

# 論文 新しい工法による鋼管杭と RC パイルキャップとの杭頭接合部の押し込み実験および引き抜き実験

喜安 良<sup>\*1</sup>・藤川 繁次<sup>\*2</sup>・田中 照久<sup>\*3</sup>・堺 純一<sup>\*4</sup>

**要旨：**鋼管杭と鉄筋コンクリート（RC）パイルキャップとの杭頭接合部は、鋼管杭頭部に鉄筋をフレア溶接するひげ筋式が多用されている。しかし、現場溶接のひげ筋式は、溶接環境が悪いことから、施工性・品質管理の改善が求められる。著者らは現状の問題を解決する手段として、アンカーボルトを用いた杭頭デバイスの開発研究に取り組んでいる。本研究では、提案する杭頭接合部の実用化に向けて、杭頭デバイスの力学的に合理的なディテールを提案することを目的とし、圧縮試験および杭頭デバイスの引張試験を行った。鋼管杭頭接合部に作用する圧縮力および引張力に対して、十分な接合性能を発揮するための接合ディテールについて検討した。

**キーワード：**鋼管杭頭接合部、アンカーボルト、弾塑性性状、圧縮試験、引張試験

## 1. 序

従来の鋼管杭頭接合部では、ひげ筋式が多く用いられている。しかし、鋼管杭と鉄筋を溶接する際に現場での溶接環境が悪いことや配筋が高密度となることから、施工性および品質管理の改善が求められる。

筆者らは、現状の課題の改善を目指した新しい杭頭接合デバイス（**図-1**参照）の研究開発を行っている<sup>1)2)</sup>。新しい杭頭接合デバイスは円盤型フランジを基本とし、円盤型フランジのみでは剛性が不足することからブリッジ型リブを予め工場にて取り付けしている。鋼管杭と円盤型フランジの接合は現場で下向き姿勢による完全溶け込み溶接で取り付ける。既往のせん断曲げ実験より、新しいデバイスを用いた鋼管杭頭接合法は、従来のひげ筋式と同等以上の耐震性能を示し、施工面でも従来のものより簡易的に施工できることを確認している<sup>1)</sup>。しかし、杭頭接合部のせん断曲げ実験において、鋼管杭の短期圧縮耐力（1450kN）相当の鉛直荷重を載荷した時点で、円盤型フランジ及びブリッジ型リブが降伏した。また、水平荷重のみを載荷したせん断曲げ実験においては、アンカーボルトが曲げ降伏する前に、接合デバイスが先行降伏することが確認された。提案する接合法では、アンカーボルトが先行降伏する接合ディテールを目指しており、改善が求められる。

本研究では、提案する接合法の実用化に向けて、圧縮試験および接合デバイスの引張試験を行った。圧縮試験では、軸力伝達性能の向上を目指し、鋼管杭頭接合部に鋼管杭の短期圧縮耐力相応の軸力が作用しても、円盤型フランジ及びブリッジ型リブが降伏しない接合ディテールの情報を収集すること、接合デバイスの引張試験では、アンカーボルトが先行して引張降伏する鋼管杭の

径に応じた最適な接合ディテールの情報を収集することを目的としている。

## 2. 圧縮試験の概要

### 2.1 実験変数及び試験体形状

圧縮試験の試験体一覧を**表-1**に示す。実験変数は、接合デバイスの有無、鋼管蓋の有無、鋼管蓋の溶接の有無、鋼管蓋の厚さ、円盤型フランジの厚さ及びリング型リブの有無をとり、試験体数は11体である。鋼管蓋の溶接の有無は、鋼管蓋を鋼管杭の周方向に隅肉溶接したもの、溶接有りとし、4箇所を点溶接したものを溶接無しとした。リング型リブは、厚さ9mmの円形の鋼板で、予め工場にて円盤型フランジに取り付けている。

圧縮試験の試験体形状寸法を**図-2**に示す。試験体は天地を逆にして**図-1**に示す接合デバイス（アンカーボルト無し）が取り付けいた鋼管杭とRCパイルキャップによって構成される。鋼管杭は鋼管径216.3mm、厚さ8.2mmとする。RCパイルキャップは一辺670mmの正方形断面とし、高さは、330mmとした。RCパイルキャップに用いる鉄筋は、主筋をD19、せん断補強筋をD13とした。

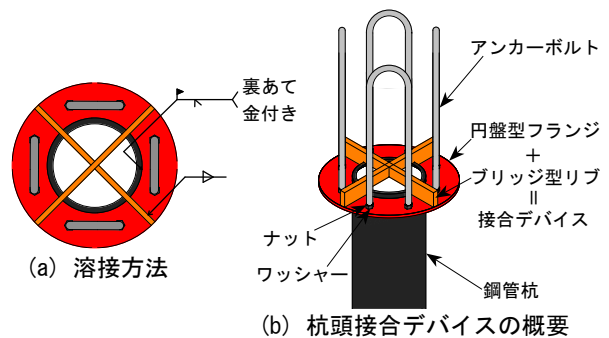


図-1 杭頭接合デバイスの概略

\*1 福岡大学大学院 工学研究科 建設工学専攻（正会員）

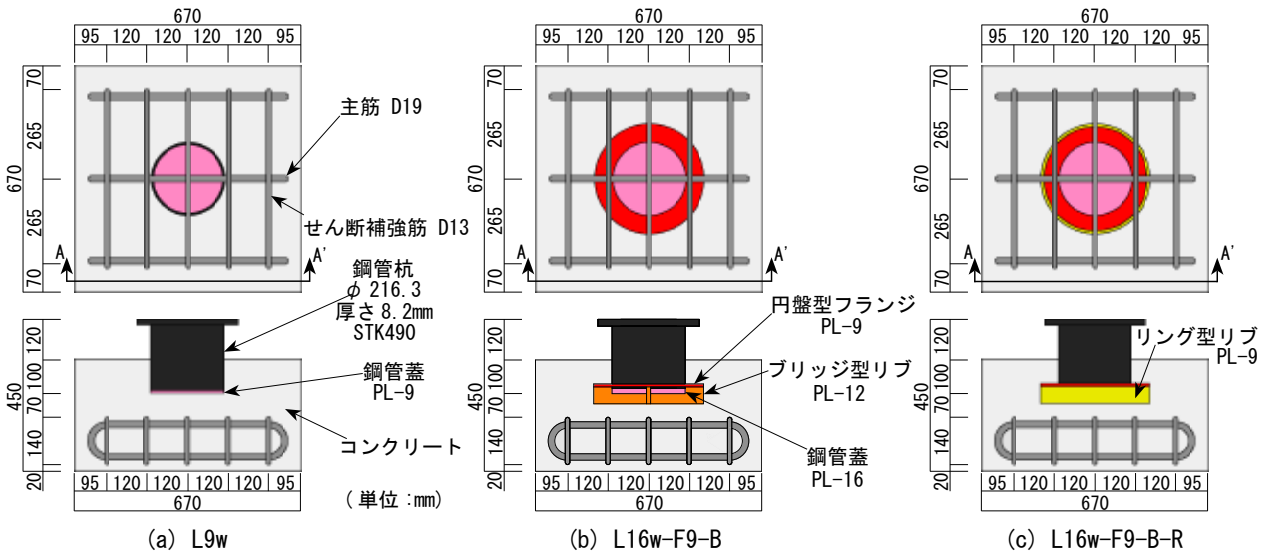
\*2 (株) テクノ九州

\*3 福岡大学 工学部建築学科 助教・博士（工学）（正会員）

\*4 福岡大学 工学部建築学科 教授・博士（工学）（正会員）

表一 1 圧縮試験の試験体一覧

No.	試験体名	鋼管杭			中詰め コンクリート 有無	円盤型フランジ		ブリッジ型 リップ 厚さ (mm)	リング型リ ップ 厚さ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
		蓋				外径 (mm)	厚さ (mm)				
		厚さ (mm)	有無	溶接 有無							
1	N	-	無	-	-	-	-	-	-	27.8	
2	F9-B	-	無	-	376.3	9	12	-	-		
3	L9w	9	有	有	-	-	-	-	-		
4	L9n			無							
5	L16w	16	有	有	376.3	9	12	-	-		
6	L16n			無							
7	L16w-F9-B			有							16
8	L16w-F16-B			有							
9	L16w-F19-B			有							19
10	L16n-F19-B			無							
11	L16w-F9-B-R	有	9	9							

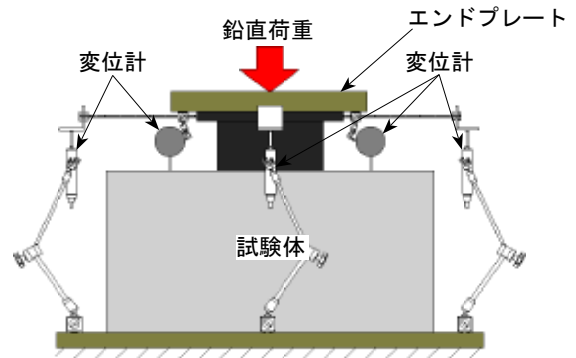


図一 2 圧縮試験の試験体形状寸法 (上面図, A-A' 断面図)

表一 2 鋼材の機械的性質

使用材料	厚さ (mm)	鋼種	降伏点 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	
鋼管	$\phi$ 216.3	12.7	STK490	472 <sup>+</sup>	545	205859
		8.2	STK490	463 <sup>+</sup>	559	200448
		6.0	STK400	376 <sup>+</sup>	462	214689
円盤型フランジ	-	SS400	9.0	312	444	208056
			16.0	292	467	189814
			19.0	293	463	208376
ブリッジ型リップ	12.0	SS400	286	438	191226	
アンカーボルト	-	SNR490B	M22	347	528	201052
			M20	342	501	206172
			M16	333	508	187538

\*:0.2% オフセット法

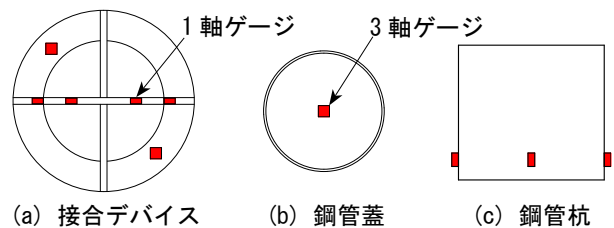


図一 3 圧縮試験の荷重方法および測定位置

なお、鋼管杭の埋め込み長さは全ての試験体で 100mm とした。試験体に用いた鋼材の機械的性質およびコンクリートの材料特性を表一 2 に示す。

## 2.2 圧縮試験の荷重方法および測定位置

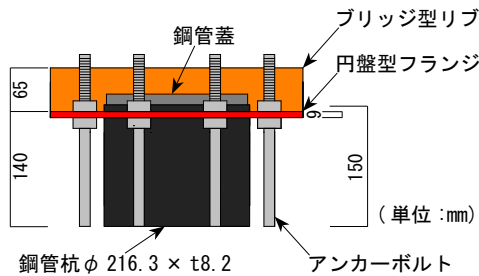
荷重方法および測定位置を図一 3、ゲージ貼付図を図一 4 に示す。試験体の鋼管杭上部に圧縮荷重を単調



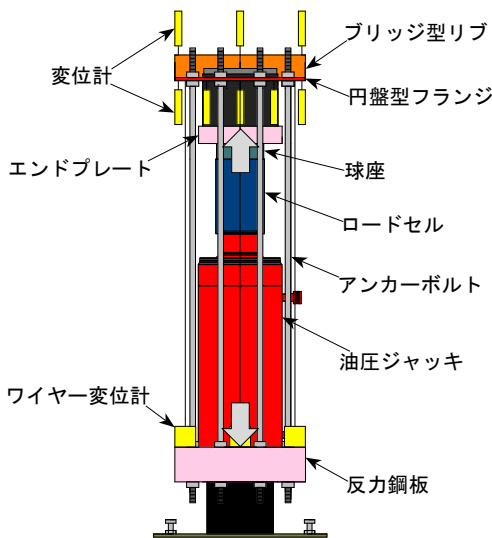
図一 4 ゲージ貼付図

表一 3 引き抜き試験体一覧

No.	試験体名	鋼管厚 (mm)	アンカー ボルト サイズ	鋼管蓋		中詰め コンク リート 有無	円盤型フランジ		ブリッジ型リブ		リング型 リブ 厚さ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
				厚さ (mm)	蓋 有無		外径 (mm)	厚さ (mm)	厚さ (mm)	高さ (mm)				
1	P6L-F9-B12	6	M16	16	有	無	376.3	9	12	65	-	-		
2	P6L-F12-B12							12						
3	P6L-F16-B12							16						
4	P8C-F9-B12s	8.2	M20	-	無	有	376.3	9	12	50	-	31		
5	P8C-F9-B12													
6	P8L-F9-B12													
7	P8L-F16-B12													
8	P8L-F19-B12													
9	P8L-F9-B16													
10	P8L-F9-B12-R9	12.7	M22	16	有	無	376.3	9	12	9	-	-		
11	P8N-F19-B12s							-		無			50	-
12	P12L-F19-B12							19		65			19	
13	P12L-F19-B12-R19													



図一 5 引き抜き試験体の形状寸法 (P8L-F9-B12)



図一 6 引き抜き実験載荷方法および測定位置

に載荷する。変位計による計測位置は、鋼管上部のエンドプレート下面から RC パイルキャップ下面までの全体変形量を 4 箇所、鋼管杭の沈下量を 4 箇所計測する。ひずみゲージは鋼管杭、鋼管蓋、円盤型フランジおよびブリッジ型リブに貼付した。コンクリートのひび割れ状況は、目視によるスケッチおよびカメラ撮影により記録した。

### 3. 接合デバイスの引張試験の概要

#### 3.1 引張試験の実験変数および試験体形状

試験体一覧を表一 3 に示す。試験体は 13 体で、鋼管蓋の有無、中詰めコンクリートの有無、円盤型フランジの板厚、ブリッジ型リブの厚さおよびリング型リブの有無を変数とした。

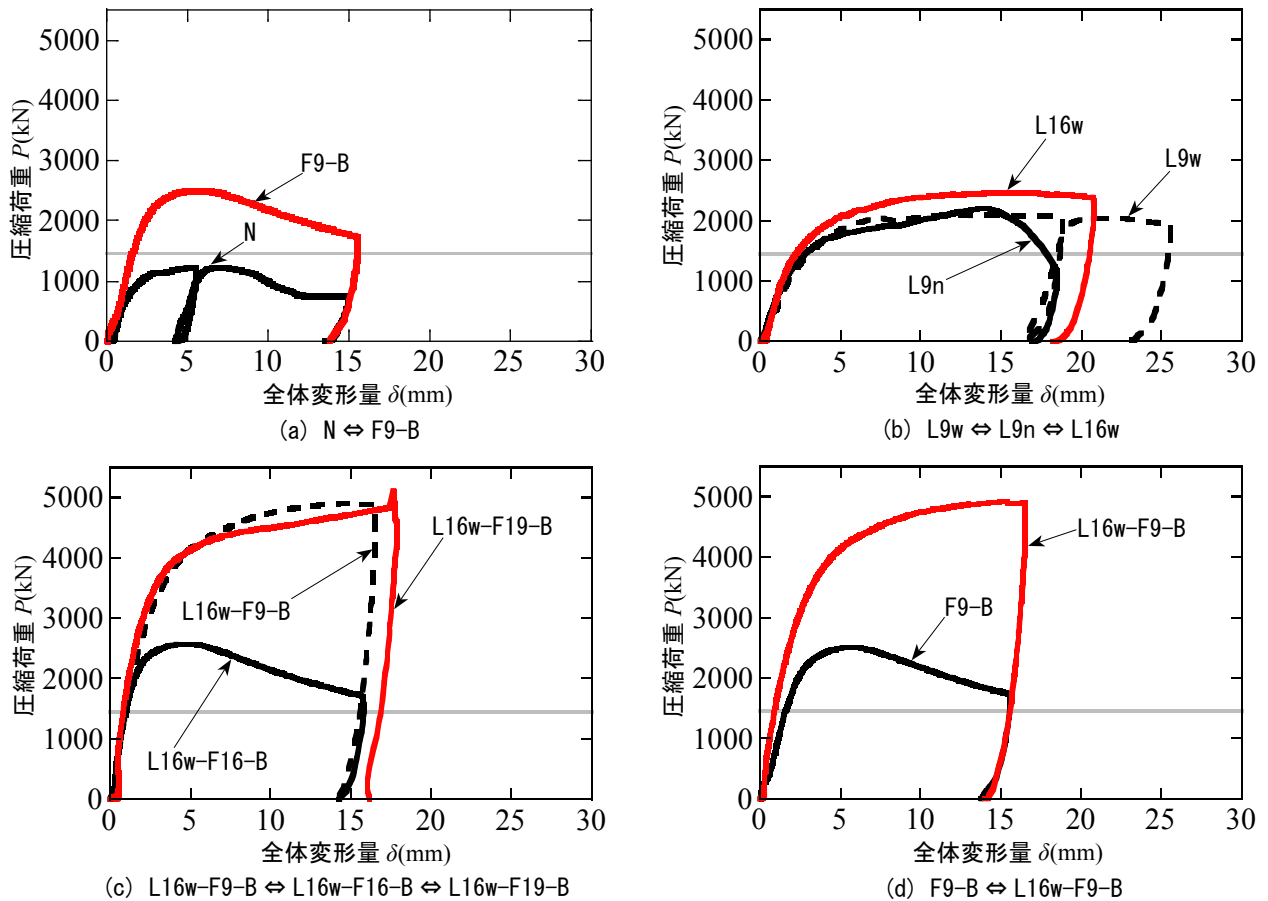
引張試験体の形状寸法を図一 5 に示す。試験体は、外径φ 216.3 の鋼管杭に、接合デバイスおよびアンカーボルトを取り付けたものを基本とする。アンカーボルトのサイズは、各鋼管杭の所用の耐力に応じて、それぞれ M16 (鋼管厚 6mm), M20 (鋼管厚 8.2mm), M22 (鋼管厚 12.7mm) とした。試験体に用いた鋼材の機械的性質およびコンクリートの材料特性を表一 2 に示す。

#### 3.2 接合デバイスの引張試験の載荷方法および測定位置

載荷方法および測定位置を図一 6、ゲージ貼付図を図一 4 に示す。図一 1 とは円盤型フランジとブリッジ型リブの取り付けが上下逆になっているが、試験体と加力装置の関係で図一 6 に示す装置としている。ブリッジ型リブの応力状態が異なるが、リブが短形断面であり座屈する恐れもないので、補剛効果の違いはないものとして判断している。接合デバイスの引張試験はアンカーボルトに引張力を作用させるように載荷することとし、エンドプレート部にピンを介して一方向に引張荷重を単調に載荷する。載荷方法は、変位によって制御した。変位計による計測位置は、円盤型フランジと反力鋼板との間の変形量の 8 箇所、円盤型フランジのみの変形量の 8 箇所およびブリッジ型リブの変形量の 4 箇所を計測する。ひずみゲージは鋼管杭、アンカーボルト、円盤型フランジおよびブリッジ型リブに貼付した。

### 4. 圧縮試験の実験結果

実験結果から得られた各試験体の圧縮荷重 - 全体変形



図一 7 圧縮試験 圧縮荷重 - 全体変形量関係

表一 4 圧縮試験 実験結果

No.	試験体名	最大耐力		鋼管の降伏		鋼管蓋の降伏		円盤型フランジの降伏		ブリッジ型リブの降伏	
		P(kN)	δ(mm)	P(kN)	δ(mm)	P(kN)	δ(mm)	P(kN)	δ(mm)	P(kN)	δ(mm)
1	N	1233	5.5	降伏せず		-		-		-	
2	F9-B	2504	6.0	1335	1.5	-		降伏せず		960	1.1
3	L9w	2092	12.2	1338	2.6	1216	2.3	-		-	
4	L9n	2193	14.2	1548	3.3	1220	2.0	-		-	
5	L16w	2459	15.5	1549	2.5	1316	1.9	-		-	
6	L16n	3422	10.7	2075	3.1	3111	6.8	-		-	
7	L16w-F9-B	4920	15.4	2279	1.6	3447	3.1	3276	2.8	1725	1.1
8	L16w-F16-B	2574	4.7	1744	1.3	2482	3.1	降伏せず		1397	1.0
9	L16w-F19-B	5108	17.6	1597	0.9	4095	4.8	4059	4.6	2119	1.3
10	L16n-F19-B	2547	5.4	1474	1.4	2545	5.1	降伏せず		1242	1.2
11	L16w-F9-B-R	2520	6.2	1752	2.2	1562	1.9	2396	4.0	885	1.2

量関係を図一 7 に示す。圧縮荷重 - 全体変形量関係に示している X 軸に平行な線は、対象とする鋼管杭の短期圧縮耐力 (1450kN) を示している。また、各部位の降伏時荷重、全体変形量および最大耐力を表一 4 に、実験終了後の RC パイルキャップひび割れ状況を写真一 1 に示す。

#### 4.1 接合デバイスの有無の影響

鋼管杭のみの試験体に接合デバイスを取り付けることにより、約 2 倍の最大耐力を発揮した (図一 7(a) 参照)。理由は、接合デバイスを取り付けることにより、コンク

リートを支圧する面積が増え、支圧応力度を抑えることができたことによるものと考えられる。そのため、写真一 1 (a), (b) に示すような両試験体のひび割れ状況の違いとなって現れている。

#### 4.2 鋼管蓋の溶接の有無および鋼管蓋の板厚の影響

鋼管蓋を取り付けた試験体で、鋼管に蓋を溶接した試験体 L9w と溶接していない試験体 L9n は変形が 15mm 程度までほぼ同じ挙動を示している (図一 7(b) 参照)。ため、必ずしも蓋を溶接する必要はないと考えられる。ま

た、蓋を厚くした試験体 L16w は剛性が約 2.6 割上がり、その効果はある結果となった（図-7(b) 参照）。

### 4.3 円盤型フランジの板厚の影響

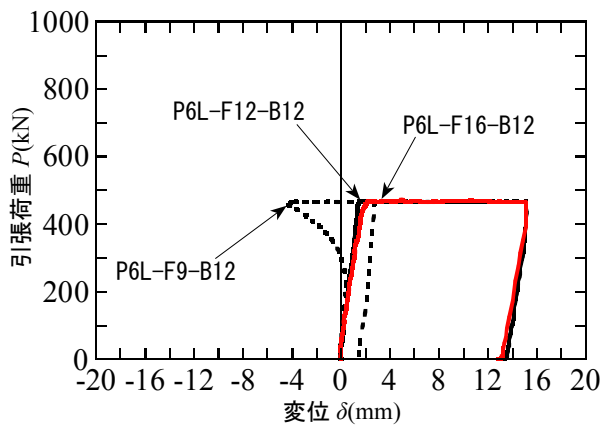


(a) N の RC パイルキャップ上面・側面（東面）



(b) F9-B の RC パイルキャップ上面・側面（東面）

写真-1 実験終了後の RC パイルキャップのひび割れ状況



(a) 円盤型フランジの板厚の比較 (M16)

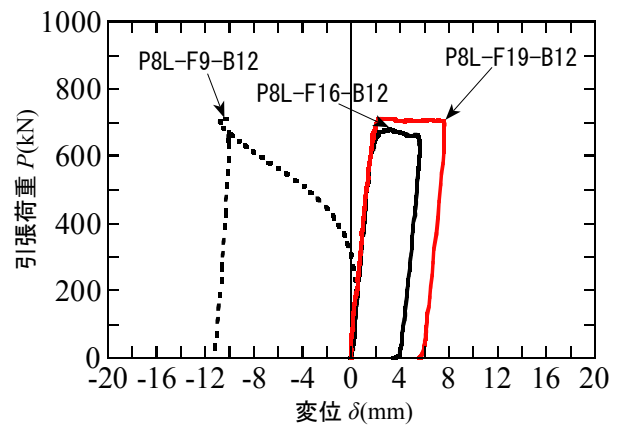
図-7(c) より円盤型フランジの厚さの違い (L16w-F9-B と L16w-F19-B) で比較すると、 $P=1450\text{kN}$  に達するときの変形量に約 2 割の差（円盤型フランジが薄い試験体の方が変形量大きい）が見られたが、接合デバイスの降伏は見られなかった。

### 4.4 鋼管蓋の有無の影響

図-7(d) より、鋼管蓋の有無で比較すると、鋼管蓋有りの試験体 L16w-F9-B は、鋼管蓋無しの試験体 F9-B と比べ、 $P=1450\text{kN}$  に達するときの変形量に約 1.8 割の差（鋼管蓋無しの試験体の方が変形量大きい）が見られた。しかし、鋼管蓋有りの試験体 L16w-F9-B の鋼管杭には、中詰めコンクリートが充填されているため、鋼管蓋の有無の影響とは一概には言えない。

### 5. 接合デバイスの引張試験の実験結果

実験によって得られた各試験体の荷重と変位の関係を図-8 に示す。図-8 の横軸の変位 (mm) は、前述した円盤型フランジと反力鋼板との間の変形量を 8 箇所から



(b) 円盤型フランジの板厚の比較 (M20)

図-8 接合デバイスの引張試験 引張荷重 - 変位関係

表-5 接合デバイスの引張試験 実験結果

No.	試験体名	最大耐力		アンカーボルトの降伏		円盤型フランジの降伏		ブリッジ型リブの降伏	
		P(kN)	$\delta$ (mm)	P(kN)	$\delta$ (mm)	P(kN)	$\delta$ (mm)	P(kN)	$\delta$ (mm)
1	P6L-F9-B12	470	1.6	453	-4.0	405	-2.0	降伏せず	降伏せず
2	P6L-F12-B12	470	4.3	443	1.3	降伏せず	降伏せず		
3	P6L-F16-B12	472	4.9	466	2.2				
4	P8C-F9-B12s	699	-8.7	650	-7.7	492	-2.9	302	-0.8
5	P8C-F9-B12	704	-9.3	662	-8.5	488	-2.7	542	-4.4
6	P8L-F9-B12	710	-10.7	674	-10.4	466	-2.6	502	-3.7
7	P8L-F16-B12	681	3.1	602	1.6	降伏せず	降伏せず	降伏せず	降伏せず
8	P8L-F19-B12	713	2.3	679	1.9				
9	P8L-F9-B16	704	-9.2	656	-7.9	494	-2.2	594	-5.5
10	P8L-F9-B12-R9	714	5.0	606	1.6	504	1.3	533	1.3
11	P8N-F19-B12s	712	2.0	649	1.3	降伏せず	降伏せず	696	1.6
12	P12L-F19-B12	895	2.8	788	1.5			降伏せず	降伏せず
13	P12L-F19-B12-R19	864	4.3	696	3.3				



(a) P8L-F9-B12

(b) P8L-F16-B12

写真一 2 実験終了後の杭頭接合デバイスの変形状態

測定した値の平均値とする。接合デバイスの引張試験では、円盤型フランジおよびブリッジ型リブより先に、アンカーボルトを先行降伏させるための条件を調べている。また、各部位の降伏時荷重、変位および最大耐力を表一 5 に、実験終了後の杭頭接合デバイス変形状態を写真一 2 に示す。なお、全試験体で、鋼管杭の降伏は見られなかった。

### 5.1 アンカーボルト M16 の場合

円盤型フランジの板厚が 9mm の試験体 P6L-F9-B12 は、アンカーボルトを降伏させる前に、円盤型フランジが降伏し、アンカーボルトが M16 の場合では、目標を達成できないことが明らかとなった（表一 5 参照）。円盤型フランジの板厚が 12mm の試験体 P6L-F12-B12 は、アンカーボルトが先行降伏したため、アンカーボルトサイズが M16 の杭頭接合デバイスに対しては目標を達成することが確認できた（表一 5 参照）。円盤型フランジの板厚が 16mm の試験体 P6L-F16-B12 も同様にアンカーボルトが先行降伏した。したがって、アンカーボルトサイズ M16 に対しては円盤型フランジ厚が 12mm 以上であればアンカーボルトが先行降伏させることができる。

### 5.2 アンカーボルト M20 の場合

ブリッジ型リブの高さが 50mm の試験体 P8C-F9-B12s は、アンカーボルトを降伏させる前に、接合デバイスが降伏した。ブリッジ型リブの高さが 65mm の試験体 P8C-F9-B12 も同様に、アンカーボルトを降伏させる前に、接合デバイスが降伏した。したがって、ブリッジ型リブの高さの違いによる影響は確認できなかった。

円盤型フランジの板厚が 9mm の試験体 P8L-F9-B12 は、アンカーボルトを降伏させる前に、接合デバイスが先行降伏したため、アンカーボルトサイズが M20 の場合では、目標を達成できないことが明らかとなった。また、 $P=387\text{kN}$  で試験体から音が鳴り、写真一 2(a) のように円盤型フランジの塑性変形が確認できた。

円盤型フランジの板厚が 16mm の試験体 P8L-F16-B12 は、アンカーボルトが先行降伏したため、アンカーボルトが M20 の杭頭接合デバイスに対しては目標を達成した（表一 5 参照）。円盤型フランジの板厚が 19mm の試験体 P8L-F19-B12 も同様にアンカーボルトが先行降伏した。したがって、アンカーボルト M20 に対しては円盤

型フランジ厚が 16mm 以上であれば、接合デバイスより先にアンカーボルトが先行降伏することが確認できた。

ブリッジ型リブの厚さが 16mm の試験体 P8L-F9-B16 は、アンカーボルトを降伏させる前に、接合デバイスが降伏した。ブリッジ型リブの厚さが 12mm の試験体と比較し、ブリッジ型リブの厚さの違いによる影響は確認できなかった。

### 5.3 アンカーボルト M22 の場合

円盤型フランジの板厚が 19mm の試験体 P12L-F19-B12 はアンカーボルトが先行降伏したため、アンカーボルト M22 に対しては円盤型フランジ厚が 19mm であればアンカーボルトが先行降伏することが確認できた。

## 5. 結

本研究では、鋼管杭と RC パイルキャップの新しい杭頭接合部を提案するために必要な情報を収集することを目的とし、圧縮試験および接合デバイスの引張試験を行った。実験結果から得られた知見を以下に示す。

- 1) 圧縮試験では、円盤型フランジの厚さが 9mm の場合でも、 $P=1450\text{kN}$  ( $\phi 216.3 \times t 8.2$  鋼管杭の短期圧縮耐力) の時点で、接合デバイスの降伏は見られなかった。また、軸力に対しては鋼管杭の先端に蓋を取り付けることで、接合デバイスの降伏を遅らせ、優れた耐震性能を発揮することができる。
- 2) 接合デバイスより先にアンカーボルトを先行降伏させるためには、円盤型フランジの厚さを、アンカーボルトサイズ M16 に対しては 12mm 以上、M20 に対しては 16mm 以上、M22 に対しては 19mm 以上とすることで目標を達成することができる。

## 謝辞

試験体準備は（株）岡本建設用品製作所にご協力頂いた。また、実験準備は福岡大学工学部建築学科技術職員石橋宏一郎氏、大野敦弘氏をはじめ、同大学学部生の秋山研人氏、森本司氏に協力を得た。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 喜安良，田中照久，堀江弘幸，藤川繁次，堺純一：鋼管杭と RC パイルキャップとの杭頭接合部における応力伝達機構に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.1543-1544, 2018.9
- 2) 喜安良，田中照久，藤川繁次，堺純一：新しい工法による鋼管杭と RC パイルキャップとの杭頭接合部の弾塑性性状，コンクリート工学年次論文集，pp.1081-1086, Vol.41, No.2, 2019