

プレストレス導入による集成材 の新接合方法に関する研究

深山清六¹・渡辺浩志²・久保田努³・三井康司⁴

¹正会員 ピーシー橋梁株式会社取締役 (〒105-0003 東京都港区西新橋 3-24-9 飯田ビル)

²ピーシー橋梁株式会社本社技術部設計第一課長 (〒105-0003 東京都港区西新橋 3-24-9 飯田ビル)

³正会員 株式会社長野技研常務取締役 (〒390-1241 長野県松本市大字新村 2326)

⁴正会員 工博 信州大学工学部教授 (〒380-0922 長野県長野市若里 500 番地)

近年、木材の特性をさらにグレードアップする有効な手段として開発された集成材は、構造材料として急速に発展し海外ではもちろんのこと国内の実績としても土木における橋梁分野から大空間構造物（ドーム）等の建築に至るまで適用範囲が拡大し、大規模化しつつある。集成材を構造部材とした場合の基本的な問題点としては、部材接合方法がある。現状において集成材の接合方法としては、鋼板を用いたボルト結合などいくつかの手法があるが、接合面における大型荷重伝達、耐久性、施工性、美観性、経済性等、総合的に各方法を評価すると必ずしも全てを満足していない場合がある。本研究は、集成材接合部の強度をプレストレス導入による摩擦接合により確保する新しい工法を提案し、集成材の長尺化に対する適用可能性について検討するものである。

Key Words : wooden construction, glulam timber beam, new joint system by prestressing

1. はじめに

人の生活や文化の進展は、石器、青銅器、鉄器等各時代の名称に象徴されるように、常に材料の変革とともにあった。一方土木分野における構造材料としては、石、木材からコンクリート、鋼へと移行し、さらにはコンクリートにおいては力学特性を著しく進展させた鉄筋コンクリート及びプレストレスコンクリートなどがある。

近年、木材が橋梁や大型空間構造物に適用される事例が多くなりつつある。これは、「環境問題」、「資源の有効活用」、「地域特性」などの「使う側の要求」に対して「木材」が「自然から与えられる天然素材」であり、「加工に要するエネルギー消費量が少ない」こと、「再生が可能で資源の有効活用可能」なこと、「環境や人にやさしい」こと、「素材の美しさが自然の景観に調和すること」などによるものと考えられる。

一般的に木材は、軽量かつ圧縮と引張が同程度の強度である特性を有している。構造用材料として木材を考えた場合には、バラツキが大きいこと、節・割れ目等の構

造上の弱点があること、および腐食等の問題がある。そこで木材の特性をさらにグレードアップする手段として、集成材が加工技術および接着剤の開発により実用化に至っている。

集成材は、構造用材料として国内外で橋梁分野から大空間構造物（ドーム）等の建築に至るまで、その適用範囲が拡大し、大規模化しつつある^{1)~6)}。

集成材を構造部材とした場合、部材接合方法が重要な事項である。従来の接合方法は、接合面における大型荷重伝達、耐久性、美観性、経済性等、総合的に評価すると、必ずしも全てを満足していない^{3),4)}。

本研究の主たる目的は、集成材の各セグメントにプレストレスを与えることにより一体化し、接合面の強度を確保し、現場施工等においても容易かつ合理的な接合方法を提案することである。

ここでは、このようなプレストレスによる集成材の新しい接合方法について、その有効性を確認するために行った基礎試験、解析、クリープ試験さらに本工法の適用性について述べるものである。

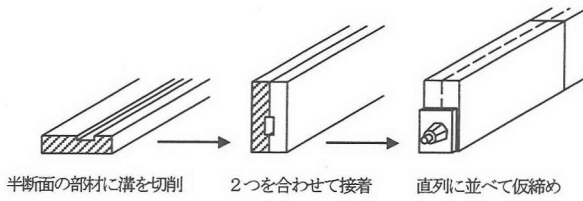


図-1 孔付き集成材の制作方法

表-1 集成材の分類・規格

種類	同等級ラミナで構成する構造用集成材
樹種・等級	針葉樹B1類 からまつ 1級
長期許容曲げ応力度	130kgf/cm ²
同 せん断応力度	10kgf/cm ²
繊維方向ヤング係数	100×10 ⁹ kgf/cm ²

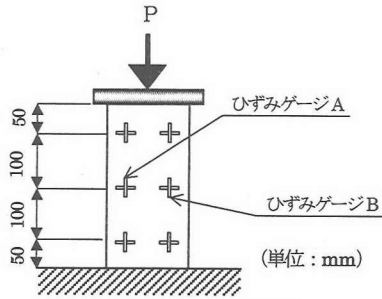


図-2 ひずみゲージ位置

表-2 接着効果試験概要

供試体寸法	計測項目	試験要領
150mm×150mm×300mm	・荷重 ・ひずみ ・降伏荷重	・一軸圧縮試験 ・試験体上下を加圧板で挟んで荷重を加える ・荷重速度は2~3kgf/cm ² (0.2~0.3N/mm ²) ・載荷荷重 $P_a = 3 \cdot A \cdot \sigma_a$ = 3 × 15cm × 15cm × 130kgf/cm ² = 70 900kgf σ_a : 許容曲げ圧縮強度

2. 集成材の接合方法

集成材を構造部材とした構造物の大規模化、長尺化を図る問題として、部材の接合方法が挙げられる。集成材の接合方法については、古くから多くの研究が行われ様々な方法が提案されている⁹⁾。木橋では、ピン接合や鋼板とピンまたはボルトを併用した接合方法があるが、これらは軸力が卓越するアーチやラーメン橋に限られている。しかし桁橋の接合事例の報告は非常に少ない⁴⁾⁹⁾。近年は、鋼板、ピンに樹脂を加えた接合方法が提案されており⁹⁾、ドーム支間長が170mにおよぶ大型空間構造物においてエポキシ樹脂と縞鋼板挿入ドリフトピンを併用した接合方法が採用されている⁹⁾。

接合面における部材応力の伝達は、接合部に生じる引張応力が木材のせん断強度を介して伝達する機構として作用しているものと考えられる。このため、これまでの接合方法は、「接合部のせん断強度を増加させること」を基本としている。

本研究で提案する接合方法は、集成材にプレストレスを導入して接合面に引張力を生じさせないことを主眼としている^{10),11)}。集成材にプレストレスを導入して部材接合を行う研究、施工事例については幾つか報告されている^{3)~9)}。しかしながら、繊維方向にプレストレスを導入し、梁部材を直列に接合する技術についての報告事例は未だ見られない。本研究に際して長手方向に所要のPC鋼材用の孔(ダクト)を作成する方法として、図-1に示す方法を考案した。この方法によれば、一般的な梁部材におけるPC鋼材の曲線形状配置に対しても十分対応

可能である。孔(ダクト)付きの集成材の製作は、木材の加工技術と接着剤の技術の進歩により可能となったものである。

3. 基礎試験

(1) 試験目的と概要

基礎試験は、プレストレスの有効性を確認することを目的として行ったものであり、接着効果試験、プレストレス導入試験、載荷試験の3種類に分けて行った。各試験目的と試験概要を以下に示す。なお本試験に用いた集成材の分類・規格を表-1に示す。

a) 接着効果試験

集成材を構造部材として用いる場合、製造過程におけるラミナ同士の接着強度を要因とする部材の一体性は最も重要な事項である。接着効果試験は、接着強度を確認すると同時に材料特性に関する基礎データを得ることを目的として行った。表-2に、供試体寸法、測定項目、試験要領を示す。また図-2に、供試体ひずみ測定位置を示す。

JIS Z2101木材の試験方法では、供試体高さを正方形断面一辺の長さの2~4倍としている。ここでは、供試体高さは、プレストレス導入時のPC鋼材定着部近傍の局部応力が接着部に、より直接的に影響することを想定し、断面一辺の長さに対して2倍とした。

なお、試験載荷荷重は許容圧縮応力度に対して、3倍を目安とした。

b) プレストレス導入試験

プレストレス導入試験は、プレストレス導入による集

表-3 プレストレス導入試験計測項目および試験手順

測定項目	試験手順
・プレストレス導入力 ・供試体ひずみ	①PC鋼材配置 ②定着用支圧プレートのセット ③緊張ジャッキの配置 ④プレストレス導入, PC鋼材緊張力はジャッキ後方にセンターホールジャッキを配置して測定

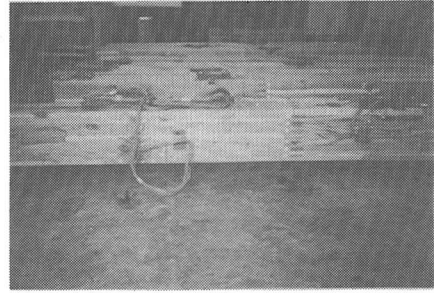


写真-1 PC鋼材を配置した供試体

表-4 プレストレス力の予備計算値

PC鋼材引張力 P_t (PC鋼棒 SBPR785/1030) $\phi 23$	18700kgf (183000N)
断面積 A	294cm ²
偏心距離 e_p	3.5cm
プレストレスによる	上縁 σ_{tu} 0 kgf/cm ²
応力度	下縁 σ_{tl} 130kgf/cm ²



写真-2 PC鋼材を配置した供試体

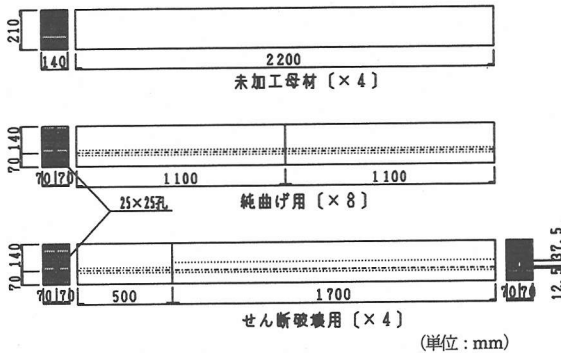


図-3 供試体寸法

成材の挙動把握を主目的として行った。

供試体寸法を図-3に示す。また、表-3に計測項目、試験要領を示す。部材長は、約20体におよぶ供試体を試験場内にて運搬・載荷装置設置・荷重載荷・撤去運び出しのハンドリング等の関係から2.200mとした。集成材は、2分割して孔(ダクト)を生成後、再加工・圧着した。断面寸法は、高さ21cm、幅14cmとした。

写真-1, 2にPC鋼材を配置した供試体を示す。また図-4には、供試体のひずみ測定位置を示す。

導入プレストレス力は部材下縁が $\sigma = 130\text{kgf/cm}^2$ (12.7N/mm²) (許容圧縮応力度)となるように決定した(表-4参照)。

c) 載荷試験

載荷試験の概要とその目的は表-5に示す。

なお、図-5に荷重状態を示す。

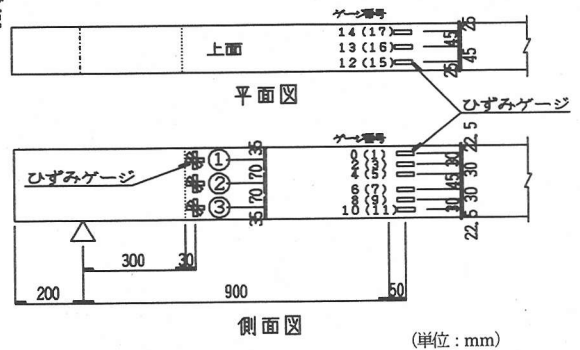


図-4 供試体ひずみゲージ位置

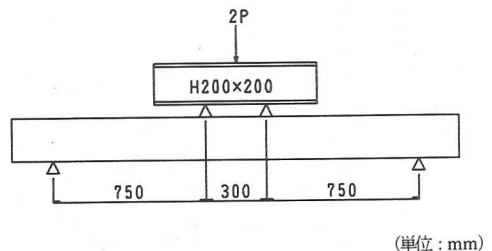


図-5 載荷状態

表-5 試験概要と試験目的

		実験目的	備考
①母材試験 (プレストレスなし)		部材接合部の無い母材について荷重試験を行い、母材の強度を確認する。	供試体数4 No.16~19
②曲げ試験 (プレストレスあり)	グラウトなし	部材接合部を曲げモーメントが最大となる支間中央部に設けて、強度ならびに部材の挙動を把握して母材と比較を行う。	供試体数4 No.1~4
	グラウトあり		供試体数4 No.5~8
③せん断試験 (プレストレスあり)		部材接合部を支間長 1.800m に対して支点より 0.300m の位置に設置して、接合面のせん断強度についても確認する目的で行う。	供試体数4 No.12~15

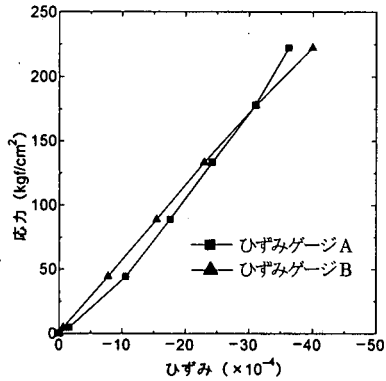


図-6 応力-ひずみ曲線

(2) 試験結果と考察

a) 接着効果試験

図-6 は荷重応力に対するひずみを示したものである。ひずみは、供試体中央部の2つの縦方向ひずみを示している。圧縮応力が 225kgf/cm² (22.1N/mm²) 程度までは応力とひずみは、ほぼ線形関係を示している。また許容圧縮応力度の3倍の荷重に対しても接着・硬化した状態はそのまま持続されていた。

本試験の結果から、部材の積層圧縮、硬化による一体性が確認できた

b) プレストレス導入試験

各プレストレス値に対するたわみの計測値を図-7に示す。弾性係数を 100,000kgf/cm² (9810N/mm²) と仮定した場合の梁理論による計算値 0.202mm/tf (20.6mm/N) (FEM解析では 0.196mm/tf) に対して 0.150~0.193mm/tf (15.3~19.7mm/N) (14~18tf (137~177kN) 間割線) という結果が得られた。この値から算出される弾性係数は 135~105×1000kgf/cm² (13200~10300N/mm²) となる。

図-8 は、最終導入力による梁中央断面のひずみ分布であり、また図-9 は梁上下縁より 22.5mm の位置における導入プレストレス力の変化に対するひずみを示している。応力度目盛りは便宜的に弾性係数を

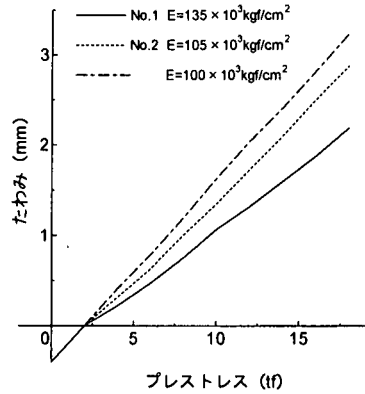


図-7 プレストレス-たわみ

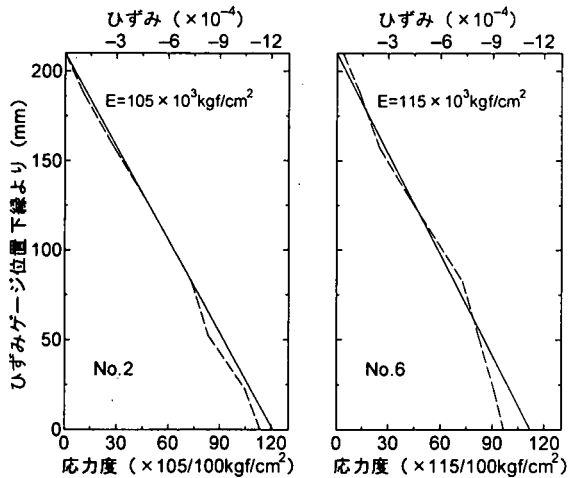


図-8 最終導入力による中央断面のひずみ分布

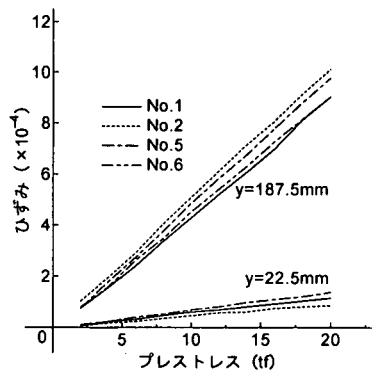


図-9 プレストレス-ひずみ分布

100,000kgf/cm² (9810N/mm²) としたときの目盛りである。

これらの結果から、ひずみ (応力度) 分布および荷重-ひずみ (応力度) の関係は線形関係を有しており、接合部において、プレストレスが有効に導入されていた。

c) 荷重載荷試験

① 母材試験

荷重（曲げモーメント）による梁中央断面各位置のひずみの計測結果を図-10に示す。

低応力下ではほとんど弾性的な性状を示し、応力レベルが高くなるにつれて線形でなくなる傾向を示している。ただし、図-11は載荷荷重Pが1.0tf（9.8kN）および5.0tf（49.0kN）の時のひずみ分布を示したものであるが、荷重が増大するにつれて中立軸が下がり、圧縮側のひずみも不整となっている。また、図-11の引張側の図心に近い位置（ $y=82.5\text{mm}$ ）のひずみの伸びが小さくなる傾向を示している。これらの要因としては、木材繊維の強度が圧縮の方が弱いためか、もしくは木材の繊維直角方向の強度が低いために、荷重載荷点がめり込む現象（除荷後に戻りがあり正確に計測できなかったが、めり込み量は10mm程度）を反映しているかの2点が考えられる。

② 曲げ試験

図-12~14に曲げによる梁中央断面各位置でのひずみ計測結果を示す。このひずみは載荷荷重により生じたひずみであり、プレストレスの値は考慮していない。

また、めり込みの影響が大きい圧縮側上縁のデータは表示していない。図-15はグラウトを行ったNo.5~8のひずみ計測値の単純平均と、計算値（弾性係数はプレストレス導入試験からそれぞれ求めた値の平均値 $116,000\text{kgf/cm}^2$ （ 11400N/mm^2 ）として計算）である。

載荷荷重Pが2.0tf（19.6kN）までは線形的な挙動を示す。計算上は2.07tf（20.3kN）がプレストレスによる応力度を打ち消して下の応力度がゼロとなる値である。ひずみの値も導入プレストレスによる値とよく一致する。この値を超えると下縁に開きを生じ、引張側は順次抵抗断面から除かれ、中立軸が圧縮側にシフトしていくと予想されるがグラフもこの状態を示している。

グラウトの有無による差異は、荷重2.0tf（19.6kN）までの範囲を見ると、グラウトを行わないアンボンドのものが図心に対して対象のグラフとなっているのに対して、グラウトを行ったものは圧縮側にシフトする傾向を示し、木材との合成断面で抵抗していることが認められる。載荷試験状況を写真-3に示す。

曲げ試験による供試体（部材接合部を支間中央部設け、プレストレスを導入した供試体）の破壊に至る過程を図-16に示し、その概要について以下に列記する。

I) 載荷荷重による引張り応力がプレストレスによる圧縮応力を上回る荷重状態においては、部材接合部に開きが生じ応力分配が変化する。すなわち鉄筋コンクリートのメカニズムと同様に荷重により生じる引張り力に対してPC鋼材が抵抗し、圧縮応力は梁部材上縁側の圧縮領域が抵抗する。

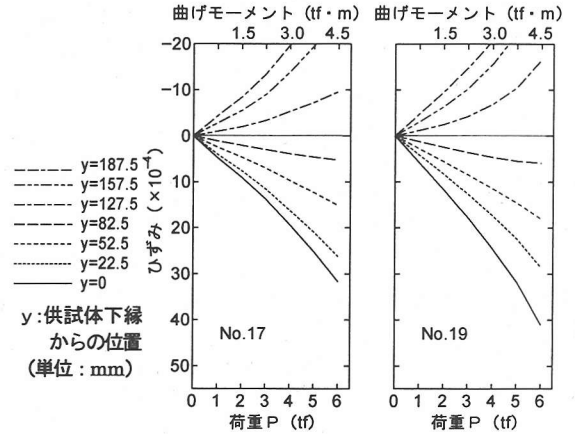


図-10 荷重-ひずみ（母材）

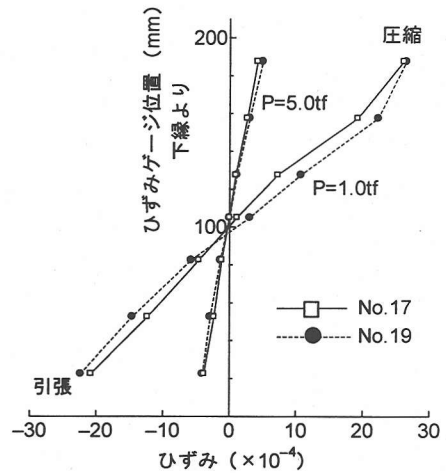


図-11 断面中央のひずみ分布（母材）

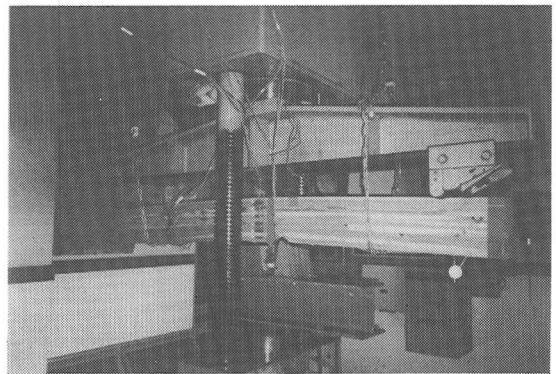


写真-3 載荷試験状況

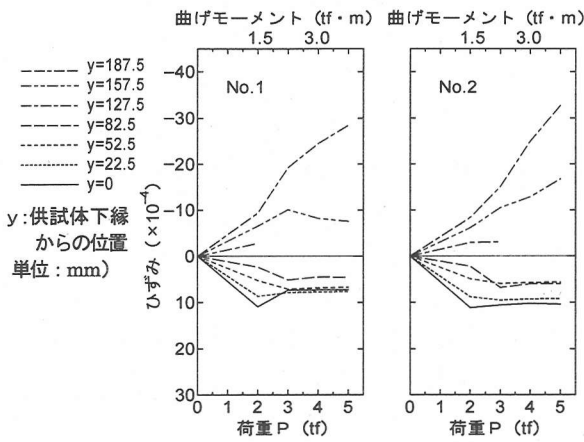


図-12 荷重-ひずみ (プレストレス導入材)

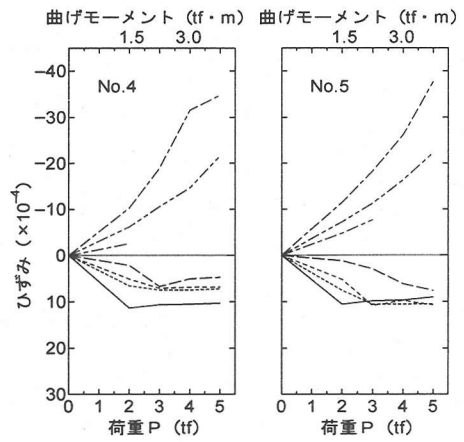


図-13 荷重-ひずみ (プレストレス導入材)
球キングラト有

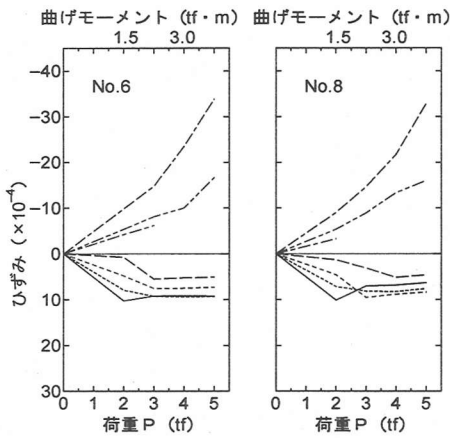


図-14 荷重-ひずみ (プレストレス導入材)
球キングラト有

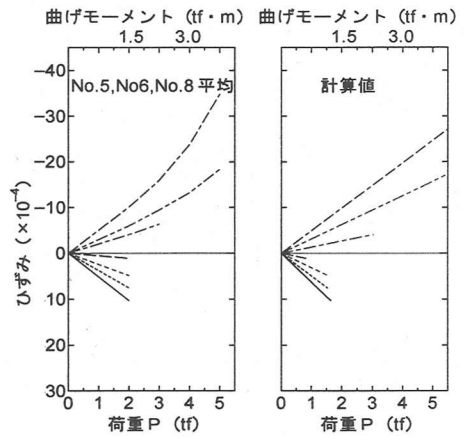


図-15 荷重-ひずみ (グラト部材平均, 計算値)

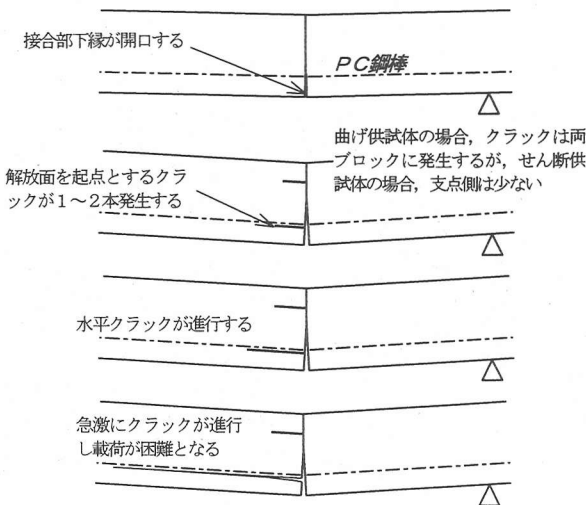


図-16 破壊状況

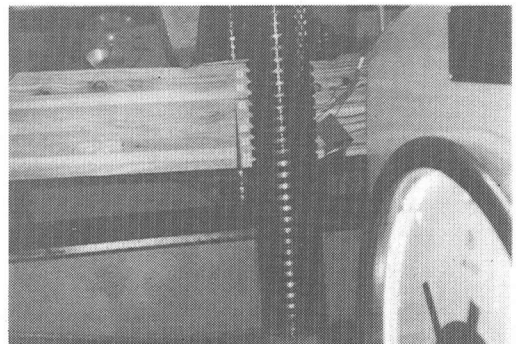


写真-4 荷重試験状況

II) この状態で載荷荷重に対して、部材として力の釣合いを保ちながら抵抗している。

III) 載荷荷重の増加に伴い、梁のたわみならびに部材接合部の開きが増加していく。そして圧縮領域では応力の増加ならびに鉛直方向に割裂引張り応力が増加してくる。

IV) 最終的な破壊性状としては、鉛直方向に増加した割裂引張り応力が集成材のラミナーの積層圧縮、硬化させる接着強度を上回りラミナーが裂けた状態で破壊に至る。(写真-4 破壊状況)

載荷試験における破壊荷重を表-6に示す。

なお供試体 No.9,10 は接着剤のみの接合によるものであり、プレストレスは導入されていない。

破壊抵抗曲げモーメント (M_u) 及び破壊荷重 (P_u) は、式(1), (2)により計算し、その結果を表-7に示す。

$$M_u = A_s \cdot \sigma_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot \sigma_{sy}}{0.85 \sigma_{ck} \cdot b} \right) \quad (1)$$

$$P_u = \frac{M_u}{l_1} \quad (2)$$

ここで、 σ_{sy} :引張鋼材の降伏点、 A_s :引張鋼材の断面積、 σ_{ck} :集成材の圧縮強度、 d :部材断面の有効高、 b :圧縮フランジの有効幅、 l_1 :せん断スパン長(0.75m)、なお圧縮強度 σ_{ck} は、許容圧縮応力度の3倍を想定した。

これらの結果より、設計荷重に対する計算、破壊荷重に対する計算は、基本的にはプレストレストコンクリートで行われている計算が適用出来るもの考えられる。

③ せん断試験

曲げ試験と同じく低い荷重時においては、弾性的な性状を示し、破壊形態も同様な挙動を示した。すなわち、接合部が接合面のせん断強度の低下により破壊することはないものと考えられる。

4. 立体FEM解析

(1) 目的

立体FEM解析は、以下の事項についての応力状態を把握する目的で行った。

- ① 設計計算値の検証
- ② ラミナー同士の境界面におけるずれせん断応力
- ③ PC鋼材定着部周辺の局部応力

(2) 解析モデル

解析モデルのスリットは、載荷状態で部材接合部に開きが生ずる可能性のある部位に設けた。図-17に示すように荷重載荷試験に適用した供試体と同一モデルを作成した。

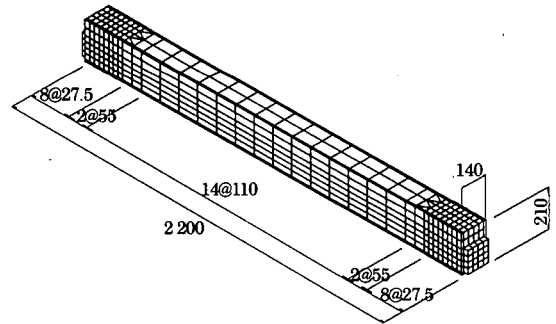
表-6 供試体の破壊荷重 (実験値)

供試体 No.	破壊荷重 P(tf)	供試体 No.	破壊荷重 P(tf)
曲げ破壊用		せん断破壊用	
1	5.40	12	6.95
2	5.25	13	6.90
3	4.50	14	6.30
4	5.00	15	5.55
曲げ破壊グラウト		母材	
5	5.50	16	7.85
6	5.50	17	8.20
7	5.00	18	8.50
8	5.70	19	7.30
※不陸整正用接着剤			
9	0.44		
10	0.70		

※参考値

表-7 供試体の破壊荷重 (計算値)

破壊抵抗曲げモーメント M_u	3.46tf·m
破壊荷重 P_u	4.62tf



(単位: mm)

図-17 解析モデル

(3) 解析ケース

プレストレス導入試験ならびに荷重載荷試験を想定して以下のケースについて解析を行った。

- ① プレストレス導入状態
- ② 供試体下縁に開きが生じた状態

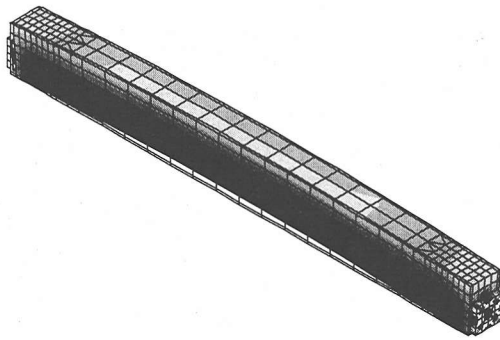


図-18 プレストレスによる曲げ応力分布 (全体図)

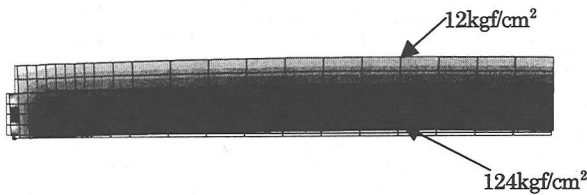


図-19 プレストレスによる曲げ応力分布 (支間中央部)

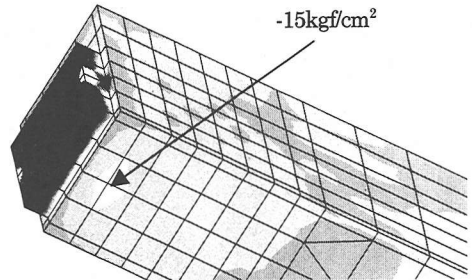


図-21 定着部周辺の引張り応力分布 (水平方向)

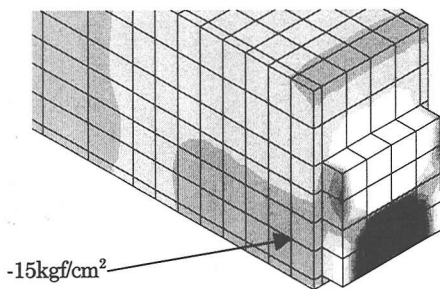


図-20 定着部周辺の水平せん断応力分布

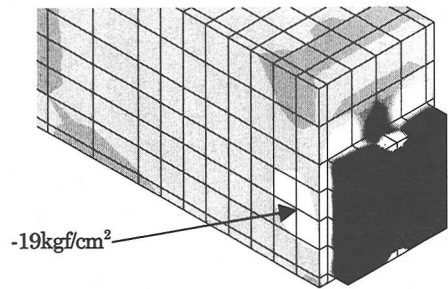


図-22 定着部周辺の引張り応力分布 (鉛直方向)

(4) 解析結果

a) 設計計算値の検証

プレストレス導入状態を想定して、立体FEM解析した結果を図-18, 19 に示す。支間中央部では上縁で $\sigma = 12\text{kgf/cm}^2$ (1.2N/mm^2) (圧縮) 下縁で $\sigma = 124\text{kgf/cm}^2$ (12.2N/mm^2) (圧縮) の結果が得られた。設計計算値は上縁で $\sigma = 0\text{kgf/cm}^2$ (0N/mm^2)、下縁で $\sigma = 130\text{kgf/cm}^2$ (12.7N/mm^2) (圧縮) であり、立体FEM解析モデルが、鉛直方向に6分割とした要素分割を行なっていることを考慮すれば妥当な値である。

b) ラミナ同士の境界面におけるずれせん断応力の把握

定着部周辺の水平せん断応力分布を図-20 に示す。集成材は積層圧縮・硬化させた部材であるため、定着部

周辺における水平せん断応力は重要な要因と考えられたが、解析の結果定着用支圧板に隣接する一部の要素が最大で約 $\tau = 15\text{kgf/cm}^2$ (1.5N/mm^2) が得られたが、他の要素においては微小な値であり問題のない応力状態である。

c) PC鋼材定着部周辺の局部応力

定着部周辺の水平方向引張り応力分布および鉛直方向引張り応力分布を図-21, 22 に示す。PC鋼材定着部周辺に発生する局部引張り応力は水平方向、鉛直方向ともに $\sigma = 10\text{kgf/cm}^2$ (-0.98N/mm^2) から $\sigma = 20\text{kgf/cm}^2$ (-19.6N/mm^2) 程度の範囲であり、集成材の引張り強度ならびにラミナーの接着強度に対して問題のない範囲である。

d) 荷重載荷状態

載荷荷重による曲げ応力分布を図-23に示す。解析では支間中央部上縁で $\sigma=140\text{kgf/cm}^2$ (N/mm^2) (圧縮), 下縁で $\sigma=145\text{kgf/cm}^2$ (14.2N/mm^2) (引張り)の結果が得られた。載荷試験における支間中央部上縁のひずみは図-15より約 100μ であり, 応力に換算すると $\sigma=135\text{kgf/cm}^2$ (13N/mm^2) (圧縮) (ヤング係数 $135 \times 10^3\text{kgf/cm}^2$ ($132 \times 10^3\text{N/mm}^2$) と仮定) でほぼ同程度の圧縮応力となっている。

一方, 下縁側に開きが生じた場合の載荷荷重による曲げ応力分布を図-24に示す。開きが生じた位置の応力値は大幅に改善され応力分配が変化する。載荷試験ではさらにプレストレスが加味された応力状態で荷重に対して抵抗している状態にある。そして荷重の増加に伴い, 開きの進展, 中立軸位置の上昇, 上縁側圧縮応力の増加により破壊に至るものと考えられる。

以上の解析結果より, 基礎実験についての設計計算値の検証とラミナ同士の境界面におけるずれせん断応力ならびにP C鋼材定着部周辺の局部応力についての応力状態を把握することができた。

5. クリープ試験(短期) および解析

(1) 目的

部材にプレストレスを導入する場合, 経時変化に伴う導入力の変動を把握することは重要である。骨材, 水, セメントという複合材料から構成されるコンクリートにおいては, クリープならびに乾燥収縮による経時変化に伴う導入力の変動は, 既に定量的に評価されている。しかし集材材については, 集材材梁を並列に列べて繊維直角方向にプレストレスを導入した版構造を対象としてクリープについて一部報告されているのみであり, 繊維方向にプレストレスを導入した状態については未だデータが得られていない。このため次の事項に留意して経時変化に伴うクリープによる導入力の変動を測定することとした。

- 集材材が有している特徴と導入直後の数日間の木材細胞組織が圧縮されることによる導入力の変動がある。
- 出荷直後の集材材は含水率が8%~12%に乾燥させてあるために, 自然環境に放置された場合, 大気中の湿度を吸収する。

(2) 供試体および計測項目

a) 供試体寸法

経時変化による変形を測定ならびに精度向上を期待して, 載荷試験における供試体寸法より1ランク規模の大

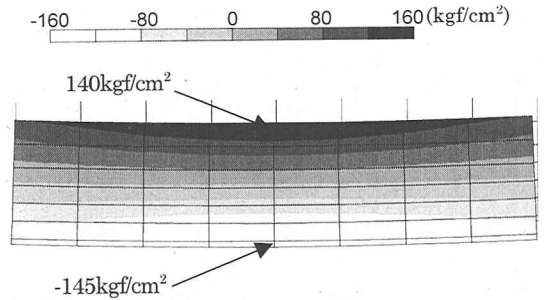


図-23 載荷荷重による曲げ応力分布 (支間中央部)

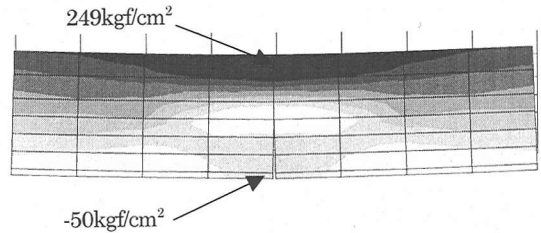


図-24 載荷荷重による曲げ応力分布 (スリットモデル)

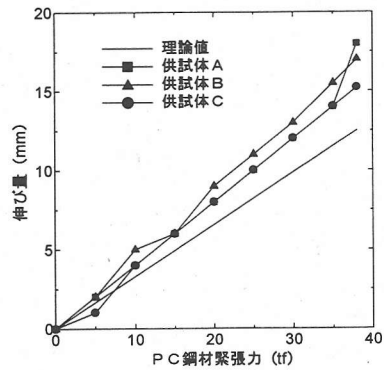


図-25 P C鋼材緊張力-伸び量

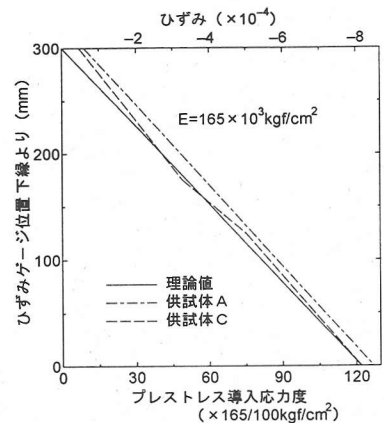


図-26 支間中央部の応力分布

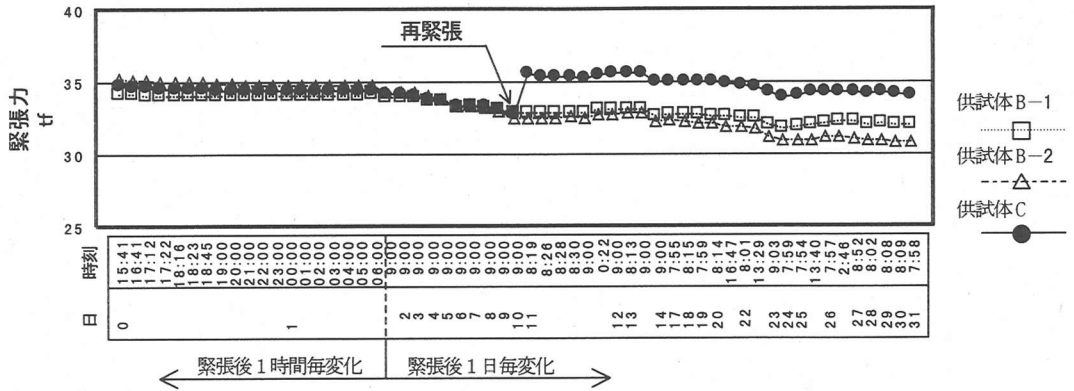


図-27 緊張後経時変化

きい供試体を考えて部材長3mとした。荷重載荷試験と同一思想より部材高は30cm、部材幅は21cmの供試体とした。

b) 計測項目

供試体は4体作成し、次の状態にして経時変化によるPC鋼材ならびに部材のひずみを測定した。

供試体A) 母材のままプレストレスを導入しないで放置状態にした部材

供試体B) プレストレスを導入後、放置状態にした部材(2体: B-1, B-2)

供試体C) プレストレスを導入後、適時、減少分を再緊張して補正した部材

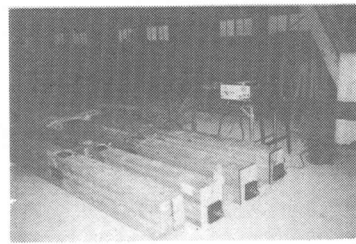


写真-5 クリープ試験供試体

(3) 試験要領

写真-5に測定状況を示す。導入プレストレス力は本試験においても上縁で $\sigma = 0 \text{kgf/cm}^2$ (0N/mm^2)、下縁側で許容圧縮応力度に近い圧縮応力 ($\sigma = 12.5 \text{kgf/cm}^2$ (12.2N/mm^2)) となるように決定した。

定着完了後放置した状態で経時変化に伴う部材の挙動を測定する。導入力の管理はセンターホール型ジャッキを緊張ジャッキの後方に配置して行った。

(4) 試験結果と考察

a) プレストレス導入時

PC鋼材の伸び量は部材の弾性変形量とPC鋼材の伸び量が加算された値として現れてくる。PC鋼材の伸び量10.7mm、母材1.8mm合計12.5mmとして伸び量管理の設計値とした。図-25は導入プレストレス力の変化の測定結果ならびに導入力に対するPC鋼材伸び量を示す。図-26は最終導入力による梁中央断面のひずみ測定結果ならびに応力分布である。ここでヤング係数は、材料試験結果より得られた値 $E_c = 165,000 \text{kgf/cm}^2$ (16200N/mm^2)としているが、部材応力は計算値とほぼ一致している。

これらの結果からクリープ試験の供試体においても、ひずみ(応力度)分布および荷重-ひずみ(応力度)の関係は線形であり、プレストレスは有効に導入されたと認められる。

b) 短期経時変化

導入プレストレス力38.2~38.1tf (375~374kN)で緊張されたPC鋼材の定着完了後にPC鋼材のひずみから得られた緊張力は34.2tf (335kN)、34.8tf (341kN)ならびに35.3tf (346kN)である。

緊張完了後、1日間は1時間毎に、その後1日毎にPC鋼材にひずみならびに部材のひずみを約1ヶ月間測定した。図-27はPC鋼材のひずみによる1ヶ月間の緊張力の変動を示したものである。ここで供試体Bについては導入力の約85%を目安として10日後に再度緊張を行い定着したものである。このグラフから導入プレストレス力定着時に約10%程度の減少があり、さらに10日後程度までに5%程度、その後2週間程度でさらに5%程度減少し、その後はほぼ一定状態を保っているものと推定できる。

集成材に導入されたプレストレス力は、部材特性、PC鋼材のリラクゼーションならびに環境条件により変化する。しかしながら有効プレストレスは、PC鋼材のリラクゼーションが緊張後早期に終了することならびに集成材が乾燥されて製作される部材であることから、実用的な範囲に残存しているものと考えられた。

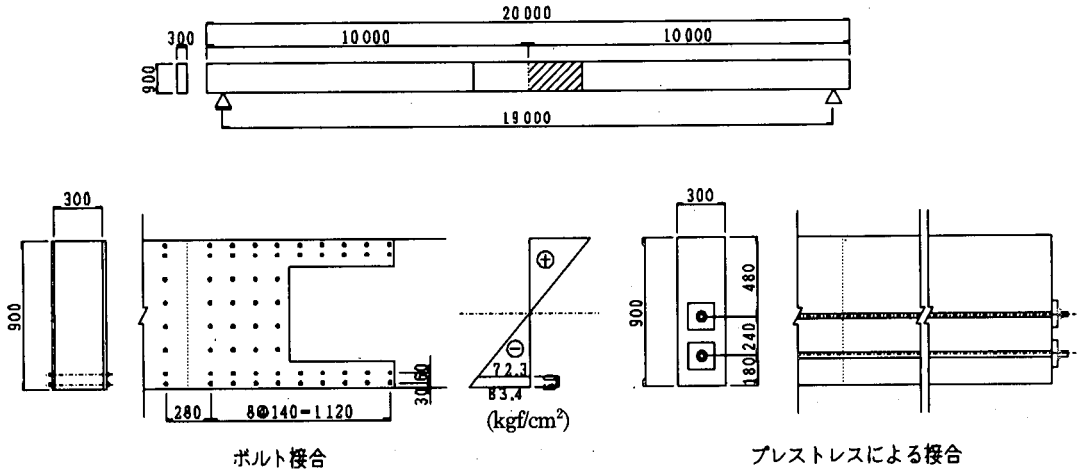


図-28 ボルト接合とプレストレスによる接合方法の比較

(単位: mm)

6. 接合部の比較

検討条件は、橋長 20m、幅員 2m、主桁断面(幅 300mm、高さ 900mm)、2主桁橋(歩道橋)を想定して、接合部の比較を行った。

主桁は、等分布荷重 0.75tf/m (7.4N/m) を受ける支間長 19mの単純梁として検討した。支間中央部に接合部を設け、①従来の鋼板とボルトによる接合方法、②プレストレスを導入する本工法の2つの接合方法について比較した。主要材料諸元を表-5、接合部の比較を図-28に示す。

従来の鋼板とボルトによる接合方法は、主桁接合部に生じる引張り力を、ボルト接合時の長期せん断耐力により負担することにより、ボルト配置が決定されている。これに対してプレストレスを導入する本工法は、部材断面の応力状態を常に圧縮状態で、許容応力度以内(引張応力を発生させない)にすることによりPC鋼材配置を決定している。

したがって、プレストレス導入による集成材の接合方法は、接合部において多くのボルト用孔が不要であり、部材断面をそのまま接合させる合理的な接合方法である。

7. 研究結果のまとめ

本稿では、プレストレス導入による集成材の新しい接合方法に関する一連した研究成果を報告している。

プレストレスの有効性については、基礎試験により一応の成果が既に得られている。

表-5 主要材料諸元

鋼板とボルトによる接合	ボルト径	2.0cm
	主材厚	30.0cm
	ボルト鋼材の基準強度	2 400kgf/cm ² (235N/mm ²)
プレストレスによる接合	SBPR930/1130 φ32mm 本数 2本	

今回は、プレストレスによる局部応力およびプレストレスの持続性等の検討を行い、さらなる実用化に近づいた。これまでに得られた知見について以下に列記する。

- ① 集成材は許容応力の範囲内において、プレストレスの導入ならびに荷重対して弾性体としての挙動を示し、従来の弾性理論によるプレストレス技術が適用可能と考えられる。
- ② プレストレス導入によるPC鋼材定着部周辺の局部応力性状は複雑な状態が想定された。このためラミナ同士の境界面におけるずれせん断応力、PC鋼材定着部周辺の局部応力についての応力状態を立体FEM解析により検討したが、使用上問題のない範囲であった。
- ③ 導入されたプレストレス力は経時に伴い、部材のクリープ、PC鋼材のリラクセーション等の影響により減少する。しかしながら集成材は、乾燥された状態で製作されており、プレストレス力は急激な減少はなく、実用的な範囲内にあるものと推定できた。
- ④ プレストレス導入による集成材の接合方法は、主桁接合部に生じる引張り力を、ボルトのせん断耐

力により伝達する方法に比較して、部材断面をそのまま接合する合理的な接合方法と考えられ、従来のプレストレス技術を合理的に適用できるものと考えられた。

8. 今後の応用性ならびに課題

本研究で提案したプレストレスによる集成材の接合方法は、合理的な接合方法の一つとして期待できるものであり、適用範囲の大規模化・長尺化が可能となる。また、圧縮に強いコンクリートと集成材とを一体化させた合成構造を検討することにより、さらに合理的な構造形式となり得る可能性がある。

集成材の繊維方向にプレストレスを導入する概念は、今までに前例がないが、コンクリートを対象として発展したプレストレス技術を適用することは十分可能である。

本技術の課題としては、緊張・定着システムの提案、設計規準類の整備などがある。一方、集成材の基本的な課題である防腐技術の確立、コストの低減等も重要な課題と考えられる。

- 3) 薄木征三：現代木橋技術，土木学会誌，Vol.82，pp.8-10，1997.4.
- 4) 薄木征三：日本における集成材橋の実例，日米木橋セミナー資料，1997.6.
- 5) マイケル・A・リター，トーマス・G・ウィリアムス：米国における集成材橋デザイン，日米木橋セミナー資料，1997.6.
- 6) 大館樹海ドーム：龍源社，1997.
- 7) 日本建築学会：木質構造基準・同解説，1995.
- 8) 小松幸平：木質材料とその接合，pp.56-58，橋梁と基礎，1995.8.
- 9) 薄木征三，佐々木貴信，長谷部薫，大原真也：鋼板，樹脂ピンによる集成材の主桁接合，構造工学論文集，vol.44A，pp.1241-1250，1998.3.
- 10) 久保田努，渡辺浩志，三井康司：プレストレスによる木桁の接合法，構造工学論文集，Vol.43A，pp.1103-1110，1997.
- 11) 久保田努，渡辺浩志，三井康司：プレストレス技術の新しい適用性について，第7回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム，pp.103-108，1997.
- 12) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅲ（コンクリート橋編），1992.6.

参考文献

- 1) 林野庁監修：近代木橋の時代，龍源社，1995.
- 2) 橋梁編纂会：現代の木造橋，橋梁増刊，1994.

(1998. 5. 13 受付)

A STUDY ON NEW JOINT SYSTEM FOR GLULAM TIMBER BEAMS BY PRESTRESSING

Kiyoroku FUKAYAMA, Hiroshi WATANABE, Tsutomu KUBOTA
and Yasuji MITSUI

In recent years, the glulam timber beams, which upgraded the wooden characteristics, have been widespread in the world for the structures of civil and architectural constructions. In applying those materials to the large-sized structures, the new types of connections have been developed. In presence, there are few joint systems using steel plates and joint bolts. However, those systems are not always adequately satisfied with durability, construction performance, etc. Therefore, authors proposed the new joint system by prestressing. In this paper, several experimental and analytical studies on the effect of prestress of timber joint were conducted, and the feasibility of this system to apply for the large-sized structures were also discussed.