

プレストレスを導入した集成材梁の提案および実大曲げ実験報告

(株)建研	正会員	工修	○岩見	遼平
(株)松田平田設計		工修	森田	明
藤寿産業(株)			佐藤	直人
日本大学理工学部	正会員	工博	福井	剛

キーワード：集成材，プレストレス，新工法，実大実験

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下 PC)構造は部材に圧縮応力を作用させることでひび割れを抑制し、たわみも制御できるため大スパンを実現できる優れた構造である。この PC 技術を応用し、我が国において豊富な木材資源を有効活用する手段として、大スパン化を目的としたプレストレスト木質部材に着目する。木質材料の中で構造部材に多く用いられている集成材は圧縮と引張の強度がほぼ等しく、その強度はコンクリートの圧縮強度と同等の優れた材料である。一方で、弾性係数はコンクリートの 1/6~1/4 程度と低いため大スパン構造とした場合、部材中央のたわみが大きく、梁せいを増やさなければ設計できないケースが多い。したがって、プレストレスにより集成材のこの弱点をカバーすることで魅力的な大スパン架構を実現できると考える。

筆者らは設計が比較的容易で部材の接合も簡便な二次部材を検討対象とし、これまでにプレストレスを導入した集成材小梁の試設計を行い、15m 以上のロングスパン部材においてプレストレスによる実用的な梁断面低減効果が得られることを明らかにした¹⁾。また、これまでに設計方法の妥当性を検証するために種々の要素実験を実施し、部材圧着継目のせん断耐力の検討²⁾、梁端部 PC 定着板の定着性能に対する検討³⁾を行った。本報ではプレストレスを導入した集成材梁の実大曲げ実験により、その力学挙動を把握し、断面設計における平面保持仮定の妥当性について考察する。

2. 試験体の設計

図-1 に試験体断面、表-1 に材料諸元をそれぞれ示す。今回の実験では、日本において伐採量が多く資源量が豊富なスギ集成材(E75-F240)を用いた。試験体は 2 種類とし、梁のみの矩形断面で断面算定を行うタイプ A と小梁上部に取りつく合板スラブの剛性を考慮した合成断面で算定を行うタイプ B について検討を行った。試験体数はそれぞれ 5 体ずつとした。表-1 中のスギ集成材、構造用合板の材料強度には木質構造設計規準・同解説⁴⁾に示されている値を用いた。PC 鋼材は試験体タイプ A,B ともに 1-SWPR19L- ϕ 17.8mm を用い、目標緊張力は $264\text{kN}(0.8P_y)$ とした。表-2 に設計条件を示す。今回の設計対象は屋根小梁を想定し、小梁の幅は 220mm を基準寸法(二次接着を必要としない一般的な梁幅)とする。集成材の含水率は日本農林規格に基づき 15%以下に管理している。

表-3 に設計における検討条件を示す。プレストレス導入時は下端の圧縮応力が長期の曲げ許容応力度 f_b の 0.7 倍以下になるように設計する。施工時はプレストレスおよび屋根仕上げ材の固定荷重が作用した場合に材中央のたわみが 0 になるように設計する。長期設計荷重時はプレストレス+固定荷重+積載荷重に対して最大応力が長期曲げ許容応力度 f_b の 0.7 倍以下かつ、変形増大係数(=2.0)を考慮した部材中央のたわみの支持スパンに対する比が 1/250 以下になるように設計する。また、15m の梁部材は運搬が困難になる場合が多いため、部材を 3 分割して現場で圧着することを想定して、長期設計荷重時に継目位置に引張応力が生じないように設計する。短期設計荷重に対する検討は火災時を想定しており、プレストレス+固定荷重+積載荷重に対して 35mm の燃えしろを考慮した断面における最大応

力が短期許容曲げ応力度 f_b' の0.5倍以下になるように設計する。なお、試験体の設計における検討ではすべての状態において平面保持を仮定して計算を行った。プレストレスを与えずに同条件で設計した場合の梁せいはタイプAが750mm、タイプBが670mmであり、プレストレスの効果によって梁断面をタイプAで約24%、タイプBで約30%小径化することができた。

図-2に試験体の製作手順を示す。試験体は3分割した部材をプレストレスによって圧着接合し、継目に接着剤などの処理はしないものとした。PC鋼材は集成材に設けた貫通孔内に直線配線とし、緊張後にグラウトを注入した。試験体タイプBのスラブは厚さ24mm、幅900mm、長さ910mmの実付合板を丸釘(首下長さ75mm、130mmピッチ、シングル)で取り付けた。また、プレストレス導入から載荷までの日数は27~42日で、その間PC鋼より線の緊張力はほとんど変動していない。

3. 実験概要

図-3に載荷装置を示す。試験体の支点間距離15mの単純支持とし、載荷用の200kNジャッキ2基は両支点から4.5mの位置に取り付ける。載荷は4点曲げ載荷とし、試験区間は圧着継目を含む中央の等曲げ区間(6m)とする。試験体の曲げ座屈による面外変形を防ぐために鉄骨治具で拘束している。試験体の鉛直変位の計測は両側支点、試験体中央、両側載荷点の計5点とした。集成材およびPC鋼より線の歪ゲージは図-3中に示す断面の図-1中に示す位置に貼付した(試験体中央の側面の歪ゲージは上下端と中央のみとした)。表-4に加力サイクルを示す。本試験体の圧着継目は曲げによって引張応力が作用

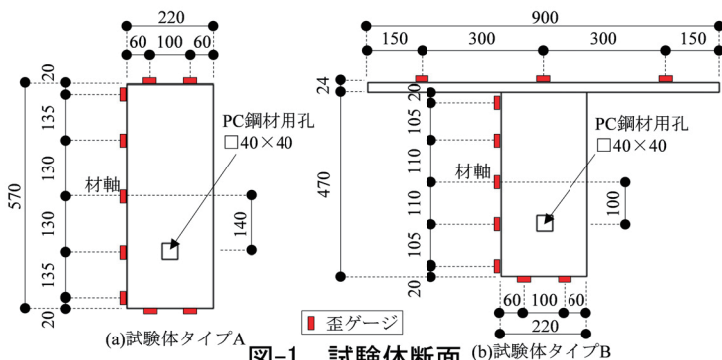


表-1 材料諸元

	F_c	F_t	F_b	F_s	E
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²
スギ E75-F240	17.6	15.3	24	2.7	6.5
構造用合板	10.5	15	19.5	-	5.5
PC鋼より線	SWPR19L-φ17.8mm				
	P_y	P_u	E		
	kN	kN	kN/mm ²		
	384	403	191		

F_c : 圧縮強度 F_t : 引張強度 F_b : 曲げ強度 F_s : せん断強度
 P_y : 降伏荷重 P_u : 引張荷重 E : ヤング係数

表-2 設計条件

設計条件	
適用部材	屋根小梁
スパン	15 m
小梁間隔	900 mm
部材分割	3分割
燃えしろ	35 mm
仕上げ荷重	920 N/m ²
積載荷重	900 N/m ²

表-3 検討条件

検討	荷重条件	検討条件
導入時	プレストレス(PS)	$\sigma_{max} \leq 0.7f_b$
施工時	PS+固定荷重	中央たわみ0
長期設計荷重時	PS+固定荷重+積載荷重	$\sigma_{max} \leq 0.7f_b$
		圧着継目 $\sigma \geq 0$ 中央たわみ $\leq 1/250$
短期設計荷重時	PS+固定荷重+積載荷重	$\sigma_{max} \leq 0.5f_b'$

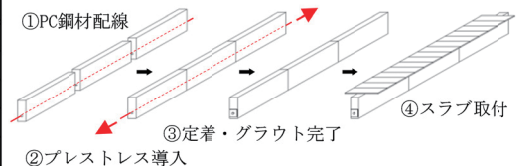


図-2 試験体製作手順

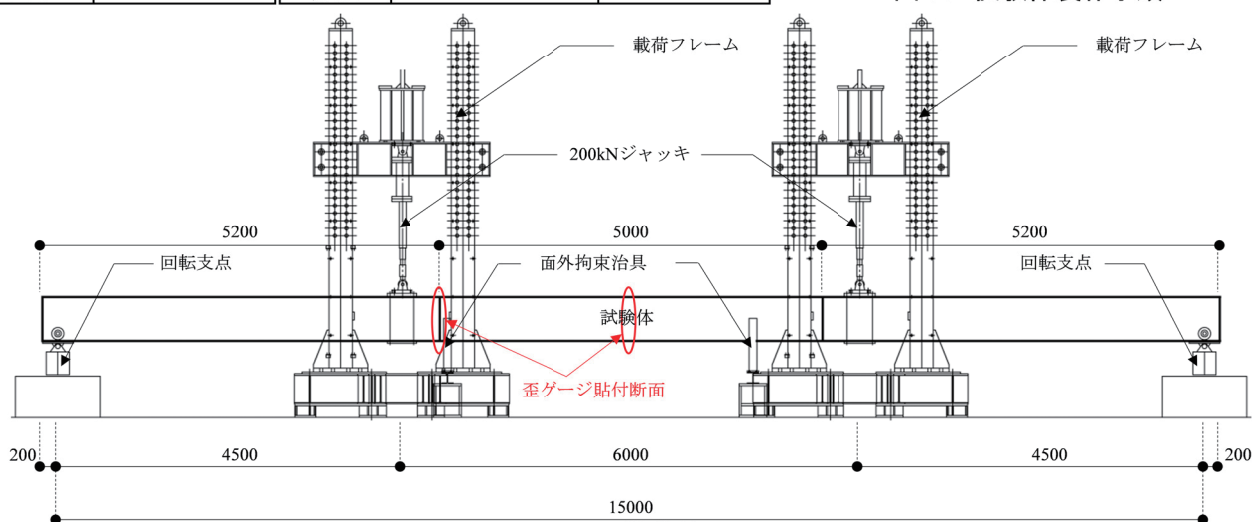


図-3 載荷装置

した場合、PC鋼より線のみが引張抵抗要素となるため、試験体中央に比べて部材耐力が低く、試験体の曲げ耐力は圧着継目で決定する。そのため、加力は試験区間の曲げモーメントが設計荷重時に圧着継目に作用する曲げモーメントと等しくなる荷重(P_D とする)を基準として一方向の繰り返し漸増載荷とした。

4. 実験結果

図-4に実験結果の荷重-変形関係を示す。荷重は2基の加力ジャッキに取り付けたロードセルの値の平均値、変位は載荷点で計測している鉛直変位の平均値を示している。図中には $P=1.0P_D$ 時の荷重および圧着継目についてファイバー法により求めた断面解析値を併記する。断面解析は矩形断面のみの耐力とし、PC鋼より線および圧縮側集成材の材料特性はバイリニア型とした(材料強度は表-1に示す値を用いた)。試験体タイプA,Bともに同一試験体間における耐力・剛性のばらつきは見られなかった。試験体タイプA,Bともにすべての試験体が設計荷重相当である $P=1.0P_D$ 時において弾性を保持しており、圧着継目の離間も見られなかった。 $P=1.0P_D$ 以降のサイクルにおいては圧着継目の離間が徐々に大きくなり、圧着継目付近のPC鋼より線に貼付した歪ゲージの値が増大していく様子が観察され、曲げ剛性も低下し始めた。その後は圧着継目付近でPC鋼より線が降伏し、荷重がほとんど上昇せず変形のみが進行していった。最終状況においては写真-1,2に示すように大きな部材変形を生じ、圧着継目では梁下端の離間や圧縮領域における繊維方向の割裂が見られた。すべての試験体で各サイクルの除荷時残留変形はみられず、試験体中央で300mmを超える最大荷重後も残留変形は10mm以下であった。本実験では加力ジャッキのストローク限界で載荷を終了したが、いずれの試験体も最大荷重時には荷重-変形関係はほぼ横ばいで圧着継目における損傷も確認されたため、最大荷重を最大耐力と定義する。設計荷重に対する最大耐力の比はタイプAで3.7、タイプBで3.1であった。

図-5,6にA-1, B-1の梁中央および圧着継目付近に貼付した歪ゲージによる集成材の歪分布を示す。図中の歪値は載荷開始時の値を0として示している。試験体中央の歪分布より、A-1は $P=3.0P_D$ まで集成材とPC鋼より線の間で平面保持が成立している。B-1も $P=2.5P_D$ まで集成材とPC鋼より線の間で平面保持が成立しているが、合板スラブに貼付した歪ゲージの値は直近の集成材の歪値と比較して小さく、中立軸も中央付近であることから、本試験体の条件において合板スラブは梁の曲げ剛性にほとんど寄与していないことが分かる。図-6中には、●で集成材の歪分布、○でPC鋼より線の歪を示す。

表-4 加力サイクル

サイクル	荷重レベル	備考
1	$0.2 P_D$	1回繰り返し
2	$0.4 P_D$	1回繰り返し
3	$0.6 P_D$	1回繰り返し
4	$0.8 P_D$	1回繰り返し
5	$1.0 P_D$	2回繰り返し
6	$1.2 P_D$	1回繰り返し
7	$1.4 P_D$	1回繰り返し
8	$1.7 P_D$	1回繰り返し
9	$2.0 P_D$	1回繰り返し
10	$2.5 P_D$	1回繰り返し
11	$3.0 P_D$	1回繰り返し
12	$3.5 P_D$	1回繰り返し
13	-	ストローク限界まで単調載荷

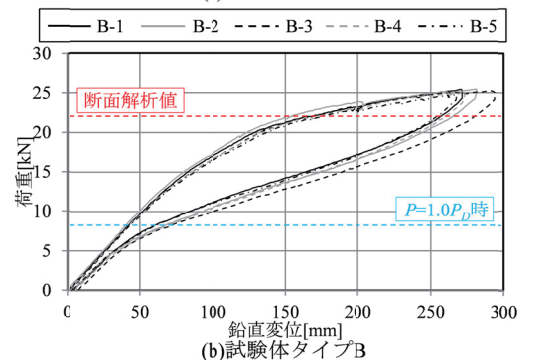
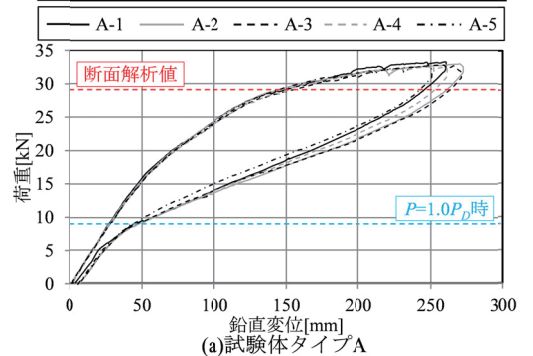


図-4 荷重-変形関係



写真-1 最大荷重時変形(A-5)

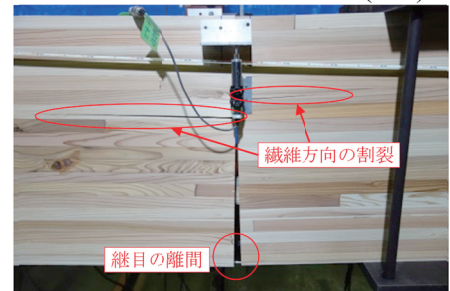


写真-2 最大荷重時圧着継目(A-4)

図中の◇は試験体中央で計測した初期プレストレス歪の符号を反転させた値であり、集成材に生じる引張歪がこの値に達すると圧着継目が離間し始める。図中の破線は中立軸より上の歪から予測した曲率の補助線を示す。図-6より、A-1は $P=1.0P_D$ 時では圧着継目は離間していないが、荷重が大きくなるにつれて圧着継目の離間が進行し、 $P=3.0P_D$ においては下縁から少なくとも梁せいの2/3程度が離間していることが分かる。PC鋼より線の歪は圧着継目の離間後も破線で示した補助線付近の値を示していることから、 $P=2.5P_D$ までは集成材とPC鋼より線は平面保持が成立しているが、 $P=3.0P_D$ においては補助線よりも小さな値を示しており、圧着継目でPC鋼より線の付着が切れ、グラウト材から抜け出したことによって平面保持が成り立たなくなったと考えられる。B-1もA-1と同様の傾向が得られており、圧着継目においてPC鋼より線は $P=2.5P_D$ までは平面保持が成り立っていたと考えられる。

5. まとめ

- ・同試験体間において、最大耐力・曲げ剛性・破壊形式にばらつきはほとんど見られなかった。
- ・試験体圧着継目の最大耐力は設計荷重に対してタイプAで3.7倍、タイプBで3.1倍であった。
- ・集成材とPC鋼より線は圧着継目において $P=2.5P_D$ までは平面保持が成立していたと考えられる。
- ・解析値と最大耐力の比較や梁の歪分布から、合板スラブは剛性、耐力にほとんど寄与していない。

参考文献

- 1) 森田明ほか:集成材小梁にプレストレスを導入した床組システムの提案,日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV,pp.761-762,2017.9
- 2) 森田明ほか:集成材にプレストレスを導入した大スパン梁部材の開発(その1 圧着小口面の摩擦係数に関する実験),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV, 2018.9
- 3) 岩見遼平ほか:集成材にプレストレスを導入した大スパン梁部材の開発(その2 集成材の支圧耐力実験),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV, 2018.9
- 4) 木質構造設計規準・同解説,日本建築学会,2006

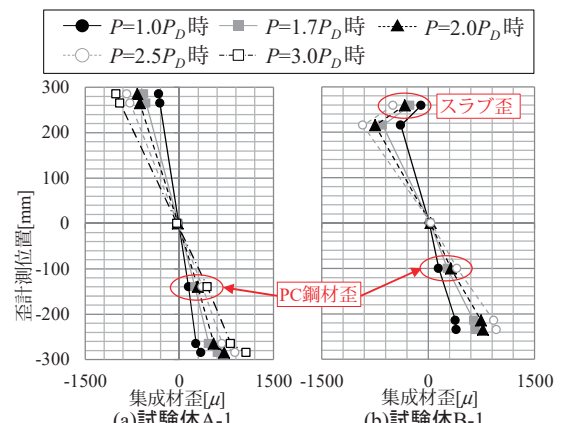


図-5 試験体中央断面歪分布

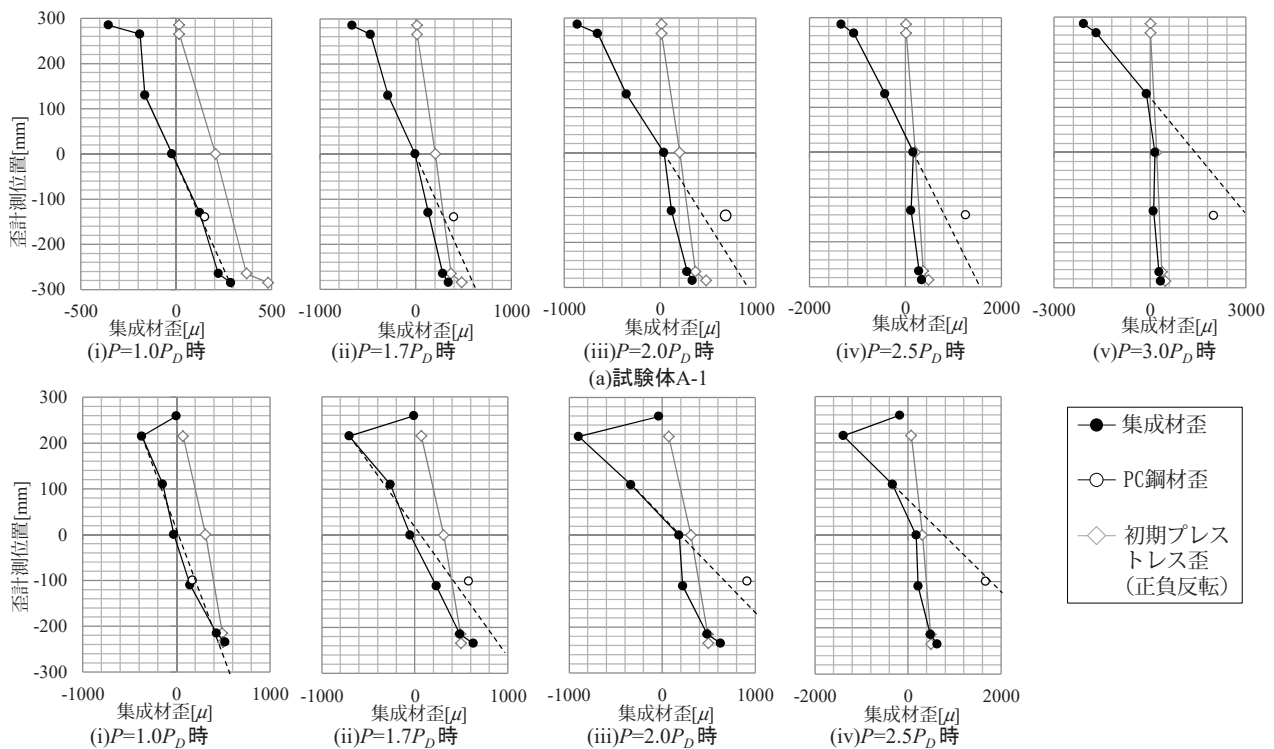


図-6 圧着継目歪分布