

V-453 クリープ係数のばらつきを考慮したPPCはりの長期解析

山口大学 正会員 高海克彦

山口大学 正会員 浜田純夫

1. はじめに

近年多用化されるPPCはり構造の設計においては、耐力のみならず変形性能を含めた長期挙動の把握も重要となっている。現在示方書においてクリープ係数を用いたたわみの簡易算定法が示されているが、その精度については検討されていない。さらに、コンクリート構造物の長期解析に用いられるクリープ係数の材料精度に関して、そのばらつきがきわめて大きいことが報告され、データベースの構築等によるクリープ係数の高精度化も押し進められている。

本研究は、このようなクリープ係数のばらつきを考慮したPPCはりのクリープ解析法を示したもので、PPCはりの有限要素法に1次近似2次モーメント法を適用し、長期挙動の期待値と挙動のばらつきの程度を表す分散を評価せんとする。

2. 解析法

コンクリートおよび鋼材をはり要素にモデル化し、材令修正有効係数法によるPPCはりのクリープ有限要素解析の剛性方程式は次のように表される。

$$[K_a]\{u\} = \{G\} \quad (1)$$

ここに、 $[K_a]$ は、コンクリート、鋼材からなるクリープ剛性マトリクス、 $\{u\}$ はクリープ変位ベクトル、 $\{G\}$ はクリープ惹起荷重ベクトルである。これらはいずれも、クリープ係数を構成する要因、例えばコンクリート配合、相対湿度等の変動の影響を受ける。いまこれらの要因を確率変数として扱い x_i ($i=1,2,\dots,m$, m は要因数)とし、式(1)を x_i で偏微分すると次式を得る。

$$[K_a] \frac{\partial \{u\}}{\partial x_i} = \frac{\partial \{G\}}{\partial x_i} - \frac{\partial [K_a]}{\partial x_i} \{u\} \quad (2)$$

上式がクリープ変位の1次変動係数を求める方程式である。これは確率変数の単位変動に対するクリープ変位の変化を表している。

応答のばらつきを評価する1次近似2次モーメント法に式(2)を代入すると、クリープ変位の分散は次のように表される。

$$Var[\{u\}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_i} \right)_{x_i} \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_j} \right)_{x_j} cov[x_i, x_j]$$

ただし、 $cov[x_i, x_j]$ は確率変数 x_i と x_j の共分散を表す。1次近似2次モーメント法によると、クリープ変位の期待値は、確率変数の平均値を式(1)に入れることによりそのまま算出可能である。また、クリープによる材令 t_1 から t_2 までの変動応力の期待値と分散は次のように求められる。

コンクリートクリープ応力

$$\text{期待値} \quad \sigma_c(t_2, t_1) = E_a[B_c]\{u\} - \frac{E_a}{E_c} \sigma(t_1) \phi(t_2, t_1)$$

$$\text{分散} \quad Var[\{\sigma_c\}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial \{\sigma_c\}}{\partial x_i} \right)_{x_i} \left(\frac{\partial \{\sigma_c\}}{\partial x_j} \right)_{x_j} cov[x_i, x_j]$$

ここに、 E_a は材令修正有効弾性係数、 E_c は載荷時材令のコンクリート弾性係数、 $[B_c]$ はコンクリート要素の応力形状関数、 $\{u\}$ はクリープ変位の期待値、 $\sigma(t_1)$ は材令 t_1 の作用応力である。

鋼材クリープ変動応力

$$\text{期待値} \quad \sigma_s(t_2, t_1) = E_s [B_s] \{u\}$$

$$\text{分散} \quad Var[\{\sigma_s\}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial \{\sigma_s\}}{\partial x_i} \right)_{x_i} \left(\frac{\partial \{\sigma_s\}}{\partial x_j} \right)_{x_j} cov[x_i, x_j]$$

ここに、 E_s は鋼の弾性係数、 $[B_s]$ は鋼材の応力形状関数である。

3. 解析例

右図の断面を有する支間1.8mの単純P P Cはりを対象に、導入プレストレス29.4 kN (3.0 tf)、等分布満載荷重6.04 kN/mを材令14日に載荷したときの挙動を、そのばらつきを考慮してクリープ解析を行う。

クリープ係数としてはCEB-90モデルを使用し、その中の相対湿度 RH と平均圧縮強度 f_{cm} 、および材令修正係数 $\chi(t_2, t_1)$ を変動要因として正規分布に従う確率変数とみなし、そのばらつきは変動係数として与える。

図2～4は、相対湿度、平均圧縮強度の期待値を60%、38MPa、ばらつきの変動係数をそれぞれ30%、10%とし、さらに材令係数の変動係数を10%としたときの支間中央のたわみ、コンクリート圧縮縁応力、圧縮鉄筋応力の期待値(M)と挙動の標準偏差(S)のばらつきを含んだ経時変化を示したものである。

いずれも荷重載荷直後にクリープ変動を大きく起こし、その後徐々に進行している。材令10000日におけるたわみの変動係数は16%であるのに対し、コンクリート応力のそれはほぼ40%となりコンクリートクリープ応力のばらつきが大きくなっている。

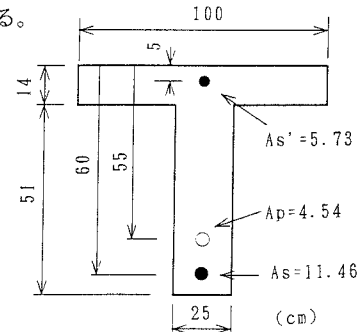


図-1 解析対象桁

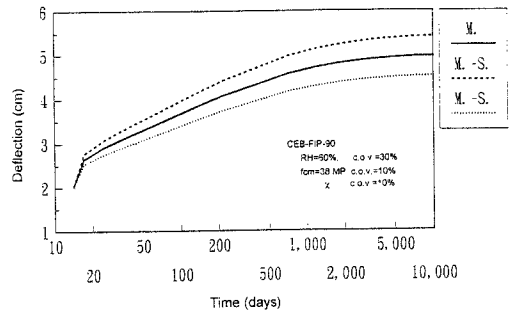


図-2 たわみの変動

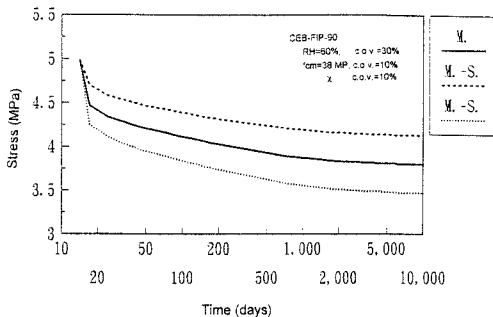


図-3 コンクリート応力の変動

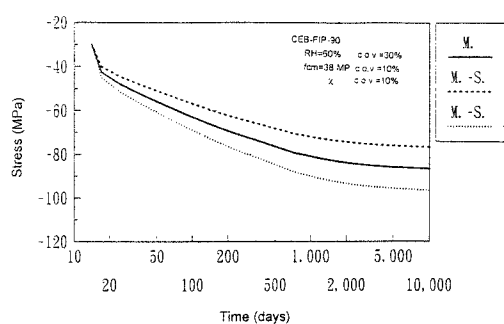


図-4 圧縮鉄筋応力の変動

参考文献：高海；P P Cはりのクリープ有限要素解析法，コンクリート工学論文集，第6巻第1号，pp.65～72，1995