

ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能評価

正会員 ○松本 玄德 1\* 同 岸田 慎司 2\*  
同 石川 一真 3\* 同 小椋 仁志 3\*  
同 酒井 慎二 4\* 同 林 静雄 5\*

パイルキャップ ト形部分架構 定着長さ

1. はじめに

パイルキャップは上部構造物の応力を地盤に伝達するための重要な接合部材である。その周辺部には柱、基礎梁、杭などの部材が接合されており、内部には複雑な応力が作用すると考えられる。しかしながら上部構造ほど多くの研究は行われておらず<sup>1)3)</sup>、依然としてパイルキャップは応力伝達メカニズムなど不明確な点が多い。現在、パイルキャップは構造規定に基づいて設計されているが、内部に配筋された各種補強筋の補強効果は考慮されておらず、多くが設計者の判断に委ねられている。なお、補強筋の効果に関して根拠となる実験に乏しい。更に、パイルキャップは大断面化する傾向にあり十分安全ではあるものの、経済性に対する考慮はなされていないのが現状である。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に試験体の諸元、図-1に試験体詳細、表-2にコンクリートの力学的性状、鋼材の力学的性状を示す。試験体はRC造6~10層程度の中層の実在建物の基礎構造に関して、現行の設計方法を基にして試験体の各部材の大きさを縮小した。試験体は全部で4体製作し、パイルキャップとその周囲に接合されている杭・基礎梁・柱から構成された側柱下におけるト形部分架構とし実在建物の約1/4縮小モデルとした。試験体のパラメータは1)パイルキャップの幅とせいの寸法、2)基礎梁主筋の定着長さ、3)載荷方向、とした。パイルキャップの寸法は、2タイプとし、実物件のボリュームを想定した「標準型」タイプ500×500×520(mm)が2体(以下、No.1, No.2)と、パイルキャップの幅、せいを柱せい寸法(350mm)までスケールダウンした「縮小型」タイプ350×350×520(mm)が1体(以下、No.3)、また施工性を考え、標準型に対して基礎梁主筋の定着を柱内ではなく、パイルキャップ内まで延長し定着した「定着型」タイプ(以下、No.4)の合計4体とした。なお、No.4のパイルキャップの寸法はNo.1, No.2と同仕様である。

2.2 実験方法

試験体の支承部は全てピン支持機構とした。柱頭はPC鋼棒を反力フレームに緊結させることで固定した。今回の実験では、軸力を全試験体に入れず、柱頭部に球座を介し2000kN油圧ジャッキにより反力を取っている。また梁端に取り付けた1000kN油圧ジャッキよりせん断力を導入した。載荷は正負交番繰り返しにより試験体の終局時まで加力を行った。No.1は初期載荷を正方向からの載荷とし、No.2は負方向からの載荷を行った。また、No.3とNo.4は正方向からの載荷を行った。

3. 実験結果

3.1 実験結果一覧

パイルキャップ及び周辺部材の終局時ひび割れ状況を図-3に、実験結果一覧を表-3に示す。全試験体共通し基礎梁に曲げひ

び割れが発生後、せん断ひび割れが発生し、柱およびパイルキャップにせん断ひび割れが発生した。徐々に基礎梁の上下端危険断面位置での目開きが増加し基礎梁主筋の抜け出しが顕著となった。また、No.2は層間変形角0.6%時に柱危険断面位置でコンクリートの圧壊が生じた。この時点で基礎梁主筋の降伏には至っていない。また、基礎梁と直交方向のパイルキャップ表面および基礎梁直下のパイルキャップ表面に杭周面部から発生したひび割れが縦ひび割れとして進展した。No.1, No.4では層間変形角が1.0%時にパイルキャップにせん断ひび割れが発生した。また、No.3では0.5%時にパイルキャップにせん断ひび割れが発生した。破壊モードについては、No.1では上端基

表-1 試験体諸元

試験体名	No. 1	No. 2	No. 4	No. 3
形状	標準型		基礎梁定着型	縮小型
軸力	変動軸力			
	配筋/寸法			
パイルキャップ (幅×せい×高)	500×500×520			350×350×520
柱 b×D(300×350)	ベース筋 : 5-D10 (SD295A) 筋筋 : 5-D10 (SD295A) 帯筋 : 1-D10 (SD295A)	筋筋 : 12-D19 (USD930) せん断補強筋 : U12. 6@70	pt=1.88 (%) pw=1.20 (%)	ベース筋 : 3-D10 筋筋 : 3-D10 ※筋筋のみ標準
基礎梁 b×D(200×600)	筋筋 : 上下3-D19 (USD930) せん断補強筋 : U9. 0@70 腹筋 : 10-D6E86	筋筋 : 上下3-D19 (USD930) せん断補強筋 : U9. 0@70 腹筋 : 10-D6E86	pt=0.77 (%) pw=1.40 (%)	
杭	鋼管 : φ190.7 t=35 アンカー筋 : 12-D22 (USD930) 杭頭補強筋 : 1-D13 (SD345)			

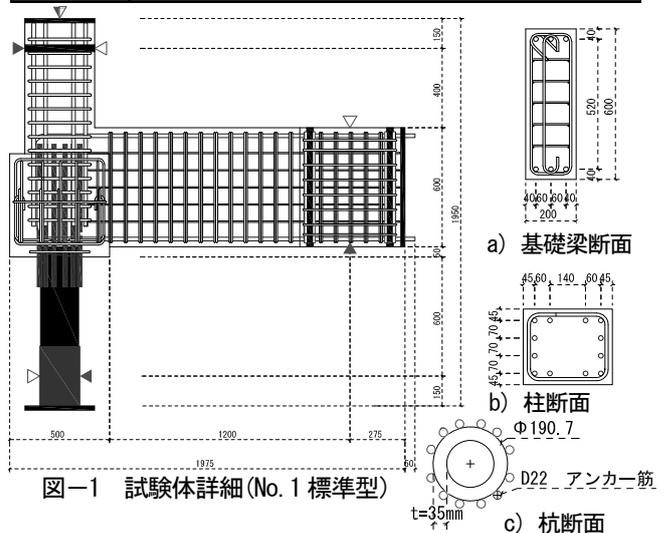


図-1 試験体詳細(No.1標準型)

表-2 材料特性

コンクリート	圧縮強度	割裂強度	ヤング係数	※グラウト材は鋼管中に中詰め用として使用 ※USD930及びブルボンは0.2%オフセット応力により算出		
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>	圧縮強度	割裂強度	ヤング係数
	25.7	2.32	2.26			
グラウト	119.8	5.13	3.77			
鋼材	使用箇所	降伏応力度	最大応力度	ヤング係数	降伏ひずみ	
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>	μ	
D10 (SD295A)	パイルキャップ補強筋	345.2	473.9	0.16	2168	
D19 (USD930)	柱・梁主筋	1045.0	1133.3	0.18	7875	
D22 (USD930)	杭アンカー筋	1036.0	1152.3	0.18	7757	
φ9.0	梁せん断補強筋	1342.4	1410.6	0.19	8340	
φ12.6	柱せん断補強筋	1318.4	1429.8	0.18	9286	
STKM13A-SH	鋼管杭※	423.0	508.0	-	-	

※ミリシートより

基礎梁主筋の降伏後に鉄筋の抜け出しによって終局に至り、No.2では基礎梁上端のコンクリートの圧壊によって終局に至り、No.3では基礎梁主筋は降伏に至っていないもの、目視により目開き量の増加を確認したことから基礎梁主筋の抜け出しによって終局に至ったと判断した。No.4では基礎梁主筋の折り曲げ定着部での跳ね上げ破壊により急激に耐力の減少が生じた。No.4では基礎梁主筋の定着長さを標準型よりも長くしており、パイルキャップ内で定着を取っていることから柱のせん断補強筋による拘束を受けていないために、基礎梁主筋の折り曲げ部が跳ね上がってしまったと思われる。

### 3.2 層せん断力-層間変形角関係

図-4に層せん断力  $Q$  と層間変形角  $R$  の関係を示す。初期剛性は全試験体ともほぼ同程度であるものの、負加力から荷重を行ったNo.2は最大耐力が正方向荷重のNo.1よりも約12%大きい結果となった。次に基礎梁主筋の定着長さを長くしたNo.4も同様にNo.1に対して約11%大きい結果となった。試験体は荷重方向で、パイルキャップ面が危険断面位置になる場合と柱面が危険断面位置となる場合があることが影響していると考えられる。また、梁主筋の定着長を長く取ると最大耐力に影響することがわかった。

### 3.3 パイルキャップのせん断強度とせん断変形

パイルキャップのせん断応力度  $\tau_{exp}$  ( $N/mm^2$ ) は表-4示す仮想断面の考え方に基いて  $b_j$  (有効幅: mm),  $D_j$  (有効せい: mm) を4通り仮定し、仮想有効断面<sup>2)</sup>として(1)式で算定する。

$$V_{exp} = \frac{M}{j} - V_c \quad \tau_{cal} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_T} \sigma_0 \quad \dots(2)$$

$$\tau_{exp} = \frac{V_{exp}}{b_j \cdot D_j} \quad \dots(1) \quad \sigma_T = 0.33 \times \sqrt{\sigma_B}$$

$$\tau_{max cal} = 0.8 \kappa \varphi \sigma_B^{0.7} \quad \dots(3)$$

せん断ひび割れ強度は(2)式、終局強度は靱性評価指針に基づき(3)式で算定した。パイルキャップのせん断ひび割れ強度、終局強度の実験値と計算値の比較を図-5に示す。図より仮想有効断面を(C-2, 3)で考慮した場合の適合性がよく、設計の際にパイルキャップ断面を考慮する必要があると考えられる。

## 4. まとめ

以下に、本実験から得た知見を示す。

- 1) 層せん断力-層間変形角の関係より正負の加力方向によって危険断面位置が異なり、耐力に影響することがわかった。
- 2) 基礎梁主筋の定着長さを長くすると耐力の増加に影響することがわかった。
- 3) No.4の実験結果より、柱のせん断補強筋による拘束を考え基礎梁主筋の定着長さを延長する場合は、横補強筋を配筋しなければならない。

【謝辞】 高周波ネツレン株式会社様に鋼材の提供を承りました、ここに記して謝意と致します。

【参考文献】 1) 小林勝巳ほか：側柱下の場所打ち杭-基礎梁部分架構の耐震性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，pp. 61-68, 1999, 2) 林静雄ほか：既製杭を使用したパイルキャップの耐震性能評価に関する十字形骨組実験，日本建築学会構造系論文集, 3) 酒井慎二ほか：周辺架構を考慮したパイルキャップの耐震性能評価に関する実験研究，pp. 319-324, 2008, 4) 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999

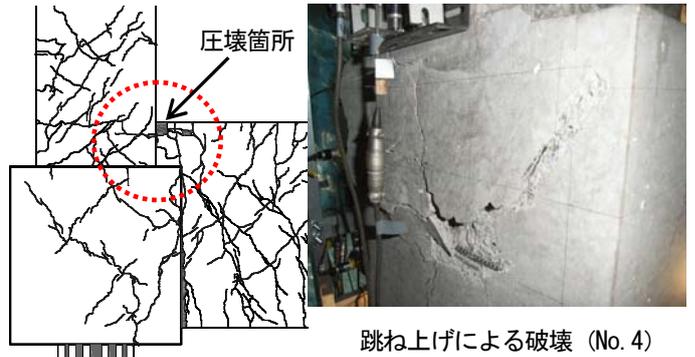


図-3 終局時ひび割れ状況 (試験体 No. 2, No. 4)

表-3 実験結果一覧

	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
	Q [kN]	R [ $\times 10^2$ rad]	Q [kN]	R [ $\times 10^2$ rad]	Q [kN]	R [ $\times 10^2$ rad]	Q [kN]	R [ $\times 10^2$ rad]
基礎梁曲げひび割れ発生時荷重	55.5	0.15	47.00	0.03	34.3	0.05	57.1	0.12
パイルキャップせん断ひび割れ	218.6	0.98	174.6	0.62	127.7	0.49	218.6	0.97
最大耐力	291.7	2.50	337.1	2.42	272.9	2.59	319.8	2.23

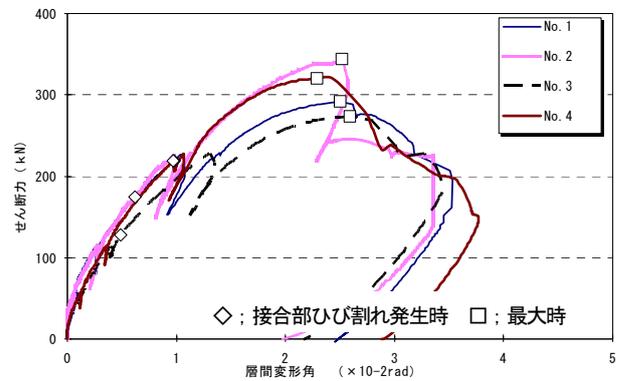


図-4 層せん断力-層間変形角関係

表-4 仮想有効断面一覧

	仮想有効断面材断面		標準型 (mm)		縮小型 (mm)		定着型 (mm)	
	$b_j$	$D_j$	$b_j$	$D_j$	$b_j$	$D_j$	$b_j$	$D_j$
C-1 柱	250		250		250		250	
C-2 (柱+パイルキャップ)平均	300	343	300	263	300	263	300	387
C-3 パイルキャップ	350		350		275	305.5	350	
C-4 (柱+パイルキャップ+杭)平均	262		262		237		262	

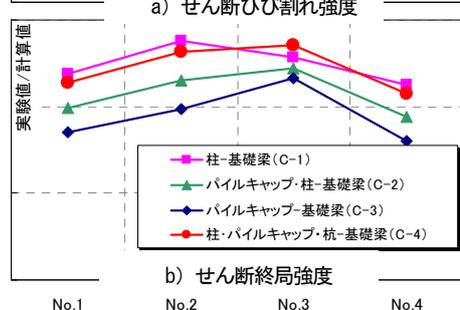
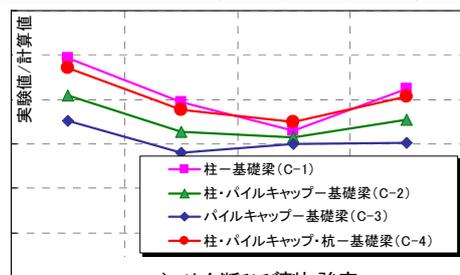


図-5 実験値と計算値の比較

\*1 東京工業大学 環境理工学専攻

\*2 芝浦工業大学 工学部建築学科准教授・博士(工学)

\*3 ジャパンパイル(株)

\*4 清水建設(株)

\*5 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・博士(工学)

\*1 Construction Engineering Major, Tokyo Institute of Technology

\*2 Associate Pro, Shibaura Institute of Technology, Dr.Eng.

\*3 JAPAN PILE CO.

\*4 SHIMIZU CO.

\*5 Prof., S.E.R.C., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.