

鋼・コンクリート合成版のクリープ解析

山口大学工学部 正会員 ○高海克彦

山口大学工学部 学生員 数原麗香

山口大学工学部 正会員 濱田純夫

1. まえがき

鋼製型枠合成版は、コンクリートと鋼板をずれ止めによって結合一体化させた構造で、両材料の特性を生かした合理的なものである。こうした合成版の設計では、ずれ止めによる合成効果とコンクリート特有のクリープ性状がその挙動に及ぼす影響を精度良く予測することが求められる。

コンクリートと鋼の間のずれを許す不完全合成版の短期解析に関し、井上ら¹⁾はずれ止めの変形を考慮しコンクリートスラブと鋼板の力の釣合から微分方程式を求め、差分法により解いている。また山口ら²⁾はコンクリートスラブと鋼板をそれぞれ板要素に、ずれ止めをバネにモデル化し有限要素法で解析している。しかしながら不完全合成版のクリープ解析を行った報告は未だ少ない。

本報告は、山口らの研究に改良を加えて拡張し、不完全合成版の短期及びクリープによる長期解析を行ったものであり、ずれ止めの合成効果並びにクリープ挙動を検討したものである。

2. 解析方法

2.1 不完全合成版の有限要素モデル

図-1に示すように不完全合成版はそれぞれ薄板理論に従うコンクリートスラブと鋼板およびそれらを結合するずれ止めをモデル化したせん断バネから構成される。板構造を有限要素法で解析する場合問題となるのが板要素の形状関数の採り方であるが、本研究ではコンクリートスラブ、鋼板とも図-2に示す9節点四角形要素を採用し、たわみに関して節点自由度を、隅角節点で(たわみ1・たわみ角2)自由度、辺上節点で(たわみ1・たわみ角1)自由度、中央節点で(たわみ1)自由度の計21自由度を設定する。また面内変位に関しては各節点2自由度の計18自由度を設定する。従って、形状関数はたわみに関しては4次式、面内変位に関しては2次式である。

ずれ止め剛性は単位面積当たりの線形バネ剛性を仮定する。

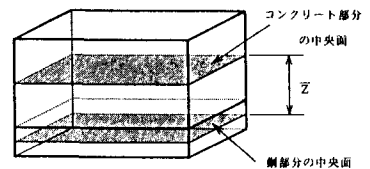


図-1 合成版要素

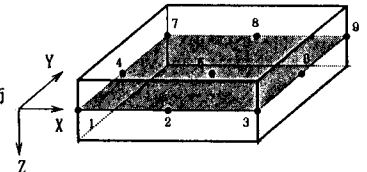


図-2 板要素節点

2.2 クリープ解析

コンクリートスラブのクリープ特性は通常用いられる一次元特性がそのまま2次元へ拡張できるものとし、クリープ解析は、履歴理論とクリープ係数を用いた有効弾性係数法によって行う。即ち、材令 t_1 で載荷されたコンクリートの材令 t_2 における x 、 y 方向直ひずみ(弾性ひずみ+クリープひずみ)およびせん断ひずみはそれぞれは次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x(t_2) &= \frac{\sigma_x(t_2) - \nu \sigma_y(t_2)}{E_f} \\ \epsilon_y(t_2) &= \frac{\sigma_y(t_2) - \nu \sigma_x(t_2)}{E_f} \\ \gamma_{xy}(t_2) &= \frac{\tau_{xy}(t_2)}{G_f} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $\sigma_x(t_2), \sigma_y(t_2), \tau_{xy}(t_2)$ は材令 t_2 の x, y 方向直応力とせん断力、 ν はポアソン比である。また、 E_f, G_f は、コンクリートのヤング係数、せん断弾性係数をそれぞれ E_c, G_c 、材令 t_1 から t_2 までのクリープ係数を $\phi(t_2, t_1)$ として、次式で表される有効弾性係数である。

$$E_f = \frac{E_c}{1 + \phi(t_2, t_1)}, \quad G_f = \frac{G_c}{1 + \phi(t_2, t_1)} \quad (2)$$

鋼板及びずれ止めはクリープ特性がない故、短期および長期解析いずれの場合もHookeの法則に従うとする。2. 1 で述べた不完全合成版要素のコンクリートスラブ、鋼板及びずれ止めそれぞれについて、有限要素法の常套手順に従い剛性マトリクスを求め、それらを重ね合わせるにより、不完全合成版の剛性方程式が得られる。

表-1 たわみの比較 ($\times 10^{-3}$ cm)

解析者	重ね板 $k_s=0$	不完全合成版 $k_s=1000$	完全合成版 $k_s=\infty$
筆者ら	4.6387	4.2418	2.3982
Timoshenko	4.4343	—	2.4162
井上ら	—	4.085	2.418
山口ら (5x5)	4.6905	4.3035	2.4228

3. 解析結果

3. 1 解析精度の検討

解析精度の検討のため、Timoshenkoの理論値、井上ら、山口らの解析値と、分割数を1とした本計算結果を比較する。対象としたのは、コンクリート厚13cm、鋼板厚0.6cmで一辺が50cmの4辺単純支持の正方形版に、10kgf/cm²の等分布荷重の時の板中央のたわみである。材料定数はコンクリート並びに鋼のヤング係数はそれぞれ $E_c=2.8436 \times 10^6$ kgf/cm²、 $E_s=2.1 \times 10^6$ kgf/cm² であり、ポアソン比はそれぞれ $\nu_c=0.2$ と $\nu_s=0.3$ とする。不完全合成版のずれ止め剛性は1000kgf/cm² とする。解析結果の比較を表-1に示す。これから本計算結果は分割数が1でありながら、理論値にほぼ一致しており、解の精度は十分と考えられる。

3. 2 バネ係数とクリープたわみ

次に、コンクリート厚20cm、鋼板厚0.8cmで一辺が2mの4辺単純支持合成版に、5kgf/cm²の等分布荷重の時の、合成版の挙動を、クリープ係数をパラメーターとして求めた。材料係数は $E_c=2.8436 \times 10^6$ kgf/cm²、 $E_s=2.1 \times 10^6$ kgf/cm²、 $\nu_c=0.2$ 、 $\nu_s=0.3$ である。図-3 にバネ係数と板中央のたわみ関係を示す。また、図-4 と図-5 にバネ係数と合成版中央のコンクリート上縁および鋼板下縁の直応力を示す。クリープ係数 $\phi=0$ の場合が弾性解析を表す。弾性解析の結果からズレ止め剛性が2500kgf/cm²以上ではたわみ応力ともほとんど変動しておらず、この合成版ではズレ止め剛性が2500kgf/cm²あれば完全合成版と考えて良いことが分かる。クリープによりコンクリートは応力緩和となる一方、鋼板では応力増加となりほぼ1.3倍になっている。

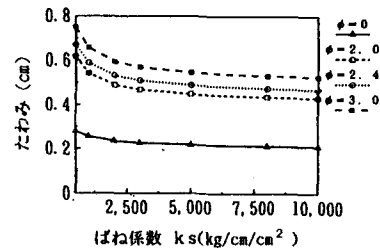


図-3 クリープたわみ

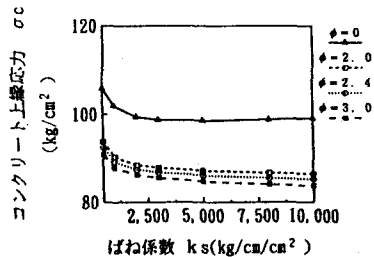


図-4 コンクリート応力

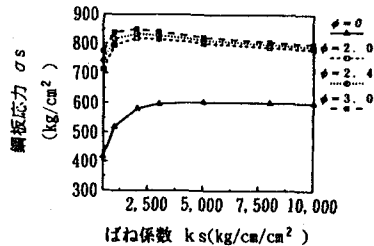


図-5 鋼板応力

参考文献

- 1) 井上・佐藤・渡辺: 不完全合成版の解析について, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 1245~1258, 1990
- 2) 山口・浜田・高海: 不完全合成版の有限要素解析, 構造工学論文集, Vol. 39A, pp. 1269~1278, 1993