

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

鉄道沿線の 地盤振動を低減する

列車が走行する際に沿線に生じる地盤振動は、場合により環境問題となることがあります。沿線の環境を保全しつつ、速達性など公共交通機関としての鉄道の利便性を維持・向上させるため、JRをはじめとする各鉄道事業者ではさまざまな対策を講じてきました。

これまでに、車両・軌道・構造物・地盤の各部位においてさまざまな対策法が提案されてきましたが、現時点では主に車両および軌道での対策が実施されているほか、地盤での対策についても検討されています。

ここでは、これらの地盤振動対策の現状について紹介します。



横山 秀史
Hidefumi Yokoyama
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員
[専門分野] 地盤振動

はじめに

鉄道を構成する主要素は車両、軌道、構造物、地盤で、図1のようにそれぞれの要素で振動対策が考えられます。この中でも、現時点では車両や軌道での対策が主に実施されているほか、地盤での対策についても検討されています。

なお、一般に地盤振動が問題となる場合、物的な被害よりも、住民の方々の感覚的・心理的な不快感という形で顕在化することが多いと言われております¹⁾。このように、振動問題は人間の感覚と密接に関係するため、人間が振

動を体感する特性を考慮して定められた、振動レベル(☞参照)(振動感覚補正をした振動加速度レベル)という評価量が用いられています。単位はデシベル(dB)です。

車両での対策

列車走行により発生する地盤振動は、鉄道車両という大きな質量を持った物体が、重力や、走行路の凹凸にともなう強制変位による外力などを受けながら移動していくことが主な原因となっています。列車荷重による地上への影響は、列車の接近とともに大きくなり

☞ 振動レベル

人間が振動を体感するときの特性は、振動の周波数や継続時間により異なっています。振動レベルVL(dB)はこのような人間の特性をある程度反映するように定められた振動の評価量で、

$$VL = 20\log_{10} (a/a_0)$$

で表されます。ここで、 a は測定された振動加速度波形に対して体感特性を反映するように重み付けして求めた加速度実効値(m/s^2)、 a_0 は基準加速度= $10^{-5}m/s^2$ です。重み付けの方法は、周波数・時間の両方について規定されています。

例えば重み付け後の加速度実効値 a が $0.01m/s^2$ (1gal)のときの振動レベルは60dB、 $0.005m/s^2$ (0.5gal)のときには54dBです。

振動レベルを測定するための測定器が振動レベル計で、計量法およびJIS規格で規定されています。なお、JIS規格では鉛直方向、水平方向の各々に対する振動感覚補正が定義されていますが、計量法では鉛直振動に対する振動感覚補正だけが定義されており、振動規制などでは鉛直方向の振動だけが対象となっています。

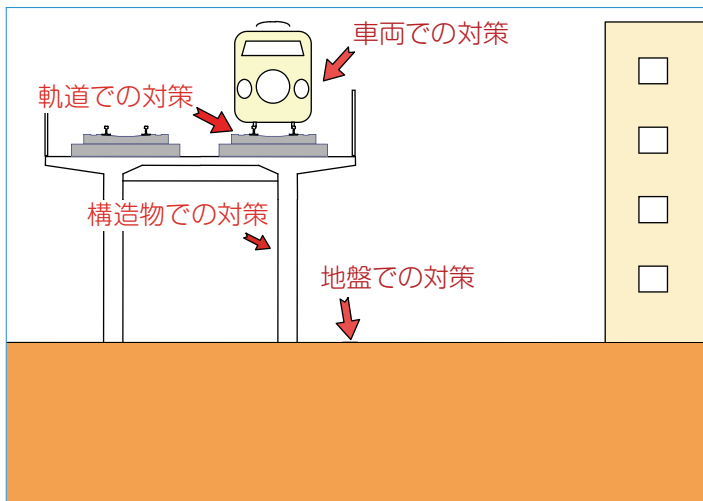


図1 鉄道振動対策のイメージ

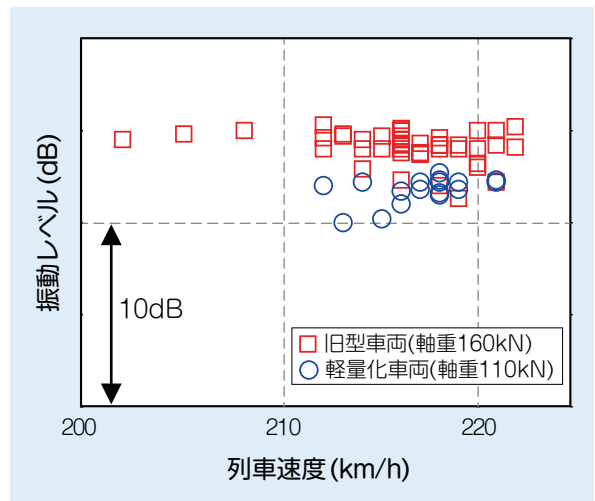


図2 軽量化車両と旧型車両の比較
(軌道中心から12.5mの位置)

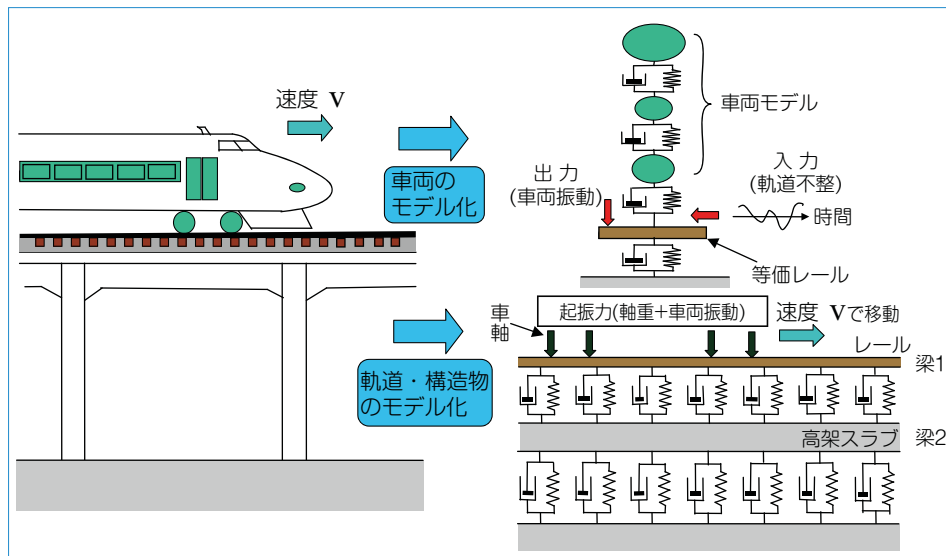


図3 新幹線鉄道振動の発生モデル

列車が遠ざかれば小さくなります。このように、移動する列車荷重は地上に対しては変動する荷重として作用するため、振動が発生します。

鉄道車両は車体や台車などがばねでつながった構造で、それ自体が複雑な振動系を構成しています。また、車両が走行することで軌道や構造物、地盤など地上側に振動が生じる一方で、生じた地上側の振動により鉄道車両の振動も変化します。このように地盤振動の発生メカニズムは複雑ですが、これまでの研究²⁾により、特に明かり区間の場合、沿線の地盤振動にもっとも影響するのは車両全体の質量であること

がわかっています。

鉄道の地上設備は延長が長いので、車両で振動対策ができれば非常に有用です。車両の軽量化による振動レベル低減効果(図2)は、おおむね軽量化前後の車両質量の比と同程度で、簡単なモデル(図3)で概略を見積もることができます。300系新幹線は、この考え方にもとづいて計画された最初の車両であり、以後の高速車両の基礎となっています。しかし、現状の新幹線車両はおおむね限界まで軽量化されており、その意味ではほぼ対策済みといえます。

軌道での対策

○軌道の低ばね化

軌道での振動対策として現在広く行われているのは軌道を支持する部分のばね定数を小さくし軟らかく支持する方法で、軌道の低ばね化³⁾と総称しています。軌道の軟らかさは列車の走行安定性などに与える影響が大きいため、低ばね化は安全性などを損なわない範囲で行われます。また、土路盤など軌道を支持する部分がもともと軟らかい箇所では、低ばね化による防振効果が得られにくいと考えられます。

軌道低ばね化工法として主に実施されているのは、有道床軌道区間を対象

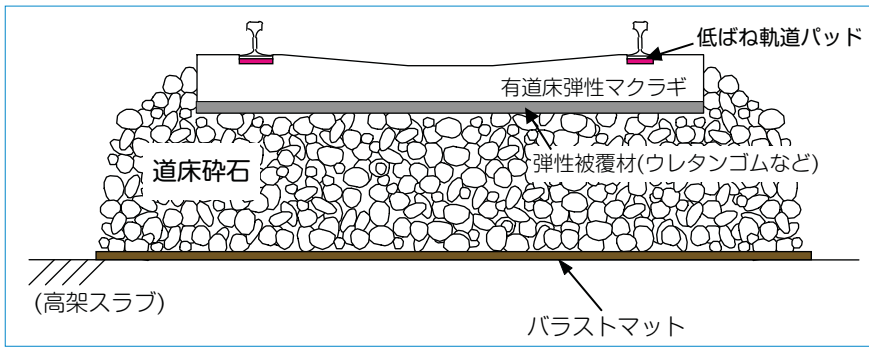


図4 軌道の低ばね化(有道床軌道)

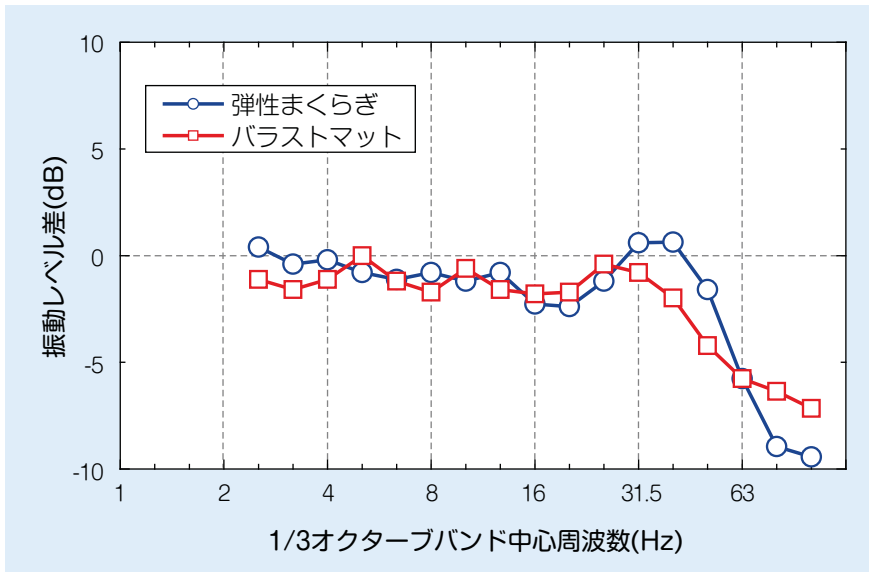


図5 バラストマットと弾性まくらぎの平均的な防振効果
(施工後と施工前の振動レベルの差を示す)
(列車速度は200km/h程度)

とした有道床弾性まくらぎやバラストマットや、主にスラブ軌道区間を対象とした低ばね軌道パッドなど(図4)です。これらの対策は、新設線、既設線のいずれの軌道に対しても適用できますが、新設線の場合には、これらの工法他、軌道構造自体を防振直結軌道などの防振軌道とすることもでき、地下鉄などでは広く用いられています。

有道床弾性まくらぎは、コンクリートまくらぎの下をウレタンゴムなどの軟らかい材料で覆ったまくらぎです。また、バラストマットは道床砕石の下に軟らかいマットを敷設する対策です。

速度200km/h程度で走行する新幹線で得られた防振効果の平均的な周波数特性は図5のようになります。新幹線での施工例では振動レベルの低減効

果は施工箇所によって0~4dB程度の範囲でばらついていますが、平均的には線路から12.5m~25m程度離れた位置で約2dBです。

低ばね軌道パッドは、レールとまくらぎや軌道スラブの間に入れる軌道パッドという部材を通常のものよりもばね定数の小さいタイプにしたものです。低ばね軌道パッドの効果については定量的な評価にはいたっていませんが、有効な周波数帯域が、バラストマット等と比べ狭く、ある程度以上周波数の高い振動が卓越している場合でないと十分な効果が得られないのではないかと考えています。軌道の低ばね化についても、図3のモデルで概略の防振効果を見積もることができるようになっています。

○その他の対策

レールの頭部にレールの製造工程や列車走行に伴う摩耗等により生じた凹凸がある場合、そこを走行する列車は凹凸によって強制的に上下に動かされることになります。このため、凹凸の状態や地上側の条件によっては振動が沿線に影響を及ぼすことがあります。振動の原因がレール頭頂面の凹凸である場合には、レール頭頂面の削正やレール交換等を実施し凹凸を除去し、凹凸の波長に対応する周波数帯域の振動を低減させることも振動対策となります⁴⁾⁵⁾。

また、軌道下の路盤を補強し安定化させるために路盤改良が行われることがあります。条件によっては路盤改良にもなって振動も低減すると考えられ、新幹線において約2dB程度の低減効果が認められた事例があります⁶⁾。

しかし、これらの工法は、適用事例も少なく定量的な評価にはいたっていません。今後の振動対策メニューの一つとして、さらなる検討が必要と考えられます。

構造物での対策

新幹線鉄道振動に関する統計解析によると、剛性が高い構造物、重い構造物ほど振動が小さいという傾向がみら

1/3 オクターブバンド

ある周波数がもう一方の周波数の2倍であるとき、1オクターブ高い周波数と言います。ある周波数と1オクターブ高い周波数の間の周波数範囲をオクターブバンド、オクターブバンドを同じ周波数比(1:2^{1/3})で3等分したものを1/3オクターブバンドと呼び、バンド中心の周波数 f_m (Hz)をバンドの代表値とします。

音響や振動の分析に用いるオクターブバンド分析器や1/3オクターブバンド分析器は、JIS規格で規定されています。

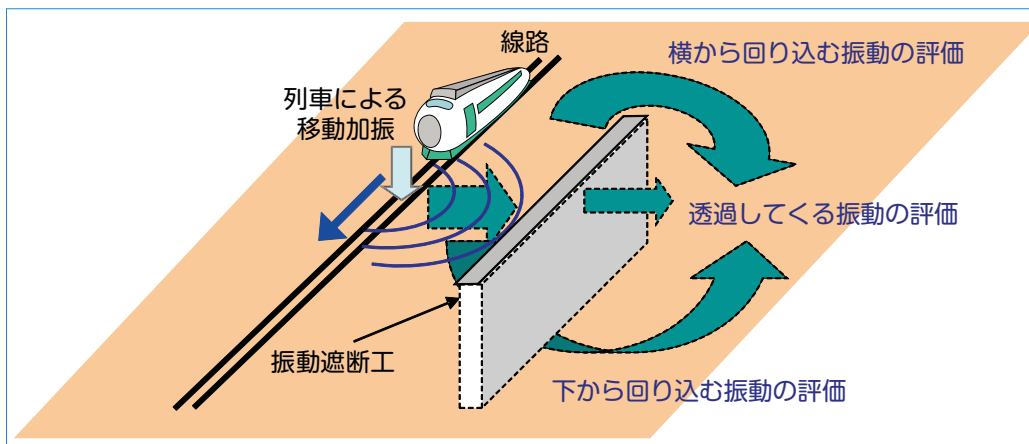


図6 振動遮断工の防振効果の評価のイメージ

れます。そこで、構造物を部分的に補強するなどの工法により振動低減を試みた例がありますが、施工事例が少なく、低減効果を定量的に評価するには至っていません。

構造物に直接手を加える振動対策は地震時の安全性などへの影響も大きいことから、事前に慎重な検討が必要であり、今後解決すべき課題が多いと考えています。

地盤での対策

地盤での対策としては、沿線に溝や地中壁などを設けて振動を遮断する、振動遮断工⁷⁾という工法が、鉄道のほか、道路や工場などからの振動対策として、古くから検討されています。

溝による振動遮断効果は、地盤を伝わる波の波長と溝の深さの比に依存しています。このため、周波数が低く波長の長い振動ほど、大規模な溝が必要になります。新幹線沿線で試験的に溝の対策効果を調査した事例⁷⁾では、深さ2.5~5mの溝により2~8dB程度の低減効果がありました。

しかし、基本的に、溝による振動遮断については、実際の対策としての施工ではなく実物大試験や数値解析など研究として行われています。溝の場合、内壁の保持や転落防止など、維持管理上の問題があります。また、鉄道や家屋などの近くに深い溝を掘ることになるため、これらの構造物に対する影響

も検討する必要があります。このため、実用上はなんらかの材料で埋め戻しをおこなう必要があり、純粋な溝というよりも、軽い材料を用いた地中壁として取り扱う方が適切な場合が多いと考えられます。

地中壁の場合、鋼矢板やコンクリート、ソイルセメント杭などの地盤よりも硬い材料を用いたものと、発泡スチロールや発泡ウレタンなどの地盤よりも軟らかい材料を用いたものに大別できます。

鋼矢板やコンクリート壁、発泡ウレタン壁などについては、対策試験などで新幹線沿線で施工された事例⁷⁾がいくつかあります。このうち、鋼矢板の場合、深さ10~20m程度まで打設して1~2dB程度の低減効果が認められた事例があります。また、コンクリート壁や発泡ウレタン壁による低減効果は、深さ3~5mで概ね1~7dB程度の範囲でした。

地中壁の効果は、地盤条件や起振源の特性、地中壁の規模や材質などにより複雑に変化します。最近、地中壁の振動低減効果を図6の考え方に基づいた比較的簡易なモデルで評価できるようになっています⁷⁾。

振動遮断工は、条件によっては大きな効果が期待できる反面、用地の問題などで施工できない場合があるほか、施工コストが高いなどの問題があり、低コストな工法の開発などが必要です。

おわりに

本稿ではこれまでに講じられてきたさまざまな地盤振動対策についてご紹介しました。

列車走行にともなって沿線に生じる地盤振動の問題は、振動源から地盤まで関係する要因が多く、検討すべき課題が多く残されています。今後も引き続き、地盤振動対策に関する研究開発を進めていきたいと考えています。

RRR

文献

- 1) 振動法令研究会：振動規制の手引き，pp.140-142，技報堂出版，2003
- 2) 吉岡修，芦谷公稔：軸重・軸配置が地盤振動に与える影響，鉄道総研報告，Vol.3，No.8，pp.33-40，1989.8
- 3) 吉岡修，芦谷公稔：軌道の支持ばね係数低下が地盤振動低減に与える効果，鉄道総研報告，Vol.5，No.9，pp.31-37，1991.9
- 4) 岩田直泰，横山秀史，芦谷公稔，斎藤聡：波状摩耗レールの更换による地盤振動特性の変化，鉄道力学論文集，No.10，pp.37-42，2006.7
- 5) 田中博文，古川敦，横山秀史，長谷川雅彦，金尾稔：新幹線沿線における環境振動低減のための軌道側対策と評価，鉄道総研報告，Vol.24，No.12，pp.53-58，2010.12
- 6) 藤澤政和：盛土路盤改良施工方法の検討，日本鉄道施設協会誌，Vol.41，No.4，pp.306-308，2003.4
- 7) 芦谷公稔：振動遮断工の防振効果の評価手法，物理探査，Vol.58，No.4，pp.351-362，2005.12