

### 3. ケーブル系橋梁の現状

#### 3.1 鋼橋

##### 3.1.1 ケーブル系構造(分類, 新形式)

ケーブル系鋼橋の現状として最近の施工事例を構造形式別に紹介する。

##### (1) 吊橋

明石海峡大橋など長大橋梁によく見られる構造形式であるが, 中小橋梁として, また山間部の歩道橋として無補剛吊橋も多く施工されている。

最近の技術動向としては, 明石海峡大橋(図-3.1.1 参照)で用いられた引張強度  $1,800\text{N/mm}^2$  級スチールワイヤーからなる主ケーブルのように, 新素材を用いる提案が多く見られる。CFRP (炭素繊維補強プラスチック) ケーブルと CFRP 補剛桁を用いたオールプラスチックからなる超長大橋(図-3.1.2 参照)の提案もある。

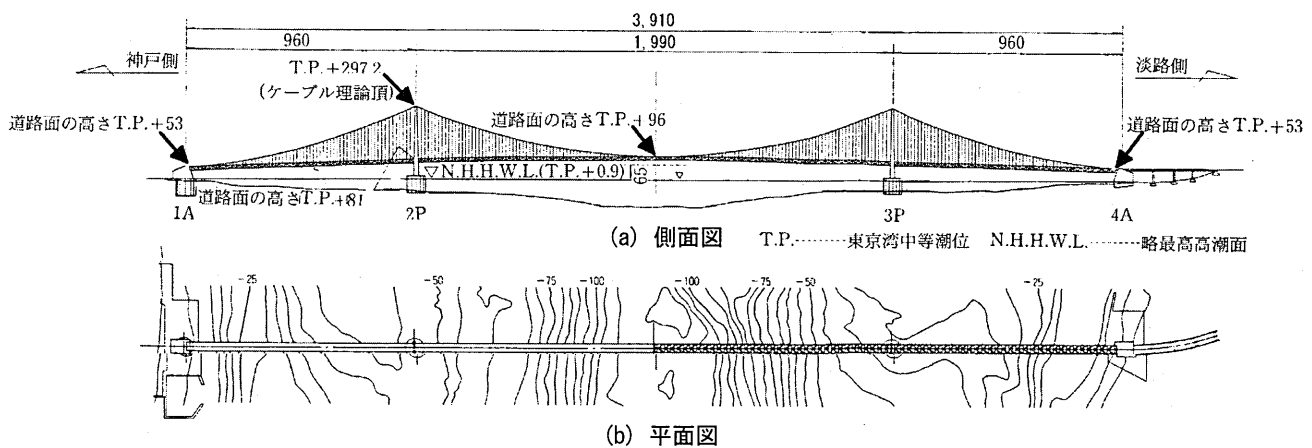


図-3.1.1 明石海峡大橋<sup>1)</sup> (寸法単位: mm)

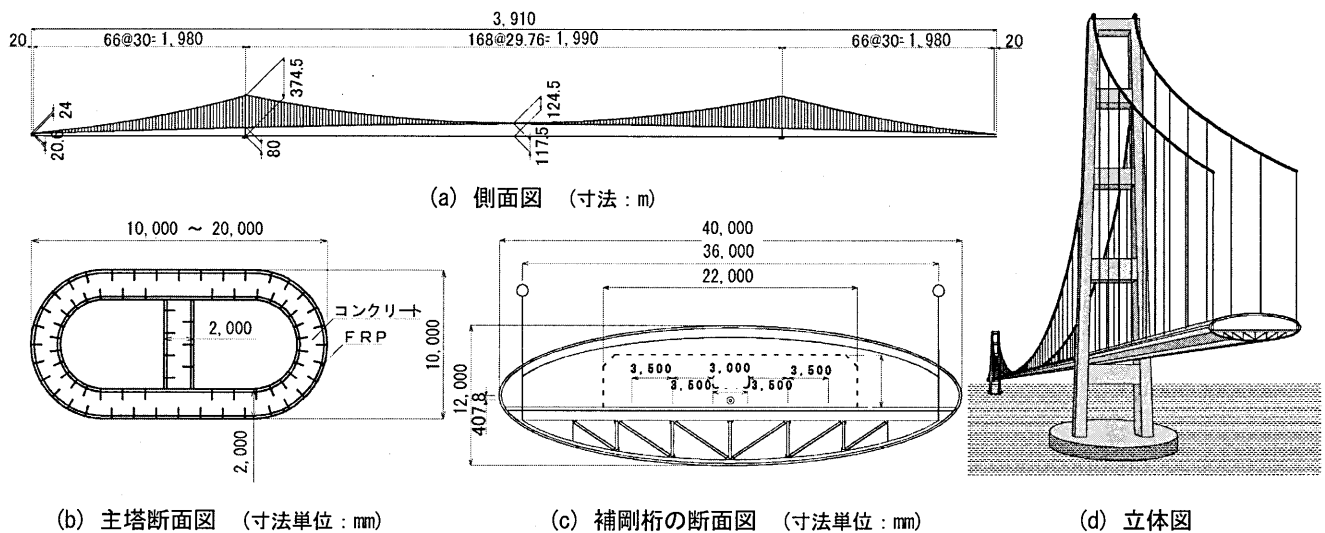


図-3.1.2 オールプラスチック超長大橋<sup>2)</sup>

また、吊橋であるが自碇式とし、ハンガーを斜張りとし斜張橋に近い構造とした自碇式吊橋(図-3.1.3 参照)も施工されている。

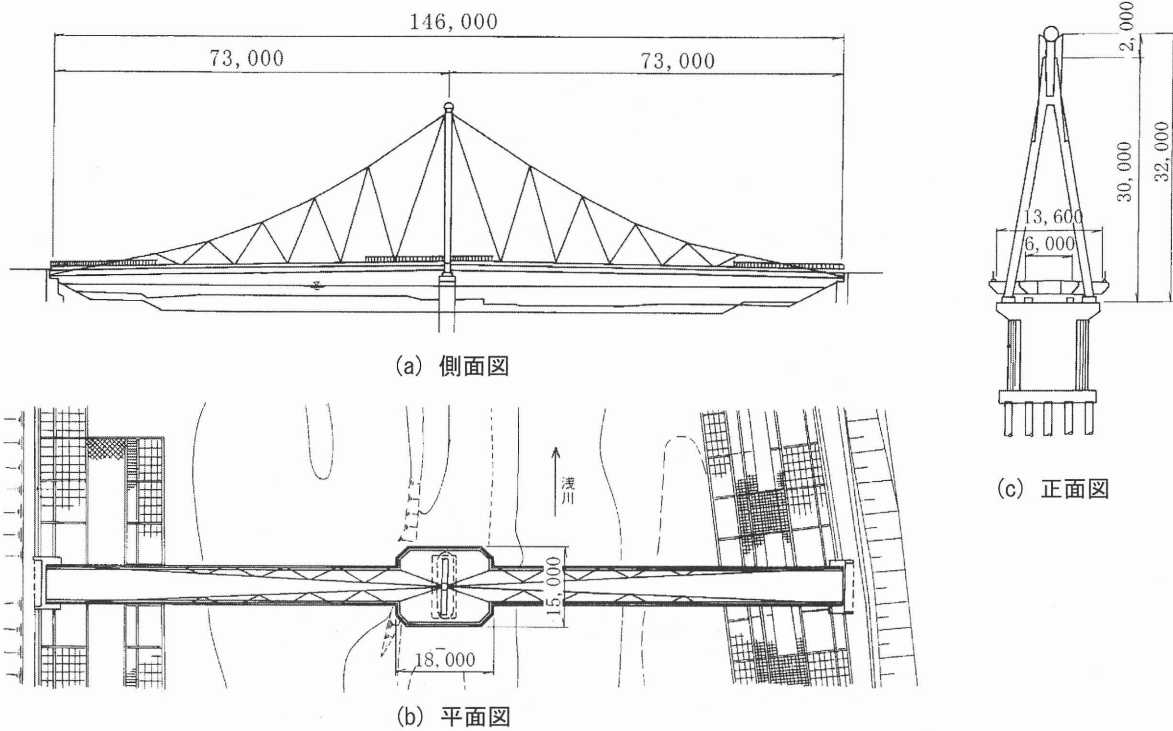


図-3.1.3 二番橋<sup>3)</sup> (寸法単位: mm)

吊橋形式は、道路橋の場合、比較的長支間の橋梁に限定して採用されており、調査<sup>4)</sup>でも9橋と少ない。それに比べて歩道橋については、無補剛形式で多く採用されており、毎年10橋程度はコンスタントに施工されている<sup>4)</sup>。

### ケーブル系橋梁の写真館



コンウィーキャッスル橋 (イギリス コンウィー)



無補剛吊橋（歩道）で新たな素材を用いた例としては、図-3.1.4に示す湯ノ沢吊り橋のように、桁およびケーブルにステンレス鋼を採用した橋梁があげられる。

また、図-3.1.5に示すように、主塔を省略した無補剛吊床版橋も多くの施工例がある。

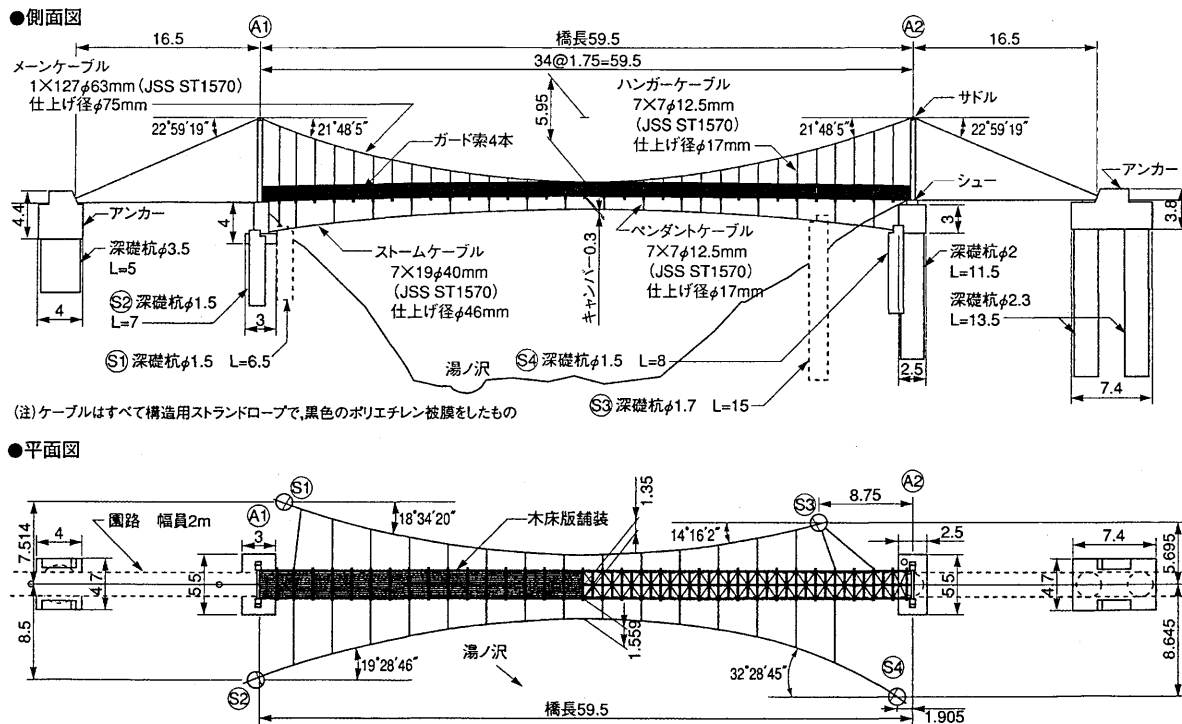
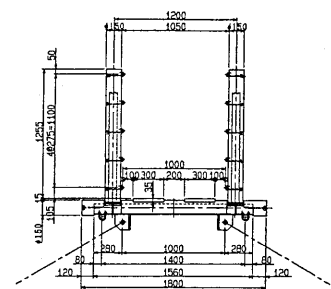


図-3.1.4 湯ノ沢吊り橋<sup>5)</sup> (寸法単位: mm)

断面図 (S=1/20)



床版平面図 (S=1/20)

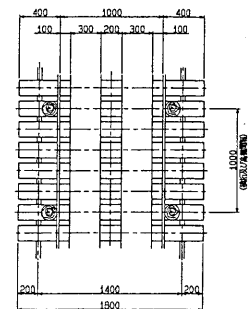


図-3.1.5 無補剛吊床版橋の例(尾の内溪谷吊橋<sup>6)</sup>) (寸法単位: mm)

## (2) 斜張橋系・エクストラードズド橋

多々羅大橋(図-3.1.6 参照)のような長大橋から、小支間長の歩道橋まで、この種の橋梁は、建設されている支間長の範囲は広く、近年多く施工されている。景観等デザインに配慮した橋梁も多いのが特徴である。

PC 橋梁の分野で、例えば木曽川橋、および揖斐川橋(図-3.1.7 参照)のように、斜張橋ほど主塔が高くないエクストラードズド橋がコストメリットの点から最近多く施工されている。

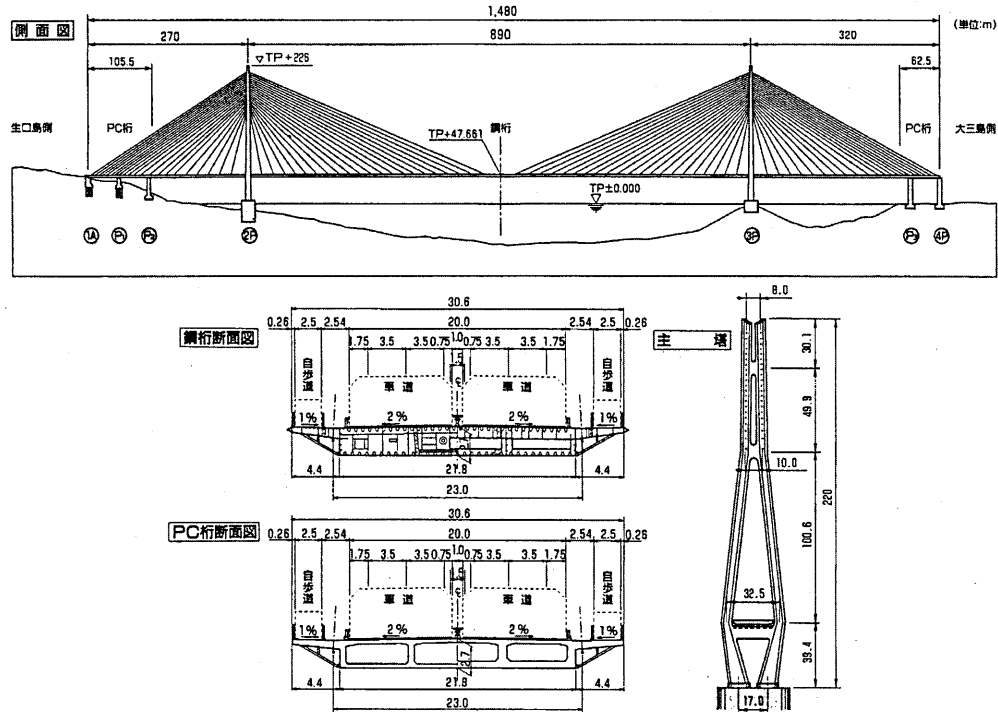


図-3.1.6 多々羅大橋<sup>1)</sup> (寸法単位: m)

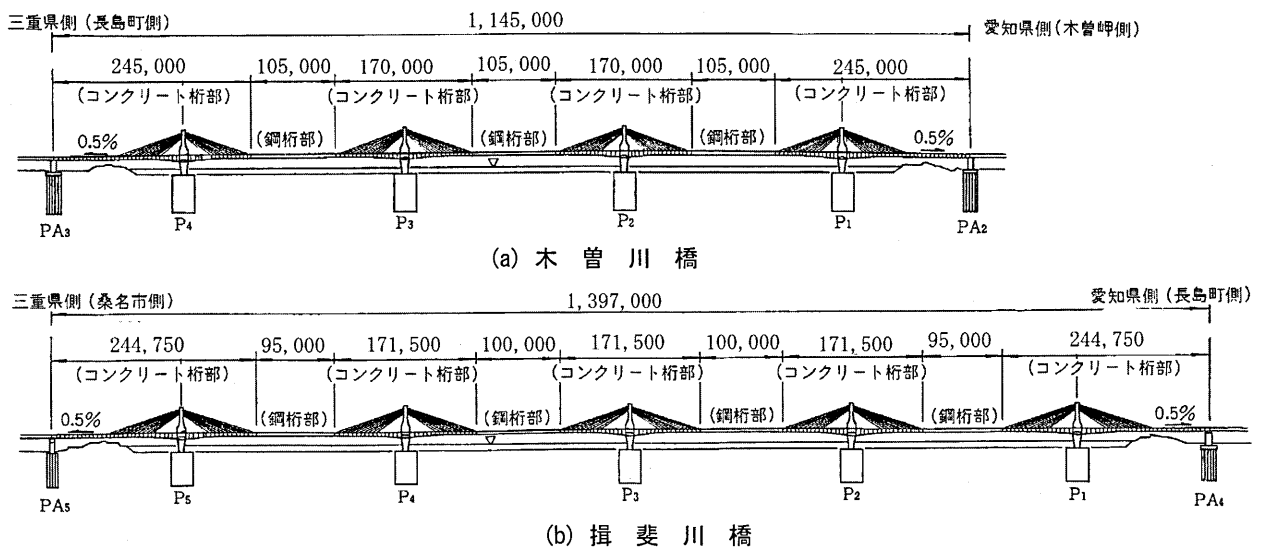
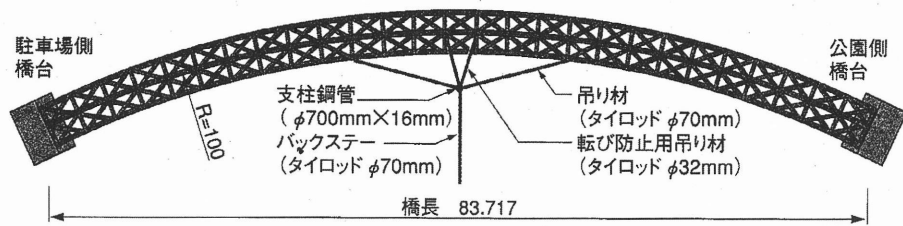


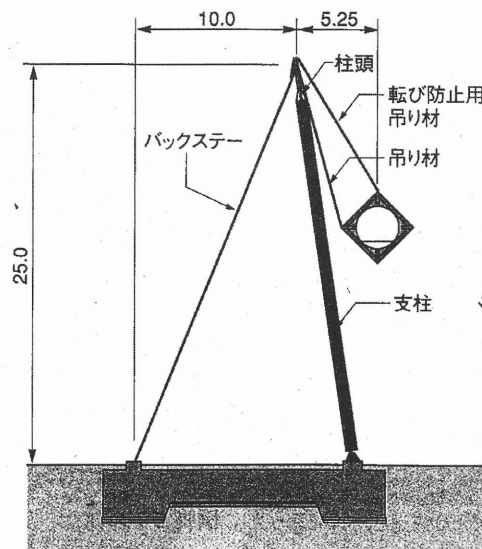
図-3.1.7 木曽川橋・揖斐川橋<sup>7)</sup> (寸法単位: mm)

景観デザインに配慮した橋梁としては、図-3.1.8 示す「きききの吊り橋」や、写真-3.1.1 および図-3.1.9 に示すケールハイム (Kelheim) 歩道橋(オーストリア)があげられる。これらは平面曲率を有する主桁を主桁軸線から離れた位置にある塔から斜張する構造が用いられている。

●平面図



●断面図



●標準断面詳細図

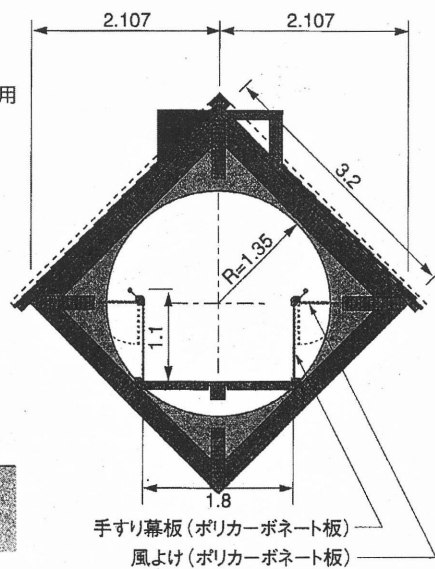


図-3.1.8 きききの吊り橋<sup>8)</sup> (寸法単位: m)

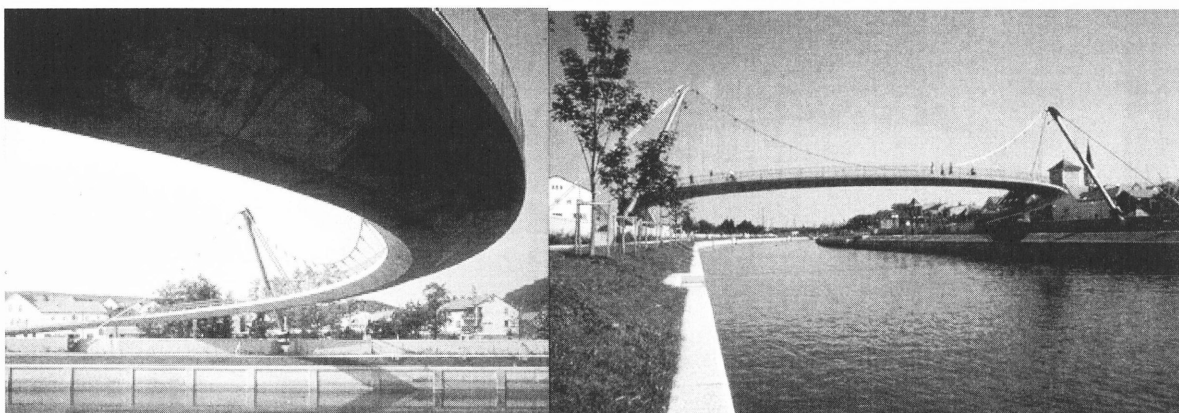
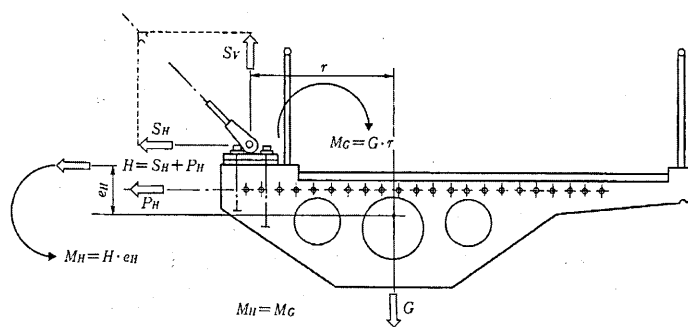
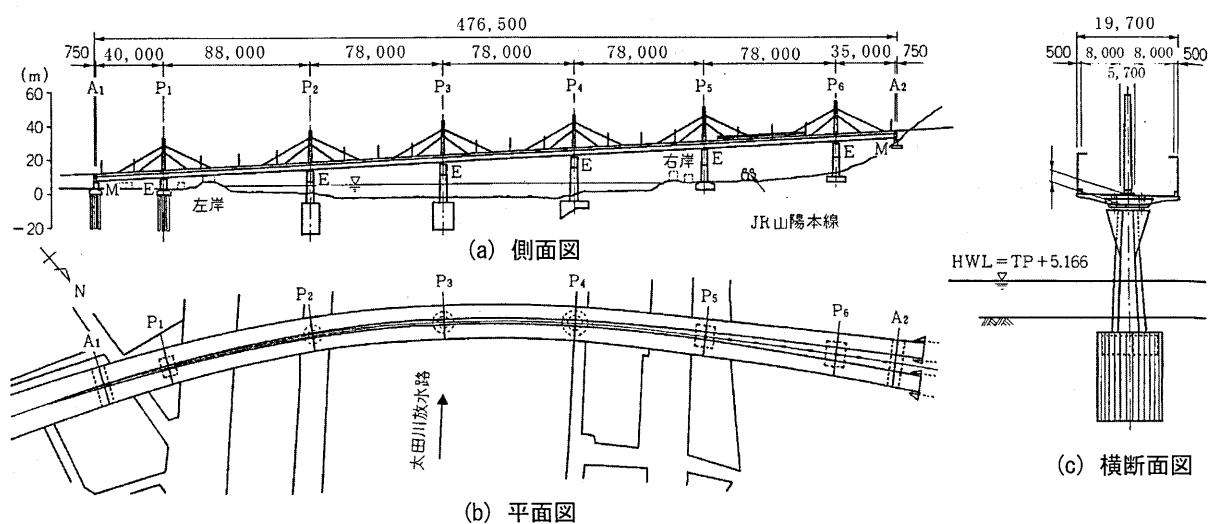


写真-3.1.1 ケールハイム (Kelheim) 歩道橋<sup>9), 10)</sup>

図-3.1.9 ケールハイム (Kelheim) 歩道橋<sup>9),10)</sup>

広島西大橋(図-3.1.10 参照)は 7 径間連続鋼床版斜張橋であるが、多径間化による剛性不足の解消のために、桁高/支間長比を一般的な斜張橋よりも大きくとっており、斜張橋というよりもエクストラドーズド橋に近い構造となっている。

図-3.1.10 広島西大橋<sup>11)</sup> (寸法単位: mm)

海外においても多径間連続鋼斜張橋は幾つか施工されており、最近では、図-3.1.11 に示すギリシャのリオン-アンティリオン (Rion-Antirion) 橋やフランスのミヨー (Millau) 高架橋がある。

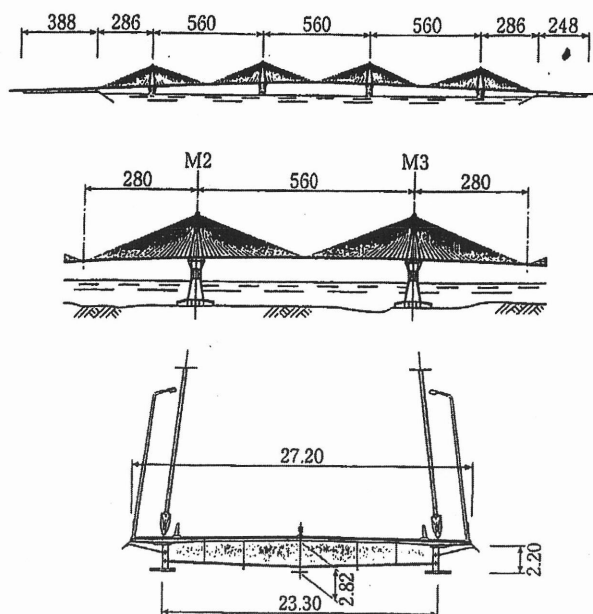


図-3.1.11 リオン-アンティリオン (Rion-Antirion) 橋<sup>12)</sup> (寸法単位: m)

リーマウス (Leamouth) 橋(イギリス)は、主塔が傾倒することにより主桁を跳ね上げる形式の可動橋(図-3.1.12 参照)である。

### Leamouth Bridge

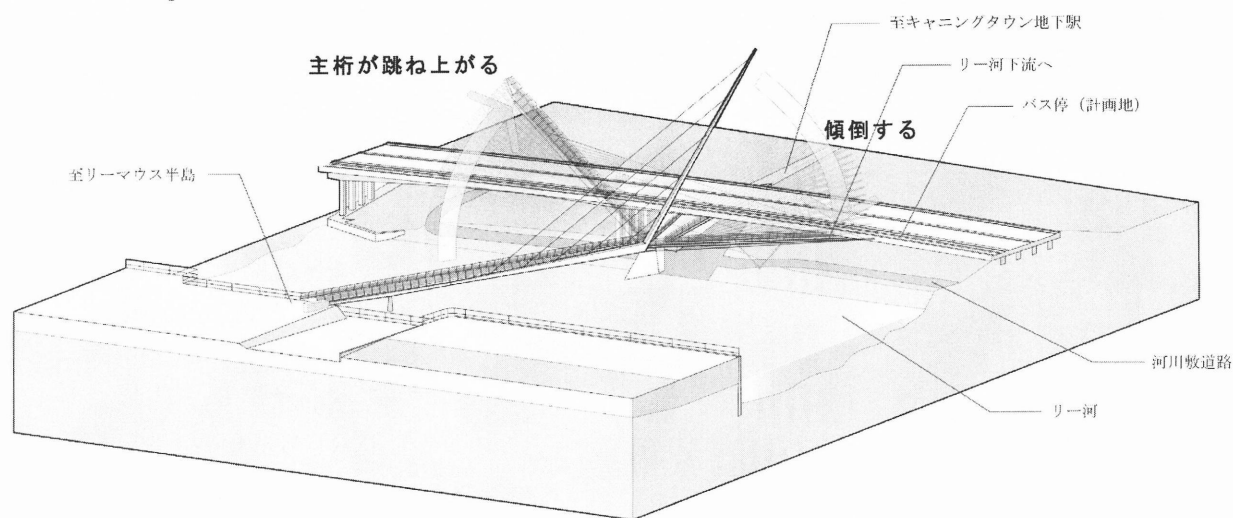
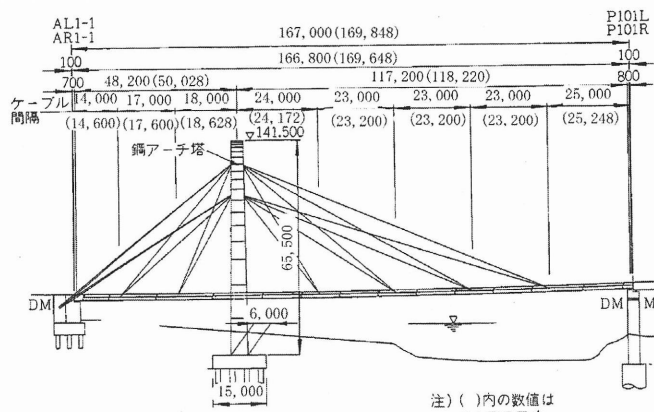
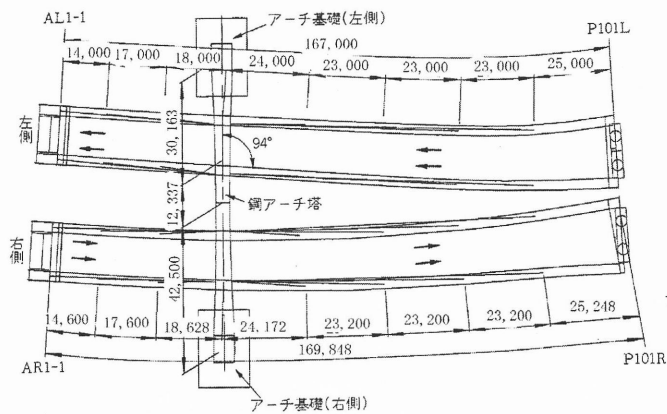


図-3.1.12 リーマウス橋 (Leamouth Bridge)<sup>13)</sup>

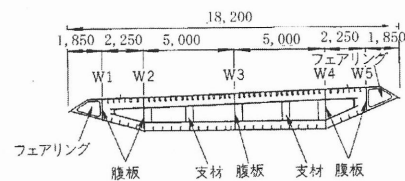
塔形状がアーチ状となっている形式がある。羽田スカイアーチ橋、台湾の猫羅溪 (モウロウシー) 橋(図-3.1.13 参照)、およびイギリスのヒューム (Hulme) アーチ橋(写真-3.1.2 参照)である。



(a) 側面図



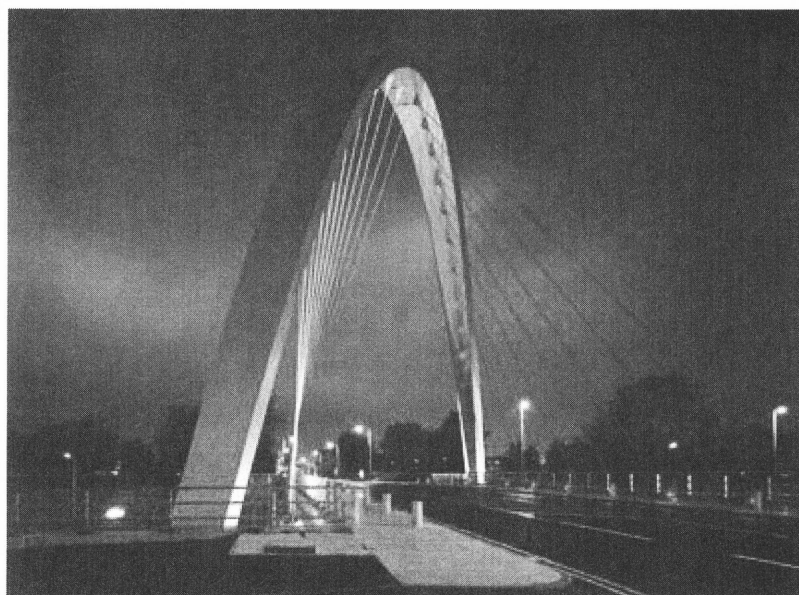
(b) 平面図



(c) 主桁断面図

図-3.1.13 猫羅溪（モウロウシー）橋<sup>14)</sup>

(寸法単位：mm)

写真-3.1.2 ヒューム (Hulme) アーチ橋<sup>15)</sup>

## (3) アーチ橋

ケーブルを利用したアーチ橋梁として一般にみられるのは、ニールセンローゼ形式である。代表的な構造としては、西宮港大橋(図-3.1.14 参照)のようにアーチリブをバスケットハンドル型に傾斜

させ斜材に比較的細径のケーブルを使用した構造が多く見られる。

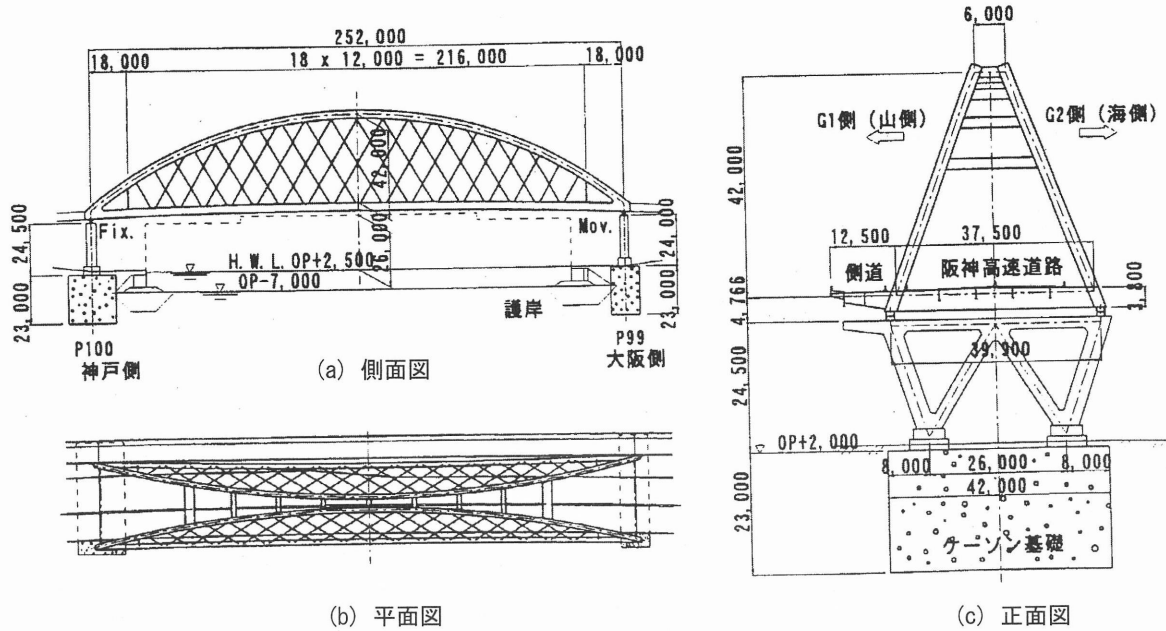


図-3.1.14 西宮港大橋<sup>1)</sup> (寸法単位: mm)

写真-3.1.3 に示すカンポボランティン (Campo Volantin) 歩道橋(スペイン)は、斜張ケーブルとアーチリブにより優美な曲線を演出している。

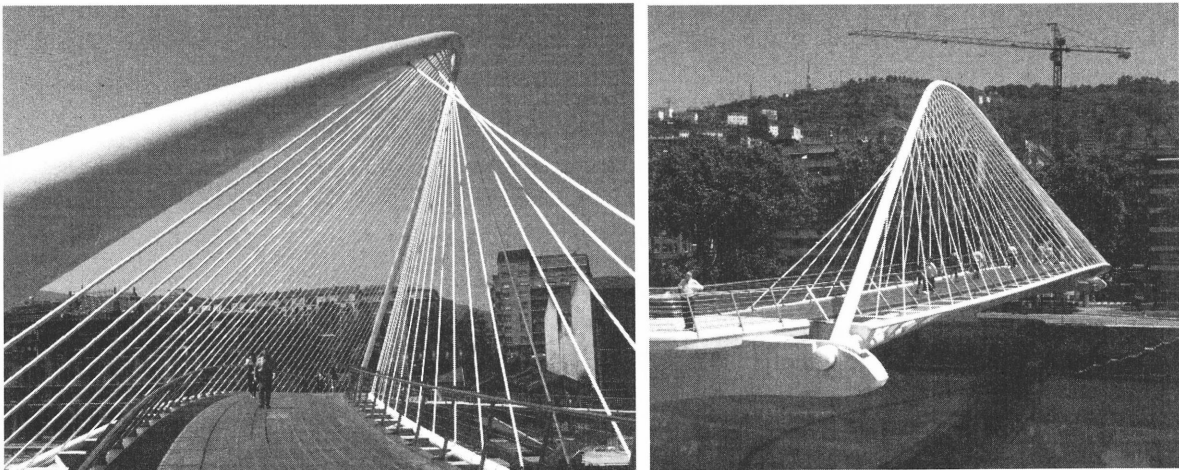


写真-3.1.3 カンポボランティン (Campo Volantin) 歩道橋<sup>16)</sup>

基本的に同様の構造様式をもつイギリスのゲイツヘッドミレニアム（Gateshead Millennium）橋（写真-3.1.4 参照）は、アーチリブが傾斜することにより主桁を跳ね上げる形式の可動橋である。

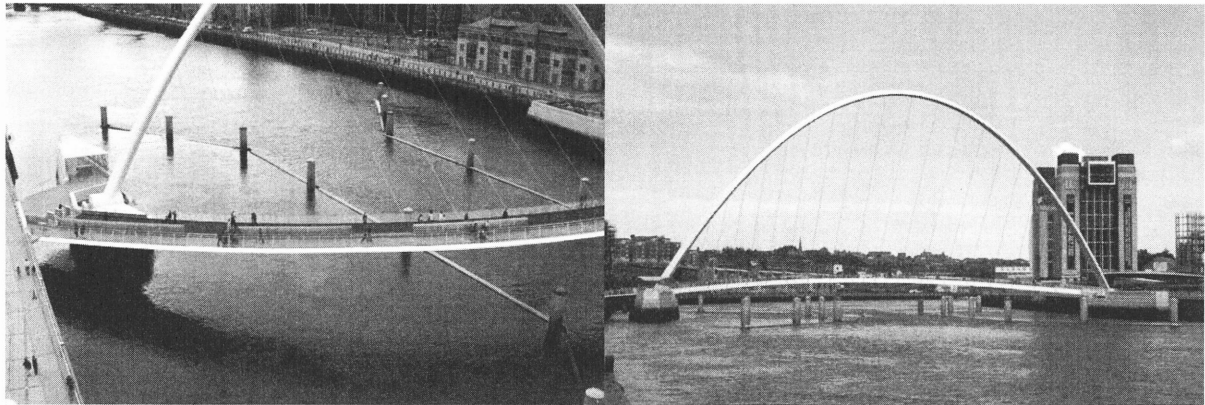


写真-3.1.4 ゲイツヘッドミレニアム（Gateshead Millennium）橋<sup>17), 18)</sup>

#### (4) ケーブルシステム橋梁

張弦構造は、中小スパンの橋梁で注目されている構造形式である。日本では、かつさこ谷川橋と竹花第三橋（図-3.1.15）が最初に施工されている。

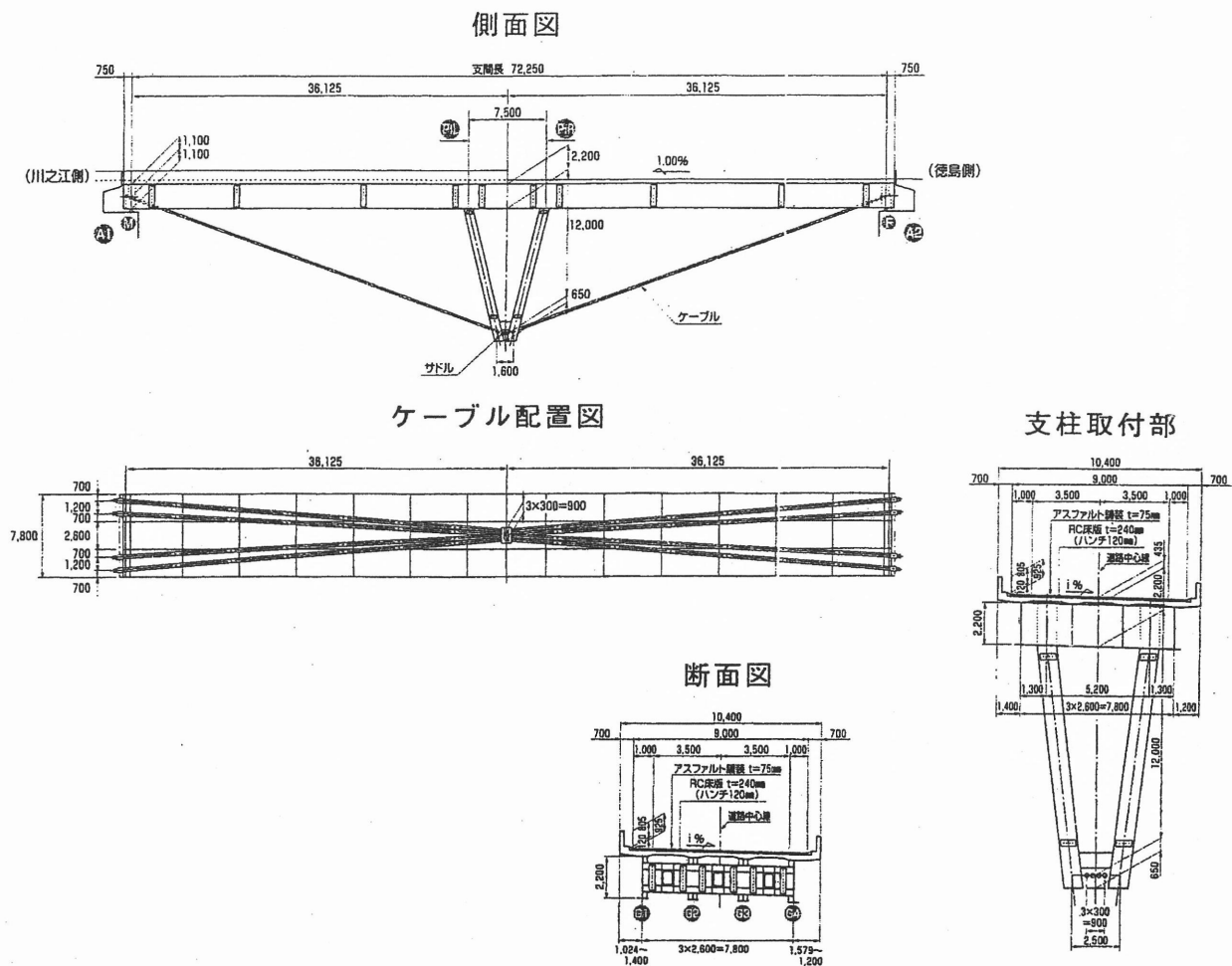


図-3.1.15 竹花第三橋<sup>1)</sup> (寸法単位: mm)



吊床版構造は中小スパンの PC 橋梁に採用されるケースが多く、鋼吊床版橋としてはアドベンチャーブリッジ(図-3.1.16 参照)がある。

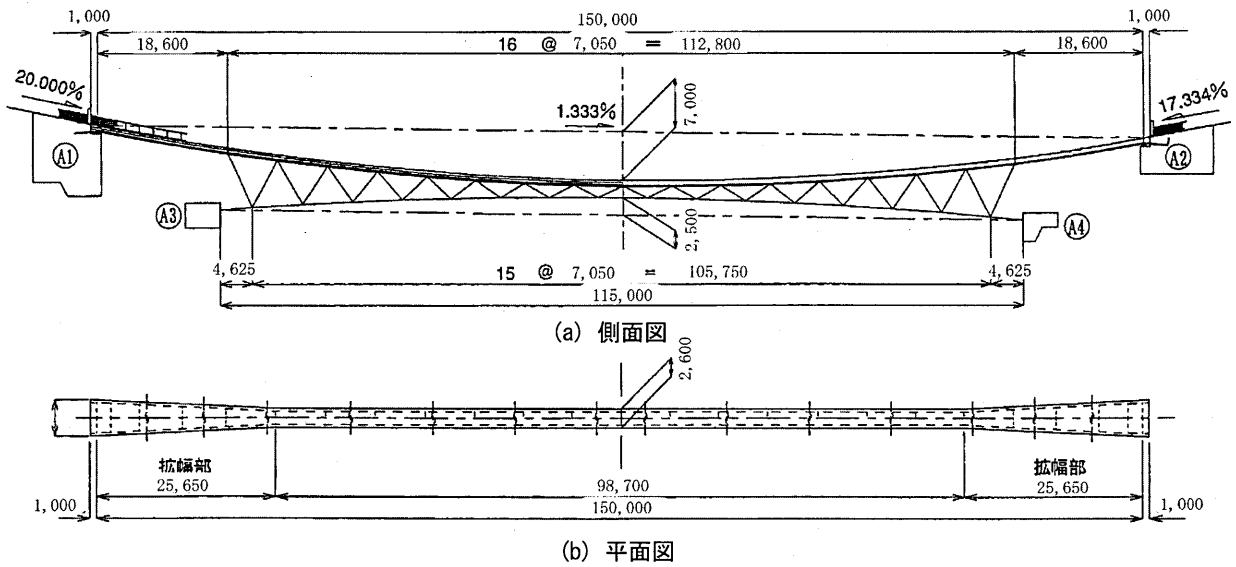


図-3.1.16 アドベンチャーブリッジ<sup>19)</sup> (寸法単位: mm)

ケーブルおよび吊構造は独特な空間演出に効果があり、これらを有効活用することにより景観にも配慮したデザイン性の高い橋梁を実現することができる。そのような例として、例えば、ロッドを使用した吊構造を用いた十二町潟横断橋(図-3.1.17 参照)や、斜張+張弦構造をもつミホミュージアム (MIHO MUSEUM) 橋(図-3.1.18 参照)がある。

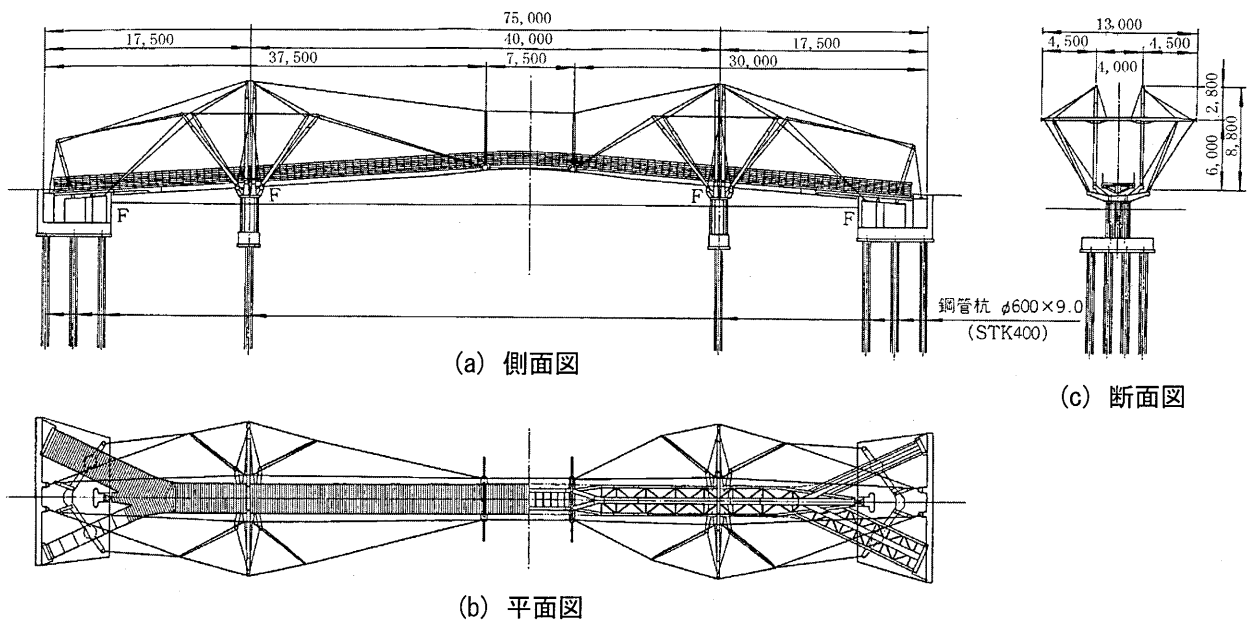


図-3.1.17 十二町潟横断橋<sup>20)</sup> (寸法単位: mm)

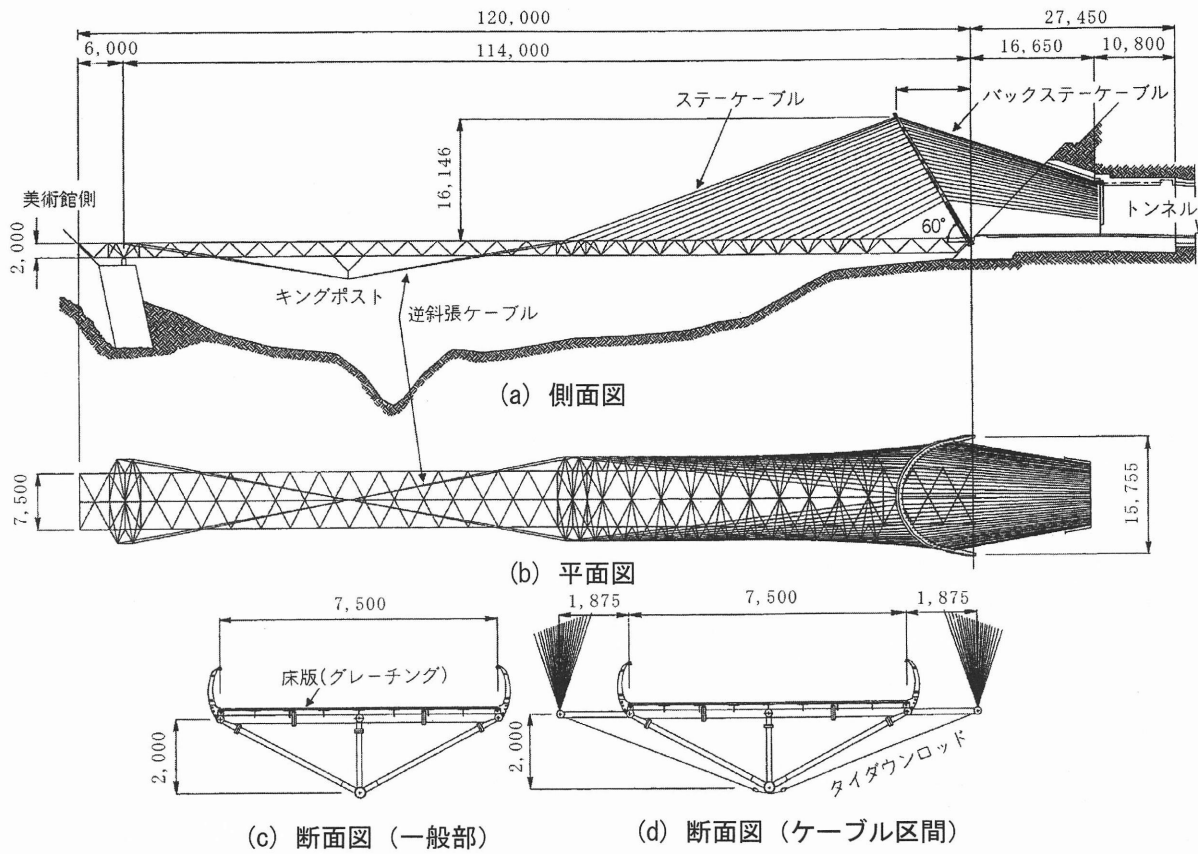
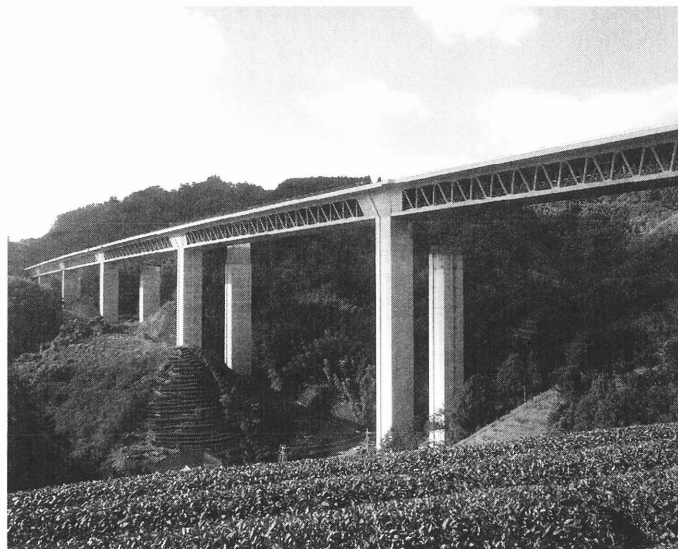


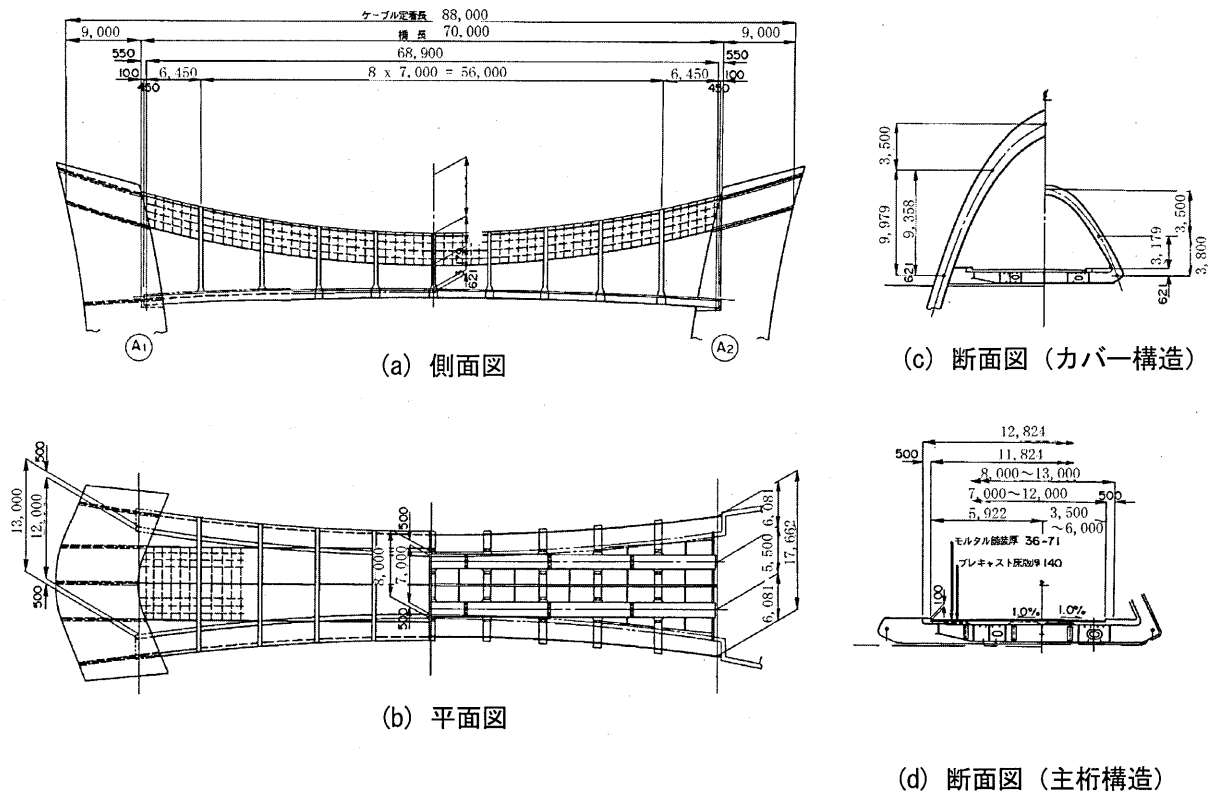
図-3.1.18 ミホミュージアム (MIHO MUSEUM) 橋<sup>21)</sup> (寸法単位: mm)

また、センチュリー大橋(図-3.1.19 参照)は、屋根付橋梁のような外観をしており、鼓形のケーブルの中に橋が浮かんでいるような繊細な曲面を演出している。

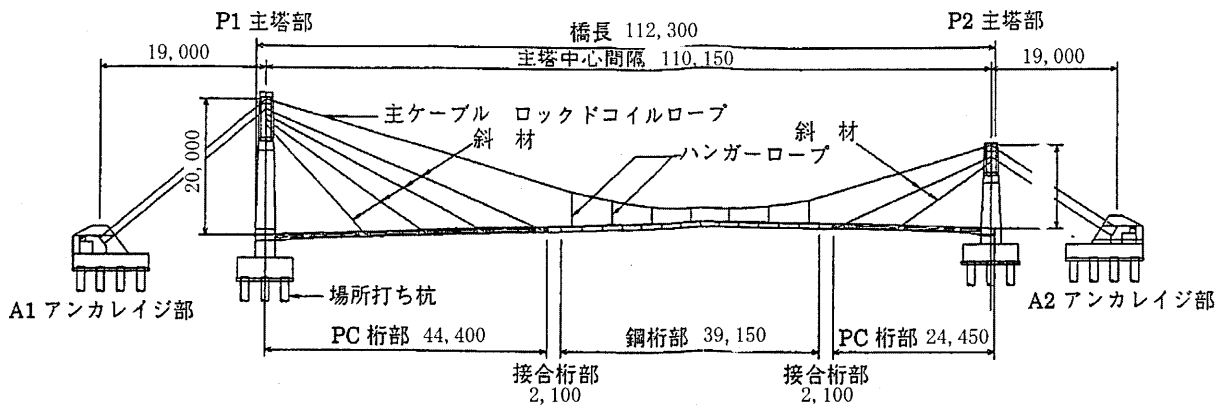
### ケーブル系橋梁の写真館



猿田川橋 (静岡市)

図-3.1.19 センチュリー大橋<sup>1)</sup> (寸法単位: mm)

なぎさブリッジ(図-3.1.20 参照)は、吊構造を吊橋と斜張橋の両方の特徴を有する斜張吊り構造とし、さらに、主桁を PC 桁と鋼桁との混合構造とした橋梁である。

図-3.1.20 なぎさブリッジ<sup>22)</sup> (寸法単位: mm)

## (5) 建築構造物

建築構造物では、大屋根構造物などにケーブルを用いた構造が使用されている。

カシマサッカースタジアム(図-3.1.21 参照)や幕張メッセ北ホール国際展示場は、斜張ケーブルにより屋根構造を支持する構造となっている。また、静岡スタジアム(図-3.1.22 参照)では、天秤式テンセグリック構造が使用されている。

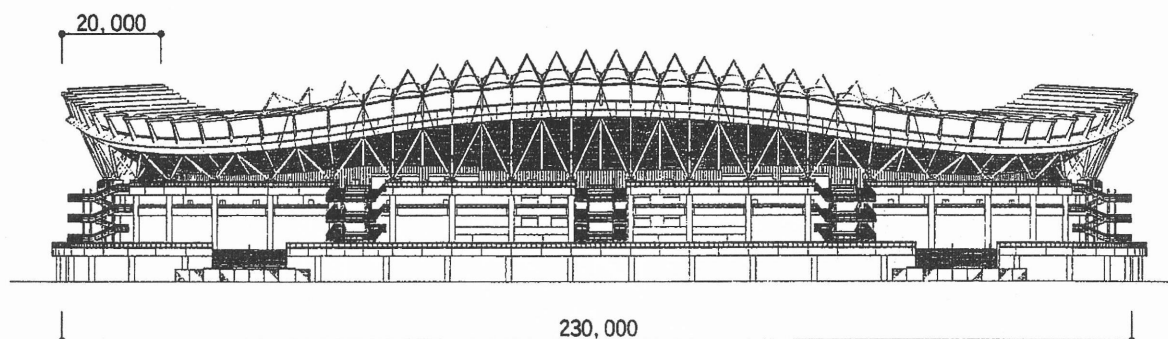


図-3.1.21 カシマサッカースタジアム<sup>23)</sup> (寸法単位: mm)

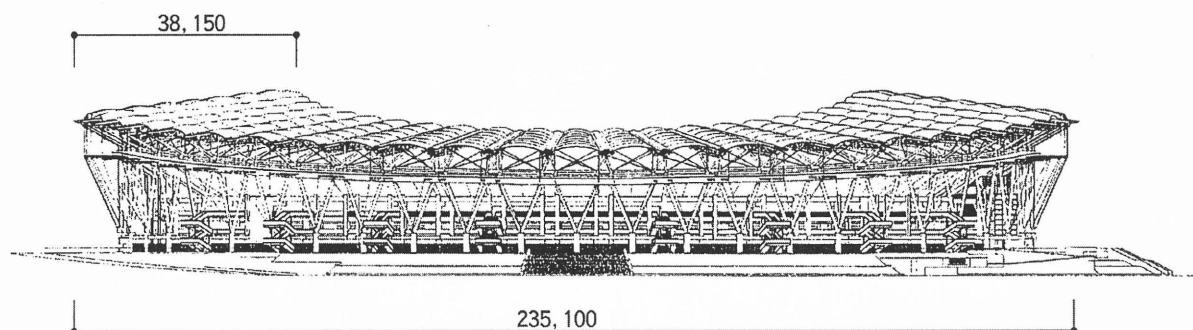
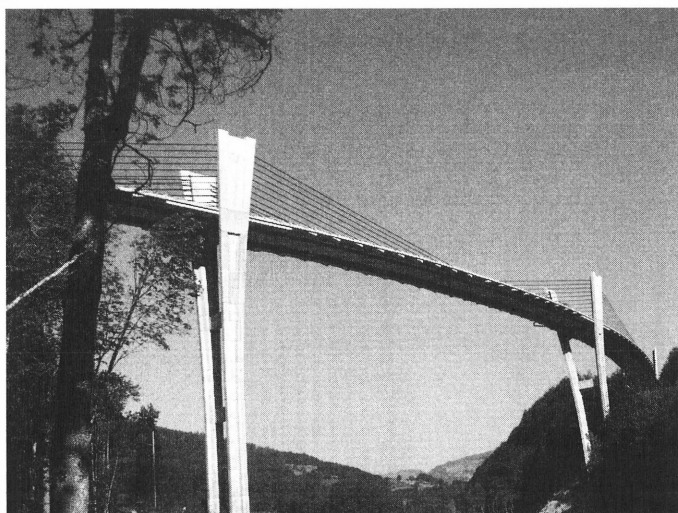


図-3.1.22 静岡スタジアム<sup>23)</sup> (寸法単位: mm)

### ケーブル系橋梁の写真館

スンニベルグ橋  
(スイス クロスタース)



### 3.1.2 ケーブルの用途および種別

#### (1) 吊橋

最近施工された吊橋の橋梁調査結果<sup>1)</sup>より、用途種別により吊橋を分類すると図-3.1.23 となる。歩道橋が 133 橋(93%)と最も多く、次いで道路橋 9 橋(6%)となっている。

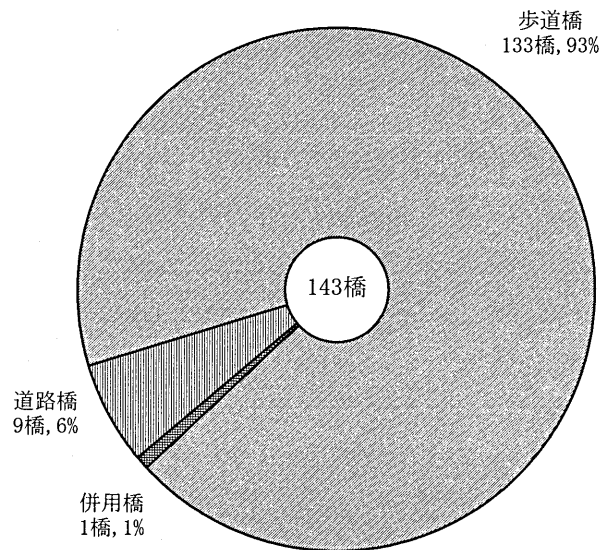


図-3.1.23 吊橋の用途種別

上記のデータから、歩道橋に着目して、使用している主ケーブルを分類すると、図-3.1.24 となる。

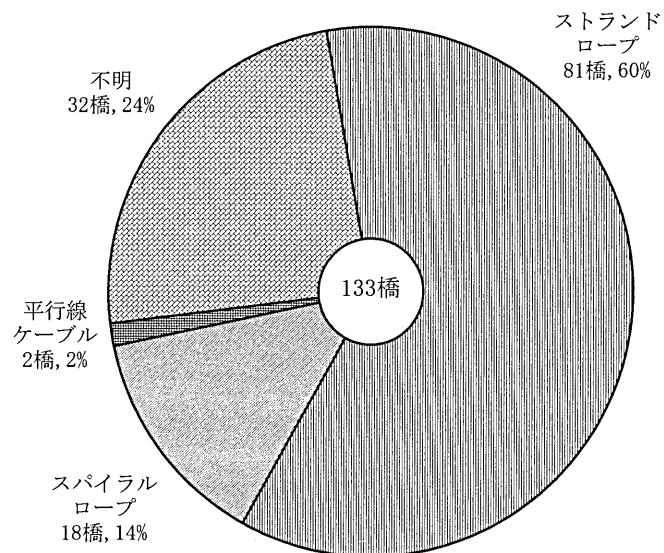


図-3.1.24 歩道吊橋主ケーブルの種別

歩道吊橋主ケーブルには、ストランドロープの使用が 60%と最も多く、次いでスパイラルロープが 14%となっている。道路橋で一般に使用されている平行線ケーブルは、2%とほとんど使用され

ていないことがわかる。

## (2) 斜張橋

最近施工された斜張橋におけるの調査結果<sup>1)</sup>より、用途種別により橋梁を分類すると図-3.1.25となる。道路橋が81橋(63%)と最も多く、次いで歩道橋45橋(35%)となっている。

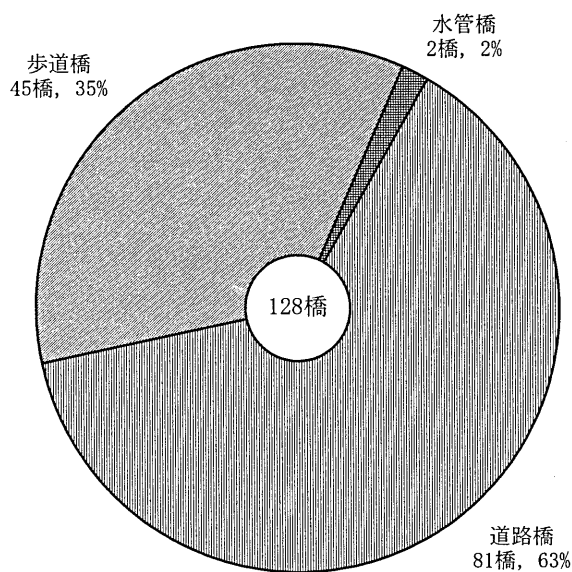


図-3.1.25 斜張橋の用途種別

この結果をもとに斜張橋で使用している斜材を分類する。

全体(128橋)の分類を図-3.1.26に、道路橋(81橋)の分類を図-3.1.27に、道路橋以外の橋梁(47橋)の分類を図-3.1.28に示す。

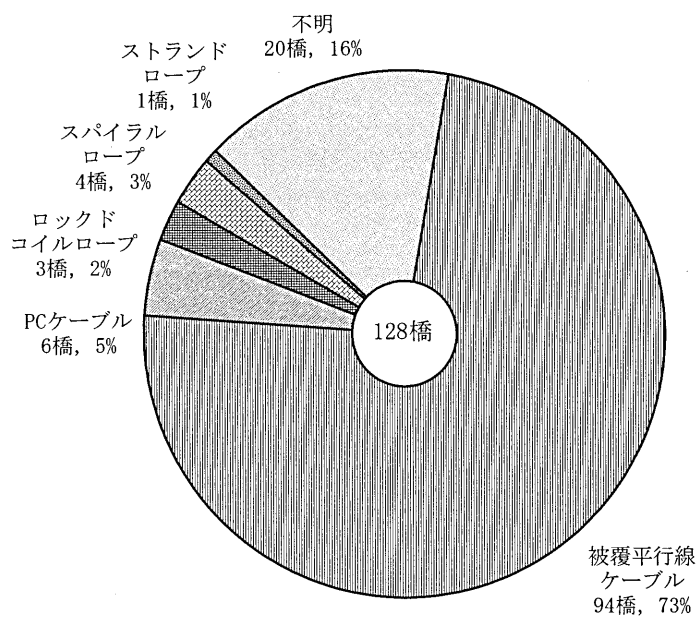


図-3.1.26 斜材の種別(全体)

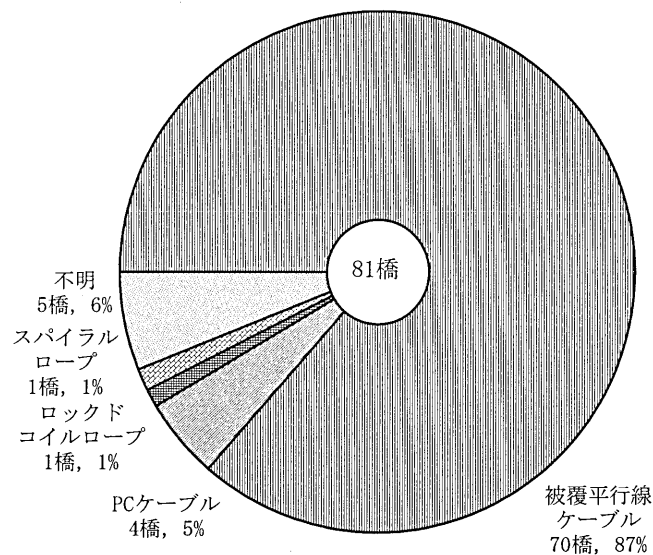


図-3.1.27 斜材の種別(道路橋)

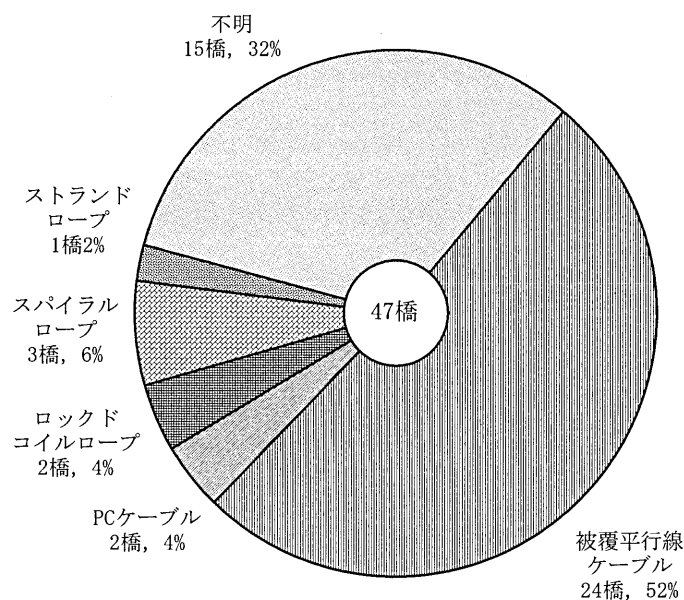


図-3.1.28 斜材の種別(道路橋以外の橋梁)

斜張橋全体では、被覆平行線ケーブルの使用が 73%と最も多く、道路橋ではその割合はさらに増え 87%となり、ほとんどの橋梁で被覆平行線ケーブルが使用されていることがわかる。道路橋以外の橋梁においても約半数の 52%が被覆平行線ケーブルが使用されている。しかし、PC ケーブルやロックドコイルロープなどの割合が相対的に多くなっている。これは道路橋に比べその規模が小さいため、現場施工性や景観を重視した結果、これらの使用割合が増えているものと考えられる。

## (3) アーチ系橋梁（ローゼ橋，ニールセンローゼ橋）

アーチ系橋梁の同様な調査結果により，用途種別により橋梁を分類すると図-3.1.29 となる．道路橋が 114 橋(76%)と最も多く，次いで歩道橋 26 橋(17%)となっている．

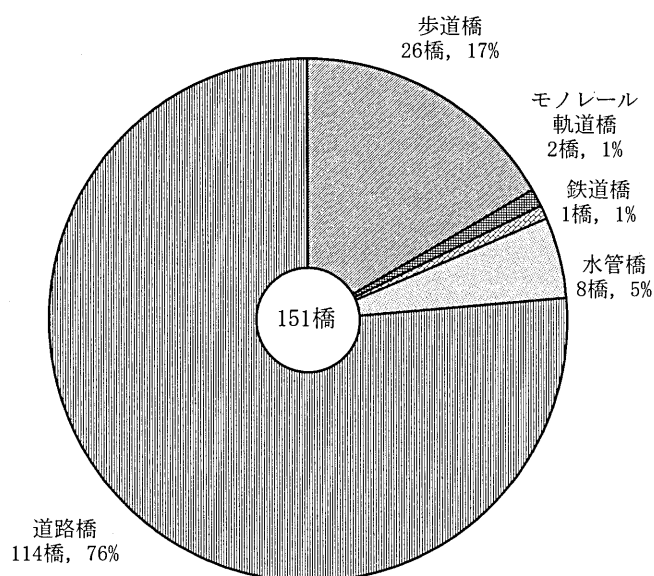


図-3.1.29 アーチ系橋梁の用途種別

この結果をもとに，アーチ系橋梁で使用している吊材を分類する．

全体(151 橋)の分類を図-3.1.30 に，道路橋(114 橋)の分類を図-3.1.31 に，道路橋以外の橋梁(37 橋)の分類を図-3.1.32 に示す．

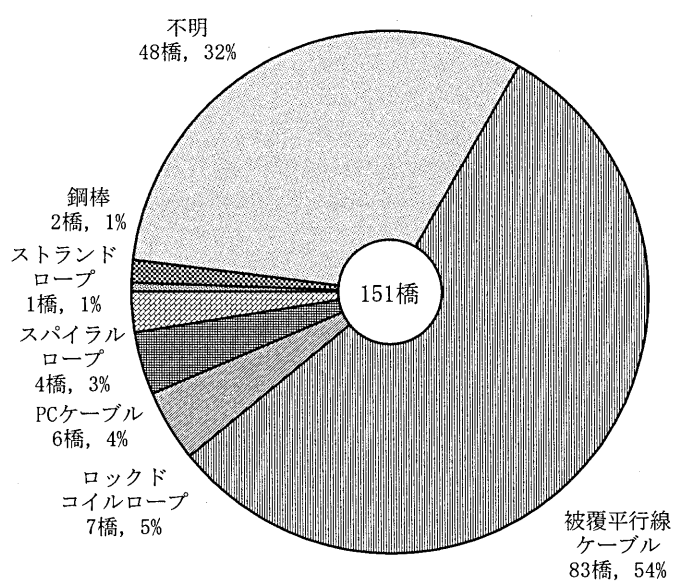


図-3.1.30 吊材の種別(全体)



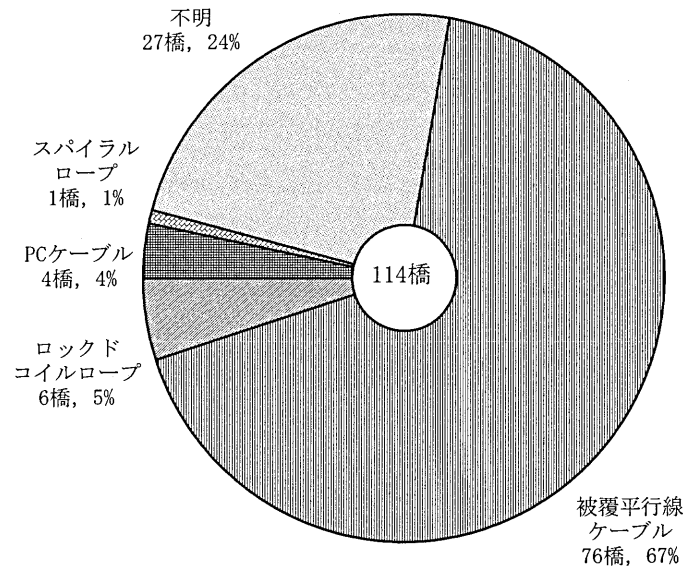


図-3.1.31 吊材の種類(道路橋)

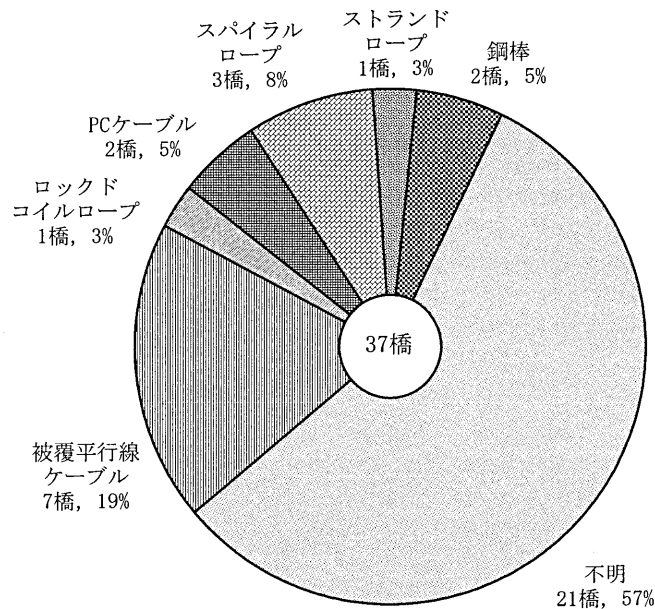


図-3.1.32 吊材の種類(道路橋以外の橋梁)

アーチ系橋梁全体では、被覆平行線ケーブルの使用が約半分の 54%と最も多い。道路橋ではその割合はこれよりさらに増え 67%となり、PC ケーブルやロックドコイルロープなどの割合は少ない。

しかし、道路橋以外の橋梁で見ると、被覆平行線ケーブル以外の使用割合が相対的に多くなっている。これは、斜張橋の場合と同様に、道路橋に比べ規模が小さいため、現場施工性を考え、その使用割合が増えているものと考えられる。

## 3.1.3 定着構造

## (1) 国内のケーブル系橋梁の定着構造

## 1) 吊橋

定着構造に関する最近の橋梁調査結果より, 吊橋に使用されるケーブルの定着構造は, 表-3.1.1 に示すように分類される。

アンケートでは支間長 200mまでの中小規模の吊橋を対象としたため, データは歩道吊橋が約 130 橋となっている。

表-3.1.1 歩道吊橋の定着構造の内訳

| 名 称                 | 定着構造        |
|---------------------|-------------|
| 主ケーブル               | グラウンドアンカー   |
| ハンガーロープ             | ピン, ターンバックル |
| ストームロープ             | グラウンドアンカー   |
| ストームロープと桁を結ぶハンガーロープ | ピン, ターンバックル |

ハンガーロープの定着構造は, 図-3.1.33 に示すようなピン構造, あるいは, ピンとターンバックルとの組合せ構造がほとんどであった。

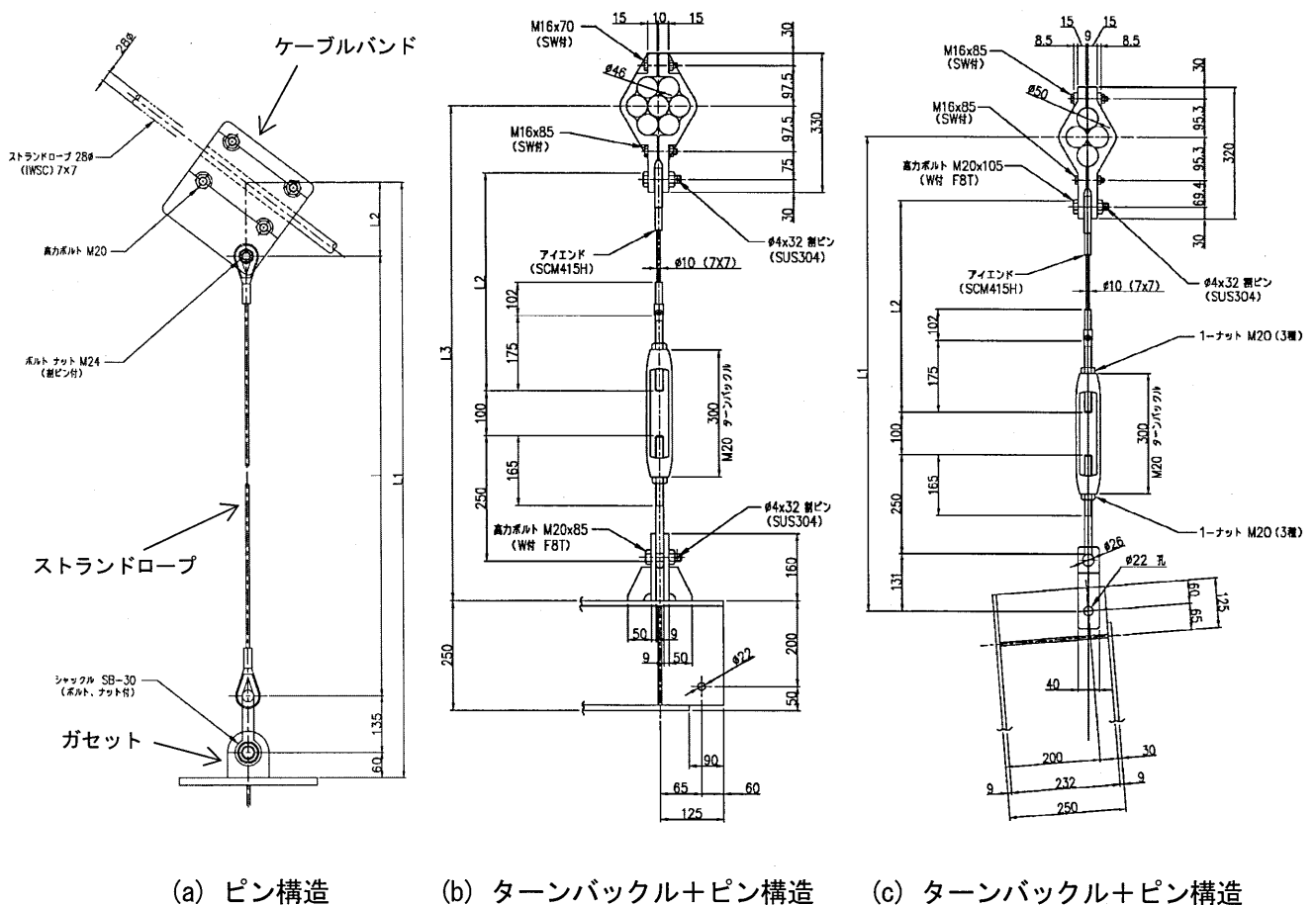
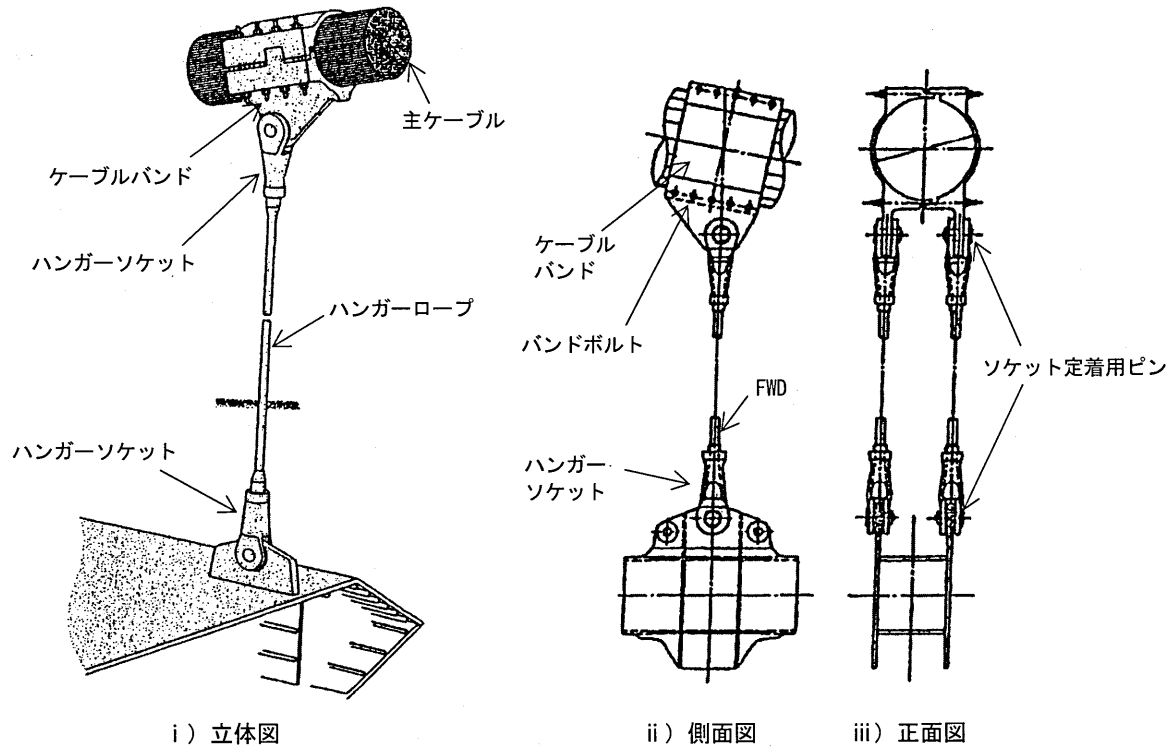
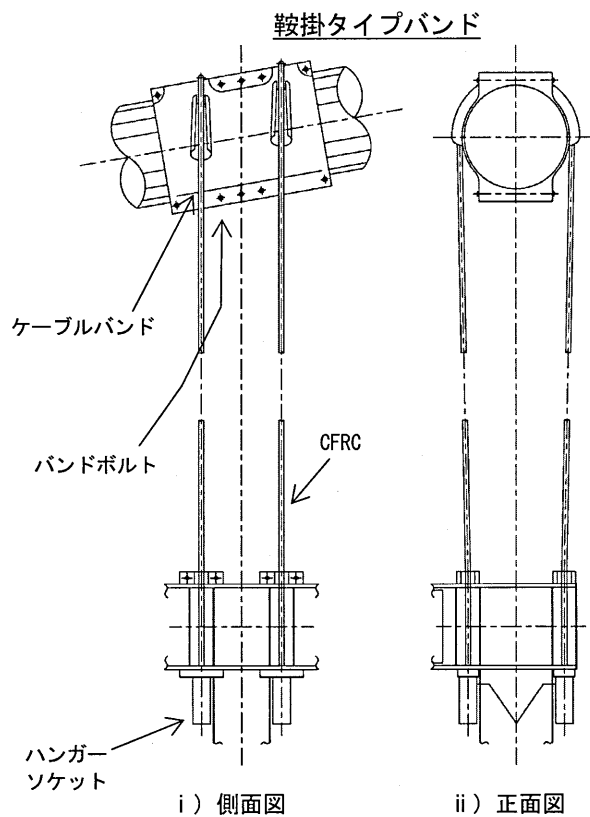


図-3.1.33 代表的なハンガーロープ定着構造の例

また、国内で施工された長大吊橋における調査結果では、ハンガーロープの定着構造は、図-3.1.34 に示すピン形式および支圧形式がほとんどを占めている。



(a) ピン形式定着構造



(b) 支圧形式

図-3.1.34 代表的な長大吊橋ハンガーロープ定着構造例

ピン形式の定着構造は、一方向にのみヒンジ構造であるため、面外方向への変形に対しては、変形量が大きくなると二次的な応力が生じることとなる。

図-3.1.35 には、ハンガーロープの定着部のユニバーサルジョイントを示している。ハンガーロープが短くなる箇所において、横荷重により桁とケーブルとの相対的な変位が大きくなる場合に適用され、面内方向および面外方向の両方に対してピン結合される構造となっている。

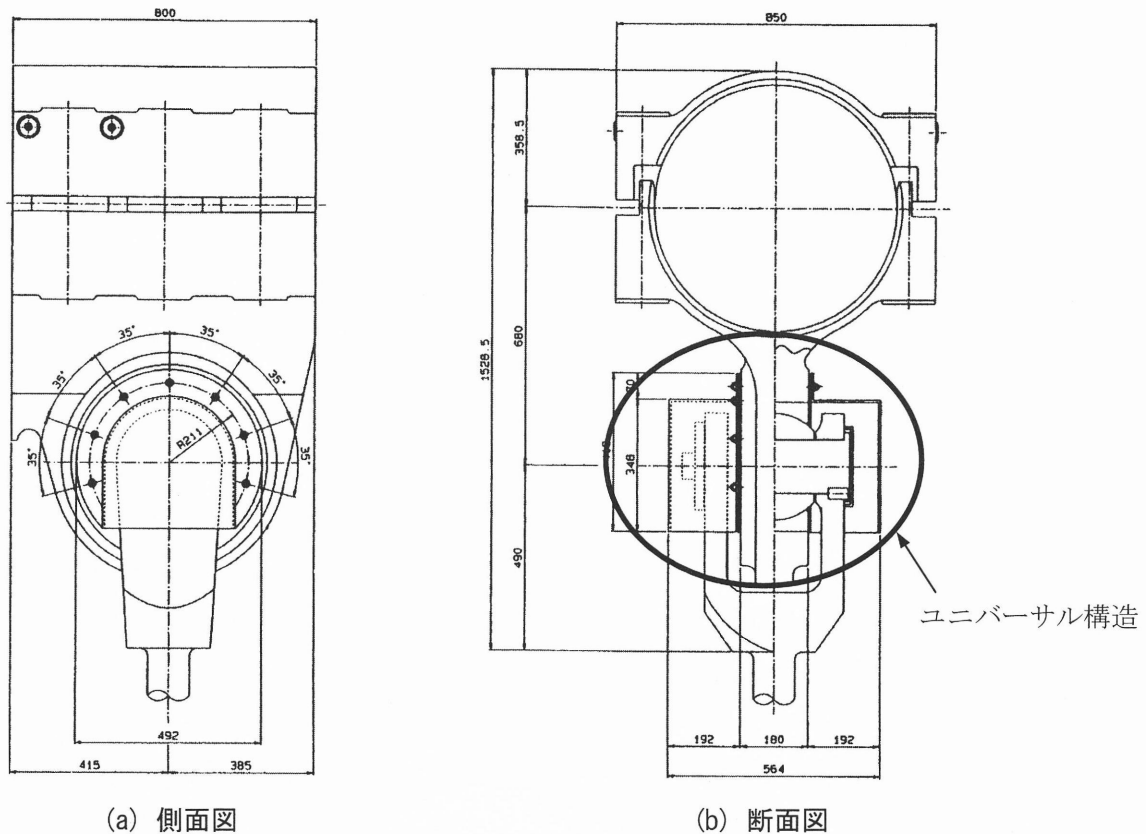


図-3.1.35 ハンガーロープのユニバーサルジョイントの事例 (寸法単位: mm)

### ケーブル系橋梁の写真館

清流橋  
(鹿児島県曾於市)



## 2) 斜張橋およびアーチ系橋

アンケート結果より、斜張橋およびアーチ系橋梁のケーブル定着構造をタイプ別に分類し、整理すると、図-3.1.36 のようである。

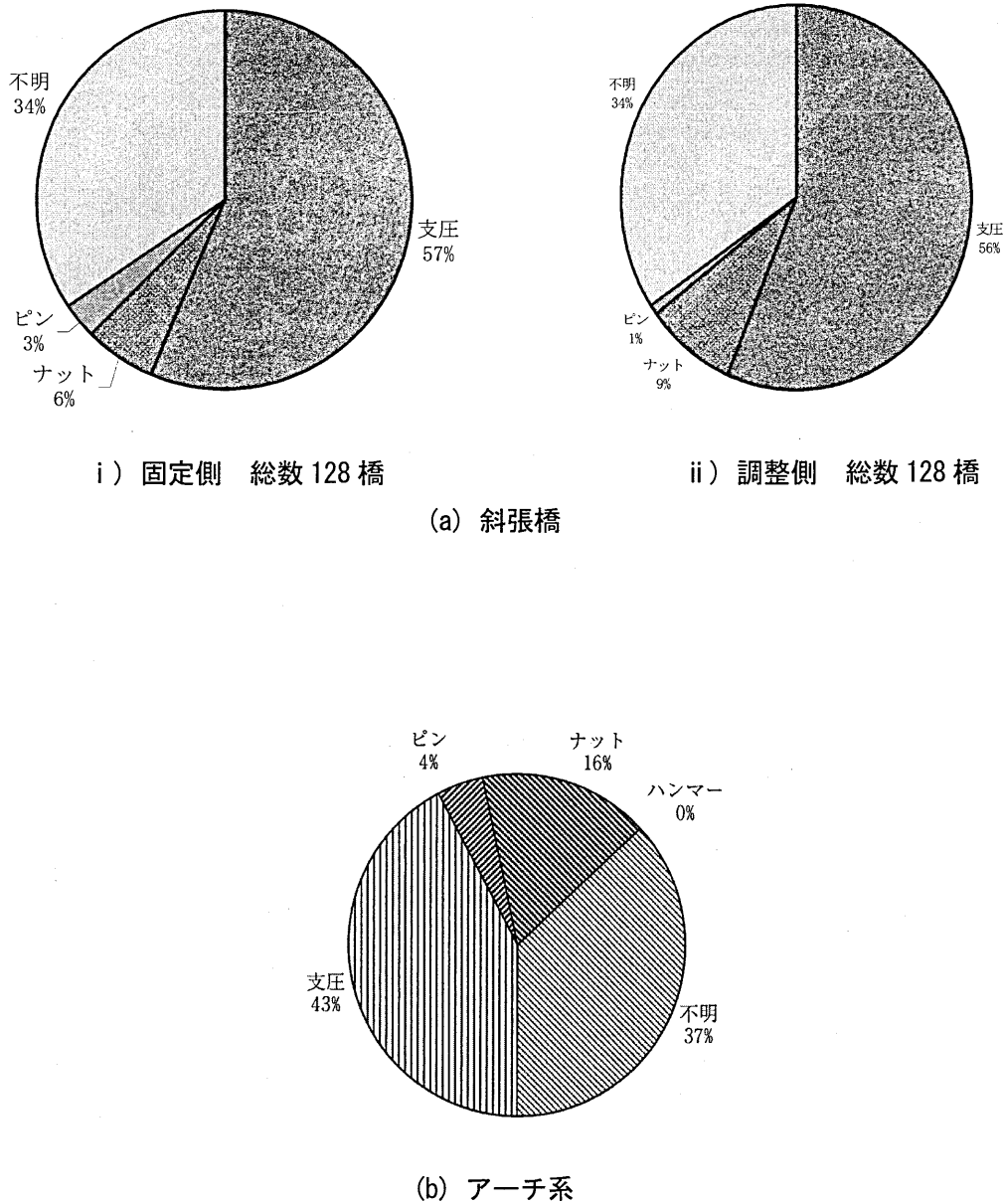


図-3.1.36 国内のケーブル系橋梁のタイプ別定着構造

ナット定着は、大別すると支圧定着の一部であると考えられる。国内の斜張橋およびアーチ橋のケーブル定着構造は支圧による定着構造がほとんどであり、ピンおよびハンマーといった構造の採用はほとんどない状況にある。

## (2) 建築構造における定着構造例

ケーブルを使用した建築構造の調査における定着構造例を紹介する。

## 1) 幕張メッセ北ホール国際展示場(千葉県千葉市)

図-3.1.37 に示すホールでは、ウェーブおよびカテナリーと呼ばれる2種類の屋根構造が採られている。ウェーブ構造では屋根中間部を支持するフォアケーブルとバックステーケーブル、カテナリー構造では屋根主構材に軸力を付与するバックステーケーブルが用いられている。ケーブル同士もしくはケーブルと屋根主構材は柱頭部でコンパクトなピン結合(図-3.1.38 参照)が採用されている。

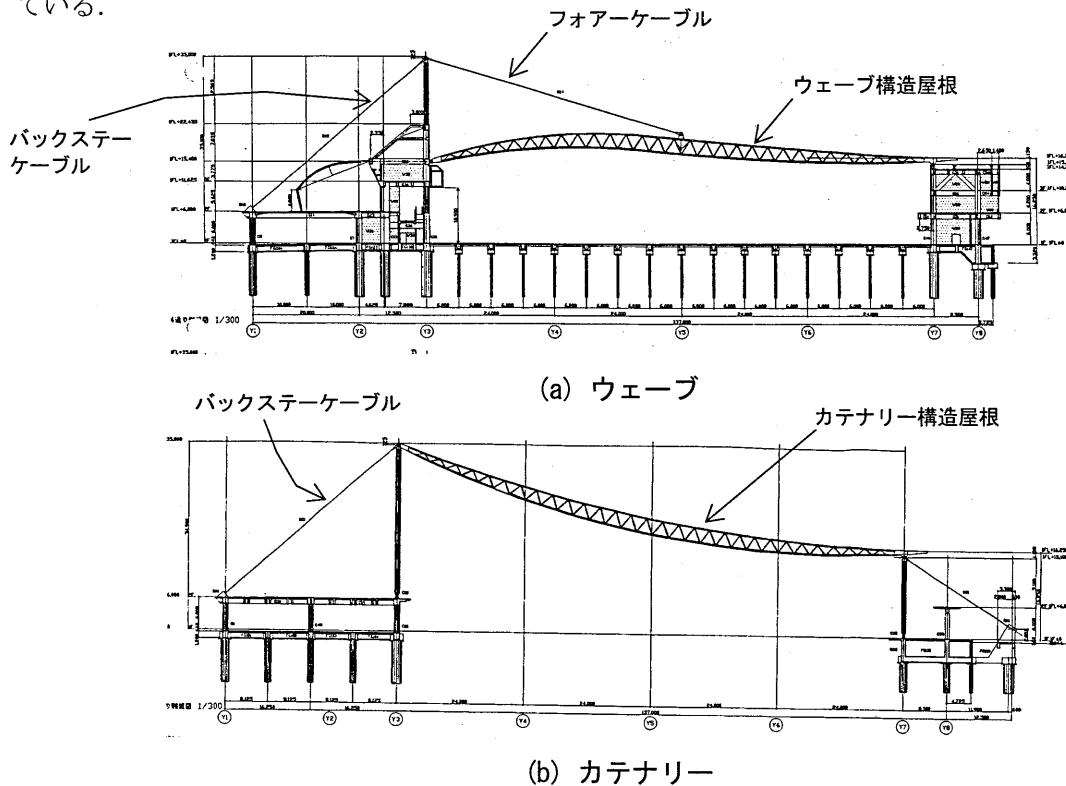


図-3.1.37 幕張メッセ北ホール国際展示場(概観図)

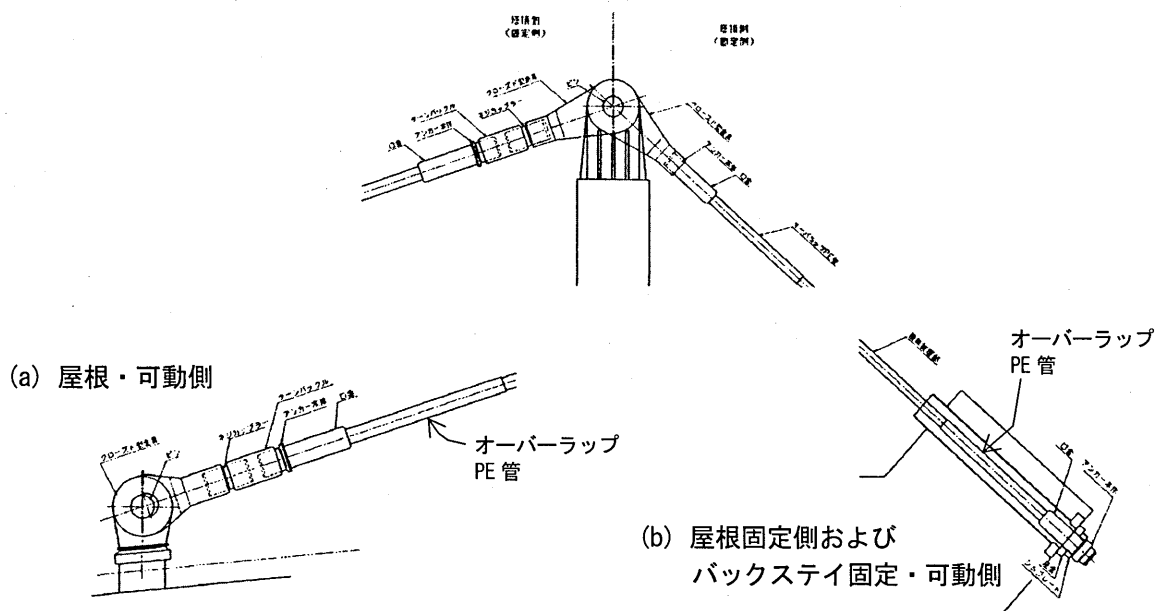


図-3.1.38 定着構造の詳細(側面図)

## 2) カシマスタジアム(茨城県鹿島市)

図-3.1.39 に示すカシマスタジアムは、既存スタジアムを 41,800 人収容の部分(客席)を屋根付きスタジアムに改築したものである。その定着構造(図-3.1.40 参照)には、すべてピン接合が採用されている。

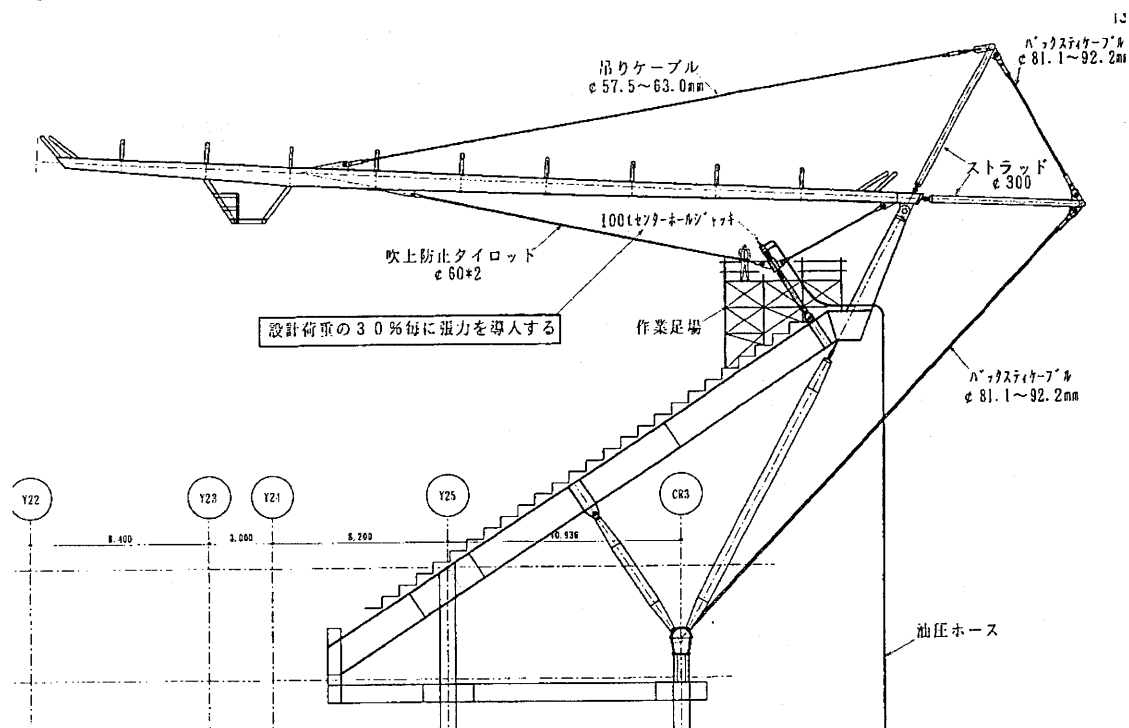


図-3.1.39 カシマスタジアム(概観図)

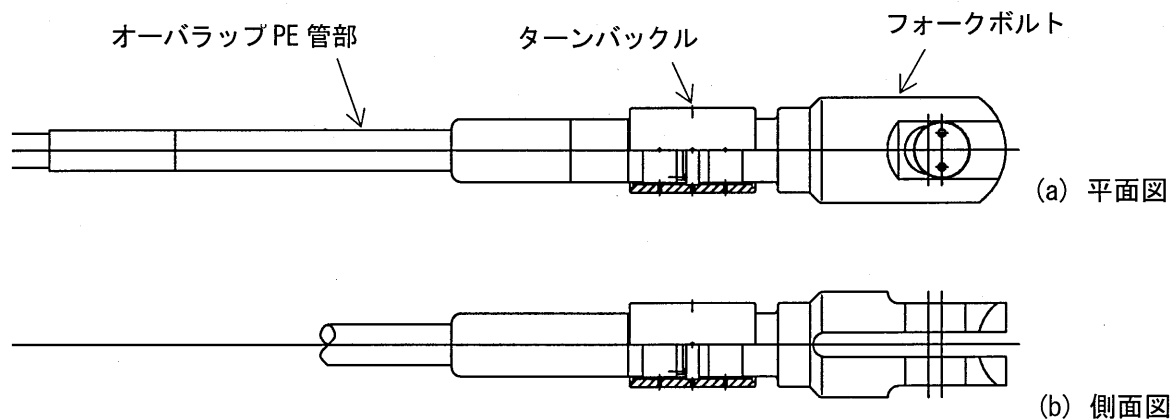


図-3.1.40 定着構造の詳細 (寸法単位: mm)

## 3) 東京スタジアム（東京都調布市）

図-3.1.41 および図-3.1.42 には、それぞれ東京スタジアムの概要と定着構造を示す。構造の特徴は、片持ち屋根を斜吊りケーブル、バックステーケーブル、（吹き上げ防止）プレストレスケーブルなどで支持していることである。

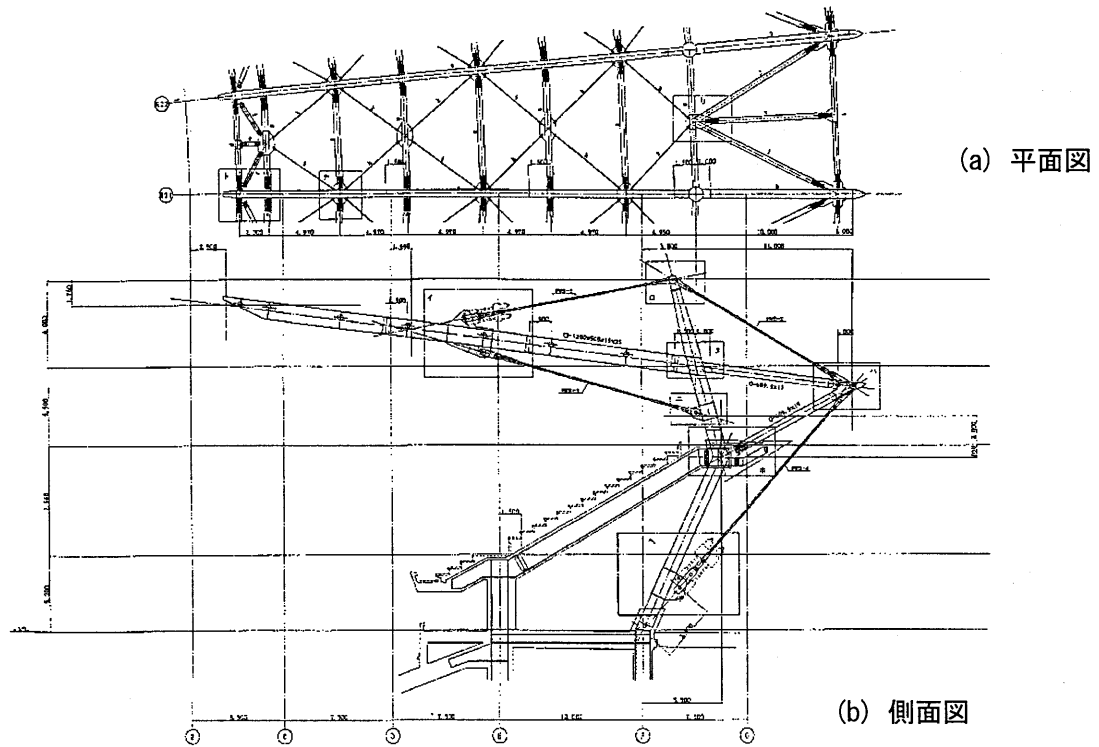


図-3.1.41 東京スタジアム(概観図)

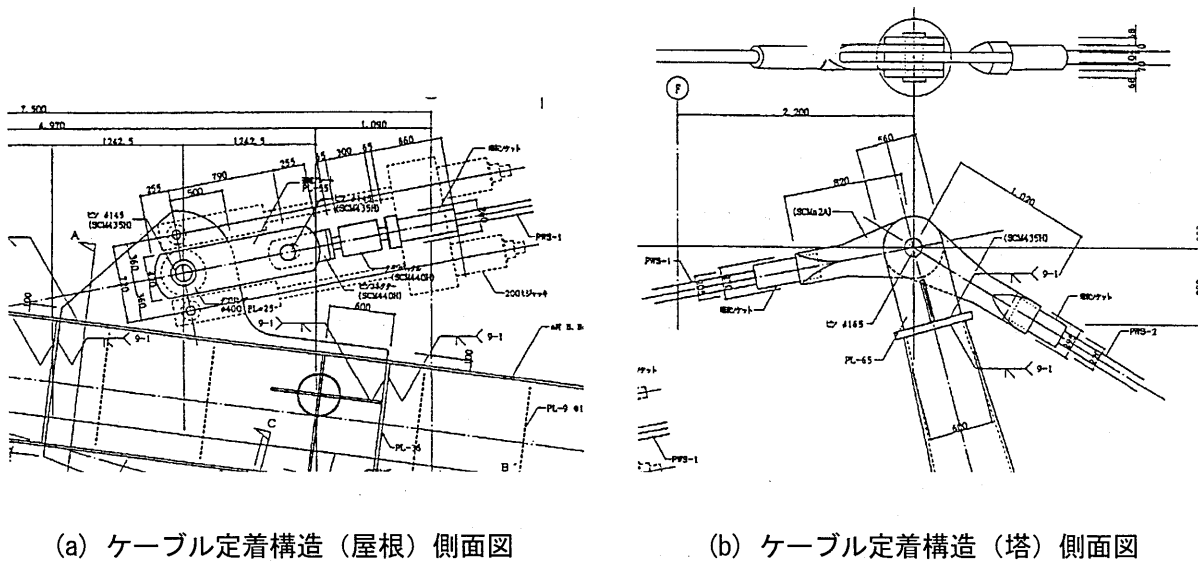
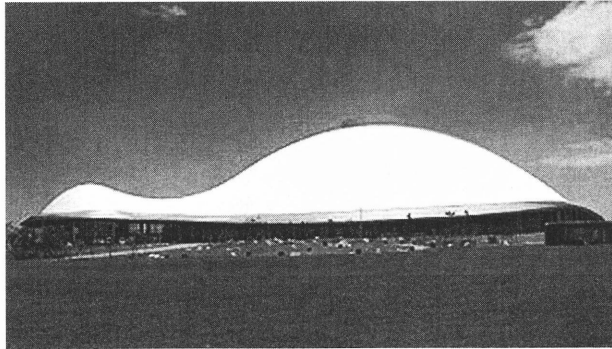


図-3.1.42 ケーブル定着構造の詳細

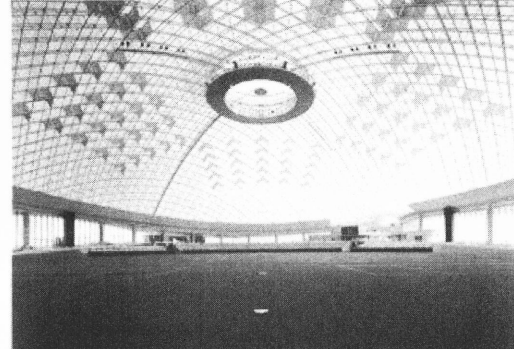


#### 4) 山口きらら博記念公園多目的ドーム(山口県山口市)

写真-3.1.5に示している構造物は、ドーム型屋内運動場である。ドーム結合部で分断されるエッジ(テンション)リング・トラスがケーブルで結合されており、定着構造は支圧定着構造が採用されている。(図-3.1.43 参照)

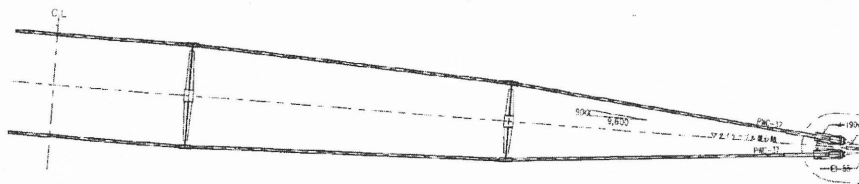


(a) 全景写真<sup>6)</sup>

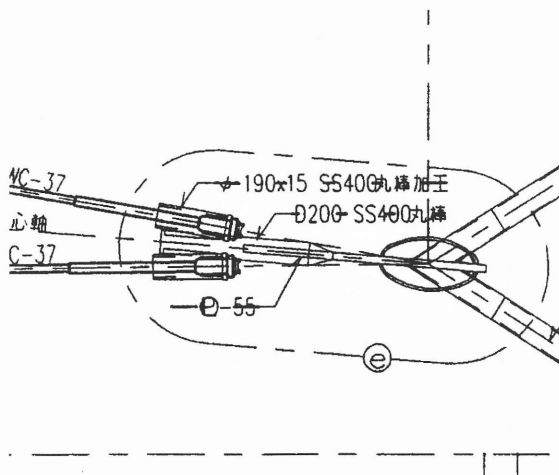


(b) ドームの内面<sup>2)</sup>

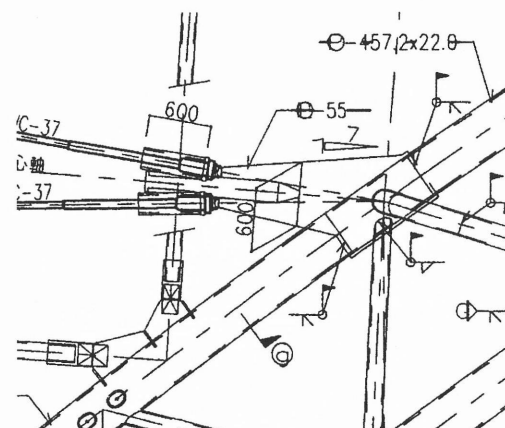
写真-3.1.5 山口きらら博記念公園多目的ドーム概要



(a) 側面図



(b) 定着部詳細(側面)



(c) 定着部詳細(平面)

図-3.1.43 山口きらら博記念公園多目的ドームのケーブル定着構造の詳細

## (3) 海外橋梁における定着構造例

海外における橋梁を調査<sup>1)</sup>した中での定着構造の事例をまとめて紹介する。

## 1) 歩道橋の事例

ドイツにおける歩道橋の事例を、図-3.1.44、図-3.1.45、および図-3.1.46 に示す。図-3.1.44 に示すように、2連の吊橋となっており、Ⅰ橋は2径間の吊橋で、Ⅱ橋は単径間吊橋である。

2径間吊橋のケーブルは、図-3.1.45 に示すように、主塔上端でサドル定着されており、単径間吊橋は、図-3.1.46 に示すように、ピン定着により繋がれている。したがって、単径間吊橋のケーブルは1本のケーブルではなく、3本のケーブルにより構成されている。

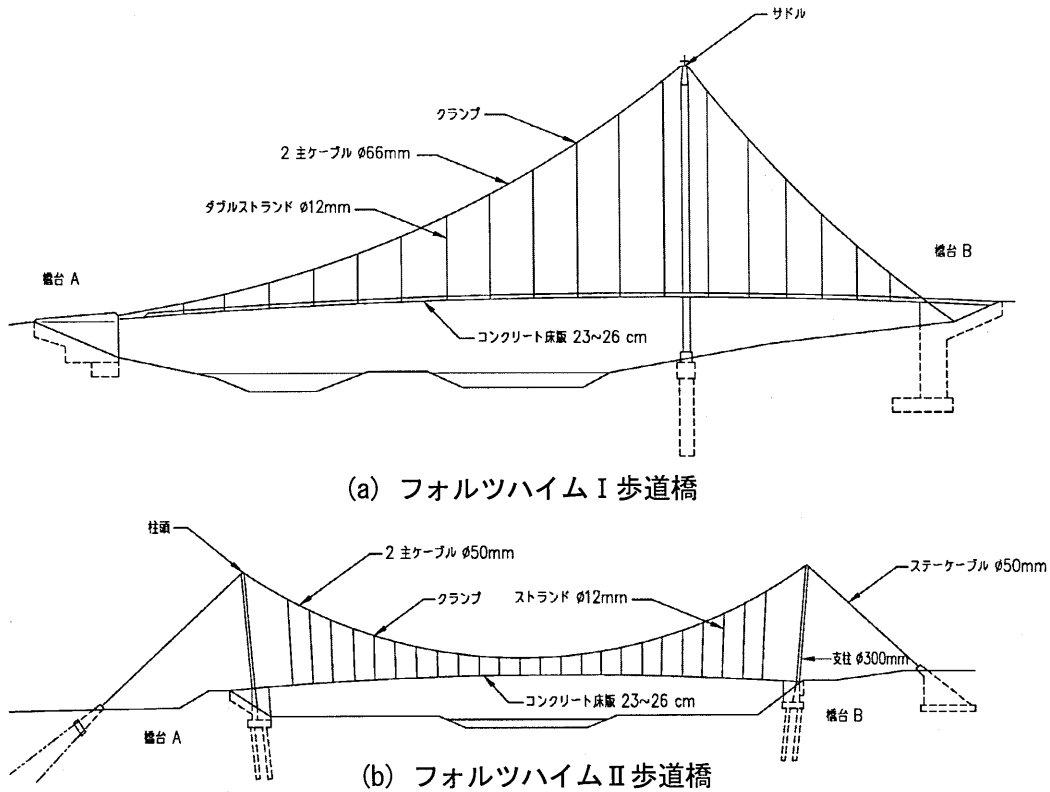


図-3.1.44 フォルツハイム(Pforzheim)Ⅰ and Ⅱ 歩道橋

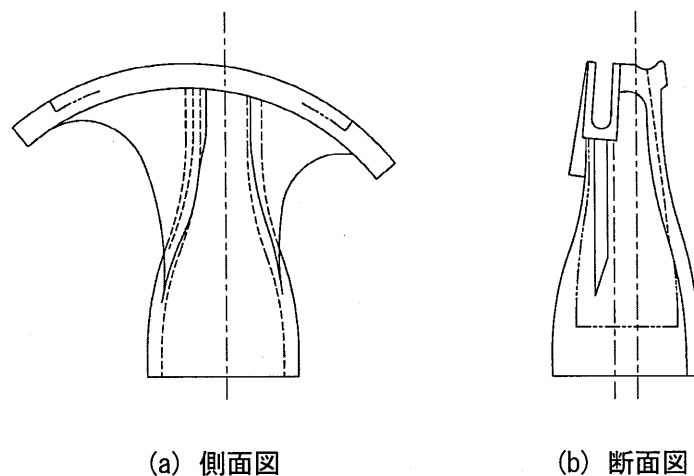


図-3.1.45 ケーブルサドル部詳細(フォルツハイムⅠ(Pforzheim))

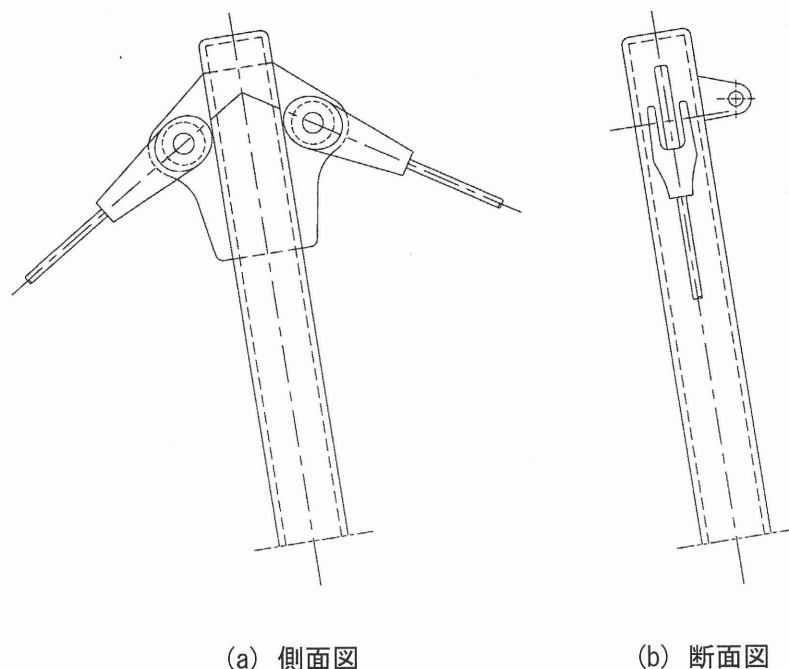


図-3.1.46 主塔上端詳細(フォルツハイムⅡ (Pforzheim))

## 2) 吊橋の事例

**写真-3.1.6** には、トルコ共和国における吊橋の事例を示している。ハンガーロープは、製作工場でプラスチックコーティングを行い、塗装を省略することでメンテナンスフリーとしている。ハンガーロープの定着構造は、**写真-3.1.7** および**図-3.1.47** に示すように、ピン定着である。

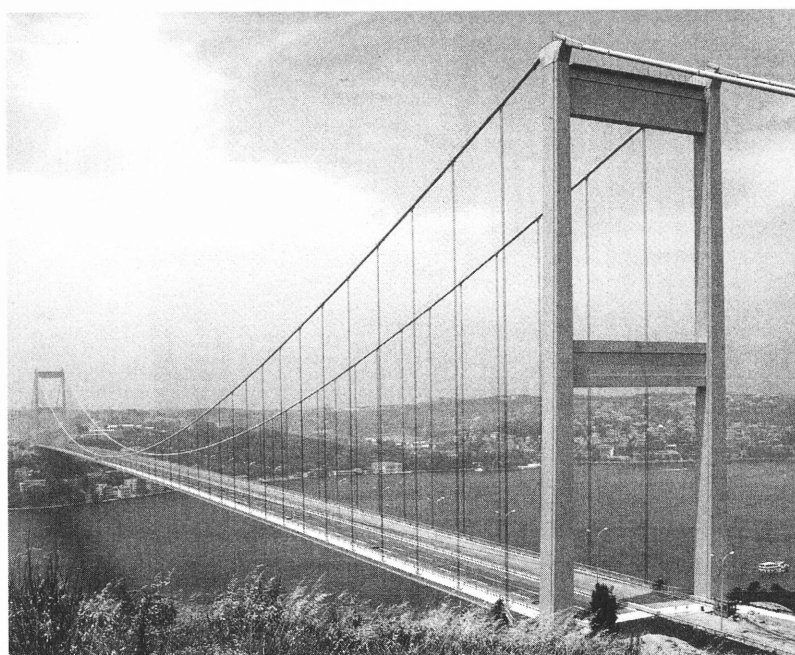


写真-3.1.6 第2ボスポラス橋 <sup>3), 5)</sup>

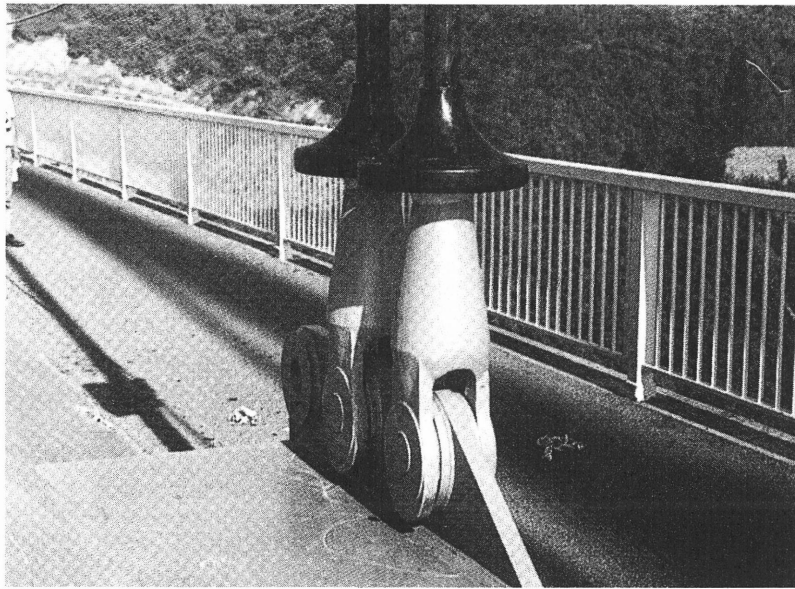


写真-3.1.7 第2ボスポラス橋のハンガー詳細<sup>5)</sup>

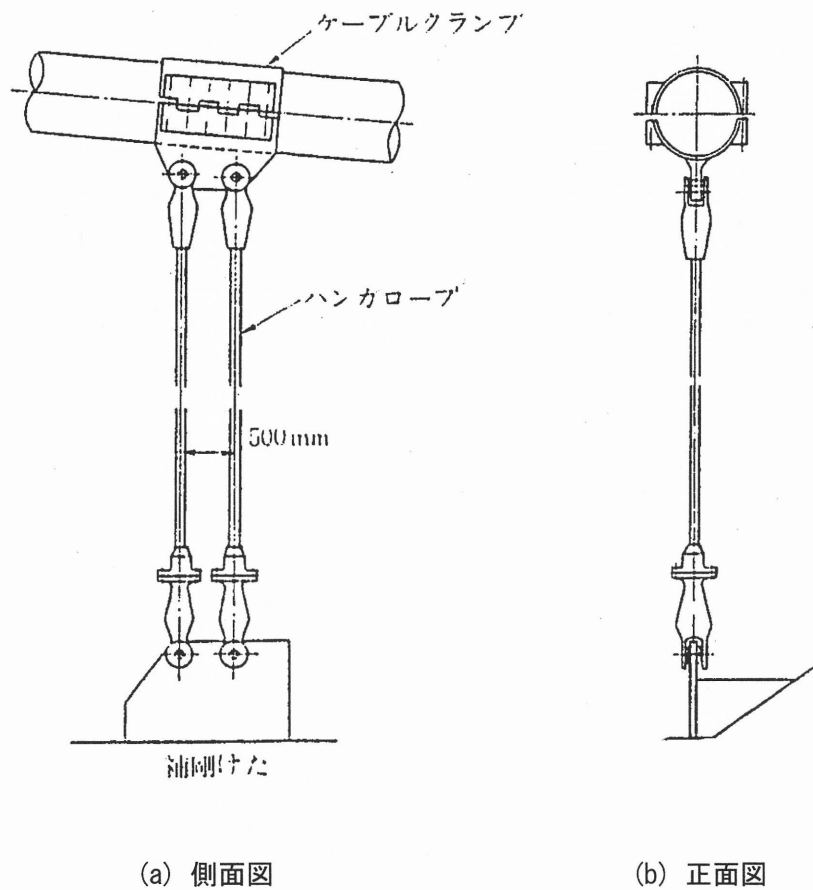


図-3.1.47 第2ボスポラス橋のハンガーロープの詳細<sup>4)</sup>

### 3.1.4 架設工法

#### (1) 架設工法の傾向

架設工法について調査結果<sup>1)</sup>を表-3.1.2に示す。なお、1橋梁で複数の架設工法を採用している場合には、代表的な架設工法1つに絞って集計している。

表-3.1.2 アンケート集計結果<sup>1)</sup>

| 架設工法           | 吊 橋 | 斜張橋 | アーチ | 合 計 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| CC             | 15  | 0   | 0   | 15  |
| CC+キャンチレバー     | 0   | 3   | 0   | 3   |
| CC+ベント         | 1   | 4   | 5   | 10  |
| CE+斜吊り         | 0   | 1   | 34  | 35  |
| CE+斜吊り, CE 直吊り | 0   | 0   | 7   | 7   |
| CE+直吊り         | 4   | 2   | 11  | 17  |
| FC+ベント         | 0   | 4   | 2   | 6   |
| FC+一括          | 3   | 8   | 13  | 24  |
| TC+キャンチレバー     | 0   | 20  | 0   | 20  |
| TC+ベント         | 12  | 65  | 67  | 144 |
| TC+一括          | 5   | 8   | 1   | 14  |
| TRC+キャンチレバー    | 0   | 15  | 0   | 15  |
| TRC+ベント        | 0   | 1   | 9   | 10  |
| 横取り            | 0   | 1   | 0   | 1   |
| 送り出し           | 0   | 5   | 3   | 8   |
| 台船             | 0   | 3   | 7   | 10  |
| 一括吊上げ          | 1   | 1   | 0   | 2   |
| 直下吊り           | 4   | 1   | 0   | 5   |
| 合 計            | 45  | 142 | 159 | 346 |

注) CC : ケーブルクレーン

CE : ケーブルエレクション

FC : フローティングクレーン

TC : トラッククレーン

TRC : トラベラークレーン

各橋梁形式を通して最も多く採用された架設工法は、「トラッククレーンベント工法」である。本工法は各種工法のなかで最も基本的な工法である。この工法では、橋体をベント（仮支柱）にて支持するため、架設時応力の影響が小さく、難易度も低く、経済的である。したがってこの工法は、架橋地点に特別な地理的制約条件がない限り、採用されることが多い。2番目に多く採用されている架設工法は、各橋梁形式で異なっている。斜張橋では「キャンチレバー工法」、アーチ（ニールセンローゼ）橋では「斜吊り工法」であり、橋梁特性を活用した工法がそれぞれ選定されている。

## (2) 架設工法の事例

調査を行った中で、各橋梁形式ごとに施工実績の少ない架設工法、独創的な架設工法と思われる事例を以下に紹介する。

### 1) 吊橋

図-3.1.48 および写真-3.1.8 に示す「シャヴァノン高架橋(フランス)」<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>は、ターザン方式という吊橋では例の少ない送出し工法により、補剛桁を架設している。峡谷内に架橋されるため、桁下への補剛桁の運搬が不可能であり、送出し工法が採用されたと思われる。

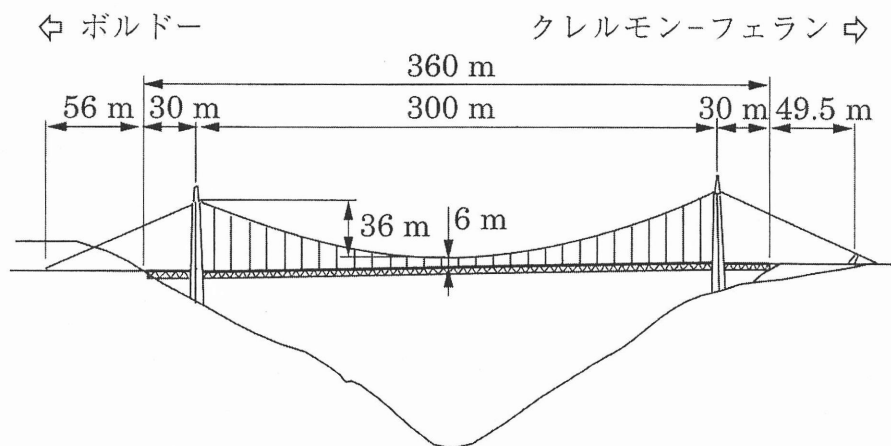


図-3.1.48 シャヴァノン(Chavanon)高架橋の側面図



写真-3.1.8 シャヴァノン高架橋の施工時全景

ターザン方式による補剛桁の架設要領を図-3.1.49 および写真-3.1.9 に示す。補剛桁の各ブロックは、主塔に最も近い後方仮ハンガーに取り付けられ、ウィンチにより約 10m 移動後、前方仮ハンガーに取り付けられる。この際、補剛桁を後ろに下げることにより、後方仮ハンガーを緩め、そこで前方仮ハンガーが鉛直に戻るよう補剛桁は前進させられる。各仮ハンガーは補剛桁が連結するまで、補剛桁とともに前進する。

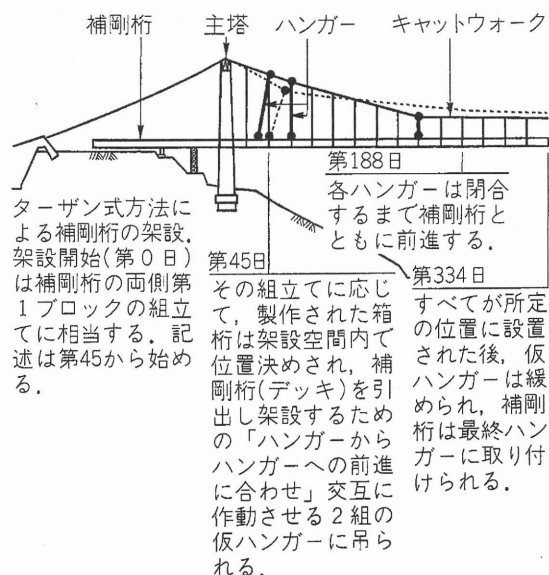


図-3.1.49 「ターザン方式」による補剛桁の架設

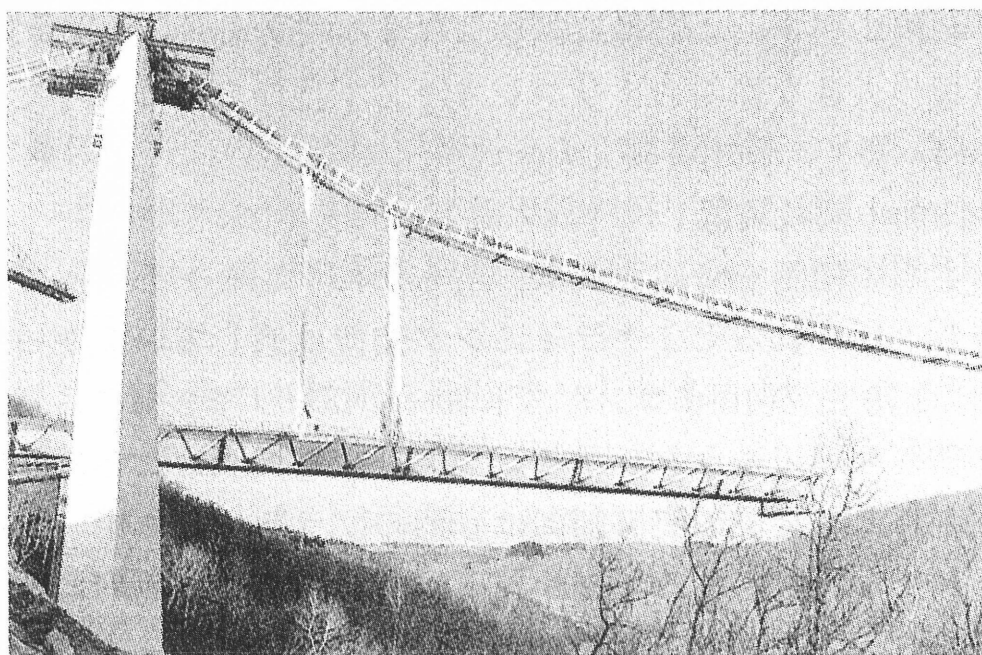


写真-3.1.9 シャヴァノン高架橋の補剛桁の架設の第1段階



## 2) 斜張橋

「ミヨー高架橋(フランス)」<sup>4) 5)</sup> は、斜張橋に例の少ない送出し工法により、塔および主桁が架設されている。本橋は 8 径間連続鋼斜張橋(橋長 2,460m)であり、7 基の橋脚のうち最も高橋脚となる P2 橋脚は、塔を含め全高 343m である。ミヨー高架橋の全景および架設時の状況を写真-3. 1. 10 および写真-3. 1. 11 に示す。

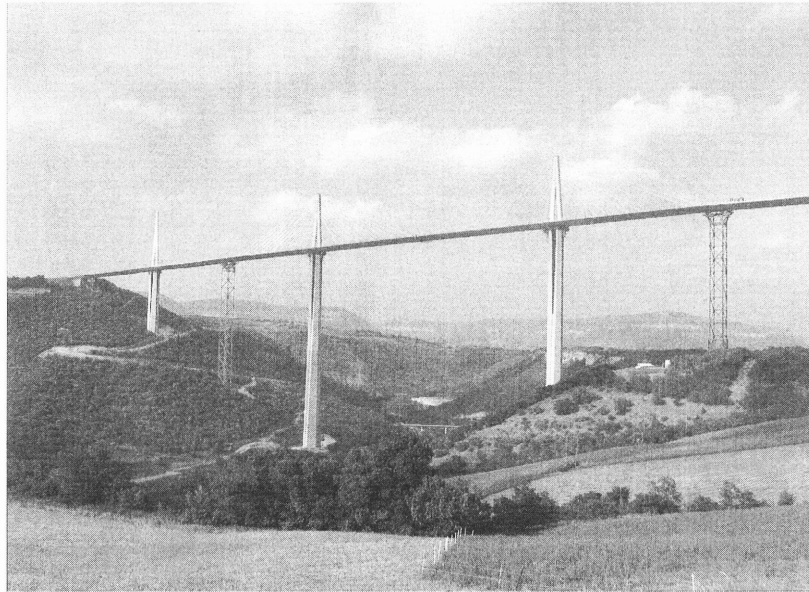


写真-3. 1. 10 ミヨー(Millau)高架橋

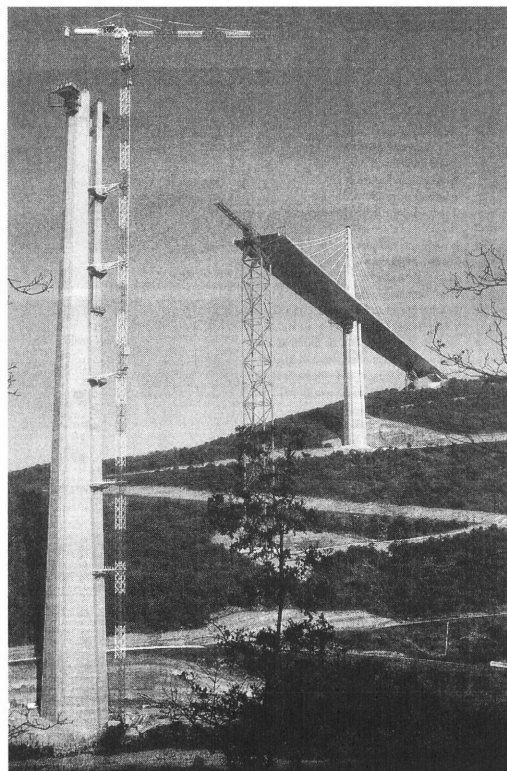


写真-3. 1. 11 ミヨー高架橋の送り出し時の風景



### 3) アーチ橋

「大宮ほこすぎ橋」<sup>6)</sup>は珍しいアーチ橋で、架設に送り出し工法が採用されている。架橋地点が鉄道上であることが、この工法が採用された大きな理由である。大宮ほこすぎ橋の全景を写真-3.1.12に、架設要領を図-3.1.50に示す。

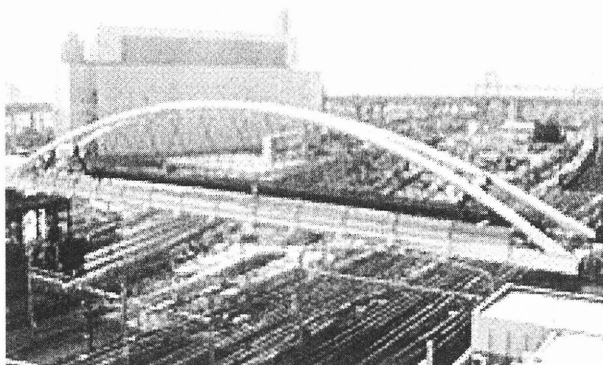


写真-3.1.12 大宮ほこすぎ橋 全景

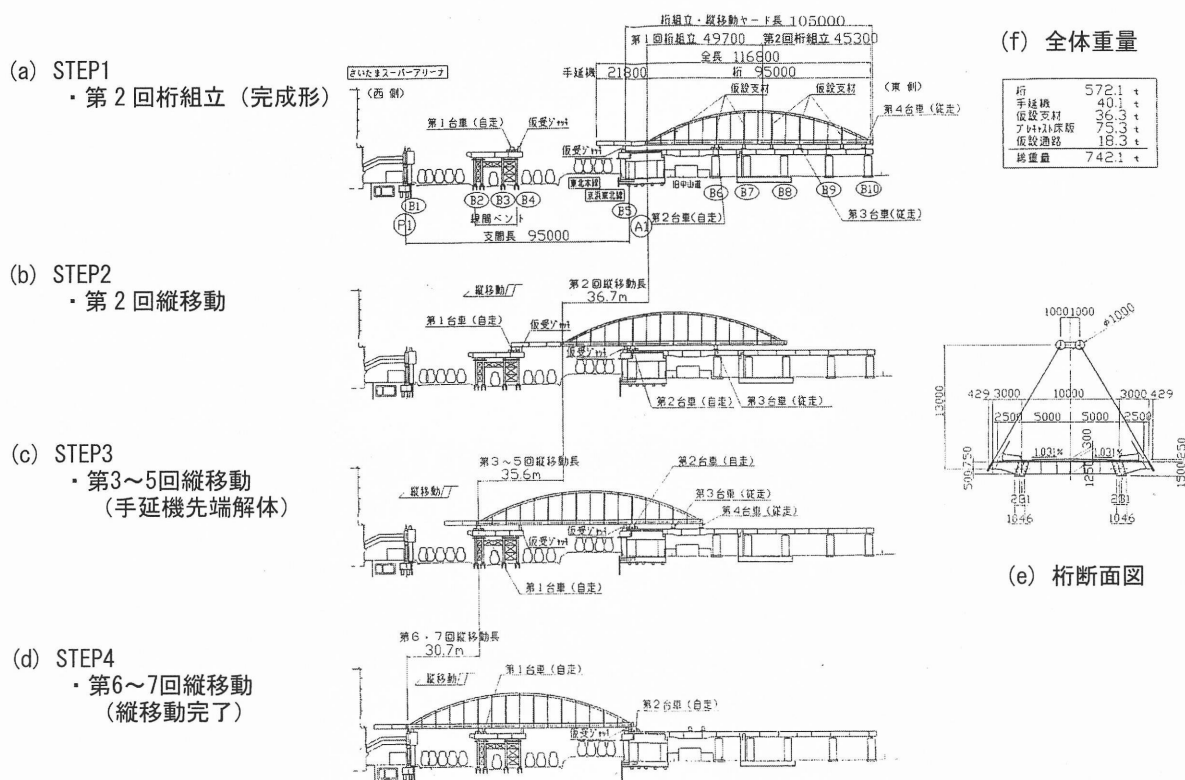


図-3.1.50 桁架設要領図（寸法単位：mm）

### 4) ケーブルシステム橋梁の架設

ケーブルシステム橋梁は、一般的にケーブルを立体的に連結し、プレストレスを導入したケーブルシステムとして外力に抵抗するように設計されたものである<sup>7)</sup>。構造特性から歩道橋に採用されることが多い。国内ではPC吊床版橋の「森のわくわく橋」<sup>8)</sup>、曲弦トラス橋の「巖門園地園路橋」<sup>9)</sup>、鋼製主桁吊床版橋の「アドベンチャーブリッジ」<sup>10)</sup>、鋼パイプトラス斜張橋の「ミホミュージアム（MIHO MUSEUM）橋」<sup>11)</sup>などが架けられている。

## a) 森のわくわく橋・巖門園地園路橋

「森のわくわく橋」は従来の直路式吊床版橋梁と同様、プレキャスト床版を使用した懸垂架設工法を採用している。懸垂架設工法は、支保工を使用せずに、張り渡した PC 鋼材を利用して吊床版を架設する。巖門園地園路橋も同様な架設工法が採用されている。両橋は、完成系の橋梁形状は異なる。しかし架設工法では、どちらも橋台間に PC 鋼材を張り渡し、分割した床版を順次送り出している。この工法はベント等の仮支材が不要であり、架橋されている地理的条件から決まる架設工法であり、また橋梁形式でもあるといえる。森のわくわく橋の一般図を図-3.1.51 に、架設要領を図-3.1.52 に架設時の状況を写真-3.1.13 および写真-3.1.14 に示す。

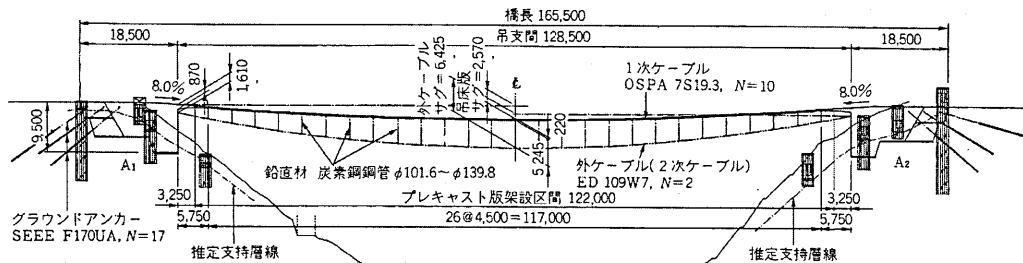
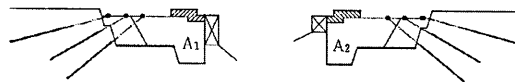
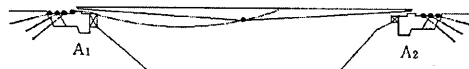


図-3.1.51 森のわくわく橋の側面図 (寸法単位: mm)

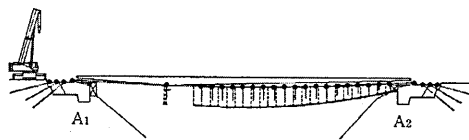
- (a) 橋台工  
グラウンドアンカー設置  
定着部工  
グラウンドアンカー緊張



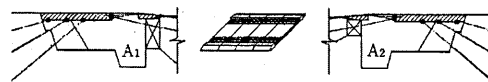
- (b) 1次ケーブル架設  
グラウンドアンカー緊張  
1次ケーブル緊張



- (c) プレキャスト版架設  
〔鉛直材、足場材(一部)取付け架設  
吊足場組立て



- (d) プレキャスト版目地工, 場所打ち工  
端部場所打ち工  
外ケーブル架設工, 緊張工  
後打ちコンクリート工



- (e) 吊足場撤去  
橋面工

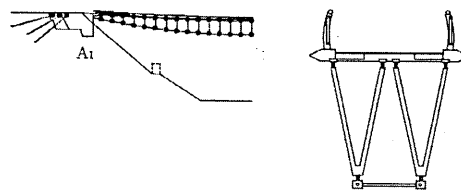


図-3.1.52 森のわくわく橋の架設要領

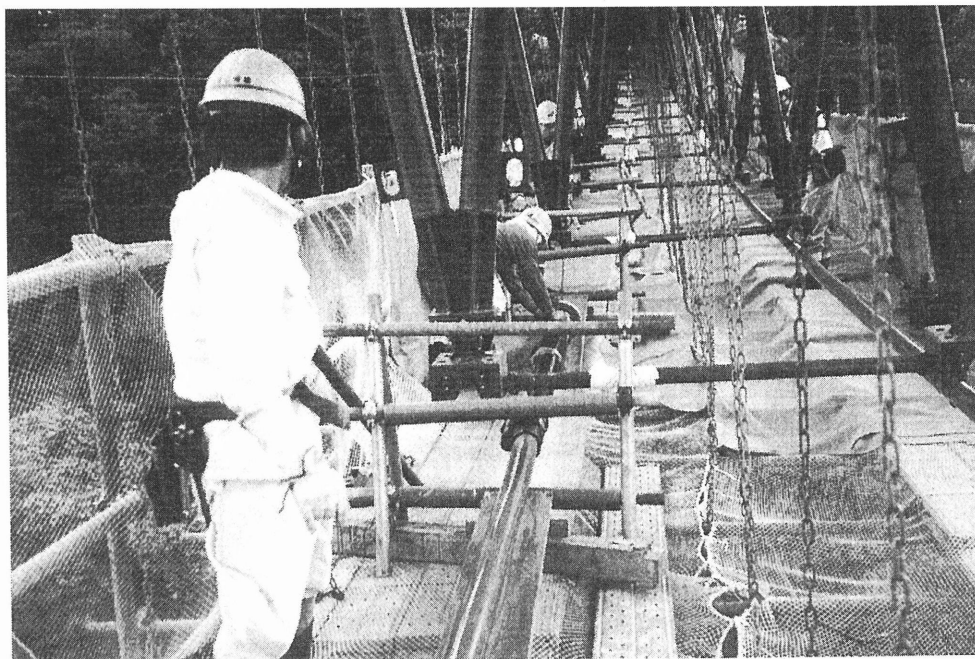


写真-3.1.13 森のわくわく橋の外ケーブルの架設

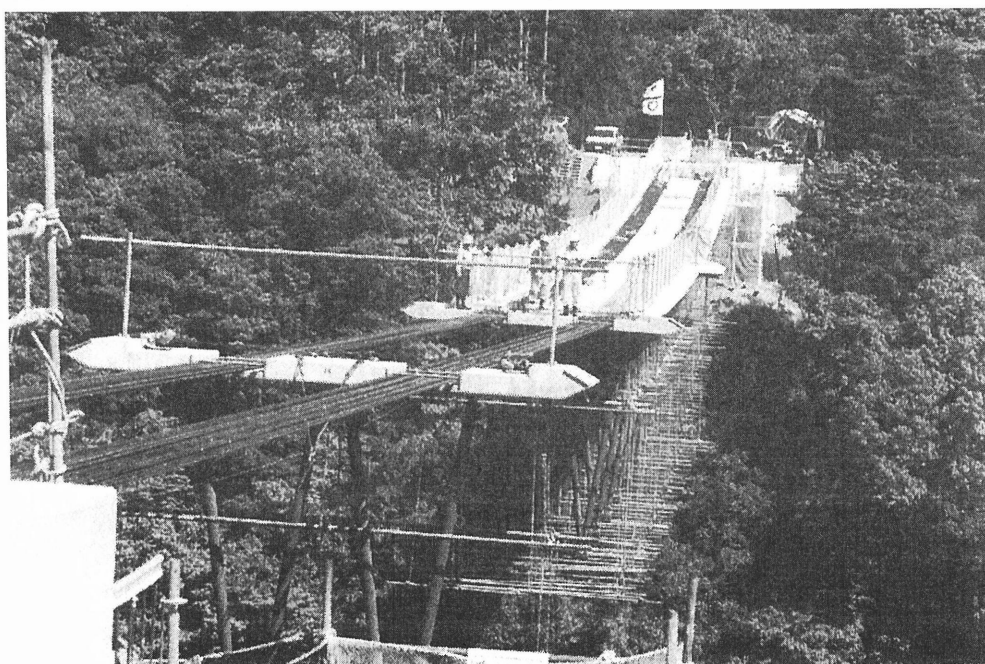


写真-3.1.14 森のわくわく橋のプレキャスト版の架設

## b) アドベンチャーブリッジ

この橋は、主桁に鋼製箱桁を採用している吊床版橋である。架設は、ケーブルクレーン工法により主ケーブル、主桁の順に行われた。この形式を採用した理由は、3.1.4(2)1)で示した吊橋（シャヴァノン高架橋）と同様、仮支材の設置が困難であったためである。アドベンチャーブリッジの一般図を図-3.1.53に、架設時の状況を写真-3.1.15および写真-3.1.16に、示す。

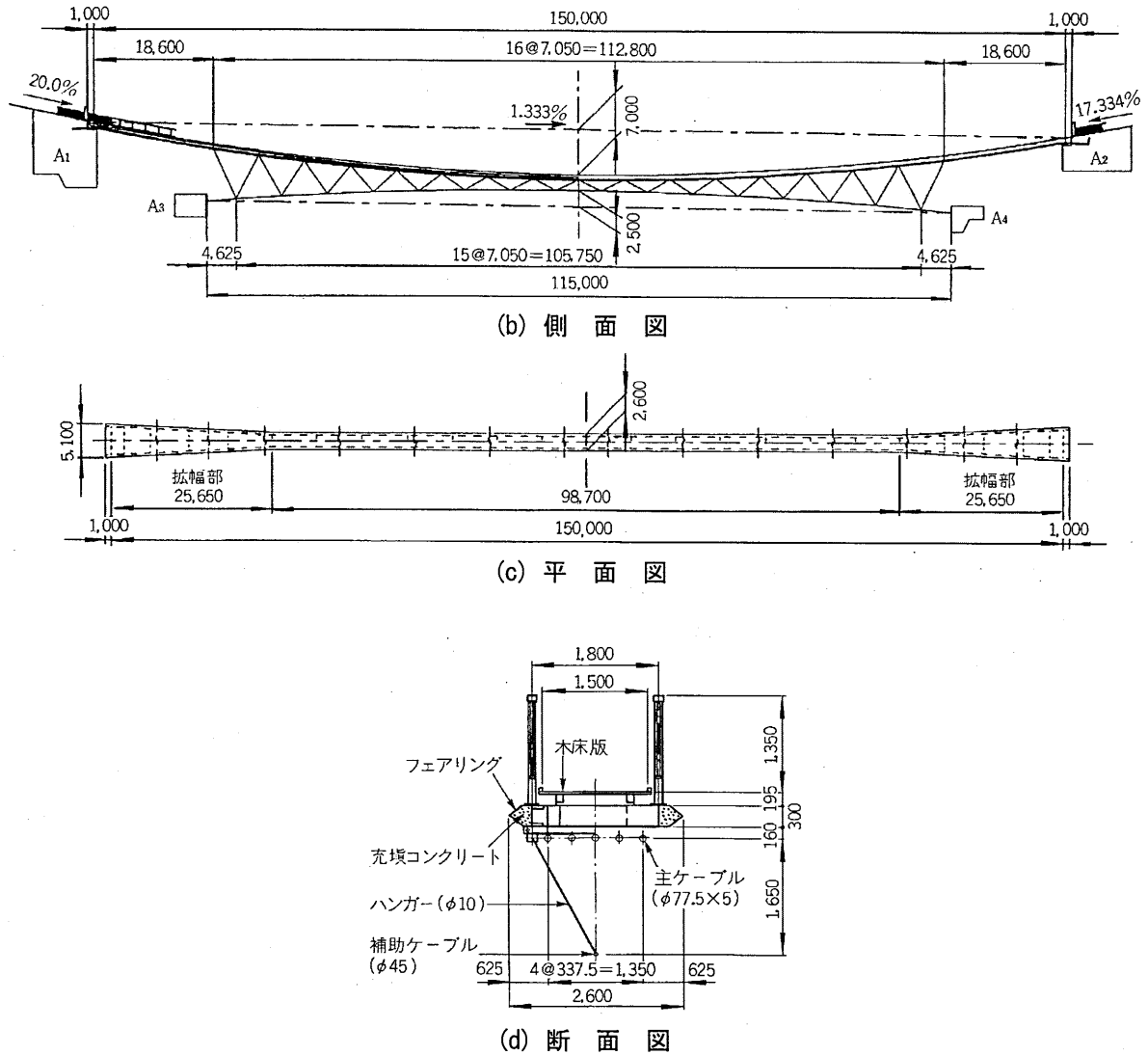


図-3.1.53 アドベンチャーブリッジの一般図 (寸法単位: mm)



写真-3.1.15 アドベンチャーブリッジの主ケーブル架設



写真-3.1.16 アドベンチャーブリッジの鋼製主桁架設

## c) ミホミュージアム (MIHO MUSEUM) 橋

逆斜張ケーブルを配置した「ミホミュージアム橋」(写真-3.1.17 および図-3.1.54 参照) の架設は、主桁、塔、および3タイプのケーブルという手順で行われた。架設要領を図-3.1.55～図-3.1.57 に示す。

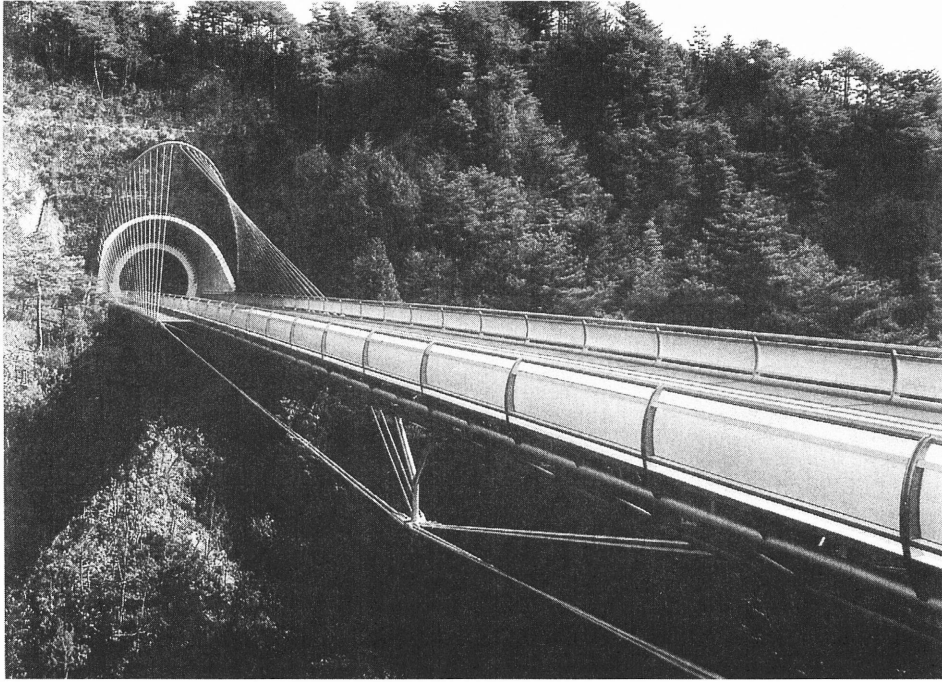


写真-3.1.17 ミホミュージアム (MIHO MUSEUM) 橋

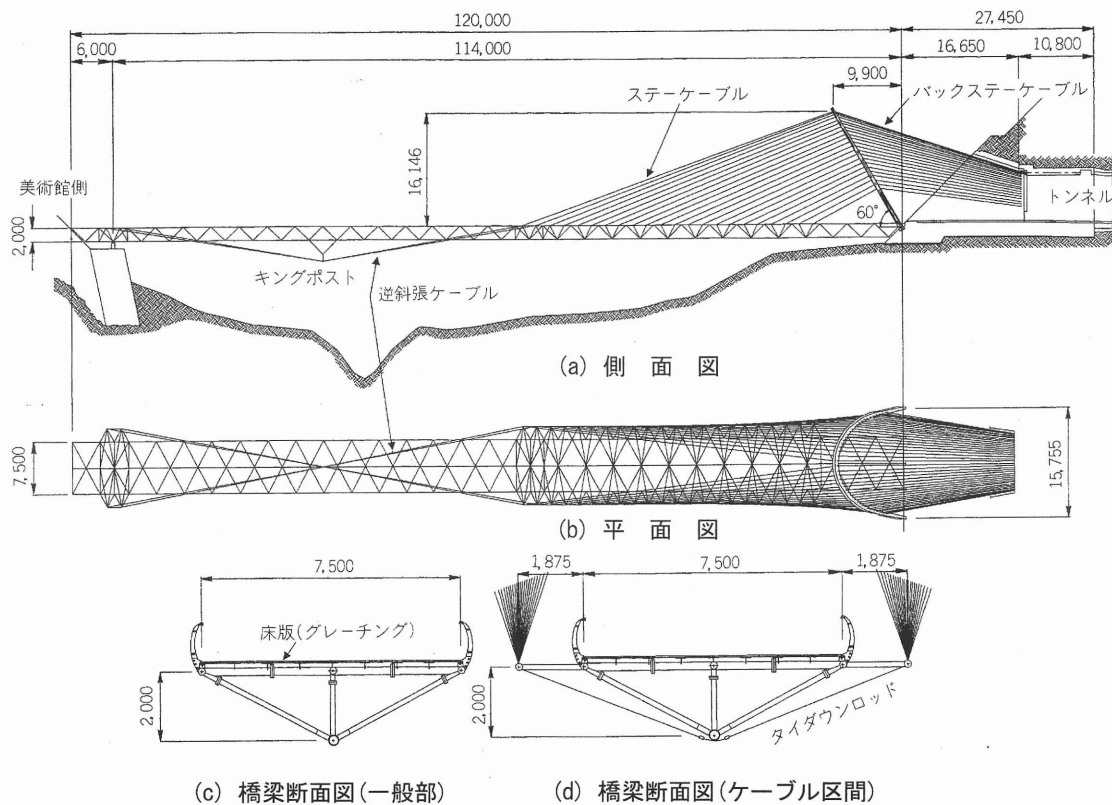


図-3.1.54 ミホミュージアム橋の一般図 (寸法単位: mm)



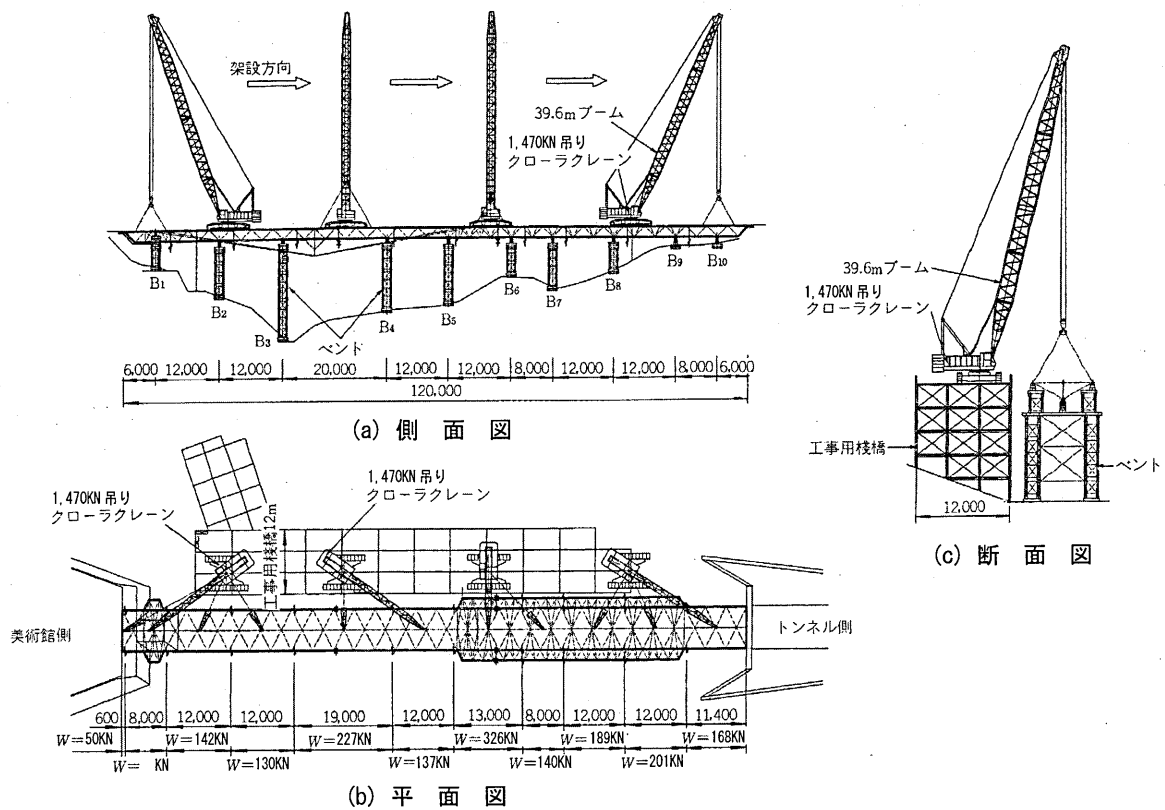


図-3.1.55 ミホミュージアム橋の主桁の架設要領 (寸法単位: mm)

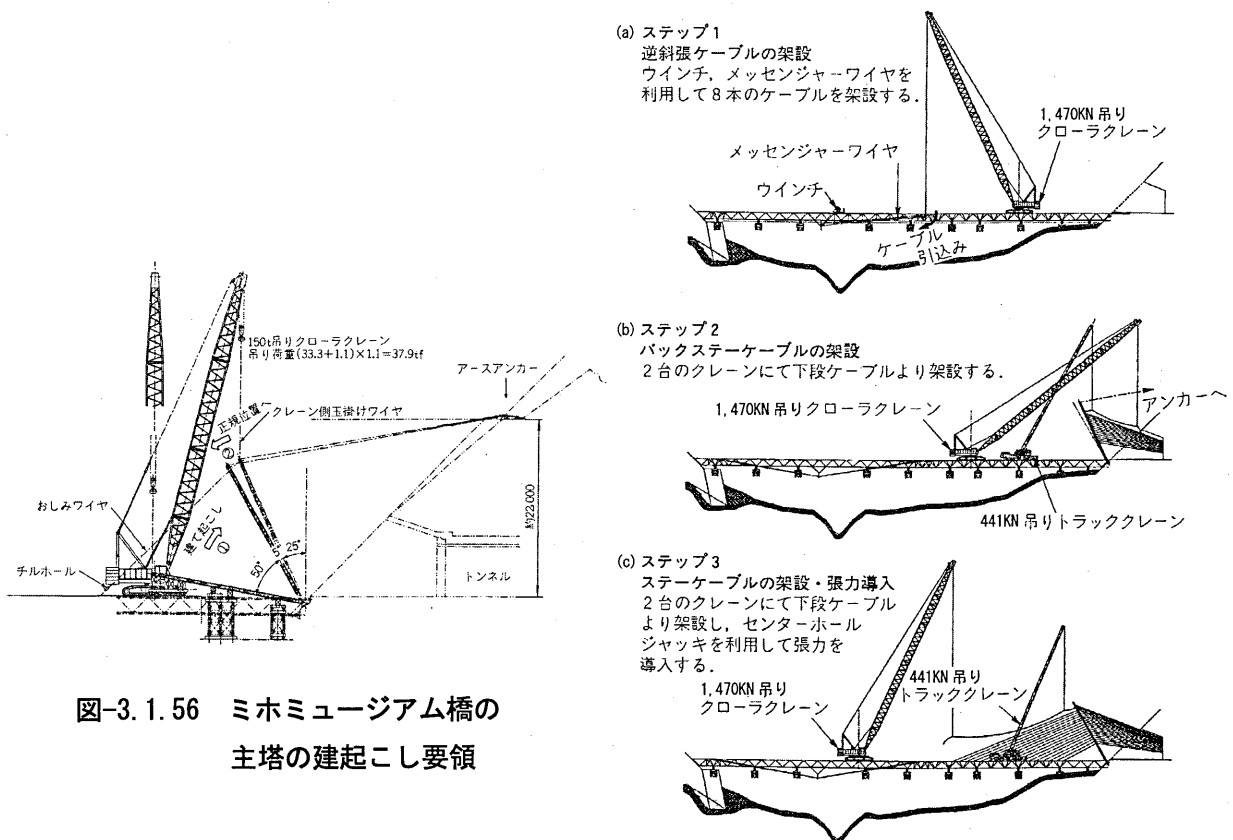


図-3.1.56 ミホミュージアム橋の主塔の建起こし要領

図-3.1.57 ミホミュージアム橋のケーブルの架設要領

### 3.1.5 ケーブル系鋼橋の現状と今後の動向

ケーブル形式橋梁は、航路上など橋梁下の条件により支間を長くする必要性や、橋梁の耐荷力の向上を目的とした補修・補強の方法として、あるいは、その景観の美しさからシンボリック的存在として建設されることが多い。その主部材であるケーブルは非常に高強度な材料であり、これを有効活用することにより鋼橋構造をより合理的にすることができるものと考えられる。その中でも、歩道吊橋や吊床版橋はケーブルの強度を有効活用できる構造であり今後の動向が注目される。道路橋では、エクストラドーズドPC橋のように、斜材の応力変動が小さい鋼斜張橋の開発が期待される。

また、ケーブルを吊材・斜材に利用することにより様々な空間を演出することが可能となり、意匠に優れた橋梁構造を創出できると考えられる。

ケーブル系橋梁に使用されたケーブル種別は、国内で施工された橋梁調査結果より、歩道吊橋ではストランドロープ、斜張橋・アーチ橋では被覆平行線ケーブルの実績が半数以上を占めていることがわかった。

しかし、斜張橋・アーチ橋において、道路橋以外の支間の小さな橋梁では、架設機材や施工性の問題や、景観への配慮等の理由により、PC ケーブルやロックドコイルロープの使用割合が大きくなっていると推察された。

ケーブル定着構造の調査結果によると、国内橋梁では支圧定着がほとんどを占めていることがわかった。一般的に定着部がケーブル部よりも形状が大きくなるため、橋面下へ引き込むことにより美観へ配慮を行っていることも理由の一つと思われる。

一方、建築構造や海外橋梁の調査結果では、細径ケーブルや簡易なピンガセット定着構造が多く用いられており、損傷すれば交換することを前提とした比較的簡易な思想のもとにケーブルが使用されているように見受けられた。また、文献調査において多く目にした橋面上での定着構造は、維持管理面に関して言えば、日常点検や交換作業の容易さという点で有利と考える。

架設工法の原型は、明治時代に外国人技術者からもたらされたものであり、長支間化、架設機材の進歩とともに、これら既存の架設工法も進歩し、また新工法も開発されてきた。現在、架設工法は、橋梁本体の構造特性、架橋される現地の地理的条件、および経済性から決定されているが、本調査を通して、シャヴァノン高架橋、ミヨー高架橋をはじめ、海外では大胆な架設工法が積極的に採用されていることがわかった。橋梁形式を見ても、構造性とデザイン性とが融合した橋梁が今もなお生み出されていることなどから、今後も海外技術に学ぶ点は多いと思われる。

ケーブル品種の統一化や定着構造の簡易化などによるケーブル設置コストの低減、交換を前提としたケーブルの使用、およびケーブル安全率の低減などの施策を実施することにより、さらなる合理化が図られ、今後益々ケーブル系鋼橋が普及することを期待する。



## 3.2 PC 橋

ここでは、コンクリート断面内に配置しない外ケーブルを利用した、①波形鋼板ウェブ橋や複合トラス橋のような桁橋、②箱断面のウェブに波形鋼板を用いたエクストラード橋、③同じく箱断面のウェブに波形鋼板を用いた斜張橋、④大偏心外ケーブル橋、⑤自碇式上路 PC 吊橋等の種々な PC 橋を対象にする。そして、それらの橋梁の構造特性、鋼とコンクリートとの接合構造、ケーブル定着構造、ケーブルの種類等について記述する。

### 3.2.1 桁橋

#### (1) 波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋

##### 1) 構造特性

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋とは、図-3.2.1 に示すように、PC 箱桁橋のコンクリートウェブを波形鋼板(波形状に加工された構造用鋼板)ウェブに置き換えた合成構造である。この構造は、外ケーブルの技術が確立したことで可能になった構造である。コンクリート製のウェブを波形鋼板ウェブに置き換えることで、以下の効果が期待できる。すなわち、①主桁自重の軽量化、②プレストレス導入効率の向上、③せん断耐荷力の向上、④施工の省力化、⑤これらに伴う経済性の向上、などである<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。通常の PC 箱桁橋ではコンクリートウェブが主桁自重の 30~40%を占めている。ウェブを軽量の波形鋼板に置き換えることで、主桁自重は大幅に軽減する。また、波形鋼板は、アコーディオンのように伸縮して軸力や曲げモーメントにほとんど抵抗しない性質と、高いせん断座屈強度を有している(図-3.2.2)。これらの構造的性質は PC 橋のウェブとして非常に合理的である。これらの性質により、プレストレスの導入効率は向上する。しかも、波形鋼板は補剛材なしでも PC 橋のウェブとして十分なせん断耐荷力を発揮する。施工の面では、コンクリートウェブの施工が省略できるため、型枠組

立、鉄筋組立、などの現場作業が不要となり、施工の省力化が図れる。以上の効果より、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋は、PC 橋のコスト低減対策のひとつとして注目され、現在では 50 橋以上の橋梁が発注・建設されている。適用範囲も広く、ほとんどの架設方法および構造形式に適用できる。架設工法としては、固定

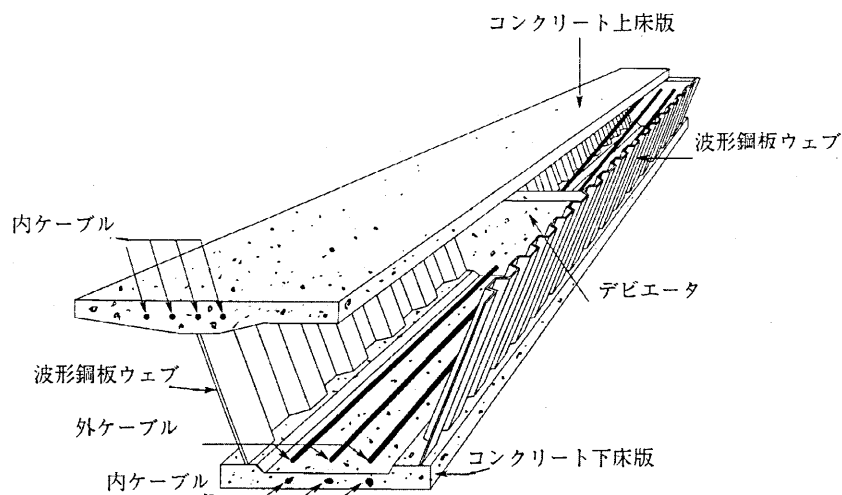
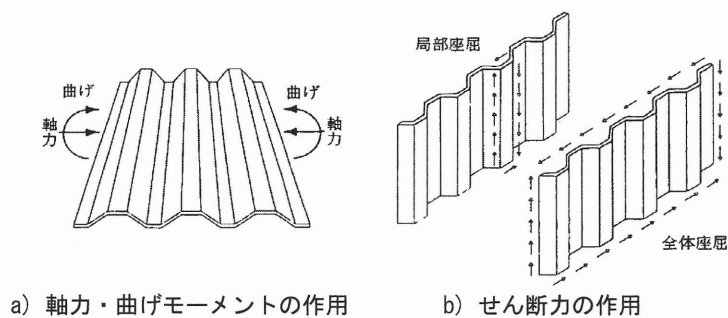


図-3.2.1 波形鋼板ウェブ PC 箱桁の概念図<sup>3)</sup>

支保工架設、押出し架設、および張出し架設の実績がある。構造形式では、単純橋、連続橋、およびラーメン橋の他、後に述べるエクストラード PC 橋や PC 斜張橋にも採用されている。

図-3.2.2 波形鋼板の性質<sup>3)</sup>

波形鋼板をウェブに使用する考え方は、1960年代の日本で既に考えられていた<sup>5)</sup>。1970年代には波形鋼板ウェブを有する鋼桁が製鉄工場のクレーンの受梁<sup>6)</sup>として実用化されている(写真-3.2.1)。現在の波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋、すなわち外ケーブルを利用することにより PC 箱桁橋のウェブを波形鋼板に置換する技術は、1980年代にフランスで開発され、1986年のコニャック橋<sup>2)</sup>で実現された(写真-3.2.2)。日本では初めての波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋は、写真-3.2.3に示す新開橋<sup>7)</sup>であり、1993年に完成された。その後、この構造に関する実験的および解析的研究が盛んに行われ、日本独自の技術も数多く開発されてきている。写真-3.2.4に示す本谷橋<sup>8),9)</sup>では、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合部に直接埋込んだ埋込み接合(図-3.2.5 参照)や、波形鋼板同士の接合に一面摩擦高力ボルト接合など、日本独自の技術が開発・採用され、コスト低減と施工の合理化が実現されている。



写真-3.2.1 波形鋼板ウェブを用いたクレーンの受梁の例(1976年に設置)



写真-3.2.2 波形鋼板ウェブを用いたコニャック橋(1986年に架設)



写真-3.2.3 新開橋(1993年に架設)

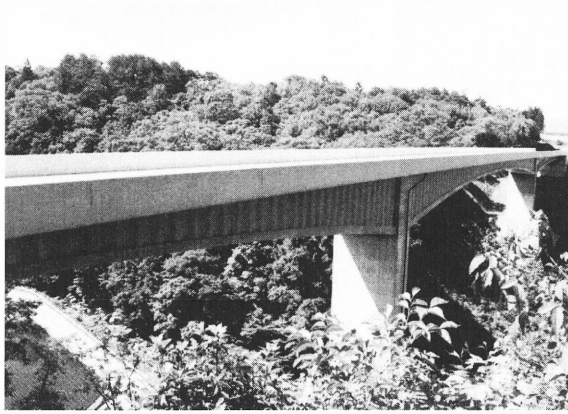


写真-3.2.4 本谷橋(1998年に架設)

## 2) 接合構造

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋において、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合部(以降、単に接合部)は、橋梁の構造性能やコストに大きく影響する。当初、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋には、スタッドジベル接合やアングルジベル接合が使用されていた。しかし、接合部のコスト低減や構造性能の改善のため、埋込み接合やパーフォボンドジベル接合(後の c. および d. で詳述する)など、日本独自の接合方法が開発された<sup>8), 9), 11), 12), 13)</sup>。

### a. スタッドジベル接合<sup>3), 7), 10)</sup>

スタッドジベル接合の模式図および適用例を、それぞれ図-3.2.3 および写真-3.2.5 に示す。スタッドジベル接合は鋼橋で最も一般的な接合方法であるため、日本における初期の波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋に使用された。しかしながら、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の接合部には、水平せん断力のみでなく横方向の曲げモーメントも作用するため、ずれ止めとしては比較的剛なジベルが適しており、現在ではスタッドジベル単独の接合方法はほとんど使用されていない。

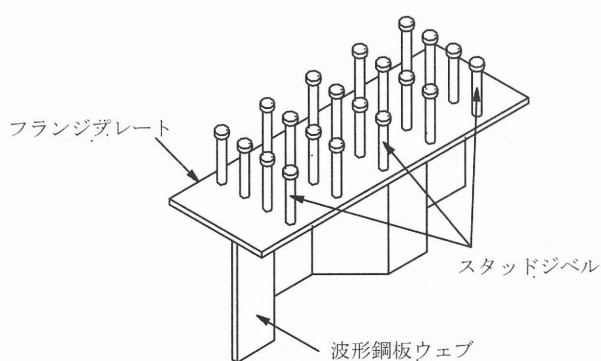


図-3.2.3 スタッドジベル接合<sup>3)</sup>

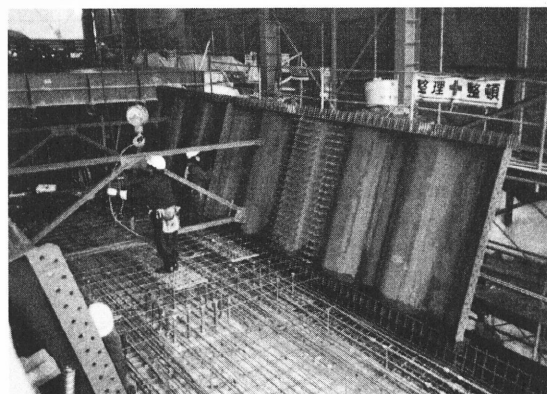


写真-3.2.5 スタッドジベル接合

### b. アングルジベル接合<sup>14)</sup>

アングルジベル接合の模式図および適用例を、それぞれ図-3.2.4 および写真-3.2.6 に示す。本接合方法は、フランスの波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋で使用された接合方法である。日本でも波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の接合方法として最も実績が多い。水平せん断力に対してはアングルの支圧で抵抗し、横方向の曲げモーメントに対しては貫通鉄筋と U 字鉄筋が抵抗する。溶接箇所が多いため比較的高価な接合方法であるといえる。

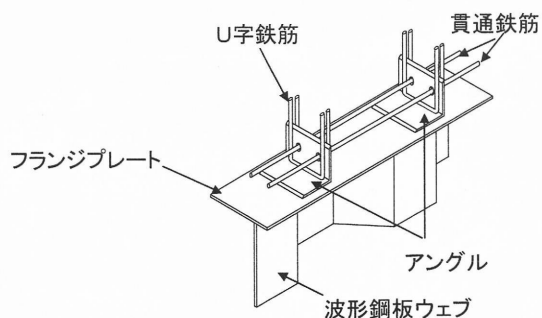


図-3.2.4 アングルジベル接合<sup>4)</sup>



写真-3.2.6 アングルジベル接合

c. 埋込み接合<sup>3), 9)</sup>

埋込み接合の模式図および適用例を、それぞれ図-3.2.5 および写真-3.2.7 に示す。埋込み接合は、波形鋼板ウェブに鉄筋を通し、直接コンクリート床版に埋め込む接合方法である。埋め込まれた波形鋼板の斜方向のパネルで水平せん断力に抵抗する。ずれ止めを配置するフランジプレートが不要で溶接が少なくなるため、最も経済的な接合方法である。疲労耐久性も他の接合部に比べ最も優れている。また、施工誤差を吸収しやすいのも利点である。雨水や結露水がウェブを伝わって接合部に侵入し、接合部が腐食することが懸念されるため、写真-3.2.8 のようにシーリング材などで防水する必要がある。

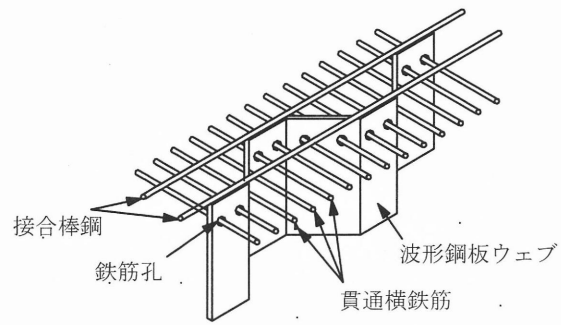
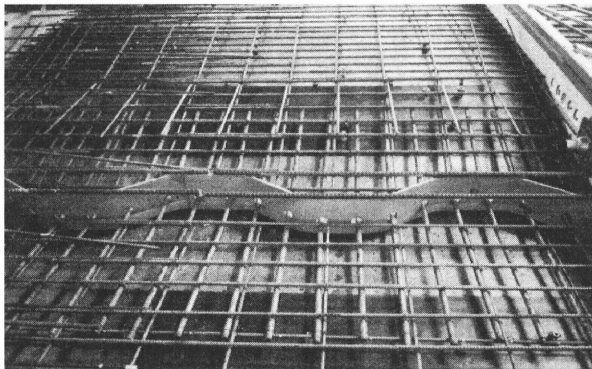
図-3.2.5 埋込み接合<sup>4)</sup>

写真-3.2.7 埋込み接合の実例

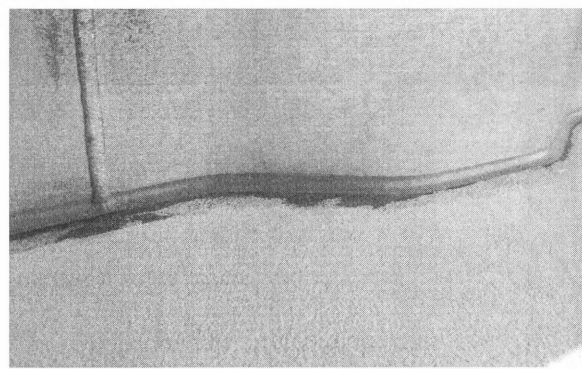


写真-3.2.8 コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合部のシーリング材による防水

d. パーフォボンドリブ接合<sup>12), 13)</sup>

パーフォボンドリブ(孔あき鋼板あるいはPBLともいう)を用いた接合方法および適用例を、それぞれ図-3.2.6 および図-3.2.7 ならびに写真-3.2.9 および写真-3.2.10 に示す。溶接作業がアングルジベルに比べ単純化されるため、経済的となる。貫通鉄筋と鋼板の孔に充填したコンクリートとで水平せん断力に抵抗する。パーフォボンドリブが1枚の場合は、横方向の曲げモーメントに抵抗できないためスタッドジベルを併用する場合が多い(図-3.2.6 参照)。横方向の曲げモーメントに抵抗できるようパーフォボンドリブを2枚配置するツインパーフォボンドリブ接合(Twin-PBL)も開発されている(図-3.2.7 参照)。

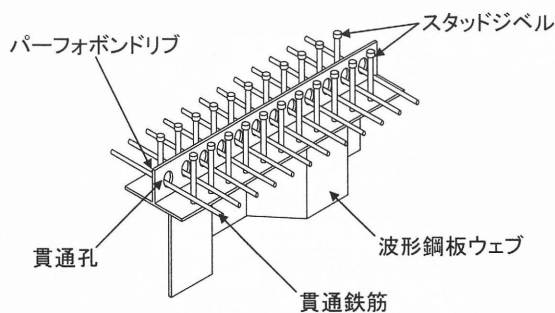


図-3.2.6 PBL 接合(スタッド併用)

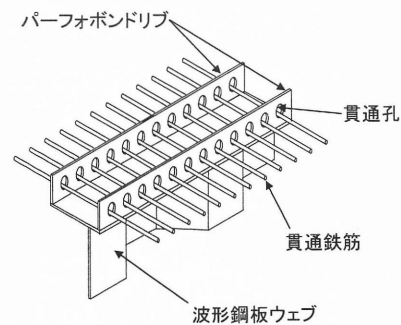


図-3.2.7 Twin-PBL 接合

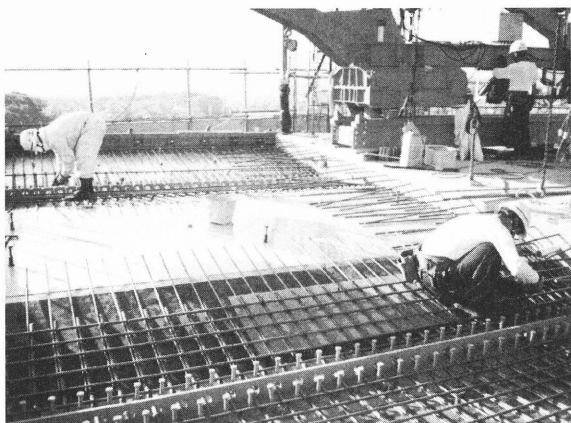


写真-3.2.9 スタッブ併用 PBL 接合の実例

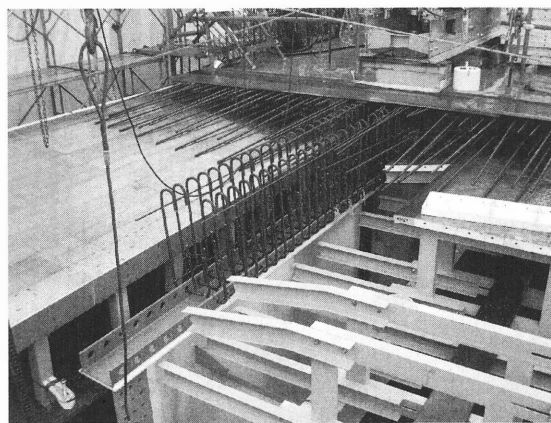


写真-3.2.10 Twin-PBL 接合の実例

### 3) ケーブル定着構造

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋におけるケーブルの定着構造は、基本的に通常の PC 橋の定着構造と同様である。すなわち、外ケーブルは端支点横桁または中間支点横桁に定着されるのが一般的である。径間の途中で外ケーブルを定着する場合、定着部の構造は、外ケーブルによるプレストレスが円滑に主桁に伝達され、かつコンクリート床版や波形鋼板ウェブに悪影響を及ぼさないよう決定される。近年、グラウトの充填確認、PC ケーブルの点検、および取替えを容易にするため、PC ケーブルのすべてを外ケーブルとする全外ケーブル方式の実績がある。このように、外ケーブルを支間部で途中定着しなければならない事例が増えている。図-3.2.8 および図-3.2.9 は、外ケーブルを径間の途中で定着する場合の定着構造の例である。前者はコンクリート床版にコンクリートエッジを設けて定着部を補強するもので、後者は定着部の下方に鉛直リブを設けて補強するものである。外ケーブル定着部(コンクリートエッジ方式)の例を写真-3.2.11 および写真-3.2.12 に示す。

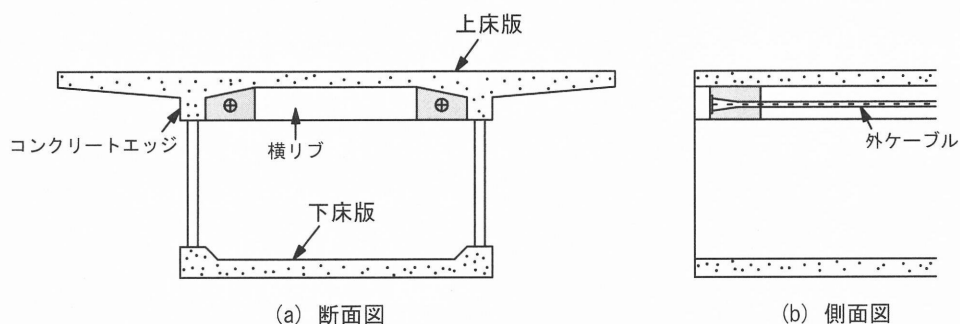


図-3.2.8 外ケーブル定着部の例(コンクリートエッジ方式)

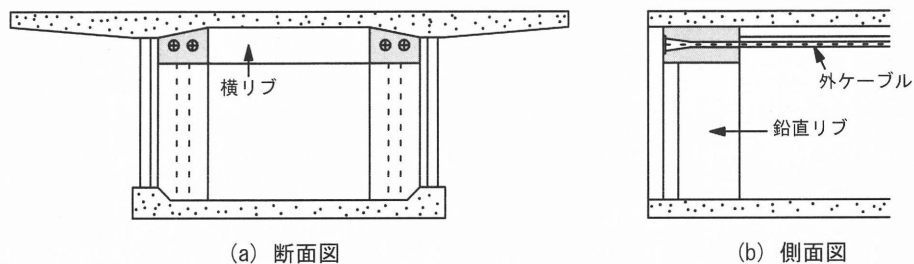


図-3.2.9 外ケーブル定着部の例(鉛直リブ方式)



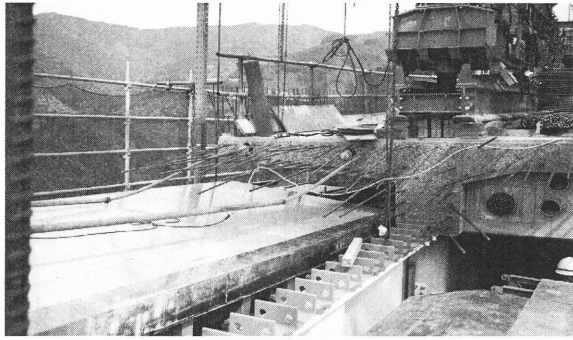


写真-3.2.11 外ケーブル定着部  
(コンクリートエッジ方式)

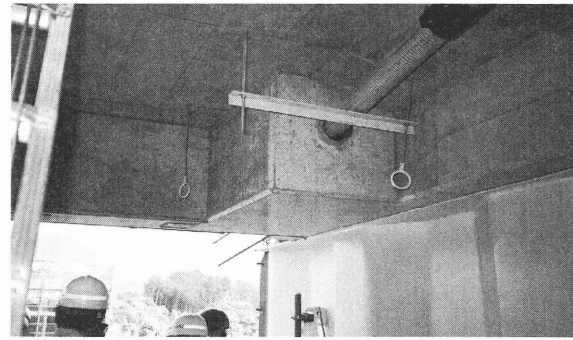


写真-3.2.12 外ケーブル定着部拡大写真  
(コンクリートエッジ方式)

#### 4) ケーブルの種類

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の外ケーブルには、通常の PC 橋と同様、PC 鋼より線が使用される。外ケーブルの防錆方法として、セメントグラウト、エポキシ被覆、ポリエチレン被覆、亜鉛めっき、などが挙げられる。これらは単独で使用されることは少なく、表-3.2.1 に示すように、組み合わされて使用される場合が多い。近年、工場で製作されたプレファブケーブルの実績も増えている。

表-3.2.1 外ケーブルの防錆方法

| 裸 PC 鋼材+セメントグラウト                                           | エポキシ被覆鋼材+セメントグラウト                        |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <p>PC鋼材(裸)<br/>セメントグラウト<br/>ポリエチレン管</p>                    | <p>エポキシ被覆鋼材<br/>セメントグラウト<br/>ポリエチレン管</p> |
| 亜鉛めっき鋼材+ポリエチレン被覆                                           | エポキシ被覆鋼材+ポリエチレン被覆                        |
| <p>ポリエチレン被覆<br/>亜鉛めっき鋼材</p>                                | <p>ポリエチレン被覆<br/>エポキシ被覆鋼材</p>             |
| プレファブケーブル(アンボンド鋼材)                                         | プレファブケーブル(エポキシ被覆鋼材)                      |
| <p>ポリエチレン被覆<br/>グリス充填<br/>PC鋼材<br/>充填材<br/>(ポリプロピレン、等)</p> | <p>エポキシ被覆鋼材<br/>充填材<br/>(ポリプロピレン、等)</p>  |

## 5) 偏向部

偏向部は、箱桁内の外ケーブルの角度を変えるために設置されるもので、通常、1 径間に 2 箇所程度配置される。図-3.2.10 に示すように、通常の PC 箱桁橋の偏向部には、隔壁タイプ、リブタイプ、突起タイプなどがある。しかし、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の偏向部では、断面変形を拘束する役割も期待されるため、これまでの実績ではほとんど隔壁タイプが採用されている(写真-3.2.13 参照)。

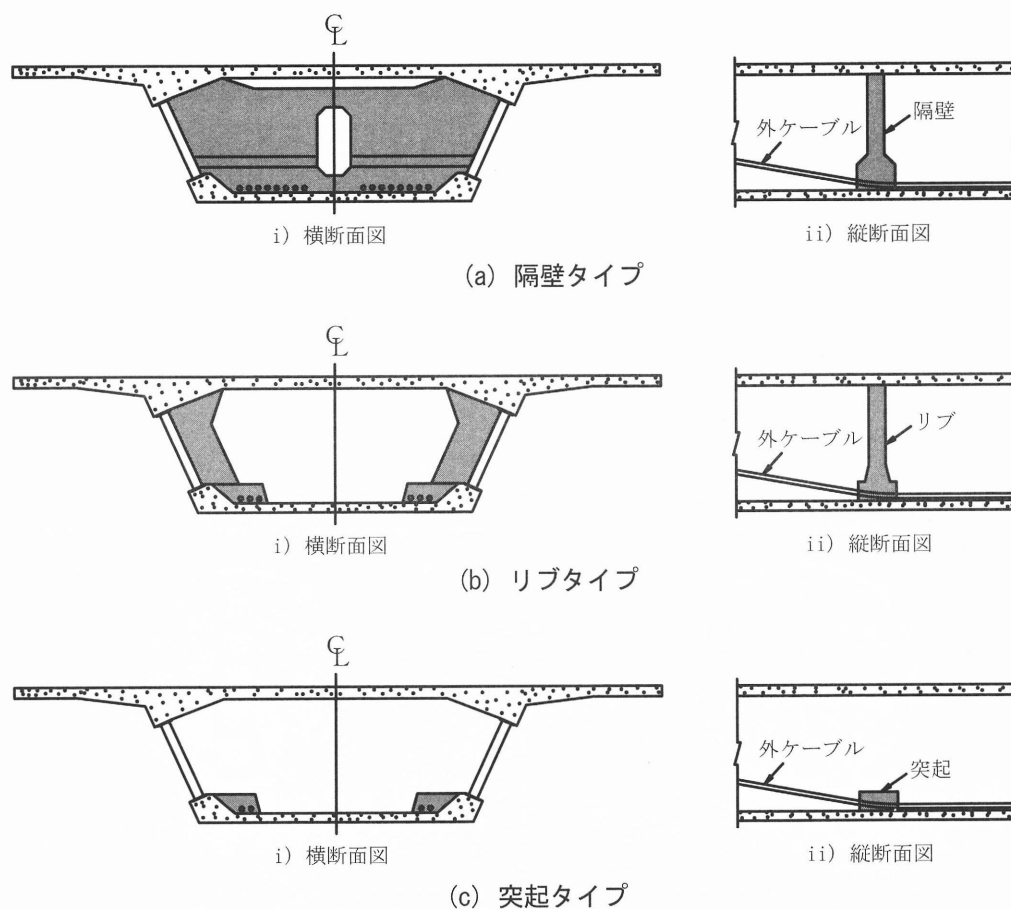


図 3.2.10 偏向部の種類<sup>4)</sup>

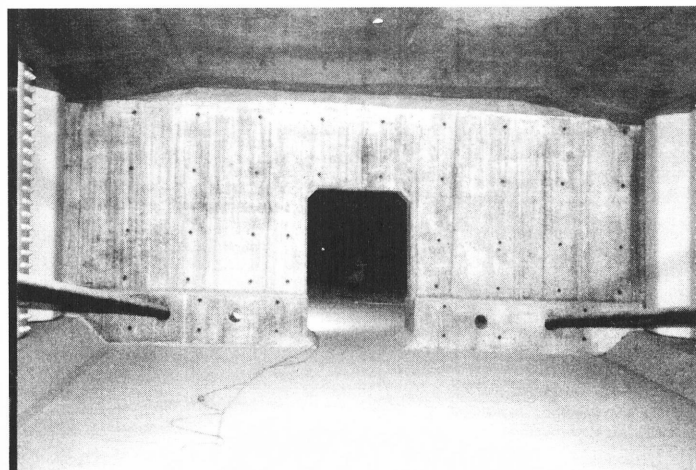


写真-3.2.13 偏向部(隔壁タイプ)の実例

## (2) 複合トラス橋

### 1) 構造特性

複合トラス橋は、従来の PC 箱桁橋のコンクリートウェブを鋼トラス構造に置き換えた構造である。この構造は、**図-3.2.11** に示すように、上・下床版コンクリート、鋼トラス材、内ケーブル、および外ケーブルから構成される。本構造では、従来の PC 箱桁橋において主桁自重の 30～40% を占めているコンクリートウェブを軽量の鋼トラス材とすることで、大幅な主桁自重の軽減が可能であり、施工の省力化も図れる。また、コンクリートウェブがトラス構造となることから、構造物に透過性があり、景観性に優れた構造であるとも言える。

複合トラス構造は、フランスのアルボア橋(1984 年)において初めて採用され、海外ではブローネ高架橋やブラ・ド・ラ・プレ橋など数橋が施工されている。国内において、この形式の木ノ川高架橋、志津見大橋、猿田川橋、および巴川橋の 4 橋が施工されており、山倉川橋は下路形式の鉄道橋として施工されている。架設工法としては、張出し架設や支保工架設の実績があるほか、ブローネ高架橋(**写真-3.2.14** 参照)ではプレキャストセグメント工法が採用されている。構造形式では、単純橋、連続橋、およびラーメン橋に適用されている。

PC 複合トラス橋の構造的特徴の一つは、主桁せん断力が鋼トラス材の軸力として伝達されることである。この鋼トラス材軸力の低減を目的に外ケーブルが使用される。外ケーブルは柱頭部上縁から支間中央の下床版に向けて配置され(**図-3.2.12** 参照)、主桁自重と逆向きのせん断力を作用させることで鋼トラス材に発生する軸力が低減される。

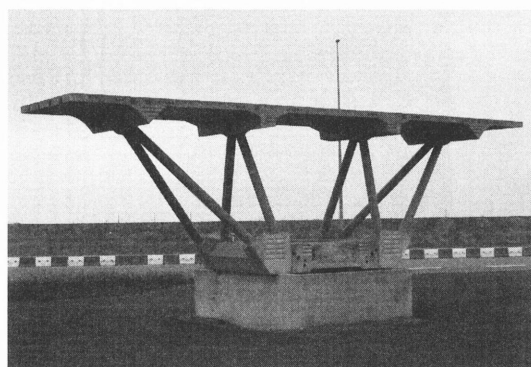
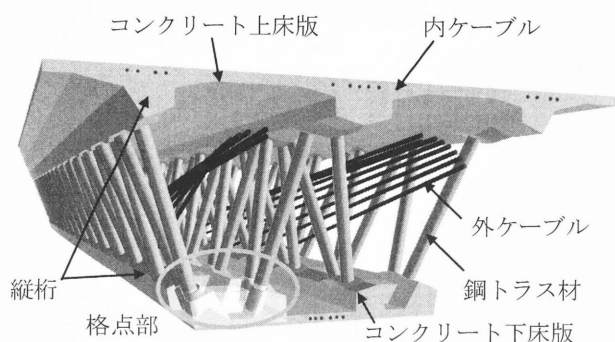


図-3.2.11 複合トラス橋イメージ図

写真-3.2.14 ブローネ高架橋のセグメント

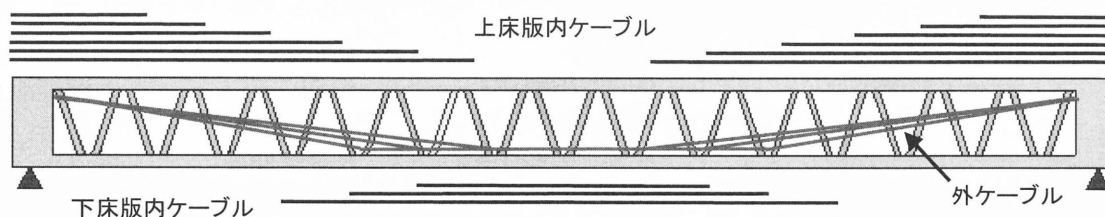


図-3.2.12 PC 鋼材配置イメージ図



## [橋梁概要]

橋 梁 名：木ノ川高架橋(写真-3.2.15 参照)

架設位置：和歌山県新宮市

発 注 者：国土交通省 近畿地方整備局

橋 長：268.0m

支 間 長：51.85+2×85.0+43.85m

幅 員：11.15m

完 成 年：2003 年 3 月

架設方法：張出し架設

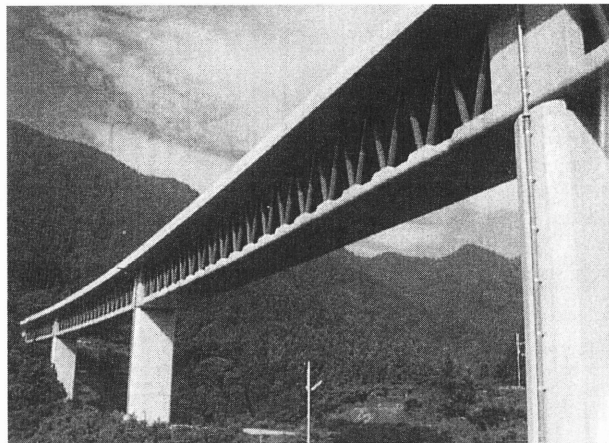


写真-3.2.15 木ノ川高架橋

## [橋梁概要]

橋 梁 名：志津見大橋(写真-3.2.16 参照)

架設位置：島根県飯石郡飯南町

発 注 者：国土交通省 中国地方整備局

橋 長：280.0m

支 間 長：64.0+75.0+60.0+45.0

+34.0m

幅 員：10.750m

(車道 7.250m+歩道 2.500m)

完 成 年：2005 年 6 月

架設方法：A1-P2 径間：張出し架設

P2-A2 径間：固定支保工架設

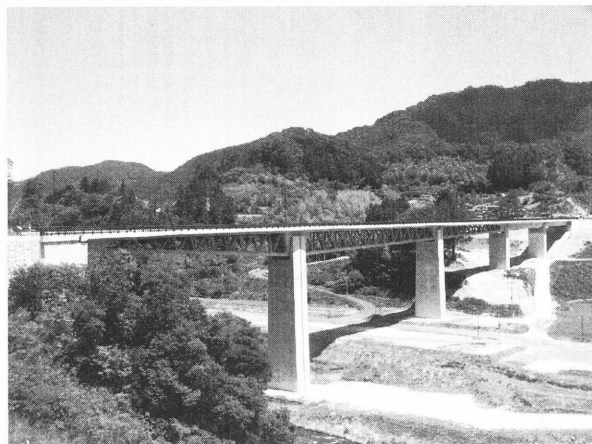


写真-3.2.16 志津見大橋

## [橋梁概要]

橋 梁 名：猿田川橋(写真-3.2.17 参照)

架橋位置：静岡県静岡市

発 注 者：日本道路公団

猿田川橋(下り線)

橋 長：625.0m

支 間 長：63.5+2×90.0+100.0+

2×110.0+58.5m

巴川橋(下り線)

橋 長：479.0m

支 間 長：57.0+3×119.0+62.0m

有効幅員：17.2m

完 成 年：2006 年 1 月

架設工法：張出し架設



写真-3.2.17 猿田川橋

## 2) 接合構造

上・下コンクリート床版と鋼トラス材の接合箇所である格点部は、構造上最も重要な部位の一つであり、その格点部として、これまで様々な構造が開発されている。複合トラス橋の格点構造は作用せん断力に対して十分な耐荷力を有していることが求められ、さらに、施工面への配慮も必要となる。海外の橋梁において採用された事例としては、ジベル鉄筋によるものや PC ケーブルにより耐荷力の向上を図ったものがある。国内では、各橋梁において、格点構造に求められる性能が異なることから、様々な種類の格点構造が採用されている。これらの格点構造は、いずれも耐荷力実験を行い、せん断力の伝達機構や終局耐荷力の確認が行われている。

### a. 鋼製ボックスタイプ<sup>15), 16)</sup>

木ノ川高架橋および山倉川橋では、鋼製ボックスタイプの格点構造が採用されている。この構造は、**図-3.2.13** および **写真-3.2.18** に示すように、2本の斜材を鋼製ボックスと呼ばれる舟形のボックスに一体化して上・下弦材に埋め込んだ構造である。そして、斜材から上・下弦材のコンクリートへの力の伝達はこの鋼製ボックスを介して行われる。引張斜材は鋼製ボックスの底板と溶接によって接合され、この鋼製ボックスは引抜きに対するアンカーとしての機能を有する。一方、圧縮斜材は表面に丸鋼を取り付けたズレ止めとフックによってコンクリートに定着されている。また、格点部に作用するせん断力に対しては、鋼製ボックス側面の孔あき鋼板とその内部のコンクリートとの合成構造に加え、せん断補強鉄筋を周囲に配置したコンクリート構造で抵抗する構造となっている。

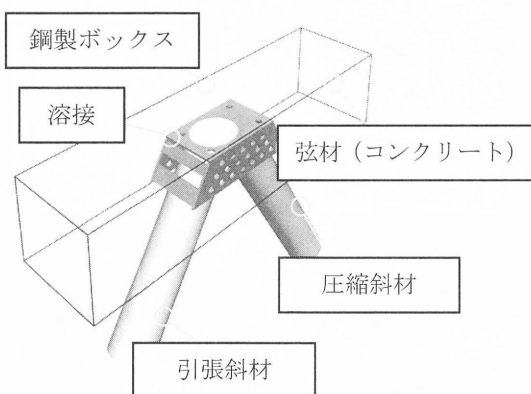


図-3.2.13 鋼製ボックス格点構造

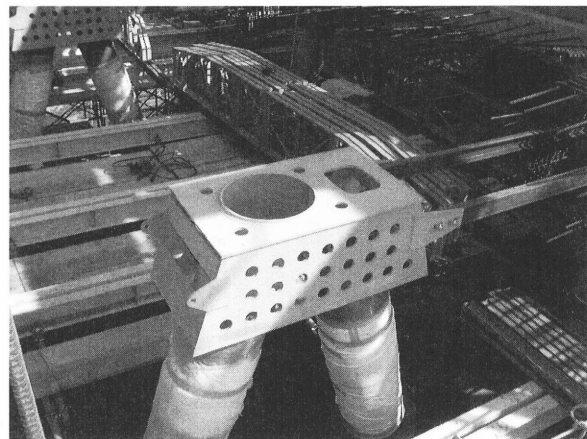


写真-3.2.18 鋼製ボックス格点構造

### b. せん断キータイプ<sup>17)</sup>

志津見大橋では、**図-3.2.14** および **写真-3.2.19** に示すように、圧縮斜材と引張斜材とがせん断キーを介して力を伝達する格点構造が採用された。この格点構造においては、鋼管斜材の圧縮力は、この鋼管斜材内側に溶接した丸鋼の付着リブを介して、この圧縮斜材内に充填されたコンクリートに伝達し、その力が引張斜材のみに溶接されたせん断キーを介して引張斜材に伝達させる。なお、支間中央付近の活荷重により引張力と圧縮力とが交番する箇所については、引張斜材にも付着リブが溶接されており、上床版側・下床版側とも同様の構造とされている。

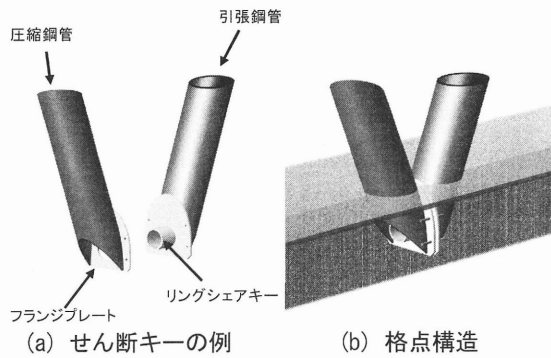


図-3.2.14 せん断キー格点構造の例

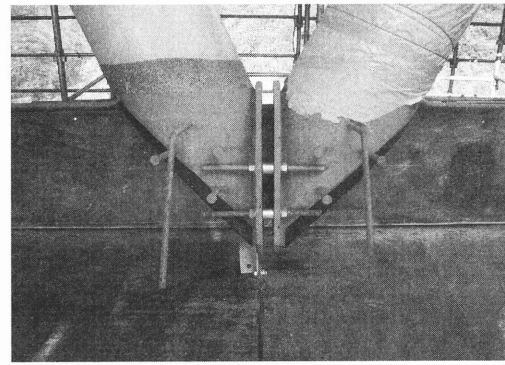


写真-3.2.19 せん断キー格点構造の実例

### c. 二重管タイプ<sup>18)</sup>

二重管格点構造は、猿田川橋および巴川橋で採用されている格点構造である。図-3.2.15 および写真-3.2.20 に示すように、鋼トラス斜材本体の先端を加工した外面リブ付き鋼管およびその外側に配置するリブ付き孔あき鋼管、および、その鋼管を連結するプレートで構成されている。トラス斜材の軸力は、定着部の外面リブからコンクリートを介して、外周に配置されたリブ付き鋼管に伝達される。さらに、この軸力は、せん断力として外周の鉄筋コンクリートと連結プレートの SRC 構造によって、もう一方のトラス斜材に伝達される。

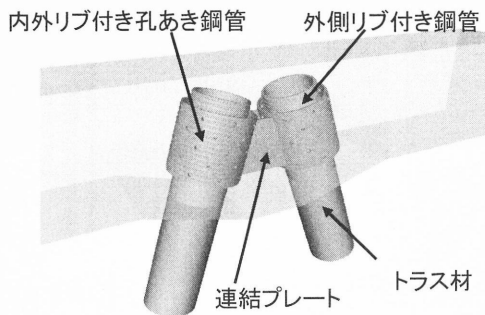


図-3.2.15 二重管格点構造

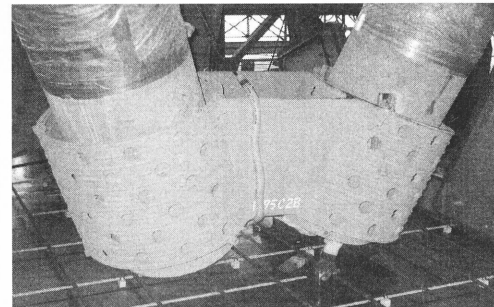


写真-3.2.20 二重管格点構造の実例

### d. 二面ガセットプレートタイプ<sup>18)</sup>

ガセットを使用した格点構造は、図-3.2.16 および写真-3.2.21 に示すように、鋼トラス斜材に完全溶込み溶接したガセットプレートを2枚の添接板で挟み込み、高力ボルトで摩擦接合することで、鋼部材が主としてせん断力を伝達する。主な特徴は、二面摩擦による高力ボルト接合により構造がコンパクト化するという点である。この構造は、猿田川橋および巴川橋の柱頭部付近の格点部に採用されている。

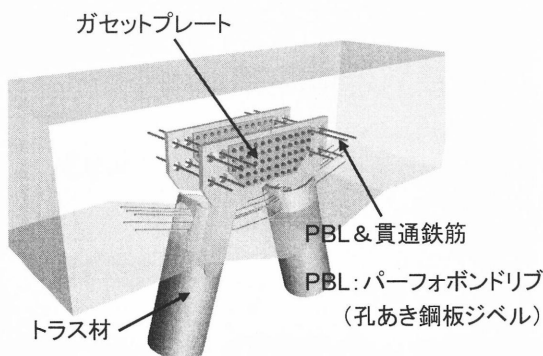


図-3.2.16 二面ガセット格点構造

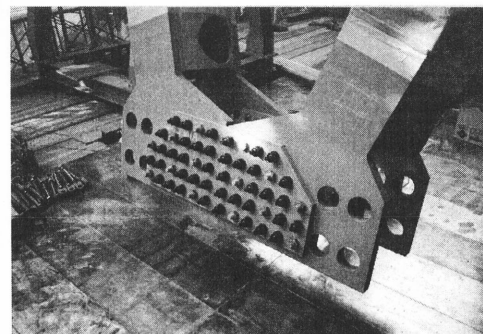


写真-3.2.21 二面ガセット格点構造の実例

### 3) ケーブル定着構造

PC 複合トラス橋において、3.2.1(2)1) 構造特性で述べたように、外ケーブルは柱頭部上縁から支間中央の下床版にむけて配置される。構造完成後に配置される外ケーブルの定着構造は、通常の PC 箱桁橋や波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋と同様であり、写真-3.2.22 および写真-3.2.23 に示すように、端支点横桁または中間支点横桁に定着されるのが一般的である。また、張出し架設時に施工される外ケーブルは下床版に設けられた突起部に定着される。



写真-3.2.22 外ケーブル配置状況の実例

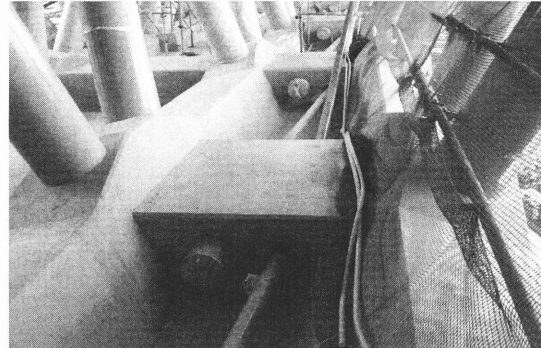


写真-3.2.23 外ケーブル定着部の実例

複合トラス橋の定着部構造の例を、図-3.2.17 に示す。定着構造はくさび式の定着具を使用している。また、将来の外ケーブルの取替えに対応するため、定着部には防錆材としてポリブタジエンが注入されている。

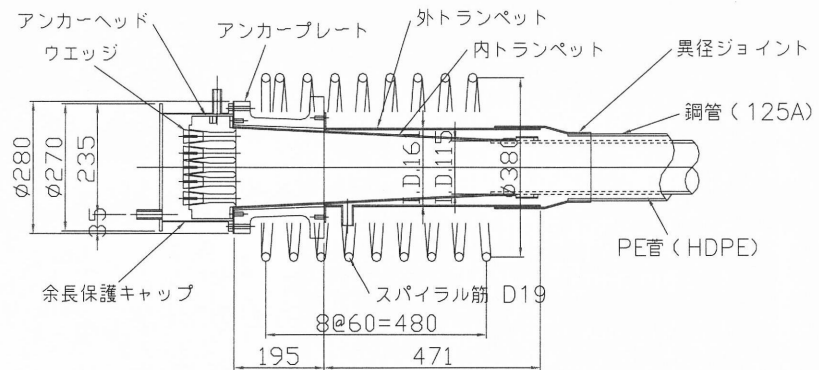


図-3.2.17 定着具構造図(寸法単位:mm)

### 4) 外ケーブルの種類

猿田川橋、巴川橋、および志津見大橋では、耐久性、耐候性、および施工の合理化を向上させるため、セミプレファブ型のマルチ亜鉛めっきケーブルが採用されている<sup>19)</sup>。これは、鋼素線 1 本ごとに亜鉛めっき被覆したケーブルを束ね、充填材などにより成形しながら高密度ポリエチレンにより被覆したマルチケーブルである。外ケーブルの断面と断面図を、それぞれ写真-3.2.24 および図-3.2.18 に示す。

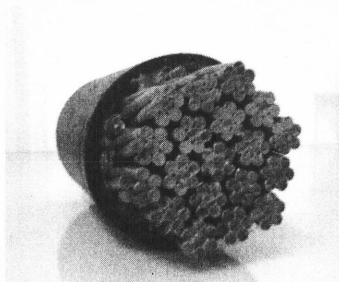


写真-3.2.24 ケーブル断面の例

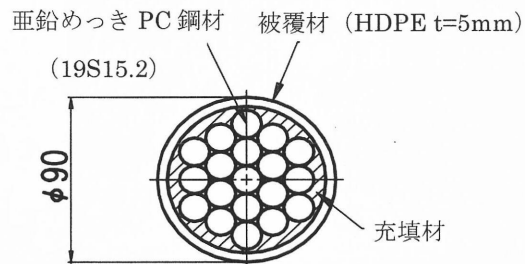


図-3.2.18 ケーブル断面図の例



### 3.2.2 エクストラードーズド波形鋼板ウェブ PC 橋

#### (1) 構造特性

エクストラードーズド橋は、桁橋と斜張橋との中間的な特徴をもつ構造形式で小田原ブルーウェイブリッジにおいて世界で初めて採用され、つくはら橋、都田川橋、および揖斐川・木曽川橋へと発展した“大偏心ケーブル方式”の PC 橋である。施工性がよく軽量化が図れること、主桁剛性が斜張橋より高く、一般に活荷重によるケーブルの応力変動が小さいため、ケーブルの能力を有効に使えることなどから、近年その採用が増加している構造形式である。

エクストラードーズド波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋は、桁構造の波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋と比較して、コンクリートウェブを波形鋼板に置き換えた構造形式、およびエクストラードーズド構造によりさらなる自重の軽減を図り、適用支間の長大化を実現している。小田原ブルーウェイブリッジと同様、世界に先駆けて日見夢大橋(写真-3.2.25 参照)でも採用され、栗東橋(写真-3.2.26 参照)がそれに続いて建設されている。

波形鋼板ウェブ橋は、国内において数多くの実績があり、その力学的挙動も解明されつつあるが、ケーブルを用いた構造への採用に際しては、コンクリート構造と鋼構造とを比較検討し、2 橋ともケーブル定着部試験を実施して応力伝達機構と終局耐荷力の確認が行われている。

#### [橋梁概要]

橋 梁 名：日見夢大橋

架橋位置：長崎県長崎市芒塚町

発 注 者：日本道路公団

橋 長：365.0m

支 間 長：91.75m + 180.0m + 91.75m

有効幅員：9.75m

完 成 年：2004 年 3 月

架設工法：張出し架設工法

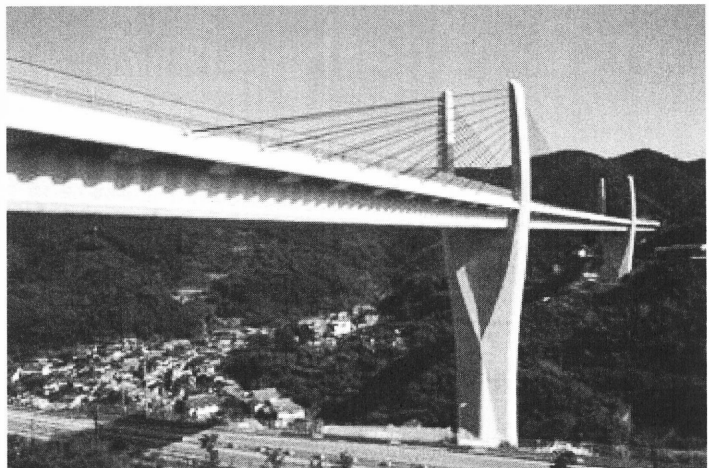


写真-3.2.25 日見夢大橋

橋 梁 名：栗東橋

架橋位置：滋賀県

発 注 者：日本道路公団

橋 長：上り線 495m, 下り線 555m

支 間 長：上り線 140 + 170 + 115 + 70m

下り線 155 + 160 + 75 + 90 + 75m

有効幅員：16.50m

完 成 年：2007 年 4 月(予定)

架設工法：張出し架設工法

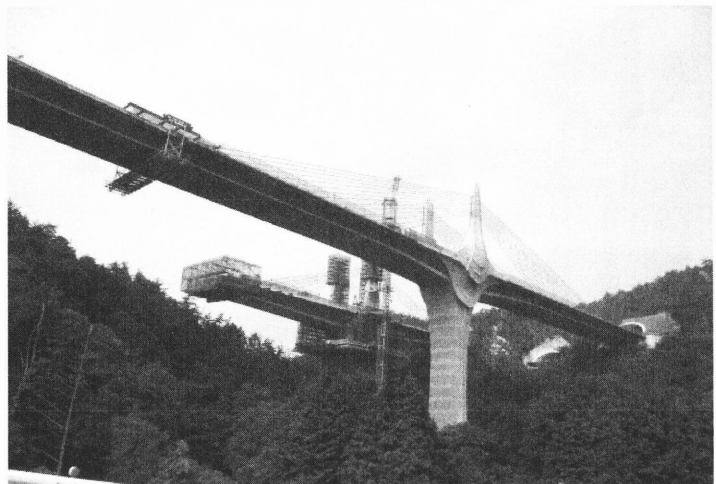


写真-3.2.26 栗東橋

図-3.2.19 および図-3.2.20 には、それぞれ栗東橋および日見夢大橋の一般図を示す。

日見夢大橋は、2本の塔を有する3径間連続桁構造で、中央支間長180mに対し、栗東橋は1本塔で最大支間長を170mとしている。中間支点上はともに剛結構造とし、日見夢大橋は4mの等桁高構造、栗東橋は変断面構造を採用している。

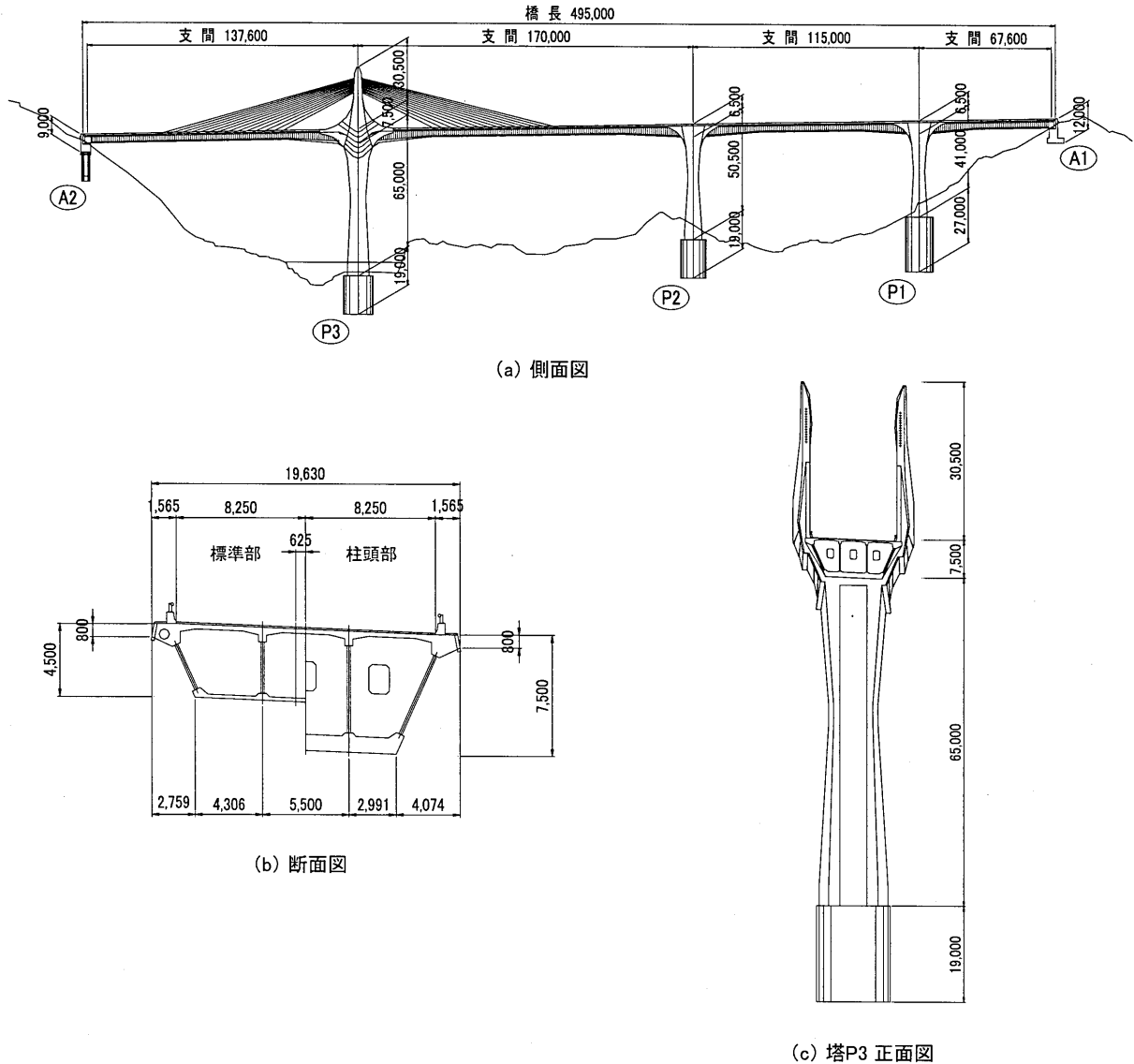


図-3.2.19 栗東橋(上り線) 一般図 (寸法単位:mm)

日見夢大橋の架設においては、交通量の多い国道上を通過するため、ワーゲン移動は夜間に限定されるなど、施工条件が厳しかった。それにもかかわらず、工期短縮が必要であったため、施工の合理化を目的とした次の技術的対策が実施された。

- ① 主桁断面は施工性向上のため、広幅員(約9.0m)の1室箱桁の採用
- ② 工期短縮のため、ブロック長を大型化し超大型特殊ワーゲン(10,000kN・m級)の採用
- ③ 耐久性の確保と現場作業省力化のため、ケーブルはプレファブケーブルの採用
- ④ 施工の合理化のため、塔のケーブル定着構造に工場製作の鋼殻構造の採用
- ⑤ 鋼殻構造は、現場溶接接合を省略するためにメタルタッチとし、鋼・コンクリートの合成構造を採用

- ⑥ 施工の合理化のため、ケーブル定着部構造に鋼製ダイアフラムを採用  
 ⑦ 波形鋼板と鋼製ダイアフラムの継手を工場での溶接とし、現場溶接作業を省略

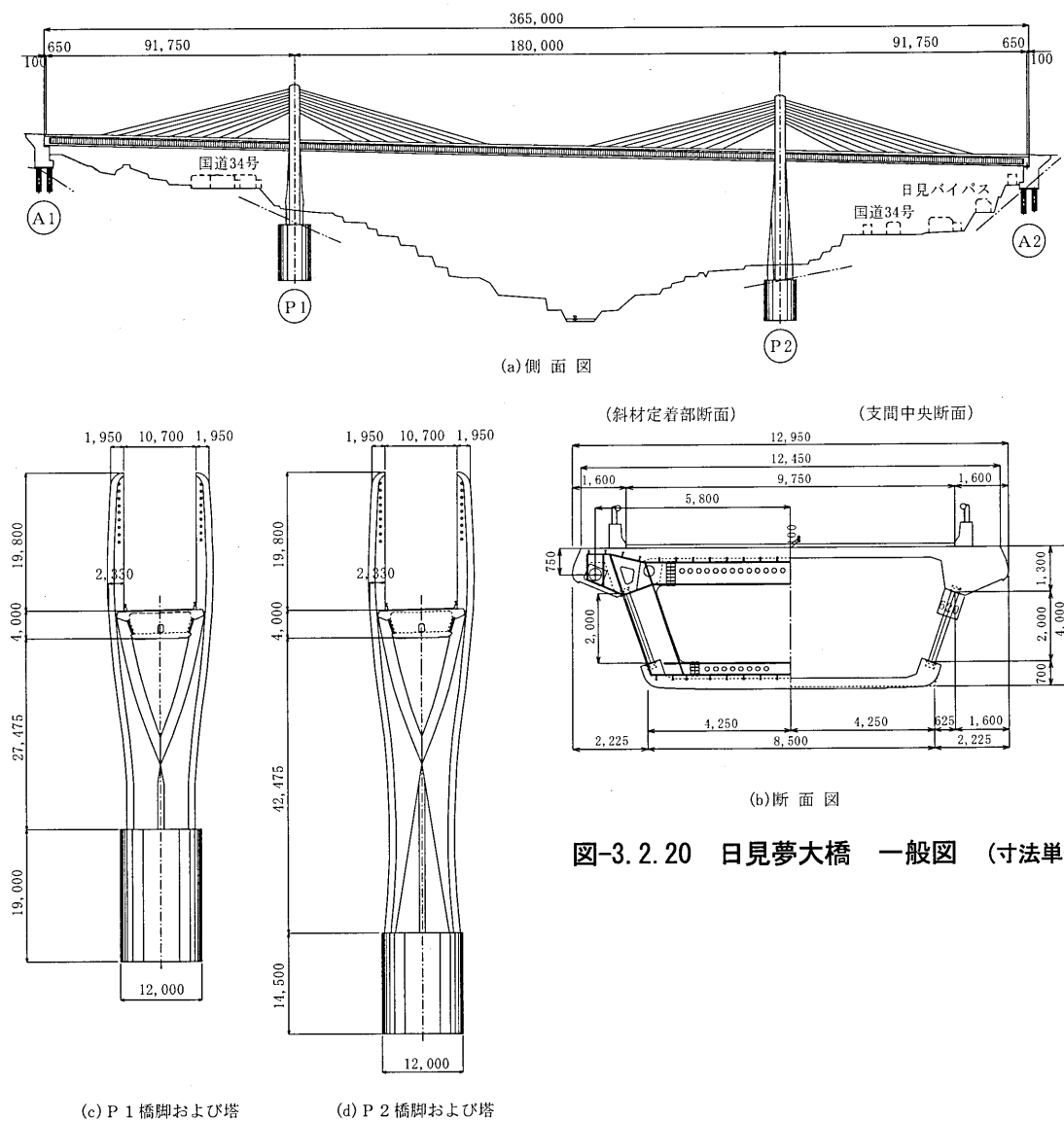


図-3.2.20 日見夢大橋 一般図 (寸法単位:mm)

エクストラード波形鋼板ウェブ橋の最適桁高は、経済性、構造的性、施工性、景観性などから選定する必要がある。

日見夢大橋の場合の桁高検討モデルを図-3.2.21 に、桁高検討結果を表-3.2.2 に示す。

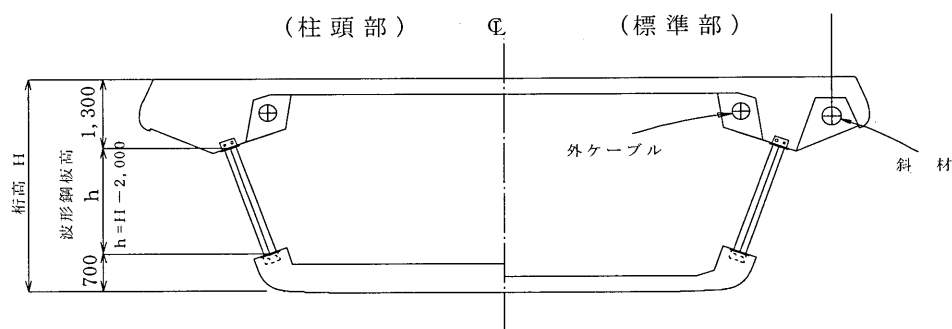


図-3.2.21 桁高検討モデル

表-3.2.2 桁高検討結果

| 桁高 H                              |             | 3.0m         | 4.0m         | 5.0m         |
|-----------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 外ケーブル 本数                          | 柱頭部 (本)     | 26           | 26           | 26           |
|                                   | 支間中央 (本)    | 18           | 18           | 14           |
| 斜ケーブル容量                           |             | 139 $\phi 7$ | 127 $\phi 7$ | 127 $\phi 7$ |
| 仮設ケーブル                            | 12S12.7 (本) | 28           | 14           | 10           |
| 仮斜材                               | 19S15.2 (本) | 4            | 2            | 2            |
| P C 鋼材量の比較                        |             | 1.10         | 1.00         | 0.97         |
| 斜材鉛直荷重分担率 $\beta$ (%)             |             | 41           | 27           | 20           |
| 斜材応力変動 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) |             | 630          | 420          | 300          |
| 波形鋼板のせん断分担率 (%)                   |             | 41           | 60           | 72           |
| 総合評価                              |             | $\Delta$     | $\odot$      | $\bigcirc$   |

桁高 3 ケースの中で、桁高 3.0m の場合は、桁高が低く構造性に劣ること、桁高 5.0m の場合は、上・下フランジに設置しているアングルジベルを考慮した波形鋼板高さが 3.5m となり、輸送の制約で波形鋼板に継ぎ手構造が必要となる。このため、主桁高さが 4.0m に決定されている。

## (2) 接合構造

コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合構造は、日見夢大橋および栗東橋とも同様の構造を採用しており、上・下床版ともアングルジベル構造となっている。

アングルジベル構造については、3.2.1(1)波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋で詳述しているため、ここでは省略する。

## (3) ケーブル定着構造

### 1) 主桁ケーブル定着構造の選定

コンクリートウェブ構造のエクストラドーズド橋は、一般的にコンクリート構造のケーブル定着構造が採用されている。しかしながら、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の合成構造においては、適切なケーブル定着構造の選定が必要となる。

ケーブル定着構造の設計に必要な着目点は、以下のとおりである。

- ① ケーブルの鉛直分力を適切に波形鋼板ウェブに伝達できる構造
- ② 主桁のねじり剛性を補剛し、断面変形を防止できる構造
- ③ 波形鋼板とコンクリート床版との接合部に不具合を生じない構造
- ④ 合理的で施工性に優れた構造

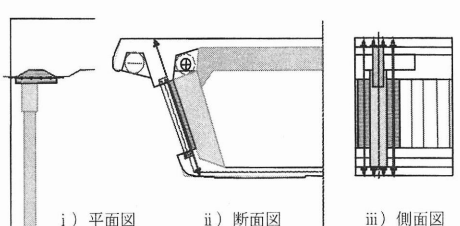
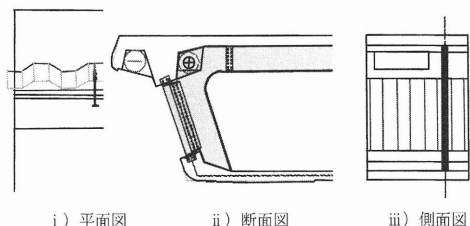
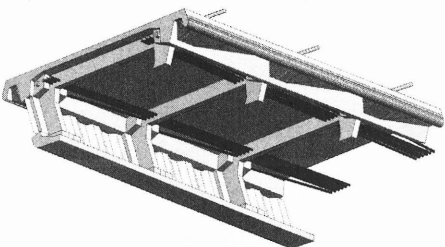
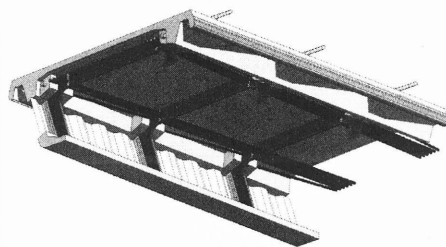
したがって、日見夢大橋では、ケーブル定着構造の選定において、ケーブルの鉛直分力を適切に波形鋼板ウェブに伝達できる構造を前提とすると同時に、主桁自重の低減を図れる構造として、表-3.2.3 に示す案 2 に絞り、比較検討が行われている。

波形鋼板ウェブにコンクリートの鉛直・横リブで補強した案 1 は、コンクリート部にケーブル鉛直分力からくる引張応力が発生するため、補強用の鉛直締め PC 鋼材が必要となる。一方、鋼製の鉛直・水平リブで補強した案 2 は、力の伝達が明確で、より軽量化を図れる結果となっている。

以上の検討により、鋼製ダイヤフラム構造を選定し、ケーブルの鉛直成分を効率よく主桁に伝達できる合成構造が採用されている。



表-3.2.3 ケーブル定着構造の比較

|       | 案1；裏打ちコンクリート+鉛直・水平リブ（コンクリート）                                                                                       | 案2；鉛直・水平リブ（鋼製ダイヤフラム）                                                                                                |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 断面詳細図 | <br>i) 平面図    ii) 断面図    iii) 側面図 | <br>i) 平面図    ii) 断面図    iii) 側面図 |
| 鳥瞰図   |                                   |                                   |
| 特 徴   | <ul style="list-style-type: none"> <li>裏打ちコンクリート部に斜材鉛直分力からくる引張応力が発生するので、鉛直リブに補強用の鉛直締めP C鋼材が必要。</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>斜材の鉛直分力の伝達および分担が明確となる。</li> <li>横方向剛性が案1より若干減少する。</li> </ul>                 |
| 重量増加量 | 上部構造重量で4.5%増                                                                                                       | 上部構造重量で1.4%増                                                                                                        |
| 総合評価  | ○                                                                                                                  | ◎                                                                                                                   |

## 2) 主桁ケーブル定着構造の設計

本橋の主桁断面図とケーブル定着部付近の詳細を図-3.2.22 に示す。ケーブル定着部の設計方針は、以下のとおりである。

- ① ケーブル軸力の鉛直分力は、鋼製ダイヤフラムで負担する。
- ② ケーブル軸力の水平成分は、コンクリート床版で負担する。
- ③ せん断力を伝達する波形鋼板は、ダイヤフラムに溶接接合する。
- ④ 橋軸方向の曲げモーメントは、上・下床版コンクリートにて負担する。

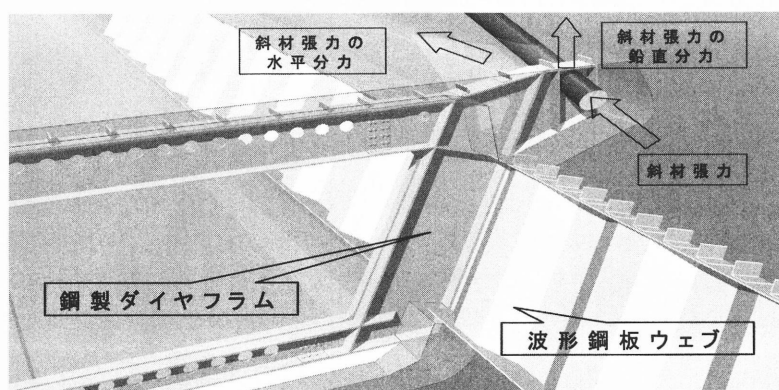


図-3.2.22 ケーブル定着部の鳥瞰図

波形鋼板ウェブとダイヤフラムとは、同じウェブ面で完全溶込み溶接にて一体化接合し、ケーブルの鉛直成分が主桁のせん断力にスムーズに伝達できる構造としている。ケーブル張力の伝達機構(図-3.2.22 参照)は、定着部よりコンクリートを介してダイヤフラムに鉛直力を伝達する構造となっている。

### 3) 塔ケーブル定着構造

日見夢大橋の塔ケーブル定着構造は、分離固定方式のセパレート定着断面で、鋼殻構造をコンクリートで巻き立てる合成構造となっている(図-3.2.23 参照)。

鋼殻の寸法は、定着体寸法、および維持管理用の作業スペースを考慮し、 $2.5\text{m} \times 1.0\text{m}$  としている。また、鋼殻は各定着部で 10 個に分割されたユニット構造となっており、コンクリートを巻立てることにより、ケーブルの鉛直分力は鋼殻・コンクリートの合成構造で、ケーブルの水平分力は、鋼部材にて受け持つ構造となっている。また、従来の現場溶接接合を省略するために、鋼殻ユニット間の応力の伝達はメタルタッチで行う構造とし、各ユニット重量も揚重機能を考慮し、 $50\text{kN}$  以下に設定されている。

鋼殻ユニットは、メタルタッチで積み重ねるため、各ユニット間には製作精度に起因する隙間が生じる。したがって、製作精度を最大  $0.5\text{mm}$  と設定し、隙間が生じた状態でケーブル張力が作用した際の安全性が非線形 FEM 解析により確認されている。

#### (4) ケーブルの種類

図-3.2.24 および写真-3.2.27 に示すように、日見夢大橋では亜鉛メッキにポリエチレン被覆を施した防食仕様の工場製作ケーブルを、栗東橋でも同様のケーブルが採用されている。

日見夢大橋のケーブル配置は、施工ブロックで 3 ブロックから 11 ブロックまでの 9 段配置、栗東橋では、6 ブロックから 19 ブロックまでの 14 段配置とされている。

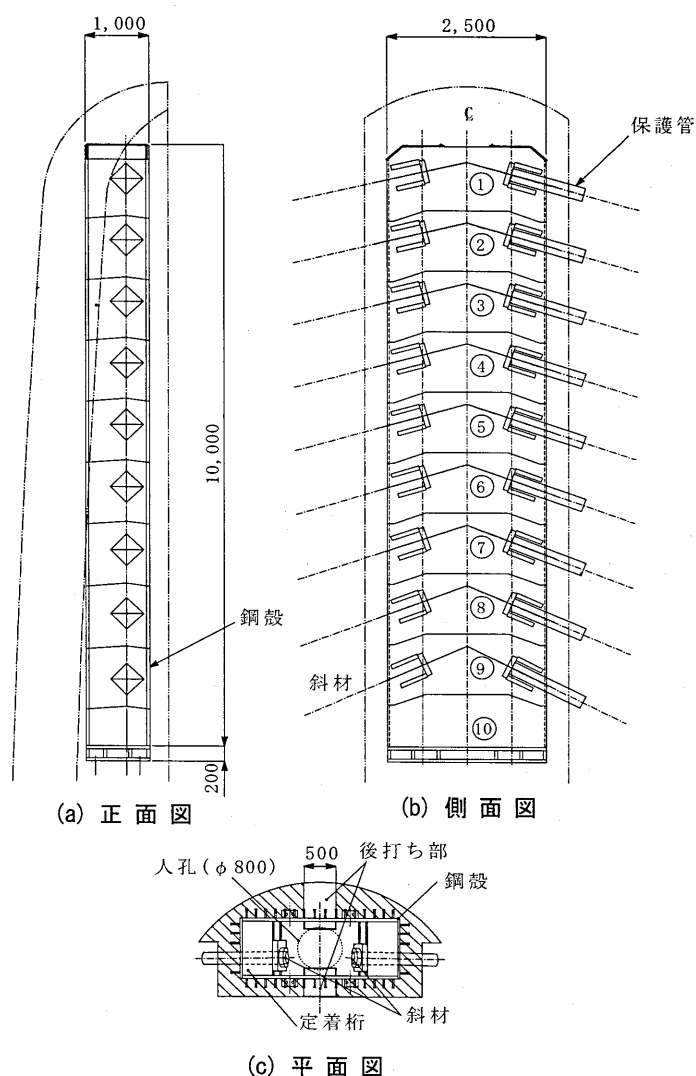


図-3.2.23 鋼殻の構造(寸法単位:mm)

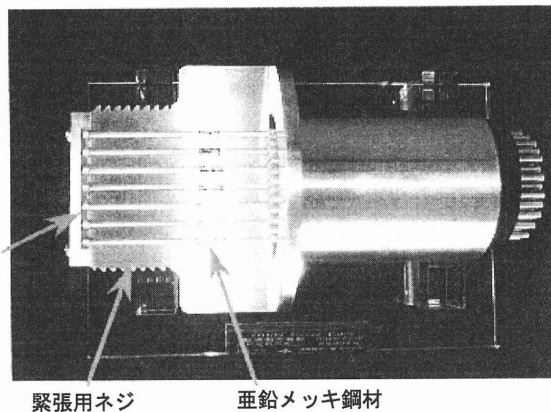
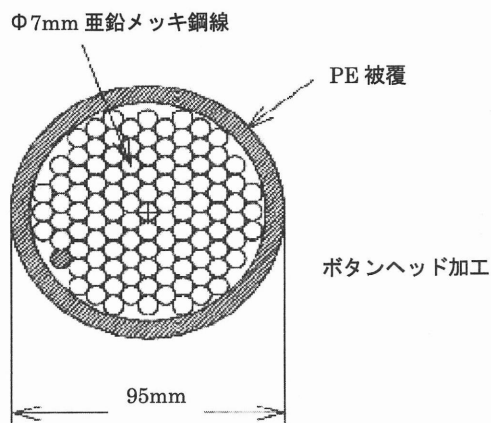


図-3.2.24 ケーブル断面詳細図

写真-3.2.27 工場製ケーブル定着端部

ケーブルの安全率は、プレストレストコンクリート技術協会の「PC 斜張橋・エクストラードード橋設計施工基準(案)」<sup>3)</sup>に基づき、2 橋とも施工時および設計荷重作用時ともに  $1.67 (0.6 \sigma_{pu})$  に対応、 $\sigma_{pu}$ ：ケーブルの破断応力と設定されている。活荷重によるケーブルの変動応力範囲の最大値は、栗東橋で  $26.3\text{N/mm}^2$ 、日見夢大橋で  $49.6\text{N/mm}^2$  である。

図-3.2.25 には、ケーブルの活荷重による応力範囲と鉛直荷重分担率を示している。

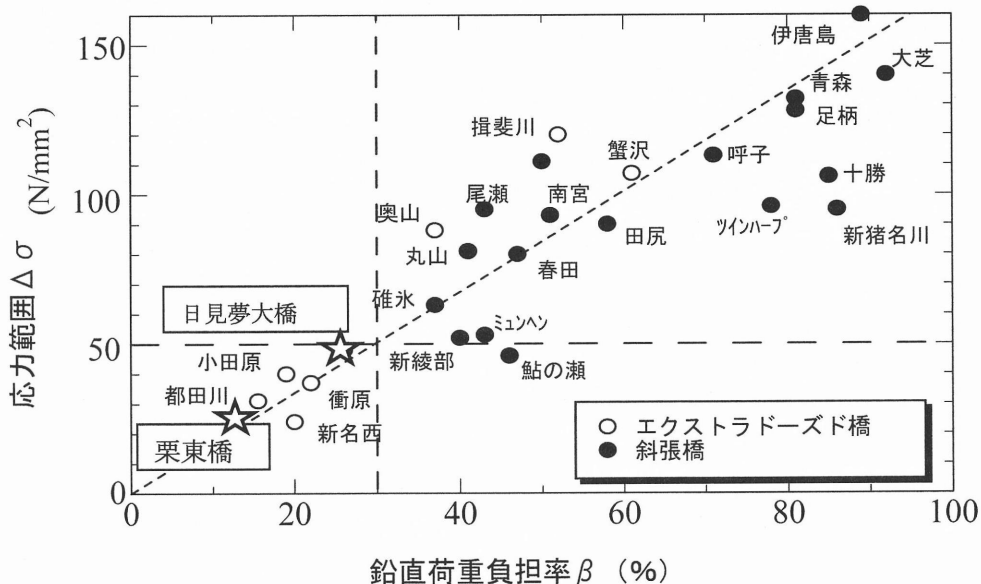


図-3.2.25 ケーブル応力範囲と鉛直荷重分担率の関係

特に、揖斐川橋や蟹沢橋でケーブルの応力範囲が大きいのは、これらの橋梁が構造的に連続桁構造であるため、ラーメン構造と比較して、活荷重によるケーブルの変動応力が大きいためと考えられる。

### 3.2.3 波形鋼板ウェブ PC 斜張橋

#### (1) 構造特性

PC 斜張橋は、1962 年にベネズエラのマラカイボ (Maracaibo) 橋の建設で注目を浴び、1970 年代に入り世界各地で本格的に建設され始めた。わが国においては、1963 年に島田橋が建設されたのが最初であり、1969 年の大阪万博会場の万博東歩道橋の建設を経て、1970 年代後半から本格的に建設されてきた。その後、PC 斜張橋の建設は増え続け、わが国では、今日まで 100 橋以上の施工実績がある<sup>1)</sup>。PC 斜張橋は、PC 桁橋に比べて長スパン化が可能な構造形式である。また、その構造形態が優美で環境に調和するなどの景観上の配慮から、近年、長支間の斜張橋の建設が増加してきている。最近では、第二東名高速道路の矢作川橋<sup>2)~7)</sup>(写真-3.2.28 参照)において、波形鋼板を箱桁断面のウェブに用いることで自重を低減し、さらなる長スパン化を可能とした波形鋼板ウェブ PC 箱桁斜張橋が世界に先駆けて採用されている。矢作川橋の橋梁概要と一般図を、図-3.2.26 および図-3.2.27 に示す。

#### [橋梁概要]

橋 梁 名：第二東名高速道路矢作川橋

架橋位置：愛知県豊田市今町～渡合町

発 注 者：日本道路公団

橋 長：820.0m

支 間 長：173.4m+2×235.0m+173.4m

幅 員：43.8m(上下線 8 車線)

完 成 年：2005 年 3 月

架設工法：張出し架設工法

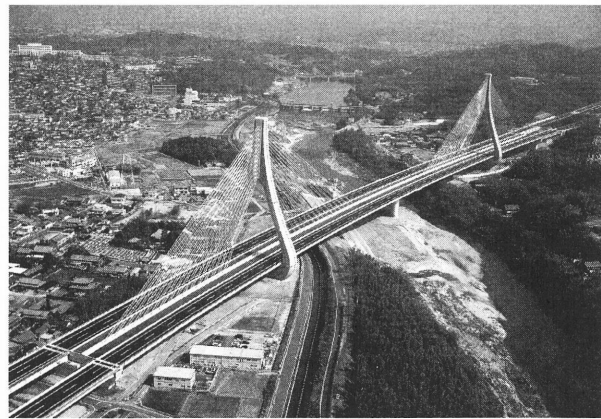


写真-3.2.28 矢作川橋

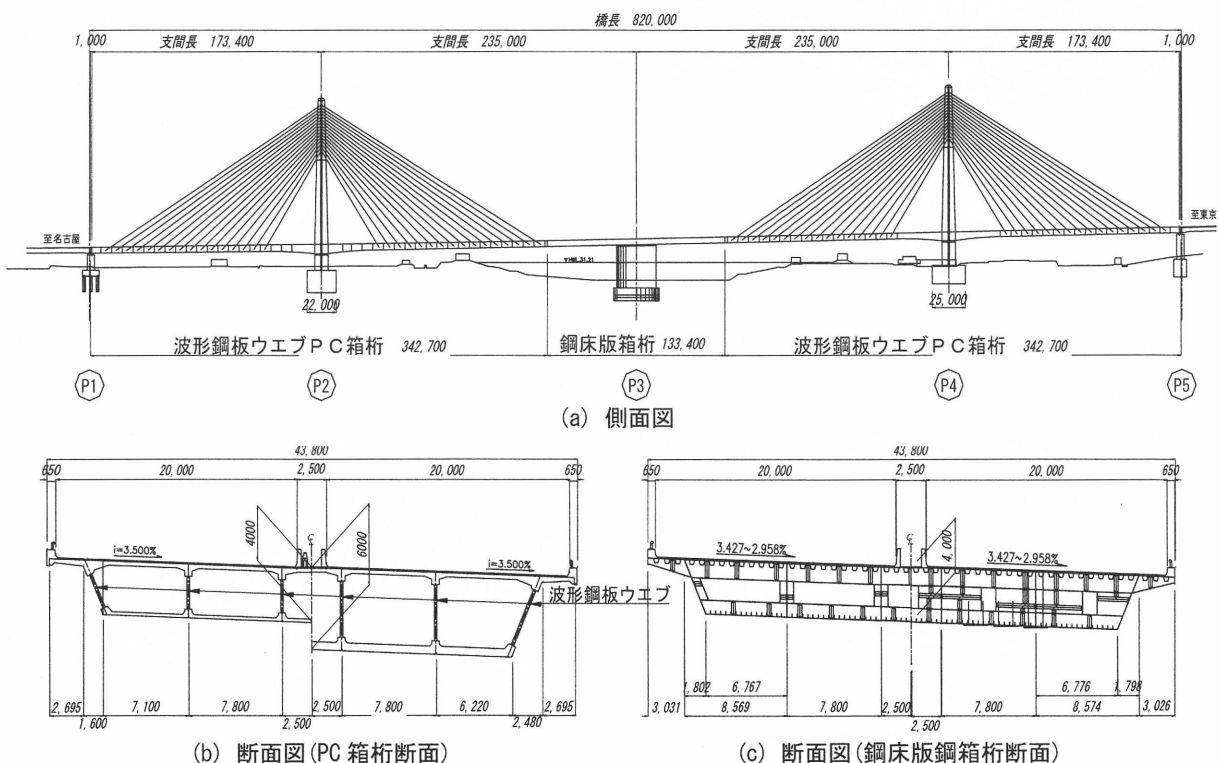


図-3.2.26 矢作川橋 一般図 (寸法単位:mm)

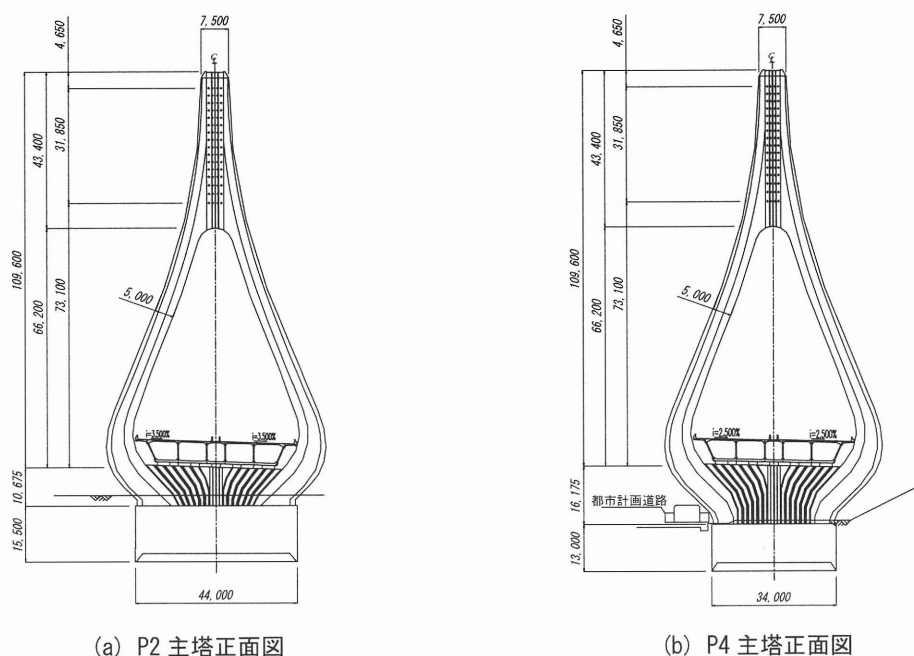


図-3.2.27 矢作川橋の塔形状 (寸法単位:mm)

矢作川橋は、第二東名高速道路と東海環状自動車道との共有区間で、1級河川矢作川を横過する波形鋼板ウェブ PC・鋼箱桁複合斜張橋である。この橋の最大支間長 235m および橋長 820m は、ともに波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋として世界最長であり、上下線一体(8車線、総幅員 43.8m)構造の一面吊り構造は世界最大級である。また、河川上の中間支点部を鋼床版箱桁とすることで上部構造のさらなる軽量化と 1 渇水期での上部構造の施工を可能としている。この波形鋼板ウェブ PC 箱桁と鋼箱桁との混合構造は世界初の試みである。

この工事には、2005 年 3 月開催の「愛・地球博」や中部国際空港へのアクセス道路となること、および名古屋圏の道路の渋滞緩和への対応等の観点から、厳しい工期制約があった。これらに対し、構造的にはコンクリートと鋼とのメリットを最大限生かした複合構造を積極的に採用するとともに、耐震設計や耐風設計などの大規模橋梁としての検討課題についても最新の解析技術や様々な構造実験・施工性確認実験を行なうことで、構造安全性や耐久性の他、経済性の確保が図られている。この橋の構造上の特徴を以下に示す。

#### 1) 波形鋼板ウェブ PC 箱桁(斜材定着構造)

広幅員中央一面吊り構造の斜材定着部には、鋼制定着梁構造および鋼製横桁が採用されている(図-3.2.28 参照)。これにより、一般的に煩雑となる PC 斜張橋の斜材定着部の鋼製ユニット化や、上・下床版コンクリートを分離して打設することができ、主桁施工の大幅な省力化と工程の短縮化がなされた。

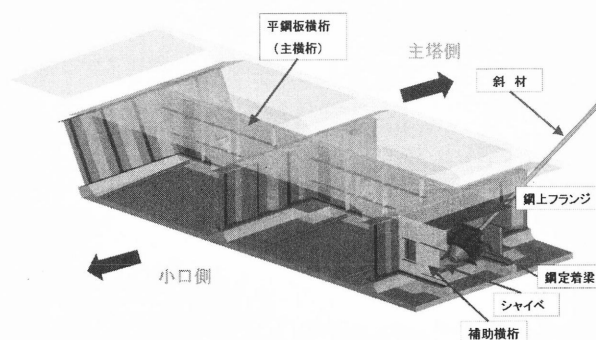


図-3.2.28 鋼制定着部を用いた斜材定着部

## 2) PC・鋼接合構造(混合構造)

PC 桁と鋼桁との接合構造は、木曽川橋・揖斐川橋で実績のある前後プレート方式を基本に、両ウェブは直接接合せず、巻き立てコンクリートを介してせん断力を伝達させる構造となっている(図-3.2.29 参照)。上記構造の採用により、主桁の連結は、鋼部材同士での閉合に比べ架設時の誤差吸収が容易なコンクリート打設による閉合が実現されている。

## 3) 塔および塔基部(鋼殻構造)

橋脚から張出された片持ち梁形状の受梁部とその上の塔基部は、橋梁全体を支える重要な部位であるとともに、各種交差条件による制約もデザインに生かし大きく湾曲した形状を有している。塔基部・受梁部には大きな断面力が作用するため、塔基部に厚鋼板を組み合わせた鋼殻構造、受梁部はさらにプレストレスでひび割れ制御した構造が採用されている(図-3.2.30 参照)。

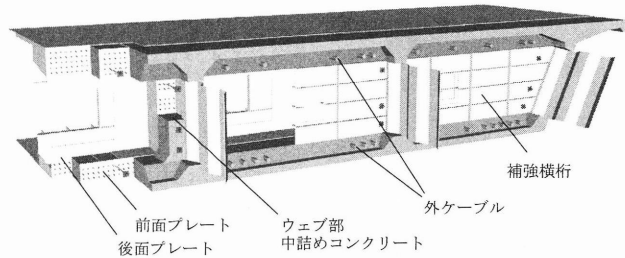


図-3.2.29 波形鋼板ウェブ PC 箱桁と鋼箱桁との接合部構造

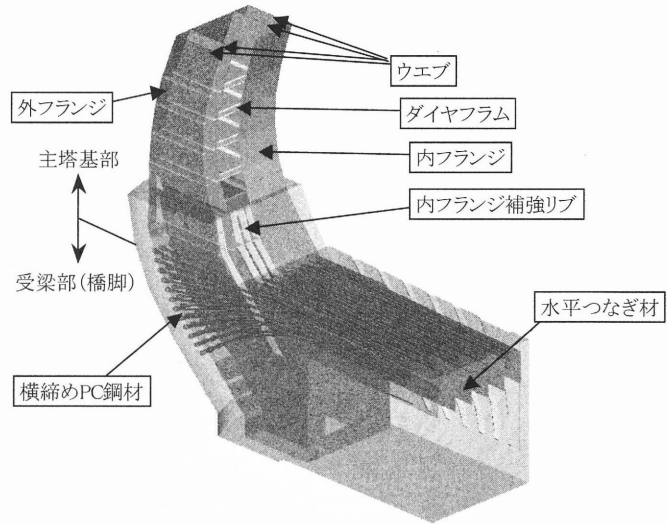


図-3.2.30 塔基部の鋼殻構造

## (2) 接合構造

波形鋼板ウェブとコンクリート床版との接合は、上・下床版ともにアングルジベル構造が採用されている。アングルジベル構造については、3.2.1(1)波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋で詳述しているため、ここでは省略する。

## (3) ケーブル定着構造

### 1) 主桁ケーブル定着構造

矢作川橋では、斜材定着部構造を通常の PC 斜張橋で多用されている 3 構造、すなわちコンクリート構造、鋼板に定着突起形状と補強リブを設けその中にコンクリートを打設する合成構造、および鋼製定着梁を用いる鋼製構造の 3 構造の比較・検討の結果から、経済性や施工性に優れ軽量の鋼製定着構造が採用されている(図-3.2.31 参照)。

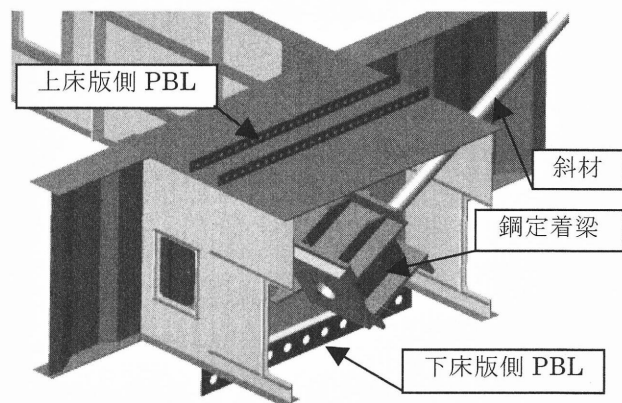


図-3.2.31 主桁斜材定着部

ただし、波形鋼板ウェブに定着梁を定着すると波形鋼板ウェブが斜材定着力の橋軸方向成分に抵

抗できないことから、定着梁の支持部材として主桁と平行に平鋼板のシャイベが設けられている。

採用にあたっては、FEM 解析による詳細な検討が行われ、鋼製定着梁、平鋼板シャイベ、横桁、補強横桁、フランジ等からなる斜材定着部構造が決定され、耐荷力実験による安全性の確認、および疲労実験により構造細目の決定が行われている。

## 2) 塔ケーブル定着構造

矢作川橋では、斜材定着部支圧板の押し抜きせん断や、中央径間側と側径間側から来る並列ケーブルの定着間隔の違いから生じる曲げに対する補強方法などを検討した上で、交差圧縮定着構造が採用され、斜材定着部の外側に化粧パネルを設けることにより維持管理用の検査路を確保する構造とされている(図-3.2.32 参照)。この構造により、押し抜きせん断耐荷力向上のための斜材ケーシングパイプのリブ補強、および曲げ補強としてのプレグラウト鋼材の配置が必要となったが、極厚鋼板による斜材定着装置が一切不要となり、工期的にも通常のブロック施工で可能となった。

また、斜材の耐風安定性、特に並列ケーブルにおける風下側ケーブルが水平方向に振動するウェイクフラッター現象への対策として、並列ケーブルの水平斜材間隔の広い方を風況が厳しいと予想される河川上となる中央径間側とし、狭い側を側径間側とするなどの工夫が凝らされている。

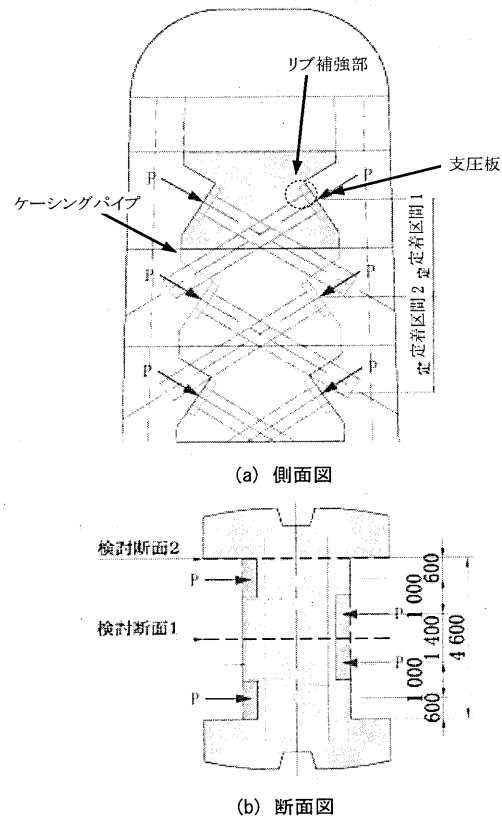


図-3.2.32 塔交差圧縮定着(寸法単位:mm)

## (4) ケーブルの種類

本橋の斜材は、 $\phi 7\text{mm}$  の亜鉛メッキ PC 鋼材を使用した工場製作ケーブルである。2 本の並列ケーブルを 1 主塔当たり両側の径間にそれぞれ 16 段ずつ、合計 1 塔 64 本のケーブルが配置されている。斜材ケーブル容量は、表-3.2.4 に示す 4 種類を用いた。高密度 PE で被覆されたケーブルには、フッ素樹脂塗装(白色)が施されている。写真-3.2.29 には、斜材配置状況を示す。工期的に最終斜材調整が主桁側となるため、斜材定着形式は、塔側でシムタイプ、主桁側でナットタイプが選定されている。

斜材の許容張力に関しては、従来、主方向の設計で考慮する荷重以外に、ケーブル自重や風荷重による曲げ応力を加味して設定する例が多かった。しかし、本橋で使用する斜材ケーブルに関しては、実験的検証から十分な静的強度と疲労強度とを有しており、許容張力に関して余裕があることが確認させている。このことから、斜材ケーブルの許容張力は、主方向の設計で考慮する荷重のみに対して決定されている。決定方法は、斜材が受ける活荷重による変動応力範囲  $\Delta\sigma$  と斜材の分担率  $\beta$  (斜材と主桁との剛比を表すパラメーター)とから算出し、これらの値は各斜材ケーブルによって異なるものの、最も厳しくなる斜材ケーブルの値を全橋に対し適用し、設計荷重作用時の許容張力は、 $0.4P_u$  ( $P_u$ : ケーブルの引張破断荷重)、施工時で  $0.6P_u$  とされている(図-3.2.33 参照)。



表-3.2.4 斜材ケーブル仕様

| ケーブル種別   | $\phi 7 \times 295$    | $\phi 7 \times 337$    | $\phi 7 \times 379$    | $\phi 7 \times 421$    |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ケーブルタイプ  | Type-A                 | Type-B                 | Type-C                 | Type-D                 |
| ケーブル断面構成 |                        |                        |                        |                        |
| 公称断面積    | 11,400 mm <sup>2</sup> | 13,000 mm <sup>2</sup> | 14,600 mm <sup>2</sup> | 16,200 mm <sup>2</sup> |
| 引張荷重     | 17,800 kN              | 20,400 kN              | 22,900 kN              | 25,400 kN              |
| 弾性係数     | 196 kN/mm <sup>2</sup> | 196 kN/mm <sup>2</sup> | 196 kN/mm <sup>2</sup> | 196 kN/mm <sup>2</sup> |
| 鋼線重量     | 870 N/m                | 1,055 N/m              | 1,193 N/m              | 1,331 N/m              |
| ケーブル重量   | 928 N/m                | 990 N/m                | 1,117 N/m              | 1,245 N/m              |

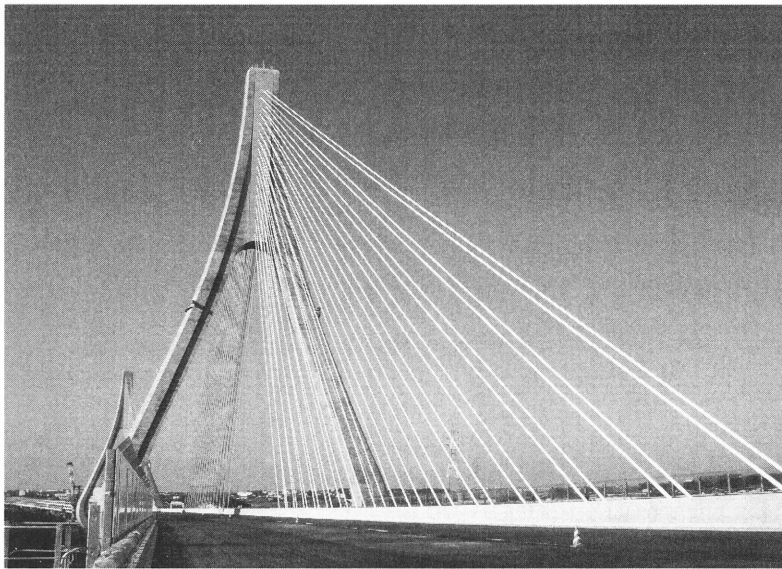
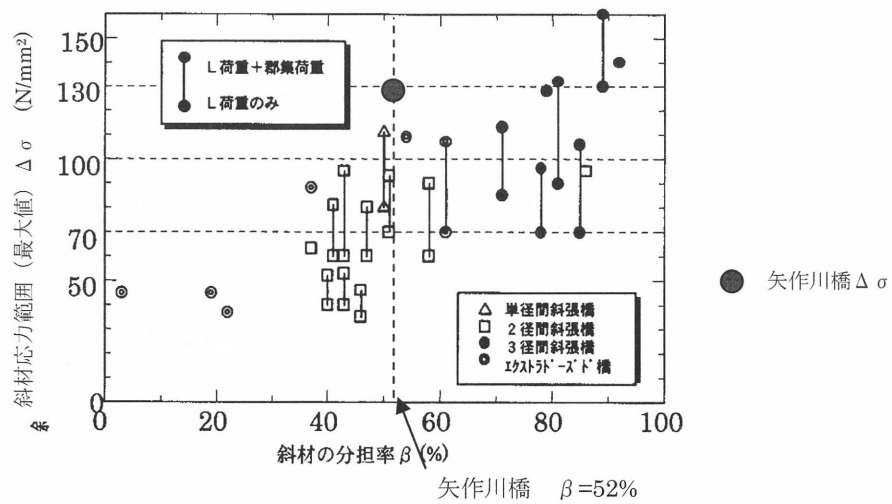


写真-3.2.29 斜材配置

図-3.2.33 ケーブル応力範囲と斜材の分担率との関係<sup>1)</sup>

### 3.2.4 ケーブル系 PC 橋の現状と今後の動向

1.2 節でも述べたように、特に近年では、上部構造の軽量化や構造的合理化を目指し、また景観性も加味した合成構造や混合構造の採用が増えている。中でも、ケーブル系 PC 橋の代表ともいえるエクストラドーズド PC 橋や PC 斜張橋が多用されている。特に両者では、斜張ケーブル(主ケーブル)の張力の変動荷重、特に活荷重による応力範囲が大きく異なる。もちろん、エクストラドーズド PC 橋の方が、主ケーブルの主桁水平軸に対する配置角度が小さいことから、変動応力の範囲が小さくなり、ケーブル断面が PC 斜張橋に比べ小断面になることから、経済的が期待できる。今後も架橋地点の立地条件にも左右されるが、合成構造や混合構造のエクストラドーズド橋の採用が増えると考えられる。

一方、現在、大半が歩道橋や軽自動車の通行用に架設されている、ケーブルを有効利用した吊床版構造を用いた複合トラス橋や大偏心ケーブル橋がある。これらの橋梁は、コンクリートとケーブルとの特徴を最大限に有効活用した構造として注目されている。つまり、コンクリートは圧縮に強いが、引張に弱いという特性を有効活用した橋梁である。一般的に、外ケーブルを用いた PC 箱桁構造では、例えば、単純桁構造の場合、引張応力が作用する桁断面の下部では、コンクリートにひび割れが生じる。そこで、この部分のコンクリートを撤去して、引張鉄筋と圧縮側のコンクリートのみを残した構造がこれにあたる。さらに、偏心された外ケーブルの形状を保持するために、コンクリート部材との間に設置されたケーブル支持部材がトラス部材であったりする。このように、有効でない部材を極限まで剥ぎ取った構造が、複合トラス橋や大偏心ケーブル橋にあたる。しかしながら、本構造は、このように、利点ばかりではない。なぜなら、コンクリートを極限まで剥ぎ取った構造であるがゆえに、従来コンクリートの利点とされてきたマッシブな断面の曲げ剛性が低下することになる。このため、橋梁に載荷される変動荷重が大きくなると、変形や振動も大きくなる欠点がある。今後、これら問題を解消できる構造の提案が、さらなるケーブル系 PC 橋梁の発展に繋がるだろう。

また、PC ケーブルの有効利用として、橋梁の補強に対する大きな寄与効果を挙げることができる。これは、PC ケーブルの配置形状を工夫し、ケーブルを緊張することによって、様々な挙動の改善が可能であるためである。すなわち、変形の回復、ひび割れたコンクリート部材の剛性の回復、コンクリートの応力度の回復など、多くの有効活用が可能となる。これが、ケーブル系 PC 橋梁の利点でもある。

近年では、構造材料の開発に拍車がかかっている。特にコンクリート部門に対する開発が盛んで、圧縮強度が  $1,000\text{N/mm}^2$  級の超高強度コンクリート、あるいは人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート等が実用化されてきている。これらを有効活用

した複合構造の採用により、図-3.2.34 に示すように、更なる長支間化が期待される。

このように、ケーブル系 PC 橋梁の期待は高まるばかりである。

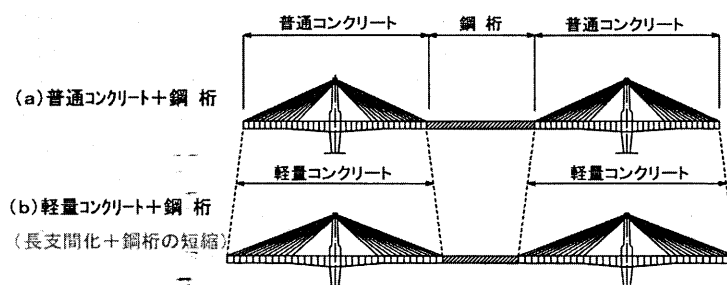


図-3.2.34 ケーブル系 PC 橋梁の長支間化の概念図

## 参考文献

## (3.1.1)

- 1) 日本橋梁建設協会：ホームページ「橋梁年鑑データベース」
- 2) 前田研一，中村一史，巻島健吾，池田虎彦，名嵐政司：オールプラスチック極超長大吊橋の試設計と材料特性，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，I-706，2003.9.
- 3) 中平進夫，西本哲也，野神秀雄：二番橋(仮称)の設計と施工，斜めハンガーを有する自碇式吊橋，片山技報，Vol.10，pp.51-63，1990.11.
- 4) 土木学会・鋼構造委員会・ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会・報告書，2005.3.
- 5) 日経BP社：日経コンストラクション，pp.30-34，2004.1.9.
- 6) 東京製綱：尾の内溪谷整備(第Ⅱ工区)工事 一般図.
- 7) 池田博之，水口和之，小松秀樹，中須 誠，前田晴人：第二名神高速道路木曾川橋・揖斐川橋上部工の設計，橋梁と基礎，Vol.33，No.11，pp.19-28，1999.11.
- 8) 日経BP社：日経コンストラクション，pp.90-92，2001.12.14.
- 9) 海外文献研究グループ：プレストレッシングのパワー，橋梁と基礎，Vol.37，No.12，pp.45-48，2003.12.
- 10) インターネットサイトホームページ <http://www.structurae.net/en/structures/>
- 11) 福原一光，岩田耕治，大泉 楯，秦 恒夫，坂本仁昭：広島西大橋の計画と設計，橋梁と基礎，Vol.37，No.1，pp.25-32，2003.1.
- 12) Hemming Group Ltd.: *Bridge design & engineering*, First Quarter 2002.
- 13) インターネットサイトホームページ <http://www.leanmouthbridge.com/>
- 14) 張萩薇，湯輝雄，富本 信，寺田直樹，松本淳司，福井康夫：猫羅溪橋の設計・施工，橋梁と基礎，Vol.35，No.10，pp.5-11，2001.10.
- 15) Hemming Group Ltd.: *Bridge design & engineering*, First Quarter 1999.
- 16) インターネットサイトホームページ [http://www.geocities.com/big\\_bridges1/volantin.html](http://www.geocities.com/big_bridges1/volantin.html)
- 17) インターネットサイトホームページ <http://www.gateshead.gov.uk/>
- 18) インターネットサイトホームページ <http://www.freefoto.com/>
- 19) 中島章典，森田 浩，佐川潤逸，高橋昌宏，高桑正直，内海 靖：アドベンチャーブリッジの設計と架設および実橋振動試験－鋼製主桁の吊床版橋－，橋梁と基礎，建設図書，pp.13-17，2000.1.
- 20) 岩村二三男，米田達則，橋本利幸，横山弘則，岩井 淳，水元 修：十二町湯水郷公園横断橋(仮称)の製作・施工，川田技報，Vol.15，pp.30-35，1996.1.
- 21) 坪内秀泰，吉田 功，恒川昌宏，梅田 聡：MIHO MUSEUM BRIDGE の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.32，No.7，pp.2-10，1998.7.
- 22) 佐藤 譲，佐々木真一，諸橋克敏，鈴木宣政：なぎさ・ブリッジの施工と実橋載荷試験－PC斜張橋と鋼吊橋のハイブリッド構造－，橋梁と基礎，Vol.37，No.7，pp.2-9，2003.7.
- 23) 斉藤公男：サッカースタジアムにみるストラクチャル・デザイン，月刊鉄構技術，鋼構造出版，2002.6.

## (3.1.2)

- 1) 土木学会・鋼構造委員会・ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会・報告書，2005.3.

## (3.1.3)

- 1) 土木学会・鋼構造委員会・ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会・報告書，2005.3.
- 2) バコーポレーション：ホームページ <http://tomoe-corporation.co.jp/rittai/uni-jisseki8.htm>

- 3) 山崎康嗣, 逸見雄人, 原 茂樹: 第2ボスポラス橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.23, No.10, pp.9-12, 1989.10.
- 4) 滝沢通明, 春日 昭: 第1報 “第2Bosporus 橋” 主ケーブルの架設工事, 石川島播磨技報, 第28巻 第1号, pp.19-24, 1988.1.
- 5) 石播・三菱・NKK 共同企業体: トルコ共和国第2ボスポラス橋
- 6) 山口きらら博記念公園ホームページ <http://www.kirara-memorial-park.jp/introduce/done.html>

### (3.1.4)

- 1) 土木学会・鋼構造委員会・ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会・報告書, 2005.3.
- 2) SEEE 協会 A1 分科会: 高速道路 A89-シャヴァノン高架橋の施工, プレストレストコンクリート, Vol.45, No.1, pp.115-120, 2003.1-2.
- 3) 海外文献紹介グループ: 海外文献紹介「シャヴァノン高架橋」, 橋梁と基礎, Vol.36, No.6 pp.46-47, 2002.6.
- 4) Peter, R.: Cover Story-Bridges, *Engineering News-Record*, pp.24-29, 2004.3.
- 5) Millau plays host to two important meetings, *Bridge-design & engineering*, Issue No.36, pp.21, Third Quarter 2004.
- 6) 菅井 衛, 中野一夫, 佐直信次: 手延べ桁式縦移動によるローゼ桁の架設—大宮市連絡通路—, 宮地技報, No.17, pp.53-61, 2001.12.
- 7) 土木学会: ケーブルスペース構造の基礎と応用, 鋼構造シリーズ 11, 丸善, 1999.10.
- 8) 熊谷 高, 小嶋与助, 星野進一, 柳内博光, 二階堂輝幸, 町 勉: 外ケーブル併用吊床版橋 (森のわくわく橋) の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.36, No.9, pp.12-19, 2002.9.
- 9) 小松原隆之, 近藤真一: 吊床版構造を応用した新しい PC 曲弦トラス橋の建設—巖門園地園路橋—, 土木技術, Vol.57, No.10, pp.99-104, 2002.10.
- 10) 中島章典, 森田 浩, 佐川潤逸, 高橋昌宏, 高桑正直, 内海 靖: アドベンチャーブリッジの設計と架設 および実橋振動試験—鋼製主桁の吊床版橋—, 橋梁と基礎, Vol.34, No.1, pp.13-17, 2001.1.
- 11) 坪内秀泰, 吉田 功, 恒川昌宏, 梅田 聡: MIHO MUSEUM BRIDGE の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.32, No.7, pp.2-10, 1998.7.

### (3.2.1)

- 1) 池田尚治: 土木分野における合成構造・複合構造の現状, コンクリート工学, Vol.29, No.6, pp.4-12, 1991.6.
- 2) Combault, J(訳: 大浦 隆): シャロール近くのモープレ高架橋, プレストレストコンクリート, Vol.34, No.1, pp.63-71, 1992.1.
- 3) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会: 波形鋼板ウェブ PC 橋計画マニュアル(案), 1998.
- 4) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会: 波形鋼板ウェブ橋に関する Q&A, 2002.
- 5) 島田静雄: Ripple Web Girder による鋼板のせん断試験, 土木学会論文集, 第124号, pp.1-10, 1965.
- 6) 田川健吾, 岡本春仁, 中田公夫: コルゲートウェブガーダーの研究, 日本鋼管技報, No.71, pp.25-33, 1976.
- 7) 近藤昌泰, 清水洋一, 小林勤一, 服部政昭: 波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋新開橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.28, No.9, pp.13-20, 1994.7.
- 8) 水口和之, 芦塚憲一郎, 古田公夫, 大浦 隆, 滝 憲司, 加藤卓也: 本谷橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.32, No.9, pp.2-10, 1998.9.
- 9) 水口和之, 芦塚憲一郎, 依田照彦, 佐藤幸一, 桜田道博, 日高重徳: 本谷橋の模型実験と実橋載荷実験, 橋梁と基礎, Vol.32, No.10, pp.25-34, 1998.10.

- 10) 石黒 互, 村田嘉宏, 須合孝雄: 松の木 7 号橋(銀山御幸橋)の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol.38, No.5, pp.5-14, 1996.5.
- 11) 鈴木永之, 紫桃孝一郎, 桜田道博, 立神久雄: 波形鋼板ウェブ橋におけるコンクリート床版接合部の横方向性状, コンクリート工学論文集, Vol.15, No.1, pp.93-102, 2004.1.
- 12) 小林 寛, 森 喜仁: 波形鋼板ウェブ PC 箱げた橋ー阪神高速道路北神戸線・中野高架橋建設工事ー, コンクリート工学, Vol.38, No.12, pp.44-50, 2000.12.
- 13) 東田典雅, 一条英明, 金子人之, 吉田政宏, 立神久雄: 遊楽部川橋(Twin-PBL 接合を用いた波形鋼板ウェブ橋)の設計・施工, 第 5 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.77-82, 2003.
- 14) 今泉安雄, 中村和典, 藤木義博, 三浦泰博: 張り出し架設工法による全外ケーブル方式波形鋼板ウェブ PC 橋の設計・施工ー東九州自動車道 前谷橋ー, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.3, pp.42-48, 2001.3.
- 15) 南 浩郎, 瀬戸 清, 小野 武, 尾鍋卓巳: 那智勝浦道路木ノ川高架橋の施工ー鋼管トラスウェブ PC 橋ー, 橋梁と基礎, Vol.38, No.1, pp.13-19, 2004.1.
- 16) 石田 清, 木戸素子, 小山幸寛, 大久保秀樹: 羽越線山倉川橋りょうの設計・施工ー鋼管トラスウェブ PC 開床式下路桁ー, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.2, pp.56-63, 2004.2.
- 17) 藤原浩幸, 梶木洋子, 正司明夫, 野呂直以: 志津見大橋の設計・施工, コンクリート工学, Vol.43, No.8, pp.47-52, 2005.8.
- 18) 加藤敏明, 本間淳史, 青木圭一, 星加益朗: PC 複合トラス橋の格点構造に関する研究, 第 12 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム講演論文集, pp.277-280, 2003.
- 19) 青木圭一, 能登谷英樹, 加藤敏明, 高德裕平, 上平康裕, 山口貴志: 猿田川橋・巴川橋の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.39, No.5, pp.5-11, 2005.5.

### (3.2.2)

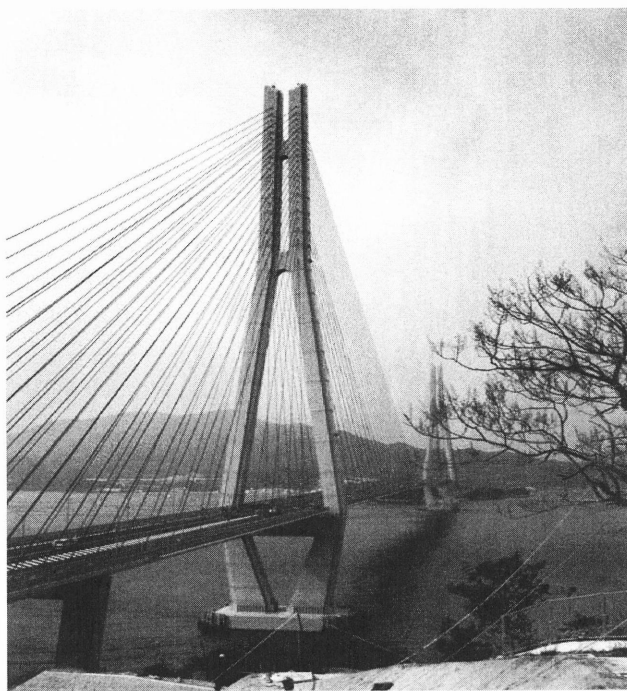
- 1) 佐川信之, 酒井松男, 岡澤祐三, 益子博志, 春日昭夫, 田添耕治: 日見橋(仮称)の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.37, No.6, pp.2-10, 2003.6.
- 2) 中園明広, 福原寛光, 西田朋仁郎, 須田 隆: 第二名神高速道路栗東橋の施工, 橋梁と基礎, Vol.38, No.10, pp.5-11, 2004.10.
- 3) プレストレストコンクリート技術協会: PC 斜張橋・エクストラード橋設計施工基準(案), 2000.
- 4) プレストレストコンクリート技術協会: 複合橋設計施工基準(案), 1999.

### (3.2.3)

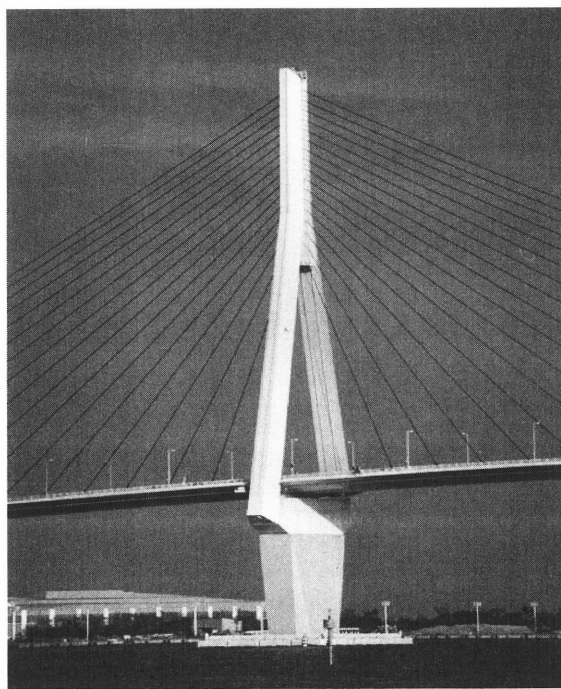
- 1) プレストレストコンクリート技術協会: PC 斜張橋・エクストラード橋設計施工規準(案), 2000.
- 2) 鈴木裕二, 池田博之, 水口和之: 第二東名高速道路矢作川橋の計画ー波形鋼板ウェブを用いた PC・鋼複合斜張橋ー, 橋梁と基礎, Vol.39, No.2, pp.5-8, 2005.
- 3) 角 昌隆, 寺田典生, 関根信哉, 山内明夫, 関口富夫: 矢作川橋の構造概要, 橋梁と基礎, Vol.39, No.2, pp.9-12, 2005.2.
- 4) 上東 泰, 忽那幸浩, 垂水祐二, 山本 徹, 奥山 元: 矢作川橋の上部構造の設計, 橋梁と基礎, Vol.39, No.2, pp.17-25, 2005.2.
- 5) 上東 泰, 宮本健次, 山本 徹, 広瀬 毅, 中村 譲, 笠原 等, 長沼 清, 大谷 満: 矢作川橋の上部構造の施工, 橋梁と基礎, Vol.39, No.2, pp.35-45, 2005.2.
- 6) 垂水祐二, 山田菊雄, 伊藤康輔, 柳井修司, 遠藤 史, 辻村 隆: 矢作川橋の特殊解析, 橋梁と基礎, Vol.39, No.3, pp.22-33, 2005.3.

- 7) 戸木正喜, 山野辺慎一, 今井昌文, 林田宏二, 佐野泰如: 矢作川橋の構造実験, 橋梁と基礎, Vol.39, No.3, pp.28-33, 2005.3.

### ケーブル系橋梁の写真館



多々羅大橋（尾道市～今治市）



鶴見つばさ橋（横浜市）