

水系発泡性耐火塗料の性能評価 その2 - 載荷加熱試験における膜厚の設定方法と試験結果 -

正会員 ○山本 盛男*
同 谷辺 徹**
同 遊佐 秀逸***
同 金城 仁***

膜厚推定式 耐火塗料 ISO834 加熱曲線
断面形状係数 乾燥膜厚 設計耐火温度

1 はじめに

筆者らは、前報で H 形鋼梁における 1 時間耐火の膜厚推定式構築とその適用性について検討し、精度の良い膜厚推定式が得られ、指定性能評価機関の耐火炉(耐火炉 B)においても適用が可能であることを報告した。しかし、耐火炉 B での耐火試験結果では、鋼材平均温度の観点からは良好な膜厚推定式が得られたものの、同一断面内での温度差が大きいため、載荷加熱で実施される性能評価試験の膜厚設定を行う際には補正が必要になると考えられる。

本報告では、性能評価試験のために行った膜厚推定式の補正方法と載荷加熱試験の結果について報告する。

2 鋼材内温度分布

試験体水準を表 1 に示す。なお、使用材料および試験方法等については、前報その 1 を参照されたい。

試験結果一覧を表 2 に、鋼材内温度分布の経時変化を図 1 に示す。

これらから分かるように、耐火炉 B の鋼材内温度分布に差が認められ、下フランジ温度が 667°C となった。耐火炉 A の場合に上フランジと下フランジの温度差が 100°C 程度なのに対して、耐火炉 B では 200°C 程度となっている。

3 膜厚補正方法の検討

載荷加熱時の試験体では曲げ応力は主に下側のフランジで負担されるため、この部分での温度上昇が座屈を招く原因となる。そこで、文献¹⁾等から座屈に至る状況を整理すると、平均温度だけでなく「下フランジの鋼材平均温度で 600°C」を設計耐火温度とするのが妥当であると考えた。

3.1 鋼材の温度上昇量を考慮した膜厚推定式からの算定

鋼材平均温度 550°C 到達時間 (FR) と下フランジ平均温度 600°C 到達時間 (FR_U) の時間差に安全率を考慮した時間 (α) を FR に加えた FR' を膜厚推定式に適用して乾燥膜厚 (DFT) を求めることで膜厚推定式の補正を行った。

ここで、鋼材平均温度と下フランジ平均温度の温度上昇速度の差を安全率とした。鋼材の温度上昇速度は、図 2 に示したように、時間の経過とともに増加から減少へと転じ、温度上昇速度差は、変極点で最大 (1.3 倍程度) と

なった。この温度上昇速度差の最大値を安全率として、(式 1) のように FR' を求めた。

$$FR' = FR + \alpha \quad (\text{式 1})$$

$$\alpha = \{ \text{設定 } FR_U - (FR = 60 \text{ 時の } FR_U) \} \times 1.3$$

なお、表 2 に示したように、B-1 および B-2 とともに FR_U が変極点以降であるため、係数の 1.3 は安全側の評価であるといえる。

3.2 耐火設計温度到達時間ごとの DFT

3.1 節に準じて算定した、設計耐火温度到達時間ごとの

表 1 試験水準

水準	鋼材種類・サイズ	耐火炉	耐火塗料	DFT(mm)
A-1	SS400	耐火炉 A	Type A	1.94
B-1	H400×200×8×13 mm	耐火炉 B	Type A	1.98
B-2	H 形鋼梁 (3 面加熱)	耐火炉 B	Type B	1.73

[注] DFT: 乾燥膜厚, Type A: 低発泡型, Type B: 高発泡型

表 2 試験結果一覧

水準	DFT (mm)	60T (°C)				FR (min.)	FR _U (min.)
		Ave.	Max	Min	Ave. _U		
A-1	1.94	536.0	606.3	431.0	581.9	62	63
B-1	1.98	542.3	776.8	421.7	643.2	62	54
B-2	1.73	532.7	776.0	386.1	667.2	63	51

[注] DFT: 耐火塗料の乾燥膜厚, 60T: 60 分加熱時鋼材温度, Ave._U: 下フランジ平均温度, FR: 鋼材平均温度 550°C 到達時間, FR_U: 下フランジ平均温度 600°C 到達時間

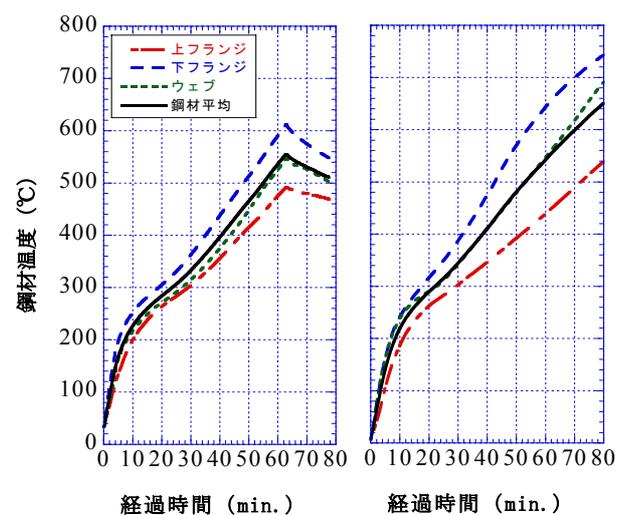


図 1 鋼材内温度分布の経時変化

必要乾燥膜厚(DFT)を表 4 に示す。なお、表中の膜厚増加量および膜厚増加率は、FR=60 時を基準として求めた。

4 荷重加熱試験

3 章にて行った膜厚推定式の補正により荷重加熱に供する試験体の膜厚を 2.1mm と設定し、(財) ベターリビングにて H 形鋼梁標準鋼材の試験を実施した。

試験結果を表 5 に、鋼材温度の経時変化を図 3 に、鋼材のたわみを図 4 に示す。

荷重加熱試験を実施した結果、最大たわみ量、たわみ速度は許容範囲内となり要求性能を満たす結果となった。

また、下フランジ温度が 450°C 程度とかなり抑制される結果となった。これは、熱容量試験時と荷重加熱試験時の試験体設置方法の差により火炎からの距離が異なることと、試験体全体の熱容量の差に起因するものと考えられる。今後、膜厚推定式を構築する際には、これらの点も考慮していく必要があると思われる。

5 まとめ

鋼材内温度分布状況を考慮した膜厚推定式の補正を行い、荷重加熱試験を実施した結果、以下のことが確認された。

- ①乾燥膜厚を算定する際には、鋼材温度上昇量を考慮することで膜厚推定式から変換をすることが可能である。
- ②2.1mm の膜厚設定で ISO に規定する要求性能を満たすことが明らかとなった。

表 3 設計耐火温度到達時間ごとの DFT
(a) Type A

FR _U	54	56	58	60	62	64
FR	60.0	62.6	65.2	67.8	70.4	73.0
DFT	1.94	2.06	2.18	2.29	2.41	2.52
膜厚増加量	---	0.116	0.232	0.347	0.463	0.579
膜厚増加率	---	6.0%	11.9%	17.9%	23.8%	29.8%

(b) Type B

FR _U	51	54	58	60	62	64
FR	60.0	63.9	69.1	71.7	74.3	76.9
DFT	1.65	1.80	2.00	2.10	2.19	2.29
膜厚増加量	---	0.148	0.344	0.443	0.541	0.640
膜厚増加率	---	8.9%	20.8%	26.8%	32.8%	38.7%

[注]FR_U：下フランジ平均温度 600°C 到達時間，

FR：鋼材平均温度 550°C 到達時間，DFT：乾燥膜厚

表 4 認定試験結果一覧

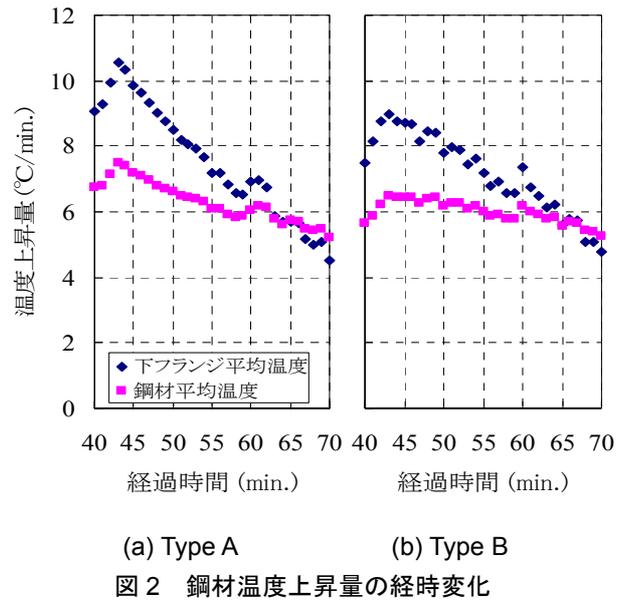
水準	荷重 (kN)	DFT (mm)	δ _{max} (mm)	v _{max} (mm/分)	60T (°C)		
					Ave	Max	Min
No.1	197.4	2.1	37.52	1.5	397.6	452.4	314.0
No.2			37.54	1.7	395.3	448.2	315.2

[注] DFT：耐火塗料の乾燥膜厚，60T：60 分加熱時鋼材温度，

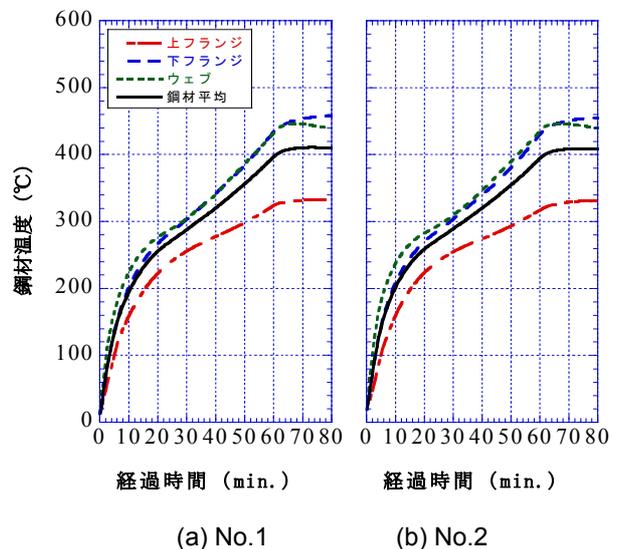
δ_{max}：最大たわみ，v_{max}：最大たわみ速度

【参考文献】

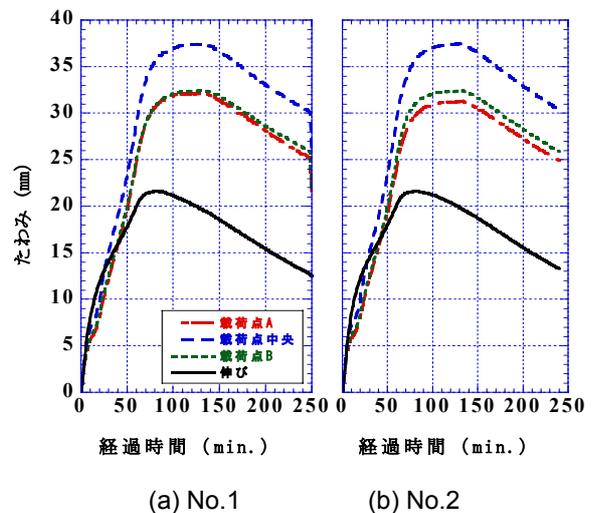
- (1) 建設省建築研究所，(財)日本建築試験センター：建設省総合技術開発プロジェクト 防・耐火性能評価技術の開発 報告書，pp.56-70，1998.3



(a) Type A (b) Type B
図 2 鋼材温度上昇量の経時変化



(a) No.1 (b) No.2
図 3 荷重加熱試験時における鋼材温度の経時変化



(a) No.1 (b) No.2
図 4 荷重加熱試験時における鋼材たわみの経時変化

* 太平洋マテリアル (株) 開発研究所
** 太平洋セメント (株) 中央研究所
*** (財) ベターリビング筑波建築試験センター

* Research & Development Laboratory, Taiheiyo Materials Corporation
** Research & Development Center, Taiheiyo Cement Corporation
*** Tsukuba Building Test Laboratory, Center for Better Living