乾燥収縮ひずみが梁の曲げ性状に与える影響に関する解析的研究

大阪市立大学大学院　正会員　○渡部嗣道
株式会社バウエンジニアリング　正会員　佐藤知明
ソフトエボリューション株式会社　正会員　冨田耕司

１．はじめに

著者らは、乾燥収縮ひずみが発生した場合のクリープ解析とひび割れ解析の弾塑性解析を行い、その状態のまま Pushover 解析を行う連成機能を有する 3 次元静的非線形有限要素法解析用ソフトウエア「Soft OCU」[1)]を開発した。本研究では、乾燥収縮ひずみが梁の曲げ性状に与える影響を評価するため、本ソフトを適用し、単純梁が乾燥収縮ひずみを受けた後に面外曲げ方向に Pushover 解析を行ったので、その結果を報告する。

２．解析計画

解析プロセスを図１に示す。長期性状評価のために乾燥収縮によるひび割れ発生における非線形解析を行い、続いて、各種応力およびひずみを残留した状態で Pushover による短期的評価のための非線形解析を行った。また、ひび割れ解析ではクリープひずみの発生も含めた逐次積分法(Step-by-step 法）を用い、Pushover 解析では変位増分解析を行った。

①乾燥収縮ひずみの発生
②長期性状評価のための非線形解析
逐次積分法（Step by step 法）によるひび割れ解析
（解析 step 毎に、弾性ひずみ・クリープひずみ
・塑性ひずみ（ひび割れひずみ）を算定）
③短期性状評価のための非線形解析
Pushover 解析（2 点載荷・変位増分解析）

図１　解析プロセス

コンクリート要素はソリッド要素で分散ひび割れモデルを用い、鉄筋要素には離散モデルを用いた。コンクリートの応力ひずみ関係は土木学会「コンクリート標準示方書（2012)」に準拠し、鉄筋はバイリニア型とした。鉄筋とコンクリートの節点間には、主鉄筋のみ軸方向に非線形バネ要素を設け、せん断補強筋は完全一体とした。非線形バネにおける付着応力すべり関係を図２に示す。付着応力すべり関係式は中村モデルを適用した[2)]。本解析では、長期的解析のみ付着クリープによる剛性低下が生じるものとし、付着クリープを簡易的に考慮するために同式よりも付着剛性を 0.75 低減した[3),4)]。そして、短期的解析には長期的解析によるすべりを残したまま同式の付着応力すべり関係に移行する構成則を用いた。

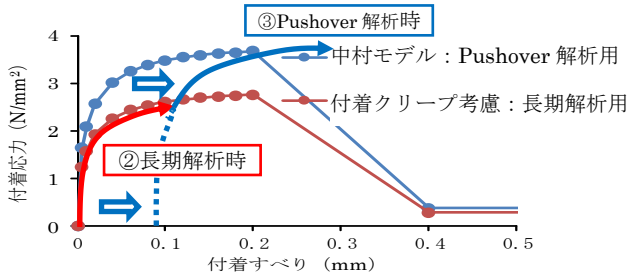

図２　付着応力すべり関係

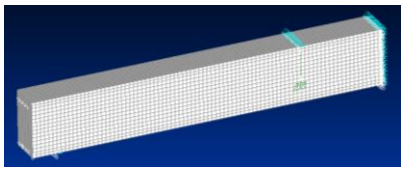

図３　コンクリートモデル

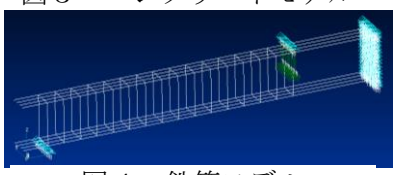

図４　鉄筋モデル

解析モデルを図３および図４に示す。解析モデルは単純梁のハーフモデルとし、Pushover は２点載荷とした。梁寸法は、幅 40cm・せい 60cm、支点間 800cm・せん断スパン 300cm とした。主筋は上端・下端とも 4 本の複筋とし、せん断補強筋はせん断スパン内にのみ配筋した。コンクリートの圧縮強度は 24N/mm²、弾性係数は土木学会「コンクリート標準示方書（2012)」に準拠した。また、本解析では、表１のように乾燥収縮量と鉄筋比を変化させた。

表１　解析条件

鉄筋径	鉄筋比（上・下）	鉄筋比（全体）	乾燥収縮	クリープ	付着クリープ
D16,D22,D29,D35 の４種	0.33～1.60% ※上下とも４本	0.66～3.19% ※全断面で８本	0,200,400,600 ×10⁻⁶ の４種	無・有	付着剛性の低減 0.75

３．解析結果

3.1 長期性状解析（乾燥収縮解析）

図５と図６に乾燥収縮終了時のコンクリート応力

キーワード　鉄筋コンクリート構造、ひび割れ、乾燥収縮、FEM、Pushover 解析
連絡先　〒558-8585　大阪市住吉区杉本 3-3-138　大阪市立大学生活科学部　ＴＥＬ06-6605-2874

と鉄筋応力を示す。コンクリートの引張応力は鉄筋比ならびに乾燥収縮ひずみが大きくなるほど大きくなった。一方、鉄筋の圧縮応力は乾燥収縮量が大きくなるほど大きくなるが、鉄筋比が大きくなるほど小さくなった。

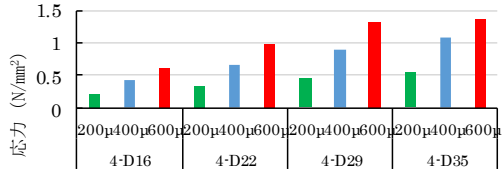

図５　乾燥収縮終了時コンクリート応力

3.2 短期性状解析（Pushover 解析）

Pushover 解析から得られた変形と塑性ひずみ（ひび割れひずみ）のコンター図の例（鉄筋 D35）を、40mm 強制変位時について図７に示す。この場合の鉄筋応力は降伏点到達時に近い状態となり、載荷点と中央境界との間に３本程度の大きなひび割れが生じ、これ以上の強制変位時にはひび割れ本数は変わらないままひび割れ幅が増大した。

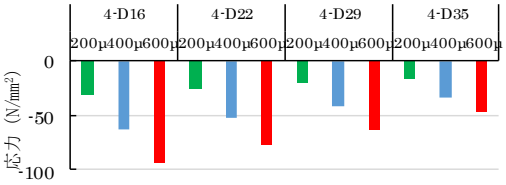

図６　乾燥収縮終了時の鉄筋応力

図８に曲率（載荷点と中央境界間）と曲げモーメントとの関係の例を示す。乾燥収縮量が増えるにつれ、曲げひび割れが生じる曲げモーメントの値は小さくなるとともに、 降伏点到達時（曲げモーメントが一定となる始点）の曲率は大きくなり、乾燥収縮によって降伏点までの曲げ剛性は小さくなる傾向を示した。一方、降伏点以降の変形における曲げモーメントの値は収縮量によってほとんど影響を受けない結果となった。

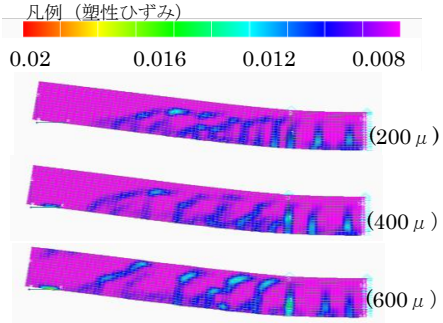

図７　Pushover 解析による変形（40mm 強制変位時）

図９に乾燥収縮が 400μ 生じるモデル（D16）について、下端主鉄筋応力と曲率との関係を示す。乾燥収縮のないモデルの鉄筋応力は原点から増加するが、乾燥収縮が生じるモデルでは圧縮応力から増加する。降伏点到達時の曲率が乾燥収縮によって大きな値に移行するのは、下端主鉄筋が圧縮状態から降伏点に達するまでの変形を多く要するためである。

図１０に、各鉄筋比における収縮量と下端鉄筋の降伏点到達時の曲率との関係を示す。収縮量が大きいほど降伏点到達の曲率が大きくなる傾向を示した。しかし、D35 の大きな鉄筋比の場合には収縮量が 600μ になると降伏点到達の曲率は低下する値を示した。これは、鉄筋比が大きくなると乾燥収縮に対する拘束力が大きくなり、ひび割れが生じて鉄筋に生じる潜在圧縮応力が低下するためである。

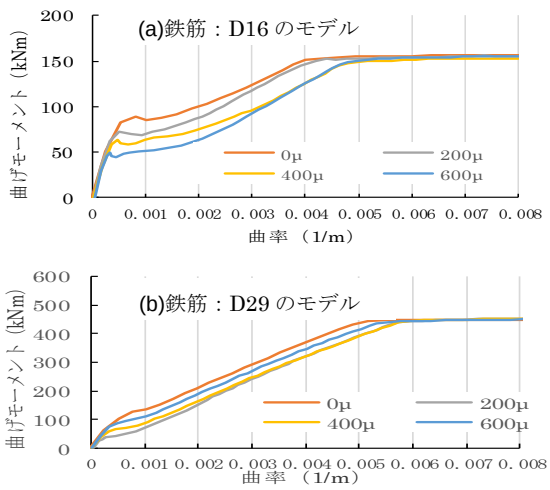

図８　曲率と曲げモーメント関係

４．まとめ

本解析的な研究により、乾燥収縮量の大きさによって降伏曲げ強度には差がないものの、曲げひび割れ強度や鉄筋の降伏点到達時の曲率に差が生じることを確認した。

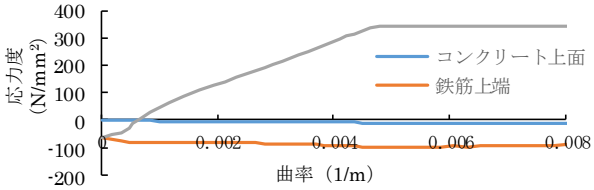

図９　曲率と各種応力関係

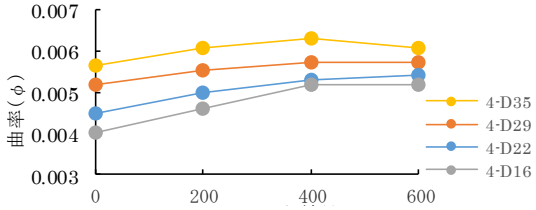

図１０　収縮量と降伏点到達時の曲率関係

参考文献

1)大阪市立大学・ソフトエボリューション社製「Soft OCU (FEM SOFTWARE ORIENTED TO CREEP AND ELASTO-PLASTIC ANALYSIS FOR ULTIMATE PROPERTIES OF CONCRETESTRUCTURES)」, 2015
2)澤部純浩・上田尚史・中村光・国枝稔：せん断補強筋に定着不良が生じたRCはりのせん断破壊挙動解析，土木学会論文集, Vol.62, No.2, pp.441-461, 2006.6
3)武田・高橋・小柳：RCスラブの長期たわみに関する研究（その６）、大林組技術研究所報、Vol27, pp.134-138, 1983
4)大野義照・李　振宝・鈴木計夫：持続荷重下における異形鉄筋とコンクリート間の付着応力～すべり関係，日本建築学会構造系論文報告集, No.459, pp.111-120, 1994