

1. 緒言

コンクリート材料あるいは高分子材料が、常温においても比較的顕著なクリープ現象を呈することはよく知られており、また、その現象の線形性の成立が、他の材料にくらべて比較的広い範囲にまで及ぶこと（応力-強度比、30～50%）も実験的に確かめられている。これらのクリープ現象に対する評価式としては、従来から、U. S. Bureau of Reclamation において提案された線形の関係式、

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{F}{t+1} \quad (1)$$

が、一般的に利用されているようである。一方、VoigtモデルあるいはMaxwellモデルなどで代表されるレオロジーモデルも、これらの現象評価としてよく用いられる。そして、Biot¹⁾が最近長足の進歩をとげた非可逆過程の熱力学に基づいて粘弾性理論を展開し、マクロな立場から、モデル的な取り扱いにひとつの物理的意味づけを行なつてからは、モデル表示に対する統一的解釈として、一般化Maxwellモデルあるいは一般化Voigtモデルなどの概念が工学的にきわめて有用なものとして認識されるようになった。本報告は、式(1)によるクリープ評価法が、この一般化レオロジーモデルによる評価法の特別な場合に相当することを示したものである。

2. 一般化レオロジーモデルとその特性関数

一般化レオロジーモデルは、図-1に示された2種類のモデルで代表される。しかし、図中に恒等記号(≡)で示したように2つは等価である²⁾から、実際は、いずれか1つのモデルが議論の中心となる。これらのモデルからクリープを評価する特性関数として、たとえば、次式が得られる。

$$J(t) = J_0 + \sum_{i=1}^n J_i (1 - e^{-t/T_{ci}}), \quad \text{ただし、} T_{ci} = J_i \eta_i \quad (2)$$

$J(t)$ はクリープコンプライアンスと呼ばれ、図のモデル(a)から簡単に得られる。図のモデル(b)から導く場合は、相当に面倒な手順を必要とする。 T_{ci}

($i=1, 2, \dots, n$)は遅延時間と呼ばれ、クリープ現象を特性づけるきわめて重要な定数である。たとえば、完全弾性体では、遅延時間が零であり、粘性流体は無限大である。そして、実際の材料では、その内部構造に依存したさまざまな遅延時間を持つ機構が重なり合つて、一つのクリープ挙動を示すものと思われる。

クリープする材料は、普通、応力緩和現象を示す。図-1(a)のモデルは、この現象も説明できる。しかし、実際はモデル(b)の方がこの現象に適しており、簡単に次式が得られる。

$$E(t) = E_0 + \sum_{i=1}^n E_i e^{-t/T_{ri}}, \quad \text{ただし、} T_{ri} = \eta_i' / E_i \quad (3)$$

T_{ri} は緩和時間と呼ばれ、遅延時間と同等な粘弾性材料の特性定数である。これらは、両者密接に関係合っている。

図-2は、あるコンクリートのクリープ実験例とそれに対して決められたクリープコンプライアンスを示したものである。1つはシュールした試料、1つはシュールしない試料に対する結果である。

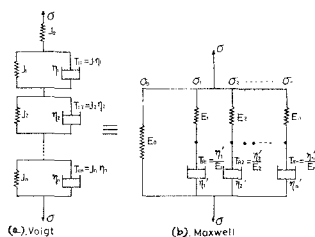


図-1. 一般化レオロジーモデル

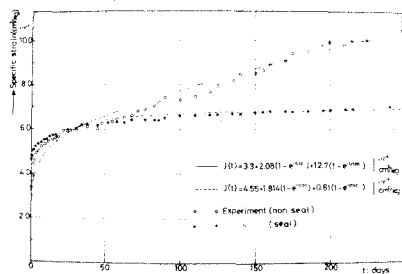


図-2. コンクリートのクリープ実験例

3. 遅延スペクトル

一般化レオロジーモデルは、遅延時間が離散的に存在するものとして考えられるが、もし、これらの遅延時間が連続的に分布していると仮定すれば、フリープ関数(コンプライアンス)は、つぎのように表わされる。

$$J(t) = \int_0^{\infty} \Phi(T)(1 - e^{-t/T}) d(\ln T) \quad (4)$$

ここで、 $\Phi(T)$ は遅延スペクトルと呼ばれる。また、式(4)を逆変換して $\Phi(T)$ を求める漸近式が、Schwarzlらによって提案されている³⁾。そのもっとも粗い近似式を示すと、つぎの通りである。

$$\Phi(t) = t \frac{dJ(t)}{dt} = \frac{1}{\ln 10} \frac{dJ(t)}{d(\log_{10} t)} \quad (5)$$

上式は、遅延スペクトルがクリープ実験値から直接求められることを示している。結果として、そのスペクトル分布の状態から遅延時間を離散的に求めることができる。図-3、図-4は、図-2の実験値およびそのクリープコンプライアンスから、式(5)によって求めた遅延スペクトルを示したものである。

さて、我々は、ここで式(1)をもう一度見直してみよう。式(5)は、式(1)とまったく無関係に導かれたものであるにもかかわらず、これらは完全に同じ形をしているのがわかる。すなわち、式(1)のFは $\Phi(t)$ と同等の定数である。そして、Fは唯一の値であるから、式(1)の評価法は、全体の平均的スペクトルをとらえようとしたものであるということができる。式(1)を積分すると、次式

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + F \log_{10}(t+1) \quad (6)$$

が得られるから、クリープ実験値を対数時間目盛に対してプロットすれば、Fは、その直線の勾配として求められる。図-2に示した例を対数時間目盛に対して表わすと図-5の通りである。sealed concreteの例が、式(4)で良好に評価でき、F=0.997となる。この値を $\ln 10$ で除して図-4に一重鎖線どししたが、Fが平均的遅延スペクトルを与えるという意味が良く理解できるであろう。

4. 結 言

構造材料のクリープは、その材料の中に存在するさまざまな機構が複雑に関連し合って現われるものであるが、それを現象論的に評価する一般化レオロジーモデルは、有限個の代表的な遅延機構を、任意に必要なだけとり出して評価するものである。これに対し、式(1)の評価方法は、それらの機構を全体として平均して表わすものである。したがって、その応用は特別な場合に限り、図-5の nonseal の例のように適用できない場合が多い。しかし、式(1)は単なる実験式とは言えず、その物理的意味も考えられるから、方法の簡便さからみるときわめてすぐれた評価式である。

参 考 文 献

- 1). Biot, M. A; Theory of Stress-Strain Relations in Anisotropic Viscoelasticity, J. Appl. Phys., Vol. 25, No. 11,
- 2). Bland, D.R; The Theory of Linear Viscoelasticity, Pergamon Press, (1960) 1954, PP.1385-1391
- 3). 山本三三三; 物体の変形学, 誠文堂新光社, 1972, PP. 200 ~ 204

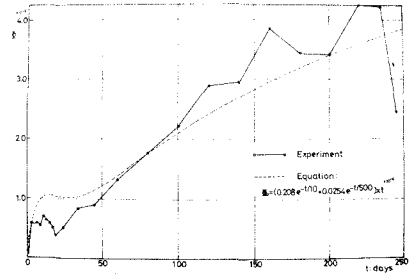


図-3. コンクリートの遅延スペクトルの例 (ツールなし)

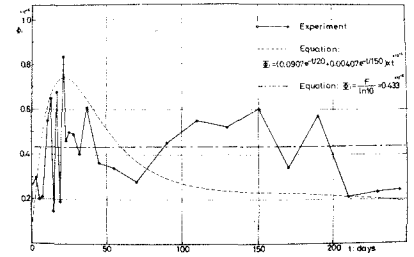


図-4. コンクリートの遅延スペクトルの例 (ツールあり)

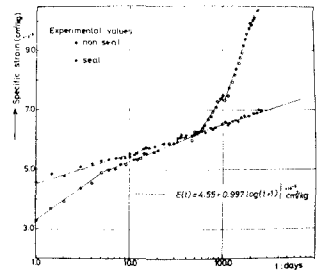


図-5. 対数時間によるクリープ表示