

部分取替可能なプレキャスト・プレストレスト床版に関する実験的研究

An Experimental Study on Precast Prestressed Concrete Slabs Enable to Exchange Damaged Panels

明橋 克良* ・ 佐々木 保隆** ・ 御子柴 光春*** ・ 大谷 祥三****

By Katsuyoshi AKEHASHI, Yasutaka SASAKI, Mitsuharu MIKOSHIBA and Shouzou OTANI

Recently, many types of precast prestressed concrete slabs are widely applied to the decks of highway bridges for shortening the construction periods and preventing cracks in concrete slabs. For every type of precast prestressed concrete slabs, it is impossible to exchange in case concrete slab panels are damaged. We developed a new type precast prestressed concrete slab enable to exchange in case concrete slab panels are damaged. This paper presents an experimental study on static behaviors, fatigue behaviors and ultimate strength of the precast prestressed concrete slabs using real size model.

Keywords: precast prestressed concrete slab, damaged panel, static and fatigue behaviours, real size model

1. はじめに

近年、鋼橋の床版工事に於いて、工期の短縮と品質信頼度の向上とを目的に、従来の場所打ち鉄筋コンクリート床版に代わり、プレストレスを導入したプレキャスト床版を採用する機会が増えている。プレキャスト床版に関する研究および実験は、プレストレスを導入しないプレキャスト床版のみならず、プレストレスを導入したプレキャスト床版についても、これまでに諸外国をはじめわが国においても数多く行われ、実橋に適用された事例も報告されている^{1)~6)}。提案されている種々のプレキャスト床版の工法は、実用化に対して確立されつつある。しかし、未だいくつかの問題点を抱えているものと思われる。

本論文は、将来の損傷時の部分取替を考慮した新たなプレキャスト・プレストレスト床版構造を提案し、その構造特性を確認するために実施した一連の実験結果から、実橋への適用に対する検討を行ったものである。本研究における主な着眼点は以下のとおりである。

- (1) 提案するプレキャスト・プレストレスト床版の縦締め方法に対する静的載荷実験、疲労載荷時の弾性挙動、および破壊実験時の挙動
- (2) 損傷時の取替を想定した切断試験時の縦締め部の挙動

* (株)横河ブリッジ 本社・設計部橋梁第二課 (〒273 千葉県船橋市山野町27番地)

** (株)横河ブリッジ 本社・設計部技術開発課 (〒273 千葉県船橋市山野町27番地)

*** 横河工事(株) 取締役技術本部長 (〒114 東京都北区西ヶ原1-46-13)

**** 日本道路公団 東京第2建設局・前構造技術課長 (〒160 東京都新宿区西新宿1-21-1)

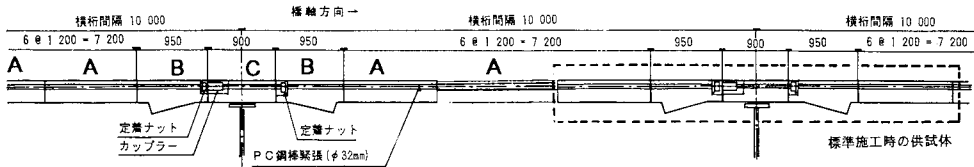
2. 実験目的および実験項目

2. 1 実験目的

一般に、橋軸方向にプレストレスを導入するプレキャスト床版の縦締めは、橋軸方向全長にわたって行われることが多い。しかし、全長にわたって緊張した場合、床版損傷時の部分取替時に、既存パネルと新設パネルの連続性確保が不可能となることや、損傷部のはつり時に健全部のプレストレスにも悪影響を及ぼすことが考えられ事実上取替は困難となる。本文で提案するプレキャスト床版の縦締めは、将来の取替を考慮し、橋軸方向の10mブロックごとで部分緊張し、さらに、10mブロックどうしを緊張する方法（キャップケーブル方式）としているため、床版損傷時の部分取替を可能なものとしている。プレキャスト床版の初期施工時の縦締め方法と損傷時の取替方法の概要を図-1に示す。

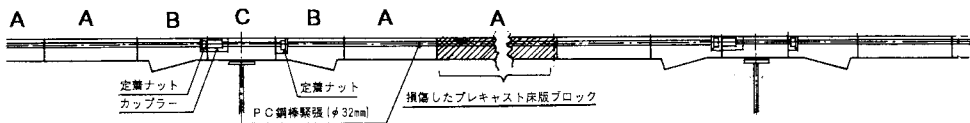
初期：標準施工状態

標準施工時には、まず、A、Bパネルを敷設後、約10mのブロックをP C鋼棒によって緊張を行う。つぎに、C、B、Aパネルを敷設後P C鋼棒（ $\phi 32\text{mm}$ ）をカプラーで連結し、緊張を行う。その際、10mブロックの両端は、定着ナットで固定する。定着ナットとカプラーの構造詳細を写真-1に示す。



STEP-1：床版損傷状態

図中の斜線部分が損傷したと仮定する。この時、損傷部およびその周辺において、プレストレスが相当量抜け落ちると考えられるが、初期施工時に10mブロックの両端で定着ナットにより固定されているため、他の10mブロックのプレストレスに悪影響を及ぼさない。



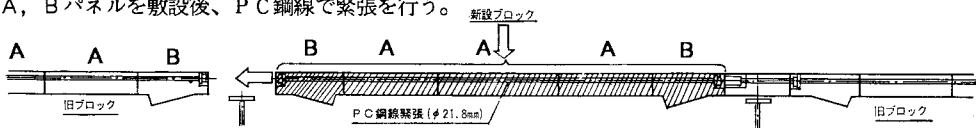
STEP-2：損傷ブロックの撤去

図示した損傷ブロックの撤去を行う。その際、Cパネルは新設ブロックの緊張作業空間を確保するため、片側のみ撤去する。



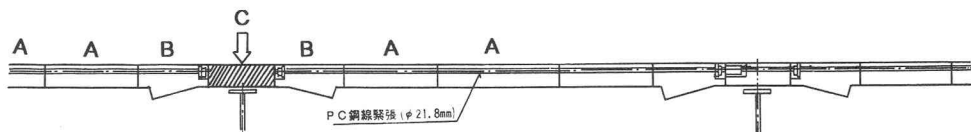
STEP-3：新設ブロックの敷設、P C鋼線緊張

A、Bパネルを敷設後、P C鋼線で緊張を行う。



STEP-4：新、旧連結パネルの設置

新旧ブロックを設置するため、一時撤去したCパネルを再度設置する。



STEP-5：新、旧ブロックの連結

新旧ブロックをB, C, Bパネル間でP C鋼線 (φ 21.4mm) によって緊張する。その際、Cパネルに導入するプレストレスは、他のパネルと同等のプレストレス量とする。

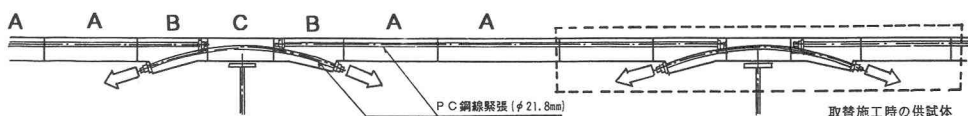


図-1 プレキャスト床版の初期施工時および取替施工時の縦締め方法の概要

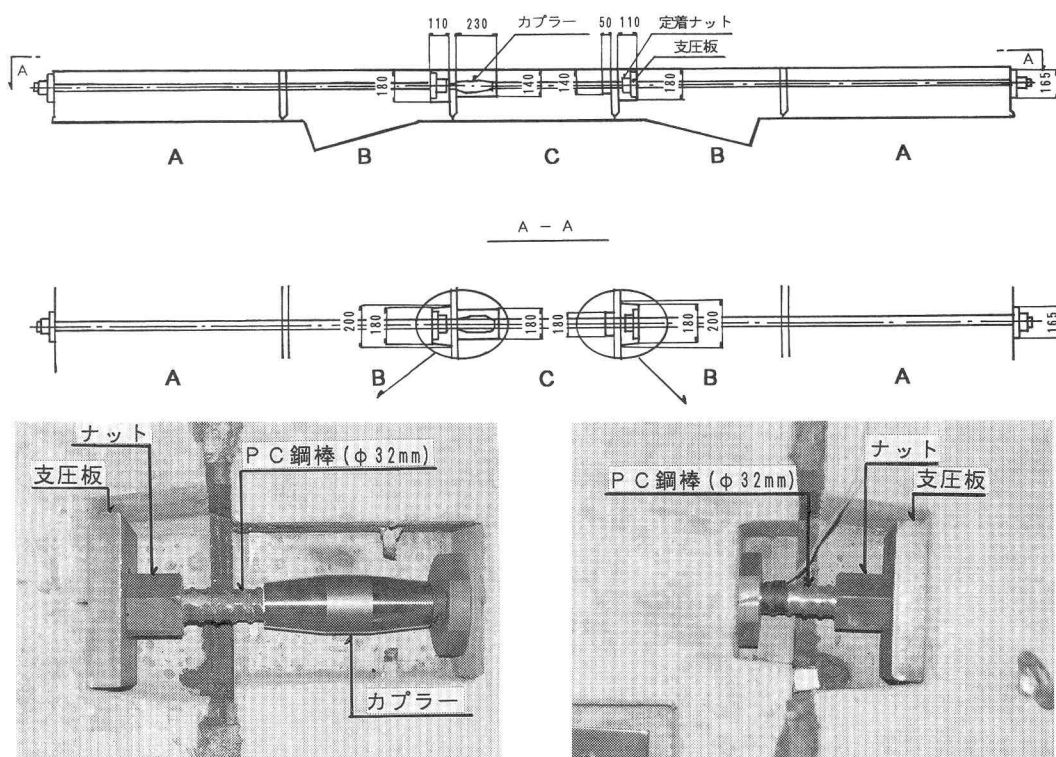


写真-1 P C鋼棒連結カプラーと定着ナット

本文では、提案するプレキャスト・プレストレスト床版の縦締め方法に対する力学的特性を確認することを実験目的とする。

2. 2 実験項目

上記の実験目的のもとに、以下の各項目について実験を実施した。一連のプレキャスト・プレストレスト床版に関する実験目的と実験項目の概要を表-1にまとめて示す。

(1) 静的載荷実験

標準施工時、取替施工時の継手方法の違いに対し、荷重位置を6ケース選出して静的載荷実験を行った。たわみやひずみ分布から、床版の連続性、主桁との合成度を確認し、さらに、縦締め方法の違いによる差異を検討した。

(2) 疲労実験

プレキャスト床版に対して曲げモーメントが支配的に作用する載荷ケース1、せん断力が支配的に作用する載荷ケース6の2種類の荷重位置にて、繰返し荷重による200万回の疲労実験を行った。繰返し荷重は、道路橋示方書・同解説に規定されてるT-20後輪荷重(8tf)に衝撃係数の最大値1.4を考慮し、11.2tfとした。これらの疲労試験前後に対して静的載荷実験を行い、たわみやひずみの履歴、縦締め緊張材のリラクセーション、ひび割れ発生回数を調べ、疲労に対する検討を行っている。

(3) 破壊実験

上述の静的載荷実験、疲労試験終了後、載荷ケース1に対して破壊実験を行った。本研究で提案した標準施工時、取替施工時のプレキャスト床版の耐力、崩壊挙動を検討している。

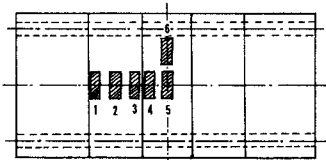
(4) 切断実験

標準施工時における破壊実験終了後、ブロック間の目地部で床版を切断し、導入したプレストレス量の変化の有無を調べ、提案する取替工法の妥当性を確認している。

表-1 プレキャスト実験目的および実験項目

供試体 タイプ	静的載荷試験	疲労試験	実験目的	備考
縦 継 手 部 種 類				
標準 施工時	(載荷ケース)5 4 3 2 1(6) P C 鋼 棒 ($\phi 32\text{mm}$) * (6)は偏載載荷	$P=11.2\text{tonf}$ 中央(曲げ支配) 載荷 偏載(せん断支配) 載荷 	- 床版の連続性の確認 - 床版の施工性の確認 - 主桁との合成度の把握 - 床版損傷時のはつり方法の検討	- 破壊試験は載荷位置1にて行なう - 疲労試験は、中央載荷、偏載載荷の2ケースについて行ない、50, 100, 150, 200万回終了時に静的載荷実験を行なう
取 替 え 施 工 時	(載荷ケース)5 4 3 2 1(6) P C 鋼 線 ($\phi 21.8\text{mm}$) * (6)は偏載載荷	$P=11.2\text{tonf}$ 中央(曲げ支配) 載荷 偏載(せん断支配) 載荷 	- 床版取替え後の連続性の確認 - 床版取替え時の施工性の確認	- 疲労試験、破壊試験は載荷位置1にて行なう - 疲労試験は、中央載荷、偏載載荷の2ケースについて行ない、50, 100, 150, 200万回終了時に静的載荷実験を行なう

* 載荷ケースの平面位置図



3. 実験方法

3. 1 実験供試体

本実験に使用したプレキャスト実験供試体を図-2に示す。プレキャスト床版の縦締め緊張方法の違いに着目した実験供試体を標準施工時と取替施工時を対象に、それぞれ1体ずつ製作した。実験供試体は単純版とし、床版支間は実橋床版支間の80％に低減し、設計曲げモーメントを合わせている。コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$ とし、床版の主鉄筋方向にはPC鋼より線12.4mmにより張力導入している。なお、プレキャスト床版と主桁との締結は、取替時の施工性を考慮し、高力ボルト(M16 F8T)を使用した。

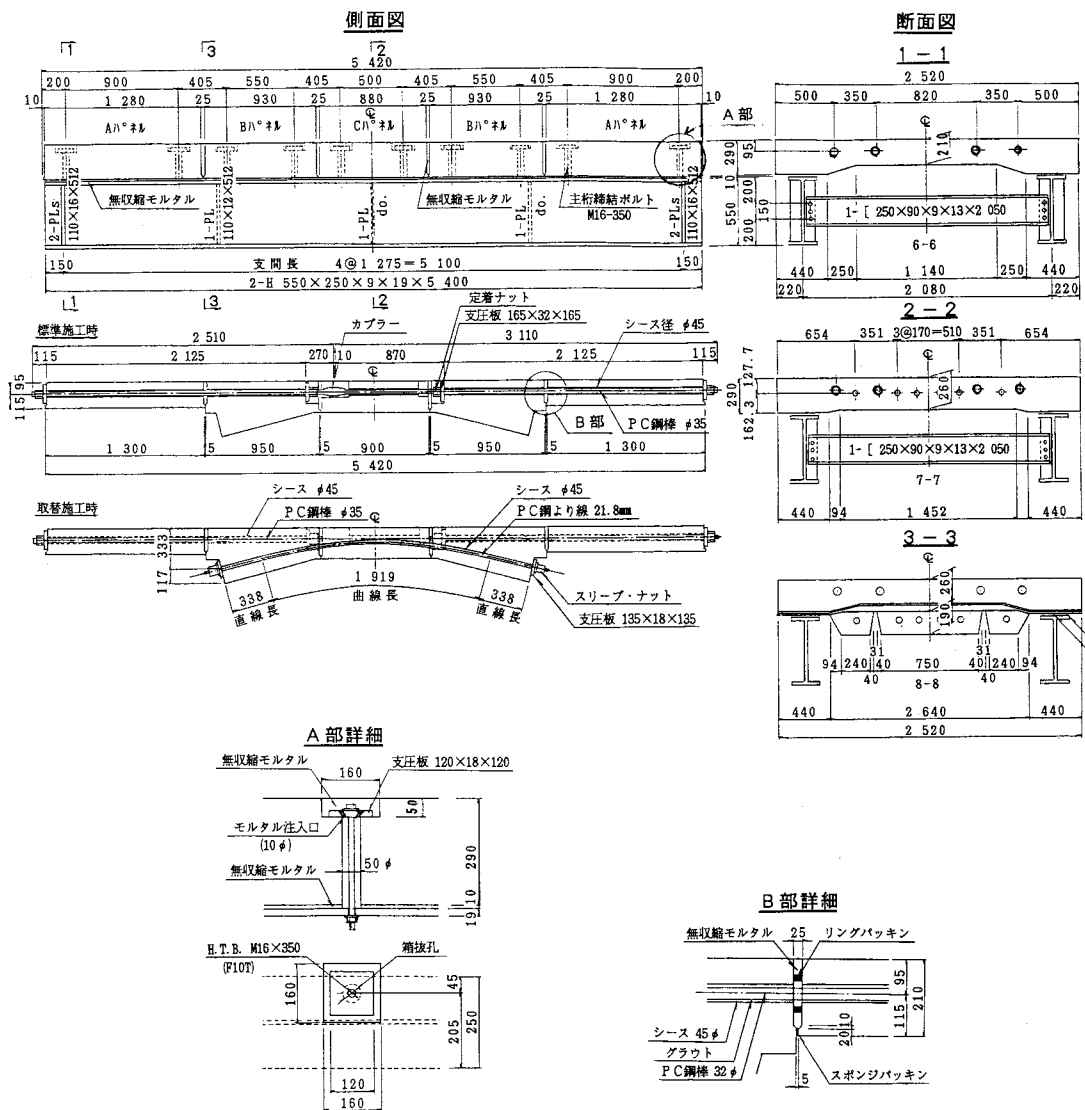
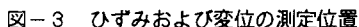


図-2 プレキャスト床版実験供試体

静的載荷実験、疲労試験、および破壊実験時におけるひずみおよび変位の測定位置を図-3に示す。



4. 1 解析モデル

縦継部に対する載荷実験の結果を定量的に比較・判断するため、有限要素法を用いた弾性線形解析を行った。この種の解析方法¹⁰⁾には多々あるが、床版の版厚・形状が一樣でなく、さらに、主桁と床版との合成度が曖昧であることから、図-4に示す立体F.E.M.解析モデルを構築した。合成度の違い、すなわち、非合成桁と完全合成桁の相違は、床版と鋼主桁との取合部にある。実橋において、床版と鋼主桁とは、弾性的に橋軸方向ずれが生じており、このずれ量で合成の度合いが決定されている。一般に、この結合の度合いはフレキシビリティ定数と呼ばれており、以下の式で表される。

$$S = k_0/C \quad \dots (1)$$

ここに、 k_0 ：基準バネ定数 ($=20\text{tf/cm/cm}$)

$$C = k \cdot n_s / L_0 \quad \dots (2)$$

: 分布バネ定数 (tf/cm/cm)

k : スタッド1本あたりのバネ定数 (tf/cm/本)

$$n_s: \text{ずれ止め一列あたりのスタッドの本数}$$

L_d : すれ止め間隔 (cm)

表-3 フレキシビリティ一定数の分類

S	状 態
0	完全合成桁
0.7~0.9	実橋の合成桁
2	実橋の非合成桁（最小ずれ止めピッチ）
7以上	非合成桁（重ね梁）

実橋におけるフレキシビリティ定数の大きさは、橋梁形式別に、表-3に示すようにに分類される。これらのことを考慮して本解析モデルは、このバネ定数を再現できるように、床版と鋼主桁を梁要素で連結させ、その断面剛性を変化させることにより、種々のフレキシビリティ定数に対応できるようにしている。また、この梁要素の断面剛性は、以下のようにして求めた。

いま、スパン L の桁において、床版と鋼主桁を n 本の梁要素で連結すると仮定する。梁要素1本あたりのバネ定数 k は(2)式より、

$$k=c \cdot \frac{L}{n} \quad \dots (3)$$

また、床版の節点と鋼桁上フランジの節点との距離を ℓ としたとき、長さ ℓ の片持ち梁に等分布荷重 q が作用した場合を考えると、たわみ δ は、

$$\delta = \frac{q \cdot \ell^4}{8EI_s} \quad \dots(4)$$

であり、単位のとわみを生じるに要する力は、

$$k = q \cdot \ell = \frac{8EI_s}{\ell^3} \quad \dots(5)$$

である。したがって、式(2), (3), (5)より、

$$I_s = \frac{k_0 \cdot L \cdot \ell^3}{8E_s \cdot S^2 \cdot n} \quad \dots(6)$$

となる。ここに、 E_s は鋼のヤング係数 ($2,100 \text{tf/cm}^2$)、

I_s は鋼桁の断面二次モーメント (cm^4)である。断面積は、床版が主桁と接する面積を考え、それを梁要素の本数で除し、鋼に換算したものを用いる。他の部材のモデル化に対しては、文献 11)を参照し、床版には多層シェル要素、鋼主桁腹板にはシェル要素、フランジは梁要素を用いて立体解析モデルを作成した。

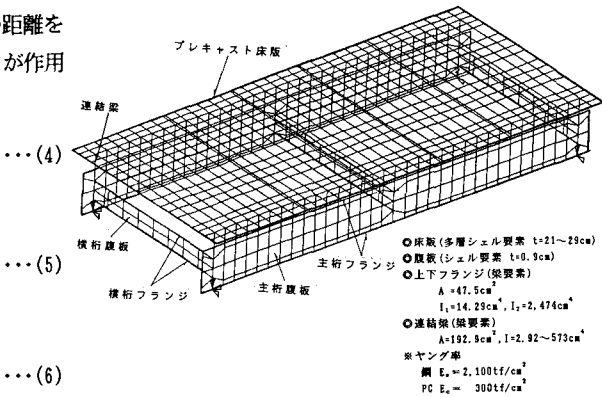


図-4 F.E.M. 解析モデル

5. 静的載荷および疲労載荷時における弾性挙動

5. 1 たわみ性状

載荷ケース 1 (床版に曲げモーメントが支配的に作用する場合)の床版および主桁のたわみ分布 (荷重 8 tf時)を、標準施工時と取替施工時とに対して比較したものを図-5に示す。同図には、フレキシビリティ一定数 $S=0.5, 2.0$ におけるF.E.M.解析値も付記する。標準施工時と取替施工時との実験値に明確な差異はなく、両者はほぼ一致していることがわかる。また、床版のたわみ分布の実験値は、解析値ともよく一致している。主桁のたわみは、フレキシビリティ一定数 $S=0.5 \sim 2.0$ の間に分布しており、他の載荷ケースにおいても、ほぼ同様な挙動を示していることがわかった。

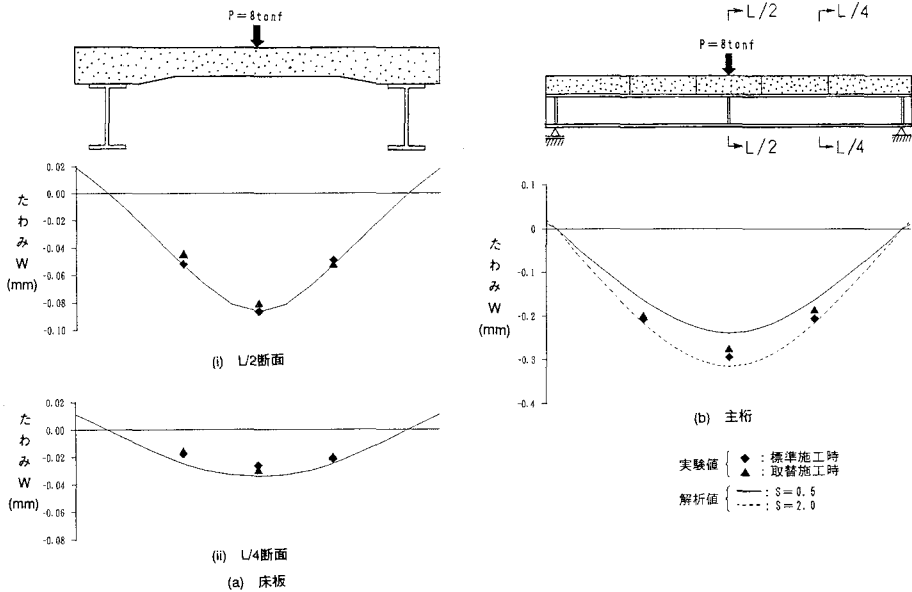


図-5 実験供試体のたわみ性状 (載荷ケース 1, $P=8 \text{tf}$ 時)

つぎに、載荷ケース6（床版にせん断力が支配的に作用する場合）に対する疲労試験前後（繰返し荷重 $8\text{tf} \times 1.4 = 11.2\text{tf}$ ）のたわみ性状を標準および取替施工時に分けて、図-6に示すが、両者とも履歴作用による顕著なたわみの増大、変化などは認められない。本実験では、載荷ケース1において200万回の繰返し載荷を行った後に、載荷ケース6に対して200万回の載荷を行っているが、特筆すべき変化は認められない。このことから、疲労試験により床版のひび割れや縦目地のゆるみなどは生じておらず、主桁・床版間の締結（合成度）に関してもなんら影響を与えていないことがわかる。

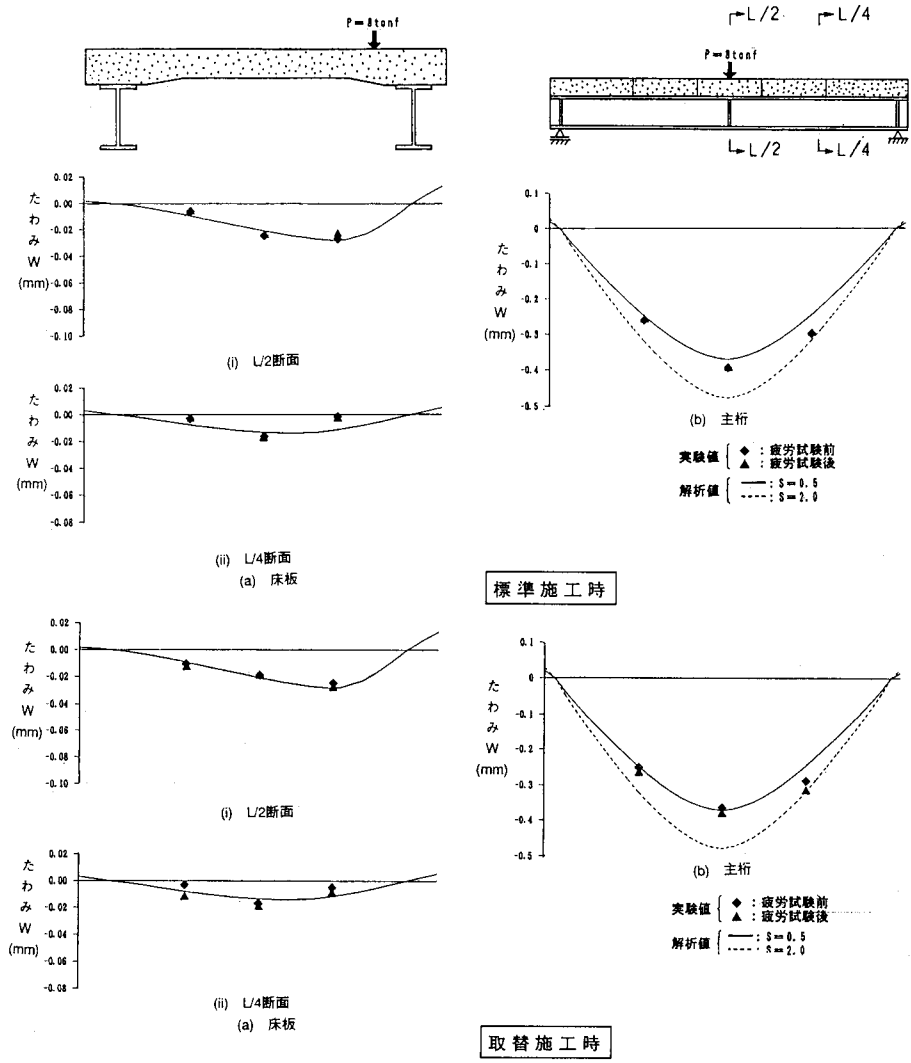


図-6 疲労試験前後における実験供試体のたわみ性状

5. 2 プレキャスト床版のひずみ分布

疲労試験前後（荷重ケース1）の床版ひずみ分布を比較したものを図-7に示す。同図には、 $S=0.5$ に対する解析値も付記する。たわみ性状と同様に、ひずみ分布に対して標準と取替施工時との実験値に明瞭な違いは認められない。また、疲労試験前後においてもひずみの変動は生じていないことがわかる。したがって、縦締め方法の違いや繰返し荷重による床版や縦目地にひび割れなどの発生はなかったものと考えられる。

しかし、これらの実験値は解析値と比較すると小さめの値を示している。いずれも、ひずみ値が小さく、解析値との詳細な対比は難しいが、理由として、床版の剛性が実験供試体とは異なっている（解析では $E_c=3.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ）ことや、ひずみ測定の精度の問題などが考えられる。

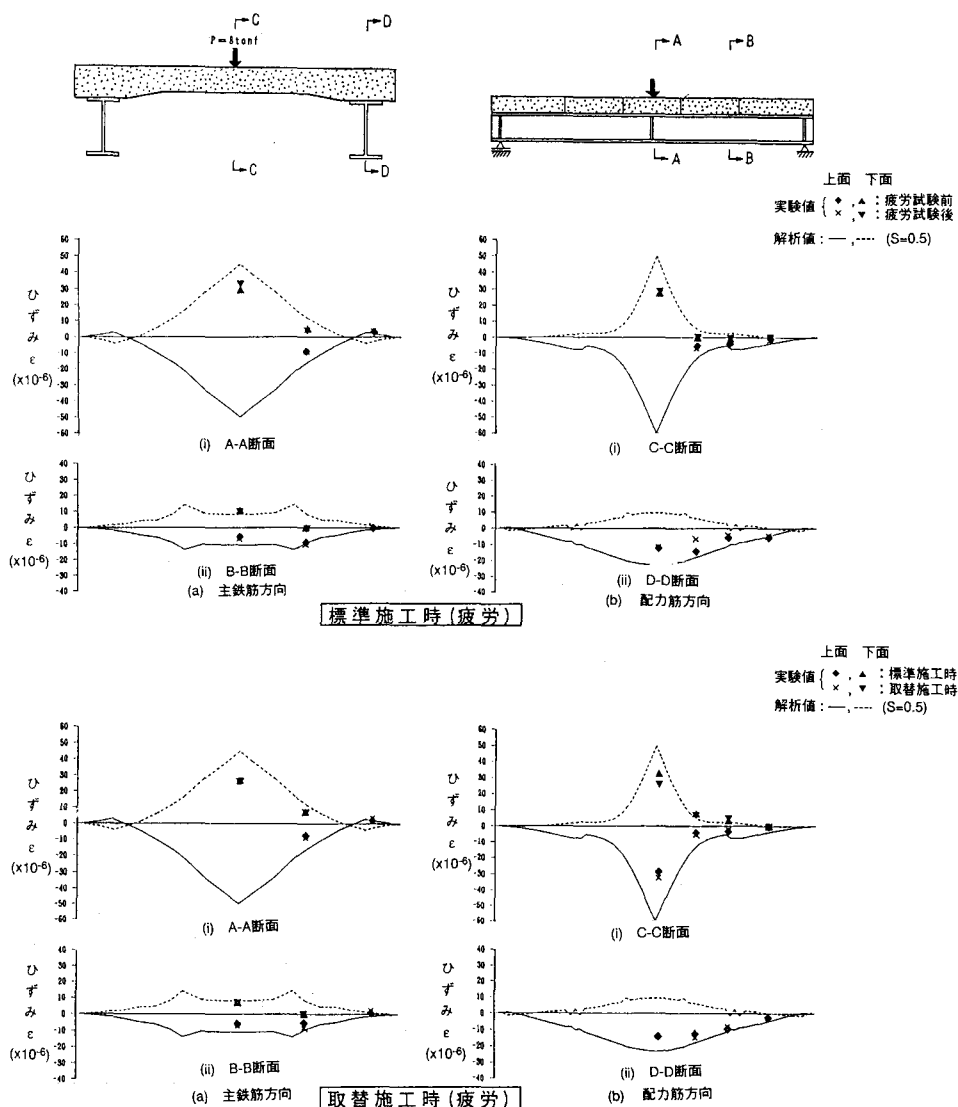


図-7 疲労試験前後における床版のひずみ分布性状（荷重ケース1）

5. 3 縦目地間のひらき量

載荷ケース3、4における荷重Pと縦目地間に取り付けたπゲージより求めた目地のひらき量Rとの関係を図-8に示す。同図には、実験値を最小2乗法により直線回帰して求めた直線も示している。また、すべての載荷ケースに対する1tfあたりのひらき量を文献7)の実験値とともに、表-4にまとめて示す。これらの図表から、標準施工時のひらき量より取替施工時の方が、全体的に小さめの値を示していることがわかる。パネル中央に載荷したケース(1, 4, 6)と縦目地近傍に載荷したケース(2, 3, 5)とを比較すると、目地の開き量に3倍程度の違いがあることがわかる。これらのひらき量と文献7)の実験値とを比較すると、本実験の方が1.2~2倍程度の開き量を示していることがわかる。これは、本実験と文献7)で行われた実験との目地構造やひらき量の計測方法が異なることが原因であると思われる。文献7), 8)では、導入プレストレスが約30kgf/cm²程度で床版の連続性が確保されると述べており、このひらき量に対する絶対値の評価は行っていない。本実験結果は上記のような差異が認められるものの、そのオーダーはほぼ同程度のものであり、前述したようにたわみやひずみの挙動に不連続性は見られない。さらに、疲労試験前後においてもこのひらき量に変化はない。したがって、本実験で用いた縦締め方法に対しては、標準および取替施工時に関わらず、十分安全なものと思われる。

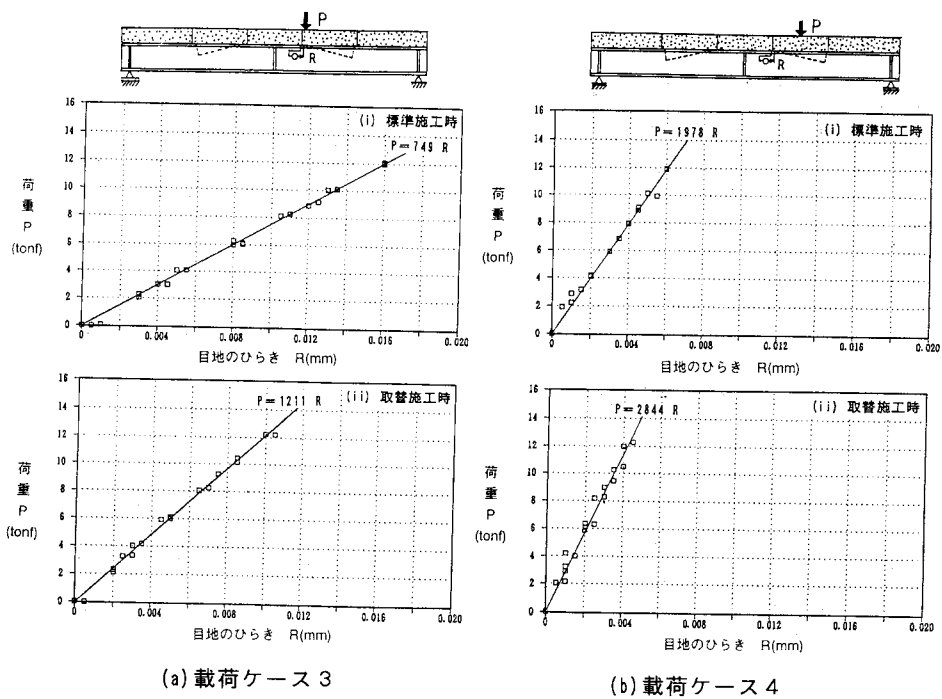


図-8 荷重Pと目地のひらき量Rとの関係

表-4 荷重と目地のひらきとの関係(単位: $\times 10^{-3}$ mm/tonf)

載荷ケース 試験体	静的載荷(疲労試験前)						疲労試験後	
	1	2	3	4	5	6	1	6
標準施工時	0.41	1.35	1.34	0.51	1.14	0.40	0.46	0.39
取替施工時	0.28	0.81	0.83	0.35	1.37	0.25	0.27	0.25
文献7)	0.20	0.65	0.65	0.20	0.65	0.20	0.20	0.20

* プレストレス量が40kgf/cm²のときの値。

6. 破壊実験

6. 1 プレキャスト床版の破壊状況

標準および取替施工供試体の破壊実験における床版の損傷状況を図-9に示す。破壊実験は中央載荷の載荷ケース1に対し行った。これらのひび割れは両施工時とも、100 tf程度で目視可能となり、載荷直下から放射状に進展している。標準施工時は、載荷ジャッキの容量不足で110 tfで終了したが、取替施工時では、このひび割れはとなりのパネルまで進展してゆき、198 tfで押し抜きせん断破壊を起こした。せん断破壊面は下側まで到達したもの以外に、P C鋼より線付近に沿っても発生している。R C床版の破壊パターンは、通常、載荷板から45°の破壊角度をもって押し抜きせん断破壊をするが、本実験における床版下面の剥離破壊範囲は、それより広がっており、約30°の破壊角度となっている。

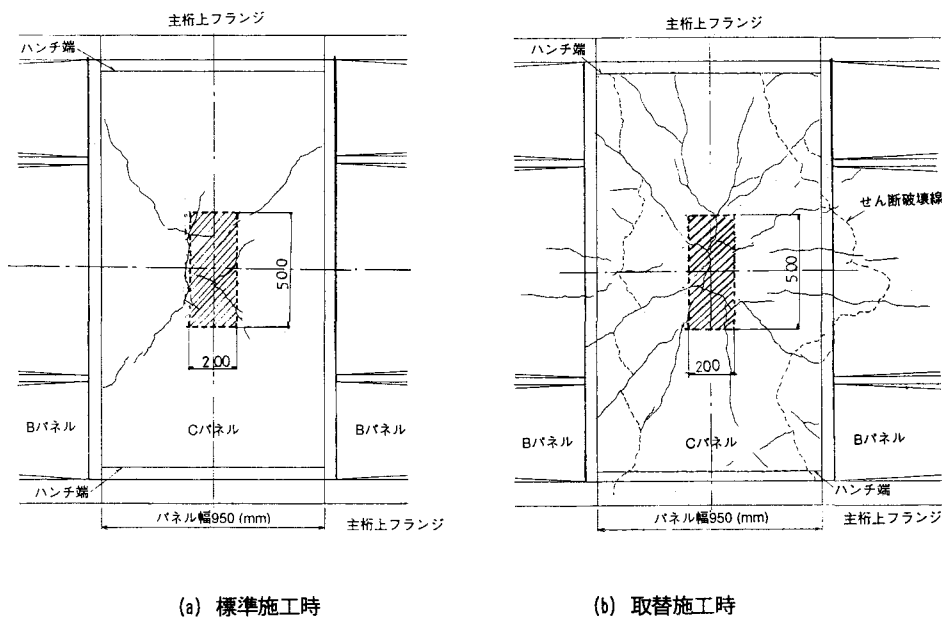


図-9 プレキャスト床版の破壊状況

6. 2 プレキャスト床版の押し抜きせん断耐荷力

R C床版の押し抜きせん断耐荷力の評価式としては、前田・松井の提案式⁹⁾がよく用いられている。P C床版に対して上式を適用するには、鉄筋とP C鋼線を考慮して中立軸を求める必要がある。文献7)では、この提案式に修正を加えて、2方向にプレストレスを導入したP C床版に対する耐荷力を求めている。修正式では、破壊角度の仮定45°を実際の破壊角度とし、配力鉄筋方向のかぶり破壊位置を緊張材と引張側配力筋との平均としている。本実験供試体の場合、破壊角度45°と仮定した耐荷力評価式では177tf、実際の破壊角度30°を用いた修正式では195tfとなる。取替施工時の実験供試体の押し抜きせん断耐荷力は198tfで、修正式による計算値とほぼ一致し、通常のR C床版に比べ十分な耐荷力を有していることがわかる。また、ひび割れおよび剥離範囲が隣のパネルまで進展していることから、押し抜きせん断耐荷力および破壊パターンに関しても、縦継目の影響はないものと言える。

6. 3 荷重と主桁のたわみとの関係

荷重 P と主桁のたわみ w との関係を、図-10に示す。載荷初期における実験値は、標準・取替施工時の両者とも解析値 $S=0.5$ によく一致しており、荷重が60tfを過ぎるとその傾きは、解析値 $S=7.0$ に近づく。これは、図-11に示した荷重と主桁・床版間のずれとの関係からもわかるように、主桁と床版の合成作用がなくなり、重ね梁として供試体が挙動したものと思われる。また、60tfを超えて載荷・除荷を繰返し行ったが、わずかな残留変形が残るのみで、良好な復元性を示している。完全合成桁とした場合の主桁・床版間に働く水平せん断力の計算値は、荷重1tfあたり3.81kgf/cm/tfとなり、荷重1tfで高力ボルト1本あたり0.194tf/tf/本となる。この計算値と高力ボルトの押し抜きせん断実験結果の終局荷重9.35tfとから供試体の高力ボルト破断荷重を算出すると48.2tfになる。この荷重の差は、主桁と床版との合成度が低下すると、高力ボルトに働く水平せん断力も減少すること、また、床版と主桁上フランジ間の摩擦力が作用することから、破壊実験終了後も高力ボルトの破断するまでには至らなかったものと思われる。

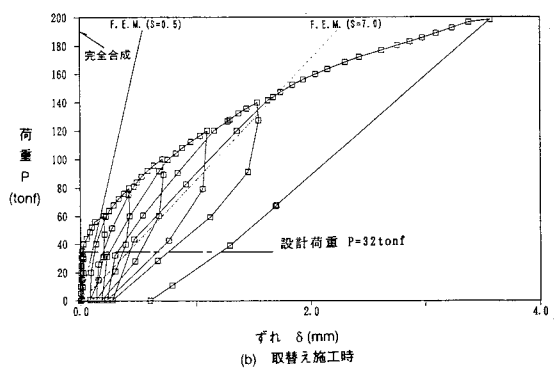
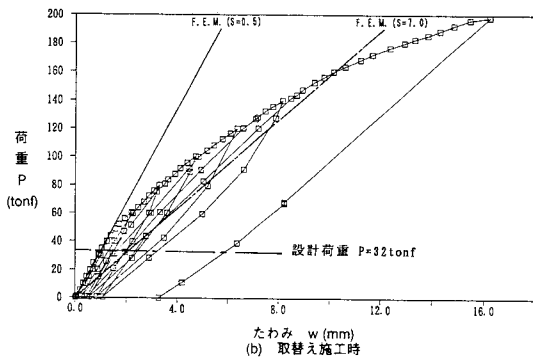
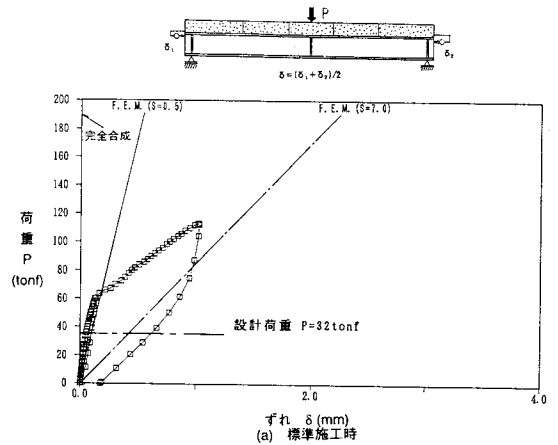
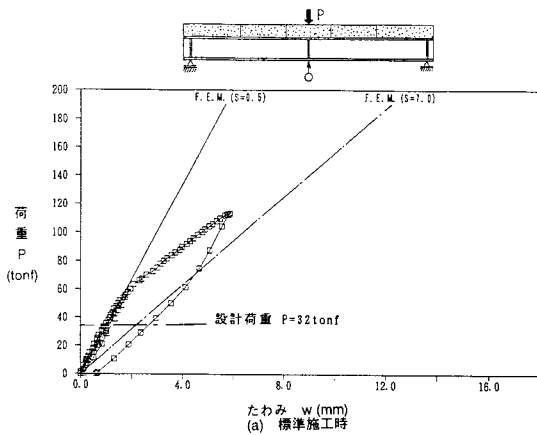


図-10 荷重と主桁のたわみとの関係

図-11 荷重と主桁・床版間のずれとの関係

6. 4 主桁断面における垂直ひずみの挙動

図-12に取替施工時における主桁断面における垂直ひずみ分布を示す。載荷荷重が約60tfまでは、中立軸の位置が床版下面にあり、完全合成断面として荷重に抵抗している。その後は、中立軸の位置が徐々に下がり、非合成桁として荷重に抵抗している。6. 3章で述べたように、約60tf程度で主桁・床版間の高力ボルトによる締結作用の低下がわかる。また、床版のひずみは、載荷荷重が100tfを超えると増加が緩慢になるが、これは、床版のひび割れがかなり進行していたため、床版自体が荷重を分担するだけの耐力が低下していたためと思われる。

6. 5 プレキャスト床版の切断試験

本実験で用いたプレキャスト床版は、取替可能な床版としているため、標準施工時供試体に対してすべての実験終了後、切断試験を実施し、床版損傷を想定した取替え時の施工性を確認している。

施工手順としては、コンクリートカッターによりB, Cパネルの縦目地部を切断後、Cパネル（損傷部）をジャッキを用いて主桁と引きはがした。Aパネル（健全部）の縦締め緊張力の低下は認められず、床版撤去に対して特に問題はなかった。

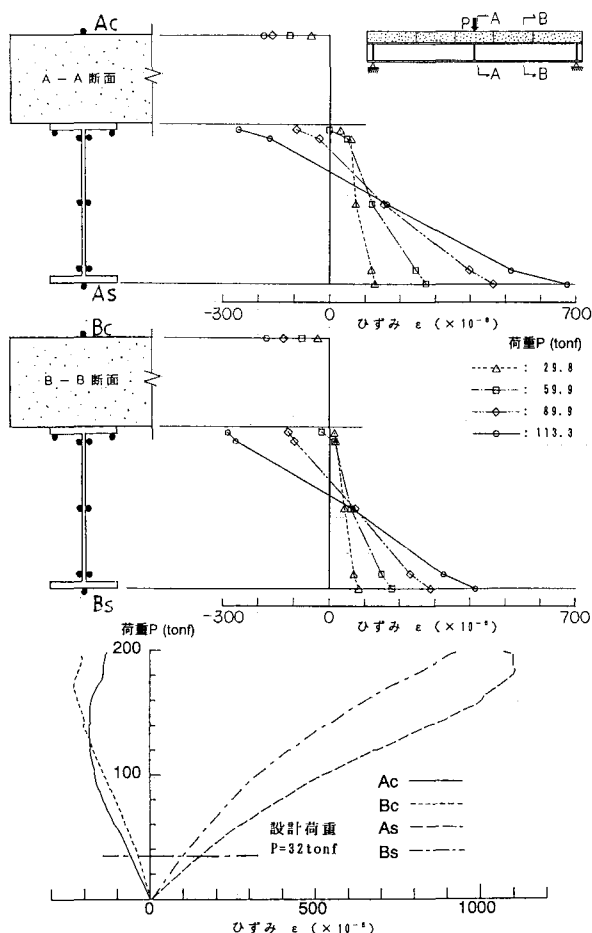


図-12 主桁断面における垂直ひずみ挙動（取替施工時）

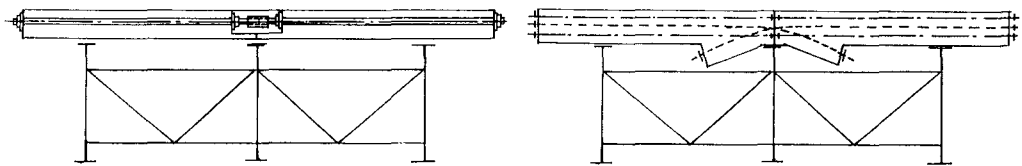
7. まとめ

本研究は、将来の取替を考慮した新しいプレキャスト床版構造を提案し、その施工性および構造特性を確認するため、標準施工時および取替施工時に対して実構造物に基づいた実験供試体を製作し、静的載荷、疲労実験さらに破壊実験を行った。一連の実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 弾性範囲の静的載荷実験におけるたわみおよびひずみ挙動は、標準・取替施工時ともに立体F.E.M.解析結果と一致、もしくは解析結果に比べ安全側の値を示すことが確認された。また、疲労試験後においても、それらの挙動の変化は認められなかった。
 - (2) 破壊実験においても、床版の押し抜きせん断耐力は、通常のRC床版に比べ非常に高く、破壊角度 30° とした計算値とほぼ一致した。また、載荷途中におけるたわみの復元性も良好な値を示した。
 - (3) 床版の破壊形状は、縦目地の影響をほとんど受けず、隣接するパネルまでひび割れが進展し、床版の連続性が確認された。
 - (4) 切断実験においても、縦締め緊張力の低下は認められず、床版の部分撤去が可能である。
- 以上のように、本研究で提案したプレキャスト床版は、その縦締め方法に関する力学的挙動に対して

は特筆すべき問題点はなく、また、床版取替工事に対しても大きな支障もないことから、実構造物として十分適用可能と考える。

本文では、主に提案したプレキャスト床版の力学的特性について述べたが、本実験を通じて供試体製作・架設の際に、床版間の目地へのモルタル充填、床版と主桁間の隙間へのモルタル充填、および床版の敷設精度等の施工性についても検討を加えている。高い品質と急速施工が期待されるプレキャスト床版においては、前述の事項に関する施工性の向上が重要なポイントとなるため、今後の研究開発の課題として、さらなる改善・改良を進めていきたい。また、本文で提案した取替工法は、床版の橋軸方向継手を対象に検討したものであるが、反復施工を目的に図-13に示す要領で橋軸直角方向継手への応用も可能であり、実用化に向けて検討を加えていきたいと考える。



(a) 部分緊張方式

(b) キャップケーブル方式

図-13 部分緊張およびキャップケーブルを橋軸直角方向継手に応用した例

おわりに、本実験の実施に際し、ご指導頂いた日本道路公団第二建設局およびご協力頂いた関係各位の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) Stanton, J. F. : Point Loads on Precast Concrete Floors, Journal of Structural Division, Proc. of ASCE, Vol. 109, No. ST11, pp. 2619-2637, Nov. 1983
- 2) 角田・山寺・関沢・北島：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, No. 3, pp. 34-42, 1971年3月
- 3) 成瀬・初沢・富沢・神山：鉄筋コンクリート床版の新工法—ユニットスラブ—，土木技術，Vol. 30-2, No. 4, pp. 85-91, 1975年2月
- 4) 佐伯彰一：I形鋼格子床版の設計，土木技術資料，Vol. 17-7, pp. 21-24, 昭和50年7月
- 5) 阪神道路公団・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, No. 5, pp. 1-7, 1986年5月
- 6) 中井・岸田・竹中：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，pp. 395-408, 1985年3月
- 7) 松井・中井・袴田・竹中：プレストレスを導入する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，構造工学論文集，Vol. 34A, pp. 275-284, 1988年3月
- 8) 中井 博：プレストレス・プレキャスト床版合成桁設計・施工，1988年5月
- 9) 前田・松井：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文集，第348号，pp. 133-141, 1984年8月
- 10) 小松・佐々木：不完全合成格子桁橋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，pp. 27-37, 1983年1月
- 11) 名取・明橋・尾下：鋼I桁橋における構造形式の簡略化に関する検討，横河ブリッジ技報，No. 21, pp. 13-30, 1992年1月

(1993年9月16日受付)