

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

1. まえがき

複合体の変形特性を究明するためには、(1)それを構成する各相個々の変形特性、(2)各相の容積割合、(3)各相の配列および結合状態、の三要素をその解析に考慮すべきであろう。ところで、コンクリートは巨視的に見ても、粒子相である細粗骨材をマトリックス相としてのセメントペーストで結合一体化した粒状複合体であるため、その変形特性を理論的に究明するためには、上記の考えをその解析式に組み込まねばならないであろう。

コンクリートの変形特性に関する重要課題の一つにクリープの問題がある。クリープに関してはこれまでも多くの研究者により、貴重な実験結果やその結果から導かれた経験法則が提案され、また実際のコンクリート構造部材に関するクリープ解析理論も多く示されている。だが、クリープは時間依存性の変形現象であり、しかもマトリックス相としてのセメントペーストが長期間水と反応を継続する材料であるため、上記の三要素はさらに材令、養生条件などの影響因子に支配される。それゆえ、現在でもなお、その特性を完全に把握するまでには至っておらず、任意条件下でのクリープ特性と推定できるような理論式はまだ見あたらない。

コンクリートのクリープは、従来の研究から回復性及非回復性の変形成分に大別できることが知られている。ここに、回復性の変形は回復クリープあるいは遅延弾性変形と呼ばれているものであり、筆者は同変形の発生要因がコンクリート構成相間の弾性係数差に起因する応力平衡化現象、すなわち、構成相の応力-ひずみ状態が載荷直後のひずみ一定状態から終局時の応力一定状態へと移行する間の過渡現象であらうと考え、同変形を表わすレオロジーモデルとして、先に応力平衡化回転モデルを提案し、実験結果との対比から同モデルの妥当性を立証した。また、非回復性の変形は、マトリックス相内の水分逸散による流動変形、載荷期間中に継続するセメントの硬化反応による変形の固定化、ならびに骨材-マトリックス界面に既存する微細な水膜からのひびわれ伝播による変形などがその要因として考えられる。ところで、若材令で載荷されたコンクリートのクリープは、その大半が非回復性の変形であるため、クリープ全体を表示するにはこの非回復性の変形を特に考慮しなければならない。そこで、筆者は図-1に示す応力平衡化回転モデルにこの変形成分を組み入れた改良型応力平衡化回転モデル(図-2)を考案し、同モデルの解析を行った。以下に改良型応力平衡化回転モデルを用いたプレーンコンクリートのクリープ解析、ならびに同モデルをRとおよびPC部材に適用した解析例について報告する。

2. 改良型応力平衡化回転モデル

図-2に示すモデルに外力 F が作用したとき、任意時間 t 後の全変形 δ は

$$\delta = \delta_2 + \theta l_2 = (l_1 \delta_2 + l_2 \delta_1) / (l_1 + l_2)$$

$$\delta_1 = AF / \alpha G_1 + l_{12}^2 AF t / \alpha \eta_1 + (1/2 G_1 - l_{12}^2 / \alpha \eta_1) C e^{-\alpha t}$$

$$\delta_2 = (\alpha - A) F / \alpha G_2 + l_{22}^2 (\alpha - A) F t / \alpha \eta_2 + (l_{22}^2 / \alpha \eta_2 - 1/2 G_2) C e^{-\alpha t}$$

ここに、 A 、 α 、 C は境界条件から定まる定数である。

なお、上式は回転ダッシュポットの角変位 θ が微小であるとして解析したので、無限時間後の変形 δ を直接求めることはできないが、ある有限時間後の値も終局値とすれば、上式から終局クリープ値を求めることができる。

また、コンクリートの弾性係数はセメントの水和反応で材令とともに増大すると考えられているが、筆者は逆に、この現象がセメントの水和反応により、外力に対して有効に働き得るコンクリート内部各相の容積割合が徐々に増加する結果によるものであらうと考え、上記のモデル解析に際しても各相の容積割合を意味する腕の長さ l が材令で変化するとして解析した。

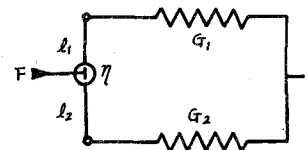


図-1 応力平衡化回転モデル

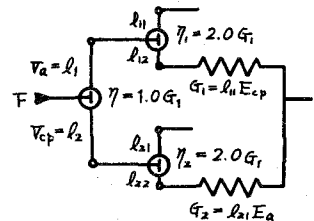


図-2 改良型応力平衡化回転モデル

3. プレーンコンクリートのクリープ解析について

図-3は水中養生条件下で水・セメント比40~60%, 単位水量180Kg/m³, 細骨材率42%(細骨材:海砂粗骨材:安山岩砕石, 最大寸法25mm)のプレーンコンクリートに対する変形-時間曲線の解析例である。なお, 同解析に用いた腕の長さ l は, 水中養生のコンクリート(中10×20cm)およびセメントペースト(中5×10cm)供試体の実測弾性係数を双曲線関数で近似し, その変換割合から求めた結果である。

セメントペーストの有効容積係数 $Q_{11} = (-0.330 + 1.75 W/c) T \{1.0 - 0.18 (1.0 - 0.25 W/c)\} / \{2.16 + (-0.330 + 1.75 W/c) T\}$

骨材の有効容積係数 $Q_{21} = (0.0568 + 0.331 W/c) T \{1.0 - 0.18 (0.223 - 0.0778 W/c)\} / \{0.664 + (0.0568 + 0.331 W/c) T\}$

ここに, T は日単位の杖令を表す。また, 1世のモデル要素は図-2に示す値を解析に用いた。

図-3の解析例は特定の配合および養生条件に対するものであるが, 今後, 実測曲線と解析曲線との対応, あるいはモデル要素値の決定に関する研究を行えば, 同モデルから任意条件下でのクリープ曲線を推定することが可能であり, クリープ解析の有効な手段として同モデルを用いることができるものと考えられる。また, 同モデルは以下に示すように, 実際のRCおよびPC部材のクリープ解析に活用することもできる。

4. RCおよびPC部材のクリープ解析

図-4は中心軸方向荷重を受けるRC柱の

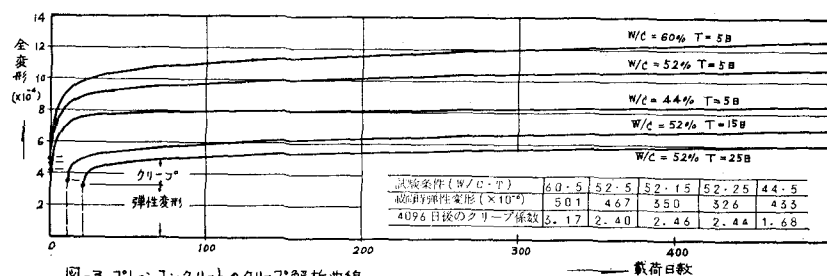


図-3 プレーンコンクリートのクリープ解析曲線

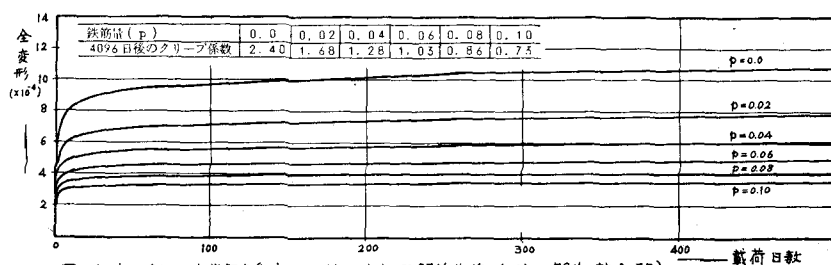


図-4 中心軸圧縮荷重を受けるRC柱のクリープ解析曲線 (W/c = 52%, 杖令5B)

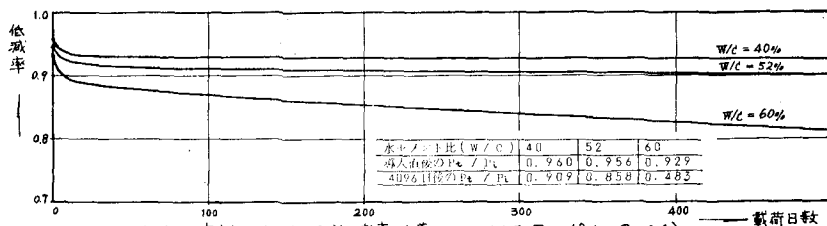


図-5 PC部材の有効プレストレス低減率 (導入プレストレス $P_i = 12t$, $e = 0.0$) (コンクリート断面 10×20cm)

クリープ解析例を, また, 図-5はPC部材のプレストレスリングによる有効プレストレスの低減率に関する解析例である。なお, 軸方向鉄筋, およびPC鋼材は完全弾性体であるとして解析した。

現行のRCおよびPC部材に関するクリープ解析はコンクリートの杖令変化に無視し, しかも特定の変形要因だけを考慮して導かれたものであるため, 実際の現象とは相当異なるものと考えられる。だが, ここに述べたモデル解析法はそのような仮定を用いておらず, また, セメントペーストの載荷期間中に生じる水和反応の影響も考慮しているため, 実際のクリープ現象に近い解析ができるものと考えられる。

5. むすび

コンクリートのクリープ解析に関する新しいレゾルジ解析法の提案について述べてきたが, 本解析法と確立するためにはまだまだ多くの問題点が残されており, 今後, さらに十分な検討を要するものと考えられる。