

第二東名高速道路 都田川橋の設計・施工

寺田 典生*1・福永 靖雄*2・望月 俊明*3・上平 康裕*4・駒井 克朗*5

1. まえがき

都田川橋は、第二東名・横浜名古屋線の静岡地区147 kmのうち、最初に完成する全長 268 mの鋼管・コンクリート複合構造橋脚を有する 2 径間連続PCエクストラード橋である。

架橋地点は、急峻な尾根が連なる斜面傾斜地となっており、かつ河川と両側斜面の中腹に位置する市道を横架する交差条件を有している。また、静岡県は、「大規模地震対策特別措置法」による地震防災対策強化地域に含まれるため、耐震性の確保が構造上最も重要となった。さらに、架橋地点の上流側にキャンプ場、下流側に公園があることから、ランドマークとなるような景観性も重視された。このような条件のもと、構造特性、施工性、経済性、維持管理、景観等の観点から種々の橋梁形式を検討し、最終的に 2 径間連続PCエクストラード橋を採用した(写真-1)。

構造上の特徴として、高さ 56.4 mとなる橋脚および主塔に鋼管・コンクリート複合構造を採用し、また端部支承には免震支承を用いて耐震性の向上を図った。

上部工は、2 室箱桁を主桁とするPCエクストラード形式であり、移動作業車を用いて両側同時に張出し架設を行った。張出し長 96.5 mはエクストラード橋としては国内

内最大規模である。

本報告は、都田川橋の設計・施工の特徴について述べるものである。

2. 橋梁概要

橋梁諸元を以下に示す。

道路規格：第 1 種第 1 級 設計規格 A (第二東名神規格)

設計荷重：B活荷重

構造形式：2 径間連続PCエクストラード箱桁橋

橋 長：268 m×2 (上下線)

支 間 長：133 m+133 m

有効幅員：16.5 m×2 (上下線)

縦断勾配：2.0%

横断勾配：2.5%

平面線形：R = ∞

橋脚構造：鋼管・コンクリート複合構造 (H=56.4 m)

全体一般図を図-1に示す。架橋条件から橋脚が 1 本しか設置できないこと、また、片側 3 車線の広幅員主桁断面 (16.5 m×2) を有することから、橋脚は高さ 56.4 mの鋼管・コンクリート複合構造を採用し、直角方向には 3 本の柱が並列した特殊なラーメン構造となっている。鋼管・コンクリート複合構造は、図-2に示すように、在来RC構造における鉄筋の代替としての鋼管と、高強度PC鋼より線をらせん巻きした帯鉄筋を組み合わせた複合構造である。この両者の効果により優れたせん断耐力とじん性を発揮するとともに、PC鋼より線の採用により施工性を格段に向上させている(写真-2)。

主塔については、外側 2 本、中央部 1 本の 3 主塔から成り立っており、上下線の主桁を 3 本の主塔で支持する形式にし、シンメトリックでかつシンプルな景観を創出できるように配慮した。また、本橋では主塔にも初めて鋼管・コンクリート複合構造を採用し、耐震性の向上ならびに施工の省力化と精度の向上を図った。

上部工の主要材料を表-1に示す。主方向PC鋼材は内外併用であり、外ケーブルにはエポキシ樹脂被覆ストランドを用いた。斜材ケーブルには、工期短縮と品質の向上を目的に、工場製作によるノングラウトタイプのPCケーブルを使用した。ケーブル本体は図-3に示すように、15.2 mmの素線をポリエチレン被覆し、それらを 27 本束ねた後、さらに外側をポリエチレン製外套管で被覆しており、素線に対し二重防錆となっている。外套管は、日射の影響と景観を考慮し、水色

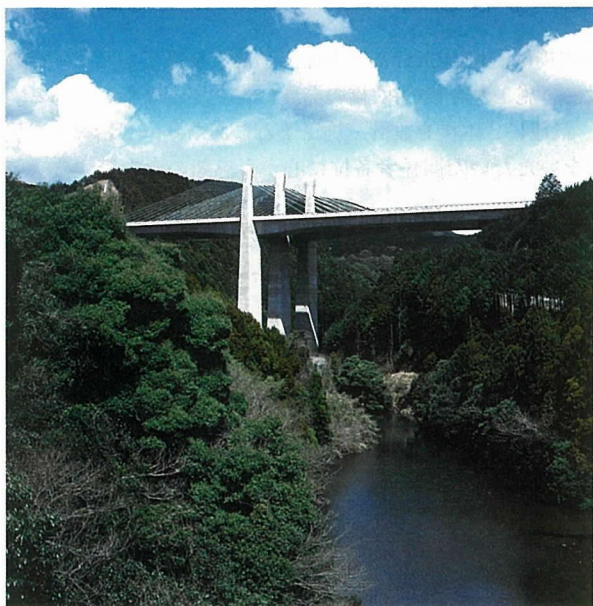


写真-1 全 景

*1 Norio TERADA：日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課 課長

*2 Yasuo FUKUNAGA：日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課 課長代理

*3 Toshiaki MOCHIZUKI：日本道路公団 静岡建設局 浜松工事事務所 浜松工事長

*4 Yasuhiro UEHIRA：(株)大林組・ピーシー橋梁(株)共同企業体 所長

*5 Katsuaki KOMAI：(株)大林組・ピーシー橋梁(株)共同企業体 工務主任

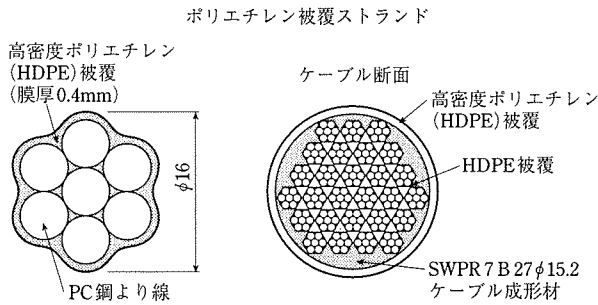


図-3 斜材ケーブル断面

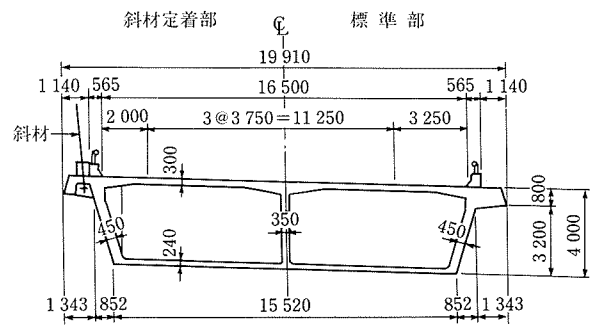


図-4 主桁断面図

の塗装を施している。また、床版横締めとウェブの鉛直鋼材には、プレグラウトタイプのPCケーブルを用いた。

3. 設計上の特徴

3.1 床版の設計

基本設計での主桁形状は、床版支間を6mとする3室箱桁であった。これに対し詳細設計では、主桁の軽量化と施工性ならびに経済性の向上を目的に、図-4に示す2室箱桁に変更した。

床版の設計では、床版支間が8mと大きいため、T活荷重を実載荷したFEM解析により曲げモーメントを算出した。荷重の載荷方法とFEM解析結果をそれぞれ表-2、3に示す。設計曲げモーメントの設定にあたっては、TT-43荷重を実載荷した場合の曲げモーメントと比較検討し、FEM解析値の10%増とした。この設計曲げモーメントに対し、床版の支間方向にはPC構造、支間直角方向にはRC構造として設計を行った。その結果、床版厚30cmに対し、横締めPC鋼材(1S 28.6のプレグラウト鋼材)の配置間隔は50cm、橋軸方向主鉄筋はD22etc 125とした。なお、支間方向については、道示式を準用した場合でも引張応力度がコンクリートの引張強度を超えない設計とした。

3.2 せん断に対する検討

主桁が広幅員の3主桁断面であること、また斜材が外ウェブにのみ定着されていることから、内・外ウェブのせん断力の分配を考える必要があった。設計では、図-5に示す全体系立体FEMにより断面力解析を行い、内・外ウェブのせん断力の分担率を算出した。その結果を図-6に示す。ここでは、せん断力を各ウェブで等分配する場合(分担率33%)の割増し係数を1.0として、各設計断面でのせん断力の割増し係数を算出している。同図から分かるように、内・外ウェブのせん断力分担率は斜材定着ブロック間で大きく異なり、とくに横桁付近で大きく変化している。これは横桁によりウェブの挙動が局部的に拘束されているためと考えられる。

以上のことから、せん断に対する設計では、

- ① 分担率が等分配率を上回る箇所についてはFEMによる分担率をそのまま採用する
- ② 分担率が等分配率を下回る箇所については、最低分担率として等分配率(33%)を採用する

という考え方に基づき設計せん断力を算出してウェブの安全性を照査した。

表-2 T荷重(B活荷重)の載荷方法

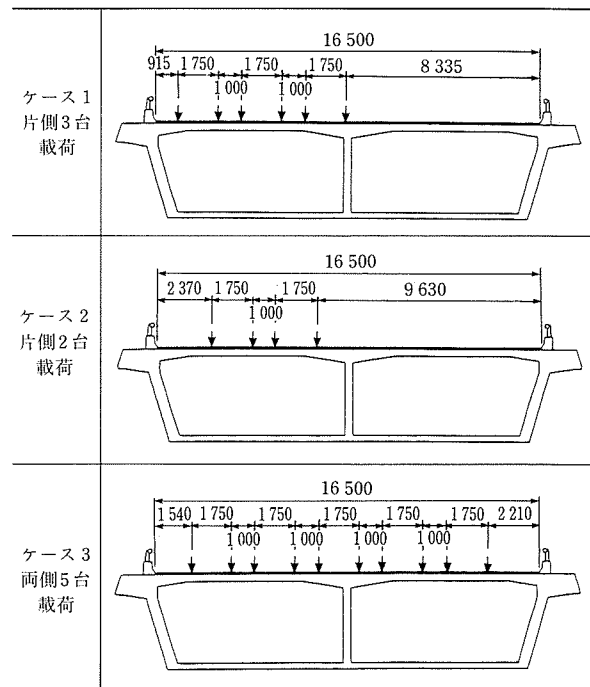
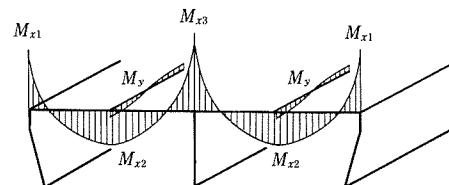


表-3 床版設計曲げモーメント

		(単位: tf・m)			
		M_{x1}	M_{x2}	M_{x3}	M_y
FEM解析	ケース1	-9.844	5.531	-8.471	5.145
	ケース2	-7.021	4.591	-9.372	4.659
	ケース3	-5.967	3.603	-12.532	3.568
	最大・最小	-9.844	5.531	-12.532	5.145
設計曲げモーメント FEM×1.1		-10.828	6.084	-13.785	5.660
道示式		-16.874	10.493	-16.874	6.695



3.3 主桁斜材定着部の設計

斜材ケーブル定着部の設計では、施工時のワーゲン反力等も含めた全荷重を載荷した3次元FEM解析モデルを用いて検討を行った。安全性の照査にあたっては、コンクリートの引張応力度を3 N/mm²以下、鉄筋の発生応力度を100 N/

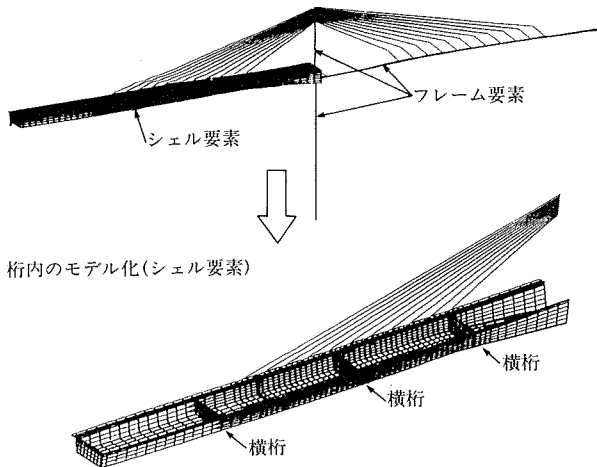


図-5 全体系3次元FEM解析モデル

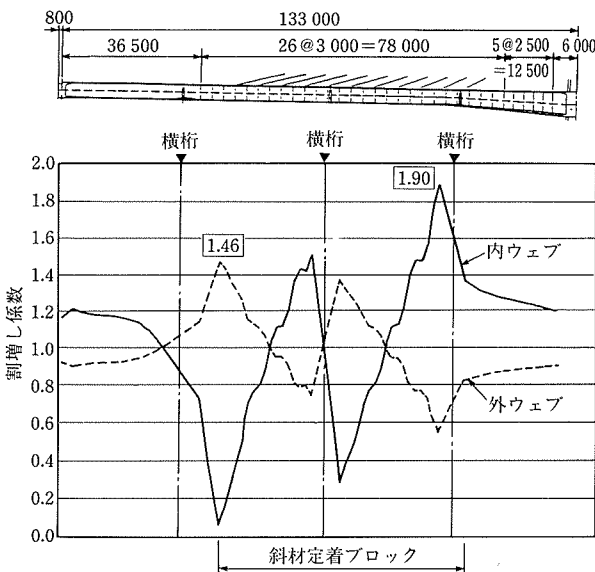


図-6 内・外ウェブのせん断力分担率(完成系)

mm²以下とする制限を設けた。コンクリートの制限値は、外ケーブル方式を用いた他工事での実物大供試体による耐荷力試験の結果に基づき設定した。

検討では、まずウェブに鉛直PC鋼材のみを配置した構造について解析を行った。その結果、定着部近傍のウェブと張出し床版の局部において、コンクリートの引張応力度が制限値を超えることが判明した。この補強として、PC鋼材を追加し、なおかつ発生応力の緩和とより円滑な応力分散を目的に、外ウェブの内側にリブ(厚さ600mm)を設けた。定着部の構造を図-7に示す。張出し床版の補強には、中空PC鋼棒を使用した。

3.4 耐震設計

(1) 橋脚の軸力変動に対する検討

本橋は鋼管・コンクリート複合構造の高橋脚を有する高次不静定構造物であることから、大規模地震動に対しては動的解析による設計を基本とした。さらに、橋脚は3柱ラーメン構造であり、橋軸直角方向地震時に軸力が変動し、耐力の変化が予想された。事前検討の結果、初期状態の軸力に対して±65%の範囲で軸力が変動することが判明した。

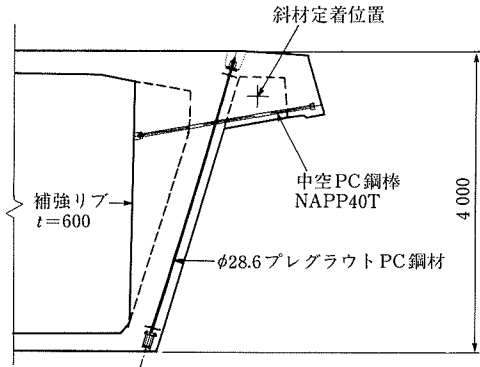


図-7 斜材定着部構造

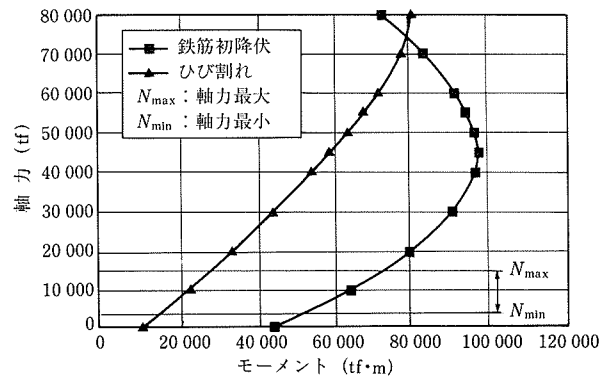


図-8 軸力-ひび割れ・初降伏モーメント図(橋脚上部)

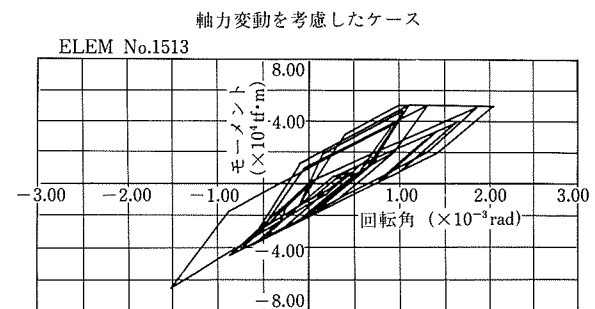
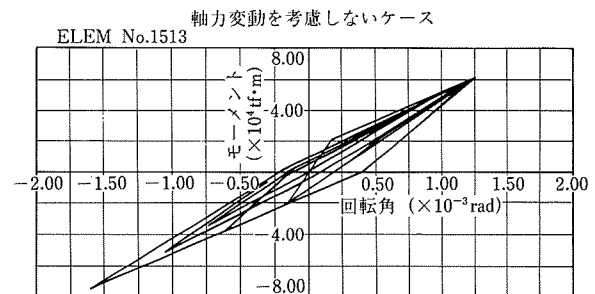


図-9 モーメントと回転角の応答履歴(橋脚上部)

図-8に橋脚上部での軸力とひび割れモーメントならびに初降伏モーメントの関係を示す。これによると、軸力が上記のように変動した場合、ひび割れモーメントおよび初降伏モーメントが-17%～+18%変化することが認められた。このため設計では、軸力変動を反映した非線形動的解析を行った。図-9に橋脚上部でのモーメントと回転角の応答履歴を示す。軸力変動により塑性化が生じ、塑性曲率として

最大 $\mu\phi=4.6$ の応答値の発生が認められた。これに対し、鋼管・コンクリート複合構造橋脚の許容塑性曲率は $\mu\phi_a=12$ であり、通常のRC橋脚に比べ大変形域まで耐力の保持が可能のため、本構造の採用により高い耐震性の確保が可能となった。

(2) 免震支承による効果

支承には、高減衰積層ゴム支承(最大反力1万2000kN)を使用した(写真-3)。免震支承による減衰効果を確認するため、支承に減衰を付加したケースと付加しないケースについて応答値の比較を行った。橋軸方向の大規模地震を対象とした検討結果を図-10に示す。減衰の付加によりほとんどの部位について変位、曲げモーメントならびにせん断力の応答値が減少し、とくに主桁のせん断力に関しては最大応答値を耐力以下に抑える効果が得られた。

4. 施工上の特徴

4.1 主桁の施工

主桁の施工は、まず脚頭部および柱頭部を写真-4に示

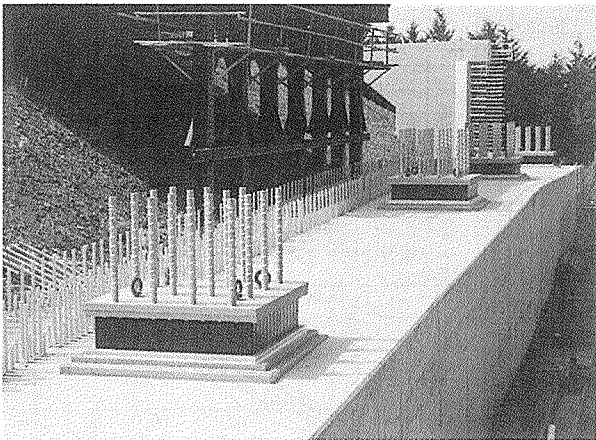


写真-3 免震支承 (高減衰積層ゴム支承)

すようにブラケット支保工により施工し、その後、移動作業車(以下、ワーゲン)による張出し施工を行った。両側の側径間部は支保工施工により行い、張出し施工の完了後に閉合部を施工し橋体を完成した。以下に、張出し施工と側径間の施工上の特徴について述べる。

(1) 張出し施工

張出し架設は、片側31ブロックでブロック長は2.5m~3mである。斜材ケーブルは9ブロックから29ブロックまでの奇数ブロックに配置(定着間隔6m)されており、その他の標準ブロックについては内ケーブルを用い、各ブロックでケーブルを緊張しながら張出し架設を進めた(写真-5)。表-4にサイクル工程を示す。

ワーゲンは、広幅員の3主桁断面に対し、補強を施した3主構ワーゲンを使用した。

(2) 側径間の施工

架橋地点のA1側は、ルーズな崖錐体積物で被覆された急斜面(最大傾斜約45度)が川岸より100mの高さまで及んでいる。当該部の施工は、当初、橋台上のピロン柱を併用した逆張出し工法により計画されていたが、本工法の場合、背面の地山耐力の不足からアンカー等がかなり増加することとなったため、工期ならびに経済性の観点から梁支柱式支保工による施工に変更した。施工概要図を図-11に示す。施工手順は、斜面上にまず基礎フーチングを構築し、その上にベント支柱(高さ22m)を建て込み、その後トラス式支保工梁(長さ35m)を架設して主桁躯体工に進んだ(写真-6)。ベント支柱には、上下線合わせて約2万kNの鉛直荷重が作用する。このため基礎構造は、支持力が高確実にとれるように深礎杭($\phi 3500$)とした。

4.2 主塔の施工

主塔にも耐力の向上および斜材定着体となるサドルの受け架台に鋼管を併用できることから、橋脚と同様に鋼管・コンクリート複合構造を採用した。鋼管としては、全リブ

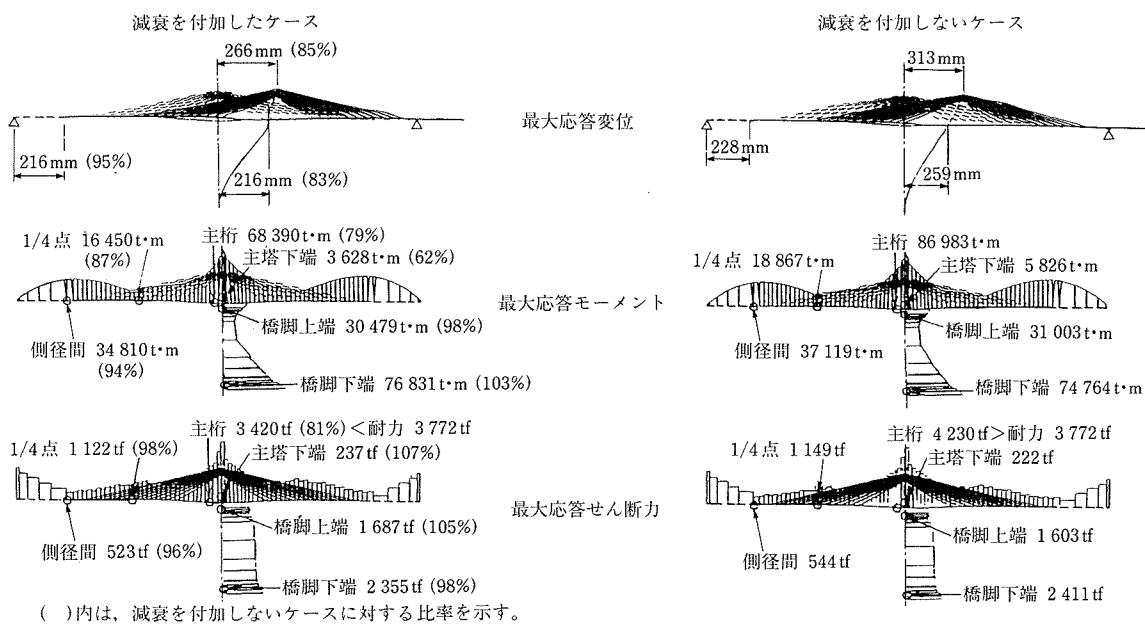


図-10 免震支承による効果 (橋軸方向大規模地震動の解析結果)

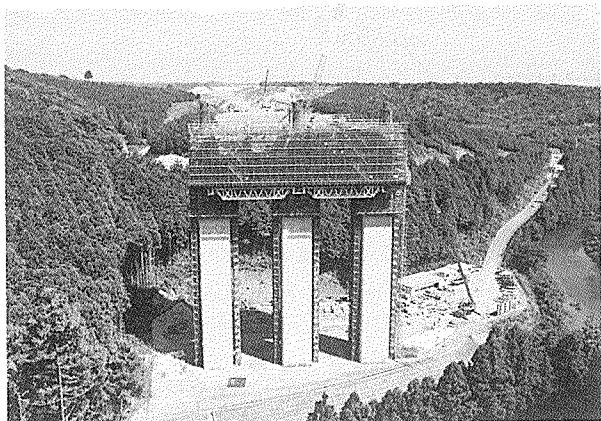


写真-4 柱頭部施工



写真-5 張出し架設

表-4 サイクル工程

工種	実働日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ワーゲン移動		■										
型枠組立て・解体			■	■			■	■		■		
鉄筋・PC鋼材組立て				■	■	■	■	■				
斜材定着体					■							
コンクリート打設									■	■	■	■
緊張												■
斜材ケーブル展開・挿入								■	■	■		

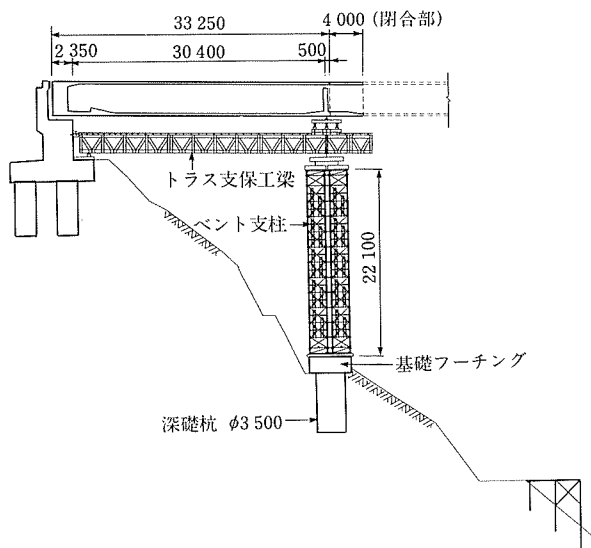


図-11 A1側径間支保工概要図

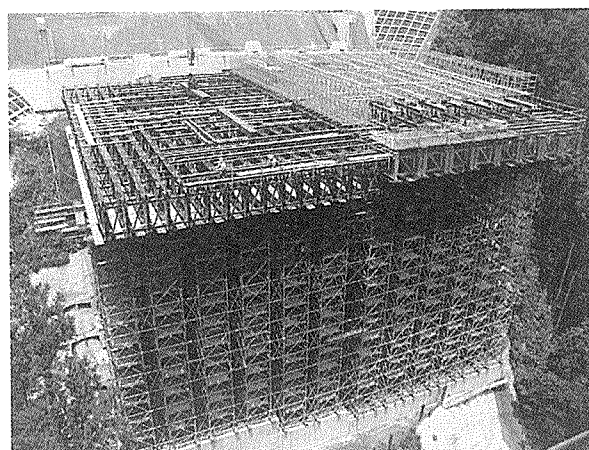


写真-6 A1側径間の支保工架設

付き鋼管 (φ1 500) を用い、鋼管内部はすべてコンクリートを充填する構造とした。また、帯鉄筋にはPCストランド (φ10.8) を使用した。主塔の施工は、柱頭部の施工完了後、橋面上からの総足場にて行った。コンクリートの打設割は、主塔下部3リフト (3.6 m+2@5.3 m) とサドル部 (6 m) の計4リフトとした。

主塔は、断面寸法が4.5 m×3.0 m (基部) と大きくマスコンクリート部材となる。さらに、単位セメント量324 kg/m³ (設計基準強度30 N/mm²) の富配合コンクリートを使用すること、また工程上冬期施工となることから、ひび割れ対策を施す必要があった。そこで、実施工に先立ち、温度

ひび割れ解析を実施し、コンクリートの打設順序の検討、養生方法などの対策を講じてひび割れ発生を防止した。

4.3 斜材の施工

斜材ケーブルの定着システムは、主塔部はサドル形式、主桁側には外ケーブル用定着システムを採用した。定着体は、両方とも交換可能な二重構造となっている。サドルの構造を図-12に示す。

サドルは曲管が3次的に各ケーブルで異なる位置関係に配置されることから、その精度を確保するために支持架台と一体化した工場製作とした (写真-7)。製作は、運搬およびクレーン能力を考慮して全体を3分割とし、工場での仮組検査で精度を確認した後、現場搬入し、据付けを行った。

斜材ケーブルの架設要領を図-13に示す。斜材ケーブルは、サドルから通したワイヤーをケーブル先端に取り

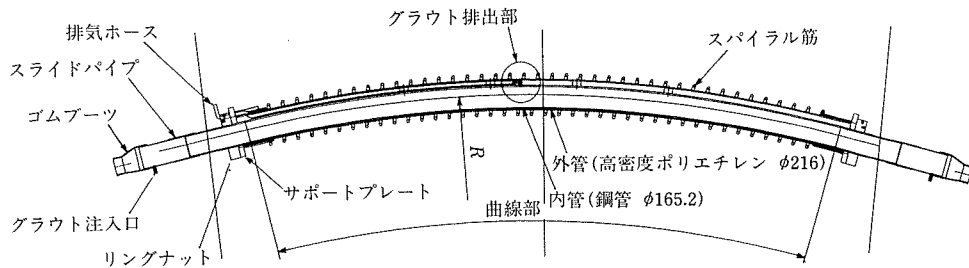


図-12 サドルの構造

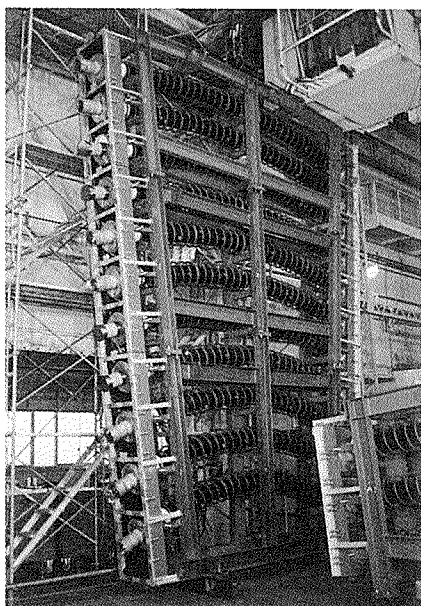


写真-7 サドルの仮組

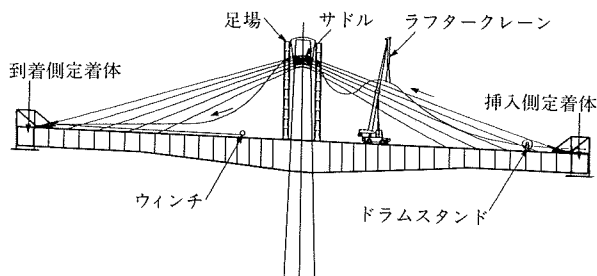


図-13 斜材ケーブル架設要領図

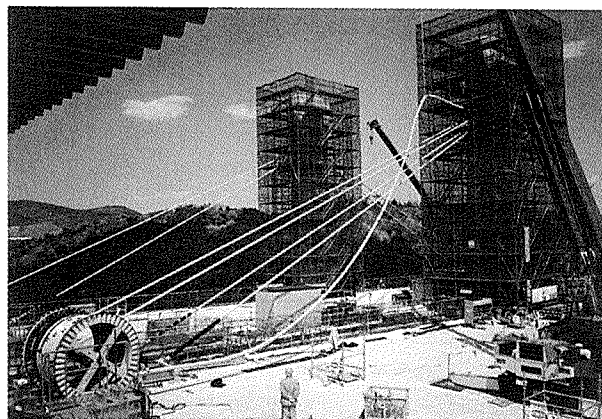


写真-8 斜材ケーブルの架設

付け、ワイヤーをウインチにより巻き取りながらドラムからケーブルを引き出した。この際、外套管が傷つかないようにクレーンにて介錯し、主塔足場とサドル挿入口にローラーを取り付けた。次に、ケーブルをサドルに通し、全長展開した段階で橋面上の台車に仮置きする。ケーブルの展開は斜材定着ブロックのコンクリート打設前に行っておき、打設後の養生中にケーブルを主桁側定着体に引込み架設を終了した(写真-8)。

緊張は、5 500 kNジャッキを用いて行った。緊張作業においては、張力の偏載荷が生じないように2本の斜材を同時に両引き緊張する必要があった。そのため、緊張力が均

表-5 計測項目および計測方法

計測項目	対象部材	計測時期	計測方法
応力に着目した計測	斜材張力	・ 第6斜材緊張時 ・ 第11斜材緊張時 ・ 桁完成時	(打撃振動法) ケーブル材を打撃したときの自由振動から固有周期を求め、張力を算出する。
	応力・ひずみ	主桁 (No.1, 11ブロック)	1ブロックごと 有効応力計、無応力計ならびにひずみ計によりコンクリートの応力、ひずみを計測する。
		主桁斜材定着部 (No.9, 15ブロック)	斜材緊張時 ひずみ計によりコンクリート、鉄筋のひずみを計測する。
	下床版 突起定着部	連続ケーブル緊張時 ひずみ計によりコンクリート、鉄筋のひずみを計測する。	
変位に着目した計測	たわみ	1ブロックごとの出来形計測	ブロックの打設前後ごとに各施工ブロックの計測点においてレベル測量を行う。
		日常時のたわみ変動	自動レベルおよび電子スタッフにより、たわみ日変化を計測する。
	温度	主桁、主塔 斜材 外気温	日常時 主桁・主塔：熱電対を埋設して計測する。 斜材：ダミー斜材に熱電対を埋設して計測する。
	傾斜	橋脚	1ブロックごと 傾斜計を用いて橋脚の傾斜角(橋軸、軸直角方向)を測定する。

等となるように4カ所のポンプ圧を制御し、かつ緊張力の導入精度を高めることを目的にデジタル測定器により緊張圧力を1カ所で集中管理した。

4.4 計 測

本橋は高次不静定構造物であり、張出し施工の進行に伴い、逐次構造系が変化する。また、高橋脚を有した国内最大規模の張出し架設という点で高度な技術を要する工種が多数あった。このため、工事を安全に進め、かつ所要の品質を確保するうえで施工時の挙動を常に把握することが必要不可欠であった。そこで、施工時の桁応力およびたわみについて計測工を実施した。計測の項目を表-5にまとめて示す。施工においては、リアルタイムに計測データを収集し、設計値との妥当性を確認することにより工事の安全と品質の確保を図った。

5. あとがき

本橋の実績により、PCエクストラードード橋の適用支間長が広がり、また鋼管・コンクリート複合構造についても主塔への採用等、同構造の適用範囲の拡大に繋がることを期待している。

今後もエクストラードード橋の採用が増えてくるものと思われるが、とくに高橋脚を有する同形式の橋梁に対し、本報告が参考になれば幸いである。

最後に本橋の設計および施工に際し、ご指導、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 水田, 馬淵, 市川, 加藤: 横道橋下部工(ハイブリッド・スリッ

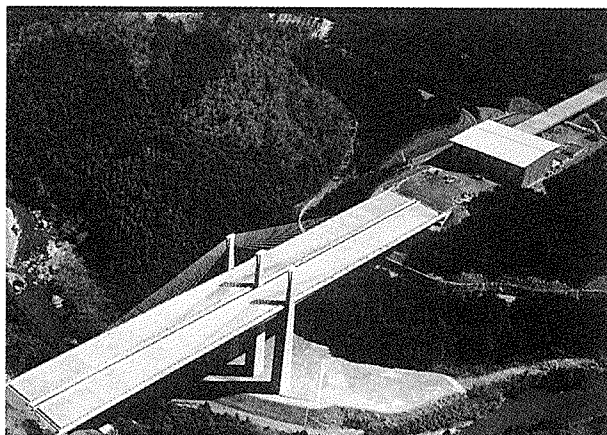


写真-9 完成

プフォーム工法)の開発と施工例, 橋梁と基礎, Vol.28, No.12, pp.11~18, 1994

- 2) 山縣, 市川, 大内, 小島: 鋼管・コンクリート複合構造高橋脚模型の水平加工試験, 土木学会論文集, No.520, V-28, pp.183~193, 1995
- 3) 猪熊, 黒岩: 第二東名高速道路(静岡県内)における橋梁計画, 橋梁と基礎, Vol.30, No.9, pp.7~12, 1996
- 4) 加藤: 鋼管・コンクリート複合構造橋脚を用いた高橋脚の新工法, 橋梁と基礎, Vol.33, No.8, pp.145~146, 1999
- 5) 猪熊, 福永, 上平, 駒井: 第二東名高速道路都田川橋の計画と設計, 第9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, pp.587~592, 1999
- 6) Terada, Fukunaga, Honma: Design and Construction of Steel Pipe—Concrete Pier in the 2nd Tomei Expressway, 第10回REAAA道路会議, 2000.9
- 7) 寺田, 福永, 望月, 上平: 第二東名高速道路都田川橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.35, No.4, pp.2~7, 2001

【2001年3月26日受付】