

建築用耐火鋼板の開発と実用化

Development of Fire-Resistant Steel for Steel Construction

千々岩 力雄^{*(1)} 為 広 博^{*(2)} 吉 田 譲^{*(3)} 船 戸 和 夫^{*(4)}
 Rikio CHIJIWA Hiroshi TAMEHIRO Yuzuru YOSIDA Kazuo FUNATO
 植 森 龍 治^{*(5)} 堀 井 行 彦^{*(6)}
 Ryuji UEMORI Yukihiko HORII

抄 録

鉄骨建築物は火災に弱いとされ、このため使用部材に耐火被覆を十分に施さなければならなかった。しかしながら、耐火被覆工事の吹き付け作業は作業者の健康に悪影響を及ぼし、建築工期も長くなる。更に建物のスペースが狭くなる等の理由で耐火被覆の削減が強く求められていた。建築用耐火鋼の開発は、従来の建築用鋼に求められていた耐震性や溶接性等の特性は従来と同等以上に確保しながら高温強度の向上を図ったものである。上記の前提のもとに、高温強度に及ぼす合金元素や製造法の影響の基礎検討を行い、耐震性や良好な溶接性を兼ね備えた600°Cの強度を保證した耐火鋼の開発に成功した。主として、高温強度に及ぼす合金元素や製造法の検討について述べた。

Abstract

As steel-frame buildings are not highly resistant to fire, the protection of structural steel members through the use of fire-resistant materials is required. However, spraying of fire-resistant material has an adverse effect on the health of workers and is time-consuming job. Moreover, space of the building is decreased by such coating. Accordingly, there has been an increasing demand for the reduction of fire-resistant coating by developing a fire-resistant structural steel that combines high-temperature strength with aseismatic properties and weldability which are equivalent to or higher than those required for conventional steel for building structural use. To meet these requirements, fundamental studies were conducted to elucidate the effects of alloying elements and manufacturing methods on high-temperature strength. These studies culminated into the development of fire-resistant steel which provides high strength at 600°C and ensures high earthquake resistance and excellent weldability. This paper describes mainly the effects of alloying elements and manufacturing methods on high-temperature strength of steel for building structural use.

緒 言

鉄骨建築物は、火災時に高温になると鋼材の強度が低下し、建築物としての必要な耐力（降伏強度）が維持できなくなるため、耐火被覆で鉄骨を保護することが建築基準法で定められている。このような“耐火建築物”とすることが義務づけられているのは、主として不特定多数の人が利用する共同住宅、ホテルなどの建築物と市街地内の建築物である。耐火建築物では、柱、梁などの主要構造部材を“耐火構造”にする必要があり、現行法では法定時間（図1参照）ごとに“耐火構造の指定”を受けるため、耐火試験で鋼材温度が350°Cを超えないように鉄骨を耐火被覆で保護することが義務づけられている。

この理由は、350°C以上になると鋼材の耐力が常温規格値の2/3以

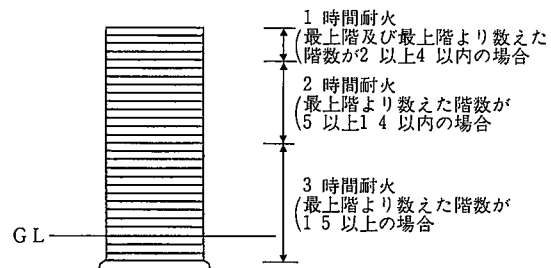


図1 建物の階数と法定耐火時間

下に低下し、構造上必要な耐力（長期許容応力度）を下回るためである。しかし、工事費の低減、工期の短縮、室内面積の有効利用などの面から、耐火被覆工事の軽減に対するニーズは極めて高くなっ

*⁽¹⁾ 技術開発本部 君津技術研究部 主任研究員
 *⁽²⁾ 技術開発本部 君津技術研究部 主幹研究員 工博
 *⁽³⁾ 君津製鐵所 品質管理部 掛長
 (現 技術開発本部 君津技術研究部 主任研究員)

*⁽⁴⁾ 君津製鐵所 品質管理部 室長
 *⁽⁵⁾ 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究所 主任研究員
 *⁽⁶⁾ 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究部 主幹研究員

ていた。

一方、1987年3月に建設省総合技術開発プロジェクト“建築物の総合防火設計法”が完了し、耐火構造の指定によらず建築物の耐火安全性を評価できる“新防火設計法”が実用化された¹⁾。新防火設計法では、鋼材の高温耐力により許容温度を設定できるため、鋼構造の耐火設計の分野においても新しい材料、設計手法の展開ができるようになった。すなわち、従来鋼よりも優れた高温耐力を有する鋼材とそれを使用した鉄骨耐火構造が開発できれば、耐火被覆工事を大幅に軽減することが可能になった。

高温強度の優れた鋼の研究は耐熱鋼の分野を中心に、中高温圧力容器、ボイラーチューブ等を対象に進められてきた。しかし、その使用条件は高温において長時間使用されるもので、火災を対象とする短時間の場合とは異なる。又、建築用鋼には、耐震性(低降伏比)や良好な溶接性等の特性も要求される。

新日本製鐵では、このようなニーズにいち早く対応し、耐火性の優れた鋼の開発に着手し、600°Cでの高温強度を保証した建築用耐火鋼の開発に成功した。

本論文は、高温強度に及ぼす鋼の合金元素、ミクロ組織、製造条件の効果に関する基礎的な検討結果とこれに基づいて工場で製造した耐火鋼の使用性能特性及び実用化の例について述べる。

2. 開発目標の設定

耐火鋼の開発において最も重要な課題の一つは高温強度が保証できる温度の設定である。以前に、防火災の先進地のヨーロッパの鉄鋼メーカー、クルゾーロワール社は火災温度900~1000°Cに耐えるモリブデン鋼の研究を行ったが^{2,3)}、実用化には至っていない。日本では、耐震性と火災に対する対策が必要である。すなわち、従来の建築用鋼と同等の耐震性や溶接性等の特性を確保しながら、1~3時間の短時間の高温強度を如何に満足させるかが課題である。建築物の耐火性は使用鋼材だけでなく、設計法、耐火被覆の厚さにも依存する。従って、鋼材の許容耐火温度と製造コストとの最適なバランスを決定することが極めて重要となる。

そこで高温強度を保証できる温度を決定するために探索検討を実施した。供試鋼は引強度(TS)400~780N/mm²の4種類の代表的な鋼で、その高温での引張試験の結果を図2に示す。高温引張試験は、10mm径の丸棒試験片(ゲージ長:40mm)を圧延方向に採取し、これを10°C/minの速度で所定の温度に昇温し、15min間保持した後、JIS G 0567に基づいて試験した。本論文における高温引張試験はすべてこの条件を適用した。

図2の試験結果を要約すると以下ようになる。

- (1)降伏強度(YS)はいずれの鋼においても500~600°Cから急激に低下し、700°C以上ではほぼ50N/mm²以下と極端に低くなる。
- (2)圧延後、直接焼入・焼戻処理(DQT)材は高温YSを高めるが、600°C以上での高温域のYS低下量が大きい。これに対して、圧延のままの材料(圧延後に空冷)は600°C付近のYSの低下量が少ない。

これらの結果から、耐火鋼の強度保証温度を700°Cに設定すると大量の合金添加は避けられず、良好な溶接性の維持が困難となるだけでなく、鋼の製造コストも大幅に増加する。しかし、強度保証温度が500°Cでは、耐火被覆の削減は僅かで、耐火鋼を使用するメリットが小さい。このため耐火鋼の強度保証温度を600°Cに設定した。又、600°CでのYSは従来の建築基準法を参考に常温規格値の2/3以上と

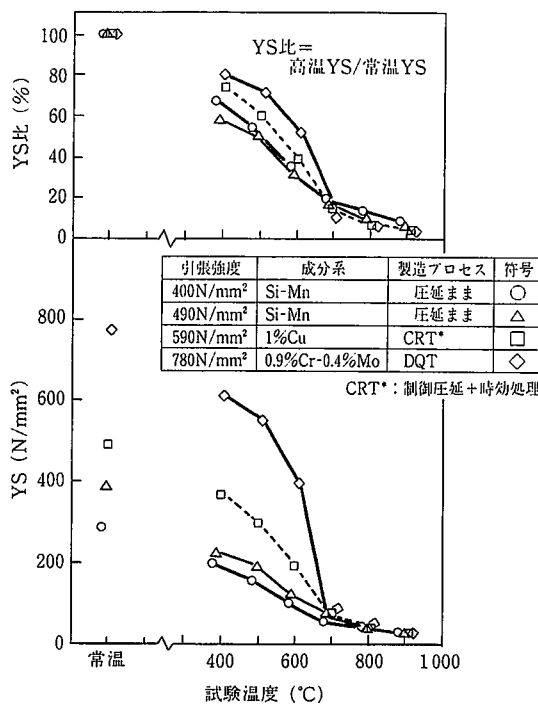


図2 代表的な従来鋼の高温引張試験結果

した。建築用耐火鋼の開発目標を表1に示す。

3. 高温強度向上に関する基礎的な検討

600°Cでの高温YSと建築用鋼としてのその他の諸特性を同時に満足させるため、実験室的検討を行った。高温YSは鋼の成分やミクロ組織等に依存すると考えられるので、これらの影響を中心に調査した。図2で明らかのように、高温のYSは常温のYSが高いほど高くなる傾向にあるが、焼入焼戻処理によって常温のYSを増加させると、高温でのYS低下量が大きくなる。従って、常温での強度規格、低降伏比を維持し、かつ優れた高温YSを得るには、フェライト(ポリゴナルフェライト)主体の鋼において常温YSと600°CでのYSの比率(以後、YS比と呼ぶ)を向上させることが極めて重要と考えられる。

3.1 高温強度に及ぼす合金元素の影響

(1)実験方法

鋼は20kg又は50kg真空溶解炉で実験室溶解し、それぞれ20kg, 50kg鋼塊に鑄造した。表2に溶解した鋼の化成分を示す。鋼AではC-Mn-Cr-Nbベース鋼でMo添加の影響を、鋼BではNb, Mo添加及びNb-Mo複合添加の効果を検討した。鋼板は、鋼塊を1100°Cで再

表1 建築用耐火鋼の開発目標

(1)強度特性 対象グレード: TS: 400~490N/mm ² 高温強度: 600°CのYSが常温規格値の2/3以上 降伏比(常温): 80%以下
(2)溶接性など耐火性以外の特性は従来鋼と同等以上

表2 実験室溶解鋼の主な化学成分

鋼	基本成分	変化させた成分 (wt%)
A	0.14C-1Mn-0.5Cr-0.02Nb	Mo: 0~0.59
B	0.1C-0.9Mn	Nb: 0.018, Mo: 0.47

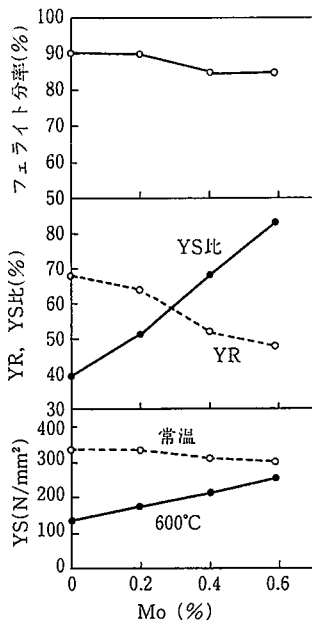


図3 鋼板の引張特性、フェライト分率に及ぼすMo添加の影響

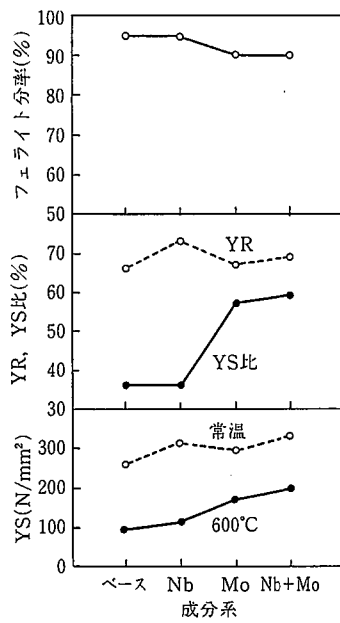


図4 鋼板の引張特性、フェライト分率に及ぼすNb, Mo添加及びNb-Mo添加の影響

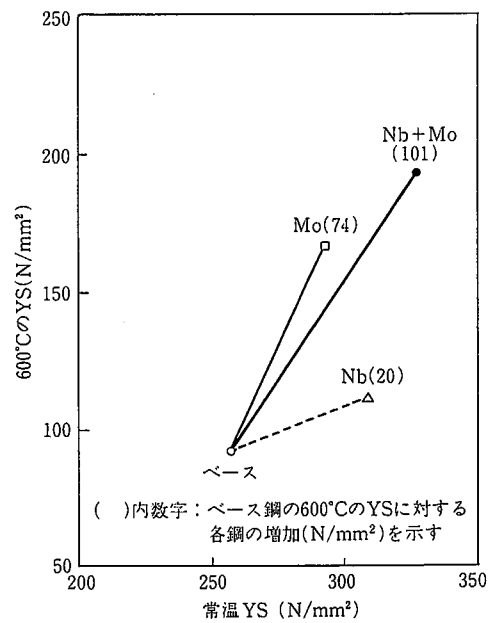


図5 鋼板の引張特性に及ぼすNb, Mo添加及びNb-Mo添加の影響

加熱後、圧延終了温度約890~920°Cで板厚30mmに圧延して製造した。鋼板の引張特性は、常温、600°Cともに10mm径の丸棒試験片(ゲージ長:40mm)を圧延方向に採取して行った。高温引張試験は、JIS G 0567に基づいて実施した。又、鋼板のマイクロ組織を光学顕微鏡で観察し、フェライト分率、フェライト粒径を測定した。

(1)高温 YS に及ぼす Mo 添加の影響

図3に鋼板の引張特性、フェライト分率に及ぼすMo添加の影響を示す。Mo量が増加すると、常温YSはやや低下する傾向を示すが、高温YSは直線的に増加し、YS比は飛躍的に向上する。Mo量が0~0.6%の変化で、YS比は40%から85%まで増加した。又、常温の降伏比(YR)はMo添加によって低下する。これは主としてマイクロ組織中のベイナイト分率のわずかな増加によってもたらされるものと考えられる。

この実験結果から見て、Moはフェライト主体鋼において高温YSを著しく向上させる元素で、引張強度400~490N/mm²級耐火鋼には0.5%程度のMo添加は必須と考えられる。

(2)高温 YS に及ぼす Nb 添加及び Nb-Mo 複合添加の効果

図4, 5に鋼板の引張特性、フェライト分率に及ぼすNb添加及びNb-Mo複合添加の影響を示す。いずれの鋼のマイクロ組織もフェライト主体で、その分率は90~95%であった。ベース鋼にNbを添加すると、YS比はほとんど変化しないが、高温YSは20N/mm²高くなる。Nb添加によりフェライト粒径は微細化し、常温のYRは10%弱増加する。

Moを単独に添加すると、フェライト分率は約5%低下し、高温YSの向上は74N/mm²と顕著である。常温のYRはベース鋼と変わらない。これに対してNb-Mo複合添加鋼では、高温YSは101N/mm²増加し、これはNb, Mo単独添加による高温YSの増加の和よりもやや大きい。YS比、常温のYRはMo単独添加鋼と大きな変化はない。微量Nb添加は溶接性を劣化させずに、常温、高温での強度を向上させる。従ってNb-Mo複合添加は建築用耐火鋼の引張特性を向上させる有効な手段と考えられる。

成分系	
○	0.1%C-0.9%Mn
△	0.1%C-0.9%Mn-0.5%Mo
□	0.1%C-0.9%Mn-0.02%Nb
◇	0.1%C-0.9%Mn-0.5%Mo-0.02%Nb
●	0.14%C-1%Mn-0.5%Cr-0.02%Nb
▲	0.14%C-1%Mn-0.5%Cr-0.02%Nb-0.2%Mo
■	0.14%C-1%Mn-0.5%Cr-0.02%Nb-0.4%Mo
◆	0.14%C-1%Mn-0.5%Cr-0.02%Nb-0.6%Mo

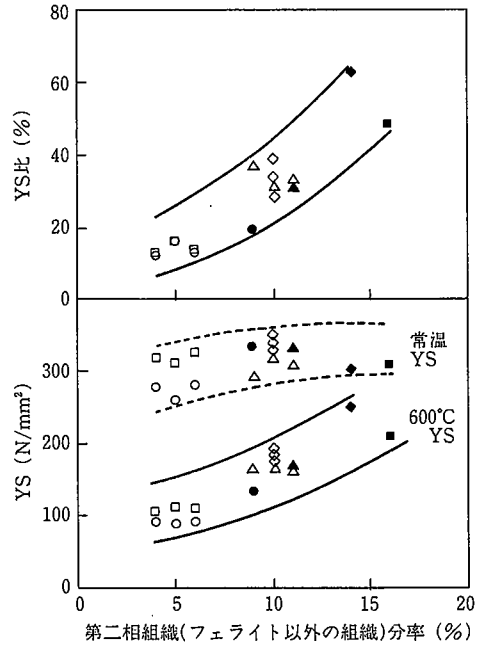


図6 鋼板の第二相組織分率と強度、YS比の関係

(3)高温強度に及ぼす第2相組織の影響

図6に、これまで述べてきた鋼板の第二相組織(フェライト以外

の組織)分率と強度, YS 比との関係を示す。一般に成分系によらず第二相組織分率(特にベイナイト)の増加は常温 YS, 高温 YS を増加させ, YS 比を向上させる。しかし第二相組織分率が多くなると, 常温 TS や YR の制御が困難となる。低い第二相組織分率であっても Mo 添加や Nb-Mo 複合添加は高温 YS, YS 比を著しく増加させる。

図 7 に, 図 4, 5 の鋼板のフェライト粒径と強度, YS 比との関係を示す。フェライト粒径の増加は常温 YS を下げるが, 高温 YS を増加させ, YS 比を向上させる傾向にある。フェライト粒径の増加は高温での粒界すべりを抑制し, 高温強度を改善するものと一般的に考えられている。

(4) Nb-Mo 複合添加鋼の高温強度向上の機構⁴⁾

フェライト主体のマイクロ組織を有する鋼において, Mo と Nb の複合添加は溶接性を劣化させずに強度を高める有効な方法であり, 建築用耐火鋼の成分系として最適であると考えられる。そこで Nb-Mo 複合添加鋼の高温強度向上機構を明らかにするため, アトムプローブ電界イオン顕微鏡 (AP-FIM)⁵⁾ を用いて図 4, 5 の Nb 鋼, Mo 鋼, Nb-Mo 複合添加鋼において Nb, Mo の存在状態を観察した。

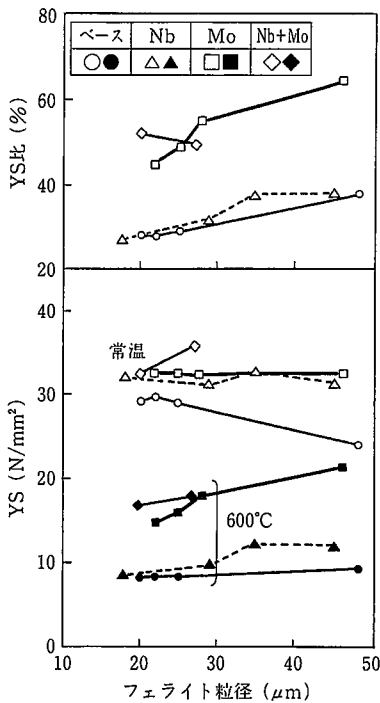


図 7 鋼板のフェライト粒径と強度, YS 比の関係

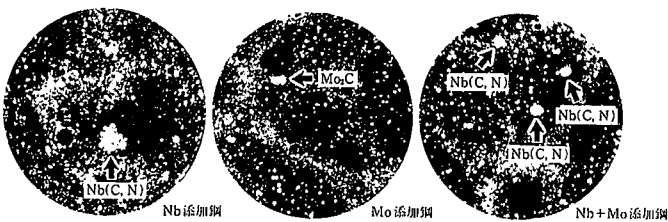


写真 1 Nb 鋼, Mo 鋼, Nb-Mo 複合添加鋼の電界イオン顕微鏡像 (析出物の大きさ < 5nm)

写真 1 に Nb 鋼, Mo 鋼及び Nb-Mo 複合添加鋼の電界イオン顕微鏡像を示す。Nb 鋼では NbC (C, N) (≤ 5 nm) が, Mo 鋼では針状の Mo₂C, Mo クラスターが観察された。又 Nb-Mo 複合添加鋼では NbC, Mo₂C, Mo クラスターがそれぞれ観察された。ここで, Mo 鋼, Nb-Mo 複合添加鋼のいずれにおいても Mo 析出物が確認されているが, 添加した Mo の大部分が固溶状態であることも明らかにされている。

Mo のいま一つの重要な役割を示すものとして, 図 8 に Nb-Mo 鋼の Nb 析出物のアトムプローブ解析の結果を示す。すなわち, 複合添加鋼中の析出物は単純な NbC ではなく, NbC と地鉄のフェライト界面に Mo 偏析が認められる。このような Mo の偏析は Nb 鋼に比べて NbC を高温で長時間にわたって微細に維持する作用を有し, 高温 YS を向上させるものと考えられる。AP-FIM における解析結果を要約すると以下の通りである。

- Nb 鋼: NbC によるフェライト地の強化 (析出硬化)
- Mo 鋼: フェライト中への固溶による強化 (固溶硬化)
Mo₂C, Mo クラスターの析出によるフェライトの強化 (析出硬化)
- Nb-Mo 複合添加鋼: 上記の単独効果に加えて, NbC とマトリックス界面への Mo 偏析による NbC の成長 (粗大化) 抑制

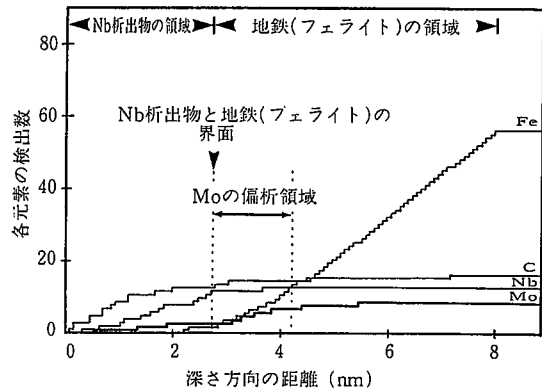


図 8 Nb-Mo 複合添加鋼の Nb 析出物のアトムプローブ分析結果

3.2 高温強度に及ぼす製造プロセスの影響

(1) 実験方法

工場で製造した連続 casting スラブを用い, 厚板製造法及び圧延のままのプロセスにおけるスラブ再加熱温度, 圧延終了温度の影響を実験室で検討した。鋼の化学成分は, 0.1% C-0.3% Si-1.0% Mn-0.5% Cr-0.48% Mo-0.02% Nb-0.01% Ti 系である。厚板製造法の検討では, 圧延のままのプロセスをはじめ, 圧延後の加速冷却+焼戻処理, 焼ならし+焼戻処理 (NT), 焼入焼戻処理 (QT) によって板厚 32mm の鋼板を製造した。又, 圧延のままのプロセスにおけるスラブ再加熱温度の検討では, 再加熱温度を変化させて圧延終了温度約 900°C で板厚 25mm に圧延した。圧延終了温度の検討では, スラブ再加熱温度を 1200°C とし, 圧延終了温度を変化させて板厚 25mm に圧延した。

鋼板の引張特性, ミクロ組織は 3.1(1) と同様の方法で調査した。

(2) 高温 YS に及ぼす厚板製造法の影響

図 9 に鋼板の引張特性に及ぼす厚板製造法の影響を示す。圧延後の加速冷却や焼入焼戻処理は変態強化 (ミクロ組織のベイナイト, マルテンサイト化) によって常温 YS, 高温 YS を著しく増加させる。

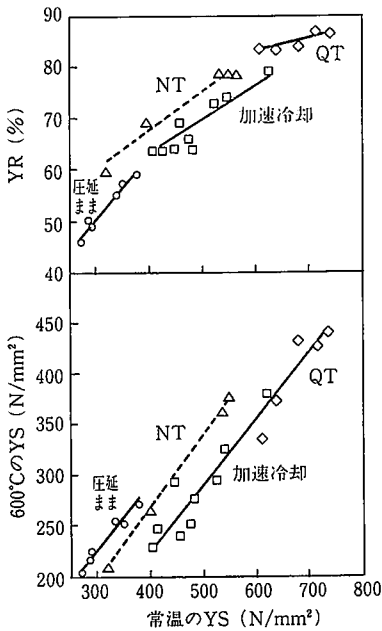


図9 鋼板の引張特性に及ぼす厚板製造法の影響

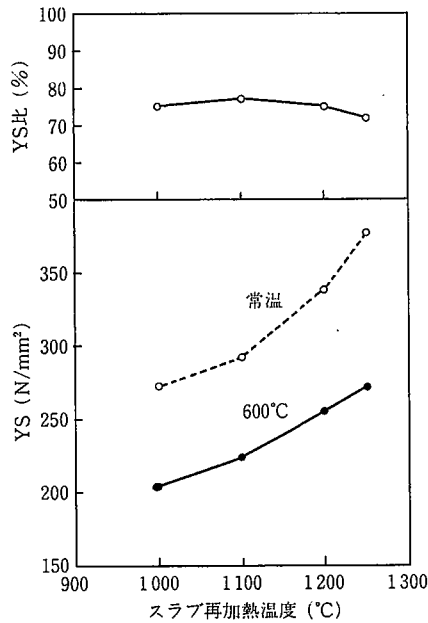


図10 鋼板の引張特性に及ぼすスラブ再加熱温度の影響

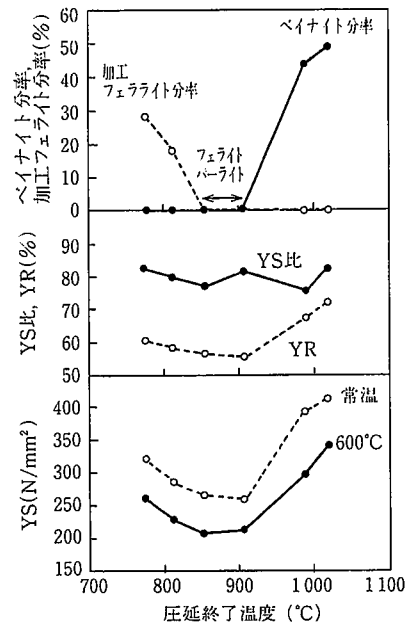


図11 鋼板の引張特性, ミクロ組織に及ぼす圧延終了温度の影響

しかし、これらの処理はYS比の低下やYRの増加を招く。従って引張強度400~490N/mm²鋼を前提とした場合、圧延のままのプロセスが建築用耐火鋼の製造法として優れていると考えられる。そこで、圧延のままのプロセスを前提に、スラブ再加熱温度、圧延終了温度の引張特性、ミクロ組織に及ぼす影響を検討した。

(3)高温YSに及ぼすスラブ再加熱温度の影響

図10に鋼板の引張特性に及ぼすスラブ再加熱温度の影響を示す。再加熱温度の上昇とともに常温YS、高温YSともに増加し、YS比は極くわずかに低下する。YSの増加は、固溶Nbの増加、ベイナイトの増加やフェライト粒径の粗大化等の効果の重畳によるものと考えられる。Nbの有効利用の観点から、スラブ再加熱は高温で行う必要がある。

(4)高温YSに及ぼす圧延終了温度の影響

図11に引張特性、ミクロ組織に及ぼす圧延終了温度の影響を示す。圧延終了温度が低下するに伴って常温YS、高温YSは低下し、約900°C付近で最低値をとった後、増加する。これは圧延終了温度が1000°C近傍ではミクロ組織が粗大化してベイナイト分率が増加するためであり、又800°C以下の低温では(γ+α)2相域圧延となってフェライトが加工され、これがYSを上昇させるものと考えられる。常温YRもYSとほぼ同様な傾向を示す。YS比は圧延終了温度によってほとんど変化しない。

写真2 圧延終了温度による鋼板ミクロ組織の変化を示す。ミクロ組織は圧延終了温度800~950°Cでフェライト・パーライトである。これより低温側では加工フェライトを含むフェライト・パーライト組織、高温側では粗大なフェライトとベイナイトの混合組織である。このように圧延終了温度によってミクロ組織は大きく変化し、これに伴って鋼板の機械的性質も変化する。従って適正な圧延温度は目的とする引張特性、靱性などの諸特性を総合的に考慮して決める必要がある。

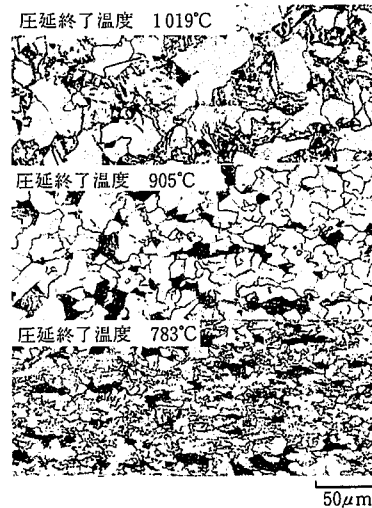


写真2 鋼板のミクロ組織に及ぼす圧延終了温度の影響

4. 工場試作鋼の特性

基礎的な実験室での検討に基づいて、引張強度490N/mm²級の建築用耐火鋼を工作試作し、その使用性能を検討した。

4.1 鋼の化学成分と製造法

Cr添加のNb-Mo鋼を300ton転炉で溶製し、連続铸造法で240mm厚のスラブとした。スラブは1000~1150°Cで再加熱後、圧延終了温度900~930°Cで板厚25,32及び50mmに圧延した。

4.2 母材の基本特性

表3に母材の機械的性質を示す。常温強度はSM490の規格値を十分に満足し、耐震性の尺度であるYRも80%以下と低い値である。又0°Cにおけるシャルピー吸収エネルギーも100J以上と良好なレベルである。以降の評価試験は板厚32mmの鋼板で実施した。

表 3 試作鋼の機械的性質

板厚 (mm)	試験方向	引張 (全厚 JIS 1号)				衝撃 vE ₀ (J)
		YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El* ² (%)	YR (%)	
25	L	384	587	26	65	250
	T	368	588	22	62	
32	L	349	569	22	61	294
	T	354	570	25	62	
50	L	416	599	22	69	131
	T	383	584	24	66	

* 1 L: 圧延方向, T: 圧延直角方向, * 2 El: 伸び

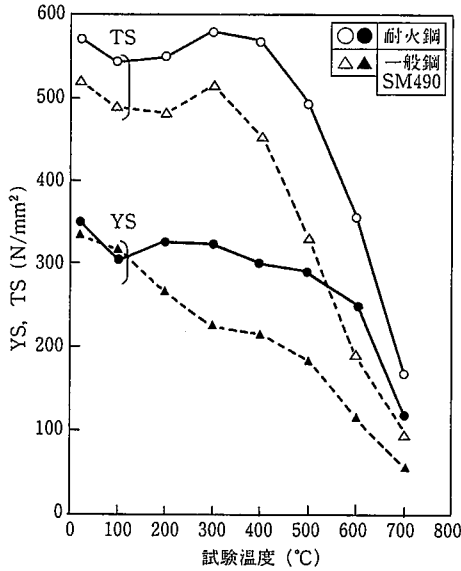


図 12 強度の温度依存性

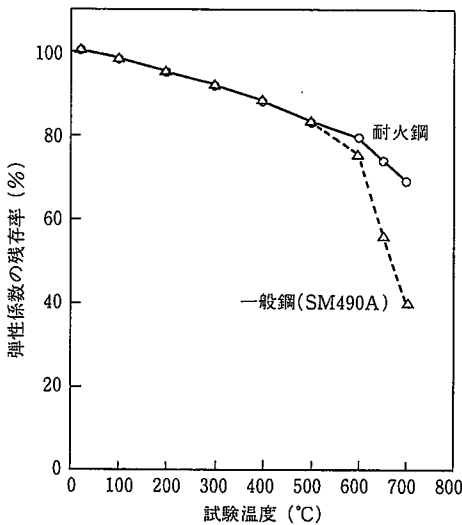


図 13 弾性係数の温度依存性

図12に強度の温度依存性を示す。耐火鋼では、一般鋼に比較して高温でも強度の低下が小さく、600°Cでも常温 YS の2/3以上を確保することができる。

図13に耐火鋼と一般鋼(SM490A)の弾性係数の温度依存性を示す。一般鋼の弾性係数は600°Cになると急激に低下するが、耐火鋼では

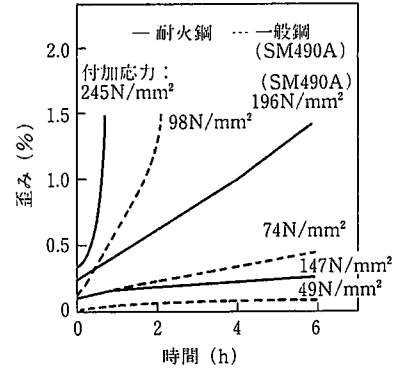


図 14 耐火鋼と一般鋼のクリープ特性の比較 (試験温度: 600°C)

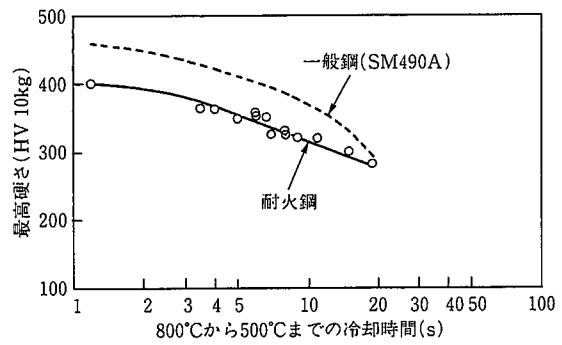


図 15 テーパー硬さ試験結果

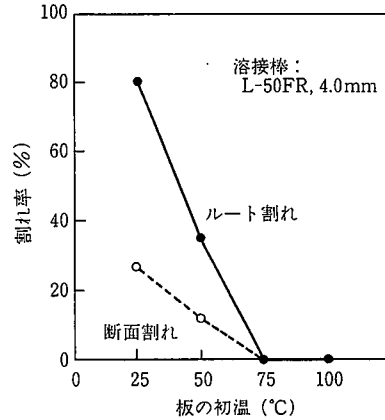


図 16 y形溶接割れ試験結果

600°Cにおける弾性係数もおおよそ75%と高く、700°C程度まで高い値を維持できる。

図14に耐火鋼と一般鋼(SM490A)のクリープ特性の比較を示す。一般鋼では、98N/mm²の小さい付加応力でも短時間で大きなクリープ歪みが生じるが、耐火鋼では付加応力196N/mm²でもクリープ歪みはかなり小さい。

4.3 溶接性及び溶接継手性能

図15に耐火鋼と一般鋼(SM490A)のテーパー硬さ試験結果を、図16に耐火鋼のy形溶接割れ試験結果を示す。耐火鋼の溶接熱影響部の硬さや溶接割れ防止のための予熱温度は一般鋼に比較して低く、良好な溶接性を有していることがわかる。これは、耐火鋼ではNb, Moなどの合金元素が添加されているにもかかわらずC, Mn量が低減さ

表 4 各種溶接継手の特性

溶接法	溶接材料 ^{*1}	引張強度						曲げ (JIS Z 3124)		衝撃		
		試験温度	試験片	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El (%)	破断位置	曲げ位置 (r=1.5t)	判定	ノッチ 位置	vE ₀ (J)	
SMAW X 開先 35kJ/cm	溶接棒 N-OS	常温	継手1号	—	615	36	母材	表曲げ	良好	WM	96	
		600°C	溶接金属引張	340	396	28	—			FL	195	
			継手引張	266	359	35	—			HAZ	196	
SAW X 開先 45kJ/cm	ワイヤー Y-C ブラック YF-15K	常温	継手1号	—	619	35	溶接金属	表曲げ	良好	WM	102	
		600°C	溶接金属引張	279	337	37				—	FL	130
			継手引張	275	349	20				—	HAZ	146
	ワイヤー Y-DM ブラック NF-16	常温	継手1号	—	631	32	母材	表曲げ	良好	WM	99	
		600°C	溶接金属引張	356	422	32				—	FL	144
			継手引張	291	357	21				—	HAZ	112
SES I 開先 709 kJ/cm	Y-DM SES-15	常温	継手1号	—	638	11	母材	表曲げ	良好	WM	61	
		600°C	溶接金属引張	353	431	30				—	FL	29
			継手引張	362	438	24				—	HAZ	34

* 1 溶接材料：すべて日鐵溶接工業製

れ、溶接性の指標である溶接割れ感受性組成 P_{CM} が低く抑制されているためである。

表 4 に建築構造物で採用される各種溶接継手部の特性を示す。溶接継手性能は小入熱の手溶接(SMAW)、中入熱の潜弧溶接(SAW)、超大入熱のSES溶接継手を製作し、その機械的性質を調査した。当然ながら、耐火鋼では溶接金属も高温強度をもたせる必要があるため、溶接においては溶接金属の常温、高温強度を考慮して適正な溶接材料を選定した。全ての溶接部において、常温、600°Cにおける強度は共に十分であり、曲げ特性も良好である。又、溶接金属(WM)、溶接熱影響部(FL, HAZ)におけるシャルピー吸収エネルギーもSAWの溶接入熱45kJ/cmまで十分な値を示す。超大入熱のSESではやや低い値が見られるが、このレベルは従来鋼と同等である。

以上のような優れた特性を有する建築用耐火鋼は厚板のほか、H形鋼、薄板、鋼管等があり、更に耐火鋼用の高力ボルトや各種溶接材料もすでに開発されている。

耐火鋼は一般鋼よりもはるかに高い鋼材許容温度をもっているが、建築物への適用にあたっては高温時の部材(柱、梁)性能及び架構変形の挙動を十分に検討し、火災時の安全性能を保証できる耐火設計技術を開発することが必要である。新日本製鐵では、すでに耐火鋼を使用した架構の実用解析プログラムや実物大部材による耐火性能の確認と実設計への応用技術等も開発している⁶⁻¹²⁾。

5. 耐火鋼を使用した建築物の実用化例

新しい耐火設計法を適用すれば、個別に建築物としての耐火性能の認定を受けることにより、耐火被覆を大幅に軽減したり、無被覆の鉄骨構造物をつくることができるようになった。以下に、耐火鋼を使用した建築物の具体例を紹介する。

5.1 耐火被覆を大幅に軽減した例(新川ビル：現、第2新日鐵ビル)

新川ビル(A棟：地上15階、B棟：地上10階)は耐火鋼を使用した最初の建築物である。柱、梁などの全てが耐火鋼であり、総使用量は約3,000tonである。新しい鉄骨耐火構造が採用され、耐火被覆(乾式及び湿式ロックウール)の大幅な削減が達成されている。

写真3に耐火被覆の削減効果を示す。耐火鋼の被覆は通常の被覆に比較して1/2~1/3となっている。例えば、3時間耐火が要求される柱では、通常50mmの被覆が必要であるが、耐火鋼の採用により、これを15mmと大幅に削減することが可能となった。

5.2 無被覆の鉄骨耐火建築物の例(飛幡ビル)

飛幡ビル(地上：八階)では、主要構造物である耐火鋼の柱や梁の建物の外に配置した外部鉄骨架構とすることにより、無被覆の鉄骨建築物を実現している。飛幡ビルの外観を写真4に示す。外部架構を無被覆とするためには、架構の鋼材温度が600°C以下となることの検証が必要であるが、窓からの噴出火炎の形状、温度及び鋼材温度の計算の結果、鋼材温度は最高でも543°Cで、600°Cに達しないこ

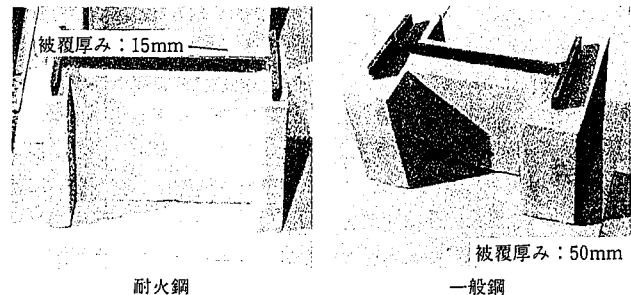


写真 3 耐火鋼使用による耐火被覆削減効果

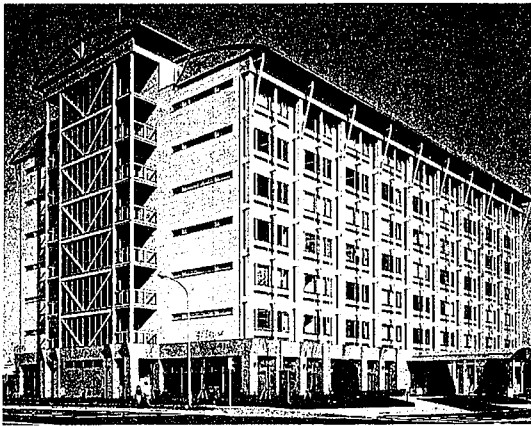


写真 4 飛幡ビルの外観

とが証明された。

耐火鋼は上記の他、事務所ビル、商業ビル、ホテル、立体駐車場、体育館等の数多くの建築物に適用されている¹³⁾。

結 論

- (1) 建築用耐火鋼の高温強度の保証温度は、鋼の溶接性、製造コスト等を考慮すると600°Cが適当である。
- (2) 耐火鋼の高温強度には、合金元素やマイクロ組織が影響する。引張強度400~490N/mm²級耐火鋼では、常温のYRやYS比を考慮するとフェライト主体のマイクロ組織が適当であり、厚板製造法として圧延のままが最適である。

- (3) フェライト主体鋼の高温強度を向上させる有効な元素はMo, Crであるが、特にNb-Moの複合添加が有効である。
- (4) 上記の知見に基づいて、工場で試作した引張強さ490N/mm²級Nb-Mo耐火鋼は優れた母材特性、溶接性、溶接継手性能を示した。耐火鋼と耐火設計技術の開発により、建築物の耐火被覆の大幅な軽減や無被覆の鉄骨構造物が可能になった。

参 照 文 献

- 1) 建築物の総合防火設計法. 日本建築センター
- 2) Recherche et Mise au point d'Acier Moyennement Alliees a Resistance au Feu Renforcee, Etude Theorique des Caracteristiques Optimals. Creusot-Loire, Usine du Creusot, Raport Techniques No1, Sept. 1976
- 3) Recherche et Mise au point d'Acier Moyennement Alliees a Resistance au Feu Renforcee, Etude Theorique des Caracteristiques Optimals. Creusot-Loire, Usine du Creusot, Raport Techniques No2, Aug. 1977
- 4) 植森龍治, 谷野 満, 千々岩力雄, 為広 博: 日本金属学会講演概要, (105), 1990, p.472
- 5) 植森龍治, 佐賀 試, 森川博文: 日本金属学会報, (30), 498 (1991)
- 6) 山口種美, 吉田正友, 田坂茂樹, 計良光一郎, 作本好文, 千々岩力雄, 片島 昭: GBRC (日本建築総合試験所報告書), (57), 9 (1990)
- 7) 岡松真之, 計良光一郎, 作本好文: ビルディングレター, (254), 179 (1990)
- 8) 古村福次郎: 日本建築学会構造系論文報告集, (368), 68 (1986)
- 9) 計良光一郎, 作文好文, 山口種美, 片島 昭: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989, p.1043
- 10) 作文好文, 大橋 守, 齋藤 光: 日本建築学会構造系論文報告集, (427), 107 (1991)
- 11) 作文好文, 山口種美, 岡田忠義, 吉田正友, 田坂茂樹, 齋藤 光: 日本建築学会構造系論文報告集, (434), 149 (1992)
- 12) 為広 博, 千々岩力雄, 作本好文: 熱処理, 31 (3), 148 (1991)
- 13) 作本好文: 建築技術, (496), 165 (1992)