

(17) 鋼・コンクリート2重合成連続箱桁橋のクリープおよび乾燥収縮挙動

CREEP AND SHRINKAGE BEHAVIORS IN STEEL-CONCRETE DOUBLE COMPOSITE CONTINUOUS BOX GIRDER BRIDGES

栗田 章光* 富田 耕司** 瀬野 靖久***

By Akimitsu KURITA , Koji TOMITA and Yasuhisa SENO

Recently, in F.R.Germany, a new type of the continuous composite box girder bridges was constructed. The bridge has two concrete slabs at upper and lower surfaces of the steel box girder only in the region of the intermediate supports. Three constructed examples of the bridges of this type have been already reported until now.

This paper deals with an analytical method for creep and shrinkage in steel-concrete double composite continuous box girder bridges. In the fundamental equations between stress and strain of concrete for creep and shrinkage, the delayed elastic creep strain and its recovery strain are taken into considerations. The solutions for creep and shrinkage are given as the changes of stress resultants in upper and lower concrete slabs and steel girder. The numerical example concerning the three span continuous double composite box girder bridge is reported, and the creep and shrinkage behaviors are discussed herein.

1. まえがき

最近、ドイツにおいて新しい形式の鋼・コンクリート連続合成箱桁橋が開発され、現在までに3つの施工例が報告されている¹⁾。その橋梁は、中間支点付近の箱桁下フランジを補剛するため、その領域においてのみ箱桁の下にもコンクリート床版を有する鋼・コンクリート2重合成連続箱桁橋という形式である。しかし、現時点において、本橋梁形式におけるクリープ・乾燥収縮挙動は、完全に解明されたとは言えず、より正確な検討を行う必要がある。

本論文では、この新形式の橋梁のクリープおよび乾燥収縮に伴う経時挙動を把握するため、数値解析を行った。クリープ解析には、すでに周知の通りフロークリープだけでなく、遅れ弾性クリープとその回復性（回復クリープ）を考慮したコンクリートの応力～ひずみ関係式²⁾を用いた。また、クリープおよび乾燥収縮による各分担断面力の変化量²⁾を2. で述べる施工手順に従って誘導した。そして、この新形式の橋梁の

* 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 ** 工修 日本構研情報(株)構造解析室

*** 工修 修成建設専門学校教授 土木工学科

クリープ・乾燥収縮に伴う経時挙動の変化について把握するため、簡単なモデルを用いて数値計算を行い、従来の箱桁橋との比較・検討を行ったので、その結果を以下に報告する。

2. 施工概要

本形式の橋梁は、前述の通り、鋼箱桁の上下にコンクリート床版を有している特殊な構造であり、さらに下側のコンクリート床版に関しては、中間支点付近から徐々に厚さが減少している。表－1は、3つの実橋の概略について比較したものである。

表－1 鋼・コンクリート2重合成連続箱桁橋の実例比較

橋 名 (都市名)	Innbrücke (Wasserburg)	Elbebrücke (Torgau)	Moselbrücke (Bernkastel)
スパン長 (m)	82.95-104.44 -104.44-82.95	(16-18-20-22-16-22) -53-106-65-45-45-36	36.4-74.4-36.4
幅員(m)	14.25	15.50	12.50
桁高(m)	4.28	5.60	4.50
下床版厚(cm)	20~65	40~90	25~50

その施工手順の概要としては、図－1に示す通りであり、

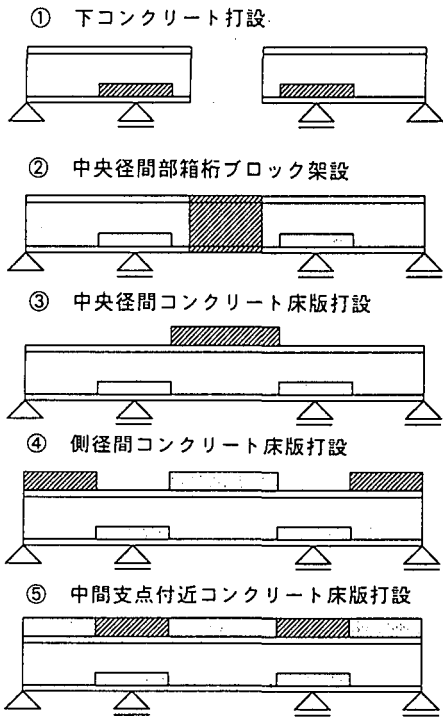
- ①張り出し架設された箱桁の下側フランジ部にコンクリートを打設する。
 - ②中央径間部の箱桁をブロック架設する。
 - ③中央径間部に上側のコンクリート床版を打設する。
 - ④側径間部に上側のコンクリート床版を打設する。
 - ⑤中間支点領域に上側のコンクリート床版を打設する。
- という要領である。したがって、解析においてはこの手順に従ったクリープ・乾燥収縮による影響を評価する必要がある。

3. クリープ・乾燥収縮解析

3. 1 コンクリートの応力～ひずみ関係式

(A) クリープ

クリープ解析に用いたコンクリートの応力～ひずみ関係式は、フロックリープ成分、遅れ弾性クリープ成分および回復クリープ成分を考慮した式を用いた²⁾。すなわち、時刻 t_1 で持続応力 σ_{t_1} が作用し、その後時間の経過とともに応力が漸減した場合の、任意時刻 t におけるコンクリートの変化ひずみ $\Delta \varepsilon_{t-t_1}$ は、次式で表すことができる。



図－1 施工手順の概要

$$\begin{aligned}
\Delta \varepsilon_{t-t_1} &= \frac{\sigma_{t_1}}{E_b} + [\phi_v(t-t_1) + \{\phi_f(t) - \phi_f(t_1)\}] + \frac{\Delta \sigma_{t-t_1}}{E_b} \\
&+ \frac{1}{E_b} \int_{t_1}^t \Delta \sigma_{\tau-t_1} \frac{d\phi_v(\tau-t_1)}{d\tau} d\tau \\
&+ \frac{1}{E_b} \int_{t_1}^t \Delta \sigma_{\tau-t_1} \frac{d\phi_f(\tau)}{d\tau} d\tau \\
&- \frac{1}{E_b \phi_{v\infty}} \int_{t_1}^t \Delta \sigma_{\tau-t_1} \frac{d\{\phi_v(\tau-t_1)\phi_v(t-\tau)\}}{d\tau} d\tau
\end{aligned} \tag{1}$$

ここに、

- $\Delta \varepsilon_{t-t_1}$: 時刻 t_1 から t に至るまでのクリープによるコンクリートのクリープによる変化ひずみ
- σ_{t_1} : 時刻 t_1 におけるコンクリートの当初応力度
- $\Delta \sigma_{t-t_1}$: 時刻 t_1 から t に至るまでのコンクリートのクリープによる変化応力度
- E_b : コンクリートのヤング係数 (一定と仮定)
- ϕ_v : 遅れ弾性ひずみに対するクリープ係数
- ϕ_f : フローひずみに対するクリープ係数

式(1)の右辺第5項目が、回復クリープの影響を表す項であり、 ϕ_v のついた項が遅れ弾性クリープの影響を表す項である。

(B) 乾燥収縮

乾燥収縮解析に用いた任意時刻 t におけるコンクリートの応力～ひずみ関係式は次式で表すことができる³⁾。

$$\Delta \varepsilon_t = \frac{\Delta \sigma_t}{E_b} + \frac{1}{E_b} \int_0^t \Delta \sigma_\tau \frac{d\phi_s(\tau)}{d\tau} d\tau + \varepsilon_{s\infty} \frac{\phi_s(t)}{\phi_{s\infty}} \tag{2}$$

ここに、

- $\Delta \varepsilon_t$: 時刻 t におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみ
- $\Delta \sigma_t$: 時刻 t におけるコンクリートの乾燥収縮による変化応力度
- $\varepsilon_{s\infty}$: 時刻 $t = \infty$ におけるコンクリートの自由乾燥収縮ひずみ
- ϕ_s : コンクリートの乾燥収縮に伴うクリープ係数

3. 2 コンクリートおよび鋼箱桁に作用する各分担断面力

本形式のような合成箱桁の場合、中間支点領域には鋼箱桁の上下に床版を打設するため、合成箱桁断面に持続曲げモーメントが作用し、その結果、上下のコンクリート床版にクリープ現象が生じる。また、施工段階により構造系が変化するため、各段階に応じてクリープ係数および乾燥収縮量を考慮する必要がある。

例えば、図-1の施工手順において、時刻 $t = t_1$ で中央径間の箱桁を一括架設した場合、下フランジコンクリートを有する中間支点領域の桁には、持続曲げモーメント M_{d, t_1} が作用する。その場合のクリープの解は、次のように表すことができる。

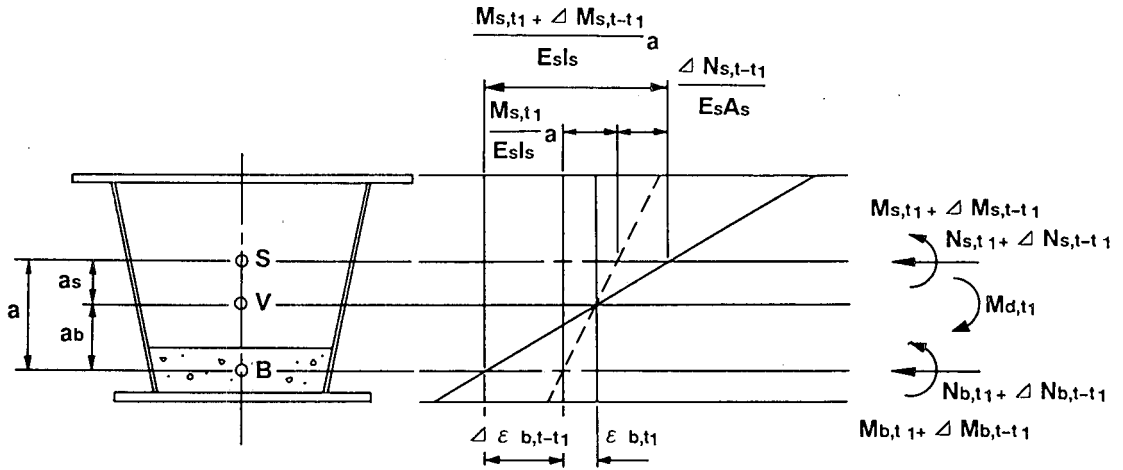


図-2 持続曲げモーメント M_{d,t_1} が作用した場合の合成箱桁断面のひずみ分布

$$\left. \begin{aligned}
 \Delta N_{b,t-t_1} &= -\Delta N_{s,t-t_1} = -\frac{D_2(1-\eta_M+D_M)-D_1D_V}{(1-\eta_N+D_N+D_1a)(1-\eta_M+D_M)-D_1D_Ma} M_{d,t_1} \cdot \phi(t-t_1) \\
 \Delta M_{b,t-t_1} &= -\frac{D_V(1-\eta_N+D_N+D_1a)-D_2D_Ma}{(1-\eta_N+D_N+D_1a)(1-\eta_M+D_M)-D_1D_Ma} M_{d,t_1} \cdot \phi(t-t_1) \\
 \Delta M_{s,t-t_1} &= -(\Delta M_{b,t-t_1} - \Delta N_{b,t-t_1} \cdot a)
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに、

$$D_1 = \frac{E_b A_b}{E_s I_s} a, \quad D_2 = \frac{E_b A_b}{E_s I_v} a_b, \quad D_N = \frac{E_b A_b}{E_s A_v}, \quad D_M = \frac{E_b I_b}{E_s I_s}, \quad D_V = \frac{E_b I_b}{E_s I_v} \quad (4)$$

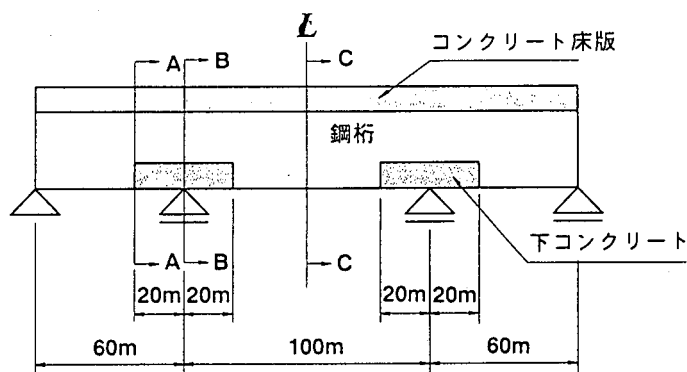
η_N, η_M : コンクリートの応力緩和を考慮したクリープ係数 (文献2参照)

4. 数値計算例

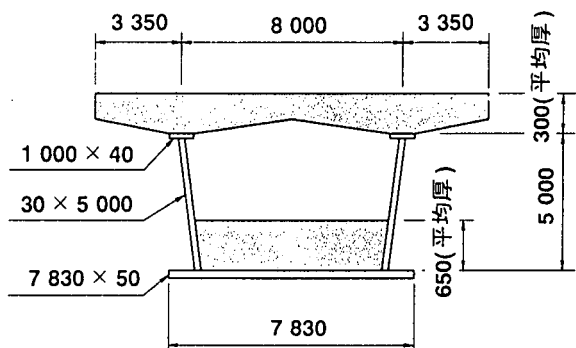
4. 1 解析条件

数値計算例として、図-3に示すような3径間連続2重合成箱桁橋を対象に数値解析を行い、上下のコンクリート床版のクリープ・乾燥収縮に伴う合成箱桁断面の経時挙動変化について考察を行った。表-2に解析に用いた諸条件を示した。

さらに、本形式の場合、大きく分けて4つのStepに分けてコンクリートが打設される。したがって、各施工段階に対応するクリープ係数および乾燥収縮量を4通り仮定して解析を行った。



(a) 側面図



(b) 断面図 (寸法単位: mm)

図-3 解析モデル (3 径間連続 2 重合成箱桁橋)

表-2 解析条件

4. 2 解析結果および考察

図-4 には、下コンクリート床版の各施工段階における断面B-B (中間支点断面) の変化応力度を、また図-5 には、断面C-C (スパン中央断面) における通常の連続合成箱桁との変化応力度の比較を示した。各施工段階ごとにそれぞれ、死荷重つまりコンクリート床版打設時、クリープおよび乾燥収縮による変化応力度の順でプロットしたものである。また、図-6 には断面A-Aおよび断面C-Cの各施工段階ごとのたわみ変化を示した。

なお、図中の施工段階とは、それぞれ次のように分類した。

- ①下床版のコンクリート打設時。
- ②中央径間部箱桁架設およびコンクリート床版打設時。
- ③側径間部コンクリート床版打設時。
- ④中間支点部コンクリート床版打設および後死荷重載荷時。

合成桁の断面積(m^2)		2.1565
合成桁の断面2次モーメント(m^4)		11.8556
ヤング係数(kN/m^2)	コンクリート	34.3×10^6
	鋼桁	20.6×10^7
死荷重 (自重) (kN/m)	コンクリート床版	108.05
	下コンクリート	95.55
	鋼桁	59.35
後死荷重(kN/m)		16.905
遅れ弾性クリープに対するクリープ係数		0.4
フロークリープに対するクリープ係数		1.6
乾燥収縮に伴うクリープ係数		4.0
最終乾燥収縮量		200×10^{-6}

これらの図より、下コンクリート床版の変化応力度に関しては、クリープにより上縁で約 157.8 kN/m^2 (1.6 kgf/cm^2)、下縁で約 3572 kN/m^2 (36.4 kgf/cm^2)の、乾燥収縮により上縁で約 2217 kN/m^2 (22.6 kgf/cm^2)、下縁で約 1795 kN/m^2 (18.3 kgf/cm^2)の引張応力をそれぞれ受けることがわかる。また、上コンクリート床版に関しては、Step4の最終段階で床版が合成されるため、とくに乾燥収縮によりかなりの引張応力を受けるものと思われる。通常の連続合成桁と比較した場合、図-5よりスパン中央断面のコンクリート床版のクリープ・乾燥収縮による変化応力度は、通常の合成桁で約 3443 kN/m^2 (35.1 kgf/cm^2)、2重合成桁で約 3236 kN/m^2 (33.0 kgf/cm^2)となり、本形式を採用することにより、約 207 kN/m^2 (2.1 kgf/cm^2)の引張応力を軽減することができる。

一方、たわみに関しては、断面A-A(側径間部)は、ほとんど変化がないが、断面C-C(スパン中央断面)では、クリープ・乾燥収縮により約 38.0 mm のたわみ増が確認できる。

5. まとめ

本文では、鋼・コンクリート2重合成連続箱桁橋という新形式の橋梁についてのクリープ・乾燥収縮による挙動を簡単な解析モデルを用いて示した。その結果、通常の連続合成箱桁と単純に比較すると、若干ではあるがコンクリート床版の引張応力を軽減できることがわかった。

今後、上床版コンクリートへのプレストレスの導入に関連したクリープ解析を行う必要がある。

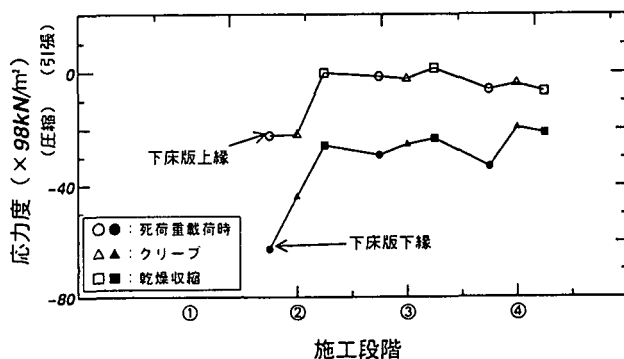


図-4 断面B-B(中間支点断面)の下床版の応力度の変化

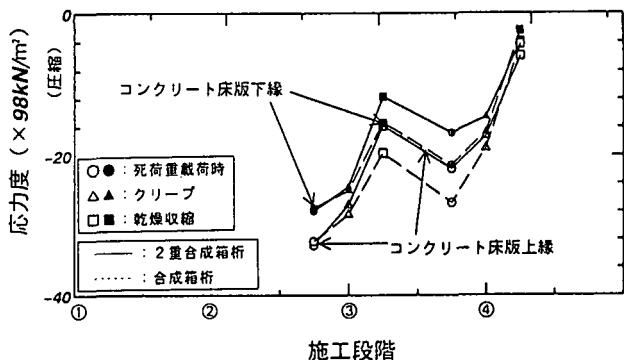


図-5 断面C-C(スパン中央断面)の上床版の応力度の変化

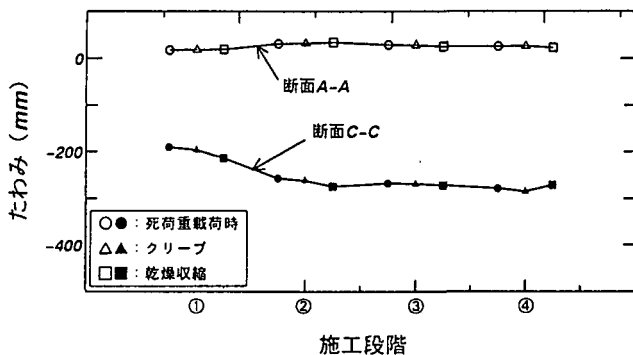


図-6 たわみ変化

参考文献

- 1) F. Nather : Stahlbrücken mit Doppelverbund, Bau intern, pp.238-245, 1994.12.
- 2) 栗田章光・中井 博 : 回復クリープを考慮した鋼・コンクリート合成桁のクリープ解析、構造工学論文集、Vol.37A, pp.1407-1418, 1991.3.
- 3) A.KURITA and H.NAKAI : Effect of Creep Coefficient on Analysis of Shrinkage in Steel-Concrete Composite Girder Bridges, Abstract of the Second Japan-Korea Joint Seminar on Steel Bridges, pp.59-60, 1992.9.