

ステンレス被覆耐火鋼管柱

Fire Resistant Steel Tubular Columns Enclosed in Stainless Steel Thin Plates

平山博巳 / Hiromi Hirayama ・建設エンジニアリング事業部 建築技術研究室 参事補

平野浩一 / Koichi Hirano ・建設エンジニアリング事業部 建設技術企画室 参事

要 約

鋼構造において施される通常の耐火被覆材の替わりに、熱輻射率の小さい複数のステンレス鋼板により内側鋼管を囲った断面のステンレス被覆鋼管柱の耐火性能について検討を行った。実大断面による加熱試験において、加熱1時間時の内側鋼管温度は耐火鋼の許容温度 600°C を下回り、内側鋼管に耐火鋼を使用することで、柱は1時間の耐火性能が得られると考えられる。また、温度解析の結果より、内側鋼管温度が 600°C に到達する時刻 t_{600} 及び1時間加熱時の内側鋼管温度 T_{60} は、内側鋼管断面積及び外側ステンレス周長より定まる形状係数 R_s と相関関係があり、この関係より1時間耐火を満たすステンレス被覆鋼管柱の断面形状を求めることが可能である。

Synopsis

In this report, the fire resistance of steel tubular columns enclosed in stainless steel thin plates instead of such ordinary fire resistive covering material as sprayed rock-wool, calcium silicate board, is determined.

We recognized that the columns with such section had 1 hour fire resistance, because temperature of inner tube in 1 hour fire test had not reached the allowable temperature of 600°C for fire resistant steel applied to inner tube.

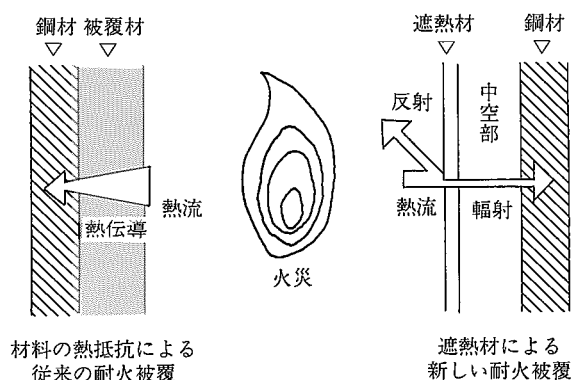
Next, we also found column section modulus R_s , calculated from cross-sectional area of inner tube and circumferential heated length, had a relationship with time value t_{600} which temperature of inner tube reached 600°C and temperature value T_{60} of inner tube after 1 hour fire.

1. 緒 言

建築構造物の主要構造部材は、その用途・規模により、所定の耐火性能を有する耐火構造とすることが、法規上義務づけられている。鋼構造を耐火構造とする必要がある場合、部材表面に所用の厚さの耐火被覆材を施して、その被覆材の熱抵抗によって鋼部材への熱流入を小さくすることで、火災による部材温度の上昇を抑制する方法が通常用いられる。一方、この他に鋼部材への熱流入を小さくできる方法としては、鋼部材と火災雰囲気の間、熱流入を有る程度遮断する事のできる遮熱材を設けることが考えられる。(第1図)

遮熱材の材料は、火災時に溶融・変質せず、表面熱輻射率が小さなものを選択することで、火災雰囲気から鋼部材への熱流入を小さくすることができ、例えばこのような材料としては、ステンレス鋼を挙げることができよう¹⁾。

本報においては、遮熱材としての機能を期待したステンレス鋼板により、構造部材である鋼管柱を囲った新しい形式の耐火構造部材(以下ステンレス被覆鋼管柱とする)を提案するため、その耐火性能について検討を行った。



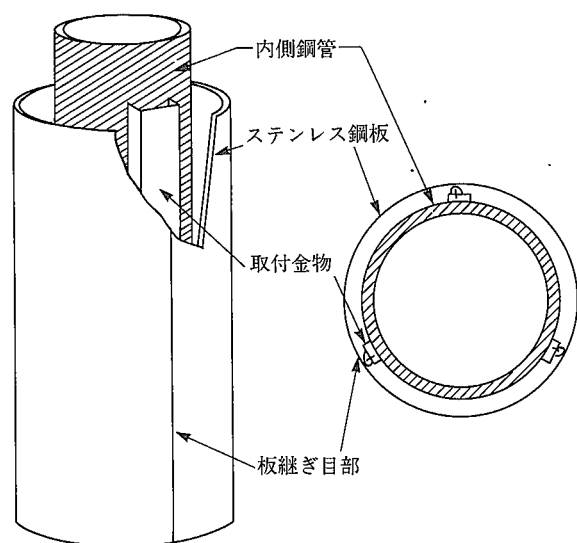
第1図 耐火被覆の機構

2. ステンレス被覆鋼管柱の構成

本報において検討の対象としたステンレス被覆鋼管柱の構成を第2図に示す。円弧状に板金加工を行ったステンレス鋼板(材質:SUS 304)を複数枚円周方向に連続させることにより、ステンレス鋼板によって、内側鋼管柱を中空部を介して囲んだ閉断面を形成している。ステンレス鋼板の取付方法を第3図に示す。内側鋼管表面上に固定した取付金物(Cチャンネル鋼等)上に、ステンレス鋼板の一端をタッピングビスで固定し、これに嵌合できる形状をもつ他のステンレス鋼板の一端を、取付金物上に固定した板ばねによって、機械的に固定することによって、通常時及び火災時において、鋼板同士の継ぎ目部が開くことを防止している。

以上のような構成により、ステンレス被覆鋼管柱は、次のような利点をもつ。

(1)ステンレス被覆がそのまま仕上げ材として使用できるの



第2図 ステンレス被覆鋼管柱の構成

で、仕上げ作業を不要とし、美観に優れた柱が得られる。
(2)建設現場においては、ビス及びばねによってステンレス鋼板を固定するだけであるので、既往の吹付等の施工による耐火被覆材に比較して作業性に優れている。また被災後の修復・交換も容易である。

3. 内側鋼管柱へのFR鋼の適用

建築構造用耐火鋼材(FR鋼)は、600℃において、常温耐力規格値(F値)の2/3の耐力を発揮する鋼材である。FR鋼による構造部材は長期許容応力度に相当する荷重下では、部材温度600℃まで崩壊しないことが確認されており²⁾、FR鋼をステンレス被覆鋼管柱の内側鋼管に適用することで、耐火性能の向上が期待でき、本報においてはこの効果についても検討する。

4. 耐火性能確認試験

前述のような構成のステンレス被覆鋼管柱の、火災時における各部の昇温性状を確認するために、実大部材による加熱試験を行った。

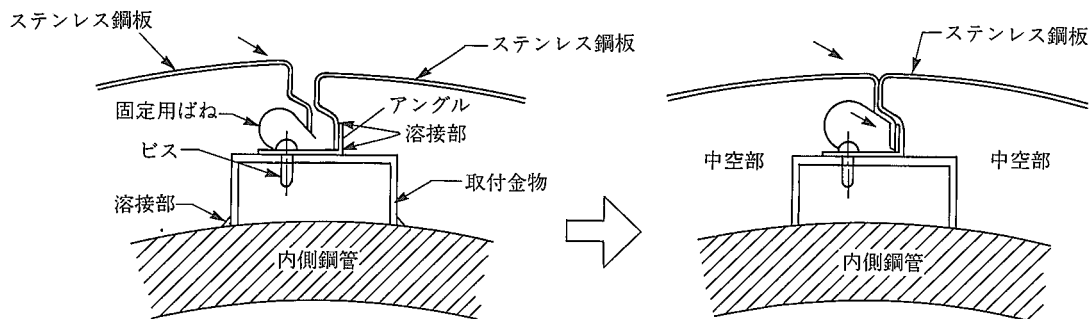
4-1 試験方法

試験は、JIS A 1304「建築構造部分の耐火性能試験」に従い、(財)日本建築総合試験所の柱用耐火試験炉において行った。

4-2 試験体

試験体一覧を第1表に示す。試験変数は、内側鋼管の板厚を2種類設定し、同一条件のものを2体ずつ計4体について加熱試験を行った。鋼管径及び外側ステンレス鋼板の仕様は全試験体で同一とした。内側鋼管の表面は黒皮のままとし、部材端部分は、セラミックワールで被覆した。

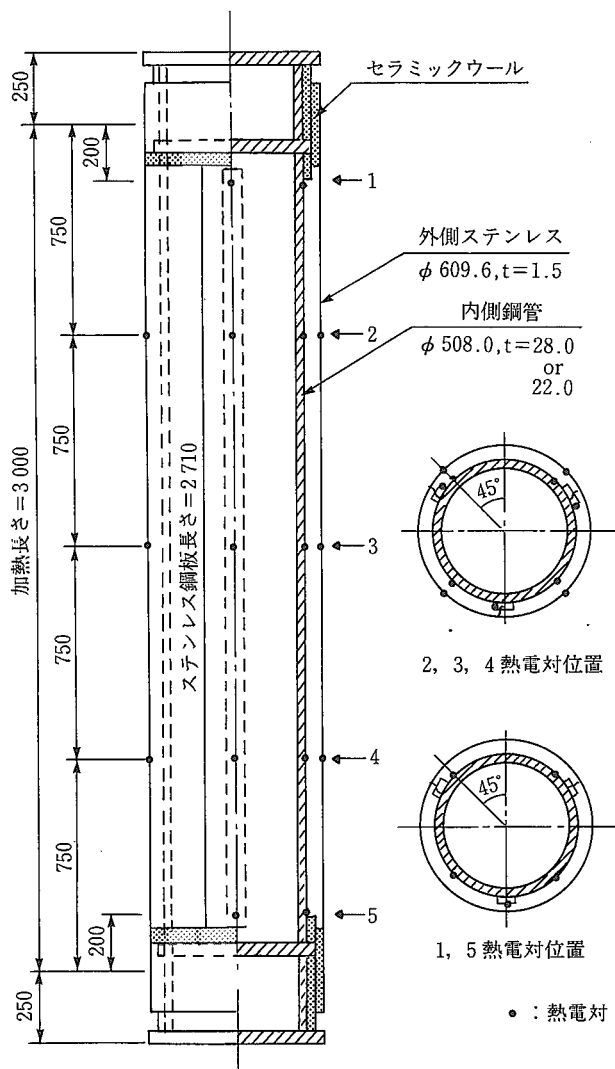
第4図に試験体形状及び温度計測位置を示す。



第3図 ステンレス鋼板の取付方法

第1表 試験体一覧

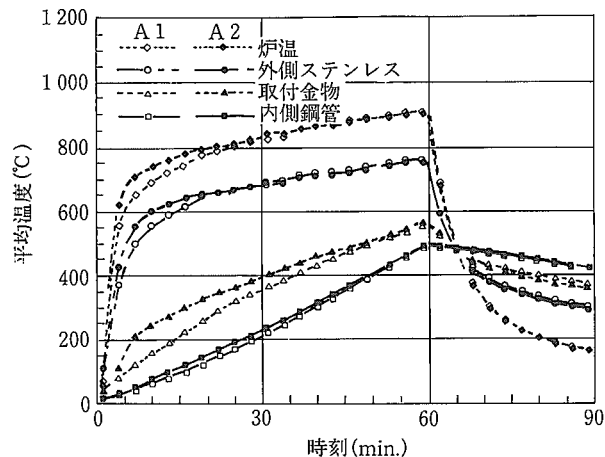
試験体名	外側ステンレス	内側鋼管	取付金物
A 1, A 2	ϕ -609.6×1.5	ϕ -508.0×28	C-60×23×2.3
B 1, B 2	ϕ -609.6×1.5	ϕ -508.0×22	
材質	SUS 304	SS 400	SS 400



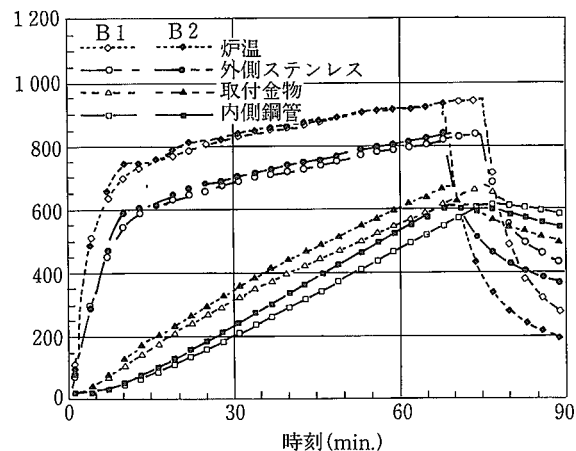
第4図 試験体形状

4-3 試験結果

第5図及び第6図に、炉内温度及び試験体各部の温度時刻歴の試験結果を示す。加熱により外側のステンレス鋼板は、早い時刻において高い温度に到達するが、内側の鋼管部は、ステンレス鋼板と比較して緩やかな温度上昇となり、ステンレス鋼板による遮熱効果が確認できる。また、取付金物部分の温度と内外部材温度を比較すると、ステンレス鋼板同士の継ぎ目部分は、十分な遮炎性能を有していることが確認できる。また、加熱終了後に鋼板継ぎ目部に、JIS A 1304 に従い衝撃試験を実施したが、表面が若干へこむ程度であり、耐火性能上有害な破損等は生じなかった。



第5図 試験結果(A シリーズ)



第6図 試験結果(B シリーズ)

また、今回の加熱試験においては、加熱開始後60分において、内側鋼管の平均温度は600℃以下となり、FR鋼の許容温度を下回る。したがって、今回の試験体の仕様であれば、内側鋼管にFR鋼を使用することで、ステンレス被覆鋼管柱は1時間の耐火性能を有するものといえる。

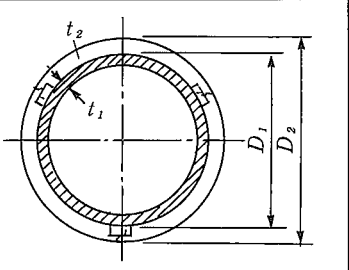
5. 断面形状条件と耐火性能の関係の検討

ステンレス被覆鋼管柱の昇温性状は、断面の熱容量や、加熱を受ける面積等の断面形状条件に依存すると考えられ³⁾、内側鋼管の温度によって耐火性能が決定することから、これらの形状条件から耐火性能を予測することができれば、耐火設計上有用である。そこで、非常温度解析によるパラメトリックスタディを行い、ステンレス被覆鋼管柱の断面形状条件と耐火性能の関係について検討した。

第8図 解析結果と試験結果の比較

第4表 解析対象断面条件

内側鋼管板厚	t_1	1.6 cm～3.2 cm
外側ステンレス鋼板厚	t_2	0.15 cm
内側鋼管径	D_1	20 cm～100 cm
外側ステンレス径	D_2	$D_1 + \Delta$ ($\Delta = 10$ cm)



5-3 断面形状条件と耐火性能

内側鋼管にFR鋼を使用することを前提とすると、ステンレス被覆鋼管柱の耐火性能を判定するための値として、内側鋼管の温度が600℃に到達する時刻 t_{600} (分)又は加熱開始後60分における内側鋼管の温度 T_{60} (℃)が、基準として採用できる。

すなわち、ステンレス被覆鋼管柱が1時間の耐火性能を満足する条件は、

$$t_{600} \geq 60 \text{ 分} \quad \text{又は} \quad T_{60} \leq 600^\circ\text{C} \quad \cdots(1)$$

となる。ここで、ステンレス被覆鋼管柱の昇温性状に関連すると思われる断面形状条件のパラメータとして、(2)式により表される形状係数 R_s を考え、 R_s と解析より得られた t_{600} 及び T_{60} の相関関係を第9図及び第10図に示す。

$$R_s = \phi_2 / A_1 \quad (\text{単位: cm}^{-1}) \quad \cdots(2)$$

ここに、 ϕ_2 : 外側ステンレス鋼板の周長(cm)

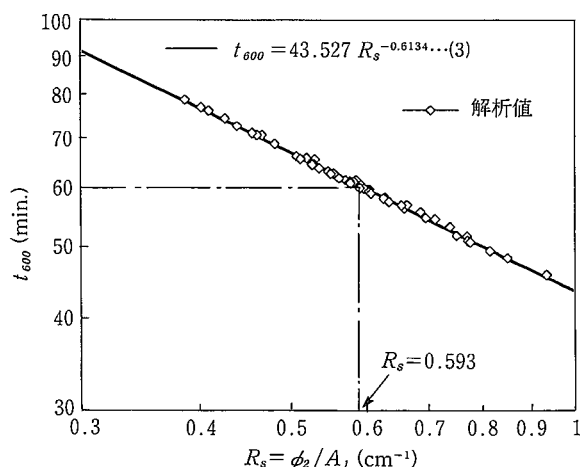
A_1 : 内側鋼管の断面積(cm^2)

第9図及び第10図より、 t_{600} については両対数軸上で、 T_{60} については片対数軸上で形状係数 R_s との相関関係が確認でき、第9～10図中の(3)及び(4)式により表される。

これらの式に前述の1時間耐火を満たす条件(1)式を与えれば、

$$R_s \leq 0.591 \sim 0.593 \quad \cdots(5)$$

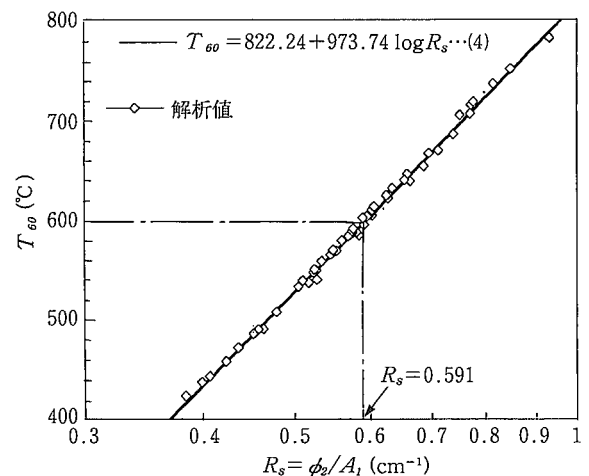
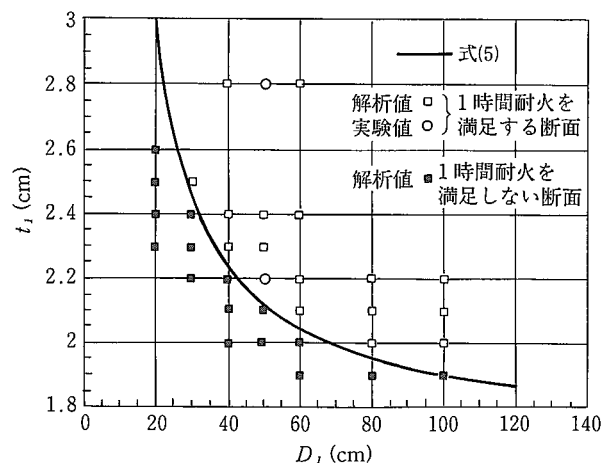
が得られ、形状係数 R_s がこの範囲にあれば、ステンレス被覆鋼管柱は1時間の耐火性能を有すると考えられる。

第9図 $R_s - t_{600}$ 相関

一方、(2)式は、外側ステンレス鋼板の径と内側鋼管径の差($=\Delta$)を一定とすれば、

$$R_s = (D_1 + \Delta) / ((D_1 - t_1) \cdot t_1) \quad \cdots(6)$$

となるので、ステンレス被覆鋼管柱の耐火性能は、内側鋼管径 D_1 及び板厚 t_1 により決定するものといえる。ここで、(5)式左辺を(6)式により置き換えれば、 D_1 と t_1 の関係は第11図のようになり(条件: 外側ステンレス板厚 $t_2 = 0.15$ cm, $\Delta = 10$ cm), この図から1時間耐火を満たすステンレス被覆鋼管柱の寸法条件を求めることができる。

第10図 $R_s - T_{60}$ 相関第11図 1時間耐火を満足する $D_1 - t_1$ 関係

6. 結 言

ステンレス被覆鋼管柱の耐火性能を検討するため、JIS 加熱試験を行いその昇温性状を把握するとともに、加熱試験結果を再現できる解析条件を用いた非定常温度解析によるパラメトリックスタディの結果から、断面形状条件と耐火性能の関係について検討を行い、以下の結論を得た。

(1) 今回の試験体の仕様でステンレス被覆鋼管柱は加熱 1 時間時において内側鋼管温度が 600°C 以下になる事を確認した。内側鋼管に FR 鋼を適用することで 1 時間の耐火性能が得られると考えられる。

(2) 温度解析結果の検討から、ステンレス被覆鋼管柱の耐火性能は、外側ステンレス鋼板の周長及び内側鋼管の断面積により定まる形状係数 R_s により評価できる。

[謝辞] 加熱試験における試験体の製作等にあたり、財団法人建築総合試験所 環境試験室・倉橋岩夫氏、園部敬氏より御指導をいただいた。ここに深く感謝いたします。



平山博巳 / Hiromi Hirayama

建設エンジニアリング事業部
建築技術研究室 参事補

(問合せ先：0479(46)5130)

参考文献

- 1) 財団法人日本機械学会：伝熱工学資料，改訂第 3 版，1975
- 2) 鎌田，深田，中里，平山，川野，緒方：住友金属誌，Vol.43-7，1991，P.23
- 3) ECCS：European Recommendation of the Safety of

Steel Structures Design Manual, July, 1985

- 4) 作本，中里，松崎：建築構造用ステンレス鋼の高温特性，構造工学論文集 Vol.37 B，1991，P.213