

# 鉄筋コンクリート部材の時間依存性変形に及ぼす乾燥収縮の影響

コンクリート研究室 阿部浩示郎

指導教員 准教授 下村 匠

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造物においては、鉄筋コンクリート部材の時間依存性変形の予測、ひび割れ発生およびひび割れ幅等を適切に予測することが重要であるが、RC 梁が持続荷重を受ける場合、コンクリートの時間依存性変形や鉄筋の影響が複雑に相互作用ため予測が困難である。特に、曲げひび割れ幅やたわみの把握するためには重要な要因であるため、これらを考慮した予測手法が求められる。

本研究では、RC 梁を用いた持続曲げ荷重試験を行い、時間依存性変形に及ぼす乾燥収縮の影響について検討し、複合構成モデルを用いた数値解析を行い、どのような点が再現可能で、どのような点が改善を要するか検討する。

## 2. 実験方法

本試験は、封緘養生および2面乾燥の供試体の持続曲げ荷重試験を行い、持続曲げ荷重および乾燥を受けるコンクリート供試体のたわみおよび曲率を検討する。図-1 に示す実験装置により、供試体に持続曲げ荷重を載荷する。荷重はおもり(鋼製プレート)を吊るすことにより調整し、図-2 に示す荷重パスに従って荷重を行った。供試体は、寸法を幅 50mm×高さ 100mm×長さ 2400mm で、D10 の異形鉄筋を1本配置した鉄筋コンクリートである。実験シリーズは、図-3 に示した。配合は、水セメント比が50%、設計基準強度( $f'_{ck}$ )を40N/mm<sup>2</sup>とした。供試体は材齢1日で脱型し、材齢28日までポリエチレン袋により封緘養生を行った。

持続荷重は、支間長2200mm、等曲げ区間を200mmとした2点集中荷重とし、等曲げ区間における供試体上下面のひずみの経時変化と中央点と荷重点のたわみの経時変化を測定した(図-1)。ひずみの測定には、ゲージ6cmのペーパーゲージを用い、測定位置は図-2に示す位置の上下面とした。また、試験はすべて、恒温恒湿室(温度20℃、相対湿度60%)で行っている。

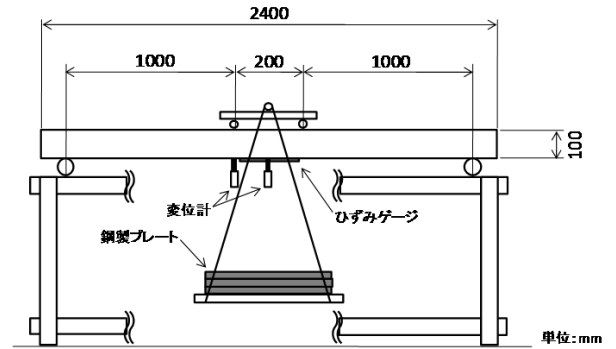


図-1 持続曲げ供試体および実験装置

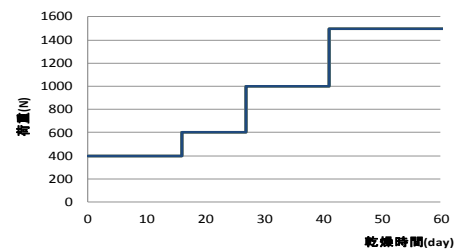


図-2 荷重パス

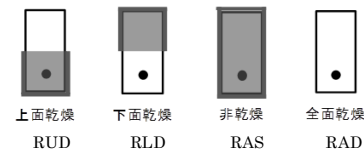


図-3 乾燥条件

## 3. 実験結果

全供試体の等曲げ区間の曲率の経時変化を図-4に、荷重(1500N)一定時のたわみの経時変化を図-5、曲率の経時変化における瞬間弾性変形量を図-6に、基本クリープが曲げ変形に及ぼす影響についてのRAS(非乾燥)のコンクリートのひずみの経時変化を図-7に示す。

曲げひび割れは、27日の荷重変更時(600N→1000N)に発生した。

曲げひび割れ発生前における荷重時の瞬間変形から、①ひび割れていないコンクリートの応力-ひずみ関係と②乾燥収縮による微細ひび割れによる引張剛性低下の成分の影響について検討する。

ひび割れ発生前の瞬間変形として、乾燥時間14日の荷重変更時(400N→600N)の曲率の変化に着目し、荷重変更時における瞬間的な曲率の変化量(図-6)から、引張側を乾燥したRAD(全面乾燥)供試体とRLD(下面乾燥)供試体は②乾燥収縮による微細ひび割れによ

る引張剛性低下のため瞬間変形量が大きいことがわかる。

曲げひび割れ発生後における荷重一定時の時間依存性変形は、②乾燥収縮による微細ひび割れによる引張剛性低下③乾燥収縮④基本クリープ⑥付着クリープの影響を受ける。このうち④と⑥はすべての供試体に影響するので、供試体間の比較により②と③の影響について検討する。

ひび割れ発生後の荷重一定時の時間依存性変形として、図-5のたわみの経時変化をみると、上面の乾燥収縮によるたわみの増加と下面の乾燥収縮による引張剛性低下の影響を受けるRAD(全面乾燥)の経時変化が最も大きいことが確認できる。上面の乾燥収縮のみの影響を受けるRUD(上面乾燥)と下面の乾燥収縮による引張剛性低下のみの影響を受けるRLD(下面乾燥)では、RUD(上面乾燥)のたわみの経時変化の方が大きい。ひび割れ後は引張力は主に鉄筋により受け持たれるため、乾燥収縮によるコンクリートの引張剛性の低下がたわみに与える影響が小さかったものと考えられる。

RAS(非乾燥)供試体の曲げひび割れ発生前における荷重一定時の時間依存性変形から、④基本クリープの影響について検討する。

RAS(非乾燥)供試体の乾燥時間が60日までのコンクリートひずみの経時変化を図-7に示す。

コンクリートひずみの経時変化をみると、基本クリープによるひずみの増加が確認できる。しかし、ひび割れ前は基本クリープによる増加量は、弾性変形に比べるときわめて小さいことが分かる。ただし、ひび割れ後の荷重1500N時には圧縮側のひずみが漸増しており、基本クリープの影響が認められる。

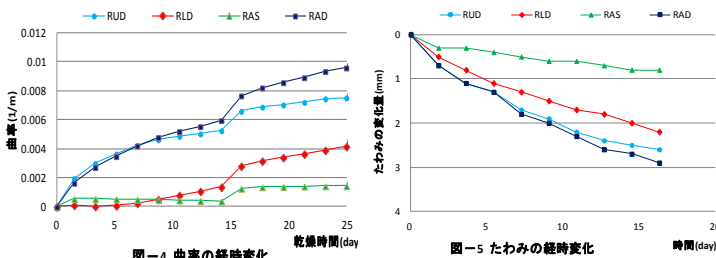


図-4 曲率の経時変化

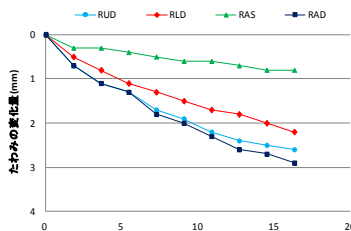


図-5 たわみの経時変化

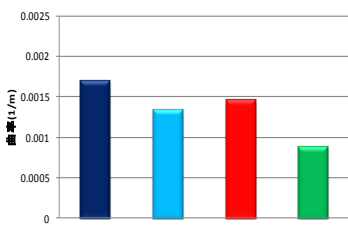


図-6 瞬間弾性変形量

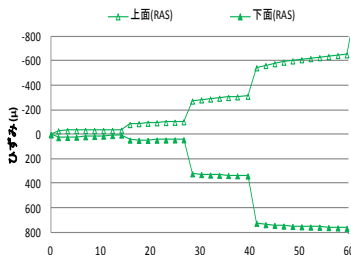


図-7 コンクリートひずみの経時変化

#### 4. 解析概要

図-8にモーメントを与えて曲率を求める計算フローを示す。この解析は、鉄筋コンクリートのモーメント-曲率関係を計算する解析である。鉄筋コンクリート棒部材の曲げ解析における計算仮定として、梁理論を用いており、荷重ゼロから終局時までの全段階を通じて平面保持が成立すると仮定していること、常に鉄筋とコンクリートが完全付着とし、鉄筋とコンクリートは、すべることなく一体となって変形し、両者の間で力が伝達されるとしている。そのため、実験値と比較する場合、ひび割れについては、現段階では考えていない。なお、曲げ変形に影響を及ぼす因子について、①弾性変形②乾燥による剛性低下③乾燥収縮④基本クリープ⑤ひび割れ後の引張剛性⑥付着クリープがあげられるが、現段階では、④,⑤,⑥については考慮していない。しかし、④について、本試験において無視できるとする。

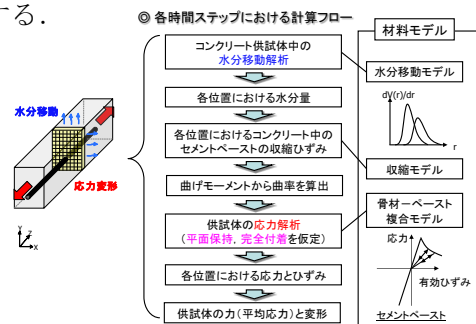


図-8 計算フロー

#### 5. 実験結果と解析結果

全供試体の等曲げ区間の曲率の経時変化(解析)を図-9に、全供試体の中央たわみの経時変化(解析)を図-10に示す。曲率の経時変化における瞬間弾性変形量(解析)を図-11に、荷重(1500N)一定時のたわみの経時変化(解析)を図-12,13に示す。実験と同様にひび割れ発生前の瞬間弾性変形として、乾燥時間14日の荷重変更時(400N→600N)における曲率の変化に着目する。荷重変更時における瞬間変形量(図-11)は、実験と同様に②乾燥収縮による微細ひび割れによる引張剛性低下の影響を受けるRAD(全面乾燥)供試体とRLD(下面乾燥)供試体が大きく、乾燥させないRAS供試体が最も小さい傾向が解析結果でも表現されている。

実験と同様に全供試体の中央たわみの経時変化(図-10)における、ひび割れ後の荷重(1500N)一定時のたわみの経時変化に着目した図-12,13をみると、圧縮側の乾燥収縮による曲率増加と引張側の乾燥収縮による引張剛性低下の双方の影響を受けるRAD(全面乾燥)の

経時変化が最も大きく、次いで圧縮側の乾燥収縮の影響のみを受ける RUD(上面乾燥), 引張側の乾燥収縮による剛性低下の影響のみを受ける RLD(下面乾燥), 乾燥収縮の影響を受けず基本クリープによるたわみの増大のみの RAS (非乾燥) の順となっている。解析結果でもこの順序が再現されている。しかし、たわみの変化量の絶対値は全体的に実験結果のほうが解析結果の10倍以上大きくなっている。これは、全供試体に共通して含まれている変形成分, ④基本クリープ⑥付着クリープのいずれかが解析で表現されていないことによるものと考えられる。本実験の条件の範囲内では基本クリープの影響は 大きくないことが確認されているので、ここでの不一致の原因は⑥の付着クリープ、すなわち持続荷重による鉄筋とコンクリート間の時間依存性すべり=テンションスティフニングの時間依性成分であると考えられる。

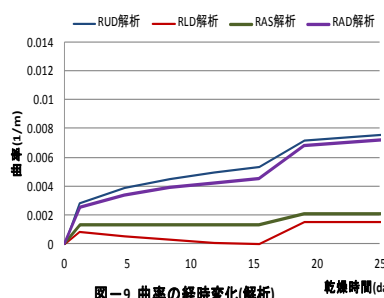


図-9 曲率の経時変化(解析)

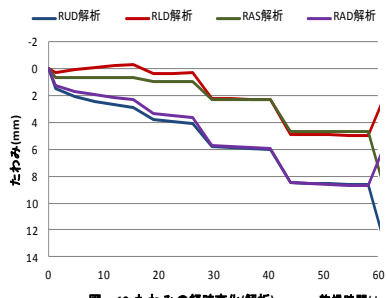


図-10 たわみの経時変化(解析)

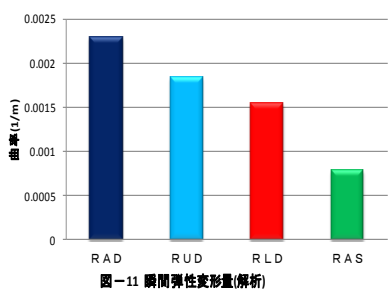


図-11 瞬間弾性変形量(解析)

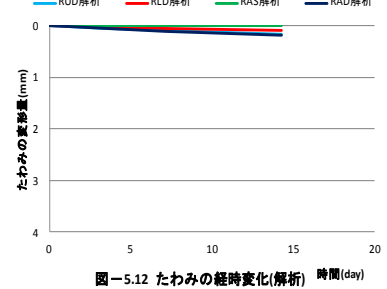


図-5.12 たわみの経時変化(解析)

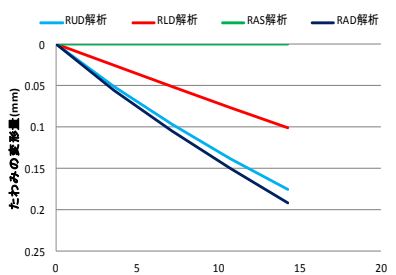


図-5.13 たわみの経時変化(解析)

## 6.まとめ

### (1)乾燥収縮の内部拘束による引張剛性の低下の影響

ひび割れ発生前, ひび割れ発生後ともに荷重増加時の瞬間変形は, 引張側を乾燥した供試体が, 乾燥させない供試体よりも大きかった。これは, ②乾燥収縮の内部拘束により下側の表面に生じた微細ひび割れによ

る引張剛性が低下したためと考えられる。解析でも, 引張側のコンクリートの乾燥収縮による微細ひび割れによる剛性低下により増大する傾向が表現できている。

### (2)基本クリープの影響

乾燥させない供試体の荷重一定時のコンクリートひび割れの経時変化をみると, 荷重増加時の瞬間変形に比べて小さく, 本実験の実験条件の範囲内ではコンクリートの基本クリープの影響が小さいことが確認できる。ただし, ひび割れ後の荷重が大きい段階では圧縮側の基本クリープが認められる。

### (3)圧縮側の乾燥収縮の影響

全面乾燥させた供試体は, 非乾燥部分を設けた供試体よりも荷重一定時の時間依存性変形が大きい。これは, 圧縮側の乾燥収縮による曲率増加と引張側の乾燥収縮の内部拘束による引張剛性の低下の双方の影響を受けるためであると考えられる。圧縮側の乾燥収縮のみの影響を受ける上面乾燥供試体の荷重一定時の時間依存性変形は, 引張側の乾燥収縮による引張剛性低下のみの影響を受ける下面乾燥供試体よりも大きい。鉄筋コンクリートでは, ひび割れ後は引張力は主に鉄筋により受け持たれるため, 乾燥収縮によるコンクリートの引張剛性の低下が部材全体の変形に与える影響が小さいためと考えられる。解析でも, 圧縮側の乾燥収縮によるたわみの増加と引張側の乾燥収縮による剛性低下の影響を定性的に表現することができた。

### (4)付着クリープ (テンションスティフニングの時間依存性成分) の影響

ひび割れ発生後の鉄筋コンクリートにおいて持続荷重時の時間依存性変形は, 短期では付着クリープすなわちテンションスティフニングの時間依存性成分の影響が大きく, 長期ではこれに基本クリープの影響が加わると考えられる。現段階の解析では, これらの影響が考慮されていないので, ひび割れ発生後の持続荷重時の時間依存性変形を過少に見積もることとなる。

## 参考文献

- (1)小幡浩之ら: 持続荷重および乾燥収縮を受けるコンクリート部材の応力解析に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 1999.3
- (2)高島 豊ら: 骨材-ペースト複合構成モデルによるコンクリート部材の時間依存性変形の解析, 長岡技術科学大学修士論文, 2001.3