

# 第二東名高速道路 藁科川橋における鋼桁の設計

## Design of Steel Girder in Warashinagawa Bridge(2nd Tomei Expressway)

河西 龍彦\*<sup>1</sup> 生駒 元\*<sup>2</sup> 上原 正\*<sup>3</sup>  
 Tatsuhiko KASAI Motoshi IKOMA Tadashi UEHARA

### Summary

For the Warashinagawa Bridge, on the 2nd Tomei Expressway, whereas the design and construction of its first long-span cast-in-place PC slab in Japan attracts attention. But in designing of steel girders, a new attempt was done to have excellent durability and a rational structure. This report introduces the outline of a process to design of open-section box girder, stud shear connectors, seismic strengthening, and accessories for the Warashinagawa Bridge. This report also presents future tasks of this type of bridges.

キーワード：鋼2主桁橋，連続合成桁，耐久性，合理化，省力化

### 1. はじめに

高い耐久性を有するプレストレストコンクリート床版（以下、PC床版という）を鋼2主桁橋に組み合わせた橋梁形式は、構造の合理化ならびにライフサイクルコストの観点などより、現在もっとも注目を集めている橋梁形式のひとつである。日本道路公団静岡建設局が建設する第二東名高速道路（以下、第二東名という）においても「PC床版を有する鋼2主桁橋」が鋼橋の標準形式と考えられており、そのパイロット工事として先行発注されたのが藁科川橋である。

第二東名の広幅員（有効幅員16.5m）に「PC床版を有する鋼2主桁橋」を適用する場合、その床版支間長は10～11mとなり、国内では例を見ない長支間のPC床版を実現する必要がある。また、このような広幅員のPC床版は輸送上の制約を受けることと、第二東名は山間部の施工が多いことなどから、PC床版の施工は場所打ちを基本とし、さらに現場施工の合理化・省力化を図るために大型の移動式型枠支保工の開発を行った。

このような「長支間場所打ちPC床版」を実現するため、筆者らは、床版形状、床版厚、床版の設計曲げモーメント、床版作用と主桁作用の重ね合わせ、床版の限界状態の照査、温度応力への対応等に関する研究や、実物大模型による検証実験などを行ってきた<sup>1)~3)</sup>。また、現場の床版施工も順調に進んでおり、現在その最終段階を迎えているところである。（写真-1, 2）

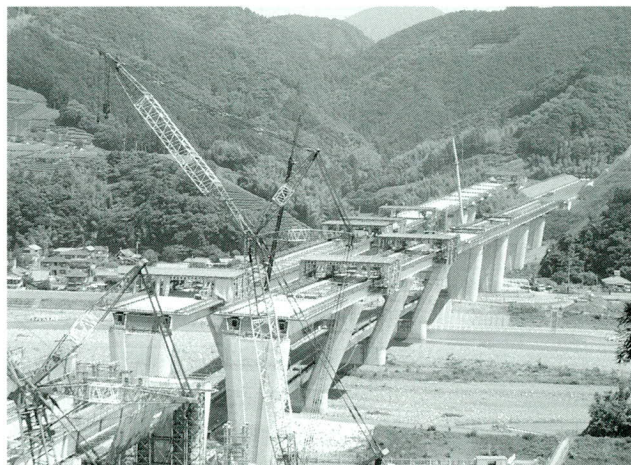


写真-1 現場状況（2002.7）



写真-2 床版支間長11mの長支間床版（2002.12）

\*技術本部設計部設計一課課長（宮地・瀧上JV設計部会長） \*技術本部工事部工事計画課担当課長（宮地・瀧上JV現場代理人，架設床版部会長）  
 \*技術本部設計部設計一課（宮地・瀧上JV設計部会員）

藁科川橋と言えば長支間場所打ちPC床版が注目を集めるところであるが、本文ではあえて床版から離れ、鋼桁について論ずることとした。

我々鋼橋に携わる技術者には、これまで「鉄筋コンクリート床版はいつか壊れるもの」という暗黙の認識があったと思われる。しかしながら、藁科川橋で採用されたPC床版は橋軸直角方向にプレストレスが導入されていることに加え、その床版厚も最小で36cmと従来のイメージを覆すほど厚い。床版の限界状態の照査や疲労の照査を行ってみても、照査結果は数百年を優に越すものであり、藁科川橋の床版は極めて高い耐久性を有している。

床版の耐久性がここまで高くなってくると、床版が壊れる前に鋼桁が先に壊れてしまうようなことがないように、鋼桁にも高い耐久性が求められる。さらに、鋼橋としての価格競争力を高めるため、鋼桁は構造の合理化と施工の省力化が図られたものでなくてはならない。すなわち、藁科川橋における鋼桁の設計のキーワードは、高い耐久性の確保、構造の合理化、そして施工の省力化であった。

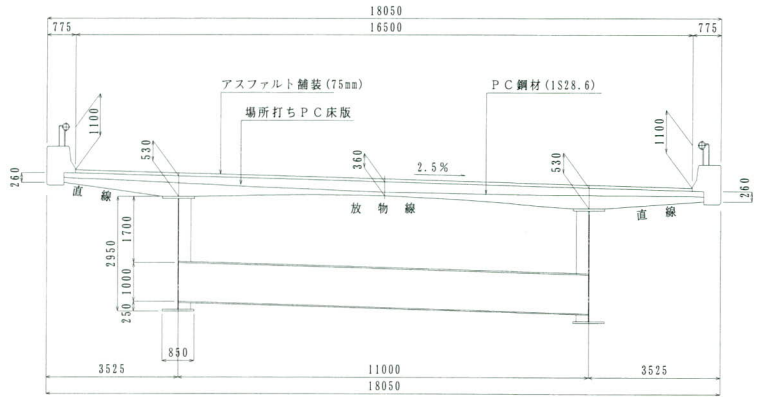


図-2 鋼桁橋の標準断面図 (単位: mm)

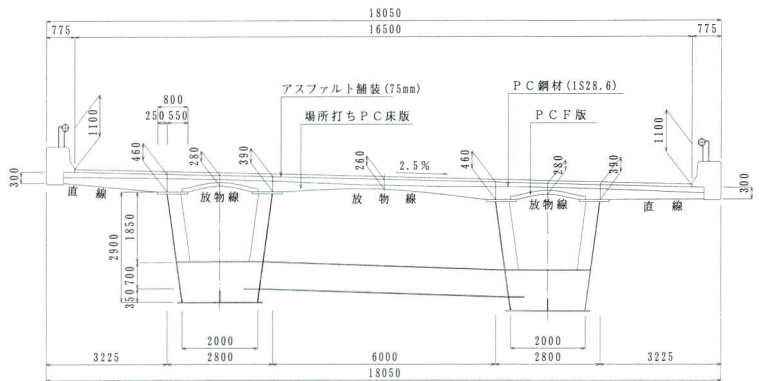


図-3 箱桁橋の標準断面図 (単位: mm)

## 2. 藁科川橋の概要

藁科川橋は、静岡市内において安倍川支流の藁科川を第二東名が横断する箇所に位置する。(図-1)

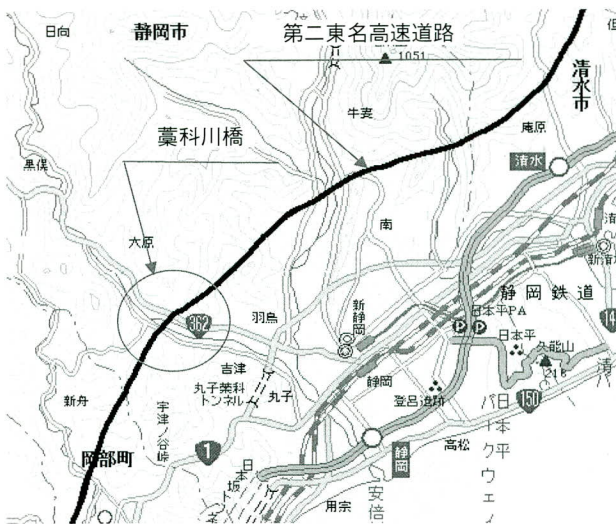


図-1 藁科川橋の位置図

工事は東から藁科川橋東(藁科川左岸陸上部)、藁科川橋中(藁科川河川部)、藁科川橋西(藁科川右岸陸上部)の3工区に分割されており、上り線の最も東側が2主鋼桁橋、その他は2主開断面箱桁橋である。このうち、藁科川橋東と藁科川橋中の2工区を宮地・瀧上JVが受注した。鋼桁橋と箱桁橋の標準的な断面図を図-2, 3に示す。鋼桁形式の使い分けは主桁の支間長によるもので、主桁の支間長が40~50m程度は鋼桁橋が、60~70m程度は箱桁橋が採用された。藁科川橋の一般図を図-4に、橋梁諸元を表-1に示す。

表-1 橋梁諸元

工事名	第二東名高速道路 藁科川橋東(鋼上部工) 工事 第二東名高速道路 藁科川橋中(鋼上部工) 工事
工事箇所	(自) 静岡県静岡市小瀬戸 (STA. 705+62) (至) 静岡県静岡市谷津 (STA. 714+7.5)
工事延長	(上り線) 844m, (下り線) 580m
橋梁形式	(上り線) 鋼4径間連続2主箱桁橋×2連+鋼7径間連続2主鋼桁橋 (下り線) 鋼4径間連続2主箱桁橋×2連
道路規格	第1種第1級 設計規格A 設計速度120km/h
荷重	B活荷重
有効幅員	16.5m (3.250+3×3.750+2.000m)
支間長	(上り線) 74.2+2×75.0+74.2, 64.6+2×61.0+59.6, 41.1+5×42.3+41.0m (下り線) 74.2+2×75.0+74.2, 74.1+74.0+66.0+64.4m
施工者	(株)宮地鐵工所・瀧上工業(株)共同企業体

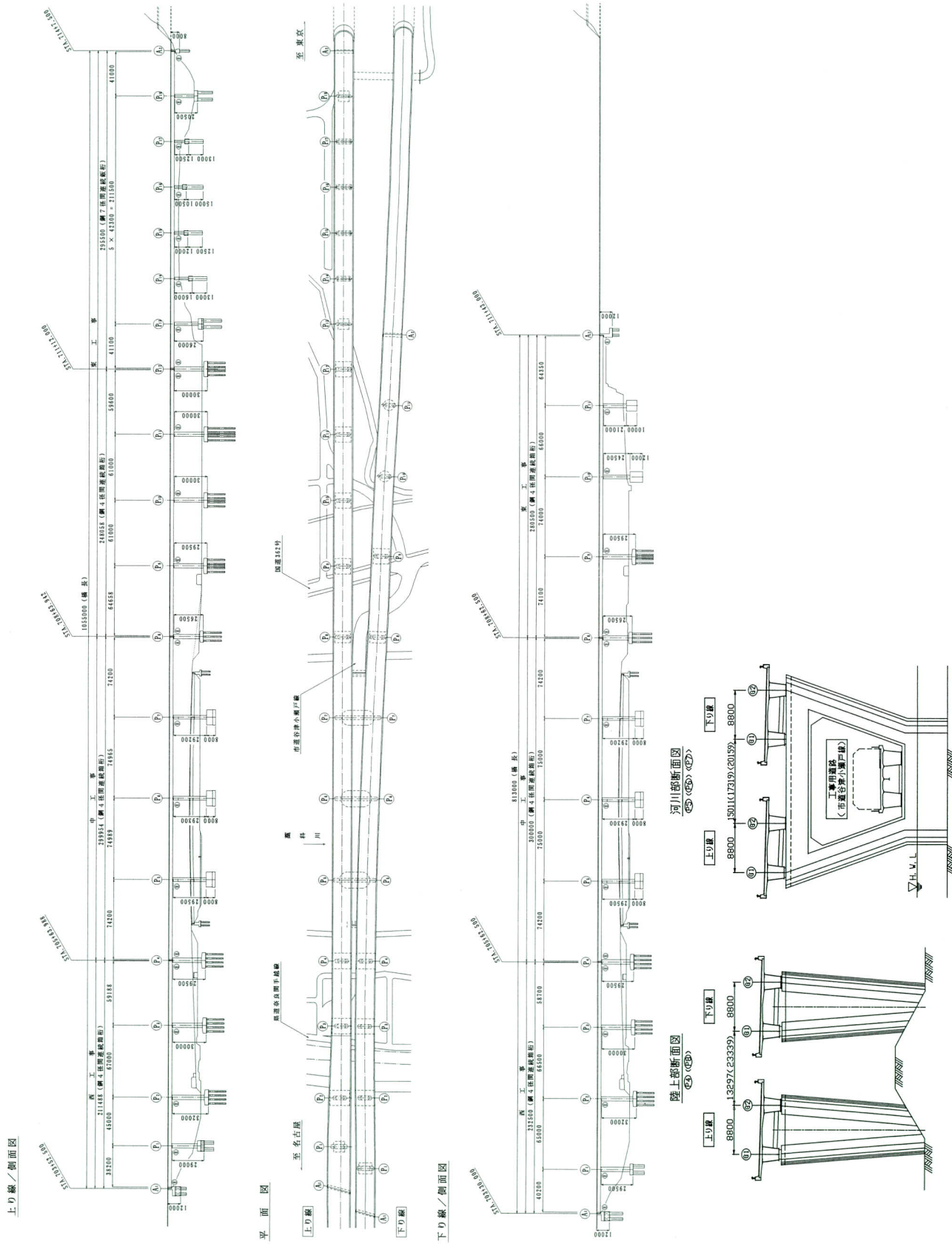


図-4 蕨科川橋 一般図

表一 構造諸元

断面形状	(箱桁) 逆台形型断面、(板桁) I型断面
桁高	2950mm
横桁間隔	(箱桁) 10m、(板桁) 6m
床版支間長	(箱桁) 3.225+2.8+6.0+2.8+3.225m (板桁) 3.525+11.0+3.525m
床版厚	(箱桁) 260~390mm、(板桁) 360~530mm
コンクリート	$\sigma_{ck}=40N/mm^2$
配合	早強ポルトランドセメント、膨張材 (30kg/m <sup>3</sup> ) 水セメント比 W/C=43.8%、単位水量 W=160kg、高性能AE減水剤
P.C鋼材	(プレグラウト) S28.6 ctc500mm (箱桁)、ctc430mm (板桁)

また、藁科川橋の構造諸元を表一に、工事数量（ただし壁高欄を除く）を表二に示す。

表二 工事数量（ただし、壁高欄を除く）

項目	単位	藁科川橋中			藁科川橋東					
		上り線	下り線	合計	上り線		下り線		合計	
		箱桁	箱桁		箱桁	板桁	箱桁	板桁		
床版	コンクリート (40N/mm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	1,746	1,754	3,500	1,451	2,194	1,634	5,278	
	鉄筋 (SD345)	t	399	398	797	319	428	359	1,106	
	P.C鋼材 (1S8.6)	kg	45,360	44,045	89,405	36,919	51,159	41,691	129,769	
鋼桁	鋼重 (SM570, 他)	t	1,774	1,761	3,535	1,072	855	1,394	3,321	
	大型部材	個	509	509	1,018	318	312	433	1,063	
	小型部材	個	3,436	3,414	6,850	1,904	2,046	2,729	6,679	
	高力ボルト (TCB M22, M24)	工場	本	-	-	-	-	2,016	-	2,016
		現場	本	14,706	15,440	30,146	7,120	9,888	9,902	26,910
	現場溶接延長 (実長)	m	760	760	1,521	439	236	628	1,303	
	塗装面積	外面	m <sup>2</sup>	6,120	6,083	12,204	4,888	7,139	5,518	17,545
内面		m <sup>2</sup>	7,779	7,767	15,545	5,923	-	6,985	12,908	

### 3. 主桁の設計

#### (1) 基本方針

現在、鋼桁（主桁）を連続非合成桁として設計するのか、連続合成桁として設計するのかという議論が盛んに行われているが、連続非合成桁として設計され、スラブアンカーなどのスラブ止めしか配置していない鋼桁橋であっても実際には連続合成桁としての挙動を示すことが明らかとなってきており<sup>4)</sup>、藁科川橋も連続合成桁として設計を行うこととした。

しかしながら、先に述べたように鋼桁に対しても高い耐久性を確保することと、このような広幅員2主桁橋の実績が少ないこと、さらに施工時の安全性や将来の床版の打ち替え等も考慮して、鋼桁（主桁）の設計は以下のようにして行うこととした。

- ①疲労が懸念される小型部材の削減、架設時の安全性確保などを目的として、鋼桁（主桁）は厚板で断面構成することを基本とする。
- ②鋼桁（主桁）断面は、非合成桁として一次断面を決定した後、(プレストレスしない) 連続合成桁としてこの一次断面を照査し、断面が不足する部分は増厚を行い、さらに架設時の照査を行って決定する。このようにして決定された鋼桁断面は、単に連続合成桁として断面決定した場合に比べ、上フランジが大きくなるなど鋼重が数%増加するが、材片数や塗装面積などを考慮した総合的な経済性としては、ほぼ遜色ない。
- ③床版コンクリートと鋼桁（主桁）との「ずれ止め」にはスタッドを使用する。ここで、コンクリート床版を有する鋼桁橋が連続合成桁として挙動することは明らかであるから、床版や鋼桁のみならずスタッドについても連続合成桁として必要な本数を配置する。

このことは、中間支点部を含めスタッド1本あたりに作用する水平せん断力を小さくし、スタッド溶植部の疲労亀裂を予防することにも繋がる。

- ④これより、鋼桁（主桁）の上フランジはコンクリート床版によって板の局部座屈が十分に防止されると考えられるので、鋼桁（主桁）上フランジは圧縮応力を受ける自由突出板としての許容応力度の低減を行わない。
- ⑤断面が厚板であることと、塗装耐久性に配慮して、主桁の現場継手は現場溶接によるものとする。
- ⑥鋼桁の剛性を確保するため、活荷重たわみの照査は非合成桁として行うこととし、活荷重たわみの制限値も従来の制限値を用いることとした。この結果、連続合成桁としての活荷重たわみはL/1000 (L: 主桁の支間長) 程度に制限されることとなった。
- ⑦ただし、鋼桁（主桁）の製作キャンバーは連続合成桁として設定する。

#### (2) 補剛設計

近年、連続合成桁のさらなるコスト削減を目的に、アスペクト比を3.0まで許容して補剛材の削減と腹板の薄板化を両立させる研究が進められている<sup>5)</sup>。

藁科川橋においては、前項で述べた基本方針より、補剛材の配置規定、アスペクト比 (1.5以下) とも道路橋示方書 (以下、道示という) 規定を遵守し、厚板で断面構成して補剛材を極力削減することで、小型材片数や塗装面積の減少によるコスト削減と鋼桁の疲労耐久性の向上などを図るものとした。

このため、主桁の垂直補剛材は板桁橋の場合で中間横桁間隔 (約6m) の2等分、箱桁橋の場合で中間横桁間隔 (約10m) の3等分位置に配置することとした。

また、連続合成桁設計を行うにもかかわらず主桁作用により正の曲げモーメントが作用する部分に上段の水平補剛材を配置することは不合理であると考え、道示規定の範囲内で水平補剛材を省略できる板厚を主桁腹板の最小板厚とした。ただし、中間支点部については主桁腹板厚が厚くなりすぎることを考慮し水平補剛材を下段に一段配置することを基本とした。

このような方針で設計を進めたところ、送り出し架設を行う鉸桁橋については、支間部において下段に水平補剛材を追加する架設補強が必要となったため、主桁腹板厚をさらに厚くしてこれを省略し、かつこれによる主桁腹板厚の逆テーパを解消することと、さらなるコスト削減を図るため、中間支点部の主桁腹板厚も厚くして同部の水平補剛材も省略する案を検討した。

検討結果を表-4に示すが、中間支点部を含めて主桁腹板厚を増厚して全長にわたって水平補剛材を省略する案（第3案）がもっとも経済的であったため、これを採用することとした。

箱桁橋においても送り出し架設を行う部分がありこれ

と同様の検討を行ったが、中間支点部については主桁腹板厚の増厚により輸送可能なブロック重量の制限を超過し、箱桁の現場継手数の増加によるコストアップにより鉸桁橋と同様な経済性比較検討結果が得られなかった。このため、箱桁橋の中間支点部には下段に水平補剛材を一段配置することとした。

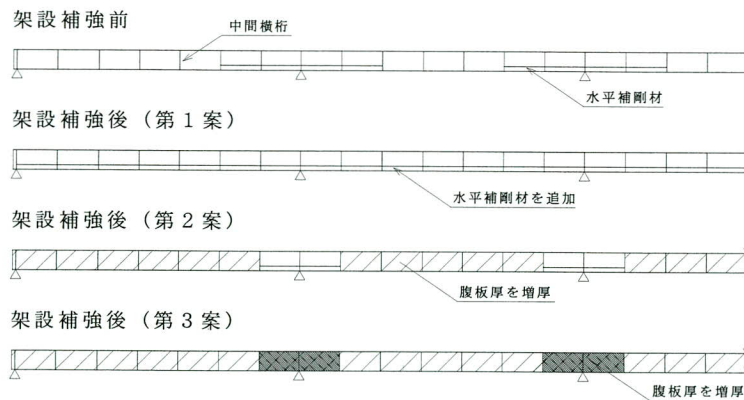
### (3) 断面構成

このようにして行った詳細設計結果より、鉸桁橋の主桁断面構成図を図-5に示す。

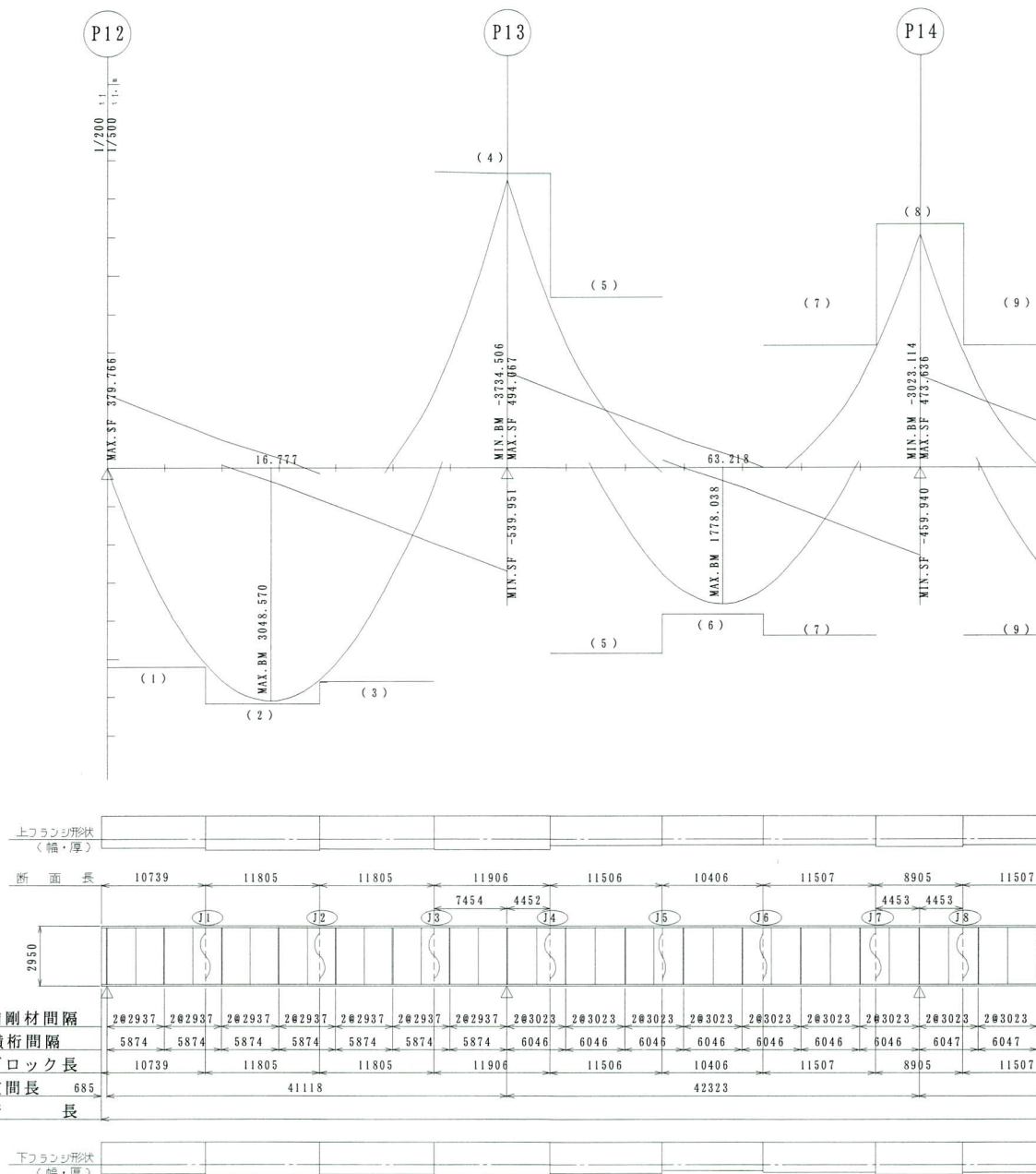
主桁の最大断面（中間支点上）は以下のような断面構成となっている。

鉸桁橋	上フランジ	850×48 (SM570-H)
	ウェブ	2850×26 (SM570)
	下フランジ	850×52 (SM570-H)
箱桁橋	上フランジ	1600×96 (SM570-H)
	ウェブ	2831×26 (SM570)
	下フランジ	2250×63 (SM570-H)
	下縦リブ	270×29 (SM570)

表-4 鉸桁橋における送り出し架設補強方法の比較検討結果



			第1案	第2案	第3案
架設補強方法の概要			送り出し架設用の補強として下段に水平補剛材を一段追加する。	送り出し架設用の補強として主桁の腹板を増厚する。この結果、中間支点の両脇で水平補剛材が省略できる場合はこれを省略する。	第2案をもう一步進め、中間支点部の主桁腹板厚も増厚して、水平補剛材を全て省略する。
架設補強による主な数量増減	鋼重	ton	15	42	44
	小型材片数	枚	234	-96	-128
	塗装面積	m <sup>2</sup>	176	-56	-90
架設補強による増加工費 (第1案を1.00とした比率)			1.00	0.70	0.65
判定			鋼重の増加は少ないが、小型材片数と塗装面積の増加により経済性に劣る。疲労耐久性や維持管理にも懸念が残る。 評価=△	鋼重は増加するものの、小型材片数と塗装面積の減少により経済性に優る。小型材片が減ることで疲労耐久性が向上し、塗り替え塗装面積も減少する。 評価=○	第2案より鋼重が若干増加するものの、小型材片数と塗装面積のさらなる減少により、経済性はもっとも良い。疲労耐久性や維持管理も第2案より優る。 評価=◎



		材質 (1): SM400		(2): SM490		(3): SM490Y		(4): SM490Y-H		(5): SM570		(6): SM570-H						
断面番号	断面	断面長																
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
断面	上フランジ	幅	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850			
		厚(材質)	40 (3)	50 (4)	44 (4)	48 (6)	28 (3)	26 (3)	26 (3)	35 (5)								
	腹板	高	2870	2850	2862	2850	2885	2898	2891	2873								
		厚(材質)	24 (3)	23 (3)	23 (3)	26 (5)	25 (3)	25 (3)	24 (3)	25 (5)								
下フランジ	幅	850	850	850	850	850	850	850	850									
	厚(材質)	40 (3)	50 (4)	44 (4)	52 (6)	37 (3)	26 (3)	33 (3)	42 (6)									
応力	上フランジ	$\sigma_u$	-2066	-2074	-2081	2508	2041	-1355	-1949	-1689	1653	2573						
		$\sigma_{u,s}$	-2100	-2100	-2100	2600	2100	-2100	-2100	-2100	2100	2600						
	下フランジ	余裕量	34	26	19	92	59	745	151	411	447	27						
		$\sigma_s$	2066	2074	2081	-2405	-1804	1197	1949	1519	-1487	-2356						
	腹板	$T_{max}$	662	310	-691	-789	642	312	-644	749								
		$T_a$	1200	1200	-1200	-1500	1200	1200	-1200	1500								
	合成応力度 $\rho_{max}$		0.98	0.92	0.98	1.14	1.19	0.84	0.88	1.18								

図-5 鈹桁橋の断面構成図 (7径間のうち代表的な2径間分を表示)

#### (4) 現場溶接継手部のディテール

主桁を構成する板厚が厚いため現実的に高力ボルト添接が不可能であることと、現場継手部の塗装の耐久性を考慮して、主桁の現場継手には全断面現場溶接を採用した。さらに、この現場溶接継手部の疲労耐久性を向上させるため、下フランジ側はスカーラップレス構造<sup>6)</sup>を採用し、上向き現場溶接を行った。(写真3, 4)

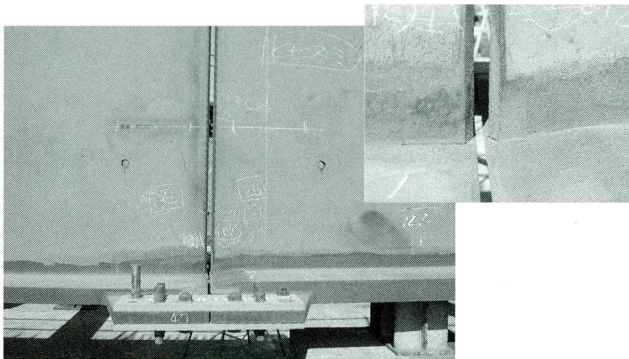


写真-3 下フランジのスカーラップレス（鈹桁橋）

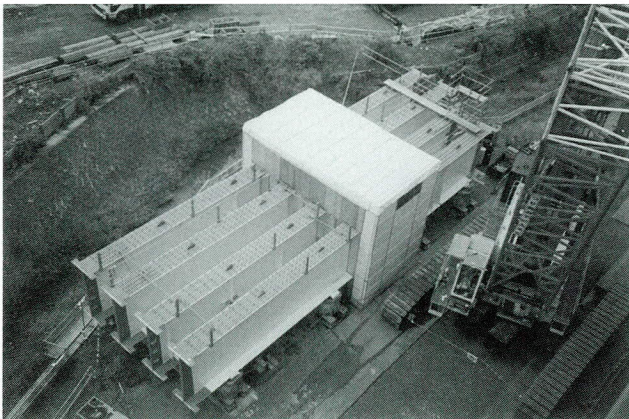
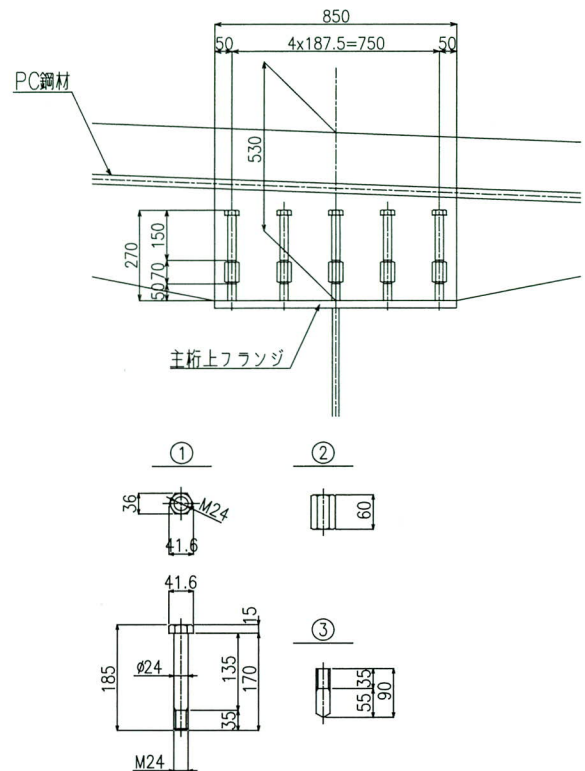


写真-4 ヤード溶接時の風防設備（鈹桁橋）

#### (5) スタッドの設計

床版と鋼桁とのずれ止めにはスタッドを用い、(プレストレスしない)連続合成桁として道示規定どおりに配置した。

スタッドには主桁輸送時の高さ制限をクリアするため「ネジ+カップラー方式」を採用した。この構造はプレキャストPC床版を有する鋼少数主桁で一般的に使用されているものであるが、藁科川橋ではスタッド溶植部の疲労耐久性を向上させるため、カップラー下方のネジ付きスタッドを長くして、ネジ切り範囲を溶植部にかからないようにした点に特徴がある<sup>7)</sup>。(図-6)



- ① Bolt M24 x 170 (JIS B 1198相当)
- ② Nut M24 x 60 (強度5.6)
- ③ ねじ付溶接スタッフ M24 x 90 (JIS B 1198相当)

図-6 ネジ+カップラー方式のスタッド

スタッドの高さは床版厚の半分程度とし、PC鋼材との干渉に注意して決定した。

スタッドの配置方法には様々な方法が考えられるが、藁科川橋では1列あたりのスタッド本数を揃え、橋軸方向の水平せん断力の大きさに合わせてピッチで調整し、かつそのピッチは橋軸直角方向の下筋の整数倍とすることとした。

具体的には、鈹桁橋、箱桁橋とも1列あたり（橋軸直角方向に）5本のスタッドを配置し、橋軸方向のピッチは鉄筋ピッチ (@125mm) の整数倍となるように端支点部や中間支点部では125mmピッチ、一般部では250mmないしは375mmピッチで配置した。

また、中間横桁取り付け位置の垂直補剛材直上部において、内側の床版下面に発生する橋軸直角方向のひび割れ、ならびに床版と鋼桁との隙間の発生を予防するために、同部のスタッドは横桁位置より橋軸方向に125mm以上（端支点部や中間支点部でスタッドが密に配置される場合には62.5mm以上）離して配置することとした<sup>1)</sup>。(図-7)

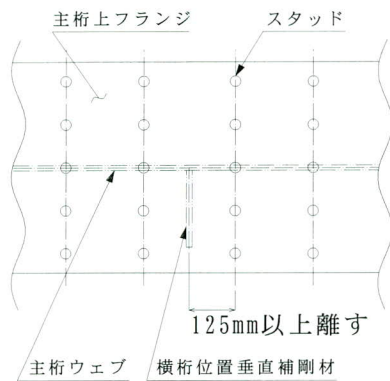


図-7 横桁位置のスタッド配置

## 4. 横桁の設計

### (1) 中間横桁

中間横桁は、鉸桁橋で6m、箱桁橋で10mピッチに配置した。中間横桁の取り付け高さは、プレストレスの拘束を弱めること、および移動式型枠支保工のインサイド型枠の通行性、床版施工時の作業性に配慮して、下段配置とした。中間横桁を垂直補剛材に取り付ける構造は、ホロナイ川橋における検討結果<sup>8)</sup>と、JH中部支社における鋼少数主桁橋の実績より、引張ボルトを使用したスプリットタイプとした。(図-2, 3, 写真-5)

サポートタイプの移動型枠を使用する場合、床版コン

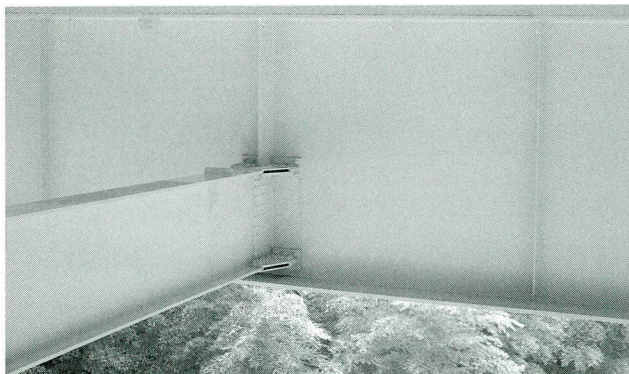


写真-5 中間横桁を取付位置の垂直補剛材

クリート自重を支保するインサイド型枠は中間横桁で支持することになる。したがって、床版の出来形を許容値以内に収めるためにはインサイド型枠、ならびにこれを支持する中間横桁の双方について、所用のたわみ強さ(剛性)を確保する必要がある。

薬科川橋では、先に実施した実物大模型試験<sup>1)</sup>における実測結果を参考とし、床版施工時におけるインサイド型枠反力(床版自重分を含む)による中間横桁のたわみを5mm程度以下に抑えることとした。たわみ計算は主桁と中間横桁から成るラーメンモデルを実物大模型試験の実測値を再現できるようにチューニングして行い、その結果、中間横桁の断面は下記とした。

鉸桁橋	フランジ	370×30 (SM400)
	腹板	1000×15 (ク)
箱桁橋	フランジ	230×19 (SM400)
	腹板	700×10 (ク)

ここで、鉸桁橋と箱桁橋の腹板厚が異なるのは、主桁間隔(中間横桁のスパン)に差がある(鉸桁橋=11m、箱桁橋=6m)ことと、主桁の設計と同様に中間横桁についても垂直補剛材を省略できる腹板厚を採用したことによる。

中間横桁位置の垂直補剛材と主桁上フランジとの処理は、前述のひび割れや隙間を防止するためには上フランジと垂直補剛材を溶接しない(あるいは離す)ことがよいが、鋼桁の送り出し架設時における安全性などが懸念されたため、垂直補剛材の形状を変化させたFEM解析検討を行った(表-5)。

当初期待していた「垂直補剛材をT-sectとする案」(フランスなどで横桁位置の垂直補剛材をT-sectとしている事例が多かったために有力と考えたが、後にこれは中間横桁を現場溶接にて垂直補剛材に接合するのに都合がよいからということが判明)は「垂直補剛性を平板とする案」と大差なかった。また、垂直補剛材を平板とする場合は平板の幅、板厚とも大きい方がよいこともわかった。

表-5 垂直補剛材の形状に着目した検討結果

補剛材形式	平板タイプ	平板タイプ(溶接しない)	T-sect
構造詳細			
プレストレス導入による床版下面の橋軸方向応力	2.4 N/mm <sup>2</sup>	0.5 N/mm <sup>2</sup>	1.7 N/mm <sup>2</sup>



これより、垂直補剛材にはその幅、板厚とも大きな平板（鈑桁橋の場合で幅320mm×板厚25mm）を採用することとし、主桁上フランジとは完全溶込み溶接とした。

下横構については、箱桁橋はもちろん、鈑桁橋についても水平力やねじりモーメントに対する床版の剛性を考慮し、これを省略することとした。

## (2) 端支点上横桁

桁端部における主桁間の床版を支持し、かつ橋梁全体の面外剛性を確保するため、端支点上横桁はフルウェブの鋼製横桁をコンクリートで巻き立て、床版と一体化することとした。

施工順序は当初、①端横桁架設、②端横桁上まで床版を施工（プレストレスを拘束しないように端横桁仕口のHTBは緩めておく）、③端横桁のHTB本締め、④巻き立てコンクリートの施工、⑤伸縮装置（床版にアゴを作り鋼桁とは直接HTB等で連結しないで乗せるだけのPC桁で使われるような鋼フィンガージョイントを想定）の架設・据付と考えていたが、景観上の理由から桁端ブラケットの設置が見送られたことと、全量逆打ち施工となる巻き立てコンクリートと床版コンクリートとの一体化が施工的に難しいと予想されたことから下記のように見直すこととした。（図-8）

① 端横桁架設

② 巻き立てコンクリート直近まで桁端部の床版を施工（PC鋼材は端部2本残しをせずにフル緊張）

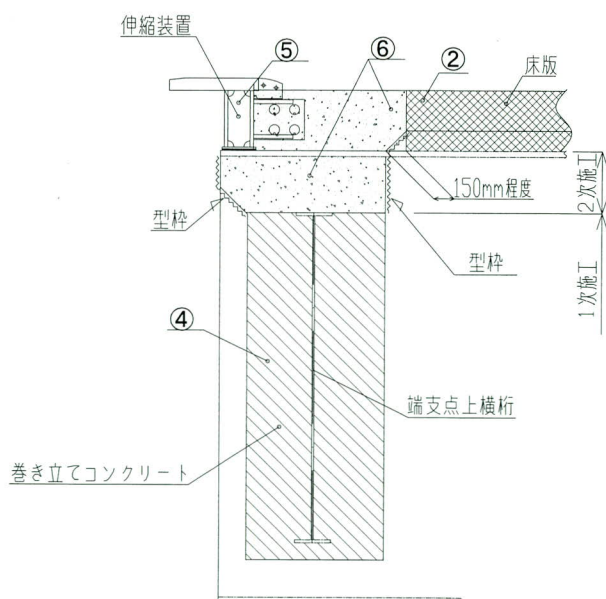


図-8 端支点上巻き立てコンクリートの施工順序

③ 端横桁仕口部のHTB本締め

④ 巻き立てコンクリートの施工

⑤ 伸縮装置の架設

⑥ 残りの部分のコンクリートを施工

なお、落橋防止構造（PCケーブルタイプ）は、端支点上横桁の巻き立てコンクリートに直接定着する構造とした。

## (3) 中間支点上横桁

鈑桁橋においては橋梁全体の面外剛性を高める目的で中間支点上横桁もコンクリートで巻き立てることとした。

この中間支点上横桁の巻き立てコンクリートの形状を図-9に示すが、床版の局所的な応力集中を避けるために巻き立てコンクリートと床版とは縁を切った。

施工順序はまず床版、次に巻き立てコンクリートとした。なお、中間支点部の床版に巻き立てコンクリート打込み用の開口部を設けることを避けるため、床版下面と巻き立てコンクリート天端のクリアランスを1m程度確保し、ポンプの筒先を差し込む施工性に配慮した。

コンクリートで巻き立てる前の中間支点上横桁は中間横桁と同一断面とした。このことは移動式型枠支保工の桁間部型枠の移動にとっても好都合となった。

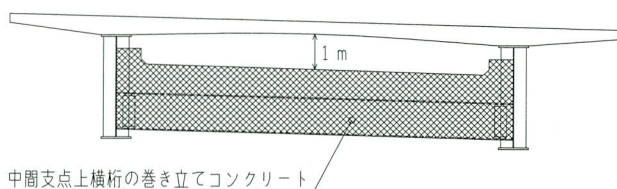


図-9 中間支点部の巻き立てコンクリート（鈑桁橋）

## 5. 開断面箱桁の設計

### (1) 開断面箱桁の採用目的

第二東名では主桁の支間長が60～70m程度の鋼上部工形式として2主箱桁を採用している。また、藁科川橋では箱桁の断面形状を開断面としたが、これは床版に導入する橋軸直角方向プレストレスを鋼桁が拘束しないようにすることが目的であり、連続合成桁設計を行うが故に開断面箱桁を採用したわけではない。



これは厚さ10cmのプレキャストコンクリート版（PCF版）を開断面箱桁上に設置し（写真-8, 9）、これを型枠代わりとして場所打ちPC床版の施工を行い、一体化する合成床版工法である。PCF版と場所打ちコンクリートとの健全な一体化を図るためにトラス鉄筋を橋軸方向に配置している点に特徴がある。

実橋への採用に先立ち、土木研究所との共同研究にてループ式継手部を含む疲労耐久性の検証を行っており、試験結果は極めて良好であった<sup>10)</sup>。

なお、このPCF版は場所打ちコンクリートによる温度応力を減少させる副次的な効果もあった。



写真-8 PCF版の据え付け

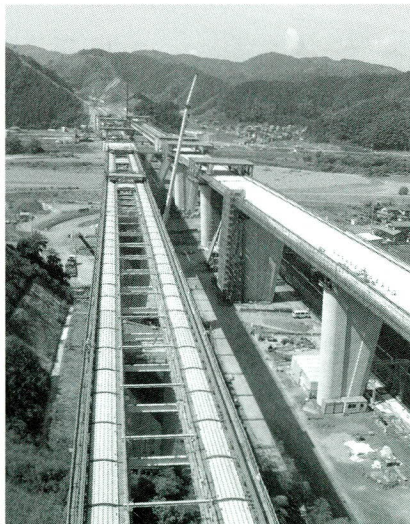


写真-9 PCF版の敷設状況

## 6. 付属物, その他

### (1) 免震支承

第二東名では、耐震性の確保と上部構造の連続化を同時に満足するひとつの方法として免震設計が採用されて

いる。藁科川橋でもJH静岡建設局のマニュアル<sup>11)</sup>に準拠して、免震支承を用いた免震構造を採用した。

JH静岡建設局で初めて鋼上部工に免震支承を採用することもあって、上り線はHDR、下り線はLBRとする使い分けを行い、実施工を通じて両者の比較を行うこととしたが、現時点で優位差はみられない。

なお、地震時の移動量を低減して桁遊間ならびに伸縮装置をコンパクトにするため、端支点にも免震支承を使用した。

免震支承のせん断変形性能確認試験は、試験可能最大サイズ、実物の1/2サイズ、同1/3サイズの3体の試験体を用いて行った。（写真-10）

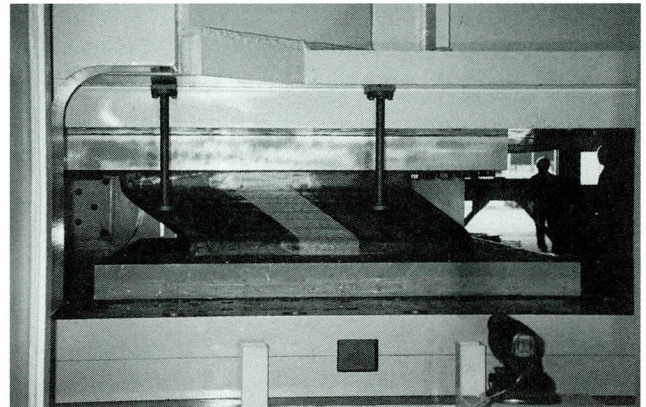


写真-10 免震支承のせん断変形性能確認試験

### (2) 上部工排水装置

排水柵には軽量、かつ上下分離型のFRP製排水柵を使用した。また、張出し床版下面部は景観に配慮し角形のFRP排水管（外面の色は床版コンクリートに合わせる）を使用し、なるべく床版近くに配置して目立たないように配慮した。（写真-11）



写真-11 角形のFRP排水管

### (3) マンホール

開断面箱桁のウェブに設置するマンホールは、その開口寸法をなるべく大きくとることとし、幅800mm×高さ1000mmの小判型にした。

マンホールの扉には軽量のFRP板を使用した。蝶番や取手には既製品（ステンレス製）を使用し、母材や扉にボルト止めする構造とした。（写真-12）

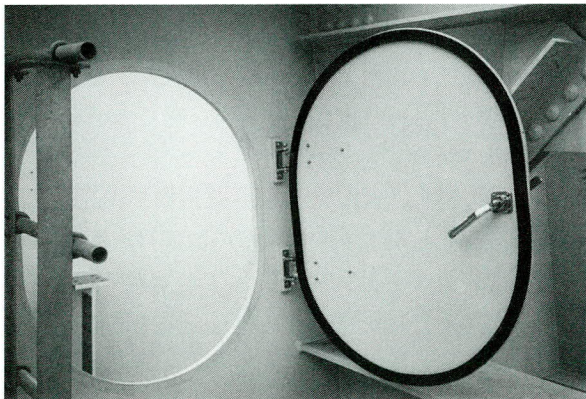
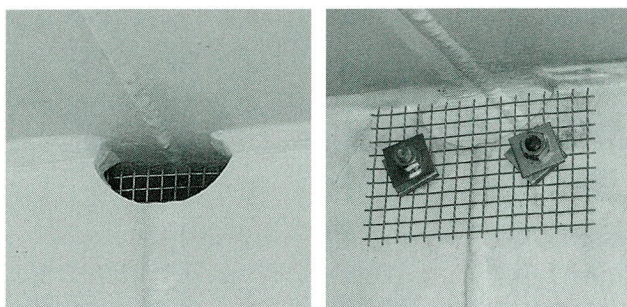


写真-12 FRP製マンホール扉

### (4) 鳥害対策

開断面箱桁の現場溶接継手部は、下フランジ側はスカーラップ構造を採用したが、上フランジ側のウェブにはスカーラップを設けている。このような小さな開口部でも鳥害対策の必要があり、従来は塞ぎ板を溶接するケースが多かった。しかしながら、このような塞ぎ板構造は現場施工性や景観性に劣り、かつ疲労も懸念された。

藁科川橋では、ドール橋（フランス、波形ウェブ）での施工例を参考に写真-13に示すような構造を採用した。使用した金網はステンレス製のもので、現場にて適当な寸法に切断し、ウェブに溶植してあるスタッドボルトに角座金で押さえながら止めるものである。



(外側)

(内側)

写真-13 箱桁の鳥害対策

## 8. おわりに（今後の課題）

藁科川橋はJH静岡建設局が建設する第二東名の鋼上部工のパイロット工事という位置付けより、後続工事が参考とする標準設計としての成果が求められた。このことは本邦初の長支間場所打ちPC床版のみならず、鋼桁や付属物に対しても同様であった。

鋼桁の設計は「ゴツイ床版に見合うゴツイ鋼桁」というコンセプトを掲げ「非合成桁として一次断面決定した後で合成桁として照査し、断面が不足する場合は増厚する」という設計思想に帰着した。厚板を多用するこの方法は不経済と思われがちだが、補剛材などの小型部材が大幅に削減されるため、初期コストの増加はわずかなものとなっている。このような「厚肉小補剛設計」は、送り出し架設に代表される架設時の安全性に優れ、供用開始後の疲労耐久性も高い。さらに、塗り替え塗装面積が少なく済むこともありライフサイクルコストパフォーマンスに優れている。

付属物の設計においては、新技術、新工法、新材料を積極的に取り入れ、排水柵や落橋防止構造などは複数メーカーの実物確認を含む比較検討を行い、耐久性、使用性、経済性、景観性、施工性などを総合的に勘案して型式決定した。

一方、今後の課題としては以下のようなことが挙げられる。

#### ①床版の橋軸方向の設計

本文の主旨からは離れるが、床版コンクリートの温度応力という新たな照査項目が増えたこと、ならびに床版の耐久性を高めるために施工時にひび割れを発生させないことが強く求められていることから、床版の（連続合成桁としての）橋軸方向の設計方法の整備が必要であると感じている。その具体的なイメージとしては、

#### ○外的要因

- ・床版のブロック施工時の主桁作用によって発生する応力（一時的な大きな応力と、微小ではあるが床版施工終了後に残留する応力の2種類）
- ・床版コンクリートの温度応力
- ・床版コンクリートの収縮（乾燥収縮）
- ・床版コンクリートのクリープ
- ・床版と鋼桁の温度差、日照による影響など
- ・収縮や温度差等に伴う不静定力
- ・後死荷重
- ・活荷重

#### ○上記を改善する項目

- ・膨張材の使用
- ・床版のブロック施工順序の工夫、あるいは負曲げ対策（カウンターウェイト、ジャッキアップダウン等）の実施
- ・必要となる鉄筋量の確保
- ・日照対策

#### ○照査段階

- ・施工初期
- ・施工中期
- ・工事完了時
- ・供用後

#### ○照査対象

- ・コンクリートの曲げひび割れ強度<sup>12)</sup>
- ・鉄筋応力の制限値
- ・許容ひび割れ幅

これらについては、藁科川橋に続いて受注した第二東名・中ノ郷第一高架橋（JH静岡建設局）にて試行中であり、別の機会に報告したいと考えている。

#### ②温度解析

水和熱に起因する床版コンクリートの温度応力という新たな課題に取り組むため、藁科川橋では非線形温度応力解析を実施したが、この解析は専門のかつ高価なものである。今しばらくの間は、床版厚、施工時期、コンクリートの配合といった温度応力に影響を及ぼす因子が変化するたびにこのような温度応力解析を実施することになるだろうが、様々な条件下における解析結果が蓄積された段階で、より簡便な解析方法の提案、さらには温度解析そのものを省略できる設計手法の開発を期待したい。

#### ③横桁位置のひび割れと隙間

藁科川橋の現場施工に先だって実施した実物大試験体において発見された「中間横桁取付位置の垂直補剛材直上のひび割れと隙間の問題」で、実橋ではこの垂直補剛材直上を避け、これを跨ぐようにスタッドを配置することとした<sup>1)</sup>が、実橋（材齢半年程度）でもいくつかの中間横桁位置で微細なひび割れ（ひび割れ幅は最大で0.04mm程度、長さは5cm程度）と、わずかな隙間（0.1mm程度、深さ5cm程度）が発見された。

これは、実物大試験体のもの（ひび割れ＝幅0.1mm×長さ78cm、隙間0.3mm×深さ30cm程度）に比べれば格段の進歩で、まったく問題にならない大きさに収まったのだが、この問題には構造的な要因が関係していると思われ、まだ検討の余地が残っている。

#### ④有害なひび割れの定義

上記①、③とも関係するが、床版コンクリートの有害なひび割れの定義が曖昧になっている。

例えば、（貫通ではなく）表面のみに発生している幅0.04mm程度のひび割れは、床版の耐久性に有害な影響を及ぼす「悪い」ひび割れなのだろうか。

供用後については、許容ひび割れ幅を $0.005 \cdot C$ とした場合にかぶり（C）を40mmとすると幅0.2mmまでのひび割れが許容されることになる。これに対して、施工時は幅0.04mmの表面ひび割れすら許容しないということには、精神論はともかくとして、費用対効果、あるいはひび割れの補修といった観点より疑問を感じている。

#### ⑤中間横桁の配置

藁科川橋の場合、鉸桁橋で6m、箱桁橋で10mピッチで中間横桁を配置したが、中間横桁の断面は床版施工時の照査（床版自重＋移動式型枠支保工自重載荷時の応力、ならびにたわみ）で決定されており、完成系に対しては余裕のある結果となっている。

中間横桁の配置間隔をやみくもに広げるのもいかなものかと思うが、耐久性の高い床版が現実のものとなり、かつ床版を構造部材と考えた立体FEM解析結果（偏載荷重や水平荷重などは、そのほとんどを床版が受け持っており、中間横桁にはわずかな応力しか発生しない）などから判断すると、少なくとも完成系に対する中間横桁の存在根拠が薄くなってきていることも確かである。

中間横桁の大部分を架設材として床版施工終了後に撤去する方法（例えば、橋脚間に1本のみ中間横桁を残すようなイメージ）とすれば、鋼橋の更なるコストダウンに寄与する（中間横桁は意外に高価）ものと考えている。

#### ⑥桁端部

藁科川橋では景観上の理由から桁端ブラケットを設けることができなかったが、3mを越える張出し床版を桁端ブラケットなしで設計する場合、一般部に比べてプレストレス導入量を増加させる、あるいは床版厚を厚くするといった対応をとることになるが、何れにしても橋軸直角方向にプレストレスが導入されないことには成立しない。ここで問題になるのが伸縮装置である。一般的な鋼製フィンガージョイントの場合、伸縮装置は床版施工に先だって鋼桁上に架設しておくので、床版へのプレストレス導入を伸縮装置が拘束する恐れがある。

藁科川橋では、床版施工後に伸縮装置を架設できるように床版端部にアゴを設ける（PC桁タイプ）コンパクトな鋼製フィンガージョイントを計画していたが、昨今の

問題で伸縮装置が桁端補強ボックスを有する鋼製フィンガージョイントに変更されることとなり、これが不可能となってしまった。このため、伸縮装置そのものを桁端ブラケットと考える設計に転換し、伸縮装置は鋼桁にHTBで連結することとしたが、設計的に苦しいことは否めない。

やはり桁端ブラケットは設けるべきであるから、より景観に配慮した桁端ブラケットの構造を再考するといった対応が必要になってくると思われる。

一方、桁間部については、巻き立てコンクリートと床版、伸縮装置との取り合い、あるいは施工順序が問題となる。一部で床版と桁端の巻き立てコンクリートの縁を切る動きもあるらしいが、桁端部の床版は剛な巻き立てコンクリートで支持することが最善と考える。藁科川橋では図-8に示した方法を検討中であるが、これがベストの方法かどうかはまだわからない。

#### ⑦開断面か閉断面か

開断面箱桁の特徴は床版への横締めプレストレス導入効率が良いことであるが、最近の研究成果<sup>13)</sup>によれば、閉断面箱桁においても箱桁直上に床版コンクリートを打ち下ろす等によって開断面箱桁とほぼ遜色ない結果が得られるようになってきているようである。一方、形状保持材が必要となることや、PCF版のコスト等、開断面箱桁にもまだ改善の余地は残っていると思われる。

このようなことから、場所打ちPC床版を有する鋼箱桁橋に開断面箱桁を採用すべきか、閉断面箱桁を採用すべきかの議論はさらに検討が必要と考える。

## <謝 辞>

藁科川橋の設計ならびに施工を進めるにあたり、日本道路公団静岡建設局、同 静岡工事事務所、高速道路技術センター「長支間場所打ちPC床版の設計施工に関する技術検討委員会（委員長＝松井繁之大阪大学大学院教授）」、(社)日本橋梁建設協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会などのご指導、ならびにご協力をいただいた。誌面を借りてこれらの関係各位に厚く御礼を申し上げ、本稿を閉じることとする。

## <参考文献>

1) 本間淳史，長谷俊彦，榊原和成，中村和己，上原正，河西龍彦：長支間場所打ちPC床版の設計と施

工－第二東名高速道路藁科川橋－，橋梁と基礎，pp.2～10，2002.10

2) 河西龍彦，本間淳史，上原 正，松井繁之：鋼2主桁橋長支間場所打ちPC床版の合理的施工法に関する研究，鋼構造年次論文報告集，pp.173～180，2002.11

3) 猪熊康夫，本間淳史，丸山 勝，河西龍彦：長支間場所打ちPC床版の設計と施工計画（第二東名高速道路藁科川橋），第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.1～6，2000.10

4) 例えば，三木千壽，山田真幸，長江 進，西 浩嗣：既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価，土木学会論文集，No.647／I-51，pp.281-294，2000.4

5) 大垣賀津雄，八部順一，中藪昭広，中村 元，長井正嗣：PC床版連続合成2主桁橋の合理的設計，施工法，土木学会論文集，No.679／VI-51，pp.65～80，2001.6

6) 生駒 元，鈴木松雄，岩下 宏，河西龍彦：プレキャストPC床版を有する鋼少数主桁橋の合理化・省力化（飛鳥高架橋西（鋼上部工）工事），宮地技報，No.14，pp.55～60，1998

7) 石川敏之，寺田典生，福永靖雄，中村和己，田中一：カップラージョイントスタッドのせん断耐力および疲労強度特性，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1355～1362，2001.3

8) 高橋昭一，橋 吉宏，志村 勉，森下弘行，伊藤博章，三木千壽：少数主桁橋の横桁取付構造に関する実験検討，土木学会論文集，No.570／I-40，pp.107～118，1997.7

9) 河西龍彦，村田 茂，中島義信，竹田憲史：トラス鉄筋付PCF版合成床版（ハーフプレハブ合成床版）の開発，第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.13～18，2000.10

10) 国土交通省，(財)土木研究センター，他：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その4），pp.225～249，2001.1

11) 猪熊康夫，大橋 岳：第二東名高速道路の免震支承の標準化に関する検討，橋梁と基礎，pp.11～15，1998.12

12) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕，2002.3

13) 亀川博文，竹野晃司，春日井俊博，北村明彦：場所打ちPC床版を有する閉断面箱桁橋の床版応力性状について，横河ブリッジグループ技報，No.30，pp.81～91，2001.1

2002. 10. 23 受付