

鋼板・コンクリート合成版の新しい プレストレス導入法に関する基礎的研究

Fundamental Study on New Prestressing Technique
for Steel Plate-Concrete Composite Slabs

太田俊昭* 日野伸一** 岡本和久*** 新西成男***

By Toshiaki OHTA, Shin-ich HINO, Kazuhisa OKAMOTO, Nario SHINNISHI

Prestressed steel plate-concrete composite slabs are expected to have various advantages such as structural performance and reduction of time and labors for on-site construction. The aim of this paper is to develop a new prestressing technique for the composite slab. This paper, firstly, presents outline of two-direction steel tensile equipment proposed and designed by the authors. It has maximum capacities of 300tf in longitudinal direction and 150tf in transverse direction for steel plate. Secondly, it has proved by using this equipment that the prestresses of 200kg/cm^2 and 70kg/cm^2 can be introduced into concrete in longitudinal and transverse directions, respectively, for the composite slab. Finally, the finite element analysis based on incomplete interaction between steel plate and concrete is discussed comparing with experimental results.

1. まえがき

型枠と引張材を兼ねる鋼板上に適当なずれ止めを介してコンクリートを打設、一体化した鋼板・コンクリート合成版は、施工および構造上の種々の利点から、橋梁床版や建築床材などに広く利用されており、また最近では、港湾・海洋構造物への適用も試みられている¹⁾。しかし、現状の合成版は、コンクリートのひびわれ発生にともなう鋼板内面の腐食や耐久性などに対するメンテナンスが特に問題とされている。また一方では、構造物の長大化とプレキャスト化が進む中で、現場省力化が可能で、軽量で、高強度、高剛性の構造材の開発も切望されている。

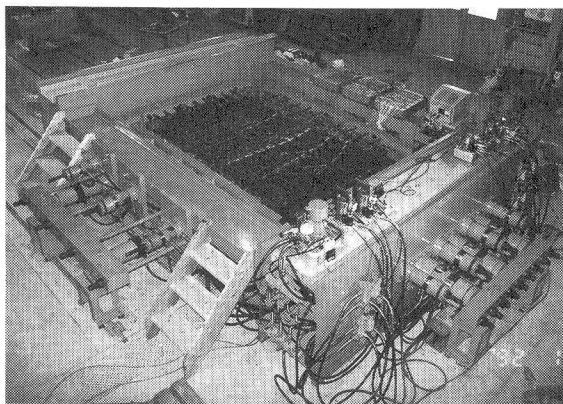


写真-1 鋼板・鉄筋緊張装置

*	工博 九州大学教授	工学部土木工学科	(〒812 福岡市東区箱崎6丁目10番1号)
**	工博 九州大学助教授	工学部土木工学科	(〒812 福岡市東区箱崎6丁目10番1号)
***	工修 九州大学大学院	工学研究科	(〒812 福岡市東区箱崎6丁目10番1号)

このような背景から、本研究は、従来、設計上ひびわれを許容するRC構造として取り扱われてきた鋼板・コンクリート合成版のプレストレス化を試みるものである。すなわち、本研究の特色とするところは、緊張材として新たにPC鋼材を追加することなく、従来、型枠兼引張補強材として用いられてきた底鋼板を、そのままPC鋼材としても併用できること、しかも2方向緊張材として有効に活用できることである。

本研究は、以上に関連する基本的な問題、たとえば、プレストレスの導入方法やずれ止め方法、コンクリートの乾燥収縮・クリープによるプレストレスの減少、プレストレスト合成版の構造特性などについて解明するとともに、その設計、製作法を確立し、実用化への道を拓くことを目的とするものである。本論文は、その基礎的段階として、著者らによって考案、設計された自定式鋼板・鉄筋2方向緊張装置の概要と、それを用いて行われた合成はり供試体による1方向プレストレス導入実験および合成版供試体による2方向プレストレス導入実験について論述するものである。

2. 鋼板・鉄筋緊張装置の概要

先に筆者らは、100tf級の2方向鋼板・鉄筋緊張装置を試作したが^{2), 3), 4)}、容量限界と2方向同時緊張を行う上で、十分な機能を果たしえない問題点があった。そこでそれらの問題点を解決するための本格的装置の開発を試みることにした。今回設計、製作した緊張装置を示せば、写真-1および図-1に示すとおりで

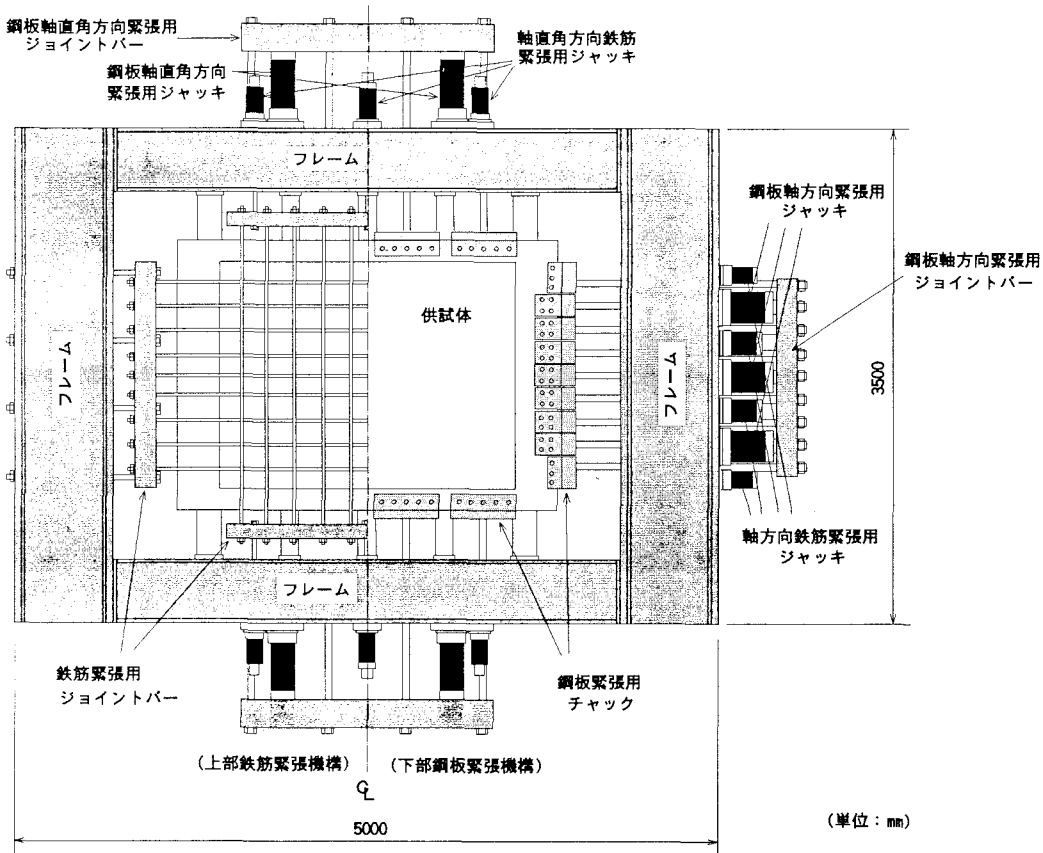


図-1 鋼板・鉄筋緊張装置

ある。本装置は、最大寸法2.7×1.9mの底鋼板および上部の鉄筋鋼をそれぞれ独立して2方向に緊張できるもので、鋼製箱型フレーム(外枠寸法5.0×3.5×1.1m)と、合計17個の油圧ジャッキ、さらには油圧ジャッキの引張力を緊張用ロッドに伝えるジョイントバー、軸直角方向の緊張時に装着する3本の上桁、3種類合計26個の鋼板緊張用継手治具(以下定着具と称す)、40本の緊張用ロッド、7台の油圧ジャッキ用電動ポンプから構成されている。それぞれの部材の仕様を表-1に示す。本装置の最大緊張能力は、主軸方向に鋼板300tf、鉄筋120tf、軸直角方向に鋼板150tf、鉄筋35tfである。

表-1 緊張装置の仕様

部材名	仕 様		
フレーム本体	5000×3500×1100mm 材質SS400		
ジョイントバー	主軸方向		軸直角方向
	断面	鋼板 120×150mm 鉄筋 120×150mm	150×200mm 120×100mm
	材質SS400		
鋼板緊張用定着具	主軸方向 9個(4穴、3穴)×2 軸直角方向 4個(5穴)×2 材質SCM435		
鋼板接合用ボルト	108本 F11T, M24		
緊張用ロッド	鋼板用 26本		
	鉄筋用 14本		
	材質SCM435		
油圧ジャッキ(理研精機製)	主軸(片側)		軸直角(両側)
	鋼板 100tf×3		100tf×2
	鉄筋 50tf×2+30tf×2		30tf+20tf×2

3. 合成はり供試体のプレストレス導入

3. 1 実験と解析の概要

本実験では、導入プレストレスに対するずれ止めの影響を検証することを主眼とした。製作した3種類の合成はり供試体の諸元を図-2に示す。供試体Aは軸径13mm、全高80mmのスタッドをスパン方向に10cm間隔で均等に配置したもの、供試体Bはスタッドをはり端部1/3に集中的に配置したもの²⁾、供試体Cは、供試体Aと同様にスタッドを均等に配置し、さらに、はり端部にくさび効果を発揮しうる方式のアンカープレートを溶接したものである。使用したコンクリートの配合を表-2に、各供試体のコンクリート強度および鋼板、鉄筋の初期引張応力度を表-3に示す。合成はり供試体へのプレストレス導入の手順は、次のとおりである。

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
		水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 G	AE 減水剤	収縮 低減剤
37	47	177	480	762	989	3.50	19.2

表-3 コンクリート強度と初期緊張応力

供試体の種類	コンクリート圧縮強度 (kg/cm²)		初期引張応力度(kg/cm²)	
	プレストレス導入時	材令28日	鋼板	鉄筋
A	567	637	1858	1746
B	605	710	1810	1800
C	565	664	1841	1803

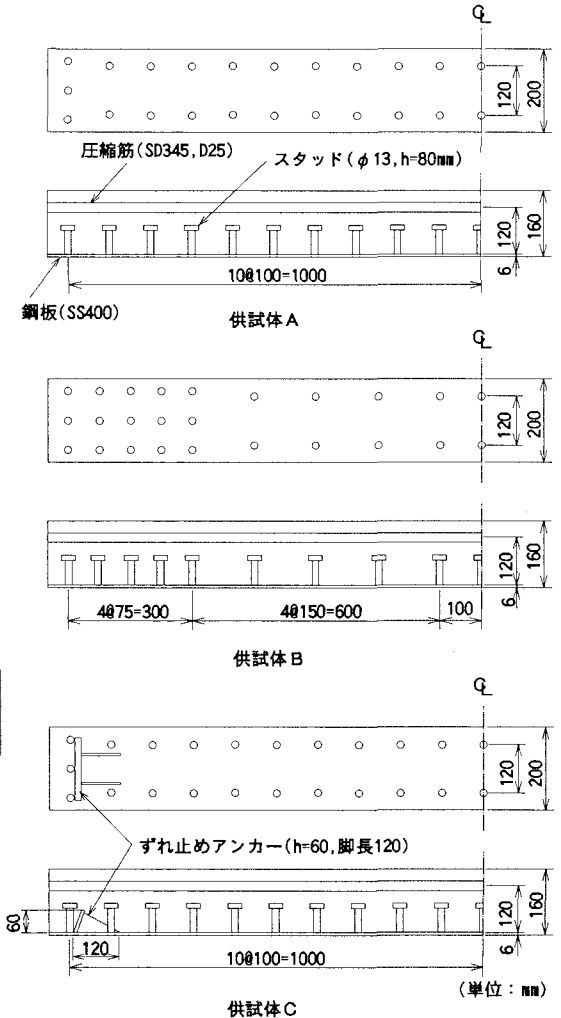


図-2 合成はり供試体

①油圧ジャッキを操作して、スタッドを溶植した鋼板と鉄筋を所要の初期引張応力度まで緊張した後、ジャッキ部の定着ナットを締結して固定する。

②鋼材の引張力を保持したままコンクリートを打設し、材令7日までそのまま養生する。

③定着ナットを緩めて鋼材の緊張を解除し、コンクリートにプレストレスを導入する。なお、鋼材およびコンクリートの応力測定には、表面に貼付したひずみゲージを使用した。

また、3次元FEM弾性解析を行い、導入プレストレスを算定した。解析モデルの一例(節点総数750,要素総数353)を図-3に示す。この種の解析では、鋼板とコンクリートの接合面におけるずれ(不完全合成)を考慮する手法として、スタッドのせん断力-ずれ特性に基づくばねモデルが多用されている⁵⁾。しかし、本解析では、接合面の自然付着を無視するとともに、スタッド、端部アンカプレートなどのずれ止め材の剛性をより忠実に再現できるように、接合面に微小隙間(1mm)を設け、棒(面)要素にモデル化したずれ止めを介してのみ鋼板とコンクリートが結合すると仮定した⁶⁾。また、荷重条件としては、プレストレス導入直前の鋼板・鉄筋引張応力の実測値(表-3参照)の等大逆向きの応力度を、外力としてははり端部の各々鋼板・鉄筋にそれぞれ作用させた。したがって、結果として出力される発生応力度が、本解析における鋼材の応力減少量を与えることになる。

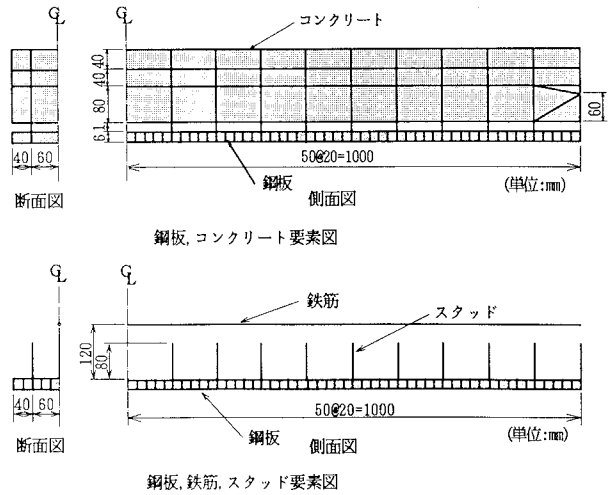


図-3 合成はり解析モデル

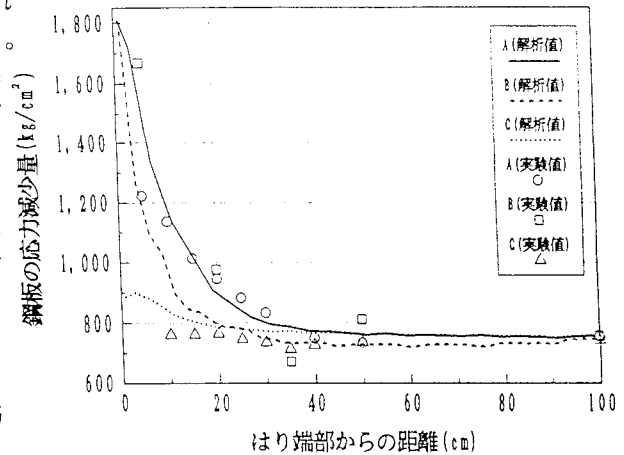


図-4 鋼板の応力減少量

3. 2 結果および考察

プレストレス導入時における鋼板の引張応力度の減少量を図-4に示す。図に示す応力減少量には、はり端部における鋼板とコンクリートのずれによるもののほかに、弾性変形にともなう減少量も含まれており、はり中央部の約780 kg/cm^2 がこれに相当する。この780 kg/cm^2 を除いたものがコンクリートと鋼板のずれに相当するものと考えられる。図より、はり端部にアンカプレートを溶接した供試体Cでは、端部アンカーの内側からほぼ全域にわたって鋼板引張力がコンクリートにプレストレスとして有効に伝達されていることがわかる。これに対して、ずれ止めとしてスタッドのみを用いた供試体A, Bでは、端部30cm程度までは、ずれによる応力損失が認められた。供試体Bを除いて、FEM解析値は実験値とよく一致している。供試体B

における両者の相違は、供試体 A、C が鋼板の表裏両面のひずみの測定値を平均したのに対し、供試体 B では表側片面のみの計測値と比較したことによると考えられる。

プレストレス導入直後のコンクリート応力分布を図-5に示す。いずれの供試体も、はり中央断面下縁で $120 \sim 130 \text{ kg/cm}^2$ の導入プレストレスが推定される。また、上縁に引張応力は生じず、所要の応力分布が得られた。実線で示した FEM 解析値は、はり端部で若干のずれはあるが、よく実験値を追跡できている。

以上より、合成はり供試体への所要レベルのプレストレス導入が実証されるとともに、ずれ止めとして提案した端部アンカー方式の有用性が明らかにされた。

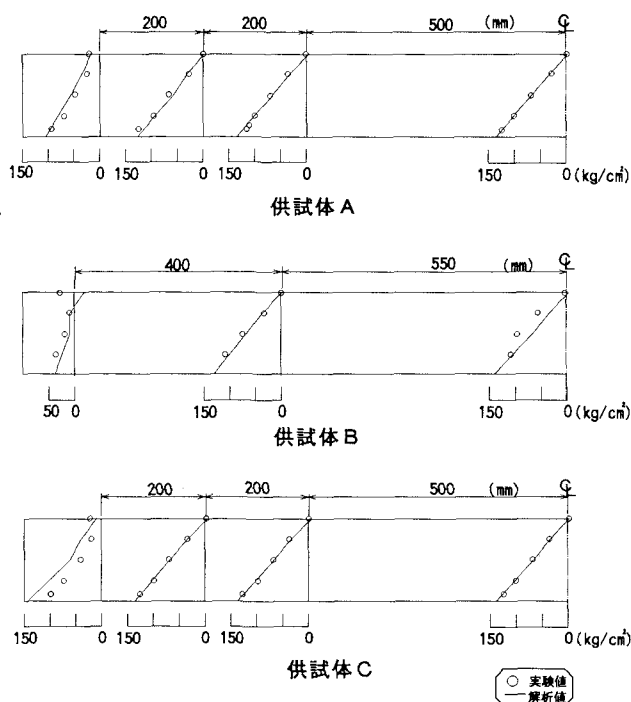


図-5 コンクリート応力分布

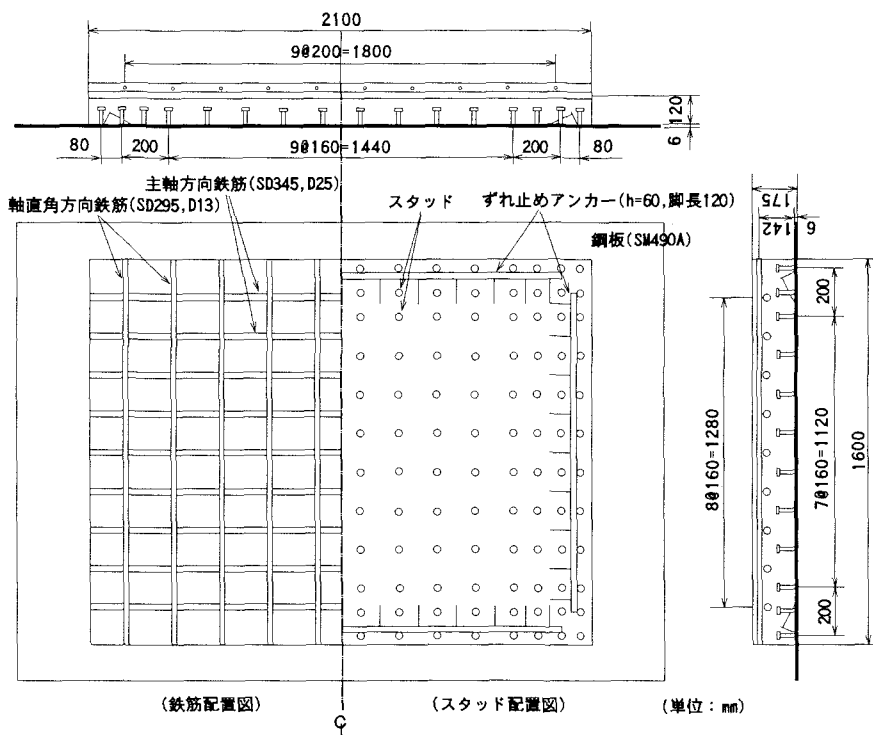


図-6 合成版供試体

4. 合成版の2方向プレストレスの導入

表-4 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 G	AE 減水剤	収縮 低減剤
38	41.3	169	443	679	1012	1.11	10.0

4. 1 実験と解析の概要

本実験のために製作した合成版供試体の諸元を図-6に示す。鋼板(SM490, 2700×1900×6mm)、主軸方向鉄筋(SD345, D25)、軸直角方向鉄筋(SD295, D13)で構成され、ずれ止めとして、3. の合成はり供試体と同様に、スタッドと端部アンカープレートを併用した。合成版供試体へのプレストレス導入手順は、はり供試体と同様に、鋼板および鉄筋の表面に貼付したひずみゲージによる計測結果を基にして、2方向に対して行った。使用したコンクリートの配合は表-4に示す。圧縮強度は材令7日で349/cm²、28日で441kg/cm²であった。

また、同時に行ったプレストレス導入直後の合成版のFEM解析に用いた解析モデルの分割図(節点総数678, 要素総数587)を図-7に示す。解析法は、3. 1に記したものと同様である。

4. 2 結果および考察

鋼板の主軸方向の初期引張応力分布およびプレストレス導入直後の応力分布の実験値を図-8に示す。同様に、

軸直角方向応力分布を図-9に示す。両図中、破線はプレストレス導入直後の応力のFEM解析値である。端部にアンカープレートを溶接したことにより、プレストレス導入直後の端部の引張応力度の減少は小さく、中央断面付近とほぼ同等の引張応力を保持している。

プレストレス導入直後のコンクリートの応力分布を図-10に示す。下縁に主軸方向では約200kg/cm²、軸直角方向では約70kg/cm²の導入プレストレスが認められた。また、その分布は、鋼板の応力分布と同様に、断面の位置に関係なく、ほぼ均一な分布となっている。

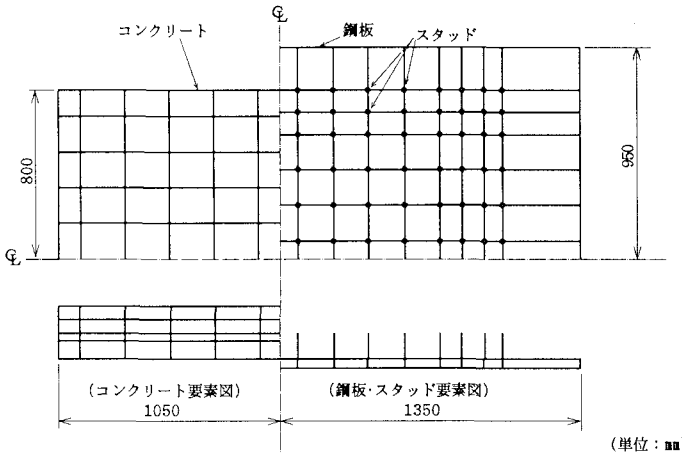


図-7 合成版解析モデル

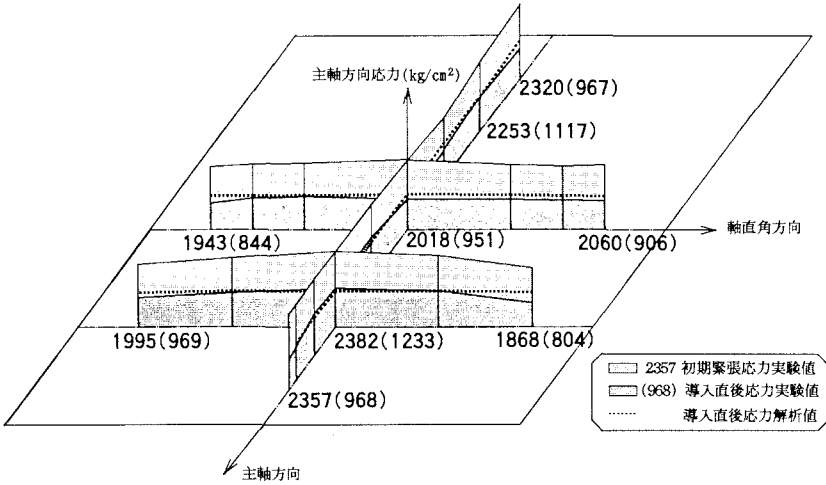


図-8 鋼板の主軸方向応力分布

5. まとめ

本研究は、鋼板・コンクリート合成版のプレストレス化に関する基礎的研究として、プレストレス導入のための本格的な鋼板・鉄筋緊張装置を設計、製作し、それを用いたはりおよび版供試体に対するプレストレス導入実験を試みたものである。本研究により得られた成果を要約すれば、以下のとおりである。

- (1) 設計、製作した鋼板・鉄筋 2 方向緊張装置は、最大寸法 $2.7 \times 1.9 \times 0.18\text{m}$ (鋼板厚 6mm) までの鋼板・コンクリート合成版に対し、 200kg/cm^2 程度のプレストレスを導入するのに十分な性能を有する。
- (2) 上記の装置を用いて、はり供試体で $120 \sim 130\text{kg/cm}^2$ 、版供試体で主軸方向 200kg/cm^2 、軸直角方向 70kg/cm^2 のプレストレスの導入を実証できた。
- (3) 鋼板とコンクリートのずれ止めとして用いるくさび効果を有する端部のアンカープレートスタッドとの併用は、プレストレス導入にともなう供試体端部の定着長を短縮する上できわめて効果的である。
- (4) 鋼板とコンクリートの接合面におけるずれを考慮した合成版の導入プレストレスは、有限要素法を用いた本解析によって、比較的精度よく把握できる。

なお、コンクリートの乾燥収縮・クリープにともなうプレストレスの減少、プレストレスが導入された合成版の構造特性については、別の機会に発表の予定である。また、本構造はプレキャスト部材として製作されることから、その接合方法についての検討も今後必要である。

謝辞

本研究は、オリエンタル建設(株)、住友建設(株)、(株)東京鉄骨橋梁製作所、(株)ピー・エス、富士ピーエス(株)、横河工事(株)との共同研究により実施したものである。また、本装置の製作に対し、M. E. 構想研

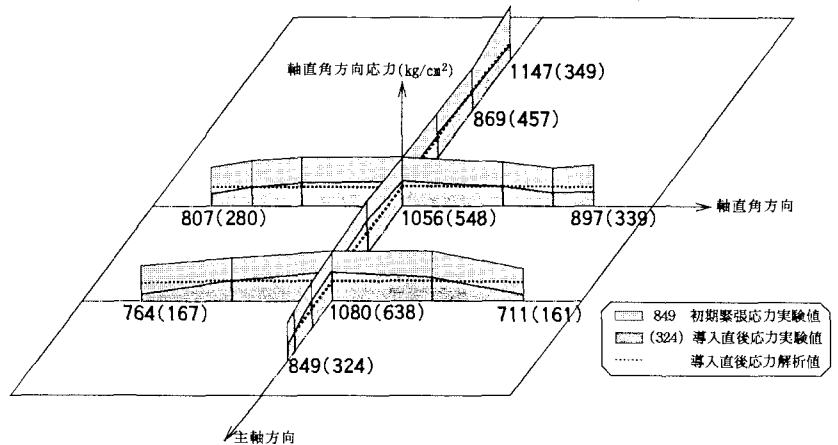


図-9 鋼板の軸直角方向応力分布

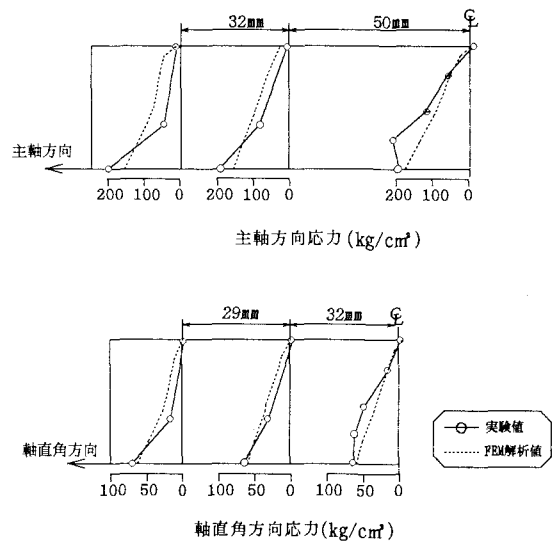


図-10 コンクリート応力分布

究委員会より資金援助を賜った。建設省土木研究所 星限 順一氏（当時大学院生）には、本研究に多大のご協力をいただいた。この論文中的 F E M 解析には(株)横河技術情報の汎用有限要素解析プログラム COSMOS/M を使用した。ご協力頂いた関係各位に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン、1989
- 2) 太田俊昭、日野伸一、星限順一：鋼板・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する新しい試み、プレストレストコンクリート、Vol. 33、No. 6、Nov. 1991
- 3) 太田俊昭、日野伸一他：鋼・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する基礎的研究（その 1）、土木構造・材料論文集、第 6 号、1991 年 1 月
- 4) 太田俊昭、日野伸一他：鋼・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する基礎的研究（その 2）、九州大学工学集報、第 63 巻、第 6 号、1990 年 12 月
- 5) たとえば、K. R. Moffatt and P. T. K. Lim: Finite Element Analysis of Composite Box Girder Bridges Having Complete or Incomplete Interaction, Proc. Instu. Civ. Engrs., Part 2, 61, Mar. 1976.
- 6) 工藤邦紀：鋼板を緊張材として用いたプレストレスト合成はりの伝達効率に関する研究., 九州大学卒業論文, 1992 年 3 月

(1 9 9 2 年 9 月 2 1 日 受 付)