

木材および木質材料の衝撃的性質(第5報)：接着部材のせん断および引張破壊におよぼす衝撃速度の影響

宮川, 秀俊
九州大学農学部木材工学教室

森, 稔
九州大学農学部木材工学教室

<https://doi.org/10.15017/23271>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 33 (2/3), pp.87-94, 1979-01. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

木材および木質材料の衝撃的性質 (第5報)[†]

接着部材のせん断および引張破壊におよぼす衝撃速度の影響*

宮川 秀俊・森 稔

九州大学農学部木材工学教室

(1978年9月9日受理)

Impact Properties of Wood and Wood Based Materials (V)[†]

Effect of Impact Velocity on Fracture of Glued Joint
Specimens under Impulsive Shear and Tensile Load*

HIDETOSHI MIYAKAWA and MINORU MORI

Laboratory of Wood Technology, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-08, Fukuoka 812

緒 言

接着手法を用いて構成した耐力部材では、しばしば、その接着層の耐衝撃性能が設計上の問題となり、金属材料などの分野では、従来からこの面について数余の実験的検討が行われているが(石井・山口, 1975), 接着層を含む木質部材の研究については作野(1977)の報告が見られるだけで比較的乏しい。

この一連の研究では、これまでに木材および木質材料を対象として単一衝撃による破壊および繰返し衝撃による疲労破壊について系統的实验を遂行してきた(宮川・森, 1976, 1977a, 1977b, 1978)。第3報(宮川・森, 1977b)では、タイワンヒノキとバルサの気乾材および比較試材としてのアルミニウムを用いて、whirling arm machine による単一衝撃引張破壊試験を行い、衝撃速度を0.5~20.0 m/secの範囲に変化せしめ、これが材料の強度的性能におよぼす影響について検討した。その結果、衝撃引張強度は、両樹種とも衝撃速度に対して max. curve を描き、その最大値は静的引張強度の約2倍に達すること、また、タイワンヒノキでは、単一衝撃による破断エネルギーは衝撃速度の増加と共に減少し、その値は第1報

(宮川・森, 1976)で測定した繰返し衝撃による疲労破断エネルギーよりかなり大きいことを確かめた。

さらに第4報(宮川・森, 1978)では、7樹種木材の気乾材によるいす型せん断試験片を供試し、同じく whirling arm machine を用いて、単一衝撃破壊試験を行って衝撃速度の影響について検討した。この結果、木材のせん断衝撃強度および衝撃破壊エネルギーの衝撃速度による変化には樹種特性があらわれ、衝撃速度の増加に伴い漸減する、ほぼ一定値を示してのち減少する、あるいは若干増加してのち減少するなど、樹種によつて異なつた傾向を示すこと。しかし一方、全供試樹種を通じてその比重と各衝撃速度における破壊強度の関係を見ると、両者の間に正の直線相関のあることが明らかとなつた。

本報では、以上の実験に引き続き、タイワンヒノキの気乾材を供試材とし、木工分野で常用されている、あるいはその性能が注目されている3種類の接着剤を用い、いす型せん断接着試験片(まさ目面接着)および butt end joint 引張試験片(木口面接着)を製作し、衝撃速度を変化させてその破壊強度を測定すると共に、この結果を素材のそれと比較することにより、各接着剤の耐衝撃性能について検討した。

[†] Report IV: *Mokuzai Gakkaishi* 24, 857 (1978). * This report was presented at the 28th Annual Meeting of the Japan Wood Research Society, 1978, in Nagoya.

実験方法

1. 試験装置

1.1 衝撃引張試験装置

衝撃引張試験機には, whirling arm machine を用いた. すなわち, 同機は Fig. 1 に示すように, 鉛直面内で回転する直径 115 cm のアーム①の先端に取り付けた打撃つめ②が最下部(鉛直線上)の位置まで回転したとき, アームの回転に同期させてペダル③を作動させ, ボールベアリング入り回転軸④のこの機構により試験片ホルダー⑤を持ち上げ, 試験片⑥に水平方向の衝撃引張荷重を加えて破壊する構造である. 試験片は, アームの打撃つめで打撃される受け具⑦を備えた前部チャック⑧と, ロードセル⑨を介して試験片ホルダーの固定台に連結された後部チャック⑩に固定されている. なお, この両チャックは, 打撃されたときの移動方向がアームの回転円弧の接線方向から外れないよう二条のレール⑪に誘導されている. 衝撃速度は, 変速モータ⑫の回転数の増減とプーリ⑬⑭の変換および⑬~⑭間に挿入する減速機の使用により 0.6~15.0 m/sec の範囲内で 11 段階に変化させた.

1.2 衝撃せん断試験装置

衝撃せん断試験機は, 衝撃引張試験と同様に, 鉛直面内で回転する直径 115 cm の whirling arm ma-

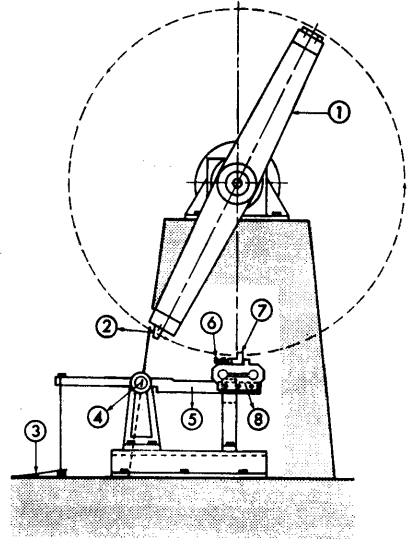


Fig. 2. General view of the impact shear testing machine. ①; whirling arm, ②; impact bar, ③; pedal, ④; bearing, ⑤; holder, ⑥; screw, ⑦; specimen, ⑧; octagonal dynamometer.

chine を用いた. 本試験機は, Fig. 2 に示すように, アーム①の先端に取り付けた打撃ハンマー②が最下部(鉛直線上)の位置まで回転したとき, アームの回転に同期させてペダル③を作動させ, ボールベアリング

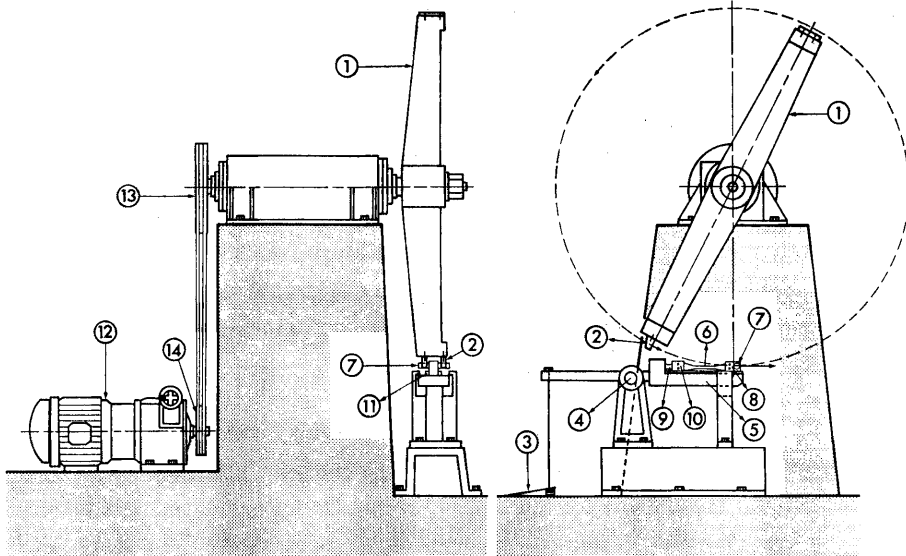


Fig. 1. View of the impact tensile testing machine. ①; whirling arm, ②; impact bar, ③; pedal, ④; bearing, ⑤; holder, ⑥; specimen, ⑦; receiving bar for impact load, ⑧; front chuck, ⑨; load cell, ⑩; rear chuck, ⑪; rail, ⑫; variable speed motor, ⑬, ⑭; pulley.

入り回転軸④のてこ機構により試験片ホルダー⑤を持ち上げ、八角弾性リング⑧上に固定されたいす型試験片⑦に水平方向のせん断荷重を加えて破壊する構造である。また、衝撃速度は、無段変速モータの回転数の増減、プーリおよび減速機の使用により毎秒0.6mの低速度から毎秒16.8mの高速の範囲内で10段階に変化させた。なお、試験片はホルダー上の固定装置に締結されているが、とくに打撃ハンマーで衝撃荷重を受ける際に偏荷重を受けないよう十分注意した。

2. 供試材および試験片

供試材には、タイワンヒノキ (*Chamaecyparis taiwanensis* Masamune & Suzuki) の気乾材を供試し、せん断試験用には厚さ10mm、幅100mm、長さ300mmのまさ目板を、また、butt end joint 引張試験片には厚さ15mm、幅100mm、長さ180mmのまさ目板を木取りした。供試材の諸性質をTable 1に示す。

Table 1. Physical and mechanical properties of wood used.

Wood species	Taiwanhinoki
Specific gravity	0.43
Moisture content (%)	12.3
Annual ring width (mm)	0.7
Shear strength in static test ¹⁾ (kg/cm ²)	52.8
Tensile strength in static test ¹⁾ (kg/cm ²)	1152

¹⁾ Average value of ten specimens, and measured by Instron type testing machine (speed of crosshead: 1 mm/min.).

せん断試験片は、上記材料を2枚1組にしてまさ目面接着をし、その接着ブロックをFig. 3(a)の形状に作成した。butt end joint 引張試験片は、長さ方向の中央位置を繊維方向と直角にマイターソーで鋸び

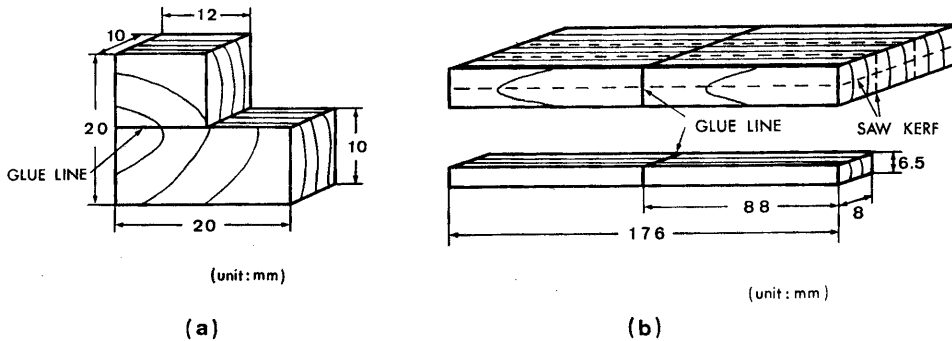


Fig. 3. Shapes and dimensions of test specimens. (a); chair type shear specimen, (b); butt end jointed tensile specimen.

Table 2. Bonding conditions.

Adhesive	Polyvinyl-acetate resin adhesive (PVAc) (Emulsion type)	Epoxy resin adhesive (ER)	Urea resin adhesive (UR)
Composition	Original liquid	Epoxy resin : hardener ¹⁾ 1 : 1	Urea resin : hardener ²⁾ 100 : 10
Spread and Assembly time (Temperature)		400 g/m ² 15 min. (25°C)	
Pressure		8 kg/cm ²	
Time Temperature	24 hours 25°C	24 hours 25°C	8 min. 110°C
Conditioning	30 days (20±2°C, 65±5%RH)		

¹⁾ Polyamide. ²⁾ 20% NH⁴Cl aqueous solution.

Table 3. Static strength of glued or jointed specimens prepared for impact tests (kg/cm²)¹⁾.

Adhesive	PVAc	ER	UR
Shear strength of glued specimen ²⁾	90.0	86.5	66.0
Tensile strength of end jointed specimen ³⁾	128	197	230

¹⁾ Average value of ten specimens, and measured by Instron type testing machine (speed of crosshead: 1 mm/min.). ²⁾, ³⁾ Dimensions of test specimen are presented in Fig. 3 (a) and (b) respectively.

きし、その木口面をそれぞれの接着剤で接着し、そのブロックから引張試験片を作成した (Fig. 3 b).

3. 接着剤と接着条件

接着剤には、両試験とも木工分野で比較的広く使用されている酢酸ビニール樹脂接着剤 (PVAc) およびユリア樹脂接着剤 (UR) のほか、木材の木口面接着に優れた性能を持つとされているエポキシ樹脂接着剤 (ER) の3種類を用い、Table 2 の条件で試験片を接着した。接着剤製作した試験片の静的強度 (荷重速度は 1.6×10^{-5} m/sec) を Table 3 に示す。

4. 測定方法

引張試験片に加わる衝撃荷重は後部チャックに連結したロードセル (Fig. 1 の⑨) を用い、これを広帯域増幅器 (新興通信工業製・4007-F型) を通じてシンクロスコープ (東芝・ST 5500A) に接続し写真撮影して記録した (宮川・森, 1977b)。また、せん断荷重の測定は八角弾性リング (Fig. 2 の⑧) を用い、引張試験と同様に、増幅器を通じてシンクロスコープに接続し、写真撮影して記録した (宮川・森, 1978)。

実験結果および考察

1. 衝撃せん断強度

はじめに、衝撃せん断試験における木破率¹⁾と衝撃速度の関係を Fig. 4 に示す。3種接着剤試験片とも、高い木破率を示すが、エポキシ樹脂接着剤およびユリア樹脂接着剤では、衝撃速度に関せずほぼ一定値を示すのに対し、酢酸ビニール樹脂接着剤では、衝撃速度の増加に伴い若干減少の傾向を示している。

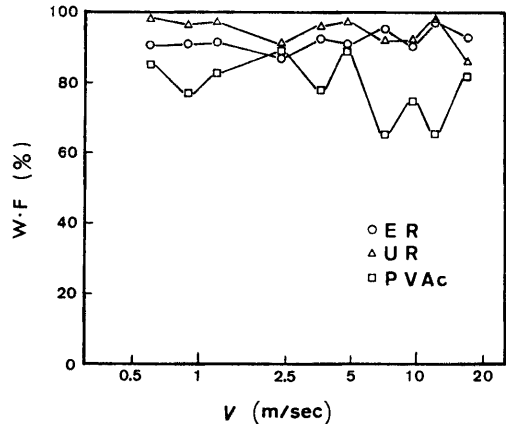


Fig. 4. Relation between wood failure (W.F.) and impact velocity (V).

つぎに、せん断強度におよぼす衝撃速度の影響を Fig. 5 に示す。3種接着剤の場合とも本実験条件内では、せん断強度は衝撃速度の増加に伴い減少の傾向を示し、その値はエポキシ樹脂接着剤と酢酸ビニール樹脂接着剤による接着試験片がほぼ等しく、ユリア樹脂接着剤によるものが若干低い値を示す。これは、ユリア樹脂接着剤のみは接着時に木材を熱圧 (110°C で 8 min.) するため、木材が熱劣化したことに因ると考えられ、このことは Fig. 4 で木破率がきわめて高い値を示したと符合する。

なお、Fig. 5 において、○ (白丸) はそれぞれの接着試験片の静的強度 (Table 3) を比較のため示したものである。この接着試験片においても、前報 (宮川・森, 1978) の素材試験片の場合と同じく、衝撃強度は衝撃速度 0.6 m/sec 以下で最大値を示してのち、

1) 木破率: 木材同士を接着した試験片を用いて接着強度を測定する場合、接着層が被着材 (木材) に比して著しく弱ければ試験片は完全に接着層から破壊される。この場合、破壊した接着面に木材は付着しておらず木破率は 0% である。これに対し、接着層が著しく強ければ試験片は接着層から破壊されず木材自体が破壊し、破壊面は全面が木材であつて木破率は 100% である。実際には、この両者の中間の値を示すが、この値の高いほど接着層の強さが木材より高く接着が十分であることを示す。

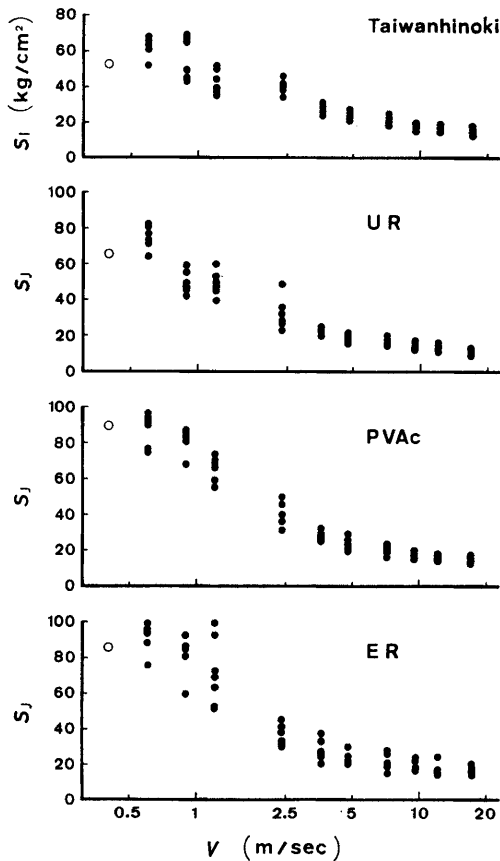


Fig. 5. Relation of impact shear strength (S_I or S_J) to impact velocity (V).

さらに低速域ではその値が低くなり静的強度に接近することが予測され、衝撃強度は衝撃速度に対して max. curve を描くと考察しうる。また、10 m/sec 以上の高速衝撃における衝撃強度は、静的強度の 1/3 以下であつて著しく低い、これは、いす型せん断試験片における隅角部に発生する応力集中が高速衝撃の影響を受けることに原因すると考えられる。

2. 衝撃引張強度

木材の木口面同士の接着は、一般によく知られているように、板目面（あるいはまさ目面）同士の接着に比してきわめて弱く、本実験の butt end joint 試験片の衝撃引張試験においても全試験片が木破率 0% であつた。この場合の衝撃引張強度は、Fig. 6 に示すように、衝撃速度の増加に伴つて減少し、エポキシ樹脂接着剤の場合が最も高く、ユリア樹脂接着剤、酢酸ビニール樹脂接着剤の順となる。

なお、同図中における○（白丸）はそれぞれの接着

試験片の静的強度 (Table 3) を示すものであつて、衝撃強度と衝撃速度の関係線が速度 0.6 m/sec 以下で最大値をもつ max. curve を描くであろうことは前項と同じである。ただ、この場合 3 種の接着剤を比較すると、エポキシ樹脂接着剤は他の 2 樹脂接着剤に比し、高速における強度低下が少なく衝撃速度 16.8 m/sec で静的強度とほぼ等しく、この接着剤は木口接着において高い耐衝撃性を持つことがわかる。

3. 接着効率

前報 (宮川・森, 1977b, 1978) では、衝撃速度を変化させてタイワンヒノキ素材のせん断強度 S_I と引張強度 B_I を測定したが、いま同一の衝撃速度について、本実験で求めた接着試験片のせん断強度 S_J 、引張強度 B_J の S_I 、 B_I に対する比を求めると、この比はその衝撃速度における接着効率を示す指標とみなしうる。

$$S_e = S_J/S_I, \quad B_e = B_J/B_I$$

まず、せん断試験における接着効率 S_e を求め、衝撃速度との関係をプロットして Fig. 7 に示す。同図のように、エポキシ樹脂接着剤と酢酸ビニール樹脂接着剤の場合は、衝撃速度 2.4 m/sec 未満では 1.4~1.7、それ以上の速度では約 1 であり、良好な接着効果を示す。これに対し、ユリア樹脂接着剤では 2.4 m/sec 以下では約 1、それ以上の速度では約 0.8 であり、接着効果がやや劣る。前者のエポキシ樹脂接着剤と酢酸ビニール樹脂接着剤の場合、低速領域でその接着強度が素材強度を越える理由は明確ではないが、接着剤が接着層から素材中に浸透硬化し、素材の補強効果があるためと考えられる。後者のユリア樹脂接着剤の接着効率が低いのは、前述のように、接着時に 110°C で 8 min. 熱圧するため、素材が熱劣化して強度が低下したためと考えられる。

つぎに、butt end joint 試験片における引張接着効率 B_e を求め、衝撃速度との関係をプロットして Fig. 8 に示す。同図のように、この場合の接着効率はきわめて低く、0.3 以下であり衝撃速度の高いほど低下する。このように、木材の木口面同士の接着強度はきわめて低く、素材引張強度の 1/3 以下であるが、3 種接着剤のうちではエポキシ樹脂接着剤の接着効率が最も高く、衝撃速度の増加に伴う接着効率の低下も少ない。

4. 衝撃せん断における破壊エネルギー

4.1 最大荷重までの所用時間

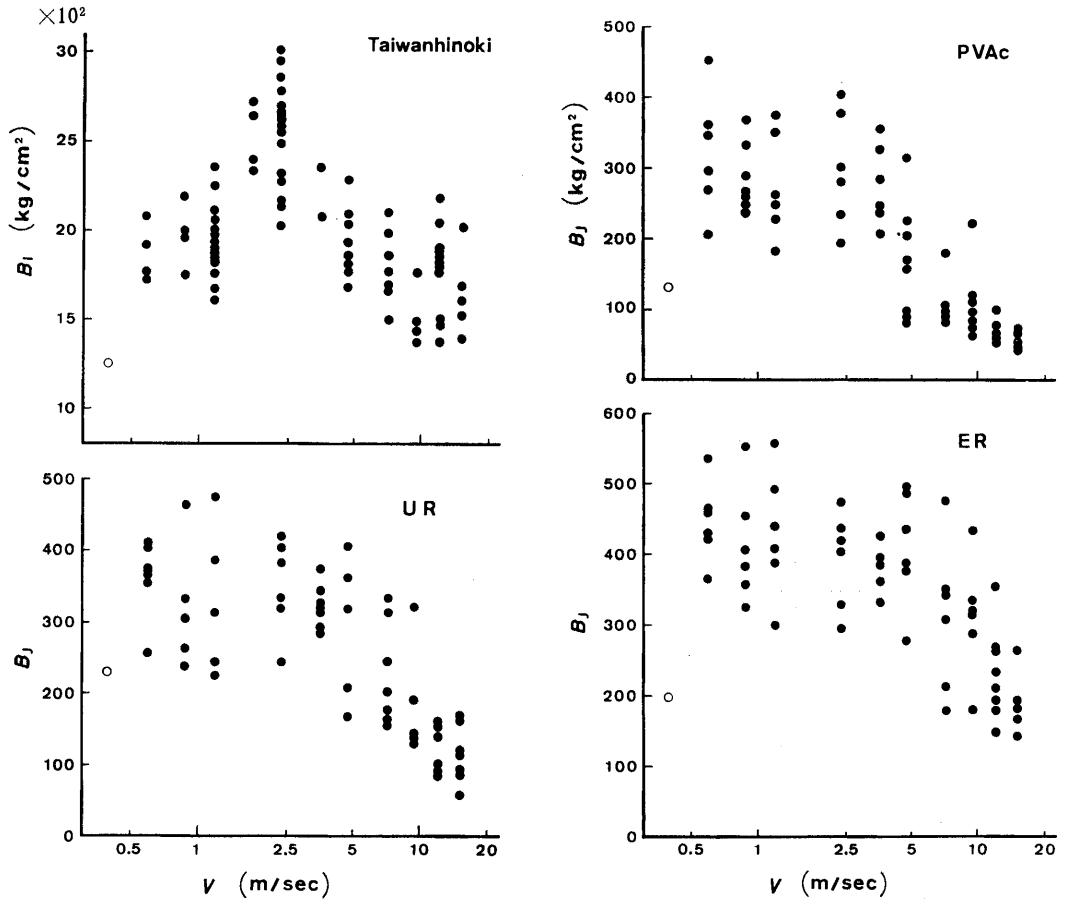


Fig. 6. Relation of impact tensile strength (B_I or B_J) to impact velocity (V).

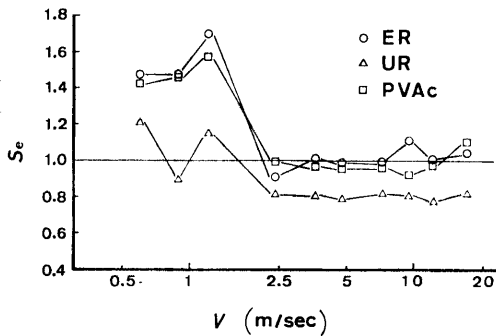


Fig. 7. Effect of adhesion in shear test (S_e) as the function of impact velocity (V).

衝撃荷重が加わってから荷重が最大値に達するまでの時間 T_M と衝撃速度の関係を Fig. 9 に示す。同図のように、 T_M と衝撃速度は、3種接着剤による接着試験片とも両対数軸上で負の相関を示す。3種接着剤のうち酢酸ビニール樹脂接着剤は可塑性に富むため、

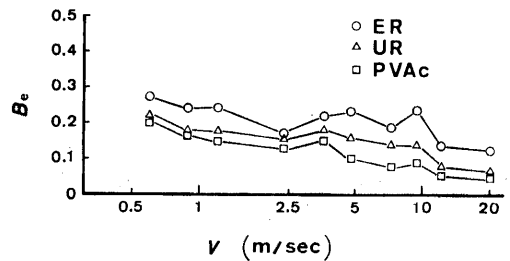


Fig. 8. Effect of adhesion in tensile test (B_e) as the function of impact velocity (V).

その接着試験片の T_M の値が高く、エポキシ樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤の順となるが、高速度域ではその差は僅少となる。

4.2 破壊エネルギー

上記の衝撃せん断試験において、シンクロスコープに記録された時間—ひずみ (荷重) 波形から、波形がその最大値までに囲む面積 A_s を測定し、次式から衝

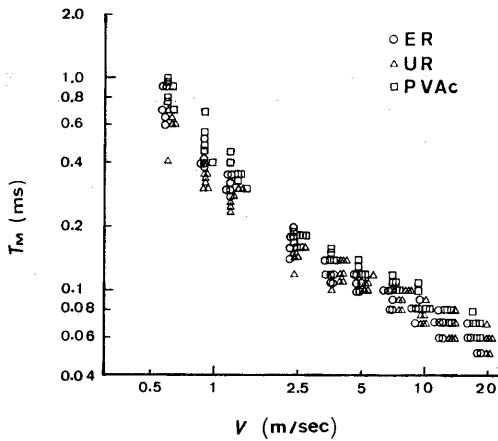


Fig. 9. Relation between the time required to maximum load (T_M) and impact velocity (V).

撃せん断破壊エネルギー (W_J) を算出した (宮田, 1975).

$$W_J = A_s \cdot V \cdot T_u \cdot P_u / bw \quad (\text{kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2)$$

ここに,

A_s : 波形の最大値までの囲む面積を, 時間軸の1目盛正方を単位として数えた個数.

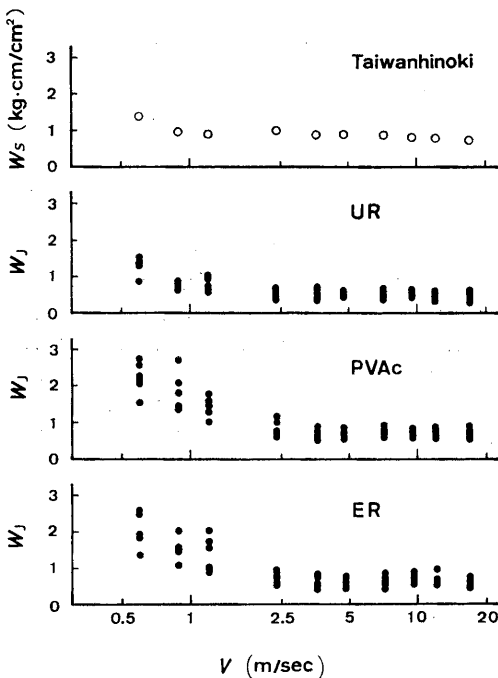


Fig. 10. Relation of impact fracture energy in shear test (W_s or W_J) to impact velocity (V).

area which is surrounded by time-load curve until maximum load.

- V : 衝撃速度 [m/sec]
impact velocity [m/sec].
- T_u : 時間軸1目盛の時間 [sec]
unit time [sec].
- P_u : 荷重軸1目盛の荷重 [kg]
unit load [kg].
- bw : せん断面積 [cm²]
shearing area [cm²].

3種接着試験片による W_J と衝撃速度の関係は, Fig. 10 に示すように, 3種試験片とも衝撃速度の増加に伴って減少するが, 衝撃速度 2.4 m/sec 以上ではほぼ一定値を示す. この傾向は, 同図の上を示した被着材のタイワンヒノキの傾向と一致するが, エポキシ樹脂接着剤および酢酸ビニール樹脂接着剤による接着試験片は, 低速度域では素材のそれより高い値を示す.

結 論

Whirling arm machine を用い, 木工分野で多く用いられ, あるいはその性能が注目されている3種の接着剤 (酢酸ビニール樹脂接着剤, ユリア樹脂接着剤およびエポキシ樹脂接着剤) で接着したせん断試験片および butt end joint 引張試験片の単一衝撃破壊試験を行い, 衝撃速度 (0.6~15 および 16.8 m/sec) が接着性能におよぼす影響について検討し, 次の結果を得た.

(1) 衝撃せん断試験では, 3種接着試験片とも比較的高い木破率を示し, その衝撃強度は被着材であるタイワンヒノキ素材のまま目面せん断と同じく, 衝撃速度の増加に伴い減少する.

衝撃速度 2.4 m/sec 未満では, 3種接着剤の場合ともその衝撃強度が同速度における素材の衝撃強度より高く, その 1.2~1.7 倍であり, それ以上の衝撃速度においても1あるいは0.8倍であつて, 木材のまま目面接着では衝撃力に対し高い接着効率を示した. 3種接着剤を比較すると, 全衝撃速度の範囲について, エポキシ樹脂接着剤と酢酸ビニール樹脂接着剤の接着効率はほぼ等しく, ユリア樹脂接着剤のそれが前二者に比して低い. これは, ユリア樹脂接着剤では接着時に素材を加熱するため, 素材の熱劣化が影響しているためと考えられる.

(2) 衝撃引張試験では, いずれの接着剤による joint も接着層で破断し, その衝撃強度は, 全衝撃速

度の範囲において同速度における素材の衝撃強度の0.05~0.30倍に過ぎず、木材の木口面同士の接着効率はきわめて低い。なお、3種接着剤のうちでは、エポキシ樹脂接着剤が最も耐衝撃性に優れていることを示した。

(3) せん断および butt end joint 引張試験片の静的強度に対するそれぞれの衝撃強度の比率は、前者では0.2~1.0、後者では0.6~2.5である。前者の比率が特に低いのは、いす型試験片の隅角に発生する応力集中に起因すると考えられる。

(4) せん断試験において、負荷から最大荷重に達するまでの時間 T_M と衝撃速度の間には、3種接着剤の場合とも両対数軸上で負の相関関係が認められ、また、せん断破壊エネルギー W_J は、3種接着剤の場合とも衝撃速度の増加に伴い減少する。 T_M と W_J は、ともに可塑性に富む酢酸ビニール樹脂接着剤が最も高く、熱硬化性のユリア樹脂接着剤が低い値を示す。

文 献

- 石井博之・山口章三郎 1975 突合せ接着部の破壊強さにおよぼす引張速度の影響について。日本接着協会誌, 11: 59-65
- 宮川秀俊・森 稔 1976 木材および木質材料の衝撃的性質。(第1報)低サイクルにおける木材の衝撃引張疲労。木材学会誌, 22: 69-75
- 宮川秀俊・森 稔 1977a 木材および木質材料の衝撃的性質。(第2報)繰返し衝撃引張によるバットエンドジョイント部材の疲労現象。木材学会誌, 23: 69-75
- 宮川秀俊・森 稔 1977b 木材および木質材料の衝撃的性質。(第3報)木材の衝撃引張破断における衝撃速度の影響。木材学会誌, 23: 528-533
- 宮川秀俊・森 稔 1978 木材および木質材料の衝撃的性質。(第4報)木材のせん断破壊におよぼす衝撃速度の影響。木材学会誌, 24: 857-864
- 宮田忠治 1975 ボルトの高速衝撃引張破壊の挙動。機械の研究, 27: 227-232
- 作野友康 1977 木材接着の衝撃破壊に関する研究。鳥取大演報, 9: 1-91

Summary

Impact tests for glued joint specimens of wood were carried out at various impact velocity (V) using a whirling arm machine (Fig. 1 and 2), and the effects of V on their strength properties were discussed comparing with those of wood adherend.

Wood adherend was air-dried Taiwanhinoki (*Chamaecyparis taiwanensis* M & S), and flat jointed chair type and butt end jointed tensile type of test specimens were prepared for the tests (Fig. 3 a and b). Three kinds of adhesives were used, that is, epoxy resin, polyvinyl-acetate resin and urea resin. The range of V was 0.5-20.0 m/sec.

In the impact shear test of chair type specimen, wood failure shows relatively high values in all specimens. Impact shear strength (S_j) decreases with increase of V , and this decreasing tendency is similar to that of adherend (S_1) reported in the previous experiment. S_j of specimen glued with epoxy resin or polyvinyl-acetate resin adhesive is stronger than S_1 at the equal impact velocity under 2.4 m/sec of V , and above this impact velocity S_j is equal to S_1 . But S_j of urea resin adhesive is smaller than that of the above two adhesives, and above 2.4 m/sec of V the ratio of S_j to S_1 is about 0.8.

The relationship between impact fracture energy of shear specimen and impact velocity shows the similar tendencies as that of adherend.

In the impact tensile test of butt end joint specimen, the fracture occurs at the glue line, and so wood failure is nearly zero in all specimens. Impact tensile strength (B_j) decreases with increase of V . The ratio of B_j to tensile strength of adherend (B_1) is only 0.2-0.3 at 0.6 m/sec of V , and this value decreases gradually according to the increase of V . Within the limits of this experiment, epoxy resin shows the highest adhesiveness for impulsive load.