

I-123

鋼コンクリート合成構造のクリープ・乾燥収縮解析に関する一考察

大阪市立大学 正会員 中井 博
大阪工業大学 正会員○栗田 章光

1. まえがき

PC構造を含む鋼コンクリート合成構造のクリープ・乾燥収縮解析については、今日まで数多くの解法が提案され実用に供されてきた。コンピュータが普及する前の解法は、計算に伴う労力を軽減するため、工学的判断が巧みに使用されており、概略計算には今日でも有効な方法と考えられる。種々の剛性マトリックスを用いる変位法は、今日一般化された解析手段であり、設計の実務で多用されている。また、コンクリートのクリープに対する考え方も1960年頃より大きく変った。それ以前までクリープはすべて非回復成分として取扱われてきたが、実際は回復成分と非回復成分の2つから成り立っていることが物性の立場から明らかにされた。クリープモデルの変化である。このような歴史的経緯を基に著者らは、各種のクリープ・乾燥収縮解析法について、クリープモデルと基礎式、構造解析モデルと断面力の取扱いなどに着目し、基礎的な研究を行っている。クリープ現象に関する新しい知見を含んだクリープモデルとその基礎式（応力～ひずみ関係式）については先に報告した¹⁾ので、本文では先ず解法の分類を示し、次いで構造解析モデルと断面力の取扱いについて、若干の考察を行う。

2. 解法の分類と考察

鋼合成げたを対象として、主にドイツで発展してきたクリープ・乾燥収縮解析法を基礎式の取扱いから分類すれば、表-1のようになる。表-1には、2つの方法を併用する我国で著名な橋および安宅の解法も示しておいた。

表-1 解法の分類（鋼合成げたの場合）

解 法 の 総 称	解 法 名
(1) Sattler流の微分方程式を直接解く方法	Sattlerの方法, Sontagの方法, 他
(2) Fritz流の換算弾性係数の概念を用いる方法	Fritzの方法, Blaskowiakの方法, Wippelの方法
(3) Trost流の代数方程式を用いる方法	Trostの方法, 他

Sattlerは、鋼部分とコンクリート部分に作用する軸力とモーメントの変化量を算定する方法として、任意の時刻 t におけるコンクリートの応力～ひずみ関係をDischingerの微分方程式

$$\frac{d\varepsilon_b(t)}{dt} = \frac{1}{E_b} \cdot \frac{d\sigma_b(t)}{dt} + \frac{\sigma_b(t)}{E_b} \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} + \frac{d\varepsilon_s(t)}{dt} \quad (1)$$

を直接適用し、解を得ている。この方法の場合、微分方程式を直接解くという性格からして、外的に高次の不静定構造を直接解くには難があることはいうまでもない。この難点をさけるため、Trost はリラクセーション係数 (ρ) を導入した

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b} \{1 + \phi(t)\} + \frac{\sigma_b(t) - \sigma_{b0}}{E_b} \{1 + \rho \phi(t)\} + \varepsilon_s(t) \quad (2)$$

なる代数表現された応力～ひずみ関係式を提案した。このリラクセーション係数は理論的に $0.5 \leq \rho \leq 1.0$ の範囲にあるが、通常的设计計算の場合、すなわち、コンクリートへの初期載荷材令が1ヶ月程度で、かつ、かなり長期間後（一般に $t \geq 200$ 日）の応力変化を計算する場合、近似的に $\rho = 0.8$ を用いてよいことが知られている。現行の道路橋示方書に示されている合成げたのクリープ・乾燥収縮計算の方法は、基本的には安宅の解法に基づくもので、この ρ に対応する値として $\frac{1}{2}$ が用いられている。Trost の提案した式は取扱いが簡単で、実用計算に適している。なお、Trostとほぼ同じ時期にBazantも式(2)と同種の式を提

案しているのでこの種の代数式に基づく解法を Trost-Bazant法（T-B法）と呼ばれることがあり、また、リラクセーション法と呼ばれることもある。

一方、Fritzの方法は、コンクリートの換算弾性係数を

$$E_{b\phi} = \frac{E_b}{1 + \psi \phi} \quad (3)$$

で定義し、この式における ψ をできるだけ合理的な方法で求めようとするもので、持続荷重によるクリープの場合、 ψ は、

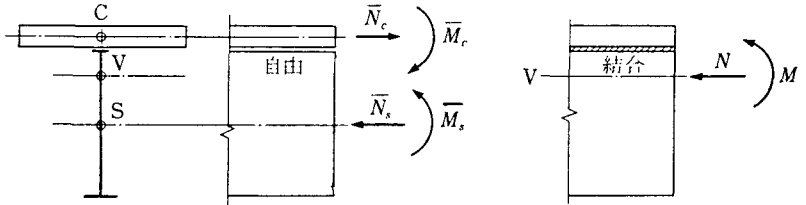
$$\psi = \frac{e^{\alpha \phi} - 1}{\alpha \phi}, \quad \alpha = \frac{A_s I_s}{A_v I_v} \quad (4)$$

で与えられる。我国で著名な橋の解法は、Sontagの方法を基礎にして、この Fritz法の換算弾性係数の概念を連続げたの解析にうまく持込んでいる。しかし、以上に述べた Trost法以外の解法では、クリープ成分は非回復成分のみとして取扱われており、今日コンクリート標準示方書などで規定されている回復成分と非回復成分の和としてのクリープを直接解析に取り入れることができない。ところが、現行の道路橋示方書・鋼橋編ではクリープを非回復の1成分のみで規定しているから、規定上、表-1に示されたいずれの解法を設計の実務に用いてもよいことになる。コンクリート関係の設計示方書との整合性からして、現行の道示・鋼橋編におけるクリープ規定を改訂する必要があると云える。また、現行の乾燥収縮に伴うクリープ係数の規定も不明瞭な要素をいくつか含んでいるので、改善する必要がある。

次に、解析モデルと断面力の取扱いについては、大きく2つに分類される。その1つは Sattlerらが使用した方法として、コンクリート部と鋼部のそれぞれに作用する軸力とモーメントを分けて取扱う分担断面力法（Teilschnittgrößenverfahren）であり図-1(a)で示される。他の1つは鋼とコンクリートの合成断面に作用する軸力と

モーメントを直接取扱う総断面力法（Gesamtschnittgrößenverfahren）（図-1(b)）であり、

この方法は現行の道示・鋼橋編の解説で述べられている。ただし、基礎式は安宅の解法に基づくも



(a)分担断面力法

(b)総断面力法

図-1 断面力の取扱い方

のである。前者の場合、接合面でコンクリート部と鋼部のひずみの連続条件ならびに曲率条件から分担軸力と分担モーメントに関する連立式を解く必要があり、特に Sattlerの解法の場合、連立の微分方程式を解く必要があるため、難解となり、実用性に欠ける面を有していたと思われる。

一方、後者の場合は、連立式すら解く必要がなく解法が簡単化する利点がある。さらに後者の場合、プレフレックスげたやPCげたならびにPC合成げた等の解析を行う際にも容易に解析モデルが設定でき、マトリックス解法への拡張も簡単であるという特長を有している。表-1での Fritzの方法と安宅の解法以外はすべて分担断面力法が用いられている。

3. あとがき

以上に、鋼合成げたを対象とするクリープ・乾燥収縮解析法の分類を行い若干の考察を加えた。また、現行の鋼道示での合成げたのクリープ・乾燥収縮規定に2, 3の問題点があることを指摘した。

- 1) 中井・栗田：鋼コンクリート合成構造の乾燥収縮・クリープ解析における基礎式に関する考察、平成元年度土木学会関西支部年講、第I部、1989.5.
- 2) 橋 善雄：連続合成桁橋、理工図書、昭和41年1月
- 3) K.Roik：Stahbau Handbuch, Bd.1, Kap.11 Verbundkonstruktionen, Stahlbau-Verlags, 1982.