

I-28 不等曲げを受ける集成木材はりの横倒れ座屈について

秋田大学 正員 ○長谷部 薫

秋田大学 正員 薄木 征三

1. まえがき

近年、集成材を用いたはりやアーチのように、はりの幅に対して高さの大きい部材を用いて大スパン構造物が建てられるようになってきた。しかしながら、このようなはりには横安定性が低く、水平方向の曲げとねじりを伴う横倒れ座屈を起こしやすくなる。単純ばりの両端に等曲げモーメントを受ける集成材はりの横倒れ座屈については既に報告しているが¹⁾、ここでは、両端に曲げモーメントを受けるはりにおいて一般的な荷重状態であるモーメント勾配を有する初期不整のない木質はりを対象に、横倒れ座屈に関する固有値解析と、スギ集成材を用いて模型実験を行った。集成材をはりとした場合、面内曲げと面外曲げに対するヤング係数が異なり、この影響も考慮できる表示式となっている。

2. 解析方法

仮想仕事の原理に増分理論を適用し、座屈前の安定なつり合い状態 Q_n で、部材軸線の面外変位（面内： $y-z$ 面）は零とし、 Q_n 状態とわずかに異なった安定なつり合い状態 Q_{n+1} での変位増分は十分小さく、増分の2次まで考慮する。図-1の右手系直交座標系に対する Q_{n+1} 状態の変位とひずみを仮想仕事の式に代入すると座屈前と座屈後の変位支配方程式が得られる。座屈前の支配方程式より、図-1のようにはりの両端に不等曲げモーメント荷重 M と κM ($\kappa < 1$) が作用する場合、座屈前の初期変形は次式で与えられる。

$$v_0'''' = -M \{1 - (1 - \kappa) z/L\} / (E_x I_x) \quad (1)$$

ここで v_0 は y 方向への原点 o の変位、 $E_x I_x$ は x 軸まわりの曲げ剛性、 L は支間、上指標 0 は Q_n 状態であり $'$ は z に関する微分を表す。座屈後の変位支配方程式は

$$(E_w C_w \theta'')'' - G J_T \theta'' - M_x \theta^2 / (E^* I^*) = 0 \quad (2)$$

ここで θ は断面のねじり角、 $G J_T$ はねじり剛性、 $E_w C_w$ は曲げねじり剛性であり

$$M_x = M \{1 - (1 - \kappa) z/L\} \quad (3)$$

$$E^* I^* = E_x E_y I_x I_y / (E_x I_x - E_y I_y) \quad (4)$$

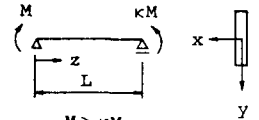


図-1

$E_y I_y$ は y 軸まわりの曲げ剛性である。

横ねじりに対してねじり角を $\theta = a \sin(\pi z/L)$ と仮定すると、Galerkinの方法より近似関数 θ を代入した式(2)と $\sin(\pi z/L)$ が直交する条件から M の2次式が得られ、次の座屈モーメントが求まる。

$$M = \beta \frac{\pi}{L} \sqrt{E^* I^* G J_T \left(1 + \frac{E_w C_w \pi^2}{G J_T L^2}\right)} \quad (5)$$

ここで

$$\beta = \sqrt{1 / (0.2827 \kappa^2 + 0.4347 \kappa + 0.2827)} \quad (6)$$

3. 模型実験

試験体は3×24cmの長方形断面で、2cm厚の秋田杉のひき板12枚を接着積層した集成材である。図-2に示すように長さ5mの試験体を単純支持し、H形鋼を介して電動ジャ

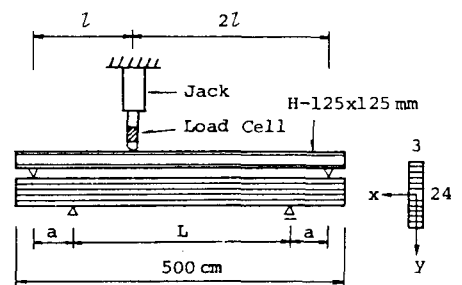


図-2 載荷方法

ッキで集成材の支点からの張出部aに2点同時載荷させ不等曲げモーメント荷重($\kappa=0.5$)とした。支間は4 m, 3 mとし、5本の試験体を用いて10ケースの実験を行った。支点部は半円柱の鋼と鋼板を用いてめり込みを防止し、支点上でも半円柱の鋼を用いてねじりを拘束している。試験体の諸量を表-1に示す。表中の E_x 、 E_y とせん断弾性係数 G は、曲げ試験によって得られたものである。

図-3は、ケース9桁の荷重と支間中央における重心の水平変位および垂直変位との関係を示したものである。図中の実線は垂直変位の弾性解析値である。図より、横倒れ座屈荷重 $P=593\text{ kg}$ にH形鋼と載荷器具の重量 64 kg を加算すると座屈モーメントは $657\text{ kg}\times 59\text{ cm}=38783\text{ kgcm}$ となり、式(5)から得られる 39467 kgcm とほぼ同じ値である。

図-4は、ケース8桁の荷重と支間中央における直ひずみの関係を示したものである。図より、図中の上縁部3の直ひずみは荷重がある限界に達するまではほぼ直線関係の引張りひずみとなっているが、その限界を越えると、水平方向へのねじりを伴う曲げによって圧縮ひずみが卓越するのがみられる。

10ケースの実験ともに弾性状態で座屈が生じており、表-1に実験値と計算値の比較を示している。表より実験値と式(5)から得られる弾性座屈理論値との比は $0.98\sim 1.21$ の範囲で良い対応を示しており、ここで用いたスギ集成材の横倒れ座屈耐力は式(5)では評価できると考えられる。

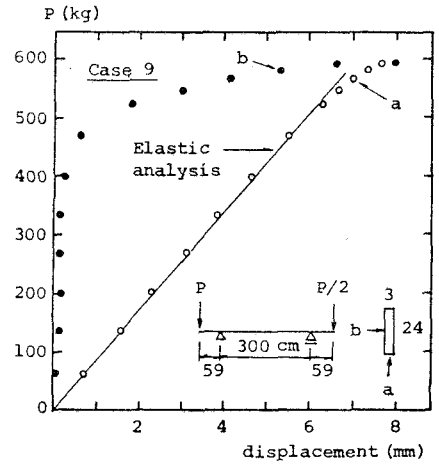


図-3 荷重-変位関係

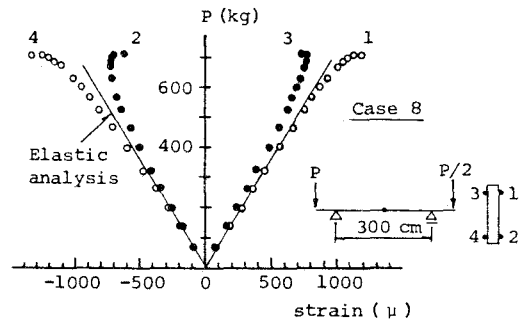


図-4 荷重-ひずみ関係

表-1 断面諸量と座屈モーメント

Case	L (cm)	a (cm)	I_x (cm^4)	I_y (cm^4)	J_T (cm^4)	C_w (cm^6)	E_x (kg/cm^2)	E_y (kg/cm^2)	G (kg/cm^2)	M_{ex} (kgcm)	M_{cal} (kgcm)	$\frac{M_{ex}}{M_{cal}}$
1	400	40	3621	56.32	225	2770	95654	88778	7025	30800	29604	1.040
2	400	40	3734	56.40	226	2838	112255	99540	7452	33400	32332	1.033
3	400	40	3634	56.19	225	2771	105606	95875	7346	35840	31361	1.143
4	400	40	3727	56.20	225	2827	113326	99267	6283	30520	29578	1.032
5	400	40	3620	55.90	224	2755	111517	96372	7475	31893	31583	1.010
6	300	59	3621	56.32	225	2770	90726	89175	7025	44781	39721	1.127
7	300	59	3734	56.40	226	2838	109249	100741	7452	46079	43560	1.058
8	300	59	3634	56.19	225	2771	107161	95340	7346	45017	41860	1.075
9	300	59	3727	56.20	225	2827	113100	98448	6283	38783	39467	0.982
10	300	59	3620	55.90	224	2755	103184	94930	7475	50917	41965	1.213
Mean			3667	56.20	225	2792	106178	95847	7116			1.071