

(108) 都市内高架橋橋脚のプレキャスト化の研究

名古屋大学工学部 助教授 二羽 淳一郎
 興和コンクリート(株) 正会員 坪井 正克
 (株) 富士ピー・エス 正会員 松岡 那輔
 日本鋼弦コンクリート(株) 正会員 ○ 島本 光夫

1. はじめに

我が国における都市内高架橋は、いまや大都市圏の基幹的な交通施設となっており、その建設、特に橋脚施工の合理化を図ることは、緊急かつ重要な課題となっている。この研究は中部地区におけるセメントコンクリートおよび、コンクリート構造物に関する技術向上を図るため、大学、官庁、企業の研究者、技術者約100名から構成している中部セメントコンクリート研究会のうちの構造部会がコンクリート構造物の解析、設計、施工技術の分野を担当しており、その研究の一環として平成5年度、6年度と2年間垂直部材のプレキャスト化を対象構造物として取り組み、その成果を報告するものである。

都市内に高架橋を構築するにあたっては、新規に建設用地を確保することが困難であり、既存街路の中央分離帯を利用することが一般的である。このような場合、橋脚の計画、設計および施工には次のような制約を受けることとなる。

- ① 計画道路の線形条件と街路の建築限界から、橋脚の構造寸法が制限される。
- ② 道路の線形計画から立体的な路面構成となる区間が多く、橋脚も複雑な形状となる。
- ③ 街路交差点上では長径間の高架橋となり、比較的大きな反力が橋脚に作用する。
- ④ 一般の街路交通や住居地域と近接した施工となるので、作業ヤードに制限を受ける。また工事による影響を最小限とするため、施工の合理化と高い安全性が要求される。

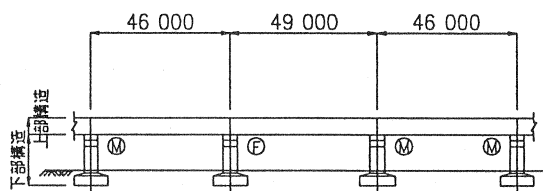
これらの条件に対して、都市内高架橋の橋脚の構造形式として、場所打ちRC構造と鋼構造が主に採用されてきたが、RC構造では長期間の交通制限、総労働力、仮設資材などに問題があり、また鋼構造では建設費が割高で、構築後の保守、維持管理などに要する費用も大きな負担となっている。

これら従来の問題点をカバーできる構造形式としてプレキャストコンクリート部材での橋脚を設計モデルとし、可能性と設計、施工上の問題点を研究した。

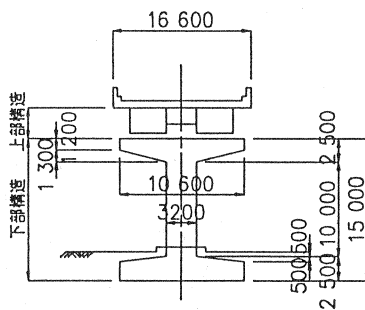
2. 基本方針

2.1 対象構造物の選定

試設計の対象となる構造物には、実際に建設された都市内高架橋を選定し、その資料を基に試設計モデルと設計条件を設定した。上部構造は標準的な3径間連続鋼箱桁橋であり、橋脚形式は4車線区間に一般的に採用されている街路の中央分離帯を利用したT型橋脚となっている。(図-1)このため、一般交通や住居地域などに近接した施工となり、工期短縮、作業人員と作業機械の削減など、施工の合理化を図る。



側面図



正面図

図-1 試設計モデル

2.2 分割方法の選定

(1) 脚柱の分割方法

脚柱の分割方法として考えられる3案の方式について、その特性比較と評価を表-1に示す。

3案を総合的に比較した結果、今回の試設計では、「輪切り方式」を採用した。

(2) 横梁の分割方法

横梁の分割方法として考えられる3案の方式について、その特性比較と評価を表-2に示す。

3案を比較検討した結果、横梁の張出し長が大きくなった場合にも対応できる「張出し方式」を採用することとした。

2.3 接合方法の選定

コンクリート構造物をプレキャスト化して施工する場合、ブロック接合部が構造物全体の力学的性状に大きく影響する。したがって接合部が弱点とならず、一体打設のものと同様の機能を有するようなブロック接合方法を選定することが重要な課題となる。

(1) 脚柱の接合方法

1) フーチングと脚柱の接合

フーチングと脚柱の接合方法として考えられる3案の方法について、その特性と評価を表-3に示す。

3方式を比較検討した結果、今回試設計では場所打ちRC構造に最も近い「継足し方式」を採用することとした。

2) 脚柱ブロック相互の接合

図-2は脚柱の分割方法を示すが、「輪切り方式」としたため、脚柱の構造は、軸力を受けるRC構造となる。脚柱ブロック相互の接合方法としては、接合面にガイドキーとして鋼製接合キーを配置し、樹脂系接着剤を塗布して密着させる。脚柱ブロックには、組立て時の安定を図るため、鉛直PC鋼棒を配置して5kgf/cm²程度の圧縮応力を導入する。

脚柱ブロックの接合面では、太径主鉄筋は鉄筋継手により、鉛直PC鋼棒はカップラー継手によりそれぞれ接合を行う。

3) 脚柱ブロックと横梁ブロックの接合

図-3に示すように脚柱最上部のブロックと横梁基準ブロックの接合は、目地部に無収縮モルタルを充填し、鉛直PC鋼棒の本緊張により一体化接合する。接合部に作用するせん断力に対しては、プレストレストの軸力による摩擦力により抵抗させる。

以上のように、脚柱最上部以外の接合部については、脚柱の主鉄筋は鉄筋継手を介して貫通しており、一体打設の場合と同一の構造と考えることができるので、脚柱の構造解析は現行の設計法で問題はないと考えられる。

表-1 脚柱の分割方式比較

分割方式	型枠方式	縦分割方式	輪切り分割
構造図			
構造概要	脚柱の外周部を工場製作したコンクリート版で組み立て、コンクリートに場所打ちコンクリートを打設する。現場での型枠作業が不要となる。構造的には場所打ちRC構造と同一である。	脚柱を鉛直方向に分割してプレキャスト化したもので、ブロック間に場所打ちコンクリートを打設する。高強度コンクリートの使用により、中空断面とすることができる。	脚柱を水平方向に分割してプレキャスト化したもので、ブロックを鉛直に積み上げ架設する。継目部は、樹脂系接着剤または無収縮モルタルで接合する。中空断面とすることができる。
評価項目	(1) プレキャスト化による省力化の効果は少ない。	(1) すべての帯鉄筋が場所打ち部で重ね継手となるため応力照査と継手の処理に十分な注意を要する。	(1) 場所打ち部がないため省力化と急造施工が可能である。
	(2) パネル建込みのために、内部に鉄骨枠組を必要とする。	(2) 間詰め部とブロック部で色調が異なり景観に劣る。	(2) 脚柱の幅寸法に輸送上の制約を受ける。
	(3) 場所打ち部の強度発現に日数がかかり、工期が長い。	(3) 型枠方式に比較して工期を短縮できる。	(3) 主鉄筋の継手が継目部に集中するので、特別な配慮が要求される。
評価	寸法重量	◎	○
	占有期間	△	○
	景観	○	△
	工期	△	○
総合	△	△	○

表-2 横梁分割方式の比較

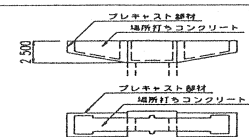
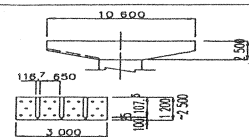
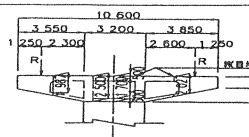
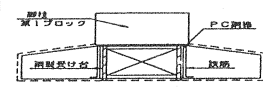
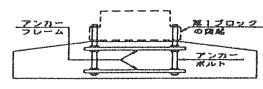
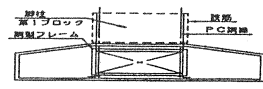
分割方式	型枠方式	桁方式	張出し方式	
構造図				
構造概要	横梁の外周部をプレキャスト部材として架設・接合し、内側部に場所打ちコンクリートを打設してプレストレスにより一体化する。基本的には、場所打ち一体方式と同様の構造である。	横梁を軸方向に数本の桁に分割架設して横梁を形成する。割桁間の一体化を場所打ちコンクリートでする方法と、樹脂系接着剤を用いる方法とが考えられるが、P.C鋼材と受承との取合いが複雑となる。	横梁を軸方向のブロックに分割し、架設機により片持ち工法で架設する。継目は樹脂系接着剤でP.C鋼材で一体化させ、接合させる。配筋は1ブロックに注ぎこける。	
評価項目	(1) 場所打ち部分が多く、工期がかなり、省力化の効果は少ない。 (2) 継ぎの接合が比較的容易である。 (3) 場所打ち部の強度発現に日数を要し工期が長い。	(1) 張り出し長の対称性、ブロック重量など施工上の制約が多い。 (2) 脚柱と横梁の結合方法が複雑である。 (3) 桁の据え付け時の安定性が問題となる。	(1) 架設機を新規に用慮する必要がある。 (2) プレキャスト工法の特徴が十分に生かされる。 (3) 工期短縮と省力化が可能である。	
評価	工費比	1.000	1.140	1.026
	施工性	○	○	◎
	安全性	○	△	○
	経済性	○	△	◎
	総合	○	△	◎

表-3 脚柱の接合方法の比較

接合方式	後打ち方式	アンカーボルト方式	継足し方式
構造図			
構造概要	フーチングの鉄筋を組み立てた段階で脚柱ブロックをセットし、フーチングコンクリートを打設する。脚柱ブロックの結合用の鉄筋、P.C鋼棒はあらかじめブロックに埋め込んでおく。フーチングにはブロックし時の構架受け台を必要とする。	鋼製橋脚と同様の施工方法で、フーチングにアンカーボルトと定着用のアンカープレームを埋め込んでおく。フーチングコンクリートの硬化後に脚柱ブロックを建て込む方法である。脚柱ブロックには、ブラケット状の突起を必要とする。	フーチングの施工時に、脚柱ブロック用の鉄筋、P.C鋼棒をセットしておき、フーチングコンクリートの硬化後に脚柱ブロックを建て込む方法である。ブロックの高さと位置調整後に目地材として無収縮モルタルの充填を行う。
評価項目	脚柱ブロックより鉄筋、P.C鋼棒が突出するため、工場のブロック製作台の構造やブロック運搬の方法などに特別の配慮が要求される。	鋼製橋脚で突縮があるため、技術的な問題はほとんどないが、脚柱ブロックの重量が増加し、フーチングの基礎深さを大きくしなければならない。	フーチングの鉄筋、P.C鋼棒の配置には正確な精度が要求される。このため、組立て時には鋼製プレームなどで堅固に固定する必要がある。

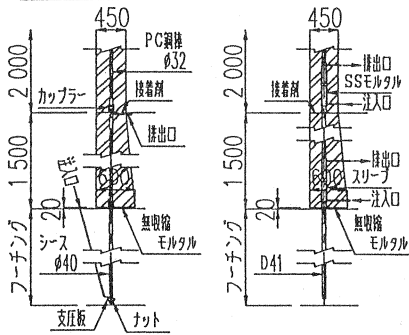


図-2 脚柱相互の接合方法

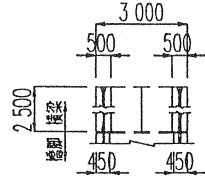


図-3 脚柱と横梁の接合方法

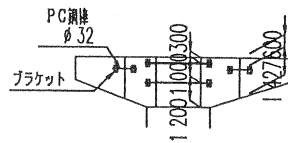


図-4 横梁の接合方法

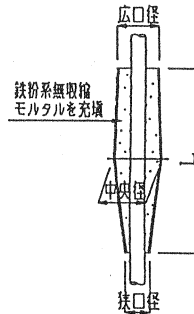


図-5 モルタル充填継手 (NMB工法)

(2) 横梁の接合方法

横梁の分割方法は、図-4に示すような「張出し方式」とし、PC構造とする。横梁の接合方法には、施工実績の多いプレキャストブロック工法によるPC橋の接合方法の技術を応用した。

横梁ブロックの接合は、接合面に樹脂系接着剤を塗布し、PC鋼材のプレキャストにより行うが、主PC鋼材の緊張がすべてのブロック架設終了後となるため、架設中のブロックを保持し、ブロック継目に引張り応力を生じさせない目的で、ブロック外側にセットした鋼製ブラケットと接合用PC鋼材により圧縮力を導入する。接合面には、せん断力に抵抗するコンクリート製の接合キーとガイドキーとしての鋼製接合キーを配置する。

2.4 鉄筋継手の選定

鉄筋継手には多くの種類があるが、今回の試設計ではプレキャストブロック工法に適用可能な「モルタル充填継手」を採用した。この工法は「種類別指針(案)」に認定された鋼管内充填方式継ぎ手の一種で、図-5に示す「NMB」スプライススリーブ継手を用いた。国内ではプレキャストの建築部材の接合でD41までの施工実績があり、外国ではD51の施工が数多く行われているものである。

プレキャストブロック工法の場合、同一断面内に集中して鉄筋継手が配置されるので、「鉄筋継手設計施工基本指針(案)」(土木学会)に従い、許容応力度の低減を適用している。今回の試設計の場合、施工管理のよい工場で作製されることから、「基本指針(案)」、「評価指針(案)」を参考にして1種A級に分類されるものと考え、許容応力度は鉄筋母材の90%に低減することとした。

3. 設計

3.1 設計条件

- 1) 上部構造 (図-6)
- 橋格 B活荷重
- 支間長 46.000 + 49.000 + 46.000 m
- 形式 3径間連続鋼箱桁橋
- 幅員 16.600 m
- 支承条件 Fix および Mov
- 水平震度 $K_h = 0.33$
- 反力 (表-4, 表-5)

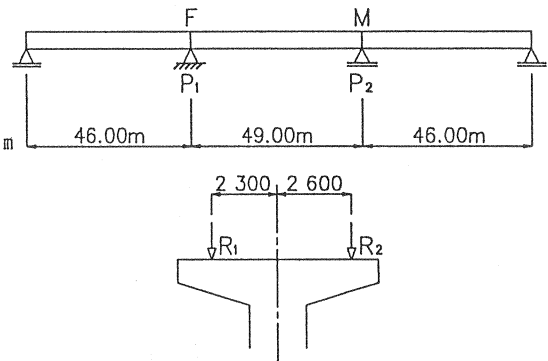


図-6 上部構造

2) 使用材料

- コンクリート設計基準強度
- 横梁 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
- 脚柱 $\sigma_{ck} = 500 \text{ ''}$
- PC鋼材
- PC鋼より線 SWPR 7A(12S12.4)
- '' SWPR 19(1S21.8)
- PC鋼棒 SBPR B種2 $\phi 32$
- 鉄筋 SD295, SD345
- 接合キー用鋼材 SS405

表-4 鉛直反力(P1, P2共同条件)(単位tf)

種別	R ₁	R ₂	集計
死荷重(Rd)	540.6	533.8	1074.4
活荷重(R1)	217.5	217.2	434.7
計(ΣR)	758.1	751.0	1509.1

表-5 水平反力(単位tf)

種別	橋軸方向	橋軸直角方向
P1(固定橋脚)	972.7	354.6
P2(可動橋脚)	161.2	354.6

3.2 適用示方書

道路橋示方書、同解説(平成6年2月)、プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋設計施工指針(平成4年10月)

4. 設計計算結果

計算結果をまとめると下記ようになる

4. 1 横梁の設計 (図-7)

プレストレス導入直後 (kgf/cm²)

位置	A断面		B断面		B'断面		C断面	
	上線	下線	上線	下線	上線	下線	上線	下線
直後プレストレス	111.8	-1.1	101.8	6.1	93.6	4.1	93.6	4.1
横梁自重	-1.9	2.1	-3.0	3.3	-2.9	3.0	-3.8	4.2
合成応力度	109.4	1.0	98.8	9.4	90.8	7.1	89.8	8.3
許容値	< 180	> 0	< 180	> -15	< 180	> -15	< 180	> 0

設計荷重作用時 (kgf/cm²)

種別	設計荷重作用時		割増荷重作用時		
	上線	下線	上線	下線	
A断面	有効プレストレス	89.1	-0.9	89.1	0.9
	設計荷重	-50.0	55.2	-59.7	65.9
	合成応力度	39.1	54.3	29.4	65.0
	許容値	> 0	< 140	> -25	< 140
B断面	有効プレストレス	81.4	74.9	4.9	3.3
	設計荷重	-75.6	-70.8	83.7	77.0
	合成応力度	5.8	4.6	88.6	80.3
	許容値	> -15	< 140	—	—
C断面	有効プレストレス	74.9	—	74.9	3.3
	設計荷重	-71.9	—	-84.9	93.0
	合成応力度	3.6	—	-10.0	96.3
	許容値	> 0	< 140	> -25	< 140

※継目部 M = M_d + 1.7 M_l

4. 2 脚柱の設計 (図-8)

曲げ応力度 (地震時、RC計算による)

位置	断面	0	1	2	3	備考
P1 固定橋脚	σ_c (kgf/cm ²)	56	144	158	180	橋軸方向
	σ_s (kgf/cm ²)	248	1 433	2 307	2 686	
	鉄筋径 D	41	41	41	41	
	本数 N	72	72	104	136	
P2 可動橋脚	σ_c (kgf/cm ²)	72	107	133	143	橋軸直角方向
	σ_s (kgf/cm ²)	483	1 490	2 194	2 527	
	鉄筋径 D	25	25	25	25	
	本数 N	72	72	104	136	

注) 許容応力度 $\sigma_{ca} \leq 240$ kgf/cm²
 $\sigma_{sa} \leq 2 700$ kgf/cm²

継目1の曲げ応力度 (地震時)

	P1 (固定橋脚)	P2 (可動橋脚)	許容値
設計方向	橋軸方向	橋軸直角方向	
緊服力	Pe = 1 008 tf	Pe = 1 008 tf	
応力度 (kgf/cm ²)	$\sigma_{max} = 139$	$\sigma_{max} = 127$	$\sigma_{ca} \leq 240$
	$\sigma_{min} = 3$	$\sigma_{min} = 12$	$\sigma_{ca} \leq 0$

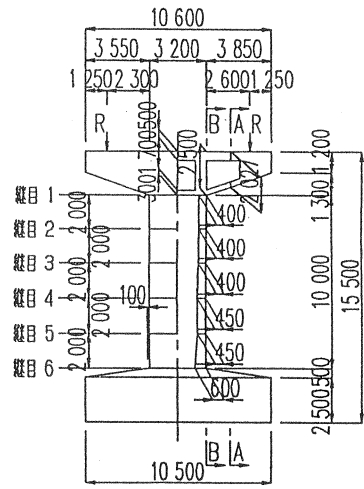
ここに、P'f: 水平抵抗摩擦係力
 μ : 摩擦係数 = 0.6

継目6の応力検討 (地震時)

	P1 (固定橋脚)	P2 (可動橋脚)	許容値
設計方向	橋軸方向	橋軸直角方向	
σ_c (kgf/cm ²)	149	73	$\sigma_{ca} \leq 150$
σ_s (kgf/cm ²)	1 893	828	$\sigma_{sa} \leq 2 700$
鉄筋径 D	41	鉄筋径 D 41	
本数 N	140	本数 N 140	

図-7 横梁の形状

正面図



断面図

A - A

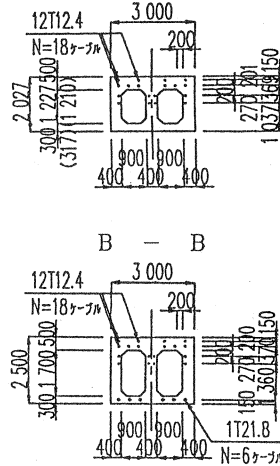
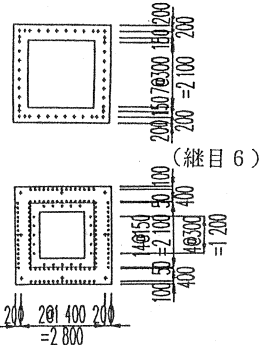


図-8 脚柱の形状 (継目1)



(継目6)

5. 従来方式との比較

前項までに述べてきたプレキャスト橋脚の試設計について、従来方式である場所打ちRC橋脚および鋼橋脚との比較、検討を行う。

5.1 工費の比較

1基あたりの工費を従来方式と比較したものを表-6に示す。

5.2 施工日数の比較

表-7に躯体工についてフーチングの施工完了から脚柱、横梁の施工までの橋脚1基あたりの所要日数を示す。

これによると、従来方式である場所打ちRC橋脚と比較すると3分の1の工期短縮となり、また鋼製橋脚と比べてもかなりの短縮となる。

都市内高架橋の建設にあたっては、連続した数基の橋脚を同時に施工する場合が多く、この工期の差による効果はより大きなものとなる。

これにより、都市内高架橋の施工上、最大の問題である工事による第三者への影響を最小限とすることができ、施工の合理化にも大いに寄与することになる。

6. おわりに

今回の研究では、コンクリート構造物の耐久性向上と、プレキャスト化の推進を目標として、都市内高架橋の橋脚のプレキャスト化を取り上げた。近年、建設労働不足や市街地における建設公害が深刻となっており、一方、コンクリート構造物の耐久性向上もますます要求されている。これらに対応するためには、市街地の橋脚をプレキャスト化することにより、現場作業期間の短縮、労働力の省力化、施工管理の集中化を図ることとなる。

本研究は現場施工の合理化を第一に考え、さらに従来方式と比較した場合の経済性にも配慮して構造形式を選定した。また、標準的な都市内高架橋の資料に基づいて、試設計モデルと現場条件を設定し、考えられる幾つかの方式を比較検討して、実現可能な成果を得ることができた。

今後の課題としては、プレキャストブロック工法の接合部に関する設計、施工基準など、PC橋のような水平部材については整備されているが、今回の試設計のような橋脚などの垂直部材については、まだされていない。したがって、プレキャスト橋脚の実現のためには、これらの設計、施工基準の整備が強く望まれる。

最後に、本研究報告後、兵庫県南部地震が発生し、都市内高架橋の橋脚も多大な被害が生じた。従って耐震設計の一部を補足修正を行い、今後の復旧対策に少しでも役立てれば光栄である。

参考文献

- 1)土木学会：鉄筋継手指針：コンクリート・ライブラリー第49号
- 2)中部セメントコンクリート研究会：橋脚のプレキャスト化に関する研究報告書 1994年9月

表-6 工事費の比較表(欄間基礎) (単位:千円)

種 別	躯体工費	下 部 工 工 費		合 計		
		フーチング	基礎(杭)			
プレキャスト橋脚	固定	40 400	32 000	73 300	145 700	
	可動	40 400	25 000	39 700	105 100	
従 来 方 式	鋼製橋脚	固定	76 300	41 800	67 500	185 600
		可動	61 000	26 600	38 600	126 200
	RC橋脚	固定	55 700	体に含む	78 200	133 900
		可動	32 000	〃	44 600	76 600

- 注) 1. 上記工費には間接費、諸経費を含む。
 2. 輸送距離は150kmとする。
 3. 施工規模は、3径間連続桁橋で4基の橋脚を1単位とする。

表-7 施工日数の比較表

種 別	施 工 日 数	備 考	
プレキャスト橋脚	20 日	—	
従来方式	鋼製橋脚	25 日	塗装工などを含む
	RC橋脚	60 日	—