

波動遮断ブロック (WIB) の受動的制振効果

竹宮宏和¹・合田和哉²・佐藤直毅³

¹正会員 工博 岡山大学教授 環境理工学部 環境デザイン学科 (〒700 岡山県岡山市津島中3)

²正会員 工修 東洋建設(株) (岡山大学自然科学研究科)

³正会員 工修 (株) エイトコンサルタント

本研究は、振動源からの波動の伝播を遮断し、構造物の制振工法となる受動的な波動遮断ブロック (WIB; Wave Impeding Block) の受動的制振メカニズムを地盤との動的相互作用と周辺地盤内の波動伝播に注目して調べたものである。解析手法としては、直接時間領域における有限要素法と境界要素法のハイブリッド法を適用している。受動的波動遮断の基本事項をWIBの諸元(厚さ、幅)のパラメータ解析により検討している。応用例として軌道振動に対する周辺地盤および構造物の振動問題を取り上げ、波動遮断ブロックを軌道の直下、構造物の直下、および波動伝播経路上の地盤内に設置した場合の制振効果について示している。

Key Words : response reduction measure, wave impeding block, incoming wave, coupling of BEM and FEM, time domain analysis, train induced vibration

1. はじめに

車両走行、機械振動、建設現場から発生した振動は、地盤内を伝播して周辺構造物へ振動障害を与えたり、軟弱地盤の固有周期と共振して構造物自体の安全性を脅かす等の環境問題を引き起こす。当問題は、基本的に震動源の特性と震動源から注目点までの波動伝播特性および地盤と構造物の動特性によって特徴付けられる。その対策としては、震動源そのものにおいて発生する振動/衝撃を軽減する方法や構造物自体の動特性を改善する方法に加えて、地盤内の波動を伝播過程において人為的に遮断させる工夫が考えられる。後者に属する工法として、開口した溝(トレンチ)、シートパイル溝(防振壁)等のように地中に人工物を構築する方法が考えられてきた。竹宮らは制振工法を地盤内の波動伝播理論/遮断理論に基づいた地中に埋設する波動遮断ブロック(WIB; Wave Impeding Block)を提案している^{1)~4)}。

WIBに関するこれまでの研究を整理してみると、文献1), 2)はWIB効果の基本的な特徴を説明したもので、振動源の直下にWIBを設けて周辺への波動の伝播を起こさせないコンセプト(ここでは能動的WIBと呼ぶ)で、振動源の応答の低減効果を示した。文献3)は、このWIBの各種タイプの軌道構造への適用を示したものである。文献4)では、軌道周辺の建物の振動

評価を行った。

本研究では、以上のWIBコンセプトとは違って振動源からの振動が地盤を伝播して対象構造物へ入るのを未然に遮断するようにWIBを対象構造物の直下あるいはそれへの波動伝播経路上に設置することを考える。本論文ではこれを受動的WIBと呼ぶ。その合理的設計には、当該波動場の解析からの知見を必要とする。以下、受動的WIBの設計に関わる基本事項に関して、WIBの諸元(厚さ、幅)をパラメータとした2次元遷移応答解析を行い、周辺地盤内の波動伝播/遮断を詳細に調べている。その知見に基づいて、応用例として軌道沿線構造物を対象にWIBによる制振効果を検討している。

2. 波動遮断ブロック(WIB)の基本概念

剛基盤を有する一様成層地盤内の波動場では遮断振動数が存在し、これより低い振動数成分から成る波動は伝播しない。この遮断振動数は、層厚および波の速度と関係し、せん断波に関しては $f = \alpha V_s / 4H$ (V_s ; せん断波速度, H ; 層厚)、圧縮波に関しては $f = \alpha V_p / 4H$ (V_p ; 圧縮波速度, H ; 層厚)と示される。ここで、係数 α は一般に0.5程度¹⁾である。振動源直下に埋設する能動的WIBの設計概念は、この原理に基づいている。つまり、加振振動数 f_0 の下では波長がS波、P波に対してそれぞれ

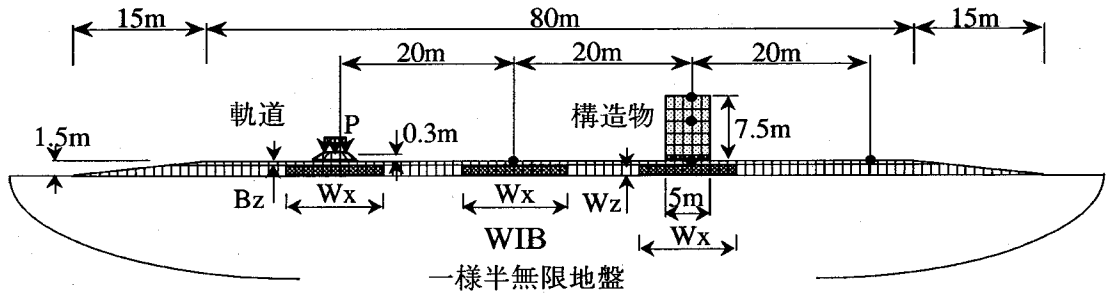


図-1 離散化モデル図

表-1 解析モデル物性値

	せん断波速度 Vs(m/s)	密度 ρ (t/m ³)	ポアソン比 ν
地盤軌道	200	1.8	0.33
WIB	1000	2.5	0.20
構造物	144	1.0	0.25

れ $\lambda_s = V_s / f_0$, $\lambda_p = V_p / f_0$ で定義される。したがって、荷重下の波動場が特定できれば、WIBの埋設深さをこの対象波長の1/4以下にすれば振動源からの波動の伝播は生じ難いことになる。文献1), 2)では、荷重の卓越周期 T_0 とそれに応じた地盤の波動場に基づく卓越周期 T (S波に対して $T = T_s$, P波に対して $T = T_p$) の周期比 T/T_0 から WIB の埋設深さ B_z を $T/T_0 = 4 B_z / \lambda_0 < 0.5$ (λ_0 ; T_0 に対応する波長) 程度になるように設定すると、制振効果が得られるとした。水平方向へ伝播する波動の遮断効果は卓越波の波長と WIB の幅に依存する。能動的 WIB の場合は、荷重直下の波動場が特定し易い。鉛直荷重では P 波、水平荷重では S 波の支配的な波動場となる。

一方、本研究で対象とする受動的 WIB の設計は振動源からの入射波動に対応させるために、波動場の特定が前提になる。これに関して、Takemiya et al.⁹⁾ と竹宮と祐保⁹⁾ の研究成果が参考になる。半無限体の表面荷重では、荷重方向と荷重点からの距離に応じて地表面付近の卓越波の種類が変化する。鉛直荷重の鉛直応答ではせん断波が荷重点近傍で卓越しているが、遠距離になるとレーリ波が卓越する。また水平荷重の水平応答では圧縮波が荷重点近傍で卓越しているが、遠距離になるとレーリ波が卓越する。WIB の設置深さは、一般的に地表面近くとなることから、上記の波動場を考慮の上決定されるのが合理的である。つまり、振動源近傍での受動的 WIB の設計は、振動源が水平荷重の場合は P 波の波長に、鉛直荷重の場合は S 波の波長に基づいて行い、レーリ波場となる距離地点ではいずれの場合もレーリ波長に基づいて行

うのがよい。

3. 解析手法およびモデル

本研究では、図-1に示すように、一様な半無限地盤上に構造物および列車軌道がある場合を対象として波動遮断ブロックを埋設した状況を想定する。解析モデル化は、波動遮断ブロックとその周辺地盤、構造物および列車軌道に有限要素法を、半無限地盤に分布衝撃荷重下の2次元時間領域グリーン関数⁷⁾を使用した境界要素法を用いる。以下、そのハイブリッド法⁸⁾について記述する。

有限要素と境界要素のインターフェイス面上の変位 \mathbf{u} 、表面力 \mathbf{T} は、半無限平面のグリーン関数から計算される影響マトリックス \mathbf{F} を用いて表す。それらは合積の離散化表現によって時間刻み Δt に対して与えられる。ここでは、境界要素法における境界変位と表面力を変換マトリックス \mathbf{D} を介して、各有限要素の節点変位と節点力に対応づける。これらの節点変位を $\bar{\mathbf{u}}$ 、節点力を $\bar{\mathbf{T}}$ として表せば、

$$\bar{\mathbf{u}}_b^m = \mathbf{D} \mathbf{F}_{bb}^0 \mathbf{T}_b^m + \mathbf{D} \sum_{j=1}^m \mathbf{F}_{bb}^j \mathbf{T}_b^{m-j} \quad (1)$$

$$\bar{\mathbf{T}}_b^m = \mathbf{S} \bar{\mathbf{u}}_b^m - \mathbf{D} [\mathbf{F}_{bb}^0]^{-1} \sum_{j=1}^m \mathbf{F}_{bb}^j \mathbf{T}_b^{m-j} \quad (2)$$

ただし

$$\mathbf{S} = \mathbf{D} [\mathbf{F}_{bb}^0]^{-1} \mathbf{D}^{-1} \quad (3)$$

ここに、上添字 m は時間刻み Δt での現時刻に相当する離散化のタイムステップを示し、下添字 b は有限要素と境界要素のインターフェイス節点を指す。

一方、構造物の運動方程式は有限要素法により、

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = \hat{\mathbf{f}}(t) + \hat{\mathbf{T}}(t) \quad (4)$$

ただし、 M, C, K はそれぞれ質量、減衰および剛性マトリックスを、 \hat{f} は有限要素に作用する節点外力を、 \hat{T} はインターフェイス上に作用する有限要素側での節点力を表す。また、 $\hat{u}, \dot{\hat{u}}, \ddot{\hat{u}}$ はそれぞれ有限要素節点で定義される加速度、速度、変位である。

全体系の解析のために、式 (2) と (4) を連立させるが、後者において、地盤とのインターフェイス節点 "b" とそれ以外の構造物の節点 "s" に区別して変位をそれぞれ \hat{u}_b, \hat{u}_s とし、それらに対応して係数マトリックスを表す。インターフェイス節点での変位の適合条件および力のつり合い条件を用いて次の支配方程式が導かれる。

$$\begin{bmatrix} \bar{K}_{ss} & \bar{K}_{sb} \\ \bar{K}_{bs} & \bar{K}_{bb+S} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{u}_s \\ \hat{u}_b \end{Bmatrix}^m = \left\{ D[F_{bb}^0]^{-1} \left(\sum_{j=1}^m F_{bb}^j T_b^{mj} \right) \right\} + \hat{q}^m \Delta t \quad (5)$$

ただし、 \bar{K} は実行剛性マトリックスを定義し、

$$\bar{K} = K + \frac{1}{\delta(\Delta t)^2} M + \frac{\gamma}{\delta \Delta t} C \quad (6)$$

式 (5) では添字に示される節点応答に従って分割マトリックス表示されている。式 (5) の右辺第 2 項は、

$$\hat{q}^m \Delta t = f^m + M \left\{ \frac{1}{\delta \Delta t^2} \hat{u}^{m-1} + \frac{1}{\delta \Delta t} \dot{\hat{u}}^{m-1} + \left(\frac{1}{2\delta} - 1 \right) \ddot{\hat{u}}^{m-1} \right\} + C \left\{ \frac{\gamma}{\delta \Delta t} \hat{u}^{m-1} + \left(\frac{\gamma}{\delta} - 1 \right) \dot{\hat{u}}^{m-1} + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\delta} - 2 \right) \ddot{\hat{u}}^{m-1} \right\} \quad (7)$$

上記の逐次計算には、Newmarkの数値積分法を採用し、パラメータを $\delta = 0.4, \gamma = 0.6$ とする。

ここで離散化に関して検討した事項を述べておく。有限要素には 4 節点アインパラメトリック要素を、境界要素には一定応力要素を用いている。時間の離散化においては、一定区間変化とする。時間刻み幅 Δt と空間的な離散化幅 Δl の間には、 $\Delta t V_s = (0.5 \sim 1.0) \Delta l$ なる関係を満たすようにし、 Δl を当該波動場の代表波長の 1/10 程度以下とする。載荷力は地表においてリッカー波型の時間変動としている。以下の解析では卓越振動数を 20Hz としていることから $\Delta l \leq 1.0m$ 、 $\Delta t = 0.004sec$ とした。解析精度の観点から離散化の妥当性は次の 2 点から示される。まず、水平な一様半無限地盤を偏平な凸形で置き換えた本数値解が、一様半無限体のラム解⁹⁾ (線載荷に対する衝撃応答) と良好な一致を示したことを確認した⁹⁾。ところで WIB の存在によって発生する散乱波の波長は WIB のサイズに依存する。そして、入射してくる波動は波長

が少なくともレーリ波を対象に $\lambda_R = V_R / f$ で制限される。加振振動数を代表振動数の 3 倍まで考慮しても $\lambda_R = 3.3m$ となる。これより短い波長の波を惹起する振動数成分は入力波にはほとんど存在しない。従って、応答場にもこのような振動数成分は存在しない。このことは、キネマチックな相互作用による地盤の散乱波動場を調べた竹宮と祐保¹⁰⁾ の研究からも確かめられる。よって、表層の不規則領域では、深さ方向の離散化のサイズを代表波長の 1/10 程度より小さく採ることの意味が無く、上述の離散化サイズを保持した。なお、本解析で用いた各物性値を表-1 に示すが、波動遮断ブロックの材料としては、一般的なコンクリートを仮定している。

4. WIB の遮断効果に対する基礎的検討

波動遮断ブロック (WIB) は、人工的に地盤中に施工されるコンクリートブロックであるために、完全な剛基盤としての波動遮断効果を期待することは難しい。すなわち、WIB は剛基盤の広がり比べれば、局所的に埋設されたコンクリートブロックであるため、周辺地盤の動きに伴って WIB 自体が運動することが考えられる。したがって、WIB に人工的な剛基盤としての効果を十分に発揮できるためには、ある程度の厚さおよび幅を有している必要がある。以下、WIB の厚さおよび幅と波動遮断効果について検討する。

(1) WIB 厚に対する検討

十分に水平に広がった WIB が地中に埋設されたケースを想定し、WIB 厚 (W_z) をパラメータとして解析を行なう。解析モデルは、図-1 において軌道および構造物を取り除いた地盤中に、WIB が幅 $W_x = 80m$ にわたって埋設されたものである。載荷は WIB 直上の地表面での集中力とし、最大値 1kN としたリッカー波型の時間変動を節点力として与えている。なお、リッカー波の卓越振動数を 20Hz と設定し、周期比 $T/T_0 = 0.2$ の下で WIB の深さを固定している。この解析ケースは能動的 WIB となり、載荷点近傍において鉛直載荷では P 波が、水平載荷では S 波が卓越する。このことから、周期比を算定する際の周期比には、水平載荷に対しては $T = T_s$ を、鉛直載荷に対しては $T = T_p$ を採用し、WIB の埋設深さ B_z をそれぞれ 0.5m, 1.0m としている。載荷点からの距離が 0m, 10m, 20m, 30m 地点における地表面の変位応答の最大値を、半無限地盤応答の最大値との比として図-2 に示す。載荷点以外の地表面変位応答は、水平載荷、鉛直載荷に対して $W_z = 1.0m$ のときに約 8割程度減少しており、 $W_z \geq 1.0m$ での応答低減効果はほぼ一定となっている。従って、1.0m 程度のコンクリートブロック厚があれば、

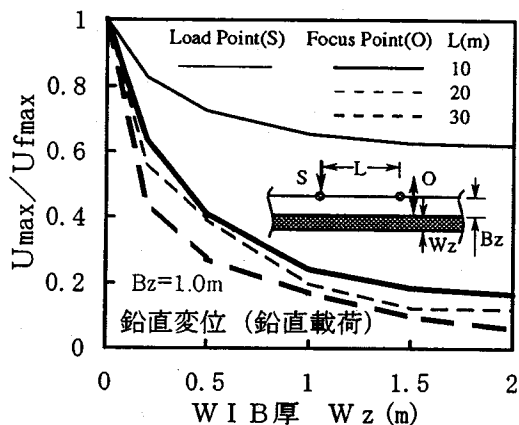
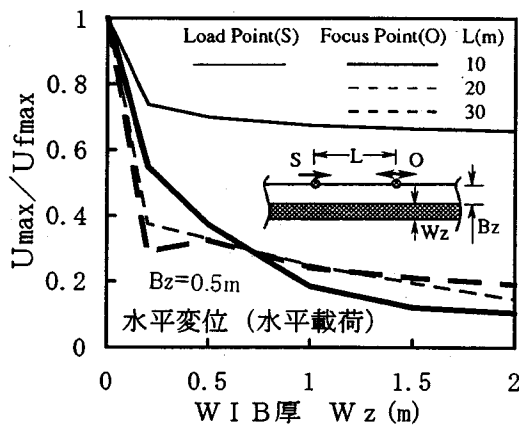


図-2 WIB厚に対する地表面最大変位比 ($W_x=80m, T/T_0=0.2$)

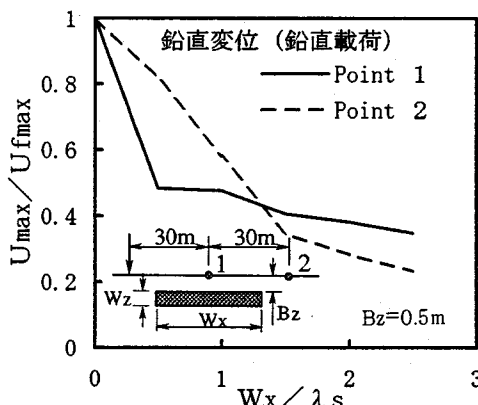
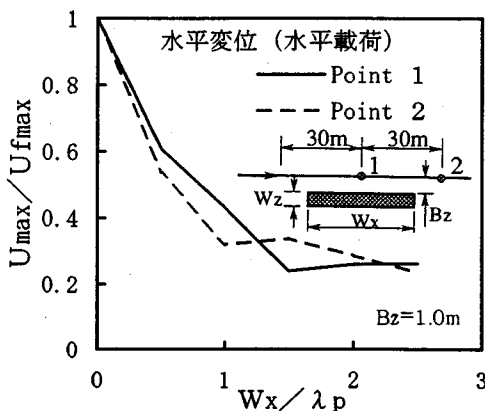


図-3 WIB幅に対する地表面最大変位比 ($W_z=1.0m, T/T_0=0.2$)

人工的な剛基盤としての剛性を有していると考えられる。

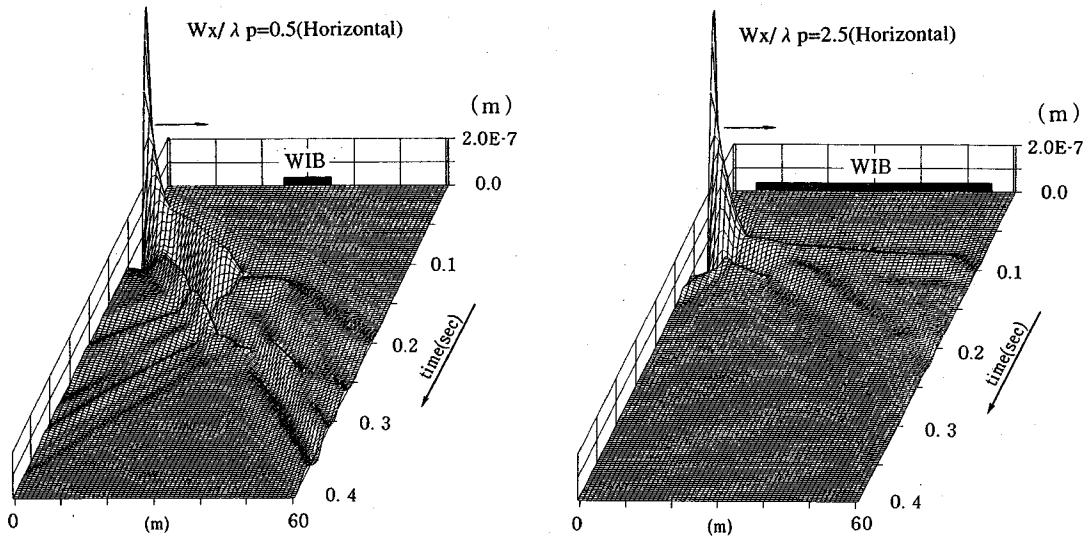
(2) WIB幅に対する検討

載荷点からの水平距離が30m地点にWIBを埋設したケースを考え、WIB幅(W_x)をパラメーターとして解析を行なった。周期比を $T/T_0=0.2$ に、WIB厚を $W_z=1.0m$ に固定し、載荷荷重はWIB厚の検討と同様のものを用いた。この場合には受動的WIBに相当する。半無限地盤上の剛基礎への載荷を扱った文献5)によると、載荷点からWIB想定位置までの水平距離がここで考えている範囲内では、水平載荷に対してP波が、鉛直載荷に対してS波がそれぞれ卓越する。(文献5)ではPとSが逆に表現されておりここに訂正しておく。)従って、周期比 T/T_0 の算定には、前者に対しては $T=T_p$ を、後者に対しては $T=T_s$ を採用する。WIB埋設深さは $T/T_0=0.2$ の下で決定され、それぞれ $B_z=1.0m, 0.5m$ である。

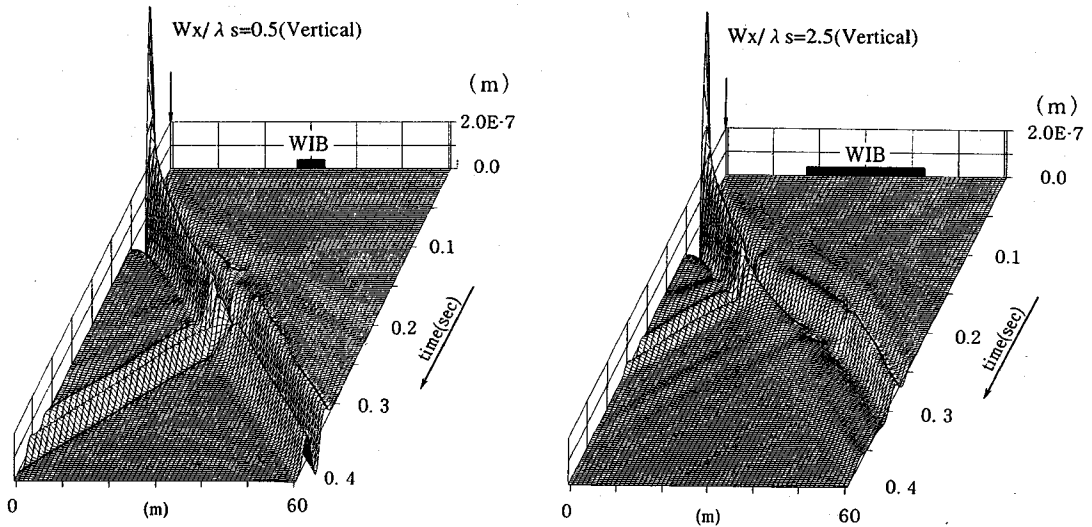
図-3は、WIB幅に対する地表面の最大変位を自然地盤応答の最大値との比として示したものである。横軸には

WIB幅と波長の比(W_x/λ)を探っている。WIB上面および外側近傍での波動遮断効果を見るため、観測点をWIB中央とこれから30mの位置とした。これによると、WIB幅が大きいほど波動遮断効果が高く、WIB幅が対象波長より大きくなると、WIB中央上($L=30m$)あるいはWIB中央より30m後方($L=60m$)の地表面応答においても、自然地盤での変位の半分以下に落ちている。

水平および鉛直載荷による地表面上の時刻歴変位応答を、WIB幅(W_x)を対象波長の0.5倍としたケースと、2.5倍としたケースをそれぞれ図-4, 5に示す。両ケースとも、載荷位置で発生した波動がWIB上面の地盤を伝播するに従って減衰している傾向がみられる。この減衰傾向は、WIB幅が大きい方が顕著に現れている。さらに、WIB通過後の波動にもWIB上面での減衰効果が引き続き現われている。これに対してWIB埋設位置より載荷側の地盤では、入射波に比べて小さい振幅ではあるが、WIB端部において発生した反射波が伝播している。なお、WIB上面地盤での波動伝播速度が速くなるのは、上層が



図一四 水平載荷による地表面時刻歴水平変位応答



図一五 鉛直載荷による地表面時刻歴鉛直変位応答

柔らかい2層系の地盤でみられる現象と同様に、WIB内を伝播する波動の影響が地表面に現れているためである。

つぎに、水平、鉛直載荷による、WIB中央(L=30m)及びWIB後方(L=60m)における地表面変位応答のフーリエ振幅スペクトルを、それぞれ図一6、7に比較して示す。WIB中央では、WIB幅が大きくなるにつれて各振動数成分での応答の減少傾向がみられ、それは10Hz以上の高振動数成分において顕著に現われている。しかし、それ以下の低振動成分での減少傾向はあまりみられない。この傾向は、WIB後方においても同様にみられる。解析例での遮断振動数が50Hz程度であることを考えると、WIBが理想的な剛基盤として作用すれば、50Hz以下の波動は

遮断されるはずである。従って、低振動成分での波動は、WIB自体の運動によるものと考えられる。そこで、WIBによる波動の拘束条件(キネマチックな相互作用)と波長λとの関係について調べる。WIBの動きをみるために、WIB上面を含む水平面上での鉛直変位応答の時刻歴を図一8に示す。これによると載荷位置から伝播してきた波動は、WIBに到達した直後から急激に減少している。この微小振幅の範囲ではWIB自体が地盤と一緒に運動するため、高振動成分の散乱波動はみられない。これらの現象は、半無限弾性体内を伝播してきた波動が、WIBの剛性によって拘束を受け、その後WIBが剛基盤として働き波動を遮断する傾向にあると考えられる。つまり、受動

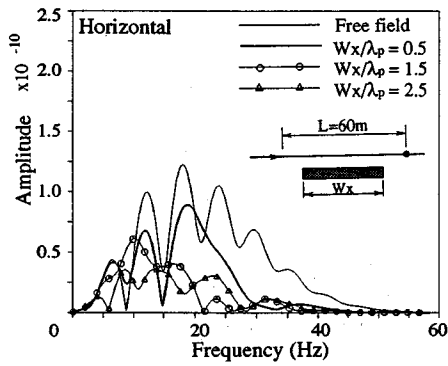
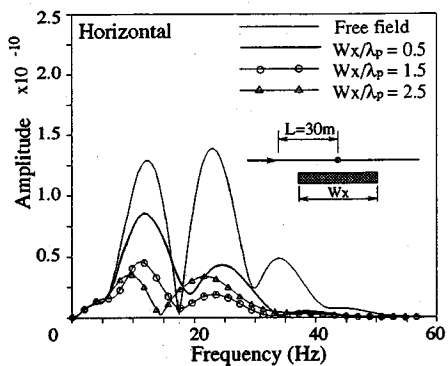


図-6 水平载荷による地表面水平変位のフーリエ振幅

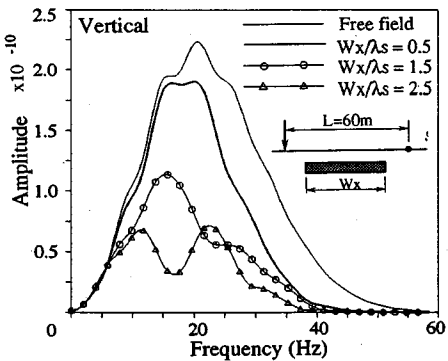
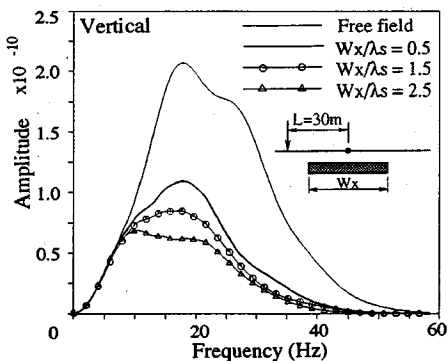


図-7 鉛直载荷による地表面鉛直変位のフーリエ振幅

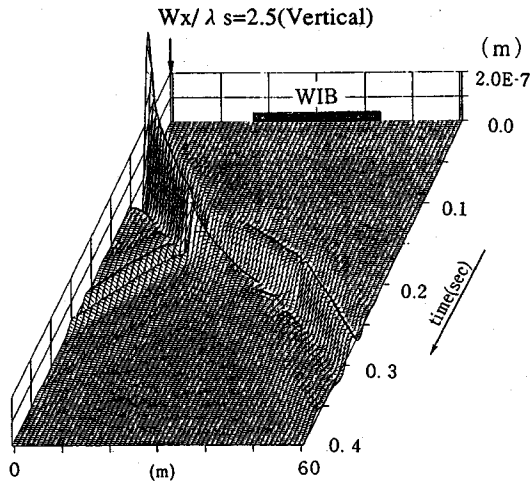
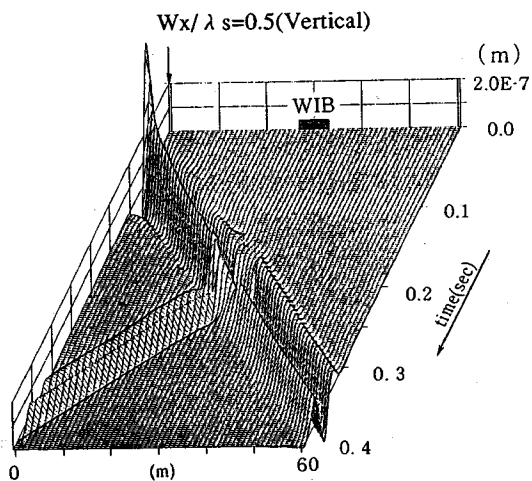


図-8 鉛直载荷によるWIB上面での時刻歴鉛直変位応答

的WIBの波動遮断効果には、キネマチックな効果と剛基盤としての効果が含まれる。ただし、WIB幅が0.5λのケースでは、WIB自体のロッキング運動が見られ、上述の効果を発揮させるためには十分なWIB幅を必要とする。

5. 軌道沿線構造物のWIBによる制振効果

列車走行時の軌道振動が引き起こす周辺地盤への波動伝播、および周辺構造物の振動に注目して、WIBによる制振効果を検討する。列車走行時の振動は、本来移動载荷によるものであり、定量的に議論する場合には3次元

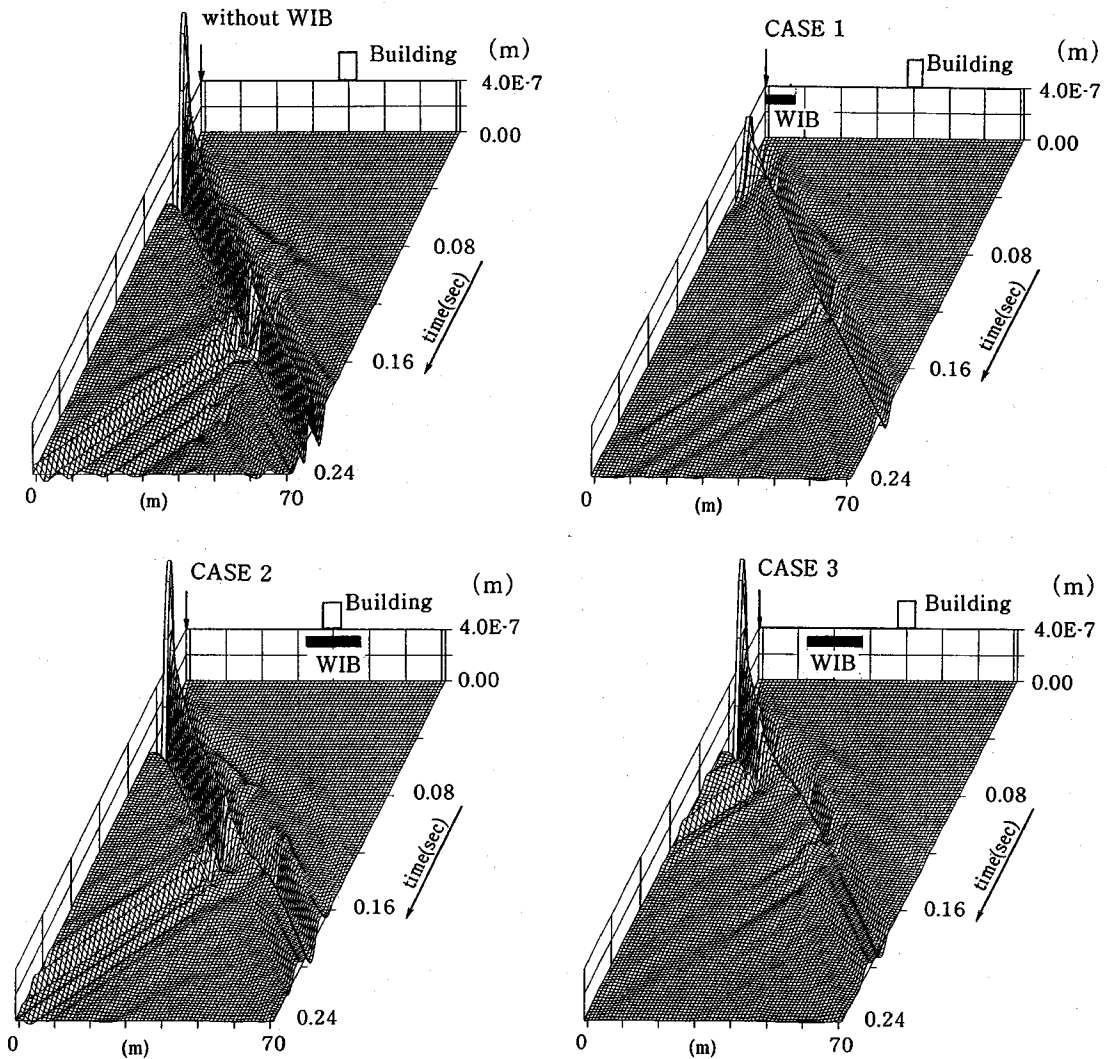


図-9 軌道振動モデルでの地表面時刻歴鉛直変位応答

問題として取り扱うことが望ましい。ただし、通常の列車走行速度ではサブソニック状態にあり、その载荷状態は固定位置载荷で近似的に置き換えられる。ここでは車両の連結という事実から軌道振動を2次元問題に簡略化して取り扱う。解析ケースとして、WIBの埋設位置を軌道直下 (CASE 1)、構造物の直下 (CASE 2)、軌道から構造物までの途中の地盤中 (CASE 3) の3ケースを考えた。解析モデルは図-1、各物性値は表-1に示したものである。いずれのケースにおいても、WIBの埋設深さ $B_z=0.5\text{m}$ 、WIB厚 $W_z=1.0\text{m}$ 、WIB幅 W_x を波長 ($\lambda=10\text{m}$) の1.5倍とし、時間刻み $\Delta t=0.004\text{sec}$ としている。 $B_z=0.5\text{m}$ は、受動的WIBであるCASE 2およびCASE 3に対しては周期比 $T_p/T_0=0.2$ 、能動的WIBであるCASE 1では $T_p/T_0=0.1$ となる。列車振動により発生す

る振動の卓越周期は、その計測値から一般に20Hzから30Hzと言われている。従って、载荷荷重としては、卓越振動数 $f_0=20\text{Hz}$ ($T_0=0.05\text{sec}$) のリッカー波型の鉛直荷重を採用した。また、構造物としては、剛な基礎の上に立てられた3階建てのビルを想定し、基本固有振動数を3Hzと設定している。

まず、各ケースにおける地表面上での変位応答の時刻歴を図-9に示す。WIBを設置しないケースでは、構造物とのキネマチックな相互作用による波動の減少もみられず、振幅の大きな波動のまま伝播していく。構造物による反射波も大きい。波動の通過後には構造物の慣性振動によって新たな波が生成されている現象がみられる。これに対して、WIBを用いたケースでは、WIBによる波動遮断効果により波動の振幅がかなり抑えられていることが

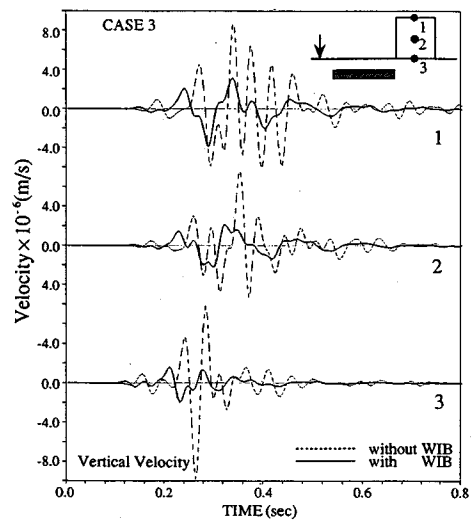
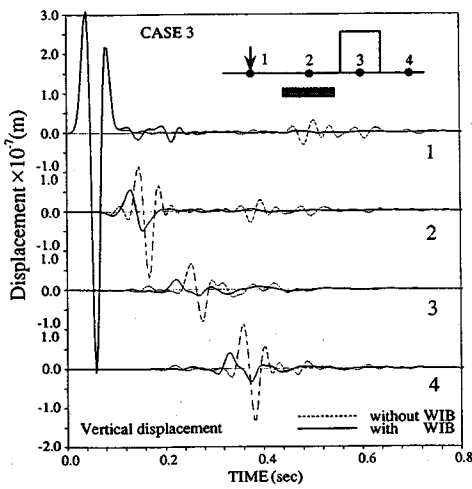
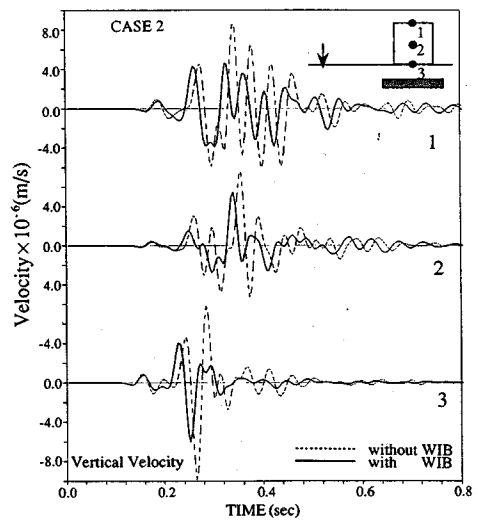
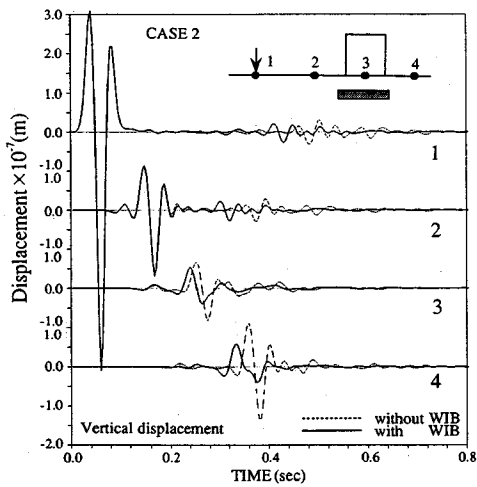
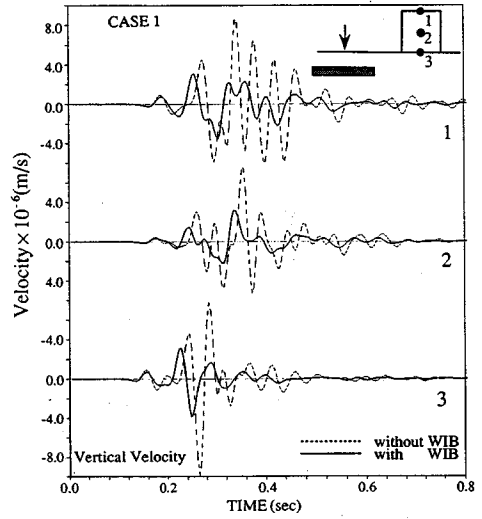
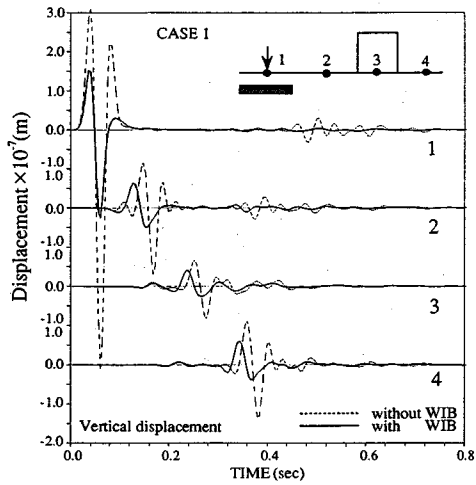


図-10 軌道振動モデルでの地表面変位応答

図-11 軌道振動モデルでの構造物速度応答

わかる。CASE 1 では、軌道での振動が抑えられることにより、周辺地盤へ伝播する波動の振幅が減少している。CASE 2 では、WIB によって起こる反射波の直後に、構造物による反射波が現われているが、WIB を用いないケースに比べると波動は十分低減されている。CASE 3 では、WIB による反射波がみられるものの、WIB 上で波動が減少している様子が見られ、WIB 通過後は構造物の振動の影響が入るものの最も効果がある。

図-10 は、鉛直載荷による地表面の変位応答の時刻歴を各ケースごとに比較して示したものである。図中 1, 2, 3, 4 は、それぞれ軌道中心、軌道中心から 20m, 40m (構造物)、60m 地点である。いずれのケースにおいても十分な波動遮断効果がみられ、軌道からの波動だけでなく、構造物からの反射波についても低減されているのが認められる。構造物直下 (point 3) で鉛直変位を比較すると、CASE 1 で約 4 割、CASE 2 で約 2 割、CASE 3 で約 7 割の減少が見られ、CASE 3 が効果が一番高い。

構造物の時刻歴速度応答を図-11 に示す。速度応答としたのは、人間が 8~30Hz の振動数帯域の振動に対しては、速度を最も良く体感すると言われているためである。図中 1, 2, 3 は、それぞれ構造物の天端、中心、底面の応答であることを示す。いずれのケースにおいても十分な制振効果が現われており、高振動数成分での効果もみられる。地表面および構造物の応答はともに CASE 3 での効果が極めて高く、次いで CASE 1 での効果が高い。この理由には、WIB 上方に振動体を持たないために、CASE 2 で見られるような WIB と構造物との動的相互作用が現れないことが挙げられる。さらに、CASE 3 では振動源を直上に持たない受動的 WIB のキネマチックな効果と剛基盤としての効果が発揮されたことによる。

6. 結論

本研究では、入射波長と層厚あるいは波動遮断ブロック (WIB) の諸元をパラメータとした 2 次元遷移応答解析を実施し、地盤内に埋設された WIB およびその周辺地盤内の波動伝播特性について検討を行った。応用例として列車振動による周辺構造物の振動問題を取り上げ、WIB による制振効果を検討している。これらの数値解析例から得られた知見を挙げれば、

1) WIB による波動遮断効果は WIB 幅に大きく依存し、入射波の波長との相関関係がみられる。一般のコンクリートを使って WIB を設計する場合には、WIB 幅が対象波長以上、厚さ 1m 程度とすれば、十分な効果が期待できる。
2) 載荷位置で発生した波動が WIB 埋設位置を通過する際には、伝播速度が速くなり、伝播するに従って減衰する現象が観られた。これは、WIB の剛性によるキネマチック

な効果と剛基盤としての波動遮断効果による。

3) WIB は、振動源近傍に位置する構造物の制振工法として、振動源直下、振動源から構造物までの地盤中、あるいは構造物直下に埋設する場合においても十分な効果が期待できる。2 次元解析の結果から得られた波動遮断効果については、振動体が WIB 上方に存在しない場合が最も大きい。

参考文献

- 1) 竹宮, 藤原: 地盤-構造物系の制御法としての波動遮断ブロック (WIB) の導入, 土木学会論文集, No.489/I-27, pp.243-250, 1994.4.
- 2) Takemiya, H. and Fujiwara, A.: Wave propagation/impediment in a stratum and WIB measured for SSI response reduction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, pp. 49-61, 1994.
- 3) Takemiya, H.: Traffic induced vibrations and wave propagation, *Wave Propagation and Reduction of Vibration, Ruhr Univ., Bochum, Germany*, pp.151-164, 1994
- 4) Takemiya, H. and Goda, K.: Transient Vibration of ground and structures induced by traffic loading, *Proc. of Computer Methods for Geotechnical Engineering*, Hong Kong, pp.912-917, 1994.
- 5) Takemiya, H. and Guan, F. and Sukeyasu, Y.: 2-D Transient Soil-surface Foundation Interaction and Wave Propagation by Time Domain BEM, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.23, pp.931-945, 1994.
- 6) 竹宮, 祐保: 帯状載荷に対する全無限弾性体の遷移グリーン関数評価と半無限/層状地盤の表面載荷による波動伝播性状, 土木学会論文集 No.483/I-26, pp.147-155, 1994.
- 7) Takemiya, H. and Guan, F.: Transient Lamb's Solution for Surface Strip Impulses, *J. Eng. Mech. Div., ASCE*, Vol.119, No.12, 1993.12.
- 8) 竹宮, 堀内: 衝撃帯載荷による半無限体の遷移応答と地盤-基礎系の動的相互作用の波動論的考察, 土木学会論文集 No.525/I-33, pp.345-349, 1995.10.
- 9) 佐藤直毅: 非定常載荷による地盤-構造物系の応答性状に関する研究 (時間領域 FEM-BEM ハイブリッド法の適用), 岡山大学修士論文, 1995.3.
- 10) 竹宮, 祐保: 直接時間領域 BEM による地盤と構造物の動的相互作用場の波動論的考察, 土木学会論文集 No.525/I-33, pp.237-245, 1995.10.

(1995.8.28 受付)

RESPONSE REDUCTION EFFECT BY PASSIVE USE OF A WAVE IMPEDING BLOCK(WIB)

Hirokazu TAKEMIYA, Kazuya GODA and Naoki SATO

In this paper the response reduction effect of a wave impeding block (WIB) was investigated when it was built under a focused structure or near it in order to impede incoming waves induced by source vibrations. The parameter studies were conducted on the WIB width and thickness in view of the concerned wave field. The wave propagation/impediment were detailed in the transient response for a Ricker-wave form loading. The computation was based on the hybrid method of the FEM for the surface soil including the WIB, and the BEM for the underlain halfspace. An extended application was demonstrated for a building vibration reduction by the passive type WIB as well as by the active type WIB.