

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

1. まえがき

薄肉のRC部材には無載荷状態の下でもひびわれの発生を見ることがあるが、その主原因は、周知の通り、軸方向鉄筋がコンクリートの乾燥収縮ひずみを拘束し、コンクリート断面に大きな引張応力を生じさせるためである。このようなRC部材中に生じる収縮応力は、コンクリートの配合、軸方向鉄筋量、部材形状あるいは環境条件など種々な要因に支配されるが、軸方向鉄筋の配筋状態もその重要な一因である。所で、この収縮応力の計算法としては、現在、Dischingerの微分方程式を展開した二、三の解法が用いられているが、いずれの解法にもまだ実際の現象とは相違する多くの仮定を含み、例えば、早期脱型後の部材中に生じる収縮応力などと正確に解析できるまでには至っていない。

本報告は、特に偏心配筋されたRC部材の乾燥収縮挙動を試的に求めた結果、ならびに力学モデルを用いた同挙動の一解析法とその解析結果について示すものである。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリートの配合および諸性質を表-1、-2に示す。乾燥収縮用の供試体は、 $10 \times 15 \times 60$ cmの短形部材で、軸方向鉄筋として、D13、D16およびD19(SD30)を用い、図-1に示すように偏心配筋した6種類のRC部材と標準用の無筋部材を各2本ずつ作製した。なお、打設上下方向の材料分離による収縮ひずみ差を除去するため、図示する方向に打設した。本報告の収縮ひずみは、部材上下面の中央に測長18 cm間隔の金具を埋設し、高感度型変位計(東京測器製 感度 $1/1000$ mm)でその間の変位を測定することにより求めた平均ひずみである。

作製した部材を1週間水中養生した後、恒温室内(温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 70%前後)に移し、130日間収縮ひずみを測定した。更に、材令137日でひびわれ発生の有無を肉眼観察した後、収縮ひずみの発現状況を調べるため、曲げ試験を行った。また、収縮ひずみの解析に必要なクリープ試験も 10×20 cmの円柱供試体を用いて同時に行った。

3. 実験結果および考察

実測した収縮ひずみ-時間曲線の一部を図-2、-3、-4に示す。図中の実線は無筋部材の収縮ひずみ曲線と、破線は部材上縁、一点鎖線は部材下縁(鉄筋側)のひずみ曲線である。なお、無筋部材の収縮ひずみ曲線が90日以降僅かに上昇傾向を呈しているのは、恒温室内の湿度低下に起因するものである。図のように部材上下縁にひずみ差が生じた原因は、配筋の関係上、コンクリート断面に偏心引張力が作用したためである。また、いずれの部材でも60日以降、上下縁のひずみ差が拡大し、特に偏心配筋の大きな2D19部材において、下縁のひずみが急激に伸び方向に移行しているが、これは収縮ひびわれの発生による結果である。所で、収縮ひびわれは2D19および2D16部材の1本に100日前後から観察されたが、その後、曲げ試験前の詳細な観察の結果、D13、D16、およびD19部材以外の全ての部材中央下縁に発生していることが確認された。このことは、図-5に示す曲げ試験時の部材中央下縁における荷重-ひずみ曲線の傾きからも明白である。図-5からひびわれ発生を確認できなかったD13、D16およびD19部材に対する部材中央下縁の収縮ひずみ度を概算すると、その値はD13で 19 kg/cm^2 、D16で 27 kg/cm^2 、D19で 31 kg/cm^2 程度であると推定できる。(注)材令137日のコンクリートの曲げ強度 $\sigma_b = 50.0 \text{ kg/cm}^2$)

表-1 コンクリートの示方配合

W/C %	S/a %	A/r %	単位量 kg/m^3				AE判 cc/g
			W	C	S	G	
52	42	3±0.5	190	365	716	1054	128

表-2 コンクリートの諸性質

材令 日	圧縮強度 kg/cm^2	引張強度 kg/cm^2	弾性係数 $\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
7	222	25.0	25.7
28	327	32.3	28.2
137	375	29.3	28.7

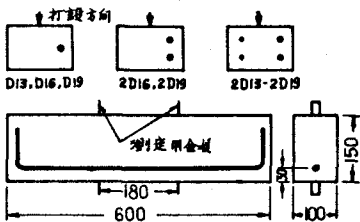


図-1 乾燥収縮用RC部材の形状

4. 力学モデルによる収縮挙動の解析と実験結果との比較

図-6 に示す力平緩化回転モデルを用いることにより、RC部材の種々な時期依存現象の解析ができることとこれまでも報告したが、乾燥収縮は、セメントペースト中のゲル水放出による吸引力(表面張力)に起因する現象であり、コンクリート体内に生じる内力によるものである。このため、偏心配筋部材の解析を、直接、力平緩化回転モデルで求め得ないため、本報告では、無筋およびコンクリートと鉄筋との図心が一致するRC部材のモデル解析から、有効係数法の考えを導入し、ひびわれ発生前の部材中で生じる収縮挙動を解析した。

図-7、-8、-9 に前記の実験結果に対する収縮ひずみ-時間曲線の解析結果を示す。図のように測定日数60日程度までの解析曲線と実験のそれとはほぼ一致している。ただし、60日以後の曲線形状の相違は、当然、収縮ひびわれの発生によるものであるが、測定期間中ひびわれが生じなかったD19部材に対しても、モデル解析による部材下縁の引張応力が60日で 29 kg/cm^2 に達していることから判断して、実験曲線の場合、コンクリートの引張塑性域の影響が、その後顕著に現れたことによるものと考えられる。

表-3 は測定期間中にひびわれが生じなかった部材の収縮応力度の推定値と解析値との比較を示したものである。前記の収縮ひずみ曲線の形状と同様、収縮応力度に関してもほぼ一致しており、ひびわれが生じないRC部材の乾燥収縮挙動の解析に、本解析法が通用

できることを立証し得たものと考えられる。今後は、更に種々な実験値との比較検討を行うとともに、モデル解析の結果を用いて、実際の設計計算に使用できる図表あるいは簡易式を求めることが課題である。

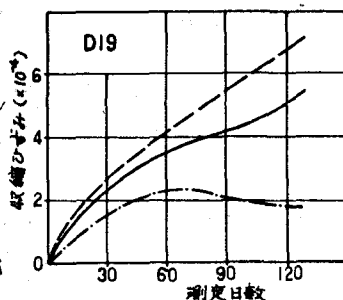


図-2 収縮ひずみ-時間曲線

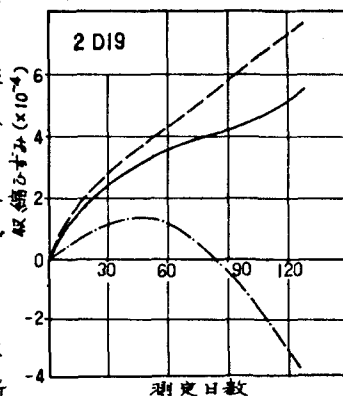


図-3 収縮ひずみ-時間曲線

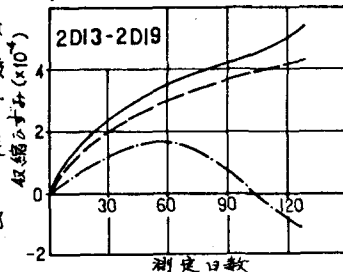


図-4 収縮ひずみ-時間曲線

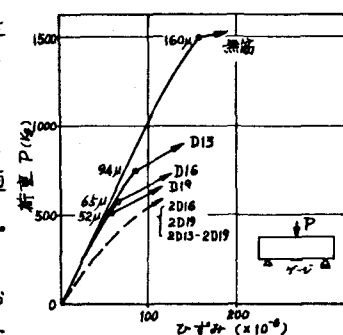


図-5 曲げ試験時の荷重-ひずみ曲線

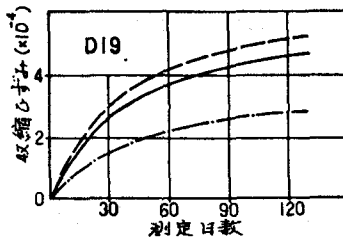


図-7 解析ひずみ-時間曲線

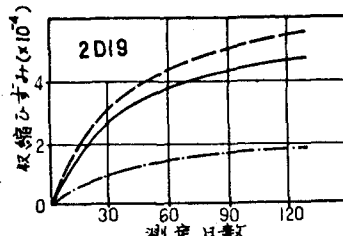


図-8 解析ひずみ-時間曲線

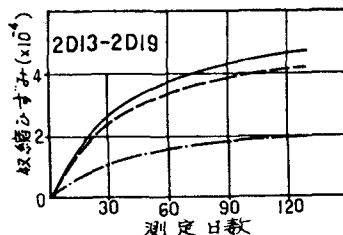
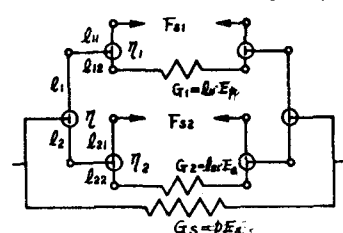


図-9 解析ひずみ-時間曲線



注) $l_1 = 0.508 + 0.334 \cdot W/C$, $l_2 = 1 - l_1$
 $E_p = 10^4 / (-0.126 + 1.60 \cdot W/C)$
 $E_a = 10^4 / (0.099 + 0.247 \cdot W/C)$
 $E_s = 2.1 \times 10^4$
 $l_{1u} = (-0.126 + 1.60 \cdot W/C) \cdot T \cdot l_1 / \{(-3.22 + 8.48 \cdot W/C) + (-0.126 + 1.60 \cdot W/C) \cdot T\}$
 $l_{2s} = (0.099 + 0.247 \cdot W/C) \cdot T \cdot l_1 / \{(-0.257 + 0.744 \cdot W/C) + (0.099 + 0.247 \cdot W/C) \cdot T\}$
 $\eta = 60 \cdot \sqrt{E_p}$, $\eta_1 = 10 \cdot \sqrt{E_p}$, $\eta_2 = 20 \cdot \sqrt{E_p}$
 $F_{s1} = 600 \cdot l_{12} (1 - e^{-0.02 t})$
 $F_{s2} = 300 \cdot l_{22} (1 - e^{-0.02 t})$

図-6 力平緩化回転モデル

表-3 130日後の収縮応力度 (kg/cm^2)

部材名	D13	D16	D19
推定値	19	27	31
解析値	20	28	36