

【論文・報告】

# 阿那賀跨道橋の設計と施工 (プレビーム長支間桁の横倒れ座屈の解析と応用)

## Design and Construction of ANAGA Overbridge Using Prebeam

五十嵐 静夫 \*  
Shizuo IGARASHI  
野田 行衛 \*\*  
Yukie NODA  
深尾 忠弘 \*\*\*  
Tadahiro FUKAO  
武田 芳久 \*\*\*\*  
Yoshihisa TAKEDA

〔要旨〕 阿那賀跨道橋は、本四連絡道路を跨ぐ道路橋である。

桁型式は支間 44.9 m のプレビーム合成桁であり、我国の同型式中では最長（昭和 57 年 9 月現在）である。

プレビームの支間が伸びてくるに従い、応力導入時における鋼桁の横座屈が重要な問題となってきた。

プレビーム長支間桁の横座屈について、プレフレクション荷重の載荷位置を橋軸および断面方向に変化させて力学的検討を行い、その結果を参考にして阿那賀跨道橋の応力導入作業に反映させた。すなわち従来の圧縮ジャッキによる下フランジを押す工法から、引張りジャッキによる上フランジを引張る工法とした。これにより応力導入時の桁の安定性安全性は大きく向上した。

本報告書は引張りジャッキを使用したプレフレクションを中心とし阿那賀跨道橋の設計施工について述べるものである。

### 1. まえがき

本四連絡道路の建設は現在急ピッチで進められており、A ルートの淡路島内でも各所で種々の工事が行われている。

淡路島内伊豆地区では観光用道路「うずしおライン」が本四連絡道路と交差して走っており、阿那賀跨道橋は「うずしおライン」の本四連絡道路に対する跨道橋として施工された。

本橋は、オイルショック以前においては連絡道路の中央部に脚を設けた 2 径間連続ホロー桁にて計画されていたが、昭和 49 年の第 1 次オイルショックにより連絡道路が暫定開通となつたために、完成状態での中央分離帯への脚の設置が不可能となってしまった。

その結果、桁高 1.5 m で支間 44.9 m の橋梁が必要となり、耐蝕性および美観にすぐれたプレビーム合成桁が採用された。

本橋の支間 44.9 m は現在までのプレビームの最大支間であり以下の点に様々な工夫や対策が施された。

- ① 主桁の応力導入時に引張りジャッキを使用し、施工時の横座屈に対する安全性を向上させた。
- ② 設計基準強度  $\sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2 (49.0 \text{ MPa})$  の下フランジコンクリートをポンプ車を使用して打設し作業性の向上をはかった。
- ③ 道路勾配 9 % 程度の床版コンクリートの打設における形状保持対策。
- ④ 直射日光下におけるプレビームのキャンバー測定。

### ⑤ その他。

ここでは、引張りジャッキを使用したプレフレクション工法を中心に本橋の計画設計施工の概要を述べる。



図-1 位置図

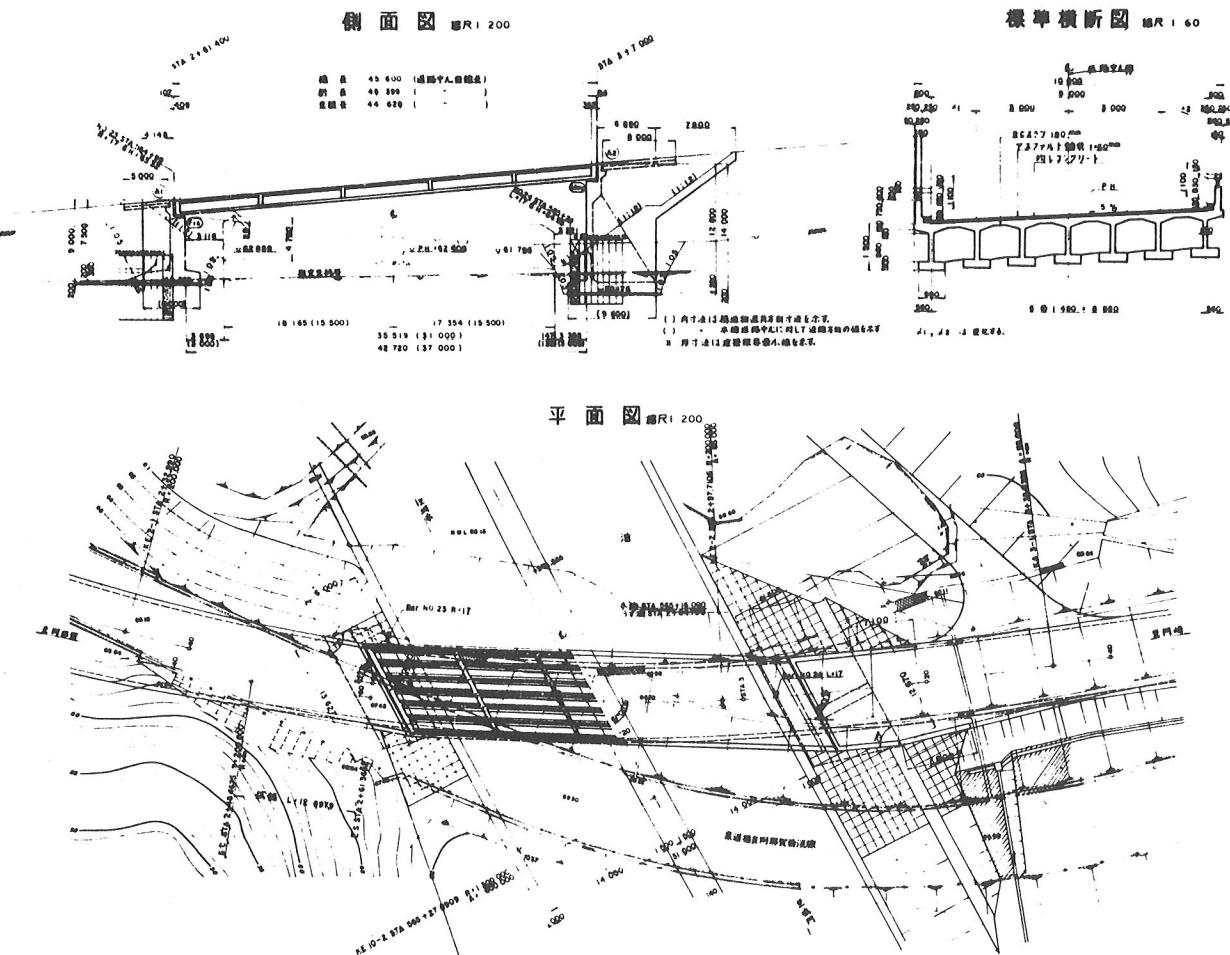


図-2 全体一般図

## 2. 長支間プレビームのプレフレクション工法における力学的解析

### 2-1 はじめに

プレビーム桁では鋼桁に大きい曲げ変形を与え、その変形を下フランジコンクリートで拘束することにより、コンクリートにプレストレスを導入する方法を用いる。鋼桁には比例限界点近くまで変形が与えられるために、不安定な現象、すなわち横座屈が発生しやすくなる。この座屈防止には、座屈長を短くするため横支持フレームをある間隔で設置する必要があるが、荷重載荷位置を変えることによっても相当座屈耐力を上げることができる。従来プレフレクションを与える場合、載荷荷重は2本抱き合わせにして下フランジ側から作用させていたが、上フランジ側に載荷すれば、桁の安定性は相当増大する。

横座屈現象は、限界以上の荷重になると桁が回転し、弱軸方向の移動が起こり始める現象で、かなり突発的に発生するため、安定性について十分に注意する必要がある。

支間 44.9 m のプレビームの施工を行うに当り、その応力導入時における荷重載荷位置の差が横座屈に対して力学的にどれほどの影響を持つかを検討し、その結果をもとに長支間プレビームのプレフレクション工法について改良を行った。

以下に横座屈に対する力学的検討結果を示す。

### 2-2 横座屈の種類と方程式

横座屈の種類には、荷重の作用方法、桁の形状、境界条件及び材料の特性などにより、分歧問題、応力問題(二

次理論), 耐荷力問題に分けて考えられる。

分歧問題では、桁の形状が直線で、断面が対称とすれば荷重が対称に作用する場合でねじりを伴わない。外力が座屈荷重に達すると桁は急激に変形を起こす現象が起きる。

応力問題は、軸中心外に外力が作用したり、桁に曲率があってねじりを伴うような場合を扱う。

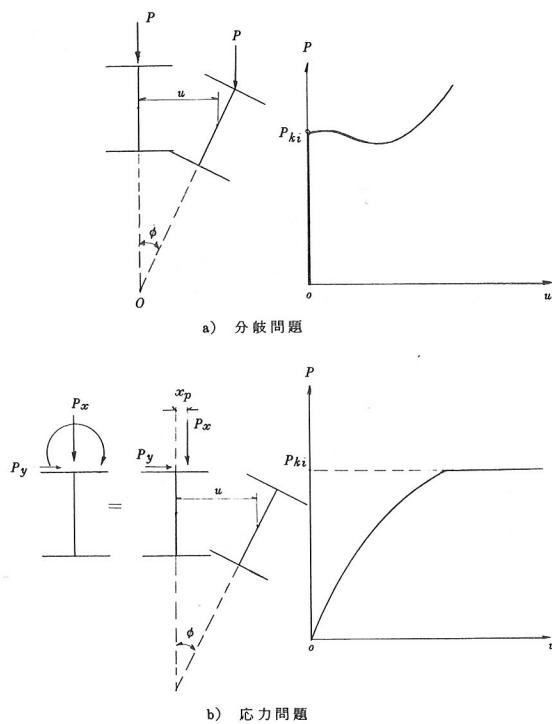


図-3 横座屈の種類

軸力を含まない任意荷重が、I型断面部材に作用する場合の横座屈の微分方程式は、一般に次のように与えられる。ここでは簡略化のために二軸対称断面について考えるものとする。

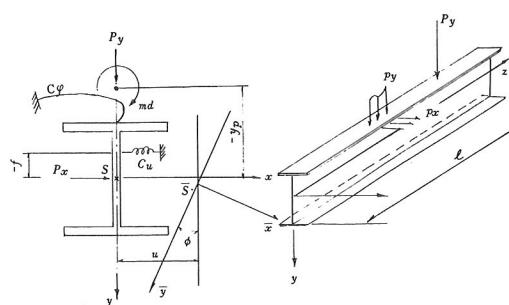


図-4 一般図

$$EI_y u^{IV} + (M_x \phi)'' + Cu(u - f\phi) - Px = 0 \quad \text{--- ①}$$

$$\begin{aligned} EI_w \phi^{IV} - GK_T \phi'' + (C\varphi + Py y_p) \phi \\ + Cu(f^2 \phi - fu) + M_x u'' - m_d = 0 \end{aligned} \quad \text{--- ②}$$

特別な場合として、バネ支持がなく、荷重は鉛直方向のみで部材のせん断中心に作用するものとすれば、①、②式は、次のように簡略化される。 $(y_p = Cu = C\varphi = Px = m_d = 0)$

$$EI_y u^{IV} + (M_x \phi)'' = 0 \quad \text{--- ①'}$$

$$EI_w \phi^{IV} - GK_T \phi'' + M_x u'' = 0 \quad \text{--- ②'}$$

但し、  
 $EI_y$  : 弱軸回り曲げ剛性  
 $EI_w$  : そり剛性  
 $GK_T$  : ねじり剛性  
 $Cu$  : 横支持バネ定数  
 $C\varphi$  : 回転バネ定数  
 $u$  :  $x$  方向変位  
 $\phi$  : 回転角  
 $M_x$  : 鉛直荷重による曲げモーメント  
 $f$  : せん断中心から横支持バネまでの距離  
 $y_p$  : せん断中心から載荷点までの距離  
 $P_x, P_y$  :  $x, y$  軸方向荷重

## 2-3 プレビーム合成桁指針における横座屈の規定

現在の指針では、単純支持された桁(両端でねじりと横変位を拘束)の両端に等しいモーメント荷重を作用させた場合の座屈荷重が採用されている。 $\phi = Asin\frac{n\pi z}{\ell}$  と仮定し、①'、②' と境界条件から座屈モーメント  $M_{ki}$  が得られる。

$$M_{ki} = \alpha \frac{\pi}{\ell} \sqrt{EI_y GK_T} \sqrt{1 + \frac{EI_w \pi^2}{GK_T \ell^2}} \quad \text{--- ③}$$

$\alpha$  ; 曲げモーメント分布による係数

指針では、サンプナンのねじり剛性が大きい断面ではそりの項が無視され、安全率を 1.7 さらに座屈長を 7 割として座屈モーメントを

$$M_{ki} = 1.2 \frac{\sqrt{EI_y GK_T}}{\ell} \quad \text{--- ④}$$

で与えている。 $\ell$  は横支持間隔長である。 $\alpha$  は  $M_x$  分布によって異なるが、両端にモーメント荷重が作用している桁では、

$$\alpha = 1.75 - 1.05 \frac{M_B}{M_A} + 0.3 \left( \frac{M_B}{M_A} \right)^2 \quad \text{--- ⑤}$$

で与えられる。ただし  $\alpha \leq 2.56$ ,  $M_A, M_B$  は、端部のモーメント荷重である。指針では  $\alpha = 1$  である。

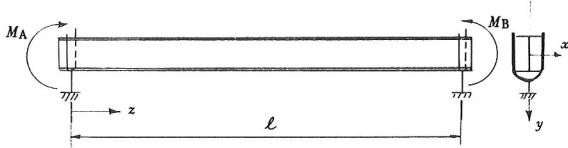


図-5 両端にモーメント荷重が作用する桁

#### 2-4 荷重載荷位置の影響

指針の規定では、荷重位置は問題にされていないが、同一の曲げモーメント分布であっても荷重載荷位置により座屈荷重は変化する。これは、桁のセン断中心から載荷点位置がずれると図-6に示すように桁にねじりモーメントが付加されるからである。セン断中心より上側に載荷した場合は、

$$dM_z = -P y_p d\phi \quad \text{--- ⑥}$$

で、下側に載荷したときは、 $\oplus$ のねじりモーメントが付加される。単純支持された桁の荷重位置のパラメーターを含んだ式は、次式によって与えられる。

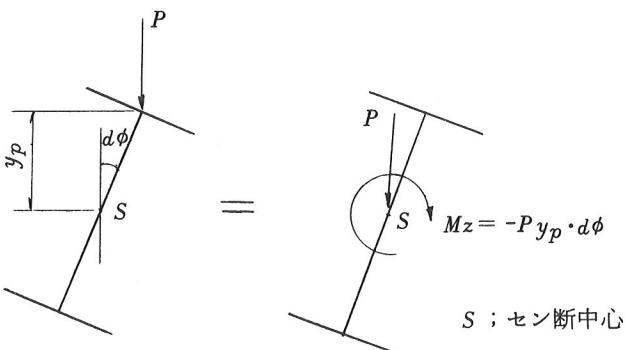


図-6 荷重位置の影響

$$M_{ki} = \alpha \frac{\pi^2 EI_y}{\ell^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{-5 y_p}{\pi^2} \right)^2 + C^2} - \left( \frac{-5 y_p}{\pi^2} \right) \right] \quad \text{--- ⑦}$$

$$\text{ここで } C = \sqrt{\frac{I_w + \frac{GK_T}{\pi^2 E} \ell^2}{I_y}}$$

#### 計算例

プレフレクション時の曲げモーメントは台形分布であるが近似的に放物線分布と仮定して荷重が上フランジ、セン断中心、下フランジに載ったときの各座屈モーメントを計算する。断面及びスパン長は下図のものとする。

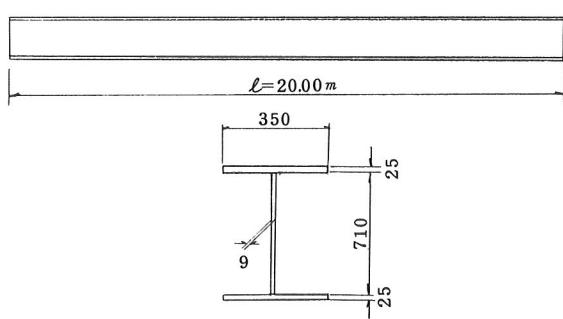


図-7 計算例

$$I_y = 1.97 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \quad E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2 (205.9 \text{ GPa})$$

$$I_w = 2.58 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \quad G = 8.1 \times 10^{10} \text{ N/mm}^2 (79.4 \text{ GPa})$$

$$K_T = 3.82 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \quad \ell = 20.000 \text{ m}$$

⑦式に値を代入してそれぞれの  $M_{ki}$  を求めると、

$$\alpha = 1.12 \quad C = 0.691$$

$$M_{ki} (\text{上フランジ}) = 53 \text{ t}\cdot\text{m} (519.8 \text{ KN}\cdot\text{m})$$

$$M_{ki} (\text{セン断中心}) = 72 \text{ t}\cdot\text{m} (706.8 \text{ KN}\cdot\text{m})$$

$$M_{ki} (\text{下フランジ}) = 93 \text{ t}\cdot\text{m} (912.0 \text{ KN}\cdot\text{m})$$

となる。

これから上フランジと下フランジ載荷ケースでは約2倍の安定差があり、桁高が大きくなれば、さらにこの差は著しく大きくなる。

これとは別に鋼桁がターンバックルで載荷台に固定されていることから、その位置で鋼桁の回転と横変位を拘束されるものと考えると、片持部の先端に集中荷重が作用した張出し梁の座屈問題として扱うことができよう。

ここで、桁は支点上においてねじり回転と横変位は拘束

されるが、面内の回転は拘束されていない。このときの座屈モーメント  $M_{ki}$  は、次式で与えられる。

$$M_{ki} = \frac{k}{\ell^2} \sqrt{EI_y GK_T} \quad \text{--- (8)}$$

$k$  は  $\chi$  の関数として図から求められ、

$$\chi = \frac{EI_w}{GK_T \ell^2} \quad \text{--- (9)}$$

である。

図-8は文献(1)を参照したもので、 $k-\chi$  の関係グラフである。 $\chi$  は、そりの影響が大きくなると、すなわち桁高が大きくなるに従ってその値は大きくなる。逆にサンプナンのねじりの影響が大きくなると小さい値となる。桁高が大きくなるほど荷重載荷位置の影響が大きくなり、座屈係数  $k$  の差が大きいことが分かる。例として、前述の計算例の断面を用いると、 $\ell_1=\ell_2=10\text{ m}$  の場合  $\chi=0.175$  となる。上フランジに載荷したとき  $k=2.7$  で、セン断中心に載荷したときは、 $k=6.2$  となり、さらに下フランジに載荷すればこの値よりも大きくなる。

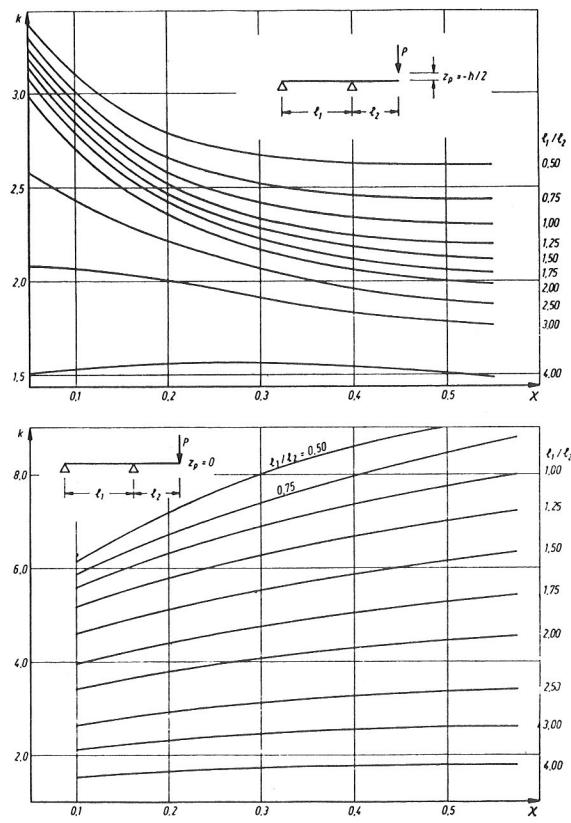


図-8 張出し桁の横座屈係数 (DIN 4114)

## 2-5 横支持の影響

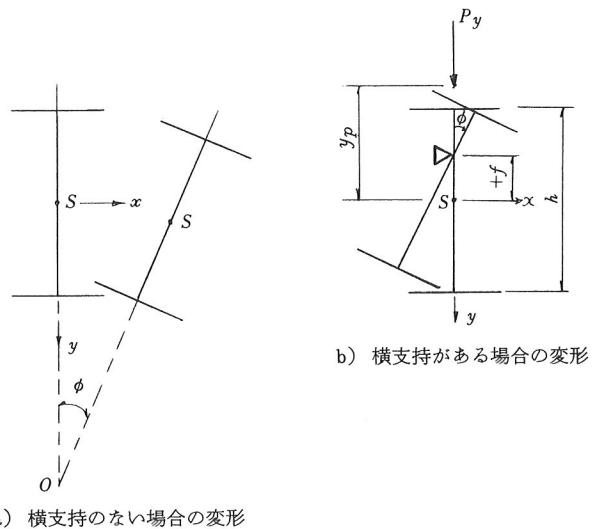


図-9 横支持による影響

横支持により桁は、横方向の移動と回転が拘束され、座屈荷重を高めることができる。断面上の横支持位置と座屈荷重について検討する。二軸対称 I 型断面の桁が単純支持（端部でねじりと横変位を拘束）された場合、横支持位置と荷重位置を考慮したときの座屈モーメント  $M_{ki}$  は

$$M_{ki} = \frac{k}{\ell} \sqrt{EI_y GK_T}$$

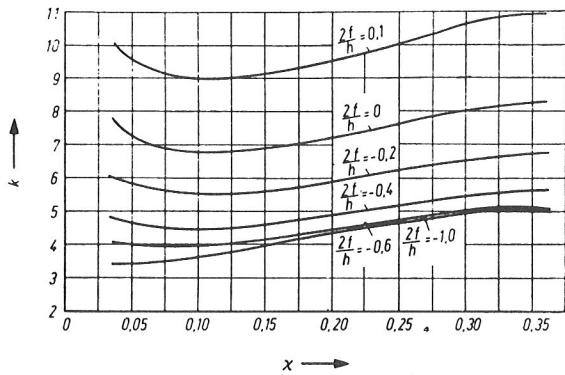
$$\text{ここで } k = \frac{\frac{1}{\sqrt{\chi}} + \pi^2 \sqrt{\chi} (1 + (\frac{2f}{h})^2)}{0.81 (\frac{2y_p}{h}) - 1.74 (\frac{2f}{h})}$$

$$\chi = \frac{EI_w}{GK_T \ell^2}$$

$h$ ；桁高、 $f$ ；セン断中心から横支持までの距離

であらわされる。

$y_p = \frac{h}{2}$ 、上フランジに荷重が作用したときの横支持の位置  $f$  と  $k$  との関係をグラフにしたものを見図-10に示す。これから横支持の位置は、圧縮側に設置した方が効果があることが分かる。

図-10 座屈係数  $k$  と横支持位置との関係

## 2-6 桁のセット誤差による影響

鋼桁を載荷台に設置する場合、施工上桁が多少ずれることがあるが、このような時には、荷重が桁に鉛直に作用せず、水平力やねじりモーメントが付加される。桁には曲げとそりによる垂直応力が合成される。二次理論における垂直応力は、次式で与えられるが、 $M_y\Phi$ ,  $M_x\Phi$  は二次的影響を示している。

$$\sigma = \frac{M_x + M_y \Phi}{I_x} y - \frac{M_y - M_x \Phi}{I_y} x + Ew\Phi'' \quad \text{--- ⑩}$$

w ; そり関数

第1項から第3項までの応力の和を求めると下図のようにになる。

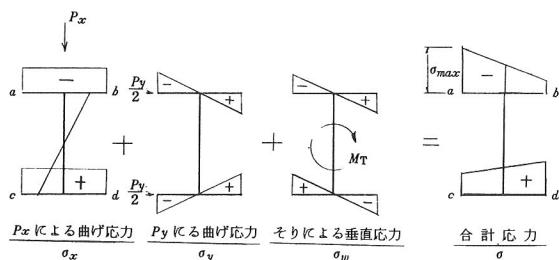


図-11 軸方向垂直応力

この図から最大圧縮応力が発生するのは、図の(a)点であり、この点で座屈を起こす可能性がある。

プレフレクション時では、載荷台位置で桁の最大曲げやそりモーメントが生じ、等断面桁ならば当然その位置で最大圧縮応力が生ずるが、張り出し部では一般にフランジの断面が途中から変化するので、最大圧縮応力が断

面変化点で発生する可能性がある。

## 2-7 結 果

以上のことから次のことが結論づけられる。

- (1) プレフレクションの荷重載荷位置は、上フランジよりも下フランジに設けた方が良く、桁高が大きい場合にはより効果的となる。
  - (2) 横支持の位置は、セン断中心よりも上側、すなわち圧縮側にした方が効果がある。
  - (3) 桁の急激な断面変化をさけ、圧縮フランジはできるだけ断面変化を小さくする。セット誤差がないものとすれば、板幅は一定として板厚を変化させた方が有利である。  
今後の改良事項としては、
    - (1) 力学上あるいは経済性から見て、桁の継手をボルト接合から溶接接合にすることが考えられる。
    - (2) 桁本数が多いときには、桁を横構などで連結し、一度にプレフレクションを与える方法も考えられる。  
プレフレクション時の桁の安定性が増大すれば、作業性の向上はもちろん、プレビーム合成桁の可能スパンがさらに伸び、しかも経済的になるものと考えられる。
- 上記の検討結果をもとに本橋の計画設計施工を行った。

## 3. 工事概要

(1) 工事名称 阿那賀跨道橋上部工工事

(2) 発注者名 本州四国連絡橋公団第一建設局  
洲本工事事務所

(3) 工事場所 兵庫県三原郡西淡町阿那賀伊毬

(4) 工期 着手 昭和 56 年 10 月 1 日  
竣工 昭和 57 年 9 月 15 日

(5) 橋梁諸元

橋梁型式 プレビーム合成桁

橋長 45.600 m (道路中心曲線長)

桁長 45.669 m (主桁方向直線長)

支間 44.900 m ( " )

橋格 1 等橋 (TL-20)

幅員 車道 9.0 m 全幅 10.0 m

縦断勾配 8.538% 直線 (桁勾配)

横断勾配 4.520% 直線 ( " )

主桁本数 7 主桁 (6 @ 1.480 = 8.880)

桁高 1.500 m

(床版上面より桁下面まで)

斜角右  $60^\circ$ 床版 RC 床版  $18\text{cm}$ 

使用鋼材 SM58, SS41

使用コンクリート 下フランジ  $\sigma_{ck}=500\text{kg/cm}^2(49.0\text{MPa})$   
 $\sigma_{ck}=450\text{kg/cm}^2(44.1\text{MPa})$   
 床版・横桁  $\sigma_{ck}=350\text{kg/cm}^2(34.3\text{MPa})$   
 ウエブ・他  $\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2(23.5\text{MPa})$

架設 トラッククレーンによる相吊り

## (6) 主要材料

表-1 数量総括表

		単位	数量	摘要
重	主桁	TON	158	SS41, SM58
	横桁	"	2	SS41
	合計	"	160	
鉄筋重量		"	3.6	SD30, SR24
コンクリート	下フランジ	$\text{m}^3$	7.8	$f'ck = 500 \text{kg/cm}^2$
	床版・横桁	"	15.7	$f'ck = 350 \text{kg/cm}^2$
架設重量		TON	4.72	桁木数 7 本

 $(1\text{TON}=9.8\text{KN}, 1\text{kg/cm}^2=9.8 \times 10^{-2}\text{MPa})$ 

## 4. 橋梁計画概要

## 4-1 術配置の計画

## 4-1-1 床版形状

本橋は平面曲線  $R=200\text{m}$  の区間にある為、主桁の配置方法として表-2に示す2案を考えた。

表-2 床版形状比較表

形状	第1案	第2案
構造性	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版張出し量の開拓上、曲面外側の外桁の断面力が最も大きく、各桁の断面力のバランスが悪くなる。</li> <li>桁配置区間が短く、主桁が離れる。</li> <li>施工上問題はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各桁の断面力のバランスは第1案より改善され、ほぼ均等に分配される。</li> <li>直橋と出来るため、構造が簡単となる。</li> <li>桁配置区間が広く、これによる無理のない桁配置を確保出来る。</li> <li>遊び床版が出来るが、死荷重及び活荷重が増加する。</li> </ul>
施工性	床版の張出し量が変化するので、床版施工時において第2案を好む。	床版の張出し量が一貫となり施工が容易と考えられる。
経済性	主桁本数はその配置上、第2案より少なくなるが、1本当たりの断面が大きくなる。又、断面が断面力の最も大きい外桁で決定されるが、第2案に比して明らかに経済的とは言えない。	橋台巾が第1案より大きくなり、下部工費の増加を招く。
評価	構造上および施工上好ましくない。	橋面積、橋台巾は増加するが、構造上および施工上好ましい。

プレビームの曲線桁については、施工上煩雑になると予想されたため今回対象外とした。

この2案について比較を行い構造性、施工性において有利と考えられる第2案を採用した。

橋幅は曲線によるシフト量を計算し  $10.000\text{m}$  とした。

## 4-1-2 横桁の方向

横桁の方向については、主桁と横桁のなす角度が  $60^\circ$  になるが、施工性に重点を置き斜角方向に配置した。

## 4-1-3 橋梁上の縦横断勾配の処理

本橋道路線形要素

平面線形  $R=200\text{m}$ , 一部クロソイド曲線

縦断線形 8.5% 直線勾配

横断線形 5% 直線片勾配(一部変化)

この条件より構成される道路面は複雑な曲面となるので、その処理方法として均しコンクリートを使用した。

なお、均しコンクリートの量は出来るだけ少なくなるように主桁配置の計画を行った。(表-3, 第3案)

この結果平面(床版上面)に対する曲面(アスファルト舗装下面)の最小の均しコンクリート厚は  $0\text{mm}$ 、最大は  $138\text{mm}$  程度となった。

表-3 路面勾配の処理方法

第1案	第2案	第3案
均しコンクリート無し 	均しコンクリート有り 	均しコンクリート有り 
主桁は横断勾配なしに並べ曲面となる場合は主桁キャンバーで調節する。 (床版コンクリート上面は曲面)	主桁は主桁直角方向に水平に並べ横断勾配の影響は均しコンクリートで調節する。 (床版コンクリート上面は平面)	主桁は横断の影響が小さくなるように適当な横断勾配なしに並べ曲面となる場合に均しコンクリートで調節する。 (床版コンクリート上面は平面)
施工がほん難であり桁下間に不ぞろいとなる。	施工上問題はない。	施工上問題はない。
合成死荷重が最も軽くなり主桁への断面力は最小となる。	横断勾配が大きいために合成死荷重が増加して主桁への断面力は最大となり不経済な断面となる。	合成死荷重は第1案より大きくなるがほどんど差はない。

## 4-2 部材長の決定

プレビームの添接位置は桁高とコンクリートのかぶりの関係より全体鋼重に大きな比重を占める。

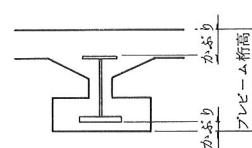
これはほとんどのプレビームが厳しい桁高制限を受けているためであり、その相互関係を図-12に示す。

本橋も桁高制限が厳しく、施工性及び経済性を考慮し運搬可能な部材長を  $25.000\text{m}$  とした。(表-4参照)

表一 4 部材長の比較表

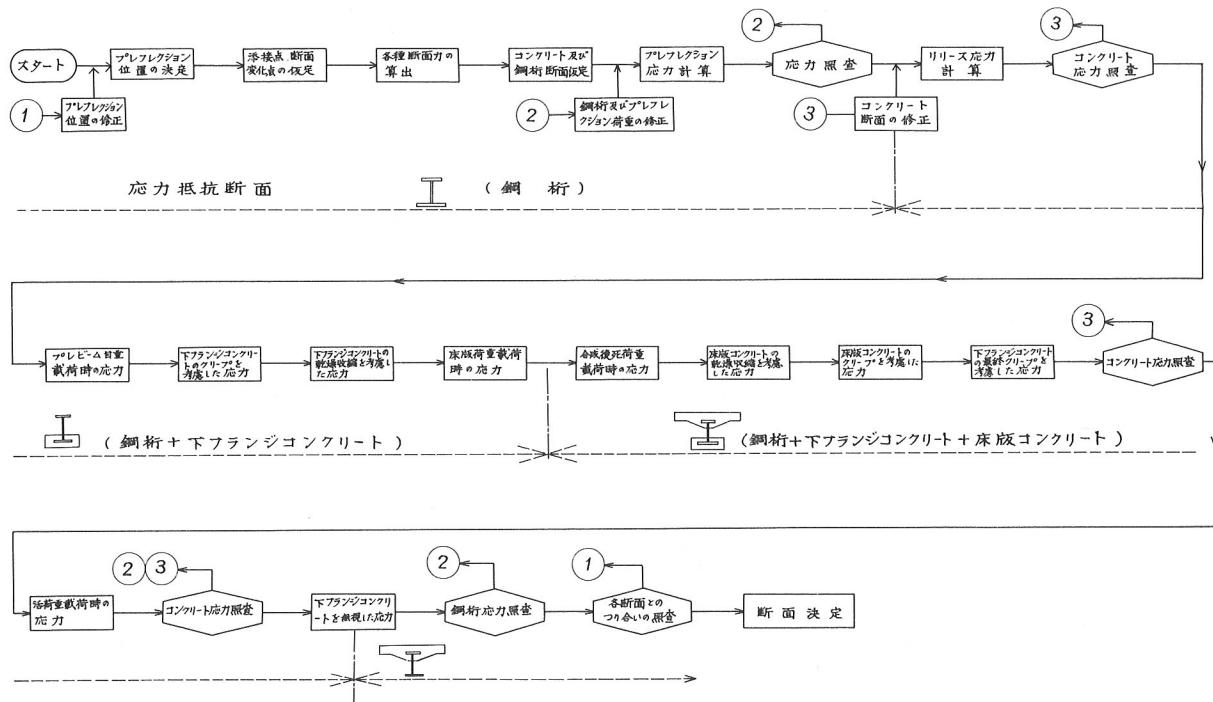
部材長	21,000 m	25,000 m
添接位置 * SP2で示す		
構造上の特質	添接板が大きくなり、かぶりを確保するために鋼桁ウェブ高が若干低くなる。 また、より高い上下フランジは大きくなり、鋼重が増加する。 プレフレクション点と最も經濟的位置と武定できるので、プレフレクションモーメントが最大以上に増加し、それにともない断面が大きくなる。 添接板が薄くない場合の上部において特に注意。	添接板が小さく、かぶりの確保も容易である。 プレフレクション点と最も經濟的位置と武定できるので、プレフレクションモーメントが最大以上に増加し、それにともない断面が大きくなる。 運搬は容易、添接板が大きいので、添接は複雑となる。 下フランジの配筋およびコンクリートの打ち込み床版の配筋およびコンクリートの打ち込みはかぶりが制限されるので、特に注意を要する。
施工性	運搬は容易、添接板が大きいので、添接は複雑となる。 下フランジの配筋およびコンクリートの打ち込み床版の配筋およびコンクリートの打ち込みはかぶりが制限されるので、特に注意を要する。	運搬は容易、運搬車両等から制限して可能である。 添接およびコンクリートの打ち込みは容易である。
全体鋼重 (25,000 m時)	110%	100%

- (1) 母材が厚くなり、鋼重が増加する。
- (2) 添接板が厚くなり、コンクリートのかぶりが減少する。
- (3) コンクリートのかぶりを増加させるため鋼桁のウェブ高を低くする。※
- (4) (1)へもどる。



※ 上図で示すようにプレビーム桁高が一定であればかぶりを増加させるには、鋼桁ウェブ高を低くしなければならない。

図一 12 かぶりと桁高の関係



図一 13 プレビーム計算フローチャート

## 5. 設計施工概要

図一 13 にプレビーム設計および製作のフローチャートを示す。

### 5-1 鋼 桁

鋼桁の材質は SM58 とし桁中央断面は図一 14 のようになつた。なお板厚 51 mm は本四公団の基準によつた。なお鋼桁に HT70 の高張力鋼の使用も考えたが、今

回は見送る事とし、今後の研究に期待する事とした。

板厚 51 mm の SM58 材の製作加工は四国工場にて行つたが、従来のプレビームの板厚と比べて溶接性等に特に差は生じなかつた。

### 5-2 桁製作ヤード

本橋の桁長は 45.8 m であり、製作ヤードは架設地点より約 200 m 離れた本線予定地に確保した。

リリース時の桁1本のプレビーム自重が51.2 tonと重く、吊点が桁両支点より2.5m以上内側で吊るため、大型トラッククレーンが必要であるが、淡路島内に大型クレーンが無く、桁移動用定置式40ton吊門型クレーン2基を配置した。又回転枠ベースは通路等の障害になるためベースコンクリートは打設せず可搬式のものとした。この結果従来のヤードに比べると小スペースにてできた。

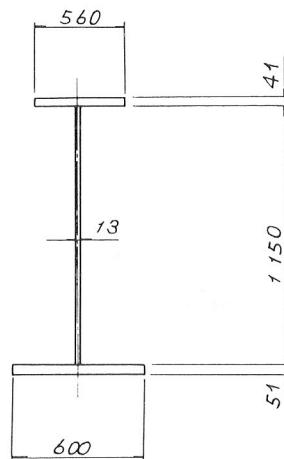


図-14 鋼桁センター断面

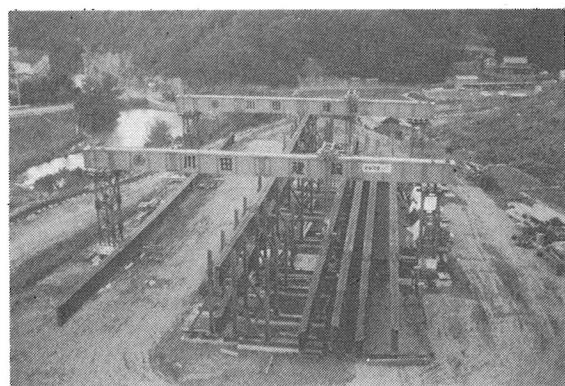


写真-1 ヤード全景

### 5-3 プレフレクション

プレフレクション位置、プレフレクション荷重は最小の荷重で最大の効果を得る様に決定した。

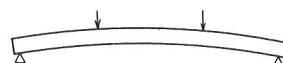
プレフレクション位置 支点より 12.9 m

プレフレクション荷重 80 ton (784.5 KN)

なお今回この作業には従来の圧縮ジャッキを用いず、引張りジャッキを使用した。

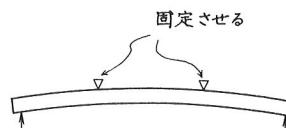
引張りジャッキを使用すれば、圧縮側のフランジに荷

### (1) 設計・算上での載荷方法



プレフレクション点で上から下へ荷重を与える。

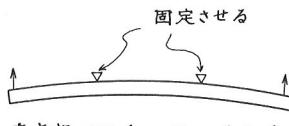
### (2) 圧縮ジャッキを使用した方法



支点部にて下フランジを上へ押し上げる。

(詳細は図-16参照)

### (3) 引張りジャッキを使用した方法



支点部にて上フランジを上に引張り上げる。

(詳細は図-17, 18参照)

図-15 プレフレクション方法

重を載荷する事となり、別途検討の様に、格段の安定性が得られるものと予想された。

図-15の(2)と(3)の相違については前項の荷重載荷位置における座屈限界荷重の差にあてはまる。

これを実際のプレビームの鋼桁の作業で示すと次の様になる。図-16は従来のプレフレクション方法、図-17、図-18は今回のプレフレクション方法を示す。

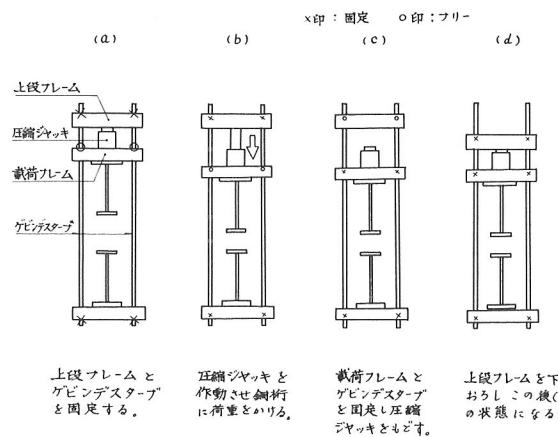


図-16 圧縮ジャッキを使用したプレフレクション方法

支点付近の構造は、引張りジャッキを使用する事により、荷重のウェブへの伝達、上フランジの補強等を考慮

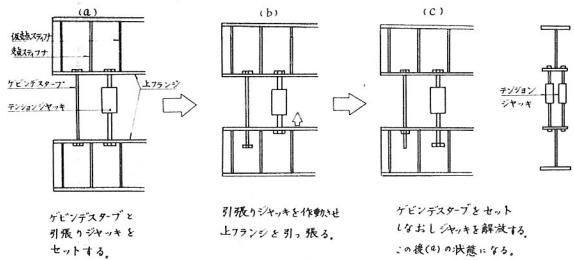


図-17 引張りジャッキを用いたプレフレクション方法

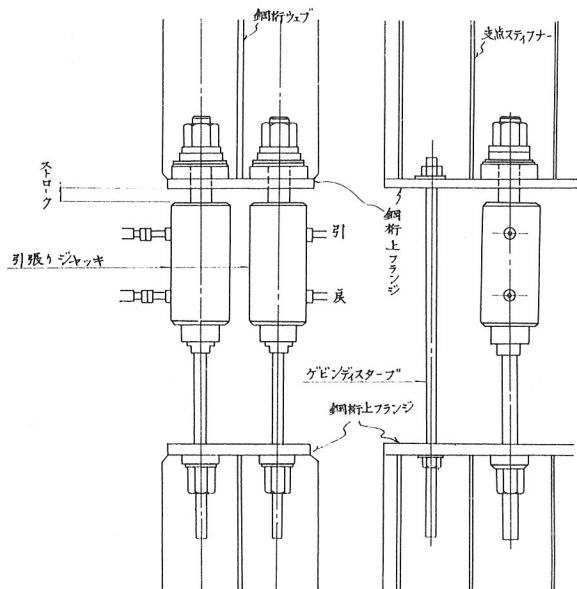


図-18 引張りジャッキ詳細

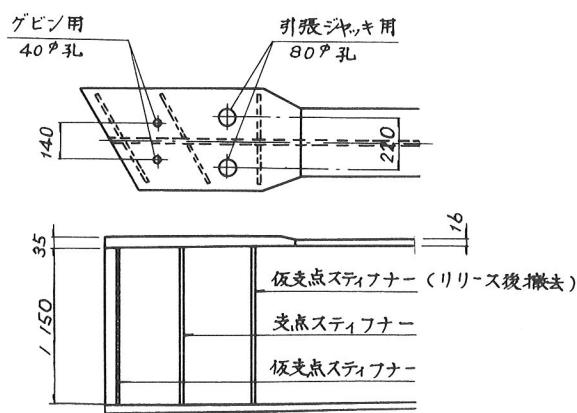


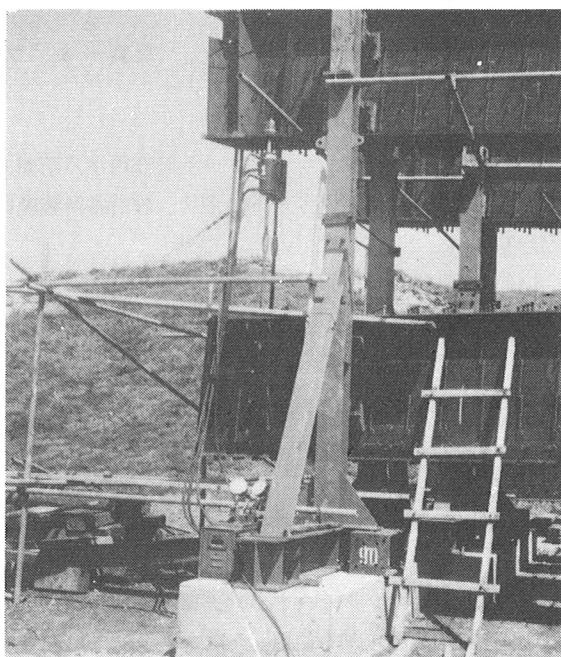
図-19 上フランジ支点部

し、図-19で示す構造とした。

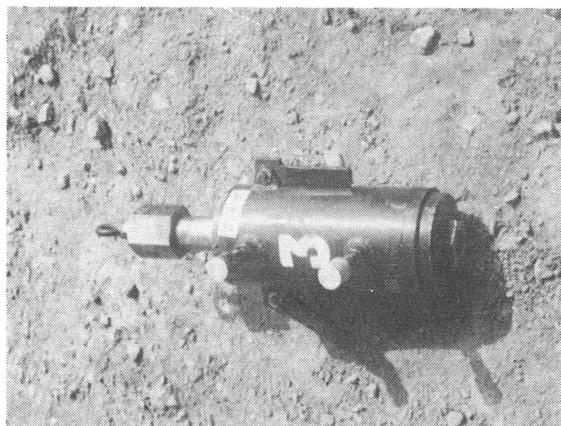
実際の施工時においては横座屈の前兆等はいっさい見られず、この工法の安定性及び有利性は十分に立証されたと考えられるが、以下の問題点もあるので今後この点を改良したいと考えている。

#### 問題点

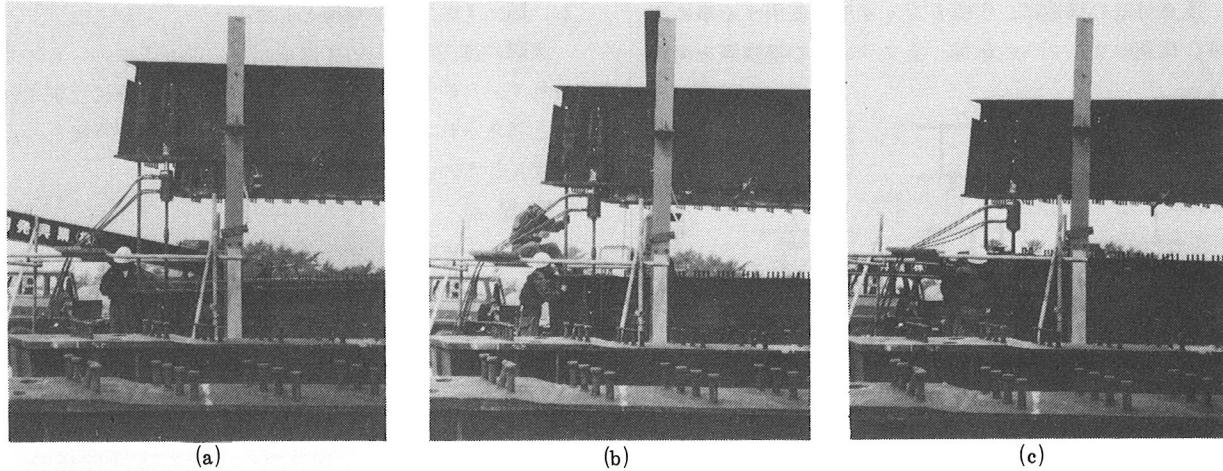
- (1) ジャッキのストロークが約100mmと小さいので、ジャッキの盛替作業が多くなる。
- (2) 柄と柄との間にジャッキがセットされるので、横支持フレーム及び載荷台梁の高さが高くなる。
- (3) 1回の作業に4台のジャッキが必要である。



(a) プレフレクション装置



(b) 引張りジャッキ  
写真-2



写真一 3 プレフレクション作業

## 5-4 下フランジコンクリート

完成状態で下フランジコンクリートに作用する断面力から、下フランジコンクリートの形状、設計基準強度は決定される。

本橋の場合について以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{設計基準強度} & \quad \sigma_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2 (49.0 \text{ MPa}) \\ (\text{リリース時}) & \quad \sigma_{cl} = 450 \text{ kg/cm}^2 (44.1 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

設計荷重時仮想最大引張応力

$$\sigma_{ct} = 48.8 \text{ kg/cm}^2 (4.79 \text{ MPa}) < \sigma_{ca} = 67.1 \text{ kg/cm}^2 (6.58 \text{ MPa})$$

下フランジコンクリートの打設は、最初の1本を従来の様にトラッククレーンによるバケット方式で行ったが、その後の打設はコンクリートポンプ車を使用した。

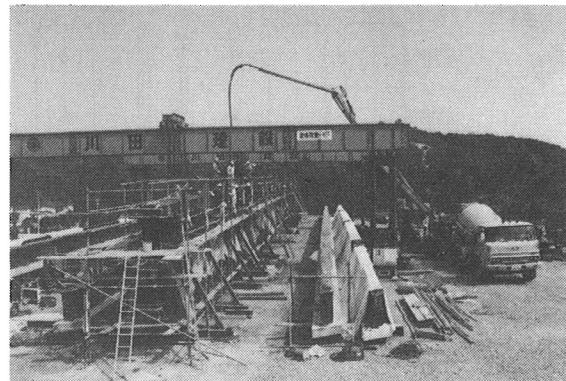
従来、高性能減水剤を使用したコンクリートは高強度で、スランプは大きいが粘性も大きく早強性があるため、ポンプ車の清掃が困難でありポンプ車リース業者から敬遠され実施例がなかった。

今回は公団及び生コン会社〔兵庫コンクリート㈱〕の協力を得て、事前に運搬時におけるスランプドロップ、生コンの吐出時の材料分離の有無、ポンプ車に粘着したコンクリートの清掃の難易等を実験した結果、いずれの事項も問題ではなく、公団の承諾を受けてポンプ車打設とした。

この結果、打設時間が従来の半分以下となり、生コンの仕上げ、養生、品質管理上好結果を得た。

下フランジコンクリートには、早強性があり、ワーカビリティーを向上させる高性能減水剤としてマイティ150をセメント量の2.4%添加した。

高性能減水剤は、使用時の気温、投入時期等により効果がバラツクので細心の注意が必要である。



写真一 4 ポンプ車による下フランジコンクリートの打設

表一 5 試験練結果表

設計条件	配合						まだ固まらないコンクリート			硬化コンクリート			硬化コンクリート伸び率 (マイティ150)			
	粗骨材最大寸法	ストラップ量	空気量	設計基準強度	水セメント比	細骨材率	単位セメント量	単位水	単位粗骨材量	スランプ	空気量	コンクリート温度	$\sigma_t$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{28}$ kg/cm <sup>2</sup>	単位重量	
mm 20 $\pm 2.5$	18cm $\pm 1$	4.9 $\pm 1$	kg/dm <sup>3</sup> 500	kg/dm <sup>3</sup> 33.3	kg 4.80	% 44	kg 160	kg 740	kg 963	cm 215	kg 4.0	°C 105	kg/cm <sup>2</sup> 521	kg/cm <sup>2</sup> 639	kg/m <sup>3</sup> 235	Cx 12.3 24.4%

## 5-5 桁のキャンバー

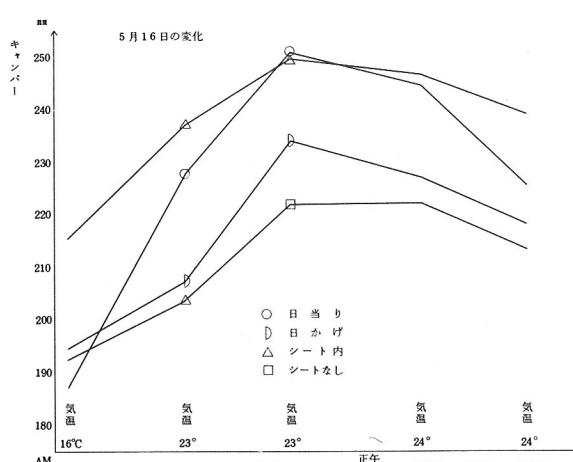
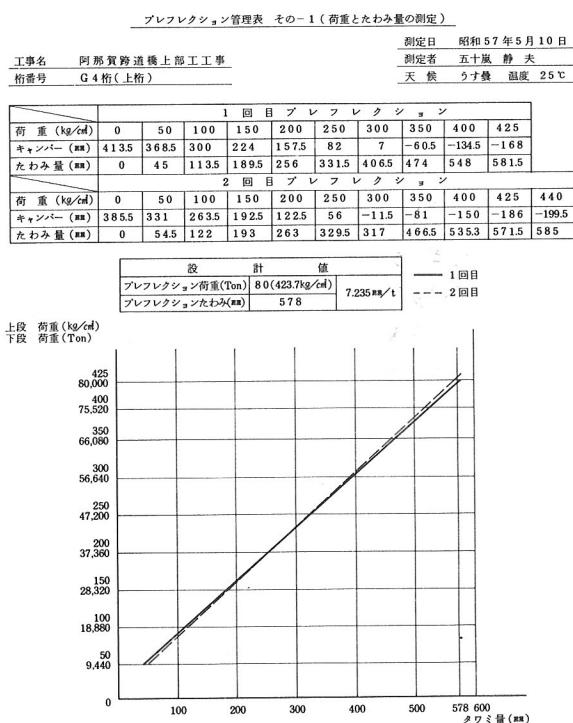
桁のキャンバーは下記の各施工段階において測定した。キャンバーは気温、部材の表面温度等による変化が大きいため、早朝測定を行った。

しかしプレフレクション時におけるキャンバーは、温度の影響を避けられないでデータに若干のバラツキが出る可能性がある。今後の課題として気温、部材の表面

温度等の影響を少なくするか、補正方法を検討する様にしたい。

- ① 工場組立時（桁は正の状態でpf点で支持）
- ② 現場組立時（桁はプレフレクションの状態でpf点で支持）
- ③ H.T Bolt締付後（同上）
- ④ 鋼桁セット時（上桁は引張りジャッキ取付後）
- ⑤ 残留タワミ除去時（同上）

表一 6 プレフレクション管理表



図一 20 1日の主桁のキャンバー変化（リリース後仮置時）

- ⑥ プレフレクション完了後（桁はpf点で支持）
- ⑦ リリース後仮置（支承点より内側の仮支点で支持）
- ⑧ ウェブコンクリート打設後（同上）
- ⑨ 桁架設完了後（両支点で支持）
- ⑩ 床版打設後（床版コンクリート及び均しコンクリート打設後）

キャンバー測定結果は表一 6, 7 に示すとおりである。なお、昼間の日照等による温度変化の影響についても、条件を変えて測定したので結果を図一 20 に示す。

表一 7 各施工段階のキャンバー表 (G4 桁)

	支間中央キャンバー		支 持 状 態	測定日, 天候, 気温	備 考
	設計値	実測値			
① 工場仮組時	438	436		57. 2. 24 雨 4°C	
② 現場仮組時	426	418		57. 3. 19 晴 10°C	
③ H.T.B 締付後	426	419	同 上	57. 3. 27 晴 11°C	
④ 鋼桁セット時	424.5	413.5		57. 5. 10 うす曇 25°C	
⑤ 残留タワミ除去後	395.5	385.5	同 上	同 上	
⑥ プレフレクション後	-175	-184		同 上	
⑦ リリース後仮置	—	201.5		57. 5. 26 晴 19°C	リリース後の材令3日
⑧ ウェブ打設後	161	167		57. 6. 10 晴 20°C	リリース後材令16日 ウェブ打設後 8日
⑨ 桁架設後	153	159		57. 7. 22 晴 22°C	
⑩ 床版打設後	35	50	同 上	57. 8. 18 晴 25°C	

各施工段階キャンバー表 (G4 桁)

## 5-6 架 設

桁架設に先立ち支承を据付けたが、縦横断勾配が8.54%、横断勾配が4.52%と大きいため桁移動量等を考慮し入念に測量を行い、桁架設前に固定・可動両支承とも、無収縮モルタルで固定した。

桁小運搬は、桁製作ヤードより架橋地点迄運搬路を整備し、100ton 及び 80ton 吊りクローラークレーンの相吊りで、低床トレーラーとトラクターにより行った。

桁架設は、本四連絡道路本線工事用仮設備等が障害となつたため、150ton, 127ton 吊りトラッククレーンによる相吊り架設とした。

支承がペアリング支承であり、桁の縦横断勾配が大きいため、桁の転倒防止用に橋台支承前面に鋼製枕木及びライナープレートで転倒防止の処置を施した。

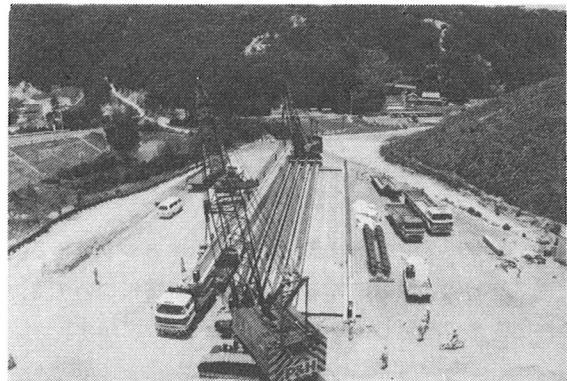


写真-5 プレビームの吊り込み

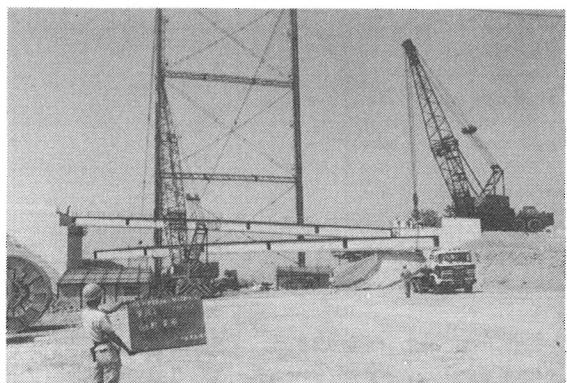


写真-6 桁架設状況

桁架設時における安全対策を以下に示す。

- (1) 第三者対策として立入禁止柵を設け、誘導員、ガードマンを配置した。
- (2) 橋台回りに桁据付位置確認用プラケット足場を設けた。
- (3) 1本目架設時の台付ワイヤー取外し用に、橋台部壁高欄鉄筋より親綱を取り安全帯を使用した。
- (4) 2本目架設後桁上フランジ上にころばし足場板手摺を設置し通路とした。
- (5) その他クレーン足回り、吊荷重と作業半径、合図の徹底等に留意しミーティングを行い周知徹底した。

### 5-7 横 桁

横桁は、従来のプレビームと同じく鉄骨鉄筋を用いたRC構造とした。

床版打設時の横倒れ座屈に対しては、支点のねじれを拘束すれば計算上安全であったが、主桁間隔の保持およ

び床版打設時の上フランジの変形を拘束するために、各横桁の上面にアングル( L 75×75×9 )をストラットとして用いた。

縦横断勾配が大きくスパンの長い桁では、このストラットが桁の転倒防止上有効な役割を果たした。

しかし、今回の様にBP沓を使用する場合、桁架設時に桁の回転を拘束するものはこのストラットのみなので、今後は回転をより拘束する方法(例えば沓を大きくする。又はより強固な横桁を用いる等)を考えたい。

### 5-8 床 版

床版の設計は「鋼道示6章」によって行い、配筋方法は「建設省局長通達 S54.4」を満足させた。なお、設計基準強度  $\sigma_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2 (34.3 \text{ MPa})$  は主桁作用との重ね合わせより必要となった。

主鉄筋ピッチ D19-150ピッチ

配力筋ピッチ D16-130ピッチ

均しコンクリートは0~138mmと変化量が大きく、変化点が直線でないので、施工上床版コンクリートと同時に打設とした。

床版コンクリートは盛夏の打設となり、スランプドロップが大きいと予想されたので本四公団の承諾を得て、硬化遅延型減水剤としてポゾリスNo.8を使用した。

床版コンクリートの打設は、縦横断が大きいためスランプを9cm以下とし、低い所から高い所へと順に打設しコンクリートが低い方へ漏れないよう配慮した。

床版コンクリートの養生は被膜養生(ハードコートCL-E-1)と養生マットおよび散水による方法を併用した。

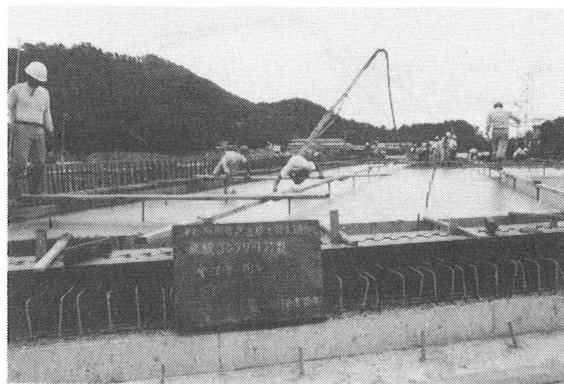


写真-7 床版コンクリートの打設

## 6. あとがき

本橋は現在（昭和 57 年 9 月）アスファルト舗装を残すのみとなっている。

今回使用した引張りジャッキによるプレフレクション方法は、その有利性、安全性が十分に立証された。

また高強度コンクリート打設時のポンプ車の使用、ヤードのコンパクト化においても十分な成果が得られたものと確信する。

しかしながら、今後の課題として以下の項目に示す製作、施工段階における精度の問題があるが、これらは力学的計算と実物とを十分に比較検討する事により解決できるものである。

① 鋼桁の製作誤差

② 鋼桁のプレフレクション時のセット誤差

③ 鋼桁の残留応力

またこれとともに、より確実な施工管理方法（例えば、マイコン使用による変形の測定等）も併せて考えて行きたい。

プレビーム工法は、橋梁においては既に 200 橋程度の実績はあるもののまだまだ成長段階であり、本橋での多くの試みや、新たに出された検討事項を基に改良を加えていけば、プレビームの長支間化や経済性、施工性はますます向上していくものと考えている。

最後に本橋の設計施工全般にわたって御指導いただいた本四公団第一建設局および洲本工事事務所の皆様に謝意を表するものである。

## 参考文献

- (1) Roik, 「Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe」
- (2) 吉田、井本、「拘束をうけるはりの弾性および非弾性横倒れ座屈解析」 1972 年 2 月、土木学会論文報告集
- (3) 「プレビーム合成げた橋設計施工指針」 1975 年 3 月、国土開発技術センター
- (4) 「阿那賀跨道橋計画概要書」 1980 年 9 月、本四公団第 1 建設局