

現場組立型斜材ケーブルと合成床版を組み合わせた 斜張橋の架設（銚子大橋）

Erection of Cable-Stayed Bridge with Field-Assembled Cable for Diagonal member and Composite Floor Slabs (Choshi Ohashi)

藤井一成^{*1} 増田高志^{*2} 阿部幸夫^{*3}
Kazunari FUJII Takashi MASUDA Yukio ABE

Summary

The bridge is a 1203.2-meter-long structure erected at the lower reaches of the Tone River in 1962. The bridge has played a role in regional development as one of the highway bridges connecting the Toso region of Chiba Prefecture and the Rokko region of Ibaraki Prefecture. However, the bridge developed severe damage due to salt-air, etc., and faced problems related to traffic regulations for heavy vehicles and earthquake resistance. Accordingly, a new bridge was planned for construction approximately 20 m upstream from the existing bridge. Miyaji assembled a 4-span continuous composite cable-stayed bridge section, and we employed field-assembled cables, composite floor slabs and balancing installation technique, for which there were few previous cases of application. We paid due consideration to the mutual influence of these members in the process of construction. The present paper reports on these three points.

キーワード：現場組立型ケーブル 合成床版 バランシング架設工法 鋼斜張橋

1. はじめに

既設の銚子大橋は、昭和37年に建設された利根川最下流に架かる橋長1203.2mの橋梁で、その形式は、27径間のうち、5径間（407.4m）は吊構を有する3径間連続ワレントラス橋、残りの22径間（795.8m）は、合成鋼桁橋で単径間8連、2径間連続1連、3径間連続4連である（図-1）。これまで、千葉県東総地域と茨城県鹿行地域を結ぶ、数少ない幹線道路として、地域の発展を担ってきたが、塩害などによる橋の損傷が著しく、大型車両の通行規制や耐震性に問題があるとともに、幅員狭小で歩道もなく、歩行者の安全性確保が課題となっている。そこで、車道幅員7.5m、歩道幅員3.0mの橋梁を、現橋の約20m上流へ新たに建設することになった。新橋の橋梁形式は、茨城県側から千葉県に向かって、ポータルラーメン橋、6径間連続鋼床版箱桁橋、4径間連続複合斜張橋、4径間連続鋼桁橋、2径間連続鋼桁橋が各一連となる計画である（図-2、3）。このうち当社施工範囲は、2工事に分割発注された斜張橋部の銚子側のコンクリート主塔上部、鋼桁および合成床版で、その施工長は206.3mである。

本工事の施工において特筆すべき事項は、①現場組立

型ケーブルの採用 ②合成床版の採用 ③バランシング架設工法の採用であり、これらが互いに複雑に影響しあっていたため、その影響に配慮しながら、各作業を進捗させた。

本稿では、この3点について報告する。

2. 工事概要

発注者：千葉県海匝地域整備センター銚子整備事務所
工事名：国道道路改築及び道路受託事業合併工事
（銚子大橋上部工その3）

工期：平成18年10月12日～平成20年12月（表-1）

施工者：宮地・瀧上特定建設工事共同企業体

橋梁形式：4径間連続合成床版複合斜張橋

橋長：473.7m（JV施工長206.3）

支間長：106.3 + 192.6 + 107.4 + 65.45m

有効幅員：車道7.5m、歩道3m

施工数量：コンクリート主塔（上部・横梁）

高さ54.8m、コンクリート体積1597m³

鋼桁 659t（受注鋼重）

合成床版 6760m²

*1(株)宮地鐵工所 工事本部工事計画部東京計画グループ係長（宮地・瀧上JV）

*2(株)宮地鐵工所 工事本部工事計画部東京計画グループ係長（宮地・瀧上JV）

*3(株)宮地鐵工所 工事本部工事部長（宮地・瀧上JV現場代理人）

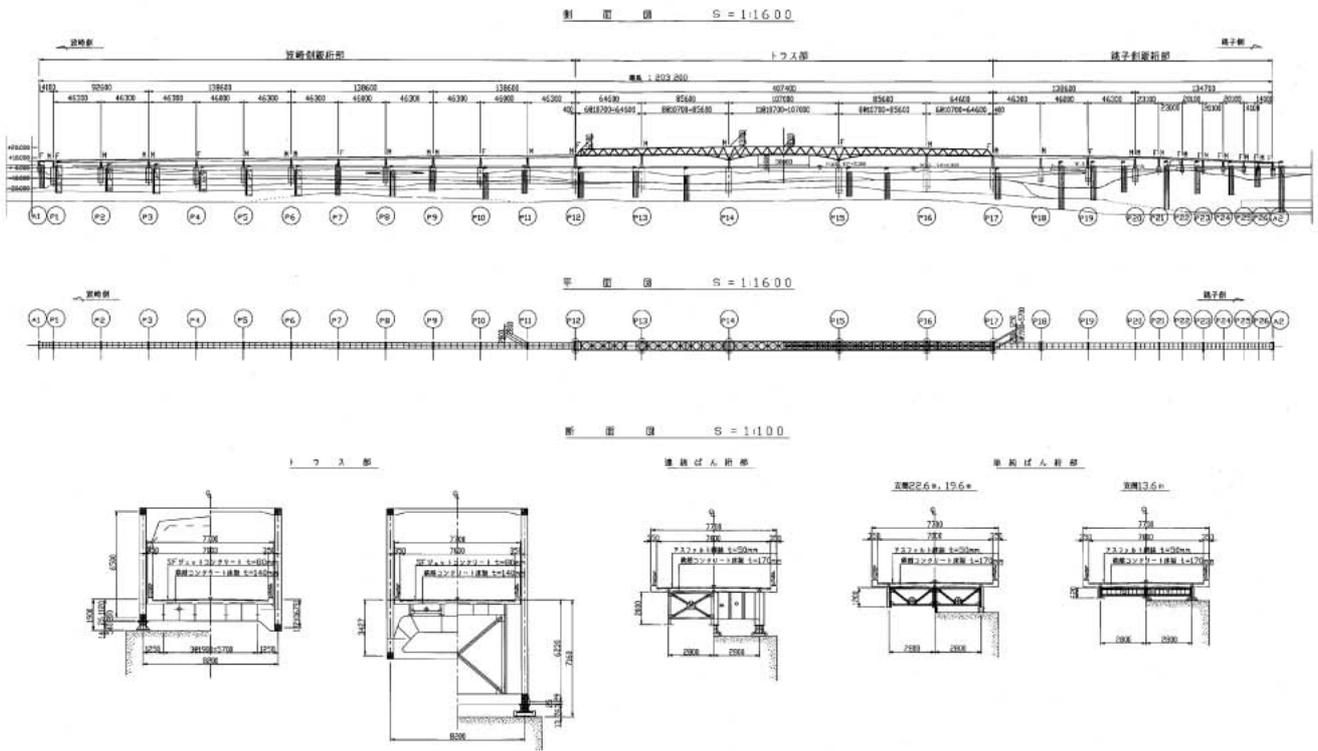


図-1 既設橋全体一般図

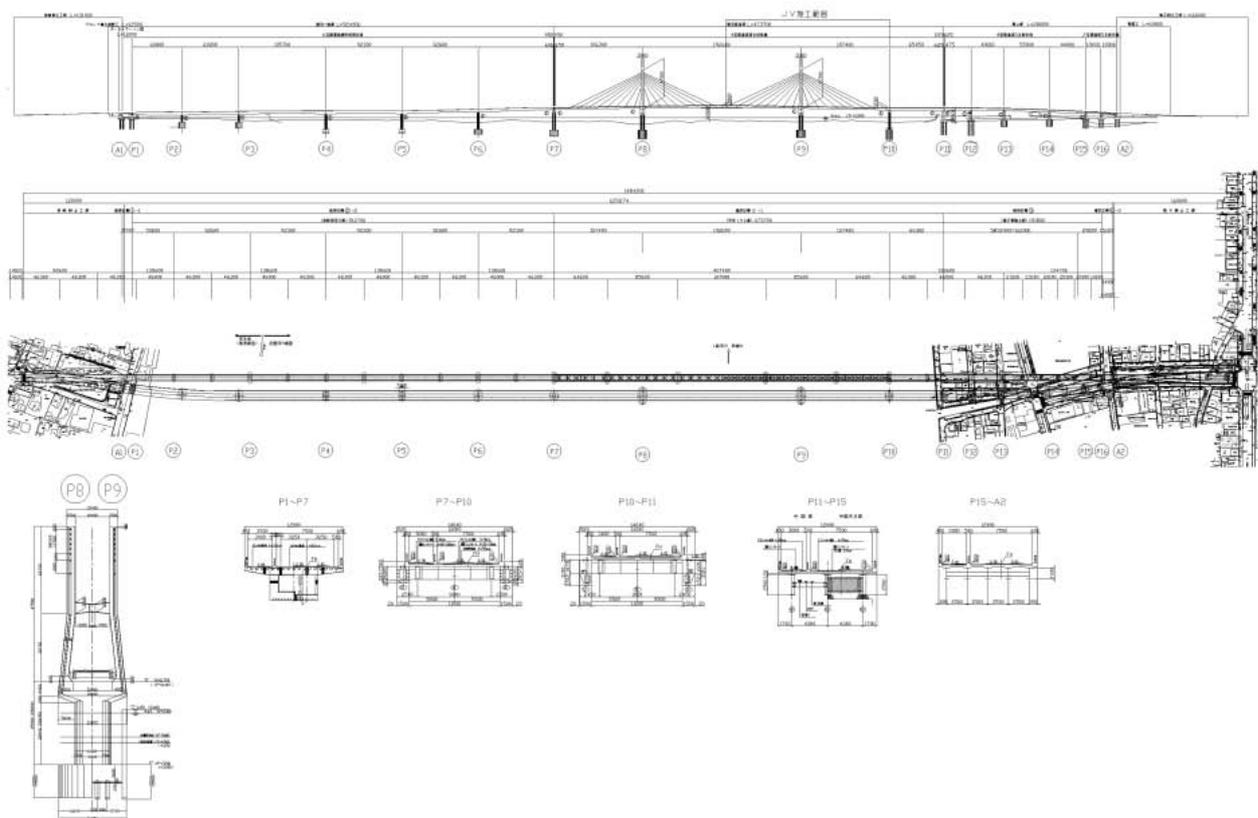


図-2 新設橋全体一般図

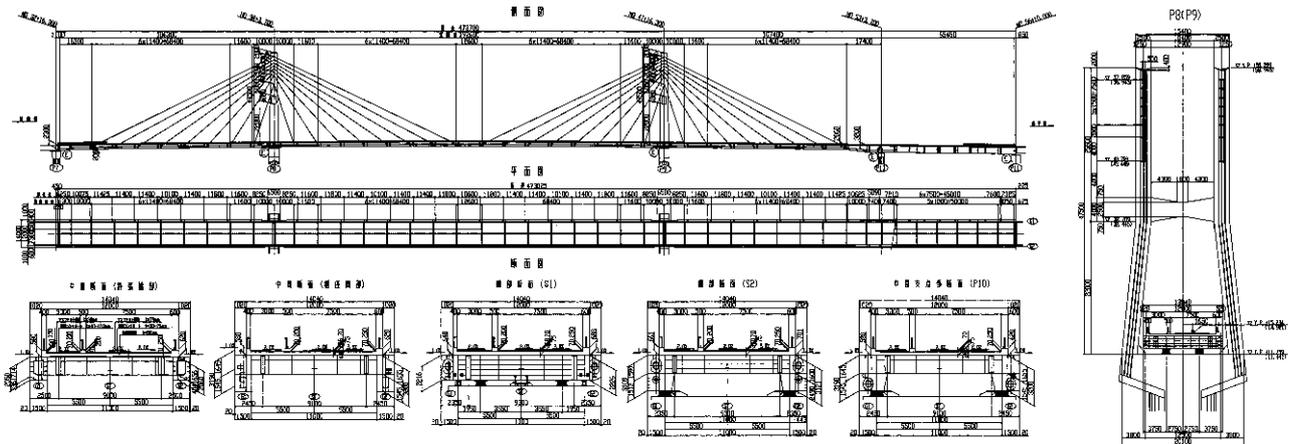


図-3 構造一般図

表-1 現場工程表

	平成18年			平成19年						平成20年																																						
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																					
準備工 3ヶ月	■																																															
主塔工 13ヶ月				■												■																																
桁架設工 5ヶ月																■																																
床版工 3ヶ月																						■																										
付属物工 1.5ヶ月																												■																				
跡片付け 0.5ヶ月																																		■														

ケーブル断面図

断面構成	19H	22H	31H
断面図			
断面積	278.3 mm ²	322.3 mm ²	454.1 mm ²
引張荷重	4959 kN	5742 kN	8091 kN
弾性係数	190 kN/mm ²	190 kN/mm ²	190 kN/mm ²
単位長さ質量 (ストランド束+PE保護管)	26.9 kg/m (19×1.288+2.43)	30.8 kg/m (22×1.288+2.43)	42.7 kg/m (31×1.288+2.79)

図-4 現場組立型ケーブル断面図

3. 現場組立型ケーブル

(1) ケーブル概要

これまで斜張橋の斜材ケーブルには、工場で製作されるDINAやNEW-PWSなどのプレファブケーブルが用いられてきたが、本工事では、現場でストランドを1本ずつ架設し束ねていく、現場組立型ケーブルが採用された(図-4、図-5)。現場組立型ケーブルは、まだ施工実績が少ないが、従来型に比べ定着部がコンパクトであり、現場組立であるため輸送寸法や重量の制限を受けにくく、その特徴を生かせば有利な設計が可能である。

(2) ケーブル架設方法

斜張橋のケーブル架設は、設計長(シム量)でケーブルを定着した後に、ケーブル張力が許容値内となるように、挿入するシム厚さを調整していくのが一般的である。しかし、本橋の主塔はRC構造であり、鋼製主塔に比べ寸法精度に劣るため、現場組立型ケーブルの特徴を生か

ストランド断面図

	ストランド
断面図	
断面積	146.5 mm ²
引張荷重	261 kN
弾性係数	190 kN/mm ²
単位長さ質量	1.288 kg/m

図-5 ストランド断面図

して、定着間距離を合わせるのではなく、ケーブル張力を架設時張力に合わせて、同時に高さも管理していく方法で、ケーブル架設を行った。斜材ケーブル架設時の張力管理は、1本目のストランドにロードセルを設置し(写真-1)、その測定値(写真-2)に合わせて2本目以降のストランドに張力を導入していく方法(ロードセル法)で行った。

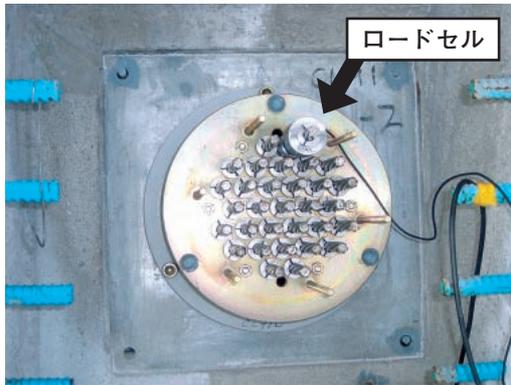


写真-1 斜材ケーブル主塔側定着部



写真-2 ロードセル計測値とジャッキポンプ

本ケーブルの架設手順は以下のとおりである。
ケーブル架設要領図を図-6～10、斜材架設状況を写真-3、写真-4に示す。

- ①保護管を橋面上で溶着して必要長まで繋ぐ。
- ②保護管内に第一ストランドを挿入する。
- ③ウインチで第一ストランドを引き上げ主塔側を定着する（保護管も一緒に引き上がる）。
- ④桁側の定着部にシングルジャッキを装着し、張力を導入する。
- ⑤引き上げた保護管をガイドに2本目以降のストランドをウインチで引き上げ主塔側を定着する。
- ⑥第一ストランド主塔側定着部に設置したロードセル計測値に合わせて、桁側のシングルジャッキで2本目のストランドに張力を導入する。
- ⑦3本目以降のストランドも同様に第一ストランドの張力に合わせて張力を導入する。
- ⑧マルチストランドジャッキを用いて、完成系での張力調整を行う。
- ⑨緩衝装置、防護管を取り付け、定着部にウレタンを注入する。

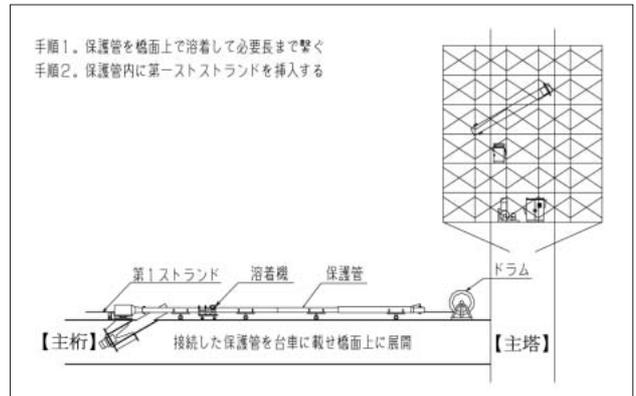


図-6 斜材ケーブル架設要領図①

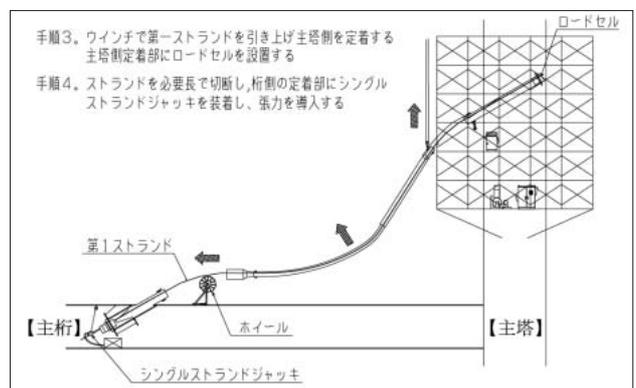


図-7 斜材ケーブル架設要領図②

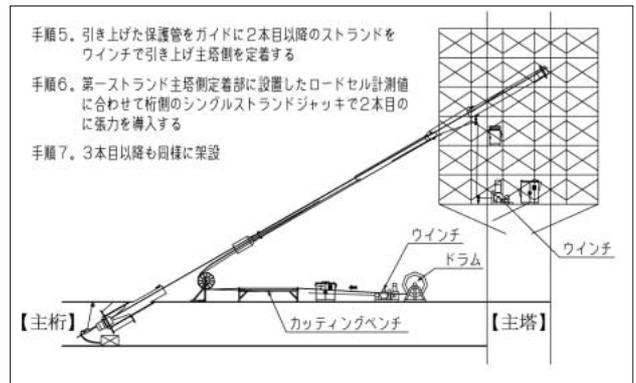


図-8 斜材ケーブル架設要領図③

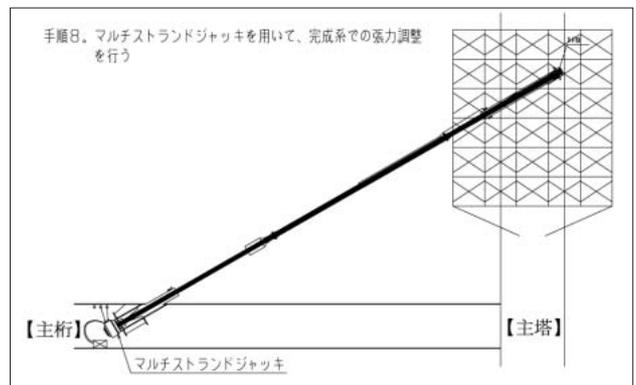


図-9 斜材ケーブル架設要領図④

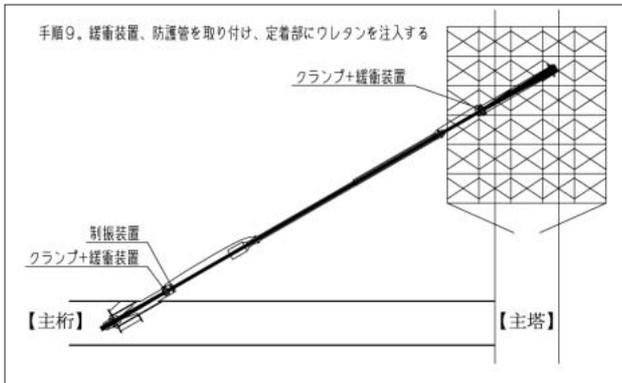


図-10 斜材ケーブル架設要領図⑤



写真-5 橋面覆工設備

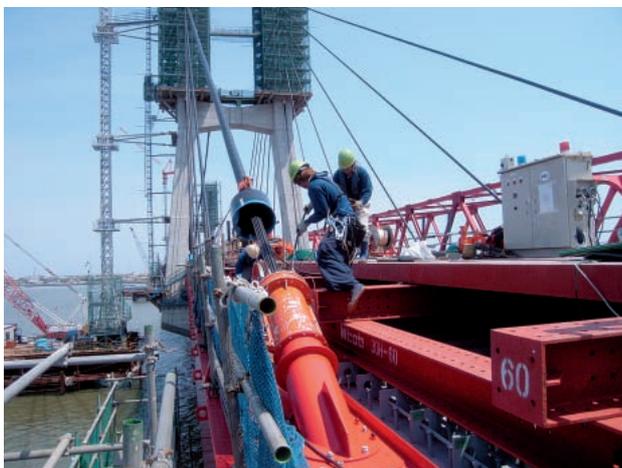


写真-3 斜材ケーブル架設状況（橋面）



写真-4 斜材ケーブル架設状況（桁側定着部）

本ケーブルの架設では、橋面に架設機材を配置する必要があったが、コンクリート打設前の合成床版パネル上では、鋼リブが立ち並んでいて、ケーブルを展開できないため、合成床版パネル上に、覆工板を敷設して架設ヤードとした（写真-5）。

(3) 事前解析

ケーブル張力および高さの算出には、三次元骨組モデルの解体計算を行い、各施工ステップでのケーブル張力および鉛直キャンバーを算出した。解析精度を上げるため、サグを有するケーブル要素を使用し、架設機材の重量と位置も可能な限り現実に合わせた。

(4) ケーブル張力管理

日照の影響により、ストランド毎に温度差があると、温度伸縮分の張力差が生じるため、ストランド間の温度差が少ない夜間に張力を導入することにした。しかし、夜間作業は作業効率が落ちることや、作業の危険度が増すため、昼間に架設時張力の60%でストランドを架設し、夜間に架設時張力の100%まで導入することにした。

また、ストランドの架設を進めていくと、鋼桁が上側に変位し、先に架設したストランドの張力が抜けていく。この変位量や張力変化量は、解析により算出できるが、あくまで計算値であるため、実変位との差分だけ、誤差を生じることになる（図-11）。そこで、架設時張力の約80%で引き止めて、不足する張力を計測し、不足分張力を導入して、架設時張力（100%）に合わせた。ケーブル張力導入フローを図-12に示す。

この方法でストランドを架設すれば、一群のストランド張力が均一になることは理論上説明できるが、実際、理論どおりに張力が均一に導入されているかを確認するため、全ストランドの張力導入後に、全てのストランドを再度ジャッキで引っ張り、張力を計測した。計測された張力誤差は5%以内に収まっており、問題ない範囲内にあることが確認できた。

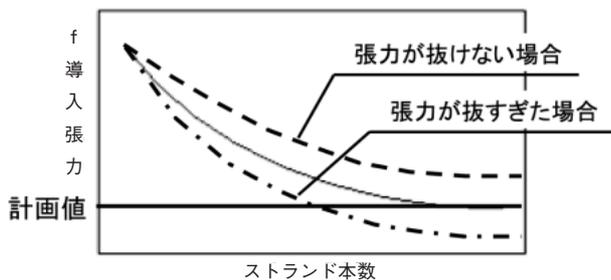


図-11 斜材ケーブル架設要領図④

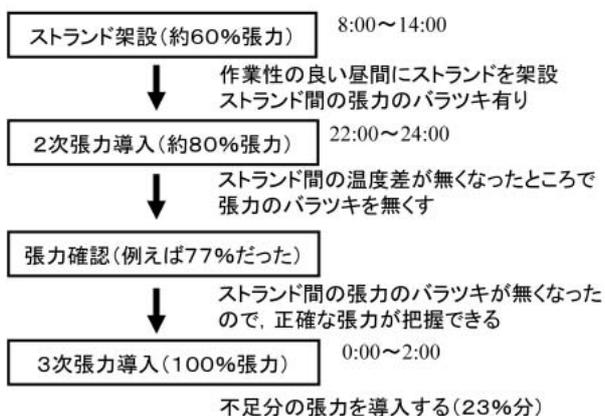


図-12 ケーブル張力導入フロー

プレファブケーブルの張力測定には、振動法が用いられることが多いが、本ケーブルでは、張力が導入されたストランドが保護管内に配置されており、張力が導入された部材を直接振動させることができないため、振動法による張力測定ができない。そこで、各ケーブルの第1ストランドに取り付けたロードセルの値に、ストランド本数を乗ずることで1斜材の張力とした。ストランド毎の張力のバラツキがあると、算出した張力の精度が悪くなる。このためにも、夜間に張力導入作業を行って、ストランド毎の張力差を小さくする必要があった。

ケーブル張力の全体調整は、鋼桁架設完了時、床版打設完了時の2回とした。斜張橋の床版には、鋼床版を採用する例が多いが、本橋の床版には合成床版が採用されている。鋼床版の場合、鋼桁架設時に死荷重状態が完成系に近い状態、ケーブル張力も完成系に近い状態で調整可能であるが、合成床版の場合、表-2に示すとおり、全死荷重の約40%の半分に満たない状態でケーブル張力や鋼桁高さを調整しなければならず、張力誤差が表面化しにくい。また、架設時の誤差を残したまま、床版コンクリートの後死荷重を載荷していくと、斜材ケーブルが応力超過する恐れがある。

表-2 施工段階毎の斜材ケーブル張力

最下段ケーブル(22H)の場合

荷重状態	斜材張力	ストランド1本当たりの張力	設計張力に対する割合
ケーブル架設時	58.2 t	2.6 t	39%
鋼桁閉合時	53.1 t	2.4 t	36%
床版・地覆打設後	134.8 t	5.7 t	90%
設計張力(D+Ps)	149.5 t	6.8 t	100%

そこで、精度良い調整は期待できないが、斜材ケーブルの応力超過を防ぎ、鋼桁キャンバーを許容値に収める目的で、鋼桁架設完了時に1回、床版コンクリートの荷重が載荷され、斜材張力が最終に近い状態になった状態で1回、合計2回の全体張力調整を行い、許容誤差内に収めることができた。ケーブル張力の許容誤差には明確な基準がないが、過去の事例を参照し、死荷重張力の±10%とした。

(5) 最下段ケーブルの架設

最下段のケーブル架設は、主塔の両脇に設置したベントで支持した状態でケーブル張力を管理しながら行い、最終ストランドに張力が導入された時点で、鋼桁がベントより浮き上がる計画であった。当日、ストランド張力を管理しながらケーブル架設を行ったが、張力の抜け量が想定以上に大きく、最終ストランドを架設が完了した時点で、架設時張力を大きく下回り、鋼桁がベントから浮き上がらない結果となった。これは、頂部梁のスパンが大きい門型構造ベントで鋼桁を支持していたため(写真-6)、頂部梁のたわみが大きく、鋼桁の変位に頂部梁のたわみが戻ることによって追従し、ベント反力が抜けなかったことが原因であった。

このままではケーブル張力を管理することができない



写真-6 門型ベント

ため、バント支持を開放して、強制的に斜材ケーブルに張力を導入し、ストランドを徐々に増し引きしながら、鋼桁高さを計画値に合わせる方法で最下段ケーブルの架設を行った。

4. 合成床版

前項でも述べたとおり、斜張橋の床版には鋼床版を採用する例が多いが、本橋の床版には合成床版が採用された。床版コンクリートの打設ステップの検討は、二次元FRAME解析（使用ソフト：FORUM8）で行い、床版に有害な引張応力が発生しないよう打設長、打設順序を定めた（図-13）。

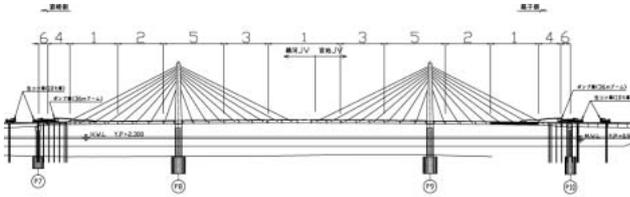


図-13 床版打設ステップ

打設ステップ決定のポイントは、施工済コンクリートに作用する引張応力を打ち消し合うように、中央径間と側径間を両JVで同一日に打設し、初回の打設量を多くすることであった。

また、中央径間もしくは側径間を先行打設するステップでは、引張応力を許容内に収めることができなかつた。つまり、ポンプが閉塞するなどの予期せぬ不具合により、片方のJVが途中で打設中止した場合、もう片方のJVが打設した床版に悪影響を与えることになる。そこで、両JV共通のトラブルシューティングを作業段階毎に作成しておき、対処方法、JV間の連絡方法、責任の所在まで明確にしておいた。しかし、床版打設作業中の大きな不具合は発生せず、良好に床版施工が完了した。

5. バランシング架設工法

本橋の架設は、主塔の両側を均等に張り出しながら架設していくバランシング架設工法で行われた(写真-7)。PC斜張橋では、バランシング工法を採用する例が多いが、鋼斜張橋の架設では、耐風安定性に配慮して、側径間をバント架設、中央径間を張り出し架設とするものが大半で、両端を張り出すバランシング工法を採用した事例は少ない。

架設ステップを図-14に示す。本架設ステップの特徴は、一方の張り出し先端で鋼桁架設作業、もう一方の張り出し先端でケーブル架設作業を同時に行い、架設工程を短縮したことである。また、施工ステップの決定では、主塔を挟んだ架設重量バランスと作業人員の平滑化に配慮した。鋼桁架設とケーブル架設は、それぞれ別の業者が担当していたが、ケーブル架設作業中に荷重状態



写真-7 バランシング架設状況

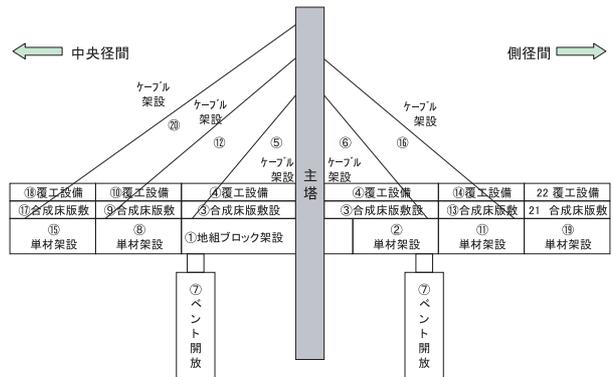


図-14 架設ステップ図

表-3 サイクル工程表

実施工程		作業内用	1日目	2日目	3日目
宮地建設	鋼桁架設		■		
	桁本締め		■		
	合成床版敷設・本締め			■	■
	覆工設備				■
	ヤード内作業		■		■
	作業員数	8人	0人	8人	
エスイー	ケーブル架設準備		■		
	ケーブル架設		■	■	
	作業員数	8人	16人	8人	
合計人員			16人	16人	16人

が変化するとケーブル張力が定まらないため、出来る作業が限られていたこと、ケーブル架設当日に多くの人員を必要であったことから、架設業者がケーブル架設業者を応援する人員配置とした。また、鋼桁架設開始からケーブル架設完了までの1架設サイクルは6日間であり、その内訳は、鋼桁架設3日、ケーブル架設3日であった。先に述べたとおり、ケーブル架設と鋼桁架設を同時に進捗させたため、正味の1架設サイクルは3日であった。

架設時の耐風安定性を確保するために、主塔部の水平支承を平面方向に固定した。架設時の風荷重は、本体設計の半分（風速28m/sに相当）とした。風荷重は橋梁側面へ一様に载荷したものと、**図-15**に示すように中央径間と側径間で風速が異なる状態を想定した照査も行った。

水平支承の固定は、支承の前後に反力受け架台を設置したが、後者の荷重状態での発生力は非常に大きかったため、前後の反力受けが、有効となるように張力を導入した、PCロッドで連結した（**図-16**）。

張り出し部先端には、鋼桁のジョイント足場、塗装足場、斜材ケーブル張力調整用ジャッキ搭載を目的に、総重量約35tの移動防護工を設置した（**写真-8**）。移動防

護工の走行装置には、モーター駆動のトロリータイプを採用し、本工事向けに製作した（**写真-9**）。走行装置の電源にはインバーターを組み込んで、急激に発進・停止しないようにし、モーター能力は走行力より大きい停止に必要な電磁ブレーキ力が確保されるように設定した。また、走行装置1組当たりの吊り下げ能力は、14t（防護工全体で56t）とした。

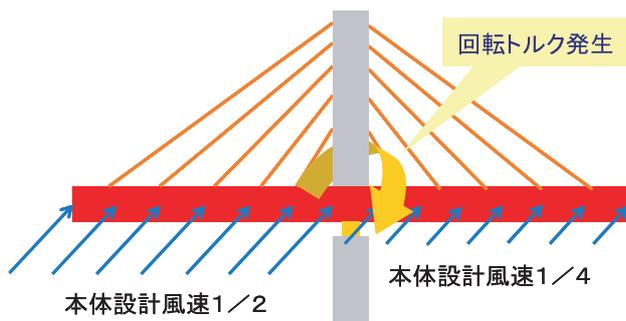


図-15 風荷重の载荷イメージ

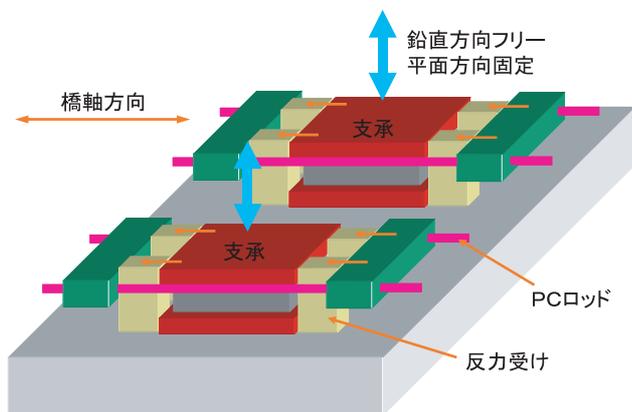


図-16 支承固定治具



写真-8 移動防護工



写真-9 移動防護工走行装置

6. おわりに

本文では特別触れなかったが、本橋は鋼主桁とRC主塔を組み合わせた複合斜張橋である。複合斜張橋を建設するだけでも高度な技術が必要とするが、加えて本稿で述べた現場組立型ケーブル、合成床版、バランス架設工法が組み合わせられた。これらを組合せて設計・施工された橋梁は過去に例がなく、様々な検討や議論、現場での努力を積み重ね、複雑な形式の橋梁が無事完成した

(写真一10)。現銚子大橋が千葉県東総地域と茨城県鹿行地域の発展を担ってきたと同じように、今回新たに建設された銚子大橋が、地域の発展に大いに寄与することを願う。

本工事を施工を進めるにあたり、千葉県海匝地域整備センター銚子整備事務所に御指導、御協力いただきました。

さらに、RC主塔を担当された鹿島・若築・福田JVは、厳しい気象条件のなか昼夜間2交代制で工程を遵守され、出来形・品質・安全共に最高レベルの成果を上げて頂きました。また、斜材の供給や労務を担当された(株)エスイーには、現場組立型斜材ケーブルを特殊な本橋の構造に適合させるため、多大なる御尽力を頂きました。誌面を借りて、厚く御礼申し上げます。

最後に、この成果は分割発注された斜張橋部を担当した宮地・瀧上JVと横河・住金JVの協力・連携無しでは成し得なかったものであり、各担当者の労をねぎらい本報告の終わりとします。



写真一10 銚子大橋斜張橋部全景と現橋トラス

<参考文献>

- 1) 梅津省吾, 宮澤智明, 長堀正幸:腐食の進んだトラス橋床組の補修, 宮地技報No.6, pp.62-66, 1999
- 2) 永見研二, 内池和彦, 沓掛靖男, 佐藤昌義:下路トラスでの供用下における上横構の交換, 宮地技報No.20, pp.129-132, 2005

2009.1.13 受付

グラビア写真説明

広川橋梁

本橋梁は九州新幹線博多起点38km559m～38km664m間の1級河川“広川”に架かる鋼桁です。

鋼材はメンテナンスフリーを考慮して耐候性鋼材を使用し、錆安定化処理剤を塗布しています。架設は湯水期に右岸側堤防からクローラークレーン・ベント工法で施工しました。

床版については橋長がL=105mと長い為に桁の中央部付近で床版端部補強を施し50m程度の2枚の床版で構成されています。軌道構造は床版を有するスラブ軌道直結式(防振区間用)で制振性を高めており又路盤は防音効果が期待できる材料としていずれも普通コンクリートを使用しています。橋面上の防音対策として2mの防音壁を設置していますが、将来のことを考えて3mまで嵩上げ出来る構造にしています。桁下面の防音対策としては制振コンクリートを補剛桁(縦桁・中間横桁)全面に巻いて桁振動音を抑えるようにしています。又鳥害対策として桁下面には下面防護を設置しました。

尚九州新幹線鹿児島ルートは博多・鹿児島中央間を結ぶ整備新幹線で2011年春には全線開業が予定されており、最速で現在の2時間12分を52分短縮し、1時間20分で結ばれることとなります。(田中 輝)