

合成桁のクリープ挙動に対するクリープ係数の変動の影響について

山口大学工学部 正会員 高海克彦
山口大学工学部 学生員 石田佳誠

1. まえがき

合成桁の使用限界状態設計では、クリープ・乾燥収縮によるたわみの変動を正確に把握することが必要となる。道路橋示方書では、クリープ係数は、持続荷重の載荷材令により1.4~2.8が標準として与えられている。これまでの研究により、クリープ係数は遅れ弾性クリープ成分と、フロークリープ成分からなり、これらはコンクリートの置かれる環境すなわち部材周辺の温度、湿度等により大きく影響される。

本報告は、クリープ係数の変動が合成桁の変位挙動に及ぼす影響を、一次テイラー展開を基礎とする確率有限要素法により検討したものである。

2. 解析理論

2.1 クリープ係数

本研究で扱うクリープ係数は指数関数によって表される次式のものを用いる。

$$\phi(t_2, t_1) = \phi_{an} [1 - \exp(-k_a(t_2 - t_1))] + \phi_{fn} (\exp(-k_f t_1) - \exp(-k_f t_2)) \quad (1)$$

上式は単位の持続荷重を材令 t_1 で載荷したときの材令 t_2 におけるクリープひずみを表す。第1項が遅れ弾性クリープ、第2項がフロークリープで、 ϕ_{an}, k_a はそれぞれ遅れ弾性クリープひずみの最終値およびその進行速度に関する係数を、 ϕ_{fn}, k_f はそれぞれフロークリープひずみの最終値及びその進行速度に関する係数を表す。ここでは上の $\phi_{an}, k_a, \phi_{fn}, k_f$ の4つをクリープ構成係数と呼び、確率量として扱い、互いの相関は無いものとする。以下これらを $x_1 \sim x_4$ で表記し、各平均値を $\bar{x}_i$ とする。

2.2 変位変動率決定方程式

はり要素にモデル化した合成桁のクリープ解析の剛性方程式は次のように表される¹⁾。

$$K[(K_f) + (K_s) + (K_{cs})]\{u\} = \{G_f\} \quad (2)$$

ここに、 (K_f) 、 (K_s) 、 (K_{cs}) はそれぞれコンクリート床版、鋼桁、ずれ止めの剛性マトリクス、 $\{u\}$ はクリープ節点変位ベクトル、 $\{G_f\}$ はクリープ荷重ベクトルである。

式(2)を $x_1 \sim x_4$ で偏微分すると変位の変動率が次式のように表される。

$$[K] \frac{\partial \{u\}}{\partial x_i} = - \frac{\partial [K_f]}{\partial x_i} \{u\} + \frac{\partial \{G_f\}}{\partial x_i} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

変位応答の期待値は、式(2)で確率変数の平均値を用いて通常の有限要素法で算定でき、また変位の分散は確率論から次式で表される。

$$Var[\{u\}] = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_j} \right)_{\bar{x}_j} Cov[x_i, x_j] \quad (4)$$

ここに、 $Cov[x_i, x_j]$ は確率変数 x_i と x_j の共分散を表す。

ただし、本研究では確率変数に相関がないと仮定した故、確率変数の共分散は確率変数の分散のみである。

3. 解析対象桁諸元

合成桁のクリープ挙動はコンクリート床版と鋼桁の断面構成によって異なる。したがって次式で表される断面構成比をパラメーターとして、3つの桁(Case 1~Case 3)を対象に解析を行った。

$$\alpha = A_s \cdot I_s / A_v \cdot I_v \quad (5)$$

ここに、 A_s 、 I_s は鋼桁の断面積および鋼桁中立軸に関する断面2次モーメント、 A_v 、 I_v はそれぞれ合成桁の断面積と合成桁中立軸に関する断面2次モーメントである。

ここでは、Case 1が $\alpha=0.19$ 、Case 2が $\alpha=0.108$ 、Case 3が $\alpha=0.058$ であり、図-1にCase 2の断面を示す。いずれの桁も支間40mの完全合成の単純桁であり、持続荷重として55.25kgf/cmの等分布満載荷重を材令 $t=7$ 日で載荷する。コンクリート、鋼のヤング係数はそれぞれ $3.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ とした。また確率変数として扱うクリープ構成係数の平均値を次のように設定する。

$$\phi_{dn}=0.4, k_d=0.02, \phi_{fn}=1.9, k_f=0.0067$$

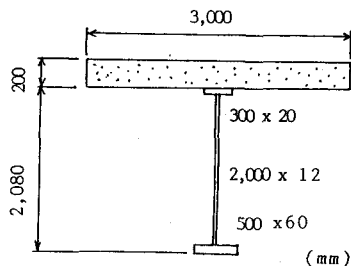


図-1 Case 2 断面寸法

4. 結果と考察

Case 2の桁において、他のクリープ構成係数は平均値のまま、フロークリープ係数の最終値 ϕ_{fn} を変動係数で1%~10%増加変動させたときの、支間中央の変位の標準偏差の経時変化を図-2に示す。なお支間中央の弾性変位は7.05cm、材令10000日でのクリープ変位の期待値は3.64cmである。図から変動係数が大きくなるにしたがい、クリープ変位の標準偏差も大きくなり、いずれも材令が700日程度で最大値に達するが、その後は増加しない。

同様に、各クリープ構成係数の変動係数が7%の場合の支間中央たわみの標準偏差の経時変化を図-3に示す。図からフロークリープの最終値が他のクリープ構成係数に比べてたわみをばらつかせる大きな要因となることが解る。また、遅れ弾性クリープ係数の最終値の変動は200日程度で、フロークリープ係数の最終値の変動は700日程度でたわみのばらつきが最大となり以後変化しないが、クリープ進行速度に関する係数の変動のたわみに対する影響はある材令後低下している。

次に、Case 1~Case 3に対して、クリープ構成係数の内、たわみのばらつきに最も影響するフロークリープの最終値を3, 7, 10%と増加させたときの各桁支間中央のたわみの変動係数を図-4に示す。フロークリープ係数の最終値のばらつきが大きくなるにしたがい、たわみのばらつきも大きくなる、またその影響は断面構成比が大きくなる即ち鋼桁断面が大きくなると、たわみのばらつきは減少することが解る。

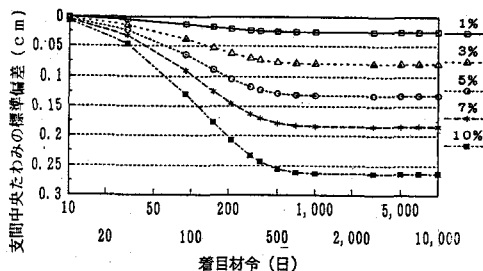


図-2 ϕ_{fn} の変動とたわみの標準偏差

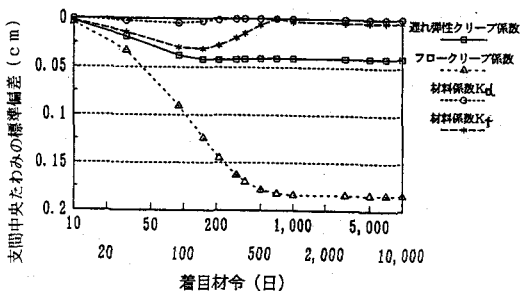


図-3 クリープ構成係数の7%変動とたわみの標準偏差

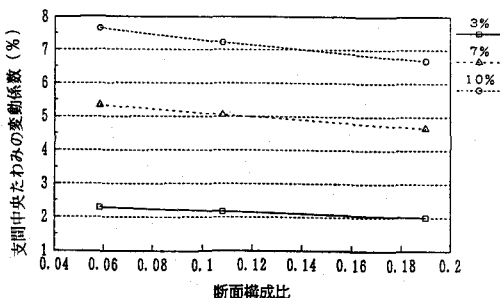


図-4 断面構成比とたわみの変動係数

参考文献

- 1) 高海・浜田：不完全合成桁のクリープ解析法，構造工学論文集，Vol.39A, pp.1269~1278, 1993