

本州四国連絡橋 西瀬戸自動車道(瀬戸内しまなみ海道)

# 来島大橋補剛桁工事



本州四国連絡橋公団第三建設局 今治工事事務所

第一大橋	来島大橋補剛桁(その1)工事	川田・サクラダ	共同企業体
	来島大橋補剛桁(その2)工事	川重・栗本	共同企業体
第二大橋	来島大橋補剛桁(その3)工事	三菱・東骨・高田	共同企業体
	来島大橋補剛桁(その4)工事	宮地・住重・日塔	共同企業体
第三大橋	来島大橋補剛桁(その5)工事	横河・三井・春本	共同企業体
	来島大橋補剛桁(その6)工事	NKK・日車・川鉄	共同企業体



# すぐれた設計、製作、架設技術が 美しい来島大橋をつくる。

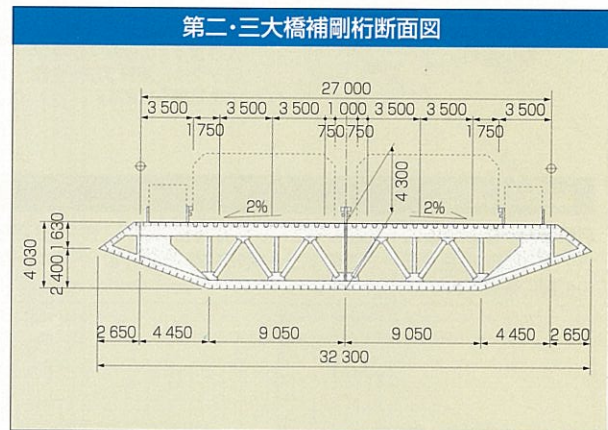
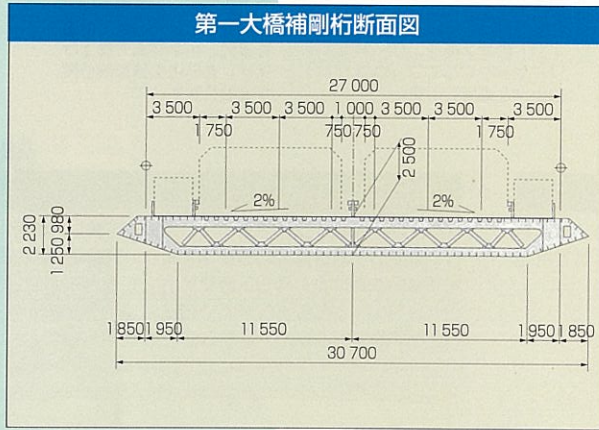
## ■工事のあらまし

瀬戸内海に浮かぶ島々を經由し、広島県尾道市と愛媛県今治市を結ぶ西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）。この自動車道の来島大橋は、急潮流で海の難所として知られる瀬戸内海国立公園の景勝地・来島海峡を渡る吊橋です。工事は昭和63年の起工式以来着々と進められ平成10年度末の完成をめざして、いよいよ最後の大型工事となる補剛桁工事が始まりました。来島大橋は、広い海峡に点在する島々と浅瀬を利用して基礎を設けた、世界初の三連吊橋となる長大橋梁です。

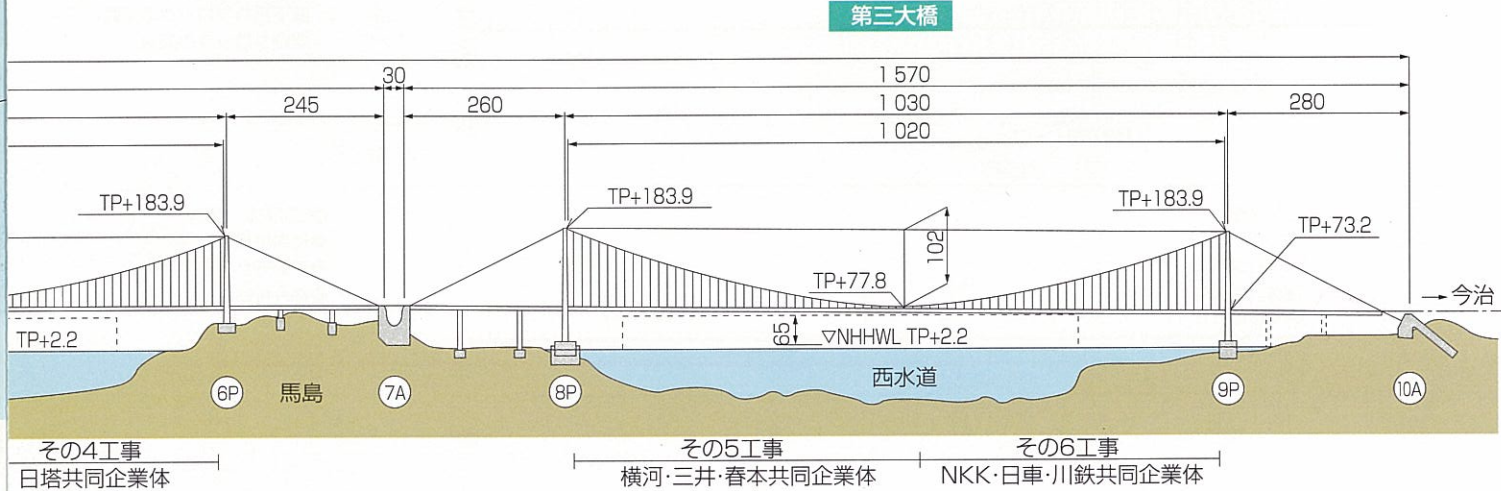
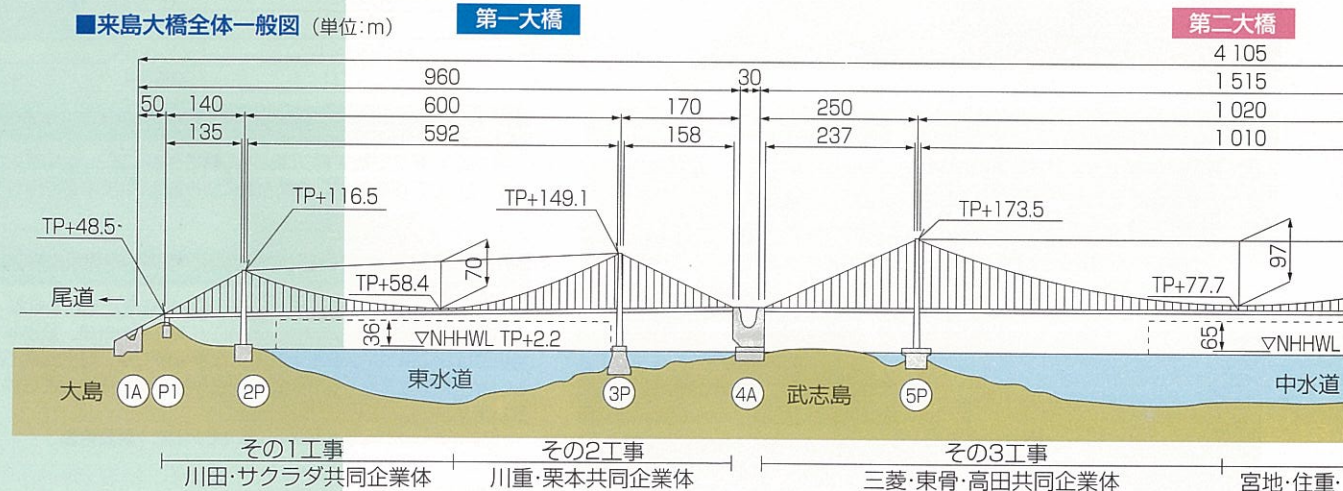
繊細なシルエットの補剛桁は、耐風安定性はもとより、レーダーの偽像対策にも優れている扁平六角形断面の鋼箱桁。調査・解析・設計技術が生み出した合理的な構造は、生産設備と技術による高い品質に支えられ、厳しい条件下における耐風安定性と耐震性を実現しています。最新技術を集積した直下吊り工法と確かな施工管理技術が、巨大船が航行する急潮流の航路でも、安全、確実、迅速に補剛桁ブロックの架設を進め、世界的規模の来島大橋を完成へと導きます。

## ■設計条件(橋梁諸元)

項目	第一大橋	第二大橋	第三大橋
橋梁形式	3径間2ヒンジ補剛桁吊橋	2径間2ヒンジ補剛桁吊橋	単径間2ヒンジ補剛桁吊橋
補剛桁支間割	135+592+158m	237+1010m	1020m
構造規格/設計速度	第1種第3級 / 80km/h		
設計活荷重	B活荷重		
車線数	車道4車線(幅員3.5m)、原自歩道2車線(幅員2.5m)		
平面線形/横断勾配	直線 / 2.0%直勾配		
縦断勾配	2.3、1.8%放物線勾配	1.8%放物線勾配	1.8%放物線勾配
床版形式/舗装	鋼床版(車道部12mm、原自歩道部10mm) / アスファルト舗装(車道部65mm、原自歩道部30mm)		
維持管理設備	外面作業車、内面移動車、桁内管理路(各1系統)		
添架物	消防給水管、電気設備、NTT	消防給水管、電気設備、NTT	消防給水管、電気設備、NTT、今治市水道
主ケーブル	平行線ケーブル(431φ)5.16mm×127本×44St	平行線ケーブル(653φ)5.13mm×127本×102St	平行線ケーブル(636φ)5.00mm×127本×102St
ハンガー	PWS	PWS、鋼製ロッド	PWS、鋼製ロッド



## ■来島大橋全体一般図(単位:m)



## 設計・製作

最新の技術と理論が反映された設計で、安全性を最優先に。

### 構造設計

設計にあたっては、耐疲労破壊や製作・現場接合のしやすさ等を慎重に検討。Uリブの増厚をしない鋼床版の縦リブ継手、横リブのスカールアップ形状の工夫、溶接品質の向上など、合理性と経済性を追求しています。また、ダイヤフラムとセンターウェブにはトラス構造を採用し、経済性と施工性、さらには将来の維持管理にも配慮しています。

### 耐風設計

台風常襲国の日本では、補剛桁の耐風安定性確保が吊橋の成否の最大の課題です。設計風速は、完成時53m/s、架設時41m/s。設計にあたっては、部分模型、1/60全体模型および複雑な地形の影響を考慮した風洞試験を行い、フラッター限界風速70.2m/sをクリアすることを確認しました。また、架設時安定性についても同様な検討を行い、問題のないことを確認しています。

### 耐震設計

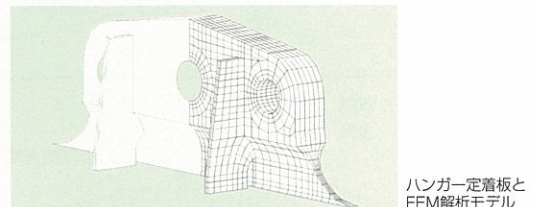
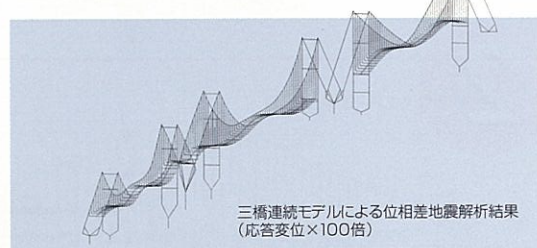
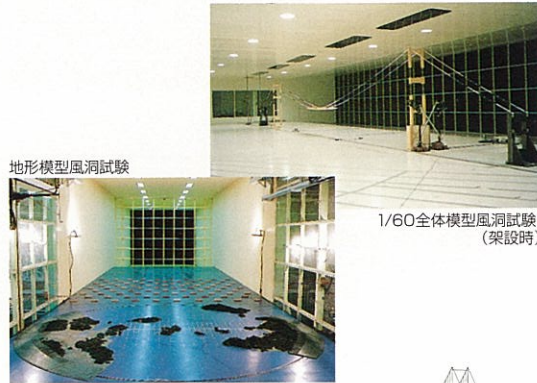
吊橋が地震時の支点移動や揺れに強いことは、平成7年の兵庫県南部地震における明石海峡大橋で検証されました。補剛桁設計では様々な地震を想定し、位相差地震に対しては三橋連続モデルでの解析を行うなど、合理性と経済性を追求しています。とくに、変位制限装置のステイシステムは、中央径間が常時・側径間は地震時の変位で決定されていることからそれぞれの特性を考慮しステイ耐力を決定しています。すなわち、センターステイは設計地震力の60%で破断させることで縮小化を図り、サイドステイは設計地震力に対し十分な耐力と移動制限機能を有する設計としています。

### ハンガー定着部

ハンガー定着部は、ハンガーソケットと鋼床版上面に取り付けた定着板とをピンを用いて連結し、桁を吊る構造。採用にあたっては、三次元FEM解析を含めた種々の応力解析や疲労試験を行い、安全性を確認しました。疲労性能向上のため、定着板はダブリングをしない一枚板とし、鋼床版に完全溶け込み溶接でとりつけ、滑らかな溶接ビード形状と仕上げを行っています。

### 製作・組立

扁平六角形断面の箱桁は薄板構造のため、製作時の精度管理が重要です。また、耐疲労性能の向上のため溶接管理も大切であり、補剛桁の様々な特殊性を考慮した製作時の品質管理基準を策定して品質の向上に努めています。外面塗装はフッ素樹脂塗装とし、製作工場下地処理から上塗りまで施工。行き届いた管理で、最高の品質を確保しています。





# 3S / 安全(Safe)、確実(Steady)、迅速(Speedy)を達成。 新しい技術と機器の開発で実現した、強潮流下における合理的な架設。

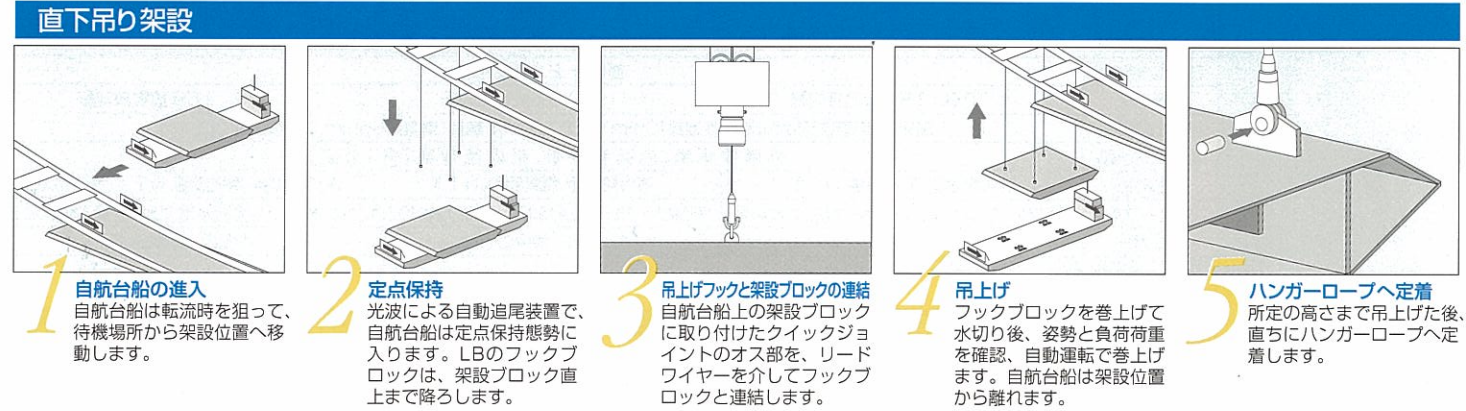
大小さまざまな船舶が航行する国際航路である来島海峡は、複雑な地形と激しい潮流により、海の難所として知られています。

そのため、ここでの補剛桁架設工事では、3S / 安全(Safe)、確実(Steady)、迅速(Speedy)がとくに重要となります。

来島大橋補剛桁の主とする架設工法は、工場で組立てたブロックをケーブル上のリフティングビーム (LB) で架設位置へ直接吊上げる直下吊り架設工法。この工法は安全・確実なため、箱桁・トラス桁を問わず世界中の吊橋の補剛桁架設工法としてごく一般的に採用されています。唯一の欠点は、潮流下では吊上げブロックの定点保持

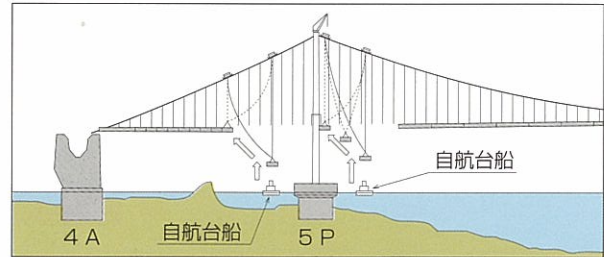
作業に広い海域と時間を要することでした。来島大橋補剛桁の架設工事では、強潮流・狭海域下において短時間で定点保持を終える課題に挑戦。多くの研究と実験を重ね、新たに機器を開発し、最新技術を駆使して3Sを達成しました。

## 架設工事の特徴



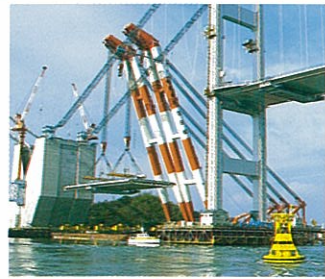
## 縦取り架設

自航台船が架設位置直下に進入できない架設場所では、1台のLBで吊り上げ、もう1台のLBに荷重を移行させながら、橋軸方向(縦方向)へスイングさせて所定の位置に架設します。



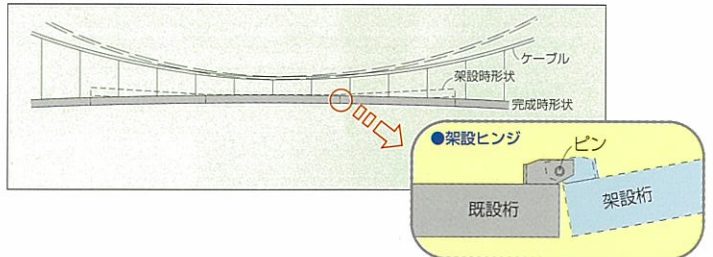
## FC大ブロック架設

工事区域内で大型FC(大型起重機船)の使用が可能な場合は、工事の安全性、迅速化、経済性を考慮して、大型ブロックを一気に架設するFC大ブロック架設を行います。



## 全ヒンジ工法

吊り上げたブロックは直ちにハンガーに定着し、既設桁と架設ヒンジによる連結を行います。これは作業の迅速化を図り、架設時にハンガーや補剛桁に過大な力が作用するのを避けるための工法です。



## 輸送

工場で製作・組立てた架設ブロックは、輸送台船に積み、現場直近の工事海域まで運びます。そこでFCを使って、自航台船に積み替え、架設作業を待ちます。

## 安全対策

直下吊り作業は、潮流3ノット以下で安全に作業ができる気象・海象条件を定め、その条件下で行います。また、事前にポスターや新聞、放送等で周知を図り、作業当日には周辺海域に広報船を配置。作業場所では、可航水域の表示や警戒船を配備し、安全対策に万全を期します。架設作業や接合作業などには、移動安全足場を配置します。



## 架設ブロック

直下吊りブロックの標準タイプは、3パネルタイプ。架設作業の安全性、迅速化、経済性を考慮して決められました。補剛桁ブロックには、地覆、維持管理用設備、添架物など、完成状態に近い設備が取り付けられています。また、縦取り架設ブロックはLBの吊上げ能力を考慮、1パネルタイプにしています。

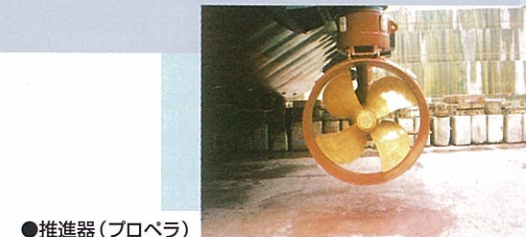
	第一大橋	第二大橋	第三大橋
直下吊りブロック	重量(t) 420 寸法(m) 30.7×25.5×36.7	重量(t) 500 寸法(m) 32.3×4.3×37.4	重量(t) 500 寸法(m) 32.3×4.3×37.6
縦取りブロック	重量(t) 190 寸法(m) 30.7×25.5×15.9	重量(t) 230 寸法(m) 32.3×4.3×13.0	重量(t) 240 寸法(m) 39.4×4.3×12.8
FC大ブロック	重量(t) 970 寸法(m) 30.7×25.5×83.2	重量(t) 560 寸法(m) 32.3×4.3×41.6	—

(最大重量ブロック)  
※寸法はW×H×L

## 自航台船

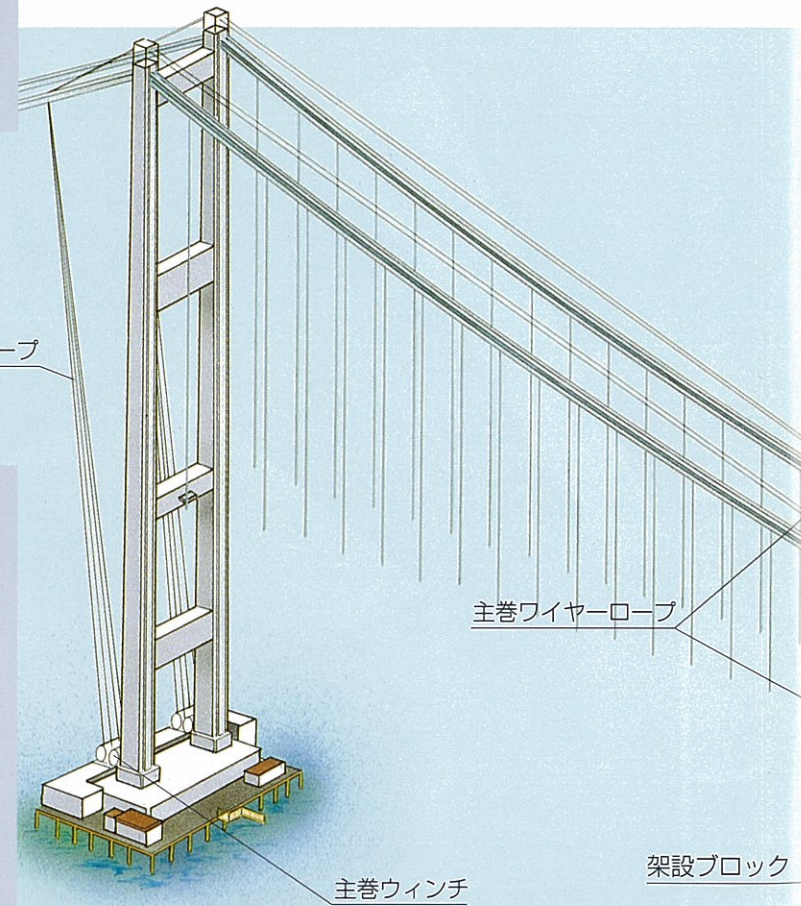
今回の工事に特別に開発・建造された2隻の自航台船「うましま」「しまなみ」。強潮流下でも常に同じ場所に停止できるように設計されています。自航台船の四隅には、360度どの方向にも向けられる推進器(プロペラ)とエンジンが取り付けられ、光波を利用した測量システムと連動。自船の位置を測定し、コンピュータが所定の位置へと誘導する自動追尾装置が取り付けられています。

自航台船概要	
船名	うましま、しまなみ
寸法	L54.7×W18.0×D3.0m
喫水(積載時)	1.37m
積載能力	600t
エンジン出力	4×650ps
最大航行速度(無載荷時)	10ノット
最短制動距離(無載荷時)	約55m
定点保持性能(潮流3ノット)	半径2.5m以内
運動特性	前・後進、横・斜行、緩・急回頭および定点回頭が可能



●推進器(プロペラ)

●自航台船と架設ブロック



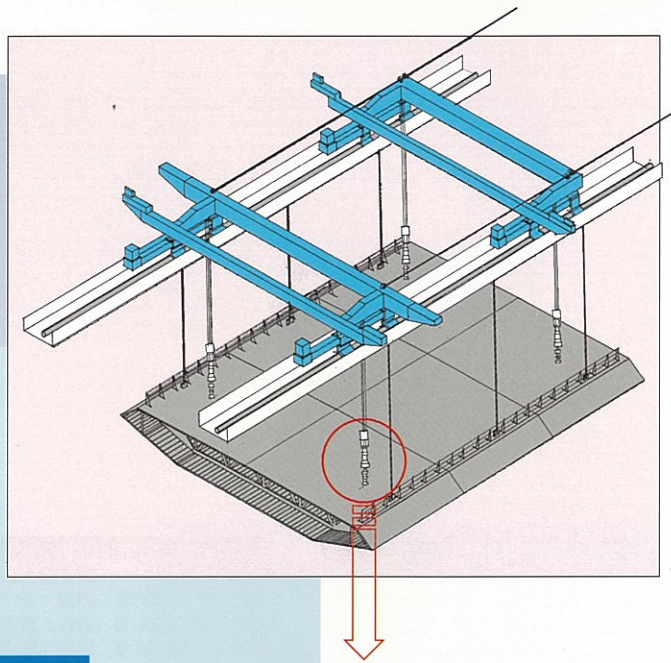




## リフティングビーム(LB)

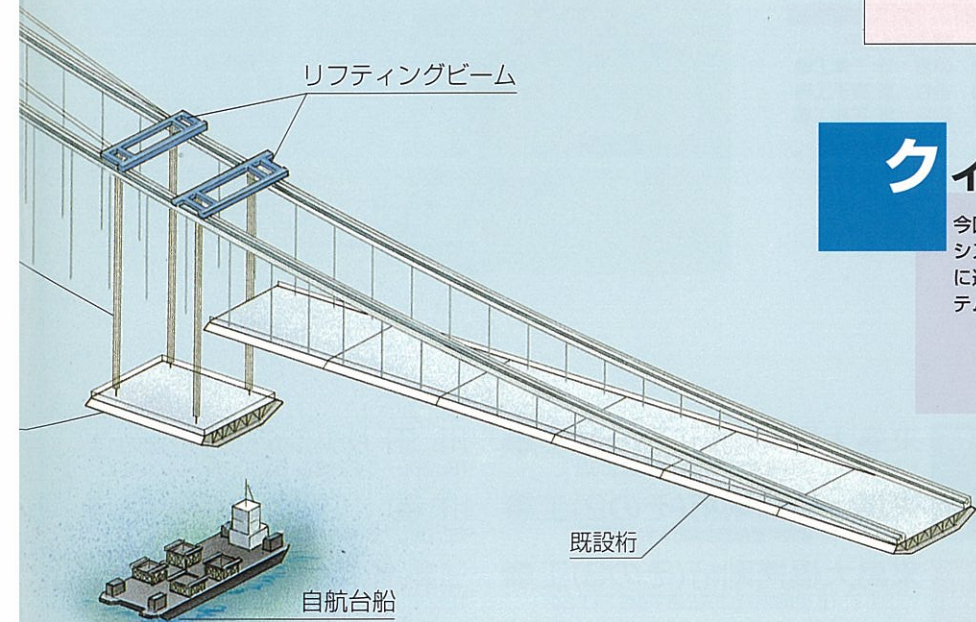
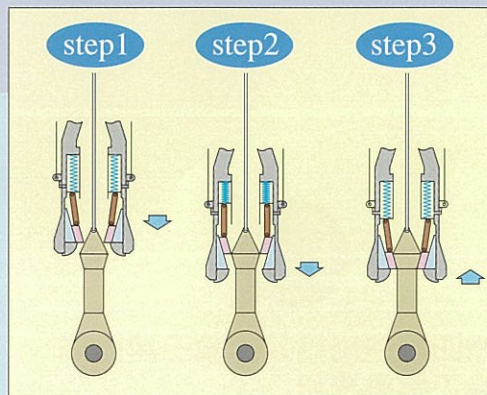
今回の工事用に特別に開発された補剛桁ブロック吊上げシステム。大重量吊上げ能力、高速巻き上げ性能、移動性能の向上、幾重もの安全対策など、来島大橋の特殊性を考えた機構になっています。システムを構成するウィンチは橋脚上に設置され、キャットウォーク上をワイヤーロープが走っています。

LB 基本性能	
定格荷重	175/0 t×4吊点
定格速度	5/15m/min
ロープ径・掛け数	26φ×8本×2/吊点 32φ×6本×2/吊点
主巻ウィンチ(定格)	電動14.2 t引・油圧19 t引
主巻ウィンチ台数	8台



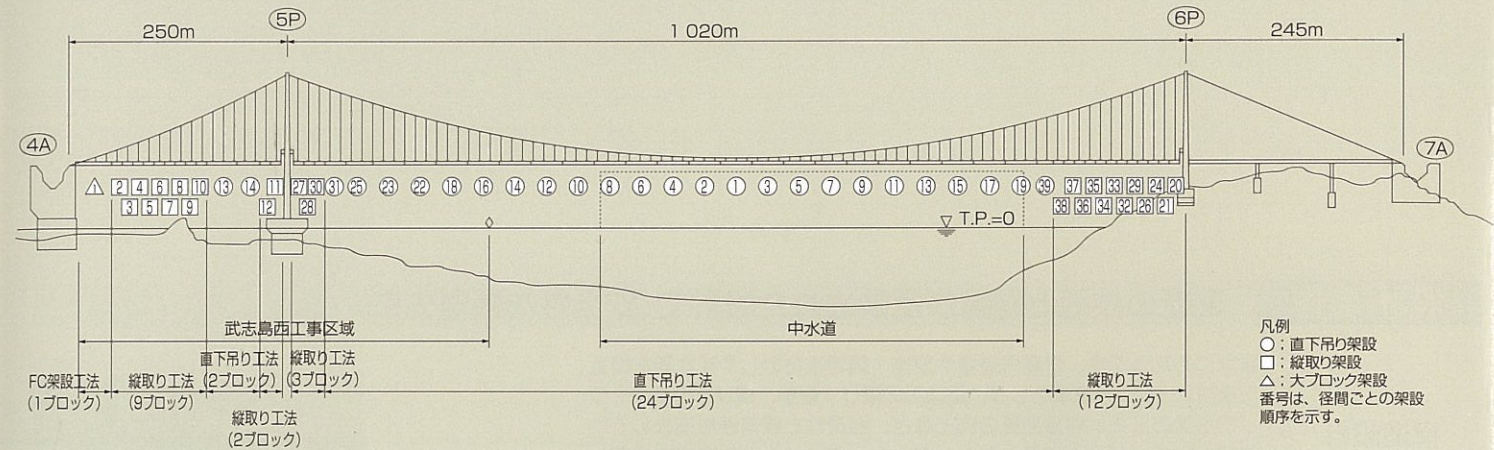
## クイックジョイント

今回の直下吊り作業を支えるのは、定点保持性能と素早い連結システム。動揺により危険が伴う船上でも、安全、確実、迅速に連結作業が行えるよう、明石海峡大橋で開発された連結システムを来島大橋用に改良して使用しています。



## 第二大橋

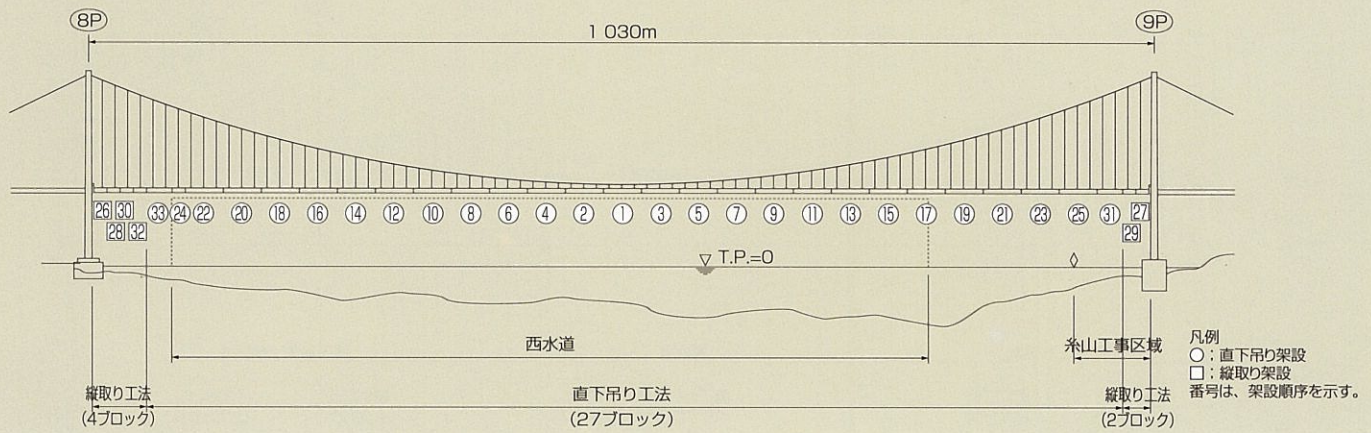
### 架設ブロック割り



### 架設ステップ

- STEP 1:**
  - 準備工
  - 中央径間LBの組立
  - LB移動及び架設準備
  - センターブロックの架設
- STEP 2:**
  - 中央径間直下吊りブロックの架設
  - 側径間大ブロック(橋台付)一括架設
  - LBの一括架設及び桁外面作業車の設置
- STEP 3:**
  - 中央径間直下吊りブロックの架設
  - 移動安全足場設置、桁外面作業車の設置
  - 塔付、縦取りブロックの架設
  - 側径間縦取りブロックの架設
- STEP 4:**
  - 中央径間閉合ブロックの架設
  - 側径間塔付、縦取りブロックの架設
  - 直下吊りブロックの架設
  - 閉合ブロックの架設
- STEP 5:**
  - LB解体、搬出
  - 付属設備の設置
  - 移動安全足場の撤去
  - 後片付け





■架設ステップ

**STEP 1**

- 準備工
- 中央径間LBの組立
- LB移動及び架設準備
- センターブロックの架設

---

**STEP 2**

- 直下吊りブロックの架設

---

**STEP 3**

- 塔付、縦取りブロックの縦取り架設

---

**STEP 4**

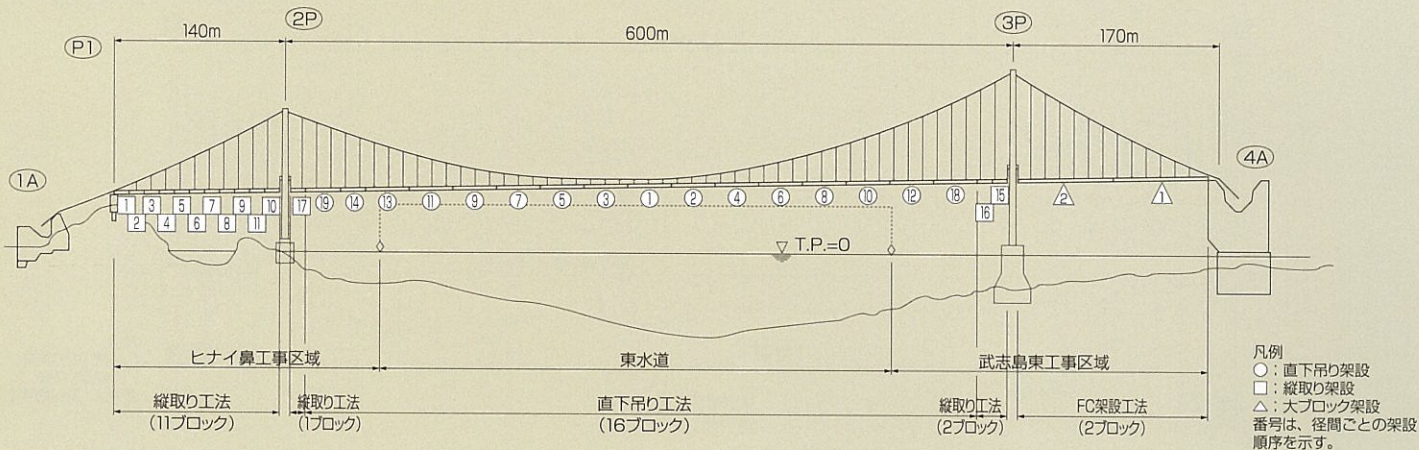
- 縦取り、閉合ブロックの架設

---

**STEP 5**

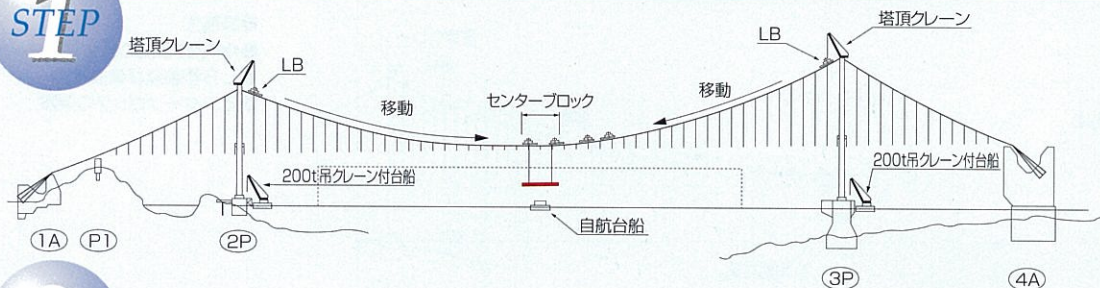
- 桁外面作業車、移動安全足場の設置
- LBの解体、搬出
- 付属設備の設置
- 後片付け





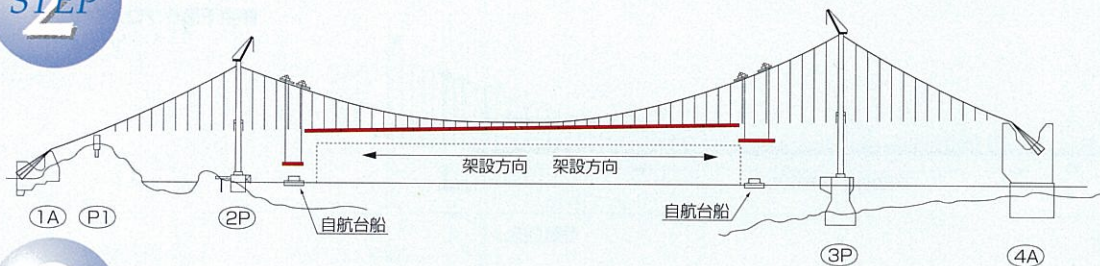
## ■架設ステップ

### STEP 1



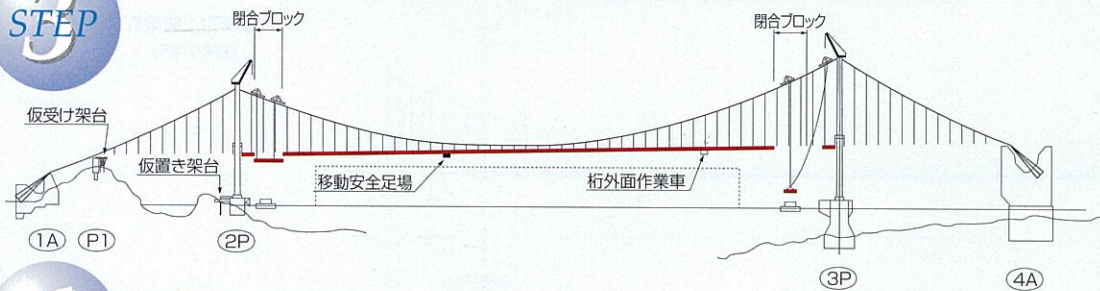
- 準備工
- 中央径間LB組立て
- LB移動及び架設準備
- センターブロックの架設

### STEP 2



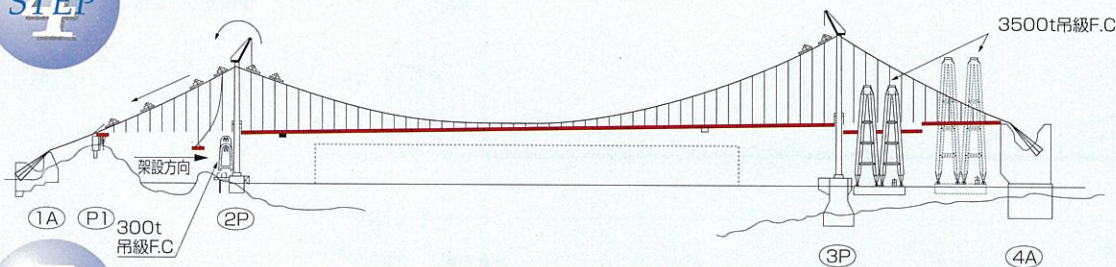
- 直下吊りブロックの架設
- 移動安全足場、桁外面作業車の設置

### STEP 3



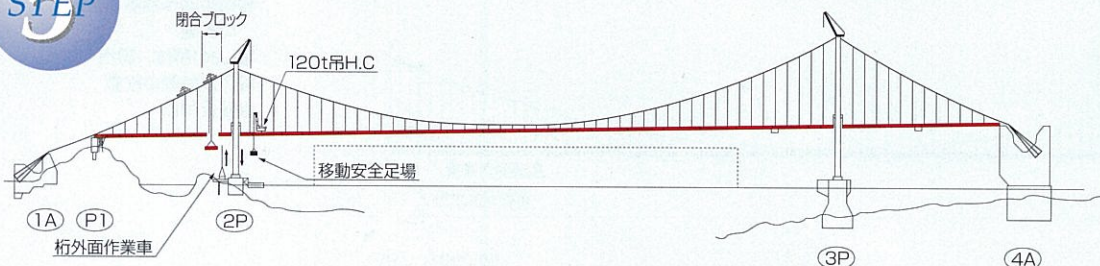
- 中央径間  
塔付、縦取りブロックの架設  
閉合ブロックの架設
- 側径間 (P1~2P)  
仮設備の組立

### STEP 4



- 中央径間  
LB解体、搬出 (2P側は移設)
- 側径間 (3P~4A)  
大ブロック一括架設
- 側径間 (P1~2P)  
縦取り架設

### STEP 5



- 中央径間  
移動安全足場の撤去
- 側径間 (P1~2P)  
塔付、閉合ブロック架設  
桁外面作業車の設置
- LBの解体、搬出
- 後片付け



■工事工程表

		平成7年(1995)	平成8年(1996)	平成9年(1997)	平成10年(1998)	平成11年(1999)
架設	仮設備工					
	桁架設工					
	付属物工					
設計						
製作						

■概算鋼重表

項目	第一大橋	第二大橋	第三大橋
補剛桁 本体	9,681	14,875	12,060
支承(鉛直・水平)	40	27	9
伸縮装置(くし型・ローリングリフ)	191	178	151
自動車防護柵・原自歩道高欄	462	669	543
外面作業車軌条	171	243	197
その他 付属物	345	356	289
計	10,890	16,348	13,249

■製作工場



第一大橋

- その1工事 ①川田 四国工場
- その2工事 ③川重 播磨工場
- ②サクラダ 市川工場
- ④栗本 大阪臨海工場

第二大橋

- その3工事 ⑤三菱 広島製作所
- その4工事 ⑧宮地 千葉工場
- ⑥東骨 千葉臨海工場
- ⑨住重 東予工場
- ⑦高田 和歌山工場
- ⑩日塔 若松工場

第三大橋

- その5工事 ⑪横河 大阪工場
- その6工事 ⑭NKK 津製作所
- ⑫三井 大分鉄構工場
- ⑮日車 衣浦製作所
- ⑬春本 和歌山工場
- ⑯川鉄 播磨工場



本州四国連絡橋公団第三建設局  
今治工事事務所

〒794-0032 愛媛県今治市天保山町2丁目5番地1  
TEL.0898-23-5960 FAX.0898-22-4490

■ 第一大橋 ■ 第二大橋 ■ 第三大橋



第一大橋 来島大橋補剛桁(その1)工事

〒794-2114 愛媛県越智郡吉海町大字名5339

第一大橋 来島大橋補剛桁(その2)工事

〒794-2114 愛媛県越智郡吉海町大字名5865

第二大橋 来島大橋補剛桁(その3)工事

〒794-2118 愛媛県今治市波止浜字高部下11-24

第二大橋 来島大橋補剛桁(その4)工事

〒794-2118 愛媛県今治市波止浜字高部下11-24

第三大橋 来島大橋補剛桁(その5)工事

〒794-2118 愛媛県今治市波止浜赤碕6-105

第三大橋 来島大橋補剛桁(その6)工事

〒794-2118 愛媛県今治市波止浜赤碕6-105

川田・サクラダ 共同企業体  
TEL.0897-84-3663 FAX.0897-84-3881

川重・栗本 共同企業体  
TEL.0897-84-3810 FAX.0897-84-3837

三菱・東骨・高田 共同企業体  
TEL.0898-41-3150 FAX.0898-41-3153

宮地・住重・日塔 共同企業体  
TEL.0898-41-3350 FAX.0898-41-3353

横河・三井・春本 共同企業体  
TEL.0898-41-6616 FAX.0898-41-6617

NKK・日車・川鉄 共同企業体  
TEL.0898-41-6096 FAX.0898-41-6105