

I-298 集成木材ばりの弾性係数推定法

秋田高専 正員 ○堀江 保
秋田大学 正員 薄木 征三

1. はじめに

木材は、本来、非均等質で部分的に欠点を有する材料であるが、それらの欠点を除去した板に加工し接着剤で積層した集成材とすることにより構造用材料としての使用が可能となり、また、部材としての均等性も期待できるものと思われる。ここでは、橋梁の主部材として集成材を用いるための基礎資料を得る目的で集成材ばりの弾性係数およびせん断弾性係数の推定方法を検討した。

鋼製ばりに比べ木製ばりでは、スパン長に対する桁高の比が大きくなり、また、弾性係数比 E/G も鋼材よりかなり大きいので、たわみ等に及ぼすせん断変形の影響は無視できないものと予想される。これらの影響を検討するためには、弾性係数 E の他にせん断弾性係数 G の正確な評価が必要になる。木材の場合鋼材と違い材料試験よりこれらの定数を求めても、かなりのバラツキは避けられず、また、たとえ、ひき板1枚づつの弾性係数を求めても、それらを接着積層した集成材ばりの弾性係数を適確に評価できるとも思われない。

したがって、本報告では、集成材模型ばりの曲げ試験よりひずみ分布を測定しそれより弾性係数 E および G を推定する方法を試みた。そして、それらの推定弾性係数を用いた理論たわみと実測たわみを比較してみた。理論としては、はり理論を用いそれにできるだけ近い載荷状態が得られる曲げ試験を行った。

2. 実験方法

実験に使用した模型ばりは、厚さ2.5cmのひき板を10枚積層接着した後矩形断面に加工した集成材ばりで、材種は杉である。はりを製作後いくつかの断面で寸法を測定し、その平均値として、高さ $h=24.05$ cm、幅 $b=16.04$ cmが得られた。載荷方法は2点集中線荷重、単純支持としスパン長は180cmである。

桁中央の直ひずみ分布を1軸ゲージで、図-1のA～C断面の図心位置(図中黒丸の位置)のせん断ひずみを3軸ゲージで測定し、同時に桁中央のたわみをダイヤルゲージで測定した。ひずみゲージは、はりの両面に貼付し、計算にはそれらの平均値を用い、支点部のたわみも測定しその沈下量を補正した。ここでは、できるだけはり理論に近い載荷状態とするため、図に示すように、はりに直接荷重をかけず載荷断面および支点部分の両側に鋼板を接着しこの鋼板を通して力が伝達するようにした。荷重は、0.5t～2.5tまで0.5tおきとした。事前に木材と鋼板の接着強度実験を行い、 $P=4$ t程度の荷重に耐えられる接着方法を確認した。

3. 実験結果

桁中央断面のひずみ分布より弾性係数 E を、また、3軸ゲージよりせん断ひずみ γ_{xy} を求め、それよりせん断弾性係数 G を推定する方法を試みた。

桁中央断面7箇所貼付した1軸ゲージによる各荷重ごとの直ひずみ実測値を表-1に示す。各 y におけるひずみが荷重と直線関係 $\epsilon_x = K_1 \cdot P$ が成り立つよう最小2乗法より K_1 を求め、さらに平面保持が成り立つものとして $\epsilon_x = a \cdot y + b$ の直線分布とし a 、 b を決めた。

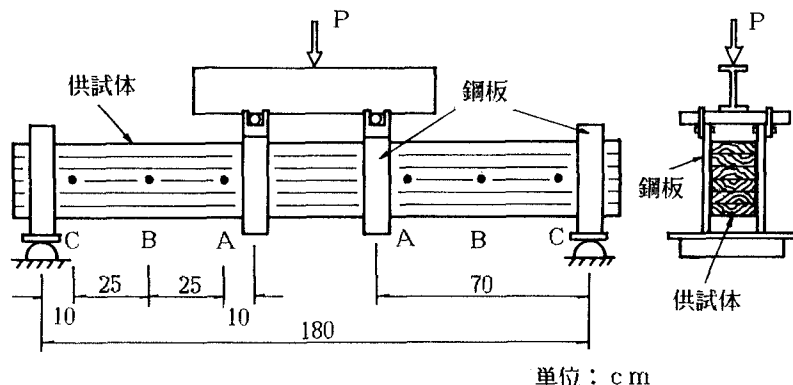


図-1 載荷試験状況

前記のようにして求めた断面内のひずみ分布の中立軸は、図心とずれるので圧縮側と引張側で各々 E_c 、 E_t と異なった弾性係数を仮定し、それらより次式により等価弾性係数を求めた。これは、非弾性座屈の複弾性係数理論をそのまま適用したものである。

$$E = \frac{4 E_c E_t}{(\sqrt{E_c} + \sqrt{E_t})^2}$$

$$E_c = \frac{3 P l_1}{2 a A h_2^2} \quad E_t = \frac{3 P l_1}{2 a A h_1^2} \quad (1) \text{ a-c}$$

ここで、 $l_1 = 70 \text{ cm}$ 、 A は断面積を表し、 $h_1 = h/2 - \eta$ 、 $h_2 = h/2 + \eta$ で $\eta = -b/a$ は図心と実測値より求めた中立軸との距離を表す。

表-2にA～C断面の図心位置に貼付した3軸ゲージより計算したせん断ひずみ γ_{xy} の実測値を示す。各断面位置の値は、はりの左右の対応する断面での平均値とした。

せん断ひずみ γ_{xy} は、荷重 P と直線関係が成り立つものとし $\gamma_{xy} = K_2 \cdot P$ と仮定し最小2乗法より K_2 を求めた。そして、はり理論のせん断応力を適用し、次式よりせん断弾性係数 G が求められる。

$$G = \frac{3}{4 K_2 A} \quad (2)$$

これらのひずみ分布より推定した E および G を用いて、桁中央の理論たわみを求め、実測たわみと比較してみた。理論たわみは次式で与えられる。

$$\delta = \frac{P l^3}{48 E I} \left\{ 3 \frac{l_1}{l} - 4 \frac{l_1^3}{l^3} + \frac{12 l_1}{5 l} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \frac{E}{G} \left(1 - \frac{\sinh k l_1}{k l_1 \cdot \cosh(k l / 2)} \right) \right\} \quad (3)$$

上式はせん断変形を考慮した式で、式中 $k l = \sqrt{480 G / E} (l / h)$ となり $k l = 0$ とおくとTimoshenko式になる。今回使用したはりの断面寸法では、(3)式はTimoshenko式の値とほぼ一致する。(3)式に直ひずみ分布より推定した E とA～C各断面のせん断ひずみより推定した G を代入し、実測たわみと比較したのが表-3である。実測値は荷重との線形性より最小2乗法で整理し、表には $P = 1.0 \text{ t}$ としたときの値を示した。実測値の理論値に対する誤差は、最大で5%程度で、特にB断面のせん断ひずみより推定した G を用いた場合は1%以内であった。これは、支点部および載荷点の影響が最も少ない断面であったためと思われる。

また、(3)式より (h/l) が大きい程、また E/G が大きい程せん断たわみが大きいことがわかり、表-3に示した理論たわみの場合、せん断たわみは16%～20%と無視できない値であることがわかった。

今回のはりを実験する前に、別の集成材ばりを用いて直接載荷により曲げ試験を行い、本報告と同様にして理論値と実測値を比較したところ、表-4のような結果となり、ここで採用した載荷方法により誤差がかなり小さくなるので直接載荷よりはり理論に近い状態が得られたものと思われる。

表-1 直ひずみ実測値($\times 10^{-6}$)

$P(t)$ $y(\text{cm})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	K_1 ($\times 10^{-6}$)
-11.6	-157	-304	-456	-600	-735	-298
-9.95	-141	-272	-408	-538	-660	-268
-5	-72	-138	-208	-274	-337	-136
0	-7	-9	-12	-17	-23	-9
5	58	114	171	227	275	112
9.95	123	240	360	473	575	234
11.6	139	270	405	533	647	264

表-2 せん断ひずみ実測値($\times 10^{-6}$)

$P(t)$	A断面	B断面	C断面
0.5	162	137	180
1.0	316	268	355
1.5	480	405	535
2.0	638	537	709
2.5	795	670	885
$K_2 (\times 10^{-6})$	319	269	355
$G (\times 10^3)$	6.09	7.22	5.47

表-3 桁中央たわみの比較

実測値 (mm)	$E (\times 10^4)$ (kg/cm^2)	$G (\times 10^3)$ (kg/cm^2)	理論値 (mm)	誤差 (%)
0.948	7.63	A 6.09	0.976	2.89
		B 7.22	0.948	0.02
		C 5.47	0.997	4.87

表-4 桁中央たわみ（直接載荷）の比較

実測値 (mm)	$E (\times 10^4)$ (kg/cm^2)	$G (\times 10^3)$ (kg/cm^2)	理論値 (mm)	誤差 (%)
0.842	7.77	A 8.47	0.912	7.66
		B 7.39	0.931	9.52
		C 7.09	0.937	10.1