

鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の床版打設順序に関する研究

Study on Optimum Sequence of Slab Concrete Placing in Steel-Concrete Double Composite Continuous Box Girder Bridges

泰平詠二*, 大山 理**, 梁 鐘護***, 栗田章光****

Eiji YASUHIRA, Osamu OHYAMA, Yang Jong Ho and Akimitsu KURITA

* 正会員 工修 (株)総合技術コンサルタント 大阪支社設計3課 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 3-5-9)

** 正会員 工博 片山ストラテック(株) 橋梁事業部技術本部設計部 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21)

*** 工修 三星物産建設部門 (263, Seohyun-Dong, Bundang-Gu, Sungnam-Si, Gyonggi-Do, Korea 463-721)

**** 正会員 工博 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

During the past decade, the double composite continuous box girder bridge has been developed remarkably in European countries, which has a concrete slab at the upper and lower surface of the steel box girder only in the region of the intermediate supports. However, the adequate concrete placing sequence of the concrete slabs taking into account of the long-term behavior is not clarified perfectly. In these situations, this paper presents the result concerning the optimum concrete placing method in steel-concrete double composite continuous box girder bridge.

Key Words : 鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋, 床版打設順序, クリープ, 乾燥収縮, 移動型枠

キーワード: *double composite girder, sequence of slab concrete placing, creep, shrinkage, traveling formwork*

1. はじめに

近年, 公共事業の縮減および徹底したコスト削減政策により, 合理化・省力化を図り, 工期の短縮が可能な新形式の複合構造に関する研究開発が盛んに行われている。

その一つとして, 1980年代にドイツで建設され始めた鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋^{1)~4)}が挙げられる。

本形式は, 図-1に示すように中間支点領域にのみ鋼箱

桁内の底部にもコンクリートを打設し, 下側鋼フランジの座屈防止や桁の剛性を合理的に増加させることが可能となる橋梁である。

一方, コンクリート床版の施工では, 場所打ち床版において従来の固定型枠工法に代わって移動型枠工法を採用するケースがある。移動型枠工法とは, 鋼桁を架設した後, 鋼桁上にレールを設置し, その上に移動型枠を載せ, 水平移動させることによって順次コンクリート床版の打設を行う工法である。移動型枠工法の利点としては, 移動型枠に屋根を取付けることで, 全天候型となり作業効率が高まることが挙げられる。

移動型枠工法の場合, すでに打設が完了し鋼桁と合成断面となっているコンクリート床版に対して, 新たに打設されるコンクリート床版の自重によって応力が発生する。そのため, 打設順序についての検討は必要不可欠である。わが国における移動型枠工法を用いた実績は, 少数主桁橋に多く見られるが, 当然のことながら, 前述の鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋での実績はないのが現状である。一方, ドイツでは, 移動型枠を用いて鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の施工が行われており, 近年施工された二重合成橋梁であるドイツ・プラウエのハーベル橋^{5),6)}では, 3種類のコンクリート床版の打設順序に関して検討が行われている。しかし, 打設順序が合成桁橋特有の問題であるクリープおよび乾燥収縮に与え

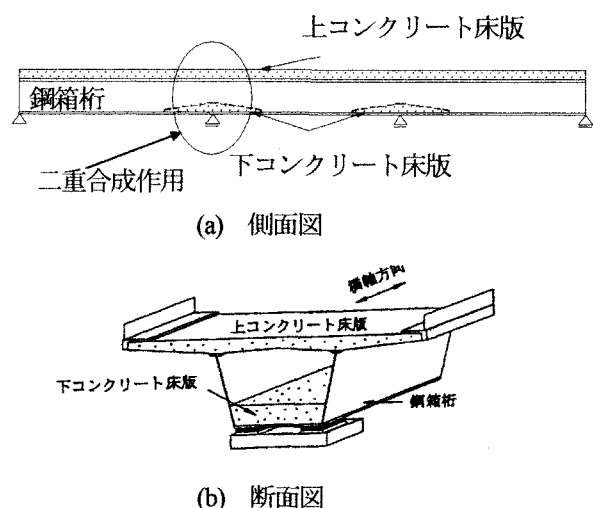


図-1 鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の概要

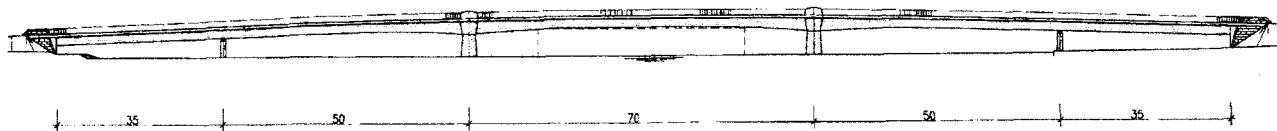
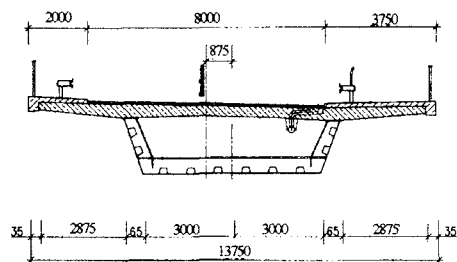
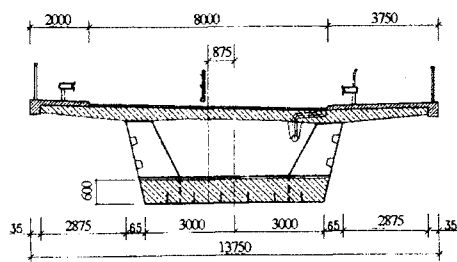


図-2 ハーベル橋の側面 [寸法単位：m]



(a) 中央径間部



(b) 中間支点部

図-3 ハーベル橋の断面 [寸法単位：mm]

表-1 形式比較結果⁵⁾

	通常合成	二重合成
材料		
・鋼材	670 トン	595 トン
下コンクリート床版		
・コンクリート	—	130 m ³
・鉄筋	—	18 トン
・スタッド	—	約 14000 本

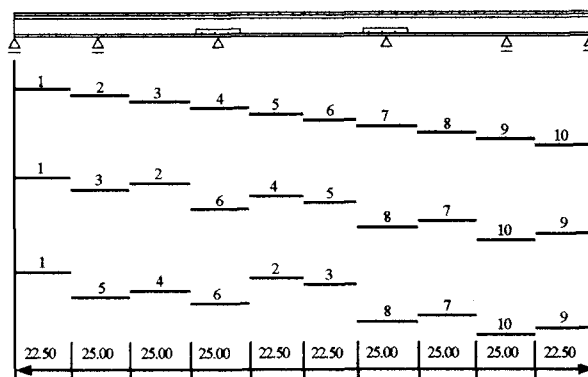


図-4 床版打設順序図

る影響については明確にされていない。

そこで、本研究では、ハーベル橋を対象に、コンクリート床版の打設順序を考慮した解析的研究として、材令差を考慮した経時挙動の影響を明確にすることにし、また、最適な打設順序も提案することを目的としている。

2. 対象橋梁の概要

2.1 ハーベル橋

ハーベル橋は、河川中央の約 42m の航路上は、4.5m 以上の桁下空間を必要とすること、また、自転車および歩行者の負担を軽減するために縦断勾配をおさえるなど、極力桁高を低くする必要があるとの制約条件から、二重合成橋梁が採用された。ハーベル橋の側面を図-2 に、径間部および中間支点部の断面を図-3 にそれぞれ示す。

本橋は、全長 240m(35+50+70+50+35m)の 5 径間連続合成箱桁橋であり、桁高は、径間部で 2.34m、中間支点部から左右 18m より桁高が変化し、中間支点上で 3.24m となっている。下コンクリート床版厚は、中間支点部で最大 60cm、その両端部で 25cm であり、中間支点部左右 9m の範囲にコンクリートが打設されている。本橋の場合、中央径間部の大ブロック架設法が採用されている。大ブ

ロック架設前に、中間支点領域の鋼箱桁底部には下コンクリート床版が打設されており、下フランジの補剛が終了しているため、本工法の採用が可能である。大ブロック架設法の採用により工期短縮を図ることもできる。

最後に、本橋を通常の連続合成箱桁橋を採用した場合と二重合成連続箱桁橋を採用した場合の上部工に関する比較検討結果を表-1 に示す。表-1 より、二重合成連続箱桁橋を採用した方が、通常の連続合成箱桁橋より 75 トンの鋼重低減が可能となり、結果的に 30000 ユーロ(約 400 万円)の工費を削減できたことが報告⁵⁾されている。

2.2 打設順序

上コンクリート床版の打設に関しては、図-4 に示すように 3 種類の打設方法について検討が行われている⁶⁾。床版の打設長は、22.5m および 25m で、10 ブロックに分割している。各打設順序は以下のとおりである。

- パターン 1 : 床版を端部から順番に打設する
- パターン 2 : 中間支点部に隣接する径間部の打設後に中間支点部の床版の打設を行う
- パターン 3 : 中央径間の打設、側径間の床版打設後、支点部を打設する

2.3 打設順序を考慮した解析

図-4 に示す打設順序を考慮した解析を行うにあたって、解析の流れを示す。まず、解析条件を表-2 に示す。クリープ係数および乾燥収縮に伴うクリープ係数の値は、道路橋示方書・同解説Ⅱ：鋼橋編⁷⁾・合成げたの章に準拠している。一方、クリープの進行過程を示す無次元係数の値についても、道路橋示方書に示されている進行曲線より回帰分析を実施して算出した。クリープおよび乾燥収縮に伴う断面力の変化量は、上・下コンクリート床版と鋼桁について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算出する分担断面力法を用いた。なお、詳細な算定式等については、参考文献8)~11)を参照されたい。

表-2 解析条件

ヤング係数 [N/mm ²]	鋼桁	2.1×10^5
	上コンクリート床版	3.0×10^4
	下コンクリート床版	3.0×10^4
荷重[kN/m]	上コンクリート床版自重	109.5
	後死荷重	10.0
遅れ弾性クリープ係数 ϕ_{de}		0.4
フロークリープ係数 $\phi_{f\infty}$		1.6
最終乾燥収縮度 $\varepsilon_{sh}(\infty)$		200×10^{-6}
乾燥収縮に伴うクリープ係数		4.0
クリープの進行過程を表す無次元係数	k_1	5.5×10^{-3}
	k_2	9.0×10^{-4}
乾燥収縮の進行過程を表す無次元係数	k_3	4.5×10^{-4}

さらに、以下のような仮定を設けた。

- (1) 上コンクリート床版の打設サイクルは10日とする。
- (2) 打設直後は、鋼桁とコンクリート床版は非合成とし、つぎの施工ステップに移った際には合成断面とする。しかし、乾燥収縮については打設直後から合成断面として解析を行う。
- (3) 上コンクリート床版に引張応力が作用する場合、クリープは道路橋示方書⁷⁾に準拠して、静定系では無視し、不静定系ではコンクリートを有効とする。乾燥収縮に関しては、引張応力が作用する場合でも静定および不静定系ともにコンクリートを有効とする。
- (4) コンクリートの応力計算において、ひび割れの影響を考慮しないものとする。

2.4 クリープ係数の取扱い

材令差を考慮した経時挙動解析を行うにあたり、ここでは、本解析で用いたクリープ係数の取扱い方法について示す。その一例として、図-5 に示すパターン1の施工ステップ5の床版ブロック3を打設した際の床版ブロック1,2および下コンクリート床版のクリープ係数の取り

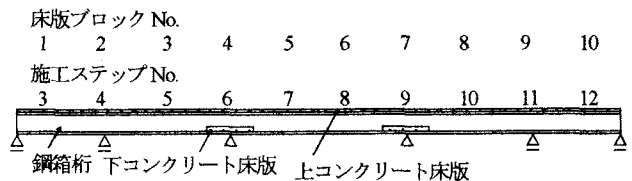


図-5 パターン1の床版打設順序

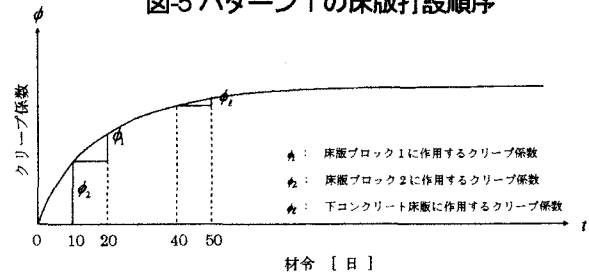


図-6 クリープ係数

扱いについて述べる。本数値解析において、中央径間部の鋼桁桁の一括架設を想定しているため、下コンクリート床版打設30日後から上コンクリート床版の打設を行うことにしている。また、上コンクリート床版の打設サイクルは10日間としているため、床版ブロック3打設時の、床版ブロック2の材令は10日となる。ブロック1では20日となるが、床版ブロック3打設時において材令は10日から始まることになる。

一方、下コンクリート床版では、材令50日となるが、床版ブロック3打設時において材令は40日から始まる。ここで、施工ステップ5におけるクリープ係数の取扱いを図-6に示す。

3. 数値計算結果と考察¹¹⁾

上コンクリート床版上縁に発生する各応力分布を図-7～図-9にそれぞれ示す。ここで、弾性応力とは床版自重や舗装、高欄などの後死荷重によって生じる応力のことである。なお、本解析では、移動型枠の重量は考慮していない。また、応力の符号は+が圧縮応力、-が引張応力を示している。

図-7より、パターン1がパターン2およびパターン3に比べて大きな引張応力が生じることが確認できた。パターン2では、支点部で圧縮応力が作用する場合もあり、支点部の応力は最もおさえることができていたが、径間部で 3.0N/mm^2 を越える引張応力が生じている。パターン3では、支点部の引張応力もおさえられ、かつ、パターン2と比べて径間部に発生する引張応力も小さく、発生する応力を桁全長にわたって平均化できていることがわかる。

図-8より、クリープに関しては、パターン2において 1.0N/mm^2 を越える引張応力が生じた。これは、弾性応力で圧縮応力が生じた位置である。しかしながら、それ以外では、主に弾性応力が引張応力となり、今回の数値計算においては、引張応力作用時のクリープを考慮していないため、その影響は見受けられない。

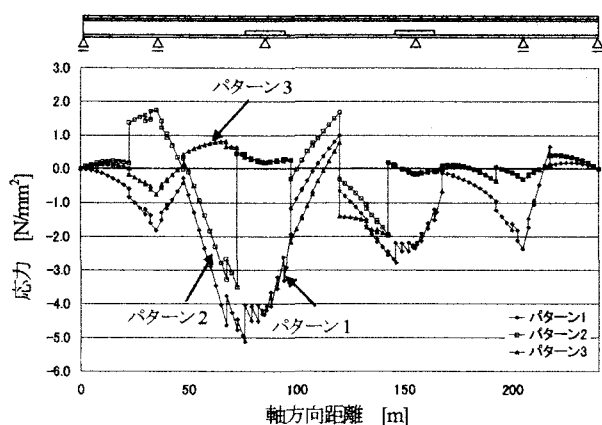


図-7 上コンクリート床版の弾性応力分布

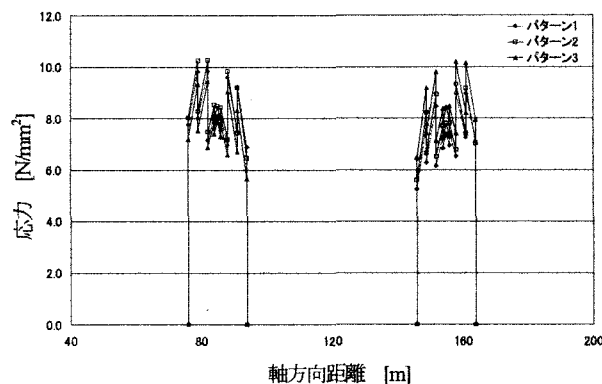


図-10 下コンクリート床版の弾性応力分布

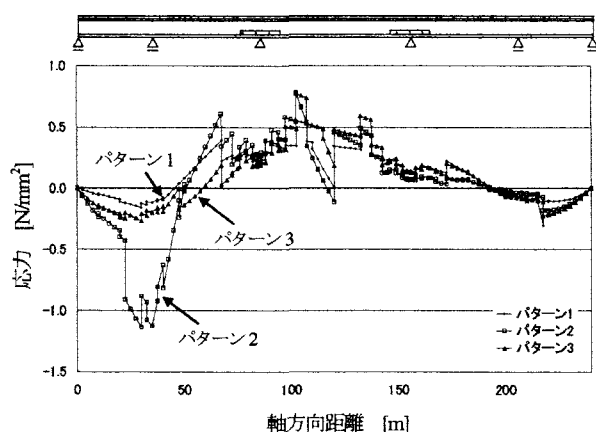


図-8 上コンクリート床版のクリープ応力分布

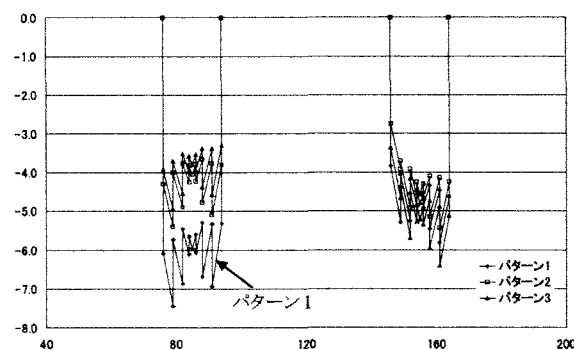


図-11 下コンクリート床版のクリープ応力分布

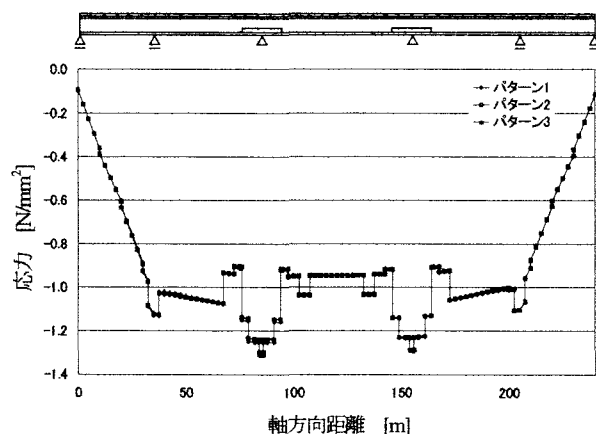


図-9 上コンクリート床版の乾燥収縮応力分布

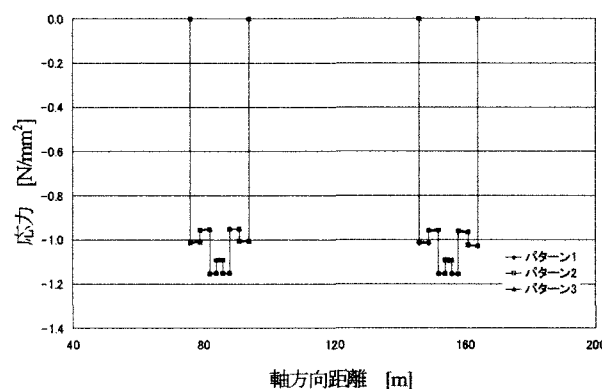


図-12 下コンクリート床版の乾燥収縮応力分布

図-9より、乾燥収縮に関しては、打設順序の違いによる差異は見られなかった。その要因は、本解析ではクリープおよび乾燥収縮の進行を表す無次元係数を道路橋示方書に基づき30年後に収束するように設定しており、そのため打設時の不静定力の影響が小さくなったと考えられる。しかしながら、最大で 1.3 N/mm^2 程度の引張応力が発生し、打設順序の違いによる差異はないが、乾燥収縮による影響が大きいことがわかった。

以上より、クリープおよび乾燥収縮によって、 1.0 N/mm^2 程度引張応力が作用するが、打設順序の違いによる影響を大きく受けるのは、弾性応力であるといえる。

つぎに、下コンクリート床版下縁に発生する各応力分布を図-10～図-12にそれぞれ示す。

図-10より、中間支点部の下コンクリート床版下縁には、上コンクリート床版自重および後死荷重によって、大きな圧縮力応力が作用している。しかしながら、上コンクリート床版の打設順序の違いによる応力の差異はあまり見受けられず、ほぼ同じ値を示している。

クリープ応力では、図-11に示すように、パターン1はパターン2およびパターン3に比べて大きな引張応力が作用しているが、パターン2とパターン3では、大きな差異は見られなかった。

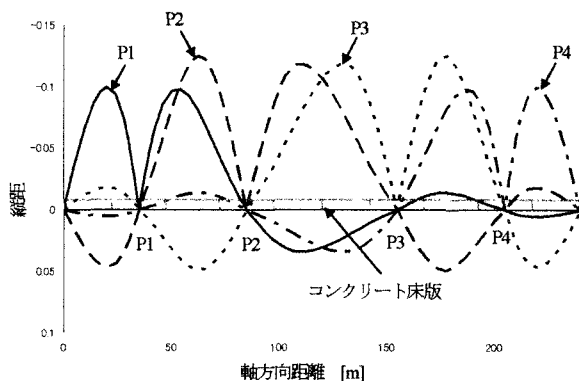


図-13 各支点部における曲げモーメント影響線

乾燥収縮応力に関しては、図-12 に示すように、上コンクリート床版と同様、打設順序の違いによる応力の差異は見られなかった。

以上より、下コンクリート床版では、上コンクリート床版ほど打設順序の違いによる応力の差異は見られず、クリープおよび乾燥収縮応力によって、弾性応力による圧縮応力が5割から6割程度低減されることがわかった。

4. 最適な打設順序決定法の一提案

4.1 影響線を用いた打設順序の影響評価

3.での解析結果より、上コンクリート床版に作用する応力は、弾性応力および乾燥収縮応力の影響が大きくなることがわかった。しかし、乾燥収縮は打設順序の違いに関係なく最終的には一定となり、また、下コンクリート床版も打設順序の違いによる応力の差異は見られなかった。そこで、上コンクリート床版の弾性応力に着目して、曲げモーメントの影響線を用いてハーベル橋の打設順序について考察を行い、影響線によって打設順序の検討を行うことが妥当であるかどうかを検証する。

まず、打設パターン1の解析結果より各中間支点部に発生する引張応力の値が大きくなった。そこで、各中間支点部に着目して曲げモーメントの影響線を描くと、図-13 のようになる。

図-13 より、各中間支点部の影響線より、支点部では隣接する径間部にコンクリートを打設することによって大きな負の曲げモーメントが生じ、上コンクリート床版に引張応力が作用することがわかる。したがって、パターン2のように径間部の打設を先にし、その後に、支点部の打設を行うことで、支点部に作用する引張応力を低減できると考えられる。しかしながら、パターン2では、図-7 より、床版ブロック3 端部において大きな引張応力が生じている。そこで、床版ブロック3 端部における曲げモーメントの影響線を図-14 に示す。

図-14 より、床版ブロック3 端部では、中央径間の床版ブロックの打設によって、大きな負の曲げモーメント

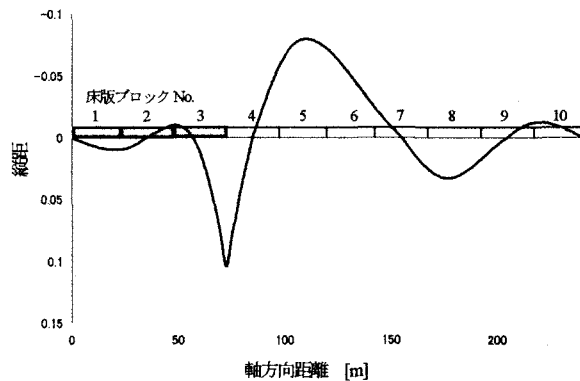


図-14 床版ブロック3 端部における曲げモーメント影響線

が生じるため、パターン2では、上コンクリート床版に発生する引張応力の値が大きくなることがわかった。そこで、パターン3のように中央径間部の床版ブロックを先に打設するという順序が導かれたと考えられる。

以上の結果より、大きな引張応力が生じる位置での曲げモーメントの影響線を求めることによって、上コンクリート床版に作用する負の曲げモーメントを低減させる打設順序を見つけ出すことが可能となる。したがって、打設順序の決定に当たって、曲げモーメントの影響線を用いることは大変有用であるといえる。

4.2 最適な打設順序決定の流れ

ハーベル橋での1回の床版打設長は前述のとおり22.5m および25m である。一方、日本での移動型枠を用いた場合、その長さは平均的に12.0~15.0m である。そこで、図-15 に示すように、床版分割数を18とし、打設長を12m および14m と日本の移動型枠で施工可能な打設長を用いて、最適な打設順序決定の流れを以下に示すことにする。

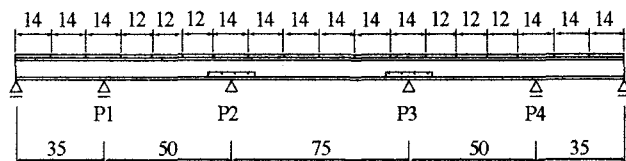


図-15 床版分割数と打設長 [寸法単位 : m]

(1) 移動型枠1台の場合

まず、図-16 に示すように3.での打設順序パターン2のように、支点部の両隣の径間部の床版打設後、支点部の床版を打設する順序について検討を行うことにする。

ここで、弾性応力分布は、図-17 のようになる。図-17 より、支点部に引張応力はほとんど生じないが、下コンクリート床版端部、特に、断面 A-A、断面 B-B および断面 C-C に作用する引張応力の値が大きくなっている。そこで、断面 A-A、断面 B-B および断面 C-C の曲げモーメントの影響線を図-18 に示す。

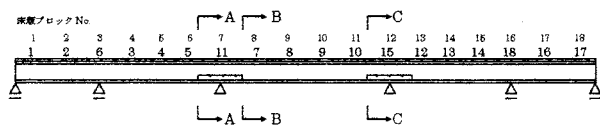


図-16 打設パターン 1-1

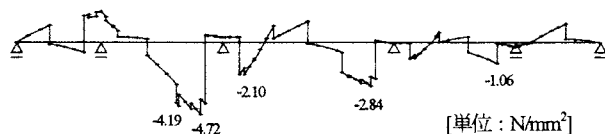


図-17 打設パターン 1-1 の弾性応力分布

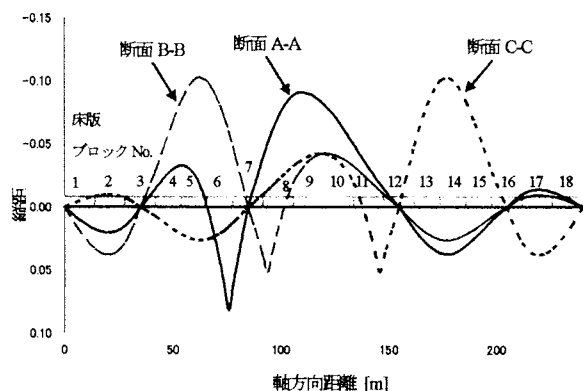


図-18 着目断面の曲げモーメント影響線

図-18 より、断面 A-A において引張応力が大きくなったのは、床版ブロック 8～11、つまり中央径間部の上コンクリート床版の打設によって生じたと考えられる。断面 B-B も同様に、床版ブロック 9～11 の打設による影響を受け、断面 C-C では、床版ブロック 13～15 の打設によって引張応力が生じたと考えられる。

そこで、断面 A-A の引張応力を抑えるために中央径間部の床版ブロック 9～11 の打設を先に行う打設順序が考えられるが、その場合、断面 B-B に床版ブロック 4～6 のコンクリートを打設することによって大きな引張応力が生じると予測される。したがって、図-19 に示すように打設パターン 1-2 として、床版ブロック 5 を打設した後、床版ブロック 9～11 の打設を行うことにする。このことにより、断面 A-A および断面 B-B に作用する引張応力を低減できると考えられる。一方、断面 C-C に関しては、床版ブロック 13～15 の影響を受けることになるが、床版ブロック 4 および 6 によって正曲げモーメントが作用し、打設パターン 1-1 より引張応力が小さくなると考えられる。

打設パターン 1-2 における弾性応力分布を図-20 に示す。

図-20 の弾性応力分布より、断面 A-A では 1.97N/mm^2 、断面 B-B においても 0.88N/mm^2 と発生する引張応力の値を低減することが可能となる。しかしながら、断面 C-C では打設パターン 1-1 と比べて僅かに減少しただけであ

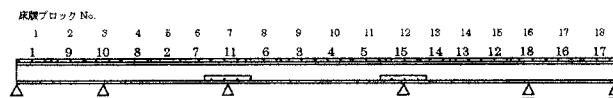


図-19 打設パターン 1-2

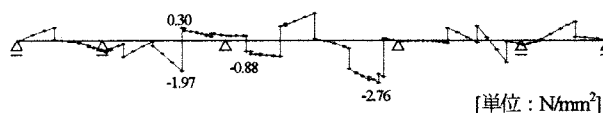


図-20 打設パターン 1-2 の弾性応力分布



図-21 打設パターン 1-3



図-22 打設パターン 1-3 の弾性応力分布

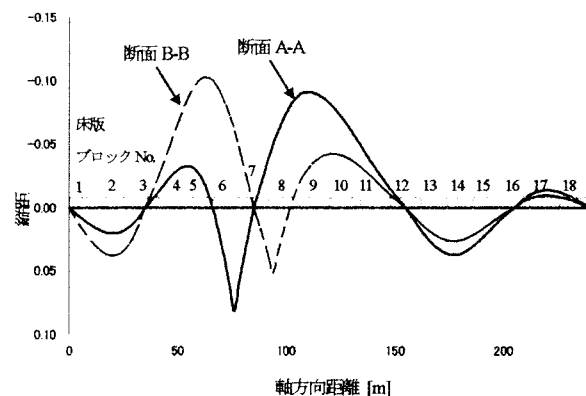


図-23 着目断面の曲げモーメント影響線

り、2 番目に打設した床版ブロック 5 端部で引張応力が生じることになる。したがって、さらなる打設順序の検討が必要になるが、打設パターン 1-1 および 1-2 では、移動型枠の移動において施工が出来るだけ単純になるように往復する回数を増やさないようにしている。そのため、打設順序に制限が生じ、断面 C-C に生じる引張応力を低減することが困難となっている。そこで、型枠の移動に関して制限を設けずに、打設順序の検討を行うことにする。

打設パターン 1-1 および 1-2 の結果より、支点部の両隣の床版ブロックにおいて大きな引張応力が生じることがわかっている。そこで、打設パターン 1-3 として、図-21 に示すように支点の両隣の床版ブロックを支点部の直前に打設することにする。

打設パターン 1-3 における弾性応力分布は、図-22 の

ようになる。図-22 より、打設パターン 1-3 においても、作用する引張応力の値が大きくなっているのは、支点部の両隣の床版ブロックであるが、図-23 に示す曲げモーメントの影響線より、例えば、断面 A-A と断面 B-B のように支点部の両隣の床版ブロックがお互いに負の曲げモーメントを作用させるためである。そのため、打設パターン 1-3 では床版ブロック 6 を打設した後に、床版ブロック 8 の打設によって断面 A-A で引張応力が大きくなったと考えられる。しかしながら、打設パターン 1-3 では、1-1 および 1-2 と比較して、発生する引張応力を大きく低減でき、かつ、桁全長にわたって応力を平均化することができる。

移動型枠 1 台では、支点部の両隣の床版ブロックがお互いに負の曲げモーメントを生じさせるので、これ以上の引張応力の低減は困難である。以上の解析結果より、打設パターン 1-3 が最適な打設順序であると考えられる。

(2) 移動型枠 2 台の場合

藁科川橋¹²⁾や中ノ郷第一高架橋¹³⁾(ともに第2東名高速道路)のように、橋長の大きな橋梁や床版の分割ブロック数が多い場合などでは、工期短縮を図るため移動型枠を複数台用いて施工を行うことがある。そこで、移動型枠を 2 台用いた場合の打設順序の検討を行うことにする。

まず、図-21 より移動型枠を 1 台用いた場合に最も引張応力が低減できた打設パターン 1-3 を基に、図-24 に示すように左右対称に上コンクリート床版の打設を行った場合について検討を行う。



図-24 打設パターン 2-1

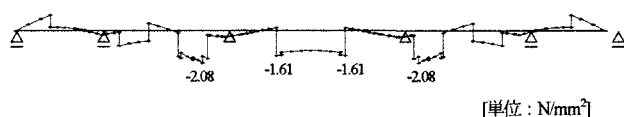


図-25 打設パターン 2-1 の弾性応力分布

打設パターン 2-1 における弾性応力分布を図-25 に示す。

図-25 より、発生する応力は左右対称となり、最大引張応力は 7 番目に打設した床版ブロックの下コンクリート床版端部の位置となった。これは、8 番目に打設する床版ブロックによって生じたと考えられ、その値は図-22 より、移動型枠を 1 台用いた打設パターン 1-3 よりも大きくなっている。また、移動型枠を 2 台用いた場合はお互いに影響を及ぼしあう床版ブロックを同時に打設することで応力の低減を図ることが予想されるので、打設パターン 2-1 は有効な打設順序ではないと考えられる。

そこで、移動型枠を 2 台用いる利点を有効に活用するために、お互いに影響を及ぼし合う床版ブロックを同時



図-26 打設パターン 2-2

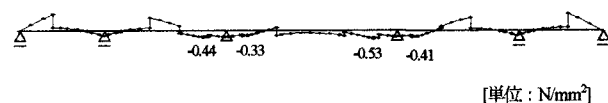


図-27 打設パターン 2-2 の弾性応力分布

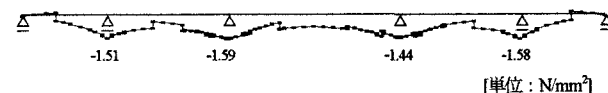


図-28 打設パターン 2-2 の合計応力分布

に打設する、つまり、今回の場合では図-26 に示すように、支点部の両隣の床版ブロックの打設を同時に行うことにする。

打設パターン 2-2 における弾性応力分布を図-27 に示す。

図-27 より、打設パターン 2-2 では引張応力を大きく低減できることがわかる。発生する引張応力の値も最大で 0.53 N/mm^2 であり、他の打設パターンと比べるとほとんど応力が生じていない。以上より、移動型枠を 2 台用いることは、工期短縮が可能だけでなく、応力の低減においても大変有用であることがわかる。

最後に、クリープおよび乾燥収縮応力を足し合わせた合計応力分布を図-28 に示す。

図-28 より、合計応力では、引張応力が支点部で大きくなった。これは、弾性応力の影響が小さくなり、乾燥収縮応力が支配的になったためであると考えられる。乾燥収縮応力に関しては、3.での数値解析結果より、打設順序の違いによって応力は変化しないため、打設順序を変更してもこれ以上の大幅な応力の低減は考えられない。

以上より、打設パターン 2-2 が移動型枠を 2 台用いた場合の最適な打設順序であるといえる。

5. まとめ

本研究は、近年、わが国でも注目されつつある鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋を対象に、移動型枠工法を用い、コンクリート床版にひび割れが生じないように適切な打設順序の決定法の提案を目的として実施したものである。

その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 最終応力に最も影響を与えるのは、上コンクリート床版に作用する弾性応力である。
- (2) 下コンクリート床版では、クリープおよび乾燥収縮によって大きな引張応力が生じるが、上コンクリー

ト床版自重および後死荷重によって生じる圧縮応力が残存する。

- (3) 上コンクリート床版の弾性応力に着目し、曲げモーメントの影響線を用いることにより引張応力を抑えることの可能な打設順序を決定することができる。
- (4) 移動型枠を2台用いた場合、1台の場合と比較して作用する応力を大きく抑えることが可能となる。

今後の課題としては、

- (1) 本研究では、完成系の上・下コンクリート床版に作用する応力にのみ着目していたが、施工段階における影響および鋼桁応力、たわみの検討。
- (2) 実橋での計測データによる本形式橋梁におけるクリープ係数、最終乾燥収縮量および進行係数の確認。

などが挙げられる。

参考文献

- 1) Reiner Saul(訳/松井繁之, 山本武司, 平城弘一, 魚井敏次, 久保圭吾, 伊藤忠政): ダブル合成作用を有する橋梁, 橋梁と基礎 Vol.31/No.3, pp.25~30, (株)建設図書, 1997年3月。
- 2) 栗田章光, 吉田順一郎, 大山 理: ヨーロッパにおける最近の鋼・コンクリート複合橋梁, 第1回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.15~30, (社)土木学会, 1998年8月。
- 3) Julio Martinez-Calzon, 園田恵一郎, 栗田章光, 吉田順一郎: スペインにおけるユニークな鋼コンクリート混合形式橋梁, 橋梁と基礎 Vol.32/No.9, pp.29~35, (株)建設図書, 1998年6月。
- 4) 大久保宣人, 梁 鐘護, 大山 理, 夏秋義広, 栗田章光: 鋼・コンクリート二重合成桁の実績調査と考察, 第5回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.19~22, (社)土木学会, 2003年11月。
- 5) Uwe John, Heinz Schmackpfeffer, Gregor Gebert, Jens Schülke, Egon Schulze and Thomas Thiel: Die Havelbrücke im Zuge der B1-Ortsumgehung Plaue, Stahlbau 71, pp.727~734, 2002.10.
- 6) J. Schülke: Vorteile und Grenzen des Druckbetons bei Stahlverbundbrücken am Beispiel der Havelbrücke Plaue, Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 1999.
- 7) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編), 丸善(株), 2002年2月。
- 8) 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乾燥収縮に関する実験的研究, 鋼構造論文集 第7巻第27号, pp.71~84, 2000年9月。
- 9) 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年3月。
- 10) 大山 理: 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研究, 大阪工業大学博士学位論文, 2000年11月。
- 11) 泰平詠二: 床版の打設順序を考慮した鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の経時挙動に関する研究: 大阪工業大学修士学位論文, 2004年1月。
- 12) 本間淳史, 長谷俊彦, 榊原和成, 中村和己, 上原 正, 河西龍彦: 長支間場所打ち PC 床版の設計と施工-第二東名高速道路藁科川橋-, 橋梁と基礎 Vol.36/No.10, pp.2~10, (株)建設図書, 2002年10月。
- 13) 日本道路公団静岡建設局, (株)宮地鐵工所・瀧上工業(株)共同企業体: 第二東名高速道路 中ノ郷第一高架橋(鋼上部工)工事, パンフレット, 2003年3月。

(2004年9月17日受付)