

グレーディングマシンに関する研究

1993年度～1994年度 (県単)

浅岡 郁雄
 榊原 弘修
 大林 育志

要 旨

木材は、強度のばらつきが大きく、信頼性が低い材料と見なされている。このような材料を必要強度に応じて使用するため、機械的にヤング係数で強度等級区分を行っている。そこで主に角材の曲げ荷重タイプの等級区分機であるグレーディングマシン (MGN-101) の適正な測定方法を調査した。

比較的安定したヤング係数を示すのは、下降速度 30 Hz (2.49 mm/sec) で、初期荷重と最終荷重は、その材料の許容応力度相当荷重の 30% と 80% の荷重設定が目安になることが分かった。この設定で、スギの 10.5 cm 角 3 m 材の 1 回の測定時間は、13 秒程度であった。また死荷重法との比較では、グレーディングマシンの方がやや大きい値を示した。

I. はじめに

木材は個々の強度性能にばらつきが大きく他の工業材料に比べて安全性、信頼性の低い材料と見なされている。同じ樹種の材料でも強度の強いものから弱いものまでであるため、その樹種の強度を安全を見込んで低く設定されている。つまり強度の高い材料には不利になっているのが現状である。

このようなばらつきの大きい材料を効率よく使うために、強度の等級区分が注目されており、平成 3 年には、新たに、針葉樹の構造用製材の日本農林規格が制定され、機械等級区分製材の項目が設けられた。この機械等級区分製材とは、「構造用製材のうち、機械によりヤング係数を測定し、等級区分するものをいう。」と定義されている。

等級区分は、主にヤング係数で区分するのであるが、このヤング係数とは、荷重とたわみの比例関係から算出され、曲がりにくさを表す指標であ

る。つまり、この値が大きいと曲がりにくい材料ということになる。

強度と曲げヤング係数との間に高い相関関係があることから、このヤング係数を測定することにより非破壊的にその材料の強度を推定することができる。そして、その値で同じレベルのグループに分けることにより、区分されたグループの材料には、それ相当の強度を保証しようとするものである。これが、等級区分の考え方である。

その合理的な等級区分機をグレーディングマシンと呼んでおり、曲げ荷重タイプのマシンによりヤング係数を測定してきたが、その測定値にばらつきが見られた。そこで各種材料を用いて適切な測定条件を確立する目的で実施した。

II. 方 法

グレーディングマシン (飯田工業製 MGN-

101型)は、3等分4点荷重の2段階載荷方式でその時の荷重とたわみ差により自動的にヤング係数を測定する方式である。外観を写真-1に示した。そして、この機械で正確にヤング係数を測定するため、以下の項目について調査した。

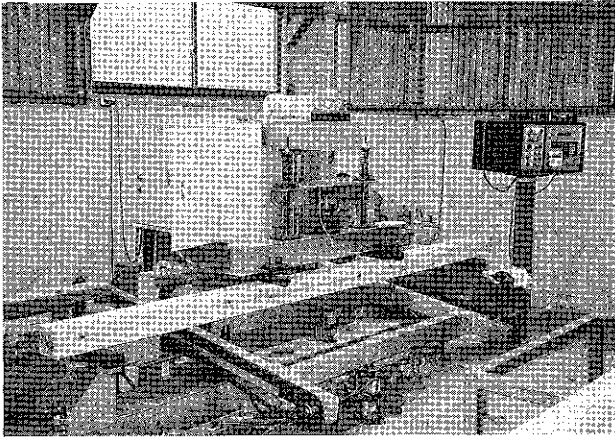


写真-1 グレーディングマシン (MGN-101)

1 下部支点の影響

使用した機械の支点は鉄製で、断面は半円になっているが、その支点の上に鉄板を乗せた状態(平支点)と、半円の状態(丸支点)との2状態でグレーディングマシンの荷重設定を4条件に設定し、各設定5回測定した。

材料は10.5cm角の3m材(生材)でスギ、ヒノキ各15本を用いた。それぞれ同一面で荷重し、スパンは270cmで行った。そして、平支点と丸支点とで測定されたヤング係数に違いがあるのかを調査した。

2 荷重速度の設定荷重

荷重速度は、上部支点の下降速度をインバータによって設定するもので10~50Hzの5設定で行った。(10Hzの時の下降速度は、0.83mm/secで、50Hz時は4.15mm/sec)

荷重は、初期荷重を50kgと100kgの2設定で最終荷重をスギの長期許容応力度以内の荷重から、3ないし4種の荷重設定をした。

試験材は、スギ10.5cm角3m材(気乾材)で、全て同一面で各10回測定した。

3 その他のヤング係数測定法との比較

グレーディングマシンと、死荷重法、縦振動法で得られたヤング係数の値を比較した。

Ⅲ. 結果と考察

1 下部支点の影響

各荷重設定ごとにヤング係数のばらつきを見るため、変動係数の平均値を表-1に示した。

最終荷重を上げていくと変動係数が小さくなりばらつきが少なくなり安定してきた。また支点による差は見られず、スギ、ヒノキとも同様な結果となった。

各荷重設定により得られたヤング係数で、ばらつきの少なかった荷重設定条件②~④の平均値で支点の差を見るとスギ、ヒノキとも丸支点で得られたヤング係数が平支点に比べて2~10tf/cm²程

表-1 各荷重設定で得られたヤング係数の変動係数

荷重設定		スギ		ヒノキ	
		平支点	丸支点	平支点	丸支点
①	10-30kg	10.75%	10.78%	10.55%	10.77%
②	10-50	2.45%	2.23%	2.79%	3.26%
③	10-80	1.40%	1.38%	1.66%	1.77%
④	10-100	1.09%	0.94%	1.21%	1.23%

丸支点

平支点

高い値を示した。(図-1、図-2)

丸支点で測定されたヤング係数は、平支点に比べて若干高い値を示したが、支点による大きな差が見られなかったことから、測定値のばらつきの原因として支点の影響は少ないと考えられる。

2. 等級区分機の必要とされる性能

等級区分は、ヤング係数 20 tf/cm^2 毎に区分し、その平均値の値で表示している。E 90 と表示されるものの範囲は、80 以上 $\sim 100 \text{ tf/cm}^2$ 未満である。

ここで、E 90 ランクに区分されるべきものの中で、測定値が正規分布すると仮定し、変動係数によって、このランク以下 (100 tf/cm^2 未満) に正しく区分される確率を求めた。

その結果、この確率は、変動係数 1% では 98.1% であり、3% では 94.5% で区分されると推定できた。信頼度を 95% とすると、グレーディングマ

シンの性能としては、変動係数 3% 以下の測定精度が必要であると思われる。

3. 荷重速度と荷重設定の検討 (スギ 10.5 cm 角 3 m 材の場合)

ア. 速度と荷重設定条件

荷重の下降速度は、インバータで周波数を変えることにより設定できるので、10~50 Hz の間で 10 Hz ごとに 5 設定とし、荷重設定については、一般に曲げ性能試験では、最終荷重を許容応力度以下の荷重をかけるとされていることからこれを基準とした。許容応力度とは、建築基準法で定められており、「その材料に生じてても差し支えない応力値」である。

ここで、スギの曲げ長期許容応力度は 75 kg/cm^2 と定められており、この材料 ($10.5 \times 10.5 \times 300 \text{ cm}$) のスパン 270 cm 、3 等分曲げ荷重時の許容応力度相当の荷重は、 321 kg となる。そして、その他の荷重値をこの許容応力度の約 100%、80%、50%、30% の荷重を設定することとした。

初期荷重は、 20 kg 付近では、以前からデータがばらつくといわれているため、 50 kg と 100 kg の 2 設定とし、最終荷重と組み合わせて、各設定 5 段階の速度で測定した。

測定は、各設定 10 回のヤング係数を測定し、平均値と変動係数を表-2 に示した。

イ. 速度の影響

荷重速度の影響については、最も速度が遅い 10 Hz では、若干変動係数が大きかったが、速度が上がる (周波数が大きくなる) につれて変動係数が大きくなる、つまりデータがばらつく傾向がみられた。20、30 Hz で比較的ばらつきが小さかった。

速度 50 Hz で初期荷重 50 kg の設定は、変動係数 3% 以上を示すものもあり、精度の面から適さないと思われる。

ウ. 設定荷重では、最終荷重 320 kg (100%) と 250 kg (80%) の時の変動係数が小さい。また、

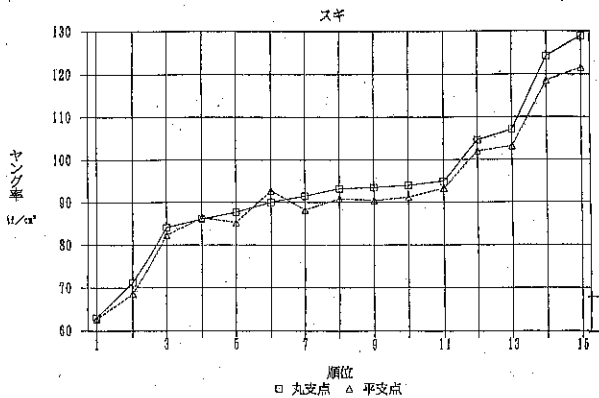


図-1. 順位化した丸支点とそれに対応した平支点の測定値 (スギ)

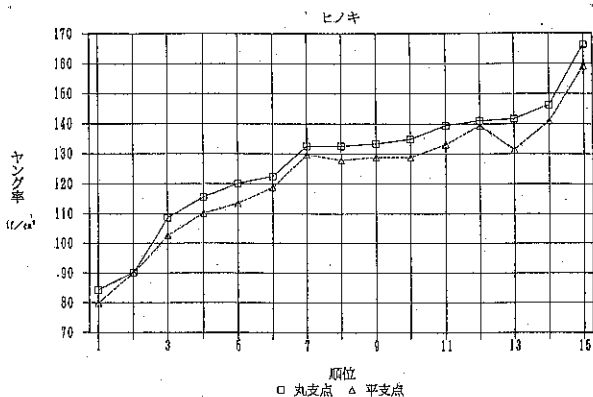


図-2. 順位化した丸支点とそれに対応した平支点の測定値 (ヒノキ)

50-100 kg設定や10-160 kg設定など荷重設定値の差が小さいものもばらつきが大きいという以前からいわれている結果となった。

2種類の初期荷重では、100 kgの方が少し高い値を示し、安定している。

最終荷重 250、320 kg について、初期荷重別の変動係数を図-3 に示した。最終荷重が同じでも100 kgの方が多少変動係数が小さいことがわかる。また、速度40、50 Hz の変動係数は大きく、特に初期荷重50 kgの時の値が100 kgに比べて大きかった。

エ. ばらつきの要因

荷重とたわみの関係を、速度別で2つの初期荷重別に表したのが図-4、図-5である。

比較的変動係数の小さかった20、30 Hz の回帰

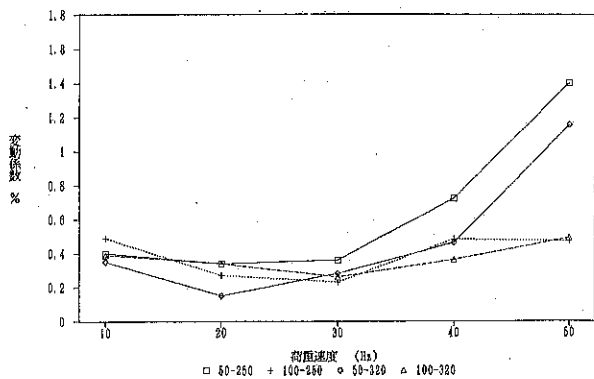


図-3. 初期荷重別の変動係数

直線を入れた。どの速度のデータも100~320 kgの荷重では、ほぼ直線上にあると思われる。しかし、図-4の初期荷重50 kg付近でデータに少しばらつきが見られた。

そこで、この部分を拡大したものは、図-6である。この図から40、50 Hz の荷重60~70 kgの時のたわみが荷重に変わってもほぼ同じ値を示している箇所がある。実際に、この速度で得られたヤング係数の値が大きくばらついたもののデータはこの部分の値であった。

ヤング係数は、荷重とたわみの関係から計算されるため、初期荷重50 kgで設定した場合、40、50 Hzの速度で大きくばらつくのは50~70 kg付近で、荷重とたわみの関係が正確に測定されないことが原因である。これは速度が上がると、下降してき

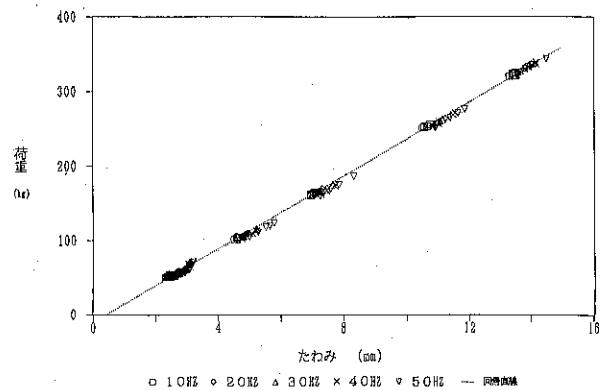


図-4. 荷重とたわみの関係(初期荷重50 kg)

表-2. 速度別、荷重設定別の平均値と変動係数

荷重設定		下 降 速 度									
		10 Hz		20 Hz		30 Hz		40 Hz		50 Hz	
初期荷重 kg	最終荷重 kg	GM平均 tf/cm ²	変動係数 %	GM平均 tf/cm ²	変動係数 %	GM平均 tf/cm ²	変動係数 %	GM平均 tf/cm ²	変動係数 %	GM平均 tf/cm ²	変動係数 %
50	100	79.72	0.91	78.61	0.48	79.88	0.72	79.88	1.57	75.42	7.80
	160	81.69	0.62	81.69	0.37	82.16	0.59	80.50	2.69	78.92	3.52
	250	83.19	0.40	82.94	0.34	83.29	0.36	82.32	0.72	82.16	1.40
	320	83.50	0.35	83.94	0.15	84.39	0.28	84.08	0.46	83.66	1.15
平均		82.03	0.57	81.80	0.34	82.43	0.49	81.70	1.36	80.04	3.47
100	160	84.58	1.23	81.69	0.37	84.27	1.16	84.38	1.52	83.73	1.30
	250	84.66	0.49	84.92	0.27	85.25	0.23	84.97	0.57	84.51	0.47
	320	84.68	0.39	85.63	0.34	85.78	0.26	85.61	0.36	85.71	0.49
平均		84.64	0.70	84.08	0.33	85.10	0.55	84.99	0.82	84.65	0.75

た支点が材料と接触する際に振動が生じ、さらに荷重の上がり方も早いことも影響していると思われる。

4. 適正な速度と荷重設定

本機により等級区分する場合には、1本当たりの測定時間も重要な問題となってくる。250 kg設定の1回当たりの測定時間を表-3に示した。材料を設置する際の作業性から、上部支点と材料との距離を10mmとして、スタートしてから元に位置に戻るまで同一速度で行い、この時間を測定した。総時間は、20、30 Hzで29.9と21.3秒であった。通常の曲げ試験時の荷重速度は、毎分150 kgf/cm²以下とされているが、30 Hz時の速度は、約790 kgf/cm²/minとなり、かなり速かった。

また、支点が元の位置まで戻る上昇時には、速度は速くても影響ないと考えられるので、設定最

大値120 Hzにすれば、30 Hzで1回当たりの測定時間は、13.4秒となり、かなり短縮できると考える。

ここまでの結果から、比較的安定した値が得られるのは、20、30 Hzの速度の、最終荷重250 kgと320 kgであった。このときの変動係数は、0.15~0.36%であった。

このことから、本機の適正な設定は、測定時間を考慮に入れて、約30 Hz(上昇時120 Hz)の100~250 kg設定(許容応力度30、80%荷重)が良いと思われる。

ここで、他寸法の材についても検討した。スギ9 cm角3 m材と、ヒノキ10.5 cm角3 mの材を用いて、それぞれ許容応力度30、80%荷重設定をし、速度30 Hzで10回測定した。その変動係数と平均値を表-4に示した。その結果、変動係数は0.50%以下で小さかった。

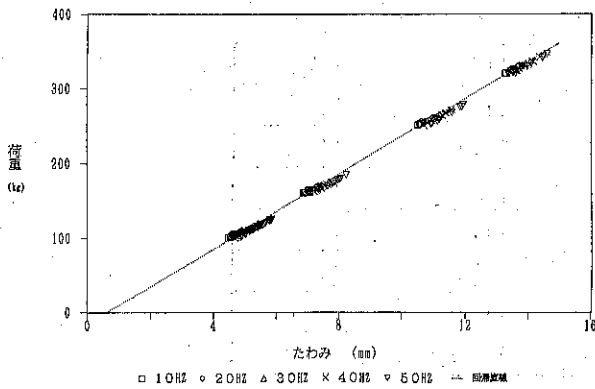


図-5. 荷重とたわみの関係(初期荷重100 kg)

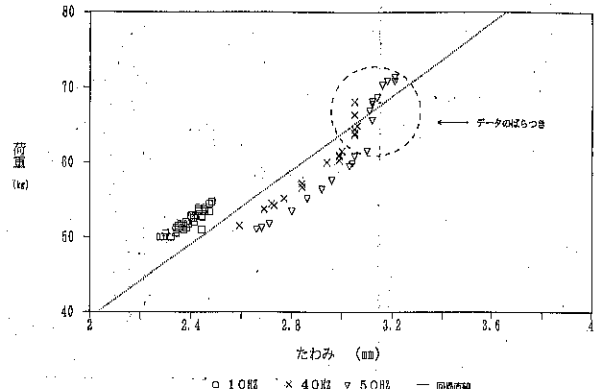


図-6. 荷重とたわみの関係(50 kg付近)

表-3. 測定時間(250 kg設定時)

単位: 秒

速度	上部支点			1回当たりの測定時間
	下降時	荷重時	上昇時	
10Hz	15.4	12.5	27.8 (2.3)	55.7 (30.2)
20Hz	8.6	6.4	14.9 (2.5)	29.9 (17.5)
30Hz	6.4	4.4	10.5 (2.6)	21.3 (13.4)
40Hz	5.5	3.1	8.4 (2.8)	17.0 (11.4)
50Hz	4.7	2.6	7.0 (2.9)	14.3 (10.2)

()は、上昇時120 Hzの場合の時間

寸法や樹種が変わっても、速度30Hzで許容応力度相当荷重の30と80%が、本機の初期荷重、最終荷重の設定の目安と考えられる。

上記の結果を考慮して、本機の各種寸法の適正荷重設定を考え、表-5に示した。

5. その他のヤング係数測定法との比較

スギ10.5角3m材18本を用いて、グレーディングマシンで、安定した値の得られた30Hz、100-250kg設定の時のヤング係数と、20kgと50kgでの死荷重法、さらに縦振動法との三つの方法で測定されたヤング係数の比較をした。この3方法の

値の差を図-7に示した。

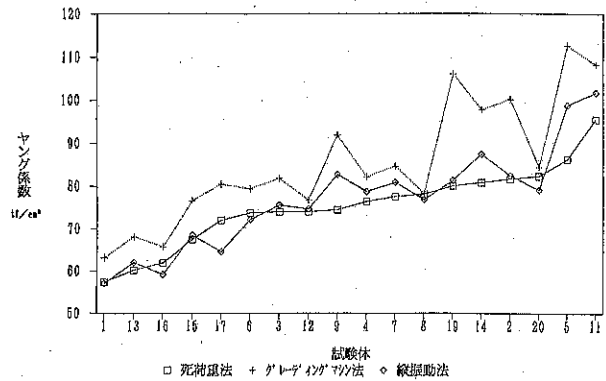


図-7. 測定法によるヤング係数の比較

表-4. その他の材料の変動係数

材 料	9 cm 角 スギ		10.5 角 ヒノキ	
	20 Hz	30 Hz	20 Hz	30 Hz
設 定	60-160 kg		120-310 kg	
測 定 値	92.9	93.5	117.4	116.4
	93.2	93.8	117.5	117.3
	93.0	93.6	117.2	117.7
	92.8	93.4	117.6	117.0
	93.0	92.7	117.5	117.8
	94.0	94.0	117.5	117.9
	93.0	93.5	117.6	117.6
	93.4	93.6	117.9	117.8
	93.7	93.5	117.9	117.6
	93.5	92.8	117.5	117.8
平 均	93.25	93.44	117.56	117.49
標準偏差	0.369	0.383	0.201	0.446
変動係数	0.40%	0.41%	0.17%	0.38%

* ヒノキの許容応力度..... 90 kg/cm²

表-5. 各種材料の荷重設定

寸 法	許容応力度相当荷重(kg)			グレーディングマシン荷重設定	
	100%	80%	30%	最終荷重	初期荷重
スギ 10.5 cm 角 3 m	321.5	257.2	96.5	250 kg	100 kg
スギ 9 cm 角 3 m	202.5	162.0	60.8	160	60
スギ 12 cm 角 3 m	480.0	384.0	144.0	380	140
ヒノキ 10.5 cm 角 3 m	385.9	308.7	115.8	310	120
ヒノキ 9 cm 角 3 m	243.0	194.4	72.9	190	70
ヒノキ 12 cm 角 3 m	576.0	460.8	172.8	460	170

*許容応力度は、スギ75kg/cm²、ヒノキ90kg/cm²
 スパン270cmの3等分4点曲げ荷重。

グレーディングマシンは全体に大きい値で、おおよそ、グレーディングマシン>縦振動>死荷量の順で値を示した。各グレーディングマシンの値の割合は、死荷量のヤング係数の平均で1.13倍であった。また、死荷重法との相関係数は、0.843であった。

IV. おわりに

グレーディングマシン(MGN-101)について、測定法の目安はつけることができた。しかし、まだ各寸法のデータの蓄積が少なく、曲げ強度とMOEとの比較が不足している。データを収集することにより、グレーディングマシンの値を補正する際の換算式を決定できるのではないかと思われる。

現在、等級区分製材は、あまり流通していないのが現状である。これは、建築設計は許容応力度で行っているため、等級区分製材の需要は少ない。また、全国木材組合連合会の認定を受けた機種、

樹種、寸法において、等級区分しなければ、JASの機械等級区分製材として流通させることはできないことも一因であろう。現在この認定を受けているのは4機種だけである。

今後は、強度の信頼性がある材料で設計する限界状態設計法の導入や、多くの等級区分機の開発、データの蓄積が望まれる。

V. 参考文献

1. 全国木材組合連合会編：針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説：79 pp、1991
2. 山路和義、他：三河材の材質特性に関する研究（平成3年度）、愛知林セ報No.29:45～46、1992
3. 飯島泰男：機械オンチのシステム設計、ウッドミック1994-4、No.133：46～53、1994
4. 林知行：強度性能を保証する設計法とは住宅ジャーナル1995.4～30、1995

