

SC 杭を使用したパイルキャップに生じる支圧応力度の解析的検討

SC 杭 パイルキャップ 埋込み方式
定着筋方式 FEM 解析 支圧応力度

正会員 ○松倉 寛* 正会員 石川 一真*
正会員 小梅 慎平*

1. はじめに

筆者らは、SC 杭の杭頭接合部の性能を明らかにするため、実大スケールでのパイルキャップの水平加力実験を行っている。既往の論文¹⁾では、杭頭接合面耐力の計算において、杭の解析断面を円環断面とし、終局時は、支圧効果を考慮して支圧係数 $\phi_c=5$ とする方法が実験結果と最も整合することを報告した。本報では、この支圧効果を解析においても確認できるか検討を行った。

2. 試験体概要

本報で対象にした試験体 A-1 と E-1 の仕様を表-1 に示す。試験体 A-1 は、埋込み長 h を 0mm とした定着筋方式であり、圧縮軸力を与えた試験体である。試験体 E-1 は、A-1 の杭長を短くし、埋込み長 h を 600mm とし、杭頭定着筋を無しにした埋込み方式であり、正載荷時に圧縮軸力を与えた試験体である。詳細な仕様については、既往の報告^{1),2)}を参照されたい。

3. 解析概要

3.1 解析モデル概要

解析には FEANX (V350R2, (株)マイダスアイティジャパン) を用いた。解析モデルの概要を図-1, 2 に、配筋モデルの概要を図-3, 4 に示す。解析モデルは、試験体の対称性を考慮し、1/2 対称モデルとした。試験装置の加力治具部は、杭体を加力点まで延長してモデル化した。

3.2 材料概要

パイルキャップ、基礎梁、杭体はソリッド要素でモデル化した。表-2 に概要を示す。基礎梁と杭体は弾性とし、加力治具部はヤング係数を杭体の約 100 倍にして剛性を高めた。パイルキャップコンクリートは非線形とし、分散ひび割れモデル(固定ひび割れモデル)とした。

パイルキャップコンクリートの応力-ひずみ曲線について、圧縮側は、圧縮強度 f'_c までは放物線、下降域を線形とする中村ら³⁾のモデルとし、圧縮破壊エネルギー G_{fc} も中村ら³⁾の提案式で求めた。引張側は、引張強度 f_t までは線形とし、下降域は Hordijk ら⁴⁾の軟化曲線とした。詳細は前報²⁾を参照されたい。

各種鉄筋は離散鉄筋モデルとし、埋め込みトラス要素でモデル化した。表-3 に概要を示す。材料構成則は、Von Mises の降伏条件を用いたバイリニア型の弾完全塑性モデルとした。

杭体(側面および杭頭接合面)とパイルキャップコンクリートとの間には、インターフェイス要素を挿入した。表-4 に概要を示す。材料構成則はクーロン摩擦とし、内部摩擦角 ϕ は摩擦係数 $\mu = \tan \phi = 0.15$ となる角度とした。

表-1 試験体仕様

試験体	杭頭 定着筋	h^* (mm)	L^* (mm)	D^* (mm)	$(L+h)/D$	軸力(kN)	
						正載荷時	負載荷時
A-1	8 本-D29	0	2400	600	4.0	5000	5000
E-1	—	600	1200		3.0	5000	0

※ 図-1, 2 参照

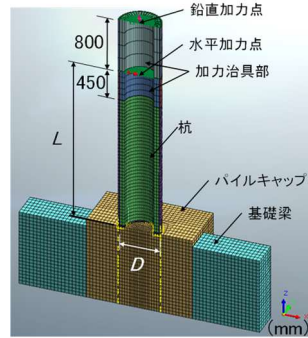


図-1 A-1 解析モデル

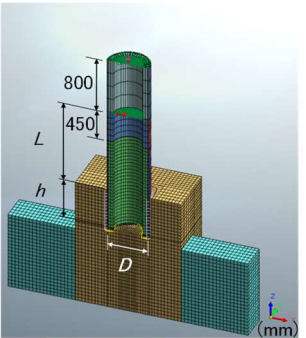


図-2 E-1 解析モデル

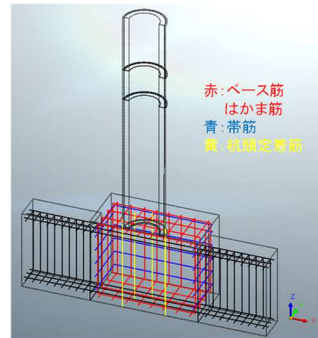


図-3 A-1 配筋モデル

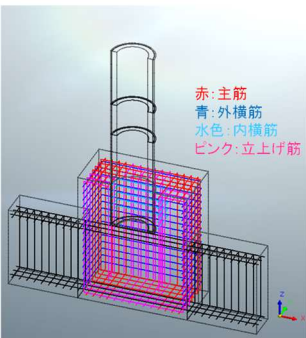


図-4 E-1 配筋モデル

表-2 ソリッド要素の概要

試験体	使用部材	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	ヤング係数 E ($\times 10^4$ N/mm ²)	ポアソン比	材料構成則
A-1	パイルキャップ コンクリート	26.3	2.27	0.16	非線形
	基礎梁コンクリート	—	4.84	0.21	弾性
	杭体コンクリート		20.50	0.30	
	杭体鋼管		20.50	0.30	
E-1	パイルキャップ コンクリート	27.8	2.59	0.18	非線形
	基礎梁コンクリート	—	5.03	0.23	弾性
	杭体コンクリート		20.50	0.30	
	杭体鋼管		20.50	0.30	

表-3 トラス要素の概要

試験体	使用部材	鉄筋 種別	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 E ($\times 10^4$ N/mm ²)	ポアソン比	材料構成則
A-1	パイルキャップ 補強筋	D13	374.8	18.92	0.30	弾完全塑性 (バイリニア型)
E-1	基礎梁あばら筋	D19	402.4	19.04	0.30	
A-1	杭頭定着筋	D29	387.8	19.30	0.30	
E-1	基礎梁主筋	D32	453.7	19.39	0.30	
			446.0	19.22	0.30	

表-4 インターフェイス要素の概要

試験体	材料構成則	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
A-1, E-1	クーロン摩擦	0.01	8.53

表－5 解析方法

試験体	境界条件	載荷方法	目標回転角 ($\times 10^{-3}$ rad)	目標変位 (mm)
A-1	対称面：Y 方向変位拘束	一方向漸増	41.7	100 (1/step)
E-1	底面：固定	変位制御		75 (0.75/step)

表－6 解析ケース

解析 ケース	試験体	軸力 (MN)	G_{fc} 倍率	G_{fc} (N/mm)	ϵ_u^*	f_t (N/mm ²)	G_{ft} (N/mm)
A-1_5_1	A-1	5	1	45.1	0.068	2.06	0.142
E-1_5_1	E-1	5	1	46.4	0.066	2.11	0.142

※ $\epsilon_p=0.002$, $L_{clm}=50\text{mm}$ の場合

3.3 解析方法および解析ケース

解析方法を表－5 に示す。実験は漸増変位正負交番載荷であるが、解析は一方向漸増変位制御とした。解析の目標回転角を約 40/1000rad とし、杭長に応じた目標変位を設定した。また、解析ケースを表－6 に示す。本報では正載荷時のみを対象とした。前報²⁾では G_{fc} を 0.2 倍に低減したケースで耐力低下性状を再現したが、本報では終局時として 20/1000rad 時の応力状態を検討するため、 G_{fc} は 1 倍とした。

4. 解析結果

図－5 に曲げモーメント M －回転角 θ 関係の実験結果と解析結果を比較して示す。どちらの試験体も、20/1000rad までは概ね一致する挙動を示したが、それ以降は G_{fc} を 1 倍としたため、解析値が実験結果を上回った。

図－6 に 20/1000rad 時のパイルキャップコンクリートの圧縮応力度の分布図を示す。各試験体の杭頭接合面近傍に発生した応力度の最大値は、圧縮強度 f'_c の 4.7 倍 (A-1 : 124.2/26.3) と 4.5 倍 (E-1 : 123.9/27.8) であった。

図－7 に 20/1000rad 時のインターフェイス要素の法線方向応力度の分布図を示す。各試験体の応力度の最大値は、圧縮強度 f'_c の 6.8 倍 (A-1 : 178.8/26.3) と 8.3 倍 (E-1 : 229.4/27.8) であった。

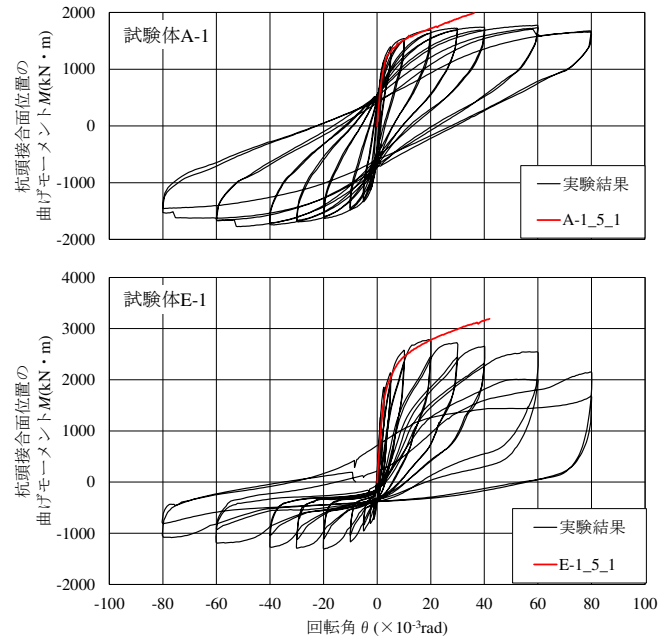
5. まとめ

定着筋方式および埋込み方式の試験体に対して FEM 解析を行い、パイルキャップに発生する応力度について検討した。その結果、杭頭接合面では圧縮強度 f'_c の 4.5 倍以上の大きな応力度が発生することを確認した。これより、終局時の杭頭接合面耐力の計算において、支圧係数 $\phi_c=5$ を用いることは妥当であると考えられる。

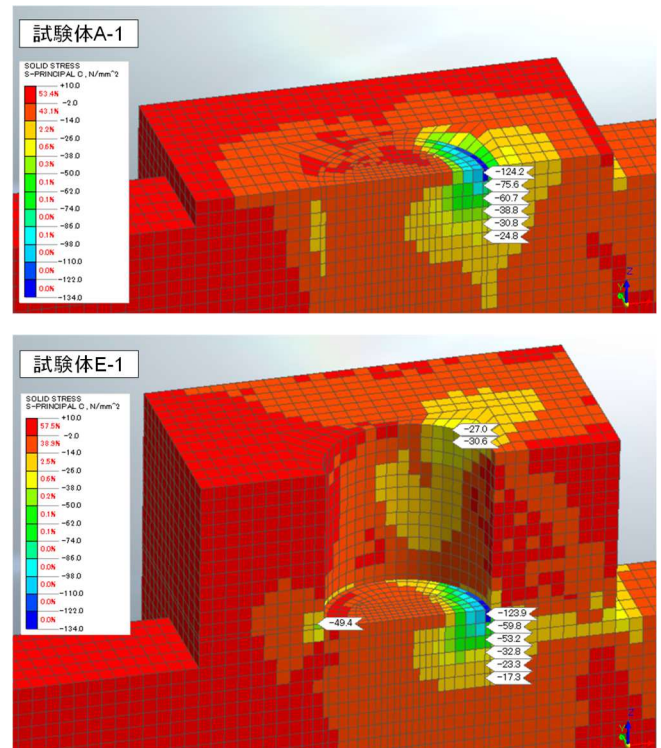
参考文献

- 1) 小梅慎平, 石川一真, 岸田慎司 : SC 杭のパイルキャップにおける杭頭接合面耐力に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.547-552, 2023
- 2) 松倉寛, 石川一真, 小梅慎平 : SC 杭を使用したパイルキャップに関する解析的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.445-446, 2025, 9
- 3) Nakamura, H. and Higai, T. : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 2001
- 4) H.A.W.Cornelissen, D.A.Hordijk and H.W.Reinhardt : Experimental determination of crack softening characteristics of normalweight and lightweight concrete, HERON, 31, 2, pp.45-56, 1986

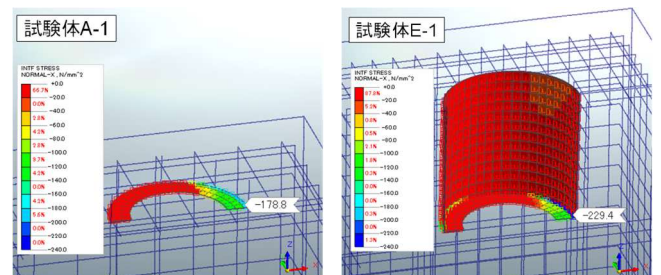
*ジャパンパイル株式会社



図－5 曲げモーメント M －回転角 θ 関係



図－6 パイルキャップコンクリートの圧縮応力度分布図



図－7 インターフェイス要素の法線方向応力度分布図

*JAPAN PILE Corporation