

木質複合構造の耐火性能に関する研究 (その10) 鋼構造の燃え尽き型木材被覆の検討

Fire resistance of the hybrid wooden structure ()
Experimental results on fire resistance performance for steel structure
by wooden protection

並木勝義¹⁾, 遊佐秀逸²⁾, 中山伸吾¹⁾, 川北泰旦¹⁾,
片岡福彦³⁾, 中川祐樹³⁾, 吉川利文²⁾, 金城仁²⁾

NAMIKI, Yoshitomo, YUSA, Shuitsu, NAKAYAMA, Shingo, KAWAKITA, Hiroaki,
KATAOKA, Hukuhiko, NAKAGAWA, Yuuki, YOSHIKAWA, Toshifumi, KINJOH, Hitoshi

要旨：前3報の研究により、スギ集成材・強化石膏ボード・ステンレス鋼板の複合構成で耐火被覆した仕様について、燃え尽き型タイプとしての耐火構造を開発し、一部断面について1時間耐火、2時間耐火の国土交通大臣の認定を得た。本報告は今後必要となる角形鋼管柱及びH形鋼接合部の仕様について、長さ1mのモデル柱部材を使用して1時間及び2時間の加熱試験を実施し、耐火性能の検討を行ったものである。試験体は、1時間加熱はH形鋼250×250×9×14、角形鋼管250×250×9及び300×300×9、2時間加熱はH形鋼300×300×10×15、角形鋼管250×250×9及び300×300×9、の鋼材を使用した。試験結果は、1時間加熱、2時間加熱双方において耐火性能を有することが示唆された。

はじめに

本報告は、耐火構造の性能を満足する木質複合構造を開発するため、建築物の構造形式を鋼構造とし、国産のスギ材を利用した燃え尽き型の耐火被覆を新たに検討したものである(金城ら2007;並木ら2006a,2006b,2007;田坂ら2006a,2006b;遊佐ら2006a,2006b,2007)。ここでの方法は、耐火構造として国土交通大臣の認定を取得するための実大部材における性能確認をする前に、モデル部材として断面寸法を実大部材と同一としたH形鋼及び角形鋼管試験体を用いた検討結果について報告する。なお、本報告及び次報(その11)、(その12)は、農林水産省委託事業「平成18年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業 - スギ・ヒノキ材を使用した耐火性複合構造材の開発 -」として実施したものであり、平成19年度日本火災学会研究発表会(遊佐ら2007)で発表した内容を改変したものである。

-
- 1) 三重県科学技術振興センター林業研究部
 - 2) 財団法人 ベターリビングつくば建築試験センター
 - 3) 株式会社ジャパンテクノメイト

連絡先：中山伸吾 nakays01@pref.mie.jp

実験方法

1. 試験体

試験体の概要を表 - 1 に示す。1 時間および 2 時間仕様ともに鋼材は H 形鋼と角形鋼管の 2 種類を用い、今回は H 形鋼の接合部についても検討を行った。被覆材として外側にスギ集成材（1 時間仕様：厚さ 60mm，2 時間仕様：厚さ 100mm）内側に強化石膏ボード（1 時間仕様：厚さ 15mm，2 時間仕様：厚さ 21mm）の二層構造被覆とし、耐火上弱点となるコーナー部と、強化石膏ボードの目地部分をステンレス鋼板（厚さ 0.1mm）で補強した仕様とした。スギ集成材はこれまでの研究で使用したレゾルシノール系接着剤ではなく、水性高分子イソシアネートで接着したものをを用いた（並木ら 2002）。鋼材への取り付けは L 型金物を使用し、接着剤を使用せずに釘およびビス留めによる取り付けとした。集成材は密度 0.38，含水率 12.5% のものを使用した。試験体の概要および熱電対取付位置を図 1 ~ 12 に示す。

表 - 1. 試験体仕様

試験体No.	集成材の樹種	寸法(mm)		かさ比重 (絶乾)	含水率		
					(絶乾)	(表面)	
1 時間 加熱	No.1	スギ	構造用集成材	被覆厚さ60	0.38	12.5%	11.2%
			H形鋼	H 250 × 250 × 9 × 14	-	-	-
	No.2	スギ	構造用集成材	被覆厚さ60	0.38	12.5%	11.7%
			H形鋼接合部	H 250 × 250 × 9 × 14	-	-	-
	No.3	スギ	構造用集成材	被覆厚さ60	0.38	12.5%	11.6%
			角型鋼	300 × 300 × 9	-	-	-
	No.4	スギ	構造用集成材	被覆厚さ60	0.38	12.5%	11.9%
			角型鋼	250 × 250 × 9	-	-	-
2 時間 加熱	No.1	スギ	構造用集成材	被覆厚さ100	0.38	12.5%	10.4%
			H形鋼	H 300 × 300 × 10 × 15	-	-	-
	No.2	スギ	構造用集成材	被覆厚さ100	0.38	12.5%	10.9%
			H形鋼接合部	H 300 × 300 × 10 × 15	-	-	-
	No.3	スギ	構造用集成材	被覆厚さ100	0.38	12.5%	12.1%
			角型鋼	300 × 300 × 9	-	-	-
	No.4	スギ	構造用集成材	被覆厚さ100	0.38	12.5%	11.2%
			角型鋼	250 × 250 × 9	-	-	-

* 試験体表面含水率はkett木材水分計により測定

* 各試験体に強化石膏ボード及びステンレス鋼板を挿入

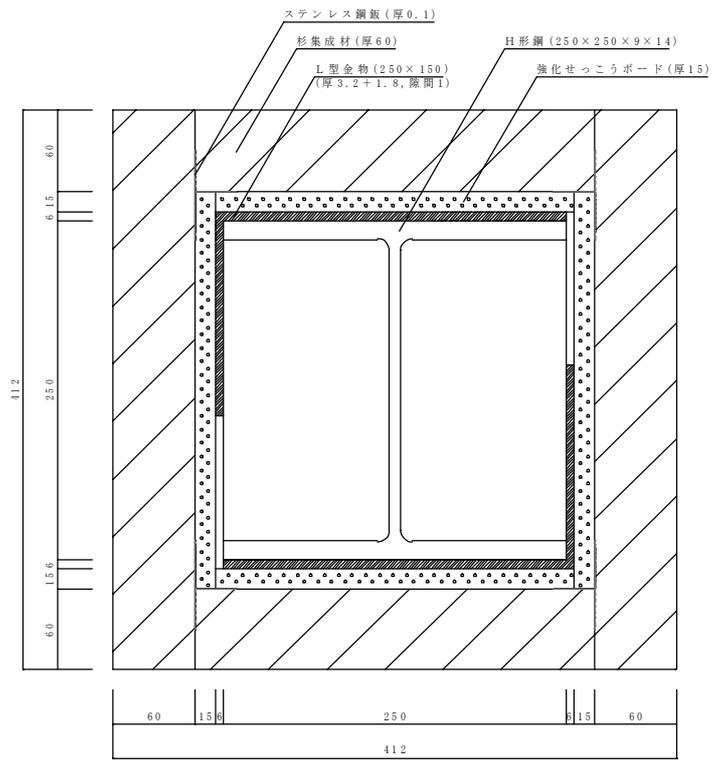


図-1 1時間加熱H形鋼

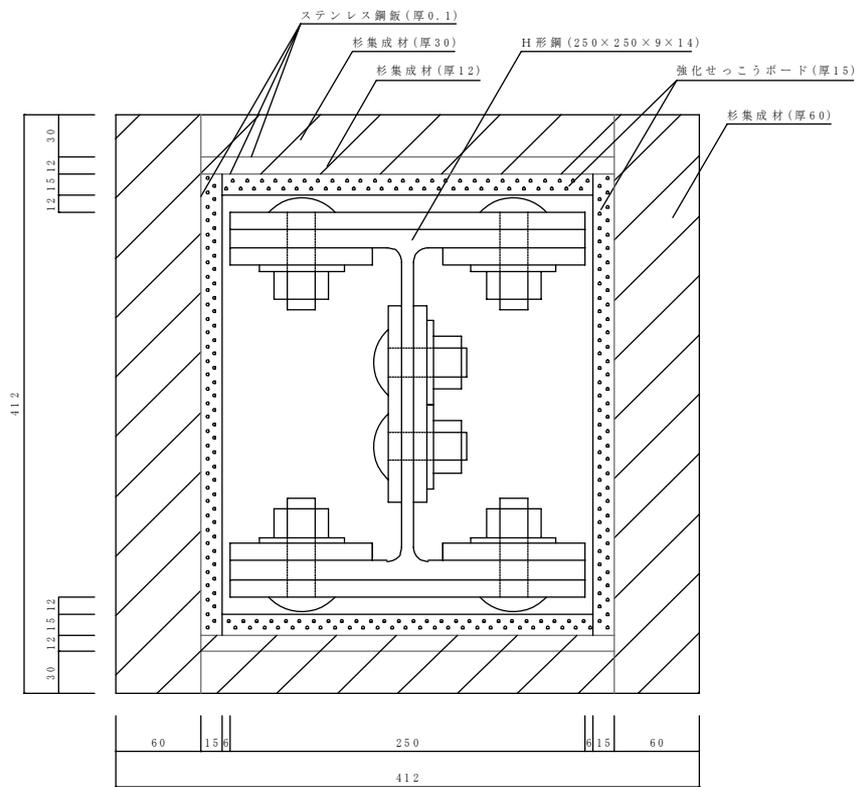


図-2 1時間加熱H形鋼接合部

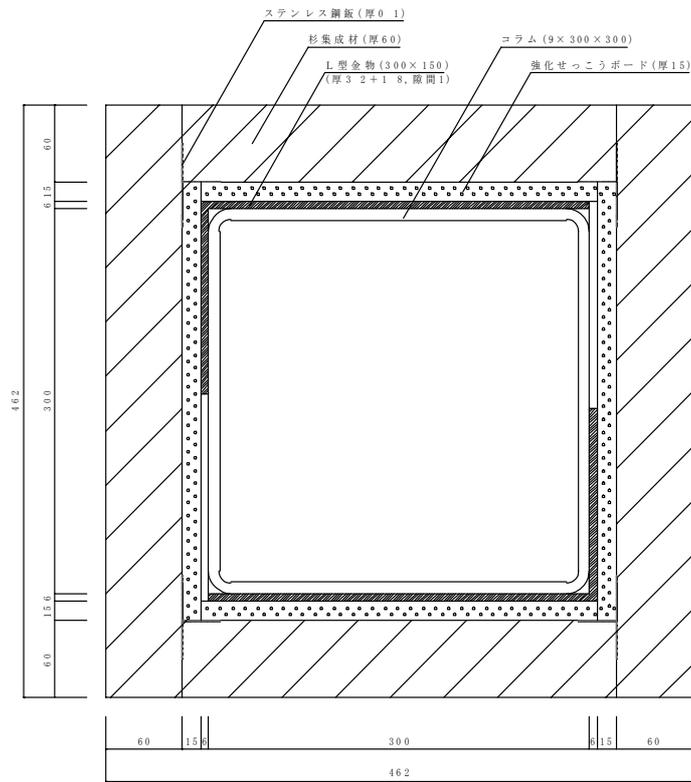


図-3 1時間加熱角形鋼管 (300×300)

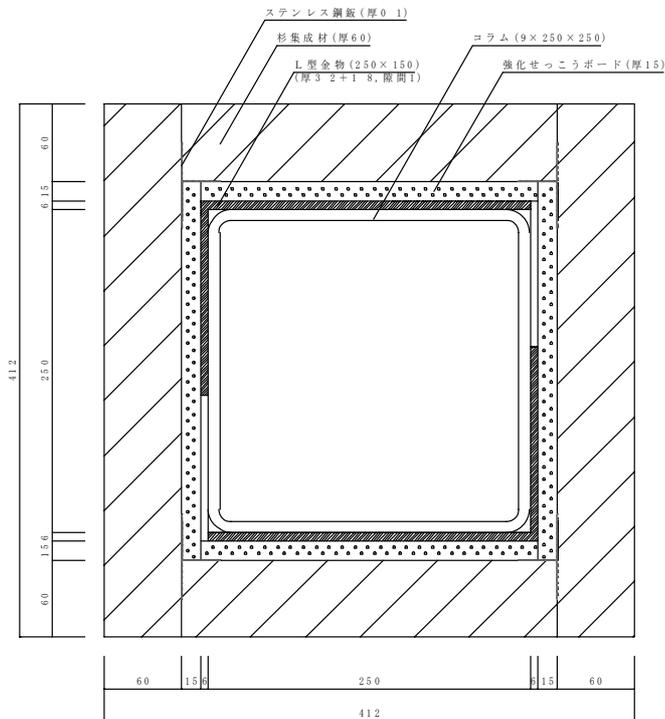


図-4 1時間加熱角形鋼管 (250×250)

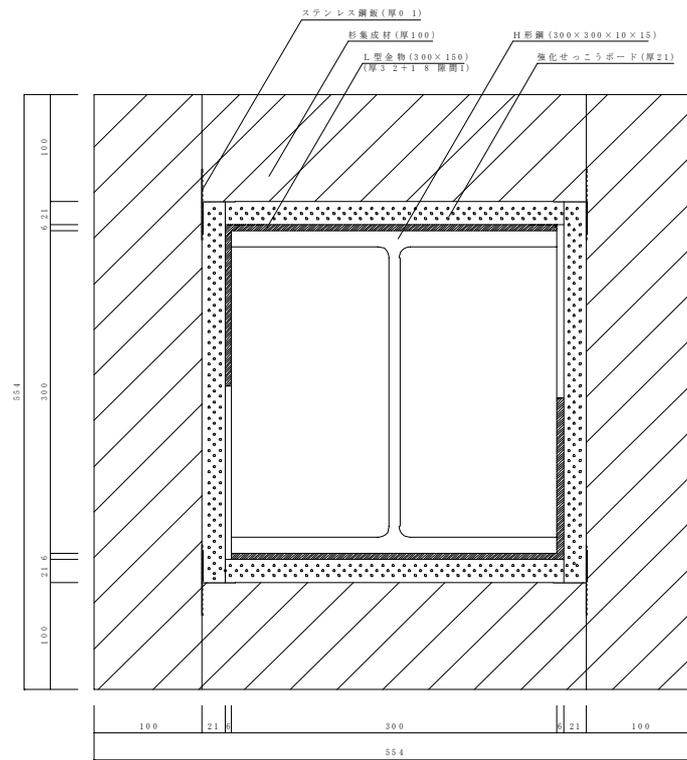


図-5 2時間加熱H形鋼

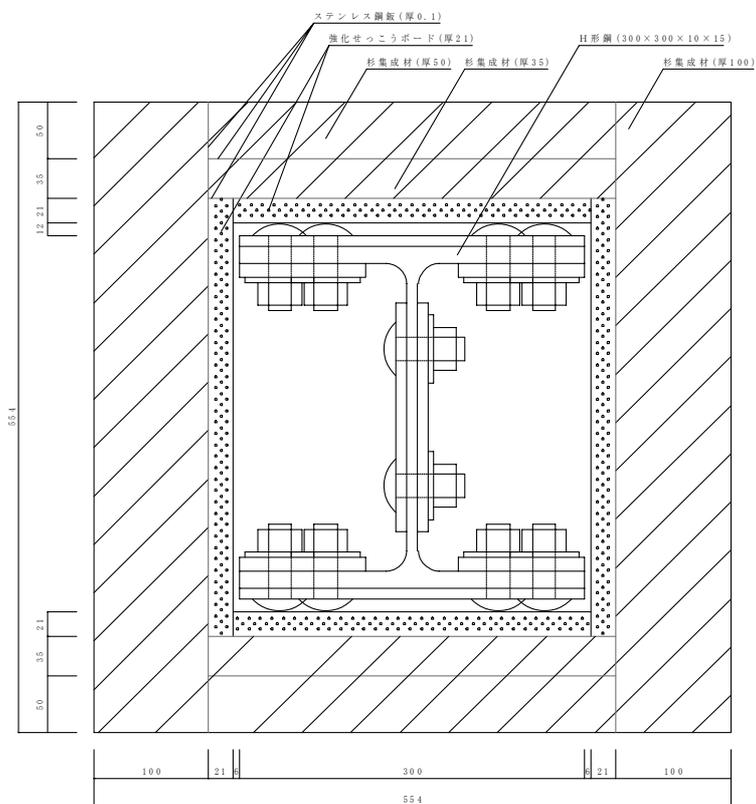


図-6 2時間加熱H形鋼接合部

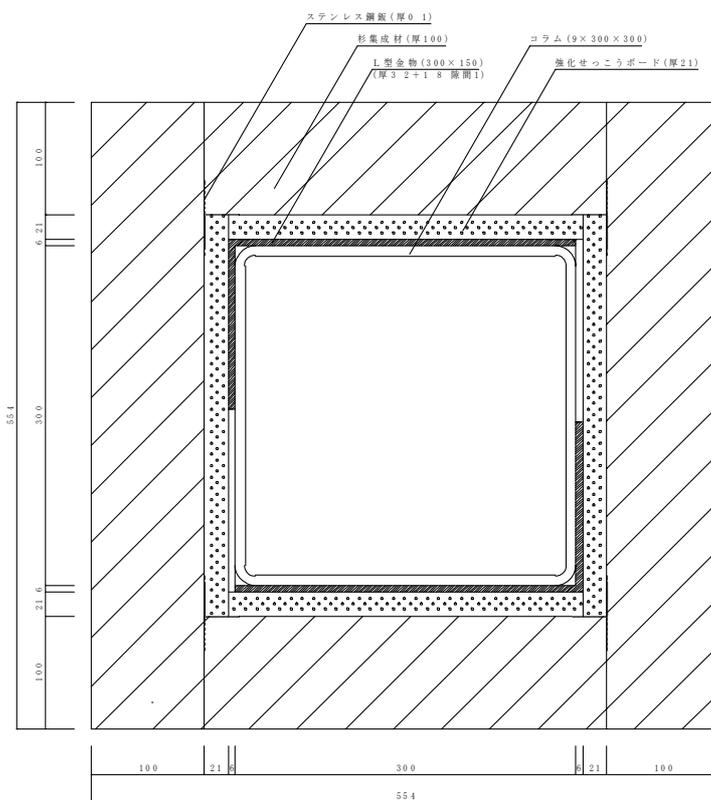


図-7 2時間加熱角形鋼管(300×300)

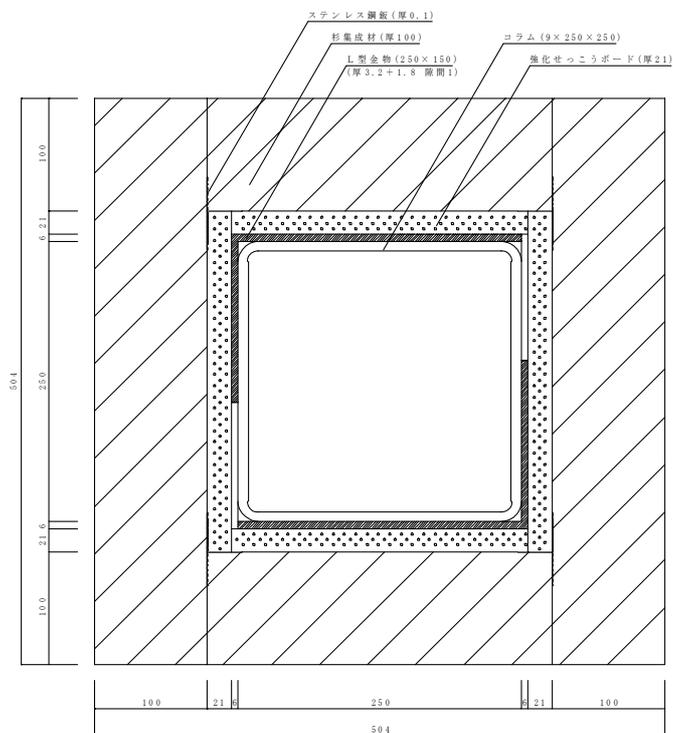


図-8 2時間加熱角形鋼管(250×250)

H形鋼熱電対位置

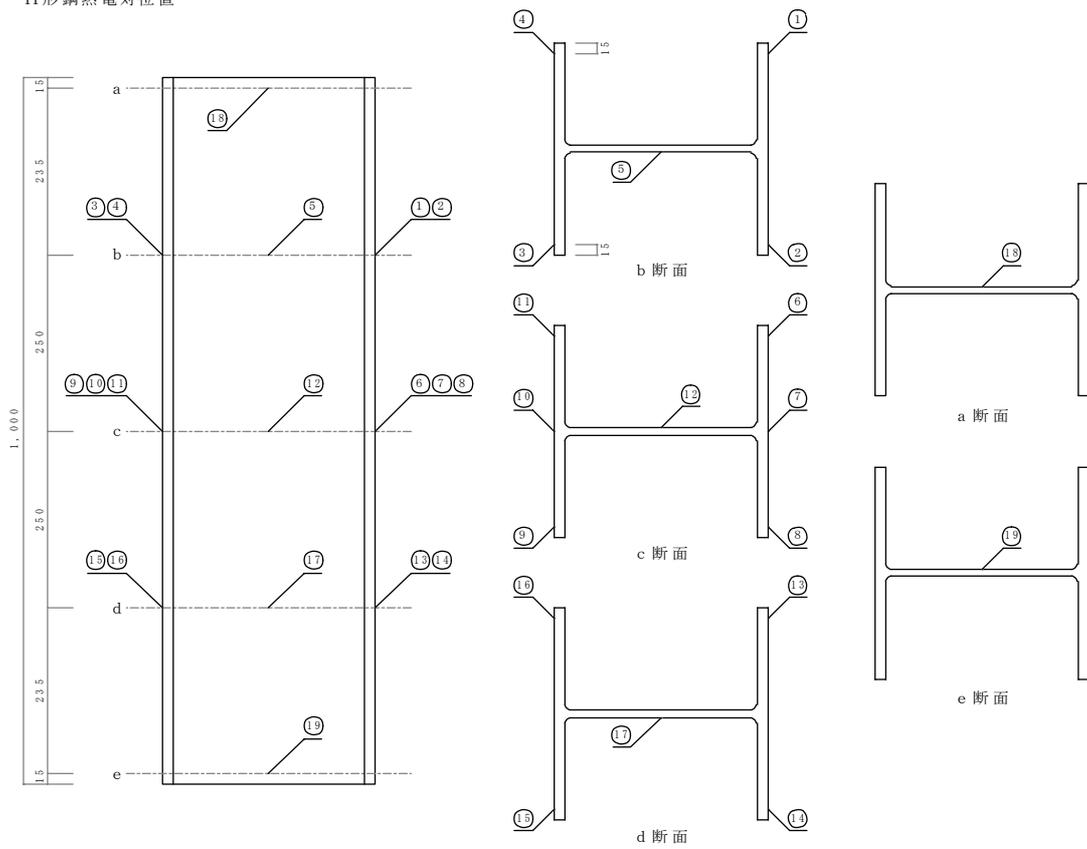


図-9 H形鋼熱電対取付位置

コラム熱電対位置

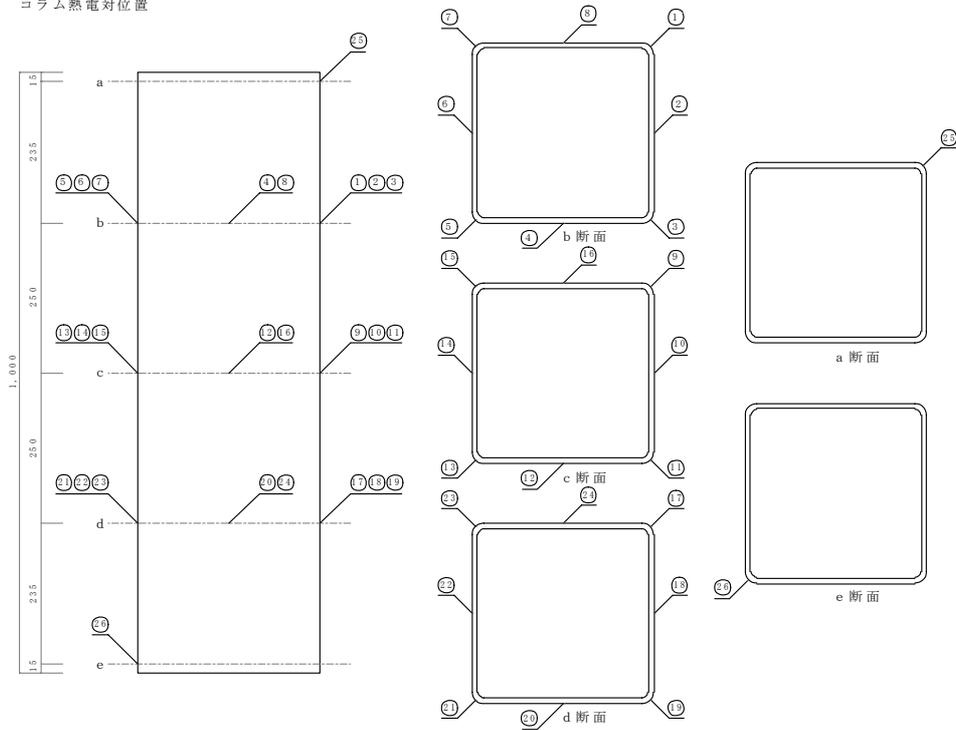


図-10 角形鋼管熱電対取付位置

H形鋼250(継手)熱電対位置

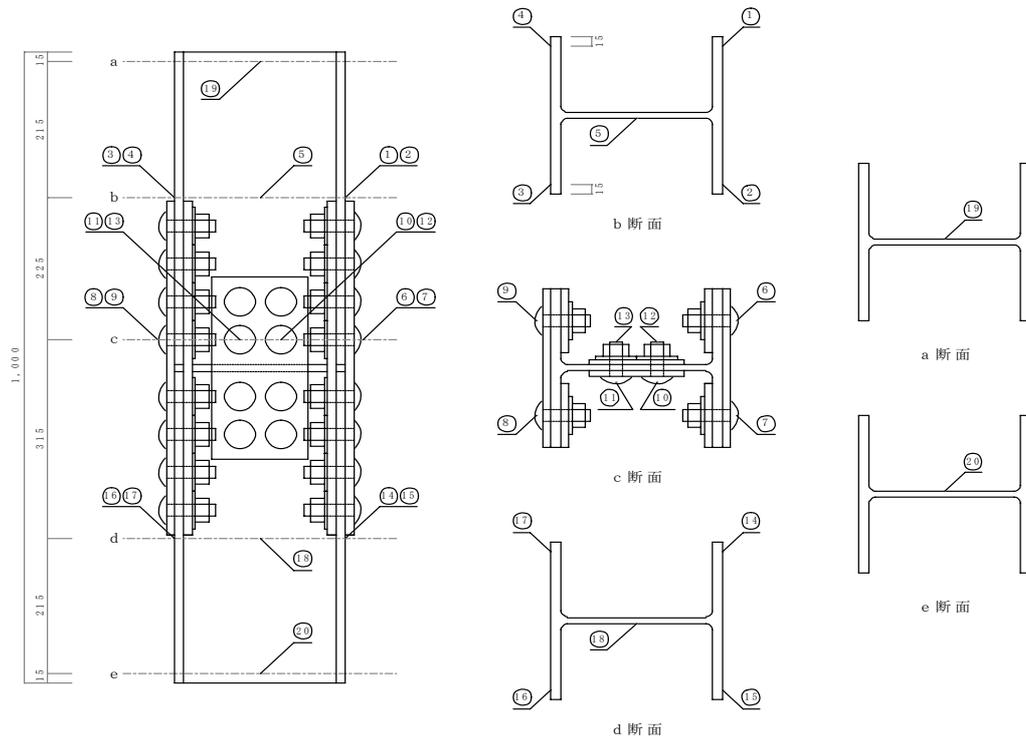


図-11 H形鋼接合部熱電対取付位置(250×250)

H形鋼300(継手)熱電対位置

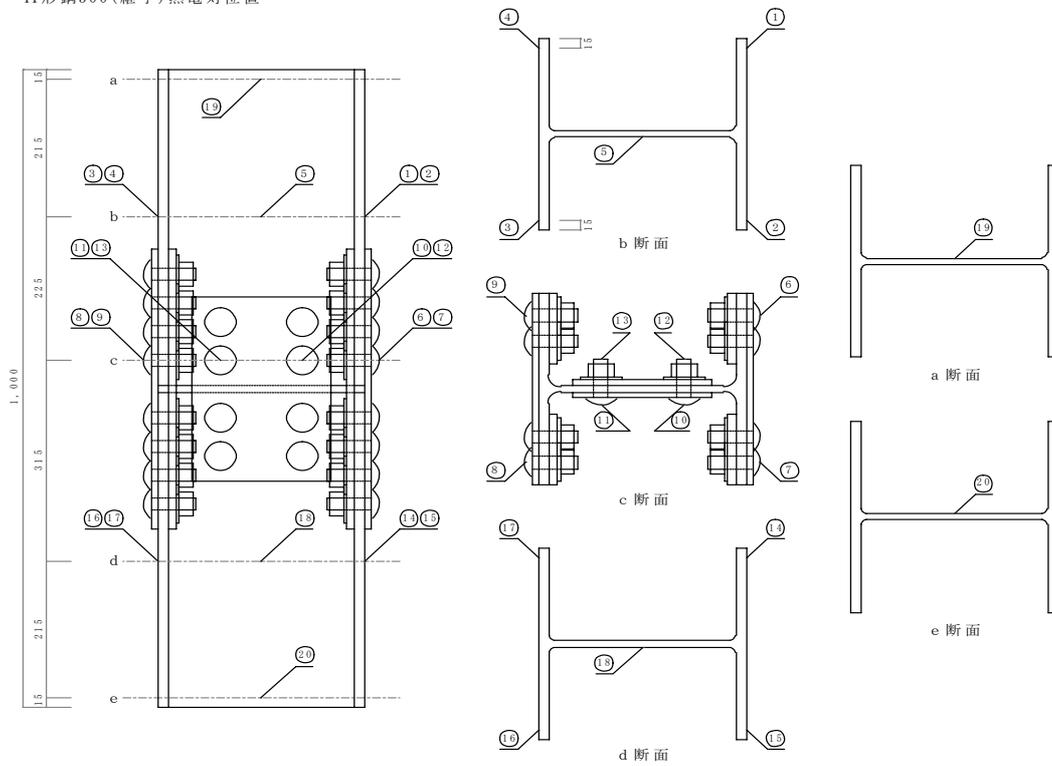


図-12 H形鋼接合部熱電対取付位置 (300×300)

2. 加熱方法

試験装置は、財団法人ベターリビング筑波建築試験センターの水平炉を用いて、モデル柱試験体を4体ずつ設置してISO834に規定する1時間及び2時間の加熱試験を行った。それぞれの加熱を行った後、そのままの状態では火気が認められなくなるまで（燃え尽きるまで）炉内に放置した。

実験結果及び考察

1. 1時間加熱試験

加熱温度は、JIS C 1605に規定するクラス2の線形を持つ線形3.2mmのSKシース熱電対の熱接点を試験体から100mm離れた位置に18点設置して測定した。1時間加熱試験の炉内温度と時間の関係は図-13のとおりであった。

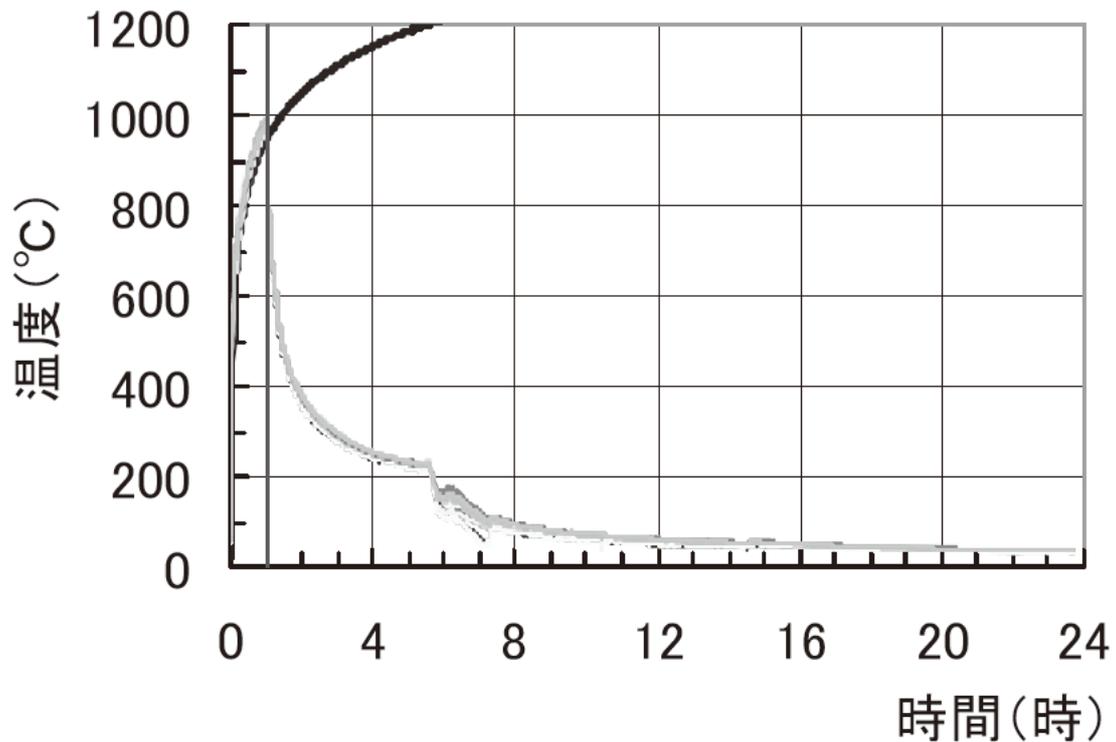


図-13 炉内温度と時間の関係

鋼材温度は、JIS C 1602に規定するクラス2の線形を持つ線形0.65mmのK熱電対の熱接点を鋼材の表面に配置して測定した。各試験体の結果の概要と、鋼材温度と時間の関係、試験前と試験後の試験体の状況は以下のとおりであった。

試験体No. 1の仕様については、加熱停止4時間30分後には構造用集成材はほぼ燃え尽きていたが、赤熱は残っていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードには亀裂が入っていたがステンレス鋼板の剥落は無かった。解体後、柱脚部から少し出煙が認められた。鋼材温度と時間の関係を図-14に示す。鋼材温度の最高は280(476分経過時)、平均は230(441分経過時)であり、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真-1, 2に示す。

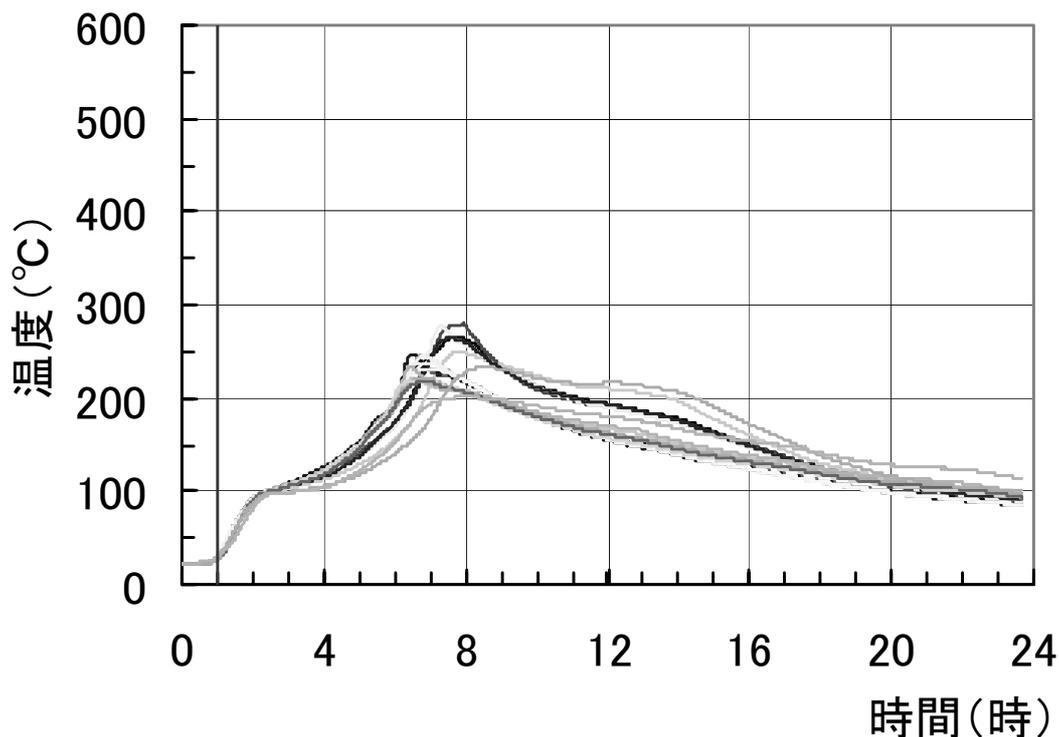


図-14 鋼材温度と時間の関係



写真-1 試験前



写真-2 試験後

試験体No. 2 の仕様については、加熱停止4時間30分後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードには亀裂が入り一部剥落し鋼材が露出していた。栈は燃え尽きていた。解体後、石膏ボード裏面(鋼材側)は変色のみで、石膏ボード自身の劣化は殆ど無い状態であった。鋼材温度と時間の関係を図-15に示す。鋼材温度の最高は316 (559分経過時)、平均は204 (337分経過時)であり、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真-3, 4に示す。

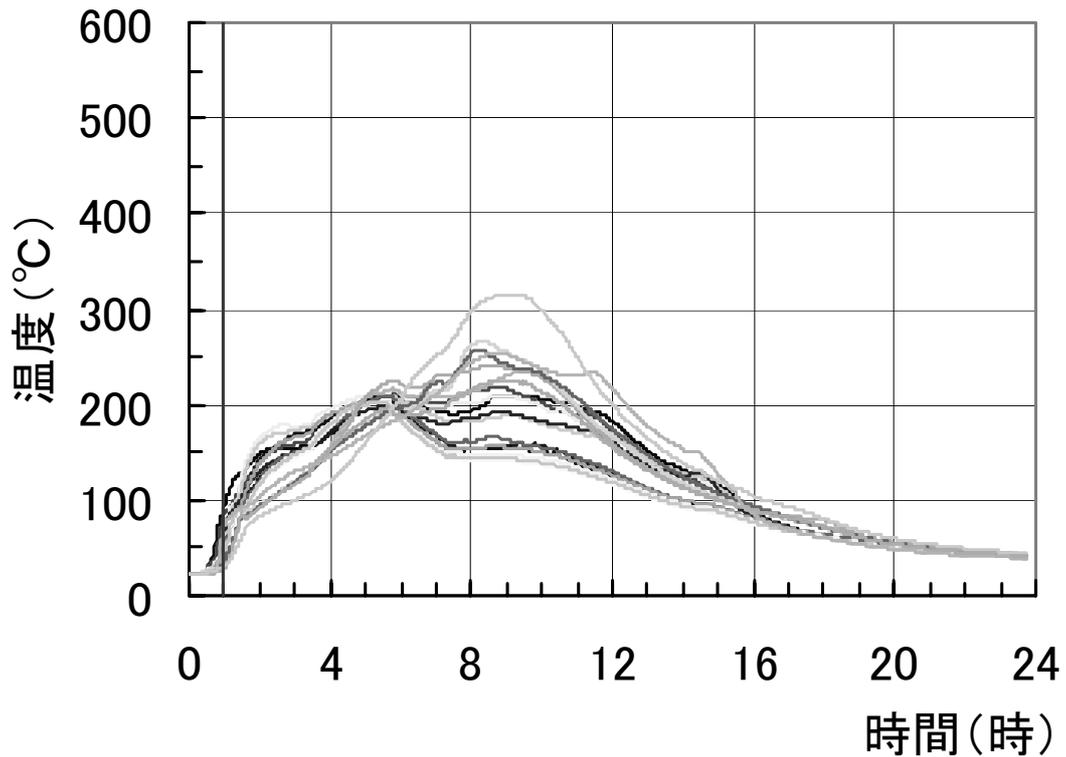


図-15 鋼材温度と時間の関係



写真-3 試験前



写真-4 試験後

試験体No.3の仕様については、加熱停止4時間30分後では、構造用集成材はまだ燃焼を継続していたが、加熱停止9時間15分後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。ステンレスプレートの剥落は無かった。鋼材温度と時間の関係を図-16に示す。鋼材温度の最高は300（419分経過時）、平均は250（417分経過時）であり、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真-5、6に示す。

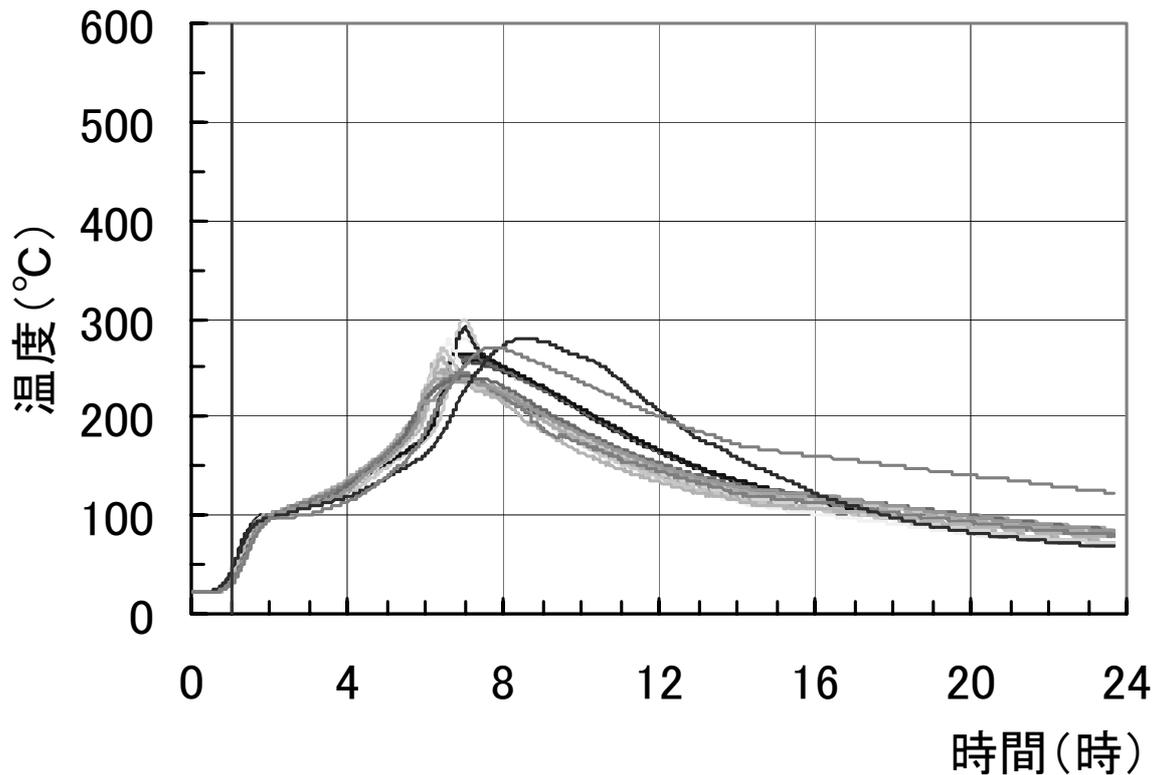


図-16 鋼材温度と時間の関係



写真-5 試験前



写真-6 試験後

試験体No. 4 の仕様については、加熱停止 4 時間30分後には、構造用集成材はまだ燃焼を継続していたが、加熱停止 9 時間15分後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。ステンレス鋼板の剥落は無かった。鋼材温度と時間の関係を図 - 17に示す。鋼材温度の最高は279 (442分経過時)、平均は250 (442分経過時) であり、No. 3 試験体と似かよった燃性性状を示し、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真 - 7, 8 に示す。

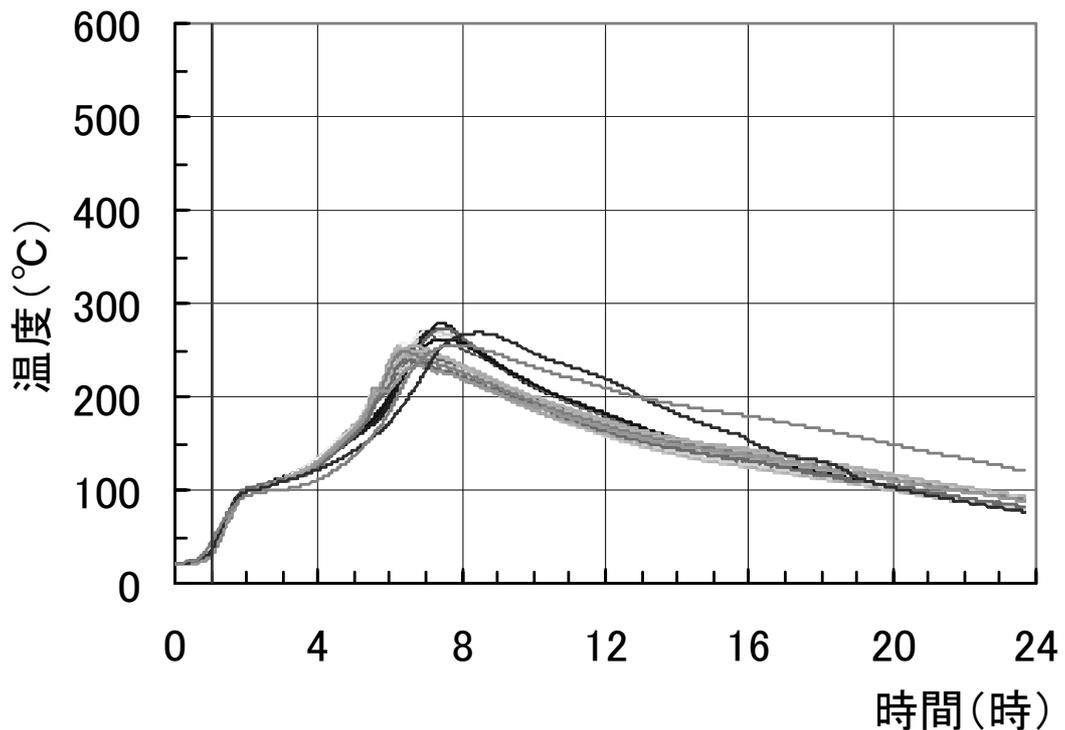


図-17 鋼材温度と時間の関係



写真-7 試験前



写真-8 試験後

2. 2時間加熱試験

加熱温度は、1時間加熱同様JIS C 1605に規定するクラス2の線形を持つ線形3.2mmのSKシース熱電対の熱接点を、試験体から100mm離れた位置に18点設置して測定した。2時間加熱試験の炉内温度と時間の関係は図-18のとおりであった。

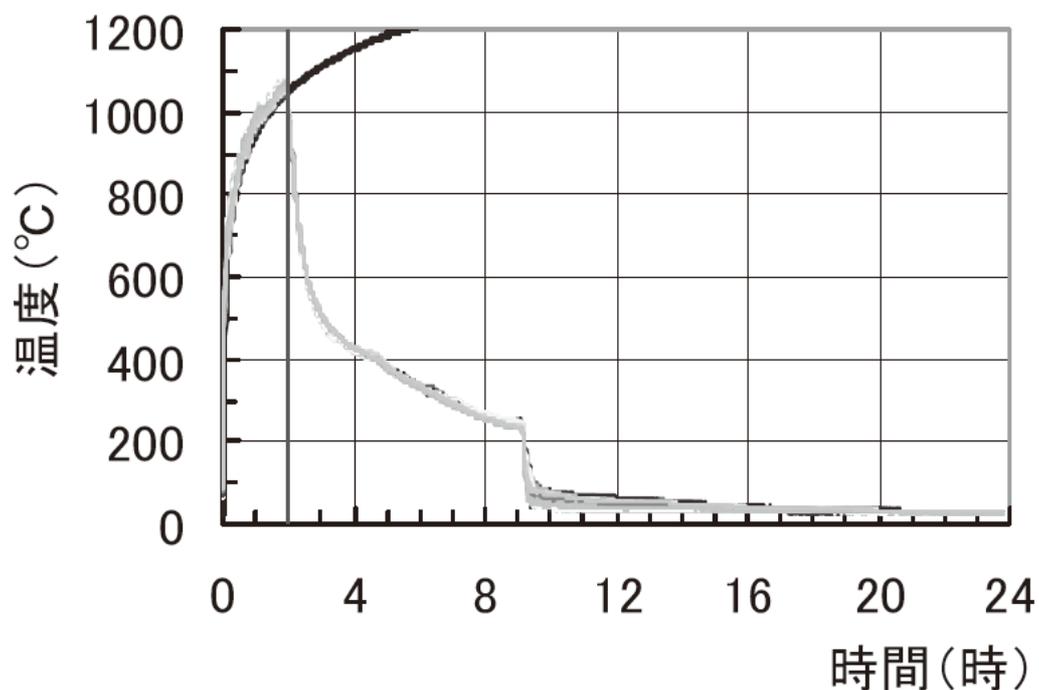


図-18 炉内温度と時間の関係

鋼材温度についても、1時間加熱同様JIS C 1602に規定するクラス2の線形を持つ線形0.65mmのK熱電対の熱接点を鋼材の表面に配置して測定した。試験体毎の結果の概要と、鋼材温度と時間の関係、試験前と試験後の試験体の状況は以下のとおりであった。

試験体No. 1 の仕様については、加熱停止 8 時間後には構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードには亀裂が入り、一部剥落していたがステンレス鋼板の剥落は無かった。鋼材温度と時間の関係を図 - 19 に示す。鋼材温度の最高は428 (736分経過時)、平均は329 (778分経過時) であり、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真 - 9, 10 に示す。

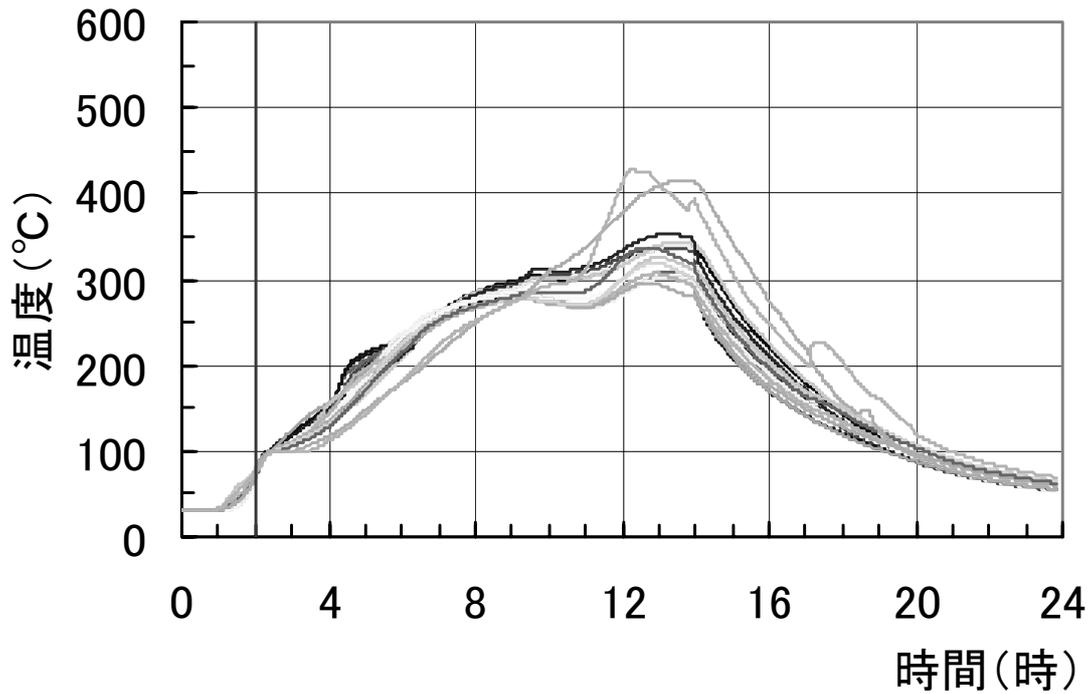


図-19 鋼材温度と時間の関係



写真-9 試験前



写真-10 試験後

試験体No.2の仕様については、加熱停止8時間後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていたが、椽に関してはまだ燃焼が継続していた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードには亀裂が入り、石膏ボード及びステンレス鋼板の一部が剥落していた。鋼材温度と時間の関係を図-20に示す。鋼材温度の最高は526（523分経過時、平均は466（526分経過時）であり、無荷荷による規定値を100（最高450，平均350）近く超えているが、これまでの荷荷試験において（並木ら 2007;田坂ら 2006a,2006b）耐火性能を有することが確認されている。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真-11, 12に示す。

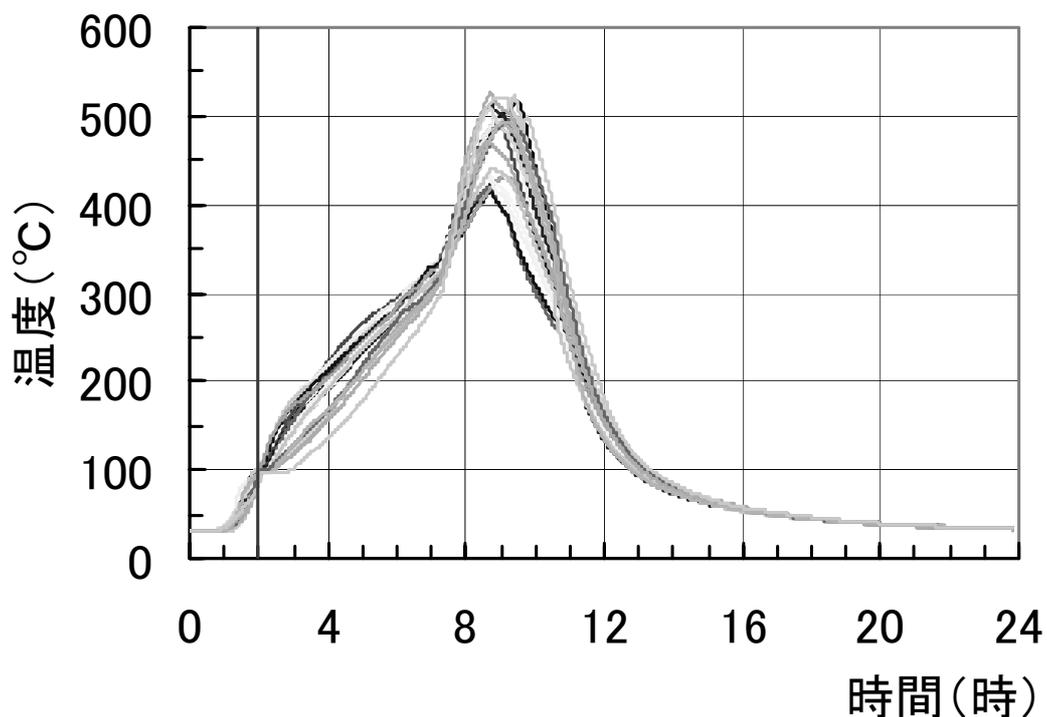


図-20 鋼材温度と時間の関係



写真-11 試験前

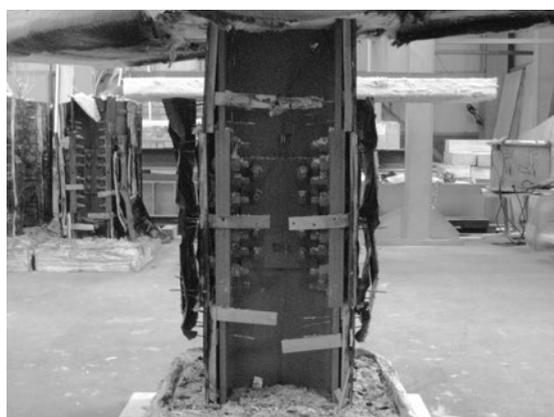


写真-12 試験後

試験体No.3の仕様については、加熱停止8時間後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードには亀裂が入っていたが、ステンレスプレートの剥落は無かった。鋼材温度と時間の関係を図-21に示す。鋼材温度の最高は339（425分経過時）、平均は330（436分経過時）であり、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真-13, 14に示す。

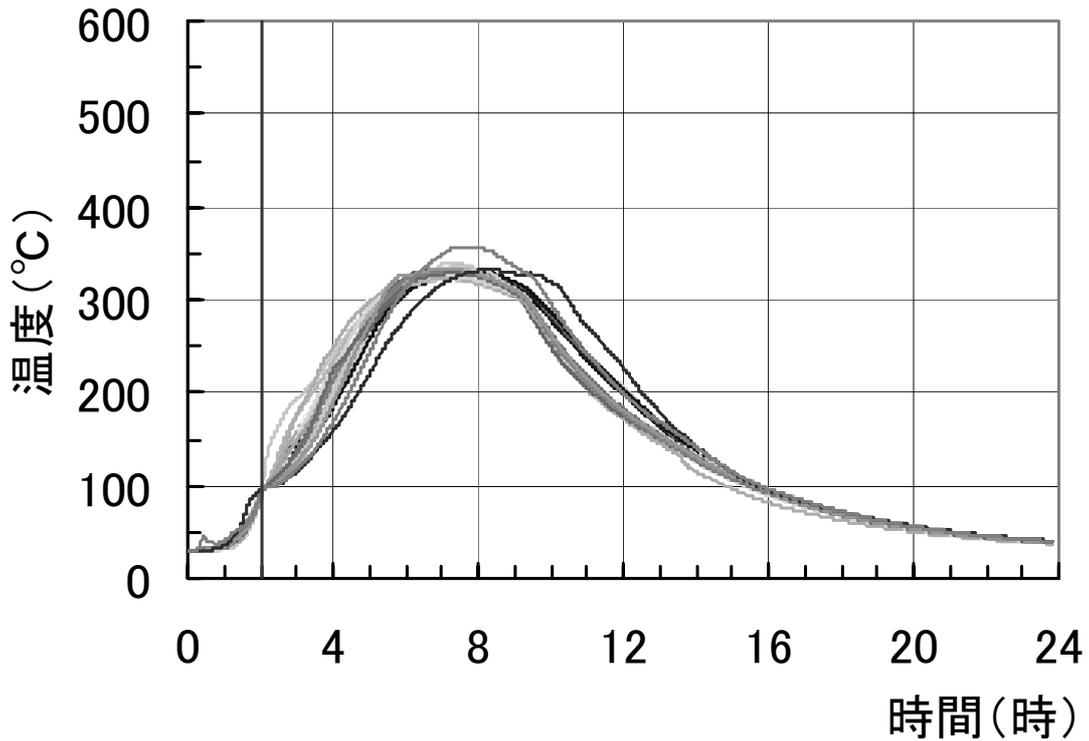


図-21 鋼材温度と時間の関係



写真-13 試験前



写真-14 試験後

試験体No. 4 の仕様については、加熱停止 8 時間後には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止22時間後には構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。石膏ボードは亀裂が入っていたが、ステンレス鋼板の剥落は無かった。鋼材温度と時間の関係を図 - 22 に示す。鋼材温度の最高は 341 (466分経過時)、平均は315 (457分経過時) であり、No. 3 試験体と似かよった燃性性状を示し、耐火性能を充分有することが確認された。試験体の過熱前と加熱後の状況を写真 - 15, 16 に示す。

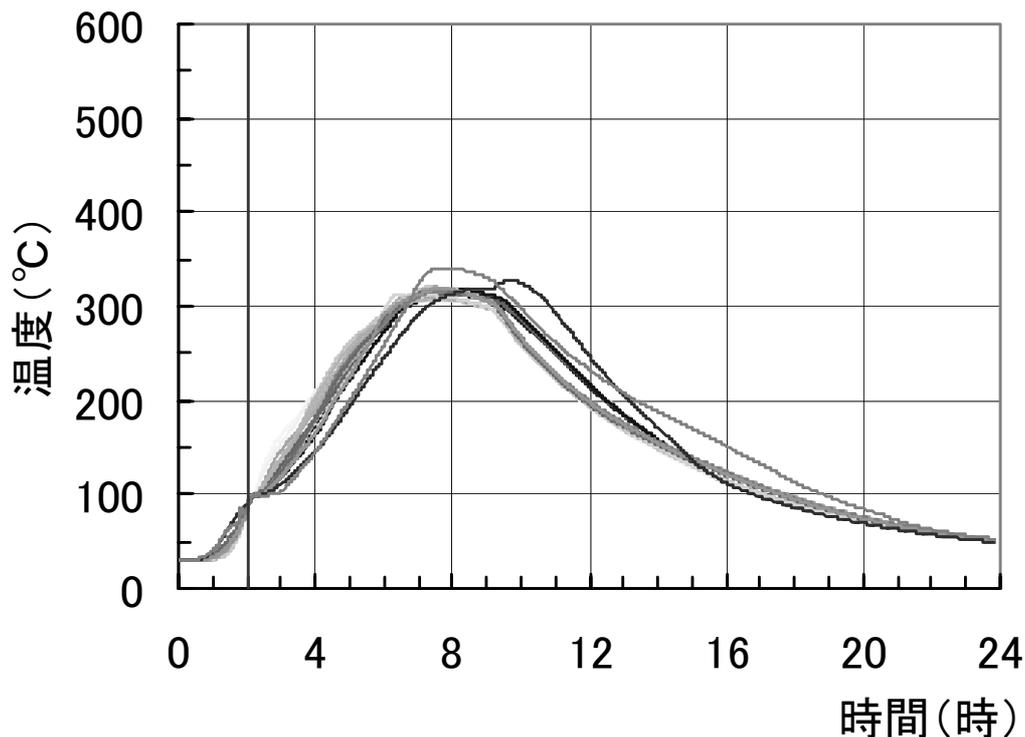


図-22 鋼材温度と時間の関係



写真-15 試験前



写真-16 試験後

実験結果の概要のまとめたものを表-2に, 1時間加熱の試験体毎の平均鋼材温度と時間の関係を図-23, 2時間加熱の試験体毎の平均鋼材温度と時間の関係を図-24に示す。

表-2. 実験結果の概要

試験体No		鋼材温度(°C)		備考
		最高	平均	
1 時間 加熱	No.1	280(476分)	230(441分)	H形鋼
	No.2	316(559分)	204(337分)	H形鋼(接合部)
	No.3	300(419分)	250(417分)	角形鋼(300×300mm)
	No.4	279(442分)	250(422分)	角形鋼(250×250mm)
2 時間 加熱	No.1	428(736分)	329(778分)	H形鋼
	No.2	526(523分)	466(526分)	H形鋼(接合部)
	No.3	339(425分)	330(436分)	角形鋼(300×300mm)
	No.4	341(466分)	315(457分)	角形鋼(250×250mm)

()内数字は記録時間

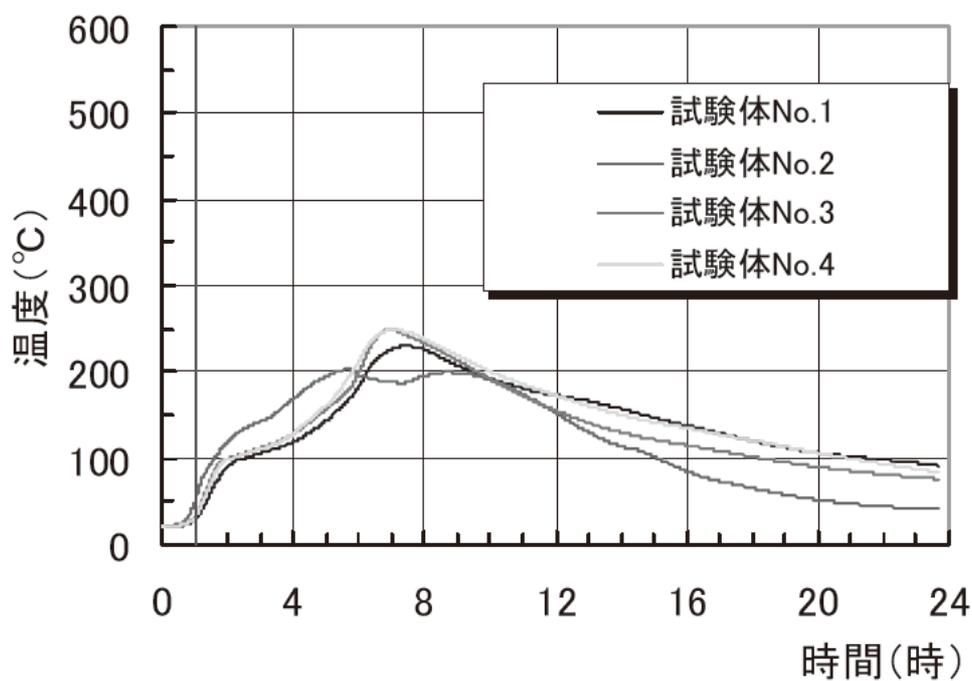


図-23 試験体毎の鋼材温度と時間の関係 (1時間加熱)

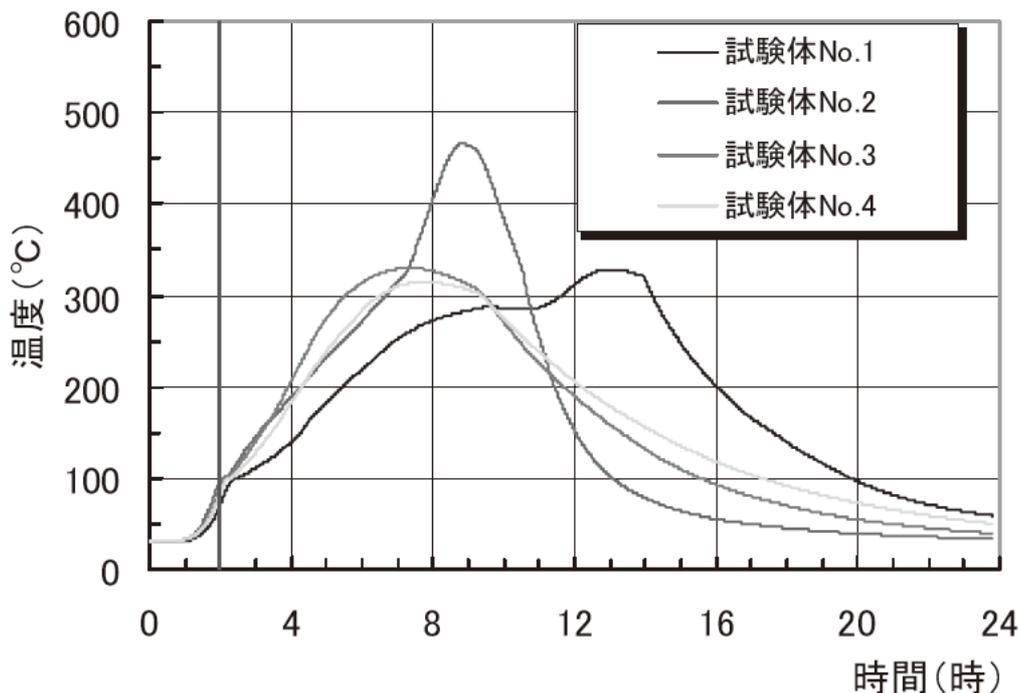


図-24 試験体毎の鋼材温度と時間の関係（2時間加熱）

今回の試験により、国産のスギ材を利用した燃え尽き型耐火被覆のモデル部材として検討した結果、1時間及び2時間の耐火構造として国土交通大臣の認定を取得するための、実大試験体による耐火性能試験に供する仕様の性能を確認することができた。

文 献

- 金城仁・遊佐秀逸・吉川利文・並木勝義・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川祐樹．2007．木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その17）H形鋼梁鋼構造のスギ材被覆による1時間耐火性能試験．平成19年度日本火災学会研究発表会梗概集，180-181
- 並木勝義・伊藤久・佐藤暢也・片岡福彦．2002．木材被覆鋼材の耐火性能．第52回日本木材学会大会研究発表要旨集，401
- 並木勝義・遊佐秀逸・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川祐樹・吉川利文・金城仁．2007．木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その16）角形鋼管柱鋼構造のスギ材被覆による2時間耐火性能試験．平成19年度日本火災学会研究発表会梗概集，178-179
- 並木勝義・遊佐秀逸・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川祐樹・吉川利文・須藤昌照・金城仁．2006b．木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その13）H形鋼梁鋼構造のスギ材被覆による2時間耐火性能試験．平成18年度日本火災学会研究発表会梗概集，54-57
- 並木勝義・遊佐秀逸・吉川利文・須藤昌照・金城仁．2006a．木質系構造の耐火性能に関する研究（その24）H形鋼梁鋼構造のスギ材被覆による2時間耐火性能試験．2006年度大会（関東）日本建築学会学術講演梗概集，65-66
- 田坂茂樹・遊佐秀逸・並木勝義．2006a．木質系構造の耐火性能に関する研究（その23）H形鋼柱鋼

構造のスギ材被覆による1時間耐火性能試験. 2006年度大会 (関東) 日本建築学会学術講演梗概集, 63-64

田坂茂樹・遊佐秀逸・並木勝義・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川祐樹. 2006b. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究 (その12) H形鋼柱鋼構造のスギ材被覆による1時間耐火性能試験. 平成18年度日本火災学会研究発表会梗概集, 50-53

遊佐秀逸・吉川利文・金城仁・並木勝義・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川裕樹. 2007. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究 (その15) 鋼構造の燃え尽き型木材被覆の検討 - 2. 平成19年度日本火災学会研究発表会梗概集, 176-177

遊佐秀逸・吉川利文・須藤昌照・金城仁・並木勝義・増田秀昭. 2006b. 木質系構造の耐火性能に関する研究 (その22) 鋼構造の燃え尽き型木材被覆による耐火性能の確保. 2006年度大会 (関東) 日本建築学会学術講演梗概集, 61-62

遊佐秀逸・吉川利文・須藤昌照・金城仁・並木勝義・中山伸吾・川北泰旦・片岡福彦・中川裕樹. 2006a. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究 (その11) 鋼構造の燃え尽き型木材被覆による耐火性能の確保. 平成18年度日本火災学会研究発表会梗概集, 46-49