

まえがき

鋼材とは異なり、コンクリートは応力状態においても大きな時間依存変形を生じる、いわゆる非弾性材料である。その変形成分は主にコンクリートが変形特性の相違する数種の材料から成る粒状複合体であること、結合材としてのセメントペーストが水和過程でその変形特性に変化を生じる多孔体であることなどによるものである。しかも、コンクリートはその特性が使用材料、配合などの要因だけでなく、施工場所の環境条件によっても相違するため、コンクリート部材の設計に対しても、その特性値を一義的に定め得ない特異な材料である。このような特性値の定まらないコンクリートと許容値以下ではほぼ弾性体で、材質の安定した鋼材とを複合化したRC部材やPC部材の設計の際には、特にコンクリートの変形性状が部材全体に及ぼす影響を考慮すべきである。

コンクリート部材の時間依存変形に関する解析はこれまでも数多くの解析手法が提案されてきたが、その大半はDüsterkerの微分方程式を展開したもので、現行のPC指針に示されている有効プレストレス算定式もその一例である。だが、これらの解析法は微分方程式の展開の際に実際のコンクリートの変形特性とは多少相違する仮定を用いるため、部材内部における時間依存性の現象を完全に解析し得ないし、また実際の数値計算においても、部材に作用する荷重が変化するときには、その時の特性値が必要であり面倒な計算を要する。

ここに提案するクリープ解析法は、従来のそれとは異なり、既に報告したプレーンコンクリートのクリープ解析に用いた力学モデル(応力平衡化回転モデル)をRC部材やPC部材に応用したもので、今後モデル要素値に対する十分な検討を行えば、前記のような解析過程での問題点を生じない。本報告は特に軸方向鉄筋を有するコンクリート部材の変形性状および鉄筋応力度などの解析法について示すと共に、解析例について簡単な考察を行なう。

応力平衡化回転モデルとそのモデル要素値

図-1に示す応力平衡化回転モデルはコンクリートの遅延弾性変形を解析する目的で考案した力学モデルであり、図中に示す要素値を用いれば二相材料内部で生じる時間依存性のひずみ変化を表示できる。だが、若乾冷時におけるコンクリートのクリープはその大半が非可逆変形成分であるため、クリープ全体を解析するモデルとしては図-2のような力学モデルに改良しなければならない。

軸方向鉄筋を有するコンクリート部材のクリープ解析は、図示するような軸方向鉄筋を表わすスプリング(G_s)を、さらにPC部材の場合には、Pと鋼材を表わすスプリング(G_p)をそのモデルに加えればよい。ただし、バネ常数(G_s, G_p)は部材および軸方向鉄筋が対称で軸方向荷重(N)あるいはプレストレス(P_x)が部材の図心軸に作用するときは、コンクリート、軸方向鉄筋およびPと鋼材のひずみ変化が等しく、下式で表わすことができる。

$$G_s = E_s A_s / A_c = Z_1 E_s \quad G_p = E_p A_p / A_c = Z_2 E_p$$

ここに、 A_c, A_s, A_p ; コンクリート、軸方向鉄筋およびPと鋼材の断面積。 E_s, E_p ; 軸方向鉄筋とPと鋼材の弾性係数。

だが、一般的なコンクリート部材、すなわち断面、あるいは軸

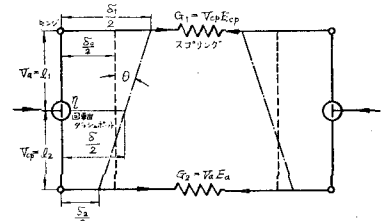
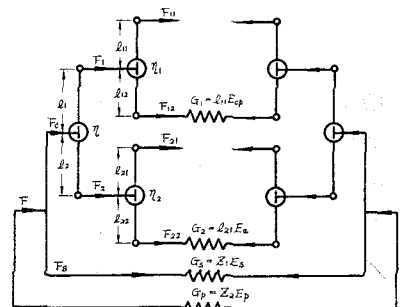


図-1 応力平衡化回転モデル (基本モデル)



$$\begin{aligned} l_1 &= l_{21} + l_{22} & l_2 &= l_{11} + l_{12} \\ l_{11} &= (0.129 + 0.741 \cdot W_c) \cdot l_2 \cdot T / (1 - 5.47 + 14.5 \cdot W_c) + (0.129 + 0.741 \cdot W_c) \cdot T \\ l_{21} &= (0.133 + 0.130 \cdot W_c) \cdot l_2 \cdot T / (1 - 0.312 + 1.10 \cdot W_c) + (0.133 + 0.130 \cdot W_c) \cdot T \\ E_{cp} &= 10^5 / (0.129 + 0.741 \cdot W_c) \\ E_0 &= 10^5 / (0.133 + 0.130 \cdot W_c) \\ \eta &= 1.0 G_1 \quad \eta_1 = 0.2 G_1 \quad \eta_2 = 1.0 G_1 \end{aligned}$$

図-2 PC部材に対する力学モデル

方向鉄筋が非対称に偏心軸荷重が作用する場合、部材断面にひずみ勾配を生じるので、その影響を考慮した式を用いなければならない。

$$G_s = (W_1 A_s + W_2 A'_s) E_s / A_c = \sum E_s$$

$$G_p = W_3 A_p E_p / A_c = \sum E_p$$

$$W_1 = \{ 1/A_i + (X-a)(X-R+d') / I_i \}$$

$$W_2 = \{ 1/A_i + (X-a)(X-d') / I_i \}$$

$$W_3 = \{ 1/A_i + (X-a)^2 / I_i \}$$

A_i, I_i ; 換算断面の断面積と断面二次モーメント。(図-3参照)

数値解析法と解析例

前記のように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変化するため、モデル解析において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るが、直接解析することは困難であるため、時間間隔を区切り各間隔の中点における要素値がその間隔内で一定として、step-by-step法により数値解析した。なお、換算断面の図心軸位置(X)や弾性係数比(η)の値が時間的に変化するとも考慮してバネ定数の値も変化した。

図-4、-5にRC部材およびPC部材の解析例を示す。また、コンクリートの要素値は他の実験から得たがその値を図-2中に示す。なお荷重は投与5日から作用するとしたが、この場合、コンクリート自体のクリープ係数 $\alpha = 1.53$ であった。

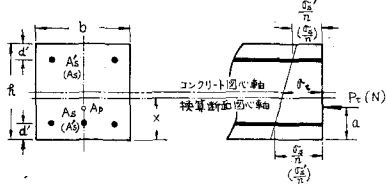
図-4に非対称RC部材の偏心軸圧縮荷重(N)によるコンクリート図心軸位置の部材短縮(ϵ_c)の時間変化、正・負鉄筋の応力度(σ_s, σ'_s)の変化および換算断面の図心軸位置(X)の変化を示す。図示するように軸方向鉄筋が非対称であれば換算断面の図心軸は時間的に変じ、正・負鉄筋の応力度にも影響する。

図-5はプレテンション方式のPC部材に対する解析例であり、図中の η 値はPC鋼筋の有効係数である。図示するようにPC部材でも同様に換算断面の図心軸が変化するため、その変化には η 値にも影響する。

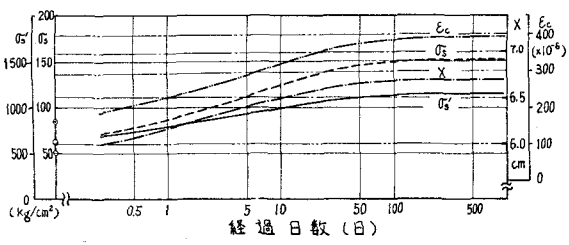
以上、解析例に見られるように軸方向鉄筋を有するコンクリート部材では、変形あるいは応力性状がコンクリートの時間依存変形が大きく影響を受ける。すなわち、部材の非対称性が大きいほど、図心軸の時間的変化も大きく、そのような部材では図心軸の移動と放射計算に考慮すべきである。逆に、部材のそりやたわみの変化を少なくするよう配筋方法もこのような解析から得ることができる。

あとがき

コンクリート部材はその使用用途の拡大に伴い、単に部材耐力の安全性だけでなく、その形状寸法の施工精度確保をも要求されることがある。特に工事の省力化に伴うコンクリート部材のプレキャスト化が急速に進行しつつある現在、このような時間依存変形による部材のそりやたわみ増加を正確に解析できる方法と確立すべきである。本解析法はモデル要素値にまだ多くの疑問点を有するが、新しいクリープ解析法として有用であろう。

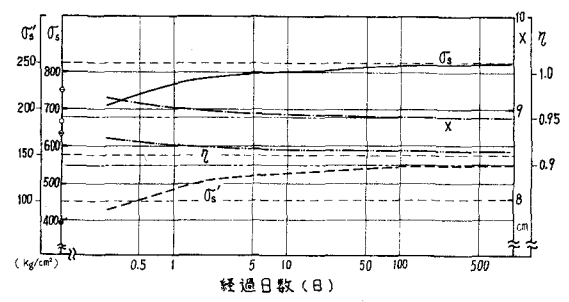


() 内の記号はRC部材の場合
図-3 コンクリート部材の断面図



計算条件 $A_c = b \times R = 10 \times 10$ $d' = 1.0$
 $A_s = 5.0$ $A'_s = 0.5$
 $N = 5500$ $\alpha = 3.5$

図-4 RC部材の解析例



計算条件 $A_c = b \times R = 10 \times 20$ $d' = 1.0$
 $A_s = 3.5$ $A'_s = 0.5$ $A_p = 2.0$
 $PI = 14000$ $\alpha = 6.0$

図-5 PC部材の解析例