

岐阜大学 正会員 森 本 博 昭
岐阜大学 正会員 小 柳 治

1. まえがき

コンクリート構造物の温度応力解析において、コンクリートのクリープを考慮する場合、クリープ挙動を表現する構成則を導入する必要がある。その場合、ある一定条件下における実験から得られる構成則を双軸変動応力場に拡張したものが用いられるが、一般的には、定荷重載荷実験から求められるクリープ係数が適用されることが多い。しかし、コンクリートの温度応力は基本的に、コンクリートに発生する熱ひずみに対する拘束により発生する応力であるので、これに対するクリープの影響を考慮する場合には、一定ひずみ負荷実験から得られる応力緩和関数を用いた方が、より物理的意味も明瞭で、直接的であると考えられる。今までクリープ係数が多く用いられてきた大きな理由として、コンクリートのクリープ実験に比べ、応力緩和実験を実施することの困難さがあって考えられる。しかし、最近の測定技術の進歩により、この問題も克服されつつある。

本研究は、応力緩和関数を導入した、温度応力のリラクセーション解析手法確立のための第1段階として、橋脚を対象とした、応力緩和関数によるリラクセーション解析を実施し、これと現在一般的に、クリープ関数を用いた解析による結果とを比較するなど、本解析手法の合理的、適合性などについて検討を行なったものである。

2. 解析手法

温度応力ならびにそのリラクセーション解析は、3次元有限要素法を適用した。リラクセーション解析において、応力緩和関数を用いる場合は、初期応力法を用いた。橋脚コンクリートの応力緩和関数は、実験により求められていないので、Trost⁽¹⁾の研究を参考にし、コンクリートの経時変形 ϵ_t を次式で与えた。

$$\epsilon_t = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_{28}} \varphi_t + \frac{(\epsilon_t - \epsilon_0)}{(E_0 + E_t)/2} + \rho \frac{(\epsilon_t - \epsilon_0)}{E_{28}} \varphi_t \quad (1)$$

ここで、 E_0 : 載荷時弾性係数、 σ_0 : 載荷時応力、 E_{28} : 材令28日における弾性係数
 E_t : 材令 t における弾性係数、 ϵ_t : 材令 t における応力、 φ_t : クリープ係数
 ρ : 低減係数 (Trost はこれをリラクセーション係数と称している)

①式において、右辺第1項は載荷時の弾性変形を、第2項は載荷時応力によるクリープ変形を、そして第3項、第4項は応力変化に伴う弾性変形とクリープ変形を表す。今、 $E_0 + E_t/2 = k E_{28}$ として、ひずみ一定の条件を与えると、 $\epsilon_t = \epsilon_0 = \sigma_0/E_0 = \text{const.}$ より、次のようなリラクセーション関数を得る。

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_0} = 1 - \frac{\varphi_t}{(1/k + \rho \varphi_t)} \quad (2)$$

本研究では②式を解析に用いるにあたり、式中のリラクセーション係数 ρ の値を0.8とした。さらに、①式の双軸応力場への拡張は、復原理論ならびにクリープポアソン比を適用した。また、クリープ係数 φ_t については、CEB-FIEP提案式を用いて算出した。次に、クリープ関数を用いて解析を行なう場合は、初期ひずみ法を適用し、コンクリートのクリープひずみの算出は、リラクセーション関数の評価の際と同様、CEB-FIEP提案式⁽²⁾を用い、双軸変動応力場への拡張についても、復原理論ならびにクリープポアソン比を適用した。なお、クリープポアソン比は弾性ポアソン比 μ と等しいものとした。

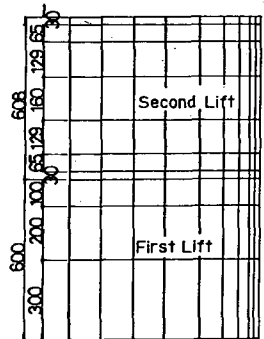
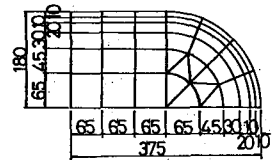


図-1 橋脚 Unit (cm)

表-1 コンクリート配合

スラン プ (cm)	水セ メント 比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				流和 剤 No.52
			水	セ メント	細骨 材	粗骨 材	
8	60	42	272	163	771	1079	0.680

表-2 コンクリートの力学的性質

圧縮強度 (kg/cm ²)	25.8
引張強度 (kg/cm ²)	21.0
弾性係数 (kg/cm ²)	25.3×10^4

3. 橋脚

解析対象とした橋脚の形状、寸法(1/4部分)と要素分割を、図-1に示す。橋脚の断面は $2 \times 3.6 \text{ m}$ の小判形で、高さは約 12 m である。柱部は2回に分けて施工され、第2リフト施工時には有初応力計による温度応力測定実験が実施されている。施工時期は2月で、第2リフト施工時のコンクリート温度は 13°C 、使用型枠は 12 mm 合板で、脱型は材令5日であった。柱部中心のコンクリート温度は材令4日前後で 54°C の最大値を示した。コンクリートの配合と材令28日における力学的性質を表1~2に示す。

4. 解析結果

図2~3に第2リフト部分、中央部中心と表面の温度応力実測値と、応力緩和関数による計算値ならびクリープ関数による計算値とをあわせて示す。まず、実測値に注目すると、柱に発生する温度応力は内部拘束が卓越する場合の典型的な傾向を示し、表面の引張応力は材令6~7日で 13.4 kg/cm^2 の最大値を示す。一方、中心の圧縮応力は材令10日前後で最大値 21.0 kg/cm^2 とし、材令がさらに進行すると中心、表面とも応力の反転が生じる。次に、応力緩和関数による計算値(以下R法と称する)とクリープ関数による計算値(以下C法と称する)とは定性的にはよく合致しているが、中心、表面ともR法の方が4~7 kg/cm^2 大きな値を与えている。これは、解析で用いた応力緩和関数とクリープ関数の精度的な相違のほかに、各ステップにおける各要素のクリープに伴う応力緩和に対する処理法の相違にも原因があるものと考えられる。すなわち、コンクリートの構成則として、R法では一定ひずみ負荷の条件から得られる応力緩和関数を、一方C法では一定応力負荷の条件から得られるクリープ関数を用いている。変動応力場への拡張は、いずれの方法も線形粘弾性の仮定と重ね合せ則を適用するが、R法では各ステップにおけるひずみ増分が一定に保たれるものとして、任意ステップの応力緩和量を評価するのに対し、C法では、各ステップにおける応力増分が一定に保たれるとして、応力緩和量算定の基礎となるクリープひずみを評価するのである。ここで、温度応力の発生機構が基本的に一定ひずみの拘束であることを考えると、R法の方がクリープに対する処理法として、より直接的で、実情に近いものと考えられる。また、R法で用いる応力緩和関数は、クリープによる温度応力の緩和量を簡略的に推定する際にも、有効に利用でき得ることも考えられる。次に、R法とC法による計算値と実測値とに注目すると、定性的には計算値と実測値とはよく対応している。しかし、中心、表面とも材令6日前後の応力のピーク期以降、計算値と実測値の差が大きくなる傾向が認められる。これについては、温度応力の実測手法と解析手法の両面からの検討が必要である。表面の最大引張応力は、実測値 13.4 kg/cm^2 に対して、R法では約 3.5 kg/cm^2 大きな値となり、C法では、逆に約 0.5 kg/cm^2 小さな値となった。

5. まとめ

本研究では、橋脚を対象として、応力緩和関数を用いた温度応力のリラクセーション解析を実施した。その結果、実測値との対応も良好であり、その有効性が認められた。また、クリープ関数を用いた計算値と比較した結果、応力緩和関数による計算値は4~7 kg/cm^2 大きな値となったが、両者は定性的にはよく合致した。今後、さらに多くの例について検討を進めると共に、応力緩和特性を実験的に明らかにしてゆくことが必要であると考えられる。

(文献) ① H. Rasch「コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮の温度法試験法」, ② CEB-FIP Model Code For Concrete Structure, 1978, ③ 森本 鋭司, 小柳 正二, 日本コンクリート協会, 1984

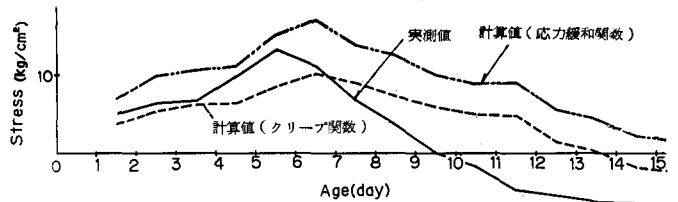


図-2 中央表面の温度応力

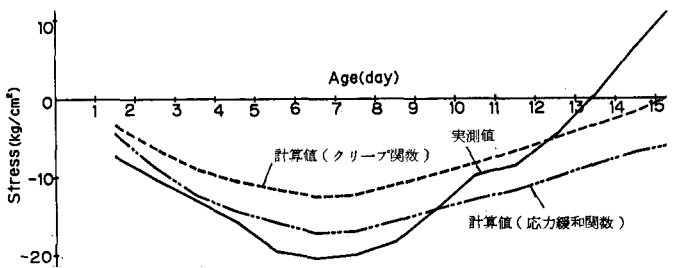


図-3 中央中心の温度応力