

I-494

地盤の非線形応答に伴う群杭基礎構造物の動的応答特性に関する一考察

清水建設(株)技術研究所

正会員 田蔵 隆

正会員 佐藤 正義

正会員 清水 勝美

正会員 社本 康広

正会員 石川 裕

1. 概 説

強震時に地盤が非線形応答を呈することは周知のとおりであり、群杭基礎構造物の耐震安全性を論ずる上で地盤の非線形応答が群杭基礎の動的応答特性に及ぼす影響度について検討することが重要である。本報はせん断土槽中に作製した群杭基礎構造物模型に対する振動台実験の結果から、地盤の非線形応答に伴う群杭基礎構造物の動的応答特性について考察したものである。

2. 模型振動実験

図1に示すように、長さ1.2m、幅0.8m、高さ1.0mの寸法を有するせん断土槽の中央に、直径30mm、肉厚1mm、長さ900mmのアルミニウム製の杭(ヤング率 $E=7.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)が3列×3列(杭間隔75mm)に配列された群杭基礎構造物模型を設置し、振動台加振による実験を行った。各杭の杭頭はフーチングに剛結し、杭先端は土槽の底面に対して完全固定とした。上部構造物はせん断変形が卓越するように製作したもので、重量33.8kgfの鋼板を4枚の板ばねで支持する構造とした。上部構造物の下端を完全固定としたときの1次固有振動数 f_{s0} は24.5Hzである。地盤は千葉県浅間山砂の乾燥砂によって作製したもので、平均単位体積重量 γ は1.5tf/m³、平均粒径 D_{50} は0.31mmである。計測は図1に示すように、地盤と群杭基礎構造物模型の上部構造物およびフーチングに加速度計を設置し、また基礎杭にひずみゲージ、せん断土槽の側面に変位計を設置して行った。

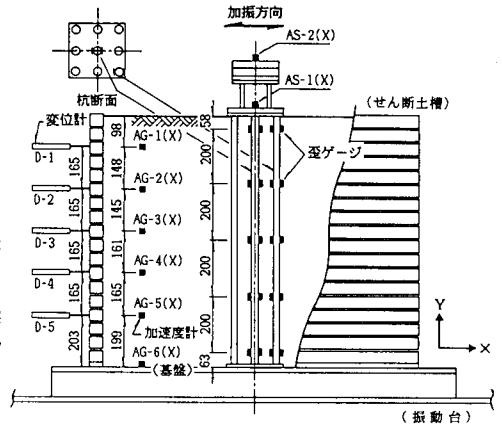


図1 群杭基礎構造物模型および計器配置

3. 実験結果

図2～図4は入力加速度 A_{0max} を25Gal、100Gal、200Galとした正弦波スイープ加振による基礎(AG-6)に対する地表部(AG-1)、フーチング(AS-1)および上部構造物(AS-2)の加速度記録に基づく共振曲線を示したものである。図2の共振曲線において、地盤の1次固有振動数 f_g に対応するピークが入力加速度 A_{0max} の増加に伴い、10Hz、7Hz、5Hzと変化し、応答倍率 α_g も7.0、3.7、2.7と低下しているのは地盤の非線形応答によるものである。一方、図3および図4の共振曲線には共通した2つのピークが現れており、入力加速度 A_{0max} の増加に伴い10Hz、7Hz、5Hzと変化しているピークは、図2の地盤の共振曲線のピークに対応するものである。

入力加速度 A_{0max} の増加に伴い、17Hz、14Hz、13Hzと変化しているもう一方のピークは、上部構造物が地盤・群杭基礎系と連成系を成すことによる1次固有振動数 f_{s1} に対応するものであり、応答倍率 α_{s1} の低下は図3のフーチング部において6.8、4.2、3.8、図4の上部構造物において17.3、7.8、6.7である。この1次固有振動数 f_{s1} および応答倍率 α_{s1} の低下も、明らかに地盤の非線形応答によるものと考えられる。

4. 考 察

図3および図4の共振曲線における地盤の1次固有振動数に対応する振動数 f_g とその応答倍率 α_g の低下、および上部構造物が地盤・群杭基礎系と連成系を成すことによる1次固有振動数 f_{s1} とその応答倍率 α_{s1} の低下は、いずれも地盤の非線形応答によるものであるが、両者には大きな相違点が存在する。

振動数 f_g とその応答倍率 α_g の低下に及ぼす地盤の非線形応答は、主として地盤に鉛直入射されたせん断波によるせん断振動に伴うものである。一方、振動数 f_{s1} は地盤のせん断振動に比較して、上部構造物の慣性力による振動が支配的になる振動数に対応しており、この場合杭頭部の水平振動に伴い、杭頭部付近の地盤が局部的な非線形応答を呈し、このことによって固有振動数 f_{s1} と応答倍率 α_{s1} が低下したのと考えられる。動

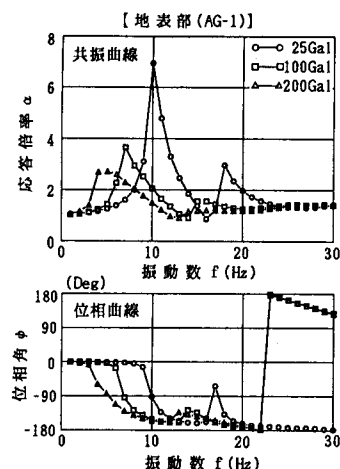


図2 基盤(AG-6)に対する地表部(AG-1)の共振曲線

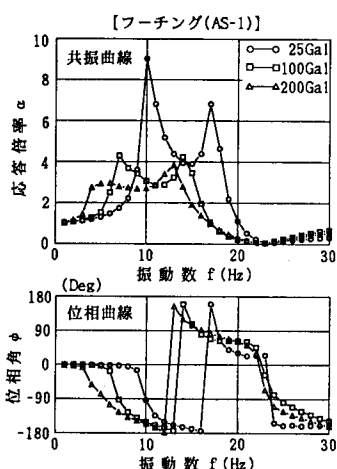


図3 基盤(AG-6)に対するフーチング(AS-1)の共振曲線

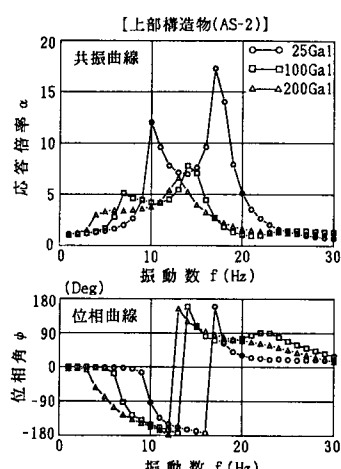


図4 基盤(AG-6)に対する上部構造物(AS-2)の共振曲線

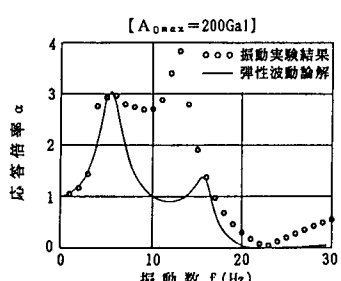
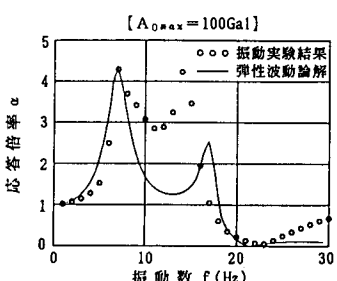
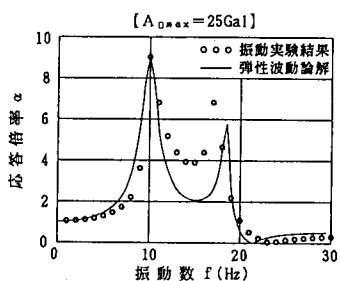


図5 群杭基礎模型フーチング部に対する弾性波動論に基づく解析結果と振動実験結果との比較

的サブストラクチャー法の理論に従えば、前者は Kinematic Interaction、後者は Inertial Interaction に支配された地盤の非線形応答ということができる。このように地盤の非線形応答をもたらす原因が、振動数 f_0 と f_{s1} で異なることから、それぞれの振動数で地盤の剛性低下あるいは履歴減衰の増加の程度には違いが発生していると考えられる。このことは図5に示した弾性波動論に基づく群杭基礎構造物の解析¹⁾の結果と振動実験の結果との対比から明らかにすることができる。

図5において、弾性波動論に基づく群杭基礎構造物の解析は、地盤の1次固有振動数 f_0 とその振動数に対応する応答倍率 α_0 が振動実験の結果に一致するように、地盤の等価せん断弾性係数 G_{eq} と等価減衰定数 h_{eq} を定めて行ったものである。つまり、基盤からのせん断波入射に伴う地盤の非線形応答による剛性低下と履歴減衰に対して等価になるような地盤定数を用いて解析を行ったことになる。その結果、図5において振動数 f_0 に対応する共振曲線のピークに関しては解析結果と実験結果は非常に良い一致をみている。しかし、振動数 f_{s1} とそれに対応する応答倍率 α_{s1} は解析結果と実験結果との間で大きな差異が発生しており、このことは Kinematic Interaction と Inertial Interaction に支配される地盤の非線形応答は全く性質を異にするということを示しているといえる。

5. あとがき

Kinematic Interaction と Inertial Interaction に支配される地盤の非線形応答が全く性質を異にするという事実は、地盤の非線形応答を考慮した群杭基礎構造物の地震応答解析法を考える上できわめて重要な問題であるといえよう。

< 参考文献 >

- (1) 大平、田蔵、中檢、清水：軟弱地盤中の基礎杭の地震時挙動特性に関する研究、土木学会論文集、第362号／I-4、1985年10月。