

## 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（前編）

### — 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。本編では、橋梁の設計全般、断面設計について報告する。

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

#### 1. はじめに

プレキャストセグメント全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋は、中規模の橋梁に採用されることが多い。通常、連続 PC 箱桁橋は、外ケーブル方式と内ケーブル方式のいずれかに分類される。外ケーブル方式の利点は、セグメント製造管理、品質保証、環境性能および維持管理性に優れていることである。

この構造形式の橋梁建設は、施工ヤードと架設機械の費用の影響が大きいため、大型事業に適している。最初の外ケーブル方式 PC 橋は 1979 年にフロリダ州に建設された Long Key 橋であった。以後、外ケーブル方式の PC 技術は米国、ヨーロッパ、日本およびタイで採用され始めた。中国では、外ケーブル方式 PC 桁が、Humin 高速道路橋と Sutong 橋のアプローチ橋に適用された。これらの世界的な流れのなかでも、ほとんどが内外ケーブル併用方式であり、全外ケーブル方式は少数である。これまでに中国では、全外ケーブル方式 PC 桁構造は採用されていない。

第二蕪湖橋は、中国東部安徽省の揚子江を横断する橋梁で、スパン配置が 100 m + 308 m + 806 m + 308 m + 100 m の斜張橋などから構成される高速道路である。事業延

長は 41.03 km で渡河部と河川沿いの道路には 30 km の橋梁がある。これらの橋梁建設を 4 年以内に完了することが要求されており、これは構造設計と品質管理の両方にとって大きな課題である（図 - 1）。

かぎられた時間と超大型の事業規模を考慮すると、概略設計段階から規格化された設計・施工が必要となる。本事業では、プレキャストセグメント全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋を採用し、設計と施工の最適化を図った。本稿では、このプロセスの詳細について述べる。

#### 2. 全体設計

連続橋の構造を決定するためには、経済性、施工速度および施工管理性について考慮する必要がある。現場打ちコンクリート箱桁橋および内外ケーブル併用方式 PC 箱桁橋と比較し、今回の場合は全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋の採用が適している。この形式の適用スパンは 30 ~ 60 m であり、下部構造のコスト削減のため、上部構造のスパンを 30 m、40 m および 55 m の 3 スパンとした。橋梁の計画レイアウトを図 - 2 に示す。アプローチ部は 30 m スパンとし、河川沿いは土質条件が悪いため、下部構造のコストを考慮し、斜張橋の前後に 55 m スパンを適用することとした。30 m スパン区間と 55 m スパ



図 - 1 プレキャスト仮置き状況

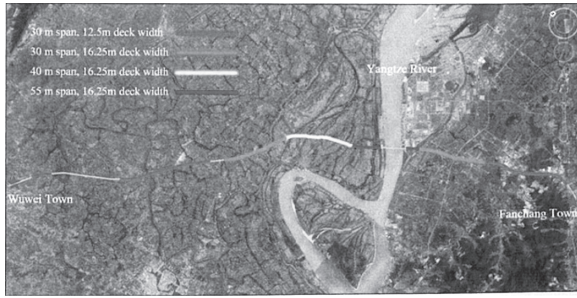


図 - 2 全体計画のレイアウト案

ン区間の間には 40 m スパンを適用する。全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋の全長は 27.8 km となる。

並列橋を採用することで道路の交通要件を満たした。本事業の床版幅は、12.5 m および 16.25 m となっている。12.50 m の床版幅は 30 m スパンに使用され、16.25 m の床版幅は 30 m、40 m および 55 m スパンに適用可能である。このように、全外ケーブル方式連続 PC 箱桁橋を使用した連続橋は、4 タイプの並列橋を組み合わせで設計する。

### 3. 断面設計

規格化するための建設要件に基づき、設計段階で断面の最適化を図った。標準断面には、薄肉の箱桁を適用した。図 - 3 (a)~(d) に標準的な 4 断面を示す。交通容量の違いにより床版幅は 12.5 m および 16.25 m とし、張出し部およびハンチ部については、4.32 m の張出し床版の性能を向上させるため、16.25 m 幅の断面で設計を行った。また、桁高は 2 m、2.5 m および 3 m とした。桁高の異なる断面において、下床版幅を除き構造は同様となる。また、標準断面のセグメント長は 3 m であり、プレキャスト製品の型枠は同一のものを使用している。図 - 3 (e) に

内外ケーブル併用方式の中国で標準的な箱桁断面を示す。

全外ケーブル方式構造を使用するため、ウェブおよびフランジには、プレストレスを導入しない設計とした。セグメント重量を減らすと同時に、強度と剛性の要件を満たすように寸法を最適化し、最終的に上フランジ厚 220 mm、下フランジ厚 200 mm、ウェブの最小厚 350 mm と決定した。表 - 1 に各標準セグメント重量と、数年前中国で建設された内外ケーブル併用方式 PC 桁橋における標準スパン 50 m のセグメント重量との比較を示す。上部構造重量を減らすことにより、工事後半におけるセグメントの急速架設に対し、非常に良い所となった。

詳細設計では、より施工しやすいように最適化を行った。たとえば、張出し床版の矩形断面において、上フランジとウェブの間の面取り角度を増やし、下フランジとウェブの面取りをなくすことで逆台形断面とし、より脱型しやすい型枠に変更した。

偏向部セグメントの設計は、上記とはべつに重要な役割がある。設計により、偏向部セグメントと隔壁に隣接した標準セグメントを同形状とすることで、偏向部セグメントを標準セグメントと同じ形状でプレキャスト化することができる。隔壁は、セグメントを製作台からストックヤードに移したのち打設する。このように、工場製作するセグメントの種類を減らし、製作工程を短縮する

表 - 1 橋梁スパン別セグメント重量の比較

Span	30 m	30 m	40 m	55 m	50 m*
Width	12.5	16.25	16.25	16.25	16.25
Standard segments weight (t)	44.7	55.2	57.3	60.6	74.88

\*内外ケーブル併用方式 PC 桁橋

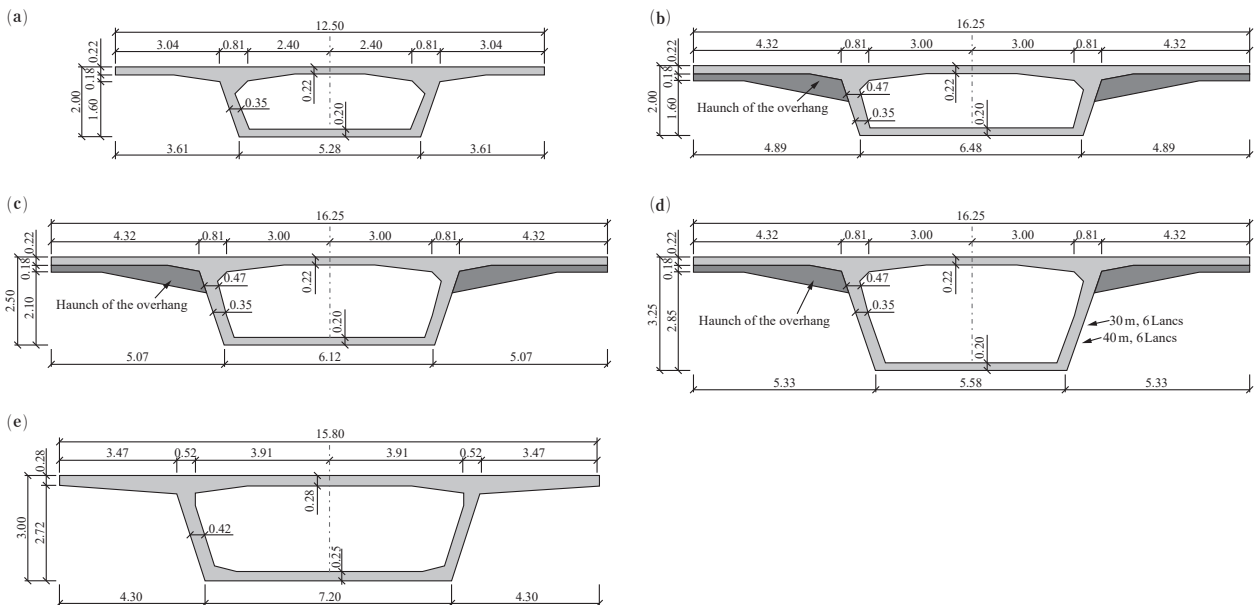


図 - 3 標準断面の寸法比較

(a) スパン 30 m, 床版幅 12.5 m (b) スパン 30 m, 床版幅 16.25 m (c) スパン 40 m, 床版幅 16.25 m (d) スパン 55 m, 床版幅 16.25 m (e) スパン 30 m, 床版幅 15.8 m (内外ケーブル併用方式の中国で標準的な箱桁断面)

○ 海外文献 ○

ことが可能となった。

横桁セグメントの設計は、一連の設計の過程のなかで難しい部分であり、主な課題が2点ある。1点目は定着部の安全性および耐久性にある。中間横桁では、力が均衡した状態で両側のPC鋼材を定着しているが、端支点横桁では、片側のみでPC鋼材を定着しているため、プレストレスが大きく、不安定であり、構造安全性にとって、この大きなプレストレスの均一でスムーズな伝達が重要な鍵となる。2点目は吊重量にある。横桁セグメントの

重量は同じセグメント長の標準セグメントの重量より大きくなり、吊上げ能力および架設費が増大する。この状況を避けるため、定着横桁セグメントの革新的な設計を活用している。図-4に示すように、標準横桁および補強横桁における2種類のセグメントでPC鋼材を定着する設計を行っており、横桁セグメントを各スパンの端部に配置している。橋梁端部にPC鋼材を定着した場合、補強横桁セグメントを横桁に隣接して配列することとなるが、橋梁中央径間部では横桁セグメントを2箇所配置

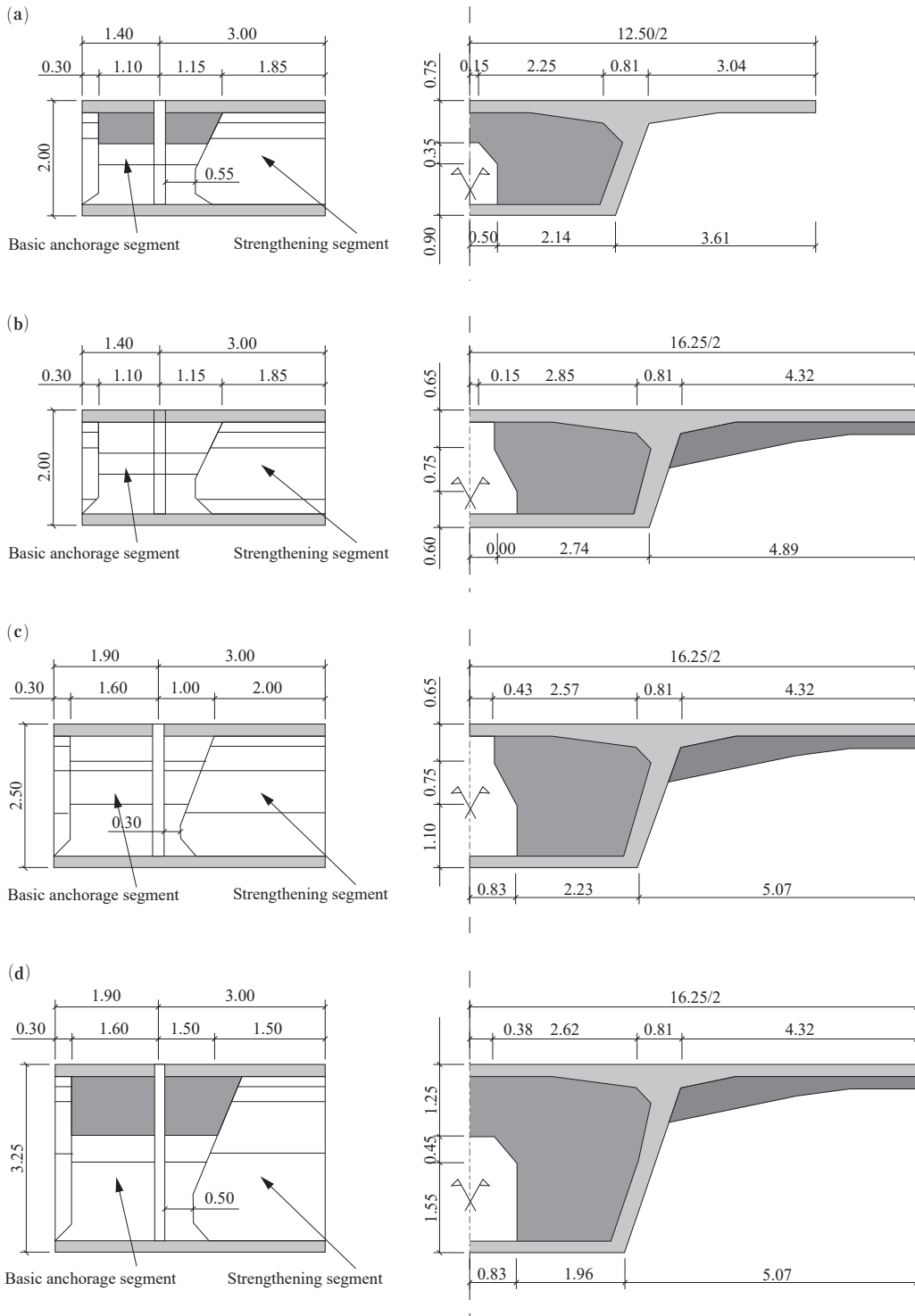


図 - 4 各横桁セグメント断面形状

することとなる。セグメント重量を抑えるためにセグメント長を短くする設計を行っている。橋梁の4種類すべてのセグメント重量を表-2に示す。各横桁セグメントの最終的な重量は、55 m スパンの橋梁において最大で93.5 tとなる。

上記に言及したセグメントの設計に基づき、組立て装置を各スパンで簡素化している。中央径間は、横桁セグメント2箇所、偏向部セグメント2箇所および標準セグ

メントで構成し、側径間は中央径間よりも多くの補強横桁セグメントで構成した(図-5)。各スパンでは架設用に場所打ち目地を150 mm 設けており、一連の接続計画全体で20 032 個、16 種類のセグメントとなる。内型枠は異なる形状となっているが、すべてのセグメントの外型枠を各スパンで同形状としている。このことで、型枠の種類を減らすことができ、利便性のある大規模なプレキャスト工場が生産が可能となる。

表-2 横桁セグメントと補強横桁セグメントの重量

Span	Diaphragm segment				Strengthening segment			
	30 m	30 m	40 m	55 m	30 m	30 m	40 m	55 m
Deck width	12.5	16.25	16.25	16.25	12.5	16.25	16.25	16.25
Weight (t)	38.576	45.985	73.960	92.442	57.332	69.232	69.288	93.512

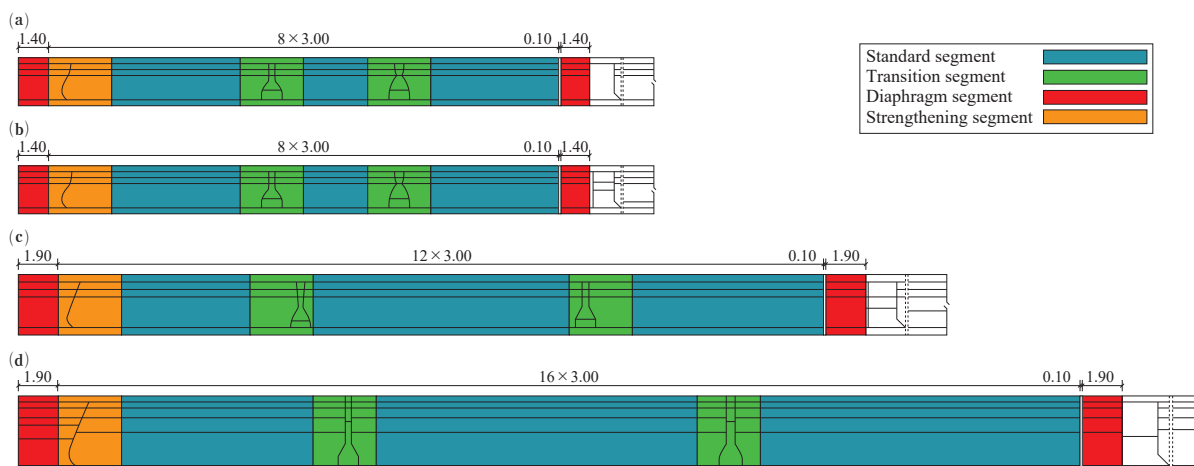


図-5 支間別のセグメント配列図

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 (株) ピーエス三菱  
 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))

[2018年7月11日受付]



新刊案内

## コンクリート構造診断技術 コンクリート構造診断技術講習テキスト

2018年1月

定 価 7,500 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