

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

九州工業大学 正員 渡辺 明

1. まえがき

RC部材の時間依存変形(乾燥収縮, クリープ)に対する解析法としては, Dischinger の微分方程式に軸方向鉄筋の拘束効果を考慮した Trost のレラクセーション法や単にクリープ変形を弾性変形に加算して計算する有効係数法などが用いられている。だが, これらの計算法は実際の部材内部で生じる現象とは相違する仮定を多く含むため, 特に初期材令時の収縮応力や非対称RC部材などの解析には不適當であるように思われる。

本研究は既報の応力平衡化回転モデルに乾燥に伴って生じるコンクリート内部のサクションを考慮した解析法を示すと共に, 同解析法の妥当性をRC柱で検討した結果について報告する。

2. 応力平衡化回転モデル

図-2に示す応力平衡化回転モデルは, コンクリートをセメントペースト部と骨材部とからなる二相材料に分けてモデル化したもので, コンクリートの乾燥に伴うサクションをモデル中で力 F_{s1} , F_{s2} と仮定している。なお, 本研究では, $F_{s1} = \beta(1 - e^{\alpha t})$, $F_{s2} = \gamma(1 - e^{\alpha t})$ と仮定したが, これはコンクリートの乾燥に伴い, 大気中の相対湿度とコンクリート体内のそれとが平衡状態に達したとき, 各構成材料に一定のサクションが生じると考えたためである。ここに, 係数 α は主にコンクリート部材の形状やそれが設置される環境条件に, また, 係数 β と γ はそれぞれペースト部と骨材部とに作用する最終サクションを表わし, 水セメント比と大気中の相対湿度に関連して定まるものと考えられる。

図-1に示す非対称RC部材に偏心軸圧縮荷重 P が作用したとき, 部材の内部応力度と図-2に示すモデルとの関係を以下に示す。

$$\sigma_c = P\{1/A_i + (x-a)x/I_i\}, \quad \sigma'_c = P\{1/A_i + (x-a)(x-r)/I_i\}$$

$$\sigma = P\{1/A_i + (x-a)(x-r/2)/I_i\} = P W_1$$

$$\sigma'_s = nP\{1/A_i + (x-a)(x-d)/I_i\} = nP W_2$$

$$\sigma_s = nP\{1/A_i + (x-a)(x-d)/I_i\} = nP W_3$$

$$F = F_c + F_s = \sigma + \sigma'_s p + \sigma_s p = P/A_c$$

$$G_s = (W_2 p + W_3 p) E_s / W_1$$

いま, 任意時間 t 後のバネ G_s に作用する力 F_s の大きさは

$$F_s = R_1 e^{\varphi_1 t} + R_2 e^{\varphi_2 t} + R_3 e^{\alpha t} + R_4$$

となる。ここに, $R_1, R_2, \varphi_1, \varphi_2$ は境界条件から定まる定数である。数値計算はモデル中の要素値が図-2の注のように, コンクリートの硬化過程で変化するため, 時間間隔を区切り, 繰返し計算を行って求めた。

3. 実験概要 および結果

力学モデル解析の妥当性も検討するため, 軸方向鉄筋量の異なるRC柱を用い, クリープと乾燥収縮に関する基礎実験を行った。使用材料は, 普通ポルトランドセメント(比重: 3.18), 細骨材(比重: 2.57, 吸水率: 1.22, 粗粒率: 3.40), 粗骨材(比重: 2.73, 吸水率: 0.75, 粗粒率: 6.67)を, コンクリートの配合は $W = 190 \text{ Kg/m}^3$, $W/C = 0.52$, $S/a = 0.42$ である。

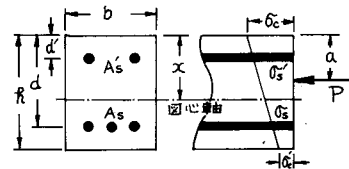
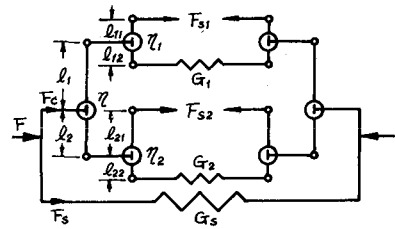


図-1 非対称RC部材



- 注) $l_1 = V_a = 0.684$, $l_2 = V_{cp} = 0.316$
 $l_{11} = 0.594 \cdot l_2 \cdot T / (3.63 + 0.594 T)$
 $l_{21} = 0.220 \cdot l_1 \cdot T / (0.170 + 0.220 T)$
 $l_{12} = l_2 - l_{11}$, $l_{22} = l_1 - l_{21}$
 $G_1 = l_{11} E_{cp} = l_{11} \cdot 1.68 \times 10^5$
 $G_2 = l_{21} E_a = l_{21} \cdot 4.55 \times 10^5$
 $\eta = 0.10 E_{cp}$, $\eta_1 = 0.05 E_{cp}$, $\eta_2 = 0.20 E_{cp}$
 $\alpha = -0.2$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 1.0$

図-2 応力平衡化回転モデル

同配合のコンクリートおよびセメントペーストの材令28日における圧縮強度と静弾性係数は、 $\sigma_c = 281 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $E_c = 3.15 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $\sigma_{cp} = 301 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $E_{cp} = 1.22 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ であった。

実験は鉄筋比の相違する4種類の供試体を用い、材令1日からの乾燥収縮測定と材令21日からのクリープ測定を行った。両測定とも恒温室内で行ったので温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ とほぼ安定していたが、湿度は季節の影響を受け $50 \sim 80\%$ の範囲で変化した。ひずみ測定は測長 100 mm のコンタクトゲージを用い、クリープ試験は油圧式の載荷装置で各供試体に 20 t の一定荷重を導入した。

図-3に実測乾燥収縮曲線を、図-5に実測クリープ係数曲線を示す。図示するように両曲線とも軸方向鉄筋量の増加に伴い、ひずみ値、あるいは係数値の低下傾向が見られる。なお、測定開始70日前後から両曲線とも増大傾向を示しているが、これは実験室内の湿度低下に起因したものと考える。

4. 実測値と理論値との比較

解析に用いた粘性係数 η 、 η_1 、 η_2 およびサクシオン F_{s1} 、 F_{s2} の係数 α 、 β 、 γ の値は本実験の無筋供試体の測定値や他の実験結果も基に推定した。図-4に材令1日からの理論乾燥収縮曲線を、表-1に経過日数64日目の実測値と理論値との比較を示す。前記のように、実験室内の湿度変化のため、実測曲線と理論曲線とも直接比較し得ないが、表-1に示すように、理論値の軸方向鉄筋による乾燥収縮の拘束効果割合は実測値のそれとほぼ一致している。ただし、理論値の方が拘束効果割合を幾分過大評価しているが、これは次に述べるクリープの過小評価に起因したものと考える。

図-6に材令21日からの理論クリープ係数曲線と、表-2に経過日数64日目の実測値と理論値との比較を示す。図-5、6あるいは表-2に見られるように、理論値は明らかにクリープを過小評価している。これは粘性係数値の推定に多少問題があったものと考えられる。

5. おわりに

RとC柱の乾燥収縮とクリープに関する実験、ならびに力学モデルによる同現象の解析法について記したが、以上のように、モデル解析法の妥当性を一部立証し得たものと考えられる。

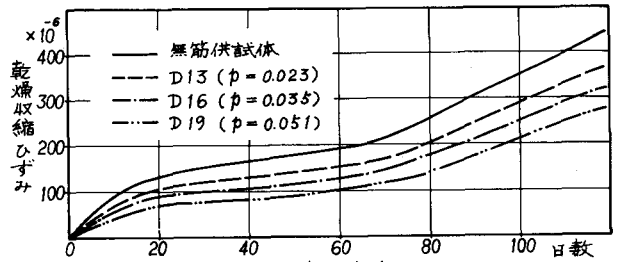


図-3 実測乾燥収縮-時間曲線

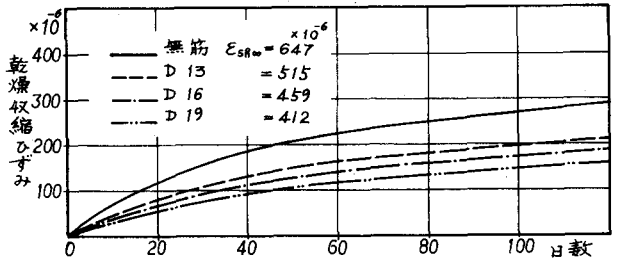


図-4 理論乾燥収縮-時間曲線

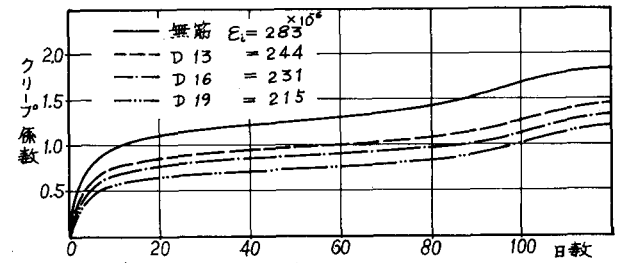


図-5 実測クリープ係数-時間曲線

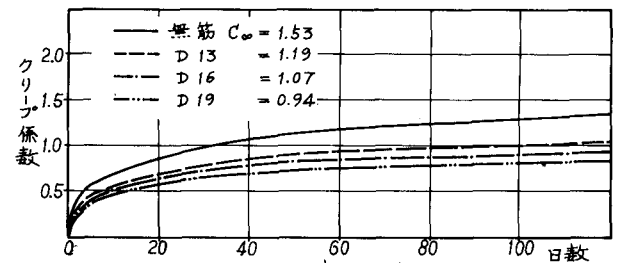


図-6 理論クリープ係数-時間曲線

表-1 乾燥収縮ひずみの比較

	無筋	D 13	D 16	D 19
実測値	196 ^{10^-6} (1.00)	158 (0.81)	130 (0.66)	108 (0.55)
理論値	229 (1.00)	167 (0.73)	144 (0.63)	123 (0.54)

表-2 クリープ係数の比較

	無筋	D 13	D 16	D 19
実測値	1.37 (1.00)	1.04 (0.76)	0.95 (0.69)	0.80 (0.58)
理論値	1.22 (1.00)	0.95 (0.78)	0.86 (0.70)	0.76 (0.62)