

- 3 鉄骨架構に関する耐火性能検証手法の高度化に関する研究 Study on Improvement of the Fire Resistance Verification Methods for Steel Structures

(研究期間 平成 15～16 年度)

防火研究グループ
Dept. of Fire Engineering

萩原一郎
Ichiro Hagiwara

A verification technique of fire resistance that considers the best use of characteristics of high-performance steels such as stainless steels and fire-resistant steel was reported in this study. A new set of equations for the calculation of limit temperature of steel columns and beams was proposed to improve current equations in the fire-resistance verification methods of the Building Standard Law. In addition, a unified handling method of the steel strengths at elevated temperature from the viewpoint of fire-resistance verification was also reported.

【研究目的及び経過】

2000 年の建築基準法の改正により耐火性能検証法が制定されたことにより、部材の断面や長さ、支持条件、負担荷重を考慮して鉄骨造柱・はりの限界部材温度を算定し、予測される火災の特性との関係から耐火被覆材の必要厚さを求める“耐火設計”が可能となった。しかしながら、現行の限界部材温度算定式は、普通鋼を想定して定式化されているもので、普通鋼に比べて性能の高い鋼種の特性を評価できないなどの制約がある。

本研究では、これらの問題点を解消することを目的として、ステンレス鋼、耐火鋼等の高性能鋼の特性を活かした耐火性能の検証手法を検討すると共に、耐火性能に直結する高温時の鋼材強度に関する統一的な取り扱い手法について検討したものを報告するものである。

【研究内容】

現行の建築基準法令に位置づけられている耐火性能検証法における鉄骨部材の検証方法について検討し、限界部材温度算定式は常温時の許容応力度の基準強度で無次元化した鋼材の高温強度が、鋼種に関係なく、450 で 0.67、550 で 0.40 等を上回ると仮定して作成されているが、現実には以下の問題点がある。

ステンレス鋼の無次元化高温強度は 450 で 0.60、550 で 0.56 であり、対応しない。

450 で 0.67、550 で 0.40 等を上回るとの仮定は、板厚が 40mm 未満の高炉 JIS 炭素鋼 6 種類についての調査結果に基づくにすぎず、鋼材の高温強度を規定する JIS 規格等が存在しない中、当該仮定値を下回る鋼材が存在する懸念がある。

鋼材の高温強度の仮定に対する具体的な数値は示されておらず、鋼材の高温強度の確認方法も示されていないため、実使用鋼材が限界部材温度算定式的前提を満足するか否かの確認が出来ない。耐火性能は低下するが耐震性能が格段に向上する

鋼材や FR 鋼のように高温強度を格段に高めた鋼材が実用化された場合に適切な対応ができない。

このため、以下の方針のもとで限界部材温度算定式の改善案を検討した。

鉄骨造の限界部材温度算定式を、炭素鋼を対象とする場合とステンレス鋼を対象とする場合に分離し、それぞれ高温特性に応じた数式に改める。限界部材温度算定式的前提である鋼材の「高温時の基準強度」を別表化して明示し、実際に使用する鋼材が当該前提を満足することの確認がなされる仕組みに改定する。

鋼材の高温時の基準強度は、鋼材の規格毎に、高温特性を考慮して再設定する。

現時点で高温時の基準強度が不明な鋼材については、試験結果と申請に基づき、国土交通大臣が高温時の基準強度を追加指定できる仕組みとする。

～ を補完するものとして、鋼材の高温時の品質確認方法を明示する。

【研究結果】 既存高温引張試験データ、数値解析等を活用して、確認できた範囲の改善案として以下の各算定式等を得た。なお、建設省告示第 1433 号において使用されている記号等の説明は省略する。

鉄骨造柱の限界部材温度の計算方法：

(1) 限界部材温度 () の計算式

$$T_{cr} = \min(T_B, T_{LB}, T_{DP}, T_{LW})$$

T_{LW} : 次表に掲げる柱の最大限界部材温度 ()

鋼材の種類	最大限界部材温度
炭素鋼	550
ステンレス鋼	650
高温時の基準強度を国土交通大臣が指定した鋼材	鋼材の種類および品質に応じて国土交通大臣が指定した値

(2) 柱の全体座屈に対する上限温度 ()
 $\lambda < 0.1$ の場合

$$T_B = \frac{\kappa_H T_M - \kappa_M T_H}{\kappa_H - \kappa_M} - \frac{T_M - T_H}{\kappa_H - \kappa_M} p$$

$\lambda \geq 0.1$ の場合

$$T_B = \max \left\{ \frac{\kappa_H T_M - \kappa_M T_H}{\kappa_H - \kappa_M} - \frac{T_M - T_H}{\kappa_H - \kappa_M} p - \zeta (p + \eta p^2) (\lambda - \mu), \frac{\xi}{\xi} \right\}$$

ζ, η, ξ : 次表に掲げる数値

鋼材の種類			
炭素鋼	55.8	30	0.10
ステンレス鋼	80.0	30	-0.35
高温時の基準強度を国土交通大臣が指定した鋼材	鋼材の種類および品質に応じて国土交通大臣が指定した値		

$$\kappa_H = \frac{F_H}{F} \quad (\text{鋼材強度の残存率})$$

F_H (N/mm²) および T_H () : 次表に掲げる鋼材の高温時の残存強度を代表する数値で、 F_H は高温時の基準強度、 T_H は高温時の基準強度を規定する温度を表す。

表 1 高温時残存強度を規定する数値

鋼材の種類および品質			F_H	T_H
炭素鋼	400N 級	板厚 40mm 以下	125.3	500
		板厚 40mm 超 100mm 以下	114.7	500
	490N 級	板厚 40mm 以下	173.3	500
		板厚 40mm 超 100mm 以下	157.3	500
	520N 級	板厚 40mm 以下	189.3	500
		板厚 40mm 超 75mm 以下	178.7	500
板厚 75mm 超 100mm 以下		173.3	500	
ステンレス鋼	SUS304A	118.0	700	
	SUS304N2A	163.0	700	
その他のもの及び上欄と異なる高温時の残存強度の代表値が規定された鋼材			大臣指定値	同左

κ_M および T_M () : 鋼材の高温時の強度の残存率を与える次表に掲げる数値

鋼材の種類		κ_M	T_M
炭素鋼	400 N 級	1.0	325
	490 N 級		
	520 N 級		
ステンレス鋼	SUS304A SUS304N2A	0.667	300
高温時の基準強度を国土交通大臣が指定した鋼材		鋼材の種類および品質に応じて国土交通大臣が指定した値	

ξ : 次表に掲げる数式で計算した全体座屈に対する上限温度の補正值

鋼材の種類		ξ
炭素鋼	明瞭な降伏点が現れるもの	$500 \sqrt{1 - \frac{p(1 + 0.267\lambda^2)}{1 - 0.24\lambda^2}}$
	明瞭な降伏点が現れないもの	0
ステンレス鋼		0

(3) 柱の局部座屈に対する上限温度 ()

$$T_{LB} = \frac{\kappa_H T_M - \kappa_M T_H}{\kappa_H - \kappa_M} - \frac{T_M - T_H}{\kappa_H - \kappa_M} \cdot \frac{p}{\min(R_{LBO}, 0.75)}$$

(4) 熱変形に対する上限温度 ()

鋼材の種類	T_{DP}
炭素鋼	$20 + \frac{18000}{\sqrt{S}}$
ステンレス鋼	$20 + \frac{14400}{\sqrt{S}}$

鉄骨造はりの限界部材温度の計算方法 :

ほぼ、柱の限界部材温度の計算方法に準じた改善案であるため、ここでは省略する。

鋼材の高温時品質確認方法については、常温における規格値に加え、表 1 に示す高温時残存強度を規定する数値に応じた品質管理が要求される。試験方法、試験片の数および採取位置については、JIS G 0567-1998 鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法に準じて行うことが望ましい。