

技術ノート

PC橋の張出し架設時における打継目の応力

Stress Distribution on Construction Joint under Cantilever Erection of Prestressed Concrete Bridges

野田 行衛*
Yukie NODA大沢 浩二**
Koji OSAWA山下 龍哉***
Tatsuya MANZANKA児島 啓太郎**
Keitaro KOJIMA

Under the cantilever erection of PC bridges, the method of joining to an already constructed girder is placing concrete for a block of 3~4 m length and introducing the required prestress. Consequently, it is inevitable that the construction joint between the new concrete and the old concrete becomes a weak point.

In this study, the stress at the construction joint arising during one cycle of the concrete placing was determined by the FEM analysis, and the examination was carried out on the problems of the design and construction.

Keywords : construction joint, tensile stress, prestressed concrete bridge, cantilever erection

1. はじめに

張出し工法によるプレストレストコンクリート橋(以下PC橋)の施工例は、国内外においてすでに膨大な数に及び、一般的な工法となった。

張出し施工はよく知られているように、3~4m長のブロックを既設の桁に打継ぎ、必要なプレストレス力を導入しながら、移動架設車を前進させて施工する方法である。この工法では、新コンクリートと旧コンクリートの打継目が弱点となることは避けられず、設計および施工の段階で十分注意する必要があることが指摘されている。

そこで本報告は、すべての架設荷重を対象とし、張出し施工時のブロック打継目に生じる応力を解析的に把握することにより、設計および施工上の問題点について検討を行うものである。

2. 打継目の強度および施工法

コンクリートを打設する際、通常はコンクリートを連続して打つことが理想的であるが、構造物が大きくなってくると連続して打つことは経済性・作業性の点から難しくなる。

また、コンクリートの容積変化および温度上昇により、

コンクリートに悪影響を及ぼす場合もある。したがって、現行の施工ではコンクリート打設を適当な個所で中止し、打ったコンクリートが硬化した後に、新しいコンクリートを打継ぐ方法がとられている。コンクリート橋の場合にも、その作業性・経済性・安全性の面からコンクリート打設を数回に分けて行うのが一般的であり、FCC工法による長大橋のようなカンチレバー施工では、10~20ブロックに分けて施工が行われる。

この場合、新旧コンクリートの打継目は構造物の弱点となりやすく、施工の良否が、構造物の強度・耐久性・水密性および外観を著しく損なう場合がある。

張出し工法における打継目の強度は、コンクリート硬化時の容積変化や水和熱の影響を受けるなど一般に推定しにくい¹⁾が、文献²⁾によれば、鉛直打継目処理として、打継面を水洗い処理のみで打継ぐ場合、打継面を有しないものの強度と比較して約57%の強度しか得られない。

打継面が弱くなる理由としては、新コンクリートから分離した水は打継面に沿って上昇しやすいので打継面に水が溜まることと、旧コンクリートの打継面が平らであることがあげられる。

設計上の打継目の応力は、完成系の死荷重時には全圧縮状態を確保するようプレストレス力を導入するが、架設中には一時的に引張りが発生する。

*川田建設(株)工事本部開発部技術開発課長 **川田建設(株)工事本部開発部技術開発課 ***川田建設(株)工事本部技術部技術二課

上床版に発生する引張応力は、コンクリート断面とプレストレス力によって抵抗する。このため架設中の打継目の状態は、コンクリート引張強度・プレストレス力の伝達力・作用荷重などの影響を受け、設計上の仮定を満足させるためには、施工管理がきわめて重要である。

一般に、強い鉛直打継面を作るためには、旧コンクリートの打継面を粗にしたり、打継面にコンクリート中のモルタルを塗布することにより、打継面に沿う水の上昇を防ぐとともに、新コンクリートとの付着面積を増すとか、打継面にセメントペーストを塗って打継部における新コンクリートを富にするなどの手段を講じる必要がある。

現行の張出し施工においては、コンクリート遅延剤を用いて打継面部分のレタンス処理を行ったり、チップングを行ったりして、旧コンクリート部の打継面を粗にして施工を行っている。この打継目に生ずる応力を以下解析的に求め、設計・施工上の問題点について考察を行った。

3. 解析モデルと荷重ケース

(1) 解析モデル

一般的な張出し施工のサイクルを図-1(a), (b)に示す。新ブロックのコンクリート養生後、床版および主桁にプレストレスを導入することにより、トラベラーに支持されていた新ブロックの主桁自重は、打継目を通じて旧ブロックに伝えられる(図-1(a)参照)。

さらに、次のブロックを施工するためにトラベラーを前方に移動し、型枠組立・配筋後、生コンを打設する。

この際、トラベラーの自重および生コン荷重の合計(以下打設荷重)は、トラベラーの前方・後方支点の反力として既設ブロックに伝えられる(図-1(b)参照)。

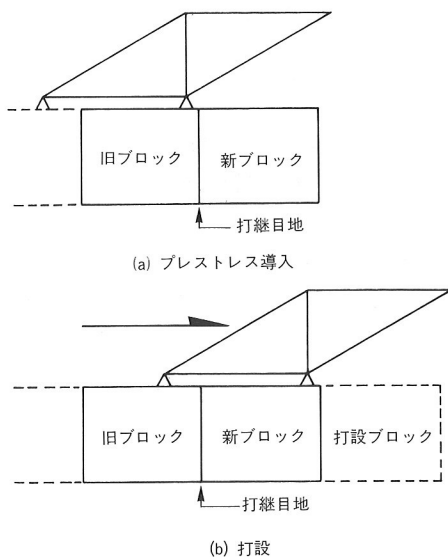


図-1 施工サイクル

以上の緊張から打設までの作業により、図中の新旧ブロックの打継目には、新ブロックの主桁自重・プレストレス・次のブロックの打設荷重による応力度が発生する。

これらの応力度を求めるため、新旧2ブロックからなる片持ち梁を想定して、3次元要素を用いたFEM解析を行った。今回用いたモデルの諸元は図-2に示すように、実橋を参考にして、桁高3m、幅員11mの一室箱桁断面(構造・荷重の対称性より1/2モデル)で、ブロック長を3.5m、またコンクリートのヤング係数は両ブロックの材令差を考慮して、それぞれ 3.4×10^5 , $3.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした。

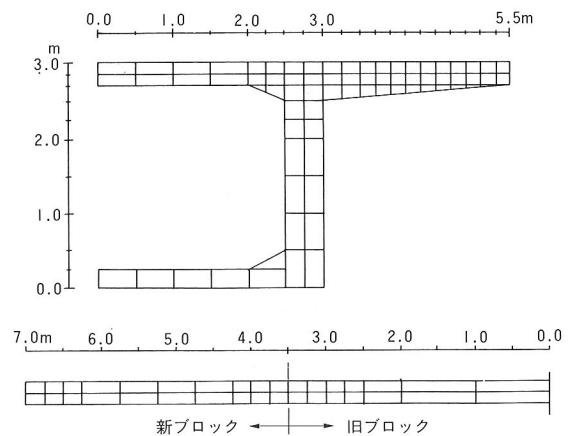


図-2 解析モデル

(2) 荷重ケース

解析モデルに作用させる荷重は、前述したように主桁自重、プレストレス、打設荷重の3種類に大別できる。

それぞれの荷重は、実際のものにできるだけ近づけるような形で図-3に示す位置に載荷した。

- ① 主桁自重：単位体積重量を 2.5 t/m^3 とし、両ブロックに載荷した。
- ② プレストレス：床版横締めは1本当たり 46.4 t とし、7本同時載荷(うち1本は旧ブロック)と新ブロックの先端1本載荷の2ケースを設定した。主ケーブルは1本当たり 100 t とし、上床版のものは直線配置、ウェブのものは曲上げ配置を考慮して 16° の勾配を付けた。
- ③ 打設荷重：トラベラーの前方支点反力は型枠支保工の固定点を考慮して、上床版4ヶ所・下床版1ヶ所に合計 109 t 、後方支点反力(アップリフト)には 34 t を載荷した。また、アップリフトに関しては、載荷点を上床版表面にとるものとウェブ内部(上縁から 2 m)にとるものの2ケースを設定した。

さらに打設時の状態を把握するために、①～③の荷重組み合わせを行った。なお、実際の打継目地には、上記荷重のほかにクリープ、乾燥収縮、温度等の荷重が作用するが、今回の解析では扱っていない。

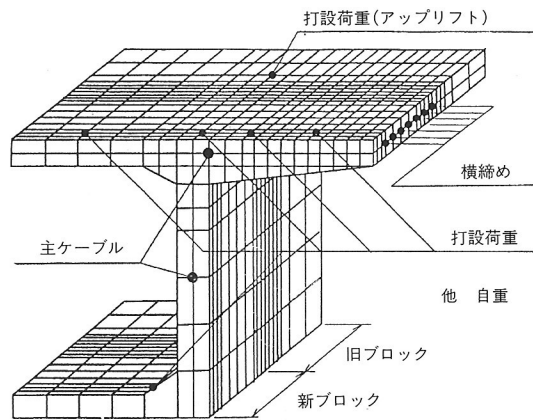


図-3 載荷位置図

4. 解析結果と考察

(1) 主桁自重, 主ケーブルおよび打設荷重による応力

新旧ブロックの打継目地における各荷重の軸方向応力度を図-4～6に示す。なお、設計値を点線で、主要点での設計値との比率を()内に示す。また、応力度は引張りをマイナスで表示している。

解析結果より、共通して以下のことがわかる。

- ① ウェブの応力分布は、ほぼ直線で平面保持の法則が成立している。
- ② 上下床版の応力分布は、せん断遅れの影響がみられ、全断面有効として計算した上下縁応力度(設計値)と比較して、ウェブとの境界点で大きく、離れた点で小さくなっているものの、平均的には設計値と良く一致している。ただし、下床版ではFEMモデルの要素分割の影響が出ている。

(2) 有効伝達長について

次に、主ケーブルの解析結果をケーブル配置別に分類したものを図-7～10に示す。図-7, 8は打継目での軸方向応力度を、図-9, 10は各断面での上縁応力度を示す。

各点での応力度と設計値との比率は、前述したほかの荷重の結果と同程度であり、両ケーブルとも良好な伝達を示している。

したがって図-9, 10から判断すると、今回のモデルに関しては、有効伝達長(定着位置からプレストレスが有効に導入されていると考えられる断面までの距離)は3.5m前後と考えられる。この長さは1ブロック長とほぼ等しく、打継目に有効にプレストレスが導入されているものと考えられている。参考のために、道示III編4.4.7により伝達長を計算すると、図-11に示すとおりとなり、解析結果よりプレストレスの伝達角度は約45°前後($\tan \beta = 1$)であることが確認できる。

(3) 床版横締めによる影響

図-12に示す床版横締めの結果をみると、7本を既設ブロック側から順に緊張した場合には、張出し床版の中央

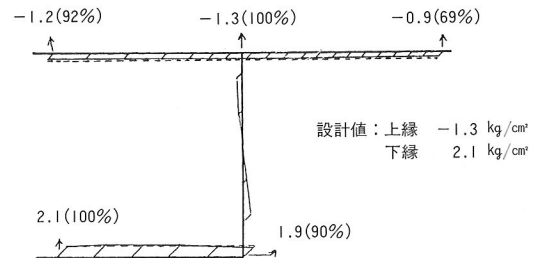


図-4 主桁自重

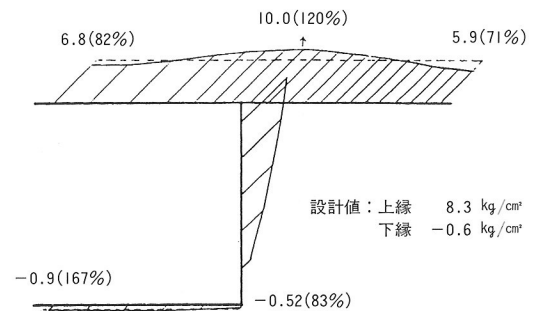


図-5 主ケーブル(上床版+ウェブ)

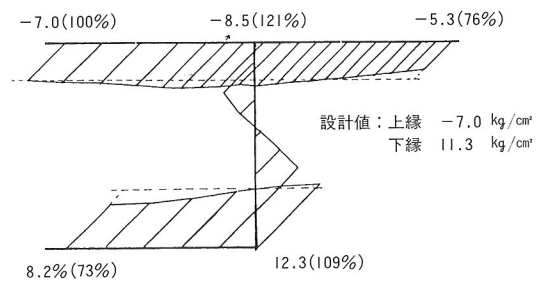


図-6 打設荷重

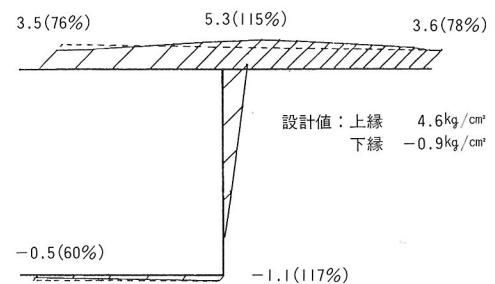


図-7 主ケーブル(上床版)

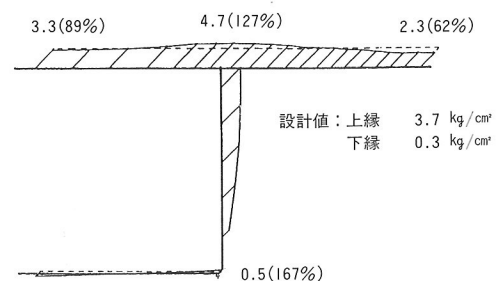


図-8 主ケーブル(ウェブ)

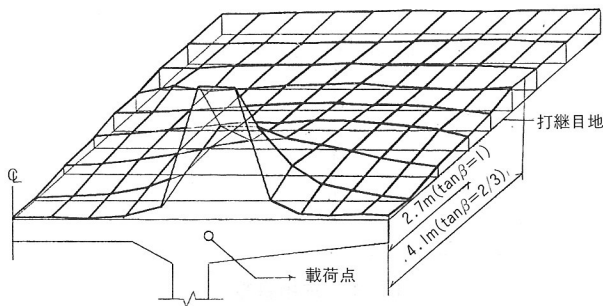


図-9 主ケーブル(上床版)

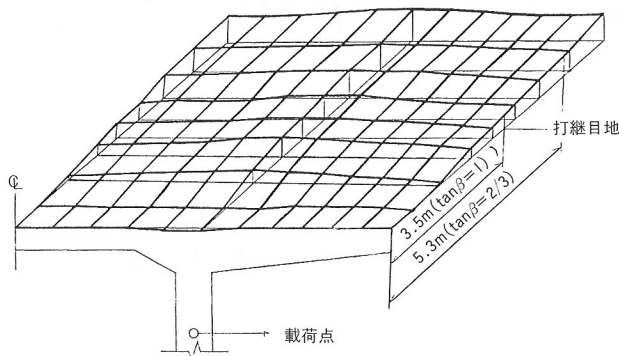


図-10 主ケーブル(ウェブ)

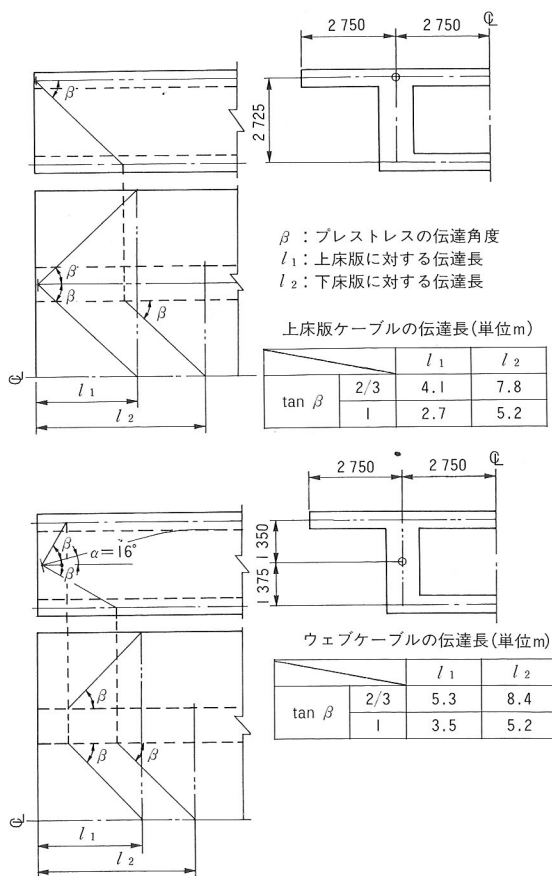


図-11 有効伝達長(設計計算)

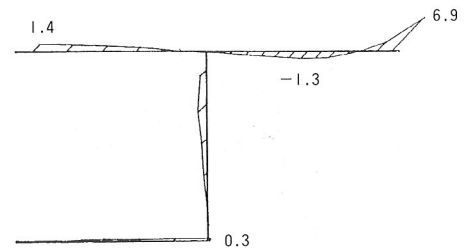


図-12 床版横締め(7本)

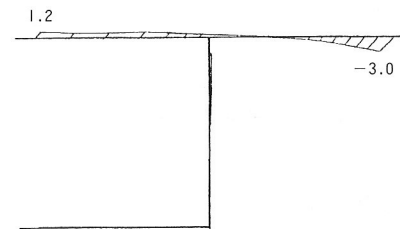


図-13 床版横締め(先端1本)

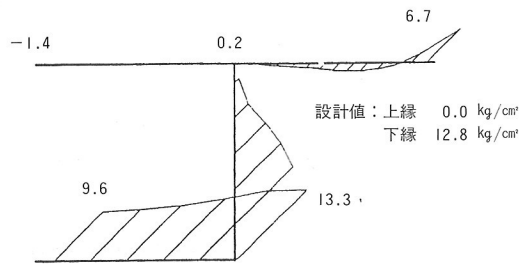


図-14 打設時の合成応力度

に微小な引張り, 先端に大きな圧縮が生じている。

設計ではこれらの応力度を考慮していないが, 微小な引張りであること, 圧縮の生じている範囲が局部的であることより問題はない。

ただし, 新設ブロックの先端から緊張した場合には, 1本目を緊張した時点で, 張出し床版の先端に無視できない引張りが生じる(図-13)ため, 床版横締めは既設ブロック側から順に緊張することが必要である。

打継目の応力度が最も危険な状態となる打設時の合成応力度を図-14に示す。なお, 解析結果には床版横締めの結果(図-12)を合計した値で示す。

設計で考慮していない床版横締めの影響が張出し床版部に生じることを除けば, 合成応力度のレベルでも設計値と解析値は良く一致しており, 従来の設計方法が妥当であることがわかる。

(4) アップリフトによる影響

トラベラーの後方支点には, トラベラー自重と次のブロックの生コン荷重によるアップリフトが働く。今回の解析では, 1ウェブ当たり34tとした。

このアップリフトは, ウェブ中心に埋め込まれたPC鋼棒(1~2m)により桁に伝えられる。

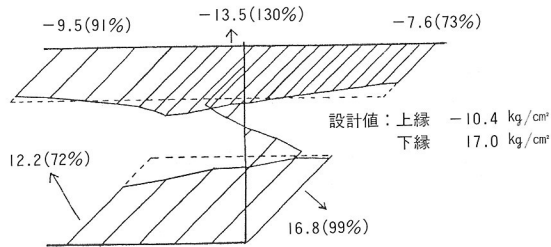


図-15 アップリフト(付着型)

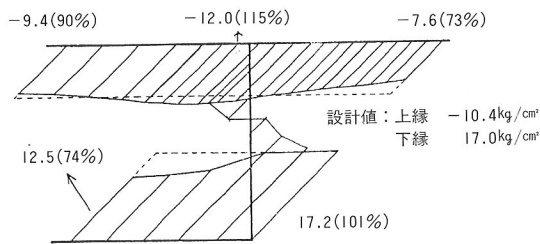


図-16 アップリフト(支圧型)

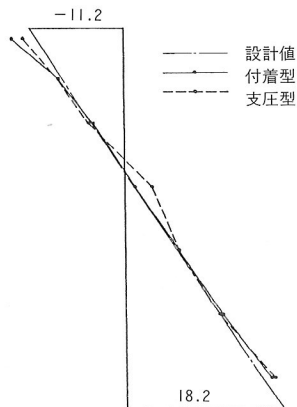


図-17 アップリフト

設計では、このアップリフトを前方支点での偏心モーメントとして考慮しているため、設計モーメントに差はないが、後方支点位置での集中荷重としての影響は考慮されていない。

図-15, 16は、前述の打設荷重に対する結果を後方支点位置に着目して示したものである。

なお、図-15は、PC鋼棒をコンクリートとの付着で定着したものとして、ウェブ上端にアップリフトを載荷した状態である。

また、図-16は、コンクリートとの付着をなくし、PC鋼棒の先端を支圧板で定着したものとして、ウェブ上縁から2mの位置にアップリフトを載荷している。

支圧型の場合には、全体的な応力分布の比率が、アップリフトの影響を受けていない打継目地での結果(図-6)と類似しており、応力分配が良好であることがわかる。ただし、ウェブ中央にわずかな応力の乱れが発生している(図-17参照)。

一方、付着型の場合には、応力分配が悪く、上床版の

ウェブ付け根で微小ではあるが局部的な引張り応力が付加されている。

以上より、アップリフトによる局部応力の影響は微小であり、設計上は無視しても問題ないが、施工においては、支圧板で定着することにより応力分配を良くする等の方策を講じることが望ましいと思われる。

5. おわりに

一般に、張出し施工時に発生する引張り応力度はその発生期間が短いため、道示III編3.3.4に示されている架設時荷重の組み合わせに対する許容引張り応力度を参考にして、橋梁規模に応じた許容値を決定し、制限している。

今回、張出し施工時の打継目に発生する応力度に関して、FEMによる解析値と設計値との比較を行った結果、両者は良い一致を示し従来の設計方法で実状を十分表現できることが確認できた。

したがって、打継目地を弱点にしないためにはコンクリートの材令が若い張出し施工初期において、打継目の中でも強度が小さくなる上縁に大きな引張り応力度を発生させないような許容値を決定することが必要であると考えられる。

なお、今回考慮できなかったクリープ・乾燥収縮などの影響に対する検討を今後の課題にするとともに、アップリフトに関してより詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 國分正胤：新旧コンクリートの打継目に関する研究、土木学会論文集、第8号、1950年11月。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説III、1990年2月。