

地盤の非線形性が斜杭基礎の制震効果に及ぼす影響

清水建設(株) フェロー会員
富山県立大学 フェロー会員

木全宏之 ○坂井康伸 小林 望 竹中 恵
田蔵 隆

1. はじめに

斜杭基礎は直杭基礎に比べ、制震性が高い基礎形式であることが知られている。本報では、入力地震動の加速度レベルを変化させた二次元 FEM 非線形解析を実施し、地盤の非線形性が斜杭基礎の制震効果に及ぼす影響について検討する。

2. 二次元 FEM 非線形解析

(1) 解析モデル・定数

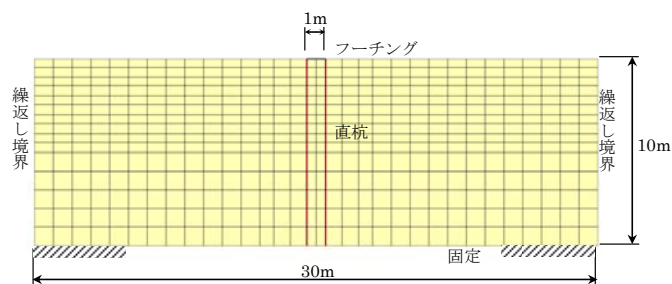
解析モデルを図 1 に示す。単純化した二列杭とし、直杭モデルと傾斜角 10° の斜杭モデルを想定した。上部工はモデル化せず、慣性力の影響 (Inertia interaction) は考慮しないこととし、地盤振動による影響 (Kinematic interaction) において、地盤の非線形性が斜杭基礎の制震効果に及ぼす影響について検討することとした。杭およびフーチングははり要素、地盤はソリッド要素でモデル化した。杭先端は剛接合とし、底面境界は固定、側方境界は繰返し境界とした。平面ひずみ状態を仮定し、奥行き方向解析幅は杭間隔と同じ 1.0m とした。

解析定数を表 1 に示す。杭およびフーチングは線形弾性、地盤は非線形とし特性を修正 Ramberg-Osgood モデルで表現した (規準ひずみ $\gamma_{0.5} = 5 \times 10^{-4}$ 、最大減衰定数 $h_{\max} = 0.25$)。地盤のひずみ依存曲線を図 2 に示す。

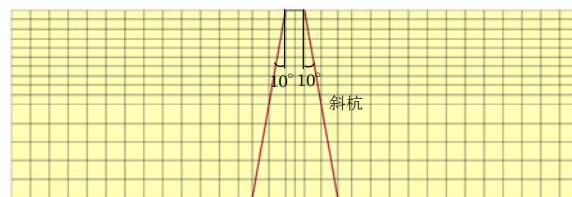
なお、筆者らは斜杭基礎の地震時挙動について、遠心模型振動実験による検討を行っているが、解析モデルや定数は遠心模型振動実験モデルを念頭に想定したものである。遠心模型振動実験による検討の詳細については、今後報告の予定である。

(2) 入力地震動

入力地震動として、EL-Centro 波 (EL Centro, May 18 1940, S-N) を用いた。EL-Centro 波の時刻歴加速度波形と応答スペクトルを図 3 に示すが、最大加速度を 50Gal (ケース 1) と 200Gal (ケース 2) に振幅調整し、入力地震動として適用することとした。



(a) 直杭基礎



(b) 斜杭基礎

図 1 解析モデル

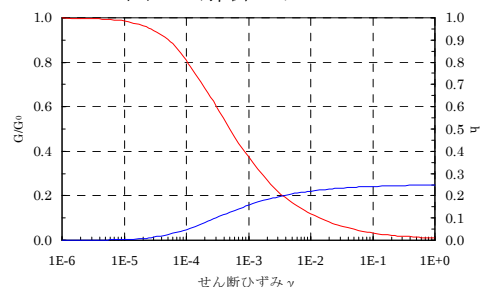
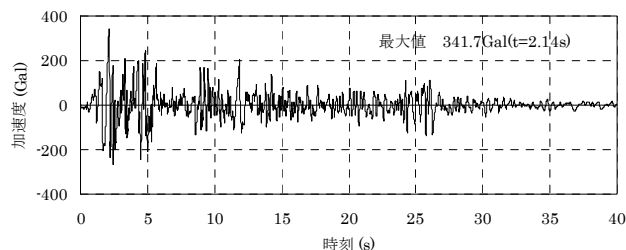
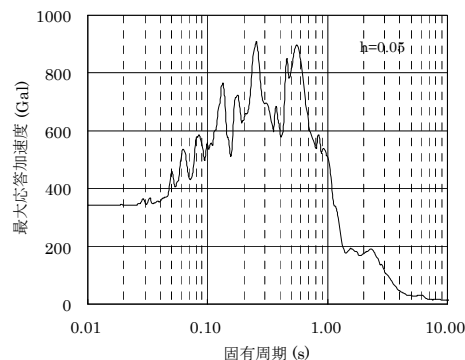


図 2 地盤のひずみ依存曲線



(a) 時刻歴加速度波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3 EL-Centro 波(EL Centro, May 18 1940, S-N)

表 1 解析定数

項 目	杭 ($\phi 300$)	フーチング ($1500 \square \times 90$)	地盤 ($V_{s0} = 100 \text{m/s}$)
単位体積重量 $\rho \text{ (kN/m}^3\text{)}$	78.5	117.75	15.0
ポアソン比 ν	—	—	0.45
ヤング係数 $E \text{ (kN/m}^2\text{)}$	2.1×10^8	2.1×10^8	4.439×10^4
断面積 $A \text{ (m}^2\text{)}$	0.006	0.9	—
断面二次モーメント $I \text{ (m}^4\text{)}$	6.0×10^{-5}	0.0114	—
減衰定数 h	0.02	0.02	—

キーワード：斜杭基礎 制震効果 地盤非線形 二次元 FEM 非線形解析

〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 TEL 03-5441-0598 FAX 03-5441-0543

二次元 FEM 非線形解析結果として、杭の最大水平相對変位分布、最大軸力分布および最大曲げモーメント分布を図 4 に示す。また、杭頭の水平相對変位、軸力および曲げモーメントについて、直杭基礎の応答に対する斜杭基礎の応答の周波数伝達関数を図 5 に示す。

図 4 より、ケース 1、ケース 2 とも杭頭の水平変位は直杭基礎より斜杭基礎の方が小さく、入力加速度の大きさすなわち地盤の非線形性の程度に係わらず、斜杭基礎の制震効果が現れている。杭に発生する軸力は深さ方向全長にわたり、また、曲げモーメントは地表面付近で斜杭の方が直杭より大きい。これは、斜杭基礎の制震効果の代償であると考えられる。ケース 1 とケース 2 の解析結果の比較では、直杭基礎、斜杭基礎とも水平変位、軸力および曲げモーメントはケース 2 の方が大きい。入力加速度が大きく地盤がより軟化したケース 2 では地盤変形が増大し、地盤振動による影響がより顕著に現れたものと考えられる。

一方、図 5 についても、水平変位の直杭基礎に対する斜杭基礎の応答倍率は 1 を下回り、斜杭基礎の制震効果が認められる。応答倍率が 1 であれば斜杭基礎は直杭基礎と同じ応答を示し、応答倍率が 1 以下の領域が斜杭基礎の制震性能を表わすものである。概ね全周波数帯にわたって 1 を下回っていることが注目されるが、特に地盤の 1 次固有周波数 2Hz~3Hz 以下の低周波数側で 1 を

大幅に下回っており、より大きな制震効果が認められる。これに対応し、直杭基礎に対する斜杭基礎の軸力および曲げモーメントの応答倍率は、低周波数側で最大 5~7 と大きく、高周波数側では小さく 1 近くの値となっている。また、軸力および曲げモーメントは、概ね同様の応答倍率特性を示していることも注目される。ケース 1 とケース 2 の解析結果の比較では、水平変位、軸力および曲げモーメントのいずれも応答倍率特性に大きな差異は認められず、地盤の非線形性の程度の差による影響は認められない。

4. まとめ

入力地震動の加速度レベルを変化させた二次元 FEM 非線形解析を実施し、地盤の非線形性が斜杭基礎の制震効果に及ぼす影響について検討した。全周波数帯にわたって直杭基礎に対し斜杭基礎の制震効果が認められ、低周波側では制震効果がより顕著であること、代償として斜杭の軸力および曲げモーメントが増大すること、増大する比率は両者同程度であること、また、地盤の非線形性の程度の差による影響は認められないことがわかった。

今後、入力地震動の種類やレベル、地盤剛性等を変化させ、斜杭基礎の制震効果についてより詳細な検討を行っていく予定である。

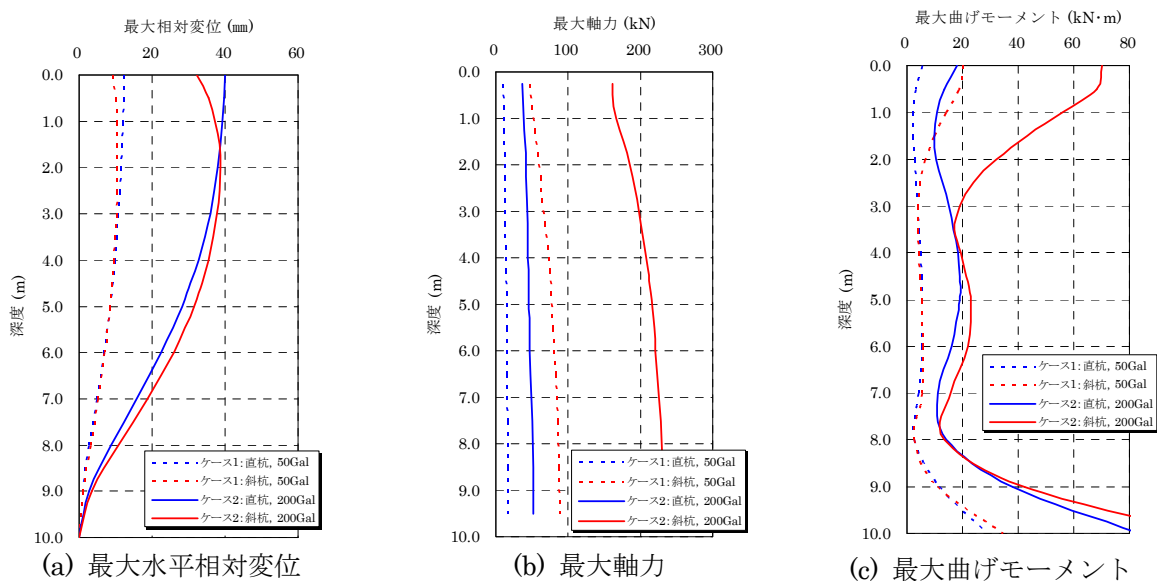


図 4 杭の最大水平相對変位分布、最大軸力分布および最大曲げモーメント分布

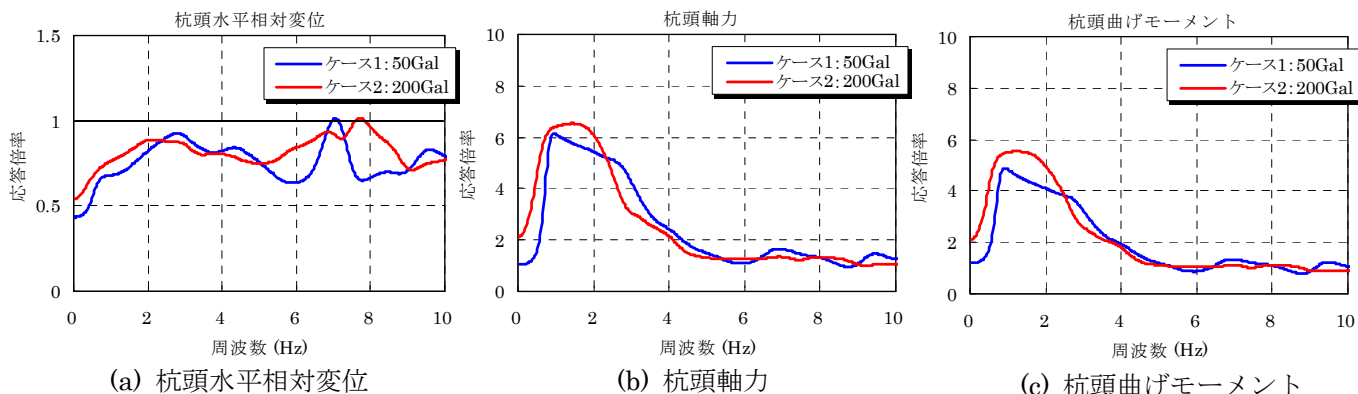


図 5 直杭基礎に対する斜杭基礎の杭頭応答の周波数伝達関数