

ネジリによる南洋材及び道産材のせん断弾性係数

山本 宏 高橋 政治
川口 信隆 滝沢 忠昭

1. はじめに

木材の弾性定数の内、ヤング係数は実用的にも最もポピュラーで樹種別データの蓄積も多いが、ポアソン比と共にせん断弾性係数は実用的にはあまり重要視されていず、そのデータの蓄積も比較的少ない。

しかし、合板、パーティクルボード等の平面材料、サンドイッチ板やボックスビーム等の複合材料、あるいはプレハブ住宅等に用いられるパネルコンストラクションや集成材等による大スパン構造等の新しい材料や構造を開発・設計していくためには、ヤング係数のみならずせん断弾性係数・ポアソン比が重要になりつつあることは明らかである。

我々は日頃、樹種別の材質試験を行う際に材質判定の一要因としてネジリによるせん断弾性係数を測定しているが、現在まで道産針葉樹・南洋材等合わせて約40樹種について測定した。

ただし、せん断弾性係数の測定を主目的にした訳ではないので、樹種や試験体数に偏りがあり十分なデータといえない点もあり、またデータに対する検討も不十分ではあるが、この種のデータの少ない現状から結果の一部を参考資料として紹介する。

2. 測定方法

木材のせん断弾性係数の測定方法には、矩形又は円形断面棒のネジリ試験の他に、板・合板等にはプレートせん断試験、パネルせん断試験、ヤング係数とポアソン比より直交異方性弾性理論により計算して求める方法（Jenkin式）がある。

各方法には長所と短所があり、せん断弾性係数の測定にはどの方法が最適かとは一概にいえないが、角棒のネジリによる方法は、小形の試験体から実大寸法の

製材まで直接測定できる利点がある。

我々は、気乾の無欠点材を二方桁木取りした一辺が2~3cmの正方形断面の曲げ試験体や、実大寸法の製材品を曲げ試験に供する前に、非破壊的なネジリ試験に供しせん断弾性係数を求めている。

測定に用いた試験機は、我々の手製による最大能力2.5kg・m程度の小型手動式のもの、最大能力50kg・mの電動式（島津製作所製、RET-50）であり、2コの鏡とスケール付望遠鏡で試験体中央1/3長区間のネジリ角を測定している。

一般に短辺をB、長辺をHとする直交異方性材料の矩形断面棒の長軸をz、短辺に平行な軸をx、長辺に平行な軸をyとし、z軸のまわりにネジリモーメントTを加えると、広い面yz面のせん断弾性係数Gyzは次式で与えられる¹⁾。

$$G_{yz} = \frac{T}{K \cdot B^3 H \cdot \theta} \dots\dots\dots(1)$$

ただし

K: 材料の異方度と寸法によってきまる定数で

$$K = 1 - \frac{192B}{\sqrt{M} \cdot \pi^5 H} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \dots\dots\dots \cdot \tanh\left(\frac{\sqrt{M} \cdot n\pi H}{2B}\right) \dots\dots\dots(2)$$

T: ネジリモーメント

: 単位長さあたりのネジリ角（ラジアン）

M: 異方度 $M = G_{zx}/G_{yz}$

したがって、あらかじめ各試験体の異方度Mがわかっているれば、GyzとGzxが求められる。

異方度Mは正方形断面棒のネジリ試験のみでは直接求められず、別に平板のプレートせん断試験等で決定しておかねばならない。

第1表 矩形断面棒のネジリに関する定数K

$G_{zx} > G_{yz}$ の場合

H/B	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
K	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1.0	0.141	1.049	1.091	1.131	1.169	1.202	1.233	1.262	1.290	1.315	1.339
1.2	0.166	1.039	1.075	1.107	1.138	1.163	1.187	1.210	1.231	1.250	1.269
1.4	0.187	1.033	1.062	1.089	1.112	1.134	1.154	1.172	1.188	1.204	1.218
1.6	0.204	1.028	1.053	1.075	1.094	1.112	1.128	1.143	1.157	1.169	1.181
1.8	0.217	1.024	1.045	1.064	1.081	1.096	1.109	1.122	1.133	1.144	1.154
2.0	0.229	1.021	1.039	1.055	1.070	1.083	1.095	1.106	1.115	1.125	1.133
2.2	0.238	1.018	1.035	1.049	1.062	1.073	1.083	1.093	1.101	1.109	1.117
2.4	0.246	1.016	1.031	1.044	1.055	1.065	1.074	1.083	1.090	1.097	1.104
2.6	0.253	1.015	1.028	1.039	1.049	1.059	1.067	1.074	1.081	1.088	1.094
2.8	0.258	1.013	1.025	1.036	1.045	1.053	1.061	1.068	1.074	1.080	1.085
3.0	0.263	1.012	1.023	1.033	1.041	1.049	1.056	1.062	1.068	1.073	1.078
3.2	0.268	1.011	1.021	1.030	1.038	1.045	1.051	1.057	1.062	1.067	1.072
3.4	0.272	1.011	1.020	1.028	1.035	1.042	1.048	1.053	1.058	1.062	1.067
3.6	0.275	1.010	1.018	1.026	1.033	1.039	1.044	1.049	1.054	1.058	1.062
3.8	0.278	1.009	1.017	1.024	1.031	1.036	1.042	1.046	1.051	1.055	1.058
4.0	0.281	1.009	1.016	1.023	1.029	1.034	1.039	1.044	1.048	1.051	1.055
6.0	0.298	1.005	1.010	1.014	1.018	1.022	1.025	1.027	1.030	1.032	1.034
8.0	0.307	1.004	1.007	1.011	1.013	1.016	1.018	1.020	1.022	1.023	1.025
10.0	0.312	1.003	1.006	1.008	1.010	1.012	1.014	1.016	1.017	1.018	1.020
12.0	0.316	1.003	1.005	1.007	1.009	1.010	1.012	1.013	1.014	1.015	1.016
14.0	0.318	1.002	1.004	1.006	1.007	1.009	1.010	1.011	1.012	1.013	1.014
16.0	0.320	1.002	1.004	1.005	1.006	1.008	1.009	1.010	1.010	1.011	1.012
18.0	0.322	1.002	1.003	1.004	1.006	1.007	1.008	1.008	1.009	1.010	1.011
20.0	0.323	1.002	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.008	1.009	1.010

$G_{zx} < G_{yz}$ の場合

H/B	1.0	1/1.1	1/1.2	1/1.3	1/1.4	1/1.5	1/1.6	1/1.7	1/1.8	1/1.9	1/2.0
K	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1.0	0.141	0.952	0.909	0.870	0.834	0.801	0.771	0.743	0.716	0.692	0.669
1.2	0.166	0.960	0.923	0.890	0.858	0.829	0.802	0.776	0.753	0.730	0.709
1.4	0.187	0.966	0.935	0.906	0.878	0.853	0.828	0.806	0.784	0.764	0.745
1.6	0.204	0.971	0.944	0.919	0.895	0.872	0.851	0.831	0.811	0.793	0.775
1.8	0.217	0.975	0.952	0.930	0.908	0.888	0.869	0.851	0.834	0.817	0.801
2.0	0.229	0.978	0.959	0.938	0.919	0.902	0.885	0.868	0.853	0.838	0.823
2.2	0.238	0.981	0.963	0.945	0.928	0.912	0.897	0.882	0.868	0.855	0.841
2.4	0.246	0.983	0.966	0.951	0.936	0.921	0.908	0.894	0.881	0.869	0.857
2.6	0.253	0.984	0.970	0.956	0.942	0.929	0.916	0.904	0.892	0.881	0.870
2.8	0.258	0.986	0.972	0.959	0.947	0.935	0.924	0.913	0.902	0.891	0.881
3.0	0.263	0.987	0.975	0.963	0.951	0.940	0.930	0.920	0.910	0.900	0.891
3.2	0.268	0.988	0.977	0.966	0.955	0.945	0.935	0.926	0.917	0.908	0.899
3.4	0.272	0.989	0.979	0.968	0.958	0.949	0.940	0.931	0.922	0.914	0.906
3.6	0.275	0.990	0.980	0.970	0.961	0.952	0.944	0.936	0.928	0.920	0.912
3.8	0.278	0.990	0.981	0.972	0.964	0.955	0.947	0.940	0.932	0.925	0.918
4.0	0.281	0.991	0.982	0.974	0.966	0.958	0.950	0.943	0.936	0.929	0.923
6.0	0.298	0.994	0.989	0.984	0.978	0.974	0.969	0.964	0.960	0.956	0.951
8.0	0.307	0.996	0.992	0.988	0.984	0.981	0.977	0.974	0.971	0.968	0.965
10.0	0.312	0.997	0.994	0.991	0.989	0.985	0.982	0.980	0.977	0.975	0.972
12.0	0.316	0.997	0.995	0.992	0.990	0.988	0.985	0.983	0.981	0.979	0.977
14.0	0.318	0.998	0.996	0.993	0.991	0.989	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980
16.0	0.320	0.998	0.996	0.994	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.984	0.983
18.0	0.322	0.998	0.997	0.995	0.993	0.992	0.990	0.989	0.988	0.986	0.985
20.0	0.323	0.998	0.997	0.995	0.994	0.993	0.991	0.990	0.989	0.988	0.987

ここでは試験体の大きさや原木の量の都合で、各試験体の異方向を決定するための実験を行えなかったため、 $M=1$ として柱目面のせん断弾性係数 G_{LR} と板目面のせん断弾性係数 G_{Lr} の合成された値としてのみかけのせん断弾性係数 \bar{G} を求めた。

なお、定数Kは一般の材料力学のテキスト等では $M=1$ でしかもH/Bが限られた場合の値しか示されておらず、利用上不便なので第1表に実用的に多用するH/BとMの範囲について計算したKを示した。

ただし、表中では $M=1$ 以外のKの値は、 $M=1$ の場合のKに対する比率Rで示した。

すなわち $M=1$ におけるKの値を K_1 とすると、

$M=i$ におけるKの値は $K_i \times R_i$ として求められる。

またこのRの値は、各異方向における G_{yz} の \bar{G} に対する比率を表わしており、木材の G_{LT}/G_{LR} を平均的に0.7と仮定²⁾すると、H/Bが2.6~3.0以上ある試験体で求めた \bar{G} は、真の G_{LR} 又は G_{LT} と約5%以下の誤差しかないことが分かる。

3. 結果

各樹種毎の気乾比重 R_u 、せん断弾性係数 \bar{G} 、及びヤング係数Eとの比 E/\bar{G} の平均値を第2表に示す。

道産針葉樹及び南洋材ともに \bar{G} が5~7ton/cm²位のものが多いが、イチイと高比重の南洋材では10ton/cm²を上回っている。

とくにイチイは比重は中程度であるにも拘らず、 \bar{G} が最も高いことが注目される。また比重の高いものほど \bar{G} が高い傾向があるので、比重と \bar{G} の相関性を調べてみた。第1図に南洋材、第2図に道産針葉樹の例を示す。

どちらも \bar{G} と比重は高い相関性を示しているが、同一比重に対しては道産針葉

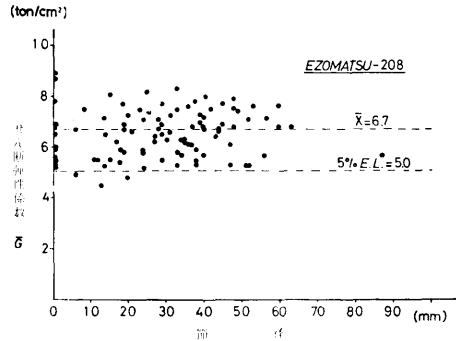
樹の方がやや高い \bar{G} の値を示している。南洋材では比重0.4以下では4~5ton/cm²、0.6付近では7~8ton/cm²、0.8以上では10ton/cm²、一方、道産針葉樹では0.5付近で8~10ton/cm²、0.6以上では11~12ton/cm²となっている。

E/\bar{G} は木材の場合、約15~20位といわれているが、南洋材ではほぼ15付近の値をとるものが多いが、道産針葉樹の内ではイチイ、カラマツ、スギは10以下の値を示している。

以上は小型試験体による \bar{G} の結果であるが、実大材についてはエゾマツ、トドマツ、カラマツの枠組壁工法用製材の \bar{G} を調べた。

第2表 樹種別せん断弾性係数 \bar{G} (平均値)

樹 種 名	比 重 Ru	\bar{G} (ton/cm^2)	E/\bar{G}
イチイ	0.55	13.6	4.8
スギ	0.37	7.8	6.9
カラマツ	0.46	8.5	8.3
トドマツ	0.43	6.6	13.8
エゾマツ	0.37	5.5	13.8
ヤマナラシ	0.42	5.5	19.4
クワンドン	0.38	5.6	19.0
ホワイトチーヌ ウッド	0.36	4.6	16.5
シルクウッド	0.40	5.5	15.5
ステルキユリア	0.40	2.9	29.2
ナットメグ	0.42	5.7	19.4
ティジスマニオ デンドロン	0.44	4.8	19.1
エボディア	0.45	6.1	12.1
スロアニー	0.46	6.4	10.5
キンジョデンドロン	0.47	6.6	13.6
サンティアリア	0.55	6.9	17.7
ウォーラガム	0.74	8.6	16.8
イエロウ ハードウッド	0.69	9.9	11.6
ツリチャデニア	0.75	8.2	16.7
マニトア	0.85	9.6	17.7
テトラメレス	0.37	4.3	15.8
アンティアリス	0.38	4.8	11.5
スポンディアス	0.42	5.5	15.0
ターミナリア	0.44	7.4	14.9
ニューギニア ウォルナット	0.50	6.6	11.8
セルティス	0.52	8.5	12.0
ダウン	0.65	9.1	13.3
カナリウム	0.66	10.0	13.5
アルトカルプス	0.44	5.5	14.6
ディレニア	0.74	8.5	18.4
マラス	0.77	10.0	14.4
カロフィラム	0.64	10.0	11.8
キャンブノスベルマ	0.42	6.5	18.0
パワンプダン	0.56	10.5	12.4



第3図 エゾマツ208材の \bar{G} と節径の関係

第3図にエゾマツ208材の例を示すが、 \bar{G} の値はほぼ一定で平均値で6.7ton/cm²となり、小型無欠点材の \bar{G} の平均値と同じである。

また、材に含まれる節の大きさが \bar{G} に及ぼす影響を調べたが、節の径にあまり関係なくほぼ一定の値を示している。

他の二樹種についてもほぼ同様の結果であった。

4. まとめ

道産針葉樹及び南洋材約40樹種のせん断弾性係数を正方形断面の無欠点材のネジリ試験によって測定した。

その結果、見かけのせん断弾性係数 \bar{G} は、4～10ton/cm²の範囲に入るものが多く、比重と高い相関性を示した。ただし、道産針葉樹材と南洋材では回帰直線の傾きに差があり、同一比重であれば道産針葉樹の方が高い \bar{G} の値を示す。

実大材の \bar{G} は、実大材から採った小型試験体の \bar{G} とほぼ同じで、節の径の大小にもあまり影響されていないように思われる。

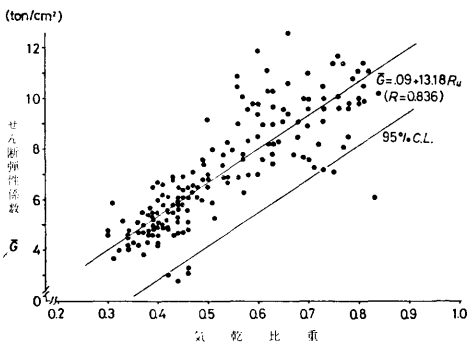
なお、この報告の一部を第28回木材学会大会で発表した。

文献

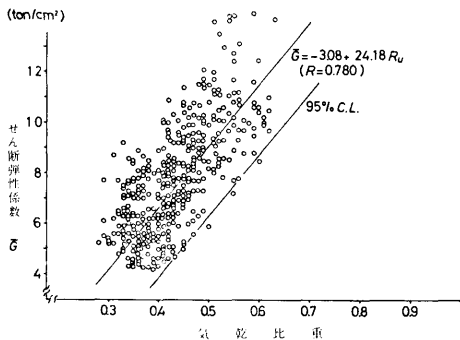
- 1) S. G. Lekhnitkii: "Theory of Elasticity of An Anisotropic Elastic Body" (1963)
- 2) 沢田ら: "木材のせん断弾性係数について" 北大農演研報, 20, (1959)

—木材部 材質科—

(原稿受理 昭和53.8.21)



第1図 南洋材の \bar{G} と比重の関係



第2図 道産針葉樹の \bar{G} と比重の関係