鉄骨梁と耐火間仕切壁で構成される区画部材の開発

DEVELOPMENT OF FIRE RESISTIVE SEPARATING CONSTRUCTION CONSISTING OF STEEL BEAM AND FIREPROOF PARTITION WALL

森田 武 ——— * 1 近藤史朗 ——— * 2

Takeshi MORITA ——— * 1 Shiro KONDO ——— * 2

キーワード：
区画部材, 鉄骨梁, 耐火間仕切壁, 巻付け耐火被覆,
耐熱ロックウール

Keywords:
Fire resistive separating construction, Steel beam, Fireproof partition wall, Wrap-type fireproof covering, Heat resistant rock wool

A separating construction consisting of steel beam and fireproof partition wall is developed. In the development of the construction, a full scale fire test and small scale fire tests are carried out in order to verify two performances. One performance is the interaction between beam and partition wall, and the other is thermal insulation capacity. As the result of tests, it is confirmed that the beam-wall interaction is not a problem, and that thermal insulation capacity depends on the temperature of beam. According to these results, a simplified calculation method of temperature on non-heated side of steel beam is proposed.

1. はじめに

本開発では、鉄骨梁と非耐力耐火間仕切壁(以下、間仕切壁と略す)で構成される区画部材を対象とし、一方の側は盛期火災を受け、他方の側は火災による熱影響を受けない場合を想定した。この想定条件の例として、エレベーターシャフト等の可燃物量が極めて少ない堅穴空間まわりの区画が挙げられる。設計上、居室側は盛期火災になったとしても、堅穴空間は局所火災になることが多く、熱影響は局所火源に近い範囲に限られる。そのため、火災による熱影響を受けない側の梁の耐火被覆を省略できる可能性がある。

梁の片側の耐火被覆を省略できると、耐火被覆材の使用量を半減できるだけでなく、片側施工が可能な間仕切壁との組合せにより、耐火被覆と間仕切壁の両方を片側から施工できるため、例えば堅穴空間内に足場を組む必要がなくなるなど、施工の省力化が図れる。

一方、現行の耐火認定制度では、部材ごとの性能評価・認定が行われており、梁と間仕切壁を一体化した区画部材に関する性能評価法が定められてない。しかし、梁と間仕切壁が一体となった区画部材を開発するためには、高温時における梁と間仕切壁の構造挙動や温度性状等の相互作用を把握・評価する必要があると言える¹⁾。

本開発では、片側のみを耐火被覆した梁と間仕切壁を一体化した区画部材(以下、合成区画と称す)を実現することを目的として、実大試験体の載荷加熱実験によって梁と間仕切壁の相互作用を把握するとともに、部分模型試験体の加熱実験によって合成区画の仕様を検討した。また、耐火時間・梁断面寸法・被覆厚等の種々の組合せ条件に対応するため、耐火性能検証法²⁾の考え方に準じて合成区画の梁の鋼材温度算定式を導出し、裏面温度の予測方法を提案した。

2. 実大試験体の載荷加熱実験

2.1 試験体

試験体は2時間耐火を目標としたもの1体とした。試験体を図1

に示す。梁は小梁を想定して H-250×125×6×9(SS400)とした。梁長は5,800mm、支点間距離は5,400mmである。耐火被覆材には巻付けタイプの耐熱ロックウール(厚さ65mm)を用いた。間仕切壁は、軽鉄下地の片側に強化せっこうボード(厚さ21mm)を3層張り付けた、2時間の耐火性能を有する市販品を用いた。耐火被覆は、梁長さ方向に約300mm間隔で梁の上下フランジに溶接ピンで固定するとともに間仕切壁にもビスで固定した。

試験体は、梁を実験装置の支持架台(単純支持)に設置し、後述の固定荷重作用下において、梁中央部のランナー下面とスタッド上端の隙間および下フランジ下面とせっこうボード上端の隙間が20mmとなるように、軽鉄下地の組み立て→せっこうボードの張り付け→耐火被覆の施工の順で製作した。なお、間仕切壁の施工後、積載荷重を作用させた時点のこれらの隙間は約15mmであった。

2.2 実験方法

(1) 荷重

実際の建築物における長期設計荷重の調査結果³⁾によると、鉄骨梁の長期設計荷重時の曲げモーメントを長期許容曲げモーメントで除した値(M比)は、概ね0.1~0.8の範囲にあることが報告されている。また、一般的な事務所建築物の設計例における小梁に作用する固定荷重と積載荷重の割合を調べたところ、固定荷重が52%、積載荷重が48%であった。本実験では、梁とALC板の自重を考慮して、M比が0.8になるように、梁支点間の3等分点となる2点に各々20.8kN、合計41.6kNの錘(鋼材)を載せて鉛直荷重を作用させることとした。実験手順としては、施工の実情を考慮して、まず固定荷重相当の錘(21.6kN)を梁上の2点の載荷位置に荷重が均等に作用するように載せて間仕切壁を施工し、その後、積載荷重相当の錘(20.0kN)を追加して梁上に載せて、一定荷重下で載荷加熱を行った。

(2) 加熱

耐火被覆の施工面を加熱側とした。梁の有効加熱長さは4,000mm、

¹⁾ 清水建設技術研究所 主任研究員・博士(工学)
(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

²⁾ 清水建設環境・技術ソリューション本部 主査・博士(工学)

³⁾ Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

²⁾ Manager, Environment & Technical Solution Division, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

図1 実大試験体 (寸法の単位: mm)

写真1 実験前の試験体 (左: 裏面, 右: 加熱面)

写真2 実験後の試験体 (左: 裏面, 中: 加熱面, 右: 加熱面被覆部見上げ)

間仕切壁の有効加熱面積は $W: 3,900 \times H: 2,550 \text{ mm}$ である。加熱温度は ISO834 標準加熱曲線に準じ、2 時間加熱とした。

(3) 測定項目

梁の鋼材温度および合成区画構成材料の裏面温度を図1に示す位置で測定するとともに、炉内温度を測定した。鋼材温度は、鋼材表面に深さ2mm程度の孔を開け、そこにK型熱電対の先端を埋め込み固定して測定した。裏面温度は先端に銅製の円板が付いたK型熱電対 ($\phi 0.65 \text{ mm}$) を試験体に押し付け、その背面を耐火繊維パッド (30mm 角) で覆い測定した⁴⁾。また、梁の鉛直変位と面外水平変位 (材軸に対して垂直な方向の水平変位) を梁中央と載荷点で測定した。

2.3 実験結果

(1) 経過概要

実験は、2 時間加熱終了後、試験体各部の温度の低下が確認されるまで継続して行った。実験前後の試験体の状況を写真1, 2に示す。加熱側では、加熱開始後約50分に、上張りせっこうボードの目地の開きが認められたが、加熱終了まで脱落することはない。写真2で上張りせっこうボードが脱落しているが、これは冷却期間中に生じたものである。非加熱側では、加熱開始後6~20分に左下隅から若干の発煙があったが、その後、大きな変化は認められなかった。

(2) 梁の鋼材温度と変形

炉内温度および梁中央部の鋼材温度の経時変化を図2に示す。また、梁の鉛直変位と面外水平変位の経時変化を図3に示す。鋼材温

度は加熱側の方が裏面側に比べて25~50℃程度高くなった。そして、上フランジの方が下フランジよりも温度が高く、その最大温度差は加熱側で約100℃、裏面側で約50℃であった。これらの温度性状によって、図3に示されるように、加熱時の梁において上に凸の鉛直変位と加熱側に凸の面外水平変位を生じたと言える。

実験時における梁中央部の鉛直変位は最大で上方に約3.5mm、下方に約2mmであった。加熱前の梁中央部のスタッド上端とランナー下面の隙間が約15mmだったのに対し、ランナーの溝の深さは40mmあることから、加熱により生じた梁の鉛直変位に伴う間仕切壁への鉛直荷重の伝達はなかったと言える。また、梁の面外水平変位は加熱側に最大で約3mmであった。梁-間仕切壁の相互作用の影響をもっとも受けやすいと考えられるシール部と上部ランナーを実験後に目視観察したところ、隙間や変形などの損傷は認められなかった。

後述する梁の裏面温度の測定結果等から判断すると、梁の裏面温度上昇が遮熱性能上の許容温度上昇以下であれば、梁と間仕切壁の相互作用による非損傷性への顕著な影響はないものと判断される。

(3) 合成区画構成材料の裏面温度

梁・ランナー・スタッド・せっこうボード・壁上端目地の各裏面温度の経時変化を図4に示す。前項の非損傷性の検討で着目したシール部 (無機繊維フェルト) および上部ランナーの裏面温度に急激な変化等は見られない。このことから、遮熱性に関しても、梁と間仕切壁の相互作用による顕著な影響はなかったものと判断される。

図2 炉内温度および梁鋼材温度

図3 梁の変位

図4 合成区画構成材料の裏面温度

各温度測定点における最高温度上昇(測定温度の最高値から初期温度13℃を差し引いた値)の範囲と平均値を表1に示す。梁ウェブの裏面温度は梁中央と載荷点付近の3点で測定したが、実験終了まで測定できたのは1点のみで、その最高温度は140℃であった。当該裏面温度とはほぼ同位置の鋼材温度の最高値は129℃で、両者の差は11℃である。この温度差は耐火繊維パッドの断熱効果の影響によるものと考えられる。後述の部分模型試験体の実験結果(表3)のH250シリーズにおいて、非加熱側ウェブ鋼材温度(130～169℃)とウェブ(中)裏面温度(144～171℃)の温度差は0～15℃である。これらの結果から、非加熱側の鋼材温度が170℃程度までならば、非加熱側の鋼材温度の最高温度上昇に0～15Kを加算することで、耐火繊維パッドの断熱効果を加味した梁裏面温度の最高温度上昇が推定できるものと考えられる。表1の梁裏面温度の最高温度上昇は、非加熱側の鋼材温度の最高温度上昇に11Kを加算して求めた推定値である。

遮熱性の評価において、裏面温度上昇の許容値は平均で140K、最高で180Kである⁵⁾。本実験では、表1に示すように梁の裏面温度上昇が他の区画構成材料よりも高く、平均で135K、最高で164K(15Kを加算した場合でも平均で139K、最高で168K)と推定され、本実験に供した合成区画は2時間の遮熱性能を有するものと推定される。

3. 部分模型試験体の加熱実験

3.1 試験体

実大試験体の載荷加熱実験の結果、梁の鋼材部における裏面温度は他の部分の裏面温度よりも高くなることが確認された。このことから、部分模型試験体による合成区画の仕様の検討では、梁温度に着目することとし、鉄骨の断面寸法、耐火被覆厚および耐火被覆の断面形状を実験因子として試験体を製作した。

試験体の種類を表2に示す。試験体名は、梁の断面寸法・被覆厚さ・被覆断面形状・せっこうボード層数を示す表記とした。試験体は6種類で各1体ずつ製作した。代表例として試験体H250-40I-2とH250-40L-3を図5に示す。梁の断面寸法はH-250×125×6×9とH-400×200×8×13(いずれもSS400)とした。耐火被覆には、実大試験体と同じ巻付けタイプの耐熱ロックウールを用いた。巻付け耐火被覆の断面形状は間仕切壁の配置によって2種類を設定した。一つは加熱側の下フランジ小口面と間仕切壁表面が一致する仕様(以下、I形被覆という)である。もう一つは下フランジに耐火被覆が回り込むように間仕切壁の加熱面をセットバックさせ、加熱側1層分のせっこうボードが下フランジにラップするように配置した仕様(以下、L形被覆という)である。H250-40I-2以外の間仕切壁は、実大試験

表1 鋼材温度と裏面温度の最高温度上昇の範囲と平均値

温度種類	部位	最高温度上昇 (K)		到達時間(分)		
		範囲	平均	範囲	平均	
鋼材温度	加熱側	上フランジ	126-197	152	120-124	121
		ウェブ	137-163	146	122-125	123
		下フランジ	136-156	145	127-132	130
	非加熱側	上フランジ	104-153	122	126-133	129
		ウェブ	116-146	129	123-125	126
		下フランジ	108-123	114	130-132	130
裏面温度	鉄骨梁	上フランジ	115-164	133	—	—
		ウェブ	127-157	140	—	—
		下フランジ	119-134	125	—	—
	無機繊維フェルト	74-105	85	127-144	134	
	上部ランナー	63-66	64	135-153	146	
	下部ランナー	63-74	70	119-120	120	
	スタッド	62-83	75	120-164	141	
	せっこうボード	61-88	71	57-192	111	

表2 部分模型試験体の種類

試験体記号	鉄骨梁断面 (mm)	巻付け耐火被覆		せっこうボード層数	加熱時間 (分)
		厚さ (mm)	断面形状		
H250-40I-2	H-250×125×6×9	40	I形	2層	90
H250-40L-3			L形	3層	90
H250-65L-3		65	L形	3層	120
H400-40I-3	H-400×200×8×13	40	I形	3層	120
H400-40L-3			L形	3層	120
H400-65L-3		65	L形	3層	180

体と同様に強化せっこうボード3層張りとした。H250-40I-2では1時間耐火仕様になることを予想して、強化せっこうボード2層張りとした。耐火被覆は梁の上下フランジに溶接ピンで固定しただけで、実大試験体のように間仕切壁に対してビスによる固定はしなかった。

試験体は、図5に示すように外周枠(H-100×100×6×8)の中に梁と間仕切壁をセットした。外周枠の内法寸法は有効加熱面積(H:1,000mm×W:1,000mm)に合わせた。梁下端のフランジ面と間仕切壁上端との隙間は通常10mm程度であるが、隙間を大きくした方が裏面温度は上昇しやすいと考えて21mmとした。この隙間には、加熱側のせっこうボード1層目の上端にのみ、無機繊維フェルトを充填した。

3.2 実験方法

(1) 加熱方法

耐火被覆の施工面を加熱側とした。加熱温度はIS0834標準加熱曲線に準じ、各試験体に対して表2に示す時間の加熱を行った。

(2) 測定項目

梁の鋼材温度と区画構成材料の裏面温度を図5に示す位置で測定し、かつ炉内温度を測定した。鋼材温度と裏面温度の測定方法は実大試験体と同様にした。ただし、梁の裏面温度測定用の熱電対は、実験中に剥がれ落ちないように、耐火繊維パッドの上からステンレス箔を押当てて、ステンレス箔を鋼材にスポット溶接して固定した。

図5 部分模型試験体 (H250-40I-2, H250-40L-3) (寸法の単位: mm)

写真3 試験体 H250-40I-2 (左: 実験前, 右: 実験後)

写真4 試験体 H250-40L-3 (左: 実験前, 右: 実験後)

3.3 実験結果

(1) 経過概要

H250-40I-2 と H250-40L-3 の加熱前後の試験体の状況を写真3, 4に示す。耐火被覆は梁の上下フランジに溶接ピンで固定しただけだが、加熱後の観察において耐火被覆とせっこうボードの間に隙間は生じていなかった。また、無機繊維フェルト充填部や他の区画構成材料の取り付け部にも隙間は生じていなかった。加熱初期にせっこうボードから発生した煙や水蒸気がシール部の裏面側で観察されたが、これは弾性シーリング材を充填しなかったためだと考えられる。

(2) 梁の鋼材温度および合成区画構成材料の裏面温度

図6に代表例として、試験体 H250-40I-2, H250-40L-3, H400-40I-3 および H400-40L-3 に関して、炉内温度と梁中央部の鋼材温度、およびウェブ・せっこうボード・シール部無機繊維フェルトの裏面温度の経時変化を示す。L 形被覆では下フランジの加熱面積が増えるため、I 形被覆よりも下フランジの鋼材温度が高くなった。H400-40I-3 の加熱側鋼材温度は上フランジよりも下フランジの方が若干高くなったが、その一因として、耐火被覆どうしを突き付けた位置のせっこうボードに幅約5mmの縦方向のひび割れが生じた影響が考えられる。L 形被覆において測定したシール部無機繊維フェルトの裏面温度は、ウェブの裏面温度よりも低かった。シール部には弾性シーリング材を充填しなかったが、実大試験体の実験結果と同様に、合成区画の遮熱性はシール部ではなく梁の裏面温度で決まると言える。

各試験体の鋼材温度および裏面温度の最高温度上昇の範囲と平均

値を表3に示す。I 形被覆とL 形被覆における梁裏面温度の最高温度上昇の最高値と平均値は、非加熱側の鋼材温度や他の区画構成材料の裏面温度に関する最高温度上昇よりも高くなっている。このことから、本実験においては、ウェブ高さの上・中・下で裏面温度を測定しておけば、遮熱性の評価ができるものと判断される。

(3) 本開発における合成区画の耐火時間の上限

3時間加熱したH400-40L-3の上張りせっこうボードは脱落しなかったが、メーカーの自主試験によると、実大の間仕切壁では2時間を越える加熱で上張りの脱落が確認されている。上張りが脱落すると耐火被覆と間仕切壁の取合い部に隙間が生じるため、本開発の合成区画仕様の耐火時間は2時間を上限とするのが妥当である。

4. 合成区画を構成する梁の鋼材温度と裏面温度の簡易算定

実大試験体および部分模型試験体の実験結果から、合成区画の遮熱性は梁の裏面温度で評価できることが確認された。そのため、合成区画の梁の裏面温度を予測・評価できれば、要求性能を満たす合成区画の設計が可能になると言える。本章では、耐火性能検証法²⁾における鋼材温度算定式の考え方を適用して、合成区画を構成する梁の鋼材温度の算定式を導くとともに、鋼材温度と梁裏面温度の関係を把握することにより、梁の裏面温度の予測方法を提案する。

4.1 鋼材温度の算定式

鋼材温度の算定式は、式(1)と式(2)で定義されている²⁾。式(2)の断面積 $A_i \cdot A_s$ および外周長 $H_i \cdot H_s$ は図7に示すように採った。

図 6 部分模型試験体の温度測定結果

表 3 鋼材温度と裏面温度の最高温度上昇の測定値と平均値

温度種類	部位	最高温度上昇 (K)											
		H250-40I-2 (90分加熱)		H250-40L-3 (90分加熱)		H250-65L-3 (120分加熱)		H400-40I-3 (120分加熱)		H400-40L-3 (120分加熱)		H400-65L-3 (180分加熱)	
		測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均
鋼材温度	加熱側	上フランジ	187, 225	176	169, 179	195	144, 151	162	170, 172	170	181, 191	219	187, 190
		ウェブ	141, 151		172, 173		146, 146		155, 166		187, 196		162, 163
		下フランジ	175, 177		235, 242		190, 198		179, 181		273, 288		241, 242
	非加熱側	上フランジ	128, 147	129	135, 141	161	118, 122	139	111, 119	114	131, 131	161	126, 135
		ウェブ	130, 148		163, 169		140, 145		122, 138		153, 167		133, 140
		下フランジ	112, 116		178, 182		155, 155		99, 102		193, 197		162, 167
裏面温度	鉄骨梁	ウェブ(上)	148, 166	146	153, 157	172	132, 133	146	141, 144	139	161, 161	181	149, 157
		ウェブ(中)	145, 147		170, 171		144, 145		146, 148		176, 180		151, 156
		ウェブ(下)	131, 139		189, 193		158, 163		125, 131		201, 209		173, 175
	無機繊維フェルト	—	—	116, 121, 133	123	88, 91, 118	99	—	—	—	138, 152, 167	152	113, 124, 137
	せっこうボード	123	123	64	64	67	67	64	64	67	67	118	118

$$\frac{T_s(t) - T_0}{T_f - T_0} = 1 - \exp\{-h(t - t_z)\} \quad (1)$$

ここに、

h : 部材温度上昇係数 [min^{-1}], $T_s(t)$: 鋼材温度 [$^{\circ}\text{C}$], T_f : 火災温度 [$^{\circ}\text{C}$], T_0 : 初期温度 [$^{\circ}\text{C}$], t : 時間 [min], t_z : 初期温度上昇の遅延 (t_0) と被覆材内部の含水の蒸発による遅延時間 (t_m , 本検討では $t_m=0$ とする) の和 [min]

$$h = \frac{\phi K_0 (H_s / A_s)}{\left\{ 1 + \frac{\phi R}{(H_i / A_i)} \right\} \left\{ 1 + \frac{\phi}{2} \frac{(H_s / A_s)}{(H_i / A_i)} C \right\}} \quad (2)$$

ここに、

A_i : 被覆材の断面積 [m^2], A_s : 鋼材の断面積 [m^2], C ($\equiv \rho_i c_i / \rho_s c_s$): 被覆材と鋼材の熱容量比 ($\rho_i=100 \text{ kg/m}^3$ (厚 40mm), $\rho_i=110 \text{ kg/m}^3$ (厚 65mm), $\rho_s=7860 \text{ kg/m}^3$, $c_i=857 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, $c_s=442 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$), H_i : 被覆材の外周長 [m], H_s : 鋼材の外周長 [m], h_t : 部材表面と火災空間との間の総合熱伝達率 [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$], K_0 ($\equiv h_t / \rho_s c_s = 0.00067$): 基本温度上昇係数 [m/min], k_i : 被覆材の熱伝導率 [$\text{W/m} \cdot \text{K}$], R ($\equiv h_t / k_i$): 熱抵抗係数, ρ : 密度 [kg/m^3], ϕ ($\equiv H_i / H_s$): 加熱を受ける部分の被覆材と鋼材の周長比

4.2 鋼材温度の算定に必要な諸定数の導出および実験結果と計算結果の比較

(1) 部材温度上昇係数 (h)

h は、式 (1) を変形した式 (3) によって求める。具体には、式 (3) の

左辺を Y 軸, t を x 軸として、耐火実験で測定した鋼材温度と時間の関係をプロットし、そのプロットを線形回帰した時の傾きが h である。本検討では、式 (3) 中の鋼材温度として、加熱側および裏面側で測定した鋼材温度の平均値 (以下、鋼材平均温度という) を用いた。 h の導出結果を表 4 に示す。

$$\log_e \left(1 - \frac{T_s(t) - T_0}{T_f - T_0} \right) = h \cdot (t - t_z) \quad (3)$$

(2) 熱抵抗比 (R)

R は、式 (2) を変形した式 (4) において、 R 以外の変数に既知の値を代入して求める。具体には、式 (4) の左辺を Y 軸, 右辺の R の係数を X 軸として、計算値をプロットし、そのプロットを線形回帰した時の傾きが R である。ただし、本検討では、計算値の線形回帰ではなく、すべての計算値を包含する一次関数によって R を同定した。

$$\frac{K_0 \phi (H_s / A_s)}{1 + \phi C (H_s / A_s) / 2 (H_i / A_i)} \frac{1}{h} = \frac{\phi}{(H_i / A_i)} R + 1 \quad (4)$$

熱抵抗比 R は、 h_t を k_i で除した特性値として定義されている。本開発で対象としている梁の裏面は常温の空気と直接触れているため、対流や放射によって熱損失が生じる。この熱損失は鋼材の温度上昇の抑制に効果がある。 h の導出では実測した鋼材温度を使っていることから、ここで導出される R には熱損失効果が考慮されている。実験結果に基づく R の同定を図 8 に、 R の導出結果を表 4 に示す。

図7 断面積と加熱周長の採り方

表4 鋼材温度・裏面温度算定用の諸定数

試験体記号	$t_z (=t_0)$ (分)	h (min^{-1})	R	β	
				平均 温度	最高 温度
H250-40I-2	5	0.00179	865	0.975	1.094
H250-40L-3	8	0.00227			
H250-65L-3	16	0.00147			
H400-40I-3	8	0.00120			
H400-40L-3	8	0.00171			
H400-65L-3	15	0.00099

図8 熱抵抗係数(R)の同定

図9 鋼材平均温度上昇の計算値と実験値の比較

図10 鋼材平均温度上昇と鋼材裏面温度上昇の関係

図11 鋼材裏面温度上昇の計算値と実験値の比較

(3) 実験結果と計算結果の比較

実験結果に基づく鋼材平均温度(表3の加熱側と裏面側の鋼材温度を合算して求めた平均値)の最高温度上昇と表4に示した諸定数等を式(1),(2)に代入して算定した鋼材の最高温度上昇の比較を図9に示す。H250-40I-2とH250-65I-3(実大試験体)の計算結果は実験結果よりも5K程度低いが、I形被覆の計算結果は実験結果と概ね一致している。L形被覆の計算結果は実験結果よりも最高で30K程度高くなったが、これはすべての計算値を包含するように R を同定したためであり、L形被覆の計算結果は安全側の予測になっている。

4.3 梁の鋼材温度からの裏面温度の予測

実験結果から求めた、梁ウェブの裏面温度の最高温度上昇の平均値・最高値と鋼材平均温度の最高温度上昇の関係を図10に示す。裏面温度と鋼材平均温度は比較的高い相関を示している。ただし、鋼材平均温度上昇が最小の実験結果は実大試験体のものであるが、裏面温度上昇の平均値と最高値の差が、概ね同様の温度の部分模型試験体に比べて大きくなっている。この一因として、実大試験体の裏面温度(表1)が推定値であることが考えられるが、スケール効果の可能性もあり、今後検討を要する課題であると言える。図10の回帰直線の傾きは鋼材平均温度を裏面温度に変換する係数(β と称す)であり、式(1),(2)で算定される鋼材温度上昇に β を乗じることで裏面温度上昇を予測する。裏面温度上昇の実験結果と計算結果の比較を図11に示す。計算結果は実験結果に対して-25K～+50Kの範囲にある。今後さらにデータを蓄積する必要があるが、ここで検討した簡易計算によって、裏面温度を概ね予測できると考えられる。

5. まとめ

片側のみを耐火被覆した鉄骨梁と乾式耐火間仕切壁を一体化した合成区画の実現に向け、実大試験体の載荷加熱実験によって梁と間仕切壁の相互作用を把握するとともに、部分模型試験体の加熱実験によって合成区画の仕様を検討した。本実験検討の範囲では、梁と

間仕切壁の相互作用が耐火性能に及ぼす影響は認められず、遮熱性能は梁ウェブの裏面温度で概ね評価できることがわかった。また、合成区画の仕様として、梁下フランジに対する間仕切壁の設置位置、梁断面寸法および被覆厚を実験因子として温度性状を検討し、2時間耐火性能を有する間仕切壁と組み合わせることによって、H-250×125×6×9では被覆厚65mm、H-400×200×8×13では被覆厚40mmで2時間耐火の性能が得られることが把握された。さらに、耐火時間・梁断面寸法・耐火被覆厚等の種々の組み合わせ条件に対応するため、実験結果に基づき、耐火性能検証法²⁾の考え方に準じて合成区画を構成する梁の鋼材温度算定式を導出した。そして、鋼材温度と裏面温度の関係を把握して、裏面温度の予測方法を提案した。

本開発成果は、今後、実際の建築物に適用する予定である。

なお、実際の建築物では間仕切壁の両端に柱がある場合も想定され、梁・柱・間仕切壁の相互作用について実験的に検討した例⁶⁾も報告されており、今後さらに検討を要する課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 森田武：火災時における非耐力耐火間仕切壁の変形性能に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集A-2，pp.33～34，2001
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課他編：2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説，2001
- 3) 湯谷孝夫 他：建築構造物の長期設計荷重時応力(その2 梁部材)，日本建築学会大会学術講演梗概集A-2，pp.167～168，1997
- 4) 阪口明弘：加熱炉特性の試験所間比較試験報告，GBRC Vol.34 No.1，pp.32～37，日本建築総合試験所，2009
- 5) (例えば) 一般財団法人日本建築総合試験所：防耐火性能試験・評価業務方法書，2005
- 6) Suzuki, J.: Effect of Deformation of Structural Frame on Fire Resistance of Compartmentation, Workshop for Fire-Structure Interaction and Urban and Wildland-Urban Interface (WUI) fires, 2012

[2013年6月17日原稿受理 2013年8月12日採用決定]