

繰返し載荷を受けた PC 電柱の静的及び動的挙動に関する解析的検討

九州大学大学院
九州電力(株)
九州電力(株)

学生会員
正会員
正会員

○安川 華乃子
上野 貴行
阿部 稜

九州大学大学院
九州電力(株)

正会員
正会員

玉井 宏樹
池田 博嗣

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、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、年間の取替本数が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、既存のプレストレスコンクリート電柱（以後、PC 電柱）について、現状の損傷状態を非破壊検査で定量的に把握し、残存耐荷性能を定量評価する必要がある．

そこで、繰返し曲げ載荷により損傷を生じさせた PC 電柱の振動特性を把握するために、実物大の実験を実施してきたが、供用中の PC 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 PC 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円周上に、その外側に用心鉄筋（らせん鉄筋）が配されている．緊張力に耐えるため、コンクリートの強度は比較的大きい．なお、本研究では、電線や支線、変圧器等の付属品がない素柱を用い、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. 解析概要

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、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

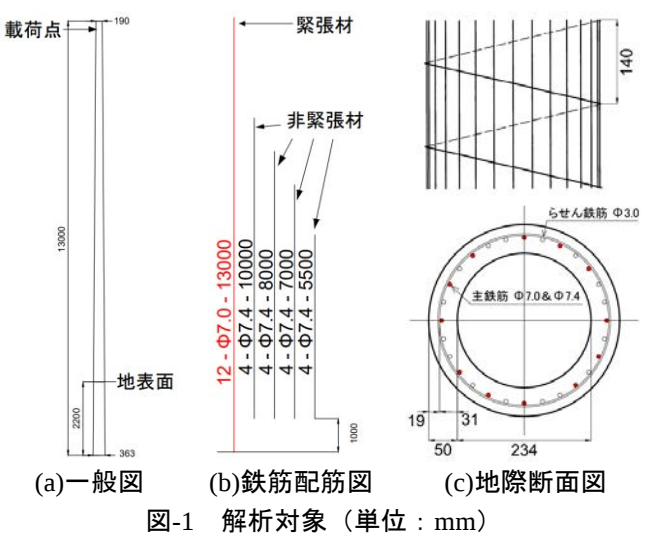


図-1 解析対象（単位：mm）

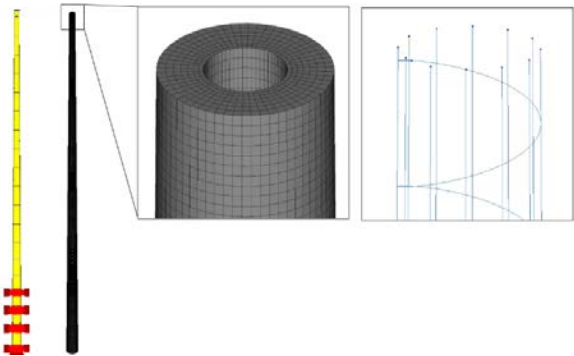


図-2 解析モデル

表-1 材料定数

	コンクリート	緊張材	非緊張材
ヤング係数 [GPa]	45	205	205
ポアソン比	0.2	0.3	0.3
降伏強度 [MPa]	-	1230	1080
圧縮強度 [MPa]	72.5	-	-
引張強度 [MPa]	7.25	1520	1325

キーワード 有限要素法, 配電柱, プレストレストコンクリート, 振動

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学建設材料システム工学研究室 TEL 092-802-2708

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、鋼材とコンクリートは完全付着とした。緊張力に関しては、設計時点の目標緊張力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再現するように設定した。単調荷重解析では、設計荷重の 2 倍（破壊荷重の下限值）である 14kN を荷重した。繰り返し荷重解析の荷重荷重は、0kN から 14kN まで 1.75kN ずつ増加させた後、14kN を破壊するまで繰り返し荷重した。振動解析については、1kN を 5 秒間かけて荷重し、その後、荷重を解放し 20 秒間振動させた。

4. 解析結果および考察

単調荷重解析の結果を図-3 に示す。静的繰り返し曲げ荷重実験結果の包絡線上に載れば妥当な結果と言えるが、解析は初期勾配が若干小さく、14kN 荷重時の変位が実験より約 2 割弱大きい結果となった。ひび割れ発生荷重が実験時より小さかったことから、この主因は緊張力の不足によるものと考え、緊張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 1.2 倍の緊張力（1258.8MPa）を設定することで、実験結果を概ね再現できることを確認した。しかし、地際付近の変形に実験との差があったため、その主要因はひび割れ挙動にあるとし、今後引張側の挙動やひび割れ評価についての項目について検討する必要があると考える。

単調荷重解析で用いた解析モデルについて、静的繰り返し荷重および振動解析を行った。静的繰り返し荷重解析の実験との比較を図-4 に示す。実験と同様に、繰り返し荷重による損傷の蓄積を確認できたが、14kN 除荷時の残留変位が大きく評価され、それに伴い破壊までの繰り返し回数少ない傾向を示した。残留ひずみについても、残留変位と同様の結果を示した。また、振動解析で得られた加速度応答とフーリエ変換して得られたスペクトル応答を図-5 に示す。荷重履歴に伴う損傷が振動特性に与える影響を解析からも確認できた。特に、卓越周波数が実験と同様に、損傷の程度に応じて低周波数域に推移する傾向が得られた。

5. 結論

本研究では、対象の PC 電柱の静的曲げ特性を再現可能な非線形 FEM 解析モデルを検討し、適切に緊張力を設定することで、荷重点における荷重-変位関係を概ね再現できた。解析においても実験と同様に、繰り返し荷重に伴う損傷の蓄積と損傷が振動特性に与える影響を確認した。変形状態や残留変位、残留ひずみの差異から、ひび割れ評価や材料構成則の検討が必要である。

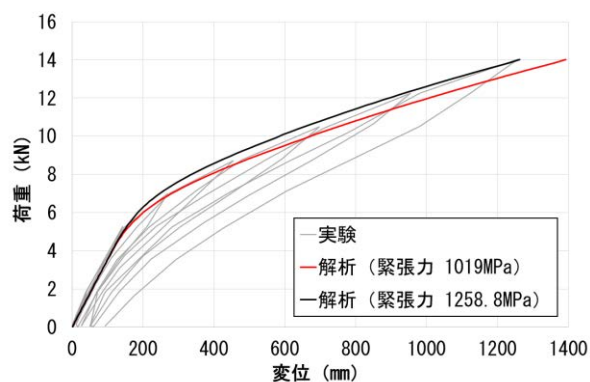


図-3 荷重-荷重点変位関係の比較

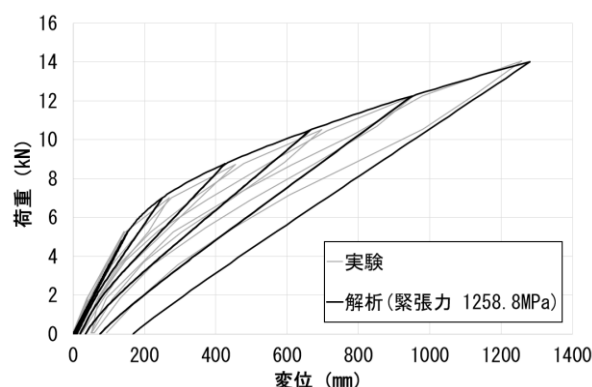
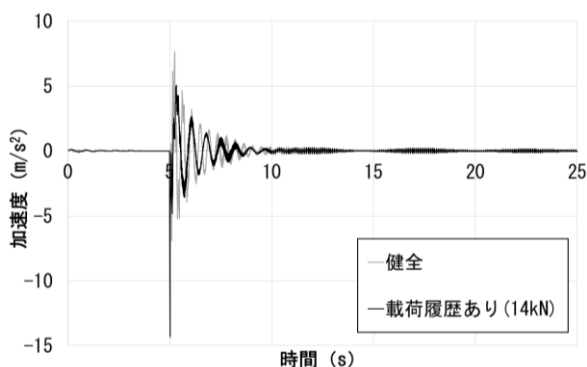
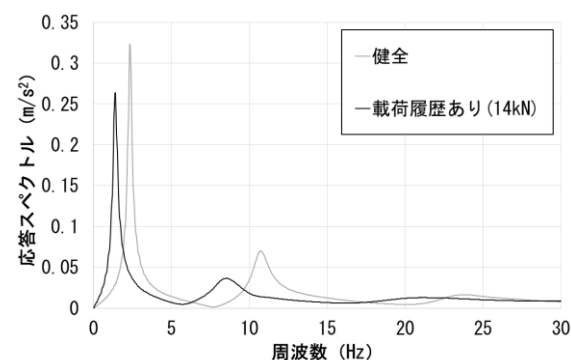


図-4 繰り返し荷重解析での荷重-変位関係



(a) 加速度応答



(b) スペクトル応答

図-5 振動解析結果