

高速列車走行に対する振動対策（WIB 工法）の提案

岡山大学大学院自然科学研究科 学生会員 前河 隆太
岡山大学環境理工学部教授 正会員 竹宮 宏和

1. はじめに

近年、鉄道的高速化に伴い、高速列車走行時の振動が問題となっている。本研究は、平坦軌道を走行するスウェーデン国鉄高速列車 X2000 の計測データにもとづき、2.5 次元有限解析解の検証と振動対策工法として提案・施工されている WIB 工法の導入について検討を行った。

2. 2.5 次元有限要素解析法

2.5 次元有限要素解析法とは、奥行き方向に同一断面が連続しているという仮定のもとで、その奥行き方向に関して波数展開を行い、各節点にそれぞれ 3 自由度を持たせることで、2 次元平面で離散化しているにもかかわらず、3 次元解が得られるという手法である。また、本解析では軌道を梁としてモデル化した軌道地盤一体解析法を用いた。

3. 荷重のモデル化

本研究では 5 両編成の X2000 を荷重としてモデル化した。荷重は図 1 に示すような移動速度・車体重量・車軸間隔・車両長等のパラメータで表現されるため、振動数波数領域において下式で表現される。

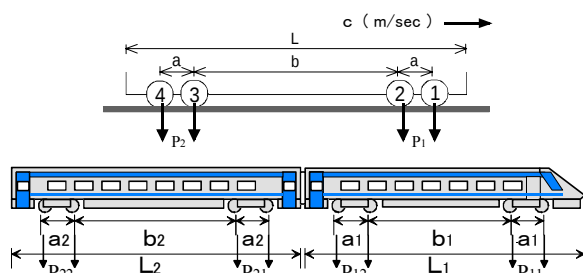


図 1 X2000 荷重モデル

$$\tilde{F}(\xi_x, y, z, \omega) = \frac{2\pi}{c} \tilde{\Phi}(\xi_x) \tilde{\chi}(\xi_x) \delta(y - L_y) \delta(z - H) \delta\left(\xi_x - \frac{\omega - \omega_0}{c}\right)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\chi}(\xi_x) = & \left\{ P_{11} (1 + e^{-i a_1 \xi_x}) + P_{12} (e^{-i (a_1 + b_1) \xi_x} + e^{-i (2 a_1 + b_1) \xi_x}) \right\} e^{-i L_0 \xi_x} \\ & + \left\{ P_{21} (1 + e^{-i a_2 \xi_x}) + P_{22} (e^{-i (a_2 + b_2) \xi_x} + e^{-i (2 a_2 + b_2) \xi_x}) \right\} e^{-i (L_0 + L_1) \xi_x} \\ & + \left\{ P_{31} (1 + e^{-i a_3 \xi_x}) + P_{32} (e^{-i (a_3 + b_3) \xi_x} + e^{-i (2 a_3 + b_3) \xi_x}) \right\} e^{-i (L_0 + L_1 + L_2) \xi_x} \\ & + \left\{ P_{41} (1 + e^{-i a_4 \xi_x}) + P_{42} (e^{-i (a_4 + b_4) \xi_x} + e^{-i (2 a_4 + b_4) \xi_x}) \right\} e^{-i (L_0 + L_1 + L_2 + L_3) \xi_x} \\ & + \left\{ P_{51} (1 + e^{-i a_5 \xi_x}) + P_{52} (e^{-i (a_5 + b_5) \xi_x} + e^{-i (2 a_5 + b_5) \xi_x}) \right\} e^{-i (L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \xi_x} \end{aligned}$$

4. 解の検証

前述の式で表現される X2000 の荷重パラメータを表 1 に示し、走行地盤の物性値を表 2 に示した。解析モデルは図 2 に示している。これらの条件のもとで移動速度 70km/h(c=19.4m/s)と 200km/h(55.6m/s)で解析を行った。図 3 は軌道直下 0m 地点における時刻歴変位応答を実測値と比較したものである。両移動速度解析時ともに実測値と大きさと周期が一致している。よって解析解は十分に信頼できることが確認された。

表 1 各車両の荷重パラメータ

車両	車軸間隔			車軸荷重	
	a (m)	b (m)	L (m)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
1	2.9	11.6	0.0	162	118
2	2.9	14.8	22.2	120	120
3	2.9	14.8	24.4	123	123
4	2.9	14.8	24.4	120	120
5	2.9	6.6	24.4	180	180

表 2 解析地盤物性値

物性	層厚 (m)	密度 (kg/m ³)	Vs (m/s)		Vp (m/s)		減衰定数 β	
			c=19.4	c=55.6	c=19.4	c=55.6	c=19.4	c=55.6
1	1.0	1500.0	72.0	65.0	500.0	500.0	0.040	0.063
2	3.0	1260.0	41.0	33.0	500.0	500.0	0.020	0.058
3	4.5	1475.0	65.0	60.0	1500.0	1500.0	0.050	0.098
4	6.0	1475.0	87.0	85.0	1500.0	1500.0	0.050	0.064
5	36.0	1475.0	100.0	100.0	1500.0	1500.0	0.050	0.060

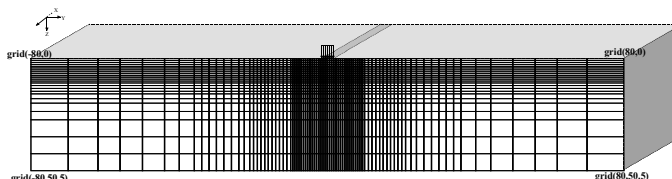


図 2 2.5 次元有限要素解析モデル

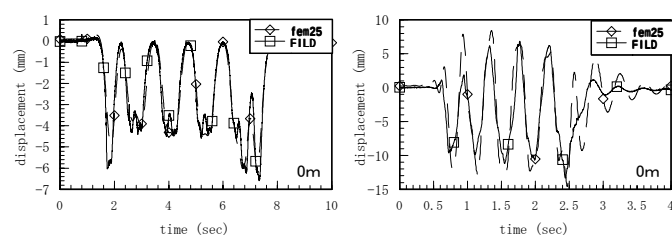


図 3 軌道直下における実測・解析値の比較（変位応答）

5. 振動対策の導入

次に振動対策工法（WIB 工法）を導入した場合について検討を行う。検討を行う項目は、WIB 形状変化による応答の比較である。WIB 形状を図 4 のように変化させた場合の応答を比較した。WIB 剛性は地盤改良率 50%程度とし、表 3 に示した。図 5 は地表面加速度応答の最大値距離減衰と、無施工時を 1 とした時の各剛性における増減の割合を示したものである。図から形状に係らず、70km/h 走行時では WIB 施工時に 5m 以降の地点で増幅を見せることが分かった。しかし最大応

キーワード：高速列車，平坦軌道，地盤振動，2.5 次元有限要素法，振動低減効果，WIB 工法
連絡先：岡山県岡山市津島中 2-1-1・TEL&FAX 086-251-8146

答の距離減衰図よりその増幅は新たな振動被害につながるものではないことが確認できる。200km/h 走行時では軌道からの距離に関係なく応答が低減することが確認された。また、軌道付近の応答をみると、CASE2 の低減が大きいことが確認できる。

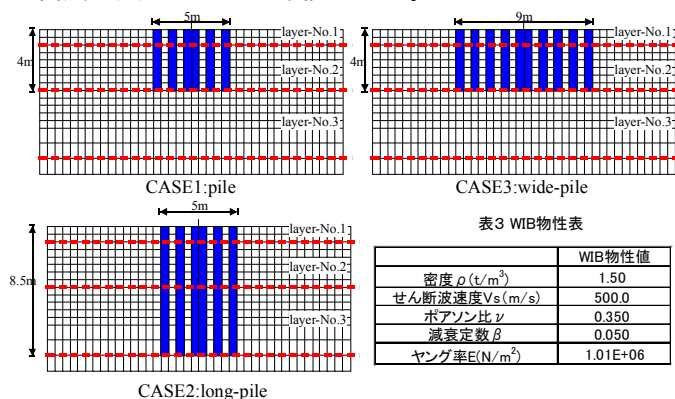


図4 WIB導入時(解析領域中心部拡大)

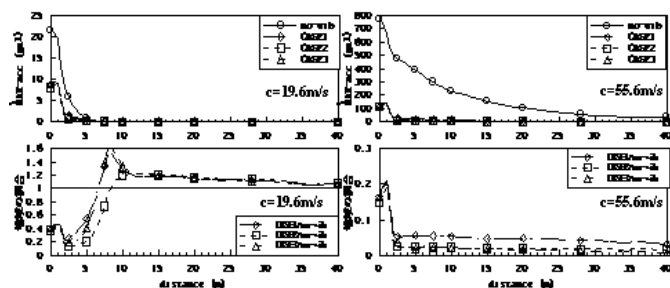


図5 地表面加速度応答 最大値距離減衰とその割合

次に図6~8は70km/h走行時の地盤内横断面(YZ平面)最大変位コンター図を、無施工状態を1とした時の増減の割合で示した。この結果を比較すると、各ケースとも地表面のWIB施工位置では応答の低減が見られるが、施工位置以降の地点では応答の増幅が確認できる。地中の応答をみると、どのケースも無施工時と比べ応答の増幅がみられた。そして各形状により地中での応答の広がり方が異なることが確認できる。その結果CASE2は地中内部の応答増幅が最も大きくみられ、振動が地表面ではなく地中内部に拡散されたため、他の形状にくらべ、地表面で応答が低減しているのではないかと考えられる。図9~11は時速200km走行時におけるYZ平面最大変位コンター図を、無施工時を1として表現したものである。この結果から、各ケースとも地表面付近で応答の低減が顕著にみられ、その効果が距離に関係無く継続していることが確認できる。

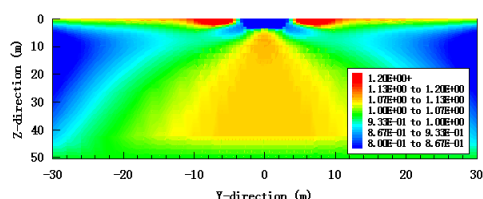


図6 70km/h 横断面最大変位コンター (CASE1/no-wib)

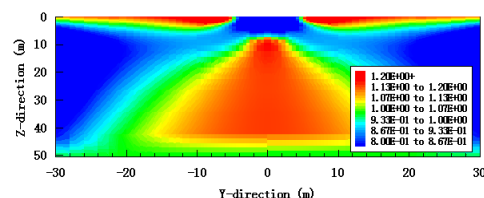


図7 70km/h 横断面最大変位コンター (CASE2/no-wib)

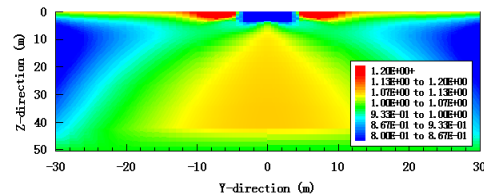


図8 70km/h 横断面最大変位コンター (CASE3/no-wib)

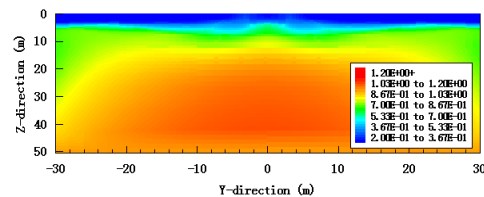


図9 200km/h 横断面最大変位コンター (CASE1/no-wib)

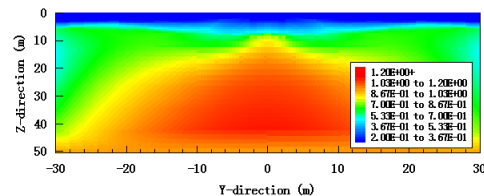


図10 200km/h 横断面最大変位コンター (CASE2/no-wib)

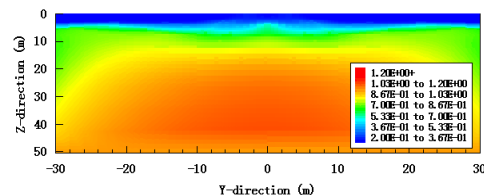


図11 200km/h 横断面最大変位コンター (CASE3/no-wib)

表4 200km/h 走行時の振動加速度レベル値

単位[dB]	no-wib	CASE1	CASE2	CASE3
最大値	117.79	103.19	102.33	103.08
22.5m地点	98.46	71.88	64.46	62.54

表5 200km/h 走行時の振動加速度レベル値低減率

低減率(%)	CASE1	CASE2	CASE3
最大値	-12.39	-13.12	-12.49
22.5m地点	-26.99	-34.53	-36.48

6. おわりに

本研究の結果から、2.5次元有限要素解の妥当性が示された。また表4から今回検討した振動対策が有効であることが示された。その効果は表5に示すとおり移動速度が200km/hでは、軌道近傍でCASE2が、軌道遠方ではCASE3が最もよく低減を示すことが明らかとなった。