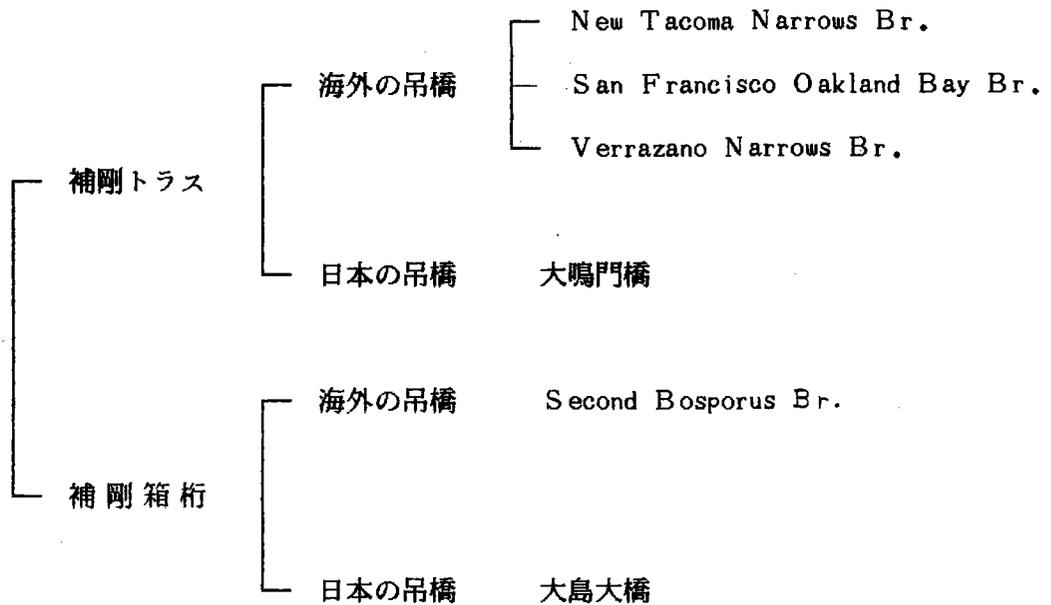


第5章 吊 橋

§ 1. 序

吊橋グループは、日本と海外の吊橋の実施例について設計的な比較、検討を行った。吊橋型式の大分類として、補剛桁がトラスと箱桁の場合の2型式に分け、次の吊橋についての資料を集めた。

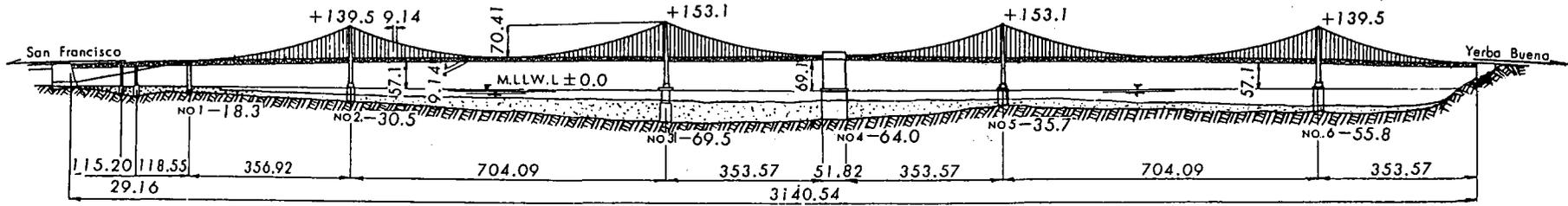


それぞれ代表選手を1橋選ぶつもりであったが、トラス補剛桁の海外事例については、1橋でその全体の把かめる事例が無かったので、上記3橋の資料を合わせて参考とした。

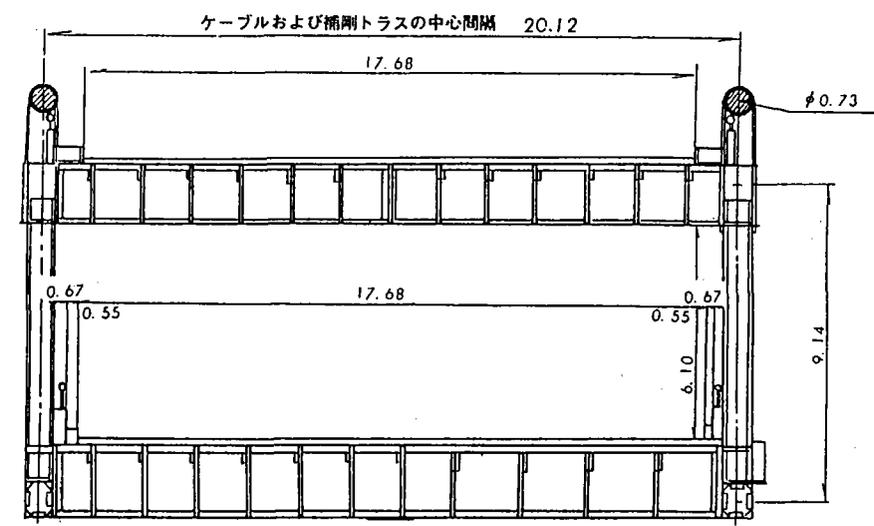
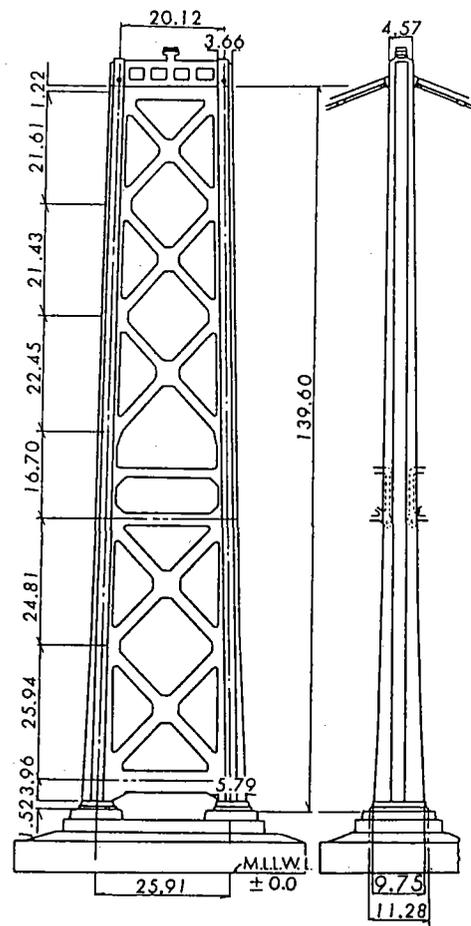
資料としては、設計図及び一般的設計諸元値を得られたが、設計計算書の詳細は、海外のものについては入手する事が出来なかったため、雑誌等に報告されたものから情報を得た。

これらの資料から、一般図及び設計諸元表を作り、次に示す。

そして、設計細部構造として、主塔、ケーブル、吊構造（補剛トラス）、吊構造（補剛箱桁）、支承、伸縮装置等について吊橋特有な点に着目し、細部にわたっての比較検討を行ったが、これらの中から特に特徴のある構造例を選んで、内外の比較検討の形で以下に報告する。これらの事例検討が少しでも吊橋技術の向上に役立てば幸いである。

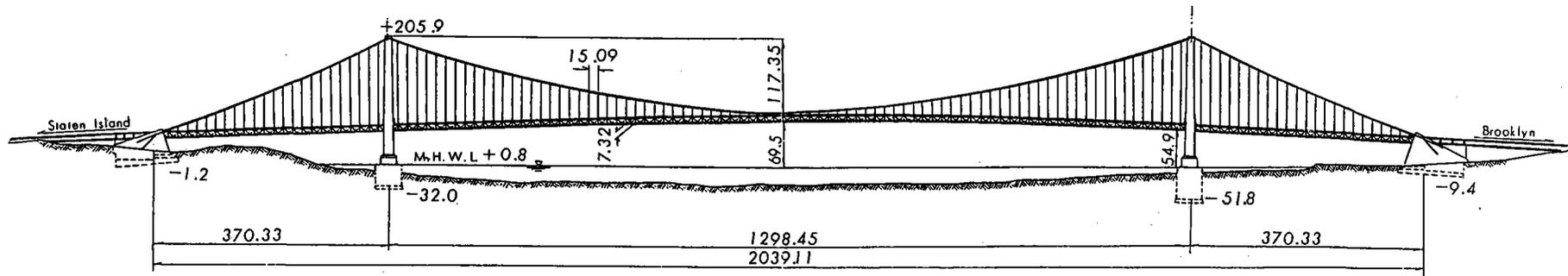


サイドスパン比: 0.51
サグ比: 1/10

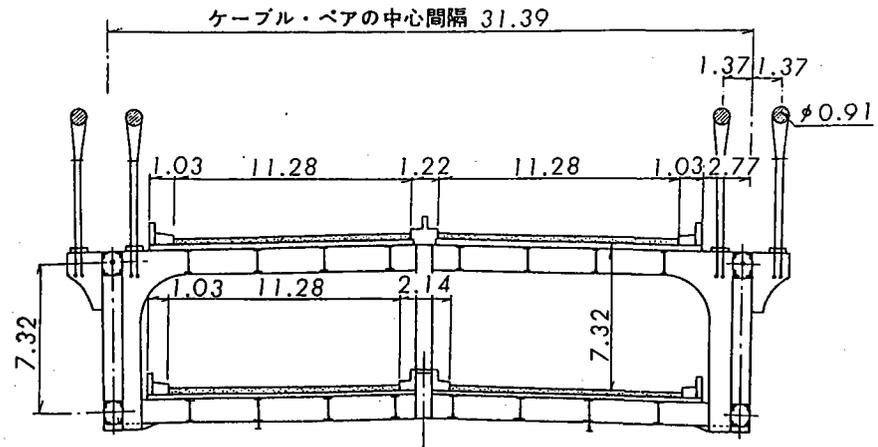
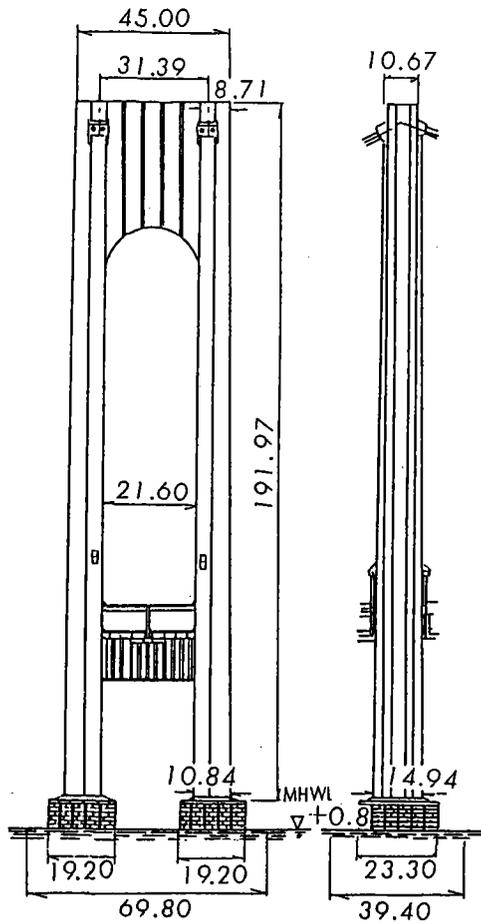


出典: 吊橋資料集 昭和49年1月 本州四国連絡橋公団 単位 m

2.2 San Francisco Oakland Bay Br.



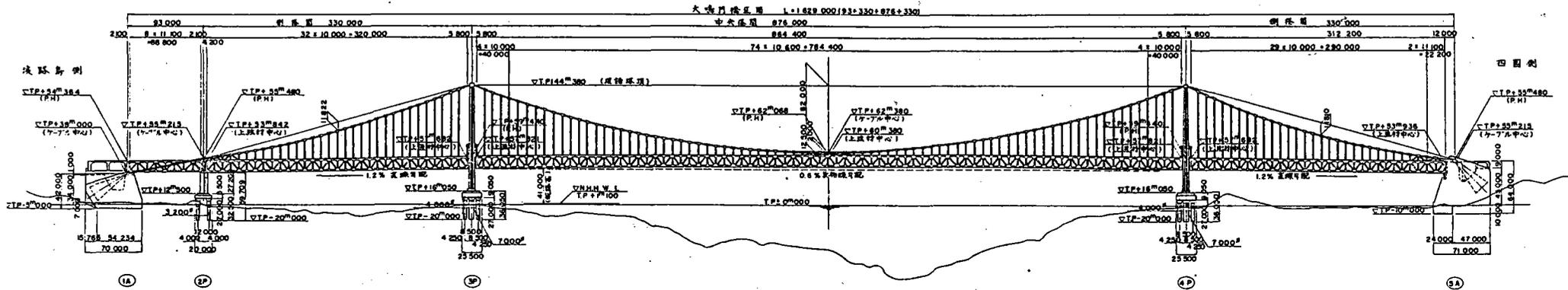
サイドスパン比 : 0.29
 サグ比 : 1/11.1



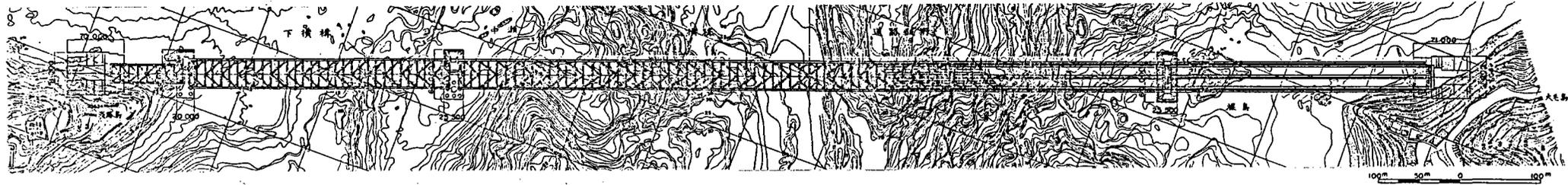
出典 : 吊橋資料集 昭和49年1月 本州四国連絡橋公社

単位 m

2.3 Verrazano Narrows Br.



平面圖 1:12 000



橫斷面圖 1:12 000 主塔 1:1 000 側塔 1:1 000

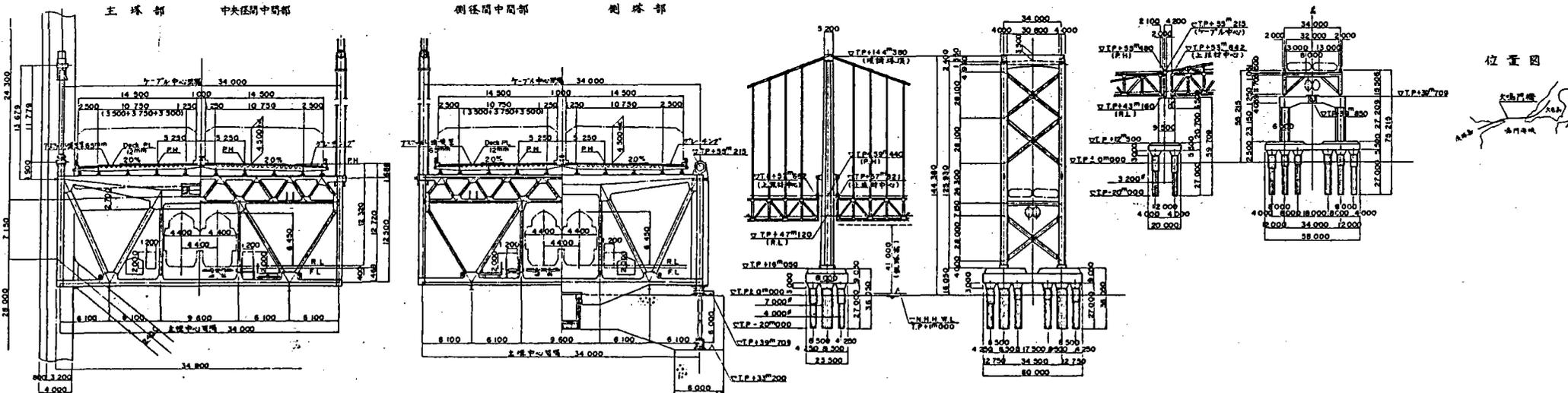
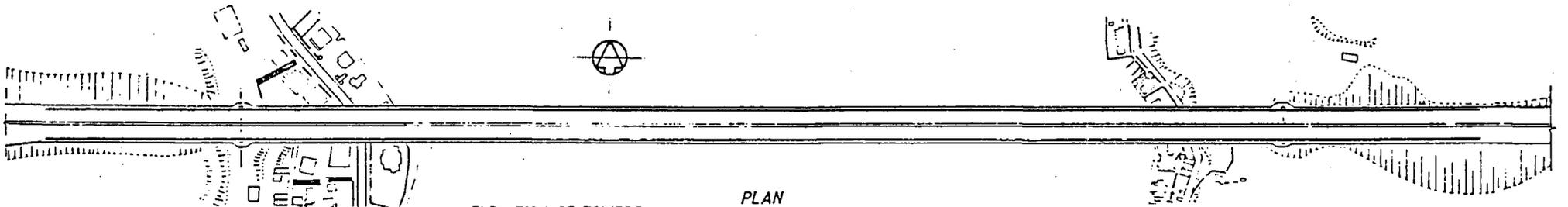
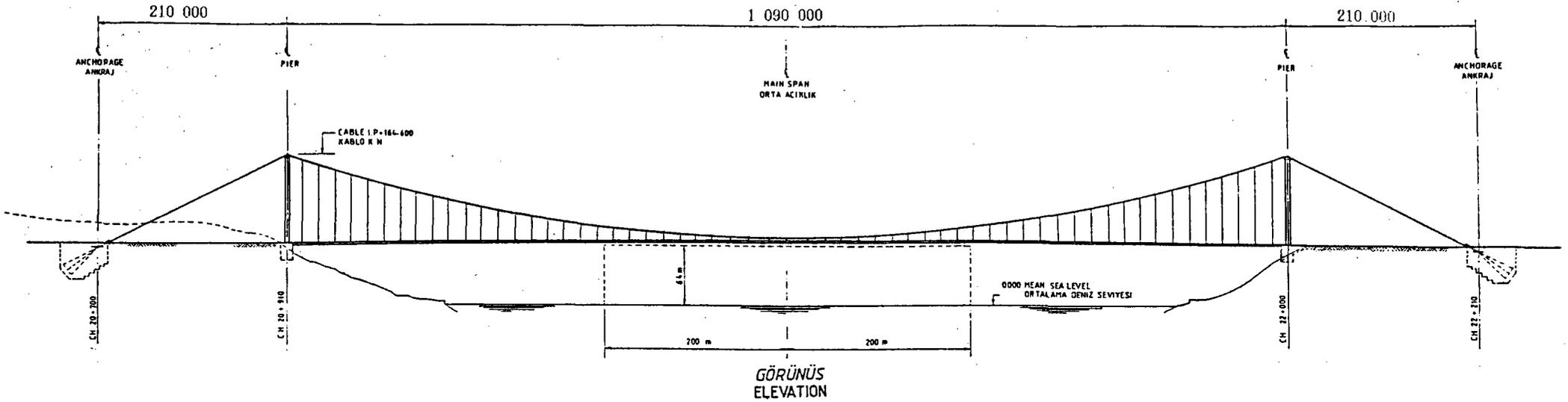


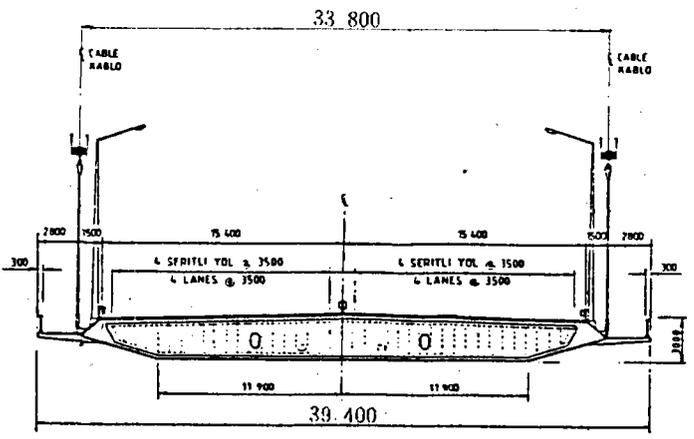
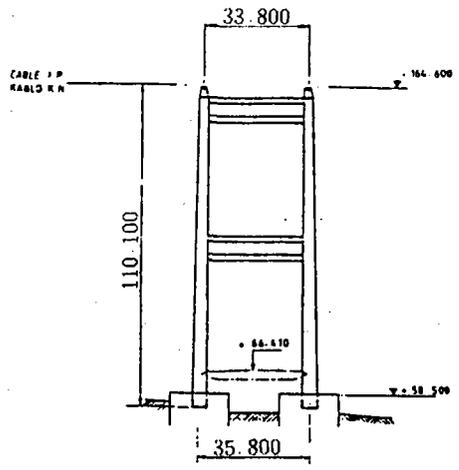
圖 2.4 大鳴門橋



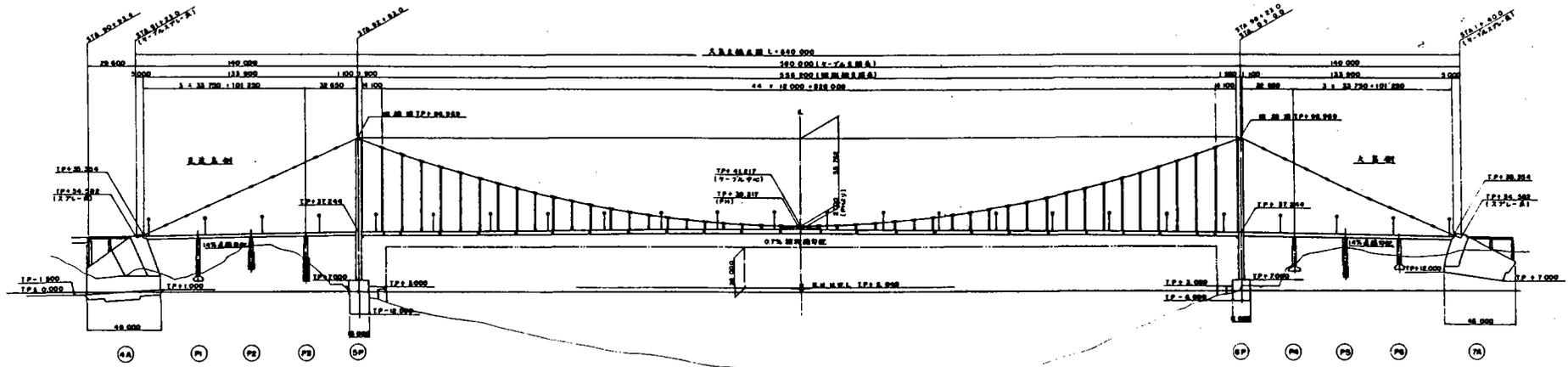
ELEVATION OF TOWERS

PLAN PLAN

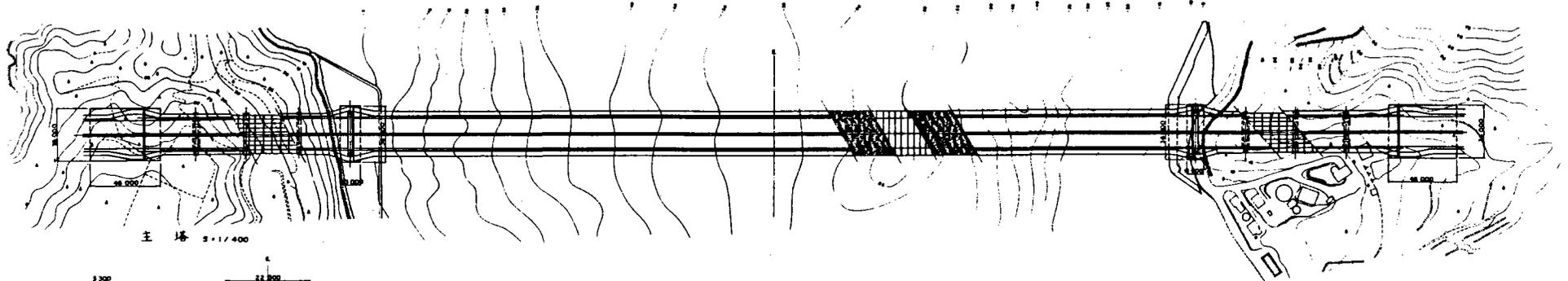
SECTION THRO' SUSPENDED DECK



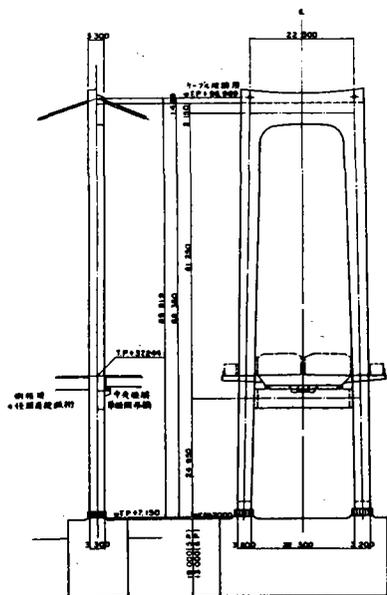
側面図 3-1/1000



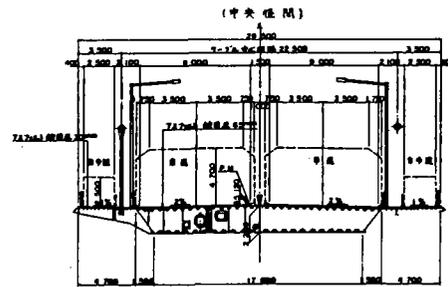
平面図 3-1/1000



主塔 3-1/400



断面図 3-1/150



アンカーレージ 3-1/500

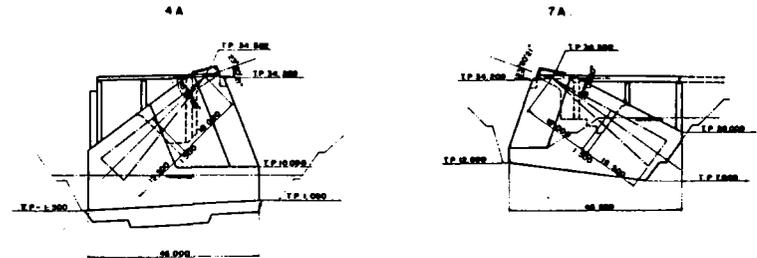


図 2.6 大島大橋

§ 3 設計諸元表

表 3.1 設計諸元表 (その1)

項 目		基 本 事 項				
橋 名	New Tacoma Narrows Bridge	San Francisco Oakland Bay Bridge	Verrazano Narrows Bridge	大 鳴 門 橋	Second Bosphorus Bridge	大 島 大 橋
架 設 地	アメリカ ワシントン州 タコマ市 (タコマ海峡)	アメリカ カリフォルニア州 サンフランシスコ市 (サンフランシスコ湾)	アメリカ ニューヨーク州 ニューヨーク市 (ハドソン河口)	日 本 淡路島～大毛島 (鳴門海峡)	トルコ (ボスポラス海峡)	日 本 大島～伯方島 (瀬戸内海)
着工年月 完工年月	1948. 4 1950. 10	1933. 6 1936. 11	1960. 1 1964. 11	1976. 7 1985. 6	1985. 5 1988 予定	1981. 3 1988 予定
形 式	3 径 間 2-ヒンジ吊橋	3 径 間 2-ヒンジ吊橋	3 径 間 2-ヒンジ吊橋	3 径 間 2-ヒンジ吊橋	単 径 間 ボックス吊橋	単 径 間 ボックス吊橋
支 間 割	補剛桁	351.04m+699.06m+351.04m 351.04m+699.06m+351.04m	346.62m+1282.2m+346.62m	320.0m+864.4m+312.2m	1090.0m	556.2m
	ケーブル	335.28m+853.44m+335.28m	356.92m+704.09m+353.57m 353.57m+704.09m+353.57m	370.33m+1298.45m+370.33m (淡路島側ボックス支間: 93m)	330.0m+876.0m+330.0m	209.82m+1090.36m+209.82m
車 線 数	上路4車線 (16.96 m) 歩道を含む	上路6車線 (17.68m) 下路6車線 (17.68m)	上路6車線 (25.85m) 下路6車線 (26.91m)	6 車 線	8 車 線	2車線 (暫定) 4車線 (完成) 自歩道含む
縦断勾配	側径間 3.0% 直線 中央径間 R=853.44 m	最大 3%	側径間 4.0% 直線	側径間 1.2% 直線 中央径間 0.6% 放物線	側径間 1.236% 直線 1.236% 直線 中央径間 R=33333.3m 1.236% 直線 側径間 1.236% 直線 R=15000 m	0.7% 放物線
横断勾配				2.0% 直線	2.0% 直線	2.0% 直線
航 路 高	58.348 m			41.0 m	64.0 m	26.0 m
道路床版形式	鉄筋コンクリート グレーチング	上路 軽量コンクリート 下路 普通コンクリート	鋼 格 子	鋼 床 版	鋼 床 版	鋼 床 版
道路舗装厚			アスファルト舗装 5.1cm	アスファルト舗装 6.5 cm	アスファルト舗装 3.8 cm	アスファルト舗装 6.5 cm
備 考						

表 3.2 設 計 諸 元 表 (その 2)

項 目		設 計 諸 元					
橋 名		New Tacoma Narrows Bridge	San Francisco Oakland Bay Bridge	Verrazano Narrows Bridge	大 鳴 門 橋	Second Bosporus Bridge	大 島 大 橋
死 荷 重	ケ ー ブ ル 係		6.96 t/m	17.25 t/m	側径間 8.84 t/m 中央径間 8.46 t/m 側径間 8.84 t/m		中央径間 2.482 t/m バックステイ 2.478 t/m
	吊 構 造 部		21.02 t/m	35.29 t/m	側径間 29.70 t/m 中央径間 29.58 t/m 側径間 29.74 t/m		14.504 t/m
	計	12.91 t/m	27.98 t/m	52.54 t/m	側径間 38.54 t/m 中央径間 38.04 t/m 側径間 38.58 t/m		中央径間 16.986 t/m バックステイ 2.478 t/m
	そ の 他			高欄, 分離帯, 排水管 2.52 t/m	後死荷重 側径間 0.72 t/m 中央径間 1.47 t/m		0.831 t/m
活 荷 重	床 組	車 道	分布荷重 自転車道 : 0.488t/m ² 軌 道 : 1.49t/m 合 計 : 10.42t/m	車 道 : 7.14 t/m	TL-20 橋軸方向 1台 直角方向 制限なし TT-43 橋軸方向 1台 直角方向 2台 他は T-20	線荷重 : 63.841(t/cable)	
		自転車道 歩 道	集中荷重				自転車・歩道 : 0.366 t/m ²
	塔 ケー ブル 補剛桁	車 道	上 路 : 15ntトラック 下 路 : 40ntトラック		線 荷 重 50.513 t/片側 等分布荷重 1.899 t/片側		等分布荷重 : 2.277 (t/m/cable)
		自転車道 歩 道			120 kg/m ² の等分布荷重		
備 考							

表 3.3 設 計 諸 元 表 (その3)

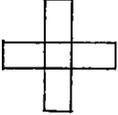
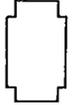
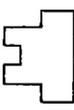
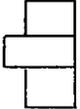
項 目			設 計 諸 元						
橋 名			New Tacoma Narrows Bridge	San Francisco Oakland Bay Bridge	Verrazano Narrows Bridge	大 鳴 門 橋	Second Bosporus Bridge	大 島 大 橋	
補 剛 ト ラ ス	支 間 長	側 径 間		351.04 m	346.62 m	320.0 m 312.0 m	—————	—————	
		中 央 径 間		699.06 m	1282.20 m	864.4 m	1090.0 m	556.2 m	
	側 径 間 比			0.50	0.27	0.37 0.36	—————	—————	
	主 構 格 間 長		中央径間 9.42 m 側径間 9.23 m	中央径間 9.20 m 側径間 9.24 m	7.54 m	中央径間 10.0 m 側径間 10.6 m	17.920 m	12.0 m	
	主 構 高 さ		10.06 m	9.14 m	7.32 m	12.5 m	3.0 m	2.2 m	
	主 構 間 隔		18.29 m	20.12 m	30.63 m	34.0 m	33.80 m (総幅を示す)	23.7 m (暫定時) 29.5 m (完成時)	
	主 構 高 さ 中 央 支 間 長		0.0118	0.0130	0.0057	0.0145	0.0028	0.0040	
	主 構 間 隔 中 央 支 間 長		0.0214	0.0286	0.0236	0.0393	0.0310	0.0426 (暫定時) 0.0530 (完成時)	
塔	形 式		ラーメン 直塔	トラス 斜塔	ラーメン 斜塔	トラス 直塔	ラーメン 斜塔	ラーメン 斜塔	
	塔 柱 中 心 間 隔		18.29 m	頂 部 20.12 m 基 部 25.91 m	頂 部 38.20 m 基 部 40.94 m	頂 部 34.0 m 基 部 34.8 m	頂 部 33.8 m 基 部 35.8 m	頂 部 22.5 m 基 部 25.5 m	
	塔 柱 高		140.82 m	139.60 m	191.97 m	125.93 m	111.163 m	88.350 m	
	塔 柱 断 面	シャフト 断 面 形							
		橋 軸 方 向	橋 軸 方 向	頂 部	3.58 m	4.57 m	10.67 m	5.20 m	4.0 m
	基 部			5.69 m	9.75 m	14.94 m	8.0 m	4.0 m	3.30 m
	橋 軸 直 角 方 向		頂 部	3.58 m	3.66 m	8.71 m	4.0 m	3.0 m	3.20 m
			基 部	5.33 m	5.79 m	10.84 m	4.0 m	.0 m	4.40 m

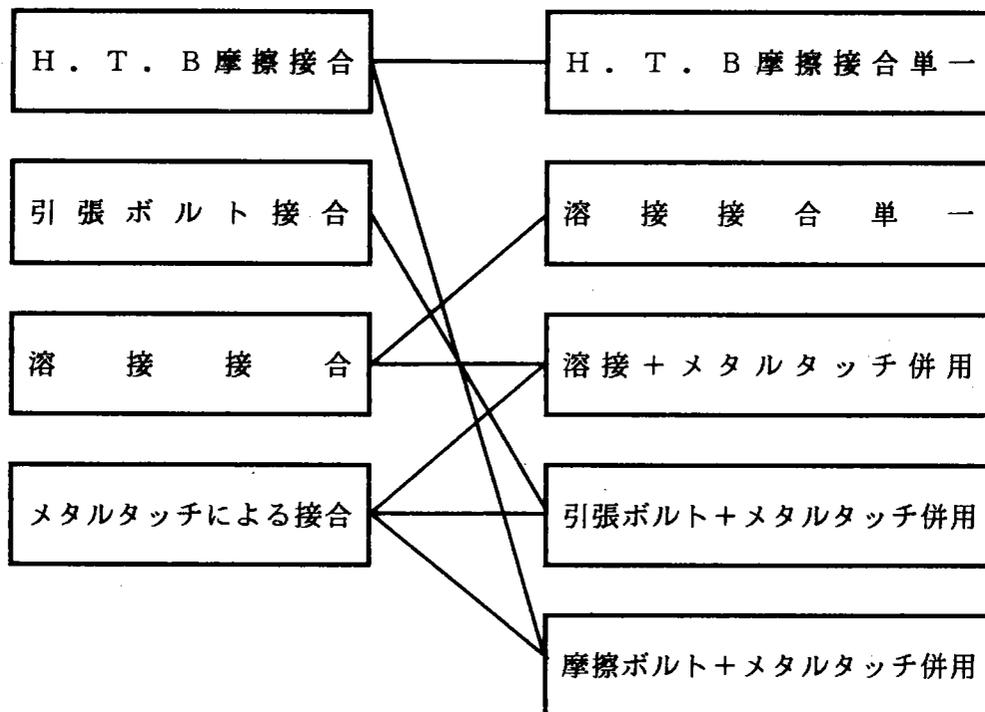
表 3・4 設 計 諸 元 表 (その4)

項 目			設 計 諸 元					
橋 名			New Tacoma Narrows Bridge	San Francisco Oakland Bay Bridge	Verrazano Narrows Bridge	大 鳴 門 橋	Second Bosporus Bridge	大 島 大 橋
主 ケ ー ブ ル	ケーブル支間長	側 径 間	335.28 m	ES.YB 353.57 m WS 356.92 m	370.33 m	330.0 m	209.82 m	140.0 m
		中央径間	853.44 m	704.09 m	1298.45 m	876.0 m	1090.36 m	560.0 m
		サグ (中央径間)	85.34 m	70.41 m	117.35 m	82.0 m	90.80 m	55.0 m
		サグ比 (中央径間)	1 / 10	1 / 10	1 / 11.1	1 / 10.5	1 / 12.0	1 / 10.0
		ケーブル 中心間隔	18.29 m	20.12 m	31.39 m	34.0 m	33.80 m	22.50 m
		ケーブル 本 数	2	2	4	2	2	2
		ケーブル径	514 mm	730 mm	911 mm	837 mm	763 mm	465 mm
		主ケーブル 1本当り構成 ストランド	19 (AS)	37 (AS)	61 (AS)	154 (PS)	37 (AS)	52 (PS)
	主ケーブル 1本当り構成 素 線 数	8705	472 × 37 = 17464	428 × 61 = 26108	127 × 154 = 19558	504 × 37 = 18648	127 × 52 = 6604	
ハン ガ ー	形 式		鉛直吊り	鉛直吊り	鉛直吊り	鉛直吊り	鉛直吊り	鉛直吊り
	ロープ径		41.9 mm	57.2 mm	55.6 mm	60.0 mm	76.0 mm	48.0 mm
	1吊点当りの 本 数		4	4	4	4	2	4
上 部 工 鋼 重	吊構造部		16 475 t	17 703 t	45 169 t	40 845 t	13 820 t	4 831 t 暫定時
	ケーブル			8 891 t	39 106 t	16 560 t	10 220 t	2 160 t
	塔			9 918 t	47 809 t	8 745 t	6 750 t	2 559 t
	合 計		26 265 t	36 512 t	132 084 t	66 150 t	30 790 t	9 550 t 暫定時

§ 4 . 特徴のある構造の比較

4-1. 塔柱の部材継手方法

吊橋の主塔は一般に、高さ、断面寸法、使用板厚、共に大寸法となる。したがって、製作、輸送、架設の条件から、水平継手及び鉛直継手が設けられる。塔柱の現場継手の方法としては、下記4つの基本的方法と、それらの組合せによる方法が用いられる。



塔柱水平継手は極めて高い高所作業となるので、現場溶接継手は避ける傾向にある。一方H.T.B継手は、施工性の点では良いが、使用板厚が厚い為、ボルト本数が非常に多くなり、塔全体の外観に少なからぬ悪影響を与える。この点を改善する為、塔柱の作用力が圧縮力卓越である事を利用し、メ

タルタッチ接合の手法がいろいろな設計思想の中で活用されている。

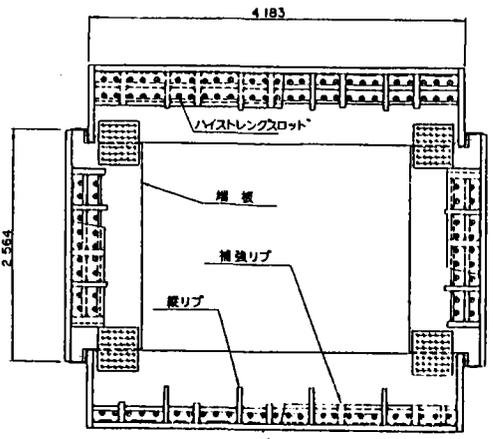
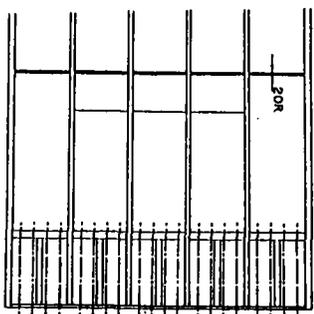
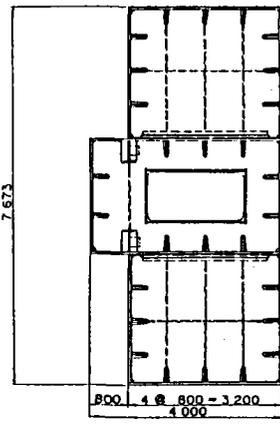
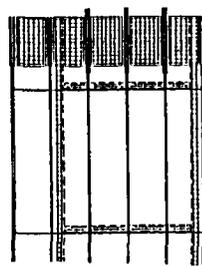
内外の設計思想の大きな差異は、引張ボルト接合の取入れ方にある。

我国では、現在迄のところ、引張ボルト接合をほとんど採用していない。

引張ボルトとメタルタッチの併用接合の大きな特徴は、塔外面にボルトが出ないという点にある。ところが吊橋ではないが、斜張橋の主塔で、摩擦ボルト接合とメタルタッチの併用でボルトが外観に出ない接合手法が最近我国で実施された。吊橋への適用も可能と考えられる。

鉛直継手は断面寸法が大きく、施工条件から制約がある場合に用いられる。高所作業という条件は同様で、一般にH. T. B摩擦接合の方法が用いられる。伝達すべき力は曲げ力に帰因するせん断力であり、ボルト本数は比較的少なくなる。製作、輸送、架設の条件から、内外事例に特筆すべき差異が見られる。

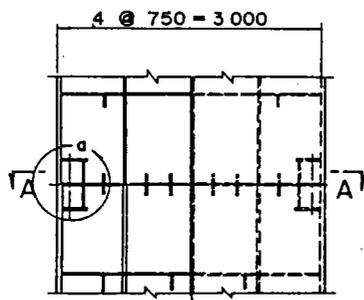
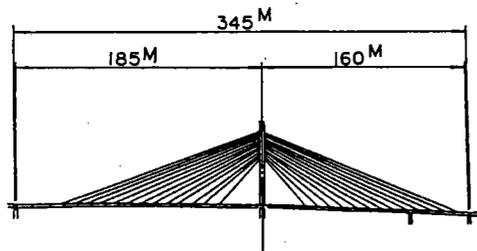
水平継手の事例比較

	第2ボスボラス橋	大鳴門橋
構 造 概 観	<p style="text-align: center;">断面図</p>  <p style="text-align: center;">側面図</p> 	<p style="text-align: center;">断面図</p>  <p style="text-align: center;">側面図</p>  <p style="text-align: right;">縦リブの継手</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> ・塔柱断面は4つのパネルで構成される。パネルは溶接構造であるが、パネル間の現場接合は全てボルトである。 ・水平継手部端面は機械仕上げされメタルタッチ。 ・◆印はハイストレングスロッド。 *印はグリップボルトを示す。 ・縦リブ同士は接合されない。 ・端板と縦リブ、補強リブとは機械仕上げでメタルタッチの上、溶接される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塔柱断面は中央の箱型断面と、その両側のコの字形断面とから構成される。 ・水平継手部端面は機械仕上げされメタルタッチ。 ・+印は全てH、T、Bを示す。 ・縦リブ同士も機械仕上げメタルタッチの上、H、T、Bで接合される。 ・縦継手のボルトは外観に出ないが、水平継手ボルトは外から見える。

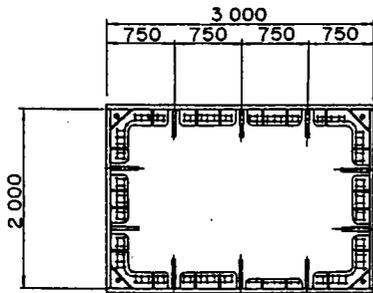
力の伝達	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮力 ; メタルタッチで100 %伝達。 ・引張力 ; ハイストレングスロッドで100 %伝達。 ・せん断力 ; 端板のGrip Bolt 継手で100 %伝達。 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮力 ; メタルタッチとH. T. B摩擦接合で50%ずつ伝達。 ・引張力 ; H. T. B摩擦接合で 100%伝達。 ・せん断力 ; " "
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ハイストレングスロッドに張力を導入し、最小圧縮力、最大曲げモーメントの状態、メタルタッチ間に隙間の発生しないよう設計する。 ・連結部の補剛構造は、このロッド張力に対して十分なように設計する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塔柱解析により添接部の応力度を算出し設計する。(但し、全強の75%以上) ・継手は設計力の50%をメタルタッチで伝達させるものとし、残りの50%の力に対し、H. T. B摩擦接合の設計を行う。 ・縦方向補強材については塔壁よりメタルタッチ率が低下するものと考え、25%をメタルタッチ、残りの75%をH. T. B摩擦接合で設計する。 $\begin{aligned} \text{継手部設計応力度} & \sigma & \text{kg/c m}^2 & > 0.75 f_d \\ \text{" 断面積} & A & \text{c m}^2 & \\ \text{許容H. T. B力} & f_d & \text{kg} & \end{aligned}$ $\text{必要ボルト本数} \quad n = \frac{\sigma A}{f_d} \times 0.5$
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ウェブ、フランジ端面だけでなく、端板を含めて精度の高い機械加工が必要である。 ・4つのパネルの現地地組で端面精度を再現しなければならない。 ・ハイストレングスロッドの締付作業がある。 ・輸送は4つのパネルで効率良く行え、長距離輸送にも適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・端面機械仕上げは、ウェブ、フランジ、リブの端のみである。 ・ボルト列数は全H. B. T継手の場合に比べて1/2になる。 ・輸送は大ブロックで陸上輸送、長距離輸送には適さない。
美観	<ul style="list-style-type: none"> ・外観からボルト頭、添接板等いっさい見えず、平坦な感じを与える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルト本数は低減されているが、それでもなお相当量のボルト頭、添接板が外観に出る。
類似実施例	セパン橋 第1ボスボラス橋	本四連絡橋の吊橋、斜張橋等。

荒津大橋の事例紹介

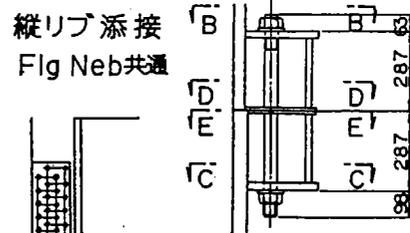
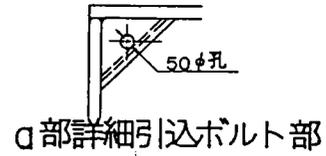
構
造
概
要



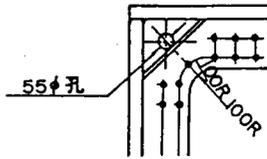
A - A



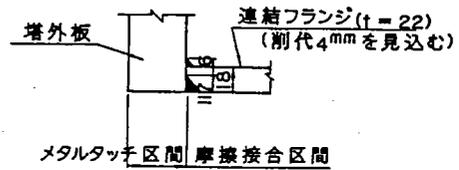
B - B (C - C)



D - D (E - E)



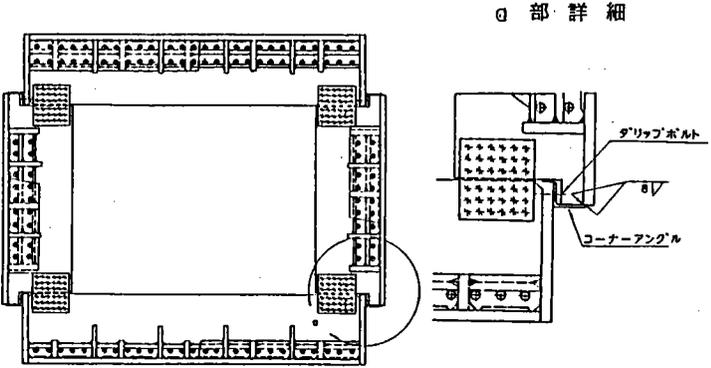
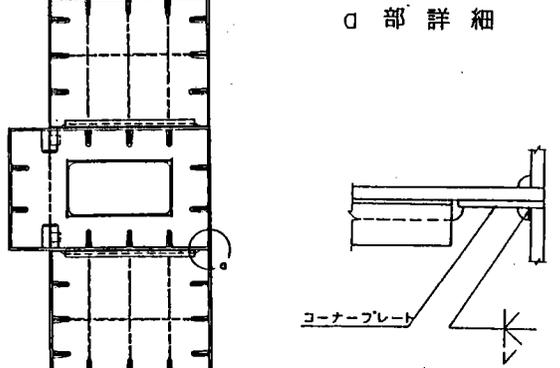
メタルタッチ部詳細 S=1:2



- ・塔柱断面は溶接構造の1室箱断面である。
- ・水平継手接合面は、ウェブ、フランジ、連結フランジは機械仕上げされメタルタッチさせる。
- ・縦リブと連結フランジは分離され、それぞれH. T. Bで接合される。
- ・コーナー部の引張ボルトは架設時組立用のもので、完成時強度部材としていない。

<p>力の伝達</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮力； フランジ、ウェブ等、外板のメタルタッチで伝達。 縦リブはメタルタッチさせず、H. T. B継手で圧縮力も分担させる。 ・ 引張力； 縦リブのH. T. B継手で伝達させる。 ・ せん断力； 連結フランジのH. T. B摩擦接合で伝達。
<p>設計方法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継手部に作用する軸力、曲げモーメントに対し、引張力が発生する場合、引張域の断面を無効として断面計算を行う。 ・ 引張力は縦リブH. T. B継手でとらせるが、架設時応力に対し特に注意を払う。 ・ 圧縮に対する照査； メタルタッチ面の作用応力を許容支圧応力度まで許せば、応力伝達に必要な支圧面積は断面積の40～50%となる。 ・ 縦リブ継手の設計 外板の間隙の影響による付加圧縮力を設計に考慮する。 引張力に対しては、全引張力を縦リブ継手でとらせるとして設計。 ・ 連結フランジ継手の設計 作用せん断力に塔高を有効座屈長とする柱の座屈時のせん断力を1.7で除した値を加えたせん断力に対し設計。
<p>構造の特徴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 接合面の機械加工には高い精度が要求される。 ・ 接手にはプレストレス圧縮力は導入されていない。
<p>美観</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外観からボルト頭、添接板等いっさい見えず平坦な感じを与える。
<p>参考文献</p>	<p>横河橋梁技報 No.16 1986年11月 「メタルタッチ継手を用いた斜張橋、塔現場継手の設計と製作」浜田、梶。</p>

鉛直継手の事例比較

	第2ボスガラス橋	大鳴門橋
構造概要		
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> 断面を構成する4つのパネルは、コーナーアングルを介してグリップボルトで接合される。 せん断流によるせん断応力に対し、グリップボルト、溶接脚長の設計を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 断面を構成する3つのブロックはコーナープレートを介して、H、T、Bで接合される。 せん断流によるせん断応力と、斜材からの軸力によるずらす力の合計作用力に対し設計する。 角溶接は完全溶込溶接としている。
美観	<ul style="list-style-type: none"> 外観にボルト頭は出ない。 	<ul style="list-style-type: none"> 外観にボルト頭が出ない。
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> コーナーにアングルを使用、溶接は2面隅肉溶接で溶接量の低減を図っている。 アングルのロール精度のバラ付きは、隅肉溶接取付部で調整出来る。 	<ul style="list-style-type: none"> 精度確保の為、プレート加工とし、コーナー溶接はグループ溶接しているので溶接量が多い。

4-2 塔基部定着方法

4-2-1 定着方法の種類

塔基部定着方法は、図4・1に示すように i) コンクリートへの応力伝達方法の考え方 ii) アンカーボルトとコンクリートの応力分担の考え方より分類できる。

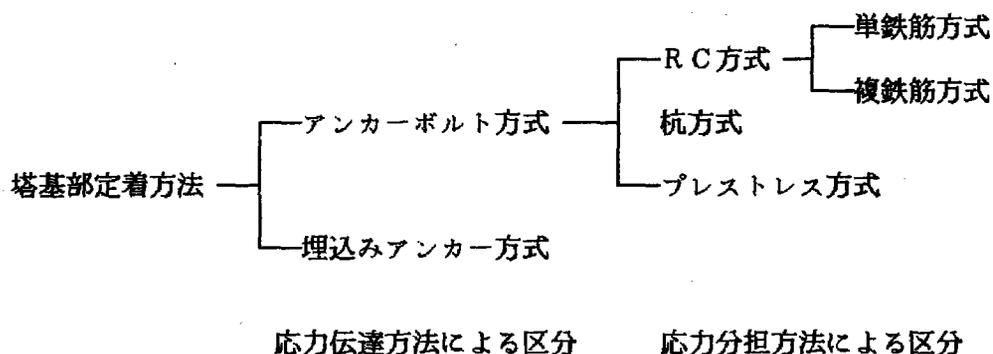


図4・1 塔基部定着方法の分類

アンカーボルト方式は、アメリカで長年用いられてきた方法でアメリカ式定着方法と言うことが出来る。一方の埋込みアンカー方式は、イギリスの吊橋で用いられていることからイギリス式定着方法と言えよう。日本の吊橋ではアンカーボルト方式が採用されている。

4-2-2 アンカーボルト方式の設計法

アンカーボルト方式の定着方法は、図4・1に示す通り3種類に分けられる。このうち杭方式は塔基礎のコンクリートを無視するためアンカーボルトの設計が困難となり、吊橋主塔基部の定着法に採用するのは難しい。また、RC方式は塔のベースがコンクリートと一体とならず、ベースが浮き上がると仮定条件が崩れることになり、塔独立時に風荷重によってベースが浮きがる可能性の高い吊橋主塔基部の定着法には好ましくない。一方、プレストレス方式は、塔とコンクリート天端が一体となって挙動することから、国内の吊橋主塔基部の定着法として採用されている。

現在採用されているプレストレス方式の設計法の概略を以下に述べることにする。(本四吊橋で運用されている考え方を例とする。)

1) 必要プレストレス量

必要プレストレスの計算には、アンカーボルト、コンクリート、塔柱の歪みを考慮した計算法を基本とし、塔柱底板の浮き上がりが生じないように必要プレストレス量を設定している。ただし、暴風時、地震時には若干の浮き上りを許している。

2) アンカーフレーム埋込み長

アンカーフレーム（支圧ガーダー）の埋込み長は、アンカーフレームの引抜きに対し十分安全であるように設定している。

一般には、コンクリート部分の仮想せん断破壊面を外側の片面のみとし、スラブの押抜きせん断に対する許容値内にせん断応力度を納めるように設計されている。

3) 塔基部の補強構造

塔基部は格子構造で補強するのが一般的で、この格子構造は形状を保持する役割の他、塔壁から伝達される力を底版に分散させ、コンクリートの有効支圧面積を大きくして支圧応力度を低減する役割を持っている。

4) コンクリート面の仕上げ

コンクリート面の仕上げ方法には、鏡面仕上げ工法と無収縮モルタル充填工法があるが、国内吊橋では鏡面仕上げ工法が一般的である。

4-2-3 埋込みアンカー方式の設計法

埋込みアンカー方式の定着方法は、ずれ止めを介して塔柱の応力をコンクリート部分に伝達する方法である。吊橋の主塔では架設時や完成時の風荷重あるいは地震の影響によって生じる塔基部の曲げモーメントによって塔柱に引張応力が生じ、この引張応力によってコンクリートが破壊する可能性がある。そこでコンクリート内に埋め込んだPC鋼棒あるいはストランドによってプレストレスで圧縮応力を導入して対処するケースが多い。これらの方法による実施例には、Forth Road橋、Bosphorus橋 および Second Bosphorus橋などがある。英国式吊橋に見る塔基部定着構造の変遷を表4・1に示す。

埋込みアンカー方式の設計は、塔基部反力とプレストレス力による塔柱の圧縮応力によって、ずれ止めの破壊およびコンクリートの割裂に対し十分安全となるようずれ止めの本数と寸法を決定することになる。また、塔柱に引張応力が生ずる場合には、PC鋼棒等によりコンクリートが引張応力状態にならないようにプレストレス量を決定し、PC鋼棒の軸力最大時においてPC鋼棒の引抜きにたいし十分安全となるよう埋込み長を決定することとなる。

4-2-4 海外事例との比較

埋込みアンカー方式とアンカーボルト方式の事例比較をSecond Bosphorus橋と大鳴門橋で実施した。表4・2および表4・3に示す。

表4・1 英国式吊橋の塔基部定着構造の変遷

	Forth Road Br.	Severn Br.	Bosporus Br.	Second Bosporus
定着方式	埋込みアンカー方式 (アンカーボルト併用)	アンカーストランド方式 (ペデスタルデッキ併用)	埋込みアンカー方式 (アンカーストランド併用)	埋込みアンカー方式 (アンカーボルト併用)
圧縮応力の伝達法	ずれ止めのせん断力	埋込まれた受台のずれ止めのせん断力	ずれ止めのせん断力	ずれ止めのせん断力
転倒力の対処法	アンカーボルト+ずれ止め	アンカーストランド	アンカーストランド +ずれ止め	アンカーボルト+ずれ止め
コンクリートの補強	プレストレッシング・ストランド	プレストレッシング・ストランド	プレストレッシング・ストランド	プレストレッシング・バー 168本/1柱×50φ
塔基部ブロックのセット	コンクリート内に 埋込み(3.1m)	埋込まれた受台上に 面タッチ	コンクリート内に 埋込み(2.55)	コンクリート内に 埋込み(5m)
ずれ止め	形鋼	形鋼	スタッド ジベル 100×25φ	スタッド ジベル 100×22φ
出典	Pro. I.C.E 1965,32	Pro. I.C.E 1968	Contract Drawings	Tender Drawing

表 4・2 塔基部定着方法の事例比較 (その1)

	Second Bosphorus	大鳴門橋
<p>塔基部構造概要</p>	<p>塔基部の定着方式は埋込みアンカー方式である。</p>	<p>塔基部の定着方式はアンカーボルト方式である。</p>
<p>実施例</p>	<p>Forth Road橋, Bosphorus橋</p>	<p>国内では実例が多い。</p>

表 4・3 塔基部定着方法の事例比較 (その2)

	Second Bosphorus	大 鳴 門 橋
力 の 伝 達	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塔柱の圧縮応力は、スタッドジベルを介して主塔橋脚のコンクリートに伝達する。 ・ 塔柱の引張応力はアンカーボルトを通じて、コンクリート内に埋め込まれた支圧板に伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塔柱の引張応力は、アンカーボルトを通してコンクリート内に埋め込まれた支圧ガーダーに伝達し、ガーダーの支圧によってコンクリートに伝達する。 ・ 塔柱の圧縮応力は、塔柱底板と緊密に面タッチしたコンクリートに伝達される。
設 計 方 法	<p>1. スタッドジベル 完成時の塔基部反力とプレストレス力による、スタッドジベルの破壊およびコンクリートの割裂に対し、十分安全であるようにする (推測)。</p> <p>2. プレストレス量 コンクリート内に埋め込まれた塔柱に、引張応力が作用しないように設定する (推測)。</p>	<p>1. 必要プレストレス 塔柱底板の浮き上がりが生じないことを基本として決定する。</p> <p>2. アンカーボルトの埋め込み長 アンカーフレーム (支圧ガーダー) の引抜きに対して、十分安全であるように設定する。 一般には仮想せん断破壊面を外側の片面だけとし、スラブの押抜きせん断の許容せん断力度内にせん断応力度を納めるように設計している。</p>
ボ ル ト	径 : $\phi 50\text{mm}$, 使用本数 : 168本/1柱 , 埋込み長 : 10.2m	径 : $\phi 120\text{mm}$, 使用本数 : 42本/1柱 , 埋込み長 : 7.355m
プ レ ス ト レ ス	$140\text{t/本} \times 168\text{本} = 23520\text{t/1柱}$	$160\text{t/本} \times 42\text{本} = 6720\text{t/柱}$
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・ プレストレス量は導入プレストレス量を示した。 ・ スタッドジベル 22×100 の公称強度 (BS5400 PART 5) ジベル : 材料の降伏点 3930 kg/cm² ジベルの耐力: 12.9 t/本 (コンクリート $\sigma_{ck}=300\text{ kg/cm}^2$) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ プレストレス量は有効プレストレス量を示した。

4-3 ケーブルアンカー方法

4-3-1 ケーブルアンカー方法の種類

ケーブルアンカー構造の実施例より、アンカー方法を応力伝達機構等により分類すると、図4・2で示される。

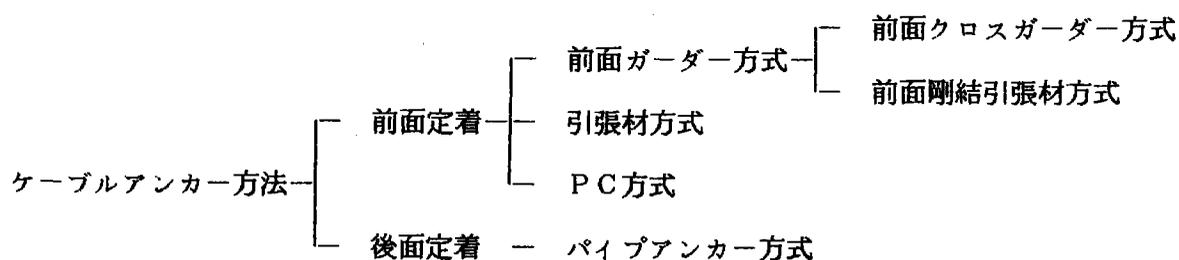


図4・2 ケーブルアンカー方法の分類

ケーブルアンカー方法は、ストランドをアンカーブロックの前面で定着するタイプと後面で定着するタイプに大別される。前面で定着する構造には3種類あり、ガーダーにストランドを定着し引張材に力を伝達する前面ガーダー方式、直接引張材に定着する引張材方式及び、アンカーブロックの前面と後面に支圧板を配置しその間をPC鋼棒あるいはPCケーブルで張力導入し、ストランドシューを前面側の支圧板に取付けストランドを定着させるPC方式である。PC方式は一種の引張材方式と考えられる。国内実績は前面ガーダー方式あるいは引張材方式の何れかであり、アメリカでの実績は殆ど引張材方式であり、一方、英国式吊橋ではPC方式が採用されている。

ケーブルストランドをアンカーブロックの後面で定着する構造は、ストランドをパイプの中を通してブロックの後面まで引張り込んで定着することからパイプアンカー方式と呼ばれ、実績は少ない。

4-3-2 ケーブルアンカー方法の比較

ケーブルアンカー方法の比較を表4・4に示す。また、英国式吊橋のケーブルアンカー方法の変遷を表4・5に示す。

表 4・4 ケーブルアンカー方法の比較

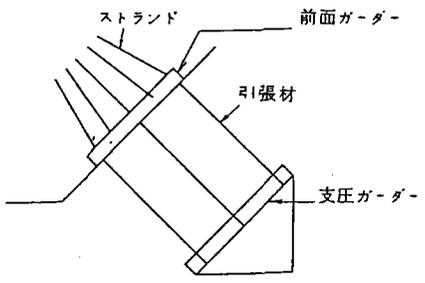
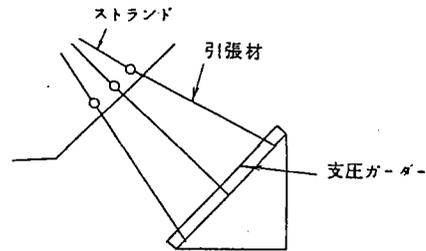
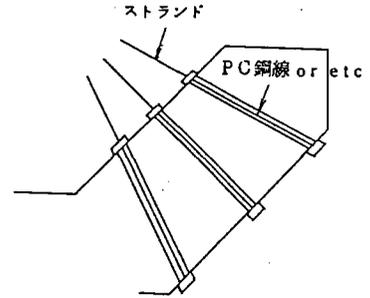
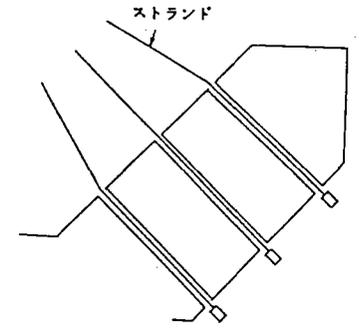
ケーブル アンカー方式	前 面 定 着			後 面 定 着
	前面ガーダー方式	引張材方式	PC方式	パイプアンカー方式
構 造 概 要				
力 の 伝 達 経 路	<p>(PS工法) (AS工法)</p> <p>ストランドソケット ↓ ストランドシュー ↓</p> <p>↓ 定着桁 ↓ ↓ ロッド ↓</p> <p>前 面 ガ ー ダ ー</p> <p>↓ ↓ ↓ ↓</p> <p>引 張 材</p> <p>↓ ↓ ↓</p> <p>支 圧 ガ ー ダ ー (ア ン カ ー ガ ー ダ ー)</p> <p>↓ ↓ ↓</p> <p>ア ン カ ー ブ ロ ッ ク ・ コ ン ク リ ー ト</p>	<p>(PS工法) (AS工法)</p> <p>ストランドソケット ↓ ストランドシュー ↓</p> <p>↓ ↓ ↓ ↓</p> <p>引 張 材</p> <p>↓ ↓</p> <p>支 圧 ガ ー ダ ー (ア ン カ ー ガ ー ダ ー)</p> <p>↓ ↓</p> <p>ア ン カ ー ブ ロ ッ ク ・ コ ン ク リ ー ト</p>	<p>(AS工法)</p> <p>ストランドシュー ↓</p> <p>↓ ↓</p> <p>ロ ッ ド</p> <p>↓</p> <p>ク ロ ス ヘ ッ ド ス ラ ブ (前 面 支 圧 版)</p> <p>↓</p> <p>P C 鋼 棒 , P C ケ ー ブ ル</p> <p>↓</p> <p>ア ン カ ー プ レ ー ト (後 面 支 圧 版)</p> <p>↓</p> <p>ア ン カ ー ブ ロ ッ ク ・ コ ン ク リ ー ト</p>	<p>(PS工法)</p> <p>ストランドソケット ↓</p> <p>↓</p> <p>支 圧 板</p> <p>↓</p> <p>ア ン カ ー ブ ロ ッ ク ・ コ ン ク リ ー ト</p>
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・引張材先端に取付けた前面ガーダーにストランドを定着する。 ・引張材は平面的には放射上にする必要はない。従って、躯体寸法を小さくすることが可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ストランドを直接引張材の先端に取付ける。 ・引張材は原則的にストランド中心線の延長線上に配置する必要がある。 ・前面ガーダー方式に比較して躯体幅が大きくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・英国式吊橋がこのタイプである。 ・PC鋼棒の先端を前面支圧版に定着し、前面支圧版よりロッドを出し、ストランドシューを定着する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーブロック内にパイプを埋込み、後面側に支圧板を置き、パイプの端部はこの支圧板に固定されている。 ・ストランドソケットはこのパイプ内を通して、支圧板の後面にて定着する。
実 績	<p>関門橋</p> <p>大島大橋 (図4・8)</p> <p>下津井瀬戸大橋 (SB1A)</p> <p>南北備瀬戸大橋</p>	<p>若戸大橋, 平戸大橋, 因島大橋</p> <p>大鳴門橋 (図4・6), 下津井瀬戸大橋 (SB4A)</p> <p>New Tacoma Br. (図4・3)</p> <p>San Francisco Oakland Bay Br. (図4・4)</p> <p>Verrazano Narrows Br. (図4・5)</p>	<p>Forth Road Br.</p> <p>Severn Br.</p> <p>Bosporus Br.</p> <p>Second Bosporus Br. (図4・7)</p>	<p>New Port Br.</p>

表4・5 英国式吊橋のケーブルアンカー方法の変遷

	Forth Road Br.	Severn Br.	Bosporus Br. (注)	Second Bosporus Br.
定着方法	PC方式 (トンネルアンカー)	PC方式	パイプアンカー方式	PC方式
ケーブルの架設方法	AS工法	AS工法	PS工法	AS工法
ストランドの構成(注2)	$\phi 5 \times 314$ 本 $\times 37$ ST	$\phi 5 \times 438$ 本 $\times 19$ ST	$\phi 5 \times 127$ 本 $\times 88$ ST ($\phi 127$ 本 $\times 82$ ST)	$\phi 5 \times 504$ 本 $\times 37$ ST + $\phi 5 \times 302$ 本 $\times 4$ ST ($\phi 5 \times 504$ 本 $\times 37$ ST)
プレストレッシング	6ヵ所 $\times 4$ 本 $\times \phi 32$ (2ストランド定着)	4本 $\times \phi 108$ (1ストランド定着)	—	4ヵ所 $\times 3$ 本 $\times \phi 40$ (1ストランド定着)
プレストレス	記述なし	150 t	—	96 t
パイプ	$\phi 102$ mm	$\phi 140$ mm	$\phi 216$ mm	$\phi 155$ mm
パイプの支持フレーム	無し	有	記述なし	記述なし
クロスヘッドの支持フレーム	有	有	—	記述なし
出典	Proc. I.C.E 1965,32	Proc. I.C.E 1968	Contract Drawings	Tender Drawings

(注1) 最終的には、AS工法で施工されたため、定着方法および定着構造はContract Drawingsより変更されている。

(注2) () 内は、中央径間部のストランド構成を示す。

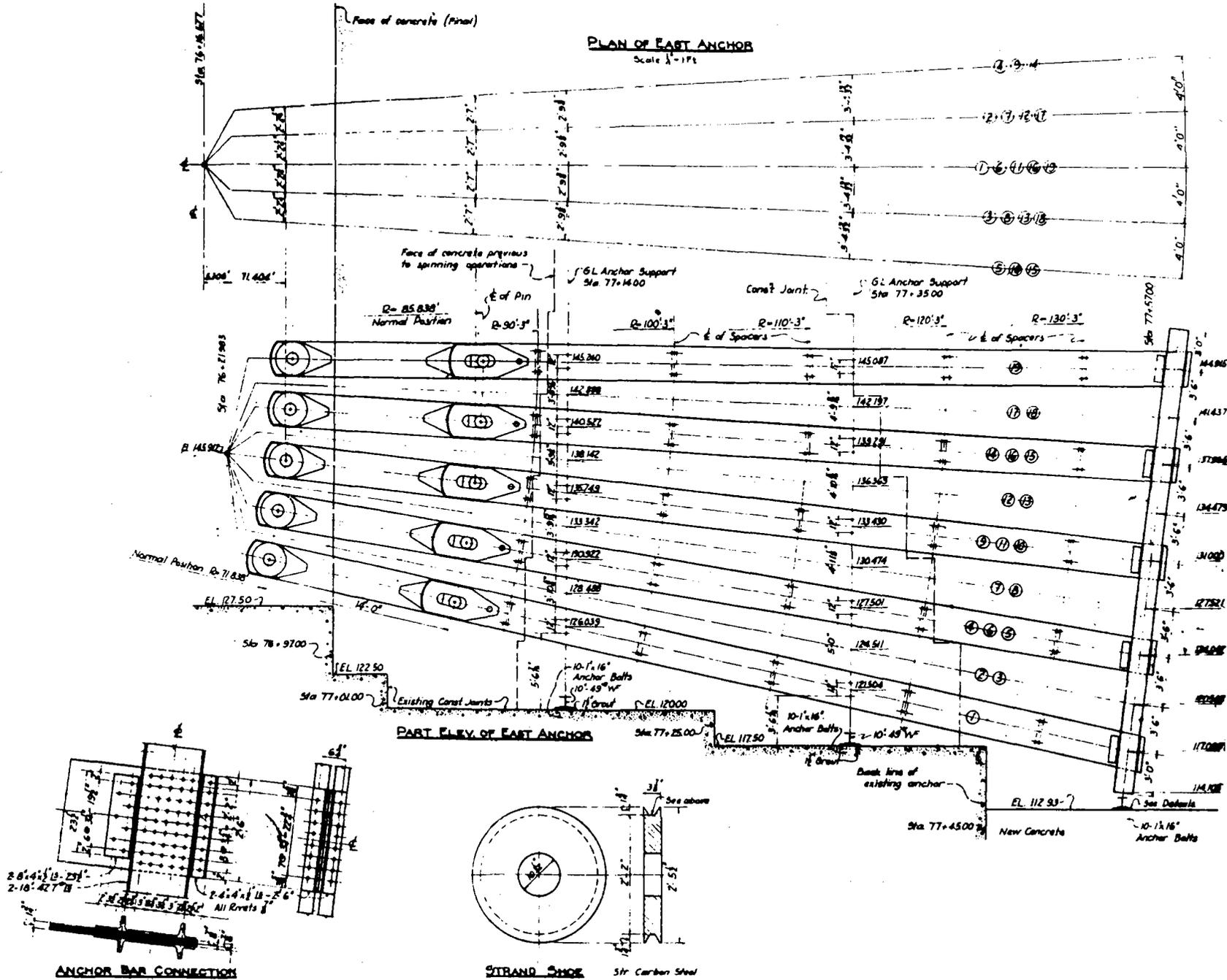
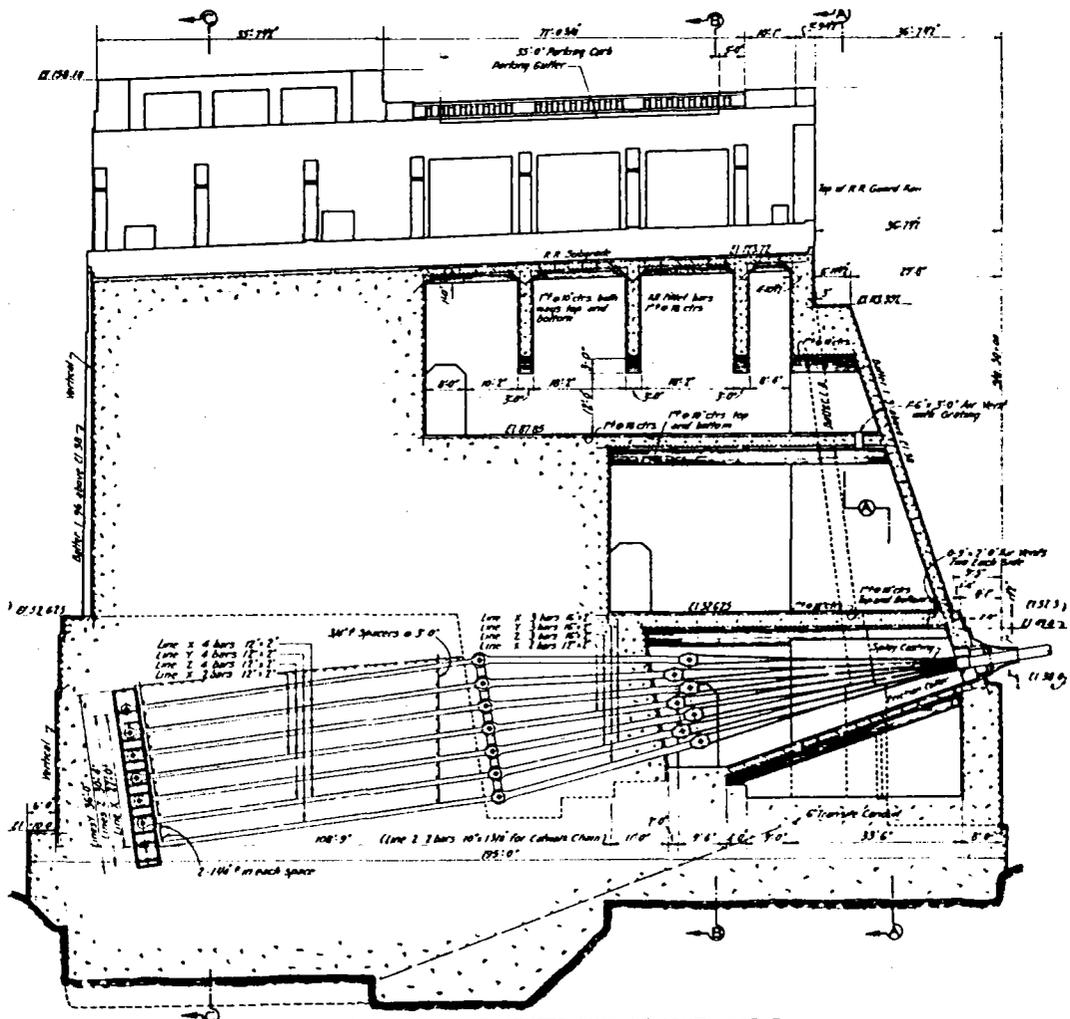
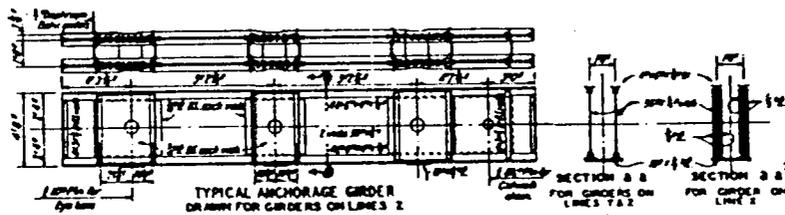


图 4.3 New Tacoma Narrows Br.

2) San Francisco Oakland Bay Br. (引張材方式)

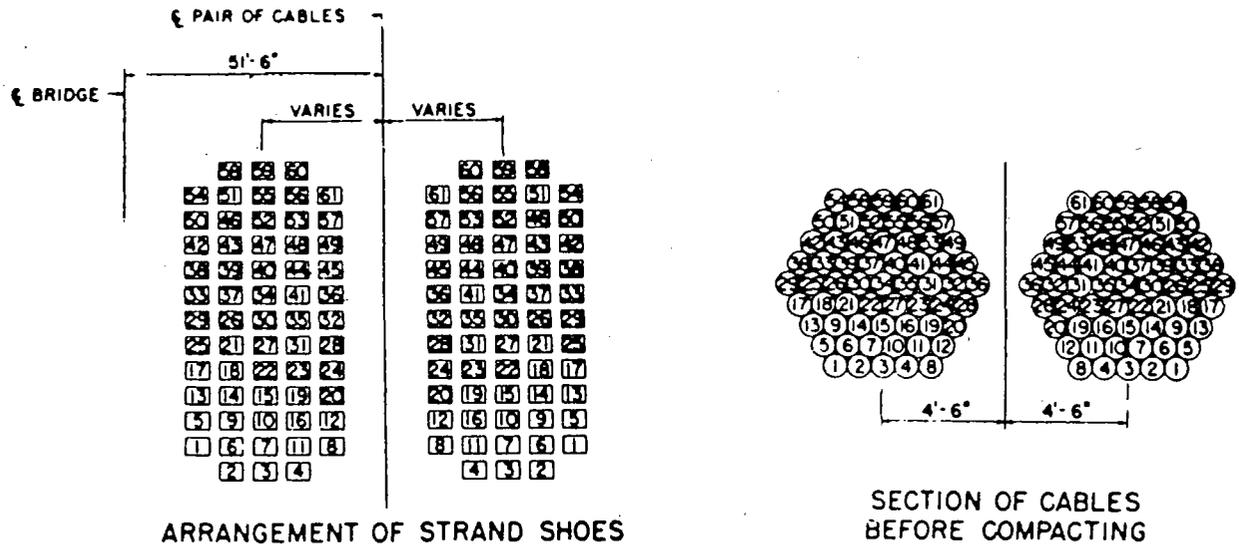


LONGITUDINAL SECTION AT CENTER LINE OF SOUTH CABLE
SHOWING ROADSIDE ELEVATION OF NORTH SUPERSTRUCTURE

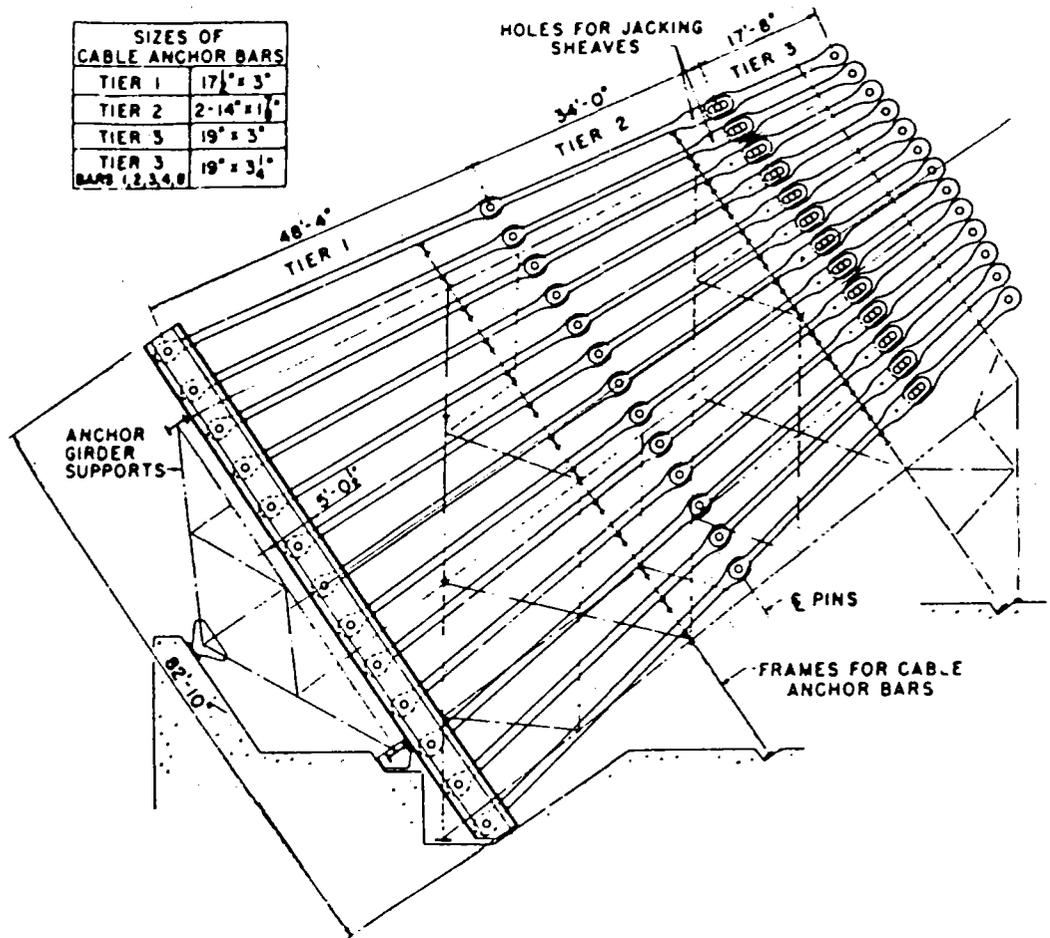


4.4 San Francisco Oakland Bay Br.

3) Verrazano Narrows Br. (引張材方式)



SIZES OF CABLE ANCHOR BARS	
TIER 1	17' 1/2" x 3"
TIER 2	2-14" x 1 1/2"
TIER 3	19" x 3"
TIER 3	19" x 3 1/4"



ストランドシューの動きは、シューの他方の側に対し操作され図に示すような特殊なジャッキングバーがピンに取付けられた75tの水圧ジャッキで調節され、シューを正確な位置に保つには、はさみ金によっておこなわれた。

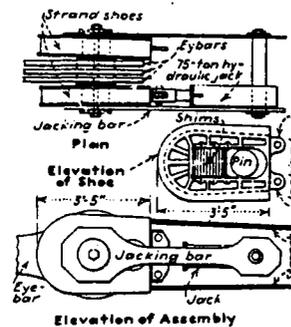
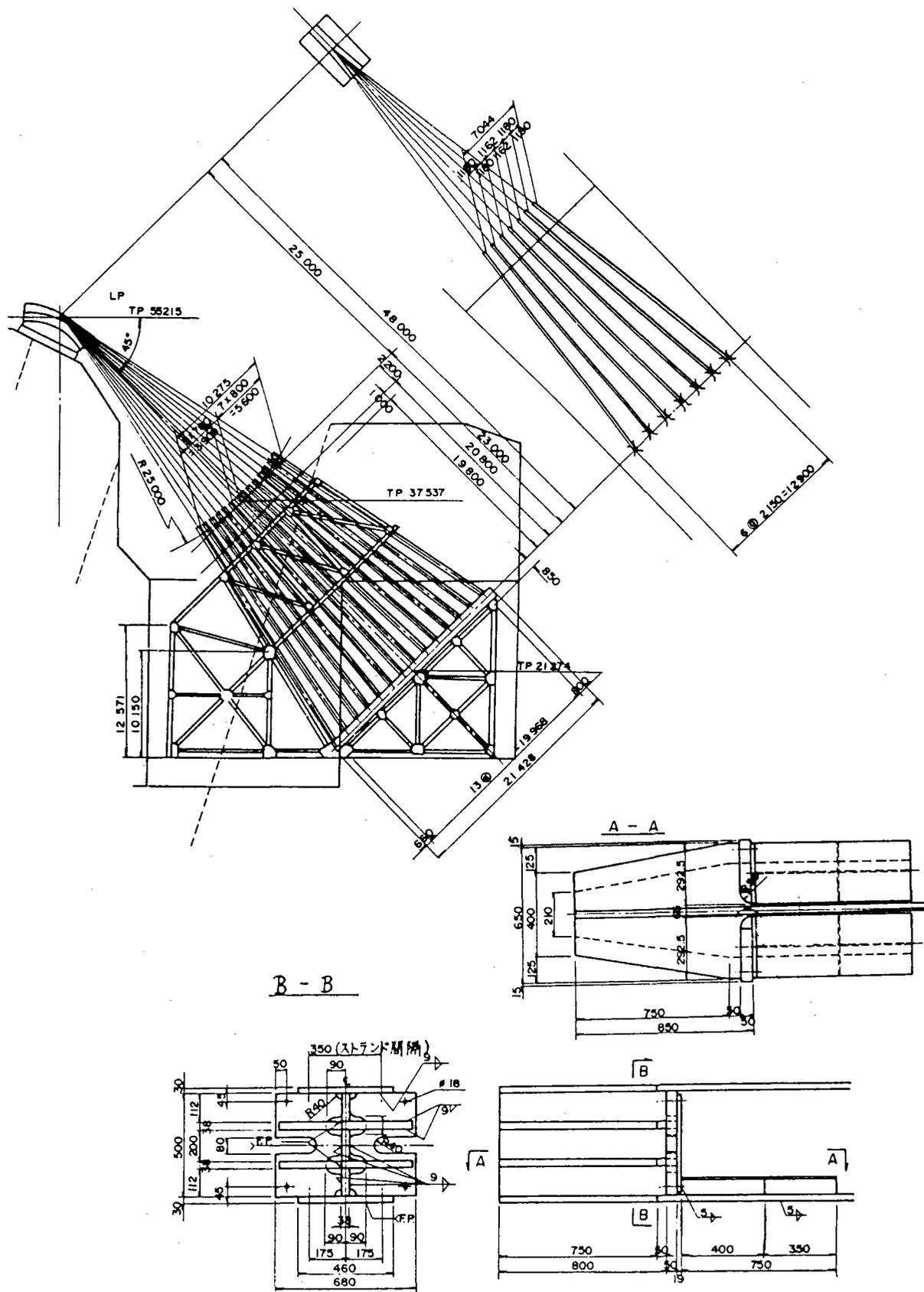


図 4・5 Verrazano Narrows Br.

5) 大鳴門橋 (引張材方式)



補足説明

全ての引張材に対して2本のストランドを礎着し構造の統一を図った。
 引張材先端には横つなぎ材を設け、引張材相互間の精度管理と曲げ耐力の向上を図った。

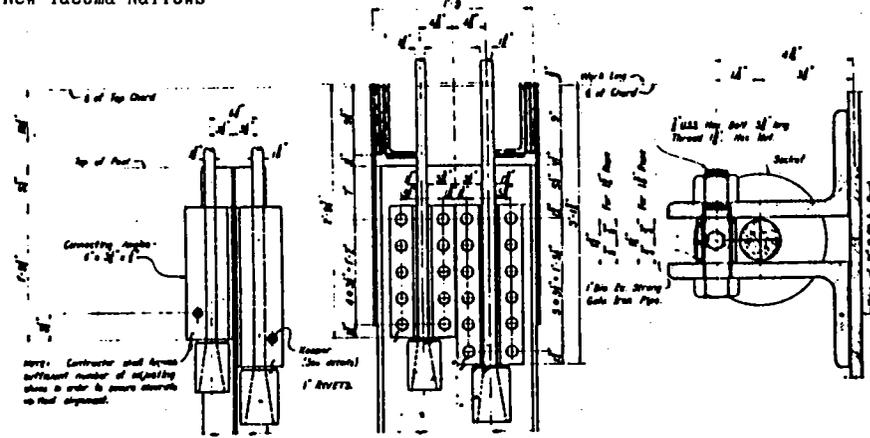
図 4・7 大鳴門橋

4-4 ハンガーロープの定着方法

	鞍掛 + 筒型ソケットタイプ	ピンソケットタイプ
実 例	<p>日本、米国の大規模吊橋</p> <p>大鳴門、Tacoma Narrows, San Francisco-Oakland Bay</p> <p>Verrazano-Narrows 他多数</p>	<p>Severn, Bosphorus, Second Bosphorus 等の補剛桁吊橋</p> <p>日本の小規模吊橋</p>
力の伝達	<p>米 国 —— ハンガー張力はハンガーロープ両側に設置される山型鋼を介して補剛桁に伝達</p> <p>日 本 —— ハンガー張力は定着リブを介して補剛桁に伝達</p>	<p>ハンガー張力は、ピンを介して桁に伝達される。</p>
特 徴	<ol style="list-style-type: none"> 1. 米国式定着構造は特に、ソケット部の点検・維持が難しい。 2. ハンガーロープが主ケーブルに鞍掛けされるため、ロープに曲げの影響が発生する。 3. ハンガーカラーにて雨水の進入を防止することが出来る。 4. ハンガーカラーにて橋軸方向及び橋軸直角方向のロープ角折れに対して、ロープの局部曲げを防止することが出来る。 5. 吊構造部の重い吊橋に使用される。 6. ハンガー長の調整が容易である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ソケット部が橋面上に露出するため、点検・維持は容易である。 2. ソケット部に雨水の進入により腐食が生じやすい。 (但し、Second Bosphorus はWEATHER HOODを設け対処している) 3. 横軸直角方向のロープ角折れに対して、ソケット部に局部的曲げが生じる (但し、Second Bosphorus は TRUMPETをソケット部に設けることにより対処している) 4. ハンガーロープの本数が少ないため、吊構造部の軽い吊橋に使用される。 5. ハンガー長の調整が難 (但し、Severnでは、ピンに「偏心ピン」を使用して、このピンを回転させることにより±6.4mm の長さの調整を可能としている)

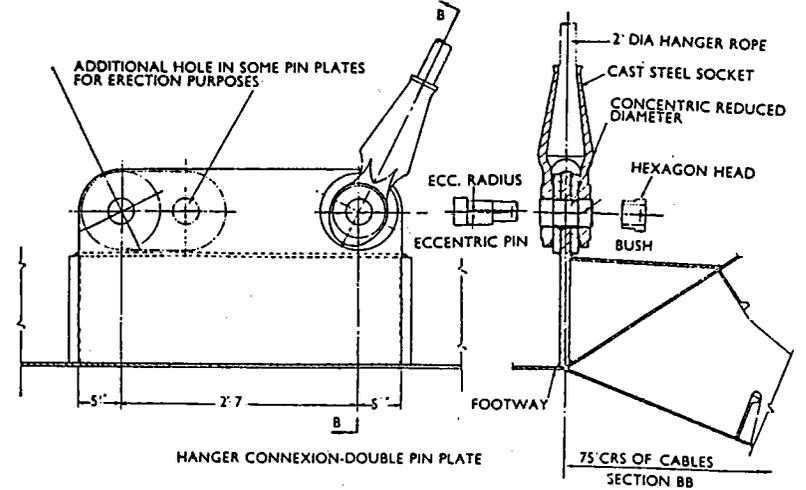
鞍掛け + 筒型ソケットタイプ

New Tacoma Narrows



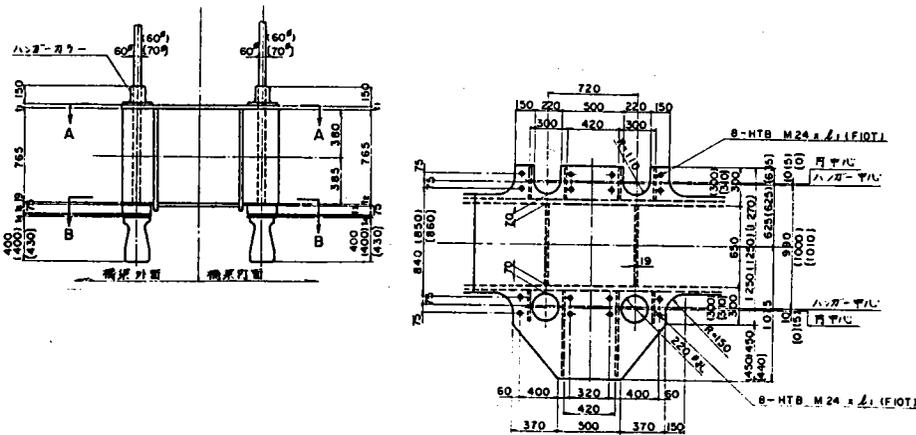
ピンソケットタイプ

Severn

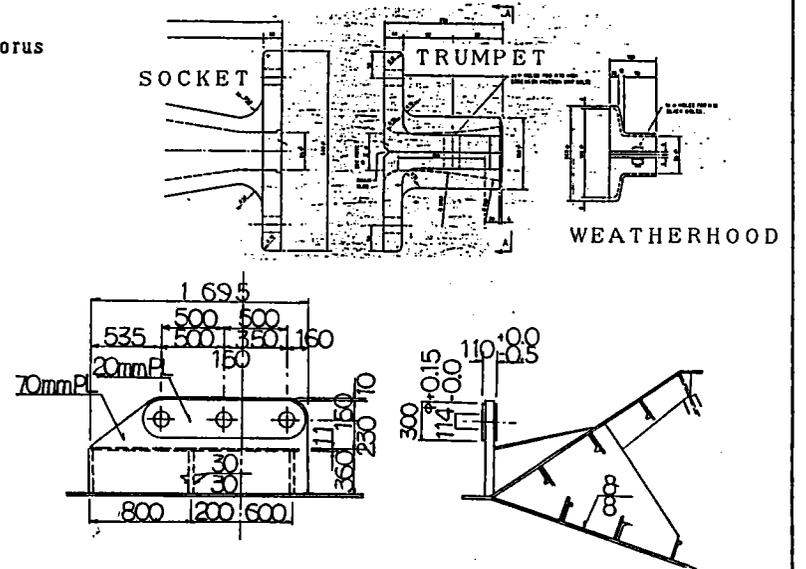


構造例

大鳴門橋

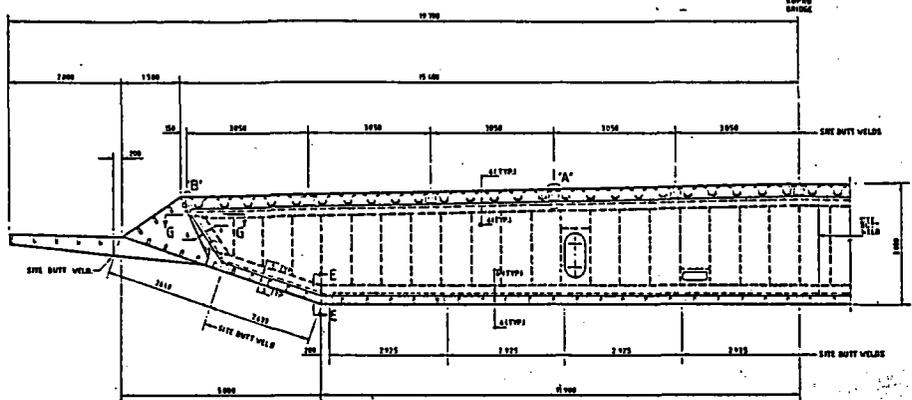
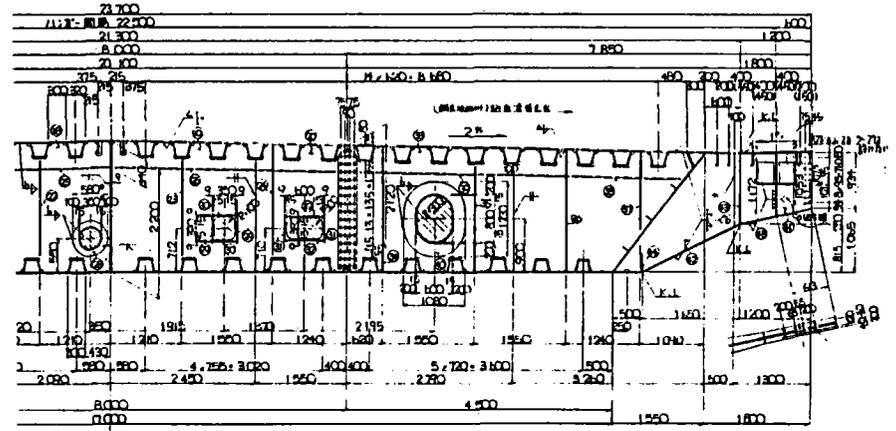
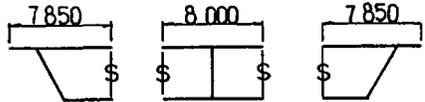


Second Bosphorus

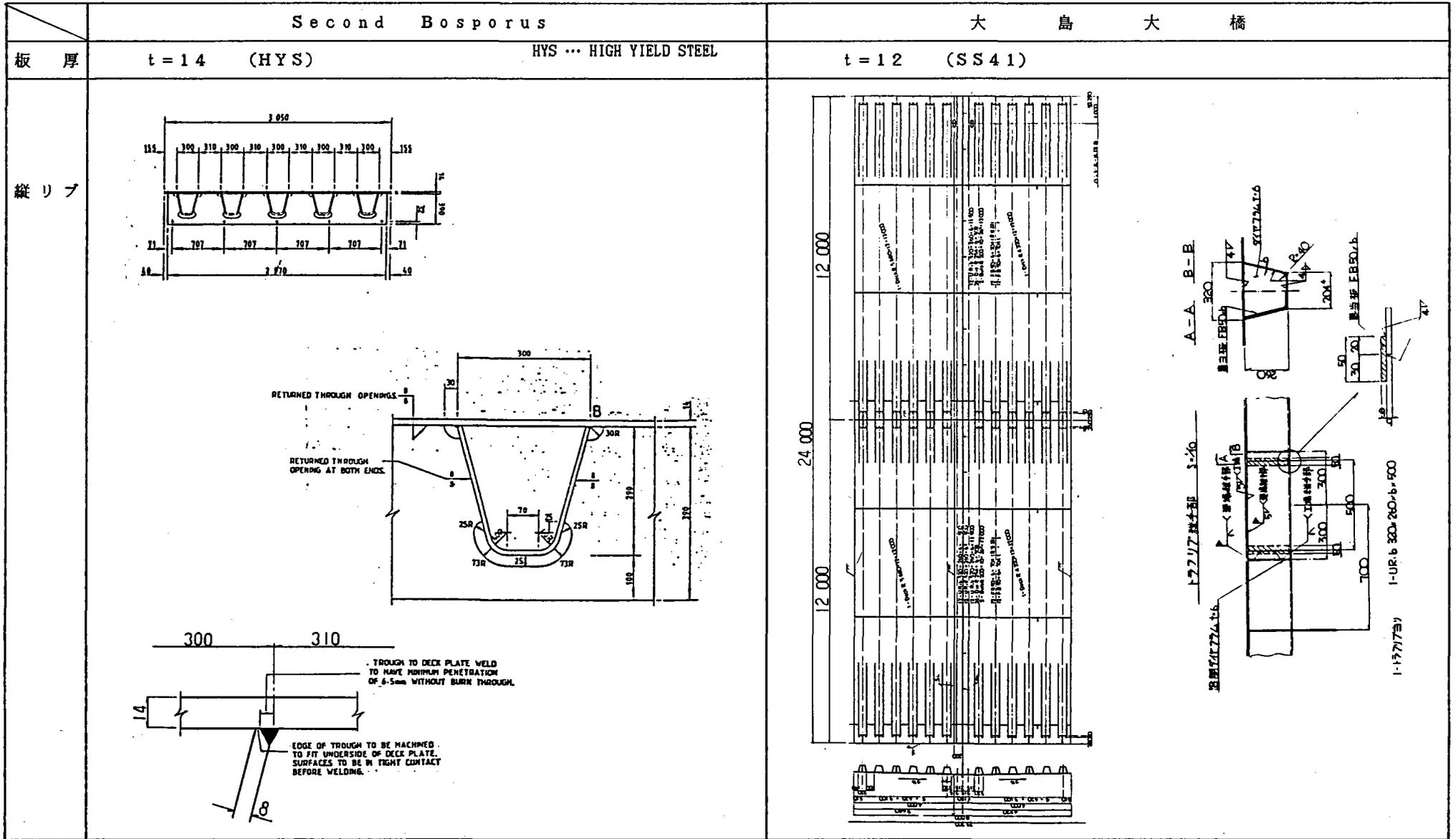


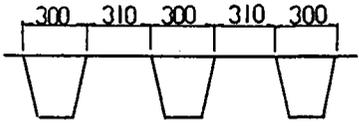
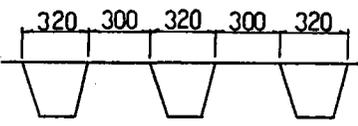
4-5 補剛桁箱断面の構成方法

4-5-1 ブロック組立て方法

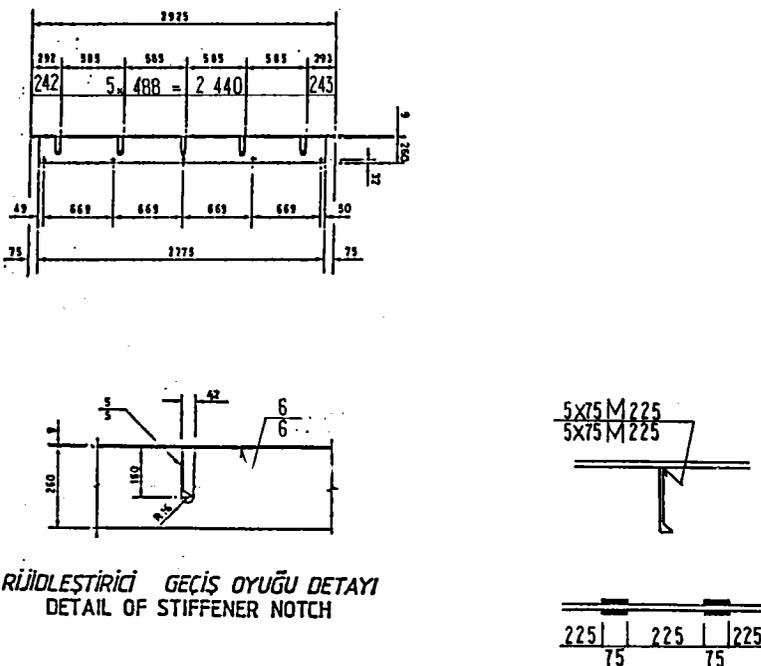
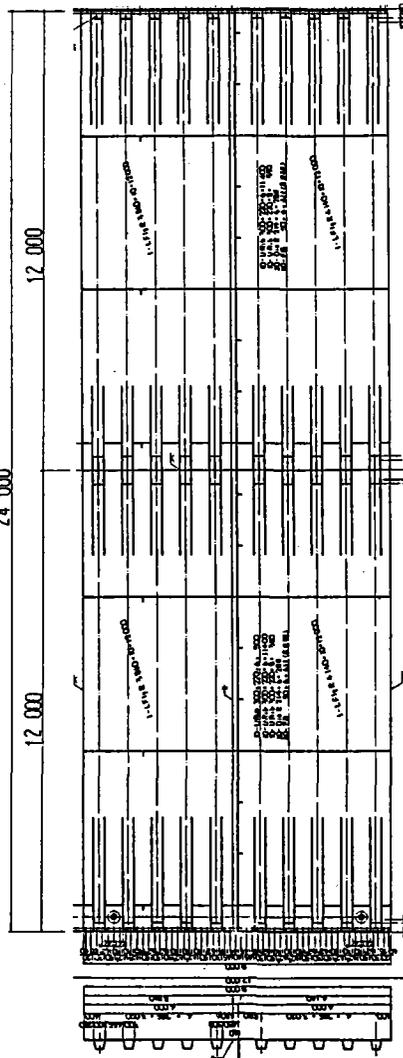
	Second Bosphorus	大 島 大 橋
ブロックの大きさ	m 39.400×17.920 (B) (L)	m 23.700×24.000 (一般部) (H) (L)
組立方法	 <ol style="list-style-type: none"> 鋼床版、下フランジ パネル製作 パネルの大きさ 鋼床版-3050mm×17920mm 下フランジ-2925mm×17920mm ダイヤフラムのパネル製作 ブロック組立架台上にて下フランジ、ウェブパネルを組立て ダイヤフラムの落とし込み 鋼床版パネルの組立て 	 <ol style="list-style-type: none"> 工場小ブロックの製作  工場小ブロック長 $l = 12m$ 工場小ブロックを6コ集成して架設ブロックとして組立て
接合方法	工場接合 ——— 溶 接 現場接合 ——— 溶 接	工場接合 ——— 溶接・H.T.B 現場接合 ——— 溶接・H.T.B

4-5-2 鋼 床 版

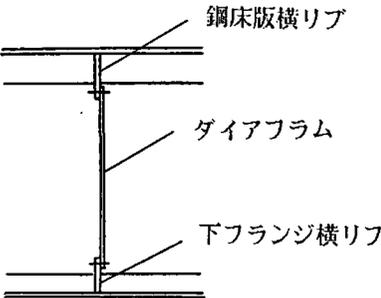
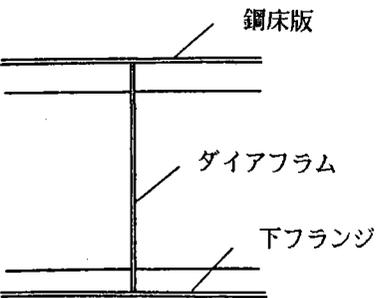
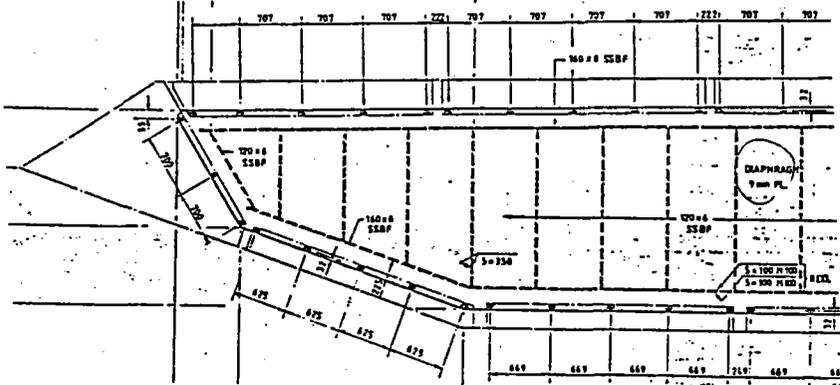
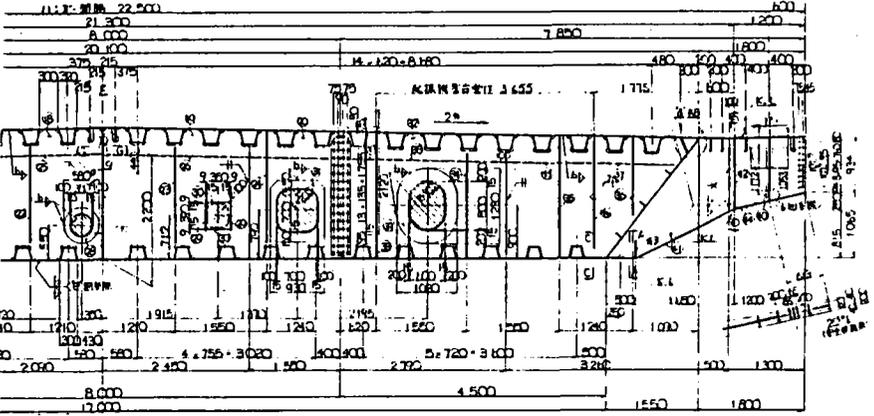


	Second Bosphorus	大 島 大 橋																			
縦 リ ブ	断 面 713×8 (HYS)	断 面 U-Rib 320×260×6																			
	縦リブ間隔 	縦リブ間隔 																			
	横リブとの取合 縦リブは横リブを貫通している	横リブとの取合 縦リブはダイアフラムを貫通																			
	鋼床版と縦リブとの溶接 連続溶接 6.5mmの開先溶接	鋼床版と縦リブとの溶接 連続溶接 5mmのすみ肉																			
	備 考 Severn→Bosphorus→Second Bosphorus Severnにおいては下記の溶接部に疲労クラックが発生した 1. 鋼床版のトラフとデッキの溶接部 2. トラフとダイアフラムの溶接部 3. トラフとフローティンションダイアフラムの溶接部 原因としては 1. 活荷重の増大 2. 鋼床版の板厚不足 3. 溶接サイズの施工不足 SevernからSecond Bosphorus への変化 <table border="1" data-bbox="331 1081 1079 1361"> <thead> <tr> <th></th> <th>Severn</th> <th>Bos</th> <th>Second Bos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>鋼床版板厚</td> <td>11 mm</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>縦リブ</td> <td>トラフリブ h = 229mm 間隔305mm</td> <td>三角形閉断面リブ 300間隔</td> <td>トラフリブ h = 290mm 310mm間隔</td> </tr> <tr> <td>横リブ間隔</td> <td>m 4.57</td> <td>m 4.5</td> <td>m 4.48</td> </tr> <tr> <td>溶接サイズ</td> <td colspan="2">—————→</td> <td>増大</td> </tr> </tbody> </table>		Severn	Bos	Second Bos	鋼床版板厚	11 mm	12	14	縦リブ	トラフリブ h = 229mm 間隔305mm	三角形閉断面リブ 300間隔	トラフリブ h = 290mm 310mm間隔	横リブ間隔	m 4.57	m 4.5	m 4.48	溶接サイズ	—————→		増大
	Severn	Bos	Second Bos																		
鋼床版板厚	11 mm	12	14																		
縦リブ	トラフリブ h = 229mm 間隔305mm	三角形閉断面リブ 300間隔	トラフリブ h = 290mm 310mm間隔																		
横リブ間隔	m 4.57	m 4.5	m 4.48																		
溶接サイズ	—————→		増大																		

4-5-3 下 フ ラ ン ジ

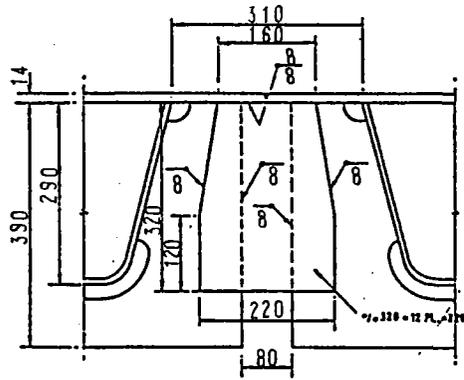
	Second Bosphorus	大 島 大 橋
板 厚	t = 9 (HYS)	t = 10 (SS41) (一部ハンガー定着部 t=14(SM50Y))
縦 リ ブ	 <p>RİJİDLEŞTİRİCİ GEÇİŞ OYUĞU DETAYI DETAIL OF STIFFENER NOTCH</p> <p>使用縦リブ—バルブフラット型リブ 160×8 縦リブ間隔—585mmと488mmの2種類 溶 接 —縦リブと鋼床版の溶接は断続溶接 その他連続溶接</p>	 <p>使用縦リブ —U Rib 300×220 ×6 縦リブ間隔 —455mm 溶 接 —縦リブと下フランジ の溶接 5 mm連続溶接</p>

4-5-4 横リブ (ダイアフラム)

	Second Bosphorus	大 島 大 橋
間 隔	L = 4480mm	L = 4000mm
型 式		
断 面	<p>(17)</p> <p>鋼床版側横リブ 390×15 下フランジ側横リブ 260×9 ダイアフラム t = 9</p>  <p>補剛材 V.Stiff BF 120×6 H.Stiff BF 160×8 ダイアと補剛材との溶接は断続溶接</p>	<p>中間ダイアフラム t = 9 ハンガー定着ダイアフラム t = 16 (SM50Y)</p>  <p>補剛材 V.Stiff 140×11~110×9 H.Stiff 140×11~110×9 ダイアフラムと補剛材との溶接は連続溶接</p>

Second Bosphorus

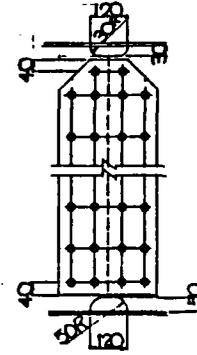
継手構造



PL. 320 × 12 × 220 を横リブ及び鋼床版に全周溶接

(鋼床版縦シーム溶接後)

大 島 大 橋

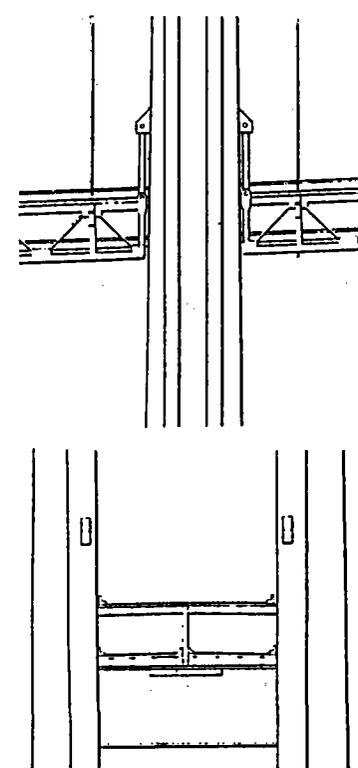
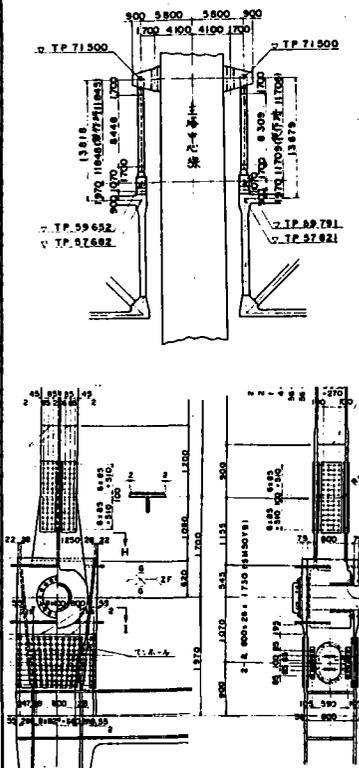
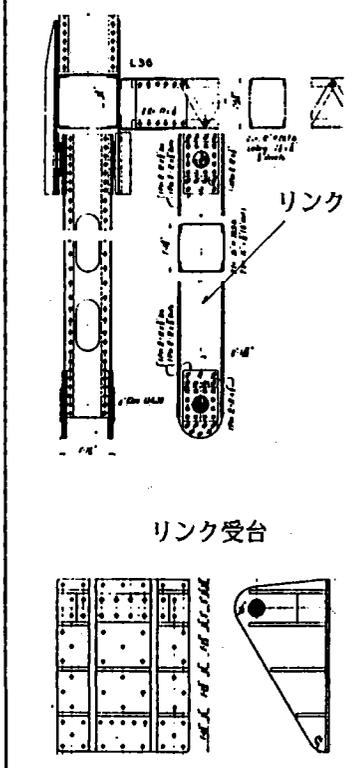
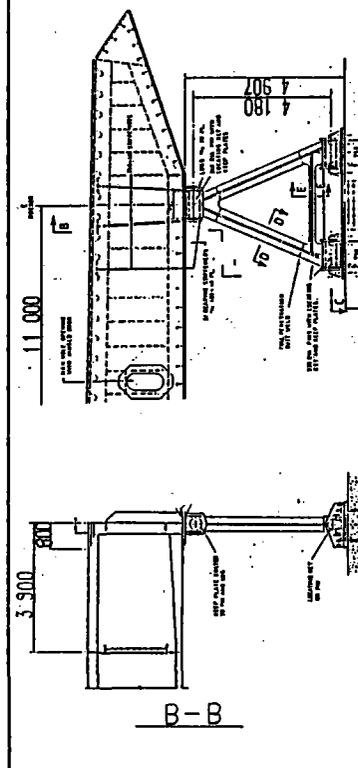
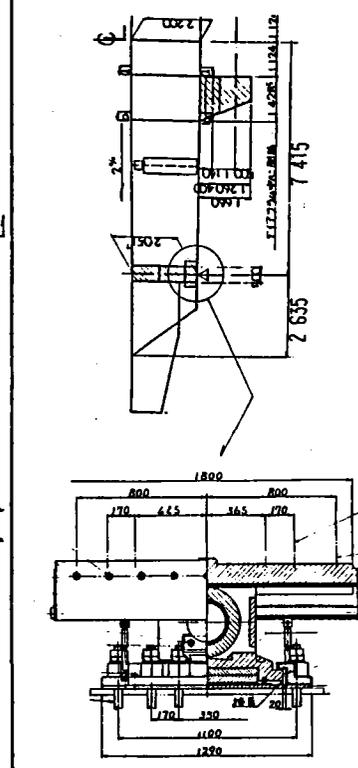


H.T.B接合

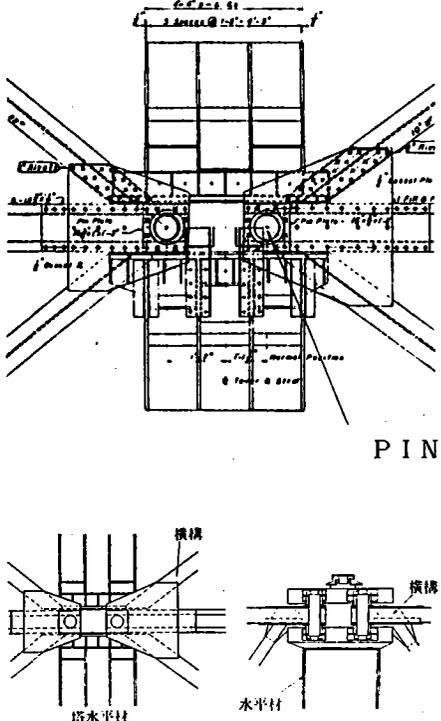
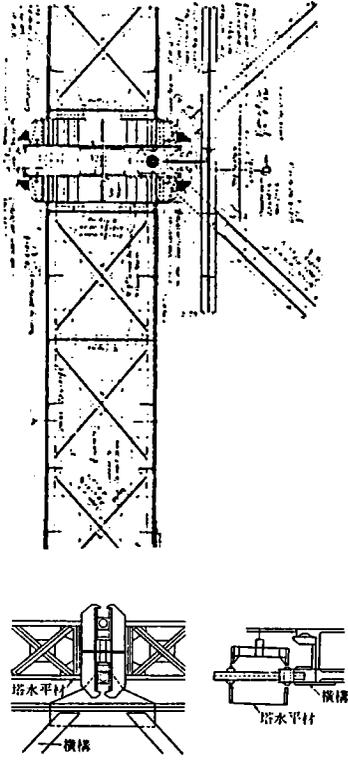
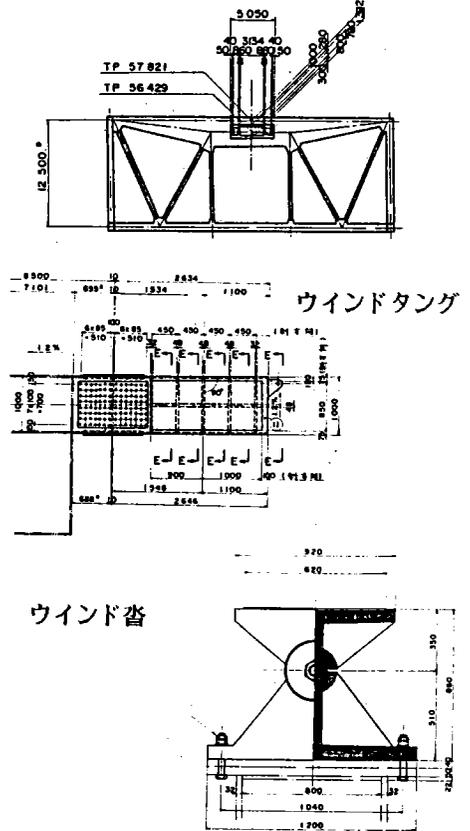
基本設計では溶接であったが、製作上の問題よりH.T.Bに変更

4-6 支承構造の比較

4-6-1 鉛直支承 (主塔部)

構造	リンク構造				車輪形式
	上吊り方式		下支え方式		
構造 ☒	Verrazano Narrows	大鳴門橋	New Tacoma Narrows	Second Bosphorus	大島大橋
					
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 塔側面 (橋軸方向) に取り付けられたブラケットにピン結合されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 支承反力 807.2t ピン径 420 プレート板厚 75mm (SM58) 		<ul style="list-style-type: none"> 鉛直脊とウィンド脊を兼用した脊になっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 桁は回転軸受け上を移動する。

4-6-2 ウィンド杓

橋名	New Tacoma Narrows	San Francisco Oakland Bay	Second Bosphorus	大鳴門橋
構造図	 <p>PIN</p>		<p>前ページと同一</p>	 <p>ウインドタンク</p> <p>ウインド杓</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 横構部材と塔水平材とをピン結合している。 	<ul style="list-style-type: none"> ウィンド杓は、上横構斜材と桁端の床げたとの交点に取り付けられ、塔の水平材の内部に挿入されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直杓とウィンド杓を兼用した杓となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 端横トラスの上弦材を大きな断面とし剛性を上げ、ここに塔の水平材からウィンドタンクと呼ばれる突起を挿入する構造である。ウィンドタンクと上弦材の間には杓を設けている。