

水系耐火塗料を適用した角形鋼管柱の耐火性能に関する研究

正会員 ○谷辺 徹*1
同 遊佐 秀逸*2
同 西本 俊郎*3

耐火塗料 角形鋼管柱 ISO834
接着性 断面形状係数 膜厚

1 はじめに

近年、我が国においても鋼構造部材への耐火塗料の適用が進められてきている。しかし、更なる普及を図るためには英国で既に導入され (YELLOW BOOK¹⁾ に規格化)、国際標準化機構 (ISO) でも ISO834 への導入が検討²⁾ されている鋼部材の熱容量を考慮した必要膜厚の計算方法の導入が必要であり、その内容を理解することが重要である。既往の研究では回帰分析法を用いた膜厚計算の検討が報告^{3),4),5)} されているが、載荷・非載荷試験の比較や補正についての報告例は無い。そこで筆者らは水系耐火塗料を適用した角形鋼管柱の非載荷および載荷加熱試験データを基に①載荷・非載荷試験結果の比較、②断面寸法拡大の影響の確認、③膜厚計算式の構築、④耐火塗料の加熱時の接着性 (Stickability) の影響を考慮した計算式の補正方法など一連の内容について検討を行ったので以下に報告する。

2 試験概要

2.1 試験炉

- (1) 太平洋セメント(株) 所有 水平炉 : A 炉
- (2) (財) 建材試験センター所有 柱炉 : B 炉
- (3) (財) ベターリビング所有 水平炉 : C 炉

2.2 塗装仕様

- ・下塗り塗料 : エポキシ樹脂系さび止め塗料
- ・耐火塗料 : 水系耐火塗料 (酢酸ビニル樹脂系)
- ・上塗り塗料 : A 炉 無, B 及び C 炉 シリコン樹脂塗料

2.3 試験条件

- (1) 加熱条件 : ISO834 標準加熱曲線に準拠
- (2) 載荷条件および試験体高さ : 表 1 参照

表 1 載荷条件および試験体高さ

	A 炉	B 炉	C 炉
載荷条件	非載荷	載荷	非載荷
試験体高さ	0.8m	3m	1.8m

3 試験水準および試験結果

試験水準および試験結果一覧を表 2 に示す。

4 結果の検討

YELLOW BOOK¹⁾ や ISO834-11.2 ドラフト²⁾ では接着性 (Stickability) の影響を考慮するため、各種断面寸法の小型試験体の非載荷試験データを最大および最小膜厚の載

荷もしくは柱高さ 2m 以上の非載荷試験データを用いて補正し、膜厚計算式を求めている。なお、C 炉で実施した柱高さ 1.8m の非載荷試験は前記柱高さ 2m 以上の非載荷試験と同様な試験と位置付けて実施した。そこで、ここでは載荷・非載荷試験の比較、断面寸法の拡大による接着性への影響の確認、膜厚計算式の構築、そして、接着性を考慮した計算式の補正についての検討を行った。

表 2 試験水準および試験結果一覧

部材断面寸法 (mm)	Hp/A (m ⁻¹)	膜厚 (mm)	炉	T ₆₀ (°C)	T ₁₂₀ (°C)	計算 T ₆₀
□-150×6	178	4.1	A	436	722	423
□-150×6	178	6.1	A	313	671	312
□-150×6	178	8.1	A	273	667	214
□-150×6	178	10.1	A	239	535	110
□-200×12	93	1.7	A	457	-	459
□-200×12	93	4.0	A	309	572	303
□-300×6	172	1.7	A	540	-	525
□-300×6	172	4.1	A	381	677	407
□-300×9	117	1.6	A	483	-	492
□-300×9	117	4.1	A	319	592	336
□-300×9	117	6.1	A	263	499	239
□-150×6	178	3.5	B	444	-	441
□-300×9	117	2.8	B	416	-	412
□-300×9	117	6.0	B	273	502	245
□-300×9	117	3.5	B	373	-	-
□-1000×40	26	2.8	C	208	-	-

注 1) Hp/A: 断面形状係数 = 加熱周長 / 部材断面積

注 2) T₆₀, T₁₂₀: 60 分または 120 分加熱時の鋼材平均温度

注 3) 計算 T₆₀: 計算式にて算出した T₆₀

4.1 載荷・非載荷試験結果の比較

各試験の 60 分および 120 分時の鋼材平均温度 (T₆₀, T₁₂₀) と膜厚の関係を載荷、非載荷試験毎に図 1 に示して比較を行った。その結果、今回の試験の範囲では、載荷・非載荷試験結果に大きな差は認められなかった。

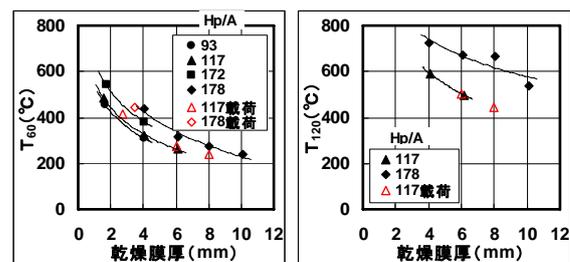


図 1 膜厚と鋼材温度の関係

4.2 断面寸法拡大の影響

断面寸法を□-300×9mm (B 炉) から□1000-40mm (C 炉) まで拡大した場合の接着性の影響を確認した。なお、この際の膜厚は 2.8mm と同一とした。温度計測結果を表 3 および図 2 に、各試験後状況を写真 1、写真 2 に示した。

この結果、同一厚みとし断面寸法を 300～1000mm まで拡大しても接着性の影響による脱落、ひび割れ等による顕著な鋼材温度への影響は認められなかった。

表 3 鋼材最高温度測定結果(°C)

	□-300	□-1000
上段平均温度	445	211
中段平均温度	468	212
下段平均温度	454	211
全平均温度	446	212
最大測定点温度	575	251
最小測定点温度	417	199

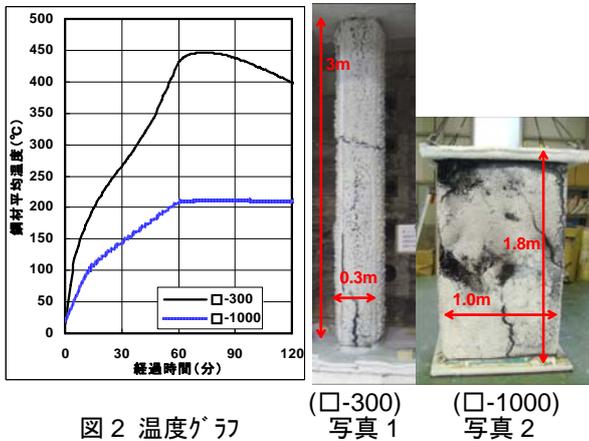


図 2 温度がワ

(□-300) 写真 1 (□-1000) 写真 2

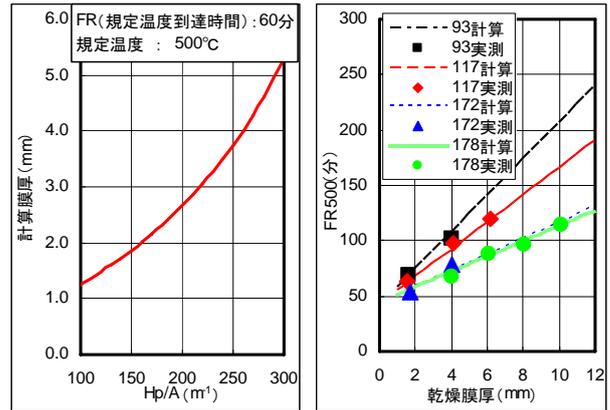
4.3 膜厚計算式の構築

YELLOW BOOK¹⁾や ISO834-11.2 ドラフト²⁾にはグラフィカルアプローチ法、微分方程式法、回帰分析法による計算法が示されている。本報では回帰分析法を適用して計算精度の検証を行った。なお、基本式に建研式を変換した式①を用いて回帰分析を実施した。本変換式を用いた H 形鋼はりの計算結果は筆者らが 06 年度大会に投稿し、紹介している⁴⁾。

$$FR = \alpha_0 \frac{DFT}{Hp/A} + \alpha_1 \frac{1}{Hp/A} + \alpha_2 \cdot DFT + \alpha_3 \cdot \text{式①}$$

FR : 規定温度到達時間(min)
 Hp/A : 断面形状係数(m⁻¹)
 DFT : 乾燥膜厚(mm)
 α₀₋₃ : 実験結果から求まる係数

表 1 の A 炉のデータを用いて膜厚計算式を構築した結果、重相関係数が 0.985 と高い相関が得られた。Hp/A と必要膜厚の関係の計算結果および規定温度到達時間 FR の計算値と実験値との比較を図 3 に示す。図からも計算値と実験値に高い相関関係あることが確認できる。



【Hp/A と膜厚の関係】 【計算値と実測値の比較】

図 3 計算結果および実測値との比較

4.3 付着性(Stickability)を考慮した膜厚補正

YELLOW BOOK¹⁾や ISO834-11.2 ドラフト²⁾には接着性を考慮した補正方法が示されている。これは載荷試験の場合は接着性の影響のため鋼材温度が高くなるとの考えのもと、非載荷試験計算結果を式②により補正係数 k_i を求めて補正するものである。ここでは、この補正方法に従い、A 炉の結果を用いて補正を実施したが補正係数 k_{max} 、 k_{min} がそれぞれ 1.02 と 1.04 となったため補正係数は、1.0 となり補正の必要が無いことが確認された。

$$k_i = \left[\frac{k_{max} - k_{min}}{d_{max} - d_{min}} \right] \cdot (d_i - d_{min}) + k_{min} \quad \cdot \cdot \text{式②}$$

k : 補正係数 (max は最大膜厚時、min は最小膜厚時)
 d : 膜厚 (max は最大膜厚、min は最小膜厚)

3 まとめ

- ① 本報告の範囲では載荷の有無および断面寸法の耐火性に及ぼす影響は認められなかった。
- ② 回帰分析法による計算結果も実験結果と高い相関を示し、接着の影響による補正も必要ないことが確認された。今回 1.7mm から 10mm と幅広い膜厚範囲に対して膜厚計算の精度を確認することができた。この様なデータを積上げる事により A ルートのみならず C ルートの耐火認定に対しても合理的な膜厚計算法により、耐火設計に寄与できる可能性があると思われる。

【参考文献】

- 1) Fire protection for structural steel in buildings. 4th Edition, Association for Specialist fire protection
- 2) Fire resistance tests-Elements of building construction - Part11.2 Method to assess the contribution of applied reactive fire protection materials (intumescent coatings) to structural metallic elements.
- 3) 白井他「熱容量試験をもとにした鋼材寸法に応じた耐火被覆厚さの決定(耐火塗料を用いた場合)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999年, A-2, pp3~4
- 4) 谷辺他「水系発泡性耐火塗料の性能評価 その1-膜厚推定方式適用性に関する実験的検討-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2006年, A-2, pp139~140
- 5) 近藤他「耐火塗料の性能評価試験(その2)鋼材断面寸法に応じた膜厚算定のための計算方法」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2008年

*1 太平洋マテリアル (株) 開発研究所

*2 (財)ベターリビングつくば建築試験研究センター

*3 (財)建材試験センター中央試験所

*1 Research & Development Laboratory, Taiheiyo Materials Corporation

*2 Tsukuba Building Research & Testing Laboratory, Center for Better Living

*3 Japan Testing Center for Construction Materials