高速列車走行による沿線地盤振動のシミュレーション評価

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
岡山大学大学院工学研究科　学生会員　塩津　吉彦

１．まえがき

高速列車走行に伴う沿線地盤振動の評価･予測は，高速化と共に重要性を増してきている.本研究では，層状地盤上に位置する平坦軌道を走行する高速列車（新幹線）を対象にした．定式化は，2.5 次元有限要素法を用いた.シミュレーション結果に波動論からの考察を行なった．併せて軌道振動の WIB による制振対策をとった場合の効果に言及した.

２．定式化

列車の走行荷重の表現を，レール変形を介して地盤への載荷と扱う．これまでの著者らの研究では，この擬似静的載荷状態を直接に地盤へ載荷することの妥当性を得ている．輪重の載荷は，等間隔に敷設された枕木が原因して周期性を生じさせる．その意味で周期振動を伴った移動加振源を考慮する必要がある．この輪重の列車編成に従った荷重列は

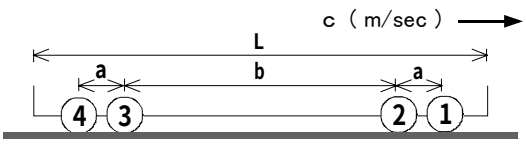

図１　車軸間隔

$$F(x,y,z,t)=\sum_{n=0}^{N-1}\left\{\begin{array}{l}\Phi(x-ct+nL)\\+\Phi(x-ct+nL+a)\\+\Phi(x-ct+nL+a+b)\\+\Phi(x-ct+nL+2a+b)\end{array}\right\}\delta(y)\delta(z-H)e^{i\omega_0 t} \tag{1}$$

ここに，Φ(ｘ)は１つの輪荷重に対するｘ方向分布荷重，ω_0は加振角振動数を表している．式(1)にフーリエ変換および波数変換を施すと，

$$\tilde{\tilde{F}}(\xi,\eta,z,\omega)=\frac{2\pi\tilde{\Psi}(\eta)\tilde{\chi}(\xi)}{c}\delta(z)\sum_j A_j\,\delta\left(\xi-\left(\omega-|\omega_j|\right)/c\right) \tag{2}$$

地盤の物性の層状性，不規則性を有限要素法において表現する．波動の伝播を対象にしているので，荷重の進行方向(x 軸)には波数展開を行なう．

対象系の振動数-波数領域における運動方程式は，

$$(\tilde{\tilde{\mathbf{K}}}-\omega^2\mathbf{M})\tilde{\tilde{\mathbf{U}}}=\tilde{\tilde{\mathbf{F}}} \tag{3}$$

たただし，M は質量マトリックス，K は剛性マトリックスである，K を評価するときに,軌道方向の波数を含む．時間ー空間領域解は，逆フーリエ変換より以下のように求められる．

$$u(x,y,z,t_m)=\frac{1}{LT}\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=0}^{K}\tilde{\tilde{u}}\left(\frac{\omega_n-\omega_0}{c},\xi_{y_k},z\right)\exp\left(i\frac{\omega_0 x}{c}\right)\exp\left(-i\,k\Delta\xi_y\,y\right)\exp\left(i\,\omega_n\left(t_m-\frac{x}{c}\right)\right) \tag{4}$$

L は仮定した基本長である．

３．解析モデル

対象とした 2 層地盤の物性値を表１に，その有限要素モデルを図 4 に描く．振動対策のため，X-WIB を導入したときの状態で示した．X-WIB の設計は，対象波動場の波長から決定した．X 形状の交点深さは，遮断振動数から決定される．

仮定した荷重モデルを下図に示す．

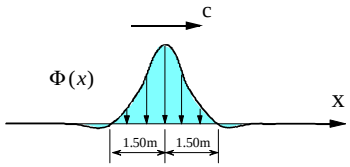

図 2　軌道方向分布荷重

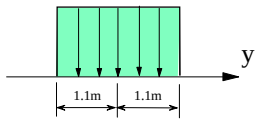

図 3　軌道直角方向分布荷重

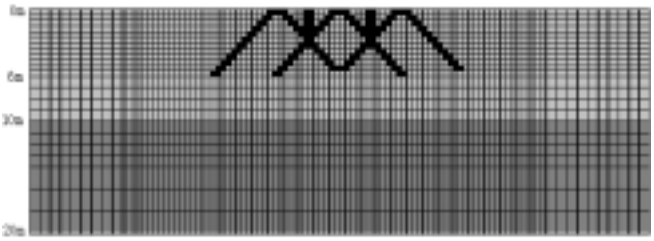

図 4　解析モデル図

表１　解析物性値

	層厚 H（m）	せん断波速度 Vs(m/sec)	密度ρ (t/m³)	ポアソン比 ν	減衰定数 β（%）
第 1 層	0-10	200	1.80	0.30	5.0
第 2 層	10-20	400	1.80	0.30	5.0
WIB		1000	1.50	0.35	5.0

４．シミュレーション結果とその評価

図 5 は加振振動数ｆ=0Hz における地表面の応答を軌道からの距離地点において示した変位の時刻歴応答，図 6 はｆ=20Ｈｚに対するものである．前者の場合は，各輪重の順次載荷に従って応答が現れてお

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，X－WIB 工法
連　絡　先：岡山県岡山市津島中 2-1-1・TEL&FAX 086-251-8146

り，軌道方向に見ると列車の自重による静的応答である．f =20Hz では，動的応答となって現れている．

軌道直下の縦断面内のコンター応答を図 7 に描いた．これからは列車荷重の影響深さが特定できる．加振振動数が f=20Hz の方が f=0Hz より地中深くまで影響する．さらに列車の通過後も地盤振動が残存することがわかる．図 8 は地表面内の振動伝播の様相を描いたものである．f=0Hz では荷重下のみに卓越した応答であるが，f=20Hz では水平面内の振動伝播が見られる．

制振工法で WIB を導入したときの対策効果を調べたものを図 7，8 に比較している．WIB による制振効果は，軌道では 1/2 となるが，それから離れた地盤上では，f=0Hz ではあまり見られないが，f=20Hz では顕著に見られる．

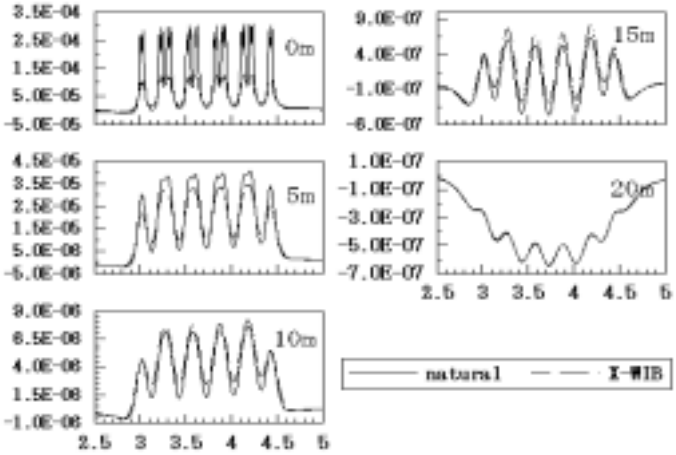

図 5　f =0Hz　変位による時刻歴応答比較

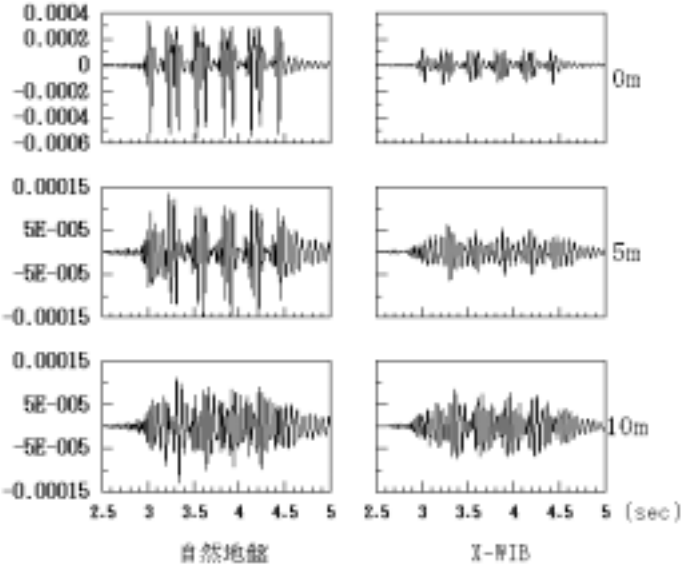

図 6　f =20Hz　変位による時刻歴応答比較

５．むすび

高速列車走行に伴う軌道沿線振動評価．予測にコンピュータ・シミュレーションを行なった．振動の面的分布表現から影響範囲を特定でき、併せて X-WIB による制振効果を評価した．

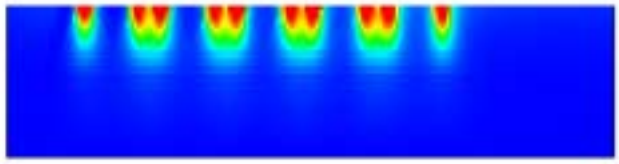

図 7-a　f =0Hz　縦断面内コンター（自然地盤）

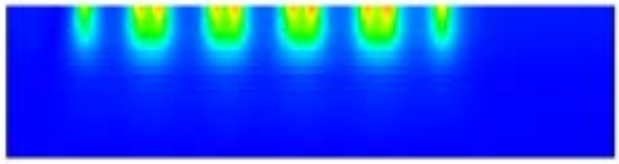

図 7-b　f =0Hz　縦断面内コンター（WIB 施工時）

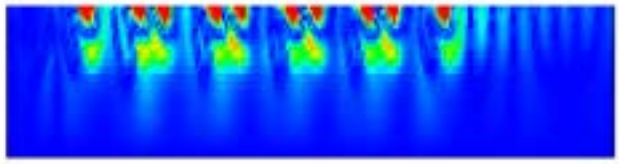

図 7-c　f =20Hz　縦断面内コンター（自然地盤）

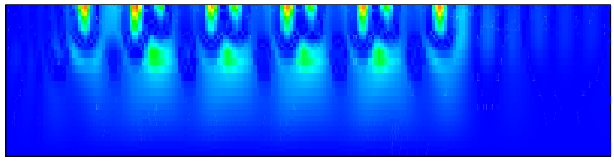

図 7-d　f =20Hz　縦断面内コンター（WIB 施工時）

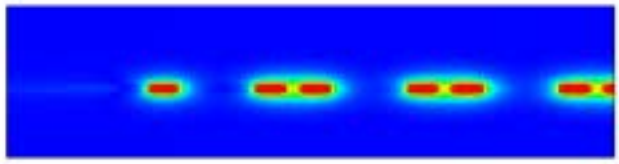

図 8-a　f =0Hz　地表面変位応答（自然地盤）

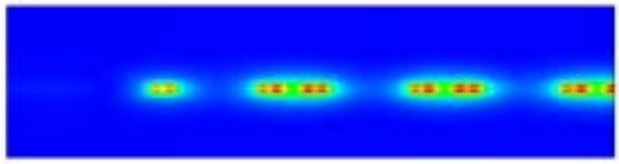

図 8-b　f =0Hz　地表面変位応答（WIB 施工時）

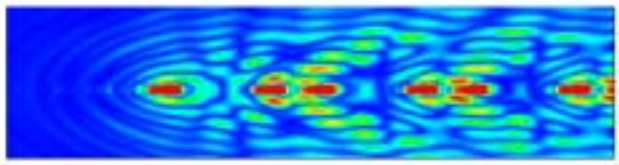

図 8-c　f =20Hz　地表面変位応答（自然地盤）

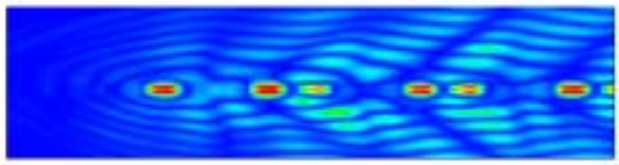

図 8-d　f =20Hz　地表面変位応答（WIB 施工時）

文献竹宮、合田、小森、高速列車走行による沿線地盤振動のコンピュータ･シミュレーション予測、土木学会論文集619/I-47,1999.4.