

【論文・報告】

第5公庄架道橋の設計と施工 (ブロック工法を用いたプレビーム合成桁)

Design and Construction of Fifth GUJO Overbridge
with Pre-Beam Block System

渡辺 淳*
Hiroshi WATANABE

清沢 孝吉**
Koukichi KIYOSAWA

武田 芳久***
Yoshihisa TAKEDA

宮地 真一***
Shin-ichi MIYACHI

1. まえがき

従来、プレビーム合成桁の応力導入は、比較的支間が短かく輸送上問題がない場合に限り鋼桁を製作する工場で行っており、輸送に制約を受ける場合には架設現場付近の製作ヤードにて行っていた。しかし、近年プレビーム橋梁の長支間化に伴い、市街地等においてプレビームの製作ヤードの確保がしだいに困難になってきている。また現場工期の短縮化や現場作業の簡素化及び品質管理の向上も強く望まれるようになってきた。

このため、特に市街地や山間部などの施工の際には、プレビーム桁を数ブロックに分割し、工場でプレファブリケートしたものを搬入、現場で組み立て、架設することができる工法が要求されるようになった。このような状況化で考案されたのがプレビームブロック工法である。

ブロック工法とは、架設現場付近の製作ヤードにおけるプレストレス導入作業を省略するために、工場にて製作したプレビームのブロック桁を架設現場に輸送し、現場で1本ものに組みあげ、その後添接部の間詰コンクリートを打設して一体のプレビーム桁に仕上げようとするものであり、現在までに2つの工法を考案した。

この工法を用いてプレビーム桁を施工する場合、現場打設される間詰コンクリートにプレストレスを導入する必要があり、現在(昭和62年8月)まで竣工している5橋では、それぞれ間詰部コンクリートへのプレストレス導入方法に工夫が見られる。

第5公庄架道橋はこの間詰部コンクリートへのプレストレス導入に、カウンターウェイトを用いて行い、好結果を得ることができた。また本橋は下路形式の鉄道橋として床組構造を工夫し、しかもブロック工法として現在

のところ我国で支間が最長である。

本報告書は、この第5公庄架道橋の設計と施工について述べるものである。

2. 橋梁概要

第5公庄架道橋は日本鉄道建設公団大阪支社発注のプレビーム下路式鉄道橋であり、宮福線が京都府加佐郡大江町公庄地内で国道175号と交差する地点に架橋された。その一般図と完成写真をそれぞれ図-1、写真-1に示す。

本橋は線形条件および施工条件に厳しい制約を受けていたので、ブロック工法を用いたプレビーム下路橋が採用されている。その形式選定理由を簡単に以下に示す。

- ① 騒音と維持管理費の低減→コンクリート橋
- ② 桁下に厳しい制限を受ける→下路橋
- ③ 迅速な架設が要求される→プレビーム桁
- ④ 付近にヤードがない } →ブロック工法
- ⑤ 現場工期の短縮 }

プレビーム桁にブロック工法を採用すると、プレフレクションリリース作業が工場で行われるので、現場工期を大幅に短縮できた。表-1に本橋の工程表を示す。

3. 設計概要

(1) 主桁の設計

ブロック桁の施工のフロー図を図-2に示す。鋼桁は1本組みにして従来通りプレフレクション・リリース作業を行い、その後解体し、ブロック桁を製作する。そのため、リリース後解体する鋼桁の添接部にはコンクリートを打設しない。この状態でリリースを行うと、添接部近傍(以後間詰近傍と呼ぶ)の下フランジコンクリート

*川田工業㈱富山工場工場長(前・大阪支社設計課次長) **川田工業㈱富山工場生産技術課 ***川田工業㈱大阪支社設計課

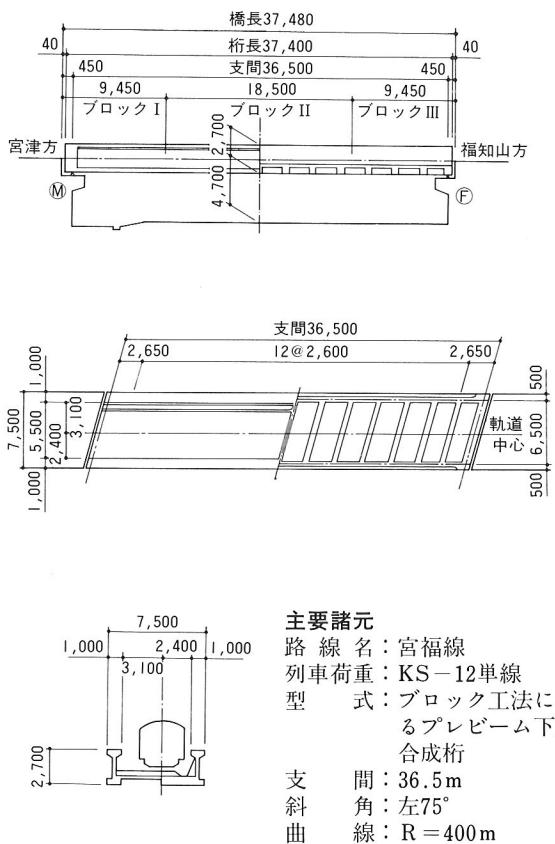


図-1 第5公庄架道橋一般図

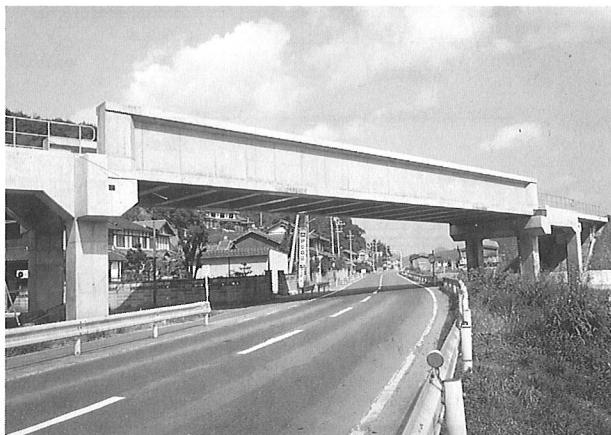


写真-1 第5公庄架道橋

表-1 第5公庄架道橋工程表

工種	年月	工場工程							現場工程	
		61年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
工場製作	設計照査									
	材料手配									
	鋼桁製作									
	プレビーム桁製作									
	輸送									
現場工事	組立・架設									
	床板・横行上フランジコンクリート									
	橋面工									
	添接部下フランジ工									

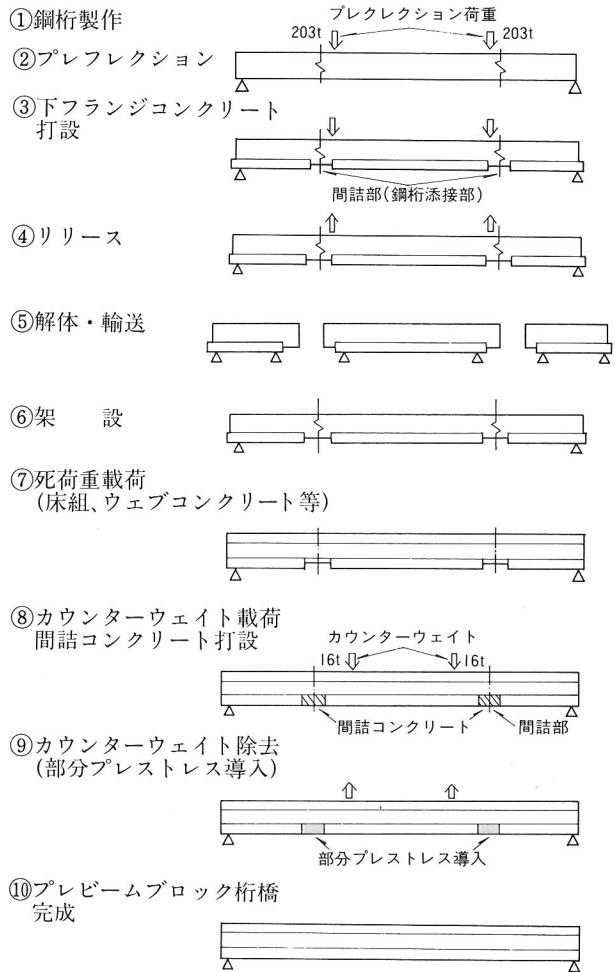


図-2 プレビームブロック桁のフロー図

は、断続合成桁と同様の構造となるので、セン断力の集中が予想された。このため下フランジコンクリートと鋼桁のずれ止めは、設計計算上の必要量の2倍以上設けるものとし、その区間はFEM解析を行い間詰部の端から1.0mの区間とした。

また、ブロック工法では現場で連結後に一体とするために、添接部に間詰コンクリートを打設し、そのコンクリートに所定のプレストレスを導入する必要がある。このプレストレス導入方法として表-2に示す3種類の方法が考えられた。本橋は桁高が高く桁剛性が大きいため、インケーブルあるいはアウトケーブル方式の場合ケーブル量が多くなり、不経済である。そこで本橋ではカウンターウェイト方式を採用した。カウンターウェイトの重量は、下フランジコンクリートに導入される必要プレストレス量によって決定される。それはカウンターウェイト除去後に載荷されるすべての荷重（コンクリートのクリープ乾燥収縮も含む）に抵抗させるもので、本橋の施工は図-2に示すように、すべての死荷重を載荷後にカウンターウェイトを載荷し、間詰部のコンクリートを打設した。その結果、カウンターウェイトの重量は桁1本1ヶ所当たり16tonとなった。

表-2 間詰部プレストレス導入方法の種類

カウンターウエイト方式	インケーブル方式	アウトケーブル方式
上フランジコンクリートを打設した後、カウンターウエイトを載荷させた状態で間詰部コンクリートを打設、硬化後、カウンターウエイトを除去し曲げプレストレスを導入します。	鋼鉄たウェブに定着構造を設け、PC鋼材で添接部下フランジコンクリートにプレストレスを導入します。	鋼鉄た上フランジ上面にプラケットを取り付け、PC鋼材で偏心曲げを作用させた状態で間詰コンクリートを打設し、硬化後、緊張を解放し曲げプレストレスを導入します。

(2) 床組の設計

本橋を含めプレビーム下路桁は全国に3橋あり、うち2橋は鉄道橋である。一般に鉄道橋の床組構造は、輪荷重をスラブで受持ち、スラブから縦桁、縦桁から横桁、横桁から主桁へと荷重を伝達させる構造となっている。以前施工したプレビーム下路鉄道橋でも同様の考え方により設計施工がなされている。

しかしプレビームの床組構造は、鋼材をコンクリートで包んだSRC構造であり、通常の鋼構造と比べ、床組の剛性は著しく大きく、床組は格子構造ではあるが、版構造に近い性質を有している。よって本橋においては縦桁の省略は設計上問題はないと考えた。また施工性、経済性においても縦桁の省略は好ましいと予想された。

これらの事より、本橋のスラブの設計は以下の要領にて行った。すなわち、死荷重に対しては4辺固定版とし、列車荷重に対しては横桁で支持された連続版とした。

4. 製作・施工と計測

(1) 計測

本橋はブロック工法によるプレビーム桁としては現在までの最長支間となった。また、間詰コンクリートにプレストレスを導入するために、初めてカウンターウエイト方式を採用した。よって各施工段階における桁の性状を確認するため、桁のひずみおよびたわみを測定した。その測定項目を表-3、測定位置を図-3に示す。

(2) プレフレクションおよびリリース

本橋の鋼桁ウェブ高は2.32mでありプレフレクション荷重は1支点当たり203tonとなった。そのために、従来から行われてきた2本だき合わせでプレストレス導入作業を行うと横支持フレームの高さが6m以上になり、フレームの断面は非常に大きなものが必要となった。そこで今回、プレフレクション荷重による反力を受け持つアンカーを備えた製作ベースを工場内に設け、一本ずつ単独でプレストレス導入を行った。その様子を写真-2に示す。

表-3 測定項目

測定段階	測定期日	測定項目	測定方法	備考
工場製作	ヨレブレーキレシフ 8/2	• 鋼桁ひずみ • 鋼桁たわみ	ひずみゲージ 変位計、レベル	鋼桁ひずみゲージは、現場施工時にも引き続き使用する。
	リリース 8/18	• 鋼桁ひずみ • ドフランジコンクリートひずみ • たわみ • ドフランジコンクリートのヤング係数	ひずみゲージ 変位計、レベル テストピースにひずみゲージを貼付して測定	コンクリート表面ゲージは、その都度貼付する。
	解体 8/19	• 鋼桁ひずみ • ドフランジコンクリートひずみ	ひずみゲージ	"
現場施工	トコ床打設・横リート・横リート 1/22	鋼桁トフランジコンクリートひずみ	ひずみゲージ	"
	たわみ	レベルとスケール		
	打シワウエーリング・トコ上	鋼桁ひずみ	ひずみゲージ	"
	たわみ	レベルとスケール		
	エサウイントンダーダーク	鋼桁トフランジコンクリートひずみ	ひずみゲージ	"
	たわみ	レベルとスケール		
事務	エサウイントンダーダーク去り	鋼桁トフランジコンクリートひずみ	ひずみゲージ	間詰コンクリートのプレストレス導入管理。
	たわみ	レベルとスケール		
	ンキジダーウ	鋼桁ひずみ	ひずみゲージ	
	たわみ	レベルとスケール		

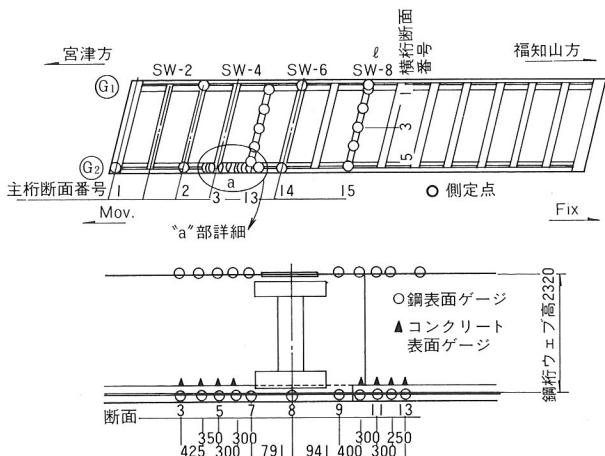


図-3 測定位置図

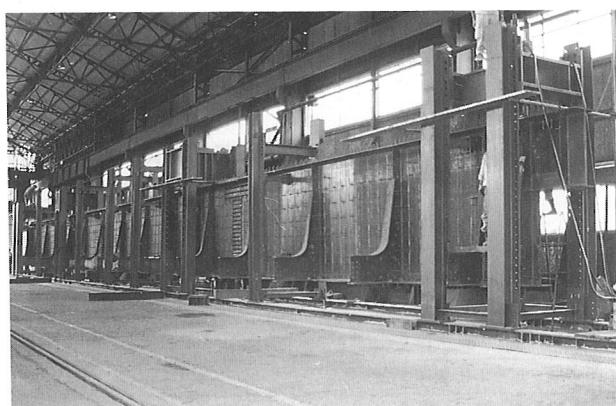


写真-2 プレフレクション風景

プレフレクション作業は、引張りジャッキを使用して行った。この時の横座屈に対する安定性は圧縮ジャッキ

を使用した場合に比べて著しく向上する事が知られている。(本報Vol.3/JAN., 1983.『阿那賀跨道橋の設計と施工』参照)そのためプレフレクション時の横支持フレームについては、引張りジャッキを使用する事によって、その間隔を広げる事が出来、施工性が向上した。

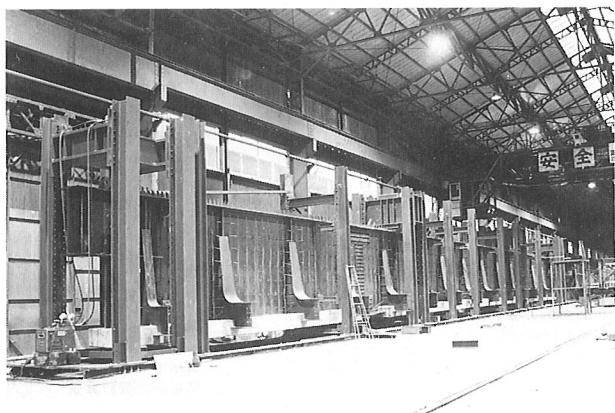


写真-3 リリース風景

リリースは下フランジコンクリート強度が 480kg/cm^2 以上になった事を確認してからプレフレクション時と全く反対の作業手順で行った。リリース時の写真を写真-3に示す。またプレフレクション時、リリース時において測定した桁のひずみを応力に換算した。その結果と設計計算値を合せて図-4, 5に示す。プレフレクション時の鋼桁の応力は測定値と計算値がよく一致している。

リリース時において、下フランジコンクリートの測定応力度は添接点近傍のブロック端部に近づくにつれて徐々に小さくなっている。これはコンクリートに導入されるべきプレストレスがブロック端部で損失し、その量を鋼桁が受け持っているためと考えられる。この事は添接部近傍の鋼桁下フランジのひずみが計算値よりも大きくなっている事から判断される。

プレストレス損失区間長は約800mmであり、下フランジコンクリート厚の約3倍と考えられる。図-5には鋼桁と下フランジコンクリートが完全合成と仮定したFEM解析結果も示している。FEM解析によるコンクリートのプレストレス減少区間は測定結果とほぼ同じ値を示したが、測定値そのものはFEM解析の結果より若干小さめの値を示している。これは完全合成と不完全合成の差であるものと考えられる。

たわみに関しては、結果を示していないが測定値と計算値は良く一致していた。

(3) 解体

リリース後、鋼桁添接部の応力が0になるように間詰近傍をジャッキアップして、桁の解体を行った。その様子を写真-4に示す。

この時のひずみの測定の結果より、添接部鋼桁上面に

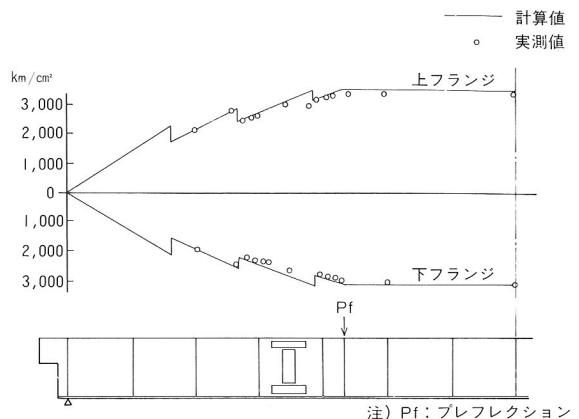


図-4 プレフレクション時鋼材応力度

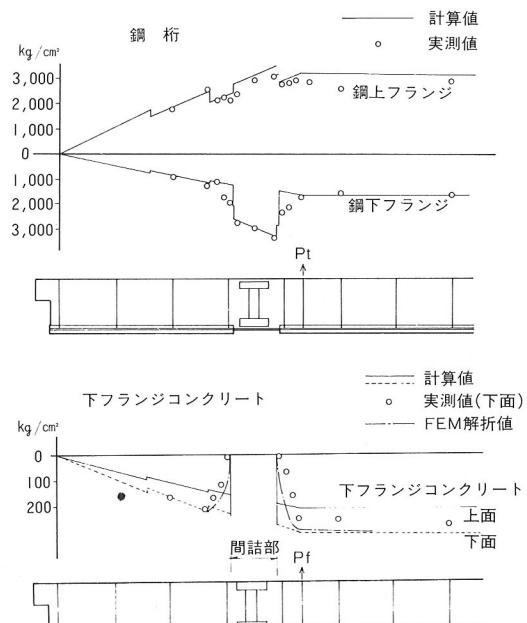


図-5 リリース時応力度

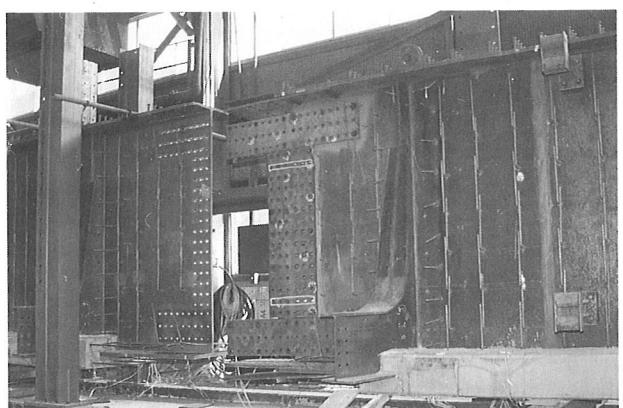


写真-4 解体状況

引張り応力が発生したことが認められた。これはジャッキアップ量が少なく、添接部においては無応力になつていなかつたためと考えられる。

(4) 輸送および架設

解体された桁はブロックごとに輸送され、現場に搬入された。

本橋のブロック桁の架設工法には以下の2案が考えられるが、それぞれ特徴は次のとおりである。

第1案 ブロックごとに架設するベント工法

- ① 架設用の重機が小さくなる。
- ② 交通閉鎖時間が長くなる。

第2案 地組立後に架設する一括架設工法

- ① 架設に大型の重機が必要になる。
- ② 交通閉鎖時間が短い。

今回は交通閉鎖時間が2時間と限られていたので、上記の第2案で架設を行った。地組立風景を写真-5、架設状況を写真-6に示す。

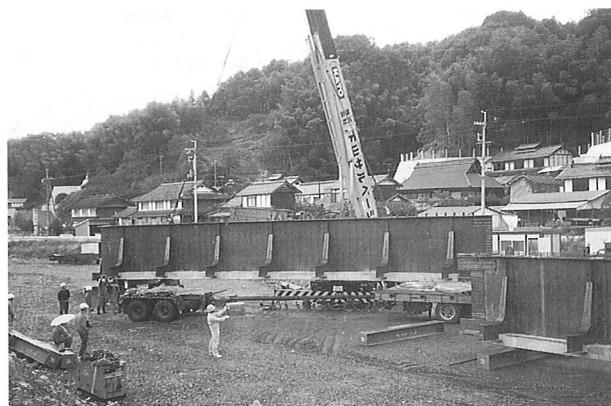


写真-5 地組立風景



写真-6 架設状況

(5) スラブと横桁コンクリートの打設

主桁架設後、床組の配筋を行ってコンクリートを打設した。その時の状況を写真-7、また測定ひずみから算出した応力を図-6に示す。

図-6に示すように桁下面での発生応力度は計算値とほぼ等しい値であったが、鋼桁上面の発生応力度が計算値よりやや小さな値であった。これはコンクリート打設時の鋼桁上面に直射日光が当り、見かけ上の引張りひずみが生じたものと考えられる。また、ブロック端部より約800mmの区間で、リリース時と同様な不完全合成と見られる現象が確認された。

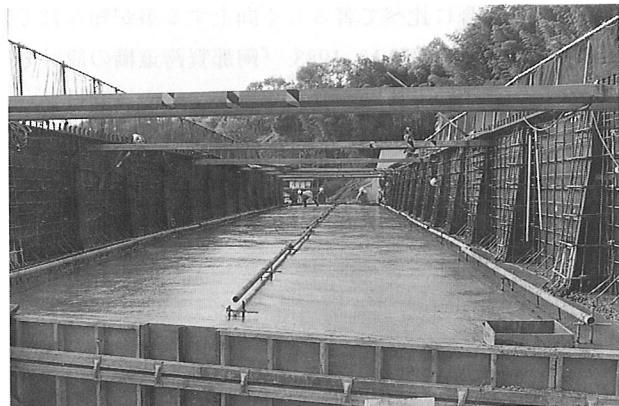


写真-7 床版打設状況

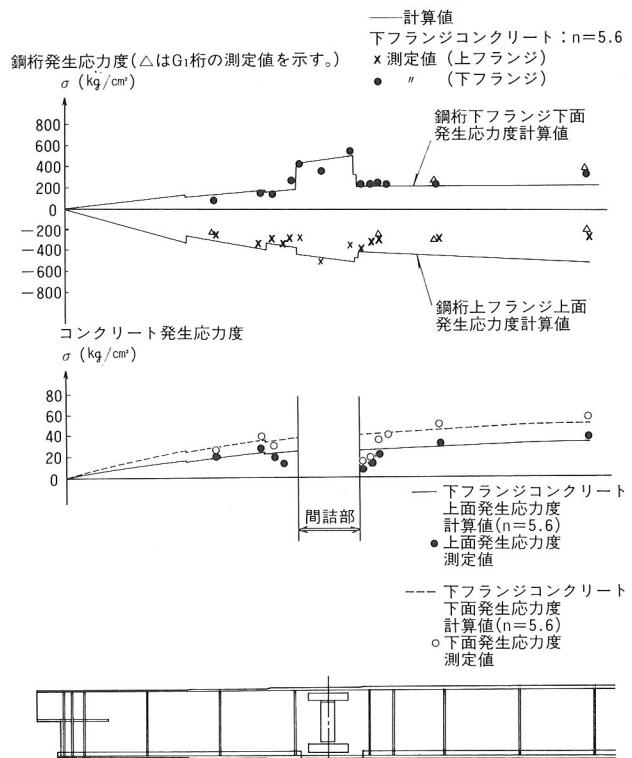


図-6 スラブコンクリート打設による発生応力

たわみはプレフレクションおよびリリース時と同様に計算値とほぼ一致した。

(6) ウエブと上フランジコンクリートの打設

設計計算上プレビームのウェブコンクリートは抵抗断面に考慮されていないが、実際にはウェブのスタッド鉄筋や鋼桁との付着により断面力を受け持つものと考えられる。そのためウェブコンクリート打設後に載荷された荷重により、ウェブコンクリート下端に引張り応力が発生する。特に本橋の場合桁高が高いので、その値は大きなものとなることが予想された。よってバラストを所定の1/2を載荷し、その後、ウェブと上フランジコンクリートを同時打設とした。この場合のウェブ下端応力を表-4に示す。また通常の施工順序による場合も併せて示す。



写真-8 バラスト1/2載荷

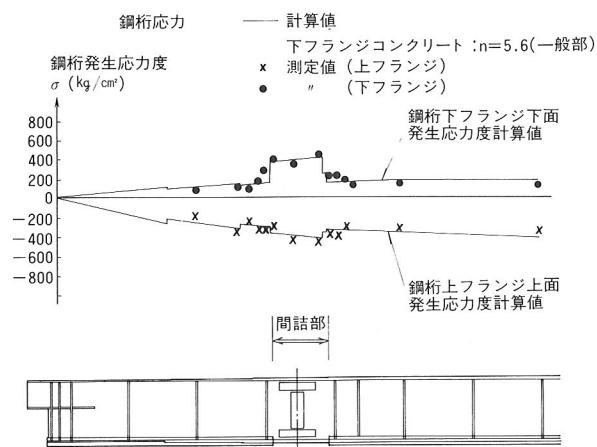


図-7 ウエブと上フランジコンクリート打設時の鋼桁の応力

表-4 ウエブコンクリート下端の引張り応力

	通常の施工順序による場合	今回の施工順序の場合
コンクリートの打設順序	1. ウエブコンクリート打設 2. 上フランジコンクリート打設 3. バラストおよびカウンターウェイトを載荷 4. 間詰コンクリート打設	1. バラスト1/2を載荷 2. ウエブおよび上フランジコンクリート同時打設 3. バラスト残り1/2およびカウンターウェイト載荷 4. 間詰コンクリート打設
ウェブコンクリートの下端の引張り応力	支間中央 32.0 kg/cm² 添接部 52.8 kg/cm²	16.4 kg/cm² 26.8 kg/cm²

写真-8にバラスト1/2の載荷状況を、図-7にウェブと上フランジコンクリート打設時の鋼桁のひずみから換算した応力を設計計算値と合わせて示す。

鋼桁のひずみから算出した応力は計算値とほぼ一致している。また桁のたわみも計算値と一致していた。

(7) カウンターウェイトの載荷

上フランジ硬化後残りのバラストとカウンターウェイトを載荷した。当初カウンターウェイトにはコンクリートブロックを予定していたが、現地の状況により鋼製ブロックとなった。これらの配置については、主桁の添接点に所定のモーメントが発生するように計算し決定した。

写真-9にカウンターウェイトの載荷状況、図-8にその時の測定ひずみから計算した応力を示す。図中において①は下フランジコンクリートと上フランジコンクリートのみを抵抗断面と考えた場合、②は①にウェブのコンクリートを考慮した場合、③は①にウェブとスラブのコンクリートを考慮した場合の計算値を示している。

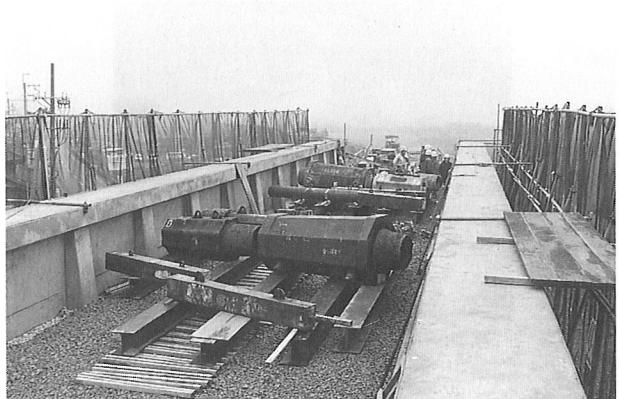


写真-9 カウンターウェイト載荷状況

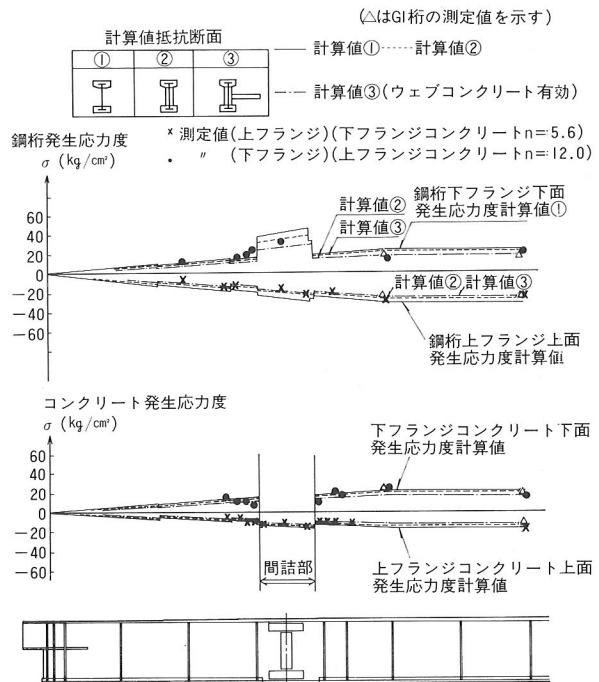


図-8 カウンターウェイト載荷による主桁応力

間詰近傍を除き、鋼桁およびコンクリートの発生応力度は、ほぼ計算値①から③の範囲内であった。また、たわみは②と③の抵抗断面を考えた計算値のほぼ中間であった。これはウェブおよび床版コンクリートが断面剛性に寄与しているためと考えられる。

(8) 間詰コンクリート打設

カウンターウェイト載荷後、間詰コンクリートを打設した。コンクリートは乾燥収縮の影響を少なくするため



写真-10 間詰部コンクリート打設

に、膨張コンクリートを使用した。間詰部は完成後一体化した一本の桁として挙動するので、このコンクリート設計基準強度を、工場打設部と同様に $500\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。

写真-10は間詰部コンクリート打設状況を示す。

(9) カウンターウェイト除去

間詰コンクリート硬化後、カウンターウェイトを除去した。この時の測定ひずみからの計算値と設計計算値を図-9に示す。なお、①、②、③、はカウンターウェイトの載荷時と同じ断面を想定した計算値である。

鋼桁およびコンクリートの測定応力には若干のばらつきは認められるが、ほぼ計算値①に近いものであった。間詰コンクリートへ導入されたプレストレスもほぼ計算値①どおりであった。また、たわみは、カウンターウェイトの載荷時と同様②と③のほぼ中間の量を示した。これは先と同様、スラブとウェブコンクリートの影響であると考えられる。

上記よりカウンターウェイト除去により、間詰部への部分プレストレス導入が確実に行われたことが確認された。今回は、従来観察された間詰部近傍における不完全合成の現象は見られず、完全合成の現象となっている。これは間詰コンクリートの打設により、下フランジコンクリートの連続性が確保され、橋軸方向の応力の流れがスムーズになったためである。

(10) ジャッキダウン

架設作業中の桁下空間を確保するために上げこしてあった桁をジャッキダウンさせ、所定の位置にセットした。この時も桁のひずみを測定したが、ほとんど変動は見られなかったので、ここでは省略する。写真-11にジャッキダウン作業を示す。

作業は桁端から張り出させておいた4つのブラケット

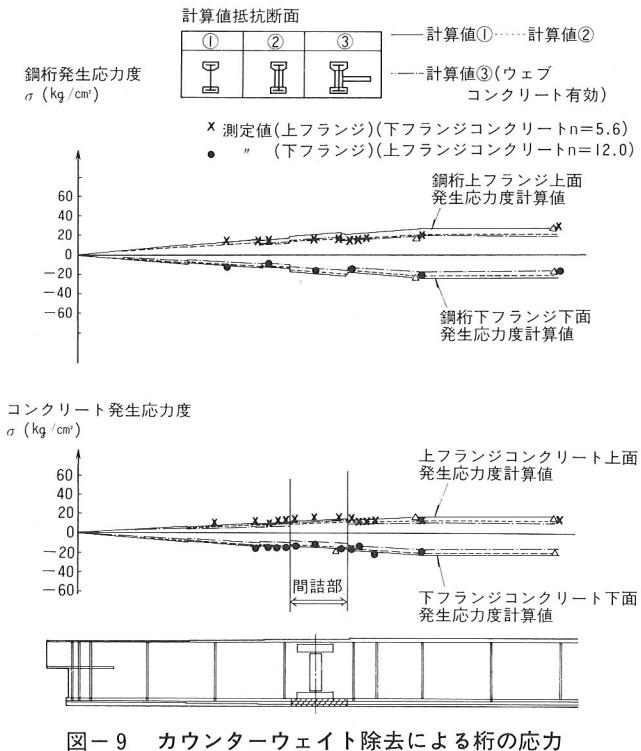


図-9 カウンターウェイト除去による桁の応力



写真-11 ジャッキダウン

を用いて、各橋台ごと（2つのブラケットづつ）に交替で少しづつ降下させた。ブラケットの取りついでいる各支点付近では、この作業により大きなセン断力が作用することが予想されたので、ウェブおよび上フランジコンクリートは、セン断力によるひび割れを防ぐために、支点部のみジャッキダウン以後に打設した。

5. まとめ

(1) 間詰部近傍の応力状態

特に間詰部近傍に着目し、リリースからカウンターウェイトの除去までの下フランジコンクリートの発生応力測定結果と、本工法の設計思想によった各施工段階における下フランジコンクリート間詰部の応力状態概念図を合わせて図-10に示す。間詰コンクリートが打設されるまでは下フランジコンクリートは不連続であり、ブロック

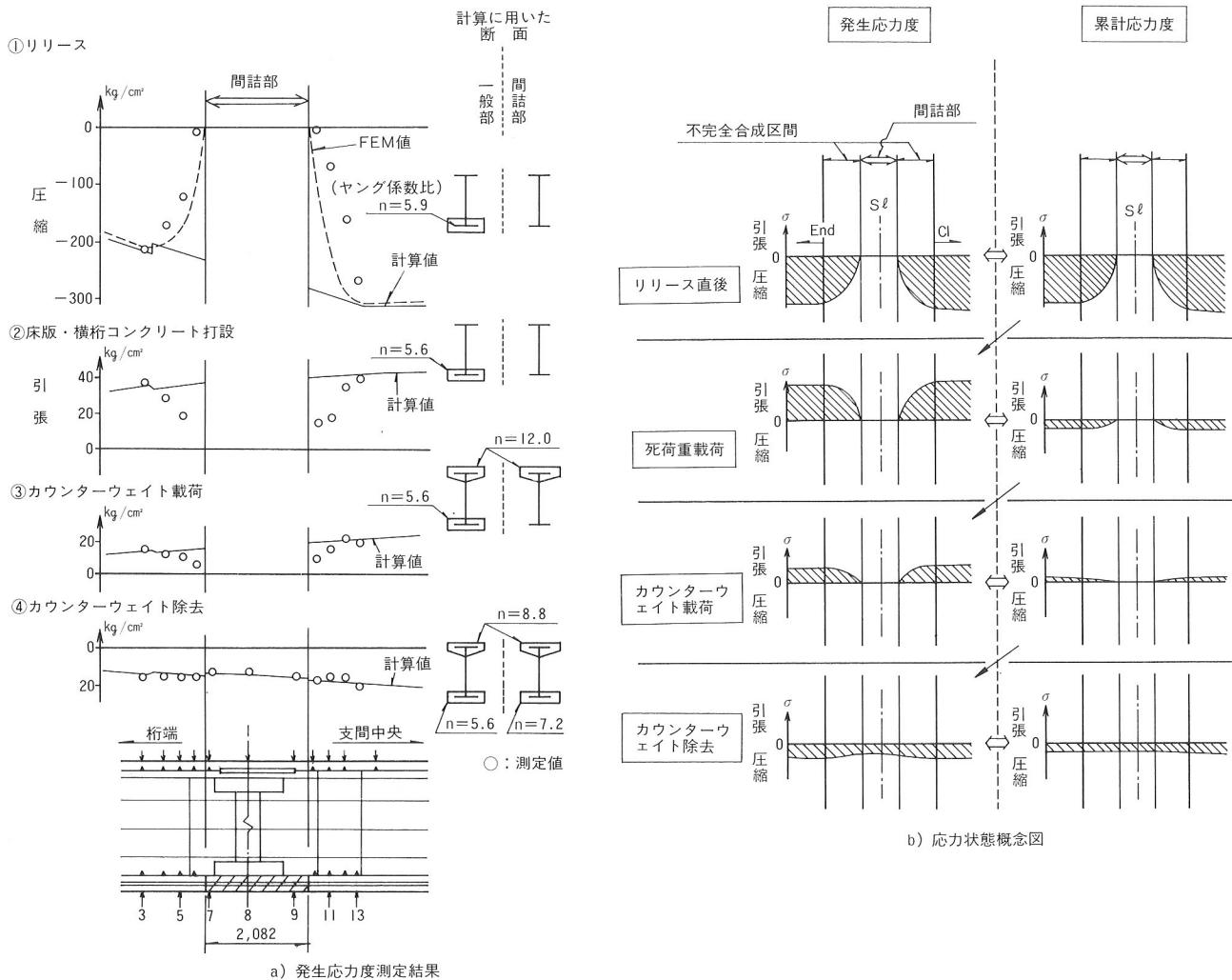


図-10 間詰部下フランジコンクリートの発生応力度測定結果および応力状態概念図

ク端部付近において鋼桁と下フランジコンクリートの合成が不完全である。そのため下フランジコンクリートの発生応力は完全合成と考えた計算値より低減される。しかし、間詰コンクリートを施工することによって下フランジコンクリートの連続性が確保され、カウンターウェイト除去により、下フランジコンクリート間詰部およびその近傍に所定のプレストレスが導入されることになる。

(2) 結論

本橋の測定および解析により間詰部下フランジコンクリートへのプレストレスの導入が確実に行われたことが確かめられ本工法の設計施工の妥当性が確認された。また、道路橋においてカウンターウェイト方式によるプレームのブロック桁が既に2橋竣工している。共に支間30m程度で、輸送と架設に制約を受けており、架設は支保工を用いてブロックごとに行なった。これらの橋についても測定を行っており、共に設計施工の妥当性を裏付ける資料を得ている。

最後に、測定に当たり多大な御協力をいただいた日本鉄道建設公団大阪支社、本社設計室ならびに大江建設所の

各位、および大阪大学工学部・松井繁之助教授、大阪工業大学・栗田章光講師に深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 松井・栗田・渡辺・山岸：プレームのブロック工法について、合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1986年9月。
- 2) 宮崎・栗田・渡辺・武田：第5公庄架道橋（プレームブロック桁）の間詰部の解析、土木学会第42回年次学術講演会概要集、1987年。
- 3) 宮崎・栗田・渡辺・宮地：第5公庄架道橋（プレームブロック桁）の設計と施工、土木学会関西支部年次学術講演会概要集、1987年。
- 4) 日本鉄道建設公団：第5公庄架道橋測定報告書、1987年。