·般財団法人 大成学術財団 第 4 回 研究成果発表会

群発巨大地震動に対する高層建築物直下の杭の動座屈崩壊機構の解明と累積損傷評価

東北大学大学院 都市・建築学専攻 教授 木村祥裕

1







研究目的

①液状化地盤における高層建築物下の鋼管杭基礎の 終局耐力と崩壊メカニズムの解明

②局部座屈を生じる鋼管杭頭部の終局耐力・塑性変形 能力評価

研究背景



研究背景 $a [m/s^2]$ 入力波(臨海波) 20 40 60 80 100 *t* [s] 強震動により一回で $N_{b}/N_{cr0}[-]$ 崩壊する場合 (杭の終局耐力) 加振1回で倒壊 00 10日 2回目 $1 M_{max}/M_{n}[-]$ 鋼管杭の遠心載荷実験結果と <u>M-N相関曲線の比較</u> 加振1回目(塑性化のみ) 2回目で倒壊 4

研究目的

3

既往の研究 協住の研究 開始の崩壊メカニズムの解明,及び杭の終局耐力評価

本研究

上部構造・杭基礎一地盤系の遠心載荷実験により、長時間または複数回地震動を受けて崩壊する鋼管杭基礎のメカニズムおよび終局耐力を明らかにする

複数回地震動により、損傷が蓄積し疲労破壊する場合の鋼管 杭の累積損傷評価法を確立する

> ・塑性変形能力評価では考慮できない低振幅時も対象 ・累積損傷過程における鋼管杭の崩壊時刻の検討



複数回加振により崩壊する鋼管杭の終局耐力

◆試験体パラメータ

※板バネ長さ以外実大スケール

| 試験体 | 杭径 <i>D</i> [mm] | 板厚 <i>t</i> [mm] | 初期 軸力比 <i>N</i> ₀ / <i>N</i> _y [-] | 地盤 相対密度 <i>Dr</i> [%] | 板バネ 長さ <i>h</i> [mm] | 塔状比 [-] | 上部構造物 固有周期 <i>T_s</i> [s] | 加振 回数 [-] |
|------------------------|------------------------|------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|------------|---|-----------------|
| Case 2-1 | 400 | Q | 0.33 | | 35 | 2.4 | 0.53 | 3 |
| Case 2-2 ¹⁾ | 400 | 0 | 0.55 | | 55 | 20 | 1.09 | 1 |
| Case 2-3 | 440 | 8 | 0.30 | 30 | 33 | 2.8 | 1.08 | 2 |
| Case 2-4 ¹⁾ | 400 | 0 | 0.22 | 1 | 70 | 3.0 | 1.51 | 1 |
| Case 2-5 ¹⁾ | 400 | 0 | 0.55 | / | 90 | 3.3 | 2.20 | 1 |
| Case 2-6 | | | / | | 55 | 2.8 | 1.08 | 2 |
| Case 2-7 ¹⁾ | 400 | 8 | 0.33 | 60 | 70 | 3.0 | 1.51 | 1 |
| Case 2-8 ¹⁾ | | | | | 90 | 3.3 | 2.20 | 1 |

杭に損傷が蓄積するものの1回目加振時には 上部構造が倒壊せず損傷が顕在化しない場合

1)木村祥裕,的場萌子,田村修次:塔状比の大きい上部構造物・杭基礎-地盤系の遠心載荷実験に基づく液状化地盤における鋼管杭の終局メカニズム,日本建築学会構造系論文集,第86巻,第779号,2021.1

8 水平力 せん断 100 40 40 40 40 40 杭 8 土槽 265 0----8 200 実験試験体全体 75 単位:[mm] 実験試験体・断面(模型スケー ・ル) 6

上部構造物・鋼管杭基礎-地盤系の遠心載荷実験

」せん断土槽

60

490

実験試験体・上面(模型スケール)

Y

杭C

枯

加振方向

上部構造物

板バネ

基礎部

┌─ 上部構造物

9 8

杭

遠心加速度40G

・ 歪ゲージ

■ 加速度計

変動軸力断土槽

• 水圧計

複数回加振により崩壊する鋼管杭の終局耐力

飽和

豊浦砂

◆試験体パラメータ

◆試験体概要(1/40縮小模型)

•杭材:真鍮(C2680)

上部構造物

基礎部

上部構造物-杭基礎-飽和地盤系

※板バネ長さ以外実大スケール

| 試験体 | 杭径 D [mm] | 板厚 <i>t</i> [mm] | 初期 軸力比 <i>N</i> ₀ / <i>N</i> _y [-] | 地盤 相対密度 Dr[%] | 板バネ 長さ <i>h</i> [mm] | 塔状比 [-] | 上部構造物 固有周期 <i>T</i> _s [s] | 加振 回数 [-] | | |
|--|-----------------|------------------------|--|---------------------|----------------------------|------------|--|-----------------|--|--|
| Case 2-1 | 400 | 8 | 0.33 | 30 | 35 | 2.4 | 0.53 | 3 | | |
| Case 2-2 ¹⁾ | | | | | 55 | 2.8 | 1.08 | 1 | | |
| Case 2-3 | | 8 | 0.30 | | | | | 2 | | |
| Case 2-4 ¹⁾ | 400 | 8 | 0.33 | | 70 | 3.0 | 1.51 | 1 | | |
| Case 2-5 ¹⁾ | | | | | 90 | 3.3 | 2.20 | 1 | | |
| Case 2-6 | 400 | 8 | 0.33 | 60 | 55 | 2.8 | 1.08 | 2 | | |
| Case 2-7 ¹⁾ | | | | | 70 | 3.0 | 1.51 | 1 | | |
| Case 2-8 ¹⁾ | | | | | 90 | 3.3 | 2.20 | 1 | | |
| 杭に損傷が蓄積するものの1回目加振時には 上部構造が倒壊せず損傷が顕在化しない場合 | | | | | | | | | | |

7

上部構造物・鋼管杭基礎-地盤系の遠心載荷実験



8

応答時刻歴·実験動画



複数回加振により崩壊する鋼管杭の終局耐力 ■加振1回目 — Case 2-2 — Case 2-6 $6 \frac{a[m/s^2]}{m}$ 強震範囲 الملح الملطية وبالطاط 20 40 60 80*t*[s] 入力波(臨海波) 2^{a[m/s²]} 液状化発生 上部構造物加速度応答 $N_{h} [\times 10^{3} \, \text{kN}]$ ▲:最大圧縮軸力時 0.4 加振1回目(塑性化のみ) 板バネから求めた杭の変動軸力 $\mathcal{E}_{l}[\%]$ ε_{lc0}:初期軸力を考慮した 残留歪を生じるものの 0.8 **碰性比例限界**歪 杭は鉛直支持力を保持しており 0.4 上部構造物は倒壊しない 20 40 60 80 t s 10 杭頭曲げ歪



複数回加振により崩壊する鋼管杭の終局耐力



複数回加振を経験した杭の終局耐力



複数回加振を経験した杭の終局耐力



複数回加振を経験した杭の終局耐力



杭の累積損傷の算出方法

■ レインフロー法¹⁶による歪振幅の抽出

*ε*_{max}[%] <u>最大歪位置における局所軸歪応答</u> when the work was a service to the service of the s 極大値 MAN -0.4 歪範囲 $\Delta \varepsilon$ 極小値 終局時までの歪範囲を計算 -0.8 20 40 60 80 100 120 0 20 加振1回目 2回目



実験試験体最終変形 12

13

1) 遠藤達雄, 安在弘幸: 簡明にされたレインフローアルゴリズム「R/V差法」について, 材料, 第30 巻, 第328号, pp. 89-93, 1981

鋼管杭の正負交番漸増解析 ■ 数値解析モデル(諸元・パラメータ) 載荷方向(水平変位δ) 杭材(STK400)(塑性硬化則:複合硬化則¹⁷⁾) •杭径(D=400 mm),板厚(t=8, 10, 13 mm) (径厚比ランク(P-I-1~P-I-2)) 杭長 l(シアスパン比 l/D):5~15 m(6~20) ·初期軸力比(N₀/N_v[-]=0.2~0.5) 杭頭 $(0 \ 1 \ 0)$ (載荷点)(111 無次元化水平変位 (δ.: 全塑性時の弾性変形) 4節点シェル要素 $(\delta/\delta)[-]$ 杭下端 (1 1 1) (固定端)(111) 5(境界条件 step [-] 0:自由, 1:固定 $\delta \delta_n$ ± 1.25 ± 1.5 ± 1.75 ± 2.0 ... v $=\pm 1$ $u_x u_y u_z$ 漸増載荷サイクル例 $\overline{\theta_{r}}$ 逆対称 $\theta_{...}$ θ_{-} (各振幅のサイクル数を4とした場合) 曲げモーメント

1)津田恵吾,松井千秋:一定軸力と変動水平力を受ける円形鋼管柱の弾塑性性状,日本建築学会構造系論文集,第505号, pp.131-138, 1998.3

杭の累積損傷の算出方法



杭の累積損傷評価(実験・数値解析結果)

杭の累積損傷





