Numerical Simulation of the Fire Resistance Tests for Structural Parts of Building Construction

○正 大村 高弘 (ニチアス(株)) 坂倉 正年 (ニチアス(株))
坪井 幹憲 (ニチアス(株)) 正 富村 寿夫 (九大機能研)

Takahiro OHMURA, NICHIAS Corp., Shin - Miyakoda 1-8-1, Hamamatsu, Shizuoka
Masatoshi SAKAKURA, NICHIAS Corp., Shin - Miyakoda 1-8-1, Hamamatsu, Shizuoka
Mikinori TSUBOI, NICHIAS Corp., Shin - Miyakoda 1-8-1, Hamamatsu, Shizuoka
Toshio TOMIMURA, Institute of Advanced Material Study, Kyushu University,
Kasuga - Koen 6 - 1, Kasuga, Fukuoka

Key Words : Numerical Simulation, Network method, Fire Resistance Test, Building Construction

1. 緒 言

建築基準法では、都市火災を減少させる目的から、都市計画区域内における防火地域、準防火地域を指定し、建築物に対し耐火構造や防火構造を要求している。そのため、各種研究機関において盛んに耐火構造が研究されており、様々な構造の耐火壁が開発されている。

このような壁体の耐火性能の優劣を判断する重要なファクターの一つとして耐火試験があり、これは、一般的に JIS (JIS A 1304) や ISO で示された方法によって実施される⁽¹⁾。しかし、その試験設備は非常に大がかりであり、試験体作りや試験にかかる費用と時間は莫大なものとなっている。そのため、試行錯誤的な要因を多く含む材料開発の分野においては、自ずと試験回数が限られてしまう。そこで、筆者らは、耐火構造と試験結果の関係を予測するための数値シミュレーションコードの開発を試みている。ここでは、その第一ステップとして、1次元積層耐火壁モデルに関して得られた数値解析結果について報告する。

2. 解析モデル

シミュレーション対象とした耐火試験系の概要を図1に示す。試験炉の寸法は高さ約 3m、幅約 2m であり、炉壁には高さ方向に 5 個、幅方向に 3 個の計 15 個のバ

Fig. 1 Schematic of fire resistance test system

ーナーが設けられている。試験用の耐火壁は炉壁と平行に設置され、その片面が ISO-834 で規定される次式の昇温曲線に従う燃焼ガスによって加熱される。

$$T_g = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_a \quad (1)$$

ここで、 T_g は燃焼ガス温度[℃]、 T_a は周囲空気温度[℃]、 t は時間[min]である。試験時間は1時間から2時間であり、その時点での裏面側(周囲空気側)壁面の温度上昇量によって壁体の耐火性能が評価される。

耐火試験で使用した壁体は図2の左図に示す積層型耐火壁である。積層順にケイ酸カルシウム板(8mm)+ケイ酸カルシウム板(8mm)+空気ギャップ(約 2mm)+ロックウール断熱材(50mm)+空気ギャップ(約 2mm)+ケイ酸カルシウム板(8mm)+ケイ酸カルシウム板(8mm)である。なお、本試験体は大小 4 枚の壁体で構成されており、図1の右図に示した試験体中の実線はその接合面である継ぎ目(Jointing part)を表す。また、ロックウール断熱材の層内には耐火壁補強用の金属スタッド(間柱、図1の右図中の破線)が縦に1本通されている。耐火壁の裏面側温度は主要箇所 19 点に設けたシース熱電対によって測定したが、ここでは図1に●で示した4点の温度 $T_{c1} \sim T_{c4}$ について数値解析結果と比較・検討する。

解析の第一ステップとして、壁体間の継ぎ目および金属スタッド(間柱)を省略し、図2に示す1次元の耐火壁の場合についてネットワーク法を適用した数値シミュ

Fig. 2 Physical model of fire wall and coordinate system

Fig. 3 Comparison between present network method and finite element method

Fig. 4 Numerical result for fire wall

レーションを行った。一様温度 T_a に保たれた積層壁が、時刻 $t=0$ で $x=0$ の面側から式(1)の昇温曲線に従う燃焼ガスによって加熱される。ここで、 α_g と α_s は、それぞれ、加熱面側と裏面側の熱伝達係数である。壁内部では、図2に例示したように、各層毎に適当な間隔で格子点を設定し、時刻 $t=t+\Delta t$ における各格子点温度を次式に基づく陽解法により計算した。

$$\lambda \frac{T_{i-1} - T_i}{\Delta x} \Delta t - \lambda \frac{T_i - T_{i+1}}{\Delta x} \Delta t = \rho c \Delta x (T_i' - T_i) \quad (2)$$

ここで、 λ は熱伝導率、 ρ は嵩密度、 c は比熱、 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ は格子点番号、 $'$ は時刻 $t=t+\Delta t$ における値である。なお、本解析ではケイ酸カルシウム板に含まれる水分の蒸発の影響を考慮するため、格子点温度が 100°C に達した段階で、微小体積要素内の水分が完全に蒸発するまで、その格子点温度を 100°C に保持し続けるようにした。

3. 結果及び考察

本解析ではネットワーク法による陽解法を適用して数値シミュレーションを行っているが、まずそのプログラムコードの健全性を確認するため、有限要素法(サイバーネットシステム(株) ANSYS)による解析結果との比較を

Fig. 5 Comparison between measured and calculated results

行った。対象は厚さ 100mm のロックウール単一層であり、熱伝導率を $\lambda=0.08\text{W/mK}$ 、嵩密度を $\rho=80\text{kg/m}^3$ 、比熱を $c=810\text{J/kgK}$ 、初期および周囲空気温度を $T_a=20^\circ\text{C}$ 、加熱面側熱伝達係数を $\alpha_g=50\text{W/m}^2\text{K}$ 、裏面側熱伝達係数を $\alpha_s=3\text{W/m}^2\text{K}$ とした。図3に結果を示す。両者は非常に良く一致しており、本プログラムコードにより良好な結果が得られていることがわかる。

図4に、図2の積層型耐火壁を対象として行った数値解析結果を示す。(a)～(f)の各曲線の壁内位置は図中に示す通りである。ここで、ケイ酸カルシウム(ケイカル)板に関しては $\lambda=0.145\text{W/mK}$ 、 $\rho=800\text{kg/m}^3$ 、 $c=1000\text{J/kgK}$ とし、ロックウールに関しては $\lambda=0.08\text{W/mK}$ 、 $\rho=80\text{kg/m}^3$ 、 $c=800\text{J/kgK}$ 、また $T_a=27^\circ\text{C}$ 、 $\alpha_g=10\text{W/m}^2\text{K}$ 、 $\alpha_s=3\text{W/m}^2\text{K}$ とし、ケイカル板内の含水量は $3.0\text{wt}\%$ とした。加熱開始後約 $40\sim 100\text{min}$ におけるロックウールとその近傍の温度(b)～(d)は、水分蒸発により一定温度 100°C に保たれている。また、これに呼応して裏面側ケイカル板温度(e)、(f)も約 80°C に保持されている。燃焼ガス側のケイカル板内温度(a)は約 40min 後から階段状に上昇しているが、これはそのすぐ近傍のケイカル板内における水分蒸発の影響を受けたためと考えられる。燃焼ガス側のケイカル板内の水分が全て蒸発する約 100min 以後には、(a)～(d)に示されているように急速な温度上昇が見られる。

図5に、耐火試験による測定結果と数値解析結果の比較を示す。温度測定位置は、図1に示したように裏面側ケイカル板の継ぎ目(T_{c1} 、 T_{c2})、ケイカル板表面(T_{c3})、金属スタッド(間柱、 T_{c4})部分にあたる計4点である。両者は加熱開始後約 60min まではほぼ一致した。しかし、測定結果の方は所々で階段状の変化が見られ、 80min を越えたあたりからは急速に温度上昇している。これらの原因については、燃焼ガス側ケイカル板の亀裂や破壊、数値シミュレーションにおいて省略した継ぎ目や金属スタッドなどの影響が考えられ、現在検討中である。

4. 結 言

空気層や水分を含む建築用耐火壁を片面側から非定常加熱し、その裏面側を自然放冷させた場合(建築用耐火試験)の1次元数値シミュレーションを行い、裏面温度に関する耐火試験結果と数値解析結果を比較・検討した。

参 考 文 献

- (1) 吉岡・小池・茶谷、建築一構成と材料、丸善 (1982) pp.68-70.