

PC 構造物における緊張材摩擦を考慮した解析手法と初期ひずみ法との比較に関する基礎的研究

名城大学 学生会員 ○松本 一志 名城大学 正会員 石川 靖晃

1. はじめに

PC 構造物の FEM 解析において、内部に埋め込まれた緊張材の摩擦や押し上げ力を厳密に考慮する必要がある。外ケーブル方式での緊張材の摩擦については Buiら¹⁾の研究があり、外ケーブルに限らず、一般的な摩擦の取り扱いについても多くの研究が行われている^{例えば、2)}。近年、摩擦や押し上げ力を考慮するにあたり、簡便かつ合理的な手法も提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。

一方、実務ではプレストレスを表現するために、緊張材に負(収縮)の初期ひずみを与える手法を用いることも多い。しかし、摩擦や押し上げ力を合理的に表現した手法との比較はなされていない。

本研究では、著者ら³⁾⁴⁾⁵⁾の提案手法と初期ひずみ法との違いがどの程度生じるかを明らかにすることを目的とした。簡単なモデルにて両手法を用いて数値実験を行い、解析結果の比較および検討を行った。

2. 緊張材摩擦を考慮した FEM 解析手法の概要³⁾⁴⁾⁵⁾

著者ら³⁾⁴⁾⁵⁾の提案手法の概略を以下に述べる。

図-1 に示すような両引きで緊張された PC はりについて考える。図中の黒枠で囲まれた領域はコンクリート、赤い直線は多直線で近似された緊張材である。このような仮定に基づき、コンクリート標準示方書⁶⁾の緊張力評価式を適用すると緊張材要素内の緊張力は、緊張材の角度変化と緊張材の長さの関数となる。

提案手法では緊張材要素内の緊張力からコンクリート要素の等価節点力へ変換している。緊張材要素の摩擦に起因するコンクリート要素の等価節点力は、最終的に仮想仕事の原理より緊張材の角度変化の押し上げ力と緊張材に沿った摩擦力の和で表される。等価節点力を外力項として非線形解析コードに導入することに

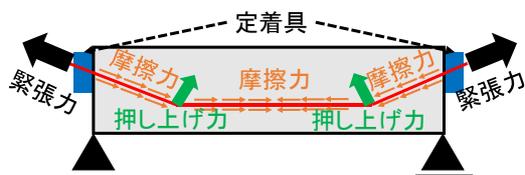


図-1 モデル化された PC はり

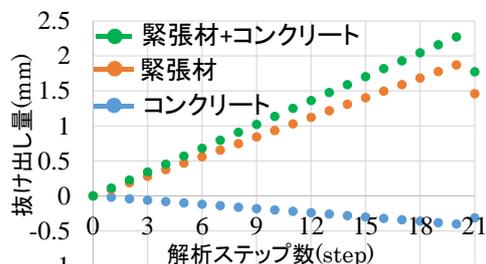


図-2 抜け出し量経時変化の一例

より緊張材の摩擦を考慮した解析が可能になる。

本提案手法の特徴は緊張力による定着部での緊張材の伸び分とコンクリートの縮み分との抜け出し量の緊張材とコンクリートのひずみを緊張材に沿って積分することにより数値計算ができることである。さらに、緊張力導入終了時、緊張材を定着させるために抜け出し量がわずかに緩和されるセット量が生じるが、それについても考慮することができる。

図-2 にセット量を含めた抜け出し量の数値計算の一例を示す。解析モデルと解析条件は、後述するモデルと同じである。提案手法は、コンクリートの変形と緊張材による抜け出し量を別々に計算することができる。すなわち、「緊張材+コンクリート」と「緊張材」の抜け出し量からヤング率を求めることで、見かけのヤング率を合理的に計算することができる。

3. 提案手法と初期ひずみ法との比較

3.1 解析モデルと解析条件

解析モデルは図-3 に示す 200mm×400mm×2000mm の PC はりである。なお、黄色の箇所は弾性体要素である。緊張力を導入する際の境界条件として、PC はりが剛体変形しない程度に拘束した。緊張力導入終了時、境界条件を単純支持とし、かつ図中の緑色の矢印の方向に 100step で 0.1mm/step の強制変位を与え、3点曲げ裁荷とした。力学的特性値を表-1 に示す。

両手法の緊張力導入方法を以下に述べる。

提案手法では、緊張時に 2 本の緊張材を両引きで 200kN の緊張力を 20step に分けて導入した。その

キーワード:プレストレスコンクリート、緊張材、摩擦力、FEM 解析、抜け出し量、初期ひずみ法

連絡先:〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口 1 丁目 501 Tel:052-838-2343

際、緊張材のヤング率の値を0とし、強制変位作用開始後、ヤング率の値を与えた。初期ひずみ法では緊張時に緊張材の剛性を与え、緊張力を緊張材軸剛性で除した値(0.00019)を負の自由収縮ひずみとして20stepに分けて導入した。その後、強制変位を作用させた。

3.2 プレストレス導入時の変形挙動の比較

図-4に緊張材の応力と長さの関係を示す。なお、長さは緊張材の左端を原点としている。定着部における緊張材の応力は提案手法では最大値となっているが、初期ひずみ法では最小値となっている。さらに、両手法において中央部付近の緊張材応力は、10N/mm²程度異なっている。

図-5に長手方向におけるコンクリート断面の応力分布を示す。図中の応力分布は図中左下に示す青い直線部分の断面に対応している。中央部と折れ曲がり部では、初期ひずみ法の応力分布は提案手法の応力分布と比べて、圧縮側に-0.2N/mm²程度緩和されている。

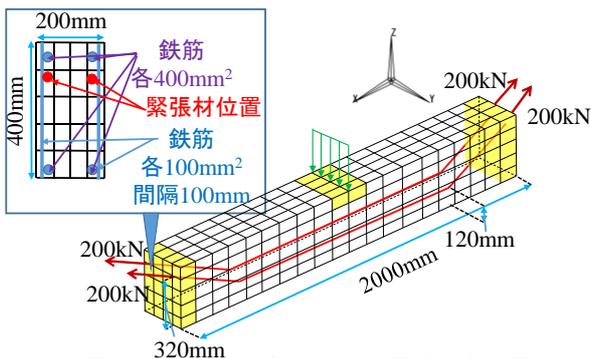


図-3 解析モデルの断面図と側面図

表-1 解析対象モデルの力学的特性値

特性の種類	力学的特性値
コンクリートヤング率	20000 N/mm ²
ポアソン比	0.2
圧縮強度	30 N/mm ²
引張強度	3 N/mm ²
破壊エネルギー	80 N/mm ²
鉄筋,緊張材のヤング率	210000 N/mm ²
鉄筋降伏強度	345 N/mm ²
緊張力の係数 μ	0.3
緊張力の係数 λ	0.004 (1/m)
緊張材降伏強度	1000 N/mm ²

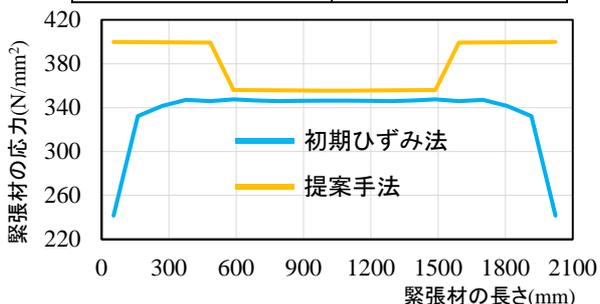


図-4 緊張材の応力の比較

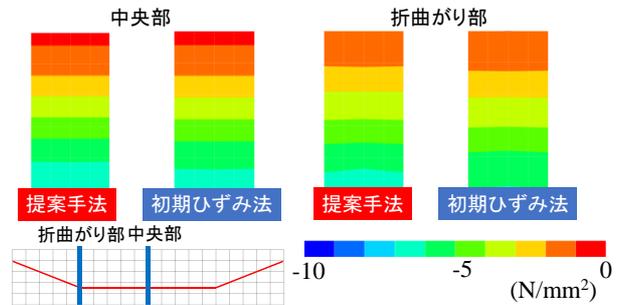


図-5 長手方向コンクリートにおける応力分布

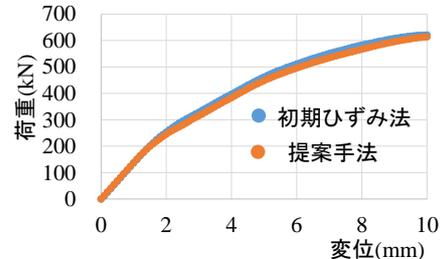


図-6 荷重変位関係

3.3 強制変位作用時での荷重変位関係の比較

図-6に強制変位を与えた位置での荷重変位曲線を示す。提案手法の計算結果は初期ひずみ法の計算結果に比べて、降伏点以降の荷重値が20kN程度小さくなっている。

4. まとめ

以上より、本研究の範囲では、初期ひずみ法と著者ら³⁾⁴⁾⁵⁾が提案した手法ではプレストレスト量は定着部を除き、同程度となることが確認された。緊張力導入後の耐荷力特性についても両手法の差は、ほとんどみられないことも確認された。今後は解析モデルと解析条件を変えて、同様な検討を行いたいと考えている。

謝辞： 本研究を進めるにあたり LECOM 研究会の方々から大変貴重な意見をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献：1) Bui Khac DIEP, Hidetaka UMEHARA and Tada-aki TANABE: Numerical Analysis of Externally Prestressed Concrete Beams Considering Friction at Deviators, J. Materials, Conc. Struct. Pavements, JSCE, No.718/V-57, 107-119, 2002 November, 2) 田辺忠顕：初期応力を考慮した PC 構造物の非線形解析とプログラム, 技報堂, 2004, 3) 松本ら：緊張力による摩擦を考慮した PC 構造物の耐荷力解析手法に関する基礎的研究, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp539-540, 2017.3.3, 4) 松本ら：PC ケーブルの摩擦を考慮した PC 構造物に対する FEM 解析手法の提案, 第 72 回年次学術講演概要集, pp655656, 2017.9.11-13, 5) 松本ら：緊張材の摩擦を考慮した PC 解析におけるセット量を含めた抜け出し量の計算方法の提案, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp519-520, 2017.3.3, 2, 6) (社)土木学会：「コンクリート標準示方書(設計編)」, 土木学会, 2007.