

木 材 の 靱 性 に 就 て (第1報)

(木材破壊論序説)

教 授 林學博士 西 力 造
 助教授 木 村 大 造

緒 言

著者の一人は前年文部省の自然科学奨励金並に熊本營林局の援助を受け、「防風林の力學的研究」を行つた。その際研究の方法として2つの方法をとつた。1つは實驗室に於て小風洞をつくり模型試験を行ふ事であり、他は野外に於て林木の暴風による被害状況を觀察調査する事であつたが、前者は設備が充分でなく、自然主として後者の方法によることにし、相當材料を蒐集したのであつたが、これ等の結果をとりまとめるに至らずして、戦災の爲全部を焼失し、遂に何の報告をなすに至らず今日に及んだ。然しその際見た現象で今日まで尙腦裡に残るものはその破壊状態で、同じ風折木でも松と杉とで非常に異なりその間に1はねばり強く感じ1はパツサリと極めて脆い感じを與へるものがあつた事であつた。そうして私の注意は木材の靱性とは何ぞやといふ事に向けられた。同時にその頃は戦争も末期に近づき材料の欠乏は木製飛行機が研究され又實際盛んに製造せられんとしつゝあつた。然しその際飛行機製作技術者側の木材の強さに對する不信頼は、無用と思はるゝ程大きな安全係數や、あまりに神経質な無瑕疵材の要求の爲、さらでだに不足して居る木材を頗る不經濟的に消費する結果になつた。此點は今日に於ても同様で木材節約の要大なるに拘らず設計上過大の安全係數を用ふるならば強度試験に於て非常に精密を期しても殆ど無意味になると思ふ。こゝにも「木材の強さ」、「木材の破壊に至るまでのねばり強さ」=「靱性」といふような事をはつきりさせる必要があると考へさせたのである。

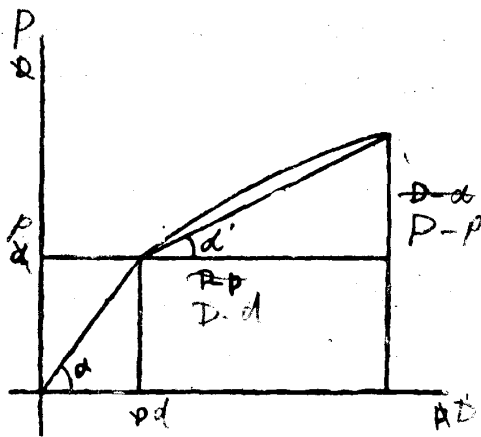
著者等が數年來文部省の自然科学研究費をうけて「南九州産木材の機械的性質」の研究をなしつゝある所以も主要木材の強度の測定をなすと同時に機械的諸性質、殊に靱性の研究に主眼點を置く計畫をなしたが、設備時間等の關係上未だ何らの進歩を見ざる有様である。今こゝではその研究の結果を報告せんとするといふよりは研究を進むるに當り吾人が當面した諸疑問を提供して以て識者の教を乞はんとするものである。

I 靱性に對する諸定義

靱性といふ性質に就ては從來一般の材料力學に於てはそれ程重要視せられないような感があるが、木材に就ては古くからその機械的性質としては最重要なる一性質として種々な説明が加へられて居る。然し靱性とは何かといふと必ずしも充分はつきりして居らないように思はれるし、又今迄これ等に對し殆ど検討が加へられて居らぬようである。

靱性というのは、ねばり強い性質=變形しても破壊せない=脆いといふことの反対というような意味があるのであるが、これまでどういう風に定義せられて居つたらうか。

第1に靱性 Zähigkeit とは屈撓性 Biogsamkeit と同一義に用ひられ一般に弾性限界以上破壊限界までの間で恒久屈撓する性質をいうのであるから即ち壊はれんとして壊はれない性質ということになり古くから Gayer—Mayr を初めとし我國の上村博士及び大西氏^{註1}の著書等に皆かように記述せられて居る。然しこれを數的に表示するとなると必ずしもはつきりせぬ。それは弾性限界以上破壊限界までの歪みの大きさを以てせんとするのであろうか。或はその間に於ける應力の大きさを以て示さんとするものであろうかを明かにして居らない。Janka 氏は此の兩者關係を次の如く表はして靱



性係數 (Zähigkeitkoeffizient) と名付けた。^{註2}

$$\frac{D-d}{P-p}$$

d = 弾性限界に於ける屈撓
 p = 同 荷重
 D = 破壊限界に於ける屈撓
 P = 同 荷重

そしてその値の大きいものほど靱性が大であるとす
 るらしい。即ち Janka の試験によると湿度を増すに従
 つて此の商は著しく大となるものである。然しかゝる
 數値は弾性限界と破壊限界とを直線を以て連結しその

間の變化を觀ないで歪が應力に正比例する場合と同様にその單位應力に對する歪の割合を示すもの
 で、弾性限界以上に於て弾性係數の逆數に當る値、即ち弾性係數が $\tan \alpha$ に當るに對し Janka 氏の
 靱性係數とは圖に於て $\cot \alpha'$ を示すものである。かゝる値が特に木材の靱性を表示するに適當なも
 のであらうか。私らには疑なきを得ない。

次ぎには衝撃曲げ試験の説明に於て之が靱性を判斷する試験なりとなすもので、即ち靱性は衝撃
 に堪える大きさを意味することゝなる。^{註3}かくなれば表示の方法は極めて明瞭であるが、我々のいふ
 靱性とはそれだけのものであり、又測定法としてもかゝる dynamik の場合のみであらうか、

衝撃試験は Energy 量を測定するものであり之を靱性なりとするならば、靜的試験として stress-
 strain diagram の表はす仕事量も亦靱性を表はす量といはねばならぬ。即ち仕事量 A は

$$A = \int p \cdot ds.$$

である。p は力で ds は之に對應する歪みである。本來からいへば兩者は同一材の Energy の大き
 さであるから、その際に起るあらゆるエネルギーの變化を極めて精密に悉く集計するならば同一の結

註1. Gayer-mayr: Die Forstbenutzung; 上村勝爾: 森林利用學上卷, 大西鼎: 森林利用學上卷。

註2. Handbuch der Forstwissenschaft. Bd I., Exner, Die technischen Eigenschaften der Hölzer
 (bearbeitet von G.Janka) s.433.

註3. 關谷文彦: 木材強弱學; 田中勝吉: 最新木材工藝學。

果が得らるゝ筈であろうが實際に於ては勿論一致せぬ。^{註4}殊に木材のねばり強い性質（それを靱性といふべきか？）の爲、靜的試験に於ては終局的な破壊點が明かでない。従つてA量を表はす面積の閉塞邊をどこにおくべきか問題がある。

Tetmajer氏は木材の靱性を測るのに屈撓の仕事量（Biegungsarbeit: A）を選んだ。それは建築工事に特に重要なものであるのと、その變形が著明で測定に便宜であるからで、此の大きさは木材の品質を示すよき指標と云えるとした。而して同氏は更にこれから次の如き商（ η ）を完満係數（Völligkeits-koeffizient）と稱した。

$$\eta = \frac{A}{f_0 B}$$

Bは破壊限界に於ける應力 f_0 は同じく破壊限界に於ける最大撓みであり、従つて η は仕事量Aの $B \times f_0$ なる矩形に對する完満度を示す。若し材料が完全な弾性體であるときは定數0.5である。然し靱性の數的表示にはかゝる商を以て示す方が適當なるか我々にはその理由を見出し難い、勿論仕事量Aは試験片の大きさによつて異なるが一定の標準の大きさを決定して之に對するAそのまゝの方が適當ではなからうか、又 Janka氏は變形の大きさFを以てAを除した商 $\alpha = \frac{A}{F}$ なるものを示した。前にも述べた通りAは力と變形との相乗積であるからこの積を最大變形Fを以つて除するならば、平均した假想の力（單位變形當り）を表はす事になるが、これは靱性の度合を示す上に關係ある數であろうか。

以上の如く木材の靱性の表示方法が頗る區々ではつきりせぬのは靱性の性質そのものをはつきりさせて居ないからと思ふ。性質を判然と確定しておいてそれに適應するように、その表現の方法を考ふるのではなく、或る測定の方法をさきにしてそれで性質を決定するから測定の方法に従つてその性質の意義が異なり明瞭を欠ぐのではないか。例へば弾性限界以上破壊限界までの大きさ（應力又は歪）とか或は衝撃にたえる大きさといふように靱性を定義するのも定義の一方法であるけれど、逆に同一名稱の「靱性」を用ふる時その内容が異つて來たり、従つてその性質が木材の實用上如何なる關係あるかあいまいとなつて來る。矢張りもう一度元に戻つて靱性とは何ぞ、如何なる性質を表はすのか。又そう表はすことが材料學的に有用であり、又正當であるかということから出發する必要があるのではないかと思ふ。

I 靱性の意義

靱性とは一「ねばり強い性質」。「壊れそうで壊れない」、或は「變形しても破壊せぬ」性質と一應假定し、かくの如き性質は木材の利用上充分はつきりさせておく必要のある重要な性質であると信ずる。

そこで靱性を(1)「變形しても」（破壊せんとしても）(2)「破壊せぬ」といふ性質とすれば、(1)「破壊（又は破壊の前徴）の始期から」(2)「まさに破壊し終らんとする終期」に至る經過に關するもの

註4. Kollman: Technologie des Holzes; s.195.

である。然らばその始期及び終期とは何か。

(1) 始期である「破壊せんとして」或は「永久變形して」ということは如何なる事か。これは木材という特殊な材料に於ては頗る複雑な關係にある。若し弾性限界又は降伏點というものを意味するならば、それは頗る簡單であろう。然も木材は嚴重な意味で弾性體でない事は勿論相當ラフな意味でも弾性體でなく、初めからPlasticである。一度荷重をうくると、直に超顯微鏡的にMicellの構造の變化があるというような細いことをいはなくとも、木材は肉眼的又は顯微鏡的な程度の組織。即ち細胞組織的の變化を惹起するを免れない。肉眼的に破壊線を認めなくても、組織内に Slipline を生ずる。塑性であるとはいへ塑性變形のみでなく、勿論弾性變形もある。かくて木材は他の材料に見られない複雑性がある。(それは他の材料の無機物であるに對し、木材の生物體であつたことを考へた丈けでも分ると思ふ。)であるから、この始期を決定することは甚だしい困難が伴ふ。之を荷重が加はつた初めからと定めても、その變形又は破壊の初まりは決して單純なものでなく、種々なる性質の歪、或は滑りの開始が考えられる。

そこで我々は木材の機械的性質を論ずるには根本的には從來の如く木材を簡単に完全弾性體の假定の下に取扱うべきでなく根本的には破壊論にまで遡らねばならぬ。然るに一般材料の破壊論でも諸説紛々歸する所なき有様である。況んや複雑極まる木材破壊論に於ては未だ殆んど手がついておらず今後の研鑽にまつ他ないのである。^{註5}

(2) 終期 破壊しない、破壊完了の直前といふ點亦甚だその限界は判明を欠ぐのである。それも結局は破壊という事實の真相がはつきりしない限り當然の結果であるが、此點引張り應力をうくる時は割合はつきり現はれるが、彎曲に於ては既にあいまいで、壓縮に至つて更に決定困難である。

かくの如くして木材の靱性に就ても、根本的には木材の破壊論の解明が先決問題であるというてよいと思うが、前掲假定の如く靱性をば「變形しても破壊せぬ」、或は「破壊しにくい性質」とし、もう少しその範圍を檢討してみよう。

a) 靱性を屈撓性と同一視することは古くより諸種の定義の一致する所で従つて靱性は曲げの場合に限られてきた。然も靱性を「變形しても破壊しにくい、ねばり強い性質」とするならば、獨り曲げの場合に限定するは理由なき事で、引張りでも壓縮にても苟も歪みを起す場合は靱性があり得る譯である。従つて靱性には種類がありこれを表示する方法も異なるべきは恰も弾性係數にヤングの弾性係數と剪斷弾性係數のある如くであろう。唯實際問題としては土木建築用材等にては、梁として彎曲を受くる場合が最も多く且つ重要であり、自然之を論ずる場合が多かるう。

b) 靱性を「變形しても(壊れんとして); 壊れにくい性質」とすれば、前述の如くそこに始期から終期まで、一の経過を意味する。(勿論これは加はる荷重の速度と關連し衝撃を受くる場合の如きは此の時間が無限に短縮される) 始期と終期という言葉を用いた結果は當然時間的觀念が入つて

註5. 此等の問題に關連した研究は我國にも極めて少いようである。唯塑性に就ては大澤正之博士等の論文がある。——北海道大學演習林研究報告、第12卷第2號、木材の可塑性に關する理論及び實驗。

來るが、これまで「壊れんとして」と「變形して」と同意義に用いたけれど、こゝに於てはその何れかを擇るべきか決定をせまられる感がある。即ち靱性を外力の破壊せんとする作用に對する抵抗の時間的要素に重きをおくか、或は外力により生ずる歪の大きさに重きを置くかである。これは次の靱性の表現の方法に關連するから後で更にふれることとするが、本來靱性といふ意味には壊れそうでも壊れない。その間に餘裕のあることを連想するのでなかろうか。即ち靱性が大であるというのは破壊の前徴を見ても人命の危険をさけることか、素早くその材料をとり替へ得る餘裕があり、従つて安全係數も靱性の小なるものに比し低く選定し得られるという考え方があるのではなかろうか。彼の鑛山の技術者、又は工夫が坑木の性質に就て Warnfähigkeit というのも同様の意味を有して靱性に關連すると思はれる。^{註6}

c) 靱性を以て破壊の經過に關するものなりとすれば等しく破壊を惹起する疲れ。匍匐等の場合に於ても靱性を考ふべきである。而して木材の實用上からすれば繰返し應力をうけたり、長い間一定荷重をうけ続けることは極めて普通のことで、従つて木材破壊に就て疲れや匍匐現象の研究の必要なのは云うまでもないが、これ等は荷重を一定にして繰返し回數や荷重の時間の増加と變形(破壊)との關係を見るものであるから之を別にし、靱性を「荷重を増加して行つて破壊にまで至らんとする場合」に限定しておく方が妥當ではあるまいか。依つて靱性の意義を「荷重が加はり行きて變形を生じ破壊せんとして破壊しにくい性質」というように解しては如何であろう。

II 靱性表現の方法

靱性の意義を右の如く定めたとして、これを數的に表現するには如何なる量を以てしたら適當であろうか、既に述べた如く靱性とは或る一點に於ける應力又は變形の大きさという如きものでなく、應力に對應する材料の經過、或は状態である。而して之を表現するには時間的要素に重きをおくべきか、變化の状態に重きを置くべきか。即ち力と時間よりなる力積(Impulse)的な系統の表現を以てなすべきか、力と變位よりなる仕事量的系統の表現すべきか。 $\int p \cdot dt$ or $\int p \cdot ds$?, 我々の研究は未だ全く不十分で何れが適切なるか迷いつゝあるのである。理論的には寧ろ力積的表現が適當のようであるが、従來の表現は皆仕事の量に依つて居る。勿論兩者は間接的には關連性を有して居るから何れか1をとつても必ずしも矛盾するものであるまい。そこで暫く後者を選ぶこととして、かくの如き經過又は状態を表示するものとしてまづ次の2種類を挙げようと思う。

1) 應力歪圖 Stress-strain-diagram = 仕事量。

即ち縦軸に應力、横軸に之に該當する歪をとりて得たる diagram の面積を測定して仕事量とし、之を以て靱性の數的表示となさんとするものである。

2) 破壊狀況

破壊狀況が材の強度又は靱性を現はすものなることは、前掲別論文にも述べし如く既に古くより注意せられて居る。Janka 氏は3種の標準型、即ち平滑狀と長裂け狀及びその中間の鋸齒狀に分ち平

註6. Handbuch der Forstwissenschaft a.a.o. s.435.

滑状が脆く、長裂け状が靱性大であるとして居る。此の主張は経験上から歸納したる結果であるか、或は何らかの理論に基いた論斷なるかを知らないが、この完全なる説明は木材の破壊理論が充分明かにされなくては不可能である。主として應力と破壊抵抗との關係によるであろうが、剪斷力による滑り破損が接面抵抗より大なるとき長みのすべり破損が生じ、垂面應力なるときは押し潰ぶされ、或は引き離し破損が生じ、而もそれらの破損は單純にその1種の型のみが別々に生ずるのでなく、同時に之等の種々なる型が種々なる程度に現はれ、以つて靱性な材料と脆性材料とで異つた破碎状態を呈するものらしく、その理論的説明は今後の研究にまつ外ないが經驗的にいうて此の靱性と破壊状況の關係は大體正しいというてよいようである。

以上の2つ表示方法を著者らの前掲別論文の強度試験の一部に應用して同一材片に就て破壊に至る仕事量と破壊状態を實驗した。仕事量は曲げ試験の應力歪圖の面積をプランメーターで測り之を斷面 $10 \times 10 \text{cm}^2$ に該當するものに換算した。唯木材の塑性な爲めに最終破壊線が判然としないので適當に閉塞線を引いて面積の限界をつけた。破壊状態に就ては前掲別論文曲げ試験の場合と同じく次の3種とした。

- a, 平滑状. b, 鋸齒状. c, 長裂け状.

破壊状態と仕事量との關係

破壊状態	モ			ガ		
	個數	範圍	平均 kgcm	個數	範圍	平均 kgcm
		最小 ~ 最大 kgcm			最小 ~ 最大 kgcm	
a	26	910~3,465	2,297	9	1,540~2,890	1,915
b	22	2,020~5,450	3,097	12	1,725~4,175	2,982
c	9	1,950~6,450	4,279	3	3,000~3,340	3,207
計	57	—	總平均 2,919	24	—	總平均 2,610

此の表で見ると個體によつて多少の例外があるのと、供試體の個數が充分多數でない憾みはあるが、兩者は相當よく一致して一定の著しい傾向を示して居り、此1例を以てすれば此兩表現方法は共に木材靱性を表示する指標とするに足るといふことができようか。要するに木材の破壊理論は前人未墾の廣野で未解の問題が林立して居るといふてよい。その内の比較的古くから注目せられて居る靱性に就ても尙ほ根本的に解決を要するものが少くない。今や木材資源の涸渴は世界的であり、殊に領土を狭められた我國にとりて痛切な問題である。従つてできる丈け資材を節約して經濟的に使用するという點からも此等の問題の解決の要にせまられて居る。今後理論と實際の兩方面より漸次開拓を進められて我等後進の徒に教示せられん事を切望して止まぬ。

註7. Handbuch d. Forstwissenschaft; a.a.o. s.434.

On the Toughness of Wood

Rikizo Nishi & Daizo Kimura

The writers have criticized the common theories on the toughness of wood, and give a definition: "the toughness is the property of unbrokenness even if strain may take place when load increases". And they believe that it should not be indicated by stress or strain at one point, but as it relates with the passage of time or the phases of break, the following two methods are right to indicate it.

- a) Dimensions of stress-strain diagram at the strength test; namely work.
- b) Break phases of test piece at the strength test. (Classified into three phases: even, zigzag and splintery)

When they experimented on *Momi* and *Tuga*, they could recognize that those two indications mentioned above agreed pretty well.