

(研究資料)

集成材の耐火性能

～水性高分子－イソシアネート系樹脂接着剤使用の構造用集成材の曲げ性能～

上杉 三郎⁽¹⁾, 宮武 敦⁽²⁾, 原田 寿郎⁽³⁾

UESUGI, Saburou, MIYATAKE, Atsushi and HARADA, Toshiro:

Fire Resistance of Glued-Laminated Timber

— Bending performance of glued-laminated timber

bonded with aqueous polymer-isocyanate adhesives —

(Research note)

要 旨：水性高分子－イソシアネート系樹脂接着剤（API）は取り扱い方法が簡易で、接着層が透明であることから木材工業分野で広く使用されている。しかし、従来のAPIは耐熱性や耐久性が低く、構造材料への用途は制限されてきたが、近年これらの性能も改良され、構造用集成材への使用が可能になってきた。そこで、集成材が構造材として使用されるときに問題となる火災安全性についてAPIを用いた集成材の耐火試験を行い、その性能を検討した。また、接着剤メーカーによりAPIの組成成分が異なることから、幾つかのメーカーのAPIを用いて作製した集成材を試験に供した。結果は以下のとおりである。

(1) いずれの接着剤メーカーのAPIで製造した集成材も長期許容応力度に相当する荷重を載荷された条件下で30分間以上の耐火時間を保持しており、構造用材としての耐火性能を有している。

(2) 集成材の耐火時間に生じたバラツキは、API接着剤の接着性能の違いよりも、集成材を構成したラミナの材質によるところが大きいと考えられる。

1 はじめに

木材工業において水性高分子－イソシアネート系樹脂接着剤（以下APIと略記）の使用量は、1985年以降著しく増加し1990年の年間使用量は約1万5千トンに達している（井上ほか，1992）。この接着剤は取り扱い方法の簡易さ、低価格、無色透明などの長所を持ち用途範囲も広いことから、今後も使用量は伸びていくものと思われる。接着性能では、レゾルシノール樹脂接着剤に匹敵する接着力をもっているが、合板の屋外暴露試験での耐久性能がやや低いことも指摘されている。さらにAPIが耐熱性の低いポリビニルとイソシアネートの化合物であること、接着剤メーカーによってその成分組成が異なる

1993年1月18日受理

- (1) 関西支所
- (2) 木材利用部
- (3) 木材化工部

化工－9 Wood Chemistry－9

利用－9 Wood Technology－9

などの問題もある。しかしながら、近年、APIの耐久性や耐熱性が向上してきたこともあり、構造用集成材への使用が望まれるようになった。APIで製造した集成材を構造材に使用する際に最も問題になるのは火災時の構造安全性と考えられる。そこで、幾つかの接着剤メーカーのAPIを用いて製造した集成材の耐火試験を行い、その耐火性能について検討した。

2 実 験

2.1 試験方法及び試験材

使用したAPI構造用集成材の製造条件をメーカー別にTable 1に示す。集成材はベイマツ (*Pseudotsuga menziesii*) を使用し、梁高300mm (13プライ) と400mm (16プライ) の2種類を製造した。加熱試験はJIS A1304に従い、3面加熱載荷試験を併せて行った (Fig. 1)。載荷は、スパン3800mm、3点曲げ中央集中方式で行った。載荷荷重Pの算出は、(1)式を用いて行った。

$$P = 4\alpha \cdot f_b \cdot Z/L \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 α : 荷重係数, f_b : ベイマツ構造用集成材1級の曲げに対する長期許容応力度 (145kgf/cm²), Z : 試験体の断面係数, L : 曲げ試験のスパンである。荷重係数は、梁高300mmでは1.0, 2.0の2種類, 400mmでは0.5, 1.0, 1.3の3種類とした。また、比較のためにレゾルシノール・フェノール共縮合樹脂接着剤 (以下RFと記す) で製造した集成材 (Table 1のF) についても同様の試験を行った。

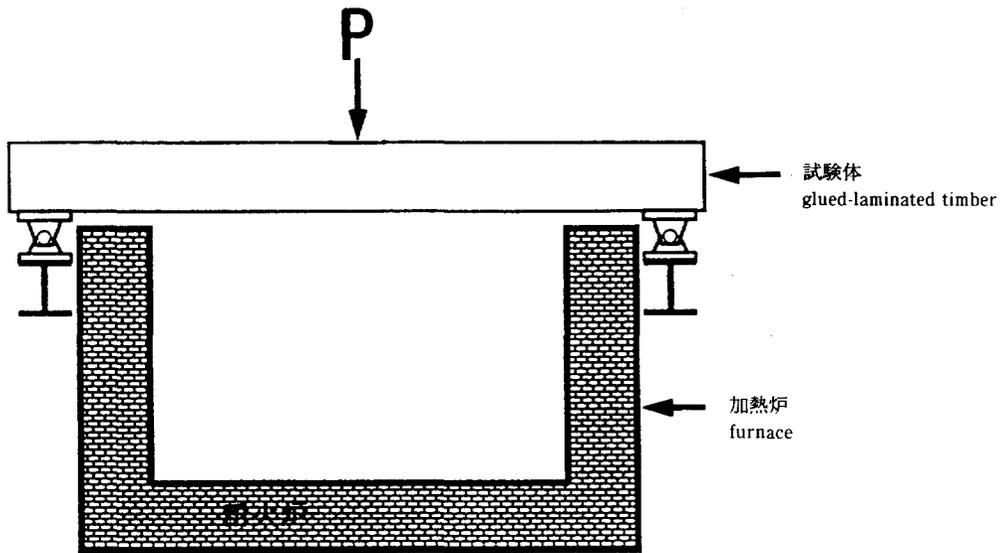


Fig. 1. 加熱試験炉と載荷試験方法
Scheme of fire test apparatus.

Table 1. API及びRF集成材の製造条件

Conditions of bond of glued-laminated timbers

接着剤メーカー Maker	A (API)	B (API)	C (API)	D (API)	E (API)	F (RF)
断面寸法 (cm) Dimension	15×30×450 15×40×450	15×30×450 15×40×450	15×30×450 15×40×450	15×30×450 15×40×450	16.5×30×465 16.5×40×465	15×30×450 15×40×450
ラミナ等級 Grade of laminae	2級 II grade	2級 II grade	—	4級が混在 include IVgrade	—	—
ラミナ含水率 (%) Moisture content	12~16	9~15	6~9	—	4~8.5	—
主剤：硬化剤混合比 Resin : Hardener	100 : 20	100 : 15	100 : 15	100 : 15	100 : 20	100 : 15
接着剤塗布量 Content of glue	300g/m ²	300g/m ²	250~300g/m ²	300~350g/m ²	280g/m ²	400g/m ²
推積時間 (分) Assemble time(min)	25	25	15~20	不明	14~17	—
圧縮圧力 Clamping pressure	8kgf/cm ²	8kgf/cm ²	10kgf/cm ²	10kgf/cm ²	10kgf/cm ²	12kgf/cm ²
圧縮時間 (時間) Clamping time(H)	16	16	8	1	15	16
雰囲気温度 Clamping condition	30~35℃	30~35℃	25℃	30℃	23~32℃	30℃

API : 水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤 (Aqueous polymer Isocyanate adhesive)

RF : レゾルシノール・フェノール共縮合系樹脂接着剤 (Resorcinol / phenol formaldehyde adhesive)

3 結果と考察

3.1 API集成材の耐火性能

API集成材の耐火試験結果をTable 2に示す。荷重積載時に測定された曲げヤング係数は一般的な構造用集成材の値より小さく、特に梁高400mmの場合顕著であった。本試験のスパン・梁高の比が、梁高400mmでは9.5、300mmでは12.7と通常の比14より小さかったため、剪断力の影響が大きくなり曲げヤング係数が小さく計測された(杉山, 1971)と考えられる。また、曲げヤング係数にはメーカーによるバラツキが認められた。これは集成材の製造に使用したラミナ性能がメーカー間で異なったため、メーカーによっては小径の原木から挽かれたと思われる低質ラミナの使用が確認された。

Fig. 2, Fig. 3に、梁高300mmのAPI及びRF集成材の耐火試験におけるたわみの経時変化を示す。荷重係数は、A, B, C, D, F社が1.0(積載荷重約3.4トン)と2.0(約6.9トン)、E社が荷重係数0.92と1.83であった。耐火時間はメーカーによりバラツキが生じ、特にB社は他社より短かった。この理由としては、メーカーによる接着剤の組成成分の違いによるものと、B社の集成材の強度性能がもともと低かったことが考えられる。しかし、B社の曲げヤング係数が1社だけ低いことから、後者の理由による可能性の方が高いと思われる。またE社の耐火時間が他社より長かったが、これは荷重係数が小さかったためと思われる。全体的にみれば、耐火時間は荷重係数が2倍になると約1/2になった。次に、F社のRFを使用した集成材の結果と比較すると荷重係数が1.0では両接着剤のたわみの経時変化、最大たわみ、耐火時間はほぼ同じであった。しかし、荷重係数2.0の場合は、RF集成材のたわみの経時変化がAPI集成材より緩やかで耐火時間も長いことから、RF集成材はAPI集成材より耐火性能があると判断できる。

Figs. 4～6に梁高400mmのAPI及びRF集成材の耐火試験におけるのたわみの経時変化を示す。荷重係数は、A, B, C, D, F社が0.5(積載荷重約3.1トン)、1.0(約6.1トン)、1.3(約7.9トン)、E社が0.45, 0.91, 1.18であった。耐火時間は荷重係数が0.5から1.0になると約2/3に、さらに荷重係数が1.3になると約1/2にまで減少した。なお、E社の耐火時間が他社より長いのは荷重係数が小さいためと思われる。最大たわみは荷重係数が0.5から1.0へと2倍になると3/4～1/2に小さくなったが原因は明らかでない。なお、荷重係数1.0と荷重係数1.3の最大たわみはほぼ同じであった。API集成材とRF集成材の結果を比較すると、荷重係数0.5と1.0の場合は、たわみの経時変化、最大たわみ、耐火時間について両者に大きな違いはなかった。荷重係数1.3におけるRF集成材は、試験時に試験体の横滑りが生じたため30分までのデータしかないが、これから30分以降の加熱試験の結果を推定すると、API集成材と同等もしくはそれ以上の性能を示すものと考えられる。以上の結果から荷重係数が大きくなると、RF集成材はAPI集成材よりたわみの経時変化、最大たわみは小さく、耐火時間は長くなるものと考えられる。

本報で用いた積載荷重は、前述した(1)式において断面係数 Z に実断面の寸法を代入して算出したが、実際の木造建築設計で行うように建設省告示第1902号(昭和62年11月10日)で定める「燃え代設計」に従えば断面係数はさらに大きくなる。しかし耐火試験の結果から、いずれのメーカーのAPIで製造

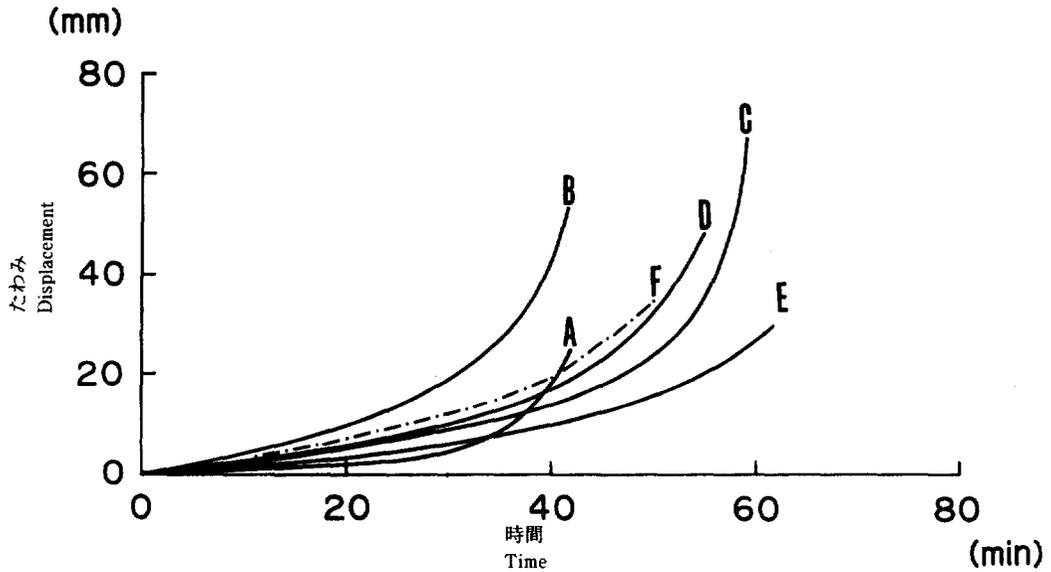


Fig. 2. 梁高300mm, 載荷荷重係数1.0 (E社は0.92) における「たわみ量」の経時変化と耐火時間の関係

Time-displacement curves of 300 mm height beams and 1.0 load coefficient loading except E showing 0.92.

Legend : A-F represent makers.

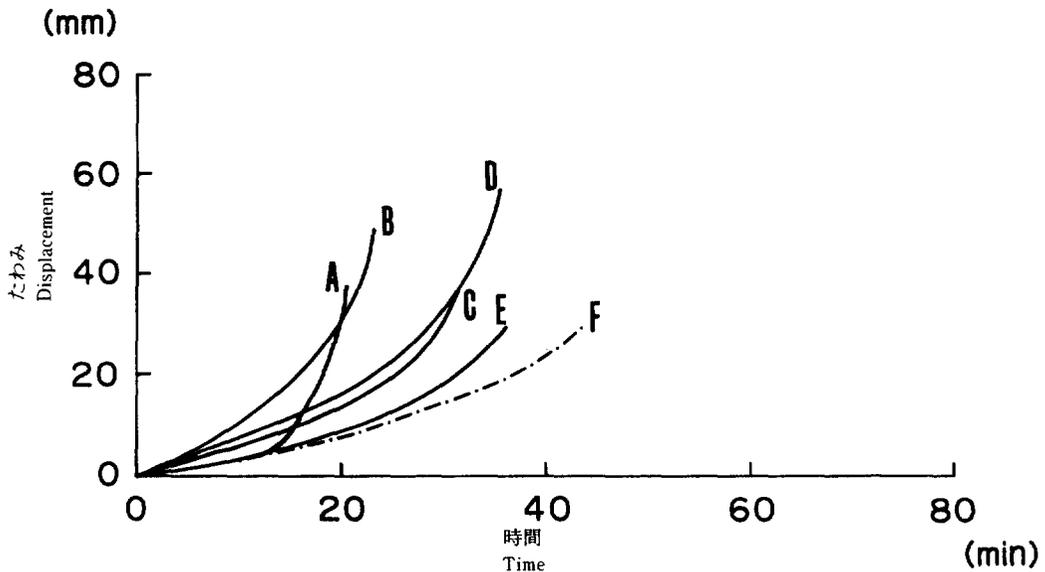


Fig. 3. 梁高300mm, 載荷荷重係数2.0 (E社は1.83) における「たわみ量」の経時変化と耐火時間の関係

Time-displacement curves of 300 mm height beams and 2.0 load coefficient loading except E showing 1.83.

Legend : A-F represent makers.

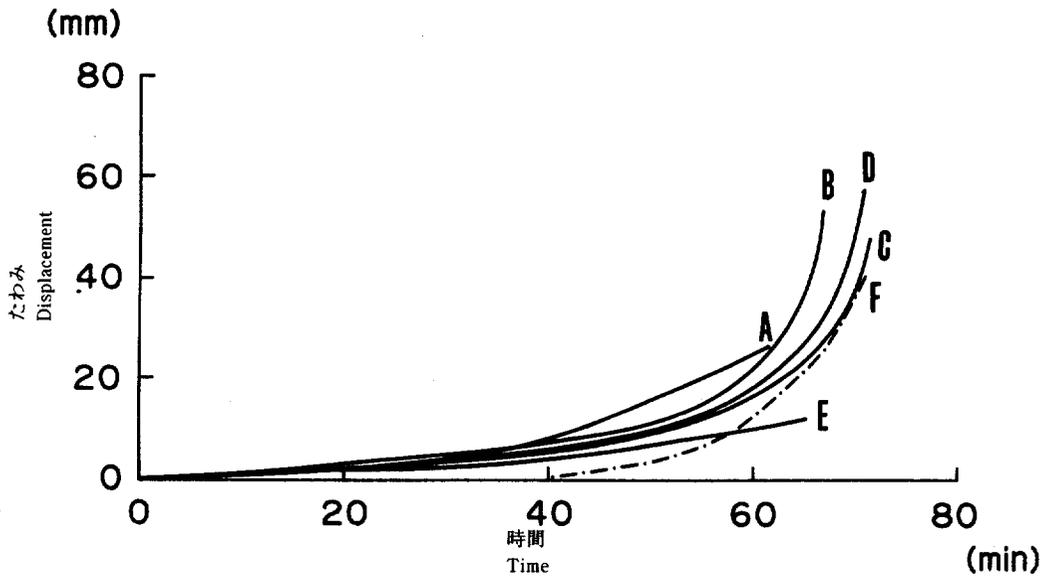


Fig. 4. 梁高400mm, 載荷荷重係数0.5 (E社は0.45)における「たわみ量」の経時変化と耐火時間の関係

Time-displacement curves of 400 mm height beams and 0.5 load coefficient loading except E showing 0.45.

Legend : A-F represent makers.

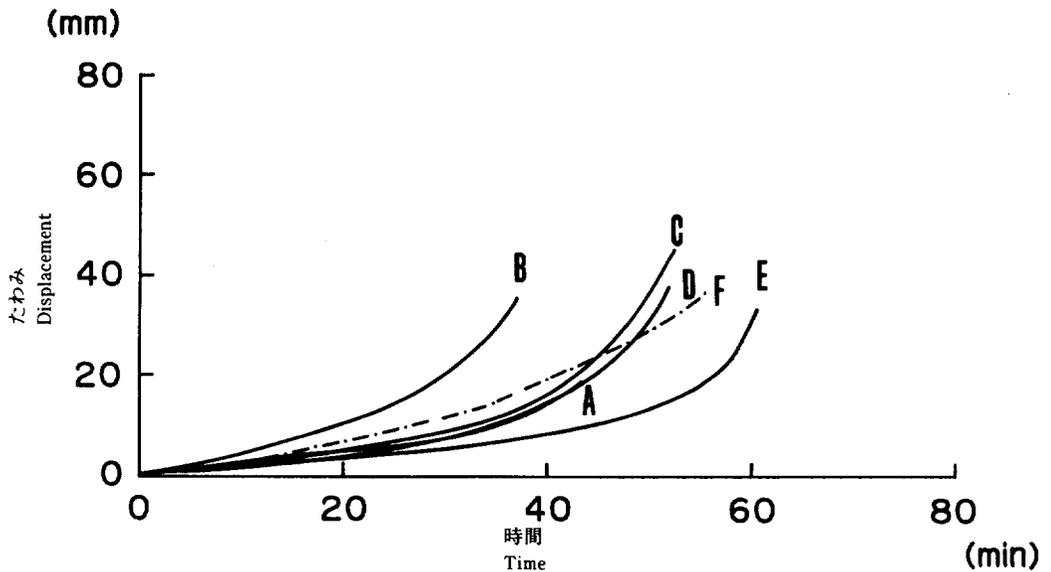


Fig. 5. 梁高400mm, 載荷荷重係数1.0 (E社は0.91)における「たわみ量」の経時変化と耐火時間の関係

Time-displacement curves of 400 mm height beams and 1.0 load coefficient loading except E showing 0.91.

Legend : A-F represent makers.

Table 2. API集成材の耐火試験結果
The results of fire test of glued-laminated timbers bonded with aqueous polymer-isocyanate adhesives

梁高 (mm)	積載荷重 Load (kg)	接着剤メーカー Maker	荷重係数 ^{a)} Load factor	表面含水率 Moisture content (%)	ヤング係数 Modulus of elasticity (tf/cm ²)	耐火時間 During time (min:sec)	炭化速度 Charring rate(mm/min)	
							側面 Side	底部 Bottom
300	3434	A	1.00	18.0	119.1	42:00	0.56	0.59
		B	1.00	23.1	86.1	41:02	0.52	0.50
		C	1.00	9.0	123.2	58:57	0.68	0.77
		D	1.00	9.3	107.1	55:21	0.65	0.64
		E	0.91	8.9	118.2	60:40	0.67	0.70
	6868	A	2.00	18.0	114.7	20:13	0.54	0.49
		B	2.00	19.7	96.7	22:53	0.56	0.51
		C	2.00	10.3	115.8	31:04	0.66	0.68
		D	2.00	-	103.8	36:45	0.59	0.58
		E	1.82	8.6	122.0	33:09	0.64	0.64
400	3053	A	0.50	19.0	-	61:54	0.57	0.67
		B	0.50	20.6	75.2	66:46	0.63	0.71
		C	0.50	10.8	82.0	71:38	0.69	0.94
		D	0.50	8.9	77.7	71:15	0.68	0.89
		E	0.45	9.6	83.3	65:14	0.68	0.75
	6105	A	1.00	20.9	89.2	42:40	0.57	0.51
		B	1.00	18.1	73.6	37:29	0.60	0.56
		C	1.00	9.4	83.8	51:51	0.72	0.93
		D	1.00	7.1	73.2	49:08	0.63	0.66
		E	0.91	9.2	84.8	59:07	0.68	0.79
	7937	A	1.30	18.1	116.4	34:24	0.57	0.51
		B	1.30	13.9	59.8	28:24	0.59	0.44
		C	1.30	9.2	85.7	42:55	0.72	0.72
		D	1.30	10.7	72.5	30:21	0.66	0.60
		E	1.18	8.7	88.4	42:33	0.68	0.63

a) 試験時の積載荷重と実断面寸法に長期許容応力度を負荷した際の荷重との比
The ratio between the testing load and the calculated load with the original dimension

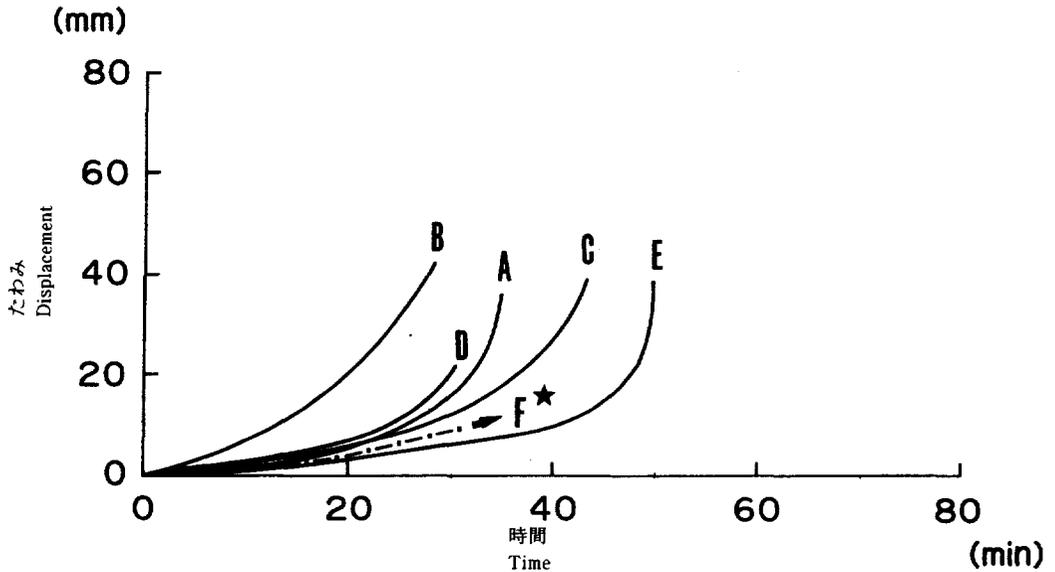


Fig. 6. 梁高400mm, 載荷荷重係数1.3 (E社は1.18)における「たわみ量」の経時変化と耐火時間の関係

(注) → F★は試験中止以降のたわみ量の変化を推定

Time-displacement curves of 400 mm height beams and 1.3 load coefficient loading except E showing 1.18.

Legend : A-F represent makers.

Note: → F★ showed an inclination of displacement after 30min.

This test was stopped after about 30minutes because the test piece slipped out of the support point.

した集成材も「燃え代設計」がなくとも、長期許容応力を負荷された状態で30分耐火性能を有している。

3.2 炭化速度

API集成材の炭化速度は、0.52~0.72mm/分の範囲にあって、メーカーにより幾分の差があった。これはメーカーによるAPIの成分組成の差異による可能性が考えられるが、ここで使用した接着剤の軟化温度等の物性値が不明のため明確なことは言えない。一方、RF集成材の炭化速度は0.45~0.65mm/分であり、中村らの報告(中村・最上, 1985)したRF使用のベイマツ集成材の炭化速度とおおよそ同じであった。

API集成材とRF集成材を比較した場合、炭化速度に特に格差はみられなかったが、すべてのAPI集成材で炭化部分の接着層の「開き」が観察された(Photo.1)。この「開き」は、APIの軟化温度が低いため、ラミナの炭化過程で生じる木材の収縮に抗することができず発生したものと考えられる。ただし、未炭化部分で「開き」は観察されなかった。また燃焼後に炭化部分を除去した際、集成材の底部分(下端部分)では炭化したラミナが接着層ごとに完全に剥離したが、破壊面での木破は見られなかった。これに対して、RF集成材の場合は、接着層での「開き」やラミナごとの剥離は全く見られなかった。これらのことは、APIが熱可塑性であること、ガラス転移温度がRFより低いこと(滝ほか, 1978; 滝,

1986；滝ほか，1982a；滝ほか，1982b）から説明できると考えられる。ただし，接着層の「開き」が炭化速度や耐火時間に与えた影響については今回の実験では認められなかった。

4 ま と め

水性高分子－イソシアネート系樹脂接着剤（API）は取り扱い方法が簡易で，接着層が透明であることから木材工業分野で広く使用されている。近年，APIは耐熱性や耐久性が改良され，構造用集成材への使用が望まれるようになってきた。そこで，APIを用いて製造した集成材が構造材として使用されるときに問題となる火災安全性について検討する必要がある。しかしながら，APIは各接着剤メーカーによって成分組成が異なるため，火災時などの苛酷な環境下におけるAPIを用いた接着製品の材料挙動について一般論で説明することは容易でない。そこで，幾つかの接着剤メーカーのAPIを用いて製造した集成材を，荷重を荷した状態での耐火試験に供して，構造用集成材としての耐火性能について検討した。

なお，この実験の積載荷重は実断面寸法から算出したもので，実際の木構造建築で用いる「燃え代設計」を行って算出される値より過剰となっている。

その結果は以下のとおりである。

（1）いずれの接着剤メーカーのAPIを使用した集成材も，長期許容応力度に相当する荷重を荷された条件下で30分間以上の耐火時間を保持しており，構造用材として使用できる。

（2）集成材の耐火時間に生じたバラツキは，API接着剤の接着性能の違いよりも，集成材を構成したラミナの材質によるところが大きかったと考えられる。

引 用 文 献

- 井上大成，田村靖夫，桑子延照：木材工業，**47**(7)，302～305（1992）
杉山英男：建築構造学体系22，木構造，55～62（1971）
中村賢一，最上法二：建築研究所建築研究資料，No.56（1985）
滝 欽二，水町 浩，山岸祥恭：木材学会誌，**24**，237（1978）
———：木材工業，**41**，413（1986）
———，富田文一郎，水町 浩：木材学会誌，**28**(3)，143～155（1982a）
———，———，———：木材学会誌，**29**(2)，145～152（1982b）

Fire Resistance of Glued-Laminated Timber
— Bending performance of glued-laminated timber bonded
with aqueous polymer-isocyanate adhesives —

(Research note)

UESUGI, Saburou⁽¹⁾, MIYATAKE, Atsushi⁽²⁾ and HARADA, Toshiro⁽³⁾

Summary

Aqueous polymer-isocyanate (API) adhesives will be used for glued-laminated timber much more in the future because of its easy handling, low cost and light color. However, this adhesive contains linear and thermoplastic polymers, and has lower fire resistance than the conventional adhesives such as resorcinol. In this study, the bending test was conducted under the fire test condition described in Japanese Industrial Standard (JIS) A 1304 was performed Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) glulams bonded with commercial API adhesives produced by five companies.

The results indicated that all glued-laminated timbers with the commercial API adhesives satisfied 30-minute fire resistance required for the bearing members of wooden construction. In this study, the during time of glued-laminated timber was affected by the strength of laminae of each glued-laminated timber rather than the bonding property of individual API adhesives.

Received January 18, 1993

(1) Kansai Research Center

(2) Wood Technology Division

(3) Wood Chemistry Division

a : 非加熱部分での接着層
adhesive layer before fire test



b : 加熱後の接着層の「開き」
opened figure or delamination of adhesive layer after fire test

Photo 1. 炭化後の水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤の接着層の「開き」
Opened figure or delamination of Aqueous Polymer Isocyanate Adhesive's layers
after fire test.