

平地区間における列車走行時の地盤振動シミュレーションの基礎検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所 蒲原章裕 加藤信二郎 横山秀史 岩田裕一

1. はじめに

地盤振動の予測シミュレーションは振動の発生・伝播のメカニズムを解明し、予測や対策を検討する上で重要なツールである。そこで、新幹線の平地区間2箇所（以下ではそれぞれ平地1、平地2と呼ぶ）を対象に移動加振力解析と振動伝播解析を結合したシミュレーションを行い、沿線地盤振動の実測結果と比較した結果を報告する。

2. 解析の流れ

まず、車両・軌道系の動的解析プログラムDALIA¹⁾により車両が走行する際の加振力を求めた。次に、求めた加振力を入力として、軌道・地盤系の解析プログラムSupserFLUSH/3Dにより沿線地盤での応答を求めた。

3. 車両・軌道系の動的解析による加振力の算出

解析モデルを図1、レールの軌道不整波形を図2、車両の諸元を表1、軌道の物性値を表2、地盤の物性値を表3に示す。車両モデルは1車両長が25mの新幹線車両8両編成とした。現地測定結果をもとに走行速度は平地1では248km/h、平地2では243km/hとした。軌道モデルは全長約100mとし、レール、道床、路盤を梁要素、まくらぎを集中質量とし、各々をばね、ダッシュポットで支持するモデルとした。レールは2本分を1本の梁要素とし、締結間隔は0.585mとした。路盤は碎石路盤とし、その物性値は既往の文献²⁾をもとに決定した。軌道パッドのばね定数は列車走行時のレール支持ばね定数の実測値³⁾を参考に、公称値(60MN/m)の3倍の値を用いた。地盤は水平成層地盤として、深さ200m程度までモデル化を行った。路盤下の地盤ばねは地盤の支持剛性に応じてS波速度

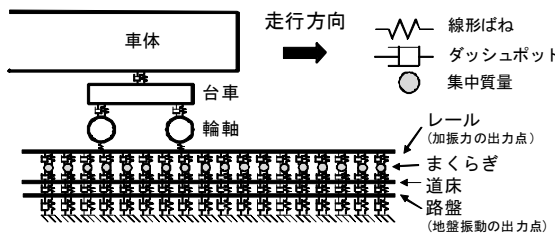


図1 解析モデル

を変え、設計標準⁴⁾にもとづいてばね定数を求めた。他の物性値は既往の文献^{4)~7)}をもとに決定した。解析対象範囲は端部の影響を考慮し、モデル両端10mを除いた約80mとした。シミュレーションにより得られたレールへの加振力(図3)を求め、軌道・地盤系の動的解析に入力した。

4. 軌道・地盤系の動的解析による沿線地盤の応答の計算

前節で求めた加振力に100Hzのローパスフィルタをかけた波形を入力として軌道・地盤系の動的解析を行った。構造物・地盤系の動的解析モデルの概略図を図4に示す。モデル化の方法は前節と概ね同様とした。軌道モデルの全長は410mとしレールの端部には減衰定数の大きい線形ばねを設けた。地盤は水平成層地盤として薄層法で深さ200m

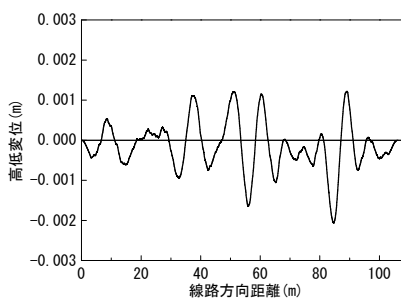


図2 軌道不整波形

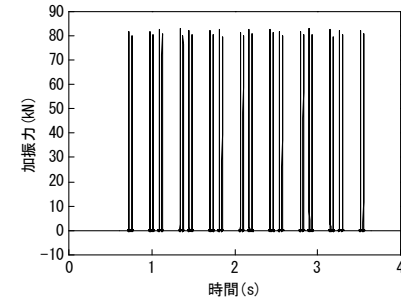


図3 加振力波形の例
(平地1のモデル中央付近)

表1 車両の諸元

質量 (t)	車体	31.8
	台車	3.1
	輪軸	1.8
ばね定数 (MN/m)	車体支持	0.4
	台車支持	2.37
	車輪・レール接触部	1.2×10^3
粘性減衰係数 (kNs/m)	車体支持	50.6
	台車支持	77.6

表2 軌道の物性値

部材	レール	まくらぎ	道床	路盤
(単位長さ)質量(t)	(0.12)	0.325	(1.61)	(3.52)
曲げ剛性EI (MN/m ²)	13.2	-	0.3	2.78
軸剛性EA (MN)	3.32×10^3	-	25.8	37.1
ばね・ダッシュポット	軌道パッド	まくらぎ下	道床下	路盤下
ばね定数(MN/m)	360	180	12.8	地盤条件による
粘性減衰係数(kN s/m)	96	27.9	40.8	

表3 地盤の物性値

(a)平地1

深度 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)
0 ~ -5	5	120	1500	1.5×10^3
-5 ~ -8	3	200	1500	1.6×10^3
-8 ~ -13	5	250	1500	1.6×10^3
-13 ~ -15	2	400	1500	1.7×10^3
-15 ~		500	1500	1.8×10^3

(b)平地2

深度 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)
0 ~ -7	5	180	1500	1.6×10^3
-7 ~ -11	3	250	1500	1.6×10^3
-11 ~ -14	5	300	1500	1.8×10^3
-14 ~	2	500	1500	2.1×10^3

キーワード 地盤振動、平地、シミュレーション、軌道・地盤動的解析、車両・軌道系動的解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38(公財)鉄道総合技術研究所 地質研究室 TEL042-573-7265

程度までモデル化した。移動加振を行う範囲は前項と同様に 80m の範囲、応答を計算する位置は図 2 における検討モデルの中央に相当する位置から線路直角方向に設定した位置とした。また、着目する振動方向成分は鉛直方向成分とした。

現地測定を行った 2 箇所の地盤モデルを対象に移動加振を行った。解析結果の検討のために、レール全体を同位相で加振する線加振解析とレールの中心を加振した点加振解析を合わせて示す。図 5 に実測値と移動加振解析の結果を合わせて示す。図 5 より平地 2 では移動加振解析により 20Hz 以下の帯域で概ね再現できていることがわかる。しかしながら、25Hz 以上の帯域で実測結果の再現に課題が残った。平地 1 ではスペクトルの形状は実測に近いものの、全体的に振動が小さい結果となった。これは、実際の列車はレール上を連続的に加振しているのに対し、解析では締結装置の位置でしか加振しな

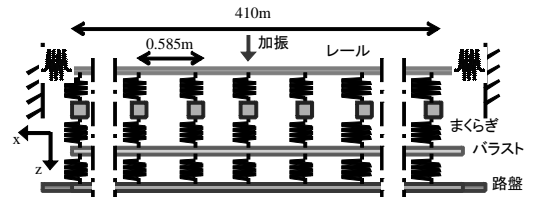


図 4 構造物・地盤系の動的解析モデルの概略図

かったことが要因の一つとして考えられる。

そこで、締結装置上だけでなく締結装置間を 4 等分し、それらの節点も加振を行った結果を図 6 に示す。締結装置間も加振することにより、振動が大きくなり、より実測に近い結果が得られた。締結装置間の加振点の数に関しては、レール間の節点の分割を増やし、実測を再現する上で必要な数を導出することが必要であり、今後の課題である。

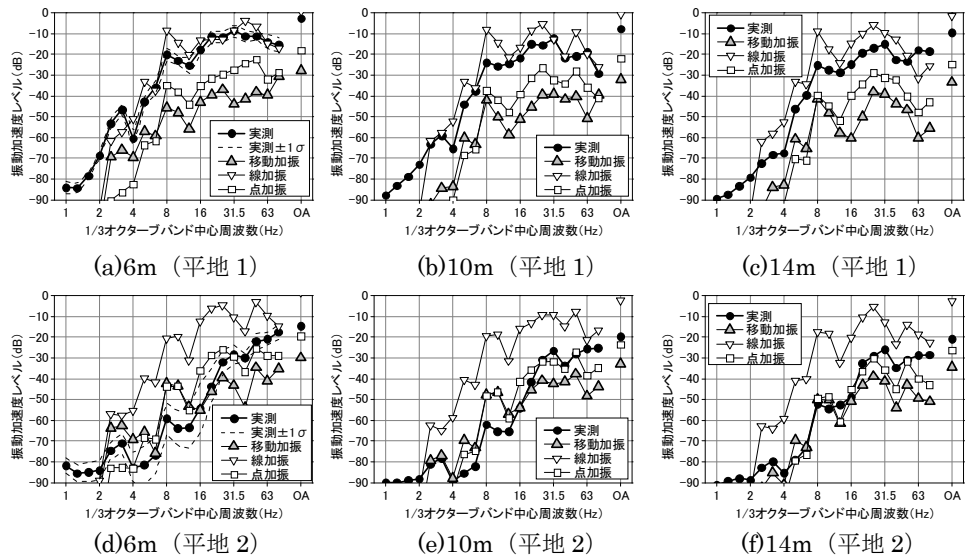


図 5 実測と解析結果の比較 (締結装置上のみを加振)

5. おわりに

新幹線の平地区間 2 箇所を対象に移動加振力解析と振動伝播解析を結合したシミュレーションを行い、実測結果と比較した。加振を締結位置上のみを加振した場合、実測に比べて小さくなる傾向があった。締結位置上だけでなく、締結装置間に 3 つの節点を設けて、それらの節点も加振することで、より実測に近い結果が得られることがわかった。締結装置間の加振点の数に関しては今後さらなる検討を必要とした。なお、本研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

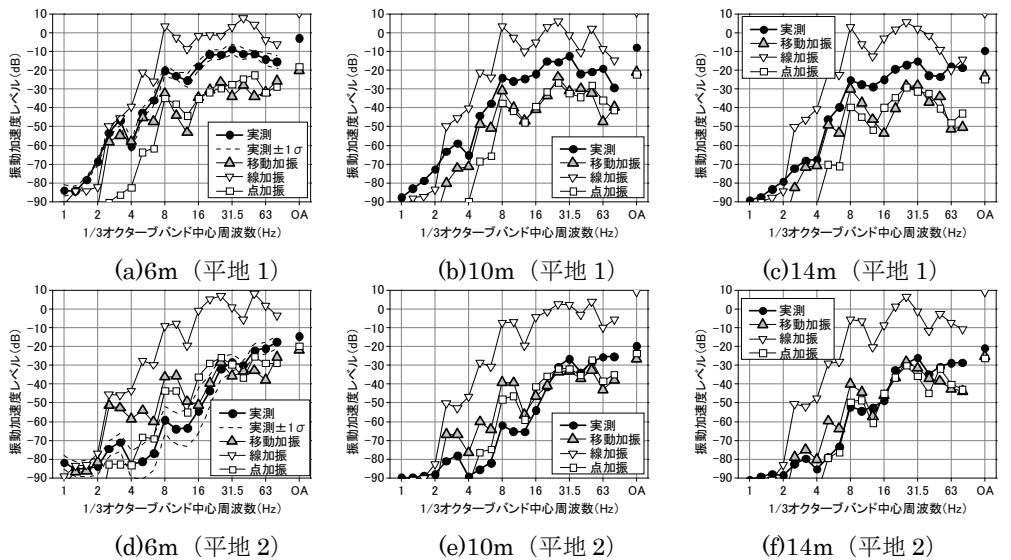


図 6 実測と解析結果の比較 (締結装置上と締結装置間の節点を加振)

参考文献

1)矢部：サブストラクチャー法を用いた移動体と構造物の動的相互作用解析手法の開発、土木学会第 61 回年次学術講演会、pp.845-846、2006
2)須長：鉄道強化路盤の合理的設計法に関する研究、鉄道総研報告、特別第 6 号、1996
3)守田、田中、廣本、横山、岩田：低ばね定数軌道パッド施設に対する影響、土木学会第 60 回年次学術講演会、pp.221-222、2005
4)丸善出版株式会社：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造、2012
5)社団法人日本鉄道施設協会：新しい線路—軌道の構造と管理—、pp132-133、1997
6)関根、石川：移動荷重を受ける有道床軌道の FEM 解析による沈下推定方法、鉄道総研報告、VOL.22、No.8、pp11-16、2008
7)須長：ガンマ線を用いた道床バラストの密度測定法、第 28 回土質工学研究発表会、pp2383-2384、1993