

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月21日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22380100

研究課題名（和文） 接着剤の性能が集成材の耐火性能に及ぼす影響と簡易評価法の開発

研究課題名（英文） Effects of adhesive strength on the fire resistance of glued laminated timber and development of an alternative test method for full-scale fire test

## 研究代表者

原田 寿郎（HARADA TOSHIRO）

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長

研究者番号：50353818

研究成果の概要（和文）：集成材の耐火性能低下は、ラミナの脱落に支配され、接着剤の耐熱性能とラミナの脱落、集成材の耐火性能の関係が解明されたことで、200℃でラミナが脱落しない程度の圧縮せん断接着強さが残存すれば、集成材は、45分の載荷加熱試験で求められる耐火性能を有することを明らかにした。また、集成材の耐火性能は、実大載荷加熱試験を行わなくても200℃での加熱圧縮せん断接着強さ試験の結果から予測できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The fire resistance degradation of glued laminated timber (GLT) beams is dominated by the loss of laminae, and depends on the adhesive shear strength in laminated wood. If the adhesive shear strength at 200℃ is enough to keep laminae from separating, the GLT beam specimens are expected to exhibit 45-minute quasi-fireproof performance. Adhesive shear strength test at 200℃ can be an alternative test method for full-scale fire test.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2012年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：接着・木質材料

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 大断面の集成材は、火災に遭っても、例えば消火までの時間が45分程度であれば、炭化するのは表層から3cm程度で、炭化境界面より内側は鋼材のように急激に温度が上昇せず、一定の強度性能が維持される。この性能を利用して、構造耐力上必要な断面に火災で炭化する厚みを付加して集成材の柱や梁の寸法を決定して建築物を設計する「燃え

しろ設計」の概念が、大規模な木質構造建築物の設計に適応されている。

(2) 一連の研究がレゾルシノール樹脂接着剤を用いた集成材で実施されてきたことから、性能試験を行わずに燃えしろ設計が可能な構造用集成材に使用できる接着剤は、レゾルシノール系樹脂接着剤のみである。

(3) 環境問題への対応等から適用範囲を多様な接着剤に広げる必要性が高まり、これま

での耐火試験等の結果も踏まえて、日本農林規格 (JAS) が改正され、接着強さ、耐水性、耐クリープ性、耐熱性、耐火性で基準を満たす接着剤であれば、構造用集成材用接着剤として使用できるようになった。

(4) しかし、耐火性能試験は、長さ 6m の実大寸法の梁を用いた荷重加熱試験となっており、認定を受けようとする者にとっての経済的負担が大きく、新たな接着剤の認定が滞っている。このため、接着剤の耐熱性能とその接着剤を用いた集成材の耐火性能の関係の解明と、その科学的知見に基づく、簡易な耐火性能試験手法の開発が切望されている。

## 2. 研究の目的

集成材を「燃えしろ設計」可能にしているのは、炭化境界面以下の集成材が健全で、耐力低下が小さいことによる。また、木材の炭化部分が断熱材として働き、集成材内部の温度上昇を抑制している効果も大きい。レゾルシノール樹脂接着剤以外の接着剤が構造用集成材製造用接着剤として使用可能かどうかの簡易な評価法を開発するため、以下のことを明らかにする。

- (1) 接着剤自身の耐熱性と温度の関係を解明する。
- (2) 実大寸法の集成材梁を作製し、ISO834 に基づく荷重加熱試験を行い、
  - ①耐火性能の評価
  - ②集成材内部の温度上昇と接着剤の耐熱性との関係の解析
  - ③各種接着剤で積層接着した集成材の加熱時の性能低下メカニズムの解明を行う。
- (3) 簡易な耐火試験方法を提案し、その有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

実大荷重加熱試験に代わる簡易な試験法を構築するには、不合格になる接着剤を含め、構造用集成材の荷重加熱試験時の内部温度変化やたわみ、炭化の進行といった挙動を接着剤の耐熱性との関係で解析することが不可欠である。

本研究では、接着剤としてレゾルシノール・フェノール系樹脂接着剤 (PRF)、酢酸ビニル計樹脂接着剤 (PVAc)、水性高分子イソシアネート系接着剤 (API) を取上げ、室温～200℃の圧縮せん断接着強さを比較するとともに、各種接着剤を用いて積層接着した集成材梁の 45 分荷重加熱試験を実施した。図 1 に荷重加熱試験を実施した集成材断面の形状と熱電対の挿入位置を示す。

さらに、これらの結果を分析し、接着剤の耐熱性能が集成材の耐火性能に及ぼす影響を検証した。

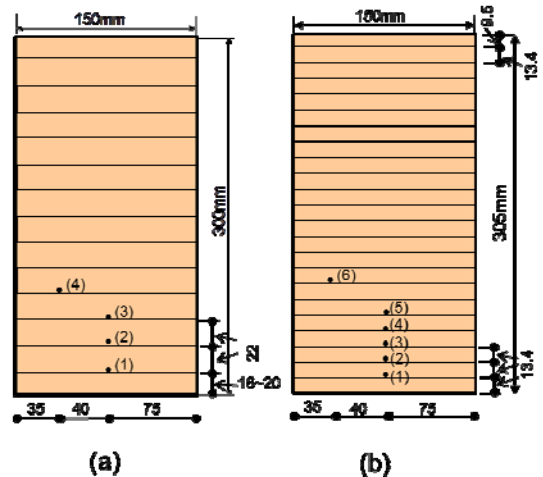


図 1 集成材の断面と熱電対の挿入位置

## 4. 研究成果

(1) 荷重加熱試験の結果を表 1 に示す。PVAc-a 試験体は、積載荷重の維持が困難となったため、41 分で試験を中止した。ラミナ厚さは耐火性能にはほとんど影響していない。接着剤の種類による違いをみると、PRF と API は、ほぼ同等とみなせる結果であったが、PVAc は、70mm を超すたわみが生じたほか、梁成方向の炭化深さが PVAc-a で 54.7mm、PVAc-b で 61.7mm と 45 分準耐火構造で見込まれる 35mm の燃えしろを大幅に上回った。

表 1 45 分荷重加熱試験の結果

試験体	PRF-a	PVAc-a	API-a	PRF-b	PVAc-b
ラミナ厚さ (mm)	22	22	22	13.4	13.4
積層数	14	14	14	23	23
試験体 幅 (mm)	150	150	150	150	150
高さ (mm)	300	300	300	305	305
長さ (mm)	5500	5500	5500	5500	5500
荷重 (kN)	22.03	22.03	20.03	22.87	22.87
支点間距離 (mm)	5100	5100	5100	5100	5100
加熱時間 (min)	45	41	45	45	45
最大たわみ量 (mm)	33.3	78.2	54.0	47.2	74.8
炭化深さ:幅 (mm)	27.8	28.7	30.6	31.6	32.4
炭化深さ:梁成 (mm)	30.0	54.7	32.0	32.7	61.7
炭化速度:幅 (mm/min)	0.62	0.70	0.68	0.70	0.72
炭化速度:梁成 (mm/min)	0.67	1.33	0.71	0.73	1.37

(2) PRF-a、PVAc-a、API-a 試験体の内部温度の推移を図 2～4 に示す。

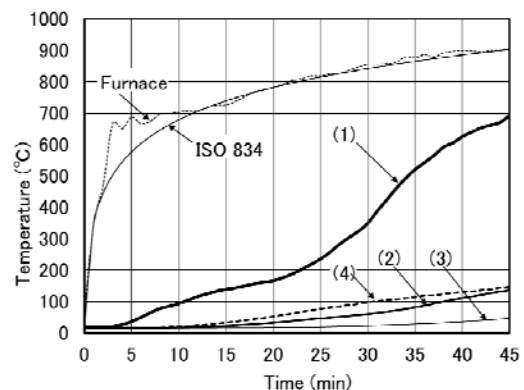


図 2 PRF-a 試験体の内部温度変化

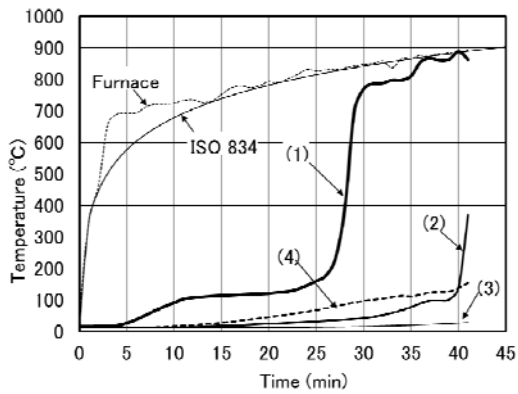


図3 PVAc-a 試験体の内部温度変化

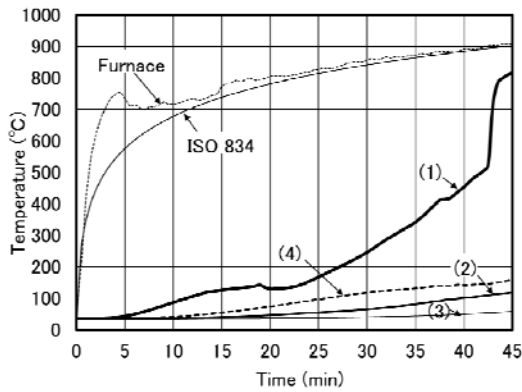


図4 API-a 試験体の内部温度変化

PVAc-a 試験体では、底面側のラミナの脱落が、PRF-a や API-a 試験体に比べて早い。試験体内部の温度の変化からみると、PVAc ではラミナ層間の温度が 120~150°C で、API では 350°C くらいから急激な温度上昇が始まっているのに対し、RF 試験体では明確な温度上昇点がなく、接着剤の種類によって、ラミナの脱落温度に差が見られた。

(3) RF-b 試験体の温度上昇と PVAc-b 試験体の内部温度の推移を重ねてみると (図5)、一層前のラミナが脱落するまでは、底面から

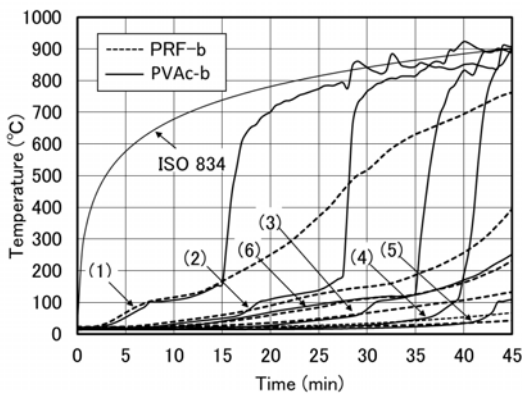


図5 PRF-b、PVAc-b 試験体の内部温度変化

同じ深さでの両者の温度は同じ上昇カーブを描き、ラミナの脱落とともに、次の層の温度はその前の層の温度上昇を平行移動させたような温度上昇カーブを描いている。

(4) 21°C、100°C、150°C及び200°CでのPRF、API、PVAcと木材の圧縮せん断接着強さの結果を図6に示す。いずれの接着剤も温度上昇に伴って強度が低下するが、PVAcの強度低下はことに顕著であり、150°Cでの接着せん断強度はほぼ0である。これに対し、RF、APIでは、200°Cでも強度が残存している。

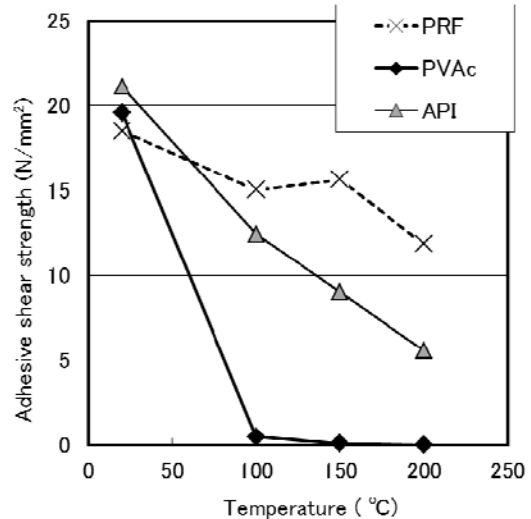


図6 室温~200°Cの圧縮せん断接着強さ

(5) 集成材の耐火性能は、ラミナの脱落に伴う炭化の進行により決定され、ラミナの脱落は接着層の温度と接着せん断強さの関係に支配される。PRF-bの試験経過時間と底面からの深さ方向の温度分布推計を図7に示す。集成材のラミナ厚さは通常25~30mm程度で、最外層のラミナがどの時点で脱落するかが耐火性能に大きく関わってくる。この図から集成材に使用するラミナの厚さが25mmの時、150°Cでラミナが脱落するならばその時間は25分で、45分までには確実に2層目が脱落するが、ラミナの脱落温度を200°Cとすると、その時間は33分であることから、残り12分では2層目のラミナは脱落しえず、試験終了時の炭化深さも35mmを超えない。従って、200°Cでラミナが脱落しない程度の接着せん断強度が残存していれば、150mm×300mmの断面寸法を有する集成材梁は、燃えしろ設計可能な耐火性能を示すものと予測できる。

(6) これらにより、200°Cでの接着剤の圧縮せん断接着強さの試験が実大載荷加熱試験に代わる簡易な評価試験となりうるということが示唆され、既往のデータともあわせ、JAS改正に向け、実大試験体での載荷加熱試験に代わる簡易な試験方法を提案できるデータが整った。

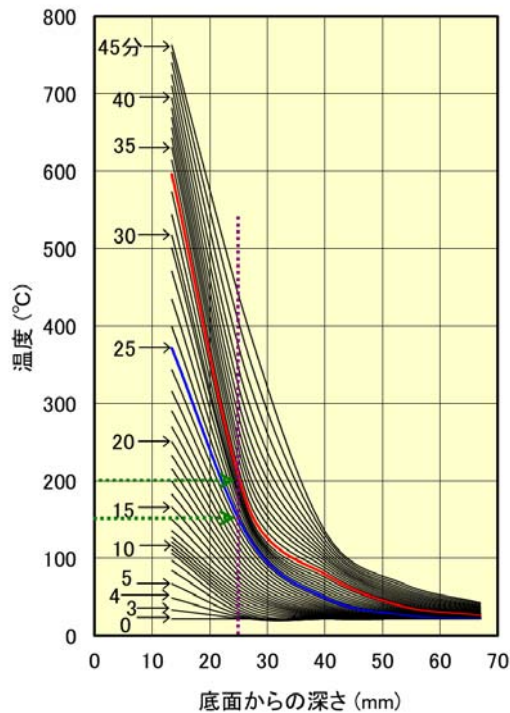


図7 PRF-b試験体の内部温度推計

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① 原田寿郎、宮武敦、上川大輔、平松靖、新藤健太、井上明生、宮本康太、塔村真一郎、秦野恭典、宮林正幸、木材の接着強さの温度依存性と構造用集成材はりの耐火性能、木材学会誌、査読有、59巻4号、2013、印刷中

[学会発表] (計4件)

① 原田寿郎、載荷加熱試験時の内部温度変化から見た構造用集成材梁の準耐火性能発現機構、日本建築学会大会、2012年9月14日、名古屋大学(名古屋市)

② Toshiro Harada、Fire resistance of glued laminated timber bonded with RF, API, or PVAc resin、World Conference on Timber Engineering、2012年7月17日、Skycity Convention Center (Auckland, New Zealand)

③ 原田寿郎、接着剤の耐熱性能が構造用集成材の耐火性能に及ぼす影響、日本木材学会大会、2012年3月16日、北海道大学(札幌市)

④ 原田寿郎、酢酸ビニル樹脂接着剤で積層接着した集成材の耐火性能、日本木材学会大会、2011年3月18日、京都大学(京都市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

原田 寿郎 (HARADA TOSHIRO)  
独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長  
研究者番号：50353818

### (2) 研究分担者

新藤 健太 (SHINDO KENTA)  
独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・主任研究員

研究者番号：10414484

宮武 敦 (MIYATAKE ATSUSHI)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・チーム長

研究者番号：20353873

上川 大輔 (KAMIKAWA DAISUKE)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・主任研究員

研究者番号：30409651

宮本 康太 (MIYAMOTO KOHTA)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・主任研究員

研究者番号：70353878

秦野 恭典 (HATANO YASUNORI)

独立行政法人森林総合研究所・研究情報科・科長

研究者番号：90353812

塔村 真一郎 (TOHMURA SHIN-ICHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・室長

研究者番号：70353779

(H24)

井上 明生 (INOUE AKIO)

独立行政法人森林総合研究所・複合材料研究領域・領域長

研究者番号：10353591

(H22→H23)