

# 連続合成 2 主桁橋の長期経時計測について

## —南港中入路橋—

### REPORT ON LONG-TERM BEAVOIR ON NANKOUNAKA ON-RAMP BRIDGE

江頭 慶三<sup>1)</sup>  
Keizo Egashira

阪神高速道路 4 号湾岸線の南港中に設置されている出路および入路橋はプレキャスト PC 床版を用いた連続合成桁として当社が施工を行い、平成 11 年に竣工している。これらの橋梁はプレキャスト PC 床版と中間支点の逐次ジャッキアップ・ダウンの組み合わせにより床版に橋軸方向のプレストレスを導入しているのが特長であり、当社と阪神高速道路株式会社で特許取得済みの技術である。さらに入路橋には各種センサーが設置され、主桁や床版のひずみ、変位等の経時変化が約 8 年に亘って計測されてきた。今回これらのデータを阪神高速道路株式会社より入手することができたので、設計当時に仮定していた床版の乾燥収縮・クリープひずみや有効プレストレス量に関して比較を行い、本橋の設計法、施工法の妥当性について報告する。

キーワード：プレキャスト PC 床版，連続合成桁，クリープ，乾燥収縮

#### 1. まえがき

橋軸直角方向にプレテンションでプレストレスを導入したプレキャスト PC 床版（以下、PCa 床版という）は道路橋示方書の規定により、床版厚を低減できるため RC 床版よりも軽量であり、現場における作業を大幅に省力化でき、床版施工の急速施工が可能である。さらに、耐久性の向上も期待できることから、都市部での新設橋や既設橋での床版取替工事などで多くの採用例がある<sup>1),2)</sup>。

ところで、鋼桁を持つ連続合成桁橋として PCa 床版を採用する場合、接合部において橋軸方向の鉄筋の連続性が絶たれるため、特にコンクリートに引張応力が作用する中間支点上で道路橋示方書に規定された鋼桁+床版内部鉄筋による断面性能の確保が困難となる。また、接合部にひび割れが生じた場合は、水の浸入による耐久性の低下が危惧される。そこで、中間支点上付近を場所打ち PC 床版として鉄筋を連続させるか<sup>3)</sup>、橋軸方向にプレストレスを導入して中間支点付近の PCa 床版間の継手のひび割れを防止<sup>4)</sup>するなどの方法でこの課題に対処しているのが実情である。なお、プレストレスを導入するためには、橋軸方向に緊張材を配置するか、支点のジャッキアップ・ダウンなどの方法があるが、緊張材を配置する方法は経済性や維持管理性などの面から、近年、施工実績は多くない。

このような状況のなか、阪神高速道路 4 号湾岸線の大阪南港地区（図-1）に建設された南港中出路、入路橋の床版には、基礎実験や検討<sup>5)</sup>を実施したうえで、施工性・経済性・耐久性の向上が期待される PCa 床版を採用し、各中間支点の逐次ジャッキアップ・ダウンを繰り返すこ



図-1 南港中出入路位置図（HP 路線図より抜粋）

とで床版に橋軸方向のプレストレスを導入している。さらに PCa 床版間の接合部には、施工の合理化と経済性を目的としたグラウト充填型のせん断キー構造を採用しており、橋軸方向のプレストレスにより耐荷力と耐久性を確保している。

また、本橋は阪神高速道路の BMS(Bridge Management System)構築のための基礎資料収集を目的として、初期に導入したプレストレスの減少度とそれに伴う接合部でのひび割れ発生や漏水の有無について供用後約 8 年間に亘って調査・計測を実施している。そこで PCa 床版の橋軸方向ひずみや接合部の開閉に関するデータから、コンクリートの乾燥収縮やクリープによるプレストレス量の経時変化を分析し、設計時に仮定した有効プレストレス量と比較することで本技術の妥当性を検証することが可能と考えられ、ここで報告する。

1) 橋梁営業本部 橋梁技術研究室

2. 南港中入路橋の設計・施工概要

図-2 に本研究で対象とする阪神高速道路湾岸線南港中入路橋の構造一般図を示す. 本橋は平成 11 年に供用開始されており, 橋梁形式は鋼 2 主桁橋である. その構造上の理由から, 将来の床版補修にも対応できるよう非合成桁としての安全性を確保しつつ, 逐次ジャッキアップ・ダウンを行うことにより床版にプレストレスを与えて連続合成桁橋として設計している.

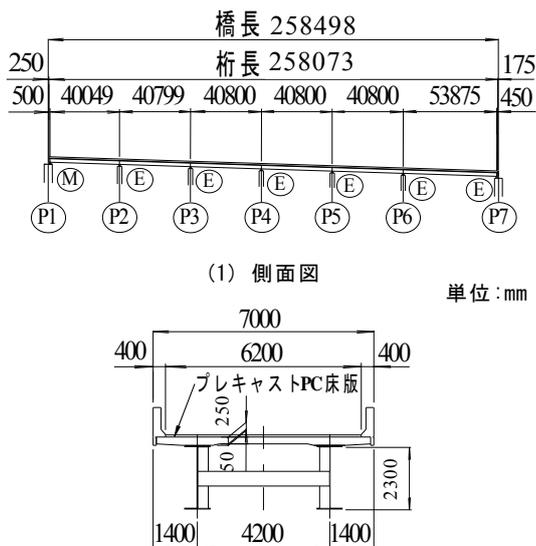


図-2 南港中入路橋

表-1 プレキャスト PC 床版の諸元

寸法, 重量	床版厚 25cm, 重量約 11t / 枚, 平面寸法 2.498×6.800m
設計基準強度	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$
橋軸直角方向 プレストレス	PC 鋼より線 40 本-SWPR7B S12.7 (1 パネル当たり)
使用鉄筋	SD345(主鉄筋:D13, 配力鉄筋:D19)

PCa 床版の諸元を表-1, 接合部の構造を図-3 に示す. 特徴は実績の多いループ鉄筋を用いた継手構造でなく, 無収縮モルタルを充填するだけの単純なグラウト充填型せん断キー構造である. 配力鉄筋が連続する構造ではないので, 床版としての連続性や耐久性を確保するためには橋軸方向プレストレスが必要であり, 実験によって必要な圧縮応力を  $0.5\text{N/mm}^2$  と設定した<sup>6),7)</sup>. また, 本橋に使用した PCa 床版は, 乾燥収縮を少しでも進行させるため, 工場製作後 2 ヶ月以上経過させたものを使用した.

プレストレスの導入は図-4 に示すとおり, 6 径間連続桁の端支点から約 6m の場所打ち部を除いて PCa 床版を全量敷設した後に, 各中間支点の逐次ジャッキアップ・ダウンを合計 17 日間の短期間で完了した. 逐次ジャッキアップ・ダウンの 1 サイクルは中間支点のジャッキアップを行い, PCa 床版相互の接合と主桁との一体化 (せん断キー継手部とずれ止め孔への無収縮モルタルの充填) し, 強度を確認してジャッキダウンを行う流れである. 施工順序は検討の結果, 外側から中央に向けて 2 箇所同時に実施することが一番効率的であった.

ジャッキアップ・ダウン量は中間支点上で後死荷重 + 活荷重 + 支点沈下の組み合わせに対して合成桁としての

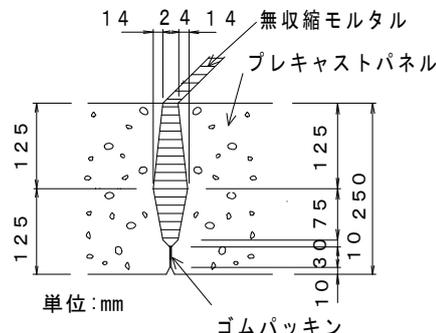


図-3 グラウト充填型せん断キー

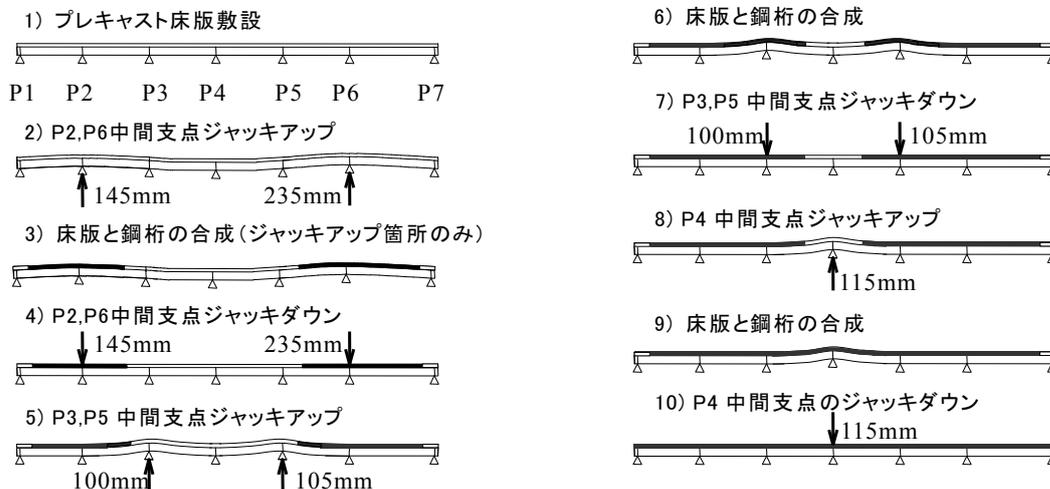


図-4 逐次ジャッキアップ・ダウンの要領

床版コンクリートの応力が許容引張応力度 ( $\sigma_{ta} = 1.8\text{N/mm}^2$ ) 以下となるよう決定している. P6-P7間が最大径間長であることから, P6上ではその負曲げモーメントに対応してジャッキアップ・ダウン量が最大(235mm)となっている. さらに, 実橋での計測により, 逐次ジャッキアップ・ダウンによるプレストレス量は設計値どおりに導入されており<sup>5)</sup>, 例えば断面2では  $156\mu$  ( $5.9\text{N/mm}^2$ ), 断面3では  $76\mu$  ( $2.9\text{N/mm}^2$ )であった.

逐次ジャッキアップ・ダウン工法自体は本橋に限らず, 場所打ち PC 床版を用いた連続合成桁橋でも広く採用されている工法<sup>8)</sup>であり, 橋梁全体を一括でジャッキアップ・ダウンするよりも大幅にその操作高さを低減することができる<sup>5)</sup>. また, PCa 床版を用いる場合は, 床版自重を全て主桁で支持した後に逐次合成する施工手順となるので, 場所打ち床版のように施工済みの床版に後施工の床版自重の応力が作用しない. よって, PCa 床版に残留する施工時応力が軽減できることも利点である.

3. 経時挙動(クリープ, 乾燥収縮ひずみ)の計測の目的

図-5 に設計時の後死荷重(壁高欄, 舗装)と逐次ジャッキアップ・ダウンによるプレストレスを合計した床版中心における橋軸方向の設計上の応力分布を示す. 端支点部を除き, 一般部で  $2\text{N/mm}^2$  以上, 中間支点上で  $2.8 \sim 3.5\text{N/mm}^2$  の圧縮応力が生じている. この応力はコンクリートの経時挙動(クリープ・乾燥収縮)により減少するため, 最終的なプレストレスは中間支点上で  $1.0 \sim 1.9\text{N/mm}^2$  程度残存する結果となっている. なお, 詳細は

後述するが, この計算で仮定したクリープ係数は  $\phi=0.8$ , 乾燥収縮ひずみは  $\epsilon_s = 120\mu$  である. 中間支点上におけるプレストレスの残存率は  $34\% \sim 69\%$ とバラツキはあるが, この残存プレストレスの存在によって PCa 床版の耐荷力, 耐久性が確保されることになるため, 設計で設定した有効プレストレス以上に残留していることを調べ, 本工法の妥当性を検証することが本研究の目的である.

表-2 に, 過去に現場または実験室内で計測された PC 床版の経時挙動の計測結果を示す. A, C, D 橋は逐次ジャッキアップ・ダウンを行った場所打ち PC 床版であり, B 橋は仮のカウンターウエイトを施工済み床版上に設置する手法で応力調整を行いながら施工した場所打ち PC 床版である. また, E 橋が PCa 床版での計測事例である. この表から, 乾燥収縮ひずみは室内実験で湿度が低い E 橋と進行中の B 橋を除いて  $150 \sim 160\mu$  程度で落ち着いており, 道路橋示方書の既定値( $200\mu$ )の  $75 \sim 80\%$ である.

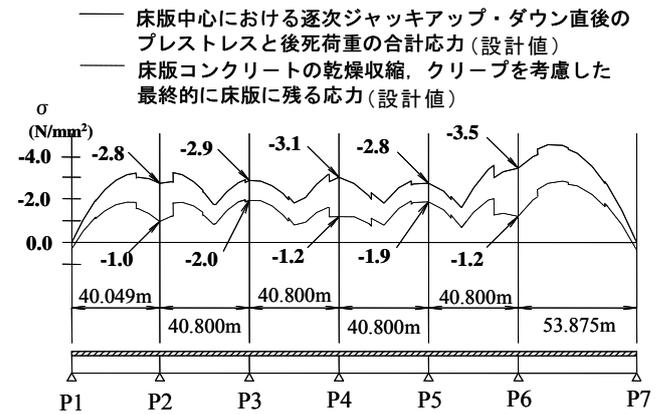


図-5 床版に作用する応力の経時変化

表-2 クリープ, 乾燥収縮経時挙動計測事例

	床版形式	経過 日数	クリープ 係数φ	乾燥収縮 ひずみεs (μ)	橋軸方向 鉄筋量 (鉄筋比%)	備考
A橋(近畿自動車道敦賀線) <sup>9)</sup> (1m×3m供試体)	場所打ちPC	450	1.5	150	1.8	φは450日経過時点での値. この時点で増加率は僅かとなっている. εsは実橋の測定値と解析値を比較して最終値を予測している.
B橋(新東名高速道路) <sup>10)</sup> (1m×1m供試体)	"	280	-	130	1.6	εsは現場供試体から取得. 280日経過の段階でεsは進行中. ジャッキアップダウンを行っていないため, φの橋軸方向データは無い.
C橋(舞鶴若狭自動車道) <sup>11)</sup> (1.6m×2.6m供試体)	"	800	1.2	150	1.9	φ, εsとも現場設置した供試体で800日経過時点での値. この時点で増加率は僅か. また, 実橋でも計測し, 整合を確認している.
D橋(山陽自動車道) <sup>11)</sup> (1m×2m供試体)	"	800	1.3	160	2.1	"
E橋(大阪市) <sup>12)</sup> (2m×2.2m供試体)	プレキャストPC	800	0.8	236	1.3	供試体は屋内設置のため, 特にεsが進んでいる. φ, εsとも800日経過時点での値でこの時点で増加率は僅かとなっている.

注) A,C,D橋は逐次ジャッキアップ・ダウンで, E橋は床版内に配置したPC鋼材で橋軸方向プレストレスを導入

表-3 本橋で使用したプレキャスト PC 床版コンクリートの示方配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	水セメン ト比 W/C (%)	粗骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 F
20	8±2.5	2.0±1.0	37.5	40.0	155	413	715	1110	2.68

これらの供試体は現場で上面が曝露されており、防水層や舗装のない試験体であるので、乾燥収縮は実橋より進展していると予想される。

そこで本橋の設計では、クリープ係数は2方向にプレストレスを与えるPCa床版の過去の実績<sup>12)</sup>より $\phi=0.8$ とし、乾燥収縮ひずみは表-3に示すとおり、コンクリートの単位水量を $155\text{kg/m}^3$ まで下げたことと、製作から主桁と一体化するまでの期間の2ヶ月間で道路橋示方書に準じて乾燥収縮ひずみを計算すると $40\mu$ となるので、残りのひずみとして $120\mu$ を採用した。

#### 4. 床版コンクリートの経時挙動計測と解析値との比較

##### 4.1 計測要領

PCa床版の経時挙動計測のため、床版内部には工場製作時から埋め込み型ひずみゲージと熱電対、主桁には溶接型ひずみゲージと熱電対を設置した。各センサーの配置箇所を図-6に示す。

計測は平成10年9月のジャッキダウン完了時から8年2ヶ月(供用開始後7年8ヶ月)経過した平成18年11月まで標準温度に近い時期で計6回実施した。いずれも活荷重が存在しないタイミングで計測を行った。

また、図-7に示すとおり、PCa床版の接合部の橋軸方向の変位についてもコンタクトゲージで計測した(3回測定の実績を採用、ゲージの精度は $1\mu\text{m}$ )。計測点は床版下面の道路中心上に設置した。なお、測点は断面1~3に隣接するPCa床版間の接合部とした。

ここで、7年8ヶ月時点での各センサーには経年劣化が心配されたが、動作チェックの結果、一部を除いて正常であった。しかし、それ以降の測定はデータの信頼性を含めて困難と判断し、この時点でひずみに関する経時変化の測定を終了した。

また、相対湿度の計測は実施していないので、計測期間中の気象庁発表のデータ(観測点:大阪市)で代用すると、平均値が63.4%となっている。

##### 4.2 計測結果および解析値との比較

図-6(1)の側面図に示す床版断面1から断面3までのひずみの経時変化の計測結果を図-8に示す。舗装・壁高欄施工後と供用後7年8ヶ月時のひずみの値も示す。

計測値は温度補正後の乾燥収縮とクリープの両方を含んだものであり、各断面内に埋め込まれた3箇所のひずみゲージの平均値である。なお、温度補正はひずみゲージ自身の温度補正だけでなく、PCa床版と主桁の温度差で生じるひずみも考慮する必要があるが、計測時の最大温度差は $3^\circ\text{C}$ (床版側が高温)程度であり、これによって

生じるひずみは $7\mu$ 程度で引張側であるので、補正には加えなかった。

本計測では、主桁の拘束の影響のない乾燥収縮用供試体等によるひずみ測定を別途実施していないため、乾燥収縮とクリープを分割して議論することはできないが、供用後7年8ヶ月(約2800日)が経過した段階で、各断面においては傾きが僅かに残っているがクリープと乾燥収縮の合計値は、図-8のグラフ上に示す自然対数で近似すれば、増加量はさらに2000日後で $20\mu$ 程度と推定され、また、相対湿度も国内としては平均的な値であるため、今後は大幅な増加は無いと考えられる。

次に、表-4にてクリープ係数 $\phi=0.8$ 、乾燥収縮ひずみ $\epsilon_s=120\mu$ として、本橋における経時挙動の最終値を解析により求め、計測値と比較した。解析の方法は全長に亘りPCa床版の全断面を有効として、計算はクリープと乾燥

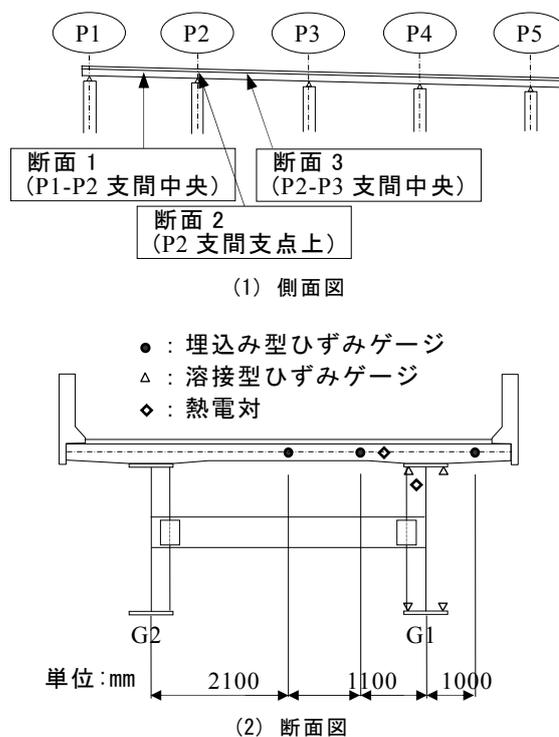


図-6 プレキャストPC床版計測箇所

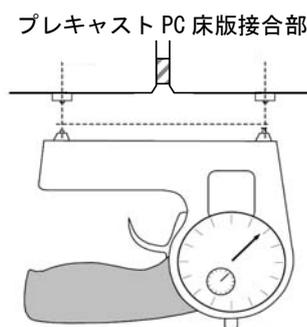


図-7 プレキャストPC床版接合部変位計測方法

収縮による不静定モーメントの変化量を簡易的に算出するために SONTAG の方法と仮想ヤング係数法を組み合わせた橋の解法により行った<sup>13)</sup>。なお、逐次ジャッキアップ・ダウンは本橋では僅か17日間で完了したことから、クリープの計算ではプレストレス導入時期の差の影響は小さいと考えて無視した。また、経時挙動計測と平行して維持管理のために各橋脚の不等沈下量を計測しているが、P1橋脚のみ他と比較して15mm程度沈下していたので、これを解析に加えてひずみを算出した。

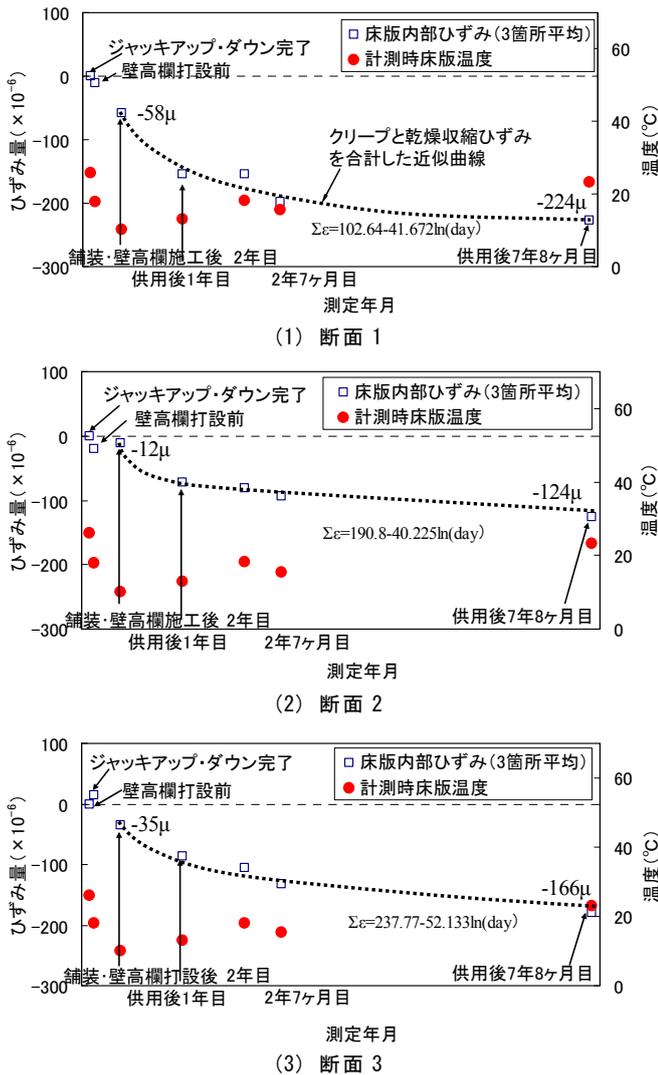


図-8 プレキャスト PC 床版のひずみの経時変化

表-4 床版内部ひずみの解析値との比較

			支点沈下を未考慮		支点沈下を考慮*	
			計測結果	解析値	計測結果	解析値
クリープ・乾燥収縮で進行した床版内部ひずみ平均値 (×10 <sup>-6</sup> )	断面1 (P1-P2)	計測結果	-166	1.212	-166	1.114
		解析値	-137		-149	
	断面2 (P2上)	計測結果	-112	0.991	-112	0.824
		解析値	-113		-136	
断面3 (P2-P3)	計測結果	-131	1.040	-131	1.083	
	解析値	-126		-121		

\*: 橋脚の不等沈下(計測値)による曲げモーメントの変化を加えたもの

この結果から、断面 2,3 における計測結果と解析値はほぼ一致し、設計値に近い挙動を示していると判断できる。断面 1 においては計測結果が 1.2 倍程度大きくなっているが、正曲げモーメントの箇所であることから、接合部に作用するプレストレスによる圧縮応力には余裕があることと、この誤差による応力は 1N/mm<sup>2</sup> 以下 (クリープと乾燥収縮による合計応力が断面 1 の床版中心位置で 0.8N/mm<sup>2</sup>, 断面 3 で 1.3N/mm<sup>2</sup> から判断) であることから、問題ないと判断した。

次に、PCa 床版間接合部の変位の計測結果を図-9 に示す。供用後 2 年 7 ヶ月までは増加傾向にあったが、それ以降は増加していない。接合部には設計基準強度  $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$  の無収縮モルタル(弾性係数  $E_c=25,000\text{N/mm}^2$ ) が充填してあるが、橋軸方向の無収縮モルタルの PCa 床版に対する長さの比は 2%以下であり、過去の実験報告<sup>14)</sup>からもクリープや乾燥収縮の影響が小さいことは明らかにされている。ただし、58~84μm(0.06~0.08mm)程度の変位が計測されていることから、この部分で微細なひび割れが懸念されるが、図-8 のグラフからは供用後 2 年 7 ヶ月まではクリープと乾燥収縮によるひずみが進展し、これ以降の変化は緩慢となっているので、接合部の変位は劣化によるものではないと予想される。

写真-1 に接合部の現状を示す。本橋は港湾部に隣接し、大型車が非常に多い環境であるが、シート系防水が床版全面に施行されており、接合部の劣化や水漏れは認められない。舗装の劣化による補修工事も実施されていない。

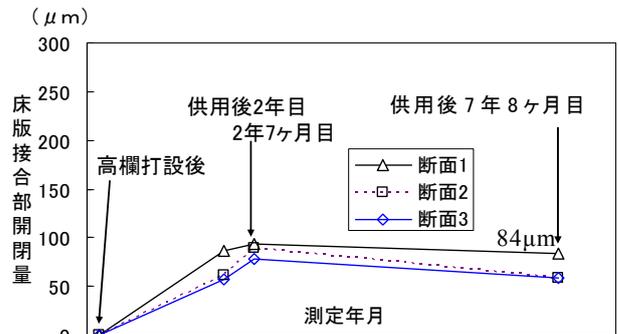


図-9 接合部の変位量の変化

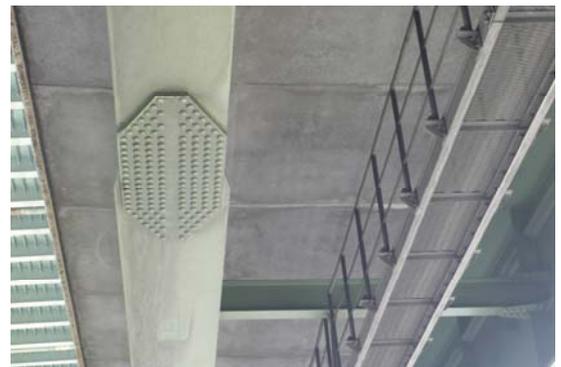


写真-1 現在の接合部の状況(平成 23 年 6 月撮影)

5. 本工法の妥当性に関する考察

計測結果および解析の結果を踏まえて逐次ジャッキアップ・ダウン工法を用いた本連続合成桁橋の妥当性に関して以下に述べる。

5.1 逐次ジャッキアップ・ダウン工法により床版に導入されたプレストレスの分布

逐次ジャッキアップ・ダウン工法では、合成された主桁断面に強制的に曲げ変形を与えるため、荷重集中点(中間支点)ではせん断遅れが生じ、床版内部のプレストレスの分布が均等でなくなることが予想された。しかし、図-6に示す床版断面に配置した3点のひずみゲージから得た逐次ジャッキアップ・ダウン後のひずみは、ほぼ均等に分布し、せん断遅れの性状は確認できなかった(表-5)。この現象については施工前の模型実験においても同様の結果を得ている<sup>15)</sup>。また、図-10(1)のグラフ中の $M_{js}$ (鋼桁に作用する曲げモーメント)と $M_{jv}$ (合成桁に作用する曲げモーメント)は三角形分布を示しているが、逐次ジャッキアップ・ダウンは各中間支点で一旦持ち上げて局部的に曲げ変形を与えた主桁を再度降下させる方法であるため、最終的には図-10(2)に示すように、一時的に生じた大きなせん断力の大部分は消失することになる。模型実験の結果に加え、このような理由も考慮して、逐次ジャッキアップ・ダウンによるプレストレス分布については全幅均等と考えて照査を行った。

なお、逐次ジャッキアップ・ダウンの全ステップを合計した曲げモーメントの分布( $\Sigma M$ )も図-10(1)に示す。この分布は鋼桁だけの時に作用した曲げモーメントと合成桁になった以降の値を合計したものであり、主桁には急激な曲げモーメントの変化がない結果となっている。以上の結果から、本工法によって床版に均等なプレストレスを導入することが可能と考えられる。

5.2 クリープ係数・乾燥収縮ひずみの仮定値との比較

図-5に示した床版に残存する圧縮応力は、安全側の設計のため、ヤング係数比 $n=7$ で算出したものである。しかし、PCa床版の設計基準強度は $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ であり、製作時の供試体から得られたヤング係数 $E_c=38,000\text{N/mm}^2$ から、実際のヤング係数比は $n=E_s/E_c=5.263$ となる。逐次ジャッキアップ・ダウン工法は合成後の断面を降下させることでプレストレスを導入するので、コンクリートのヤング係数比が小さい程、高い効果が期待できる特徴を持っている。図-11に示すようにヤング係数を実際の値で再計算すると、残存する圧縮応力は少なくとも図-5と比べて25%以上大きくなる。しかしながら、3.の目的でも述べたが、連続合成桁橋で

表-5 床版内部ひずみの変化

断面	位置	ジャッキアップ完了時	舗装、壁高欄施工後	供用後1年後	供用後2年後	2年7ヶ月後	7年8ヶ月後
		床版中央	-87	-146	-260	-283	-278
断面1 (P1-P2)	床版1/4点	-68	-124	-226	-227	-298	-330
	壁高欄側	-99	-158	-233	-206	-274	-229
	床版中央	-161	-174	-257	-276	-287	-311
断面2 (P2上)	床版1/4点	-145	-168	-213	-223	-227	-248
	壁高欄側	-162	-162	-215	-213	-235	故障
	床版中央	-78	-97	-125	-174	-202	故障
断面3 (P2-P3)	床版1/4点	-87	-117	-172	-179	-201	故障
	壁高欄側	-63	-119	-190	-190	-221	-242

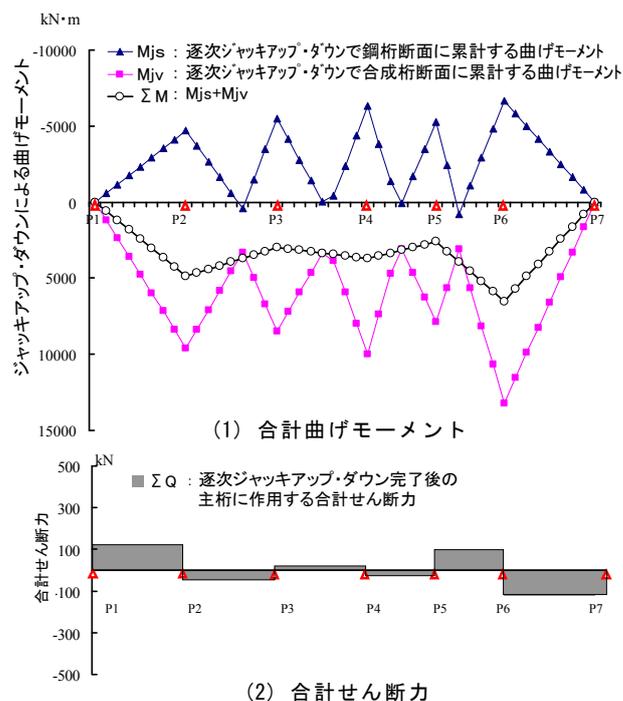


図-10 逐次ジャッキアップ・ダウンによる合計曲げモーメント、合計せん断力

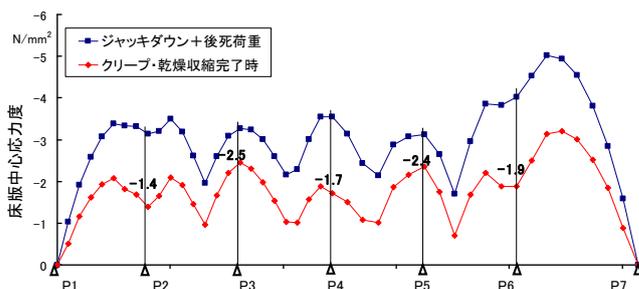


図-11  $n=5.263$ で算出した経時挙動

は床版コンクリートのクリープと乾燥収縮による不静定反力によって負曲げモーメントが生じて床版に導入されたプレストレスの一部が相殺されることが特徴であり、その挙動には誤差が生じやすいので、安全側をとってヤング係数比は $n=7$ のまま設計することが望ましい。さらに、今回の報告ではクリープと乾燥収縮は分離して議論できなかったこと、およびクリープの温度依存性についても検討ができていないので、今後はより正確な分析のための計測計画が必要と考えられる。

また、道路橋示方書に準じてクリープ係数を  $\phi=2.0$ 、乾燥収縮ひずみを  $\epsilon_s=200\mu$  として設計すると、表-6 に示すように、中間支点上の床版に残存する圧縮応力度は70%程度減少する箇所が生じる。この低減分を補うためにはジャッキアップ量の増加や鋼桁断面積の増加が必要となり、さらにクリープ応力が増加し経済性が損なわれることが予想される。以上のことから、工場で品質管理がなされる高強度のPCa床版を使用する場合は、適切なクリープ係数と乾燥収縮ひずみを設定して設計・施工することが本工法の施工性・経済性を確保するために重要なポイントであると考えられる。

表-6 クリープ・乾燥収縮後の残存圧縮応力比較

着目位置 橋脚No.	① $\phi=0.8,$ $\epsilon_s=120\mu$ (N/mm <sup>2</sup> )	② $\phi=2.0,$ $\epsilon_s=200\mu$ (N/mm <sup>2</sup> )	②/①
P2	-1.4	-0.4	0.286
P3	-2.5	-1.9	0.760
P4	-1.7	-0.6	0.353
P5	-2.4	-1.8	0.750
P6	-1.9	-0.6	0.316

5.3 PCa 床版の接合部および疲労耐久性について

PCa 床版は工場製作時に鋼桁の拘束の影響を受けることなく自由に膨張・収縮できる状態で養生、保管されるため、施工途中でひび割れは生じ難い。さらに本橋の場合は橋軸直角方向にプレストレスが導入されているので、押抜きせん断耐力は一般のRC床版と比較して非常に大きなものとなっている。したがって、本橋のPCa床版は活荷重に対する疲労耐久性は十分であり、接合部を含めた試験体による輪荷重走行試験でも確認されている<sup>16)</sup>。

特に接合部は充填された無収縮モルタルがくさびの役割を果たし、さらにプレストレスによる圧縮応力を加えて段差を防止している。これにより接合部において鉄筋を省略しても床版パネル相互のせん断力の伝達が有効に機能し、疲労耐久性が維持される構造となっている。

なお、計測期間中に、逐次ジャッキアップ・ダウンによる導入プレストレス量が最も小さくなる端支点付近の場所打ち床版部とPCa床版との境界部において、ほぼ幅員全長に亘って0.2mm程度のひび割れが発見された。その後の定期的な観察ではひび割れ幅、長さの進展は確認されていない。また、今回計測したPCa床版間の接合部での水平変位量の最大値は0.084mmであり、これもひび割れに相当する量であり、主として床版の乾燥収縮ひずみの一部がここに集中しているものと推定される。

また、参考文献16)に示す寸法比が2/3の縮小モデルを用いた輪荷重走行試験では接合部下面側において0.2mm

程度の開閉の繰返しが観察されたが、輪荷重による曲げひずみ相当であり、ひび割れが進展するなどの兆候を示すものではなかった。また、現時点での接合部の状況を合わせて判断すると、輪荷重に対するせん断耐力に優れたPCa床版相互を、せん断伝達を主とする継手構造で接合し、所要の有効プレストレスが残存することによって、設計で期待した通りの挙動を示していると考えられる。以上より、本接合部を含む床版全体の疲労耐久性は確保されていると考えられる。

6. 結論

供用後約8年間に亘って実施された経時挙動計測のデータと解析値との比較から以下の結論を得た。

- (1) 供用後7年8ヶ月時点におけるPCa床版のクリープと乾燥収縮の合計ひずみは、支間中央と中間支点上での計測結果からほぼ最終に近い値を示しており、計測ひずみと解析で算出したひずみの値はほぼ一致した。側径間部では解析値を上回る圧縮ひずみが計測されたが、正曲げモーメントの範囲内であることと、応力が小さいので、床版にとって悪影響は少ないと判断できる。したがって、設計で仮定したクリープ係数 $\phi=0.8$ と乾燥収縮ひずみ $\epsilon_s=120\mu$ の組み合わせは妥当なものと考えられる。
- (2) 逐次ジャッキアップ・ダウンによるプレストレス導入の計算は実際の値より大きなヤング係数比 $n=7$ を用いて行っているが、その結果が安全側でかつ妥当であることを確認した。
- (3) PCa床版間の接合部での変位の経時計測の結果、供用開始後2年7ヶ月付近を境に変位の増加は停止し、0.084mmの変位を維持している。この部分には主としてPCa床版本体の乾燥収縮ひずみが集中して微細なひび割れが生じている可能性があるが、本橋の接合部はせん断伝達を主にして疲労耐久性を確保する継手構造であり、設計通りに機能していると考えられる。
- (4) 施工前の模型実験と長期計測を通じて、本橋の床版断面内に分布するひずみにはせん断遅れの影響が確認できなかったことから、逐次ジャッキアップ・ダウン工法によって導入されたプレストレスは床版の全幅に均等に作用していると考えられる。

7. 今後の課題

経時挙動として主桁の鉛直変位の計測も行ったが、支点沈下の影響などが加わり、十分な考察ができなかった。今後、同様の計測を行う際は、不動点の精度を含め十分

に配慮した計画を行う必要がある。さらに PCa 床版の工場製作から現場搬入までの期間の乾燥収縮ひずみデータの取得も有用なデータとなると考えられる。

次に維持管理上の課題として、PCa 床版が劣化し、一部分の取替えが求められた際は、床版の引張応力に注意して局所的なジャッキアップ・ダウンを再度行うことで取替えは可能と考えられるが、膨張材によるケミカルプレストレスなどの技術も併用した取替方法を今後検討する必要があると考えている。

## 8. あとがき

PCa 床版は新規・補修工事に関わらず、急速施工が必要な現場で採用される事例が多いが、積雪の多い冬期や制約の多い河川内でも施工条件が揃えば品質のよい床版を施工することが可能である。また、施工中の CO<sub>2</sub> 削減や施工中に排出される様々な廃棄物、汚水を削減することができる。したがって、このような観点を含めた形式選定を検討するべきである。

また、本文中で述べたが、PCa 床版を活用する場合には適切なクリープ係数と乾燥収縮ひずみを設定して設計・施工することが経済性を向上させると考えられる。

## 謝辞

本橋の計画・実験・設計・製作・施工にあたり、施主の阪神高速道路株式会社の関係各位には多大なるご指導、ご協力をいただきました。また、本研究は大阪大学（当時）の松井繁之教授、大阪工業大学の栗田章光教授のご指導のもとに実施することができました。さらに経時挙動の計測と橋脚の不等沈下計測では株式会社フジエンジニアリングと内外構造株式会社に協力を得ました。以上の方々に対し、ここに記して深謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 中井 博, 藤井 学, 吉川 紀, 山内幸裕, 袴田文雄: プレキャスト床版の実験的研究と鋼連続桁への適用, 橋梁と基礎, pp.21-27, 1988.12.
- 2) 本荘清司, 中野将宏, 田中寛規, 桐川 潔: 鋼橋 RC 床版の全面補修—中国自動車道 青津橋—プレストレスコンクリート Vol.53, No.3, 2011.5.
- 3) 宇根孝司, 信永博文, 大城壮司, 利根川太郎, 中村 宏, 三根克秀: 第二京阪道路 門真高架橋西 (鋼上部工) 工事の設計・施工, 橋梁と基礎, pp.5-11, 2010.5.
- 4) 亀井正博, 生嶋圭二, 田村 章, 美濃武志: プレキャスト床版を有する連続合成箱桁橋の設計および施工について, 土木学会, 第 2 回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.329-334, 1989.9.
- 5) 曾根英樹, 中村一平, 松井繁之, 堀川都志雄, 竹中裕文, 江頭慶三, 小川久志: プレキャスト PC 床版を用いた小数主桁橋の設計と施工, 土木学会論文集 No.679/VI-51, pp.33-45, 2001.6.
- 6) 松井繁之, 金閨七, 志村 敦, 江頭慶三, 宮川治: プレキャストコンクリート床版のせん断キー継手の耐荷力に関する実験的研究, 土木学会, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp.95-100, 1998.11.
- 7) NAKA, Y., MATSUI, S., HORIKAWA, T., KIM, Y., and EGASHIRA, K.: A Rational Bridge System and Precast Concrete Slab in Japanese Highway Bridges, Proceeding of Developments of Short and Medium Span Bridge Engineering '98, pp.793-804, 1998.7.
- 8) 端本勝介, 坂本純男, 大久保宣人, 中菌明広, 稲葉尚文: 連続合成 2 主桁橋のジャッキアップダウンによるプレストレス導入効果, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, I-A211, 2001.10.
- 9) 若林保美, 嶽下裕一, 安川義行, 稲葉尚文: 床版の乾燥収縮・クリープ挙動に関する長期計測試験, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集, CS6-050, 2003.9.
- 10) 高嶋 豊, 林 暢彦, 嶽下裕一, 安齋憲子: 場所打ち PC 床版の乾燥収縮・クリープに関する検討, 土木学会第 59 回年次学術講演会概要集, CS8-038, 2004.9.
- 11) 大山 理, 坂本純男, 中野幹一郎, 入部孝夫, 安川義行, 稲葉尚文: 鋼連続合成 2 主 I 桁橋におけるプレストレス導入効果の確認実験, 土木学会, 構造工学論文集 Vol.49A, pp.1135-1142, 2003.3.
- 12) 中井 博, 栗田章光, 亀井正博, 瀬野靖久: プレキャスト床版を用いた連続合成桁橋におけるクリープ・乾燥収縮性状の計測と解析, 土木学会論文集, No.453/VI-17, pp.117-124, 1992.9.
- 13) 橋 善雄: 連続合成桁, 理工図書 1966.1.
- 14) 中井 博, 栗田章光, 亀井正博, 瀬野靖久: プレキャスト床版連続合成桁のクリープ・乾燥収縮の実験と解析, 土木学会, 第 2 回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.55-60, 1989.9.
- 15) 竹中裕文, 袴田文雄, 田畑晶子, 中井博: 逐次ジャッキアップ・ダウン工法による模型桁の応力計測, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, I-A11, 1998.10.
- 16) 江頭慶三, 袴田文雄, 松井繁之, 堀川都志雄: 省力化接合部を有する鋼橋プレキャスト床版の疲労特性と耐久性について, 土木学会, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1291-1298, 2000.3.