

耐火塗料を適用したコンクリート充填鋼管柱の耐火性能に関する実験的検証その2 —温度上昇抑制効果に関する一考察—

太平洋セメント 正会員 ○谷辺 徹 鶴田 昌宏
太平洋マテリアル 正会員 山本 盛男 正会員 橋本 英二

1. 目的

近年、トンネル構造物に対して構造体に耐火被覆を施したものが多く計画、竣工されており、その耐火性能に関する研究報告は増えてきている。しかし、発泡耐火塗料（以後耐火塗料と記す）は、土木分野での急速加熱条件への適用は困難であると一般的に考えられ、その研究報告事例¹⁾は殆ど見られない。そこで、筆者らは耐火塗料を適用したコンクリート充填鋼管柱（以後 CFT と記す）の耐火性能について実験的に検証を行い、膜厚の調整により土木用途へも十分適用可能であることを前報（その1）にて報告した。本報では CFT 構造の部材温度上昇抑制効果について検討を行った結果を以下に報告する。

2. 温度上昇抑制効果に関する考察

(1) 耐火試験データ

今回の検討に用いる耐火試験データを表1に示した。なお、耐火試験概要は前報（その1）を参照願いたい。

表1 耐火試験データ

水準 No.	CFT Type ***	単位熱容量** (kJ/m・K)			ひび割れ 抑制ガラス 繊維メッシュ	耐火塗料膜厚 (mm)		発泡* 倍率 (倍)	各部鋼材最高温度 (℃)			ひび割れ	
		鋼材	コンクリート	合計		試験前	試験後		Max	Min	平均	深さ	幅
1	A	34	64	98	無	2	32	16	663	462	524	貫通	太
2						4	40	10	369(508)	322	336	貫通	太
3						6	51	8	346	290	316	表層	細
4	B	62	139	201		6	51	8	220	201	212	表層	細

*)発泡倍率：試験後耐火塗料厚さ／試験前耐火塗料厚さ

***)CFT Type：A □200×t12×h800mm

***)単位熱容量：CFT 試験体単位長さ当りの合計熱容量

B □300×t19×h800mm

(2) 熱負担量および熱負担率

耐火試験時の各部材の熱特性と温度上昇量から試験体と各部材の熱負担量および熱負担率を求めて温度抑制効果についての考察を行った。求めた熱負担量および熱負担率を表2に示す。熱負担量および熱負担率は、以下の式（1）から式（4）を用いて算出した。また、算出した熱負担率と DFT 乾燥膜厚の関係を図1、図2に、CFT 単位長さ当りの熱容量（単位熱容量）と熱負担量および鋼材温度の関係を図3に示した。

表2 各試験水準の熱負担量と熱負担率

水準 No.	CFT Type	膜厚 (mm)	単位容積 (L/m)			10 分後熱負担量 (MJ/m)			60 分後熱負担量 (MJ/m)			10 分後熱 負担率(%)		60 分後熱 負担率 (%)	
			Vs	Vc	V	Qs	Qc	Q	Qs	Qc	Q	Rs	Rc	Rs	Rc
1	A	2	9	31	40	6.4	2.6	9.0	14.5	11.9	26.4	71	29	55	45
2		4				2.3	1.7	4.0	8.0	8.4	16.4	58	42	49	51
3		6				1.7	1.3	3.0	6.5	7.3	13.7	56	43	47	53
4	B	6	21	69	90	3.7	0.7	4.4	11.3	7.2	18.2	46	54	42	58

注) 単位容積は、CFT を矩形断面として算出した

キーワード：耐火塗料，RABT 加熱曲線，熱容量，合成構造，コンクリート，CFT，鋼管柱

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL 043-498-3811 FAX 043-498-3819

$$\text{鋼材熱負担量} \quad Q_s = (T_{si} - T_{s0}) \times C_{s\rho s} \times V_s \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\text{コンクリート熱負担量} \quad Q_c = (T_{ci} - T_{c0}) \times C_{c\rho c} \times V_c \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\text{鋼材熱負担率} \quad R_s = \text{鋼材熱負担量} / (\text{鋼材熱負担量} + \text{コンクリート熱負担量}) \quad \dots \text{式(3)}$$

$$\text{コンクリート熱負担率} \quad R_c = \text{コンクリート熱負担量} / (\text{鋼材熱負担量} + \text{コンクリート熱負担量}) \quad \dots \text{式(4)}$$

T_{si} : 加熱開始*i*分後の鋼材平均温度(°C)

T_{s0} : 加熱開始時の鋼材平均温度(°C)

T_{ci} : 加熱開始*i*分後のコンクリート平均温度(°C)

T_{c0} : 加熱開始時のコンクリート平均温度(°C)

$C_{s\rho s}$: 鋼材熱容量(kJ/m³・K)

$C_{c\rho c}$: コンクリート熱容量(kJ/m³・K)

V_s : 単位鋼材容積 (m³)

V_c : 単位コンクリート容積(m³)

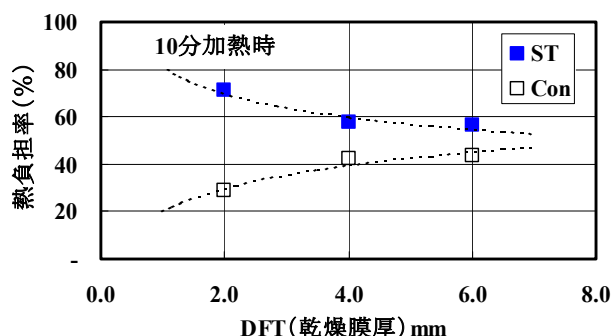


図1 DFTと熱負担率の関係(10分後)

(3) 考察

① 加熱初期のコンクリート熱負担率は、30～40%と鋼材より低い値を示すが、DFT（乾燥膜厚）が大きいほどコンクリートの熱負担率が大きくなりコンクリートの熱容量が活用されていることが確認された。

② しかしDFT 4mm から 6mm では、コンクリートの熱負担率の増加は小さくなっていることから Type-A のCFT では、DFT4mm 程度が効率的な耐火性能を発揮していると推察される。

③ 60分経過後にはコンクリートの熱負担率は50%程度まで上昇しており、本実験の範囲ではコンクリートは鋼材の温度上昇を50%近く抑制していると推察される。

④ CFT の単位熱容量が増加すると、より多くの熱量をCFT 全体として負担することになるが、鋼材温度はその熱容量の効果により低下することが確認された。

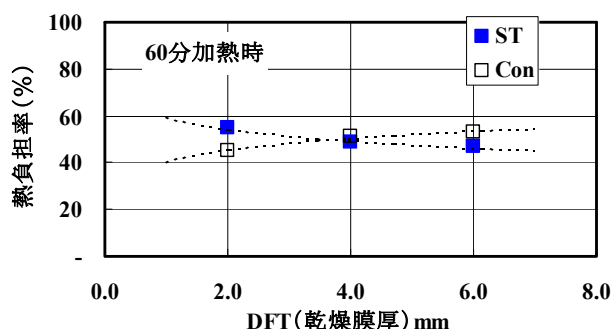


図2 DFTと熱負担率の関係(60分後)

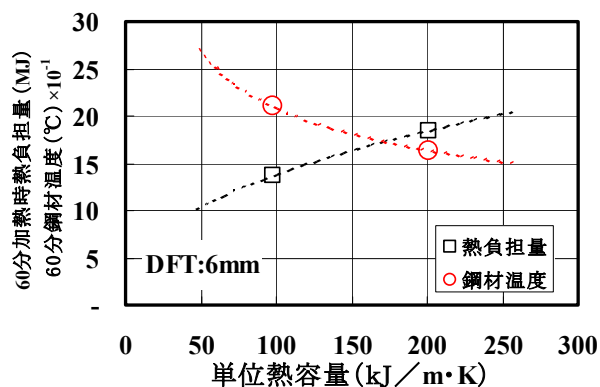


図3 熱容量と熱負担率および鋼材温度

3. まとめ

土木分野における急速加熱条件下でも CFT 構造の熱容量により、耐火塗料が十分に適用可能であるとの前報を受け、本報ではその熱容量の効果について考察した結果、以下のことが確認された。

① DFT の増大によりコンクリートの熱負担率は増加し、鋼材温度上昇は抑制される。

② しかし、必要以上に DFT を増大させても鋼材温度上昇抑制効果は停滞するため、適正值が存在する。

③ コンクリートの熱負担率は50%程度となり、鋼材温度上昇を50%程度抑制していると推察される。

今後、耐火塗料を CFT 構造以外の土木分野でも広く適用していくために躯体の熱容量と耐火塗料の耐火性並びに必要な膜厚の関係を把握し、今回適用した単位熱容量等の指標を用いた膜厚推定方法について検討することが必要と思われる。

参考文献 1) 谷辺 他, 発泡性耐火塗料が急速加熱を受けた場合の耐火性に関する実験的検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 2004 年, pp163-164