
当社ボイラー用鋼板の高温強度

Elevated Temperature Strengths of Boiler Plates

岡部 律男(Ritsuo Okabe) 小野 寛(Yutaka Ono) 大橋 延夫(Nobuo Ohashi)

要旨：

川崎製鉄㈱で製造しているボイラー用鋼板のうち、需要の多い炭素鋼の SB42, SB46, SB49 (圧延のままと焼ならし材) および 0.5%Mo 鋼の SB49M (焼ならし材) について 400℃, 450℃および 500℃における約 2×10^4 hr のクリープ破断強度と、室温から 600℃までの高温強度を測定した。その結果、今回の試験の範囲内においては、これら鋼板の高温強度は常温強度や $C + 10 \times$ (固溶N) 量などとよい相関を示すことが確認された。

Synopsis：

Short time tensile strength at 25-600℃ and creep rupture strength at 400℃ and 500℃ for the time up to about 2×10^4 hr have been measured on SB42, SB46, SB49 carbon steel plates (as-rolled or-normalized) and SB49M 0.5% Mo-steel plates (normalized) for boiler construction. As a result, it is confirmed that high temperature strengths have a good correlation with room temperature strength and $(C + 10 \times N_{\text{sol}})$ contents.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

当社ボイラー用鋼板の高温強度

Elevated Temperature Strengths of Boiler Plates

岡 部 律 男*

Ritsuo Okabe

小 野 寛*

Yutaka Ono

大 橋 延 夫**

Nobuo Ohashi

Synopsis:

Short time tensile strength at 25~600°C and creep rupture strength at 400°C, 450°C and 500°C for the time up to about 2×10^4 hr have been measured on SB42, SB46, SB49 carbon steel plates (as-rolled or-normalized) and SB49M 0.5% Mo-steel plates (normalized) for boiler construction. As a result, it is confirmed that high temperature strengths have a good correlation with room temperature strength and $(C+10 \times N_{sol})$ contents.

1. ま え が き

当社で製造されるボイラー用鋼板は表1に示すようなJISに準じた規格成分を有し、転炉もしくは電気炉によって溶製されている。そして千葉および水島製鉄所厚板工場の4重逆転式圧延機により所定の厚みに圧延されたのち、圧延のままもしくは焼ならした状態で需要家に納入される。これらの鋼板の特性として常温における強度はもちろん規格を満足しなければならないが、その用途を考えると高温での強度がもっとも重要なものとなる。

一般にボイラー設計のための高温強度の評価基準には、高温引張強度(0.2%耐力の62.5%あるいは引張強さの25%)、クリープ強度(0.1%/1000

hrのクリープのびを与える応力)およびクリープ破断強度(10⁵hr破断応力の平均値の60%または最小値の80%)が対象となるが、ある温度範囲(炭素鋼では約420°C前後、低合金鋼で480~530°C)¹⁾で両者の強度は交さくし、この温度以下では高温引張強度が、それ以上の温度ではクリープあるいはクリープ破断強度がそれぞれ低い値を示すようになる。そして実際の材料はこの交さくする温度近傍で使用されることが多いので高温強度としては高温引張およびクリープ(破断)強度の両方が重要となってくる。また、これらの材料における高温強度の評価においては、従来各鋼種につき1~2鋼板の測定値をもってその代表値としていたが、最近ではなるべく多くのチャージの製品について測定を行ない、データのばらつきも含めて示すことが要求されるようになった。さ

* 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員

** 技術研究所特殊鋼研究室室長・工博

らにクリープ破断強度については実測破断時間の10倍以上の外挿を行なって予測することは危険であるとされており、少なくとも10⁴hr以上の長時間の測定が必要となっている。

したがって今回は製造鋼種の中で需要の比較的多いS B 42, S B 46, S B 49およびS B 49Mについて、各鋼種とも多数のチャージから供試材をとり、10⁴hr以上のクリープ破断試験を行なった。

現在まだ長時間側で試験続行中のものもあるが、ここに結果を紹介する。

2. 供試材および試験方法

表1に示す規格成分の製造鋼種のうちから、供試材としてはS B 42, S B 46, S B 49およびS B 49Mにしばり、表2に示すような寸法、熱

表1 当社におけるボイラー用一般圧延鋼板の規格成分（板厚：25～50mm，JISに準ず）

鋼 種	化 学 成 分 (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Mo
S B 35	<0.22	<0.30	<0.80	<0.035	<0.040	tr
S B 42	<0.27	0.15～0.30	<0.80	<0.035	<0.040	tr
S B 46	<0.31	0.15～0.30	<0.90	<0.035	<0.040	tr
S B 49	<0.33	0.15～0.30	<0.90	<0.035	<0.040	tr
S B 46M	<0.21	0.15～0.30	<0.90	<0.035	<0.040	0.45～0.60
S B 49M	<0.23	0.15～0.30	<0.90	<0.035	<0.040	0.45～0.60
S B 56M	<0.23	0.15～0.30	1.15～1.50	<0.035	<0.040	0.45～0.60

表2 供試材の種類

鋼 種	溶 解 炉	試 験 片 素 材			
		板厚および形状	熱 処 理	採取方向*	チャージ数
S B 42	転 炉	25mm, 板	圧延のまま	L	1
				C	4
			焼ならし	C	1
S B 46	転 炉	25mm, 板	圧延のまま	L	2
				C	5
			焼ならし	C	2
S B 49	転 炉	25mm, 板	圧延のまま	L	2
				C	5
			焼ならし	C	2
S B 49M	電 気 炉	25mm, 板	焼ならし	L	2
				C	2
		30mm, 板	焼ならし	L	1
				C	1

* L：圧延方向，C：圧延方向に直角方向

処理条件をもつ鋼板から、圧延方向(L)もしくはこれと直角方向(C)に、常温引張試験片 (JIS Z 2201, 1号) および 図 1 に示すような高温引張試験片およびクリープ破断試験片を採取し、それぞれ規定の試験方法 (JIS Z 2241, G 0567 および Z 2272) によって測定した。このうち高温引張試験は10t インストロン型高温引張試験機で、また、クリープ破断試験は主として3本吊り6連マルチプル型クリープ破断試験機で行なった。

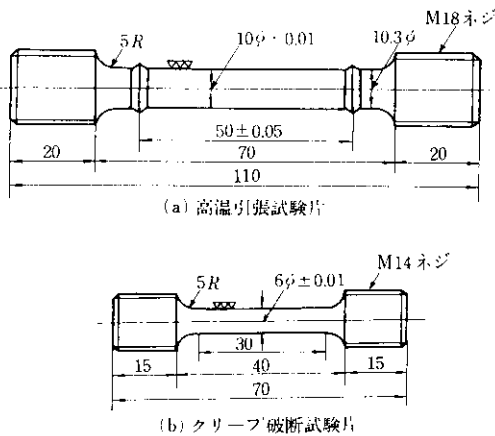


図 1 試験片形状、寸法

3. 試験結果と検討

表 3 に JIS 1 号板状試験片による常温の引張試験結果を示す。いずれの鋼種もボイラー用圧延鋼材の規格値 (JIS G 3103) を満足している。熱

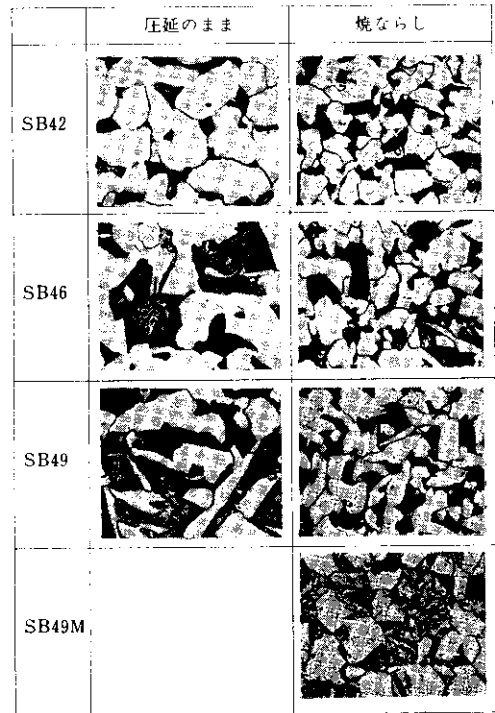


写真 1 供試材の顕微鏡組織 ($\times 500$) $\times \frac{1}{2}$

表 3 供試材の常温引張性質

鋼 種	熱処理	実 測 値			規 格 値 (JIS G 3103)		
		降伏強さ (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	降伏強さ (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
S B 42	圧延のまま	26~28	45~50	29~35	>23	42~50	>23
	焼ならし	30~31	48~50	31~32			
S B 46	圧延のまま	27~32	49~55	28~34	>25	46~55	>21
	焼ならし	29~32	50~55	31~32			
S B 49	圧延のまま	28~31	54~56	29~31	>27	49~60	>19
	焼ならし	30~32	55~56	30~31			
S B 49M	焼ならし	31~37	52~57	27~29	>27	49~60	>19

注) JIS 1号試験片、圧延方向と直角方向、 $\frac{1}{2}$ t

処理の効果を見ると2～3の試料をのぞいていずれの鋼種においても焼ならしすることにより耐力など特性は向上する傾向にある。

写真1は供試材の試験前の顕微鏡組織で、いずれもフェライトとパーライトの2相組織である。

フェライト結晶粒度は圧延のままで、ASTM No.7～8、焼ならし材でNo.8～9で後者の方が細粒となっている。

図2～9は各鋼種のクリープ破断試験および高温引張試験結果である。クリープ破断試験結果の

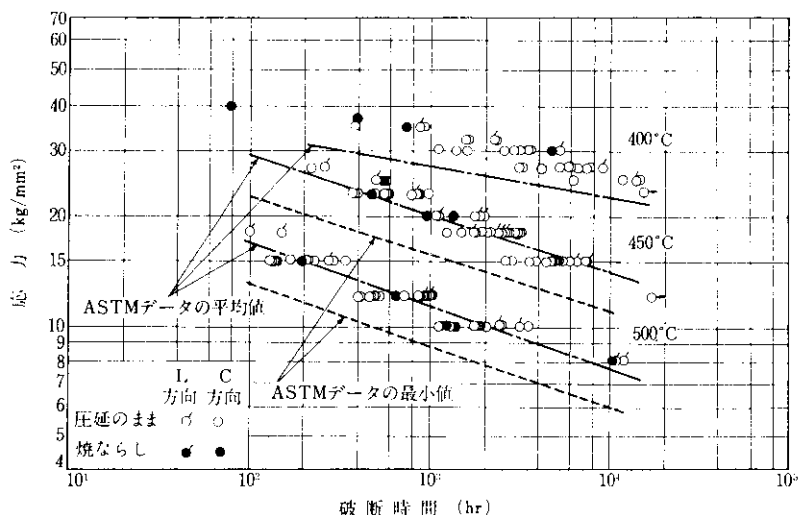


図2 SB42のクリープ破断強度

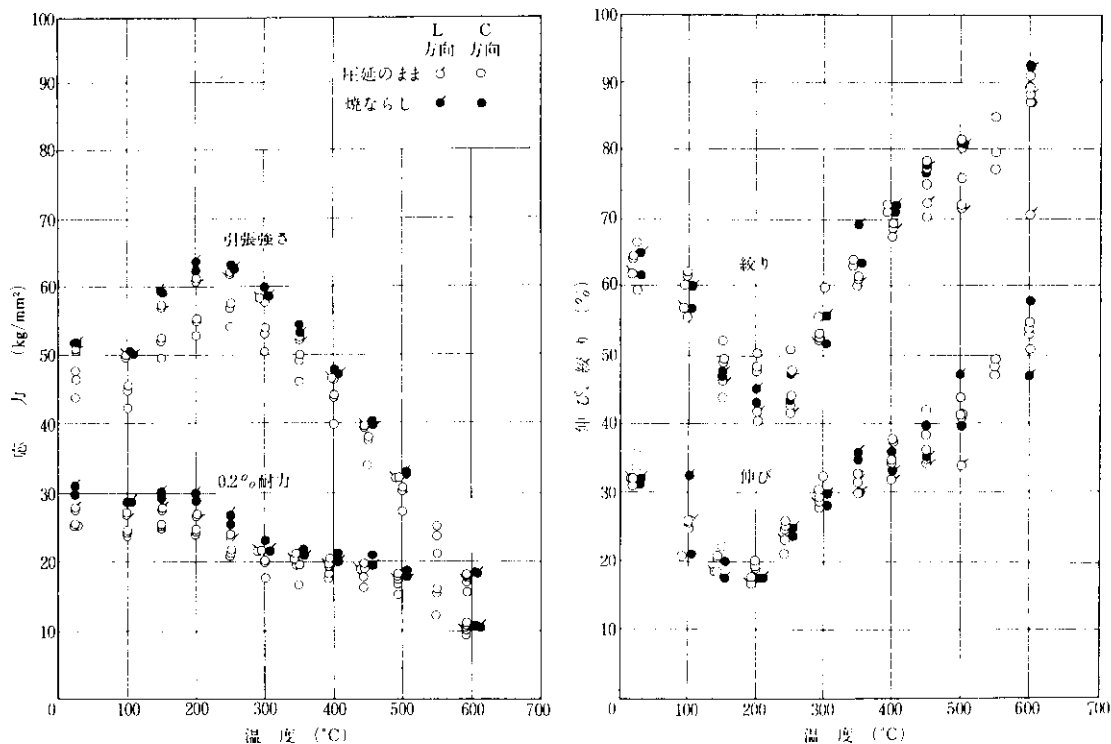


図3 SB42の高温引張性質

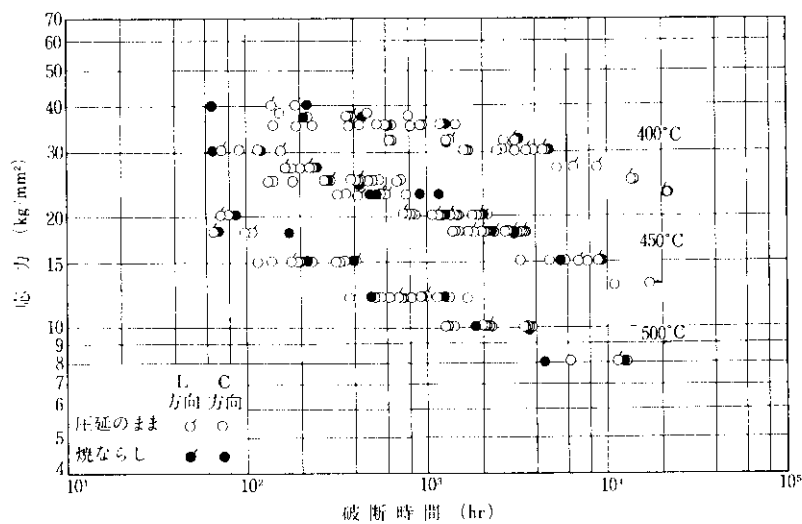


図 4 SB46のクリープ破断強度

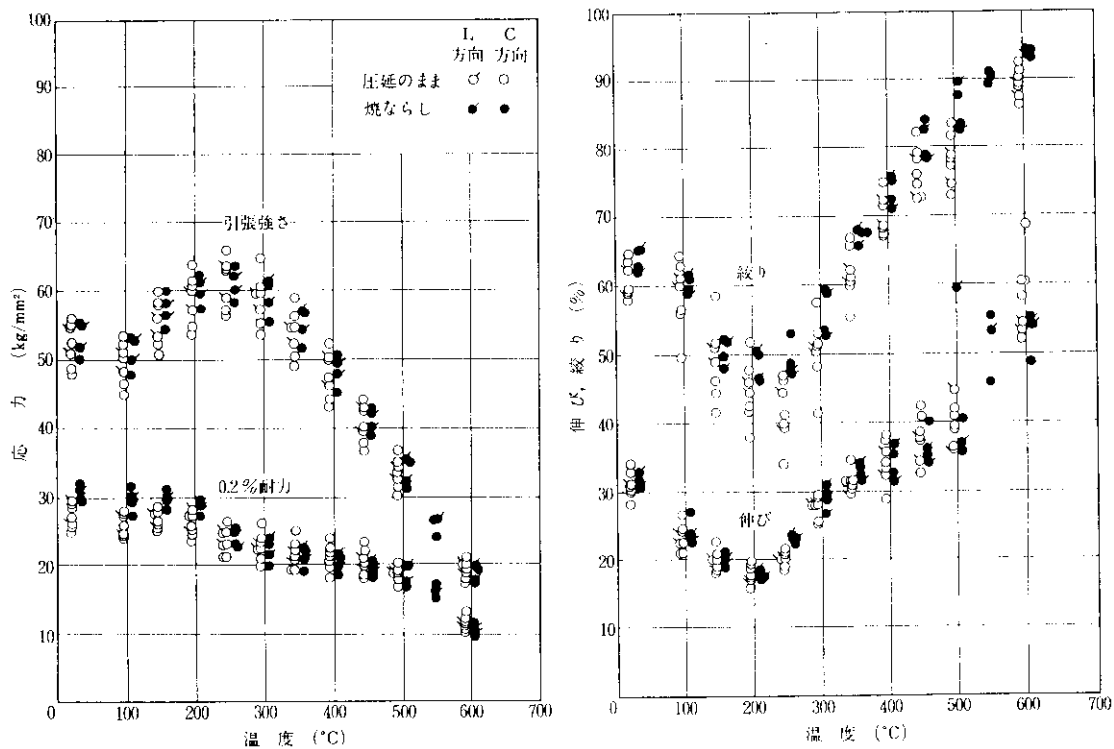


図 5 SB46の高温引張性質

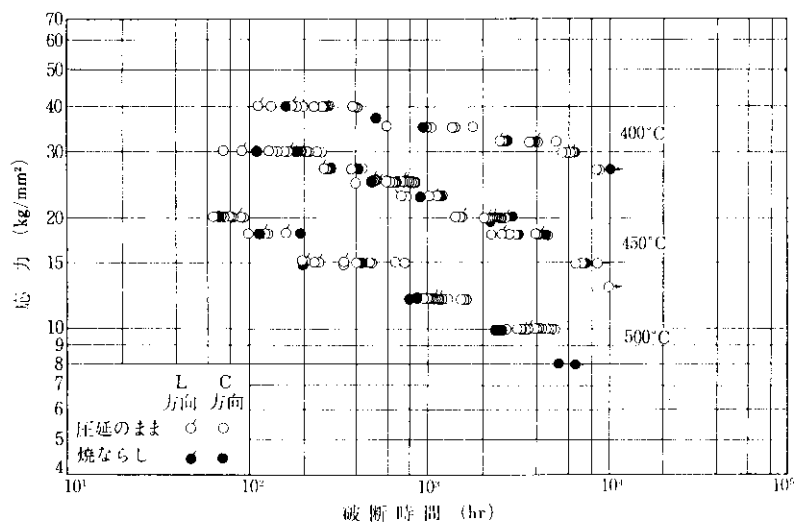


図 6 SB49のクリープ破断強度

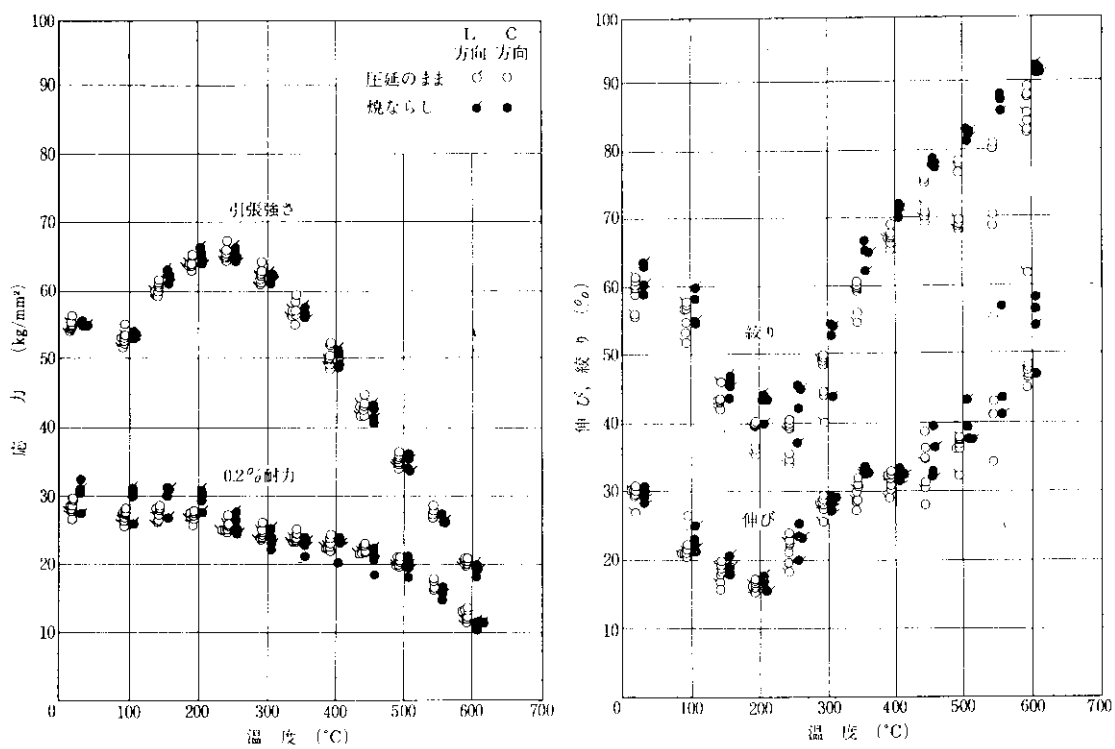


図 7 SB49の高温引張性質

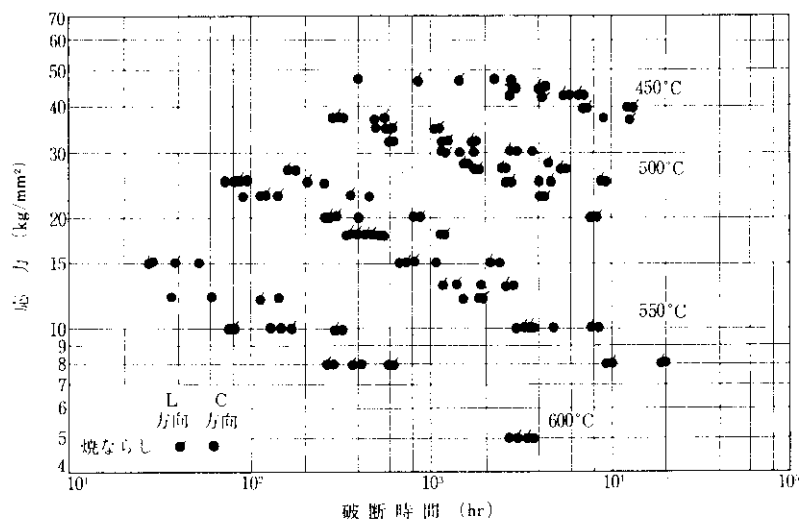


図 8 SB49Mのクリープ破断強度

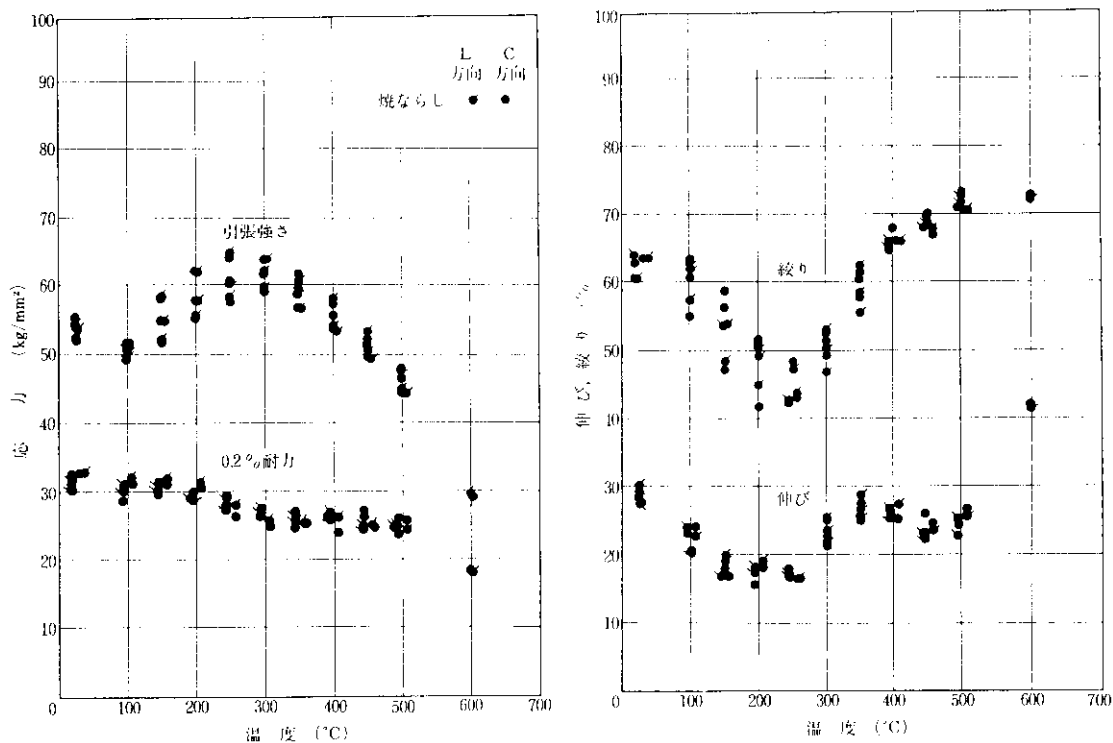


図 9 SB49Mの高温引張性質

図で矢印のついたプロットは、その時間でまだ破断せず、試験続行中であることを示している。

高温引張性質は各鋼種ともほぼ同じような温度依存性を示している。すなわち 0.2% 耐力は室温から 500°C までは温度の上昇とともにゆるやかに低下するのに対し、引張強さは 100°C 近傍で一度低下したのち、200~300°C の育熱ぜい性温度領域で最高値を示す。また、伸び、絞りはこの領域で最低値を示し、以後急上昇するが、引張強さは温度の上昇とともに急激に低下する。また、高温引張強度にはチャージ間で多少のばらつきがあるが、これは常温強度のばらつきとの関連が大きい。

Johnson ら^{2,3)} は常温引張強さと高温における耐力との関係を種々の鋼種についてまとめ、それらを統計処理し、回帰直線およびその信頼限度を求め、両者によい相関のあることを示しているが、今回の S B49M をのぞくボイラー用鋼板についても 図 10 および 図 11 に示すように常温強

度が大きいものは高温引張強度も大きい傾向にあり、試験片採取方向などによるばらつきは小さい。焼ならし材についてみると、S B42 の高温での引張強度は常温強度よりもつねに高く、しかも、その高低は常温強度の高低に準じているが、S B46 および S B49 では常温と高温であまり差がなく、とくに耐力は 200°C 以上の高温側ではむしろ圧延のままの材料に比して小さくなる傾向にある。

クリープ破断強度も種々の要因から生ずるばらつきはさけられないが、供試材と同一レベルの 0.15~0.29% の C を含み、引張強さ 42.5~61 kg/mm² をもつ炭素鋼板に関する ASTM 報告の値⁴⁾ を当社の S B42 鋼のデータと比較してみると (図 2 参照)、450°C および 500°C では ASTM データの平均値のまわりにばらついているが、400°C では ASTM データのそれよりも全体に高い値を示している。なお、いずれの温度においても下限値を割るものはない。S B46, S B49 お

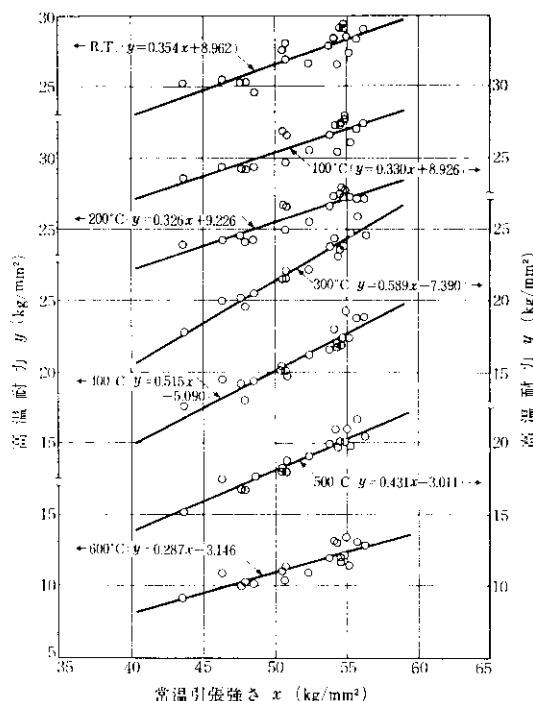


図 10 常温引張強さと高温耐力の関係

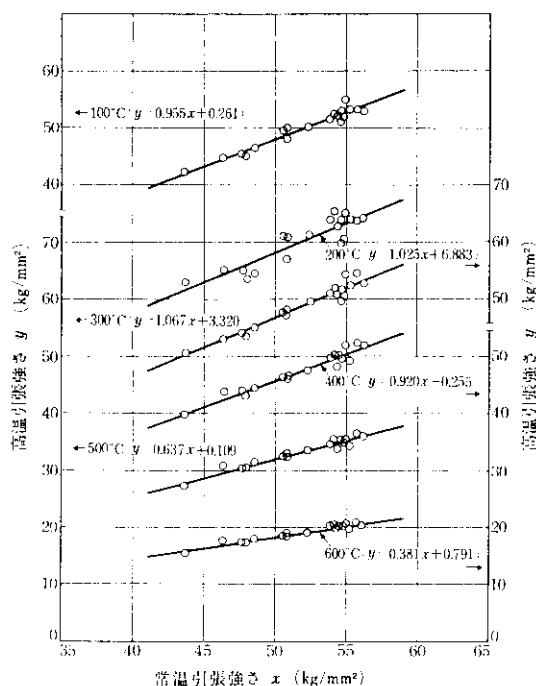


図 11 常温引張強さと高温引張強さの関係

よびSB49MについてもSB42に比し各鋼種に相応した高いクリープ破断強度を示している。SB49Mを除くこれらの結果から内挿された 10^4 hr 破断応力と高温引張強度との間にも、図12に示すようなよい相関がある。

また従来から炭素鋼の高温強度は、常温強度と同様に鋼中のCやNの含有量に依存することが知られており^{5,6)}、とくにNの効果については、鋼の脱酸方法に関連して多くの研究がなされている⁷⁻¹²⁾。これらの結果では、AINのような窒化物として鋼中に固定されているNではなく、固溶しているN（近似的に $N_{total} - N_{asAIN}$ で示す）が多いほど高温強度は高いとされている。図13にSB49MをのぞくSB材のC含有量（Cの場合は使用温度での固溶度は小さいので主として鋼中の層状パーライトの存在量と考えることがで

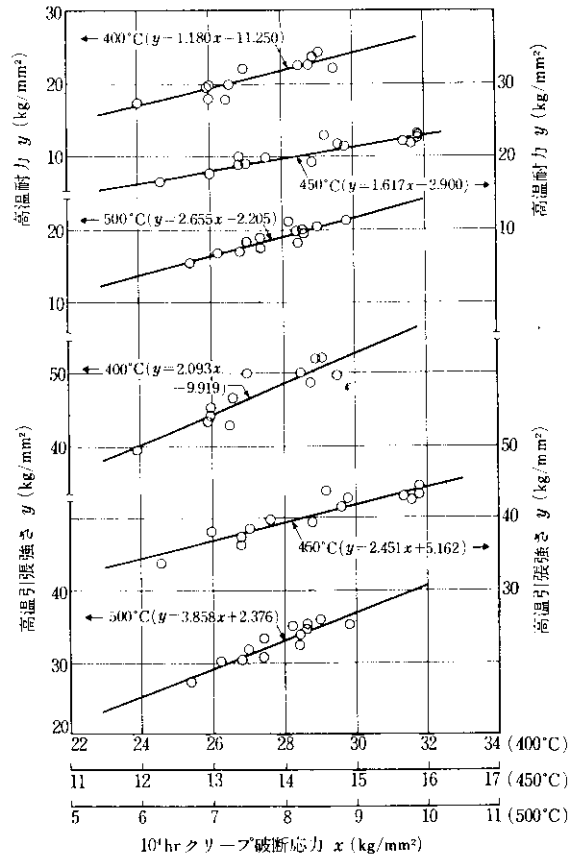


図12 高温引張強度とクリープ破断強度の関係

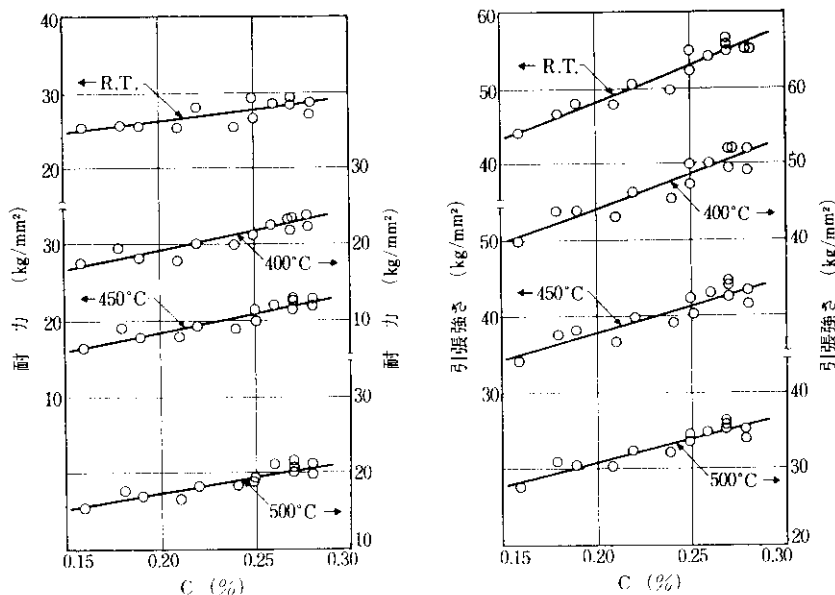


図13 C含有量と高温引張強度の関係

きる)と高温引張強度の関係を,そして図14に固溶N量と高温引張強度の関係を示し,さらに図15に $C+10 \times (N_{\text{total}} - N_{\text{asAlN}})$ 量との関係を示した。高温引張強度とCあるいは,固溶N量

との相関もそれぞれ十分あることが認められるが, $C+10 \times (N_{\text{total}} - N_{\text{asAlN}})$ との間にはさらに相関がある。この場合固溶N量を10倍して加えたのは,よりよい相関を得るためとくに意

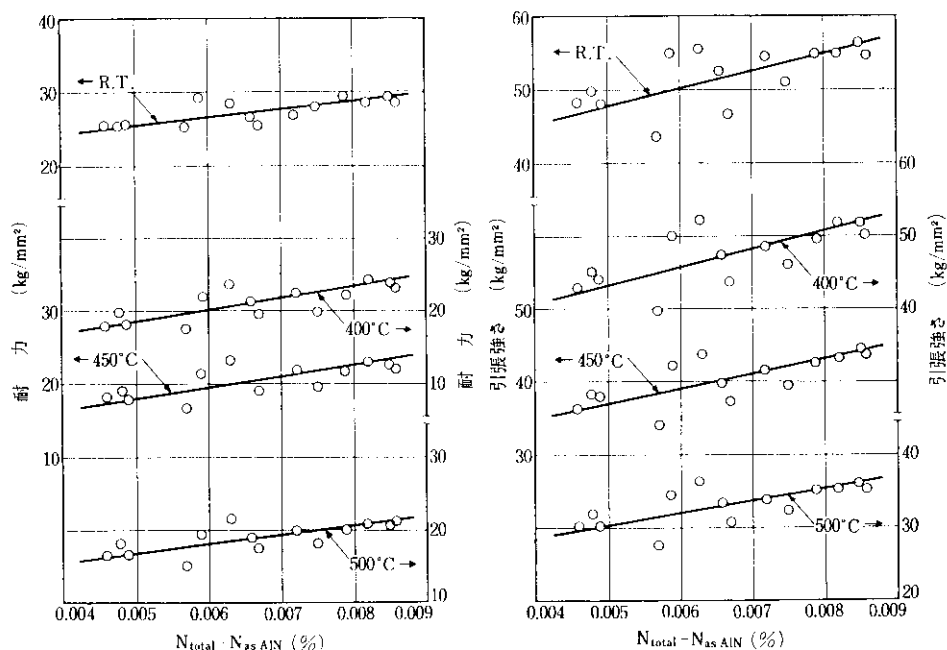


図14 固溶N量と高温引張強度の関係

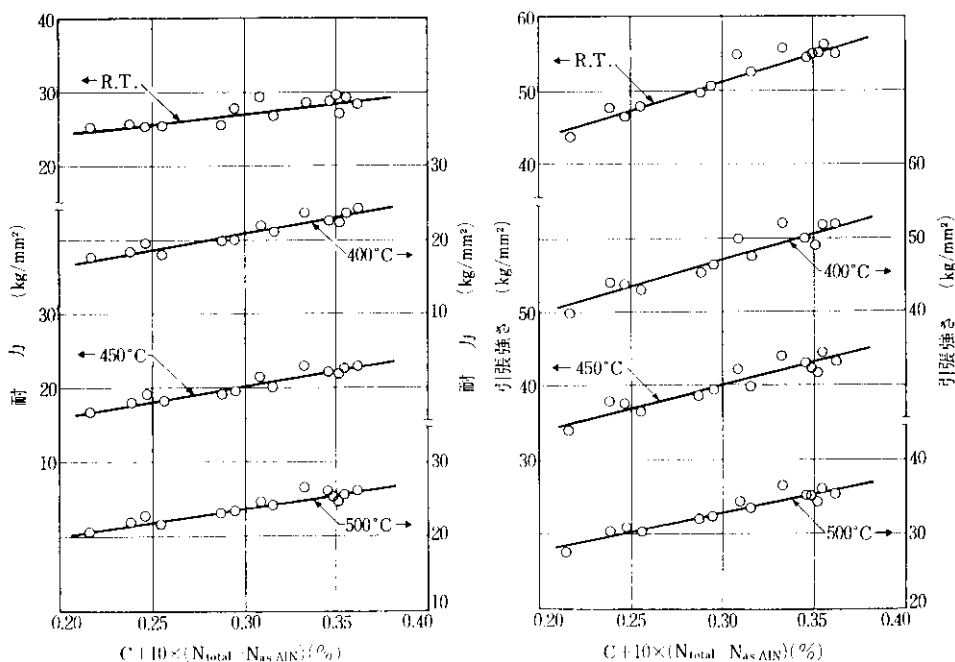


図15 (C+N)含有量と高温引張強度の関係

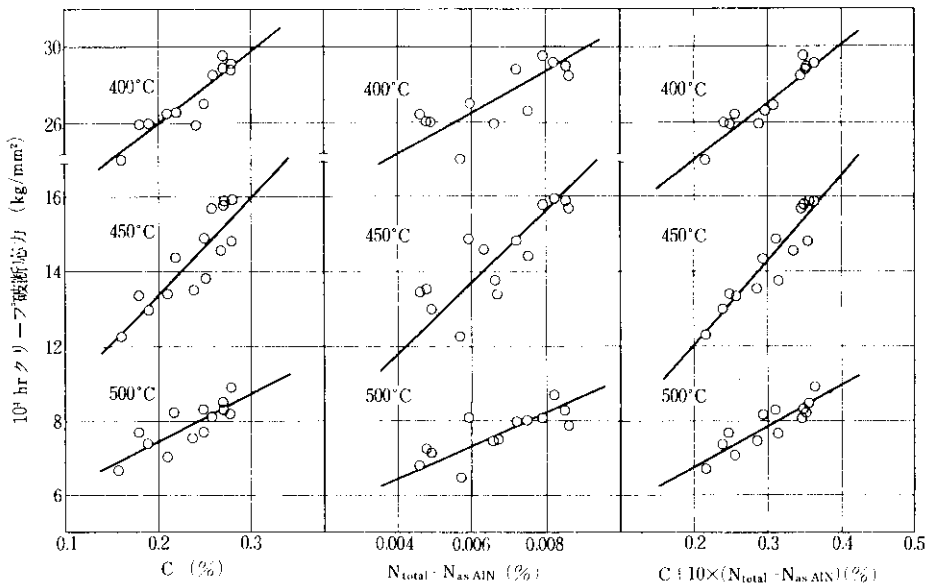


図 16 C および N 含有量とクリープ破断強度の関係

味はない。また、前記の 10^4 hr クリープ破断強度とこれらの含有量との間にも図 16 に示すような相関がある。さらに図 17 は SB42 鋼のみについて固溶 N 量と 10^4 hr 破断応力との関係を示したもので、図中の黒丸のものはとくに Al を 0.012% 添加した試験材から得られた測定値であり、これを最低値として固溶 N の多いほど破断応力は高くなっている。

しかし、ここには図示していないが Al 添加材の 450°C 以上におけるクリープ破断応力～時間線図勾配は、ほかに比しゆるやかであり、 10^4 hr よりもさらに長時間側ではむしろその強度が逆転することも予想される。

4. ま と め

当社で製造されているボイラー用鋼板のうち、需要の多い SB42, SB46, SB49 および SB49M の高温引張強度およびクリープ破断強度の測定結果を紹介し、需要家各位の参考に供した。これらの高温特性は ASTM のデータと比較しても遜色はなく、ボイラー用鋼板としての強度を十分満

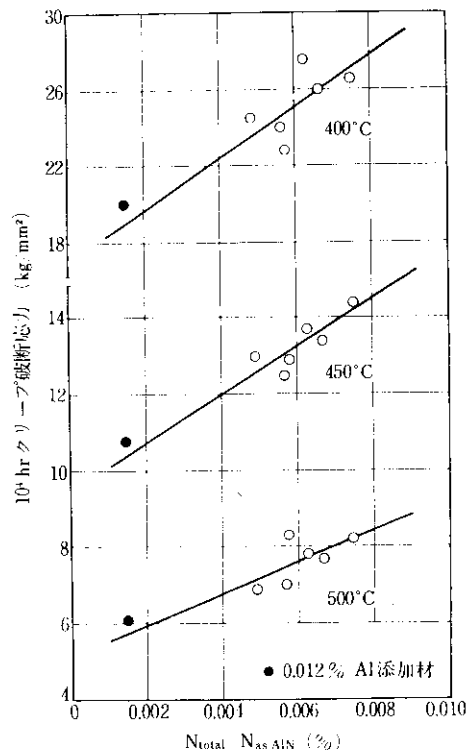


図 17 SB42 鋼における N 量とクリープ破断強度の関係

足し得るものである。また、これらの高温特性と常温強度あるいは $C + 10 \times (N_{\text{total}} - N_{\text{ASAIN}})$ 量などの間にはよい相関があり、これらの大きさから高温特性をある程度推定することが可能であることが確認された。

参 考 文 献

- 1) 三好：材料学会講習会資料，(1968)，6
- 2) R. F. Johnson et al. : BISRA/ISI Joint Conference "High Temperature Properties of Steels", (1967), 61
- 3) P. R. Taylor & R. F. Johnson : JISI, **209** (1971), 714
- 4) ASTM Data Series DS 1151, An Evaluation of the Elevated Temperature Tensile and Creep Rupture Properties of Wrought Carbon Steel, (1970)
- 5) C. L. Clark & A. E. White : Trans. ASM, **23** (1935), 995
- 6) C. R. Austin, C. R. John & R. W. Lindsay : Trans. AIME, **162** (1945), 84
- 7) J. Glen : JISI, **155** (1947), 501
- 8) C. H. M. Jenkins & H. J. Tapsell : JISI, **171** (1952), 359
- 9) W. E. Bardgett & M. G. Gemmill : JISI, **179** (1955), 211
- 10) 三好，行俊，岡田：鉄と鋼，**50** (1964)，1965
- 11) 三好，田上，行俊，岡田：鉄と鋼，**51** (1965)，2112
- 12) 今井，中山，神崎，岡部：昭和36年度鉱工業技術試験研究補助金交付申請資料（昭和36年）〔鉄鋼協会〕