

(63) 新しい主構構造を有する片持架設作業車の開発と草木舞沢川橋の施工への適用

日本道路公団 北海道支社 千歳工事事務所	福岡 一 幸
(株)オリエンタルコンサルタンツ 千歳工事管理所	香川 紳一郎
飛島建設(株) 札幌支店	正会員 安部 義文
飛島建設(株) 土木本部 土木技術部	正会員 ○ 岡本 浩

1. はじめに

カンチレバー工法は、建設地点の地形状況や利用状況に左右されない工法として広く普及してきた。特に、近年大型化してきた連続ラーメン橋や、PC斜張橋及びエクストラードロード橋等の建設にも用いられており今後ますます利用されるものと思われる。一方、施工に使用する片持架設作業車は中型、大型と称する2種類の仕様が標準とされており、設計及び施工の自由度はやや制約があった。

今回、従来よりも大きな曲げ容量を持つ主構構造を有する片持架設作業車を開発したので、その概要を述べる。また、本片持架設作業車の最初の適用となる草木舞沢川橋への取り組みを述べる。

2. 開発概要

2.1 大容量片持架設作業車に関する検討

(1) 検討条件

大容量の曲げ容量を有する片持架設作業車に関する可能性を検討するために試設計を行った。検討条件を以下に示す。

①検討対象：3径間連続PC箱桁ラーメン橋
(9.0m+15.0m+9.0m=33.0m)

②総幅員：17.9m(2セル構造)

③施工方法：3主構片持架設作業車を用いた対称張出

④PC鋼材：12S12.7(SWPR7B)

(2) 検討結果

図-1は、片持架設作業車の1主構当たりの設計曲げ能力と最大施工ブロック長の関係を示したものである。図-2、3は、最大施工ブロック長とPC鋼材量及び張出工期の関係それぞれ示したものである。最大施工ブロック長を大きくすれば、片持架設作業車主構の必要容量が急激に大きくなっていく。また、PC鋼材量は片持架設作業車の自重が増大する分、架設ケーブル量が若干増加する。ただし、今回の検討では考慮していないが、最大施工ブロック長が大きくなれば1断面の必要緊張量が大きくなるので、大容量の定着システムを用いて、偏心量を大きくでき、定着個数が減少するなどの利点が期待できる。工費については、作業条件や架設車重量等多くの要因が影響するため、一般的な傾向を示すことは難しい。

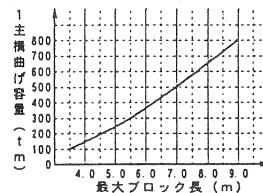


図-1 最大ブロック長と1主構能力との関係

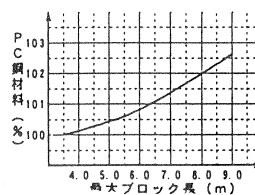


図-2 最大ブロック長と使用PC鋼材量との関係

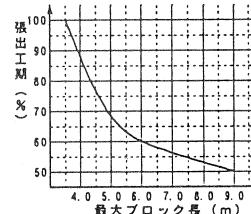


図-3 最大ブロック長と張出工期との関係

2.2 主構構造の検討

新しい片持架設作業車の主構としては、大容量の曲げ能力を有することと、施工性に配慮して軽量であることを基本とした。1主構600(tf·m)が可能な在来形式の主構(トラス型主構と称する)の設計を行った

が、重量が大きいこと、運搬が困難なこと等の問題が生じた。そこで、分割可能で大容量の曲げ能力を有するボックスガーダー形式を基本として検討を進めることにした。以下に主要な開発仕様を示す。

①橋梁規模や形式により適切な最大施工ブロック長は異なることや、作業条件・運搬等の制約を考慮して、ボックスガーダー形式の主構を分割可能とするとともに、中間ピースを取り付けることにより様々な施工条件に適応できる構造とした。

(図-4)

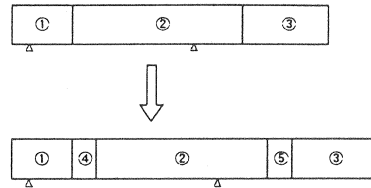


図-4 主構の分割構造イメージ

②同様の理由により、主構の必要曲げ容量に対応でき、より軽量な主構であることが望ましい。そこで、主構にプレストレスを適切に導入することにより、主構応力の改善並びに軽量化を図るものとした。

2.3 プレストレス導入による主構応力の改善並びに軽量化

主構に通常のプレストレスを導入すると、主構には曲げモーメントと軸圧縮力が作用する(圧縮プレストレスと称する)。主構の材質は鋼であり、一般には引張強度と圧縮強度は同等あるいは細長比に関係して圧縮強度が小さい。したがって、応力改善のため主構に曲げを付与する場合、軸力をなくすことが主構の曲げ能力を最大限に生かすことになる。これは、圧縮プレストレスと反対の作用を持つ引張プレストレスを与えて、曲げモーメントと軸引張力を同時に作用させることにより軸力を消去し、所要の曲げモーメントだけを主構に与える考え方である。図-5はこの考え方を模式化したもので、圧縮プレストレス及び引張プレストレスを同時に作用させることで主構の許容応力度を越えて曲げモーメントを与えることが可能になる。すなわち、主構の剛性を張力に置き換えたことになり、その分だけ応力改善並びに軽量化したことになる。

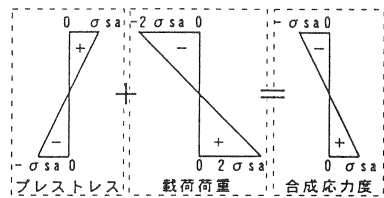


図-5 プレストレス導入の効果

3. 主構導入プレストレスに関する実験

3.1 モデル実験

(1) 実験目的

引張及び圧縮プレストレスを導入することの可能性及び応力特性、経時変化状況などを調べるために実物の2/3程度の大きさのボックスガーダーのモデルを製作し実験を行った。

(2) 実験概要

使用したモデルは図-6に示すような、ボックスガーダー形式の鉄骨であり、上側に圧縮プレストレス、下側に引張プレストレスを導入した。また、両者を導入後、鉄骨中央をジャッキにより載荷して変形特性並びにP C鋼材の応力度増加を計測した。最後に、無載荷の状態では置しておき、導入力の経時変化を計測した。使用した材料を表-1に、実験ケースを表-2に示す。

表-1 実験に使用した材料

種別	仕様	本数
主構	SS400	1
P C鋼棒(圧縮)	φ32(B-1)(SBPD7B)	2
P C鋼棒(引張)	φ32(B-1)(SBPD7B)	2

表-2 実験ケース

実験CASE	緊張力(tf)		載荷P(tf)	経時
	圧縮力	引張力		
CASE-1	5 0	—	—	—
CASE-2	—	5 0	—	—
CASE-3	5 0	5 0	—	—
CASE-4	5 0	5 0	1 5 0	—
CASE-5	5 0	5 0	—	○

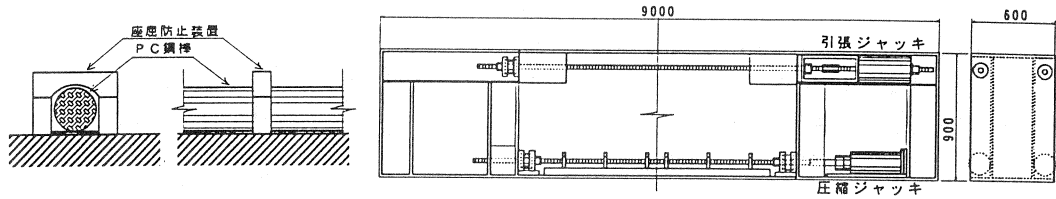


図-6 実験モデル概要

3) 実験結果

実験結果の概要を以下に示す。

- ①引張プレストレスの導入に関しては、十分に横方向の拘束を設ければ、想定したプレストレスの導入が可能であった。
- ②引張・圧縮プレストレスとも、設計で想定した値とほぼ同等な応力度が導入された。
- ③導入力の減少については、導入後約80時間でほぼ終了し、すべてのP C 鋼棒及び鉄骨の応力度とも約7～8%程度の減少量であった。

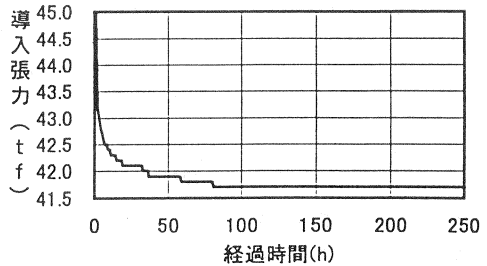


図-7 導入プレストレスの経時変化

3.2 座屈実験

(1) 実験目的

3.1 で述べたモデル実験において、圧縮によるP C 鋼棒の座屈を防止する構造は、図-6で示したような構造である。実用性を高めるために、図-8に示すようなP C 鋼棒を剛性の高い円筒管に通して、円筒管を適切な間隔で支持してやることにより座屈を防止する構造を考えた。

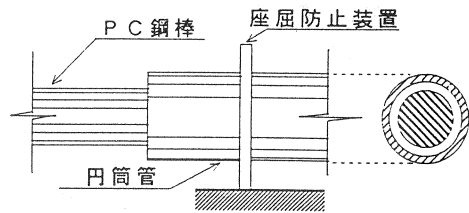


図-8 座屈防止構造

(2) 実験概要

図-9に示すような補強したH型鋼に、ステンレス製の円筒管 (SUS304 (40A)) を4本を設置し、それぞれ座屈防止装置の支持ピッチを変えてP C 鋼棒 (φ32) に圧縮力を導入した。使用した材料並びに実験ケースを表-3, 4に示す。

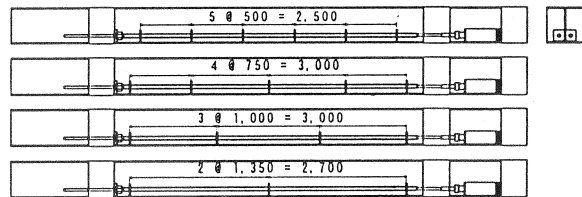


図-9 実験モデル概要

表-3 実験に使用した材料

種別	仕様	本数
主構	SS400	1
P C 鋼棒	φ32 (B-1) (SBPR95/110)	4
円筒管	SUS304 (40A)	4

表-4 実験ケース

実験CASE	支持間隔 (mm)	導入力 (tf)	結果
CASE-1	500	4.6	○
CASE-2	750	4.6	○
CASE-3	1000	4.6	○
CASE-4	1350	4.6	座屈

(3) 実験結果

この座屈防止装置は、PC鋼棒の座屈を円筒管の剛性により防止する構造である。そこで、PC鋼棒に圧縮力を導入するときの座屈の解析モデルとしては、弾性支承上の梁として、以下のように取り扱う。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{f} \left(n^2 + \frac{\beta \cdot l^2}{\pi^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I} \right), P_{cr} \text{ を最小とする } n$$

$$\omega_n = a \cdot \sin \frac{\pi}{l} x \quad (a: \text{初期不整})$$

$$f = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot a \cdot \beta \cdot P \cdot l^3}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot E \cdot I + \beta \cdot l^2 - \pi^2 \cdot n^2 \cdot P \cdot f}$$

ここに、 P_{cr} : PC鋼棒の座屈荷重 $E \cdot I$: PC鋼棒の曲げ剛性
 f : 円筒管に作用する分布荷重 l : 座屈防止装置の設置間隔
 β : 円筒管の分布バネ係数

図-10は座屈防止装置の設置間隔とPC鋼棒の座屈荷重及び円筒管の曲げ応力度を示したもので、設置間隔が広がるにつれて座屈荷重は小さくなる一方、円筒管の応力度は急激に増加することが判る。図-11は実験結果による導入力と軸方向変位の関係を示したものである。座屈防止装置の間隔が1350mmになると円筒管が降伏し、PC鋼棒が座屈した。これは解析解により得た値とほぼ一致する。

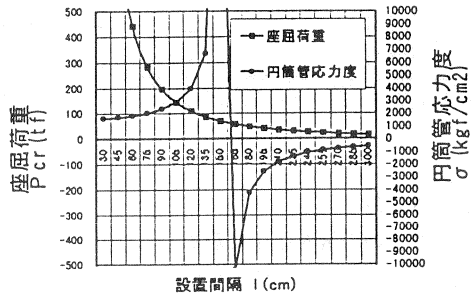


図-10 座屈防止装置の設置間隔とPC鋼棒の座屈荷重及び円筒管の応力度

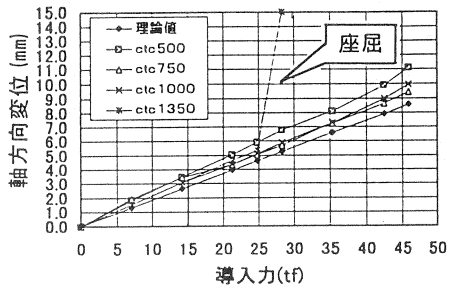


図-11 実験結果(軸方向変位と導入力の関係)

3.3 実験のまとめ

前述した実験により、PC鋼棒に必要な圧縮力を導入することに対して目途がついた。座屈防止装置の設置間隔は、主構の製作精度や施工上の誤差に対する安全率をみて70cm程度以下とし、実際の主構の設計を行った。

4. 草木舞沢川橋への適用

今回開発した主構を有する片持架設作業車を実橋(草木舞沢川橋)へ適用する機会に恵まれたので、その概要を報告する。ただし、本原稿執筆時には片持架設作業車を組立中であり、施工性に関する調査等は今後の課題とする。

4.1 草木舞沢川橋の概要

- (1) 工事名: 北海道横断自動車道 草木舞沢川橋(PC上部工)工事
- (2) 路線名: 北海道横断自動車道 倶知安釧路線(千歳市~夕張市間)
- (3) 発注者: 日本道路公団 北海道支社
- (4) 工事箇所: 北海道夕張郡栗山町~夕張市
- (5) 工期: 平成8年7月30日~平成10年10月17日
- (6) 工事内容: PC2径間連続ラーメン箱桁橋(上り線)
- (8) 道路区分: 第1種3級B規格、V=80km/h、暫定2車線
- (7) 橋長: 133.000m
- (9) 支間: 75.15m+61.15m

- (10) 有効幅員：10.0 m
- (11) 斜 角：90° 00' 00"
- (12) 横断線形：0.8%~2.0%
- ↙ ↘
- (13) 縦断線形：i=2% (一定)
- ↙
- (14) 平面線形：A=350~R=-2200
- (15) 使用鋼材：12S15.2 (SWPR7B)

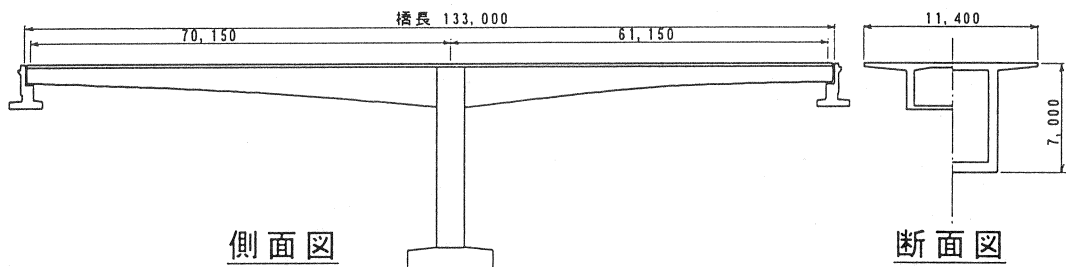


図-12 草木舞沢川橋の構造一概

4.2 片持架設作業車の設計

(1) 設計主構曲げ容量の検討

片持架設作業車の設計を行うにあたり、主構の設計曲げ容量と最大施工長の検討を行った。草木舞沢川橋は2ウェブ構造であり、2主構を有する片持架設作業車として検討した。図-13は、1主構あたりの設計曲げ容量と施工ブロック数との関係を示してある。また、図-14は、最大施工可能ブロック長を適当に変えて検討した結果、最大施工可能ブロック長を6mとしたときに割り付けられたブロック長のうち最大ブロック長と最小ブロック長との関係を示してある。これらの関係から構造設計上の曲げ容量は1主構あたり200 (tf·m)、最大施工可能長を6mとして詳細設計を行うことにした。ただし、ここで言う設計曲げ容量とは、橋梁のブロック割を決定するとき用いる仮設荷重による曲げを除いた値のことである。

(2) 柱頭部の施工長の検討

今回使用する片持架設作業車は、大きな反力が発生する構造となるので標準の片持架設作業車に比べて作業車の支点間距離が大きい方が望ましい。そこで柱頭部の施工長を決定するにあたり、最初の左右1ブロックを非対称張出して片持ち架設作業車の設置スペースを用意する方法（この場合は柱頭部の施工長は12.0m）や、柱頭部の施工長を大きくして作業車を同時に設置する方法を検討したが、現地の施工条件や工程上の観点から後者の方法を採用することとし、柱頭部の施工長を15.0mとした。

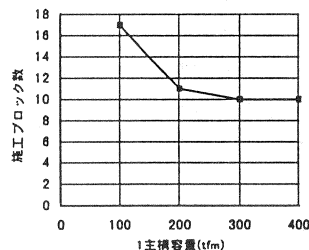


図-13 主構曲げ容量とブロック数の関係

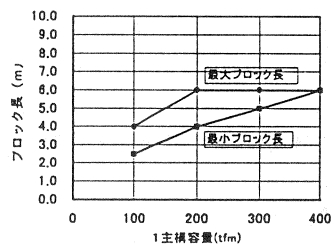


図-14 主構曲げ容量とブロック長の関係

(3) その他の検討

主構構造は3ピース分割として、接合の方法は鉄板を介在した一面摩擦接合とした。

また、作業時に橋体に生じる反力は、標準型の片持架設作業車のものよりも大きいので、橋体に発生する応力度を3次元FEM解析により算定し安全性を確認した(図-15)。

コンクリート打設時に生じるたわみは、主構の剛性が大きいので、標準型の片持架設作業車によるたわみとほぼ同程度であった。

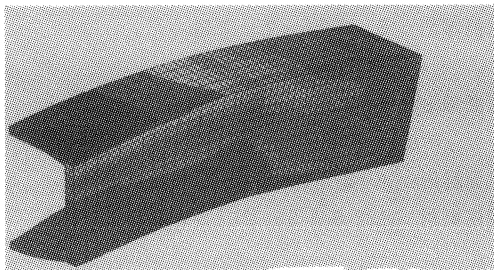


図-15 反力が橋体を与える影響

(4) 主構構造の概要

検討の結果設計された主構構造の概要を図-16に、標準型片持架設作業車との仕様の比較を表-5に示す。

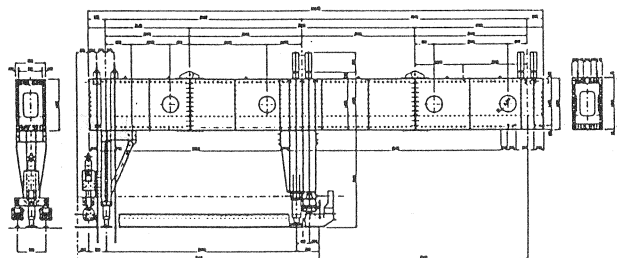


図-16 新しい主構の構造-概図

表-5 標準型片持架設作業車との比較

比較項目	標準型		新型
	中型	大型	
主構数	2		
曲げ容量 t·m	200	350	800
最大施工長 m	4.0	5.0	6.0
橋体幅員 m	~14.0		
設計重量 tf	75.0	120.0	130.0

4.3 草木舞沢川橋の詳細設計結果

詳細設計の結果、今回開発した片持架設作業車を用いた場合と標準型の片持架設作業車を用いた場合との数量比較を表-6に示す。工期に係する張出ブロック数は大幅に少なくすることができた。一方、材料の数量については、PC鋼材引張(12S15、2B)は、架設重量が増加したため0.6%増加したものの、コンクリート、鉄筋等は若干減少した結果となった。

表-6 数量比較

比較項目	種類		
	標準(中型)	新型	
施工ブロック数	1.000	0.647	
材料	コンクリート	1.000	0.992
	鉄筋	1.000	0.988
	PC鋼材引張	1.000	1.006

5. おわりに

本論文は、新しい主構構造を有する片持架設作業車の開発の概要と、初めての適用となる草木舞沢川橋における取り組みを述べたものである。主要な内容は以下のようである。

- ①主構構造をボックスガーター形式にすることにより、分割可能な構造とした。また、プレストレスを適切に導入することにより、大きな曲げ容量を有し、大きな施工ブロック長が可能な主構構造が可能となった。
- ②座屈防止装置を開発し、PC鋼棒に圧縮力を導入する場合の理論的・実験的裏付けを得た。
- ③実橋への適用において大きな工期短縮が可能になり、数量の増減はごくわずかであった。

最後に、本開発及び草木舞沢川橋への適用に際し、適切な助言並びに指導いただいたJH北海道支社構造技術課高橋昭一課長代理他、関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) J. マチバー：PC橋のカンチレバー架設工法、鹿島出版会
- 2) 土木学会：構造力学公式集