

# 論文 ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に及ぼす基礎梁位置の影響

大和久 貴義<sup>\*1</sup>・上坂 宜嗣<sup>\*2</sup>・岸田 慎司<sup>\*3</sup>・林 静雄<sup>\*4</sup>

要旨：ト形部分架構を有するパイルキャップの内部応力状態，各補強筋の効果解明及び，合理的な配筋方法の検討を目的とし，パイルキャップ内の配筋方法をパラメータとした試験体の載荷実験を行った。パイルキャップの上下で断面の異なる部材がついているため，通常のト形柱梁接合部と異なり，載荷方向で異なる挙動が見られた。正載荷時で負載荷時と比べて，最大耐力が 25%程度高く，パイルキャップ補強筋量の多い試験体では最大耐力の増加が見られた。負載荷時には基礎梁位置を上げた影響で，基礎梁によるパイルキャップ下部の拘束力が小さくなり，基礎梁下端主筋の引張力により，杭の拔出し変形が顕著となった。

キーワード：パイルキャップ，基礎梁，既製杭，アンカー筋，接合部，耐震性能

## 1. はじめに

パイルキャップは基礎構造において，上部構造と杭の応力を相互に伝達する重要な接合部材であるが，力学的根拠に基づく設計法が確立されていない。さらに，パイルキャップ内には各種鉄筋が構造規定に基づいて配筋されているが，褥筋やベース筋など各種鉄筋の効果については明確になっておらず，例えば柱主筋，基礎梁主筋，杭アンカー筋の定着をどのように確保するかなどが問題となっているが，設計者の判断に委ねられている。これらパイルキャップ内の各種鉄筋の補強効果を期待せず，コンクリート断面のみでせん断力を負担させる現在の設計は安全側ではあるが，合理的であるとは言い難い。そこで，各種鉄筋の補強効果を明確にすることで，合理的な配筋仕様を提案できると考え，今回は基礎梁位置による配筋方法の違いがパイルキャップの耐震性能に及ぼす影響を明確にすることを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

図 - 1 に試験体形状，表 - 1 に試験体諸元，表 - 2 に使用材料の力学的特性を示す。試験体は RC 造中高層建築物の側柱下部分架構を対象とし，パイルキャップ，柱，基礎梁，杭で構成された約 1/2 の縮小モデルとした。パイルキャップのせん断破壊を先行させるため，柱，基礎梁，杭は「靱性保証型耐震設計指針」<sup>1)</sup>，「建築基礎構造設計指針」<sup>2)</sup>により耐力を高く設計した。変動要因はパイルキャップ内の配筋方法とする。図 - 2 にパイルキャップ配筋を示す。なお，パイルキャップ内の配筋は，松本ら<sup>3)</sup>による『かご筋型』をもとにした。パイルキャッ

プ以外の形状，寸法，配筋は同一で，せん断スパン比は柱が 4.16，基礎梁が 2.54，杭が 3.40 となっている。今回，パイルキャップに取付く基礎梁位置によって，パイルキャップの性能が異なると考え，杭と基礎梁主筋が干渉する場合を想定し，杭埋込み長さを 100mm (文献 3 の実験では 50mm) とし，基礎梁位置を通常より上部に上げた試験体を基準試験体 No.1 とした。試験体 No.2 は試験体 No.1 とせん断補強筋量が同等だが，縦筋を短くし，杭頭周囲に配筋の無い試験体である。試験体 No.3 は，せん断補強筋量を増やした試験体となっている。また，全試験体共に鋼管杭にはアンカー筋を定着として用いた。

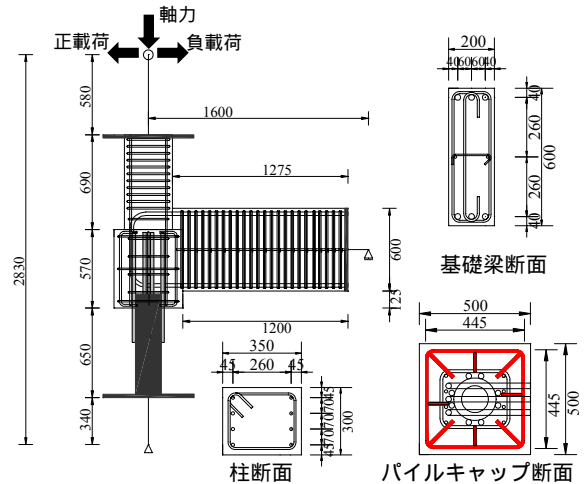


図 - 1 試験体形状

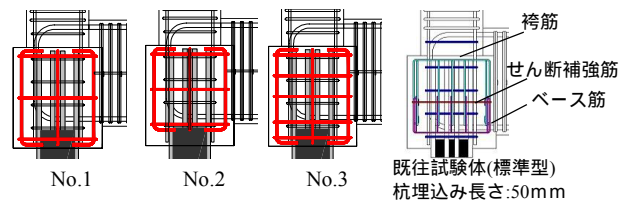


図 - 2 パイルキャップ配筋

\*1 東京工業大学大学院 (正会員)

\*2 (株)長谷工コーポレーション 修士(工学)

\*3 芝浦工業大学工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*4 東京工業大学 セキュアマテリアル研究センター教授 博士(工学) (正会員)

表-1 試験体諸元

試験体名	No.1	No.2	No.3
軸力	850.0kN (軸力比0.3)		
幅×せい×高さ	500×500×570		
パイルキャップ	縦筋 4-D10 (SD295A), 4-D13 (SD295A)		
	横補強筋 D10 (SD295A) @235   D10 (SD295A) @200   D10 (SD295A) @120		
	せん断補強筋比		0.23%
柱	主筋 8-D13(USD785)		
	補強筋 ウルボン1275 U9.0 @50		
梁	主筋 6-D22(USD980)		
	せん断補強筋 ウルボン1275 U9.0 @50		
杭	鋼管 190.7mm t=45mm		
	アンカー筋 8-D22(USD980)		

表-2 コンクリートと鋼材の力学的特性

コンクリート	圧縮強度	割裂強度	圧縮強度時歪	ヤング係数	
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	μ	×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>	
	25.4	1.8	1861	2.40	
鋼材	使用箇所	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏歪 μ	ヤング係数 ×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
	D10 (SD295A) パイルキャップ	366	501	2007	1.85
	D10 (SD295A) パイルキャップ	353	501	1966	1.83
	D13 (SD295A) パイルキャップ	347	496	1963	1.78
	D13 (USD785) 柱主筋	791	978	6153	1.91
	D22 (USD980) 梁主筋	1044	1123	7778	1.77
	U9.0 柱せん断補強筋	1386	1481	8581	1.98
	U9.0 梁せん断補強筋	1368	1463	8507	2.11
	S45C-SH 鋼管杭	346	665	-	-

2.2 載荷方法

図-3 に載荷装置図を示す。加力は首都大学東京の大型構造物実験棟で行った。試験体の梁端はピン・ローラー支持、柱頭・杭脚はピン支持とした。柱頭に一定圧縮軸力を導入後、柱頭より水平力を与えた正負交番繰り返し載荷を行った。軸力は軸力比 0.3 一定の荷重制御、水平力は柱頭位置での層間変形角により変位制御とした。正負交番加力を 1 サイクルとして、層間変形角 1/400rad を 1 サイクル、1/200、1/100、1/50rad を各 2 サイクルずつ、1/33rad を 1 サイクル、1/25rad を 2 サイクル行った。層間変形角は柱頭加力点で直接計測した層間変位を柱頭加力点から杭脚支持点までの距離で除したものとした。

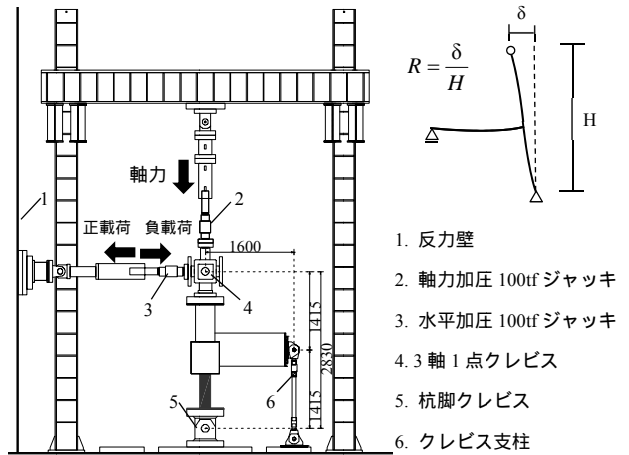


図-3 載荷装置図

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

表-3 に実験結果一覧、図-4 に最終変形時のひび割れ状況を示す。正載荷時を黒線、負載荷時を赤線で示す。

全試験体共に、正載荷時は基礎梁に曲げひび割れ、せん断ひび割れ発生後、柱に曲げひび割れが発生した。その後、パイルキャップ上部の柱梁接合部でせん断ひび割れが発生し、パイルキャップへ進展後に最大耐力に達した。最大耐力以降、パイルキャップのひび割れが増加し、ひび割れ幅拡大が顕著となり耐力低下が生じた。負載荷時は、柱曲げひび割れ発生時まで正載荷時同様の傾向が見られたが、先にパイルキャップにせん断ひび割れが発生し、その後に柱梁接合部にせん断ひび割れが発生した。最終変形時には試験体 No.1, No.2 の柱梁接合部でコンクリートのはらみ出しが見られた。全試験体においてパイルキャップ下面では、正負載荷時でアンカー筋近傍に拔出しによるひび割れが発生し、パイルキャップ上部へ進展した。変形増大に伴い、パイルキャップ下面での損傷が進み、杭拔出しによりパイルキャップと杭との間に肌別れが見られた。特に杭頭周囲に補強筋のない試験体 No.2 でパイルキャップ下面の損傷が顕著であった。上記結果及び、全試験体で正負載荷の最大耐力時にパイルキャップせん断補強筋が降伏歪みに達していることから、破壊形式はパイルキャップせん断破壊と判断した。

表-3 実験結果一覧

	No.1		No.2		No.3		
	Q [kN]	R [%]	Q [kN]	R [%]	Q [kN]	R [%]	
アンカー筋降伏	-46.7	-3.34	-41.4	-3.83	-45.3	-3.77	
パイルキャップせん断ひび割れ	正	84.3	0.78	94.8	1.00	96.4	0.93
	負	-73.7	-0.64	-76.3	-0.72	-83.1	-0.85
最大耐力	正	114.0	2.00	115.4	2.00	121.8	2.00
	負	-87.8	-1.00	-91.8	-1.78	-97.7	-1.91

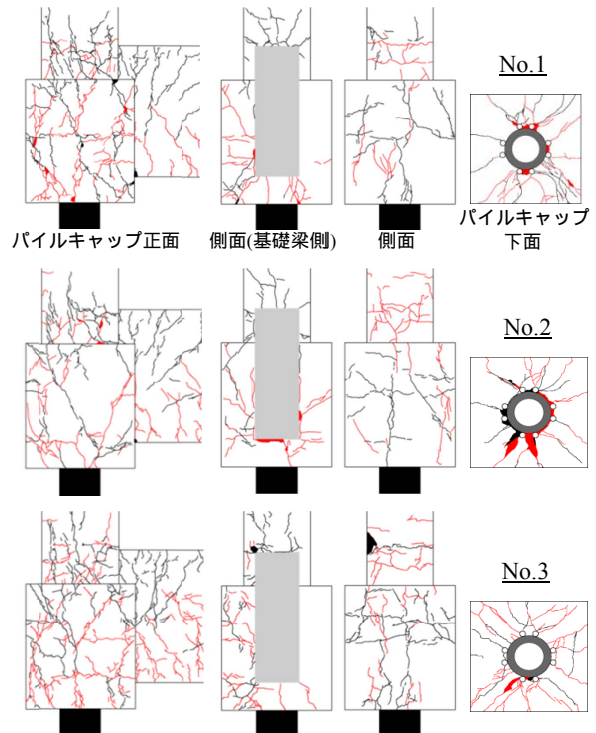


図-4 ひび割れ状況 (最終変形時)

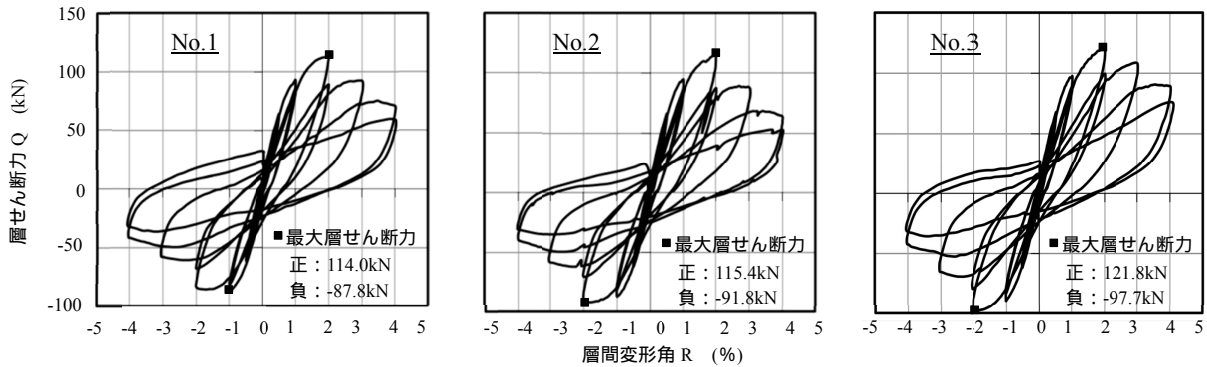


図 - 5 層せん断力 Q - 層間変形角 R

### 3.2 層せん断力 層間変形角関係

図 - 5 に層せん断力 - 層間変形角を示す。図は縦軸に層せん断力 Q(kN), 横軸を層間変形角 R(%)とする。正載荷時では、全試験体共に層間変形角 2%で最大層せん断力に達した。負載荷時では、試験体 No.1 が層間変形角 1%で最大層せん断力に達したが、試験体 No.2, No.3 では層間変形角 2%で最大層せん断力に達している。この要因として、No.1 では層間変形角 2%時での杭拔出し変形が他の試験体よりも卓越していることから、杭拔出しにより耐力が上がらなくなったと考えられる。パイルキャップの縦筋長さの異なる試験体 No.1 と試験体 No.2 では、正載荷時の最大耐力に顕著な違いが見られないが、試験体 No.2 での耐力低下が大きい。試験体 No.3 の最大耐力は試験体 No.1 と比べて正載荷時は 6.8%, 負載荷時には 11.3%耐力が大きく、せん断補強筋の増加による耐力上昇が見られた。また全試験体で正負載荷時の最大層せん断力が異なっており、正載荷時で負載荷時より 25%程度最大耐力が大きくなっている。これは基礎梁の上端引張時と下端引張時で図 - 6 に示すパイルキャップの抵抗機構が異なるためだと考えられる。正負載荷時共に、基礎梁主筋の引張力は折り曲げ定着部の内側で支圧力として伝達されると考えられ、正載荷時には、基礎梁主筋折り曲げ定着部と基礎梁圧縮域、柱圧縮域、杭頭圧縮域を結ぶ複数の圧縮ストラットが複雑に形成され、基礎梁圧縮域と杭頭圧縮域が離れるため応力が分散し伝達される。負載荷時には、基礎梁上端、柱の圧縮域と基礎梁下端折り曲げ定着部、杭頭部の圧縮域を結ぶ圧縮ストラットが形成され圧縮ストラットが重なるパイルキャップ下部において応力が集中すると考えられる。これらの基礎梁位置を上部に上げたことに起因するパイルキャップの抵抗機構の相違が正載荷時で負載荷時より最大耐力が大きくなった要因として考えられる。

### 3.3 変形成分

図 - 7 に各サイクルピーク時における各部材の変形成分の推移を示す。全試験体で同様の傾向が見られたため試験体 No.1, No.3 について示す。変形成分は各部材変形

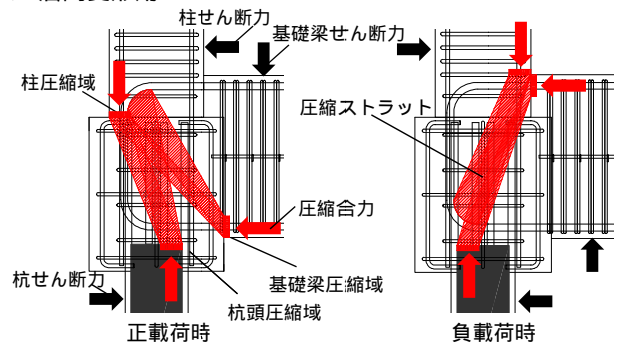


図 - 6 パイルキャップの抵抗機構

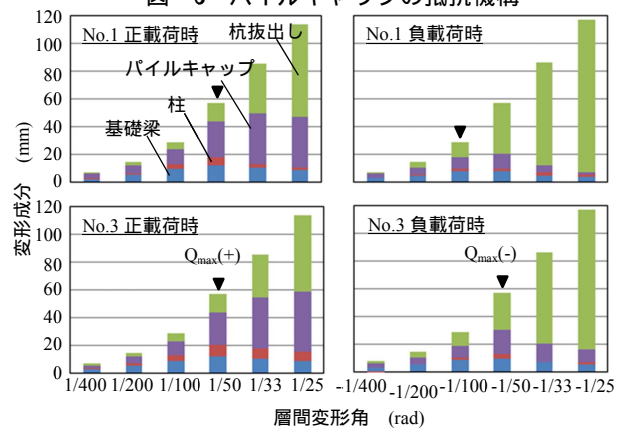


図 - 7 変形成分

による層間変位を変位計より算出した。杭は剛性が大きく曲げ変形は微小のため考慮せず、杭脚より計測した杭たわみを杭拔出し変形とした。図より正負載荷時で変形成分が異なることが分かる。正載荷時には最大耐力時にパイルキャップの変形が大きく、最大耐力以降はパイルキャップ、杭拔出し変形が大きい。負載荷時には、最大耐力時の変形はパイルキャップと杭で同程度変形しており、最大耐力以降は杭拔出し変形が顕著であった。負載荷時での杭拔出し変形が大きい要因として、基礎梁位置を上げたことにより、基礎梁によるパイルキャップ下部の拘束力が小さくなり、アンカー筋の付着性状が劣化したためと思われる。尚、アンカー筋は D22(USD980)を用いており、パイルキャップ内配筋が過密で十分なアンカー筋定着長の確保が困難なため、必要付着長さを考慮し定着長は 450mm(約 20d)としている。

### 3.4 各種鉄筋の歪み分布

図 - 8 に梁主筋, 柱せん断補強筋, パイルキャップせん断補強筋の歪みゲージ位置を示す。ゲージ位置は梁主筋, 柱せん断補強筋は全試験体共通で, パイルキャップせん断補強筋は各試験体で異なる。

#### (1) 梁主筋歪み分布

図 - 9 に各試験体の梁主筋の歪み分布を示す。図は正負載荷時それぞれの引張側主筋の折曲がり起点までの歪み分布で, 図中の点線及び実線はそれぞれ柱危険断面, パイルキャップ危険断面位置となっている。上端主筋では柱面位置での歪みが大きく, 下端主筋ではパイルキャップ面位置での歪みが大きく, パイルキャップ面から基礎梁側において引張歪みが減少していることから, 正負載荷時に危険断面位置が異なると考えられる。変形の増大に伴い, 負載荷時での下端筋においては柱面位置から杭頭位置での付着性状の劣化が見られる。これはアンカー筋の引張力の影響を受けていると考えられる。また, 最終変形時には下端筋引張力の大部分を折れ曲がり定着部が負担していることが分かる。

#### (2) 柱せん断補強筋歪み分布

図 - 10 に最大耐力時の柱せん断補強筋の歪み分布を示す。正載荷を青線, 負載荷を赤線で示す。図中の点線は降伏歪みを示し, 補強筋は柱危険断面位置を境に異なる。正載荷時は全試験体で柱梁接合部域及び, パイルキャップ内の補強筋が降伏歪みに達している。接合部域で歪みが最大となり, パイルキャップ内ではパイルキャップ下端方向へ歪みが小さくなる傾向が見られる。負載荷時においても, 全試験体共に柱梁接合部域及び, パイルキャップ内の補強筋が降伏歪みに達しているが, 正載荷時と異なり柱梁接合部域, パイルキャップ下端での歪みが大きくなる傾向が見られた。これは破壊性状で述べた正載荷時と負載荷時でのパイルキャップ初期ひび割れ性状の違いと対応していることが分かる。

#### (3) パイルキャップせん断補強筋歪み分布

図 - 11 に最大耐力時のパイルキャップせん断補強筋歪み分布を示す。正載荷を青線, 負載荷を赤線, 降伏歪みを点線で示す。図より柱せん断補強筋と同様の傾向が見られる。正載荷時に全試験体で降伏歪みに達しており, パイルキャップ上部で歪みが大きい。負載荷時においても全試験体で降伏歪みに達しているが, 歪みはパイルキャップ下部, 特に梁主筋近傍で大きくなっている。このことから正載荷時にはパイルキャップ及び柱梁接合部で, 負載荷時はパイルキャップ下部で応力が集中していることが分かる。これは負載荷時には, 基礎梁下端主筋とアンカー筋の引張力による影響が大きいためだと考えられ, 正負載荷時の最大耐力が異なる要因だと考えられる。また, パイルキャップの縦筋では, 全試験体で降伏

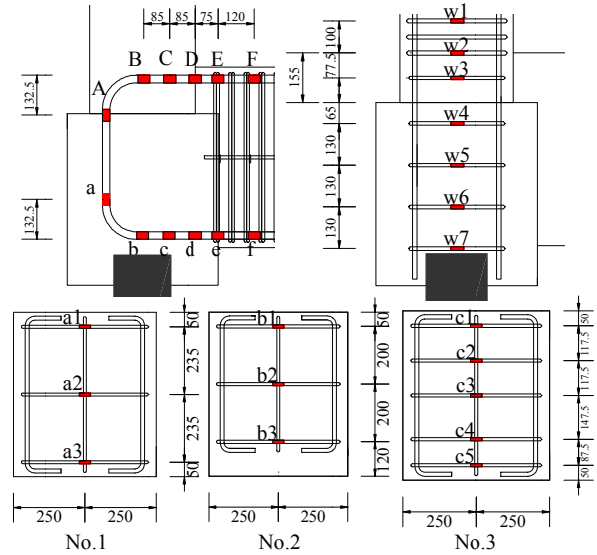


図 - 8 歪みゲージ位置

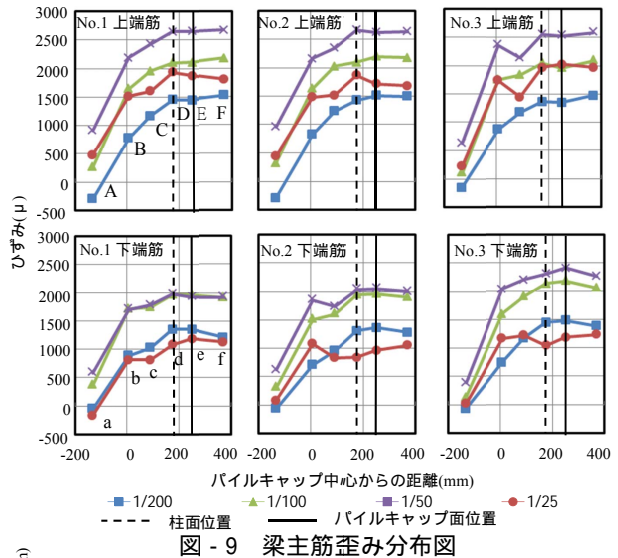


図 - 9 梁主筋歪み分布図

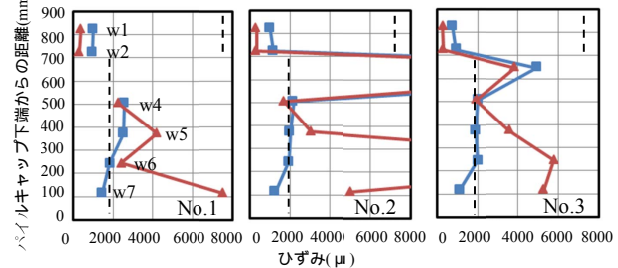


図 - 10 柱せん断補強筋歪み分布図

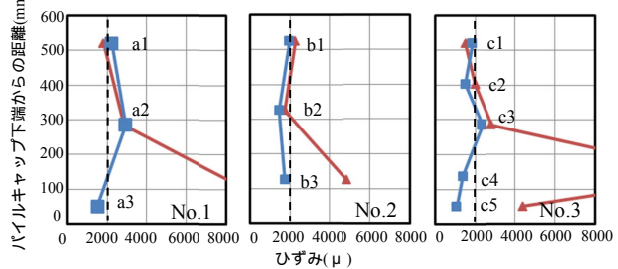


図 - 11 パイルキャップせん断補強筋歪み分布図

歪みには達していないが, 正載荷時には基礎梁側, 負載荷時には側面側の縦筋においてパイルキャップせん断ひび割れ発生後に圧縮から引張への転化が見られた。

### 3.5 アンカー筋の定着性能

図 - 12 にアンカー筋歪みゲージ位置、図 - 13 に正負荷荷時における引張アンカー筋の歪み分布を示す。ゲージ位置は全試験体共通で、図中の点線は降伏歪みを示す。図より正負荷荷時共に、層間変形角  $1/50\text{rad}$  まではアンカー筋定着端部から杭頭方向に歪みが大きくなり、直線分布となるが、大変形時には杭頭から定着端部にかけて引張力を分担しなくなり、杭頭位置で付着応力が大きくなる傾向が見られる。負荷荷時には正荷荷時と比べ、全試験体で歪みが大きく最終変形時には降伏歪みに達しており、アンカー筋においても基礎梁下端主筋の引張力の影響を受けて、アンカー筋の伸びによる杭拔出が大きくなったと考えられる。

図 - 14 に正負荷荷時におけるアンカー筋の伸び量 - 層間変形角関係を示す。図は各サイクルピーク時における引張アンカー筋の伸び量をプロットしたものである。伸び量は文献<sup>4)</sup>を参考に正負荷荷時の引張側アンカー筋の歪み値を積分して算出し、アンカー筋が降伏していない層間変形角  $1/33\text{rad}$  までの値を用いた。図より正荷荷時には、層間変形角  $1/50\text{rad}$  まで全試験体で似た傾向を示し、試験体 No.3 では、他の試験体と比較して、最大耐力以降の伸び量が小さい。これは試験体 No.3 はパイルキャップせん断補強筋量が多く、コンクリートの拘束によりアンカー筋の付着性能が良好であったためと思われる。負荷荷時には試験体による顕著な差異は見られないが、正荷荷時と比べて伸び量が著しく、正荷荷時と比べて負荷荷時に杭拔出し変形が大きいことと対応している。

### 3.6 パイルキャップせん断耐力の評価

実験結果より得られたパイルキャップのせん断ひび割れ強度およびパイルキャップせん断強度について、靱性指針接合部せん断強度式を用いた評価の検討を行った。外部柱梁接合部では、接合部の有効幅として柱幅と梁幅の平均値とし、有効せいを梁主筋の水平投影長さとするのが一般的である。しかしパイルキャップにおいては、パイルキャップ下部は杭であり、上柱とパイルキャップの断面が大きく異なるなど柱梁接合部と形状が異なるため、表 - 4 に示す A-1 ~ A-4 の仮想鉛直部材を仮定し、仮想鉛直部材と基礎梁からなる有効断面を算定した。有効せいは仮想鉛直部材に考慮した各鉛直部材の梁主筋水平投影長さの平均値、有効幅は仮想鉛直部材と基礎梁幅の平均値とする。算定した有効断面を用いてパイルキャップのせん断ひび割れ強度を(1)式、パイルキャップせん断強度を(2)式より算出した。尚、せん断ひび割れ強度の実験値は、目視によるパイルキャップせん断ひび割れ確認時のせん断ひび割れ強度を用いた。表 - 4 に仮定した仮想鉛直部材とその有効断面一覧、表 - 5 にパイルキャップせん断強度実験値と計算値一覧を示す。

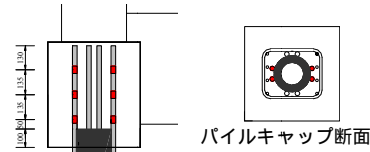


図 - 12 アンカー筋歪みゲージ位置

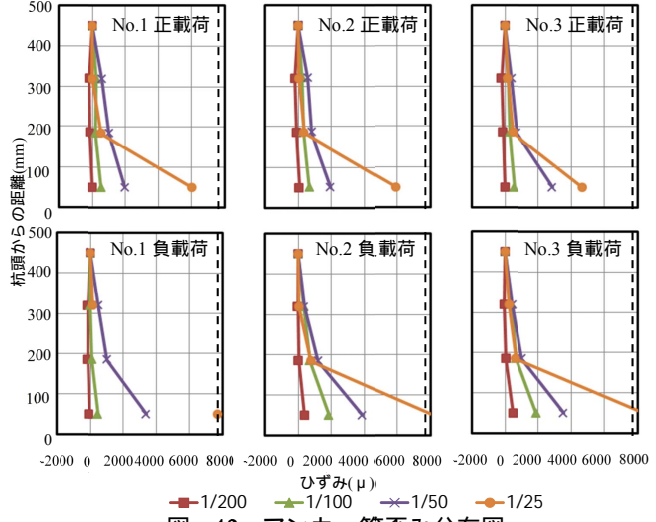


図 - 13 アンカー筋歪み分布図

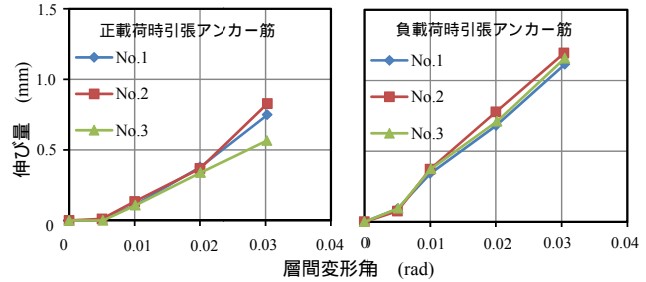


図 - 14 アンカー筋の伸び量 - 層間変形角関係

表 - 4 有効断面一覧

	仮想有効断面	有効せい $D_j$	有効幅 $b_j$
A-1	柱	306 [mm]	250 [mm]
A-2	(柱 + パイルキャップ) 平均	343.5 [mm]	300 [mm]
A-3	パイルキャップ	381 [mm]	350 [mm]
A-4	(柱 + パイルキャップ + 杭) 平均	300.5 [mm]	262 [mm]

表 - 5 パイルキャップせん断強度実験結果一覧

有効断面	せん断ひび割れ強度 [N/mm <sup>2</sup> ]			$\tau_{cal}$	せん断強度 [N/mm <sup>2</sup> ]			$\tau_{maxcal}$	
	No.1	No.2	No.3		No.1	No.2	No.3		
正荷荷	A-1	4.03	4.11	4.34	3.92	5.64	5.62	5.99	4.58
	A-2	3.00	3.05	3.22		4.19	4.17	4.45	
	A-3	2.31	2.36	2.49		3.24	3.23	3.44	
	A-4	3.92	4.00	4.21		5.49	5.47	5.83	
負荷荷	A-1	3.88	3.86	4.33	3.92	4.32	4.38	5.21	4.58
	A-2	2.88	2.87	3.22		3.21	3.25	3.86	
	A-3	2.23	2.22	2.49		2.48	2.51	2.99	
	A-4	3.77	3.75	4.21		4.21	4.26	5.07	

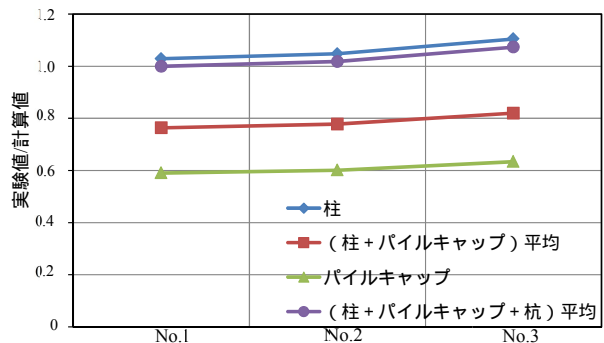


図 - 15 せん断ひび割れ強度の計算値との比較

$$\tau_{cal} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_T \cdot \sigma_0} \quad \sigma_T = 0.33 \times \sqrt{\sigma_B} \quad (1)$$

$$V_{exp} = T - V_c \quad \tau_{exp} = \frac{V_{exp}}{b_j \cdot D_j} \quad \tau_{max,cal} = 0.8 \cdot \kappa \cdot \phi \cdot \sigma_B^{0.7} \quad (2)$$

$V_{exp}$ :入力せん断力  $\tau_{exp}$ :せん断応力度  $T$ :基礎梁主筋引張応力  $V_c$ :柱せん断力  $\sigma_T$ :コンクリート引張強度  $\sigma_0$ :柱軸圧  $\sigma_B$ :コンクリート圧縮強度  $b_j$ :有効せい  $D_j$ :有効幅  $\kappa$ :接合部形状の係数  $\phi$ :直交梁の補正係数

図 - 15 にせん断ひび割れ強度の計算値との比較、図 - 16 にせん断強度の計算値との比較を示す。図より有効断面に柱、パイルキャップ、杭を考慮した場合の適合性がよく、パイルキャップのみ、または柱、パイルキャップを考慮した場合には危険側の評価となる。

図 - 17 にパイルキャップせん断強度 - せん断補強筋量関係を示す。データのプロットは本実験結果と松本ら<sup>3)</sup>の接合部せん断破壊と判断された標準型試験体、大径杭型試験体も合わせて示す。標準型試験体のパイルキャップ配筋については図 - 2 に示す。大径杭型試験体は標準型試験体の杭径を倍にした試験体である。コンクリート強度が異なるので、せん断強度はコンクリート強度で除した値を示す。図よりせん断補強筋量の増加に伴いせん断強度の増大が見られる。また、松本らの実験結果と比較して、パイルキャップ配筋をかご筋とした場合においても、同程度のせん断耐力を發揮しており、より合理的なパイルキャップ配筋方法が存在すると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究より以下の知見を得た。

- ・基礎梁位置を上げた影響により、基礎梁によるパイルキャップ下部の拘束力が小さくなるため、負荷荷時ではアンカー筋が基礎梁下端主筋の引張力の影響をうけて、杭拔出し変形が顕著となった。

- ・パイルキャップせん断補強筋量を増すことで、最大耐力の向上、周辺部材の変形抑制することが可能であった。

- ・層せん断力-層間変形角関係より正載荷時と負載荷時で最大耐力が異なる。これは載荷方向で抵抗機構が異なり、負載荷時は基礎梁の影響によりパイルキャップ下部で破壊が進行したためだと考えられる。

- ・杭頭周囲に配筋をしていない試験体 No.2 では、試験体 No.1 と比べ、最大耐力に顕著な違いはないが、耐力低下が大きく、パイルキャップ下面の損傷が著しかった。

- ・杭拔出し変形量に載荷方向によって違いが見られ、負載荷時はアンカー筋が基礎梁下端主筋の影響を受ける。試験体 No.3 のアンカー筋伸び量が小さいことから、パイルキャップせん断補強筋によりパイルキャップの剛性が高まり、架構としての靱性に寄与すると思われる。

- ・パイルキャップせん断強度を柱梁接合部と同様の評価方法を用いた場合、有効断面に柱、パイルキャップ、杭を考慮することで精度よく評価することが可能であった。

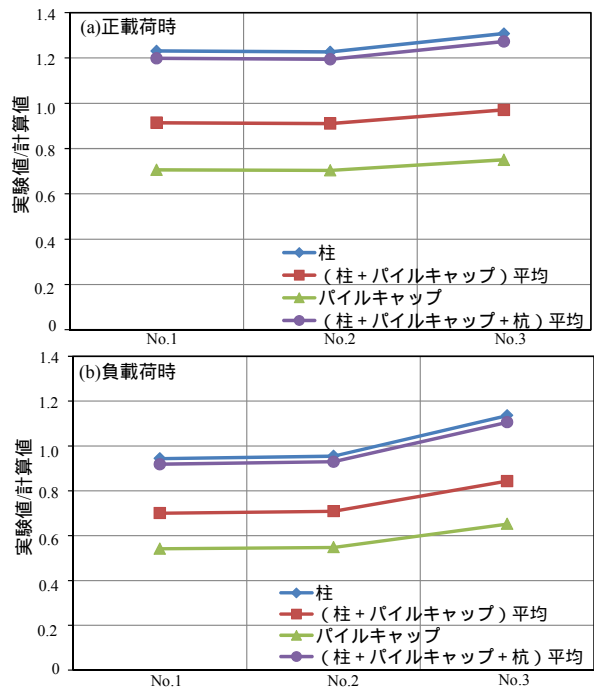


図 - 16 せん断強度の計算値との比較

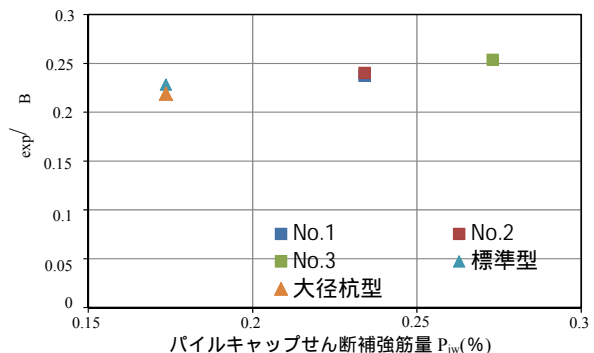


図 - 17 せん断強度 - 補強筋量関係

#### 謝辞

本研究は平成 23 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号 23560679) の助成を受けました。

本実験に御協力を頂きました北山和宏教授 (首都大学東京) をはじめ、関係者各位に深く感謝致します。また、ジャパンパイル株式会社様、東京鉄鋼株式会社様には鋼材の提供を賜りました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会: 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 2001
- 2) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針 2002
- 3) 松本玄徳ほか: 軸力を受けるト形部分架構におけるパイルキャップの耐震性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp445-446, 2010.9
- 4) 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, 第 520 号, pp61-68, 1999.6