

(4) プレキャスト床版を用いた合成桁橋の設計・施工法の一試案

大阪市土木局橋梁課 亀井正博 大阪市立大学工学部 中井博
大阪工業大学工学部 栗田章光 阪神高速道路公団 林秀侃

1. まえがき

道路橋における鉄筋コンクリート床版の損傷が、橋梁構造物の維持・管理上の大きな問題としてクローズ・アップされて以来、鋼橋の示方書の改訂や現場における施工管理の向上等についてかなりの努力が払われてきた。

このような問題を解決する一つの方策として、床版のプレキャスト化が考えられ、わが国をはじめ諸外国においても数多くの研究・開発が行われるようになり、耐荷性に優れ、急速施工にも適した構造部材として注目を集めるようになった。とくに、プレキャスト床版と鋼桁とを結合した合成桁橋に対しては、顕著な耐荷性・急速施工性が発揮できるため、西独、フランス、スイスなどヨーロッパ諸国およびアメリカにおいては、プレキャスト床版を用いた合成桁橋の実施例が増えつつある。

以上のような背景を踏まえ、昭和59年6月に発足した土木学会関西支部の共同研究グループ『プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究』では、当初の59年度、プレキャスト床版を用いた各種の橋梁形式の特徴、問題点および実績等を主に文献によって調査するとともに、国内外におけるプレキャスト床版合成桁の最新の情報を分析し、その構造形式の詳細について種々検討を加えてきた。

ひきつづく60年度、プレキャスト床版の基本的な構造としては、工場において完全なプレキャスト化が可能な鉄筋コンクリートおよびプレテンション方式でプレストレスの導入されたプレキャストコンクリート床版に焦点を絞り、それらのプレキャスト床版を用いた合成桁の耐荷性・耐久性、ずれ止めの挙動、クリープリラクセーション等の基本的な特性についての調査研究を行ってきた。また、このようなプレキャスト床版を用いた合成桁橋の試設計を行い、その経済性についても多方面から検討を加えた。

これらと並行して、本共同研究グループでは、道路橋においてプレキャスト床版を使用する種々な橋梁、すなわち、単純合成桁をはじめとし連続合成桁およびその他これに準ずる橋梁形式にも適用が可能な設計・施工指針（草案）の作成を試みた。

本文ではプレキャスト床版を用いた合成桁橋の概要について説明し、あわせて単純合成桁橋を対象としてとりまとめられた設計・施工指針（草案）の特徴となる諸点を抜粋して紹介するものである。

2. プレキャスト床版合成桁の概要

2.1 プレキャスト床版の種類

現在のところ、橋梁構造物に活用し得るプレキャスト化された床版は、大別すると以下の3つの工法に分類される。

1) 型枠を工場製作するもの

鋼板、GRCあるいは薄いプレストレストコンクリート板を工場で作製し、それらを鋼桁上に敷き並べた後、鉄筋の組立てを行って、コンクリートを打設するもの。

2) 型枠と鉄筋を工場製作するもの

鋼板あるいはGRCを用いた型枠および鉄筋あるいは形鋼を工場で作製加工し、現場では、コンクリ

ートのみを打設するだけでよいもの。

3) 床版本体を工場製作するもの

床版本体を複数のパネルに分けて工場で製作し、現場では床版パネル相互の接合および床版と鋼桁との結合のみを行うもの。

これらの床版を構造的な面から整理すると、a)鋼板とコンクリートとの合成床版、b)薄いプレストレストコンクリート板を型枠として用いる合成床版、および、c)プレキャストの鉄筋コンクリート床版あるいはプレストレスの導入されたプレキャストコンクリート床版等が主なものであろう。

本文では、プレキャスト床版の基本的な構造として、床版の施工期間が大幅に短縮されるとともに品質の向上も期待でき、完全なプレキャスト化が可能な鉄筋コンクリートのプレキャスト床版およびプレストレスの導入されたプレキャストコンクリート

床版に調査研究の焦点を絞った。これは、上述のプレキャスト床版が合成桁をはじめとし、それに準じた橋梁に有効に利用でき、コンクリート床版の品質の向上やプレストレスの導入によってコンクリートのひび割れが極力防止できること、また橋梁の維持・管理等も含めた総合的な見地から検討しても、従来の鉄筋コンクリート床版を用いる場合よりも広い意味で経済的になる可能性があるかと判断したからである。

プレキャスト板相互の橋軸方向の接合法には、プレストレスを与えない方法と与える方法の2種類の方法が考えられる。前者については、たとえばプレキャストコンクリート板間にせん断形の継手を設けて、接着剤やセメントモルタル等を塗布・注入する方法もある。しかし、継目の構造がやや複雑になり、仕上りの精度にも十分注意して製作する必要があるうえ、この部分の耐久性についても慎重な調査を行って問題のないことを確認する必要がある

と考えられた。そこで、本文では、プレキャストコンクリート板の製作や運搬が容易で、継目部の施工も現場で容易に行え、さらに耐久性についても十分な確証が得られているプレストレスを与えてプレキャストコンクリート板相互を一体化する方法に着目することとした。

以上に述べた諸点を分類・整理すると、図-1に示すようにまとめられる。

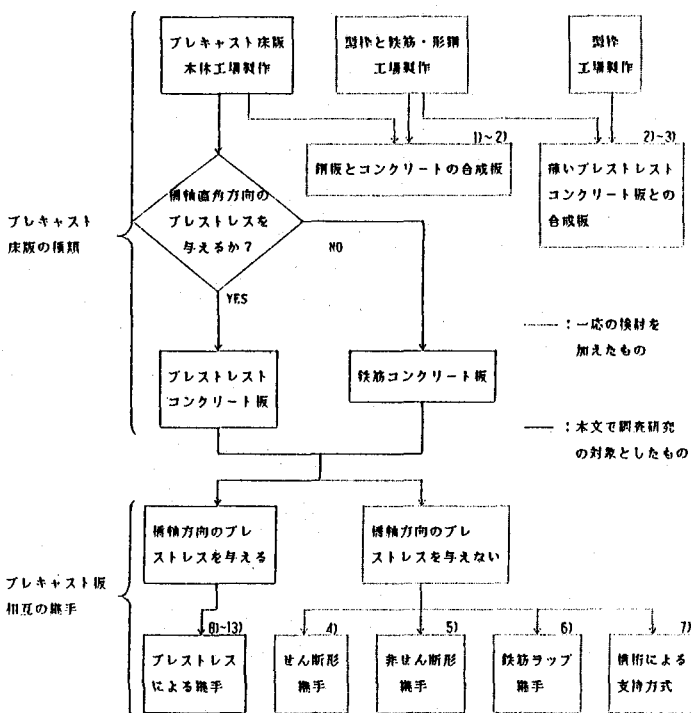


図-1 本文で対象としたプレキャスト床版の種類と床版間の接合法

2.2 プレキャスト床版合成桁の構造と施工順序

(A) プレキャスト床版合成桁の構造

図-2には、プレキャスト床版合成桁の標準的な構造を示す。この図で、プレキャストコンクリート板は、製作・運搬の容易さから、橋軸方向には1m程度のものが適切ではないかと考えている。

(B) プレキャスト床版合成桁の施工順序

まず、プレキャストコンクリート板を図-3に示すように、鋼桁上に設置するが、橋軸方向の版としての一体化を図るために、プレキャスト板間の継目部にセメントモルタル等を注入して接合し、それらの強度が所要の値に達したのち、プレキャスト板内にあらかじめ挿入したプレストレス材で橋軸方向に緊張する。

つぎに、プレキャスト板に前もってあけておいたジベル孔(図-2参照)にセメントモルタルを流し込んで、鋼桁と合成する。

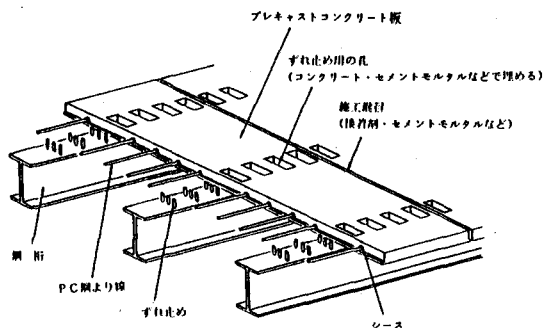


図-2 プレキャスト床版合成桁の標準的な構造

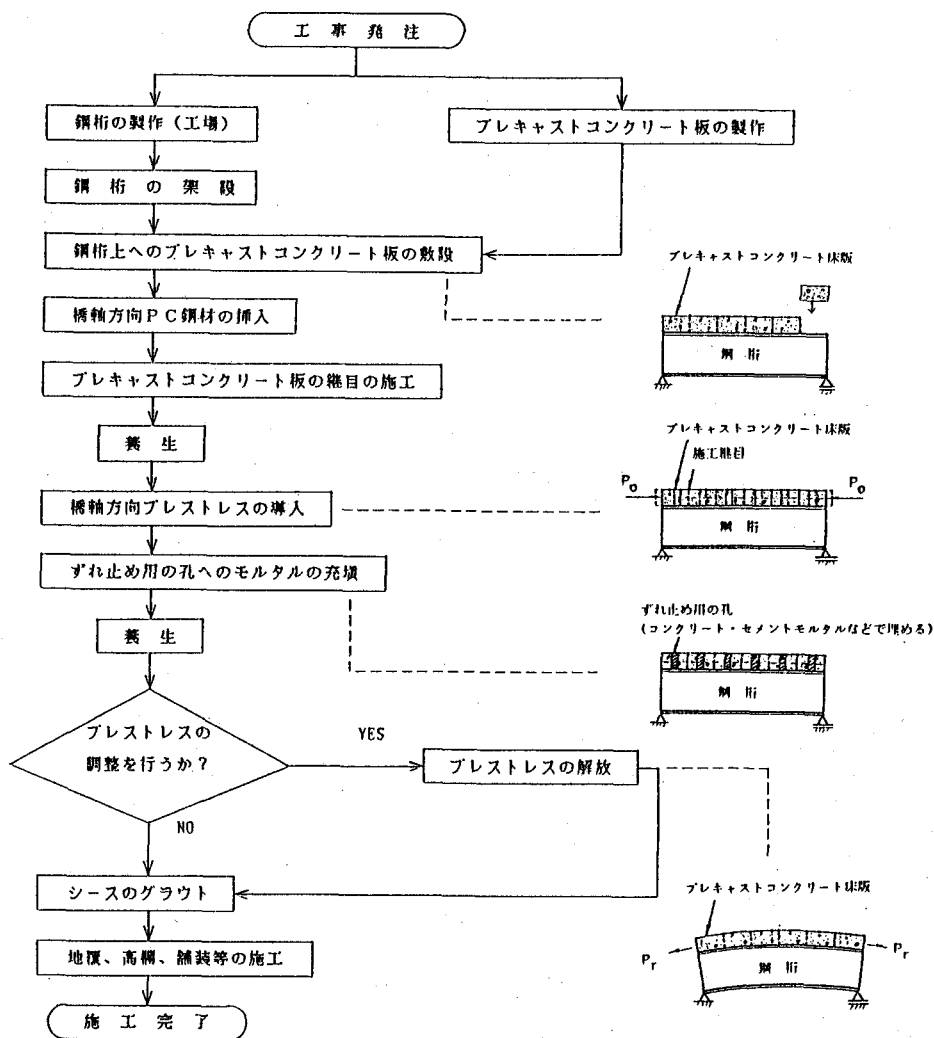


図-3 プレキャスト床版合成桁の施工順序

この際、床版に導入するプレストレス力をあらかじめ余分に与えておき、プレキャスト板と鋼桁との合成後に余分のプレストレス力を一部分解放して調整すれば、床版にプレストレスを残存させておくことはもちろん、合成桁には負の曲げモーメントを与えることができ、単純合成桁の場合には、図-4に示すように、正の曲げモーメントが減少し、より一層の経済性が図れる。

したがって、図-3のプレキャスト床版合成桁の施工順序では、プレストレスを調整する場合としない場合との2つの使い分けが考えられる。

2.3 ずれ止めの合成作用

ずれ止めの合成作用については、最近、小松等¹⁴⁾によると、次式で与えられるフレキシビリティ定数 s で評価できることが明らかにされている。

$$s = \sqrt{k_0 / k} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$$\begin{aligned} k &: \text{スタッドの橋軸単位長さ当りのバネ定数 (t/cm/cm)} \\ k_0 &= 20 \text{ t/cm/cm} \quad \dots\dots\dots (2) \\ &: \text{基準バネ定数} \end{aligned}$$

そして、有限要素法を用いて並列1桁あるいは箱桁で構成される合成桁橋について各種のパラメトリック解析が行われ、ずれ止めの合成作用をフレキシビリティ定数 s によって、次のように区別している。

$$\left. \begin{aligned} \text{完全合成桁} &: s \cong 0 \\ \text{弾性合成桁} &: 0 < s < 7 \\ \text{非合成桁} &: s \geq 7 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

一般的なスタッドとして、 $\phi-19$ を3~4本、ピッチ20cm程度に配列すれば、 $s = 0.7 \sim 0.8$ 程度となり、数多くの数値計算からほとんど完全合成桁として解析してよいことが示されている。

以下で紹介するプレキャスト床版合成桁橋の設計・施工指針(草案)では、連続合成桁についても適用範囲に入ると考えている。しかし、連続合成桁で最も重要な問題としては、ある程度のプレストレスをプレキャスト床版内に導入しているものの、中間支点上の負の曲げモーメントによって生ずる引張力に対してどのように対処するかということである。

その対応策の一つとしては、中間支点上のプレキャスト床版に新たなプレストレス材を加え、それによりプレストレスを導入する方法が考えられる。もう一つの方法として、中間支点上近傍を弾性合成桁や非合成桁とすることが考えられる。

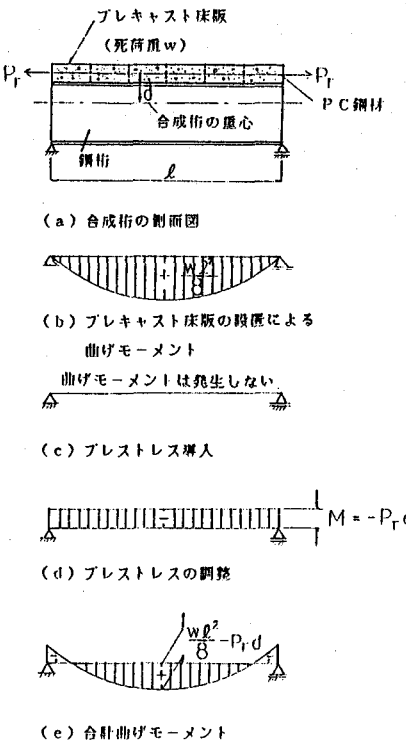


図-4 プレストレスの調整による主桁の曲げモーメントの変動

3. ブレキャスト床版合成桁の設計・施工指針（草案）の概要紹介

本指針（草案）は、次の5つの章から成り立っている。

- 第1章 総則
- 第2章 使用材料
- 第3章 設計一般
- 第4章 設計細目
- 第5章 施工

以下では、各章のうち本指針（草案）独自の条項について抜き出し、必要なものには解説を加えることにする。

3.1 総則

第1章は、1.1 適用の範囲と1.2 定義とからなり、本指針（草案）に示されていない事項はそれぞれ道路橋示方書、コンクリート標準示方書、およびプレストレストコンクリート標準示方書によるものとし、用語の定義は以下のように定めている。

この指針（草案）で用いる用語を、つぎのように定義する。

- (1) ブレキャストコンクリート板……………適性な管理のもとで製作された鉄筋コンクリートまたはブレキャストコンクリートの板をいう。
- (2) ブレキャスト床版合成桁……………ブレキャストコンクリート板を鋼桁上に敷設した後、緊張材によってこれに橋軸方向のプレストレスを導入した活荷重合成桁をいう。
- (3) プレストレスの調整……………ブレキャスト床版と鋼桁を合成した後、プレストレスを解放することをいう。

ブレキャストコンクリート板は、本指針（草案）では、床版の支間方向にプレストレスの与えられていない鉄筋コンクリート製のものと、プレテンション方式によってプレストレスの与えられているプレストレストコンクリート板の2種類を対象としている。

プレストレストコンクリート板は、コンクリートのひびわれに対する供用性に優れているので、コンクリート床版のひびわれを極力防止する必要がある場合に用いるとよい。

3.2 使用材料

第2章は使用材料について述べており、2.1 鋼材、2.2 コンクリート、2.3 接合に用いる材料、2.4 緊張材被覆材料、2.5 シース、2.6 橋面防水、ならびに2.7 定着具および接続具から成り立っている。

まず、2.1 の鋼材は、道路橋示方書・同解説・鋼橋編に示されたもののほかに、接合用のスタッドと緊張用の鋼材を追加し、次のように定めている。

鋼材は、道路橋示方書・同解説・共通編・3.1 の規格に適合するもののほか、表2.1.1 に示すものを標準とする。

表2.1.1 鋼 材

鋼材の種類	規 格		鋼材記号
接合用鋼材	JIS B 1198	頭付きスタッド	
線材二次 製品	JIS G 3536 相 当	低リラクセーションP C 鋼材およびP C 鋼より線	19本より線：SWPR19
鋼 棒	JIS G 3109	P C 鋼棒	異形棒 C 種 1 号：SBPD110/125 異形棒 D 種 1 号：SBPD130/145

プレキャスト床版に鋼桁方向のプレストレスを与えるためのP C鋼材は、プレストレスの導入や調整作業の効率化を図るため、その使用本数を少なくするのが望ましいので、多層のP C鋼より線を使用してよいものとした。

また、P C鋼棒には、異形棒C種、D種を追加した。この中には、低リラクセーション異形棒C種およびD種も含まれるものとする。これらのP C鋼棒は、道路橋における使用実績はほとんどないが、P Cパイルなどにはかなりの使用実績があるので、プレキャストコンクリート板に使用できるものとした。

つぎに、2.2 のコンクリートの条項では、設計基準強度を以下のように定めている。

プレキャストコンクリート板および現場で施工する床版に用いるコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は、 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上を原則とする。

$\sigma_{ck} = 400\text{kg}/\text{cm}^2$ とした理由は、以下のとおりである。

- 1) 床版にあまり強度の高くないコンクリートを用いると、プレキャスト床版合成桁の有利性がなくなる。
- 2) P C工場製品は、おおむね $400\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 600\text{kg}/\text{cm}^2$ の強度を有しているので、 $\sigma_{ck} = 400\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上とした。

3.3 設計一般

第3章は、3.1 設計図、3.2 荷重、3.3 応力度の計算に必要な基準、3.4 許容応力度、3.5 降伏応力に対する安全度の照査、3.6 そり、および、3.7 設計計算などの内容から成り立っている。

3.4 の許容応力度においては、3.4.3 に許容応力度の割増しの項が設けられており、この割増し率についてはほぼ道路橋示方書・同解説・鋼橋編によるものとした。

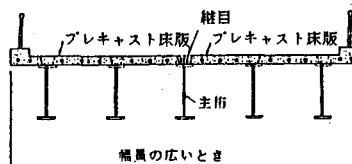
ただし、施工時荷重の割増し率は道路橋示方書・同解説・鋼橋編において25%と定められているが、本指針が対象としているプレキャスト床版は、重量がある程度把握でき、厳密な作業管理が可能となるので35%

に割増し率を上げることができるものとしている。

3.4 設計細目

第4章の設計細目では、4.1 床版の設計、4.2 鋼桁の設計、4.3 ずれ止めの設計、4.4 地覆および高欄の設計、ならびに、4.5 横構および対傾構の設計が述べられている。

4.1 の床版の設計の条項では、4.1.2 床版の種類と配置法が定められている。道路幅員が広くなり10mを超える場合、輸送や架設時の条件から縦方向の継ぎ目を設けることになるが、このときは図-5のように継ぎ目を主桁上に配置することを推奨している。



主桁上に継ぎ目を設ける場合

図-5 プレキャスト床版の配置例

プレキャスト床版の最小厚は、多数の試設計を行って、次のように定めることとした。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">(1) 橋軸直角方向にプレストレスを与えないプレキャスト床版の最小厚は、道路橋示方書・同解説・鋼橋編・6.1.5 によるものとする。(2) 橋軸直角方向にプレストレスを与えるプレキャスト床版の最小厚は、16cmとする。(3) 歩道部分の床版の最小厚は、14cmとする。 |
|--|

橋軸直角方向にプレストレスが与えられていない鉄筋コンクリート構造のプレキャスト床版は、床版コンクリートに引張応力が発生するのを容認する設計となるので、道路橋示方書・同解説・鋼橋編によるものとした。

橋軸および橋軸直角の2方向にプレストレスを与えるプレキャスト床版は、プレストレスによって床版コンクリートに引張応力が発生しないようにすることができるので、鉄筋コンクリート構造のプレキャスト床版よりも床版厚を薄くできるものとした。

3.5 施工

第5章の施工については、ほとんどプレストレストコンクリート標準示方書に準拠しているので、その詳細はここでは省略する。

4. プレキャスト床版合成桁の構造詳細

表-1には、本指針(草案)で対象としたプレキャスト床版合成桁の適用範囲に入る施工例のうちの主なものを示す。この表に示すように、プレストレスを導入するプレキャストコンクリート床版を用いる橋梁の構造形式としては、単純合成桁をはじめ、連続合成桁、連続非合成桁、さらにアーチ橋等があり、プレキャストコンクリート床版が広範囲にわたって橋床として使用されていることがわかる。

表-1 プレストレスを導入するプレキャスト床版合成桁の施工例

国名	橋名	橋格	橋長 (m)	有効幅員 (m)	橋種	プレキャスト板の 構造	施工年度	備考
日本	滑下橋 ⁸⁾	1等橋	59.0	8.0	2径間 連続 非合成桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: RC構造	昭和48年	中間支点上の 床版応力は合 成桁で計算
	府内大橋	1等橋	272	7.54	ゲルバー 桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: PC構造	昭和60年	既存床版の 取替
	はばたき ⁹⁾ の橋	歩道橋	59.0	6.0	3径間連 続合成桁	橋軸: PC構造	昭和60年	プレストレス の調整実施
				7.0	ラーメン	橋軸直角: PC構造		
	龍ノ崎橋 ¹⁰⁾	農道橋 (TL-10)	31.3	3.0	単純 合成桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: RC構造	昭和61年	プレストレス の調整実施
	井根地橋 ¹⁰⁾	2等橋 (TL-14)	31.4	4.0	単純 合成桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: RC構造	昭和61年	プレストレス の調整実施
米国	板屋ヶ瀬 側道橋 ¹⁰⁾	歩道橋	113	2.5	単純 合成桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: RC構造	昭和61年	プレストレス の調整実施
	Woodrow Wilson Memorial Bridge ¹¹⁾	道路橋 (HS- 20-44)	1798	11.6 x 2	非合成桁	橋軸: PC構造 橋軸直角: PC構造	昭和59年	床版の取替、 床版と鋼桁と はスライドが 可能
	Fremont Street Bridge ¹²⁾	道路橋 (HS- 20-44)	91.5	13.2	コンク リート アーチ	橋軸: RC構造 橋軸直角: PC構造	昭和59年	床版の取替、 橋軸直角方向 がPC構造

ここでは、これらの施工例を参照にしてプレキャストコンクリート板、プレキャストコンクリート板相互の継手、および、鋼桁との結合部の構造詳細例を、それぞれ図-6～9に示す。

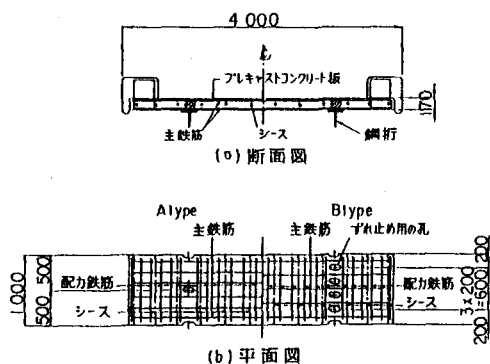


図-6 1方向プレストレストプレキャスト
コンクリート板の構造詳細例

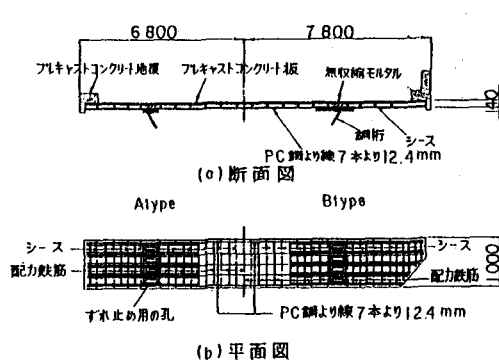
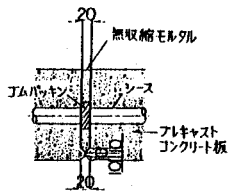
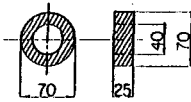


図-7 2方向プレストレストプレキャスト
コンクリート板の構造詳細例



(a) 継目の構造



(b) ゴムパッキン

図-8 継目の構造詳細例

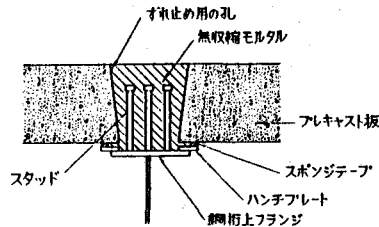


図-9 プレキャストコンクリート板と鋼桁との結合部の構造詳細例

5. あとがき

最近、とみに複合構造物に土木技術者の注目が集まり始めているようである。合成桁もこの範疇に入り、古くは西ドイツの斜張橋 Düsseldorf-Flehe 橋において主径間を鋼桁として、側径間をコンクリート桁として負反力をとる構造が採用され、いままたスウェーデンの Tjörn 新橋においても同様の構造が採用されている。カナダの斜張橋 Annacis 橋では、主桁をプレキャストコンクリート床版と鋼桁との合成構造とし、横桁は重量を軽減させるために鋼桁としている。

このように異種の材料を組み合わせ、それらの材料の持つ個有の特長を十二分に発揮できる複合構造物もしくは混合構造物が大いに活用されることは、論をまたないところであろう。

このような時期に、プレキャスト床版を用いた合成桁橋の共同研究グループを発足させ、2年間の活動の結果、一応の成果をまとめることができたので、本文で報告した次第である。ここに、共同研究グループに御支援を賜った土木学会関西支部の関係各位、ならびに、骨身を惜しまず御協力を頂いた各委員に深謝の意を表する次第である。

なお、今回の設計・施工指針(草案)は、当共同研究グループ内で一応のコンセンサスが得られた部分のみをとりあえずまとめたもので、今後、さらに詳しい調査・研究を行いたいと考えている。幸いこのたび、土木学会関西支部のはからいで、昭和61年度の研究委員会として約9ヶ月をかけて調査・研究を継続する機会が与えられたので、残された以下のような項目をメインテーマとして鋭意研究に取り組みたい。

- (1) 連続合成桁等への適用法の検討
- (2) クリープ・リラクセーションの実用的計算法の開発
- (3) 桁端部、高欄、中央分離帯等の構造および施工法の検討
- (4) 既設橋梁の床版打替工事への適用法の検討

そして、これらの成果に基づいて、プレキャスト床版合成桁の設計・施工指針(案)としてまとめていく予定にしている。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会鋼コンクリート合成構造小委員会：鋼とコンクリートの合成構造に関する調査研究報告書、土木学会、昭和58年 3月、p p.43 ~47.

- 2) 土木学会関西支部共同研究グループ：道路橋鋼およびコンクリート合成床版の設計法に関する研究、報告書、昭和59年 5月。
- 3) 阪神高速道路公団・PC構造物検討委員会：PC埋設型枠を用いた鋼道路橋床版の設計施工、橋梁と基礎、Vol.20、昭和61年 5月、pp. 1～7。
- 4) 南 隆、沼沢義弘、木田光良、恩田真人、高松満：茶志別橋の床版打換え工事、橋梁と基礎、Vol.18、No. 5、昭和59年 5月、pp. 37～44。
- 5) 中野昭郎、大槻正幸、渡辺正武、社方一馬：プレキャストスラブ合成桁、構造物設計資料、(社)日本鉄道施設協会、No. 40、昭和49年12月、pp. 2～7。
- 6) 角田安一、山寺徳明、関沢進、北島彰夫：首都高速道路5号線に採用したプレキャスト床版、橋梁と基礎、Vol. 5、昭和46年 3月、pp. 34～42。
- 7) 比留間：花輪跨道橋工事報告、道路、第289 および 290号、昭和40年 3月および 4月
- 8) 栗崎敏夫、石井久善、中井智：PC縦締めを用いたプレハブ床版の設計と施工、土木技術、Vol.29、No.5、1974年 5月、pp. 57～67。
- 9) 土木学会関西支部共同研究グループ：プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究、報告書(1)、昭和60年 6月。
- 10) 土木学会関西支部共同研究グループ：プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究、報告書(2)、昭和61年 6月。
- 11) Luts, J.G. and Scalia, D.J.: Deck Widening and Replacement of Woodrow Willson Memorial Bridge, PCI Journal, Vol.29, May-June 1984, pp.74～93。
- 12) Smyer, W.L.: Rehabilitation of the Fremont Street Bridge, PCI Journal, Vol.29, September-October 1984, pp.34～51。
- 13) 中井博、竹中裕文、喜田浩：プレキャスト床版を用いた合成桁の自動車走行のもとにおける耐久性の実験的研究、土木学会構造工学論文集、Volume 32A、1986年 3月、pp. 81～92。
- 14) 小松定夫、佐々木孝：不完全合成桁の理論と近似計算法について、土木学会論文報告集、第 329号、1983年 1月、pp. 27～37。
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編Ⅱ鋼橋編、丸善、昭和55年 2月
- 16) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編Ⅲコンクリート橋編、丸善、昭和53年 1月
- 17) 土木学会：コンクリート標準示方書、技報堂、昭和55年 4月
- 18) 土木学会：プレストレストコンクリート標準示方書、技報堂、昭和54年 1月
- 19) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)、技報堂、昭和58年11月