

針葉樹を用いた合板足場板の強度特性

河尻 義正*, 大幢 勝利*

Strength of Softwood-Plywood Used for Scaffold Planks

by Yoshimasa KAWAJIRI* and Katsutoshi OHDO*

Abstract: Thirty years have passed since the plywood scaffold planks of tropical hardwood began to be produced and be used in Japan. Recently their demand and output are decreasing compared to that of steel or aluminium scaffold boards, but they are still used in many construction sites.

On the other hand, the conservation of forests in the torrid zone as one of environmental problems have been advocated for more than ten years. Most of plywood panels are produced and used in Japan are made of tropical hardwood. Therefore, the plywood makers and the authorities concerned are making many experiments or trials to reduce of consumption of the tropical hardwood, or to change the tropical hardwood into the softwood produced in plantations managed continuously. Then we studied on the strength of the plywood scaffold planks made of softwood, so as to examine the possibility of their practical use. In the experiments, tested were order-made softwood plywood planks faced with the Southeast Asian hardwood veneers and commercial plywood planks made of Southeast Asian hardwood veneers only. They were subjected to bending and gluing tests, after 3~24 months exposure to weather.

Test results are summarized as follows :

- (1) The bending performance (the modulus of rupture and the modulus of elasticity) of the softwood plywood planks was lower than that of the commercial plywood planks, but was higher when compared statistically with that added the data for the commercial plywood in this tests and previous tests. The bending performance of the softwood plywood planks with the face veneers jointed by scarf-joints was poor and less than the values of the constructional requirement in the Ordinance on Industrial Safety and Health.
- (2) The ratio of the reduction of bending performance of the softwood plywood planks caused by out-door exposure was nearly equal to that of the commercial plywood planks.
- (3) The gluing strength of the softwood plywood planks was lower than that of the commercial plywood planks, but in combination with the wood failure it satisfied the criteria of the Japanese Agricultural Standard for structural plywood.
- (4) The expected life of the softwood plywood planks was predicted statistically to be about four years, but taking into account practical conditions of use in the construction sites, it would be less than three years.
- (5) High correlation was found between the modulus of rupture and the modulus of elasticity for the softwood plywood planks. Therefore, the non-destructive bending test for the used scaffold planks are effective in predicting their bending strength.

In conclusion, the softwood plywood scaffold planks faced with the Southeast Asian hardwood veneers, except those with face veneers jointed by scarf-joints, would be used as the scaffold planks.

Keywords; Scaffold planks, Softwood plywood, Hardwood plywood, Outdoor exposure, Durability

1. はじめに

足場板は、作業者が高所で安全に、能率よく作業するために、重要にして不可欠なもので、現在、挽き板製、合板製、鋼製、アルミ合金製のものなどが使用されている。このうち合板製の足場板は、約30年前に我が国で開発され、その後、それまでの挽き板製のものにはない強度の安定性などが高く評価されて広く普及した。最近では、金属製やアルミ合金製のものに比較して需要は減少してはいるものの、依然として多くの建設現場等で使用されている。

合板製の足場板は、労働省の構造規格では、「合板足場板」、日本農林規格では、「足場板用合板」として規定され、材料には、アピトンやカポール等の高強度の熱帯産広葉樹を用いることとされているが、以下に述べるような背景と経緯から、材料の一部に針葉樹を用いた合板足場板の強度について検討したので、その結果について報告する。

2. 背景と経緯¹⁾

地球環境問題の一つとして、熱帯林の減少とその保護が叫ばれ始めてから10年余りが経過した。この間、1986年には世界熱帯木材機関(ITTO)が設立され、その理事会において、熱帯材の消費を削減し、西暦2000年までに、合板等の材料を持続的に管理されている森林から生産される針葉樹等に転換するという基本方針の行動計画が採択された。

我が国では、熱帯材の多くが合板の材料として使用されているため、日本合板組合連合会が合板製造業者に対する調査を実施し、その結果をもとに1991年に合板材料の転換に関する基本方針を策定・公表した。同時に、林野庁、建設省、東京都、建設業協会などの中央省庁、地方自治体及び建設業界においても、熱帯材の使用削減やコンクリート型枠の利用に関する対応を決定し、または、報告書を公表した^{2),3)}。

以上のような、熱帯材を材料とする合板をとりまく状況の中で、一つの試みとして、これまでの熱帯広葉樹を材料としてきた合板足場板から、材料の一部に針葉樹を用いたものへの転換の可能性を検討するため、合板仮設安全技術協会及び合板足場板の製造会社の協力を得て研究を実施したものである。

3. 実験方法

一般に、足場板は屋外で、かつ現場から現場へ反復使用されるものであり、従って、安全上は、製造直後は勿論、経年使用時にも十分な強度を有していることが重要である。この場合、強度に影響を与える要因と

しては、風雨、夏期の高温、冬期の凍結等の気象的要因、使用時や組立解体時の繰り返し力や衝撃力の作用、断面欠損、摩耗等の物理的要因があるが、本研究では、このうち、特に影響が大きいと思われる気象条件を取り上げ、屋外自然暴露が強度に与える影響を調べた。

実験には、公称寸法が厚さ28mm、幅240mm、長さ4000mmの合板足場板を用い、暴露しないものと一定期間屋外に暴露したのものについて、板の寸法、重量、狂いを測定した後、各足場板を中央で2枚に切断し、それぞれに対して曲げ試験を行った。また、曲げ試験後の供試体から切り取った小試験片に対し、接着力試験と全乾重量法による含水率の測定を行った。

3.1 供試体

供試体は、表板(合板の表面の単板)を従来の熱帯広葉樹とし、内部に針葉樹の単板を用いた試作合板足場板9種類と、比較のため、従来の熱帯広葉樹のみを用いた市販の合板足場板4種類の合計13種類とした。

供試体の樹種と単板構成をTable 1に示したが、いずれも繊維方向が足場板の長さ方向に平行な単板(心板または表面では表板)と直角な単板(添え心板)を合計9枚組み合わせフェノール樹脂により貼り合わせた構造である。接着部分としては、心板と添え心板間の接着のように繊維方向が直交するように接着された部分(直交構成部)と、表板と心板間の接着のように繊維方向が平行になるように接着された部分(平行構成部)を有する。断面例をFig. 1に示す。また、針葉樹は熱帯広葉樹に比較して素材強度が劣るため、試作足場板は、市販の足場板より単板構成比(表板と心板の合計厚/合板厚)を大きくした。なお、単板構成比が大きいほど足場板の長さ方向の曲げ性能は増大するが、足場板の場合には板幅方向の曲げ性能も確保する必要があるため、また屋外で使用した場合の板の膨張収縮による狂いを少なくするため、構造規格では、単板構成比を60%以上80%以下と定めている。

Table 1のsymbol欄の英文字は、最初の文字が製造会社を、続く文字が種類を表しており、X、Yが針葉樹を用いた合板、Sが従来の熱帯材の合板である。

このうち、記号BX、BY、*BX、*BYは、合板の表板に傾斜1/8のスカーフジョイント(そぎ継ぎ手)を有するもので、*BX、*BYは、それぞれBX、BYと構造は同じであるが、スカーフの接着方法を改良したものである。

供試体数は、各種類について、後述する暴露期間毎に2枚とした。また、供試体は暴露後約1週間室内で調湿した後、実験に供した。一般に木材製品は屋外に暴露すると降雨などにより吸湿含水し、その機械的性質が

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

	Symbol	Face veneer	Core veneer/ Crossband veneer	No. of plies	※ 3 Structure of section					Ratio of (%) constitution of veneers
					1	2	3	4	5	
※ 1	BX	keruing	douglas fir	9	- 3.6	- 3.2	- 3.2	- 3.2	+ 3.6	88.0
	BY	keruing	douglas fir	9	- 3.6	- 3.2	+ 3.6	- 3.2	- 3.2	76.3
	*BX	keruing	douglas fir	9	- 3.6	- 3.2	- 3.2	- 3.2	+ 3.6	88.0
	*BY	keruing	douglas fir	9	- 3.6	- 3.2	+ 3.6	- 3.2	- 3.2	76.3
	CX	apitong	radiata pine	9	- 3.0	- 3.4	+ 3.4	- 3.4	- 3.4	77.2
	CY	apitong	radiata pien	9	- 3.0	- 3.1	- 3.1	+ 4.0	- 3.1	72.9
	DX	apitong	radiata pine	9	- 3.4	- 3.4	+ 3.4	- 3.4	+ 3.4	66.7
	DY	apitong	※ 4	9	- 3.4	- 3.4	+ 3.4	- 3.4	+ 3.4	66.7
	EX	apitong	※ 5	9	- 3.375	- 3.375	+ 3.375	- 3.375	+ 3.375	66.7
※ 2	BS	keruing	keruing	9	- 3.3	- 3.3	+ 3.3	- 3.3	+ 3.3	66.7
	CS	apitong	apitong	9	- 3.0	- 3.0	+ 4.0	- 3.0	+ 4.0	60.0
	DS	apitong	apitong	9	- 3.4	- 3.4	+ 3.4	- 3.4	+ 3.4	66.7
	ES	keruing	keruing	9	- 3.375	+ 3.375	- 3.375	- 3.375	+ 3.375	66.7

- Notes ※ 1 Softwood plywood scaffold plankds faced with Southeast Asian hardwood veneers.
 ※ 2 Southeast Asian hardwood plywood scaffold planks.
 ※ 3 Upper numerals indicates the order plies (ref. Fig. 1) and lower numerals indicates thickness of veneers (mm) in half section.
 - Face veneer of Core venner.
 + Crossband veneer
 ※ 4 2nd and 8th ply: apitong, 3rd~7th ply: radiata pine.
 ※ 5 Core veneer: keruing, Crossband veneer: radiata pine.

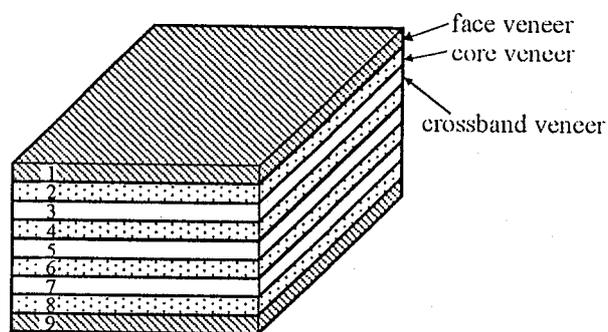


Fig. 1 A example of section in plywood scaffold plank.
合板足場板の断面例

大きく変化することが知られている。しかし、今回は屋外暴露による強度劣化を調べるのが主目的なので、

可能な限り含水の影響をなくし、気乾状態でのデータを得るため調湿したものである。

なお、材料の一部に針葉樹を用いた合板は、通常、複合合板と呼ばれているので、今回の試作足場板は、正しくは複合合板足場板と呼ぶべきであろうが、以下においては、針葉樹合板足場板（または針葉樹合板）と呼び、従来の熱帯広葉樹を用いたものは熱帯材合板足場板（または熱帯材合板）と呼ぶことにする。

3.2 暴露条件

暴露期間は、Table 2 に示すように、基本的には3, 6, 12, 24ヶ月とした。24ヶ月の暴露期間は、足場板としての実用化の目安をつけるためには最短の期間と考えられる。

Table 2 Outdoor exposure period.
暴露期間

Date		'92.12	'93.3	'93.6	'93.12	'94.12
Period in month		0	3	6	12	24
Group	Exposure period					
I	non-exposure	BX, BY, BS, CX, CY, CS, DX, DY, DS, EX, ES, *BX, *BY				
II	outdoor exposure 51 days	BX, BY				
III	87	EX, ES				
IV	94	CX, CY, DX, DY, BS, CS, DS				
V	137	*BX, *BY				
VI	181	EX, ES				
VII	188	BX, BY, CX, CY, DX, DY, BS, CS, DS				
VIII	314	*BX, *BY				
IX	358	EX, ES				
X	365	BX, BY, CX, CY, DX, DY, BS, CS, DS				
XI	679	*BX, *BY				
XII	723	EX, ES				
XIII	730	BX, BY, CX, CY, DX, DY, BS, CS, DS				

Table 3 Solar radiation and precipitation during exposure.
暴露期間中の日射量・降雨量

Group	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Solar radiation (MJ/m ²)	350	578	632	1927	2223	2277	4473	4769	4823	6598	6894	6948
Precipitation (mm)	82	144	150	269	351	357	1189	1271	1277	2265	2347	2353

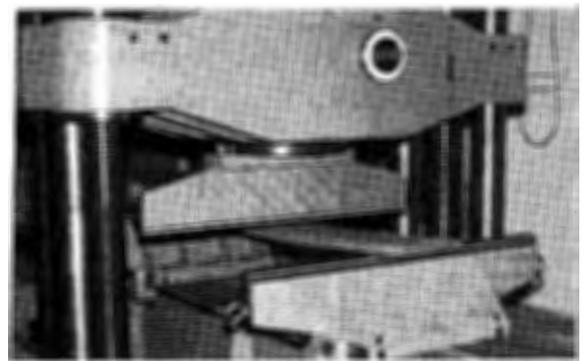
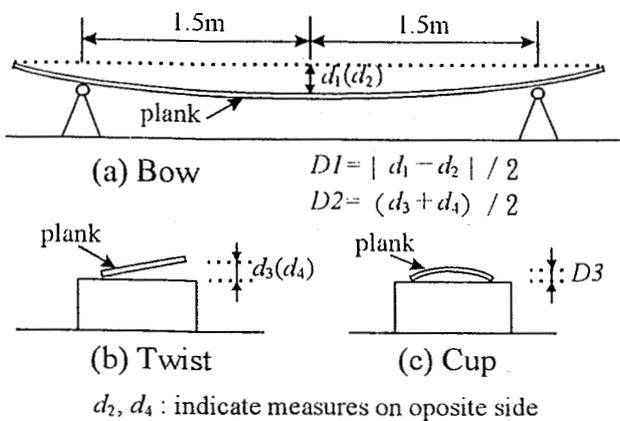


Photo 1 Bending test for full-size specimen.
曲げ試験

Fig. 2 Definition of warp in plywood scaffold plank.
足場板の狂いの定義

暴露場所は東京都清瀬市の当研究所建設安全研究棟の屋上で、床上 1.5m に水平に設置し、半月毎に暴露面を反転した。また、暴露条件を定量化するため、暴露期間中の日射量と降雨量を測定した。(Table 3)

3.3 寸法、重量及び狂いの測定

板の寸法については、長さ、幅、厚さを測定した。このうち、厚さと幅は、板の中央及び両端から 30 cm の位置の計 3ヶ所で測定して平均値を求めた。

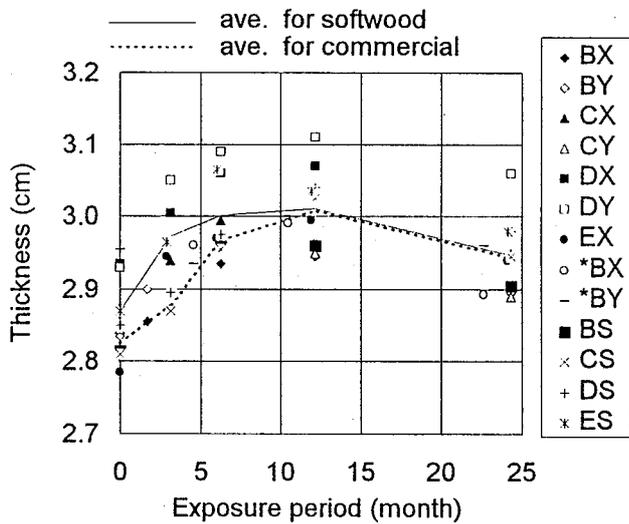
狂いの測定は、暴露による板のそりやねじれをみるもので、長さ方向のそり (D1)、板のねじれ (D2)、幅方向のそり (D3) を、それぞれ Fig. 2 に示すように定義し、暴露 24ヶ月の供試体について実測した。なお、D1 と D2 は、自重などの測定値への影響を除いた

め、板を反転して再度測定し、それぞれ 2 回の測定値から図中の式により算出した。

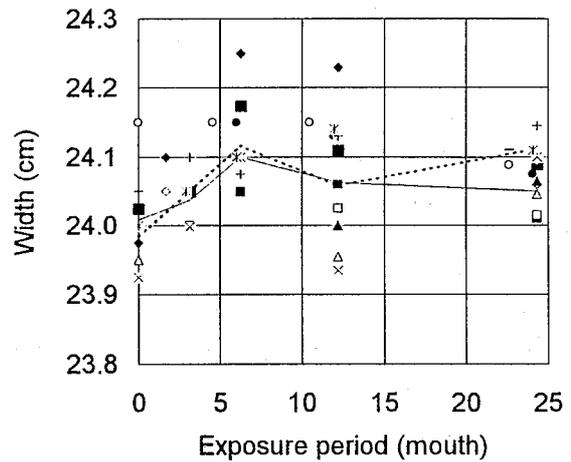
3.4 曲げ試験及び接着力試験

曲げ試験は、合板足場板の構造規格及び足場板用合板の日本農林規格に定める試験方法に準じて行い、Photo 1 のようにスパン 1.5m に単純支持した試験片のスパン中央に線荷重を与えたときのスパン中央のたわみを測定した。

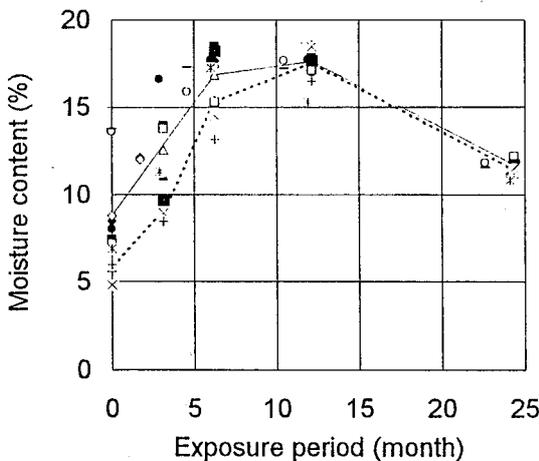
接着力試験は、直交構成部については、構造用合板の日本農林規格に定める連続煮沸試験により行い、接着力と木部破断率を求めた。また、平行構成部については、構造用単板積層材の日本農林規格に定める煮沸はくり試験により、はくり率及びはくり長さを求めた。



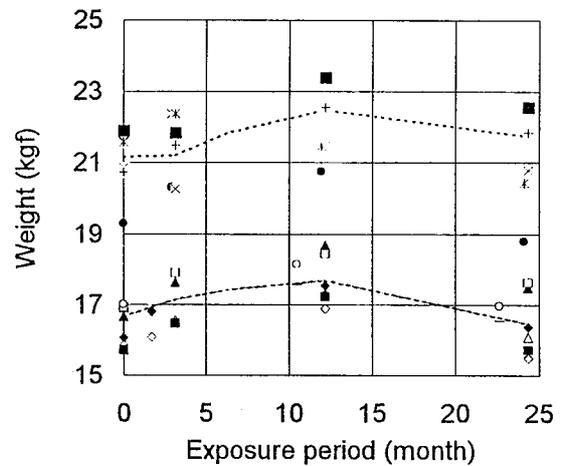
(a) Thickness



(b) Width



(c) Moisture content



(d) Weight

Fig. 3 Relation between exposure period and physical properties of plywood scaffold planks.
暴露期間と合板足場板の機械的性質との関係

4. 実験結果

4.1 暴露による板の外観の変化

暴露期間の増加とともに、板の表面が黒く変色し、板表面の長さ方向に細いひび割れの発生が認められた。また、一部の針葉樹合板において、小口面にかなり深いひび割れが認められた。

4.2 板の寸法、重量、含水率等

Fig. 3 は、暴露期間による板の寸法、重量、含水率の変化を足場板の種類毎に示したものである。それぞれの図の一点は2枚の足場板の平均値を表している。足場板の種類により値はばらつくが、いずれの値も暴露期間6~12ヶ月付近まで比較的急激に増加し、その後は横這いか漸減する傾向を示している。また、図中の折れ線は針葉樹合板と熱帯材合板のそれぞれの平均値であるが、板幅について多少の相違があるのを除いて両者ともほぼ同様の傾向を示した。また、重量について、針葉樹合板が熱帯材合板に比べて約4~5 kgf 軽いのは、材料の比重の相違によるものである。なお、上記の諸量における傾向は、これまでも文献等で指摘されており、板の吸湿膨張、乾燥収縮や板表面の摩擦に起因する現象と解釈されている^{4),5)}。

4.3 狂い

Fig. 2 の D1, D2, D3 を測定した結果、D1 (長さ方向のそり) は全部の種類足場板に見られ、最大7.5 mm、最小0.9 mm で、強いていえば針葉樹合板の方が大きい値を示した。また、D2 (板のねじれ) と D3 (幅方向のそり) は、熱帯材合板には見られなかったが、3種類の針葉樹合板に見られ、最大値はそれぞれ3.5 及び3 mm であった。しかし、いずれの狂いも微小 (D1 は最大でも支持スパンの約0.3%) であり、今回のデータからは、これらが足場板の使用時に支障をきたすことはない判断された。

4.4 曲げ試験

4.4.1 加力による変形破断状況

加力に伴って足場板は大きく曲げ変形して最大荷重に達した後、最終的に加力点付近で破壊した。

Fig. 4 は、暴露なしと暴露24ヶ月の供試体について、荷重とたわみの関係を示したものである。図によれば、CY11のように加力初期から最大荷重まで、両者の関係がほぼ直線的に推移するものと、DY22やBY12のように最大荷重付近で曲線状を呈するものがあるが、この相違は、主に破壊形態の相違によるものと思われる。

る。破壊形態については、大部分はPhoto 2(a)のように最大荷重に達して引張側の単板が破断した後も圧縮側の単板は破断しないで繋がっていたが、一部の針葉樹合板にPhoto 2(b)のように最大荷重に達するとほぼ同時に板全体が2つに折れる、脆性的な壊れ方をしたものがあつた。また、表板にスカーフジョイントを有するもので、ジョイントが引張側にあり、かつ加力点に近い場合に、比較的小さな荷重でジョイント部分が開くようにして最大荷重に達したものがあつた。この部分が強度上の弱点となることが伺えた。

このうち、脆性破壊するものについては、使用中に万一足場板が折れた場合を考えると、安全上は粘りのある壊れの方が望ましいので、今後、単板構成を改良するなどの工夫が必要と思われる。なお、針葉樹合板における脆性的破壊については、文献⁶⁾でも指摘されている。

4.4.2 曲げ強さ

曲げ試験の結果から得られた曲げ破壊荷重 (最大荷重) をもとに次式により曲げ強さを求めた。

$$\sigma = 3P_M l / 2bh^2$$

ただし、 σ : 曲げ強さ (kgf/cm²)

P_M : 曲げ破壊荷重 (kgf)

l : 支持スパン (cm)

b : 板幅 (cm)

h : 板厚 (cm)

Fig. 5 は、暴露なしと暴露24ヶ月の場合における曲げ強さを足場板の種類別に示したもので、種類毎に2枚の足場板から得られた4つのデータの最大、平均、最小値を表す。また、同図(a)の点線は、熱帯材合板足場板について定められている構造規格の曲げ強さの最小値660 kgf/cm²を表している。この図によれば、

- ① 曲げ強さの値は、足場板の種類間でも個体間でもかなりばらつく。このばらつきは暴露24ヶ月に比べ、暴露なしの方が大きい。種類では記号BX, BY, *BXで大きい。
- ② 暴露なし場合の曲げ強さは、ほとんどの種類で構造規格値を上回るが、針葉樹合板の一部 (記号BY, BX, *BY) には下回るものがある。なお、記号BX, BY, *BX, *BYにおいて、強度が低く、ばらつきが大きいのは、4.4.1で述べたように表板のスカーフジョイントの強度不足が原因と考えられる。

熱帯材合板の構造規格では、傾斜1/12以下の場合に限って表板のスカーフジョイントを認めているが、今回の試作足場板でも、強度を増すためにはスカーフの傾斜を1/8より小さくするなどの改良が必要と思われる。

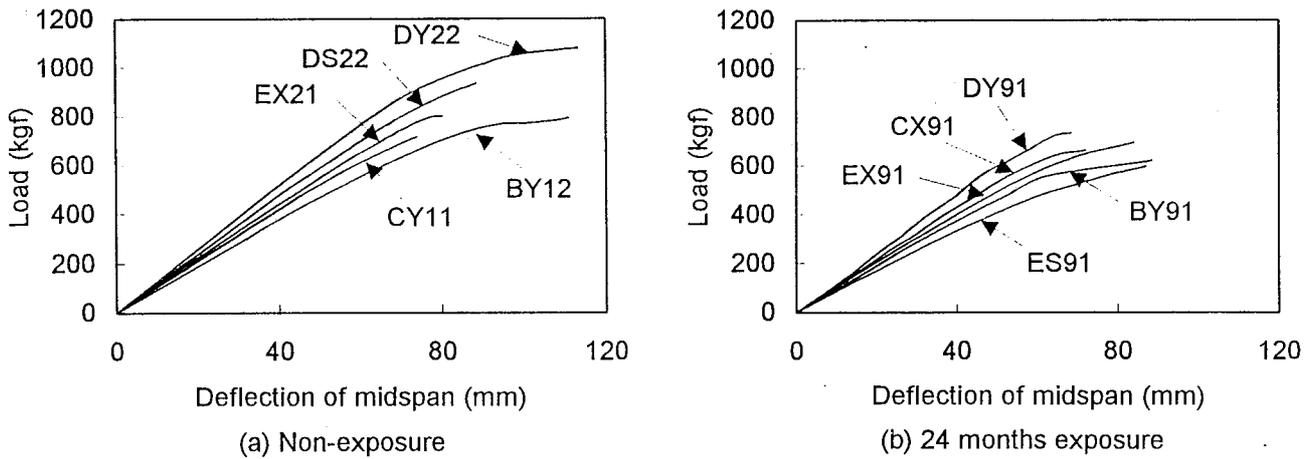
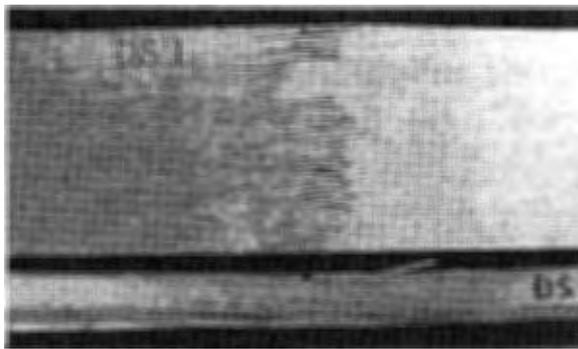
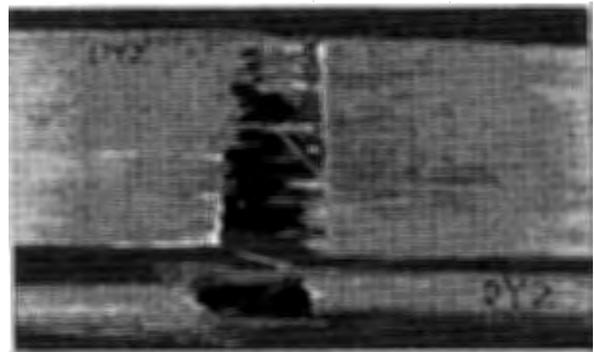


Fig. 4 Examples of load-deflection curve.
荷重-変位曲線の例



(a) Ductile failure



(b) Brittle failure

Photo 2 Views at failure in bending test.
曲げ試験における破壊状況

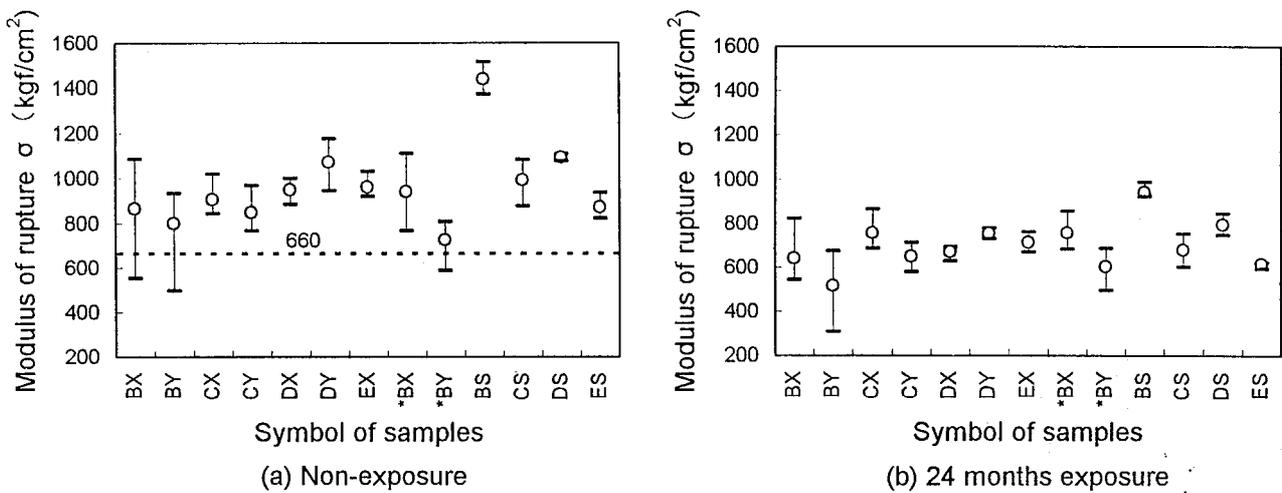
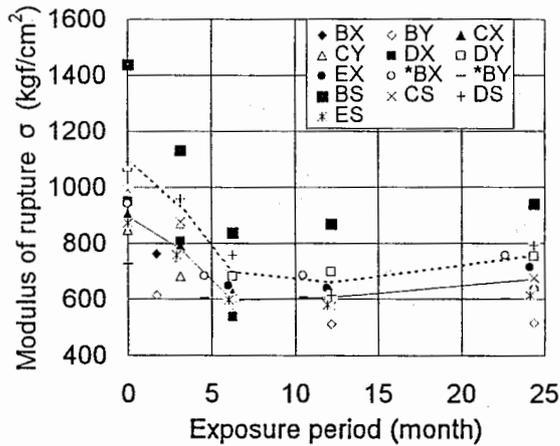
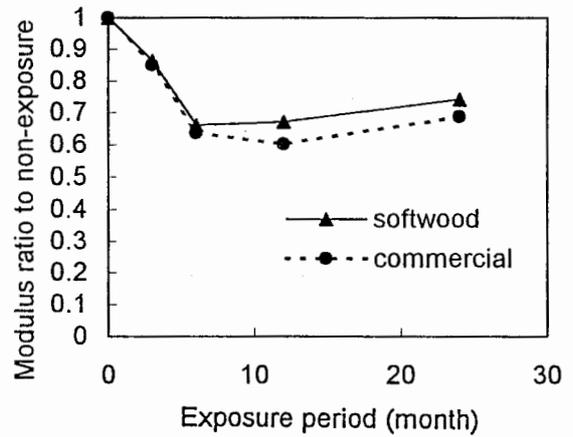


Fig. 5 Comparison of modulus of rupture.
曲げ強さの比較



(a) Mean values



(b) Modulus ratio to non-exposure

Fig. 6 Relation between exposure period and modulus of rupture.
暴露期間と曲げ強さの関係

次に、Fig. 6は、曲げ強さと暴露期間の関係を示したもので、(a)の1つの点は足場板の種類毎の平均値を、折れ線は針葉樹合板と熱帯材合板それぞれの平均値を表している。また、(b)は針葉樹合板と熱帯材合板の平均値をそれぞれの暴露なしの場合の平均値との比で示したものである。この図によれば、

- ① 暴露期間の増加に伴う曲げ強さの変化は、足場板の種類によらずほぼ共通しており、暴露期間6ヶ月付近まで急激に減少して新品時の約65%になった後は、横這いか、多少増加気味で推移する。
- ② 針葉樹合板と熱帯材合板それぞれの平均の曲げ強さを比較すると、各暴露期間とも熱帯材合板の方が高い。

4.4.3 曲げ弾性係数

曲げ試験の荷重とたわみの関係から、次式により曲げ弾性係数を求めた。

$$E = \ell^3 \Delta P / 4bh^3 \Delta \delta$$

ただし、 E ：曲げ弾性係数 (kgf/cm²)

ℓ ：支持スパン (cm)

b ：板幅 (cm)

h ：板厚 (cm)

ΔP ：荷重-たわみ線図の直線部分2点の荷重差 (kgf)

$\Delta \delta$ ： ΔP に対応するたわみ (cm)

Fig. 7は、暴露なしと暴露24ヶ月の場合における曲げ弾性係数を足場板の種類別に示したものである。図の種類毎のデータは、4つのデータの最大、平均、最小値であり、点線は熱帯材合板足場板について定められている構造規格の最小値 9×10^4 kgf/cm²である。図によれば、曲げ弾性係数は、全ての種類で、暴露なし、

暴露24ヶ月の両者とも規格値を上回っている。

次に、Fig. 8は、曲げ弾性係数と暴露期間の関係を示したもので、(a)の1つの点は種類毎の平均値を、折れ線は、針葉樹合板と熱帯材合板のそれぞれの平均値を表す。また、(b)は、針葉樹合板と熱帯材合板の平均値をそれぞれの暴露なしの場合の平均値との比で示したものである。Fig. 8によれば、

- ① 暴露期間の増加に伴う曲げ弾性係数の傾向は、ほぼ共通しており、曲げ強さ同様、暴露期間6ヶ月付近まで急激に減少して暴露なしの場合の約80%に低下した後、横這いか、多少増加気味で推移する。
- ② 針葉樹合板と熱帯材合板のそれぞれの平均の曲げ弾性係数を比較すると、各暴露期間とも熱帯材合板の方が1~2 kgf/cm²高い。

4.4.4 接着力試験

直交構成部に対して行った連続煮沸試験のうち、暴露なしと暴露24ヶ月の結果をFig. 9及びFig. 10に示す。いずれも1種類当たり2枚の足場板から採取した試料に対する測定値で、Fig. 9は、接着力の最大値、平均値及び最小値、Fig. 10は、木部破断率の平均値である。Fig. 9によれば、接着力は暴露なしと暴露24ヶ月でほとんど変わらない。また、針葉樹合板の接着力は、平均的に熱帯材合板より多少低い。

直交構成部の接着強度については、労働省の構造規格と足場板用合板の日本農林規格に合格基準を8 kgf/cm²以上と定めている。この値を今回の結果と比較すると(Fig. 9の点線)、熱帯材合板は暴露なし、暴露24ヶ月とも全て上回るが、針葉樹合板の一部(記号BX, BY, *BX, *BY)に下回るものがある。

しかし、上記の規格の値は、本来、広葉樹の合板を対象にしたものであり、針葉樹の場合は、接着力と木

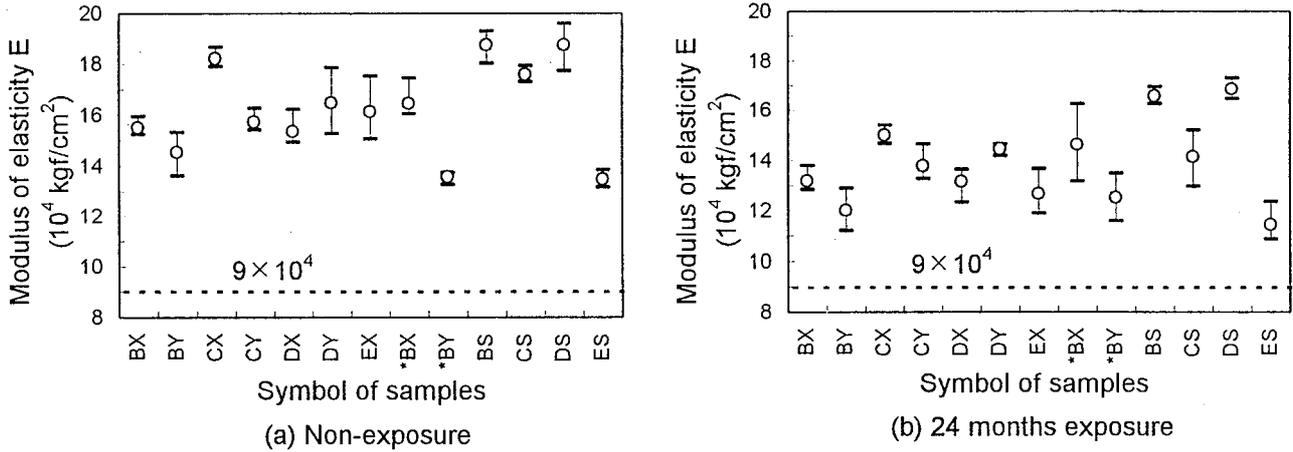


Fig. 7 Comparison of modulus of elasticity.
曲げ弾性係数の比較

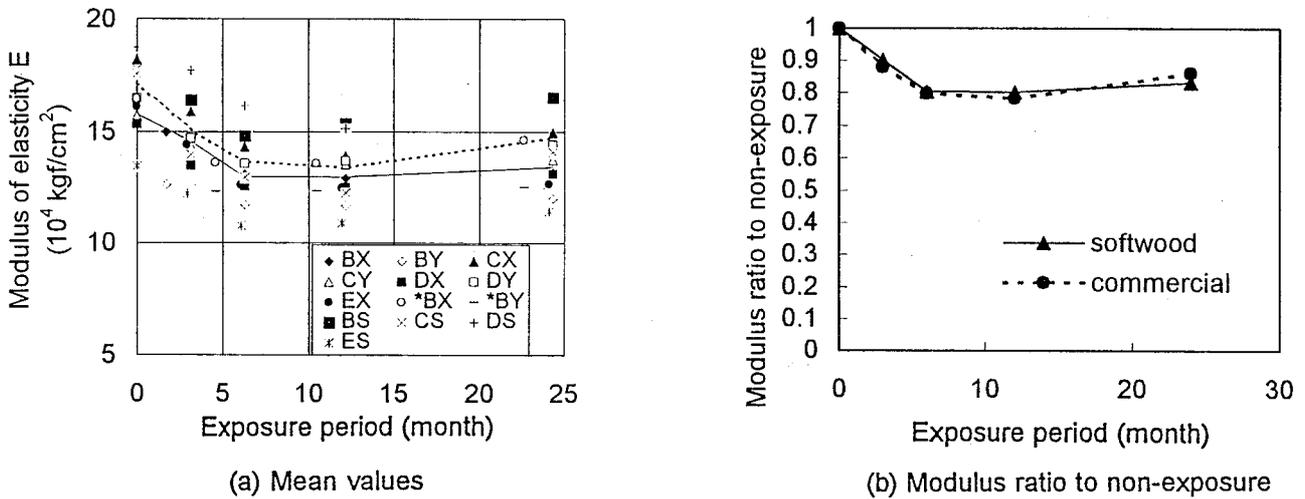


Fig. 8 Relation between exposure period and modulus of elasticity.
暴露期間と曲げ弾性係数の関係

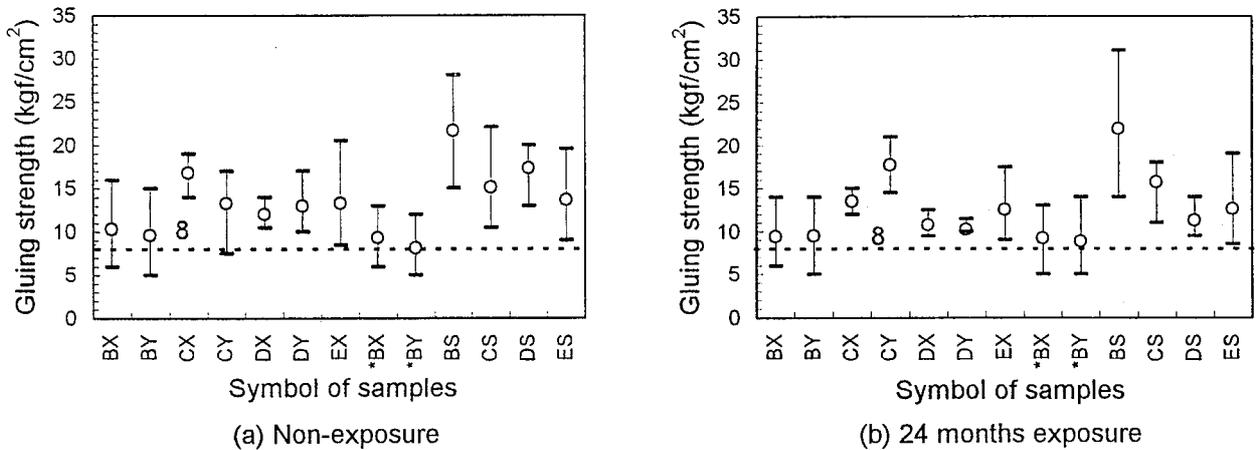


Fig. 9 Gluing strength in non-exposure and 24 months exposure samples.
接着力に及ぼす暴露の影響

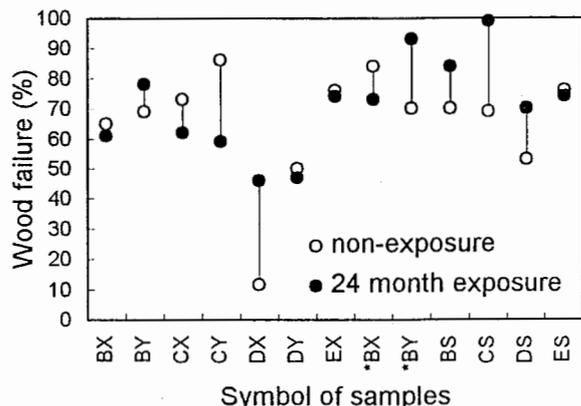


Fig. 10 Wood failure in non-exposure and 24 months exposure samples.
木部破断率に及ぼす暴露の影響

部破断率の組み合わせで評価することとしている。

構造用合板の日本農林規格では、針葉樹と針葉樹及び針葉樹と広葉樹の接着力の適合基準を Table 4 のように与えている。そこで同表と Fig. 9 及び Fig. 10 の値を比較すると、全ての種類で基準に適合することがわかる。

一方、平行構成部の煮沸はくり試験結果については、データの表記は省略するが、全種類において、はくりは全く認められなかったことから、平行構成部の接着力は、十分と考えられる。

以上のことから、針葉樹合板の接着強度は熱帯材合板に比べて多少劣るものの、針葉樹の材料特性を考慮すれば実用上の問題はないものと判断される。

5. 考 察

5.1 針葉樹合板足場板の曲げ性能と性能基準の提案

針葉樹合板足場板の曲げ性能は、4.4.2 及び 4.4.3 節の分析では、熱帯材合板足場板に比べて多少低い結果となったが、合板の場合、材料の生産地・年などにより強度的性質が大きく変動することがあるので、ここでは、過去に行った熱帯材合板足場板のデータも含めて、さらに検討を加えた。

Fig. 11 及び Fig. 12 は、針葉樹合板足場板と熱帯材合板足場板について、暴露なしの場合の、曲げ強度と曲げ弾性係数の度数分布を求めたものである。図には過去（約 10 年前）に実施した熱帯材合板足場板の結果⁸⁾を併記した。

これらの図によれば、熱帯材合板足場板については、曲げ強さ、曲げ弾性係数ともに、今回と過去のデータに大きな相違が見られ、今回の曲げ強さ及び曲げ弾性係数の平均値は、過去の約 1.5 倍になっており、この 10 年

Table 4 Criteria of gluing strength (JAS of structural plywood).
接着力の適合基準⁷⁾

Gluing strength (kgf/cm ²)	Wood failure (%)
≥ 7	not specified
≥ 6	50~64
≥ 5	65~79
≥ 4	≥ 80

間で市販の合板足場板の性能が大きく変化したことがわかる。このように変化した理由の一つには、単板構成の改良が考えられる。開発当初の合板足場板は、隣り合う単板の繊維方向が全て直交するように接着された（いわゆる合板）構造のものが主流であったのに対し、最近では、足場板の長さ方向の曲げ強度を増すため断面の一部に平行構成部（3.1 節参照）を含めることが一般的となっている。過去の実験では、供試体 7 種類のうち 3 種類が平行構成部を含むものであったのに対し、今回は 4 種類の全てが平行構成部を含むものであった。

しかしながら、今回の 4 種類の供試体のうち 3 種類（CS, DS, ES）は過去と全く同じ単板構成であったにもかかわらず、いずれも今回の方が過去より大きい曲げ性能値（データの表記は省略するが、曲げ強さで約 3~6 割、曲げ弾性係数で約 5~6 割大きい値）を示したことから、熱帯材合板のデータが今回と過去で大きく異なったのは、ほかの理由、例えば素材強度や接着強度の違いによるものと推定される。いずれにしても、熱帯材合板足場板については、これまで構造規格においてこれらを一つとして扱っているもので、ここでも今回と過去のデータを合わせて（それぞれが同じ母集団からの標本として）評価することとし、曲げ強度と曲げ弾性係数の平均値と標準偏差を計算すると、曲げ強度は平均値 876、標準偏差 238 kgf/cm²、曲げ弾性係数は平均値 13.64 × 10⁴、標準偏差 3.32 × 10⁴ kgf/cm²となった。

そこで、これらの値を Fig. 11 及び Fig. 12 に示した針葉樹合板についての値と比較すると、曲げ強さ、曲げ弾性係数ともに、平均値は針葉樹合板の方が大きく、標準偏差は熱帯材合板の方が大きい。これより両足場板群が正規分布をするものとするれば、下限側の特定の確率値に対応する曲げ強さまたは曲げ弾性係数の値は針葉

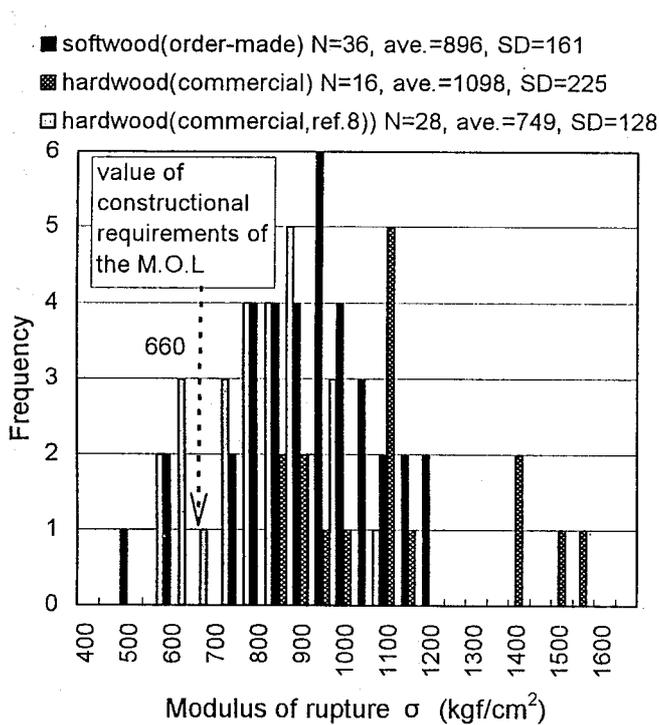


Fig. 11 Frequency distribution of modulus of rupture in non-exposure samples.
 曲げ強さの度数分布 (暴露なしの場合)

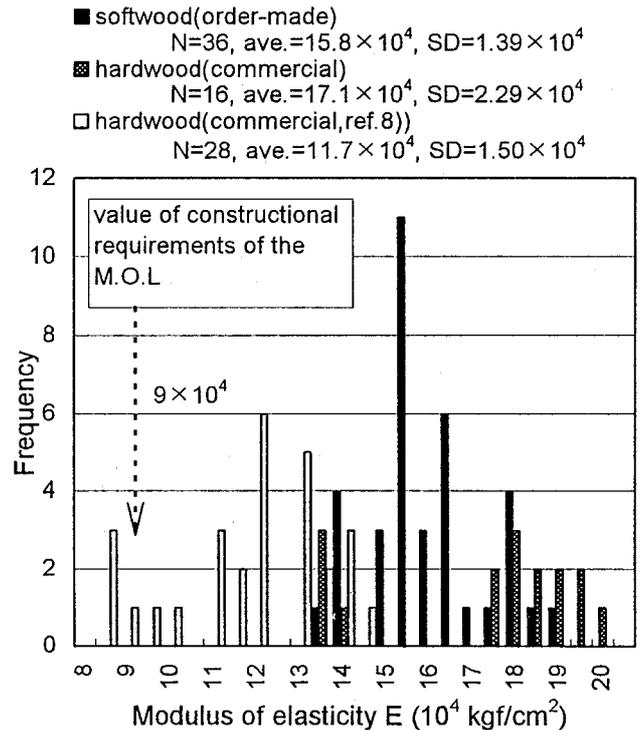


Fig. 12 Frequency distribution of modulus of elasticity in non-exposure samples.
 曲げ弾性係数の度数分布 (暴露なしの場合)

樹合板の方が大きい。言い換えれば、針葉樹合板足場板の曲げ性能は、熱帯材合板足場板と同等かそれ以上といえる。

また、上述のように熱帯材合板足場板についてはその曲げ性能の値にかなり幅があるものの、現在、それらを一つとして扱って構造規格が定められ、その中で性能基準 (曲げ強さ 660 kgf/cm²以上、曲げ弾性係数 9×10⁴ kgf/cm²以上) が示されている。そこで、針葉樹合板足場板に対しても、それらを一つにして扱って、熱帯材足場板と同じ値を性能基準として設定することを提案する。Fig. 11 及び Fig. 12 には規格に定める値を点線で示した。なお、このように基準値を設定した場合、今回の針葉樹合板群と同じ平均値と標準偏差をもつ正規分布をする母集団の場合、統計的には曲げ強さで約 93%以上のものが、曲げ弾性係数ではほとんどのものが基準値を上回ることになる。

5.2 屋外暴露による曲げ性能の変化と耐用期間

針葉樹合板足場板の暴露による劣化の度合いについては、4.4 節において、熱帯材合板足場板とほとんど同等であることを明らかにした。ここでは、暴露期間と曲げ性能との関係から、足場板としての耐用期間を統計的に推定することを試みた。

対象としたデータは、暴露なしと暴露後における曲げ

強さと曲げ弾性係数の全データ各 180 個である。推定に先だて、以下の理由により含水率の補正を行った。

今回の実験では、含水の影響を取り除くため、暴露後の供試体を一定期間室内保管して、できるだけ気乾状態に調湿したが、実際には Fig. 3(c) に示したように含水率はかなりばらつく結果になった。そこで、ここでは一定の含水率に補正したデータに対して分析を行うこととし、補正には過去の熱帯材合板足場板の実験結果⁸⁾を参考にした下式を用いた。

$$\sigma/\sigma_0 = 1.37 - 0.52 \log(u)$$

$$E/E_0 = 1.23 - 0.31 \log(u)$$

ただし、 u : 含水率 (%)

σ : 含水率 u % のときの曲げ強さ

E : 同 曲げ弾性係数

σ_0 : 製造時 (暴露なし) の曲げ強さ

E_0 : 同 曲げ弾性係数

補正に用いる含水率の値は、分析結果が現場でそのまま応用できるように、現場で遭遇するかなり高めの値を想定して 20% とした。

含水率の補正前後の曲げ強さと曲げ弾性係数の度数分布を Fig. 13 に示す。これによれば、曲げ強さ、曲げ弾性係数とも、補正後は補正前に比べてピークが左

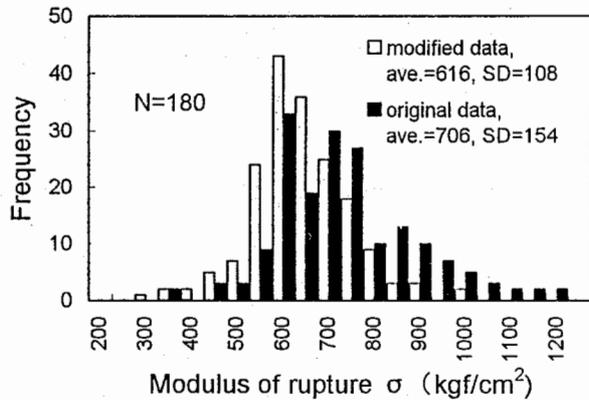
に移動してデータの分布幅が狭くなるとともに、正規分布に近い分布形となった。

Fig. 14 は、含水率補正後の曲げ強さ及び曲げ弾性係数と暴露期間の関係を見るため、横軸を $T + 1$ (ただし、 T は暴露期間) の対数にとって表現したものである。

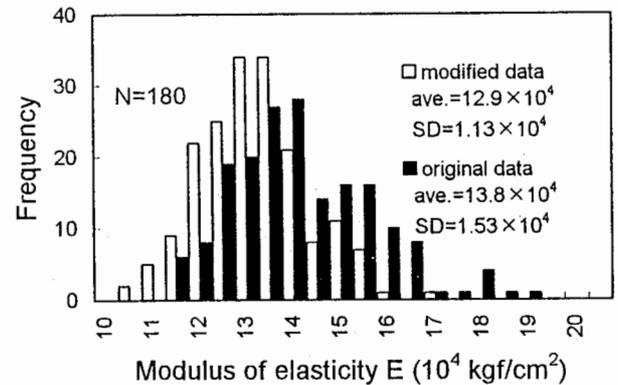
図によれば、曲げ強さ、曲げ弾性係数とも暴露期間の増加につれてほぼ直線的に減少しており、回帰直線を求めると、それぞれ図中に示す式になった。さらに、データから推定値の標準誤差を求め、回帰直線を標準誤差の2倍下方にずらせたのが、図中の一点鎖線である。それぞれの量が正規分布すると仮定すれば、統計的にはデータの約97.7%がこの線より上方に分布することを意味している。足場板の耐用期間の検討に際し

ては、この線上の値を曲げ強さあるいは曲げ弾性係数の信頼下限値と考えれば安全上問題ないと思われる。

そこで、図上で、必要な強度と必要な剛性から耐用期間を推定してみる。まず、曲げ強さについては、経年足場板としての必要な曲げ強さは、従来より労働安全衛生規則に定める許容曲げ応力度 (165 kgf/cm^2) の2.5倍 (衝撃に対して2倍、含水に対し0.5倍) 以上必要といわれている。しかし、ここでは、含水率を20%として補正したデータを扱っているので、衝撃に対する2倍だけを取り 330 kgf/cm^2 (Fig. 14(a) の点線) とする。同図において、先に求めた一点鎖線を外挿して点線との交点の暴露期間を求めると、約50ヶ月 (約4年) が、耐用期間となる。

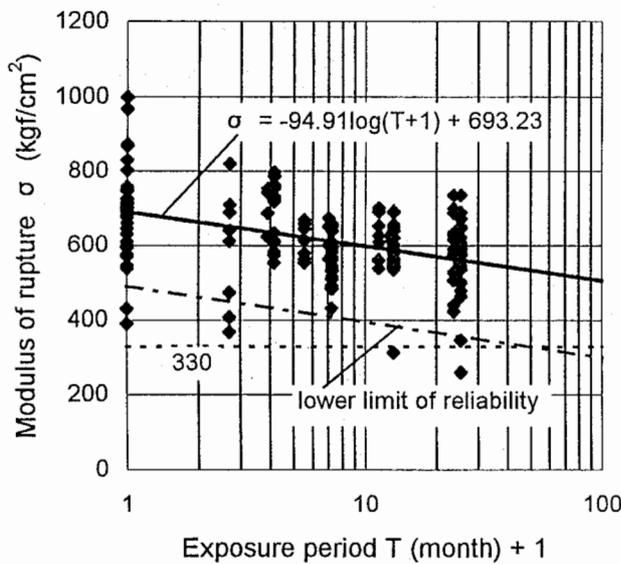


(a) Modulus of rupture

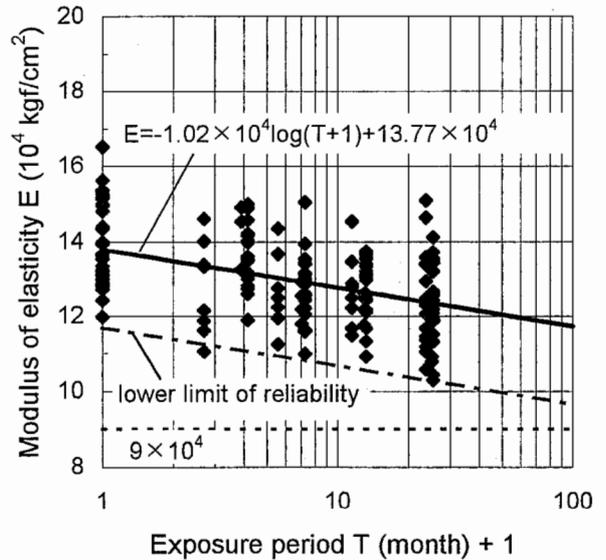


(b) Modulus of elasticity

Fig. 13 Frequency distribution of modulus of rupture and elasticity for softwood plywood.
曲げ強さと曲げ弾性係数の度数分布 (針葉樹合板)



(a) Modulus of rupture



(b) Modulus of elasticity

Fig. 14 Reduction in modulus of rupture and elasticity of exposed softwood plywood planks. (based on modified data for softwood)
暴露による曲げ性能の減少 (含水率補正後の針葉樹合板に対するデータによる)

一方、曲げ弾性係数については、今のところ経年時に対する基準はない。そこで、Fig. 14(b)には、製造時の基準値である構造規格値を点線で示したが、曲げ強さについての結論（約50ヶ月の耐用年数）をふまれば、この期間内では、点線は信頼下限値の一点鎖線よりはるかに下方にあるので、曲げ弾性係数の観点からの劣化は、問題にしないでよいものと思われる。

以上のことから、針葉樹合板足場板の耐用期間は、統計上は4年程度と推定される。しかし、この結果は暴露の影響だけを考慮したもので、現場では、作業や歩行による繰り返し荷重の作用、設置・撤去時の損傷など多くの強度低下要因が想定されるので、安全を見て3年程度を耐用年数の目安とするのが妥当と考えられる。

5.3 曲げ強さと曲げ弾性係数の関係

木材や合板については、これまで曲げ強さと曲げ弾性係数にかなり強い相関があることが報告^{9),10)}されており、一部にはそれを利用して非破壊のたわみ試験結果から強度を推定することが行われている。熱帯材合板足場板についても両者の相関関係が明らかにされており^{8),11)}、合板足場板の安全技術基準¹²⁾には、たわみ試験による経年足場板の強度検査方法が定められている。そこで、針葉樹合板足場板について以下にその可能性を検討した。分析の対象は、暴露なし及び暴露後の曲げ強度、曲げ弾性係数の全データ180個とした。なお、両者の関係を利用して強度推定のためのたわみ試験を行う場合には、試験の前に1週間程度の調湿を行うことはデータの均質化のために必要で、かつ可能と思われることから、ここでは調湿処理を行っただけで含水率の補正はしていないデータを対象にした。

Fig. 15は、曲げ強さ σ と曲げ弾性係数 E の散布図である。図でわかるように両者にはかなり高い相関（相関係数 $r = 0.755$ ）が認められる。図中の実線と式は回帰直線を表す。この結果から、足場板としての必要な σ の値を設定しておき、それに相当する E の値を図から求め、その値から計算されるたわみをたわみ試験の限界値として用いれば、たわみ試験により足場板が必要な曲げ強さを満たしているかどうかの判定が可能になる。なお、この場合の足場板としての必要な曲げ強さに相当する曲げ弾性係数は、安全上、95%程度の信頼下限値に対する E の値にすべきと考えられる。

そこで、Fig. 15には、 E の値に対する σ の観測値の95%信頼限界を表す曲線（一点鎖線）を示した。

一方、足場板として必要な曲げ強さは、5.2節で述べたように（この場合、含水率の補正はしていないので）、法定の許容曲げ応力度（165 kgf/cm²）に対し、安全率2.5を考慮して412 kgf/cm²（Fig. 15の点線）とする。

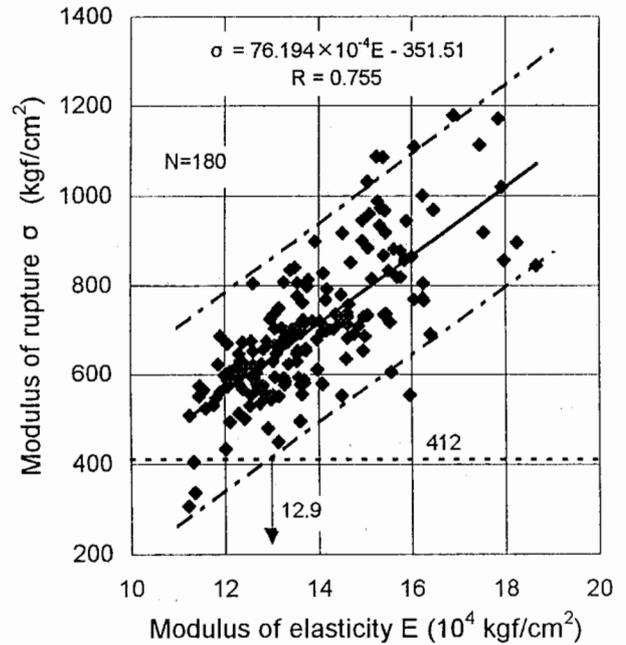


Fig. 15 Correlation between modulus of elasticity and modulus of rupture.
曲げ強さと曲げ弾性係数の関係

図から信頼下限値を表す一点鎖線と点線の交点の E の値を求めると、約129000 kgf/cm²となる。

実際のたわみ試験では、上記の値をもとに、支持スパン、板幅及び板厚に応じて、限界たわみの値を計算しておき、その値を合否の判定限界とすることにより経年足場板の強度検査が可能になる。

6. おわりに

針葉樹を用いた合板足場板の試作品について強度特性を検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 曲げ性能については、曲げ強さ、曲げ弾性係数とも、熱帯材合板足場板と比較して多少低い値を示した。しかし、過去に行った熱帯材合板足場板のデータを加えて統計的に分析した結果では、熱帯材合板足場板と同等以上と推測された。また、表板にスカーフジョイントを有するものには、曲げ性能（特に曲げ強さ）の低いものが見られた。
- (2) 暴露による曲げ性能の低下の度合いは、熱帯材合板足場板とほぼ同等であった。
- (3) 接着力は、熱帯材合板足場板に比較して多少小さいが、木部破断率との組み合わせでは、構造用合板の日本農林規格に適合した。
- (4) 足場板としての耐用年数は、暴露データの統計的解析からは約4年と推定されたが、現場の使用条件などを考慮して、3年程度を目安にするのが妥当と考えられる。

(5) 曲げ強さと曲げ弾性係数の間に相関があり、その関係を利用してたわみ試験から強度の推定が可能である。

以上の結果、試作した針葉樹合板足場板のうち、表板にスカーフジョイントを有しないものについては、足場板として実用に供して差し支えないものと判断される。また、この種の足場板を経年使用した場合の強度の管理方法として、たわみ試験による検査方法が適用出来ることを示した。今後の課題としては、

- (1) さらに長い暴露期間に対する耐候性と、実際に現場で使用した場合の強度と剛性の劣化を解明する。
- (2) 今回の曲げ実験で散見された脆性的な破壊のメカニズムを解明し、粘りのある破壊特性に変えるための構造の改善を検討する。
- (3) 資源の有効利用の観点から、表板にスカーフジョイントを有するものの強度特性を改善して実用化を検討する。

ことなどがあげられる。

針葉樹合板足場板は、熱帯材合板足場板に比べて軽く、作業性が良い。また、金属製足場板に比べて廃棄材の切断・加工が容易で、敷板、つま先板等への転用が可能である。廃棄材の処理・焼却に伴うエネルギー消費や環境への影響が少ない、などの長所があり、今後の開発・実用化が期待される。

なお、今回研究の対象とした針葉樹を用いた合板足場板については、平成6年3月に社団法人合板仮設安全技術協会から「軽量合板足場板安全技術基準」が出され、さらに、同年4月には労働本省から地方局に対し同基準についての事務連絡がなされている。

謝 辞

本研究にご協力頂いた合板足場板製造各社及び社団法人合板仮設安全技術協会に感謝いたします。

参考文献

- 1) 小田島輝夫, 針葉樹合板生産の現状, 木材工業, 48-1, 29~33 (1993).
- 2) 東京都環境保全局環境管理部環境計画室, 東京都の建設事業における熱帯木材等使用削減方針, (1993).
- 3) 酒井寛二・松原隆志, コンクリート型枠合板の利用の現状, 木材工業, 47-3, 133~137 (1992).
- 4) 吉田弥明・田口崇, 屋外暴露合板の曲げ強度性能 (第2報), 木材学会誌, 23-11, 552~556 (1977).
- 5) 林業試験場, 木材工業ハンドブック (改訂3版), 534~536, 丸善 (1982).
- 6) 平嶋義彦・神谷文夫・畑山義男, 針葉樹合板の強度試験とその解析 (第2報), 木材学会誌, 30-4, 293~300 (1984).
- 7) 農林水産省食品流通局消費経済課監修, 構造用合板の日本農林規格とその解説, 49~50, 日本合板検査会 (1992).
- 8) 河尻義正, 合板足場板の耐候性と強度試験方法, 産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-85, 113~130 (1986).
- 9) 例えば, Hilbrand H.C. and D.G. Miller, Machine grading-Theory and practise, Forest Products Journal, 16-11, 28 (1966).
- 10) 吉田弥明, JAS 構造用合板の曲げ強度, 北海道立林産試験場月報, 295, 5~9 (1976).
- 11) 脇坂達也・林好正, 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, 24, 129~133 (1982).
- 12) 社団法人合板仮設安全技術協会, 合板足場板, (1984).

(平成8年5月10日受理)