

有機接着剤の接着強度について

福村 勉 郎* 河合 鱗 次 郎**

On the Adhesive Strength of Various Organic Adhesives

By Masuo Fukumura and Rinjiro Kawai
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Recently various new type adhesives are developed and their utilizations are gradually extended, but their detailed attribute related to adhesive strength has not been well known.

Writers tried the adhesive strength of several organic adhesives using copper, brass, aluminium or iron by the method of A. S. T. M., and on phenol-resin, examined the relations between adhesive strength and adhesive pressure, area, loading speed etc., for metals above mentioned.

Although the obtained values are varied with adhesives or metals, it has been clarified that phenol-resin and urea-resin are rather weak, vinyl-resin and rubbery adhesives are more tacky and strong than the formers and epoxy-resin is most excellent.

[I] 緒 言

接着剤の歴史は非常に古く、昔からカゼイン、澱粉、膠、ゴム糊等の天然物が使用されてきたが、それらは単に接着すれば一応目的は達せられたわけであつて、その発達経過は極めて経験的であり利用範囲も狭かつた。然るに第二次大戦の勃発とともに合成樹脂接着剤が各種構造物、航空機生産に役立ち、又近來優秀なる各種合成有機接着剤が出現するに到りその応用分野は拡大されつつあり、今後の工業材料としても重要な部門を占めるものと考えられる。

優れた接着剤が果して凡ゆるものゝ接着に好結果を示すかと云うことに関しては接着剤の構造、被接着面の性質、使用条件等の如何によつて一概に云うことは出来ない。茲に適応接着剤の選択が必要となつてくるのである。我々が市場にある各種接着剤から最適のものを選ぶ場合、例えば接着強度、耐候性、耐熱性、耐溶剤性、耐薬品等々の性能を知ろうとしても具体的にそれらを明示したものは少ない。

この現状に鑑み筆者等は接着剤の基礎研究の傍らとりあえず市販され又は研究途上にある幾つかの代表的接着

剤について金属を被接着材質とした場合の接着強度を比較し又フェノール樹脂については接着条件及び試験法の相異による接着強度を検討して適応接着剤の選択の指針とした。

[II] 金属の接着と接着強度の生因について

接着作用の理論は未だ十分に解明されず不明の点が多いのであるが、本報の如き接着に関する報告は少ないので金属の接着について簡単に説明する。

接着剤による接着機構には次の各々の場合が考えられる。

- (1) 機械的接着：接着面に接着剤が根を下して機械的に噛み合っている機構で多孔質の接着物の他は重要なものでない。
- (2) 融合接着：接着面が接着剤（又は使用されている溶剤）に可溶性の場合に起る。この場合表面が部分的に溶解して加圧され次いで溶剤が蒸発して融合する。
- (3) 特有接着：分子間の力に帰する接着で平滑面の接着の場合に重要な要素である。

これらの内、金属の接着には特有接着が重要であつて、これには極性説、化学結合説等の考え方が入ってくるの

* ** 日立製作所中央研究所

である。一例を示せば接着剤の原子価結合と金属結合とは異なっているから金属と接着剤との界面で二次元的な金属化合物を作るようなものが良く、特に大きい接着強度を望むならこの化合物は主原子価的特性を有することが必要である。例えば生ゴムを真鍮面上で加硫する時生ずる硫化銅結合、ポリ醋酸ビニルの加熱接着の場合に熱分解によつて生ずる醋酸が金属と塩を作り、接着剤の醋酸基との間に水素結合を生ずると考えられている事などである。勿論比較的弱い結合は副原子価力によつて生ずるもので、ポリ醋酸ビニルの常温接着のときは加熱接着に較べて強度は遙かに弱く、これは接着剤のカルボニル基の金属面に対する配向によつて定まる副原子価的接着によると推定されるのである⁽¹⁾。

以上の説明から金属に対する良好なる接着剤は、容易に金属化合物を作るような基を有する事が必要であると予想される。然しこれだけでは不充分であつて金属と接着剤との熱膨張係数が異なるために、温度変化により接着界面又は接着剤層内部にひびき或は破壊が起こることがあるので、金属接着剤は或る程度弾性を有することが必要である。一例としてフェノール樹脂接着剤は金属と結合し得る基を有するが金属接着用としては弾性、可塑性に欠けているのであまり良い接着剤ではない、然しこれに弾性物質（例えばゴム等）を混ぜると優れた接着剤となる。

尚この他に接着強度を左右するものとして接着が形成される場合の外的条件（温度、湿度、圧力、時間等）、金属の表面状態、表面処理の問題、接着剤層の厚み等が関係するが詳細は後日稿を改めて報告する。

[III] 試験法及び接着剤

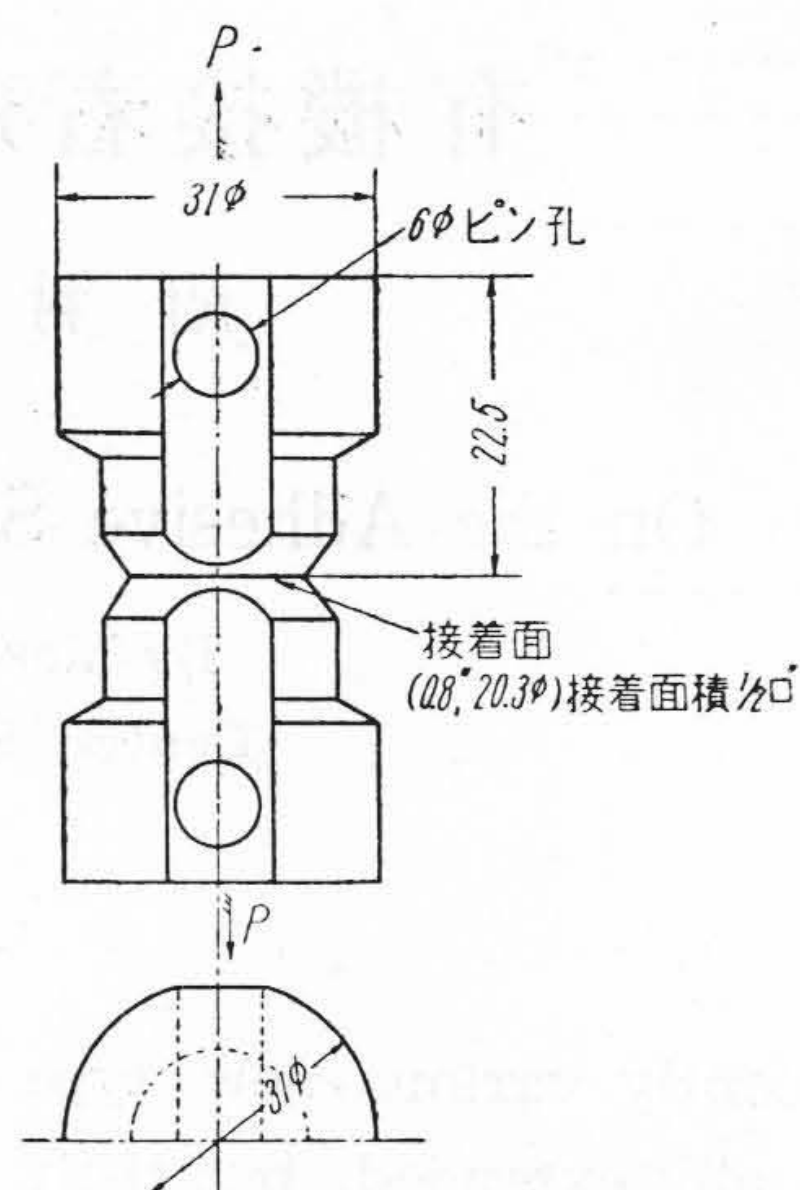
(1) 試験法及び試験片

我国に於ては日本工業規格の木材の接着を除けば纏つた試験規格もないので、A. S. T. M. の接着剤試験法⁽²⁾に準拠した。被接着材質（試験片）としては銅、真鍮、アルミニウム、デュラルミン、鉄及び不銹鋼を選び、接着面の仕上げはアランダム 400 番の研磨紙を用い約 3 kg の圧力（手で普通に押付ける程度）で毎秒 2 回の速さで 1 分間無方向に研磨した。仕上面の粗さは山本式触針型試験機によれば Al 約 1μ 、Cu $0.6\sim 0.7\mu$ で軟かい金属では大きく、デュラルミンは $0.5\sim 0.6\mu$ 、その他では（真鍮、鉄、不銹鋼） $0.3\sim 0.4\mu$ 程度であつた。尚剝離試験の一部に使用した試験片のラップ仕上の場合は何れも $0.1\sim 0.2\mu$ で大差はなかつた。

以下試験方法及び試験片を略記する。

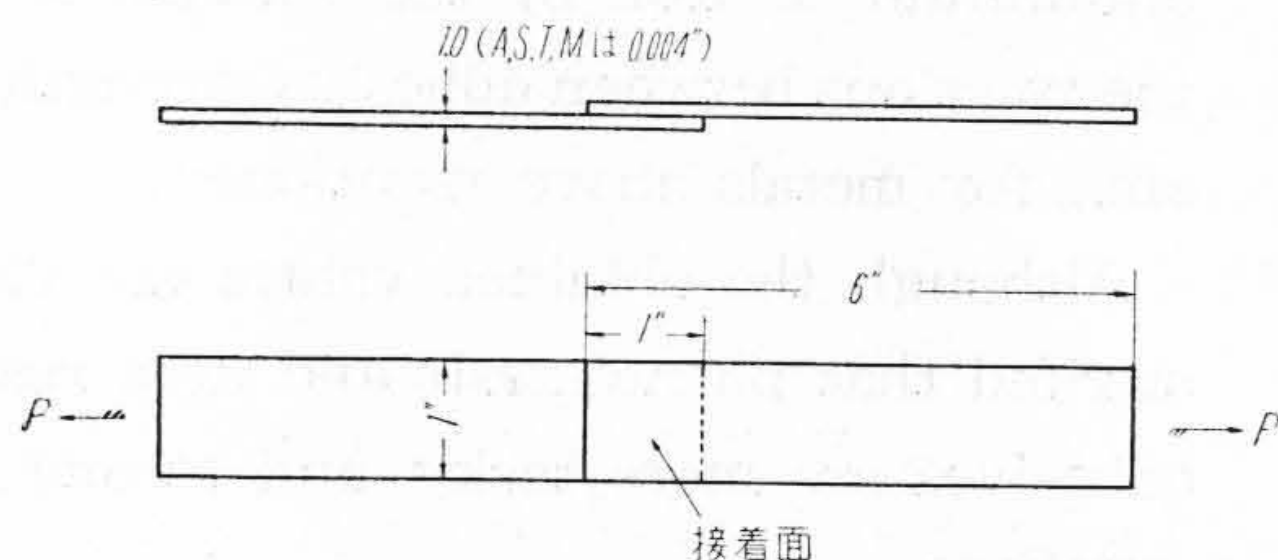
(A) 抗張試験

第 1 図の如き試験片に金属剝離試験用のユニバーサルジョイントを使用して接着面に垂直に荷重を加える。試



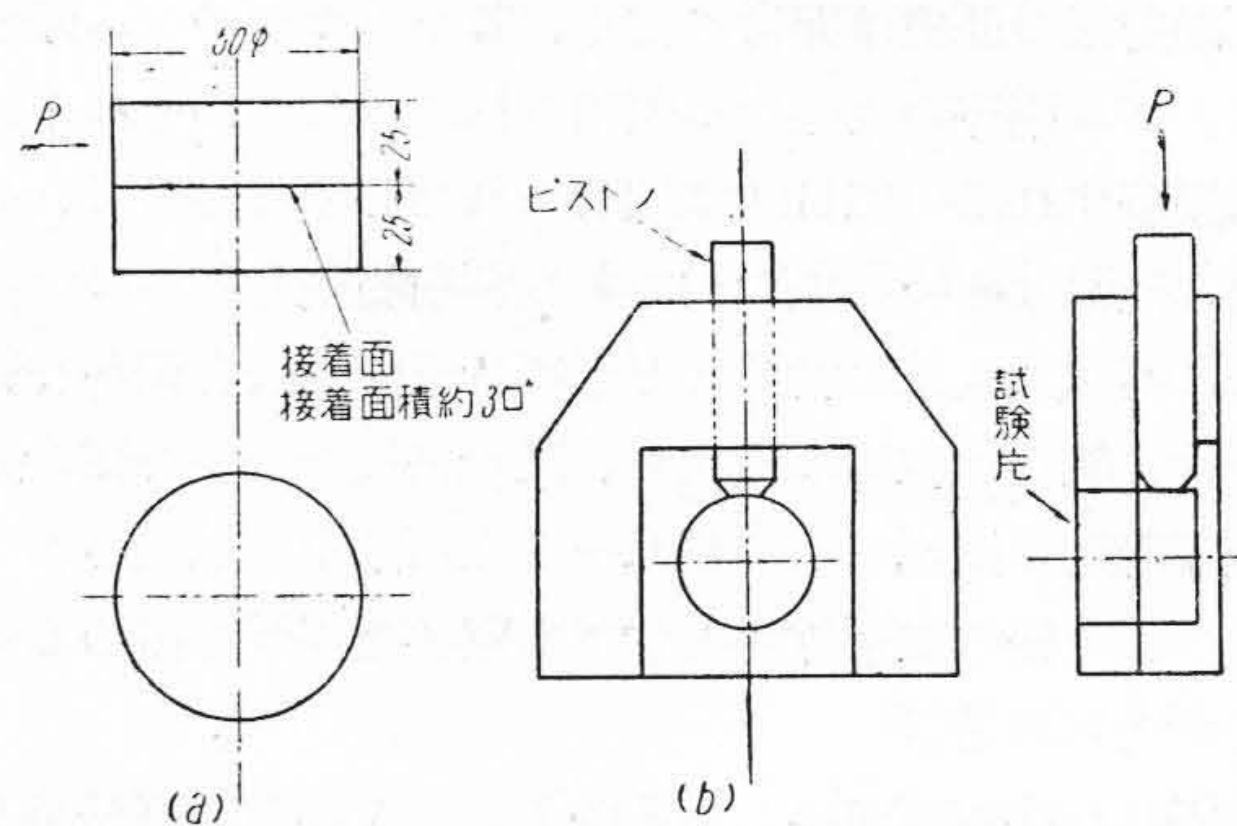
第 1 図 抗張試験片

Fig. 1. Specimens for Tensile Test



第 2 図 抗張剪断試験片

Fig. 2. Specimens for Shear Test under Tension Loading



第 3 図 圧縮剪断試験片 (a) 及び圧縮器具 (b)

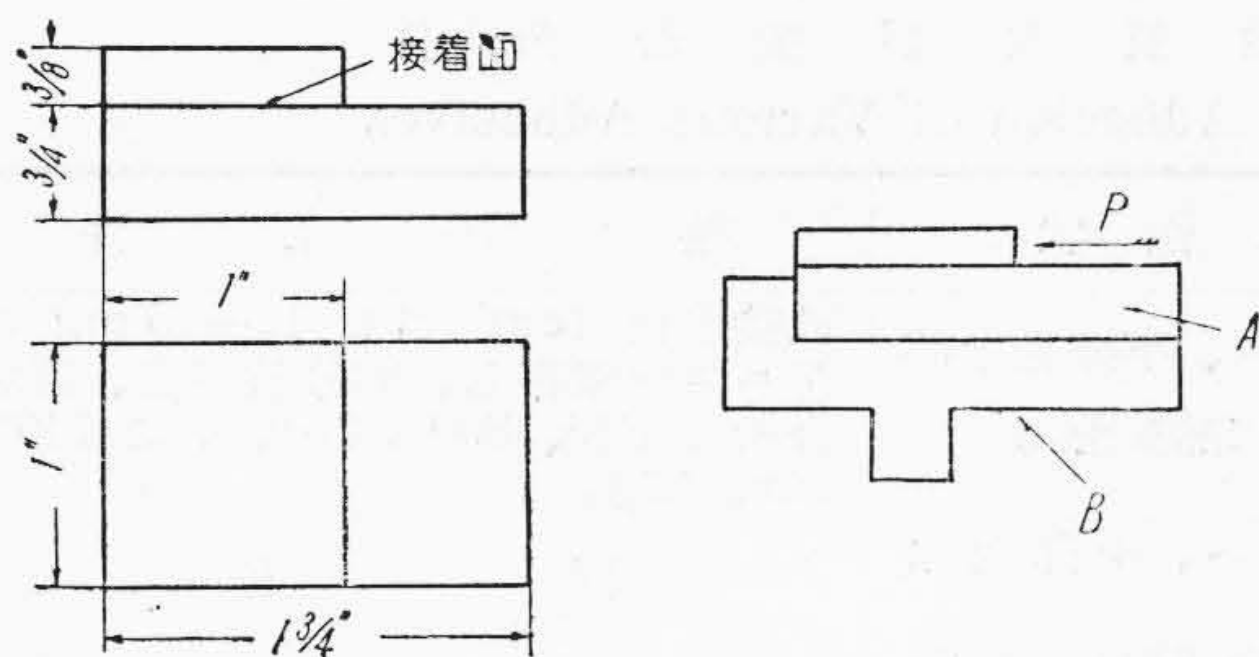
Fig. 3. Specimens for Shear Test under Compression Loading (a) and Compression Tool (b)

験機はアムスラーである。この試験片は A. S. T. M. の指定とは多少異なるが接着面その他の要点に差異はない。

(B) 抗張剪断試験

第 2 図の如き板状試験片を用い接着面に平行に荷重を加える。試験機は (A) に同じ。

(C) 圧縮剪断試験



第4図 衝撃試験片
Fig. 4. Specimens for Impact Test

第3図(a)の如き円形試験片を用い第3図(b)の如きピストン金具によつて圧縮剪断荷重を加える。これはA. S. T. M の指定をかなり変形簡易化したものである。

(D) 衝撃試験

A. S. T. M と略々同様であり第4図Aの如き試験片をBの金具で支持し矢印の方向に衝撃を加える。アイゾット試験機の容量不足のためシャルピー試験機を工夫して使用した。振上角は 45° 、荷重 25 kg である。

(E) 剥離試験

第5図の如き剥離強度試験片にユニバーサルジョイントを附して接着面に垂直方向に引張荷重を加える。

上記各試験片は5箇1組として試験後接着面は仕上げなおして繰返し使用した。接着強度は kg/cm^2 、又は kg-cm/c-cm^2 (衝撃のみ) であらわし、この他接着層の平均厚みの測定及び剥離状況の観察を行つた。

(2) 接着剤及び接着条件

実験に供した接着剤とその接着条件を第1表に纏めて示した。

接着荷重を加えるためには単に重錘を載せる場合、(約 3 kg) の外、第6図の如き圧縮器具を使用した。(圧縮圧力はスプリングの性能から算定する)。

[IV] 実験結果及び結果の検討

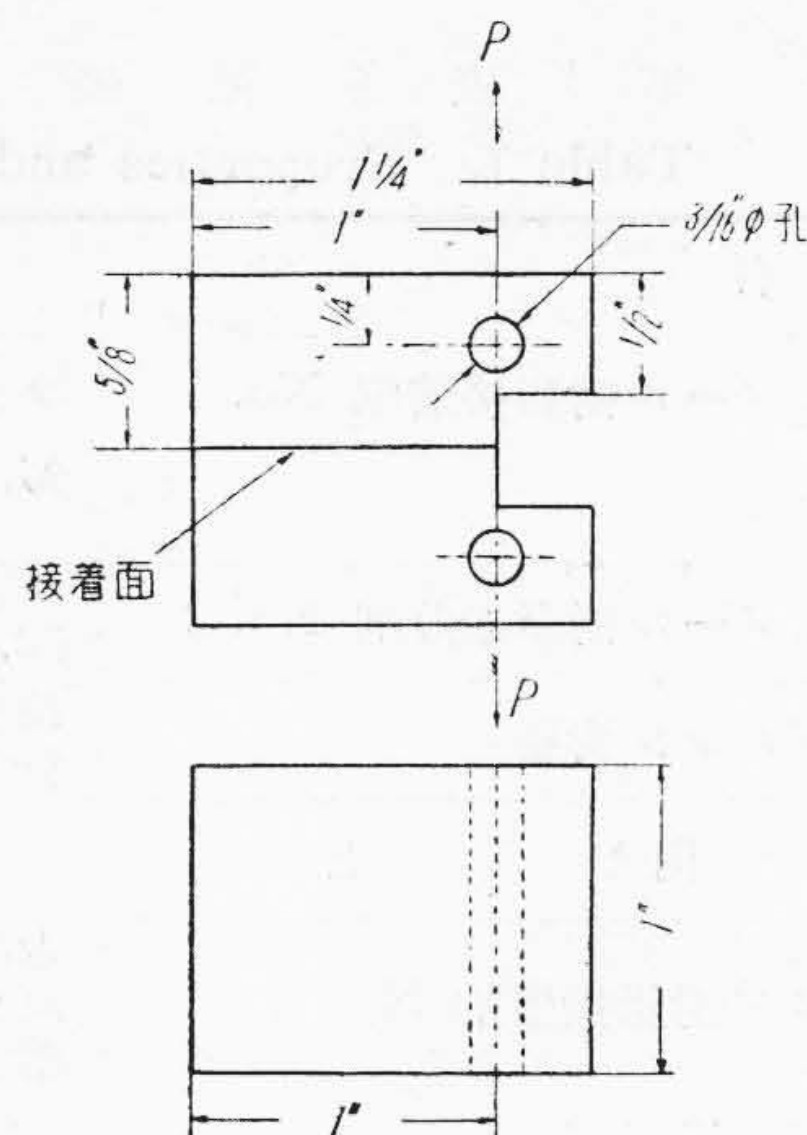
(1) フェノール樹脂接着剤の各種強度試験

試料接着剤は第1表のフェノール樹脂接着剤 No. 1を使用した。接着温度及び時間は第1表の接着条件に拠る。

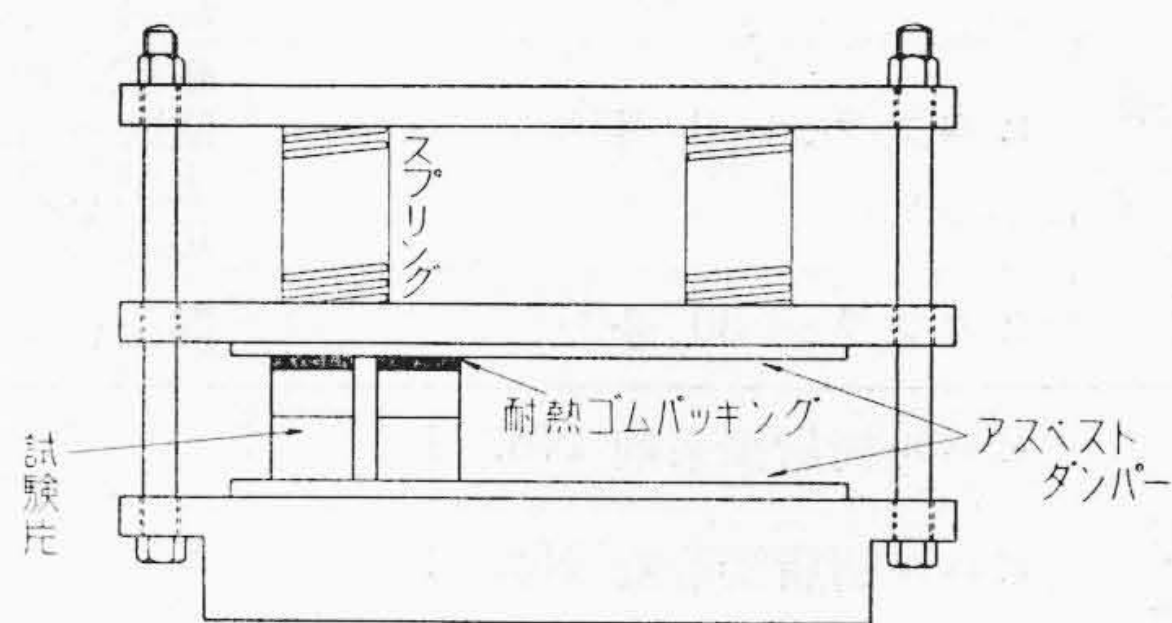
(A) 抗張試験

試験片の材料には銅、アルミニウム、真鍮、鉄及び不銹鋼の5種をとり接着圧 ($0.2, 2, 20 \text{ kg/cm}^2$) 及び引張り荷重速度 ($5, 40 \text{ kg/sec}$) の影響をしらべた。破壊荷重を接着面積 (3.3 cm^2) で割つた抗張強度 (kg/cm^2) 及び接着層の厚さを第2~5表に示す。

以上の結果を通覧すると抗張試験では接着圧及び試験片の材質による強度の差異は明らかでない、ただ荷重速度の影響は明らかで速度の早い場合には強度が大きく出



第5図 剥離試験片
Fig. 5. Specimens for Cleavage Test



第6図 圧縮器具
Fig. 6. Clamp Tool for Test Pieces

ている。ここで 5 kg/sec は A. S. T. M. の規定であり 40 kg/sec はアムスラー試験機の 1 t 自動荷重速度である。尚接着層の厚さは接着圧の増加とともに明瞭に減少している。又破壊はすべて接着面の剥離であり接着剤破壊の部分は認められなかつた。有効接着面は $60 \sim 70\%$ 程度で接着剤の樹脂分と同程度であり、接着模様は種々雑多である。接着剤の剥離した面は多少ともフェノール樹脂に犯された形跡が認められた。

(B) 抗張剪断試験

試験片の材料としては銅、アルミニウム、真鍮、鉄の4種をとり、接着圧 ($0.1, 1, 10 \text{ kg/cm}^2$)、引張り荷重速度 ($5 \text{ kg/sec}, 40 \text{ kg/sec}$) 及び接着面積 ($1/2, 1, 2 \text{ cm}^2$) の影響をしらべた。第6~11表に結果を示す。

破壊がすべて接着面での剥離であることその他は抗張試験の場合と同様である。以上の結果からみると接着圧及び試験片材質による強度の差異はかなり明瞭である。即ち接着圧の大きい程接着層の厚さと共に強度も減少し材質としては銅が弱く鉄が強い又接着面積の影響はこれだけの結果からも明らかに面積の小さい程強度は大きいことがわかる。荷重速度の影響は抗張試験の場合ほど明

第 1 表 各種 接着剤 の 性質 及び 接着 条件

Table 1. Properties and Conditions for Adhesion of Various Adhesives

分類	名 称	組 成 又 は 性 状	接 着 条 件
フェノール樹脂系	フェノール樹脂接着剤 No. 1	フェノール樹脂ワニス、不揮発分63%、耐熱、耐湿性、加熱接着用	被接着面 1cm ² 当り 10~15 mg のワニスを塗布し、30分放置後、面を合せて圧着、80°C, 2hr, 更に 140°C 4hr, 加熱
	フェノール樹脂接着剤 No. 2	フェノール樹脂ワニス、不揮発分 50.3%, 加熱接着用	同 上
	レゾルシン樹脂	硬化剤併用、不揮発分 30%, 常温接着用	同 上
	同 上	同 上	20°C, 24hr 接着後直ちに試験
ユリア樹脂系	ユリア樹脂接着剤 No. 1	木材接着用(常温硬化) 硬化剤併用、粘稠液体 耐湿性	金属接着には常温(20°C) 24hr で強度出ず(未硬化) 80°C, 5hr 硬化加熱処理
	ユリア樹脂接着剤 No. 2	同 上 硬化剤を混合したとき部分的にゲル状を呈しユリア樹脂接着剤 No. 1 に較べて塗布し難い。	同 上
	Urac resin 185 (American Cyanamid Co.,)	木材接着を主とする。 硬化剤併用。 結合剤の不揮発分 55.3%	同 上
フラン樹脂	ヒタフラン 0 号 ⁽³⁾	耐酸、耐アルカリ、耐溶剤、耐摩耗性特殊合成樹脂 上記特性を具えた特殊塗料として主用途あり。加熱硬化性	塗布後 30 分放置してから接着、80°C, 2hr, 更に 140°C, 4hr 加熱処理
	ヒタフラン 30 号 ⁽⁶⁾	同上、硬化性は 0 号より速い。	同 上
ビニル樹脂系	ビニル樹脂接着剤 No. 1	—	塗布 30 分後、80°C, 3hr 加熱処理
	ビニル樹脂接着剤 No. 2	—	同 上
	ビニル樹脂接着剤 No. 3 (共重合体)	PVC, PVA の共重合体 T. C. P. 併用	同 上
	ビニルブチラール接着剤	PVB にフェノール樹脂併用 T. C. P. 併用	同 上
	ビニルフォルマール接着剤	PVF にフェノール樹脂併用	同 上
	ビニル樹脂接着剤 No. 3	塩化ビニリデン及び PVC 共重合体 T. C. P. 併用	同 上
ゴム系	ゴム系接着剤 No. 1	環化ゴムと思われる	塗布 30 分後 80°C, 3hr 加熱処理
	Pliobond 20 (Goodyear Co.,)	合成ゴム(Buna N) にフェノール樹脂を併用したものらしい組成不詳、ケトン類を溶剤とする。不揮発分約 30%	同 上
	4678 Adhesive (Du Pont Co.,)	同 上 不揮発分 24%	塗布 30 分後 80°C, 2hr, 更に 140°C, 4hr 加熱処理
セルローズ系	セルローズ系接着剤 No. 1	—	塗布後直ちに接着、80°C, 3hr 加熱処理
蛋白質系	蛋白質系接着剤 No. 1	—	同 上
エポキシ樹脂系	Araldite Type 1. (Ciba Ltd.,)	Polyarylethyleneoxide 化合物 熱硬化性、粉状又は固形	試片を約 100°C に加熱して接着剤を熔融塗布後 180°C, 3hr 加熱処理
	Araldite Type XV (Ciba Ltd.,)	同 上 但し硬化剤併用、液状	塗布後直ちに接着、80°C, 2hr 更に 140°C, 7hr 加熱処理
	Araldite Type 102 (Ciba Ltd.,)	同 上 硬化剤併用、常温接着用	塗布後直ちに接着 80°C, 3hr 加熱処理 常温用なれど加熱処理しても可いので加熱した。

- 備考 1. 各接着剤で接着処理した試験片は 24hr, デシケーター中に放冷した後直ちに試験を行つた。
2. 各接着剤には最適接着条件があるが、その判つていないものは種別、組成等から判断して経験的に行つた。金属に対する非適応接着剤、例えばユリア樹脂系のものは木材接着の最適条件では接着しないので加熱硬化を行つてみた。
3. 外国製接着剤以外は何れも我国の有数メーカーの製品又は試作品であつて、商品名又は組成の詳細は発表を差控えた。ヒタフランは日立が我国では始めて合成したのでそのまゝ発表した。

第2表 抗張試験 (i) 接着圧 0.2kg/cm² 荷重速度 5kg/secTable 2. Tensile Test (i) Contact Pressure 0.2kg/cm², Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均	$\bar{x}$	49.2	4.0	108.6	6.7	111.0	6.8	102.8	5.4	101.2	3.6
偏 差	u	50.9	2.4	23.5	4.0	34.5	4.9	22.7	3.2	44.7	2.1
Range	R	109	6.0	59	10.1	73	12.2	56	7.9	121	5.2

第3表 抗張試験 (ii) 接着圧 2kg/cm² 荷重速度 5kg/sec.Table 3. Tensile Test (ii) Contact Pressure 2kg/cm², Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均	$\bar{x}$	129.6	1.3	135.4	2.6	128.8	1.7	56.6	1.9	43.8	1.8
偏 差	u	25.1	0.4	20.3	0.6	28.2	1.0	25.9	0.5	23.1	0.6
Range	R	42	0.9	50	1.4	65	2.5	67	1.3	54	1.2

第4表 抗張試験 (iii) 接着圧 20kg/cm² 荷重速度 5kg/secTable 4. Tensile Test, (iii) Contact Pressure 20kg/cm², Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均	$\bar{x}$	94.8	0.7	131.0	1.2	155.2	0.8	93.4	0.7	100.6	0.7
偏 差	u	10.2	0.1	8.0	0.1	22.9	0.1	25.9	0.1	20.8	0.1
Range	R	24	0.2	22	0.3	62	0.2	64	0.3	56	0.3

第5表 抗張試験 (iv) 接着圧 0.2kg/cm² 荷重速度 40kg/secTable 5. Tensile Test. (iv) Contact Pressure 0.2kg/cm², Loading Speed 20kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均	$\bar{x}$	—	—	25.3	3.2	202	13.2	—	—	186	4.2
偏 差	u	—	—	61.4	0.4	74	6.2	—	—	111	1.7
Range	R	—	—	171	1.0	167	13.6	—	—	279	4.2

第6表 抗張剪断試験 (i) 接着圧 0.1kg/cm² 荷重速度 5kg/secTable 6. Shear Test under Tension Loading (i) Contact Pressure 0.1kg/cm², Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (cg/km ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚
測定値									
平 均	$\bar{x}$	9.8	9.3	36.8	5.8	37.8	7.6	49.8	4.4
偏 差	u	2.3	2.0	7.9	12	5.4	2.1	14.6	3.5
Range	R	7	6.4	21	3.1	14	5.2	34	8.7

第7表 抗張剪断試験 (ii) 接着圧 1kg/cm² 荷重速度 5kg/sec.Table 7. Shear Test under Tension Loading (ii) Contact Pressure 1kg/cm², Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚
測定値									
平 均	$\bar{x}$	15.8	2.5	23.8	1.2	25.6	2.9	42.4	2.0
偏 差	u	2.3	0.6	7.0	0.8	6.2	1.1	7.3	0.6
Range	R	6	1.6	17	1.9	17	2.8	18	1.6

第 8 表 抗張剪断試験 (iii) 接着圧 10kg/cm², 荷重速度 5kg/sec.Table 8. Shear Test under Tension Loading (iii) Contact Pressure 10kg/cm² Loading Speed 5kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚
測定値									
平 均 $\bar{x}$		10.6	0.3	19.8	0.2	14.8	0.5	35.4	0.5
偏 差 u		4.2	0	4.3	0	2.8	0.1	3.2	0
Range R		11	0	10	0	7	0.2	8	0

第 9 表 抗張剪断試験 (iv) 接着圧 0.1kg/cm² 荷重速度 40kg/sec

Table 9. Shear Test under Tension Loading (iv) Contact Pressure 0.1 kg/sec. Loading Speed 40 kg/sec.

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	原	強	厚	強	厚
測定値									
平 均 $\bar{x}$		19.4	5.6	32.4	2.0	60.3	2.0	54	3.5
偏 差 u		4.8	0.64	13.8	0.7	8.5	0.38	14.5	1.5
Range R		12	1.6	38	1.9	20	0.8	31	3.5

第 10 表 抗張剪断試験 (v) 接着圧 0.1kg/cm², 荷重速度 5kg/sec. 接着面積 1/2□'' (1''×1/2'')Table 10. Shear Test under Tension Loading (v) Contact Pressure 0.1kg/cm², Loading Speed 5 kg/sec. Glued Area 1/2□'', (1×1/2'')

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚
測定値									
平 均 $\bar{x}$		40.2	3.2	59.2	1.5	50	2.2	85.2	3.3
偏 差 u		4.9	1.0	8.8	0.12	6	0.17	16.6	0.88
Range R		11	2.9	22	0.3	14	0.4	34	2.3

第 11 表 抗張剪断試験 (vi) 接着圧 0.1kg/cm², 荷重速度 5kg/sec, 接着面積 2□'' (1''×2'')Table 11. Shear Test under Tension Loading (vi) Contact Pressure 0.1kg/cm², Loading Speed 5kg/sec, Glued Area 2□'' (1''×2'')

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚
測定値									
平 均 $\bar{x}$		14.0	5.4	27.0	3.6	37.2	5.0	33.2	4.1
偏 差 u		1.6	1.7	2.7	0.77	6.5	1.43	7.5	1.22
Range R		4	4.1	7	1.9	16	3.9	21	3.1

第 12 表 圧縮剪断試験 (i) 接着圧の加え方に特に注意を払はなかつた場合

Table 12. Shear Test under Compression Loading (i) when Thickness of Adhesive Layer is In-constant

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均 $\bar{x}$		—	—	114.8	7.4	79.4	3.8	86.8	1.4	—	—
偏 差 u		—	—	13.0	2.1	29.0	1.09	10.2	0.09	—	—
Range R		—	—	33	5.7	70	2.8	25	0.2	—	—

第 13 表 圧縮剪断試験 (ii) 接着圧の加え方を注意し特に接着層の偏肉を防いだ場合

Table 13. Shear Test under Compression Loading (ii) when Thickness of Adhesive Layer is Uniform

材 料	項目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度 (kg/cm ²)	厚 (1/100mm)	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値											
平 均 $\bar{x}$		35.6	2.0	106.2	3.3	84.8	1.4	299.4	—	—	—
偏 差 u		4.9	0.48	10.0	1.7	18.9	0.31	10.4	—	—	—
Range R		12	1.2	23	4.2	49	0.7	27	—	—	—

瞭ではないが同様の傾向は認められる。

(C) 圧縮剪断試験

試験片の材料としては銅、アルミニウム、真鍮、鉄、不銹鋼の5種をとり接着圧は 0.1 kg/cm^2 以下、荷重速度は 80 kg/sec (アムスラー 2t の自動荷重速度)、接着面積は 19.6 cm^2 (約 $3 \square'$) である。第12表、第13表に結果を示す。

上記の結果をみれば試験片材料として銅は接着強度が弱く鉄が強いことは明らかであり抗張、剪断の場合と同傾向である。抗張剪断の場合とは面積、荷重速度等が異なるが強度の値は一般に大きいようである。又鉄の強度が第12表、第13表で著しく異なる点は注目すべきで、接着の方法が強度に大きな影響を与えることのある一例であろう。この場合第13表の試験片は剥離面が著しくフェノール樹脂に犯され特殊な樹枝状模様を示しているのが認められた。

(D) 衝撃試験

銅、アルミニウム、真鍮、鉄及び不銹鋼の5種類の金属について接着圧 0.1 kg/cm^2 一定で行った。接着強度は単位接着面積当りの吸収エネルギー kg-cm/cm^2 で与えられる。

実測結果を第14表に示す。

第14表をみると衝撃値の金属による差異は偏差のため明らかではないが、やはり鉄は銅より大きいようである。

以上行つた(A)~(D)項の各種試験法による実験結果は一般に偏差が大きいので、適宜分散分析法を用いて各種要因の有意差判定を試みた。又接着圧、接着面積等それらの影響の明らかな場合はこれを簡単な関係式で表わしてみた。以下各項目毎に実験結果を纏めて検討する。

(i) 抗張強度と接着圧、試片材質

第2表~第4表の強度平均値を纏めると第15表の如くである。

本表に於て*印を附した値は他の値に比して特に低いので再実験した結果それぞれ $44.2(49.2)$, $82.2(56.6)$, $60.7(43.8)$ を得た。(括弧内は元の値) 偏差を考えると大差ないので元の値をそのまま用いることにした。表に於て各接着圧については*印を附した値は材質による有意差(5% 限界、以下特にことわらなければ5% をとる)が認められる。但し表全体の値について接着圧の試片材料の有意差検定を試みると分散比がそれぞれ $1.0(<5.14)$, $2.75(<4.53)$, $2.75(<4.53)$ であつて有意差は認められない。表の平均値だけをみると接着圧によつて多少強度が増し、試片材料としてはアルミニウム、真鍮が他に比して強度が稍大きいように見受けられる。これらの点は更に実験を行うことにより明らかとなるう。

(ii) 抗張強度の偏差と接着圧、試片材質

第2表~第4表の強度偏差の値を強度の平均値に対する%であらわして纏めると第16表の如くなる。

第14表 衝撃試験、強度 kgcm/cm^2

材 料	項 目	銅		アルミニウム		真 鍮		鉄		不 銹 鋼	
		強 度	厚	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
	測定値	(kg-cm/cm^2)	($1/100\text{mm}$)								
平 均	$\bar{x}$	13.9	5.2	16.7	2.4	18.9	3.4	25.2	4.6	19.7	2.5
偏 差	σ	3.3	1.28	5.4	0.77	5.1	1.14	11.4	3.4	4.3	1.33
Range	R	8.6	3.5	11.4	1.8	13.0	3.0	29.5	6.9	9.5	3.3

Table 14. Impact Test. Strength, kgcm/cm^2

第15表 抗張強度、まとめ表

Table 15. Arranged Table of Tensile Strength

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	不 銹 鋼	平 均 値
接着圧						
0.2 kg/cm^2	49.2^* kg/cm^2	108.6	111.0	102.8	101.2	94.6
2 //	129.6	135.4	128.8	56.6^*	43.8^*	98.8
20 //	94.8	131.0	155.2	93.4	100.6	115.0
平 均 値	91.2	125.8	131.7	84.3	81.9	102.8 kg/cm^2

第16表 抗 張 強 度 偏 差 率 ま と め 表

Table 16. Arranged Table for Deviation Percentage of Tensile Strength

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	不 銹 鋼	平 均 値
接着圧						
0.2 kg/cm^2	10.3%	21.5	31	21.9	44	44.3
2 //	19.5	14.9	21.8	45.7	52.7	30.9
20 //	10.7	6.1	14.7	27.6	20.6	17.9
平 均 値	44.4	14.1	22.5	31.7	39.1	31.0%

この表から抗張強度偏差率の接着圧及び試片材料による有意差を検定すると分散比がそれぞれ 1.78 (<5.14) 0.77 (<4.53) でいづれも有意差は認められない。但し平均値だけを見れば接着圧の増加と共に偏差率は減少し、材質的には、アルミニウム、真鍮が小さい値を示している。

(iii) 抗張剪断強度と接着圧、試片材質

第 6 表～第 8 表から抗張剪断強度の平均値を纏めると第 17 表になる。

表の * 印の値は再実験の結果 16.8 となつたが元の値を掲げた。表の値から接着圧及び試片材料について分散分析を行うと分散比がそれぞれ 5.38 (>5.14), 13.9 (>4.76) でいづれも有意差が認められる。即ち接着圧の増加と共に強度は減少する。この関係を式で表わせば強度及び接着圧をそれぞれ σ , P として略々 $\sigma \propto P^{-\frac{1}{8}}$ が成立する。次に材料差としては、銅<アルミニウム、真鍮<鉄が明らかである。接着圧による変化は簡単に説明

し難いが材料による差異は銅がフェノール樹脂に腐蝕され難いこと及び鉄が剛性の大きい事等に関連すると思われる。

(iv) 抗張剪断強度の偏差率と接着圧及び試片材料

抗張剪断強度の偏差率(偏差値の平均値に対する比率)を表にすれば第 18 表となる。表で明らかな如く偏差率には接着圧及び材料による有意差は認められない。

(v) 抗張剪断強度と接着面積及び試片材料

第 6 表、第 10 表及び第 11 表から抗張剪断強度の接着面積による変化を纏めると第 19 表となる。

表の値から接着面積及び試片材料について分散分析を行うと分散比がそれぞれ 14.8 (>5.14), 8.4 (>4.76) でいづれも有意差が認められる。即ち接着面積の増加と共に強度は減少する。この関係を式で表わせば、強度及び接着面積をそれぞれ σ , S として略々 $\sigma \propto S^{-\frac{1}{2}}$ が成立する。次に材料差は (iii) と同様、銅<アルミニウム、真鍮>鉄となつている。

第 17 表 抗 張 剪 断 強 度 と 接 着 圧 ま と め 表

Table 17. Arranged Table of Shearing Strength under Tension Loading and Contact Pressure

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	平 均 値
接 着 圧					
0.1kg/cm ²	9.8*kg/cm ²	36.8	37.8	49.8	33.6
1 //	15.8	23.8	25.6	42.4	26.9
10 //	10.6	19.8	14.8	35.4	20.2
平 均 値	12.1	26.8	26.1	42.5	26.9kg/cm ²

第 18 表 抗 張 剪 断 強 度 偏 差 率 ま と め 表

Table 18. Arranged Table for Deviation Percentage of Shearing Strength under Tension Loading

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	平 均 値
接 着 圧					
0.1 kg/cm ²	23.4%	21.5	14.3	29.3	24.6
1 //	14.5	29.4	24.2	17.2	21.3
10 //	39.6	21.7	18.8	9.0	22.3
平 均 値	25.8	24.2	19.1	18.5	22.7%

第 19 表 抗 張 剪 断 強 度 と 接 着 面 積 ま と め 表

Table 19. Arranged Table of Shearing Strength under Tension Loading and Glued Area

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	平 均 値
接 着 面 積					
1''×0.5''	40.2kg/cm ²	59.2	50.0	85.2	58.7
1''×1''	9.8	36.8	37.8	49.8	33.6
1''×2''	14.0	27.0	37.2	33.2	27.9
平 均 値	21.3	41.0	41.7	56.1	40.1kg/cm ²

第 20 表 抗 張 剪 断 強 度 偏 差 率 と 接 着 面 積 ま と め 表

Table 20. Arranged Table for Deviation Percentage of Shearing Strength under Tension Loading and Contact Area

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	平 均 値
接 着 面 積					
1''×1/2''	12.1%	14.8	12.0	19.5	14.6
1''×1''	33.4	21.5	14.3	29.3	24.6
1''×2''	11.4	10.0	17.5	22.5	15.4
平 均 値	19.0	15.4	14.6	23.8	18.2%

接着面積による強度の変化は面に於ける接着強度の分布を考えれば了解されると思う。

(vi) 抗張剪断強度偏差率と接着面積及び試片材料強度偏差率と接着面積の関係を示せば第20表となる。表で明らかな如く強度偏差率には接着面積及び材料による有意差は認められない。

(vii) 圧縮剪断強度と試片材料
第13表から明らかな如く試片材料による有意差は認められ、銅<アルミニウム、真鍮、不銹鋼<鉄の順であつて、この関係は(iii), (v)の抗張剪断強度の場合と一致している。

(viii) 衝撃強度と試片材料
第14表の値から衝撃強度の試片材料による有意差検定を行うと僅かの差で有意差なしと云う結果が出る。但し表の鉄の偏差が大きいこと及び剪断強度に於ける結論を考慮すればやはり銅<鉄の有意差はあると思う。

(ix) 接着強度と荷重速度
抗張強度及び抗張剪断強度いづれの場合にも接着強度が荷重速度によつて増加することは既に述べたが、表に纏めると第21表となる。

抗張剪断強度の方はデータのばらつきも大きく且つ荷重速度の影響も少ないようである。荷重速度の比は40:5=8であるから、接着強度 σ の荷重速度 V に対する関係は略々 $\sigma \propto V^{\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}}$ となる。材料の破壊電圧と電

第21表 接着強度と荷重速度 (40kg/sec と 5kg/sec の強度比)
Table 21. Adhesive Strength and Loading Speed—: Ratio of Strength between 40kg/sec and 5kg/sec

材 料	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	不 銹 鋼	平 均 値
試 項						
抗 張	—	2.32	1.82	—	1.84	1.99
抗 張 剪 断	1.93	0.88	1.60	1.09	—	1.38

第22表 接着層の厚さと接着圧の関係 (抗張試験片の場合)
Table 22. Relation between Thickness of Adhesive Layer and Contact Pressure
(in case of piece for tension test)

材 質	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	不 銹 鋼	平 均 値
接 着 圧						
0.2 kg/cm ²	1/100mm 4.0(2.4)	6.7(4.0)	6.8(4.9)	5.4(3.2)	3.6(2.1)	5.3(3.3)
2 //	1.4(0.4)	2.6(0.6)	1.7(1.0)	1.9(0.5)	1.8(0.6)	1.9(0.6)
20 //	0.7(0.1)	1.2(0.1)	0.8(0.1)	0.7(0.1)	0.8(0.1)	0.8(0.1)
平 均 値	2.0(1.0)	3.5(1.6)	3.1(2.0)	2.7(1.3)	2.0(0.9)	3.3(1.3)

備考 ()内は偏差値を示す。

第23表 接着層の厚さと接着圧の関係 (抗張剪断試験片の場合)
Table 23. Relation between Thickness of Adhesive Layer and Contact Pressure
(in case of piece for shear test under tension loading)

材 質	銅	アルミニウム	真 鍮	鉄	不 銹 鋼	平 均 値
接 着 圧						
0.1 kg/cm ²	9.3(2.0)1/100mm	5.8(1.2)	7.6(2.1)	4.4(3.5)	—	6.8(2.2)
1 //	2.5(0.6)	1.2(0.8)	2.9(1.1)	2.0(0.6)	—	2.2(0.8)
10 //	0.3(0)	0.2(0)	0.5(0.1)	0.5(0.2)	—	0.4(0.1)
平 均 値	4.0(0.9)	2.4(0.7)	3.7(1.1)	1.3(1.4)	—	3.1(1.0)1/100mm

備考 ()内は偏差値を示す。

圧上昇速度の間にも略々同様な関係が知られているが、原因はやはり接着面の不均一性にあると思われる。

(x) 接着層の厚さと接着圧
接着層の厚さと接着圧の関係を纏めると第22表、第23表の如くなる。

上表から接着層の厚さは接着圧によつて明らかに変化するが材料による差異は認め難い。接着層厚さを δ 、接着圧を P とすれば $\delta \propto P^{\frac{1}{2}}$ が略々成立する。又厚さの偏差は約30%程度である。

(xi) 接着強度と接着剤の材質強度その他
以上述べたように1□//程度の接着面では抗張、剪断ともに接着強度は100kg/cm²程度である。抗張剪断強度は約30kg/cm²であるが板厚が大きくなれば相当強度は増す筈である。一方フェノール樹脂の強度は300~500kg/cm²であるから有効接着面積率を70%としても接着剤破壊が起るためには200~300kg/cm²以上の接着強度が必要である。従つて実測の示す如く破壊は悉く接着面の剝離で行われたわけである。

(xii) 試験片箇有のくせ、接着層の厚さと接着強度
一つの試験は5箇の試験片を用いて行い且同じ試験片を繰返して使用したが、各々の試験片に個有のくせがないかどうかを調べたがそれは認められなかつた。又箇々の実測値について接着層の厚さと接着強度の間に直接の関係があるかどうかを調べたがそれは認められなかつた。

(2) 各種有機接着剤の抗張剪断強度の比較

第 1 表の各種接着剤について試験片材料は全部鉄のみとして抗張剪断強度を比較した。接着圧は何れも $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 、引張り荷重速度は $5\text{kg}/\text{sec}$ に一定し接着温度及び時間は第 1 表のそれぞれの接着条件に拠った。

実験結果を取纏めて第 24 表に示す。

第 24 表を通覧すると一般に偏差が大きいのので適宜分散分析法を用いて主要接着剤相互の強度比較を行つた。

(A) 同一系列の接着剤相互の強度比較

一元配置法により同一系列の接着剤相互の強度を比較して有意差の有無を検定した結果を第 25 表に示した。

(B) 異種系列の接着剤相互の強度比較

(A)と同様にして異種系列の接着剤相互の強度を比較した結果を第 26 表に示した。

第 25 表、第 26 表の結果から同一系列にある接着剤相互の間には一、二の例外を除けば有意差があるとは認められなかつた。エポキシ樹脂であるアララダイト 1 型 (Araldite Type 1) と XV 型 (type XV) に有意差のあるのは、両者は品種の異なつたものであるからである。

異種系列にある接着剤ではフェノール樹脂、ユリア樹脂、フラン樹脂共に大差はなく、これら縮合型樹脂とビニル樹脂の間には有意差があると認められビニル樹脂の方が接着強度も大きくなつてゐる。ビニル樹脂とゴム系では有意差があるとは云えなかつたが平均値をみれば (第 7 図参照) ゴム系接着剤が強度が一般に大きい。更にゴム系とエポキシ樹脂の間では有意差があると認められ

且つ後者の強度は大である。

以上の結果から鉄-鉄の接着には抗張剪断強度について比較する。

フェノール系接着剤 $\leq$ ユリア樹脂系 $\leq$ フラン樹脂系 $\leq$ ビニル樹脂系 $\leq$ ゴム系 $\ll$ エポキシ樹脂の傾向を示し、本実験のみで断定は出来ないがエポキシ樹脂を除いては三次元縮合型のものより一般に鎖状構造の接着剤が鉄-鉄の接着には適しているように思われる。これは後者の型の接着剤が弾性又は可塑性を有するためであろう。

(C) 剝離状態

剝離部位はプライオボンド 20 (Pliobond 20) は 5 箇中 3 箇は接着剤層で剝離、他の 2 箇は接着面で剝離、ビニル樹脂系は一部接着層で剝離、他の接着剤は全部接着面で剝離している。接着模様は不規則であるが異種接着剤間では多少異つた様相を呈している。一般に熱硬化性のものは脆く熱可塑性接着剤は粘り強く接着している、但しエポキシ樹脂のみは硬く然も脆弱性もなく強固に結合している。又フェノール樹脂は試片の表面を多少犯した形跡が認められた。

(3) 各種有機接着剤の剝離強度の比較

第 1 表の接着剤から代表的なものを 10 種選出し、試験片材料は真鍮、銅、デュラルミン及び鉄について剝離強度を比較した。接着圧は何れも $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 、引張り荷重速度は $5\text{kg}/\text{sec}$ に一定し接着温度及び時間は第 1 表のそれぞれの接着条件に従つた。尚試験片を加工製作した時の面がラップ仕上げであつたので、フェノール樹脂についてはアランダム研磨紙による仕上面との比較をも参考のため行つてみた。

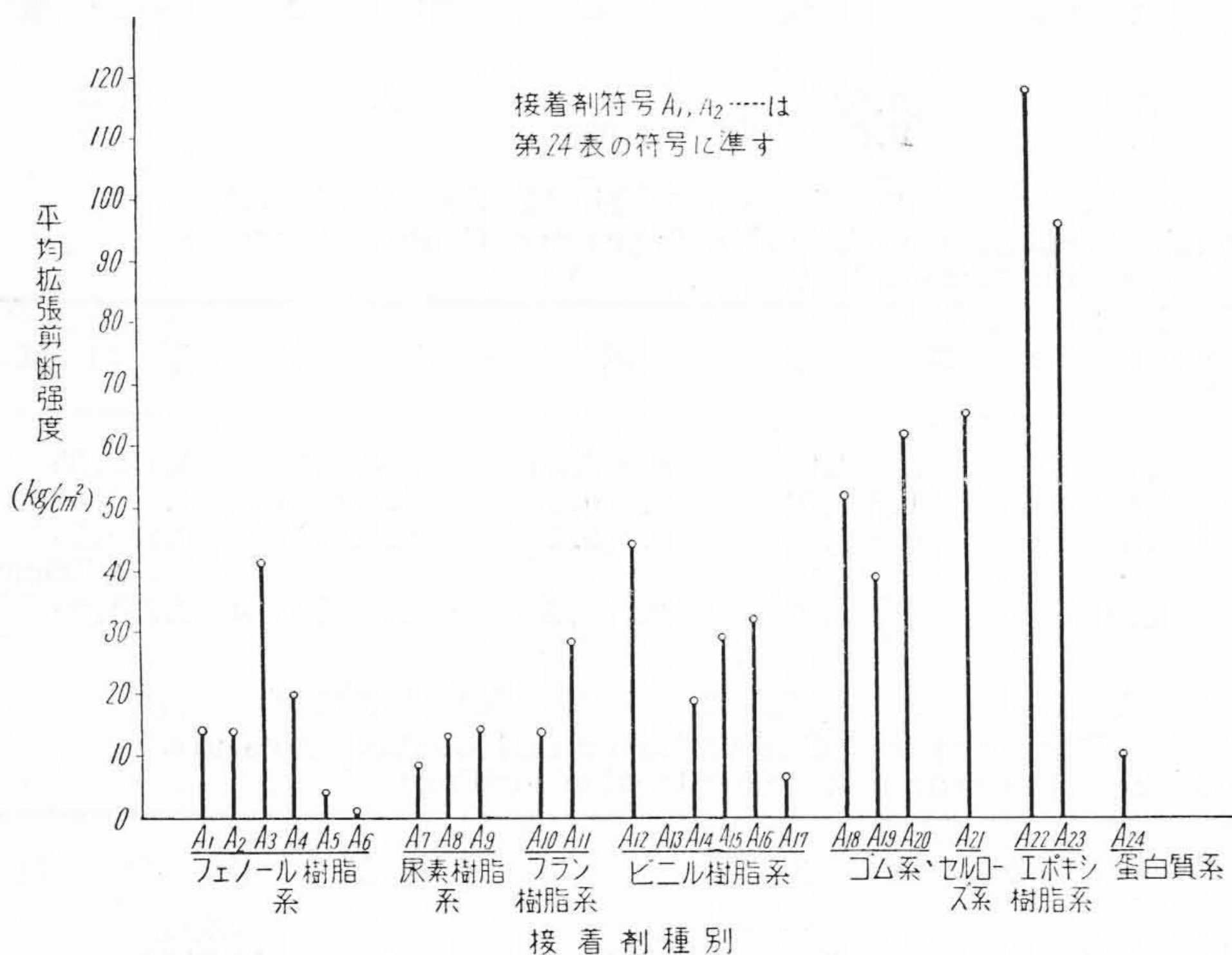
実験結果を取纏めて第 27 表 (78 頁参照) に示す。

仕上面を異にしたフェノール樹脂の剝離強度については特に分散分析を行い、他の接着剤では分散分析は行わず大体の傾向を図から推定した。

(A) 試験片の仕上面を異にした場合のフェノール樹脂の剝離強度比較

第 27 表の仕上面を異にしたフェノール樹脂の剝離強度を抗張剪断試験と同様にして分散分析を行つた結果を第 28 表に示した。

第 28 表の結果からラップ仕上



第 7 図 各種有機接着剤の平均抗張剪断強度
Fig. 7. Mean Value of Shearing Stress under Tension Loading of Various Organic Adhesives

第 24 表 各種接着剤の抗張剪断強度

Table 24. Shear Strength (under tension loading) of Various Adhesives

接着剤 項目	フェノール樹脂接着剤 (A ₁) No.1		同 左 (A ₂)		フェノール樹脂接着剤 (A ₃) No.2		同 左 (A ₄)		レゾルシン樹脂 (常温接着) (A ₅)	
	強度 kg/cm ²	厚 1/100mm	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値										
平均 $\bar{x}$	14.4	—	14.3	—	41.4	—	20.2	—	4.1	—
偏差 u	2.47	—	1.71	—	6.2	—	2.6	—	0.4	—
Range R	5.5	2(3~5)	3	2(3~5)	15.4	1(2~3)	6.2	3(2~5)	0.8	1(3~4)
接着剤 項目	レゾルシン樹脂 (高温接着) (A ₆)		ユリア樹脂接着剤 (A ₇) No.1		ユリア樹脂接着剤 No. 2 (A ₈)		Urac Resin (A ₉) 185		ヒタフラン 0 号 (A ₁₀)	
	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値										
平均 $\bar{x}$	1.08	—	8.74	—	13.6	—	14.7	—	13.95	—
偏差 u	0.5	—	1.16	—	1.51	—	3.4	—	1.79	—
Range R	0.77	1(2~3)	2.35	2(5~7)	3.1	2(6~8)	7.8	3(5~8)	3.1	2(2~4)
接着剤 項目	ヒタフラン 30 号 (A ₁₁)		ビニル樹脂接着剤 No.1 (A ₁₂)		ビニル樹脂接着剤 No.2 (A ₁₃)		ビニル樹脂接着剤 (共重合体) No.3 (A ₁₄)		ビニルブチラール接着剤 (A ₁₅)	
	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値										
平均 $\bar{x}$	28.65	—	44.56	—	97.9	—	18.9	—	28.9	—
偏差 u	8.66	—	9.34	—	8.27	—	2.3	—	5.07	—
Range R	18.6	3(2~5)	27.7	4(2~6)	20.5	2(2~4)	6.2	2(5~7)	12.4	2(2~4)
接着剤 項目	ビニルフォルマール接着剤 (A ₁₆)		ビニル樹脂接着剤 No.4 (A ₁₇)		ゴム系接着剤 (A ₁₈)		Pliobond 20 (A ₁₉)		4678 Adhesive (A ₂₀)	
	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚
測定値										
平均 $\bar{x}$	32.2	—	6.7	—	52.3	—	39.2	—	62	—
偏差 u	3.4	—	1.6	—	25.6	—	5.47	—	8.14	—
Range R	7.8	3(2~5)	3.1	1(3~4)	56	3(2~5)	7.8	2(3~5)	20.8	3(2~5)
接着剤 項目	セルローズ系接着剤 No.1 (A ₂₁)		Araldite type 1 (A ₂₂)		Araldite type XV (A ₂₃)		蛋白質系接着剤 No.1 (A ₂₄)			
	強	厚	強	厚	強	厚	強	厚		
測定値										
平均 $\bar{x}$	65.1	—	118.4	—	95.6	—	10.5(2箇)	—		
偏差 u	6.84	—	10.68	—	15.8	—	—	—		
Range R	16.9	3(3~6)	30	4(4~8)	36	3(2~5)	—	1(5~6)		

第 25 表 同一系列の接着剤有意差検定

Table 25. Test of Significance for the Similar Type Adhesives

系 列	比較接着剤	$ T_1 - T_2 $ 又は $ 4T_1 - 5T_2 $ *	$\sqrt{2n\epsilon^2 F(\alpha)}$ (ϵ^2 の df)	有意差の有無
フェノール樹脂系	A ₁ : A ₄	24	99.17	無
//	A ₁ : A ₃	130.3	//	有
ユリア樹脂系	A ₇ : A ₈	98.3*	420.1	無
//	A ₇ : A ₉	119.2*	//	//
フラン樹脂系	A ₁₀ : A ₁₁	293*	//	//
ビニル樹脂系	A ₁₂ : A ₁₃	266.5	99.17	有
//	A ₁₂ : A ₁₅	83	//	無
//	A ₁₅ : A ₁₆	21.4	//	//
ゴム系	A ₁₈ : A ₁₉	65.5	//	//
//	A ₁₈ : A ₂₀	48.8	//	//
エンキシン樹脂	A ₂₂ : A ₂₃	114.2	99.17	有

- 備考 1. 接着剤の符号 ((A₁, A₂...)) は第 24 表の接着剤名称右端 () 内のものを示す。
 2. *印は試料数 4 箇のもの。

第 26 表 異 種 系 列 の 接 着 剤 有 意 差 検 定
Table 26. Test of Significance for the Different Type Adhesives

系	列	比 較 接 着 剤	$ T_1 - T_2 $	$\sqrt{2n\epsilon^{1/2}F'(\alpha)}$ ($\epsilon^{1/2}$ の df)	有意差の有無
フェノール樹脂系とユリア樹脂系 フェノール樹脂系とフラン樹脂系 フェノール樹脂系とビニル樹脂系 ビニル樹脂系とゴム系 ゴム系とエトキシリン		$A_1 : A_8$	8.6	99.17	無
		$A_1 : A_{11}$	66.4	//	//
		$A_1 : A_{12}$	146	//	有
		$A_{12} : A_{18}$	38.6	//	無
		$A_{20} : A_{22}$	281.3	99.17	有

第 27 表 各 種 接 着 剤 の 剥 離 強 度、接 着 圧 1 kg/cm²、荷 重 速 度 5 kg/sec.

Table 27. Cleavage Strength of Various Adhesives. Contact Pressure 1 kg/cm², Loading Speed 5 kg/sec

接着剤 被接着材	フェノールレジン接着剤 No. 1 (A_1)				フェノール樹脂接着剤 No.1(A_1)(ラップ仕上)			
	B_1 真 鍮	B_2 銅	B_3 デュラル ミン	B_4 鉄	B_5 真 鍮	B_6 銅	B_7 デュラル ミン	B_8 鉄
測定値								
平 均 $\bar{x}$	31.1 kg/cm ²	30.8	36.6	58.2	29.3	26.7	38	86.4
偏 差 u	7.42	3.54	8.09	3.44	24.2	9.45	11.03	2.9
Range R	18.5	8.5	19	7.9	37.4	25.7	29.6	7.7 kg/cm ²

接着剤 被接着材	ユリア樹脂接着剤 No.1 (A_7)				ヒタフラン 0 号 (A_{10})			
	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄
測定値								
平 均 $\bar{x}$	何れも接着処理後圧締器具より			3.6kg/cm ²	—	—	32.2	37.0
偏 差 u	取出すと同時に剥離し接着せず			1.9	—	—	6.64	8.82
Range R				3.8	—	—	15.5	21 kg/cm ²

接着剤 被接着材	ビニル樹脂接着剤 No. 1 (A_{12})				ビニル樹脂接着剤 No. 2 (A_{13})			
	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄
測定値								
平 均 $\bar{x}$	19.6 kg/cm ²	24.8	38.3	32.6	37.5	45.3	38.5	51.8
偏 差 u	2.22	6.59	5.72	3.7	4.08	2.0	5.7	3.76
Range R	5.4	10.9	13.9	8.4	9.4	4.6	10.0	10.0 kg/cm ²

接着剤 被接着材	Pliobond 20 (A_{19})				4678 Adhesive (A_{20})			
	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄
測定値								
平 均 $\bar{x}$	10.7 kg/cm ²	10.8	2.0	5.4	2.46	2.8	0.86	15.5
偏 差 u	5.23	7.44	0.69	3.34	2.39	2.75	0.33	6.89
Range R	9.3	1.7	1.55	7.0	4.4	5.4	0.3	17.3 kg/cm ²

接着剤 被接着材	ゴム系接着剤 No.1 (A_{18})				セルローズ系接着剤 No.1 (A_{21})			
	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄	真 鍮	銅	デュラル ミン	鉄
測定値								
平 均 $\bar{x}$	14.6 kg/cm ²	12.1	27.3	27	16.4	18.6	17.4	21.0
偏 差 u	5.75	3.95	1.84	2.17	4.06	8.04	10.6	3.84
Range R	15.5	8.5	4.7	5.5	10	18.7	23.9	14 kg/cm ²

接着剤 被接着材	Araldite type 102 (A_{25})							
	真 鍮	銅	デュラ ルミン	鉄				
測定値								
平 均 $\bar{x}$	23.4	32.0	44.7	44.0				
偏 差 u	6.83	7.91	1.72	4.8				
Range R	17.5	18.5	3.1	4.5				

面の場合真鍮と銅の間には有意差は認められないが、銅—デュラルミン、銅—鉄、デュラルミン—鉄ではそれぞれ有意差は認められ、強度は 銅≧真鍮≧デュラルミン≧鉄 の如くである。アランダム 400 番研磨紙による仕上面の場合も同様に、銅<デュラルミン<鉄の傾向を示している。仕上面を異にした場合は銅、真鍮、デュラルミ

第 28 表 仕上面及び被接着材質を異にした場合のフェノール樹脂剝離強度の有意差検定
Table 28. Test of Significance for Cleavage Strength of Phenol Resin in Various Adherents and Surface Finishing

仕 上 面	比較被接着材質	$ T_1 - T_2 $ 又は $ 4T_1 - 5T_2 $ *	$\sqrt{2n\epsilon'^2 F'(\alpha)}$ (ϵ'^2 の df)	有意差の有無
ラップ仕上面同志	B ₅ : B ₆	12.8	53.61	無
	B ₆ : B ₇	56.2	//	有
	A ₆ : B ₈	1193.2*	227.5	//
	B ₇ : B ₈	968.4*	//	//
アランダム No. 400 ペーパー仕上面同志	B ₂ : B ₃	119.5*	//	無
	B ₂ : B ₄	843.5*	//	有
	B ₃ : B ₄	724	53.61	//
ラップ及びアランダム No. 400 ペーパー仕上面比較	B ₆ : B ₂	77.7*	227.5	無
	B ₈ : B ₄	270 *	//	有

備考 1. 被接着材質の符号 (B₂, B₃...) は第 27 表の被接着材質名称右肩のものを示す。

2. * 印は試料数 4 ケのもの。

ンはそれぞれ有意差は認められず、鉄のみ有意差があると認められ強度はラップ仕上面の方が大きい。フェノール樹脂の他の強度試験で示す傾向と同様剝離強度の場合も、鉄は銅、真鍮、デュラルミンに較べて強度は大きい。この原因についてはフェノール樹脂中の遊離フェノールその他が他金属に較べて鉄と反応し易いので、接着面が活性化されて強度が出るものであろう。

(B) 各種有機接着剤の剝離強度の比較

第 27 表の各々の接着剤の剝離強度を第 8 図に示した。特に分散分析を行つてはみなかつたが大体の傾向は判る。

即ちフェノール樹脂、ビニル樹脂系、フラン樹脂及びエポキシ樹脂は何れも大なる差異はなく、セルローズ系

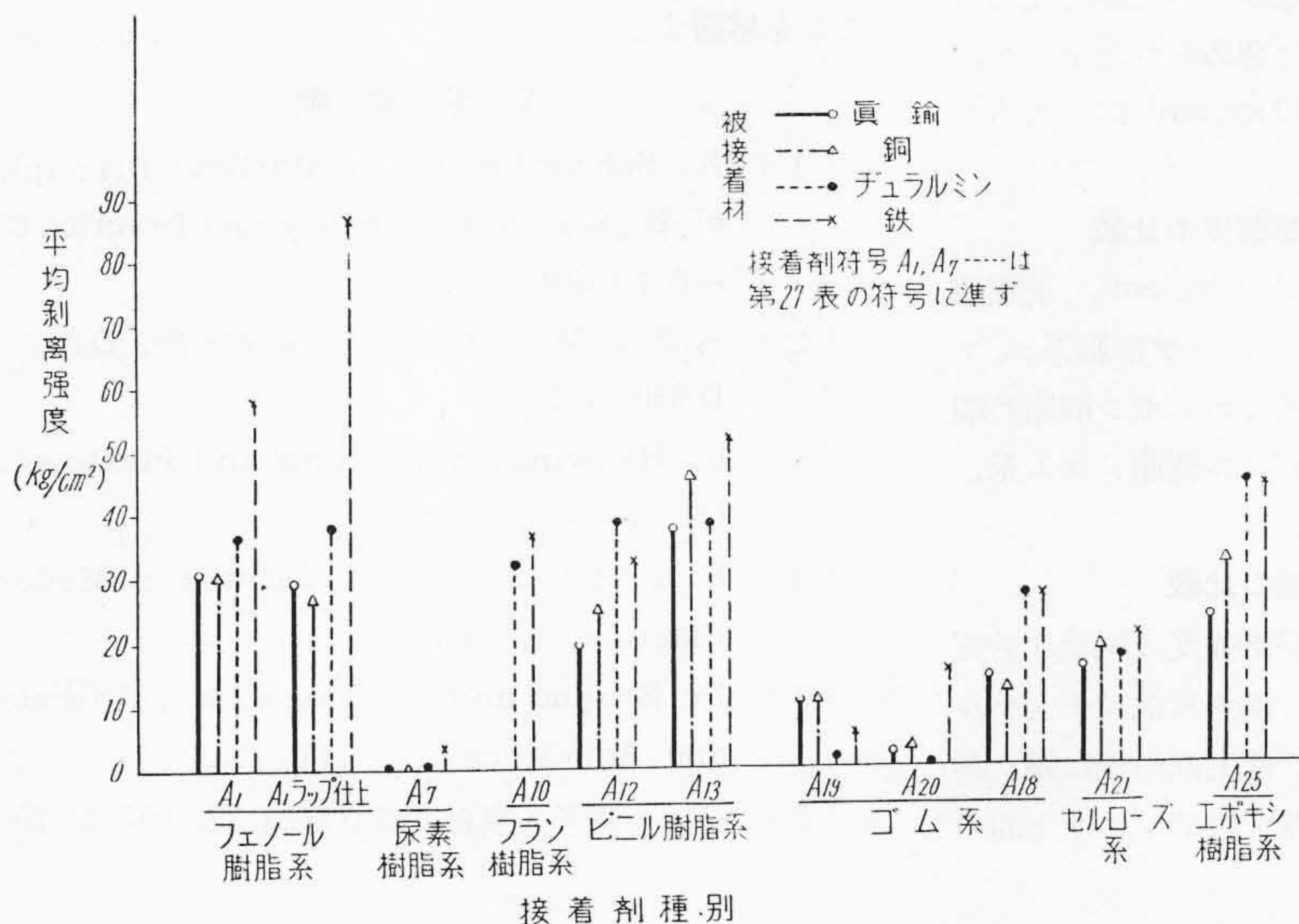
はこれに次ぎ更にゴム系へと強度は低下してゆきユリア樹脂系は著しく弱い結果を示している。

この傾向を抗張剪断強度の場合と比較してみると、ユリア樹脂系を除けば大体逆の傾向であつて、これは試験片を剝離する際に接着面又は接着剤層に働く応力の方向と、接着剤のレオロジカル（最近物質の変形、粘性流動についての力学的研究をレオロジー Rheologie と総称する）な性質との関係から生ずるものであろうが、他にも色々な原因があると考えられる。

試験片の材質による差は接着剤によつて多少の相異はあるが、真鍮<銅<デュラルミン<鉄の傾向がみられる。

(C) 剝離状態

剝離状態は大体抗張剪断強度試験の場合と同様でゴム系及びビニル樹脂系は一部接着剤層で剝離、他は全部接着面で剝離している。接着模様についても剪断試験と同様である。但しユリア樹脂接着剤は銅、デュラルミンと反応し前者では極淡緑色脆弱な粉末状、後者では白色脆弱な粉末状接着剤層となり試片は圧縮器具より取外しただけで直ちに剝離してしまつた。ゴム系の 4678 Adhesive は銅、真鍮鉄に作用したものが何れも接着剤層は黒褐色に変化していた。



第 8 図 各種有機接着剤の平均剝離強度
Fig. 8. Mean Value of Cleavage Strength of Various Organic Adhesives

[V] 総 括

以上金属に対する有機接着剤の接着強度に関して実験の数々

を行い、結果に対してはそれぞれの項で詳細に検討を加えたがこれを要約すれば次の如くである。

(1) フェノール樹脂接着剤の各種強度試験

(A) 抗張試験(接着面積 $1/2\text{cm}^2$ 、荷重速度 5kg/sec で A. S. T. M. の指定)の結果は強度が 100kg/cm^2 、偏差が 30% 程度であり金属材料及び接着圧 ($0.2\sim 20\text{kg/cm}^2$) による有意差は認められなかった。

(B) 抗張剪断試験(接着面積 1cm^2 、荷重速度 5kg/sec で A. S. T. M. 指定)の結果は強度が 30kg/cm^2 程度、偏差は 20% 程度であり金属材料、接着圧 ($0.1\sim 10\text{kg/cm}^2$) ともに有意差が認められた。材料については銅が弱く鉄が強い。接着圧についてはその $1/8$ 乗位に逆比例して強度が下る。又接着面積の約 $1/2$ 乗に逆比例して強度が下る。

(C) 圧縮剪断試験(接着面積約 3cm^2 、荷重速度 80kg/sec で A. S. T. M. 指定と多少異なる)の結果は大体 100kg/cm^2 程度の値であるが銅はこれより低く鉄は高い値が得られた。

(D) 衝撃試験(接着面積 1cm^2 、シャルピー試験機使用)の結果は 20kg-cm/cm^2 程度であり、金属材料としては銅が稍低く鉄は稍高い値が得られた。

(E) 荷重速度を 5kg/sec と 40kg/sec で比較したところ抗張試験で 1:2, 抗張剪断試験で 1:1.4 の平均値が得られた。即ち荷重速度を増すとその $1/3\sim 1/4$ 乗に比例して強度は増加する。

(F) 接着層の厚さは抗張、抗張剪断両試験共に接着圧の略々 $1/2$ 乗に逆比例して減少する。

(G) 破壊面を検べたところ剝離はすべて接着面で行われており、接着剤層破壊の部分は認められなかった。これはフェノール樹脂の強度が 300kg/cm^2 以上あることから了解し得る。

(2) 各種有機接着剤の抗張剪断強度の比較

抗張剪断強度(鉄-鉄間、接着圧 1kg/cm^2 、荷重速度 5kg/cm^2) はフェノール樹脂系 $\div$ ユリア樹脂系 $\leq$ フラン樹脂系 $\leq$ ビニル樹脂系 $\leq$ ゴム系 $\ll$ エポキシ樹脂の順に比較が示された。適応接着剤はビニル樹脂、ゴム系、エポキシ樹脂等が良いと思われる。

(3) 各種有機接着剤の剝離強度の比較

(A) フェノール樹脂接着剤の剝離強度は試験片材質については、仕上面を異にしても 銅 $\div$ 真鍮 $\leq$ デュラルミン $\ll$ 鉄 の順に強度は大となり、仕上面の差は銅、真鍮、デュラルミンは差を認めず、鉄ではラップ仕上面の

方がアランダム 400 番研磨紙仕上面より強度は大きい。

(B) 各種接着剤の剝離強度は試験片材質は異にしてもユリア樹脂 $\leq$ ゴム系 $\ll$ セルローズ系 $\leq$ フェノール樹脂 $\div$ ビニル樹脂 $\div$ フラン樹脂 $\div$ エポキシ樹脂 と強度は増大し、金属材質についての差は接着剤により多少の相異はあるが、真鍮 $\leq$ 銅 $\leq$ デュラルミン $\leq$ 鉄 の順に強度は増加している。

[IV] 結 言

以上 A. S. T. M. の接着剤試験法の指定に準じ、フェノールジン接着剤については試験条件の範囲を多少拡張して各種の接着強度試験を行い、各種の代表的有機接着剤については抗張剪断並びに剝離強度を測定した。実験結果に対しては適宜分散分析を行い検討を加えた。

本実験では一部接着剤の最適接着条件を正確に把握してなく、経験的に行つたので十分な保証強度を示していないかも知れず又何れも常態接着試験であるから、経年変化その他の外的条件に対する検討を行う必要がある。

接着剤の利用はますます多方面に拡がりつつあるが、基礎研究に於ては残された問題が山積しているので今後共基礎的データを揃えたいと考えている。

終りに臨み本研究に御懇篤なる御指導を賜つた中央研究所前所長鳥山博士、菊田所長、豊田副所長、湯本博士、日立研究所鶴田博士、研究の一部を担当された日立重機株式会社近直司氏(前中研所員)、各種試料並びに御援助を賜つた多賀工場合成樹脂課磯野課長、横山係長、日研宇佐美係長並びに関係各位に深謝申上げる。尙試験、分散分析には当研究所山口、島田両研究員に御骨折願つたことを感謝する。

参 考 文 献

- (1) A. Schmidt and C. A. Marlies: Principles of High-Polymer Theory and Practice 634~654 (1948)
- (2) A. S. T. M.: D 897-49, D 905-49, D 903-46 D 950-47 T
- (3) R. Houwink: Elastomers and Plastomers III, 11~50(1948)
- (4) E. Preiswerk and J. Charton: Modern Plastics 11. (1950)
- (5) De Bruyne and R. Houwink: Adhesion and Adhesives 201~245 (1951)
- (6) 鶴田・高野・福村: 日立評論 32, 937 昭 25