

【論文・報告】

# 本州四国連絡橋・櫃石島橋の製作設計

## Design of HITSUISHIJIMA Bridge

西岡 武雄\*  
Takeo NISHIOKA

片山 哲夫\*\*  
Tetsuo KATAYAMA

小泉 正司\*\*\*  
Masashi KOIZUMI

### 1. まえがき

櫃石島橋は、本州四国連絡橋の児島－坂出ルートのうち、櫃石島と岩黒島を結ぶ全長790m、中央径間420mの斜張橋である。本橋は、上路部が道路、下路部が鉄道のダブルデッキトラスであり、完成時には、隣接の岩黒島橋と並んで鉄道併用橋としては世界最級の斜張橋となる。

構造的にも、上弦材と鋼床版が合成されたトラスであること、主塔が景観との調和を考え、塔基部を絞りを、ハ

ンチ材を有する構造となっているなど新しい試みがなされている。また、耐震性の向上のため両端をバネ構造で支持する弾性固定方式を採用するなど、耐風、耐震性にも細心の注意が払われている。

本橋の設計及び架設計画は、昭和58年4月に開始され、約2年にわたって作業が続けられ、昭和60年4月より現地工事が開始した。

本文では、詳細設計の概要を解析手法及び設計時に特に考慮した事項を中心に報告する。

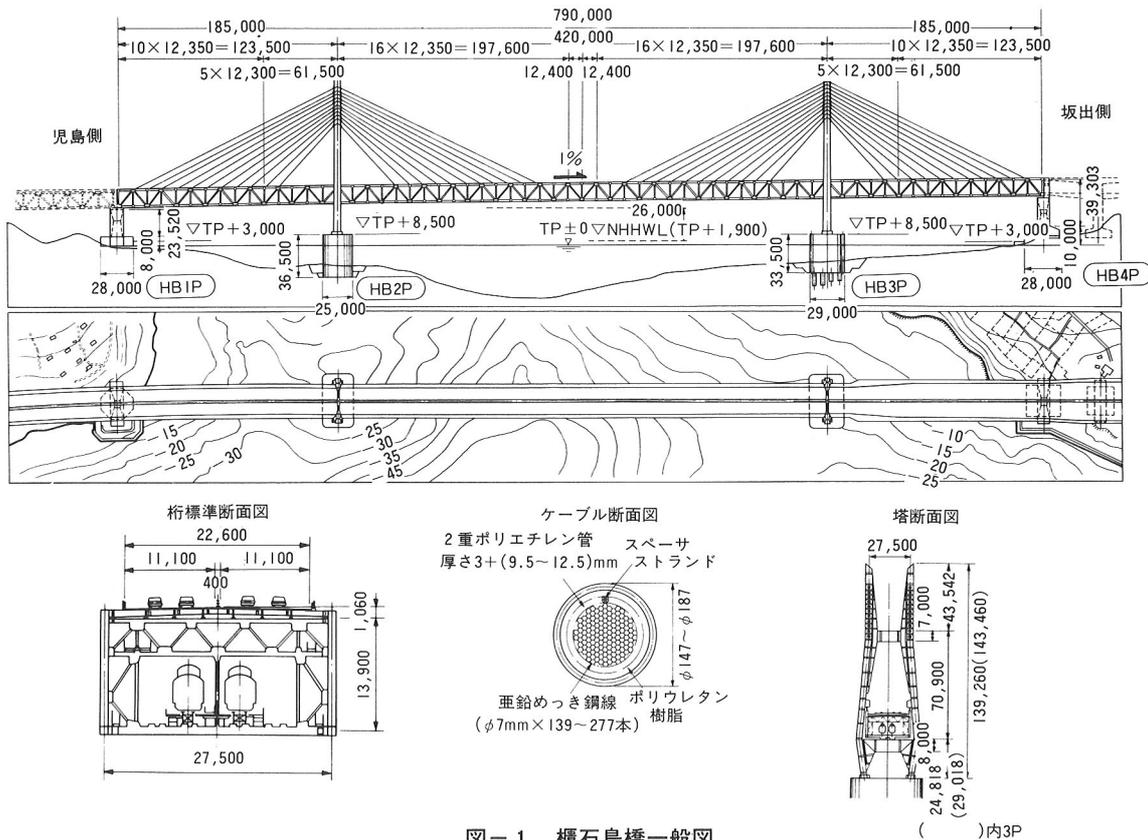


図-1 櫃石島橋一般図

\* 川田工業㈱工事本部工事部長 川田工業㈱技術本部技術部長大橋課係長 \*\*川田工業㈱大阪支社設計課

2. 設計条件及び構造概要

(1) 設計条件

表-1 に本橋の設計条件を、表-2 に設計荷重を示す。

表-1 設計条件

道路規格	第1種第2級(4車線)(V=100km/h)
鉄道規格	暫定2線時 在来線複線(V=120km/h)
	完成4線時 在来線複線(V=120km/h) 新幹線複線(V=160km/h)
型式	マルチファンケーブル斜張橋(11段2面張り)
支間	185.0m+420.0m+185.0m
主構高・幅	13.9m×27.5m
塔高	HB2P-139.26m HB3P-143.46m
線形条件	平面線形 直線(HB1P側端部でR=3,500m)
	縦断勾配 1%(本州側から四国側へ上り勾配)
	道路横断勾配 2%両勾配(曲線部2%片勾配) 鉄道曲線部カント 在来線 20mm 新幹線 60mm
航路限界	N.H.H.W.Lより26.0m以上
道路床組	主構上弦材との合成鋼床版
鉄道床組	縦桁直結軌道
活荷重	道路 TL-20, TT-43
	鉄道 KS-16, N18, P16, P19
風荷重	設計基本風速 43m/s
地震荷重	180gal(本四スペクトル)

表-2 設計荷重

項目	重量 t
塔本体	7,630
塔付属物	670
主構トラス, 下横構	10,020
床トラス	4,800
鋼床版, 道路付属物	5,450
ケーブル	2,170
沓・リンク	1,210
主桁管理路, 作業車軌条	1,030
鉄道桁, 鉄道管理路	2,330
電々, 電発管理路	950
合計	36,260

(2) 構造概要

a) 構造概要図

図-2, 3 に本橋の断面及び管理路, 付属物等の配置図を示す。

b) 構造の特色

本橋の特色として下記の様な項目があり, 本文の中でも詳細に報告する。

① 鉄道併用橋であるため, 疲労に対して細心の注意を払って設計を行なった。

② 桁剛性を高め, 且つ鋼重を軽減するために鋼床版にも軸力を負担させる合成鋼床版形式とした。

③ 塔は, 美観を考慮しハンチ付ラーメン斜塔とし, 陰影の効果を期待した変断面構造とした。

④ 塔底板の位置決めにおいて, 従来の「研磨工法」に替り, 「グラウト注入工法」を採用して工期の短縮を行なった。

⑤ ケーブルは, 片側2面1段のファン型マルチケーブル方式とし, ケーブルの防蝕のために二重ポリエチレン管で被覆し, その中にポリウレタン樹脂を注入する。また, 定着はHi-Amアンカー形式とした。

⑥ 支承としては, 鉛直反力に対してタワーリンク, エンドリンク, 橋軸直角方向の力に対してウィンドシューを用いる。また, 橋軸方向の力に対しては, 三角リンクを使用し, 水平力を鉛直力に変えて皿バネを利用したスプリング沓で弾性固定を行なっている。なお, 地震時の異常荷重に対しては, 最終的にストッパー沓で抵抗できる構造とした。

⑦ 橋端は, 隣接橋との水平折れ角, 鉛直折れ角の影響を緩衝し, 列車の走行性を向上させる目的で鉄道緩衝桁を設置した。

(3) 設計荷重及び荷重の組合せ

設計荷重及び荷重の組合せを表-3 に示す。

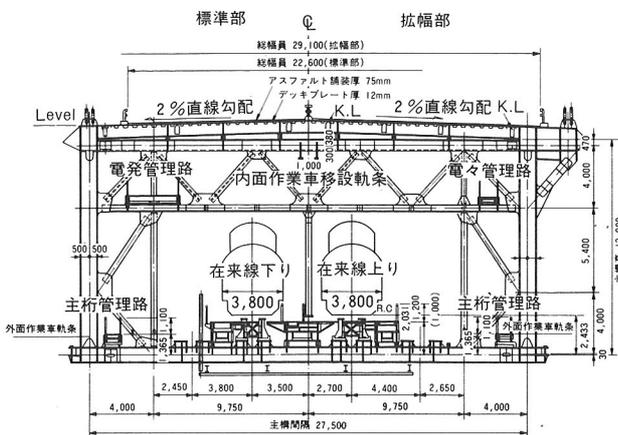


図-2 暫定2線時断面図

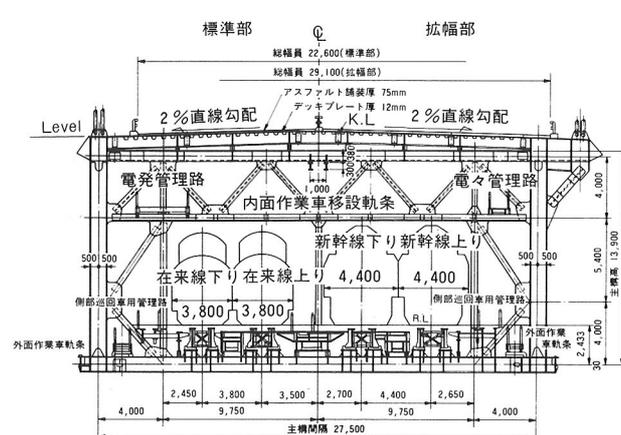


図-3 完成4線時断面図

表-3 設計荷重と組合せ

荷重の組合せ	割増係数	主構	塔	ケーブル	床トラス	横構	床組	支承
1 D+L	1.00							
2 D+L+T+(SD+E)	1.00	○	○	○				○
3 D+L(F)	1.00	○			○		○	○
4 D+L+LR	1.00				○		○	
5 D+W(L)+L(W)+T	1.35	○	○	○	○			
6 D+W+T+(SD+E)	1.50	○	○	○				○
7 D+EQ+L(EQ)+T+(SD+E)	1.50	○	○	○	○			○
8 EQ	1.70							
9 ER	1.25	○	○	○	○			○
10 W	1.50							
11 D+L+BK+LR	1.25				○			○
12 BK+W(L)	1.25						○	
13 LF+W(L)	1.25						○	○
14 D+W(L)+L(W)+LR	1.40						○	○
15 D+W(L)+L(W)+LF	1.40	○		○			○	○
16 D+W(L)+L(W)+BK	1.40						○	○
17 D+W(L)+L(W)+BK+LR	1.50						○	○

D:死荷重 L:活荷重(自動車, 列車, 衝撃)  
 T:温度 (SD+E):製作, 架設誤差  
 L(F):疲労検算活荷重 W:風荷重  
 EQ:地震 ER:架設時荷重 LR:ロングレール荷重  
 BK:制動・始動荷重 LF:車両横荷重

3. 主構トラス

(1) 解析手法及び解析モデル

主構トラスの解析手法及び解析モデルを図-4に示す。解析においては、ケーブル剛性が大きく全体系が線形性を有していること、面内、面外荷重による断面力の組合せを有効に利用できること等の理由により、微小変形理論を用いた。ただし、主塔計算、架設計算等においては、必要に応じて有限変位理論を用いて行なった。

また、横荷重による支点付近の面外せん断力は、部分立体トラス骨組解析で算出し、鋼床版、下横構、床トラス等に作用する断面力を求めた。

なお、図-5に解析のフローと各断面力の組合せを示す。

No	種別	解析手法	解析モデル
1	平面静解析	微小変形理論による全格点トラス骨組系平面モデル解析(鉛直荷重, 橋軸方向荷重)	
2	全体立体構モデル	微小変形理論による主構を構モデルに置換した全体立体解析(偏載荷重, 橋軸直, 角方向風荷重)	
3	梁モデル	ケーブルを無視した3径間連続梁モデルの解析(遠心荷重, 車両横荷重)	
4	地震応答解析	主構を構モデル(ケーブルを1本間引く)に置換した平面モデルによる応答解析	
5	橋軸直方向	主構を構モデル(ケーブルを1本間引く)に置換した立体モデルによる応答解析	

図-4 解析手法及びモデル

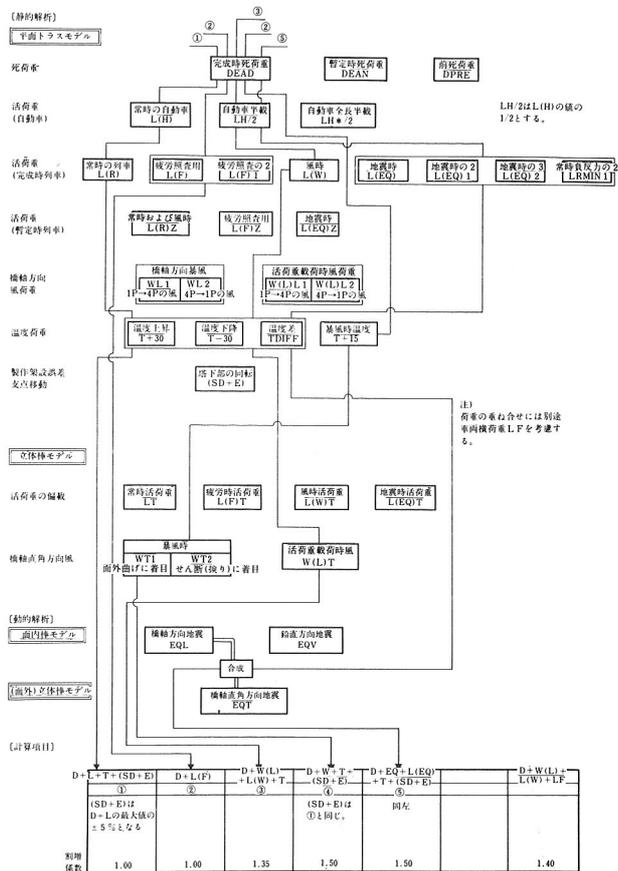


図-5 解析フロー及び断面力の組合せ

(2) ケーブルプレストレスの決定

a) 概要

斜張橋は、桁をケーブルで吊りながら架設される。この時、ケーブルの引込量を調整することにより桁の曲げモーメント分布、及びケーブル張力がある程度任意に設定できる。したがって、完成時死荷重応力の設定、つまり、ケーブルプレストレス量の良否が斜張橋の経済性に及ぼす影響が大きいといえる。

本橋では、後に示す条件に着目し、図-6の手順でケーブルプレストレス量を決定した。

① 主構トラスの断面力を調整し、その断面の均一化を図る。そのため、合成鋼床版を有し断面の大きな上弦材の分担割合を増し、下弦材の負担を減ずる。

② 完成4線時死荷重状態における主塔基部の曲げモーメントをゼロに近づける。

③ リンク支承に常時負反力(死荷重時に作用する軸力と反対方向の軸力が活荷重により生じる現象)が生じないように配慮する。このとき、エンドリンクに対しては、カウンターウェイトを載荷して常時負反力の発生を押えるが、タワーリンクに対しては、カウンターウェイトを

載荷する必要のないようにする。

④ 閉合部材（中央径間の中央部材）の閉合時部材力をゼロに近づける。さらに、閉合時のトラス形状が上開きの状態となるよう前死荷重完成時に上弦材側が引張、下弦材が圧縮となるようにする。

⑤ ケーブル最大断面を7φ×277本とし、ケーブルの剛性確保のため完成4線時死荷重状態においてケーブル最大張力の1/2程度以上の張力を確保する。

上記の制約条件を満足させる範囲で構造物のひずみエネルギーを最小とすることを目的としてケーブルプレストレス量を決定した<sup>1)</sup>。

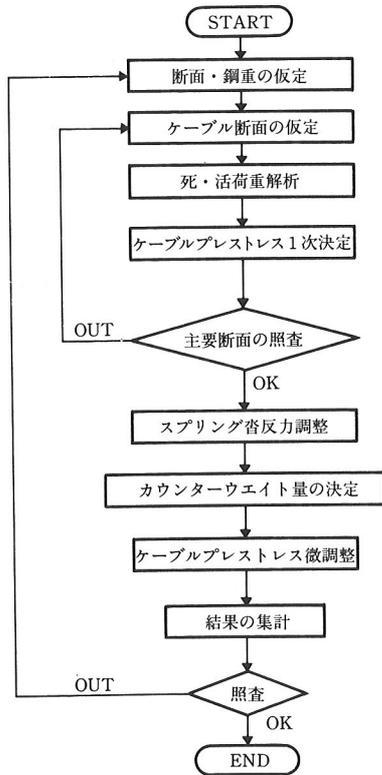


図-6 ケーブルプレストレスの決定手順

b) 主構トラスの断面力

完成4線時の主構トラスの断面力を図-7に示す。図中に矢印で示した軸力範囲は、疲労照査に用いる振幅を示す。

(3) 上弦材の設計方針

a) 軸応力の算出

本橋は、鋼床版が主構上弦材の上フランジと一体となっており、格点で導入されるケーブル張力が徐々に鋼床版に広がっていく合成鋼床版構造である。したがって、鋼床版の有効幅のとり方がケーブルプレストレス量、さらに経済性にも大きな影響を与えるといえる。この有効幅については文献2)において検討結果と簡易算定法が報告されているが、本橋の設計時では、図-8および式(1)の方法で、上弦材軸力を算出した。

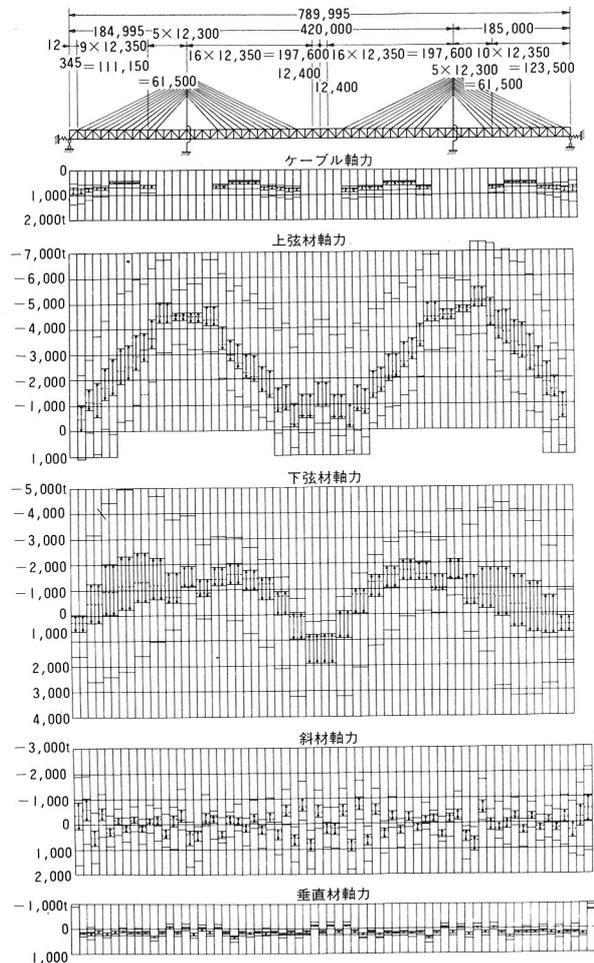


図-7 主構トラスの断面力図

$$\sigma = \frac{N_2}{A_2} + \frac{\Delta N_1}{A_1} + \frac{\Delta N_0}{A_0} \quad (1)$$

ここに、

- $N_2$  : 2パネル前の軸力
- $\Delta N_1$  : 1パネル前の格点の軸力差
- $\Delta N_0$  : 着目パネルの格点の軸力差
- $A_2$  : 弦材+鋼床版（全幅有効）の断面積
- $A_1$  : 弦材+鋼床版（半幅有効）の断面積
- $A_0$  : 弦材のみの断面積

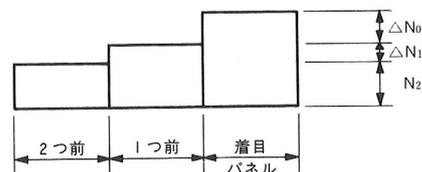


図-8 上弦材軸力

b) 立体解析による照査

上記の応力算出法を照査するために図-9に示す立体

トラスモデルによるFEM解析を行なった。

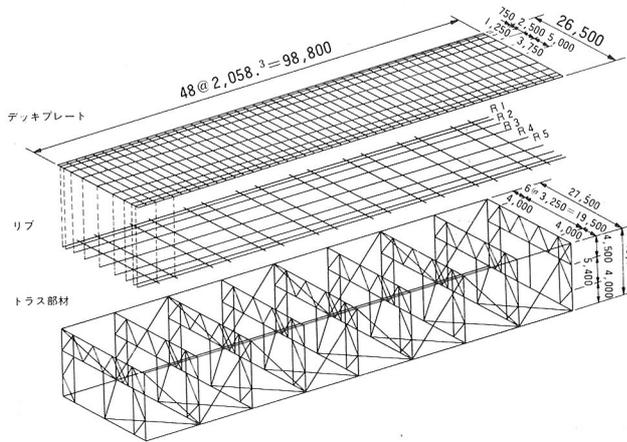


図-9 立体モデル

図-10に格点に作用する軸力(ケーブル張力)による鋼床版応力分布を示す。この図より明らかな様に、ある格点に作用した軸力は、そのパネルにおいては上弦材付近にしか分布せず、2パネル目からはほぼ一様に分布している。したがって、前述の式(1)によって応力を算出しても問題のないことが明らかになった。

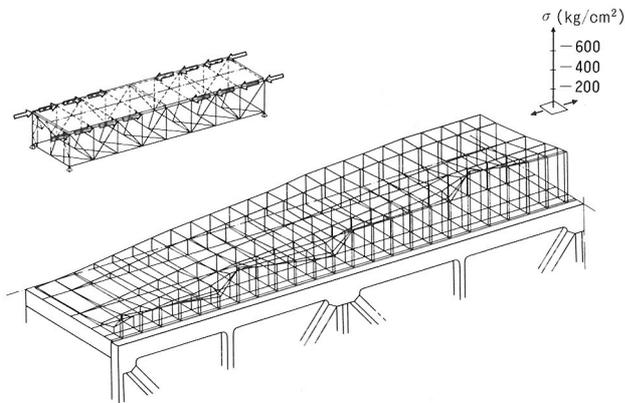


図-10 鋼床版応力分布

(4) 応力照査

上弦材の設計には以下の断面力を考慮した。

- ① 軸力
- ② 格点曲げモーメント(平面解析より算出)
- ③ 偏心曲げモーメント(格点での軸力差による曲げモーメント)
- ④ 縦桁曲げモーメント(床組解析により算出)

ただし、格点曲げモーメントによる応力は、2次応力であるので足し合せには10%の割増しを考慮した。

(5) 疲労照査

主構下弦材は、繰り返し載荷される列車荷重により交番応力が発生し、疲労に対して厳密な照査が必要となる。照査は、「国鉄建造物設計標準解説」に示される式で行なった。

なお、図-11に下弦材の設計断面と疲労上必要な断面の比較図を図-12に疲労設計に関する溶接継手分類図を示す。

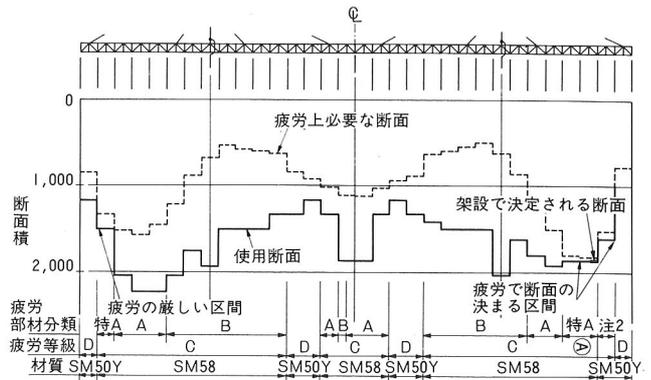


図-11 疲労に関する断面比較

応力の種類	継手の種類	等級分類			備考	適用箇所			
		種別	仕上の有無	等級					
引張圧縮	E: この継手の特殊区間 E = r + 100mm		有	SS41, SM41 SM50Y	A	裏溶接及び放射線検査を行った完全溶込みグループ溶接の母材及び溶着金属表面は単に仕上げる(注1)	上弦材の一部下弦材斜材垂直材のバット溶接		
			有	SM58	B, C			トラスの切抜きガセットでワイヤード部に接する縦ビード溶接のある母材	下弦材の主構ガセット垂直材トラス取付部
			有	B, C	C				
引張圧縮	溶かして仕上げる		無	C(注2)	ダイヤグラムを取付けた場合の母材	下弦材のダイヤグラム			
			有	A, B			一体で切出したガセットを持つ母材(注1)	上弦材主構ガセット下弦材塔柱部斜バット中間バットフランジ	

注1 切断面のあさは50μ以下とする。  
注2 ビード形状、非端形状が特にならぬ場合、製作時には溶接施工試験で確認すること。  
C, DのEは設計図上明記すること。

疲労部材分類  
特A:  $0.7 \leq \frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}}$  あるいは  $0.85 \leq \frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}}$   
A:  $0.5 \leq \frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}} < 0.7$  あるいは  $0.6 \leq \frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}} < 0.85$   
B:  $\frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}} < 0.5$  あるいは  $\frac{\sigma_F}{\sigma_{F0.2}} < 0.6$   
ここに  $\sigma_F$ : 疲労応力範囲  
 $\sigma_{F0.2}$ : 角溶接の疲労許容応力範囲  
 $\sigma_{F0.2}$ : グラウト溶接の疲労許容応力範囲

図-12 疲労に関する継手分類

(6) 主横トラス断面

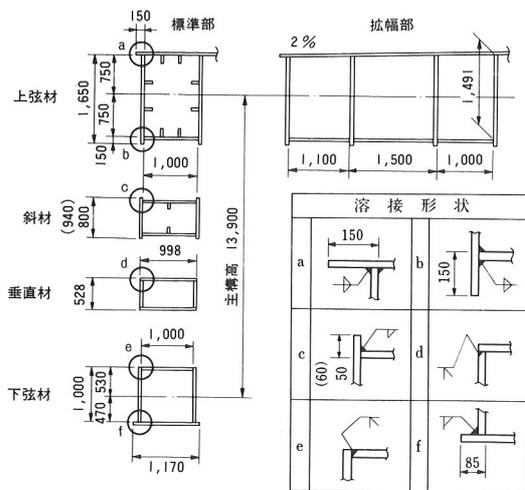
図-13に主横トラスの断面形状を示す。

(7) 格点構造

格点構造の決定には以下の様な項目を考慮し表-4, 表-5の検討を行なった。

- ① 道路、鉄道併用橋のため、疲労上問題のない構造とする。
- ② 溶接、製作等に問題のない構造とする。

- ③ 架設,維持管理上問題のない構造とする。
- ④ ガゼットの局部座屈等を考慮し, 適当な面外剛性を確保する。



部材	最大断面	最小断面
上弦材 (標準部)	1- $\text{E. } 1,570 \times 16$ 2- $\text{E. } 1,620 \times 34$ 1- $\text{E. } 1,000 \times 32$ $A=1,917 \text{ cm}^2$ (SM50Y)	1- $\text{E. } 1,570 \times 14$ 2- $\text{E. } 1,620 \times 22$ 1- $\text{E. } 1,000 \times 14$ $A=1,317 \text{ cm}^2$ (SM50Y)
斜材	2- $\text{E. } 940 \times 38$ 2- $\text{E. } 1,000 \times 36$ $A=1,434 \text{ cm}^2$ (SM50Y)	2- $\text{E. } 800 \times 16$ 2- $\text{E. } 1,000 \times 19$ $A=636 \text{ cm}^2$ (SM41)
垂直材	2- $\text{E. } 898 \times 50$ 2- $\text{E. } 998 \times 50$ $A=1,896.0 \text{ cm}^2$ (SM50Y)	2- $\text{E. } 480 \times 24$ 2- $\text{E. } 998 \times 24$ $A=709.4 \text{ cm}^2$ (SM41)
下弦材	1- $\text{E. } 1,000 \times 52$ 2- $\text{E. } 1,000 \times 55$ 1- $\text{E. } 1,170 \times 52$ $A=2,228.4 \text{ cm}^2$ (SM58)	1- $\text{E. } 1,000 \times 28$ 2- $\text{E. } 1,000 \times 28$ 1- $\text{E. } 1,170 \times 28$ $A=1,167.6 \text{ cm}^2$ (SM50Y)

図-13 主構断面形状

表-4 腹板とガゼットの連結方法の比較

形式	形状	長・短所
さし込み形式		<ul style="list-style-type: none"> <li>○疲労上問題はない。</li> <li>×架設時の腹材のさし込みが, クリアランスより難しい。</li> <li>○腹材を深くさし込めば, ガゼットの面外剛性は確保できる。</li> </ul>
突合せ形式	フランジのみ連結	<ul style="list-style-type: none"> <li>○疲労上問題はない。</li> <li>×ガゼットの局部座屈が問題となる。</li> <li>×ガゼットの面外剛性を確保できない。</li> <li>○架設時の部材さし込みがない。</li> </ul>
	フランジとウェブを連結	<ul style="list-style-type: none"> <li>×ガゼット間に腹材ウェブの控え板を溶接するため, 疲労上, 問題がある。</li> <li>○ガゼットの面外剛性が優れている。</li> <li>△部材端部の合わせに注意する必要がある。</li> </ul>

表-5 腹材の材端形状の比較

形式	形状	長・短所
材端部でウェブを2枚から1枚に変化させる。		<ul style="list-style-type: none"> <li>×曲げ加工, 溶接加工等が複雑で製作しづらい。</li> <li>×応力集中箇所があり, 疲労に対してやや問題有り。</li> <li>×フランジに局部座屈の生じやすい箇所がある。</li> <li>○メンテナンス上は良い構造といえる。</li> </ul>
材端部の断面も箱断面とし, ウェブを切欠きハンドホールとする。		<ul style="list-style-type: none"> <li>○製作上問題はない。</li> <li>○構造上, 切欠きの形状に注意すれば疲労上問題も少ない。</li> <li>○剛性が高く局部座屈に対して耐荷力が高い。</li> <li>×水, ごみがたまりやすく, メンテナンス上問題有り。</li> </ul>

上記の検討より, 格点構造については以下の通りとした。

- ① 腹材の材端形状は箱断面とする。
- ② 垂直材はさし込み式とし, ガゼットの面外剛性を確保する。
- ③ 斜材は, 現場架設の箇所があるため施工上から突合せ形式とする。ただし, 疲労を考慮して腹板の連結を行わない構造とする。

#### 4. 床トラスの設計

##### (1) 設計方針

##### a) 床トラスの構造系

床トラスは, 一般のトラス橋の対傾構としての役割とともに, 自動車荷重, 列車荷重を直接受ける床組としての役割ももっている。また, 端支点部, 塔柱部の床トラスは, 全ての横荷重をウィンクダを介して下部工へ伝達する役割も担っている。

床トラスの構造系は, 軸力部材と曲げ部材からなる骨組構造物であり, 鉛直荷重に対する支点は, 主構斜材との交点とする。その時, 図-14に示すように, 主構斜材の交点の位置により上支点系, 下支点系の2種類の構造系を考える。

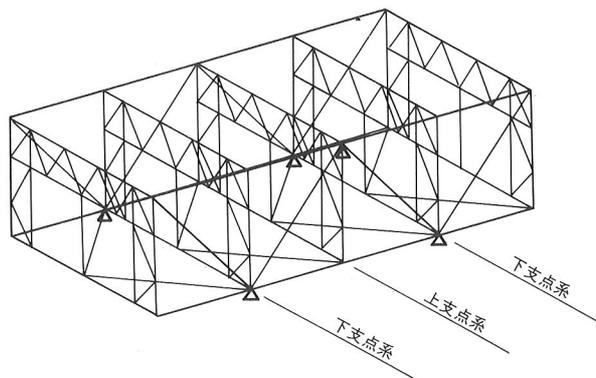


図-14 構造系概要図

##### b) 床トラスの区分

1P~2P間には, 線形上の曲線区間があるため, 荷重が偏載される。また, 列車の建築限界より, 1P側端部付近では骨組自体が変化してくる。3P~4P間についても, 主構上弦材が拡幅し, ケーブル定着点が標準部床トラスよりも外側につく構造となる。そのためケーブル張力の橋軸直角分力が, 主構上弦材側から作用してくることになる。

以上の区分の他に, 前項でふれたように横荷重を伝達する床トラス等を合わせると, 以下の7種類に区分される。

- ① 標準部床トラス
- ② 曲線部床トラス

- ③ 拡幅部（ケーブル定着有り）床トラス
- ④ 拡幅部（ケーブル定着なし）床トラス
- ⑤ 塔柱部床トラス
- ⑥ カウンターウェイト部床トラス
- ⑦ 端部床トラス

以上は、供用時の荷重に対しての構造系であるが、架設時についても下記の項目に対して検討を行なった。

- ① クレーンによる塔、または面材架設時
- ② 大ブロック形状での海上輸送時
- ③ 斜ペント支持状態
- ④ 仮支承、またはジャッキアップ時（端部）

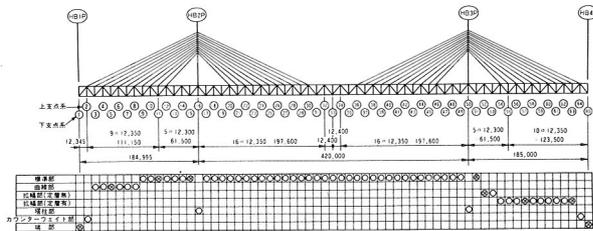


図-15 床トラスの解析

(2) 床トラスの解析

a) 標準部材トラスの構造系

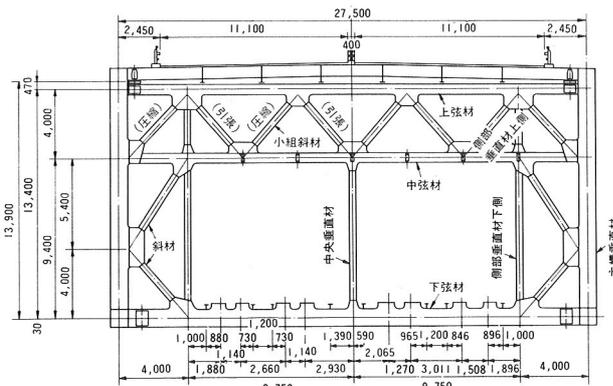


図-16 床トラスの構造

b) 設計断面力

床トラスの面内解析は、微小変形理論による平面骨組解析により行なう。その他に、表-6に示す断面力を算出し、応力度の足し合せを行なう。

c) 標準部床トラスの断面設計

前記の断面力により、断面設計を行なった結果を図-17に示す。この中で、下弦材については、疲労設計により決定されている。

表-6 床トラス設計断面力

部材	断面力	概要図
上弦材 小組斜材	道路縦桁が剛結されており、自動車荷重が偏載することによって生じる断面力。 上弦材-ねじりモーメント 小組斜材-面外曲げモーメント	
下弦材	横構としての断面力。 横荷重及び、活荷重偏載による主桁の捩りから算出される。	
下弦材	ロングレール縦荷重、制・始動荷重等水平力が鉄道縦桁支承位置に作用することにより生じる面外曲げ及び捩り。	
下弦材	主構下弦材の軸変形に伴う床トラス下弦材の面外曲げモーメント。	

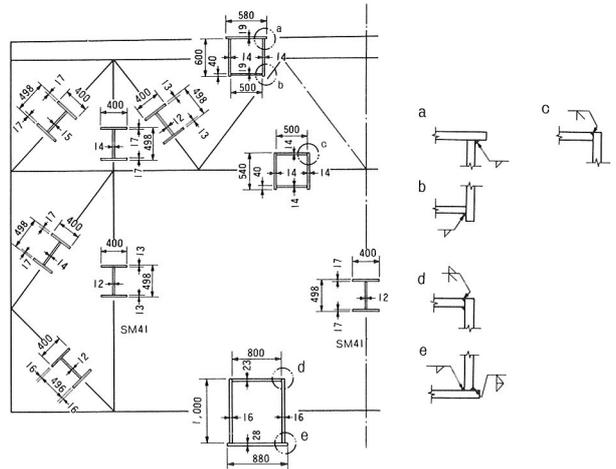


図-17 床トラス断面形状

5. 道路床組の設計

(1) 設計方針

道路床組（鋼床版）は、主構上弦材と合成されており、デッキプレート、6本の縦桁及び、床トラス間を6分割する位置に配置された横リブから構成されている。

縦桁、縦リブの配置は、図-18に示す通りである。また、各部材の設計荷重と解析モデルを表-7に示す。

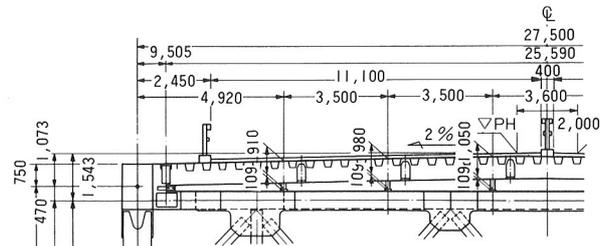


図-18 道路床組構造図

表-7 設計荷重及び解析モデル

	設計荷重	解析手法	解析モデル
鋼床版	T-20, TT-43	直交異方性版理論	縦桁間を支間とし、デッキプレートと縦リブで構成される異方性版
横リブ	T-20, TT-43	平面格子解析	縦桁と横リブで構成された3径間連続格子桁
縦桁	L-20, TT-43 等価L荷重	平面格子解析	縦桁と横リブで構成された5径間連続格子桁

(2) 断面設計

a) 主構応力との足し合せ

前項の解析より得られた応力度と主構上弦材としての応力度を足し合わせる。道路橋示方書では、床組と主桁との作用応力を重ね合わせる場合には、許容応力度を40%割増しができる。しかし、本橋では、鉄道併用橋のため主構応力に占める列車荷重の割合が大きいため、従って主構応力との足し合せには、式(2)を用いた。

$$\sigma_{LR} + \frac{1}{1.4} (\sigma_T + \sigma_{ST} + \sigma_D) \leq \sigma_{cal} \quad (2)$$

ここに、

- $\sigma_{LR}$  : 列車荷重による主構上弦材応力度
- $\sigma_T$  : 列車荷重以外による主構上弦材応力度
- $\sigma_{ST}$  : 縦桁上フランジとしての応力度(L荷重)
- $\sigma_D$  : 鋼床版としての応力度(T荷重)
- $\sigma_{cal}$  : 局部座屈を考慮した鋼床版の許容応力度

b) 主構上弦材との取り付け部の設計

主構上弦材の格点での軸力差は、せん断応力として鋼床版に流れていくと考えられる。従って、上弦材との取り付け部は軸応力度、せん断応力度及び合成応力度に対して照査を行なう。なお、連結方法は、大ブロック部は溶接、面材架設部はHTB締めとした。

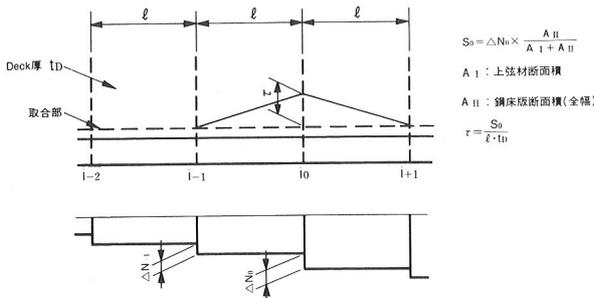


図-19 主構上弦材との取り付け部の設計

(3) 道路床組の連結

道路床組の主構への連結方法は、合成鋼床版のため、主構との間の伸縮量のズレが少ないこと、維持管理を考慮して床トラス上弦材を密閉にすること等から図-20のような近接2支点的剛結構造とした。

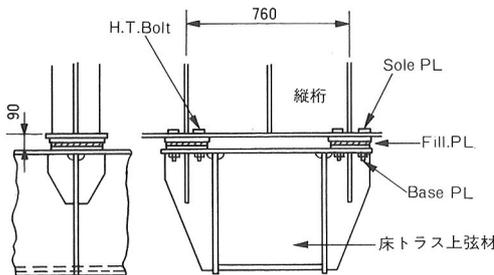


図-20 縦桁の連結

6. 塔の設計

(1) 塔面内のモデル化

塔は、ハンチ材を有する二層ラーメン構造を採用した。そのため、ハンチ材のモデル化について、FEM解析により検討を行なった。その結果、ハンチ材については以下のような扱いをした。

- ① 上部ハンチ材は、断面変化が緩やかであり、塔柱と一体と考えたモデルとする。
- ② 下部ハンチ材は、ハンチ材断面が急変すること、水平荷重に対する拘束が大きいため斜材として扱う。

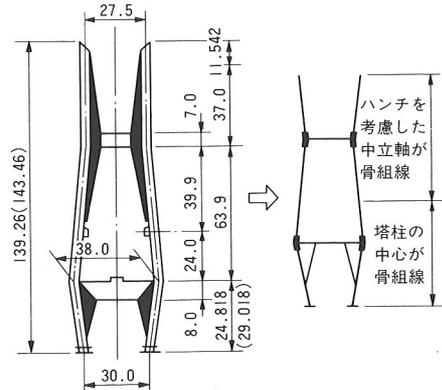


図-21 塔の解析モデル

(2) 解析モデル

主構トラスの解析より得られる断面力に上記モデルの面内解析結果を重ね合わせて断面設計を行なう。解析及び断面力の抽出は、図-22のフローの要領で行なった。

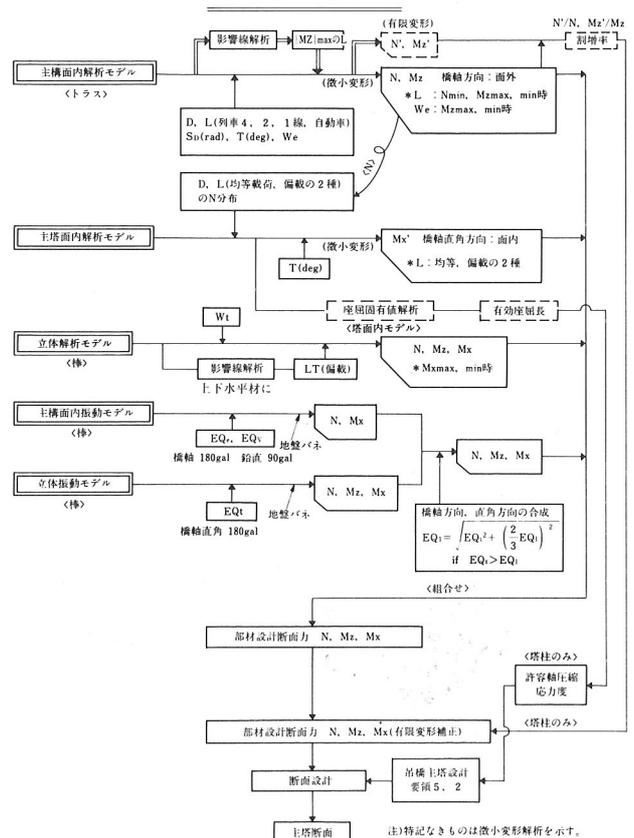


図-22 塔の設計フロー

(3) 塔断面

図-23に塔の断面形状を示す。

	板厚		材 質		リブ断面
	16		SM41		170×14
	内	外28	内	外	280×22
	32		SM50Y	SM41	(SM41)
	32	32	SM58	SM50Y	280×42
	(36)				
30 (32)		SM50Y		320×30	
34	32	SM58		320×34	
(36)	(34)			280×45	
45				340×36	

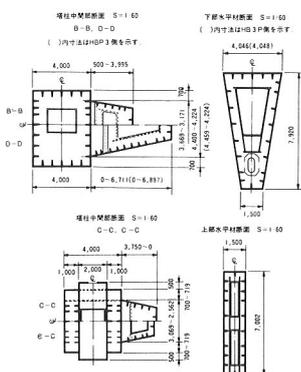


図-23 塔断面形状

7. ケーブル、鉄道緩衝桁、支脊の設計

(1) ケーブル

a) 疲労、防蝕に対する配慮

ケーブルは、活荷重載荷によるサグ変化、定着点のたわみ角によって、定着部に角度変化が生じる。そのためケーブルに2次応力が発生し、ケーブルの疲労に悪影響を与えることになる。そこで、ケーブル定着点付近にゴムを用いた角折れ緩衝装置を設けた。

また、ケーブルの防蝕に対しては、高密度ポリエチレン管の二重管でケーブルを覆い、その中に、ポリウレタン樹脂を注入する。

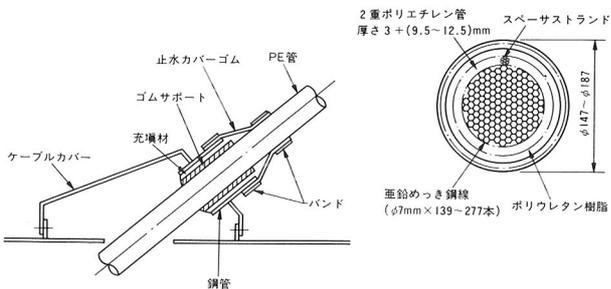


図-24 ケーブル断面、角折れ縦衝装置

b) ケーブル定着部

本橋では、2面吊りのマルチケーブルシステムとしたため、ケーブル1段あたりの定着構造を単純にでき、かつ、トラス上弦材の断面内での定着が可能となった。

定着ブロックと上弦材の接合は疲労を考慮して、ボルト接合とした。尚、桁側の定着部は固定とし、架設時のケーブル引込み、シム調整は全て塔側で行なう構造とした。また、ケーブルの定着は、疲労及び架設精度管理に有利なHi-Amアンカー形式とした。

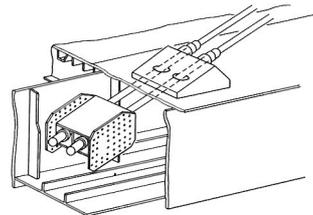


図-25 桁側ケーブル定着部

(2) 鉄道緩衝桁

桁端部では、隣接橋との間に非常に大きな伸縮量及びたわみ角の差による角折れが生じる。列車が二の間を安全に走行するためには、桁の伸縮を吸収し、角折れを分散させる機能を持つ鉄道緩衝桁の設置が必要となる。

鉄道緩衝桁は、図-26の様に角折れを分散させる渡り桁とともに、桁の伸縮を吸収する可動、伸縮桁から構成されている。なお、本橋では、常時800mm、地震時に1100mmの伸縮量を吸収できる様になっている。

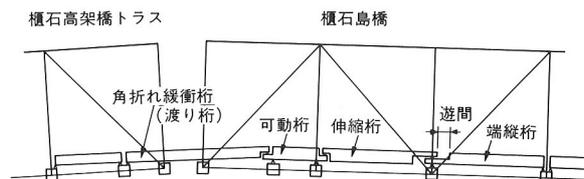


図-26 鉄道緩衝桁

(3) 支承

支承は、以下の点を考慮し構造の決定及び設計を行なった。

- ① 列車荷重による反力の変動が大きく、正負両方の反力に対して安全な構造とする。
- ② 常時荷重に対しては、反力の交番が起きない様にプレストレス、カウンターウェイトを設定する。
- ③ 上部工重量が重いこと、併用橋のため移動量が大いことから固定支点を設けた場合、下部工の負担が大きすぎる。そのため、弾性固定方式を採用する。

以上の点を考慮して、各反力に対して図-27の様に支承を選定した。また、図-28に各支承の概要、表-8に各支承反力を示す。

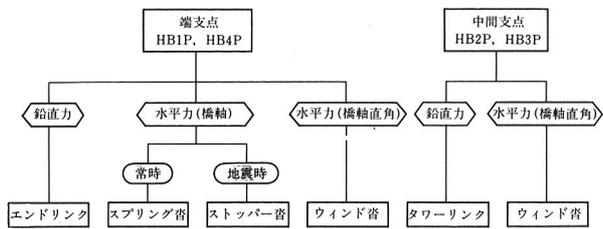


図-27 支承の選定

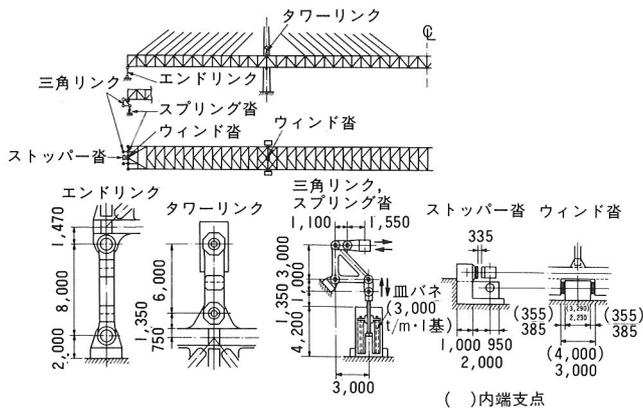


図-28 支承概要図

表-8 支承反力

	エンドリング	タワーリンク	三角リンク	ストッパー塔	ウィンド塔(端)	ウィンド塔(端)
Rmax	2,647	3,187	702	1,500	2,365	1,541
Rord	1,878	2,279	427	—	—	—
Rmin	-1,291	-134	-609	—	—	—

Rord 常時反力

8. 架設工法

図-29に架設工法の概要を示す。なお、現時点(昭和61年1月)での進捗状況は、STEP-4, 5付近である。

9. あとがき

櫃石島橋の設計の概要について述べてきたが、紙面の都合上十分説明のいきとどかなかった面もある。しかしながら、本文が今後の斜張橋、鉄道併用橋等の設計の参考になれば幸いである。

現在、本橋は桁大ブロック架設、及び塔の架設がほぼ終了し、今後、桁の面材架設、ケーブル架設に入る段階となっている。

最後に本橋の設計にあたり、御指導を賜った本四公団第二建設局、児島工事事務所、第四、第五工事区の方々並びに共同企業体のメンバーである三菱重工業(株)、日本鋼管(株)、(株)宮地鐵工所、日本橋梁(株)の関係各位に深く感謝の意を表わします。

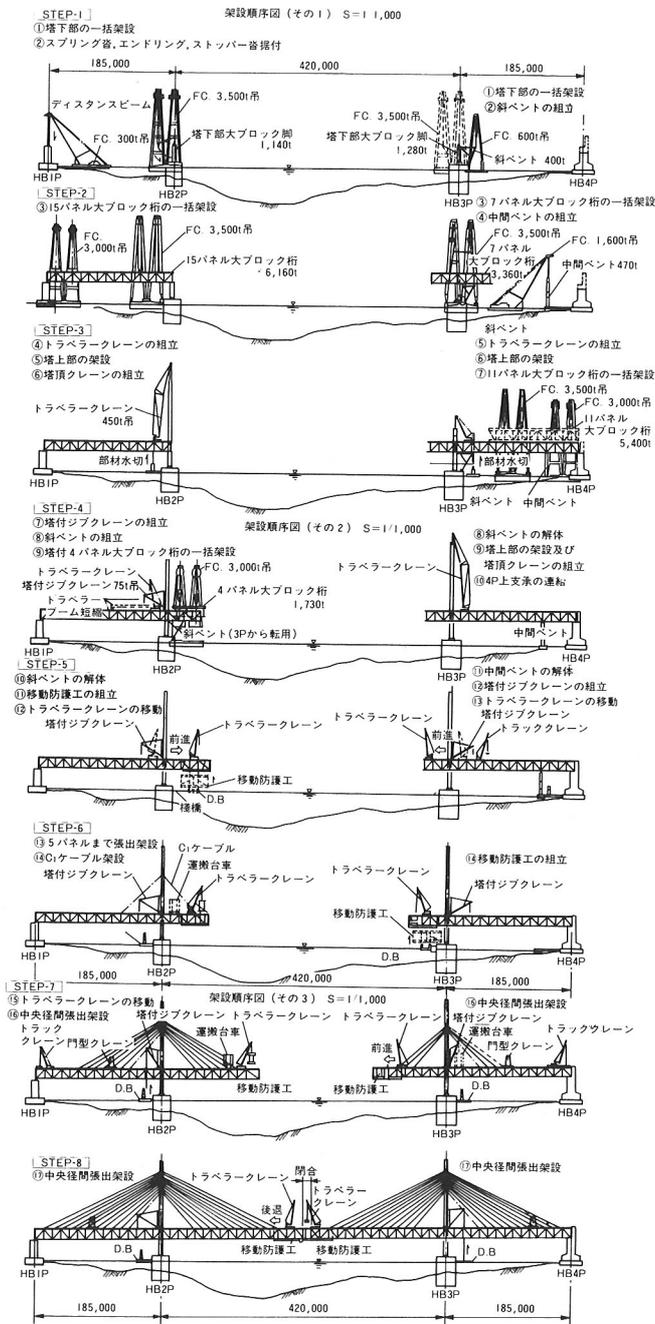


図-29 架設概要図

参考文献

- 1) 山田・古川・江草・井上：斜張橋ケーブルの最適プレストレス量決定に関する研究，土木学会論文集，No. 356/I-3, 1985,
- 2) 本州四国連絡橋公団編：櫃石島橋詳細設計概様書，1985.
- 3) 成井・山根・松下・八田：櫃石島・岩黒島鉄道併用斜張橋の設計，橋梁と基礎，Vol.15, No. 1, 1981,
- 4) 保田：併用橋としての斜張橋，橋梁と基礎，Vol.19, No. 8, 1985,