

# 1) - 7 遠心実験に用いるメチルセルロースの温度依存性による液状化地盤挙動への影響の解明【安全・安心】

## Study on Temperature Dependence of Methylcellulose Used in Centrifugal Test

(研究開発期間 令和3~5年度)

国際地震工学センター 的場 萌子  
Dept. of International Institute of Seismology MATOBA Moeko  
and Earthquake Engineering

When steel piles experience the higher axial compression force caused by the superstructure's overturning moment in the liquefied soil, the pile's flexural buckling may occur. In previous papers, the steel piles' collapse mechanism is presented. On the other hand, the CFT piles may fail when they experience a significant earthquake in the soft ground. In this paper, the centrifugal tests of the superstructure, the CFT piles, and the liquefied soil system are conducted, and the piles' ultimate mechanism is clarified.

### [研究開発の目的及び経過]

上部構造物・杭基礎-地盤系の遠心載荷実験では、間隙水圧の時間に関する相似則を合わせるため、水の代わりに粘性を調整したメチルセルロース溶液が用いられている。しかし代替間隙水の粘性の温度依存性が及ぼす地盤の地震時挙動への影響はほとんど考慮されていない。

そこで本研究では、複数回地震動を受ける構造物-液状化地盤の動的相互作用を精密に検討できる実験手法の確立のため、遠心力載荷実験装置を利用した実験を行い、飽和地盤の地震時挙動に及ぼすメチルセルロース溶液の粘性の温度依存性による影響を明らかにする。ただし当該研究期間においては、建築研究所の二方向加力式遠心載荷実験装置の故障を踏まえ研究計画を変更し、過去に実施された飽和地盤条件の遠心載荷実験結果を分析するものとした。具体的には、既往の上部構造物・杭基礎-飽和地盤系の遠心載荷実験結果を分析し、液状化地盤におけるCFT杭の終局時までの挙動を明らかにすることで、構造物-液状化地盤の動的相互作用を検討するための基礎データを得た。

### [研究開発の内容]

図1に実験試験体及び計測位置を示す。試験体は上部構造物・CFT杭基礎-地盤系の40分の1縮小模型であり、せん断土槽の形状は文献1)のものと同一である。杭の歪ゲージ位置を図1(b)に示す通りとする。図1(a)に示すように土槽底部、基礎部、上部構造物上下面に加速度計を設置しており、また地盤中に加速度計及び水圧計を設置している。レーザー変位計により上部構造物及び基礎部の水平変位を計測している。実験は、京都大学防災研究所の遠心載荷装置を用いて40g場で行った。以下、

実大スケールで示す。

表1に試験体諸元、表2に杭材の材料特性を示す。CFT杭模型をアルミA1050とセメントペーストを用いて製作する。鋼管部の径厚比 $D/t$ をCase1では65、Case2では20とする。 $D/t=65$ の場合、コンクリート部の曲げ剛性 $E_c I_c$ に対する鋼管部の曲げ剛性 $E_s I_s$ の比 $(E_s I_s / E_c I_c)$ は0.95であり、実際のCFT杭と同程度である。一方、

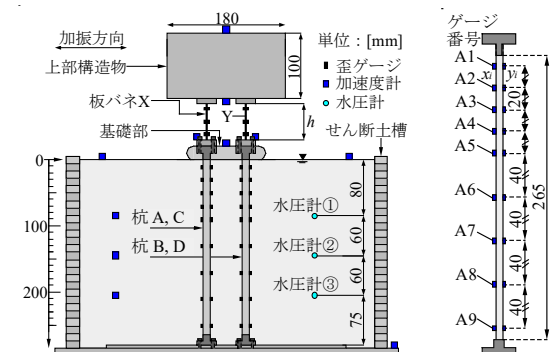


図1 実験試験体及び計測位置 (模型スケール)

表1 試験体諸元

	項目	模型スケール	実大スケール
上部構造物	重量 $m_1$ [N]	110.7	$7.09 \times 10^6$
	固有周期 $T$ [s]	0.033	1.30
板バネ	板厚 $t_b$ [mm]	2	80
	長さ $h$ [mm]	55	2200
基礎部	重量 $m_2$ [N]	13.0	$8.32 \times 10^5$
杭材	杭長 $l$ [mm]	265	10600

表2 杭材材料特性 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

アルミA1050	ヤング率 $E_s$	$6.50 \times 10^4$
	歪硬化勾配 $E_{sh}$	$3.30 \times 10^3$
	弾性比例限界応力度 $\sigma_e$	89
	降伏応力度 $\sigma_y$	115
	引張応力度 $\sigma_u$	118
セメントペースト	ヤング率 $E_c$	$9.14 \times 10^3$
	設計基準強度 $F_c$	23.1

$D/t=20$  では  $E_s I_s / E_c I_c = 3.70$  と鋼管部の剛性を大きくしている。地盤条件はメチルセルローズ溶液を注入して作成した全層飽和地盤条件とし、また地盤相対密度  $Dr$  を 30% と 60% とする。初期軸力比  $N_0/N_y$  は、杭の設計軸力を参考に 0.32~0.33 とする。なお CFT 杭の降伏軸耐力  $N_y$  は  $N_y = \sigma_B A_c + \sigma_y A_s$  で求めた。 $A_c$ 、 $A_s$  はそれぞれコンクリート部と鋼管部の断面積である。入力波は人工地震波である臨海波の最大加速度を  $7.5 \text{ m/s}^2$  に調整した波を用いた。

【研究開発の結果】

図 2 に Case 1 ( $D/t=65$ ) と Case 2 ( $D/t=20$ ) の応答時刻歴を示す。(a)は上部構造物の水平加速度、(b)は各試験体の杭 A 杭頭部 (A1) の曲げ歪の応答時刻歴である。図 2 には、縦破線で液状化発生時刻を示している。また、図 2(b)中の▼、▼は杭の曲げ歪が最大となる時刻を示している。本論文では、最大曲げ歪時を終局時と呼ぶ。なお終局時以降、最終的に上部構造物は倒壊している。

Case 1 では、図 2(a)より液状化後の最大加速度は  $0.32 \text{ m/s}^2$  である。杭の曲げ歪について、図 2(b)より杭 A 杭頭部 (A1) では 61 s 付近▼で最大となり、その値は  $0.53\%$  である。Case 2 では、図 2(a)より液状化後の最大加速度は  $0.29 \text{ m/s}^2$  であり、Case 1 と同程度である。杭の曲げ歪について、図 2(b)より杭 A 杭頭部 (A1) では 64 s 付近▼で最大で  $1.27\%$  となり、Case 1 の 2.4 倍となっている。

図 3 に終局時における杭 A 及び B の曲げモーメント分布を示す。図 3 中の○は杭 A、■は杭 B の結果、縦破線は杭の作用軸力を考慮した終局耐力  $M_{uc}$  を示している。図 3 より、杭 A、B 杭頭部で作用曲げモーメントが終局耐力  $M_{uc}$  に達していることから、塑性ヒンジを形成したことが推測される。図 4 に、終局時における杭 A 及び B のせん断力分布を示す。図 4 中の灰色実線は杭 A、灰色点線は杭 B、黒実線は杭 A と杭 B の平均のせん断力分布である。杭のせん断力分布は曲げモーメント分布を材長方向に微分して求めた。また、縦破線は構造物慣性力  $F$  と基礎部の水平変位により生じる杭の P- $\Delta$ モーメントによるせん断力  $Q_{PA}$  の和 ( $F+Q_{PA}$ ) を示す。構造物慣性力  $F$  は、板バネのせん断力と基礎部の慣性力の和として求めた。図 4 より、Case 2 では杭頭部の平均せん断力が  $F+Q_{PA}$  と概ね一致している。Case 1 では  $x=-1.2\sim-3.6 \text{ m}$  の範囲の杭の平均せん断力が  $F+Q_{PA}$  と概ね等しくなるものの、杭頭部のせん断力はこれよりも小さくなっている。これは杭頭部の塑性化により、曲げモーメント勾配が小さくなるためと考えられる。両試験体ともに、杭頭部から杭下端部に向けてせん断力が減少する傾向にあることから、終局時において、地盤は杭基礎に対して抵抗側に作用し

たものと考えられる。

写真 1 に実験後の最終変形状態を示す。Case 1, Case 2 ともに  $M_{uc}$  に達した杭頭部で断面が破断していることが分かる。

以上より本研究では、CFT 杭縮小模型を用いた遠心載荷実験により、液状化地盤において CFT 杭基礎が終局状態となる場合、杭頭部で塑性ヒンジが形成され、最終的には杭断面が破断することを示した。

【参考文献】

- 1) 木村祥裕, 後藤天志郎, 的場萌子, 田村修次: 遠心載荷実験装置を用いた上屋・杭基礎-地盤系における液状化地盤下の鋼管杭の動的メカニズムと終局耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第 81 巻 730 号, pp.2079-2089, 2016.12

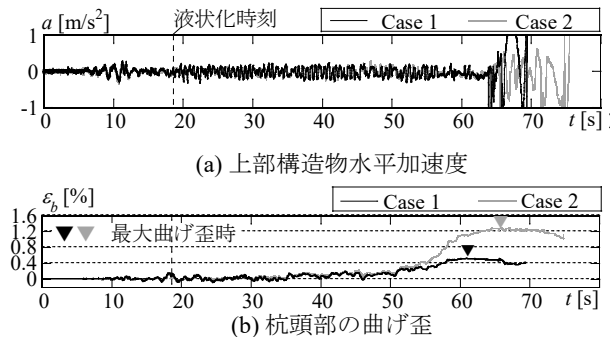


図 2 Case 1 と Case 2 の応答時刻歴

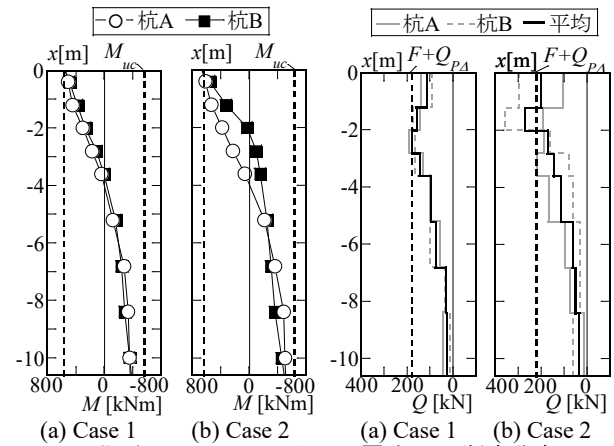


図 3 曲げモーメント分布 (終局時)

図 4 せん断力分布 (終局時)

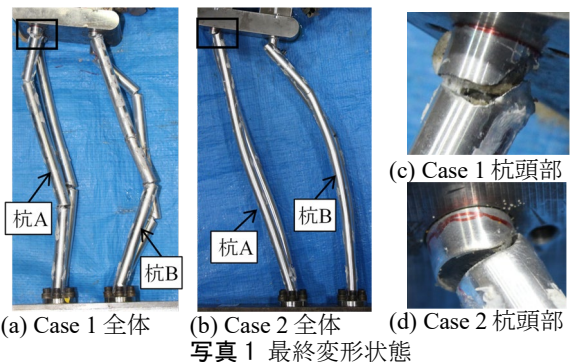


写真 1 最終変形状態