

PCaPC 電柱の静的曲げ特性把握のための非線形有限要素法による再現解析

九州大学 学生会員 ○安川 華乃子 九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹
 九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨 九州電力(株) 正会員 上野 貴行
 九州電力(株) 正会員 池田 博嗣 九州電力(株) 正会員 阿部 稜

1. はじめに

配電柱 (以後、電柱と称す) を取り巻く環境として約 35 年前から地中化 (無電柱化) 計画が開始され、それに向けた整備が行われてきたが、費用・工期・住民理解など種々の問題で全く進んでおらず、経年劣化した既存の電柱の維持管理は極めて重要な問題である。国の方針では、敷設後 65 年以上経過した電柱は取替対象とすることにしているが、今後、電力会社の取替施工能力を上回ることが容易に予想されるため、電柱の損傷状態に応じた定量的な取替判断基準の設定が必要である。その実現には、非破壊検査で現状の損傷状態を定量的に把握し、残存耐荷性能を定量評価する必要があるが、多くの敷設実績のあるプレキャストプレストレスコンクリート電柱 (以下、PCaPC 電柱と称す) でさえ、その耐荷性能や終局状態は解明されていない。

そこで、実物大の PCaPC 電柱の曲げ載荷実験や動的加振実験を多く実施してきたが、供用中の PCaPC 電柱は寸法等に応じて多くの仕様があり、数値解析による検討が必要と考え、本稿では、非線形 FEM 解析により、実験結果を再現可能な解析モデルについて検討した。

2. 対象とする PCaPC 電柱の構造上の特徴

対象電柱は、遠心成型による打設のため、中空断面である。また、全長の異なる緊張材と非緊張材が主筋として配されており、そのバランスによりプレストレスが導入されている。プレストレス力に耐えるため、コンクリートの強度は比較的大きい。さらに、せん断補強目的で用心鉄筋 (らせん筋) が配されている。なお、本研究では、13-19-700* という仕様を対象とした (図-1 参照)。

*13 : 全長(m), 19 : 頂部直径(cm), 700 : 設計ひび割れ荷重(kgf)

3. 電柱の曲げ載荷実験を対象とした非線形 FEM 解析

3.1 解析概要

著者らが過去に実施した対象電柱の曲げ載荷実験を解析対象とした。実験においては、最終的に主筋の座屈

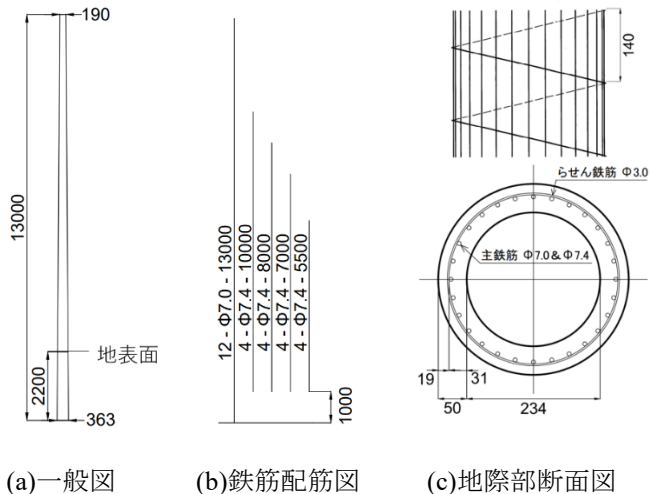


図-1 解析対象 (単位:mm)

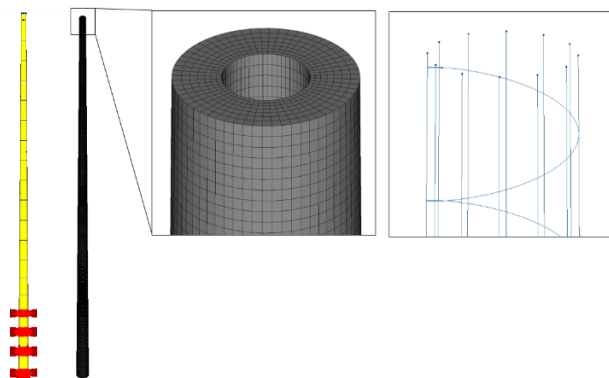


図-2 解析モデル

表-1 材料定数

(a) コンクリート

ヤング係数 [MPa]	ポアソン比	圧縮強度 [MPa]	引張強度 [MPa]
45000	0.2	72.5	7.25

(b) 鉄筋

	ヤング係数 [MPa]	ポアソン比	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]
非緊張材	205000	0.3	1080	1230
緊張材	205000	0.3	1325	1520

やコンクリートの圧潰（爆裂）により終局に至ったが、ここでは、主筋の座屈については特にモデル化していない。本研究では、非線形計算にニュートンラプソン法を用いた非線形 FEM 解析を採用し、前述の構造上の特徴を忠実に再現するために、図-2 に示すように、主筋やらせん筋は 2 節点トラス要素、コンクリートは 8 節点ソリッド要素でそれぞれモデル化した。材料定数は表-1 に示すように基本的に実測値や経験値を用いることとした。コンクリートの材料構成則としては静水圧依存性を有する Drucker Prager 則に従う塑性モデルを採用し、ひび割れ評価には多方向固定ひび割れモデルを用いた。主筋やらせん筋に関しては、von Mises の降伏条件に従う塑性モデルとし、等方硬化則を仮定した。なお、主筋やらせん筋とコンクリートは完全付着とした。緊張力に関しては、4tf/本という設計時点の目標緊張力の情報をもとに算出した応力 (1019MPa) を緊張材の要素に初期応力として導入することで再現した。

境界条件については、図-2 に示すように実験時の状況を極力再現するように設定し、載荷条件としては、設計荷重の 2 倍である 14kN を 100 ステップで単調載荷した。なお、対象実験は静的繰り返し曲げ載荷であったため、厳密には同一な載荷条件になっていないことをここに記す。

3.2 解析結果及び考察

まず、図-3 に荷重-変位関係の比較図を示す。単調載荷解析の結果が静的繰り返し曲げ載荷実験結果の包絡線上に載れば妥当な結果と言えるが、この図より、解析は初期勾配が若干小さく、14kN 載荷時の変位が実験より約 2 割弱大きいことがわかる。ひび割れ発生荷重が実験時より小さかったことから、この主因はプレストレス力の不足によるものと考え、プレストレス力をパラメータとした解析を実施した結果、設計時点の目標緊張力の 1.4 倍の緊張力を設定することで、図-4 に示すように実験結果を概ね再現できることを確認した。また、その際の各荷重における変形分布の比較図を図-5 に示すが、実験を概ね良好に再現できているといえる。実験では各荷重における発生ひび割れの詳細な記録は残されていないが、約 3kN でひび割れが発生し、14kN 載荷時では地際部から 2/3 以上の範囲でひび割れが分布する結果となった。

4. 結論および今後の課題

本研究では、種々の構造上の特徴を有する PCaPC 電柱の静的曲げ特性を再現可能な非線形 FEM 解析モデルの構築について検討した。その結果、適切に緊張力を設定することで、荷重-変位関係を概ね良好に再現できることが確認できた。本研究においては、製作後の緊張力の情報は不明であったため、緊張力の調整で妥当性を担保したことになるが、材料構成則も含め、今後は更なる検討が必要である。

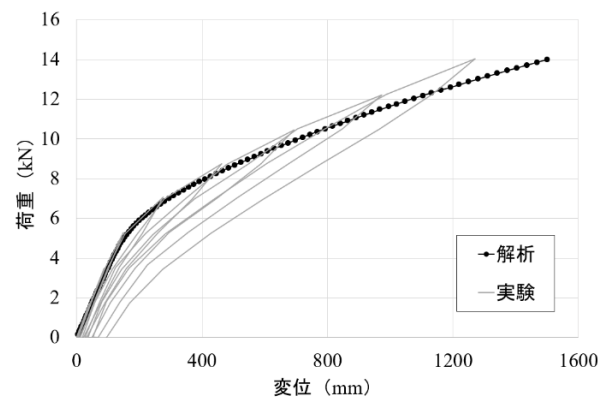


図-3 荷重-変位関係（緊張力 1019MPa）

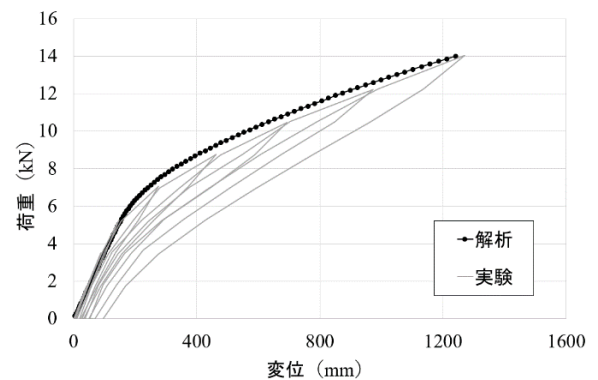


図-4 荷重-変位関係（緊張力 1426.6MPa）

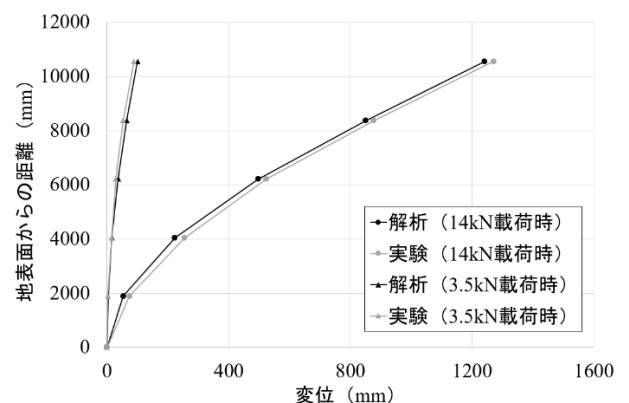


図-5 変形分布図（3.5kN, 14kN 載荷時）