

上下部剛結横梁上に設置された場所打ち P C床版の補強鉄筋について

河野 明寛* 高瀬 和男**

本報告の対象となった栄高架橋は、場所打ちP C床版を有する鋼2主桁橋で、さらに主桁が横梁に剛結されている連続ラーメン橋である。このような拘束の大きい横梁上とその近傍部におけるP C床版のプレストレス導入量を把握するために、日本道路公団さいたま工事事務所においてプレストレス導入実験が行われた。また、従来のR C床版に比べて厚い場所打ちP C床版は、コンクリート硬化に伴う温度応力による施工初期段階のひび割れが問題となり、本構造においてもその温度応力の定量的判断を行うとともに、ひび割れ幅の縮小を目的とした補強鉄筋を配置した。

ここでは、本橋のP C床版における補強鉄筋の設計手法について報告する。

キーワード：プレストレス導入実験，ひび割れ幅制御，温度解析，補強鉄筋

まえがき

東京外環自動車は、都心から放射方向に延びる幹線道路を相互に連絡し、都心に集中する交通の分散・導入を図るとともに、首都圏における都市間の円滑な交通ネットワーク効果が期待され建設が進められている。

本橋梁は、東京外環道自動車道の三郷 JCT～三郷南(仮称) I Cに位置しており、一般国道 298

号と併設した連続高架橋区間にある(図-1)。

上部工形式は、図-2に示すように場所打ちP C床版を有する主桁間隔6 mの鋼連続2主桁橋であり、上下線それぞれが中間支点橋脚の鋼横梁に剛結されている。このような構造において、実施工に先立ち横梁上やその近傍部におけるP C床版のプレストレス導入量および床版や桁の変形を明確にするために、日本道路公団さいたま工事事務所において、実橋の2/3モデルの供試体を用いたプレストレス導入実験が行われた。

また、コンクリート硬化時に発生する温度応力や、プレストレスの導入による応力などコンクリートに発生する引張応力度を定量的に把握して、ひび割れ幅の縮小を目的とした補強鉄筋の配置を行った。

1. 工事概要

本工事の概要を以下に示す。

構造形式：5径間連続2主I桁立体ラーメン橋

7径間連続2主I桁立体ラーメン橋

活荷重：B活荷重

支間長：(37.0+41.0) + 3 @ 35.5m

3 @ 32.2+37.5+43.5+37.5+35.0m

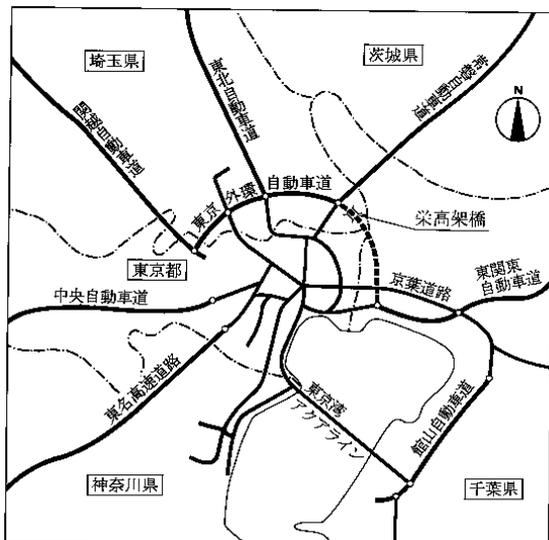


図-1 位置図

*設計部東京設計一課 **工事計画部次長

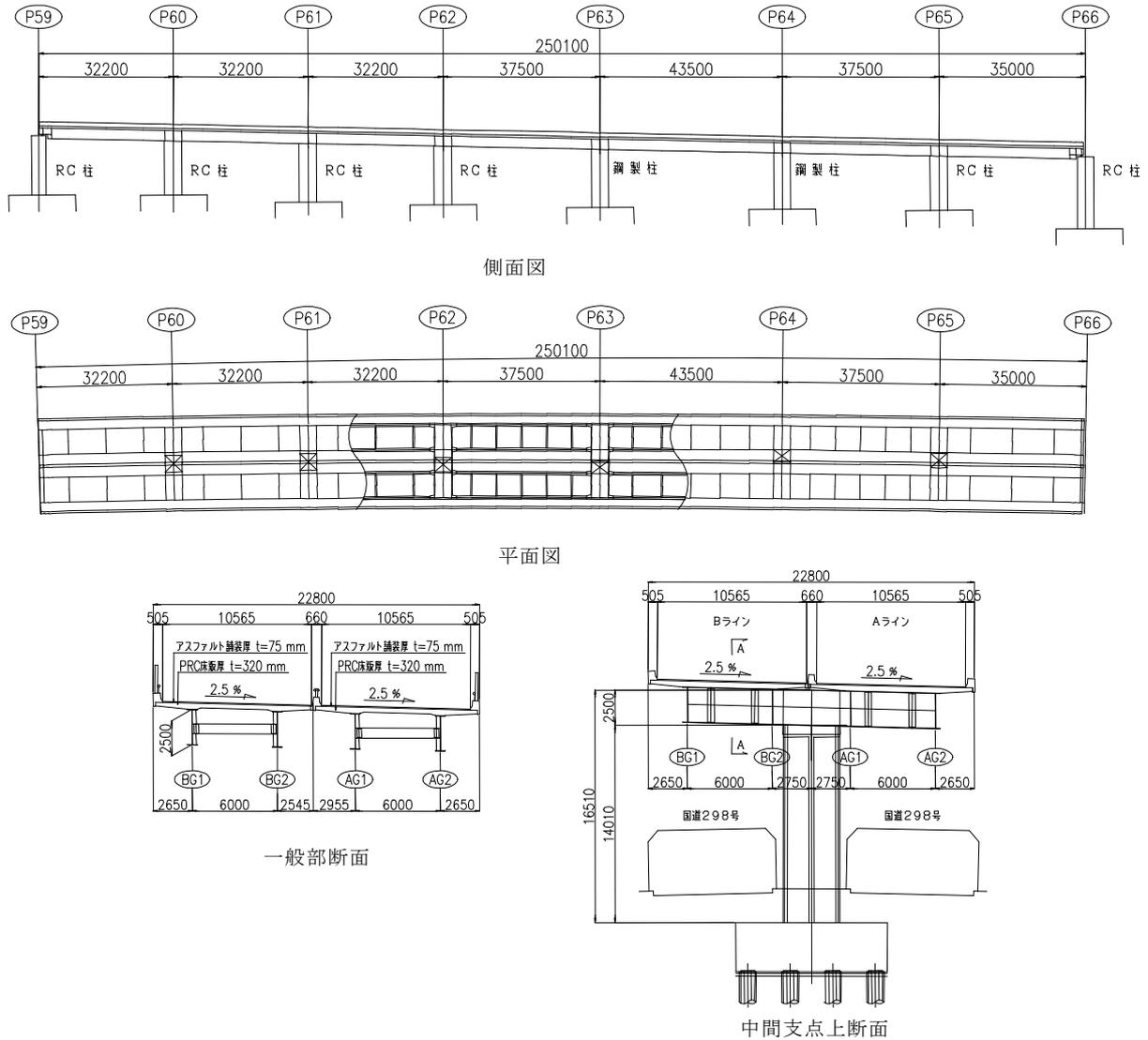


図-2 構造一般図

() 内は施工範囲外

有効幅員：10.565+10.565m

床版：場所打ちPRC床版

一般部 320mm

横梁上および横梁近傍部 420mm

2. プレストレス導入実験の概要

(1) 目的

剛性の大きい中間支点上の鋼横梁部のPC床版は、その拘束によってプレストレス導入量の低下が懸念された。また、鋼横梁の拘束が大きいため、コンクリートの乾燥収縮・クリープによるプレストレス導入量の経時変化も一般部の床版と異なることが予想された。このような課題を解決するために実橋の2/3モデルの供試体を用いたプレストレス導入実験が行われた。

(2) 実験結果およびその対策

実験の結果、プレストレス導入量は横梁の拘束によるロスが約3割程度計測され、またPC緊張後約2ヶ月で乾燥収縮・クリープが主原因と思われるひび割れ(ひび割れ幅0.2mm以下)が発生した。そのため、実施工に対してはプレストレスロスも含めて以下の対策を講じることとした。

① PC鋼線配置の見直し

横梁上およびその近傍部のプレストレス量は、3割程度ロスすることから、そのロス分を補うためにPC鋼線ピッチを一般部の500mmから375mmに配置した。また、橋軸方向のひび割れ対策として、床版に対して効率的に圧縮力が導入できるように直線配置とした。

② コンクリート配合の見直し

乾燥収縮の発生に大きな要因となる単位水量をなるべく減少させるために、高性能AE減水剤を添加した。さらに、収縮補償程度の膨張材

を添加した。

③床版断面の変更

横梁上および横梁近傍部は、P C鋼線の直線配置によりプレストレスによる曲げモーメントが低下する。それを補うために、**図-3**に示すように床版を打ち下ろす構造にした(一般部**320mm**、横梁上および横梁近傍部**420mm**)。

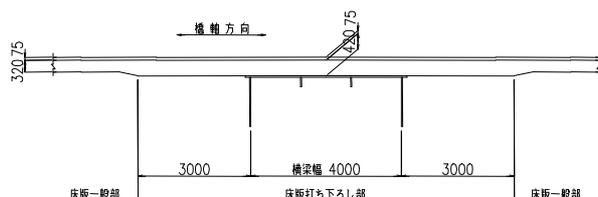


図-3 床版側面図

④主桁上ハンチ部の補強鉄筋の配置

軸方向鉄筋は、主桁上ハンチ部が一般部に比べて相対的に鉄筋比が小さくなるので、その一般部と同程度になるように**1.4%**程度の鉄筋比を確保するため中段鉄筋を配置した。

3. 温度応力を中心とした補強鉄筋の算出

(1) 目的

鋼2主桁の場所打ちP C床版は、従来のR C床版に比べ床版厚が厚く、かつ高強度のコンクリートを用いているため、コンクリートの水和反応による温度応力によって、施工初期の段階(コンクリート材齢**3日~7日**)で旧床版の拘束により打ち継ぎ目位置を中心にひび割れが発生した事例がある。

そこで本橋においても横梁と主桁が剛構造(連続ラーメン橋)になっていること、横梁上の床版が打ち下ろされていることなどにより、床版コンクリートの体積収縮を拘束するための条件が大きいために、コンクリートに作用する温度応力や乾燥収縮などの引張応力度を定量的に把握する必要がある。

プレストレス導入実験からは、本構造のP C床版における構造的な特性が様々な角度から分かってきたが、実験供試体が2/3モデルということもあり、温度応力による影響は実験からは正確に評価することができない。そこで非線形温度応力解析、立体FEM解析等を用いて各種詳細な引張応力度を算出し、補強鉄筋の設計を行うこととした。

(2) 照査ポイントの選定

照査するポイントは、本構造の特性を考慮して次の通りである(**図-4**)。

①床版打ち継ぎ目位置

打ち継ぎ目位置は新旧の床版が接する部分であるため旧床版のコンクリート材齢差による拘束の影響を把握する。

②横梁上とその近傍部

床版を打ち下ろしたことによる、鋼部材の拘束による影響を把握する。

③床版断面変化位置

打ち下ろし部の床版厚が一般部の床版厚に変化する位置での応力集中の影響を把握する。

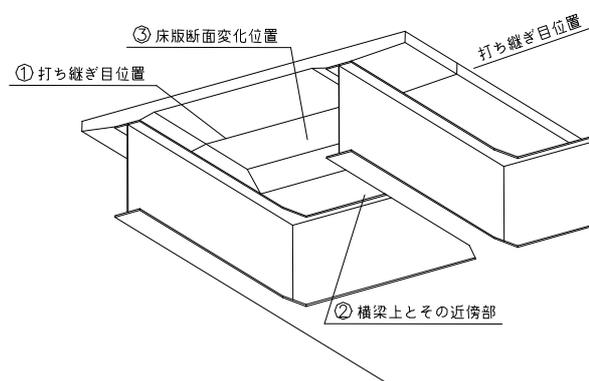


図-4 照査位置

(3) 着目するコンクリートの引張応力度

床版の橋軸方向の設計はR C構造であるため、温度応力、乾燥収縮および施工時荷重や後死荷重などによる引張応力度は算出していない。そこでコンクリート打ち込みから施工段階毎(コンクリート材齢毎)に温度応力解析やFEM解析を行い、以下に示す引張応力度を算出する。

①コンクリートの施工時による応力

床版の打設順序により発生する引張応力度であり、平面骨組解析により算出した。

②温度応力

コンクリートの水和反応により発生する引張応力度であり、非線形の温度応力解析(**ASTEA. MACS**)により算出した。

③P C緊張による応力

プレストレス導入時に発生する床版部材の変形に伴う引張応力度についてはFEM解析により算出した。

④床版自重による応力

床版の自重により発生する引張応力度は、F

EM解析により算出した。

⑤立体挙動による応力

本橋の場合は、A、Bラインが同一脚上の横梁により支持されているため、Bライン床版(後施工)の荷重によるAライン床版(先施工)に影響する。そのための現場の施工順序により発生する引張応力度を立体骨組解析により算出した。

⑥乾燥収縮・クリープによる応力

乾燥収縮・クリープの影響による引張応力度については平面骨組解析により算出した。本検討では、最終収縮量を 150μ とした。

⑦その他

壁高欄打設、化粧板の取付、型枠の脱型、防護工の解体など、その他死荷重によって発生する引張応力度については平面骨組解析により算出した。

(4) 引張応力度の算出および結果

本報告は、横梁近傍部の橋軸方向応力度について報告することとし、応力集計表を表-1に示す。

この集計表より材齢8ヶ月目においてコンクリートの引張強度 $\sigma_a = 2.16\text{N/mm}^2$ を超える結果となり、10ヶ月目に最大値の $\sigma = 2.69\text{N/mm}^2$ となった。

一般的にこのような場合は、施工的、材料的な対策を施す。施工的には橋軸方向にプレストレスを導入する、または中間支点上でジャッキダウン

を行うなど、外的に圧縮力を導入するなどの工法が採用されるが、中間支点部が剛結となっている本構造ではそれらの工法は適用できない。また、材料的には、温度応力や乾燥収縮を小さくするために単位水量や単位セメント量の減少を図るが、前述にあるように、貧配合コンクリートにしているためにさらにこれを低減することは非常に困難である。そこで、通常のRC構造の設計では考慮していない引張応力度の足し合わせに対してひび割れ幅制御を行い、有害なひび割れを発生させないように適切な鉄筋量を確保することとした(許容ひび割れ幅を 0.2mm 程度とする)。

(5) 補強鉄筋の算出

補強鉄筋の算出は、コンクリートに発生している引張力を鉄筋に受け持たすように算出する。

補強鉄筋の配置は、計算上は上下段に配置している配力筋の鉄筋量を大きくすることでも可能であるが、鉄筋ピッチが 125mm ピッチで配筋しており、このピッチを狭くすることは現場施工および経済性という観点から好ましくない。そこで算出された補強鉄筋は、床版の中段に配置することとした。

補強前と補強後の鉄筋の応力度とひび割れ幅を表-2に、横梁上および横梁近傍部の補強鉄筋配置図を図-5に示す。

補強鉄筋を配置したことにより、補強前と比較すると鉄筋応力で 195.2N/mm^2 から 130.1N/mm^2 、ひ

表-1 横梁近傍部の橋軸方向応力集計表

ケース名		(N/mm ²)									
		材令6日 PC緊張後	材令10日 主桁間 脱型後	材令23日 高欄打設後	材令31日 張出し部 脱型後	材令8ヶ月 化粧板取付後 立体挙動前	材令9ヶ月 立体挙動後	材令10ヶ月 防護工解体前	材令12ヶ月 防護工解体後	材令15ヶ月 竣工時	
施工時荷重(打設順序)	σ_{cuu}	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	σ_{cul}	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
温度応力	σ_{cuu}	0.10	0.30	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
	σ_{cul}	0.50	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
PC鋼線緊張	σ_{cuu}	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	
	σ_{cul}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
後死荷重	主桁間脱型	σ_{cuu}	-	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
		σ_{cul}	-	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
	床版自重	σ_{cuu}	-	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
		σ_{cul}	-	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20
	壁高欄打設	σ_{cuu}	-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
		σ_{cul}	-	-	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
	張出し部脱型	σ_{cuu}	-	-	-	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
		σ_{cul}	-	-	-	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
	化粧板取付	σ_{cuu}	-	-	-	-	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
		σ_{cul}	-	-	-	-	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	立体挙動	σ_{cuu}	-	-	-	-	-	0.19	0.19	0.19	0.19
		σ_{cul}	-	-	-	-	-	0.07	0.07	0.07	0.07
	防護工解体	σ_{cuu}	-	-	-	-	-	-	-	-0.30	-0.30
		σ_{cul}	-	-	-	-	-	-	-	-0.19	-0.19
小計	σ_{cuu}	-	0.25	0.82	0.77	0.86	1.05	1.05	0.75	0.75	
	σ_{cul}	-	-0.23	0.13	0.10	0.16	0.23	0.23	0.04	0.04	
乾燥収縮・クリープ	σ_{cuu}	-	-	-	-	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	
	σ_{cul}	-	-	-	-	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	
①総合計	σ_{cuu}	-0.80	-0.35	0.72	0.67	1.35	1.55	1.57	1.28	1.29	
	σ_{cul}	1.57	1.44	2.00	1.97	2.59	2.68	2.69	2.51	2.52	
コンクリートの許容値		1.97	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	

ひび割れ幅が **0.305mm** から **0.203mm** と大幅に改善された。

表-2 補強鉄筋設置前と設置後の比較表

		横梁近傍支間中央	
		補強前	補強後
引張応力度の合計	床版上面	1.6	
	床版下面	2.7	
平均		2.1	
床版厚		42	
床版断面積(1mあたり)		4200	
配置鉄筋	上段	D19 × 125	D19 × 125
	中断		D19 × 125
	下段	D19 × 125	D19 × 125
鉄筋断面積(1mあたり)		45.84	68.76
鉄筋比		1.1	1.6
鉄筋応力度	平均	N/mm ²	
		195.2	130.1
ひび割れ幅		0.305	0.203

コスト面からみても非常に有利な構造である。現在は各方面において場所打ちPC床版の研究が進められているが、今後同じような構造に対して本報告が参考になれば幸いである。

最後に本検討に際して多大なご指導、ご協力をいただいた日本道路公団東京建設局の方々をはじめ、さいたま工事事務所の方々に対して深く感謝の意を表します。また、プレストレス導入実験に関する様々な資料を提供していただいた日橋・住金JVの方々にもこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編，II 鋼橋編，III コンクリート橋編），**1996.12.**
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，**1996.**
- 3) 日本橋梁建設協会：PC床版施工マニュアル 場所打ちPC床版編，**1999.6.**
- 4) 高速道路技術センター：長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル（案），**2002.3.**

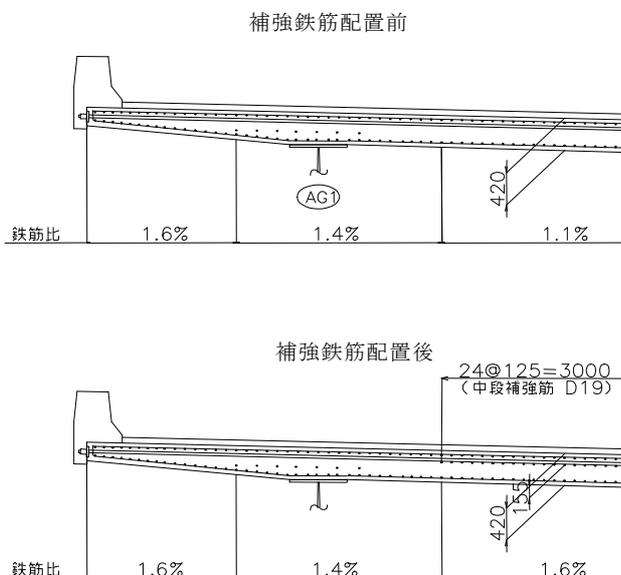


図-5 補強鉄筋配置図

あとがき

本橋のPC床版の検討は、横梁上のプレストレスロスの検討からはじまり、プレストレス導入実験の結果によるひび割れ防止対策、また温度応力を中心とした各種解析によりコンクリートに発生する応力を定量的に把握して、その補強鉄筋の算出を行った。今回の引張応力は、中間支点が剛結構造であるために起因するものが多く、その構造特性を正確に把握する必要があり、その結果、ひび割れ幅制御により補強鉄筋の設計を行った。

昨今、社会情勢でコスト縮減が叫ばれている中、主桁－横梁が剛結構造の本橋は、支承や伸縮装置を省略することによる維持・管理が容易となり、