

第二蕪湖橋：中国における全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋の工場製作への適用（後編）

— The Second Wuhu Bridge: An Industrialized Application of External Pre-stressed Box-Girder Bridge in China —

著：Ke Hu, Xuefei Shi, Xin Ruan, Chamghai Liang, Zhiquan Liu
 訳：会誌編集委員会海外部会

第二蕪湖橋は、中国安徽省の揚子江を横断する全長 41.03 km の超大型事業であり、中央支間長 806 m の斜張橋などから構成される橋梁である。本事業は 4 年以内に完了する必要があるため、プレキャストセグメント PC 桁橋を採用した。本稿では、この橋梁の設計全般、断面設計、PC 設計およびプレキャストセグメントの製造・架設について述べる。規格化された設計、構造性能を満たすための検討および最適化について詳細に説明する。前編では、橋梁の設計全般と断面設計について報告をした。本編では、PC 設計およびプレキャストセグメントの製造・架設について報告する。

キーワード：内外ケーブル併用方式、全外ケーブル構造、セグメント桁架設、箱桁、ショートラインマッチキャスト

4. ケーブル配置形状の検討

ケーブル配置は、外ケーブル方式の設計において重要な項目である。全外ケーブル方式は内外ケーブル併用方式の配線形状と比較して、下床版にケーブル配置できないため偏心が小さくなり緊張力が減少すること、偏向部セグメントに PC 鋼材が集中するためセグメント重量が増加すること、スパンごとにセグメントを架設することから、各スパンの PC 鋼材をそれぞれ独立させる必要があることなどが欠点としてあげられる。図 - 6 に示すようにもっとも適切なケーブル配置として、スパンごとの定着部をたすき掛け配置とした。なお、PC 鋼材の配置は、標準断面の設計とほぼ一致している（図 - 7）。

セグメント重量は断面設計によって厳しく制限され、

PC 鋼材のケーブル配置を最適化する条件として適用される。表 - 3 に同じ構造形式の 3 つの橋梁の PC 鋼材量を示す。3 橋を比較した結果、全外ケーブル方式の設計（表 - 3, This project）は、最大スパンを有しているにも関わらず、PC 鋼材がもっとも少ない数量で適用可能となることが分かった。

中間支点横桁セグメントの緊張手順は、橋梁のなかでもとくに注意が必要である。最終的には、セグメントに対して左右均等に緊張力が加わった状態となるが、施工途中の段階では偏った緊張力を受ける。このように、中間支点横桁セグメントは緊張手順が影響し不均等な力が伝達することを考慮して、ウェブに近いケーブルから順番に緊張することとした（図 - 8）。

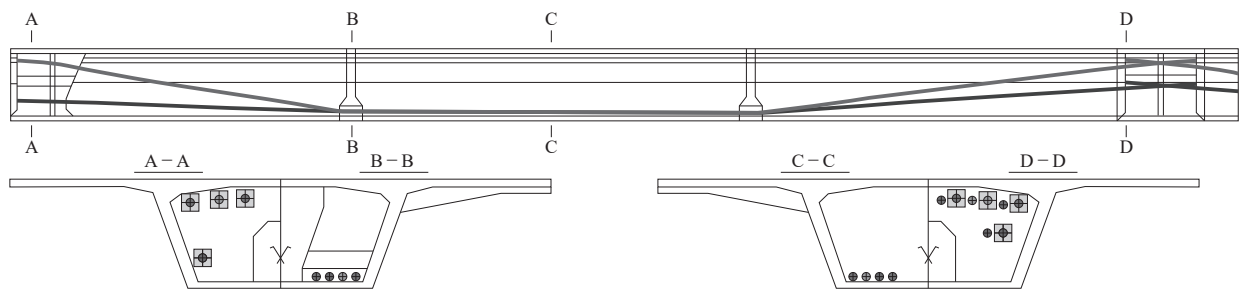


図 - 6 50 m スパンごとの配線形状

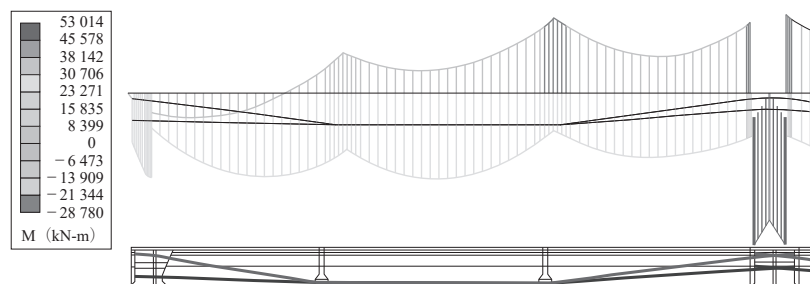


図 - 7 緊張力を有する桁の内部力線図

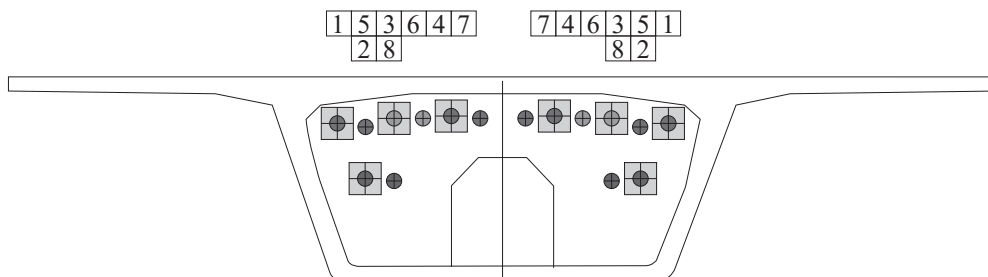


図 - 8 緊張手順

表 - 3 PC 鋼材量比較

	This project	Bridge A*	Bridge B*
Span (m)	55	50	50
Deck width (m)	16.25	15.8	15.8
Pre-stressed tendons usage (kg/m ²)	Fully external	Partially external	Partially external
	23.5	37.0	37.7

* Bridge A と Bridge B は、中国におけるアプローチ橋

5. セグメントの製造・架設

本事業は、施工期間4年で、1652径間と20032個のセグメントをすべて完成させる厳しい制約条件が課せられている。一連の事業は4社の請負業者が4班に分かれて担当し、各社約5000個のセグメントの製造・架設を請け負った。請負業者はそれぞれ独自のプレキャスト工場、ストックヤードおよび現場部門を所有している。これらの異なる業者が分担して事業を担当することとした理由は、設計法の高度標準化により、施工工程が規格化され工程短縮が可能となったためである。たとえば、一般的に偏向管および定着部は、多数の補強鉄筋により複雑な配筋となっている横桁セグメント内に埋設される。この場合、従来の溶接方法で補強鉄筋を接続すると、施工性が悪く作業効率が低下する。本橋の設計法では、3次元設計技術（BIM）を利用し補強鉄筋を接続する継手方式を採用して、各補強位置と配置手順を決定した。結果的に溶接量を80%削減させ、作業効率を大幅に改善した（図-9）。とくに低い柱頭部を有するスパンについては、桁下空間の確保のために上路式架設機を使用した。

すべてのセグメントは、ショートラインマッチキャスト法で製造される。品質管理と工程管理を行うためには、各セグメント間の誤差調整が非常に重要である。すべてのデータを管理するためのインターネットプラットフォームが、同済大学の橋梁工学部橋梁建設情報学研究グループによって開発された。各セグメントが製造されると、検査のために請負業者から製造データが提出される。そして、次のセグメントの調整データが計算されるとすぐに請負業者に送信される。外ケーブルの緊張力のデータも、同様の手順で管理される。図-10にインターフェースを示す。このインターフェースに搭載されるインターネットプラットフォームにより、すべての関係者がデータと情報を共有できることから、効率の高い管理システムが運用されている。すべての請負業者からの建設データが記録され、品質分析および発注者による品質と工程の管理に利用できる。これらのデータは保存され、維持管理段階でも使用される。

インターネットプラットフォームを利用すれば、エンジニア1人でデータ処理が可能で、作業時間は10分以内となる。従来中国で行われた同様の橋梁建設事業と比較した場合、時間と人員を削減したことにより作業効率は3倍となった。

各建設業者は、上路式架設機および下路式架設機を含むさまざまな建設機械を使用する。合計14機の上路式架設機と4機の下路式架設機がある。上路式架設機（図-11）では、1スパンを完成させるのに5日間かかる。一方で下路式架設機（図-12）では、1スパンを完成さ

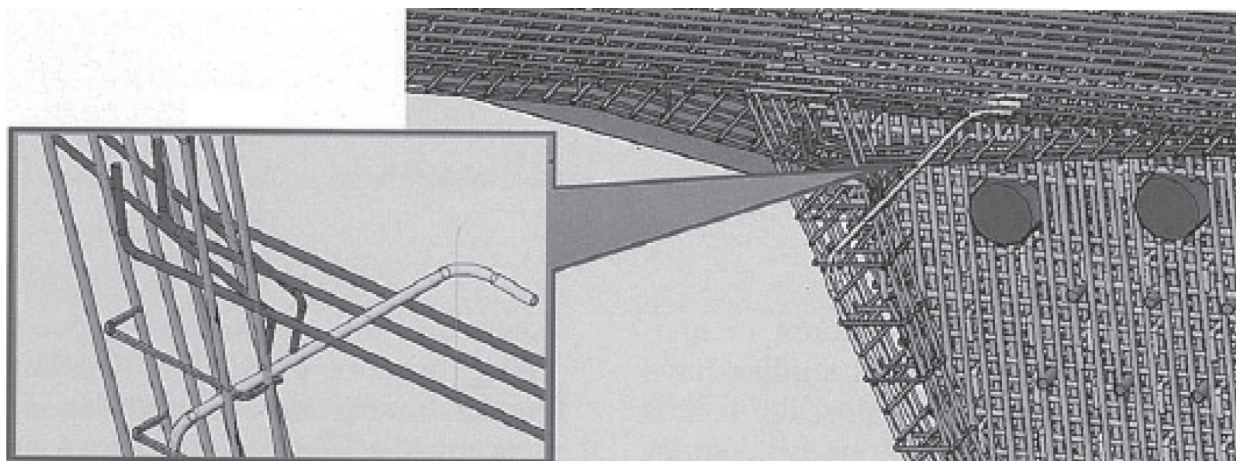


図 - 9 3次元設計技術によるモデリング（BIM）を使用した配筋図

节段梁预制架设信息交换系统(预制)

图 10: 2019年11月 14日 10:10:10 用户: 192.168.1.100 系统: 2019年11月 14日 10:10:10

数据管理

名称	系统	版本号	数据源	数据格式	接口	接口地址	接口类型	接口名称	接口地址
预制梁架设备	预制梁架设备	1.0.0.0	预制梁架设备	预制梁架设备	预制梁架设备	192.168.1.100	HTTP	预制梁架设备	192.168.1.100
预制梁架设备	预制梁架设备	1.0.0.0	预制梁架设备	预制梁架设备	预制梁架设备	192.168.1.100	HTTP	预制梁架设备	192.168.1.100
预制梁架设备	预制梁架设备	1.0.0.0	预制梁架设备	预制梁架设备	预制梁架设备	192.168.1.100	HTTP	预制梁架设备	192.168.1.100

数据源	接口	数据源格式							
		X	Y	Z	角度	X	Y	Z	角度
预制梁架设备	接口1	1.000	-0.000	0.000	0.000	1.000	-0.000	0.000	0.000
	接口2	-0.000	-0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000
	接口3	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000
预制梁架设备	接口1	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	接口2	-0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
	接口3	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000
预制梁架设备	接口1	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	接口2	-0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
	接口3	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000

図 - 10 データ管理のためのインターフェース



図 - 11 セグメント架設状況（上路式架設機）



図 - 12 セグメント架設状況（下路式架設機）

せるのに4～4.5日かかるが、架設機の設置位置を最適化すればさらに作業効率が10～20%向上する。

6. 構造性能の検証

ほかの構造形式と比較して、全外ケーブル方式の桁は、構造上多くの利点を有する。その構造性能を検証するために、多くの分析および実験研究を行った。図 - 13 に実物大試験状況を示す。また、連続桁における正負のモーメント領域の性能を検証するために、支間長40m、床版幅16mを有する実物大試験体を使用して現地試験を行った。

7. 結 論

揚子江の第二蕪湖橋における橋梁架設事業は、全外ケーブル方式連続PC箱桁橋の中国で最初の適用例である。この事例に基づいて、以下の結論を導くことができる：

- ・標準設計は工場製作の基礎となる。まず初めに建設需要と条件について慎重に検討すべきである。
- ・全外ケーブル方式連続PC箱桁橋を採用することは工場製作の適用につながる。面取りの角度などの細部の設計は、製造速度と品質の両方に影響を与える可能性がある。
- ・高度な設備は工場製作の第二の基礎となる。この事業



図 - 13 実物大試験状況

では、架設速度を加速するために、上路式架設機と下路式架設機の両方が使用されている。定着部の性能を保証するために、ケーブルの緊張手順を慎重に検討する必要がある。

- ・ 統合された情報管理は、工場製作への適用につながる。この事業のインターネットプラットフォームは、施工精度および品質管理における大量のデータを扱ううえで大いに役に立つ。
- ・ 実物大実験により、全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋が高効率で優れた品質を有し、経済的かつ環境に優しいことを確認できた。これを大規模インフラ建設の 1 つのモデルとすることができる。

This article was first issued in SEI (Structural Engineering International), 2017, Volume 27, Number 2, page 315-320

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

[2018 年 9 月 21 日受付]



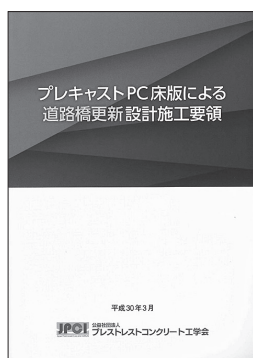
新刊案内

プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 2018 年 3 月

本工学会は、平成 28 年 3 月に「更新用プレキャスト PC 床版技術指針」(以下、「技術指針」という。)を策定しました。道路橋床版更新工事の実施に際しては、この「技術指針」を補完する具体的なプロセスを盛り込んだ設計施工要領の必要性が認識され、引き続き「更新用プレキャスト PC 床版技術検討委員会 (その 2)」(委員長:池田尚治 (株)複合研究機構 横浜国立大学名誉教授)を設立し、設計施工要領の策定に取り組んでまいりました。このたび平成 30 年 3 月に策定しました「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領」は「技術指針」の基本理念に基づいた詳細な設計と施工の要領が示されており、鋼部材についても詳述されています。

是非お手元に置いてご活用ください。

目次構成



1 章 総則	4 章 施工
2 章 調査・計画	4.1 施工の基本事項
2.1 調査の目的	4.2 プレキャスト PC 床版の製作
2.2 既往資料の調査	4.3 プレキャスト PC 床版の運搬
2.3 既設構造物の変状調査	4.4 既設床版の撤去
2.4 既設構造物の周辺環境調査	4.5 プレキャスト PC 床版の架設
2.5 既設構造物の形状調査	4.6 床版相互の接合
2.6 既設鋼桁の調査	4.7 床版と鋼桁との接合
2.7 計画	4.8 場所打ち部の施工
3 章 設計	4.9 橋面工
3.1 設計の基本事項	5 章 鋼部材の診断・対策
3.2 橋軸直角方向の設計	5.1 鋼部材の調査・計画
3.3 橋軸方向の設計	5.2 鋼桁の設計手法および安全性に対する診断・対策
3.4 端部場所打ち部の設計	5.3 鋼部材の疲労に対する診断・対策
3.5 耐久性に関する検討	5.4 鋼部材の腐食に対する診断・対策
3.6 プレキャスト PC 床版と鋼桁の接合部	5.5 支承の診断・対策
3.7 構造細目	参考資料
3.8 橋面、壁高欄および付属物に関する留意点	参考 1 設計例 (床版、壁高欄)
3.9 その他の留意点	参考 2 その他 (壁高欄施工例、過去の荷重走行試験結果)

(全 248 ページ)

定 価 8,000 円 / 送料 300 円

会員特価 6,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会