

防耐火構造の比較試験および性能評価の合理化に関する研究

(その2) N=3 体ルールと再現性への影響因子について

正会員 ○福田 俊之*¹ 同 豊田 康二*³
同 水上 点晴*² 同 野中 峻平*⁴

仕様拡張 耐火試験 再現性
遮熱性 小規模試験 せっこうボード

1. はじめに

壁材の仕様拡張における耐火性能評価手法の合理化について、通常の耐火試験（1仕様につき2体の実大耐火試験）に加え、①小規模加熱試験②中規模加熱試験③N=3体による実大耐火試験の計3パターンの試験条件ならびに試験方法（総称として優劣・同等性判定試験と呼称する）を提案した。②及び③の優劣・同等性判定試験においては、合理化を目的とした試験体数の削減が行われており、代替措置として再現性を考慮し安全側に評価するため、余裕度の設定が必要となる。そこで本報では、余裕度の検討材料として材料単体の耐火性能のばらつきを定量化するため、同一材料において統計処理が可能な数として、N=20体の小型炉による加熱実験を実施し、その結果から優劣・同等性判定試験における評価方法を策定した。

2. N=20体の遮熱性ばらつき測定試験

試験体として、優劣・同等性判定試験において対象とする工業規格を有しばらつきが管理されている材料の中から、防水防かび強化せっこうボード（GB-F-S-MR）15mmを選定し、小型炉による加熱を行った。試験体の大きさは900mm×900mm、切断面突付けによる目地部を設け、目地部及び一般部各2点の裏面平均温度を測定した。試験体概要を図-1に示す。

一般部裏面平均温度の測定結果を図-2に示す。各部位の平均値が遮熱制限値である140kの温度上昇に到達する時間、試験体比重および温度時間面積比を表-1にまとめ、20体の平均値および標準偏差を算出した。また、

材料自身のばらつきの指標として、平均値に対する標準偏差の割合を算出すると、その値は5~7%程度と比較的小さい値であった。20体の個別データをもとに、相関性を統計処理したものを図-3に示す。最小二乗法により求めた決定係数 R^2 の数値を比較すると温度時間面積比、すなわち試験条件との相関性の方が材料物性値との相関性より高いことがわかった。よって材料自身のばらつきが試験結果に及ぼす影響は比較的小さいと言える。

表-1 各試験体測定結果

試験番号	試験体比重 (kg/m ³)	目地部遮熱制限値到達時間(分)	一般部遮熱制限値到達時間(分)	温度時間面積比
1	0.811	17.6	22.8	1.002
2	0.805	16.9	21.8	1.034
3	0.792	17.3	22.1	1.019
4	0.784	17.3	21.5	1.042
5	0.773	16.1	21.8	1.034
6	0.786	18.3	22.7	0.996
7	0.830	18.6	23.0	1.009
8	0.775	16.8	21.5	1.033
9	0.784	17.8	22.4	1.007
10	0.836	17.5	21.9	1.041
11	0.807	18.2	22.6	1.000
12	0.808	18.6	22.3	1.031
13	0.788	17.8	22.3	1.020
14	0.817	17.4	22.1	1.028
15	0.779	16.9	22.2	1.038
16	0.822	18.3	22.9	1.002
17	0.834	17.7	22.2	1.034
18	0.798	18.2	22.5	1.016
19	0.796	18.1	22.8	1.014
20	0.795	17.2	21.7	1.036
平均	0.801	16.8	21.2	1.022
標準偏差	0.019	1.1	1.1	0.015

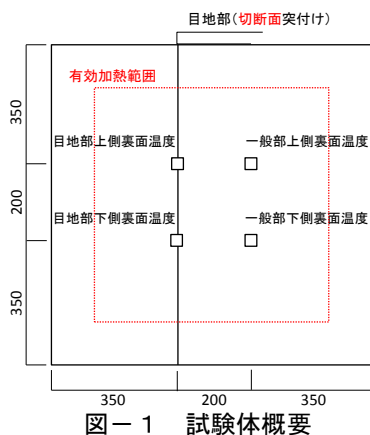


図-1 試験体概要

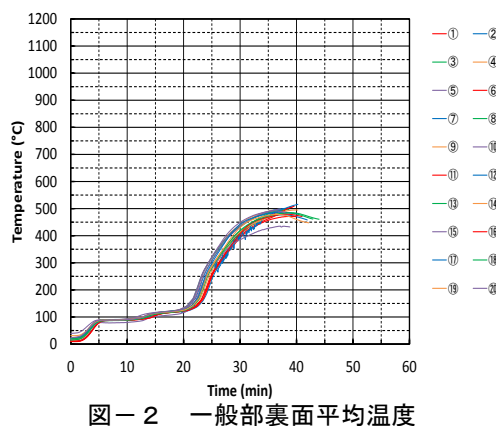


図-2 一般部裏面平均温度

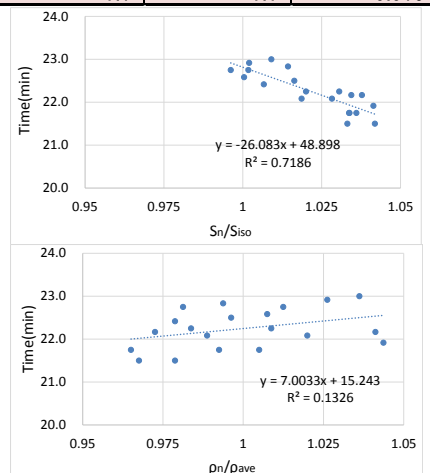


図-3 一般部遮熱性における試験条件と材料のばらつきの相関関係

3. 優劣・同等性判定における評価方法

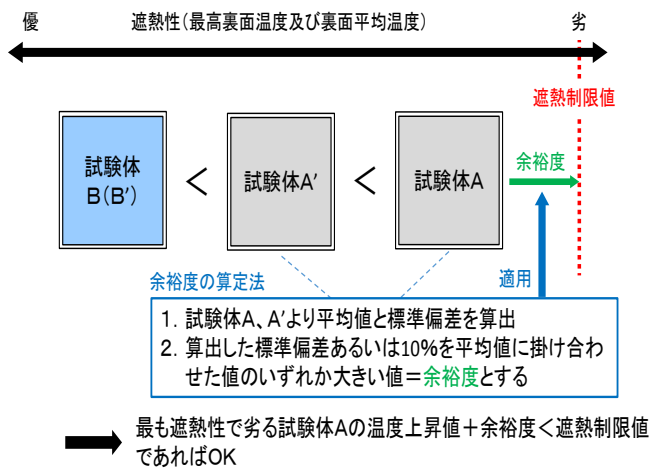
優劣・同等性判定試験においては、小規模加熱試験を除き、各仕様 1 体ずつ試験を実施した上で不利な仕様を決定し、実大耐火試験を 1 体行う。この評価方法では、以下の 2 つのケースが生じる。

【Case1】耐火性能の優劣が明らかとなる場合

異なる仕様をそれぞれ試験体 A、B として耐火性能を比較した際、すべてにおいて $A < B$ という結果を得たとする（2 体目の試験体を A' とし $A < A' < B$ ）。この場合は、N 数を削減する代わりにばらつきを許容する対応策として、耐火性能の劣る試験体 A に対し余裕度の設定を行う必要がある。

余裕度の目安として、 $N=20$ 体の試験結果より材料自身のばらつきが遮熱性において最大 7% 程度生じることをふまえて 10% とする。その上で、 $N=20$ 体の試験と同様に、平均値からのばらつきとして許容するならば、試験体 A 及び A' の遮熱性における指標値の平均値を対象として余裕度を設定するが、さらに安全側の評価として、最も性能の劣る試験体 A を対象に余裕度を考慮した評価を行う。ここでの余裕度の定義は、試験体 A 及び A' の遮熱性における指標値の平均値と標準偏差を算出し、その標準偏差あるいは $N=20$ 体の試験結果より求めた余裕度の目安である 10% を各平均値に掛け合わせた値のいずれか大きい方を余裕度とする。最も劣る試験体 A の遮熱性における指標値に余裕度を足し合わせた数値が遮熱制限値以下であることを確認する。

また、 $N=20$ 体試験では遮熱性の指標値を遮熱制限値到達（140 k 上昇）時間として示したが、評価試験においては法規で定める要求耐火時間で加熱を終了するため、最高裏面温度及び裏面平均温度の各上昇値を指標値と定め、余裕度の設定を行うこととする。



【Case2】耐：図-4 Case1 評価方法概略

（むしろ同等とみなせる場合）

耐火性能を比較した際、試験体 A、B 間で優劣の入れ替わりが生じることがある（ $A < B < A'$ ）。Case1 と同様に余裕度の設定が必要であるが、優劣がつかないため A、B 双方で検討しなければならない。

$N=3$ 体による実大耐火試験・中規模加熱試験の場合、性能が優れていた仕様は 1 体分のサンプルのみのため、A 及び A' 間のばらつきが B において不利側に生じることを考慮した、仮定の B'（最不利仕様）を設定し同様の検討を行う。ここでの余裕度は N 数削減の代替措置として規定するものであるため、この基準を満足できない場合は、B' を仮定せず、通常通り各仕様 2 体ずつの実大耐火試験を行い、最も不利となる仕様が遮熱制限値を下回ることを確認すれば良い。

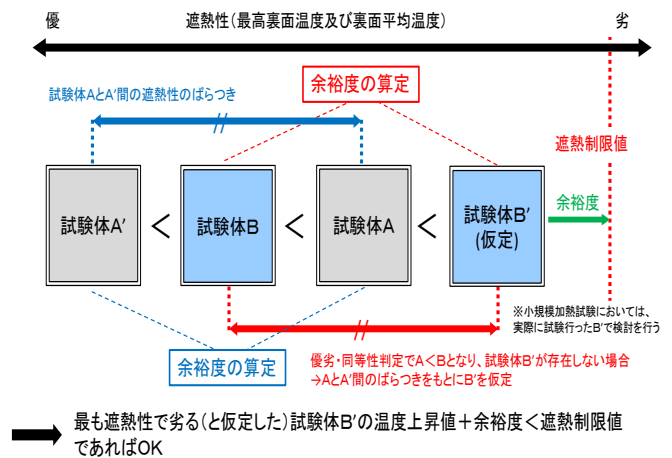
小規模加熱試験においてはすべての仕様で 2 体ずつの試験を行うため、B' を仮定せずに最不利仕様を特定できるが、規模を縮小することによりばらつきが小さく評価されている可能性も考慮し、 $N=3$ 体の実大耐火試験と同様の余裕度を最不利仕様に対し規定するものとする。

4. まとめ

- $N=20$ 体による材料単体での遮熱性のばらつき測定において、統計上、材料自身のばらつきが試験に及ぼす影響は比較的小さい。
- 優劣・同等性判定試験において、優劣および同等性を判定するための考え方を定量的に示した。

【謝辞】

本研究は、平成 28 年度国土交通省基準整備促進事業「F6:耐火性能に関する性能評価の合理化検討委員会」の一環として実施した。



*1 (一財)建材試験センター・博士(工学)

*2 国土交通省国土技術政策総合研究所・博士(工学)

*3 (一財)日本総合建築試験所・博士(工学)

*4 (一財)ベターリビング

*1 Japan Testing Center for Construction Materials, Dr. Eng.

*2 National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.

*3 General Building Research Corporation of Japan, Dr. Eng.

*4 Center for Better Living