

## ミシガン州のセント・クレア道路橋におけるプレキャスト PC ホロー桁の横締め構造への新技術の適用

— Innovative precast concrete adjacent-box-beam system implemented in the St. Clair Road bridge in Michigan —

著：Chuanbing S. Sun, Maher K. Tadros, Kyle C. Kopper, and Talia N. Belill  
 訳：会誌編集委員会海外部会

ミシガン州クリントン郡のメープル川に架かるセント・クレア道路橋は、新技術を適用した横締め構造を備えたプレキャスト PC ホロー桁（以下、PC ホロー桁）橋であり、中間横桁が不要な構造である。この横締め構造を採用することにより、主桁重量および全死荷重の軽減や施工の省力化、急速施工が可能となる。さらに、主桁間の間詰め部の漏水やひび割れの発生を抑えることが可能となる。本稿では、この新技術を適用した横締め構造について述べる。

キーワード：道路橋、プレキャスト PC ホロー桁、横締め構造、せん断キー、アンボンド PC 鋼材

### 1. はじめに

PC ホロー桁は、比較的桁高が低く床版の打設に必要な型枠の量を最小限に抑えることができるため、短支間および中支間橋梁に広く採用され、急速施工にも適している。本稿では、ミシガン州において PC ホロー桁橋を建設する際の標準的な設計仕様をまとめた。また、ミシガン州クリントン郡のメープル川に架かるセント・クレア道路橋の構造概要、せん断キーの詳細、横方向の設計、PC ホロー桁の製造および施工について述べる。とくに、特殊な横締め構造について詳述する。

### 2. ミシガン州の標準的な設計仕様

従来の PC ホロー桁橋では、通常、横締め構造に PC 鋼材および高強度の PC 鋼棒を使用する。これらは、中間横桁に配置され、鋼材図心が桁高の 1/2 またはその付近になるように配置される。不適切な設計や構造細目により、PC ホロー桁間の間詰め部においてひび割れと漏水が発生した。この対策として、ミシガン州運輸省（以下、MDOT）の橋梁設計ガイドラインでは、桁上フランジにジベル筋を埋込み、厚さ 150 mm の鉄筋コンクリート床版と一体化させることを規定している。PC ホロー桁橋におけるアスファルト舗装は、日平均交通量が 500 台以下（うち、商業用車両は 3% 未満）の片側 1 車線の一般道路でその使用が認められている。また、MDOT の橋梁設計ガイドラインでは、横締め構造について以下のように記載している。

- ・橋長および桁高に基づき、中間横桁（桁端から離れた）または端支点横桁における PC 鋼材の配置を決定する（表 - 1, 2）。
- ・必要プレストレスは 534 kN である。

図 - 1 に桁製造工場の保管ヤードで仮置きしている標準的な PC ホロー桁を示す。この桁には、桁高の 1/3 の位置ごとに 1 本ずつ、2 本の横締め用シースが設置されている。上フランジにジベル筋を埋込むことにより、主桁と場所打ち床版を一体化することができる。図 - 2 に

表 - 1 MDOT の橋梁設計ガイドラインで規定された支間長に基づいた PC 鋼材の配置

Span length	Transverse post-tensioning tendon locations	Total
Up to 50 ft	One at each end of beam with two at center of span (11 ft apart)	4
Over 50 to 62 ft	One at each end of beam with one at center of span and one at each quarter point	5
Over 62 to 100 ft	One at each end of beam with two at center of span (11 ft apart) and one at each quarter point	6
Over 100 ft	One at each end of beam with five equally spaced between	7

Note: 1 ft = 0.305 m.

表 - 2 MDOT の橋梁設計ガイドラインで規定された桁高に基づいた PC 鋼材の配置

Beam depth	At each location	Total
12 in.	One tendon 5½ in. below top of beam	1
17, 21, and 27 in.	One tendon at middepth of beam	1
33, 39, 42, and 48 in.	One at each ⅓ point of beam depth	2
54 and 60 in.	One at each ¼ point of beam depth	3

Note: 1 in. = 25.4 mm.



図 - 1 桁製造工場の保管ヤードで仮置きしている標準的な PC ホロー桁



## 6. 主方向の設計

主方向は、コンクリート橋用の設計・解析ソフトウェアを使用して設計された。コンクリート強度は、材齢 28 日で 55 MPa、プレストレス導入時は 41 MPa であった。主桁には、それぞれ PC 鋼 k (直径 15.2 mm, 引張強度 1 860 MPa, 低リラクセーション仕様) を配置している。中桁には下縁に 2 段 21 本, 上縁に 1 段 2 本を配置し (図 - 8), 外桁には下縁に 3 段 22 本, 上縁に 1 段 2 本を配置している (図 - 9)。

外桁の PC 鋼材の本数と配置は中桁と少し異なっており, 外桁にかかる特殊荷重を考慮し, かつ, 横締め部との干渉を回避するように PC 鋼材位置を決定している。また, 主桁の PC 鋼材配置は, 中桁と外桁におけるキャンパー差が架設時に 3 mm 以下となるように決定している。

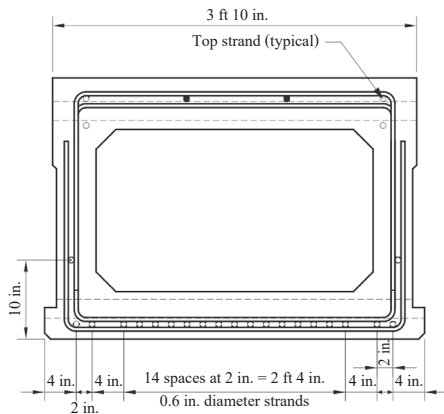


図 - 8 中桁の PC 鋼材配置

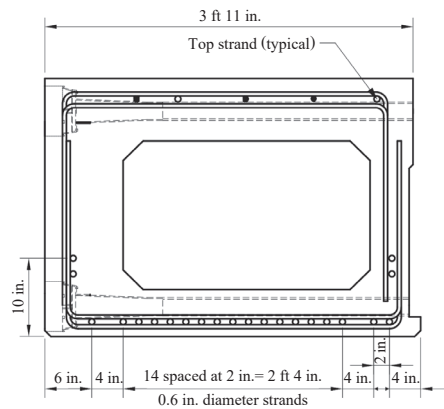


図 - 9 外桁の PC 鋼材配置

## 7. 横方向の設計

PCI 橋梁設計マニュアル<sup>1)</sup>では、El-Remaly<sup>2)</sup>らによって提唱された横方向の必要プレストレスを採用している。上記プレストレスを導入することにより, 横方向の剛性を十分確保し, たわみを許容値内に抑えることができる。PCI 橋梁設計マニュアルでは, 桁の断面寸法, スパン長, 幅員, および斜角を考慮した横方向の導入プレ

ストレスを示す表が記載されている。これらの表は, 米国全州道路交通運輸行政官協会 (AASHTO) HS - 25 における車両積載荷重を考慮した格子解析に基づいて作成された。Hanna<sup>3)</sup>らは, これに加えて AASHTO HL - 93 を参考にして表を改訂し, 必要プレストレスを算出するために, 次式を提案した。

$$P = \left( \frac{0.9W}{D} - 1.0 \right) K_L K_S \leq \left( \frac{0.2W}{D} + 8.0 \right) K_L K_S \quad (\text{式 - 1})$$

$P$  = required transverse post-tensioning force  
(必要プレストレス)

$W$  = bridge width (幅員)

$D$  = box beam depth (桁高)

$K_L$  = correction factor for span-to-depth ratio  
( $L$  と  $D$  から求めた補正係数)

$$= 1.0 + 0.003 \left( \frac{L}{D} - 30 \right)$$

$K_S$  = correction factor for skew angle more than 0 degrees ( $\theta > 0$  のときの補正係数)

$$= 1.0 + 0.002 \theta$$

$L$  = bridge span (支間長)

$\theta$  = skew angle (斜角)

上式は, 横締め PC 鋼材を使用した中間横桁を有する PC ホロー桁橋用として提案された。また, 本橋の設計で初めて上式を適用し, 必要プレストレスの算定に使用した。必要プレストレスは 110 kN/m, 1 箇所あたり 536 kN (鋼材間隔 4.94 m) となった。さらに, 有限要素解析によって必要プレストレスの検証を行い, ホロー桁部は板要素でモデル化した。設計荷重時においてせん断キー部にひび割れが生じないものと仮定して, 横締め部もモデル化している。

解析において適用した荷重は, 活荷重 (HL-93) および地覆・高欄荷重である。活荷重 (HL-93) は, 設計活荷重または設計輪荷重 270 kN および設計レーン荷重の組み合わせの 1.2 倍で構成される。本橋の斜角は 75 度以上であり, 必要プレストレスへの影響はないため解析では考慮しないこととした。

有限要素解析の結果, 必要プレストレスは (式 - 1) から算出した値よりもわずかに下回った。このことから, 安全側を考慮して (式 - 1) に準拠することとし, PC 鋼材を 4.94 m 間隔で計 6 列配置した。各 PC 鋼材は, 桁の上下フランジに 1 本ずつ配置されている。また, 各 PC 鋼材には, 直径が 15.2 mm, 引張強度が 1 860 MPa のシングルストランドが 3 本使用されている。

## 8. アンボンド PC 鋼材の仕様

ASTM 416<sup>4)</sup>で示されるように, それぞれの 7 本より PC 鋼より線に防食用グリースを塗布し, ポリエチレン被覆を施した (図 - 10)。当初契約の仕様では凹凸型の外径  $\phi$  60 mm の鋼製シースとなっていたが, プレキャスト桁製造工場の要望により, 製造費 (材料費) を低減す

○ 海外文献 ○

るため、鋼製シースをポリ塩化ビニル管（以降、PVC管）に変更した。また、PVC管は鋼製シースよりも固いため、コンクリート打設時においてシースの変形を防止できる。PVC管の端部は、鋼製型枠に取り付けることで完全に固定された。横締め構造の施工においてPC鋼材を適切に組み立てるために、正確にPVC管をホロー桁に設置することが重大な課題であった。当初契約の仕様では、PVC管の製作誤差を6mmと規定していた。取付け前に、水や異物の侵入を防止するためにPVC管の端部を密閉する必要があった。

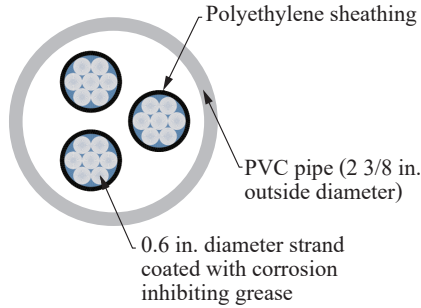


図 - 10 アンボンド PC 鋼材

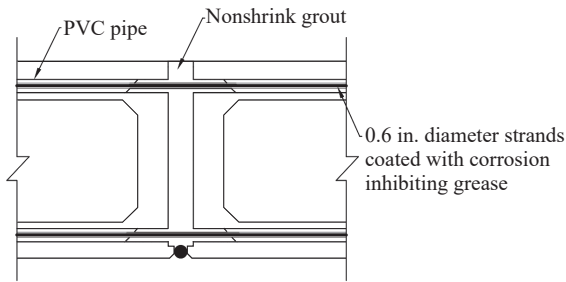


図 - 11 緊張前の間詰め部のモルタル充填

PCホロー桁の上フランジ同士と下フランジ同士を接続するために、この二重管構造を採用した。PC鋼材の配置が上下縁に必要であったものの、ウェブには必要がなかった。これにより、中間横桁をなくし、PCホロー桁の重量・数量および全死荷重を減らすことができた。

本橋は、地方の小規模な橋梁における橋梁管理者の設計仕様に準じて、コンクリート床版の打設を省略している。提案した横締め構造は独自の特徴があるため、場所打ちコンクリート床版を省略することが可能となる。この構造は連邦道路管理局により推奨されたことで、場所打ちコンクリートの打設と養生が不要となり、結果としてさらなる急速施工が可能となった。今後の橋梁において、従来のPC鋼材にかわり、アンボンドPC鋼材の普及が可能となる。

もっとも重要なことは、間詰め部のモルタルを充填するまで緊張が行われなかったことである。したがって、間詰め部に圧縮力を導入することで間詰め部における漏水の危険性が根本的に排除される(図 - 11)。間詰め部は、標準的なPCホロー桁の場合より広いため、高品質なモルタル充填を確実に行うことができる。横締めPC鋼材

の緊張後にグラウト作業が必要とならないため、急速施工が可能となった。また、この技術を今後の橋梁に活用することで、施工の省力化を図ることができる。

9. 桁 製 造

コンクリート打設前のPCホロー桁における鉄筋および横締めPC鋼材を通すためのPVC管の配置状況を図 - 12に示す。また、横締めPC鋼材の位置でのせん断キーの配置状況を図 - 13に示す。



図 - 12 コンクリート打設前の主桁の鉄筋配置状況



図 - 13 横締めPC鋼材位置のせん断キー

10. 本橋の施工

本橋の施工順序を以下に示す。

- 1) プレキャストコンクリート桁の設置
- 2) 間詰め部下面へのシールスポンジの配置
- 3) 横方向PC鋼材の配置
- 4) 間詰め部の無収縮モルタル充填
- 5) 横締めPC鋼材の緊張
- 6) 横締めPC定着切欠き部のモルタル充填
- 7) 地覆・高欄の施工
- 8) 防水層、舗装の施工

もっともクリティカルな施工ステップは横締め PC 鋼材の緊張に関係しており、とくに PC 鋼材の組立てであった。桁を架設するごとにシース位置を確認して所定の位置に設置することにより、PC 鋼材を適切にシース内に配置できた。結果として、横締め PC 鋼材の緊張は順調に行うことができた。本橋は 2014 年 7 月に供用を開始した (図 - 14)。

## 11. 結 論

本橋では、桁高を低くし、上部工の型枠量を最小限に抑えるために、PC ホロー桁が使用された。とくに、横締め構造への新技術の適用に成功した。このプロジェクトの新技術とその成果を以下にまとめる。

- ・横締め鋼材に使用した 7 本より PC 鋼より線は、防食用グリースを塗布したのちに、ポリエチレン被覆を施し、PVC 管内に配置された。この特殊な二重管構造を用いて、PC ホロー桁の上フランジ同士および下フランジ同士を接続した。
- ・PC ホロー桁のウェブには横締め用のシースが不要なため、中間横桁を省略でき、主桁重量および橋梁の全死荷重が軽減できる。
- ・本構造では、シース内にグラウトを注入する必要がないアンボンド横締め鋼材を使用するため、橋梁施工における省力化に寄与する。

- ・本構造では、場所打ちコンクリート床版の打設が必要なくなるため、急速施工が可能となる。
- ・横締め鋼材の緊張は、主方向の間詰め部へのモルタル充填後に実施する。したがって、間詰め部は常に圧縮された状態にあり、間詰め部からの漏水の危険性を根本的に排除できる。
- ・新技術を適用した本構造では、間詰め部において発生する漏水やひび割れの可能性を排除できるため、耐久性が向上する。

## 参 考 文 献

- 1) PCI Bridge Design Manual Steering Committee. 2011. PCI Bridge Design Manual. MNL-133. 3rd ed., Chicago, IL: PCI.
- 2) El-Remaily, A., M. K. Tadros, T. Yamane, and G. Krause. 1996. "Transverse Design of Adjacent Precast Prestressed Concrete Box Girder Bridges." PCI Journal 41 (4): 96?113.
- 3) Hanna, K. E., G. Morcouc, and M. K. Tadros. 2009. "Transverse Post-tensioning Design and Detailing of Precast, Prestressed Concrete Adjacent-Box-Girder Bridges." PCI Journal 54 (4): 160?174.
- 4) ASTM Subcommittee A01.05. 2017. Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete. ASTM A416/A416M-17. West Conshohocken, PA: ASTM International.

*This article was first issued in PCI Journal (Precast Concrete Institute Journal), 2018, May-June, page 41-50*



図 - 14 完成写真

\* : 会誌編集委員会海外部会委員  
 堀田 尚史 (首都高速道路(株))  
 渡邊 秀知 (株 ビーエス三菱)  
 佐藤 千鶴 (株 銭高組)  
 田中 慎也 (株 IHI インフラ建設)  
 森田 遼 (鹿島建設(株))

【2019 年 12 月 12 日受付】