

I-493

地盤の非線形地震応答に伴う群杭基礎の有効入力動

清水建設(株) 正会員 佐藤 正義 正会員 田蔵 隆 正会員 清水 勝美
正会員 社本 康広 正会員 石川 裕

1. 概 説

強震時において基礎・地盤系が地盤の非線形地震応答に伴い、弾性時の応答とは異なった応答性状を示すと考えられるが、その特性については十分に解明されていない。本報はせん断土槽中に作製した群杭基礎模型に対する振動台実験結果に基づき、地盤の非線形地震応答に伴う群杭基礎の有効入力動に関して考察したものである。

2. 模型振動実験の概要¹⁾

図1は群杭基礎模型について示したものであり、せん断土槽(内寸法;長さ1.2m、幅0.8m、高さ1.0m)の中央にアルミニウム製の杭(直径30mm、肉厚1mm、長さ900mm)を3列×3列(杭間隔75mm)に配置した。有効入力動に対する検討の条件として、杭頭が無質量のフーチングに剛結されている必要があることから、本実験では厚さ5mmのアルミニウム製の板によって各杭の杭頭を剛結した。杭先端は土槽底面に対して完全固定とした。地盤は平均単位体積重量 $\gamma_t=1.5\text{tf/m}^3$ 、平均粒径 $D_{50}=0.31\text{mm}$ の乾燥砂で作製した。地盤のせん断波速度 V_s はG.L.-0.30m以浅で $V_s=45\text{m/s}$ 、G.L.-0.30m~G.L.-0.45mで $V_s=75\text{m/s}$ 、G.L.-0.45m以深で $V_s=95\text{m/s}$ であり、地盤の1次固有振動数 f_1 はおよそ19Hzである。

計測は図1に示すように、地盤および杭頭部に加速度計を設置し、また土槽側面に変位計、基礎杭にひずみゲージを設置して行った。加振は正弦波によるスイープ加振とし、入力最大加速度 $A_{0\text{max}}$ は25Gal、100Gal、200Galとした。また、弾性状態における有効入力動を検討するために、常時微動観測も併せて実施した。

3. 弾性状態の群杭基礎の有効入力動に対する検討

図2に示すような群杭基礎の有効入力動 $u_p^{eff}(\omega)$ は、弾性波動論に基づく定式化では以下のように定義できる²⁾³⁾。

$$u_p^{eff}(\omega) = u_g \cdot e^g(\omega) \cdot G^*(H, \omega) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ω は加振円振動数、 u_g は基盤水平変位、 $e^g(\omega)$ は地盤変形による群杭効率、 $G^*(H, \omega)$ は地盤のせん断振動による基盤変位 u_g に対する単杭の相対変位の増幅係数である。なお、紙面の都合上、 $e^g(\omega)$ および $G^*(H, \omega)$ の詳細は、参考文献(3)に譲る。

図3は常時微動観測記録に基づいて求めた基盤に対する地表部および杭頭部の周波数伝達関数(地表部/基盤部、杭頭部/基盤部)、および地表部と杭頭部の周波数伝達関数(杭頭部/地表部)に対して、弾性波動論に基づいて解析的に得られた結果を比較したものである。地表部と杭頭部の周波数伝達関数は地表部と杭頭部の応答の差異を表すものであり、ここではこれを有効入力動係数 η と称することにする。図3より、地盤の1次固有振動数 f_1 は18.5Hzであり、これはせん断波速度 V_s から求めた値にほぼ一致している。また、弾性波動論に基づく解析結果は常時微動観測記録と良好対応状況になっていることが分かる。有効入力動係数 η は低振動数領域において $\eta=1.0$ であり地表部と杭頭部の応答に差異が発生し

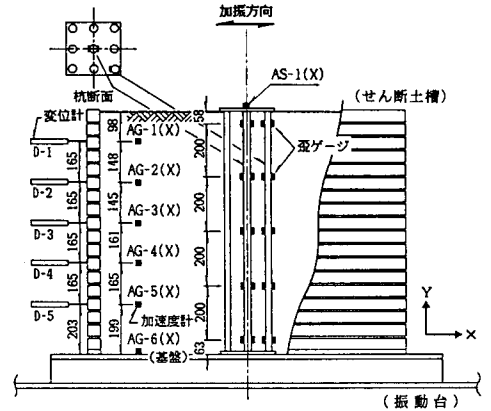


図1 群杭基礎模型および計器配置

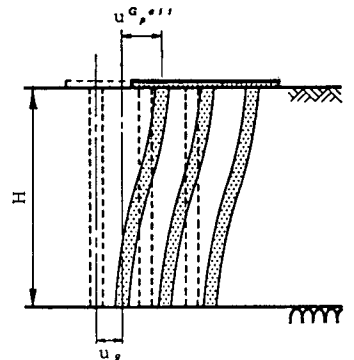


図2 弾性波動論に基づく解析モデル

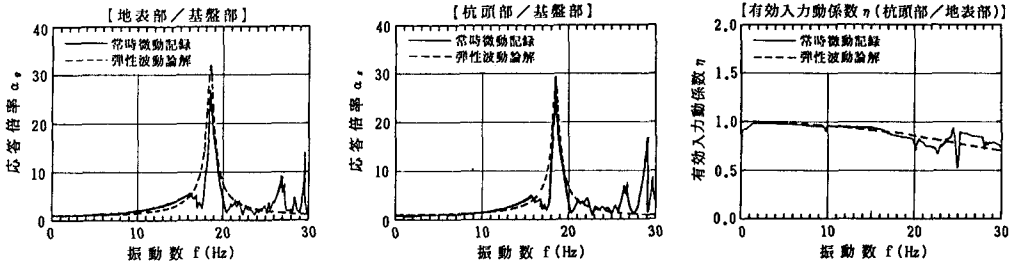


図3 常時微動記録および弾性波動論解析に基づく基盤に対する地表部の周波数伝達関数、基盤に対する杭頭部の周波数伝達関数ならびに有効入力動係数 η の比較

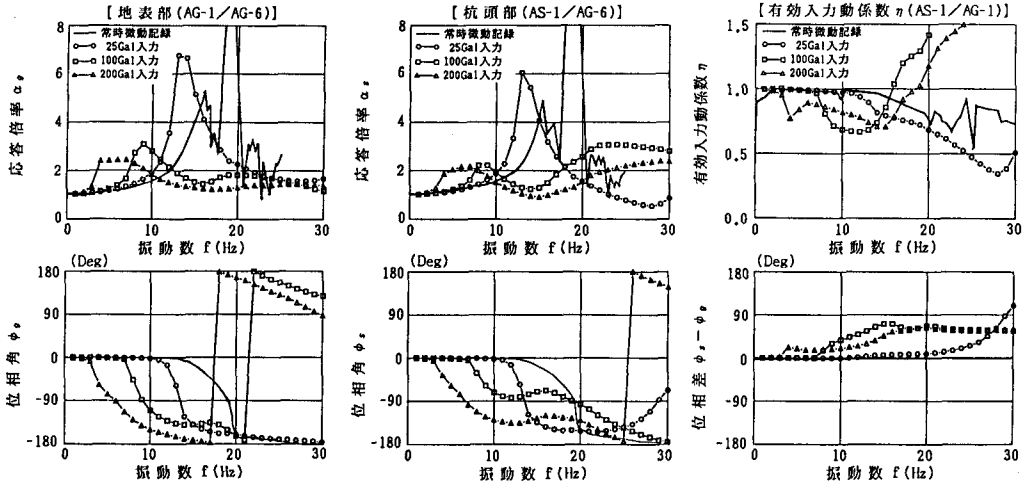


図4 正弦波スイープ加振および常時微動観測に基づく基盤に対する地表部の周波数伝達関数、基盤に対する杭頭部の周波数伝達関数ならびに有効入力動係数 η の比較

ないこと、ならびに振動数が高くなるに従って有効入力動係数 η は小さくなり地表部に比較して杭頭部の応答は小さくなること分かる。

4. 実験結果および考察

図4は正弦波スイープ加振および常時微動観測に基づく基盤に対する地表部と杭頭部の周波数伝達関数、ならびに有効入力動係数 η を示したものである。常時微動観測記録に対する解析結果を弾性状態の解とすると、正弦波スイープ加振で入力最大加速度 A_{0max} が25Gal、100Gal、200Galと増大するにつれて、地表部の卓越ピークは14Hz、9Hz、6Hzと低振動数側に移行し、応答倍率も7.0、3.2、2.4と低下しており、地盤の非線形性の程度が大きく現れていることが分かる。一方、有効入力動係数 η に関しては、地盤の1次の共振振動数より低い振動数領域から $\eta < 1.0$ となるが、高振動数側では逆に $\eta > 1.0$ となる。この有効入力動係数 η が1.0以下から1.0以上に変化する振動数は、非線形性の程度が大きいくほど低振動数領域に移行していることが分かる。また、有効入力動係数 η の位相角は入力最大加速度の違いによらず、すべての振動数領域で正の値をとっており、共振時には杭頭部の振動は常に地表部の振動より位相が進んでいることが分かる。

非線形状態における群杭基礎の有効入力動係数 η が1.0以上になる振動数領域が、低振動数に移行するということは杭の耐震安全性に対しては不利な条件になると考えられるが、杭の耐震設計を行う場合にはこのような点についても留意すべきであろう。

< 参考文献 >

- (1) 田蔵、佐藤、清水、社本、石川：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、土木学会第43回年次学術講演会、1988年10月。
- (2) 田治見 宏：深い基礎を有する構造物の地震時応答について、第2回日本地震工学シンポジウム、1966年10月。
- (3) 大平、田蔵、中松、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。