

PS - 14 船用防火扉の火災試験及び伝熱・構造解析

構造基盤技術系 *伊銅通明、島田道男、山根健次
(株)大晃産業 占部幸一、中村知之

1. はじめに

自動車運搬船の船舶防火構造規則改正に伴い、車両甲板に設置する船用防火扉の規格が変更になった。防火扉は、IMO Part 3 of the FTP Code 2010 標準火災試験の要求を満たす必要があり、また IMO では火災試験不可能な大型防火扉に対しては MSC.1/Circ.1319 に基づく評価・解析を行うことが要求されている。大型防火扉(2850W×2114H)の伝熱・構造解析を行う前に解析に用いる境界条件等のデータを得る必要がある。そこで、標準火災試験の行える船用防火扉(1970W×2135H、TK.SA-BHD(A-60))の火災試験を行い安全性を確認し、得られた境界条件から数値解析を行い、試験値と解析値との整合性を確認し、数値解析から防火扉の安全性が評価できるかを調べた。

2. 船用防火扉の構造

船用防火扉の断面の一部を図1に示す。防火扉は、非加熱側に鋼材(t6)があり、加熱側に断熱材(t50、ABM FR-60 Fire Marine Rock Wool 120kg/m³)が2層設けられている。

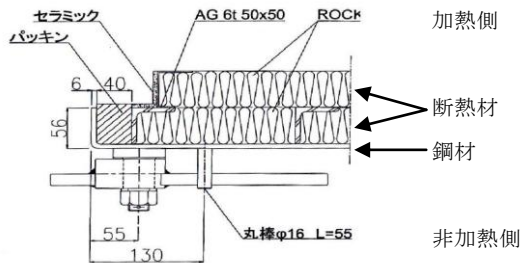


図1 防火扉の断面図の一部

3. 火災試験

3.1 温度計測

火災試験は、(社)日本船舶品質管理協会製品安全評価センターで行った。図2は、火災試験装置に取り付けられた船用防火扉(1970W×2135H)を示す。図中の数字は、鋼材表面の温度計測点を示す。計測は、温度と変位について行った。室温は 24.5℃である。加熱側、非加熱側の温度計測を行った。その結果を図3に示す。各温度計測にバラツキがあるのは、非加熱側の隔壁内側に補強材として L型アングル(50×50×6、図6)が設置されており、このアングル部分の位置で計測した値は高い温度を示している。試験時間は 4080s(68min)であり、試験終了時に最も高い温度は 114.9℃(ΔT90.6℃)であった。試験要求では、68分後 140℃以下が必要であることから、防火性能は満たされている。

3.2 変位計測

図2に示す防火扉の中央垂直方向に 250mm ほどの位置で変位計測を行った。変位計測は、試験開始から 10分ごとに 68分後まで計測をした。その計測結果を図4示す。図は扉の上下位置で横軸に変位を示す。パラメータは試験開始後の時間(min)を示す。加熱により防火扉は、中央部で加熱側に大きく変形しているのが解る。

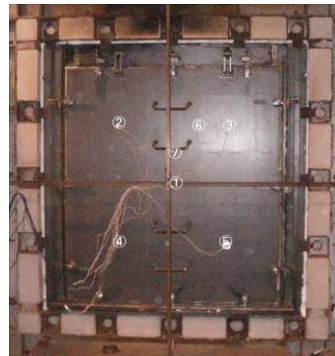


図2 船用防火扉と温度計測箇所

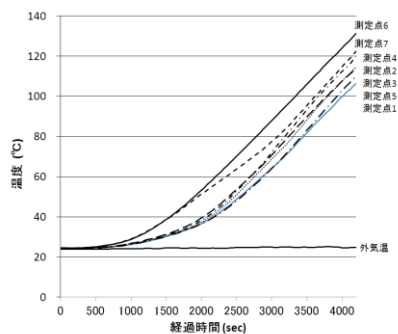


図3 非加熱側鋼材表面温度

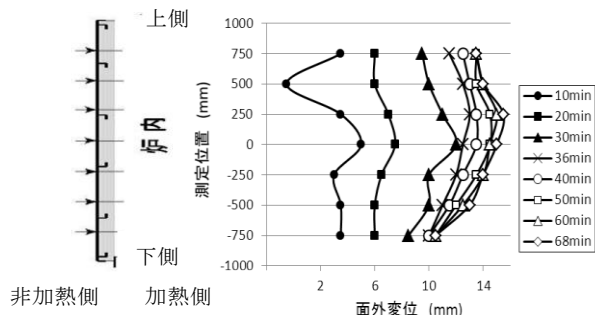


図4 防火扉断面図(左図)と各位置での変位量(右図)

4. 伝熱解析

4.1 加熱温度境界条件

伝熱解析(ANSYS)に先立って解析の境界条件である加熱温度を求める。火災試験は室温からスタートすることから、加熱側の炉内温度が境界条件となり、炉内温度は一定ではないことから非定常解析となる。そこ

で、加熱側入力境界条件を求めた。防火扉の炉内温度は6点で計測を行っている。計測した6点の温度を図5に示す。図中の点は、ISO834に既定された試験温度を示す。入力温度はISO834にほぼ合致している。

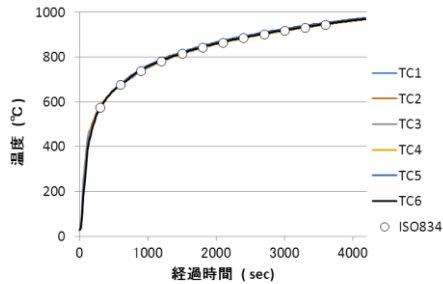


図5 炉内温度測定結果

4. 2 断熱材の熱伝導率の検討

防火扉のモデル化は、対称性であることから1/4のモデルを作成した。図6に断熱材を除いた鋼材のモデルを示す。伝熱解析に用いた材料定数を表1に示す。解析当初、断熱材の熱伝導率は一定値と想定し解析を行ったが、試験値と解析値が一致する値は得られなかった。加熱後の断熱材が粉状化しており、熱伝導率が加熱により低下していると考えられる。そこで、断熱材の熱伝導率を温度依存性がある値として解析する事を検討した。非加熱側の温度計測結果と一致する断熱材の熱伝導率を求めたことから、表2に示すような非線形性を有する熱伝導率となり、伝熱解析から温度は比較的試験値に近似した値が得られた。その試験値と解析値を比較したのが図8である。比較は非加熱側の中央部の温度を比較したものであり、ほぼ一致している。図9は、非加熱側表面温度を示したものであり、最高温度は137.5°C (ΔT=113.0°C)であり、140°C以下の要件を満たしている。

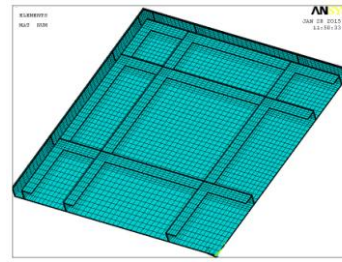


図6 断熱材を除いた船用防火扉の1/4モデル

表1 解析の材料定数

材料	項目	値	単位
鋼板	熱伝導率	51.2	W/(m・K)
	比熱	464	J/(kg・K)
	密度	7830	kg/m ³
	線膨張係数	12	10 ⁻⁶ /K
	ヤング率	205.8	GPa
断熱材	ポアソン比	0.3	
	熱伝導率	0.01	W/(m・K)
	比熱	0.84	J/(kg・K)
	密度	120	kg/m ³
	線膨張係数	---	10 ⁻⁶ /K
境界	ヤング率	---	GPa
	ポアソン比	---	
	熱伝導率	10	鋼-炉外空気
		---	鋼-断熱材
		---	断熱材-炉外空気

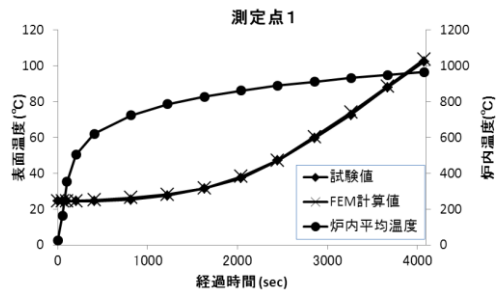


図8 鋼材中央部でのFEM解析値と試験値の温度比較

5. 構造解析

伝熱解析結果を用いて構造解析を行った。その結果を図10に示す。試験値は、図4に示すように試験開始初期から大きく変位しており、0点が移動したものと考えられ、変位量は約7mmを差し引いた値とした。

6. まとめ

今回の解析で断熱材の熱伝導率が温度(500°C以上)により変化することが解り、熱伝導率の変化を考慮すれば、船用防火扉の安全性を数値解析からも確認できることが解った。

謝辞

火災試験は(社)日本船舶品質管理協会製品安全評価センターの山岸史典氏のご協力の下、行いました。山岸史典氏に深く感謝申し上げます。

表2 断熱材の各温度における熱伝導率 W/(m・K)

温度(°C)	24.5	400	500	650	750	965
熱伝導率	0.01	0.01	0.049	0.1641	0.7556	0.7556

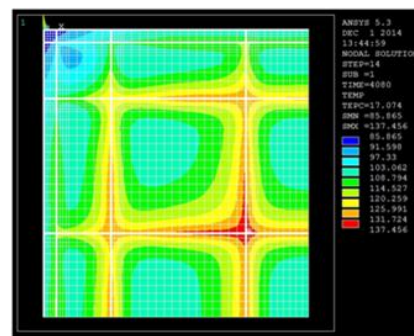


図9 68分後の鋼材表面の温度解析結果 (°C)

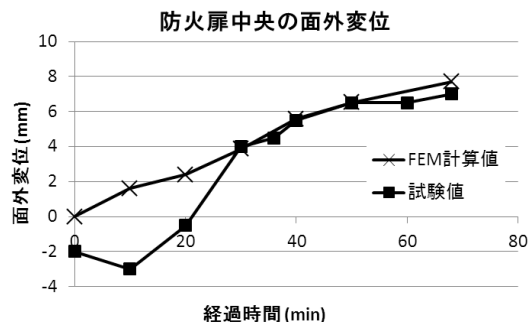


図10 鋼材中央部での試験値とFEM値の変位比較 (mm)