

構造用集成材梁部材の火災時耐力

その4. 既往耐力評価方法による計算値と実験値の比較

正会員	○松本匠*	正会員	平島岳夫**
正会員	金城仁***	正会員	堀尾岳成***
正会員	齋藤潔****	正会員	遊佐秀逸*****

カラマツ集成材	梁	耐力
火災	放冷過程	耐火構造

1.はじめに

筆者らは、カラマツ集成材の梁を対象とした加熱後載荷実験および載荷加熱実験を行い、放冷過程を含めた火災時耐力を得た¹⁾。しかし、燃えしろ設計²⁾などの既往耐力式は火災時耐力のみを検討するものであり、放冷過程における耐力を算定することができない。火災時耐力の算定に関しては、海外で様々な方法がとられている。また、筆者らは放冷過程の耐力算定方法³⁾を提案したが、この時はユーロコード⁵⁾の付録B「高度な計算方法」に示される木材の高温時における強度低下率を用いていた。

本報では、既往実験による火災時耐力と海外の耐力算定方法を比較する。また、高温素材実験⁵⁾により、木材の高温時における圧縮および引張の強度低下率が明らかになったため、この値を用いて、放冷過程の耐力を再検討した。

2.加熱時の耐力

前報(その3)¹⁾の実験結果の中で火災時耐力について調べたNo.4およびNo.6との比較を行う。既往実験No.4により得られた最大曲げ耐力79.4kNmを用いた場合の耐火時間を6種類の火災時耐力算定式に基づき算出した。EN残存断面法⁴⁾・EN-RSS法⁴⁾・Odeen法⁶⁾・Lie法⁷⁾・Stiller法⁸⁾に関しては、文献⁹⁾の中で紹介されている算定方法を用いた。今回の梁幅210mm梁背420mmの断面寸法に関して、それぞれの算定式により得られた耐火時間を表1に示す。本計算には、基準材料強度¹⁰⁾31.5N/mm²を用いた。

日本の準耐火構造の燃えしろ設計²⁾では、30分で25mm、45分で35mm、60分で45mmの燃え代が必要とされている。言い換えれば、加熱開始から30分までは0.83mm/分で、30分以降では0.67mm/分で炭化が進行していると仮定している。炭化速度はこの値で耐火時間を算出した。

EN残存断面法では、ユーロコード⁵⁾に示されるように、

炭化速度0.7mm/分に変色劣化領域7mmを加えた値を炭化深さとして用いて計算を行っている。

以上の2つの算定式は、火災加熱を受ける木構造部材を外周部の炭化領域とその内側の未炭化領域に分け、見炭化領域を有効断面とし、常温時強度の値を用いて計算する方法である。今回の結果より妥当性が再確認できた。

ユーロコード5のReduced strength and stiffness method (EN-RSS法)では、炭化速度は0.7mm/分とするが、加熱による曲げ強度の低下率を考慮して計算を行っている。計算による耐火時間が、No.4とNo.6の耐火時間の範囲内であることから、曲げ強度の低下率の設定の妥当性を確認することができた。

Odeen法は、経験に基づき提案された式であり、最大曲げ耐力、断面係数および基準材料強度より算出されるkという値を用いている。炭化速度は0.7mm/分を用いた。計算結果は、Odeen法の算定式の妥当性を示している。

Lie法は、かなり簡略した式を用いている。Lie法が他の方法に比べて、耐火時間が長くなっているのは、炭化速度に0.6mm/分を用いて計算しているためと考えられる。

Stiller法では、梁幅方向の炭化深さを計算式により求め、その値から梁背方向の炭化深さを計算している。多数の実験データに基づいて、隅角部の影響および断面中心部の強度低下を考慮した値となっているため、炭化深さが梁幅・梁背方向共に他の算定法より大きな値となっている。残存断面の寸法が他の計算方法よりも小さくなっているため、耐火時間が短く算出される結果となった。

設計基準強度を用いた計算の場合、燃え代設計法・EN残存断面法・EN-RSS法・Odeen法・Lie法では、No.4およびNo.6の実験による耐火時間の範囲に収まる結果となった。Stiller法のみNo.4実験の耐火時間60分を下回る計算結果となった。

表1 既往の実験結果と火災時耐力計算式による耐火時間の比較(梁幅210mm梁背420mmの場合)

	No.4実験	No.6実験	燃え代設計法	EN残存断面法	EN-RSS法	Odeen法	Lie法	Stiller法
耐火時間	60(67.5)分	79分	67分	61分	65分	62分	74分	48分

Fire resistance of structural glued laminated timber beam

T.Matsumoto, T.Hirashima, H.kinjo,

Part4 Comparison between Calculated value by previous resistance approximation and

T.horio, K.Saito and S.Yusa

experimental value

3. 加熱終了後の放冷過程における耐力

筆者らが提案した提案³⁾では、ユーロコード⁵⁾の木材の高温時における強度低下率を用いていた。同カラマツ集成材を用いた高温素材実験⁵⁾による圧縮および引張の高温時強度残存率の値を用いて、放冷過程における耐力を再検討する。ユーロコード⁵に基づく火災時耐力の算定では、せん断強度に関しても検討したが、せん断強度を調べるための素材実験は行っていないため今回は検討しない。

本計算に用いた、実験による常温時強度に対する圧縮および引張の高温時強度残存率を表²に示す。この値を用いて、火災時曲げ耐力を計算した結果を表³に示す。表の網掛け部分に変更点であり、追加実験結果に基づく強度残存率を用いて算定した値となっている。残存断面モデルは、筆者らが設定したもの³⁾を用いた。

2つの計算結果を比較すると、加熱終了直後の内部温度があまり上昇していない段階では、火災時曲げ耐力が近い値となった。しかし、放冷過程では素材実験に基づく火災時曲げ耐力が、ユーロコード⁵に基づくものよりかなり大きな値となり、実験結果¹⁾を大きく上回った。

表² 圧縮および引張の高温時強度残存率

	75℃	100℃	125℃	150℃	175℃
高温圧縮強度低下率	0.67	0.62	0.49	0.47	0.47
高温引張強度低下率	0.74	0.71	0.70	0.72	0.67

表³ 放冷過程の耐力計算値と実験値の比較

	加熱開始からの時間[放冷時間]				
	断面領域	1時間	2時間	3時間	4時間
		[0時間]	[1時間]	[2時間]	[3時間]
梁背h[mm]	-	355.8	345.6	342.6	343.9
梁幅b1[mm]	A1	80.0	80.0	80.0	80.0
梁幅b2[mm]	A2	42.8	35.2	37.6	34.4
断面内温度 [℃]	A1	42.5	106.0	129.7	132.5
	A2	90.5	161.4	163.0	149.9
高温時引張強度 [N/mm ²]	A1	37.9	30.2	29.8	30.2
	A2	30.7	29.8	29.4	30.7
高温時圧縮強度 [N/mm ²]	A1	37.1	24.7	20.9	20.4
	A2	27.3	20.0	20.0	20.0
高温時引張弾性係数 [N/mm ²]	A1	8265	4750	3895	3800
	A2	4940	3325	3230	3610
高温時圧縮弾性係数 [N/mm ²]	A1	8075	3325	2850	2755
	A2	3610	2280	2280	2375
高温素材実験結果に基づく火災時曲げ耐力 M _u [kNm]	A1+A2 (残存断面)	89.4	60.5	57.0	56.2
ユーロコード ⁵ に基づく火災時曲げ耐力 ³⁾ M _u [kNm]	A1+A2 (残存断面)	81.3	38.0	34.8	33.8
実験値 ¹⁾ [kNm]		79.4	-	-	37.4

4.まとめ

幅 210mm 背 420mm のカラマツ集成材に関する火災時および放冷過程における耐力を実験結果と計算値を用いて比較した結果を以下にまとめる。

- (1) 既往に提案されている火災時耐力算定式に基づく耐火時間は、Stiller 法を除き、実験 No.4 と No.6 の耐火時間の範囲であった。
- (2) 高温素材実験の圧縮および引張の高温時強度低下率を用いて算出される火災時曲げ耐力は、特に放冷過程において、ユーロコード⁵の高温時強度低下率を用いた計算値および実験値よりも大きな値となった。

以上、火災時耐力は様々な耐力算定式による値と実験値が概ね一致した。しかし、放冷過程では計算値と既往の実験値に大きな差があるため、今後更なる検討が必要である。また、せん断耐力を再検討するため、加熱時のせん断強度を把握するための素材実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 松本匠、金城仁、齋藤潔、堀尾岳成、遊佐秀逸、平島岳夫：構造用集成材の火災時耐力(その 3 火災終了後の耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.261-262, 2014.9
- 2) 昭和 62 年建設省告示第 1902 号および平成 12 年建設省告示第 1380 号
- 3) 金城仁、遊佐秀逸、堀尾岳成、平島岳夫、松本匠、齋藤潔：標準火災加熱を受けたカラマツ集成材の放冷過程における挙動, 日本建築学会構造系論文集 Vol.80, No.711, 2015.5 掲載予定
- 4) BS EN1995-1-2 : Eurocode 5 Design of timber structures, Part1-2:General-Structural fire design. , 2004
- 5) 松本匠、平島岳夫、金城仁、遊佐秀逸、堀尾岳成、齋藤潔：カラマツ集成材の強度に及ぼす温度と水分蒸発の影響, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2015.3
- 6) Ödeen, K. : Fire resistance of glued laminated timber structures, in Symposium No3 Fire and Structural Use of Timber in Buildings, HMSO, London, pp. 7-15, 1969
- 7) Lie, T. T. : A method of assessing the fire resistance of laminated timber beams and columns, Canadian Journal of Civil Engineering, 4, 161-9, 1977
- 8) Stiller, J. : Berechnungsmethode für brandbeanspruchte Holzstützen und Holzbalken aus Brett-schichtverleimtem Nadelholz, in Arbeitsbericht 1981-1983, SFB 148 Brandverhalten von Bauteilen, Technische Universität Braunschweig, pp. 219-76, 1983
- 9) John A. Purkiss : FIRE SAFETY ENGINEERING DESIGN OF STRUCTURES, Second Edition, 2007
- 10) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説, 2006.12

*千葉大学大学院工学研究科 大学院生
 **千葉大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)
 *** (一財)ベターリビング
 **** 齋藤木材工業株式会社
 ***** (一財)ベターリビング 工学博士

*Graduate Student, Graduate School of Eng., Chiba Univ.
 **Prof., Graduate School of Eng., Chiba Univ., Dr. Eng.
 ***Center for Better Living
 ****Saito Wood Industry
 ***** Center for Better Living, Dr. Eng.