

# 有野川橋梁の架設

九門 公一<sup>1)</sup> 谷口 利行<sup>2)</sup>

有野川橋梁は、阪神高速道路北神戸線（北延伸部）の中間部に位置する有野高架橋の一部をなす橋長 323m の 4 径間連続鋼床版箱桁橋である。本橋の架設位置は、主要幹線である県道神戸三田線，神戸電鉄三田線，および有野川を跨ぐ地点にあり，さらに，路面高さが地盤より 50m 以上となるうえ，ループ形状の五社出入路の上空に架設するという，厳しい条件になっている。

本報告書は，駒井・春本建設工事共同企業体で受注した「有野川工区鋼桁工事」の架設工法の検討を含む，架設工事の概要を報告するものである。

## まえがき

阪神高速道路北神戸線は神戸市北部の六甲山系の北側に位置し，西は第 2 神明道路，東は東伸部を経て中国縦断自動車道，北は五社で神戸三田線に連絡した後，六甲北有料道路に連結している。

現在ではまだ，阪神高速道路のネットワークには結ばれていないが，将来は神戸線あるいは湾岸線とつながる計画になっており，神戸市後背地の住宅地からの交通を集約して既成市街地へと誘導する役割を担う路線である。図-1 に位置図を示す。

有馬温泉の玄関口となる有馬口 JCT から北延伸部にかけては，山岳地域となるため，線形が複雑



図-1 位置図

になり，かつ施工条件が非常に厳しくなるため鋼橋の採用区間が多くなっている。写真-1 に有野川橋の全景を示す。

## 1. 工事概要

本工事の概要を下記に示す。

路線名	神戸市道高速道路北神戸線（北延伸線）
工事名称	有野川工区鋼桁工事
発注者	阪神高速道路公団
橋格	B 活荷重
形式	4 径間連続鋼床版箱桁
橋長	323.0m
支間割	75.9 + 85.0 + 85.0 + 75.85m
有効幅員	18.2m（非常駐車帯 23.2m）
縦断勾配	1.342 %直線勾配

図-2 に一般図を示す。



写真-1 全景

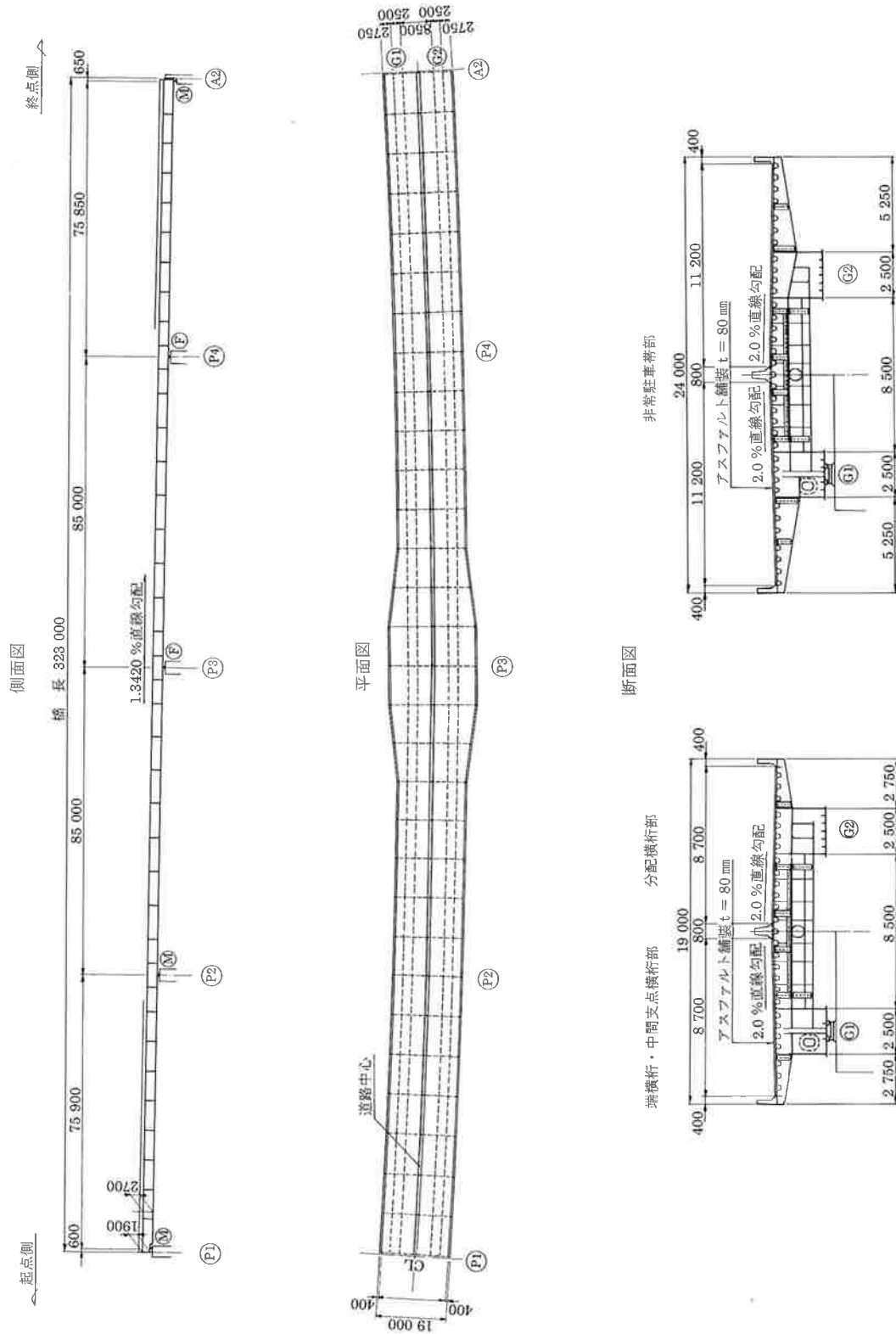


図-2 一般図

用道路を使用して同時進行する。

## 2. 架設工法検討

当初、本工事の桁架設は、すべてトラッククレーンベント工法にて行う計画となっていた。しかし、下記の架設工法検討条件で示す路下条件や、工事用栈橋および工事用道路を使用している工区との工程調整、さらに供用開始を平成10年春に予定していることなどを考慮すると、当初架設工法では困難であると考えられた。そのため安全性および架設工程を重視したうえで、最適架設工法を決定した。表-1に工程表を示す。

### (1) 架設工法検討条件

#### 1) 路下条件

- ・ P1～P2・P4～A2径間は急斜面に位置する。
- ・ P2～P3間には神戸電鉄が通っている。
- ・ P3～P4間には交通量の多い県道神戸三田線および有野川が通っている。
- ・ 工事用栈橋、工事用道路が設置されている。
- ・ ランプ橋の桁架設が完了している。
- ・ 出入路の土木工事部分の施工が行われている。

2) 地上揚程は最大で約50mである。

3) 当工区架設開始時には隣接工区として、上下部合わせて5工区が工事用栈橋および工事

### (2) 検討架設工法

上記条件を検討した結果、次の3工法にて比較検討することとした。架設工法検討比較表を表-2に、架設工法比較図を図-3に示す。

第1案 トラッククレーンベント工法+クローラークレーン張出工法

P2～P3径間、およびP4～A2径間の半分をトラッククレーンベント工法にて架設する。架設した桁の上にクローラークレーンを搭載し、P1～P2間およびP4～A2間の残り部分を張出し架設する。

最後にP4側の桁上のクレーンにてP3～P4間の中央部を架設して閉合する工法。

第2案 トラッククレーンベント工法+手延機送出し工法

P2～P3径間をトラッククレーンベント工法にて架設する。架設した桁の上にクローラークレーンを搭載し、このクレーンにてP1～P2径間を架設する。P1～P3径間の桁上を桁組立ヤードとし、橋面上のクレーンにてP3～A2間の桁を地組立し送出し架設する工法。

第3案 全径間手延機による送出し工法

隣接工区の1径間 (WP8～P1) およびP1～P2間の一部に送出しヤードを設置しP1からA2に向かって送出し架設する工法。

表-1 工程表

	平成8年		平成9年												平成10年			
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	
準備工	■																	
仮設備工			■									■						
足場工						組立								撤去				
架設工	(神鉄上, 県道上送出しは夜間)		■															
高力ボルト工						■												
現場塗装工						■												
高欄工												■						
付属物工						■												
後片付け																■		

(3) 架設工法の選定

3工法を検討した結果、有野川橋梁の架設については、第3案の送出し工法を採用することになった。図-4に架設要領図を示す。

送出し作業は、全断面の送出しとし送出しジャッキを使用した。なお、送出し作業は昼間作業としたが、神戸電鉄上および県道神戸三田線のみ夜間作業にて行った。

3. 架 設

(1) 架設概要

隣接工区の1径間(WP8~P1)に30mの送出しヤードを設置し、P1~P2間には、ベントを設置した。

(2) 地組立

地組立は、出路部に盛土を行い、クレーン作業と桁の仮置き場を確保して、写真-2に示すように、150tクローラークレーンを使用して行った。

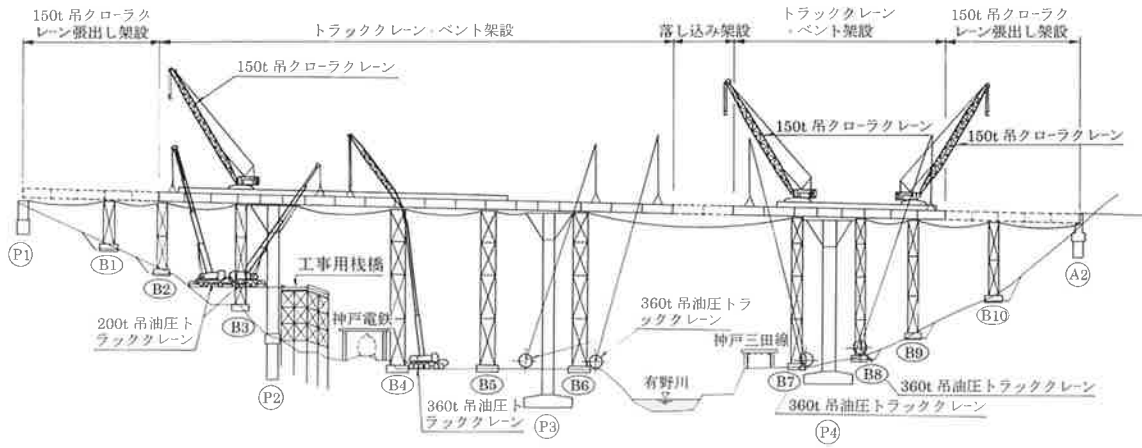
地組立は、主桁→横桁→中床版→側床版の順にキャンバーへの影響を考慮して、主桁添接部に応

表-2 架設工法検討比較表

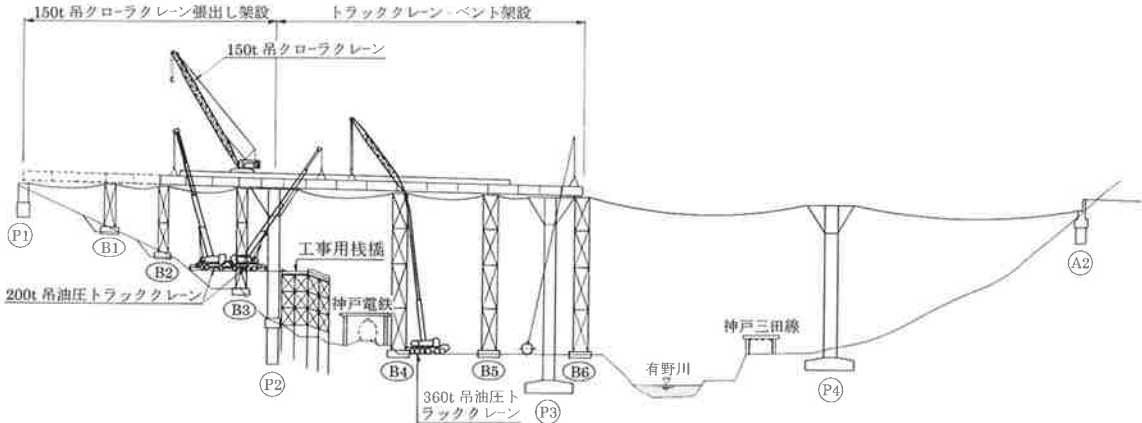
工 法	①案：T.C.B.工法+C.C.張出工法	②案：T.C.B.工法+手延機送出し工法	③案：全径間手延機による送出し工法	
評 価	施工性 一般的な架設工法であるが、ベント設備の規模、限定された重機設置位置橋上クレーンによる張出し架設、P2~P4間の架設ヤードにおけるランプ橋、架設工事および出入路部工事との競合、県道横作業の一般通行車両への影響などを考慮すれば施工性に劣る。	①案に比べ県道近傍での作業がない分一般通行車両に対する影響は少ない。また、P2~P3間の架設ヤードでの使用ベント設備が①、②案に比べ少ない分施工性がよい。	○ WP8~P1間の送出しヤード上で大半の作業（高力ボルト本締め、付属物取付など）が行えるため施工性はよい。 架設クレーンの移動、組立解体が少ない。	◎
	工事用栈橋および工事用道路を使用する工区の工程に与える影響が大きい。	①案に比べ工事用栈橋および工事用道路を使用する工区の工程に与える影響は少ない。	○ WP8~P1間を施工する第3工区（その2）の工事架設工程に影響を与えるが、P2~P4間でのクレーン作業は不要であるため、桁下空間の常時利用が可能となる。	
安全性	ベント設備など仮設備が大規模であるため組立、解体などの作業が困難となる。上下50m以上離れた位置でのクレーン操作、高所での高力ボルト本締め作業などを考慮すれば安全性に劣る。	△ P3~A2間の桁地組立が橋上で行える分①、②案に比べ安全性はよい。ただし、桁降下作業をP3横のB6ベント上でも行う必要があり③案に比べ降下量が大である。	○ 橋脚位置での桁降下作業はワイヤブリッジを設置した中での作業であり安全性はよい。他の案に比べ高所作業が少なく安全性がよい。	◎
経済性	全体で2,000t以上のベント設備が必要となるほか、橋上設備や架設用の大型重機の使用などを考慮すれば経済性に劣る。	○ ベント設備使用が①案に比べて少ない分経済的であるが、送出し設備などを考慮すると逆に不経済となる。	× ①、②案に比べベント設備が不要であるため経済的である。	◎
単 価 比 較	1.13	1.27	1.00	
架 設 工 期	約 19.5 ヶ月 (P2~P4橋脚完成後架設開始可能)	○ 約 20.0 ヶ月 (P2~P4橋脚完成後架設開始可能)	× 約 16.5 ヶ月 (P1~P2橋脚完成後架設開始可能)	◎
其 他	C.C.に換えて、トラベラークレーンを使用する案も考慮したが、クレーンの損料が割高となるため、本検討からは、削除した。		P1橋脚前後の部分の送出しヤードとして利用可能が前提であり、斜面部でのヤード施工要領の検討が必要となる。また、A2橋台背面部での手延機解体場所を確保する必要がある。	
	架設時補強数量（桁本数） 約 20t (横リブ断面およびデッキ部補強)	架設時補強数量（桁本数） 約 60t (桁本体および送り装置受点部補強)	架設時補強数量（桁本数） 約 100t (桁本体および送り装置受点部補強)	
総 合 評 価	△	×	◎	

T.C.B：トラッククレーンベント， C.C.：クローラークレーン

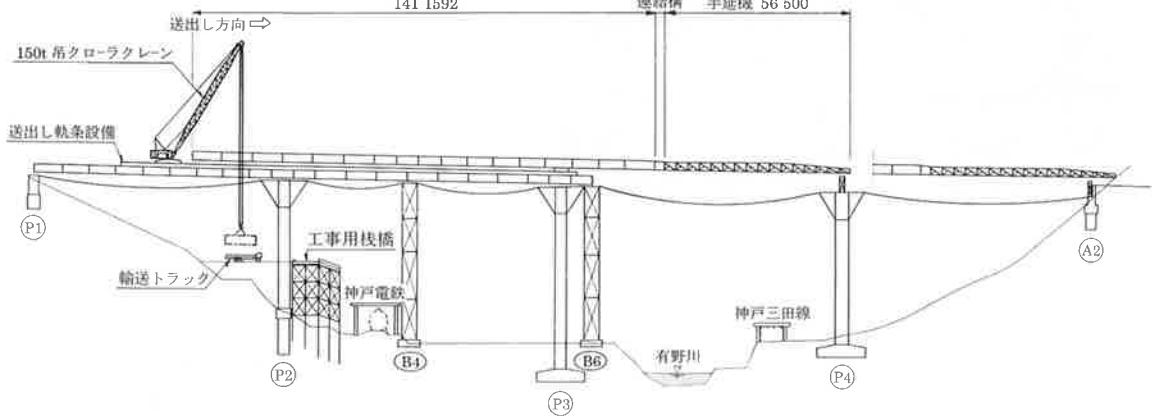
1案 T.C.B.工法+C.C.張出し工法



2案 T.C.B.工法+手延機送出し工法  
ステップ1



ステップ2



3案 全径間手延機による送出し工法

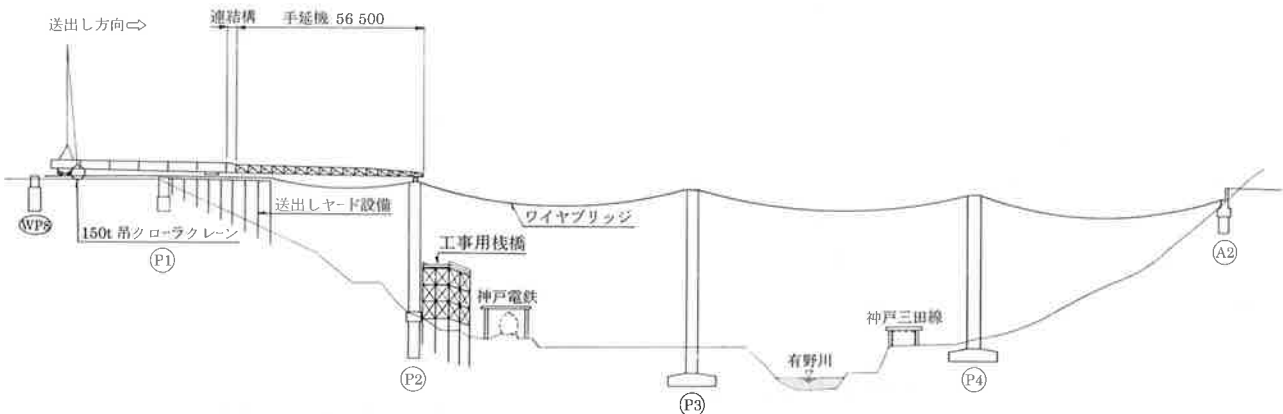


図-3 架設工法比較図

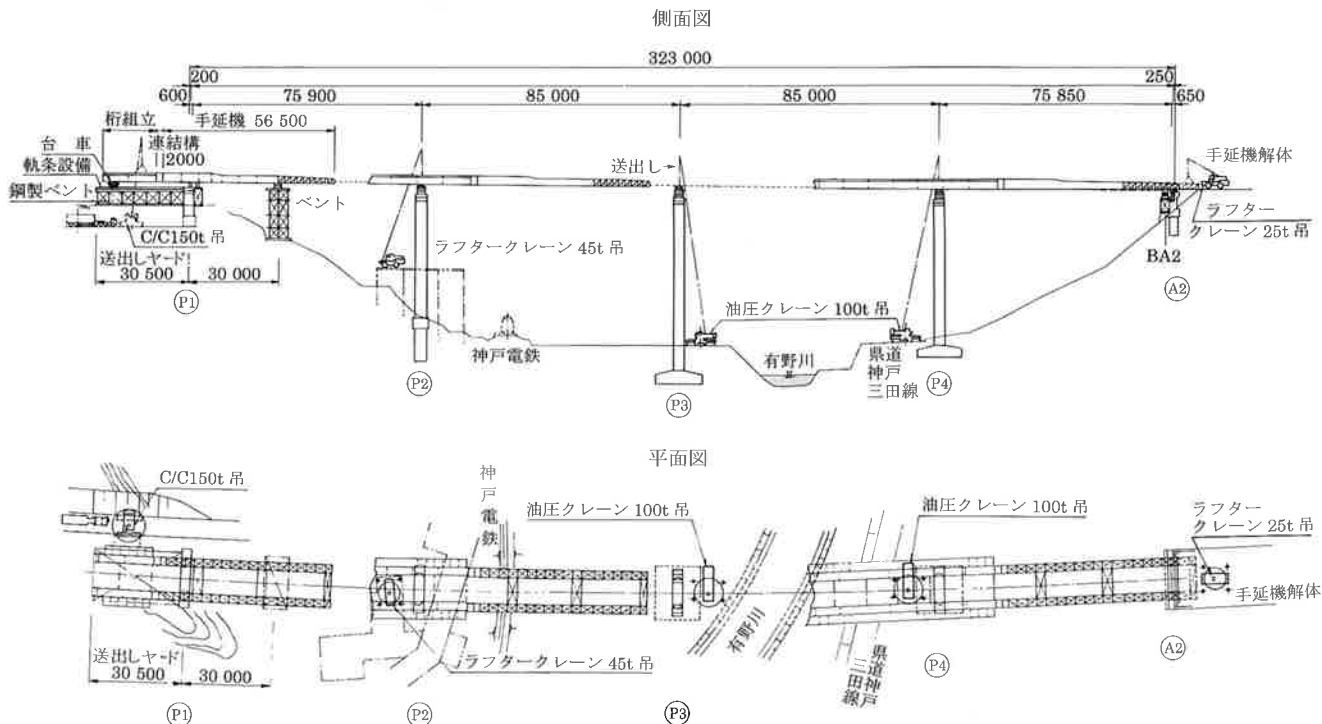


図-4 架設要領図

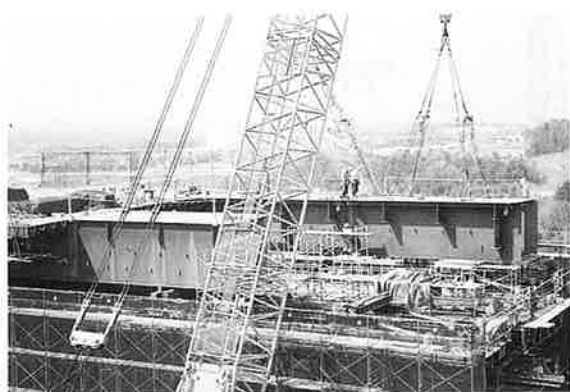


写真-2 地組立状況

力が入らないよう架台を設置して組み立てた。なお、架台の高さの算出は、各送出し完了時にその時の支点条件で算出した。また、地組立の桁は、高力ボルトを締め終えるまで架台によって支持することにより全体キャンバーへの影響を少なくした。

(3) 送出し設備

送出しのための設備としては、下記の設備を設置して作業を行った。また送出し作業フローチャートを図-5、仮設備の全体配置を図-6に示す。写真-3に送出し状況を示す。

1) 送出しヤード

送出しヤードは、P1～WP8間の30m区間に、

鋼製ベントを設け、その上に軌条設備(37kgレール4条)を設置した。

2) 送出し装置

送出し装置は、大瀧ジャッキの送出しジャッキを使用し、各橋脚に4組設置した。また、各橋脚のジャッキが連動して動くように連動用ケーブルを各橋脚間に張り渡した。写真-4に送出し装置の状況を示す。

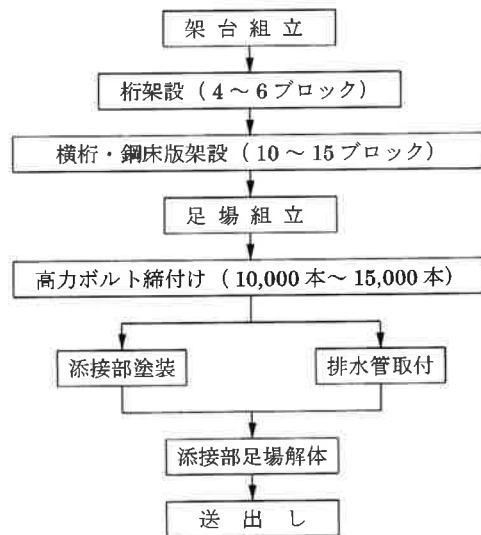


図-5 送出しフローチャート

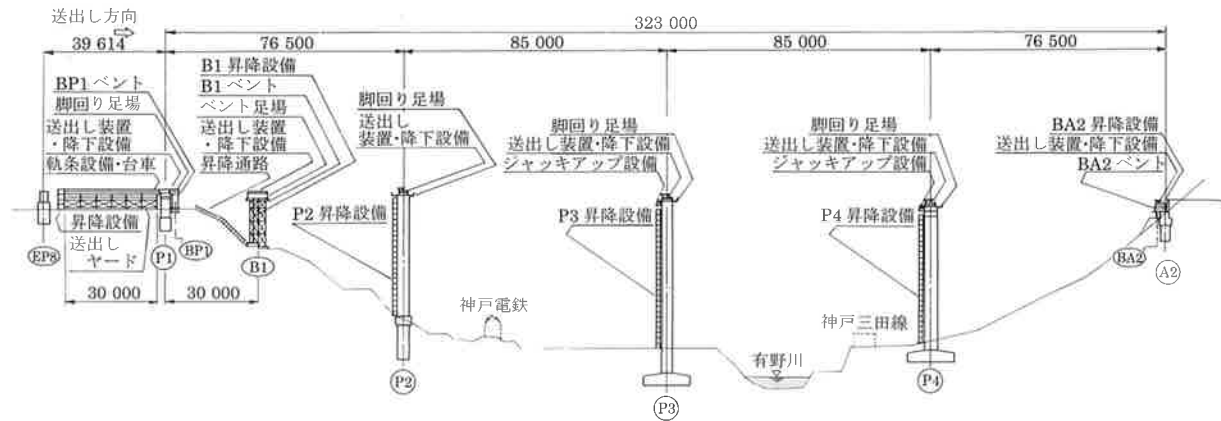


図-6 仮設備配置図

表-3 手延機ジャッキアップ量

橋脚番号	ジャッキアップ量	反力/1主桁
P2 橋脚	641 mm	12t
P3 橋脚	2,247 mm	25t
P4 橋脚	2,406 mm	26t
A2 橋台	1,797 mm	18t

お、A2 橋台は前面に設けたベントを利用した。手延機先端のジャッキアップ量と反力を表-3に示す。

(4) 送出し設備の位置および高さ

送出し作業については、下記の考え方を基本として送出しラインを設定し、各仮設備の計画を行った。表-4に各架設段階での基準高を示す。

1) 送出し基準高さは、基本的に最終のジャッキダウン量が、もっとも少なくなるように設定した。P1橋脚上で、桁の下フランジが支承をかわす高さ、A2橋台は、桁の下フランジがパラペット天端をかわす高さとし、この2点を直線で結んだラインを基準線とし、各橋脚の高さを決定した。

2) 平面線形は、桁先端部約20mが直線で、残りの部分は曲率半径が3000mの曲線となっているため、送出しの方向はすべて曲率半径の線上になるよう計画した。

3) 手延機先端の方向については、鉛直方向にたわみを考えて上げ越したりする方法もあるが、今回は、前述した方法で手延機をジャッキアッ

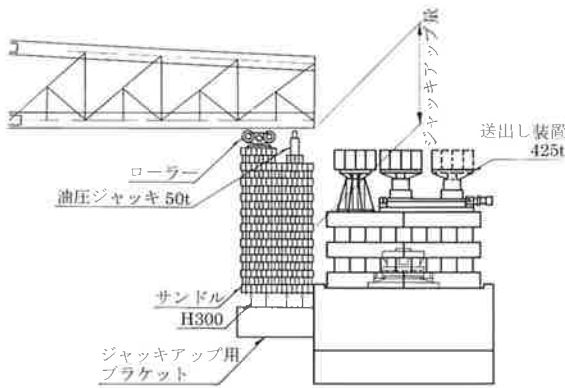


図-7 手延機ジャッキアップ要領図

3) ジャッキアップ設備

手延機が各橋脚に到着するときには、手延機先端のたわみ量を図-7に示すように、橋脚前面に、ジャッキアップ設備を設け50tジャッキにて、手延機先端のジャッキアップを行った。な



写真-3 送出し状況



写真-4 送出し装置

プしてたわみ量をあげるため、桁縦断勾配と同じとした。また、水平方向については、横方向のシフト量が少なくすむよう2)で述べた曲率半径の線上になるようにした。

(5) 送出し時の管理

送出し時の桁の管理については、表-5に示す送出しステップにしたがって算出した値を基準に、桁の支点上高さ、横方向のずれ、各支点の反力の3項目について管理を行った。値の算出は、前述面内骨組解析を利用して行った。

桁の支点上高さは、ジャッキ盛替え時に各支点で調整した。管理値は設計値の±30mmを管理基準とした。

ジャッキ反力は、ジャッキの反力計を利用して管理し、管理基準を設計値の20%以内とした。各橋脚での最大反力を表-6に示す。また、ジャッキは1主桁の左右同圧で動くように配管してあるた

め、左右の高さの差が10mm以内の場合は反力を優先させた。

桁の横方向のずれは、基準線より30cm以内とし、それ以上ずれそうな場合には方向修正を行った。方向修正は送出しジャッキについている方向修正ジャッキを利用した。なお、送出し作業が昼間の場合は、桁の日照により横方向にずれることが予想されたが、管理値には考慮しなかった。代表的なステップ図を図-8に示す。

(6) 桁降下

桁の降下は表-4に示すようにP1で1.8m、A2で2.8mと両端橋脚間で1mの差があるため大きく2回に分けて行った。

1回目は桁全体を平行に1.8m降下させ、P1で杳に収まるようにした。降下の順序はP1からA2、A2からP1の順に降下させた。なお、計画時の桁の応力照査においては、1回の降下量は300mmと

表-4 送出し基準高

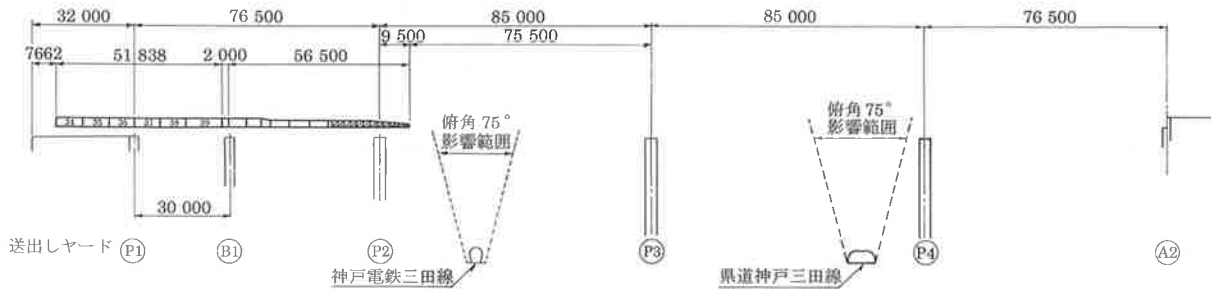
		P1	B1(ベント)	P2	P3	P4	A2
1	路面計画高	308624		307606	306465	305324	304306
2	舗装厚	80		80	80	80	80
3	鋼床版厚	16		16	14	16	12
4	腹板高	1896		2696	2698	2696	2700
5	下フランジ厚	20		33	29	33	20
6	桁端切欠き部	780		0	0	0	0
7	ソールプレート厚	29		46	46	46	29
8	(支承ボス高)	25		40	40	40	25
9	支 承 高	708		1055	715	695	708
10	モルタル厚	64		45	34	56	40
11	下部工天端高	305811		303635	302849	301702	300717
12	支 間	0		75900	85000	85000	75850
13	追加距離	0	30000	75900	160900	245900	321750
14	構 造 高	(2~5)		2825	2821	2825	2812
15	下フランジ下端高 ①	(1-14)		304781	303644	302499	301494
16	P1切欠き部補正	(6)		+780	+780	+780	+780
17	下フランジ下端基準高 ②	(15+16)		305561	304424	303279	302274
18	桁下余裕高	(17-11)		801	1926	1575	1557
19	送りジャッキ設備		311t	425t	425t	425t	311t
20	ライナー代		200	200	200	200	200
21	横 受 梁		400	400	400	400	400
22	ジャッキストローク		50	50	50	50	50
23	小 計	(20+21+22)		650	650	650	650
24	ジャッキ高		825	825	970	970	825
25	ジャッキ高合計	(23+24)		1475	1475	1620	1475
26	桁下余裕高との差	(25-18)		-674		-45	102
27	桁下余裕高補正(仮定)			+1050			+100
28	下フランジ下端基準高 ③	(17+27)		307662			302374
29	縦断補正基準						A2路面計画高(304306)-下端高(302374)=(1932)
30	縦断補正(仮定)			0			+2000
31	下フランジ下端基準高 ④	(28+30)		307662	307355	306886	305149
32	縦 断 差			0	-307	-776	-1644
33	設 備 高			1851	1475	3251	3169
34	ジャッキダウン量			1830		2105	2374
35	サンドル・軌条(ベント)天端高さ			306187	305880	305266	304398
36	サンドル高(H鋼)			376		1631	1549
						1972	2182



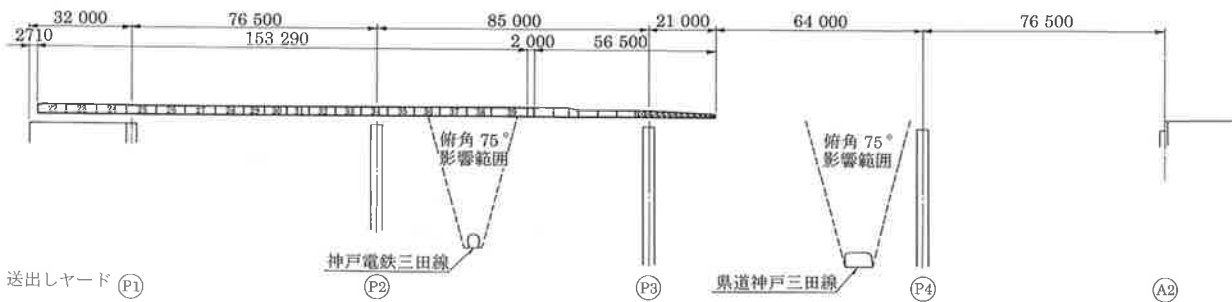
したが、実際の施工では、150mmとして作業を行った。表-7に桁降下時の各支点の反力変化を示す。

2回目はP1を中心にA2が沓に収まるまで回転するように降下した。1回の降下量はA2で150mm下げた場合の各橋脚の下がり量を算出して行った。写真-5に桁降下状況を示す。

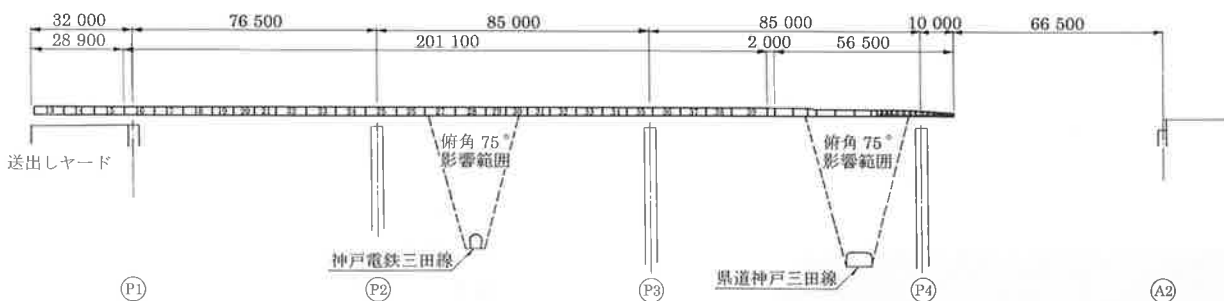
ステップ5



ステップ9



ステップ12



ステップ15

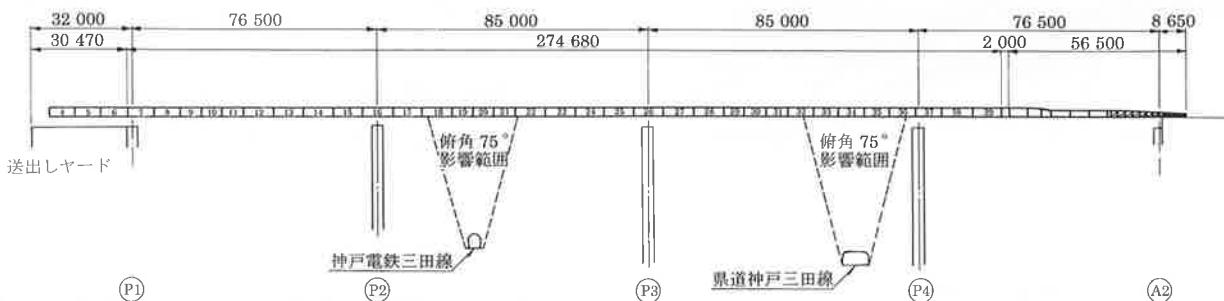


図-8 ステップ図

表-5 送出し作業表

	ヤード作業	作業箇所							先端位置	送出し量		作業時間	組立ブロック数
		台車	P1	B1	P2	P3	P4	A2					
1	手延機組立	*	*						P1より15m			昼間	
2	手延機送出し	*	*						P1より27.5m	12.5m		昼間	
3	手延機送出し	*	*	*					P1より50.5m	23.0m		昼間	
4	桁組立・送出し	*	*	*					P1より63.8m	15.3m		昼間	2
5	桁組立・送出し	*	*	*	*				P2より9.5m	22.2m	P2到着	昼間	2
6	桁組立・送出し	*	*		*				P2より31.0m	21.5m		夜間	2
7	桁組立・送出し	*	*		*				P2より54.0m	23.0m		夜間	3
8	桁組立・送出し	*	*		*				P2より77.0m	23.0m		夜間	3
9	桁組立・送出し	*	*		*	*			P3より21.0m	29.0m	P3到着	夜間	3
10	桁組立・送出し	*	*		*	*			P3より49.0m	28.0m		昼間	3
11	桁組立・送出し	*	*		*	*			P3より68.0m	19.0m		夜間	3
12	桁組立・送出し	*	*		*	*	*		P4より10.0m	27.0m	P4到着	夜間	3
13	桁組立・送出し	*	*		*	*	*		P4より34.0m	24.0m		昼間	3
14	桁組立・送出し	*	*		*	*	*		P4より60.5m	26.5m		昼間	3
15	桁組立・送出し	*	*		*	*	*	*	A2より8.65m	24.0m	A2到着	昼間	3
16	桁組立・送出し	*	*		*	*	*	*	A2より31.65m	23.0m		昼間	3
17	桁組立・送出し	*	*		*	*	*	*	送出し完了	32.8m		昼間	3

表-6 各橋脚の最大反力

橋脚番号	反力
P1	151t
B1	74t
P2	227t
P3	236t
P4	200t
A2	96t

表-7 桁降下時の反力変位 単位：t

	基本反力	P1	P2	P3	P4	A2
		ステップ1	反力	122.4	381.6	347.0
P1-150	変化量	-4.6	10.0	-6.9	2.0	-0.4
ステップ2	反力	127.7	366.7	362.6	373.9	124.8
P2-150	変化量	5.3	-14.8	15.6	-7.7	1.6
ステップ3	反力	120.8	389.2	331.5	396.4	118.0
P3-150	変化量	-1.6	7.7	-15.6	14.8	-5.3
ステップ4	反力	122.8	379.5	353.9	371.6	127.9
P4-150	変化量	0.4	-2.0	6.9	-10.0	4.6
ステップ5	反力	122.0	383.5	340.1	391.5	118.6
A2-300	変化量	-0.4	2.0	-6.9	10.0	-4.6



写真-5 桁降下状況

#### 4. 架設系による桁の照査概要

##### (1) 架設系による桁の照査概要

本橋は、桁の平面曲率が大きいため架設系に対する断面力の算出は、一本の梁モデルとして行った。

送出しステップごとに算出した断面力を用いて完成系の主桁断面を照査するものとした。

照査は下記の項目について行った。

- 1) 主桁の母材断面の照査。
- 2) 送出しジャッキ上腹板の局部応力の照査。
- 3) 送出しジャッキ上腹板の局部座屈の照査。

##### (2) 設計荷重

解析時に載荷する荷重は鉛直荷重のみとし、不均等荷重は算出した断面力に下記の係数を割り増して計算した。

- 1) 鉛直荷重
  - 鋼重+足場荷重
- 2) 不均等荷重
  - ・母材断面の照査に対する割り増し係数・1.2 (曲げモーメント, せん断力のみ)
  - ・腹板の局部応力・局部座屈の照査  
に対する割り増し係数…………… 1.5 (せん断力, 反力のみ)

##### (3) 許容応力度

主桁の母材断面の照査に際しては道路橋示方書

により、架設時の25%割り増しを適用した。また、送出しジャッキ上腹板の局部応力の照査時における安全率と許容応力は「橋梁架設工事の手引き(上)(日本建設機械化協会編)」を適用した。

(4) 補強方法

1) 主桁の母材断面の照査

照査の結果、応力超過した断面はその大きさに応じて、次のフローにて補強方法を選定した。

- ・下フランジ縦リブ本数の追加
- ↓
- ・下フランジ縦リブ断面のアップ
- ↓
- ・母材の材質アップ
- ↓
- ・下フランジ板厚アップ

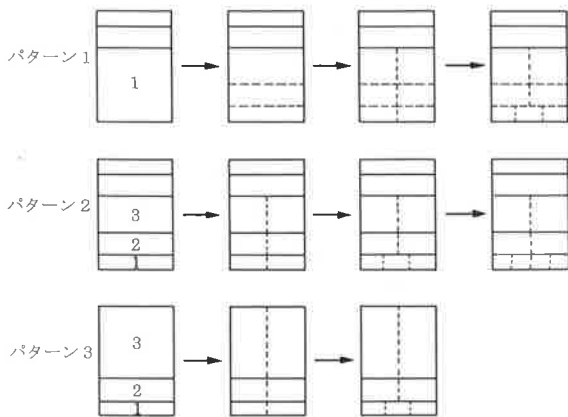


図-9 補強リブの追加要領図

2) 送出しジャッキ上腹板の局部応力の照査  
照査の結果、応力超過した断面は腹板の板厚を増厚した。

3) 送出しジャッキ上腹板の局部座屈の照査  
照査は「DAST指針012」により腹板に曲げ応力度、せん断応力度、反力が作用したときの合成座屈安全率を求めて行い、所要の安全率( $\alpha = 1.7/1.25 = 1.36$ )が得られない場合には、図-9に示す手順で応力状態に合わせて補強方法を選定した。

あとがき

本橋で採用した全断面送出し工法は、架設工法としては、実績も多く一般的であったが、桁地組立ヤードが非常に短い上に橋脚高さが50m以上の場所における施工条件では、作業の安全性、施工性からしてもかなり厳しいものであった。

そのような施工条件の中でも、現場状況にあった綿密な計画と正確な現場管理の結果、無事故・無災害はもちろん桁の精度もよく工期短縮を計れたことは、我々にとって大変喜ばしいものである。

最後に本橋の施工にあたり、多大なご指導、ご協力を賜った阪神高速道路公団の方々ならびに神戸電鉄、有馬警察の方々はじめ工事に理解を示し夜間作業などにもご協力下さった、五社地区の皆様方に対し感謝の意を表します。