

## 地盤注入による振動低減効果の数値解析結果について

東海旅客鉄道(株)正会員 高橋 和也 正会員 石川 祥啓  
 東海旅客鉄道(株)正会員 斉藤 修 (株)日建設計正会員 西山 誠治  
 東海旅客鉄道(株)フェロー 関 雅樹

**1. はじめに** 鉄道沿線環境問題としての地盤振動の対策のためには、可能な限りの技術解明を講ずる必要がある。鉄道振動対策としてはこれまで多くの研究が実施されてきた。その中で、列車速度に関係なく振動が感じられる場所もある。その理由のひとつとして、列車走行荷重による振動特性と各地盤の振動特性との関係(卓越周波数、振動応答倍率など)が影響することが明らかになっている。このため、著者らは地盤の振動特性を変えることにより列車走行荷重による振動特性との共振並びに振動応答倍率の程度を抑制させることを目的とした軌道路盤への地盤注入工事を試行した。その改善効果と1次元の周波数応答解析による地盤の伝達関数により検証結果はすでに報告している<sup>1)</sup>。今回、2次元の周波数応答解析により、地盤注入による振動低減効果の数値解析を実施したので報告する。

**2. 解析方法** 今回の周波数応答解析には、2次元有限要素解析プログラムSuper-FLUSHを使用した。列車走行点を加振して、振動伝播性状の確認および加振点と地盤との各測定点における伝達関数を解析することにより地盤注入の効果を検討する。研究対象とするのは、地盤振動値が比較的大きい切取区間とした。また、地盤注入率、注入材料、注入範囲、注入深さの違いによる振動特性変更効果に関しては著者の関らがすでに報告している<sup>2)</sup>。今回の研究では、注入範囲、注入深さの違いによる振動特性変更効果の相違を数値解析にて明らかにする。ここでは例として切取区間で、切取の高さ5mの解析モデルを図1に示す。解析モデルの地盤注入条件と地盤条件を表1および表2に示す。地形断面図、地盤条件は多種多様であるが、今回検討した地盤条件は、実際に鉄道振動測定値が大きい場所の断面を選定した。地盤の表層厚さ(H)15m、せん断弾性波速度( $V_s$ )150m/sの単純な1層地盤の場合である。また、地盤注入による効果として、参考文献<sup>1)</sup>の成果からせん断弾性波速度は200m/sと定めた。この地盤の固有振動数は2.5Hzであり、鉄道耐震標準による分類では、G3(普通地盤)である。

**3. 地盤注入の効果** 地盤注入による振動低減の効果を検証するために、地盤内での振動伝播性状を図2に図化して示す。この図から、注入前では点での加振性状が、注入後は面での加振性状に変化していることが分かる。つまり、地盤注入により加振荷重が分散した。地盤注入前・後の加速度に対する加速度の伝達関数のコンター図を図3に示す。地盤注入により振動伝播特性が変化していることが分かる。地盤振動値の解析結果では、1~2dB低下した。

図4によりその効果を注入の前後で比較すると、入力地点と考えられる5mでは10Hz~40Hzでの効果も大きいことから、入力地点での振動が小さくなっていく

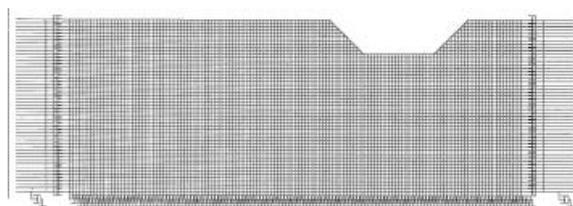


図1 解析モデル

表1 地盤注入の諸条件

注入工	二重管ロッド工法
注入工法	2ショット方式 上昇式
注入ステップ長	0.5m/ステップ
注入ピッチ	線路方向に1.75m
注入速度	12L/分 以下
注入材	注入材B
ゲルタイム	10秒 以下
注入圧力	初期注入圧力+0.5kg/cm <sup>2</sup>
注入率	2%

表2 地盤条件

ケース	注入後	
モデル図		
地盤固有振動数 (Hz)	2.5	
$V_s$ (m/s)	地盤	150
	基盤	300
	注入材	120, 200, 300
注入場所	軌道下	
注入厚さ (m)	2	

密度 :1.4tf/m<sup>3</sup>  
 減衰定数 :0.05  
 切取高さ :5m 地盤の層厚 :15m

キーワード：地盤振動，伝達関数，振動応答，地盤注入，FEM解析

連絡先：〒103-0028 東京都中央区八重洲1-6-6 八重洲セーナビル5F TEL(03)3274-9552 FAX(03)3278-5912

ると考えられる。また、12.5m離れの地盤のピーク低減効果のほか、10 Hz以下の低周波数領域における低減効果も生じている。地盤振動対策では、人体の感度を考慮すると低周波数領域での低減が望まれる。その観点では地盤注入により地盤卓越振動数および振動応答倍率を変更させることが可能であることを示唆している。現地での振動調査結果でも解析結果と同様な測定結果が得られている。これは、地盤条件と列車通過荷重(荷重列、軸距離、列車速度)との関係において、地盤注入による振動特性の変化により地盤振動低減効果であると考えている。今回の解析では地盤注入により地盤振動の低減理由として、加振性状の面変化への変更の効果並びに地盤の振動伝播特性の変化との総合的作用によるという結果が得られた。

4.まとめ

鉄道振動では地形条件、地盤の振動特性、列車荷重列(列車ばね上・下重量、列車速度、軸距)、まくらぎ間隔等の軌道材料剛性により異なる。著者らはこれらの条件の違いに対してこれまで個々に試験施工を実施して既に報告している。今回の報告では、地盤条件、注入範囲、注入強度をパラメータとした数値解析結果を報告した。FEM解析では、地盤注入による地盤振動の低減効果は、地盤注入により入力振動の低減と地盤の振動伝播特性の変化との総合的作用による結果を得た。鉄道振動は個々の場所ごとに、構造物・軌道条件、地盤条件、地形の変化により異なる振動性状となる。したがって、画一的な対策は困難であり、対策は個々の場所ごとに異なる。特に、速度依存性が必ずしもあるとは言えない。今後は本報告でFEM解析が有効という結果が得られたので、現地地質調査の実施による各種地盤条件(Vs速度の違い、単層地盤・複合地盤の差等)の選定により、列車の加振力を入力した解析結果と現場での測定結果をもとに、具体的に振動低減効果を図るための試験施工を実施する予定である。

参考文献

- 1) Masaki Seki, Yoichi Inoue, and Yasukuni Naganuma : "Reduction of subgrade vibration and track maintenance for Tokaido Shinkansen", WCCR '97, Vol.E, 1997.
- 2) 齋藤一, 関雅樹, 青柳幸穂, 徳丸哲義: 薬液注入による地盤振動特性の変化, 土木学会第51回年次学術講演会, -265, 1996.9

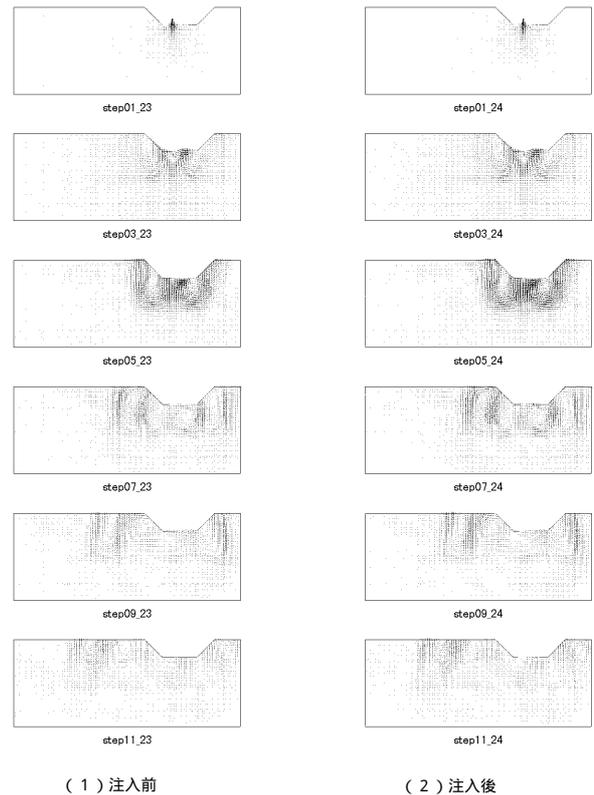


図2 伝搬性状の確認

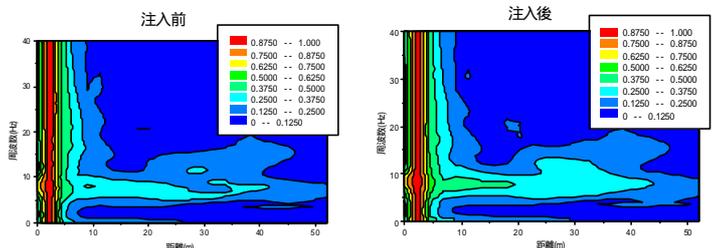


図3 注入前後の伝達関数のコンター図(加速度/加速度)

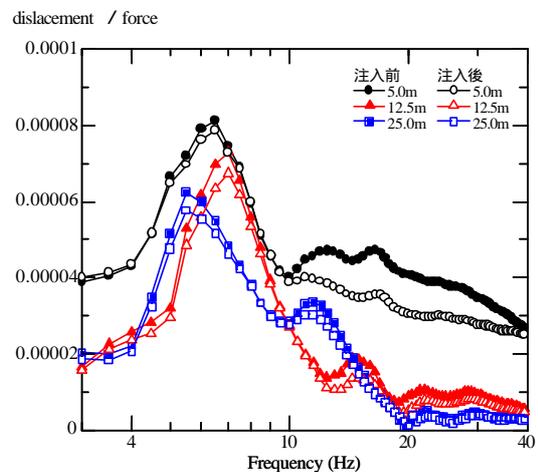


図4 注入前後の伝達関数の比較(変位/力)