

東海大府高架橋におけるプレキャストPC床版の設計と施工

水口 和之*1・村山 陽*2・北山 耕造*3・山下 茂樹*4

1. はじめに

第二東名高速道路 東海大府高架橋はPC床版を有する鋼少数主桁橋であり、JHではコスト縮減・構造の合理化を目指し技術開発を進めてきた。床版工として採用されたプレキャストPC床版(以下、PCa床版と略す)は、品質管理された工場で製作され、プレテンション方式により橋軸直角方向(床版支間方向)にプレストレスが導入される。工場内にストックされたPCa床版は、トレーラーと専用架台により現場架設位置まで搬入され、地上に据え付けられたトラック・クレーンにより鋼桁上に敷設される。敷設後のPCa床

版相互を連結する方法として、今回新たに鉄筋の重ね継手工法の一つであるRCループ継手工法を採用した。RCループ継手は、従来のPC鋼材を配置して橋軸方向を連続化する方法に比べコスト・維持管理で優れている。

東海大府高架橋では、従来と比べて6mを超える長支間となることや、PCa床版の橋軸方向連結に用いたRCループ継手の国内実績が少ないことなどから、多くの解析・実験を行いその安全性を確認している。特に、RCループ継手に対しては、縮小モデルにより疲労耐力と破壊形態の把握を目的とした定点繰返し載荷疲労試験を実施した。さらに、実物大供試体(単純版)による実橋荷重レベルの移動載荷試験

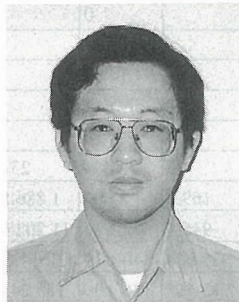


写真-1 全景



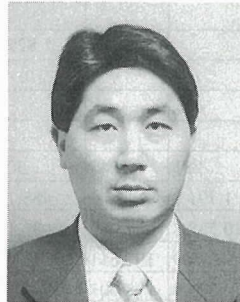
*1 Kazuyuki MIZUGUCHI

日本道路公団 名古屋建設局
建設第二部 構造技術課



*2 Akira MURAYAMA

日本道路公団 名古屋建設局
名古屋工事事務所



*3 Kouzou KITAYAMA

(株)ピー・エス 名古屋支店
技術部 設計課



*4 Shigeki YAMASHITA

(株)ピー・エス 名古屋支店
工務部 工事課

を実施し、疲労耐力・長支間床版の挙動把握を行った。

本橋は平成7年10月に工事に着手し、平成9年11月現在ほぼ工事を完了している。本文は、東海大府高架橋の工事完了にあたり、これまでに行ってきた解析・検討や現場での施工結果について報告するものである。

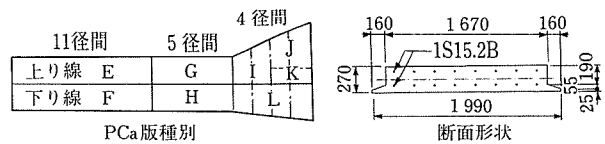


図-2 PCa版種別

2. 橋梁概要

本橋の工事概要を以下に、標準断面を図-1に示す。

橋 長： 492.7m+299.3m+182.5m=974.5m

道路規格： 第1種2級

設計速度： 100km/h

設計荷重： B活荷重

形 式： 鋼11, 5径間連続3主桁桁橋
鋼4径間連続4主桁桁橋

有効幅員： 上り線 14.174m~24.750m

下り線 15.282m~18.750m

平面線形： R=710m~∞

縦断勾配： ←-2.52% 2.00%→

横断勾配： 上り線 7.5%~2.0%

下り線 7.5%~-2.0%

PCa床版数量： 図-2, 表-1参照

3. 設 計

3.1 鋼少数主桁橋

ここでは、鋼桁の少本数化および横構の省略により製

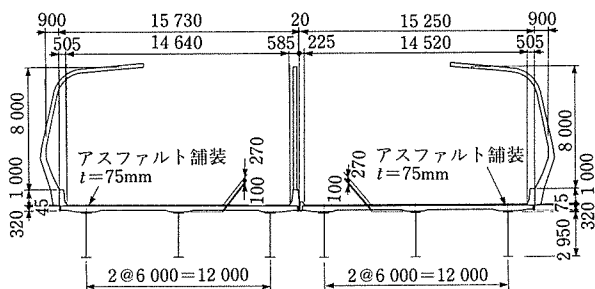


図-1 標準断面

作工数、架設部材数を減らすことができる構造を鋼少数主桁橋と呼ぶ。こうした構造は、プレストレスの導入により床版の耐久性が飛躍的に向上し長支間床版への適用が可能となったことや、床版による荷重分配効果を積極的に考慮することにより、採用が可能となった。

以下に第二東名高速道路で採用されたPCa床版を有する鋼少数主桁橋について、従来形式の多主桁橋との比較を示す。

- 1) PC床版の採用により床版支間6m程度とすることができ、主桁本数を減らすことができる。
- 2) これにより、全体の剛性を落とさずに、鋼重や部材数の減少が可能となるため加工工数の少ない構造となり、従来形式に比べコスト削減が期待できる。
- 3) 横桁を10m間隔とし下横構を省略した構造としたことから、主桁の部材数の減少と相まって、加工や架設の省力化が期待できる。
- 4) PCa床版を採用することにより、現場工期の短縮と架設の省力化が可能となる。
- 5) PCa床版の採用により、工場での集中的な品質管理ができることおよび鋼部材については部材数の少ない構造であることから、維持管理の容易な構造となる。

3.2 設計方針

床版は、PC床版として各限界状態を適切に定めて設計を行っている。また、設計曲げモーメントは、道路橋示方書(以下、道示と略す)の等方性版としての曲げモーメントと異方性を考慮したFEM解析との結果を比較し決定している。

鋼少数主桁橋のPCa床版の設計上の特徴としては、以下のような点が挙げられる。

表-1 PCa床版数量

項目	仕 様	単位	上り線					下り線				合計	
			11径間	5径間	4径間		小計	11径間	5径間	4径間	小計		
PCa床版面積	タイプE版	m ²	6 921					6 921				0	6 921
	タイプF版	〃					0	7 339				7 339	7 339
	タイプG版	〃		4 422			4 422					0	4 422
	タイプH版	〃					0	4 323			4 323	4 323	
	タイプI版	〃			1 829		1 829					0	1 829
	タイプJ版	〃				1 098	1 098					0	1 098
	タイプK版	〃					617	617				0	617
	タイプL版	〃					0			3 015	3 015	3 015	
PCa版枚数	枚		221	143	50	36	36	486	231	144	86	461	947
コンクリート	σ _{ck} =500kgf/cm ²	m ³	1 791.9	1 146.0	485.1	301.3	169.8	3 894	1 886.5	1 122.8	792.9	3 802.2	7 696.3
型 枠		m ²	10 533.8	6 738.9	3 036.1	1 671.9	945.5	22 926	11 202.4	6 604.9	4 655.8	22 463.1	45 389.3
鉄 筋	SD345 D16以上	kg	300 669	191 611	75 939	46 994	25 666	640 879	321 439	187 543	129 457	638 439	1 279 318
	〃 D013	〃	152 999	98 007	39 181	22 448	13 465	326 100	155 243	92 934	65 639	313 816	639 916
P C 鋼 材	IS15.2	〃	69 153	44 037	15 351	3 622	2 008	134 171	74 447	38 269	19 171	131 887	266 058
高さ調整金具		個	1 326	858	400	216	144	2 944	1 386	864	688	2 938	5 882
シ ー ス	φ42	m				4 058	2 286	6 344			46	46	6 390

- 1) 鋼桁の床版としてはこれまでに例のない長支間床版であり、独自の設計曲げモーメントの設定が必要である。
- 2) 橋軸直角方向にプレストレスが導入されているが、橋軸方向はRC構造であり、版としての異方性が大きい。これを考慮した設計が必要である。
- 3) 橋軸方向の連続化は、PCa床版をRCループ継手で一体化している構造であり、長期的な輪荷重の荷重による損傷パターンが把握されていない。

床版の設計では、床版の損傷パターンを分析し長期的な耐久性を確保するために適切な床版厚や鉄筋・PC鋼材の量を定める必要がある。しかし、鋼少数主桁橋のようなPCa床版の使われ方は日本では例がなく、道示に従って設計するだけでは安全性・耐久性を証明することにならないこと、また無駄を省いた合理的な設計を目指すことから、FEM解析や実物大の移動荷重試験による確認実験を併用し、現行の技術基準を勘案したうえで、以下のような設計方針で設計することとした。

- 1) 道示の曲げモーメント式とFEM解析とを比較し最も厳しい設計曲げモーメントを考慮する。FEM解析では版の異方性をパラメトリックに設定し、異方性の度合いに応じた曲げモーメントの変化を考慮する。
- 2) 設計の照査項目は、死荷重時・活荷重載荷時・風荷重時の各荷重状態の照査を行う。
- 3) 橋軸直角方向については、プレストレスのみで補強するのではなく、鉄筋で十分に補強し有害なひび割れが生じないように配慮する。
- 4) 橋軸方向については、RC構造物として有害なひび割れが生じないように配慮するとともに、ループ継手部が十分な耐久性を有することを確認する。なお、鉄筋応力度は疲労の影響を考慮して引張応力度の制限値を定める。

3.3 設計曲げモーメント

床版の設計曲げモーメントは、床版の異方性が大きいことから、道示に示されている等方性版としての設計曲げモーメントをそのまま用いることはできないと考えた。また、床版の異方性は、床版厚・床版支間・鉄筋量・支点条件などによっても異なることから、設計にあたってはこれも考慮する必要がある。

そこで、道示の設計曲げモーメントと異方性を変えたいくつかのモデルによるFEM解析の結果を比較し、安全側となるような設計曲げモーメントを与えることとした。また、床版の構造解析では、単純に許容応力度法により断面決定をするのではなく、現段階で考えられる限界状態を設定して、それらを満足するように配慮した。

長支間床版の活荷重断面力算出のフローチャートを図-3に、連続版単純支持モデルによるFEM解析結果と道示設計曲げモーメント値を比較した結果を表-2に示す。

この解析では、橋軸直角方向と橋軸方向の異方性により橋軸方向で負担している曲げモーメントが、橋軸直角方向へ移行することがわかった。この結果より、橋軸直角方向の設計曲げモーメントは、FEM解析結果より安全側となる

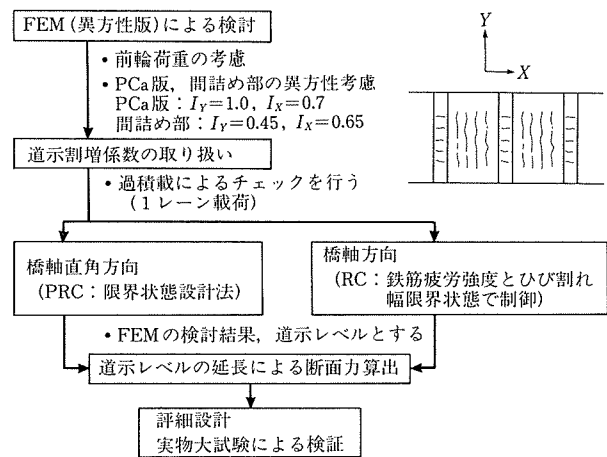


図-3 活荷重断面力算出フロー

表-2 FEM解析結果(曲げモーメント比)

解析モデル		橋軸直角方向		橋軸方向
		支間部	支点部	支間部
等方性版	FEM/ 道示Ⅱ式	0.77	1.20	1.06
	FEM/ 道示Ⅲ式	0.77	0.75	1.06
異方性版	FEM/ 道示Ⅱ式	0.79	1.38	0.76
	FEM/ 道示Ⅲ式	0.79	0.90	0.76

注) 床版支間は支持桁中心とし、6.0mおよび9.0mのケースで検討している。

道示Ⅲ コンクリート橋編 5.5.1式を準用することとした。

橋軸方向の設計曲げモーメントは、等方性版とすれば道示で与えられる値より大きな値を与えるが、PCa床版とRCループ継手部との異方性を考慮すれば、道示Ⅲ コンクリート橋編 5.5.1式を準用することで設計が可能と判断した。

なお、長支間床版は従来の床版と異なり、曲げが支配的となるものと考えられる。床版支間に比例して床版厚が厚くなることと、PC床版はプレストレスの効果によりせん断破壊面の角度も緩くなり、押抜きせん断疲労耐力は向上することから、せん断に対する照査を省略した。

3.4 床版厚

一般的に床版厚は、床版支間方向の検討により決定されるが、RC構造である橋軸方向のループ鉄筋は、ループ鉄筋の配筋・コンクリート打設を考えた場合D19mm鉄筋を150mm間隔で配筋することが製作・施工の限界であると考えた。また、図-4に示すようにPCa床版のループ部突起形状とループ鉄筋形状の関係から下縁側鉄筋の配筋位置が決定される。こうした制約を受けることから、今回採用したPCa床版の厚さは橋軸方向の検討により決定される。

東海大府高架橋における床版厚は、上記に述べたD19mm鉄筋を150mm間隔で用いて、鉄筋疲労とひび割れ幅(一般環境)を満足するように定めた場合、道示に示された最小床版厚とほぼ同程度の厚さとなった。このとき、橋軸直角方向の必要有効プレストレス量は軸圧縮応力度換算で50kgf/cm²程度、橋軸方向鉄筋の引張応力度は1600kgf/cm²程度であった。

また、張出床版先端部は、壁高欄・遮音壁・風荷重等の影響により大きな曲げモーメントを受ける場合があるので、PC鋼材配置・鉄筋配置を考慮したうえで床版厚を決め

ている。

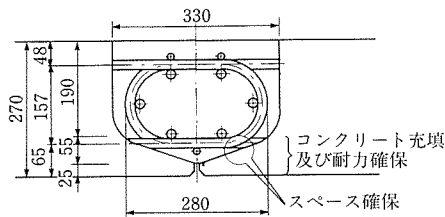
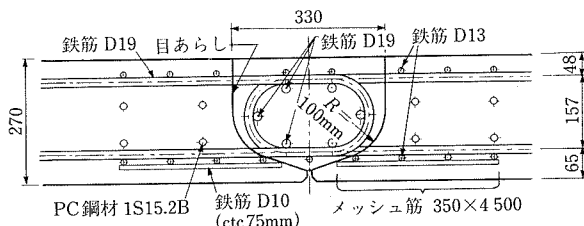


図-4 ループ鉄筋と突起形状

3.5 RCループ継手の設計

RCループ継手は、橋軸方向のPCa床版相互をループ状鉄筋の重ね継手により、連続一体化する場所打ち継手工法である。現在のところ、ループ状重ね継手に関する記述はDIN 1045にあるのみであり、本橋ではこのDINの規定に準拠し接合部の構造を定めた。耐久性や連続性については大型移動載荷試験機による疲労耐久性試験により確認した。



* D10版長方向のピッチはメッシュ組立最小間隔の75mmとする。

図-5 RCループ継手

本橋におけるループ継手の設計方針としては、次のように考えた。

- 1) 必要継手長算出にあたっては、DIN 1045の規定を準用。
- 2) ループ継手の配筋量は、製作・架設時の誤差およびコンクリート打設時の充填性を考慮し、鉄筋径19mmの150mm間隔を上限とする。
- 3) PCa床版下側の突起形状は、コンクリートの充填性と製作後の角欠けおよびループ鉄筋との取合いに配慮し、先端25mm、付け根厚80mmとし、付け根部はせん断耐力を増す目的でサークルハンチを設ける。
- 4) 疲労耐久性試験の結果より、RCループ継手部の橋軸直角方向に対するひび割れを制御する目的でループ鉄筋の外側にも鉄筋を配置する。
- 5) コンクリートには収縮補償用程度の膨張材(膨張材量40kg/m³)を使用する。
- 6) 十分な打継目処理を行う。

RCループ状継手の必要重ね継手長の算出は、次式によった。

$$La = f \cdot a_0 \cdot (A_{se}/A_{sv}) \cdot k \geq 1.5dB \geq 20cm$$

ここに、

- La : 必要継手長
 f : 鉄筋の定着形状による係数
 フック付き鉄筋、ループ状鉄筋に対して
 0.5

- a_0 : 基本定着長
 $a_0 = (\sigma_{sa}/4\tau_{oa}) \cdot \phi$
 σ_{sa} : β_s 鉄筋の降伏強度/ γ 設計安全係数
 $= 3500/1.75 = 2000\text{kgf/cm}^2$
 ここでは、1600kgf/cm²に制限する。
 τ_{oa} : 基本付着応力度
 $\sigma_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$ に対して $\tau_{oa} = 30\text{kgf/cm}^2$
 ϕ : 鉄筋の公称直径
 A_{se}/A_{sv} : 必要鉄筋断面積/配置鉄筋断面積 $\geq 1/3$
 k : 継手鉄筋のずらし量の影響を考慮した係数
 重ね継手位置が一断面に集中する場合、
 $\phi 14$ 以上に対して2.2
 dB : 鉄筋曲げ直径
 $dB \geq (1.4 + 2.8\phi/e) \cdot \phi \cdot \sigma_e / \beta_{wN}$
 σ_e : 曲げ始点での鉄筋応力度
 e : ループ面の中心間隔

D19の時の必要継手長

$$La = 0.5 \times (3500 \times 1.9) / (2.2 \times 4 \times 30) \times 1.0 \times 2.2 = 27.7\text{cm} \geq 1.5 \times 13.8 = 20.7\text{cm}$$

3.6 PCa床版の設計

従来のPC床版では、活荷重載荷時の制限値としてコンクリートに引張応力を発生させないフルプレストレス状態を規定していた。また、RC床版における鉄筋の発生応力度を1400kgf/cm²以下にされている。これに対し第二東名高速道路における鋼少数主桁橋のPC床版の設計では、フルプレストレスで設計するよりも若干の引張応力度の発生を許容し、適切に鉄筋で補強した方がコンクリートの打設性能も向上し構造物の耐久性上好ましいことから、フルプレストレスにこだわらずに設計している。また、鉄筋引張応力度の制限値に関しても、従来の床版とは破壊メカニズムが違うことや実験や解析でせん断耐力や疲労耐久性を確認していることから、鉄筋疲労強度(繰返し回数500万回)とひび割れ幅の限界状態で制限すれば長期的にも床版機能を損なうことはないと判断し、鉄筋引張応力度を1600kgf/cm²とした。

PCa床版の設計フロー図を図-6に示す。

(1) 主要材料

PCa床版コンクリート	$\sigma_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$
RCループ継手部コンクリート	$\sigma_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$
プレテンションPC鋼材	SWPR7BL 1S15.2(低レラクセッション用)
ポストテンションPC鋼材	SWPR19L 1S21.8(低レラクセッション用)
鉄筋	SD345

(2) 制限値

1) 橋軸直角方向

PC部材に対する各荷重作用状態に対するコンクリートの引張側応力状態は、下記のとおりとした。

死荷重作用時	引張応力発生を許さない
活荷重作用時	曲げひび割れを生じさせない
風荷重作用時	許容曲げひび割れ幅まで許す

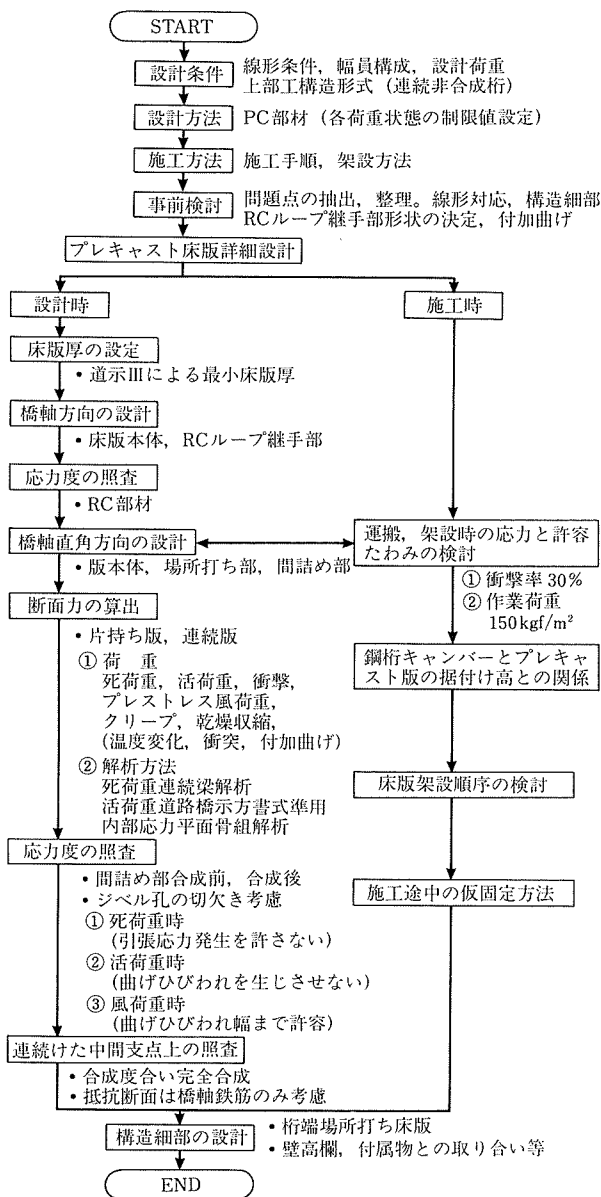


図-6 PC床版の設計フローチャート

① コンクリートの強度・制限値は、圧縮強度の特性値 σ_{ck} (設計基準強度) に基づき下記のように定めた。

- 設計引張強度 $\sigma_{tk} = 0.5 \sigma_{ck}^{2/3}$
- 設計付着強度 $\sigma_{bok} = 0.6 \sigma_{ck}^{2/3} \leq 43 \text{kgf/cm}^2$ (異形鉄筋)
- 設計支圧強度 $\sigma_{ak} = \eta \cdot \sigma_{ck}$
ただし、 $\eta = A/Aa \leq 2$
ここに、 A : コンクリート面の支圧分布面積
 Aa : 支圧を受ける面積

② 曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの圧縮応力度は下記の値を制限値とした。

- 死荷重作用時においては、 $\sigma_{cd} = 0.4 \sigma_{ck}$ の値。
- プレストレス導入直後においては、検討時点のコンクリートの圧縮強度の特性値の1/1.7の値。
- プレストレス導入直後の軸方向力によるコンクリート軸方向応力度は、検討時点におけるコン

リート圧縮強度の特性値の1/2の値。

③ 曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの引張応力度は、下記の値を制限値とした。

- コンクリートの設計引張強度に部材寸法効果を考慮した次式による。

$$\sigma_{td} = k_t \cdot \sigma_{tk}$$

ここに、係数 $k_t = 0.60 / (h^{1/3})$

$k_t \geq 1.0$ となるときは、 $k_t = 1.0$ とする

h : 部材の高さ (m)

- 施工時の設計引張強度値は、検討時点におけるコンクリートの圧縮強度の特性値を用いる。

④ 曲げモーメントおよび軸方向力によるPC鋼材の引張応力度は、下記の値を制限値とした。

- 死荷重作用時においては、 $0.7 \sigma_{pu_k}$ の値
- プレストレス導入時および導入直後においては、 $0.8 \sigma_{pu_k}$ または $0.9 \sigma_{py_k}$ 、 $0.7 \sigma_{pu_k}$ または $0.85 \sigma_{py_k}$ の値。

⑤ 鉄筋の腐食に対する許容ひび割れ幅 w_a は、コンクリート標準示方書7.3.3に基づき、環境条件、かぶり c を考慮して表-3のように定めた。

表-3 許容ひび割れ幅 w_a (単位: cm)

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋	0.005C	0.004C	0.0035C
PC鋼材	0.004C	—	—

⑥ 曲げひび割れの検討を行う場合は、次式によって求めた曲げひび割れ幅 w が許容ひび割れ幅 w_a 以下であることを確かめた。

$$w = k \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} (\sigma_{se} / E_s + \epsilon'_{cs})$$

ここに、 k : 鋼材の付着性状の影響を表す定数で、一般に、異形鉄筋の場合1.0としてよい。

c : かぶり (cm)

c_s : 鉄筋の中心間隔 (cm)

ϕ : 鉄筋径 (cm)

ϵ'_{cs} : コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するための数値 (一般の場合、 150×10^{-6} 程度としてよい。PRC部材の有効プレストレスの計算で乾燥収縮による鉄筋拘束を考慮している場合には0としてよい)

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度が500kgf/cm²の場合の制限値を参考に表-4に示す。

表-4 (単位: kgf/cm²)

設計基準強度 σ_{ck}	500		
設計引張強度 σ_{tk}	31.5		
曲げ圧縮応力度の制限値 σ_{cd}	曲げ引張応力度の制限値 σ_{td}		
死荷重作用時	200	活荷重作用時	K1×31.5
活荷重作用時	—	施工時	31.5
プレストレス導入直後	205	プレストレス導入直後	K1×24.8

合、床版の運搬、架設上PCa版を分割しなければならない。このときの活荷重載荷時における支持桁上の分割目地部は、床版上縁側が負曲げ域になることからフルプレストレス状態とした。また、PCa床版を分割した場合には、プレテンション方式とポストテンション方式の併用使用となる。プレテンション鋼材量の決定は、PCa版運搬・架設時に作用する荷重に対して考慮した。

実験結果より橋軸方向は、ひび割れ発生後におけるPCa床版とRCループ部の鉄筋ひずみ値および経時変化は認められず双方に違いが見られなかったことから、床版の橋軸方向は連続したRC部材として計算し、必要鉄筋量を配置するものとした。

(4) 連続桁の中間支点上の照査

連続桁中間支点付近は、非合成桁橋であってもずれ止めや桁フランジとの付着による合成効果の影響で床版に引張力が働くことになる。

連続桁の中間支点付近を、張出し部を有する単純桁にモデル化して行われた静的載荷試験によると、一般的な非合成桁橋のスタッドのフレキシビリティ定数(f)にはほぼ相当するf=1.9において、コンクリート床版に作用する軸方向力は、中間支点上で完全合成桁(f=0)の場合の解析値より、40%程度小さくなる結果が得られている。

本橋の場合、中間支点付近のスタッドはφ19(6列)が1.0m間隔で配置されており、合成低下度は25%程度であった。

床版機能を確保できる範囲として、橋軸方向鉄筋の応力については制限値を1800kgf/cm²とした。この時の抵抗断面は、コンクリート断面を無視し、橋軸方向鉄筋を桁の断面に算入した鋼断面とした。

4. 施 工

平成8年7月より工場においてPCa床版の製作を、現場架設は平成8年11月より開始した。

以下にPCa床版の製作から壁高欄施工までの施工フローチャートを示す。

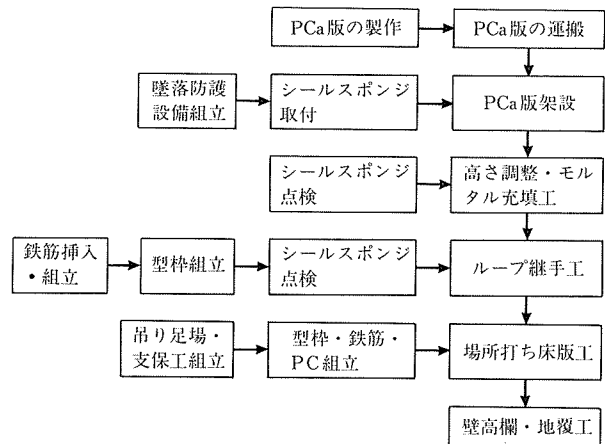


図-8 施工フローチャート

表-8 PCa版形状表

版種別	区 間	線 形	鋼主桁数	鋼主桁間隔	全 幅 員	版 幅	版 厚	横断勾配	張 出 長	PC鋼線本数	製作枚数 (計)								
A	上り5径間標準異形	直線	3	一定	変化	一定(標準)	一定(標準)	変化	変化	1 289~2 642	143	512							
	上り11径間標準版	曲線									6 000		15 579~15 780	1 990	270 370	-7.5%~7.5%	1 569~2 418	18	195
	下り11径間標準版	曲線									6 000		15 579~15 780	1 990	270 370	-7.5%~7.5%	1 569~2 418	18	174
B	下り11径間標準版	曲線	3	一定	変化	一定(標準)	一定(標準)	一定(標準)	変化	18	18	162							
	下り5径間標準版	直線									6 000		15 348~15 069	1 990	270 370	-2.0%	1 884~1 749	16	112
	下り5径間異形版	曲線									6 000		15 348~15 069	1 990	270 370	-2.0%	1 525~1 270	16	32
C	上り11径間標準版	曲線	3	一定	変化	一定(標準)	一定(標準)	変化	変化	1 289~2 642	4	13							
	下り11径間標準版	曲線									6 000		15 579~15 780	1 990	270 370	-7.5%~7.5%	1 569~2 418	18	9
D	上り11径間幅広版	曲線	3	一定	変化	一定(幅広)	一定(標準)	変化	変化	1 762~1 976	6	6							
E	上り11径間異形版	曲線	3	一定	変化	一定(標準)	一定(標準)	変化	変化	1 714~1 966	14	14							
											6 000		15 691~15 781	1 806~1 990	270 370	2.0%~7.5%	1 706~2 032	18	
F	上り11径間幅広版	曲線	3	一定	変化	一定(幅広)	一定(標準)	変化	変化	1 762~1 976	2	2							
											6 000		15 606~15 775	2 190	270 370	2.0%~7.5%	1 706~1 841	20	
G	下り11径間異形版	曲線	3	一定	変化	一定(標準)	一定(標準)	変化	変化	2 018~2 642	30	30							
H	上り4径間標準版	直線	4	変化	変化	一定(標準)	一定(厚版)	一定	変化	1 593~2 083	24	50							
											4 021~5 926		15 951~21 398	1 990	270 390	2.0%	1 805	16	
I	上り4径間分割版	直線	4	変化	分割変化	一定(標準)	一定(厚版)	一定	変化	1 689~1 781	19	19							
											6 019~6 890		21 589~24 169	1 990	270 390	2.0%	1 805	シース7 6	
J	上り4径間分割版	直線	4	変化	分割変化	一定(標準)	一定(厚版)	一定	変化	1 751~1 827	17	17							
											6 916~7 496		24 306~26 062	1 990	270 390	2.0%	1 805	シース8 6	
K	下り4径間標準版	直線	4	変化	変化	一定(標準)	一定(標準)	一定	変化	10	48	86							
											4 013~5 749		15 420~20 271	1 990	270 370	-2.0%	1 750	12	
										14	19								

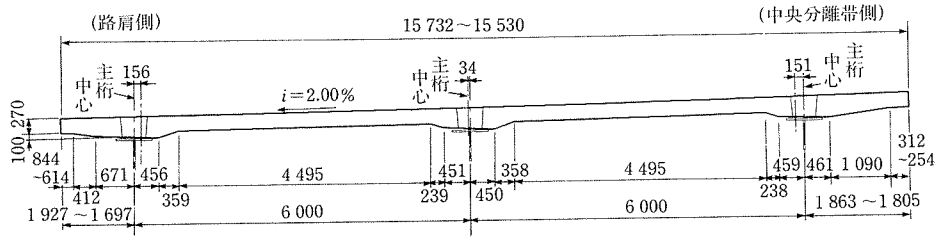


図-9 標準断面

4.1 PCa床版の製作

PCa床版は、ロングライン方式にて1日に最大4枚を製作した。作業の合理化のため、側枠・鉄筋・PC鋼材をあらかじめ製作ヤード横で組み立て、底枠にセットする方法を採用した。また、PCa床版上筋は、メッシュ筋とすることで組立ての合理化を図っている。

東海大府高架橋におけるPCa床版製作枚数は911枚であり、その特徴は以下のとおりである。

(1) PCa床版製作の特徴

1) 型枠構造

PCa床版の側面にループ鉄筋が150mm間隔で配置されていることから、型枠の組立て・脱枠作業を容易に行えるよう楕円形状の型枠と半割のゴムパット(補助型枠)を組み合わせた構造を採用した。

2) 鉄筋の組立て

鉄筋の組立てはあらかじめ製作ヤード横にて行い、前日にコンクリート打設・養生を行った製品を取り出した後、直ちにセットすることで工程の短縮を図っている。

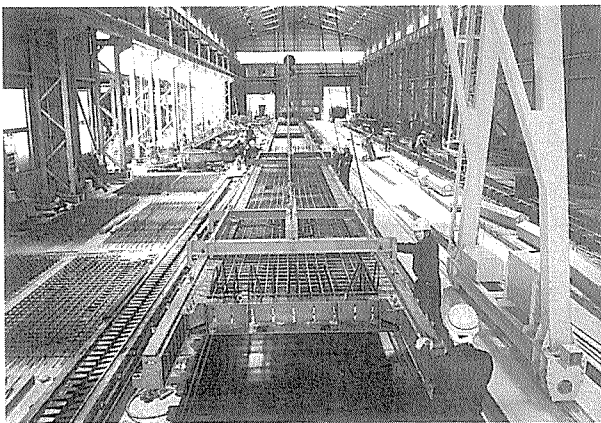


写真-2 型枠・鉄筋組立て

3) コンクリート打設

コンクリートの打設は、自走式コンクリート打設機により、表面のかき均し作業をなくした。

4) 製品の仮置き

PCa版は製作完了したのから順次場内運搬し、仮置きヤードにストックすることになるが、工程の関係で相当数となることから仮置きヤードの敷設面積を減らす必要がある。そこで、PCa床版に埋設される壁高欄鉄筋形状を図-10に示す形状とし、最大7段までPCa版を積み上げることが可能となった。

4.2 運搬

PCa床版長は標準で15.7mあり、運搬・架設時にはPCa床版のたわみおよびねじれ防止用の補強架台が必要となる。

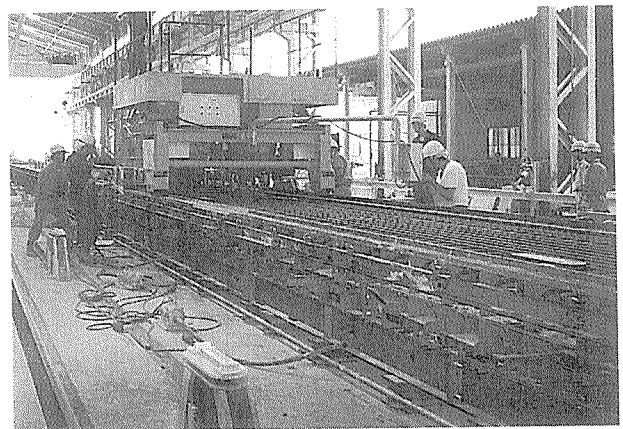


写真-3 コンクリート打設

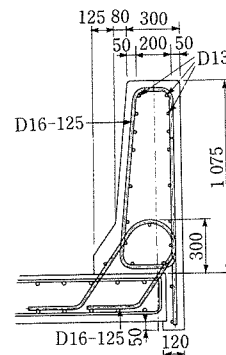


図-10 壁高欄配筋図



写真-4 レイタンス処理

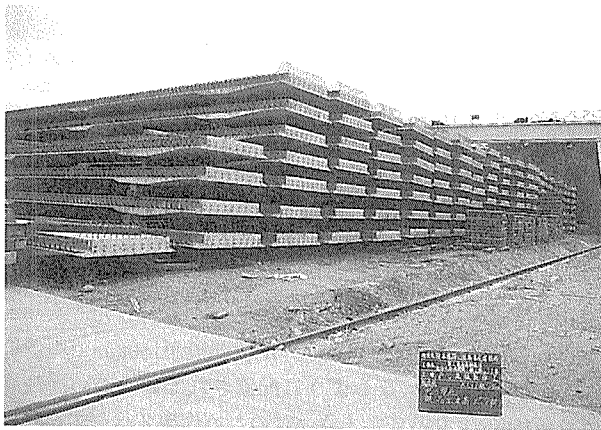


写真-5 仮置き状況

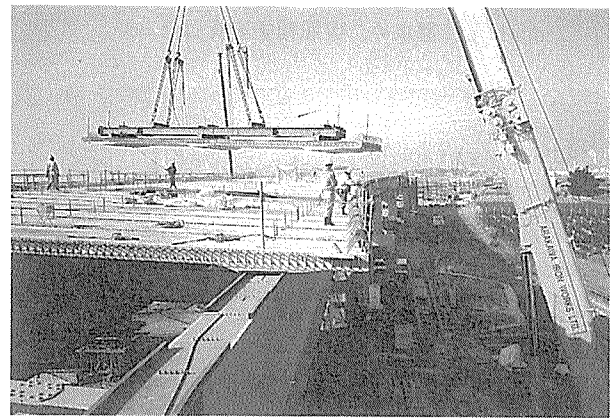


写真-7 PCa床版架設状況

PCa床版にひび割れを発生させないたわみ量は、両外桁位置を受け点とした支間12.0mのとき25mmまで許容できる。運搬架台に発生するたわみは、運搬中の衝撃を考慮し20mm以下になるようにした。またPCa床版と運搬架台との接点には、衝撃緩衝材としてネオプレンゴムを使用している。

4.3 架 設

PCa床版の架設に際して、運搬で述べたようにPCa床版のたわみ防止を目的とした専用吊り架台を使用した。当工事は、一部でランプ部と接続するため拡幅区間があり、PCa床版長も標準部より長くなるため、吊り架台もそれに耐えうる構造とした。吊り架台は、PCa床版の高さ調整用ボルトを利用して固定した。一般には、吊り架台と固定用ナットを別に配置する方法を採用するが、ボルトの締込み不足等による危険を回避するためにも単純な方法が良いと判断した。

PCa床版の架設に先立って、鋼桁下面に安全ネットを張り転落防止を行う。次に、鋼桁上にモルタル充填時の型枠代わりにスポンジを張っておく。このスポンジは、事前に鋼桁天端の測量を行いモルタル高さを予測して、使用するタイプの決定を行った。PCa床版の架設用クレーンは200tf吊り油圧式クレーンを使用し、1日の最大架設枚数は10枚程度であった。

PCa床版据付けは、ループ鉄筋がPCa床版より突き出ていることから垂直に降ろすことができないため、手前より引き込む方法となる。さらに、鋼桁上にはスタッドをジョイントするナットが約40mm突き出している。したがって、

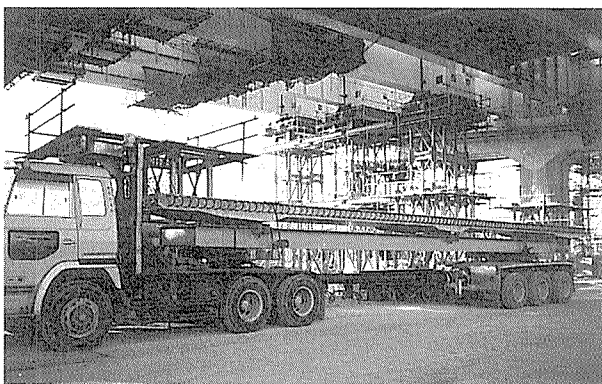


写真-6 運搬架台および荷姿

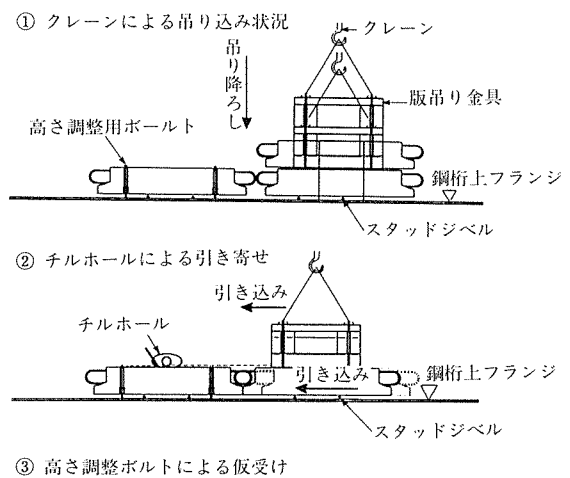


図-11 PCa床版設置要領

PCa床版の据付け高さは、鋼桁との空間が50mmになるようにしている。

4.4 スポンジについて

PCa床版と鋼桁フランジ間のスポンジは、モルタル充填時に型枠代わりとしての強度を有することが最大の条件である。さらに、PCa床版架設時にスポンジ上にPCa床版が滑っていくので、その際に切断、はがれ等がないこと、押しつぶした際に座屈を生じないことも条件となる。

今回の使用に先立って試験版を製作し、スポンジ強度確認の試験を行った。試験では、モルタル厚の変化に対応できるように3種類のスポンジを用意した。スポンジ形状は、50×50×2000、50×75×2000、75×100×2000である。さらに、PCa床版の側面にはモルタルの漏れ止め用スポンジ25×40×850を鋼桁フランジ部に、ループ継手部コンクリートのノロ漏れ防止用スポンジ20×20×8000を側面全長に使用した。

その結果を以下に示す。

- 1) スポンジの使用時の圧縮率は、80%～40%が好ましい。
- 2) スポンジ下面には、両面テープを貼り、鋼桁との取付けを簡単にした。
- 3) スポンジ上面には、フィルムテープを貼り、PCa床版の滑りを良くするとともに接続部の連続性を図った。
- 4) スポンジ高さが100mmと高い場合については、幅を

75mmにし、倒止め、座屈補強を行った。

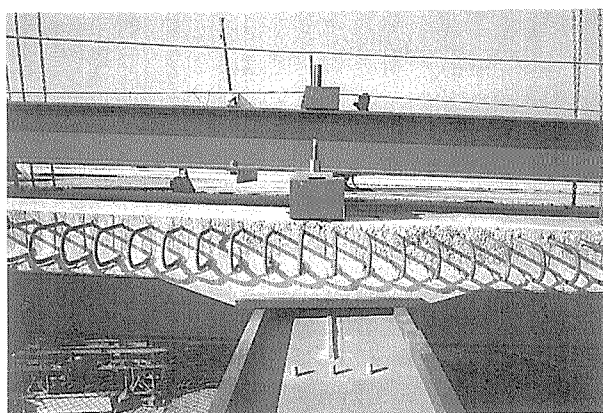


写真-8 スポンジフィルター

PCa床版間のスポンジは、コンクリート打設時にノロが漏れ出なければ良い。しかし、設計値であるPCa床版のすき間10mmは、実施工において3mm～20mmの誤差となることを想定しなければならない。これについても事前に試験を行いその形状を決定したが、PCa床版の突起部先端の厚みが20mmしかなく、圧縮した際にそのスポンジが上面または下面にはみ出てしまったり、雨天時の張付けが困難であること等、今後課題も残している。

4.5 高さ調整およびモルタル充填工

PCa床版の高さ調整要領を、以下に示す。

- 1) 鋼桁上の測点を測量し、計画高との誤差を±15mmになるように微調整する(規格値±25mm)。
- 2) 連続桁構造によるたわみの影響を考慮し、2径間前方の床版架設が完了後に調整を行う。
- 3) 調整する順番は、床版の許容たわみを考慮して行った。

モルタルは、地上にプラントを設置しグラウトミキサーにて練り上げ、モルタルポンプにて床版上まで輸送して、充填した。輸送管はφ40mmを使用した。注入は、PCa床版のジベル孔へ直接流し込むようにした。モルタルは、プレミックスタイプの無収縮モルタルを使用し、25kg袋体を1バッチあたり6袋とした。

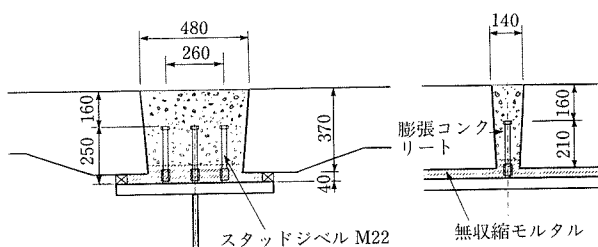


図-12 無収縮モルタル

モルタル注入にあたって特に現場で注意した点を、下記に示す。

- 1) PCa床版と鋼桁間のスポンジに隙間がないかを確認する(隙間へはコーキングを注入する)。
- 2) 注入は、桁単位で行い、低い方から順に注入し床版

下に空間が残らないようにする。

- 3) モルタルの練混ぜ水は、適温になるよう調整する(冬季は温水器を使用)。

4.6 ループ継手工

(1) 鉄筋工

ループ継手内は、写真に示すような鉄筋配置となっており、ループ内への通し筋を床版張出し先端部より挿入することになる。鉄筋の挿入は、PCa床版架設完了後クレーンで鉄筋挿入足場を吊り、順次移動しながら行った。

鉄筋の結束は、ループ鉄筋の配置間隔が150mmで両側のPCa床版より千鳥になるように配置されているため、鉄筋間隔が75mmとなってしまう。このため作業スペースが確保できず大変手間がかかっていた。そこで、鉄筋を挿入すると同時に所定の位置に固定され、組立ての省力化を図る専用スパーサーを考案し採用した。

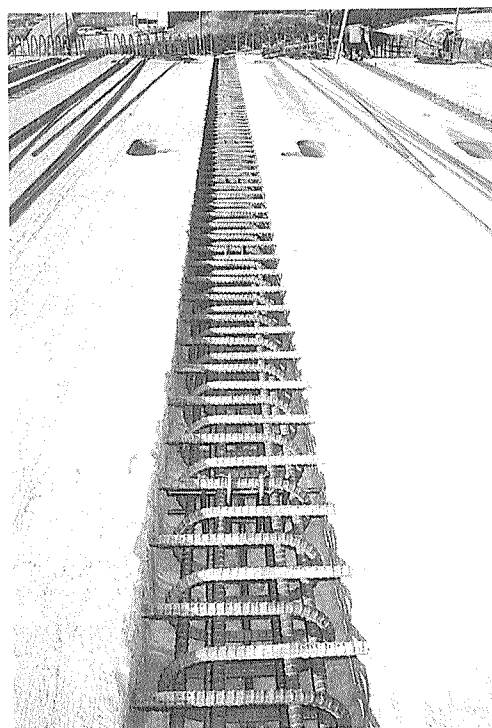


写真-9 ループ継手鉄筋とスパーサー

(2) コンクリート工

RCループ継手部に使用するコンクリートは、50N/mm²の高強度コンクリートであり、当初計画ではスランブ8cmの高性能AE減水剤を使用した配合であった。このようなコンクリートは粘性が非常に高くなることから、ポンプ車によるコンクリート打設・締固め・表面仕上げが可能であるか事前に仮設物を利用して実機試験を行うこととした。その結果、ポンプ圧送・締固め・表面仕上げのすべてにおいて困難であると判断された。そこで、配合修正を行いワーカビリティの改善を図ることとし、搬入時のスランブ値を16cmと決定した。コンクリート打設は、コンクリートポンプ車を使用し1継手ずつ行う。

なお、ループ継手部に使用するコンクリートは、打設後の乾燥収縮を低減する目的で膨張コンクリートを使用して

いる。



写真-10 コンクリート打設状況

4.7 場所打ち床版工

場所打ち床版は、平面線形およびPCa床版架設時の誤差を吸収する目的で各橋脚部に設けられている。足場および型枠支保工は、隣接するPCa床版から吊る方法で組み立てられており、その作業はすべて高所作業車を用いて行う。横締めケーブルは低レラクセーションのプレグラウトタイプの21.8mmを使用している。場所打ち床版に与えられるプレストレス力が確実に導入されるように、隣接するPCa床版との間に目地を設ける分離施工としている。

本橋の工事の中で、最も時間と労力を要する工事が場所打ち床版である。そこで、施工の合理化を図るため場所打ち床版部施工法の試験・検討を行った。その結果、隣接するPCa床版のループ目地の施工を残し、場所打ち床版を一括施工する施工方法が提案された。確認試験によりプレストレス力の分散を隣接するPCa床版1枚に留めることで、PC鋼材量が増えるものの施工が可能であることが確認された。

4.8 壁高欄・地覆

本橋の橋長は、約1km(上下線)と非常に長く、壁高欄の施工が工程に大きく影響する。壁高欄の形状は、地覆部が一体となったフロリダタイプが採用されている。この間の高欄には、将来の遮音壁設備を考慮してアンカーや電気・通信ケーブル用の管路が多数埋め込まれており、コンクリートの打設性が悪く品質の確保が懸念された。そこで、

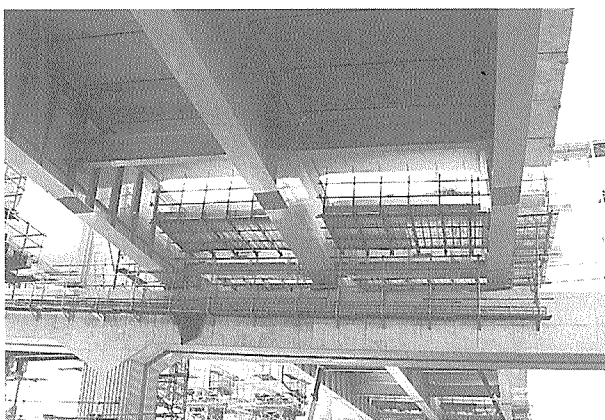


写真-11 吊り足場・吊り支保工

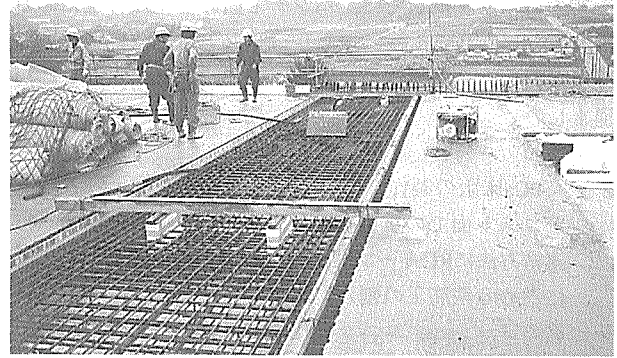


写真-12 場所打ち床版

コンクリート打設の施工試験を実施し確認を行った。

また、今回採用したループ状の壁高欄鉄筋に対する耐荷力試験を実施し、ハンドホルの設置部においても十分な耐力が確保できることを確認した。

本橋には照明柱が40m間隔で取り付けられ、壁高欄外側に設けた照明柱基礎上に設置される。この照明柱基礎については施工の合理化を図るためプレキャスト化を行っている。

5. 今後の課題

(1) 設 計

現在「第二東名神 鋼少数主桁橋梁の設計施工指針(案)プレキャストPC床版編」を「第二東名高速道路 鋼少数主桁橋梁の設計施工に関する調査研究」委員会で審議中であるが、長支間PC床版の設計法には今後検討すべき事項も多く、さらに合理的な設計が望まれる。以下に、今後のPC床版の技術開発に向けた設計上の課題を示す。

1) 活荷重による設計曲げモーメント

床版支間がさらに長支間化していくと、道示で想定される設計車両の走行形態はまれであり、道示Ⅲ コンクリート橋編 5.5.1式に準用した設計曲げモーメントで設計を行うと、過大な値を与えることになり合理的でない。今後、T過重の載荷確率を考慮した設計曲げモーメントの検討を行うとともに、耐荷力と疲労の影響を明確にした設計法の確立が望まれる。

2) 床 版 厚

東海大府高架橋では、床版厚の決定にあたり道示の最小床版厚を採用した。これは最小床版厚を確保することで、結果的に橋軸方向鉄筋の応力度が低減され疲労とひび割れ幅に対して満足することや、ループ継手部のかぶりの確保が可能となることなどから、総合的に勘案して決定した。しかし、長支間床版の床版厚は、鋼桁の負担増や床版PC鋼材に大型鋼材を使用する必要が生じるなど経済性に大きな影響を与えることから、最適な床版厚の決定方法について見直す必要がある。

3) RCループ継手

PCa床版の場合、床版支間が長大化してくると必要ループ継手長が長くなり、RCループ継手部の幅が大きくなる。したがって、PCa床版下側の突起も大きくなりループ鉄筋と干渉するため、ディテールの見直しが必要となる。

4) ハンチ形状

現在のハンチ形状では、ハンチ下面の変化点付近に応力集中が生じるという報告があり、ハンチ勾配は1:5以上または床版支間長につり合ったハンチ形状を決定することが望ましい。

(2) 製作

- 1) PCa床版の製作においては、型枠、鉄筋工の合理化がコスト面での重要な課題である。特に、PCa床版の連結方法にRCループ継手を採用したことにより制作費に占める鉄筋工の割合が高くなっていることから、鉄筋のメッシュ、ユニット化などの検討が必要である。この場合、溶接を施した鉄筋の疲労に対する問題を明確にする必要がある。
- 2) RCループ継手面のレイタンス処理の確実性と効率化の検討が必要である。
- 3) 地覆埋込み鉄筋をPCa床版仮置きの関係からループ形状としたが、平面線形のある区間の埋設鉄筋の配筋精度の確保が重要となる。

(3) 現場施工

1) RCループ継手

現場における最大の課題は、RCループ継手部コンクリート打設の合理化とRCループ継手部の配筋(軸方向筋)見直しおよびコンクリート性状(主に流動性)の改善である。RCループ継手内は、制約された空間に鉄筋が密に配筋されている。このため、コンクリート充填を確実にできるかが、床版耐力に大きく影響する。

2) 場所打ち床版

場所打ち床版部を平面線形、PCa床版設置誤差等を吸収させる目的で設けたが、4.7項で述べたように施工の合理化が必要である。今後は、平面線形に応じた施工方法(一括施工やPCa床版による施工等)を考える必要がある。

6. あとがき

東海大府高架橋は、PCa床版を用いた鋼橋の試験工事という位置づけで多くの解析や試験を行い、設計・施工方法の確立を目指してきた。特に現場では、試行錯誤を繰り返しながら施工を進めてきた。プレキャストPC床版とRCループ継手は、鋼少数主桁における合理化工法として有望であるが、一方で日本ではまだ未成熟の技術であり、今後解決していかなければいけない問題も数多くある。

鋼橋の30%を占める床版工の合理化は、コスト低減に大きな影響を与えることから、実施工でのデータ蓄積を行い、今後の技術開発にフィードバックしていくことが不可欠である。本橋の報告が今後のPCa床版の設計・施工の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工にあたり適切なご指導およびご協力をいただいた「第二東名高速道路 鋼少数主桁橋梁の設計施工に関する調査研究」委員会の方々をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 森山, 松井, 梶川, 橘, 牛島, 大沢: ループ状継手を有するプレキャスト床版接合部の疲労耐久試験, 土木学会第50回年次学術講演概要集, 1995.9
- 2) 森山, 向井, 相場, 西垣: RCループ状継手を有するプレキャストPC床版接合部の疲労破壊試験, 第5回シンポジウム論文集, (95), 1995.10
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 平成3年度版
- 4) 前田幸雄・松井繁之: 鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式, 土木学会論文, 第348号/V-1, pp. 133~141, 1984.8
- 5) F.レオンハルト, E.メニッヒ(横道英雄監訳): 鉄筋コンクリートの配筋(レオンハルトのコンクリート講座3), 鹿島出版会, pp. 63~70, 1985.4
- 6) コンクリートライブラリー79: コンクリート技術の現状と示方書改訂の動向, 土木学会, pp. 134~137, 1994.7
- 7) 松井, 角, 向井, 北山: RCループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験, 第6回シンポジウム論文集, (30), 1996.10

【1997年12月17日受付】