

論文・報告

プレキャスト床版を用いた 合成桁斜張橋の設計と施工

Design and Construction of Composite Cable-Stayed Bridge
Composed with Precast RC-Slab

堀内 岩夫*
Iwao HORIUCHI

笹川 大作**
Daisaku SASAGAWA

志村 勉***
Tsutomu SHIMURA

大橋 俊幸****
Toshiyuki OHASHI

館 暢****
Mitsuru TATE

橋 吉宏*****
Toshihiro TACHIBANA

キーワード

プレキャスト床版
合成桁斜張橋
仲良い橋
設計
施工

1. まえがき

仲良い橋は、静岡県小笠郡菊川町にある産業機械メーカー、三共製作所(株)静岡工場における新工場増設工事に伴って計画された構内連絡橋(道路橋)である。図-1に本橋の位置、写真-1に全景を示す。

本橋は東名高速道路に隣接しており、シンボル性や美観などについて発注者からの意向もあり、斜張橋が選定された。一方、本工事に当たっては現場での工事期間が上下部工を併せて6ヵ月間と短いことと、経済性などを考え、プレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋を採用することとした。

プレキャスト床版を用いることは、工期の短縮およびクリープ、乾燥収縮の低減に有利となるが、反面、版相互の連結構造、版と桁との接合構造などについての留意点も多い。また、合成桁構造とすることにより、負の曲げモーメント部では床版に引張り応力が生ずるなどの問

題がある。

本報告は、これらの問題点に新たな試みを含め種々の工夫で対処した本橋の構造設計および施工の概要について述べるものである。



写真-1 仲良い橋全景



図-1 仲良い橋の位置

2. 概要

工 事 名：三共製作所連絡橋新設工事

橋 名：仲良い橋

橋 長：111 m

支 間：110 m (径間長：65 m + 45 m)

幅 員：全幅員 10 m

橋 格：二等橋，ただし床版，床組は一等橋扱い
(T-20, L-14)

形 式：合成桁斜張橋

床 版：プレキャストコンクリート床版

$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

鋼 重：主桁，床組等 242.0 t

*川田工業(株)技術本部技術部長 **川田工業(株)技術本部技術部設計三課 ***川田工業(株)技術本部技術部設計二課 ****川田工業(株)東京工事事務所
*****川田工業(株)技術本部中央研究室

表-1 荷重と応力抵抗断面の関係

荷 重	応力抵抗断面
鋼 重	鋼桁断面
床版荷重	鋼桁断面
合成前ケーブルプレストレス	鋼桁断面
合成後死荷重	鋼桁+床版コンクリートの合成断面
合成後ケーブルプレストレス	鋼桁+床版コンクリートの合成断面
床版コンクリートのクリープ	鋼桁+床版コンクリートの合成断面
床版コンクリートの乾燥収縮	鋼桁+床版コンクリートの合成断面
活荷重	鋼桁+床版コンクリートの合成断面

善に用いられるが、本橋では、特に、床版コンクリートに作用する引張り応力の低減に対して有効になるように設定した。合成桁斜張橋における応力調整の方法としては、ベントによる支点の昇降によるものが既に発表されている³⁾が、今回は、ケーブルの張力調整により行うこととした。

これは、鋼桁をすべて架設した時点でケーブルに余分に張力を導入しておき、プレキャスト床版を架設、鋼桁との一体化を図ったのち、ケーブルの張力を緩めて床版コンクリートを含めた合成断面に正の曲げモーメントを導入するものである。具体的には、桁側定着部のシムプレートで合成前の段階で余分に挿入しておき、床版架設、間詰めコンクリートを打設して鋼桁との一体化を図った時点でシムプレートを外して桁を全体に下方に変形させる。このときに計算で導入される曲げモーメントおよび軸力を図-4に示す

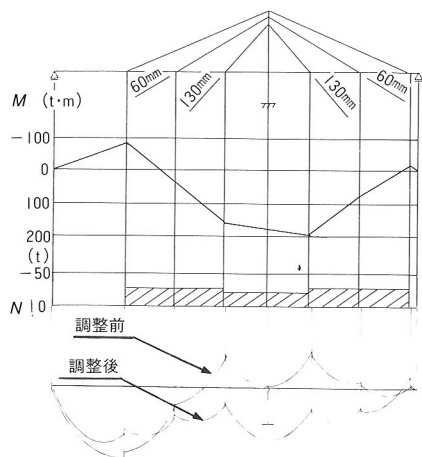


図-4 ケーブル張力調整による断面力

(4) プレキャスト床版の設計

プレキャスト床版の設計は「道示」のRC床版の設計に準じているが、主鉄筋方向については一般の合成桁と異なり、ハンチの調整によって施工誤差を吸収できないため、架設時における縦桁と主桁の相対的な高さの差を考慮した設計とした。また、配力鉄筋方向については、合

成桁の上フランジの一部として「道示」(9.2.3.2)の「引張応力を受ける版の鉄筋量および配筋」により鉄筋量の規定を満足させるようにした。

(5) プレキャスト床版の構造

プレキャスト床版は、輸送および架設の制約から幅1.5m、長さ9.7m、厚さ19cm(1枚当たりの重量7t)とし、これを主桁の上に設けられたハンチプレートに沿って、橋軸方向に順次敷き並べていく構造とした。プレキャスト床版の構造を図-5に示す。

主桁のウェブ位置には、スタッドジベル用の開口部を、橋軸方向に25cmの間隔で設けた。また、縦桁上にも開口部を設けて、スラブアンカーの代用としてスタッドジベルを設けるものとした。

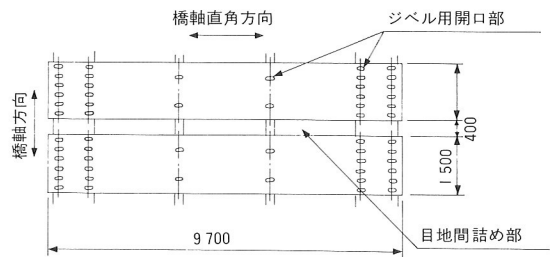


図-5 プレキャスト床版の配置

プレキャスト床版の目地構造については、これがプレキャスト床版の性能を左右するものであることから慎重に検討した結果、「プレキャスト床版合成桁橋設計施工指針(案)」⁴⁾のように橋軸方向にプレストレスを導入する方法なども考えられたが、配筋が複雑になること、本橋のように不静定次数の高い構造に対してはプレストレスによるクリープの影響が大きいこと、およびプレキャスト版の製作・施工上の観点から、図-6に示すようなループ継手を採用し、ノンプレストレスの床版構造とした。

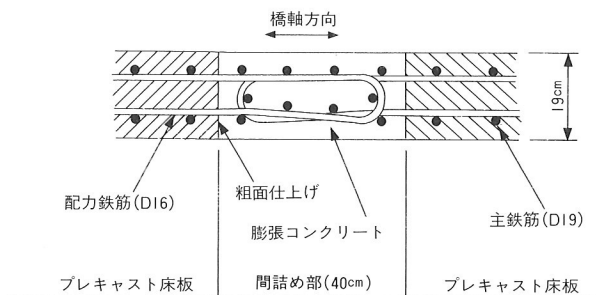


図-6 継手構造

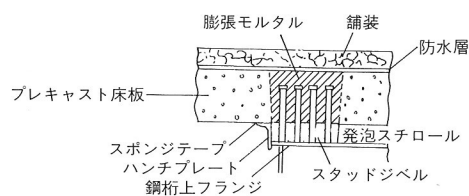
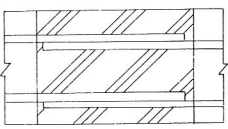
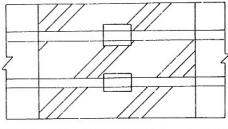
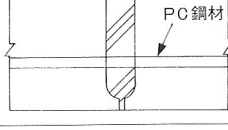


図-7 鋼桁との接合

なお、ループ継手については供試体を製作し、強度上の安全性および耐久性を確認した。

参考として従来の目地構造について表-2に示す。

表-2 継手の種類

継手構造	特徴
	一般に用いられる重ね継手であるが国内規準によるラップ長を確保すると後打ちコンクリート部が多くなる。
	機械継手（溶接、ネジ方式がある）とする方法であるが、施工性の点で不利である。
	PC鋼材によりテンションを加え、引張り力にも抵抗させる方法である。床版のように比較的薄い部材では配置上の問題と同時に、クリープの影響が問題になる。

(6) 床組の設計

縦桁は経済性の点からH形鋼を使用した。また、ケーブル定着部の前後の横桁については、平面的な力による偶力による軸力と鉛直力によるねじりによって発生する曲げモーメントを考慮して設計した(図-8参照)。

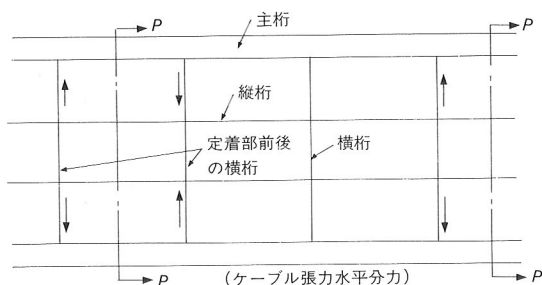


図-8 ケーブル張力の分散

(7) 主桁の設計

断面設計は、曲げモーメントと軸力を受ける合成箱桁として行った。有効幅については、軸力に対しては、鋼断面、コンクリート断面とも全断面有効とし、曲げモーメントに対しては、各着目点における曲げモーメントの影響線から、「道示」8.2.3に従って有効幅を算出した。

床版に作用する発生応力については、すべて床版断面を有効とする計算を行い、引張り応力が作用する場合については、床版内の引張り力を橋軸方向鉄筋で負担させるものとして照査した。床版を有効としたときの床版の引張り応力度の最大値は全死荷重時では 0 kg/cm^2 、また、活荷重載荷時では 20 kg/cm^2 程度であった。鋼桁の材質はすべてSM50Yとし、フランジの板厚は $10 \text{ mm} \sim 24 \text{ mm}$ と

なった。

(8) ずれ止めの設計

ずれ止めには、スタッドジベルを用いた。考慮する荷重は以下の4種類とした。

- ① 合成後荷重による水平せん断力(H_V)
- ② 温度差の影響(H_T)
- ③ 乾燥収縮の影響(H_{SH})
- ④ ケーブルからの軸力によって鋼桁から伝達される水平せん断力(H_N)

このうち、①～③は通常の合成桁と同様であるが、④については床版内に導入される軸力は次式で与えられるものとして算出し、これがプレキャスト床版全幅に対して 45° の角度で分布するものとして、水平せん断力を求めた。

$$N_c = N \cdot A_c / (n \cdot A_v)$$

ここに、 N_c ：プレキャスト床版内に導入される軸力

N ：ケーブル張力の水平成分

A_c ：床版コンクリートの断面積

A_v ：合成断面の断面積

n ：ヤング係数比($n=7$)

図-9に計算結果の一部(単位 kg/cm)を示す。

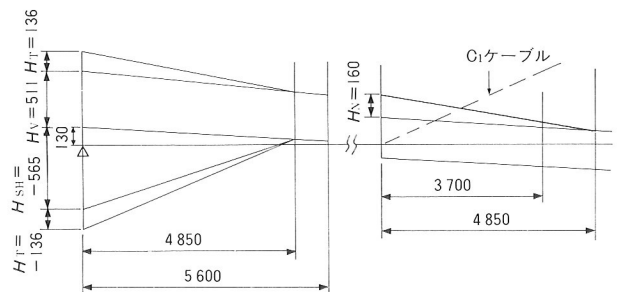


図-9 水平せん断力図

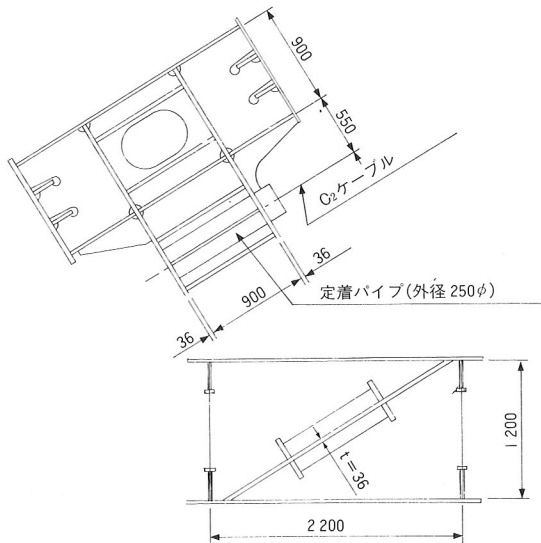
(9) ケーブルおよびケーブル定着部の設計

ケーブルは定着部を小さくする目的でDiNAアンカーケーブルとした。これは 7 mm 亜鉛メッキ素線を束ねたものにポリエチレン被覆を施したもの(Hiamと同ケーブルでアンカーがコンパクト)を用いた。

また桁側、塔側の定着構造はそれぞれ図-10に示す構造とした。なお、桁側の定着部については、FEMによる応力検討を行った。

(10) その他

本橋は先にも述べたとおり、シンボル性を重視しており、付属物にまで配慮し、橋台にバルコニーを設け、また、別稿⁵⁾で報告しているようにCG(Computer Graphics)を用いた色彩検討を行った。さらに、照明についても歩車道境界ブロックに一定間隔でランプを取り付けたほか、ケーブルにはイルミネーションを設置し、夜



a) 桁側定着部

b) 塔側定着部

図-10 定着構造

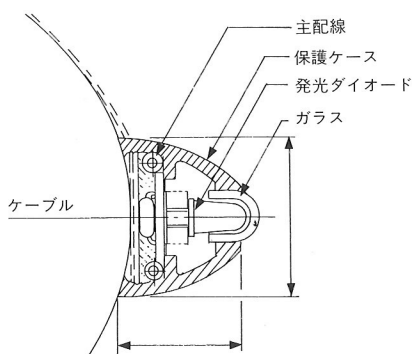


図-11 イルミネーション標準断面

間のシンボル性を強調させた。ここでイルミネーションについて簡単に触れる。

ケーブルイルミネーションの発光体は、図-11に示すように、高輝度ダイオードを1カ所に4個(10mmピッチ)使用し、250mm間隔でアルミケースに納めてある。このアルミケースは取り付けバンドによってケーブルに装着される。この方式は、ライトアップ方式と比較して寿命、消費電力、設備の大きさなどトータルに優位であること、

併せて実施例も少なくユニークな景観照明となるなどの点から採用したものである(グラビア参照)。

4. 施工

(1) 施工条件

本橋の現場における主な施工条件として、以下の3点が挙げられる。

- ① 急速施工が要求され、また町道上の架設となるため安全第一が要求され、両者を満足する架設工法を採用すること。
- ② 床版構造にRCプレキャスト床版を使用したために、その製作、床版相互の接合部、床版と主桁相互の接合部の施工に注意を要すること。
- ③ 第3章で述べた設計手法に従った施工手順を忠実に再現し、確認する必要があること。

(2) 架設の概要

上述の検討結果、主塔および主桁のP1~A2間は150tクローラークレーンにて架設し、A1~P1間は、ペントを使

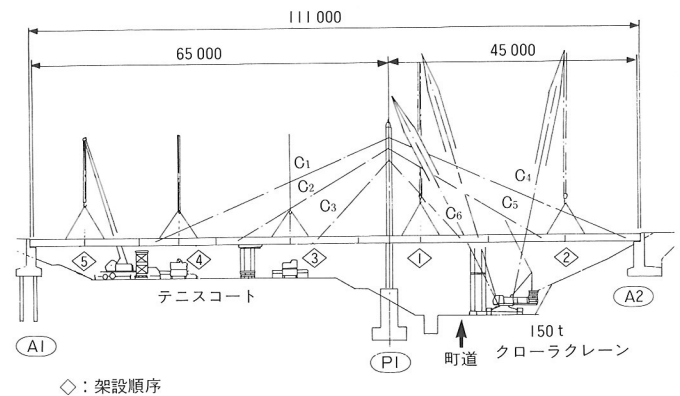


図-12 架設一般図



写真-2 架設状況

用し、75tトラッククレーンにて架設を行った。図-12に架設の概要を示し、写真-2に150tクローラークレーンによる桁架設状況を示す。

本橋の施工において急速施工のポイントとなったの

が、プレキャスト床版の施工である。図-13に示した実施工程図からも明らかなように、プレキャスト床版55枚の敷設は予想以上に早く施工できた。また、間詰め部膨張コンクリートおよびジベル部膨張モルタルの施工を含めても、約20日で完了し、通常の現場におけるRC床版施工と比較して、大幅に工期の短縮が可能となった。写真-3にプレキャスト床版の架設状況を示す。

(1989年) 月			2月	3月	4月	5月	6月	7月
下部工	P1	橋脚	■	■	■			
	A1	橋台	■	■	■			
	A2	橋台	■	■	■			
上部工	主塔	架設			■			
		溶接・塗装				■		■
		仮設備			■			
	主桁	架設			■			■
		足場			■			
		高力ボルト			■			
	部	塗装				■		■
		架設				■		
		張力調整				■	■	
	工	プレキャスト床版据付け				■		
		膨張モルタル・コンクリート打設					■	
		地覆・高欄					■	■
	橋面	照明						■
		舗装・伸縮装置						■
								■

図-13 実施工程図

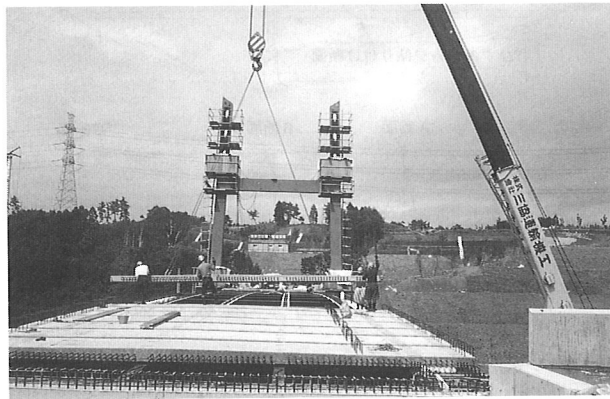


写真-3 プレキャストRC床版架設状況

(3) プレキャストRC床版の製作と施工

a) 製作

プレキャストRC床版は工場製作品とし、鋼製型枠を使用して製品の出来形精度を確保した。その結果、形状寸法の精度については横断勾配の精度を含めて $\pm 5\text{ mm}$ 以内に管理することができた。この工場製作された床版は、3カ月の養生期間を経た後に現場で架設された。このプレキャスト床版の詳細については、別稿⁶⁾において報告

しているので参照されたい。

b) 架設と型枠の設置

プレキャスト版の架設は75tトラッククレーンにて敷設した。主桁との接点は図-14に示すような方式にて実施したが、敷設時のプレキャスト版の損傷、据付け精度誤差、供用後の衝撃緩和を目的としてアングル上面に厚さの異なる2種のスポンジテープ(20×9 mm, 20×5 mm)を装着した。図-15に型枠組立図を示す。プレキャスト床版相互の間詰め部の型枠は、作業性を考慮して図に示すような吊り型枠とした。

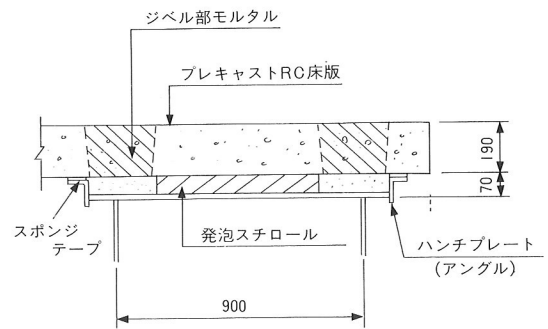
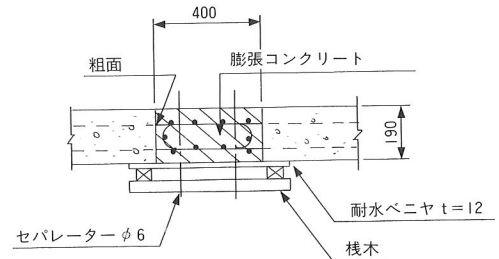
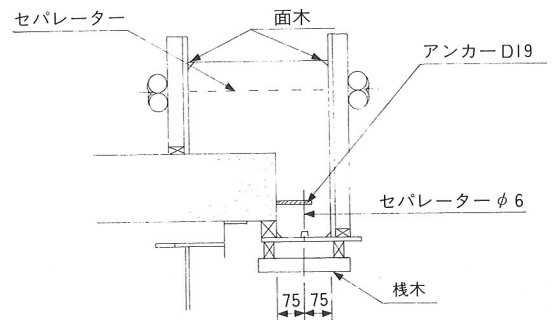


図-14 床版と鋼桁との接地部



(a) 間詰め部型枠組



(b) 地覆部型枠組

図-15 型枠組立図

c) 膨張モルタル、膨張コンクリートの施工

プレキャスト床版相互の間詰め部には膨張コンクリートを、床版と鋼桁の結合部ジベル部には膨張モルタルを使用した。このモルタルの施工は、合成桁構造である本橋にとっては重要な工法である。この膨張コンクリートおよび膨張モルタルのいずれにおいても、所定の強度の

表-3 膨張コンクリート配合表

呼び強度 (kg/cm ²)	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水 セメント比 (%)	細骨材率 (%)
400	8	25	4	37	42.6

単位量 (kg/m ³)					
セメント (C)	水 (W)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	AE減水剤 (Poz No.70)	膨張材 (アサノGp)
391	158	739	1012	1.333	35

表-4 膨張モルタル配合表

試験練り 28日強度 (kg/cm ²)	Jロート 流下値 (sec)	水 セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			セメント (C)	水 (W)	細骨材 (S)	減水剤 (MY150R)	膨張材 (アサノGp)
576	8±1	40	622	264	1290	3.38 6.76	54

確保ならびに流動性能が最も要求される。そのため、本橋への適用に当たっては各種の配合設計を実施し、試験施工も併行した。その結果、表-3、4に示すような配合による材料を使用して施工を行った。

膨張モルタルの施工に当たっては、モルタルを減水剤を用いて流動化させ、ポンプ圧送によりモルタルの打設を行った。このような流動化コンクリートの施工は、流動性、材料分離、ポンプ圧送性など多くの要因を検討する必要がある、事前に生コン業者と運搬計画、打設計画を打ち合わせた。本施工では、モルタル圧送用スクイズ式ポンプ1台を使用して、練り混ぜから打ち終わりまでの時間をできる限り短くするためにミキサー車1台のモルタル運搬量を最大2m³とし、減水剤は現場添加としてJロート流下値が約8秒を保つように適時添加する方法により施工を行った。

(4) ケーブルの架設

使用したケーブルは前述のDiNAアンカーケーブルで、 $\phi 7 \times 91$ および $\phi 7 \times 109$ で、ケーブル外径は90mm, 95mmの2種類である。ケーブル被覆を痛めぬように、ローラと台車を用い展開しクレーンにて架設した。



写真-4 ケーブル架設状況

(5) 仮シム撤去と床版への応力導入

ケーブルの展開は、橋面のプレキャストRC床版上での作業が可能となったこと、およびベント撤去前での定着据付けであったことなどから、安全で、かつスムーズに実施できた。

写真-4にケーブルの架設状況を示す。

(5) 仮シム撤去と床版への応力導入

本橋の施工においては、プレキャストRC床版と主桁との合成後における床版コンクリート応力度の改善について、ケーブル張力の変化によって主桁断面を調整した点に特色があった。これは、間詰め部膨張コンクリートの圧縮強度を確認したのち、ケーブル架設時に装着しておいたシムプレートを撤去して所定の曲げモーメントと軸力を与え、床版コンクリートの応力度を許容値内に収める方法である。

設計計算では、C₂、C₅ケーブルが60mm、C₃、C₆ケーブルが130mmのシム撤去を合成後に要するが、同時には行えないため、これを一度に撤去すると部分的にコンクリートの応力度が許容値をオーバーする所があったため、段階的にシム撤去を実施した(所要日数は2日強であった)。このシム撤去により変化した鋼桁の応力度を図-16に示す。この図から、コンクリート床版にほぼ設計値に近い応力が導入されたことが確認された。

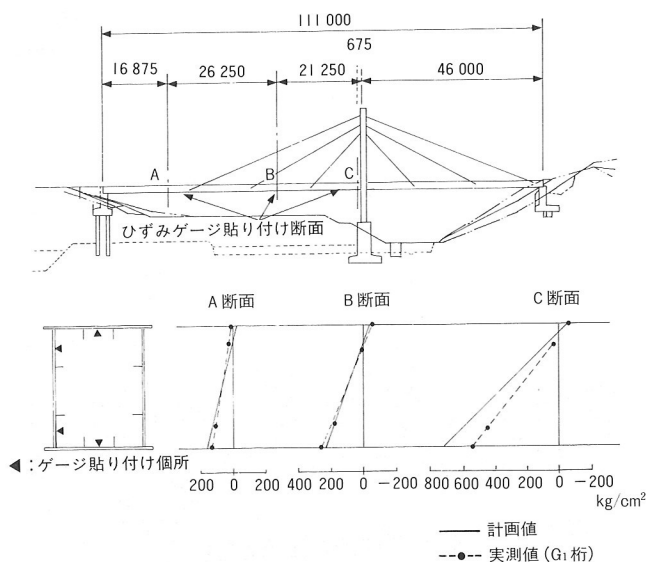


図-16 仮シム撤去による応力導入

5. 今後の課題

(1) ケーブルへの依存度の向上

斜張橋に合成桁を用いた場合には、床版への引張り応力を小さくする方法を検討する必要がある。

その方法としては、

- ① ケーブル本数を増やして曲げモーメントを平滑化する。すなわち、マルチケーブル方式をとる。(規模が小さいと難しい)

- ② 桁剛性を小さくし、合成断面の中立軸をハンチ近傍まで上昇させ、曲げによる床版発生応力を低くする。

などがある。

(2) 死活荷重合成桁の採用

本橋の場合には桁架設完了後に床版との合成を実施したが、桁架設時において桁と床版を合成させながら片持ち式で施工することも考えられる。このことによって、桁自重による軸力分が合成断面で抵抗できることになり、効果的である。反面、床版応力の圧縮域において相当量の応力発生が予想されること、および施工手順と工程の面での検討事項も多い。

(3) プレキャスト版のハンチ構成

本橋のプレキャスト版にはハンチを設けず、図-14に示したようにハンチプレート上に敷設し、スタッド用の孔からモルタルを注入してハンチを構成させた。この方法の問題点は、ハンチ打設前の状態では床版上に重量物を置くことができないことである。したがって今後はハンチプレート付きプレキャスト版の可能性、ハンチプレートの改善などについて検討していきたい。

(4) クリープ係数、乾燥収縮度

プレキャスト版を用いる目的のひとつにクリープ係数と乾燥収縮度の低減がある。今回の設計では $\phi=1.7$ (90日経過) $\epsilon_s=16\times 10^{-5}$ を採用したが、海外の文献等から算定すると $\phi=0.73$ 、 $\epsilon_s=14.1\times 10^{-5}$ 程度となり特にクリープ係数の低減が著しい。今後はこのような規準との対応を検討していきたい。

6. あとがき

RCプレキャスト床版を用いて急速施工を図った結果、本工事は上下部工を併せて6カ月間で、無事故、無災害で工事を完了することができた。また、経済上有利と言われながら、わが国で施工例の少ない合成桁斜張橋について、ケーブル張力調整による床版への圧縮応力導入法やループ状継手を有するプレキャスト床版の採用など新しい試みを取り入れ、これらの工法の実用性を確かめることができた。本文で報告した技術的および施工上のノウハウが、今後、合成桁斜張橋を検討する際の一検討資料になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工の機会を与えていただいた三共製作所(株)、計画段階で多大なご助言をいただいたアトリエ蔵建築設計事務所、ならびに不二測量(株)の皆様に厚く御礼を申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 北島：鋼、コンクリート合成桁の乾燥収縮、クリープ解析、川田技報、Vol. 1, 1979年。

- 2) 北島：鋼、コンクリート合成構造の汎用クリープ、乾燥収縮解析、川田技報、Vol. 3, 1983年。

- 3) 赤尾・栗田・加藤・松川・中西：大和橋の設計と施工、橋梁と基礎、1975年8月。

- 4) 中井：プレキャスト床版合成桁の設計・施工、森北出版、1988年。

- 5) 前田・磯・柄澤：コンピュータグラフィックスを用いた仲良い橋の色彩計画について、川田技報、Vol. 9, 1990年。

- 6) 前田・磯・橋・柳澤・寺本：RCプレキャスト床版ループ状重ね継手の性能試験、川田技報、Vol. 9, 1990年。