

---

オイルサンドプロジェクト用スチームラインパイプおよびフィッティング類の開発  
Development of Steam Distribution Linepipe and Fittings for Oil Sands Projects

石本 清司(Kiyoshi Ishimoto) 横山 栄一(Eiichi Yokoyama) 江島 彬夫(Akio Ejima)  
川崎 博章(Hiroaki Kawasaki) 上野 雄夫(Katsuo Ueno) 佐藤 信二(Shinji Sato)

---

要旨：

蒸気圧入方式のオイルサンド採掘においては、蒸気配管用として中温域で高強度を有しかつ現地溶接性の良好な材料が必要となる。この目的のため焼入れ焼もどし処理を施した、低 C-Mo-V 系中温域用シームレス鋼管およびフィッティング類を開発し、その確性を行った。パイプおよびフィッティングとも、室温および 350°Cでの強度は規格目標値を十分に満足した。周溶接継手の引張強さは、室温および 350°Cとも母材に比べて遜色ない。供試鋼の溶接性は良好であり、セルローズ系溶接棒による溶接が可能である。350°Cでの 105h クリープ破断強度 67%は引張強さの 1/3 より十分に高いため、許容応力は引張強さにより決まる。

---

Synopsis :

Oil sands projects by steam injection techniques require materials with high strength at design temperature and good field weldability for steam distribution system. Quenched and tempered low C-Mo-V steel pipe and fittings (KSC-X65M) have been developed for this purpose, and their properties studied. Strengths of the pipe and fittings satisfied the specifications at room temperature and 350°C. Tensile strengths of girth welds are almost as high as those of the parent metal, at both room temperature and 350°C. The steel has good weldability and can be field-welded by cellulosic type electrodes. The value of 67% of the 10\*\*5h creep rupture strength at 350°C is sufficiently higher than 1/3 of the tensile strength; so the allowable stress is determined simply by the tensile strength.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

# オイルサンドプロジェクト用スチームラインパイプ およびフィッティング類の開発

Development of Steam Distribution Linepipe and Fittings for Oil Sands Projects

石本 清司\*  
Kiyoshi Ishimoto

横山 栄一\*  
Eiichi Yokoyama

江島 彬夫\*\*  
Akio Ejima

川崎 博章\*\*\*  
Hiroaki Kawasaki

上野 雄夫\*  
Katsuo Ueno

佐藤 信二\*\*\*\*  
Shinji Sato

## Synopsis:

Oil sands projects by steam injection techniques require materials with high strength at design temperature and good field weldability for steam distribution systems. Quenched and tempered low C - Mo - V steel pipe and fittings (KSC-X65M) have been developed for this purpose, and their properties studied.

Strengths of the pipe and fittings satisfied the specifications at room temperature and 350°C. Tensile strengths of girth welds are almost as high as those of the parent metal, at both room temperature and 350°C.

The steel has good weldability and can be field-welded by cellulosic type electrodes.

The value of 67% of the 10<sup>5</sup>h creep rupture strength at 350°C is sufficiently higher than 1/3 of the tensile strength; so the allowable stress is determined simply by the tensile strength.

## 1. 緒 言

世界の原油をめぐる情勢は近年予想以上の速さで悪化し、代替エネルギー開発の必要性が叫ばれている。代替エネルギーとして考えられているものは種々あるが、これらのうちオイルサンド（タールサンド）は通常原油に代わりうるエネルギー源として最も有望なものの一つである。

オイルサンドの埋蔵量の大部分は、カナダのアルバータ州とベネズエラのオリノコ川流域にあると言われるが、このうち露天掘り可能な鉱床はわずかであり、大部分は油層内回収法によらなければならない<sup>1)</sup>。カナダにおいては近年とくに、この

ような回収技術確立のための各種プロジェクトが活発に進められつつあり、本格的商業生産も間近いようである<sup>2)</sup>。数種の方法のうちたとえばエッソリソーシスカナダ社は、電気予熱なしの蒸気圧入法をすでに完成させ、現在コールドレーク地区において日産12~14.5万bbl規模の本格的プラント建設を計画している<sup>3)</sup>。また、最近の原油価格の高騰を背景に、埋蔵量の多いアサバスカ地区でも同社の技術により開発を早めることを提案している<sup>4)</sup>。

蒸気圧入法は高温高压の蒸気を井戸から注入し、重質の油の粘性を低下させることによりピチューメンを回収する方法であるが、最近明らかとなったシェルカナダ社のプロジェクトにおいても同様

\* 技術研究所知多研究室主任研究員  
\*\*\* 知多製造所管理部技術管理室主査(掛長待遇)  
(昭和55年9月3日原稿受付)

\*\* 技術研究所知多研究室室長  
\*\*\*\* 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員

な方法が採用されるとみられる<sup>5)</sup>。

このような蒸気圧入法を実施するためには、蒸気プラントから数千にのぼる井戸に高圧の蒸気を送り込まねばならず、そのために必要な Steam Distribution Linepipe としてどのような材料を使用すべきかが問題となる。この場合の蒸気温度は、クリープを考慮する必要がない程度の温度であるが、通常の A 106 B のような炭素鋼鋼管を用いると、たとえば外径 16in. の場合で肉厚 35mm 程度の厚肉鋼管が必要となる。このような厚肉の炭素鋼鋼管を使用することは、単に鋼材重量の増加のみならず、現地溶接性の点からも問題が多い。

そこで当社としては、

- (1) 使用温度が比較的低温でクリープがほぼ無視できること、
- (2) 中温域での高強度と同時に現地溶接性が重要となること、
- (3) オイルサンドの経済性を損わないためにも安価なパイプが必要なこと、

などを総合的に勘案し、スチームパイプライン用に最も適した材料として、調質タイプの中温域用シームレス鋼管 KSC-X 65 M (仮称) を開発した。

これは、従来昇温状態で使用される鋼管には適用されなかった焼入れ焼もどし処理を積極的に活用し、これにより低  $P_{cm}$  値にもかかわらず高強度を実現すると同時に、この高強度を中温域まで維持し、350°C での強度を保証したものである。規格としてはまだ暫定的な要素も含んでいるが、開発にあたって行った一連の実験的検討の概要を以下に報告する。

## 2. 規 格

### 2.1 成 分

KSC-X 65 M の成分規格を Table 1 に示す。溶接性に最も有害な C は 0.10% 程度を標準とし、少量の Mo, V を添加した Al キルド鋼である。

### 2.2 熱処理

熱処理は通常の焼入れ焼もどしと同様で、焼入れ前加熱温度は 920°C 前後、焼もどし温度は肉厚によっても多少異なるが、600°C 以上を確保する

ようにしている。

### 2.3 強 度

室温および 350°C における強度規格を Table 2 に示す。350°C において室温と同じ 80ksi 以上の引張強さを保証している。

Table 1 Specification of chemical composition for steam distribution linepipe

(wt%)								
C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Al	$P_{cm}$
Max. 0.14	Max. 0.50	Max. 1.50	Max. 0.025	Max. 0.015	Max. 0.30	Max. 0.060	Max. 0.060	Max. 0.23

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5B (\%)$$

Table 2 Specification of tensile properties

Temperature	Yield strength, min.		Tensile strength, min.		Elongation, min. in 2 in.
	ksi	kg/mm <sup>2</sup>	ksi	kg/mm <sup>2</sup>	%
°C					
R.T.	65	45.7	80	56.2	625 000 $\frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$
350	56	39.4	80	56.2	

A : Cross sectional area of the specimen (in<sup>2</sup>)

U : Specified tensile strength (psi)

## 3. 供試材および実験方法

規格を設定するにあたり、以下の要領で実験を行った。

まず Table 3 の成分の 5t 真空鋼塊から 207mmφピレットを製造し、さらにこれを通常の圧延スケジュールに従って 6 $\frac{1}{2}$ "φ×0.562"t (168.3mmφ×14.27mmt) のシームレス鋼管に圧延した。造管後は前述のように焼入れ焼もどし処理を施し、各種試験に供した。

Table 3 Chemical composition of the steel investigated (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Al	N
0.12	0.31	1.35	0.013	0.004	0.09	0.033	0.022	0.0037

次に、スチームライン網には通常の直管だけではなく、これに適したフィッティング類も必要である。そこで社外フィッティングメーカーの協力を得て、上記 6 $\frac{5}{8}$ " $\times$ 0.562" のシームレス鋼管から次の 3 種類のフィッティングを製作し、管と同様焼入れ焼もどし後の性質を調査した。

- エルボー…………… 8"B $\times$ Sch.80
- ティー…………… 4"B $\times$ Sch.80
- レデューサー…………… 6"B $\times$ 4"B $\times$ Sch.120

焼もどし条件は管およびフィッティングとも焼もどしパラメータに換算して約 17 500 である。

また調質鋼の場合、溶接熱影響部が局部的に軟化するのが一つの特徴である。そこで前記サイズの熱処理後の管を用いて周溶接継手を製作し、溶接部の性質を調査した。

これらのパイプ、フィッティング、周溶接継手の強度を調べるため用いた引張試験片を Fig. 1 に示す。パイプについては Type 1 の試験片を管軸方向から採取した。周溶接継手の引張試験には Type 2 の試験片を用いた。フィッティング類は形状が複雑なため、Type 3 の丸棒試験片で強度を調査した。

以上の 3 タイプによる常温での試験に加えて、管、フィッティングおよび継手のそれぞれについ

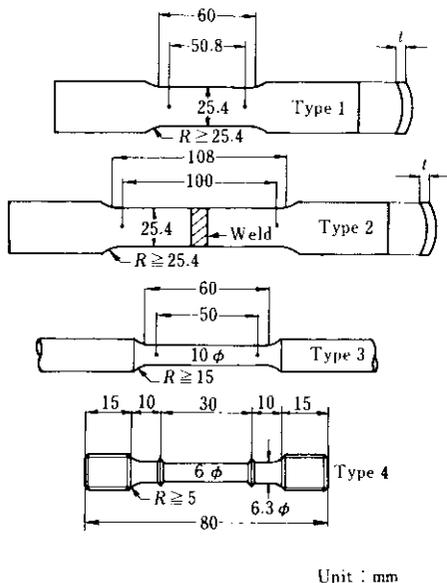


Fig. 1 Specimens used for tensile tests at room temperature and elevated temperatures

て、Type 4 の試験片を用い、室温～550°C の範囲で高温引張試験を行った。ひずみ速度は 0.2% 耐力の近傍で約 0.25%/min、最高荷重付近で約 7.5%/min である。

フィッティング類に関しては形状が複雑なため、引張試験片はいずれも平板化後採取し、加工硬化の影響を除くため、600°C $\times$ 20min の SR を施した。シャルピー衝撃試験片は、管、フィッティング、継手のいずれについても 10mm $\times$ 10mm サイズのものを平板化なしで採取した。フィッティング類から引張りまたはシャルピー試験片を採取した位置を Fig. 2 に示す。

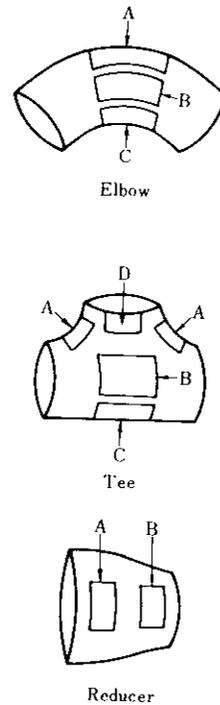


Fig. 2 Specimens positions in the fittings

次に、管およびフィッティング類は昇温状態で使用されるので再加熱に対する軟化特性は重要と思われる。そこで QT 後の管を種々の温度で再加熱し、その後 Type 4 の試験片を採取して、室温および 350°C での強度が再加熱によりどの程度低下するかを調査した。

管の溶接性を調べるため、バッチルタイプビード下割れ試験と、種々の入熱による溶接最高硬さ

試験を実施した。ビード下割れ試験には、セルローズ系溶接棒 (HYP) と低水素系溶接棒 (KS 86) の双方を用い、管内面周方向に長さ 1.5in. のビードを置いて、その断面を 100 倍の顕微鏡下で観察した。溶接最高硬さ試験の場合は、管外面軸方向に種々の入熱でビードを置き、ビード直下のビッカース硬度を測定した。

なお、クリープおよびクリープ破断試験は、外径 6mm, ゲージ長さ 30mm の試験片を用いて現在実施中であるが、まだ完結していないので、本報告ではこれまでに得られた破断強度のみを示すにとどめる。

## 4. 実験結果

### 4.1 パイプの常温強度

Type 1 の試験片によるパイプの引張試験結果を Table 4 に示す。結果は試験片 4 本の平均値であるが、個々の値も十分な余裕をもって Table 2 の規格を満足した。

Table 4 Tensile properties of the pipe at room temperature

Y.S.		T.S.		El.
ksi	kg/mm <sup>2</sup>	ksi	kg/mm <sup>2</sup>	%
82.9	58.3	94.7	66.6	37.3

Specimen : Type 1

### 4.2 パイプのシャルピー衝撃特性

パイプについてのシャルピー衝撃試験結果を Fig. 3 に示す。各プロットは試験片 3 本の平均値である。析出強化型のためか C 方向の  $vTrs$  が通常の調質鋼に比べてやや高い。しかしながら比較的 low S 鋼であるため、吸収エネルギーは C 方向でも低温までかなり高い値を示す。建設時の気温は  $-30^{\circ}\text{C}$  程度まで低下する場合も考えられるが、靱性は十分であり寒冷地での施工に適した材料と思われる。

### 4.3 パイプの高温引張特性

管軸方向から Type 4 の試験片を採取し、室温  $\sim 550^{\circ}\text{C}$  の温度範囲で行った高温引張試験の結果を Fig. 4 に示す。

管の肉厚中心付近でこのような断面積の小さい試験片を採取した場合、Type 1 の全厚試験片に比べて強度は低めになる。しかしこの場合でも、強

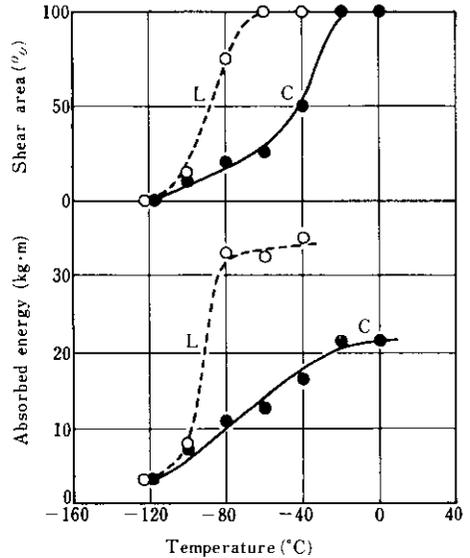


Fig. 3 Charpy impact properties of the pipe

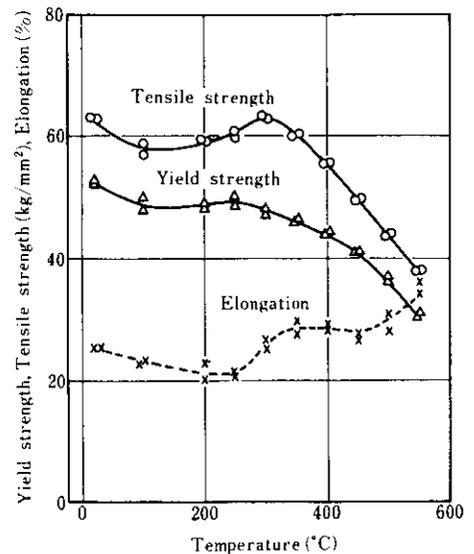


Fig. 4 Tensile properties of the pipe at elevated temperatures

度は十分に規格を満足している。Fig. 4において、350°Cにおける降伏強さおよび引張強さは、それぞれの規格下限である 56ksi (39.4kg/mm<sup>2</sup>) および 80ksi (56.2kg/mm<sup>2</sup>) を十分に上まわっている。

通常の炭素鋼の場合、引張強さのピーク温度は 250°C 付近にあるが、本供試鋼のピーク位置は 300°C 付近にずれており、Mo および V を少量添加した効果と思われる。また Al, V などフリー窒素を固定する成分を含むため、ピーク高さはそれほど高くはない。

一方、降伏強さは焼ならし材などに比べて、常温から中温域にかけての低下が小さく、この点は調質鋼の特徴のように思われる。

#### 4.4 フィッティング類の常温強度

Type 3 の丸棒試験片により求めたフィッティング各部の強度を Table 5 に示す。個々の値は試験片 2 本の平均値である。Table 4 のパイプの強度と比較すると、エルボー、ティー、レデューサーのいずれについても、試験片採取位置や方向に関わりなく、パイプとほぼ同等の強度であることがわかる。

Table 5 Tensile properties of the fittings at room temperature

Type of fitting	Position	Direction	Y.S. (kg/mm <sup>2</sup> )	T.S. (kg/mm <sup>2</sup> )	El. (%)
Elbow	A	L	58.1	67.4	20.5
		C	55.8	64.9	21.1
	B	L	58.4	67.0	19.5
		C	56.5	65.6	20.5
	C	L	53.8	63.8	20.7
		C	58.0	67.3	20.8
Tee	A	C	58.1	64.9	19.8
	B	L	56.2	65.5	21.4
	C	L	56.5	65.2	23.9
Reducer	A	C	54.5	62.7	21.0
	B	C	55.6	63.5	22.5

Specimen : Type 3

#### 4.5 フィッティング類のシャルピー衝撃特性

フィッティングの各部についてシャルピー衝撃試験を行った結果を Fig. 5~Fig. 7 に示す。個々のプロットは試験片 2~3 本の平均値である。また方向の L および C は、フィッティング成形前の元のパイプ内での試験片の方向を示している。

試験片採取位置によっても若干結果が異なるが、L 方向と C 方向の間に明瞭な差があり、元のパイプの状態での試験片の方向の影響が大きいことがわかる。ティーの C 方向の中では、最も厳しい加工を受けると思われるスロート部 (A 部) の靱性がやや劣っている。

しかしながら、全般にいずれの結果についても、0~40°C での靱性は十分であり、使用上何の問題もないと思われる。

#### 4.6 フィッティング類の高温引張特性

各フィッティングについて Type 4 の試験片を用い、常温~550°C の温度範囲で引張試験した結果を Fig. 8~Fig. 10 に示す。試験片の採取位置は、

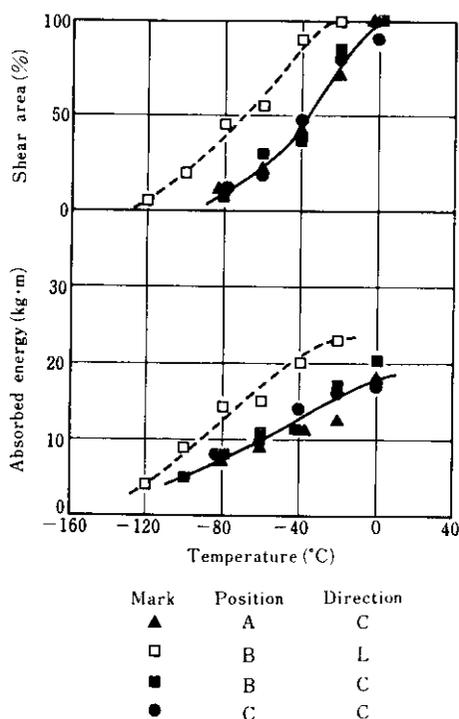


Fig. 5 Charpy impact properties of the elbow

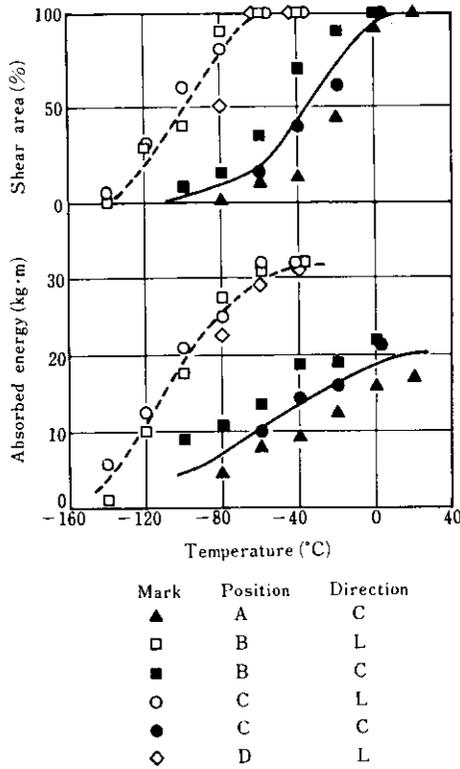


Fig. 6 Charpy impact properties of the tee

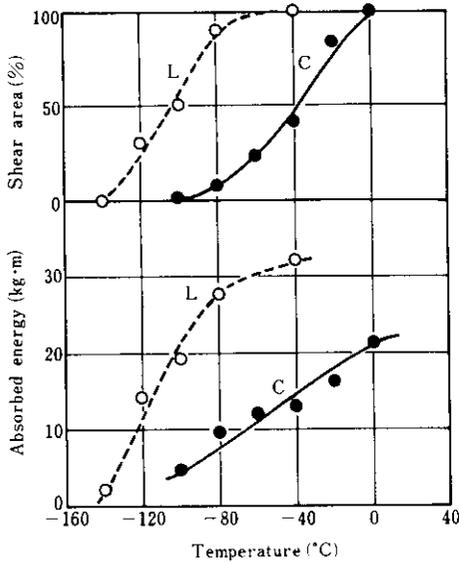


Fig. 7 Charpy impact properties of the reducer

エルボーについては腹側、ティーについては母管側、レデューサーの場合は小径側であり、採取方向はいずれもL方向である。

図より、常温および350°Cにおける強度はいずれも規格を満足しており、常温~550°C間におけ

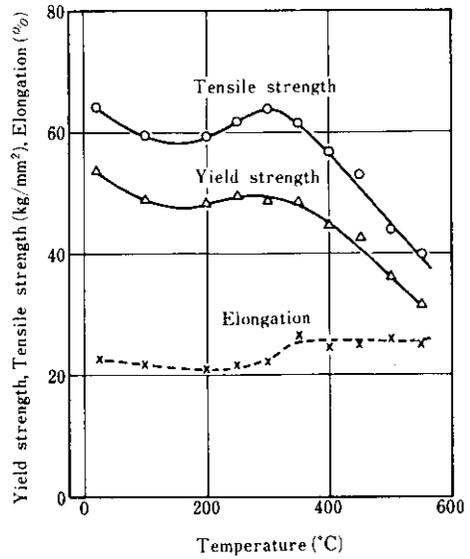


Fig. 8 Tensile properties of the elbow at elevated temperatures

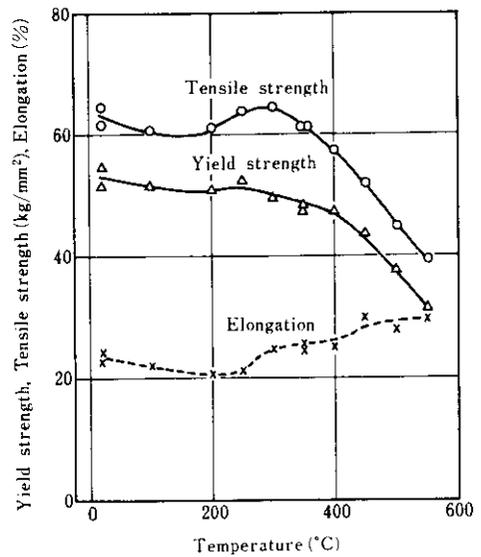


Fig. 9 Tensile properties of the tee at elevated temperatures

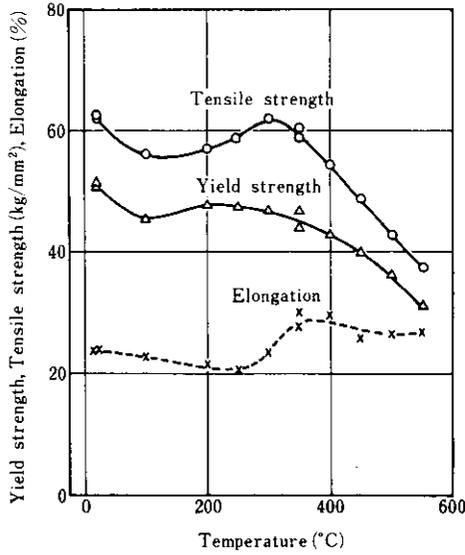


Fig. 10 Tensile properties of the reducer at elevated temperatures

る全体のカーブの形状もパイプの場合と大差ないことがわかる。

これらの実験結果は、パイプとフィッティングとで焼入方式などに若干の違いはあっても、強度的に大きな差はなく、フィッティングについてもパイプとほとんど同じ成分で製造できることを示している。

この点は、パイプの径が大きくなった場合、それにマッチするフィッティングには、局部的に相当厚肉の部分が生じるので、現在さらに実験的確認を行っているが、その場合でも若干の成分増量により十分製造できると思われる。

4.7 周溶接継手の常温強度

低水素系溶接棒 KS 86H (E9 016-G 相当) を使用し、予熱・後熱なしで Table 6 の条件のもとに周溶接継手を製作した。開先は API 標準開先である。溶接部を横断する硬度分布と溶接部周辺の組織を Fig. 11 に示す。

継手引張試験には Type 2 の試験片を用い、結果を母材部の強度と比較して Table 7 に示す。

Table 6 Girth welding condition

Pass	Electrode diameter (mm)	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (J/cm)
1	3.2	112	23	9.4	16 400
2	4.0	170	25	17.4	14 700
3	4.0	140	23	9.5	20 300
4	4.0	140	23	9.5	20 300
5	4.0	140	23	7.2	26 800

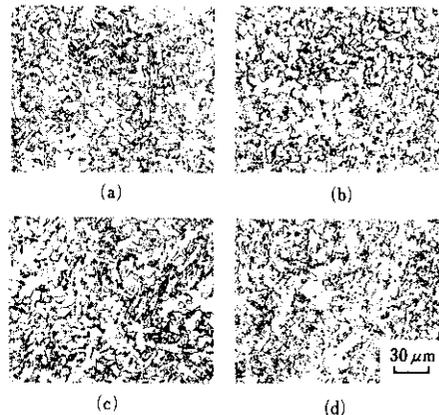
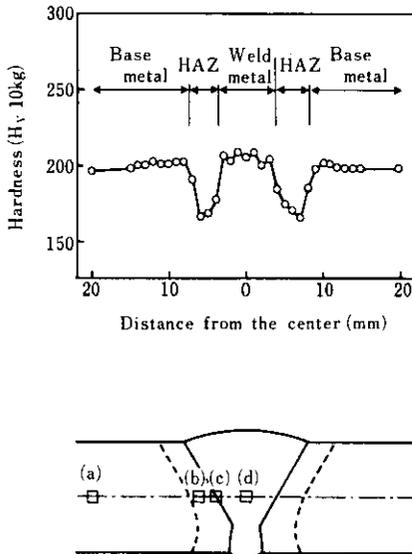


Fig. 11 Hardness distribution, and microstructures of the girth weld zone

Table 7 Tensile properties of the girth weld zone

Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )		Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )		Elongation in 100mm (%)	
Each	Av.	Each	Av.	Each	Av.
52.4		66.0		22.5	
49.8	50.5	66.1	66.1	18.3	19.3
49.3	(58.3)	66.1	(66.6)	18.7	
50.4		66.1		17.8	

Figures in parentheses show the strength of parent metal

継手の引張強さは母材部とほとんど同じであり、Fig. 11 にみられるような HAZ 部の局部的軟化は、この試験片による引張強さにほとんど影響しないといえる。

実際のフィールド溶接にはセルローズ系溶接棒が使用されることも考えられるが、低水素系溶接棒の方が1パスあたりの入熱が高めであり、この結果は安全側の結論を与えていると思われる。

4・8 周溶接継手のシャルピー衝撃特性

Fig. 11 の (b)~(d) の各位置にノッチを入れ、シャルピー衝撃試験を行った結果を Fig. 12 に示す。

Fig. 12 より、靱性が最も悪いのはボンドであることがわかるが、0 ~ -40°C の範囲で吸収エネルギーはかなりあり、実用上問題にならないと思われる。

4・9 周溶接継手の高温引張特性

溶接部を横断して肉厚中心付近から Type 4 の試験片を採取し、高温引張試験した結果を Fig. 13 に示す。

一般に軟層を含む引張試験の場合、試験片サイズが小さくなるほど軟層の影響が大きく現われる<sup>6,7)</sup>。しかしながら Fig. 4 の母材の試験結果と比較すると、Fig. 13 の継手の引張強さは、常温~250°C 付近の低温側では母材のそれよりわずかに低いものの、300~350°C では母材とまったく同等の値を示している。試験片は HAZ 部で破断したが、常温および 350°C における引張強さは、母材と同じ下限値を十分満足している。

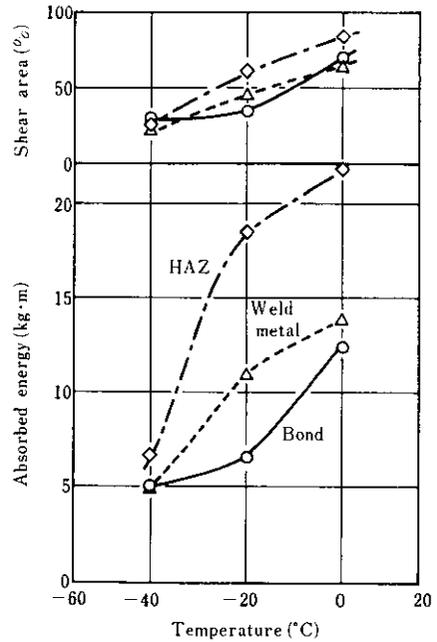


Fig. 12 Charpy impact properties of the girth weld zone

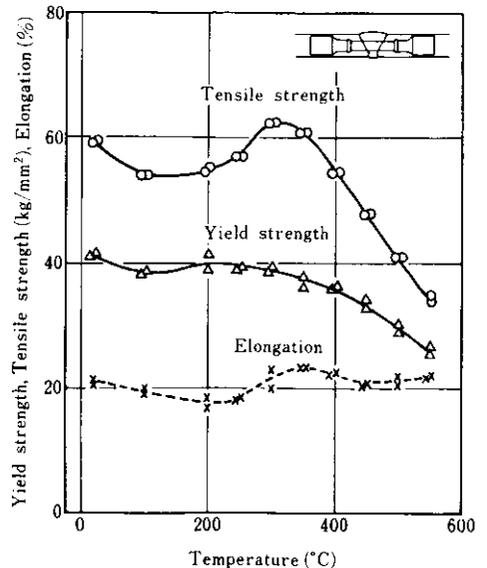


Fig. 13 Tensile properties of the girth weld zone at elevated temperatures

4・10 再加熱後の強度

調質鋼を再加熱した場合、その再加熱条件の焼

もどしパラメータが、元の焼もどしパラメータの値を越える程度に大きくなると、強度低下を生じる可能性がある。そこでQT後の管から採取したサンプルを種々の温度で再加熱し、再加熱後の常温および350°Cでの強度をType 4の試験片を用いて調査した。再加熱条件は400~700°C×1hおよび680°C×20hである。

Fig. 14 および Fig. 15 は再加熱後の常温および350°Cでの強度をそれぞれ示す。これらの結果から、再加熱による大きな強度低下は、再加熱の焼もどしパラメータが約18500を越えるあたりから始まることわかる。元の熱処理時の焼もどしパラメータは約17500であるが、再加熱条件がこれを越えても18500までは大きな強度低下はない。これは少量のMo、V添加により、供試鋼の軟化抵抗が高められたことも一因と思われる。したがってSR処理が必要な場合でも、最初の焼もどし条件に匹敵する620°C×30min程度の加熱なら十分強度を維持するはずである。

18500以上での強度低下は、光学顕微鏡下でも明瞭に観察できるようなQT組織の再結晶に対応

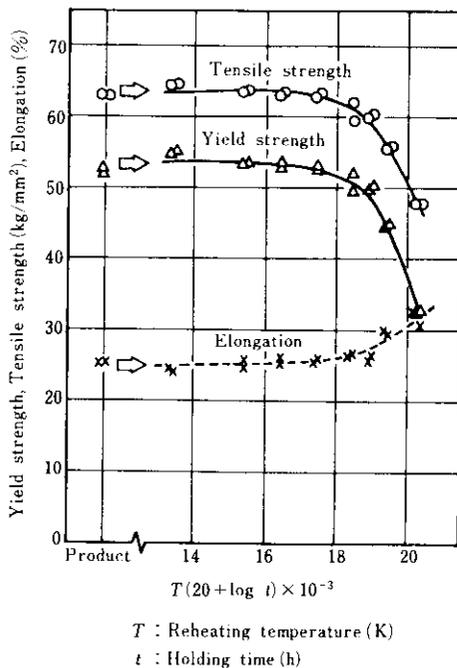


Fig. 14 Tensile properties of the pipe at room temperature after reheating under various condition

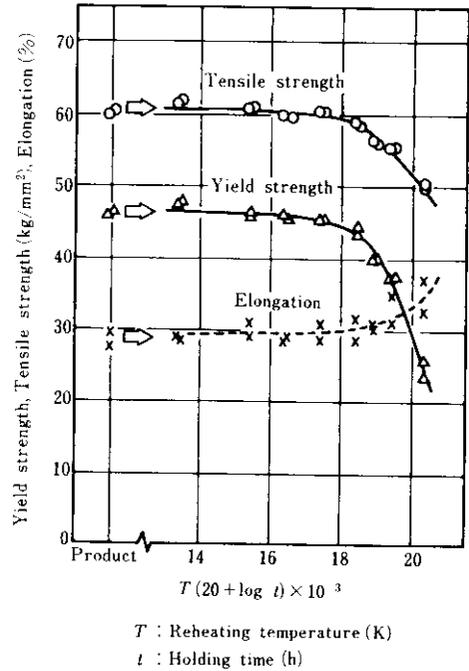


Fig. 15 Tensile properties of the pipe at 350°C after reheating under various conditions

している。しかしながら使用条件を350°C×10<sup>5</sup>hとしても、これを単純に焼もどしパラメータに換算すると15600にすぎず、使用中の組織変化はないことが推測される。

ただし組織変化はなくとも、応力下の長時間使用に耐えるかどうかは、クリープおよびクリープ破断試験による確認が必要であろう。

#### 4.11 溶接性

セルローズ系溶接棒(HYP)と低水素系溶接棒(KS 86)のそれぞれを用いて、Table 8の条件で管内面周方向にビードを置き、ビード下割れ試験を実施した。結果をTable 9に示すが、水素量の多いセルローズ系溶接棒に対しても割れはまった

Table 8 Welding condition for underbead cracking tests

Electrode	Current (A)	Voltage (V)	Velocity (cm/min)	Heat input (J/cm)
HYP 3.2φ	100	23	25	5 520
KS 86 3.2φ				

く認められず良好な結果である。

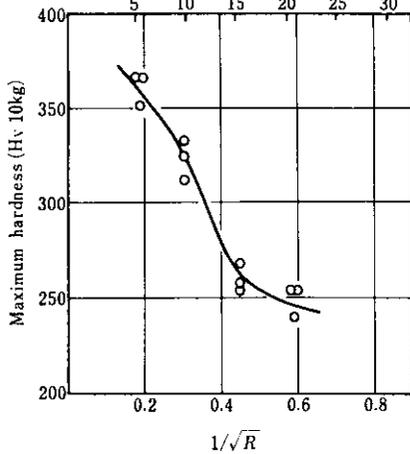
次に Table 10 の種々の入熱で溶接最高硬さ試験を行った結果を Fig. 16 に示す。ここで 300°C における冷却速度  $R$  は Cottrell らの式<sup>8)</sup> を用いて計算した。

セルローズ系溶接棒を使用する場合、Coe<sup>9)</sup> に

Table 9 Results of underbead cracking tests

Electrode	% Cracking					Av.
	1	2	3	4	5	
HYP	0	0	0	0	0	0
KS 86	0	0	0	0	0	0

Heat input when wall thickness is 14.3mm (kJ/cm)



$$1/\sqrt{R} = (E + 1000N) / \{54T(1 + T/1000)(N + 0.5)\}$$

$R$  : Cooling velocity at 300°C  
 $E$  : Heat input (J/in.)  
 $T$  : 300 -  $T_0$  (°C)  
 $T_0$  : Preheating temperature (20°C)  
 $N$  : TSN (8 × inch thickness)

Fig. 16 Maximum hardness change with various heat inputs shown in Table 10

よれば HAZ の最高硬さが 350Hv 以下であれば水素割れの危険はないとされている。

Fig. 16 より HAZ の最高硬さが 350Hv となるときの冷却速度は、 $1/\sqrt{R_{350}} = 0.22$  である。肉厚が 0.562" (14.3mm) のときこの冷却速度に対応する入熱は、図より約 7kJ/cm であることがわかる。したがって、肉厚が 14.3mm 以下の場合、円周溶接におけるルートパスの入熱が 7kJ/cm 以上であれば、室温より高い予熱は不要と思われる。

4-12 クリープ破断強度

クリープおよびクリープ破断試験は現在もなお継続中なので、これまでに得られた破断強度のみを Larson Miller 値、 $T(20 + \log t)$  で整理して Fig. 17 に示す。

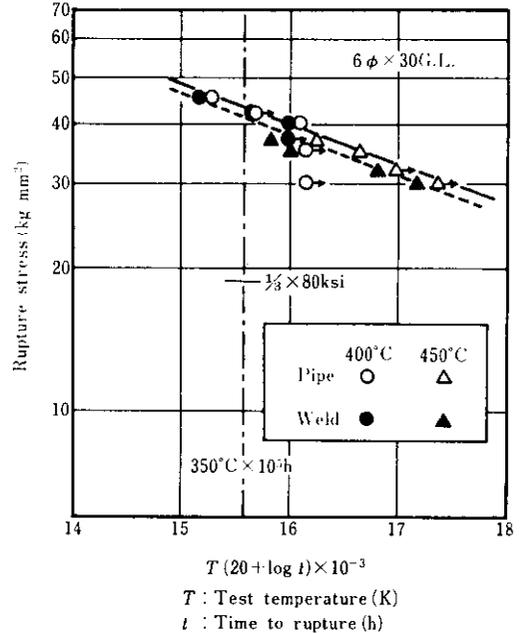


Fig. 17 Results of creep rupture tests

Table 10 Welding conditions for maximum hardness tests

Condition	Current (A)	Voltage (V)	Velocity (cm/min)	Heat input (J/cm)	$1/\sqrt{R}$	Electrode
1	100	23	25	5 520	0.19	HYP 3.2 φ
2	170	29	30	9 860	0.31	HYP 4.0 φ
3	180	27	20	14 580	0.43	HYP 4.0 φ
4	200	26	15	20 800	0.59	HYP 4.0 φ

使用条件を  $350^{\circ}\text{C} \times 10^5\text{h}$  とすると、これは L.M. 値で  $15\,600$  に相当し、図より母材の  $10^5\text{h}$  破断応力は約  $43\text{kg}/\text{mm}^2$  と推定される。

参考までに周溶接継手に関しても、溶接部を横断する試験片で求めた破断応力を同図に示したが、母材よりは若干低めのものである。

## 5. 実験結果に対する考察

以上のように、Steam Distribution Pipeline 用に最も適した材料として、調質タイプの中温域用シームレス鋼管 KSC-X 65M を試作し、フィッティングも含めて実験的検討を行った。

この鋼管の許容応力は、たとえば ANSI, B 31.3 の 302.3.2 項が適用されるとすると、以下のうちの最小値が採用される。

- (1) 室温における引張強さの規格下限の 1/3
- (2) 設計温度における引張強さの 1/3
- (3) 室温における降伏強さの規格下限の 2/3
- (4) 設計温度における降伏強さの 2/3
- (5) 0.01%/1 000h クリープ強度の平均値の 100%
- (6)  $10^5\text{h}$  クリープ破断強度の平均値の 67%
- (7)  $10^5\text{h}$  クリープ破断強度の最小値の 80%

使用温度を  $350^{\circ}\text{C}$  とすると Fig. 17 より  $10^5\text{h}$  破断強度は約  $43\text{kg}/\text{mm}^2$  となるが、この 67% は引張強さの規格下限の 1/3 よりはるかに大きい。また降伏応力の 2/3 は常に引張強さの 1/3 より大きいので、結局許容応力は引張強さの規格下限の 1/3 となる。

引張強さをより高くすれば許容応力をさらに上昇させることも可能である。しかしながら、セルローズ系溶接棒を用いて通常のラインパイプと同じように溶接することを考えると、引張強さとして 80ksi 程度のところが妥当と思われる。

従来、ボイラ用鋼管や圧力容器用鋼板の分野では、焼ならしタイプあるいは焼ならし焼もどしタイプの中温域用高強度鋼が開発された例<sup>10,11)</sup>もあるが、これらの鋼種は寒冷地で施工されるラインパイプ用としては、溶接性や経済性の点で不十分である。このような Steam Distribution Linepipe は、高温配管用鋼管の使用温度が比較的低い場合とみなすこともできるが、通常のラインパイプの使用温度が高い場合とみなすこともできる。溶接

性や経済性を重視するならば、通常のラインパイプと同じように積極的に焼入れ焼もどし処理を活用し、使用温度での強度を保証することが最も適当と思われる。

調質鋼を使用する場合の問題点の一つは、溶接熱影響部の軟化であろう。しかしながら幸いなことにシームレス鋼管の場合、管軸方向の溶接部は存在せず、熱影響は円周溶接に伴うものだけとなる。この円周溶接部に関しても、実験結果に示したように、軟化の影響の現れやすい比較的小断面の試験片を用いて試験しても、常温および  $350^{\circ}\text{C}$  における引張強さは母材に比べて遜色がない。また降伏強さは母材より低下するものの、その 2/3 は引張強さの 1/3 より常に大きい。もともと管軸方向は主たる応力が作用する方向ではないし、熱膨張・収縮に伴う長手方向の変形が十分吸収されるようなシステムの設計がなされるならば、円周溶接に伴う熱影響部の存在は実用上何ら問題にならないと思われる。

## 6. まとめ

オイルサンド開発用などとして需要が予測される、中温域用調質型シームレスラインパイプおよびフィッティング類を、低 C-Mo-V 系の成分で試作しひととおりの検討を行った。実験結果を要約すると以下のようにまとめられる。

- (1) パイプおよびフィッティング類の強度は、いずれも常温および  $350^{\circ}\text{C}$  での目標値を満足した。
- (2) 周溶接継手部の引張強さは、常温および  $350^{\circ}\text{C}$  のいずれにおいても母材に比べて遜色ない。
- (3) パイプ、フィッティングおよび周溶接継手のシャルピー衝撃特性は、いずれも  $0 \sim -40^{\circ}\text{C}$  の範囲で十分な吸収エネルギーを示し、寒冷地での建設に適すると思われる。
- (4) QT 後の再加熱による軟化特性を調査した結果、焼もどしパラメータが 18 500 程度までは大きな強度低下はない。
- (5) 溶接性試験の結果、供試鋼の溶接性は良好であり、セルローズ系溶接棒に対しても肉厚が 14.3mm 以下の場合、ルートパスの入熱が  $7\text{kJ}/\text{cm}$  以上あれば室温より高い予熱の必要はない。
- (6) クリープ破断試験の結果  $350^{\circ}\text{C}$  における  $10^5\text{h}$

破断強度を推定すると、その67%は80ksiの1/3より十分に高く、許容応力は引張強さの規格下限の1/3で設計できる。

以上の実験結果は、すでにカナダの一部需要家に情報提供し好評を得ている。エネルギー問題は今日世界的に大きな課題であり、かかる検討結果

がいささかなりとも代替エネルギー開発の促進に寄与するところがあれば幸いである。

最後に本実験のうち、フィッティングに関する部分は、日本弁管工業(株)の御協力のもとに行われたものであることを付記し、関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 若林, 中村: ペトロテック, 1 (1978) 7, 682
- 2) Robert T. Tippee: Oil Gas J., 76 (1978) 5, 87
- 3) IN-SITE, May (1978), 40
- 4) 日本経済新聞, Apr. 12 (1979)
- 5) Oil Gas J., 77 (1979) 49, 42
- 6) 佐藤, 土井, 豊田: 溶接学会誌, 37 (1968) 11, 1214
- 7) 佐藤, 豊田: 溶接学会誌, 40 (1971) 9, 885
- 8) C. M. Cottrell and B. J. Bradstreet: Brit. Weld. J. 2 (1955), 305
- 9) F. R. Coe: "Welding steels without hydrogen cracking", (1973), The Welding Institute, Cambridge, England
- 10) 三好ら: 住友金属, 19 (1967) 4, 452
- 11) 森ら: 川崎製鉄技報, 10 (1978) 4, 280