

原 著

木質複合構造の耐火性能に関する研究
(その7)鋼構造の燃え尽き型木材被覆による耐火性能の確保

Fire resistance of the hybrid wooden structure (VII)
Experimental results on fire resistance performance for steel structure protected
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⁾, 須藤昌照²⁾, 金城 仁²⁾

NAMIKI, Yoshitomo, YUSA, Shuitsu, NAKAYAMA, Shingo, KAWAKITA, Hiroaki,
KATAOKA, Fukuhiko, NAKAGAWA, Yuuki, YOSHIKAWA, Toshifumi, SUDO, Masateru and
KINJOH, Hitoshi

要旨：これまでの研究成果では、鉄骨の耐火被覆として、カラマツ、ベイマツについては燃え止まり性状を利用した耐火構造が国土交通大臣の認定を得ている。スギ、ヒノキについては60分加熱では燃え止まり性状を示さずに燃え尽きることが明らかになっている。しかし、当該木材に関しては、燃え尽きても鋼材断面が一定以上であれば耐火性能を確保できる可能性のあることが示唆されている。本報告は長さ1mのモデル柱部材に対して、スギ、ヒノキ集成材を被覆材として用い、1時間及び2時間の加熱試験を実施し、これらの燃え尽き時における鋼材温度の上昇性状について検討したものである。試験体は、1時間加熱は、H250×250×9×14、2時間加熱はH300×300×10×15の鋼材を使用した。試験結果は、1時間加熱、2時間加熱双方に於いて、加熱時間終了近辺で鋼材の温度が急激に上昇する傾向が認められ、実大試験体作製に関しては温度上昇を防ぐための何らかの対策の必要性が示唆された。

はじめに

これまでの研究では、主にカラマツ、ベイマツを使用した燃え止まり部材に関するものであった(増田ら 2004 ; 遊佐ら 2004, 2005)。これらの研究成果では、鉄骨の耐火被覆として、カラマツ、ベイマツの燃え止まり性状を利用した耐火構造が国土交通大臣から全国初の認定を得ており研究の応用例として、石川県に於いてカラマツ集成材を使用した5階建ての木質系ビルの建設も行われた。スギ、ヒノキについては60分加熱では燃え止まり性状を示さずに燃え尽きることが明らかになっている(川合ら 2003 ; 増田ら 2003a, 2003b ; 遊佐ら 2003)。ただし、当該木材に関しては、燃え尽きても鋼材断面が一定以上であれば耐火性能を確保できる可能性のあることが示唆されている。本報告は長さ1m

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：並木勝義 namiky00@pref.mie.jp

のモデル柱部材に対して、スギ、ヒノキ集成材を被覆材として用い、これらの燃え尽き時における鋼材温度の上昇性状について検討したものである。なお、本報告及び次報(その8)、(その9)は、農林水産省委託事業「平成17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—」研究の一環として実施したものであり、平成18年度日本火災学会研究発表会(遊佐ら 2006a)及び2006日本建築学会大会(関東)(遊佐ら 2006b)で発表した内容を改変したものである。

実験概要

1. 試験体

試験体の概要を表-1に示す。使用した鋼材は、2時間加熱用試験体はH-300×300×10×15であり、1時間加熱用のそれはH-250×250×9×14である。被覆材としては、スギ集成材又はヒノキ集成材を用い、ウェブ部は不燃材(体積比：木炭40%、木片40%、セメント20%)を密実に充填したもの、又は、スギ、ヒノキ等を被覆材取り付け用の栈としてはめ込んだものとした。木材の被覆厚さはこれまでの研究結果から、1時間加熱は60mm、2時間加熱は100mmとした。嵩比重はスギ材、ヒノキ材、それぞれ0.39及び0.44であり、含水率は絶乾測定でそれぞれ11%及び10.2%であった。集成材の接着には、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を使用した(並木ら 2002)。試験体の概要及び熱電対取り付け位置を図1～3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		備考	
					(絶乾)	(表面)		
1 時間 加熱	No. 1	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 60	0.39	11.0%	11.4%	栈： スギ
			H形鋼	H-250×250×9×14				
	No. 2	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 60	0.39	11.0%	10.6%	栈： 不燃材
			H形鋼	H-250×250×9×14				
	No. 3	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 60	0.39	11.0%	9.1%	不燃材 充てん
H形鋼			H-250×250×9×14					
No. 4	ヒノキ	構造用集成材	被覆厚さ 60	0.44	10.2%	8.9%	栈： ヒノキ	
		H形鋼	H-250×250×9×14					
No. 5	ヒノキ	構造用集成材	被覆厚さ 60	0.44	10.2%	7.6%	栈： 不燃材	
		H形鋼	H-250×250×9×14					
2 時間 加熱	No. 1	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 100	0.39	11.0%	11.8%	栈： スギ
			H形鋼	H-300×300×10×15				
	No. 2	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 100	0.39	11.0%	11.9%	栈： 不燃材
			H形鋼	H-300×300×10×15				
	No. 3	スギ	構造用集成材	被覆厚さ 100	0.39	11.0%	13.1%	不燃材 充てん
H形鋼			H-300×300×10×15					
No. 4	ヒノキ	構造用集成材	被覆厚さ 100	0.44	10.2%	10.3%	栈： ヒノキ	
		H形鋼	H-300×300×10×15					
No. 5	ヒノキ	構造用集成材	被覆厚さ 100	0.44	10.2%	10.0%	栈： 不燃材	
		H形鋼	H-300×300×10×15					

試験体表面含水率はkett木材水分計により測定、不燃材(体積比)：木片40%、木炭40%、セメント20%

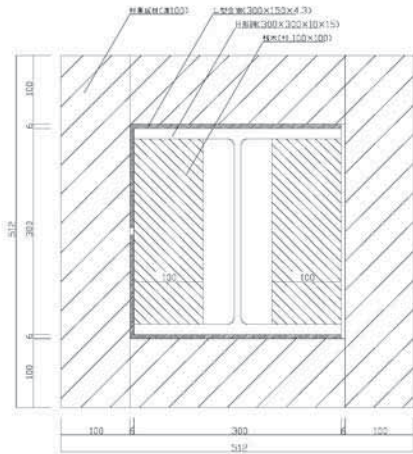


図-1. 断面図 (2時間加熱No.1)

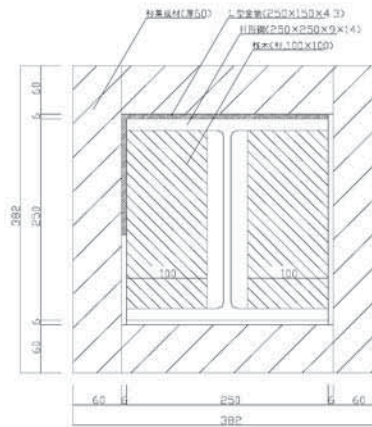


図-2. 断面図 (1時間加熱No.1)

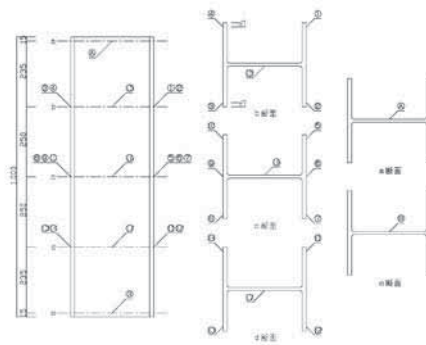


図-3. 熱電対位置

2. 実験方法

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5本ずつ設置してISO 834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、そのままの状態が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

実験結果を表-2に示す。また、炉内温度と時間の関係を図-4, 10に、鋼材温度と時間の関係を図-5~9, 11~15に、試験前と試験後の状況写真を写真-1~5, 7~11に、加熱中と加熱終了後の状況写真を写真-6に示す。

試験終了時、加熱範囲内のスギ集成材及びヒノキ集成材は各試験体ともすべて燃え尽きていたが、不燃材は残存した。試験結果は、1時間加熱, 2時間加熱双方に於いて、加熱時間終了付近で鋼材の温度が急激に上昇する傾向が認められ、実大試験体作製に関しては温度上昇を防ぐための何らかの対策の必要性が示唆された。

ヒノキはスギに比し急激な温度上昇の時間が少し遅れるようである。

栈またはウェブに不燃材を使用した仕様のもは、木材使用のものより燃焼による温度上昇が少ないことや熱容量が増大する関係で有利な結果が出ているが、重量の増加、製造コスト等の問題解決が今後の課題である。

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	725 (324 分)	426 (221 分)	栈： スギ
	No. 2	495 (169 分)	422 (177 分)	栈： 不燃材
	No. 3	247 (316 分)	173 (342 分)	不燃材 充てん
	No. 4	673 (391 分)	487 (295 分)	栈： ヒノキ
	No. 5	695 (350 分)	510 (290 分)	栈： 不燃材
2 時 間 加 熱	No. 1	719 (149 分)	645 (224 分)	栈： スギ
	No. 2	680 (151 分)	566 (188 分)	栈： 不燃材
	No. 3	552 (137 分)	355 (433 分)	不燃材 充てん
	No. 4	774 (450 分)	597 (352 分)	栈： ヒノキ
	No. 5	744 (468 分)	590 (394 分)	栈： 不燃材

今回の試験結果から本試験に供した各試験体仕様の1時間及び2時間加熱結果は、今後の実大試験体による耐火性能試験に供する部材仕様設計の参考になるものと考えられる。

文 献

川合孝明・遊佐秀逸・増田秀昭・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究(その3)鋼製柱を木質系材料で耐火被覆した仕様について. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 114-117.

増田秀昭・遊佐秀逸・川合孝明・大塚健二・上杉三郎. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究(その2)木製柱を耐火被覆した仕様について. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 110-113.

増田秀昭・遊佐秀逸・川合孝明・上杉三郎・並木勝義. 2004. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究(その5)梁部材の載荷加熱試験. 平成16年度日本火災学会研究発表会梗概集, 32-35

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.

遊佐秀逸・増田秀昭・川合孝明・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究(その1)耐火構造の実験的確認方法. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 106-109.

遊佐秀逸・増田秀昭・川合孝明・上杉三郎・並木勝義・斉藤春重. 2004. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究(その4)柱部材の耐火性能試験. 平成16年度日本火災学会研究発表会梗概集, 28-31.

- 遊佐秀逸・増田秀昭・川合孝明・上杉三郎・並木勝義. 2005. 木質系構造の耐火性能に関する研究 (その14)鋼材被覆型部材におけるボルト接合部の燃え止まり性状. 2005年度大会(近畿)日本建築学会学術講演梗概集, 119-120.
- 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.
- 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.

付 録

以下に試験中に観察された試験体ごとの状況を示す。

(1) 1時間加熱

- ・試験体No. 1 加熱停止3時間20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23時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止3時間後近辺で約425℃であり、最低400℃、最高600℃であった。
- ・試験体No. 2 加熱停止3時間20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23時間後には棧に用いた不燃材は健全であったが、構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止2時間後近辺で約420℃であり、最低340℃、最高495℃であった。
- ・試験体No. 3 加熱停止3時間20分を経過しても燃え止まりを確認できなかったが、加熱停止23時間後には燃え止まっていた(集成材は殆ど燃え尽きていた)。また加熱停止23時間後にはH形鋼のウェブ部に充てんした不燃材は健全で、構造用集成材の一部は燃え止まって残っていた。鋼材平均温度は加熱停止5時間後近辺で約170℃であり、最低120℃、最高225℃であった。
- ・試験体No. 4 加熱停止3時間20分を経過しても燃え止まりが確認できず、加熱停止4時間50分には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止23時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止4時間後近辺で約490℃であり、最低420℃、最高670℃であった。
- ・試験体No. 5 加熱停止3時間20分を経過しても燃え止まりが確認できず、加熱停止4時間50分には、構造用集成材はほぼ燃え尽きていた。なお加熱停止23時間後には棧に用いた不燃材は健全であったが構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止4時間後近辺で約510℃であり、最低450℃、最高660℃であった。

(2) 2時間加熱

- ・試験体No. 1 加熱停止6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23時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止1時間後近辺で約640℃であり、最低630℃、最高720℃であった。
- ・試験体No. 2 加熱停止6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23時間後には棧に用いた不燃材は健全であったが構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。
- ・試験体No. 3 加熱停止6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23時間後にはH形鋼のウェブ部に充てんした不燃材は健全であったが構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。
- ・試験体No. 4 加熱停止6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23時間後には構造用集成材が燃え尽きて灰になっていた。鋼材平均温度は加熱停止4時間後近辺で約600℃であり、最低550℃、最高770℃であった。
- ・試験体No. 5 加熱停止6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23時間後には棧に用いた不燃材は健全であったが構造用集成材は燃え尽きて灰になっていた。

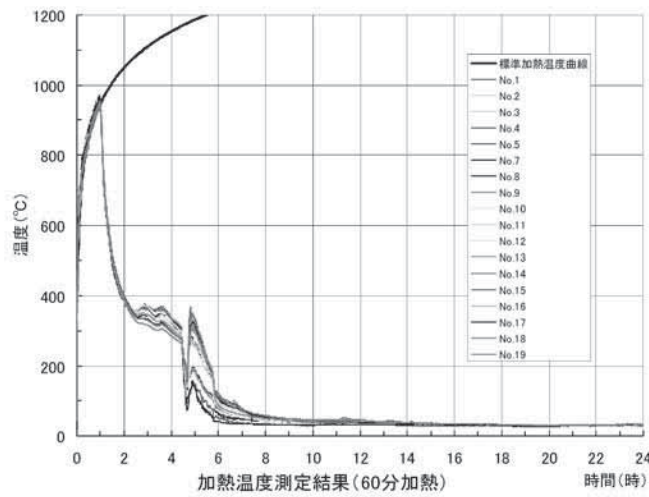


図-4. 炉内温度と時間の関係 (1時間加熱)

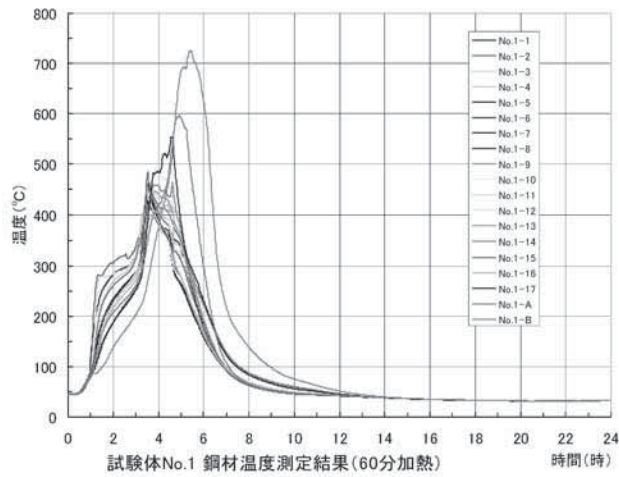


図-5. 鋼材温度と時間の関係 (No. 1 試験体)

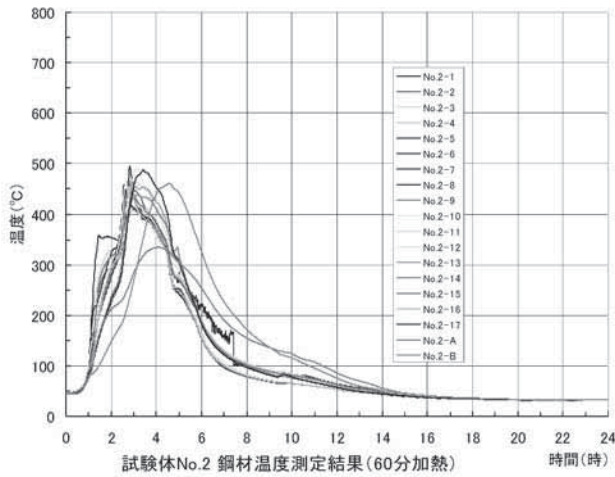


図-6. 鋼材温度と時間の関係 (No. 2 試験体)

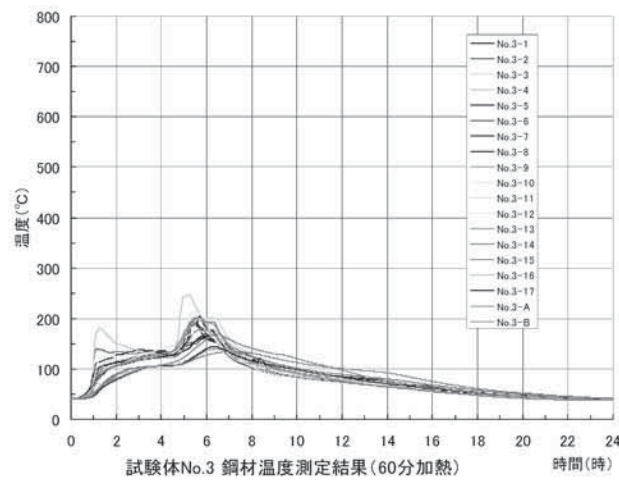


図-7. 鋼材温度と時間の関係 (No. 3 試験体)

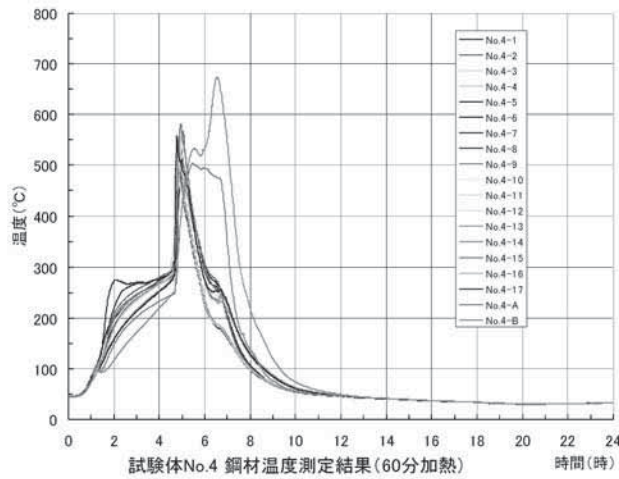


図-8. 鋼材温度と時間の関係 (No. 4 試験体)

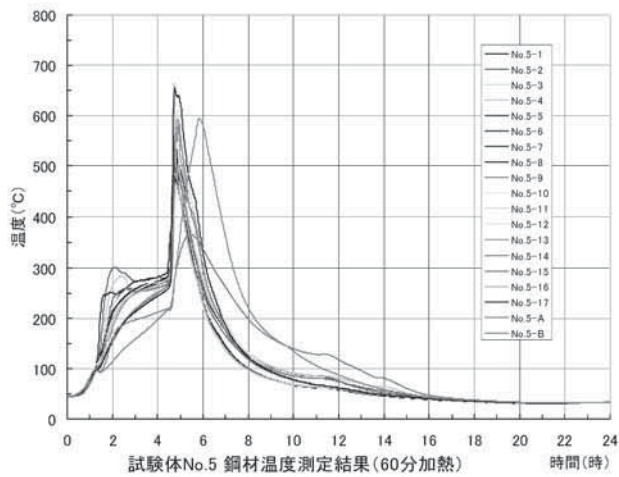


図-9. 鋼材温度と時間の関係 (No. 5 試験体)

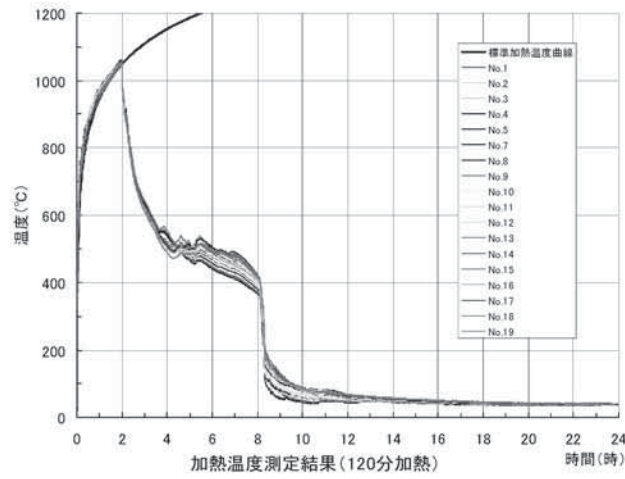


図-10. 炉内温度と時間の関係 (2時間加熱)

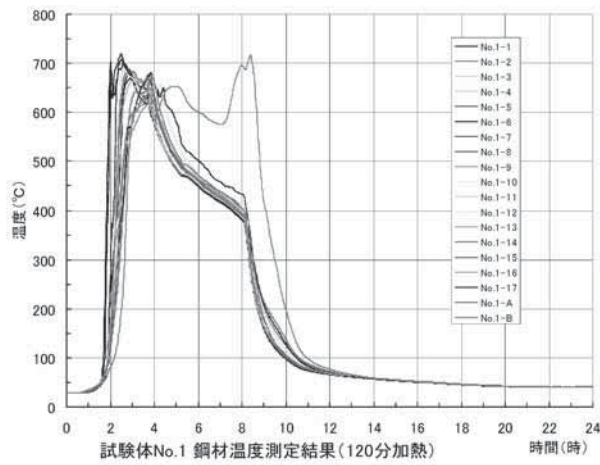


図-11. 鋼材温度と時間の関係 (No. 1 試験体)

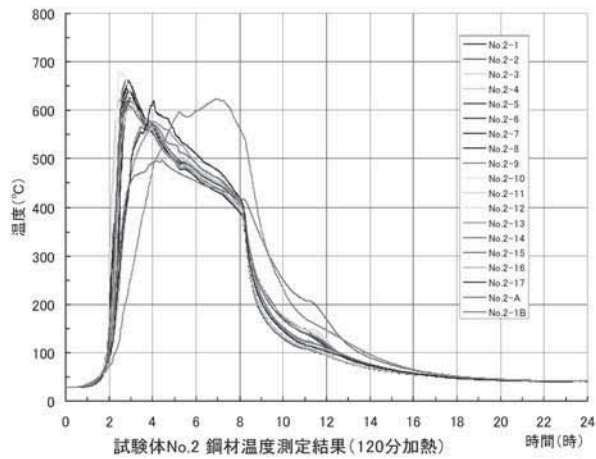


図-12. 鋼材温度と時間の関係 (No. 2 試験体)

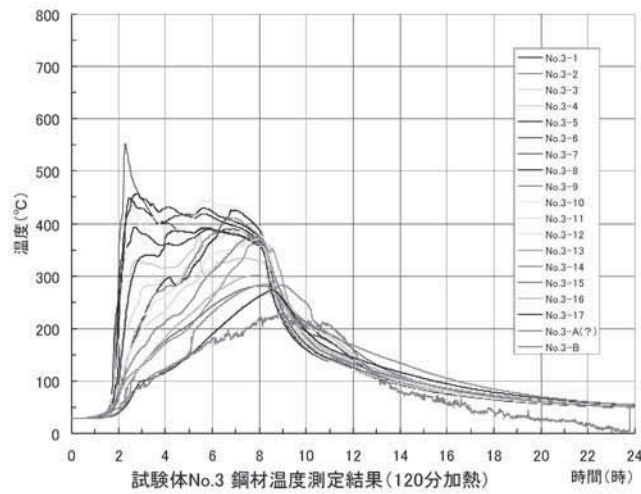


図-13. 鋼材温度と時間の関係 (No. 3 試験体)

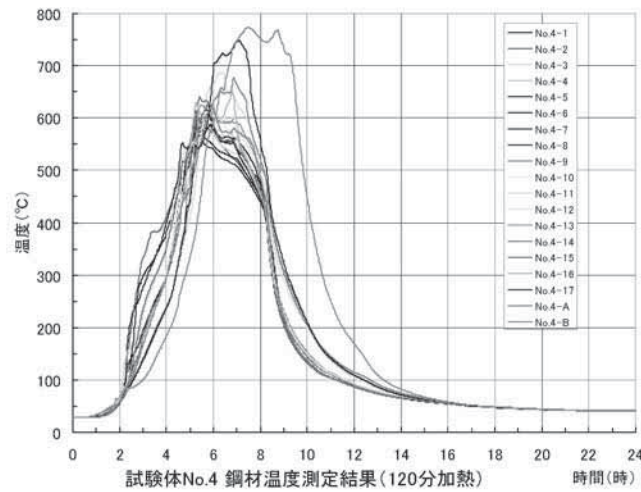


図-14. 鋼材温度と時間の関係 (No. 4 試験体)

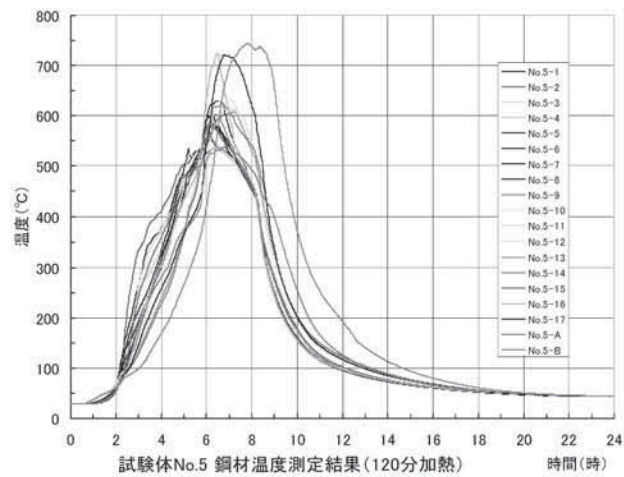


図-15. 鋼材温度と時間の関係 (No. 5 試験体)



写真-1. 試験前と試験後 (No. 1, 1時間加熱)



写真-2. 試験前と試験後 (No. 2, 1時間加熱)



写真-3. 試験前と試験後 (No. 3, 1時間加熱)



写真-4. 試験前と試験後 (No. 4, 1時間加熱)



写真-5. 試験前と試験後 (No. 5, 1時間加熱)

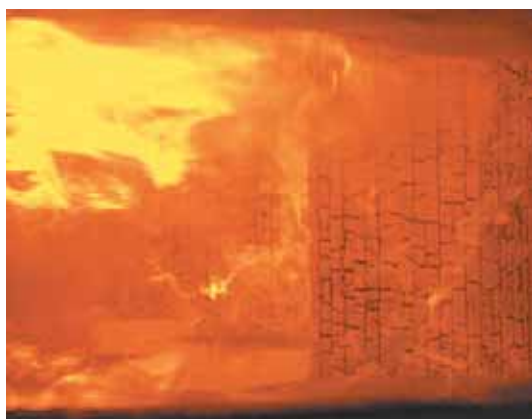


写真-6. 加熱中と加熱終了後の炉内の状況 (1時間加熱)



写真-7. 試験前と試験後 (No. 1, 2時間加熱)



写真-8. 試験前と試験後 (No. 2, 2時間加熱)



写真-9. 試験前と試験後 (No. 3, 2時間加熱)



写真-10. 試験前と試験後 (No. 4, 2時間加熱)



写真-11. 試験前と試験後 (No. 5, 2時間加熱)