

明石海峡大橋補剛桁の架設

Erecting of Stiffening Trusses for the Akashi-Kaikyo Bridge

明 周 聡*¹ 桑 山 豊 六*² 中 省 司*³ 太 田 武 美*⁴ 上 原 正*⁵ 大 江 慎 一*⁶
 Satoru MEISHU Toyomu KUWAYAMA Shouji NAKA Takemi OHTA Tadashi UEHARA Shinichi OHE

Summary

The Akashi-Kaikyo Bridge, which connects the city of Kobe and Awaji island in Hyogo Prefecture, is the world longest suspension bridge (bridge length, 3911m; central span length, 1991m). The bridge is regarded as one of the masterpieces of the company, which has long accumulated knowledge of and experience in constructing long span bridge.

Tools developed exclusively for the bridge and most innovative equipment were used in erecting the stiffening trusses in the bridge, so as to facilitate and reduce the cost of the construction work. This paper reports on the erection of the stiffening trusses.

キーワード：吊橋，長大橋，大ブロック架設，サイクル架設，への字天秤

1. まえがき

本橋は、神戸淡路鳴門自動車道の主要橋梁の一つであり、本州側の神戸市と淡路島を結ぶ明石海峡上に位置する6車線、設計速度100km/hの自動車専用道路の長大吊橋である。明石海峡は、航行船舶の極めて多い国際航路であり、気象・海象の厳しい所として知られている。この吊橋の中央径間は1,991mで、これまで世界一であったハンバー橋（英国・中央径間1,410m）を581mほど上回る世界最大規模のものである。

当社は、明石海峡大橋補剛桁（その1）工事、宮地・鋼管・住重・駒井・日橋特定建設工事企業体として1A～2P間の補剛桁の施工を行った。

路線名	一般国道28号線
形式	3径間2ヒンジ補剛吊橋
橋長	3,911m
支間割	960+1,991+960m
工期	平成5年8月11日～

平成10年3月31日

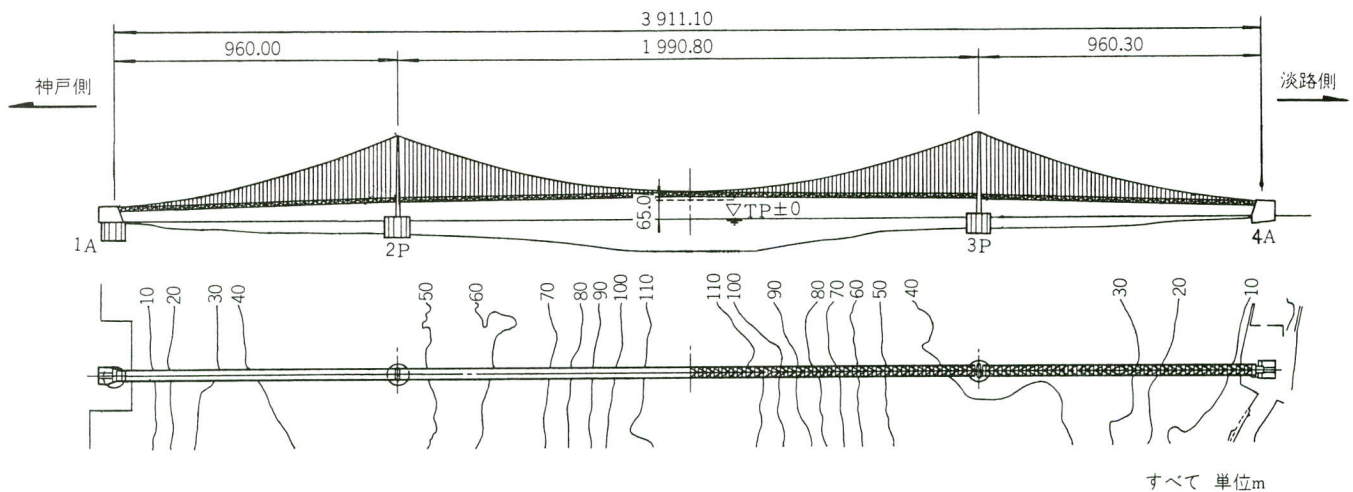


図-1 全体一般図

*¹宮地建設工業㈱土木事業部土木部土木計画課
 *²千葉工場設計部設計三課
 *³技術本部工事部部長

*⁴宮地建設工業㈱安全技術本部技術開発部長
 *⁵技術本部工事部工事計画課
 *⁶本州四国連絡橋公団

2. 工事概要

(1) 全体工事内容

補剛桁の架設	:	11,000ton
道路床組の架設	:	6,700ton
道路伸縮装置(2箇所)の架設	:	103ton
公団管理路の架設	:	1,700ton
公共添架物(関西電力, NTT, 淡路広域水道)の架設	:	2,100ton
展望施設(舞子海上プロムナード:兵庫県発注)		
・鋼構造部:680ton・建築工事:一式		
高力ボルト:(防錆HTB)181,000本(メッキHTB)44,300本		
塗装工	:	6,337㎡
その他付属工事:		
淡路広域水道接合(142箇所)照明柱(66本)		
給水設備工(1,797m)絶縁トロリー工(2,789m)		
TWJ管路工(872m)桁外面作業車の据付		
シンカー工,海上警戒工,管路工		
橋梁照明工,環境調査工等		

(2) 架設工事概要

補剛桁の架設は、塔付部6パネルブロックと橋台部8パネルブロックを起重機船で一括架設、残りは2パネル面材を橋上のトラベラークレーンで橋台側から主塔に向かって架設した。補剛桁の閉合は、2P塔付部と1A橋台部の2箇所で行った。

橋台部を解放して最後に閉合することは、以下に示す構造上の利点があった。橋台部を先行架設した場合は、架設時の風によって端部部材(エンドリンク, ウィンド杓, 補剛桁, ハンガーロープ)に過大な応力が入るが、ここを開放する事によって架設途中の補剛桁は吹き流し状態となりこれらの弊害を解消できる。

(3) 架設機材

当社が手がけたこれまでの長大吊橋(大鳴門橋, 下津井瀬戸大橋)の架設機材を踏襲するものであるが、安全性・経済性を改善した特徴的なものがあるのでそれらについて以下に示す。



写真-1 工事完了(平成10年3月)

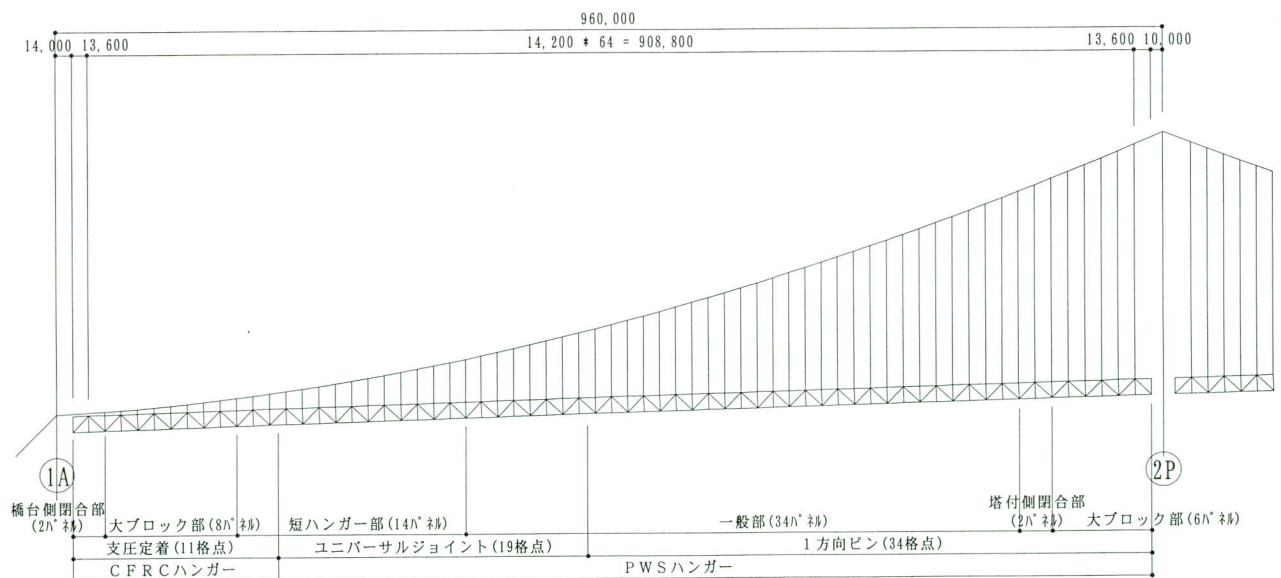


図-2 明石海峡大橋補剛桁(その1)工事施工範囲

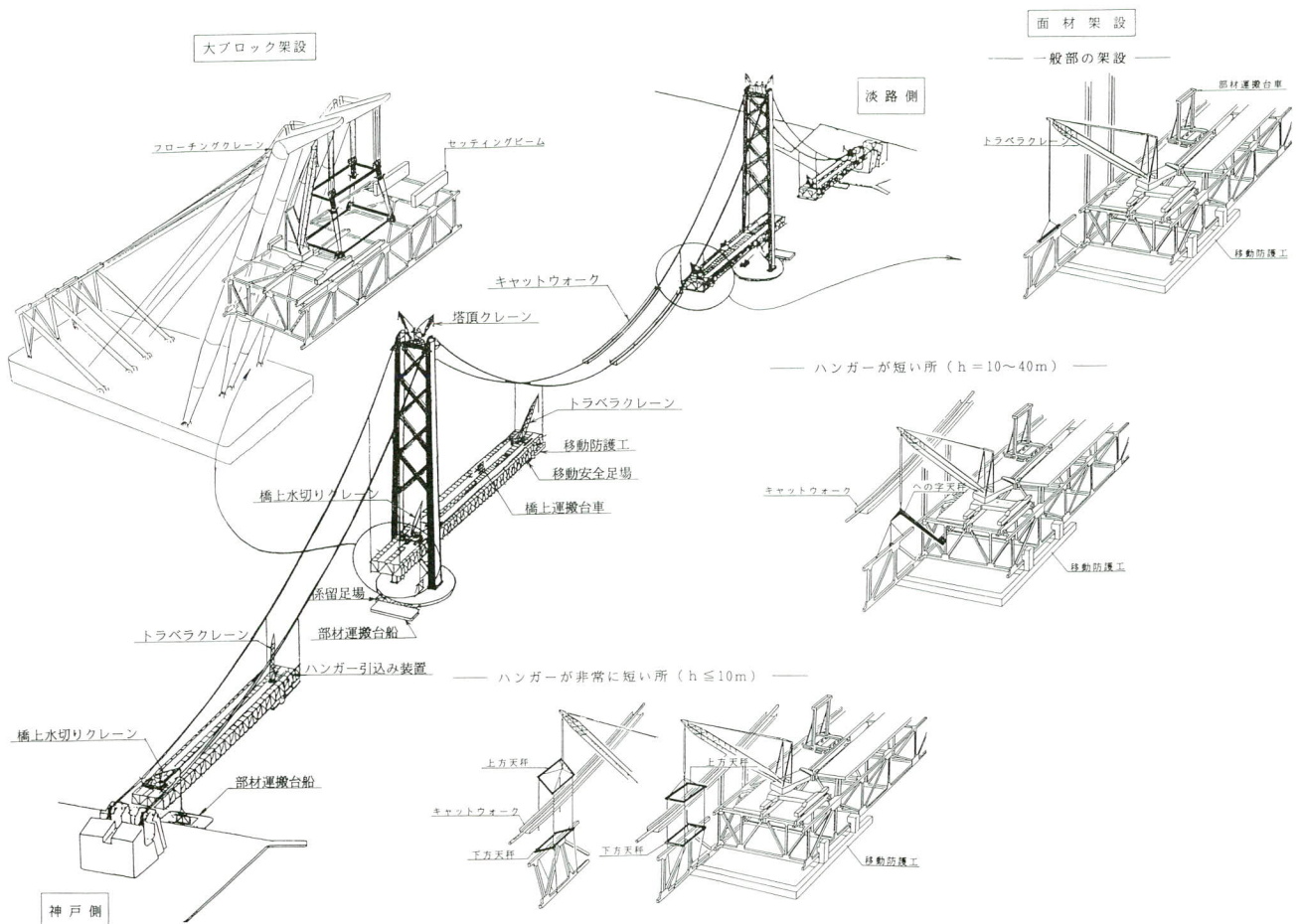


図-3 架設概要図

	平成5年度		平成6年度					平成7年度					平成8年度					平成9年度																
	8	3	4	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	1	2	3	4/5 開通式		
計画業務																																		
大ブロック架設																																		
面材架設・付属物の架設																																		
現場塗装工																																		
シンカー工																																		
鋼床版の現場溶接, H T B本締め																																		
海上警戒工 (追加工事)																																		
管路工																																		
給水管設備工																																		
淡路広域水道管の溶接																																		
絶縁トロー工																																		
T W J 管路工																																		
橋梁照明工																																		
道路照明柱据え付け工																																		

図-4 架設工事工程表

1) ハンガー引込装置

いままで使用してきた中空油圧ジャッキを1格点に4台配置する構造は同じであるが引き込み材をロッド(鋼棒類)からワイヤーロープに代えた。ワイヤーロープを

使用した理由は、架設時の面外・面内の角折れに柔軟に対処出来る事からである。加えて暴風時に発生する不均等張力に対して4台のイコライズジャッキを連動させて自動的に張力を均等にする構造とした。

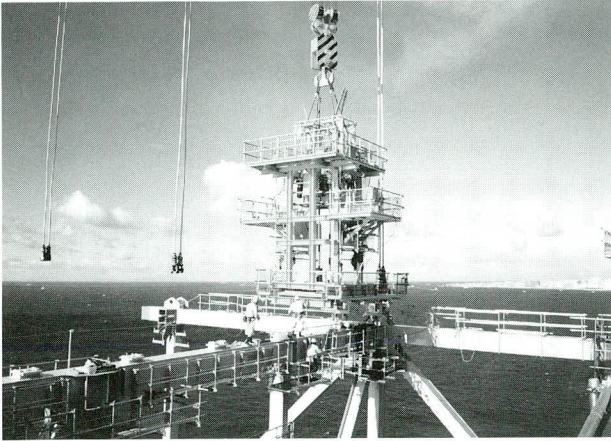


写真-2 ハンガー引込装置 (PWS盛替え)

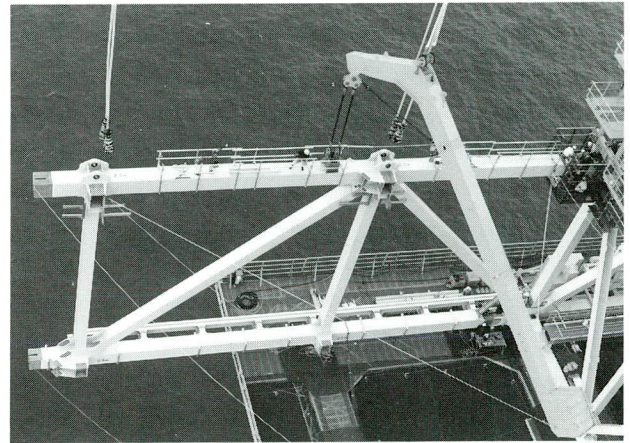


写真-5 短ハンガー用特殊天秤 (への字天秤)



写真-3 自走式運搬台車 (面材運搬)

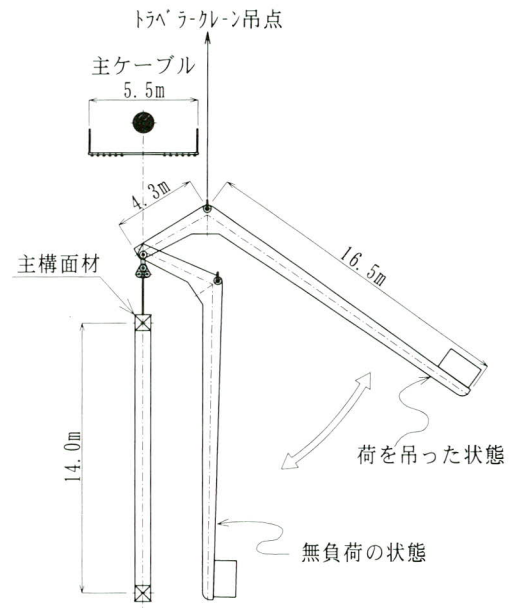


図-6 短ハンガー用特殊天秤 (への字天秤)

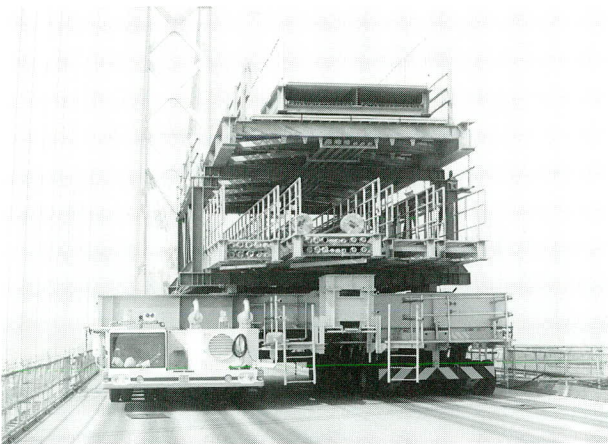


写真-4 自走式運搬台車 (管理路、添架桁運搬)



写真-6 超短ハンガー用特殊天秤 (コの字天秤)



写真-7 塔付部大ブロック架設状況

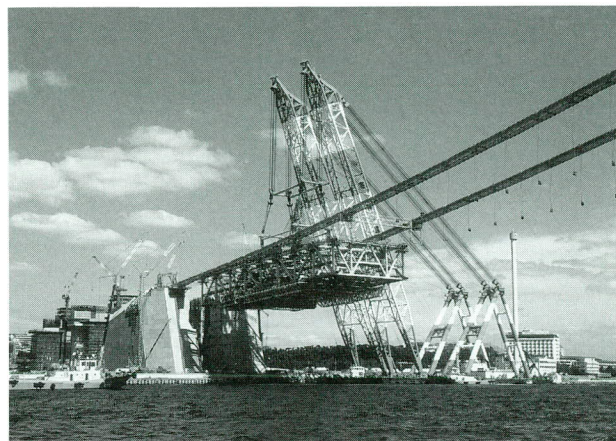


写真-8 橋台部大ブロック架設状況

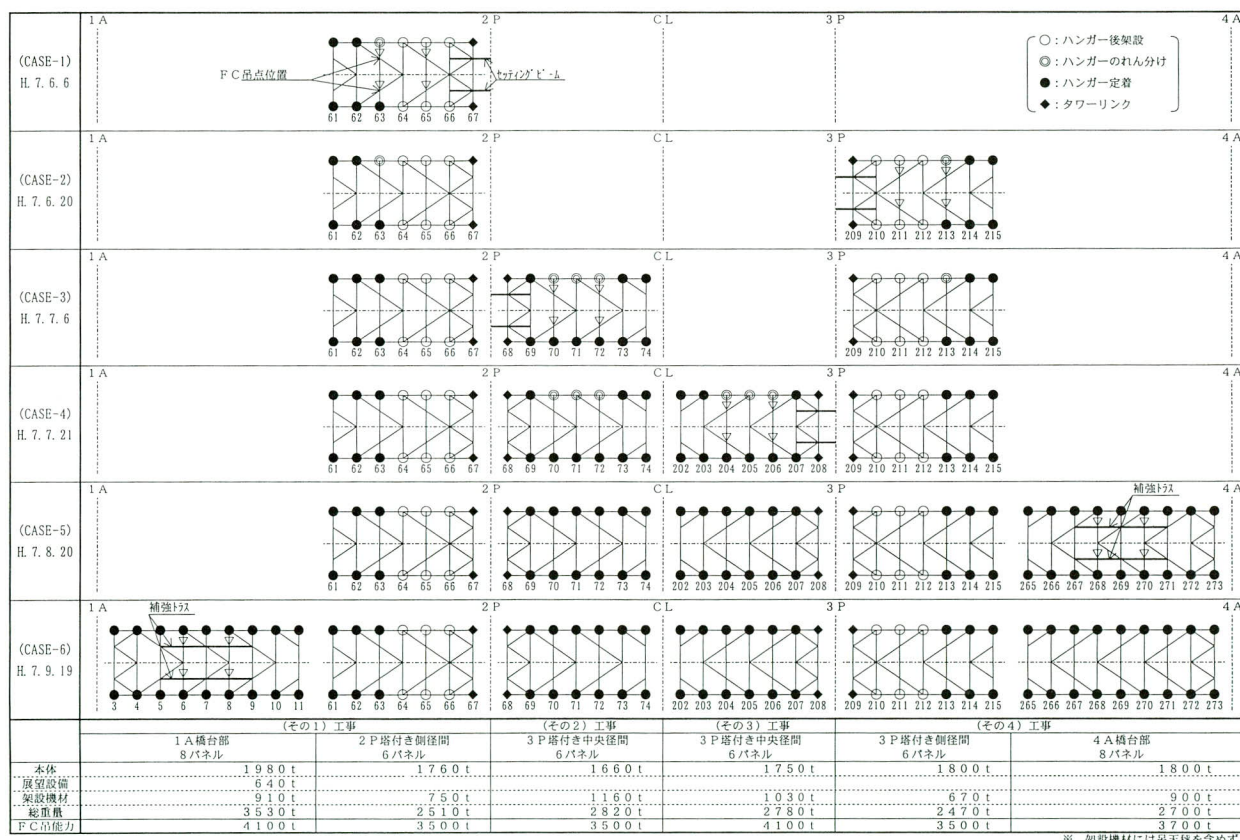


図-7 大ブロック架設順序

(3) サイクル架設

大ブロック架設以外のところは、2パネル単位の面材で架設した。そのうち閉合ブロックを除く24ブロックは、毎回ほぼ同じ手順で施工するサイクル架設を行った。

採用した逐次剛結工法は架設先端部にハンガー張力が集中するが、先端3格点のハンガーを調整することによ

り引き込み許容張力内におさめた。架設時の下り勾配を緩和するために架設方向は、橋台側から主塔に向かって行った。また、橋台側で水切り・荷揚げできることで隣接工区と作業が輻輳することもなく施工性が向上した。

トラベラークレーンとケーブルが、干渉する短ハンガー一部では、特殊天秤（への字天秤）を用いて工程短縮を図った。

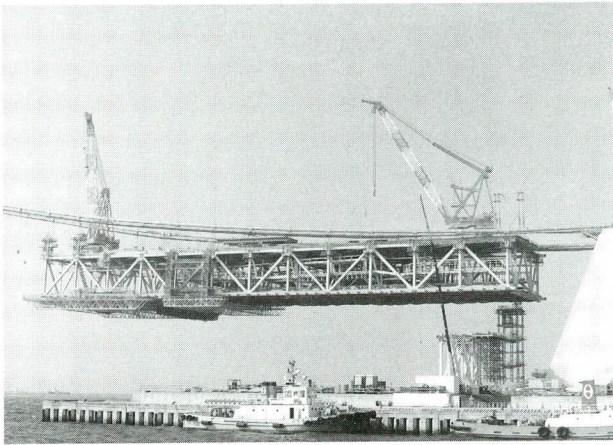


写真-9 サイクル架設開始（2サイクル目）



写真-12 ハンガー引き込み作業（制御室）

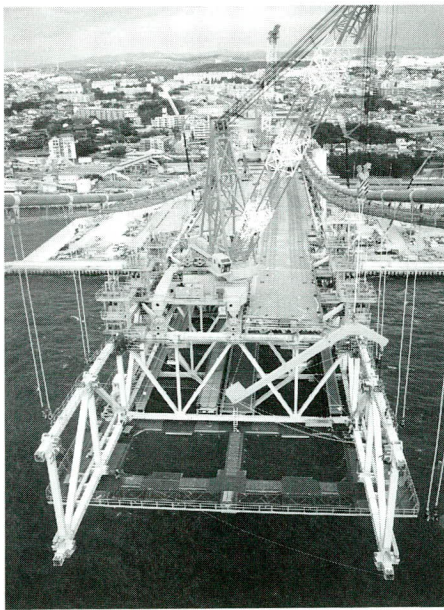


写真-10 「への字天秤」を用いた主構面材架設

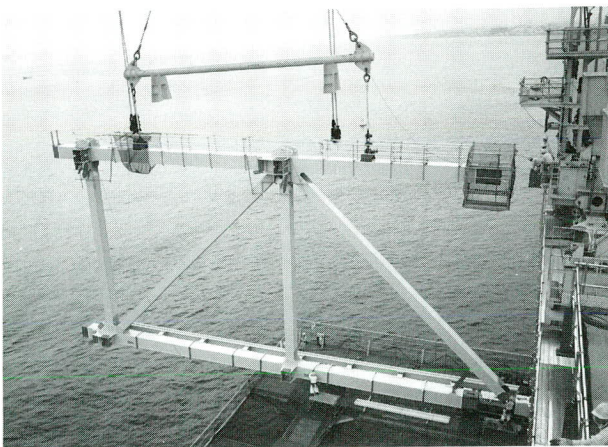


写真-11 「一般吊り天秤」を用いた主構面材架設

Stage	架設順序図	作業内容	備考
1			【サイクル架設スタート】
2		<ol style="list-style-type: none"> 1. 主構トラスの架設（西側1面、東側1面） 2. ②主構トラスの架設（1面） 3. ②-③上横棟の架設（2本） 4. ②-③管束路・橋脚物の架設 5. ②-③上横棟の架設（2本） 6. 引き込み装置盛り替え 	高力ボルトの本締め 左配作業終了後③④⑤ ハンガー（引き込み装置） は等倍力 3 格点等倍力
3		<ol style="list-style-type: none"> 1. ②③④ハンガー引き込み 	④ハンガー定着 ②③ハンガーの調整量は Stage-4にて決定
4		<ol style="list-style-type: none"> 1. 移動防墜工・移動安全足場1バネル前進 2. ①主構トラスの架設（1面） 3. ①-②下横棟の架設（2本） 4. ①-②管束路・橋脚物の架設 5. ①-②上横棟の架設（2本） 6. ①-②鋼床版の架設（東側1枚） 7. 引き込み装置盛り替え 8. ③④ハンガー軌架桁の架設（4本） 	高力ボルトの本締め 左配作業終了後③④⑤ ハンガー（引き込み装置） は等倍力 3 格点等倍力
5		<ol style="list-style-type: none"> 1. ②③④ハンガー引き込み 	④ハンガー定着 ①②ハンガーの調整量は <先STEPのStage 2>にて決定
6		<ol style="list-style-type: none"> 1. 架設用天材の移設 2. トラベラークレーン2バネル前進・固定 3. トラベラークレーン軌架桁の撤去・復旧（4本） 4. ③-⑤鋼床版（西側1枚） 5. 架設用天材の移設 6. ③④ハンガー軌架桁の移設（4本） 	
7		<ol style="list-style-type: none"> 1. 移動防墜工・移動安全足場1バネル前進 	【1サイクル終了】 （先STEPのStage 1と同じ）

図-8 サイクル架設ハンガー引き込み要領（一般部）

(4) 2P塔付部閉合

塔付部の閉合作業は、まず塔付ブロックをセットバックして主構面材架設のためのクリアランスを確保した。主構・主横トラスは、通常通りの架設を行ったが、塔付ブロックとの添接は仕口の高さ、桁の勾配が合わな

め調整が必要であった。桁勾配を合わせるために、トラベラークレーンを6パネル後退させ、高さを合わせるために面材側（格点60）と塔付ブロック側（格点61）にハンガー引込装置をセットし調整した。ただし、これでも桁勾配を完全に一致させることは出来なかったため上弦材のU.FLGのみを先に仮添接し、下弦材はジャッキで強制的に引き寄せ添接した。下弦材の引き寄せ力は、中央径間の架設進捗状況に左右されたので、桁閉合の時期はそれに合わせて調整した。

(5) 1 A 橋台部閉合

橋台部の架設に先立ち、エンドリンクおよび橋台付の付属設備の架設、先行防護工（移動防護工が使えないの

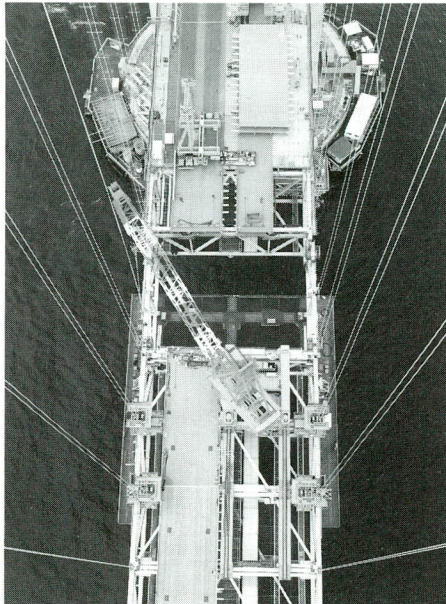


写真-13 塔付部閉合

で閉合部に下段ネットを設けた）、C/Wの上げ越し等の準備作業を行った。主構面材は、超短ハンガー部用特殊天秤（コの字天秤）を用いて架設した。面材（主構2面、主横トラス2面）の架設後に格点3、4、5にセットしたハンガー引込装置で一旦桁の上げ越しを行いエンドリンクを所定の位置に戻し、ハンガー引込装置で桁降下して連結した。

エンドリンク連結後直ちに端部ストッパー、ウィンド柵を取り付け、暴風対策を万全のものとした。ただし、ウィンド柵の調整板は、仮設のもので現地実測後板厚を決定して取り替えた。

(6) 形状計測

各架設段階で計画値と実測値の形状比較を行い施工精度および妥当性を確認した。計測は、4JV同時に深夜の温度の安定した時間帯に行い、共同で解析を行った。計測項目は、①ケーブル、補剛桁温度 ②主塔の倒れ量

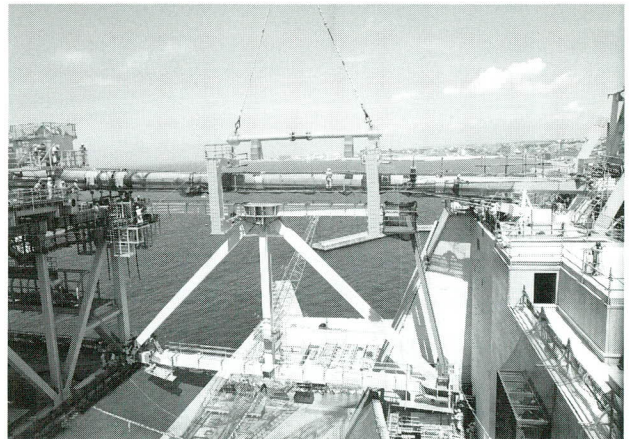


写真-15 橋台部閉合（面材架設状況）



写真-14 塔付部閉合（面材架設状況）

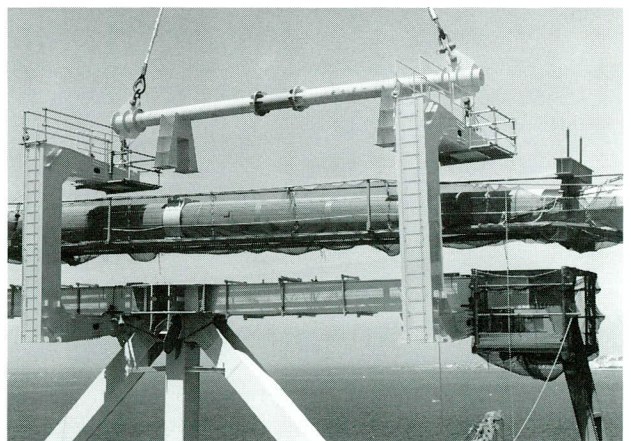


写真-16 「コの字天秤」を用いた主構面材架設

③桁の鉛直変位 ④ケーブルサグ ⑤スプレーサドルの移動量である。温度計測は、塔・ケーブル・桁に表面温度計（サーミスター）を取り付けそれをケーブルスキャナーを通じてデータロガーに取り込む自動計測システムとした。形状計測は、人工衛星を利用したGPS測量（Global Positioning System）を採用した。本橋のように広範囲を同時に計測するには、優れた測量手法である。

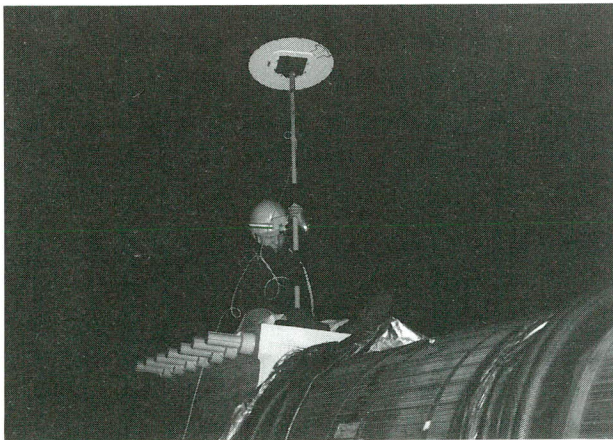


写真-17 GPS測量（ケーブルサグ計測状況）

4. 架設計算

架設途中の不安定な状態にトラベラークレーンや移動防護工などの大型重機が多数設置されている中で工事を安全に進めるため、架設計算により架設途中のシミュレーションを行った。

架設計算で用いた解析モデルを図-9に示す。大ブロック浜出し時は部分立体トラスモデル（微小変位理論）、現地での大ブロック架設及びサイクル架設時は全橋立体トラスモデル（有限変位理論）で解析を行った。

(1) 大ブロック架設

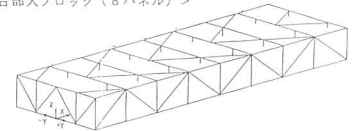
大ブロック架設は、仮組みの多点支持状態からFCの4点吊りへ、さらにハンガーケーブルの多点吊りへと、支点条件が複雑に変化するため、桁の変形形状や部材力、支点反力などを事前に確認しておく必要があった。実際の架設作業は、架設計算で求めた管理値を元にしてFCフック反力や支点部の浮き上がり量などを計測し、作業に異常がないかを確認しつつ行った。結果として管理値と実測値は概ね一致しており、作業を計画通り順調に進めることができた。

解析モデル	部分立体トラスモデル (微小変位理論)	全橋立体トラスモデル (有限変位理論)			
架設内容	大ブロック架設		サイクル架設		
組み合わせケース	架設常時 ER(D+T)		架設暴風時 ER(D+T)+ER(#3T)	架設突風時 ER(D+T)+ER(#26)	
許容応力度の割り増し	1. 2. 5		1. 5	1. 5	
着目点	仮組時 浜出し時 台船搭載時 水切り時 桁形状 ・FCフック反力 ・支点反力	現地一括架設時の ・ケーブル形状 ・桁形状(勾配) ・FCフック反力 ・ハンガー張力 ・twin/d'ビーム反力	・ケーブル形状 ・桁形状(勾配) ・ハンガー調整量 ・ハンガー張力 ・弦材軸力 ・斜材軸力 ・タワーリンク反力 ・エンドリンク反力	・ケーブル形状 ・桁形状 ・ハンガー折れ角 ・ハンガー調整量 ・ハンガー張力 ・弦材軸力 ・横構軸力 ・タワーリンク反力 ・ウィンド管反力 ・スッター反力	・ケーブル形状 ・桁形状 ・ハンガー折れ角 ・ハンガー調整量 ・ハンガー張力 ・弦材軸力 ・横構軸力 ・タワーリンク反力 ・タワーリンク管反力 ・スッター反力

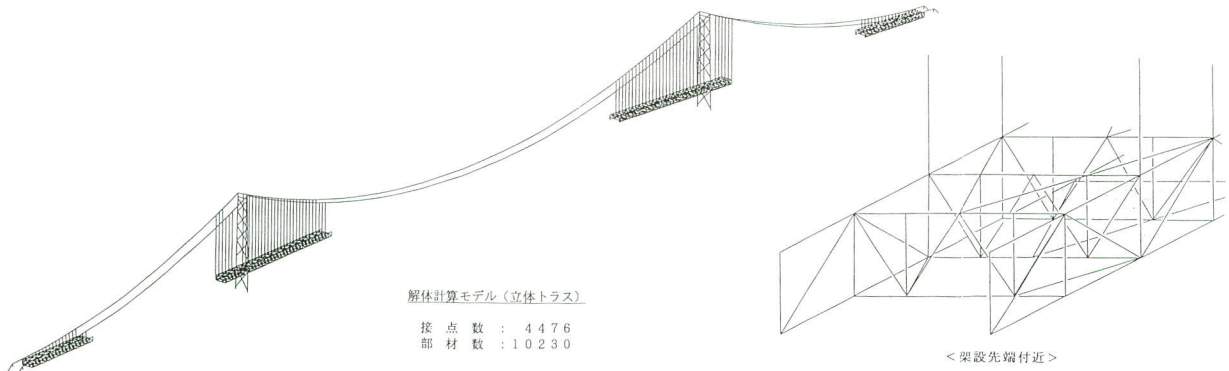
<塔付部大ブロック(6パネル)>



<橋台部大ブロック(8パネル)>



大ブロック部分立体モデル
(微小変位理論)



解体計算モデル(立体トラス)

接点数 : 4476
部材数 : 10230

<架設先端付近>

図-9 架設計算解析モデル

(2) サイクル架設

サイクル架設での着目点は架設先端部のハンガー張力とトラスの部材力であった。完成形の補剛桁は、ハンガーにより14.2mの間隔で均等に支持されるためほぼ無応力状態となる。しかし、架設途中はメインケーブルの幾何剛性が不足しているため、ハンガー張力は均等にならず架設先端部と後端部のものに集中することとなる。その結果、架設初期の段階において補剛桁は架設先端部と後端部を支点とした単純桁に近い断面力分布を示し、中央部には曲げモーメント、端部にはせん断力が発生する。ハンガー張力は、引き込み装置によりハンガー長を調整することで先端3格点に張力を分散させることができる。中央部の曲げモーメントについては、上下弦材のほとんどの断面が暴風時で決定されていたこともあり、架設時に問題となることはなかった。せん断力を伝達する斜材は、架設全般を通して常に厳しい状態であった。斜材に発生する軸力は、メインケーブルの幾何剛性の不足によって生じるものが大きい。トラベラー・クレーンや運搬台車などの局所的な荷重による影響も無視できないものであった。このため、ハンガー引き込み作業の手順を

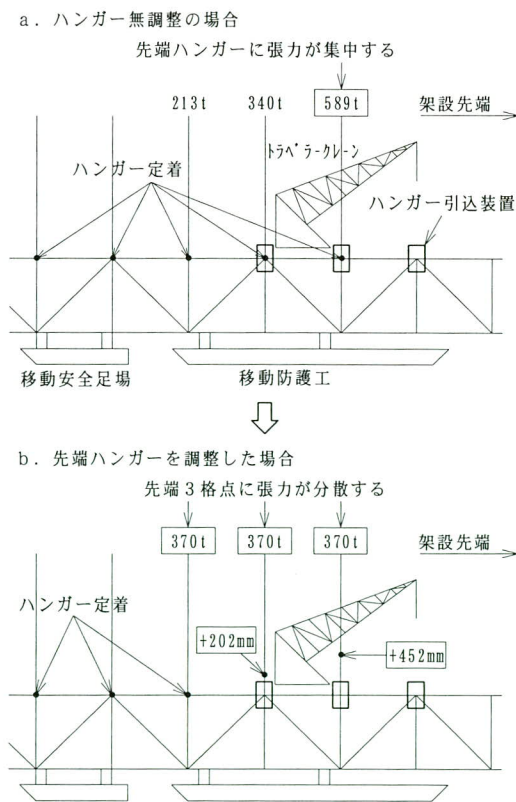


図-10 架設先端部のハンガー調整

一部変更し、先端4格点に張力を分散させたり、運搬荷重の制限を設けたりすることにより許容値オーバーを回避するケースが生じた。

ハンガー引き込み時の張力は、解析値とほぼ一致しており、作業のシミュレーションとしては十分満足のいく結果であった。

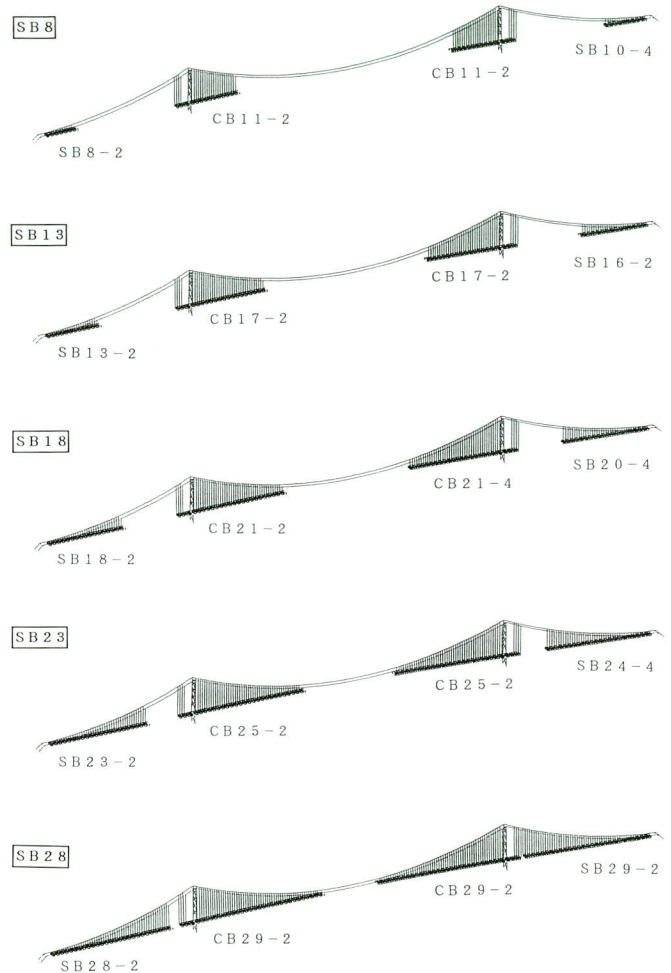


図-11 サイクル架設進捗状況

(3) 閉合

側径間塔付き部閉合直前は下弦材側が開いた状態であり、これを強制的に引き寄せる設備の能力には制約があるため、閉合可能条件について検討した。まず、閉合部は大型重機が集中しているため、移動可能な設備を利用して荷重調整を行った。さらに、中央径間の架設が所定の進捗を見るまで作業待ちしかつ、メインケーブルの高温時を避けるため早朝から架設に入るものとした。実工事でのハンガー張力は、高さ調整を優先したため東西の張力バランスが計画値と合わないところもあったが、下弦材引き寄せ力は10%ほど小さい値となり、計画通りの

閉合作業ができた。

橋台部の閉合は、作業スペースが非常に狭いためメインケーブルや主構格点の座標値算出に重点を置いて計算した。また、閉合架設は暴風時を避け、速やかに行うことになっていたが、部分閉合の状態における突風など橋軸直角方向の荷重に対する構造検討を行い、遊間量を確保するためにウィンド杓は後架設、横荷重を伝達する横構は附属物架設前に取り付けることとした。結果的には本体構造に有害な力を与える様な風荷重は作用しなかったが、安全対策として十分に注意を払った。

5. あとがき

世界最長の橋の架設に参画できた事を幸せに感じるとともに、4年と6ヶ月にもおよぶ工事期間を無事故で終えたことを誇りに思います。無論これは、厳しい自然条

件の中で工事に携わった補剛桁(その1)~(その4)工事の皆様全員の努力の賜物であると思われます。本文は、工事の特徴的な部分のみの記述となりましたが今後の長大橋の計画に多少なりとも参考になれば幸いです。

最後になりましたが、本工事にあたり監督御指導頂いた本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所の方々はじめ関係各皆様方に深く感謝し、紙上を借りて御礼申し上げます。

<参考文献>

栗野 純孝：明石海峡大橋，橋梁と基礎 Vol. 32，
No. 8, 1998. 8

1998. 10. 31 受付

グラビア写真説明

小鳴門大橋

本橋を含む都市計画道路・黒山中山線は明石海峡大橋開通に向け策定された「3,000日の徳島戦略」において、地域振興道路の一つとして位置づけられた事業です。上部工形式は自然景観と調和し、地域のシンボルとなるようデザインされ、渦潮で有名な鳴門公園と国道11号を結んでいます。

正月やゴールデンウィークにはライトアップも行われています。

(藤田)

門生高架橋

一般国道9号線は一次改築を昭和41年度に完了しましたが、島根県内の交通量の増加と共に各所で交通渋滞が起こっています。特に松江市～米子市間では急激な都市化により交通渋滞が慢性化しております。

このような状況に対処すべく昭和62年の高規格幹線道路網の計画決定により「安来道路」は自動車専用道路として事業展開しています。

本橋は平成10年3月に暫定供用した鳥取県境から安来ICまでの6.1kmの区間に位置し、同区間の橋梁では最も大きな橋梁です。

安来市はなんといっても「どじょうすくい」でおなじみの安来節が有名ですが、「やすき」ではなく「やすぎ」と読むのが正しいそうで、どじょうは濁ったところにしか生息しないからというのがその理由とのこと(その真意は不明ですが)。

また日本最古の製鉄の町としても知られており、現在もたたら製鉄はなやかりし頃の面影が市街地に残っています。やはり鉄の町には鉄の橋がよく似合うのでは……

(加藤)