

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

鋼材とは異なり、コンクリートは低応力状態においても大きな時間依存変形を生じる非弾性材料であり、しかも、その特性値が使用材料・配合だけでなく、時間的あるいは環境的要因にも支配される特異な材料である。このようなコンクリートと鋼材とを複合化したRC部材やPC部材の設計・施工に際しては、特にコンクリートの時間依存特性が部材あるいは構造物全体に及ぼす影響を十分に考慮すべきである。近年、建設工事の省力化を目的とした構造部材のプレキャスト化が進むなかで、コンクリート部材はより薄肉の細長い部材として用いられることも多く、特にこのような部材では、時間依存変形によるそりやたわみの影響が使用上だけでなく、施工上あるいは部材耐力上の点からも重要な問題となってきた。

本報告はコンクリート構造部材の時間依存現象を解析する新しい方法“応力平衡化回転モデルを用いたRC部材のクリープ解析法”を示すと共に、同解析の結果と従来の解析法によるそれとを比較、検討するものである。

2. 応力平衡化回転モデルと数値計算法

図-1に示す応力平衡化回転モデルはクリープひずみの主要成分である遅延弾性ひずみと粘性流動とを表示でき、しかも、従来の力学モデルとは異なり、そのモデル要素値をコンクリート構成素材の特性値と直接関連させることができるため、RC部材やPC部材のクリープ解析法としても簡単に応用できる有利性がある。ただし、同モデルは軸方向のひずみ-時間変化しか表示し得ないため、図-2に示すようなひずみ勾配を生じる一般的なRC部材のクリープ解析に同モデルを応用するためには、軸方向鉄筋をコンクリート絶断面の図心軸に対して等値な弾性バネ(バネ常数 G_s)に置き換えて解析しなければならない。

ここに、軸方向鉄筋を表わすバネ常数 G_s は次式で与えられる。

$$G_s = (W_1 A_s + W_2 A_s') E_s / W_1 A_c$$

$$W_1 = \{1/A_c + (x-a)(x-r/2)/I_c\}, W_2 = \{1/A_c + (x-a)(x-r+d)/I_c\}$$

$$W_3 = \{1/A_c + (x-a)(x-d)/I_c\}$$

A_c : 換算断面積 I_c : 換算断面二次モーメント

同モデルに一定外力 F を持続したとき、任意時間 t 後の軸方向鉄筋を表わすバネ G_s に作用する力 F_s は

$$F_s = F - \alpha e^{-\eta_1 t} - \beta e^{-\eta_2 t}$$

となり、また、コンクリート絶断面の図心軸位置における部材軸ひずみ δ は $\delta = F_s / G_s$ から求められる。

ところで、コンクリートの変形特性値はセメントペーストの水和過程で時間的に変化するため、上記の解析の場合も、その要素値が時間の関数であるとして解析すべきであったが、モデル解析に直接その関係式を導入して解析することは困難であるため、実際の数値計算では、時間間隔を区切り、各区間の中点における要素値がその区間内で一定であるとして繰返し計算を行った。なお、モデル解析に用いた要素値を図-1の注)に示す。

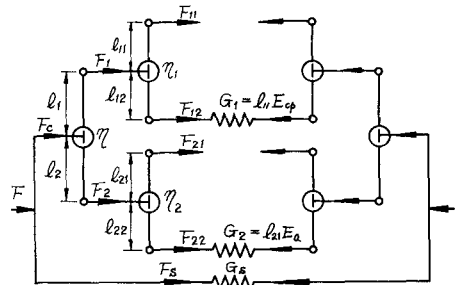


図-1 応力平衡化回転モデル

注)

$$l_1 = \text{骨材の容積割合} \quad l_2 = \text{セメントペーストの容積割合}$$

$$l_2 = l_{11} + l_{12} \quad , \quad l_1 = l_{21} + l_{22}$$

$$l_{11} = (0.129 + 0.741 \times W/C) T \cdot l_2 / \{(-5.47 + 14.5 \times W/C) + (0.129 + 0.741 \times W/C) T\}$$

$$l_{21} = (0.133 + 0.130 \times W/C) T \cdot l_1 / \{(-0.312 + 1.10 \times W/C) + (0.133 + 0.130 \times W/C) T\}$$

$$E_{cp} = 10^5 / (0.129 + 0.741 \times W/C), \quad E_s = 10^5 / (0.133 + 0.130 \times W/C)$$

$$\eta = 1.0 G_1 \quad \eta_1 = 0.2 G_1 \quad \eta_2 = 10.0 G_1$$

$$l_{11}, l_{21} : W/C = 0.4 \sim 0.6 \text{ のコンクリートおよびセメントペーストの実験動弾性係数から求めた有効容積割合}$$

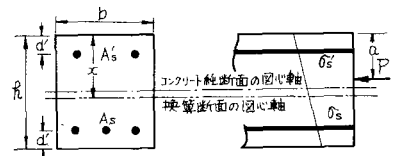


図-2 RC部材の断面

3. 対称および非対称RC部材の解析例

図-3は対称RC部材に中心軸方向荷重が作用したときの終局時における部材軸ひずみと鉄筋比との関係を示したものである。図示するように部材軸ひずみは鉄筋比の増加に伴ってほぼ対数的に減少し、その傾向は含混合のコンクリートを用いた部材ほど顕著である。図-4、-5は非対称RC部材($\eta=b=10$, $d'=1$)に偏軸荷重($P=5500$, $Q=3.5$)が作用したときの各経過日数後における軸方向鉄筋の応力状態および換算断面の図心軸位置を示したものである。図のように非対称RC部材の場合、コンクリートのクリープにより換算断面の図心軸位置が経過日数に伴って鉄筋量の多い側へ移行するため、応力分布状態も変にし、載荷直後の応力状態と終局時のそれとは大幅な差異を生じる。

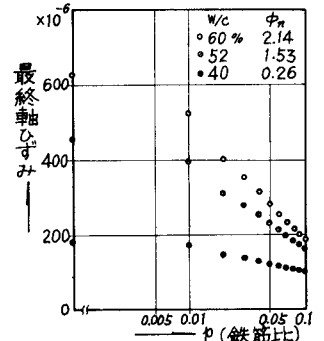


図-3 対称RC部材の解析例

なお、本解析例では部材のヤリによる付加モーメントの影響を無視したが、細長いRC部材に軸方向荷重が作用する場合には、部材のヤリによる影響も当然考慮すべきである。

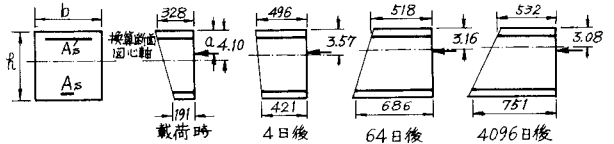


図-4 非対称RC部材の解析例 ($p_1=0.005$ $p_2=0.05$)

4. 従来の解析法との比較 検討

RC部材のクリープ解析法としてはDucklingerの微分方程式を発展させたTroostのリラクセーション係数法、あるいは簡単な有効弾性係数法などが用いら

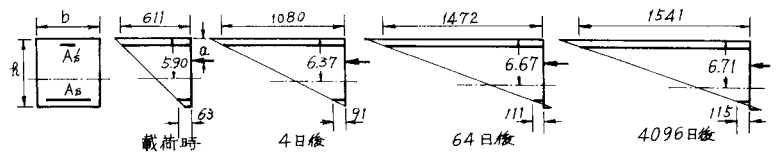


図-5 非対称RC部材の解析例 ($p_1=0.05$ $p_2=0.005$)

れている。表-1、-2、-3に筆者らのモデル解析結果とリラクセーション係数法による結果とを対比して示す。なお、リラクセーション係数 ρ としては $\rho=0.5$ と 0.8 を用いた。

表-1に示す対称RC部材に中心軸方向荷重が作用した場合は両者の解析差が10%以下であり、リラクセーション係数法でも十分満足できるものと考えられる。だが、表-2、-3に示すような非対称RC部材のときは、前記のように換算断面の図心軸位置

表-1 クリープによる鉄筋の応力度増分 ($W/C=0.60$ $T=5$ 日 $n=7.61$ $\phi_n=2.14$)

鉄筋比 p	モデル解析 (a)	リラクセーション係数法		(a')/(b')
		(b) $\rho=0.5$	$\rho=0.8$	
0.01	713 kg/cm ²	719	690	0.99
0.03	490	523	476	0.94
0.05	364	394	347	0.93
0.07	282	308	265	0.91
0.09	225	249	210	0.91

自体が時間的に変化するため、リラクセーション係数法では解析できない。

表-2 クリープによる鉄筋の応力度増分 ($W/C=0.52$ $T=5$ 日 $n=6.91$ $\phi_n=1.53$ $p_1=0.005$ $p_2=0.05$)

上縁から荷重点までの距離 a	正 鉄 筋 (p_1)				負 鉄 筋 (p_2)			
	モデル解析 (a)	リラクセーション係数法		(a')/(b')	モデル解析 (a')	リラクセーション係数法		(a')/(b')
		(b) $\rho=0.5$	$\rho=0.8$			(b) $\rho=0.5$	$\rho=0.8$	
3.5	560 kg/cm ²	311	307	1.80	204	190	167	1.07
4.0	671	400	393	1.68	179	179	160	1.00
4.5	770	489	479	1.57	155	168	153	0.92
5.0	850	578	565	1.47	129	157	146	0.82

5. あとがき

本解析法はモデル要素値の推定、あるいは乾燥収縮の解析法などにまだ多くの問題点を残しているが、今後、実験結果との対比からこれらの問題点を解決することにより、コンクリート部材のクリープ解析法として有効に用いることができるものと考えている。

表-3 クリープによる鉄筋の応力度増分 ($W/C=0.52$ $T=5$ 日 $n=6.91$ $\phi_n=1.53$ $p_1=0.05$ $p_2=0.005$)

上縁から荷重点までの距離 a	正 鉄 筋 (p_1)				負 鉄 筋 (p_2)			
	モデル解析 (a)	リラクセーション係数法		(a')/(b')	モデル解析 (a')	リラクセーション係数法		(a')/(b')
		(b) $\rho=0.5$	$\rho=0.8$			(b) $\rho=0.5$	$\rho=0.8$	
3.5	52 kg/cm ²	40	36	1.30	930	836	814	1.12
4.0	77	61	53	1.27	937	741	722	1.26
4.5	103	81	71	1.27	908	646	629	1.41
5.0	129	102	88	1.27	850	551	537	1.54