

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

コンクリートのクリープに関しては既に数多くの研究成果が報告され、その特性の概要はほぼ解明されたと考えることができる。だが、現在でもなお、任意条件下でのクリープ特性を解析できるような理論式はなく、過去の断片的な実験結果からその特性値を推測する以外に方法はない。これはクリープが種々な影響要因に支配され、理論的にその現象を解析することが困難であるためであろうが、少なくとも今後は、クリープの発生機構とその解析式に考慮できるような理論について研究すべきであろう。また、コンクリートは変形特性の相違する多相素材からなる粒状複合体であり、しかもマトリックス相としてのセメントペーストは緩慢な水和反応過程でその変形特性が時々刻々変化する材料であるため、クリープ解析の一般的な理論には複合化の影響ならびに載荷期間中に生じるセメント水和の影響をクリープ機構と関連させて解析できるような方法について検討すべきであろう。

筆者らは前述のような観点に基づき、先にクリープの一成分である回復性の遅延弾性変形について、その発生機構および新しい力学モデル（応力平衡化回転モデル）による解析法を報告したが、本研究はさらに非回復性の変形成分をも考慮した力学モデル解析法の一案を示すと共に、同モデルをRCおよびPC部材に応用した場合の解析例について、以下簡単に報告する。

2. 改良型応力平衡化回転モデル

複合体の変形特性を究明するためには、(a) 構成相個々の変形特性、(b) 各相の容積割合、(c) 各相の配列および結合状態、の三要素をその解析式に組み入れるべきである。ところで、図-1に示す従来の力学モデルには(b)の要素が含まれていないため、実際の複合体と直接関連させることができず、単に数式表示のための便宜的手段にしか用いることができなかった。だが、筆者らの提案する応力平衡化回転モデルには上記の三要素が全て含まれ、複合体を構成する各相の特性値を図-2に示すようにそのモデル要素値として用いることができる。しかもこのモデルの時間依存性の変形過程は複合体内部における応力一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を表示しており、この点でも応力平衡化回転モデルは従来の力学モデルと全く相違するものである。

コンクリートのクリープは前述のように回復性の変形成分と非回復性のそれとに大別できるが、若材令で載荷された場合、特に後者の変形成分がその大半を占めるため、実際のクリープ解析にはその変形成分を組み入れねばならない。ここに非回復性の変形としてはセメントペースト部の載荷応力による粘性流動、骨材マトリックス界面における結合状態の変化による変形、乾燥状態下での水分逸散による変形および載荷期間中に生じるセメント水和による変形の固定化などが考えられる。そこで筆者らは先に述べた応力平衡化回転モデルにこの流動変形成分を加えた新しい力学

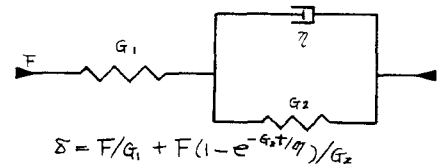


図-1 従来の力学モデル

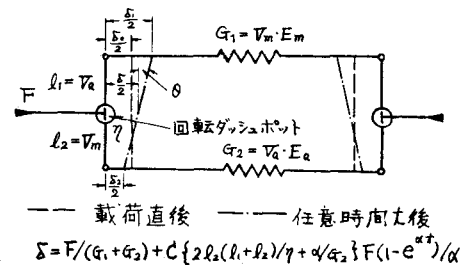
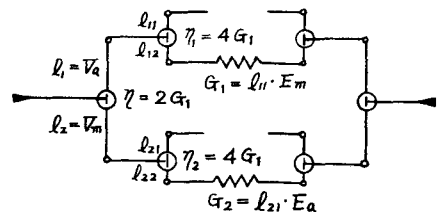


図-2 応力平衡化回転モデル I



$E_m = 10^5 / (-0.330 + 1.75 \cdot W/c)$: ペーストの弾性係数
 $E_a = 10^5 / (0.0568 + 0.331 \cdot W/c)$: 骨材の弾性係数
 V_m : ペーストの容積係数, V_a : 骨材の容積係数
 $l_{12} = l_2 - l_{11}$, $l_{22} = l_1 - l_{21}$

図-3 改良型応力平衡化回転モデル

モデルを考案し、同モデルを用いたコンクリート部材のクリープ解析法について検討を行った。(図-3参照)

図-3に示す改良型応力平衡化回転モデルに一定外力Fが作用したとき、任意時間t後の変形 δ は下式となる。

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

$$\delta_1 = AF / \alpha G_1 + 2l_2^2 AF t / \alpha \eta_1 + (V G_1 - 2l_2^2 / \alpha \eta_1) C e^{-\alpha t}$$

$$\delta_2 = (\alpha - A) F / \alpha G_2 + 2l_1^2 (\alpha - A) F t / \alpha \eta_2 + (2l_1^2 / \alpha \eta_2 - V G_2) C e^{-\alpha t}$$

ここに、係数A, Cおよび α は境界条件から定まる。

上式は回転ダッシュポットの角変位 θ が微小であるととして解析したため、無限時間後の変形を直接求めることはできないが、ある有限時間後の値を終局値とすれば、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材令と共に増大すると考えられているが、筆者らはこの現象がセメントペーストの水和によるコンクリート内部の結合状態変化に起因するもので、すなわち、外力に対して有効に働か得る内部各相の容積割合が増大する結果によるものであると考え、先に述べたクリープに及ぼすセメント水和の影響と関連させて、モデル解析においては構成各相の容積割合を表わす腕の長さが材令と共に変化するとして解析した。

3. コンクリート部材のクリープ解析例

図-4, -5は水中養生のW/C=40~60%, W=180kg/m³ S/a=4.2%に対するプレーンコンクリートの単位クリープ-時間曲線の解析例である。なお、解析に用いた腕の長さは実測弾性係数の材令変化を双曲線関数で近似し、その変化割合から求めたものである。式中のTは日単位のコンクリート材令を表わし、また、その他のモデル要素値は図-3に示す値を用いた。

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

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

図示した解析例は特定の配合および養生条件に関するものであるが、今後、実測曲線との対応ならびに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解析することが可能である。また、図-6, -7は同モデルをRC柱およびPC部材のクリープ解析に応用した解析結果である。このように改良型応力平衡化回転モデルは構造部材のクリープ解析にも直接応用できるため、今後、コンクリート部材の瞬時依存特性に関する解析手段として有効に用いることができると確信する。

4. せすび

コンクリート部材のクリープ解析法に関する筆者らの考え方と二、三の解析例について述べてきたが、本解析法を確立するためには特にモデル要素値の決定に多くの問題点が残されているため、今後、さらにこの問題点に関する基礎的研究を要するものとする。

【参考文献】“新力学モデルの提案とそれによるコンクリートの遅延弾性現象の解析” コンクリート工学 Vol.15 No.4

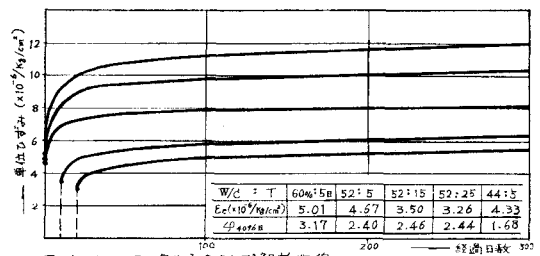


図-4 プレーンコンクリートのクリープ解析曲線

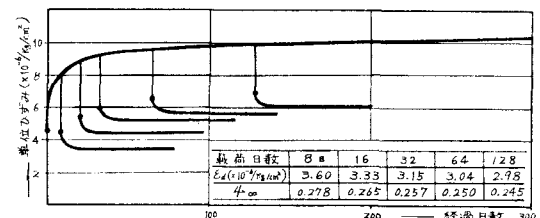


図-5 プレーンコンクリートの遅延弾性曲線

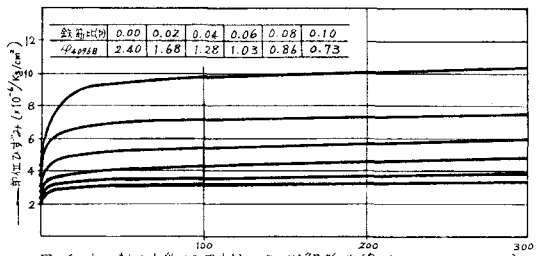


図-6 中心軸力を受けるRC柱のクリープ解析曲線 (W/C=52%, T=5日)

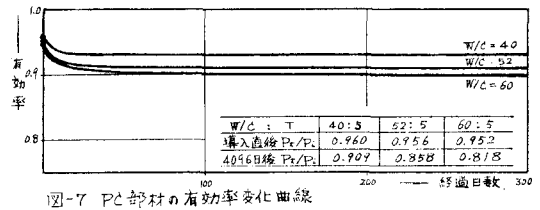


図-7 PC部材の有効率変化曲線