

振動遮断工

芦谷 公稔(研究開発推進室 計画課長)

鉄道振動と環境問題

列車が走行すると鉄道沿線に地盤振動が発生します。これは、車両重量や車両動揺に起因する荷重が、走行速度に応じて移動しながらレールに作用することによって、軌道に振動が発生し、その振動が構造物や地盤を介して周辺に伝播するもので、一般に鉄道振動と呼ばれています。

鉄道振動は沿線住民に対して環境問題を引き起こすことがあります。顕著な例として、東海道新幹線で名古屋市内の沿線住民と国鉄との間で訴訟問題になった事例(1974年提訴・1986年和解)があります。鉄道に限らず1970年代には、工場や建設現場、道路交通などから発生する振動が公害問題として認識され、これらに対する法規制のあり方が国により検討されました。その結果1976年に振動の規制値やその測定方法等を定めた振動規制法が制定されました。鉄道振動に対しても同様の検討が行われましたが、鉄道振動は工場振動など他の振動に比べて現象が複雑であり、また対策が容易ではないなどの理由から振動規制法の対象外となりました。しかし、新幹線の振動が社会問題化していたことを踏まえて、1976年に環境庁長官から運輸大臣に対して「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)」が出されました。現在においても鉄道振動に対する法的な規制はありませんが、鉄道事業者はこの勧告に示されている指針値(振動レベル値70dB)を一つの目安として沿線環境保全に取り組んでいます。

鉄道振動の対策方法

鉄道振動の対策方法の研究開発は、本来ならば、車両から軌道、構造物、地盤までの全体を一つの系として扱い、

地盤振動の低減のためにはどの部分をどのような方法で対策するのが有効かという視点に立って進めることが重要です。しかし、全体系の相互作用を扱う解析方法を構築することが技術上困難であったことや、具体的な対策方法の開発が緊急の要請であったことなどから、1970年代から近年に至るまで、車両や軌道、構造物、地盤の各分野で独立した対策方法が検討されてきました。

表1は、これまで各分野で開発もしくは検討されてきた対策方法の主なものを示しています。車両での対策では車両軽量化の防振効果が明確となり、その成果は新幹線の高速・低振動車両の設計に寄与しています。軌道での対策では主に軌道の支持ばね係数を低下する工法が実用化しています。具体的には有道床区間でのバラストマットや弾性マクラギ、スラブ区間での低ばね係数のレール締結装置や軌道パッドなどです。この他、新設線での振動対策としてフローティング軌道が採用される場合があります。これに対し、地盤での対策では、地盤内に空溝もしくは壁状の構造物を施工し、伝播する振動を遮断する工法の研究開発が古くから行われています。これらを総称して振動遮断工と呼んでいます。

振動遮断工の研究開発の経緯

振動遮断工として最も単純で効果的な工法は空溝です。空溝による振動の反射・透過に関する研究は1960年代に始まり、現在ではその防振効果を概ね定量的に評価できるようになっています¹⁾。しかし、鉄道沿線に空溝を長期にわたって維持するのは、安全上も保守上においても課題が多いため、実際には実用化には至っていません。

その代わりに、空溝を周辺地盤とは異なる材質の材料で

表1 鉄道振動の主な対策工法

部位	手法	工法
車両	車両軽量化	軸重軽減
軌道	支持ばね係数低下	低ばね係数レール締結装置・軌道パッド 弾性マクラギ、バラストマット、 フローティング軌道
	高剛性化	重軌条化、マクラギ重量化
路盤	路盤改良	EPSブロック、立体補強材、注入、改良土杭
構造物	部材剛性増加、ゴム支承化、ダンパー、動吸振器(TMD)	
地盤	空溝	
	地中壁	鋼矢板、コンクリート壁、PC壁体、 EPS壁、ウレタン壁、改良土壁
	地盤改良	地盤改良、振動遮断ブロック(WIB)

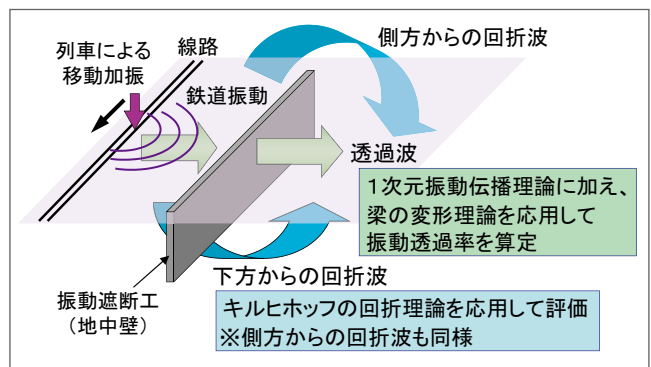


図1 振動遮断工の防振効果の評価のイメージ

充填し、壁状の構造体（以下、地中壁と呼びます）を構築する工法が検討されてきました。地中壁は空溝よりも振動を透過しやすいので対策工としての効果は小さくなりますが、維持管理上実用可能な対策工法として、様々な規模や材料の地中壁が検討されてきました。地中壁の材料としては、周辺地盤よりも硬く重い材質（例えば、鋼矢板やコンクリートなど）と軟らかく軽い材質（例えば、ウレタンや発泡スチロール（EPS）など）のものに大別できます。

地中壁の材質としてどのようなものが有効かを評価する方法として、これまでは1次元の波動伝播理論による方法が用いられてきました。この方法によると、一般的な地盤条件においては、コンクリートなどの硬い材質よりもウレタンなどの軟らかい材質の地中壁の方が明らかに振動の透過率が小さく、振動対策として効果的であるとの結論が得られます。そこで、工場や建設現場、道路交通などの振動対策では主にウレタンや発泡スチロールなどの軟らかい材質の地中壁が検討されてきました。

ところが、国鉄やJRによる研究開発により、軟らかい材質の方が効果的であるという知見が必ずしも正しくはないことが分かってきました。

国鉄では、鉄道沿線に半永久的に構築する地中壁として、経年による変形や材質の変質等の心配のいらぬ硬い材質の地中壁の可能性も併せて検討してきました。国鉄における振動遮断工の本格的な研究は1970年代に始まり、模型実験による基礎的検討から東海道および東北新幹線沿線での大規模な実施工試験まで行われました。JRになってからも新幹線を中心に各地で試験施工が実施され、得られた測定データの詳細な分析・評価が行われてきました。その結果、①地中壁の防振効果は壁近傍で大きく、壁から離れるほど小さくなる傾向があること、②その効果の大きさは、壁の規模（深さや厚さ）が大きいほど大きくなるという単純なものではなく、条件により複雑に変化することなどが分かりました。また、③地盤条件と地中壁の規模がほぼ同一で材質のみがコンクリートとウレタンで異なる試験ケースを比較すると、両者の防振効果はほぼ同一（深さ3～5m、厚さ1m程度の地中壁では壁から10m程度の範囲で2～6dB程度の振動低減効果）であり、硬い材質でも十分に防振効果が得られることが示されました。

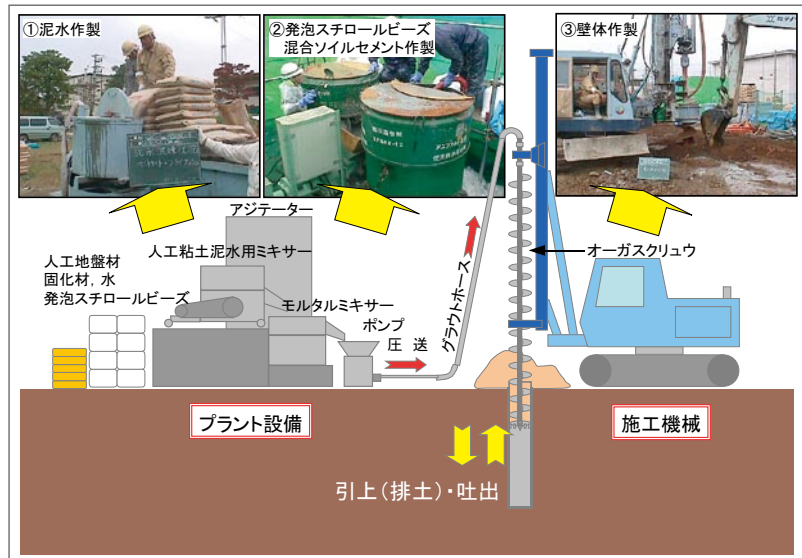


図2 発泡スチロールビーズ混合ソイルセメント壁による振動遮断工の概要

振動遮断工の研究開発の今後の展望

以上のように振動遮断工は条件により効果の現れ方は複雑ですが、比較的大きな防振効果を得ることが期待できるため、その防振効果の定量的な評価方法の確立が重要となっています。従来の1次元波動伝播理論のみではコンクリート地中壁が大きな防振効果を示す事例を説明できません。そこで最近では、図1に示すように、硬い材質の地中壁を地盤内の梁とみなし、地盤内の振動に対する梁の3次元的な挙動（変形）を考慮してその振動透過率を算出し、さらに、壁の下方および有限の施工延長の壁の側方から壁背後へ回折する振動の影響を、音響学や光学分野で適用されている理論（キルヒホッフの回折理論と呼ばれています）を用いて考慮し、地中壁の防振効果を総合的に評価する方法が考案されています¹⁾。また、3次元数値シミュレーションによって振動遮断工の防振効果を推定する試みも行われています。今後、これらの研究開発の成果を基に振動遮断工の具体的な設計方法が確立されることを期待しています。

また、振動遮断工の施工方法に関しても近年新たな工法が考案されています（図2）²⁾。対策工が実際に実用化されるかどうかは、その効果の大きさに加え、コストも重要な要素です。防振効果を損なわず、かつ低コストで振動遮断工を構築する技術開発も今後の重要な課題です。

文献

- 1) 芦谷公稔：振動遮断工の防振効果算定法，鉄道総研報告，15巻10号，p33-38，2001
- 2) 神田・村田・太田・平山：発泡スチロールビーズ混合ソイルセメントによる振動遮断工，鉄道総研報告，18巻11号，p31-36，2004