



縦断線形を考慮したキャンバーを設けたプレキャストプレストレストコンクリート桁橋 における製作・設計 (前編)

— Fabrication and design of precambered precast, prestressed concrete bridge girders —

著：Richard Brice, Stephen J. Seguirant, Anthony Mizumori, and Bijan Khaleghi
訳：会誌編集委員海外部会

プレキャストプレストレストコンクリート桁 (以下、PCaPC 桁) は、道路の縦断線形に合わせるためにあらかじめ主桁にキャンバーを付けて製作することができる。これにより、床版ハンチ高で縦断線形を調整する必要がなくなるため、死荷重を軽減できる。主桁にキャンバーを付けた橋梁プロジェクトは、ワシントン州で主に建設されてきた。本稿では、キャンバーを付けた主桁 (Pre-camber, 以下、プレキャンバー桁) における製作、設計、および運搬で配慮した項目について報告する。前編では、プレキャンバー桁における製作、設計の概要について報告する。

キーワード：プレキャストコンクリート、道路線形、キャンバー

1. はじめに

プレキャストコンクリート桁 (以下、PCa 桁) の型枠形状や PC 鋼材配置にあらかじめ放物線状の形状をもたせることで、キャンバーと呼ばれる縦断線形に合せた主桁が製作される。キャンバーは、桁の自重やプレストレスト力による偏心によるそりと、型枠製作時に考慮したそり (formed camber, 以下、フォームドキャンバー) の合計値である。キャンバーは、主桁製作台で製作された主桁を道路の縦断線形に合わせる効果的な手法である。この手法は、場所打ちコンクリート床版を有する上部構造にとって、厳しい制約条件を満足するのに有効であり、鉛直方向の曲率が大きい場合に床版ハンチ高で縦断勾配を調整する必要がなくなる。図 - 1 は、桁下縁に鉛直方向のクリアランスを確保するため、道路線形に合うようにキャンバーを付けて製作された主桁の架設状況を示している。

アラサカ州運輸・公共施設局は、数十年にわたり、キャンバーを付けたプレストレストコンクリートバルブ T 桁 (以下、PC バルブ T 桁) を採用してきた。建設工期および遠隔地からの建設資材への運搬には制限がある。その結果、多くの橋梁上部構造は、PC バルブ T 桁、主桁の差し筋、ジベル筋、および接合部のグラウトの構成部材で建設される。これらの条件下では、道路の縦断線形に合うように桁を製作する必要がある。この場合、一定量のキャンバーを設ける必要がある。ワシントン州運輸局 (以下、WSDOT) では、現在まで PC バルブ T 桁をほとんど使用しておらず、代わりに場所打ちコンクリート床版を有するプレストレストコンクリート I 桁 (以下、PCI 桁) が推奨されてきた。この PCI 桁には、道路の縦断線形に合うように床版ハンチ高を調整するため、キャンバーを付ける必要がなかった。しかしながら、最近の WSDOT プロジェクトでは、場所打ちコンクリート床版を有する PCI 桁用のプレキャンバー桁の有用性が注目されてきている。

キャンバーを付けた PCaPC 桁には、キャンバーを付けていない標準桁と比較して、以下に示す利点がある。

- ・プロジェクトの工程を短縮できる。
- ・厳しい制約条件を満足しながら、桁高を高くでき、長支間に適用できる。
- ・桁高変化分のコンクリートの死荷重とその量を削減できる。
- ・美観性を向上できる。

PC バルブ T 桁、ホロー桁などの PCaPC 桁は、道路の縦断勾配に合わせて、上向きに凸または下向きに凸なキャンバーを付けることができる。プレキャンバー桁には、専門的な製作プログラムや技術、修正設計作業、支承構造の検討が必要である。また、プレキャンバー桁は、運搬中に安定性が低下する可能性がある。

プレキャンバー桁の活用が進んでいないのが現状である。そこで、本稿では、プレキャンバー桁の有用性について意識を高め、技術知識を共有するために、プレキャンバー桁の製作・設計に焦点をあてている。また、本稿では、対称的な放物線状のプレキャンバー桁に限定して検討をしているが、桁長によってさまざまな放物線状に形状を変えた主桁も製作されている。本稿では、PCa セグメント桁におけるフォームドキャンバーは考慮していない。

2. プレキャンバー桁

プロジェクトごとに採用されるキャンバー量は異なるため、製作初期の準備段階には時間を要し、費用と工程に影響を与える。したがって、プロジェクトにとってキャンバーの使用が本当に有益な場合にのみ、プレキャンバー桁を採用する必要がある。同じタイプで設計された主桁が増えるほど、製作の段取りによる単価は小さくなる。製作の段取りが完了すると、同タイプのプレキャンバー桁は、標準桁と変わらない速度で製作を行うことができる。

図 - 1 に示すような橋梁の適用においては、プレキ



図 - 1 プレキャンバー桁の架設状況

キャンバー桁の必要性は明らかであるが、つねに必要なとはかぎらない。より良い結果となるような代替手段が、プレキャンバー桁よりも安価な場合がある。プロジェクトに適切な解決策を選択するには、技術者が判断を下すことが重要で、地元の請負業者やPCaメーカーと相談する必要がある。

主桁製作台で製作された主桁におけるキャンバーの主な目的は、主桁天端を道路の縦断線形に合せた形状にすることにある。一部の橋梁では、この目的を達成するために、縦断線形を主桁のキャンバーに合わせるように設定することがある。あるいは、主桁の上フランジ厚を縦断線形の程度に合わせて変化させることもできる。これらの代替案のどちらかが、特定のプロジェクトで実現可能であれば、プレキャンバー桁を採用するよりも安価になる可能性がある。

場所打ちコンクリート床版を備えたPCI桁の場合、縦断線形は、一般的に床版ハンチ高にて調整される。鉛直方向の曲率が大きい橋梁のPCa桁の場合、この床版ハンチ高が過度に高くなる可能性がある。主桁本数が少ない場合、床版ハンチ高を高くすることがもっとも有効な方法である。しかしながら、主桁本数が多い場合、プレキャンバー桁の使用により、床版ハンチに必要な材料とその死荷重を減らす方が経済性に優れる可能性がある。支承高さが高くなる固定支承の橋梁の場合、プレキャンバー桁がもっとも有効な方法である。

製作できるプレキャンバー量は、地元のPCaメーカーの能力と、桁を現場に運搬する際の制限によって異なる。プレキャンバー量は、プレキャンバー比を用いて定量化される。プレキャンバー比は、フォームドキャンバー δ_c をPCa桁の長さ L で割ったものとして定義される。ワシントン州では、プレキャンバー比 $\delta_c/L = 1/81$ の桁が製造され、出荷されている。設計者は、地元のPCaメーカーに相談して制限を確認しておく必要がある。縦断曲線がきつい場合、プレキャンバー量とフランジ厚や床版ハンチ高の調整など他の方法と組み合わせることで効率的な設計となる可能性がある。

3. 製作

プレキャンバー桁は、円弧または放物線に非常に近い弦形状に配置された真っ直ぐな型枠を使用して製造され

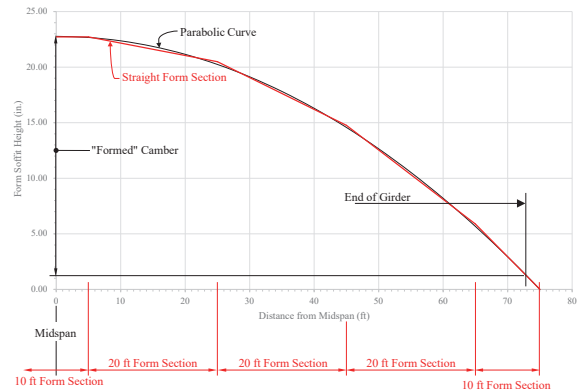


図 - 2 放物線に近似した型枠の概略配置
注：1 in = 25.4 mm; 1 ft = 0.305 m

る。図 - 2 は、放物線に近似した型枠の概略配置を示している。適切に取り付けた場合、真っ直ぐな型枠形状と放物線形状の差は、6.4 mm (0.25 in.) 以内である。桁は弦のような形状となるが、プレストレスによって接合された桁の形状は、図 - 1 のように滑らかな曲線を形成する。

プレキャンバー桁に配置されるPC鋼材は、直線配置ではなく、型枠の底版から一定の離隔をとって配置される。PCa部材に埋め込まれた特殊な偏向具により、PC鋼材は所定の位置に配置される(図 - 3)。偏向具を配置しないと、プレストレス力を導入した際にPC鋼材が型枠底版に接触してしまう。曲線配置されるPC鋼材は、プレキャンバー桁の支間中央付近と桁端付近で所定の偏心を保持するために配置されるが、桁の残りの部分全体には直線配置される。PC鋼材の配置方向の変化により生じる引鉛直方向の作用力に対しては、型枠または製作台によって抵抗させる必要がある。脱枠後のプレキャンバー桁の一般的な形状を図 - 4 に示す。

4. 設計

4.1 設計概要

プレキャンバー桁は、最初はほかの標準的なPCaPC桁と同じ方法で設計される。この設計では、事前にプレキャンバー量を推定するために標準値を算定する。具体的には、標準設計の標準キャンバー量を推定し、最終キャンバー量と比較することで必要なフォームドキャンバー量を決定する。標準設計後の検討には、以下の項目が



図 - 3 PCa部材に埋め込まれた特殊な偏向具

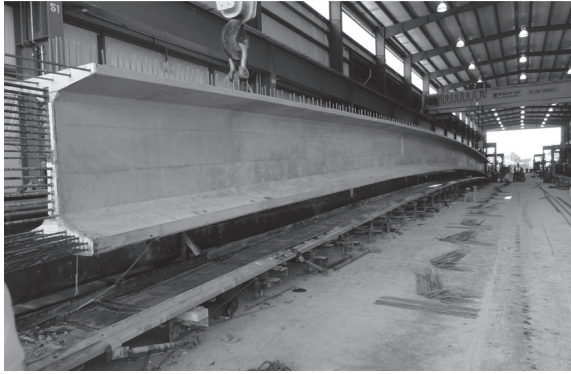


図 - 4 脱枠後のプレキャンバー桁

含まれる場合がある。

- ・プレキャンバー桁の PC 鋼材の偏心量の決定
- ・桁断面の図心に対する PC 鋼材の偏心量を考慮した設計計算と標準キャンバー推定値の調整
- ・場所打ちコンクリート床版を用いたプレキャンバー桁 (PCI 桁) の床版ハンチ高と死荷重を低減
- ・PC 鋼材偏向具に作用する鉛直反力に対する設計
- ・支承部の詳細構造に特別な配慮が必要
- ・プレキャンバーによる運搬時の安定性の低下と発生する増加応力の把握

4.2 PC 鋼材の偏心量

プレキャンバー桁の図心は放物線状の弧に近似される。PC 鋼材を桁の図心と平行に配置 (以下、直線配置) した場合、PC 鋼材の偏心量は以下の式により示され、全断面において一定となる。

$$e_s = y_b - y_s$$

ここに、

e_s : PC 鋼材の偏心量

y_b : 桁下縁から桁の図心位置までの距離

y_s : 桁下縁から PC 鋼材位置までの距離

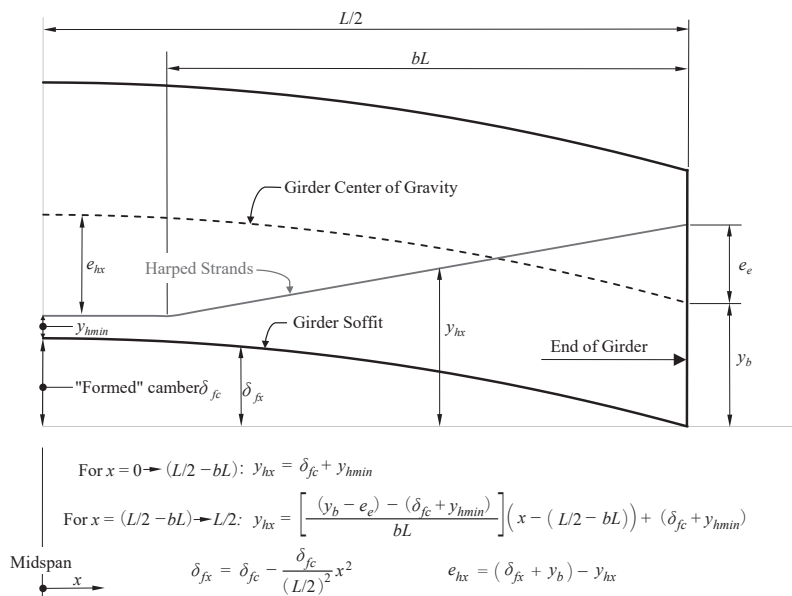


図 - 5 クレスト型のプレキャンバー桁における PC 鋼材の曲線配置による偏心の変化 (支間長 $L/2$)

しかし、PC 鋼材を曲線配置している場合は、偏心が桁の図心位置に対して非線形に変化するため、直線配置の場合と同様に考えることはできない。図 - 5, 6 は、上げ越し時の桁が上に凸となる形状 (以下、クレスト型)、下に凸となる形状 (以下、サグ型) とした場合の、偏心の非線形変化を示している。PC 鋼材を曲線配置した桁の場合、桁の任意の断面における PC 鋼材の偏心量は次式により表される。

$$e_{psx} = \frac{(A_{ss} \times e_s + A_{hs} \times e_{hx})}{(A_{ss} + A_{hs})}$$

ここに、

x : 支間中央から任意の断面までの水平距離

e_{psx} : 任意断面 (支間中央から x の距離) における全 PC 鋼材の偏心量

A_{ss} : 直線配置断面の桁断面積

A_{hs} : 曲線配置断面の桁断面積

b : 桁端から PC 鋼材折れ点までの長さとの比

e_e : 桁端における PC 鋼材の偏心量

e_{hx} : 任意断面における PC 鋼材の偏心量

L : PCa 桁の桁長

y_{ehx} : 桁下縁から桁の図心位置までの距離

y_{hmin} : 桁下縁から PC 鋼材位置までの最小距離

y_{hx} : 支間中央から任意断面での桁端下縁からの PC 鋼材位置までの距離

δ_{fc} : フォームドキャンバー量の最大値

δ_{fx} : 支間中央から任意断面でのフォームドキャンバー量

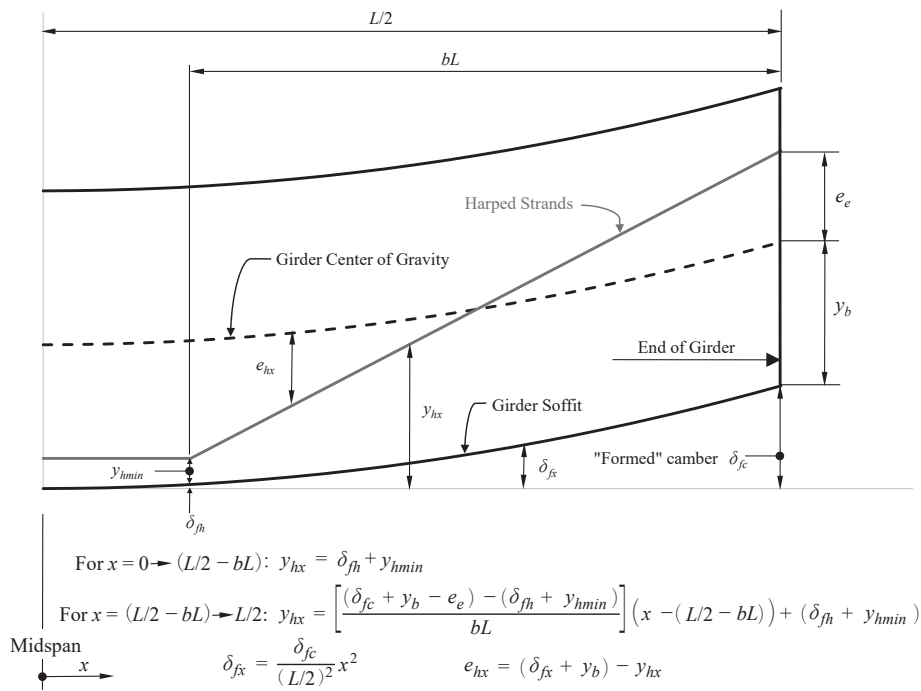


図 - 6 サグ型のプレキャンバークにおける PC 鋼材の曲線配置による偏心の変化 (支間長 $L/2$)

※ 6 号へと続く

This article was first issued in *PCI Journal Precast Concrete Institute Journal* 2020 May-June page 64-77
<https://doi.org/10.15554/pcj65.3-02>

- * : 会誌編集委員会海外部会委員
- 松島 史弥 (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)
- 中村 香央里 (鹿島建設 株)

【2021 年 7 月 29 日受付】



刊行物案内

既設ポストテンション橋の PC 鋼材調査 および補修・補強指針

平成 28 年 9 月

本工学会「既設ポストテンション橋の PC グラウト問題対応委員会」において、ポストテンション方式の既設 PC 橋の実態把握 (健全性・損傷事例の把握や規準等の整理)、PC グラウトの充填性調査手法の把握、PC 鋼材の健全性調査手法の把握、ポストテンション橋の健全性診断の方法検討、PC グラウト充填不足・PC 鋼材損傷の補修・補強の提案等の検討が行われ、その成果を指針としてまとめたものです。

定 価 4,888 円 (税込) / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 (税込) / 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