

V-387

複合非線形フレーム解析による外ケーブルPC梁の耐力解析

鹿島情報システム部 正員 沖見 芳秀
 鹿島技術研究所 正員 齋藤 宗
 鹿島情報システム部 正員 右近 八郎

1. はじめに

近年、外ケーブル形式PC梁が施工・補修の容易さ等から注目されている。本形式の梁は、通常のPC梁と異なりRC梁部分とPCケーブルに対し断面保持の仮定を適用することが出来ない為、道路橋示方書で示される破壊抵抗曲げモーメントによる終局耐力算定法を直ちに適用することが難しく、精度良く耐力を算定出来る手法が望まれている。そこで、本報では、荷重変位制御手法¹⁾(弧長増分法・外力仕事増分法)を用いた複合非線形(幾何学的非線形・材料非線形)フレーム解析手法を外ケーブルPC梁の耐力解析に適用し、比較的精度良く且つ安定して解析することが出来たので報告する。

2. 解析手法概要

Updated Lagrangian Formulation²⁾を用いた汎用フレーム解析で、逐次、部材座標系を更新することで変形による二次的影響(幾何学的非線形性)を評価する。また、各部材の材料非線形性は、部材断面をセル状に分割するファイバーモデル³⁾を用い、断面を構成するコンクリート・鉄筋等の応力-歪み関係で考慮する。

軟化や座屈に代表される強非線形問題では、収束安定性が問題となることが多く、与える荷重増分量あるいは変位増分量を適切に制御することが解を得る上で重要となる。そこで、本解析では以下に示す増分荷重と増分変位を同時に制御する荷重変位制御手法を用いた。

$$K\Delta u = \Delta\lambda \cdot R - F \quad (1)$$

$$f(\Delta\lambda, \Delta u, C) = 0 \quad (2)$$

ここで、 K は接線剛性、 Δu は増分変位、 $\Delta\lambda$ は増分荷重倍率、 R は荷重パターン、 F は部材内力、 C は増分の大きさをコントロールするパラメータ、 f は拘束条件式である。 Δu と $\Delta\lambda$ を未知数とし、拘束条件式(2)のもとで、ニュートンラプソン法を用い釣り合い式(1)を解く。各増分ステップでは、収束計算回数等からコントロールパラメータ C を変更し、増分量を自動的に制御する。拘束条件式(2)としては、 $(\Delta u, \Delta\lambda)$ ベクトルの大きさを規定する弧長増分法、増分ステップでの仕事量を規定する外力仕事増分法を適宜使い分けている。

3. 実験による検証

3.1 実験の概要

文献⁴⁾の一連の実験の内、外ケーブルにPC鋼より線を用いたケース(導入力10tf及び15tf)を検証に用いる。供試体は、スパン3.4m、モーメントスパン0.5m、デビエータ間隔0.7mのT型断面(桁高0.515m・フランジ幅0.4m・ウェブ幅0.135m)を標準断面とする梁で、コンクリート設計強度500kgf/cm²、主筋にSD295A(D10)、外ケーブルにSWPR7B(ϕ 15.2)を用いている。

3.2 解析モデル

図-1に示す様に、RC部材と外ケーブル部材をそれぞれビーム要素(37要素)とトラス要素(3要素)でモデル化する。ケーブル配置は、定着位置、デビエータ位置、それぞれとビーム軸位置を剛体要素で結び

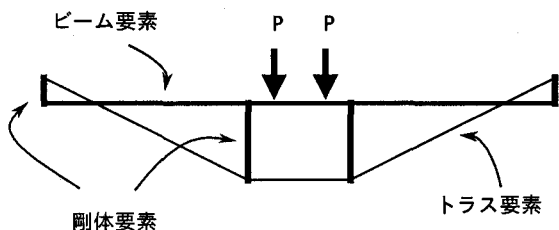


図-1 解析モデル

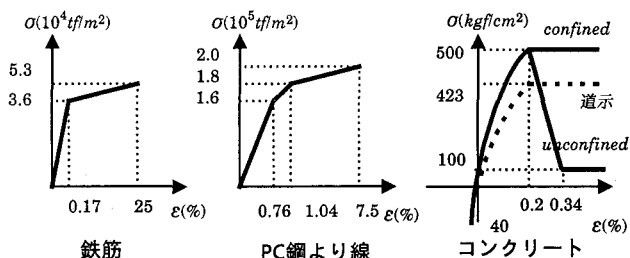


図-2 応力-歪み

考慮する。また、デビエータ位置での剛体要素とトラス要素の接合は、簡単な鉛直力のみ伝える剛バネとする。断面のモデル化は、コンクリートを57層に分割する他、軸方向鉄筋位置に鉄筋ファイバーを配する。図-2に解析に用いた応力-歪み曲線を示す。鉄筋、PC鋼より線の応力-歪み曲線は、ミルシートを参考に決定した。コンクリートの応力-歪み曲線は、モデル①;2000 μ までは2次曲線とし、以降、*confined*部分に対しては拘束効果を期待し強度を維持し、*unconfined*部分に対してはKent&Parkモデルを参考に軟化を考慮したモデルと、モデル②;道路橋示方書のコンクリートモデル(但し3500 μ 以降も強度を維持)の2通りとした。

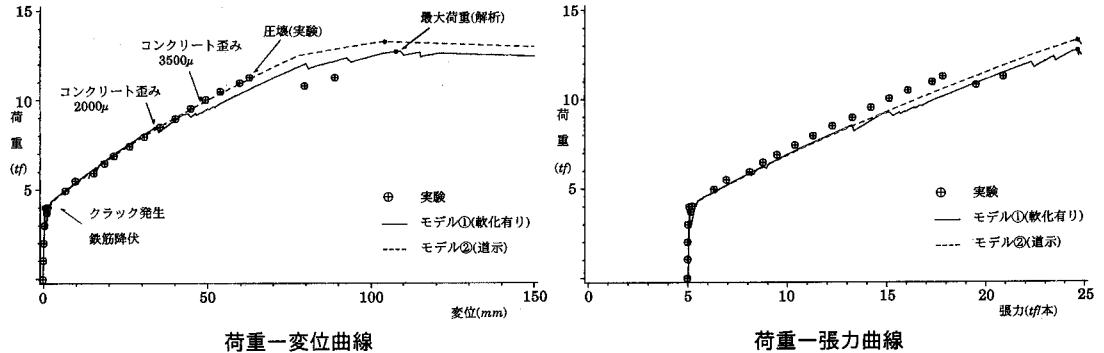


図-3 導入プレストレス10tfのケース

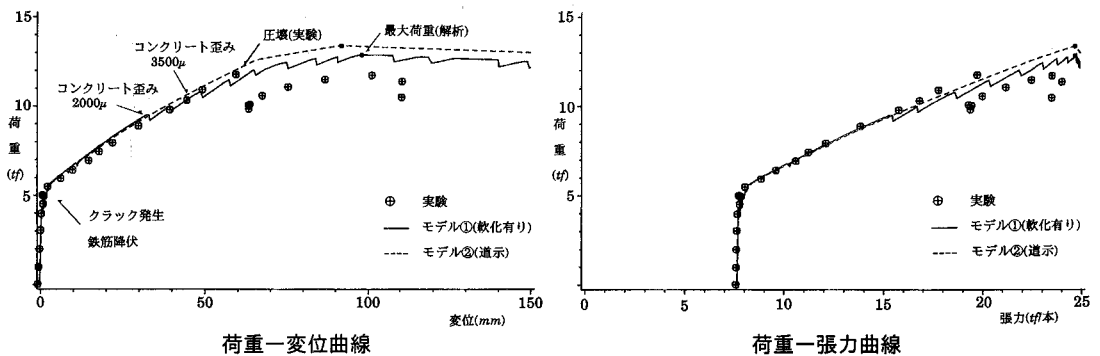


図-4 導入プレストレス15tfのケース

3.3 解析結果と実験結果の比較

図-3及び図-4に、実験結果と解析結果の比較を示す。実験では、クラック発生後、直ちに主鉄筋が降伏、その後、スパン中央付近でコンクリートが圧縮破壊し最大荷重を示した。解析結果に於ても、最大荷重点付近まではほぼ同様の過程となり、実験結果を良くシミュレートしているのが分かる。コンクリートモデルに着目すると、軟化を考慮したモデル①では、コンクリート歪み2000 μ 以降、各要素レベルで歪みの集中が生じ、局所的な軟化を繰り返して最大荷重点に至っている。モデル②では、コンクリート歪み3500 μ を破壊歪みとすると、実験の最大荷重値のほぼ9割の耐力となり若干安全側の耐力が得られる。

4. おわりに

本手法は、汎用的手法であり、外ケーブル連続梁・橋梁主塔・アーチ橋等の耐力解析や座屈を含む安定解析等、複合非線形を考慮すべき問題に幅広く適用可能な手法と考えられ、今後更に検討を進め、各種問題へ適用していく予定である。

参考文献

- 1) K.J.Bathe and E.N.Dvorkin, On the automatic solution of nonlinear finite element equations. Comput.Struct. 17, pp.817-879 (1983)
- 2) K.J.Bathe and S.Bolourichi, Large displacement analysis of three-dimensional beam structures. Int.J.Num.Meth.Engng. 14, pp.961-986 (1979)
- 3) Y.Yamada, H.Iemura, T.Matsumoto, D.Ristic and H.Ukon, Stress-strain based inelastic earthquake response analysis of reinforced concrete frame structures. IABSE, Delft, pp.599-608 (1987)
- 4) 齋藤、藤井、林、沖見、CFRPを用いた外ケーブル部材の曲げ性状について、土木学会第49回年次学術講演会、平成6年9月