

マレーシア製合板の性能評価 (第3報)

- コンクリート型わく合板の曲げ性能試験 (その2) -

北村 維朗 W. C. WONG

The Flexural Properties of Concrete Shuttering Plywood Made in a Malaysian Mill (Part 2)

Tadao KITAMURA Wing Chong WONG

Such data as rupture and elasticity moduli and ultimate shear stress, determined from bending- tests for some samples of Malaysian concrete shuttering plywood, were transformed into more useful forms for design purposes. The following tables and figures were prepared:

- (1) A table of "grade stress" determining allowable stresses for concrete shuttering plywood.
- (2) Tables of various mechanical properties when a moisture content is 18% which is regarded as a standard condition for wood materials in Britain.
- (3) Figures showing relations of the safety load range with the intensity of uniformly-distributed load, span distances, and the maximum deflection.
- (4) Span-charts and a span-table showing safety conditions for concrete frameworks.

Both MOR, or grade stress, and MOE had their apparent values reduced when the span distance became shortened. It was recognized that the reducing factor, y , could be expressed in a functional form;

$$y=1-1/(ax^b),$$

where x is the ratio of a span distance to the depth of a panel. The function above was applied to compensating a short span in preparing the span diagrams referred to in (3) and (4).

マレーシア製コンクリート型わく合板 (12mm と18mm厚) について得た、曲げ強さ、せん断強さ、曲げヤング率等のデータを、より実用的な情報として提供するために、これらのデータを利用して以下の図表化を行った。

- (1) コンクリート型わく用としての許容応力を定めるグレードストレス値の作表
- (2) 英国において木構造の設計に標準的に利用されている、含水率18%での値に換算した詰物性値の表
- (3) 含水率18%での等分布荷重 - スパン間隔 - 最大たわみの関係と安全範囲を示す図
- (4) コンクリート型わくとしてのスパンチャートとスパンテーブル
曲げ強さと、曲げヤング係数はいずれもスパン間隔が小さくなると、見掛けの値が低下し、そ

の低下ファクター (y) はスパン距離 / 厚さ比 (x) を変数とする関数 $y = 1 - 1 / (ax^b)$ で表現され得ることを認め、(3)、(4)の図表化にあたっては、この関係によって短スパン領域での補正を行った。

1. はじめに

前報¹⁾においてマレーシア製コンクリート型わく合板の曲げ性能について、ヤング係数、破壊強さ、せん断強さ等の測定値について論じたが、本報ではこれらのデータを活用して、より実用的な情報を提供することを目的とした。供試合板についての説明、基本的物性値については前報¹⁾を参照されたい。本文中の記号、略号等はすべて前報と共通とする。

2. 試料合板

マレーシアの合板工場で生産された、18mm - 7プライと12mm - 5プライのコンクリート型わく合板である。いずれも単板樹種構成不同の5種類の合板から成っており、それらの単板樹種は Mengkulang, Mac-hang, Simpoh, Kedongdong, Petai, Merawan, White Meranti等である。

3. 試験結果の応用

3.1 グレードストレス

英国の木材研究開発協会TRADAの研究報告²⁾では、コンクリート型わく合板の施工上の許容応力度算

定に関してグレードストレスという算定基準を設定して推奨している。

これは

$$\text{グレードストレス} = \frac{\text{平均強度} - 2.33 \times \text{標準偏差}}{2.75} \dots \dots (1)$$

の式で算定され、曲げ強さ (MOR)、曲げせん断強さ (USS) に適用している。式中分子は強度分布の危険確率百分の一での統計的下限值を示し、分母は物性値を得た時点とサービス時の差及び小片試験で得た数値とサービス寸法での値との差を補償するための除数と説明されている。この算式で求められた応力を上限として設計応力が決定される。この考え方は建築基準法施行令の中の木材の許容応力度の決定法と思想的に一致しており、分母を2.75とすることにより長期許容応力度より若干 (約9%) 高目の値ということになる。

18mm合板と12mm合板をそれぞれプールして、各カテゴリーの平均値と標準偏差から、曲げ強さのPar. (スパン / 表裏単板木理方向) 方向値とPerp. (スパン 表裏単板木理方向) 方向値、短スパン曲げ強さと

第1表 マレーシア製コンクリート型わく合板のグレードストレス (kg / cm²)

	合 板 等 級		
	常 態	飽水態 I	飽水態 II
曲げ強さ			
18mm, par.	158	122	132
12mm, par.	137	103	111
18mm, perp.	136	77	85
12mm, perp.	76	38	40
短スパン曲げ強さ			
18mm, par.	153	103	114
12mm, par.	146	92	100
曲げせん断強さ			
18mm, par.	9	6	7
12mm, par.	6	4	4

注) 飽水態 I : 飽水態寸度基準
飽水態 II : 常態寸度基準

第2表 供試合板と同じ単板構成をもつラワン構造用合板の長期許容応力度²⁾ (kg / cm²)

		合 板 等 級			
		A	B	C	
曲 げ	12mm	par.	75	75	62
		perp.	48	48	48
	18mm	par.	68	68	56
		perp.	53	53	53
せん断 (ローリング)	par.	4	4	4	
	perp.	4	4	4	
ヤング係数	12mm	par.	62×10 ³	62×10 ³	62×10 ³
		perp.	48×10 ³	48×10 ³	48×10 ³
	18mm	par.	56×10 ³	56×10 ³	56×10 ³
		perp.	53×10 ³	53×10 ³	53×10 ³

曲げせん断強さのPar. 方向値についてグレードストレスを求めた。(第1表)。

現在、我が国では合板について許容応力度を与えていないが、木構造設計規準解説³⁾の中で構造用ラワン合板の許容応力度が提案されている。この中ではラワン単板の許容応力度が与えられ、これをもとに任意の単板構成の合板の許容応力度が算出できるようになっている。この方法に従って供試合板の単板構成でのラワン合板の長期許容応力度を求めてみると第2表のようになる。

これに比べて得られたグレードストレスは極めて高い数値を与えているが、供試合板は多数の樹種を含んでいるものの、単一の工場で適正な工程管理下に生産されたものであり、また、短期的にサービス期間を完了するコンクリート型わく用に利用されることを考慮すれば、このグレードストレス値はコンクリートわく組設計用の基礎値として利用して危険はないものと思われる。

3.2 含水率18%への換算

前報¹⁾及び本報を通じて、常態値は物性試験時の含水率状態での物性値であり、平均含水率は12mm合板で12.4%、18mm合板で11.3%であった。

英国では木構造計算において“dry”状態は含水率18%の状態を指しており、物性値の標準条件となっている。本報告では、これにならって冬物性値の常態値と飽水状態値からWood Handbook⁴⁾で提案されている方法によって、18%含水率での値に換算した。換算式は次のとおりである。

$$P_o = P_d \left(\frac{P_d}{P_w} \right)^{-\left(\frac{M-d}{25-d} \right)} \dots\dots\dots (2)$$

- P_o; 求める含水率 (ここでは18%) での物性値
- P_d; 常態試験での物性値
- P_w; 飽水状態試験での物性値
- M; 任意の含水率 (% , ここでは18)
- d; 常態試験時の含水率 (%)

上式によって求めた各物性値の18%含水率換算値を第3, 4表に示す。

第3表 含水率18%換算の物性値

	MOE (10 ³ kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	USS (kg/cm ²)
標準スパン			
18mm, par.	64	479	
12mm, par.	61	443	
18mm, perp.	54	446	
12mm, perp.	64	473	
短スパン			
18mm, par.	32	396	24
12mm, par.	46	466	20

第4表 含水率18%換算のグレードストレス (kg / cm²)

	曲げ強さ	短スパン 曲げ強さ	曲げ せん断強さ
18mm, par.	139	126	8
12mm, par.	120	119	5
18mm, perp.	103		
12mm, perp.	56		

3.3 含水率18%での“たわみ - 荷重”グラフ

前項で求めた含水率18%換算の物性値を利用して、標準状態として含水率18%での“たわみ - 荷重”グラフを作成した。計算の基礎として、等間隔に配置した3本の間柱にさし渡した板に垂直に等分布荷重がかかる状態を想定した。この想定によって最大たわみと荷重の関係は次の式によって表される。

$$\Delta = \frac{w' b \ell^4}{184.6 E I} \dots\dots\dots (3)$$

- ; 最大曲げたわみ [cm]
- l; スパン間隔 [cm]
- E; 曲げヤング率 [kg / cm²]
- I; 断面2次モーメント [cm⁴]
- b; パネルの幅 (スパン直交方向) [cm]
- w'; 単位面積当たりの荷重 [単位長当たりの等分布荷重 (w) との関係は w = w' b]

断面2次モーメント (I) はそれぞれの合板の平均の厚さ、公称の幅、長さからスパン方向に応じて計算した。曲げヤング率は前項に示した、含水率18%換算値であり、短スパンによる低減を、標準スパン試験値と短スパン試験値との間を指数関係によって補間して

求めた。また、同様に短スパン補正を行ったグレード
ストレス値によって最大許容荷重を求め図中に示した。

3.3.1 最大許容荷重

グレードストレス値によって決定される最大許容荷
重をスパン間隔別に求めて、負荷 - たわみグラフの中
に表示する。許容荷重を決定するに当たっては、3連
続スパン上の等分布荷重を想定して以下の式を利用し
た。

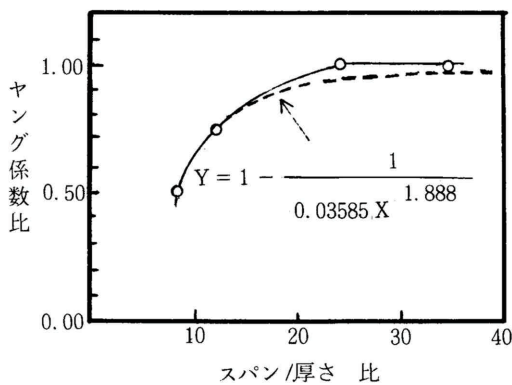
$$w' = \frac{10fz}{l^2 b} \dots\dots\dots (4)$$

- w' ; 単位面積当たりの等分布荷重 [kg / cm²]
- b ; パネルの幅 [cm]
- z ; 断面係数 [cm²]
- f ; グレードストレス [kg / cm²]
- l ; スパン距離 [cm]

3.2.2 短スパン領域の補正

第3表に示したように見かけのヤング率は短スパン
になると著しく低下する。18mm合板の場合、スパン
距離15.2cm [スパン (l) / 厚さ (h) 比; 8.54] で
は43.2cm [l/h; 24.27] の50.36%となり、12mm
合板ではスパン距離15.2cm [l/h; 12.16] は43.2cm
[l/h; 34.56] の75.05%に低下している。スパン距
離を厚さの比として、この低減関係を図に示すと第1
図のようになり、指数関数の逆数の関係を典型的に見
せている。

そこで



第1図 短スパンでの見掛けの曲げヤング係数の低減

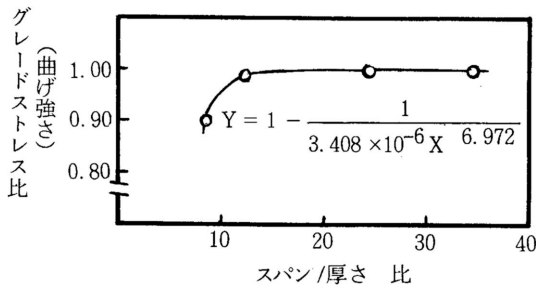
$$y = 1 - \frac{1}{a x^b} \dots\dots\dots (5)$$

の関係を $x = l/h$ が 24.27 と 12.16 の 2 点から連立
方程式を解いて

$$Y = 1 - \frac{1}{0.03585 X^{1.888}} \dots\dots\dots (6)$$

なる関係を得た。この関係を第1図に破線で示したと
おり、長スパン側でも十分に許容できる範囲で一致し
ていると思われる。

同様な関係を曲げ強さのグレードストレス (含水率
18%値) についても求め (第2図)、次式を得た。



第2図 短大パンでの見掛けのグレードストレス (曲げの強さ) の低減

$$Y = 1 - \frac{1}{3.408 \times 10^{-6} X^{6.972}} \dots\dots\dots (7)$$

いずれも Y として厚さの倍数で表したスパン距離
とれば、Y は任意のスパン距離でのヤング係数又はグ
レードストレスを、スパン距離が十分な時の値に対す
る比で表したものであるから、これを短スパン領域で
の補正係数と見なすことができ、標準スパンの実験に
よって得た曲げヤング率やグレードストレスにこの補
正係数を乗ずると、それぞれのスパン距離 (厚さの倍
数で標示) での見かけの曲げヤング率又はグレードス
トレスが得られる。このようにして補正された見かけ
の曲げヤング率とグレードストレス値を第5表に示す

3.3.3 たわみ - 荷重グラフ

含水率18%に換算補正した曲げヤング係数とグレー
ドストレス値を、さらに (6) 式及び (7) 式によっ
て短スパン補正を行い (第5表)、これらを用いて、

第5表 短スパン補正係数 (含水率18%)

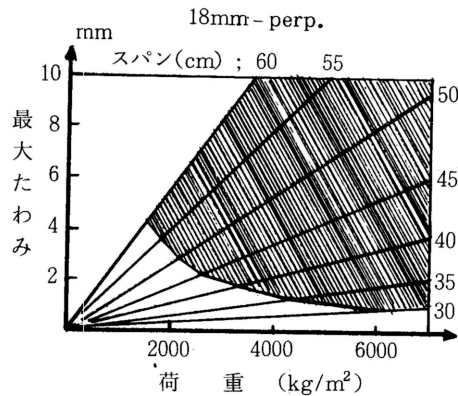
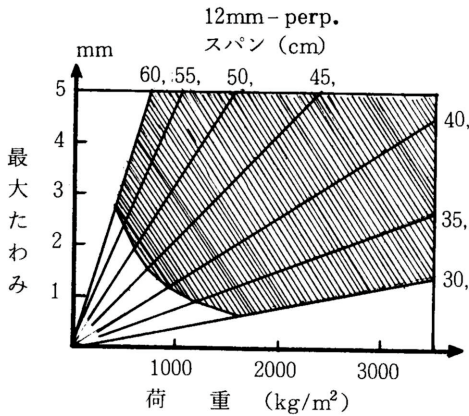
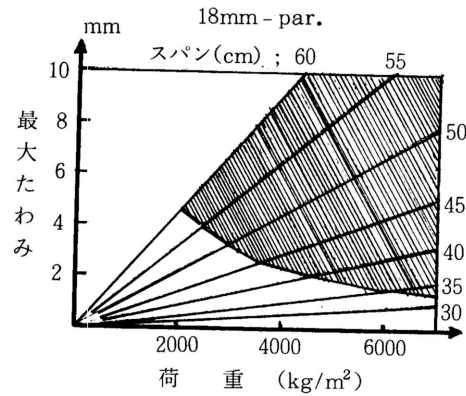
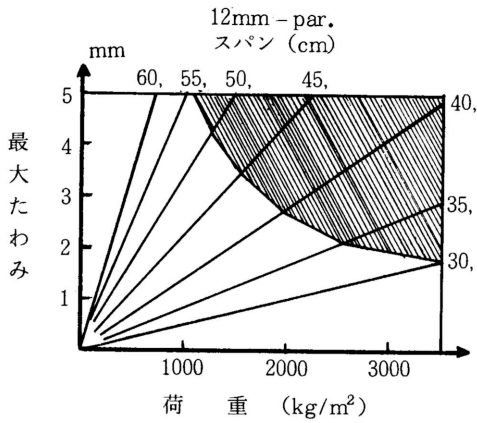
スパン距離 (cm)	曲げヤング係数				グレードストレス (曲げ強さ)			
	12 mm		18 mm		12 mm		18 mm	
	l/h	補正係数	l/h	補正係数	l/h	補正係数	l/h	補正係数
60	50.00	0.983	33.33	0.963	50.00	1.000	33.33	1.000
55	45.83	0.980	30.56	0.956	45.83	1.000	30.56	1.000
50	41.67	0.976	27.78	0.948	41.67	1.000	27.78	1.000
45	37.50	0.970	25.00	0.936	37.50	1.000	25.00	1.000
40	33.33	0.963	22.22	0.920	33.33	1.000	22.22	1.000
35	29.17	0.952	19.44	0.897	29.17	1.000	19.44	1.000
30	25.00	0.936	16.67	0.862	25.00	1.000	16.67	0.999
25	20.83	0.910	13.89	0.806	20.83	1.000	13.89	0.997
20	16.67	0.862	11.11	0.704	16.67	0.999	11.11	0.985
15	12.50	0.763	8.33	0.490	12.50	0.993	8.33	0.888

各直線はグラフ外周に示したスパン距離毎のたわみ - 荷重関係を表し、ハッチングを施していない領域が安全範囲で、ハッチング部分は危険範囲である。

3.4 コンクリート型わく
工事用スパンチャート
コンクリート型わくは屋外において、セメントスラリーに直接触れる状態で利用されるので、十分に高い含水率状態で

(3) 式によってたわみ - 荷重関係を、(4) 式によって最大許容荷重を求めて第3図及び第4図に示した。

で使用されることを予想しなければならない。英国のコンクリート協会と土木工学研究機関の共同会議の報告書によると、コンクリート型わく合板のグレードス



第3図 12mm コンクリート型わく合板の荷重-たわみ図

第4図 18mm コンクリート型わく合板の荷重-たわみ図

トレス値は湿潤状態での値を利用し、これに1.33のファクターを乗じて、くり返し荷重がないことと、比較的短期的にサービスを完了するという、負担の軽さによる割増しを認めている。

ここではこの英国の方式によって湿潤状態の冬物性値(曲げ及びせん断グレードストレスと曲げヤング係数)によってコンクリート型わく工事用のスパンチャートを作製した。なお、本報及び前報では、湿潤状態の冬物性値はいずれも2通りの表現で表されており、()は飽水時の寸度による値、()は常態時の寸度で表したものである。このスパンチャート作製に当たっては、このうち()の方を利用し、常態時の公称寸度(厚さ、幅)から湿潤時の最大たわみ、破壊応力等を求め、曲げたわみ量、曲げのグレードストレス、せん断のグレードストレスから許容されるコンクリート

- : (allowable) : 最大許容たわみ
- b: パネル断面の幅
- d: パネル断面の厚さ
- : 断面2次モーメント
- z: 断面係数
- A: 断面面積
- l: スパン距離

である。

前項(3.3.2)と同様、ここでも曲げヤング率と曲げグレードストレスについて短スパン補正を行った。3.3.2と同様な手続きによって、それぞれの飽水常態値(常態寸度基準)について、短スパン補正係数をスパン/厚さ比を変数とする関数の型で表し、曲げヤング率については

トスラリーの圧力(kg/m²)とスタッド間隔(cm)の関係をグラフ化した。なお、曲げたわみの許容限界の指標として、スパン距離の1/270と1/360の2通りを考え図中に標示した(第5・6図)。

許容応力の算出は以下の各式によった。

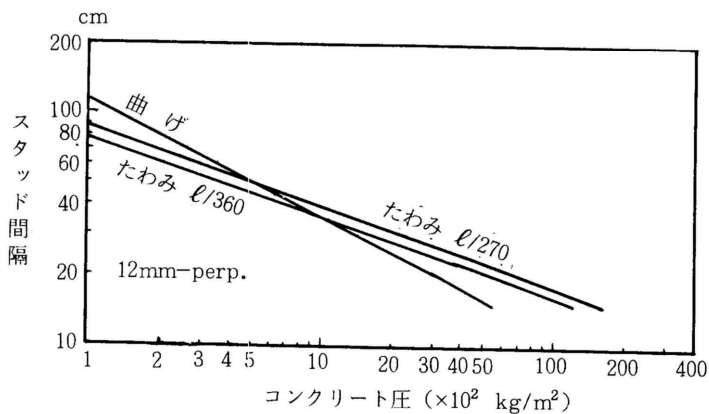
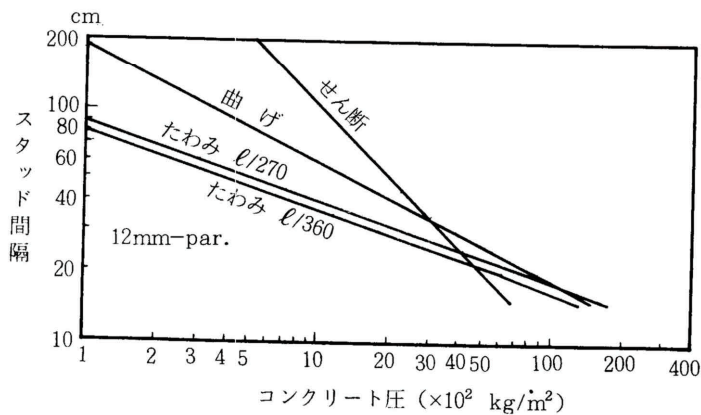
たわみ; $w' = 185EI$ (allowable) / $bl^4 \dots \dots (8)$

曲げ強さ; $w' = 10 \times (1.33f) Z / bl^2 \dots \dots (9)$

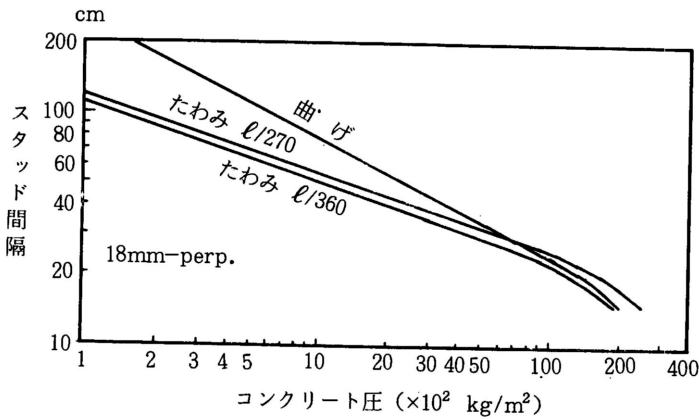
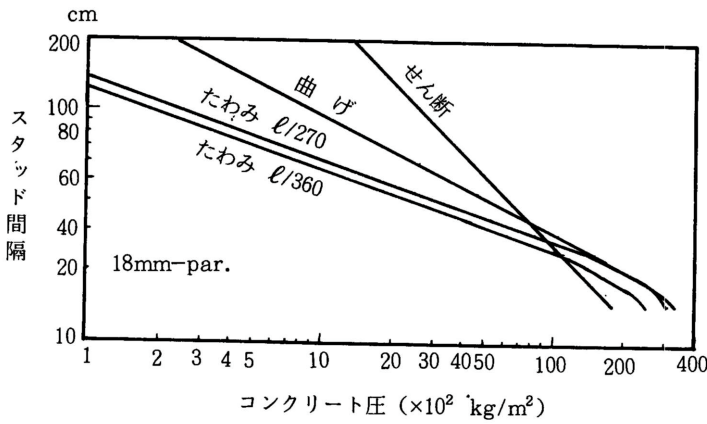
せん断強さ; $w' = 8 \times (1.33q) A / 5bl \dots \dots (10)$

ここで

- w': 単位面積当たりのコンクリートスラリー圧,
- f: 飽水時の曲げ強さグレードストレス(常態寸度基準)
- q: 飽水時の曲げせん断グレードストレス(常態寸度基準)
- E; 飽水時の曲げヤング係数(常態寸度基準)



第5図 12mmコンクリート型わく合板の、スパンチャート(湿潤状態)



第6図 18mm コンクリート型わく合板の
スパンチャート (湿潤状態)

第6表 飽水状態の短スパン補正係数

スパン 距離 (cm)	曲げヤング係数				グレードストレス (曲げ強さ)			
	12 mm		18 mm		12 mm		18 mm	
	l/h	補正係数	l/h	補正係数	l/h	補正係数	l/h	補正係数
45	37.50	1.0000	25.00	0.9992	37.50	0.9999	25.00	0.9992
35	27.17	0.9998	19.44	0.9955	29.17	0.9996	19.44	0.9969
30	25.00	0.9992	16.67	0.9865	25.00	0.9992	16.67	0.9931
25	20.83	0.9972	13.89	0.9502	20.83	0.9979	13.89	0.9820
20	16.67	0.9865	11.11	0.7553	16.67	0.9931	11.11	0.9420
15	12.50	0.8945	8.33	0.4765	12.50	0.9688	8.33	0.7373

$$Y = 1 - \frac{1}{1.413 \times 10^{-7} X^{7.135}} \dots \dots \dots (11)$$

曲げ強さのグレードストレスについては

$$Y = 1 - \frac{1}{5.623 \times 10^{-5} X^{5.247}} \dots \dots \dots (12)$$

なる補正関数を得た。第6表はこれらの関数によって計算される飽水状態の短スパン補正係数、第7表はこの補正係数によって補正された短スパン域のグレードストレス値、第8表は同様に短スパン補正を行った曲げヤング率である。

このようにして短スパン補正を行った曲げヤング率、グレードストレス値を使い、(8)、(9)、(10)式によって第5・6図のスパンチャートを得た。

例えば12mm合板を、合板の表面単板の木理をスタッドと直交(スパン方向と平行)させて使う場合(第5図上)、スタッド間隔30cmとした場合、たわみをスパン360分の1(1.1mm)まで許容するとすれば、コンクリートスラリーの圧力1,800kg/m²まで許され、270分の1(1.5mm)まで許容されるならば、スラリーは2,300kg/m²まで許容される。スタッド間隔20cmにすると許容コンクリート圧は大幅に上昇するが、せん断破壊のおそれが生じるので5,000kg/m²で止める。18mm合板を、合板の表面単板の木理をスタッドに平行(スパン方向と交差)させて使う場合(第6図下)、コンクリート圧

700kg/m²あるとすれば、スタッドの間隔は、たわみをスパンの360分の1まで許容するとすれば56cm、スパンの270分の1まで許容すれば62cmまで広げることができる。

これを表に書き換えると第9表のようになる。表中

第7表 短スパン補正をおこなった
飽水態グレードストレス
(常態寸度基準, kg/cm^2)

スパン (cm)	18mm, Par.	18mm, Perp.	12mm, Par.	12mm, Perp.
60	132.3	85.3	110.7	40.3
45	132.2	85.2	110.7	40.3
35	131.9	85.0	110.7	40.3
30	131.4	84.7	110.6	40.3
25	129.9	83.8	110.5	40.2
20	124.6	80.4	109.9	40.0
15	97.5	62.9	107.2	39.0

第8表 短スパン補正をおこなった
飽水態曲げヤング係数
(常態寸度基準, $10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$)

スパン (cm)	18mm, Par.	18mm, Perp.	12mm, Par.	12mm, Perp.
60	69.4	52.9	67.0	61.1
45	69.3	52.9	67.0	61.1
35	69.1	52.7	67.0	61.1
30	68.5	52.2	66.9	61.1
25	65.9	50.3	66.8	60.9
20	52.4	40.0	66.1	60.3
15	33.1	25.2	59.9	54.7

第9表 許容できるコンクリート圧 (kg/m^2)

スタッド 間 隔 (cm)	12mm-型わく合板		18mm-型わく合板	
	表面木理が スタッドと 直交	表面木理が スタッドと 平行	表面木理が スタッドと 直交	表面木理が スタッドと 平行
15	6,800		17,000	
20	5,000		12,000	
25	2,900 (3,800)		9,800	
30	1,700 (2,300)	1,350	6,200 (8,200)	4,700 (6,300)
40	740 (950)	700 (760)	2,600 (3,500)	2,000 (2,700)
50	370 (500)	340 (480)	1,300 (1,800)	1,000 (1,400)

で、カッコの無い数値はスパン距離の360分の1のたわみを許容する場合、若しくは、せん断、曲げ破壊の危険によって制限されるコンクリート圧の上限値で、カッコ内の数値はスパン距離の270分の1のたわみま

[林産試月報No.387 1984年4月号]

で許容する場合の値である。

4. まとめ

前報¹⁾で報告したマレーシア製コンクリート型わく合板(12mmと18mm厚)に関する、曲げ強さ、せん断強さ、曲げヤング率、をもとにして、これらのデータをより実用的なものとするために、各種の計算によって以下の図と表を作成した。

- (1) コンクリート型わく用としての許容応力を定めるグレードストレス値の表。
- (2) 英国において木構造設計の標準条件となっている含水率18%に換算した諸物性値の表。
- (3) 含水率18%での等分布荷重一スパン間隔一最大たわみの関係と安全範囲を示す図。
- (4) コンクリート型わくとしてのスパンチャートとスパンテーブル。

なお、(3)、(4)の作成にあたっては、短スパン域での見掛けの物性値の低下を補償する補正を行った。

文献

- 1) 北村維朗, Wong, W. C., ; 林産試月報, 374, 1 (1983)
- 2) Sawney, P., ; Design Parameters for SWP Formply as Concrete Formwork TRADA Design Report (1978)
- 3) 日本建築学会; 木構造設計規準, 同解説 (1973)
- 4) U.S.Forest Products Laboratory; Wood Hand book (1974)

—試験部 複合材試験科—

—* Forest Research Institute,
Kepong, Malaysia—

(原稿受理 昭59. 1. 9)