

WIB複合杭基礎による 地盤 構造物相互作用系の制振効果

竹宮宏和¹・西村忠典²・島袋ホルヘ²

¹岡山大学環境理工学部 教授
(〒700-8530 岡山市津島中3-1-1)

E-mail: e_quakes@cc.okayama-u.ac.jp

²構造計画研究所(株) (〒153-8505 東京都中野区中央4-5-3)

本文では杭基礎設計のイノベーションを図る設計上の工夫として、中詰ハニカム構造 WIB を杭体の周りに配置する設計法を提案している。同設計では、水平方向の杭体の変形を中詰材によりフレキシブルに支持し、同時に大きな履歴減衰を期待する。そして過大な杭体変形をハニカム形状に配置されたソイルセメント杭で拘束する機構となっている。つまり柔剛複合構造システムを利用した制振効果発揮させる。ここでは、同基礎形式の耐震性の利点を定量的に把握をするため、数値解析を通して検証したものである。WIB の配置には、杭基礎全体を囲む軸対称構造と各杭体をハニカム形状 WIB で囲んだ構造の 2 種類を比較した。WIB の中詰め材料は原地盤としたが、タイヤシュレッドの使用により、大きなエネルギー吸収を期待できる。

Key Words : *Enhanced pile foundation, soil improvement, honeycomb WIB, soil-structure interaction, bridge pier, response reduction, performance based desing*

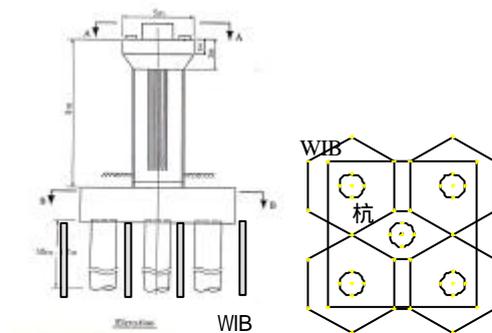
1. はじめに

著者らは、橋梁構造物を対象に群杭基礎と周辺地盤の動的相互作用解析から、上部構造の影響を考慮した杭体応答としての靱性率、エネルギー吸収度を評価して性能設計を図る研究に従事している。^{1,2,3)} そのなかで橋梁基礎の性能設計から見た耐震設計上の考慮と、地盤改良杭を本来の杭体の周辺地盤へ併用した複合杭基礎形式の水平保有耐力を増強する WIB 複合基礎を提案している。図 1 を参照。周辺の WIB の壁面によってその内部の杭体は囲まれる状態になる。中詰材と WIB 壁体とのインピーダンス比に従って内部の杭体の振動性状が変化する。本研究では、地盤改良杭をハニカム・セル構造で杭体を囲む形で設計し、中詰を高減衰材（例えばタイヤシュレッド）とした構造とする新基礎形式 地盤改良複合基礎杭形式の強震時の制振応答性状を 3次元モデルに基づくコンピュータ・シミュレーションから調べ、その有効性を検討することを目的としている。検討注目点は、線形応答状態の下で(1)杭体の曲げモーメント、せん断力が杭体にわたって最大値分布が上部構造と杭基礎と周辺地盤の 3次元動的相互作用

応答においてどの程度低減するかをみることにある。特にハニカム WIB のセル構造の応答効果を評価する。

2. 対象高架橋の諸元とモデル化

杭基礎応答への制振機構を発揮させるため、杭体周辺にハニカム状に配置した地盤改良杭を想定する。図 1 参照。



ハニカムサイズの代表径は約 7 m
WIB (中心線のみ表示) - 杭複合杭の平面図
図 - 1 地盤改良 WIB 複合杭基礎

表 - 1 原地盤物性値

下端深度 GL-m	P波速度 Vp (m/sec)	S波速度 Vs (m/sec)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)	減衰 (%)
5.00	725	122	0.485	2.0	5.0
11.00	1310	172	0.491	2.0	5.0
22.00	1590	231	0.489	2.0	5.0
36.00	1679	279	0.486	2.0	5.0
44.00	1679	331	0.48	2.0	5.0
52.00	1679	376	0.474	2.0	5.0
	1679	405	0.469	2.0	5.0

表 - 2 地盤改良杭の諸元と物性

S波速度 Vs (m/sec)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)	壁厚(m)
1000	0.2	2.0	1.0

表 - 3 杭の諸元

杭: 杭長 50.0m 1800 5本
 フーチング: 厚さ 2.5m 半径 6.3m の円形基礎に置換
 橋脚: 高さ 10.8m

弾性係(tf/m ²)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)
2.54E+06	0.2	2.4

地盤改良によるWIBの剛性は原地盤より数倍高く、したがって急変する周辺物性値の杭体への影響があり、杭体の断面力が増加する可能性が高い。この欠点を避けるために考案した補強工法をタイヤシュレッド中詰八ニカムセル構造WIBとしている。図 - 1の平面図では、各場所打ち杭の周辺にWIBを配置した場合を示している。地盤改良杭による改良範囲は、全杭を取り囲む形式とした。杭周辺へ配置した地盤改良杭の長さは、道路橋示方書を参考に、対象杭体の剛性EIと地盤反力係数Kから得られる特性値 $b = \sqrt[3]{4D/EIK}$ から $1/b$ とした。一方、コンピュータ・シミュレーションの FEM解析に際して、軸対称モデル化と、3次元モデル化を採用した。これは前者の軸対称として全杭体を取り囲む場合も一つの設計案として検討の対象としたからである。耐震解析に用いた、入力地震波形は、土木研究所のタイプ1であり、図 - 3 に示す。L2照査用として規定されている波形である

構造計画㈱のSUPERFULUSH/3Dを使用した。同計算手法は、薄層要素法によるサブストラクチャ法を適用した振動数解析法である。したがって原地盤を10Hzまでのせん断波長を考慮できるように波長の1/6で深さ方向に分割し、地盤インピーダンス関数

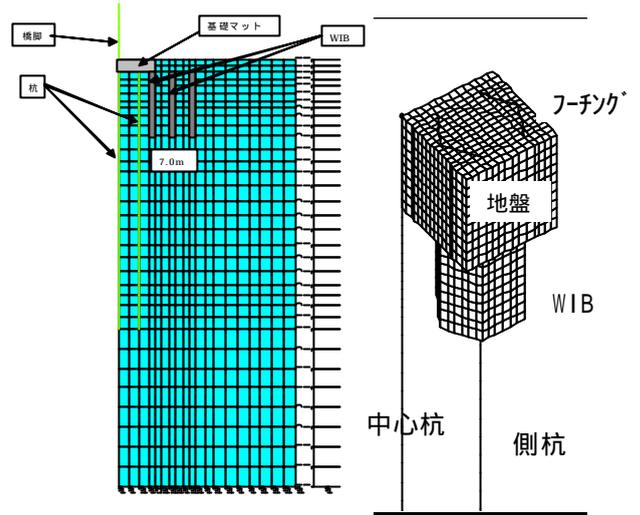


図 - 2 軸対象モデル化, 3次元モデル化(1/4)した計算モデル

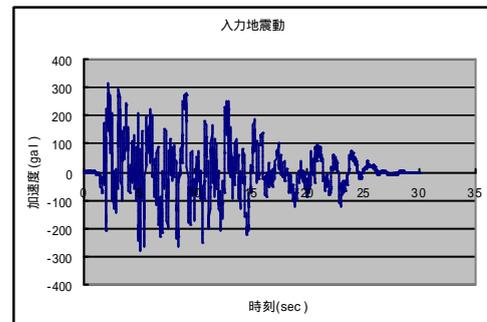


図 - 3 . 1, 入力地震動の時刻歴

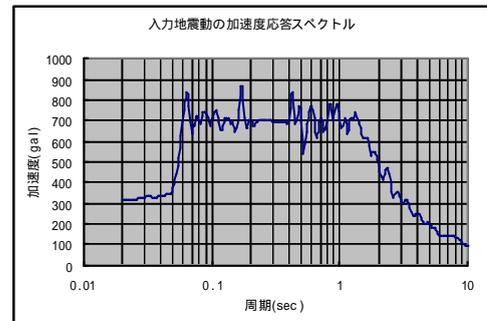


図 - 3 . 2 入力地震動の加速度スペクトル

を解析対象範囲の最外側節点において求めた。基盤入力に対する同節点への有効入力の下で各振動数応答を計算した。その逆フーリエ変換から時間領域応答時刻歴を評価した。

3. コンピュータ・シミュレーション

(1) 軸対象モデルの解析結果の検討

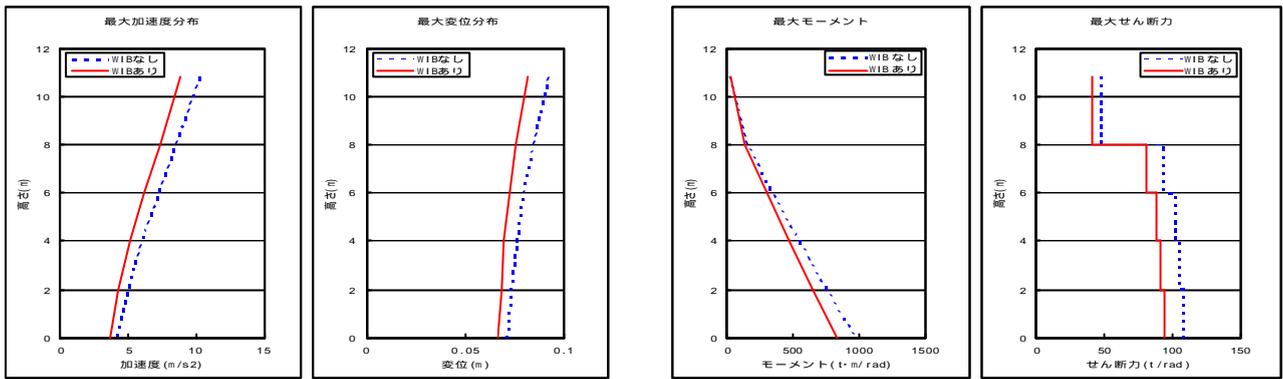


図 - 4 橋脚の最大応答(軸対称モデル)

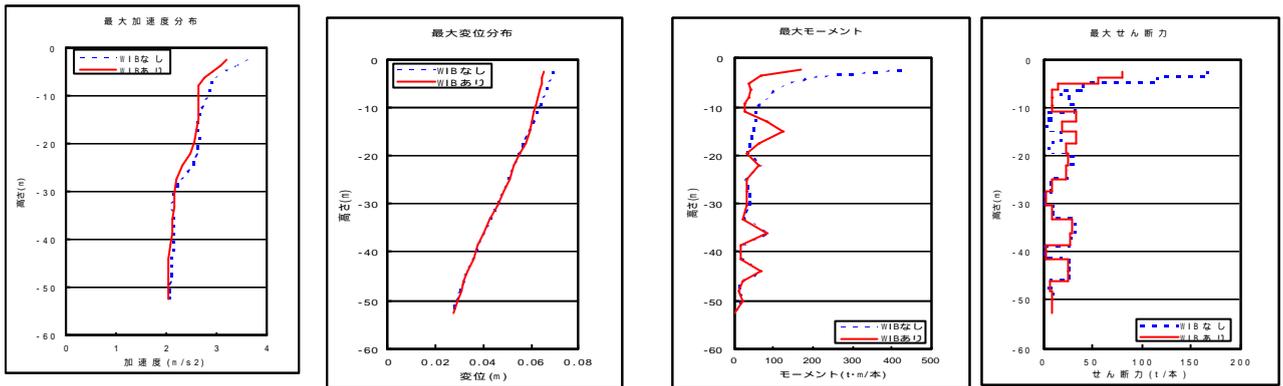


図 - 5 側杭の最大応答(軸対称モデル)

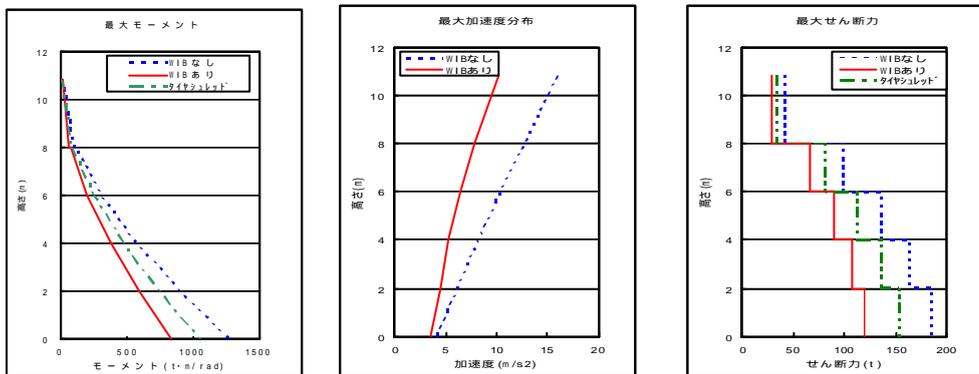


図 - 6 橋脚の応答(3次元解析)

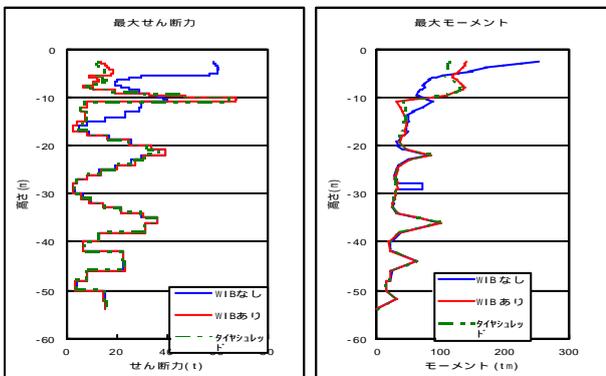


図 - 7 側杭の最大応答(3次元モデル)

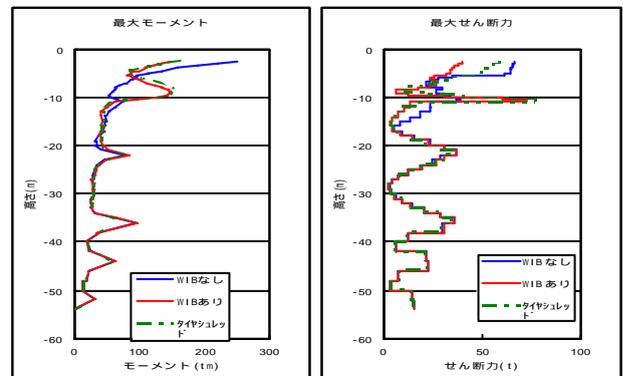


図 - 8 中心杭の最大応答(3次元モデル)

図-4は橋脚部の変形、断面力の分布を、図-5は側杭の変形、断面力の分布を描いたものである。本解

析で仮定した地盤改良杭の効果は、橋脚部で僅かながら基部へ向かって現れている。一方、側杭体部で

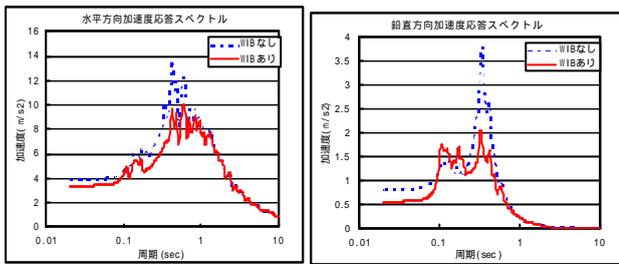


図 - 9 フーチング端部の水平，鉛直加速度応答スペクトル(軸対称モデル)

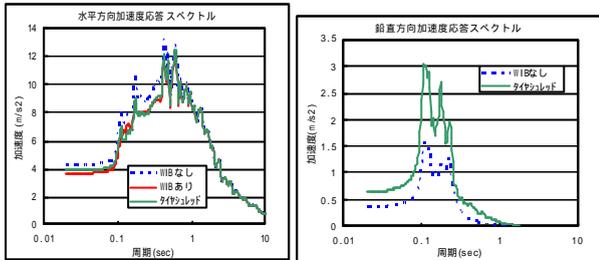


図 - 10 フーチング端部の水平，鉛直加速度応答スペクトル(3次元モデル)

は杭頭近傍において顕著に現れて、1/2までに低減していることが分る。フーチングの応答は、地盤 - 杭基礎系としての卓越周期において水平並進量は低減し、ロッキングは卓越周期成分が大きく拘束されて全体として低周期へ移動し、低減している。このフーチングの応答変化に伴って、図 - 5 の橋脚天端の応答では、かなり水平加速度が低減されている。これは伝達関数において卓越振動数が高振動数へシフトしていることによる。

(2) 3次元モデルの解析結果の検討

図 - 6 は橋脚の応答を描いた。3次元解は、橋脚断面力においてWIBにより低減されている。図 - 7，図 - 8 それぞれ側杭と中心杭の最大断面力応答を示したもので、杭頭位置でWIBの存在によって大きく低減されていること、しかしWIBの下端で杭頭程度までに却って増大している。この改善策として、WIB長を剛性の低減を伴って長くするとよい。図 - 9，10はそれぞれフーチング端部の水平加速度応答スペクトルを示す。短周期成分の基礎のロッキング

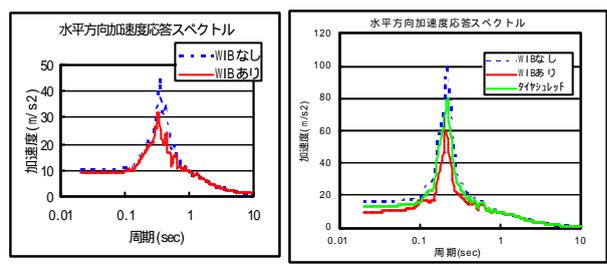


図 - 11 橋脚頂部の水平加速度応答スペクトル

応答を大幅に低減しており、その結果、橋脚天端応答が同帯域で落ちている。図 - 11 は橋脚天端でのWIBによる応答低減を確認したものである。

軸対称モデルのWIB配置と各杭体周りにWIBを配置した場合の応答結果からは、後者は剛過ぎたきらいがあり、前者の方が高架部の振動帯域に関係しており、よい結果と言える。

4. おわりに

本論文では、地盤改良複合杭基礎の耐震性の利点を定量的に把握をするため数値解析を通して検証したものである。本解析では、WIBの中詰め材料は原地盤としたが、タイヤシュレッドの使用により、大きなエネルギー吸収を期待できる。なお、同基礎式は、強震時にはソイルセメント杭が杭体よりも先行して塑性変形してエネルギー吸収をさせ、一部損傷制御設計のコンセプトを付与させ、杭体設計は要求性能をコスト縮減で満足させ易い。この非線形動的相互作用解析に関しては次の課題としている。

参考文献

- 1) Shimabuku G., and Takemiya, H. Soil-cement columns reinforcement for bridge pile foundation against earthquake/traffic-induced vibrations, 11th Japan Earthquake engineering Symposium, 1197-1202, 2002.
- 2) 竹宮宏和，地震動に対する地盤や構造物の耐震技術，土と基礎，地盤工学会，51.3，1 - 3，2003。
- 3) Takemiya, H. Cheng, F. and Shmabuku, Application of WIB for better seismic performance of brige foundation, 27 Earthquake Engineering symposium, JSCE, 2003.

(2003. 10. 10 受付)

SEISMIC DESING OF AN ENHANCED PILE FOUNDATION FOR BRIGES

Hirokazu TAKEMIYA, Tadanori NISHIMARA and Jorge SHMABUKU

An innovative enhanced pile foundation is proposed for the better seismic performance that leads more flexible pile but stiffer pile impedance by the aid of surrounding WIB(Wave Impeding Barrier) effect. The seismic response analysis for a Level 2 seismic motion proved that the present enhanced pile foundation meets well the performance based design requirements, with significant response reduction not only acceleration responses but also internal forces.