

PPCS工法について

PPCS METHOD

岸田博夫¹⁾竹中裕文²⁾

SYNOPSIS

Since the first application 6 years ago, the use of the PPCS method for construction of bridge slabs have been increasing, due to the slab durability and the shortening of the construction period offered by the method. The present method can be suggested as a solution for the difficulties of a good quality control in the fabrication of the concrete mold and reinforcement, as well as a means of improving the efficiency of slabs construction. Thus, besides the single span composite girder, which has been the most frequent application so far, these slabs are being gradually applied to other structural types of bridge, such as composite continuous girder bridges, rigid-frame bridges and Nielsen-Lohse bridges.

The present report provides the outlines of the PPCS method together with some examples of practical application.

1. まえがき

PPCS (=Prestressed precast concrete Slab) 工法を用いた橋梁が建設されはじめて以来、約6年が経過しているが、この間、現場における床版の施工期間の短縮および耐久性の向上等を図るため、この工法が採用されるケースが急増している。また、近年、鉄筋コンクリート床版(以下、PC床版という)の施工に不可欠な鉄筋工や型枠工といった熟練技能者を確保することが困難になりつつあり、床版施工の合理化対策としても極めて有効な工法であると考えられる。このような背景から、本工法は、単純合成桁橋はもとより連続合成桁橋、ラーメン橋、ニールセンローゼ桁橋等、様々な構造形式の橋梁に用いられるようになってきた。

本文は、上述のPPCS工法の特徴および一連の実験・研究の概要を述べるとともに、種々な適用例について報告するものである。

2. PPCS工法による合成桁橋の基本構造と施工法

2.1 基本構造

図-1には、プレキャストコンクリート板(以下、PC板といい)の構造概要を示す。このPC板には、鉄筋コンクリート製のものと、幅員方向にプレテンション方式でプレ

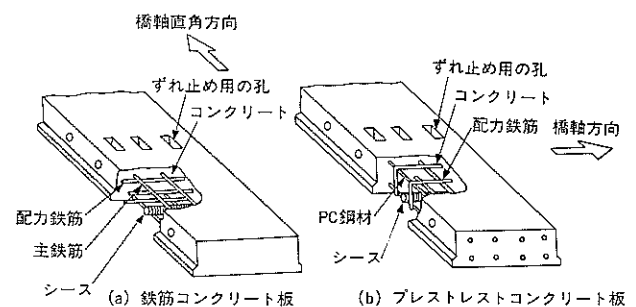


図-1 プレキャストコンクリート板の構造

レスを与えたものとの2種類がある。これらは、橋梁の規模、交通荷重の大きさや量および補修の難易度等を考慮して選定している。

図-2には、本工法によって建設される橋梁の基本構造を示す。上述のPC板を橋床として用い、橋梁の構造形式に応じた橋軸方向のプレストレスの導入・解放を行うことにより、種々なタイプの橋梁に適用することができる。もちろん、鋼桁の断面形状としては図中のI形断面のものだけでなく箱断面のものに対しても用いられている。

2.2 施工法

図-3には、PPCS工法によるPC床版の標準的な施工手順を示す。

鋼桁上へのPC板の敷設は、現場の条件等に応じて種々な

1) 取締役設計技術部長 技術士(建設部門) Hiroo KISHIDA

2) 設計技術部技術開発課長 技術士(建設部門) Hirofumi TAKENAKA

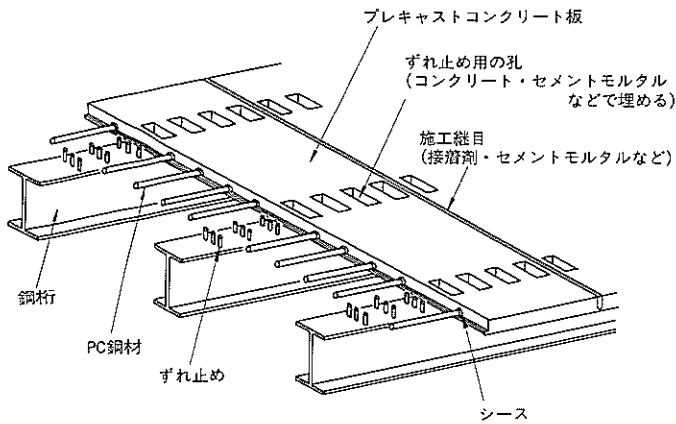


図-2 PPCS合成桁橋の構造

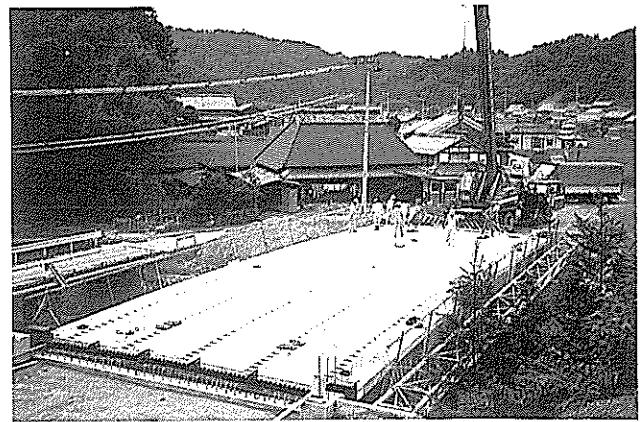


写真-1 トラッククレーンによるPC板の敷設

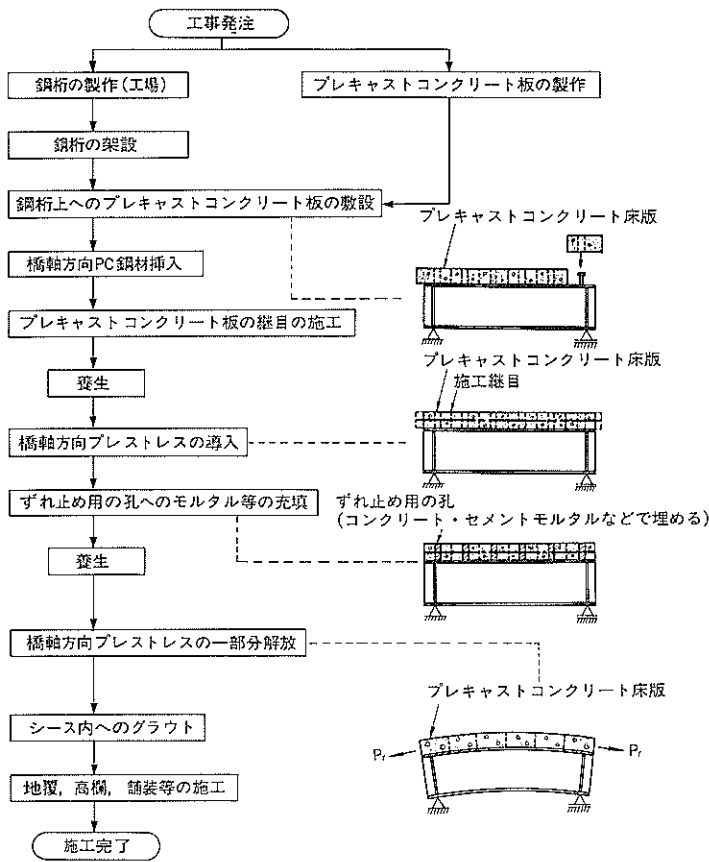


図-3 PPCS工法の施工順序

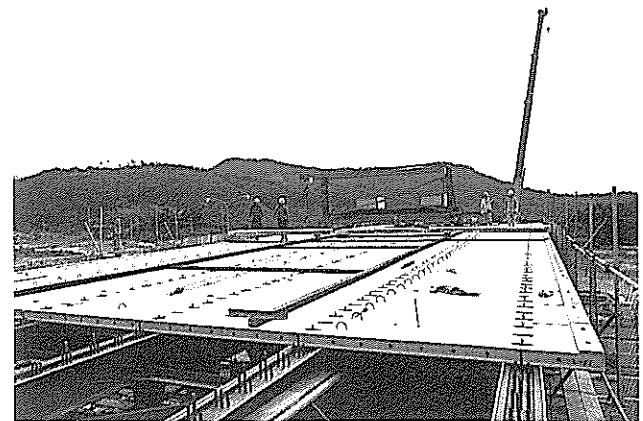


写真-2 専用クレーンによるPC板の敷設

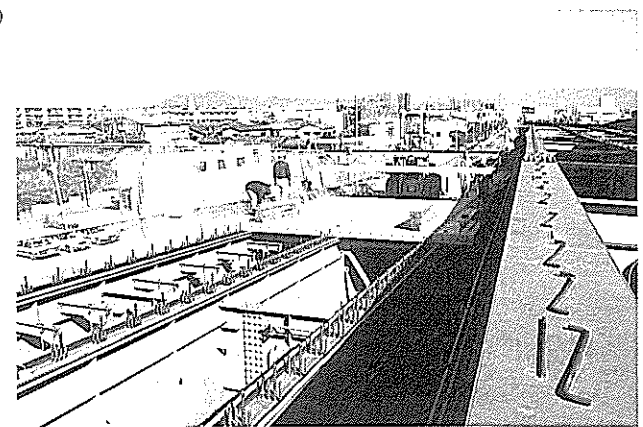


写真-3 フォークリフトによるPC板の敷設

方法により行うことができる。それらの代表的なものを、写真-1～3に示す。写真-1は、トラッククレーンによるPC板の敷設状況を示しており、写真-2には敷設されたPC板上面のレール上を移動できる専用クレーンによる敷設状況を示す。さらに、写真-3は、橋台側の桁端部から順次、フォークリフトを用いて敷設を完了したPC板を踏み板にして敷設を進めている状況を示している。

なお、PC床版への橋軸方向プレストレスの導入・調整は、PPCSジャッキを用いて、安全かつ確実に行うことができる。

2.3 特徴

図-4には、PC床版に導入した橋軸方向のプレストレスの一部分解放に伴う単純合成桁橋および連続合成桁橋の主桁に生じる曲げモーメントの分布を示す。この図に示すように、単純桁の場合には、主桁に作用する正の曲げモーメントを低減することができる。また、連続桁の場合には、中間支点上においてPC床版に所定のプレストレスを残存させると同時に、主桁に作用する中間支点上の負の曲げモー

メントも低減することができる。したがって、耐久性に優れた床版を短期間に施工することができるだけでなく、主桁を経済的に設計することも可能となる。さらに、後述するコンクリートのクリープ・リラクゼーション現象に関する実験結果から、プレストレスの一部分解放により、コンクリートのクリープ性状も改善されることが明らかにされている。

表-1には、PPCS工法の種々な特徴を示す。

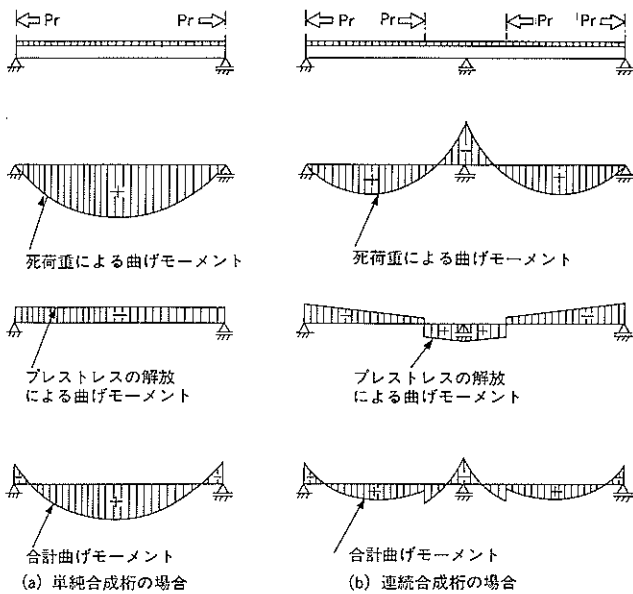


図-4 プレストレスの解放による曲げモーメント

表-1 PPCS工法の特長

- ・工期が大幅に短縮される。
- ・床版の耐久性が著しく向上する。
- ・万一、ひび割れが発生してもそれ以上進展しない。
- ・現場での床版の品質管理が簡略化される。
- ・床版の品質が向上する。
- ・高所作業における安全性が向上する。
- ・鋼重、桁高の低減が可能である。

3. 研究開発の経緯

3.1 概要

PPCS工法に関する一連の研究開発は、昭和58年10月より開始したが、それらの項目は下記に示すとおりである。

- (1) PPCS工法による合成桁の応力調整法および耐荷力に関する実験的研究 (昭和58年10月～昭和59年3月)
- (2) PPCS工法による合成桁の自動車走行のもとにおける耐久性に関する実験的研究 (昭和59年4月～昭和60年4月)
- (3) プレキャスト床版の継目部の連続性と耐荷力に関する実験的研究 (昭和61年6月～昭和62年3月)
- (4) プレキャスト床版を用いた連続合成桁のクリープ・リラクゼーション現象に関する研究 (文部省科学研

究費補助金・試験研究(1), 昭和60年4月～昭和63年3月)

- (5) 実橋における応力測定および載荷実験 (空港通ランブ橋, 菅原城北大橋アプローチ橋, 他)

そして、これらの研究成果は、文献1)～12)に示されているが、文献1)には「プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工指針(案)」として設計・施工に役立つようまとめられている。

以下では、上述の実験・研究の概要を述べることにする。

3.2 PPCS合成桁の静的挙動と耐荷力に関する実験的研究

写真-4に示すような模型桁4体をPPCS工法によって製作し、PC床版への橋軸方向プレストレスの導入・解放による応力、および、破壊荷重を調べた。図-5および表-2には、実験結果の一例を示す。図-5は、荷重とたわみとの関係を示したものである。また、表-2は、最終的な破壊荷重を計算値と比較して示すものである。

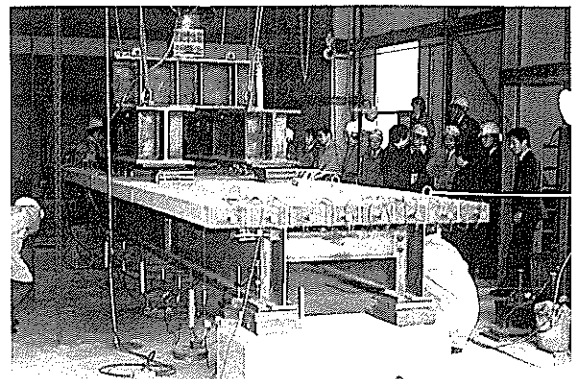


写真-4 耐荷力実験の模型桁

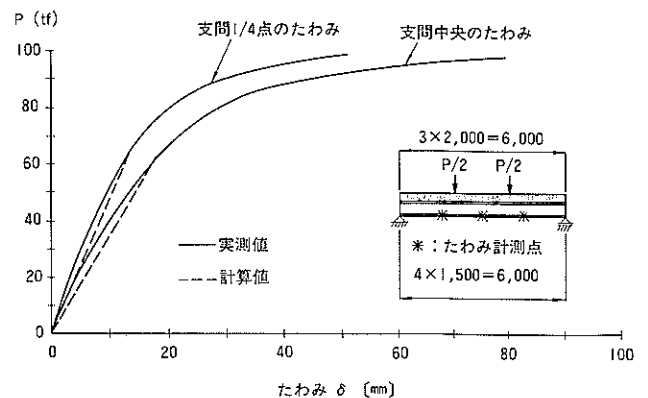


図-5 模型桁の荷重-たわみ曲線

表-2 実験桁の破壊荷重 P_u

供試体	測定値 (kN)	計算値 (kN)	測定値 / 計算値
Type 1-1	1,060	1,000	1.06
Type 1-2	1,070	990	1.08
Type 2-1	1,060	990	1.07
Type 2-1	1,060	990	1.07

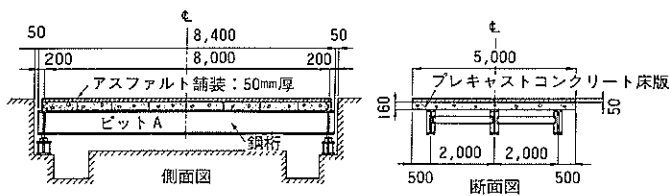
本研究で得られた結論を要約すると、次のとおりである。

- (1) PPCS工法によって製作された桁では、プレストレスの解放によって、ほぼ計算どおりの応力を合成桁に発生できることが確認された。
- (2) そして、従来のRC床版を有する合成桁と比べても、ほとんど差異のない剛度を有していることがわかった。
- (3) また、平面保持の法則に従う挙動をし、初等ばり理論によって応力計算ができることが明らかにできた。
- (4) プレキャスト床版と鋼桁とは、ジベル孔へ無収縮モルタルを打設して断続的に結合されているが、鋼桁と床版との相対ずれは小さく、破壊のパターンもコンクリート床版の圧潰であったことから、鋼桁と床版とは十分有効に合成されていることがわかった。
- (5) PPCS工法によって製作された桁は、合成桁として十分な耐荷力を有していることも確かめられた。

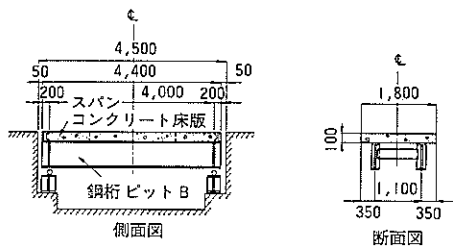
3.3 PPCS合成桁の耐久性に関する実験的研究

PPCS工法による合成桁の耐久性を調べるため、図-6および表-3に示すような供試体を製作し、写真-5に示す自動車走行装置を用いて繰返し移動荷重を行なった。自動車の走行回数は62.5万回にも達し、その間、種々な力学的特性の変化、および、ひびわれの発生・進展の状況を調べた。

図-7には、実験結果の一例である、小型模型桁のコンクリート床版下面のひびわれの発生・進展状況を示す。なお、2方向にプレストレスを与えた供試体ではひびわれが全く生じず、この図からは除いてある。



(a) 大型模型桁G-1(単位mm)



(b) 小型模型桁G-2~G-5(単位mm)

図-6 耐久性試験供試体

表-3 各供試体床版の構成

模型桁	床版種別	支持条件	枚数	床版厚 (mm)	床版幅 (cm)	使用セメントの種類とコンクリートの強度		床版残存応力 (kgf/cm ²)	
						種別	圧縮強度 (kgf/cm ²)	橋軸方向	幅員方向
G-1	実規模のプレキャスト床	連続板	4	160	500	普通	430	30	0
			4			膨張	430		
			4			普通	530		
G-2	従来RC床版	-	-	100	180	普通	300	-	-
G-3	橋軸方向プレストレス全解放のプレキャスト床版	単純板	2	100	180	普通・膨張	430	0	0
			2			普通	530		
G-4	橋軸方向プレストレス一部解放のプレキャスト床版	単純板	2	100	180	普通・膨張	430	30	0
			2			普通	530		
G-5	橋軸・橋軸直角2方向プレストレストプレキャスト床版	単純板	4	100	180	普通	530	30	54

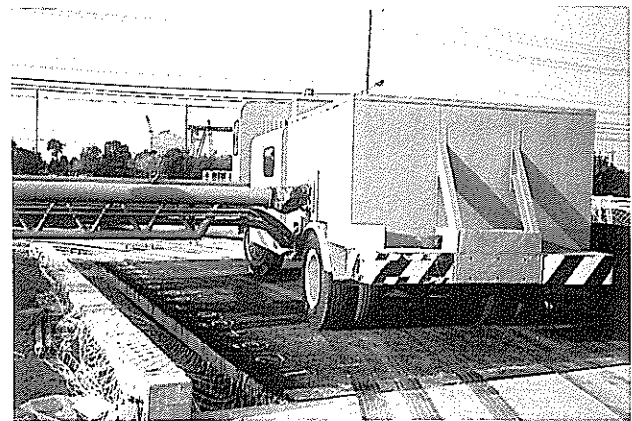


写真-5 PC床版の耐久性実験

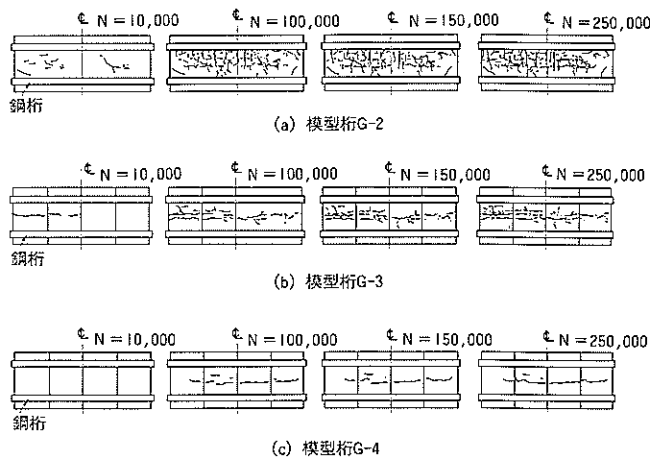


図-7 ひびわれの発生・進展状況

本実験からは、下記の諸点が明らかとなった。

- (1) PPCS工法により製作された合成桁のコンクリート床版は、多数のプレキャストコンクリート版により構成されているにもかかわらず、P.C鋼より線によるプレストレスの導入により、全体が一枚の床版として移動輪荷重に対して抵抗しうる。
- (2) プレキャスト床版に箱抜きされたジベル孔にモルタル充填して鋼桁と合成する方法は、移動輪荷重に対して十分な耐久性が確保される。
- (3) さらに、PPCS工法で製作された合成桁は、合成桁としての機能を走行荷重下でも十分に保持しつづける。
- (4) プレキャストコンクリート床版のひびわれは、膨脹コンクリートを用いるよりもむしろ、適切なプレストレスの導入により効果的に減少させることができる。
- (5) PPCS工法で橋軸方向に導入された床版のプレストレス力は、幅員方向ひびわれはもちろん橋軸方向ひびわれを制御することができる。

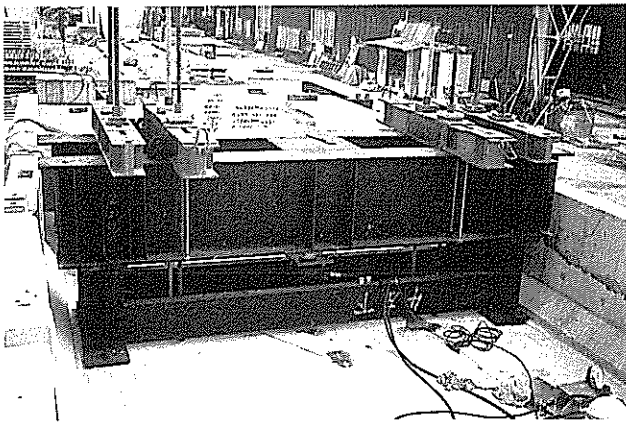


写真-6 PC床版の耐力実験

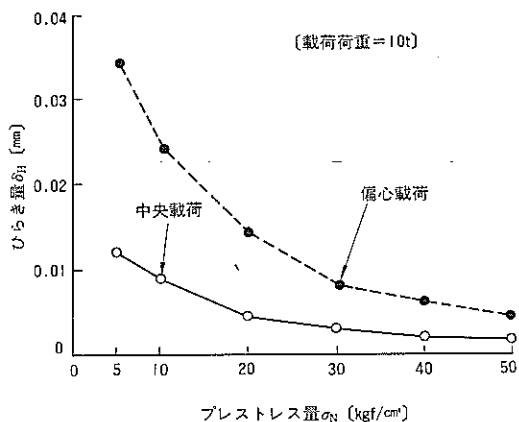


図-8 継目の開き量とプレストレス量との関係

- (6) PPCS工法による床版は、従来のRC床版よりも疲労耐久性にすぐれていると考えられる。
- (7) とくに、2軸方向にプレストレスを導入した場合には、ひび割れの発生を極力防止することができ、重交通を受ける橋梁の床版として利用できると思われる。

3.4 プレキャスト床版の耐荷性に関する実験的研究

写真-6に示すような載荷装置を用いて、実物大のPC床版(厚さ18cm)の継目部の静的挙動および耐荷力を調べた。

図-8~9には、実験結果の一例を示す。

本研究から、PC床版の特性に関して下記の点が明らかになった。

- (1) PC床版の橋軸方向の連続性を確保するためには、コンクリートの応力で約30kgf/cm²のプレストレスが必要である。
- (2) 上述のプレストレスを導入したPC床版のひびわれ発生荷重は、同じ床版厚のRC床版の4~5倍もあった。
- (3) 2方向にプレストレスを与えたPC床版の押し抜きせん断耐力は、同じ厚さのRC床版の耐荷力の約2倍であった。
- (4) 上述の疲労実験の結果から、プレストレス量30kgf/cm²で非常に高い疲労耐久性のあることがわかっている。したがって、最終的に橋軸方向のプレストレス量として30kgf/cm²以上あればよいといえる。

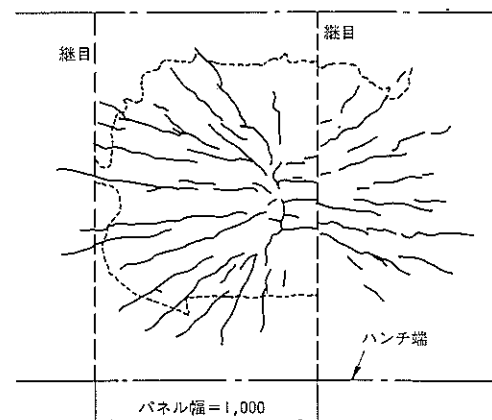


図-9 床版下面のひびわれ状況

3.5 プレキャスト床版合成桁のクリープ・リラクゼーション現象に関する研究

鋼桁とPC床版とを組合せた構造においては、コンクリートのクリープに伴って応力や変位の経時変化が生じる。本研究では、このような問題に対して、PC板単体およびPC床版を有する模型桁の経時挙動を実験的に調べるとともに、線形粘弾性理論および数値逆ラプラス変換を応用した解析により考察を加えている。

図-10には、PC板単位におけるひずみの経時変化の測定結果の一例を示す。また、解析においては、図-11に示すようにPC板単体を線形粘弾性体と仮定しており、図-12には連結合成模型桁の長期計測結果と解析結果とを比較して示す。

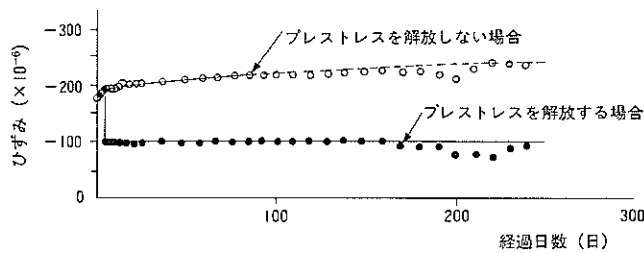


図-10 PC板単体のひずみ経時変化

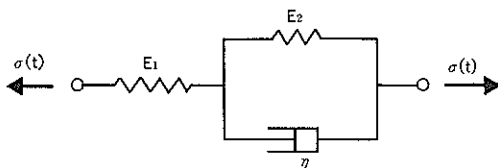


図-11 3要素モデル

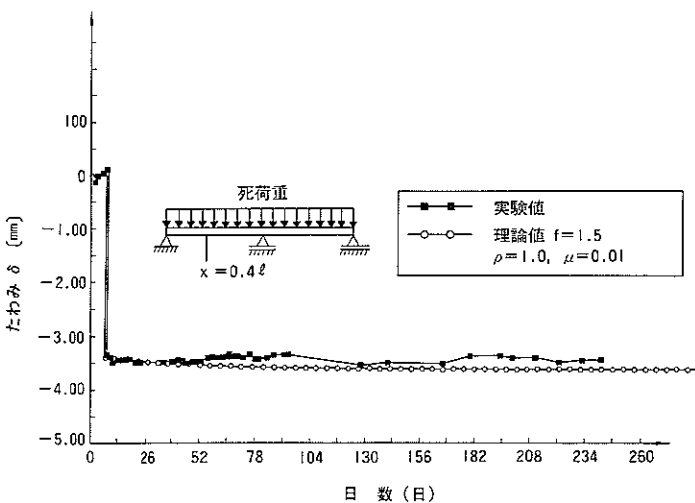


図-12 連続合成桁の鋼桁の表面ひずみ
(断面 $x=0.4l$) $E_s/E_c=7$

本研究から得られた結論は、下記のとおりである。

- (1) プレストレスの50%を解放した供試PC床版では、残存している圧縮応力に伴うクリープひずみがみられなかった。
- (2) PC床版と鋼桁とを組合せた模型桁の経時挙動は、線形粘弾性理論と数値逆ラプラス変換を応用した解析法により、精度よく予測することができる。

なお、別途、写真-7に示すような実物大の供試PC床版のクリープ・乾燥収縮に関する長期計測が現在も継続して行われており、プレストレスの一部を解放した供試体では、解放後のクリープひずみが小さいことが明らかになっている¹⁰⁾。

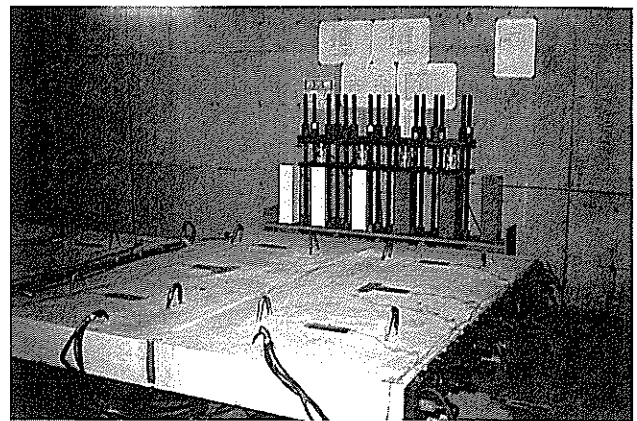


写真-7 PC板単体のクリープ実験

3.6 実橋における実験的研究

PPCS工法が採用された橋梁のいくつかでは、現場において、プレストレスの導入・解放に伴う応力の測定や現場載荷実験等を行って、設計どおりの施工が行われ、所要の性能を有していることを確認している。

ここでは、実橋において行われた計測結果について代表的なものを紹介する。

写真-8には、福岡北九州高速道路の空港通ランプ橋(単

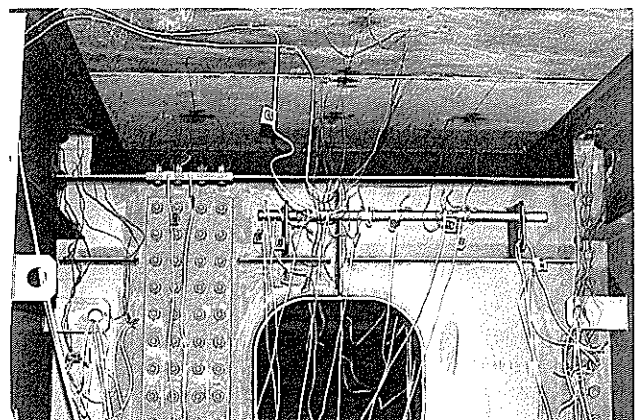


写真-8 現場実験(各種応力の測定)

純合成桁橋)における現場応力測定の状態を示す。また、
 図-13~14には、プレストレスの導入・解放に伴う主桁各部のひずみ測定結果を示す。さらに、図-15には、ダンプトラックの載荷に伴う主桁のひずみ測定結果を示す。これらの図から、プレストレスの導入・解放によって設計どおりの応力が生じており、合成桁としての性能も十分有していることが確認されている。

支間40.0mの2径間連続合成箱桁橋(菅原城北大橋アプローチ橋)においても、表-4に示すように種々な現場実験を行っている。本橋は、連続合成桁であるため、図-16に示すような手順に従ってプレストレスの導入・解放を行っている。すなわち、図中(b)に示すように、床版に作用する引張応力に応じたプレストレスを導入するとともに、両側径間においては、プレストレスの一部分を解放して、中間支点上の負の曲げモーメントおよび鋼重・桁高の低減を図っている。

図-17には、プレストレスの導入・解放に伴う主桁各部のひずみ測定結果の一例を示す。また、図-18には、ダンプトラック8台の静的載荷による主桁のひずみ分布を示す。

現場における種々な計測および載荷実験の結果を要約すると、下記のとおりである。

- (1) プレストレスの導入・解放力は、PC鋼線の伸びとPPCSジャッキ・ポンプの圧力計の示度によって、十分精度よく管理できる。
- (2) 載荷実験および振動実験から、単純あるいは連続合成桁として設計どおりの性能を有していることも確認できた。

表-4 現場実験の概要

実験項目	測定項目
PC床版への橋軸方向プレストレスの導入・解放による応力測定	主桁各部のひずみ、温度、PC床版と鋼桁とのずれ、主桁のたわみ
静的載荷実験	同上
振動実験	固有振動数、減衰率
クリープ・乾燥収縮に関する長期計測	主桁各部のひずみ、温度

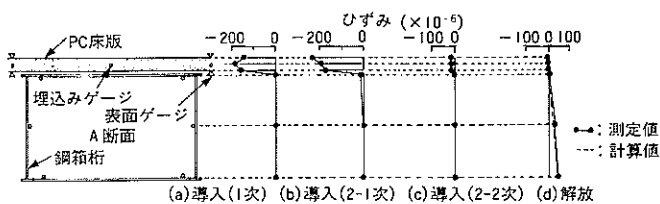


図-17 プレストレスの導入・解放による各部のひずみ分布(中間支点上)

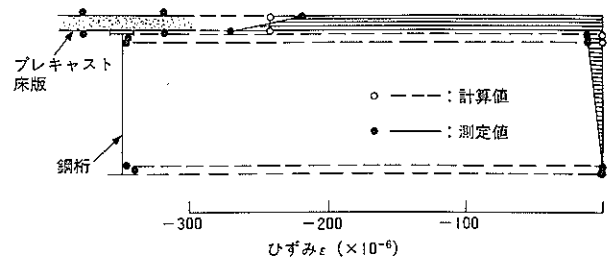


図-13 プレストレス導入による主桁内のひずみ分布

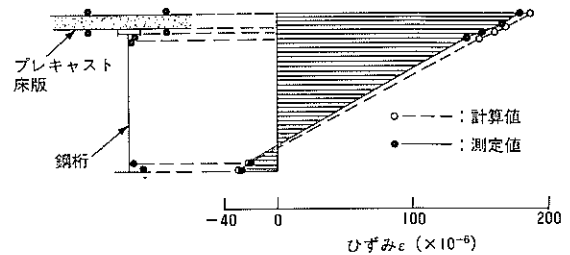


図-14 プレストレス解放による主桁内のひずみ分布

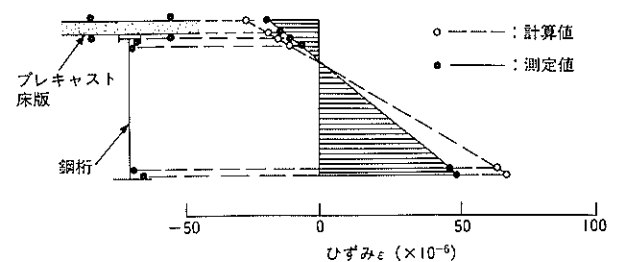


図-15 トラック荷重による主桁内のひずみ分布(G1桁載荷ケース1)

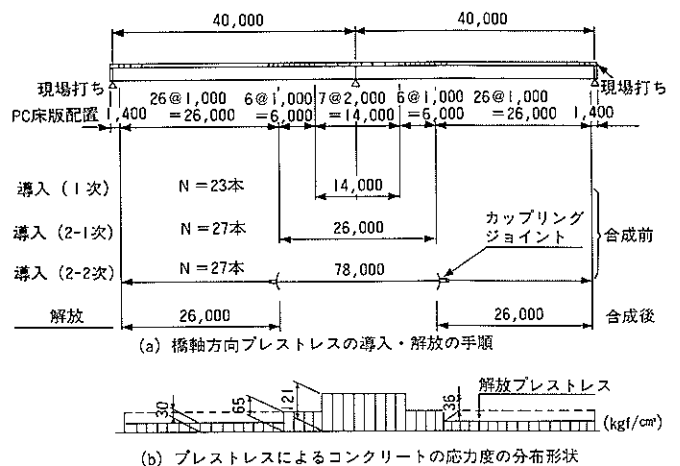


図-16 橋軸方向のプレストレスの導入・解放手順およびプレストレスの分布形状

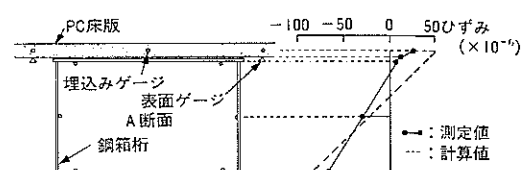


図-18 静的載荷による主桁のひずみ(中間支点上)

4. PPCS工法による橋梁の設計・施工例

4.1 概要

図-19には、本工法によって建設された橋梁の施工面積の変化を示す。現時点において、累計の施工面積は、11,000m²以上となっており、ここ1～2年の間に急増していることがわかる。また、表-5には、これらの橋梁の概要を示すが、様々な構造形式を有する橋梁に用いられており、汎用性の高い工法といえる。

ここでは、上述の橋梁のうちのいくつかを紹介することとする。

4.2 単純合成桁橋

写真-9および10には、単純合成桁橋の施工例を示す。写真-9に示す空港通ランプ橋（3連）は、支間39.3m、有効幅員5.25mで、都市高速道路の高架橋として最初に本工法が採用されたものである。

4.3 連続桁橋

写真-11～12には、2径間連続合成箱桁橋（菅原城北大橋アプローチ橋）のPC床版の施工および完成状況を示す。本橋は、全幅員17.0m、支間割40.0m×2で、鋼桁としては箱断面のものを用いている。また、写真-12に示すよう

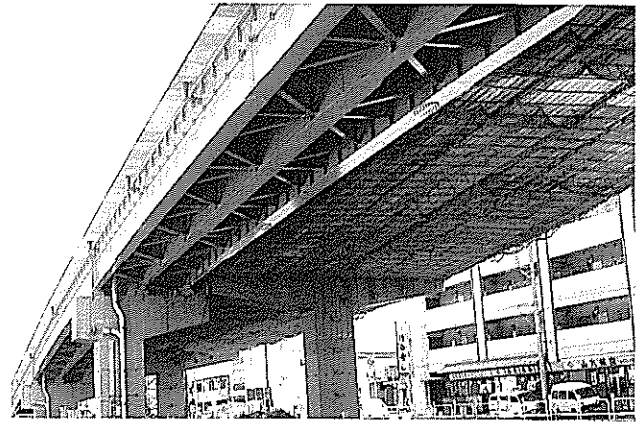


写真-9 空港通ランプ橋

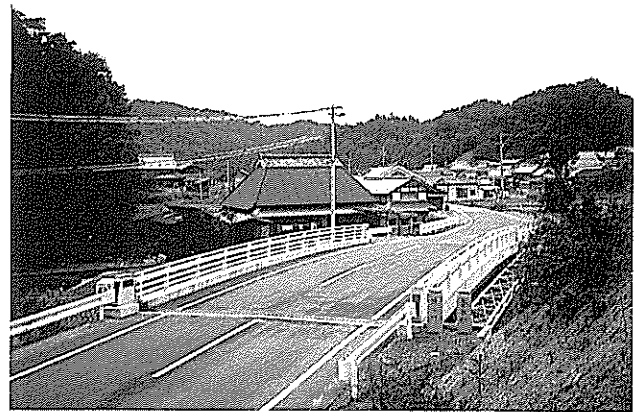


写真-10 倉谷橋

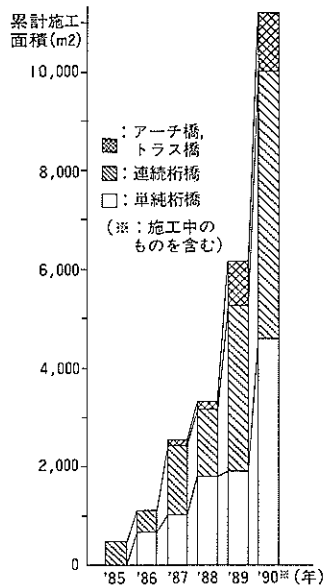


図-19 PPCS工法による橋梁面積

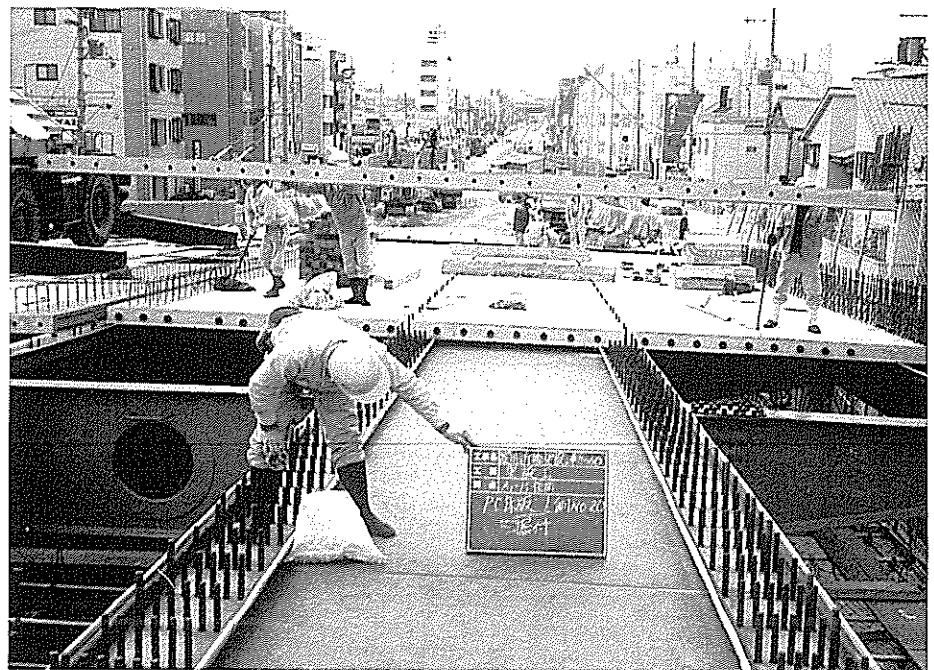


写真-11 連続合成箱桁橋のPC板の敷設

表-5 PPCS-System実績表

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	施主	備考
はばたきの橋	歩道橋	60.0	6.0~7.0	3径間連続合成桁 ラーメン	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和60年	大阪市	港湾局 南港環状北線
瀧の嶋橋	農道橋 (TL-10)	31.3	3.0	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	昭和61年	京都府	天田郡三和町字大身地内 河川名：土師川
井根地橋	2等橋 (TL-14)	31.4	4.0	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	昭和61年	京都府	天田郡三和町字大身地内 河川名：土師川
板屋ヶ瀬測道橋	歩道橋	113.0 (37.7×3)	2.5	単純合成桁 (3連)	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	昭和61年	奈良県	
であいの広場	歩道橋	51.0	7.5~10.7	2径間連続合成桁 ラーメン	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和62年	守口市	淀川河川公園連絡橋
毛利橋	1等橋 (TL-20)	21.2	7.5	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和62年	京都市	伏見区
倉谷橋	1等橋 (TL-20)	23.8	8.0	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和62年	三重県	阿山町石川地内
林間田園都市駅前歩道橋	歩道橋	40.0	11.4	3径間連続合成桁 ラーメン	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和62年	南海電鉄	林間田園都市駅前
枚方市駅ホーム歩道橋	歩道橋	20.8	5.0	単純トラス	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和62年	京阪電鉄	枚方市駅跨線橋
空港通ランプ橋	1等橋 (TL-20)	120.0 (40.0×3)	5.25	単純合成桁 (3連)	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	昭和63年	福岡北九州 高速道路 公社	高速3号線
菅原城北大橋アプローチ橋	1等橋 (TL-20)	81.0	16.0	2径間連続合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	平成元年	大阪市	豊里矢田線
大浦橋	2等橋 (TL-14)	148.0	4.0	ニールセンローゼ桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	平成元年	大和村 (島根県)	
くれないばし	歩道橋	146.0	2.5	5径間連続合成桁 ラーメン	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	平成元年	賀茂 カントリークラブ	ゴルフ場内施設
南海ターミナル連絡橋	歩道橋	23.0	3.0	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	平成元年	南海電鉄	難波駅ターミナルホテル通路
朝日ゴルフ白浜歩道橋	歩道橋	80.0	2.5	4径間連続鋼上路アーチ橋	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：RC構造	施工中	朝日住建	ゴルフ場内施設
羽田空港ランプ橋	1等橋 (TL-20)	313.5 3径間 (3×16.5) 10径間 (10×16.5)	4.75	連続非合成桁 (3連) (1連)	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	平成2年	首都高速 道路公団	高速1号羽田線 羽田トンネル付近改良
モリガハシ清見橋	2等橋 (TL-14)	31.678	4.2	単純合成桁	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	平成2年	大阪府	貝塚市清見 二級河川 近木川
第10工区(名島ランプ)高架橋	1等橋 (TL-20)	389.3 6@46.8 3×15.5 4×15.5	5.5	単純合成桁(6連) 連続合成H桁(2連)	橋軸方向：PC構造 橋軸直角：PC構造	施工中	福岡北九州 高速道路 公社	福岡都市高速道路 1号線 福岡市東区名島地区



写真-12 連続合成箱桁橋の完成状況

に、平面線形としては一部分曲線区間を有し、横断勾配も変化している。

つぎに、写真-13には、平面線形に曲線区間を有する連続合成H形鋼桁のPC床版の施工状況を示す。

このように、本工法に従えば、複雑な線形を有する橋梁に対しても十分に適用することができる。

写真-14には、5径間連続V脚ラーメン橋の完成状況を示す。本橋の橋長は146.0mで、長さ144.0mのPC鋼線をPC床版内に挿入してプレストレスを導入・解放しており、本工法の橋長に対する適用範囲の拡大が図られた。また、地覆部分は、工場においてPC板と一体的に製作されており、現場における工期の短縮に対しても極めて効果的であった。

4.4 その他の構造形式の橋梁

写真-15には支間長145.0mのニールセンローゼ橋におけるPC床版の施工状況を示す。本橋の場合には、主構作用や床版作用に伴って生じる床版コンクリート内の引張応力に対処するとともに、PC床版と開断面の鋼箱桁とをスタッドを介して合成し経済性を図るため、本工法を用いている。

なお、本橋においても現場実験を行っており、設計どおりの性能を有していることを確認している。



写真-13 連続H形鋼橋のPC床版



写真-14 5径間連続V脚ラーメン橋

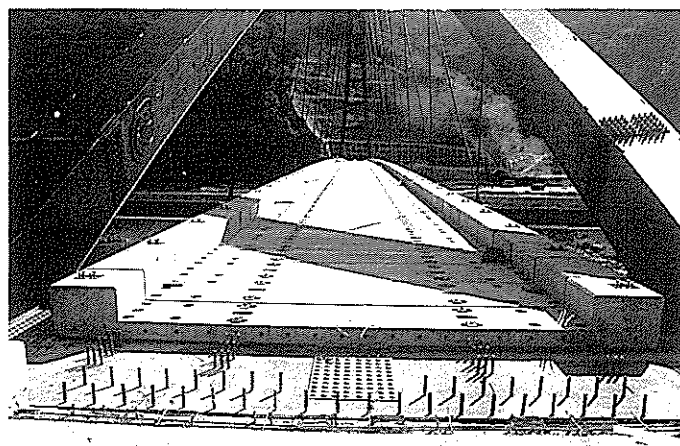


写真-15 ニールセンローゼ橋のPC床版

5. あとがき

本文では、まずPPCS工法に関する一連の研究の概要を述べた。つぎに、本工法の適用例について代表的なものをいくつか紹介し、種々な構造形式および平面線形に曲線を有する橋梁に用いることができ、床版施工の合理化を図る上で汎用性の高い工法であることを示した。

今後は、産業構造の変化や高令化社会への移行等に伴う熟練技能者不足の問題に対しても、より一層省力化を可能とする手法を検討していくことが極めて重要となろう。

最後に、本工法の研究開発に際し、多大のご指導、ご協力、ご理解を賜った多くの方々に深く感謝するものである。

参考文献

- 1) 中井博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工，森北出版，1988年5月
- 2) 中井 博・岸田博夫・竹中裕文：プレキャスト床版を用いた合成桁の耐荷性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.31A，土木学会，1985年3月，pp.395-408
- 3) Takenaka, H., Kishida, H. and Nakai, H. :A Study on New Composite Girder using Prestressed Precast Concrete Slab by PPCS Method, Der Stahlbau,55Jahrgang, Heft6,1986, s.165-174
- 4) Fujii, M., Nakai, H., Watanabe, E. and Takenaka, H. :Studies on Composite Girder Bridges using Prestressed Precast Concrete Slabs, Seminar on Precast Concrete construction in Seismic Zones, Japan Concrete Institute, Vol. 2 , Oct.1986, pp. 239-258
- 5) Nakai, H., Takenaka, H. and Kita, H. : Durability of Composite Girder with Prestressed Precast Concrete Slabs under Moving Vehicle, Proc. of JSCE, NO.386/ I - 8 , Oct.1987, pp.95-103
- 6) Kita, H., Takenaka, H. and Nakai, H. : Durability of Composite Girders using Prestressed Precast Concrete Slabs under Moving Vehicle, Proc. of The 1st East Asian Conference on Structural Engineering and Construction, Bangkok, Jan.1986, Vol. 1 , pp.680-692
- 7) 松井繁之・中井 博・袴田文雄・竹中裕文：プレストレスを導入した床版の継目部の連続性と耐荷力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.34A,土木学会，1988年3月，pp.275-284
- 8) 中井 博・藤井 学・渡辺英一・竹中裕文：プレキャスト床版を用いた合成桁のクリープ現象に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.33A，土木学会，1987年3月，pp.275-284
- 9) 中井 博・渡辺英一・林 圭一・竹中裕文：プレキャストコンクリート床版合成桁のクリープシラクションに関する基礎的考察，構造工学論文集，Vol.33A，土木学会，1987年3月，pp. 285-298
- 10) 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橋のクリープ・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，1989年9月
- 11) 八木滋弘・石川啓造・藤正行・竹中裕文・重信孝臣：PPCS工法による空港通ランプ橋の設計と施工と現場実験，橋梁と基礎，1989年5月
- 12) 生嶋圭二・亀井正博・中井博・美濃武志・田村章：プレキャスト床版を有する連続合成箱桁橋の現場実験，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，1990年9月