

(20) プレストレス技術の新しい適用性についての基礎研究

(株)長野技研
信州大学工学部
ピーシー橋梁(株) 正会員

久保田 努
三井 康司
○渡辺 浩志

1. はじめに

木材は容易に入手できる自然材料であり、古くから人々に構造用材料として使用されてきた。わが国においては、法隆寺をはじめとする木造建築から渡月橋(京都)・錦帯橋(山口)・猿橋(山梨)のような橋梁技術に至るまで、わが国特有の伝統的な木造文化を創造し継承・発展させてきた。

しかし、近世以降の急速な科学技術の進歩と永久構造材料としての要求により、構造用材料は木材から鋼およびコンクリートへと急速に変化してしまった。

ところが近年、再び木材が見直されており、木橋・大型空間建築物が着実に増加しつつある。これは次のような要因によるものと考えらる。

- 木材の美しさが自然の景観に調和し、人にあたたかい感じを与えること。
- 環境に対する社会全体の認識の高まり。
- 地域産業の振興とスギ、カラマツなどの木材資源の有効活用。

古くから構造用材料として使用されている木材は、圧縮と引張が同程度の強度を有しており軽量である特性を有している。そして工業用材料として木材を考えた場合、バラツキが大きいこと、節・切れ目等の構造上の弱点があること、腐食等の問題がある。

これに対して改良を加えられたものが集成材であり、ラミナと呼ばれる厚さ2.5cm~3.5cmの換板を含水率8%~12%に乾燥させて積層圧縮、硬化させたものであり素材に比べ割れ、狂いが少なく、その性能も日本農林規格により規定されている。

このような木材および集成材の基本的な問題として接合方法があり、特に大型の梁部材に集成材(木材)を適用した場合に、その接合部は部材の全強度を伝達することが要求されるが未だその合理的で効果的な方法が見い出せていない。

本研究の目的は、木材の接着材および接着工法に対する技術の進歩により得られた集成材の接合面にプレストレスを与えることにより、接合面の強度を確保し、容易で合理的な集成材の接合方法を提案することであるが、基本的には「プレストレス技術の集成材への適用性」について検討するものである。ここでは、供試体による載荷試験の試験概要と得られた知見について報告するものである。

2. プレストレスを導入した集成材の接合方法

幾つかに分割されている集成材に孔(ダクト)を作成し、PC鋼材により一体化された集成材を作成する。孔の作成に際しては、集成材作成時に断面を2分割(半割り)にして孔に相当する溝を掘る。このように半割りにして溝を掘った集成材を2つ合せて再度圧縮、硬化させ孔つきの集成材を完成させる(図-1参照)。

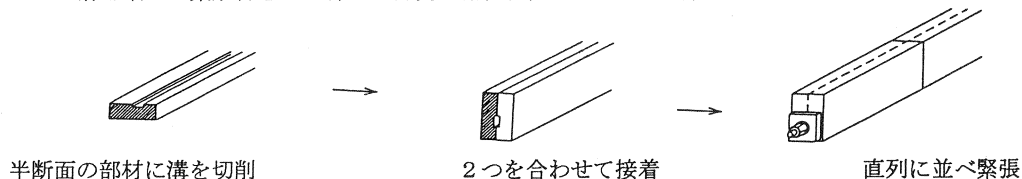


図-1 供試体の製作方法

これはプレキャストセグメントをPC鋼材にて一体化させる工法と全く同一の概念であるが、現在に至るまでに集成材のような固体の長手方向に所要の孔を作成する方法が見いだせなかったために、本工法は適用されることはなかった。しかし、集成材の接着工法により長手方向に孔付きの集成材を作成し、プレストレスを導入することが可能になったものである。

3. 試験概要

3. 1 供試体

(1) 集成材

供試体は14cm×21cm×220cmのからまつ集成材であり、表-1に集成材の分類・規格、表-2に供試体番号と実験目的、図-2に形状寸法、図-3にひずみ計測位置を示す。また、写真-1、2に供試体を示す。

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 ³ kgf/cm ²	

表-2 供試体番号と実験目的

No.	実験目的
1~4	純曲げによる接合面の破壊強度を計測するためのもの。接合面は支間中央。
5~8	PC鋼材の付着効果を計測するためのもの。エポキシ樹脂をグラウト。他は同上。
12~15	接合面のせん断(ずれ)破壊強度を計測するためのもの。接合面は支点から30cmの位置。
9~10	上記のすべての供試体に使用する接合面整正用接着剤の影響を調べるためのもの。接着剤のみで接合。9の接合面は支間中央、10は支点から30cmの位置。
16~19	母材の強度を計測するためのもの。

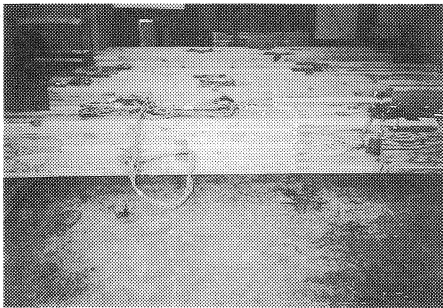


写真-1 供試体

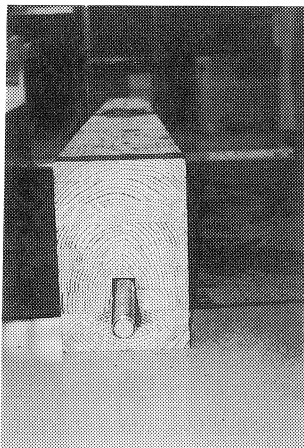


写真-2 供試体(断面)

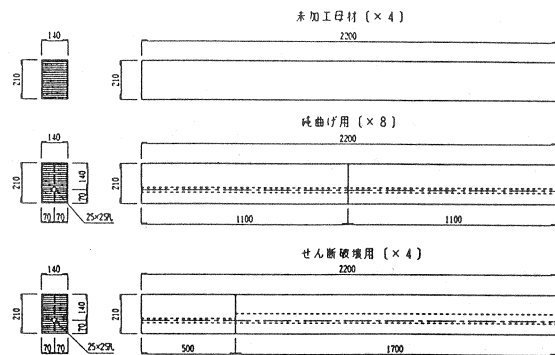


図-2 供試体の形状寸法

(2) PC鋼材

PC鋼材は丸棒A種2号(SBPR785/1030)φ23mmを使用した。定着具はコンクリートに用いられている規格のものをそのまま使用し、支圧板の大きさは120×120×24mmである。

(3) 孔および供試体の製作

孔は、断面縦方向に2分割し両側に溝を彫った後接着し、25×25mmの直線状矩形孔を形成した。本供試体程度の長さの直線孔ならば、ドリル孔も可能であるが、実際に適用する場合の長さおよびPC鋼材の曲線配置を考慮したものである。

このようにして作成した二つの部材を直列に並べ、PC鋼棒を挿入、硬質の硬化性樹脂を接合面に塗布、直線性を保つように固定した後、仮緊張を行った。樹脂は接合面の不陸および切断角誤差を吸収するためのものである。

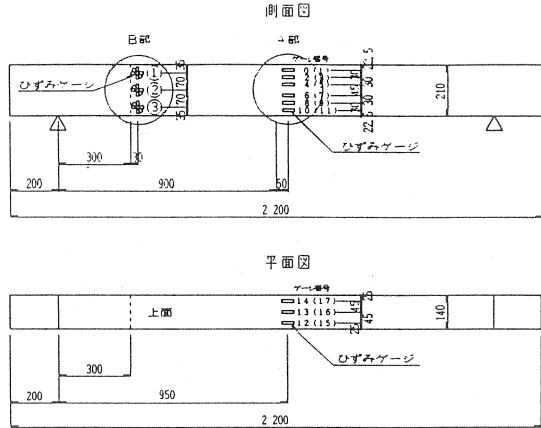


図-3 ひずみ測定位置

4. 2 実験方法

(1) プレストレス導入試験

緊張力の管理は支圧板とセンターホールジャッキの間においた圧縮センターホール型荷重計により行った。最終導入プレストレスは部材下縁が130kgf/cm² (表-1の許容値) となる値を目標値とし、18.7tfとした。

計測項目は、たわみと木材およびPC鋼棒のひずみである。

(2) 曲げ試験

図-4に荷重載荷図を示す。支間は180cmとし、荷重は支間中央をはさんで30cmの位置に2点荷重である。実験は荷重制御で行い、いずれの供試体も破壊するまで荷重を増加した。

計測項目はプレストレス導入試験と同じ位置のひずみである。No.1~4供試体についてはクラックゲージによって、接合部下端が離れる瞬間の荷重を測定した。

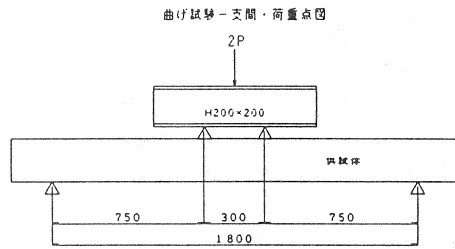


図-4 曲げ試験

5. 試験結果

5. 1 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-5に示す。弾性係数を100,000kgf/cm²と仮定した場合の梁理論による計算値0.202mm/tf (FEM解析では0.196mm/tf) に対して、0.150~0.193mm/tfという結果となった。この値から算出される弾性係数は135~105×10³kgf/cm²となる。

図-6は最終導入力による梁中央断面のひずみ分布であり、図-7は梁上面および下面から22.5mmの位置の各プレストレスによるひずみを示したものである。

応力度目盛りは便宜的に弾性係数を100,000kgf/cm²としたときの目盛りである。

以上の結果および図から、ひずみ(応力度)分布および荷重-ひずみ(応力度)の関係は線形であり、弾性体とみなせる。ゆえに、許容圧縮応力度レベル内において

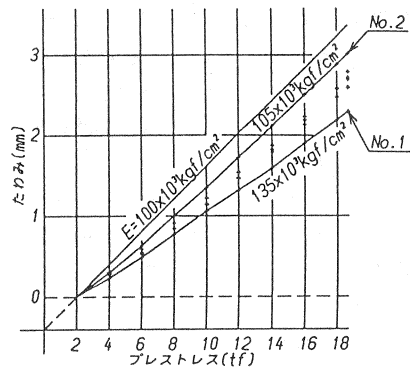


図-5 プレストレス-たわみ

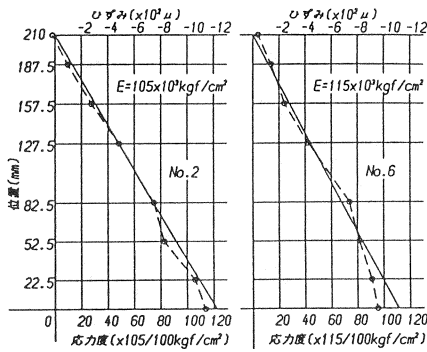


図-6 最終導入力による中央断面ひずみ分布はプレストレスに関しても弾性理論の適用が可能であり、プレストレスは接合部に有効に導入されていると認められた。

5. 2 曲げ試験

(1) 母材

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-8に示す。図中 (y=) で示す値は下縁からの距離 (mm) である。

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、過去の同様な実験結果と同じ傾向を示す。ただし、図-9は載荷荷重 P が 1.0tf および 5.0tf 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-8の引張側の図心に近い位置 (y=82.5mm) のひずみの伸びが小さくなる傾向を示している。原因は木材繊維の強度が圧縮の方が弱いためともみえるが、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、10mm程度) を反映しているとも考えられる。つまり、荷重の増加につれて圧縮側断面が減少していった場合も図のような結果となり、いずれにしても本実験結果からは正確な比例限度は求められなかった。

(2) プレストレス導入部材-曲げ破壊

図-10~12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。ひずみはプレストレスによる値を入れている。また、めりこ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-13はグラウトを行ったNo.5~8のひずみ計測値の単

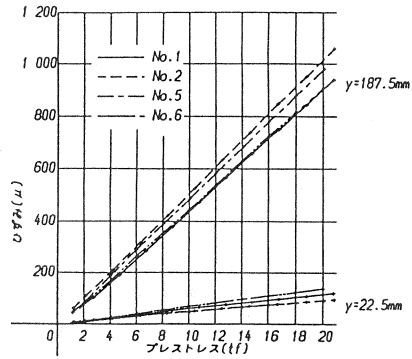


図-7 プレストレス-たわみ

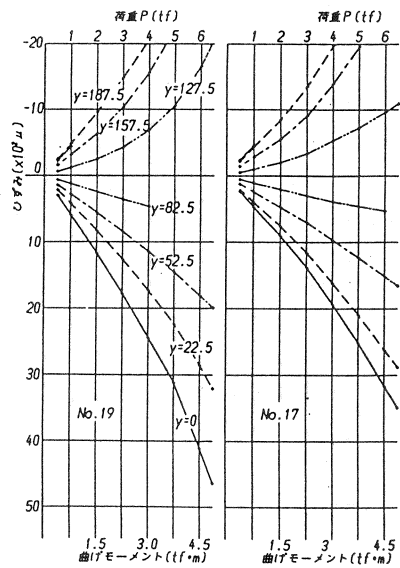


図-8 荷重-ひずみ

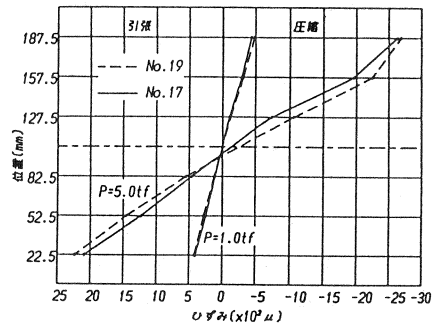


図-9 ひずみ分布 (母材)

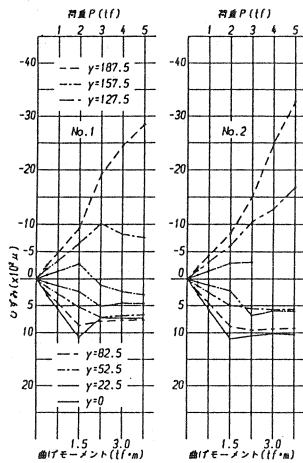


図-10 荷重-ひずみ(プレストレス導入材)

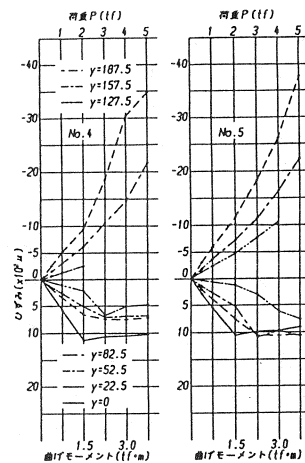


図-11 荷重-ひずみ(プレストレス導入材)
ゴボキシガラ有

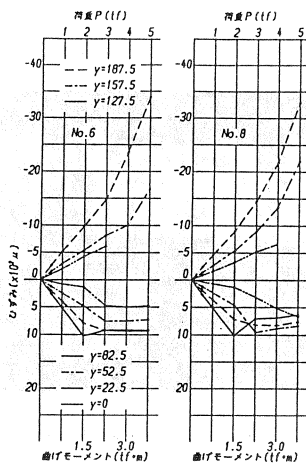


図-12 荷重-ひずみ(プレストレス導入材)
ゴボキシガラ有

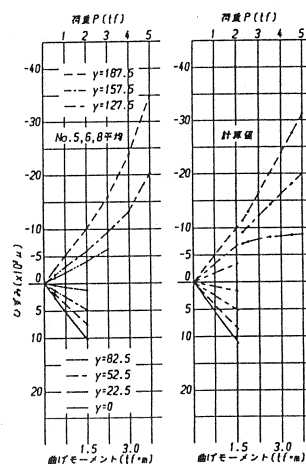


図-13 荷重-ひずみ(ガラ部材平均、計算値)

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 $116,000 \text{ kgf/cm}^2$ として計算)である。

載荷荷重 P が 2.0 tf までは線形的な挙動を示す。計算上は 2.067 tf 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様子を示している。

以上から、プレストレスが接合断面の抵抗力に寄与していることが確認され、下縁に開きを生じた後もプレストレストコンクリートと同様な挙動であり、設計荷重に対する計算、破壊抵抗曲げモーメントの計算などは、基本的にはプレストレストコンクリートの設計において行われているような計算方法が適用できると推

定できる。

5. 3 破壊時の検討

表-3に破壊荷重の比較を示す。破壊強度は母材に対して約2/3である(母材15tf、純曲げ用供試体約10tf、せん断破壊用約12tf)。

断面に引張り応力が生じた後(約4.0tf)もPC鋼材により抵抗していることがわかる。

母材およびせん断破壊用供試体は載荷荷重が6tf程度から荷重が増加するにつれて、上縁のひずみが圧縮から引張へ変化している。この要因としては、荷重載荷点の局部支圧応力によるめり込みによるものと推定できる。

母材許容応力度の3倍を目安として $P_u = 10.7\text{tf}$ の設計破壊荷重を設定したが、本試験結果においては、プレストレスにより集成材を接合した場合においても破壊耐力を確保できたものと推定できる。

6. まとめおよび今後の課題

以上の結果から、プレストレス接合された集成材(木材)は許容応力度の範囲内において弾性体としての挙動を示し、木材の接合方法としてプレストレスの適用が非常に有効な方法であることが確認できた。

集成材は自然の素材を生かした材料であり、部材加工に要する消費エネルギーも少なくその需要は着実に増加しつつある。現在、コンクリートに対してこのように普及したプレストレス技術を集成材に適用するためには、集成材の基本的な材料としての性質をさらに分析してプレストレスに関する次のような基本的な事項等に関して今後調査する必要がある。

- ① 繊維材料で乾燥処理された部材に導入されたプレストレス力の自然環境下における経時変化
- ② PC鋼材の防錆

しかし、集成材接合部の強度を現場にてプレストレスで確保することは、大断面の集成材に対する接合部の合理的な強度確保ならびに運搬上の制約に対する有効な対応策と考えられ、橋梁、大空間建築分野における集成材の適用範囲も増加するものと期待できる。最後に本稿をまとめるにあたり、これまでにご指導・ご協力いただきました関係者各位の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：構造工学論文集「プレストレスによる木桁の接合法」、1997.4

表-3 破壊荷重

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	10.80	12	13.9
2	10.50	13	13.8
3	9.00	14	12.6
4	10.00	15	11.1
曲げ破壊グラウト		母材	
5	11.00	16	15.7
6	11.00	17	16.4
7	10.00	18	17.00
8	11.40	19	14.6
不陸整正用接着剤			
9	0.88		
10	1.40		

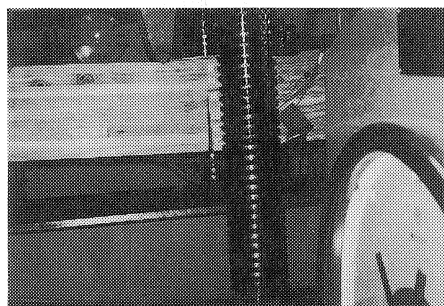


写真-3 曲げ試験の破壊状況