

論文・報告

合理化手法によって実施された 新琴似高架橋の設計・製作・架設

Design, Fabrication and Erection of SHINKOTONI Viaduct by Rationalization Method

清澤 孝吉*
Kokichi KIYOSAWA

松永久夫**
Hisao MATSUNAGA

茂手木 博***
Hiroshi MOTEGI

小西哲司****
Tetsushi KONISHI

町田文孝*****
Fumitaka MACHIDA

橘吉宏*****
Yoshihiro TACHIBANA

SHINKOTONI Viaduct is a test bridge, of which the manufacture of steel girders and the construction of RC slabs were rationalized for the purpose of coping with labor shortage and shortening of construction period. As the method of rationalization for the manufacture of steel girders, the number of cross-sectional changes were decreased drastically by adopting only one cross section for each member. Hence the butt welding of flanges and webs due to the cross-sectional changes was abolished. Moreover, the trial assembling of the whole bridge was abolished, and partial trial assemblies were carried out. Further, the RC slabs and railings are changed to precast types. As the results, the labor saving at the time of manufacturing of the steel girders and the shortening of the construction period of the floor slabs were possible. In the past, rationalization like this was not carried out even though attention has been paid by various organizations. This paper summarizes the rationalization method.

Keywords : SHINKOTONI viaduct, rationalization, butt welding, partial trial assembling, precast slab

1. まえがき

慢性的な労働力不足による工程の遅れ、ならびに労務費の高騰、さらに労働時間の短縮が叫ばれるなど、建設業界を取り巻く環境は、現在非常に厳しいものとなっている。そのうえ第二東名・名神などのビッグプロジェクトも近い将来予定されており、労働力不足はさらに深刻化することが予想される。

今回実施された、日本道路公団発注の新琴似高架橋鋼上部工工事は、上記の問題を踏まえ、鋼桁の製作や床版の施工について合理化が図られた試験橋である。過去に本件のような合理化を行った例はなく、種々の機関から注目されている。

本文は、その内容について報告するものである。

2. 合理化の概要

(1) 橋梁諸元

本橋は、北海道横断自動車道小樽釧路線の西方、札樽自動車道（札幌西IC～札幌IC）の札幌市新琴似地区に新設されたもので、新琴似高架橋の上下線各2連の合計4連で構成され、そのうち合理化の対象となったのは、上り線の1連である。

一般図を図-1に、主要諸元を以下に示す。

道路規格：第1種第3級A規格

橋格：1等橋 (TL-20, TT-43)

橋梁形式：5径間連続鋼I桁

橋長：165 m

支間長：32.975 m + 33 m + 33 m + 32.8 m
+ 32.35 m

有効幅員：9.5 m

平面線形：クロソイド A=325～直線

斜角：90°

(2) 合理化手法

本橋における合理化の手法は、以下に述べる3点に集約される。

① 主桁断面変化数の大幅減。

② 全体仮組立の廃止。

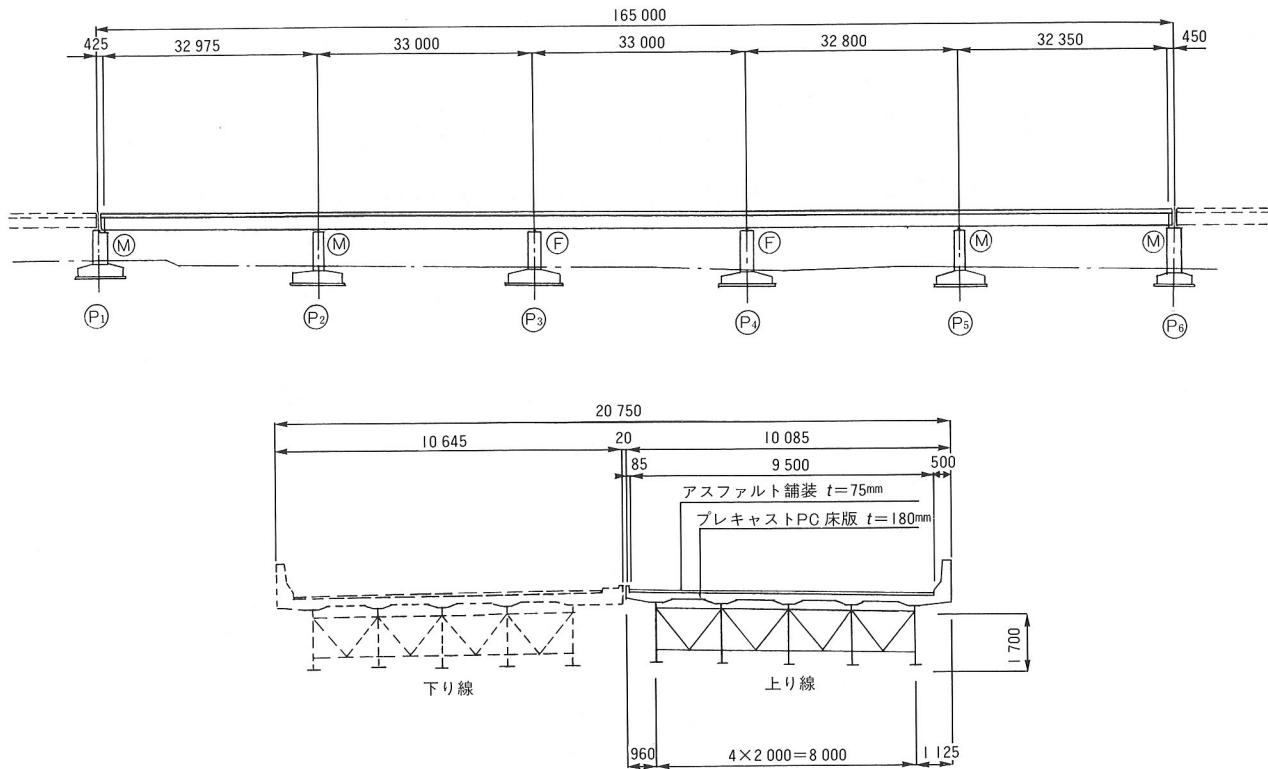
③ RC床版および壁高欄のプレキャスト化。

ここで、①は主桁製作時において、断面変化によるフランジ・ウェブの突合せ溶接作業を省略することにより工場製作の合理化を行うものである。

②は、多大な場所と時間を必要とする全体仮組立作業を廃止し、一部の代表的な箇所に限定して仮組立を行うことにより、製作精度を確認し、工程の短縮を行うものである。

③は、本橋のような鋼I桁の場合、現場架設作業で最

*川田工業(株)生産事業部富山工場生産技術課係長 **川田工業(株)橋梁事業部工事部工事一課係長 ***川田工業(株)技術本部技術二部設計一課
****川田建設(株)工事本部技術部技術二課 *****川田工業(株)技術本部中央研究室

図-1 新琴似高架橋上り線P₁～P₆一般図

多くの時間と労力を必要とするのがRC場所打ち床版であるが、それを工場製作によるプレキャスト床版とし、現場作業の合理化を行うものである。

3. 鋼桁編

(1) 設計

a) 合理化設計の概要

鋼I桁橋は、過去に多くの実績を持ち、設計手法も細部にわたり基準化されている。たとえば、支間長によって主桁の断面変化数もある程度決められているが、本橋はその断面変化数を大幅に減らした設計を行った。以下に合理化設計のポイントを述べる。

- ① 主桁断面は全て1部材1断面とし、断面変化は現場継手位置にて行う。
- ② フランジ断面は上下ともにそれぞれ幅を一定とし、板厚のみで断面変化を行う。したがって現場継手位置には、板厚調整用のフィラーブレートを使用するものとする。

断面変化における突合せ溶接を省略することを目的とするため、単に断面変化数を減らすだけでは不十分である。そこで、主桁の各部材間では断面変化を行わず、1部材1断面とすることにより、フランジ・ウェブの突合せ溶接を全て廃止するものとした。基本的な断面構成としては1支間あたり、支間中央部と中間支点上の2断面で構成されている。

また、フランジは床版の施工性および美観を考慮し、

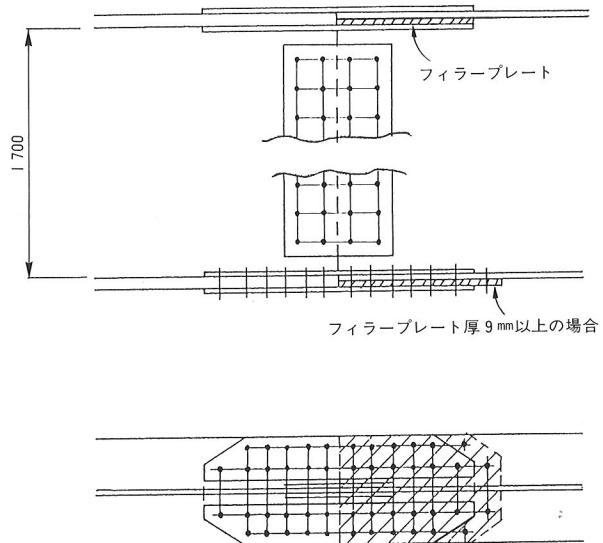


図-2 主桁現場継手形状図

幅を全長にわたり一定とした。さらにプレキャスト床版の施工を容易にするため、上フランジは上面にて高さをそろえ、ウェブ側へ板厚変化を行う形状としている。

図-2に現場継手形状図を示す。継手のボルト本数等の設計は、剛度の小さい側の断面にて計算を行った。

使用するフィラーブレートは、腐食を考慮して板厚差2 mm以下の場合は使用せず、最大厚は母材板厚以上となるよう設計段階にて、フランジ厚の調整を行っている。またフィラーブレート厚が9 mm以上となる場合、母材とフィラーブレートとのすべり防止の意味で、フィラ

	主桁断面形状 (GA I 桁にて比較)										鋼重	活荷重たわみ	
	フランジ材質	SM41	SM53										
詳細設計断面	上フランジ断面	420×19	450×32	450×22	480×22	420×22	390×19	360×19	500×25	380×19	430×22		
	断面長	3 350	3 500	14 600	3 800	3 200	4 600	3 100	13 571	3 700	3 500	3 000	16 900
	部材長	7 831	16 500	3 000	12 294	4 400	9 617	16 497	3 600	3 300	13 745	12 375	
	ウェブ断面	9	10	11	10	9	9	9	10	9	9	9	
	ウェブ材質	SM53	SM53	SM41	SM53	SM41	SM53	SM41	SM53	SM41	SM53		
	支間長	350	32 850			32 971					33 000		
	下フランジ断面	450×16	450×32	450×22	510×28	470×28	390×19	390×19	520×32	390×19	430×22		
		450×22	450×22	550×36	390×19		480×25	470×25					
	Flg : 300											主桁 220.6t	
												対傾構 25.7t	
												下横構 14.7t	
												合計 336	
													外桁 54mm
													中桁 40mm

合理化後断面	主桁断面形状 (GA I 桁にて比較)										無し	主桁 251.3t 対傾構 25.7t 下横構 14.7t (30.7t増)	外桁 49mm 中桁 32mm
	フランジ材質	SM53	500×28	500×32	500×21	500×24	500×22						
	上フランジ断面												
	部材長	9 206	16 500	16 411	16 500	16 492	15 125						
	および断面長												
	ウェブ断面	9	11	9	10	9							
	ウェブ材質	支間長	350	32 850		32 971					33 000		
	下フランジ断面												
		530×26	530×38	530×19	530×30	530×18							

図-3 主桁断面合理化による断面形状および鋼重比較

ープレートを添接板より外側に延ばし、ボルトを1列追加している。

フィラープレートを使用した高力ボルト摩擦継手は、一般にトラス構造の斜材や垂直材が取り付く格点部の継手に用いられているが、I桁の主桁継手に用いられた例はない。そこで、継手の安全性を確認する意味で、標準試験片を用いた引張試験を行っている。

部材長の決定においては、断面変化位置との制約がなくなるため、運搬・架設に支障のない範囲で長くした。これにより、現場継手数を1主桁あたり2カ所減らすことが可能となった。

図-3に合理化前後の主桁断面比較を示す。

b) フィラーブレートを使用した高力ボルト摩擦継手試験について

図-4に示すタイプ-1～5の5種類の標準試験片を用いて、純引張状態によるボルトすべり試験を実施した。試験ではすべり耐力の確認に加えて、フィラーブレートの使用が継手部の応力の流れに与える影響を調べるために、ひずみゲージを貼付し、応力測定を行った。

すべり試験結果を表-1に、試験における各試験片のすべり面と荷重35tf時の応力の流れを図-4に示す。

すべり係数は、フィラーブレートを挿入しても道路橋示方書¹⁾の規定値0.4を大きく上回っており、すべり耐力として安全であることが確認された。しかしながら、ス

プライスとフィラーブレートの長さを一致させたタイプ-2試験片のすべり挙動では、母材とフィラーブレートの間に摩擦が切れてすべった。これに対し、フィラーブレートをボルト1ピッチ分延ばした場合には、母材とフィラーブレートが一体となり、スプライスとの摩擦面すべる挙動を示した。

応力の流れでは、タイプ-2試験片において母材側のスプライスプレートに応力が偏ったが、他の試験片ではその傾向は小さかった。この時、タイプ-2の試験片におけるスプライスプレートの力の伝達量の差は約7:3であり、これは母材と両スプライスプレートとの中心間距離との比率(34.5mm:15.5mm=69:31)とほぼ一致した。

本橋では、フィラーブレートの板厚が9mm以上の場合にフィラーブレートをボルト1ピッチ分延ばしていることから、すべり耐力や応力の伝達として、本継手形式は安全であると判断された。

c) 考察

合理化断面したことにより、約12%の鋼重増加となつたが、断面変化による突合せ溶接を全て廃止することが可能となった。また、活荷重たわみが低減されるなど橋梁全体の剛性アップにもつながる結果となった。

(2) 製作

一般に、部材製作は、道路橋示方書で規定している部材精度(表-2)および、仮組立精度(表-3)を満足す

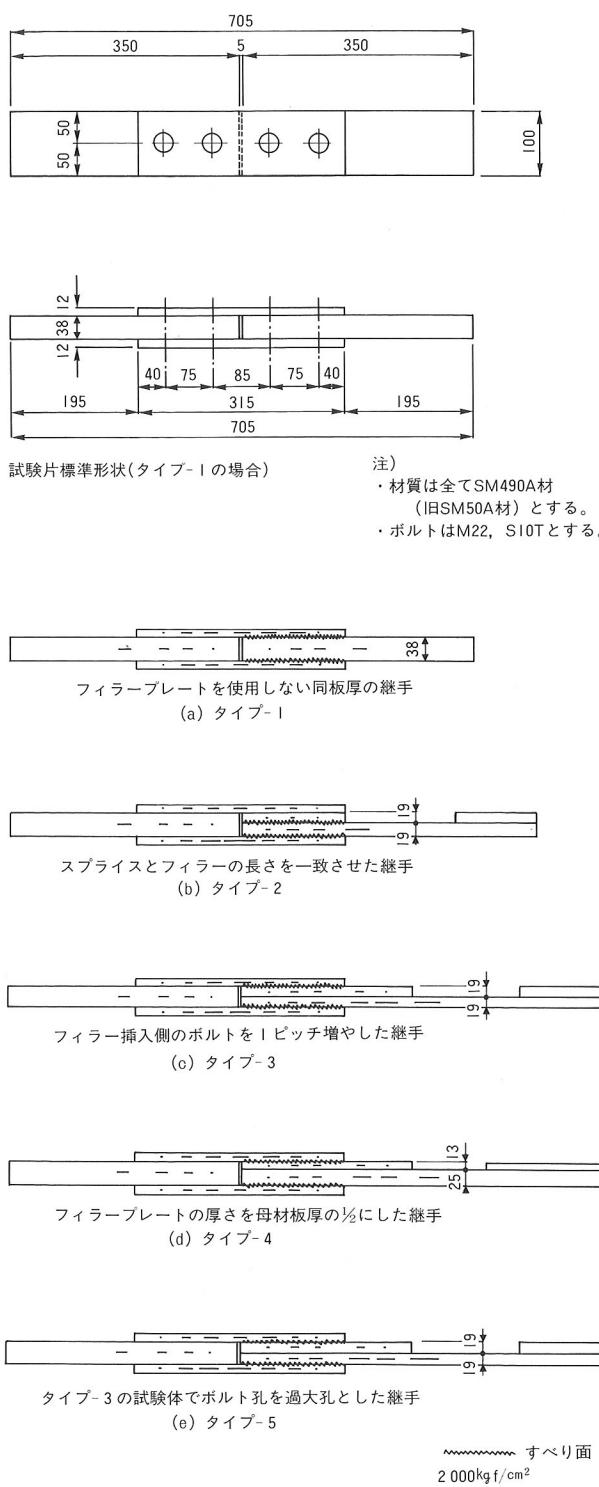
図-4 高力ボルト摩擦継手すべり試験片の種類
および試験片側面応力分布(荷重35 tf時)

表-1 高力ボルト摩擦継手すべり試験結果

試験片種類	導入軸力(tf)	ボルト本数	摩擦面数	すべり荷重(tf)	すべり係数
タイプ-1	22.1	2	2	53.5	0.608
タイプ-2	22.0	2	2	53.0	0.602
タイプ-3	23.0	2	2	55.3	0.601
タイプ-4	22.9	2	2	56.3	0.614
タイプ-5	22.8	2	2	55.6	0.610

ることが必須であり、保証できなければならない。それに対し、今回、全体仮組立を廃止することから、製作精度を部材精度から保証できる項目、そうでない項目に大別して着目点を定め、それに合致した製作手法、管理ならびに精度の設定を行った。

a) 部材の精度

部材精度規定で保証すべき項目は、表-2のとおりである。

表-2 部材精度

項目	許容誤差(mm)	備考	測定方法
フランジ幅 b (m)	$\pm 2 \dots b \leq 0.5$ $\pm 3 \dots 0.5 < b \leq 1.0$ $\pm 4 \dots 1.0 < b \leq 2.0$ $\pm (3 + b/2) \dots 2.0 < b$	b, h を代表したものである。	
腹板の平面度 δ (mm)	$h/250$	h : 腹板高 (mm)	
フランジの直角度 δ (mm)	$b/200$	b : フランジ幅 (mm)	
部材長 l (m) 伸縮継手	$\pm 3 \dots l \leq 10$ $\pm 4 \dots l > 10$ $-5 \sim +10 \dots w \leq 10$ $-5 \sim +(5 + w/2) \dots w > 10$	w : 車道幅員(m)	
圧縮材の曲り δ (mm)	$l/1000$	l : 部材長 (mm)	

また、仮組立有無の差で精度確認の可否を整理すると表-3のとおりとなる。表-3で示すように、主桁長や主構間隔などは、部材精度確認で十分対応が可能となるが、ボルト孔など部材連結部については、誤差が添接部へ集まることも考えられることから、部材精度の確認のみでその精度を判断することは困難と考えられる。

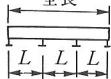
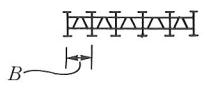
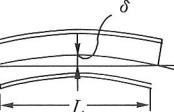
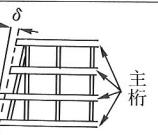
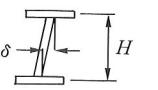
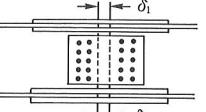
したがって製作においては、部材の連結部(取合い部)に注目した精度管理が肝要である。

b) 製作の基本方針

本橋は、部材精度および仮組立精度を満足させるため下記の方針を立てた。

- ① 部材寸法精度ならびに取合い部の施工管理目標値を設定した。
- ② 主桁添接孔は全て後孔方式とした。
- ③ 主桁、対傾構および横構の部材は、全数計測することとした。
- ④ 単品精度の重要なポイントとなる個所は、各作業の中で管理シート方式によりチェックすることとした。

表-3 仮組立精度

項目	許容誤差 (mm)	備考	測定方法	確認方法	評価
全長・支間長 L (m)	$\pm(10 + L/10)$	—		部材精度の累計で確認	◎
主桁・主構の中心間距離 B (m)	$\pm 4 \dots B \leq 2$ $\pm(3+B/2) \dots B > 2$	—		主桁と対傾構の精度で確認	◎
主構の組立高さ H (m)	$\pm 5 \dots H \leq 5$ $\pm(2.5+H/2) \dots H > 5$	—		部材の精度で確認	◎
主桁・主構の通り δ (mm)	$5+L/5 \dots L \leq 100$ 25 $\dots L > 100$	L : 測線長 (m)		対傾構と横構の精度で確認	○
主桁・主構のそり δ (mm)	$-5 \sim +5 \dots L \leq 20$ $-5 \sim +10 \dots 20 < L \leq 40$ $-5 \sim +15 \dots 40 < L \leq 80$ $-5 \sim +25 \dots 80 < L \leq 200$	L : 主桁・主構の支間長 (m)		主桁部材の精度で確認	○
主桁・主構の橋端における出入り差 δ (mm)	10	—		主桁と横構の精度で確認	○
主桁・主構の鉛直度 δ (mm)	$3+H/1000$	H : 主桁・主構の高さ (mm)		主桁と対傾構の精度で確認	◎
現場継手部のすき間 δ (mm)	5	δ : 右図における δ_1, δ_2 のうち大きいもの (mm)		主桁と添接板の精度で確認	◎
伸縮装置	組合せる伸縮装置との高さの差 δ_1 (mm)	設計値 ± 4	—	主桁と対傾構および伸縮継手の精度で確認	◎
	フィンガーの食い違い δ_2 (mm)	± 2	—		
ボルト孔のずれ	1 mm以下	—	—	—	△
ボルト孔の貫通率・停止率	貫通率 100%	ゲージ 23.0	—	—	△
	停止率 80%以上	ゲージ 25.0	—	—	△
接合面の肌すき	1 mm以内	—	—	—	○

◎ : 部材精度の確認で仮組立精度を推定可能, ○ : 部材精度と簡単なシミュレーションで可能, △ : 部材精度のみで判断は困難

⑤ 最終確認として部分仮組立方式を採用した。

c) 製作順序

鋼桁製作順序を図-5に、また製作状況を写真-1に示す。

d) 製作細部の注意点

全ての作業を慎重かつ丁寧に進めたが、特に下記の事項に注意して施工した。

- ① 罫書き、切断の精度確保 (目標値 ± 1 mm)。
- ② 主桁 I 型組付け時のフランジとウェブの芯ずれ防止 (目標値 $0 \sim 1$ mm)。
- ③ 主桁添接部の部材相互の高さ合わせ (目標値 $0 \sim 2$ mm)。

④ 主桁添接部のフランジとウェブの直角度 (目標値 $d/b \leq 1/200$)。

⑤ 取合いを有するスチフナーおよびガセットプレートの取付位置 (目標値 ± 1 mm)。

⑥ 主桁端面切削および孔あけ位置の精度アップ (目標値: 部材長 ± 1 mm, 孔端 $0 \sim 2$ mm)。

⑦ 単部材の製作そり (目標値 ± 2 mm)。

⑧ 対傾構組付け時の孔間寸法 (目標値 ± 1 mm)。

⑨ 付属物の主桁付ピースの取合い確認 (チェックシートにて全数確認)。

e) 部材の出来形精度

工場製作が完了した部材の主な項目の出来形精度は表

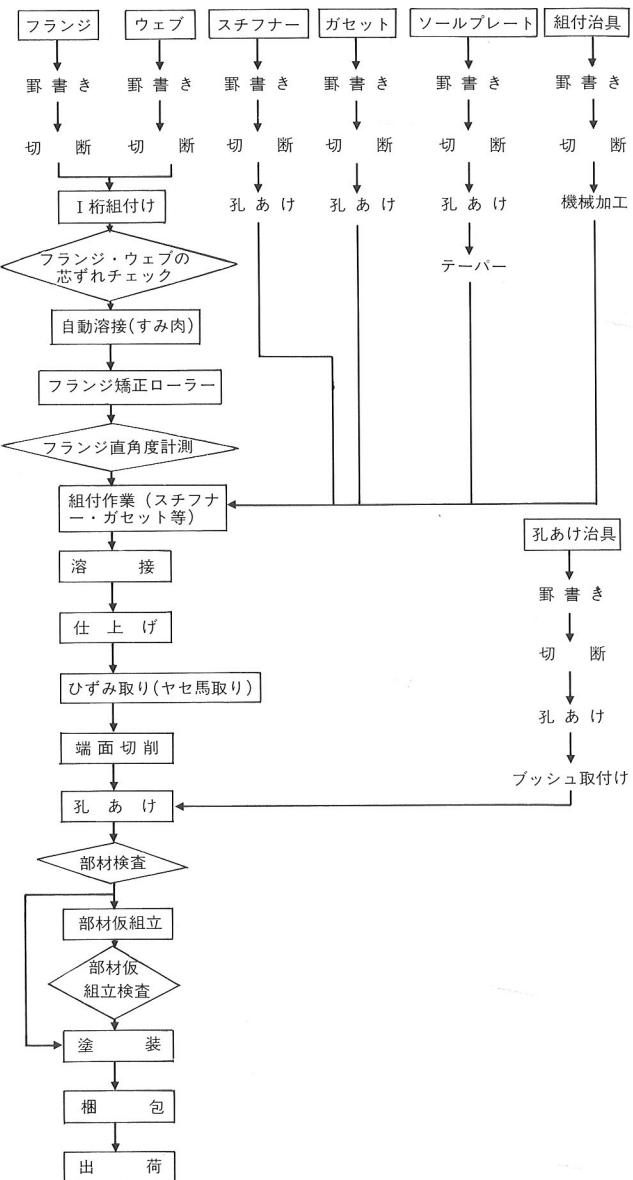


図-5 鋼桁製作フローチャート

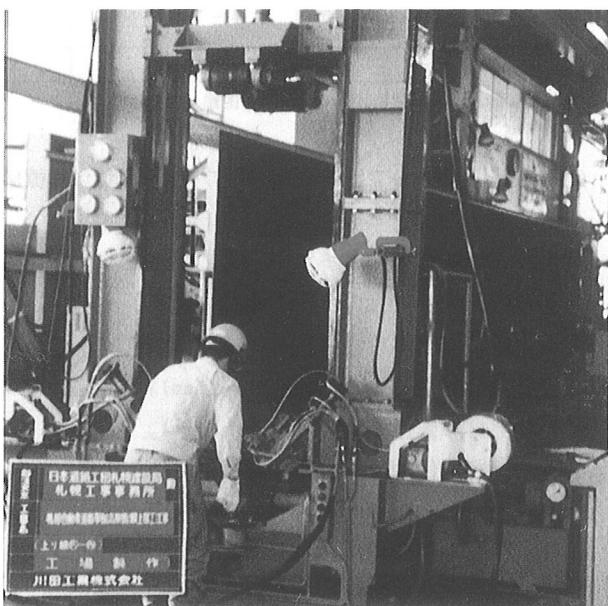


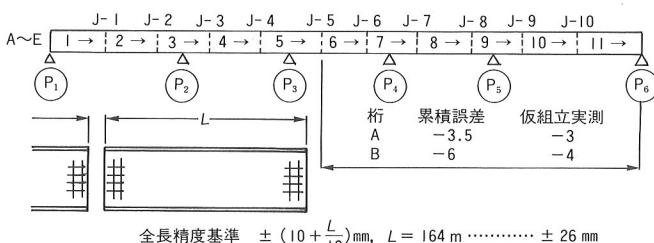
写真-1 主桁 I型組付け

-4の結果となり、管理目標値を満足している。また、部材長を累積すると表-5に示すとおり全長、支間長の許容値を十分満足している。さらに桁の中心間距離についても、図-11に示すようにP₄、P₆上で確認した結果、十分許容値以内であった。

表-4 部材出来形精度

測定項目	道示許容誤差(mm)	施工管理目標値(mm)	出来形精度(mm)
部材長	±4	±2	+2~-2 (図-6を参照)
桁高	L≤10m ±3 L>10m ±4	±2	+2~-1.5 (図-7を参照)
フランジ幅	±2	±1	+1~-1 (図-8を参照)
単部材の製作そり	仮組立時 -5~+10	±2 (単部材精度)	+2~-2 (図-9を参照)
フランジとウェブの直角度	$d/b = 1/100$ 	$d/b \leq 1/200$	ひずみ修正後 全て $d/b \leq 1/200$ (図-10を参照)

表-5 部材長累積誤差



$$\text{全長精度基準 } \pm (10 + \frac{L}{10}) \text{ mm}, L = 164 \text{ m} \dots \pm 26 \text{ mm}$$

主桁記号	1		2		3		4	
	規定値	誤差	規定値	誤差	規定値	誤差	規定値	誤差
A	9228.5	-2.0	16415	-1.0	16392	-1.0	16415	-1.5
B	9213.5	-1.5	16415	-0.5	16376	-1.5	16415	-2.0
C	9198.5	+0.5	16415	-2.0	16359	+0.5	16415	-2.0
D	9183.5	-0.5	16415	-0.5	16343	-1.0	16415	-1.5
E	9168.5	+0.5	16415	0.0	16326	0.0	16415	0.0

主桁記号	5		6		7		8	
	規定値	誤差	規定値	誤差	規定値	誤差	規定値	誤差
A	16413	-1.0	15040	-1.0	16315	-1.0	16415	-2.0
B	16412	0.0	15040	-1.0	16315	-2.0	16415	-1.0
C	16410	-1.0	15040	-1.5	16315	-1.5	16415	0.0
D	16408	-0.5	15040	-1.5	16315	+1.0	16415	-0.5
E	16407	-1.5	15040	-1.0	16315	+0.5	16415	+0.5

主桁記号	9		10		11		累積誤差
	規定値	誤差	規定値	誤差	規定値	誤差	
A	15990	-0.5	16415	-1.0	8923.5	+2.0	-10.0
B	15990	0.0	16415	-2.0	8924.5	0.0	-11.5
C	15990	0.0	16415	-1.5	8924.5	+1.0	-7.5
D	15990	-0.5	16415	-1.0	8924.5	+2.0	-4.5
E	15990	0.0	16415	0.0	8925.5	0.0	-1.0

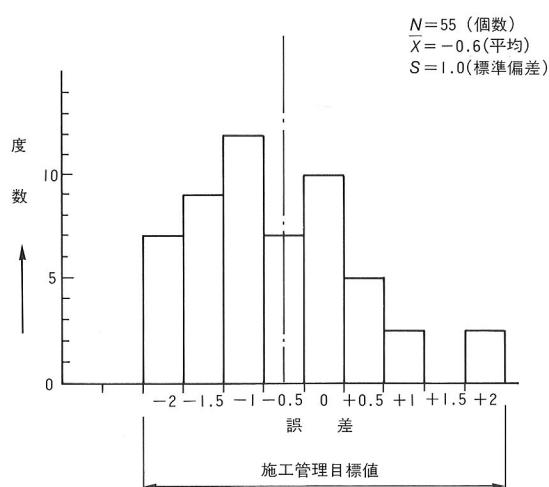


図-6 部材長測定結果

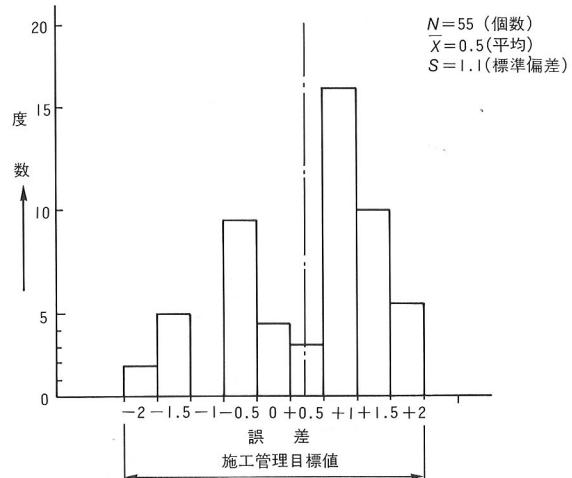


図-9 単部材の製作そり測定結果

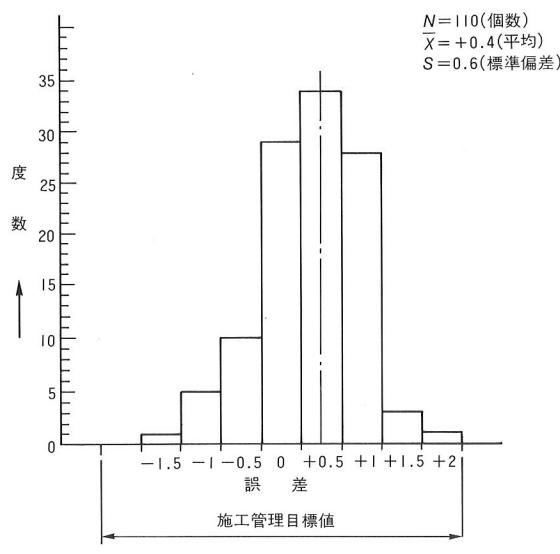


図-7 衍高測定結果

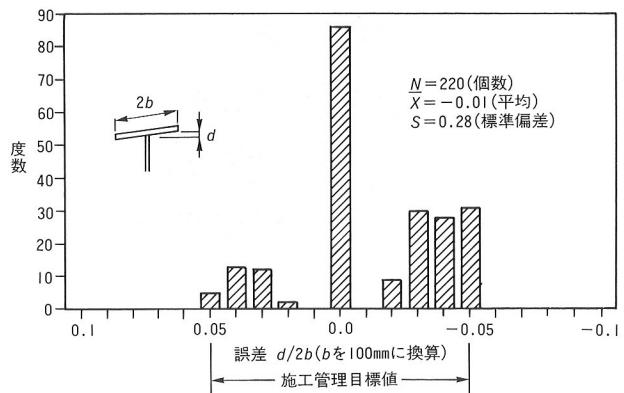


図-10 フランジの直角度測定結果

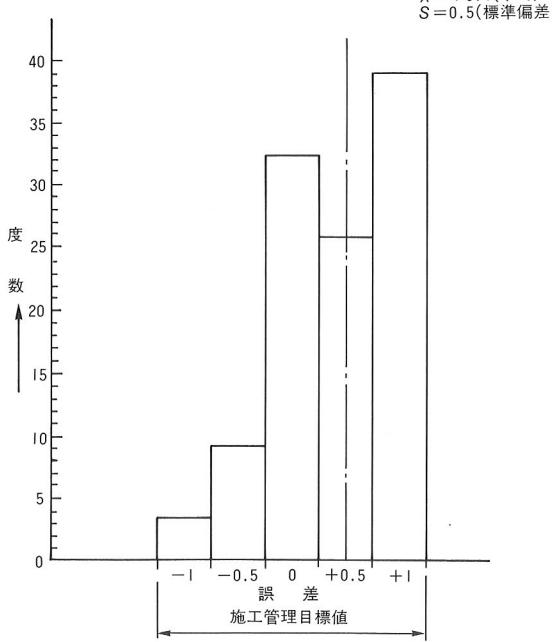


図-8 フランジ幅測定結果

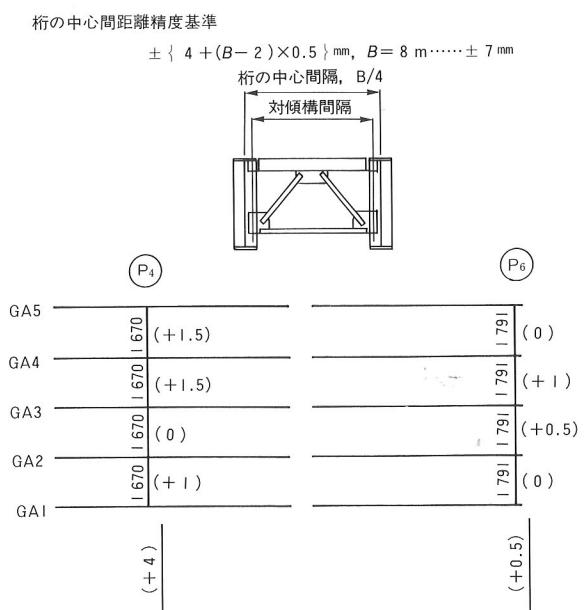


図-11 対傾構間隔累積誤差

f) 部分仮組立

仮組立精度の中で、寸法関係は施工管理目標値を基準として製作した部材出来形精度で確認することが可能である。

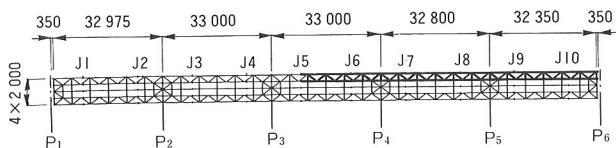


図-12 部分仮組立の範囲

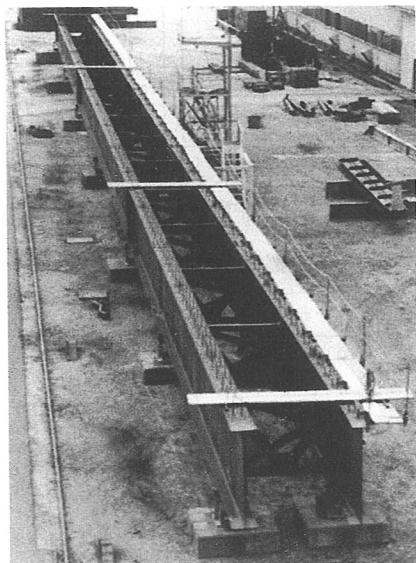


写真-2 部分仮組立全景

表-6 部分仮組立出来形精度

項目	許容値 (mm)	誤差 (mm)	備考
支間長	≤ 13	-3 ~ +2	
平面対角	≤ 15	-3 ~ +2	
主桁の通り	≤ 24	+6	
主桁の中心間距離	± 4	-2 ~ 0	
主桁のそり	-5 ~ +10	-1 ~ +3	
主桁の鉛直度	≤ 3.4	0 ~ +1	
主桁の高さ	± 4	-2 ~ +0.5	
フランジ幅	± 2	-0.5 ~ +1	
フランジの直角度	b/100	良	
腹板の平面度	≤ 6.8	2.8	
現場継手部のすき間	≤ 5	3.7	
現場継手部の肌すき	1 mm以内	良	
ボルト孔の貫通率 および停止率	貫通率 100% 停止率 80%以上	共に良	リーミング個所なし
孔のずれ	1 mm以下	良	

添接部相互の関係の精度（現場継手部のすき間、肌すき、孔ずれおよびボルト孔の貫通率、停止率）は、左右の部材精度の情報を整合することにより、良否の判断は可能と思われる。しかし、管理目標値以内の誤差が添接部へ集まることも考えられることから、部分仮組立を実施して管理項目の最終確認を行った。図-12は部分仮組立の範囲（太線）を示し、写真-2はその全景である。

部分仮組立の測定結果は、表-6のとおりである。全て

許容誤差を満足した。特に誤差が集積しやすい添接部においても異常は認められず、問題のないことが確認された。また表-5中に示すように、部材長累積誤差と仮組立の測定結果とはほぼ等しい結果となった。これより、部材精度管理を十分に行うことにより、出来形精度を満足することが確認できた。

(3) 架設

a) 架設工法

架設は、45t 吊りラフタークレーンによるベント工法にて行った。

架設現場は両サイドを国道高架橋で挟まれ、架設ヤードは床版幅員分だけしか確保できないことから、4連ともにラフタークレーンを使用し、各径間中央にベントを設け架設を行った。

b) 架設における合理化の影響

合理化前後の部材数量比較を表-7に示す。

表-7 合理化前後の部材数量比較表

主桁部材数	合理化前		合理化後	
	部材長(m)	部材数	部材長(m)	部材数
7.8	10	9.5	10	
9.6	10	16.5	45	
14.0	25			
16.5	20			
合計	65	合計	55	
最大部材重量	7.3 t		7.8 t	
高力ボルト本数	14 024 本		12 964 本	

本橋は4連ともほぼ同一形状のため、合理化桁とその他の桁を実施にそって比較する（写真-3～5）。

輸送では、合理化桁では部材長が長くなることにより高速トレーラーよりポールトレーラーの使用が増えたが、主桁部材数が10部材少ないことから、トレーラーの合計台数としては3台の減少となった。

架設は、合理化断面部材の重量が極端に増えていないため（最大部材重量として0.5t増加）クレーン能力の範囲内であり、他の連と同一の架設方法にて行った。

架設工程については、各部材長・重量の増加に伴いクレーンの作業半径に多少の不利な条件を生じたが、部材数が減ったことにより、結果として2日間の工程短縮となった（1日約5部材架設、検査路および排水管同時取付け）。

キャンバーについては、他の連と同様に各径間に設けたベント上のジャッキにて調整し、ボルトの本締め後に解放して測定したが、設計値に対して±5mm程度の誤差（許容誤差±25mm）であり、特に問題とはならなかった。

対傾構・下横構その他の付属部材の架設についても、



写真-3 鋼桁架設中

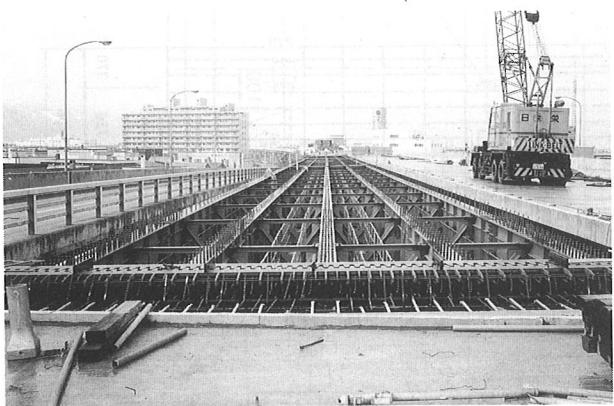


写真-4 鋼桁架設完了

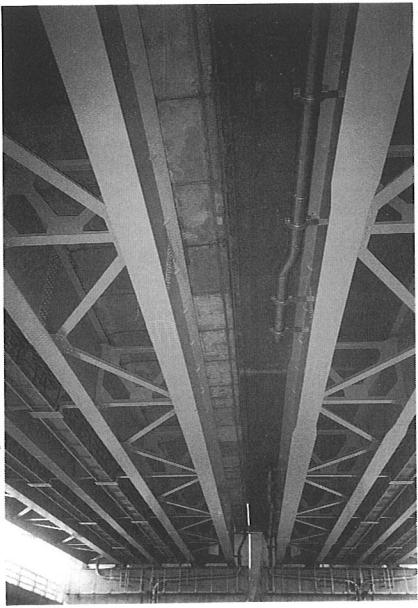


写真-5 左:合理化桁, 右:従来桁

特に問題なく順調に作業を終えた。

主桁添接部はフィラープレートが挿入されているが、工場出荷時に所定の位置に添接板と共にセットされていたため、特に作業性が悪化するようなことはなかった。またボルト本数の減少により、締め付け作業が省力化される結果となった。

c) 考察

合理化断面したことにより、部材長・重量が増加したが、架設の方法・機材などは他の連と同一であったことから、部材数減の分だけ工期短縮が可能となった。

また、主桁フランジが合理化前と比較して広く厚いことから、部材荷卸し・仮置き・架設時の各作業において安定性を増し、作業の安全性の向上につながる結果となった。

本橋では採用しなかったが、合理化桁にRC床版を施工した場合、フランジ幅が一定となっていることから、床版型枠およびハンチ板の加工・取付けを簡略化することが可能であり、RC床版の施工における型枠工の工数を減少できるのではないかと考えられる。

4. プレキャスト床版・壁高欄編

(1) 設計

a) 概要

新設橋梁にプレキャスト床版と壁高欄を適用する際の留意点は以下の2点であり、本報告では主にこの2点について概要を示すこととする。

- ① プレキャスト床版の構造を鉄筋コンクリート（以下RC）構造とするか、プレストレスコンクリート（以下PC）構造とするかで、床版厚・床版の適用スパンなどの基本的な設計条件が左右される。
- ② 鋼桁やプレキャスト各部材間の接合方法をどのようにするか。

b) プレキャスト床版の構造

床版厚さは、床版の構造がRC構造かPC構造かで左右され、特にPC構造の場合は同条件のRC構造に対して、耐ひびわれ性能の良い床版を比較的薄く（軽く）製作できる特長がある。

本橋の詳細設計はRC構造であったが、構造的には床版厚を薄くでき、耐ひびわれ性能の良いPC構造の方が信頼度が高いと考え、プレテンション方式のPC床版とした。このため床版の厚さは発生応力度などを検討したうえで、PC橋の床版の規定等をもとに18cmとした。

プレストレス量としては、SWPR7A（7本よりPC鋼より線 $\phi 12.4$ mm）をプレキャスト床版1枚あたり18本（合計導入トン数は約210tとなる）配置した。

床版の1枚あたり寸法については、床版の主方向（橋軸直角方向）は、プレテンション部材としたので総幅員10.085mとし、橋軸方向は床版の運搬方法・工場製作時の作業性を考慮して1.5mとした。この結果、1枚あたり重量は約7.5tとなった。

図-13にプレキャスト床版の構造図を示す。

プレキャスト床版の施工部分は本高架橋工事4連のうち1連で、他の3連については場所打ちのRC床版であ

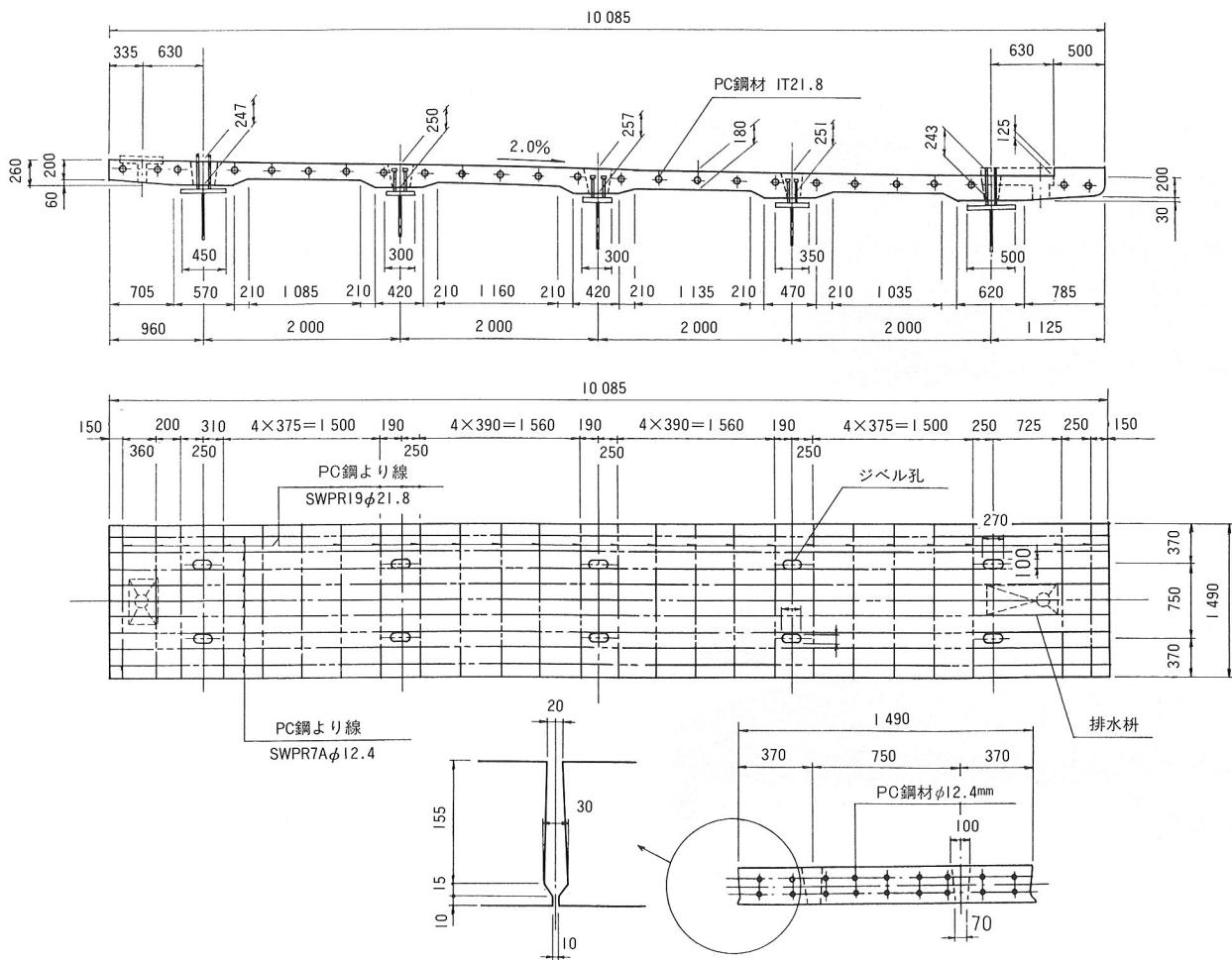


図-13 プレキャスト床版構造図

る。また、プレキャスト床版を使用する1連についてもすでに鋼桁の設計図面等の合理化修正設計を進めていた関係上、鋼桁との取合い形状については、床版の構造で対処した。

このため床版は場所打ち床版同様ハンチを付けた構造とし、詳細設計との床版厚さの差は、ハンチ高さを変化させることで対処した。

床版タイプは、大きく分けて標準のAタイプとクロソイド部分で内線形と外線形の差を吸収するために、幅をやや狭くしたBタイプの2種類があり、さらに端部場所打ち部との連結鉄筋を配筋したもの、端部付近でクリープ乾燥収縮によるずれせん断に対応するためのスタッズ用の孔のピッチを狭くしたタイプ等に分けられる。

c) プレキャスト壁高欄の構造

プレキャスト壁高欄は、ニュージャージータイプと呼ばれる形式のもので、壁の下部に傾斜がついており、走行車両の軽い接触時に、衝突車の損傷を軽減しようとしたものである（写真-6）。

後述するが床版との結合は、床版にあらかじめ埋め込んだアンカーボルトを利用して行う。

プレキャスト壁高欄の寸法は運搬方法、架設時の作業

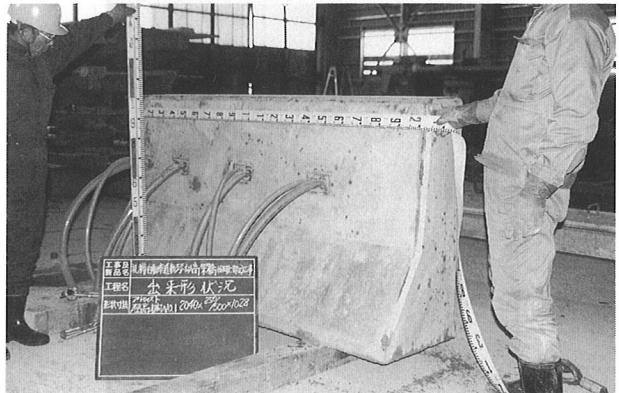


写真-6 プレキャスト壁高欄出来形状況

性、プレキャスト床版との取合い、遮音壁アンカーピッチなどの相互関係を考慮して、標準を4.0 mとした。

d) プレキャスト部材の結合

プレキャスト部材を用いる際、その結合部の構造は、プレキャスト構造設計に共通の検討項目であり、構造上の弱点になりやすいため注意が必要である。プレキャスト床版・壁高欄を用いる場合、結合部分は次の3点がある。

① プレキャスト床版同士の結合

プレキャスト床版同士の結合はポストテンション

方式プレストレストコンクリート構造としたが、「橋軸方向を連続板として取り扱うためには、 30 kgf/cm^2 以上のプレストレスを与える必要がある」との中井らの報告²⁾をもとに、SWPR19(19本よりPC鋼より線) $\phi 21.8 \text{ mm}$ を40cmピッチで配置した。

目地部分には、充填性に優れる高強度無収縮モルタルを打設することとした。

② プレキャスト床版と鋼桁の結合

プレキャスト床版と鋼桁の結合は、スタッドジベルによることとしたが、本橋は非合成桁橋であるため、スラブ止めとして75cmピッチで $\phi 16 \text{ mm}$ のスタッドジベルを2列に配置した。

またプレキャスト床版下面と鋼桁との接合部には、スポンジゴムを接着して不陸に対処することとし、架設完了後、すき間およびスタッド孔に高強度無収縮モルタルを流入充填して、密着させる方法を用いた(図-14)。

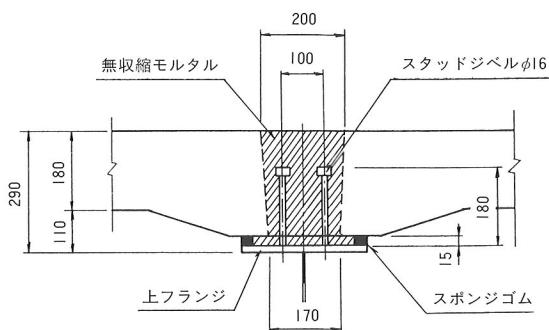


図-14 プレキャスト床版と鋼桁との結合構造

③ プレキャスト床版と壁高欄の結合

図-15に構造図を示す。本橋で用いた、プレキャスト床版と壁高欄の結合方法は新しく考案されたもので、採用にあたっては実物大の試験体を用いた載荷試験により、その安全性の確認を行った。

構造は、あらかじめ床版に埋め込まれたアンカーボルトの上に、引き抜きに抵抗するための節を持ったワインディングパイプにより箱抜きされ、その中

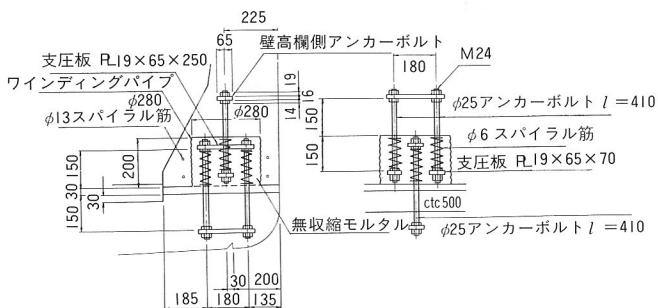


図-15 プレキャスト壁高欄結合部の構造

に壁高欄から突き出たアンカ一体を備えた壁高欄をかぶせ、この箱抜き孔に高強度無収縮モルタルを注入充填して壁高欄と床版を一体化する構造である。

(2) 製作

a) プレキャスト床版の製作

プレキャスト床版は、架設地点に比較的近い、主にPC桁を製作しているコンクリート2次製品工場にて製作した。

① 型枠

型枠は一般に、繰り返し使用に耐えられるように鋼製のものが用いられており、組立・解体が容易で精度の高い製作が行えるように剛性の高い構造となっている。

② 鉄筋およびPC鋼材

鉄筋は、プレハブ化されたものを用いており、組立が完了した型枠内にあらかじめ地組した鉄筋ブロックを吊り込んだ後、PC鋼材を挿入し、緊張した(写真-7)。

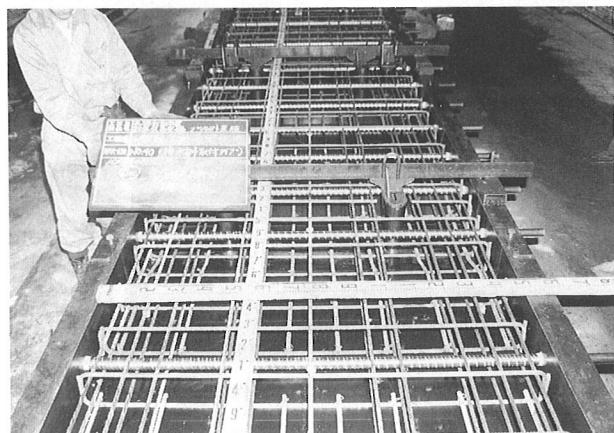


写真-7 鉄筋およびPC鋼材のセット

③ コンクリート施工

コンクリートは、設計基準強度 $\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$ の

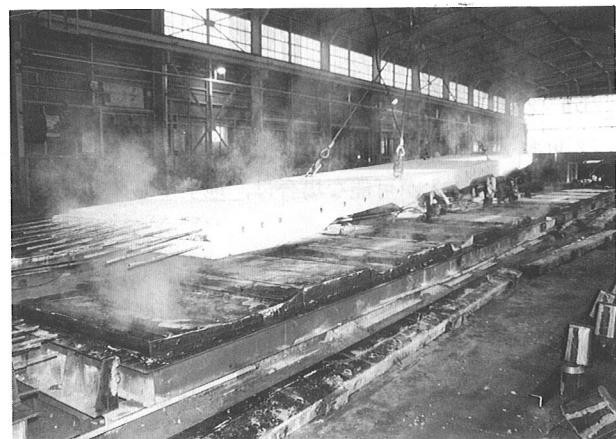


写真-8 蒸気養生

早強コンクリートとし、打設後は、蒸気養生を行い強度の発現を促進した(写真-8)。

b) プレキャスト壁高欄の製作

プレキャスト壁高欄の製作も、床版と同じ工場にて行った。

壁高欄は床版と異なり、出来上がり面が走行車両から直接見えるため、良好な仕上がり面であることが要求される。しかし、場所打ち施工と同じ正体で製作すると、傾斜している地覆と壁高欄の立ち上がり面にエントラップドエアが抜け出せずに止まり、出来上がり面が見苦しくなることが予想された。そこで、逆体に(上下逆)型枠をセットして製作を行った。写真-9に製作状況を示す。

使用したコンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$ で、床版と同じく早強コンクリートを用い、打設後蒸気養生を行った。



写真-9 壁高欄製作状況

(3) 施工

a) 施工手順

プレキャスト床版による施工手順を図-16に示す。

プレキャスト床版の施工は、本橋が非合成桁であり、また橋軸方向のプレストレス力の導入の際に導入による力が鋼桁に作用しないように構造および設計条件を十分に理解して手順を決めた。

b) プレキャスト床版の施工

プレキャスト床版の架設は、桁下空間が低く、トラッククレーンの進入が可能な場合は、地上からの架設が行われる。

本橋の場合、架設はすでに施工が完了している下り線上に35t吊り機械式トラッククレーンを設置し、起点側より片押しで順次架設した(写真-10)。

ストックヤードからのプレキャスト床版の運搬は25t積みのトレーラーにて行った。運搬状況を図-17に示す。

床版の位置は、鋼桁上に落とした墨を基準にして決め

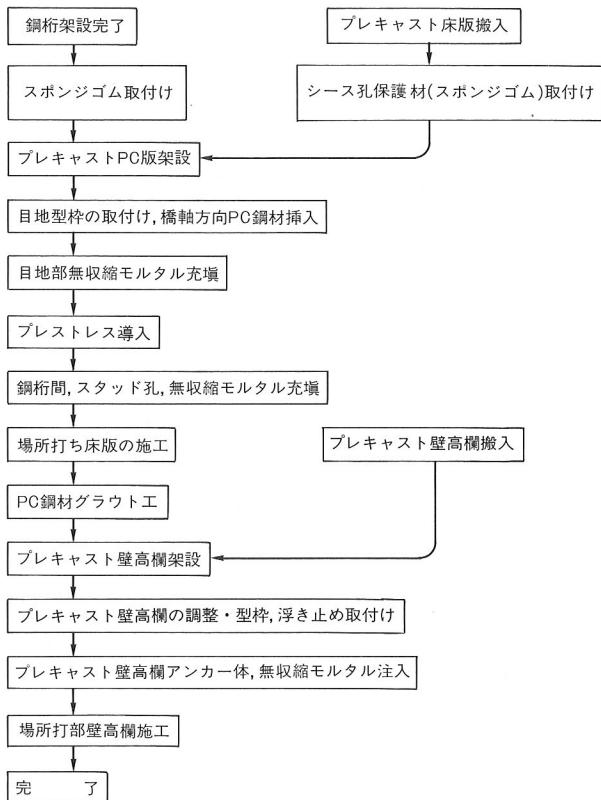


図-16 施工手順



写真-10 プレキャスト床版の架設

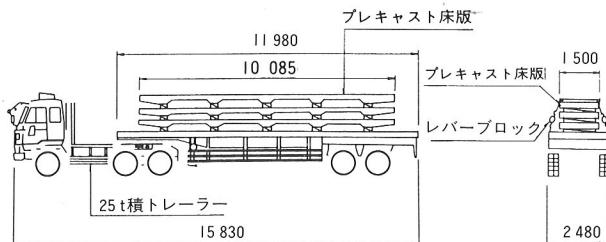


図-17 プレキャスト床版運搬状況

た。床版高さは、プレキャスト床版に埋め込んだ高さ調整用ボルトにて全床版架設後、一括して行った。

架設完了後、床版を一体化するためのPC鋼材配置用シースの床版目地部を養生し、PC鋼材を1.0t引きウイン

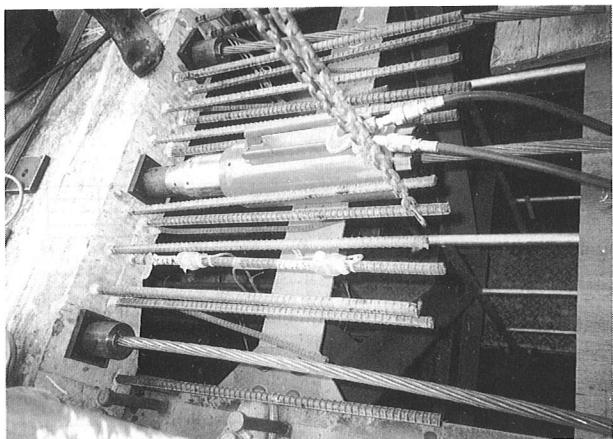


写真-11 プレストレスの導入

チにて引き込み、目地に充填した無収縮モルタルの硬化後、両引きにてプレストレスを導入した（写真-11）。

鋼桁との一体化を図る無収縮モルタルは、鋼桁と床版間にエアが残らないように、縦断勾配の低い方からスタッドジベル孔を利用して、片押しで流し込んだ。

c) プレキャスト壁高欄の施工

架設はプレキャスト床版と同じく、下り線にクレーンを設置して終点側から順次行った。なお、万一の転倒落下を防止する目的で、架設ごとに落下防止用のアンカーフックを取り付け、床版と仮固定した。

全てのブロック架設終了後、調整ジャッキにて高さを調整し、ボルトにより固定した。

モルタル漏れ防止のシールを行った後、型枠を設置し、モルタル注入ポンプにて無収縮モルタルを注入充填して、床版と壁高欄を一体化した。なお注入は、排気ホースからモルタルが排出され、注入が完全に行われたことを確認しながら施工した（写真-12）。

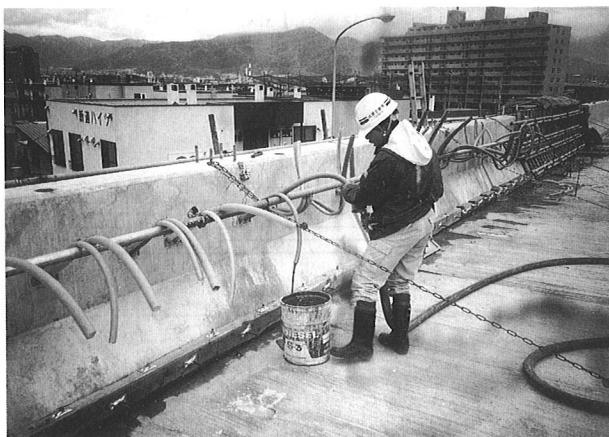


写真-12 モルタル注入状況

d) 考察

他の連の現場打ちRC床版とプレキャスト床版の実施比較を行うと表-8のようになる。

表-8 場所打ちRC床版とプレキャスト床版の実施比較

	場所打ち	プレキャスト
床版面積	1 650 m ²	プレキャスト部 1 530 m ²
		場所打ち部 120 m ²
		計 1 650 m ²
実施工工程	約90日	約75日
人 工	1 076人	607人（内、場所打ち部88人）

プレキャスト床版の施工時期が12月と4月であり、作業条件の悪い時期であったこと、床版パネル間の目地の処理が計画どおりに進まなかったことなどのため、多少工程が伸びることとなったが、場所打ちRC床版の約2割の工程短縮であった。

今回、プレキャスト床版、壁高欄を施工した結果、さらに施工簡略化の余地があり、改良を行うことにより、多いに工期短縮がなされると考えられた。また、作業職種についても、型枠工、鉄筋工の数が少なくてすむという利点があり、今後の専門工の高齢化に十分に対応できる工法と考えられる。

5. 載荷試験

本橋では、1部材1断面とし、フランジおよびウェブの突合せ溶接をなくしたことにより主桁構造が単純化された。このため、鋼桁の製作時の合理化が図られた。また、架設工事ではプレキャストPC床版およびプレキャスト壁高欄の採用による床版工事の合理化を図った。特に、主桁構造の単純化に付随して鋼桁の剛度が増加し、設計上の活荷重たわみも従来桁に比べ約15%程度の減少となった。このようなことから、実際に橋全体の剛度が従来桁に比べ向上しているかの確認、および床版や鋼桁の耐久性の向上や振動性状など合理化桁の従来桁に対する構造的な優位性が生じていないかを確認することを目的として載荷試験を実施した。

試験では、主桁と床版の一体化後の剛度比較（主桁たわみの比較）および各部材発生応力の比較を行った。試



写真-13 荷重車の載荷

験は、合理化桁および従来桁について荷重車を用いた静的載荷試験と動的試験（落下試験と走行試験）を実施した。写真-13に荷重車載荷状況を示す。

(1) 静的載荷試験

静的載荷試験では主桁のたわみ、主桁の応力、床版の応力およびボルト締手部の応力を測定した。写真-14に主桁および床版のひずみゲージ貼付状態を示す。

荷重車を幅員中央に静的載荷した時の合理化桁と従来桁の主桁のたわみ測定結果を図-18に示す。載荷による荷重車直下の主桁のたわみ量は合理化桁、従来桁とともに約3mmであり、差はなかった。この時、主桁と床版が合成していると仮定して行った平面格子モデルによる計算値は、ほぼ測定値と等しかった。

次に、荷重車の載荷による鋼桁および床版のひずみ分布を図-19に示す。載荷による発生ひずみは合理化桁および従来桁ともに直線分布を示していることから、鋼桁と床版は合成されていることが分かる。また、合理化桁の場合、プレキャストPC床版を用いているため床版厚が薄く、このため中立軸の位置が従来桁に比べて下に下がっており、これにより、合理化桁では、鋼桁下フランジの発生ひずみが従来桁より小さくなかった。

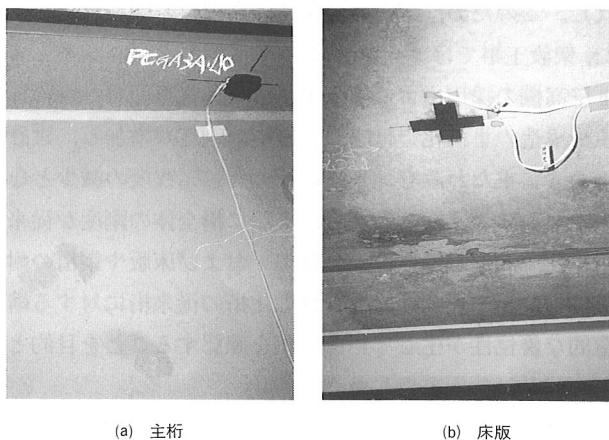


写真-14 ひずみゲージ貼付例

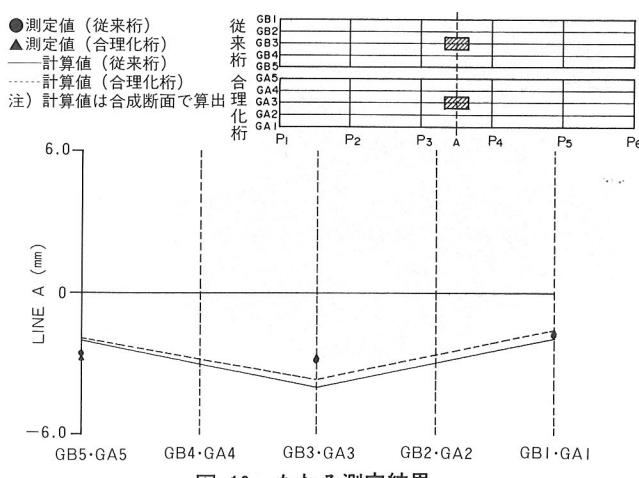


図-18 たわみ測定結果

幅員中央に荷重車を載荷した時の床版応力測定結果を図-20に示す。載荷により生じた橋軸直角方向の床版応力は合理化桁のプレキャストPC床版下面で最大引張応力

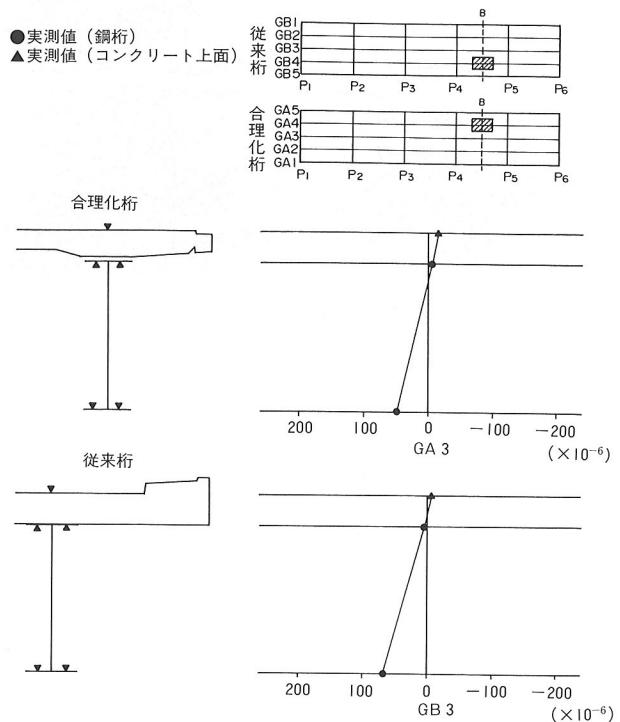


図-19 鋼桁および床版のひずみ分布

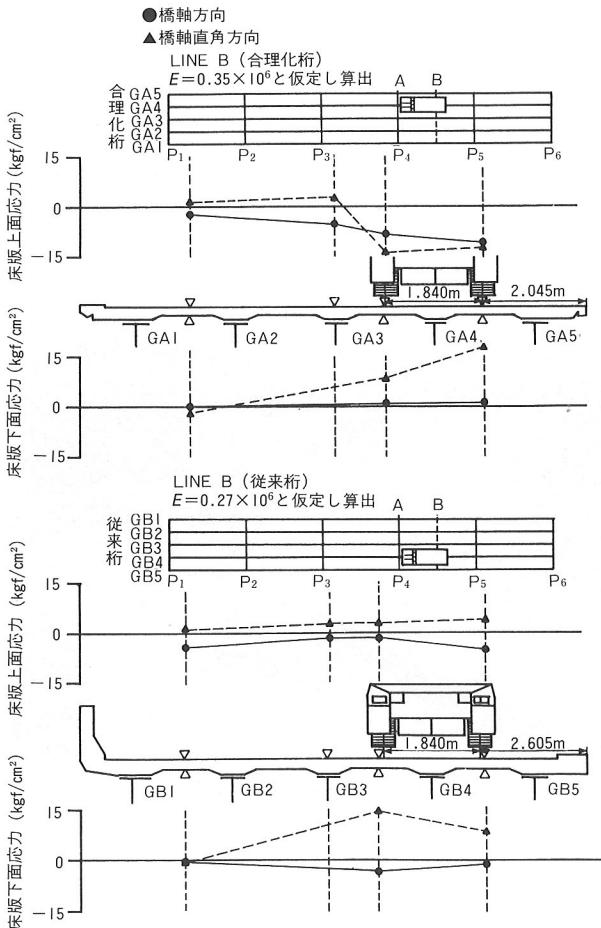


図-20 床版の応力分布

18kgf/cm²(弾性係数を 0.35×10^6 kgf/cm²と仮定), 従来桁のRC床版下面で最大引張応力15 kgf/cm² (弾性係数を 0.27×10^6 kgf/cm²と仮定)を記録した。この結果, 荷重載荷によって床版に生じる応力は合理化桁, 従来桁とともにほぼ同じと考えられるが, プレキャストPC床版にはプレストレス(設計上, 60 kgf/cm²の圧縮応力)が導入されていることから床版のひびわれに対する耐久性としてはRC床版よりも有利と考えられた。

フィラープレートを挿入したボルト継手部のスプライスプレートの応力測定結果を表-9に示す。測定結果は主桁を合成桁として平面格子モデルによって解析した計算応力の80~90%であり, また設計条件をもとに計算した応力に比べ60~80%と小さかった。このことから, 今回, 鋼桁の製作時の省力化を図るために採用した, 部材の断面変化を現場継手位置で行うためにフランジの板厚差の調整をフィラープレートを挿入することによって行うボルト継手は, 荷重載荷による発生応力が設計応力に比べ小さいことが確認された。

表-9 ボルト継手部の応力測定

	測定値 (kgf/cm ²)	計算値 (合成断面)	測定値 計算値
継手部-1	93.9	106.9	0.878
継手部-2	128.6	162.2	0.793

(2) 動的試験

動的試験では荷重車による落下試験および走行試験により, 固有振動数や動的増幅率の測定を行い, 合理化桁と従来桁の比較を行った。測定は, サーボ型加速度計による主桁の振動測定, 変位計による主桁の動たわみ測定および各部材の動ひずみ測定を実施した。写真-15にサーボ型加速度計と変位計の設置状態を示す。なお, 試験は舗装前に実施した。

合理化桁と従来桁のそれぞれの固有振動数はほぼ等し

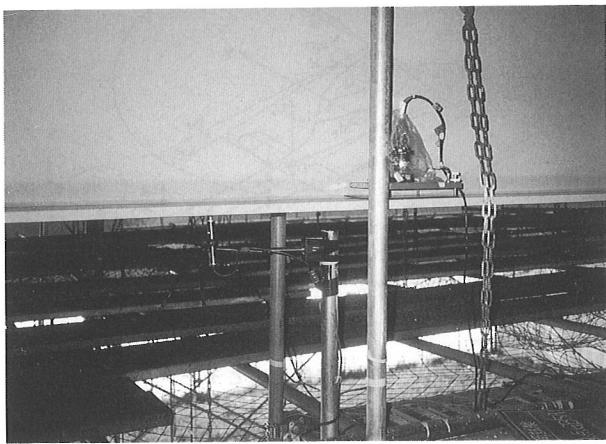


写真-15 サーボ型加速度計と変位計

く, 対数減衰率ともに1次振動で0.09~0.1であった。また, 荷重車走行時の主桁の加速度応答は, プレキャスト床版の継目による走行面の不陸の影響が合理化桁にわずかにみられたが, この影響を考慮すると, 合理化桁および従来桁ともに等しいと考えられた。

荷重車の走行による最大動的増幅率の測定結果を表-10に示す。主桁たわみの最大動的増幅率は合理化桁で0.308, 従来桁で0.325であった。また, 各部材応力の最大動的増幅率は, 合理化桁の主桁で0.333, 対傾構で0.143, 従来桁の主桁で0.348, 対傾構で0.122であった。

これらの結果より, 合理化桁と従来桁との動的増幅率のうち主桁のたわみや応力に関しては従来桁の方がわずかに大きい傾向がみられるが, それ以外の部材の動的増幅率および固有振動数や対数減衰率などの動的性状についてはほとんど差はなかった。以上より, 合理化桁と従来桁の動的性状は総合的には大差はないと考えられた。

表-10 最大動的増幅率

測 定	合理化桁	従 来 桁
主 桁 た わ み	0.308	0.325
主 桁 応 力	0.333	0.348
対 傾 構 応 力	0.143	0.122

6. あとがき

今回実施された合理化の手法は, 過去にこのような例がないことからその第一段階として, 主桁断面変化数の大幅な省略, 全体仮組立の廃止, 床版および壁高欄のプレキャスト化の3点に絞って行い, 無事に工期内に完了することができた。

今後も, 労働力不足への対応から今回の合理化手法をさらに突き詰め, 主桁本数の低減, 横組部材の簡略化など, ますます合理化促進の方向へ進むものと思われる。

最後に, 本工事を実施するに当たり, ご指導を賜った日本道路公团札幌建設局の関係者各位に, 本紙面をかりて厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編, 平成2年2月。
- 2) 中井 博: プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工, 森北出版株, 昭和63年5月。