

3) - 2 耐火試験環境下における熱拡散率の実効値の把握と 同値を用いた設計条件下での耐火性能の推定に関する研究 【基盤】

Study on Engineering Calculation Method for Fire Resistance of Wall with Different Thicknesses

(研究期間 平成 25~26 年度)

防火研究グループ 水上点晴 吉田正志 増田秀昭 茂木武
Dept. of Fire Protection Engineering Tensei Mizukami Masashi Yoshida Hideaki Masuda Takeshi Motegi

In the long history of prescriptive fire safety design, the database of structural fire resistance (FR) ranked by FR test has been compiled. On the other hand, Performance-based fire safety design (P-b FSD) allows assuming different fire scenarios depending upon the design conditions of a space and fire load, and the structural response under certain fire condition is estimated by computer model. It sounds like efficient process, but in reality, it requires detailed thermo-physical properties which are measured by separately setting up a steady-state, linear flow of heat through the materials to apply Fourier's equation. Moreover, it is different from those in realistic fire conditions and not enough to evaluate the effect of cracking and ablation.

In this research, a simple equation is proposed to evaluate the FR under designed conditions. The key parameter, thermal diffusivity, can be obtained as temperature-dependent effective value including the effect of cracking and ablation by existing FR test result using the same equation.

【研究目的及び経過】

防火被覆材として用いられる材料は、多岐に渡っている。これは建築部材の表面に露出することが多く、経済性はもちろんのこと、意匠性や調湿などの機能性もその選択に影響するためである。火災からの熱を遮るという耐火性の観点からは、被覆厚を増せばそれだけ高い効果が得られることが多い。ただし熱伝導性は材料によって異なるほか、材料が含む水分量や熱に対する劣化のしやすさも関係するため、同じ耐火性能を得るために必要な被覆厚は、用いる材料によって異なる。

性能的耐火設計法では、建物の設計条件に応じて算定される加熱条件に耐えうるよう、部材の防火被覆厚を算定する必要がある。算定手法としては様々なものが開発されているが、入力値として、対象とする部材の熱物性値を必要とする点は同じである。しかしその測定手法が統一されておらず、またその信頼性にも問題があった。

本研究では、まず部材レベルでの熱物性値の測定手法を開発し、同値を用いた必要被覆厚推定手法を提案する。

【研究内容】

耐火性能に寄与する材料物性値の測定について、既存の測定手法における問題点を整理した。代替測定手法として、非定常状態での熱物性値を把握するため、理論構築を行った。実際に数種の材料について、熱拡散率の実効値を測定し、その有効性を確認した。

上記で求めた熱拡散率の実効値を用いて、材料毎の必要被覆厚を推定する手法を提案した。推定値を耐火試験結果と比較して推定手法の妥当性を検証した。

【研究結果】

1) 熱物性値の測定手法の開発

本研究ではまず、耐火構造の既認定仕様の構成材料について、9割を超える仕様で、石膏ボードの使用を確認した。次にこれらの被覆材に共通な材料物性を特定するため、石膏ボードの小規模加熱実験を行い、材料内部の熱伝導に加え、水和物による蒸発潜熱と、無機繊維および骨材による収縮防止が、耐火性能に寄与していることを確認した(図2)。これに対し、少量のサンプルを試験体とし、定常状態で加熱する既存の材料分析手法では、亀裂や脱落などの形態変化の影響を評価できない。

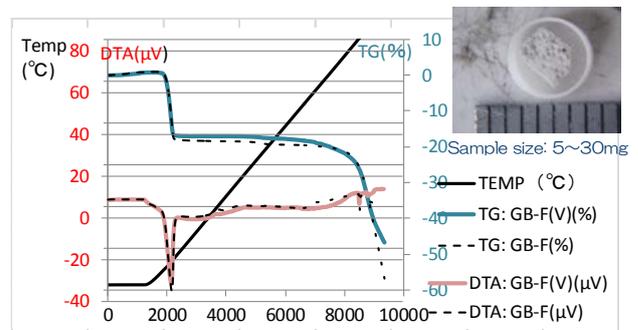


図1 既存測定手法 (図2の性能差が表れない)

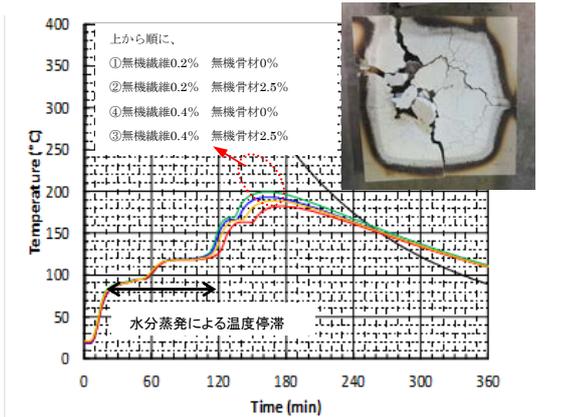
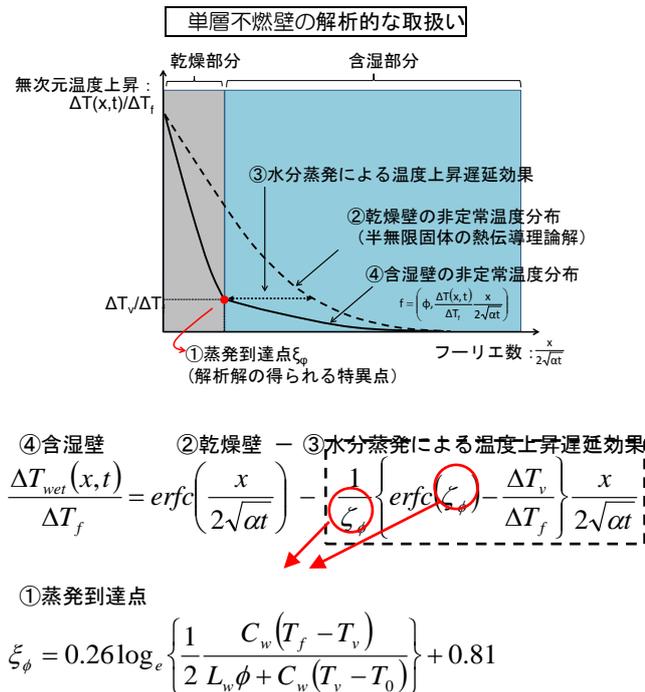


図 2 水分蒸発と亀裂が耐火性能に及ぼす影響

そこで、面材のまま非定常状態における熱物性値の把握を目的として、半無限固体の熱伝導理論解に着目した。これを水分を含んだ壁に適用可能な形へと修正し、実効熱拡散率の算定式を提案した(図3)。同式を用いて、標準加熱曲線下での熱拡散率の実効値を測定した結果を表に示す。同じ材料でも、実効熱拡散率の値が異なる結果が得られ、亀裂が熱伝導に及ぼす影響を評価することができた。



実効熱拡散率の算定式

$$\alpha = \left[\operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{\Delta T(x,t)}{\Delta T_f} \right) - \left\{ \operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{\Delta T_v}{\Delta T_f} \right) - \xi_\phi \right\} \cdot \frac{\{\Delta T_f - \Delta T(x,t)\}^{-2}}{\{\Delta T_f - \Delta T_v\}} \right]^{-2} \left(\frac{x}{2\sqrt{t}} \right)^2$$

図 3 非定常状態での熱物性値算定手法

表 1 実効熱拡散率 (140K 温度上昇時)

| 材料 | 組成式 | 等価含水率 | 実効熱拡散率 $\times 10^{-6}$ [m ² /s] |
|-------------|--|-------|--|
| 石膏ボード | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 0.27 | 0.29 |
| ケイカル板 (A 社) | $\text{Ca}_5 \cdot (\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.12 | 0.28 |
| ケイカル板 (B 社) | | | 0.36 |

2) 耐火性能の推定と妥当性の検証

得られた熱拡散率の実効値を用いて、材厚・含水率の異なる材料条件下における、耐火性能の推定を行った。また、それらの材料条件を変化させた耐火試験を行い、比較した結果を図4に示す。簡易予測式は実験結果と良い一致を見せ、その妥当性を示すことができた。

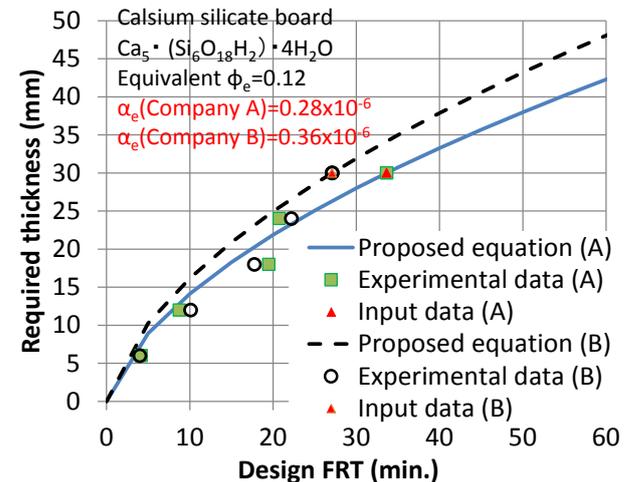
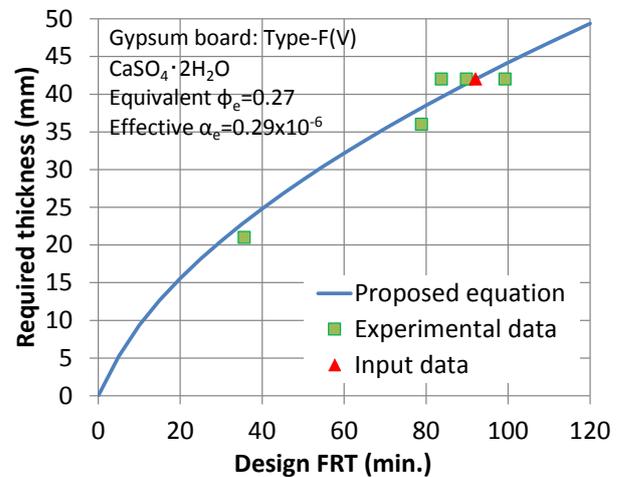


図 5 耐火性能推定値と実験値の比較

【参考文献】

1) T. Mizukami, Simple calculation method for estimating thermal resistance of wall under designed conditions, Fire Technology