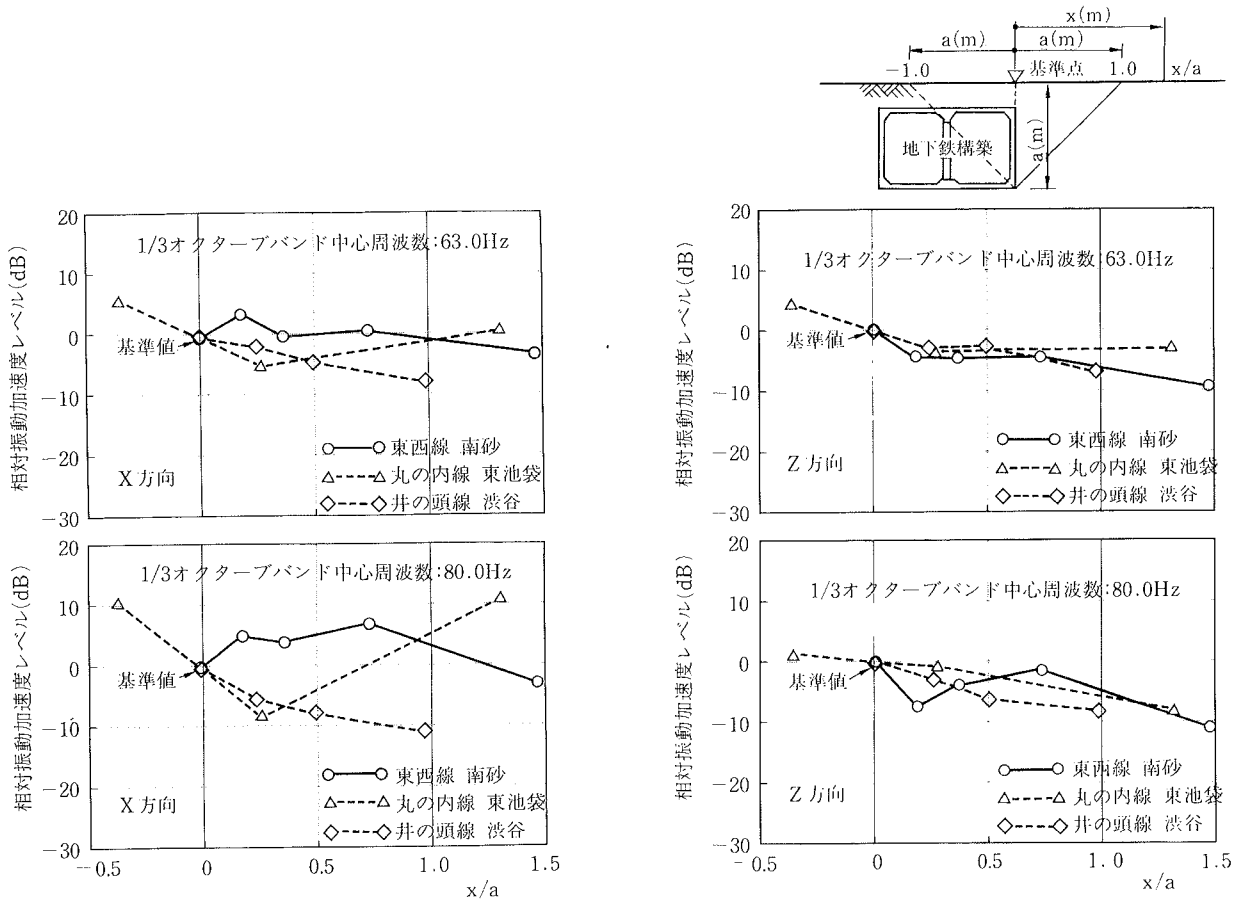


図-3 構築直上近傍の地表における振動分布

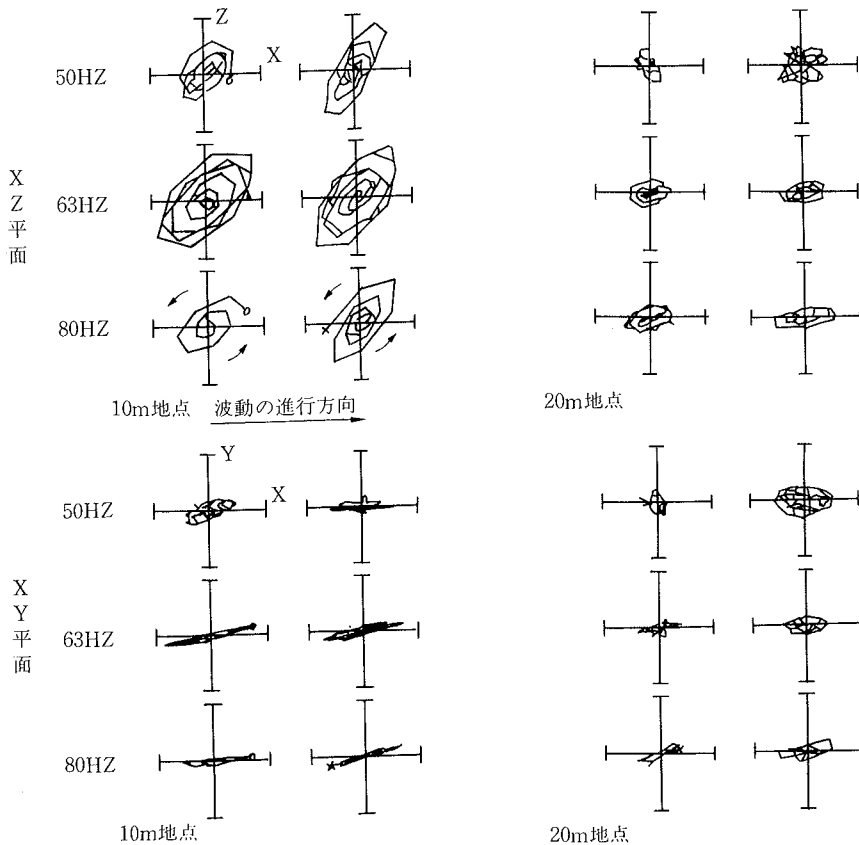
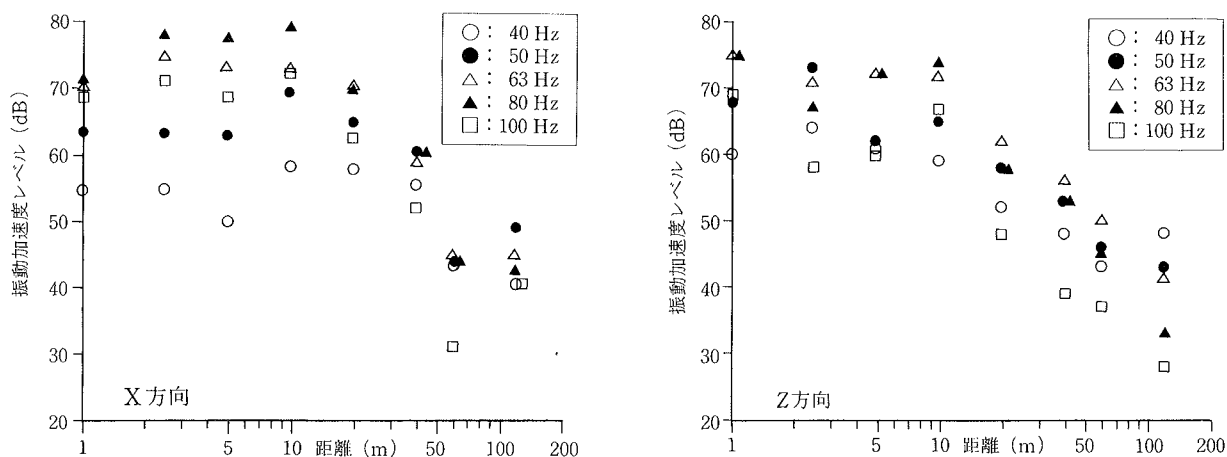
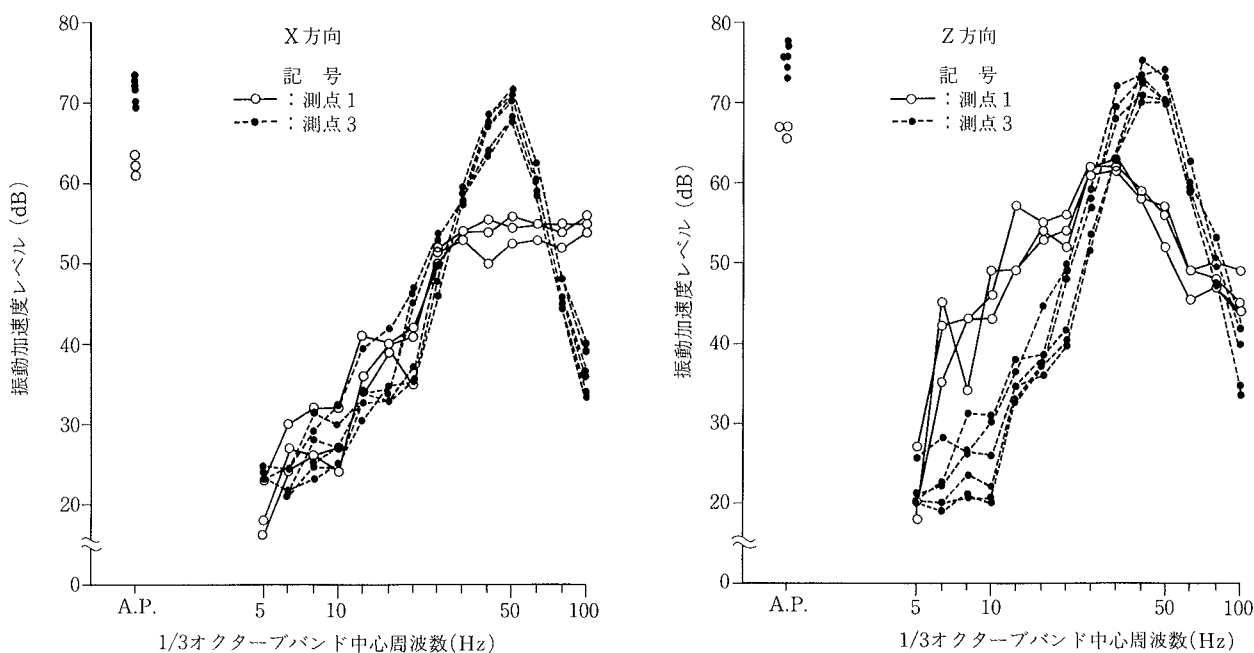


図-4 粒子軌跡



図一5 地表面振動の距離減衰

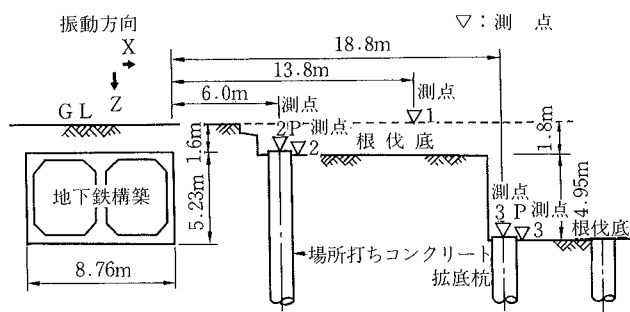


図一7 地表と根伐底の振動の比較

合は地盤が軟弱なこと、軌道がコンクリート直結道床であること、東池袋では構築深さが浅いこと及び防振シート敷きのバラスト道床であること等が上げられる。

図一2に、今まで調査を行なったうちの代表的な基準点振動の周波数分析結果を示す。これらの結果は、複数本の電車を平均して求めた値である。同図の左側はX方向(線路に直交方向)の、また右側はZ方向(上下方向)の結果である。また、図の縦軸は振動加速度レベル(dB)を、横軸は1/3オクターブバンドの中心周波数(Hz)を表わす。図一2から、5例について見ると、地下鉄振動は周波数の40~80 Hzで振幅が大きくなること、振幅の大きさは最大75dB程度に達すること、等が分かる。

但し、丸の内線・東池袋のZ方向のように例外的に25 Hz



図一6 構築と地表・根伐底測点との位置関係

という低い振動数で卓越が見られることもある。これは、道床に敷かれた防振シートの影響によるものと思われる。

2.2 地下鉄構築近傍の地表における振動分布

地下鉄構築近傍の地表での振動分布の様子を見たのが図一3である。図一3の横軸は、地表の基準点からの距離を地表から構築下床までの深さで割って無次元化した量であり、0が基準点の位置、1が構築下床深さに等しい水平距離を表わしている。この関係を模式的に示したのが同図の右上の図である。図一3の横軸は右上図の x/a を表わしており、縦軸は、基準点での測定値(基準値)に対する近傍各測点の相対振動量(dB)である。図一3から、構築深さにかかわらず、 x/a が1.0程度以内の各測点においては顕著な減衰傾向が見られないことが分かる。更に、基準点より遠方で最大値が生じる場合もあり、その最大値と基準値との差はほぼ10 dB以内であることも分かる。

次に、地下鉄振動の波動としての性質を検討するため、三成分同時観測記録より粒子軌跡を求めてみたのが図一4である。図一4は、東西線・南砂での観測結果によるもので、10 m地点と構築直上近傍よりやや距離を延長した20 m地点における観測記録を、それぞれ1/3オクターブバンドパスフィルターにより処理したものから作成した粒子軌跡の例であり、同一列車の記録中の異なる二つの時刻について示してある。ここに、Yは電車の進行方向を示す。

10 m地点では粒子軌跡がXZ平面内で二次元的なだ円軌跡を描いていることが分かる。20 m地点においても同様な軌跡を示しているが、10 m地点と比較すると水平成分が上下成分に比べて大きくなっており、だ円が横長の扁平な形状を示している。

これらのことは、地下鉄により発生した振動が、構築近傍の地表面では、構築直交方向の垂直面内の2次元的な振動が卓越していることを意味している。

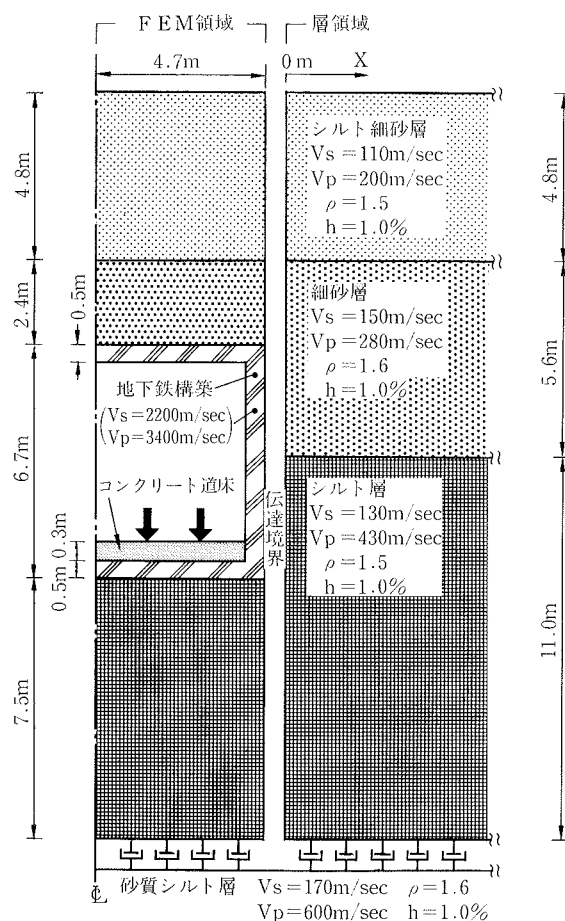
2.3 遠方地表における距離減衰

ここでは、より遠方への距離減衰の様子を示す。図一5は、実測した代表的な電車に関する地表面振動の1/3オクターブ分析による距離減衰の様子を示したものである。付近の地盤の様子は既出図一1(a)に示しておいた。基準点の振動量は、図一5の横軸対数尺上では便宜上距離1(m)の位置にプロットした。同図から、0 mから距離10 m程度までは距離による振動の大きさに減衰が見られず、これより先の距離で減衰が現われている様子が分かる。

2.4 根伐の効果

地下鉄構築に近接して建設される建物には地下室のあるものが大部分である。これらの建物の施工に当たっては、当然地下部分の根伐・掘削工程が伴う。この時、根伐地盤での振動測定結果は、振動予測に際しての建物への入力に関する情報源として貴重なデータとなるものである。以下には、地表面と根伐地盤とで実測し、比較・検討した例を示す。

測定は、工事着工前と地下部分掘削終了時との二つの施工段階について行なった。測定地盤の土質柱状図は図一1(b)に示しておいた。図一6に構築と測点との位置関係を



図一8 FEMモデル図(東西線・南砂)

を示す。測点は、工事着工前は地表面に、また地下部分掘削終了時には根伐地の地盤上及び杭頭上に設定して測定を行なった。構築の下床位置と2段目根伐地の深さとは、ほぼ類似の地質上にある。

図一7には、複数本の電車振動について、構築からの距離が同程度の、地表(測点1)と根伐底(測点3)の1/3オクターブ分析による振動加速度レベルの比較結果を示した。図一7の左側はX方向の、右側はZ方向の比較図である。X方向については、25 Hz以下では地表、根伐底共に振動の大きさは同程度であるが、31.5 Hz以上では地表がほぼ一定の値を示しているのに対して、根伐底は50 Hzが卓越し、しかもこの周波数では地表より大きな値となっている。また、Z方向では、地表は31.5 Hzにピークを持つ比較的なだらかな山形をしているのに対し、根伐底は40または50 Hzに鋭いピークを持つスペクトル形を示しており、この場合もやはり卓越振動数においては、根伐底は地表より大きな値となっている。

以上のことから、根伐底における振幅は、掘削前の構築から同程度離れた地表における振幅より大きくなる場合があるということが言える。

3. 二次元FEMによるシミュレーション解析

地下鉄振動の地盤への伝搬性状に関しては、解析的手法

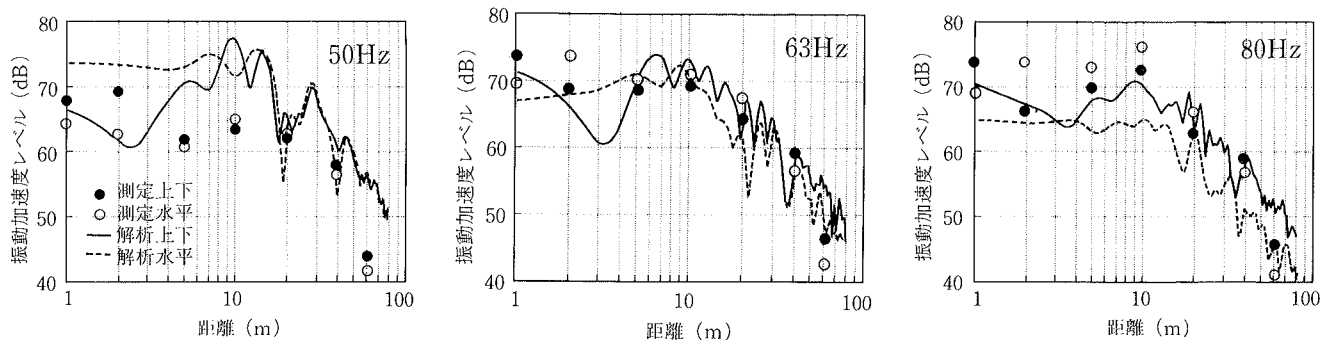


図-9 地表面における距離減衰 (東西線・南砂)

により直接的に応答を予測しようと試みた例は少ないのが現状である。これは、地下鉄振動の主成分が 30 Hz 以上の比較的高振動数領域にあるため、地震動の伝搬予測等に用いられる手法がそのまま適用できないことも一因であると考えられる。しかし、近年計算機の発達により FEM のような手法を高振動数域にまで適用することが比較的容易になってきている。そこで、地下鉄振動の地盤伝搬予測手法について検討する目的で、二次元 FEM によるシミュレーションを試み、測定結果との比較を行なった。

ここで用いた計算手法は、FEM 領域の境界におけるエネルギー反射をほぼ理論的に吸収することができる様な境界処理手法を用いたものであり、FEM 領域の不整形性を考慮できると同時に、遠方成層地盤における応答計算も容易に扱えることを特徴としている¹⁾。

なお、二次元 FEM を用いたのは、2 章で述べた様に、構築から伝わる振動は、構築近傍の地盤では構築に直交する平面内を二次元的に伝搬していることが、測定結果より把握されたことに基づくものである。

3.1 地表における距離減衰

3.1.1 解析モデル まず、手法の基本的な適用可能性について検討するために、地表における距離減衰特性のシミュレーションを試みた。2 章、図-1(a)に示した地下鉄構築 (東西線、南砂) を対象として、地下鉄構築と周辺地盤を、底面に粘性境界、側面に波動伝達境界を有する二次元 FEM によりモデル化し、構築内部を定常加振した際の応答を求めた。図-8 にモデル図を示す。

メッシュのピッチは地盤の S 波速度と、解析対象とする振動数の上限から 0.3 m とした。FEM 部分の節点総数は約 1,000 である。モデルは構築中央から左右対称であると仮定し、1/2 モデルとして解析を行なった。加振は、図中に矢印で示した位置に、上下方向に単位力で正弦波加振を行なった。

図中にはモデル諸元を同時に示すが、各層の S 波速度 (V_s)・P 波速度 (V_p)・密度 (ρ)・減衰定数 (h) は、N 値のデータ及び土質をもとに推定した値を用いた。ただし、最上層の V_s のみは実測による。

測定結果は 1/3 オクターブ分析による振動加速度レベルであるため、解析も、1/3 オクターブバンド幅中の複数の振

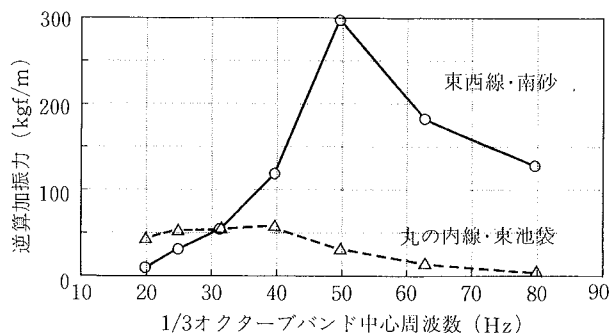


図-12 逆算加振力

動数について応答を計算し、各点ごとにそれらの振動数の結果を RMS 平均し、その結果を振動加速度レベルに換算し、測定結果との比較検討を行なった。比較に当たっては、0 m における上下方向振幅の測定結果 (図では 1 m の位置にプロットされている) で各解析結果を正規化して比較している。

3.1.2 解析結果 図-9 に地表面における距離減衰特性について、解析結果を測定結果と比較して示す。比較を行なった振動数は、測定結果において特に振幅が卓越していた 50~80 Hz を対象とした。図中、実線と破線はそれぞれ上下と水平方向の解析結果を、●印と○印はそれぞれ上下と水平方向の測定結果を示す。

測定結果において各振動数で見られる、水平距離 10 m 程度までは、上下・水平方向ともあまり振幅が減少しないという傾向が、解析においてもよく表わされていることが分かる。また、それ以遠の減衰傾向についても、63 Hz・80 Hz では測定結果と良く対応している。10 m 程度までの近傍における振幅変動の傾向は、80 Hz の水平方向と 50 Hz を除けば、解析と実測は全体として傾向が良く一致している。この様に、二次元 FEM により地下鉄振動の伝搬性状の予測が可能であることが示されたといえる。

3.2 地盤の掘削前後における振動性状の変化

次に、この手法により地盤の掘削前後における振動性状の変化について解析を試み、測定結果との比較を行なった。

3.2.1 解析モデル 解析対象としたのは、2 章、図-1 (b)に示した地下鉄構築 (丸の内線、東池袋) である。図一

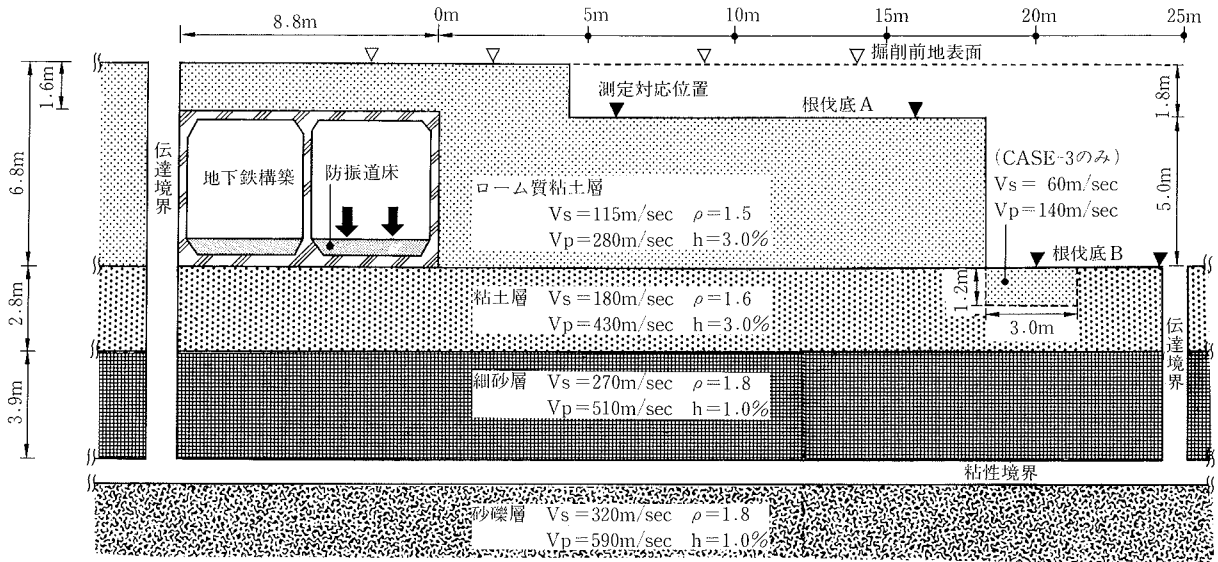


図-10 FEMモデル図 (丸の内線・東池袋)

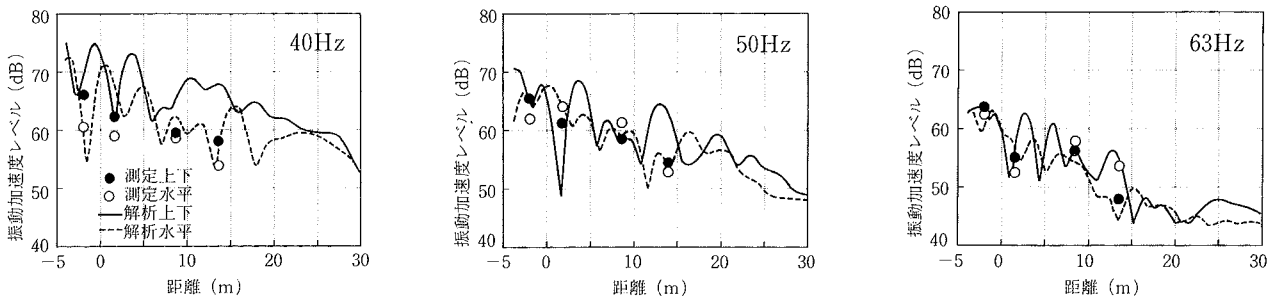


図-11 掘削前地表面における距離減衰 (ケース1)

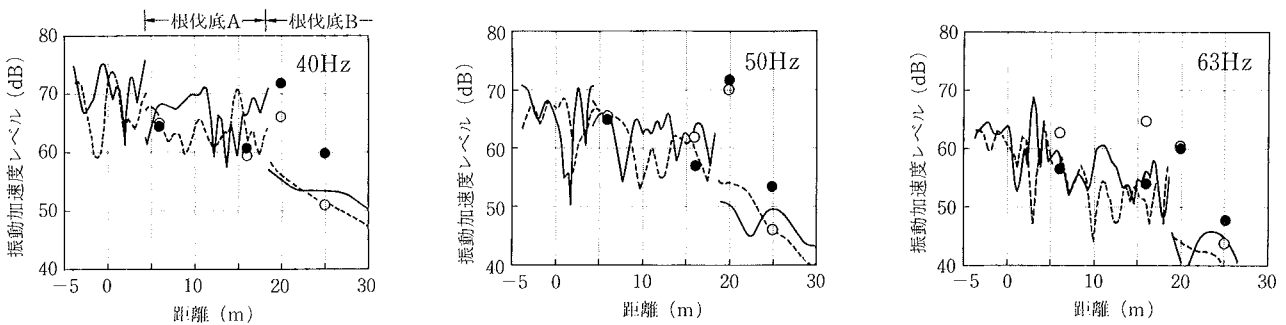


図-13 掘削後地表面における距離減衰 (ケース2)

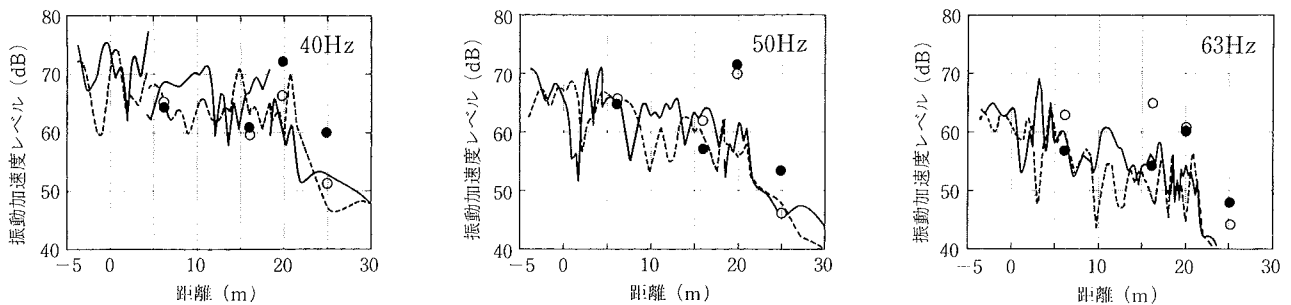


図-14 局所的な地盤構造を考慮したモデル (ケース3)

10にモデル図を示す。モデルは、掘削前を対象としたケース1と、掘削後を対象としたケース2の2つを作成し検討した。FEM部分のメッシュのピッチは0.25~0.40mであり、節点総数は約3,300である。防振道床に用いられている防振ゴムは、ここではモデル化していない。

3.2.2 掘削前のケース 図-11に掘削前(ケース1)における地表の応答の解析結果を測定結果と比較して示す。解析結果は、構築直上における上下動振幅の測定値で基準化されている。解析結果によると、構築近傍の地表では10dB程度の振幅の山谷が見られることが分かる。測定結果との比較では全体に良く対応しているものの、部分的には10dB程度の差がある。

3.2.3 逆算加振力 ここで、ケース1における解析結果と、構築直上における測定結果から加振力を逆算することを試みた。結果を図-12に示す。図中には3.2のケースにおいて逆算した加振力も同時に示す。東西線における結果では、加振力は50Hzを中心としたピークを示している。丸の内線における加振力のほうが、東西線より高振動数でかなり小さくなっているが、これは、東西線ではコンクリート直結道床を用いているのに対し、丸の内線では防振道床を用いていることによるものと思われる。

3.2.4 掘削後のケース 次に、ケース1で求めた加振力を用いて、掘削後(ケース2)の応答を求めた解析結果を図-13に示す。掘削前の解析結果と比較すると、崖端部で振幅が大きくなっていることや、構築近傍の地表における振幅の変化が大きくなっていることが分かる。また、深い根伐底(根伐底B)における振幅は、40Hzにおいては掘削前の地表における振幅よりも小さくなっているが、更に高い振動数では、必ずしも掘削後の方が振幅が小さいとは限らないことが分かる。

測定結果との比較では、全体に良い対応を示しているが、各振動数とも、根伐底Bの20m付近において測定結果が解析結果より20dB以上大きくなっている。これは、この近傍における局所的な地盤特性によるものではないかと考えられる。

3.2.5 局所的な不整形性 そこで、この近傍地盤を局所的に軟らかい地盤としたモデル(ケース3)を作製し検討した。その結果を図-14に示す。ケース2と比較すると地盤を軟らかくした付近の振幅のみが大きくなり、測定結果に近づくことが分かる。

このように、地下鉄振動は局所的な地盤構造によりかなり増幅される場合があることが分かる。また、50Hzにおいては、まだ測定結果のほうがかなり大きくなっているが、これはモデルの条件が実地盤とで異なっている点があることによるものと思われ、より精密なシミュレーションを行うためには、実地盤の状況を正確に把握することが必要であると言える。

この様に、掘削された地盤のような不整形性のある地盤や、局所的な不均質性のある地盤における地下鉄振動の伝搬性状のシミュレーションにおいて、二次元FEMは有効な手法であるといえる。

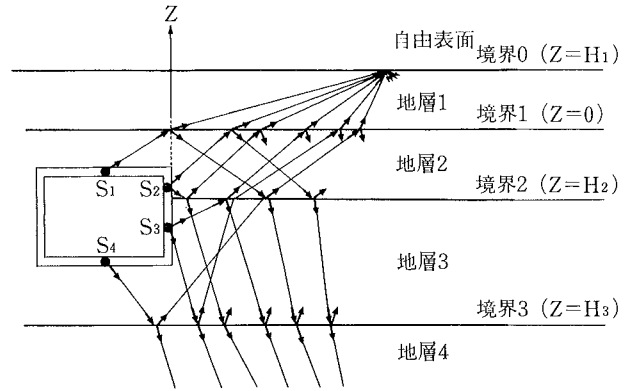


図-15 モデル図

また、これらのシミュレーションから逆算された加振力は、データベースとして、予測に際して有効に活用できるものと考えられる。

4. より簡便な手法の検討

地下鉄振動の地盤伝搬性状については、周辺地盤が特異な成層地盤である地下鉄構築は少なく、簡便なモデルで固体伝搬音に関係する高周波数域まで伝搬性状が予測できる可能性がある。ここでは、その可能性を探る目的で、地下鉄構築から発生する振動を定式化が簡単であるSH波に限って波動的に重ね合わせ手法により解析を試み、測定結果との比較を行なう。

4.1 解析モデル

地盤は地表層が自由表面である4層系モデルとし、地下鉄構築と周辺地盤を図-15に示すようにモデル化した。構築を床、壁、天井に分割しそれぞれを振動源 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 で代表する。各振動源から半空間に単位振幅の平面進行波動が励起された場合、それぞれの波動は図に示すような経路で地表面まで伝搬していく。境界面では入射する波動、透過する波動、その境界で反射する波動、及び一つ上及び下層の境界で反射し戻ってくる波動が共存している。変位と応力のつり合い条件から境界条件が設定され、SH波の場合には変位 U と波動応力 P は $P=G(\partial U/\partial Z)$ の関係にあるので、例えば、振動源 S_2 から Z の正方向に放射された波動については境界条件から以下のような多元方程式が得られる。

$$\text{境界0} : T_1 \exp(-j\beta_1 H_1) = R_0 \exp(j\beta_1 H_1)$$

$$\begin{aligned} \text{境界1} : T_1 + R_0 &= 1 + R_1 + R_2 \\ T_1 - R_0 &= (G_2 \beta_2 / G_1 \beta_1) (1 - R_1 + R_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{境界2} : R_1 \exp(j\beta_2 H_2) + R_2 \exp(-j\beta_2 H_2) &= T_2 \exp(j\beta_3 H_2) + R_3 \exp(-j\beta_3 H_2) \\ R_1 \exp(j\beta_2 H_2) - R_2 \exp(-j\beta_2 H_2) &= (G_3 \beta_3 / G_2 \beta_2) \{ T_2 \exp(j\beta_3 H_2) \\ &\quad - R_3 \exp(-j\beta_3 H_2) \} \end{aligned}$$

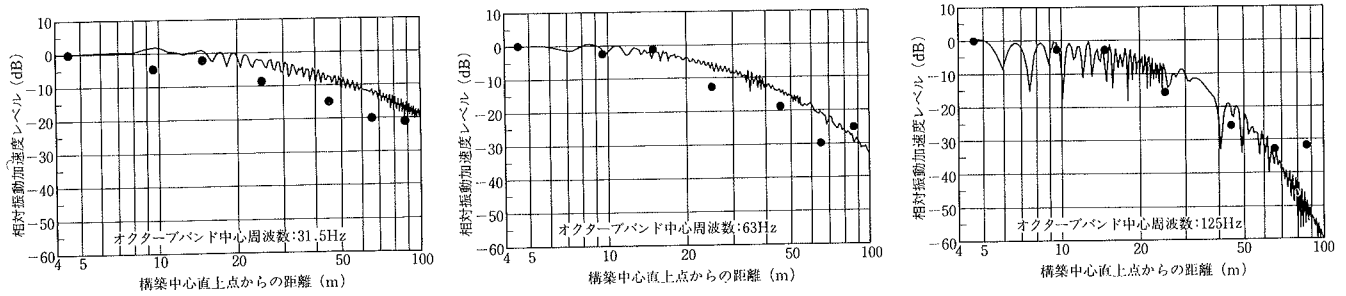


図-16 地表面における距離減衰 (東西線, 南砂)

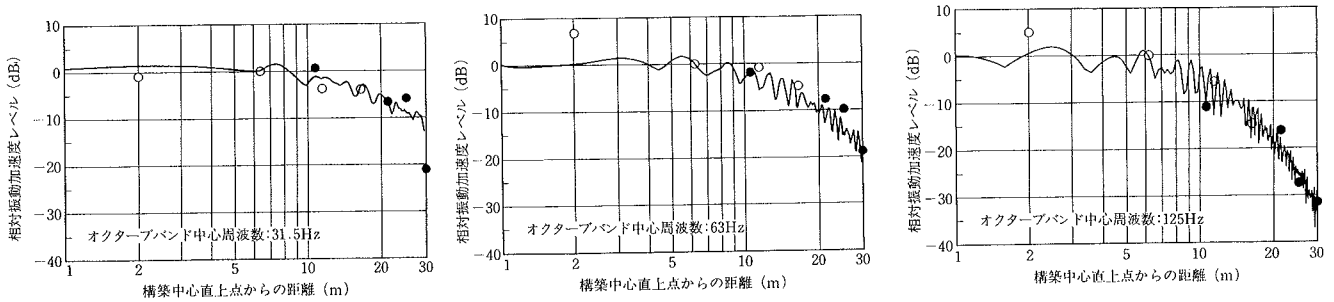


図-17 地表面における距離減衰 (丸の内線, 東池袋)

$$\begin{aligned} \text{境界3: } T_2 \exp(j\beta_3 H_3) + R_3 \exp(-j\beta_3 H_3) &= T_3 \exp(j\beta_4 H_4) \\ T_2 \exp(j\beta_3 H_3) - R_3 \exp(-j\beta_3 H_3) & \\ = (G_4 \beta_4 / G_3 \beta_3) T_3 \exp(j\beta_4 H_4) & \end{aligned}$$

- 但し, R_n : 境界 n の複素反射振幅
- T_n : 境界 n の複素透過振幅
- G_n : 媒体 n のせん断弾性係数
- V_n : 媒体 n 中の横波伝搬速度
- ω : 角周波数
- $\alpha_n = k_n \sin \theta$
- $\beta_n = k_n \cos \theta$
- $k_n = \omega / V_n$

ここで、境界面における波の反射と屈折は Snell の法則に従い、 $V_n / \sin \theta_n = V_{n-1} / \sin \theta_{n-1}$ が成立し、 $\alpha_{n-1} = \alpha_n$ 、 $\beta_{n-1} = \sqrt{k_{n-1}^2 - \alpha_{n-1}^2} = \sqrt{k_{n-1}^2 - (k_n \sin \theta_n)^2}$ である。測定点 (R_x, H_1) における波動は、多元方程式から未定係数を求めることによって、①式のように表わされる。そして、この波動が測定点に到達するまでの距離減衰と媒体の内部減衰を考慮して、振動加速度レベルを②式により換算する。同様に、他の伝搬経路について、振動源からの波動放射角度を変化させながら、測定点に到達するまでの経路を追跡し、それぞれ振動加速度レベルを求める。測定点の振動加速度レベルは、これらの波動を重ね合わせたものに等しいものとする。また、構築が障壁の役目を果たすような伝搬経路では、前川による障壁の回折減衰量²⁾ (ΔL) を計算に加えるものとする。

$$U = [2K_{21}(B_+ + B_-) / \{C_+(B_+ + B_-) + C_-(A_+ + A_-)\}] \cdot \exp [j(\omega t - \alpha_1 R_x)] \quad \text{.....①}$$

$$A_{\pm} = [(1 \pm K_{43}) / 2] [(1 \mp K_{32}) / 2] \cdot \exp [j(\beta_4 \mp \beta_3) H_3 \pm j(\beta_3 \pm \beta_2) H_2]$$

$$B_{\pm} = [(1 \pm K_{43}) / 2] [(1 \mp K_{32}) / 2] \cdot \exp [j(\beta_4 \mp \beta_3) H_3 \pm j(\beta_3 \mp \beta_2) H_2]$$

$$C_{\pm} = [(1 \pm K_{21}) / 2] \exp(j\beta_1 H_1) - [(1 \mp K_{21}) / 2] \cdot \exp(-j\beta_1 H_1)$$

$$K_{mn} = (G_m \beta_m / G_n \beta_n)$$

$$L = 20 \log(\dot{U}) - 10 \log(\sum R_n) - 8.7(\sum k_n h_n r_n) - \Delta L \quad \text{.....②}$$

h_n : 媒質 n の減衰定数

r_n : 媒質 n 中を波動が伝搬する距離

ΔL : 構築による回折減衰量

4.2 解析結果

第2章の図-1に示す二つの構築について解析を行なった。地層の定数は図-8、10に示したのと同じ値を用いた。計算結果と測定結果の比較を図-16, 17に示す。図中、振動加速度レベルは、固体伝搬音の分析でよく用いられる1/1オクターブバンドレベルで示している。縦軸は上下方向の相対振動加速度レベルであり、横軸は構築中心直上点からの水平距離である。実測値は測定した電車数本の平均値、計算結果は1 Hz ピッチで各点ごとの振動加速度レベルを計算し、それらの結果を1/1オクターブバンド幅でRMS平均したものである。

図-16は地下鉄構築(東西線, 南砂)の場合であり、

実線は計算結果を、●は測定結果を示しており、各点のレベルは構築端部直上点 (4.6 m 点) のレベルを 0 dB として正規化している。同様に、図-17は地下鉄構築 (丸の内線、東池袋) の場合であり、実線は計算結果、●は掘削後の測定結果、○は掘削前の測定結果を示し、各点のレベルは構築端部直上点から 1.8 m 離れた点 (6.2 m 点) のレベルを 0 dB として正規化している。

ここで述べた手法は計算を簡略化する目的で SH 波を対象としているが、計算値は実測値と良く一致している。これは、ここで解析した地下鉄構築については、振動の地表面における伝搬性状は成層の影響をあまり受けない直達波動で決まっているためではないかと思われる。

今回の検討から、簡便なモデルで伝搬性状が予測できる可能性があることが得られたので、今後、P 波、SV 波を対象としてこの手法を展開し、様々な地下鉄構築について解析を行ない地下鉄振動の地盤伝搬性状予測に対する適用可能性を更に追求していく予定である。

5. おわりに

本研究は、地下鉄振動の建物への影響を事前に予測し評価する目的で行なったものである。構築から建物内への伝

搬経路のうち、今回は地盤伝搬に着目した。

本報では、地下鉄構築近傍における地盤振動の測定結果に基づき、地下鉄振動の地盤への伝搬性状を明らかとした。また、二次元 FEM によるシミュレーション解析結果と測定結果との比較を行ない、この手法が地下鉄振動の地盤伝搬の予測を行なう際の有用な方法であることを示した。さらに、より簡便な手法として、波動重畳法の適用可能性を探った。今後更に、地下鉄振動の地盤への伝搬性状に関してより多くの実測データの積み重ねを行なうと共に、より簡便な予測手法の開発を行なっていきたい。

続報では、地下鉄振動の伝搬性状のうち、地盤から建物への入力損失効果、建物内における振動伝搬性状、固体伝搬音の放射、について報告する予定である。

参考文献

- 1) WAAS, G., thesis presented to the Univ. of Calif. at Berkeley Calif., in 1972, in partial fulfillment of the requirements for the deg. of Ph. D.
- 2) 前川純一：障壁 (塀) の遮音設計に関する実験的研究, 日本音響学会誌, 第18巻, 第4号, 187p, (1962)