

新幹線トンネルにおける列車振動予測に関する研究（その2）

—地盤中の減衰性状に関する検討—

鉄道総合技術研究所 正員 ○津野 究 *

藤井 光治郎 *

武居 泰 *

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正員

山崎 貴之**

正員 丸山 修**

1. はじめに

新幹線トンネルから伝播する列車走行時振動については、これまでスペクトルを含めた現場測定結果が示された例がほとんどなく、予測に必要な地盤中の減衰性状の周波数特性が十分明らかにされていなかった。そこで、東北新幹線（盛岡～八戸間）の土被り 9.2m のトンネルを対象に実施した振動測定¹⁾より得られたトンネル内、地中部および地表部の 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルをもとに、減衰性状について検討し、東京近郊の地下鉄の結果²⁾と比較したので報告する。

2. 地盤中の減衰性状

地盤内における減衰性状を把握するため、トンネル側壁上部半径 (Y) 方向の 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルを基準値とし、これに対する地表部各測点鉛直方向の 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルの低下量（以下、増幅側を正とし、「振動伝達量」と記す）を計算した。各測点における、周波数と振動伝達量の関係を図-1 に示す。これより、20Hz 以上の周波数域については、周波数が高くなるにつれて、地盤中の減衰が大きくなる傾向が確認された。

つぎに、図-2 のように振動伝播距離を定義し、中心周波数が 16, 31.5 および 63Hz のバンドについて、振動伝播距離と振動伝達量の関係を整理し、東京近郊の地下鉄シールドトンネル（14 地点、土被り 11.5～28.3m）の結果²⁾と合わせて図-3 に示す。これより、新幹線トンネルの結果については、波長の長い 16Hz ではレベルの低下がほとんど見られず、周波数が高くなるにつれ減衰傾向が顕著になる傾向が見られる。地下鉄の結果では、16 および 31.5Hz には振動伝達量が正の値を含んでいるが、新幹線の結果ではこのような増幅は確認されなかった。また、新幹線の結果は、16 および 31.5Hz では地下鉄の結果と対応しているが、63Hz では地下鉄より減衰が大きい結果となっている。

つぎに、地中部 3 点および地表部 1 点（水平距離 5m）の 3 方向の 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルを整理し、地中部深度 20m の位置のレベルを基準とした場合の深度と相対レベルの関係を図-4 に示す。これより、振動源から離れて浅くなるほどレベルが小

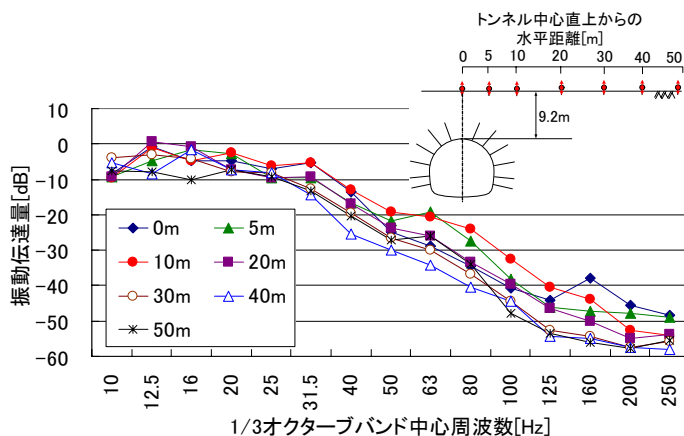


図-1 周波数と振動伝達量の関係

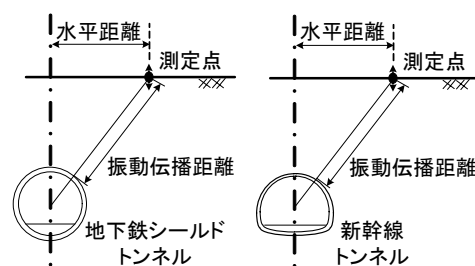


図-2 振動伝播距離

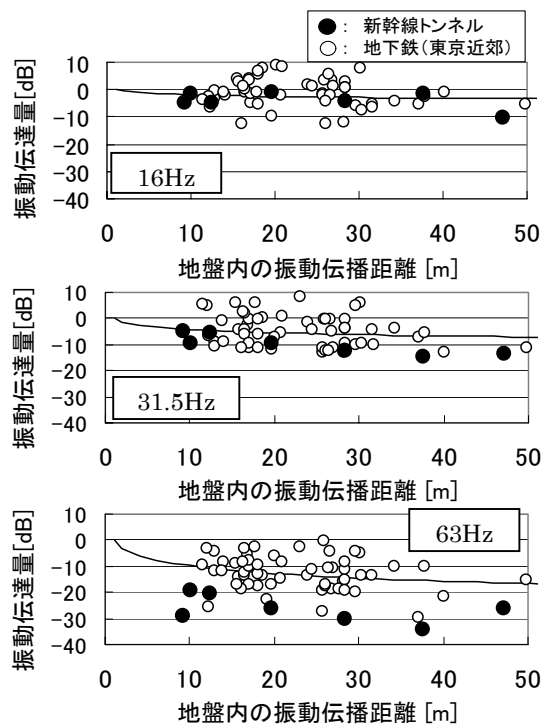


図-3 振動伝播距離と振動伝達量の関係

Key Words : トンネル, 地盤振動, 新幹線, 振動加速度レベル, 減衰

* 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-573-7266 Fax.042-573-7248

**〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー

Tel.045-222-9082 Fax.045-222-9102

さくなる傾向が全体的にみられた。また、水平方向の 16～63Hz については、深度-12.5m から-5m で数 dB 程度の増幅がみられた。一方、深度-5m から地表にかけての地表部付近においては、鉛直方向の 16～63Hz で増幅が確認されたが、水平方向では数～20dB の減衰が確認された。

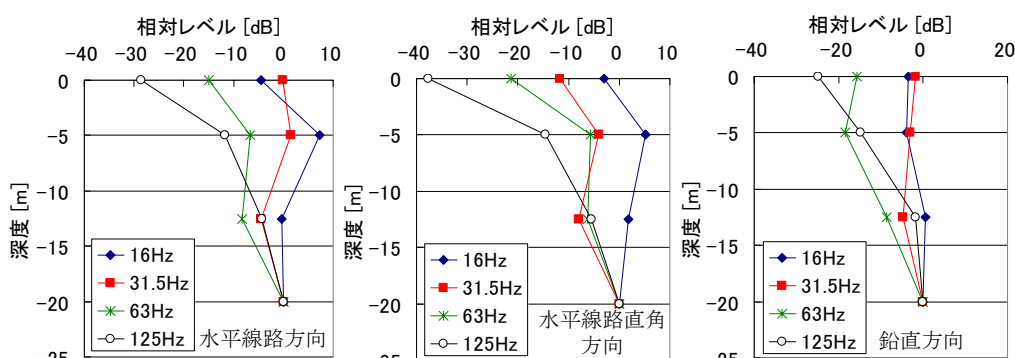


図-4 深度と相対レベルの関係(新幹線トンネル)

3. Bornitz の計算式を用いた検討

振動伝播距離と振動伝達量の関係を、振動加速度レベルで表示した Bornitz の計算式³⁾を用いて分析した。

$$L_{VA}(f) - L_{VA0}(f) = -20n \log(R/R_0) - 8.68\alpha(f)(R - R_0) \quad (1)$$

ただし、 $L_{VA}(f) - L_{VA0}(f)$: 中心周波数 f (Hz) の振動伝達量(dB),

n : 幾何減衰定数, $\alpha(f)$: 内部減衰定数,

R : 振動伝播距離(m) (図-2)

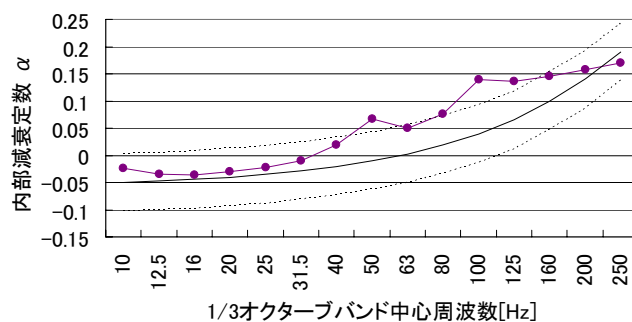


図-5 周波数と内部減衰定数の関係

分析より得られた周波数と内部減衰定数 α の関係を、地下鉄の測定より得られた α の範囲 (14 地点の平均および $\pm 1.5\sigma$, σ : 標準偏差) と合わせて図-5 に示す。ここでは、トンネルアーチ部に対して地表部測定点が複数あることから、対数回帰式による回帰分析を行い、1/3 オクターブバンドごとの内部減衰定数 α を計算している。また、地下鉄を無限長の線状の振動源と見なして、幾何減衰定数 n を 0.5 としている。これより、周波数が高くなるほど α の値が大きくなる傾向がみられた。また、50～100Hz では α がやや大きくなるが、地下鉄の結果と概ね対応している傾向が見られた。今回の測定箇所の土被りに相当する地質は軟弱な火山灰ロームおよび未固結で玉石・礫混じりの泥流堆積物であったことから、東京近郊の地下鉄の結果と類似した減衰傾向が得られたと考えられる。

つぎに、図-5 をもとに、周波数 f と内部減衰定数 α の関係を回帰分析により求めて次式に示す。

$$\alpha = 0.00098f - 0.023 \quad (2)$$

ここで、式(2)の右辺第2項を無視し、 α と減衰定数 h の関係 ($\alpha = 2\pi fh/V_s$, f : 周波数(Hz), h : 減衰定数, V_s : せん断波速度 (m/s)) を考慮すると、 h/V_s は 0.00016 となる。PS 検層は実施していないが、火山灰ロームの N 値が 3 程度であることから V_s を 150m/s と仮定すると、減衰定数 h は 2.3%程度と計算できる。

4. まとめ

東北新幹線のトンネルを対象に実施した振動測定より地盤中の減衰性状について検討し、周波数が高くなるにつれて減衰が大きくなり、地中部においては、浅くなるほどレベルが小さくなり、鉛直方向の 16～63Hz で地表部付近の増幅がみられることを把握した。また、Bornitz の計算式の内部減衰定数 α を 1/3 オクターブバンドごとに求めたところ、周波数が高くなるにつれて α が大きくなり、東京近郊の地下鉄の結果と類似した傾向がみられることを把握した。今回の結果をもとに、振動予測手法について検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 山崎貴之, 丸山修, 藤井光治郎, 武居泰, 津野究: 新幹線トンネルにおける列車振動予測に関する研究 (その 1), 第 61 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2006.
- 2) 津野究, 古田勝, 藤井光治郎, 長嶋文雄, 日下部治: 地下鉄シールドトンネルから伝播する広帯域振動の減衰特性, 土木学会論文誌, No.792/III-71, pp.185-197, 2005.
- 3) G.Bornitz: Über die Ausbreitung der von Grozklolbenmaschinen erzeugten Bodenschwingungen in die Tiefe, J. Springer, 1931.