

床版の打設順序検討プログラムの開発

有村 英樹¹⁾ 石川 敏之²⁾ 神原 康樹³⁾

近年、鋼橋では公共事業のコスト縮減のため、床版支持支間を大きくし主桁本数を少なくしたPC床版の少数主桁型の橋梁が盛んに採用されている。本形式の橋梁では従来設計に比較して床版が厚くなり、コンクリート／鋼桁の断面構成比からも従来よりもコンクリート床版の橋梁全体にもたらす影響は大きく、施工に際しても十分な検討が必要となる。一般に床版はブロック打設工法により施工され、ある施工段階においては床版コンクリートに有害な引張力が生じる可能性がある。このことから打設順序の決定には十分な検討が必要となる。

本プログラムは床版打設順序を計画検討する際に、打設順序と最低所要日数についての決定を効率的に支援するもので、対話形式で処理することから、打設順序の検討過程の簡素化、迅速化を可能としている。さらに既打設ブロックと鋼断面との逐次合成効果ならびに乾燥収縮、クリープの影響を考慮することでより正確な検討結果を得ることを目標としている。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：床版打設、逐次合成効果、移動型枠、乾燥収縮、クリープ

まえがき

近年、公共事業のコスト縮減が叫ばれており、鋼橋では省力化設計、合理化鋼床版、合成床版などの構造が盛んに採用されている。なかでも床版を橋梁の重要部材と位置づけた少数主桁の形式については、当社でも日本道路公団の中之沢橋、名古屋高速道路公社の大高南工区を受注し、現在設計を行っている。

少数主桁橋梁は床版支持支間を大きくすることにより、主桁本数を少なくするとともに、横桁・横構などの構造部材を単純化または省力化して合理化を図った構造であるが、従来設計に比較して床版厚が厚くなる傾向にある。このため、これまでの橋梁に比べて、床版重量が全死荷重に占める割合が大きくなり、断面力など橋梁全体にもたらす影響が大きくなるため、施工に際しても十分な検討が必要となる。

一般に連続桁の床版の打設では、ブロック施工

が計画され、既打設の床版ブロックには移動型枠などの自重を含む後施工ブロック重量による断面力（曲げモーメント）が作用する。この曲げモーメントには打設順序の各ステップで異なっており、ある施工段階においては床版コンクリートに有害な引張力を生じさせる可能性がある。ブロック施工による最終の曲げモーメント性状はコンクリートの硬化による逐次合成効果があるため主桁剛度を一定値とした解析値とは異なる。少数主桁橋では床版重量の影響が大きいため、その差が大きくなると考えられる。したがって、床版の打設順序には十分な検討が必要となる。

本プログラムは床版打設に関し、打設順序と最低所要日数について検討を効率的に支援するプログラムである。断面諸量などの入力、平面骨組（Frame）解析、打設順序の設定など、一連の作業を対話形式での処理を可能としている。さらに本プログラムでは、既存のプログラムにはなかった移動型枠の使用やジャッキアップ・ダウンの効果も考慮し、逐次合成効果ならびに乾燥収縮、ク

1) 橋梁設計部大阪設計一課係長 2) 橋梁設計部大阪設計二課 3) 橋梁設計部大阪設計一課副課長

リープの影響を反映し、最適な打設順序の決定を支援するものである。

1. プログラム概要

基本的な方針としては、各ステップにおいて新しく打設するコンクリートおよび移動型枠などの重量により、既打設ブロックのコンクリート断面に生じる引張応力度が各材齢における許容引張応

力度以下になることを照査し、打設順序を決定する。

本プログラムでは、断面力算出時のFrameデータおよび応力算出時の断面計算においても材齢を考慮し、既打設ブロックと鋼断面との合成効果を評価し、合成桁として横桁位置と鋼断面の変化位置での応力度照査を行う。計算のフローを図-1に示す。

説明のため図-2のような1本梁モデルの計算例

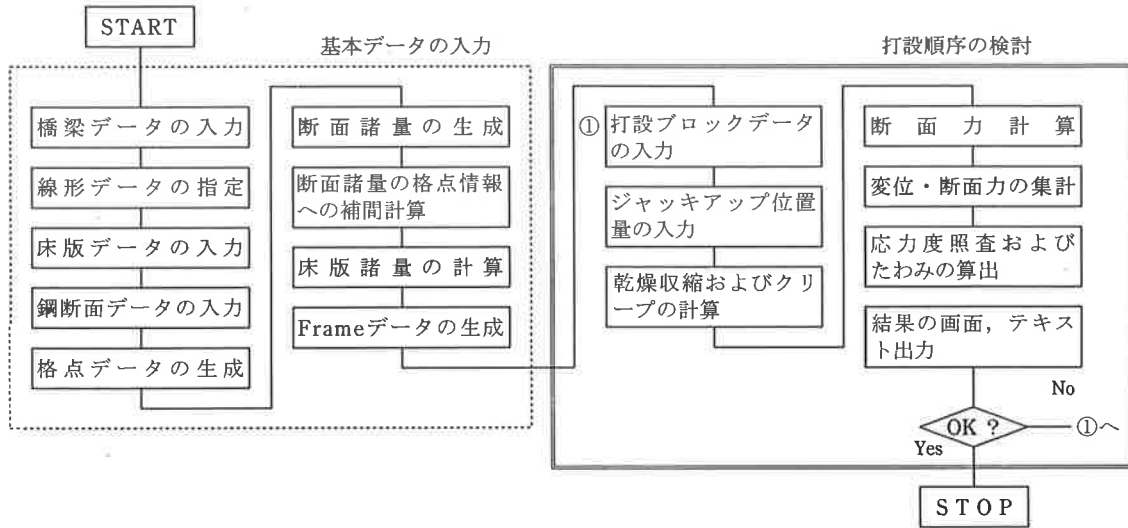


図-1 計算のフロー

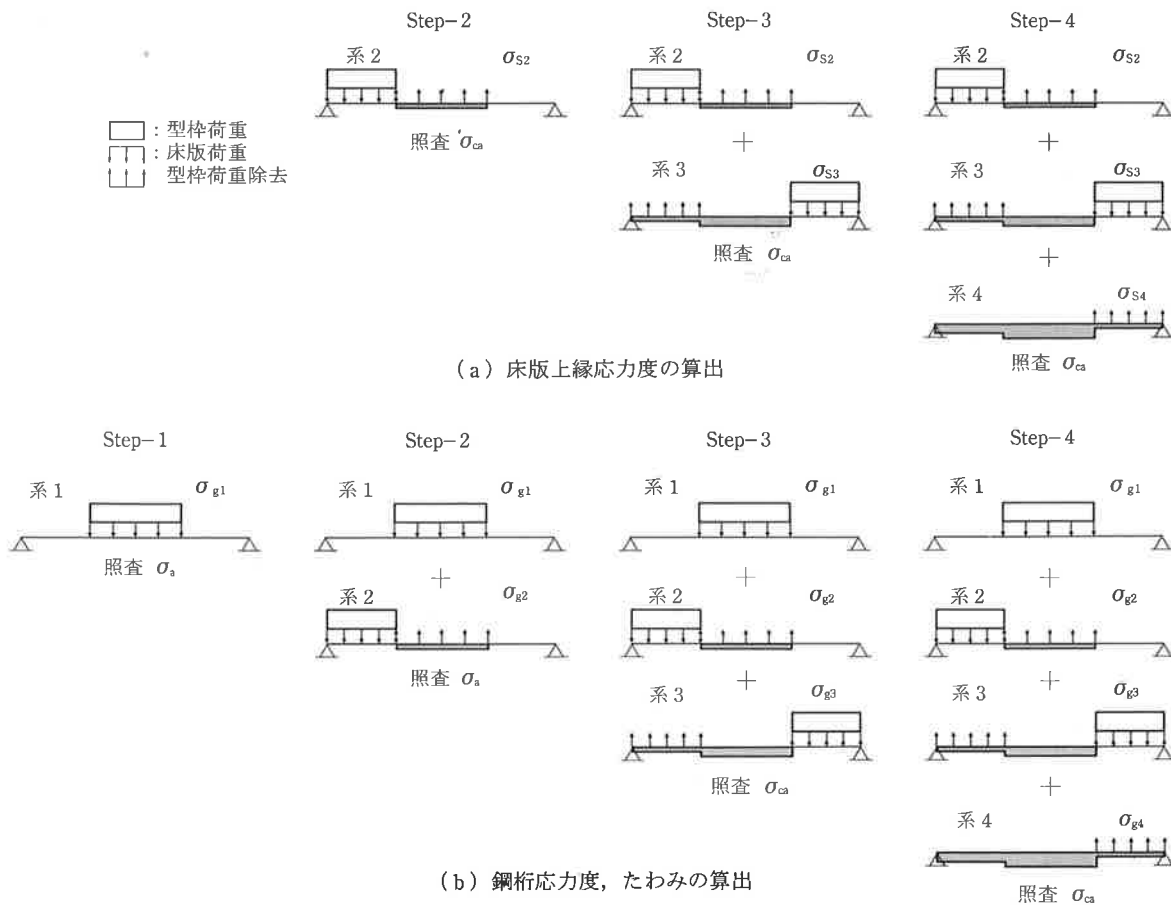


図-3 応力度、たわみの算出

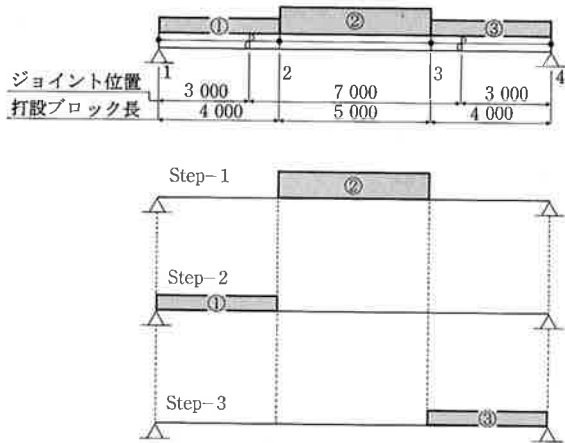


図-2 解析モデル

を示す。打設ブロックは3ブロックで、移動型枠を使用し、ブロック②→①→③の打設順序とする。また移動型枠はブロック③打設後撤去するものとする。

応力度およびたわみの算出方法の模式図を図-3に示す。まず、床版上縁の応力度の算出は合成断面となるStep-2以降から算出し、既打設ブロックの照査を行うものとする。

鋼桁の応力度およびたわみは鋼桁自重を考慮する必要があるため、図-3のようにStep-1から計算を行う。本プログラムで算出したたわみについては自動的に製作キャンバーに反映される。

打設順序の変更で許容応力度を満足しない場合は打設間隔、打設ブロック長の変更、ジャッキダウン実施などの対策が挙げられる。ジャッキダウンについてはFrame解析において支点強制変位を与えることにより評価し、必要ジャッキダウン量を決定する。実施工では必要ジャッキダウン量を鋼桁閉合後に前もって上越しする必要がある。このようなジャッキアップ・ダウンの効果についても計算に考慮できるようにした。

2. 検討例

打設順序の検討例を図-4に示す。

(1) 入力データ

1) 解析モデル

解析モデルは主桁断面決定に使用したFrameモデルを使用する。

2) 断面諸量

各ステップの断面諸量は、先行して打設した

ブロックを鋼桁と床版コンクリートとの材齢を考慮した合成断面として評価する。

3) 荷重条件

本検討例で考慮する荷重は下記とする。

項目	荷重値
①鋼桁自重	17.96KN/m/桁
②床版重量	462.1KN/m/桁
③移動型枠重量	1079KN

4) 施工サイクル

施工サイクルは1ブロック8日とし、5日目

- : 打設済ブロック (■ : 打設ブロック)
- : 格点 (Frame)
- ⊕ : 断面変化 (ジョイント) 位置

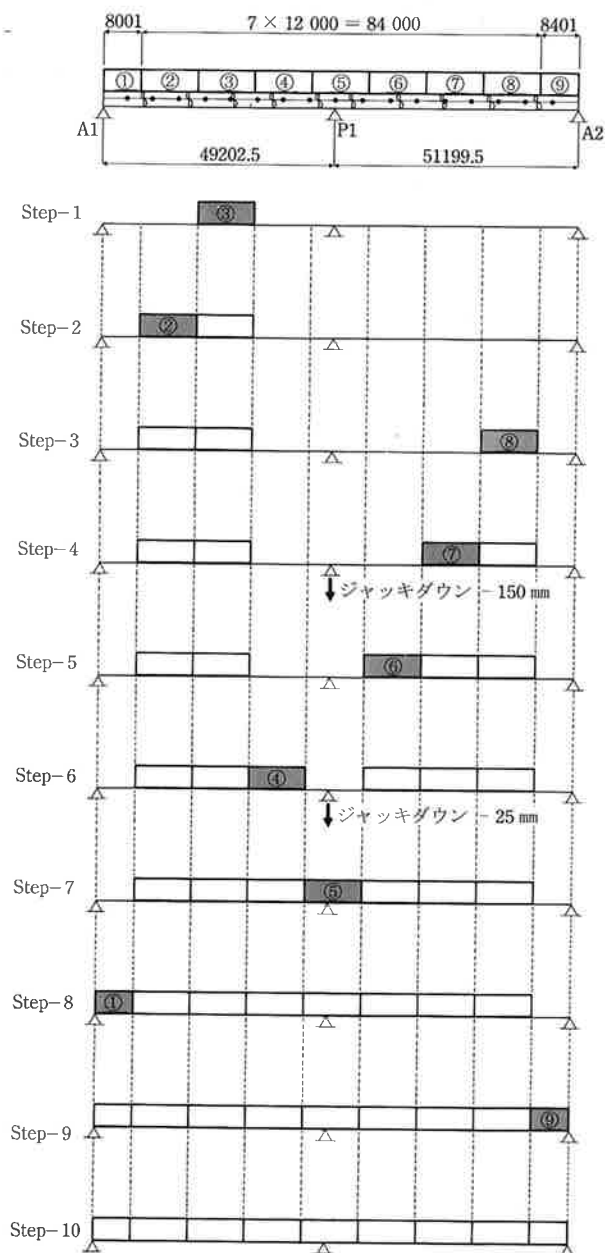


図-4 検討例

に移動型枠の移動が始まるものとする。

5) 許容応力度およびヤング係数比

①コンクリートの設計基準強度

$$\sigma_{ck} = 39.2 \text{ N/mm}^2$$

②各材齢における許容引張応力度

$\sigma_{tai} = \sigma_{ci}/25$ または $\sigma_{ck}/40$ のいずれか小さい方を採用する (道路橋示方書 II 編 9.3.1¹⁾ を準用する)。

σ_{ci} : 養生温度の影響による各材齢における圧縮応力度²⁾

③各材齢におけるコンクリートのヤング係数

$$E_{ci} = 4.74 \times 10^3 \times \sqrt{\sigma_{ci}} \text{ N/mm}^2$$

④各材齢におけるヤング係数比

$$n_i = E_s / E_{ci}$$

E_s : 鋼のヤング係数 ($2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

(2) ブロック割り

基本的に各ブロックは、床版の打ち継目がPC鋼材間の中央部となるように配慮し、PC鋼材ピッチの整数倍となることを条件とした。また、移動型枠の規模を考慮し、最大12.0mとした。ブロック長の端数処理は両桁端部で行うものとした。

(3) 打設順序の検討

床版ブロックの打設は移動型枠1基による施工を前提とし、コンクリートに有害な引張力ができるだけ発生しないような順序を考える。またこの場合、移動型枠の移動が少なくなるよう、できる限り1方向の移動で数ブロックの打設を行うこととした。結果は図-4に示すように、床版自重によるたわみの大きい各径間の中央部付近の正の曲げモーメント部分を先行して施工を行い、移動型枠の移動量も考慮して、負の曲げモーメントが最大となる中間支点上のブロックを最後に施工するような打設順序を決定した。

この場合、打設順序の変更だけでは引張応力度の許容値を満足することはできなかった。そこでStep-4およびStep-6の床版打設前にそれぞれ150mm, 25mmのジャッキダウンを行うこととした。打設順序決定根拠を以下に示す。

- i) たわみの大きいブロック③を先行して打設し、③→②の順で打設する。
- ii) 既打設ブロックに影響が最も少ないブロック⑧を打設する。
- iii) 移動型枠が1方向に移動できるようにブロッ

ク⑦→⑥→④の順で打設する。

iv) 中間支点上のブロック⑤を打設する。

v) 打ち残し部のブロック①, ⑨を打設する。

以上の結果、全ステップで床版上縁の引張応力度、鋼桁応力度とも許容値を満足し、かつ移動型枠の移動が少なく、連続的な打設が可能となった。

3. 乾燥収縮およびクリープについて

コンクリート床版の乾燥収縮およびクリープの進行は、コンクリート材齢の若い時期に大きく影響する。2. 検討例で挙げたような橋梁を考えた場合、逐次コンクリート打設では最初にコンクリートを打設してから最後にコンクリートを打設するまでの期間が数ヶ月かかることが予想される。そのような場合、完成系で考えているコンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響と、実橋でのコンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響とは大きく異なると考えられる。これは、持続荷重によりクリープが発生するため、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負荷される。そして、最初に打設されたコンクリートと最後に打設されたコンクリートでは乾燥収縮およびクリープが床版の応力状態に与える影響が異なるためである。そこで、より精度の高い床版打設プログラムの開発を目指し、床版打設時におけるコンクリートの乾燥収縮およびクリープを考慮したプログラムの開発を行った。

乾燥収縮およびクリープの計算過程を図-5に示す。乾燥収縮およびクリープの算出にはそれぞれ図-6(a), (b)に示す分担断面力法^{3), 4)}を用いている。この方法は合成断面に作用する断面力をコンクリート床版と鋼桁とのそれぞれ個別に作用する軸方向力と曲げモーメントに分けて計算する方法であり、クリープを厳密に取扱う解法である。

乾燥収縮およびクリープを考慮したプログラムでは、コンクリートの応力緩和を考慮するため以下の仮定を設けている。

- ・クリープ係数の進行は指数関数で表されるものとする。
- ・応力の変化量はクリープ係数の進行と相似である。

この仮定を用いて、床版打設プログラムの各打設ステップごとに図-5に示すフローに従い、応力度を算出し累計する。ここで示す乾燥収縮および

クリープによる応力度の増分量の計算には、それぞれのクリープ係数 ϕ を用いている。

これらにより、乾燥収縮およびクリープの影響を考慮した床版の応力度をより厳密に算出することができる。

床版打設の各ステップ毎に行う

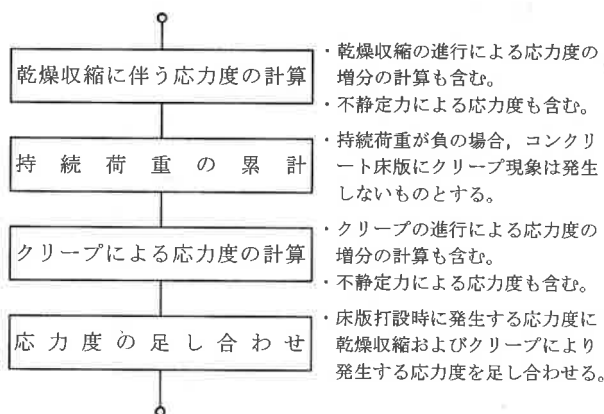
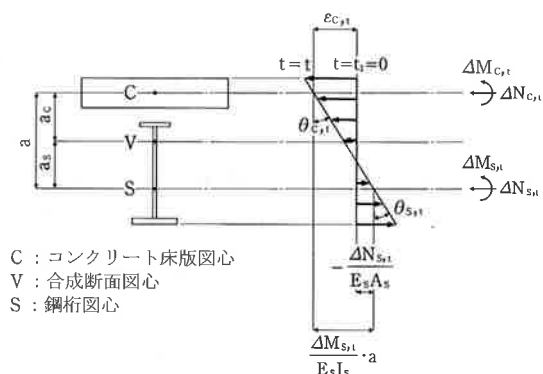
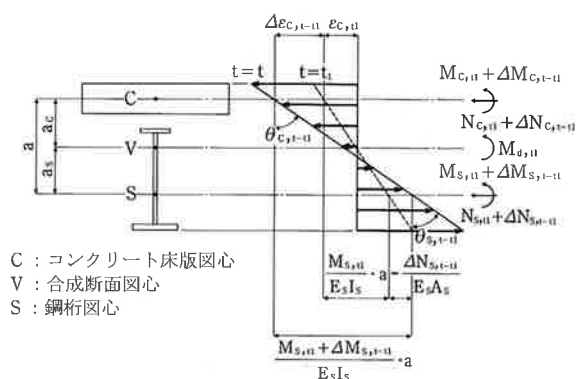


図-5 乾燥収縮、クリープの計算過程



(a) 乾燥収縮に伴う合成桁のひずみ分布



(b) 持続曲げ $M_{d,t}$ が作用するクリープのひずみ分布

図-6 乾燥収縮、クリープに伴うひずみ分布

4. まとめ

本プログラムの開発で得られた成果を以下に示す。

- ① 本プログラムでは、支間長や主桁本数などの基本となる橋梁データ、線形、断面諸量から床版打設順序の設定までを対話処理で行うことが可能とし、計算結果も画面上で確認できるようにした。これにより、これまで煩雑であった床版の打設順序と最低所要日数についての検討を効率的に行うことが可能となった。
- ② 既打設ブロックと鋼断面との逐次合成効果を評価し、Frameデータ、断面計算、製作キャンバー算出にも反映することを可能とした。また、Frame計算において支点強制変位を与えることにより、ジャッキアップ・ダウンの効果についても考慮できるようにした。
- ③ 乾燥収縮およびクリープを考慮したプログラムを用いることにより、床版打設時の各ステップにおいて乾燥収縮およびクリープの影響を考慮でき、より精度の高い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、大阪工業大学工学部栗田章光教授に懇切なご指導を頂いた。ここに記して謝意を表すものといたします。また、開発するにあたり多くのご助言や資料を頂いた関係各位に対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編 II 鋼橋編，pp.286-289，1996.12.
- 2) 土木学会関西支部：コンクリート構造の設計・施工の基本，設計編，1998.7.
- 3) 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.
- 4) 中井 博：鋼・合成橋梁の進歩を支える諸技術，山海堂，1999.