

## 鋼管巻き PHC 杭 (SPHC 杭) に関する研究—その 10 限界部材角

正会員	○加倉井正昭*1	正会員	林 隆浩*2
正会員	桑原 文夫*1	正会員	毛井 崇博*3
正会員	平川 泰行*4	正会員	松田 竜*5
正会員	浅井 陽一*6		

PHC 杭	鋼管	SPHC 杭
限界部材角	曲げせん断試験	

### 1. はじめに

一般に、杭は曲げモーメント  $M$  と回転角  $\theta$  関係が重要であり、部材角について考察されることは稀である。SPHC 杭の変形性能が優れていることは、既往の曲げ試験や曲げせん断実験で明らかにしている<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。

本論では、SPHC 杭の変形性能がどの位あるかについて、地上構造で使用されている円形のコンクリート充填鋼管柱 (CFT 柱) と比較してみた。具体的には、曲げせん断試験結果に基づいて提案されている円形 CFT 柱の限界部材角と比較してみた。

### 2. 限界部材角の評価方法

CFT 柱の変形性能評価法を図 1 に示す。地上構造部材では、曲げせん断試験において、 $N-\Delta$  効果を考慮した  $M-\theta$  関係でなく、実際の挙動と推定されている水平力  $Q$  と部材角  $R$  の関係が重要とされている。 $Q-R$  関係において、限界部材角  $R_u$  は、実験時の最大耐力時の部材角でなく、実験による最大の水平耐力から、ある程度耐力が低下した時の変形角 (部材角) で定義される。ある程度低下した時の耐力時の部材角を採用するのは、バラツキが少なく安定しているためとされている。鉄筋コンクリート造柱では、最大耐力の 80~85% 時、SRC 部材では 90~95% 時の強度の部材角が採用されているが、CFT 部材は特に変形性能が良いことから 95% 時の部材角としている。

なお、曲げせん断実験では、柱は、一般に逆対称加力により、杭の場合は片持ち型の加力形式により部材角が求められるが、本論では加力形式の相違については言及しない。

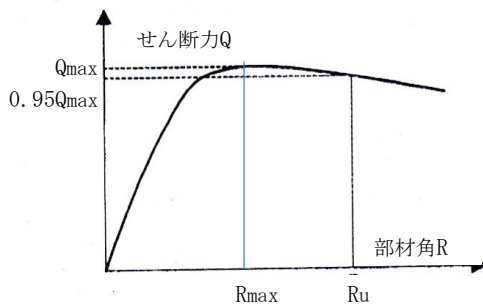


図 1 限界部材角  $R_u$  の定義

CFT 柱の限界部材角  $R_u$  の評価式としては、日米共研式<sup>5)</sup>と新都市ハウジング式<sup>7) 8)</sup>の 2 つが提案されているが、新都市ハウジング式の評価は小さくなることから、本論では、日米共研式を用いた。

日米共研式

$$R_u = 8.8 - 6.7 \frac{N}{N_o} - 0.04 \frac{D}{t} - 0.012 \sigma_{cB} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、

$N$  : 作用軸力

$N_o$  : 累加圧縮強度

$$N_o = N_{PHC} + N_s + N_g = A_c \cdot F_c + A_s \cdot F_y + A_g \cdot F_g$$

$D/t$  : 径厚比 (鋼管外径  $D$ 、鋼管厚さ  $t$ )

$A_c, F_c$  : PHC 杭コンクリートの断面積、設計圧縮強度

$A_s, F_y$  : 鋼管の断面積、規格降伏強度

$A_g, F_g$  : グラウトの断面積、設計圧縮強度

(1) 式で示されるように、変形性能に寄与する因子は、軸力比  $N/N_o$ 、径厚比  $D/t$ 、コンクリートの圧縮強度  $\sigma_{cB}$  である。SPHC 杭 (または SC 杭) は、CFT 柱に比較して、 $N/N_o$  は小さく、 $D/t$  は大きく、 $\sigma_{cB}$  はより高めであること、内部に製造用の孔があることが特徴である。

### 3. 対象とする曲げせん断試験体

対象する曲げせん断試験体の一覧を表 1 に示す。表 1 には、水平力 (せん断力) および最大せん断力  $Q_{max}$  時の部材角  $R_{max}$ 、 $0.95Q_{max}$  時の部材角  $R_{0.95}$  も示している。

著者らが行った定軸力下で SPHC 杭の曲げせん断試験体 2 体<sup>1) 2)</sup>と軸力を変化させ最終的に定軸力で載荷した試験体 5 体<sup>3) 4)</sup>である。長期軸力相当の  $N=1250 \text{ kN}$ 、短期軸力相当の  $N=2500 \text{ kN}$  および終局荷重時の軸力  $N=3750 \text{ kN}$  と  $5000 \text{ kN}$  を載荷している。いずれも鋼管は  $500 \phi \times 6 \text{ mm}$  (SKK490)、PHC 杭は  $400 \phi \times 65 \text{ mm}$  ( $F_c 105 \text{ N/mm}^2$ , A 種) を使用した。実験時の PHC 杭コンクリートの圧縮強度は、 $122.8 \sim 134.6 \text{ N/mm}^2$ 、グラウト材の圧縮強度は、 $30.3 \sim 45.7 \text{ N/mm}^2$ 、鋼管の降伏強度は  $508, 491 \text{ N/mm}^2$ 、グラウト材の実験時の圧縮強度は、 $30.3 \sim 45.7 \text{ N/mm}^2$  である。また、杭頭部の定着は、鋼管外側のみに鉄筋 (18-D19, SD390) をフレア溶接または PHC 杭には定着筋を設けている。基礎がコンクリートの試験体の基礎部コンクリートの圧縮強度は、

37.5N/mm<sup>2</sup>~41.3 N/mm<sup>2</sup>であった。

#### 4. 試験結果

表1に(1)式による算定結果を示す。SPHC杭は、PHC杭からの軸力が、鋼管で補強されたPHC杭の基礎下端で伝達されるので、累加強度 $N_o$ の算定において、PHC杭、鋼管、グラウトの軸圧縮強度を全て累加した場合( $N_o = N_{PHC} + N_s + N_g$ )を示している。図2に、限界部材角比( $R_{0.95}/R_u$ )と軸力比 $N/N_o$ の関係を示す。

SC杭は、(1)式をかなり下回るのに対して、SPHC杭は(1)式でほぼ推定でき、SPHC杭では、軸力比 $N/N_o = 0.37$ 以上の試験体は、 $R_{0.95}/R_u$ は、1.2以上あることがわかる。 $N/N_o = 0.12$ のNo.4試験体は、 $R=1/100$ までに大きな軸力比0.49を載荷したが、算定値に対して0.79であった。

図2より、軸力比 $N/N_o$ が小さいほど算定値 $R_u$ は高めに、軸力比が大きいほど $R_u$ は低めに評価している。

このことは、円形CFT柱材が軸力と曲げを鋼管とコンクリートが一緒になって負担するのに対して、変形が大きくなっても、鋼管の拘束効果もあり高軸力比ほどPHC杭が圧縮力を負担でき、鋼管が曲げ応力を負担することにより変形性能がよくなるというSPHC杭の特徴がでていると推定される。

#### 5. まとめ

径厚比等が限定されてはいるが、既往の試験体より、SPHC杭の変形性能を円形CFT柱材で提案されている限界部材角 $R_u$ (1)式で最大耐力の95%低下時の限界部材角 $R_{0.95}$ を評価してみた結果、SPHC杭の $R_u$ は、高軸力比ほど安全側に評価することがわかった。

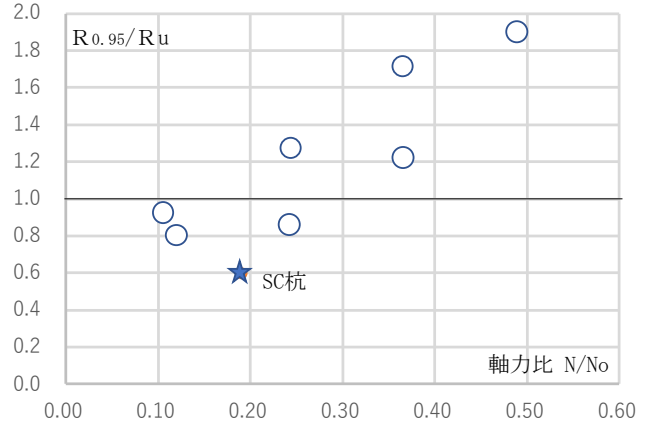


図2 軸力比 $N/N_o$ と限界部材角比 $R_{0.95}/R_u$ の関係

#### 参考文献

- 1) 加倉井他、鋼管巻きPHC杭(SPHC杭)に関する研究(その1)~(その2)、建築学会2014年度大会(関東)学術講演梗概集 pp675-678
- 2) 加倉井他、鋼管巻きPHC杭(SPHC杭)に関する研究(その3)曲げせん断試験、日本建築学会2014年度大会(関東)学術講演梗概集 pp679-780
- 3) 加倉井他、鋼管巻きPHC杭(SPHC杭)に関する研究(その5)杭頭部接合条件(半剛接合)を考慮したときの挙動、日本建築学会2015年度大会(関東)学術講演梗概集 pp413-414
- 4) 加倉井他、鋼管巻きPHC杭(SPHC杭)に関する研究(その6)杭頭部接合条件(アンカー)を考慮したときの挙動、日本建築学会2015年度大会(関東)学術講演梗概集 pp413-414
- 5) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針、2008年
- 6) 森他、ハイブリッド構造に関する日米共同研究(CFT-23)コンクリート充てん鋼管柱の変形性能その1.変形性能、日本建築学会2015年度大会(関東)学術講演梗概集 pp929-930
- 7) 藤本他、コンクリート充填鋼管柱の構造性能に関する調査研究、日本建築学会技術報告集、第16号、2012年12月 pp129-134
- 8) 新都市ハウジング協会、コンクリート充填鋼管(CFT)造技術指針・同解説

表1 SPHC杭の曲げせん断試験体と変形性能

名称	記号	単位	S5P4A-L	S5P4A-H	No. 1	No. 2	No. 3-1	No. 3-2	No. 4	SC杭	[備考]
基礎スタブ内定着方法	PHC杭定着筋 鋼管定着筋		鋼製スタブ		無し	10-D22	無し	無し	10-D22	鋼製スタブ	
軸力荷重方法			定軸力	定軸力	軸力増 <sup>*1</sup>	軸力増 <sup>*2</sup>	軸力増 <sup>*3</sup>	軸力増 <sup>*4</sup>	軸力減 <sup>*5</sup>	定軸力	
軸力	N	kN	1250	2500	5000	3750	2500	3750	1250	2500	
PHC杭	$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	105	105	105	105	105	105	105	105	
断面積	$A_c$	N/mm <sup>2</sup>	68408	68408	68408	68408	68408	68408	68408	96246	
鋼管径厚比	$D/t$		83	83	83	83	83	83	83	83	
PHC杭圧縮強度	$N_{PHC} = A_c F_c$	kN	7183	7183	7183	7183	7183	7183	7183	10106	
鋼管圧縮強度	$N_s = A_s F_y$	kN	3026	3026	3026	3026	3026	3026	3026	3026	
グラウト圧縮強度	$N_g = A_g F_g$	kN	1473	1473	1473	1473	1473	1473	1473	0	
累加圧縮強度	$N_o$	kN	11682	10209	10209	10209	10209	10209	10209	13132	
軸力比	$N/N_o$		0.11	0.24	0.49	0.37	0.24	0.37	0.12	0.19	
限界部材角	$R_u$	1/100	3.49	2.57	0.93	1.75	2.57	1.75	3.39	2.93	
最大せん断力	$Q_{max}$	kN	571	624	409	393	560	592	503	592	
部材角	$R_{max}$	1/100	1.82	1.82	1.49	2.00	1.98	2.00	1.77	1.65	
95%低下時	$R_{0.95}$	1/100	3.19	3.25	1.75	2.11	2.19	2.98	2.69	1.75	
実験値/算定値	$R_{0.95}/R_u$		0.91	1.27	1.88	1.21	0.85	1.70	0.79	0.60	
共通	PHC杭 400×65 A種 ( $\sigma_n = 4N/mm^2$ ) グラウト $A_g=61374mm^2$ $F_g=27N/mm^2$		PC鋼材 10-φ7.1 基礎コンクリート $F_c=24N/mm^2$	鋼管 500×6 SKK490 $F_y=325N/mm^2$						SC杭 500×80	

\*1 パイルフォーラム(株), \*2 丸門建設(株),  
 \*3 前九州工業大学大学院 \*4 日本コンクリート工業(株),  
 \*5 三谷セキサン(株) \*6 (株)トーヨーアサノ

\*1 Pile Forum, \*2 Marumon Construction,  
 \*3 Kyushu Institute of Technology,  
 \*4 Nippon Concrete Industries \*5 Mitani Sekisan,  
 \*6 Toyo Asano Foundation