

地盤—構造物系の制振法としての波動遮断ブロック (WIB)の導入

竹宮宏和*・藤原章弘**

本論文は、地盤と構造物の動的相互作用場を波動伝播に注目して直接時間領域境界要素法から解析したものである。衝撃、Ricker 波型の载荷の下での半無限地盤のレーリ波と成層地盤内の固有モード波の伝播の特徴を明確にした上で、後者の場合の層厚との関係における波動の伝播/遮断現象の原理を応用した波動遮断ブロック (WIB) の設置による地盤-構造物系の制振効果をパラメータ解析している。

Key Words : soil-structure interaction, wave impeding measure, transient response, time-domain BEM, halfspace/stratum soil

1. まえがき

地盤と構造物の動的相互作用において、地盤のモデル化は、大別して、半無限地盤あるいは剛体基盤上の成層地盤と仮定している。そして、従来、上部構造物の応答特性の把握のため定常調和解析を通して地盤効果を複素ばね (インピーダンス) として評価してきているが、いま、この動的相互作用場を波動論的に注目して見ると、そのメカニズムの詳細な説明という観点から大きな意義がある^{1)~6)}。そして、さらに波動伝播を人為的にコントロールすること (波動遮断効果を図る) は、载荷、地震入力問題で地盤-構造物系の制振工法を開発することにつながる。

面内波動場を対象とすると、半無限弾性地盤では表面波としてのレーリ波が存在し、一方、成層地盤では実体波としての固有モード波が伝播する。この異なる波動場を効果的に説明するため、ここでは両地盤の地表面に無質量剛体基礎を介して特定の時間関数载荷を与えたときの剛体基礎自体およびその周辺地盤の応答解析を行う。半無限地盤仮定では、地盤は構造物からの载荷エネルギーを逸散波として無限遠へ放射する。一方、剛体基盤上の成層地盤では実体波の P 波、S 波の伝播によって共振現象が惹起される可能性がある。これを捉える効果的な入力として、本研究では、衝撃およびリック-波型の载荷時間関数を採用している。

成層地盤の場合、基盤面の深さによってある加振振動数の帯域で波動の遮断現象が生じる。これを人為的に起こさせる工夫として地中内に剛体ブロックの埋設が Chou and Schmid⁷⁾、竹宮らによって考えられた^{8)~9)}。本研究ではこの効果の程度を遷移応答状態にお

いて評価する。

筆者ら¹⁰⁾は、弾性波動伝播の解析に関して、分布载荷による 2 次元弾性体のグリーン関数の解析的表現を導入した時間領域境界要素法を開発しているので、本研究ではその初期境界値問題への適用として、波動遮断ブロックの応答制振効果についての検証を行った。

2. 支配方程式

2 次元弾性体 (全無限) の平面波動伝播に関する一般支配方程式は、ステップ・アルゴリズムに基づく時間領域境界要素法より次式で与えられる¹⁰⁾。

$$\mathbf{H}^0 \mathbf{U}^K - \mathbf{G}^0 \mathbf{T}^K = - \sum_{i=1}^{K-1} (\mathbf{H}^{K-i} \mathbf{U}^i - \mathbf{G}^{K-i} \mathbf{T}^i) = - \mathbf{F}^K \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに \mathbf{U}^K 、 \mathbf{T}^K は変位、表面力ベクトル、 \mathbf{H}^0 、 \mathbf{G}^0 は第一ステップでの表面力、変位の影響マトリックスで、肩添字 K は各応答評価の現時刻 (カーレントタイム)、総和は合積分を離散的に遂行することを意味し、カーレントタイムでの外力 \mathbf{F}^K を作成している。影響マトリックスの評価過程では P 波、S 波の波面における特異性を積分変換法において Cagniard-de Hoop 法を適用し解析的に処理している。

各種の応力、変位、混合境界値問題では、それぞれに対応した境界条件を付与して上式 (1) を逐次解けばよい。

(1) 剛体結合条件

剛体 (Fig.1 (a) のフーチングが相当する) 面上に配置された節点の変位 \mathbf{u} はその剛体中心の動き \mathbf{U}_F によって支配される。これは剛体結合条件と呼ばれ、

$$\mathbf{u} = \alpha \mathbf{U}_F \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで $\alpha = [\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_N]$ は各節点に関する結合式で剛体中心との間の相対座標値 (水平距離 x_i 、鉛直距離 z_c) から決定される。つまり

* 正会員 工博 岡山大学教授 工学部土木工学科 (〒700 岡山市津島中 3)

** 工修 岡山県庁

$$\alpha_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & z_c \\ 0 & 1 & x_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

一方、各節点の表面力 T_i は要素長 l_i を乗じて節点力とし、上記の拘束条件から次式によって剛体中心への合力 P_F として変換される。

$$P_F = \sum_i \alpha_i^T l_i T_i = \alpha T \dots\dots\dots (4)$$

(2) 半無限地盤上の剛体基礎

地表面上のある範囲で節点を配置し、節点を自由地表面 (添字 S) と基礎とのインターフェイス面のもの (添字 I) に分割して境界要素式 (1) を表す。

$$\begin{bmatrix} H_{SS}^0 & H_{SI}^0 \\ H_{IS}^0 & H_{II}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_I^K \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} G_{SS}^0 & G_{SI}^0 \\ G_{IS}^0 & G_{II}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_S^K \\ T_I^K \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} F_S^K \\ F_I^K \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

地盤の自由表面の境界条件は、同面位置に節点を配置して表面力ゼロを付与して近似させる。さらにインターフェイス節点には、上記 (2) の剛体結合条件を付与する。その結果は、

$$\beta^T (G^0)^{-1} H^0 \beta \hat{U}^K = \beta^T (G^0)^{-1} F^K + \hat{T}^K \dots\dots\dots (6)$$

ただし

$$\hat{U}^K = \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_I^K \end{Bmatrix}, \quad \hat{T}^K = \begin{Bmatrix} T_S^K \\ P_F^K \end{Bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix}$$

(3) 成層地盤上の剛体基礎

2.(2) の節点配置に加えて、剛基礎の境界条件を与えるため、Fig.1 (b), (c) のように同位置に節点 (添字 L) を配置する。そのときの境界要素式は

$$\begin{bmatrix} H_{SS}^0 & H_{SI}^0 & H_{SL}^0 \\ H_{IS}^0 & H_{II}^0 & H_{IL}^0 \\ H_{LS}^0 & H_{LI}^0 & H_{LL}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_I^K \\ U_L^K \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} G_{SS}^0 & G_{SI}^0 & G_{SL}^0 \\ G_{IS}^0 & G_{II}^0 & G_{IL}^0 \\ G_{LS}^0 & G_{LI}^0 & G_{LL}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_S^K \\ T_I^K \\ T_L^K \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} F_S^K \\ F_I^K \\ F_L^K \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

ここで基礎面上の未知表面力ベクトルとゼロ変位ベクトルを入れ換え、さらにインターフェイス節点に (2) の剛体結合条件を導入する。その結果

$$\zeta^T (\bar{G}^0)^{-1} \bar{H}^0 \zeta \hat{U}^K = \zeta^T (\bar{G}^0)^{-1} F^K + \hat{T}^K \dots\dots\dots (8)$$

ここに

$$\bar{H}^0 = \begin{bmatrix} H_{SS}^0 & H_{SI}^0 & -G_{SL}^0 \\ H_{IS}^0 & H_{II}^0 & -G_{IL}^0 \\ H_{LS}^0 & H_{LI}^0 & -G_{LL}^0 \end{bmatrix}, \quad \bar{G}^0 = \begin{bmatrix} G_{SS}^0 & G_{SI}^0 & -H_{SL}^0 \\ G_{IS}^0 & G_{II}^0 & -H_{IL}^0 \\ G_{LS}^0 & G_{LI}^0 & -H_{LL}^0 \end{bmatrix}$$

$$\zeta = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}, \quad \hat{U}^K = \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_I^K \\ T_I^K \end{Bmatrix}, \quad \hat{T}^K = \begin{Bmatrix} 0 \\ P_F^K \\ 0 \end{Bmatrix}$$

(4) 制振ブロックのある半無限/成層地盤上の剛体基礎

Fig.1 (b), (c) に示すような波動遮断用の剛性の高い平板ブロックを剛体フーチングの下に想定する。いま、この制振ブロックを弾性体としてモデル化する。解析法には、サブストラクチャ法が有効に適用できる。まず対象系の支配方程式を式 (1) より自由表面 (添字 S)、基礎面 (添字 I) およびブロック面 (添字 B) の節点に対応して分割マトリックスで表示すると

$$\begin{bmatrix} H_{SS}^0 & H_{SB}^0 & H_{SI}^0 \\ H_{BS}^0 & H_{BB}^0 & H_{BI}^0 \\ H_{IS}^0 & H_{IB}^0 & H_{II}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_B^K \\ U_I^K \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} G_{SS}^0 & G_{SB}^0 & G_{SI}^0 \\ G_{BS}^0 & G_{BB}^0 & G_{BI}^0 \\ G_{IS}^0 & G_{IB}^0 & G_{II}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_S^K \\ T_B^K \\ T_I^K \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} F_S^K \\ F_B^K \\ F_I^K \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

一方、制振ブロック面の支配式は

$$\bar{H}_{II}^0 \bar{U}^K - \bar{G}_{II}^0 \bar{T}^K = \bar{F}^K \dots\dots\dots (10)$$

これら異なる領域の式は、両者のインターフェイスの連続境界条件を満たさなくてはならない。変位の適合性と表面力のつり合いは、それぞれ

$$U_I^K = \bar{U}^K \dots\dots\dots (11)$$

$$T_I^K + \bar{T}^K = 0 \dots\dots\dots (12)$$

上式 (9) において基礎面上の節点に剛体縮合を行うと

$$\beta^T (G^0)^{-1} H^0 \beta \hat{U}^K - \hat{T}^K = \beta^T (G^0)^{-1} F^K \dots\dots\dots (13)$$

さらに式 (13) に制振ブロックとのインターフェイスの境界条件式 (11), (12) を適用し、整理すれば、

$$\begin{bmatrix} \ddots & \vdots & \ddots & 0 \\ \dots & \hat{H}^0 & \dots & -I \\ \ddots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & \bar{H}_{II}^0 & 0 & \bar{G}_{II}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_B^K \\ U_I^K \\ T_B^K \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \hat{F}_S^K \\ \hat{F}_B^K \\ \hat{F}_I^K \\ T_B^K \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ P_F^K \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

ここで

$$\hat{H}^0 = \beta^T (G^0)^{-1} H^0 \beta, \quad \hat{U}^K = \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_B^K \\ U_I^K \end{Bmatrix}$$

$$\hat{T}^K = \begin{Bmatrix} T_S^K \\ T_B^K \\ P_F^K \end{Bmatrix}, \quad \hat{F}^K = \beta^T (G^0)^{-1} F^K$$

マトリクス G^0 と H^0 の要素は式 (9) から明らかである。成層地盤の場合は (3) の式 (7) から出発して、上と同様な過程を経て求められる。ただし

$$\hat{H}^0 = \begin{bmatrix} H_{SS}^0 & H_{SB}^0 & -G_{SL}^0 & H_{SI}^0 \\ H_{BS}^0 & H_{BB}^0 & -G_{BL}^0 & H_{BI}^0 \\ H_{LS}^0 & H_{LB}^0 & -G_{LL}^0 & H_{LI}^0 \\ H_{IS}^0 & H_{IB}^0 & -G_{IL}^0 & H_{II}^0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{G}^0 = \begin{bmatrix} G_{SS}^0 & G_{SB}^0 & -H_{SL}^0 & G_{SI}^0 \\ G_{BS}^0 & G_{BB}^0 & -H_{BL}^0 & G_{BI}^0 \\ G_{LS}^0 & G_{LB}^0 & -H_{LL}^0 & G_{LI}^0 \\ G_{IS}^0 & G_{IB}^0 & -H_{IL}^0 & G_{II}^0 \end{bmatrix}$$

そして

$$U^K = \begin{Bmatrix} U_S^K \\ U_B^K \\ U_L^K \\ T_F^K \end{Bmatrix}, \quad \hat{F}^K = \begin{Bmatrix} \hat{F}_S^K \\ \hat{F}_B^K \\ \hat{F}_L^K \\ \hat{F}_B^K \end{Bmatrix} = \beta^T (G^0)^{-1} \begin{Bmatrix} F_S^K \\ F_B^K \\ F_L^K \\ F_F^K \end{Bmatrix}$$

3. 数値解析例

計算モデルの作成には、長さ、力を基準値にそれぞれ B, P を導入して無次元化してあり（無次元量に添字 0 を付す）、時間、長さ、変位、表面力の無次元量はそれぞれ次式で表される。

$$t_0 = \frac{tV_s}{B}, \quad x_0 = \frac{x}{B}, \quad u_0 = \frac{\mu u P}{B}, \quad \tau_0 = \frac{\tau}{P} \dots (15)$$

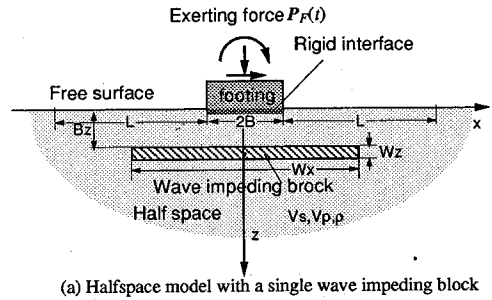
ここに、 $V_s = \sqrt{\mu/\rho}$ は地盤のせん断波速度で、 μ はせん断弾性係数、 ρ は密度である。 B は基礎の半幅をとる。

(1) 衝撃载荷による応答

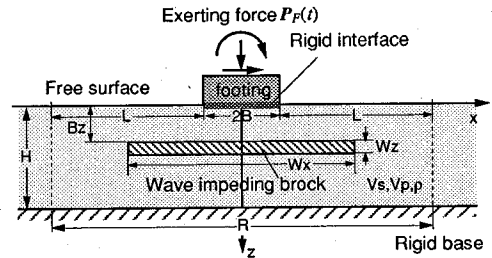
a) 半無限地盤上の剛体基礎

全無限体への分布载荷によるグリーン関数に基づく BEM の混合境界値問題への適用例として、Fig.1 に示す半無限地盤上の剛体表面基礎（無質量とする）が一定の大きさの力、モーメントを微小時間 $\Delta t = 5.63 \times 10^{-4}$ [s] において受けたときの遷移応答を求める。この種の問題に対して Antes and Estorff³ が既に Stokes 解に基づく時間領域境界要素法から遷移応答を求めているので、同解と本解との精度の比較をまず行った。地盤の物性定数は、せん断波速度 $V_s = 223.6$ [m/s]、圧縮波速度 $V_p = 443.9$ [m/s]、ポアソン比 $\nu = 0.33$ 、密度 $\rho = 2.0$ [t/m³] と仮定した。表面基礎幅は $2B$ [m]、载荷形態は剛体基礎の運動自由度に従う合力とし、基礎への水平/鉛直载荷強度は $P_x = P_z = 1776$ [kN/m]、回転方向は $M_y = 1776$ [kN] とした。解析に際しての離散化は Fig.2 の挿入図のようにとる。本研究で実際に使った計算モデルは式 (15) で無次元化されており、単位長さ当たりの要素数 (NE) = 4、時間ステップ幅 (Δt_0) = 0.126, 0.063, 総時間ステップ数 (TNE) = 50, 基礎幅 (2B) = 1.0, 自由表面幅 (L) = 4B = 2.0, 基礎幅 (R) = 10B = 5.0 である。

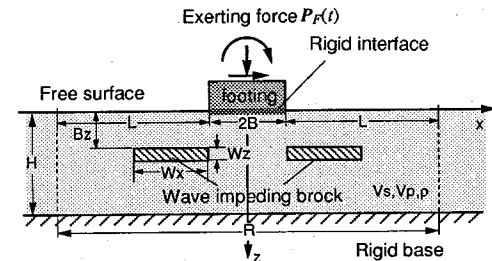
Fig.2 は基礎底面中央の水平、鉛直、回転の遷移応答



(a) Halfspace model with a single wave impeding block



(b) Stratum model with a single wave impeding block



(c) Stratum model with parallel wave impeding blocks

Fig.1 A rigid surface foundation on soils with wave impeding measure

$u_x, u_z, u_{\theta y}$ をつぎの無次元量で表現したものである。

$$f_x = \mu u_x, \quad f_z = \mu u_z, \quad f_{\theta y} = \mu B^2 u_{\theta y} \dots (16)$$

本解と Antes and Estorff の解はいずれの载荷形態に対しても良好な一致を示している。半無限地盤は放射場であるため、衝撃载荷の直後の応答はピーク値を示すが、その後はゼロに収れんする。

b) 成層地盤上の剛体基礎

上記の地盤-基礎系のモデルにおいて、地表面よりある深さ位置に剛基盤を仮定したときの基礎の応答について調べる。同状況下では、基礎からの放射波は剛基盤において反射された後、基礎底面および自由地表面において反射され再び下方へ放射される。この波動伝播の繰り返しによる結果、衝撃载荷後も基礎の近傍地盤内では実体波の P, S 波の場が顕著に見られる。これは、Fig.3 に示す基礎の応答にそれぞれ現れている。

水平载荷に関しては上述の Antes and Estorff が遷移応答を求めているので、同解と本解との精度の比較を Fig.3 (a) に示す。いずれも周期 $T = 2H/V_s$ の周期性

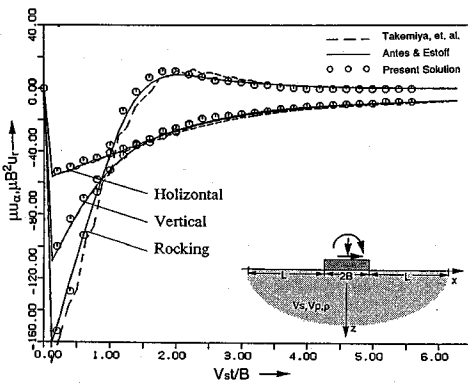


Fig.2 Impulse responses of a rigid surface foundation on a halfspace

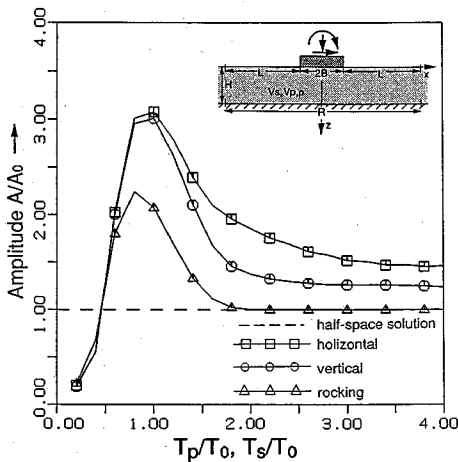


Fig.4 Maximum responses of a rigid surface foundation under Ricker-wavelet type loads

が認められるが、Antes and Estorff 解は本解に比べて減衰度が大きすぎる結果を与えている。これは解析精度に関係しているものと思われる⁶⁾。Fig.3 (b), (c) は他の载荷形態下の応答を描いているが、鉛直载荷下の鉛直応答では P 波の周期性 $T=2H/V_p$ (V_p は圧縮波速度) が、そして回転载荷下の回転応答でも P 波の場が支配的であることが判る。層厚との関係において波動の減衰性はロッキング、鉛直、水平応答の順である。

(2) リッカー波型の時間载荷による応答

地盤と構造物の動的相互作用応答で、成層地盤の場合、実体波の伝播が大きく関与してくることを (1).b) の解析で明らかにした。その場合、载荷の周期と地盤の固有周期によって応答の増幅が懸念される。これは両周期の比で統一的に扱えられる内容である。Chow and Schmid⁷⁾ は定常調和波の下で共振現象と共に側方への波動伝播が遮断振動数以下では生じないことを示した。そこで本研究では载荷の周期を付与できて、しかも波動伝播が捉えられる効果的な時間関数としてリッカー波型を

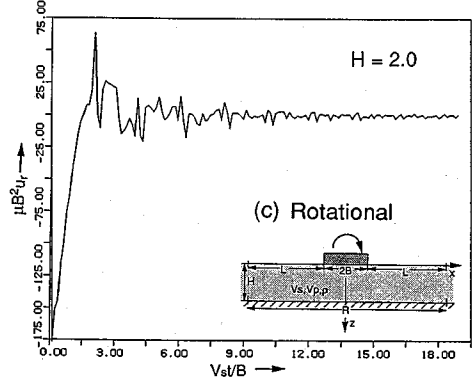
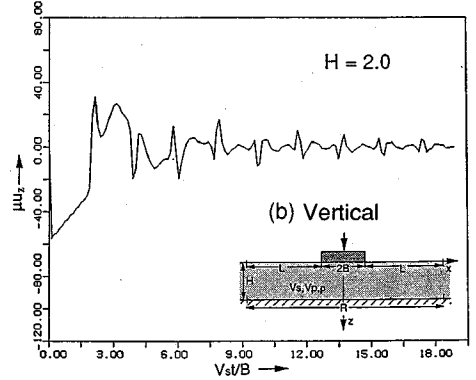
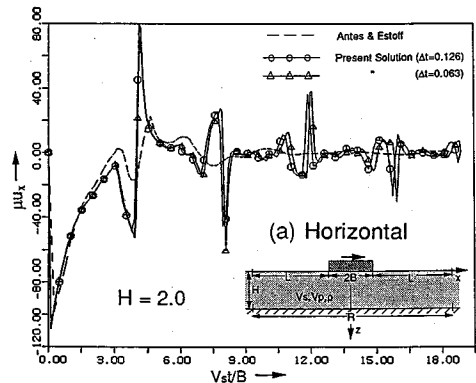


Fig.3 Impulse responses of a rigid surface foundation on a stratum

採用した。同波形は次式で示されるように、代表周期 T_0 が規定される一周期波である。

$$P(t) = T_0 \left[2 \left(\pi \frac{t}{T_0} \right)^2 - 1 \right] \exp \left\{ - \left(\pi \frac{t}{T_0} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (17)$$

成層地盤では、実体波の P 波、S 波の伝播に対して、それぞれ卓越周期が層厚に対して定義される。

$$T_p = \frac{4H}{V_p}, \quad T_s = \frac{4H}{V_s} \dots \dots \dots (18)$$

よってパラメータに T_p/T_0 , T_s/T_0 を選んだ解析を行った。この場合、 H を一定に保って T_0 を調整する方法と、 T_0 を一定に保って H を調整する方法とがある。 T_0 に対応して波長 λ_0 が与えられると

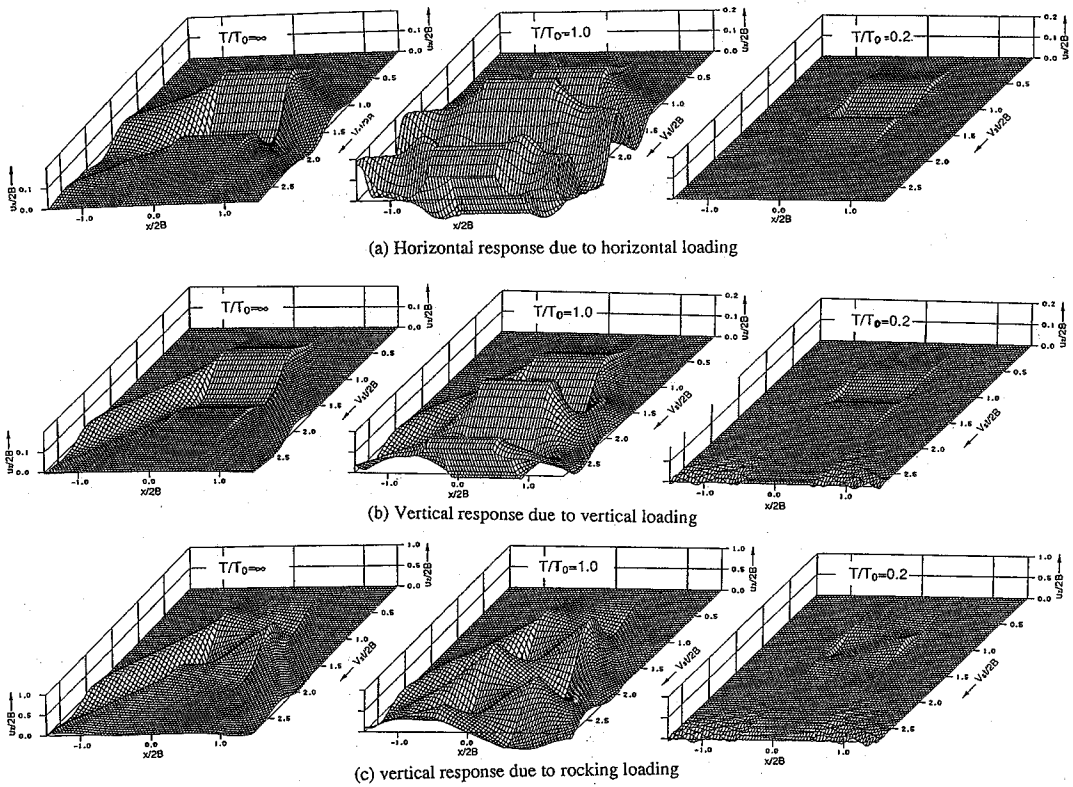


Fig.5 Transient responses of a rigid surface foundation on a halfspace and nearby soil surface under a Ricker-wavelet type loading

Table 1 Dimensionless parameters used for computation for various models

Cases Parameters	Halfspace	Stratum	Halfspace with WIB	Stratum with WIB
NE	12	24	12	12
Δt	0.04	0.04	0.08	0.08
TNE	70	70	50	50
L	4B	2B	4B	2B
R		6B		6B
Wx			2B/6B	0.5B
Wz			0.5B	2B/6B

Note: WIB= wave impeding block
 NE= number of elements per unit length
 Δt = time step
 TNE= total number of elements
 L= halfwidth of extending free surface
 R= width of rigid base

$$T_p/T_0, T_s/T_0 = 4H/\lambda_0 \dots \dots \dots (19)$$

ここでは、载荷の代表周期を固定して $T_0 = 0.2$ [s] (これに対応した代表波長は $\lambda_0 = 41.67$ [m]) として H を $H < 1.5\lambda_0$ の範囲で変化させて $T_p/T_0, T_s/T_0$ を $0.2 \sim 2.0$ の範囲とした。

Fig.1 (b) と Table 1 に示される計算モデルに基づいてそれぞれ水平、鉛直、およびロッキング方向载荷の下での基礎の応答の時刻歴を上記の周期比で計算し、そのときの基礎の最大応答値 A を半無限地盤の最大応答値 A_0 で正規化して Fig.4 に描いた。応答の様相は、水平

载荷のとき $T_s/T_0 = 1$ 、鉛直およびロッキング方向载荷共に $T_p/T_0 = 1$ つまり層厚が $1/4$ 波長のときピークを持つ。これは载荷周期が与えられたとき、共振層厚が存在することを意味している。 $T_p/T_0, T_s/T_0 > 1$ のとき、つまり層厚が $1/8$ 波長のより大きいと、Fig.3 のような波動伝播現象となり、そして層厚と共にロッキング、鉛直、水平応答の順に半無限地盤の応答状態に近づくことが判る。 $T_p/T_0, T_s/T_0 < 0.5$ のとき、つまり層厚が $1/8$ 波長のより浅いと、応答は半無限地盤のときよりも小さくなり、基礎の応答に制振効果を与えている。代表的な周期比に対して基礎およびその周辺の時刻歴応答を Fig.5 に描いた。同図において、波動伝播の観点から、 $T_p/T_0, T_s/T_0 = \infty$ のとき基礎からの波動の放射が、 $T_p/T_0, T_s/T_0 = 1$ のとき地盤の共振が顕著に見られ、 $T_p/T_0, T_s/T_0 = 0.2$ のとき剛基盤の境界条件により地盤運動が拘束されて载荷による強制変位のみ現われているのが認められる。そして表層地盤の固有震動が惹起されないので自由波動の伝播が载荷の終了後に現われてこない。

(3) 地中剛体ブロックの導入による制振効果

3.(2) の解析による見聞から、人為的に剛な基盤面を作り出して波動遮断ができる工夫を基礎下の地盤内に平板状のブロックを導入することで行った。それによる応答制振効果を評価するため、ここでは半無限地盤上の

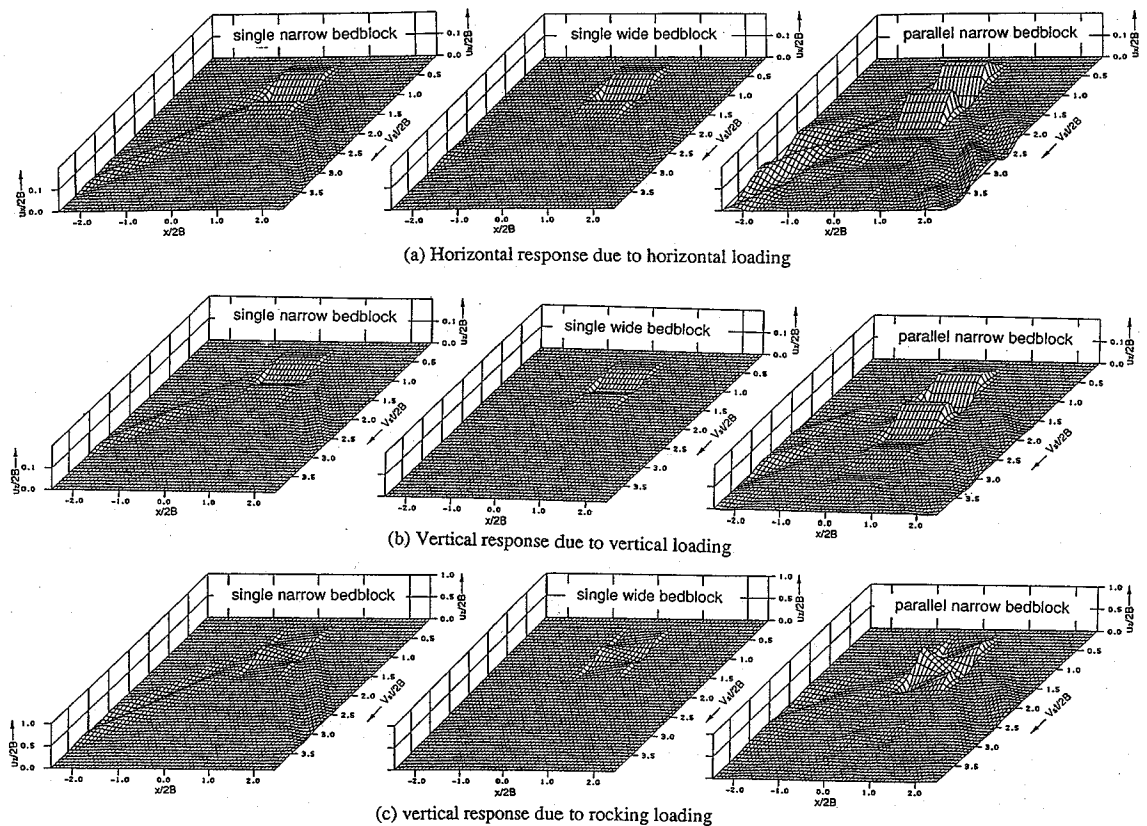


Fig.6 Transient responses of a rigid surface foundation on a stratum and nearby soil surface under a Ricker-wavelet type loading $T/T_0 = \infty$, Effect of WIB

基礎と、成層地盤で共振状態にある基礎の場合を想定した。制振ブロックの設置深さは同上面より上の地盤層の遮断振動数（第1次固有振動数）から決定される。したがって、この周期とリッカー波の代表周期との比を T_p/T_0 , $T_s/T_0=0.2$ となるようにした。施工上のことを勘案して制振ブロックの幅、形状も Fig.1 に示すように変化させた。計算モデルの詳細は Fig.1 (b), (c) と Table 1 を参照されたい。ブロックの物性はせん断剛性で周辺のそれより 100 倍した。水平、上下およびロッキング荷重をしたときの応答解析結果をそれぞれ Fig.6, 7 に示す。同図において制振ブロックを設置する前の応答と比較して、制振工法後は基礎およびブロック上の地盤面の応答が抑制されているのが顕著に判る。幅の広い連続したブロックを設置した場合においては、応答は強制的に外部から与えられた周期においてしか現われていない。基礎直下に基礎幅程度のブロックを設置することはかなり効果があると言える。しかし基礎直下の部分を除いた平行ブロックの設置はロッキングを除いては共振を抑えることができず、表面基礎に対してはあまり有効とは言えない。

6. むすび

筆者らは、以前に分布荷重による2次元弾性体のグリーン関数の解析表現を誘導した。本論文では、これを直接時間領域における境界要素法に導入し解析から、初期境界値問題としての地盤と構造物の動的相互作用応答を周辺地盤内の波動伝播に注目して示した。まず、衝撃荷重のもとで、半無限地盤と成層地盤内の波動伝播の特徴を示した。これにより、本解析結果の精度の検証を兼ねた。つぎに、リッカー波型の荷重の下に成層地盤内の波動の伝播あるいは遮断現象を層厚との関係で明確にした。その結果、 T_p/T_0 , $T_s/T_0 \gg 1$ では半無限地盤の固有モードが惹起されて応答の増幅となる。 T_p/T_0 , $T_s/T_0 < 0.5$ では地盤の固有モードは現われない。さらにこの原理を応用して、剛な埋設波動遮断ブロック (WIB) の設置による制振効果をパラメータ解析から確認できた。つまり、対象荷重周期が与えられると、同ブロックの設置位置は T_p/T_0 , $T_s/T_0 < \gamma 4H/\lambda_0$ を満たすようにするとよい。 γ は 0.5 程度以下がよい。

WIB のフィールド実験による検証を著者らは杭基礎の場合に実施しており、その効果は認められていること

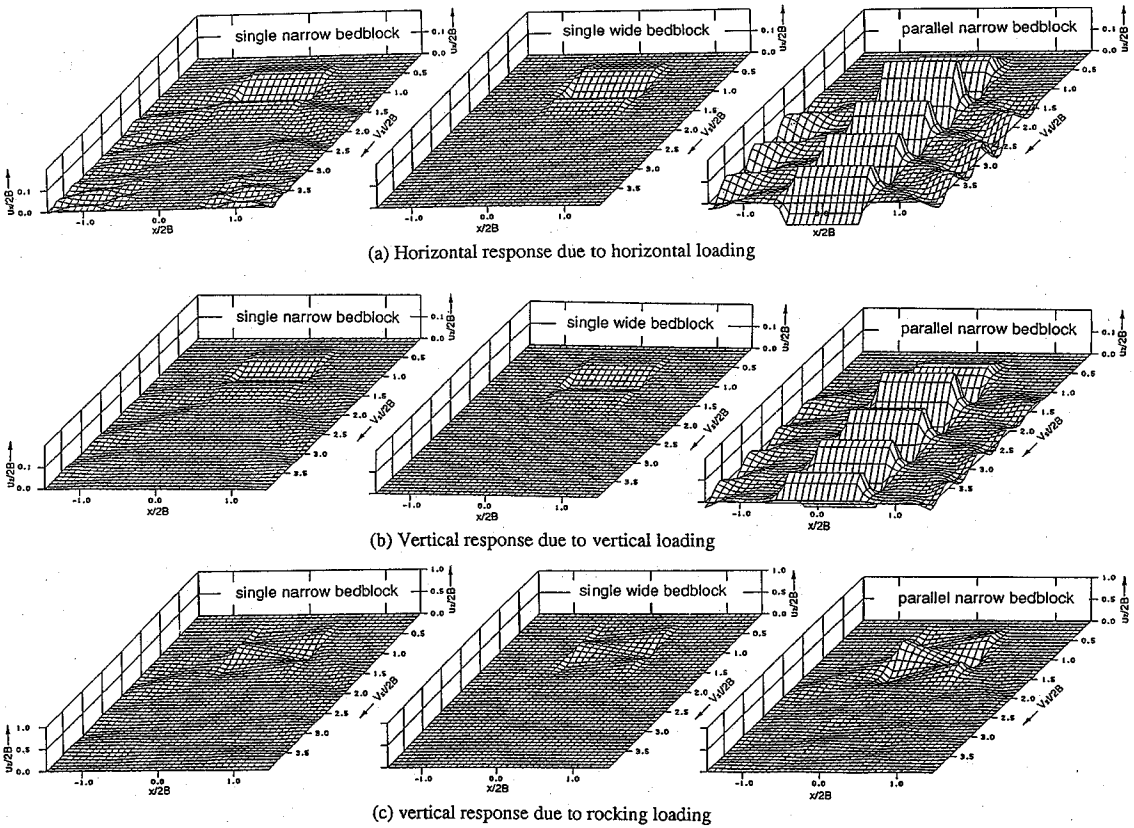


Fig.7 Transient responses of a rigid surface foundation on a stratum and nearby soil surface under a Ricker-wavelet type loading at $T/T_0=1.0$, Effect of WIB

を付記しておく¹¹⁾。

参考文献

- 1) Lysmer J. and Waas, G. : Shear waves in Plane Infinite Structures, J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.98, No.EM1, pp.85~105, 1972.
- 2) Antes, H. and von Estorff, O. : Dynamic Response Analysis of Rigid Foundations and of Elastic Structures by Boundary Element Procedures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.8, No.2, pp.68~74, 1989.
- 3) Chow, N. and Schmid, G. : Propagation of Vibration in a soil layer over bedrock, Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol.8, No.3, pp.125~131, 1991.
- 4) Takemiya, H. and Guan, F. : Transient Lamb's Solution for Surface Strip Impulses, J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.119, No.12, pp.2385~2403, Dec., 1992.
- 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, 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) Chow, N. and Schmid, G. : Building isolation using the transmitting behaviour of a soil layer, Proc. of the 10th WCEE, Spain, July, Vol.4, pp.2519~2524, 1992.
- 8) Takemiya, H., Jiang, J.Q., Nakajima, H., Chow, N. and Schmid, G. : Wave Impeding and Response Reduction by Artificial Bedblock for Pile Foundation, Proc. 2nd Eurodyn '93, Trondheim, Norway, pp.411~418, 1993.
- 9) Takemiya, H., Jiang, J.Q. : Wave Impeding Effect by Buried Rigid Block and Response Reduction of Dynamically Excited Pile Foundation, Structural Eng./ Earthquake Eng., JSCE, Vol.10, No.3, pp.149s-156s, 1993.
- 10) Takemiya, H., Wang, C.Y. and Fujiwara, A. : 2-D Elastodynamic Fundamental Solution for Distributed Loads and BEM Transient Response Analysis of Halfplane Problems, Struct. Eng. Earthq. Eng. Vol.10, No.1, pp.23s-33s JSCE, 465/I-23, 1993.
- 11) 竹宮・蔭・中島・成瀬・細谷 : 埋設波動遮断ブロック (WIB) による地盤-杭基礎系の地表面振動の考察, 第22回地震工学研究発表会講演概要, pp.827~830, 1993.

(1993.5.27 受付)

INSTALLATION OF A WAVE IMPEDING BLOCK (WIB) FOR DYNAMIC RESPONSE REDUCTION OF SOIL-STRUCTURE SYSTEM

Hirokazu TAKEMIYA and Akihiro FUJIWARA

Based on a convolution type Green function derived from distributed force application to the 2-dimensional linear elastic body, the transient wave field in the dynamic soil-structure interaction is thoroughly investigated by the time-domain BEM, when the soil is modeled either by a halfspace or by a stratum. The Rayleigh wave generation for the former case and the eigenmode wave propagation for the latter case are clarified. Depending on the period ratio between Ricker wave type loading and the natural period of stratum, the resonance/wave impediment phenomenon of the stratum soil in contrast to the halfspace, is focused. Further, a flat buried block system (called WIB) below the foundation proved to be an effective wave impeding measure, provided that it is installed at a proper depth over a sufficient width.
