

## 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究 (その5 ファイバーモデルの概要)

正会員 田中広夢\*1 同 ○大森淳平\*1  
同 渡邊秀和\*1 同 河野進\*1  
同 大村哲矢\*2

既製コンクリート杭 断面解析 終局時曲げ変形性能  
高強度コンクリート 破壊モード ファイバー解析

### 1. はじめに

2011年の東日本大震災において、杭基礎の損傷による建物の沈下や傾斜といった被害が広範囲で見られた。基礎構造は大地震に対する検討を法的に義務付けられておらず、既成コンクリート杭について終局までの変形性能を確認した実験データは充分でない<sup>2)</sup>。

その1~4では杭体の曲げ変形性能を実験により検証した。加えて、解析によって終局までの変形性能を正確に把握することは、大地震に対する杭体の耐震性能を評価するうえで重要である。

建築基礎構造設計指針<sup>3)</sup>(以下、基礎構造指針)には平面保持を仮定した断面解析による杭体の曲げ変形性能の評価手法が示されている。しかし、既製コンクリート杭では破壊の進行によって鋼材の拔出などが生じるため、解析による降伏ヒンジ発生後の評価精度は低下する。したがって現状では断面解析のみで終局までの曲げ変形性能を評価するのは困難であり、最大耐力の評価に用いられることが一般的である<sup>3)</sup>。

本研究では既製コンクリート杭試験体10体を対象に断面解析を行った。複数のコンクリートモデルを用いることでモデル化の影響を検証しつつ、特に最大耐力点以降に着目した変形性能評価を試みた。

### 2. 解析対象

その1~4の試験体のうち中詰め試験体を除いた10体を対象として断面解析を行った。試験体はすべて片持ち梁形式で、軸力比を主なパラメータとしている。破壊形式はせん断破壊したCPRC4を除いてすべて曲げ破壊である。実験についての詳細はその1~4を参照されたい。

表1に試験体諸元の実測値を用いて算出した軸力比を示す。軸力比は0~0.3程度であり、肉厚や材料強度の差により設計値から2~3割ほど小さくなった。

表1 試験体の軸力比(実測値から算出)

試験体	軸力(kN)	軸力比	設計値に対する比
SC1	0	0	1.00
SC4	2000	0.18	0.76
SC5	3000	0.25	0.73
SC6	3500	0.33	0.70
SC7	2000	0.19	0.80
CPRC1	0	0	1.00
CPRC2	2000	0.23	0.85
CPRC3	3000	0.32	0.81
CPRC4	3000	0.34	0.82
CPRC5	2000	0.21	0.79

### 3. 解析概要

#### 3.1 解析手法

平面保持と鋼管・鋼材の完全付着を仮定した断面解析によりモーメント-曲率関係を求めた。断面に与えた曲率に対して軸方向の力の釣り合いを満たすように中立軸位置を定め、そのときのモーメントを算出した。

断面は図1に示すように円周方向に36分割、半径方向にはコンクリートを等間隔に7分割(SC6は6分割)した。また、CPRC杭のコンクリート要素は鋼材による欠損を考慮していない。材料の応力-ひずみ関係は3.2に示すように鋼材はバイリニア型とし、コンクリートは複数のモデルについて計算した。

表2にCPRC杭の計算に用いた有効プレストレス量と鋼材のヤング係数を示す。有効プレストレス量はコンクリートの乾燥収縮やPC鋼材のリラクゼーションを考慮して計算し、設計値に対しては1割ほど小さい値となった。ヤング係数は材料試験による実測値である。SC杭の鋼管のヤング係数はその1を参照されたい。また、スパイラル筋は無視して計算を行った。

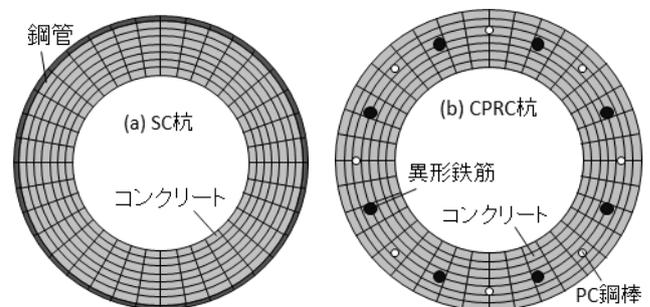


図1 断面要素の分割図

表2 CPRC杭の有効プレストレス量と鋼材のヤング係数

No.	有効プレストレス (N/mm <sup>2</sup> )	設計値に 対する比	ヤング係数(×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )	
			異形鉄筋	PC鋼棒
CPRC1	5.4	0.92	1.85	1.98
CPRC2	5.4	0.92	1.85	1.98
CPRC3	5.3	0.90	1.85	1.98
CPRC4	5.5	0.90	1.82	1.98
CPRC5	5.0	0.91	1.80	1.98

#### 3.2 材料構成則

図2に基礎構造指針において杭体の断面解析に用いられている材料の応力-ひずみ関係の一例を示す。コンクリートは引張強度を無視したバイリニア型、鋼材は完全弾塑性と仮定(図の $\theta=0$ )している。コンクリートの限

界ひずみ  $\epsilon_{cu}$  を CPRC 杭では 0.0035、SC 杭では 0.005 と定め、圧縮最外縁コンクリートのひずみが  $\epsilon_{cu}$  に達した点を限界強度とする<sup>4)</sup>。

基礎構造指針では、杭体に靱性を期待しない場合は限界強度に達した時点を終局とし、靱性を期待する場合は適切に限界変形を定める必要があるとしている。本研究では限界ひずみに達したコンクリートは応力を負担しないと、限界強度点以降の解析を行った。

本研究ではこれに加え図 3 に示す 2 種類のコンクリートモデルを用いて解析を行い、モデル化が解析結果に与える影響を検証した。(a) 三角形モデルは原点から圧縮強度  $f_c$  まではヤング係数  $E$  の傾きを持つ直線、ひずみ軟化域では同角度の負の傾きを持つ直線で表されるモデルである。限界ひずみ  $\epsilon_{cu}$  は Mander 式<sup>5)</sup>におけるプレーンコンクリートの終局ひずみである 0.4% とした。

(b) 六車・渡邊モデル<sup>6)</sup>は初期剛性  $E_i$  の二次曲線 OA と 2 本の直線 AB, BC で表されるモデルである。モデルの形状決定に用いたコンクリートの単位セメント量、単位水量を表 3 に示す。限界ひずみ  $\epsilon_{cu}$  には曲げ圧縮限界ひずみ (B 点) を用いた。また、鋼管やスパイラル筋による拘束効果はないものとし、全てプレーンコンクリートとして計算を行った。

これら 2 種のモデルを用いた解析では鋼材のひずみ硬化を考慮し、降伏点以後の剛性は弾性域の 1% とした (図 2 の  $\theta=0.01E$ )。

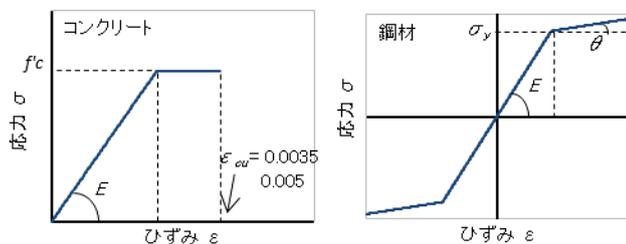


図 2 既往の評価法における材料の応力-ひずみ関係

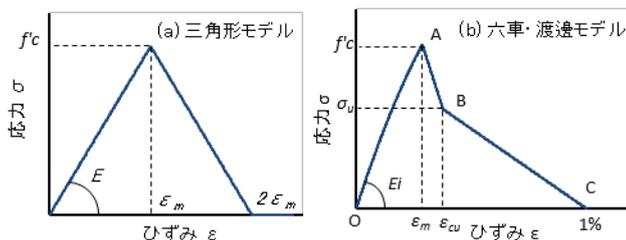


図 3 本研究で用いたコンクリートの応力 - ひずみ関係

表 3 コンクリートの単位セメント量、単位水量

	単位セメント量(kg/m <sup>3</sup> )	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )
SC杭	550	149
CPRC杭	514	123

### 3.3 終局曲率の定義

解析結果の終局曲率は杭種に応じて以下のように定義した。SC 杭では鋼管が存在することにより圧縮側外縁コンクリートが圧壊しても杭体が破壊しないため、コンクリートのひずみによって終局条件を設けなかった。

#### SC 杭

i) 実験と同様、最大耐力以降 80% 耐力低下した点

#### CPRC 杭

以下の i) ~ iii) のいずれかに到達した時点の曲率

- i) 実験と同様、最大耐力以降 80% 耐力低下した点
- ii) 圧縮側外縁コンクリートのひずみが限界ひずみ  $\epsilon_{cu}$  に到達した点
- iii) 引張側 PC 鋼棒のひずみが限界ひずみ(0.05)に到達した点<sup>4)</sup>

### 4. 実験値との比較

解析により求めたモーメント - 曲率関係を実験値と比較した。実験では各試験体とも複数個所で曲率を測定している (その 1 ~ 4 を参照)。比較にあたっては試験体の破壊状況から破壊断面位置を定め、最も近い計測位置の曲率を採用した。モーメントについても採用した計測位置に対応し、P- $\delta$  効果を考慮して算出している。表 4 に各試験体の比較断面位置と最大モーメントを示す。

変位計 DV1、DV2 を用いた計測では、試験体の固定端がスタブに沈み込む変形が曲げ変形に加算されているが、補正は行っていない。

表 4 比較断面位置と最大モーメント

試験体	スタブ表面からの高さ(mm)と計測方法	最大モーメント(kN・m)
SC1	75(ひずみゲージS2下)	590.2
SC4	100(ひずみゲージS2上)	746.1
SC5	125(変位計DV2-DV1)	758.5
SC6	125(変位計DV2-DV1)	585.2
SC7	125(変位計DV2-DV1)	583.0
CPRC1	100(変位計DV2)	241.6
CPRC2	100(変位計DV2)	511.6
CPRC3	125(変位計DV2-DV1)	495.5
CPRC4	125(変位計DV2-DV1)	619.9
CPRC5	125(変位計DV2-DV1)	467.0

本研究では最大耐力点でのモーメント、曲率の比較に加え、終局時の曲率比較を行った。最大耐力点、終局点での比較とも正載荷側、負載荷側の値を平均して用いることを基本とした。ただし破壊が脆性的な試験体に関しては破壊が生じた载荷方向のみを評価した。また、SC1 は最大耐力の 80% まで耐力低下する前に加力を終了しているため、終局曲率の評価は行わなかった。

謝辞、参考文献はその 6 に示す。

\*1 東京工業大学

\*2 東京都市大学

\*1 Tokyo Institute of Technology

\*2 Tokyo City University