

(157) 多重リング杭仮定を用いた群杭要素の適用性に関する検討

(株) 大林組技術研究所 ○久保寺家光

同 上

菊地 敏男・後藤 洋三

1. はじめに

筆者らは大本数の群杭基礎を有する基礎—地盤—構造物の動的相互作用問題を効率的かつ精度良く解析するため、同心円上に配置されている杭をリング状の杭と仮定（以降、リング杭仮定）して処理する方法の検討を行ってきた。今回、この手法を用いた3次元回転体有限要素法で実橋脚の起振機実験¹⁾の数値シミュレーションを行い、妥当性を検証した。また、群杭とフーチングに作用する動的地盤バネの解析結果についても3次元薄層要素法²⁾により得られた解と比較し検討したので報告する。

2. リング杭仮定

図1、2にリング杭仮定の概念を示す。本手法は群杭が多重の同心円上に配置されているとし、同心円上の群杭がリング状の一つの要素として挙動をするものと仮定する。具体的には、群杭を多重の同心円でグループ分けし、各同心円の円周方向に(1)～(3)式に示す変位関数を定め、深さ方向には各杭ごとに、梁としての変位関数を定める。その後、同心円に属する個々の杭について仮想仕事の原理を適用して、それを加算して同心円を代表する要素剛性マトリックスを求めるもので、節点力と節点変位は(4)式となる。

$$u(\phi) = U \cdot \cos \phi, \quad \theta_u(\phi) = \theta_u \cdot \sin \phi \quad (1)$$

$$v(\phi) = V \cdot \sin \phi, \quad \theta_v(\phi) = \theta_v \cdot \cos \phi \quad (2)$$

$$w(\phi) = W \cdot \cos \phi, \quad \theta_w(\phi) = \theta_w \cdot \sin \phi \quad (3)$$

$$\{P\}_i = [K_i] [CS_i] [A] \{U\} \quad (4)$$

ここで、 $u(\phi) \sim \theta_w(\phi)$ は全体座標系で ϕ における並進及び回転変位、 $U \sim \theta_w$ は杭の部材座標系における最大並進変位、回転変位である。また、 $\{P\}_i$ ：節線力ベクトル、 $[K_i]$ ：剛性マトリックス、 $[CS_i]$ ：(直交→全体)座標変換マトリックス、 $[A]$ ：(円筒→直交)座標変換マトリックス、 $\{U\}$ ：節線変位ベクトル、である。

3. 橋脚付近の地盤と解析方法

解析の対象とした橋脚付近の地盤は図3に示すように、最上層に軟弱な沖積粘土層、次に段丘堆積層の砂礫層、さらにその下に洪積粘土層と薄い砂層との互層が堆積している。杭は摩擦杭で先端は深さ55m付近の洪積粘土層に根入れされている。フーチングの寸法は32.5m×27.5mで、直径1500mmの鋼管杭が56本打設されている。解析は、まず3次元回転体有限要素法（以降、3次元FEM）と薄層要素法により、群杭とフーチングに作用する動的地盤バネを求め両者を比較し、リング杭仮定の妥当性の検証を行った後実橋脚の起振機実験のシミュレーションを行った。使用した

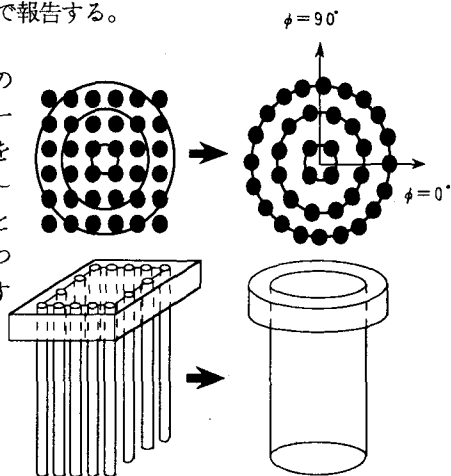


図1 リング杭仮定の概念

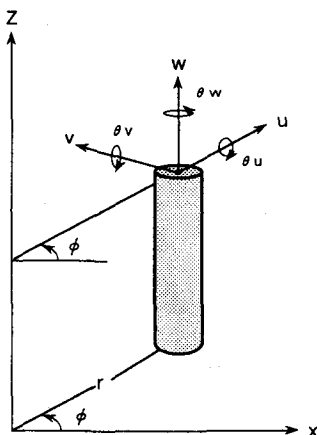


図2 全体座標系と部材座標系

プログラムはそれぞれ『ABLE』³⁾ および『SPRIT』⁴⁾ である。図4、5に両者のメッシュ図を示す。3次元FEMでは群杭を7重の同心円にグループ分けし、リング杭仮定を適用してモデル化した。フーチングを矩形から円形に変換する際は、断面積が等しくなるように設定した。橋脚は回転軸の中心に1本の柱としてモデル化し、その横梁相当高さに起振機相当の加振力を作用させて定常応答を求めた。地盤のせん断剛性はP S検層の結果から算定し、減衰は構造物で2%、地盤で5%に設定した。また地盤側方にエネルギー伝達境界を接続した。動的地盤バネを求める際にはフーチングを質量ゼロで剛性が無限として、フーチングの中心底面に単位の水平加振変位を作用させて作用変位に対する反力を求めバネの値とした。ここで3次元FEMについては、図4のモデルから橋脚のモデル(ビーム要素)を取り除いて行った。

4. 解析結果

図6,7に3次元FEMと薄層要素法で解析した動的地盤バネを示す。両解法における水平バネについては振動数の低い領域ではほぼ一致しており、リング杭仮定の妥当性が認められるが、回転バネでは3次元FEMの方がやや大きくなっている。これは長方形

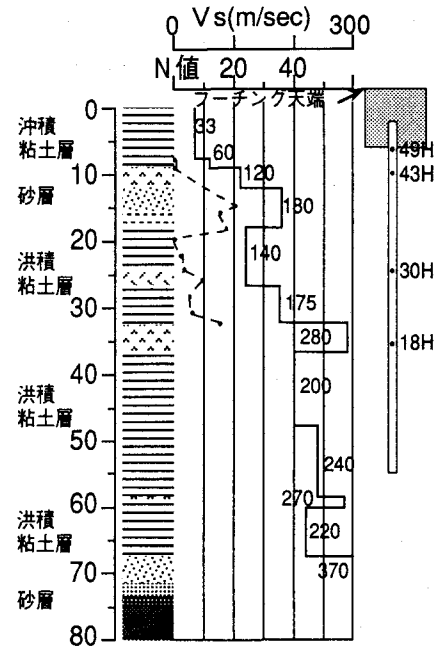


図3 橋脚周辺の地盤条件

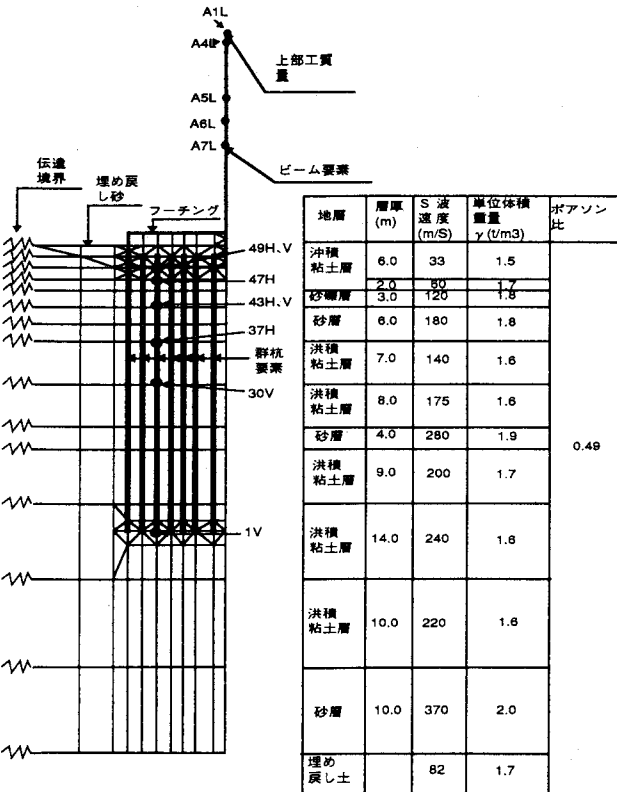


図4 3次元FEMモデル

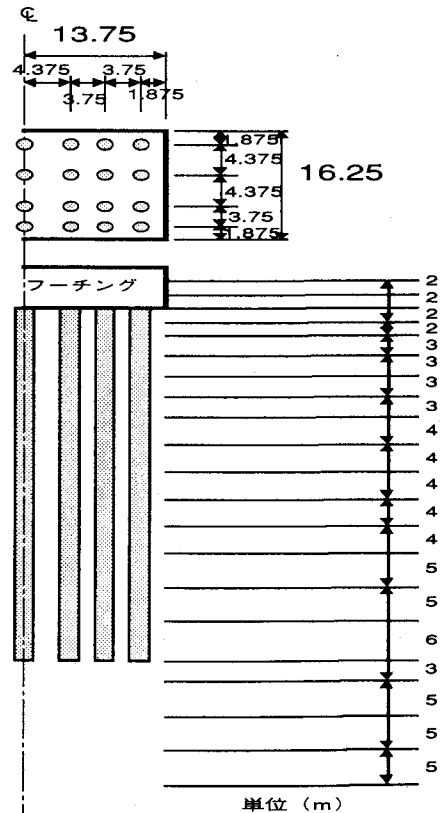


図5 薄層要素法モデル

のフーチングを回転体有限要素法でモデル化する際に面積等価で円形に置き換えているため断面2次モーメントが過大になったことが一因として考えられる。

次に、図8、9に橋脚の水平動に関する共振曲線を図10、11には杭の水平及び上下動に関する共振曲線を示す。それぞれ上が実験値、下が解析値である。これらの図から実験値と解析値とで良好な一致が見られ、このモデルが群杭の振動特性を良く捉えていることがわかる。図12に各共振点における杭に生じる軸歪と曲げ歪の分布を示す。図中の実線は実験値であり、点線は解析値である。解析結果における杭の歪分布は実験結果とほぼ一致している。

5. まとめ

(1) リング杭要素を導入した3次元回転体有限要素法と薄層要素法とによりフーチングと群杭に作用する動的地盤バネを求めた結果、両者に良好な一致が見られリング杭仮定の妥当性が検証できた。(2) 実橋脚における起振機実験をリング杭要素を導入した3次元回転体有限要素法によりシミュレーションした結果橋脚ならびに杭の共振曲線において実験結果と良好に一致した。

(3) 杭に生じる軸ひずみと曲げひずみが実験値とほぼ一致した、等の結果が得られ本解析手法が妥当であることが検証できた。

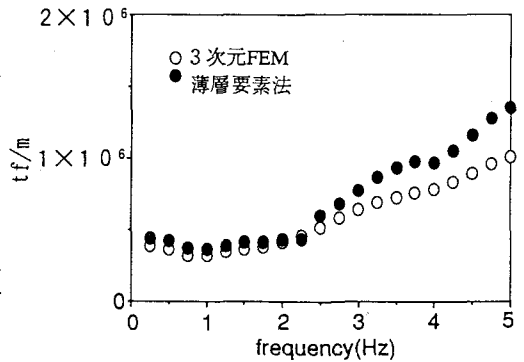


図6 水平バネ

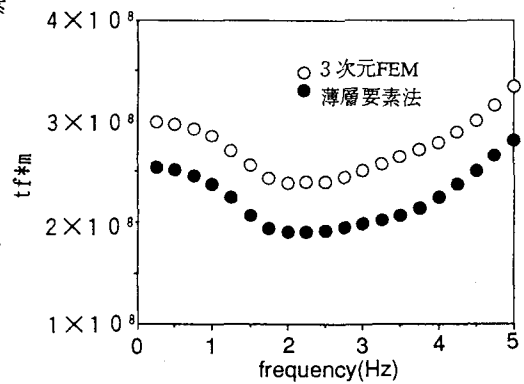


図7 回転バネ

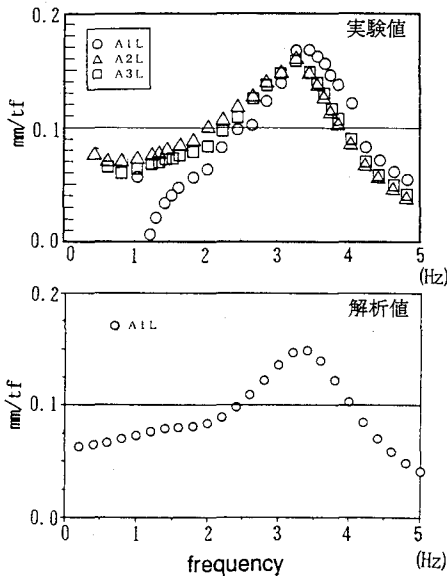


図8 橋脚頂部水平共振曲線

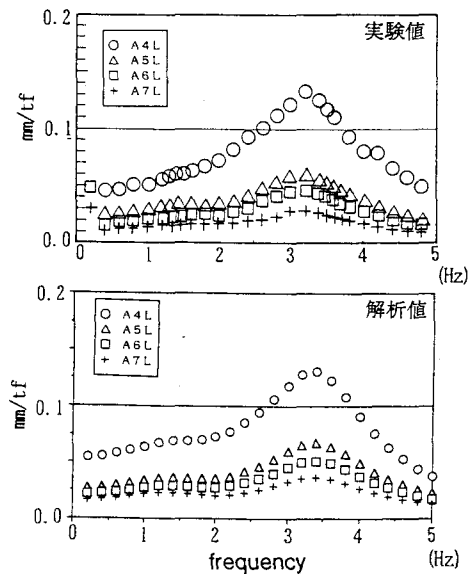


図9 橋脚水平共振曲線

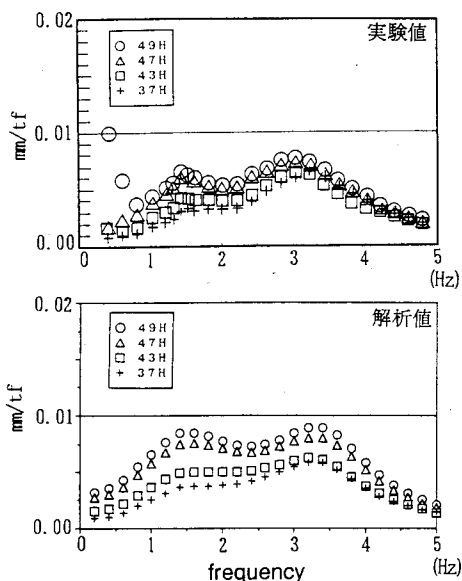


図10 杭水平共振曲線

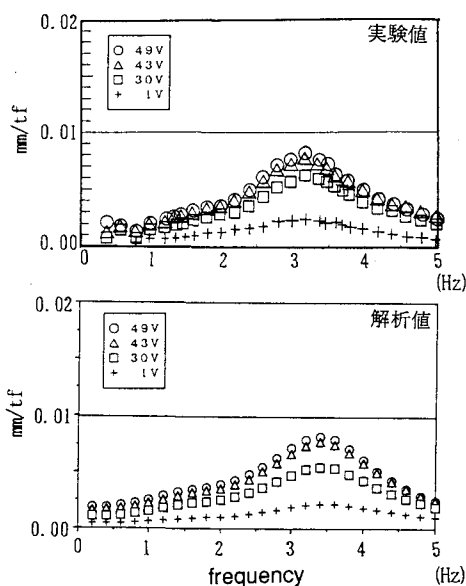


図11 杭上下共振曲線

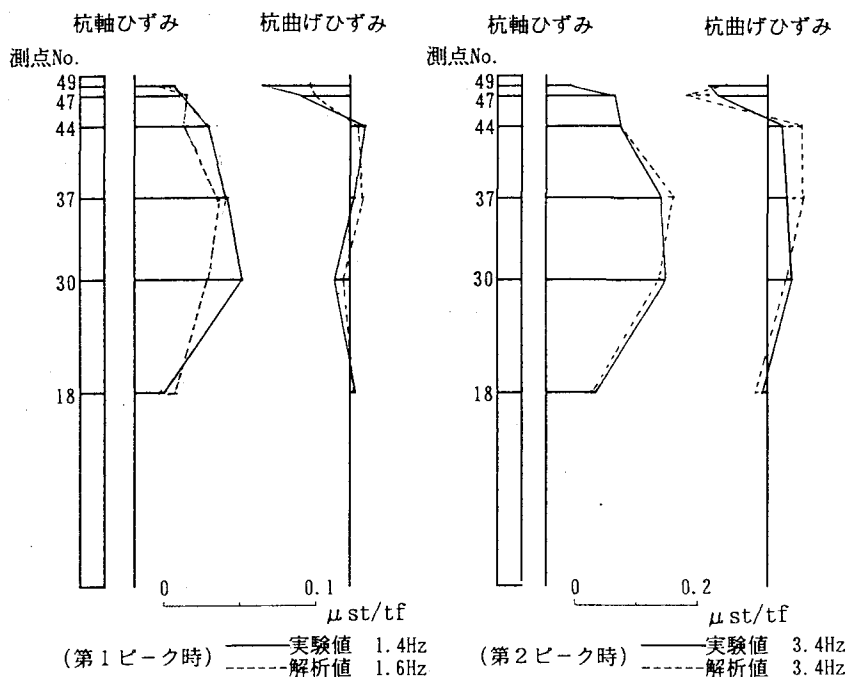


図12 杭に生じるひずみ

参考文献 1) 本山、丸山：関西国際空港連絡橋脚における起振機実験とその解析、第20回地震工学研究発表会（1989年）

2) 例えば田治見、下村：3次元薄層要素法による建物－地盤系の動的解析、日本建築学会論文報告集、第243号、pp.41-51、（1976年）

3) (株)大林組情報システムセンター：ABLE（1990年）

4) (株)大林組情報システムセンター：SPRINT（1992年）