

## 単純梁方式曲げ試験による SC 杭の中空部に中詰めした効果の検討

SC 杭の変形性能向上に関する研究(1)

A STUDY ON EFFECTS OF FILL IN HOLLOW PART OF SC PILES  
BASED ON SIMPLE BEAM BENDING TEST

Study on improvement in deformation capacity of steel &amp; concrete composite pile, Part1

田中 佑二郎\*, 関口 徹\*\*, 中井 伸\*\*\*, 中井正一\*\*\*\*

Yujiro TANAKA, Toru SEKIGUCHI, Shin NAKAI  
and Shoichi NAKAI

The objective of this study is to examine the concrete filled effect in the hollow part of SC pile in order to improve the deformation performance of pile. In the pile foundation structure, the improvement is prompted, assuming secondary seismic design. But, Study on the deformation capacity of precast concrete pile is not sufficiently advanced. This study focuses on SC pile in precast concrete pile. SC pile has an excellent bending strength and deformation performance. This study examined the effect of some parameters for deformation performance of SC pile by simple beam bending test.

**Keywords :** Precast concrete pile, Deformation capacity, Secondary seismic design, Cyclic loading,

既製コンクリート杭, 変形性能, 二次設計, 繰り返し載荷

## 1. はじめに

杭基礎構造において、大地震時を想定した二次設計を求められることが多くなってきている。杭基礎構造に対しては、二次設計を行う法的な義務がないことから十分な研究が行われていない。既製コンクリート杭に関しては、JIS の認証および日本建築センター等の杭材評定の取得のために、曲げ試験等が日常的に行われているものの、試験のおもな目的が強度確認であるため、二次設計に必要な変形性能を評価したデータの蓄積が十分でない。

近年になって、既往の曲げ試験データの収集と分析による既製コンクリート杭の強度特性および変形性能の評価<sup>1)</sup>や片持ち梁方式による大変形の曲げせん断試験が行われている<sup>2~7)</sup>。また、PHC 杭の中空部にコンクリートを中詰めすることで曲げ変形性能が向上するという報告<sup>8),9)</sup>があり、SC 杭および PRC 杭においては、杭の中空部に中詰めを行った試験体も一部含まれている<sup>3~7)</sup>。しかし、試験体の多くは外径 400 mm 以下の小径であること、中詰め材に使用されている材料の強度が限られていることなどが課題としてある。

SC 杭は、鋼管の中空部にコンクリートを投入し、遠心成形によって製造される基礎構造部材である。既製コンクリート杭の中でも SC 杭は、コンクリートが鋼管の局部座屈を抑え、鋼管がコンクリートを拘束することから、曲げ強度が高く、曲げ変形性能にも優れていると考えられている。杭基礎構造として SC 杭は、曲げ強度が必要

とされる杭頭付近(上杭)に用いられることが多いが、実際に大変形まで載荷し、曲げ変形性能について検討した事例は少ない。

本研究では SC 杭を対象とし、①載荷方式、②鋼管厚さ、③軸力、④中詰め材、の各パラメータが曲げ変形性能に与える影響を確認することを目的として、単純梁方式による曲げ試験を行った。

## 2. 試験概要

## 2.1 試験体概要

Table1 に試験体一覧、Table2 に材料諸元値を示す。Table1 に示した軸力比は、導入した軸力を杭の実断面積とコンクリート強度の積で除すことで求めた。Table2 に示した各材料諸元値のうち、コンクリートおよび中詰め材については試験体と同一試料の材料試験値を表記している。鋼管については、降伏応力度は鋼材検査証明書(ミルシート)の値、ヤング係数は公称値を表記している。試験体は、すべて外径 600 mm、厚さ 90 mm とした。試験体のパラメータは、①載荷方式、②鋼管厚さ、③軸力、④中詰め材、の 4 つとし、各パラメータが曲げ変形性能に与える影響を確認することとした。

載荷方式は、正方向のみの一方向繰り返し載荷と正負繰り返し載荷の 2 ケースとした。

鋼管厚さは、SC 杭の中でも使用頻度が高い 9 mm、12 mm の 2 ケースとした。

本論文の一部は日本建築学会大会学術講演梗概集(2015年)<sup>註1)</sup>に発表した。

\* ジャパンパイル(株) 修士(工学)  
\*\* 千葉大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)  
\*\*\* 千葉大学大学院工学研究科 大学院生  
\*\*\*\* 千葉大学 名誉教授・工博

JAPAN PILE Corporation, M. Eng.  
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Chiba University, Dr. Eng.  
Grad. Student, Graduate School of Engineering, Chiba University  
Prof. Emeritus, Chiba University, Dr. Eng.

軸力は、0kN, 2800kN, 4200kN の3 ケースとした。経済的な設計を行う場合、SC 杭を上杭とし、断面形状を変化させた杭(節付き PHC 杭など)を下杭として継いで使用することが多い。ここでは外径 600 mm の SC 杭と継ぐ節付き PHC 杭(節部径 600 mm 軸部径 450 mm)の軸部径を基準とし、短期許容時および終局時の軸力としてそれぞれ 2800kN, 4200kN を設定した。軸力 2800kN は軸力比 0.17~0.18、軸力 4200kN は軸力比 0.28 に相当する。

中詰め材による補強は、補強なし、ソイルセメント、コンクリートの3 ケースとした。ここで、ソイルセメントとは、土砂とセメント、水を混合することにより作られる地盤改良土の一種である。既製コンクリート杭の施工法の一つであるプレボーリング工法では、掘削土(土砂)とセメント、水を混合攪拌し、ソイルセメントを作った中に杭を建て込む。杭の施工によって、必然的に杭の中空部にはソイルセメントが充填されることから、中詰め材の一つとして、ソイルセメントを設定することとした。今回、使用したソイルセメントは、中詰め材に用いたコンクリートと比べて、圧縮強度が 1/5 程度、ヤング係数が 1/12 程度の値である。

試験体 SLS(中詰め材：ソイルセメント)と試験体 SLC(中詰め材：コンクリート)の製作にあたり、杭の中空部への中詰め材の充填は、杭を立てた状態での縦打ちにより行った。中詰め材による補強範囲は、杭の全長とした。杭体コンクリートと中詰め材との付着の性状は、杭内面の成形状態の影響を受ける。SC 杭は、遠心成形により製造されるため、杭内面の成形状態は、コンクリート配合や遠心成形の時間、養生条件等によって異なる。試験体に用いた SC 杭の製造は、いずれも同一条件で行い、中詰め材の充填は、杭内面の清掃や目荒らし等の処理を行わず、製造したままの状態で行った。

Table1 List of test specimens

Specimen	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Steel pile thickness (mm)	Axial force (kN)	Axial force ratio	Infilled material	Loading method
S001	600	94.4	9	0	0	-	One-way
S00		94.4	9	0	0	-	Alternate
SL0		94.0	9	2800	0.17	-	Alternate
SL0t		95.1	12	2800	0.17	-	Alternate
SH0		92.9	9	4200	0.26	-	Alternate
SLS		93.1	9	2800	0.18	Soil cement	Alternate
SLC		92.9	9	2800	0.18	Concrete	Alternate

Table2 Material properties

Specimen	Concrete			Steel pile		Infilled material		
	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Material age (day)	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Material age (day)
S001	108	46800	7	390	205000	-	-	-
S00	106	44100	8	390	205000	-	-	-
SL0	112	48300	46	390	205000	-	-	-
SL0t	112	45900	45	427	205000	-	-	-
SH0	113	48200	63	390	205000	-	-	-
SLS	109	47900	60	390	205000	4.2	1700	44
SLC	109	48900	55	390	205000	22.6	20800	39

2. 2 試験装置および計測概要

Fig.1 に試験装置および計測概要を示す。JIS A 5373<sup>10)</sup>に準じて、単純梁方式による2点支持載荷で曲げ試験を行うこととした。この方式は、地盤中の杭の応力状態と異なるという問題が指摘されてい

る<sup>11)</sup>。しかし、本方式には、2つの載荷点間で純曲げ状態(せん断力がゼロで、曲げモーメントのみが働く状態)を作ることができる利点があり、曲げモーメントと曲げ変形性能(曲率)との純粋な関係の評価することができる。今回は、曲げ変形性能の評価が目的であることから本方式を採用することとした。

試験体への軸力導入は、センターホールジャッキを用いて試験体の外側に配置した PC 鋼棒を緊張し、載荷桁を介して軸力導入を行う方法を採用した。一般的には、杭の中空部にあらかじめ挿入しておいた緊張材を用いて軸力導入を行う方法が用いられる。この方法の場合、試験体のたわみが大きくなると杭内面と緊張材が干渉し、大変形まで試験を行うことができない恐れがある。

計測項目は、載荷荷重、軸力、2つの載荷点間の鉛直変位および軸方向ひずみである。載荷荷重をロードセル、軸力を油圧計により計測した。鉛直変位は、載荷点間(=1000 mm)を 500 mm 間隔の3点で変位計により計測した。軸方向ひずみは、載荷点直下を避け、200 mm 間隔で上下面の各5点でひずみゲージにより計測した。上下面で計測した軸方向ひずみを用いて曲率を算定し、曲げ変形性能を評価する指標とした。なお、試験体のたわみが大きくなる場合、軸力導入による付加曲げモーメントを無視することができない。曲げモーメントの算定には、P-δ効果(軸力×試験体のたわみ)による付加曲げモーメントを考慮した。

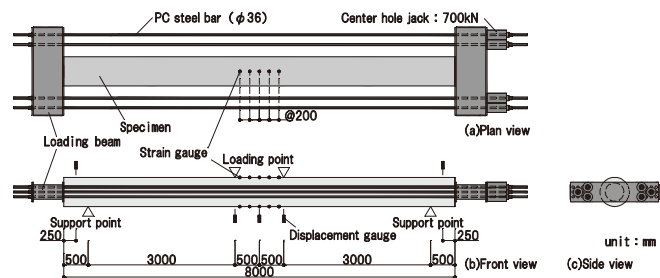


Fig.1 Test equipment and measurement overview

2. 3 載荷サイクル

Fig.2 に載荷サイクルの概念図を示す。本試験では、曲げ変形性能を把握することが目的であるため、おもに変位制御による正負繰り返し載荷とした。ただし、試験体 S001 のみは、評価される曲げ変形性能の差が載荷方式の違いによって生じるかを確認するため、正方向のみの一方方向繰り返し載荷とした。図中の  $P_y$  は設計降伏荷重、 $\delta_y$  は設計降伏荷重時の試験体中央部の鉛直変位である。設計降伏荷重は、公称値(コンクリートの設計基準強度: 105 N/mm<sup>2</sup>, コンクリートのヤング係数: 40000 N/mm<sup>2</sup>, 鋼管の設計基準強度: 325 N/mm<sup>2</sup>, 鋼管のヤング係数: 205000 N/mm<sup>2</sup>)を用いて求めた。 $P_y$  までは荷重制御にて載荷を行い、その後は  $\delta_y$  を基準として変位制御にて載荷を行った。繰り返し載荷回数を各変位段階で正負3回とした。載荷荷重の急激な低下および軸力保持が不能になった時点で載荷を終了することとした。

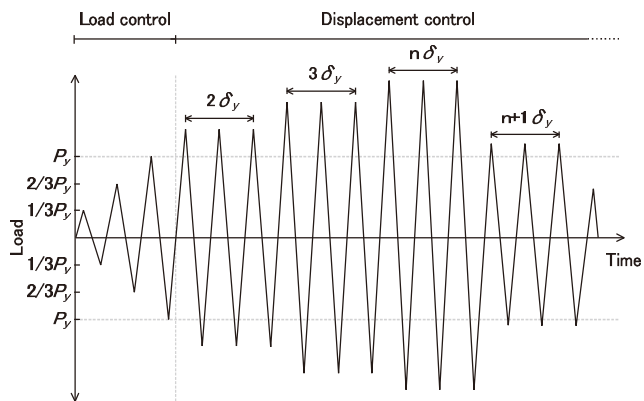


Fig. 2 Concept of cyclic loading

3. 実験結果

3. 1 破壊状況

Photo1に試験体 SL0, SLS, SLC の荷重試験終了後の破壊状況を示す。試験終了後、荷重点間の外観状況と、試験体の鋼管の半面を取り外すことで杭体コンクリート状況の確認を行った。Photo1(a),(d),(g)は外観状況を、Photo1(b),(e),(h)は杭体コンクリート状況を、Photo1(c),(f),(i)は杭体コンクリート状況の拡大したものを示している。なお、中詰め材による補強を行っていない試験体(S001, S00, SL0, SL0t, SH0)は、外観状況がほぼ同様であったので、試験体 SLS, SLC と同じ軸力条件である試験体 SL0 を代表として示した。

試験体 SL0(中詰め材：なし)では、荷重点内側の鋼管に僅かな提灯座屈が発生し、片側の荷重点直下において、鋼管の陥没が発生した。(Photo1(a))。鋼管を取り外してみると、鋼管の陥没が発生した箇所において、杭体コンクリートが剥落し、コンクリート片が杭の中空部に崩れ落ちていた。同位置にて正負繰り返し荷重の影響と思われるくさび状の杭体コンクリートの圧壊が確認された。また、荷重点間の上下面に渡り、円周方向に曲げひび割れが確認された。円筒形状断面のつぶれによる軸方向のひび割れも確認された(Photo1(b),(c))。

試験体 SLS(中詰め材：ソイルセメント)では、試験体 SL0 と比べて、大きな提灯座屈が発生した。試験体 SL0 で発生したような荷重点直下での鋼管の陥没は確認されなかった(Photo1(d))。杭体コンクリートは、鋼管の提灯座屈した範囲において圧壊していることが確認された。また、試験体 SL0 と同様に、杭体コンクリートには荷重点間の上下面の全域に円周方向の曲げひび割れと軸方向のひび割れが確認された(Photo1(e))。圧壊したコンクリート片を取り除いたところ、杭体コンクリートの圧壊の深さは、杭肉厚内にとどまっておらず、中詰め材として用いたソイルセメントに損傷がないことを確認した(Photo1(f))。

試験体 SLC(中詰め材：コンクリート)では、荷重点内側にて圧縮側鋼管にはらみ出しが確認された程度で、外観上に顕著な変化は確認されなかった(Photo1(g))。他の試験体と同様に、杭体コンクリートには荷重点間の上下面の全域に円周方向の曲げひび割れと軸方向

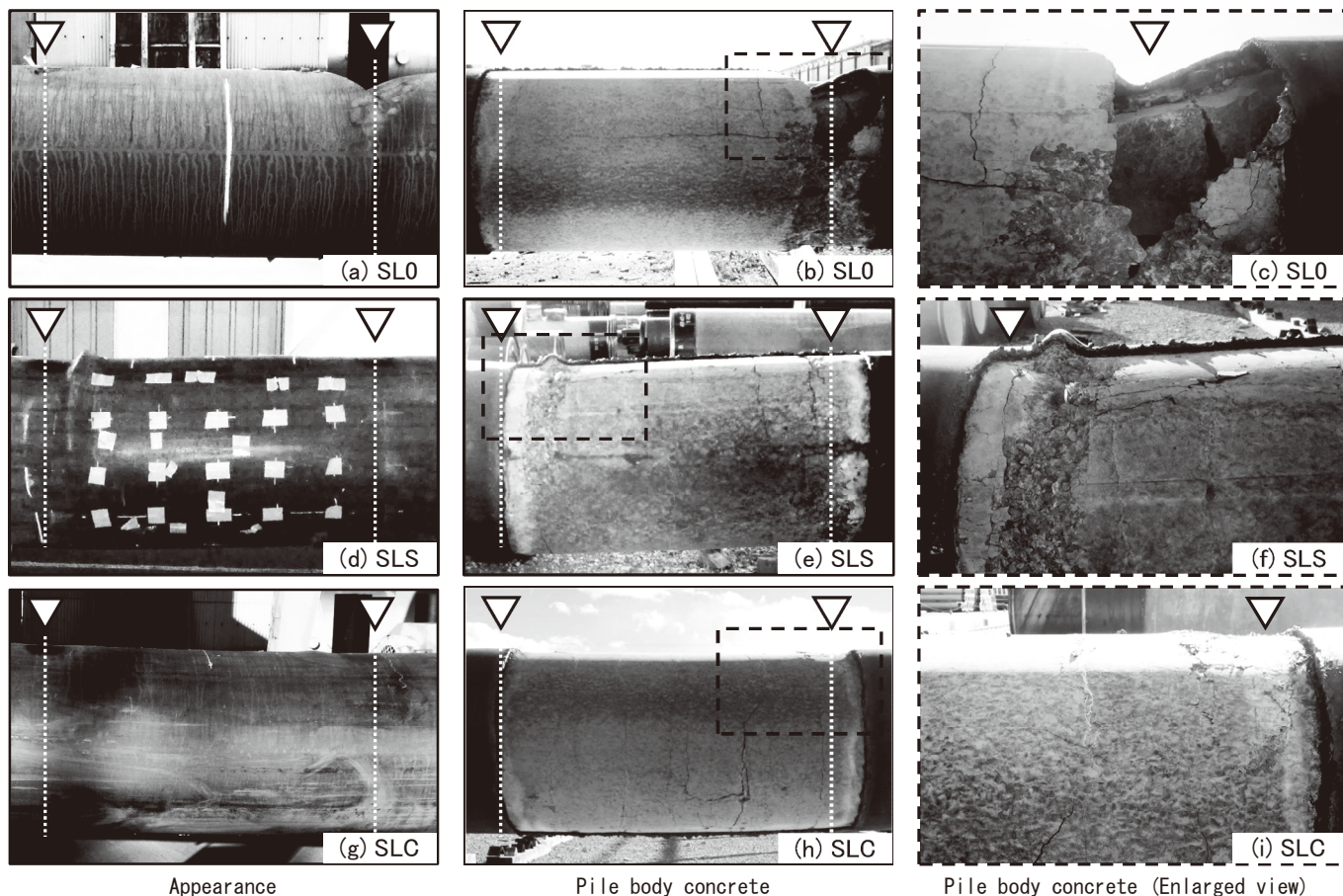


Photo1 Failure condition between loading points (SL0, SLS, SLC)

のひび割れが確認された。鋼管のはらみ出し部の杭体コンクリートにおいて、部分的な圧壊が確認された(Photo1(h))。圧壊したコンクリート片を取り除いたところ、圧壊の程度としては、載荷点内側の杭体コンクリートの表面のみで、中詰め材として用いたコンクリートに損傷がないことを確認した(Photo1(i))。

試験体 SLS, SLC の破壊状況から、中詰め材を用いて杭の中空部を補強することによって、杭の円筒形状が保持され、杭体コンクリートの剥落および圧壊の程度を軽減することができ、また、鋼管の陥没を抑えることができたと考えられる。また、杭の中空部の補強に用いる中詰め材は、圧縮強度およびヤング係数が大きい材料を用いた方がその効果も大きく、鋼管の提灯座屈の発生や杭体コンクリートの圧壊の程度を軽減する効果があると考えられる。

### 3. 2 荷重と変位の関係および曲げモーメントと曲率の関係

Fig.4 に荷重と変位の関係、Fig.5 に曲げモーメントと曲率の関係を示す。Fig.4 に示した変位は、試験体中央部の鉛直変位を用いた。図中の最大値とは載荷荷重が最大となった時を、降伏値とは鋼管の最外縁ひずみが降伏ひずみに達した時をそれぞれ示している。鋼管の降伏の判定は、貼付したひずみゲージの値から行った。鋼管は製造過程において、曲げ加工によって製管されるため、明確に鋼管の降伏の判定を行うことは難しいと考えられるが、ここでは、降伏ひずみの値として、Table2 に示した鋼管の降伏応力度をヤング係数(公称値: 205000 N/mm<sup>2</sup>)で除した値を用い、降伏の判定を行った。

図中の解析値は、Table1 および Table2 に示した材料諸元値を用いて、終局時に至るまで、断面のひずみが中立軸からの距離に比例する平面保持の仮定に基づく断面解析<sup>12,13)</sup>により求めた値である。断面解析にあたり、構成要素(杭体コンクリート、鋼管、中詰め材)の応力-ひずみ関係には、バイ・リニア型のモデルを用いた。ここで、終局時とは、断面内の圧縮側最外縁コンクリートのひずみが終局ひずみ(=0.005)に達した時とした。なお、試験体 SLS, SLC の解析値は、杭体コンクリートと中詰め材との付着が十分であるものと仮定し、SC 杭と中詰め材とが終局時に至るまで一体として挙動するものとして、断面解析により求めた。

中詰め材による補強を行っていない試験体(S001, S00, SL0, SL0t, SH0)は、載荷荷重の急激な低下と軸力保持の不能を確認した時点で試験を終了した。中詰め材による補強を行った試験体(SLS, SLC)は、鉛直変位 150 mm(試験装置の限界値)まで載荷を行い、試験を終了している。

Fig.5 において、試験値と解析値の比較を行った。曲げモーメントの最大値に関して、いずれの試験体においても試験値が解析値以上になる結果であった。また、初期剛性に関して、いずれの試験体においても試験値と解析値とがほぼ一致することが確認された。一方で、曲率の最大値に関して、中詰め材による補強を行っていない試験体(S001, S00, SL0, SL0t, SH0)では試験値が解析値を下回り、試験体 SLS(中詰め材: ソイルセメント)では試験値と解析値とが同等程度、試験体 SLC(中詰め材: コンクリート)では試験値が解析値を上回る結果となっている。これらより、曲げモーメントの最大値を断面解析によって安全側の値として評価できることが確認できた。曲率の最大値については、中詰め材による補強を行っていない試験体の試験値が解析値を下回っていたことから、従来の断面解析では推

定が難しく、解析値は危険側の評価となる可能性がある。

Fig.6 に包絡線により曲げモーメントと曲率の関係を比較した結果を示す。以降で、各パラメータ①載荷方式、②鋼管厚さ、③軸力、④中詰め材)の試験結果の考察を行う。

#### ① 載荷方式の比較

Fig.6(a)より、試験体 S001(一方向繰り返し載荷)と試験体 S00(正負繰り返し載荷)の初期剛性は、ほぼ一致することが確認された。曲げモーメントおよび曲率の最大値に関しては、どちらの値も試験体 S001 が試験体 S00 を上回っている。初期剛性が一致していることから、弾性範囲内での杭の性能評価であれば、どちらの載荷方式を採用した場合であってもその評価に差は生じないと考えられる。ただし、大変形時を想定すると、載荷方式に一方向繰り返し載荷を採用した場合は、杭の曲げ強度および曲げ変形性能を過大評価する恐れがあると考えられる。杭の曲げ変形性能を適切に評価するためには、載荷方式に正負繰り返し載荷を採用することが望ましい。

#### ② 鋼管厚さの比較

Fig.6(b)より、初期剛性に関しては、試験体 SL0t(鋼管厚さ: 12 mm)が SL0(鋼管厚さ: 9 mm)よりも大きくなることが確認された。曲げモーメントの最大値に関しても、試験体 SL0t が試験体 SL0 を上回る結果となった。一方で、曲率の最大値に関しては、両者に大きな差は確認されなかった。初期剛性の差については、鋼管厚さの違いにより生じたものと考えられる。鋼管厚さは、曲げ強度の向上に対しては効果が大きい、曲げ変形性能の向上に対しては効果が小さいものと考えられる。

#### ③ 軸力の比較

Fig.6(c)より、曲げモーメントの最大値に関しては、試験体 S00(軸力: 0kN)が最も小さく、試験体 SL0(軸力: 2800kN)と試験体 SH0(軸力: 4200kN)は同程度であった。曲率の最大値に関しては、試験体 S00 が最も大きく、試験体 SL0 と試験体 SH0 とは同程度であった。Fig.5(b),(c),(e)の解析値で示したとおり、軸力の大きい試験体ほど曲げ強度は大きく、曲率は小さくなる傾向が包絡線からも確認された。

#### ④ 中詰め材の比較

Fig.6(d)より、試験体 SL0(中詰め材: なし)、試験体 SLS(中詰め材: ソイルセメント)および試験体 SLC(中詰め材: コンクリート)の初期剛性は、ほぼ一致することが確認された。曲げモーメントの最大値に関しては、三者に大きな差は確認されなかった。断面の中詰め材は中心付近の補強であることから初期剛性および曲げ強度に対しては寄与しないことがわかる。

一方で、より変形(曲率)が進んだ部分に着目すると、試験体 SL0 では曲げモーメントが急激に低下したのに対して、試験体 SLS や試験体 SLC は、曲率が大きくなっていても一定のモーメントを保持できている。ここで、試験体 SLC の曲率の最大値は 0.064 (1/m)である。中詰め材による補強を行うことで曲げ変形性能の向上が期待できることが確認された。また、Photo1 に示したとおり、試験体 SLS および試験体 SLC では、試験体 SL0 の様な破壊性状(鋼管の陥没や杭体コンクリートの剥落)が発生しなかったことから、中詰め材による補強によって、杭の円筒形状の保持、杭体コンクリートの剥落の抑制、杭体コンクリートの拘束などによって、曲げ変形性能が向上したものと考えられる。

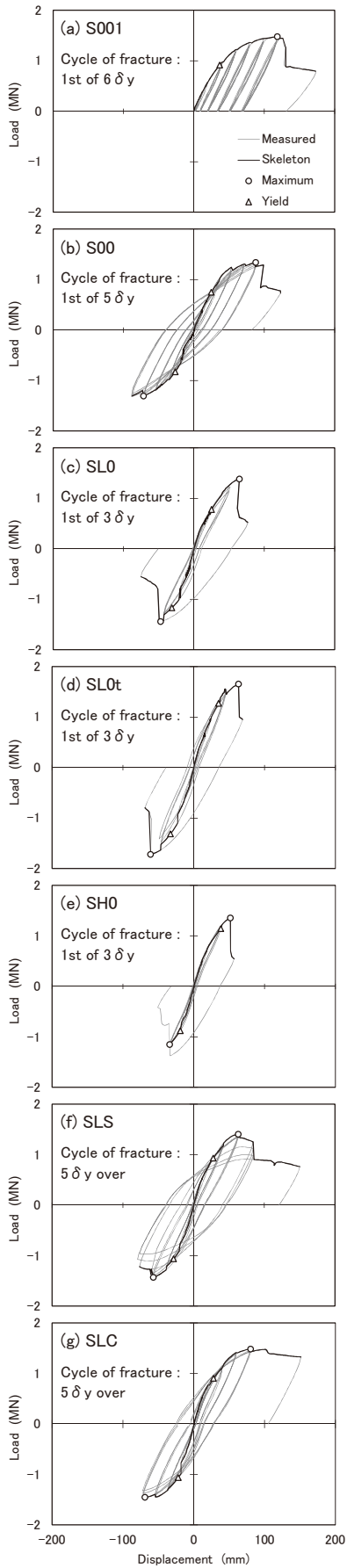


Fig. 4 Relations between load and displacement

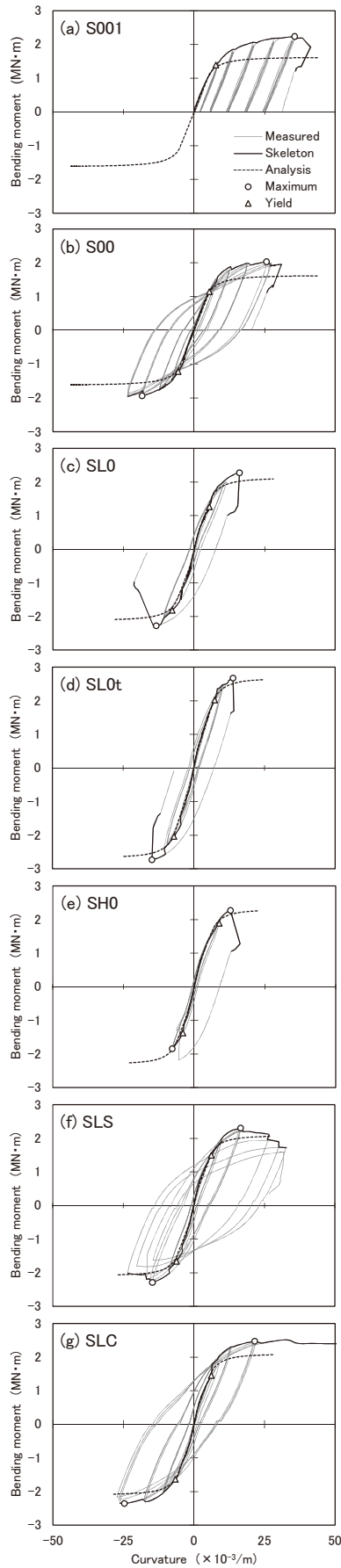


Fig. 5 Relations between bending moment and curvature

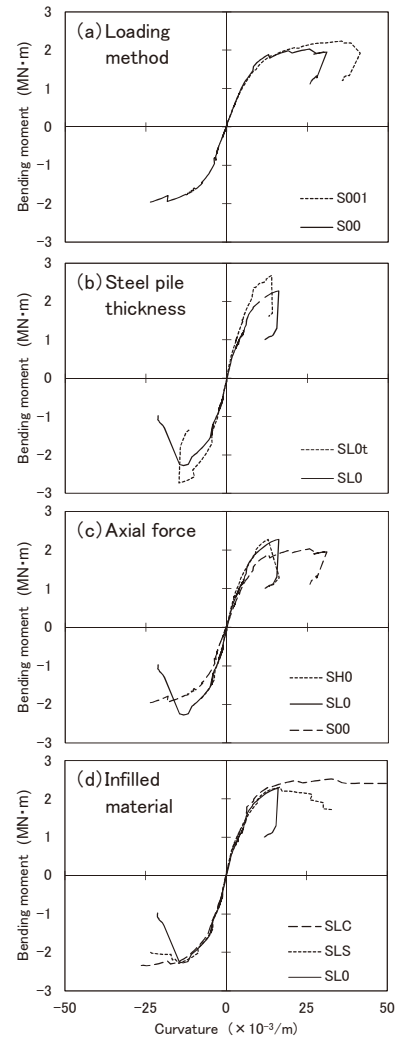


Fig. 6 Relations between bending moment and curvature (Comparison of skeleton curves)

#### 4. まとめ

SC 杭を対象とし、①載荷方式、②鋼管厚さ、③軸力、④中詰め材、の各パラメータが曲げ変形性能に与える影響を確認することを目的として、単純梁方式による曲げ試験を行った結果、以下に示す知見を得た。

- 1) 中詰め材を用いて杭の中空部を補強することで、鋼管の陥没や杭体コンクリートの剥落および圧壊を抑えることができ、杭の曲げ変形性能の向上が期待できる。中詰め材には、圧縮強度およびヤング係数の大きい材料を用いた方が杭の曲げ変形性能の向上効果が大きい。
- 2) 曲げ試験で得られる試験値(曲げモーメントおよび曲率の最大値)は、載荷方式によって異なる。一方向繰り返し載荷では、正負繰り返し載荷よりも曲げモーメントおよび曲率の最大値が大きくなり、杭の曲げ変形性能の評価として危険側となる。適切に杭の曲げ変形性能を評価するためには、載荷方式に正負繰り返し載荷を採用することが望ましい。
- 3) 杭の中空部を中詰め材による補強を行っていない試験体において、鋼管厚さを厚くすることは、杭の曲げ変形性能の向上に対して効果が小さい。
- 4) 曲率の最大値に関して、中詰め材による補強を行っていない試験体の試験値は解析値以下であり、ソイルセメントによる補強を行った試験体の試験値は解析値と同等程度である。また、コンクリートによる補強を行った試験体の試験値は解析値以上となる。

本研究において、単純梁方式による曲げ試験を行った。その結果、中詰め材による補強を行っていない試験体では、鋼管の陥没の発生が破壊状況として確認された。実際の杭では、杭頭接合部や地盤から面で載荷される加力形式であるのに対して、試験体の杭では、載荷点から点に近い状態で載荷される加力形式となっている。実際の杭と単純梁方式による曲げ試験の試験体とでは、載荷点の加力形式が異なることから、実際の杭では、鋼管の陥没のような局所的な破壊の恐れが小さいと考えられる。また、試験装置の制限により試験体へ与えることができる変位量に限界値があったため、中詰め材に

よる補強を行った試験体では、最終の破壊状況まで確認を行えていない。載荷点の加力形式や試験装置の制限に課題があり、今後は片持ち梁方式による曲げ試験の検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 金子 治, 中井正一, 向井智久, 飯場正紀, 平出 務, 阿部秋男: 大地震時に対する耐震性能評価のための既製コンクリート杭の曲げ強度と変形特性, 日本建築学会技術報告集 第 21 巻 第 47 号, pp.95-98, 2015.2
- 2) 浅井陽一, 木谷好伸, 吉川那穂: SC 杭の曲げせん断試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.435-436, 2015.2
- 3) 長澤和彦, 木谷好伸, 後庵満丸: 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.757-758, 2016.8
- 4) 石川一真, 浅井陽一: 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.759-760, 2016.8
- 5) 竹森敬介, 本間裕介: 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究 その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.761-762, 2016.8
- 6) 長谷川秀, 船田一彦: 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究 その 4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.763-754, 2016.8
- 7) 池岸大輔, 岡野 創, 酒向裕司, 田才 晃, 杉本訓祥, 大楠海加, 小田垣圭輝: 既製杭(SC 杭・PRC 杭)の変形性能に関する実験的研究既製コンクリート杭の変形性能に関する研究 その 1~その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.731-74, 2016.8
- 8) 黒正清治, 和田 章, 小林克巳, 光木史朗, 上田邦成: 軸力と水平力を受ける高強度 PC 杭の力学的性状に関する実験 - 高強度 PC 杭の耐力および変形性能向上に関する研究 1 -, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 376 号, pp.71-80, 1987.6
- 9) 黒正清治, 堀井昌博, 和田 章, 林 静雄, 小林克巳, 渡辺 厚, 光木史朗, 上田邦成: 高強度 PC 杭の中空部に中詰めした効果に関する研究 - 高強度 PC 杭の耐力および変形性能向上に関する研究 2 -, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 390 号, pp.134-141, 1988.8
- 10) JIS A 5373 : 2016, プレキャストプレストレストコンクリート製品
- 11) 日本建築構造技術者協会: 杭基礎の耐震設計を考える, pp.39-40, 1997.11
- 12) コンクリートパイル建設技術協会: 既製コンクリート杭-基礎構造設計マニュアル(建築編), 2009.5
- 13) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990), pp.136-150, 1990.10

#### 注

- 注 1) 小椋仁志, 田中佑二郎, 菅 一雅, 中井 伸, 関口 徹, 中井正一: 単純梁方式による SC 杭の M- $\phi$  関係の評価(その 1)~(その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.429-432, 2015.9

A STUDY ON EFFECTS OF FILL IN HOLLOW PART OF SC PILES  
BASED ON SIMPLE BEAM BENDING TEST

Study on improvement in deformation capacity of steel & concrete composite pile, Part1

*Yujiro TANAKA*\*, *Toru SEKIGUCHI*\*\*\*, *Shin NAKAI*\*\*\*  
and *Shoichi NAKAI*\*\*\*\*

\* JAPAN PILE Corporation, M. Eng.

\*\* Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Chiba University, Dr. Eng.

\*\*\* Grad. Student, Graduate School of Engineering, Chiba University

\*\*\*\* Prof. Emeritus, Chiba University, Dr. Eng.

The objective of this study is to examine the concrete filled effect in the hollow part of SC pile in order to improve the deformation performance of pile. In the pile foundation structure, the improvement is prompted, assuming secondary seismic design. But, Study on the deformation capacity of precast concrete pile is not sufficiently advanced. The bending tests of pile are carried out on a daily basis for performance assessment. The purposes of the test is the confirmation of the flexural strength. Therefore, the test data accumulation is not enough to discuss the deformation performance of pile.

This study focuses on the SC pile in precast concrete pile. The SC pile is a cylindrically shaped member manufactured by centrifugal casting with concrete placed in the hollow section of a steel pipe. The SC pile is a composite pile that utilizes the merits of concrete with good resistance against compressive forces and steel shell with good resistance to tensile forces. Concrete prevents local buckling of the steel pipe, while the steel pipe constrains concrete; therefore, the SC pile has excellent flexural bearing capacity and deformation capacity.

This study examined effects of some parameters for deformation performance of the SC pile by the simple beam bending test. Four parameters are set for the test. The parameters are 1) Loading method, 2) Steel pipe thickness, 3) Axial force, 4) Infilled material. We observed the failure conditions, relations between the load and the displacement, and relations between the bending moment and the curvature.

The knowledge obtained from this study are shown below.

- 1) Reinforced by infilling the hollow part of the pile with material, the following effects can be expected: prevention of depression of the steel pipe, prevention of flaking or crush of the pile body concrete, and improvement of the bending deformation performance of the pile. It is more effective to use infilled material with high Compressive strength and high Elastic modulus.
- 2) The results of bending tests of piles, maximum flexural strength and maximum curvature, are influenced by loading method. The results obtained by the one-way cyclic loading are greater than those obtained by the peak-to-peak alternate cyclic loading. Test value obtained by the one-way cyclic loading is on dangerous side as the evaluation of the deformation performance of the pile. Therefore, it is desirable to adopt the peak-to-peak alternate cyclic loading for appropriate evaluation of the deformation performance of the pile.
- 3) It is effective to increase the thickness of the steel pipe for the improvement of the flexural strength of the pile. But, it is not effective to increase the thickness of the steel pipe for the improvement of the deformation performance of the pile.
- 4) With respect to the maximum value of curvature, the test value of the standard specimens is not more than the analysis value. The test value of the test specimen that was reinforced with soil cement is about equivalent to the analysis value. The test value of the test specimen that was reinforced with concrete is greater than or equal to the analysis value.

(2016年11月4日原稿受理, 2017年2月20日採用決定)

