木材の衝撃曲げ吸収エネルギーの計算法に就て

文部教官　　北　原　覺　一

Kakuichi KITAHARA :

On the Calculation of the Absorbed Energy of Wood in the Impact Bending Test.

目　　次

木材の衝撃曲げ吸收エネルギーの計算法に就て*

I 緒 言

現在木材の衝撃曲げ吸收エネルギーの計算法としては，衝撃仕事（kg—cm 又は kg—m）を試驗片の斷面積卽ち巾と高さとを乘じた値（cm^2）で以つて割つた値を採るか，或は衝撃仕事を試驗片の斷面積と支點間の距離とを乘じた値（cm^3）で以つて割つた値を採るかの二つの方法が一般に行われているが，これらは單に慣例によつたものであつて，何等其處に物理的意義は存在しない。のみならず同じ形狀の斷面を有する試驗片でも，その斷面が正方形でなく矩形であれば，衝撃荷重を與える方向の差異によつて衝撃仕事〔kg—cm 又は kg—m〕は非常に變つて來るから，その衝撃仕事を試驗片の斷面で割ることは極めて不合理である。このことは金屬の場合にも從來しばしば指摘されて來た(1)。然らば如何なる方法によつて木材の衝撃吸收エネルギーを計算したら妥當性が得られるか，その根據を實驗的に求めて見ようとして本實驗に着手した次第である。

本實驗に當つて三好教授，平井助教授の御指導を賜わつた。こゝに厚く感謝する次第である。

II 供 試 材 料

木曾幅島營林署管內產ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* SIEB. *et* ZUCC. の末口直徑1尺5寸前後の造材より試驗片を採つた。又ツガ *Tsuga Sieboldii* CARR. は實驗室にあつた板より採取したもので，從つて產地，末口直徑等は不明である。尙參考の爲に用いたマソナイトはアメリカに於て製造せられたものであつて，その物理的及び機械的性質は既に發表した通りである(2)。木材の場合は完全二面柾とし，目切は殆んどない良質の試驗片を用いた。

III 試 驗 方 法

本實驗に於ては先づ試驗片の高さを一定にしておいて，支點間の距離を變化せしめた場合，

---

* 東京大學農學部木材々料學教室業績 第52號

(1) 山田良之助，松岡陽三；衝撃試驗片に關する研究，機械學會誌 Vol.39 No.227 p.p.147—148, 1936.

(2) 北原覺一；硬質纖維板の物理的及び機械的性質に就て，日本林學會誌 Vol. 30 No. 3. 4 會併號 pp. 28～32. 1948.

次に支點間の距離を一定にしておいて試驗片の高さを變化せしめた場合及び支點間の距離と試驗片の高さとの比を一定に保ちながら試驗片の高さを變化せしめた場合との三つに分けて實驗を行つた。

先づ最初の試驗片の高さを一定にしておいて，支點間の距離を變化せしめる場合の試驗方法に就て述べる。試驗片の巾を 1.0cm，高さを 0.7cm とする。これはマソナイトの製品厚さが0.7cmであつたが故である。支點間の距離を5cm より 11cm 迄 1cm 間隔に變化せしめた。此の場合試驗片の長さは各々の支點間の距離より 1.0cm長くした。卽ち支點間の距離が 5.cm の場合は試驗片の長さは6.0cmとし，支點間の距離が 11:0cm の場合は試驗片の長さは12.0cmとした。衝擊荷重は木材の場合柾目面に加え，マソナイトの場合製品の表に加えた。試驗機は東洋工業製作所製 30kg-cm シヤルピー型衝擊試驗機を用いた。この場合をAとする。

次に支點間の距離を一定にしておいて試驗片の高さを變化せしめた場合の試驗方法は次の通りである。卽ち試驗片の巾を1.0cm，長さを12.0cm，支點間の距離を 11.0cm とする。試驗片の高さは 0.3cm，0.5cm，0.7cm 及び1.0cm の4種とした。衝擊荷重は柾目面に加え，試驗幾は前と同一のものを用いた。この場合をBとする。

又最後の支點間の距離と試驗片の高さとの比を一定に保ちながら試驗片の高さを變化せしめた場合の試驗方法は次の通りである。卽ち試驗片の巾は 1.0cmとする。支點間の距離と試驗片の高さとの比を12＝const.として試驗片の高さを0.3cm，0.5cm，0.7cm 及び 1.0cmの4種とした。從つて試驗片の形狀及び支點間の距離は第1表の如くなる。衝擊荷重は柾目面に加え，試驗機は前と同一のものを用いた。この場合をCとする。

第1表 〔C〕の試驗に於ける試驗片の形狀

試驗片の高さ (cm)	巾 (cm)	長さ (cm)	支點間の距離 (cm)
0.3	1.0	4.6	3.6
0.5	1.0	7.0	6.0
0.7	1.0	9.4	8.4
1.0	1.0	13.0	12.0

Ⅳ 試驗結果

〔A〕 ヒノキ，ツガ及びマソナイトに就ての試驗結果を示せば第2(a.b)及び第3表のようになり，又これらを圖示すれば第1，第2及び第3圖のようになる。何れも試驗片10個の平均値である。今これらの實驗値により最小自乘法によつて實驗式を求めれば次の三式を得る。玆にAは衝擊仕事〔kg cm〕を表わし，l は支點間の距離(cm)を表わす。

第2表a　ヒノキの支點間の距離と衝擊仕事との關係

支點間の距離 (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絶乾比重
5.0	9.95	14	0.38	0.33
6.0	8.92	14	0.38	0.34
7.0	8.19	13	0.38	0.33
8.0	7.95	14	0.38	0.33
9.0	8.34	13	0.39	0.35
10.0	8.01	14	0.38	0.34
11.0	10.13	14	0.39	0.34

第2表b　ツガの支點間の距離と衝擊仕事との關係

支點間の距離 (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絶乾比重
6.0	9.38	—	—	—
7.0	8.64	—	—	—
8.0	7.51	—	—	—
9.0	8.01	—	—	—
10.0	10.37	14	0.49	0.43
11.0	9.04	—	—	—

備考；長年月實驗室に放置された板を用い，而も試驗片に製作してから約6ヶ月放置せる故含水率，氣乾比重絶乾比重を全試驗片に就て測定しなかつた。

第3表　マソナイトの支點間の距離と衝擊仕事との關係

支點間の距離 (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絶乾比重
5.0	8.10	8	0.96	0.89
6.0	7.27	8	0.97	0.91
7.0	6.56	8	0.95	0.87
8.0	7.13	7	0.97	0.87
9.0	7.75	8	0.95	0.89
10.0	7.48	8	0.95	0.90
11.0	9.00	8	0.96	0.89

第4表　衝擊仕事の最小値を與える支點間の距離

種　類	支點間の距離 (cm)	l/h
ヒ　ノ　キ	8.3	11.9
ツ　ガ	7.9	11.3
マソナイト	7.4	10.6

ヒノキ；$A=18.88-2.652l+0.1636l^2$

最小自乘誤差 0.38 (kg-cm)

ツガ；$A=15.06-1.658l+0.1045l^2$

最小自乘誤差 0.80 (kg-cm)

マソナイト；

$A=13.69-1.801l+0.1225l^2$

最小自乘誤差 0.35 (kg-cm)

今衝衝仕事Aの最小値を與える l の値を求め，その l の値に對する試驗片の高さの比を求めれば第4表のようになる。表中 h は試驗片の高さ（cm）を表わす。

即ち試驗片が同一の巾及び高さを有する場合には支點間の距離の變化によつて衝擊仕事（kg-cm）は minimum curve を描き，支點間の距離が大きくなつても又小さくなつても衝擊仕事は大きくなる。この理由としては次のことが考えられる。即ち衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕は荷重—撓み曲線と撓み軸とが圍む面積によつて表わされる。今支點間の距離が大きくなれば破壞に要する荷重は比較的小さくとも，破壞時の撓みは大きいから荷重—撓み曲線と撓み軸とが圍む面積は大きくなり，從つて衝擊仕事は大きくなる。又支點間の距離が小さくなれば破壞時の撓みは小さくとも，破壞に要する荷重は大きいから荷重—撓み曲線と撓み軸とが圍む面積は大きくなり，從つて衝擊仕事は大きくなる。故に衝擊仕事の最小値を與えるような支點間の距離がその中間に存在する筈である。

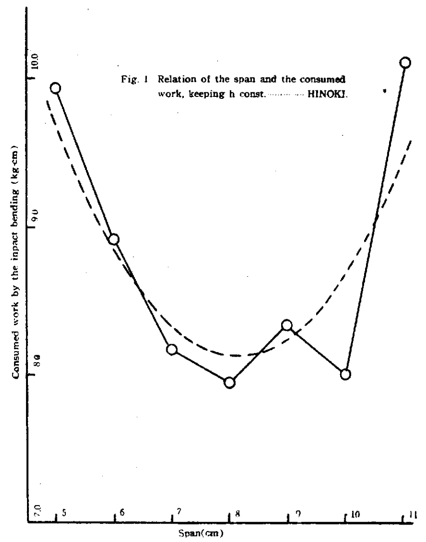

Fig. 1 Relation of the span and the consumed work, keeping h const. ………… HINOKI.

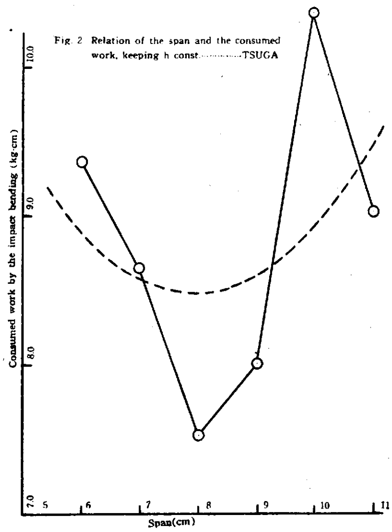

Fig. 2 Relation of the span and the consumed work, keeping h const. ………… TSUGA

これに就ては F. KOLLMANN[(1)] は $l/h=12$ (l は支點間の距離, h は試驗片の高さ) に於て衝擊仕事は最小値を取ると論じ, それ以外の l/h の値に對しては MONNIN 及び BAUSHINGER 兩氏の實驗式を引用している。卽ち MONNIN氏 の式は次のようなものである。

$$A_2=A_1\left(\frac{l_2h_1}{h_2l_1}\right)^{2/3}=A_1\left(\frac{l_2}{12h_2}\right)^{2/3}$$

こゝに A_2は支點間の距離が l_2, 試驗片の高さが h_2, 巾が b_2の場合の衝擊仕事であり, A_1は支點間の距離が l_1, 試驗片の高さが h_1, 巾が b_1にして, $l_1=12h_1$, $h_1=h_2$, $b_1=b_2$ の場合に於ける衝擊仕事である。次に BAUSHINGER 氏の式は次のようはものである。

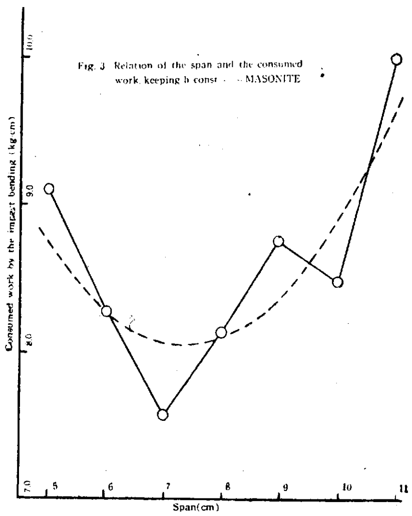

Fig. 3 Relation of the span and the consumed work, keeping h const. ………… MASONITE

$$A_2=A_1\frac{b_2h_2l_2}{b_1h_1l_1}$$

こゝにA_1は支點間の距離l_1, 試驗片の高さがh_1, 巾がb_1の場合の衝擊仕事であり, A_2は支點間の距離がl_2, 試驗片の高さがh_2, 巾がb_2の場合の衝擊仕事である。今こゝで$b_1=b_2$, $h_1=h_2$ 及び $l_1=12h_1=12h_2$ とすれば次のようになる。

$$A_2=A_1\frac{l_2}{12h_2}$$

---

(1) F. KOLLMANN ; Technologie des Holzes. pp.195～196. 1936

然しこれらの式は minimum curve を描くものでない。

又日本標準規格原案である木材試験方法[(1)]は支點間の距離を試験片の高さの12倍と規定している。A.S.T.M. (American Society of Testing Materials)[(2)]に於ても全く同様に規定している。ドイツ規格 (DIN DVM C 3008) 及びフランス規格[(3)]に於ては 10.5～12倍と規定している。

故に本實驗の結果及びこれらの文献によつて，支點間の距離が試驗片の高さの 10.5～12倍の所に於て衝擊仕事は最小値を示すと考えてよい。從つて同一の巾及び高さを有する試驗片でも支點間の距離が異れば衝擊仕事は變化して來るから衝擊仕事を直接比較することは出來ないわけである。

〔B〕 支點間の距離を一定(11cm)にしておいて試驗片の高さを變化せしめた場合の試驗結果を示せば第5，第6表のようになり，これを圖示すれば第4及び第5圖のようになる。何れも試驗片20個の平均である。

第5表 ヒノキの試驗片の高さと衝擊仕事との關係(支點距離一定)

試驗片の高さ (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絕乾比重
0.29	3.0	14	0.37	0.33
0.49	5.0	14	0.38	0.34
0.69	8.3	14	0.38	0.33
0.99	19.5	15	0.39	0.34

第6表 ツガの試驗片の高さと衝擊仕事との關係 (支點距離一定)

試驗片の高さ (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絕乾比重
0.32	3.0	16	0.50	0.43
0.49	5.1	17	0.50	0.44
0.69	10.3	17	0.50	0.43
1.02	19.4	17	0.49	0.42

今衝擊仕事 A(kg-cm)を試驗片の巾 b(cm)，高さ h(cm)，實驗常數 k 及び n を以て次のように表わす

$$A = kbh^{n}$$

この式に上の實驗結果を入れて最小自乘法によつて k 及び n を求めれば次の實驗式を得る

ヒノキ $A = 16.8bh^{1.500}$

最小自乘誤差 1.9

ツガ $A = 19.9bh^{1.790}$

最小自乘誤差 0.5

尙 MONNIN[(4)]氏は一級材に對して指數 n の値を $^{10}/_{6}$ として居り，本實驗結果は大體その値に近似している。

指數 n が整數であることは計算の上に非常に便利であるから今 $n=2$ として未知の係數 k のみ

(1) 木材試驗法調査委員會；木材試驗方法（日本標準規格原案）1948

(2) 洪 悦郎；合板その他木材を主とする材料の試驗法，サイエンスタイジエスト 土木建築 C. A No. 6 pp. 10～12，1949.

(3) F. KOLLMANN: Technologie des Holzes. p. 195 1936

(4) F. KOLLMANN; Technologie des Holzes p. 196. 1936.

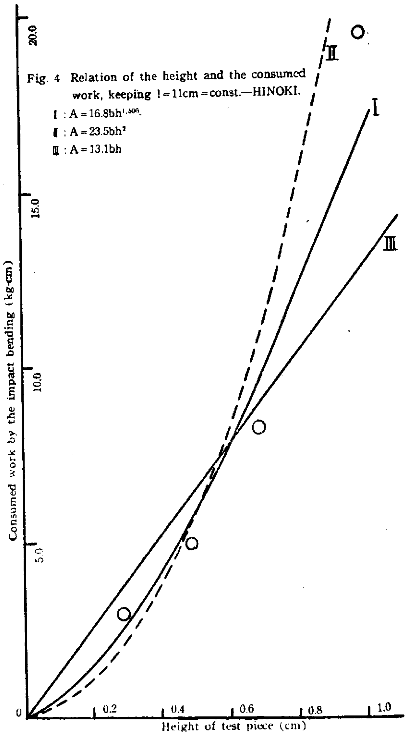

Fig. 4 Relation of the height and the consumed work, keeping l=11cm=const.—HINOKI.

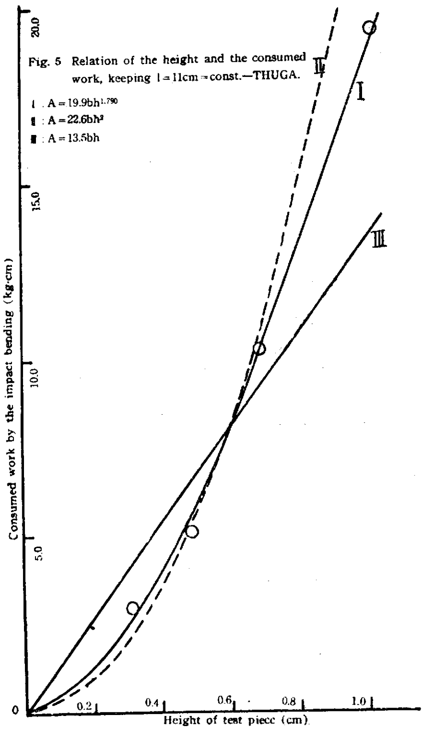

Fig. 5 Relation of the height and the consumed work, keeping l=11cm=const.—THUGA.

を最小自乗法によつて求めれば次の式となる。

ヒノキ，	$A=23.5bh^2$	最小自乗誤差	3.0
ツ　ガ，	$A=22.6bh^2$	〃	2.7

次に現在慣行されている衝撃仕事〔kg-cm 又は kg-m〕を試験片の斷面積で割る衝撃曲げ吸收エネルギーの計算方法は卽ち $A=kbh$ を意味するものであるから，この式によつて最小自乘法を用いて係數kを求めれば次の式を得る。

ヒノキ，	$A=13.1bh$	最小自乗誤差	3.9
ツ　ガ，	$A=13.5bh$	〃	4.2

以上三種類の式卽ち $A=bkh^n$，$A=kbh^2$，及び $A=kbh$ による實驗式を圖示すれば第4及び第5圖のようになる。こゝに k 及び n は實驗常數である。これらの圖を見ても又最小自乗誤差の値の大さから判斷しても $A=kbh$ なる形の式卽ち衝撃曲げ吸收エネルギーを計算するのに衝撃仕事を斷面積で割る方法は非常に不合理である。

〔C〕 然し〔B〕の場合に於ては支點間の距離を一定にしているので，試驗片の高さが變化すれば從つて l/h 卽ち支點間の距離と試驗片の高さとの比の値が變つて來て，衝撃仕事〔kg-cm又はkg-m〕と試驗片の高さとの關係ばかりでなく，衝撃仕事〔kg-cm又はkg-m〕と l/h

との關係も入つて來る。故に〔C〕の場合に於ては l/h の値を一定卽ち12として，その條件を保ちながら試驗片の高さを變化したのである。その試驗片の形狀及び寸法はⅢの試驗方法の項に於て述べた通りである。卽ち衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕の最小値を與えるような條件の下に於て試驗片の高さの衝擊仕事に及ぼす影響を見たわけである。斯くして行つて得た試驗結果を示せば第7表のようになり又これを圖示すれば第6圖のようになる。何れも試驗片20個の平均である。

第7表　ヒノキの試驗片の高さと衝擊仕事との關係($l/h=12=$const.)

試驗片の高さ (cm)	衝擊仕事 (kg-cm)	含水率 (%)	氣乾比重	絶乾比重
0.30	1.4	11	0.37	0.34
0.49	4.5	11	0.38	0.34
0.71	9.3	12	0.39	0.35
1.01	18.0	12	0.38	0.34

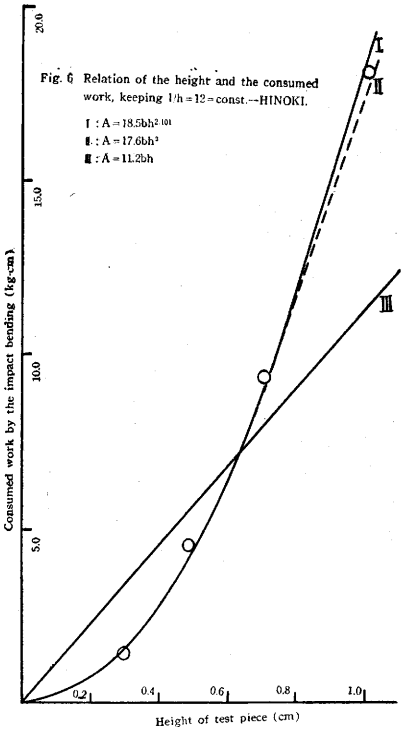

Fig. 6 Relation of the height and the consumed work, keeping $l/h=12=$const.--HINOKI.
Ⅰ: $A=18.5bh^{2.101}$
Ⅱ: $A=17.6bh^{2}$
Ⅲ: $A=11.2bh$

今〔B〕の場合と同様に衝擊仕事A(kg-cm)を試驗片の巾b(cm)，高さh(cm)，實驗常數 k 及び n を以て次のように表わす。

$$A=kbh^n$$

この式に實驗結果を入れて最小自乘法によつて k 及び n を求めれば次の實驗式を得る。

ヒノキ　$A=18.5bh^{2.101}$　最小自乘誤差　0.4

〔B〕の場合卽ち $l/h=12=$const. としない場合と同様に，指數 nが整數ならば計算が非常に便利であるから，今 $n=2$ として未知の係數kのみを最小自乘法によつて求めれば次のような式となる。

$A=17.6bh^2$　　最小自乘誤差　0.2

次に現在慣行されている衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕を試驗片の斷面積で割る衝擊曲げ吸收エネルギーの計算法は卽ち $A=kbh$ を意味するものであるから，この式を用いて最小自乘法によつて係數を求めれば次のような式を得る。

$A=11.2bh$　　最小自乘誤差　2.0

以上の三種類の式卽ち　$A=kbh^n$，$A=kbh^2$ 及び　$A=kbh$ による實驗式を圖示すれば第6圖のようになる。こゝに k 及び n は實驗常數である。この圖から見ても，最小自乘誤差の大さから見ても $A=kbh^2$ なる形の實驗式でも非常によく當嵌る。然るに $A=kbh$ なる形の實

驗式は不合理でもある。即ち衝擊曲げ吸收エネルギーを表わすには，衝擊仕事〔kg-cm又はkg-m〕を巾と高さの自乘との積で割る方法を取ることが望ましい。

尙この場合 $l/h=12=\mathrm{const.}$ にしているから，試驗片の斷面積と支點間の距離とを乘じた値卽ち支點間の試驗片の體積（cm^3）で衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕を割る方法は次の式にて示すように $\mathrm{A}=kbh^2$ と同一になる。

$$\mathrm{A}=kbhl=k\mathrm{V}=12kbh^2=Kbh^2$$

但し l は支點間の距離，Vは支點間の試驗片の體積，Kは係數である。

V 結　　語

以上の試驗結果によつて次のことが云われる。卽ち支點間の距離と試驗片の高さとの比 l/h が大體 10.5～12の範圍にある或る値を取るときに衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕は最小値を示し，l/h がその範圍より大きな値を取つても小さな値を取つても衝擊仕事はより大なる値を示す。又支點間の距離を同一にして試驗片の高さのみを變化させた場合には Monnin 氏が一級材に就て示した通り，$\mathrm{A}=kbh^n$ の指數 n の値が大體 $^{10}/_{6}$ となる。こゝで $n=2$ として $\mathrm{A}=kbh^2$ なる取扱い便利な型にしても，$n=1$ として $\mathrm{A}=kbh$ なる型にするよりは遙かに合理的である。卽ちこの場合に於ては衝擊仕事〔kg-cm 又は kg-m〕を試驗片の巾と高さの自乘との積で割つて衝擊曲げ吸收エネルギーを表わした方がよい。然し $l/h=12=\mathrm{const.}$ とした場合には $\mathrm{A}=kbh^n$ の指數 n の値が本實驗に於ては2.101となり，殆んど2である。故に指數 n の値を2として $\mathrm{A}=kbh^2$ なる型として實用上何等差支えない。勿論この場合も指數 n の値を1として $\mathrm{A}=kbh$ なる型とすることは不合理である。故に木材の比較數値としての衝擊曲げ吸收エネルギーの計算法としては $l/h=12=\mathrm{const.}$（この値は大體 10.5～12 の範圍内ならばよいであらうが多くの規格が12を取つているから12とする）としておいて，實驗によつて得た衝擊仕事〔kg-cm 又はkg-m〕を試驗片の巾と高さの自乘との積にて割ることが妥當である，從つてその場合には衝擊曲げ吸收エネルギーの單位としては現在行われている $\mathrm{kg\text{-}cm/cm^2}$ 又は $\mathrm{kg\text{-}m/cm^2}$ ではなく，$\mathrm{kg\text{-}cm/cm^3}$ 又は $\mathrm{kg\text{-}m/cm^3}$ を用いることになる。

Résumé

The author carried out three experiments on the impact bending test of wood.

In the first experiment, the test was carried out, varying the span of the

test pieces and keeping the width and the height of them constant. As the result, the consumed work (kg·cm or kg-m) is the smallest when the ratio of the span to the height of the test pieces is 10.5~12.

In the second experiment, the test was carried out, varying the height of the test pieces and keeping the span and the width of them constant. Now we may use a empirical formula $A = kbh^n$. Where A is the consumed work (kg·cm or kg-m), b and h are the width and the height of the test pieces (cm), and k and n are the empirical constants. As the result, the value of n is nearly $^{10}/_{6}$, as MONNIN indicated. So we may transform the formula to the form, $A = kbh^2$ with more propriety than to the form, $A = kbh$ which is usually has been used.

In the last experiment, the test was carried out, varying the height of the test pieces and keeping the ratio (12) of the span to the height, and the width of them constant. As the result, the value of n is 2.101 in the above mentioned empirical formula. So we may transform it to the form, $A = kbh^2$ with the most propriety.

In short, it is desirable to carry out the impact bending test of wood, keeping the ratio (12) of the span to the height of the test pieces consant, and to calculate the absorbed energy of wood, as a comparative value, by the following formula,

$$k = A/bh^2 \text{ (kg-cm/cm}^3 \text{ or kg-m/cm}^3\text{)}.$$