

マレーシア製合板の性能評価

- コンクリート型わく合板の曲げ性能試験 (その1) -

北村 維朗 W. C. WONG*

The Flexural Properties of Concrete Shuttering Plywood Made in a Malaysian Mill (Part 1)

Tadao KITAMURA

Wing Chong WONG

Values of flexural MOE, MOR and ultimate shear stress in bending were determined for ten sheets of Malaysian concrete shuttering plywood. The sample sheets involved 12-mm-5 ply, and 18-mm-7 ply. Their constituents were Menkulang, Machang, Simpoh, Kedondong, Petai, Keruing, Merawang and White Meranti. Each sheet was divided into four segments to determine local deviations of the mechanical properties in one sheet. Every test was performed in an ambient, or in a wet, condition. The results are briefed as follows :

(1) Flexural stiffness tests on full-size plywood proved that the plywood met the JAS for concrete shuttering plywood.

(2) Every tested plywood cleared the JAS for structural plywood either in terms of MOE or MOR.

(3) Values of ultimate shear stress in bending were, on the average, 22 kg/cm² and 28kg/cm² for 12-mm and 18-mm plywood respectively. These values were almost equivalent to, or higher than, those of southern pine structural plywood.

(4) MOE values in a wet condition were 4 to 5 percent lower than the values in an ambient condition in directions parallel to grain, and about 25 percent lower in perpendicular directions. Corresponding decreases in MOB were 20 to 30 percent for parallel directions, and about 40 percent for perpendicular directions (wet values were determined from wet dimensions)

(5) Deviations of depth were 0.44 mm for 18-mm plywood and 0.23 for 12-mm, according to the standard deviation. Local deviations of the depth in one sheet were significant from a statistical point of view.

(6) Local deviations of short-span MOB in one sheet were significant for some samples when tested in a 152-mm span distance.

(7) Correlation equations for expecting MOR from MOE and the property values in a wet condition from those in an ambient condition were also determined. The equation, $MOB = B \times MOE + A$, had a correlation coefficient of 0.74, and a standard error of 77 kg/cm² in normal-span and ambient tests.

マレーシア製のコンクリート型わく用合板について、曲げヤング係数・曲げ破壊強さ、曲げせん断強さ等の性能を評価した。供試合板は12mm - 5プライおよび18mm - 7プライで、単板構成はMengkulang, Machang, Simpoh, Kedondong, Petai, Keruing, Merawang, White Meranti等の異樹種混成構成である。各合板は4つの区分に分割して、合板1枚の中の物性のバラツキを検定した。また飽水状態で試験をおこない、常態値との比較をおこなった。結果を略記すると、

- (1) 実大4 × 8 サイズによる曲げ剛性試験では、すべての供試合板が、コンクリート型わく用合板のJAS規格値に十分合格した。
- (2) 曲げヤング係数と曲げ破壊強さはすべての供試合板が構造用合板のJASに十分合格した。
- (3) 曲げせん断強さは12mm合板で平均22kg/cm²、18mm合板で平均28kg/cm²でサザンパイン構造用合板のローリングシア値より高い。
- (4) 飽水によるMOEの低下は、Par. 方向値で4~5%、perp. 方向値で約25%、MORの低下はpar. 方向値で20~30%、perp. 値で約40%であった。せん断強さは25~30%の低下であった(いずれも飽水寸度基準)。
- (5) 厚さのバラツキは標準偏差で18mm合板0.44mm、12mm合板0.23mmで1枚の合板の中のバラツキも有意であった。
- (6) スパン間隔152mmで求めた短スパンMOEでは個体内のバラツキが有意となったものがあった。
- (7) 曲げヤング係数から曲げ破壊強さを推定する回帰式は相関係数が0.74、回帰直線からの標準誤差が77kg/cm²(標準スパン・常態試験)であった。

1. はじめに

前報¹⁾ではマレーシア製構造用合板について、もっとも一般的に合板性能の指標とされている接着性能について論じたが、本報告ではこれと並んで重要視される曲げ性能(曲げ弾性係数・曲げ破壊強さ・せん断強

さ)について論じる。マレーシア連邦では合板の一般的品質基準として単板等級、接着品等を決めた、英国規格に準じたMalaysian Standard MS3.22が1974年に公示されているが、コンクリート型わく合板、構造用合板といった用途別の製品規格は制定されておら

第1表 供試合板(2440mm × 1220mm)

(1) 12mmコンクリート型わく合板

試料合板	密度 (kg/m ³)	単板構成				
		Top (1.5mm)	2 nd. (3.4mm)	3 rd. (3.0mm)	4 th. (3.4mm)	Bottom (1.5mm)
A-1	732	Mengkulang	Machang	Simpoh	Simpoh	Kedondong
A-2	710	〃	Keruing	〃	Machang	〃
A-3	678	〃	Petai	〃	Keruing	〃
A-4	746	〃	Keruing	〃	Keruing	〃
A-5	691	〃	Keruing	〃	Simpoh	〃

(2) 18mmコンクリート型わく合板

試料合板	密度 (kg/m ³)	単板構成						
		Top (1.5mm)	2 nd. (3.4mm)	3 rd. (3.0mm)	4 th. (3.4mm)	5 th. (3.0mm)	6 th. (3.4mm)	Bottom (1.5mm)
B-1	734	Mengkulang	Meranti	Merawan	Kedondong	Merawan	Kedondong	Mengkulang
B-2	675	〃	〃	〃	Meranti	〃	Meranti	〃
B-3	700	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
B-4	665	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
B-5	660	〃	〃	〃	Kedondong	〃	Kedondong	〃

注) Meranti は White Meranti

ず、今後の規格制定が期待されている。それにもかかわらず、マレーシア連邦で生産されている合板の種類はコンクリート型わく合板、ブロックボード、表面加工合板と最近では逐次その数を増やし続けている。輸出处の商品が多いので、現在は各仕向国の規格を個々のメーカーで利用しており、現在は英国、日本、米国、フランス、オーストラリア、シンガポール等6ヶ国の規格が連邦の合板工場個別に利用されている⁷⁾。本試験はマレーシア規格準備のためのデータを提供するものであると同時に、今後我国の市場にも出回って来ると考えられるマレーシア製合板の性能に関する知見を提供するものである。

2. 試験合板

試験料として用いた合板はマレーシアの最大手の総合木材会社の一つであるSyarikat Jengka Sdn. Bhd. によるもので、通常の生産活動の中で得られたものである。4 × 8 , 12mm - 5plyと18mm - 7plyの各5枚ずつ、詳細な仕様は第1表のとおりである。

3. 試験方法

3.1 非破壊試験

供試合板は小片試験のために表裏を断す前に4 × 8 のフルサイズのまま“コンクリート型わく用合板の日本農林規格”⁵⁾を準用して曲げ剛性試験をおこない、荷重 - たわみの関係から曲げヤング係数（表裏早板の木理はスパン方向と平行）を求めた。スパンは150cmとし、中央集中荷重で12mm合板には20kgまで、18mm合板には50kgまで分銅によって段階的に負荷した。

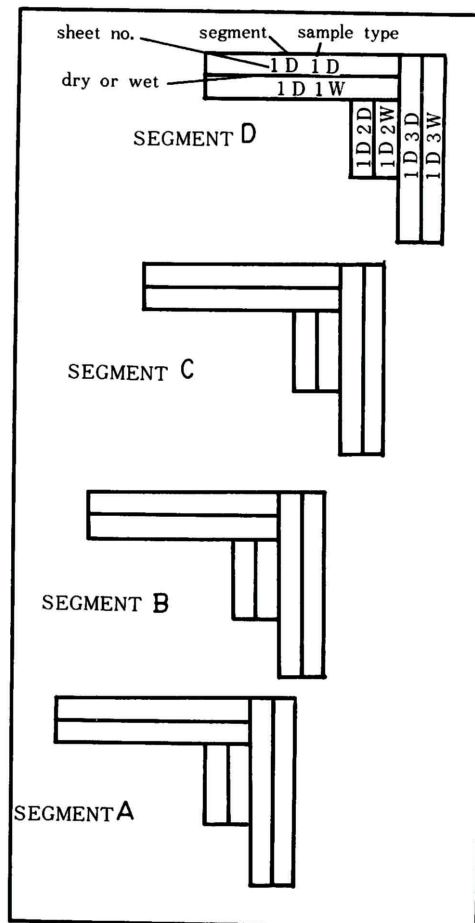
3.2. 小片試験

3.2.1 試験片

それぞれの供試合板は第1図に示すように、4つの部分に分割し、それぞれから図に示す3種類6本の試験片を採取した。6本の試験片は以下の3種類のサイズを持つ。

）合板表裏単板の主繊維方向と直角に50mm、平行に500mm。

）合板表裏単板の主繊維方向と平行に50mm、直角



第1図 試験片のサンプリング

に500mm。

）合板の表裏早板の主繊維方向と平行に200mm、直角に50mm。

いずれも2片ずつで、それぞれ常態での試験と完全飽水状態での試験に利用した。)は試験スパンが合板表裏板の木理と平行な場合（以下par. と略記）の曲げヤング係数と曲げ強さの測定用に、)は試験スパンが合板表裏板の木理と直交する場合（以下perp. と略記）の曲げヤング係数と曲げ強さの測定用に、)はせん断強さと短スパンの見掛けの曲げヤング係数と曲げ強さ（par. のみ）の測定用に供した。試験片厚さはそれぞれの合板の厚さとした。

3.2.2 飽水状態試験

コンクリート型わく合板はセメントスラッジに直接

接して屋外で使用されるために、含水率の高い条件下のサービスを要求されるため、英国のコンクリート協会と構造技術研究所のジョイントコミッティーは、試験片は完全飽水状態で物性試験をおこない、得られた最大許容応力に1.33を乗じて補正することを推奨している²⁾。本試験ではこれに従って、2本1組の試験片のうち1本は約20の清水中に48時間浸せき飽水後に曲げ試験に供した。

3.2.3 曲げヤング係数・曲げ強さ

英国規格B.S. 4512⁴⁾では、静的曲げヤング係数および曲げ強さ試験用の試験片は、Par.の場合、良さ(表裏板の木理と平行)は厚さの48倍プラス50mm以上、perp.の場合、良さ(表裏板の木理と直交)は厚さの24倍プラス50mm以上と規定されている。したがって、この規格に沿った試験を行おうとする場合、18mm合板は、par.で914mm、perp.で482mm、12mm合板ではpar.で626mm、perp.で338mmを要することになる。しかしながら本試験に使用した試験機(Instronユニバーサル試験機)の収容限度から、すべて長さ500mm×幅50mm×厚さのサイズでおこなった。“構造用合板の日本農林規格”⁶⁾によれば、試験片長はpar. perp.いずれの場合も、厚さの24倍プラス50mmで、厚さ18mmの場合は482mm以上、12mmの場合は338mm以上で、この場合は規格を満足している。

常態試験では、試験片を約1週間試験機室に置いてイコーライジングしたのち、飽水状態試験では試験片の水を切ったのち数時間以内に試験をおこなった。試験条件は、スパン432mmの中央集中荷重で、クロスヘッドスピードは5mm/分であった。

3.2.4 短スパン試験

長さ200mm(par.)、幅50mmの試験片を使い、スパン間隔152mmで、3.2.3と同様の曲げ試験をおこなった。この試験から短スパンにおける見掛けの曲げ強さと、曲げヤング係数、曲げせん断強さを求めた。この試験では試験機のクロスヘッド速度は1mm/分であった。

3.2.5 計算式

上記の試験から得られたデータにより、以下の計算式を利用して所要の物性値を求めた。

曲げヤング係数；

$$MOE = \frac{L^3 S}{4bd^3} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

第2表 コンクリート型わく用合板の日本農林規格によるフルサイズ曲げ剛性試験

試料合板	荷重(kg)	たわみ(mm)	判定	曲げヤング率(10 ³ kg/cm ²)
12mm				
A-1	20	10.05	合格	71.2
A-2	〃	9.68	〃	64.1
A-3	〃	10.80	〃	49.9
A-4	〃	9.78	〃	63.6
A-5	〃	9.75	〃	59.6
平均		10.01	〃	61.7
標準偏差		0.46		7.8
18mm				
B-1	50	8.71	合格	72.7
B-2	〃	8.16	〃	73.1
B-3	〃	7.74	〃	73.0
B-4	〃	7.72	〃	75.1
B-5	〃	7.88	〃	70.5
平均		8.04	〃	72.5
標準偏差		0.41		1.6

注) スパン：1500mm
スパン方向：表裏単板木理に平行
荷重方式：スパン中央集中荷重

第3表 常態試験による曲げヤング係数(10³ kg/cm²)

試料合板	Par.		Perp.	
	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm				
A-1	58.9	2.4	103.2	12.0
A-2	63.6	2.4	73.9	8.4
A-3	62.0	4.0	72.1	7.0
A-4	61.0	2.2	51.7	15.2
A-5	62.6	4.0	63.4	5.8
	61.6	3.2	72.8	19.8
18mm				
B-1	71.8	2.0	68.1	6.6
B-2	67.0	2.8	61.8	4.1
B-3	62.9	2.6	52.9	5.3
B-4	64.4	2.6	60.8	8.3
B-5	63.9	2.8	62.7	9.3
	66.0	4.0	61.6	3.3

第4表 常態試験による曲げ破壊強さ

	Par.		Perp.	
	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm				
A-1	473	52	788	102
A-2	553	72	627	93
A-3	501	64	595	132
A-4	482	47	389	125
A-5	523	36	541	66
	500	54	588	163
18mm				
B-1	588	15	675	69
B-2	550	36	585	60
B-3	501	42	511	81
B-4	536	32	563	110
B-5	516	43	545	58
	537	44	578	88

曲げ強さ；

$$MOR = \frac{3L W_{max}}{2bd^2} \quad (kg/cm^2)$$

曲げせん断強さ；

$$USS = \frac{3 W_{max}}{4bd} \quad (kg/cm^2)$$

ここに S：荷重／ひずみ図の最大勾配 [kg/cm]

Wmax：最大破壊荷重 [kg]

L：スパン距離 [cm]

b：試験片の幅 [cm]

d：試験片の厚さ [cm]

4. 試験結果

4.1 非破壊試験

結果は第2表に示す。コンクリート型わく用合板の日本農林規格⁵⁾によれば、12mm、4 × 8合板は最大20kgの中央集中荷重で、スパン中央での変位が11.5mm、18mm合板では50kgで10mmと規定されており、供試した10枚の合板はいずれもその規定を満足している。得られた荷重 - 変位関係から計算された曲げヤング係数は、試験片A-3を除いて、構造用合板の日本農林規格⁶⁾1級の55 × 10³kg/cm² (12mm)、50 × 10³kg/cm² (18mm) を超えている。なお、この

試験は表裏単板の木理がスパン方向と平行している

(par.) 場合のみおこなった。

4.2 常態試験

小片による常態での曲げ試験の結果は第3.4表のとおりであった。試験片の含水率は試験時で12mm合板は平均12.4%、18mm合板は平均11.3%であった。

曲げヤング係数

得られた曲げヤング係数の平均値は、すべての供試合板がpar. 方向、perp. 方向とも構造用合板のJAS規定値(1級)を十分に上回っており、なかんずくperp. 方向値はJAS値よりはるかに大きく、Par. 値とほぼ同等の値を持っている。このことは、これらの合板がスタッド方向に対して縦横いずれの方向に対しても同じ条件で使えるという利点を示している。曲げヤング係数の標準偏差は12mmのperp. 方向が約20 × 10³kg/cm²と大きいのが、これは2層目と4層目のクロスバンドに使用した樹種が4種に及び、基本材質の変化が大きいためと考えられる。

曲げ破壊強さ

曲げ強さは曲げヤング係数と同様な傾向を見せ、これも構造用合板のJAS規定値(1級)を大きく上まわっている。

4.3 飽水状態試験

試験時の平均含水率は12mm合板で63.6% (標準偏差5.9%)、18mm合板で52.3% (同2.9%) であった。

第5表 飽水状態での曲げヤング係数 (10³kg/cm²)

試料合板	飽水時寸度基準		常態時寸度基準	
	Par.	Perp.	Par.	Perp.
	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm				
A-1	57.1	6.9	83.3	14.1
A-2	63.1	1.5	54.4	1.8
A-3	58.3	4.6	53.0	6.6
A-4	58.5	2.1	43.6	18.9
A-5	60.6	2.2	36.9	13.3
	59.4	4.1	54.2	19.7
18mm				
B-1	65.6	3.3	55.1	5.4
B-2	61.2	4.7	42.4	5.9
B-3	59.6	3.0	39.9	6.9
B-4	62.0	2.8	45.8	5.4
B-5	61.7	4.0	50.3	6.6
	62.0	3.8	46.7	7.8

第6表 飽水状態での曲げ破壊強さ (kg/cm²)

試料 合板	飽水時寸度基準		常態時寸度基準					
	Par.		Perp.		Par.		Perp.	
	平均	(σ)	平均	(σ)	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm								
A-1	394	58	471	105	423	66	518	118
A-2	382	66	389	53	409	69	420	58
A-3	384	41	339	51	421	53	369	47
A-4	380	13	348	94	410	15	371	97
A-5	364	32	257	140	398	29	277	149
	381	42	361	110	413	47	391	120
18mm								
B-1	459	42	405	19	481	49	437	25
B-2	428	44	334	33	471	51	363	37
B-3	436	24	292	63	475	22	320	65
B-4	396	28	343	38	428	29	375	44
B-5	410	41	324	53	445	42	355	58
	426	39	340	55	460	41	370	58

飽水状態での物性値を記述するに当たり、二つの方法が考えられる。一つは飽水状態での寸度(厚さ、幅)を基準に計算する方法であり、他は常態での寸度によって計算する方法である。厳密な物性値としては前者によるべきであろうが、飽水によって得失した剛性および強さを論ずる場合は後者による方が便と考え、本報では両者を併記した。

曲げヤング係数

飽水状態寸度から計算した飽水時の曲げヤング係数は第5表に示すように、常態値(第3表)よりも、12

mm合板と18mm合板の平均のpar. 値はそれぞれ3.6%と6.0%低下している。一方perp. 値の低下はこれによりも激しく、25.6%と24.2%となっている。また常態寸度から計算した場合は、飽水膨張による寸法増の効果で、Par. 方向では12mmで8.7%、18mmでは5.2%増加している。しかしperp. 方向では逆に12mmで16.1%、18mmで14.2%の低下を示している。

曲げ破壊強さ

第6表に示すように、飽水時寸度から計算しても、常態時寸度から計算しても、低下は著しい(14%から41%)。低下はpar. 方向よりperp. 方向の方が大きく、飽水寸度基準の方が

常態寸度基準よりも大きい。

4.4 短スパン試験

4.4.1 曲げヤング係数と曲げ破壊強さ

曲げヤング係数

第7表は短スパン試験による見掛けの曲げヤング係数を示す。せん断応力の発生によって、標準スパンの曲げヤング係数より大きく低下する。18mm合板の厚さ/スパン比は12mm合板の1.5倍であるので、それだけせん断力の影響は大きく、見掛けの曲げヤング係数の低下は大きく、12mm合板では約18%、18mm

第7表 短スパン曲げヤング係数と曲げ破壊強さ(常態試験)

試料 合板	MOE (10 ³ kg/cm ²)		MOR (kg/cm ²)	
	飽水時基準		常態時基準	
	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm				
A-1	51.9	5.8	564	40
A-2	52.2	2.9	559	47
A-3	48.6	4.2	577	69
A-4	50.7	4.3	497	42
A-5	48.7	2.2	482	29
	50.4	3.9	535	58
18mm				
B-1	39.4	3.0	487	23
B-2	39.3	0.5	472	5
B-3	36.9	1.2	467	40
B-4	38.6	1.8	469	23
B-5	36.6	1.4	468	11
	38.1	2.0	473	22

注) スパン方向は表裏単板せんい方向と平行

第8表 飽水状態での短スパン曲げヤング係数と曲げ破壊強さ

試料 合板	MOE (10 ³ kg/cm ²)				MOR (kg/cm ²)			
	飽水時基準		常態時基準		飽水時基準		常態時基準	
	平均	(σ)	平均	(σ)	平均	(σ)	平均	(σ)
12mm								
A-1	43.6	4.9	50.4	6.4	446	81	492	95
A-2	41.2	1.9	45.7	2.1	409	42	439	45
A-3	34.1	6.9	39.4	8.4	368	39	405	45
A-4	44.5	5.8	49.9	5.5	381	40	426	41
A-5	36.8	3.2	42.3	4.0	340	45	374	46
	40.0	6.0	45.5	6.7	391	59	427	66
18mm								
B-1	27.8	1.4	31.6	1.9	334	13	361	14
B-2	26.9	4.2	31.1	5.0	324	13	357	13
B-3	26.6	3.3	30.6	3.9	335	20	368	21
B-4	27.3	3.4	31.7	4.0	343	32	379	37
B-5	26.7	2.7	30.8	3.3	318	15	350	15
	27.1	2.8	31.1	3.3	329	19	363	22

注) スパン方向は表裏単板せんい方向と平行

第9表 曲げせん断強さ (kg/cm²)

試料合板	常態試験		飽水状態試験	
	平均 (σ)	標準偏差 (σ)	平均 (σ)	標準偏差 (σ)
12mm				
A-1	22.8	1.6	18.8	3.4
A-2	23.0	2.0	17.4	1.7
A-3	24.2	2.9	16.2	1.7
A-4	20.3	1.7	16.7	1.7
A-5	19.9	1.2	14.7	1.9
計	22.0	2.4	16.8	2.8
18mm				
B-1	27.6	1.4	19.6	0.7
B-2	27.1	0.3	19.4	0.9
B-3	27.8	2.3	20.9	1.2
B-4	27.1	1.0	21.2	2.0
B-5	28.0	0.6	19.9	0.8
計	27.6	1.3	20.2	1.3

注) スパン方向は表裏単板せんい方向と平行

第10表 合板厚の分散分析

(1) 10mm 合板					
要因	S	df	V	F ₀	
A (個体間)	11.885	4	2.971	33.48**	$\sqrt{Ve_1 + e_2}$ = 0.298mm
B (部位間)	1.034	3	0.345	3.89*	
e ₁	0.438	12	0.036		
e ₂	9.500	100	0.095		
(e ₁ + e ₂)	9.939	112	0.085		
計	22.858	119			
(2) 12mm 合板					
要因	S	df	V	F ₀	
A (個体間)	2.914	4	0.729	26.56**	$\sqrt{Ve_1 + e_2}$ = 0.166mm
B (部位間)	0.439	3	0.146	5.34**	
e ₁	0.318	12	0.027		
e ₂	2.754	100	0.028		
(e ₁ + e ₂)	3.072	112	0.027		
計	6.426	119			

注) e₁: 1次誤差 e₂: 2次誤差 (繰返し間誤差)

合板では約42%の低下率を示した。飽水による低下 (第8表) は標準スパンの場合よりも大きく、飽水寸度基準で、12mm合板で32%、18mm合板では56%におよんだ。

曲げ破壊強さ

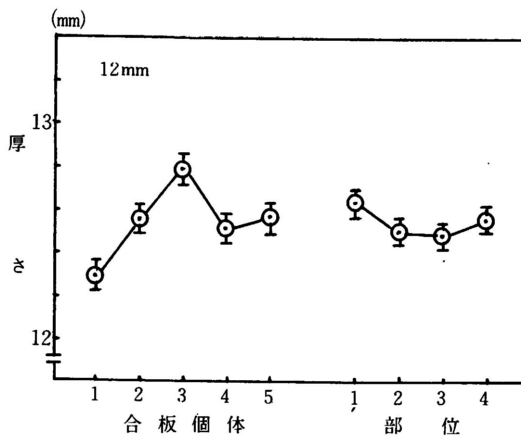
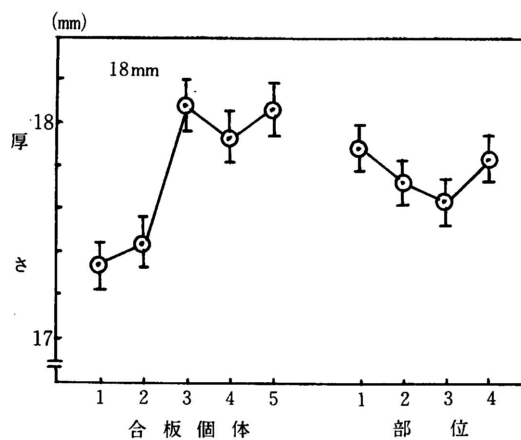
12mm合板 (厚さ/スパン比: 0.079) では短スパンによる低下はなかったが、18mm合板 (同: 0.118) では12%低下した (第7表)。飽水試験の場合は23% (第8表) におよんだ。

4.4.2 曲げせん断強さ

本試験法では曲げモーメントの影響が不可避であるから純粋なせん断強さとはならないが、試験片の破壊状態を観察すると、大部分の試験片は端縁部の中心層グレーライン付近で単板に添って破壊しているの、せん断破壊が主体に進行していると見られた。結果は第9表に示す。常態での平均せん断強さは 12mm合板で22kg/cm²、18mm合板で27.6kg/cm² (いずれも Par. 方向) で、南洋材素材の3から4分の1⁸⁾程度の値である。飽水状態での値はこれより20~27%低く、常態寸度基準と飽水状態寸度基準であまり大きな差はない。

5. 考察

5.1 分散分析法による諸特性値のバラツキの評定



第2図 合板厚の個体および部位による変化

製品物性の均一性を評定するために、上記試験によって得られた冬物性値を合板個体内の4つの部位(B)間と5枚の個体(A)間の2つの要因別の2元配置で分散分析をおこない各要因の変動を検討した。合板も工業製品である以上、品質の均等性が望ましいが、ここでは不均等性の尺度として、統計上の誤差分散(Ve)に対する2つの要因(個体内部位Bと個体別A)の分散(VA, VB)の分散比(Fb(A)とfb(B))を求め、F分布表と対比してその大きさを評定した。

製品厚さの均等性

製品合板の均等性をもっとも端的に表わすのは製品の厚さである。厚さを測定した試験片(常態)は各部位6片づつで、各片ごと5つの測定の平均値をもって代表値とした。したがって試験合板(5枚)、部位(4区分)の2要因の間で、繰返し数6の2元配置分析によった。なお、12mm合板はすべての合板のすべての試験片とも公称厚12mmを越えていたが、18mm合板5枚のうち、2枚はすべての試験片とも公称厚18mmに達せず、その他の3枚も各24枚中18mmに達しないものか認められた。分散分析の結果は第10表のとおりであった。

供試合板個体間の変動は、個体別に単板樹種構成が異なるので、有意になるのは避けられない現象であるが、個体内部位による変動が有意であることは製造工程上の問題を示唆している。第2図に見るとおり、12mm、18mmともに合板の中央部は薄く、端部が厚い傾向が認められ、製造工程で熱盤の不斉、剛性の不足、油圧の不均等々の問題が推定される。各試料合板をプー

ルした厚さの標準偏差は18mm合板は0.44mm、12mm合板は0.23mmであった。合板1枚ごとの標準偏差の平均値は18mm合板で0.15mm(0.23~0.07mm)、12mm合板では0.10mm(0.08~0.15mm)であった。

曲げ試験諸特性値のパラツキ

同様な分散分析を曲げ試験によって得られた諸特性値についておこない、それぞれの標準誤差Veと、個体間変動VAと個体内(部位間)変動VBの誤差分散Velに対する分散比Fo(A), Fo(B)を第11表に示す。

多くの特性値で個体間の変動Fo(A)は有意で、これは個体別に単板樹種構成が変化するので、これは避け難いことであるが、短スパンの曲げヤング係数において

第11表 曲げ試験諸特性値の標準誤差と、個体間(Fo(A))、個体内(Fo(B))変動の分散比

	Par.			Perp.		
	標準誤差	Fo(A)	Fo(B)	標準誤差	Fo(A)	Fo(B)
(1) 18mm 合板						
MOE (D)	2.7 × 10 ³	6.79**	0.61	8.4 × 10 ³	0.83	0.64
MOE (Ww)	3.7 × 10 ³	1.49	0.76	5.0 × 10 ³	5.79**	3.20
MOE (Wd)	5.1 × 10 ³	0.21	0.31	5.8 × 10 ³	5.40*	2.16
MOR (D)	34.3	3.88*	1.15	85.3	2.10	0.18
MOR (Ww)	34.0	2.02	1.78	41.7	3.91	1.62
MOR (Wd)	39.2	1.31	1.25	47.2	3.29	1.20
MOE (S-D)	2.8 × 10 ³	0.92	1.00	—	—	—
MOE (S-Ww)	2.5 × 10 ³	0.22	3.91*	—	—	—
MOE (S-Wd)	3.0 × 10 ³	0.09	3.74*	—	—	—
MOR (S-D)	21.4	0.57	2.07	—	—	—
MOR (S-Ww)	17.3	1.26	2.51	—	—	—
MOR (S-Wd)	19.6	1.32	2.30	—	—	—
USS (D)	1.2	0.59	2.58	—	—	—
USS (Ww)	1.0	2.09	2.56	—	—	—
USS (Wd)	1.3	1.70	2.09	—	—	—
(2) 12mm 合板						
MOE (D)	3.1 × 10 ³	1.57	0.57	9.5 × 10 ³	16.06**	1.75
MOE (Ww)	4.1 × 10 ³	1.20	0.23	11.6 × 10 ³	9.33**	1.80
MOE (Wd)	6.2 × 10 ³	0.43	0.29	13.3 × 10 ³	13.38**	2.11
MOR (D)	56.8	0.66	0.76	107.3	7.22**	0.90
MOR (Ww)	41.2	0.26	2.33	94.9	2.72	0.95
MOR (Wd)	45.1	0.25	2.34	102.1	2.94	0.88
MOE (S-D)	2.8 × 10 ³	1.33	6.49**	—	—	—
MOE (S-Ww)	4.8 × 10 ³	3.58*	1.16	—	—	—
MOE (S-Wd)	5.6 × 10 ³	2.75	1.32	—	—	—
MOR (S-D)	40.3	4.48*	2.56	—	—	—
MOR (S-Ww)	52.1	2.39	1.02	—	—	—
MOR (S-Wd)	57.9	2.32	1.07	—	—	—
USS (D)	1.8	3.82*	2.00	—	—	—
USS (Ww)	2.2	1.86*	1.21	—	—	—
USS (Wd)	2.3	2.09	1.13	—	—	—

注) MOE; 曲げヤング係数, MOR; 曲げ破壊強さ, USS; 曲げせん断強さ, D; 常態試験, Ww; 飽水態試験(飽水寸度基準), Wd; 飽水態試験(常態寸度基準), S; 短スパン試験, 標準誤差 (=√Ve, 単位 kg/cm²)

F 3/12 (0.05) = 3.49 F 3/12 (0.01) = 5.95
 F 4/12 (0.05) = 3.26 F 4/12 (0.01) = 5.41

第12表 曲げヤング係数と曲げ破壊強さの
相関・回帰分析

$$MOR = B \times MOE + A \quad (kq / cm^2)$$

r : 相関係数
Se : 回帰直線からの標準誤差 (kq / cm²)

	r	A	B	Se
標準スパン試験				
常態試験	0.739**	128.1	0.0065	76.6
18mm, Par.	0.733**	10.3	0.0080	
12mm, Par.	0.558*	-95.4	0.0097	
18mm, Perp.	0.696**	105.9	0.0077	
12mm, Perp.	0.811**	102.2	0.0067	
飽水態試験 (I)	0.781**	114.8	0.0047	49.6
18mm, Par.	0.559*	63.2	0.0058	
12mm, Par.	-0.147	469.6	-0.0015	
18mm, Perp.	0.694**	112.8	0.0049	
12mm, Perp.	0.861**	99.4	0.0048	
飽水態試験 (II)	0.778**	113.1	0.0048	51.4
18mm, Par.	0.511*	124.6	0.0048	
12mm, Par.	-0.022	425.5	-0.0002	
18mm, Perp.	0.390	251.3	0.0023	
12mm, Perp.	0.874**	79.2	0.0056	
短スパン試験				
常態試験	0.665**	276.8	0.0051	48.2
18mm, Par.	-0.074	503.7	-0.0008	
12mm, Par.	0.463*	193.3	0.0068	
飽水態試験 (I)	0.728**	198.6	0.0048	43.2
18mm, Par.	-0.084	346.8	-0.0006	
12mm, Par.	0.655**	130.7	0.0065	
飽水態試験 (II)	0.721**	216.4	0.0047	33.7
18mm, Par.	-0.062	375.9	-0.0004	
12mm, Par.	0.664**	130.0	0.0065	

注) 飽水態試験 (I); 飽水態寸度基準
 (II); 常態寸度基準

** ; 危険率 1% で有意
* ; 危険率 5% で有意

個体内部位間の変動が有意となった。これは一枚の合板の中で、部位によって材質の偏りがあるということで、好ましくない。これについて合理的な説明をつけることはできないが、試験片サイズが小さくなると、個体内局所間の材質バラツキの平準化の機会が小さくなり、繊維走向、節の存在、含水率や密度等局所的な材質の変動が試験片材質に現われたと考えることはできよう。

しかしながら、標準的な試験法による曲げヤング係数、破壊強度や短スパンによる曲げせん断強さ、曲げ破壊強度に関しては、18mm、12mm、常態試験、飽水状態試験の差にかかわらず、個体内の材質の変動

第13表 飽水態曲げヤング係数と常態曲げヤング係数の
相関・回帰分析

$$MOE (飽水) = B \times MOE (常態) + A \quad (kq / cm^2)$$

r : 相関係数
Se : 回帰直線からの標準誤差 (kq / cm²)

	r	A	B	Se
MOE (wet I) -MOE (dry)	0.849**	3900	0.893	8204
標準スパン				
18mm Par.	0.285	44271	0.269	
12mm, Par.	0.526*	16736	0.695	
18mm, Perp.	0.712**	4234	0.693	
12mm, Perp.	0.863**	-8488	0.861	
短スパン				
18mm, Par.	0.293	11319	0.413	
12mm, Par.	0.608**	6369	0.920	
MOE (wet II) -MOE (dry)	0.792**	2475	0.877	9817
標準スパン				
18mm, Par.	0.008	68912	0.008	
12mm, Par.	0.572**	5991	0.994	
18mm, Perp.	0.701**	7459	0.741	
12mm, Perp.	0.838**	-2271	0.799	
短スパン				
18mm, Par.	0.317	11076	0.525	
12mm, Par.	0.635**	-8806	1.078	

注) Wet I ; 飽水態寸度基準
 Wet II ; 常態寸度基準

** ; 危険率 1% で有意
* ; 危険率 5% で有意

は統計量の中に自然に存在する誤差変動に比して決して大きくないということができる。

5.2 各物性値間の相関、回帰分析

得られた或る物性値から他の物性値を推定できると便利な場合が多い。とくに非破壊的に比較的簡便に求められる曲げヤング係数から、破壊試験によらなければ得られない曲げ破壊強度を推定すること、常態値から飽水態値を推定すること等が有益になる。このような便宜のために、2つの物性値間を最小二乗法により、1次の回帰直線 $Y = BX + A$ に適合させ、その相関係数 (r) および回帰直線からの標準誤差 (Se) を求めた。

第12表は各試験カテゴリー別にMOEからMORを推定する1次式に関するものである。各カテゴリーを個別に見ると無相関のものも多く認められるが、厚さ別、スパン別をプールすると、総てのプールされたカ

第14表 飽水態曲げ破壊強さと常態曲げ破壊強さの相関・回帰分析

$$\text{MOR (飽水)} = B \times \text{MOR (常態)} + A \quad (\text{kg / cm}^2)$$

r ; 相関係数
Se ; 回帰直線からの標準誤差 (kg / cm²)

	r	A	B	Se
MOR (wet I)				
—MOR (dry)	0.414**	208	0.306	62
標準スパン				
18mm, Par.	0.454*	211	0.400	36
12mm, Par.	0.728**	95	0.576	30
18mm, Perp.	0.438*	184	0.271	50
12mm, Perp.	0.506*	159	0.344	98
短スパン				
18mm, Par.	0.430	150	0.382	18
12mm, Par.	0.544*	92	0.559	51
MOR (wet II)				
—MOR (dry)	0.434**	223	0.338	67
標準スパン				
18mm, Par.	0.323	261	0.365	38
12mm, Par.	0.684**	118	0.588	35
18mm, Perp.	0.429	207	0.284	54
12mm, Perp.	0.533*	157	0.400	106
短スパン				
18mm, Par.	0.358	196	0.356	21
12mm, Perp.	0.561**	85	0.638	56

注) Wet I ; 飽水態寸度基準
Wet II ; 常態寸度基準

** ; 危険率 1% で有意
* ; 危険率 5% で有意

第15表 飽水態曲げせん断強さと常態曲げせん断強さの相関・回帰分析

$$\text{USS (飽水)} = B \times \text{USS (常態)} + A \quad (\text{kg / cm}^2)$$

r ; 相関係数
Se ; 回帰直線からの標準誤差 (kg / cm²)

	r	A	B	Se
USS (wet I)				
—USS (dry)	0.768**	4.06	0.580	1.67
18mm, Par.	0.467*	7.26	0.468	1.17
12mm, Par.	0.514*	5.56	0.580	2.10
USS (wet II)				
—USS (dry)	0.770**	4.10	0.616	1.76
18mm, Par.	0.447*	7.81	0.485	1.28
12mm, Par.	0.521*	5.55	0.545	2.21

注) Wet I ; 飽水態寸度基準
Wet II ; 常態寸度基準

** ; 危険率 1% で有意
* ; 危険率 5% で有意

テゴリーで相関は99%有意水準で有意であった。しかし相関係数は一般に高いとは言えず、回帰直線からの標準誤差も相当に大きい。短スパン試験は標準スパン試験にくらべて相関係数が8%程低い。相関係数の二乗が全変動に対する当該要因の帰与率であるとする統計理論によれば、MORの変動の中でMOEの差に起因する部分は、標準スパン試験の場合約59%、短スパン試験の場合は約49%ということになる。

標準誤差は標準スパン - 常態試験で77kg / cm²、平均的な曲げ破壊強度の13~15%であった。短スパン試験では常態試験で49kg / cm²で平均的な曲げ破壊強さの約10%であった。標準スパン、短スパンいずれの場合も、飽水態試験では標準誤差が減少している。

常態試験の数値から飽水態の物性を推定する回帰式は第13, 14, 15表にそれぞれMOE, MOR, USSについて示す。MOEは比較的高い精度で推定が可能 (r 0.8) であるが、MORの推定は極めて精度が悪く (r 0.4)、USSはその中間である (r 0.75)。

6. まとめ

コンクリート型わく用としてマレーシアで生産された合板について各種の曲げ試験によってその性能を評価したところ、曲げ剛性は10種類の供試合板のすべて

第16表 各試験値 (平均値) 間の相対値

	実大	標準スパン			短スパン		
		dry	Wet I	Wet II	dry	Wet I	Wet II
MOE							
12mm, Par.	100.2	100	96.4	108.9	81.8	64.9	73.9
Perp.		100	74.5	83.9	—	—	—
18mm, Par.	109.8	100	93.9	105.2	57.7	41.1	47.1
Perp.		100	75.8	85.9	—	—	—
MOR							
12mm, Par.	—	100	72.6	82.6	107.0	78.2	85.4
Perp.	—	100	61.4	66.5	—	—	—
18mm, Par.	—	100	79.3	85.7	88.1	61.3	67.6
Perp.	—	100	58.8	64.0	—	—	—
USS							
12mm, Par.					100	76.4	80.0
18mm, Perp.					100	68.2	71.6

注) dry ; 常態試験

Wet I ; 飽水態試験 (飽水寸度基準)

Wet II ; 飽水態試験 (常態寸度基準)

が「コンクリート型わく用合板の日本農林規格」を十分に上まわっており、曲げヤング係数と曲げ破壊強さも「構造用合板の日本農林規格」の1級を十分に上まわっていた。せん断強さに関しては、比較するデータに乏しいが、米国の構造用合板（サザン・イエロ・パイン合板）に関する ASTM 法による（見かけの）ローリングシア強度³⁾ とほぼ同等か、それより大きな強度を示している。供試合板は12mm合板、18mm合板ともに、表裏単板の繊維方向と直交する単板の構成割合が53%と高く、したがって、合板の幅方向の物性が高く、長手方向とほぼ同等の物性値を持っていた。この単板構成がマレーシア製コンクリート型わく合板に一般的であるかどうかは不明であるが、長手方向の強度を主体に考える我が国の施工方法の中では、マレーシア製合板の利用にあたってはとくに注意を要する。

マレーシアの合板工場では厚さの品質管理指標として、 $\pm 0.36\text{mm}$ (0.6から0.2mm, 未研削) 程度をとっているところが多いが⁷⁾、構成単板の樹種が多いためにバラツキは大きく、供試合板では標準偏差で18mm合板:0.44mm, 12mm合板:0.23mmであった。したがってこれが諸物性値に影響を与え、物性値のバラツキが大きいと思われる。また特殊な物性値(短スパン MOE)にあっては、一枚の合板の中に部位によっても無視し得ないバラツキがあった。

コンクリート型わく合板は、セメントスラリーを収容して、野外で使用されるので高含水率の状態を利用されるため、欧米の報告には飽水状態での物性値が報告されることが多い^{2), 3)}。本試験でも飽水状態の試験をおこなったが、常態試験との相対値は第16表のようになった。

曲げヤング係数から曲げ破壊強さを推定する回帰式は、相関係数が0.74、回帰直線からの標準誤差が77kg

/cm²(標準スパン、常態試験)であった。常態時試験値から飽水状態時の物性値を求める回帰式も同様に求めた。

以上の試験によって得た諸物性値は実用的な見地から続報によって整理をおこなう。

文献

- 1) 北村維朗, Chew, L.T., Wong, W.C., ; 林産試月報, 370, 1 (1982)
- 2) Sawney, P., "Design Parameters for SWP Formply as Concrete Formwork", TRADA Design Report (1978)
- 3) Biblis, E.J., Chen, W.L., Lee, W.C., ; F.P.J. 32, 45 (1982)
- 4) British Standard Institution ; Methods of test for Clear Plywood, British Standard 4512 ; 1962
- 5) 日本合板検査会 ; コンクリート型わく用合板の日本農林規格
- 6) 日本合板検査会 ; 構造用合板の日本農林規格 (1976)
- 7) Forest Research Institute Kepong ; "Survey of Plywood Mills in Peninsular Malaysia, 1976 "Research Pamphlet No.76 (1980)
- 8) 須藤彰司 ; 南洋材, 地球社 (1974)
- 9) Malaysian Standard, MS 3.22 (1974)

—試験部 複合材試験科—

— * Forest Research
Institute, Kepong
Malaysia —

(原稿受理 昭57. 12. 27)