

UDC 624 : 620.174 : 69 : 057.691.116

合板足場板の耐候性と強度試験方法

河 尻 義 正*

Durability of Plywood Scaffold Planks and Method of Strength Test

by Yoshimasa KAWAJIRI*

Plywood scaffold planks must have sufficient stiffness and strength to sufficiently endure load of workers and materials on them.

Occasionally, accidents caused by the fracture of planks (most of them are long-used planks) occur, and workers are wounded or killed. A safety standard for used plywood scaffold planks was established by the Plywood Scaffold Plank Industry Association in 1979, and then constructional requirements of the Ministry of Labour for plywood scaffold planks was promulgated in 1981. However, data to support the standard were not necessarily enough.

This paper deals with the following studies:

(1) Durability of plywood scaffold planks.

Nondestructive tests and bending fracture tests on commercial and order-made plywood scaffold planks (9 ~ 16 plies, Apiton or Kapur) were carried out after 2 years' outdoor exposure.

(2) Relation between bending properties and moisture content.

Bending fracture tests on commercial plywood scaffold planks in various soaking conditions were carried out.

(3) Relation between bending properties and span.

Bending fracture tests on commercial plywood scaffold planks in various spans were carried out.

Results of these studies are summarized as follows:

(1) Modulus of rupture and elasticity in bending degrade gradually in proportion to the increase of exposure period or moisture content.

The life of commercial plywood scaffold planks are about 3 ~ 4 years.

(2) Special order-made plywood planks are stronger than commercial plywood planks; therefore, there is much room for further improvement in the durability of commercial planks.

(3) Correlation coefficient between modulus of rupture and that of elasticity is 0.76, meaning that since their relation is fairly close, it is possible to evaluate approximately the strength of planks by the nondestructive test using flexure devices.

In conclusion, the method of strength test in the above-mentioned safety standard has been proved to be appropriate.

Keywords : Plywood scaffold plank, Modulus of rupture in bending, Modulus of elasticity in bending, Bending test, Durability, Nondestructive test

1. 緒 言

合板足場板^{*1}がわが国に出現して約20年、この間、景気の上昇と共に需要は増大し、最盛期の昭和48年には年産440万枚にも達している。最近では鋼製足場板の出現などにより需要は減少してきているものの、なお年産200万余枚が生産され、使用に供されている。

足場板は、建設現場等における足場の作業床として、安全上最も重要なものであり、特にその強度性能は十分信頼性の高いものでなければならない。

合板足場板の新品時の曲げ性能については、産業安全研究所においてこれまで多くの実験を行い、その結果を報告した¹⁾²⁾。その後、昭和56年にはこれらの結果をもとに労働省から合板足場板の構造規格が公布された。

一方、経年使用品については、ユーザーにおける使用実績などからその性能が徐々に明らかにされ、当所においてもユーザーからの依頼試験等により、データを蓄積してきた。昭和54年には、それらをもとに社団法人合板仮設安全技術協会において、合板足場板の安全技術基準⁹⁾（以下合板協会基準とよぶ）が作成された。しかし、基準の作成を急いだこともあって、これを裏付けるデータは必ずしも満足できるものとはいえない面があった。

今回、上記基準を再検討する目的で、合板足場板の耐候性と強度試験方法に関する研究を行ったので以下に報告する。

2. 研究内容

研究は、次に述べる3つの内容について行った。

(1) 合板足場板の耐候性

足場板の経年劣化要因のうち、日光や風雨等の自然現象に起因するものについて、これらが曲げ性能に与える影響を調べるもので、社団法人合板仮設安全技術協会及び足場板メーカー7社の協力を得て行った。

(2) 含水率と曲げ性能

降雨等により濡れた足場板を使用・管理するときの資料を得るための研究である。一般に木製品の強度性能は、含水率が高くなるとかなり低下する。合板協会基準では、経年足場板の強度検査を含水率20%以下で行うことにしているが、強度検査に合格したものでも、実際の使用時

には、20%を超えて高い含水率になることがありこのような板では、かなり曲げ性能が低下していることが考えられる。このため、使用時には板の湿り具合に応じて許容応力を調整する等の措置が必要と思われるが、これには、含水率のみによる曲げ性能への影響を定量的に知っておく必要があり、そのために行ったものである。

(3) 支持スパンと曲げ性能

合板協会基準の強度検査方法において、支持スパンが異なった場合に結果に影響があるかどうかを調べるために行ったものである。同方法では、スパンを300cmとしているが、これより小さいスパンで行う場合に比べて合格率が低下するのではないかという質問が当所によせられており、これを確かめるために行ったものである。

3. 実験方法

実験は、前述の研究内容に対応して次の3つの内容について行った。

- (1) 屋外暴露による曲げ性能の劣化について(実験1)
- (2) 含水率が曲げ性能に与える影響について(実験2)
- (3) 支持スパンと曲げ性能の関係について(実験3)

3.1. 実験1

新品及び一定期間屋外に暴露した足場板を1週間～10日間室内に放置し、含水率が約20%以下になるまで調湿した後、次の非破壊検査と曲げ試験を行った。

(1) 非破壊検査

Table 2 に示す各暴露期間の終了時に、全供試体に対して行った。検査及び測定の内容は、次の通りである。

a. 寸法の測定 Fig. 1 に示す3カ所の板幅、板厚を測定する。

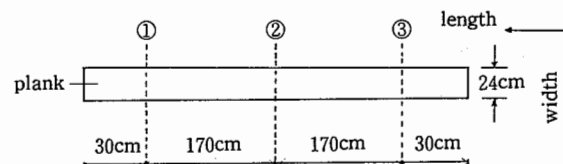


Fig. 1 Measuring points of dimension and moisture content of samples.
供試体の寸法・含水率の測定点

b. 重量の測定 足場板一枚毎の重量を測定する。

c. 含水率の測定 Fig. 1 に示す3カ所の含水率を水分計により測定する。

d. 撓み試験 供試体をスパン3mで単純支持し、スパン中央に集中荷重、20, 40, 60kgfを加えるときのスパン

*1 労働安全衛生法施行令第13条第1項第22の4号でいう合板足場板（アピトン又はカポールをフェノール樹脂等により接着したものに限り）

ン中央の撓みを測定する。

e. 振動試験 供試体をスパン 3 m で単純支持し、スパン中央を押し放すことにより板を自由振動させ、スパン中央の加速度を測定する。

(2) 曲げ試験

暴露終了後の供試体を Fig. 2 に示すように 4 分した試料に対し、次の 2 種類の試験を行う。

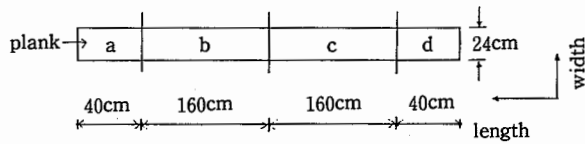


Fig. 2 A test piece of bending test.
曲げ試験の試料

a. 曲げ試験 I 労働省の合板足場板の構造規格に定める曲げ試験方法 (支持スパン 1.5m, 中央集中荷重) に

より Fig. 2 の b, c に対して行い、加圧時の撓みと曲げ破壊荷重を測定する。

b. 曲げ試験 II

a の方法で、支持スパンを 0.3m として、Fig. 2 の a, d に対して行う。

(3) 供試体

供試体は、市販品 7 種類 7 メーカー、特注品 6 種類 1 メーカーで、その単板構成を Table 1 に示す。市販品は、主として直交合板*5 (C, G を除く) で、表板*2 が 3 mm 以上 (E を除く) である。特注品は、主として平行合板*6 (I, K を除く) で、表板*2 及び隣接する心板*3 の合計厚さを 3 mm 以上にしたものである。この特注品は、最近の原木事情の悪化に対処するための試作品で、市販品に比べ、強度、歩止り共にすぐれた単板構成を見つげるためのものである。これらの寸法は、公称 28mm (厚さ) × 240mm (幅) × 4000mm (長さ) で昭和 57 年上

Table 1 Constitution of veneers of samples
供試体の単板構成

	symbol	no.of ply	structure of section										ratio of constitution of veneers %		
			=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥			
commercial plywood plank	A	9	=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥					68.1
	B	11	=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥					64.3
	C	9	=	=	⊥	=	⊥								60.0
	D	9	=	⊥	=	=	⊥								66.7
	E	11	=	⊥	=	⊥	=	⊥							54.5
	F	11	=	⊥	=	⊥	=	⊥							61.2
	G	9	=	=	⊥	=	⊥								66.7
order-made plywood plank	H	13	=	=	⊥	=	⊥	=	⊥						74.4
	I	11	=	⊥	=	⊥	=	⊥							74.4
	J	13	=	=	⊥	=	⊥	=	⊥						72.5
	K	11	=	⊥	=	⊥	=	⊥							72.5
	L	11	=	=	⊥	=	⊥	=	⊥						61.0
	M	19	=	=	=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥	=	⊥	63.2

Notes 1. Structure of section indicates half section.

2. = face veneer*2 or core veneer.*3

⊥ crossband veneer.*4

*2 足場板の表面にある単板

*3 足場板の長さ方向に平行な繊維方向を有する単板

*4 足場板の板幅方向に平行な繊維方向を有する単板

*5 心板とそえ心板を交互にはり合せた合板

*6 断面の一部に心板同志のはり合せを有する合板

Table 2 Outdoor exposure period
暴露期間

group	exposure period	date				
		'82.6	.9	.12	'83.6	'84.6
	period in month	0	3	6	12	24
I	non-exposure					
II	outdoor exposure 3 months					
III	outdoor exposure 6 months					
IV	outdoor exposure 12 months					
V	outdoor exposure 24 months					
VI	indoor storage 6 months					
VII	outdoor exposure 6 months after indoor storage 6 months					

outdoor exposure
 indoor storage

期に製造されたものである。供試体総数は158枚で、内訳は Table 2 の暴露区分 I ~ V が各26枚（供試体の種類毎に2枚）、VI, VIIは各14枚である。

(4) 暴露条件

暴露期間は、Table 2 に示す通りで、市販品は全区分について、特注品は I ~ V について行った。暴露場所は東京都清瀬市の当所屋外実験場で、暴露方法は、地上1.5m に水平設置とし、半月毎に暴露面を反転した。また暴露条件を定量的に表わすものとして、暴露期間中の日射量と降雨量を測定した。(Table 3 参照)

Table 3 Precipitation and solar radiation during exposure.

暴露期間中の日射量・降雨量

group	II	III	IV	V	VII
solar radiation (J/m ²) × 10 ⁷	114	170	368	758	198
precipitation (mm)	590	934	1,271	2,310	344

3.2 実験 2

Table 4 に示す浸水条件の供試体に対し、寸法、含水率を測定後、曲げ試験を行った。浸水は、水温20°Cの水槽に板を浸す方法によって行い、含水率は、供試体から切

り取った小試験片に対し絶乾法により測定した。曲げ試験は、実験1の曲げ試験Iと同様の方法で行った。供試体は、市販品1種類20枚で、寸法はほぼ28mm×240mm×4000mmである。

Table 4 Soaking condition
浸水条件

group	soaking condition
1	non soaking
2	2 hrs
3	22 hrs
4	soaking 46 hrs
5	384 hrs
6	864 hrs
7	168 hrs.-dry 48 hrs (in air)

3.3 実験 3

新品及び一定期間水中に浸した供試体に対し、含水率を測定した後、支持スパンを変えて曲げ試験を行った。供試体は、足場板を板長方向に4等分したもの（断面寸法は、約28mm厚×57mm幅）で、市販品2種類（A,

B)である。支持スパンと浸水条件は、Table 5 に示す通りである。

4. 実験結果

Table 5 Experimental condition.
実験条件

group	soaking condition	span (cm)
A-I	non soaking (9.1)	20~290 for 7 cases
A-II	soaking 8 days (44.4)	
A-III	soaking 26 days (63.1)	
B	non soaking (6.8)	9~150 for 12 cases

Numerals in brackets indicate moisture content (%)

4.1 実験1について

Table 6 に非破壊検査結果を、また Table 7 に曲げ試験結果を示した。両表は、市販品と特注品について暴露区分毎の平均値と標準偏差を示したものである。また Fig. 3 は、暴露区分 I, II, III, IV, V の結果について、供試体の種類別平均値を示したものである。

Table 6, Fig. 3(a)において、固有振動数 f 、減衰比 γ は、振動試験の結果の加速度波形について、前者は周波数分析をして最も卓越した周波数を、後者は振動開始から波形10個の平均減衰比を求めたものである。また曲げ剛性 K_1 は、非破壊検査における撓み試験の結果から次式で計算した値である。

Table 6 Results of nondestructive tests of plywood planks exposed to natural weather.
非破壊試験結果

{ upper : mean (in ratio to new sample)
lower : standard deviation

group		I	II	III	IV	V	VI	VII
width (cm) b	commercial	24.07 0.06	24.11(1.002) 0.06	24.13(1.002) 0.06	24.11(1.002) 0.06	24.12(1.002) 0.06	24.10(1.002) 0.06	24.11(1.002) 0.06
	order-made	24.05 0.01	24.09(1.002) 0.01	24.12(1.003) 0.02	24.09(1.002) 0.02	24.12(1.003) 0.02		
thickness (cm) h	commercial	2.88 0.06	2.98(1.035) 0.04	3.01(1.045) 0.05	3.02(1.049) 0.05	3.03(1.052) 0.05	2.92(1.010) 0.04	3.02(1.045) 0.05
	order-made	2.89 0.06	2.97(1.028) 0.05	3.00(1.038) 0.05	3.01(1.042) 0.05	3.05(1.055) 0.06		
moisture content (%) u	commercial	8.8 2.0	17.0 (1.932) 2.8	17.2 (1.955) 2.1	18.3 (2.080) 3.7	10.7 (1.216) 1.4	11.2 (1.318) 2.3	18.8 (2.212) 3.5
	order-made	7.4 0.8	13.0 (1.757) 0.9	14.6 (1.973) 1.0	13.2 (1.784) 0.8	8.9 (1.203) 1.0		
weight (kgf) w	commercial	19.49 0.86	20.65(1.060) 0.93	21.24(1.090) 0.96	21.36(1.096) 0.95	20.90(1.072) 1.07	19.71(1.035) 0.74	20.76(1.091) 0.61
	order-made	20.90 0.33	21.99(1.052) 0.30	22.49(1.076) 0.32	22.20(1.062) 0.70	22.35(1.069) 0.30		
bending stiffness $\times 10^4$ (kgf·cm ²) K_1	commercial	649 79	636 (0.980) 91	652 (1.005) 75	609 (0.938) 73	628 (0.968) 84	625 (0.963) 79	590 (0.909) 79
	order-made	746 43	736 (0.987) 57	753 (1.009) 50	712 (0.954) 49	733 (0.983) 62		
natural frequency (c/s) f	commercial	6.2 0.22			5.9(0.949) 0.22	5.9(0.955) 0.22		
	order-made	6.4 0.20			6.2((0.966) 0.21	6.1 (0.956) 0.22		
damping ratio r	commercial	1.03 0.004			1.04(1.004) 0.006	1.05(1.013) 0.014		
	order-made	1.03 0.006			1.03(1.002) 0.004	1.04(1.011) 0.009		

*7 スパン l の単純支持梁が、スパン中央に集中荷重 P を受けるとき、スパン中央の撓み δ は $\delta = Pl^3/48EI$ である。式(1)の K_1 、式(2)の K_2 は、この EI に相当する。

Table 7 Results of bending tests of plywood scaffold planks exposed to natural weather.

曲げ試験結果

{ upper : mean (in ratio to new sample)
lower : standard deviation

group		I	II	III	IV	V	VI	VII
load of fracture (kgf)	P ₁ commercial	667 103	617 (0.925) 70	600(0.900) 94	542 (0.813) 62	510 (0.765) 73	684 (1.025) 100	557 (0.835) 72
	order-made	868 75	821 (0.946) 38	796(0.917) 59	705 (0.812) 57	677 (0.780) 32		
load of fracture (kgf)	P ₂ commercial	2,392 346	2,290(0.957) 356	2,375(0.993) 410	1,952(0.816) 245	1,914(0.800) 253	2,596(1.085) 512	2,145(0.897) 349
	order-made	3,427 386	3,357(0.980) 308	3,527(1.030) 278	3,034(0.885) 331	2,881(0.841) 314		
bending stiffness ×10 ⁴ (kgf·cm ²)	K ₂ commercial	559 70	600 (1.073) 73	569(1.018) 66	577 (1.032) 65	564 (1.009) 70	581 (1.040) 62	549 (0.982) 72
	order-made	679 42	704 (1.037) 41	689 (1.016) 51	657 (0.968) 52	673 (0.991) 47		
modulus of rupture (kgf/cm ²)	σ commercial	749 128	659 (0.880) 89	618(0.825) 101	550 (0.734) 71	517 (0.690) 77	754 (1.007) 106	570 (0.761) 76
	order-made	980 87	864 (0.882) 38	824(0.841) 61	722 (0.737) 54	679 (0.693) 41		
modulus of elasticity ×10 ⁴ (kgf/cm ²)	E commercial	11.6 1.8	11.5(0.991) 1.5	10.4(0.897) 1.3	10.2 (0.879) 1.2	10.0 (0.862) 1.3	11.8 (1.017) 1.3	9.9(0.853) 1.3
	order-made	14.2 1.1	13.3(0.937) 0.7	12.7(0.894) 0.7	11.9 (0.838) 1.0	11.8 (0.831) 0.8		

$$\text{曲げ剛性}^*7 (K_1) = \frac{l^3 \cdot \Delta P}{48 \cdot \Delta \delta} \quad (1)$$

ただし、ΔP : 40 (kgf), Δδ : (60kgf 時の撓み) - (20 kgf 時の撓み) (cm), l : 支持スパン (cm)

一方、Table 7, Fig. 3(b)において、P₁, P₂は、それぞれ曲げ試験 I, 同IIの破壊荷重である。また、曲げ剛性 K₂, 曲げ強度 σ, 曲げ弾性係数 Eは、曲げ試験 I の結果から次式で計算した値である。

$$\text{曲げ剛性}^*7 (K_2) = \frac{l^3 \cdot \Delta P}{48 \cdot \Delta \delta} \quad (2)$$

$$\text{曲げ強度} (\sigma) = \frac{3 P_1 l}{2 b h^2} \quad (3)$$

$$\text{曲げ弾性係数} (E) = \frac{12}{b h^3} \cdot K_2 \quad (4)$$

ただし、ΔP : 荷重一撓み線図の直線部分 2 点の荷重差 (kgf), Δδ : ΔP に対応する撓み (cm), P₁ : 曲げ破壊荷重 (kgf), l : 支持スパン (cm), b : 板幅 (cm), h : 板厚 (cm)

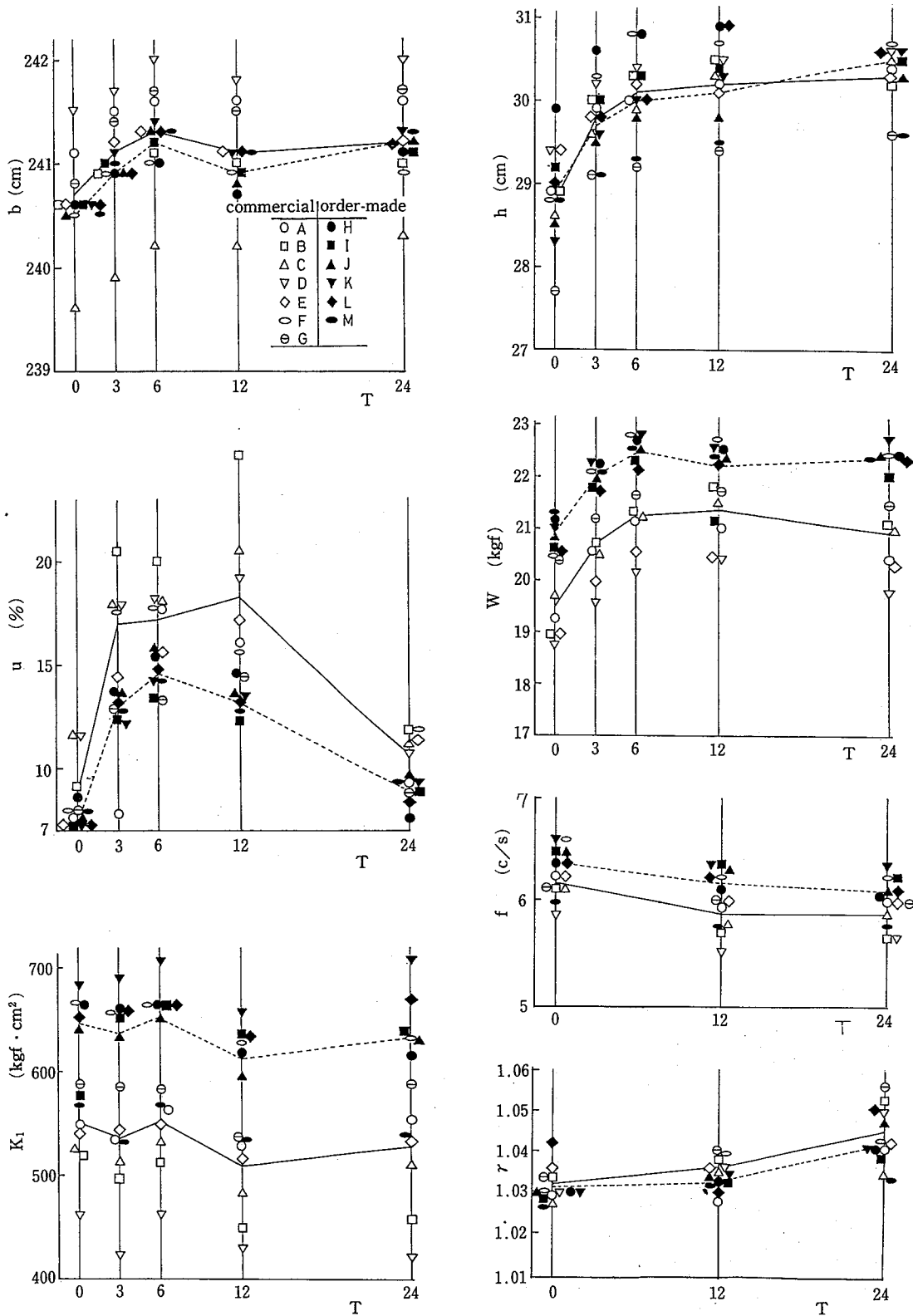
Table 7, Table 7, Fig. 3 によれば、

- (1) 板幅, 板厚は, 市販品, 特注品にあまり相違はないが, 重量は, 市販品に比べ特注品が少し重い。また, 板幅, 板厚, 重量共に暴露期間の増加につれ 6 ヶ月程度まで増加するが, その後はあまり変わらない。なお, 寸法や重量の変化は, 板の吸収膨張, 乾燥収縮によるものと思われる。
- (2) 含水率は, 暴露初期に急増し, その後 1 年まであま

り変っていないが, 2 年でかなり減少している。この減少は, 暴露終了直前の好天候により板表面が乾燥したため針式水分計の測定値としては低くなったもので, 板断面内部の含水率は 1 年の場合と同程度と思われる。これは, 暴露 2 年での寸法や重量が 1 年のときに比べてほとんど変っていないことからわかる。なお, 全区分, 全供試体の平均含水率は, 約 14% である。

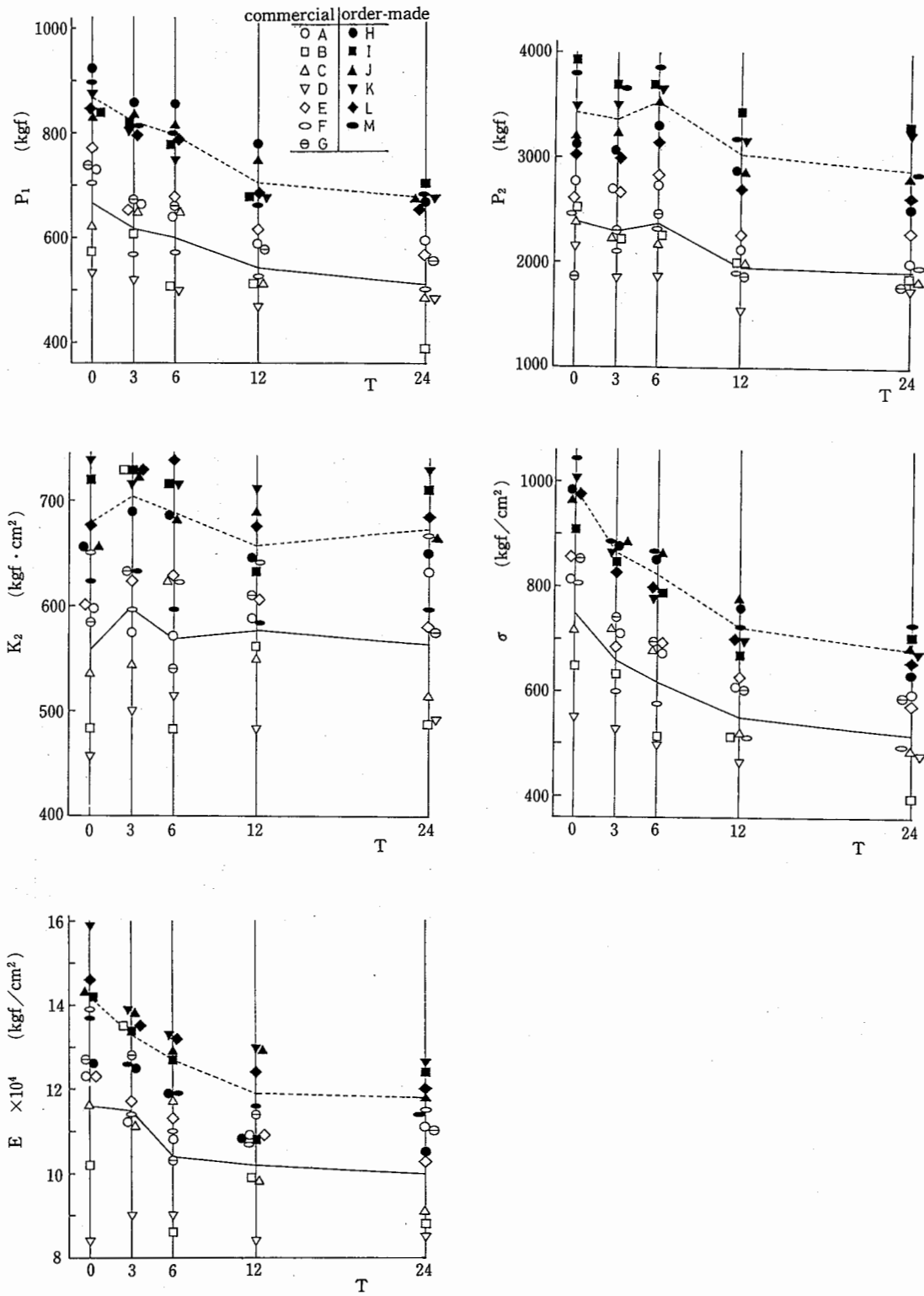
- (3) 固有振動数は, 暴露期間の増加につれ多少減少するが, 減衰比は, あまり変わらないようである。
 - (4) 曲げ剛性は, 撓み試験からの計算値 K₁ に比べて, 曲げ試験 I からの計算値 K₂ の方が少し小さい。また両者共に暴露期間が増加してもほとんど変わらない。さらに市販品に比べ特注品はかなり高い。
 - (5) 曲げ破壊荷重 P₁, P₂ は, 暴露期間の増加につれ減少するが, その割合は前者の方が大きい。これは, 次の理由によるものと推察される。曲げ試験 I と同 II において, 板の破壊状況を観察すると, 前者では, 合板の引張側の表板の破断により一次的な破壊が起るが, 後者では, 合板断面中央付近の単板の接着層がはがれるか, 又はそえ心板が裂けて分離しころがるように破壊^{**}している。一方, 暴露の影響は, 断面内部に比べて表板の方が大きいので, 上記のような結果になったものと思われる。
- また, 市販品に比べ特注品の方が P₁ で 200kgf 程度,

** 水平せん断力による破壊



(a) Results of nondestructive tests

Fig. 3 (a) Relation between months of exposure (T) and physical properties of planks.
 暴露期間 (T) と足場板の物理的特性の関係
 (T : months)



(b) Results of bending tests.

Fig. 3 (b) Relation between of exposure (T) and physical properties of planks.
 暴露期間 (T) と足場板の物理的特性の関係
 (T : months)

P₂で1000kgf 程度高い値を示した。

- (6) 曲げ強度と曲げ弾性係数は、暴露期間が増加すると減少するが、その割合は前者の方が大きい。

曲げ強度については、

- 供試体の種類によるばらつきが大きく、市販品では、E, A, Gが高く、B, Dが低い。特注品では、M, J, Hの平行合板が高い。また、新品時に労働省の構造規格（合板足場板の規格第4条）に定める値660kgf/cm²を下まわるものが見られる。
- 市販品に比べて特注品の方が約3割高い。
- 区分IとVIの値はほぼ等しいことから、6カ月の室内保管により強度の変化はないようである。
- 区分IIIに比べ区分VIIにおける劣化が大きく、同じ屋外暴露6ヵ月でも時期による相違が見られる。区分VIIの場合、冬期の凍結が劣化を促進したことも考えられる。

曲げ弾性係数については、

- 供試体の種類によるバラツキが大きく、新品時に労働省の構造規格（合板足場板の規格第4条）に定める値 9×10^4 kgf/cm²を下まわるものが見られる。
- 特注品は市販品に比べて約2割高い。

4.2 実験2について

Fig. 4 に浸水時間と含水率の関係を示す。横軸は水浸時間の対数である。図中の式は、両者の関係を直線とみなしたときの回帰式である。合板の場合、接着層が、合板内部へ水が入るのを防げるため浸水時間の増加にともなう含水率の増加は、挽板に比べゆるやかと思われる。

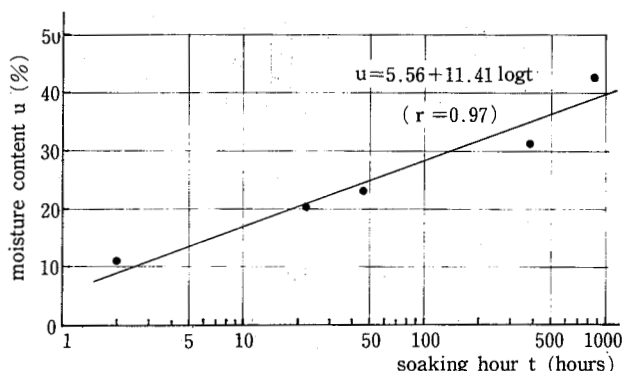


Fig. 4 Relation between soaking hour and moisture content.

浸水時間と含水率の関係

Fig. 5 は、含水率と曲げ強度^{*9}の関係を示したものである。図中●及び◎印は、浸水直後、板表面が濡れた状

*9 曲げ試験結果から(3)式を用いて計算した値

態でのデータで、○及び◎印は、浸水後、空气中に放置し板表面が乾いた状態でのデータであるが、両者の分布に相違はないようである。これより曲げ強度は、含水率の増加につれ低下するが、板表面の見かけの状態にはあまり関係がないようである。含水率の増加による強度低下の度合は、含水率30%程度までは急激であるが、その後はゆるやかである。

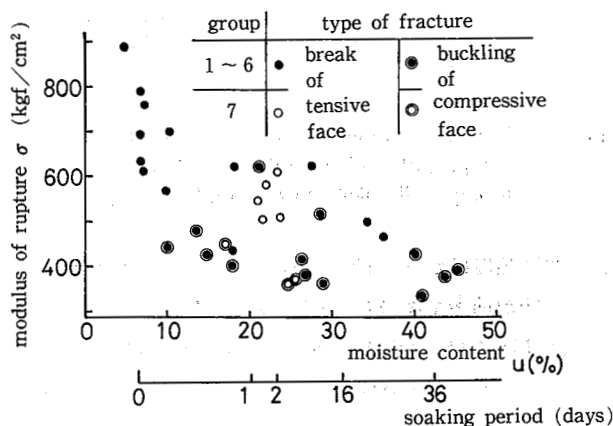


Fig. 5 Relation between moisture content, soaking period and modulus of rupture.
含水率、浸水期間と曲げ強度の関係

また曲げ破壊状況の観察によれば、含水率が低い場合（ほぼ20%以下）と高い場合で、破壊形態が異なるようである。前者の場合、一次的破壊は、加圧点直下の引張側表板の破断によって起るが、後者の場合、加圧点から少し（10cm程度）離れた位置の圧縮側表板の座屈によって起る。（Photo. 1 参照）また同じ含水率でも前者に比べ後

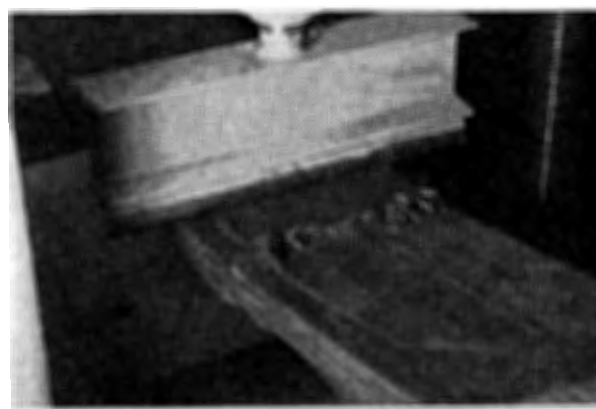


Photo. 1 Fracture by buckling of compressive face veneer.
圧縮側単板の座屈による破壊

*10 曲げ試験結果から(4)式により計算した値

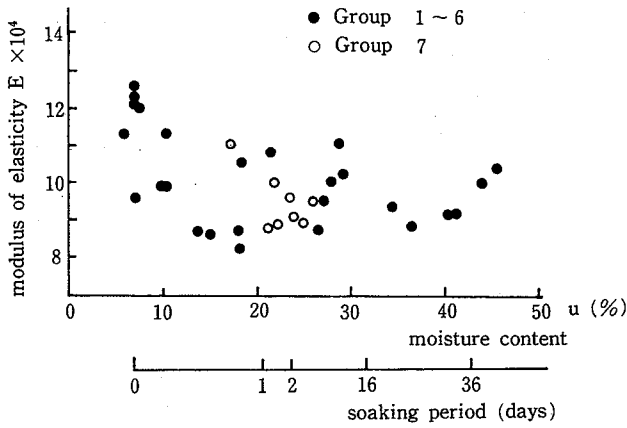


Fig. 6 Relation between moisture content, soaking period and modulus of elasticity.
含水率, 浸水期間と曲げ弾性係数の関係

者の曲げ強度はかなり低くなるようである。Fig. 5で●及び○印が前者で●及び◎印が後者である。

次に, Fig. 6は, 含水率と曲げ弾性係数^{*10}の関係を示したものである。図中●印は浸水直後の, ○印は浸水後空气中で表面を乾燥させた試料でのデータである。同図によれば, 曲げ弾性係数は, 含水率20%程度までは含水率の増加につれ減少するが, その後はあまり変わらないようである。

4.3 実験3について

Fig. 7に支持スパンと曲げ強度の関係を示す。同図で, ●, ○点は(3)式による計算値で, ◎印は, 後述の(5)式に

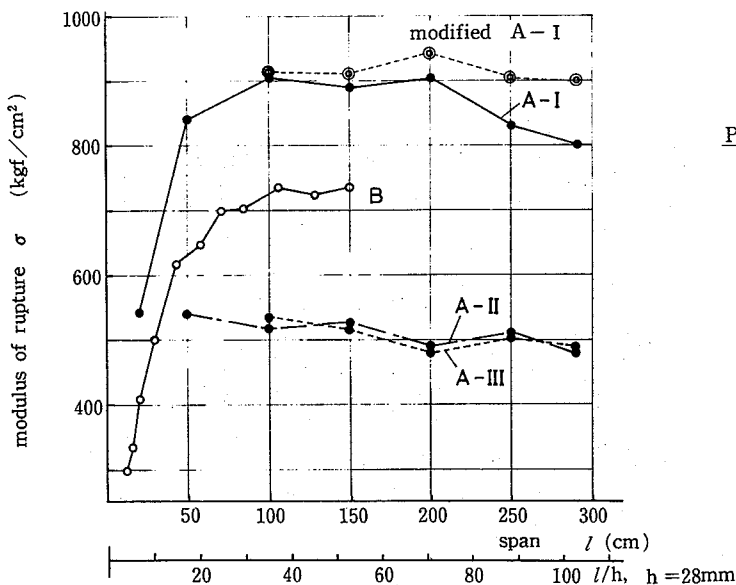


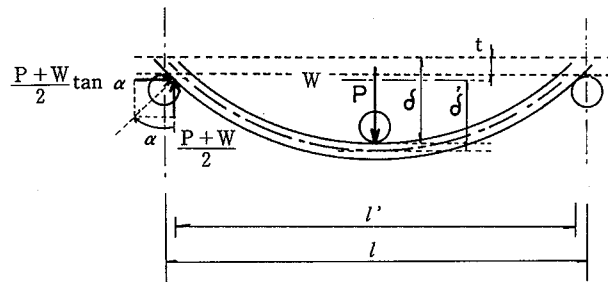
Fig. 7 Relation between span and modulus of rupture.
支持スパンと曲げ強度の関係

よる計算値である。図で, ●点のA-IとBの乾燥グループの結果について見ると, 支持スパンが増加すると, 曲げ強度はスパン100cm程度まで急増し, その後はほぼ一定となるが, さらにスパンが増加すると, 強度は漸減する傾向が見られる。

支持スパンが100cm以下で曲げ強度が低くするのは, 次の理由によるものである。板が支持スパン l の中央に荷重 P を受けるとき, 板の断面には, 次式の曲げ応力 σ と最大せん断力 τ が生じる。 $\sigma = 3Pl / 2bh^2$ ^{*11}, $\tau = 3P / 4bh$ ^{*12} (ただし, b =板幅, h =板厚) P を増やしていくとき, σ, τ のどちらかが破壊応力に達すると板は破壊するが, 一般に, σ で破壊するとき曲げ破壊, τ で破壊するときせん断破壊とよんでいる。合板足場板の場合, 曲げ強度700~800kgf/cm²程度, せん断強度は15~20kgf/cm²程度と思われるが, このとき, $\sigma/\tau = 2l/h \approx 20 \sim 60$, ゆえに l/h が10~30付近が両破壊の境界と思わ



Photo. 2 Fracture by horizontal shear.
水平せん断力による破壊



- P : load at mid-span (kgf)
- l : span (cm)
- δ : deflection at mid-span with P and dead weight of Plank (cm)
- C : radius of support (cm)
- t : thickness of plank (kgf)
- W : weight of plank (kgf)

Fig. 8 Equilibrium of forces in large deflection.
大変形時の力のつりあい

*11 (3)式に同じ

*12 これらの式は, 弾性範囲における理論式であり, 破壊時に適用するのは多少問題がある。

れる。したがって l/h がこの境界値付近より小さくなると、曲げ破壊をするものとして計算した σ の値は小さくなる。実際の破壊状況の観察によれば、 l/h が20以下では一部が、10以下ではほとんどのものが、せん断破壊*13 (Photo. 2 参照) であった。

一方、スパンが長くなったときに強度が漸減する理由は、支持スパンが長くなるにつれて破壊時の撓みが大きくなり、この撓みによって二次的に生ずる曲げモーメントが増加するためと思われる。以下に撓みを考慮したモーメント式について考えてみる。

Fig. 8 は、単純支持された足場板が中央集中荷重を受けて撓んでいる状況を表している。図のように諸元を与えると、スパン中央の曲げモーメントは、次式となる¹¹⁾

$$M = \left(\frac{P+W}{2}\right) \cdot \frac{l'}{2} + \left(\frac{P+W}{2}\right) \cdot \delta' \cdot \tan\alpha - \frac{wl}{8} \quad (5)$$

$$l' = l - 2c \sin\alpha, \quad \delta' = \delta - c(1 - \cos\alpha) - \frac{t}{2},$$

$$\tan\alpha \approx 3\delta/l$$

そこで、(5)式にグループ A-I の実測値を代入して M を求め、これを用いて曲げ強度を計算し、プロットした結果が、Fig. 7 の◎点である。これによれば、スパンが長い場合でも、曲げ強度はほぼ一定となるようである。またこれらの点と(3)式からの計算値の●点を比較すると、スパン150cm 付近では、両者にあまり相違はないが、スパンが増加するにつれて両者の相違は大きくなり、スパン

290cm では、(3)式の計算値に比べて(5)式の計算値は、約1割高い。

次に、板の含水率が高い場合についても上述のことがいえるかどうか、Fig. 7 で湿潤グループ A-II, A-III を見ると、スパン50cm 以下のデータが1つしかないので明確なことはいえないが、スパンが短い場合の曲げ強度の減少は、乾燥グループに比べ少ないようである。これは、4.1の(5)で述べた暴露の場合と同様、曲げ強度に比べてせん断強度の方が含水率の影響を受けにくいからであろう。一方、支持スパンが増加した場合、曲げ強度は漸減しており、乾燥グループと同様の傾向が見うけられる。

次に、Fig. 9 に支持スパンと曲げ弾性係数*10の関係を示す。同図によれば、支持スパンが増加すると、100cm 程度までは、曲げ弾性係数は急増するが、その後はあまり変化せず、ほぼ一定値を保つようである。スパンが短いときに曲げ弾性係数が小さくなるのは、曲げモーメントによる撓みに比較して、せん断力による撓みが増加するためと思われる。

また、A-I に比べて A-II, A-III の曲げ弾性係数は、20%程度低く、含水率の増加により曲げ弾性係数はかなり低下するようである。一方、Fig. 10 は、A-I と A-III の典型的な荷重-撓み線図であるが、同図によれば、最大荷重や比例限界は、A-I に比べ A-III の方が低い。直線部分の傾き(曲げ剛性)は、両者ほぼ等しいかむしろ A-III の方がわずかに高い。これより上記の曲げ弾性係数の低下は、曲げ剛性の低下によるものでは

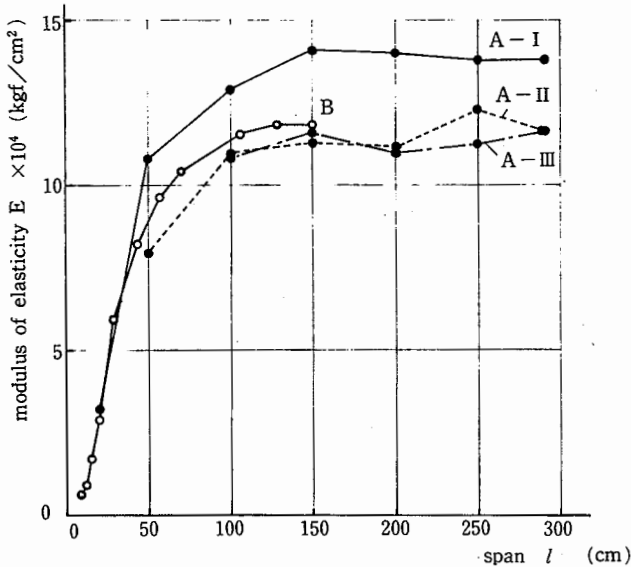


Fig. 9 Relation between span and modulus of elasticity.
支持スパンと曲げ弾性係数の関係

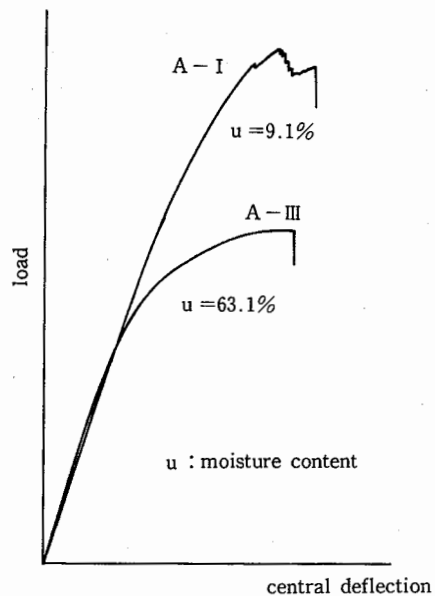


Fig. 10 Typical load-deflection curves.
典型的な荷重-撓み曲線

*13 4.1の(5)で述べた破壊状況に同じ

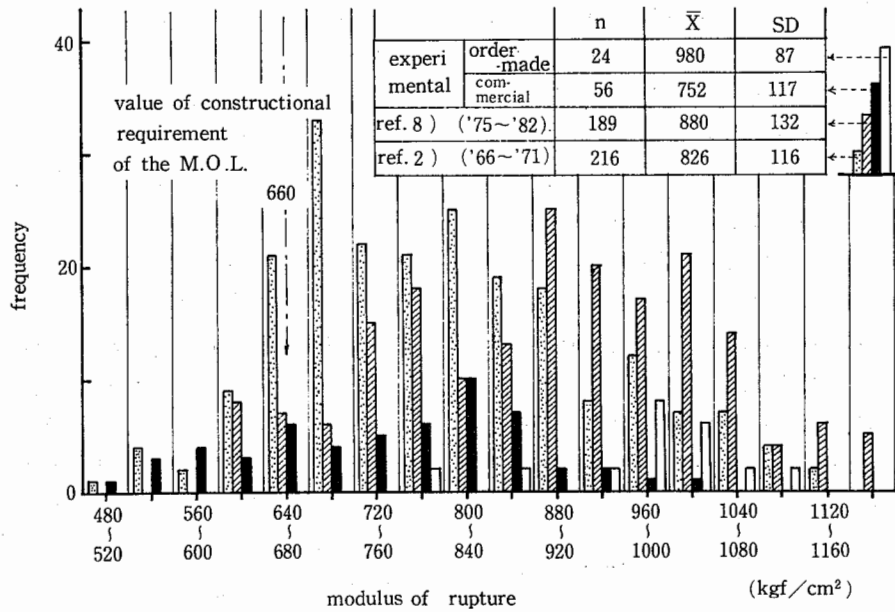


Fig.11 Frequency distribution of modulus of rupture.
曲げ強度の度数分布

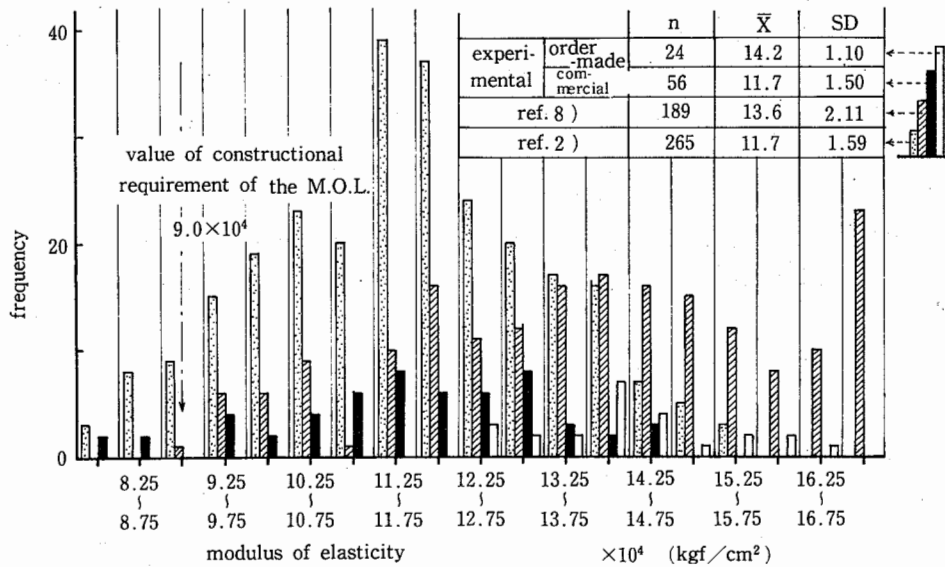


Fig.12 Frequency distribution of modulus of elasticity.
曲げ弾性係数の度数分布

なく、吸水により板の寸法が増大した結果であることがわかる。

5. 考 察

(1) 新品時の曲げ性能について

実験1の結果から新品時の曲げ強度と曲げ弾性係数の度数分布を求め、Fig.11, Fig.12に示す。同図には過去の

試験結果も併せて示した。それによると、市販品の曲げ強度は、過去のデータに比べ少し低い。しかし変動係数は、強度、弾性係数共ほぼ等しく、市販品では0.13~0.16程度である。

(2) 屋外暴露による曲げ性能の変化

Fig.13は、実験1の結果について暴露期間T(月)と曲げ強度との、Fig.14は、同じく曲げ弾性係数との関係を見たもので横軸は(T+1)の対数である。図中にプロッ

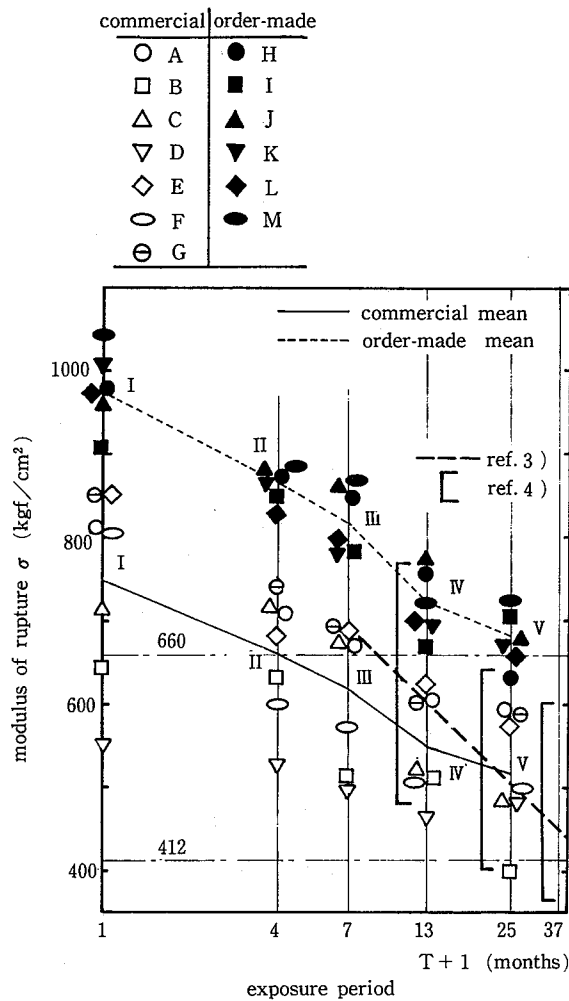


Fig.13 Reduction in modulus of rupture of plywood planks exposed to natural weather.
自然暴露による曲げ強度の減少

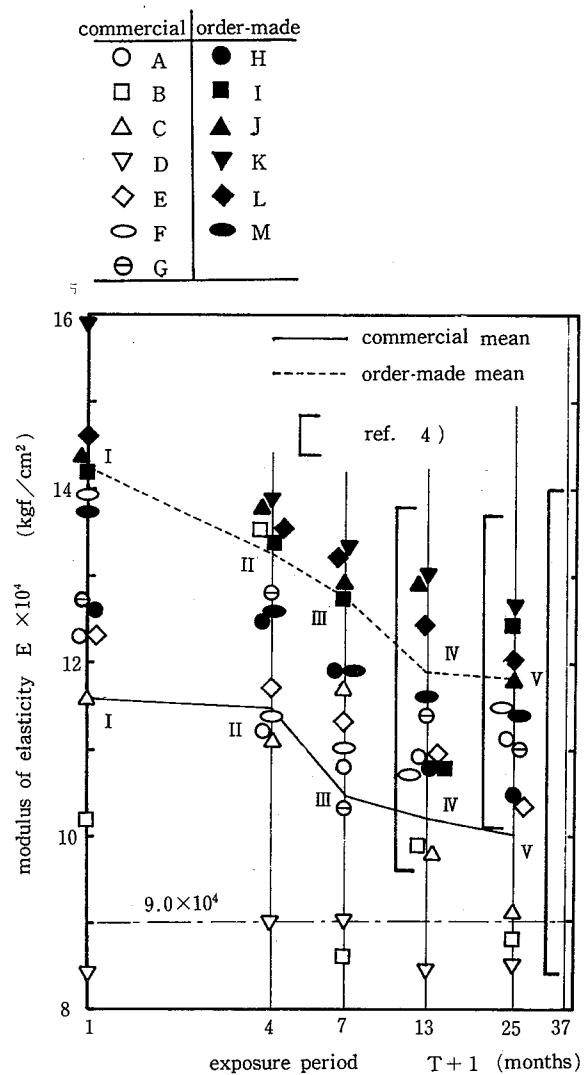


Fig.14 Reduction in modulus of elasticity of plywood planks exposed to natural weather.
自然暴露による曲げ弾性係数の減少

トした記号は、暴露区分 I ~ V の供試体の種類別平均値である。同図によれば、強度、弾性係数共に供試体により絶対値はかなり異なるが、劣化の割合はほぼ等しく、直線的に低下するようなので、それぞれ新品時比に変換したデータに対し、相関係数及び近似式を求めると、次のようになった。

$$\sigma/\sigma_0 = -0.286 \log (T+1) + 1.058 \quad (6)$$

相関係数 -0.79

$$E/E_0 = -0.218 \log (T+1) + 1.091 \quad (7)$$

相関係数 -0.54

ただし、 σ , σ_0 : 暴露 T ヶ月、新品時の曲げ強度、

E , E_0 : 暴露 T ヶ月、新品時の曲げ弾性係数

T: 暴露期間 (月)

なお上式により曲げ強度、曲げ弾性係数を推定した場合、推定値の標準誤差は、前者で 0.089、後方で 0.100 で

ある。そこで、(6)式を外挿することにより、強度面から耐用年数を推定してみる。ここでは経年品の最低必要強度を 412 kgf/cm^2 *14 とする。一方新品時の強度は、構造規格では 660 kgf/cm^2 以上で、今回の実験値では 749 kgf/cm^2 なので両者について求めると、 660 kgf/cm^2 の場合、 $T \approx 32$ (月)、 749 kgf/cm^2 の場合、 $T \approx 58$ (月) となり、この結果 3 ~ 4 年が合板足場板の耐用年数と考えられる。また、Fig.13, Fig.14 には、文献 3), 4) に見られる実際の使用足場板のデータをプロットしてあるが、これらと今回の実験結果を比較すると、概ね似た傾向を示している。

(3) 含水率と曲げ性能

*14 5 の(5)の必要強度

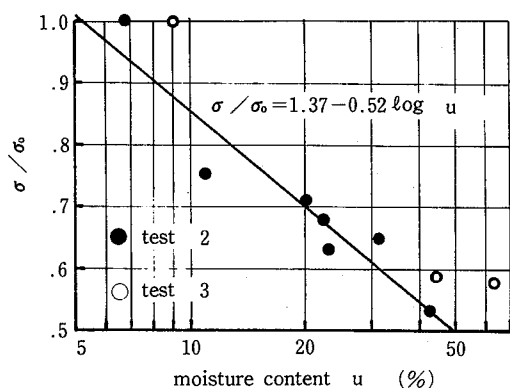


Fig. 15 Relation between moisture content and σ/σ_0 (σ : soaking, σ_0 : non soaking)
含水率と σ/σ_0 の関係

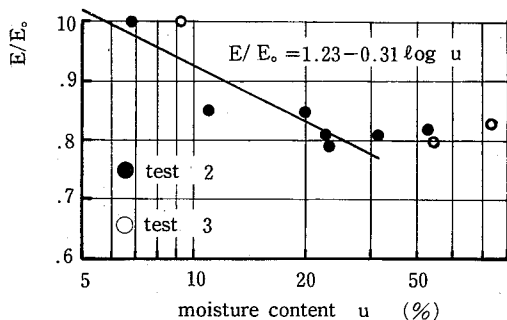


Fig. 16 Relation between moisture content and E/E_0 (E : soaking, E_0 : non soaking)
含水率と E/E_0 の関係

Fig. 15, Fig. 16は、実験 2 及び実験 3 のデータについて曲げ強度、曲げ弾性係数の新品に対する比と含水率との関係をみたもので、横軸は、含水率の対数である。

同図によれば、強度、弾性係数共に含水率30%程度までは直線的に低下するようなので、実験 2 の結果について、最小二乗法により回帰直線を求めると、次式となる。

$$\sigma/\sigma_0 = 1.372 - 0.516 \log u \quad (8)$$

$$E/E_0 = 1.234 - 0.311 \log u \quad (9)$$

ただし、 σ , σ_0 : 含水率 u % 時、新品時の曲げ強度

E , E_0 : 含水率 u % 時、新品時の曲げ弾性係数

数

u : 含水率 (%)

含水率は、通常管理状態であれば20%以下と考えてよいが、長雨の後などには30%以上になることも考えられるので、あまり湿ったものでは許容応力を減らす等の措置が必要であろう。

(4) 非破壊特性と曲げ強度の関係について

非破壊特性と曲げ強度間に相関があり、両者の関係を定量的に表わすことができれば、非破壊検査により曲げ

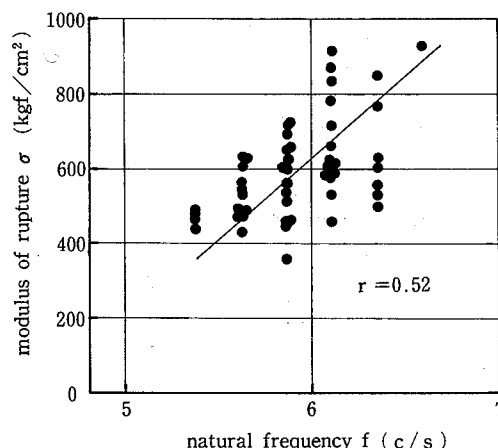


Fig. 17 Correlation between natural frequency and modulus of rupture.
固有振動数と曲げ強度の相関

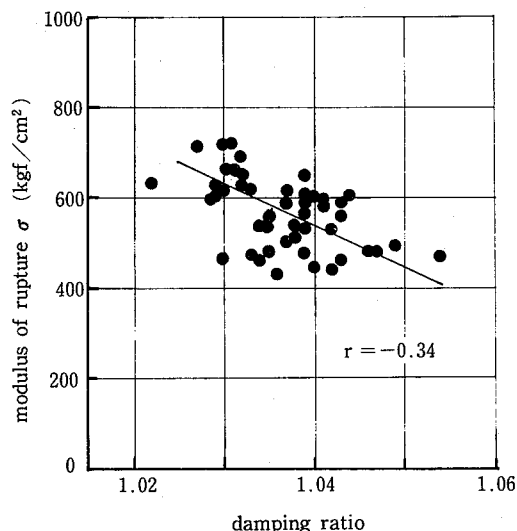


Fig. 18 Correlation between damping ratio and modulus of rupture.
減衰比と曲げ強度の相関

強度の推定が可能になる。非破壊特性のうち、含水率との関係については、(3)で述べた。Fig. 17は、固有振動数、Fig. 18は、減衰比、Fig. 19は比重と曲げ強度との関係を示したものである。このうち、固有振動数や減衰比とわずかに相関があるようであるが、比重とはほとんど相関はない^{*15}。しかし、曲げ弾性係数とは、Fig. 20に示すようにかなり相関が高い(相関係数0.76)。そこで、次の2つの場合について、回帰分析を行い、回帰式を求めてみる。

*15 一般に木材強度は木質部の比重に比例し、含水率に反比例するが、ここで扱っている比重はみかけ上の比重(単位体積重量)であるため、両者がうち消し合っただけのような結果になったものと思われる。

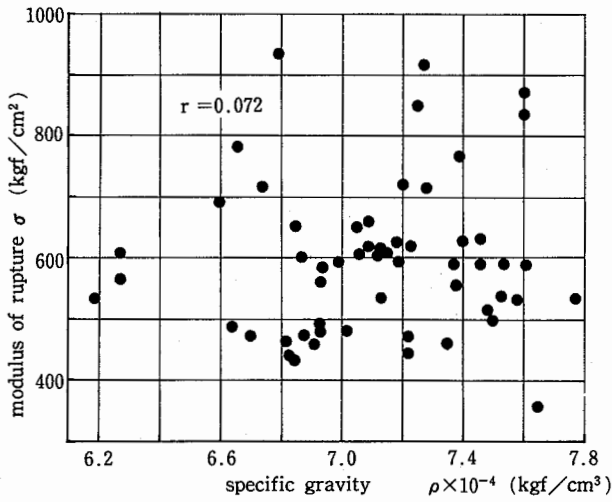


Fig.19 Correlation between specific gravity and modulus of rupture.
比重と曲げ強度の相関

a. 曲げ強度の説明変数として、板の比重、含水率、曲げ弾性係数を選んだ場合、

$$\sigma = 431.6 - 61.1 \times 10^4 \rho - 4.13 u + 64.5 \times 10^{-4} E \quad (10)$$

ただし、 σ : 曲げ強度 (kgf/cm²)、 ρ : 比重 (kgf/cm³)、 u : 含水率 (%)、 E : 曲げ弾性係数 (kgf/cm²)
上式による曲げ強度の推定値の標準誤差は、約70kgf/cm²である。推定値と実測値の関係を Fig.21に示す。

b. 説明変数として曲げ弾性係数を選んだ場合、

$$\sigma = 62.50 \times 10^{-4} E - 43.85 \quad (11)$$

ただし、 σ 、 E は、(10)式と同じである。Fig.20で実線が(11)式を表している。同式による曲げ強度の推定値の標準誤差は、約88kgf/cm²である。

上記(10)式、(11)式を用いた場合の推定値の標準誤差を比較すると、前者の方が小さく、推定値の精度は多少よいが、結果を利用して曲げ強度を推定する際の、手間を考えると、(11)式の方が実用的である。

(5) 撓み試験で基準とする E の値について

(4)のbの結果を利用して、撓み試験により足場板としての適否を判定する場合には、まず足場板としての必要強度を設定し、それに対応する E の値を両者の関係から求める必要があるが、このときの E の値は、足場板の検査方法における撓み試験の役割に応じて、適正な値にする必要がある。例えば、撓み試験のみにより足場板としての適否を判定するような場合は、(11)式をそのまま用いなくて、Fig.20におけるデータのばらつきを考慮して、 σ の観測値の95%信頼下限値程度に対応する E の値を採用する必要がある。一方、撓み試験の後、荷重試験を行って、最終的に安全性を確かめるような場合は、撓み試験は補助的に行うのであるから、(11)式をそのまま用いて求めた E の値を採用することでよいものと思われる。

そこで、上記の2つの場合に沿って、 E の値を求めて

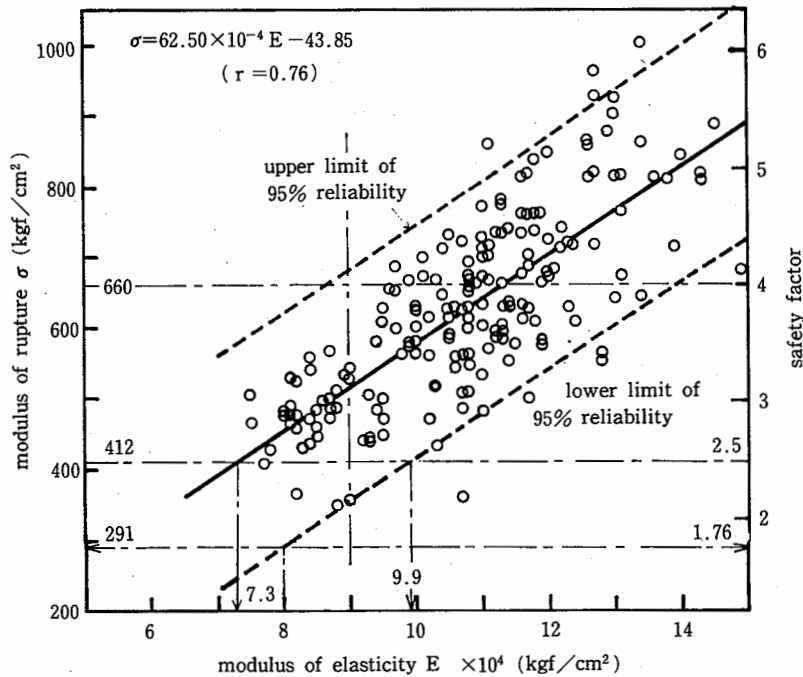


Fig.20 Correlation between modulus of elasticity and modulus of rupture.
曲げ弾性係数と曲げ強度の相関

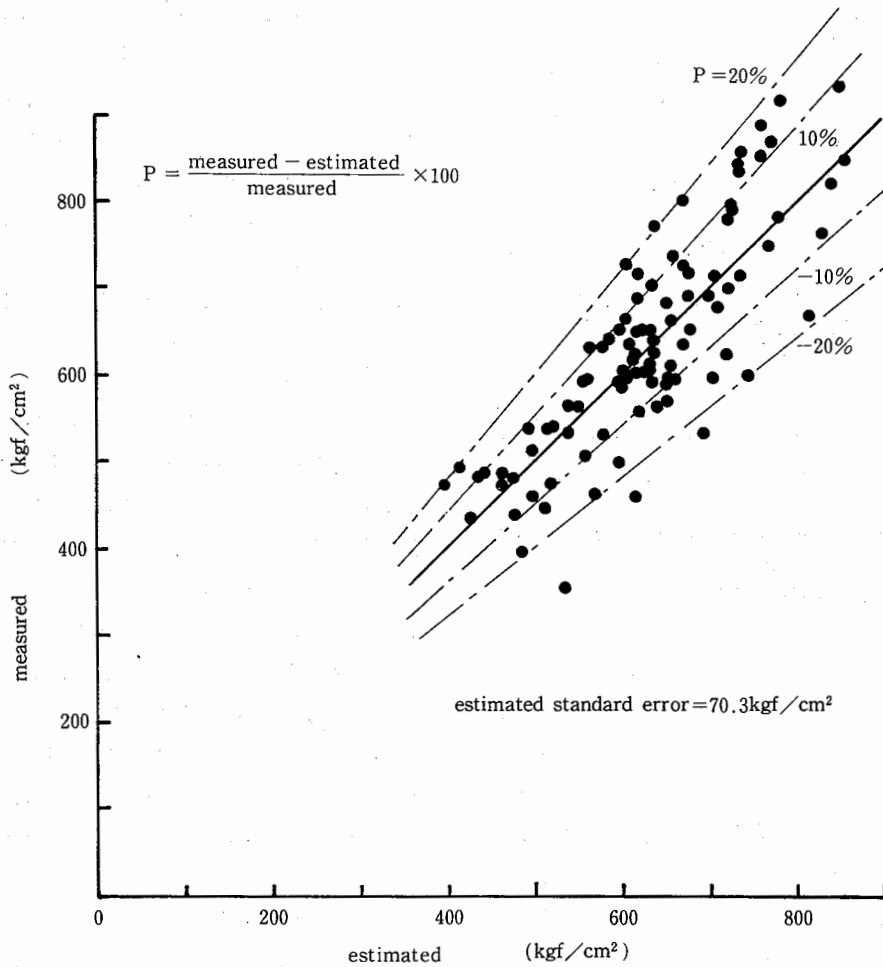


Fig.21 Relation between the measured values and estimated values of modulus of rupture plotted from equation (10).
(10)式による曲げ強度の推定値と実測値の関係

みる。足場板の必要強度は、労働安全衛生規則の第563条に定める合板の許容曲げ応力 (165kgf/cm²) に対し、安全率2.5^{*16}をとることにすれば、約412kgf/cm²となる。また Fig.20の点線は、Eのいろいろな値に対してσの観測値の95%信頼限界を求めて結んだものである。

さて、同図において、上述の前者の場合、必要強度412 kgf/cm²が95%信頼下限界となるとき曲げ弾性係数を求めると、約9.9×10⁴kgf/cm²となる。また後者の場合は、(11)式より、約7.3×10⁴kgf/cm²となる。

(6) 合板協会基準の強度検査方法についての検討

合板協会基準に定めている経年足場板の強度検査方法は、付録に示す通りである。同方法では、撓み試験と荷重試験を併せて行っているの、(5)で述べたように、撓

み試験の判定基準となるEの値は、7.3×10⁴kgf/cm²程度でよいものと思われるが、8.0×10⁴kgf/cm²と安全側の値を採用しており問題はない。ちなみに、Eを8.0×10⁴kgf/cm²としたとき、必要強度412kgf/cm²を超える確率は、Fig.20によれば約70%である。今回のデータから判断する限り、同方法で採用しているEの値は、ほぼ妥当であるといつてさしつかえないようである。しかし検査の精度を上げるためには撓み試験と荷重試験を分けて行うこととし、さらに次の点に配慮するのが望ましい。

a. 撓み試験の試験荷重について

基準では、規定寸法が28mm×240mm×4000mmの場合、試験荷重を173kgfとしているが、比例限界荷重^{*17}がこれより小さい場合、試験荷重時の撓み量から求めた曲

*16 2.5の内訳は、衝撃に対し2.0、含水率に対し0.5を考えたものである。

*17 今回の実験及び文献5)によれば、曲げ破壊荷重の0.4~0.5倍である

げ弾性係数は、比例限界以下の部分について求めた曲げ弾性に比べて低い値となり、十分強度を有する板までも不合格にするおそれがある。このため、試験荷重は、比例限界荷重（スパン300cmの場合、70～100kgf程度）以下にする必要がある。

b. 撓み試験の限界撓みについて

基準では、限界撓みを曲げ弾性係数 $8 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ から、板の標準寸法（板幅24cm、板厚2.8cm）を用いて計算することになっているが、前述したように、暴露の結果板の寸法は、大きく変化するので限界撓みの値は、板の実寸法から個々に計算する必要がある。

c. 荷重試験の試験荷重について

4.3で述べたように、支持スパンが長くなると撓みによる付加モーメントが増加するので、支持スパンより試験荷重の値を補正することが望ましい。

基準では、スパン300cmで、試験荷重172kgf、限界撓み28cmとしているが、同基準の解説によれば、これらの値は、(3)式と(4)式から、曲げ応力 412kgf/cm^2 、板幅24cm、板厚2.8cmとして計算した値であり、例えば、スパンを150cmとすれば、試験荷重は344kgf、限界撓みは6.9cmとなるが、この場合どちらのスパンで試験をしても負荷条件としては同じはずである。しかし、(3)式かわりに(5)式を用いて、上記の2つの場合について、曲げ応力を計算すると、スパン300cmの場合、約 451kgf/cm^2 、同150cmの場合、約 418kgf/cm^2 となり、前者は後者に比べて8%程度大きい負荷を与えていることになる。この検査方法が、スパン150cmの実験データに基づいていることを考えると、それより長いスパンで検査を行う場合は、試験荷重を補正するのが望ましい。ちなみにスパン300cmの場合補正後の試験荷重は、約160kgfとなる。

6. 結 言

以上をまとめると、次の通りである。

- (1) 市販の合板足場板の曲げ性能は、メーカーによりばらつきが大きく、新品時に構造規格値を下まわるものがある。
- (2) 屋外暴露及び含水率の増加により曲げ性能は低下する。低下の度合は、曲げ弾性係数に比べて曲げ強度の方が大きい。
- (3) 市販品に比べて特注品は、強度、弾性係数共高く、断面構造を改善することにより曲げ性能を上げることは可能と思われる。

(4) いくつかの非破壊特性と曲げ強度間に相関があり、非破壊検査により曲げ強度の推定が可能である。

(5) 現行の合板足場板安全技術基準の強度検査方法は、ほぼ妥当である。最後に、本研究の結果経年合板足場板の強度検査における考え方を次のように提案する^{*18}。

1. 4年以上経年使用したものは、不合格とする。
2. 4年未満の経年使用品について、次の外観検査、撓み試験及び荷重試験を行う。
3. 外観検査は、合板仮設安全技術協会の合板足場板安全技術基準⁹⁾の29項に準じて行う。
4. 撓み試験、荷重試験は、含水率20%以下の足場板に対して行う。含水率20%以上のものは、乾燥して20%以下にしてから行う。
5. 撓み試験は、次の要領で行う。

単純支持した足場板のスパン中央に集中荷重を与えたときのスパン中央の撓みを測定する。撓みと板の実寸法から計算した曲げ弾性係数の値が $8 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 以下ならば、不合格とする。

集中荷重の値は、比例限界を超えない範囲で与えるものとする。具体的には、スパン300cmのとき、70kgf程度とする。

6. 荷重試験は、次の要領で行う。

単純支持した足場板のスパン中央に集中荷重を与えたときの板の状況を観察する。破壊するものや、異音を発するものは、不合格とする。集中荷重の値は荷重値と板の実寸法から計算した曲げ応力の値が、 412kgf/cm^2 に相当する大きさのものとする。

謝 辞

本研究に御協力頂いた合板足場板メーカー各社、社団法人合板仮設安全技術協会に感謝致します。

(昭和61年2月3日受理)

参考文献

- 1) 森，合板足場板の曲げ強さ，建築材料（1966）
- 2) 河尻，合板足場板の安全性について，第8回全国建設業労働災害防止大会研究発表集（1971）
- 3) 熊井，高田，経年仮設材の品質管理に関する研究，日本建築学会大会梗概集（1979）

^{*18} 当方法により強度検査を行った場合、含水率30%程度までは、安全率でカバーできるものと思われるが、それ以上の含水率の場合は、使用にさいし乾燥するか、許容応力を下げる措置が必要である。

- 4) 合板仮設安全技術協会, 使用中又は使用済の合板足場板の劣化度について, 労働省依託研究報告書(1982)
- 5) 脇坂, 林, 経年合板足場板の強度検査について, 大林組技術研究所報, NO.24 (1982)
- 6) 河尻, 合板足場板の安全性に関する研究 (第1報) 日本建築学会大会梗概集 (1983)
- 7) 河尻, 合板足場板の安全性(第2報), 日本建築学会大会梗概集 (1985)
- 8) 仮設工業会, 合板足場板の依頼試験結果 (未発表)
- 9) 合板仮設安全技術協会, 合板足場板の安全技術基準 (1983)
- 10) 吉田, 合板の強度耐候性に関する研究
- 11) 吉田, 実大合板の曲げ試験法と装置, AWCOM,NO. 21 (1976)
- 12) Roy F. Pellerin, Nondestructive testing of panel products.
- 13) George R. Wilkie, Jr., Accelerated aging methods for exterior plywood faced with southeast asian hardwood veneers: (1978)

付表 1 限界重量, 試験荷重及び限界撓み

規定寸法 (mm)			限界重量 (kgf)	試験荷重 (kgf)	限界撓み (mm)
厚さ	幅	長さ			
25	300	4,000	27.0	172	310
28	240	4,000	24.2	173	280
	300		30.2	216	
30	240	4,000	25.9	199	260
	300		32.4	248	

付録

合板足場板安全技術基準 (社団法人合板仮設安全技術協会) からの抜粋

強度検査は, 次の要領により行うものとする。

- a. 足場板の重量を測定し, その値が付表1の限界重量以下のものについて行うこと。もしその値が同表の値を超えるものについては乾燥の後行うこと。
- b. 単純支持された支点間隔 3 m の足場板の中央に付表1に示す値の試験荷重を載荷すること。
- c. 載荷の結果, 破壊したもの, 異音を発したものと及び撓みが付表1に示す限界撓みの値を超えたものは不合格とすること。