

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 〇木村 祥裕 1*
大阪市立大学 古川 幸 2**
建築研究所 的場 萌子 3***

遠心载荷実験 有限要素解析 上部構造物・杭—液状化地盤系
杭頭部 局部座屈 累積損傷評価

研究の目的

高層建築物との相互作用を考慮した杭の動的不安定現象を遠心载荷実験により再現し、高層建築物の機能不全や倒壊に及ぼす地震動特性の影響を明らかにし、複数回の繰り返し地震動を想定した外力を受ける鋼管杭及び杭頭部の繰り返し载荷実験及び有限要素解析を行い、鋼管杭頭部の形状の違いによる累積損傷メカニズムを把握し、累積損傷性能評価する。

研究の内容

1) 高層建築物・鋼管杭—液状化地盤系の遠心载荷実験に基づく鋼管杭の累積損傷度評価

図 1.1 に遠心载荷実験試験体の全景と計測位置を示す。試験体はせん断土槽内に設置した上部構造物・鋼管杭基礎—飽和地盤系の 1/40 縮小模型である。地盤の拘束圧の条件を実大実験の相似則と合わせるため、遠心力载荷実験装置により 40g 場で実施した。上部構造物の固有周期 T_s は、低層から高層建築物を想定し、実大スケール換算値で 0.55 s, 1.08 s, 1.51 s, 2.20 s とした。また、実験とともに、図 1.2 に示す鋼管杭の解析モデルを用いて有限要素解析を行った。解析モデルはシェル要素で構成し、既往の論文を参考に材料特性や塑性硬化則を設定した。次に、図 1.7 に杭の累積損傷度の算定フローを示す。具体的には、歪応答時刻歴よりレインフロー法を用いて塑性歪振幅 ε_{pa} を抽出し、累積値 $\Sigma \varepsilon_{pa}$ を求め、 $\Sigma \varepsilon_{pa}$ を弾性比例限界歪 ε_l で無次元化 ($\Sigma \varepsilon_{pa} / \varepsilon_l$) した。この値を本研究における杭の累積損傷度と定義する。遠心载荷実験及び数値解析から得られた杭の累積損傷度 ($\Sigma \varepsilon_{pa} / \varepsilon_l$) と塑性変形倍率 η_{cmax} の関係を図 1.8 に示す。塑性変形倍率は杭の最大耐力時の無次元化水平変位 ($\delta_{max} / \delta_{pc}$) から求められる。図 8 中には複数回または長周期地震動により崩壊した試験体の終局時の結果、及び図 1.2 の有限要素解析の最大耐力時の結果を示している。図 1.8 中の赤実線は、数値解析から得られる履歴を力学特性に分解し、回帰的に得られた評価式である。

$$\frac{\Sigma \varepsilon_{pa}}{\varepsilon_l} = 2 \left(\frac{10}{11 \beta_{pl} \mu_{cmax}} \right)^{3/2} \quad (1.1)$$

図 1.8 より、数値解析結果と(1.1)式は実験結果を捉えており、実験結果は安全側の評価となっている。

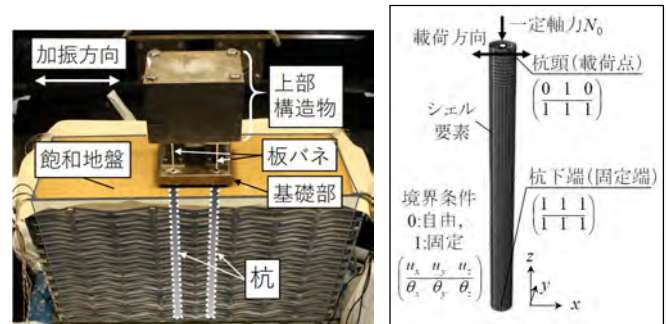


図 1.1 遠心载荷実験用建築物・杭—地盤系試験体

図 1.2 鋼管杭の数値解析モデル詳細図

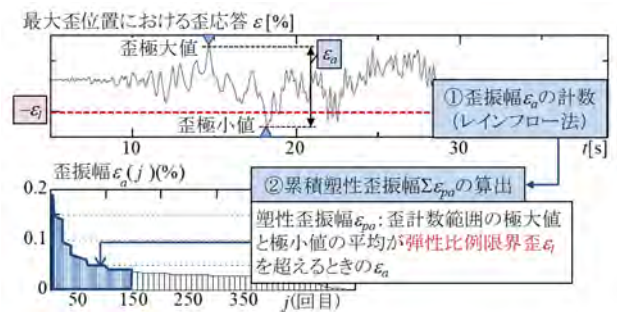


図 1.3 本研究における杭の累積損傷度の算定フロー

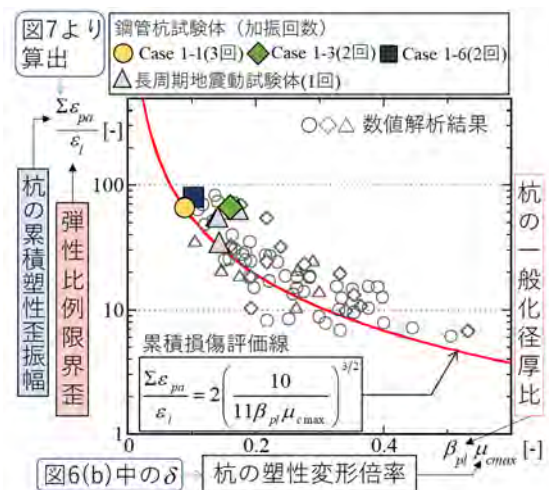


図 1.4 液状化地盤において複数回または長周期地震動により終局状態となる鋼管杭の累積損傷度評価

2) 繰返し崩壊する基礎梁・鋼管杭の載荷実験及び数値解析による累積損傷耐力評価

図 2.1 に、実大の 1/8 程度の縮小模型試験体を示す。ずれ止めの有無、鋼管径厚比、充填コンクリート有無、軸力比を変数として、一定軸力と繰返し水平力下におけるコンクリート充填鋼管杭頭部の力学的性状を把握した。図 2.2 は、数値解析で用いた解析モデルである。

図 2.3 に、ずれ止めの有無を変数とした試験体 A と F の曲げモーメント-部材角関係を示す。図より、最大耐力はほぼ同程度となった。一方で、最大耐力以降は、部材角 θ に対して比較的均等に耐力を低下させる A に対して、ずれ止めを有しない F では繰返し毎に低下率が増加し、早期に耐力が 50% まで劣化した。

写真 2.1 に試験体 A の載荷終了後の試験体状態を示す。全ての試験体で試験部の鋼管下端で局部座屈が進行した。充填コンクリートでは、圧縮側の支圧破壊と引張側のずれ止め上下および最下端でひび割れが進展した。

図 2.4 に、ずれ止めを有するコンクリート充填鋼管杭頭部の一定軸力と繰返し曲げモーメントを受ける鋼管杭頭部断面における応力状態と、軸耐力と曲げ耐力評価式 ((2.1)~(2.8)式) を示す。鋼管の終局曲げ耐力の評価においては、圧縮側は文献[6]で与えられる鋼管の局部座屈応力 σ_m 、鋼管の引張側は引張強度 σ_u に達するとした。ずれ止めの効果は、既往の文献の(2.5)~(2.8)式で考慮する。

図 2.5 に、本実験結果と既往の文献におけるコンクリート充填鋼管杭頭部の最大曲げモーメント M_{max} の終局曲げ耐力評価を示す。白抜きのプロットが図 2.4 において鋼管のみ考慮した場合、塗りつぶしのプロットが充填コンクリートの効果も考慮した場合である。なお、ずれ止めなしの場合は、(2.5), (2.6)式において支圧耐力の代わりに最大付着力を考慮した。付着強度は既往の文献より $\tau_{max}=0.34 \text{ N/mm}^2$ とした。図より、提案する評価式は実験結果を良く評価する。なお、図 2.2 の解析モデルを用いた径厚比、ずれ止め厚、軸力比を変数とした数値解析結果も、(2.5)~(2.8)式で良く評価できることを確認した。

研究の成果、新発見

- 1) 液状化地盤において長周期または複数回の地震動を経験し、終局状態となる鋼管杭の累積損傷度は、(1.1)式によって概ね捉えられることが示された。
- 2) 繰返し曲げモーメントを受けるコンクリート充填鋼管杭頭部の軸耐力と曲げ耐力の評価式 ((2.1)~(2.8)式) を提案した。

謝辞

本研究は、大成学術財団の研究助成によるものである。ここに深く謝意を表す。

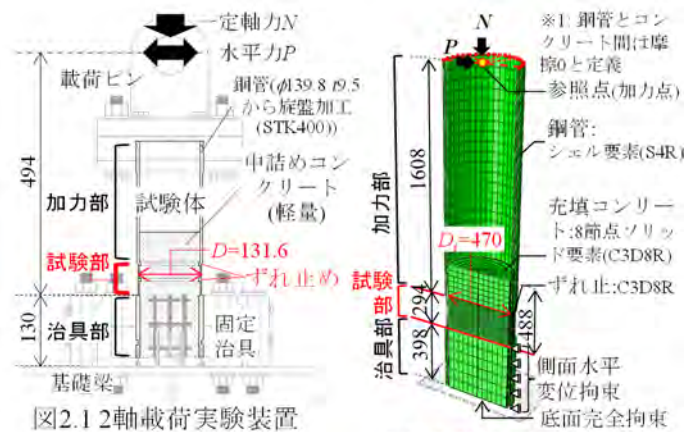


図2.1 2軸載荷実験装置・試験体概要

図2.2 数値解析モデル

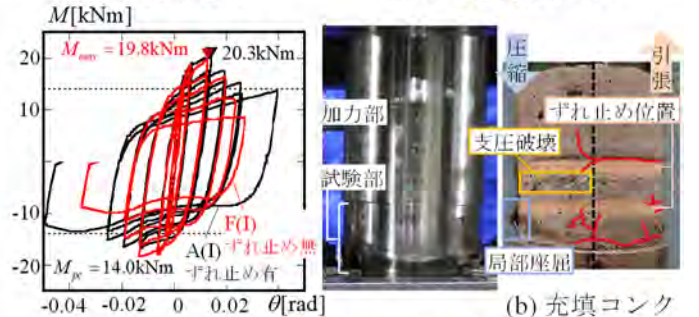


図2.3 鋼管杭頭部の曲げモーメントと部材角関係

(a) 鋼管(A(II)) リート(A(I)) モーメントと部材角関係
写真2.1 載荷終了後

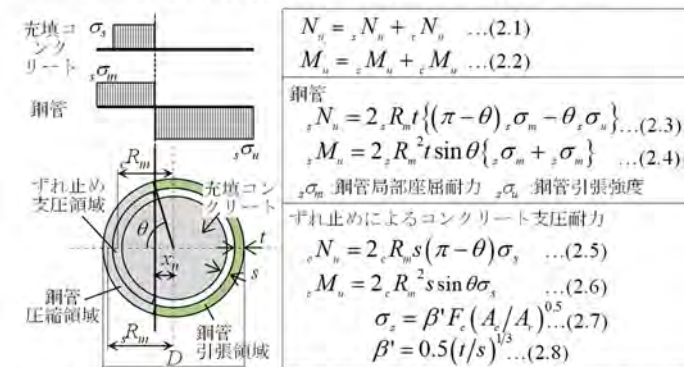


図2.4 一定軸力と繰返し水平力下における杭の累積損傷を考慮した鋼管杭断面の応力状態と耐力評価式

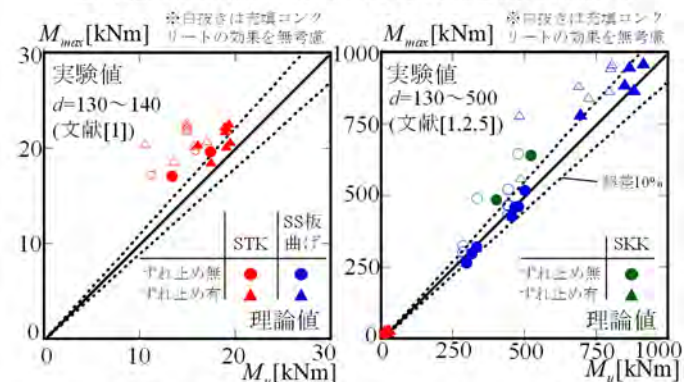


図2.5 一定軸力と繰返し水平力を受ける鋼管杭頭部の終局曲げ耐力評価

*東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻
**大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻
***国立研究開発法人 建築研究所

* Tohoku University, Dept. of Civil Engineering and Architecture
** Osaka City University Dept. of Urban Design and Engineering
*** Building Research Institute