数値解析を用いて鉄道沿線に生じる地盤および建物の振動を予測する



權藤　徹
Toru Gondo
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員



野寄　真徳
Masanori Noyori
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員



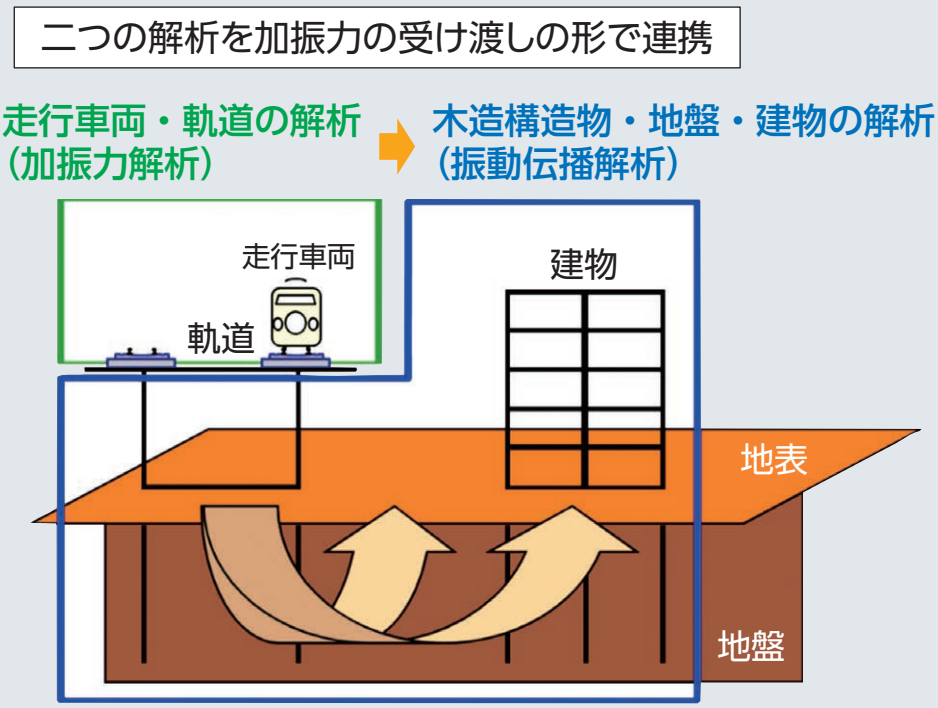
横山　秀史
Hidefumi Yokoyama
前 防災技術研究部
地質研究室長
（現 コンプライアンス推進室）

はじめに

列車が走ると，線路の周りの地盤や建物に振動が伝わります。この振動（以下，鉄道振動）は，その大きさによっては生活環境の保全などの観点で問題になることがあります。このため，新たに鉄道を建設する場合や列車の速度を向上させる場合などには，鉄道振動の発生や伝わり方のしくみを理解し，効果的な対策を検討することが必要です。数値解析による鉄道振動の予測は，この際に重要な手段となります。

鉄道振動は，道路交通による振動と同じく車両の走行によって起こりますが，鉄道には特有の特徴があります。たとえば，1編成の列車をイメージすると，同じ形式の車両が繰り返し通過することで振動が周期的になるという特徴が挙げられます。また，道路交通におけるゴムタ

図1　鉄道振動の予測シミュレーションの基本構成



イヤとアスファルト舗装の接触に比べ，鋼製の車輪とレールの接触によって高い周波数の振動が発生するという特徴や，軌道という鉄道特有の構造と車両が影響し合って振動するという特徴もあります。

鉄道総研では，こうした鉄道振動の効果的な対策の実施を支援するために，鉄道振動の予測シミュレーションの開発と精度向上に取り組んでいます[1)]。本記事では，予測シミュレーションの概要と，高架橋区間における鉄道振動を予測した事例を紹介します。

鉄道振動の予測シミュレーションの概要

列車は，軌道や土木構造物，地盤などと影響し合って振動しながら走行しています。そのため，本来は走行する車両から沿線の地盤や建物までを一体の解析モデルとすることがのぞましいです。しかし，計算量が非常に大きくなるため，現状ではそのような解析は難しいのが実情です。そこで，走行車両・軌道の解析（以下，加振力解析）と，土木構造物・地盤・建物の解析（以下，振動伝播解析）の二つに分け，それらを連携させるという工夫を行うことで鉄道振動の予測シミュレーションとしています。この予測シミュレーションの基本構成を図1に示します。加振力解析と振動伝播解析を連携させ，鉄道振動を予測する手順は次の通りです。

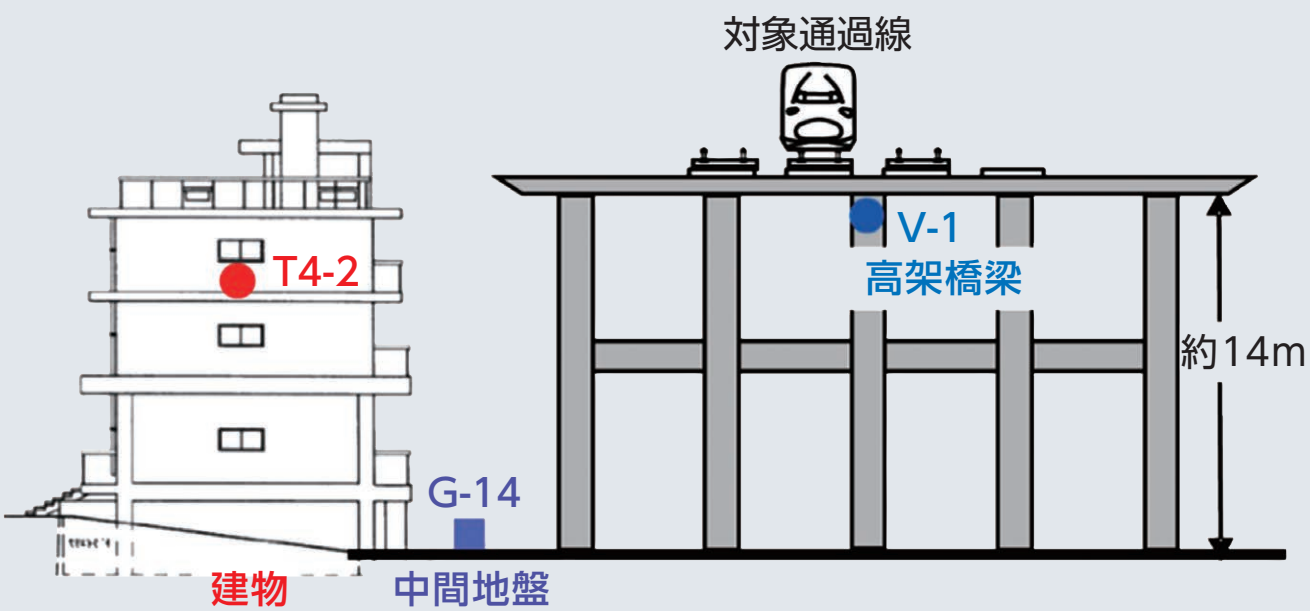
(1) 加振力解析により，車両が走行することにより軌道－土木構造物間に発生する力（以下，加振力）を各まくらぎの位置で計算する。
(2) (1)で求めた加振力を振動伝播解析に入力し，沿線の地盤や建物の振動を計算する。

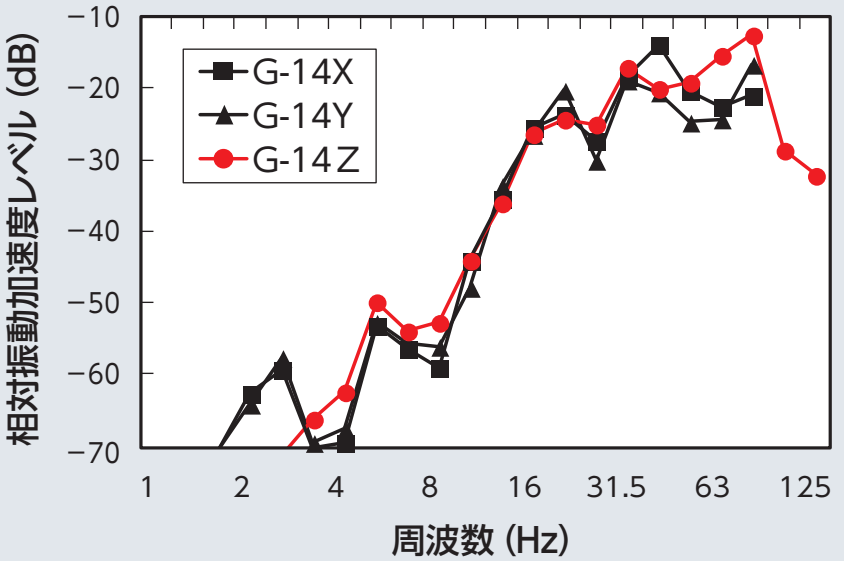
高架橋区間の鉄道振動測定

振動測定の概要

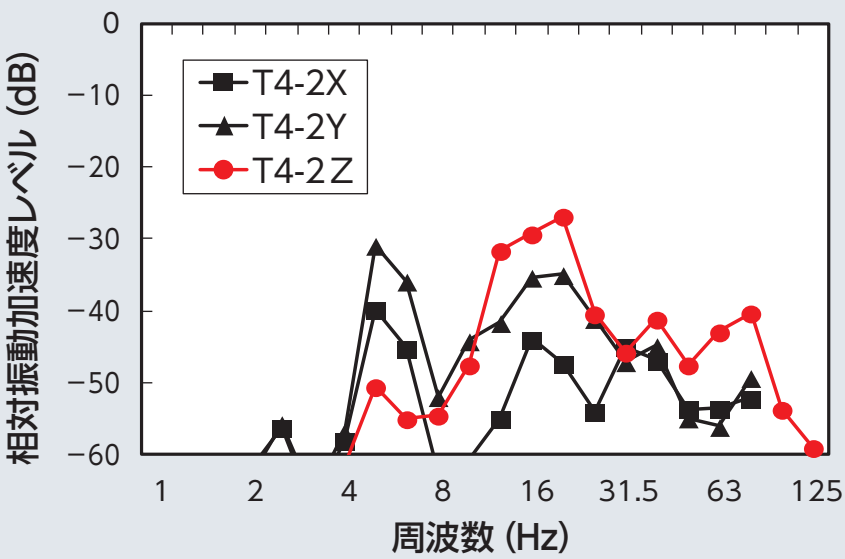
鉄道振動の予測シミュレーションの検証に使うデータを得るため，新幹線が走行している時の高架橋と沿線の地盤，建物内で振動を測定しました。測定位置の断面図を図2に示します。測定箇所はA駅の端にある高架橋区間です。地

図2　測定位置の断面図





(a) 高架橋・建物の中間地盤 (G-14)



(b) 建物4階の床 (T4-2)

図3　測定結果の例（上り列車，通過速度160km/h）

☞ 1/3オクターブバンドスペクトル

音や振動の強さを周波数ごとに評価した結果です。周波数が2倍になる範囲であるオクターブをさらに3分割した周波数範囲ごとに評価します。各周波数範囲は規格で定められています。この評価手法は，騒音や振動の評価で広く利用されています。

表から高架橋の下面までの高さは約14mです。軌道はバラスト軌道です。周辺の地盤は少し傾斜しており，高架橋から建物の線路側まではほぼ平らですが，建物の線路側を境として線路から離れるにつれて地盤が高くなっています。さらに，測定対象の建物は地盤を少し掘り下げて建てられており，1階の床は周囲の地盤より低くなっています。建物は鉄筋コンクリート造（RC造）の地上4階建ての事務所であり，高架橋からの距離は約3～8メートルです。

測定位置は，高架橋の梁（はり）（V-1），高架橋と建物の間の地盤（G-14），建物 4階の床（T4-2）とし，水平2方向（X：線路と平行方向，Y：線路と直角方向）と鉛直方向（Z）について測度しました。

振動測定の結果

上下線通過列車26本について測定を行いましたが，列車ごとの測定結果に違いはほとんどありませんでした。そこで，ここでは代表例として上り列車（通過速度160km/h）の結果を示します。また，分析や解析の結果のうち，振動加速度の「1/3オクターブバンドスペクトル」☞については，高架橋の縦梁（V-1）の最大値を0dBとする相対値で示します。

地盤と建物の振動加速度

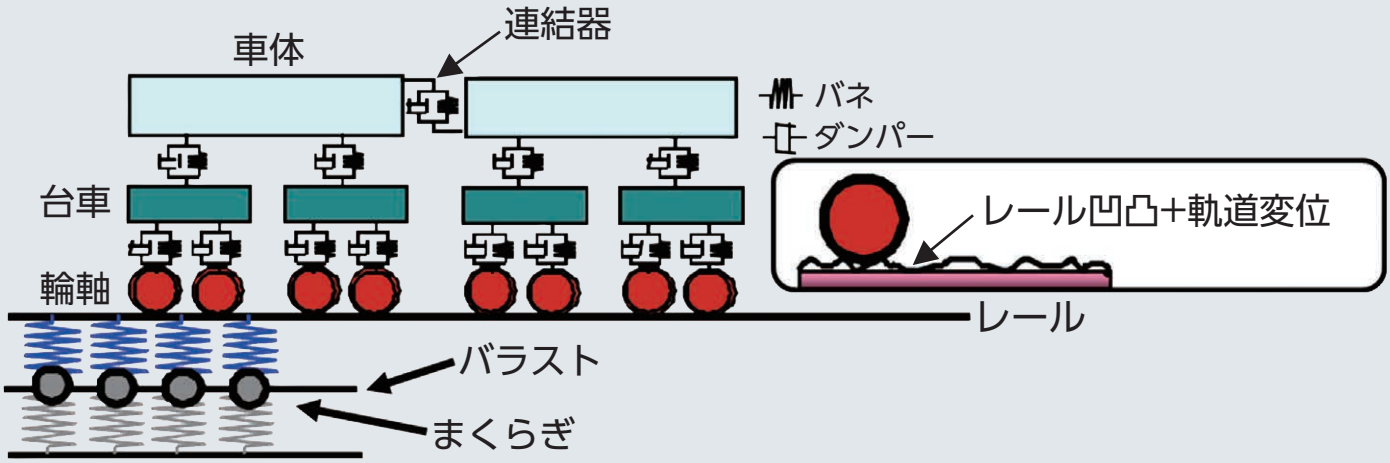


図4　加振力解析のモデル

の1/3オクターブバンドスペクトルを図3に示します。図3(a)の高架橋と建物の中間位置の地盤(G-14)におけるX，Y，Z方向の振動を比較した場合，いずれの方向も31.5～80Hzにピークがあることがわかります。これに対して，図3(b)に示す建物4階の床(T4-2)の振動に着目すると，5Hz，10～20Hにピークがあり，Z方向の振動では20Hzのピークが最も大きいです。地盤(G-14)の振動と比べると，31.5～80Hzの高い周波数の振動が小さくなっていることがわかります。これは，一般に高い周波数の振動ほど振動源からの距離に応じて小さくなりやすいという性質に対応しています。

鉄道振動の予測事例

加振力解析

加振力解析は解析ソフトDIASTARS III[2)]を用いて行いました。加振力解析のモデルを図4に示します。車両は一般的な新幹線車両，軌道はバラスト軌道としてモデル化しました。

バラストマットに相当するバネ要素の鉛直方向のバネ反力を求め，これを加振力としました。列車は6両編成とし，速度160km/hとしました。解析で得られた加振力波形を図5に示します。図4に赤丸で示した輪軸が通過するタイミングで，加振力が約-50kNになっていることがわかります。加振力が負の値になるということは，力が鉛直下向きに作用していることを意味します。

振動伝播解析

前項の解析で求めた加振力を図6の振動伝播解析のモデルに入力し，沿線の地盤や建物の振動を計算しました。解析にはSuperFLUSH/3D(構造計画研究所)という解析ソフトを用いました。高架橋と建物は図面を基にモデル化し，地盤は地盤調査の結果を基に水平な地盤としてモデル化しました。

高架橋と地盤，建物のZ方向の振動について，解析結果と測定結果を図7に示します。図7(a)の高架橋の縦梁(V-1)の結果から，両者がよ

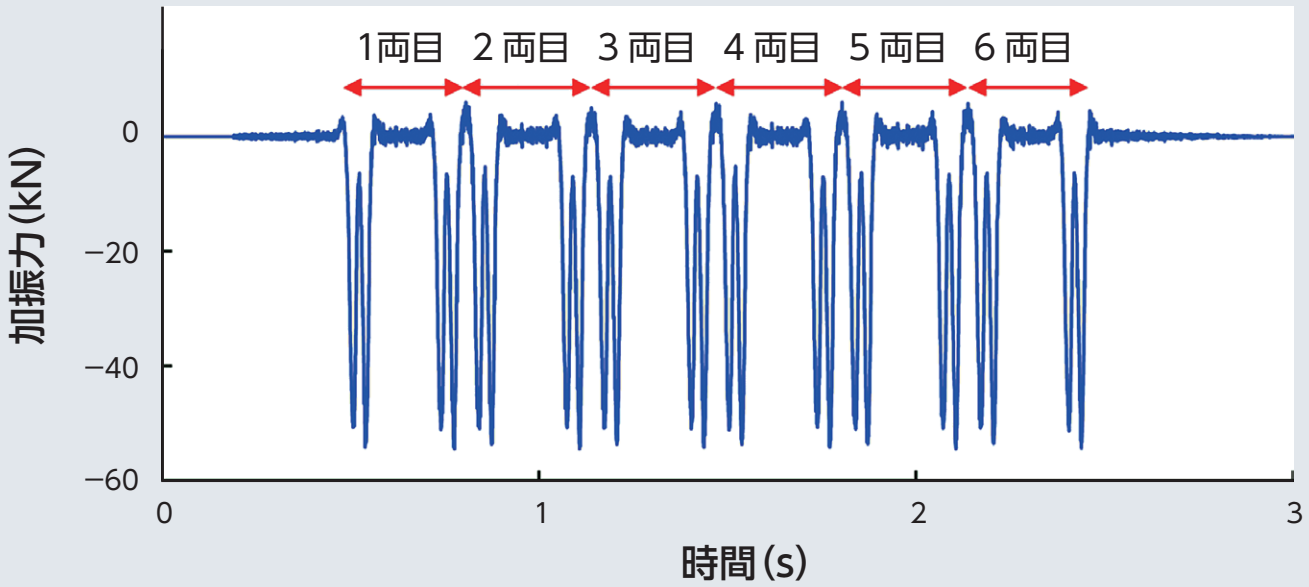
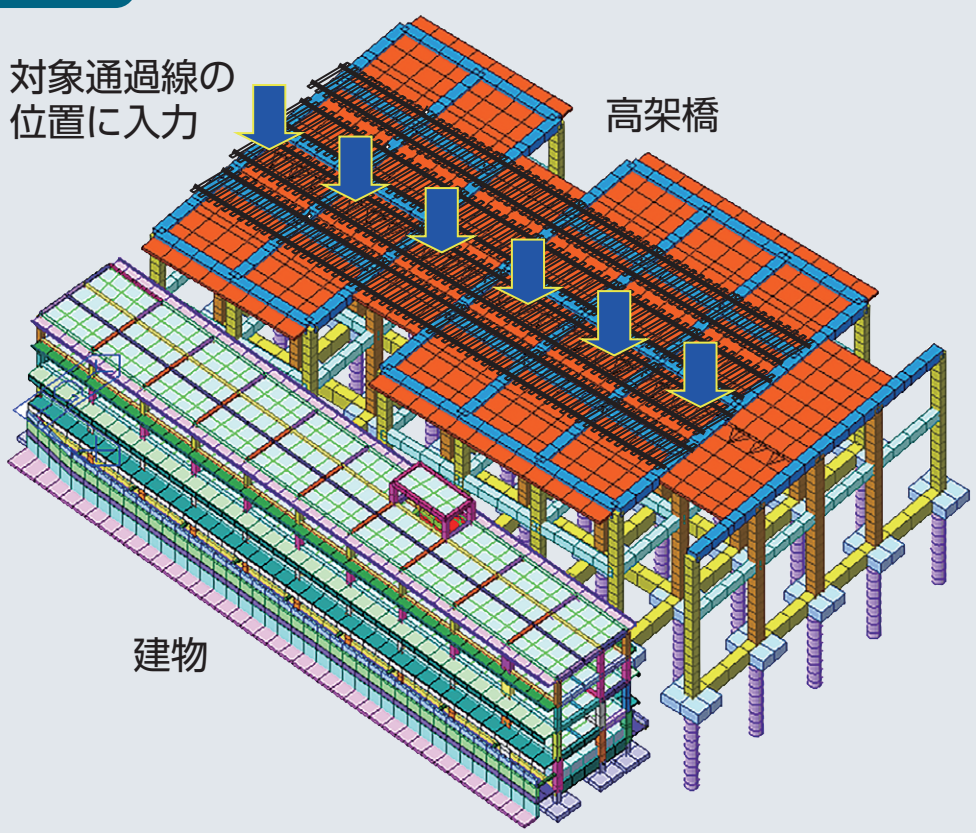


図5　加振力波形

く一致していることを確認できるため，加振力解析で求めた加振力はおおむね妥当であるといえます。次に，図7(b)に示す高架橋と建物の中間位置の地盤（G-14）の結果については，80Hz以下の周波数では基本的な傾向は一致していますが，測定結果との誤差が10dB程度ある周波数も見られます。原因としては，地盤の物性値を正しく設定できていないことや，傾斜がある地盤を水平な地盤としてモデル化したことなどが考えられます。また，図7(c)の建物

図6　振動伝播解析のモデル

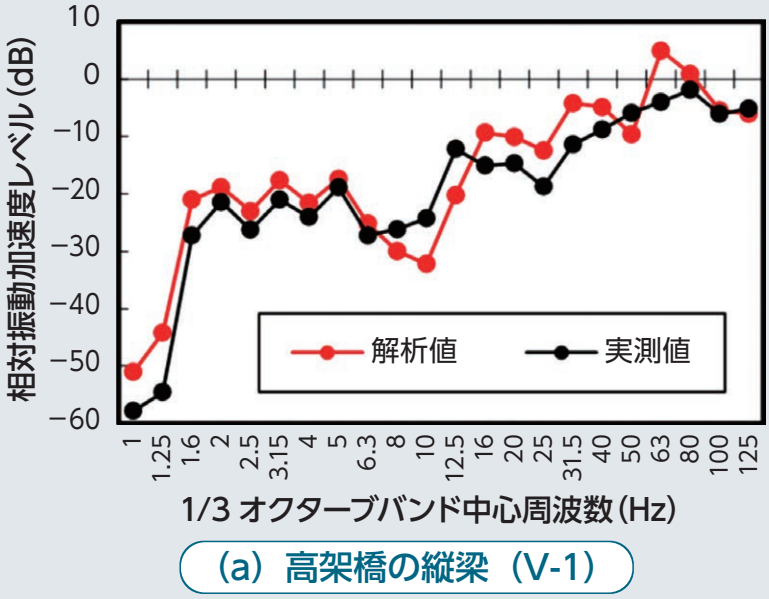


4階の床（T4-2）の結果では，80Hz以下の周波数において両者はおおむね一致しており，解析結果と測定結果の誤差は5～10dB程度以下であることがわかります。

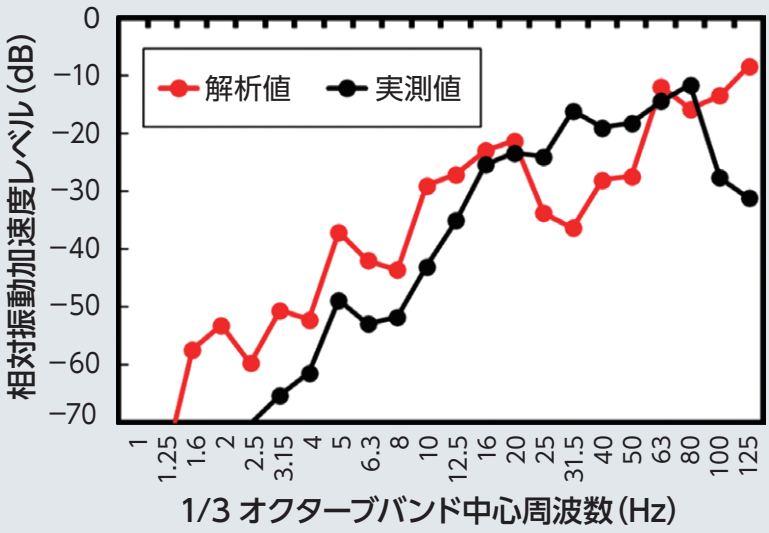
おわりに

本記事では，鉄道振動の予測シミュレーションの概要と，予測した事例を紹介しました。高架橋区間における鉄道振動を予測した結果，全体的な傾向として予測結果と測定結果はよく対応していることを確認しました。今後は，予測シミュレーションの更なる精度向上や計算コストの低減に取り組み，より実用性の高い手法の確立を目指します。さらに，予測シミュレーションを用いて，鉄道振動の対策手法の開発を進めていきます。

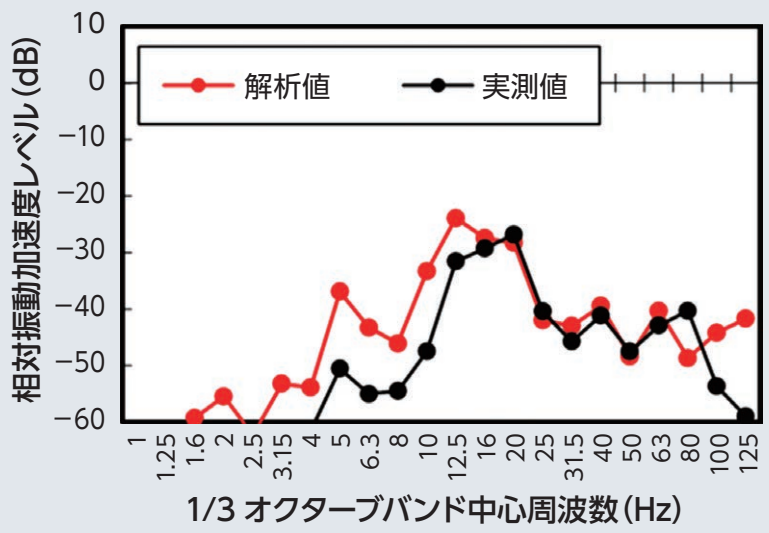
RRR



（a）高架橋の縦梁（V-1）



（b）高架橋・建物の中間地盤（G-14）



（c）建物4階の床（T4-2）

図7　鉄道振動の解析結果と測定結果の比較

文　献

1）渡辺勉,曽我部正道,横山秀史,山崎貴之：高速鉄道トンネル上の地盤振動に関する解析的検討,鉄道工学シンポジウム論文集，No.18，pp.107-114，2014

2）涌井一,松本信之,松浦彰夫,田辺誠：鉄道車両と線路構造物との連成応答解析法に関する研究，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.192-138，1995

■ 2026年5·6月号の訂正とお詫び

RRR誌2026年5・6月号に誤植がございました。ここに訂正してお詫び申し上げます。

頁	箇所	誤	正
16	図 1 右上の青文字部分	木造構造物・地盤・建物の解析（振動伝播解析） ※赤枠の語句の誤り	土木構造物・地盤・建物の解析（振動伝播解析）