

鋼・コンクリート二重合成箱桁橋の 打設順序検討プログラム

石川 敏之¹⁾ 橘 肇²⁾

近年、公共事業のコスト縮減が求められており、その対応の一環として、1970年代以降減少傾向にあった鋼・コンクリート複合構造橋梁が見直しされてきている。ここに紹介する鋼・コンクリート二重合成箱桁橋もその一例である。

鋼・コンクリート二重合成箱桁は、上コンクリート床版だけでなく、中間支点領域の下フランジ側にもコンクリートを打設し、コンクリートと鋼桁とを合成させた構造である。一般に、下コンクリート床版は、上コンクリート床版よりも以前に打設する。そのため、下コンクリート床版には後死荷重だけではなく、上コンクリート床版が持続荷重として載荷される。そのため、下コンクリート床版には常に圧縮が作用し、クリープによる影響が大きくなる。さらに、クリープは上コンクリート床版の打設順序にも影響されると考える。キャンバー精算や架設検討などでは、それらを精度良く評価する必要があるが、それとともに計算量も膨大となる。そこでクリープの影響を精度良く、かつ、合理的に評価するために、二重合成箱桁の打設順序検討プログラムの開発を行った。ここでは、本プログラムの開発および適用例を紹介する。

キーワード：二重合成箱桁，床版打設，クリープ

まえがき

鋼・コンクリート二重合成箱桁は、連続合成箱桁の中間支点領域の下フランジ側にコンクリートを打設し、鋼桁下フランジの座屈防止を行い、鋼桁の剛性を経済的に増すことができる構造である。図-1に鋼・コンクリート二重合成箱桁の概念図を示す。下記に本橋梁形式の特徴を挙げる。

- ①側／中央径間比を小さくする制約条件がある時に有効である。
- ②桁高を低く抑えることができる。
- ③中間支点領域の鋼桁の板厚を低減することができ、補剛リブを少なくすることにより部材数が減るため工場製作の省力化を図ることができる。

- ④中間支点領域の上コンクリート床版のひび割れ幅の低減に有効である。
- ⑤桁全体の剛性を高めることにより、支間の長大化が可能となる。

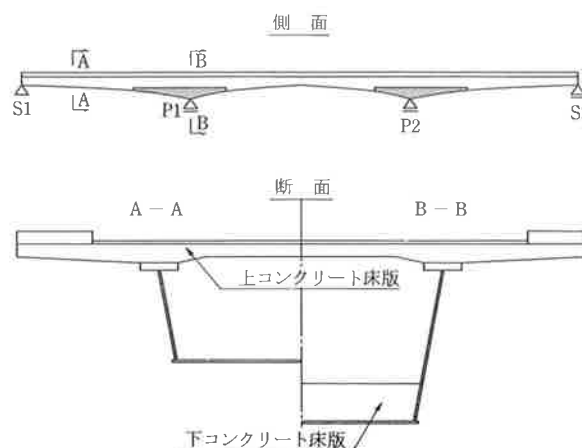


図-1 鋼・コンクリート二重合成箱桁橋

⑥鉄道橋に採用することにより騒音および振動の低減をはかることができる。

一般に下コンクリート床版は、中間支点付近の鋼桁の下フランジ(圧縮側)を補剛する目的のため、支間中央側の鋼桁を架設する前に打設され、鋼桁併合後に上コンクリート床版を打設する。したがって、下コンクリート床版には後死荷重だけではなく、上コンクリート床版が持続荷重として載荷されるため、クリープによる影響も大きくなる。クリープは、上床版コンクリートの打設順序にも影響される。そこで、これらを精度良く評価する二重合成箱桁の設計計算プログラムの開発を行った。ここでは、本プログラムの開発およびその適用例を紹介する。

1. プログラムの概要

本プログラムは、当社で開発した「床版の打設順序検討プログラム」¹⁾を二重合成にも対応できるように改良したものである。

本プログラムでは、断面諸量の入力、打設順序の設定など、床版打設順序を検討するのに必要な項目を対話形式で処理できる(図-2)。本プログラムは、上・下コンクリート床版の打設順序を考慮することができ、先に打設された床版には、その後打設される床版の自重による持続荷重が付加される。したがって、最初に打設された床版と最後に打設された床版とでは床版の応力状態が異なると考えられる。通常の設計計算では、クリープによる影響は、後死荷重のみを考慮する計算であるが、床版打設順序に従った計算を行うことにより、クリープによる影響が通常の設計計算と異なる。さらに、鋼・コンクリート二重合成箱桁橋の

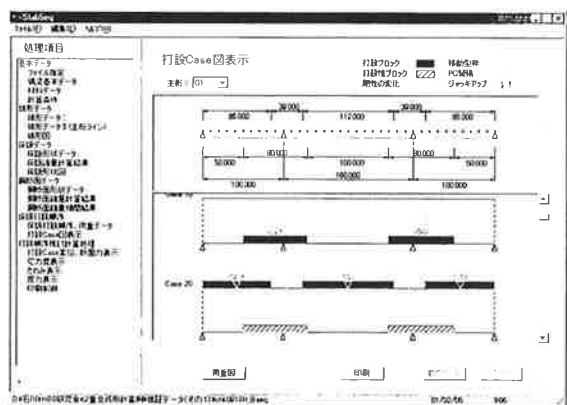


図-2 打設順序確認画面

ように上・下コンクリート床版を有する合成桁では、下コンクリート床版が先に打設されその後上床版が打設されるため、下コンクリート床版には後死荷重だけでなく、上床版荷重が持続荷重として載荷され、クリープによる応力、特にキャンバーに影響が大きい。床版打設段階では、これらを精度良く評価する必要がある。

2. プログラムの特徴

事項より本プログラムの特徴を示す。

- ①コンクリート床版が打設された箇所は合成断面とし、コンクリートの材令を考慮した剛度、強度を用いて評価する事ができる。
- ②上・下コンクリート床版のクリープ・乾燥収縮の影響を考慮している。
- ③道路橋示方書ではクリープ係数 $\phi=2.0$ として与えられているが、これは最終クリープ量に対する係数である。これに対し、本プログラムでは架設段階でのクリープによる影響も考慮するため、クリープ係数を時間と共に変化させて計算が行える。
- ④多径間連続桁の場合、クリープ・乾燥収縮により発生する不静定力も内部で自動計算を行う。
- ⑤各打設ステップごとの温度差荷重を計算することができる。
- ⑥ジャッキおよび PC 軸力を導入することができ、さらにこれらによるクリープの影響も考慮する。

本プログラムでは、コンクリートおよび鋼桁のクリープ・乾燥収縮の計算に分担断面力法を用いている^{2),3)}。一例として、図-3に乾燥収縮に伴う合成桁のひずみ分布と分担断面力の変化量を示す。

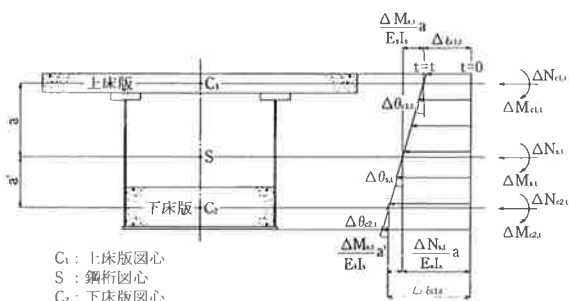


図-3 乾燥収縮に伴う合成桁のひずみ分布と分担断面力の変化量

3. 鋼・コンクリート二重合成箱桁橋のクリープの計算例

(1) 計算条件および計算方法

本プログラムを用いた二重合成箱桁橋の計算例を示す。対象モデルはプレストレスしない鋼・コンクリート二重合成 3 径間連続箱桁橋とする。鋼桁断面は一定とし、中間支点領域は、図-4に示す下コンクリート床版を有する断面とする。支間は、側径間：100m、中央径間：160m である。計算は、床版打設順序による影響を示すために下記の二通り行った。

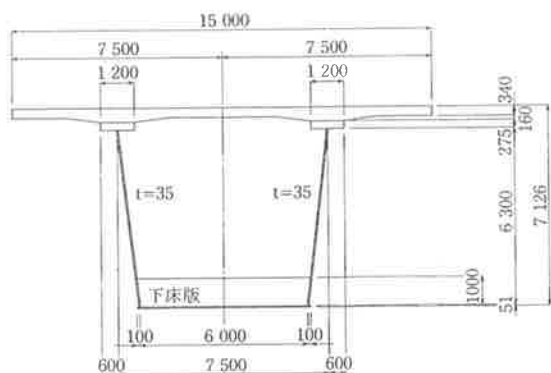
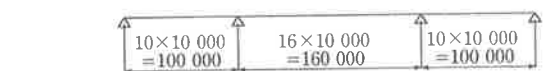
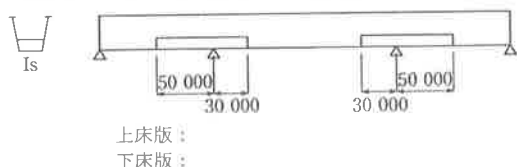


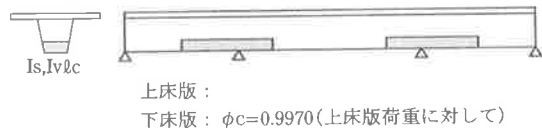
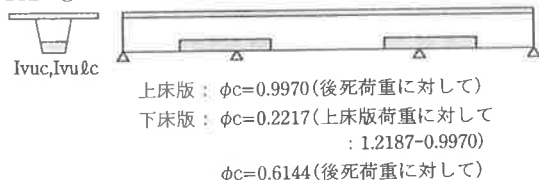
図-4 中間支点の断面図



STEP ①: 0 ~ 100 日 鋼桁架設, 下床版打設



STEP ②：100～300日 上床版打設

STEP ③ : 300 ~ ∞ 日 後死荷重

1) CASE-1: 上床版一括打設

t= 0 ~ 100 日：下床版打設・養生

t=100 ~ 300日：上床版打設・養生

t=300 ~ ∞ 日 : 後死荷重載荷 (橋面工)

上記の時刻歴を追った計算を行う。図-5に打設ステップ図を示す。

2) CASE-2: 上床版逐次打設

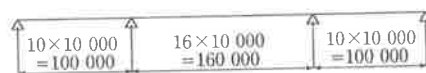
t= 0 ~ 100日：下床版打設・養生

t=100~200日：上床版打設・養生(支間部)

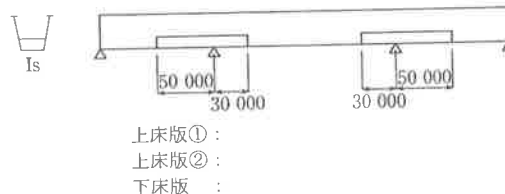
t=200~300日：上床版打設・養生(中間支点部)

t=300 ~ ∞ 日: 後死荷重載荷 (橋面工)

上記の時刻歴を追った計算を行う。図-6に打設ステップ図を示す。

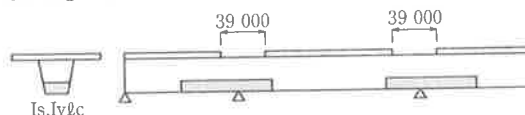


STEP ① : 0 ~ 100 日 鋼桁架設, 下床版打設



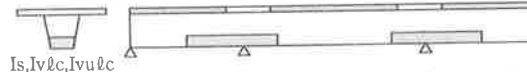
上床版①：
上床版②：
下床版：

STEP ②：100～200日 上床版打設①

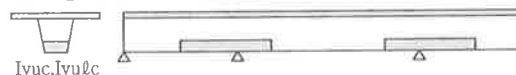


上床版①：
上床版②：
下床版： $\phi_c=0.7456$ (上床版①荷重に対して)

STEP ③：200～300日 上床版打設②



上床版①: $\phi c = 0.7456$ (上床版②に対して)
 上床版②: $\phi c = 0.7456$ (上床版①に対して)
 下床版: $\phi c = 0.2514$ (上床版①荷重に対して)
 $\phi c = 0.9970 - 0.7456$
 $\phi c = 0.5504$ (上床版②荷重に対して)

STEP ④: 300 ~ ∞ 日後死荷重

上床版①: $\phi c=0.4731$ (上床版②荷重に対して
: 1.2187-0.7456)
 $\phi c=0.8190$ (後死荷重に対して)

上床版②: $\phi c=1.2187$ (後死荷重に対して)

下床版: $\phi c=0.2217$ (上床版①荷重に対して
: 1.2187-0.9970)
 $\phi c=0.2685$ (上床版②荷重に対して
: 0.8190-0.5504)
 $\phi c=0.6144$ (後死荷重に対して)

図-5 CASE-1：上床版一括打設

図-6 CASE-2：上床版逐次打設

計算に用いるクリープ・乾燥収縮のクリープ係数 ϕ_c , ϕ_s を次式に示す^{4), 5)}。

$$\phi_c = \phi_{v\infty} (1 - e^{-k_1(t-t_1)}) + \phi_{f\infty} (e^{-k_2 \cdot t} - e^{-k_2 \cdot t_1}) \quad (1)$$

$$\phi_s = \varepsilon_{\infty} (1 - e^{-k_3 \cdot t}) \quad (2)$$

ここに、

$\phi_{v\infty}$: 遅れ弾性クリープ係数, $\phi_{v\infty}=0.4$

$\phi_{f\infty}$: フロークリープ係数, $\phi_{f\infty}=1.6$

ε_{∞} : 最終乾燥収縮量, $\varepsilon_{\infty}=20 \times 10^{-5}$

t : 床版打設後の経過日数

t_1 : 持続荷重載荷日

k_1 : 遅れ弾性クリープ曲線の係数

k_2 : フロークリープ曲線の係数

k_3 : 乾燥収縮曲線の係数

係数 k_2 , k_3 は床版の仮想厚さから求まる係数である。今回の計算例では上・下コンクリート床版とも $k_1=0.02$, $k_2=0.067$, $k_3=0.01$ を用いている。

クリープ・乾燥収縮に伴い発生する床版および鋼桁の応力の変化量 $\Delta\sigma_c$, $\Delta\sigma_s$ を次式に示す。

$$\Delta\sigma_{c,t-t_1} = \frac{\Delta N_{c,t-t_1}}{A_c} + \frac{\Delta M_{c,t-t_1}}{I_c} y_c \quad (3)$$

$$\Delta\sigma_{s,t-t_1} = \frac{\Delta N_{s,t-t_1}}{A_s} + \frac{\Delta M_{s,t-t_1}}{I_s} y_s \quad (4)$$

ここに、

$\Delta N_{c,t-t_1}$, $\Delta M_{c,t-t_1}$

: クリープ・乾燥収縮のひずみ変化に伴う床版の分担断面力の変化量

$\Delta N_{s,t-t_1}$, $\Delta M_{s,t-t_1}$

: クリープ・乾燥収縮のひずみ変化に伴う鋼桁の分担断面力の変化量

A_c , I_c : 床版の断面積, 断面2次モーメント

A_s , I_s : 鋼桁の断面積, 断面2次モーメント

式(3), (4)およびそれらにより発生する不静定力を用いて、クリープ・乾燥収縮の応力度を算出する。

(2) 計算結果

本プログラムを用いた CASE-1, 2 の計算結果を図-7に示す。クリープにより発生した $t=\infty$ の床版、鋼桁の応力度を示している。この図より、上床版および鋼桁上縁の応力度分布が CASE-1, 2 で多少異なる結果を得た。これは、先に打設された床版に、その後打設した床版の自重により、発生する持続荷重が作用するためである。式(1)から明らかなように、床版が打設されてから、荷重

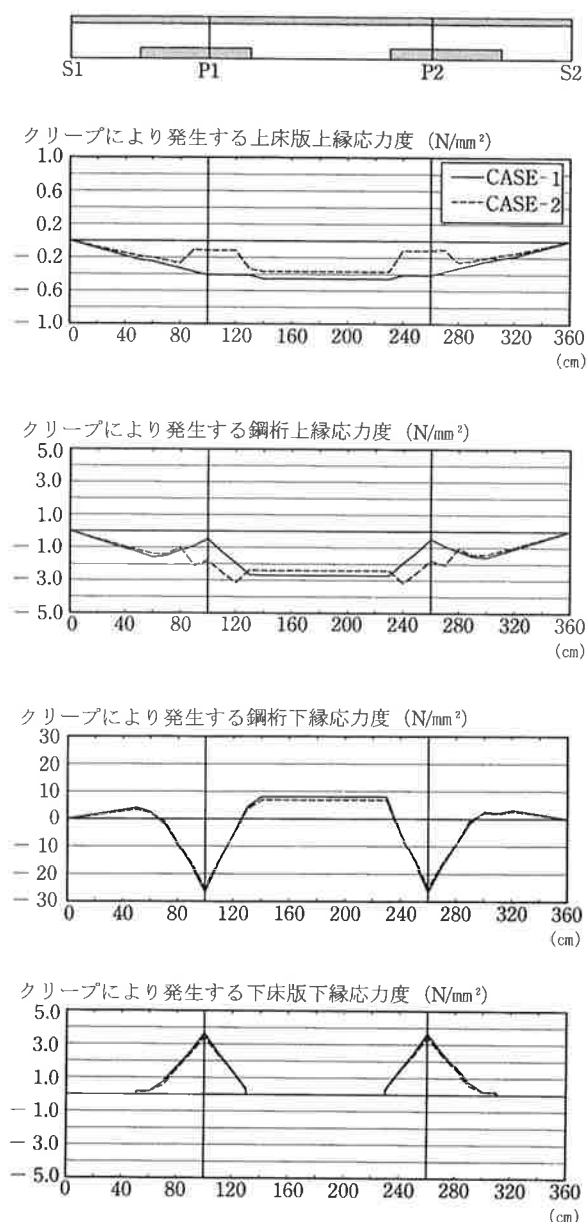


図-7 応力度分布（引張を正とする）

が載荷されるまでの時間 $t-t_1$ によりクリープ係数が異なるため、クリープ応力度に違いがある。

このように、本プログラムを用いることにより、二重合成桁橋の床版打設を考慮したクリープの影響を精度よく評価できる。

4. まとめ

本プログラム開発で、得られた成果を以下に示す。

- ①当社で開発した「床版の打設順序検討プログラム」を箱桁さらに二重合成に対応させ、それらの打設順序検討を効率的に行うことが可能である。

②床版打設順序を考慮しない CASE-1 と床版打設を考慮する CASE-2 との計算例を示した。それらより、本プログラムを用いて精度よく二重合成橋梁の床版打設順序の検討を行うことができる。

あとがき

本プログラムの開発を行うにあたり、大阪工業大学 栗田章光教授、博士後期課程 大山 理氏ならびに複合構造研究会（HBB 研究会）の委員各位に懇切丁寧な御指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 有村英樹・石川敏之・神原康樹：床版の打設

順序検討プログラムの開発，駒井技報，Vol.19，pp.86-90，2000.4.

- 2) 大山 理・栗田章光・渡辺滉：鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の断面構成比がクリープおよび乾燥収縮挙動に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.46A，pp.1685-1692，2000.3.
- 3) 大山 理・栗田章光・瀬野靖久・富田耕司：内・外ケーブルを有する鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋のクリープおよび乾燥収縮に関する解析的研究，構造工学論文集，Vol.45A，pp.1477-1488，1999.3.
- 4) 栗田章光：回復クリープの影響を考慮した鋼・コンクリート合成桁の経時挙動に関する研究（学位論文），1991.9.
- 5) 中井 博：鋼・合成橋梁の進歩を支え得る諸技術，山海堂，pp.93-115，1999.5.