

(128) 波動遮断ブロックの制振効果に関する研究

岡山大学自然科学研究科 学生員 合田 和哉
岡山大学環境理工学部 正会員 竹宮 宏和
(株) エイトコンサルタント 正会員 佐藤 直樹

1. はじめに

本研究は、波動遮断ブロック (WIB; Wave Impeding Block) ^{1) 2)} による制振効果とそのメカニズムを、地盤と構造物の動的相互作用と周辺地盤内の波動伝播に注目して遷移応答より検討したものである。まず、波動遮断ブロックの諸元 (厚さ、幅) によるパラメータ解析により、周辺地盤に及ぼす制振効果と基本的なメカニズムについて検討した。応用例として、列車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、WIBを軌道の直下、構造物直下、および波動伝播途中の地盤内に設置した場合の制振効果を示した。

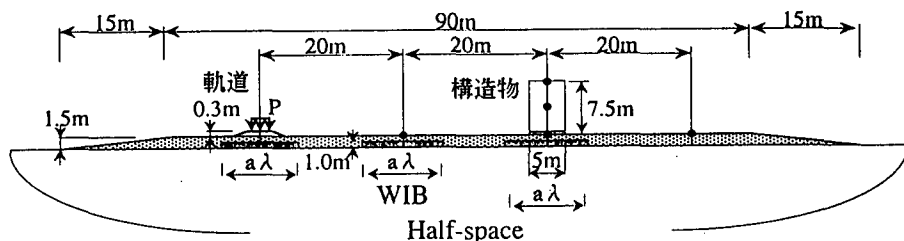


図-1 解析モデル

2. 解析手法³⁾ およびモデル

解析モデルを図-1に、各物性値を表-1にそれぞれ示す。半無限地盤のモデル化には、分布衝撃載荷下の半無限2次元グリーン関数を利用した境界要素法を、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のモデル化には有限要素法をそれぞれ用いた。そしてこれらの離散化手法のハイブリッド解析を直接時間領域で遂行した。載荷荷重には最大値1kNとしたリッカー波型 (卓越振動数20Hz) を仮定し、地表面上に鉛直方向集中加振として入力した。

表-1 解析モデル物性値

	せん断波速度 $V_s(\text{m/s})$	密度 $\rho(\text{t/m}^3)$	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

3. WIBの遮断効果に対する基礎的検討

まず、水平方向に十分な広がりを持つWIBが地中に埋設されたケースを考え、WIB厚(H)をパラメータとして解析を行なう。なお、周期比を $T_p/T_0=0.2$ (T_p 、 T_s : P波、S波に関する地盤の基本固有周期、 T_0 : 入力波の卓越周期) と固定し、土被り $D=1.0\text{m}$ としている。載荷点からの距離が10m、20m、30m地点における地表面鉛直変位応答の最大値を、自然地盤応答の最大値との比として図-2に示す。地表面応答変位は $H=1.0\text{m}$ で約8割程度減少しており、 $H\geq 1.0\text{m}$ では波動遮断効果はあまり変わらない。

つぎに、周期比を $T_s/T_0=0.2$ ($D=0.5\text{m}$) に、WIB厚を $H=1.0\text{m}$ にそれぞれ固定し、WIB幅(W)をパラメータとして解析を行なった。なお、載荷点の周辺での波動伝播を考えると、鉛直載荷に対してはS波が卓越するため、周期比を算定する際の基本周期比には、 T_s を採用している。図-3は、WIB幅に対する地表面応答の変化を自然地盤応答との最大値の比として示したものである。横軸はWIB幅と波長との比 (W/λ)、縦軸はWIBを用いた場合の変位の最大値と自然地盤での変位の最大値の比としている。これによると、WIB幅が大きいほど波動遮断効果が高く、特にWIB幅が波長より大きくなる場合には、自然地盤での変位の半分以下に落ちている。図-4は、WIB上方、WIB後方(60m)における地表面変位応答のフーリエ振幅を示したものである。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、それ以下の低振動数成分での減少傾向はあまりみられない。この低振動数成分は、解析モデルの臨界振動数が100Hzであることを考えると、WIB 自体の運動によるものと考えられる。そこで、WIB の動きをみるために、WIB 上面を含む水平面上での時刻歴鉛直変位応答を図-5に示す。載荷位置から伝播してきた波動は、WIB端部へ到達した直後から急激に減少しているが、この微小振幅の範囲では WIB 自体が地盤同様に變形し、低振動数成分での波動が伝播している様子がわかる。さらに、WIB 自体のロッキング運動がみられる。

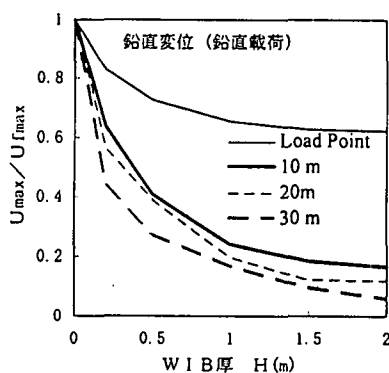


図-2 WIB厚に対する
地表面最大変位比

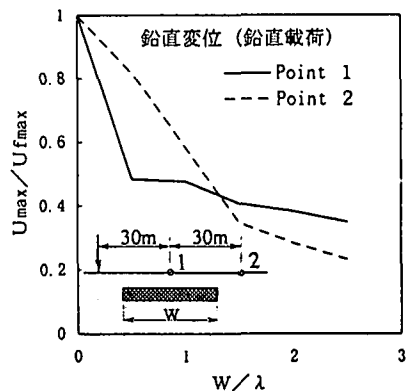


図-3 WIB幅に対する
地表面最大変位比

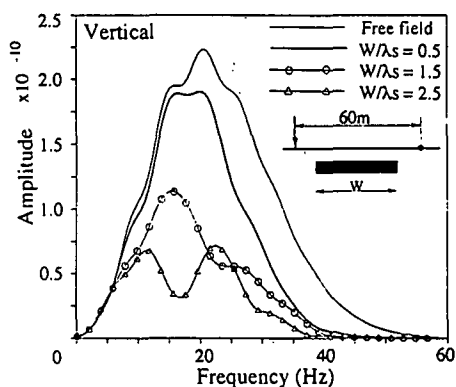
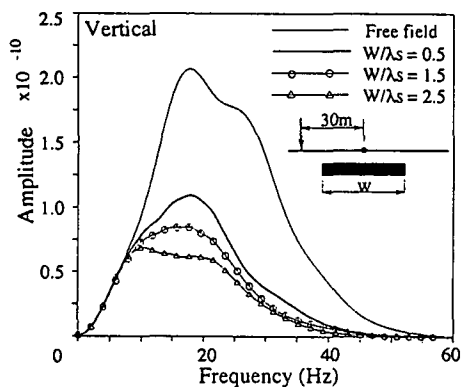


図-4 鉛直載荷による地表面鉛直変位のフーリエ振幅

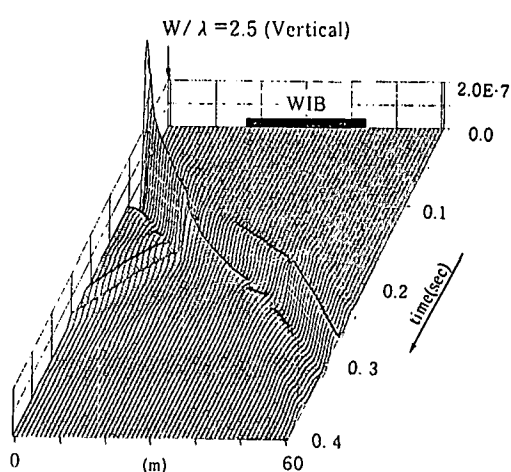
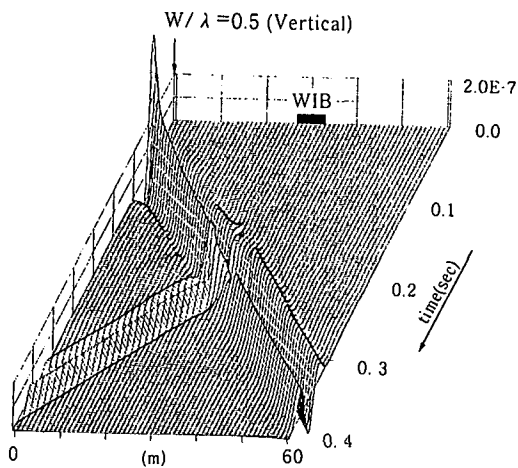


図-5 鉛直載荷によるWIB 上面での時刻歴鉛直変位応答

4. 列車振動に対するWIBの波動遮断効果

列車振動により引き起こされる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による波動遮断制振効果を検討する。解析ケースとして、WIBの設置位置を軌道下(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。いずれのケースにおいても、 $T_p/T_0=0.1$ ($D=0.5m$)、WIB厚さ1.0m、WIB幅を波長($\lambda=10m$)の1.5倍としている。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と言われていることから、卓越振動数 $f_p=20Hz$ のリッカー波型を鉛直荷重として載荷した。また、構造物としては、剛な基礎上に立てられた3階建てのビルを想定し、基本固有振動数を3Hzと設定した。

まず、各ケースにおける地表面上での時刻歴変位応答を図-6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ない。構造物による反射波も大きく、波動の通過後には構造物の振動によって新たな波が形成されている。これに対して、WIBを用いたケースでは、WIBによる波動の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減

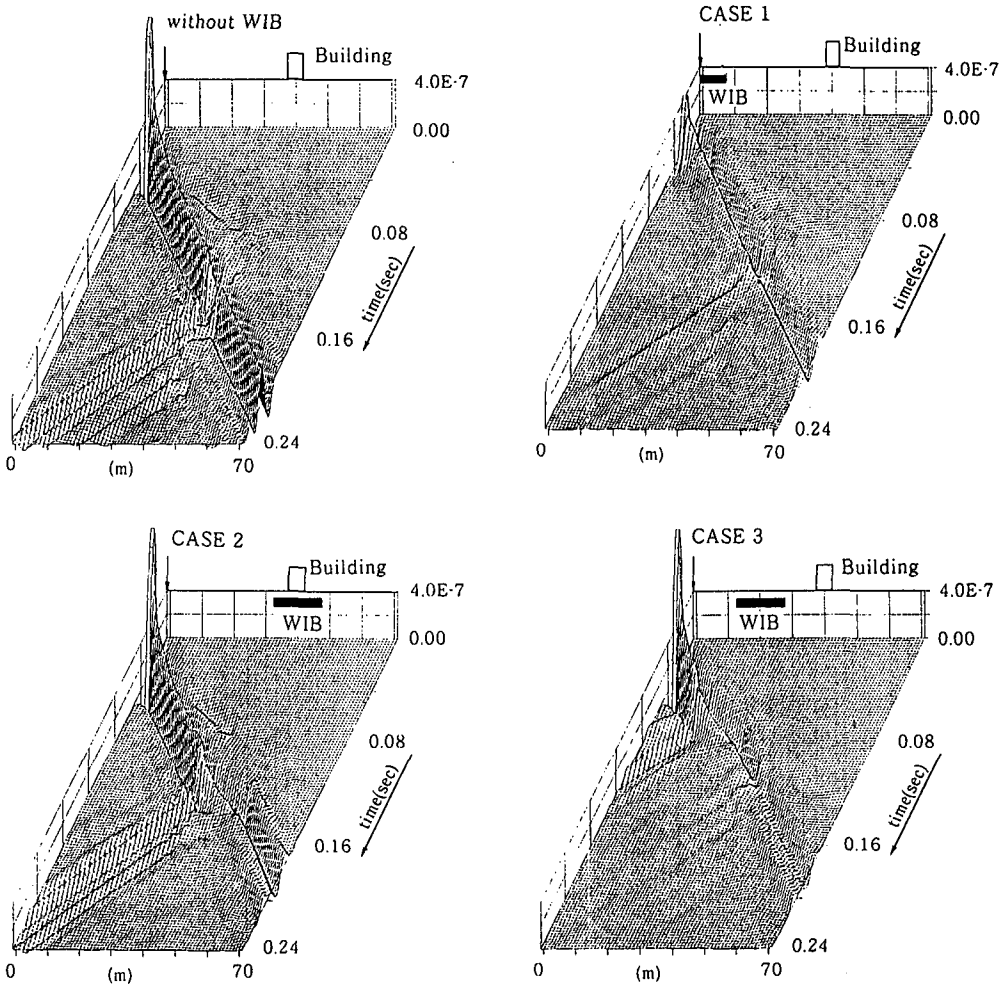


図-6 列車振動モデルでの地表面時刻歴鉛直変位応答

少している。case 3では、WIBによる反射波がみられるものの、WIB通過に伴って波動が減少している様子ははっきりとみられ、通過後は構造物の振動の影響を含めて最も効果的である。

つぎに、構造物の時刻歴速度応答を図-7に示す。速度応答としたのは、人間が8~30 Hz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、それぞれ構造物天端、中心、底面で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。地表面応答、構造物の応答ともに、case 3での効果が極めて高く、次いでcase 1での効果が高い。これは、WIB上方に振動体を持たないために、WIBの効果が理想的な条件下で発揮されたことによる。

5. 結 論

以上の数値解析例から得られた知見は以下のようである。

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観られる。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設置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みられた。これは、WIB自体が周辺地盤の運動に伴って運動しているためである。従って、WIBによる波動遮断効果を考える場合には、臨界振動数のみでなくWIB-地盤のキネマチックな相互作用についても考慮する必要がある。

3) 当該工法は、震動源近傍に位置する構造物の制振工法として、震動源直下に設置する場合、震動源から構造物までの地盤中に設置した場合、あるいは構造物直下に設置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、震動体がWIB上方に存在しない場合が最も大きい。

参考文献

- 1) Chouw, N., R. Le and G. Schmid, 1991. An approach to reduce foundation vibrations and soil waves using dynamic transmitting behavior of a soil layer, *Bauingenieur* 66:215-221.
- 2) Takemiya, H. and Fujiwara, A. 1994. Wave propagation/impediment in a stratum and WIB measured for SSI response reduction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, 49-61.
- 3) Takemiya, H. and Goda, K. and Sato, N., 1994, Transient Vibration of ground and structures induced by impulse loading, submitted to *J. Structural./Earthquake Eng.*, JSCE(submitted).

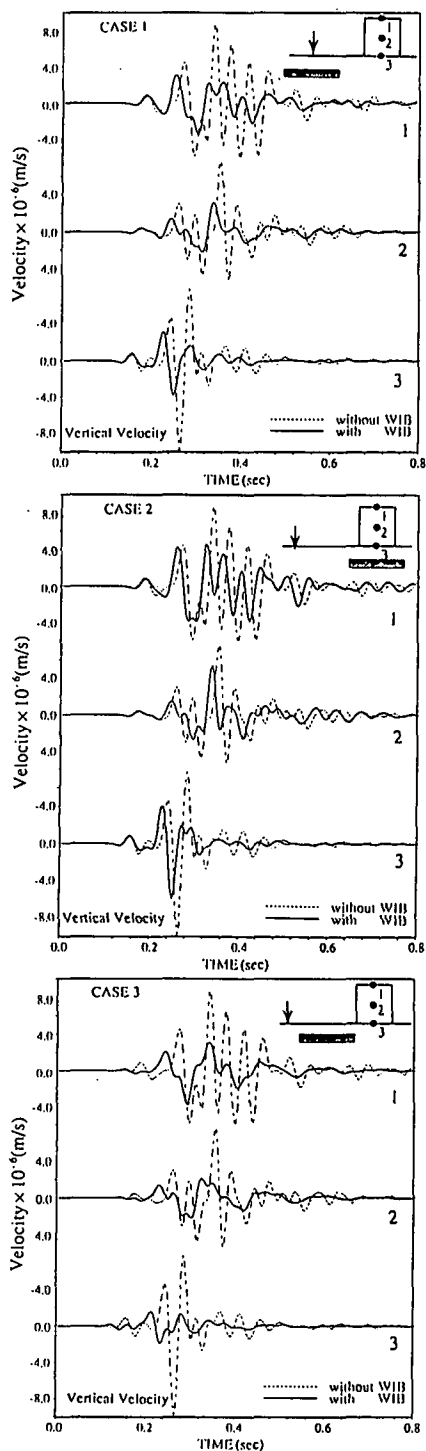


図-7 列車振動モデルでの構造物速度応答