

(6) 現場ヤード製作方式プレキャストPC床版の鋼橋への適用

(株) 富士ピー・エス 正会員 ○真鍋 英規
 日本道路公団 正会員 湯川 保之
 大阪大学 工学部 正会員 松井 繁之
 住友重機械工業(株) 堀 重雄

1. はじめに

プレキャストPC床版は、現場施工の合理化・省力化、工期短縮、床版耐久性の向上等を目的とし、鋼橋の床版工法に用いられている。従来、プレキャストPC床版は、PC部材製造工場で作製を行い、トレーラー等により現場へ運搬し架設する方法が一般的 [1] であるが、PC部材製造工場から遠く離れた現場や、現場へのプレキャスト床版の搬入が困難な山岳地帯等の特別な立地条件にある場合、必ずしも従来の工場製作～運搬～架設による方法が最良の方法とは限らず、経済性に劣る場合も考えられる。今回、徳島自動車道城の谷橋では、従来のプレキャスト床版との比較検討を行い、現場ヤードで作製するポストテンション方式のプレキャストPC床版が採用となった。本プレキャスト床版は一般道での運搬の制約を受けないため、従来の床版よりサイズを大きくすることが可能となった。床版の架設は鋼桁の架設・組立に用いたケーブルクレーンにより行った。城の谷橋は平成9年3月無事竣工を迎えたが、本稿では、現場製作方式のプレキャストPC床版の概要及び現場への適用に先だって行った各種検討および実験について詳述するものである。

2. 城の谷橋の概要

城の谷橋は徳島県美馬郡脇町の谷間を越えて架橋される鋼2径間連続非合成2主桁桁橋である。現在、建設工事のコスト削減と省力化が大きな課題として取り上げられているが、本橋梁では、合理化への取り組みと急速施工を目的として、主桁は鋼重量の増加を極力抑えた合理化構造の2主1桁とし [2]、床版は現場製作方式のプレキャストPC床版を採用した。表-1に橋梁の諸元、図-1、2に橋梁の構造を示す。

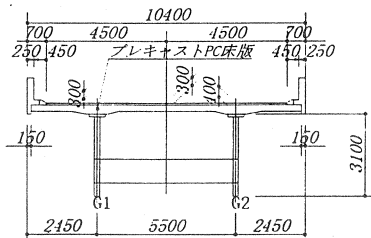


図-1 城の谷橋断面図

表-1 橋梁諸元

橋梁名称	城の谷橋
路線面	徳島自動車道
工事場所	徳島県美馬郡脇町
道路規格	第1種3級B規格
橋長	120.0m
支間	59.5m + 59.5m
橋梁形式	鋼2径間連続鉄桁橋
活荷重	B活荷重
有効幅員	9.0m

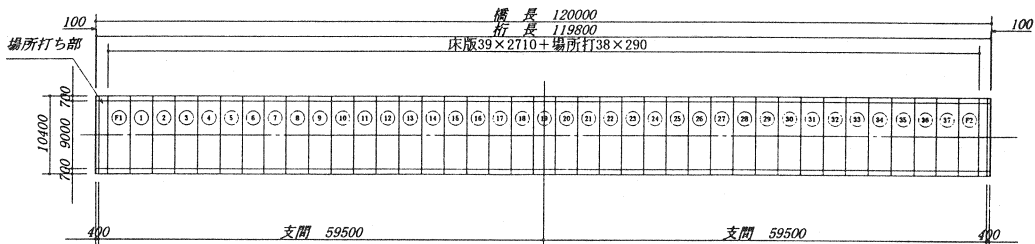


図-2 城の谷橋平面図

3. 現場ヤード製作方式プレキャストPC床版

2主桁を採用した城の谷橋では、床版支間が5.5mとなり、床版の耐久性を考えると、PC床版を採用することが妥当であると言える。また、現場施工の省力化と急速施工を目的とする場合、床版のプレキャスト化は有効な手段である。従来のプレキャストPC床版は、PC部材製造工場で作成を行いトレーラー等で現場へ運搬しクレーンにて架設を行う方法が一般的であるが、本橋では、現場架設地点のバックヤードが使用可能であり、鋼桁の施工はケーブルクレーンを用いるため、従来工法との比較を行い、プレキャストPC床版を現場ヤードで製作し、鋼桁の架設後引き続いてケーブルクレーン

表-2 各種プレキャストPC床版の比較

	製作場所	架設方法	板幅×枚数	経済比率
第1案	現場ヤード	ケーブルクレーン	3.0m×39枚	1.00
第2案	PC工場	ケーブルクレーン	1.5m×79枚	1.24
第3案	現場ヤード	移動台車	3.0m×39枚	1.05
第4案	PC工場	クローラクレーン	1.5m×79枚	1.26

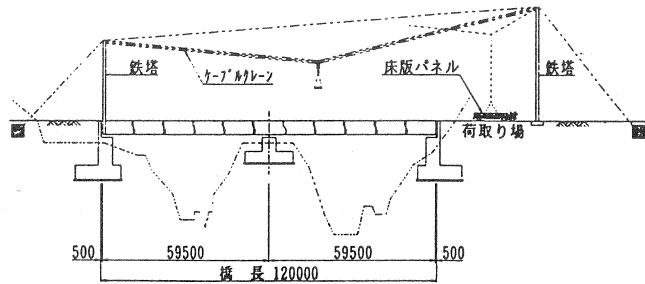


図-3 ケーブルクレーンによる床版架設要領

にて床版架設を行う方法を採用した。比較検討したケースと経済比率を表-2に、またケーブルクレーンによるプレキャストPC床版の架設要領を図-3に示す。床版の大きさはケーブルクレーンの能力より決定し、幅員方向長さ10.1m、橋軸方向長さ2.71m、重さ21.9tfとした。

床版の橋軸直角方向はポストテンション方式のPC部材としてフルプレストレスの設計を行った。なお、活荷重による断面力は道路橋示方書コンクリート橋編の式を用いた。床版厚は30cmとし、PC鋼材はセトロスが生じないねじ定着方式のF100(7S11.1B)を50cm間隔で配置した。

少主桁橋及びその床版については各方面で研究・報告がされているが、広支間のプレキャスト床版についての実績は少なく、特にプレキャスト床版間の継手構造については議論が多いところである。現在まで、プレキャスト床版の継手構造として、PC鋼材を配置して縦締めプレストレスを導入する方法が、床版の耐久性の向上が期待できることから、一般的な方法であったが、数%ではあるがコスト高につながることで、プレキャスト床版損傷時に取り替えが難しい等の理由から、最近では、橋軸方向に連続したPC鋼材を配置しない方法が望まれている。本橋では床版の継手方法として、縦締めPC鋼材を配置しないRCループ継手方法を採用したが、本橋のような2主桁の広支間床版に対する実績はほとんどなく、海外の文献調査[3]では耐久性を疑問視する報告もあるため、ループ継手に関する確認実験を行うこととした。

4. ループ継手部載荷実験

4.1 実験内容

ループ継手部の強度を確認する目的から、実橋と同じ大きさ(床版厚30cm、継手部長さ35cm)の供試体を作成し、曲げ載荷実験とせん断載荷実験を行った。また、橋軸方向にプレストレスを導入することによる付加的な耐力増加の効果を検証するため、プレストレスト量を0, 10, 20kgf/cm²の3段階に変化させた。載荷方法は、曲げ実験では、支間2.8mの中央にループ継手部を配置し、支間中央から左右0.4mの位置に2点集中荷重を載荷した。せん断実験では、支間2.0m(せん断スパン1.0m)とし、曲げとせん断の比率が実橋と同様となる位置にループ継手部を設置し一点載荷を行った。載荷方法は、繰り返しの荷重による影響を考慮して設計荷重を100回繰り返して載荷し、以後は荷重を増加させ破壊に到るまで載荷を続けた。ループ継手部以外の床版部分が先に破壊しないよう、実橋と同様に橋軸直角方向プレストレスを導入した。供試体の概要を図-4に示す。

表-3 ループ継手部曲げ実験結果

試験体	プレストレス量 kgf/cm ²	ひびわれ発生荷重 tf	設計荷重 tf	設計荷重時目地開口量		破壊荷重 tf				
				北目地 mm	南目地 mm	A:実測値	B:計算値	A/B	C:設計値	A/C
M0-1	0	載荷前, 打継ぎ部 乾燥収縮ひび割 れ有り	5.9	0.13	0.11	23.4	19.30	1.212	14.75	1.59
M0-2	0		5.9	0.15	0.16	23.0	19.30	1.192	14.75	1.56
M0-3	0		5.9	0.13	0.15	22.9	19.30	1.187	14.75	1.55
M10-1	10	5.0	5.9	0.08	0.09	32.2	29.64	1.086	14.75	2.18
M10-2	10	5.0	5.9	0.09	0.10	33.2	29.64	1.120	14.75	2.25
M10-3	10	3.0	5.9	0.09	0.09	33.0	29.64	1.113	14.75	2.24
M20-1	20	4.0	5.9	0.05	0.06	40.0	39.04	1.025	14.75	2.71
M20-2	20	5.0	5.9	0.08	0.07	42.4	39.04	1.086	14.75	2.87
M20-3	20	5.0	5.9	0.07	0.07	40.5	39.04	1.037	14.75	2.75

4.2 実験結果と考察

曲げ実験の結果を表-3に示す。橋軸方向にプレストレスを導入しない場合は、継手部とプレキャスト床版部のコンクリートの界面に乾燥収縮によると思われる微細なひび割れが載荷前に生じていた。一方、プレストレスを導入した供試体では、載荷荷重3.0~5.0tfでプレストレス無しの供試体と同じ境界面にひび割れが生じた。ひび割れ性状はほぼ3種類とも同様であり、継手部境界面からひび割れが発生した後、継手部と床版部ともに曲げひび割れが等間隔に発生し、荷重の増加につれてひび割れの上昇が見られた。終局状態では、継ぎ手部では規則的ではなく複雑にひび割れが進展した。この不規則なひび割れは終局時の大変形に伴うループ鉄筋の引き抜き作用によると考える。プレストレスを導入することにより大幅に破壊耐力が向上していることが表-3より判るが、いずれのケースも設計上要求される破壊耐力を大きく上回っており、プレストレスを導入しなくても安全性は十分確保できると考える。破壊形態はプレストレス無しと10kgf/cm²の供試体では、鉄筋の降伏が先行する曲げ破壊であったが、コンクリート上縁が圧壊する変形まで荷重を増加させることはできなかった。また、プレストレス20kgf/cm²の供試体では、鉄筋が降伏した後コンクリートが圧壊した。曲げ破壊形態だけを見れば、コンクリート上縁の圧壊は決して望ましいものではなく、プレストレスを20kgf/cm²導入することが適切であるとは言い難い。

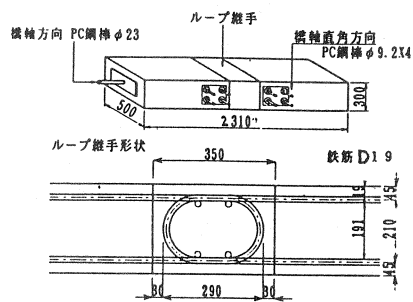


図-4 継手実験供試体

せん断実験の詳細はここでは省略するが、3種類とも特に問題となる挙動は確認されておらず、破壊耐力も曲げ実験と同様にプレストレスを導入する事によって向上している。

梁モデルでの実験では実際の床版の破壊挙動と異なるため一概には論ずることはできないが、ループ継手部の余剰耐力を与える目的でプレストレスを導入する場合、コンクリート応力で10kgf/cm²程度導入すれば十分であり、乾燥収縮等のひび割れ防止にも有効となる。しかし、プレストレスを導入しないループ継手の場合でも耐力は十分であり設計上の不都合は生じないと言える。実験結果と併せて、城の谷橋では、コストの削減及びプレキャスト床版の取り替えを考慮し、橋軸方向にプレストレスを導入せずにRCループ継手を採用したが、乾燥収縮等のひび割れ防止の目的からループ継手部は膨張コンクリートを用いることとした。

5. プレストレス導入確認実験

5.1 実験内容

工場で作成するプレキャストPC床版の橋軸方向の長さは運搬上の制約を受けるため、一般的には1.0m~2.0m程度であるが、城の谷橋では現場ヤードで製作を行うため2.71mと大きくしている。設計上のプレストレスが実際どのように導入されるかの確認、およびそり等の製作上の問題点の有無を検討する目的から、

現場施工に先だって、実物大のプレキャストPC床版を製作しプレストレス導入実験を行った。また、橋軸直角方向にプレストレスを導入した場合、ポアソン比の影響により、橋軸方向に引張応力が発生することが予想されるが、その影響の大きさをプレストレス導入実験により確認することとした。

供試体は実施工で使用するものと同じ大きさとし、PC鋼材、鉄筋、スタッドジベルの施工用箱抜き等、全て実施工と同様とした。図-5にプレストレス導入試験の供試体を示す。製作ベンチ上で橋軸直角方向にポストテンション方式でプレストレスを導入し、コンクリート表面(上縁)と鉄筋(下縁)に配置したひずみゲージで、橋軸直角方向と橋軸方向の2方向についてひずみを計測した。

5.2 実験結果と考察

表-4に橋軸直角方向のプレストレス導入量の測定結果を示す。上下縁ともほぼ所定のプレストレス量が導入できることが確認できた。また、プレキャスト床版単体として、現場施工に支障となる様な有害なそり、ねじれ等は生じなかった。

表-5にポアソン比の影響により発生する橋軸方向応力を示す。測定値の最大の引張応力は -15kgf/cm^2 程度となり、コンクリートのポアソン比が0.2程度であることから、プレストレス導入により発生してもおかしくはない値である。既往のPC構造物の設計では、ポアソン比の影響は全体の安全率で吸収できるものとして、特に問題とはしていなかったが、床版のように繰り返し疲労を受ける部材では、常時引張応力を受けることは決して好ましもではなく、設計上でポアソン比の影響に対して余裕量を設けるか、橋軸方向にプレストレスを導入し応力を改善することが望ましいと考える。本橋では橋軸方向はRC部材として設計をしており、鉄筋の応力に余裕を持たせることでポアソン比の影響を吸収することとした。

6. スタッドジベルに関する提案

プレキャストPC床版と鋼桁との連結は、スタッドジベルによるが、予めプレキャスト床版にスタッドジベル用の箱抜きを行い、その箱抜き部に無収縮モルタルを打設し連結構造とするものである。スタッドジベルを用いる場合、鋼桁と床版の合成度合いが高くなり、連続桁の中間支点部では、合成効果により床版全域が引張を受け、床版の耐久性に対する懸念が生じる。非合成桁の挙動に近づけるためには、スタッドに何らかの工夫を施す必要がある。そこで、本橋では、スタッドの根本部にゴムや発砲ウレタンを巻き付けることによって、ずれ剛性を小さくし非合成挙動に近づけることを提案した。図-6にスタッド概念図を示す。

スタッド根本部にゴムやウレタンを巻き付ける(以下新形式スタッドと呼ぶ)ことによる機能評価の実験を行ったが、その詳細については各論文[4][5][6]を参照

表-4 プレストレス導入量の測定結果

断面	橋軸直角方向 上縁 コンクリート表面		設計値	
	ひずみ μ	測定値	①応力換算	②応力
		kgf/cm^2	kgf/cm^2	kgf/cm^2
A	-199	59.6	56.7	1.051
B	-200	59.9	60.4	0.992
C	150	45.1	42.4	1.064
D	56	16.8	16.1	1.043
E	42	12.5	4.0	3.125
F	-10	2.9	7.5	0.387

断面	橋軸直角方向 下縁 鉄筋位置		設計値	
	ひずみ μ	測定値	③応力換算	④応力
		kgf/cm^2	kgf/cm^2	kgf/cm^2
A	187	56.0	56.7	0.988
B	-126	37.9	25.1	1.510
C	-147	44.2	44.7	0.989
D	268	80.4	76.1	1.057
E	-280	84.0	71.6	1.173
F	-268	80.5	69.1	1.165

表-5 ポアソン比の影響の確認

断面	上縁 コンクリート表面		下縁 (鉄筋位置)	
	測定値		測定値	
	ひずみ μ	応力換算 kgf/cm^2	ひずみ μ	応力換算 kgf/cm^2
A	47	-14.0	12	-3.7
B	40	-12.0	8	-2.5
C	-9	2.6	25	-7.4
D	-20	6.0	36	-10.9
E	17	-5.0	52	-15.7
F	11	-3.3	38	-11.3

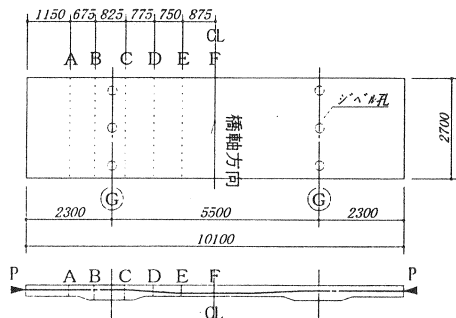


図-5 プレストレス導入実験測定力所

されたい。現在までに明らかとなった事項を次に示す。

- 1) ゴムやウレタンを巻き付けた新形式スタッドの静的耐荷力は通常のスタッドとほぼ同様である。
- 2) 新形式スタッドは、ずれ剛性を小さく抑えることができ、スラブアンカー以上の非合成挙動を示す。

この新形式スタッドを使用して「ずれ」を認める構造形式にした場合、スタッドに作用する水平せん断力は再分配によって低減し、さらに、活荷重による水平せん断力変動範囲も小さくなり、疲労に対しても、有利な構造形式になると考えられる。今後、疲労実験を行い設計に必要なデータを蓄積する予定である。

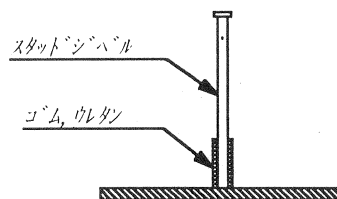


図-6 新形式スタッドジベル

7. 施工方法

プレキャストPC床版の製作は、架橋地点に近い本線用地を利用した。床版製作架台は3ベンチ設け、約90日で39枚(約850t)の製作を行った。1ベンチの床版1枚の製作サイクルは、型枠工→鉄筋・PC工→コンクリート工→養生→緊張→移動 となり、平均すれば約5日/1サイクルであった。製作管理として出来寸法管理が特に重要となるが、製作ベンチの違いによる製作誤差が生じる可能性が懸念されたので、床版一枚毎の寸法管理はもちろんのことながら、隣合う床版の相対的な寸法管理も入念に行った。

ケーブルクレーンの設置準備と平行してプレキャストPC床版の製作を進め、鋼桁の架設に続いて床版の連続架設を行った。床版は全39枚を3日で架設することができた。写真-1に床版の架設状況を示す。その後、ケーブルクレーンの解体と平行して、床版間のRCループ継ぎ手部の施工、鋼桁と床版の連結モルタルの施工、端部場所打ち床版の施工、壁高欄の施工を順次行った。床版は鋼桁上フランジに取り付けた受け金具の上に敷設し、床版に埋め込んだ高さ調整ボルトにより最終の高さ調整を行った。

プレキャストPC床版と従来の場所打ち鉄筋コンクリート床版(RC床版)の施工工程を図-7に示すが、プレキャストPC床版を採用することによって、全体工程は約2ヶ月短縮することができた。また、壁高欄をプレキャスト化することによって、さらに工程の短縮は可能となる。

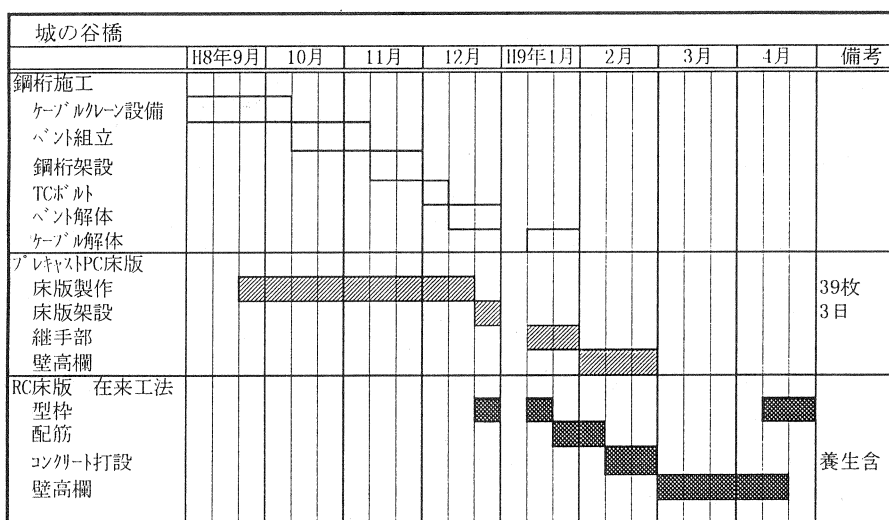


図-7 城の谷橋施工工程

8. まとめ

城の谷橋における現場ヤード製作方式のプレキャストPC床版の特徴をまとめると以下ようになる。

- ・現場隣接ヤードで製作する、ポストテンション方式の大型プレキャスト床版である。
- ・鋼桁架設に引き続きケーブルクレーンにて床版を架設した。
- ・プレキャスト床版間はRCループ継手方式を採用した。
- ・非合成挙動を示す根本部にゴムを巻き付けた新形式スタッドを採用した。

今回、現場ヤード製作方式のPCプレキャスト床版を鋼2主桁橋へ適用を行ったが、現場の製作ヤードおよび立地条件等を考慮し、各種比較検討の上、より良い工法を選択したものであって、必ずしも標準的な施工方法とは言い難い。ただし、現場施工の合理化、急速施工という点では十分目的を達成できたと言え、今後のプレキャスト床版工法の一選択肢になると考える。

最後に、本工事の施工にあたりご協力頂いた関係の方々、また、スタッドの実験に際しご指導・ご協力を頂いた平城助教授及び摂南大学の当時の学生の方々に、ここに記して謹んで謝意を表します。

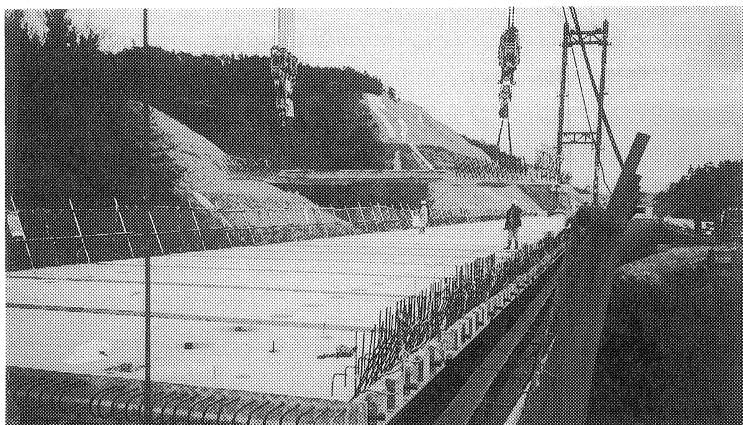


写真-1 プレキャストPC床版の架設状況

【参考文献】

- [1] 真鍋 英規, 寺田 光太郎, 曾田 信雄, 伊藤 正人: チャンネル形状プレキャストPC床版の鋼橋への適用, 第4回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp171~176, 1994.10
- [2] 瀬田 時夫, 鷹野 哲夫, 堀 重雄, 田中 勉: 城の谷橋(現場ヤード製作の広支間PC床版を有する2主1桁橋)の施工, 土木学会平成9年度関東支部年次学術講演会概要集, 平成9年3月
- [3] (財)高速道路調査会編: BRIDE TO THE FUTURE Ehrf Tour of European Brides, 1993年
- [4] 松井 繁之, 平城 弘一, 石崎 茂: スタッドの非合成桁橋に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 19-2, 1997
- [5] 松井 繁之, 平城 弘一: 頭付きスタッドの新しい適用方法について, 土木学会平成9年度関西支部年次学術講演会概要集, 平成9年5月
- [6] 堀 重雄, 松井 繁之, 平城 弘一, 真鍋 英規: 頭付きスタッドの非合成桁への適用に関する実験的研究, 土木学会第52回年次学術講演会概要集 I-A, 平成9年9月
- [7] 堀 重雄, 松井 繁之, 藤本 泰弘, 真鍋 英規: 少主桁プレキャスト床版の継手部静的載荷実験, 土木学会第51回年次学術講演会概要集 I-A, 平成8年9月
- [8] 松井 繁之: プレストレッシングによる道路橋床版の耐久性向上について: 第6回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp163~168, 平成8年10月