

## 跨高速道路橋（方杖ラーメン橋）のプレキャスト化

和田 宣史\*1・神野 真一朗\*2・花田 忠臣\*3・高橋 渉\*4

### 1. はじめに

今回、プレキャスト化の取組みを行ったのは、東関東自動車道（館山自動車道）、市原 IC～姉崎袖ヶ浦 IC 間に位置する跨高速道路橋の中で、方杖ラーメン形式の 4 橋である。

当該橋梁は、当初場所打ち工法で計画されていたが、工程の短縮を図る目的で、プレキャストセグメント工法を採用した。

本文は、プレキャスト方杖ラーメン橋の設計、施工について、実施工を踏まえ、紹介するものである。

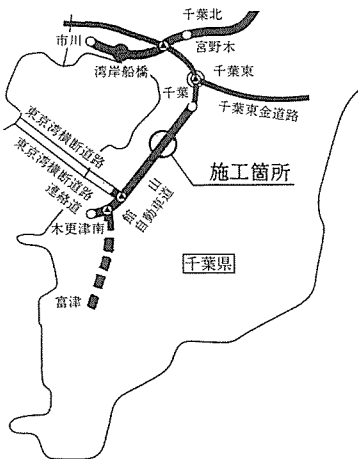


図-1 位置図



写真-1 完成写真(1)

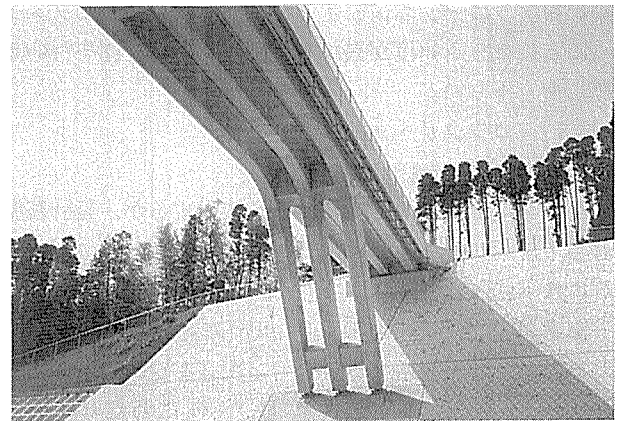
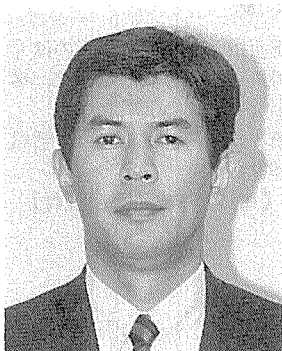
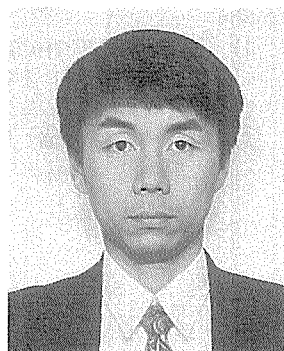


写真-2 完成写真(2)



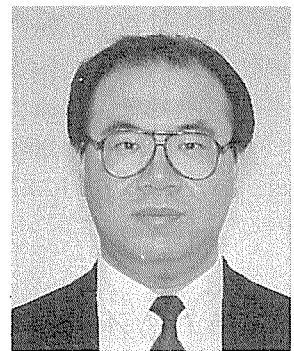
\*1 Norifumi WADA  
日本道路公団  
東京第一建設局建設第二部  
構造技術課 課長代理



\*2 Shin-ichiro KAMINO  
日本道路公団  
東京第一建設局建設第二部  
構造技術課

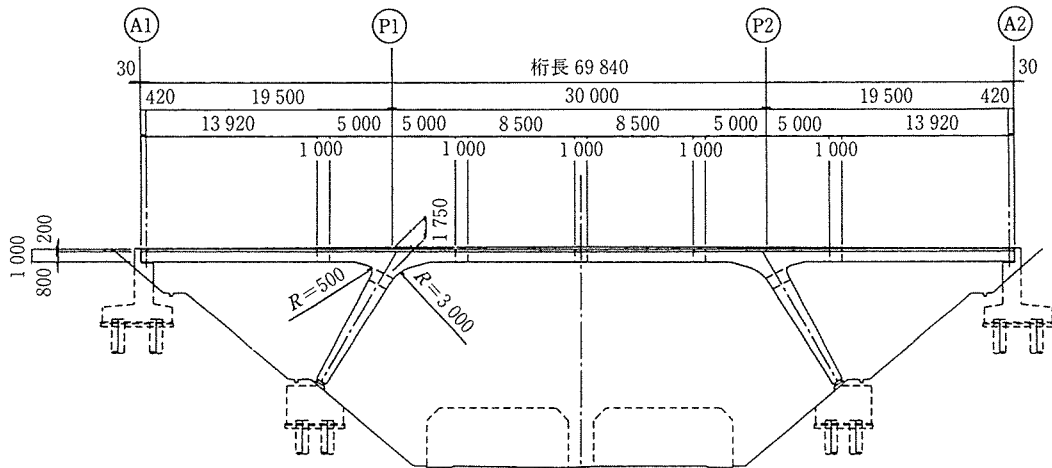


\*3 Tadaomi HANADA  
(株)富士ピー・エス  
東京支店工務部

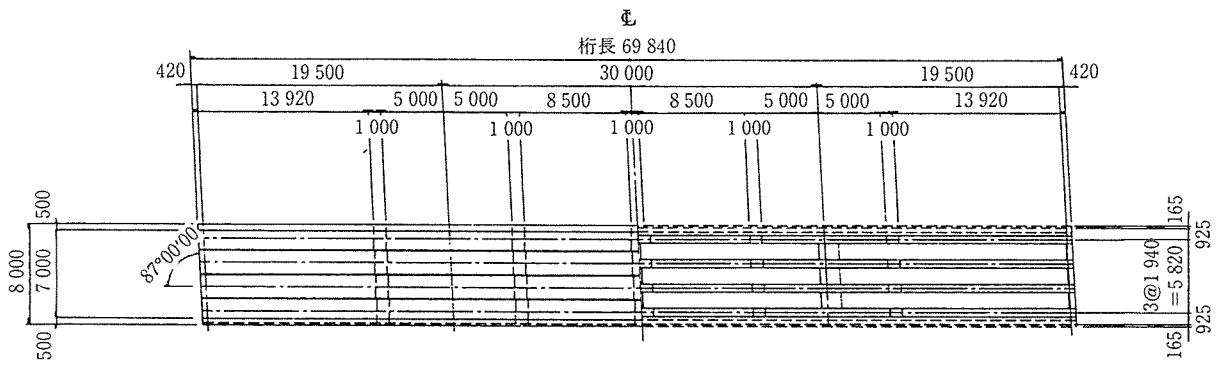


\*4 Wataru TAKAHASHI  
(株)富士ピー・エス  
東京支店技術部

側面図



平面図



断面図

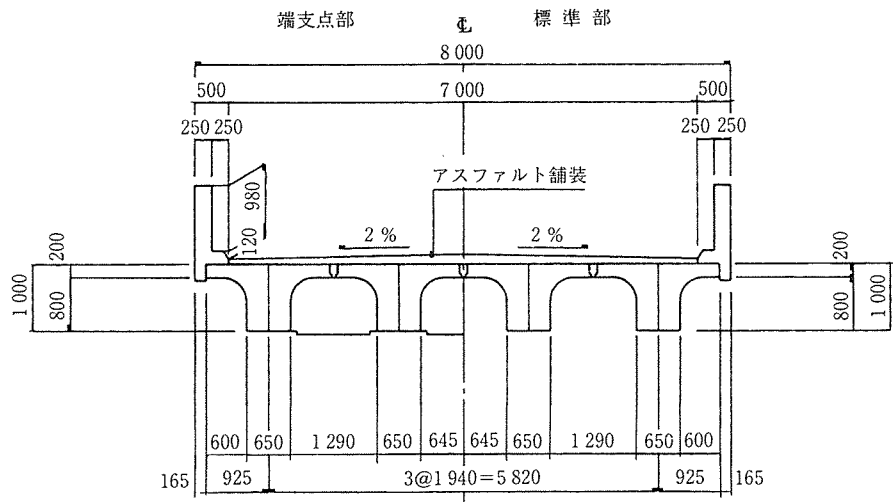


図-2 構造一般図 (不入斗第一跨道橋)

表-1 設計条件

橋名	豊成跨道橋	不入斗第一跨道橋	不入斗第二跨道橋	椎津跨道橋
活荷重	TL-20	TL-20	TL-20	TL-20
橋長(m)	64.300	69.900	73.300	65.700
支間割(m)	17.50+28.40+17.50	19.50+30.00+19.50	19.90+32.00+20.50	18.50+30.00+16.30
有効幅員(m)	5.000	7.000	5.000	8.000
全幅員(m)	6.000	8.000	6.000	9.000
斜角	80°00'00"	87°00'00"	90°00'00"	82°30'00"
平面線形	R=∞	R=∞	R=∞	A=120, R=∞
縦断勾配	0.5% ↙	0.5% 放物線 ↙ ↘	2.084% ↘	4.0% ↘
横断勾配	2.0% ↙ ↘	2.0% ↙ ↘	2.0% ↙ ↘	2.0% ↙ ↘
水平震度	$K_H=0.22$	$K_H=0.22$	$K_H=0.22$	$K_H=0.20$

## 2. 工事概要

4 橋の工事概要、使用材料をそれぞれ表-1、表-2 および代表的な構造一般図を図-2 に示す。

## 3. 設計

### 3.1 プレキャスト部材形状

プレキャスト部材の形状検討項目は以下の点が挙げられる。部材分割方法は小分割、中分割、大分割の3種類(図-3)、断面形状は、箱桁、T形、ホロー、中空スラブとした(図-4)。また、接合方法は橋軸方向に対しては場所打ち目地、樹脂系接着剤目地、横断方向に対しては、吊り型枠、落し型枠の方法について検討した(図-5)。そして構造形式は7タイプを選定した(図-6)。

今回のプレキャスト部材の製作にあたっては、架設現

表-2 使用材料

種別	仕様	
コンクリート	主桁、橋脚	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$
	横桁、ストラット	$\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^2$
	壁高欄、地覆	$\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋	D 16~D 22	SD 345
P C 鋼材	縦締め主ケーブル	12 T 12.4 mm (SWPR 7 A)
	横締めケーブル	1 T 17.8 mm (SWPR 19)
	脚材鉛直締め	$\phi 32 \text{ mm}$ (SBPR 930/1180)
	架設用ケーブル	1 T 21.8 mm (SWPR 19)

場近くに製作ヤードを設けることができないため、プレキャスト部材の製作は、工場とした。

このため、工場から現場の架設地点までのプレキャスト部材の運搬路として公道を使用することとなり、部材の寸法や重量に制限を受けることになった。

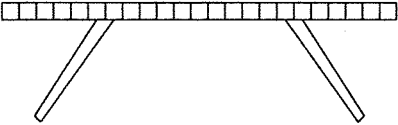
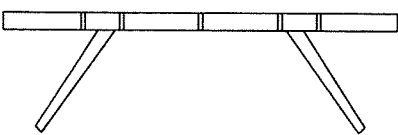
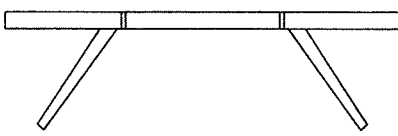
	概略図	記 事
小分割		<ul style="list-style-type: none"> <li>・細分割されたプレキャスト部材を接続するためには、全面的な支保工が必要となる。</li> <li>・部材相互の結合のための目地に場所打ちを設けることは、作業が煩雑となるため接着剤による接合の適用となる。</li> <li>・断面方向の分割を考えると非常に現場での作業が増すため、断面は一体ものとする方がよい。</li> </ul>
中分割		<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレキャスト部材を接合するためには、全面的な支保工は特に必要なく、仮支柱方式で施工できる。</li> <li>・プレキャスト部材個々が長いので、重量や架設機械の性能などを考慮すると断面方向にも分割する必要がある。</li> </ul>
大分割		<ul style="list-style-type: none"> <li>・中分割にはほぼ同様であるが、中央の部材が長いので、運搬・架設時には一次緊張の必要が生じる。</li> </ul>

図-3 分割方法

	概略図	記 事
箱断面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・横方向の分割を避け、一断面を一体で施工する。</li> <li>・1セグメントの重量を考慮すると橋軸方向には小分割しなければならなくなる。</li> </ul>
T断面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・横方向に断面分割を行い、横締めケーブルを緊張し一体とする。</li> <li>・1セグメントの重量を考慮すると橋軸方向に小分割すると結合作業が煩雑となるだけで有効でなく、中分割や大分割に適する。</li> <li>・桁自重による反力は最も小さい。</li> </ul>
ホロー断面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・T断面に同様であるが、中空ホローの型枠を堅固に止めるための措置を講ずる必要がある。</li> </ul>
中空スラブ断面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホロー断面に同様である。</li> <li>・桁本体と壁高欄を一体化し、中間支点上のケーブルの曲上げ高が必要な場合には壁高欄にもケーブルを配置する。</li> <li>・桁自重による反力は最も大きい。</li> </ul>

図-4 断面形状

(1) 橋軸方向		
方法	概略図	記 事
場所打ち目地		<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレキャスト部材を結合するために鉄筋を重ね継手で接続し、ケーブルを配置するためのシースも接合する必要がある。</li> <li>・場所打ち目地であるため、プレキャスト部材の施工誤差を吸収することが可能である。</li> <li>・場所打ち目地施工のための支保工や型枠の組立解体の作業が必要となる。</li> </ul>
樹脂系接着剤 接合キー併用		<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレキャスト部材を結合するために、接着剤の塗布や接合キーの設置など必要となる。</li> <li>・接着剤の可使時間の範囲により、作業上の時間制約が生じる。</li> <li>・プレキャストの部材だけで桁を構成するため、スパンや桁長等の施工精度の高さが要求される。</li> </ul>
(2) 間 詰 め		
方法	概略図	記 事
吊り型枠方式		<ul style="list-style-type: none"> <li>・桁製作時に取り付けておいた吊り治具に型枠をのせかけ、シースを継いでケーブルを通して一体化を図るものである。</li> <li>・桁を据え付けた後は桁の上面からすべての作業が行えるため安全であるが、桁製作時に治具を埋め込む手間がかかることや型枠・治具を永久に残すため腐食に耐える材料を選定する必要がある。</li> </ul>
落とし型枠方式		<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレキャスト桁を並べ型枠を桁上面よりセットし、シースを継いでケーブルを通して一体化を図るものである。</li> <li>・桁を据え付けた後は、桁の上面からすべての作業が行えるため安全であり、桁下の制約を受けない。</li> </ul>

図-5 接合方法

断面 橋軸方向	小分割	中分割	大分割
	○	×	×
	TYPE-1		
	△	○	○
		TYPE-2	TYPE-3
	△	○	○
		TYPE-4	TYPE-5
	△	○	○
		TYPE-6	TYPE-7

図-6 構造形式

また、部材高を 2.5 m 程度に抑え、橋台上の桁高を基本設計の中空床版桁に同等とした。以上の検討により TYPE-2 (T 桁断面中分割方式) を選定した (表-3)。

なお、プレキャスト部材をトレーラーに積み込み、運搬途中の悪路も見込まれるため、運搬時の応力は自重による応力のほか、衝撃として自重による応力の 40% を見込んだ。以下は各部材の検討を述べる (図-7)。

(1) 中央径間の部材 (a 部材)

中央径間のスパンは 30 m になり、1 本ものの部材とした場合には部材長が 18~20 m にもなる。また、重量が運搬制限を上回り、運搬・架設時には RC 状態では安全性を確保できない。そこで中央に支保工材は必要となるものの 2 分割し、RC 部材として運搬・架設を行うものとした。

(2) 側径間の部材 (b 部材)

側径間の部材は法面上での施工となるため、支保工を

表-3 構造形式の選定

項目	TYPE	1	2	3	4	5	6	7	
		主桁形状	等桁高	△	○	○	○	○	○
主桁形状	部分的な桁高変化	×	○	○	△	△	×	×	
	全体的な桁高変化	×	×	×	×	×	×	×	
	壁高欄高の変化	×	×	×	×	×	△	△	
接合方法	橋軸方向	場所打ち目地	×	○	○	○	○	○	
	間詰め	樹脂系接着剤接合キー併用	△	△	○	△	○	×	×
		吊り型枠方式	-	△	△	△	△	-	-
架設方法	橋軸方向	落し型枠方式	-	○	○	○	○	○	
		運搬可能	○	○	×	△	×	△	×
	支保工	梁支柱式	○	△	×	△	×	×	×
橋軸方向	仮支柱式	×	△	○	△	○	△	○	
	トラッククレーン	○	○	○	○	○	○	○	
橋軸方向	クローラクレーン	○	○	○	○	○	○	○	
	評価	4	1	-	2	-	3	-	

※TYPE-3.5.7 は運搬不可能により、評価より除外する。

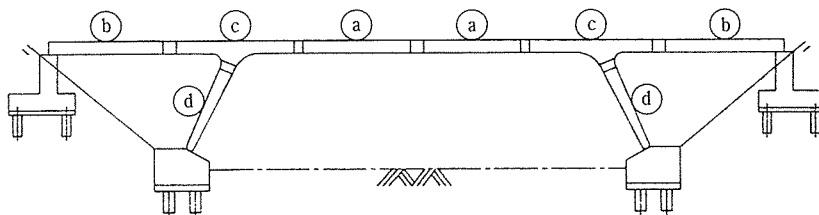


図-7 部材の分割

設けないように1本ものとした。

しかし、部材長が12~15 mと長いので、運搬・架設時の安全性を確保できるように1 T 21.8のシングルストランドを下縁に数本(2~3本)配置して、部材にプレストレスを導入することにした。

### (3) 脚頭の部材(c部材)

トレーラーによる運搬時の部材の座り具合を考慮して、部材端から2.0 m区間にレベルな面を設けた。また、運搬用トレーラーのサイズ、積み荷の取合いから部材長を10 mとした。

プレキャストの部材高を2.5 m程度に抑えるために、橋脚部材との切断位置をどこに取るか苦慮したが、主桁と橋脚の取合い部のRハンチに設定するしかなく、場所打ち目地部施工時の型枠取付けや工場での型枠のセットのやり易さを考慮して、小さい方のRハンチに接し、橋脚の軸に直角な線を切断位置とした(図-8)。

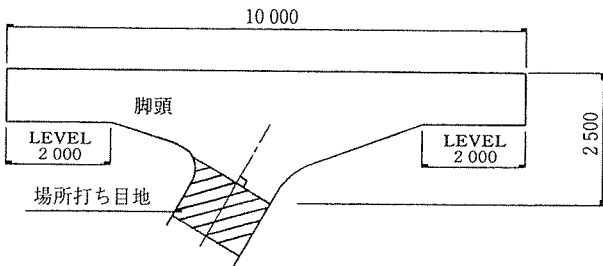


図-8 脚頭部材の形状

### (4) 橋脚の部材(d部材)

主桁部材と接合し一体化するため、橋脚の厚みを主桁のウェブ幅と同様にした。

橋脚の部材には、工場製作時に支承の上沓を埋め込んでおき、運搬・架設時にRC状態でどの方向に仮置きしても安全であるような配筋を行った。

## 3.2 構造解析

前述の部材形状の決定により、橋脚全体の構造は、T形の主桁、横桁およびストラット、分割した脚材等から成り、立体的な骨組構造を形成している。

したがって、外力等の荷重を受けたとき、各部材に作用する断面力は均等でなく、平面骨組解析ではその断面力の差異は求められない。

そこで、立体的な橋梁の実際の骨組をモデル化した立体骨組構造解析システムを用い、面内、面外の荷重に対してすべての部材が安全であるよう設計を行った。

数本の主桁を有する橋梁の場合に、発生する断面力は着目するポイント(支間中央や支点上など)により、外桁が大きかったり、中桁が大きかったりする。それぞれの最大となる作用力に対し、すべて安全となるようにPC鋼材や鉄筋を配置した。

## 3.3 プレキャスト部材接合

### (1) 主桁部材

プレキャスト部材の接合方法は、方杖ラーメン橋のような橋脚を有する構造には接着剤目地の形式は部材の製作や製造管理、接合作業等の面でむしろ煩雑となることが予想されたため、場所打ちコンクリート目地を採用した。

接合目地幅は、鉄筋のラップ長が十分とれ、シースの接続作業が容易に行えるよう1.0 mとした。

### (2) 床版

床版の間詰め施工を容易に行うため、プレテンション床版桁と同様に埋設用の間詰め型枠をセットし、コンクリート硬化後、横締めケーブルの緊張をする方法を採用した(図-9)。

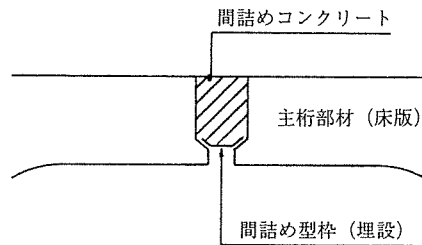


図-9 間詰め型枠

### (3) 脚頭部材の鉄筋処理

脚頭部材と脚部部材をつなぐために脚頭部材下端から出す鉄筋は、運搬時の部材高制限に大幅に支障を来すことや、工場における部材製作時に底版に差し筋を出すようになるなど、問題が生じるため機械継手を使用することとした(図-10)。

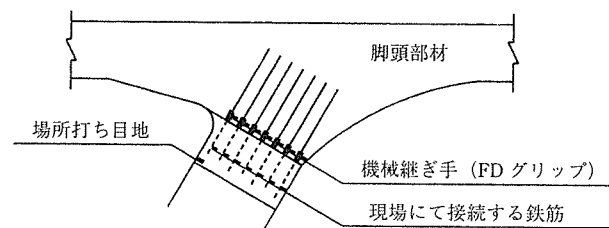


図-10 脚頭部材の鉄筋

## 3.4 支 承

橋脚下端の支承は、一般には、メナーゼヒンジであるが、これをプレキャスト工法に採用するには下部工天端に箱抜きを設置したり、橋脚部の支保工施工が非常に煩雑となり、プレキャスト工法の有効性を損なうことが考えられるため、鋼製沓を使用することとし、橋軸方向および橋軸直角方向、部材のねじれ等による施工誤差を回転することでクリアできるようにピボット支承(175~200 tf 沓)を採用した。

表-4 材 料 比 較 表

項 目	仕 様	単 位	在 来 工 法	プレキャスト	摘 要	
コンクリート	P 2-2 ( $\sigma=400 \text{ kgf/cm}^3$ )	m <sup>3</sup>	—	341.0	主桁、橋脚	
	P 3-2 ( $\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^3$ )	"	574.5	—	主桁、橋脚	
			—	33.8	横桁、ストラット	
	合 計	"	574.5	374.8		
型 枠	B 1	$\phi 750$	m	273.0	—	円筒型枠
		$\phi 450\sim 750$	"	15.0	—	"
		計	"	290.0	—	"
	P 1	m <sup>2</sup>	1 298.8	1 803.2	地覆、高欄含む	
鉄 筋	P	D 13	t	26.5	29.3	"
		D 16~D 32	"	41.7	23.0	"
		合 計	"	88.2	52.8	"
P C 鋼 材	12 T 12.4	本 数	本	16	28	主ケーブル
		重 量	kg	9 767.3	15 023.6	"
	1 T 21.8	本 数	本	—	24	架設ケーブル
		重 量	kg	—	820.8	"
	1 T 17.8	本 数	本	—	170	横締めケーブル
		重 量	kg	—	2 127.2	"
	PC 鋼棒 $\phi 32$	本 数	本	—	48	脚柱鉛直締め
		重 量	kg	—	3 352.0	"
支 承	$E (t=56 \text{ mm})$	m <sup>3</sup>	0.3	—	ゴム沓 (脚台部)	
	$E (t=82 \text{ mm})$	"	—	1.2	"	
	D	"	6.7	—	メナーゼヒンジ部	
	C 1	kg	—	4 862.8	鋼製ピボット部	
耐震連結装置	B	"	132.1	159.1	アンカーバー	

### 3.5 材料の比較

不入斗第一跨道橋の場所打ち工法およびプレキャスト工法の材料比較を表-4 に示す。

## 4. 施 工

### 4.1 施工概要

本工事の施工手順および架設要領を図-11、図-12 に示す。以下に施工手順に従って、工場製作工、支保工、支承工、架設工、目地・横組工、緊張工の施工について述べる。

### 4.2 工場製作工

プレキャスト部材形状は、中央径間、側径間ともそれぞれ等断面である。橋梁ごとの桁高の差異は、底型枠に調整枠を挿入して対処することが可能であった。また工場で、製作されたことにより、集中管理により作業の標準化、単純化が図られ、品質管理が十分できた。

### 4.3 支保工

支保工は支柱式支保工を採用した(写真-3)。その理由は支保工をブロックユニット化して、転用可能となる構造であり4橋に適用できるためである。また、支保工基礎は地盤が強固であり、砕石の転圧だけで施工可能であることが挙げられる。

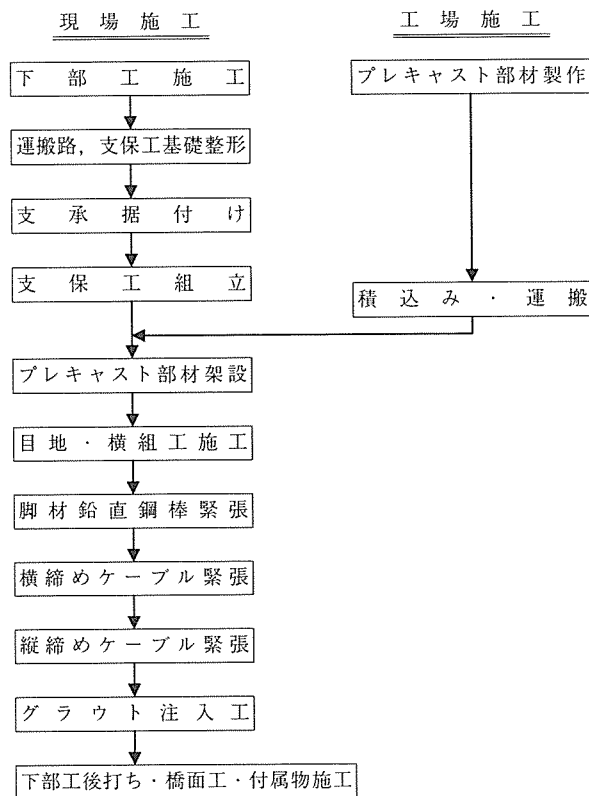
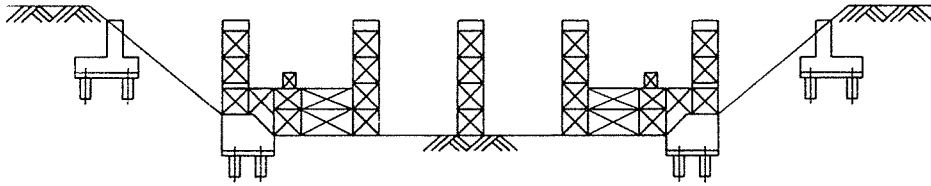


図-11 施 工 手 順

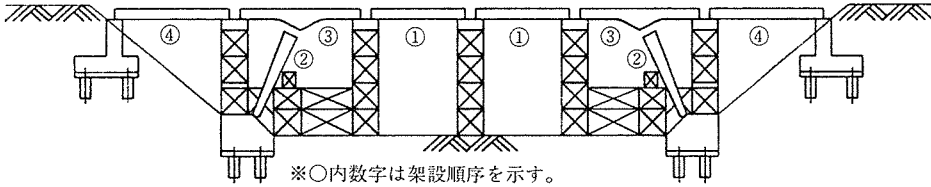
(1) 中間橋脚のフーチング、橋台を下部工施工者より引き継ぐ。



(2) 支保工基礎、運搬路の整形および支保工の組立を行う。



(3) 橋台部のゴム沓および中間橋脚部のピボット沓の下沓を据え付け、プレキャスト部材をトラッククレーンにより支保工上に架設する。



(4) プレキャスト部材の目地部、床版・横桁・ストラットのコンクリート打設、緊張、グラウト注入を行い、橋体を完成させる。

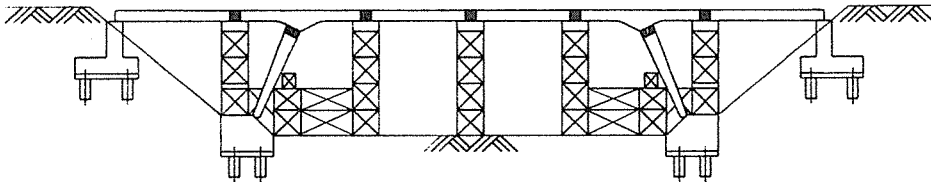


図-12 架設要領

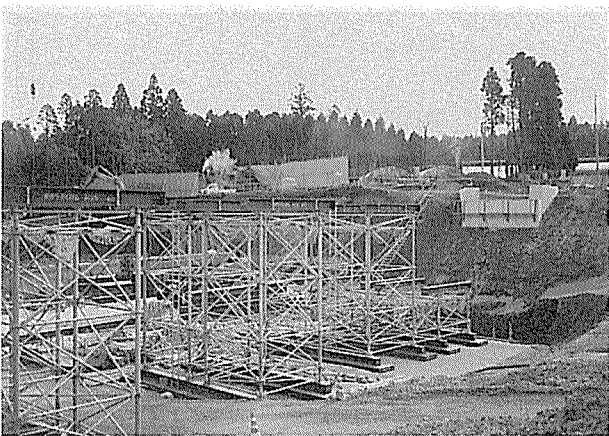


写真-3 支保工



写真-4 脚部材の支持鋼材



脚部材の水平方向力に対する支持は $\phi 23$  mm のゲビンデ鋼棒を一主桁に対して一本配置して対処した(写真-4)。主梁、横梁はH鋼を組み合わせて、主桁受台部は、ネジ式ジャッキをセットして、支保工解体時には、ジャッキダウンを行うことで容易に解体することができた。

#### 4.4 支 承 工

支承はピボット支承であり、上沓はプレキャスト部材製作時に設置されており、下沓はフーチングの斜面に据え付けられ、橋脚部材の架設は、下沓に上沓を合わせることで容易に施工できた(写真-5)。

#### 4.5 架 設 工

プレキャスト部材は、工場にてトレーラーに積み込み(写真-6)、架設地点まで運搬して、架設は油圧式 200 t クレーンを用いて架設した。架設順序は、中央径間部材、脚部材、脚頭部材、側径間部材の順序により行った(写真-7, 8)。最初に中央径間部材を架設すると、その自重が、支柱式支保工を介して、脚部材水平力を分担するため、安全性をも考慮して、架設順序を決めた。脚部材と脚頭部材は、鉛直方向 $\phi 32$  mm の PC 鋼棒で接合され、脚頭部材どうしは、横方向 1 T 17.8 mm の PC

鋼より線で接合されるので、架設した後、微調整を行い鋼材配置の確認を行った。

#### 4.6 目地・横組工

脚部と脚頭部の接合部の鉄筋配置は、D 16 mm が 125 mm ピッチであり、架設時に鉄筋が交差しないよう機械式継手を用いた(写真-9)。コンクリート打設は、主桁上よりコンクリートバケットにて投入し、主桁に打設用、パイプレーター用孔、型枠に点検用孔を設け

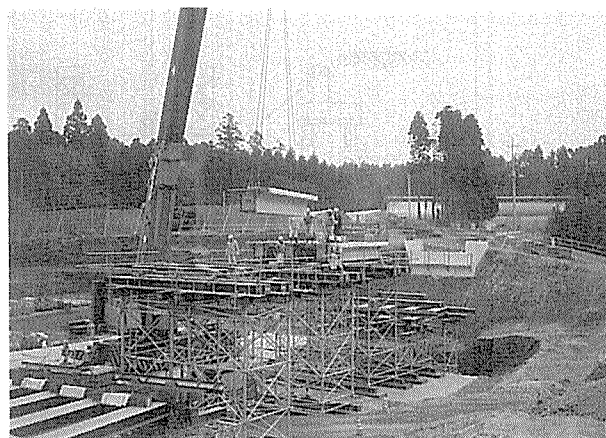


写真-7 架設状況(1)



写真-5 上沓、下沓の接合

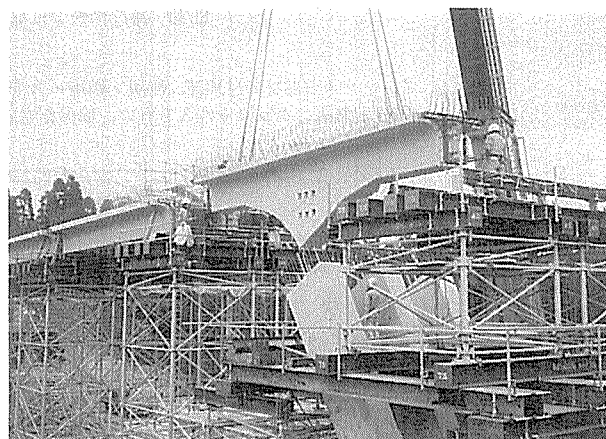


写真-8 架設状況(2)



写真-6 部材の積み込み



写真-9 脚部の接合

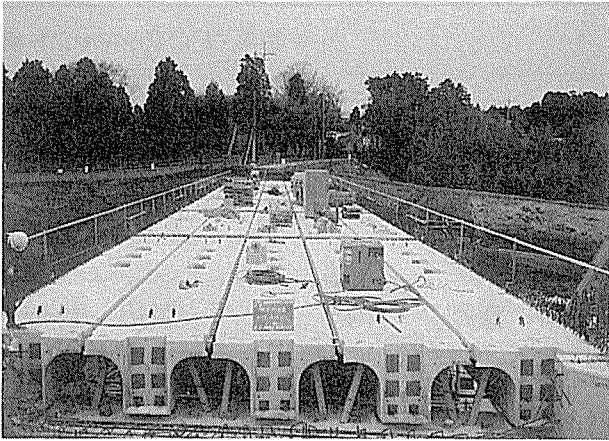


写真-10 接合目地の状況

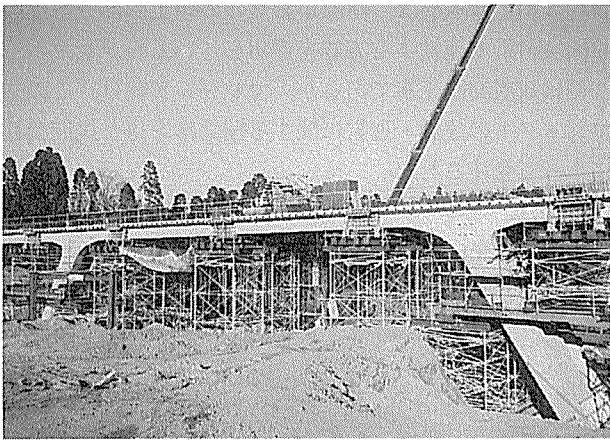


写真-11 目地部の施工

て、コンクリートが完全に充填する工夫をして、慎重に施工を行った。

床版部および主桁間の目地部は、通常のプレテンション方式中空床版橋と同様に、埋設型枠を用いることで容易に施工が可能であった(写真-10, 11)。

#### 4.7 緊張工

緊張順序は下記の理由により決定した。

主桁のメインケーブルを緊張したときには、すべての部材が支保工を離れてしまい、橋脚には相当の断面力が作用するため、この時に橋脚としての機能を果たさなければならないので、橋脚部の鋼棒を最初に緊張することとした。

次にメインケーブルを緊張した場合に発生する主桁ごとのたわみ差を回避するため、床版・横桁等の横締めケーブルを緊張する。

よって緊張順序は次のとおりである。

- ① 橋脚・脚頭の鋼棒緊張
- ② 床版・横桁・ストラットの横締めケーブル緊張
- ③ 主桁のメインケーブル緊張

(側径間部材の運搬・架設用ケーブルの緊張は、工場で行った。)

緊張による主桁のたわみは、側径間部+5 mm, 中央径間部+15 mm, 脚頭部-15 mm とほぼ設計値と同様の値を示した。

#### 5. ま と め

今回のプレキャストセグメント工法の最大の長所は、現場工期が、通常4~5ヶ月かかる場所打ち工法と比較して、2~2.5ヶ月で施工できたこと、現場での労務工数を大幅に低減できたことで安全性が向上したことである。

また本工事は、工事用道路が急勾配、急カーブ、軟弱等の制約条件のもとで、初期の目標工期内で施工完了した。

計画において、現場付近にプレキャスト部材を製作するヤードがとれないため、工場製作となり、運搬上の重量や寸法制限の関係上、プレキャストセグメントの大型化が図れなかったが、架設地点付近にヤードが確保でき、運搬路として本線等の工事用道路が使用できるような条件であれば、セグメントの切断位置を減らし、支保工の設置ボリュームも減じることができる。また、輸送費等の大幅削減も望める。

さらに、支保工も一定の大きさにユニット化して毎回の組払いを避け、そのまま次の架設地点へ運搬、移設するなどの省力化を講じることも可能となる。

跨高速道路橋は、既設道路としての機能を有し、また他の関連工事と、特に工程調整が必要である。そこで現場工期の短縮を図ることが、道路建設全体を考慮した場合、非常に重要である。プレキャストセグメント工法は、工期の短縮、省力化に有効な工法であり、今後ますます多方面にわたり採用が増えるものと思われる。

最後に、本橋の計画および施工にあたり、多大なる御指導をいただいた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

【1995年12月20日受付】