

アルミニウム-ポリエチレン のサンドイッチ積層板の 実用化力学物性と加工性

〔その1〕

伊藤 勝彦

I 緒 言

軽量でかつ強じんな工業材料自身の開発はもちろん重要課題である。このような立派な工業材料が開発されたとしても、高価という難題に遭遇し、実用化が困難である場合がしばしばある。この場合、この強じんな材料を板材として表皮に少量使用し、一方、心材に軽量かつ安価な材料を多量に使用するサンドイッチ構造材が、工業材料として合目的であることは昔からよく知られている。

プラスチックと金属のサンドイッチ板は、金属材料を心材とし、プラスチックを表皮材として、その優れた触感と美麗を発揮させるようにしたものも、またその反対に、プラスチックを心材とし、強じんな金属板を表皮材にしたものもいろいろ開発されている。後者では、プラスチック心材に特に可聴周波数の音波減衰性を特に向上し、積層した Quiet Metal のような特殊な応用例もある。

最近接着性がきわめて改善された軽い汎（はん）用プラスチックのポリエチレンを心材に、軽くて強じんな表皮材アルミニウム板と積層したサンドイッチ板が、洋の東西を問わず開発され、その優れた材料的、物理的および化学的諸性質と、また、卓越したプレス加工性、切削加工性に加えて、施工も容易で、かつ表面のデコレーションも多岐に富み、価格の点からも広い用途に実用化されつつある。自転車自体よりもむしろ、その車庫の屋根やパネル、道路のガードレールその他へ工業材料として広く実用されつつあり、また、その

用途開発は将来もきわめて有望視されている。次にその実用化物性と、プレス加工を中心として簡単な実用切削加工のデータを加えた成形加工性の概要をわかりやすく解説して、その広範囲な活用を期待するものである。

II 種 類

プラスチック-アルミニウム積層品は、アルミニウム材料、積層品板厚、また、プラスチック、アルミニウム各々の厚さより多種の製品が可能である。

(1) アルミニウムの材質

表面材に用いられるアルミニウムは次の三つの要求をよく満足している。その一つは軽いことであり、二つは強度を必要とするものであり、もう一つは美観、成形性を求めるものである。

以下に、使用されている代表的なアルミニウムの材質を示す。

材 質	厚さ(mm)	耐力(kg/mm ²)
1100H24	0.2~1.0	12.0
3003H18	0.2	19.0
5052H34	0.3~1.0	21.8

(2) 板厚および各構成厚

アルミニウムおよびポリエチレンの各構成厚およびそれらによる全体の板厚を表1に示す。

なお、表1におけるグレードの意味は、最初の二けた目の数字が全体厚(mm)を示し、残り二けた目がアルミニウムの厚さ(mm)を示す。

筆者は、法政大学工学部教授、工学博士、技術士(化学部門プラスチック)

(3) 外 観

プラスチック-アルミニウム積層品は、アルミニウム単板と同様な表面処理が可能であり、塗装、アルマイト加工、エンボス加工、シートはりなどが行える。

Ⅲ 特 性

Ⅲ-1 物理的特性

(1) 基礎物性

プラスチック-アルミニウム積層品に使用されているアルミニウム、ポリエチレンの基礎物性を表2に示す。

(2) 比 重

プラスチック-アルミニウムの見掛けの比重を表3に示し、各種材料との比較を表4に示す。

(3) 熱膨張率

プラスチック-アルミニウム積層品の熱膨張率を表5に示し、各種材料との比較を表6に示す。

表1 積層品の構成厚

グレード	全 体 厚 mm	構 成 厚 mm AL — PE — AL		
201	2	0.1	1.8	0.1
202	2	0.2	1.6	0.2
301	3	0.1	2.8	0.1
302	3	0.2	2.6	0.2
401	4	0.1	3.8	0.1
402	4	0.2	3.6	0.2
403	4	0.3	3.4	0.3
405	4	0.5	3.0	0.5
603	6	0.3	5.4	0.3
605	6	0.5	5.0	0.5
710	7	1.0	5.0	1.0
110	10	1.0	8.0	1.0

表2 ポリエチレン、アルミニウムの基礎物性

項 目	単 位	ポリエチレン	アルミニウム		
			P 材 1100H24	A材 0.2mm 3003H18	A材 0.3mm~ 5052H34
密 度	g/cm ³	0.93	2.71	2.73	2.68
線膨張係数(常温)	1/°C	15×10 ⁻⁵	24×10 ⁻⁶	23×10 ⁻⁶	24×10 ⁻⁶
熱伝導率	kcal/mhr°C	0.29	180	180	180
比 熱	cal/g°C	0.55	0.22	0.22	0.22
融 点	°C	105	650	648	610
ぜい化温度	°C	-70>	—	—	—

表3 積層品の比重

グレード	比 重	グレード	比 重
P202	1.28	A202	1.29
P302	1.17	A302	1.17
P402	1.11	A402	1.11
P403	1.20	A403	1.19
P405	1.38	A405	1.37
P603	1.11	A603	1.11
P605	1.23	A605	1.22
P710	1.44	A710	1.43
P110	1.29	A110	1.28

表4 各種材料の比重

材 料 名	比 重
アルポリック	1.11~1.44
アルミニウム	2.7
鉄	7.8
高密度ポリエチレン	0.95
塩化ビニール	1.5
F R P	1.8
アクリル樹脂	1.2
石こうボード	0.86
石綿セメント板	1.15
木 材	0.4~1.0
合 板	0.7~1.0
パーティクルボード	0.6~0.7

表5 積層品の熱膨張率
(温度: 20~60°C)

グレード	線膨張率 1/°C	グレード	線膨張率 1/°C
P202	24~30×10 ⁻⁶	A202	23~29×10 ⁻⁶
P302	24~33 "	A302	23~32 "
P402	24~36 "	A402	23~35 "
P403	24~32 "	A403	24~33 "
P405	24~28 "	A405	24~28 "
P603	24~36 "	A603	24~37 "
P605	24~31 "	A605	24~31 "
P710	24~27 "	A710	24~28 "

表6 各種材料の熱膨張率

材 料 名	線膨張率 1/°C
鉄 (炭素鋼)	12×10 ⁻⁶
アルミニウム(純アルミ系)	24×10 ⁻⁶
ポリエチレン	15×10 ⁻⁶
アクリル樹脂	5~9×10 ⁻⁵
F R P	2~5×10 ⁻⁵

表 7 積層品の熱伝導率

グレード	熱伝導率 kcal/mhr°C	グレード	熱伝導率 kcal/mhr°C
202	0.36	603	0.32
302	0.33	605	0.35
402	0.32	710	0.41
403	0.34	110	0.36
405	0.39		

表 8 各種材料の熱伝導率

種類	密度 g/cm ³	熱伝導率 kcal/mhr°C
アルポリック	1.11~1.44	0.32~0.41
アルミニウム板	2.70	180.0
鉄板	7.78	39.0
銅板	8.90	320.0
スレート板	2.24	1.09
石綿セメント板	1.15	0.129
石こうボード	0.863	0.103
木毛セメント板	0.420	0.087
コンクリート	2.2	1.40
モルタル	2.1	1.30
プラスチック	1.94	0.50
板ガラス	2.5	0.65
ポリエチレン	0.93	0.29
F R P	1.7	0.47
スチロール (JIS1号)	0.33	0.032
ロックウール板	0.33	0.053
グラスウール板	0.30	0.025
ポリウレタン	0.03	0.035
ポリエチレンフォーム		0.035

表 9 積層品の熱変形温度

グレード	熱変形温度 °C	グレード	熱変形温度 °C
P 202	112	A 202	113
P 302	109	A 302	111
P 402	110	A 402	111
P 403	111	A 403	111
P 405	115	A 405	116
P 603	109	A 603	110
P 605	111	A 605	112

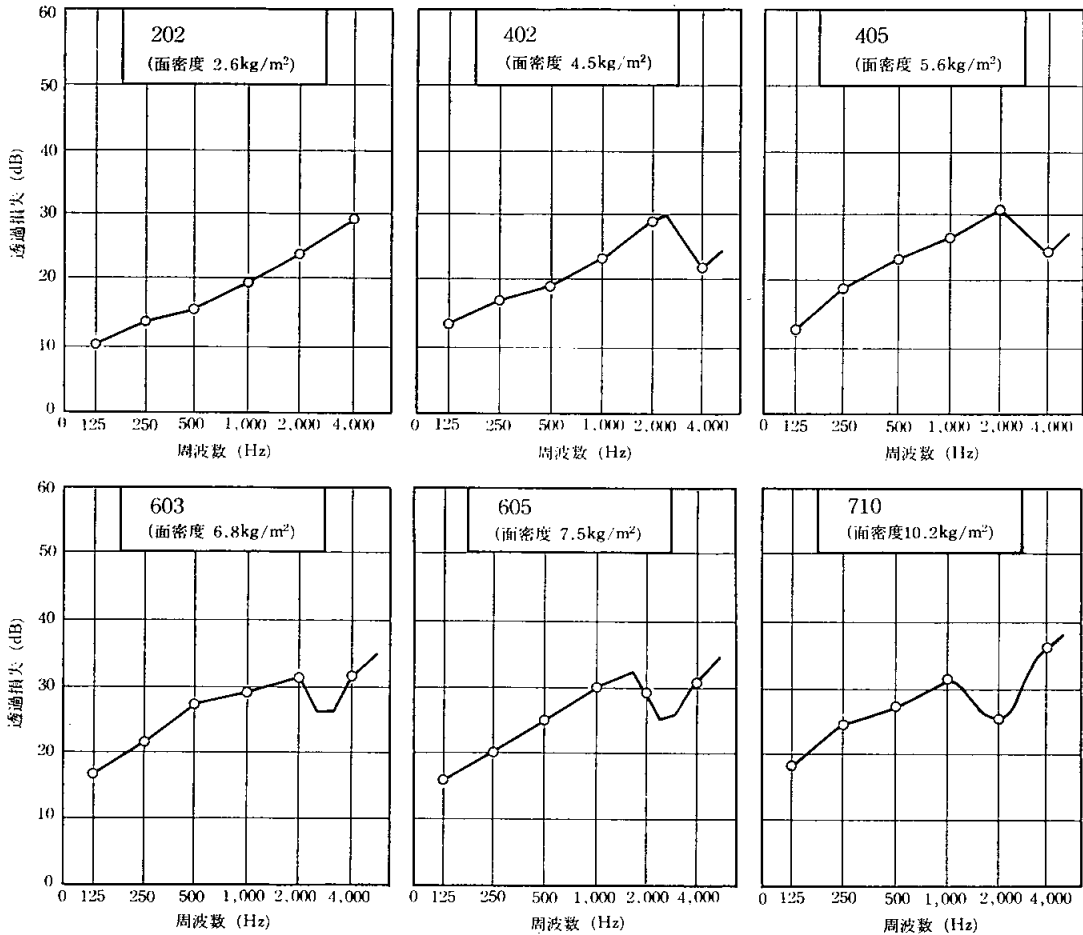


図 1 積層品の音響透通損失

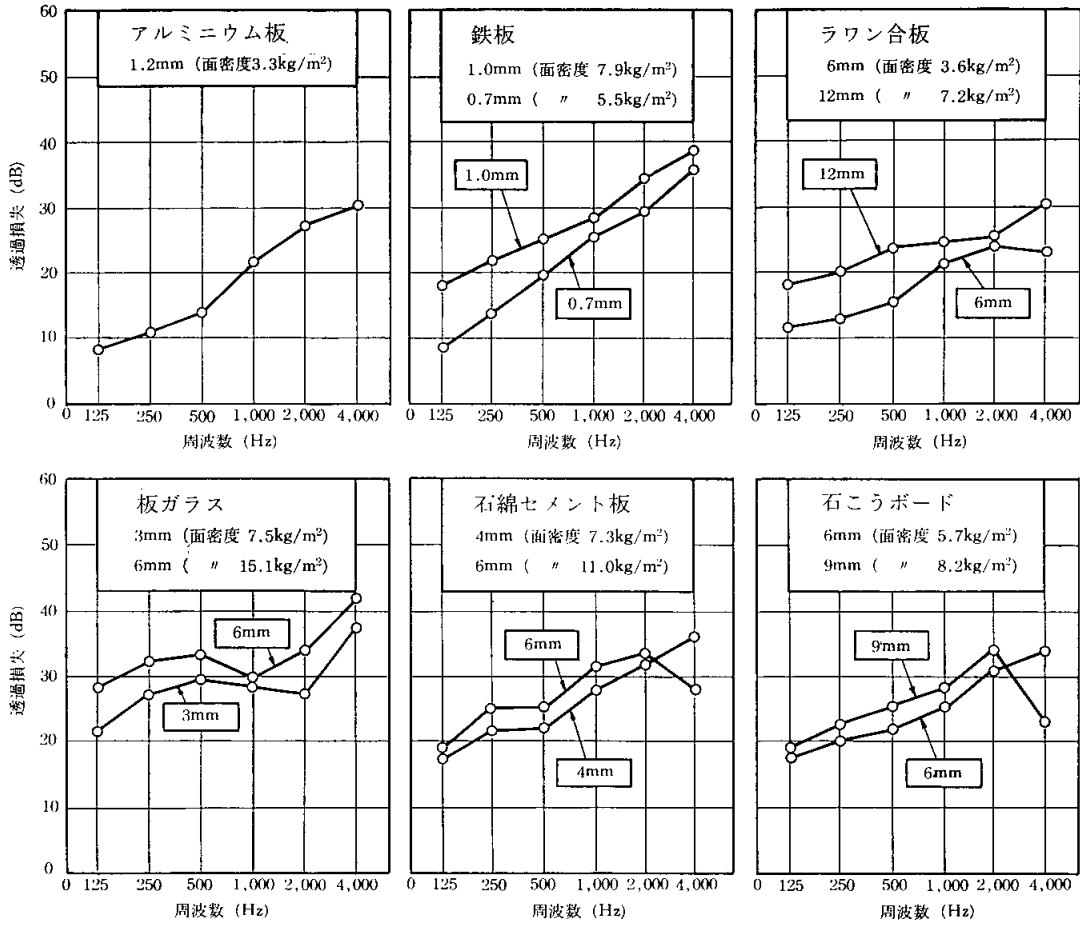


図2 各種材料の音響透過損失

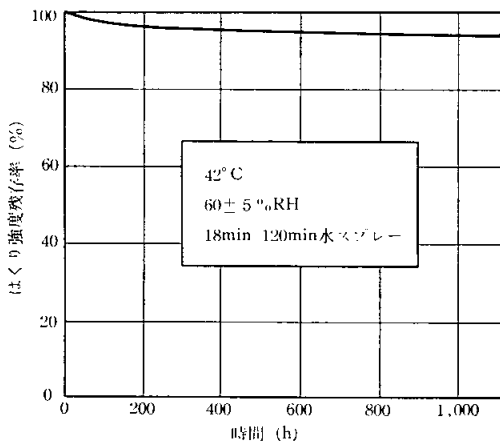


図3 ウェザーメータ試験

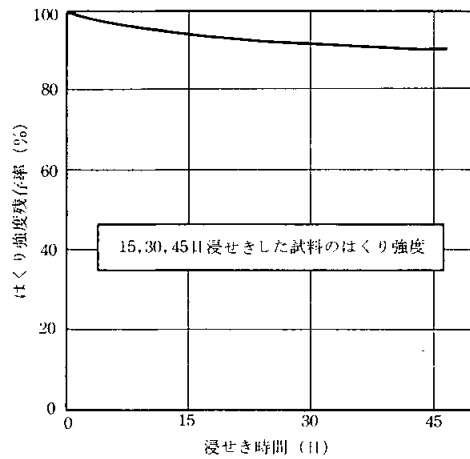


図4 50°C 温水浸せき試験

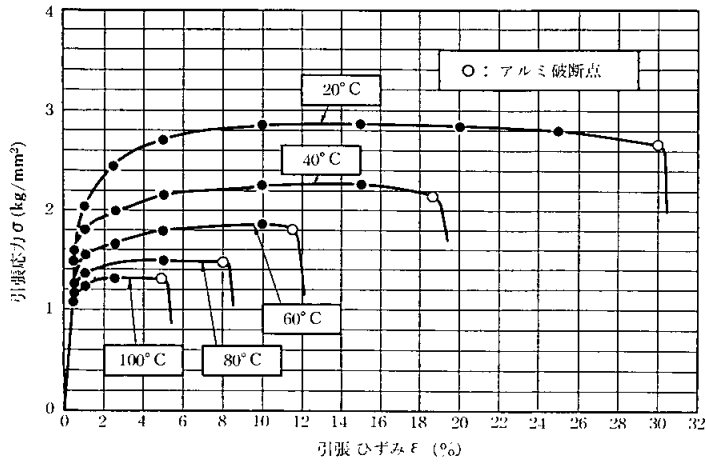
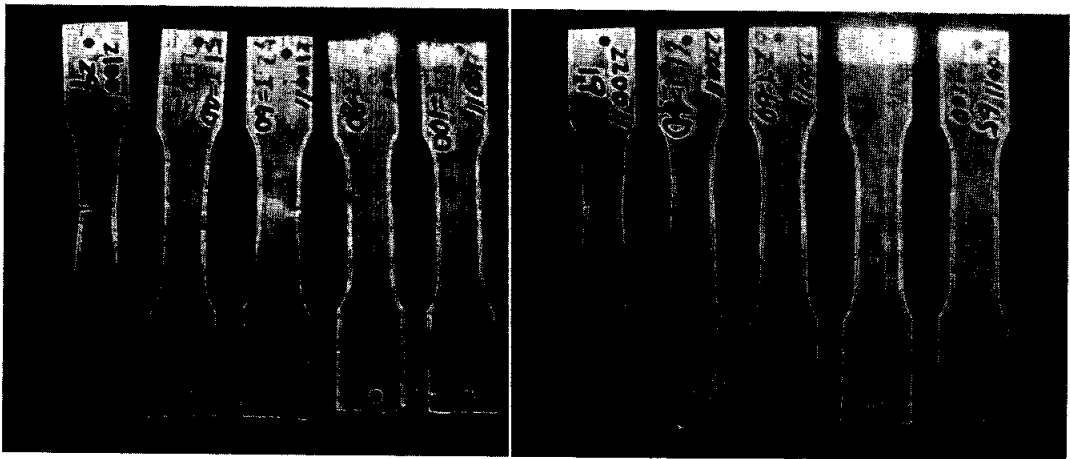


図 5 温間における 201 の引張応力-ひずみ線図



(a) 試験片 201

(b) 試験片 202

写真 1 引張破壊試験片

試験温度は試験 201 および 202 とともに左より 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C の順

表 10 積層品のはくり強度

グレード	はくり強度 kg/in	グレード	はくり強度 kg/in
P 202	15	A 202	19
P 302	17	A 302	20
P 402	17	A 402	21
P 403	21	A 403	25
P 405	23	A 405	29
P 603	21	A 603	25
P 605	24	A 605	30

表 11 積層品の引張試験結果

グレード	引張強さ kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	A1 破断点 伸び %
P 202	3.3	2.4	25
P 302	2.5	1.6	31
P 402	2.1	1.2	33
P 403	2.7	1.8	24
P 405	3.9	3.0	25
P 603	2.1	1.2	27
P 605	2.9	2.0	28
P 710	4.3	3.4	19
A 202	4.8	3.8	14
A 302	3.5	2.5	20
A 402	2.9	1.9	22
A 403	4.8	3.3	13
A 405	7.4	5.5	12
A 603	3.5	2.2	14
A 605	5.2	3.6	13

(4) 熱伝導率

プラスチック-アルミニウム積層品の熱伝導率は、アルミニウムとポリエチレンの熱伝導率より以下の式で求められる。

$$\frac{t_{AP}}{\lambda_{AP}} = \frac{t_{Al}}{\lambda_{Al}} + \frac{t_{PE}}{\lambda_{PE}} + \frac{t_{Al}}{\lambda_{Al}}$$

λ_{AP} , λ_{Al} , λ_{PE} : アルポリック, アルミニウム, ポリエチレンの熱伝導率

t_{AP} , t_{Al} , t_{PE} : アルポリック厚, 面材アルミニウム厚, 心材ポリエチレン厚

ただし、アルミニウム、ポリエチレンの熱伝導率は、それぞれ 180.0 [kcal/mhr °C], 0.29 [kcal/mhr °C] とする。

表7に積層品の熱伝導率を示し、表8に各種材料との比較を示す。

(5) 熱変形温度

プラスチック-アルミニウム積層品の熱変形温度は、ポリエチレン単体に比べて高く、110°C 前後である。

表9に熱変形温度を示す。

なお熱変形温度の測定法は、ASTM-648 の次の条件によるものである。

応力: 18.5 kg/cm²

温度上昇速度: 2°C/min

熱変形温度におけるたわみ: 0.25 mm

試料形状: 幅 13 mm

支持間隔 100 mm

(6) 音響透過損失

プラスチック-アルミニウム積層品は、複合材料として振動吸収効果があり、音響特性としても、各種材料に比べて同一重量当たりの透過損失が大きい。

図1に積層品の音響透過損失を示し、図2に各種材料を比較のために示す。

(7) はくり強度

プラスチック-アルミニウム積層品の接着と耐久性に関する試験結果を以下に示す。

1) ピーリング試験

ASTM D-903 による。

試験結果を表10に示す。

2) 耐久性

○ ウェザーメータ試験

試験結果を図3に示す。

○ 50°C 温水浸せき試験

試験結果を図4に示す。

III-2 機械的性質

(1) 引張試験

プラスチック-アルミニウム積層品の引張試験は次の試験法で行い、表11に試験結果を示す。

○ 引張試験法

ASTM: E-8 による引張試験

引張速度: 10 mm/min

試験片形状: 5号試験片

引張方向: アルミニウム圧延方向に平行

試験温度: 25°C

また、グレード201の温度変化を伴う応力-ひずみ線図を図5に示し、引張破壊試験片を写真1に示す。

ポリエチレンのガラス転移温度は室温以下であり、融点は105°C付近であるので、ここで試験した温度領域はすべてガラス転移温度以上の領域である。そのため、引張応力-ひずみ曲線の各試験温度における曲線の特性の変化は認められない。

試験温度の上昇に伴い、心材のポリエチレンは軟化するため、引張強さは低下する。

また、引張降伏応力はその多くが表面材のアルミニウムによるものと考えられる。その理由は、降伏応力の直後に表面材のアルミニウムに Lüder's Line の発生を観察できるからである。

試験温度 60°C をこえると、ポリエチレンの軟化が激しくなるようであり、60°C 以上では降伏応力はほとんど試験温度に影響されなくなる。

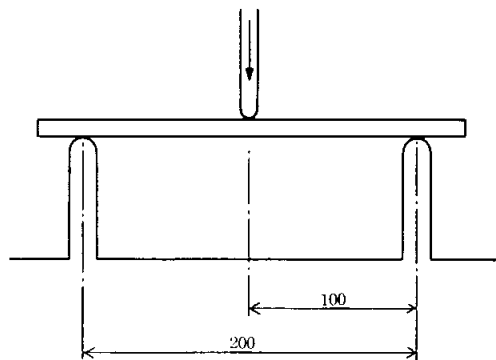


図6 3点荷重法

表 12 積層品の曲げ試験結果

グレード	(注1) 曲方 げ向	比例限荷重 kg	比例限たわみ mm	最大荷重 kg	最大曲げモーメント kgmm/mm	曲げ弾性率 kg/mm ²
P 202	平	2.8	3.5	5.5	4.6	3270
	直	2.5	3.4	5.2	4.3	3050
P 302	平	4.1	2.3	10.8	9.0	2200
	直	3.7	2.2	9.1	7.6	2150
P 402	平	5.8	1.8	14.2	11.8	1750
	直	3.9	1.2	12.8	10.7	1750
P 403	平	9.5	2.0	20.0	16.7	2480
	直	9.0	1.9	18.4	15.3	2480
P 405	平	22.4	3.7	27.6	23.0	3400
	直	20.1	3.3	25.3	21.1	3342
P 603	平	11.2	0.9	26.0	21.7	2020
	直	12.2	1.0	25.1	20.9	1900
P 605	平	23.2	1.5	45.1	37.6	2300
	直	23.9	1.7	44.6	37.2	2210
A 202	平	4.6	5.4	9.6	8.0	3600
	直	4.5	5.3	9.4	7.8	3540
A 302	平	7.1	3.7	17.5	14.6	2350
	直	7.0	3.7	17.0	14.2	2320
A 402	平	12.7	3.9	20.5	17.1	1740
	直	11.5	3.6	19.0	15.8	1712
A 403	平	20.3	4.1	34.4	28.7	2600
	直	19.6	4.0	34.0	28.3	2550
A 405	平	28.4	3.9	46.1	38.4	3850
	直	27.7	3.9	44.5	37.1	3750
A 603	平	22.0	1.5	41.6	34.7	2230
	直	22.6	1.6	38.9	32.4	2150
A 605	平	38.8	2.2	87.5	72.9	2800
	直	44.0	2.5	86.8	72.3	2720

表 13 各種材料の等剛性重量比較

アルミニウム-ポリエチレン板		アルミニウム $\rho=2.7$ $E=7350 \text{ kg/mm}^2$		ステンレス鋼 $\rho=7.86$ $E=19690 \text{ kg/mm}^2$		F R P $\rho=1.7$ $E=1000 \text{ kg/mm}^2$		アクリル板 $\rho=1.2$ $E=330 \text{ kg/mm}^2$		
グレード	板厚 mm	重量 kg/m ²	板厚 mm	重量比	板厚 mm	重量比	板厚 mm	重量比	板厚 mm	重量比
202	2	2.6	1.6	1.6	1.1	3.3	3.1	2.0	4.5	3.5
302	3	3.5	2.1	1.6	1.5	3.4	4.2	2.0		
402	4	4.4	2.6	1.6	1.9	3.3	5.1	1.9	7.5	3.3
403	4	4.8	2.9	1.6	2.1	3.4	5.7	2.0	8.4	3.4
405	4	5.5	3.3	1.6	2.4	3.4	6.5	2.1		
603	6	6.7	3.9	1.5	2.8	3.2	7.6	1.8		
605	6	7.4	4.1	1.5	3.0	3.2	8.0	1.8	12.6	3.4
710	7	10.1	6.0	1.6	4.3	3.3	11.7	1.9		

(注) ρ :比重, E :弾性率, 重量比:アルミニウム-ポリエチレン重量を1とした場合の重量比

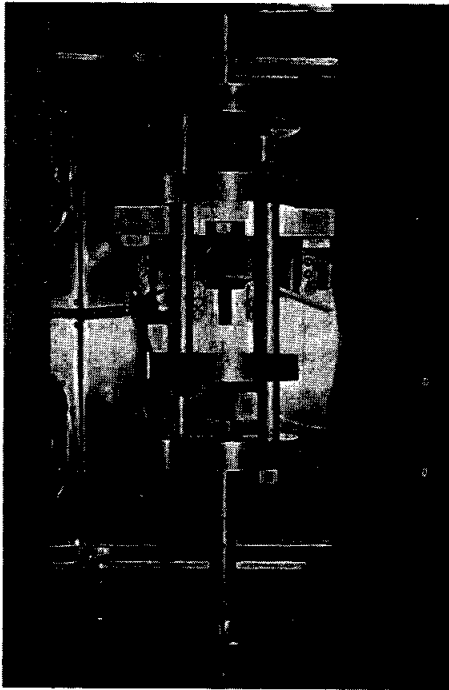


写真 2 温間におけるサンドイッチ板の均一曲げ試験装置

表 14 積層品のせん断試験結果

グレード	せん断強さ kg/mm ²	せん断荷重 kg	グレード	せん断強さ kg/mm ²	せん断荷重 kg
P 202	2.4	38	A 202	3.0	48
P 302	1.9	46	A 302	2.3	55
P 402	1.7	54	A 402	1.9	61
P 403	2.0	64	A 403	3.2	102
P 405	2.8	90	A 405	4.7	150
P 603	1.7	82	A 603	2.5	120
P 605	2.2	106	A 605	3.3	158
P 710	3.1	174	A 710	5.3	297

(2) 曲げ試験

プラスチック-アルミニウム積層品の曲げ試験を3点荷重法によって行い、最大曲げ荷重、比例限荷重を測定し、最大曲げモーメント、曲げにおける弾性係数を次の試験条件で求めた。

試験条件

荷重荷重法：3点荷重法（図6参照）

試験片寸法：250×60×t mm

荷重速度：20 mm/min

試験温度：25°C

表12に曲げ試験の結果を示し、表13に各種材料の等価剛性重量比較を示す。

また、グレード 201, 202 の温度変化を伴う曲げ強さ-温度線図を図7に示し、試験装置を写真

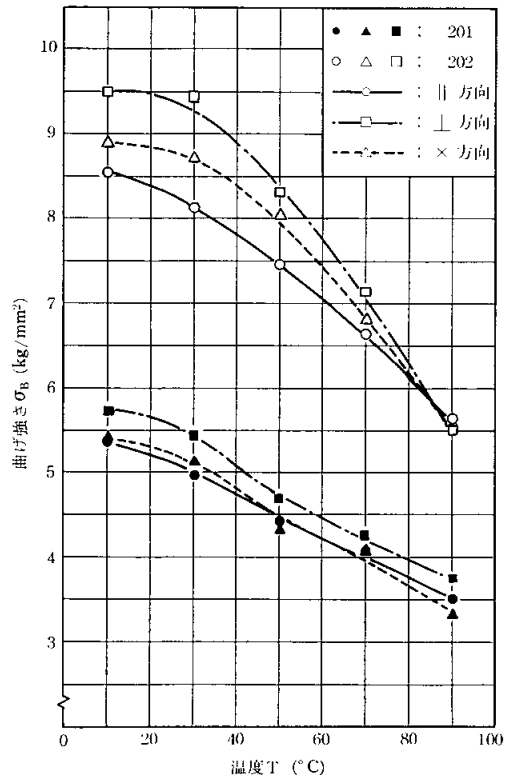


図 7 曲げ強さの温度依存性の実験結果

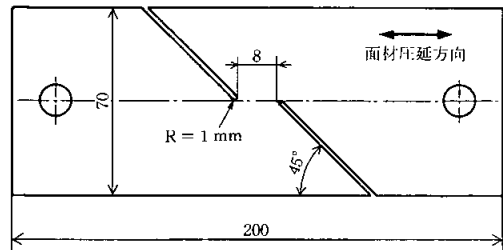


図 8 せん断試験用試験片

表 15 積層品の打抜きせん断試験結果

グレード	最大荷重 kg	せん断抵抗 kg/mm ²	グレード	最大荷重 kg	せん断抵抗 kg/mm ²
P 202	820	2.4	A 202	950	3.0
P 302	900	1.9	A 302	1190	2.5
P 402	1080	1.7	A 402	1330	2.1
P 403	1330	2.1	A 403	2030	3.2
P 405	1650	2.6	A 405	2910	4.6
P 603	1620	1.7	A 603	2380	2.5
P 605	2100	2.2	A 605	3240	3.4

2に示す。

なお、図7における記号||, ×, ⊥は、それぞれアルミニウム素材の圧延方向に対して0度、45度、90度を示している。

冷間では σ （曲げ強さ）は $\parallel < \times < \perp$ である。
また、冷間におけるプラスチック-アルミニウム積層品の σ は高密度ポリエチレンに比べて、P201で約2倍、P202で約3倍の値である。

試験温度60°C以上では、ポリエチレンの軟化が激しくなるため σ が急激に低下する。また60°C以上では、曲げ試験片の圧縮側の表面材のアルミニウムに曲げ方向と垂直方向にしわが発生する。この原因は、試験温度の上昇に伴いポリエチレンが軟化し、アルミニウム-ポリエチレンの層間の圧縮ひずみに滑りが起きるために現われるものと考えられる。

(3) せん断試験

プラスチック-アルミニウム積層品のせん断試験を次の試験法によって行い、そのせん断試験結果を表14に示す。

。 試験法

せん断試験は規格化されていないため、図8に示す試験片形状の引張試験によって行った。

引張速度：10mm/min

試験温度：25°C

また、せん断強さ τ は下式により求めた。

$$\tau = F/L/t$$

F ：最大荷重 kg

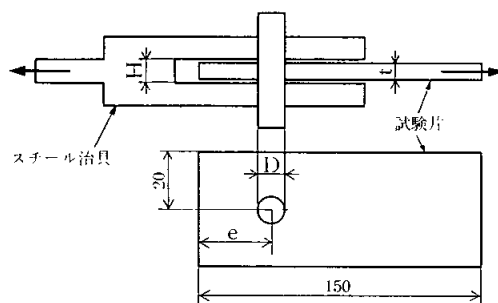


図9 側圧試験用試験片

表16 積層品の側圧試験結果

穴径 D mm	末端距離 e mm	e/D	弾 性 限 界 応 力 kg/mm^2												
			P 材							A 材					
			202	302	402	403	405	603	605	202	302	402	403	405	603
5	5	1	1.8	1.7	1.5	1.9	3.3	1.4	2.5	2.7	2.4	2.2	2.7	5.1	2.0
	10	2	3.4	3.0	2.6	3.1	5.2	2.7	4.1	4.1	3.7	3.4	4.0	7.1	3.2
	15	3	3.4	3.2	3.1	3.3	5.4	3.0	4.3	4.3	3.8	3.4	4.1	7.9	3.3
	20	4	3.0	3.2	3.1	3.2	5.3	2.9	4.6	4.4	3.7	3.6	4.1	8.6	3.4
10	10	1	1.8	1.6	1.3	2.0	2.7	1.2	2.4	2.2	1.8	1.8	2.2	3.8	1.5
	20	2	3.0	2.7	2.2	3.0	4.4	2.0	3.5	3.5	3.1	3.3	3.4	7.3	2.8
	30	3	3.2	2.8	2.3	3.2	4.5	1.8	3.3	3.9	3.0	3.6	3.6	7.7	2.6

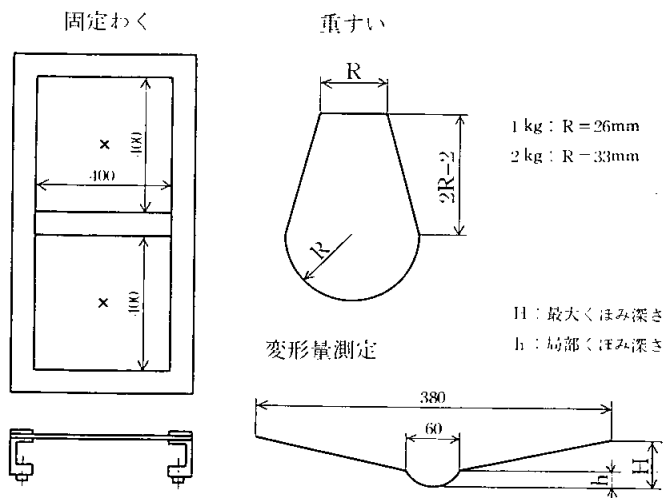


図10 衝撃試験方法

表 17 積層品の衝撃試験結果および他材料との比較

材料名	板厚 (mm)	重畳 (kg/m ²)	変形量 (mm)																
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20							
P 202	2	2.6				○	△	□	▽										
P 302	3	3.6				○	△	□	▽										
P 402	4	4.5				○	△	□	▽										
A 202	2	2.6				○	△	□	▽										
A 302	3	3.6				○	△	□	▽										
A 402	4	4.5				○	△	□	▽										
塩ビ鋼板	0.6	4.8				○	△	□	▽										
"	1.0	7.8				○	△	□	▽										
ベニヤ	6	3.0	●	▲	■														
A0-ベニヤ	0.3-2.7	2.1				○	△	□	▽										
A0-ベニヤ-A0	0.3-2.7-0.3	2.9				○	△	□	▽										
百縮セメント板	4	6.9	●																
"	6.3	11.1	○	▲															
珪(けい)カル板(軟)	8	6.3	●																
" (硬)	8	10.3	○	▲															
石こうボード	12	8.9	●																

— : H
 - - - : h
 ○ : 1 kg-1m
 △ : 1 kg-2m
 □ : 2 kg-1.5m
 ▽ : 2 kg-2m
 ▲ ● : 裏面割れ
 ■ ▲ ● : 両面割れ

L : せん断長さ mm (=8)

t : 板厚 mm

(4) 打抜きせん断試験

プラスチック-アルミニウム積層品の打抜きせん断抵抗を求めるための試験であり、各種打抜きにおける必要荷重を予測できるもので、次の試験法によってを行い、その試験結果を表15に示す。

○ 試験法

パンチ径 : 50.0 mm

ダイ径 : 50.2 mm……202

50.4 mm……402, 403

50.6 mm……603, 605

クリアランス : 5%

打抜き速度 : 30 mm/min

試験片の支持 : 固定

○ せん断抵抗 S の計算

$$S = F/K/\pi/d/t$$

F : 打抜き最大荷重 kg

K : 打抜き条件による定数=1

d : 試験片直径 mm

t : 試験片板厚 mm

(5) 側圧試験

プラスチック-アルミニウム積層品をリベット、ボルトなどで止めた場合、その接合部に引張力が作用すると、リベットなどが占める穴の側面に応力が加わり、穴の変形が起こる。弾性変形内の限界応力を求めた結果を表16に示す。

側圧試験は図9に示す試験片の e および D を変化させて行った。

弾性限界荷重を F とすると、弾性限界応力 σ は次式より求められる。

$$\sigma = F/t/D$$

また、 $H = t + 0.2 \text{ mm}$

引張速度 : 5 mm/min

(6) 衝撃試験

プラスチック-アルミニウム積層品の耐衝撃性を他材料との比較を含めて検討した。

試験方法は図10に示す JIS A 5703 内装用プラスチック化粧ボード類に従って試験を行い、その試験結果および他材料との比較を表17に示す。

<次号へつづく>