

コンクリートの引張クリープの引張 応力緩和への変換について

野 中 資 博*

Tsuguhiro NONAKA

Conversion of Tensile Creep into Tensile Stress
Relaxation on Concrete

1. まえがき

マスコンクリートの温度応力を計算する方法には、幾通りかあるが、粘弾性解析法として、クリープに基づく方法と応力緩和に基づく方法がある。そのためには、コンクリートのクリープや応力緩和などの時間依存性特性を実験から得なければならない。それらの実験を方法論的にみれば、応力緩和よりもクリープの方が全く簡単である。よって通常はコンクリートの時間依存性特性としてはクリープが多く用いられる。ところが、理論的にはクリープと応力緩和は相反する現象であり、一方から一方を導くことは可能であると思われ、その方法に関しても幾つか研究がなされている。その場合、例証としてとられるのは、ほとんどコンクリートの圧縮側のクリープと応力緩和に関するものである。しかし、コンクリートの温度応力で問題になるのは実は引張側であり、この引張側のクリープと応力緩和の関係を検討する必要が未だ残っている。

そこで著者は、この引張側のクリープと応力緩和の関係について、同一のコンクリートで同時に両試験を行い、そしてクリープの実験結果を応力緩和に変換して、実測の応力緩和と比較することにより、その相反関係を引張側でも確認し、また変換法としていかなる方法が存在し、また適しているかを検討することにした。ここでは、まず引張クリープの実験結果を述べ、それを実験式で表わす。その後、2つの変換方法で応力緩和に変換し、実測の引張応力緩和と比較を行い、若干の検討を加える。そし

て、最後にその他の変換方法の適否について考察する。

2. 引張クリープの実験結果について

使用したセメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は砕石、細骨材は普通の細骨材である。表1にそれらの物理的性質を示す。配合は粗骨材の最大寸法 20mm、スランブ 10cm、水セメント比 50%とし、目標強度を $\sigma_{28}=260\text{kg/cm}^2$ とした。その配合一覧表を表2に示す。

引張クリープ試験用の供試体は高さ 60cm、中央断面積 50cm^2 のきね形であり、引張応力緩和試験用の供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体である。いずれも、打込み後48時間で脱型し、試験日の前日まで標準水中養生を行っている。試験日令は3, 7, 14, 28日であり、試験は総て恒温恒湿室内で行った。また試験に先立ち、各試験の載荷荷重を決めるために各材令で割裂試験を行った。そしてその9割を緩速直接引張強度とし、載荷応力レベルはその40%とした。さらに引張クリープ試験機はスプリング式であるため、その変位を求めた。それらをまとめると表3のようになる。ここで乾燥収縮をさし引

Table 1 Physical properties

Cement								
Specific gravity	Fineness cm^2/g	Setting		Soundness	Comp. strength kg/cm^2			
		Initial	Final		1 day	3 day	7 day	28 day
3.15	3390	2h04'	3h11'	good	31	127	165	311
Fine aggregate				Coarse aggregate				
Specific gravity	Absorption %	F. M.		Specific gravity	Absorption %	F. M.		
2.53	1.92	2.93		2.68	1.91	6.31		

* 農業施設工学研究室

Table 2 Mix proportion

Slump cm	Air %	W/C %	s/a %	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	G kg/m ³
10	2	50	47.5	206	397	781	922

くには、φ10×20cm のダミー 供試体をもう 1 本用いている。クリープ試験の継続時間は応力緩和試験に対して 3 日間とした。そして 4 つの試験材令について 5 グループの試験を行った。

図 1 に単位応力あたりの瞬間弾性ひずみと載荷開始材令との関係を示す。図 2 に単位クリープひずみと載荷継続日数の関係を示す。図中に実験式も合わせて記しておいた。実験式での表示にはいろいろなものがあり、大崎¹⁾らは Kelvin 2 要素モデルをすすめているが、著者はこの形式で今回は一応表わすことにした。

3. 引張応力緩和への変換とその実測値との比較

2. で求めた実験式に基づいて引張応力緩和へ変換する。ここではその変換方法として小沢の方法と Wittmann の方法を用いた。

まず、小沢の方法とは、弾性ひずみと時間増分によるクリープひずみとの和が、載荷瞬間弾性ひずみを一定に保つような荷重を各時間間隔について求めてゆく近似的な区分計算法である。

次に、Wittmann の方法とは、応力緩和試験では全ひずみ量が一定であるので、 ϵ_e を弾性ひずみ、 ϵ_{cr} をクリープひずみとすると、

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_{cr} = \text{const.} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$d\epsilon_e/dt = -d\epsilon_{cr}/dt \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $\sigma = E(K)\epsilon_e$ 、 $\epsilon_{cr} = \xi(K)\phi(T)J(t)\sigma$ とおけば、

$$-1/E(K) \cdot d\sigma/dt = \xi(K)\phi(T)J(t)\sigma \quad \dots\dots\dots(3)$$

積分を行えば、

$$\sigma = \sigma_0 \exp \{-E(K)\xi(K)\phi(T)J(t)\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。ただし、 E は弾性係数、 ξ は載荷材令係数、 ϕ は温度関数、 J は単位クリープで σ_0 は初期応力である。

以上の両方法で、前述の引張クリープの実験式から求めた引張応力緩和の 2 計算値と、実測の結果を合わせて示すと図 3～6 のようになる。ここで、載荷材令 3、7 日は十分とはいえないが、おおよその挙動は合致している。しかし材令 14 日は実験の途中で供試体が破壊し、ごく初期しかとらえられていず、材令 28 日は全く挙動が一致していない。このように、引張側での相反関係の確認

は今回は十分でできなかった。引張応力緩和試験は何々むずかしいという方法的なものもあるが、試験本数も十分とは云えないので、この点に関してはもう少し追跡する必要がある。

しかし、2 つの計算値はほぼ満足な一致を示している。ところで、小沢の方法は計算量が多く面倒なので、

Table 3 Test condition

Loaded age days	σ_p kg/cm ²	$\sigma_t = 0.9 \sigma_p$ kg/cm ²	$0.4\sigma_t$ kg/cm ²	Relaxation load kg	Creep load kg	Spring displacement mm
3	15.7	14.1	5.6	443	282	1.49
7	22.5	20.3	8.1	636	405	2.15
14	27.3	24.6	9.8	772	492	2.61
28	29.4	26.5	10.6	831	529	2.80

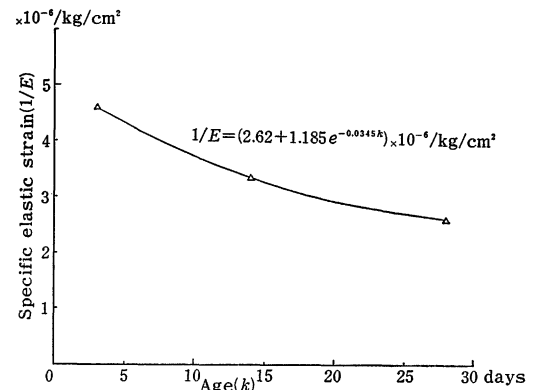


Fig.1 Specific elastic strain-Testing age

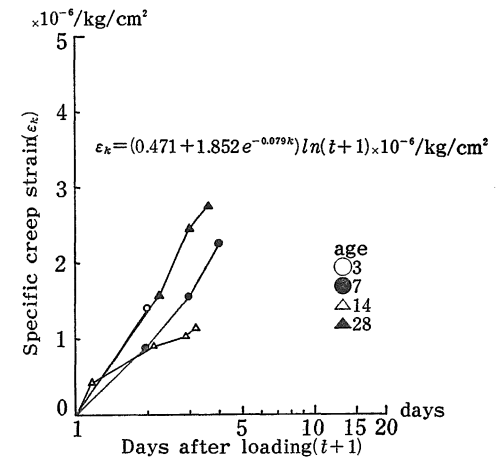


Fig.2 Specific creep strain-Days after loading

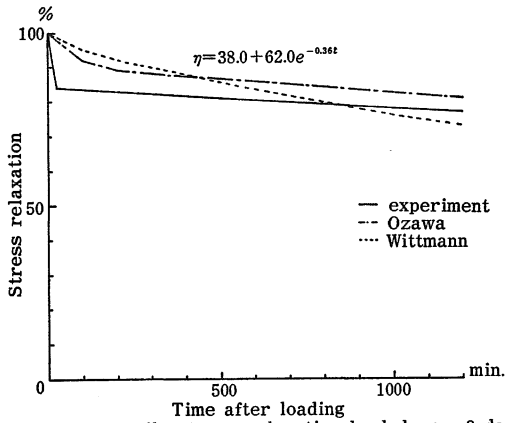


Fig.3 Tensile stress relaxation loaded ages 3 days

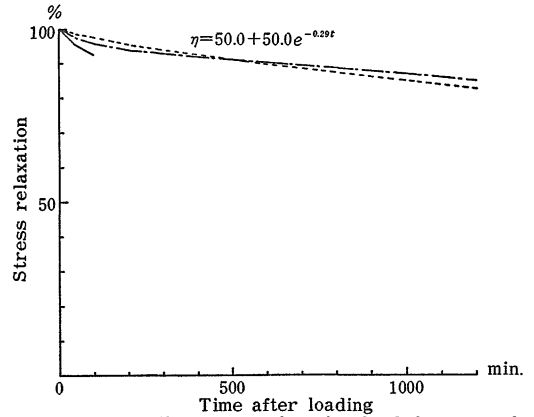


Fig.5 Tensile stress relaxation loaded ages 14 days

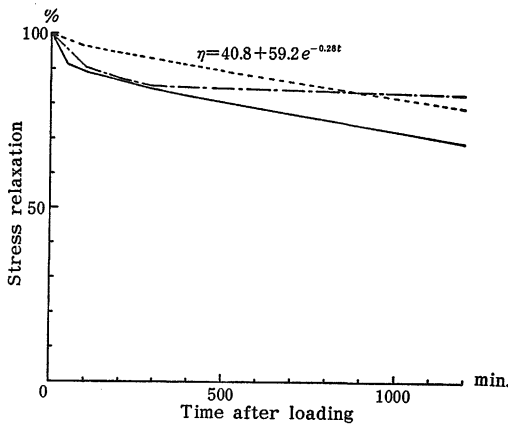


Fig.4 Tensile stress relaxation loaded ages 7 days

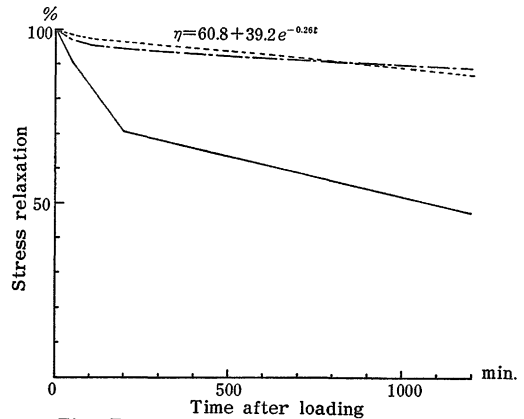


Fig.6 Tensile stress relaxation loaded ages 28 days

変換法としては Wittmann の方法が好ましい。ただこの Wittmann の方法は、本来は載荷開始材令 K の影響を考えていないので、ここで示した展開は若干の拡大解釈である。この程度的一致が得られることが判れば、実利用に際しては、著者はこの方法を用いたい。実際、応力緩和に基づく簡易解析法にこの方法を利用し好結果を得ている。

4. その他の変換方法に対する考察

クリープから応力緩和へのその他の変換方法として⁴⁾は、Bastgenによれば、Dischinger の方法、Trost の方法、重ね合わせの原理による方法を代表的なものとしてあげている。ここで、最終結果だけを書くと、Dischinger の方法は、

$$\sigma(t, K) = \sigma_0 \exp\left\{-\frac{\varphi(t, K)}{1 + 0.4K_0(t)}\right\} \dots\dots\dots (5)$$

Trost の方法は、

$$\sigma(t, K) = \sigma_0 \frac{1 + \varphi(t, K)(\rho - 1)}{1 + \rho\varphi(t, K)} \dots\dots\dots (6)$$

重ね合わせの原理による方法は、

$$\sigma(t, K) = \sigma_0 - \sigma_0\varphi(t, K) - \sum_{t_i} \Delta\sigma(t_i)\varphi(t, t_i) \dots\dots\dots (7)$$

となる。

さて、 $\varphi(t, K)$ はクリープ係数であるが、Dischinger の方法にはその他に、遅れ弾性の進行度に影響する係数 K_0 が必要であり、Trost の方法には、レラクゼーション係数 ρ が別に必要である。また重ね合わせの原理による方法は原理的には小沢の方法と同様である。以上の点を考えると、3. で述べた Wittmann の方法の拡張が最も利用に際しては簡単なことが判る。その他に Bazant⁵⁾ の方法等もあるが、同様に簡単ではない。なお、(5)、(6)、(7) 式による実験結果との適合は、いずれも圧縮側では同じ程度に十分なものであった。

5. あとがき

前述した温度応力の粘弾性解析法のうち、クリープに基づく方法とは F.E.M. によるクリープ解析のことを指している。種々の解析法のうち、現時点ではこの方法が最も理想的なものであり、温度応力発生現象をほぼ満足にトレースできる。しかし、この方法は計算機の使用を前提としたもので、またデータの前処理も大変なものである。そこで、現象を近似した簡易解析法の検討を別途進めてきた訳であるが、この簡易解析法には応力緩和を用いているのである。そこで、まえがきで述べたようにクリープから応力緩和への変換が必要となる訳である。

ところで、コンクリートの場合はクリープなどの物性値を圧縮側、引張側と分けて用いるのが実は最も好ましいはずである。実際、クリープにしても応力緩和にしても、圧縮側、引張側では異なる結果が示されているし、一つの実験式で両方を表わすのは疑問な点もある。しかし、そうしないと計算が繁雑であり、アルゴリズムの構築がむつかしくなる。そこでコンクリートの多くの問題では、圧縮側を用いるのが通例である。所が、温度応力

の問題は、圧縮応力が生じるのは打込み後数日の温度上昇の部分であり、その後の温度降下部分は全て引張応力が発生する。その点から著者は温度応力の問題には引張側を代表させることを考えているのである。しかし、圧縮側と引張側でどれほど異なるのかに関しては十分確認がとれているわけではないので、この違いを検討することもいずれ試みるつもりである。

最後に、この実験を共に実施してくれた、阿武、森山両君に謝意を表す。

引用文献

1. 大崎・吉川・河田：間組研究年報—1981：109—132 1981.
2. 小沢章三：発電水力 (57)：48—61, 1962.
3. 岩崎・西林・青柳：フレッシュコンクリート・硬化コンクリート，技報堂出版，1981，170—199.
4. BASTGEN, K. J. : Beton-und Stahlbetonbau 72 (7) : 179—185, 1977.
5. BAŽANT, Z. P. & KIM, S. S. : ASCE (ST 12) : 2695—2705, 1979.

Summary

Tensile creep and stress relaxation tests were performed simultaneously.

Then, the tensile creep was converted into the tensile stress relaxation by Ozawa's and Wittmann's methods.

The converted stress relaxation was agree with the measured at loaded ages 3, 7 days, but different at 14, 28 days.

On the other hand, it was found that Wittmann's method was easily available in comparison with the other methods.

The converted stress relaxation by Wittmann's method was used in simple thermal stress analysis.