

論文 偏心した柱を有するト形部分架構パイルキャップの破壊性状に関する検討

岸田 慎司*1・向井 智久*2・毎田 悠承*3

要旨：本論では地震後の継続使用性を確保するための一連の研究のうち、狭小敷地の場合を想定して、偏心した柱を有する場合のト形部分架構に対してパイルキャップの終局状態に至るまでの評価を目的とした静的載荷実験を行った。その結果、偏心を有しない場合とは異なり、パイルキャップよりも柱の損傷が確認された。また、パイルキャップ内に配筋された各種鉄筋の性状を詳細に捉えることができた。パイルキャップに対して、合理的な配筋（かご筋型）をすることで、耐力上昇が見込まれ、エネルギー吸収能に優れた紡錘型の履歴となることが明確になった。

キーワード：パイルキャップ, 偏心柱, ひずみ分布, ト形部分架構, 破壊性状, 継続使用性

1. はじめに

大地震時における建築物の倒壊防止は、現行の耐震基準において確保されているが、地震後の継続使用を確保する対策については確立していない。そのため、「建築物の地震後の継続使用性」を要求性能とした性能指向型耐震設計の実施に資する手法の構築¹⁾が必要とされている。

パイルキャップが損傷すると軸方向変形が生じ、建築物が傾斜することで結果的に継続使用性が阻害される。そのため、パイルキャップに対する性能評価が必要であると判断される。既往の研究²⁾⁶⁾において、パイルキャップの破壊性状やせん断強度に関する実験は行われてきている。一方、日本建築学会より、短期許容応力度設計で想定する地震力を超える大きな地震力に対する明確な鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計法を提示する目的で「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針・同解説」⁷⁾が刊行された。この指針において、既製コンクリート杭のパイルキャップの設計法が示されているが、明確な破壊性状や架構としての実験結果による検証が行われていない。建物の基礎構造の設計においては、人命を守るための耐震安全性能のみならず、修復性能、継続使用性能等を総合的に判断して合理的に構造設計を決定できることが望ましいと考える。

実際の事例を見ると、敷地条件や意匠上の要因により、敷地の端に柱が配置される場合、上部柱心と杭心がずれたパイルキャップが計画されることがある。

そこで本研究では、柱が杭に対して外側に偏心している場合のパイルキャップの架構実験を行い、パイルキャップに配筋されている補強筋のひずみの状態を詳細に検討し、破壊性状を明らかにすることを目的とした。さら

表-1 試験体諸元

試験体	A-1	C-1	C-2	C-3
軸力 (柱軸力比:設計時0.3)※C-3のみ0.2	747kN (0.31)	755kN (0.29)	715kN (0.29)	458kN (0.2)※
柱	幅×せい 300mm×300mm			
	主筋 8-D13(SD345)			
	補強筋 D6(SD345)@50 (パイルキャップ内D6(SD295A)@100)			
基礎梁	幅×せい 200mm×600mm			
	主筋 上端下端共3-D22(PBSD930)			
	補強筋 U9.0異形PC鋼棒@50			
杭	杭種(鋼管) S45C φ190.7mm 鋼管厚45mm			
	アンカー筋 8-D19(SD490)			
	幅×せい×高さ 500mm×500mm×770mm			
パイルキャップ	標準型		かご筋型	
	配筋方法			
	標準型		かご筋型	
	標準型		標準型	
	標準型		標準型	
補筋(SD295A)	8-D6	4-D10(縦筋)	8-D6	
ベース筋(SD295A)	8-D6	4-D13(縦筋)	8-D6	
腹筋(SD295A)@100	6-D6	6-D10(帯筋)	6-D6	

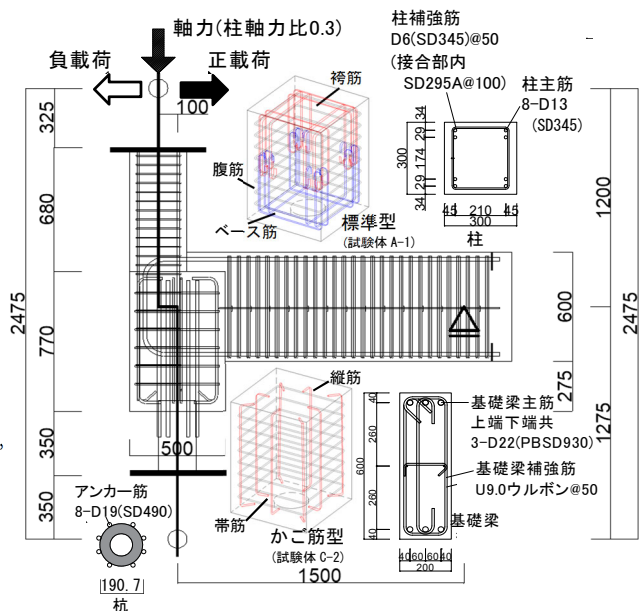


図-1 試験体概要図(試験体 C-2)

に、せん断ひび割れ強度の考察を行った。

*1 芝浦工業大学 建築学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*2 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員 博士(工学) (正会員)

*3 建築研究所 構造研究グループ 研究員 博士(工学) (正会員)

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 と表-3 に使用材料の力学的特性を示す。今回対象としている試験体は実施設計を参考に約 1/2~1/3 スケールのト形部分架構である。パイルキャップの配筋については、一般的な袴筋・ベース筋・腹筋による「標準型」、縦筋・帯筋による「かご筋型⁸⁾」の 2 種類を用いた。

試験体 A-1 はパイルキャップ内の配筋を標準型とした。C シリーズ試験体は柱心と杭心間にずれのある、偏心柱をもつシリーズとした。側柱の柱面とパイルキャップの外面が一致するよう、偏心距離を 100mm とした。試験体 C-1 はパイルキャップ内を試験体 A-1 と同配筋にした。試験体 C-2 はパイルキャップの性能向上型として設計した。パイルキャップ内の配筋をかご筋型とし、縦筋量を試験体 A-1 の 3.13 倍、帯筋量を 2.25 倍とした。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 3.94、基礎梁が 2.23、杭が 3.67 となっている。なお、試験体 C-1 実験後に柱脚の激しい圧壊を防ぐために柱に鋼板巻き補強を行っている。試験体 C-3 は試験体 C-1 を再実験することを目的としており、鋼管巻き補強せずに柱の主筋の強度を SD785 と上げ、軸力比を 0.2 に落とした試験体である。

2.2 荷重方法

図-2 に荷重装置図を示す。加力は建築研究所の強度実験棟で行った。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荷重を行った。軸力は軸力比 0.3 (試験体 C-3 のみ 0.2) 一定として荷重制御、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 0.125%, 0.25% を 1 サイクル、0.5%, 1%, 2%, 3% を各 2 サイクルずつ行った。層間変形角は柱頭加力点で直接計測した水平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。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

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

全試験体共に、基礎梁とパイルキャップの境界部に曲げひび割れが発生し、梁全体に曲げひび割れとせん断ひび割れが発生した。試験体 A-1 においては、正荷重 R=0.5% 時にパイルキャップに縦方向にせん断ひび割れが生じ、基礎梁下端位置に水平方向に曲げひび割れが発生した。負荷重 R=1% 時にパイルキャップ上部にせん断ひび割れが発生した。一方、パイルキャップ底面にお

表-2 鉄筋材料特性

試験体	鉄筋	使用部材	降伏応力度 (N/mm ²)	ヤング率 (×10 ⁵ N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)
A-1	D6(SD295A)*	柱・パイルキャップ	484.2	1.91	4405
	D6(SD345)*	柱・袖壁	497.3	1.87	4657
	D10(SD295A)	パイルキャップ	374.2	1.89	1980
C-1	D10(SD345)	袖壁	355.7	1.79	2426
	D13(SD295A)	パイルキャップ	346.1	1.82	2050
C-2	D13(SD345)	柱	361.5	1.72	2217
	D19(USD490)	アンカー筋	521.9	1.78	4107
C-3	D22(PBSD930/1080)*	基礎梁主筋	1007.6	2.02	6745
	U9.0(SBPD1275/1420)*	基礎梁補強筋	1307.5	1.92	8808

(*は 0.2% オフセット
により算出)

表-3 コンクリート
材料特性

試験体	A-1, C-2	C-1	C-3
コンクリート圧縮強度(N/mm ²)	27.2	29.2	25.9
ヤング率 (×10 ⁵ N/mm ²)	2.12	2.47	2.04
圧縮強度時ひずみ(μ)	2494	2009	2241
引張割れ強度 (N/mm ²)	1.6	1.3	2.0

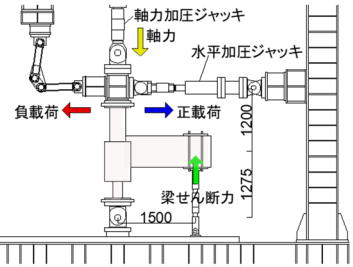


図-2 荷重装置図(試験体 A-1)

表-4 実験結果一覧

	A-1		C-1		C-2		C-3	
	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)	Q(kN)	R(%)
基礎梁 曲げひび割れ	正	35.9 0.125	29.4 0.126	23.9 0.128	45.6 0.126			
	負	-16.4 -0.127	-21.7 -0.126	-22.2 -0.128	4.12 -0.147			
パイルキャップ せん断ひび割れ	正	79.9 0.500	93.3 1.00	71.1 0.503	101.2 1.00			
	負	-100.6 -1.003	-114.7 -1.00	-72.1 -0.502	-74.6 -0.99			
最大耐力	正	114.8 1.71	134.6 1.41	140.1 1.54	132.7 1.99			
	負	-100.6 -1.00	-92.5 -1.71	-102.3 -1.63	-96.0 -1.99			

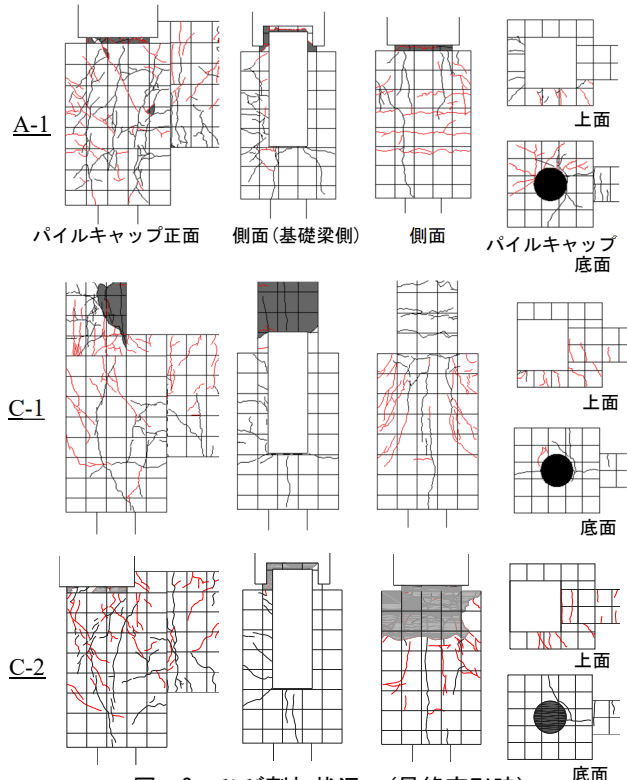


図-3 ひび割れ状況 (最終変形時)

ては、R=1% 時にアンカー筋位置から放射状にひび割れが発生した。パイルキャップ背面においては、負荷重 R=1% 時に水平方向にひび割れが発生し、R=2% 時にその数が増加した。正荷重時には縦方向にひび割れが発生し、R=2% 時以降に柱脚部に圧壊が見られた。最大耐力時

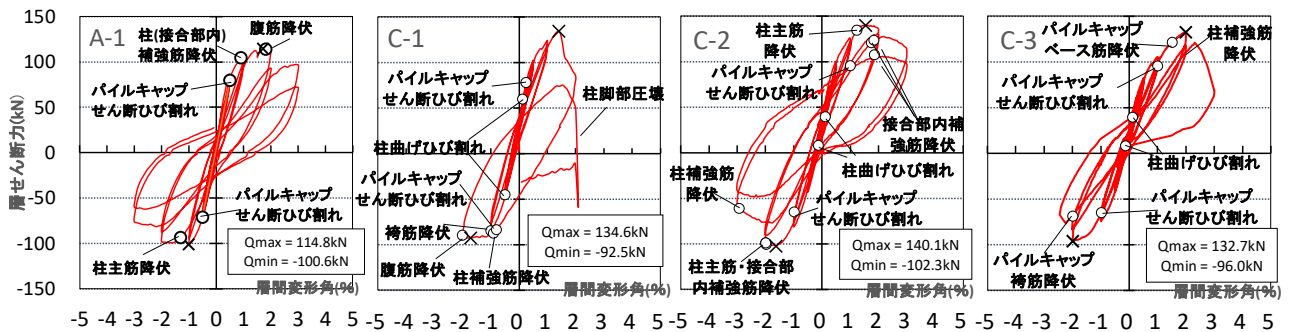


図-4 層せん断力 (Q) - 層間変形角 (R) 関係 (図中「X」は最大耐力時を示す)

におけるせん断ひび割れ幅の増大が顕著であった。

試験体 C-1 においては、正載荷 $R=0.125\%$ 時に、柱に曲げひび割れが発生し、正載荷 $R=0.5\%$ 時に、パイルキャップの基礎梁下端位置に水平方向に曲げひび割れが発生した。 $R=1\%$ 時において、パイルキャップ底面からのひび割れが 4 面に入り、パイルキャップに縦方向に進展して、せん断ひび割れと繋がった。負荷荷時には、パイルキャップ上部にせん断ひび割れが発生した。 $R=2\%$ 時に圧縮側の柱脚部に圧壊が拡がり、軸力保持限界を迎えた。これは柱と杭間の偏心により、柱の軸力による柱断面の圧縮力が一部に集中したためだと考えられる。背面においては、負荷荷時に試験体 A-1 とは異なって、水平方向のひび割れが発生せず、付着ひび割れのようなひび割れが多数観察された。なお、試験体 C-1 においては、 $R=2\%$ 載荷中に基礎梁上端位置において、柱脚部の圧壊が激しく起こり、それ以降加力できなくなった。

試験体 C-2 においては、 $R=2\%$ まで試験体 C-1 と同様な性状を示した。 $R=3\%$ 時の負荷荷時に柱脚部の圧壊が生じ、パイルキャップの上部コンクリートが広い範囲において剥落した。さらに、主筋の座屈も観察された。

試験体 C-3 においても、試験体 C-1 と同様な性状を示した。軸力が小さいことより、背面における斜めひび割れやパイルキャップせん断ひび割れの数が少なかった。

3.2 層せん断力-層間変形角関係

図-4 に層せん断力-層間変形角を示す。層せん断力は実験で計測した梁せん断力を用いて釣合いより求めた。それぞれの試験体の最大耐力時の層間変形角を表-4 に示す。試験体 A-1 では $R=1\%$ 時にパイルキャップ内の柱補強筋降伏が見られ、パイルキャップ腹筋の降伏と同時に最大耐力となった。偏心柱を有する試験体 C-1, C-2, C-3 は載荷方向により最大耐力に差が生じた。試験体 C-1 では正載荷 2% の繰り返し時に柱脚部が激しい圧壊を生じ、耐力が低下した。負荷荷時には最大耐力前に袴筋および柱補強筋が降伏し、最大耐力時にパイルキャップ腹筋の降伏が見られた。試験体 C-2 においては、正載荷時には、最大耐力前に柱主筋が降伏したが、補強筋は最大耐力後に降伏した。負荷荷時には、最大耐力時に柱主筋の降伏、パイルキャップ帯筋の降伏も見られた

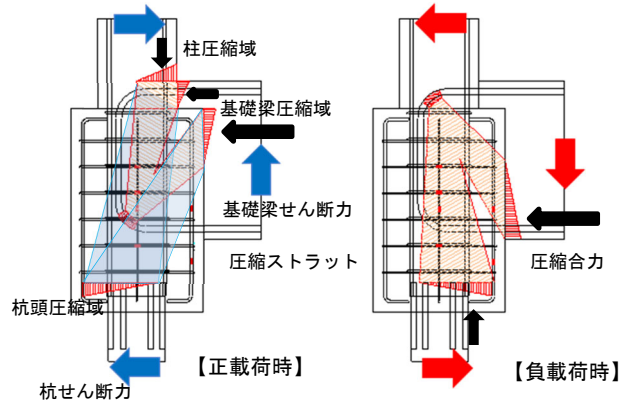


図-5 パイルキャップの抵抗機構

が、試験体 C-1 よりも安定した履歴ループとなった。試験体 C-3 については、正載荷時に最大耐力前にパイルキャップ内のベース筋が降伏し、負荷荷時には、最大耐力後に袴筋が降伏したが、柱補強筋および腹筋の降伏は見られなかった。

試験体 C-1 は正載荷時における柱の圧縮側において、激しい圧壊を生じた。これにより軸力を保持出来なくなったことから、柱脚曲げ破壊と判断した。試験体 C-2 はパイルキャップせん断ひび割れが生じたものの、最大耐力後のひび割れ幅の増大は見られず、柱の曲げひび割れ幅が増大したことから、柱脚曲げ破壊と判断した。ただし、パイルキャップせん断破壊は生じなかったものの、パイルキャップせん断ひび割れの進展が見られたことから、試験体 C-1, C-2 は負荷荷時にはある程度パイルキャップが損傷していたと考えられる。

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、C シリーズ (試験体 C-1 除く) では正載荷時で負荷荷時より 37% 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-5 に示すパイルキャップの抵抗機構が異なるためと考えられる。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。負荷荷時には、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。なお、ストラットが形成されている箇所ひび割れが図-3に示すように顕著に現れていることがわかる。

3.3 パイルキャップ内の変形状

図-6に試験体 A-1, C-1 のモールのひずみ円を示す。測定位置については

図-7に示す。パイルキャップ内の基礎梁主筋間と柱主筋間を上下二つのコアに分け、各コアの縦、横および斜めの変形を測定し、そのコアの平均的なコンクリートひずみ状態を確認した。C シリーズにおいては柱が偏心しているために図-7に示すように柱主筋間内とその外側のコアの計4か所について測定した。ひずみ円の大きさが損傷度を示す。パイルキャップがせん断破壊した試験体 A-1 はひずみ円が大きく、円の中心が引張側に大きくシフトした。これは、そのコア全体が引張ひずみを生じたことを表し、コンクリートの膨張によるパイルキャップ破壊と考えられる。せん断破壊しなかった試験体 C-1 ではひずみ円が小さく、4つのコアのうち左上コアの損傷が大きくなっていた。試験体 C-3 も同様な結果となった。

3.4 各種鉄筋のひずみ分布

それぞれの図中に梁主筋、柱せん断補強筋、パイルキャップせん断補強筋、縦筋のひずみゲージ位置を示す。

(1) 梁主筋ひずみ分布

図-8に試験体 C-1 の梁主筋のひずみ分布を示す。上端主筋が引張時では、変形が小さい時にはパイルキャップ面位置でのひずみが大きかったが、変形が大きくなるに従い、徐々に柱面位置のひずみが大きくなった。下端主筋では、パイルキャップ面位置でのひずみが大きいことから、正負載荷時で危険断面位置が異なると考えられる。なお、危険断面位置における偏心の影響の違いは見られなかった。

(2) 柱せん断補強筋ひずみ分布

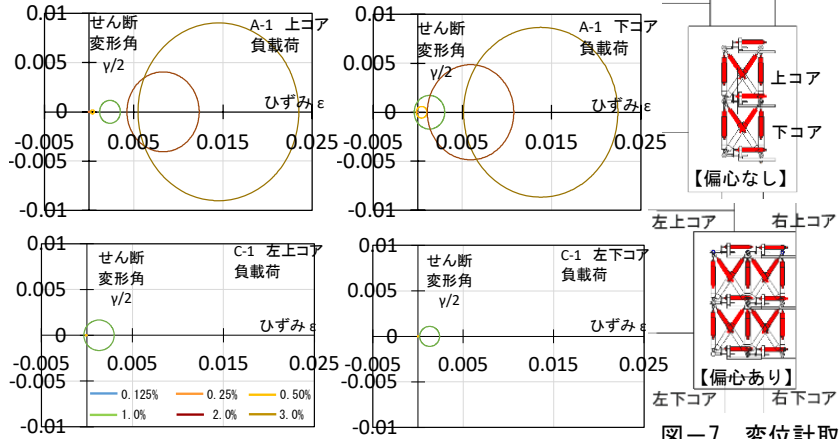


図-6 モールのひずみ円

図-7 変位計取り付け位置

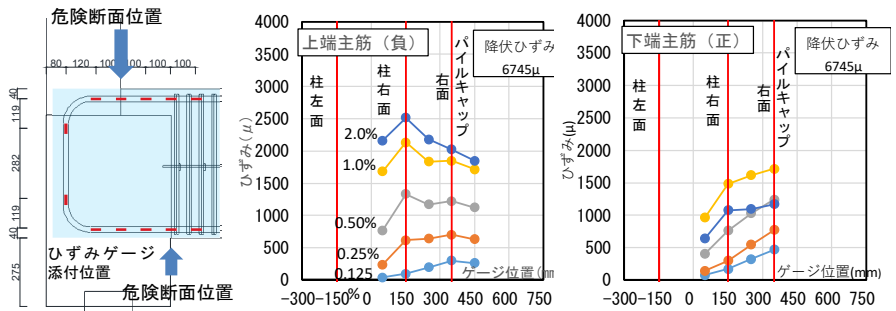


図-8 梁主筋ひずみ分布とひずみゲージ貼付位置

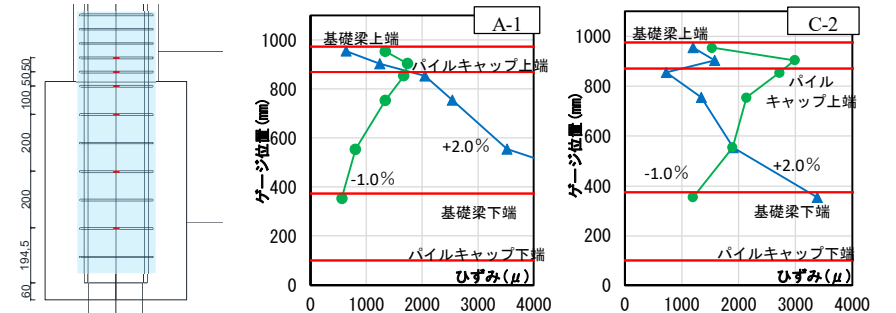


図-9 柱せん断補強筋ひずみ分布とひずみゲージ貼付位置

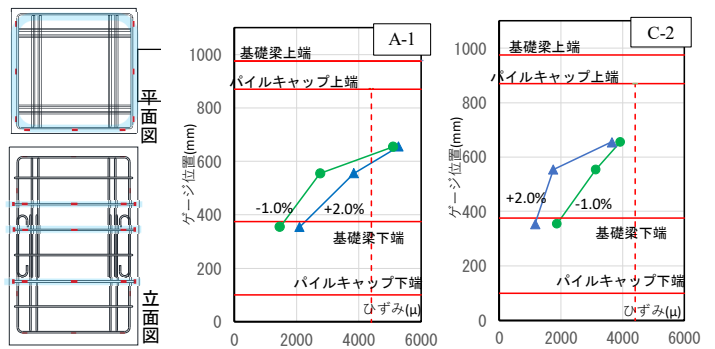


図-10 パイルキャップ帯筋ひずみ分布とひずみゲージ貼付位置

図-9に最大耐力時の柱せん断補強筋のひずみ分布を示す。正載荷を青線、負載荷を緑線で示す。正載荷時は、パイルキャップ下端方向の補強筋ほどひずみが大きくなる傾向が見られた。負載荷時においては、正載荷時と異なり柱梁接合部域、パイルキャップ上端付近のひず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ひび割れ性状の違い

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ひずみ分布

図-10 に最大耐力時のパイルキャップせん断補強筋ひずみ分布を示す。正載荷を青線、負載荷を緑線、降伏ひずみを点線で示す。標準型試験体 A-1 と C-1 においては、正負載荷共に上部に配筋された腹筋ひずみが大きくなっており、全試験体で降伏ひずみに達した。また、加力方向と直交方向の腹筋のひずみも大きな値となった。一方、かご筋型試験体 C-2 においても、同様な傾向であったが、降伏ひずみに達することはなかった。

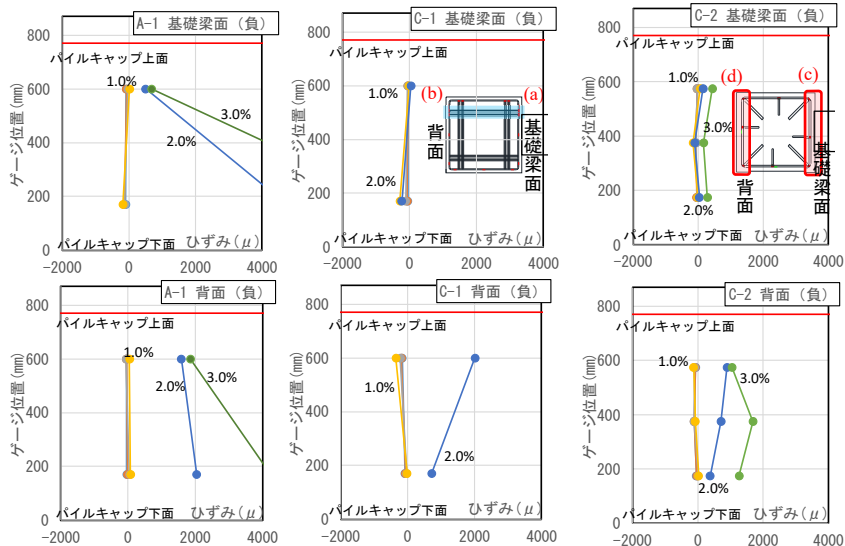


図-11 パイルキャップ縦筋ひずみ分布

(4) パイルキャップ縦筋 (袴筋・ベース筋) ひずみ分布

図-11 に縦筋 (標準型の場合はベース筋および袴筋) のひずみ分布を示す。せん断破壊した試験体 A-1 では、正載荷時には基礎梁側 (図中(a)) の袴筋およびベース筋のひずみが大きくなり降伏した。負載荷時には背面側 (図中(b)) と基礎梁側の袴筋およびベース筋のひずみが大きくなり降伏した。偏心柱を有する試験体では、降伏することなく、正載荷時には基礎梁側 (図中(c)) のひずみが大きくなっており、負載荷時には背面側 (図中(d)) のひずみが大きくなった。偏心柱を有する試験体 C-1 と C-2 では、同様な傾向が見られ、縦筋が袴筋やベース筋と同等の効果を発揮していることがわかる。

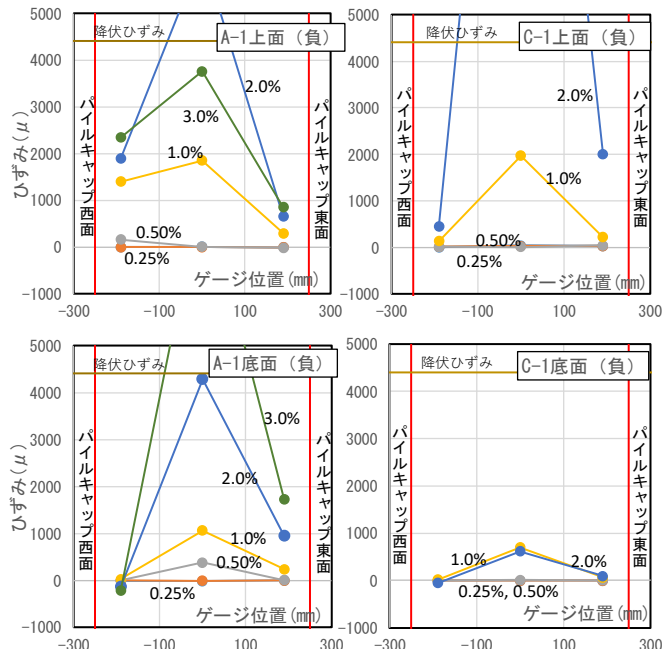


図-12 袴筋・ベース筋 (上下面) ひずみ分布

4. パイルキャップ内せん断補強筋に関する考察

パイルキャップ内には鉛直方向の鉄筋として、標準型では袴筋-ベース筋、かご筋型では縦筋が配筋されている。水平方向の鉄筋としては、柱のせん断補強筋とパイルキャップの腹筋 (試験体 A-1, C-1) あるいは帯筋 (試験体 C-2) が配筋されている。偏心柱の場合におけるそれぞれの鉄筋の性状を考察する。

図-10 と図-11 よりパイルキャップ帯筋は柱のせん断補強筋とは異なる傾向が見られた。これより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。

図-12 にパイルキャップ上面と底面に配筋されている袴筋およびベース筋のひずみ分布を示す。せん断破壊した試験体 A-1 においては、両面ともに正負両載荷時に最大耐力時にひずみの値が降伏ひずみに達した。一方、

試験体 C-1 では、負載荷時に上面のみ降伏ひずみに達した。これは、ひび割れ性状と一致しており、せん断に対して有効に効果を発揮していることがわかる。

5. パイルキャップ入力せん断力

パイルキャップせん断強度 V_{exp} は仮想基礎梁危険断面位置のひずみから基礎梁主筋引張力を求め、以下に示す式で算出した。

$$V_{exp} = T - Q_c \quad (1)$$

ここで、 T は基礎梁主筋引張力、 Q_c 柱のせん断力である。仮想危険断面位置は、基礎梁引張側主筋に添付した平均ひずみを求め、各サイクルの平均ひずみの最大値となる位置を危険断面として設定し、材料強度を使用して入力せん断力の計算を行った。

パイルキャップせん断ひび割れ強度については、筆者

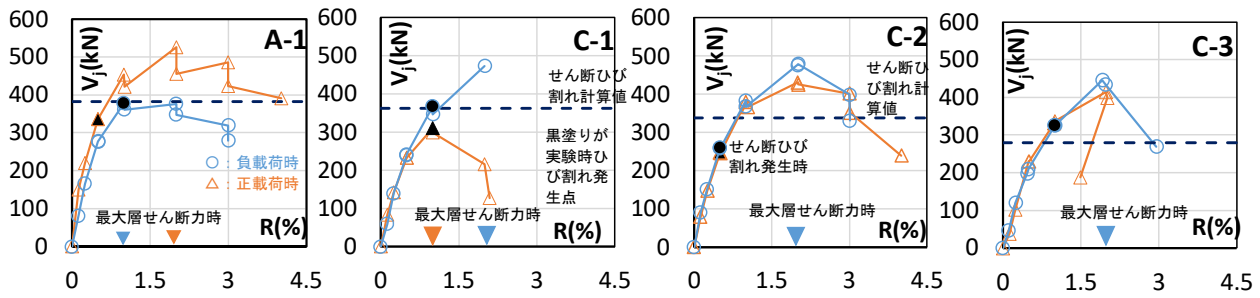


図-13 パイルキャップ入力せん断力(V_j)と層間変形角関係(R)

らの研究⁹⁾において弾性理論に基づく主応力度式で推定できることが述べられている。以下に式を示す。

$$\tau_{cr} = \sqrt{\sigma_0 \cdot \sigma_t + \sigma_t^2} \quad (2)$$

$$\sigma_t = 0.33 \times \sqrt{\sigma_B} \quad (3)$$

ここで、 σ_B はコンクリート圧縮強度、 σ_0 は軸力を有効断面面積で除した値である。既往の研究³⁾より仮定されているせん断ひび割れ時有効断面(柱、杭、パイルキャップ各断面の平均)に対して上式を適用し、パイルキャップせん断ひび割れ強度の検討を行った。計算値と実験値の比較を図-13に示す。計算値と実験値との適合が良い試験体も見られるが試験体C-2においては計算値よりも早い段階でひび割れが発生しており、かご筋型の偏心を考慮したパイルキャップ有効断面面積が小さくなっている可能性が考えられる。

また、入力せん断力の推移をみると、入力せん断力の最大値と最大層せん断力の時期が一致しているのがわかる。しかし、これが最終的な破壊に影響を及ぼした要因であるかは、今後、破壊のメカニズムを含めて詳細な検討が必要であると考えられる。

6. まとめ

本研究では以下に示す知見を得た。

- (1) 偏心柱を有する場合の標準型パイルキャップの性状は、ひび割れ性状が異なり、最終的な破壊性状では、柱脚が圧壊し、軸力を保持できなかった。
- (2) 偏心柱を有する場合において、「標準型」配筋を「かご筋型」の合理的な配筋として、縦筋および帯筋量を増やすことで耐力が上昇し、今回の実験の範囲内においては、ある程度の層間変形角までは軸力を保持できることを確認した。
- (3) 偏心柱を有するかご筋型のパイルキャップせん断ひび割れ強度を算定する際の有効断面面積については、偏心の無い場合よりも小さくなっている可能性があるが、詳細な検討が必要である。
- (4) 偏心柱を有する場合のパイルキャップ内の鉄筋のひずみ性状は偏心の無い場合と異なることを明確にしたが定量的な把握までは至らなかった。

パイルキャップ終局時における基礎梁の危険断面位置の定常的な把握、パイルキャップ終局破壊による軸方向変形量の把握、さらに、加力方向の違いによる終局強度の把握など課題は山積している。以上のことは継続使用性という観点において重要な要素であるため、今後継続的に検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 向井智久他:建築物の地震後の継続使用性に関する阻害要因分析, その1~5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.37-46, 2014.9
- 2) 金子治他:東北地方太平洋沖地震における杭基礎被害の要因分析に向けた検討 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.699-700, 2014.9
- 3) 桑原亮他:既製杭を用いたト形部分架構パイルキャップのせん断強度式の検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.331-336, 2016
- 4) 大和久貴義他: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,コンクリート工学年次論文集, pp.695-698, 2013.9
- 5) 小原拓他:ト形部分架構を有するパイルキャップの耐震性能に関する実験研究, その3~4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.643-646, 2014.9
- 6) 中村直樹他:大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造的評価に関する研究, その15, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.603-604, 2017.9
- 7) 日本建築学会:鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説, 2017
- 8) 松本玄德他: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, 構造IV, pp.445-446, 2010.9
- 9) 岸田慎司他:既製杭を使用した中柱におけるパイルキャップの耐震性評価に関する実験, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.640, pp.1131-1136, 2009.6

【謝辞】本研究は、平成27および28年度住宅・建築物高度化事業「大地震後の継続使用性に資する杭および杭頭接合部の技術開発」および(国研)建築研究所指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」により実施しました。関係各位に謝意を表します。