

I-504

地盤の非線形震動を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析法

清水建設(株)	正会員 田蔵 隆	正会員 清水 勝美
	正会員 佐藤 正義	正会員 社本 康広
石川島播磨重工業(株)	正会員 山内 桂良	
中央大学	正会員 岡内 功	

1. ま え が き

杭基礎の耐震設計法を考える上で、表層部の地盤変形が杭の地震時応答に及ぼす影響について考慮することが今後の方向であることは論を待たない。さらにそれに加えて、最近のウォーターフロント開発事業のように、非常に軟弱な地盤を対象として杭支持構造物を建設しようとした場合、地盤の非線形地震応答に対して配慮することが耐震性向上のために重要である。

本報は、地盤の非線形震動を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析法について提案したものである。提案手法の有効性は、杭基礎模型の振動実験に対する解析結果から検証している。

2. 提 案 の 背 景

図1は、せん断土槽を用いた群杭基礎構造物模型(図2)の振動実験において、入力最大加速度 A_{0max} を25Gal、100Gal、200Galとした場合の正弦波スイープ加振による基盤(AG-1)に対する上部工(AS-2)の加速度記録に基づく周波数伝達関数について示したものである¹⁾。2つのピークが各周波数伝達関数に共通して見られ、一つは地盤の1次固有振動数 f_g に対応しており、もう一つのピークは上部工が地盤・杭基礎系と連成系を成すことによる1次固有振動数 f_s に対応している。

基礎・地盤・上部構造物系の動的相互作用は、基礎・地盤系の地盤震動に伴う相互作用(Kinematic Interaction)と、上部構造物が振動することによって発生する慣性力による相互作用(Inertial Interaction)に分けて考えることができるが、 f_g および f_s はそれぞれKinematic InteractionならびにInertial Interactionに支配された卓越振動数であると言える。

f_g および f_s はともに、 A_{0max} の増加に伴い、10Hz、7Hz、5Hzおよび17Hz、14Hz、13Hzと低振動数側に移行しており、その応答倍率 α_g および α_s は、12.0、5.3、3.3および17.3、7.8、6.7と低下している。低振動数側への移行ならびに応答倍率の低下は、いずれも地盤の非線形地震応答によるものである。注目すべきは、 f_g と f_s ならびに α_g と α_s でその変化率が異なっていることである。 f_g ならびに α_g の変化は基盤から

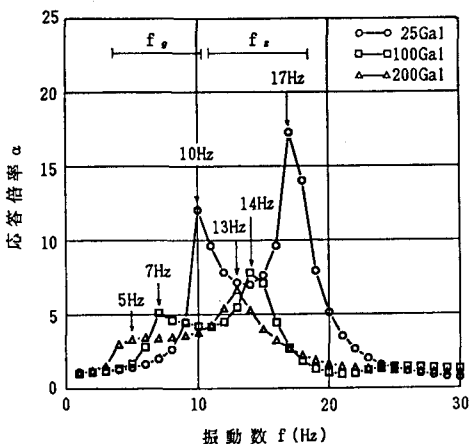


図1 基盤(AG-1)に対する上部工(AS-2)の周波数伝達関数

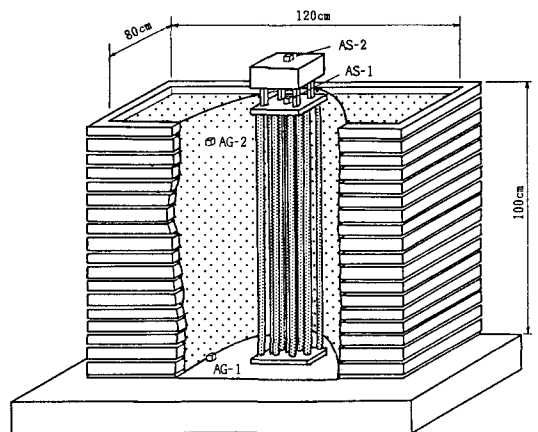


図2 群杭基礎構造物模型と計器配置

のせん断波入力による地盤のせん断型の非線形地震応答によるものであり、 f_s と α_s に関しては、上部工の振動に伴う杭頭部付近の地盤の局所的な非線形地震応答によるものと考えられる。

3. 提案手法

動的サブストラクチャー法理論に従えば、杭基礎構造物の地震応答は、杭基礎・地盤系の有効入力動を杭頭インピーダンスを介して上部工に入力することによって求められる。地盤の非線形震動を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析法を考える上で、地盤の非線形地震応答に伴う f_g と f_s ならびに α_g と α_s の変化率の差異は、有効入力動と杭頭インピーダンスの算定において、地盤の剛性低下ならびに減衰定数の増加が同じには扱えず、それぞれ異なった評価が必要であることを示していると言える。

そこで本提案では、以下の方法によって地盤の非線形地震応答を考慮した有効入力動と杭頭インピーダンスを算定することにした。

(1) 地盤の非線形震動を考慮した杭基礎の有効入力動は、自然地盤の非線形地震応答に有効入力動係数 $\eta(\omega)$ を乗じることによって求める。なお、有効入力動係数とは、自然地盤地表の応答に対する杭基礎の有効入力動の比である²⁾。 $\eta(\omega)=1.0$ であれば、杭基礎の有効入力動は自然地盤の非線形地震応答と同じであることを表している。

(2) 杭頭付近の地盤の局所的な非線形地震応答による杭頭インピーダンスは、野上らの提案モデル³⁾などの非線形解析手法により求めるか、あるいは杭基礎の水平載荷試験、模型震動実験などのデータから適切な予測式を作成し、それに基づいて算定する。

4. 数値シミュレーション

提案手法の有効性を検証する目的で、図2の群杭基礎構造物模型の振動実験から得られた記録との対比を試みた。実験から自然地盤地表部の加速度応答(AG-2)が得られており、有効入力動は $\eta(\omega)=1.0$ として求めた。杭頭インピーダンスは、上部工を1質点ばね系モデル、杭基礎・地盤系を三次元弾性波動論に基づく連統系とした地震応答解析モデル⁴⁾において、解析結果が図1の周波数伝達関数の f_s と α_s が一致するように求めた地盤のせん断剛性と減衰定数を用いて定めた。

図3は上部工の加速度応答に関して、振動実験から得られた記録と提案手法に基づく解析結果を重ねて描いたものである。最大値に差が見られるが、両者の対応関係はかなり良い状況にあると言え、提案した手法の有効性が窺えよう。

5. あとがき

地盤の非線形震動を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析法に関する研究はまだ非常に少なく、広く支持を得ている解析法は現時点では皆無である。実務面での利用には今後まだ解決しなければならない問題点も含まれているが、本提案はこの分野の研究の一つの方向性を示すものとして参考になろう。

<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。
- (2) 田蔵、若原、清水、松崎：群杭基礎の有効入力動と動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルに関する研究、清水建設研究報告、第46号、1987年。
- (3) T. Nogami and H.-L. Chen: Prediction of Dynamic Lateral Response of Nonlinear Single-Pile by Using Winkler Soil Model, ASCE Geotechnical Special Publication No.11, 1987.
- (4) 大平、田蔵、中楢、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、1985年。

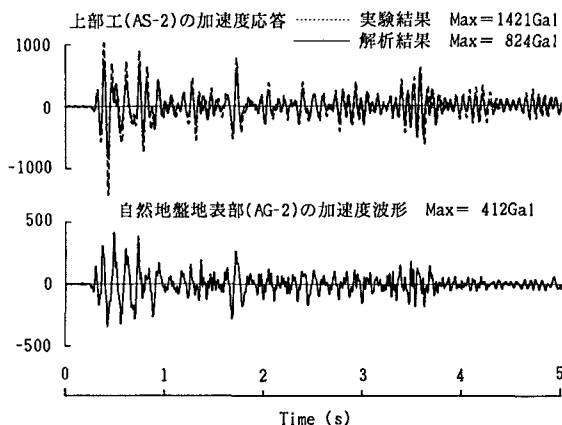


図3 上部工(AS-2)の加速度応答に関する解析波形と実験波形の重ね描き