

岡山大学大学院 学生員 中島浩
岡山大学大学院 学生員 蔣建群
岡山大学 正会員 竹宮宏和

1. はじめに

杭基礎は軟弱な地盤上の構造物の基礎形式として使用される。そして軟弱層下の支持層にまで先端支持杭として打設される。構造物からの振動は杭基礎を通して軟弱層内へ伝播され軟弱層の振動はかなりの程度のもとなり、振動数の帯域によっては軟弱層の固有振動数を惹起させる可能性がある。これまでの表面基礎に対して波動遮断は剛体の(あるいは高い剛性の)ブロックを基礎下に人為的に導入することによって、側方への波動を遮断できることが判っている。杭の振動は、いわゆる $1/\beta$ の以内の部分が顕著であり、それによって側方への波動エネルギーの伝播が生じる。この波動を対象波長の観点から、杭の周りにリング状の剛性の高い構造を所定の深さに人為的に建設して、波動遮断効果を期待する。

2. モデル化と解析法

図1に見られる杭に支持された基礎を考える。そのモデル化は杭と近傍地盤を軸対象に配置する。杭の先端は基盤に打設され、杭頭はフーチングに剛結状態とする。

杭-地盤相互作用系の解析をFEMより行う。この基本式は杭の剛性や質量を地盤の剛性や質量に重ね合わせる。地盤の側方への無限性は表面波伝播に基づく伝達境界によって置き換える。周辺地盤の減衰効果は水平方向への波の伝播と関係がある放射減衰に加えて複素弾性定常を採用することによって内部エネルギーの消散として考慮する。上記の支配式は円筒座標系で変位や力をフーリエ級数展開へ拡張される。

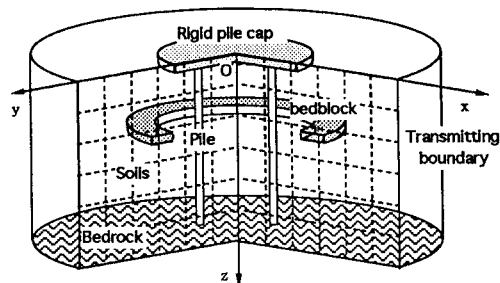


図1 波動遮断ブロック(WIB)を入れた地盤-杭図

調和外力による振動数応答解析を行い、その解をフーリエ逆変換することにより時刻歴応答を求める。

3. 考察及び結論

3.1 調和加振力による制振効果の解析

フーチング天端に単位調和加振力を载荷したときの近傍の地表面応答を解析した図3はWIB上の変位と加振周期の関係を表したものである。

$$f_h = \frac{V}{4H} \cdot (2n - 1) \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

(V:地盤のS波速度、H:地盤の層厚)

で計算される固有周期前後での共振現象が起き、変位の急激な増加を見ることが出来る。WIBを地盤内に入れると

$$f_h = \frac{V}{4H} \quad (V:地盤のS波速度、H:地表面からWIBまでの深さ) \quad (2)$$

で計算される最大遮断振動数まで減衰効果を期待できるが、それを越えると急激に変位が増加し逆効果となることが分かる。最大遮断振動数までは防振壁よりもWIBの方が制振効果が高く、今回特に問題としている8 [Hz] - 12 [Hz] では防振壁よりも大きな効果を得ている。

鉛直加振による地表面鉛直方向変位は、WIBや防振壁の無い場合地盤の固有周期では共振現象が見られず、それより低い周波数で大きな共振現象が見られる。この周期はWIBや防振壁のあるときでも卓越しているので杭基礎-地盤の固有周期だと思われる。

鉛直加振におけるWIBと防振壁の制振効果を比べると、8 [Hz] 位までは共振の為あまり差がなく、8 [Hz] 以上の加振周期に対して防振壁よりもWIBの効果がよく見られる。これは、式(2)で計算されるWIBの遮断効果範囲(19.4 [Hz] - 17.5 [Hz])よりも加振周期が低い為と思われる。

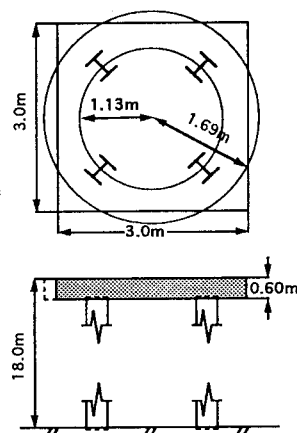


図2 解析対象の群杭基礎

表1 地盤、杭、ブロック、フーチングの物性				
properties materials	density ρ (ton/m ³)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	shear wave velocity V_s (m/s)
soil 1	1.7	0.496	5	130
soil 2	1.6	0.497	5	100
soil 3	1.8	0.492	5	180
properties material	density ρ (ton/m ³)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	Young's modulus E (kn/m ²)
pile	7.91	0.30	0	2.1×10^8
properties material	sectional area A (m ²)	secondary momenta (10 ⁴ m ⁴)		
pile	0.01739	I_x	I_y	I_z
		1.36	4.03	18.0
properties material	density ρ (ton/m ³)	Poisson ratio ν	damping ratio β (%)	shear wave velocity V_s (m/s)
block or wall	2.5	0.30	0	2000
properties material	mass (Q)	momenta of inertia (10 ⁴ m ⁴)		
footing	13.45	I_x	I_y	I_z
		11.218	11.218	19.207

3. 2 リッカー波型载荷による制振効果の検討

図4はリッカー波型の载荷力による地表面最大応答(変位)分布を水平と鉛直方向に対してプロットしたものである。この図を見ると水平、鉛直方向共に大きな制振効果を得ることができ、ブロック上の変位では防振壁よりも特に大きな制振効果を発揮していることが分かる。

3. 3 リッカー波型载荷による時刻歴応答

スペクトル表示によって時刻歴に含まれる周波数成分の検出をおこなった。そして、ブロックによる波動の遮断効果のある周波数帯域や、杭基礎での波動伝播のメカニズムを究明した。

図5, 6を見ると

(i) 自然地盤(WIBも防振壁も無い状態)での、基礎周辺の波形は入力波の形に大きく影響される。しかし、入力が短周期型のものであれば($T_p < 1$)、ある距離からは振幅のピークに距離と共に位相遅れが発生している。加振周期よりも長い周期の波も発生する。これは表面波発生の影響であると考えられる。(ii) WIBのある場合、振幅の減衰ばかりでなく、基礎に近いところでも波の伝播にもかなりの違いが見られる(特に代表周期が小さい時)。WIBがあると自然地盤と比べて振幅のピークが前にずれていることから、波の到着が早くなっていることが分かる。また、長周期の波も早く発生してしまい、逆に遠いところになるとこういう波形は見えなくなる。(iii) 加振力の周期物性値を変えると、WIBの制振効果はある代表周期内は一定であり($T_s < T_p < T_b$, ここで、 T_s : 地盤の固有周期, T_b : 最大遮断周期)、これは地盤の周期振動の特徴があまり変わらないことを示している。 $T_p < T_s$ の場合、効果がよくみられず、 $T_p > T_b$ の場合は逆効果になる傾向がある。

結論

1. 水平加振及び鉛直加振それぞれの場合で WIBは制振遮断効果の範囲内で大きな制振効果をもち、かつ、時間領域の解析より振動時間も短いことが確認できた。2. WIBは防振壁よりも大きな波動伝播の遮断効果を持つことが分かる。3. 杭基礎の波動伝播のメカニズムとWIBによる制振遮断効果は波動の遮断によるという事実を確認できた。

参考文献

(1) Hirokazu Takemiya, Jiang Jian-qun, Hiroshi Nakajima, "Wave Impeding Effect by Artificial Bedblock for Pile Foundation", 2nd euro dyn'93, NIT, Norway, 1993.6, OKAYAMA Univ., JAPAN

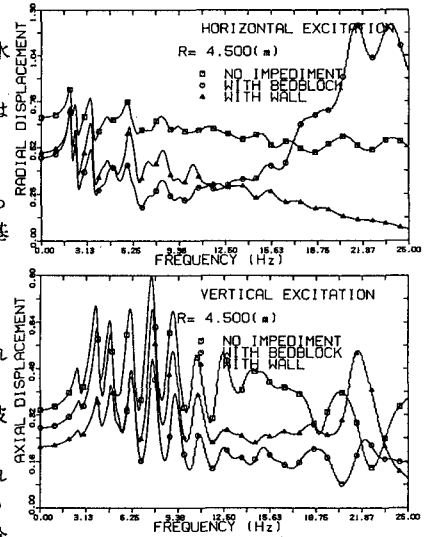


図3 調和加振による伝達関数

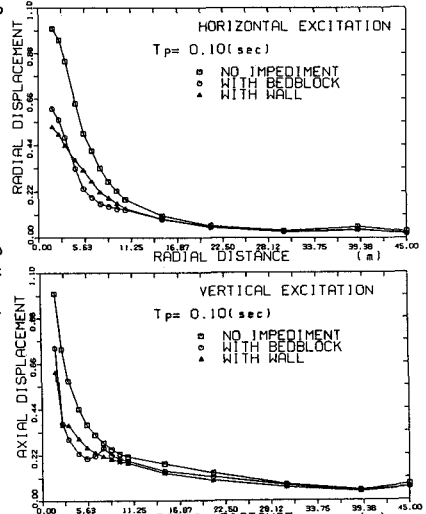


図4 リッカー波型载荷による地表面最大応答(変位)分布

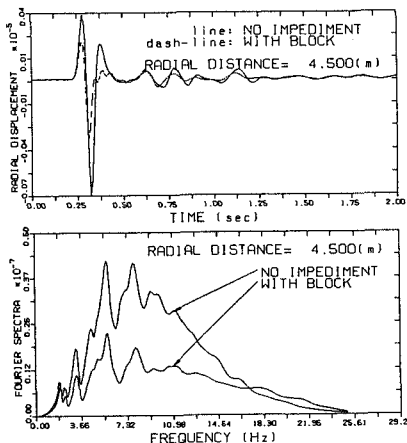


図5 リッカー波型水平载荷による時刻歴応答(変位)とそのフーリエスペクトル

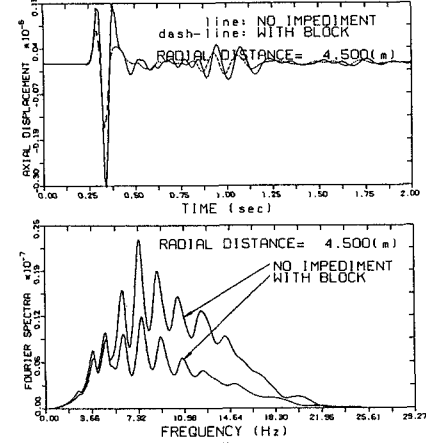


図6 リッカー波型鉛直载荷による時刻歴応答(変位)とそのフーリエスペクトル