

# サンドウイッチ構造材料

## (1) 中芯材料について

小 野 寺 重 男

### まえがき

従来の建築材料は重量、強度共大きな材料を用いて居ったが、最近では軽量かつ従来のものに匹敵する強度を持つ材料に変わり、ヨーロッパに於て既に軽量構造材料研究の有ることを聞いている。

更に材料が均質性、耐湿性、保温性、防音性、耐火性等々の数多くの性質を一つの材料で要求されてきたため従来の様な種類の材料で之等の性質を満足させる事は困難で積層構造による方法が適当であると考へられてきた。

サンドウイッチ構造材料は、主として第二次大戦中米国、マヂソン林産試験場が、その陸海、空軍と協同研究の結果著しい発達をみ、終戦後一般建築材料として使用されるに致つた。一方当所の“ロール合板”が特に注目される様になったが、ロール合板はサンドウイッチ構造材料に属するので之等サンドウイッチ構造を紹介することは、この種構造材料の発展の為に好ましい事と考え、参考文献A.G.H. DIETZ, H.C. ENGEL, L.J. MARKWOOD, その他マヂソン林産試験場研究報告からサンドウイッチ構造材料に用いられる中芯材料<sup>42)</sup>、表板材料<sup>33) 85) 88) 83)</sup>、充填材料<sup>30)</sup>、接着剤、諸性質について発表する予定であるが、今回そのうち、巾芯材料について述べる。

尚赤間試験部長、丹羽技師、富田技師、小林技師の御指導に対し謝意を表す。

サンドウイッチ構造材料の特長として要求される諸性質として

- a) 機械的性質; <sup>2) 3) 31) 37) 41) 53) 64)</sup> 曲げ、振り、圧縮  
<sup>67) 74) 76) 77) 78) 79)</sup> 剪断、剛性、挫屈、疲労強度等。
- b) 物理的性質; 温湿度に対する安定性、  
<sup>29) 32) 57) 58) 64) 71) 73)</sup> 耐候性<sup>74) 77) 78) 80) 88) 90)</sup>  
<sup>29) 32) 57) 58) 63) 71)</sup> 耐火性<sup>73) 74) 77) 78) 80) 90)</sup>、防音性、  
保温性<sup>75)</sup>、透電性等。
- c) 生産性; 成型、接着、切削等製造の容易。

- d) 軽量性 均質性、安価等である。

### 中芯材料の分類

1. 軽量中芯材料の原材料を大別すると次の6種類になる。

- a) 熱可塑性、熱硬化性、繊維素系、合成樹脂
- b) 繊維素系合成、天然護膜
- c) 木材その他有機質繊維泡沫(発泡)材料
- d) <sup>30) 40) 50) 80)</sup> ガラス、その他無機質繊維泡沫材料
- e) 天然の軽量木材
- f) 軽金属、布、紙等

具体的にその材料をあげると

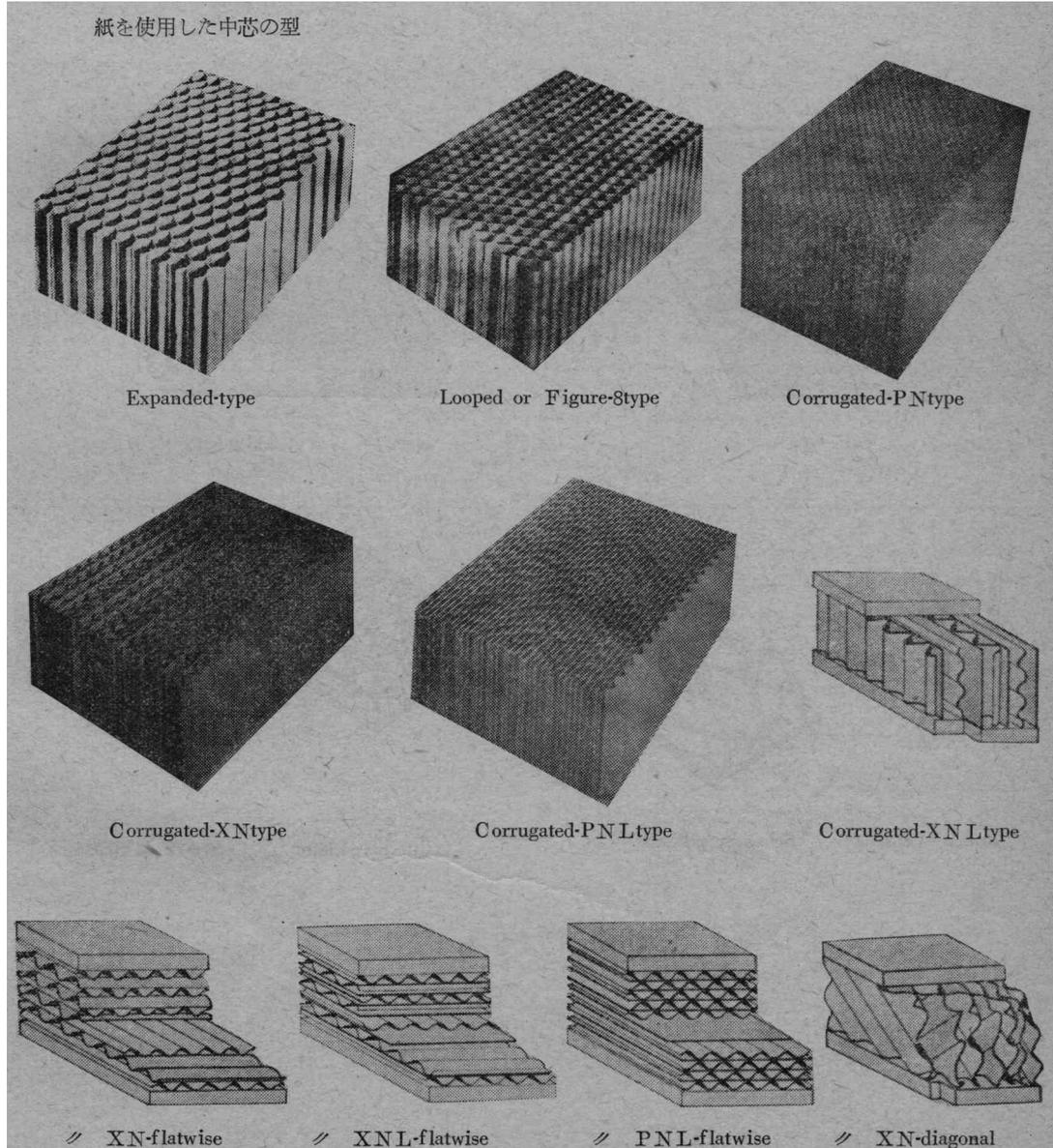
		材 料 名
合成樹脂	繊維素系	Cellulose acetate
	スチロール系	Polystyrene <sup>37)</sup>
	メタクリル酸系	Polymethyl methacrylate
	ビニール系	Polyvinyl acetate
		Polyvinyl formal
		Polyvinyl chloride
	エチレン系	Polyethylene
		Butadiene-acrylonitrile copolymers
		Butadiene-styrene copolymers
	石炭酸系	Phenol formaldehyde
尿素系	Urea formaldehyde	
アルキッド系	Polyesters (alkyd-styrene copolymers polyurethanes)	
		天然樹脂
護 膜	Chlorinated natural rubber	
		Cyclicized natural rubber
		Cyclicized synthetic rubbers
蛋白質系	Natural rubber	
	Zein and other proteins	
	Calcium alginate	

木材質	コルク、布紙	Cork
	軟質繊維板	Wood fiberboard
	パルサ木クイポ	Balsa and Quipo
ガラス	ガラス織維	Foamed glass
	泡沫ガラス	
	ガラスシート	

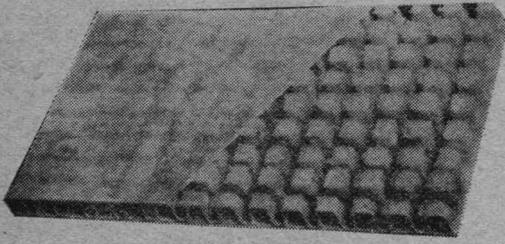
軽金属 アルミニウム

2. 中芯の型には次の様な種類がある。

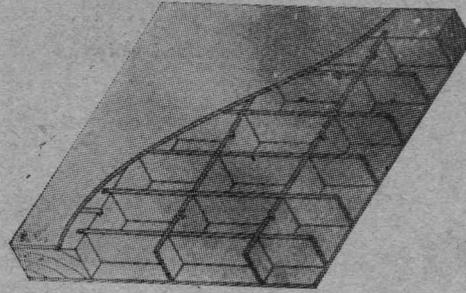
core	Expanded-type (Hexagonal cell)
	Looped or Figure-8 type (Circular cell)
	Corrugated-type (XN-type)
	(RNL-type)
	(PN-type)
	(XNL-type)
	Waffle-type
	Christmas-bell type
	Christmas-candy type
	Latticework, grid-type
Foamed-type <sup>43) 94)</sup> (Wrapped construction)	



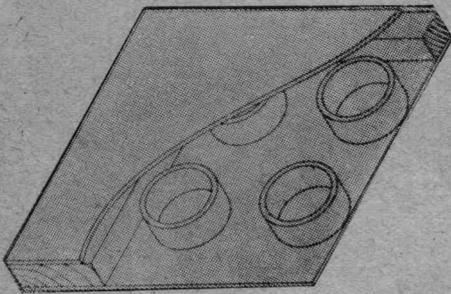
木材を使用した中芯の型



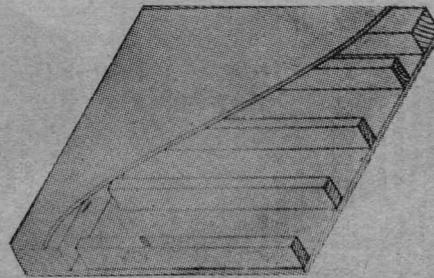
Waffle-type



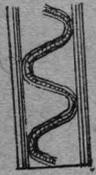
Lattice-work-type



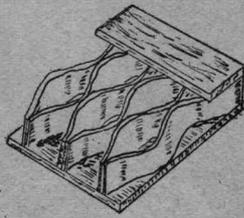
Tube-type



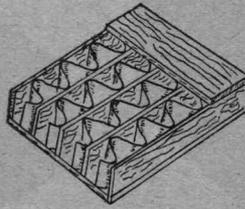
Ladder-type



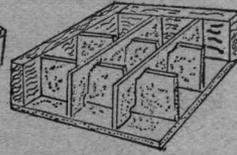
Franke-Wellholz



Schomburg-Platte

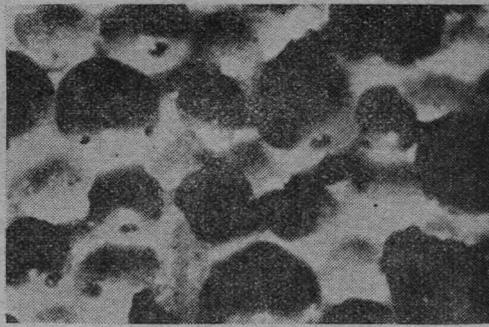


Gitterholz-Platte

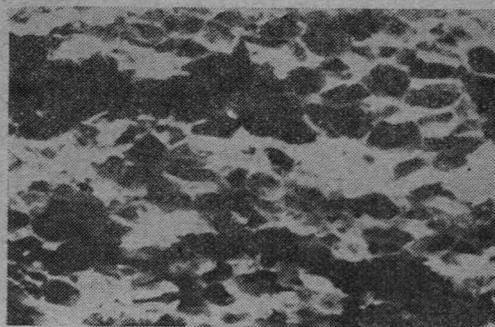


Svesex-Mittellage

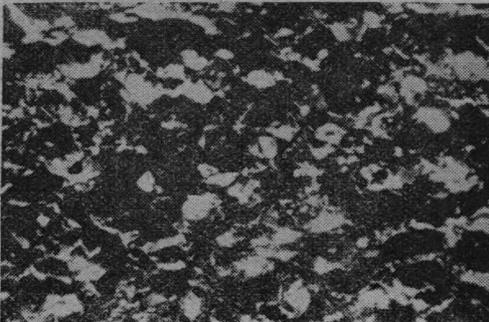
合成樹脂を使用した中芯型



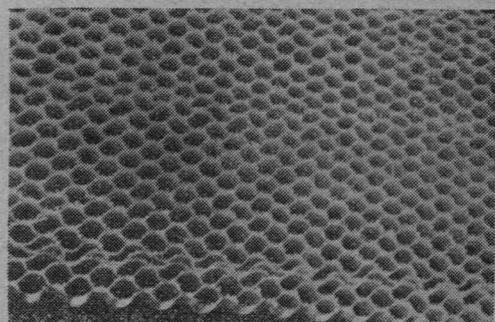
泡沫石炭酸樹脂中芯



泡沫セルローズ・アセテート樹脂中芯



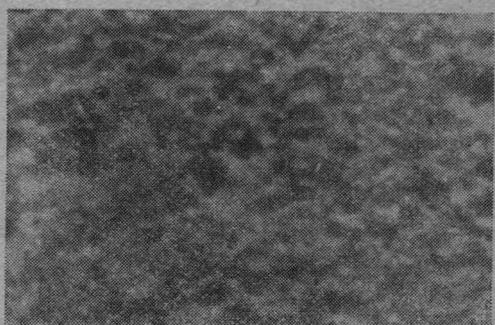
泡沫合成ゴム中芯



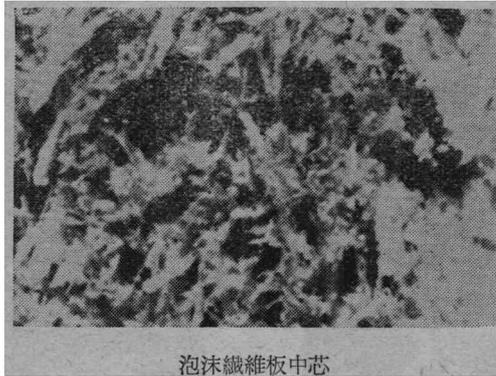
ガラス繊維プラスチック中芯



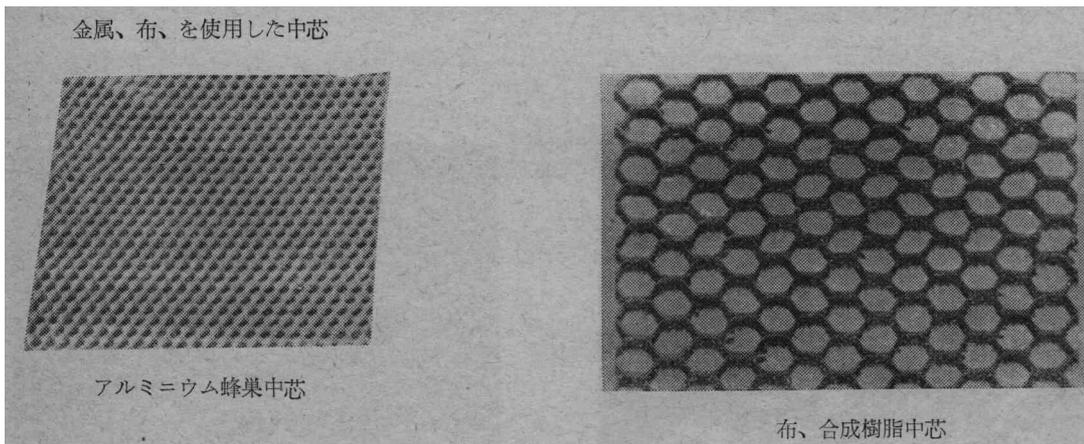
泡沫ポリエステル樹脂中芯



泡沫尿素樹脂中芯



泡沫纖維板中芯



金属、布、を使用した中芯

アルミニウム蜂巢中芯

布、合成樹脂中芯

## 中芯の製法

合成樹脂<sup>13) 14) 31) 34) 37) 38)</sup>  
51) 52) 57) 58) 61)

〔 〕 纖維素系材料の製法<sup>11) 25)</sup> については Sacbs<sup>51)</sup> の報告がある。

〔 〕 熱硬化性材料

石炭酸尿素フォルムアルデヒド樹脂等は重合反応による。触媒を加え加熱すると水は蒸発し、硬化以前に纖維素系材料に吹込剤を混入すると泡沫材料を得る。泡沫の程度は、成型時の水の量、カルシウム・カーバイトを加えた際のアセチレン・ガスの発生度合によって左右される。これ等の樹脂は温度依存性が大で、適当な触媒、硬化剤、安定剤の下で攪拌して作られる。

ポリエステル樹脂の製法は、上述の方法と概ね同様で Lincoln<sup>43)</sup> の報告があるがこれ等熱硬化性泡沫材料

は気泡の直径、膜厚、結合力等多方面の用途に応じ、製法も異なるが比重は1pcf以上の中芯が多い。

〔 〕 熱可塑性材料

イ) これは化学薬品、重炭酸ソーダ、二酸化炭素チアゾ化合物 (Sodium bicarbonate, carbon dioxide, diazo Compound等の) 化学薬品を加え、その反応中に生ずる窒素ガスによって泡沫材料を造る。上記薬品を樹脂が充分柔い時期に完全に混和させ注型<sup>59)</sup>、熱圧成型し冷却後取出す。

ロ) 溶剤 (非重合性ベンゼン、アクリレート) を混じり、圧縮成型、押出成型法等により加熱、圧縮し溶剤を沸点にて蒸発しつゝ成型する。

ハ) 高压ガスによる方法は窒素を3,000psiの高压にして、重合樹脂中に入れ、圧力調整しつゝ放出、硬化冷却し纖維素系材料を成型する。

〔Ⅵ〕 天然泡沫、<sup>19) 35) 36)</sup> 合成護膜<sup>56)</sup>の成型

これには熱硬化性、熱可塑性プラスチック材料に分けられ一般に前述の如く高压ガス、化学薬品により泡沫材料を造る。熱可塑性材料による時は硬化時間を厳密に規正して造られる。繊維素系熱可塑性材料による時はブタチエン-アクリロ=トリル (butadiene - acrylonitrile) 共重合物を基質にし前述のガス発泡剤 (gas foaming chemical) により一乃至二工程で成型する。

[ ] 軟質繊維板は毛氈状木材繊維 (felting, wood) 木材チップ、製紙用パルプ、発泡剤、ときには合成樹脂を混じり成型される。繊維素系樹脂に繊維類を混入すると表1の様に材質を改善する場合が多く、木材パルプ15%をカルシウム・アルギネート (calcium alginate) に混入するときは、材質の低下をきたすが、ガラス繊維<sup>(32)40)55)</sup> (直径3ミクロン、長さ25~100ミクロン) を酢酸繊維素 (Cellulose acetate) で注型する際には、材質を倍程改善する。

[VI] 機械的成型は紙、布 (コットン繊維類) ガラス・シート等は、熱硬化性樹脂を含浸させ、波型ローラー、又は条状に合成樹脂を塗布接着したものを引張り、波型芯、蜂巢型中芯材料<sup>(30)58)42)44)45)53)54)60)61)65)68)69)70)73)80)86)88)89)96)99)</sup> を造る。

[VII] トウヒ、パルサ等の軽量の木材、細胞型合成樹脂 (Cellular Plastic) 合板<sup>10)</sup>、により格子型芯 (grid-type core) が作られ、金属、和硫繊維 (Vulcanized fiber) その他により格子組 (Lattice work, grids) 金属の蜂巢等が作られ、cellular plastic を充填材として入れる事がある。

未硬化ポリエステル樹脂含浸ガラス繊維積層板の間に同じ材料の棧木 (wrapped strip) を入れて硬化、接着、成型を同時に行う方法を "Bag molding法"<sup>(92)93)</sup> と称する。

その他

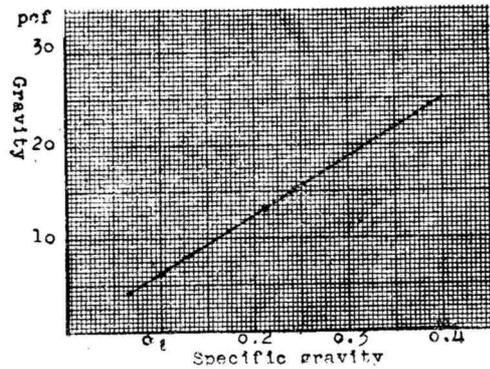
Calcium alginate 泡沫材料アンモニウム・フルギネート (ammonium alginate) 溶液とカルシウム塩を加えて作られ、その細胞 (Cell) は極めて小さい。

細胞状ポリビニール (Cellular polyvinyl) 泡沫材料は酢酸ポリビニール (hydrolyzed polyvinyl acetate) に強酸を加える事によって作られる。

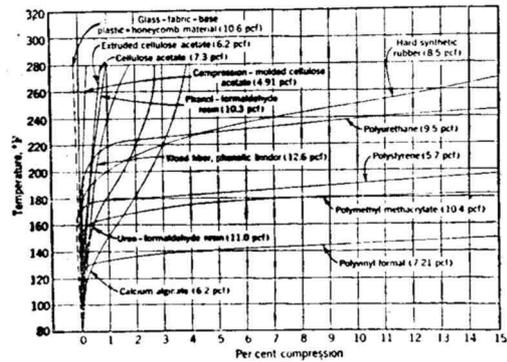
21)31)37)41)53)64)74)76)77)78)100)

中芯の比重

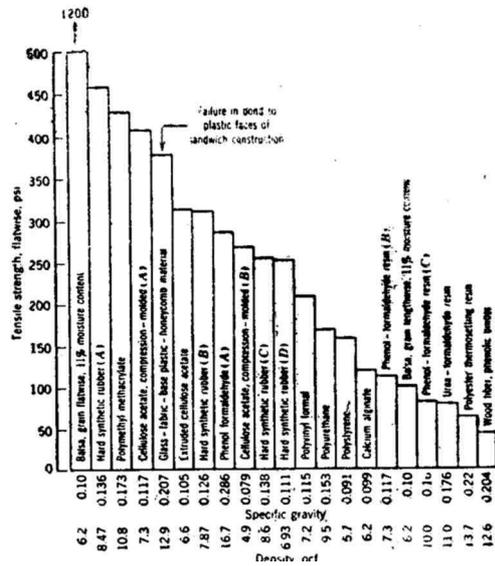
サンドウィッチ構造材料に用ひられる中芯の比重は明確な限界はないが、<sup>24)27)70)</sup> 4~25pcf (0.06~0.4g/cm<sup>3</sup>) 程度であるが普通軽量中芯とは6~13pcf のものが多い。



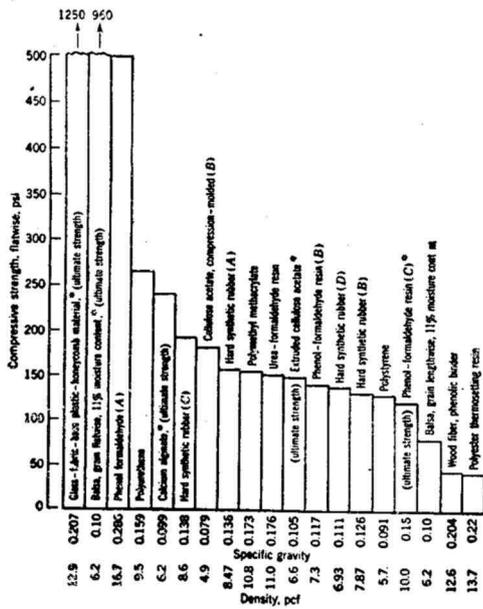
軽量中芯材料の性質 (第1図~第9図)



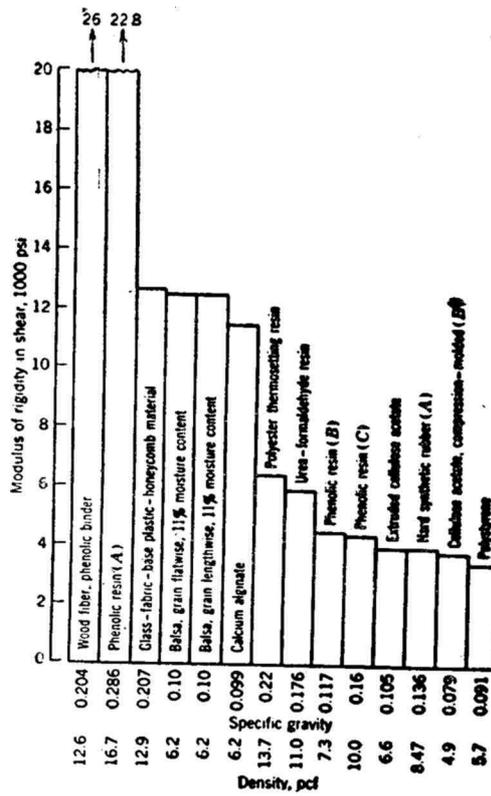
第1図 軽量中芯材料の熱圧縮 (疲労) 歪み



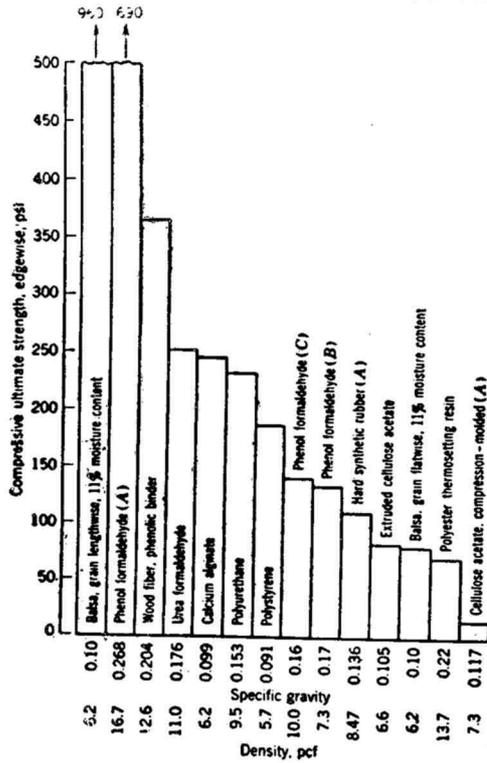
第2図 軽量中芯材料の引張強度 (厚さ方向)



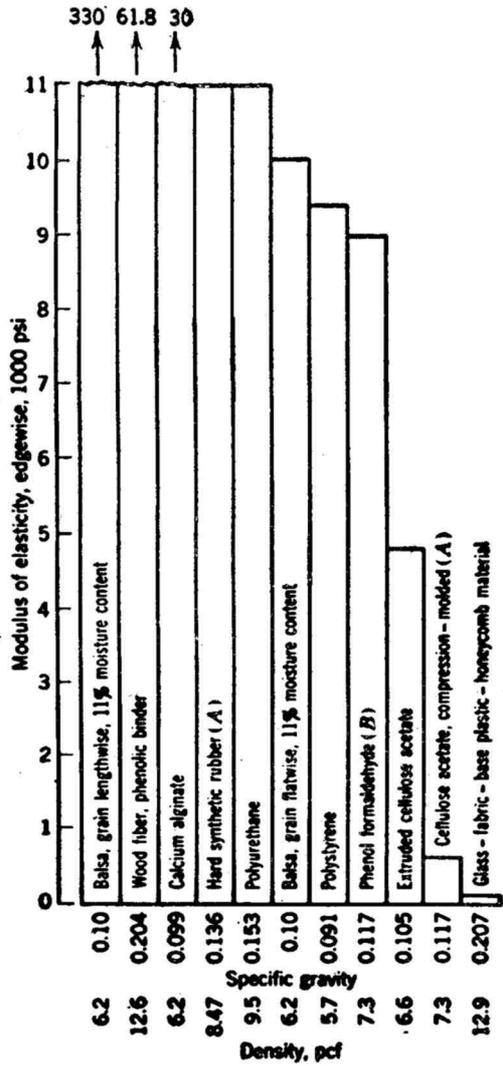
第3図 軽量中芯材料の圧縮強度(厚さ方向)



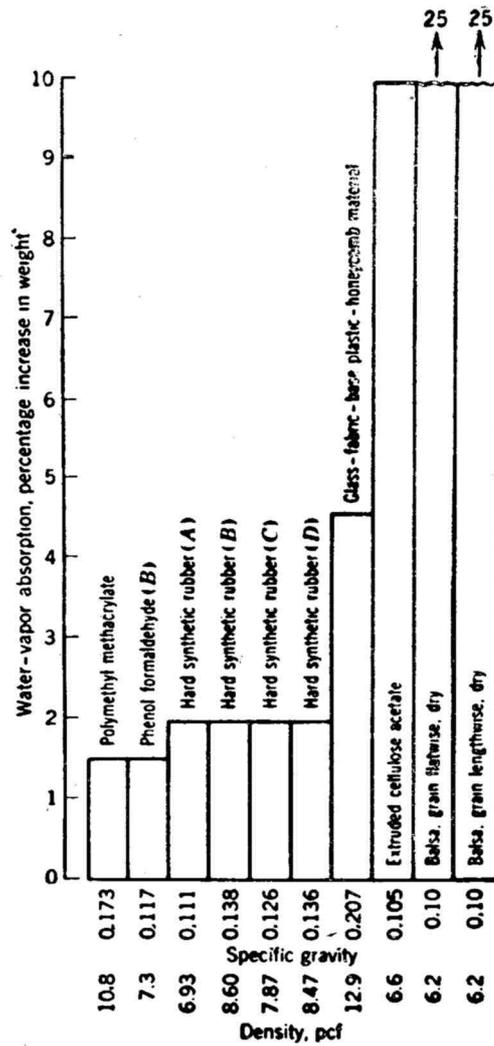
第4図 軽量中芯材料の剪断剛性係数



第5図 軽量中芯材料の圧縮強度(板方向)



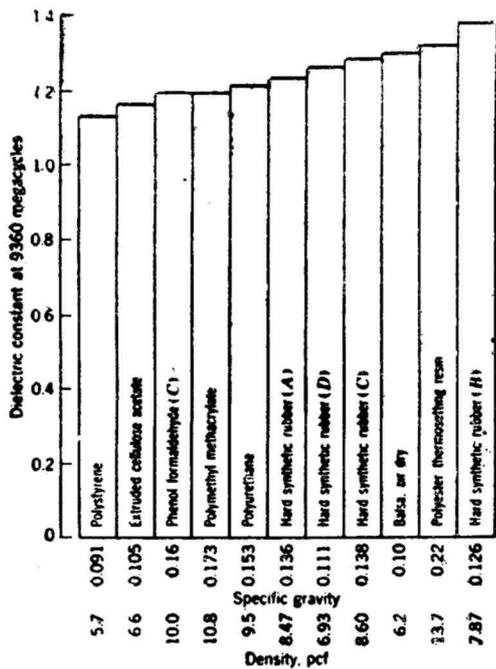
第6図 軽量材料の弾性係数 (板方向)



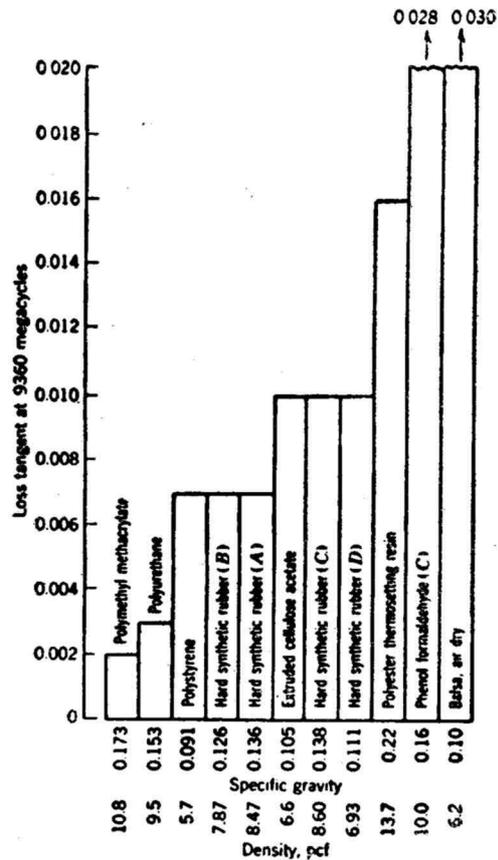
第7図 軽量中芯材料の吸湿性 (160°F, 1007, 24時間後)

表1. Cellulose Acetate 注型の際のガラス繊維混合の影響

	非 充 眞	ガラス繊維3%充填
比 重 pcf	6.3	6.5
引張強度 (厚さ方向) pcf	103	350
圧縮強度 (厚さ方向) pcf	107	160
2%歪み圧縮強度 (厚さ方向) pcf	89	150



第8図 軽量中芯材料の誘電率



第9図 軽量中芯材料の誘電体損

表2・軽量中芯材料の0.1%圧縮歪み温度(°F)  
(圧縮応力15P.S.i, 温度上昇割合、毎分2°F, 荷重方向は厚さ方向)

材料名	平均温度(°F)
Glass - fabric - base plastic - honeycomb material	280
Polyurethane resin	190
Hard synthetic rubber	180
Compression molded cellulose acetate, white, 4.6 pcf	180
Polystyrene	175
Polymethyl methacrylate	155
Phenolic resin	150
Extruded cellulose acetate	130
Compression molded cellulose acetate, gray, 7.3pcf	130

Polyvinyl formal	130
Urea-formaldehyde resin	125
Calcium alginate	110
Wood fiber, phenolic resin binder	105

表 3. 軽量中芯材料の熱伝導率と熱膨脹係数

材 料 名	比 重	熱 伝 導 率 (Btu/sg·ft/hr/in/°F)	平均温度 (°F)
Cellular cement or concrete	0.25	0.47	75
Cellular glass	0.17	0.49	32
	0.20	0.52	32
Soft cellular rubber	0.11	0.27	50
Cellular hard natural rubber	0.06	0.19	50
	0.07	0.21	23
Cellular hard synthetic rubber	0.07	0.23	50
	0.09	0.22	52
Calcium arginate			
17% water content	0.10	0.28	72
26% water content	0.11	0.29	72
Polyvinyl formal	0.06	0.26	50
	0.10	0.24	50
	0.14	0.24	50
	0.20	0.34	50
Phenolic resin	0.08	0.24	46
	0.08	0.28	115
	0.11	0.27	86
	0.11	0.29	115
	0.19	0.30	50
Polystyrene	0.05	0.30	50
	0.08	0.29	32
	0.10	0.31	50
Chlorinated rubber	0.11	0.27	50
	0.18	0.28	50

---

		熱膨脹係数 (1°F)
Compression-molded cellulose acetate	0.085	0.40
Polystyrene	0.016	0.35
Cellular hard synthetic rubber	0.069	0.25
Balsa	0.093	0.32
Balsa	0.16	0.41
Extruded cellulose acetate	0.07	0.30
	0.10	0.31
	0.12	0.32
Compression-molded cellulose acetate	0.10	$7.2 \times 10^{-5}$
Extruded cellulose acetate	0.10	$2.5 \times 10^{-5}$
	0.12	$2.5 \times 10^{-5}$

表4. ガラス繊維プラスチック蜂巢中芯のCell Sizeの強度に及ぼす影響

Cell size, in	3/16	1/4
Cell 厚さ, in	0.003	0.003
樹脂量, %	78	76
比重 pcf	12.9	8.4
ク	0.206	0.134
引張強度、厚さ方向、psi	379*	271*
圧縮強度、厚さ方向、psi	1,248	564

\*表板、中芯の接着面の剝離

表5. 軽量中芯 (比重0.10) 材料の剪断強度 (p.s.i.)

Balsa		
繊維方向	p.s.i.	210
直角方向	p.s.i.	175
コラケート、シート方向	p.s.i.	270
同上 直角方向	p.s.i.	200
Extruded Cellulose Acetate		
長さ方向	p.s.i.	125
Hard Synthetic Rubber		
長さ方向	p.s.i.	125
Glass-Fabric-Core Plastic Honeycomb		
コラケート、シート方向	p.s.i.	85
同上 直角方向	p.s.i.	195

表6. 軽量中芯材料の形質商強度

1	2	3	4	5
比重	引張強度(p.s.i.)	圧縮強度(p.s.i.)	形質商度 (p.s.i.)	
			(2/1)	(3/1)
Extruded Cellular Cellulose Acete				
0.064	60	80	940	1,250
0.096	110	150	1,150	1,560
0.128	250	270	1,950	2,110
Polyurethane				
0.06	40	---	67	---
0.10	115	---	1,150	---
0.15	200	---	1,330	---
0.18	255	---	1,420	---

表7. 軽量中芯 (0.10) 材料の温度、湿度の影響

材料 温度調整、試験条件*	圧縮強度 (厚さ方向)	剪断剛性	引張強度 (厚さ方向)
Balsa, Grain Flatwise	psi	psi	psi
A	935	19,300	1,450
B	469	12,500	1,670
C	629	13,700	1,040

	D	890	17,800	860
	E	1,148	14,200	980
Hard Synthetic Rubber				
	A	199	3,380	331
	B	157	3,390	187
	C	155	2,910	210
	D	188	3,720	288
	E	68	1,250	102
Extruded Cellulose Acetate				
	A	164	4,390	316
	B	88	2,880	184
	C	114	2,880	218
	D	197	4,040	274
	E	160	4,250	266

※

A A 平衡含水率 (75 ° F , 65%)

B 吸水 24 時間、試片湿润状態にて試験

C 平衡含水率 (80 ° F、97%) 直後に試験

D D 平衡含水率 (80 ° F、97%) さらに 75 ° F、65% にて温湿調整

E 240 ° F にて 240 後間、240 ° F にて試験