H形鋼のウェブ部分にコンクリートを充填した合成梁が 負の曲げモーメントを受ける場合の耐火性能

FIRE RESISTANCE OF THE COMPOSITE BEAMS COMPOSED OF ROLLED STEEL PROFILE CONCRETED BETWEEN FLANGES UNDER THE NEGATIVE BENDING MOMENT

古平章夫*¹, 藤中英生*², 大橋宏和*³, 西村俊彦*⁴
Akio KODAIRA, Hideo FUZINAKA, Hirokazu OHASHI
and Toshihiko NISIMURA

Composite beams composed of rolled steel profile concreted between flanges (hereafter, SC composite beam) were subjected to fire resistance tests. Two types of specimens were used in the tests: fix end of the SC composite beams that received the negative bending moment, and sections where cylindrical CFT columns were connected with SC composite beams.

In the first test, the size of the SC composite beams cross-section and the working load were used as parameters to discover the relationship between the bending moment and fire resistance time. In addition, if the bending moments were identical, the SC composite beams had longer fire resistance time for negative bending moments than for positive bending moments.

In the second test, if the steel pipe used in the connecting section of the CFT columns were thick, they could convey a certain amount of bending moment and shearing force from SC composite beams, even without a diaphragm.

*Keywords : fire performance, composite beam, fire resistance test, negative bending moment,
CFT column, connection*

耐火性能、合成梁、耐火試験、負曲げモーメント、CFT柱、接合部

1. はじめに

構造性能と耐火性能が優れた梁部材としてH形鋼のウェブ部分にコンクリートを充填した合成梁（以下、SC合成梁と呼ぶ）の開発を進めている。筆者等は既に単純支持されたSC合成梁の載荷加熱実験を実施し、梁中央部が正曲げモーメント（梁の下端に引張力を発生させる曲げモーメント）を受ける場合の耐火性能を把握するとともに、温度解析や熱変形解析を行いその性状を明らかにした¹⁾。

一般に架構を構成する梁の端部は柱により回転拘束を受けるため、梁に鉛直荷重が作用すると負曲げモーメント（梁の上端に引張力を生じさせる曲げモーメント）が発生する。そして火災時には梁の曲げ耐力が低下し、作用曲げモーメントが大きな梁の端部と中央部に塑性ヒンジが生じ崩壊機構が形成されて破壊に至る。このため、負曲げモーメントを受ける梁端部の火災時挙動を検討することは梁の耐火性能を把握する上で重要であるが、梁端部の火災時挙動に着目した研究はまだ少ない。

特にここで研究対象としているSC合成梁は火災時の断面内の温度分布が

不均一であり、正曲げモーメントを受ける中央部と負曲げモーメントを受ける端部とでは、火災時の挙動及び耐力が大きく異なることが予想される。そこで、筆者等はSC合成梁の梁端部を対象とした載荷加熱実験を実施し、火災時の曲げ耐力を中心にその挙動を検討した^{2), 3), 4)}。

また、SC合成梁がCFT柱と接合される場合は、通常H形鋼のフランジがCFT柱のダイアフラムと溶接接合され、火災時の曲げ耐力は確保される。しかし、円形CFT柱のパネルゾーンに厚肉鋼管を用いてダイアフラムを省略した接合方式（以下、ロングスチフナ方式と呼ぶ）を採用した場合には、火災時の曲げモーメントやせん断力の伝達がまだ明らかにされていない。そこでこれを対象とした載荷加熱実験を実施し接合部の性状を検討した。

本論文では上記の研究を取りまとめ、負曲げモーメントを受けるSC合成梁の端部を対象とした載荷加熱実験について2章で、円形CFT柱とSC合成梁の接合部にロングスチフナ方式を採用した場合の載荷加熱実験について3章で報告する。

*¹ ㈱竹中工務店技術研究所 主席研究員・工修
*² ㈱竹中工務店技術研究所 研究主任
*³ ㈱竹中工務店技術研究所 主任研究員・工修
*⁴ ㈱竹中工務店東京本店設計部 工修

Research and Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.
Research and Development Institute, Takenaka Corporation
Research and Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.
Building Design Dept., Takenaka Corporation, M. Eng.

2. 負曲げモーメントを受けるSC合成梁の荷熱実験

2.1. 実験計画

(1) 実験変数

SC合成梁は火災時の断面内の温度分布が不均一になり、これが耐火性能に大きく影響する。このため、断面内の温度分布に影響する断面寸法とSC合成梁上部の床スラブの有無を実験変数として取り上げた。また、負曲げモーメントを受けるSC合成梁では下フランジが高温加熱を受けて耐力が低下した時、ウェブ部分に充填したコンクリートが圧縮力を負担すると考えられるため、一部の試験体では充填コンクリートの補強も実験変数とした。

実験はシリーズⅠからⅢに分割して実施した。その概要を表1に示す。シリーズⅠでは梁の上部に床スラブが無く上部を断熱材で覆った小断面の試験体を用い、充填コンクリートの補強方法を変えた。

シリーズⅡでは梁と鉄筋コンクリート構造の床スラブをスタッドで結合した小断面試験体1体につき実験を行った。

シリーズⅢでは架構を構成する大梁として通常の断面寸法を有し、鉄筋コンクリート構造の床スラブを取り付けた試験体を用い、作用曲げモーメント比 (M/sMy ; M : 作用曲げモーメント, sMy : H形鋼の常温時の降伏曲げモーメント) を変えて2体の実験を行った。

(2) 試験体

試験体の断面を図1に断面寸法を表2に示す。試験体は各シリーズとも試験体の長さ方向の中央に設けたスチフナプレートの両側にSC合成梁を溶接接合したものである(図2参照)。

図1 試験体断面図

表1-実験概要

シリーズ	試験体番号	断面の大小	床との接続	コンクリート*の補強	M/sMy
Ⅰ	1	小断面	無し	無し	0.33
	2			鉄筋補強	0.33
	3			鋼板補強	0.33
Ⅱ	1	小断面	有り	無し	0.50
Ⅲ	1	大断面	有り	無し	0.70
	2				0.52

* ウェブ部分に充填したコンクリート

シリーズⅠは梁の上に床スラブを取り付けず、断熱材(けい酸カルシウム板)で被覆した。また、充填コンクリートの脱落を防止するために、スタッドボルトを介して溶接金網をウェブに取り付けた。試験体Ⅰ-2は鉄筋(D32、SD345)で、試験体Ⅰ-3は鋼板(幅60mm、厚さ12mm、SM490)で充填コンクリートを補強した。シリーズⅡはシリーズⅠに近い小断面とし、鉄筋コンクリート構造の床スラブとスタッドボルトを用いて結合した。シリーズⅢは断面寸法を通常の大梁に近い大きさとし、鉄筋コンクリート構造の床スラブとスタッドボルトにより結合した。スラブ内の鉄筋はシリーズⅡ、Ⅲとも試験体中央のスチフナプレートの位置で切断した。

試験体に使用したH形鋼は表2に示したように何れもSM490Aであり、常温時の機械的性質を表3に示す。またウェブと上フランジに取り付けたスタッドボルト、床スラブに用いた鉄筋及び充填コンクリートに埋め込んだ溶接金網の仕様を表4に示す。

充填コンクリートと床スラブに用いたコンクリートは普通コンクリートであり、耐火試験時の材齢と強度及び含水率を表5に示す。

表2 試験体の断面寸法 (単位: mm)

シリーズ	H形鋼		RCスラブ	
	断面寸法	鋼種	厚さ	幅
Ⅰ	H-450×200×09×14	SM490A	無し	
Ⅱ	H-500×250×09×22	SM490A	130	900
Ⅲ	H-700×300×13×24	SM490A	150	900

表3 H形鋼の機械的性質

シリーズ	部分	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
Ⅰ	フランジ	372.0	533.1	25.6
	ウェブ	372.2	511.4	25.9
Ⅱ	フランジ	336.9	536.0	32.1
	ウェブ	362.9	517.9	30.3
Ⅲ	フランジ	338.6	532.9	27.5

シリーズⅢのウェブは測定しなかった

表4 スタッド、鉄筋、溶接金網の仕様

名称	部分	仕様	シリーズ
スタッド	ウェブ	φ09, L=80 (JIS-B-1198 相当)	Ⅰ
		φ16, L=80, 100 (JIS-B-1198)	Ⅱ, Ⅲ
	スラブ	φ16, L=80, 100 (JIS-B-1198)	Ⅱ, Ⅲ
鉄筋	スラブ	D10 (SD259A) (JIS-G-3112)	Ⅱ, Ⅲ
溶接金網	ウェブ	φ6#100 (JIS-G-3551)	Ⅰ
		D6#100 (JIS-G-3551)	Ⅱ, Ⅲ

表5 コンクリートの強度及び含水率

シリーズ	部分	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	含水率 (%)
I	ウェブ	106	32.8	3.16
II	ウェブ	74	32.5	5.08
	スラブ	64	32.9	4.59
III	ウェブ	193	33.6	5.13
	スラブ	165	32.1	5.11

(3) 実験方法

試験体を図2に示すように載荷加熱用耐火試験炉の上部に設置し試験体の両端を上方からローラー支持した。また、ピンを介して試験体中央のスチフナプレートをロードセルに接続した。ロードセルを反力ビームに取り付けた油圧ジャッキを用いて上方に引き上げ、梁中央部に負の曲げモーメントが生じるように載荷した。

支点間距離は中央のスチフナプレートの厚さを除きシリーズIでは2400mm、シリーズII及びIIIでは4400mmとした。

載荷荷重の値は試験体中央部(スチフナプレート表面)の作用曲げモーメント比が表1の値になるように設定した。この時、H形鋼の降伏曲げモーメントはF値(0.325kN/mm²)を用いて算定した。荷重は加熱開始前に載荷し、加熱中は一定に保持した。

試験体はISO-834「建築構造部分の耐火試験方法」⁹⁾に規定された標準加熱温度曲線に沿って加熱した。加熱は試験体の変形が2.2節(2)項に示す制限値を超えるまで継続した。

図2-試験体の設置状況と載荷方法 (シリーズIIIの例)

(4) 測定項目と測定方法

温度測定項目は加熱温度、H形鋼の下フランジ温度、上フランジ温度及びウェブ温度、充填コンクリート温度、床スラブ裏面温度とし、線径0.65mmのK熱電対を用いて測定した。

載荷荷重は油圧ジャッキの下部に取り付けたロードセルを用いて測定した。また、試験体中央と両端支持点の変位を変位計を用いて測定し、載荷時及び加熱中の試験体の撓みを算定した。

2.2 実験結果

(1) 温度測定結果

各シリーズで加熱時間が長かった、試験体I-3、試験体II-1及び試験体III-1の温度測定結果を図3から図5に示す。

加熱温度はISO-834「建築構造部分の耐火試験方法」⁹⁾に規定された標準加熱温度曲線によく一致しており、各試験体とも許容誤差範囲内に納まっている。

各試験体とも下フランジ温度は加熱初期から急激に上昇し、時間が経過すると加熱温度に近い値となっている。一方、上フランジはその先端部が加熱されるが、下面はコンクリートに上面は断熱材又は床スラブにより覆われているため、温度上昇は下フランジに比べ緩やかとなっている。また、直接加熱を受けないウェブ中央部の温度は低い値で推移している。

図3には試験体I-3のウェブ部分に取り付けた鋼板温度が示されている。鋼板は充填コンクリートに覆われていて直接加熱を受けないため下フランジに比べ温度上昇は緩やかとなっている。試験体I-2に取り付けた鉄筋温度を参考として図3に示す。鉄筋温度と鋼板温度は近い値となっている。なお、H形鋼下フランジ上面から鉄筋中心までの距離は44mm、鋼板中心までの距離は46mmである。

図3、図4、図5を比較すると下フランジ温度、ウェブ中央部温度、上フランジ温度、充填コンクリート中心部温度の上昇傾向は類似しているが、同一部分でも各シリーズにより差が見られる。そこで図6に各試験体の下フランジ温度、上フランジ温度、ウェブ中央部温度を比較して示す。下フランジ温度はよく一致しているが、上フランジ温度は試験体I-3が他の試験体に比べ高い温度を示している。これは試験体I-3の上フランジ上部は断熱材で覆われているが、試験体II-1及び試験体III-2は鉄筋コンクリート構造床スラブが設置されており、上部への熱の散逸が前者は後者に比べて少ないためと思われる。

ウェブ中央部温度は試験体I-3が最も高く試験体III-2が最も低い値を示している。これは断面寸法が大きいためウェブ中央部に対するコンクリートのかぶり厚が大きく高温に加熱される下フランジからの距離が大きな試験体ほどウェブ中央部温度が低くなることを示している。このように断面寸法の影響が顕著に表れている。

図3 試験体I-3の温度測定結果

図4 試験体II-1の温度測定結果

図5 試験体Ⅲ-2の温度測定結果

図6 各試験体温度の比較

(2) 変形の測定結果

シリーズⅠの変形測定結果を図7に、シリーズⅡ及びⅢの変形測定結果を図8に示す。縦軸は変形を示しており、両端の支持点に対する中央スチフナプレート位置の上方への変形を負としている。

ISO-834「建築構造部分の耐火試験方法」⁵⁾では曲げを受ける部材の火災時の構造安定性の限界を、その変形量が(1)式又は(2)式の何れかに到達した時と規定している。この評価基準は通常、単純支持され正曲げを受ける部材の評価に用いられているが、ここでもこれを用いて火災時の構造安定性を評価することとした。(1)式に相当する変形量と(2)式に相当する変形速度を図7及び図8に示す

$$\delta a = L^2 / (400 \times D) \quad (1) \text{式}$$

$$\delta / dt = L^2 / (9000 \times D) \quad (2) \text{式}$$

ここに、 δa : 変形量 (mm)

δ / dt : 変形速度 (mm/分)

L : スパン (mm)

D : 梁高 (mm)

図8に示すように、シリーズⅡ及びⅢの試験体は加熱初期に中央スチフナプレート位置が下方に変形している。これは加熱初期に下フランジが急激に温度上昇したため、上フランジと下フランジの温度差により下方に変形したためである。シリーズⅠでは加熱初期の下方への変形量はわずかで、シリーズⅡ及びⅢに比べ顕著ではない。この原因として、シリーズⅠではシリーズⅡ及びⅢに比べ支点間距離が小さいことがあげられる。また、試験体Ⅰ-2及びⅢでは下フランジの近傍にあって下フランジより温度の低い鋼板や鉄筋が下フランジの伸びを拘束した可能性も考えられる。

シリーズⅠの試験体Ⅰ-1と試験体Ⅰ-2及びⅢで、加熱開始後90分頃までの変形量を比較すると、後者は前者の約1/2であり、充填コンクリートの補強効果によるものと考えられる。しかし、その後の変形速度には大きな差が見られない。これは図3に示されているように120分頃には補強鋼板や補

強鉄筋の温度が600℃に到達しており補強効果を喪失したためと考えられる。

図8で試験体Ⅲ-1とⅡを比較すると、前者は後者に比べ変形速度が大きく、より早く変形量の制限値に到達しており、作用曲げモーメント比の影響が表れている。また、作用曲げモーメント比が概ね等しい試験体Ⅱ-1と試験体Ⅲ-2を比較すると、前者は後者に比べ短時間で変形量の制限値に到達している。これは図4から図6に示したように断面の小さな試験体Ⅱ-1では試験体Ⅲ-2に比べ温度上昇が早く強度低下が著しいためである。

(3) 負曲げモーメントを受けるSC合成梁の耐火性能

上記の構造安定性の評価基準に従って実験結果を評価すると、試験体Ⅰ-1は変形量が、Ⅰ-2及びⅢは変形量と変形速度が殆ど同時に制限値に到達し耐火時間が決まっている。しかし、これらの制限値を超えても試験体は荷重を保持し続け直ちに破壊には至らなかったが140分を越えた後破壊した。シリーズⅡ及びⅢの試験体は何れも変形量の制限値により耐火時間が決まっている。これらの試験体も同様に変形量の制限値を超えた後も破壊には至らなかったが、途中で加熱を中止した。実験終了後の目視観察では、どの試験体もH形鋼の局部座屈やコンクリートの破損は認められなかった。

各試験体の耐火時間を表6に、また各試験体の作用曲げモーメント比と耐火時間の関係を図9に示す。各シリーズと同様な試験体で正曲げを受ける場合の載荷加熱実験について文献1)で報告したが、その曲げモーメント比と耐火時間の関係も合わせて図9に示す。

シリーズⅠでは作用曲げモーメント比は全て0.33である。正曲げを受ける場合の耐火時間は80分から103分であるが負曲げを受ける場合は117分から130分と耐火時間がやや増大している。シリーズⅡは作用曲げモーメント比0.5で、負曲げを受ける場合と正曲げを受ける場合の耐火時間を比較することができ、前者は後者の2.15倍となっている。断面の大きなシリーズⅢは負曲げを受ける場合の作用曲げモーメント比0.52に対し正曲げを受ける場合のそれは0.5であるが、前者の耐火時間は後者の1.72倍となっている。このように負曲げを受ける場合の耐火時間は正曲げを受ける場合のそれに比べ、著しく増大している。また断面寸法が大きなシリーズⅢは作用曲げモーメントの正負に係わらず耐火時間が長く、断面寸法の影響が顕著に表れている。

図7 シリーズⅠの変形測定結果

図8 シリーズⅡ及びⅢの変形測定結果

表6 各試験体の耐火時間

シリーズ	試験体番号	作用曲げモーメント比 (M/sMy)	耐火時間 (分)
I	I-1	0.33	117
	I-2	0.33	127
	I-3	0.33	130
II	II-1	0.50	196
III	III-1	0.70	210
	III-2	0.52	242

図9 作用曲げモーメント比と耐火時間の関係

3. 円形CFT柱とSC合成梁の接合部の耐火実験

円形CFT柱とSC合成梁の接合部にロングスチフナ方式を採用した場合の接合部の荷重加熱実験を実施し耐火性能を検討した。

3.1 実験計画

(1) 試験体

試験体の概要を図10に示す。CFT柱には外径700mm、肉厚16mmの円形鋼管を用い、SC合成梁との接合部（中央部の長さ900mmの部分）はロングスチフナ方式とし、外径724mm、肉厚28mmの円形鋼管を用いた。また、SC合成梁には断面寸法がH-700×250×12×22(mm)のH形鋼を用いた。鋼材の種類はCFT柱の一般部にはSTK400を、ロングスチフナとH形鋼にはSM490Aを用いた。接合部はウェブをボルト接合（一面せん断）としフランジを溶接接合とした。ウェブはロングスチフナに溶接接合されたガセットプレート（厚さ19mm）に7本2列（合計14本）の高力ボルト（F10T、M22）で接合した。

充填コンクリートは何れも普通コンクリートとし、設計基準強度はCFT柱で42N/mm²、SC合成梁で21N/mm²とした。

SC合成梁の上フランジより上の部分は、通常、床スラブが設置されるためCFT柱も含めて加熱を受けない部分となるが、この部分を床スラブの代わりに断熱材（けい酸カルシウム板、厚さ60mm）で覆い実験を行った。

(2) 実験方法

試験体を耐火試験用荷重加熱炉に設置した状況を図11に示す。試験体中央のCFT柱が炉の中心となるように設置し、CFT柱中央部から両側に1825mm離れた位置（支持点①：図10参照）を上からローラー支持した。CFT柱の上端をロードセル及び油圧ジャッキに取り付け上方に引き上げることでCFT柱とSC合成梁の接合部に負の曲げモーメントが生じるように载荷した。载荷荷重はCFT柱とSC合成梁の接触面（CFT柱中央部から両側に362mm離れた位置）の作用曲げモーメントが、SC合成梁に用いたH形鋼の降伏曲げモーメント（F値に基づき算定）の0.6倍となるように設定した。

図11 実験装置の概要

図10 試験体の概要

接合部の曲げ耐力が低下した後の応力再配分の状況を確認するためにSC合成梁の端部（炉外でCFT柱中央から3300mmの位置）に支持点②を設けた（図10参照）。この支持点は上方への移動は自由とし下方への変形が発生した時、これを拘束する形式とした。

試験体はISO-834「建築構造部分の耐火試験方法」⁹⁾に定める標準加熱温度曲線に沿って加熱した。

(3) 測定項目と測定方法

温度測定項目として加熱温度、CFT柱の鋼管温度及びコンクリート内部温度、SC合成梁断面内温度をK熱電対を用いて測定した。また、油圧ジャッキの下部に取り付けたロードセルを用いて載荷荷重を測定するとともに、SC合成梁の端部に取り付けたロードセルにより支持点②の上向き反力を測定した。

試験体の変形はCFT柱と支持点①及び②の上下方向移動量、CFT柱とSC合成梁の接合部のずれを変位計を用いて測定した。

3.2 実験結果

(1) 温度測定結果

図12はCFT柱とSC合成梁の接合部で、SC合成梁の断面が接していない部分の鋼管温度を示している。①は接合部の下側のCFT柱、②は接合部のロングスチフナであり、何れも直接加熱を受けるため加熱温度に近い温度で推移している。③はロングスチフナであるがSC合成梁のH形鋼上端と同一高さにあり、それより上部は耐火被覆が施されているため鋼管温度は比較的低く180分の時点でも約600℃である。④と⑤は接合部上部のCFT柱であり直接加熱を受けないため低い温度で推移している。特に⑤はその下部にSC合成梁が接合されているため下部からの熱伝導が少なく④に比べ低い温度となっている。

図13にSC合成梁の断面が接触している部分の鋼管温度を示す。SC合成梁の幅は250mmであり、温度測定点④、⑥、⑧、⑩は梁幅の8分割ライン上（ウェブ中央から31.25mmの位置）に、温度測定点②、③、⑤、⑦、⑨、⑪は4分割ライン上（ウェブ中心から62.5mmの位置）に設置されている。鋼管の管壁を伝わって熱が内部に浸入するため、SC合成梁の下面及び側面から遠く、加熱を受けない上端に近いほど低い温度を示している。下端に近く外側の測定点①、②、③を除けば180分の時点でも鋼管温度は600℃以下であり、上端に近い⑨、⑩、⑪では約400℃と比較的低い温度に抑えられている。

図14にボルト接合部に用いたガセットプレートの温度を示す。測定点②、③、④がガセットプレートの温度であり、②はSC合成梁の下端に近く180分で約500℃に到達している。③と④は180分で400℃以下である。ボルト接合部の高温引張試験では一般に400℃前後から滑りが観察されているが、それに近い温度となっている。①は下フランジ温度、⑤は上フランジ温度、⑥は充填コンクリート中心部温度である。

CFT柱中央部から両側に1162mm離れた位置のSC合成梁の断面内温度を図15に示す。①から⑥の温度は図14に対応した位置となっている。上フランジ温度(⑤)は図15に比べ図14の方が低い値を示している。これはCFT柱の管壁を伝わって熱が上部に散逸したためと思われる。なお、図15の上フランジ温度はSC合成梁の上部が断熱材で覆われているために、鉄筋コンクリート構造の床スラブが設置された場合(図4及び5)に比べ高く、小断面SC合成梁の上面が断熱材で覆われた場合(図3)に比べ低い値となっている。

2) 変形測定結果

CFT柱の中央部から1825mm離れた支持点(①)の加熱開始時の位置を不動点として測定した変位測定結果を図16に示す。図16の縦軸は上方への変形を正としている。加熱開始後30分まではSC合成梁のH形鋼下フランジが高

図12 鋼管温度（SC合成梁が接触していない部分）

図13 鋼管温度（SC合成梁の断面が接触する部分）

図14 ボルト接合部のガセットプレート温度等

図15 SC合成梁の断面内温度

温に加熱され熱膨張するため、試験体中央のCFT柱とSC合成梁の接合部（CFT-E，W）は下方に変位する。これに伴って炉外のSC合成梁端部（支持点②-E，W）は上方に変位した。しかし、加熱開始後30分が過ぎると、下フランジ温度は500℃を超え下フランジの剛性と耐力が低下するため、接合部が上方に変位し始め、加熱開始後53分頃には初期の位置に戻った。更に加熱を継続すると、CFT柱とSC合成梁の接合部（CFT-E，W）は上方に変位し、炉外のSC合成梁端部（支持点②-E，W）は下方に変形した。加熱開始後

90 分には炉外の SC 合成梁端部が支持点②に接触し変形が概ね停止した。これに伴って試験体中央にある接合部の変位速度も概ね 1/2 に低減した。90 分以降は支持点①に大きな反力が発生し、加力ビームの剛性がやや不足したため支持点①が僅かに上方に変位した。その後も変形は安定した性状を示し破壊は生じなかったが 180 分で加熱を中止した。

CFT 柱と SC 合成梁の接合部で両者のずれ変形を測定したが、ずれ変形は認められなかった。また、図 14 に示したようにボルト接合部の温度はすべりが発生する温度に近い値となったが、ボルト位置でのすべりも認められなかった。このように SC 合成梁のせん断力は CFT 柱に支障なく伝達された。

(3) 支持点反力と曲げモーメントの変動

載荷荷重は前述のように SC 合成梁と CFT 柱の接合部(CFT 柱中央部から両側に 362 mm の位置)の作用曲げモーメントが H 形鋼の降伏曲げモーメントの 0.6 倍となるように設定し、定荷重とした。荷重(P)と炉外の支持点②で測定された支持点反力の測定結果を図 17 に示す。30 分以降は SC 合成梁の端部が下方に変形したが、90 分には炉外の支持点②に接触し上向きの反力が生じた。このため CFT 柱中央部から両側に 1825 mm の位置にある支持点①の下向き反力が増大した。

支持点②の反力と荷重値から求めた支持点①と接合部(鋼管表面)に置ける曲げモーメントの変動を図 18 に示す。支持点②に上向き反力が生じることに伴って支持点①に曲げモーメントが発生し、その値は徐々に増大した。その結

図 16 変形測定結果

図 17 荷重及び支持点反力測定結果

図 18 曲げモーメントの変動

果、CFT 柱と SC 合成梁の接合部(CFT-E, W)の曲げモーメントが低減した(図 18 参照)。このように、CFT と SC 合成梁の接合部や SC 合成梁自体の剛性、耐力の低減に伴い、曲げ応力の再配分が生じたが、荷重は加熱終了時まで支持され破壊は生じなかった。

4. まとめ

負曲げモーメントを受ける SC 合成梁及び円形 CFT 柱と SC 合成梁の接合部を対象として載荷加熱実験を実施し、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 梁部材は長期荷重により梁短部に負の曲げモーメントを受けるが、負の曲げモーメントを受ける SC 合成梁の耐火性能は、断面寸法の大小、床スラブとの接合の有無、作用曲げモーメント比により大きく変わる。
- (2) 通常の大梁に相当する断面寸法(H-700×300mm)を有し、その上端が鉄筋コンクリート構造床スラブと結合された SC 合成梁は、H 形鋼の降伏曲げモーメントに対する作用曲げモーメントの比が 0.70 の場合、200 分以上の耐火性能を有する。また、H 形鋼の断面寸法が小さな場合(H-500×250mm)でも、作用曲げモーメント比が 0.50 の時、190 分以上の耐火性能を有する。
- (3) SC 合成梁が負の曲げモーメントを受ける場合は、同じ大きさの正の曲げモーメントを受ける場合に比べ、耐火時間が著しく長い。
- (4) 梁の上端に鉄筋コンクリート構造の床スラブを取り付けた SC 合成梁の耐火時間は変形量の制限値により決定されるが、その時点で直ちに破壊することはなく、更に荷重の支持が可能である。
- (5) 負の曲げモーメントを受ける SC 合成梁の火災時の変形能力は大きく、変形量の制限値を超えても、H 形鋼の局部座屈や充填コンクリートの破損は生じなかった。
- (6) 円形 CFT 柱と SC 合成梁の接合部としてダイアフラムが無いロングスチフナ方式を採用した場合、パネルゾーンに耐火被覆を施さなくても作用曲げモーメントの値が一定の値以下であれば、梁からの曲げモーメントとせん断力を CFT 柱に伝達することが可能である。
- (7) 上記の接合部が火災時の加熱を受けると接合部の剛性・耐力が低下するが、SC 合成梁の他端が支持されている場合は、曲げモーメントの再配分を生じながら持続的に荷重を支持することが可能である。

【参考文献】

- 1) 古平章夫、藤中英生、大橋宏和、西村俊彦：H 形鋼のウェブ部分にコンクリートを充填した合成梁の耐火性、日本建築学会構造系論文集、第 563 号、pp. 193～198、2003. 1
- 2) 大橋宏和、古平章夫、藤中英生、飯塚幸治：合成梁の耐火実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、A、pp. 1053～1054、1989. 10
- 3) 大橋宏和、古平章夫、藤中英生、丹野吉雄、中山信雄：H 形鋼のウェブ部分にコンクリートを充填した合成梁の耐火性能—中断面の場合—、日本建築学会学術講演梗概集、A-2、pp. 5～6、2002. 8
- 4) 古平章夫、藤中英生、大橋宏和：H 形鋼のウェブ部分にコンクリートを充填した合成梁の耐火性能—負曲げを受ける場合—、日本建築学会学術講演梗概集、A-2、pp. 7～8、2002. 8
- 5) ISO-834 Fire Resistance Test—Element of Building Construction

(2002年12月10日原稿受理、2003年2月4日採用決定)