

I-357

合成桁の長期挙動に対するクリープ係数の変動の影響解析

山口大学工学部 正会員 高海克彦

山口大学工学部 正会員 浜田純夫

1. まえがき

合成桁の使用限界状態設計では、クリープによるたわみや応力の変動を精度良く予測することが必要となる。道路橋示方書では、クリープ予測式としてクリープ係数を用い、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。しかしながら、遅れ弾性クリープ成分とフロークリープ成分からなるクリープ係数は、配合などの内的および環境などの外的な要因の変動によって変化し、予測式に対するクリープ挙動はばらつきを有しているのが現状であり、40%もの変動が生じるという報告もある¹⁾。

本報告は、クリープ係数の変動が合成桁の挙動に及ぼす影響を、1次テイラー展開を基礎とする1次近似2次モーメント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、応力緩和による回復クリープを考慮できる次式のクリープ関数を用いる。

$$\phi_n(t_2, t, t_1) = \phi_d(t, t_1) + \phi_f(t) - \phi_f(t_1) - \frac{1}{\phi_{dn}} \phi_d(t, t_1) \phi_d(t_2, t) \quad (1)$$

上式は単位の持続荷重を材令 t_1 で載荷し、材令 t で除荷したときの材令 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、第3項が回復クリープである。遅れ弾性クリープとフロークリープはそれぞれ次の指数関数に仮定する。

$$\begin{aligned} \phi_d(t_2, t_1) &= \phi_{dn} \{1 - \exp[-k_1(t_2 - t_1)]\} \\ \phi_f(t) &= \phi_{fn} \{1 - \exp[-k_2 t]\} \end{aligned} \quad (2)$$

ϕ_{dn} , k_1 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_2 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 ϕ_{dn} , k_1 ,

ϕ_{fn} , k_2 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²⁾。

$$K[(K_f) + (K_s) + (K_{cs})]\{u\} = \{G_f\} \quad (3)$$

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。

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

変位応答の期待値は、式(3)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。

$$Var[\{u\}] = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \left(\frac{\partial \{u\}}{\partial x_j} \right)_{\bar{x}_j} Cov[x_i, x_j] \quad (5)$$

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

解析対象としたは図1の断面を有する支間40mの完全単純合成桁である。

55.25kgf/cmの等分布満載荷重を材令7日で載荷した時の材令10000日までの変動を解析する。コンクリートと鋼のヤング係数はそれぞれ 3.5×10^5 kgf/cm², 2.1×10^6 kgf/cm²である。確率変数のばらつきは変動率で与え、その平均値は次のように設定する。

$$\phi_{dn}=0.4, k=0.02, \phi_{fn}=2.0, k=0.0067$$

4. 結果と考察

先ず解析法の精度の検討のため、4つの確率量をそれぞれ0～50%ばらつかせたときの支間中央のたわみの分散について、本法とモンテカルロ法との比を図2に示す。変動係数がほぼ40%まではモンテカルロ法の結果より若干小さいものの、ほぼ1に近い値となりクリープたわみの変動に関し本計算法の妥当性が示されたと考える。

クリープ係数を構成する4つの係数の内、相対湿度等の外的要因の影響を大きく受けるフロークリープの最終値が40%、その速度係数が20%変動したときの、支間中央のクリープたわみとばらつきの経時変化を図3に示す。因に弾性たわみは7.05cmである。この場合、クリープたわみはほぼ1000日までは漸増するが、それ以降はほとんど変化していない。また、たわみのばらつきの最終値は期待値の約30%であり、フロークリープ係数の変動の影響を大きく受けている。

図4、5にクリープ構成係数に対する支間中央たわみの感度を示す。遅れ弾性クリープの最終値に対する感度は、200日ぐらいでピークを迎えほぼ1500日で一定となっている。一方フロークリープの最終値に対する感度は材令とともに増加し、これもほぼ1500日で一定となっている。これ以前の材令では遅れ弾性クリープの最終値に関する感度がフロークリープの最終値のものより大きいことが分かる。図5からフロークリープの進行速度に対するたわみ感度は、他の係数に比べて極めて大きく、材令150日前後でピークとなった後、材令1000日以降は負の値を採っている。これはフロークリープの進行速度が大きくなると材令1000日以降にはクリープたわみが減ることを示している。

参考文献

1) 阪田・綾野：コンクリートの非線形クリープ予測式の提案，土木学会論文集No. 451/V-17, pp. 179～188, 1992 2) 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

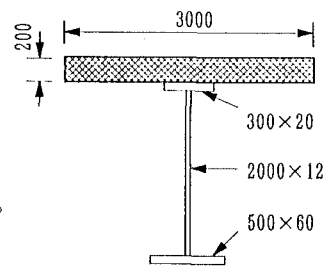


図-1 対象桁断面寸法

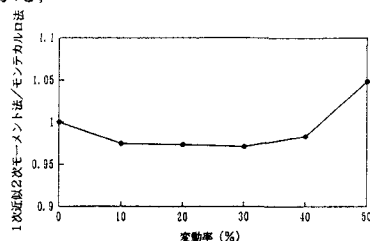


図-2 解析法の比較

クリープたわみの期待値と標準偏差

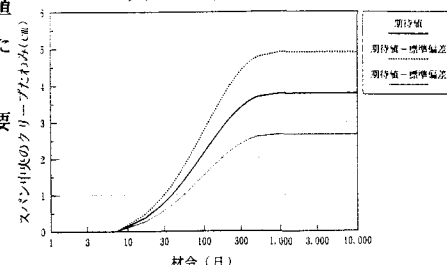


図-3 クリープ変動の経時変化

クリープたわみの感度 (ϕ_d, ϕ_f)

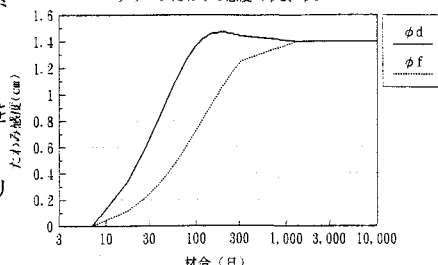


図-4 ϕ_{dn} と ϕ_{fn} に対するたわみ感度

クリープたわみの感度 (k_1, k_2)

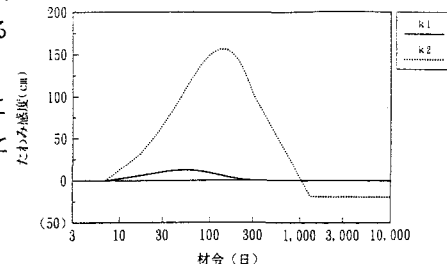


図-5 k_1 と k_2 に対するたわみ感度