

(111) 第二東名高速道路 都田川橋の計画と設計

日本道路公団 静岡建設局 構造技術課長	猪熊 康夫
日本道路公団 静岡建設局 構造技術課長代理	福永 靖雄
(株)大林組・ピーシー橋梁(株)共同企業体所長	上平 康裕
(株)大林組・ピーシー橋梁(株)共同企業体 正会員	○ 駒井 克朗

1. はじめに

第二東海自動車道(第二東名)は、高規格幹線道路網の基幹として、現東名との適切な交通機能の分担と高い信頼性を確保し、我が国の産業・文化・社会経済活動の振興に寄与しようとするものである。

都田川橋は、静岡県浜松市の北約18kmに位置し、浜名湖に注ぐ二級河川都田川を渡河する橋長268mの2径間連続PCエクストラード橋であり、同形式では国内最大規模の張出し長96.5mを有する。

また、架橋地点の上流側にキャンプ場、下流側に公園があり、観光に訪れる人々の目に触れる機会が多いことから、ランドマークとなるような景観性も重視された橋梁となっている。

本報告は、都田川橋の計画および上部工の設計について述べるものである。

2. 橋梁概要

路線名：高速自動車国道 第二東海自動車道 横浜名古屋線

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

構造型式：2径間連続PCエクストラード箱桁橋

橋長：268m

支間長：133m+133m

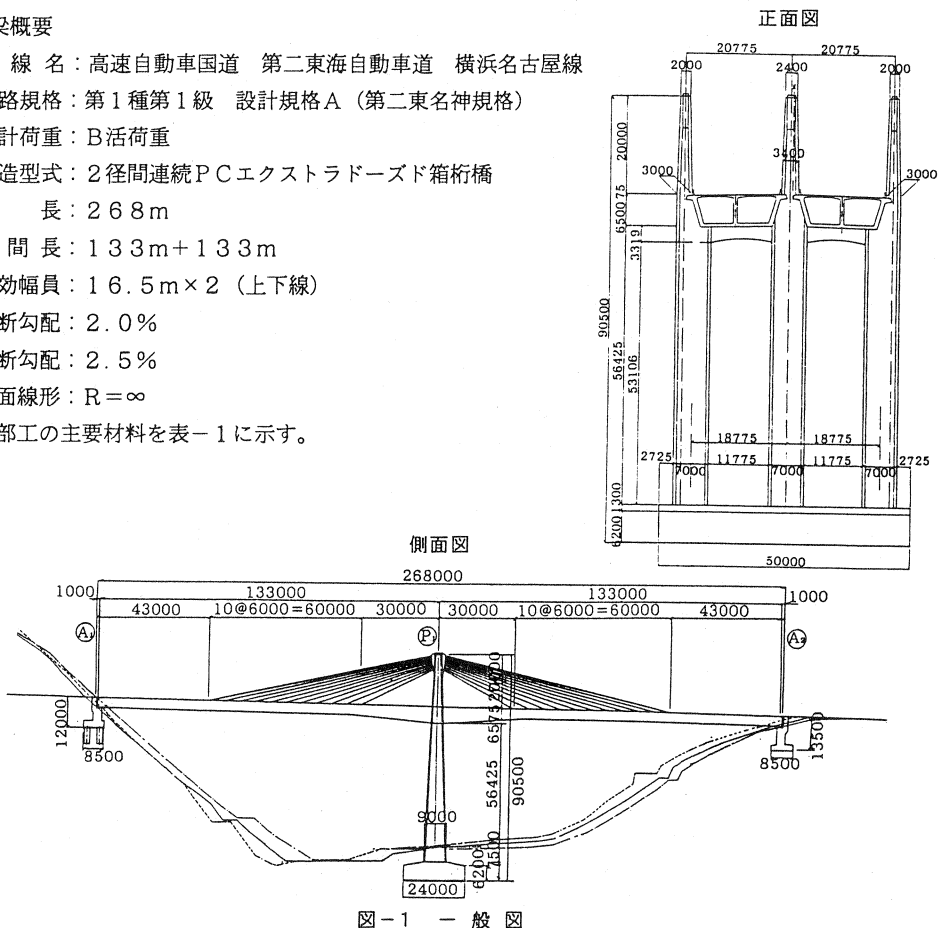
有効幅員：16.5m×2(上下線)

縦断勾配：2.0%

横断勾配：2.5%

平面線形：R=∞

上部工の主要材料を表-1に示す。



3. 計画概要

3-1. 地形・地質条件

架橋地域は、急峻な尾根が連なる斜面傾斜地となっている。特に、架橋地点のA1側は、ルーズな崖錐堆積物で被覆された急斜面(最大斜度約4.5度)が川岸より100mの高さまで及んでいる。地質については、基盤に粘板岩を主体とする都田層が分布している。

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	12,064	主桁 ($\sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$) 主塔, 脚頭部 ($\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$)
	m ³	1,236	
型枠	m ²	31,977	主桁, 主塔, 脚頭部
鉄筋	t	1,623	主桁, 主塔, 脚頭部
P C 鋼材	t	357	主方向内ケーブル (12S15.2)
	t	86	主方向外ケーブル (12S15.2)
	t	24	横桁横締ケーブル (12S12.4)
	t	86	床版横締ケーブル (1S28.6)
斜材	t	165	27S15.2

3-2. 橋長・支間割り

橋台は斜面上に設けることとし、基盤層の分布および躯体前面から斜面までの余裕幅を考慮して位置を定めた。その結果、橋長はL=268mに決定した。また、支間割りは交差物件である河川と両岸斜面の中腹に位置する市道を考慮し、2径間(133m+133m)に決定した。

3-3. 構造形式の選定

計画当初、4種類の橋梁形式(上路式鋼ローゼ橋, 3径間連続PCラーメン橋, 鋼斜張橋, PCエクストラードロード橋)について比較検討を行った。その結果、経済性, 施工性, 景観性ともに優れる形式としてPCエクストラードロード橋を選定した。上部構造を支持する中間橋脚には、耐震性能の確保と高橋脚の施工性の向上を目的に、鋼管・コンクリート複合構造を採用した。

また、主桁断面については道路線形上、上下線が近接することになるため、上下線一体の構造も検討した。しかし、この場合、張出し架設用のワーゲンが超大型になる等、施工性, 経済性の問題があったことから、主桁は上下線分離構造とした。なお、斜材は2面吊り形式としたが、上下線間には1本の主塔しか建てられないため、中分側の主塔1本が上下線両方の斜材を支持するユニークな構造となっている。

4. 設計上の特徴

4-1. 主桁形状

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。また、斜材の定着位置は、景観を考慮し、定着体が外から見えないように桁内としていた。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、表-2に示すように主桁形状を2室箱桁とし、斜材の定着位置を桁外に変更した。桁外定着としたことにより、桁の外観が損なわれないようにするため、定着体は張出し部に設けた切欠き内に設置し、側面から見た桁形状の連続性を確保した。

表-2 主桁断面の比較

	3室箱桁	2室箱桁
断面図		
重量比	1.00	0.92
構造特性	<ul style="list-style-type: none"> 床版支間は、道示の適用範囲内である。 斜材定着は、ボックス内で行う。 床版横締は、12*8ctc450 	<ul style="list-style-type: none"> 床版支間は道示の適用範囲を超えるため、床版の設計は、活荷重を実載荷したFEM解析により行う。 斜材定着は、ボックス外の張出し部で行う。 床版横締は、1s28.6ctc500
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・緊張はワーゲンを前進させてから行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ウェブ数が減ることから、施工性が向上する。 ワーゲンと斜材が交錯しないため、工程上、特別な配慮が要らない。
経済性	<ul style="list-style-type: none"> 主桁重量が2室箱桁より重い。 	<ul style="list-style-type: none"> 主桁重量が減少することにより、主方向PC鋼材を節減できる。

4-2. 床版の設計

3室箱桁から2室箱桁へ主桁形状を変更することにより、床版支間は約8mと道路橋示方書の適用範囲を超える。そのため、床版の活荷重による曲げモーメントは、T荷重を実載荷させたFEM解析により算出することとした。解析に用いた主桁FEMモデルならびにT荷重の載荷方法をそれぞれ図-2および表-3に示す。

FEMの解析結果ならびに設計曲げモーメントの算出結果を表-4に示す。設計曲げモーメントは、FEM解析値の1.1倍とした。同表には、道示の簡易式を用いた場合の曲げモーメントを参考値として併記したが、簡易式はかなり大きめの値を与えているのが分かる。

床版の設計結果について以下にまとめる。まず、床版の支間方向については、死荷重時、活荷重時ともにフルプレストレスのPC構造として設計を行った。その結果、横締PC鋼材(1S28.6)の配置間隔は50cmとなった。なお、道示式に対する床版支間中央の下縁側引張応力度を試算した結果、1.8kg/cm²となり、コンクリートの引張強度2.4kg/cm²以下のレベルとなっている。

支間直角方向については、RC構造として設計を行った。配筋については、有害なひび割れが発生しないようにするため、橋軸方向の床版下面の配筋をD22ctc125とし、鉄筋応力度を $\sigma_s = 93.6\text{kg/cm}^2$ に抑えた。

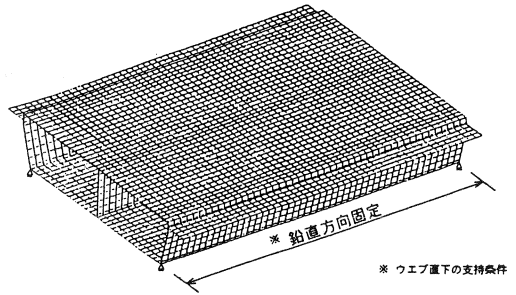


図-2 主桁FEM解析モデル

表-3 T荷重(B活荷重)の載荷ケース

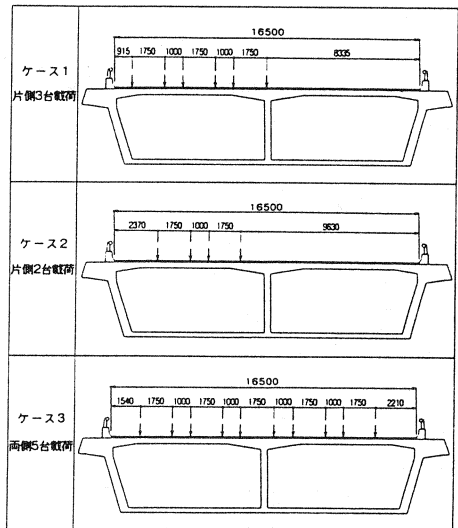


表-4 床版設計曲げモーメントの算出結果 (tf・m)

		Mx1	Mx2	Mx3	My
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

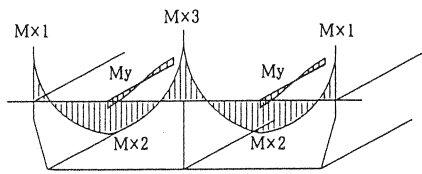


図-3 床版の設計曲げモーメント

4-3. せん断力に対する設計

せん断力に対する設計においては、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のみ定着されていることから、内・外ウェブのせん断力分配を考える必要があった。

設計荷重時については、図-4に示すような全体系立体FEMにより断面力解析を行い、内・外ウェブの

せん断力分担率を算出した。その結果を図-5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。

結果から分かるように、内・外ウェブのせん断力分担率は斜材の定着ブロック間で大きく異なり、特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、詳細設計では、①分担率が等分配率を上まわる箇所については、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まわる箇所については、最低分担率として等分配率(33%)を採用する。という考え方にに基づき、せん断力に対して設計を行った。

また、張出し施工時については、横桁施工の有無ならびに桁先端にワーゲン荷重が集中載荷される等の影響により、設計荷重時とは異なるせん断力の分担が予想された。そのため、各設計断面について斜引張応力度が最大となる施工ステップを対象に3次元フレーム解析を行いせん断力の分担率を算出し、せん断に対する安全性を照査した。

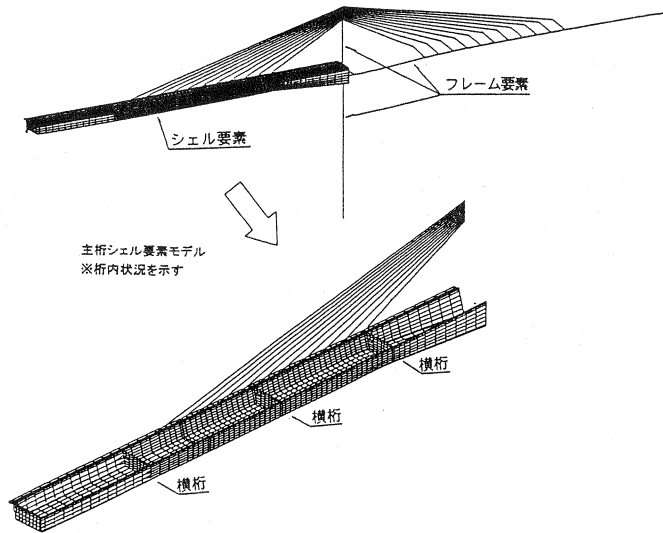


図-4 全体系3次元FEM解析モデル

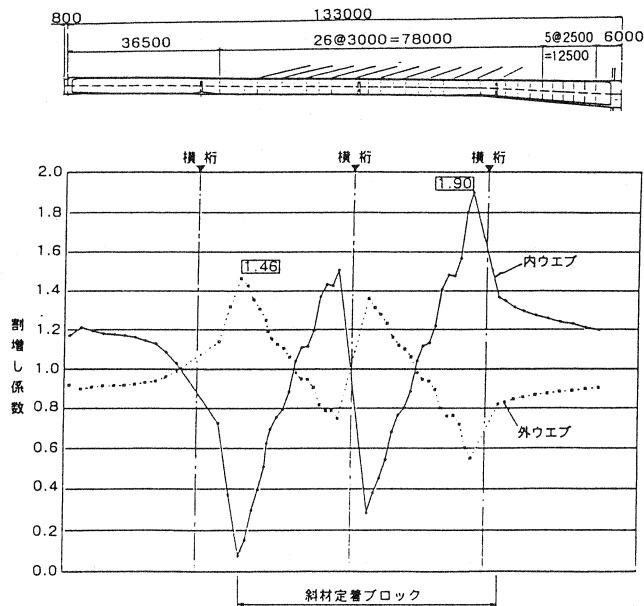


図-5 内・外ウェブせん断力の割増し係数

4-4. 耐震設計

本橋の地震時の挙動としては、次の特徴が挙げられる。

- ① 高橋脚を有する長周期の橋であり、かつ橋の応答が2次モードに影響を受ける。
- ② 橋脚と主桁が剛結されたラーメン構造であり、塑性ヒンジの発生が複数箇所想定される。
- ③ 橋脚は3柱ラーメン構造であり、直角方向地震時に軸力変動の影響を受ける。

耐震設計では、上記の特性を考慮して、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動(中規模地震動)に対しては震度法および線形動的解析(応答スペクトル法)、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動(大規模地震動)に対しては非線形動的解析(時刻歴応答解析法)により設計を行った。

また、本橋では、橋全体の減衰性能を高めて地震時の断面力を低減するために、免震支承を採用した。ここでは、耐震設計での橋脚の軸力変動に対する検討と免震支承による効果について述べることにする。

(1) 橋脚の軸力変動に対する検討

3柱ラーメン構造の橋脚であるため、橋軸直角方向に地震波を受けた場合、図-6に示すように橋脚の軸力が変動することになる。この軸力変動の影響を把握するため、本解析前に検討を行った。図-7は橋軸直角方向地震時の橋脚上部における軸力の時刻歴応答曲線を示すものであり、初期軸力に対して±65%の変動が生じる結果となった。

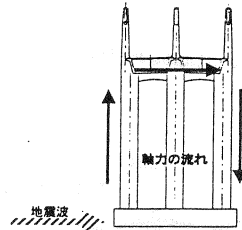


図-6 軸力変動の概念図

このように軸力が変動することにより、部材の曲げモーメント-曲率(曲げモーメント-回転角の関係)が変化することになる。図-8に橋脚上部での軸力とひびわれモーメントならびに降伏モーメントの関係を示す。これによると、軸力変動の影響によりひびわれモーメントおよび降伏モーメントが-17%~+18%の範囲で変化することが分かった。以上の検討結果を踏まえ、本橋の橋軸直角方向の動的解析では、橋脚の軸力変動を考慮した解析を行った。

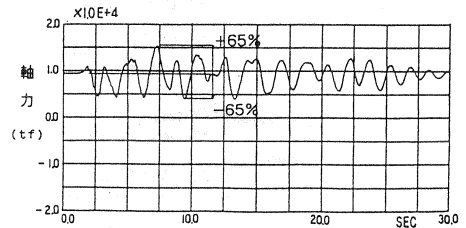


図-7 橋軸直角方向地震時の橋脚の軸力時刻歴応答曲線

図-9は、橋軸直角方向の大規模地震動時における橋脚上部でのモーメント-回転角の応答履歴を示す。軸力変動を考慮しない場合では塑性化していないのに対して、軸力変動を考慮した場合には塑性化が認められる。これは橋脚が地震波を受けて軸力が減少し、降伏モーメントが小さくなったためと考えられる。

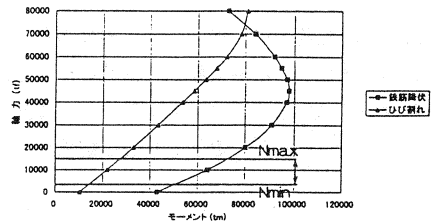


図-8 橋脚上部の軸力-ひび割れ・降伏モーメントの関係

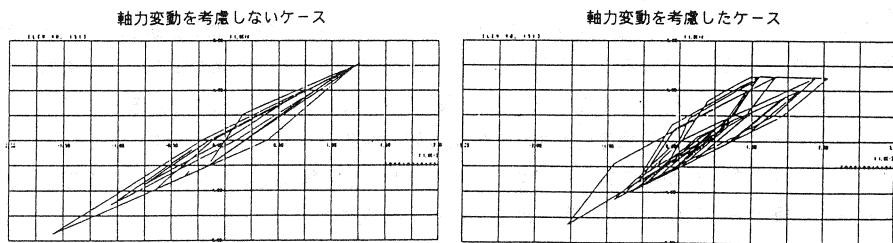


図-9 モーメント-回転角に関する応答履歴

(2) 免震支承による効果

支承には、高減衰ゴム支承(最大反力 $R_{max}=1200$ t、ゴム厚 $31\text{mm} \times 6$ 層)を使用することとした。

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検討を行った。解析は、橋軸方向および橋軸直角方向の大規模地震動を対象とした。検討結果を図-10ならびに表-5に示す。橋軸方向の検討では、減衰の付加により殆どの部位について応答値が減少し、特に主桁のせん断力に関しては最大応答値が耐力以内に収まる結果が得られた。

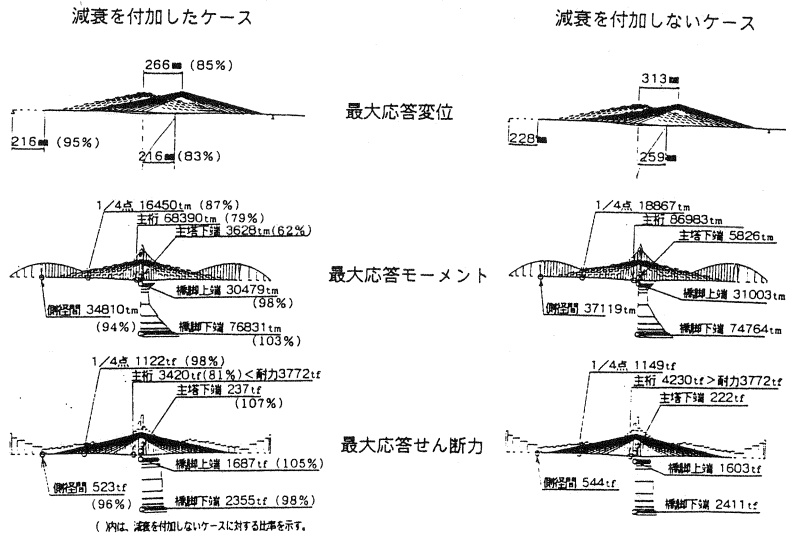


図-10 免震支承による効果(橋軸方向大規模地震動の解析結果)

表-5 免震支承による効果(橋軸直角方向大規模地震動の解析結果)

また、橋軸直角方向の検討では、橋脚の塑性ヒンジ部に着目し、応答回転角の比較を行った。減衰の付加により応答値は大きく減少し、基部については塑性化しない箇所も生じる結果が得られた。

部 位	塑性率 ※	
	減衰を付加したケース	減衰を付加しないケース
橋脚基部	外側	1.39
	中央	塑性化せず
橋脚上部	外側	1.15
	中央	2.08
	外側	4.33
		1.05
		1.99
		4.62
		6.08

※ 塑性率は、塑性開始時回転角と最大塑性回転角の比率とする。

5. おわりに

以上、都田川橋の計画概要と上部工の設計上の特徴について述べた。

本橋の施工上の特徴としては、長大支間を有するエクストラード橋の建設工事であること、側径間が急峻な斜面上での支保工施工になること等が挙げられる。現在、施工時の橋体の安全性と出来形を確保するための施工方法について詳細検討中である。また、工期は、平成13年3月初旬であるが、工期短縮も施工上の大きな課題であり、省力化・急速化が図れる施工技術を鋭意取り入れていく予定にしている。

工事は、本年7月現在、柱頭部の施工中であり、10月から上下線同時にワーゲンによる張出し施工を行う計画である。本橋の施工に関しては、稿を改めて報告する予定にしている。

今後、この形式の採用が増えてくるものと思われるが、本橋の実績がエクストラード橋の発展の一助になれば幸いである。