鋼モルタル板を用いた座屈拘束 ブレースの耐火性能

FIRE-RESISTANT PERFORMANCE OF BUCKLING-RESTRAINED BRACES USING STEEL MORTAR PLANKS

齋藤啓一 ——*1 中田安洋 ——*2
村井正敏 ——*3 岩田 衛 ——*4

Keiichi SAITOH ——*1 Yasuhiro NAKATA ——*2
Masatoshi MURAI ——*3 Mamoru IWATA ——*4

キーワード：
座屈拘束ブレース, 耐火性能,

Keywords：
Buckling-restrained braces, Fire resistance performance

Fire resistance tests were conducted for the developed braces restrained and protected by a pair of steel channels filled with mortar, namely, steel mortar planks. Four isolated braces, which were subjected to an axial compressive load simulating long-term-load effects, were tested as specimens during fire. A set of round steel bars was provided along with both edges of core brace member so that the position of the steel channels was fixed in the standard type of specimens.

Measured steel temperature histories of specimens show that filling thicker mortar, instead of round steel bars, as well as further protection covering steel channels is effective at developing higher fire-resistant performance.

A static loading test in the normal temperature was also carried out for one of the standard type of specimens. The test results are compared with those of buckling-restrained braces in previous papers.

1. 序

座屈拘束ブレースは、その履歴減衰性能に期待して制振構造や損傷制御構造のエネルギー吸収材料として用いられている。損傷制御構造に関する既往研究¹⁾のように座屈拘束ブレースを方杖形式で配置することがあるが、この場合施工法によっては座屈拘束ブレースに長期荷重が付加導入され、建物用途や建設場所に応じて所定の耐火性能を要求される可能性がある。

今回、耐火実験を行った座屈拘束ブレース（図1参照）は、ブレース芯材を鋼モルタル板で被覆しており、耐火被覆を省略する無耐火被覆としてもモルタルの熱容量により耐火性能が高いものと推察され、建物の建設価格を低減できる可能性がある。そこで当該座屈拘束ブレースの耐火性能を明確にすることを目的に実験を行ったので報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

表1に試験体一覧を、図2に各試験体の断面図を示す。本座屈拘束ブレースの製造方法は以下のである。

①鋼板を折り曲げて溝形鋼状にした後、モルタルを充填して鋼モルタル板を製作する。

②芯材の周りに1mm厚のアンボンド材を貼り付ける。

③2枚の鋼モルタル板で芯材をはさみ込み、側面を溶接する。

このとき、芯材強軸方向の隙間に、高ひずみ状態での変形防止用の充填材として10φの丸鋼を用いるが、耐火性能上はこの丸鋼が熱橋となり、芯材温度を高める恐れがある。そこで、芯材の強軸方向

隙間充填材の材質、拘束材寸法を変数として耐火実験を行う。標準試験体をT1とし充填材は10φ丸鋼とする。T2試験体では充填材をモルタルに変更し、さらにT3試験体ではモルタルの断面厚さを増やしている。また、T1試験体に乾式の耐火被覆（高耐熱ロックウール）を巻き付けた試験体をT4とする。なお、T1試験体と同一断面で単調圧縮実験を行い、既往研究^{2),3)}との比較を行う（R1試験体）。

各試験体のブレース芯材断面は共通でPL-176*16（SN400B）とし、拘束材に用いる鋼板はPL-3.2（SS400）とする。

図1 座屈拘束ブレース

*1 大和ハウス工業㈱総合技術研究所 研究員
(〒631-0801 奈良県奈良市左京6-6-2)

*2 新日本製鐵㈱建築事業部 グループリーダー

*3 神奈川大学工学部建築学科 主任技術員

*4 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

*1 Engineer, Daiwa House Industry Co., Ltd. Central Research Laboratory

*2 Group Leader, Nippon Steel Corp., Building Const. Div.

*3 Technician, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

*4 Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University, Dr. Eng.

表 1 試験体一覧

試験体	芯材				拘束材			耐火被覆 (巻付け材)	隙間の 充填材料	備考
	寸法 mm	断面積 mm ²	降伏応力度 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	鋼材		モルタル 含水率 %			
					溝形鋼寸法 mm	鋼材種				
R1	176 × 16	2816	287.9	441.8	2[-203.2×50×100×3.2	SS400	5.4	なし	10φ丸鋼	単調圧縮実験
T1										
T2					2[-239.2×50×100×3.2		4.9	モルタル		
T3										
T4					2[-203.2×50×100×3.2		6.1	あり (厚さ20mm)	10φ丸鋼

図 2 試験体断面図

2.2 実験方法

実験はニチアス横浜研究所の耐火試験用多目的炉を用いて行う。試験体は立てた状態で多目的炉に取り付け、下部を固定、上部を球座によるピン支持とする。単調圧縮実験では軸方向力を保持できなくなるまで加力を行う。耐火実験の試験条件、判定基準は防耐火性能試験・業務方法書⁴⁾に従い要求加熱時間 1 時間の性能を確認する。実験は芯材軸方向に対し長期許容軸力に相当する 441kN (断面積×F/1.5) を载荷したのち、平均炉内温度 T が下式となるように制御しながら加熱する。

$$T = 345 \log_{10} (8t+1) + 20$$

ここで t は試験の経過時間 (分)

要求加熱時間の 1 時間まで加熱した後、長期許容軸力を保持した状態で 3 時間放置し、以下に示す 2 つの判定基準を満足するかを確認する。

- ・最大軸方向収縮量 (mm) : h/100 以下
- ・最大軸方向収縮速度 (mm/分) : 3h/1000 以下

ここで h は試験体の初期高さで、本試験では 2,830mm

なお、耐火試験体は上下スタブから 800mm 程度を耐火被覆し、加熱部分の長さは 1,250mm としている。

2.3 測定方法

単調圧縮実験では試験体上部の変位量と図 3 に示す芯材エネルギー吸収部変位を計測する。耐火実験時の計測は試験体軸方向収縮量の測定と炉内温度、試験体各部の温度測定とする。試験体軸方向収縮量は単調圧縮実験同様、試験体上部の変位量を測定する。炉内温度は炉内に均等に配置された熱電対 10 点により測定し、試験体各部の温度は芯材に於いては図 3 の 5 点、拘束材については図 4 の 12 点を測定する。なお、拘束材の温度測定は試験体 T4 のみとし、耐火被覆内部における拘束材温度を測定する。

図 3 熱電対取付位置 (芯材表面)

図 4 熱電対取付位置 (拘束材表面)

3. 実験結果

3.1 単調圧縮実験

荷重-変形関係を図 5 に示す。降伏荷重、最大荷重を図中の表に示す。芯材材料強度から算出した降伏荷重、最大荷重を併記するが、降伏荷重が同等であるのに対し、最大荷重は R1 実験結果のほうが高い。これより芯材座屈により拘束材も軸力負担していることが分かる。なお、実験後拘束材を取り除き芯材を確認すると、既往の報告同様に部材全長に渡り高次の座屈モードが確認できた。

図 5 試験体 R1 荷重-変形関係

3.2 耐火実験結果

各試験体の経過時間と温度・軸方向収縮量の関係を図 6 に示す。また芯材各部の温度とその経過時間を表 2 に、拘束材各部の温度と経過時間を表 3 に、軸方向収縮量と収縮速度を表 4 に示す。

試験体 T1、T2、T3 では所定の加熱時間 1 時間まで軸力を保持することができず、それぞれ 47 分、50 分、48 分で加熱を終了している。加熱終了後も余熱により芯材温度は上昇を続け、試験体 T1 で最大 419.2℃、試験体 T2 で最大 416.4℃、試験体 T3 で最大 371.6℃まで上昇した。これらの試験体はいずれも写真 1 に示すように拘束

材の拘束力が加熱により低下することで、全体が座屈している。

耐火被覆した T4 試験体では所定の耐火時間となる 1 時間まで加熱し、加熱後 3 時間でも軸力を保持することができ、1 時間の耐火性能を確認した。芯材温度は最大 175.2℃、拘束材温度は最大 260.7℃となったが、いずれも部位によるばらつきもなかった。

軸方向収縮量と収縮速度は T1、T2、T3 試験体はいずれも判定基準を超え、NG となった。T4 試験体は熱による膨張のみで収縮することはなかった。

図 6 経過時間と温度・軸方向収縮量の関係

表 2 芯材各部の温度とその経過時間

試験体	加熱時間	各部最高温度(上段)とその時の経過時間(下段)					各経過時間での芯材最高温度比較	
		熱電対番号						
		1	2	3	4	5	47分	48分
T1	47	306.1	419.0	393.4	419.2	379.7	338.1	341.3
		105	93	71	86	97		
T2	50	327.9	416.3	416.4	416.4	340.8	289.9	297.3
		119	106	109	105	108		
T3	48	302.2	371.5	370.3	371.6	298.1	212.1	218.8
		135	118	120	116	125		
T4	60	175.2	154.2	153.7	154.3	148.4	100.3	100.5
		220	232	240	230	235		

※単位は(分)、(℃)

表 4 軸方向収縮量と収縮速度

試験体	軸方向収縮量 (mm)		軸方向収縮速度 (mm/分)	
	最大値	判定	最大値	判定
T1	104.4	NG	95.5	NG
T2	35.0	NG	38.0	NG
T3	36.4	NG	24.6	NG
T4	-4.5	OK	-0.2	OK

※数値の負号は膨張を示す

表 3 拘束材各部の温度とその経過時間

各部最高温度(上段)とその時の経過時間(下段)											
熱電対番号											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
213	217.6	182.6	241.5	225.1	223.4	209.5	206.8	188.8	260.7	236.9	224.4
63	62	61	61	61	62	61	61	61	61	62	61

※単位は(分)、(℃)

写真1 加熱後の試験体の状況 (T2 試験体)

4. 考察

4.1 芯材の強軸方向隙間充填材の材質による影響

試験体 T1 と試験体 T2 を比較すると、試験体 T1 の加熱時間が短いにもかかわらず、芯材最高温度が高くなっている。T1 の加熱終了時の加熱時間 47 分で比較すると、T1 が 338.1℃、T2 が 289.9℃と T2 が 50℃程低い。これより芯材の強軸方向隙間充填材の材質を金属からモルタルに変更することで、芯材に対する耐火被覆としての性能は高くなる。

4.2 芯材の強軸方向隙間充填材の寸法による影響

試験体 T2 と試験体 T3 を比較すると、加熱時間は T2 が 50 分、T3 が 48 分と隙間充填材寸法が大きいが加熱時間が短い結果となっている。一方 T3 の加熱終了時点の 48 分で芯材温度を比較すると、T2 が 297.3℃、T3 が 218.8℃となり T3 が 80℃ほど低い。これより隙間充填材のサイズを大きくし、芯材側面のかぶり厚さを大きくすることで、芯材に対する耐火被覆としての性能は高くなる。なお、加熱時間の差異は、試験体の製作誤差などによる偏芯の影響と考える。

4.3 耐火被覆の効果

耐火被覆のない試験体の拘束材温度は、部分的には炉内温度に等しいものと推察される。一方耐火被覆を施した試験体 T4 では最高温度 260.7℃と大幅に低減され、1 時間の耐火性能を有する。芯材は鋼モルタル板の熱容量により、さらに温度が下がり 175.2℃となっている。

4.4 表面の温度分布

写真 2 に耐火実験時の試験体の状況を示す。拘束材の四隅が各面の中央より白くなっていることから、この部位の温度が高いものと推察される。四隅は入熱が 2 方向から行われるため、温度上昇しやすいためと考える。これより、拘束材の断面形状を円形とし入熱を

写真2 耐火試験時の試験体の状況

一方向とすることで耐火性能が高くなる可能性がある。

5. まとめ

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの一連の耐火実験により、以下の知見を得た。

- (1) 芯材の強軸方向充填材のサイズを大きくし、芯材側面のかぶり厚さを大きくすることで、芯材に対する耐火被覆としての性能は高くなる。
- (2) 芯材の強軸方向充填材の材質を金属からモルタルに変更することで、芯材に対する耐火被覆としての性能は高くなる。
- (3) 耐火被覆を施すことで圧縮材として、1 時間の耐火性能を有することができる。
- (4) 今回の実験では圧縮力を加えながらの試験としたが、たとえば吊材など引張力しか作用しない部材では、拘束材の芯材に対する耐火被覆としての機能により、無耐火被覆とできる可能性がある。

謝辞

耐火実験に当たり、ニチアス株式会社浜松研究所に施設を提供していただきました。また、実験計画にあたり財団法人日本建築総合試験所、財団法人建材試験センターにアドバイスを頂きました。また、稲垣俊典君（当時・神奈川大学学部生）にご協力いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 平賀民、會澤貴浩、山田 哲、岩田衛：サステナブルビル構造システムに関する研究 その 1、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.699-700、2003.9
- 2) 村井正敏、小林史典、野田隆博、岩田衛：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第 569 号、pp.105-110、2003.7
- 3) 小林史典、村井正敏、和泉田洋次、岩田衛：芯材厚厚比を変化させた座屈拘束ブレースに関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.869-870、2004.8
- 4) 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、平成 15 年 9 月 19 日変更

[2005年4月18日原稿受理 2005年7月22日採用決定]