

(216) 埋設ブロック (WIB) による地盤-杭基礎系の地表面振動の考察

○岡山大学 工学部 竹宮 宏和
 岡山大学大学院 蔣建群・中島 浩
 アイサワ工業 (株) 成瀬龍一郎・細谷多慶

1. まえがき

大型土木構造物の建設が軟弱地盤にも積極的になされる現状である。構造物は各種の震動源を持ち、例えば、産業構造物における機械震動、高架橋の走行震動がある。震動源から発生した震動が軟弱地盤の固有周期と共振し、構造物自体の安全性を脅す。また、地盤内を伝播して周辺他構造物へ振動障害を与えることになる。

本研究では、基礎と地盤の連成振動、地盤内の波動伝播理論に基づいて、基礎の動特性、波動の伝播メカニズムを制御できる基礎工法WIBを提案し、構造物自体の制振効果と共に周辺への波動伝播の遮断効果を発揮させる合理的基礎設計、工法を開発する。その原理は、剛基盤上の成層地盤内の波動遮断現象が層厚と波長の関係によって生じるのを利用するものである(図1を参照)。つまり、剛性の高い平板ブロックを人為的に地盤内に設計することで基礎の制振メカニズムを創出するものである。

いま、入射波長 λ_0 と層厚 H との関係は、載荷周期と地盤の基本固有周期で与えられるP波に対して $T_p/T_0=4H/\lambda_0$ 、S波に対して $T_s/T_0=4H/\lambda_0$ となる。この比が1以下になるように仮想剛基盤面としての剛性の高い平板ブロックを設計する。軟弱地盤には一般に杭基礎が打設され、構造物からの振動は杭基礎を通して地盤を振動させる。杭の応答は、いわゆる $1/\beta$ の範囲の部分に卓越してくるので、水平層の波動遮断振動数に対応した層厚がこれより薄いとよい。

以下、コンピューターによるシミュレーションワークと共に原位置載荷実験によって、ここで提案したWIBの効果を検証したので報告する。

2. 実験モデルと考察

WIBの効果を検証するためにフィールド実験(衝撃、起振起実験)を実施した。設置地盤は図3の原位置土質調査図からわかるように上部に砂質土と非常に軟弱な粘性土で構成されており、地表面18m以下には堅い砂れき層が分布している。杭はフーチングの対角線上に砂れき層まで打設し、ブロックと比較対象の鉛直壁を攪拌工法によって施工することにした。その平面、断面配置を図4に示す。基礎衝撃による観測点での鉛直、水平方向の自由振動をWIB施工の前後においてそれぞれを比較したのが図5である。これによると、WIB施工後はその直上の地表面での鉛直載荷による鉛直、水平加速度はそれぞれ施工前と比べて21%,43%小さくなり、水平載荷の場合それぞれ74%,68%小さくなっていることが

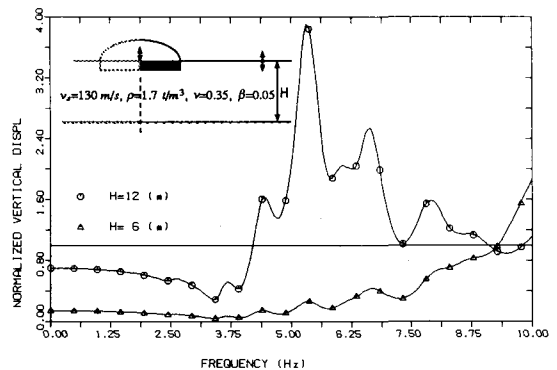


図1 層厚Hの減少による臨界振動数のシフトアップ

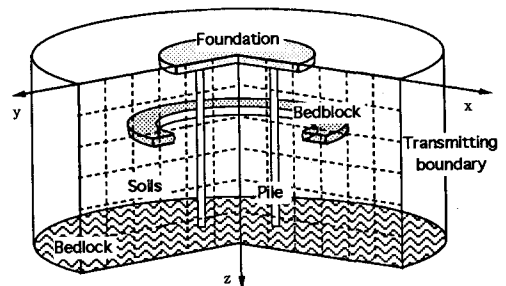


図2 WIBを入れた地盤-杭基礎系

分かる。また、高振動数成分が除去されてWIB工法による地盤の震動継続時間も短くなっている。これらの結果はWIB工法の効果を裏付けている。各振動数の実験結果と解析結果との比較考察は3において記述する。

3. 解析モデルと考察

FEM解析モデルは図5の地盤－基礎系で地盤、杭基礎とWIBの物性値は表1に掲げる。ここでは三次元軸対称（WIBを含む）解析によって近似できるとした。本解析では剛基盤上の層状領域をFEM化し、その側方境界には伝達境界による動的剛性を付与した。さらに、波動の伝播に関係のある放射減衰に加えて、複素弾性定数で内部減衰を考慮した。定式化は円筒座標系で変位および力を周方向にフーリエ級数展開し、振動パターンに従ってフーリエ次数を採用した。以上の方法を用いて数値解析を行い、各振動数ごとの応答を求めた。図7は解析結果と衝撃実験の結果をフーリエ変換したものと比較したものである。

同図ではWIB設置後の地表面加速度をWIB設置前の地表面加速度で除した値をプロットして、WIBによる制振効果を評価したものである。遮断振動数は鉛直加振の鉛直応答の場合には、 $f_{pb}=34$ (Hz)で与えられるので、同振動数以下の振動数帯域の $f=10, 18$ (Hz)のとき地表面加速度（特にWIB上の地表面 $R=2.5 \sim 7.8$ mの範囲）は1よりかなり小さくて、解析結果とほぼ一致する。さらに、 $f=39$ (Hz)の加振では1より大きくて、逆に増幅の結果となっている。一方、水平加振の水平応答に対して、遮断振動数 $f_{sb}=16$ (Hz)で、同振動数以下の $f=4, 9$ (Hz)の場合には応答低減効果が得られているが、 $f=21$ (Hz)のときは逆効果が現われず、解析結果と異なる結果となった。その理由は、WIB施工後の加振力がWIB施工前より小さい可能性があると思われる。また、 $f=4$ (Hz)に対する実験結果がWIB上の地表面付近しかプロットしていないのは施工前の応答が小さくて相対的な応答比率が非常に大きくなるが、絶対値的には非常に小さいので、無視できる。

4. 結論

解析と実験結果との比較から総合的に見ると、以下の結論が得られる。

(1)成層地盤のせん断波に対する固有振動数 $f_{ss}^1 = \bar{v}_s(2n-1)/4H$ と圧縮波に対する固有振動数 $f_{ps}^1 = \bar{v}_p(2n-1)/4H$ において、WIBの設置にかかわらず、共振現象が生じる。ただし、 \bar{v}_s 、 \bar{v}_p はそれぞれ地盤のS波、P波の平均伝播速度、H:地盤層厚、 $n=1, 2, \dots$ 。

(2)直接基礎と同じように杭基礎に対しても、層厚Hの減小に伴って、地表面振動のエネルギーが全体的に高振動数の方向に集中する傾向を見せ、低振動数の加振源に対するその振動を抑えられる

(3)与えられた地盤の層厚の下で、もし加振振動数が $f > f_{ss}^1$ (水平加振のとき) あるいは $f > f_{ps}^1$ (鉛直加振のとき) の場合、人工埋設物の波動遮断ブロック (WIB) を剛基盤と見なすことができ、そのとき $f < f_{sb}^1$ (水平加振のとき) あるいは $f < f_{pb}^1$ (鉛直加振のとき) の振動数帯域で制振効果を期待できる。

(4)波動遮断ブロック(WIB)の設計を考えると、水平方向の幅は対象波長に対して決定され、その剛性を上げることが効果的である。

(5)WIBの制振メカニズムは波動伝播の振幅減衰ばかりでなく、高振動数成分を取り除き、振動時間も影響半径も小さくなる。

(6)他の防振工法 (防振壁など) との比較で、WIB工法の効果は $f_{ss}^1 < f < f_{sb}^1$ (水平加振のとき) あるいは $f_{ps}^1 < f < f_{pb}^1$ (鉛直加振のとき) の振動数帯域で一般的に良好である。特に、WIB直上の範囲では効果が大きい。

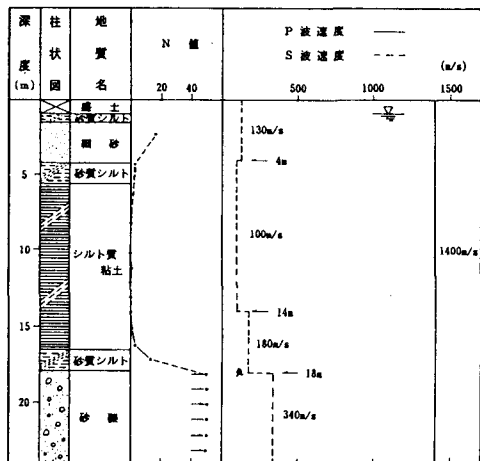


図3 原位置土質調査図

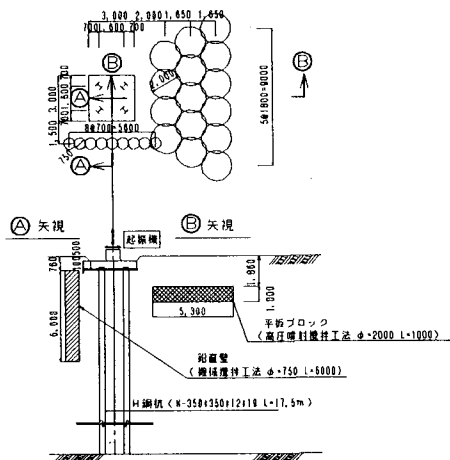


図4 平面、断面配置図

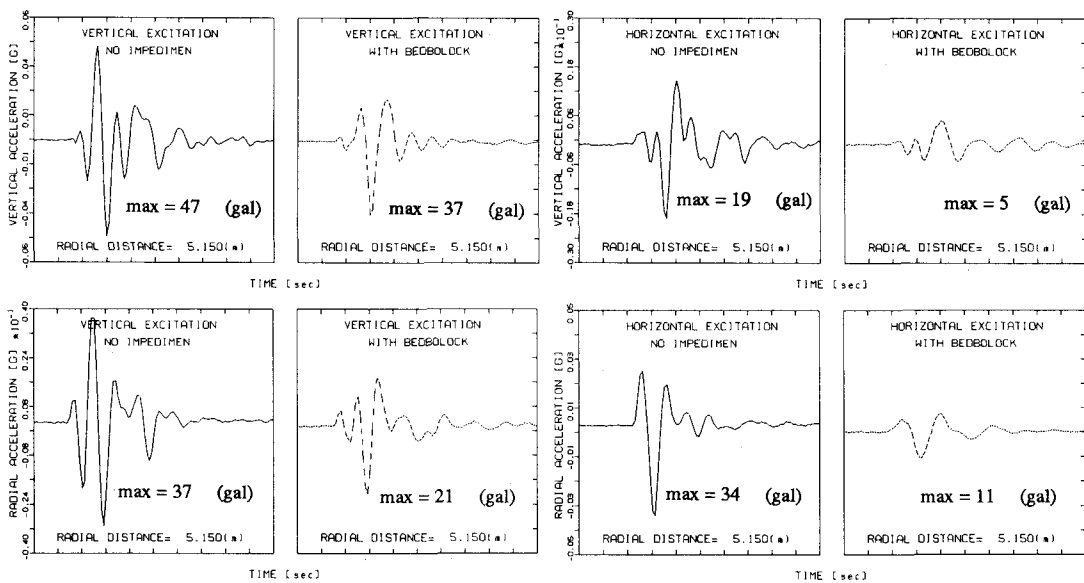


図5 鉛直、水平加振によるWIB効果 (時刻歴)

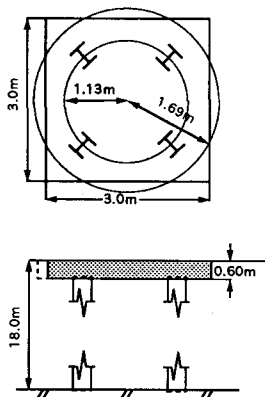


図6 地盤-杭基礎系解析モデル

表1 地盤、杭、ブロック、フーチング物性値

properties	density ρ (t/m^3)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	shear wave velocity c_s (m/s)
soil 1	1.7	0.35	5	130
soil 2	1.6	0.34	5	100
soil 3	1.8	0.36	5	180
properties	mass (t)	moments of inertia ($\text{t} \cdot \text{m}^4$)		
footing	13.45	I_x	I_y	I_z
		11.218	11.218	19.207

properties	density ρ (t/m^3)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	Young's modulus E (kn/m^2)
pile	7.91	0.30	0	2.1×10^6
properties	sectional area A (m^2)	secondary moments (10^4m^4)		
		I_x	I_y	I_z
pile	0.01739	1.36	4.03	18.0
properties	density ρ (t/m^3)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	shear wave velocity c_s (m/s)
block 1	1.94	0.30	0	400
block 2	2.5	0.30	0	2000

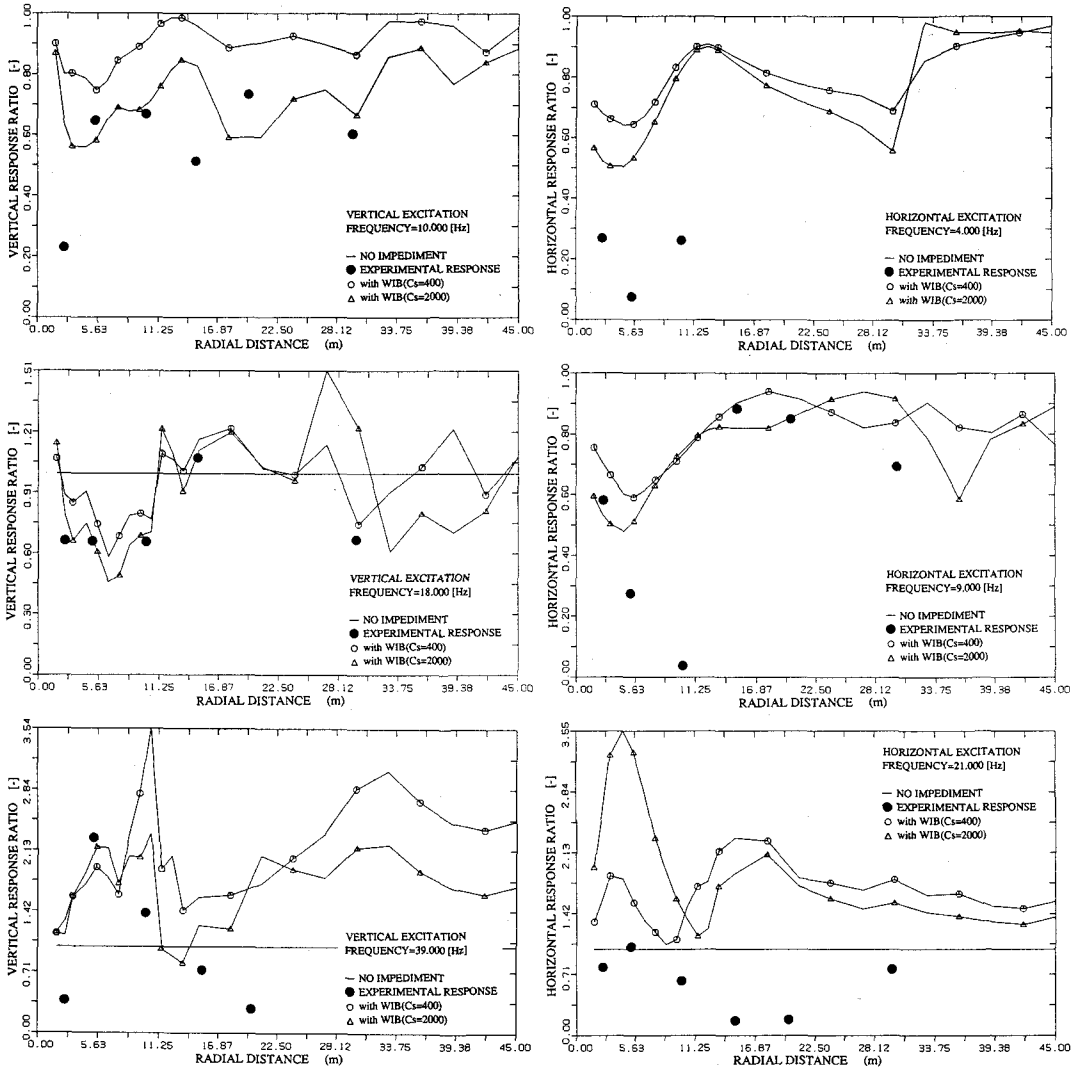


図7 鉛直、水平加振によるWIB効果(地表面分布)

参考文献

- 1.N.Chow,R.Le and G.Schmid,Propagation of vibration in a soil layer over bedblock, Engineering analysis with boundary elements, Vol.8, No.3,125-131,1991
- 2.N.Chow and G.Schmid,Building isolation using the transmitting behaviour of a soil layer, Procs. 10 WCEE, Vol.4,2519-2524,Madrid,1992
- 3.H.Takemiya and J.Q.Jiang, Wave inpeding effect by buried rigid block for pile foundation, Procs. JSCE (accepted)