

衝原橋の設計と施工

岡 米男^{*1}・中川 洋三^{*2}・能登谷英樹^{*3}・植田 卓文^{*4}

1. はじめに

Mathivatによって提唱されたエクストラード橋の概念¹⁾は、日本において花開くこととなったが、日本道路公団では現在、世界初のエクストラード橋である小田原ブルーウェイブリッジに次ぐ2橋目の衝原橋を施工中である。中央支間長が180 mと従来なら斜張橋の領域である衝原橋では、小田原ブルーウェイブリッジで得られた知見をもとに、施工性を向上させ上部工の重量を低減するべく工夫を行った。また、上部工の設計を開始したのが兵庫県南部地震の直後であり、架橋地点が神戸市北部ということで、耐震設計には十分留意した。

本報告は、衝原橋の設計と施工について述べるものであるが、特にエクストラード橋であることによる特徴的な部分を中心に報告する。

2. 工事概要

衝原橋(図-1)は、山陽自動車道の三木ジャンクションと木見インターチェンジのほぼ中央に位置する衝原(つくはら)湖上に架かる、世界最大のエクストラード橋である。工事概要は以下のとおりである。

路線名：山陽自動車道 吹田山口線
 場所：兵庫県神戸市
 荷重：B活荷重

構造形式：PC 3径間連続エクストラード箱桁橋
 橋長：323.0 m
 支間：65.4 m+180.0 m+76.4 m
 幅員：9.25 m
 平面線形：A=800~R=15 000
 縦断勾配：\0.6%
 横断勾配：/2.0%

また、上部工の主要材料を表-1に示す。

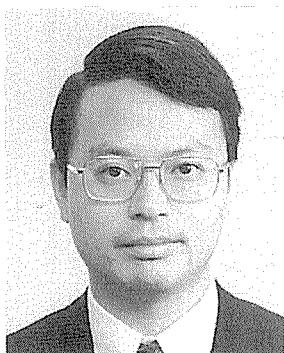
表-1 上部工主要材料

種別	単位	数量	摘要
コンクリート	m ³	10 834	f'ck=400 kgf/cm ²
型枠	m ²	22 220	主桁
鉄筋	ton	1 245	SD 345
PC鋼材	ton	182	内ケーブル(12 S 13)
	ton	93	外ケーブル(19 S 15)
	ton	194	斜材(27 S 15)

3. 設計

3.1 主桁の設計

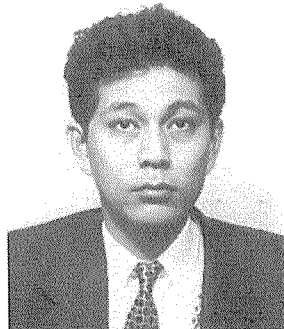
衝原橋では、主桁の軽量化と施工性および経済性を向上させるため、基本設計で2室箱桁となっていた主桁を詳細設計で1室箱桁に変更した。表-2にその比較を示す。小田原ブルーウェイブリッジと同じ2室箱桁断面は



*1 Yoneo OKA
 日本道路公団
 前大阪建設局
 構造技術課長



*2 Yozo NAKAGAWA
 日本道路公団
 大阪建設局
 技術課長



*3 Hideki NOTOYA
 日本道路公団
 大阪建設局
 技術課



*4 Takuhumi UEDA
 住友建設・大豊建設
 共同企業体
 所長

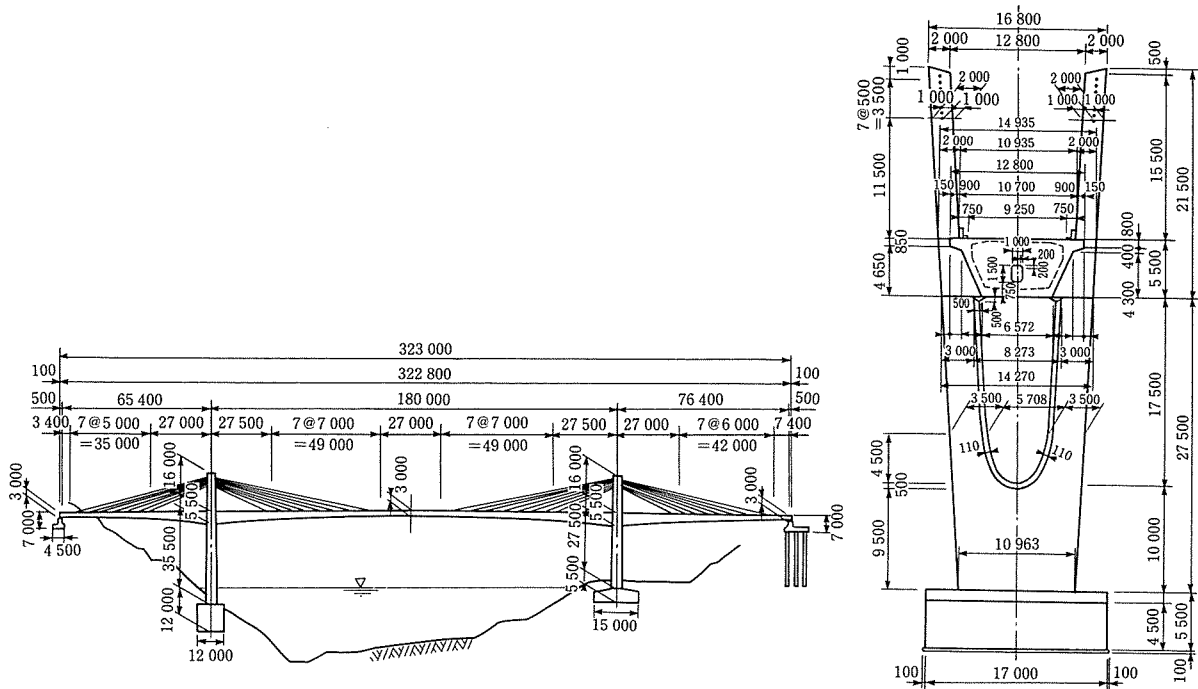


図-1 衝原橋一般図

斜材とワーゲンが交錯するため、斜材の挿入はワーゲンを前進させてから行わなければならない。しかし、1室箱桁にして斜材を桁の外側に配置することで、ワーゲンとの取合いの問題はなくなり、さらには、全幅も1m低減することができる。そして、サイクル工程は、標準ブロックで1日、斜材定着ブロックで3日短縮することができ、全体的には1.5月の工期短縮が図れる。しかし、床版支間が6mから9mとなり、その設計にあたっては十分留意する必要がある²⁾。

主桁の設計は、フレームモデルを用いた微小変形理論にもとづいて行っている。また、主桁の設計にあたり、立体モデル(図-2)による全体FEM解析を行った。これは、斜材張力が主桁に対して有効となる範囲を確認することと、詳細設計で2箇所から1箇所に減らした中間横桁に対する設計方法を確定するためである。斜材張力

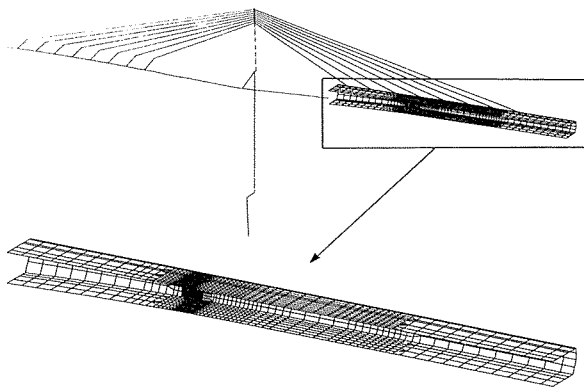


図-2 三次元FEM解析モデル

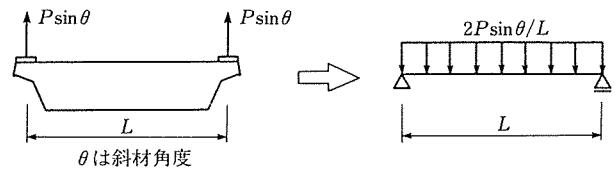


図-3 中間横桁のモデル化

が有効となる範囲は、その次の斜材位置からで、斜材間隔が7mであるからほぼ $33^{\circ}40'$ の分布と等しい。そして、中間横桁は、道路橋示方書(以下、道示)³⁾に示されているように図-3の手法で断面力を算出する。その時、横桁の有効幅は、道示の間接支持された桁に対する有効幅算定法方を用いて、斜材は2本分の鉛直力を考慮する。

2室箱桁を1室箱桁に変更したことで、内ケーブル(12 S 13)の配置スペースが減少したため、図-4に示すように外ケーブル(19 S 15)を配置することで対処した。これは同時に、ウェブに配置されていた内ケーブルをなくすことができ、それを曲げあげて定着する場合の切欠きが、床版横締め鋼材のピッチに与える影響がなくなる。

斜材は、活荷重による応力変動が 3.7 kgf/mm^2 であるため、小田原ブルーウェイブリッジ同様その許容値を $0.6 f_{pu}$ とした。そして、斜材にはポリエチレンコーティングされたストランドを、工場で27本束ねたセミプレハブケーブルを使用している(図-5)。この種のケーブルの斜材への適用は初めてであるが、ロングラウトタイプとすることにより厳冬期でのグラウト養生の問題が解決できた。また、サドルは表-3に示すように、

表-2 1室箱桁と2室箱桁の比較

	二室断面	一室断面																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
断面図	<p>ワーゲンの取合い図</p> <p>断面図</p>	<p>ワーゲンの取合い図</p> <p>断面図</p> <table border="1"> <tr> <td>主桁コンクリート</td> <td>-550m³</td> </tr> <tr> <td>せん断鋼棒</td> <td>+3 ton</td> </tr> <tr> <td>スターラップ</td> <td>-70 ton</td> </tr> </table>	主桁コンクリート	-550m ³	せん断鋼棒	+3 ton	スターラップ	-70 ton																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
主桁コンクリート	-550m ³																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
せん断鋼棒	+3 ton																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
スターラップ	-70 ton																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
構造特性	<ul style="list-style-type: none"> 小田原港橋の断面を踏襲し、床版の適用支間も道示に基づいている。 斜材定着はボックス内で行う。 床版横締は 1T28.6 ctc50cm 	<ul style="list-style-type: none"> 床版の適用支間(L=6.0m)を超えたものである。設計手法の一例としては、道示の式をそのまま延長して用いる方法や、FEMに実載荷する方法がある。 斜材定着はボックスの外の張出し部で行う。 主桁重量の低減が図れ、斜材配置用のデッドスペースも小さくなる。 床版横締は 1T28.6 ctc50cm 																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ワーゲンと斜材が交錯するため斜材の挿入はワーゲンを前進させてから行う。 斜材の取り替え等のメンテナンスはボックス内から行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ワーゲンと斜材の関係は特別な配慮が不要となり、一室断面であることから施工性が向上する。 斜材取り替え時は検査車等の作業架台が必要になる。 																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
特徴	<p>3主桁断面標準ブロック (11日/サイクル)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ワーゲン移動</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外型枠組立て</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>鉄筋・PC組立て</td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内型枠組立て</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>コンクリート打設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>養生</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <p>斜材定着ブロック (15日/サイクル)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ワーゲン移動</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外枠組立て</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>鉄筋・PCケーブル定着具組立て</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内型枠組立て</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>コンクリート打設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>養生</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内ケーブル緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>保護管製作架設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>斜材ケーブル挿入</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>斜材ケーブル緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <p>16×11日 + 8×15日 = 296日</p>	工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ワーゲン移動	■											外型枠組立て		■	■	■								鉄筋・PC組立て			■	■	■	■						内型枠組立て							■	■				コンクリート打設									■	■		養生										■	■	緊張											■	工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ワーゲン移動	■															外枠組立て	■	■														鉄筋・PCケーブル定着具組立て		■	■	■	■	■										内型枠組立て							■	■								コンクリート打設									■	■						養生											■	■				内ケーブル緊張													■	■		保護管製作架設				■	■	■	■	■								斜材ケーブル挿入												■	■			斜材ケーブル緊張														■	■	<p>2主桁断面標準ブロック (10日/サイクル)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ワーゲン移動</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外型枠組立て</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>鉄筋・PC組立て</td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内型枠組立て</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>コンクリート打設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>養生</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <p>斜材定着ブロック (12日/サイクル, 27φ15)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ワーゲン移動</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外枠組立て</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>鉄筋・PCケーブル定着具組立て</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内型枠組立て</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>コンクリート打設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>養生</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>内ケーブル緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>保護管製作架設</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>斜材ケーブル挿入</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>斜材ケーブル緊張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <p>16×10日 + 8×12日 = 256日</p>	工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ワーゲン移動	■										外型枠組立て		■	■								鉄筋・PC組立て			■	■	■	■					内型枠組立て							■	■			コンクリート打設									■	■	養生										■	緊張										■	工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ワーゲン移動	■												外枠組立て	■	■											鉄筋・PCケーブル定着具組立て		■	■	■	■								内型枠組立て							■	■					コンクリート打設									■	■			養生											■	■	内ケーブル緊張												■	保護管製作架設				■	■	■	■	■					斜材ケーブル挿入											■	■	斜材ケーブル緊張												■
工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
ワーゲン移動	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
外型枠組立て		■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
鉄筋・PC組立て			■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
内型枠組立て							■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
コンクリート打設									■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
養生										■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
緊張											■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
ワーゲン移動	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
外枠組立て	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
鉄筋・PCケーブル定着具組立て		■	■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
内型枠組立て							■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
コンクリート打設									■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
養生											■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
内ケーブル緊張													■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
保護管製作架設				■	■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
斜材ケーブル挿入												■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
斜材ケーブル緊張														■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
ワーゲン移動	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
外型枠組立て		■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
鉄筋・PC組立て			■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
内型枠組立て							■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
コンクリート打設									■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
養生										■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
緊張										■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
ワーゲン移動	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
外枠組立て	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
鉄筋・PCケーブル定着具組立て		■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
内型枠組立て							■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
コンクリート打設									■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
養生											■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
内ケーブル緊張												■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
保護管製作架設				■	■	■	■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
斜材ケーブル挿入											■	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
斜材ケーブル緊張												■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

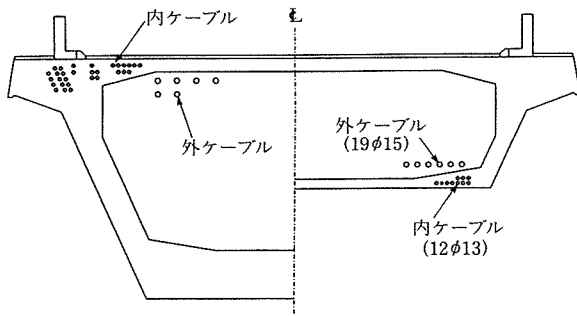


図-4 主桁の鋼材配置断面図

小田原ブルーウェイブリッジと同じタイプ (Type-2) であったのを、Type-1 に変更した。これは、Type-2 では、通常のスランドを使用する衝原橋の場合は定着用のアンカーが大きくなり ($W=340 \text{ kgf}$)、施工性が悪くなるのが懸念されたためである。本橋が直橋であり鋼管の曲げ加工が2次元的ですむことも考え合わせると、Type-2の方が経済的であった。ちなみに、両タイプとも小田原ブルーウェイブリッジにおいて耐荷力試験を実施しており、性能は両者とも同等であった⁴⁾。サドルの詳細を図-6に示す。

3.2 耐震設計

衝原橋の耐震設計は、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説(案)」(以下、復旧仕様)⁵⁾に従って行った。ただし、本橋はラーメン構造であるため、橋脚上端の照査と面外方向の検討も含めて以下のような手順で検討を行う。

PHASE-1: 橋脚下端に対する地震時保有水平耐力の照査 (面内, 面外)

PHASE-2: 観測地震波による弾塑性地震応答解析 (面内)

推定断面力による復旧仕様レベルの照査 (面外)

図-7に耐震設計のフローを示す。耐震設計の考え方は、地震に対する終局荷重作用時を復旧仕様レベルで考えるということである。

ここでの保有水平耐力の照査は、兵庫県南部地震の地震動記録をもとにした照査用震度を用いて行うもので、架橋地点の地盤状況からI種地盤の震度を使用する。また、弾塑性地震応答解析は、二次元モデルによる部材の塑性化を考慮した時刻歴応答解析で、神戸海洋気象台のN-S波を基本にして、復旧仕様に示されたスペクトル

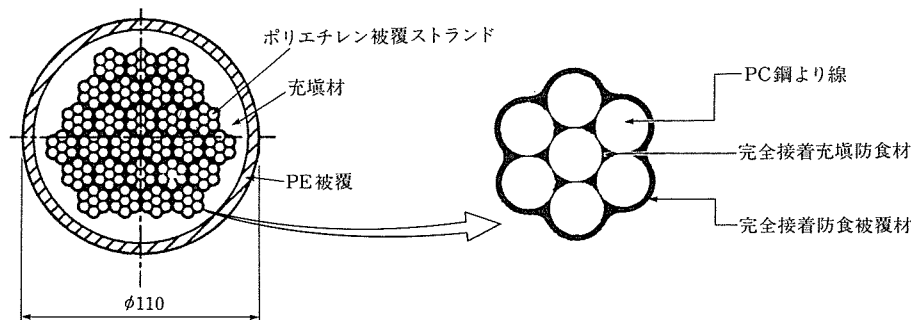


図-5 斜材断面図

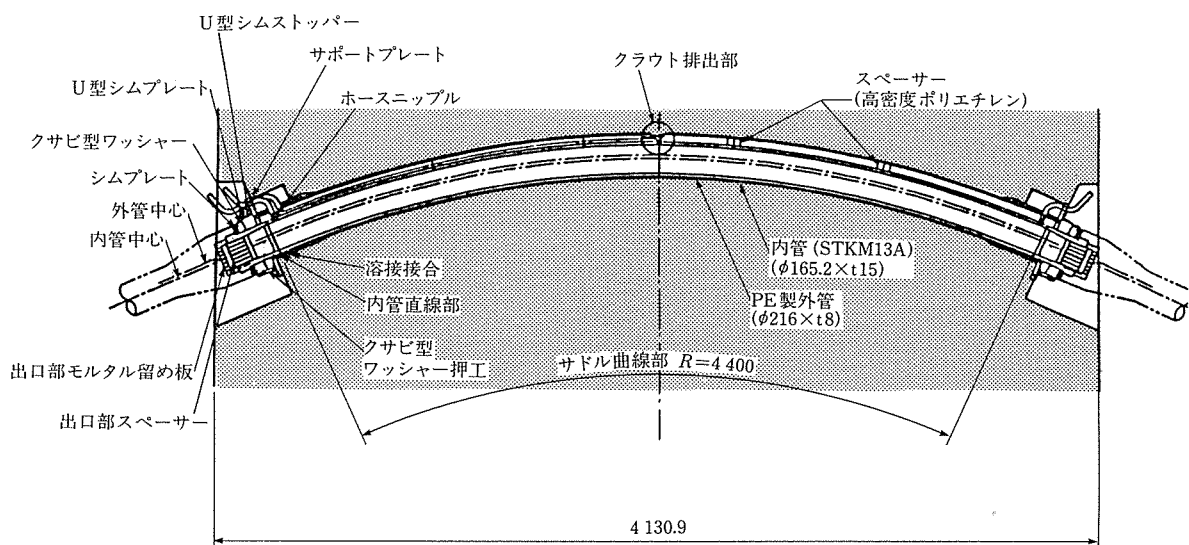


図-6 サドル詳細図

表-3 サドルのタイプ比較

	TYPE-1 外管(PE管)+内管(鋼管)タイプ	TYPE-2 外管(鋼管)+内管(PE管)タイプ
概要図	<p>斜材1本当たり内管重量 W=150kg</p>	<p>斜材1本当たりアンカー重量 W=340kg</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 銜原橋では TYPE-2 より鋼重が減少し、経済的になる。 ・ 工場にて外管と内管を組込むことが可能であり、現場での施工性が向上する。 ・ 内管の定着部付近はリブ定着のため、応力集中が発生する。これは、軸対象モデルの FFM 解析により照査する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小田原港橋の平面線形に起因する特殊性や、付着にすぐれたエポキシストランドの採用によるアンカーの小型から採用されたタイプである。 ・ アンカー重量が1本 200kg (L=1.5m) ほどになり施工性が悪くなる。 ・ アンカーはフープ方向の力に対して設計する。
実績	白山大橋 (新潟県, 斜張橋)	小田原港橋
コスト比	0.8 (フレームも含む)	1.0 (フレームも含む)
評価	◎	○

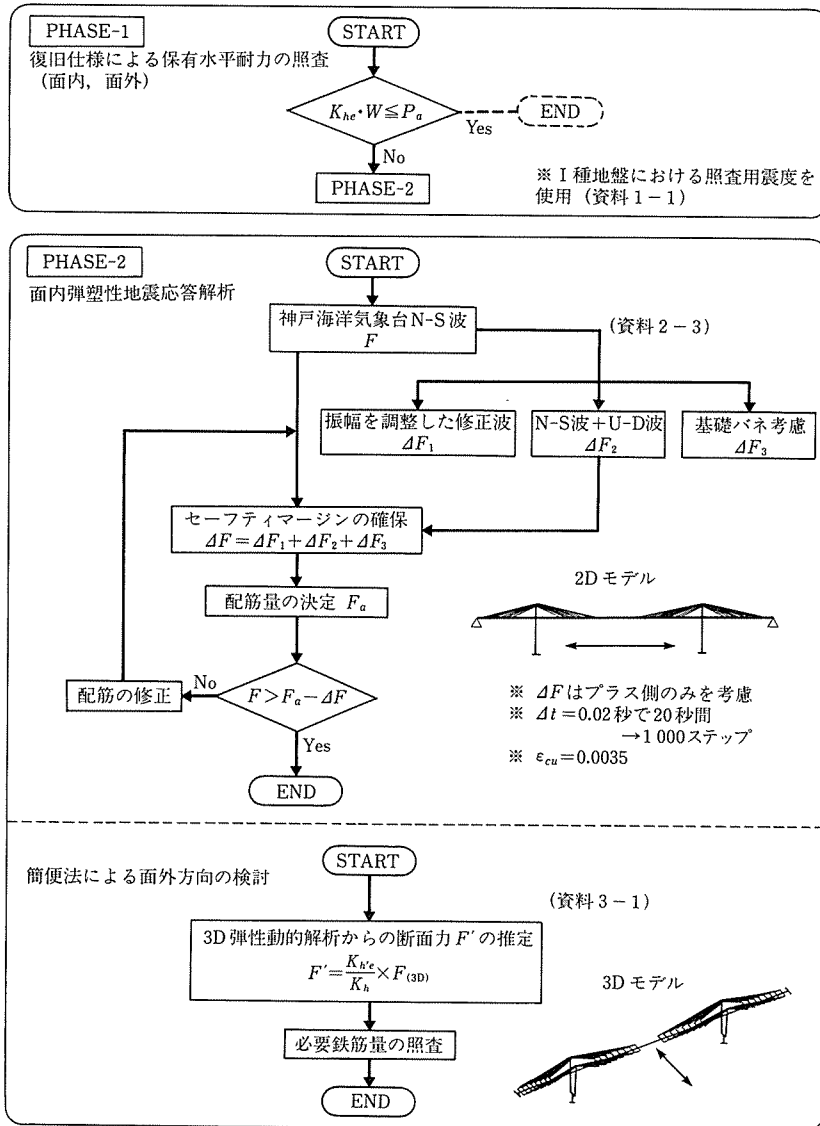


図-7 耐震設計のフロー図

表-4 PHASE-1 検討結果

	面内		面内		面外	
	拘束効果考慮せず	拘束効果考慮	拘束効果考慮せず	拘束効果考慮	拘束効果考慮せず	拘束効果考慮
	1-1	2-2	1-1	2-2	1-1	2-2
コンクリート終局ひずみ ϵ_{cu}	0.0035	0.0035	0.0083	0.0083	0.0035	0.0035
許容塑性率 μ	2.557	2.557	4.344	4.344	2.656	2.656
固有周期 T_{eq} (sec)	1.272	1.272	1.272	1.272	1.176	1.176
等価水平震度 K_{hc}	0.445	0.445	0.326	0.326	0.483	0.483
慣性力 $K_{hc} \cdot W$ (tf)	3 842	4 173	2 815	3 057	4 167	4 526
地震時保有水平耐力 P_a (tf)	3 311	3 340	3 263	3 289	4 100	6 039
せん断耐力 P_s (tf)	6 199	6 642	6 199	6 642	5 900	9 416

表-5 PHASE-2(面内)検討結果

曲げモーメント		(tf·m)		
断面		3-3	1-1	2-2
配筋	1段目	D51 ctc150	D51 ctc150	D51 ctc150
	2段目	D51 ctc300	D51 ctc150	D51 ctc150
	3段目	—	D51 ctc300	D51 ctc300
M_a		48 611	67 756	101 734
M (観測波)		41 174	58 337	99 562
ΔM_1 (調整波)		—	279	—
ΔM_2 (鉛直波)		—	—	535
ΔM_3 (バネ)		79	133	85
$M + \Sigma \Delta M$		41 254	58 749	100 181
基本設計の配筋		D51 ctc150 1段	D51 ctc150 2.5段	D51 ctc150 2.5段
M_a		38 008		

せん断力		(tf)	
検査断面力	検討断面力	せん断耐力	
		D22	D25
3-3	6 385	5 614	6 917
段落部1	6 450	5 832	7 185
段落部2	6 529	5 962	7 346
段落部3	6 544	6 049	7 451
1-1	6 557	6 199	7 637
		6 571	—
2-2	6 578	6 642	—

注) 断面変化部は上側の2柱部と下側の1柱部の2断面

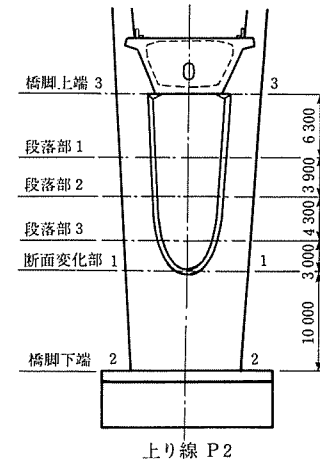


表-6 PHASE-2(面外)検討結果

曲げモーメントの比較			
断面	推定モーメント		耐力
	M (tf·m)	M_a (tf·m)	
3-3	33 608	54 358	
1-1	42 133	83 890	
2-2	109 983	183 971	

ねじりによる鉄筋量

断面	横方向鉄筋		軸方向鉄筋	
	必要鉄筋量	配置鉄筋量	必要鉄筋量	配置鉄筋量
3-3	20.8	D22 ctc150=25.8cm ²	709.1	D51-90本=1 824.3cm ²
1-1	20.9	D22 ctc150=25.8cm ²	681.0	D51-176本=3 567.5cm ²
2-2	9.5	D22 ctc150=25.8cm ²	1 589.5	D51-251本=5 087.8cm ²

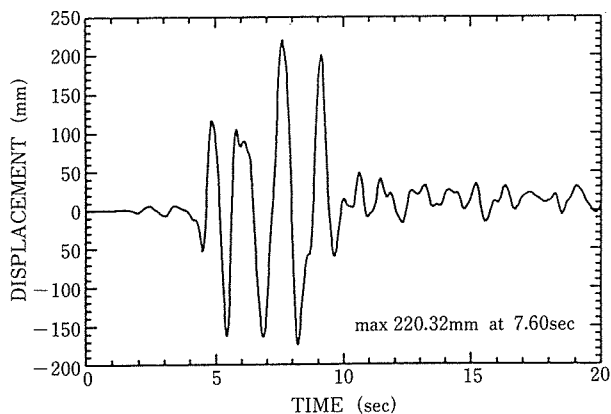


図-8 主桁の応答水平変位

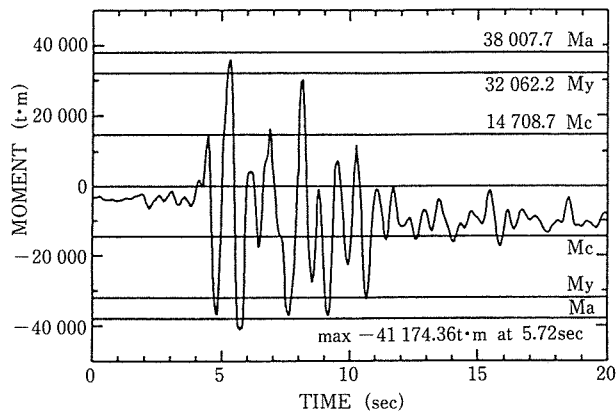


図-10 P 2 橋脚上端応答曲げモーメント

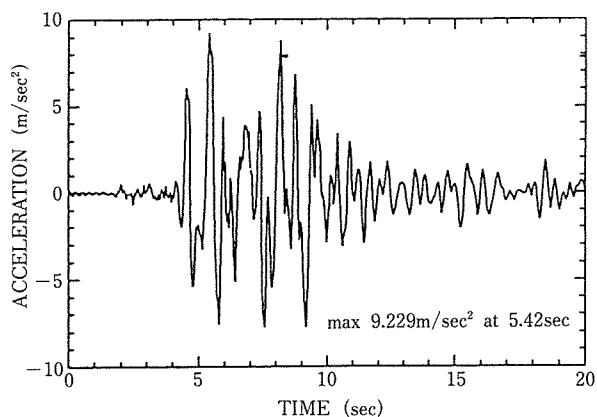


図-9 主桁の応答加速度 (水平方向)

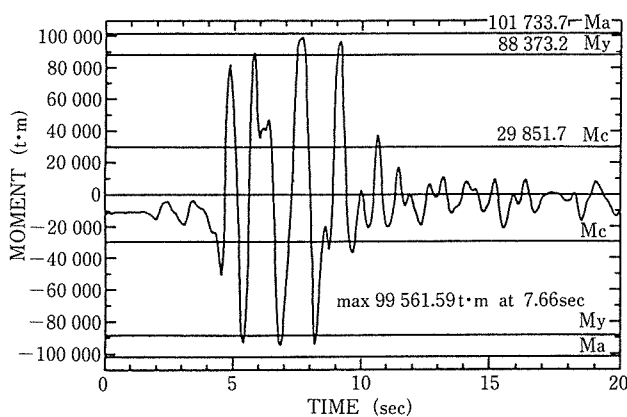


図-11 P 2 橋脚下端応答曲げモーメント

に合致するように振幅を調整した修正波、鉛直波を加えた場合、ケーソン基礎のバネを考慮した場合の4ケースについて検討を行う。そして、最も不利な組み合わせでも保有水平耐力に相当する曲げモーメント以下になるよう配筋を決定する。さらに、面外方向の検討として、三次元モデルによる弾性動解から得られる断面力をもとに、その設計震度と PHASE-1 の面外の等価水平震度の比率で照査用の終局時断面力(ねじりモーメント)を推定し、必要鉄筋量を求める。

表-4~6 は、それぞれの曲げモーメントに対する P 2 橋脚の結果である。また、図-8~11 は観測波による主桁の水平変位と加速度、および P 2 橋脚上端、下端の応答曲げモーメントを示す。検討結果をまとめると以下のようなになる。

(1) PHASE-1

コンクリートの終局ひずみを 0.0035 とした場合は、慣性力が保有水平耐力を上回るが、復旧仕様にしたがって帯鉄筋による拘束効果を考慮すると、終局ひずみが 0.0083 となり、保有水平耐力の方が大きくなる。

(2) PHASE-2 (面内)

橋脚下端 (2-2)、断面変化部 (1-1) は、基本設計の配

筋で満足するが、橋脚上端 (3-3) は D 51 を 1 段から 1.5 段に変更した。これは、2 段目 (etc 300) の段落とをやめて上部工まで延長することで対処している。

(3) PHASE-2 (面外)

PHASE-1 における橋軸方向の等価水平震度 ($K_{he}=0.45$) と設計水平震度 ($K_h=0.18$) の比率 α で曲げモーメントを計算すると、表-7 のようになる。 αM_E と弾塑性応答解析結果がほぼ等しいことから、面外方向の復旧仕様レベルの断面力は、三次元弾性動解結果に α を乗じて求めることができると考える。そして、面外曲げに対しても、また、ねじりに対しても基本設計の配筋で必要鉄筋量を満足する。

表-7 曲げモーメント比較表

断面	三次元弾性動解 M_E	α	(tf·m)	
			$\alpha \cdot M_E$	弾塑性応答解析 M_p
3-3	17 464	0.45/0.18 =2.5	43 660	41 254
1-1	23 774		59 435	58 749
2-2	40 300		100 750	100 181

4. 施 工

4.1 主桁の施工

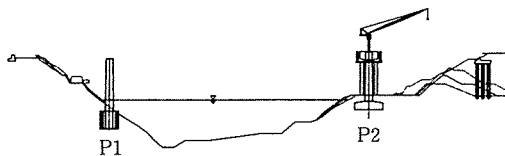
主桁の施工は、ワーゲンによる張出し架設である。図-12に施工要領を示す。柱頭部は、橋脚がV型であることから支柱式支保工にて施工する。また、P1橋脚については、ここが全体の中でクリティカルになることから、工程短縮を図る目的で、中央径間側は最大ブロック長7mの超大型ワーゲンを、側径間側は最大ブロック長5mの大型ワーゲンをそれぞれ使用する。図-13は、超大型ワーゲンの詳細図である。

衝原橋は、支間9mの床版を採用していることから、床版の施工、特に鉄筋と床版横締め的位置決めには十分注意をはらった。また、横締めにはシースとストランドの遊びが少なく、グラウト作業のないアフターボンド鋼材(1T 28.6mm)を用いている。

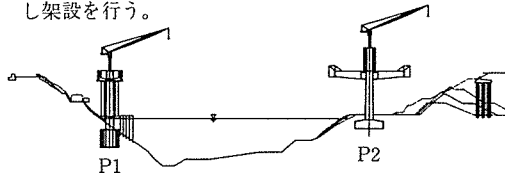
4.2 斜材の施工

斜材の定着体は、外ケーブル用のシステムを使用する。主桁側の詳細を図-14に示す。斜材の制振装置には高減衰ゴムダンパーを使用し、固有振動数が3Hz以下の斜材に取り付ける予定である。

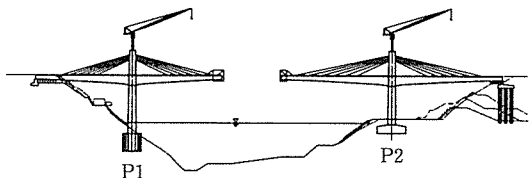
① ケーソン、フーチングおよび橋脚の施工を行う。



② 支保工にて柱頭部施工後、ワーゲン組立を行い、張出し架設を行う。



③ 側径間支保工部の施工後、張出し架設を続ける。



④ 中央径間連結部を支保工にて施工し、橋体を完成する。

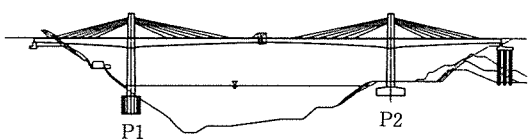


図-12 施 工 要 領

斜材の架設は、セミプレハブケーブルをウィンチで引き込むことで行う。斜材の主塔部での定着はサドル部のグラウトにより行うが、この部分はストランドとの付着が重要になるため、27本を束ねたポリエチレンコーティングは工場を取り除いておく。サドルを組み込んだサドルフレームは、運搬上の理由から、二分割で現場に搬入され、ボルトにて一体化した後クレーンで一括架設される。

5. おわりに

衝原橋は、今年中に桁架設がほぼ終了する。写真-1はP1橋脚、写真-2はP2橋脚の1月における状況である。

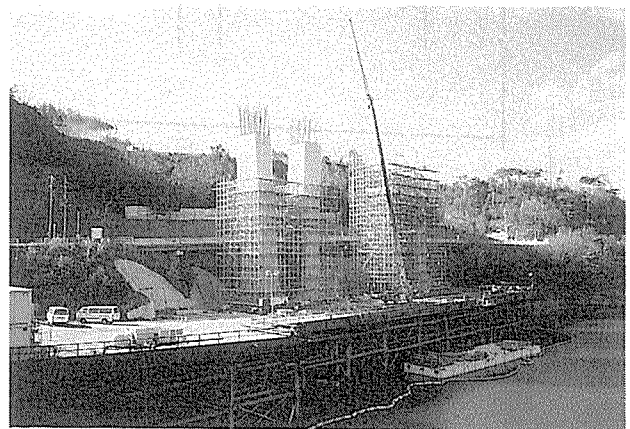


写真-1 P1橋脚施工状況

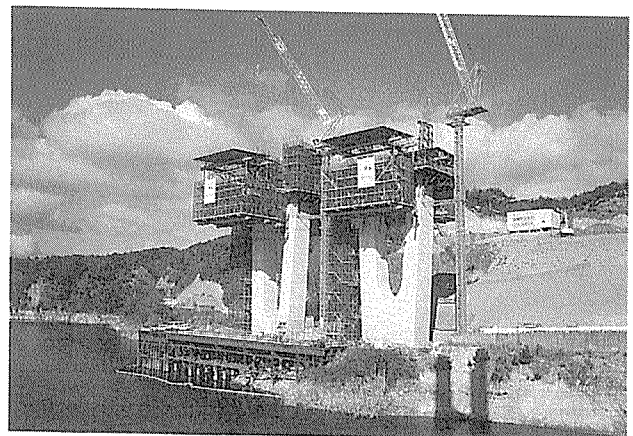


写真-2 P2橋脚施工状況

衝原橋は同規模のPC斜張橋と比較した場合、コストを低減することが可能になると考えられる。これは、現在日本の社会が抱えている大きな命題に対して、構造形式が有効な解決法を与えてくれることの一例であるといえよう。斜材の許容応力度をどう設定するかという問題に対して、示方書上のような対応をするかという議論の余地はあるにせよ、エクストラードード橋が今後ますます

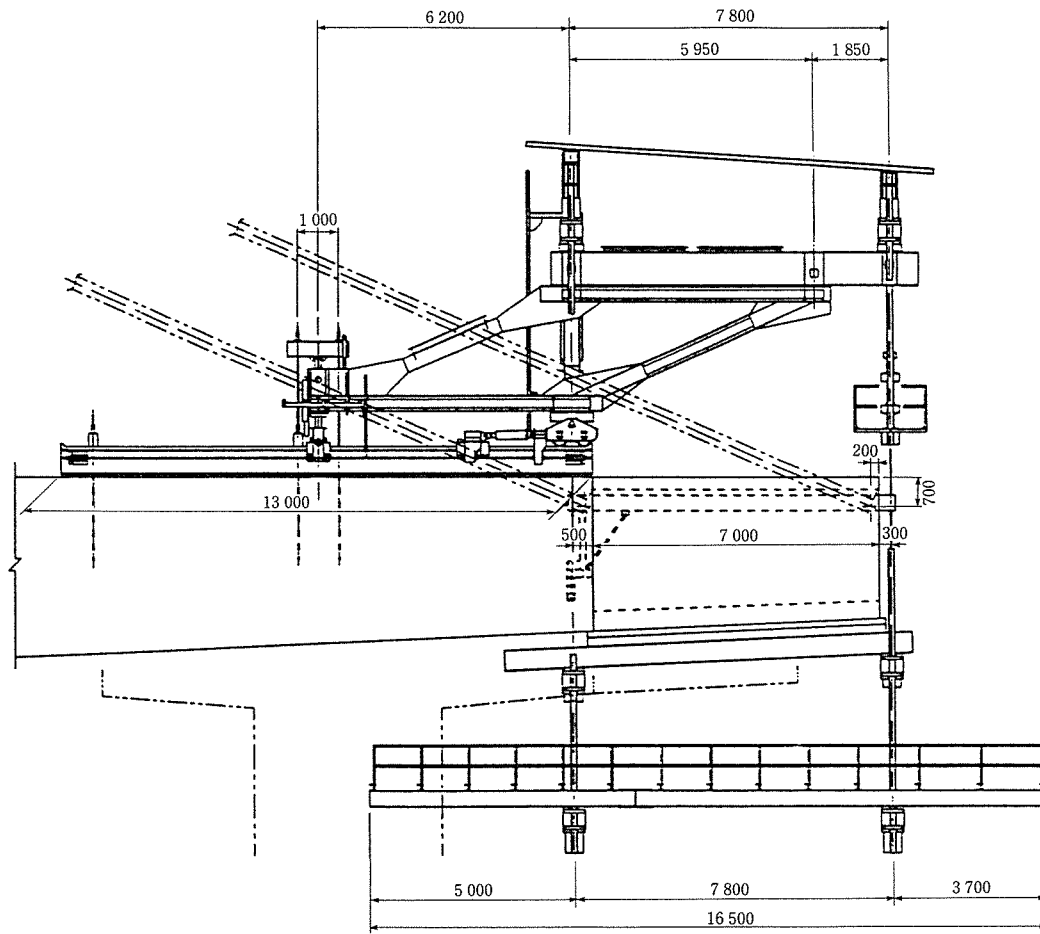


図-13 超大型ワーゲン

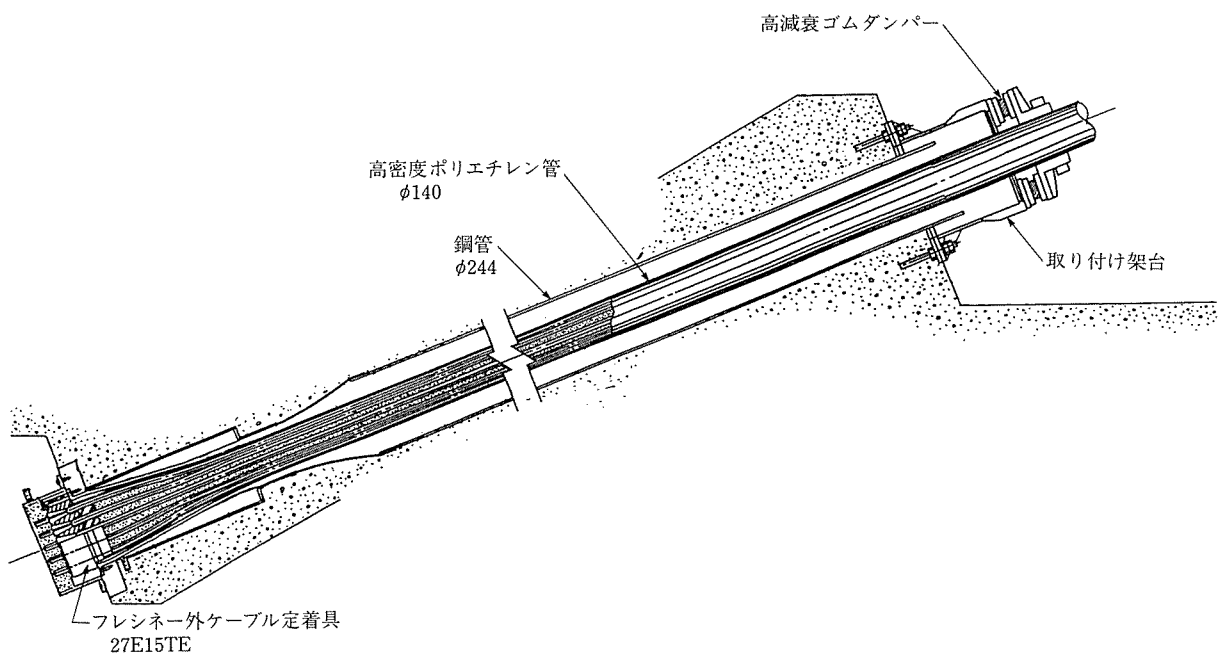


図-14 斜材詳細図（主桁側）

ます発展していくことを望む次第である。本報告がその時の一助になれば幸いである。

最後に、本橋の設計、施工に対して貴重なご助言をいただいた日本大学の山崎教授を委員長とする技術検討委員会の方々に誌上を借りてお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) J. Mathivat : "Recent Development in Prestressed Concrete Bridges", FIP Note, 1988.2

- 2) 岡, 中川, 能登谷, 春日 : 衝原橋の設計, 第六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論文集, 1996年10月
- 3) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編, (社)道路協会, 平成8年12月
- 4) 木水, 松井, 春日 : 小田原港橋におけるサドル構造に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol. 36, No. 5, 1994.9
- 5) 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説(案), 平成7年2月

【1997年1月22日受付】