

軸力を受ける鋼管コンクリート杭のせん断終局耐力に関する実験的研究

その1 研究背景および実験概要

SC 杭	耐震杭	せん断破壊
せん断終局耐力	軸力比	RC 基礎構造指針

正会員	○小原 拓 *1	同	Naresh SUBEDI*1
同	阿部 紗也加 *1	同	Shreya THUSOO *1
同	河野 進 *1	同	平尾 一樹 **2
同	今井 康幸***3	同	David MUKAI ****4

1. はじめに

現在の建築基準法では大地震に対して杭体や杭頭接合部の二次設計は義務付けられていない。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震を始めとする地震被害では、既製コンクリート杭が損傷し、建物が傾斜、沈下することで、取り壊しや建て替えとなる事例が見られた¹⁾。被害の中には、杭頭部でせん断破壊した事例も報告されており²⁾、杭部材の曲げ挙動のみならずせん断挙動を解明し、杭部材の二次設計構築に向けたデータの蓄積が必要である。

2017年には日本建築学会から、「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年」(以下、RC基礎部材指針)³⁾が刊行され、大地震に対する基礎構造部材の構造性能評価に関する技術資料が纏められつつある。しかしながら、既製コンクリート杭の一種であるSC杭に関しては、曲げ終局耐力や変形性能に関するデータは蓄積されつつあるものの⁴⁾、せん断終局耐力に関する知見やせん断変形が卓越する場合の実験データは皆無である。また、場所打ち鋼管コンクリート杭(以下、耐震杭)に関しても、RC基礎部材指針に記載のせん断終局耐力式は、無軸力下での単調載荷実験結果に対して検証されたものの、大地震時の挙動を想定した高圧縮軸力下や引張軸力下での検証は行われていない。

以上より、高圧縮軸力下や引張軸力作用下でのSC杭において、終局に至るまでのせん断挙動に関するデータの収集・蓄積が不可欠である。そこで、本研究では、軸力がせん断終局耐力に与える影響およびせん断変形が卓越する場合の構造性能を明らかにすることを目的として、SC杭及び耐震杭6体を製作し逆対称曲げせん断載荷実験を行った(ただし、試験体SCS2は未実施のため本論文では掲載しない。)

2. 試験体概要

試験体諸元をTable 1に示す。試験体全体図および杭詳細図をFig. 1, 2に示す。試験体はSC杭3体、耐震杭3体の計6体を製作した。全試験体で、杭直径φ400mmであり、試験体区間高さHは400mm(試験体SCS1は600mm)

の試験体である。スタブは鋼製であり、杭体と鋼製スタブ(以下、スタブ)の接合は、スタブに杭径より20mm程度大きい直径を持つ円形のスペースを設け、そのスペースに杭体を設置し、杭体端板と鋼製スタブの端板を高力ボルトで固定した。さらに、杭体とスタブ間の隙間には無収縮モルタルを充填した。

試験体に作用させる軸力は、引張軸力として軸力比-0.35(SCS2)または-0.3(TSS2)、低圧縮軸力として軸力比0.1(SCS1およびTSS1)、高圧縮軸力として軸力比0.5(SCS3およびTSS3)を与えた。せん断スパン比は0.5(SCS2のみ0.75)としている。作用軸力とせん断スパン比は、せん断終局耐力が曲げ終局耐力を下回るように設定した。各耐力の計算値の詳細については、その2に示す。

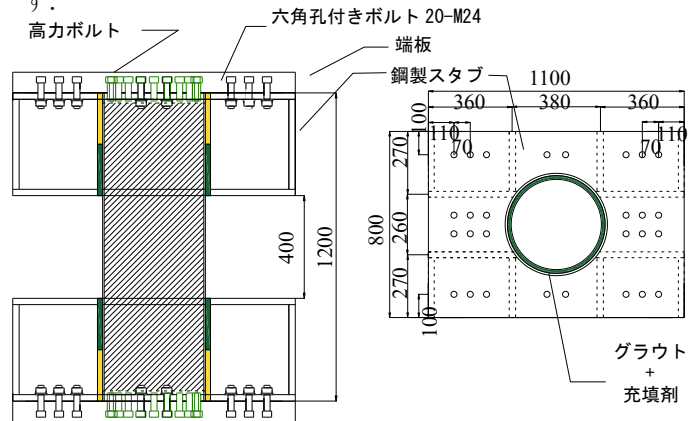


Fig. 1 試験体全体図 (Unit: mm)

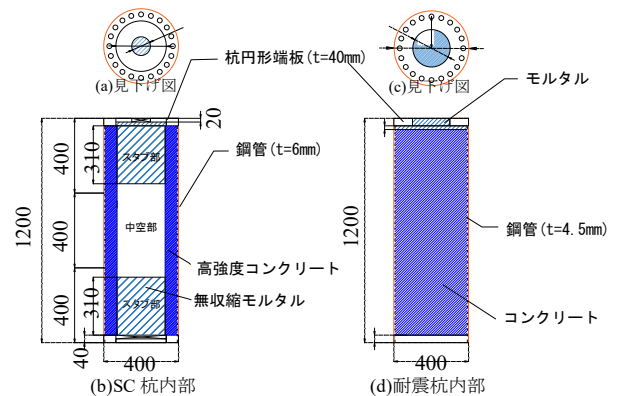


Fig. 2 杭体詳細図 (Unit: mm) (左図, SC杭 右図, 耐震杭)

Table 1 試験体諸元

Specimen	直径 mm	試験体 高さ mm	杭厚み mm	軸力比 η ※2	杭種
SCS1※1	400	600	85.8(鋼管厚 6) (コンクリート 厚 79.8)	0.09	SC 杭
SCS2 (未実施)			—	-0.35	
SCS3		70.9(鋼管厚 6) (コンクリート 厚 64.9)	0.50		
TCS1		中実 (鋼管厚 4.5)	0.10	耐震杭	
TCS2					-0.30
TCS3					0.50

※1 文献 5)に記載の試験体であり，詳細検討を本論文に追記。
 ※2 軸力比 η : N/N_{max} , N : Axial force in the test, N_{max} : $A_c\sigma_B + A_s f_y$, A_c : Cross section area of concrete, σ_B : Concrete compressive strength, A_s : Cross section area of steel, f_y : Steel yield strength. Positive value is compression and negative value is tension.

Table 2 材料の力学的特性

(a) 鋼管

Specimen	降伏強度 f_y MPa	引張強度 f_t MPa	ヤング係数 E_s GPa	降伏ひずみ ϵ_y %
SCS1	428	537	201	0.414
SCS2	—			
SCS3	428	537	201	0.414
TCS1	427	567	189	0.426
TCS2	435	584	217	0.400
TCS3	435	584	217	0.400

(b) コンクリート

名称	圧縮強度 σ_B MPa	圧縮強度時 ひずみ ϵ_B %	弾性係数 E_c GPa	割裂引張強度 σ_t MPa
SCS1	110.6	0.275	40.3	—
SCS2	—			
SCS3	108.8	0.261	49.8	—
TCS1	26.8	0.197	26.6	2.89
TCS2	23.7	0.165	26.6	2.64
TCS3	28.2	0.200	22.4	2.47

Table 2 に使用した材料の力学的特性を示す。SC 杭試験体のコンクリート圧縮強度は 110MPa 程度，耐震杭試験体では，25MPa 程度である。鋼管は SC 杭，耐震杭ともに降伏強度は 400MPa~450MPa である。

3. 荷重装置概要

逆対称曲げ荷重装置図を Fig. 3 に示す。本実験では，2

本の 4000kN 鉛直ジャッキにより一定の軸力を導入し，かつ上下スタブの平行を保持するように制御した。制御した層間変形角 R は上下スタブの相対水平変位を杭高さ (SCS2 は 600mm，その他は 400mm) で除した値とした。荷重は正負交番繰り返し荷重とし，加力サイクル計画は $R = \pm 0.125\%$ ， $\pm 0.25\%$ ， $\pm 0.50\%$ ， $\pm 0.75\%$ を 2 回ずつ繰り返した (その後のサイクルは，各試験体で耐力劣化が確認できるまで繰り返し荷重を行った)。ただし，試験体 SCS1 のみ負側が水平ジャッキ容量の限界に達したため， $R = 1.00\%$ のサイクルより正側へ押し切った。

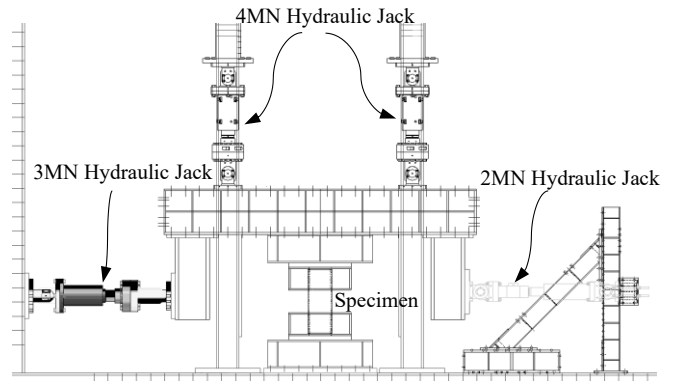


Fig. 3 荷重装置図 (試験体 SCS1, TSS1・2 は文献 5) の荷重装置で実施した.)

4. まとめ

基礎構造の構造性能評価のためのデータ収集を目的とした研究背景と実施した実験の概要を示した。その 2，その 3 では SC 杭及び耐震杭の実験結果について報告する

謝辞

本研究の一部は，科学研究費基盤 A(田村修次および河野進)，東京工業大学 SOTech，フロンティア材料研究所全国共同利用，科学技術創成研究院(WRHI)，の補助を受けて実施したものです。また，AIJ コンクリート杭の耐震性能 WG および COPITA 杭の変形性能評価 WG の委員各位には，大変貴重な意見を頂きました。学生が受給した文部科学省国費奨学金についても，この場をお借りしまして感謝いたします。

参考文献

- 金子治ほか：2011 年東日本大震災における建築物の杭基礎の被害状況と要因分析，地盤工学会誌，vol.62，No.1，pp.16-19，2014.
- 関口徹：被害事例から見た杭体の耐震性能，建築技術，2015.8.
- 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，2017.3.
- 国立研究開発法人 建築研究所：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性能評価に関する研究，2019.10
- 江川弥致ほか：軸力を受ける SC 杭のせん断耐力に関する実験的研究 その 1パイロット試験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，2019.9

*東京工業大学
 **一般社団法人 コンクリートパイル・ポール協会
 ***耐震杭協会
 ****ワイオミング大学 東京工業大学客員教授

*Tokyo Institute of Technology
 **Concrete Pile and Pole Industrial Technology Association
 ***Taishingui-kyokai
 ****University of Wyoming, Visiting Prof. of Tokyo Inst. of Tech.