

列車速度や振動対策による地盤振動の変化を予測する

列車走行により生じる沿線の地盤振動は、列車速度および車両や軌道、構造物、地盤の条件により変化し、その大きさによっては環境問題となることがあります。そのため、列車を高速化する際や地盤振動対策を検討・実施する際には、これらの条件の変更による地盤振動の変化を評価しておくことが重要です。ここでは、列車の高速化や地盤振動対策による地盤振動の変化を短い時間で評価する方法として、鉄道総研で提案してきた3種類の簡易予測方法を紹介します。

はじめに

列車が走行すると車両から軌道、構造物を通して沿線の地盤に振動が伝わります(図1)。この地盤に伝わった振動(以下、地盤振動とよびます)は、その大きさによっては沿線の住民に不快感を与えるなどの環境問題となることがあります。このような問題を解決するためには、地盤振動の大きさを評

価することが重要です。

地盤振動の詳細な評価方法には高度なシミュレーションによる方法がありますが、計算に長い時間を要するという課題があります。ここでは、多くのケーススタディーを扱うために短い時間で評価をする簡易予測方法について紹介します。



権藤 徹
Toru Gondo
防災技術研究部
地質研究室
研究員



横山 秀史
Hidefumi Yokoyama
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員(上級)



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

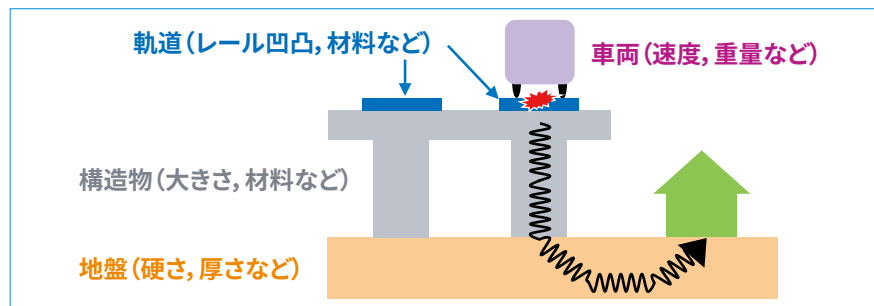


図1 「地盤振動」のイメージとシミュレーションで考慮する条件

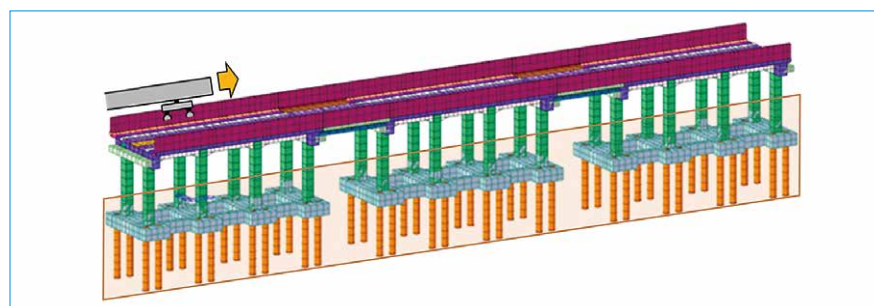


図2 「鉄道振動シミュレーション」のイメージ

地盤振動のシミュレーション

振動は、いくつかの異なる周波数の波が組み合わさることで構成されています。振動を評価するためには、どの周波数の波がどのくらい含まれているかを分析します（以下、周波数分析とよびます）。

地盤振動は、列車の速度および車両の種類や軌道の状態、構造物の形状、地盤の状態といったさまざまな条件により変化します（図1）。鉄道総研では、これらの条件をすべて考慮できる地盤振動の詳細な評価のために「鉄道振動シミュレーション」を開発しました（図2）¹⁾。このシミュレーションは、車両から地盤までを解析モデルとして作成しており、パラメーターとして先に示した条件をすべて考慮できます。しかし、解析モデルがきわめて複雑であり、1ケースの計算に1か月以上を必要とするため、多くのケースを評価するには時間的な課題があります。

目的に応じた簡易予測方法

例えば列車の高速化や地盤振動対策による地盤振動の変化について多くのケースを評価したい場合、短い時間で計算する必要があるため、目的に応じて考慮する条件を限定する簡易予測方法が使用されています²⁾。

ここでは、鉄道総研で提案してきた以下に示す①～③の3種類の簡易予測方法を紹介します（表1）。これらの方法は、今までの研究で培った多くの実測結果および数値解析結果に基づいて開発されたものであり、1ケースあたり1日程度の計算時間で、地盤振動の状態を大まかに評価するために十分な精度の予測をできます。

①列車の高速化による地盤振動の変化の簡易予測方法は、列車を高速化する際に全線などの広範囲に対して地盤振動の変化を予測したい場合など

表1 地盤振動の予測方法の比較

予測方法	考慮する条件					目的
	列車速度	車両	軌道	構造物	地盤	
鉄道振動シミュレーション	○	○	○	○	○	地盤振動を詳細に予測したい場合
簡易予測方法① (列車の高速化による地盤振動の変化)	○	—	—	○	○	列車を高速化する際、広範囲で地盤振動の変化を予測したい場合
簡易予測方法② (車両や軌道での地盤振動対策効果)	—	○	○	—	—	車両や軌道でのさまざまな地盤振動対策の効果予測したい場合
簡易予測方法③ (構造物や地盤での地盤振動対策効果)	—	—	—	○	○	構造物や地盤でのさまざまな地盤振動対策の効果予測したい場合

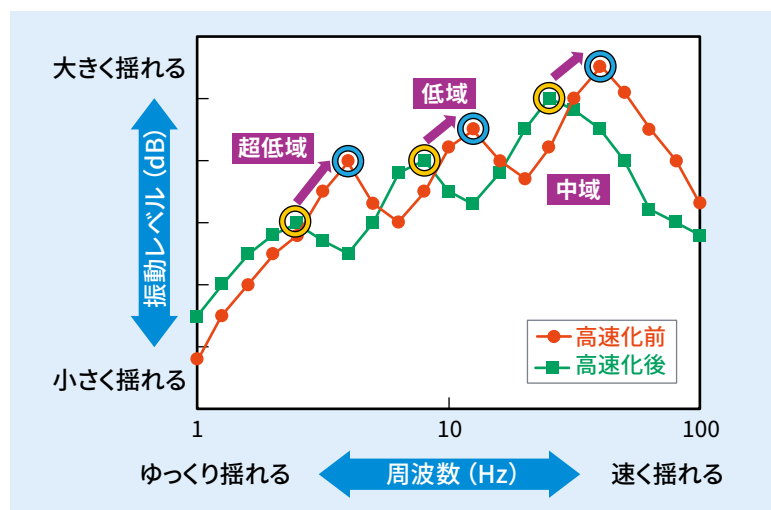


図3 列車の高速化前後における地盤振動の周波数分析結果の例

に使用されます。

②車両や軌道での地盤振動対策効果の簡易予測方法は、車両や軌道でのさまざまなパターンの地盤振動対策による効果を予測したい場合などに使用されます。

③構造物や地盤での地盤振動対策効果の簡易予測方法は、構造物や地盤でのさまざまなパターンの地盤振動対策による効果を予測したい場合などに使用されます。

①列車の高速化による地盤振動の変化の簡易予測方法

列車の高速化前後における地盤振動を周波数分析した結果の例を図3に示

します。この例では、新幹線車両が高架橋を走行した場合を想定しています。縦軸に振動レベル（参照）、横軸に周波数を取っています。

今までの研究から、地盤振動の主要

振動レベル

環境振動の評価に用いられる指標です。振動に対する人の感覚は、振動の周波数や継続時間に依存するため、振動レベルはこれらの補正を含んだ値として求められます。

振動モード

物体が自由に振動している状態における、特定の周波数での振動の形状です。

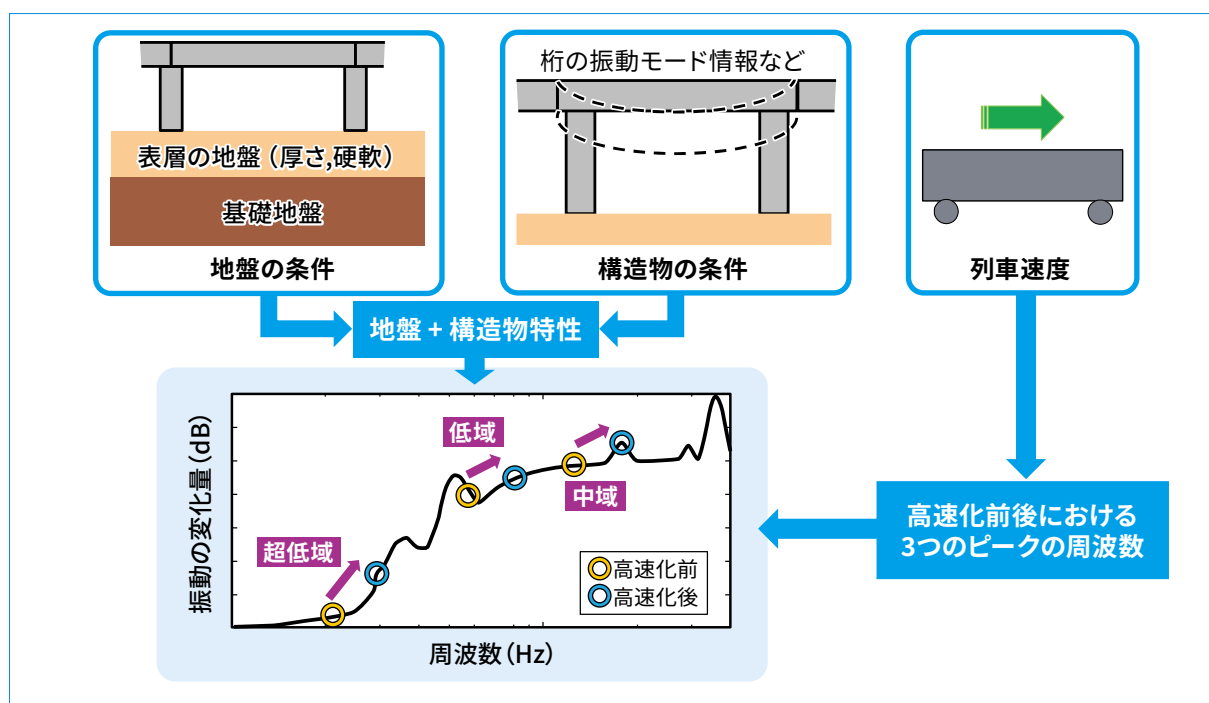


図4 「列車の高速化による地盤振動の変化の簡易予測方法(簡易予測方法①)」のイメージ

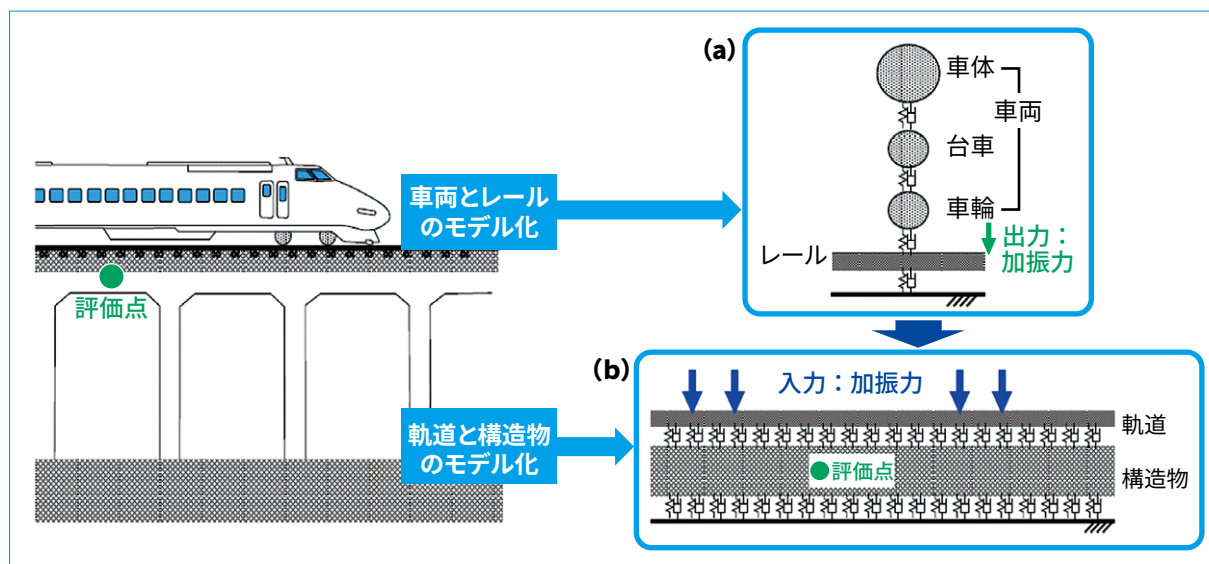


図5 「車両や軌道での地盤振動対策効果の簡易予測方法(簡易予測方法②)」のイメージ

なピークは超低域(2-4Hz), 低域(6.3-12.5Hz), 中域(20-40Hz)にあらわれることがわかっています。また, 列車がある速度で走ったとき, これら3つのピークがそれぞれどの周波数の値にあらわれるかは, そのときの列車速度から計算できることもわかっています。この3つのピークは, 列車の高速化前後でそれぞれ変化します。したがって, 列車の高速化による地盤振動の変化の

簡易予測方法では, 3つのピークの変化を地盤と構造物, 列車速度の条件を考慮して計算し, 予測します。

この簡易予測方法のイメージを図4に示します。まず, 今までの研究から求めた近似式に地盤と構造物の条件を代入することで, 地盤と構造物における振動の変化量曲線(以下, 地盤+構造物特性とよびます)を計算します。代入する地盤の条件は, 建設時に

行われる地盤調査の結果から得られる表層地盤の層の厚さと硬軟の情報です。また, 構造物の条件は構造物の代表的な振動モード(※参照)の情報です。一般的に振動は振動モードにあたる周波数で増加しやすいことが知られています。

次に, このようにして計算した地盤+構造物特性に, 先に述べた列車速度から計算した高速化前後における3つ

のピークの周波数の値をプロットすることで、3つのピークの変化を計算します。

この簡易予測方法は、解析モデルを必要とせず、近似式に条件を代入するだけなので、とても簡易に使用できます。

②車両や軌道での地盤振動対策効果の簡易予測方法

車両や軌道での地盤振動対策効果の簡易予測方法では、対策の施工前後における構造物の振動を車両と軌道の条件を考慮して計算し、予測します。具体的には、車両を軽くする対策や軌道の下にゴムのような柔らかい材料を敷いて振動を吸収する対策などの効果を簡易に予測できます。

この簡易予測方法のイメージを図5に示します。まず、車両・軌道モデル(図5(a))を用いて、列車走行により加えられる荷重(以下、加振力とよびます)を計算します。次に、車両・軌道モデルを用いて計算した加振力を列車速度に応じて軌道・構造物モデル(図5(b))に入力し、構造物における振動の大きさを評価する点(評価点)での振動の大きさを計算します。

この簡易予測方法は、車両を3つの質量体、軌道と構造物を2本の梁^{はり}として簡略にモデル化しているので、とても簡易に使用できます。

③構造物や地盤での地盤振動対策効果の簡易予測方法

構造物や地盤での地盤振動対策効果の簡易予測方法として、「等価起振力法」とよばれている方法があります。この方法では、対策施工後の地盤振動を構造物と地盤の条件を考慮して計算し、予測します。具体的には、軌道の真下の地盤を固くする対策や地盤中に振動を遮断する振動遮断壁を設置する

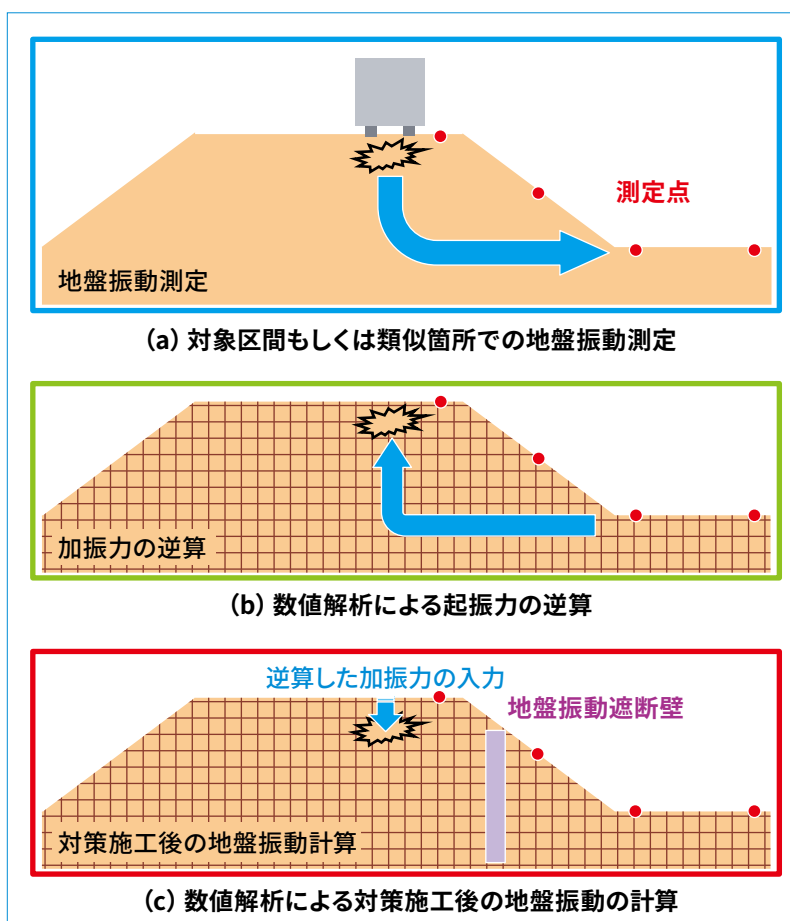


図6 「構造物や地盤での地盤振動対策効果の簡易予測方法(簡易予測方法③、等価起振力法)」のイメージ(盛土区間を例として)

対策などによる効果を簡易に予測できます。

盛土区間を例として、等価起振力法のイメージを図6に示します。まず、対象区間もしくは車両と軌道などの条件が対象区間に似ている箇所で地盤振動の測定をします(図6(a))。次に、地盤振動の測定点を通る断面の数値解析モデルを作成し、直接に測定することが困難な列車走行による加振力を地盤振動の測定結果から逆算します(図6(b))。最後に、対策施工後の数値解析モデルに逆算した加振力を入力して対策施工後の地盤振動の大きさを計算します(図6(c))。

この簡易予測方法は、構造物と地盤を平面モデルとして簡略にモデル化しているので、とても簡易に使用できます。

おわりに

ここでは、鉄道総研で提案してきた3種類の地盤振動の簡易予測方法を紹介しました。これらの方法は、地盤振動の状態を大まかに評価するために十分な精度の予測をできますが、鉄道振動シミュレーションの予測精度には劣ります。そこで、鉄道振動シミュレーションの精度を保ったまま、より簡易に使用できる予測方法の研究開発を現在進めています。[RRR]

文 献

- 1) 横山秀史, 伊積康彦, 渡辺勉: 3次元振動解析による地盤および建物振動の予測シミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.5, pp.41-46, 2015
- 2) 日本騒音制御工学会編: 地域の環境振動, 技報堂出版, pp.128-143, 2001