

(6) プレキャスト床版の鋼連続桁橋への採用に関する設計・施工要領(案)について

A TENTATIVE DESIGN AND FABRICATION CODE FOR APPLICATION OF PRECAST CONCRETE SLAB TO CONTINUOUS PLATE GIRDER BRIDGE

中井博* Hiroshi NAKAI、袴田文雄**** Fumio HAKAMADA

藤井学** Manabu FUJII、白澤行忠***** Yukitada SHIRASAWA

吉川紀*** Osamu YOSHIKAWA

Due to the occurrence of unexpected structural damage of reinforced concrete slab, the structural improvements had been in urgent need together with improvements of material and construction methods. A series of investigation were made so that prefabricated prestressed concrete slab could be applied. Laboratory tests as well as field measurements were performed mainly to evaluate the connection system between the slab and plate girder. The results achieved were: improvement of reliability and durability, shortening of construction period, and labor saving. Finally a draft for a design and fabrication code was elaborated to be applied to prefabricated concrete slab of continuous plate girder bridges.

1. まえがき

近年、コンクリート床版の損傷事例に鑑み、プレキャスト床版を採用して、床版や床版工事そのものを改善しようとする事例が数多く試みられるようになってきた¹⁾。プレキャスト床版の採用は、現場での作業の簡略化、床版構造特性の改善、工期の短縮など、従来の場所打ちの鉄筋コンクリート床版になり特長を発揮するものと考えられる。しかし、プレキャスト床版の道路橋への本格的な採用に当たっては、コンクリート床版にプレストレストが導入されたときのクリープ、リラクセーションや、ずれ止め等の挙動についていまだ不明確な点が少なくない。とくに、連続桁橋への採用に当たっては、例えば、橋軸方向の導入プレストレス量の考え方、合成桁に近い挙動を呈するとの実験結果を踏まえての中間支点部での設計の考え方等、解明されなければならない諸問題点がある²⁾。

阪神高速道路公団では、大阪湾岸線のランプにおいて、プレキャスト床版を用いた連続桁を採用した。その採用に当たっては、種々の実験や検討を行った。これらの成果を反映して、プレキャスト床版の鋼連続桁橋への採用に関する設計・施工要領(案)を作成した。本文では、プレキャスト床版の概要を述べた後、要領(案)について紹介する。

2. プレキャスト床版を有する連続桁橋の設計・施工の考え方

コンクリート床版は、従来から自動車輪荷重の影響を直接受けるためにひび割れを始めとした最

* 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科

** 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

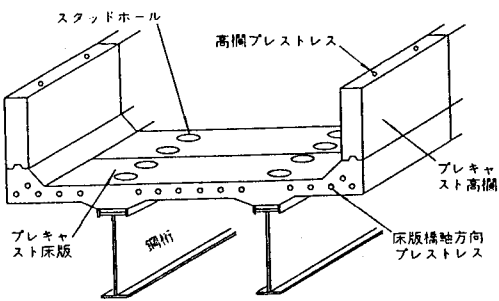
*** 工修 阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課長

**** 工修 阪神高速道路公団 神戸建設部 設計課

***** 東京エンジニアリング 大阪支社 技師長

も損傷を受け易い構造部材の一つである。近年の重量車の通行や、増大する交通量の増加により、床版は多大の損傷を受けた。また、床版の点検や補修には、多大の費用を要している。一方、昨今の建設現場における熟練労働者をはじめとする建設労働者の減少や高齢化により、現場作業の簡略化、維持・管理の容易な構造の採用を検討している状況にある。コンクリート床版の高品質化と、このような労働環境での省力化の枠組みのなかで考え出された一つの対応策が、床版部材のプレキャスト化といえる。

これまで阪神高速道路公団では、プレキャスト埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート床版（以下、PCC床版）を採用した事例がある。この工法は、鋼桁の上にプレキャスト製の型枠兼用パネルを敷き、鉄筋を組んでコンクリートを打設し、プレキャストパネルと場所打ちの鉄筋コンクリート床版とを合成するものである。埋設型枠パネルには、床版支間方向にプレテンション方式にて、プレストレスを導入している。これにより、現場工数の簡略化、



工期の短縮と製品の高品質化が実行された。しかし、このPCC床版では、足場工、型枠工など現地作業が簡略化する一方で、鉄筋組立や、コンクリートの打設・養生などは、従来通りの工程を要していた。これに対し、本文に述べるプレキャスト床版では、図-1に示すようにコンクリート床版全体のプレキャスト化を目指したもので、PCC床版に比較して一層の工場製品化を押し進めたものである。

阪神高速道路公団では自動車の走行性を改善するために、伸縮装置を少なくし、同時に桁高が低くできる連続桁橋形式が多く採用されている。表-1には、鋼3径間連続桁橋にプレキャスト床版を用いて実際に建設された橋梁の設計条件を示した。図-2には、設計のフローを示した。

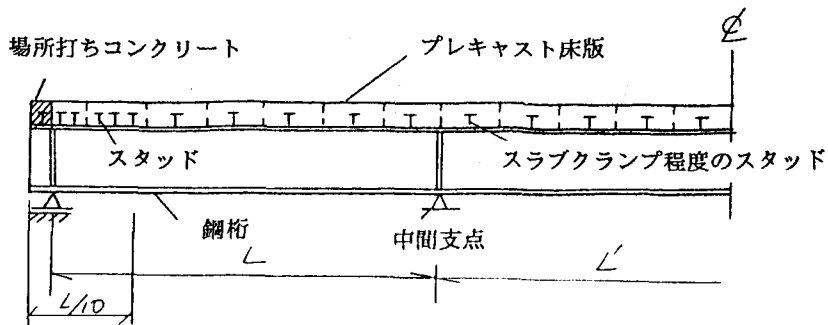
表-1 3径間連続鋼桁橋の設計条件

(a) 基本条件	
形式：3径間連続非合成1桁、橋長：105m＝34.6+35.0+34.6、総幅員：7.0m	
桁高：2.0m、プレキャスト床版厚：18cm、ハンチ高：5.5cm、アスファルト舗装厚：7.5cm	
縦断勾配：6％、横断勾配：1.5％（反転）	
荷重：TL-20およびTT-43	鋼材：SS41、SM50で許容応力度などは道路橋示方書による
コンクリートの設計基準強度	床版：400kgf/cm ² 、無収縮モルタル：400kgf/cm ² 、高欄：300kgf/cm ²
ヤ ン グ 係 数	床版コンクリート：3.1×10 ⁵ kgf/cm ² 、鋼：2.1×10 ⁶ kgf/cm ² 、PC鋼：2.0×10 ⁶ kgf/cm ²
プレストレス鋼材	床版支間方向：プレテンション方式、SWPR7A、φ12.4・16本
	床版・橋軸方向：ポストテンション方式、SWPR19、φ21.8・20本
	高欄：ポストテンション方式、SBPR95/110、φ26（中心間隔50cm）

(b) 版のコンクリートの設計条件			
項 目	鋼 桁 設 計 時	プレキャスト床版	プレキャスト高欄
ク リ ー プ 係 数 φ	2.0	1.7	1.7
乾 燥 収 縮 ε _{sh}	—	160×10 ⁻⁶	160×10 ⁻⁶
許容曲げ圧縮応力度 (kgf/cm ²)	主桁作用時：150 床版作用時：150 主桁+床版：190	プレストレス導入時：190 設 計 荷 重：150	150 120
許容曲げ引張り応力度 (kgf/cm ²)	0	橋 軸 方 向：-15 橋軸直角方向： 0	0 0

このように、プレキャスト床版を3径間連続桁橋に採用するに当たって、負の曲げモーメントが発生する中間支点部における桁の力学的挙動が問題となる。プレキャスト床版を用いて完全連続合成桁とすると、中間支点上でかなりの橋軸方向プレストレスを導入する必要があり、PC鋼線の配置が困難となりことが試設計の結果わかった。そこで、スタッドの設計は、中間支付近などでは、スラブクランプ程度（細径φ13mm、50cm間隔2列）を、端支付近（L/10、L支間長）では、コンクリートの乾燥収縮、クリ

ープ、温度差にたいして、桁端でずれないようにφ22mmのスタッドを設計することにした。一方、実験によると、プレキャスト床版と鋼桁とをスラブクランプ程度のフレキシビリティ定数³⁾を持つスタッドで結合した桁の実際の挙動は、「弾性合成桁」として挙動し、非合成桁と完全合成桁との中間的な挙動を呈することが明らかにされた。しかし、弾性合成桁の理論によって、連続合成桁を設計することは極めて煩雑である。そこで、弾性合成の作用は、今回無視し非合成桁として設計することを原則としている。しかし、今回は安全側の考え方を採用し合成桁としての安全性の照査を下記



<プレキャスト床版、鋼桁およびスタッドの設計>

- ①プレキャスト床版の設計（幅員方向はプレテンション方式）
- ②鋼桁の設計（非合成桁として設計する）
- ③スタッドの設計（端部 $L/10$ にスタッドを配し、それ以外はスラブクランプ程度のスタッドを配する。）

④橋軸方向導入プレストレス量の決定

<合成桁としての安全性評価>

- ⑤中間支点上を合成桁とみなして応力照査
- ⑥合成桁とみなして降伏に対する安全性照査（中間支点部、径間中央など曲げモーメントが支配的な断面について行なう。）

<製作キャンパの計算>

- ⑦合成桁とみなしてたわみを計算

図-2 プレキャスト床版を用いた連続桁の設計要領（案）の概要

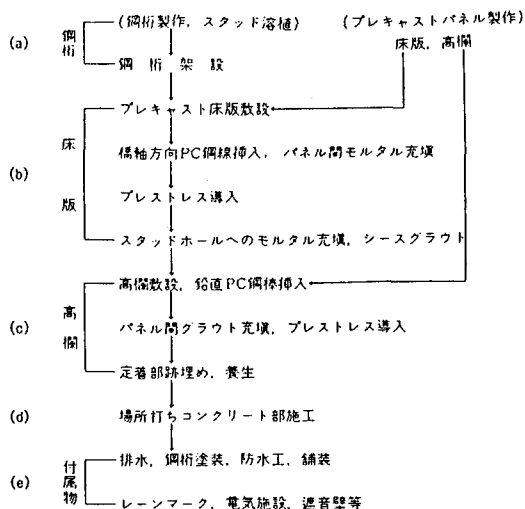
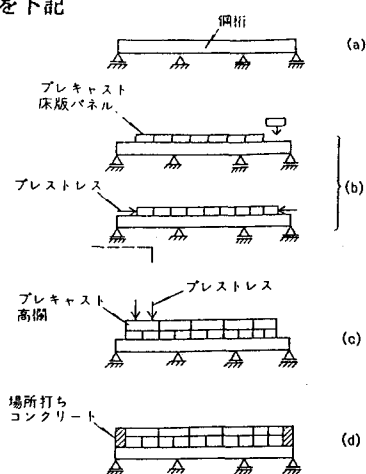


図-3 プレキャスト床版を有する3径間連続鋼桁の施工手順

の項目について行うこととした。すなわち、第1は、持続荷重によるクリープ、乾燥収縮、温度差などを考慮しての中間支点上の応力照査、第2に、中間支点上の代表的な断面での降伏に対する安全性照査、最後に死荷重、持続荷重によるクリープ、乾燥収縮を考慮したたわみの計算等を行った。

図-3には、プレキャスト床版を用いた鋼連続桁橋の施工フローを示した。鋼桁架設までの工程は、通常の鋼桁工事に同じである。ただし、鋼桁上フランジには、スタッドとプレキャスト床版を所要の高さにするための高さ調整版とが溶接されている。床版パネルと高欄パネルそれぞれは、工場で製作の上養生・仮置きを行う。床版パネルは、工場製作時において床版支間方向にプレテンション方式でプレストレスを与える。この床版パネルの橋軸方向の幅は、1m程度であり、敷設後パネル間には、モルタルを充填する。つぎに床版には、橋軸方向にポストテンション方式でプレストレスを導入する。床版が完成したあと、ジベル孔にモルタルを充填し、鋼桁と結合する。次いで、高欄パネルをP C鋼棒で床版と一体化させる。最後に桁端部の場所打ちコンクリート部分を施工する。

3. プレキャスト床版を用いた連続桁橋の設計・施工要領（案）⁴⁾

阪神高速道路公団では、大阪湾岸線のランプ部において、プレキャスト床版の適用を考えた。プレキャスト床版の設計に関しては、すでに土木学会関西支部 プレキャスト床版合成桁研究委員会から単純合成桁に適用するプレキャスト床版の設計要領が提示されている。この報告書を参考にして、プレキャスト床版を用いた3径間連続桁橋に着目し、スタッドに関する研究、中間支点上で負の曲げモーメントを受けるプレキャスト版の耐荷力、弾性合成桁の疲労特性、プレキャスト床版の連続性そしてプレキャスト高欄の衝撃耐荷力実験等を行った。その成果を踏まえて、プレキャスト床版を用いた連続橋の設計・施工要領（案）としてまとめた。以下にその概要を述べる。

3. 1 荷重の種類

設計にあたって考慮すべき荷重の種類は、道路橋示方書・共通編による。

3. 2 プレストレス力

プレストレス力の導入およびその評価法は、以下による。

- (1) プレキャスト床版を用いた連続桁橋では、
 - 1) プレテンション方式による床版支間方向のプレストレス力
 - 2) ポストテンション方式による橋軸方向のプレストレス力を導入する。
- (2) 橋軸方向の導入プレストレス力は、版のコンクリート断面のみに作用するものとする。
- (3) その際のプレストレス力は、道路橋示方書 III コンクリート編 2.1.4 の解説によって算出される有効プレストレス力によって評価する。
- (4) プレストレスの導入に伴うコンクリートのクリープによる不静定力は、プレキャスト床版の中間部の断面中央にプレストレスが作用しているものとして算出する。

・(2)では、橋軸方向のプレストレス力導入時、プレキャスト床版と鋼桁との接触面の摩擦力等を無視して、床版のコンクリート断面のみに作用するものと考えた。

・(3)では、ジベル孔にグラウト充填後は、コンクリートにクリープや乾燥収縮が進行する。また、P C鋼線のリラクセーションも存在する。したがって、これらを考慮し、完全な連続合成桁とする場合以外、プレストレス力は、有効プレストレス力により評価することとした。

3. 3 コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響

- (1) プレキャスト床版のコンクリートに持続荷重が作用する場合には、コンクリートのクリープによ

る応力または水平せん断力を考慮するものとし、その際に用いるクリープ係数は、 $\phi_1=1.7$ とする。

(2) コンクリートの乾燥収縮による応力を考慮する場合の最終収縮度は、 $\epsilon_s=15 \times 10^{-5}$ とし、クリープ係数は $\phi_2=2 \times \phi_1$ とする。

(3) プレストレスの減少量を算出する場合のコンクリートのクリープ係数および乾燥収縮度は、それぞれ上記の(1)および(2)の値を用いる。

・プレキャスト床版の橋軸方向プレストレスによるコンクリートのクリープによる影響は、無視できないので、非合成の場合であっても、これらを考慮することとした。

・プレキャスト床版では、早強セメントを用い、スランプが0~2cmの硬練りのコンクリートで製作していること。材齢60日以上工場で養生した後出荷・敷設されるので、持続荷重(プレストレス)が作用する時期は、材齢が75日以上に達した後となることを考慮した。

3. 4 スラブ止め、およびずれ止めの設計

プレキャスト床版と鋼桁を結合するためのスラブ止め、またはずれ止めにはスタッドを使用するものとする。スタッドは、頭付きスタッド JIS B 1198 に適合するものとし、直径19mmのほか、22mm および 13mmのものを使用する。

・プレキャスト床版に導入するプレストレス力によるコンクリートのクリープの影響が大きく、またプレキャスト床版の構造上、スタッドの間隔にも制約があるが、桁端部では水平せん断力を鋼桁に伝達させるため、直径 22mm のものも使用することとした。さらに、非合成桁のスラブ止めと同程度の機能を有するスタッドは、ばね定数の小さい直径 13mm のものを使用することとした。

・非合成桁であっても、版のコンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響ならびに版のコンクリートと鋼桁との温度差の組合せ荷重が作用するものとしてスタッドを配置するものとする。

・桁端部をのぞく区間に配置するスラブ止めの間隔は、床版1枚当り2カ所程度としてよい。しかし、桁端部に配置するずれ止めは、床版パネル1枚当り3カ所のジベル孔を設けるのを標準とし、それを最小間隔とする。

3. 5 PC鋼材

PC鋼材は、道示によるものとし、適切なものを選定する。

・プレキャスト床版に用いるPC鋼材としては、床版支間方向では、直径 12.4mm のPC鋼より線、橋軸方向のプレストレスには、市販の最大径 21.8mm のPC鋼より線などを、プレキャスト高欄には、直径 26mm の丸棒B種1号などを用いることとした。また、高温の影響を受ける場合には、低リラクセーションPC鋼より線を用いることができるとした。

3. 6 コンクリート

セメントには、早強ポルトランドセメントを使用し、コンクリートの設計基準強度は、400 kgf/cm² 以上とする。

・セメントには、コンクリートのクリープや乾燥収縮の影響を小さくできるものとした。コンクリートの設計基準強度は、スタッドの強度を考慮して最小値を定めた。

3. 7 橋面防水材

プレキャスト床版上には、原則として床版防水工を行なうものとする。

・橋面防水材は、防水性、施工性、床版や舗装との接着性、耐久性および経済性を考慮して、最も適切なものを選択する。

3. 8 設計計算

プレキャスト床版を用いた連続鋼桁の設計は、非合成桁として弾性梁理論により設計するのを標準とする。

・連続桁の中間支点上では、プレキャスト床版と鋼桁とをスラブクランプ程度の柔なスタッドで結合しているので、実際には連続弾性合成桁として挙動する。しかし、弾性合成桁として設計することは、

煩雑であるので非合成桁で設計するのを標準とした。

3. 9 プレキャスト床版の床版厚

プレキャスト床版最小厚は、18cm とする。

・床版支間と床版厚の試算例を図-4に示す。現行の非合成RC床版厚に比べて10%~25%の床版厚の減となる。

また、床版支間を4m程度にまで拡大するのも可能となり、ランプなどでは、二主桁橋の採用も可能である。

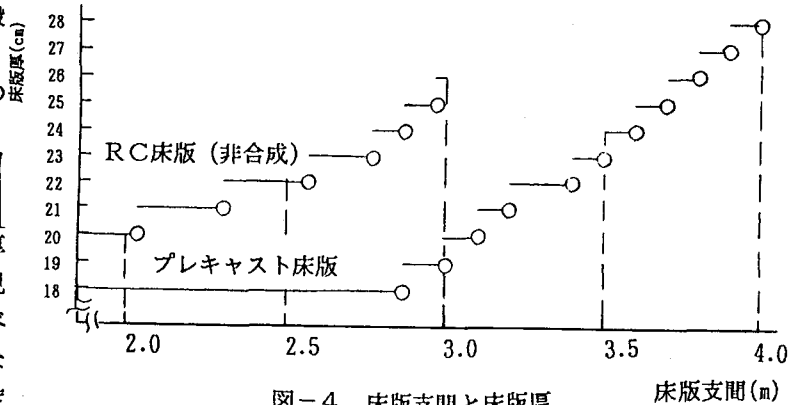


図-4 床版支間と床版厚

3. 10 橋軸方向のプレストレス量の最小値

プレキャスト床版では、橋軸方向の連続性を保持するために、コンクリート床版の応力に換算して、 35kgf/cm^2 以上の橋軸方向プレストレスを導入する。

・プレキャスト床版が、橋軸方向にも一体として作用するため必要なプレストレスの大きさを実験により求めたところ、コンクリートの応力に換算したプレストレス量で、 30kgf/cm^2 程度確保すればよいという結果を得た。その結果、設計に当たっては安全性を考慮し、 35kgf/cm^2 以上のプレストレス量をプレキャスト床版に導入することとした。

4. あとがき

本文では、プレキャスト床版の概要について述べた後、実設計と並行して整理した設計・施工要領(案)の概要を紹介した。実設計では、従来通りの床版間隔や床版厚を確保したこと、設計・施工に関しまだ経験が浅く必ずしも工費や工期の面で有利さは顕著に現われなかった。しかし、従来から厳しい環境におかれているコンクリート床版の構造特性の改善、現場での工期短縮・省力化など、プレキャスト床版の道路専用橋への適用にも見逃せない多くの長所がある。自動車荷重は、一般にばらつきが大きい。RC床版は低い荷重レベルでも一度クラックが発生した後は、力学的挙動が変化する。これに対し、プレストレス構造では、クラック発生荷重が大きく、またクラック発生後も力学的な挙動が変化しない。ひび割れや防水など使用限界が問題になりやすい道路橋床版では、このような側面から、プレストレス床版に期待されるところが大きい。さらに、コンクリート打設を工場で行うプレキャスト床版は、ばらつきの少ない信頼性の高い製品が得られる。しかし、一方では、プレキャスト製品に共通のブロック間目地の処理、パネルの運搬、据え付け、現地プレストレス導入作業、クリープ、鋼桁との連結などRC床版にない問題点が新たに生じてくる。プレキャスト床版の採用に当たっては、工費の問題を含め、総合的な判断が望まれる。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部：プレキャスト床版合成桁橋の設計と施工、昭和62年度講習会テキスト、昭和62年5月。
- 2) 中井、藤井、吉川、山内、袴田：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、昭和63年12月。
- 3) 佐々木、小松：不完全合成桁の合理的設計、橋梁と基礎、昭和61年5月。
- 4) 阪神高速道路公団：プレキャスト床版の鋼連続桁橋への適用に関する設計・施工要領(案)、昭和63年10月。