

翻 譯

木 材 纖 維 板

その性質と試験、特にその疲労強度について

F. KOLLMANN および A. DOSOUDIL

原 著

杉原彦一・後藤輝男・福山萬次郎

共 訳

第 3 部 硬質木繊維板の疲労試験

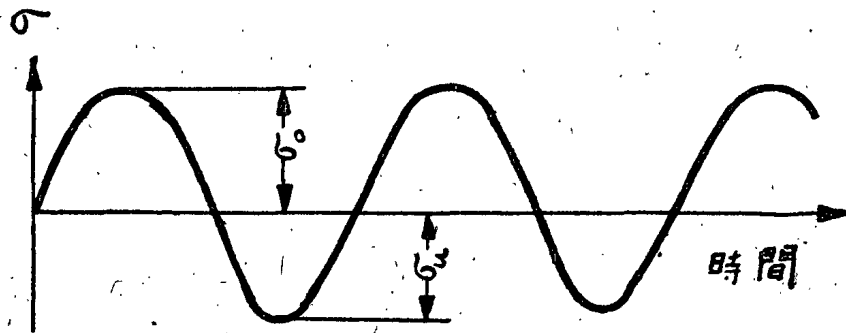
30 概 説

近年構築、構造材料の疲労強度に関する研究がますます行はれる様になつた。此は実に航空機構造の問題が刺激となつたためである。此がために種々なる試験法所謂短期試験〔文献36参照〕が提出され且多くの試験機械も考えられたが〔31参照〕一般に疲労強度 (Dauerfestigkeit) は Wöhler 法 (Wöhler-Verfahren) で決定され経験的、図的に示されるのが普通である。

疲労強度と言う概念は勿論疲労強度の試験と關聯するのであるが、A. THUM〔文献44〕によれば次の如くのべている。即ち或る材料に任意回数荷重をかけても材料が破壊しない場合、その材料は疲労しないと言う。疲労強度と言う場合は平滑な試験片についての事であり、切欠のある試験片や、構造部分 (Formteil) については疲労耐久性 (Dauerhaltbarkeit) と言うのである。更に亦 A. THUM によれば疲労強度とは平滑に磨いた表面を有する試験片に対して如何に長く亦、何回繰返して荷重を加えても破壊しない様な繰返変動荷重 (Wechselnde Beanspruchung) のうちで最大の荷重を其の材料の疲労強度と言う〔文献44〕。其の場合、疲労強度の値は材料強弱学の一般公式による応力 (Spannung) として計算される。疲労荷重 (Dauerbeanspruchung) の理想的なものは正弦曲線の応力変化をする。(第

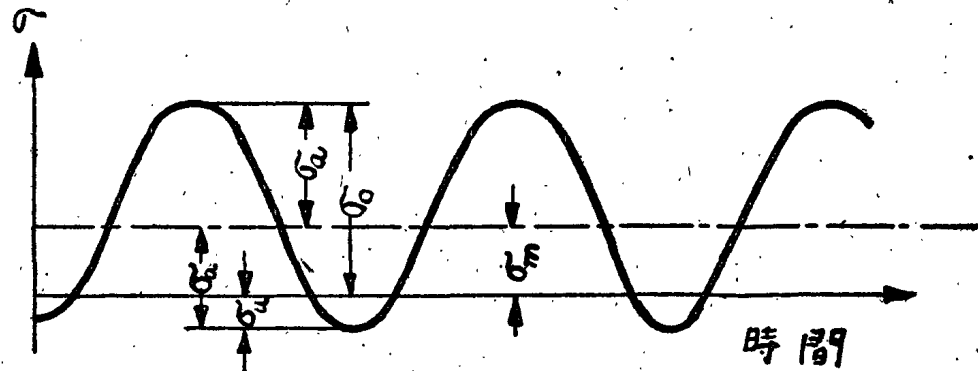
第18図：疲労荷重模型図

a. 純繰返変動荷重
(Reine Wechselbeanspruchung)



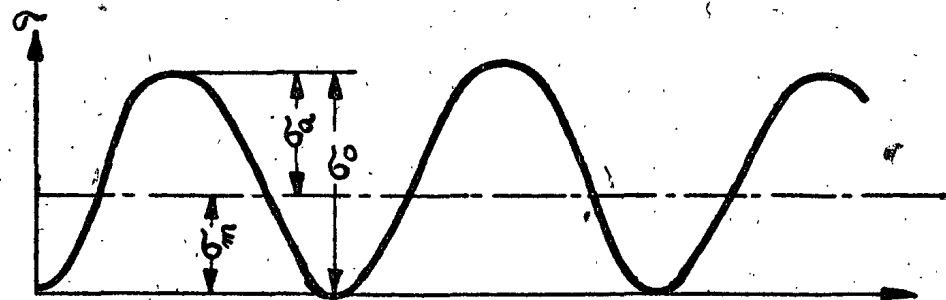
a

c. 正負両域に亘る疲労荷重
(Dauerbeanspruchung im Wechselbereich)



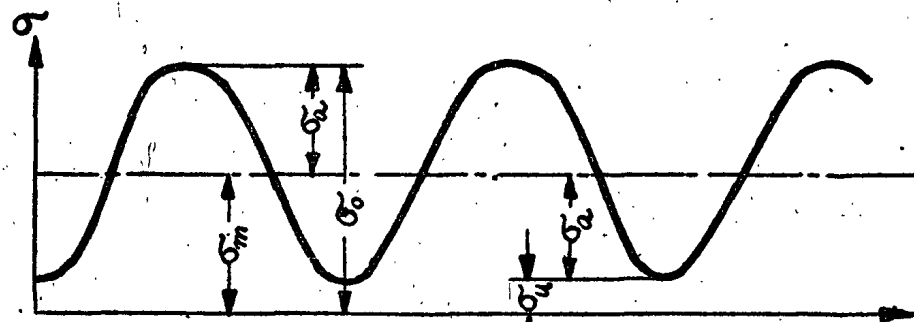
c

b. 正変動荷重
(Schwellbeanspruchung)



b

d. 正域に於ける疲労荷重
(Dauerbeanspruchung im Schwellbereich)



d

18図). その図に於いて応力の限界値は上限応力 (Oberspannung) σ_o と下限応力 (Unterspannung) σ_u を以つて示した. しかる時は $\sigma_o - \sigma_u$ は応力幅 (Spannungsbreite) 或は振動幅 (Schwingbreite) (応力振幅の2倍) となる. かくすれば疲労荷重として一般に次のものが考えられる.

1. 繰返変動応力 (Wechselbeanspruchung) (σ_w) (第18図 a)

即ち $\sigma_o = -\sigma_u$ の場合である. 応力振幅 (Spannungsausschlag) σ_a は正負の同じ大きさの限界値間を変動する. 限界応力 (Grenzspannung) の代数的平均値即ち平均応力 (Mittelspannung) σ_m は零である. 此の場合の疲労強度は繰返変動強度 (Wechselfestigkeit) と言うより, むしろ, 純繰返変動強度 (Reine Wechselfestigkeit) σ_w と言つた方がよい.

2. 正動変応力 (Schwellbeanspruchung) (σ_{sch})

これは以前 “Ursprungsbeanspruchung” とも言つていたもので第18図 b の場合で繰返変動応力の振幅に等しい静止応力 σ_m (静的な初期応力) にその繰返変動応力が加つた場合である. 応力は零と振幅の2倍に等しい最高値との間を繰返変動する, 即ち $\sigma_m = \sigma_a$ である. 此の場合の疲労強度は又, 正変動疲労強度 (Schwellfestigkeit) とも呼ばれる.

3. 応力が正負両域に亘る場合の疲労応力

(Dauerbeanspruchung im Wechselbereich)

平均応力 σ_m が零よりも大であるが, 而し応力振幅 (Spannungsausschlag) σ_a よりも小である時, 応力は第18図 c に於ける如く正と負の限界値の間を変動する.

4. 正域に於ける疲労応力 (Dauerbeanspruchung im Schwellbereich)

此は正変応力で, 而も初期応力が(2)の場合よりも大なる場合である. 第18図 d, 即ち平均応力 σ_m は零よりも大, 且応力振幅 σ_a よりも大で, 限界応力は同符号を有する場合である.

WÖHLER 法による疲労試験では多数の試験片を上述の応力状態の内の一に依つて種々なる大いさの応力で試験をなし, その結果, 求めた上限応力及び応力幅 (Spannungsbreite) を破壊に至る迄の荷重繰返し数 (Lastspiele) (又 “Last-

perioden” について方眼紙或は半対数方眼紙にプロットする方法である。そして此の点を結べば所謂 Wöhler 線 (Wöhler-Kennlinie) が得られる。此の線は荷重繰返数が大となると一般に横軸に対する平行線への漸近線となるが、此の平行線に相応する応力振幅が求むる疲労強度を示すのである。〔応力が疲労強度よりも高い場合は此の荷重での破壊迄の荷重繰返数は或る一定の値を有しているので、此の応力を時点強度 (Zeitfestigkeit) とも云う〕。上述のあらゆる種類の応力で疲労強度を試験し疲労強度の限界に相当する上限及び下限応力を平均応力或は下限応力について画くならば、初期応力 (Vorspannung) の疲労強度に及ぼす影響を明瞭に示す疲労強度線図が得られる。斯くして例へば GRAF [文献31] によれば鋼の繰返変動強度 (Wechselfestigkeit) と Ursprungsfestigkeit と静止引張応力との比は 0.5 ; 0.8 ; 1 である。静止状態で荷重を加えた場合の疲労強度は通例匍匐強度 (Dauerstandfestigkeit) と呼ばれ、匍匐試験によつて決定されるが、此の値は疲労強度線図の頂点 (Gipfelpunkt) に相当するものである。此は理論的には応力振幅零の場合の正荷重範囲に於ける疲労強度と考えられる。

試験片に仕事を与える場合に充分応力が高いと、弾性変形以外に可塑性変形 (Plastische Verformung) も生ずる。そして荷重除去の場合、弾性変形は仕事として恢復されるが、塑性変形したものは材料中で熱に変化する。荷重変化の間に熱に変じた材料 1cm^3 あたりの仕事量を減衰能 (Dämpfungsfähigkeit) と言う。そのディメンションは $\vartheta [\text{cmkg}/\text{cm}^3]$ で示される。減衰能は繰返し速度に無関係であるが荷重の大小には本質的に左右される。〔文献30〕

31 疲労試験機 (Dauerprüfmaschinen)

310 概 説

疲労試験機には試験する応力の種類に応じて夫々

- (a) 引張—圧縮疲労試験機 (Dauerprüfmaschinen für Zug-Drück-Beanspruchung)
- (b) 捩り疲労試験機 (Dauerprüfmaschinen für Verdrehbeanspruchung)
- (c) 曲げ疲労試験機 (Dauerprüfmaschinen für Biegebeanspruchung)

等がある。

更に (c) の曲げ疲労試験機は次の二つに分類される。

- (i) 回転曲げ試験機 (Umlaufbiegemaschinen) ; 此の試験機では円形断面の試験片が一定荷重のもとに其の長軸の廻りに廻転する。
- (ii) 平板曲げ試験機 (Flachbiegemaschinen) ; 此は平板状の試験片が上下に曲げられる。

WÖHLER 以後特に最近 20 年間にすべての種類の応力に対して多くの型の疲労試験機が作られた。そのうち大抵のものは簡単な改造を施せば 2 種類或は 3 種類の応力種に用いられる。又或るものは二つの種類の応力の合成された繰返変動荷重 (例えば引張—圧縮荷重と同時に振り繰返変動荷重の加えられる様な繰返変動荷重) をも加える事が出来る。

繰返変動力 (Wechselkraft) を試験片に与える方法によつて試験機は次の如く分類される。〔文献37〕

1. クランク駆動 (Kurbelbetrieb) によつて繰返変動力を加える機械
2. 静止荷重に変化を与えて繰返変動力を加える機械 (回転曲げ試験機はこれに属する。)
3. 振動運動をなす物体の慣性力或は遠心力によつて繰返変動力を加える機械
4. 電磁駆動 (Elektromagnetischem Antrieb) による機械

引張—圧縮及び平板曲げ疲労試験機は更に他の群を構成する。即ち

5. 油圧駆動 (Druckölantrieb) による機械

引張—圧縮疲労試験機は結局

6. 圧縮空気駆動 (Drückluftantrieb) による機械

とみなされている。

個々の疲労試験機の適用性は機械そのものに何かの制限, 例えば昔の油圧駆動の試験機で初応力が高い上に更に応力が増加する機構である様な制限がない限りは, 繰返変動力を与える方法よりは, 寧ろ其の構造に依存するものである。そして其の個々の構造種 (Bauart) の適否の判定には試験される材料をも考慮せられるべき

である。

すべて3種類共の荷重種 (Beanspruchungsart) をかけうる疲労試験機は更に荷重 (Belastung) と変形 (Verformung) の種類によつて2つの群に分類出来る。

即ち

1. 変形一定の機械 (Maschinen mit gleichbleibender Verformung)

2. 荷重一定の機械 (Maschinen mit gleichbleibender Belastung)

第1群に属する機械では、全試験期間中、変形の限度 (Verformungsgrenz) が一定で〔曲げ試験機では傾斜角 (Neigungswinkel), 捩り試験機では捩り角 (Verdrehwinkel), 引張—圧縮試験機では最初に生じた伸びの量〕, その際に測定装置 (Meßvorrichtung) にかゝる力, 従つて試験片への荷重は時間と共に漸次小さくなる。何故なれば材料の変形は時間と共に増大するものであるから、第2群に属する機械では第1群に属する機械に対して荷重は一定で変形は従つて増大する。〔文献40と比較せよ〕

311 本実験に用いた疲労試験機械

(a) 平板曲げ捩り試験機, Schenk 型

(b) 平板状試験片 (Flachprobe) に対する Schenk-Erlinger 型の繰返変動曲げ試験機

(c) DVL (独乙航空研究所) の二つの單純曲げ疲労試験機

(d) Schenck-Erlinger 型の衝撃—引張—圧縮試験機 (Zug-Druck-Pulser) である。

使用したすべての曲げ疲労試験機, 即ち上述の a. b. c はクランク駆動 (Kurbelantrieb) のものであるが, 此に対してdの衝撃—引張—圧縮試験機では強い共振による遠心力 (Fliehkraft) によつて荷重が加えられるものである。又曲げ試験機は変形一定であるが之れに対して衝撃—引張—圧縮試験機は特別な調整により荷重一定で作動するのである。

311,0 Schenck 型, 平板曲げ捩り試験機

(Flachbiege-und Torsionsmaschine)

平板曲げ振り試験機〔文献 37, 38, 45〕(第19図, 第20図)はE. LEHR によつて用いられた。かの履歴現象のループの光学的指示器を有する振り振動試験機 (Dreh-schwingungsmaschine) に端を発している。本試験に用いた新して機械の構造は全く簡単になつていて指示器も変えられた。(第19, 20図)一末尾

曲げ疲労試験の時は試験片 a はつかみ板 (Spannplatten) を有する二つのつかみ鉤 (Spannklauen) に固定される。このつかみは一方は振り試験の時は試験片が直接そこにはまる所の回転クランク軸のチャック (Spannfutter) に他方は動力計のチャックに固定される。此の回転クランク軸 d と動力計 k は試験片の振り軸 (Drehachse) と一致する共通の長い軸を持つている。回転クランク軸 d は駆動軸 g のクランク f によつて連結桿 e を経て駆動される。回転クランク軸 d の振幅従つて試験片を曲げる角度はハンドルで動かされるウォーム h を通じてクランク f を振ちる事によつて機械静止の状態で $0 \sim \pm 15^\circ$ の間の任意の大いさに調整する事が出来る。駆動軸は Polum 開閉器 (Polumschalter) を有する 1500 及び 3000 r. p. m の三相交流モーターに可撓的に結合されている。駆動の回転、即ち試験中の荷重回数を読むための回転計が装置されている。

回転モーメントを測定するために、即ち此の場合は回転クランクと駆動のためのつかみの振れによつて試験片に加えられる所の曲げモーメントを計るために、機械の縦方向 (Längsrichtung) に移動し得る測定台 (Meßbock) が用いられる。その主な機構は、其の最大回転モーメント $\pm 50 \text{cmkg}$ (全モーメント = 回転 + 静的モーメント = 100cmkg) を有する "バネ動力計" (Federstab-Kraftmesser) k は後端で鋼製箱 1 にはまり、此の 1 は鍛鉄のケース n にはまりつけられている。箱は二つの調節ばね m にのせられ、此のばねは動力計の縦軸と直角方向に側方へ動く事が出来る様にしてある。此の様な装置によつて試験片の撓みのために生ずる引張り応力を避ける事が出来る。上述のチャック i を有する動力計の頭は、鋼鉄製の箱の中で針軸受で軽く廻る様に装置せられている。試験片により動力計に与えられた振りモーメントは内部の鋼鉄製の箱のハンドル (Halter) に依つて回転せしめられる二個の測定用ダイヤルゲージ P を有する測定用テコ (Meßhebel) o の振れとして測定される。内部の鋼鉄製の箱 1 は挺子 (Hebel) q と二つのねぢ r によ

つて動力計と共に外側の箱に対して広い範囲に亘つて振られる。その結果、試験片に静的な初期応力を与える。そして試験片が破断したとき、即ち曲げモーメントの一定の減少によつて自動的に駆動が停止する様に緩衝スイッチ (Dämpfungsausschalter) が働く様に装置されている。

311,1 Schenck-Erlinger型、繰返変動曲げ試験機 (Wechselbiegemaschine)

Schenck-Erlinger 型の板状試験片 (Flachprobe) に対する繰返変動曲げ試験機の構造に全く簡単になつている。〔文献29, 37, 46〕(第21, 22図) — 末尾

試験片 a の一端はボルト (Stiftschrauben) で駆動桿 (Antriebsschwinge) b に装置され、その駆動桿の一端は試験片の横軸で測面に軸受され他の一端は連結棒 c により駆動モーター e の軸に直接取り付けられた二重カム d により駆動される様になつている。カムの上昇距離は機械を静止させた場合に駆動桿の回転角が約 0° と $\pm 12^\circ$ の間で変化する様に調節される。又駆動モーター (普通密閉型の三相交流モーターで回転数は約 1430 r. p. m.) は滑り台の上に置かれ、此を上下に移動せしめて試験片に静的な初期応力を与える事が出来る様になつている。試験片の他の一端には測定針 (Meßschwinge) がつけられ、その測定針は試験片の中央でその長軸に直角についている二つの板ばね h に装置され、バネ動力計 i に結合されている。駆動軸により試験片から測定針へと伝えられる曲げモーメントは動力計にては引張つたり或は圧縮したりする様に作用する。そして此の動力計測定針の振れは二つのダイヤルゲージ k で計られる様になり、測定の精度 (Genauigkeit) は次の如くして得られる。即ち測定針とダイヤルゲージの押棒 (Taststift) との微小ながたは溝付きナットを用いてなくし、青ランプ l によつてその接触が示される様にした。又水平方向に動き得る測定針の弾力性のある軸受は、撓みによつて試験片に生じる附加的な引張り応力をさける様になつている。

慣性力 (Massenkraft) を減少せしめるために、其の可動部分はエレクトロンで造られ、此の試験機の主機構は台 m につけられ、此の台 m につけられ、此の台 m は鉄製の箱で、その中には電気スイッチを装置している。試験片が破断すれば (即ち所定の荷重減少が起れば) 機械が停止する様に自動スイッチ P が働く。此の

スイッチは測定針によつて直接作動される。そしてスイッチが切れた時は赤ランプ n がつく。改めて機械を動すにはスイッチ従つて青ランプ o を入れて接続しなければならない。

試験中、試験片に与えられる荷重繰返し数は、モーター軸のつけ根に装置された計数器 (Zähler) に依つて表示される。モーメント $0 \sim \pm 150 \text{ cmkg}$ の測定には三つの可動な動力計によつて計られる。即ち最小の動力計は $\pm 4 \sim \pm 15 \text{ cmkg}$ 、次は $\pm 12 \sim \pm 50 \text{ cmkg}$ 。最大のものが $\pm 40 \sim \pm 150 \text{ cmkg}$ である。此等の繰返変動モーメントの外に、駆動モーターを移動する事により試験片に 300 cmkg 迄の一定の初期応力をかける事も出来るがモーメントの合計が 300 cmkg を越える事は適当でない。

311.2 DVL 型單純曲げ疲労試験機 (Planbiege-Dauerprüfmaschine)

DVL (独乙航空研究所) 型の單純曲げ疲労試験機〔文献37, 47〕(第23図, 第24図) は駆動軸がモーターと別になつてをり、駆動軸は機械のベッド a にはめてまゐれた二つの軸受 b に支持せられて取附台の下にあるモーター (1200 r. p. m) によりベルト駆動される様になつてゐる。(第23, 24図)一末尾

後方では試験の繰返し数を計る計数器が之と連結し、又、前方ではウォーム歯車によつて静止中に動し得るカム c が装置されている。此のカムの軸頸に連結棒 d の一端が固定されており、連結棒 d の他端は機体箱に軸受された円運動する桿 e に結合され d と e の共通軸にはつかみ (Spannbügel) f が取付けられ、そのつかみによつて試験片 g の一端を支持するのである。試験片 g の他端は測定装置のつかみ h につかまれ、此の測定装置は台の上にのつていて試験片の長さ又は応力の種類に応じて移動出来る様になつてゐる。測定装置は台につけられた板バネ i よりなり、此のバネの頭につかみ h の軸の針軸受があり、更に一方このバネの頭には測定桿 k がついてをり、此の k の振れは、かけられた曲げモーメントの大きさに対応して動き、ダイヤルゲージ l で読みとられる様になつてゐる。此の測定桿 k に一つの板バネ m が桿の縦軸に直角にねぢ止めされ、この板バネは球籠 n を持つていて、その中には鋼球が共振 (Resonanzschwingung) に依つて保持される様になつて

いる。そして振動が小となつた時には此の鋼球が下つてスイッチボックスの働き、その結果、水銀スイッチ (Quecksilber-Schalttröhre) を切替てモーターを止めるのである。試験片破壊の際のつかみ f 及び h の急変は二つのつかみ軸 (Bügelachsen) につけられた可動の突棒 p によつて阻止される様になつている。機械の荷範囲 (Belastungsbereich) は 5~900cmkg で 3 種類のつかみ (25, 50, 100 mm) と 5 つの測定バネ (2~8, 5~15, 10~30, 20~60, 40~90kg) とを交互に組合せる事によつて測定バネの場合と同様にその範囲を多くの段階で変化させる事が出来る。尚、注目すべき事は、此の機械では曲げモーメント従つて試験片の曲げ応力がすべての場所で、どんな長さの時でも殆んど同じ大いさである事である。何故なれば第23図に示されている様に加えられる力が試験片の長軸方向に平行に作用するからである〔文献37〕。附加的な装置を使う時には此の機械で振り及び正変動応力試験 (Dauerverdreh-bzw, Zug-Schwell-Versuche) をも行う事も出来るのである。

311.3 Schenck-Erlinger 型引張-圧縮-衝撃試験機 (Zug-Drück-Pulser)

工程の大なる衝撃機 (Großhub-Pulser) としての Schenck-Erlinger 型引張-圧縮-衝撃試験機〔文献 28, 37, 48〕は第25図及び第26図に示す如く機械のベッド a に取り付けられている。そして其のベッドの内部には重晶石が一杯満され厚い鑄物で囲まれて振動に対して抵抗をなしている。(第25, 26図)一末尾

そして此の質量(Masse)の僅少の振動でも周囲に伝はらない様ベッドはゴムの台 (Gummifüßen) の上にのつている。そしてベッドの上横梓板 (Querbügel) b があり、試験片の長さに応じスピンドル (Verstellspindel) c によつて移動出来る様になつている。然し普通の場合はベッドに結合されている。そのつかみ b の駆動側には輪状動力計 d がある。そして此の d と試験片 f をつかむ爪 e とがボルトで結合されている。他の爪 (Einspannung) g は振動バネ h の端に取り付けられて、そして此のバネ h は桿案内 i に支えられている。振動バネは端に鍾 (Massek) を有し、それに励磁機 l がつけられている。此の励磁機は可撓軸 m を径てつけられた直流分捲モーター (Gleichstrom-Nebenschlußmotor) n (0,2kw) によつ

第 5 表 硬質木纖維板の

材の種類	製造方向 に対する 試片の 取り方	結合剤 含有量	各材料 の平均 比重 ρ_0	疲労実験 直後の試 片の平均 含水率 u	強 度		
					引 張 り σ_{zB}	圧 縮 σ_{dB}	曲 げ (支点距離 10又は 12cm) σ_{bB}
		%	kg/m ³	%	kg/cm ²		
A 特殊纖維板 (1941年製造)	同 方 向 直角方向	5	960	— —	— —	— —	— 650
A 超硬質板 (1941年製造)	直角方向	5	1065	6.5	—	—	870
" "	同 方 向	—	910	8.6	—	—	532
	直角方向	—	—	8.9	—	—	566
A 硬質板 (1943年製造)	同 方 向	2	920	6.5	310	237	468
	直角方向	—	—	—	372	230	539
A (1942年製造)	直角方向	6	945	—	420	398	571
		8	960	—	438	449	648
		12	1000	—	541	574	857
		16	1010	—	594	564	860
		20	990	—	541	553	849
A (1944年製造)	同 方 向	6	925	—	399	—	—
		12	920	—	430	—	—
		20	925	—	456	—	—
B (1942年製造)	同 方 向	6	1000	7.5	345	424	567
	直角方向	—	—	7.7	399	470	670
	同 方 向	8	990	8.4	389	396	643
	直角方向	—	—	7.8	449	397	695
	同 方 向	12	1015	7.5	429	472	656
	直角方向	—	—	7.9	470	477	772
	同 方 向	16	1020	7.3	433	503	647
	直角方向	—	—	6.8	483	525	789
	同 方 向	20	1055	6.2	415	498	669
	直角方向	—	—	6.4	441	498	787

強度とその関係比

値		関 係 比								
繰返変動曲 げ強度, 2×10^7 荷重繰 返数 σ_{bw}	正引張変 動強度 σ_{zSch}	$\frac{\sigma_{bw}}{\sigma_{zB}}$	$\frac{\sigma_{bw}}{\sigma_{dB}}$	$\frac{\sigma_{bw}}{\sigma_{bB}}$	$\frac{\sigma_{zSch}}{\sigma_{zB}}$	$\frac{\sigma_{zB}}{r_0}$	$\frac{\sigma_{dB}}{r_0}$	$\frac{\sigma_{bB}}{r_0}$	$\frac{\sigma_{bw}}{r_0}$	$\frac{\sigma_{zSch}}{r_0}$
±kg/cm ²	kg/cm ²	km								
180	—	—	—	—	—	—	—	—	1.88	—
185	—	—	—	0.28	—	—	—	6.77	1.93	—
185	—	—	—	0.21	—	—	—	8.17	1.74	—
130	—	—	—	0.24	—	—	—	6.85	1.43	—
140	—	—	—	0.25	—	—	—	6.25	1.54	—
80	125	0.26	0.34	0.17	0.40	3.37	2.58	5.09	0.87	1.36
—	130	—	—	—	0.35	4.04	2.50	5.86	—	1.41
115	—	0.27	0.29	0.20	—	4.44	4.21	6.04	1.22	—
175	—	0.40	0.39	0.27	—	4.56	4.68	6.75	1.82	—
180	—	0.33	0.31	0.21	—	5.41	5.74	8.57	1.80	—
170	—	0.29	0.30	0.20	—	5.88	5.58	8.51	1.68	—
180	—	0.33	0.33	0.21	—	5.46	5.59	8.58	1.82	—
—	175	—	—	—	0.44	4.31	—	—	—	1.89
—	180	—	—	—	0.42	4.67	—	—	—	1.96
—	188	—	—	—	0.41	4.93	—	—	—	2.03
125	—	0.36	0.29	0.22	—	3.45	4.24	5.67	1.25	—
160	—	0.40	0.34	0.24	—	3.99	4.70	6.70	1.60	—
135	—	0.35	0.34	0.21	—	3.93	4.00	6.49	1.36	—
175	—	0.39	0.44	0.25	—	4.54	4.01	7.02	1.77	—
140	—	0.33	0.30	0.21	—	4.23	4.65	6.46	1.38	—
150	—	0.32	0.31	0.19	—	4.63	4.70	7.61	1.48	—
150	—	0.35	0.30	0.23	—	4.25	4.93	6.34	1.47	—
160	—	0.33	0.30	0.20	—	4.74	5.15	7.74	1.57	—
125	—	0.30	0.25	0.19	—	3.93	4.72	6.34	1.18	—
160	—	0.36	0.32	0.20	—	4.18	4.72	7.46	1.52	—

て約 2600 r. p. m で回転せられ、その結果バネ h が振動するのである。此の際に生ずる力で試験片に引張と圧縮力を交互に作用する。バネ (Schwingfeder) h の内部で此れよりも径の小なるつる巻きバネ (Schraubenfeder) o がその頭の所に取り付けられ、此の o の他端はボルト (Gewindebolzen) p に連結している。ボルト p は二つの調節ナットにより機械の正面で移動出来る様になり、その結果バネ o が引き伸ばされたり、縮められたりして試験片に或る静的初応力を加える事が出来るのである。初荷重 (Vorlast) 及び変動圧縮—引張り荷重 (Schwingenden Zug-bzw, Drücklast) の大いさは輪状動力計の変形によつて測定される。此の変形は、これと結合して照明されるスリット (Spaltblende) r の測微顕微鏡 (Meßmikroskop) s のスケール上での移動として読み取られる。

振動バネの振動は共振曲線 (Resonanzkurve) の上昇側 (Aufsteigenden Ast) にある。振動の大いさ、従つて試験片にかかる応力は回転数 (Drehzahl) の調節によつて回転中に変更出来る様になつている。モーターはスターター (Regelanlasser) t によつて動かされるから回転数は磁界制御抵抗 (Feldregelwiderstand) u によつて調節される。慣性力は回転数の自乗に比例して増大するから、回転数は比較的狭い範囲に於てしか調節されない。

これ等の事実より少しの電圧の変化 (Spannungsschwankung) でも一特に直流回路に於ては考慮しなければならないのであるが一試験片の振動と応力とを著るしく変えるものと推論される。モーターの回転数を一定に保つために特別の制御装置 (Regeleinrichtung) をそなへている引張—圧縮—衝撃試験機は Slattenschek-Kehse 型である。〔文献28〕

制御装置は与えられた振動の振幅の大いさに応じて $\pm 3 \sim \pm 1 \%$ の精度を持つてゐる。機械の全変動力 $\pm 1000\text{kg}$ に対する歪み量 (Dehnungshub) は $\pm 3\text{mm}$ 迄であるが $\pm 5\text{mm}$ 迄は許容される。3mm 以上でも試験片が弾性変形をする場合には振動バネの最大振幅に応じて最高変動力の歪みは $\pm 3\text{mm}$ より小なる変形に制御される。それ故に歪が $\pm 1.5\text{mm}$ の場合には $\pm 1260\text{kg}$ の荷重を危険なく加へ得る。初期応力荷重用バネの応力限界は共存するはずの振動と共に、その大いさは稍

々小となる。磁界制御抵抗 z は揺桿スイッチ (Kipphebelschalter) の両端にある。此は制御器 (Regler) の最外部に達した時、例えば試験片が破断した時、振動バネが共鳴振動数を超える時に機械が停止される様になつてゐるのである。試験開始から試験片が破断する迄繰返して応力を加えた時の数は、遠距計数器Aで讀み取る。其の駆動は駆動モーターの下の軸端と結合されてゐるものである。繊維板の試験には特別のつかみ (Einspannvorrichtung) が装置され、主とし比較的薄い、又幅の広い試験片の強度を試験する事が出来る様になつた。

32 実験材料及び実験条件

(Versuchsmaterial und Versuchsbedingungen)

320 供試材料の種類及びその性質

(Geprüfte Sorten und ihre Eigenschaften)

疲労試験は次の14種の繊維板について行つた。その中には他の理由からその強度及び物理的性質を研究したものもある。

A. 特殊繊維板

A. 超硬質繊維板, 1941年製造

A. 超硬質繊維板, 1942年製造

A. 硬質繊維板

A. 結合剤含有量が 6, 8, 12, 16, 20%の5種類の繊維板

B. 結合剤含有量が 6, 8, 12, 16, 20%の5種類の繊維板

第5表は代表的な試験片について、その静的強度、容積重及び含水率を一括して示したものである。【結合剤含有量 (Bindemittelgehalt)】の影響は本表より明らかなる如く、静的強度は結合剤含有量が12%迄は増加するが、それ以上ではあまり良結果を得る事は出来ない。即ち結合剤含有量が16%以上になると強度は反つて僅に減少する事が認められる。衝撃破壊仕事は結合剤含有量8%の時、最高値を示し、それ以上になると一般に減少する。本実験を行つてゐる間に規格 DIN 52 350 が初めて草案され、更に二三度変更されたので、試験片の測定は單一的に行はれなかつた。

321 實驗條件の影響 (Einfluß der Versuchsbedingungen)

321,0 試験片採取場所の影響 (Probenahme)

繊維板は製造の際、全面積に亘つて一様に圧縮し得るものではないから試験片採取位置によつて容積重及び強度は相異なる。特に板の端では大抵の場合、圧縮力 (Preßdruck) は小さいので DIN 52 350 はその採取場所について規定を設けている。即ち試験片は端から少なくとも 15cm 以上内部にて採取すべきであるとしている。試験片の長軸方向に繊維が平行に存在すればする程、強度は増加する。それ故に試験片を繊維板の製造方向 (Arbeitsrichtung) に平行に取るか、垂直に取るかによつて、試験結果に非常に大きな影響を及ぼすのである。

321,1 力の加はる面による影響 (Kraftrichtung)

硬質木繊維板の平滑な面と綱目のついた面では、引張及び圧縮強度は異なるため、従つて曲げ試験に於ても平滑な面が圧縮側にあるか、引張り側にあるかによつて異なる結果を得るものと想像されるが、勿論此等の関係は簡単ではないであろう。即ち大体硬い平滑な面は強度が大で歪が小であるための影響の外に評価する事の困難なその時々によつて変動のある支点に於ける摩擦と篩目 (Siebmarkierung) のあるために生じる切欠効果 (Kerbwirkung) 及び断面弱化 (Querschnittsschwächung) も加はるためである。それ故試験結果は決して一樣な結果を与えない。然しその差異は僅かなために実際に於ては看過しても差支えないと考えられる。

321,2 荷重時間の影響 (Belastungszeit)

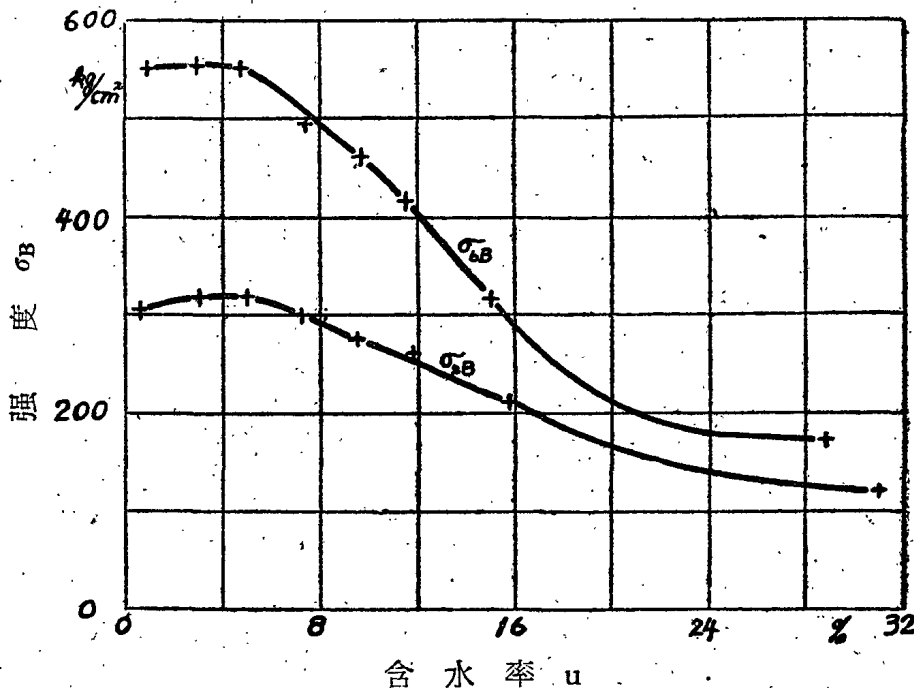
従来の経験によつて認められている様に、繊維板の強度と荷重速度との間にはある関係がある。即ち弾性係数及び強度は全く木材と同様に或る一定限界以下では荷重速度 (Belastungsgeschwindigkeit) が小さくなるにつれて低くなる。

321,3 含水率の影響 (Feuchtigkeit)

試験片の強度性質に及ぼす含水率の影響を A 硬質板の製造方向に対し直角に取つた多くの試験片について試験を行つた。その際、容積重による影響をさけるために多くの試験片を一樣に乾枯 (Klimatisierung) してその容積重 r_u を決定した。

そして各含水率段階について、その各段階に於ける平均容積重が略々一様となる様に（此の差はせいぜい 5kg/m^3 であつた）試験片各 5 箇づゝを取つて比較した。そして各群の試験片は種々なる関係湿度の 20°C の恒温槽（Klimadosen）中で一定

第27図 硬質木繊維板に於ける含水率と強度との関係



（強度は各含水率 u に於ける試験片横断面を測定計算したものである。）

重量になる迄放置せられた。強度試験に際して、試験片は試験の直前に恒温槽から出し強度試験を行い、破壊後直ちに試験片の含水率を決定した。曲げ及び引張強度の試験結果は、その試験の際に断面を測定、計算して第27図に示した。（曲げ強度は支点距離 10cm として試験し

た。）

強度に及ぼす含水率の影響は木材の場合よりも大きい様である。〔文献32〕。即ち引張強度に於て約 63%，曲げ強度に於て約 71% に達する様な大きな強度減少を示すが、而し木材の場合では両者共約 50% 前後である。

33 疲労試験及び其の結果

(Durchführung und Auswertung der Dauerversuche)

330 試験内容 (Prüfumfang)

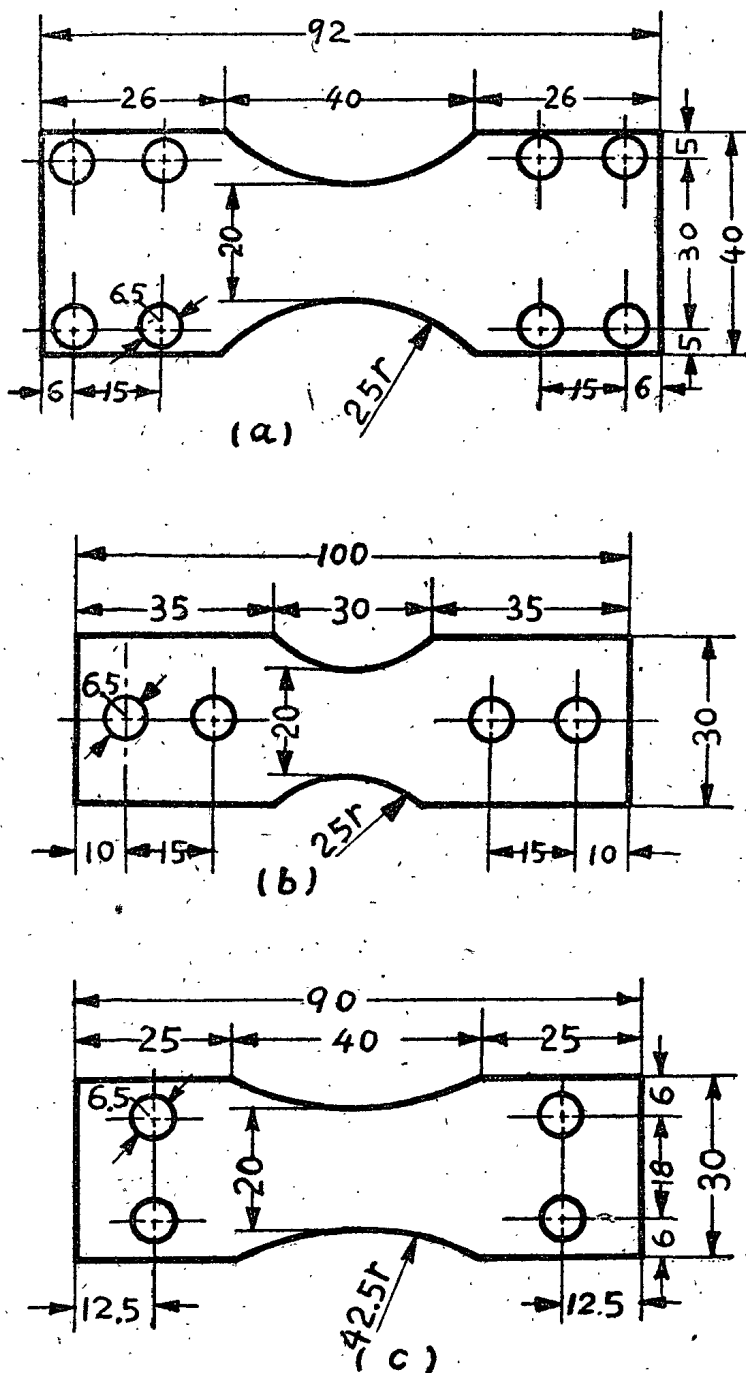
先づ第1に市販の木繊維板の曲げ疲労試験のみを行い、それによつて前述した試験機（311参照）の適応性（Verwendungsmöglichkeiten）を調べ、試験の方法を立てる事にした。というのは此迄木繊維板の疲労試験についての結果は一つも報

告されていないからである。先ず純粹曲げ繰返変動強度の試験を選んだと言うのは、此の試験が曲げ疲労試験のうちでは最小の値を与えるのみならず材料の特性についても明瞭な結果を示すからである。それから順次に 320 に於て述べた14種の纖維板について曲げ繰返変動強度の試験を行つた。後に引張—圧縮—衝撃試験機によつてA硬質板を試験材料として製造方向に平行並びに此に直角方向の正引張変動強度 (Zugschwellfestigkeit) 試験を行つた。直角方向に取つた場合の試験は二度行い、その際には減衰能 (Dämpfung) に関する結論を得る事が出来る様に、試験中に試験片の温度の変化を測定した。製造方向に直角に取つた硬質板の試験の初めに更に三つの小数の試験片のグループについて正応力範囲 (Schwellbereich) で即ち 120, 200, 250kg/cm² の平均応力で疲労強度線図 (Dauerfestigkeitsschaubild) を画くために試験を行つた。最後に種々異なる結合剤含有量 (6, 12, 20%) のA纖維板について正引張変動強度を試験した。

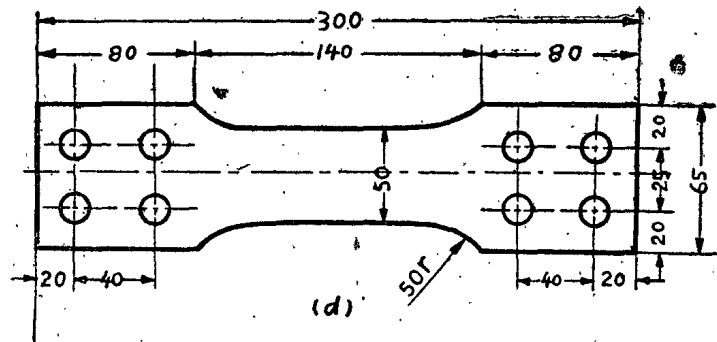
331 試験片の形状 (Probenformen)

試験片の厚さが薄く又変形性

第28図 a～d, 繰返変動曲げ及び正変動引張
試験用の試験片



(Verformbarkeit) が大である事を考慮して繰返変動曲げ試験 (Wechselbiegeversuche) 用には疲労試験機の製造者の提唱する形状を選んだ。即ち第28図 a. b. c に、その機械に対する最小の長さを示している。もつと大きな試験片、例えば挽板積層材 (Lagenholz) [文献35] 及び合成樹脂材料 [文献42] を用いて行つた疲労試験の予備実



- a ; DVL 型単純曲げ疲労試験機用試験片
- b ; Schenck 型平板曲げ振り試験機用試験片
- c ; Schenck-Erlinger 型繰返変動曲げ試験機用試験片
- d ; Schenck-Erlinger 型引張-圧縮-衝撃試験機用試験片

験では、殆ど利点はなかつた。引張-圧縮-衝撃試験機に対しては標準の規格試験片に類似せしめるために、更に繊維板の厚さが薄い場合に、十分大きな試験断面積 (Prüfquerschnitt) を有せしめるために第28図 d に示した試験片を選んだ。此の試験片の形状は試験結果から非常に良好である事が認められた。

332 繰返変動曲げ試験 (Wechselbiegeversuche)

332.0 荷重の与え方 (Einstellen der Beanspruchung)

試験機に試験片を装置する前に最小断面の幅 b 及び厚さ h を測定して断面係数 (Widerstandsmoment) W を次式から計算した。

$$W = \frac{bh^2}{6} [\text{cm}^3]$$

そしてナビエの方程式 (Navierschen Gleichung) $\sigma_b = \frac{M_b}{W} [\text{kg/cm}^2]$ (M_b は曲げモーメント) から一つの曲げ繰返変動応力 σ_{bw} 及び断面係数 W に相当する曲げモーメント M_b を計算した。此の M_b は此の応力に達せしめるために試験片にかけられるべきモーメントである。平板曲げ振り試験機及び繰返変動曲げ試験機では試験片の断面軸と曲げ軸とが厳密に一致する様に支点で加減されて支持された試験片に、その時の繰返変動曲げ試験について計算した曲げモーメント M_b を直

接与える。即ち除々に試験機を回転させてダイヤルゲージの測定針の振れが較正曲線 (Eichkurven) から得られる値 (Teilstrichzahl) になる迄、偏心盤を移動させた。

DVL の単純曲げ疲労試験機 (Planbiege-Dauerprüfmaschine) では、あたえるべき荷重 P は曲げモーメント M_b [cmkg] から次式により算出される。 (M_b は所定の応力に相当する)

$$P = \frac{M_b}{L_H} \text{ [kg]} \quad \begin{array}{l} L_H ; \text{挺子の腕 (Hebelarm)} = \text{チャックの柄} + \frac{h}{2} \\ h ; \text{試験片の厚さ} \end{array}$$

読み取り数 (Teilstichzahl) Z はダイヤルゲージに示され $Z = P \cdot EW$ と表わされる。但し EW は用いたバネ (Meßfeder) の較正值である。試験片に荷重のかゝつて居らない状態で必要な振れを偏心盤に与えると言う事は繊維板にとつては大切な事である。何故なれば、試験片は通例偏心距離 (Exzentrizität) の調整の際に一方向に変形を起し、此の方向に於ける撓みに過少な値が与えられるからである。其の作用は畧々静的初応力の如くであろう。然しサドル (Schlitter) (DVL) 或はモーター (繰返変動曲げ試験機) の移動又は動力計の振り (平板曲げ試験機) による見掛けの初応力を取除うとすることは誤りであろう。何故なれば、そうする事によつて試験片に実際初応力が加るであろうから。試験片の零位置に於ける偏心距離の調整は DVL 型機械及び Schenck 型の平板曲げ試験機では決して困難ではない。然し繰返変動曲げ試験機では此の調整は容易でない。それ故に二つの方向の振幅の値の平均値が所要の曲げモーメントに相当する様に選んだ。(機械製造業者の言に依れば一つのダイヤルゲージだけで十分だと言つてゐるが) 此の繰返変動曲げ試験機械では試験片が2方向に同じ歪みを有しないと言う事実も又無視した。他の機械では此等の差異は出来るだけ一様にせられるがもし此の均一化を行はないとしても生じてくる小さい静的初応力は実際には繰返変動強度に何等著るしい影響を及ぼさない。(例えば 331, 1 に於ける繊維板或は合成樹脂 [文献43] 亦金属 [文献44] の疲労強度線図を参照せよ)

前述の全ての疲労曲げ試験機では機械始動後、全回転数 (Vollen Drehzahl) に達する迄、測定値は明らかに増大するので如何なる値が試験片に望む応力に真に

適合しているかと言う問題、又如何なる値を用いて計算すべきかと言う問題が生じて来る。先ず試験片に作用する曲げモーメントが動的で、そして機械が全回転をしている時に讀まれた値と一致するはずであると言う事は仮定され得る。使用説明書 (Bedienungsanweisung) [文献45] に於て平板曲げ試験機に対しては実際には次の如く述べられている。"応力の調整の際にダイヤルゲージの目盛で若干移動させる事、而し此の移動は機械の運転の際につかみ (Einspannung) の遠心力によつて再び元の位置に戻る、と目盛をどれだけ移動すべきかは実際やつてみなければ判らない。而し更に詳細なる研究によつて次の様な問題が明らかにされた。〔註4〕

〔註 4 ; Dr. OSCHATZ, Darmstadt の講演による。〕

試験機械の運転中の測定値が増大しても、応力を著るしく高めるものではない、何故なれば二つのチャック (Spannklauen) に生ずる遠心力は大体等しくなるからである。応力は亦実際に静的に調整された測定値と畧々一致する。繰返変動曲げ試験機に於ては指針の振れすぎによつて測定値が大きくなるが、その場合、試験片の荷重は実際には、そんなにかゝっていないのであり、案内書 [文献46] には実際的な例について動的な誤差は非常に僅少で、1%に達すると云う事は殆どないと言う事、即ち全部静的な測定値で計算してよいと云う事が記されている。DVL 型の單純曲げ疲労試験機については次の様に言はれている。〔文献47〕即ち慣性力の影響をさけるために試験片を出来るだけ短くする事が必要であり又偏心盤の最大の振れは 2mm が標準的であろう。又実際そうでなければ静的値から動的値への振れの増加は計算の場合、顧慮されなければならない事になる。此等の試験機で繊維板の試験をする場合には主として補助的な弱いばね (2~8 kg) で行はれるので慣性を無視し得る範囲の偏心の最高値は確に低くなる筈である。例えばある試験片では 1mm の偏心距離 (Exzenterausschlag) でも両方向に於ける測定値の増大は両方で 5 目盛 (Teilstriche) に達する事が認められたが、而し用いられた試験片の形状によつてはもつと大きい偏心距離 (Exzentrizität) で働かせねばならない事が屢々ある。此も又 "静的" 測定値に依つて計算しなければならないのである。

先ず第 1 に各種繊維板に対して静的曲げ強度の約 30% の大いさの応力をかけた。そして次の試験片については必要に応じて或はより大きく亦或はより小さい荷重を

かけて試験し出来る限り完全な Wöhler 線 (Wöhlerkurve) を得る様にした。応力が特に高い場合には他の試験に比較して非常に少ない荷重回数で、すべて完全に荷重がかかる様にするために、偏心カムの振れを経験的に選び、はじめに目盛数から逆計算した応力を選ばなかつた。

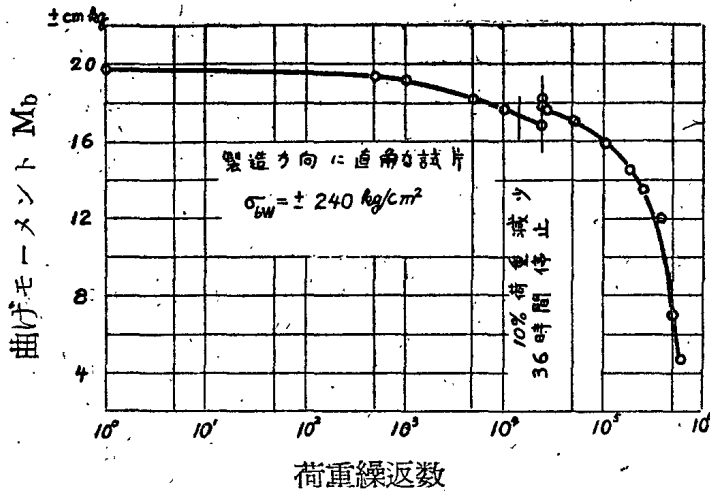
332,1 曲げモーメントの変化過程 (Verlauf des Biegemomentes)

疲労曲げ試験機を使用して一つの試験中変形 (撓み) を一定にした純変動曲げ試験では試験片は交互に 2 方向に同じだけ曲げて撓ましめる事は既述の通りである。その際、試験片の組織は応力のために疲労強度限界 (Dauerfestigkeitsgrenz) 内でのその応力の大きさに応じて漸次弛緩する (lockern)。そしてその材料が撓みに対して有する抵抗 (Widerstand) は漸次小さくなるので試験片の動力計 (Kraftmesser) に示す力も亦、それに応じて小さくなるのである。(実際には剛性 "Steifigkeit) の漸減と共に撓みも小さくなる、従つて此の機械は一定変形或は傾角一定 (gleichbleibendem Verformungs-oder Neigungswinkel) の機械と言つた方が正しい。) 可撓性 (Nachgiebigkeit) が増大すると共に試験片の破壊は遅れ、大抵の材料では完全な破壊は全く生じない。

従つて如何に疲労強度の簡単な定義に合うとしても破壊迄に受ける荷重繰返数 (Lastspielzahl) を、Wöhler 曲線作成の基礎として採用する事は誤りであり、或は事情によつては不可能であろう。むしろ材料の負担力 (Dienstfähigkeit, Tragfähigkeit) の消失の時期を正しく知るために他の曲線を補助として用うべきであろう。組織がルーズになつて行く (Gefügelockerung) 全経過は曲げ応力或は計算によつて求めた曲げモーメントを荷重繰返数の変数として図示すれば明瞭に示されるのである。〔文献 33, 35〕 そのためには実験中の応力減少 (Spannungsabnahme) の経過を追跡する事が必要である。即ち動力計の振れを時々刻々機械の回転中に手で (曲げモーメントをかける時と同様正確に) 測定すべきである。繊維板に於いては応力及び二つの曲げ方向に於ける測定値には試験片に生じた裂目 (Anriß) による大きな差異はさてをいても一般に初めから、いくらかの差異がある。その原因は一部は平滑面と篩目面 (321,1 参照) との強度の相異、試験機の構

造、又 2 方向に於ける動力計の感度が全く等しくない等々に歸する事が出来る。此の僅かの差異は二つの測定の平均値に相当する曲げモーメントを線図に表はす事によつて均一化せられる。そして点を出来るだけ正確に示すためには区切り良い荷重繰返し数について

第 29 図



試験片 ; A 特殊繊維板

試験機 ; DVL 型単純曲げ試験機

本試験機による繰返変動曲げ試験の停止による
曲げモーメントの増加

繰返し数についての読みを表示すべきである。測定の際にはモーターが止められて実験が中断せられるのでそれが応力経過 (Spannungsverlauf) に如何なる影響を及ぼすかと言う問題が生ずる。即ち試験機を長時間停止すると測定値は大きくなるのみならず、零位置 (Nullage) が移動し、それから更に実験を続けると漸次再び平衡になる事が認められた。第29図は回復 (Erholens) の大なる影響を示したものである。

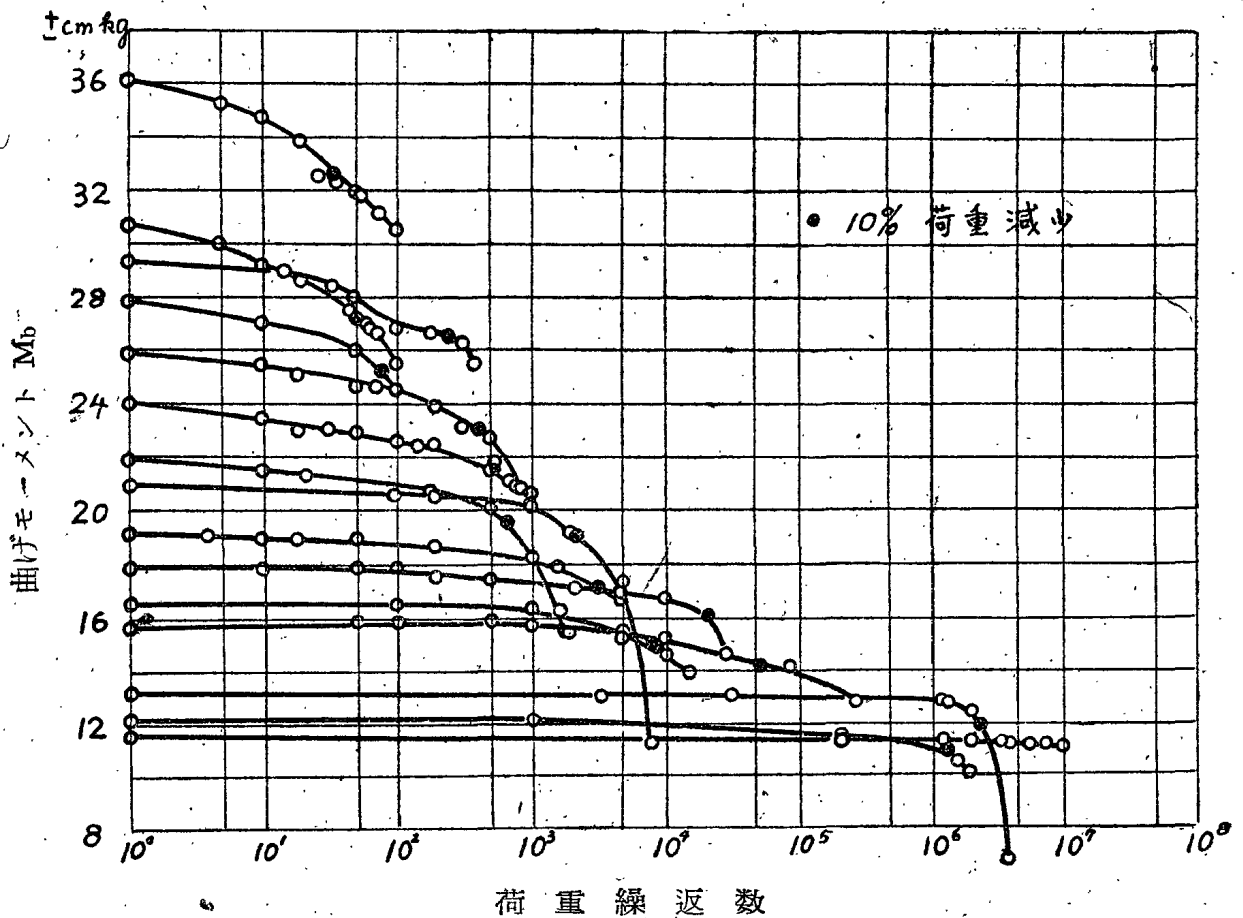
然し短時間の試験の中断は殆んど影響を及ぼさない様である。若し試験機の長時間停止 (例えば一晩を越す様な) が避けられない場合には試験片をその零位置に保ち、次の測定を、前の荷重繰返し数以上になつた時、初めて行う様にすべきである。測定は測定値の初めの調整と同様に慎重に行なはねばならない。回転が早いと振動 (Schwung) を伴つて高い値が得られ、回転が遅いと繊維板の匍匐 (Kriechens) [文献43] 或は撓性のために目盛の読みは減少する。此のために生ずる誤差は相当大きいので試験片は測定する時に荷重を除いて行う事に特に注意を要する。従つて試験機は同一の研究者によつて連続使用さるべきである。

ここに掲げた図は大體すべての試験を行つた試験片のモーメント曲線図である。只二三の場合だけは、図を見易くするために特徴の少い個々の試験片を除外する事にした。尙此の図は試験機の異なるもの、繊維板種の異なるものを一括して示している。大抵の試験は DVL 型単純曲げ疲労試験機によつて行つた。一方比較研究のため

め Schenck 型の平板曲げ振り試験機及び Schenck-Erlinger 型の繰返変動曲げ試験機を用いて材料の許される限り試験した。

単純曲げ疲労試験機によつて得られた試験結果の二三の特性曲げモーメント曲線 (charakteristische Biegemomentkurve) を第30図に。亦, Schenck 型の平板曲げ疲労試験機によつて試験した試験片の特性曲げモーメント曲線を第31図に, 繰返変動曲げ試験機によつて試験した試験片の特性曲げモーメント曲線は第32図に示した。

第30図 ; 繰返変動曲げ試験によるモーメント曲線

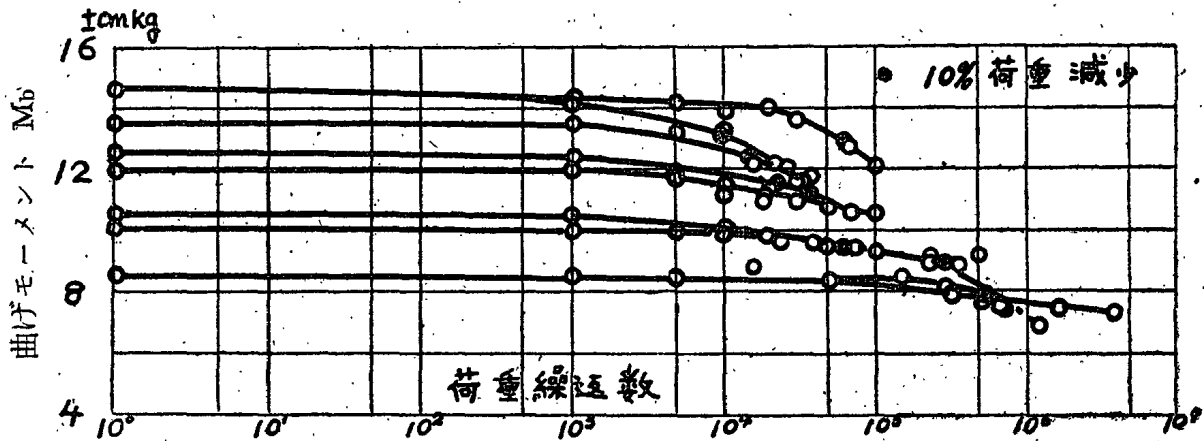


試験片 ; A起硬質繊維板

試験機 ; DVL 型単純曲げ疲労試験機

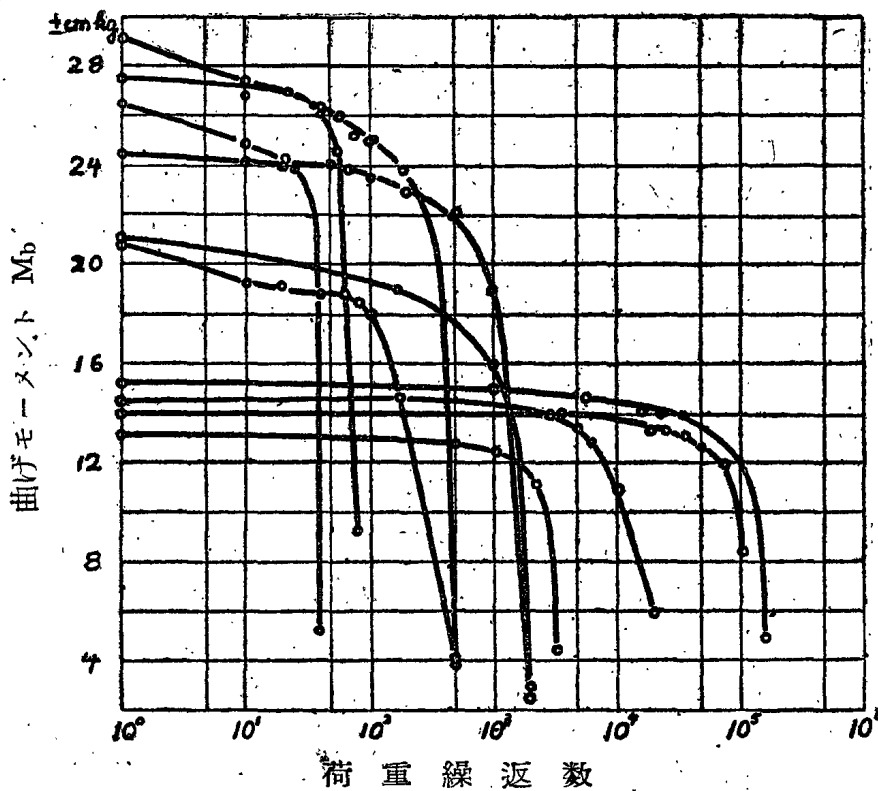
繰返変動曲げ試験によるモーメント曲線

第31図；繰返変動曲げ試験によるモーメント曲線



試験片；A起硬質繊維板

試験機；Schenck 型平板曲げ振り試験機



第32図

繰返変動曲げ試験によるモーメント曲線

試験片；A起硬質繊維板

試験機；Schenck-

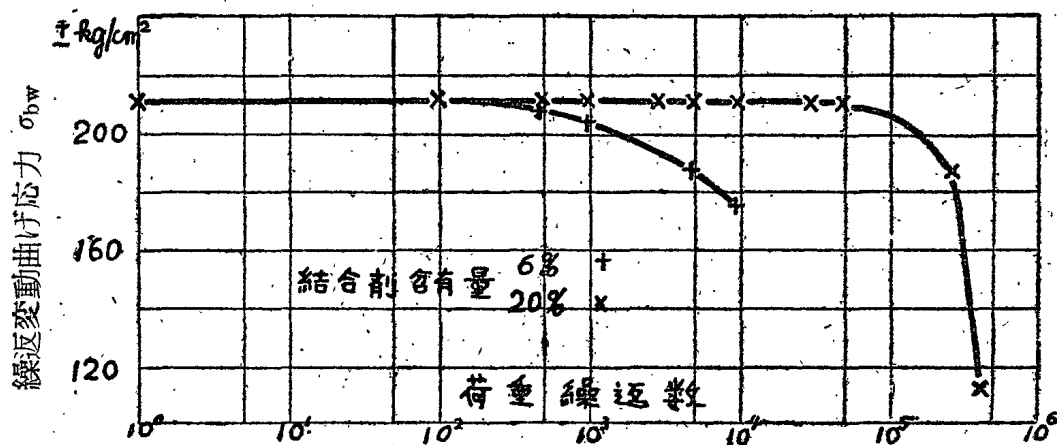
Erlinger 型

繰返変動曲げ試験機

実験は最初A-特殊繊維板について、主として中位の大きいさの応力（静的曲げ強度及び繰返変動曲げ強度の畧々中間値）を用いて行つた。そして実験の方法について種々の考察をした。又種々の繊維板種について Wöhler 線の全経過を出来るだけ画く事が出来る様につとめた。それ故、静的曲げ強度に近い値迄の応力による実験を行つた。又余り多くの時間を費さないために条件さえ許されるならば出来るだけ

低い応力をかける様にした。一般に結合剤含有量が少い硬質木繊維板に於いては限界荷重繰返数—或る荷重繰返数を超えていくら荷重を加えても最早、實際上、材料の明瞭な抵抗性の変化を示さない荷重繰返数—は大抵 $3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^7$ の間にあつた。多くの繊維板種に対しては普通 10^7 と考えられているが、或る種の板については、たとい Wöhler 線の降下は 2×10^7 以上の繰返数に於て非常に小さい、従つてその場合応力が事実上、疲労強度と見做されるとしても概して精確な限度を定める事は出来ない。而し結合剤含有量が特に高い繊維板では此の限界は明瞭である。同様な事が合成樹脂積層板 (Kunstharzpreßstoff) についても観察された。〔文献43〕個々の荷重に対するモーメント曲線を観察する事によつて最初の応力 (Anfangsbeanspruchung) が高ければ高い程、即ち残留歪 (bleibende Dehnung) が大なれば大なる程、曲線低下の急激な事が判る。そして一般に平滑面側に先ず破壊が始まつて曲線は漸次降下するが第33図に示す如く結合剤含有量が多い程、曲線降下は急激である。

第33図 繰返変動曲げ試験による応力減少の比較



試験片；結合剤含有量 6% (+印), 及び 20% (×印) の試験片で
繊維板種は A 種

試験機；DVL 型単純曲げ疲労試験機

又超硬質繊維板に於ては曲線の降下が特に急激であると言うのは此の板は硬いために他のものより長い間、剛性を保持しているのであるが、突然的に或は階段的に破壊するためである。

モーメント曲線を詳細に観察する事によつて次の事が理解される。即ち此の曲線

は単純な曲線を描く事は極く稀で大抵は階段的な曲線、即ち応力減少は断続的に生ずると云う事である。此等の現象は繊維板特有のもので、繊維板の不均一な組織によるものであり、繊維が相当しなやかにもつれあつていても、樹脂の混乱 (Zerrüttung) のために、負荷にたいしてあづからない硬く膠着した部分があるためであろうと想像される。疲労強度に近い程、A 硬質繊維板の応力曲線の経過は小さいと云う事に注目すべきである。荷重繰返数が大きくなつた後、応力は漸次減少する、そして再び停止する。此の現象も亦、結合剤 (Bindemittel) 或は接合物質 (Kittstoff) の粗シヨウ化 (Lockerung) によるものと思はれる。即ち繊維板はその粗シヨウ化によつて曲り易くなるが、もつれ合い (Verfilzung) と其の他の結合 (Restverklebung) に依つて低い応力でも尙耐久力があるのである。

使用した 3 種の疲労試験機による曲線の経過は畧々等しいが 2 つの Schenck 型試験機による曲線は初期応力が同じであつても早く降下し、而かも繰返変動曲げ試験機による場合は平板曲げ試験機による場合よりも早期に降下すると言う事は間違いない事実である。而して二三の機械に於いて動的な測定値で計算して良いか否かと言う事は当然起る問題である。(332, 0 参照) 而して之を解明するために各試験機を用いて A-硬質板の試験片で、同じ応力をかけて一つはモーター駆動 (Motorantrieb) で、他は手動 (Handantrieb) で試験を行つた。手動の場合の速度は約 60 r. p. m. にすぎなかつたから慣性力 (Massenkraft) の影響は確実に避けられた。そして速度が小さい事を顧慮して、実験にあまり長時間を要しない様にするために荷重を 140kg/cm^2 と定めた。而し Schenck 型の繰返変動曲げ試験機では試験片に上述の曲げモーメントをかけただけで破壊したので、此の試験機に対しては荷重を 110kg/cm^2 とした。此の試験が仮令、明らかな理由から如何なる場合にも、各一個の試験片についてのみ行はれるだけであると限られても、その結果には非常に決定的な意味がある。所定の応力をかける事が出来ないと言う事実は、己に此の試験機では計算に依るよりも実際には試験片に大きな応力がかゝつていていると言う事を示している。その上、手動による場合はモーター駆動による場合よりも明らかに応力が早くから減少するので、モーター駆動の場合に生ずる慣性力は測針の振れを大きくして試験片には多少荷重が減じて作用していると言う事が理解される。

そして Wöhler 線の作成には、實際上意味のない範囲で、初めてその相異が明らかになつてくるのである。

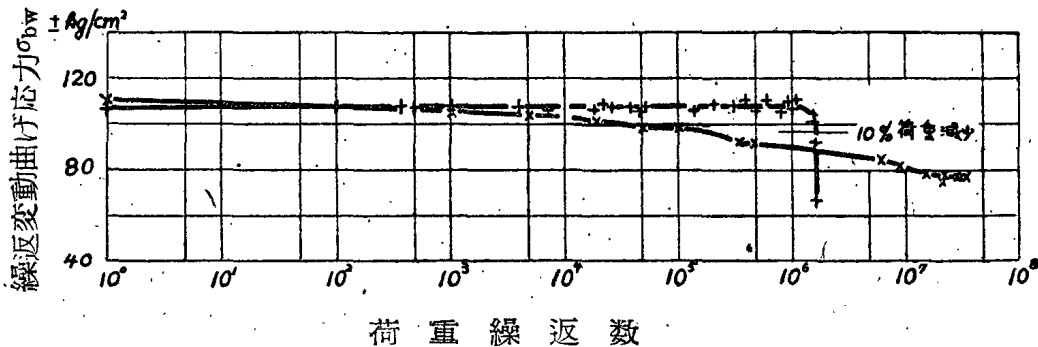
平板曲げ振り試験機も同様に DVL 型単純曲げ試験機に於けるよりも速に応力は減少するが、試験片にはモーター駆動の場合も手動の場合も大体同じ様に応力がかかる。二つの Schenck 型試験機による荷重の速やかな減少は明らかにその構造によるものである。即ち撓みの結果、生ずる二つの掴み間の垂直距離の短縮を平均して試験のために生ずる附加的な引張応力を避けしめようとする構造によるものである。それ故動力計従つて測針の位置 (311参照) は側方へ移動する。而し繊維板の変形が大で強度が小なる場合は、その変位には僅かの力でも必要である事が認められる。繰返変動曲げ試験機に於て、力を正しく指示させようとするよりもそれ以外に次の事がより困難となつてくる。即ち試験片が短くなる場合、指針が逆の方向に振れ様とするバネと一緒に指針が引張らねばならないのである。従つて実際には目盛盤に指示せられた値よりも大きい荷重が試験片にかかる事になる。此等の事実よりして DVL 型の単純曲げ疲労試験機は繊維板の試験に於いて、最高のそして外見上とは言へ最も確実な値を与えるものと考えられる。

332,2 Wöhler 線の作成 (Aufstellung der Wöhler-Kennlinien)

すでにのべた如く変形角一定の疲労試験機に於ては、試験片の破壊に要する荷重繰返数は Wöhler 線を描くためには役立たない。此の事は繊維板に於ける程ではなくても、他の材料に於いても同様に既に認められている事柄である。それ故 OSCHATZ [文献39] は Wöhler 線に最初の裂目の生じた時点 (Zeitpunkt) を導入する事を一般に推奨した。此に対して THUM 及び JACOBI [文献43] は人工材料の変動曲げ試験に於て、裂目が生じた後、尙長時間抵抗する様な試験片については、その裂目が畧々試験片の半分迄、進んだ時始めて破壊したものと見做した。亦 DVL (独乙航空研究所) では RIECHERS [文献41] によつて短期試験法 (Kurzprüfverfahren) による人工材料の実験と同様に、未だ弾性係数の減少が生じない様な応力の内で、最高のもを疲労強度として計算する方法が用いられている。KÜCH [文献35] は挽板積層材 (Lagenholz) の繰返し曲げ強度の試験に於いて、

繰返荷重回数に対する曲げモーメント曲線を描き、力の突然の減少は破壊の開始を意味するものとして、その減少の生ずる場合の繰返数を疲労強度とした。本実験では次の如く考えて行つた。漸次増大する試験片の変形を考慮して、ある応力迄は未だ駆動し得ると言う様な応力と、それに応ずる荷重繰返数を以て Wöhler 線を描いた。而し、そのために試験片のモーメント曲線が水平方向から、下る時点 (Zeitpunkt) を標準として正確に取らなければならない。繊維板では此の曲線の下る事が他の材料に現はれる程、明確に判断する事が出来ないと言う事並びに其の他多くの理由から 10% の荷重減少を以てその限度とした。硬質繊維板又は相当量の結合剤を含有せる繊維板に於ては、実際の破壊開始と 10% 降下の限界とは一致するから 10% 降下は最大を意味する。軟質特に結合剤含有量の少い繊維板に於いて 10% 限界が正しく選ばれたかどうかを判定する事は根本的に難しい問題である。然し次の実験第 34 図が此の問題についての概観を与えるであろう。

第 34 図 繰返変動曲げ試験による応力曲線



試験片 ; A-硬質繊維板

試験機 ; DVL-型単純曲げ疲労試験機

×印は正常な条件に於ける値

+印は前者と同様な試験条件であるが試験片の破壊迄
曲げモーメントは一樣な値に保たれたもの

A-硬質繊維板の試験片に於いては、約 110 kg/cm² の初期荷重で荷重回数が 40000 回に達すると応力は 10% 減少した。此れと並行して行つた試験では初めから測針の針の目盛が 2 目盛減少する毎に偏心板を移動させ、再び元の値になほすと言う様に一定荷重をかけた。若し此処で試験機の度々の停止による影響が認められないとするならば、モーメント曲線から 1.5×10^6 の荷重繰返し後、初めて 10% の減少に

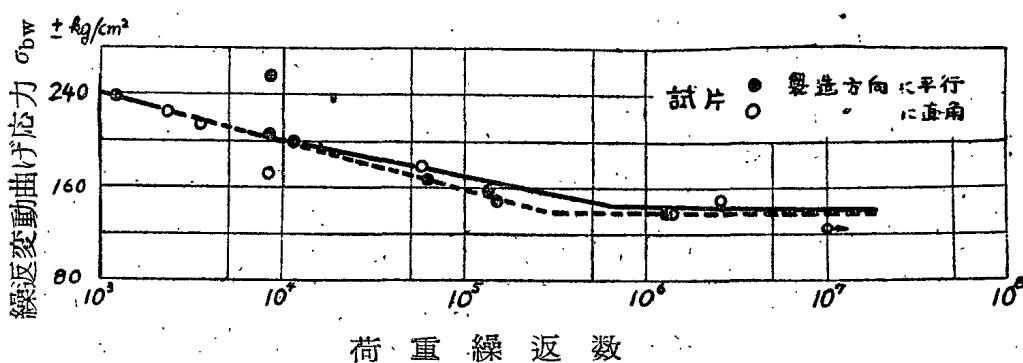
達すると言う事が判る。強制的に荷重を一定にした場合、此の10%降下は約 1.6×10^6 荷重繰返し後、完全に破壊が生ずる直接的な前兆となる。又一方変形一定の試験の場合は10%の減少と破壊の起る時とは非常に差異がある。

以上の事よりして次の事が結論し得る。即ち10%の限界は柔軟な繊維板に於いても亦、正確な指標であると。(註5)

(註5) 実際駆動に際しては機械は10%減少に於いてスイッチにより自動的に停止する様になつていたのでそれは大程充分である。

A-超硬質繊維板を用い、2方向について(即ち製造方向に平行及び直角方向とについて)、3種の疲労試験機によつて試験を行い、Wöhler 線を色々な尺度で画いた。予期される如く曲線は急激に減少し、そして水平線に突然移行するので普通の方眼紙で記述する事は不適當である。繰返変動疲労強度(Wechselfestigkeit)を定める所の水平線は二、三の点からのみ決定した。第35図に於いては半対数方眼紙を用いて一様な條件で Wöhler 線を描いた。即ち Wöhler 線は降下線と水平線の二つで形成される。

第35図；繰返変動曲げ試験によつて得た Wöhler 線



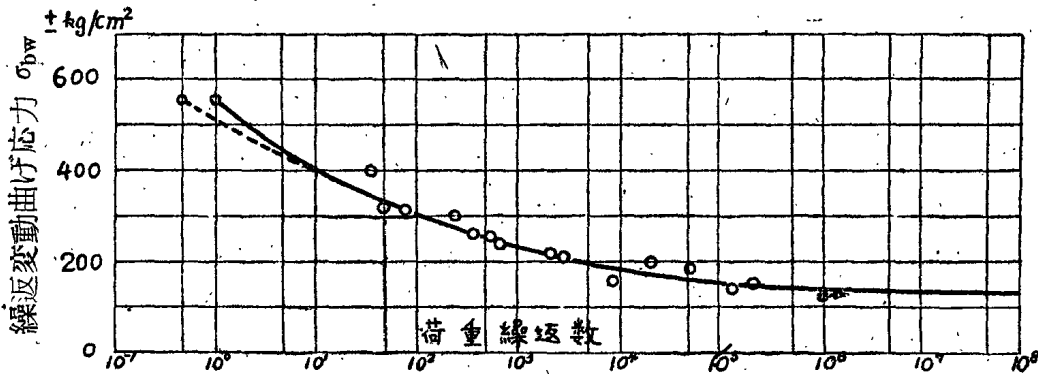
試験片；A-超硬質繊維板

試験機；DVL型単純曲げ疲労試験機

大きい尺度の半対数方眼紙によつて示した。

此の標記方式によれば降下線は、 10^3 荷重繰返数以上の時点強度 (Zeitfestigkeit) を良く示すが、然し疲労強度の値は十分厳密に与えられなかつた。第36図は第35図に於けると同じ根據によつて、もつと小さい尺度を持つ半対数方眼紙で Wöhler 線を描いたもので、その曲線は拋物線状となる。

第36図 繰返変動曲げ試験によつて得た Wöhler 線



試験片 ; A-超硬質繊維板

試験機 ; DVL 型単純曲げ疲労試験機

小さい尺度の半対数方眼紙で示した。

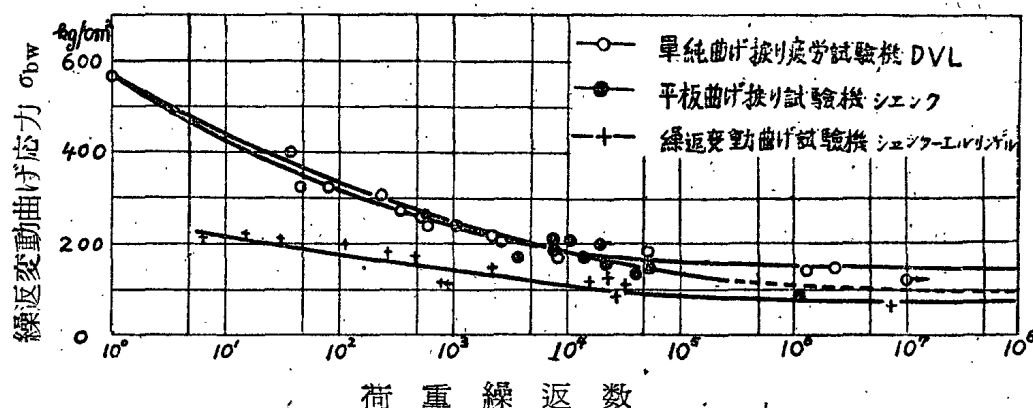
静的曲げ強度、即ち単一撓み ($=\frac{1}{2}$ 荷重繰返数) に相応する処の Wöhler 線の開始点の交互の比較にて正確に示された。

この様な標示方法は次の如き利点を有している。即ち仮令、長期間の試験結果の数が少なくても、Wöhler 線の水平端は全経過を顧慮すれば比較的大きな精度で示す事が出来ると云う事である。

Wöhler 線の開始点としては同じ材料の静的曲げ強度を取つた。此の点は図の如く本来理論的には縦軸上にあるものではない、と言うのは 10^3 荷重繰返数とは、即ち唯一回の荷重繰返数を意味するのに対し、静的曲げ強度は一回、唯一方向へ撓ませる事によつて求められるものであるから。1回、一方向へ撓ませる事は $\frac{1}{2}$ 荷重繰返数、即ち $\log 2$ 或は $5 \cdot 10^{-1}$ である。此の表示方法をも比較のために示した。第36図より判る如く、Wöhler 線の明瞭な経過が与えられる。然し普通に生ずる小さい誤差は、静的試験及び疲労試験に於ける荷重速度による差異と同様、看過し得る。本実験の繰返変動曲げ試験結果を判定のために、専ら小さい尺度を用いた。矢印を持つ点は試験片が破壊されなかつた事を意味する。即ち試験中に10%の荷重減少に到達しなかつたものであるが Wöhler 線は、此の点より上にあるべきだと言う証明としてのみ考察した。

既に 332, 1 に於いて述べた如く大抵の Wöhler 線は、特に DVL 型単純曲げ疲労試験機によるものは 10^7 にて既に水平線状となる。それ故、 $2 \cdot 10^7$ 荷重繰返数にて読み取られた応力は精密に繰返変動曲げ強度と考える事が出来る。(第37図)

第37図 繰返変動曲げ試験によつて得た Wöhler 線



試験片 ; A-超硬質繊維板
試験機 ; 3種の疲労試験機による。

333 引張疲労試験 (Dauerzugversuche)

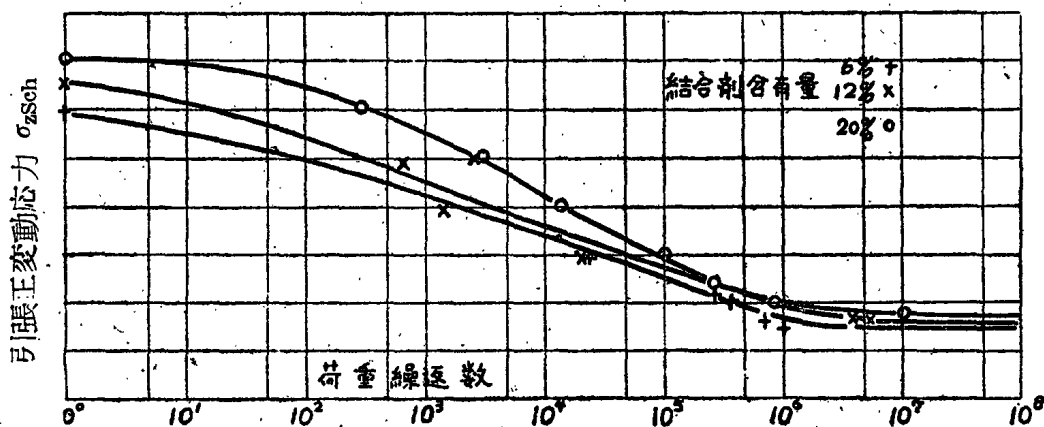
繊維板は厚さが薄いため、板面に平行に圧縮荷重をかける場合には挫屈を起す虞れがあるので、此の実験に於ては荷重を引張範囲にのみ制限した。試験は疲労強度線図を表示するために、(a) 正引張強度 (Zugschwellfestigkeit) について (b) 正荷重範囲 (Schwellbereich) に於ける疲労荷重 (Dauerbeanspruchung) についての2種類行つた。其の際、試験片は第28図 d (331) に示したものをを用い、試験機は既述の Schenck-Erlinger 型、能力 2ton の引張—圧縮—衝撃試験機 (31 1, 3) を用いた。

333, 0 正引張変動試験 (Zugschwellversuche)

試験片に作用する荷重は零と所定の最高値の間を変動繰返すことになる。最高の引張荷重は先ず静的引張強度 σ_{zB} の約50%の値を選んだ。続いて50%よりも大きな荷重及び50%より小さな荷重についても行つた。繰返変動曲げ試験に於ける場合と同様に、順次結合剤含有量が多くなつて行く繊維板種については実験値を Wöhler 線の全経過に亘つて決定した。それ故に試験片には引張強度に畧々近い荷重をかけて試験した。そこで此等の試験片に対しては振幅 (Schwingweite) の自動調節 (selbsttätige Regelung) なしで作用せしめた。此の場合に、応力振幅 (Spannungsausschlag) は実験中顕微鏡によつて観察し、そして駆動モーターの回転数を手で調節して、所定の大きさに保つた、そして試験機は試験片破壊の際に直ちに停

止せしめた。かくして破壊迄、かけられた荷重繰返数を非常に正確に決定した。一方振幅の自動調節による場合は装置 (Einrichtung) の慣性 (Trägheit) 及び試験片の破壊と試験機停止との間の僅かな時間的差異によつて誤差を生ずるが、而し繰返数が大となれば、その誤差は無視し得る。すでに述べた如く引張—圧縮—衝撃試験機は一定荷重で作用せしめる結果組織の混乱 (Gefügezerrüttung) が起ると間もなく試験片は完全に破壊する。それ故 Wöhler 線を描くための基礎として試験片の破壊迄かけられた荷重繰返数を採用した。第38図に示されている様に容積重の相異が著しい場合を除いては、点の散布度は僅かである。

第38図 正引張変動試験より得た Wöhler 線



試験片 ; A-硬質板

試験機 ; Schenck-Erlinger 型引張—圧縮—衝撃試験機

Wöhler 線の始点としては、その都度疲労強度試験片に隣接する部分より採取した試験片の静的引張強度の平均値を採用した。(先に各繊維板の 5 枚の試験片について確めた引張強度は此の値より幾分高かった。)

正引張変動試験によつて得た Wöhler 線は繰返し曲げ試験によつて得た Wöhler 線と異なる形状の曲線を示す。Wöhler 線は初めは小さく、後になつて強く降下するが最後には明かに水平線状となる。実験は 10^7 荷重繰返数迄行つたと充分であると思はれる。

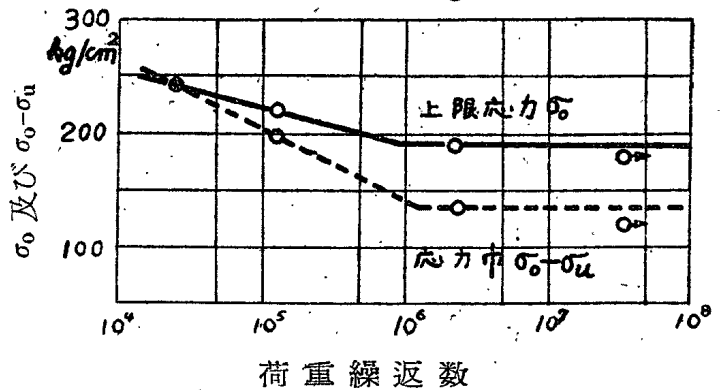
333.1 初期応力の高い引張試験 (Zugversuche mit höherer Vorspannung)

此の試験は次の様な目的を持っている。即ち(1)少く共、疲労強度線図を近似的に表示し得る。(2)初期応力の影響についての解明を与える。(3)大体の引張—圧縮疲労

強度 (Zug-Drück-Festigkeit) 及び匍匐強度 (Dauerstandfestigkeit) を推定し得る。正変動引張強度 ($\sigma_{zSch}=130\text{kg/cm}^2$) を考慮して先ず平均応力を 120kg/cm^2 に取り、次いで順次 $200\sim 250\text{kg/cm}^2$ に荷重を増加して作用せしめた。上述

の三つの場合共、試験片数は僅かであつたが荷重を適当に選んだので有効な結果を得る事が出来た。此の実験ではせいぜい2倍の平均応力に等しい応力迄しかかけ得ないから完全に Wöhler 線を描く事は不可能である。 120kg/cm^2 の平均応力について上限応力 (Oberspannung) と共に応力幅 (Spannungsbreite) も画いた。(第39図)

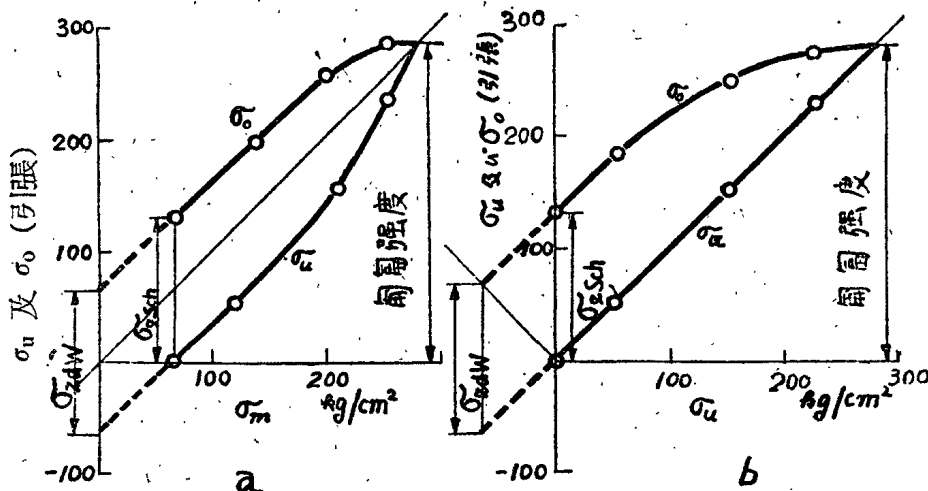
第39図 正変動引張範囲(Schwellbereich)に於ける疲労引張試験(Dauerzugversuch)より得た Wöhler 線
平均応力 120kg/cm^2



試験片 ; A-硬質纖維板
試験機 ; Schenck-Erlinger 型引張一圧縮一衝撃試験機

第40図 (a) の疲労強度線図は横軸として平均応力を (b) の疲労強度線図は横軸として下限応力 (Unterspannung) を用いて表示したものである。

第40図 (a) 横軸として平均応力を取つたもの (SMITH による)
(b) 横軸として下限応力を取つたもの (WEYRAUCHによる)
 σ_{zdw} : 繰返変動 (引張一圧縮) 強度
 σ_{zSch} : 正引張変動強度



(a) (b) ; 引張疲労試験により得た疲労強度線図
試験片 ; A-硬質纖維板
試験機 ; Schenck-Erlinger 型引張一圧縮一衝撃試験機

実験値は曲線上に完全に分布しているので得た実験値が正当であると考える。此等の線が平均応力の直線と交はる迄、下限応力及び上限応力の線を右の方へ延長した。(第40図(a))又、上限応力と下限応力とが交はる迄延長すると(第40図(b))"可能な最高の初期応力"が得られるが、その初期応力では応力幅は零であるから変動は不可能となる。(即ち匍匐強度 Dauerstandfestigkeit)線を左へ延長して十分正確に縦軸の近くで畧々平行線を引き得るので引張圧縮疲労強度を求める事が出来る。

334 減 衰 (Dämpfung)

THUM [文献44] が強調している様に現在に於いては減衰の値のみを以つて材料の良否を判定する事は未だ不可能である。唯屢々共振回転数(Resonanzdrehzahl)を越える様な或る種の機械部分(例へばクランク軸)については或る程度迄確実な結果を見出し得るのである。木繊維板に就いての減衰は繊維板の使用性及び負荷性に関して実際に殆んど役割を演じていないが、適当な研究を行う事によつて繊維板の内部状態について確実な洞察をなす事が出来る。減衰は正変動引張試験(Zugschwellversuch)に於いて温度を測定する事によつて決定される。先ず室温に等しい温度を有し、未だ荷重のかゝっていない試験片の中心位置に熱電対を挿入する。そして負荷によつて上昇する内部温度を熱電対で持つて測定するのである。相当荷重が大なる時は、試験機を始動した直後、温度は直線的に上昇する。[文献30]若し最初に試験片温度と外気温度との差が非常に大きい時は試験片に生じた熱の一部は伝導(Leitung)及び輻射(Strahlung)によつて放熱する。外気と測定位置との温度差は試験の初めに充分正確に零とする事が出来るので、平均減衰の算出には次式が用いられる。

$$\vartheta_m = \frac{C_v \Delta T}{A n} \left[\frac{\text{cmkg}}{\text{cm}^3} \right]$$

C_v ; 平均比熱 [kcal/cm³°C]

$\frac{1}{A}$; 熱の仕事当量 [cmkg/kcal]

n ; 荷重繰返数 [I/min]

ΔT ; 温度上昇 [°C/min]

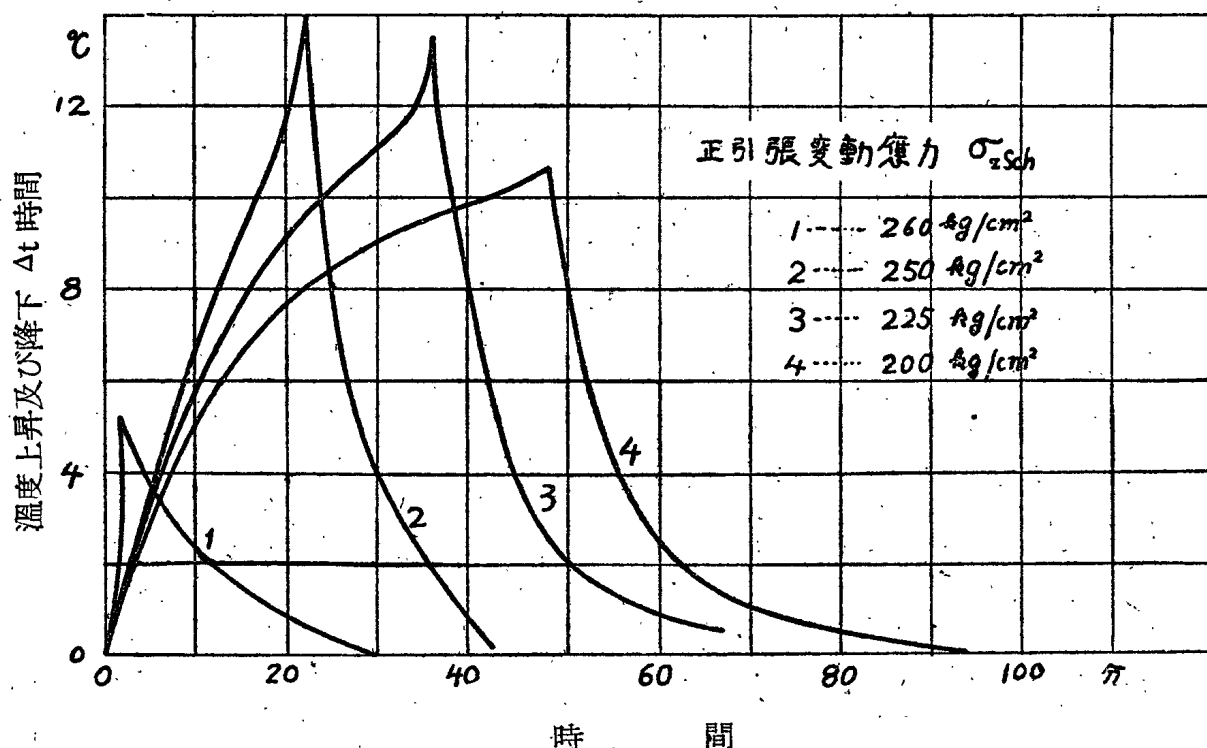
定めた実験方針によつて C_v , A 及び n は一定とする事が出来るから

$$\vartheta_m = \text{konst. } \Delta T$$

となる。

平均応力と関係せしめて得た二、三の温度曲線 (Temperaturkurven) は第41図に示す如くである。

第41図 正変動引張試験による温度の上昇及び試験片の破壊による温度の減少



試験片 ; A-硬質繊維板

試験機 ; Schenck-Erlinger 型引張—圧縮—衝撃試験機

試験片に用いた繊維板の比熱は特に測定しなかつたが、有機繊維物質の比熱 (含水率7%に於ける時約 $0.37 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$) と畧々同様と見做した。尙試験片に用いた繊維板の容積重 r_u は 0.95 g/cm^3 であつた。 200 kg/cm^2 の荷重を用いて最初の1分間の ΔT について算出した $\vartheta_m = 0.00426$ で、荷重 260 kg/cm^2 の時は $\vartheta_m = 0.00904$ で中間値は次の一般的法則より定められる。即ち応力の変数としての減衰は最初は非常に少ししか増さないが、或る限界からは非常に増加する。硬質繊維板の減衰の程度 (Größenordnung) は木材や合板と畧々同様であると見做し得る。

描いた曲線のすべてに共通な点、即ち温度上昇の凸面及び凹面 (Konvexen und Konkaven Ast) 間の変曲点 (Wendepunkt) は注目に値するものである。此の

点は内部摩擦関係比 (inneren Reibungsverhältnissen) の増大を表はす点である。変曲点迄の温度上昇の指数函数 (Exponentialfunktion) 繊維板の組織状態 (Gefügezustand) が本来のまゝである事を示し、変曲点以上は組織の粗シヨウ化 (Lockerung) 及び混乱 (Zerrüttung) が増加し始めると解する事が出来る。それによつて内部摩擦は著るしく高められ、そして減衰は破壊に達する迄急速に上昇する。此の事から眞の破壊開始点として変曲点を表示せねばならない事は明らかである。此の温度曲線より得られる変曲点を用いて Wöhler 線を画がかんとする試みは、点が非常に散布するから勿論何等満足な結果を与えなかつた。然し非常に多くの研究と、そして特に注意深く試験片を選択する事によつて良い結果を得る可能性がある。

335 破壊の形成と判定 (Ausbildung und Beurteilung des Bruchs)

335,0 曲げ破壊 (Biegebruch)

繰返変動曲げ試験による破壊は平滑側 (glatten Seite) より始まる。(唯二三の超硬質繊維板にをいては、破壊開始は篩目のある面 (siebmarkierten Seite) に於て見られる場合もある此等の事実は容易に理解し得る事である。即ち平滑面は光澤のある熱板の直接の接触によつて硬くせられるが、他方篩目のある面は篩の綱目の間を蒸汽が漏出する事によつて幾分粗シヨウになつている。此のため応力集中 (Spannungsspitzen) 及び早期の引張破壊を起す所の大きな脆弱性 (größere Sprödigkeit) は平滑側に存すものと考えられる。裂目 (Anriß) は一般に表面にて直線状をなして現はれるが、しかし時には不規則な線状をなす事もある。そしてその方向は主として表面にある大きな繊維束によつて決定せられる。(第42図)一末尾破壊は板表面から始まつて板の内部に向つて進むが、板の結合剤含有量が少なければ少い程、其の進行速度は遅い。破壊形成状態は第43図、第44図の如く破壊した試験片の切片を顕微鏡にて良く観察し得る。而し静的曲げ破壊の状態との明らかな差異を確認する事は出来ない。(第43、44図)一末尾

335,1 引裂き破壊 (Zerreißbruch)

初期応力を高く作用せしめた引張疲労試験の場合と同様に正変動引張試験による分離破壊 (Trennungsbruch) は主として測定部位に生ずる。(第45図)一末尾

この破壊状況と静的引裂き破壊 (statischen Zerreiβbruch) 状況との差異は肉眼で識別する事は出来ない。破壊線は試験片の長軸に殆んど直角で板表面では多少、鋸歯状の線をなす。破壊面 (Bruchfläche) は薄片状をなし、そして同様に板面に直角に並びに斜状に走向する。此の二つの破壊状況 (静的引裂き破壊と疲労引裂き破壊の2種) は顕微鏡的観察によつて第46図、第47図に示されている如く一般にその差異を辛うじて認め得る事が出来る。(第46, 47図)一末尾

以上2種の破壊方法によつて引裂かれた繊維は丁度引裂かれた繊維束 (Faserbündel) の如きである。疲労破壊 (Dauerbruch), 又は時点破壊 (Zeitbruch), 残留破壊 (Restbruch) の2種の破壊の相異は、若し疲労破壊の始まる場所が判つてをれば、顕微鏡的観察によつて明らかにその差異を認め得る。例えば結合剤含有量20%を有する試験片について、正変動引張荷重 300kg/cm^2 の時、 $1.2 \cdot 10^4$ の荷重繰返し後、破壊するがその直前に板の縁から約2cmはなれた所に破壊開始 (Bruchanfang) の兆しが認められた。破壊は全横断面に亘つて二つの方向に相当速に進行し、試験片は数秒後に二つに分離した。そして破壊の兆しの現れた部分と、他の端部分の切片 (Mikroschnitt) を取つた。その際、兆しの現れた部分の破壊を時点破壊 (Zeitbruch) と名付け得る。此の時点破壊は第48図に示す如く、非常に縋状となつていて、多くの場合、此の縋 (Franse) は個々の繊維に分離する。一方残留破壊 (Restbruch) の面は第49図に示す如く殆んど平坦である。第49図は引裂かれた繊維を示したものである。(第48, 49図)一末尾

尙結合剤含有量の少いA-硬質繊維板に於いては時点破壊の特徴が良く認められる。勿論此等に於ては残留破壊も又、樹脂分に富んだ試験片よりは、はるかに平滑でない。前述の2種の繊維板に於ける破壊状態の差異は容易に明らかにする事が出来る。即ち20%の結合剤を含有する繊維板に於ては繊維は大部分膠着している、そして結合剤の混乱 (Zerrüttung) によつてのみ分離が生ずるのである。此に対して結合剤含有量の少ない繊維板に於ては主として繊維のもつれ合い (Verfilzung)

によつて合着している。従つて引張荷重によつて容易に伸展し、そして引離し得る。
(硬い撓性のない膠着 [Starrer Leim]—伸展し易い繊維のもつれ合い [Dehnbarer Faserfilz])

第 4 部 結 論

硬質木繊維板は最近非常に重要視せられる様になつた。此れは廃材や或は木屑から作られ得るので緊迫した用材不足を緩和するのに適しているからで、挽材 (Schnittholz) 及び合板にとつてかはりつゝある。其の他硬質繊維板の性質、特にその広面積性 (Großflächigkeit) は好都合であるからかゝる繊維板の生産は予期しない程飛躍的に増加して来た。^(譯者註1) 之が為此に関する各性質についての広大な、そして総括的な解明の必要な事は明らかである。従つて著者等は数年間に亘つて此の研究を行つた。その際市場に売買されている製品について計画的に実験を行つたばかりでなく、将来に於いて発展の可能性のあるものについても (例えば結合剤含有量を変える事によつて生ずる様な) 全て注目して来た。その際、得た経験は、夫々他の研究者によつて得られたもの、及び木繊維板の試験規格 DIN 52350 の決定の際の経験も共に使用した。

構築部分 (Bauteil) 就中、自動車及び航空機の板張 (Beplankung) 外板 (Häute) 及び内部板張 (Schale) 用に、此の硬質繊維板を用い様とする考えは、振動荷重 (Schwingungsbeanspruchung) の加はる場合の此の新しい材料の性能 (Verhalten) についての実験が必要であると思はれる。

そこで先ず第 1 に普通用いられる試験機械の使用性を研究した。何故なら繊維及び繊維束をからみ合せ、膠着せしめて出来た繊維板は他の材料とは全く異なる関係にあるからである。そして独乙航空研究所の DVL 型単純曲げ疲労試験機 (Planbiege-Dauerprüfmaschine) 及び Schenck-Erlinger 型引張—圧縮—衝撃試験機 (Zug-Druck-Pulser) が木繊維硬質繊維板の疲労強度試験について非常に適している事が判つた。此迄の文献では繰返変動曲げ試験の多くの結果から荷重繰返数と荷重減少との関係にをいて画かれる曲線を与えている。繰返変動曲げ試験に於いて 10% 荷重減少 (Lastabfall) を基準として画いた Wöhler 線 (Wöhler-Kenn-

linie) は検討の結果、好都合である事が判つた。何故なら眞の破壊、特に結合剤含有量の少ない繊維板に於ては漸次組織がルーズになつて行く (lockern) ので本来の意味での破壊と言うものが殆ど起らないからである。実験値の点の散布は板の容積重と密接な関係がある。(静的試験に於けると同様に)。そして此の分布は許容範囲内にあつた、疲労試験の際、板組織の漸次の困乱は (allmähliche Zerrüttung) 又階段的な応力減少 (stufenförmigen Spannungsabnahme) によつても認められた。結合剤含有量が多い事は、それ自体疲労強度に良き効果を与えない。唯、耐変形性 (Formbeständigkeit) がそれによつていくらか改良されるだけである。第5表に試験した繊維板の強度値を一括示し、静的強度に対する疲労強度の関係値は容積重に対すると同様に計算した。硬質繊維板の繰返変動曲げ強度は静的曲げ強度の約17~28%, 平均約23%であつた。素材 (Vollholz) 及び改良された挽板積層材 (vergüteten Lagenholz) のそれは平均30%以上である。又容積重に対する繰返変動曲げ強度の形質商は硬質繊維板に於ては 0.87~1.93 の間にあつた。此の値はあまり良好なものではない。含水率約10%の素材では 5.5~7.0 の間に〔文献32, 34〕積層材 (Schichtholz) (DIN 4076 による Sch-T-Bu-20)^(譯者註2) に於ては約5.6である。

$2 \cdot 10^7$ 荷重繰返しの際の正変動引張強度は硬質繊維板については、第5表に示した様に、静的引張強度に対して、繊維に平行方向で 40 %, 直角方向で 35 %に達した。又此に就いての結合剤含有量 (6~20%) 間の影響は微小であつた。Sch-T-Bu-20に於ては此の値は52%であつた。〔文献35〕以上を綜合して次の如く結論される。

即ち今日の状態に於ける硬質繊維板は高い疲労強度と同時に良き耐変形性を期待される構築材料には未だ適當でないが、然し小さい荷重では繊維板は木材に比較して各方向 (板面に於て) に於いて一様に良い性質を有する。板の抵抗能力 (Widerstandsfähigkeit) に實際全く著るしき変化を齎す事のない即ち多く心配する必要のない処の限界荷重繰返数 (Grenzlastspielzahl) は、普通の結合剤含有量を有する木繊維板に於ては $3 \cdot 10^5 \sim 3 \cdot 10^7$ の間にある。多くの繊維板に対しては普通値として 10^7 が取られる。即ちその荷重繰返数迄、耐えれば確実に疲労強度に達する。

最後に述べた所の繊維板の減衰能 (Dämpfung) の測定は板の實際的な使用に対して殆んど意味を持たないけれども繊維板内部機構 (innere Mechanik) えの一

瞥 (Einblick) を与えた。高い荷重繰返数の場合の2%迄の含水率減少は減衰の結果による板の温度上昇と関係がある。

振動曲げ試験 (Biegeschwivungsversuch) 並に正変動引張試験 (Zugschwellversuch) によつて生ずる組織の破壊状態は静的強度試験による組織の破壊状態と良く似ている。唯高き結合剤含有量を有する繊維板に於ては破壊の兆し場所 (時点破壊並に疲労破壊 [Zeit-bzw. Dauerbruch]) と残当破壊 (Restbruch) とは顕微鏡に依つて明らかに識別し得た。

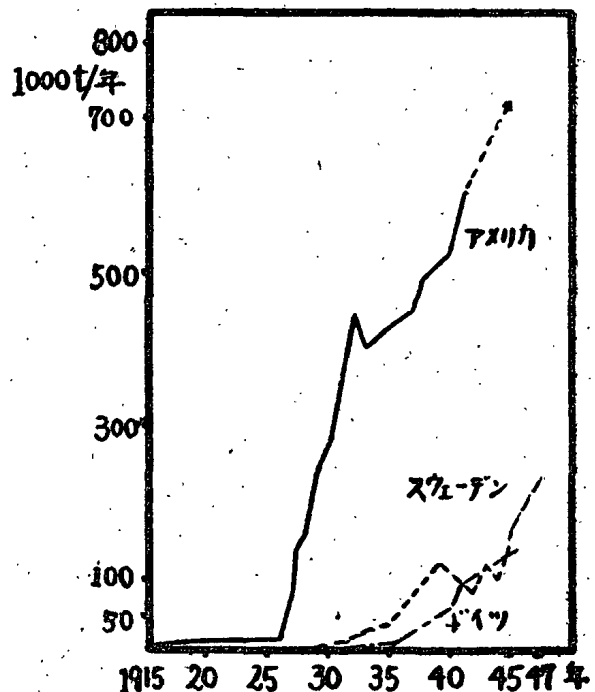
(訳者註1)

Holzfoschung (1949. 4 Band Heft 1 s. 14~25. ; E. MÖRATH : Die Holzfaserplatte) にアメリカ、スウェーデン、ドイツ主要繊維板生産国、並びにその他の国々の繊維板生産量を示している。参考の為附記する。) 附図2、附表1参照)

附表1 (1944年調査)

	1年間の生産量(噸)
オーストラリア	15000
ベルギー	7000
ドイツ	130000
イギリス	27000
フィンランド	50000
フランス	12000
イタリア	30000
日本	(?) 100000
カナダ	48000
ニューゼランド	10000
ノルウェー	38000
ロシア(1939)	45000
スイス	5000
スウェーデン	270000
アメリカ	ca. 780000

附図2



(訳者註2)

Sch-T-Bu-20 ; Tego-Film で厚さ 1.0cm. に付き、単板20枚を接着したブナ積層材

第 5 部 文 献

50 第1部の文献

- [1] A. ASPLUND : Die Defibratormethode und ihre Anwendungsgebiete. Wbl. Papierfabr. Bd. 71 (1940) S. 590/595 und 607/611
- [2] E. BELANI : Über das Biffar-Verfahren in der Leichtbauplatten-Erzeugung. Finnische Papier-und Holzwarenzeitschrift Nr. 20, 1942.
- [3] K. FRIEDRICH : Verfahren und Stand der Faserplattenherstellung in Deutschland. Papierfabrikant Bd. 37 (1939) S. 261/266.
- [4] K. FRIEDRICH : Die Ausbeute bei der Herstellung von Faserplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 3 (1940) S. 231/233
- [5] K. FRIEDRICH : Faserhartplatten, ihre Aufbau und ihre Eigenschaften. Im : W. Röhrs, H. Staudinger und R. Vieweg, Fortschritte der Chemie, Physik und Technik der makromolekularen Stoffe, II. Bd. S. 361/405, München-Berlin 1942.
- [6] F. KOLLMANN : Technologie des Holzes. Berlin 1936.
- [7] F. KOLLNANN, E. MÖRATH und W. ZELLER : Holzhaltige Leichtbauplatten. 3. Aufl. Berlin 1938.
- [8] F. KOLLANN : Vergütete Hölzer und holzhaltige Bau-und Werkstoffe, Begriffe und Zeichen. Erläuterungen zum Normblatt DIN 4076, Holz als Roh-und Werkstoff Bd 5 (1942) S. 44/59
- [9] W. H. MASON : Pulp and board from steam exploded wood. Paper Trade J. Bd. 55 (1927) S. 131
- [10] E. MÖRATH : Fortschritte in der Fortschrittenherstellung. Zellstoff u. Papier Bd. 17 (1937) S. 541/546
- [11] E. MÖRATH : Die neuere Entwicklung der Faserplattenherstellung und-verwendung Zbl. Papierfabr. (1938) Sonder-Nr. 3. 39/42
- [12] L. VORREITER : Handbuch der Holzabfallwirtschaft. Neudamm 1940
- [13] A. WILKE : Das Bindemittel in der Faserplattenfertigung. Holz als Roh-und Werkstoff Bd 5 (1942) S. 78/81

51 第2部の文献

- [14] J. S. CAMMERER : Die wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Holz und holzhaltigen Baustoffen. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 1 (1938) S. 209/213.
- [15] K. FRIEDRICH : Die Prüfung von Faserplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 2 (1939) S. 131/135.
- [16] K. FRIEDRICH : Schwerenflammbare Faserstoffplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 2 (1939) S. 62/65

- [17] K. FRIEDRICH : Das Verhalten von Faserplatten gegen holzzerstörende Pilze. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 4 (1941) S. 241/248
- [18] K. FRIEDRICH : Beitrag zur Messung der Quellung von Faserhartplatten und Holz. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 6 (1943) s. 283/288
- [19] K. FRIEDRICH : Faserhartplatten, ihr Aufbau und ihre Eigenschaften. In : W. Röhrs, H. Staudinger und R. Vieweg, Fortschritte der Chemie, Physik und Technik der makromolekularen Stoffe, Bd. 11 s. 361/405. München-Berlin 1942
- [20] F. KOLLMANN : Vergütete Hölzer und holzhaltige Bau und Werkstoffe, Begriffe und Zeichen. Erläuterungen zum Normblatt DIN 4076. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 5 (1942) s. 44/59.
- [21] F. KOLLMANN : Vorschläge zu einheitlichen Prüfverfahren für Holzfaserplatten. In : X. Holztagung 1941. Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen Heft 32. s. 153/175. Berlin 1942.
- [22] L. METZ und H. SEEKAMP : Prüfgerät zur Messung der Widerstandsfähigkeit von Holzfaserplatten gegen Feuer. 10. Mitteilung der Untersuchungen über den Feuerschutz von Holz. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 3 (1940) s. 189/194.
- [23] E. MÖRATH : Vorarbeiten zur Aufstellung einheitlicher Vorschriften über die Bezeichnung "Güte und Prüfung von Faserplatten." In : Bauholzfragen, Holzschutz, Holzverarbeitung. Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen H. 23, s. 73/76 Berlin 1939
- [24] H. G. OTTO : Härteprüfung von Holzfaserplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 6 (1943) s. 288/291.
- [25] B. SCHULZE : Vergleichende Untersuchungen von Leichtbauplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 3 (1940) s. 357/364 und 409/422.
- [26] L. VORREITER : Untersuchungen über Masonite-und KapagHartplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 4 (1941) s. 178/187
- [27] W. ZELLER : Der schalltechnische Anwendungsbereich der Faserdämm-und-hartplatten. Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 5 (1942) s. 201/202

52 第3部の文献

- [28] E. ERLINGER : Eine Prüfmaschine zur Erzeugung wechselnder Zug-Druck-Kräfte. Arch. Eisenhüttenw. Bd. 10 (1936/37) s. 317/20
- [29] E. ERLINGER : Wechselbiegemaschine. Arch. Eisenhüttenw. Bd. 11 (1937/38) s. 455
- [30] O. FÖPPL und G. SCHAAF : Die Werkstoffdämpfung bei Dreh und Biegeschwingsbeanspruchung. VDI-Forsch-Heft 335. Berlin 1930
- [31] O. GRAF : Die Dauerfestigkeit der Werrstoffe und der Konstruktionselemente.

Berlin 1929

- [32] F. KOLLMANN : Technologie des Holzes, s. 200/208 Berlin 1936
- [33] F. KOLLMANN : Über die schlag-und Dauerfestigkeit der Hölzer. Mitt. des Fa-
chausschusses f. Holzfragen Nr. 17, s. 17/30 Berlin 1937
- [34] O. KRAEMER : Dauerbiegeversuche mit Holzern. Luft-Forschg. Bd. 8 (1930) s. 40
/48.
- [35] W. KÜCH : Zeit-und Dauerfestigkeit von Lagenhölzern. Holz als Roh-und Werks-
stoff Bd 5 (1942) s. 69/73
- [36] E. LEHR : Die Abkürzungsverfahren zur Ermittlung der Schwingungsfestigkeit von
Materialien. Diss. Tech. Hochschule Stuttgart 1925
- [37] E. LEHR : Prüfmaschinen für schwingende Beanspruchung. In : E. Siebel, Hand-
buch der Werkstoffprüfung, Bd. 1, Prüf- und Meßeinrichtungen, s. 215/369. Berlin 1940
- [38] H. OSCHATZ : Eine Dauerprüfmaschine zur Bestimmung der Dauerhaltbarkeit von
Proben und Formelementen. Metallwirtsch. Bd. 13 (1934) s. 443/448
- [39] H. OSCHATZ : Prüfmaschinen zur Ermittlung der Dauerfestigkeit. Z. VDI Bd. 80
(1936) s. 1433/39
- [40] H. OSCHATZ : Holzprüfmaschinen, 2. Maschinen zur wechselnden Beanspruchung.
Holz als Roh-und Werkstoff Bd. 1 (1938) s. 454/459.
- [41] K. RIECHERS : Versuche an Kunststoffen für den Flugzeugbau. Z. VDI Bd. 82
(1938) s. 665/671.
- [42] A. THUM, E. GRETH und H. R. JACOBI : Dauerbiegeversuche mit Kunstharzpre-
ßstoffen. Z. VDI-Beih. Kunst-und Preßstoffen. Bd. 81 (1937) Nr. 2, s. 16/24
- [43] A. THUM und H. R. JACOBI : Dauerfestigkeit von Kunstharzpreßstoffen. Masch-
Schad. Bd. 15 (1938) s. 85/91 und 101/105
- [44] A. THUM : Festigkeitsprüfung bei schwingender Beanspruchung. In : E. SIEBEL :
Handbuch der Werkstoffprüfung Bd. 2 : Die Prüfung metallischer Werkstoffe, s.
175/231. Berlin 1939.
- [45] HANDBUCH zur Flachbiege-und Torsionsmaschine PK 29. Darmstadt ; Carl Schenk
G. m. b. H.
- [46] Handbuch zur Wechselbiegemaschine PM 181. Darmstadt, Carl Schenk G. m. b. H.
- [47] Betriebsanleitung zur DVL-Planbiege-Dauerprüfmaschine, Muster 4. Berlin ; Deutsche
Versuchsanstalt für Luftfahrt e. V.
- [48] Handbuch zum 2t-Zug-Druck-Pulser, Bauart Schenk-Erlinger. Darmstadt ; Carl
Schenk G. m. b. H.

第19図 Schenk 型平板曲げ振り試験機

第20図 平板曲げ振り試験機 (第19図) の模型図

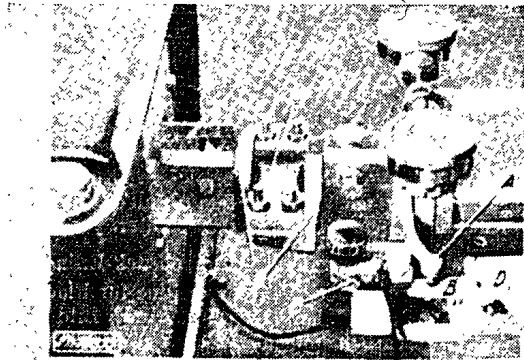
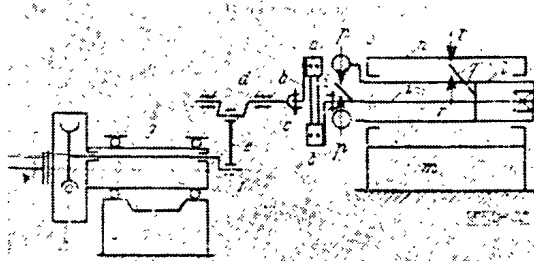


Bild 19. Schenk'sche max. Drehmom. Prüfmaschine



第19図

第20図

a : 試片 b : つかみ (Spannklaue)
c : 回転軸チャック (Spannfutter der Schwingkurbelwelle) d : 回転軸 (Schwingkurbelwelle)
e : 連結桿 (Pleuelstange) f : 駆動軸クランク (Kurbel der Antriebswelle)
g : 駆動軸 (駆動鼓輪) (Antriebswelle) (Antriebsstrommel) h : ウォーム ホィール (Schneckengetriebe)
i : 動力計のチャック (Spannfutter des Kraftmessers) k : ばね動力計 (Federstab-Kraftmesser) l : 鋼製箱 (Stahlgehäuse)
m : 調節ばね (Lenkfedern) n : 鍛鉄製箱 (Schmiedeisernes Gehäuse)
o : 測定テコ (Hebel des Stahlgehäuses)
r : 調整ねじ (Stellschrauben) A : 停止スイッチを働かせるための動力計のテコ (Hebel des Kraftmessers zur Betätigung des Dämpfungsausschalters)
B : Schwinke E : 接触子 (Kontakt) D : 停止スイッチボックス (Gehäuse des Dämpfungsausschalters)

第21図 Schenk-Erlinger 型繰返変動曲げ試験機

第22図 繰返変動曲げ試験機 (第21図) の模型図

a : 試片 b : 駆動棒 (Antriebsschwinge)
c : 連絡棒 (Pleuelstange) d : 二重偏心カム (Doppelsexcenter) e : 駆動モーター (Antriebsmotor)
f : モーターの滑台 (Schlitten des Motors) g : 測定用テコ (Meßschwinge) h : 板ばね (Federbänder)
i : 動力計 (Kraftmesser) k : ダイアルゲージ (Meßuhren) l : 白ランプ (weiße Signallampe)
m : 機械の台 (Maschinenbett) n : 赤ランプ (rote Signallampe)
o : 青ランプ (grüne Signallampe) p : 停止スイッチ (Dämpfungsausschalter)

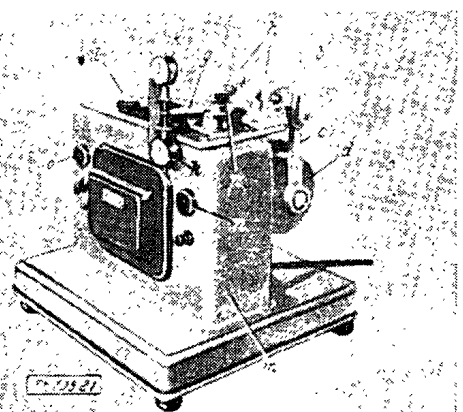
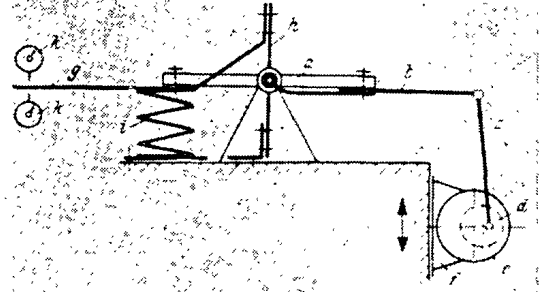


Bild 21. Wiederkehrende, veränderliche, Schenk'sche Prüfmaschine
Bauart Schenk'sche Bauart 3



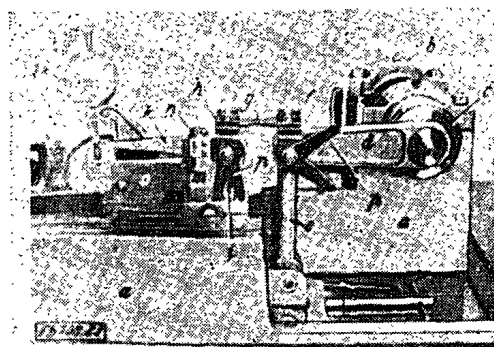
第21図

第22図

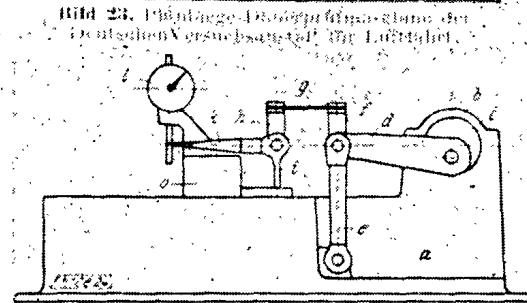
第23図 DVL 型単純曲げ疲労試験機

第24図 DVL 型単純曲げ疲労試験機 (第19図) の模型図

a : 機械の台 (Maschinenbett) b : 駆動軸の軸受 (Lager der Antriebswelle) c : 調節し得る偏心カム (verstellbarer Exzenter)
d : 突棒 (Schubstange) e : 円リンク (Kreislanker) f, h : つかみ (Einspannbügel) g : 試験片 (Probestab) i : 測定ばね (Meßfeder) k : 測定挺子 (Meßhebel) l : ダイヤルゲージ (Meßuhr) m : 遮断装置用板ばね (Blattfeder der Ausschaltvorrichtung) n : 球籠 (Kugelkäfig) o : スキッチボックス (Ausschaltergehäuse) p : 調節し得る突棒 (verstellbare Anschläge)



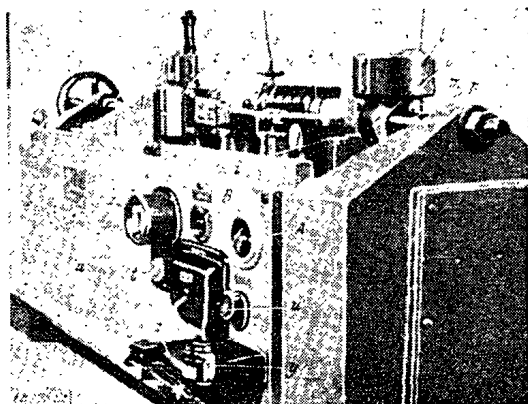
第23図



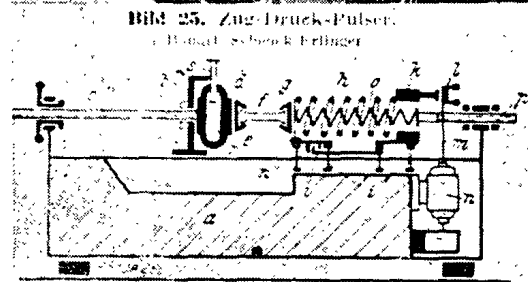
第24図

第25図 Schenk-Erlinger 型引張—圧縮—衝撃試験機

第26図 引張—圧縮—衝撃試験機の模型図

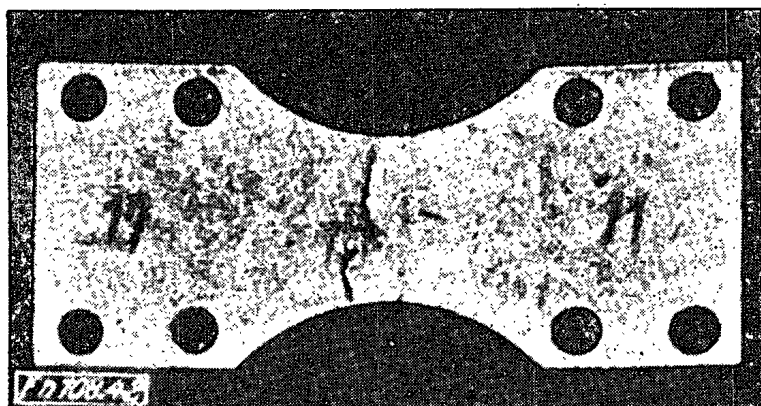


第25図



第26図

a : 機械の台 (Maschinenbett) b : 横杵板 (Querbügel) c : 調節スピンドル (Verstellspindel) d : 輪状動力計 (Ringkraftmesser) e, g : 試験片のつかみ (Einspannung des Probestabes) f : 試験片 (Probestab) h : 振動バネ (Schwingfeder) i : 桿案内 (Lenkerführungen) k : 振動バネの附加質量 (Zusatzmasse der Schwingfeder) l : 反撥励磁機 (Unwuchterreger) m : 可撓軸 (biegsame Weelle) n : 駆動モーター (Antriebsmotor) o : 初荷重バネ (Vorspannfeder) p : ねぢを切ったボルト (Gewindebolzen) r : スリット (Spaltblende) s : 測微鏡 (Meßmikroskop) t : 電流調整器 (Regelanlasser) u : 磁界制御抵抗 (Feldregelwiderstand) v : 調節用限界接触子 (einstellbare Grenzkontakte) w : バネ接触子 (federnder Kontakt) x : 微動継電器 (Differentialrelais) y : 補助モーター (Steermotor) z : 磁界制御の摺動抵抗 (Schiebewiderstand zur Feldreglung)
A : 遠隔読取器 (Fernzähler) B : 制御装置のスキッチ (Schalter der Regelung)



第 42 図

DVL 型単純曲げ疲労試験機を用いて繰返変動曲げ試験により破壊された A- 超硬質繊維板の試験片（平滑側）

第 43 図

繰返変動曲げ試験による平滑面側の破壊開始状況

試験片；A-硬質繊維板
荷重減少22%後の状態

$\sigma_{bw} : \sigma_{bB} = 0.30$, 荷重繰返数 27.5×10^4

（切片は試験片の板表面に直角で、長軸方向に平行25倍拡大）



第 44 図

繰返変動曲げ試験による平滑面側の破壊開始

試験片；結合剤含有量16%
の A- 繊維板

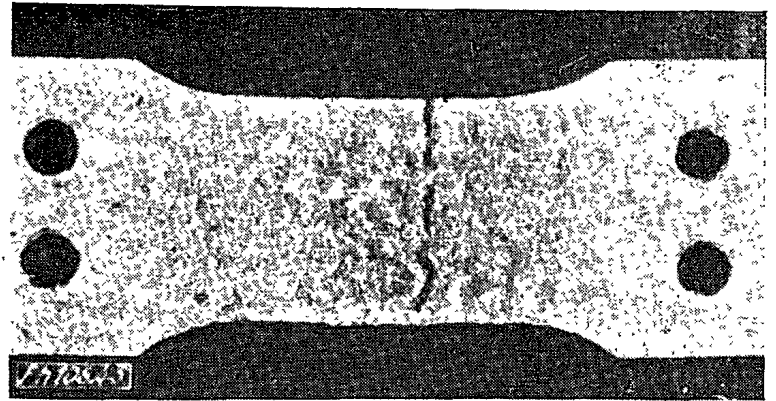
荷重減少21%後の状態

$\sigma_{bw} : \sigma_{bB} = 0.23$, 荷重繰返数 10×10^3

（切片は試験片の板面に直角，長軸方向に平行50倍拡大）

第 45 図

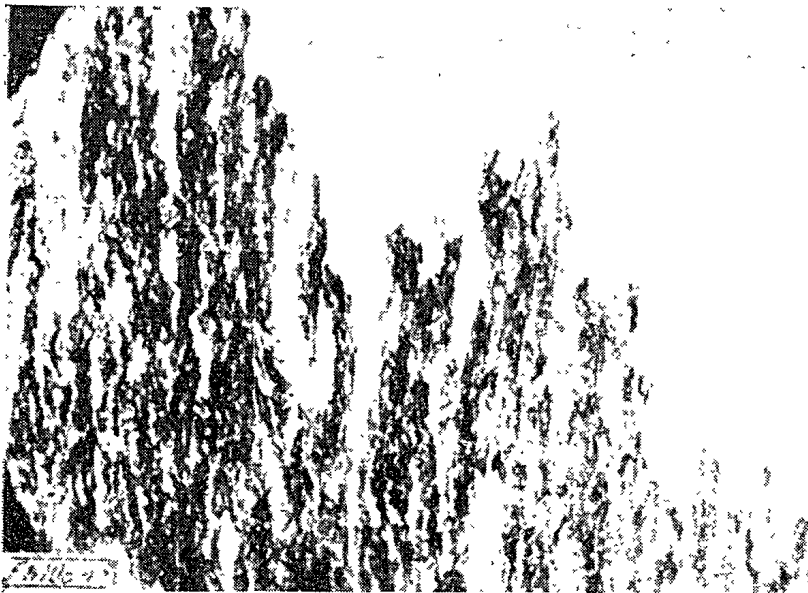
正変動引張試験によつて引裂かれたA-硬質繊維片試験片



第 46 図

静的引裂き破壊によつて破壊せられたA-硬質繊維板試験片

(切片は試験片の板面に直角, 長軸に平行, 150 倍拡大)



第 47 図

正変動引張試験によつて破壊せられた試験片

$\sigma_{zSch} : \sigma_{zB} = 0.54$, 荷重繰返数 12.5×10^6

(切片は試験片の板面に直角, 長軸に平行, 150 倍拡大)



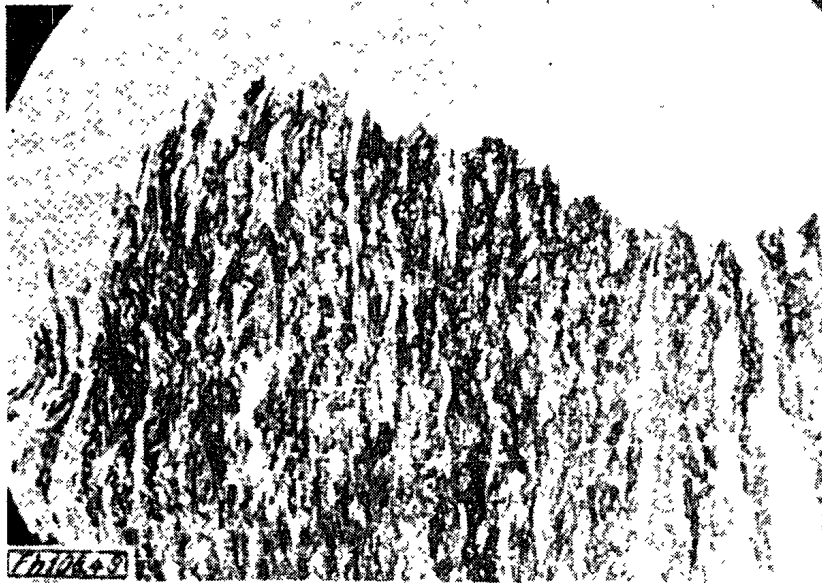
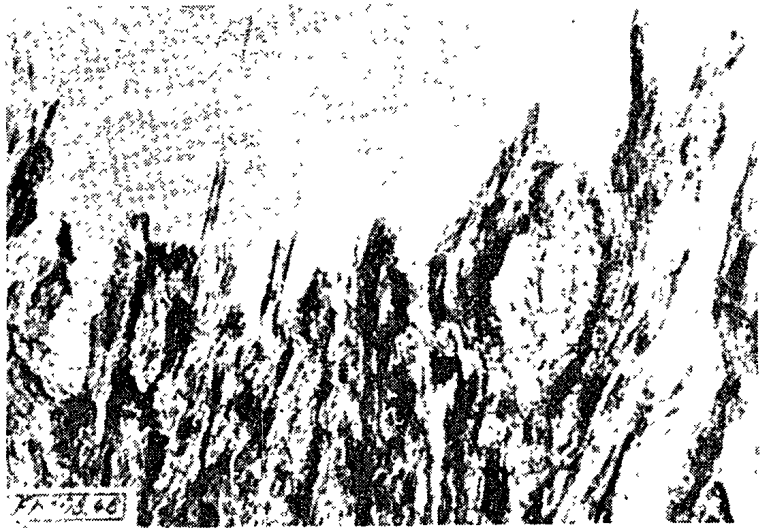
第 48 図

正変動引張試験に於ける時
点破壊の状況

試験片：結合剤含有量20%
の A- 繊維板

$\sigma_{zSch} : \sigma_{zB} = 0.66$

(荷重繰返数 11.4×10^3 ,
切片試験片の板面に直角
長軸に平行, 25倍拡大)



第 49 図

第48図に示せると同種
の残当破壊