

南港中出入路橋上部工事における工費節減

工務部付	中村 一平
大阪建設局 建設企画部 設計課	袴田 文雄
大阪建設局 長居工事事務所	佐藤 大輔

要 旨

近年、大阪南港地区では開発が著しく周辺の平面道路や既存の4号湾岸線南港北出入路付近において交通渋滞が発生している。湾岸線南港中出入路はその渋滞の緩和および今後増加すると考えられる需要交通量に対応するため設置するものであり目下建設中である。今回その中で工費縮減の目的から入路・出路部の5径間および2径間で連続中空床版ならびに入路部6径間において合理化形式による2主桁橋を採用している。

本稿は工事費の縮減を目指し、橋梁形式ごとに構造ならびに経済比較を行ったものである。

キーワード：工費縮減，少数主桁，省力化，PC床版，プレキャスト床版，ジャッキアップ・ダウン工法，PRC橋

はじめに

阪神高速4号湾岸線南港中出入路は、南港地区での利便性改善のために計画された出入路である(図-1)。入路部の上部構造は鋼床版拡幅構造、3径間連続鋼床版箱桁、単純鋼床版箱桁、6径間連続非合成I桁、5径間連続PRC中空床版および擁壁で構成されている。出路部は鋼床版拡幅構造、3径間連続鋼床版箱桁、4径間連続非合成I桁、2径間連続PRC中空床版および擁壁で構成されている(図-2)。鋼桁については「鋼道路橋設計ガイドライン(建設省)」に基づき、合理化設計を行った。床版については、少数主桁化による床版支間の拡大のため、PC床版を採用した。PC床版は場所打ちとプレキャスト床版を比較検討し、工費および現場の施工性よりプレキャスト床版とした。プレキャスト床版の継ぎ手は施工性、工費等を検討した結果、グラウト継手としたうえ床版および継手の疲労耐久性と橋軸方向の連続性向上のために

逐次ジャッキアップ・ダウン工法によりプレストレスを導入することとした。

連続中空床版橋については、RC橋やPC橋と比較して施工性、耐久性、経済性の面で優れるPRC橋を採用し、工費縮減をはかるものとした。

本稿では、工費縮減に資する鋼桁およびPC床版の合理化設計ならびにPRC橋についてPC、RC橋



図-1 南港中出入路位置図

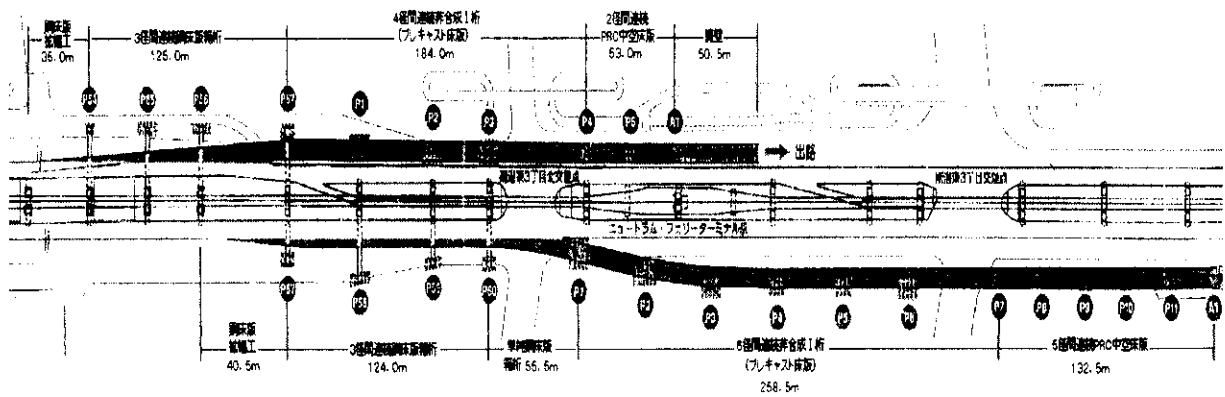


図-2 南港中出入路の上部工構造

との構造比較を行い、それらの設計概要を述べる。

1. 鋼桁部の設計概要

本橋の設計条件を表-1に示す。

表-1 設計条件

橋長	入路 258.498m 出路 184.030m
桁長	入路 258.073m 出路 183.755m
道路規格	第2種1級A規格
構造形式	入路 6径間連続非合成鋼鈹桁 出路 4径間連続非合成鋼鈹桁
支間	入路 40.049+40.799+40.800+40.800+ 40.800+53.875m 出路 43.270+45.006+35.004+59.391m
有効幅員	入出路 6.200m
横断勾配	入路 2.0~1.5%直線勾配 出路 1.5%直線勾配
縦断勾配	入路 0.0~4.7% 出路 0.0~8.0%
床版	プレキャストPC床版
設計震	Kh=0.30
主要鋼材	SM570, SM520, SM490Y, SS400, S10T
適用方書	道路橋示方書 (平成6年2月) 阪神高速道路公団設計基準 (平成6年5月)

点から、以下に示す合理化設計を行った。

(1) 主桁断面

主桁断面は、一部材一断面とした¹⁾。フランジ板厚は最大50mmとし、断面変化は継手位置でフランジ幅および板厚を変化させた²⁾。また腹板厚は、水平補剛材を一段とするとして決定した。図-3に従来設計と合理化設計の主桁継手部を示す。

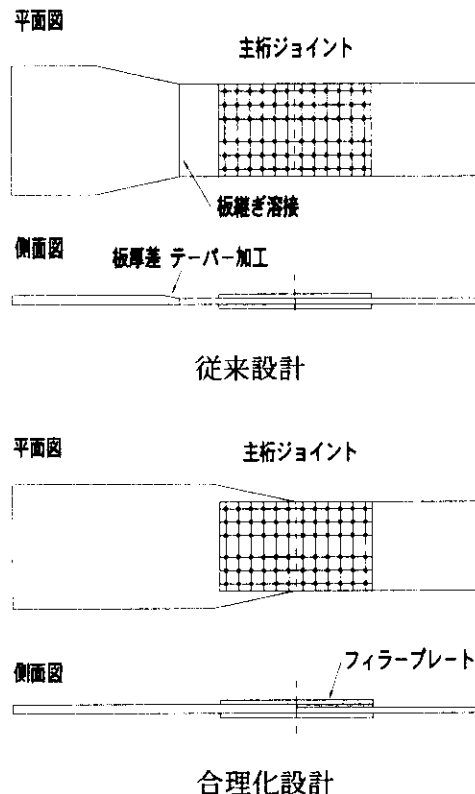


図-3 従来設計と合理化設計の主桁継手部

1-1 主構の設計

南港中出入路桁では、工費をミニマムとする観

(2) 主桁間隔

主桁間隔については、プレキャスト床版を用い

るため、ずれ止め孔の断面欠損を考慮した床版片持部の設計曲げモーメント作用時の床版縁応力と、床版支間部の設計曲げモーメント作用時の床版縁応力が等しくなるよう考慮し4.2mとした。

(3) 部材長

部材長は、1部材を長くし部材数を少なくした方が工費低減となるので、工場でのハンドリングおよび輸送上の制約を考慮して最大部材長を20mとした。

(4) 中間横桁断面

2主桁橋の中間横桁は、床版の剛度を考慮した全橋断面で考えることにより、従来の鋸桁橋の対傾構と大きく異なる構造での設計が可能となり、建築用H型钢を用いた簡略な構造とした^{3)~5)}。横桁取付間隔は、桁の断面形状の保持、下フランジ固定間距離の確保、曲線桁の曲率による付加応力などに影響する。このため取付ピッチについて検討し、直線部で7m、曲線部で5mとした。また横桁の取り付け中心位置は、主桁中心線としている。なお、横桁断面は、格子計算により算出した断面力により計算しFEM解析で検証した。

横桁取付位置補剛材上端部は疲労によるクラックの発生が問題となるため、部分モデルによるFEM解析を行って、「鋼構造物の疲労設計指針・同解説(日本鋼構造協会編)」にしたがい安全性を確認した。

(5) 横構の省略

本橋は、非合成桁として設計しているが、横構の省略のために、水平力に対しては床版と主桁は合成構造として設計した。

偏載荷に対して下横構が橋全体としてのねじり剛性の向上に寄与しているため横構を省略するとねじれ時の変位が大きくなるので、そりモーメントによって発生する下フランジ垂直応力を考慮して主桁断面を決定した。

1-2 床版の設計

(1) 床版支間が4.2mであるので、道路橋示方書コンクリート橋編の規定にしたがって、橋軸直角方向にプレストレスを導入することとした。

(2) 路下に交通量の多い一般街路がある今回の

南港の現場状況をふまえたとき、橋上でコンクリート床版にポストテンション方式でプレストレスを導入することは困難でありかつ工費の増加になる。よってプレキャストPC床版とした。

(3) プレストレス量は、死荷重作用時をフルプレストレス、設計荷重作用時をパーシャルプレストレスとして決定した。

(4) 床版厚は、道路橋示方書のプレストレスを導入する床版の最低厚の規定により25cmとした。また、プレキャストPC床版のパネル幅については、パネルを大きくすることで床版間接合部の数が少なくなるので、床版の疲労耐久性を考えると有利である。あわせて、床版間接合部に充填する無収縮モルタルは一般的に高価であるので接合部の数を少なくすることは工費の面から見ても有利である。しかし、パネル幅を大きくすると輸送寸法および重量が増加するので運搬上の検討が必要となる。以上を考慮してパネル幅は2.5mとし、25tf積車両で2枚ずつの(一枚約12tf)運搬とした。図-4に外形を示す。パネル幅を2.0mとした場合と比較すると、プレキャストPC床版の総製作費は同程度で、運搬費が約2%、床版間接合部の工費が約20%の工費削減となった。

(5) 橋軸直角方向の継手については、ループ継手、せん断キー継手、グラウト継手等の施工例がある。ループ継手とした場合、本橋ではループの

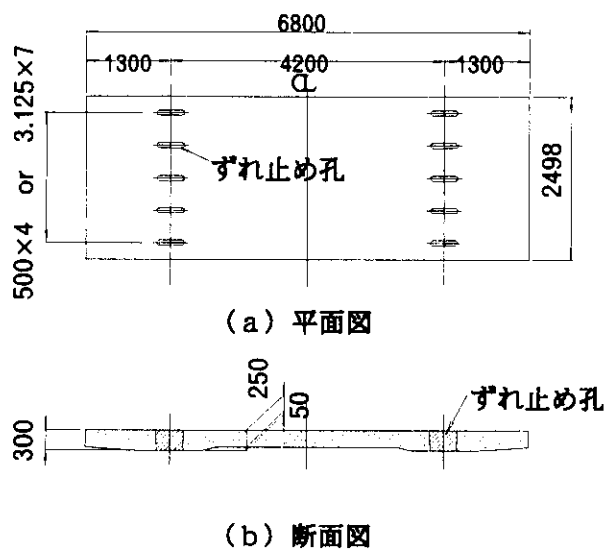


図-4 プレキャストPC床版外形図

中に鉄筋を挿入するための作業空間の確保が困難であった。このため、最も簡単な構造であり、製作および現場での設置が容易である、図-5に示すグラウト継手を用いた。

(6) グラウト継手では、配力鉄筋を連続化しないので、橋軸方向の連続性を確保し、かつ耐久性を向上させるために、プレキャストPC床版の橋軸方向にプレストレスを導入する必要があった。本橋のように橋長が長い場合、PC鋼より線を用いて

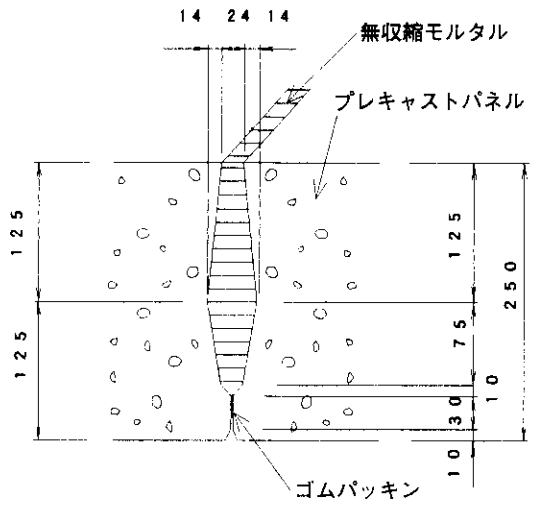


図-5 グラウト継手

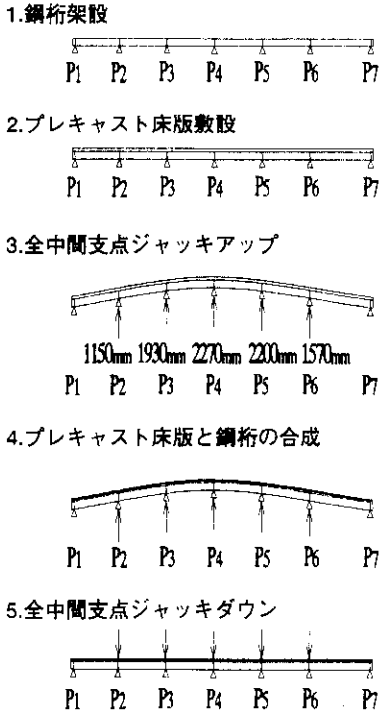


図-6 従来のジャッキダウン工法

プレストレスを導入すると費用がかかるため、床版の架設後に中間支点をジャッキダウンすることによりプレストレスを導入することとした。各中間支点において、後死荷重+活荷重+支点沈下に伴う負曲げモーメントにより床版に発生する引張応力に相当するプレストレスを導入するものとして、従来の連続合成桁で用いられていた全中間支

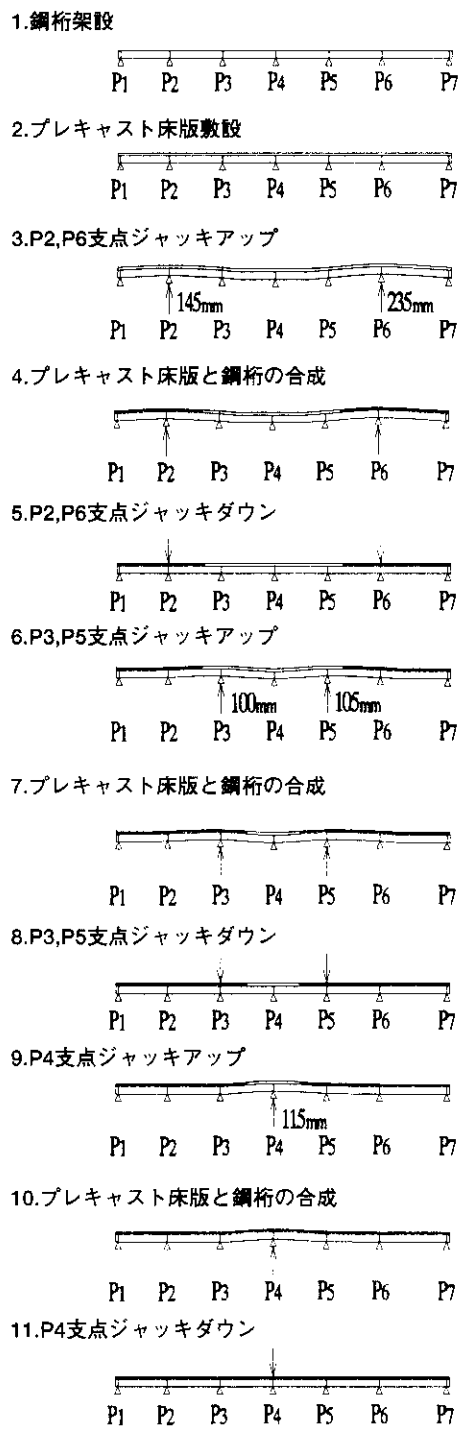


図-7 逐次ジャッキダウン工法

点を一度にジャッキダウンする工法で、ジャッキアップ量を算出した。 prestress導入の手順とジャッキアップ量を図-6に示す。最大ジャッキアップ量は、P4支点で2270mmとなり作業の安全性が懸念された。そこで、今回新たに各中間支点を逐次、ジャッキアップ→床版と桁との合成→ジャッキダウンを進めていくことにより橋軸方向にprestressを導入する方法を阪神高速道路公団、(株)春本鐵工で考案した⁶⁾。

ジャッキアップダウンの手順および、ジャッキ

アップ量を図-7に示す。従来のジャッキダウン工法と同じprestressを床版に導入するものとしてジャッキアップ量を算出した。最大ジャッキアップ量は、P6支点で235mmとなり、従来のジャッキダウン工法の最大ジャッキアップ量と比較して1/10程度となった。ジャッキアップ量は少ない方が、作業の安全性および工費的に有利となるので、橋軸方向のprestressの導入は、逐次ジャッキアップダウン工法によることとした。

表-2 構造比較表

主 構	従来構造		合理化構造	
床 版	場所打ちRC床版		場所打ちPC床版	プレキャストPC床版
断面図				
概略工費 (橋体工のみ) 従来構造を 1.00とする	主構	1.00	主構	0.78
	床版	1.00	床版	1.90
	高欄	1.00	高欄	1.00
	足場工	1.00	足場工	2.01
	安全管理費	1.00	安全管理費	0.79
	合計	1.00	合計	1.06
工 期	12ヶ月		11ヶ月	
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・合理化構造に比較し材片数が多く、溶接延長も長い。 ・製作工数、架設工数も多い。 ・横桁、対傾構、横構があり合理化構造と比較し景観上劣る。 		<ul style="list-style-type: none"> ・対傾構、横構がなく中間横桁もH型鋼なので景観に優れている。 ・床版打設後橋軸直角方向にprestressを導入するため、床版の両側に幅1.5m程度の大規模な作業用足場が必要。 	
評 価	△		×	
			○	

2. 従来構造と合理化構造の比較

本橋を従来の設計基準で設計すると、RC床版の最大支間および、最大張出長から主桁本数は3本、床版は場所打ちのRC床版となる。表-2に従来構造と合理化構造の構造比較表を示す。合理化構造の床版については、橋軸直角方向プレストレスを現場で導入する場所打ちPC床版と、工場製作によるプレキャストPC床版の2種を比較した。

3. 比較結果

桁を合理化することで主構造の工費を22%削減することができた。その要因としては材片数が約40%、製作工数が約35%、架設工数が約25%、塗装面積が約40%減少したことがある。またフランジ幅を一定とした場合、従来設計の桁に比べて主桁鋼重は若干増加するが、継手位置でフランジ幅を変化させると従来設計よりも減少する。これは、主桁一部材毎に効率的な断面が構成されたことが大きいといえる。床版については、橋軸直角方向にプレストレスを導入する必要があるため、従来の場所打ちRC床版の工費よりもコストアップとなる。しかし、足場工費および工期短縮による安全管理費等の低減を考慮すると、逐次ジャッキアップ・ダウンの工費を加味しても少主桁・省力化構造+プレキャストPC床版の工費が最も安価となる。特に、工期において従来構造の12ヶ月間と比較して、4ヶ月間短縮できることは、工事による現場の渋滞などが与える影響を考えるとその有益性は大きい。以上より、施工性、経済性、景観の面で合理化構造+プレキャストPC床版が優れているといえる。

4. PRC部の設計概要

本橋の設計条件を表-3に示す。

PRC中空床版橋については一般にPC鋼材量の設定に際し、終局時の曲げ引張破壊におけるPC鋼材の効果(PC鋼材の貢献度)であるプレストレス

表-3 設計条件

橋 長	入路	132.5m
	出路	53.0m
道路規格	第2種1級A規格	
構造形式	入路	5径間連続PRC中空床版橋
	出路	2径間連続PRC中空床版橋
支 間	入路	25.965+26.5+26.5+26.5+25.88m
	出路	25.93+26.0m
有効幅員	入出路 6.200m	
縦断勾配	入路	4.7115~6.0%
	出路	8.0%
環境条件	塩害対策区分III	
活 荷 重	設計時B活荷重, 疲労時TT 43荷重	
支点沈下	L/2000の不当沈下を見込む	
支承条件	入路	M+E+E+E+E+M
	出路	M+F+M (E:反力分散支承)
平面線形	入路	3500R
	出路	直線
許容ひび割れ幅	主桁上縁	0.0035C
	主桁下縁	0.0050C

導入度が考えられる。しかしながら、「PRC道路橋の実用的設計法に関する調査検討委員会(高速道路技術センター)」によれば、プレストレス導入度を変化させても耐久性、経済性に与える影響は小さく、一義的に最適プレストレス導入度と断面形状および鉄筋量を設定することは困難であることが報告されている。よって、PRC構造での導入鋼材量は、コンクリートの打設性能および耐久性能が良好でかつ施工が可能な最大鉄筋径さらに主鉄筋の配置が最小間隔となるよう設定している。PC鋼材量は各照査での許容値に対し満足する最小本数で決定することとした。また、設計荷重作用時の部材縁引張応力により発生するひび割れ幅を鉄筋の配置とPC鋼材によるプレストレスの導入により、許容ひび割れ幅以下に制御している。表-4にひび割れ幅(最大値)計算結果と許容ひび割れ幅との関係を示す。

表-4 ひび割れ幅の照査

	計算値(最大)W(cm)	許容ひび割れ幅W(cm)
入路	0.0153	0.0168
出路	0.0153	0.0168

W < Waとする。

5. 構造比較

各構造形式の違いによる中空床版橋の主桁高および断面形状は、橋梁実績等を参考とし設定(表-5参照)することとした。

一般にRCでの桁高と支間の比は1/17~1/18程度であり、PCの場合では1/20~1/23程度である。

また、適応支間については、RCで15~18m程度、PCでは20~30m程度とされる。

PRCについては、本橋の場合最大支間長が26.5mであることと、PRC構造がRCとPCの特徴を生かすつつ経済的な設計を目標とするために、桁高と支間の比をRCとPCのほぼ中間程度となる1/19で考え、桁高を1.350mとした。構造比較を行った結果を表-5に示す。

表-5 構造比較

	PC構造					PRC構造					RC構造				
断面図															
	桁高: 1.350m 下部工反力: 603.9tf (最大値) コンクリート強度: 350Kgf/cm ² 鉄筋量/コンクリート体積: 100Kgf・m ³					桁高: 1.350m 下部工反力: 603.7tf (最大値) コンクリート強度: 350Kgf/cm ² 鉄筋量/コンクリート体積: 105Kgf・m ³					桁高: 1.700m 下部工反力: 802.3tf (最大値) コンクリート強度: 270Kgf/cm ² 鉄筋量/コンクリート体積: 150Kgf・m ³				
積算工費(橋体工のみ)	項目	単位	数量	単位(円)	金額	項目	単位	数量	単位(円)	金額	項目	単位	数量	単位(円)	金額
	コンクリート	m ³	613.3	45,000	27,598,500	コンクリート	m ³	613.3	45,000	27,598,500	コンクリート	m ³	899.8	43,000	38,691,400
	鉄筋	tf	61.33	184,000	11,284,720	鉄筋	tf	64.4	184,000	11,849,600	鉄筋	tf	135.87	184,000	25,000,080
	PC鋼材	m	2096.2	7,100	14,883,020	PC鋼材	m	1314.2	7,100	9,330,820	PC鋼材	m	-	-	-
	緊張工	本	16	98,200	1,571,200	緊張工	本	10	98,200	982,000	緊張工	本	-	-	-
	合計			55,337,440	合計			49,760,920	合計				63,691,480		
	増減			- 5,576,520	増減			0	増減				- 13,930,560		
	PRC構造に対し11%増加					PC構造に対し11%減少 RC構造に対し28%減少					PRC構造に対し28%増加				
構造	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートにひび割れを発生させない構造 ・断面を小さくでき支間の長大化図れる ・腐食環境に対し有利 ・プレストレス力およびクリープによる拘束力が発生 ・適応支間長20~30m ・支間に対し桁高が低くなり景観性に優れている 					<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートのひび割れを許容ひび割れ幅まで許容する構造 ・PC鋼材本数減少の為緊張に要する工費が低減できる ・RC構造と比較しひび割れ幅制御可能のため耐久性が向上 ・鉄筋で補強されるため終局時のじん性向上 ・PC鋼材量の減少により緊張作業に要する施工工程が短縮 					<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートのひび割れ制御不可能 ・適応支間長15~18m ・PRC構造に対し鉄筋量が多いため組立およびコンクリートの打設性能低下 ・PRC構造と比較して美観上劣る 				
		桁高: 1.350m 支間: 26.500m 桁高支間比: 1/20					桁高: 1.350m 支間: 26.500m 桁高支間比: 1/20					桁高: 1.700m 支間: 26.500m 桁高支間比: 1/16			
評価	△					△					×				

6. 構造比較結果

構造比較結果より施工性、耐久性、経済性の面で後述するように、PRC構造が優位となった。

6-1 施工性の向上

PRC構造では、PC鋼材配置が10本となり、PC構造の16本に比べて約6割減少した。鉄筋も1段配置となり、RC、PC構造と比較して鋼材配置およびコンクリート打設時等の施工性が向上し、工期短縮が図れることとなる。

6-2 耐久性の向上

PRC構造は、設計荷重作用時のひび割れの発生を許容するが、鉄筋の配置とPC鋼材により直接ひび割れ幅を制御でき、RC構造と比べ割れ幅も小さくなる。また、コンクリート打設も改善されることから耐久性が向上すると考えられる。PC構造と比較すると、構造的には鉄筋で補強されているため、終局時のじん性が向上するとともに、ひび割れ分散効果によるひび割れ制御も容易となる。

6-3 経済性の向上

RC構造の場合、一般的に最も経済的に優れている適用支間長は18m程度であると言われている。本橋のように、支間長26.5mでRC構造を成立させた場合、桁高が高くなりコンクリート体積が増え、工費はPRC構造に比べ全体で3割程度増加することとなり不経済な結果となった。またPRC構造がPC構造に対して、PC鋼材量が約6割減少することで、工費が1割程度減少した。

あとがき

本稿では、構造比較により工費縮減に着目し結果を報告してきた。鋼桁では、鋼重、材片数、溶接延長、塗装面積の低減ができ大幅な工費縮減が達成できた。床版については、桁の合理化に伴い橋軸直角方向にプレストレスを導入する必要があるため、床版工費のみ着目すると場所打ちRC床版と比較して2.3倍の工費増となる。これは今後の工費縮減の課題となるであろう。しかし、プレキャストPC床版の製作費は床版の標準化を進め、同じ

型枠で数多く製作することで工費縮減ができると考えられる。逐次ジャッキアップダウン工法については、安全かつ安価に橋軸方向のプレストレスを導入することができるので、プレキャスト床版に限らず、場所打ち床版に対しての採用も期待できる。

また、PRC構造橋についてもRC構造に対して耐久性の向上が望めるうえ、鉄筋量およびPC鋼材量の減少によって施工性が向上することから工期の短縮、工費の縮減が期待できる。

本稿のこれらの結果が今後の橋梁の設計に対して、その一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン（案），1995，10.
- 2) 阪神高速道路公団，（社）日本橋梁建設協会：平成七年度 鋼構造物の設計に関する調査研究業務，1996，3.
- 3) 坂井藤一，八部順一，大垣賀津雄，橋本靖智：合成2主桁の横桁配置に関する研究，橋梁と基礎，1997，3.
- 4) 高橋昭一，志村勉，橋吉宏，小西哲司：PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計及び解析・試験検討，橋梁と基礎，1996，2.
- 5) 高橋昭一，志村勉，木村宏，小西哲司：PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の現場施工，橋梁と基礎，1996，3.
- 6) YOSHIHUMI NAKA, SHIGEYUKI MATSUI, TOSIO HORIKAWA, YUNNTIRU KIM, KEIZO EGASIRA: A Rational Bridge System and Precast Concrete Slab in Japanese Highway Bridge, SMSBV, 1998.