

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.3 (1971) No.2

川鉄低温用鋼板について

Introducing Kawasaki Low Temperature Service Steel

青木 真一(Shinichi Aoki)

要旨：

本稿は低温用鋼の意義，開発経過を述べるとともに，川崎製鉄㈱で製造している各種低温用鋼の規格，特徴，用途について全般的な紹介を行なっている。

Synopsis：

This article deals with the specifications, characteristics and applications of low temperature service steel manufactured by Kawasaki Steel Corporation, in addition to its significance and development process in general.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

川鉄低温用鋼板について

Introducing Kawasaki Low Temperature Service Steel

青木 真一*

Shinichi Aoki

Synopsis:

This article deals with the specifications, characteristics and applications of low temperature service steel manufactured by Kawasaki Steel Corporation, in addition to its significance and development process in general.

1. ま え が き

近年、目覚ましい経済成長にともない、LPGエチレン、酸素、窒素、アンモニア、天然ガスなどの各種のガスが大量に使用されるようになったが、一方これらのガスを効率的に貯蔵する方法として低温液化貯蔵方式が発達し、これにより各種の低温用鋼材が開発され、その需要は今後ますます高まるものと期待される。

本稿では低温用鋼の意義ならびに発達の経緯を述べるとともに、当社で製造している各種低温用鋼の概要を紹介する。

2. 低温用鋼の意義

近代石油産業の発展によって、LPGの市場が急速に拡大し、その需要量は他のエネルギー源よりかなり急速なテンポで増加しており、エチレンも石油化学工業の原料として急速な需要の増加が見込まれ、また、アンモニアも肥料の原料として今後かなりの需要の増加が予想されている。一方、酸素、窒素についても各種重化学工業の発展につれ消費が増大するのは当然のことと思われる。

これらの他に、最近では天然ガスが無公害エネルギー資源として各産業界から注目されはじめ、米国、欧州をはじめとして世界市場は急速に発展し、わが国もまた、LNG（液化天然ガス）の大量消費時代が始まろうとしている。このように、これらのガス類は今日の生産活動において必要不可欠な物質であり、その利用範囲の拡大は経済的な輸送および貯蔵方法の確立に待つところが大きわめて大きい。

一般にこれらのガス類は冷却するか加圧することにより液化し、逆に加熱するか減圧することによって気化するのが普通である。表1は大気圧下におけるガスの液化温度および体積変化を示したものであり、このうちプロパンは臨界温度が常温以上であるため、常温で加圧するだけで容易に液化し、したがって常温加圧貯蔵が可能であるが、メタン、酸素、窒素のように臨界温度が常温以下にあるものについては、常温で加圧するだけでは液化せず、したがって低温貯蔵が不可欠の条件である。しかも、大容量貯槽の場合には、常圧低温貯蔵の方が加圧式よりタンクの鋼材使用量および製作費を軽減できると同時に安全性の点でも有利である。このためこれに対処する材料として低温用鋼に対する要請がますます高まっている。

* 技術開発部技術開発室課長

表 1 沸点における液体と70°Fの気体の体積比

ガスの種類	液体密度	沸 点	液体と気体の体積比
プロパン C ₃ H ₈	36.2lb/ft ³ (0.579g/cm ³)	-43.7°F (-42.0°C)	316
エチレン C ₂ H ₄	35.2 (0.563)	-154.8 (-103.7)	485
メタン CH ₄	26.3 (0.421)	-258.6 (-161.4)	630
酸素 O ₂	71.2 (1.140)	-297.3 (-182.9)	856
窒素 N ₂	50.45 (0.808)	-320.5 (-195.8)	690
水素 H ₂	4.43 (0.070)	-422.9 (-252.7)	850
ヘリウム He	7.82 (0.125)	-452.1 (-268.9)	755

表 2 LNG受入れ設備の主要設備一覧

No.	設 備	形 式	仕 様
1	LNG タンク	平底球面屋根二重殻式保冷タンク	-162°C, 0.1kg/cm ² G 44,600φ (内径)×28,950 (最高液高さ) ×903 (断熱層厚さ) 9%Ni 395,330φ (内径)×28,950 (最高液高さ) ×1,000 (断熱層厚さ) 9%Ni
2	アンローディングアーム	PCMA	アーム長さ 42' Al合金
3	LNG プライマリーポンプ	立形サブマージド	シャフト 9%Ni, インペラ Al合金, ケーシング Al合金, -162°C, 322m
4	LNG セカンダリーポンプ	"	" -162°C, 788m
5	東京電力用ベーパーライザー	オープンラック	パネル Al合金 8.5kg/cm ² G
6	東京瓦斯用ベーパーライザー	"	" 41kg/cm ² G
7	共通用ベーパーライザー	サブマージド バーナー	" 8.5kg/cm ² G & 41kg/cm ² G
8	ボイルオフガス コンプレッサー	対 向 形	無給油式 -150°C シリンダー: ステンレス 1→11atm
9	ボイルオフガスブースター コンプレッサー	"	給油式 -50°C シリンダー 2.5%Ni, 11→25atm
10	リターンガスプロア	ターボプロロ	ケーシング ステンレス -155°C インペラ Al合金, 1,213mb
11	海水ポンプ	立 形	50m
12	低温配管	低圧大口徑配管	Al合金 その他はステンレス

図1にLNG受入れ設備のブロック・フロー・ダイアグラム、表2に低温用鋼の使用状況を示す。ちなみに、LPGあるいはLNGの低温貯蔵形式について述べると、現在建設中ならびに開発中のものを含め下記の通りに大別されるが、このうち最も技術的に安定し使用実績の多いのは地上式の金属製二重殻タンクであるといえる。

- (1) 地上式タンク
 - (a) 金属製二重殻タンク (図 2)
 - (b) コンクリート式タンク
 - (c) 金属製メムブレン式タンク (図 3)
- (2) 地下式タンク
 - (a) 冷凍式タンク
 - (b) コンクリート式タンク

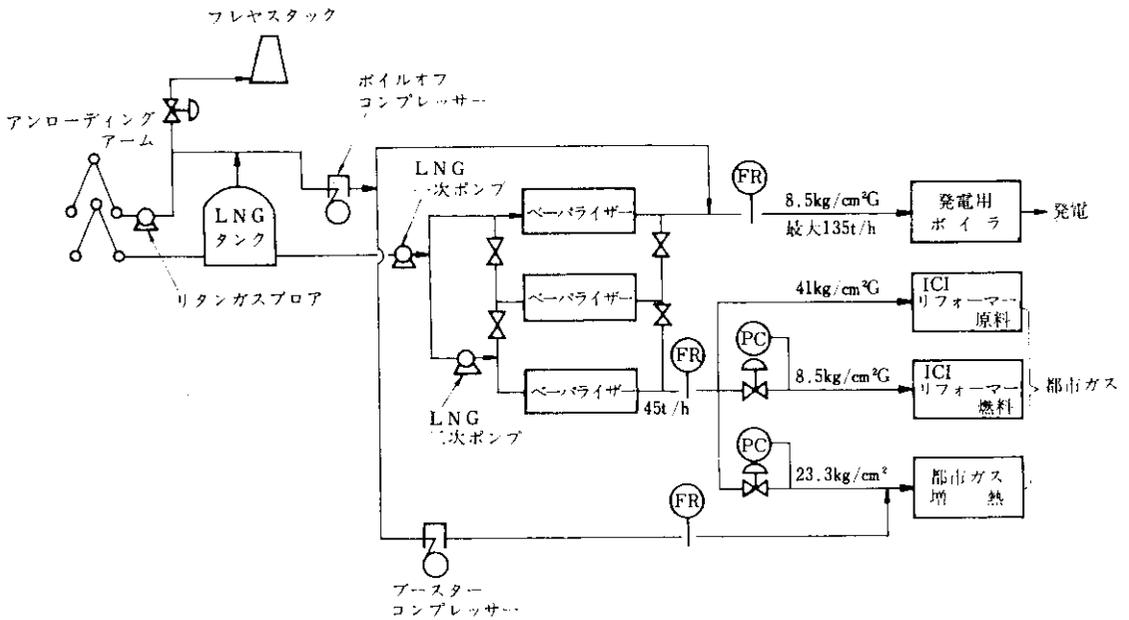


図1 LNG受入れ設備のブロックフロー・ダイアグラム

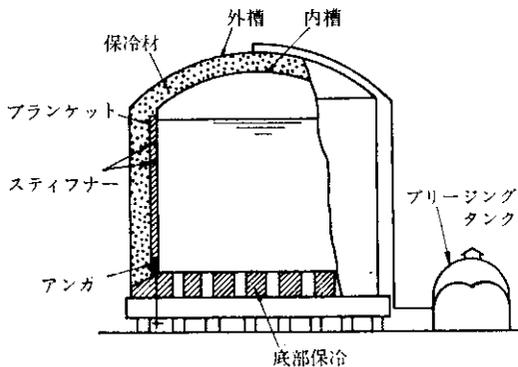


図2 二重殻金属製タンク（円筒型）

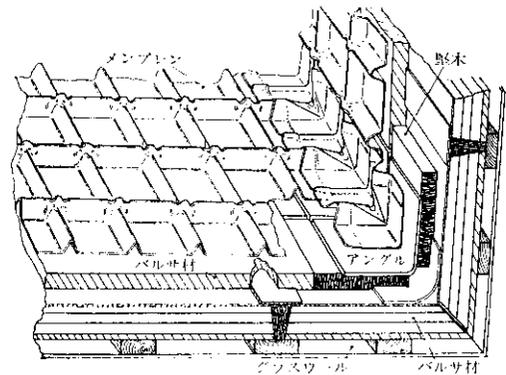


図3 ステンレスの薄板（ひだ付）メンブレン

地上式金属製二重殻タンクには形状的にみて円筒形と球型とがあり、このうち球型は設計圧力を高くとれ、ペーパーロスも少ないので、容量の比較的小さい液体酸素、窒素などの貯蔵タンクに採用され、これに対し円筒型は大容量、低貯蔵コストを要求される場合に有利となる。

また金属製メンブレン式タンクはLNGタンカーにかなり普及しており、各種の様式のもの研究されている。これの内壁には、LNGの場合にはオーステナイト系ステンレス、Invar (36% Ni

鋼)、9% Ni 鋼などの低温用薄鋼板が使用され、内容物の荷重は断熱材を介して外壁の剛性材料（低温材である必要はない）でもたせる構造なので、一般の二重殻タンクより内壁の低温材料の使用量が少なくてすむという利点がある。現在陸上タンクにも本格的に採用すべく検討がなされている。

以上のように低温用鋼の用途としては液化ガスの低温貯蔵タンクが最も多いが、この他にも最近では眠れる資源の開発をめざして海洋開発や寒冷

地開発が盛んになったため、たとえばアラスカ Cook 湾のような低温、風浪、流氷の衝突などの悪条件下で活躍する石油生産用プラットフォームに、低温用 Al キルド鋼が使用されたのを始め、これら開発用機器や資材に低温用鋼が大量に使用されようになり、また破壊に対する高度の安全性を要求される原子炉格納容器材にも低温用 Al キルド鋼が用いられるなど、新しい分野における需要の伸びが期待されている。

3. 低温用鋼の発達の経緯

液体酸素、液体窒素などの分野においては、当初ステンレス鋼と Al が使用されていたが、これらはいずれも小規模のものであり、今日の LNG のような大量貯蔵、輸送タンクなどへそのまま適用することは経済的にも適当でなく、そこで LNG 産業自身の経済性に関連して新たな鋼材の開発が必要となった。

まず、LNG 貯蔵タンクは1940年にはじめてアメリカのホープ天然ガス会社がパイロットプラントを建設したが、これにもとづいてクリーブランドに建設された4,000 k^lの3.5% Ni 鋼製 LNG 貯蔵タンクが1944年突如脆性破壊による大事故をひきおこし、これがきっかけとなって低温用材料の衝撃値、応力除去、溶接われなどの問題が論議されるようになり、また大型低温貯蔵タンクの建造技術ならびに低温用材料についての進歩を促した。

LNG 貯蔵用の低温用材料としては、歴史的には Al 合金が実用化が早かったが、その後1944年に9% Ni 鋼が International Nickel Co. (INCO) によって開発され、また1948年には Luckens Steel によって製造販売されるようになり、ケロッグ社などによって天然ガスからの液化ヘリウム抽出塔や液体酸素の貯蔵タンクの内殻に使われた。しかしながら、9% Ni 鋼が LNG 貯蔵タンクなどの大型貯槽に本格的に使用されるようになったのは、1960年に U. S. Steel, Chicago Bridge & Iron, International Nickel Co. の3社が共同で行なった極低温大作戦 (Operation Cryogenics)

とよばれる大規模な9% Ni 鋼製模型タンクの破壊試験によって、応力除去焼鈍なしで低温で使用しても安全であることが確認されたためである。この実験結果にもとづいて、1962年3月に ASME は板厚 38 mm 以下の貯槽については溶接後の応力除去焼鈍が不要であることを認め、さらに1963年にはこれを板厚 50 mm まで拡大したため、9% Ni 鋼による大型 LNG 貯槽の製作が可能となった。

一方、1962年にはウォーム社 (仏) がリパティール船を改造して実験船「ポーベ」を建造したが、これは LNG タンクが3槽からなり、それぞれ一次壁 (内殻) と二次壁 (外殻) の材料の組合せを、Al 合金-軟鋼 (1槽)、9% Ni 鋼-軟鋼 (2槽)、Al 合金-9% Ni 鋼 (3槽) により使用し、その結果1965年に新造したジュールベルヌ号の一次壁には9% Ni 鋼を全面的に使用した。また、1963年の第一次コンチ計画では、LNG 貯槽8基のうち1基に9% Ni 鋼 (他は Al 合金) が使用され、従来使われていた Al 合金、ステンレス鋼に比べてその利点が認められ、その後陸上基地あるいはタンカーの貯蔵タンクに9% Ni 鋼が本格的に使用されるようになった。

以上のように、LNG 貯蔵タンク用材料で使用温度 -162°C という条件を満たし得る材料としては、9% Ni 鋼、Al 合金、ステンレス鋼があるが、一般的に言ってステンレス鋼は経済性において9% Ni 鋼、Al 合金に比較して不利とされ、小型の二重殻液酸タンクあるいはメンブレン方式の場合に一部使用されている以外は、大容量の LNG 貯蔵タンク材としてはほとんど使用されていないのが実状である。一方、9% Ni 鋼および Al 合金は技術的、経済的いづれの面においても現時点では甲乙つけがたいが、9% Ni 鋼は強度が高くて、板厚の軽減がはかれる点と、鉄系材料の溶接加工に対する馳れの問題を考慮に入れると9% Ni 鋼の方が有利であると言えよう。このように9% Ni 鋼は今後とも加工費を含めたコスト低減の面から技術的改良が加えられるとともに、金属製低温貯蔵タンクの主力材料としての地位は変わらないものと思われる。

次に、臨界温度の高いプロパンを主成分とする

LPGの貯蔵方式には常温加圧式と常圧冷凍式とが採用されているが、冷凍式はわが国ではタンカーおよび輸入基地のような大型貯蔵タンクに限られており、昭和36年11月LPGと石油との混載船「豪州丸」の就航によってゼネラル瓦斯（川崎）に建設された5,000tタンク2基が最初である。その後専用船、混載船の就航にともない、各輸入基地に低温プラントが建設され、タンクの容量も5,000tにはじまって段々と大きくなり、最大26,000tまでが存在する。これらのLPGタンカーあるいは陸上基地の低温貯蔵タンク用鋼材には、一部初期には2.5%Ni鋼（豪州丸、日石丸）が使用されたが、他は全部調質型Si-Mn系Alキ

ルド鋼が用いられている。この種の低温用Alキルド鋼は1959年頃より各社により開発されたが、従来つくられていた2.5%Ni鋼より低温靱性がすぐれ、しかも経済性が高いため、今日ではLPG低温貯蔵タンクの内殻用鋼材として常識化している。

また、液化温度が -104°C というエチレンの場合には、これに見合う低温靱性を備えた溶接材料がなかったため、わが国では中圧半冷凍式貯蔵方式がもっぱら採用され、低温用高張力鋼に依存していたが、最近では従来の焼ならしタイプの3.5%Ni鋼（ASTM A 203 D, E）よりもさらに低温靱性のすぐれた調質タイプの3.5%Ni鋼が開発

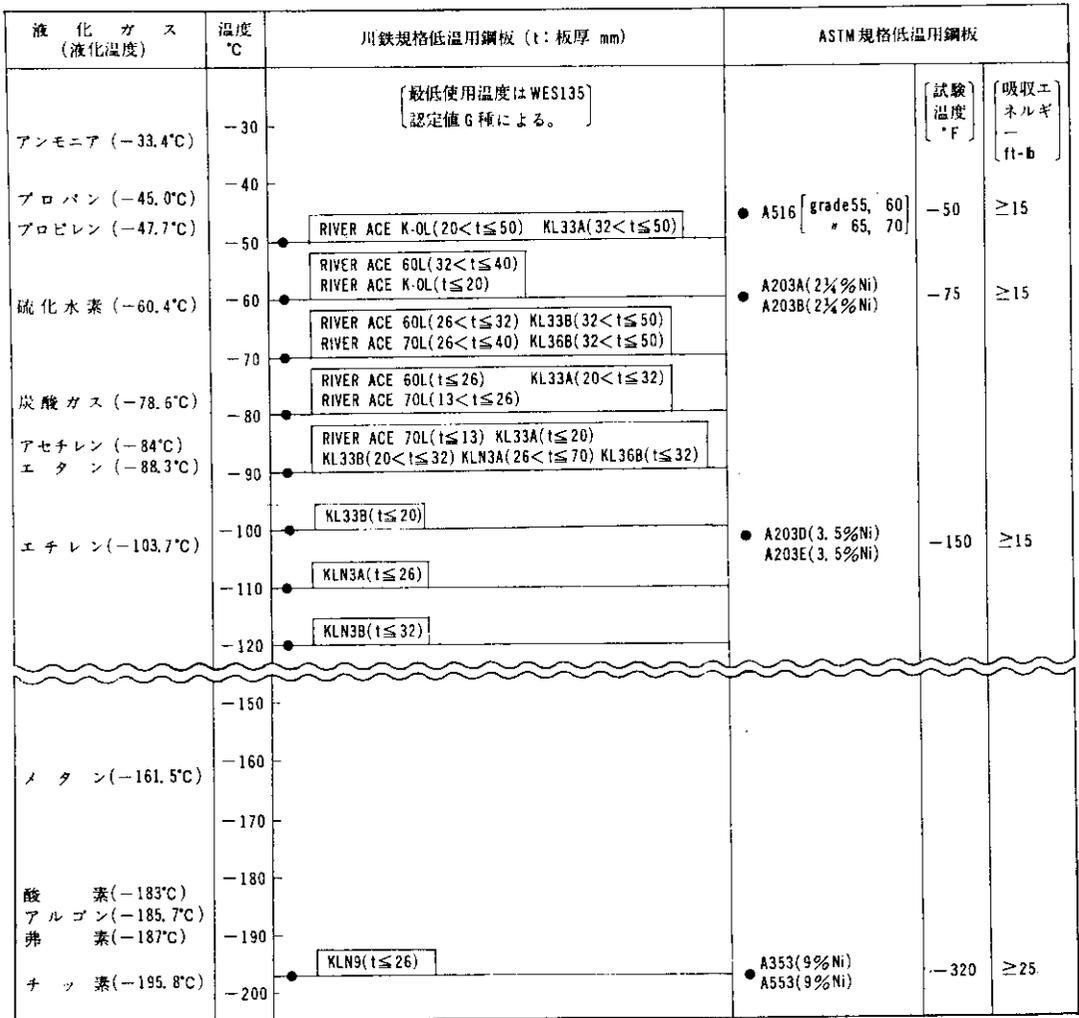


図4 液化ガスと適用鋼材の対応

され、また溶接材料の改良も進んだため、これらの材料を使用した常圧冷凍式貯蔵タンクも検討されている。

4. 各種低温用鋼の特性と用途

一般に鋼材は温度が下ると引張強さ、降伏点、硬さなどが上昇し、伸び、絞り、衝撃値がいづれも減少する。低温用鋼は用途上低温での機械的性質、特に使用温度で脆性破壊に耐えうるだけの十分な低温靱性をそなえていなければならない

い。高圧ガス取締法でも低温貯槽に使用する金属材料に関して「常用の温度において十分なじん性を有するもの」と規定している。また溶接性、加工性がすぐれていること、内容物に対する耐食性のすぐれていること、経済的で大量入手が容易であることなどについては、常温で使われる構造用鋼材に対する要求条件と何ら差異はない。この他大きな温度変化を受けるので、熱膨張係数になるべく小さい方が好ましいことは言うまでもない。

低温用鋼板の種類には構造物のさらされる温度領域によって、図4に示す各種のものが存在し、

表3 川鉄低温用

記号	化 学 成 分 (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
KL33A	0.14以下	0.15~ 0.45	1.00~ 1.50	0.030 以下	0.030 以下	必要により Ni 0.1~0.3%添加					
KL33B	"	"	"	"	"	"					
KL36B	"	"	"	"	"	"					
KLN 3A	0.17以下	0.15~ 0.35	0.40~ 0.70	0.035 以下	0.040 以下	—	3.25~ 3.75	—	—	—	—
	0.20以下	0.15~ 0.35	0.40~ 0.80	0.035 以下	0.040 以下	—	3.25~ 3.75	—	—	—	—
KLN 3B	0.17以下	0.15~ 0.35	0.40~ 0.70	0.035 以下	0.040 以下	—	3.25~ 3.75	—	—	—	—
	0.20以下	0.15~ 0.35	0.40~ 0.80	0.035 以下	0.040 以下	—	3.25~ 3.75	—	—	—	—
KLN 9	0.13以下	0.15~ 0.30	0.90以下	0.025 以下	0.030 以下	—	8.50~ 9.50	—	—	—	—
RIVER ACE 60L	0.18以下	0.55以下	1.50以下	0.035 以下	0.035 以下	必要により Ni, Cr, Mo, Vなどを添加					
RIVER ACE 70L	"	0.35以下	1.20以下	"	"	0.40 以下	1.00 以下	0.70 以下	0.40 以下	0.08 以下	0.005 以下
RIVER ACE K-0L	"	0.15~ 0.35	0.50~ 1.20	0.030 以下	0.030 以下	0.10~ 0.50	0.20~ 1.50	0.10~ 0.80	0.10~ 0.60	0.01~ 0.08	0.001~ 0.006

注 1) KL33A, 33B, 36Bの厚さ6mm超24mm未満の伸びは直線補間による。

2) KLN 3 A, 3 Bの化学成分値は上段：板厚50mm以下，下段：板厚50mm超

安全性と経済性の観点から使用鋼材の選択が行なわれる。このうち ASTM 規格による各種低温用鋼板は最も古くから広く使用されており、これらは ASTM A300 に定められた衝撃値に関する規定が併用されるが、これに規定されている衝撃試験値は経験の積み重ねにより設定されたものと考えられている。

現在、国内で最も広く用いられている規格としては、日本溶接協会によって制定された WES136 「低温構造用鋼板材質判定基準」があるが、この基準は脆性亀裂阻止性能を表す二重引張試験あ

るいは温度勾配型 ESSO 試験より求めた K_{IC} 値 (fracture toughness) をベースとして、これと 2mmV ノッチ・シャルピー衝撃試験の vT_R (エネルギー遷移温度) との相関を求め、 vT_R により鋼材の低温特性を判定し得るようにしたものである。また、この基準では低温構造物の使用条件によって、鋼種の特性を G 種 (設定亀裂長さ $C=10$ mm) と A 種 ($C=100$ mm) に区分している。このうち G 種は一般的に脆性破壊を考慮する溶接構造物に使用するもので実績としては広く用いられており、これに対し A 種は脆性破壊が特に問題と

鋼板の製品規格

熱 処 理	引 張 試 験				曲 げ 試 験		衝 撃 試 験	
	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び		試験片 JIS	曲げ角度		内側半径
			厚さ区分 (mm)	(%)				
焼ならし	33以上	41以上	6 24	25以上 34以上	5 号 5 号 4 号	180°	1.5t	WES の規定による。なおとくに指定のある場合のみ A 種とし、一般には G 種とする。
焼入れ 焼もどし	//	45以上	24超	23以上	4 号			
焼ならし	36以上	45以上	6 24 24超	24以上 33以上 21以上	5 号 5 号 4 号	180°		
焼ならし	29以上	49.21~ 59.75	50以下 50超	19以上 25以上	1 A 号 4 号	180°	t ≤ 26 0.75t 26 < t 1.0t	
焼入れ 焼もどし	45以上	55~67	13以下 13超 21未満 21以上	23以上 28以上 18以上	5 号 5 号 4 号	180°	t ≤ 26 1.5t 26 < t 2.0t	
焼入れ 焼もどし	60以上	70~84	6以上 12以下 12超 20以下 20超 26以下	22以上 25以上 23以上	5 号 5 号 4 号	180°	t ≤ 20 1.0t t > 20 1.5t	
焼入れ 焼もどし	50以上	62~75	6以上 9未満 9以上 12未満 12以上 15未満 15以上 18未満 18以上 21未満	20以上 22以上 24以上 26以上 28以上	5 号	180°	1.5t	
			21以上	20以上				
	63以上	74~85	6以上 9未満 9以上 12未満 12以上 15未満 15以上 18未満 18以上 21未満	17以上 19以上 21以上 23以上 25以上	5 号	180°	1.5t	
			21以上	17以上				
70以上	80~95	6以上 9未満 9以上 12未満 12以上 15未満 15以上 18未満 18以上 21未満	15以上 17以上 19以上 21以上 23以上	5 号	180°	1.5t		
		21以上	16以上				4 号	

表4 川鉄低温用鋼板の化学

種類記号	板厚 (mm)	熱処理	化 学 成 分 (%)										
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
KL33A	6	Si-Mn系	0.07	0.30	1.37	0.019	0.010	—	0.18	—	—	—	—
	12	細粒キルド鋼	0.06	0.30	1.30	0.010	0.007	—	0.25	—	—	—	—
	32	焼ならし	0.06	0.29	1.44	0.008	0.012	—	0.22	—	—	—	—
KL36B	18	Si-Mn系	0.06	0.30	1.30	0.010	0.007	—	0.24	—	—	—	—
	32	細粒キルド鋼	0.06	0.30	1.30	0.010	0.007	—	0.24	—	—	—	—
	48	焼入れ—焼もどし	0.08	0.29	1.33	0.012	0.010	—	0.19	—	—	—	—
KLN 3 A	26	3.5%Ni鋼 焼ならし	0.09	0.21	0.66	0.008	0.006	—	3.64	—	—	—	—
	70	"	0.09	0.21	0.66	0.008	0.006	—	3.64	—	—	—	—
KLN 3 B	32	3.5%Ni鋼 焼入れ—焼もどし	0.08	0.21	0.68	0.006	0.009	—	3.65	—	—	—	—
KLN 9 ASTM A 553	6	9%Ni鋼 焼入れ—焼もどし	0.04	0.12	0.42	0.005	0.009	—	9.03	—	—	—	—
	20		0.05	0.18	0.50	0.007	0.010	—	8.88	—	—	—	—
	25		0.05	0.18	0.50	0.007	0.010	—	8.88	—	—	—	—
ASTM A 353 ASME 1308-5	12	9%Ni鋼 焼ならし (2回), 焼入れ	0.05	0.25	0.45	0.006	0.010	—	9.17	—	—	—	—
	25		0.05	0.21	0.50	0.007	0.006	—	8.92	—	—	—	—
	73		0.06	0.20	0.45	0.008	0.008	—	8.92	—	—	—	—
RIVER ACE 60L	10	低合金鋼 焼入れ—焼もどし	0.14	0.40	1.29	0.018	0.009	0.04	0.18	0.04	—	0.040	—
	33		0.13	0.41	1.17	0.018	0.017	0.03	0.50	0.03	0.09	0.030	—
	40		0.14	0.35	1.35	0.015	0.004	0.10	0.80	0.14	0.16	0.080	—
RIVER ACE 70L	25	"	0.15	0.29	1.12	0.016	0.006	0.24	0.89	0.40	0.29	0.027	0.0028
	40		0.13	0.31	1.17	0.016	0.009	0.23	0.93	0.48	0.33	0.028	0.0031
RIVER ACE K-0L	50	"	0.16	0.28	0.88	0.009	0.010	0.24	1.00	0.58	0.53	0.050	0.0035

成分と機械的性質の一例

Ceq	方向	引 張 試 験				試 験 片	曲げ試験		衝 撃 試 験	
		降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	降 伏 比 (%)	伸 び (%)		曲げ角度180° 内側半径	衝 撃 値 温度 (°C)	(kg-m/cm ²)	
—		31.6	46.0	75	42	JIS 5号	1.5t 良	—30	8.5	
—	L	35.3	44.6	79	39	JIS 5号	1.5t 良	—60	7.0	
—		35.7	46.5	77	42	JIS 4号	2.0t 良	—40	14.7	
—		37.5	46.2	81	45	JIS 5号	1.5t 良	—45	14.7	
—	L	36.8	47.8	77	43	JIS 4号	2.0t 良	—45	15.5	
—		37.4	46.6	80	42	JIS 4号	2.0t 良	—45	13.8	
0.30	L	45.6	55.3	—	38	GL=200mm	0.75t 良	—	—	
	C	45.3	55.2	—	37	"	—	—	—	
0.30	L	40.2	52.4	—	40	"	1.0t 良	—	—	
	C	38.9	51.8	—	40	"	—	—	—	
0.29	L	51.8	58.1	—	35	"	1.0t 良	—	—	
	C	51.7	58.1	—	36	"	—	—	—	
—	L	76.3	79.3	96	24	GL=2"	1.0t 良	—196	2.8	
—	C	77.3	80.8	96	23	—	—	—	2.2	
—	L	71.5	76.2	94	29	GL=2"	1.25t 良	"	12.5	
—	C	72.0	77.6	93	28	—	—	"	10.9	
—	L	68.6	73.5	94	31	GL=2"	1.25t 良	"	12.6	
—	C	68.9	74.8	92	29	—	—	"	11.0	
—	L	64.2	72.5	89	39	GL=2"	1.0t 良	"	7.7	
—	C	64.0	72.8	88	37	—	—	"	5.1	
—	L	59.8	71.1	84	43	GL=2"	1.0t 良	"	13.1	
—	C	59.7	72.5	83	49	—	—	"	9.3	
—	L	62.5	72.9	86	28	GL=2"	1.5t 良	"	15.7	
—	C	61.3	73.6	83	26	—	—	"	11.9	
0.387		60.6	68.2	89	28	JIS 5号	1.0t 良	—35	8.1	
0.389	L	56.7	66.8	85	28	JIS 4号	1.5t 良	—30	13.5	
0.469		57.1	67.0	85	30	JIS 4号	1.5t 良	—60	19.4	
0.515	L	65.0	74.1	88	27	JIS 4号	1.0t 良	—50	11.6	
0.542		71.6	79.4	90	26	JIS 4号	1.5t 良	—50	7.3	
0.595	L	81.9	89.1	92	24	JIS 4号	1.5t 良	—15	17.6	

表 5 川鉄低温用鋼板の WES 鋼種承認取得状況

銘柄名称	WES (136) 規格該当記号
KL 33A	LT33-II-90G-60A LT33-IV-80G-50A LT33-VI-50G-20A
KL 33B	LT33-II-100G-60A LT33-IV-90G-60A LT33-VI-70G-30A
KL 36B	LT36-II-90G-60A LT36-IV-90G-50A LT36-VI-70G-30A
KLN 3A (3.5%Ni)	LT29-III-110G-90A LT29-VI-90G-60A LT29-70mm-90G-60A
KLN 3B (3.5%Ni)	LT45-IV-120G-100A
KLN 9 (9%Ni)	LT60-III-196G-196A
RIVER ACE 60L	LT50-III-80G-50A LT50-IV-70G-40A LT50-V-60G-20A
RIVER ACE 70L	LT63-I-90G-60A LT63-III-80G-50A LT63-V-70G-40A
RIVER ACE K-0L	LT70-II-60G-40A LT70-IV-50G-30A LT70-VI-50G-30A

なる特殊な溶接構造物あるいは構造物の特定な場所に使用するものであることを規定している。

つぎに、当社で製造している低温用鋼板であるが、これには ASTM 規格あるいは船級協会規格などの公的規格による低温用鋼板の他に、表 3 に示すような当社独自の製品規格による各種の低温用鋼板があって、図 4 のように対象構造物の常用の温度領域、使用条件により最も適したものが選択できるように規格体系が整備されている。表 4 はこれら川鉄規格低温用鋼板についての試験成績の一例を示したものである。いづれの鋼種についても表 5 に示すような WES の鋼種認定を取得しており、したがってこれらの衝撃値に対する保証も認定値の最低使用温度にあわせて、先の WES 136 を準用することになっている。図 5 はこれらの鋼板の 2mmV ノッチ・シャルピー衝撃値の遷移曲線の一部を、また、図 6 は二重引張試験および温度勾配型 ESSO 試験の成績を一括して示したも

のである。

以下、川鉄規格低温用鋼板の特色ならびに用途についての概要を紹介する。

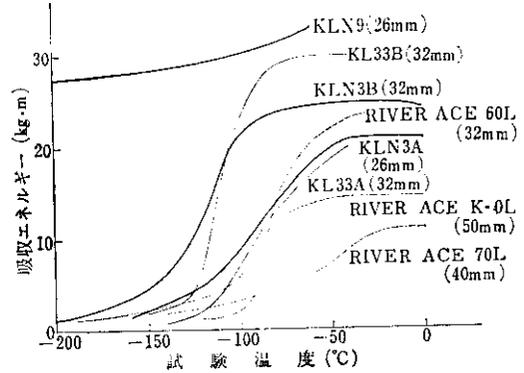


図 5 各種低温用鋼板の 2mmV ノッチ・シャルピー遷移曲線

4.1 KL 33, KL 36

本鋼種は表 3 に示すとおり、成分的には C を極力低くし、Mn/C 比を大きくしたものを Al で脱酸処理した低 C、高 Mn 系の細粒 Al キルド鋼であり、板厚、要求諸条件などに応じて Ni が 1% 以下の範囲内で適量添加されている。本鋼種は熱処理方法により、焼ならし型の KL33A と調質型の KL33B, KL36B からなり、このうち焼ならし型は結晶粒の細粒化による低温靱性の向上をはかったものであり、また調質型は焼入れ時の急冷による結晶粒の微細化と焼もどしによる回復によって、低温靱性を向上させたものである。本鋼種の金属組織はいずれも低 C のフェライト + パーライト組織であるが、低温靱性は、図 5 に示すとおり調質型 (KL33B, 36B) の方が焼ならし型 (KL33A) よりすぐれており、いづれも 2.5%Ni 鋼あるいは 3.5%Ni 鋼に匹敵する性能を有しているため経済的に有利な鋼種といえる。WES 鋼種認定値は表 5 に示すとおりで、これによると -50 ~ -110°C の低温まで使用が可能である。また降伏点は KL33A, B が 33 kg/mm² 以上、KL36B が 36 kg/mm² 以上で、降伏比が高いため設計板厚を有利にとることができる。なお、成分的に

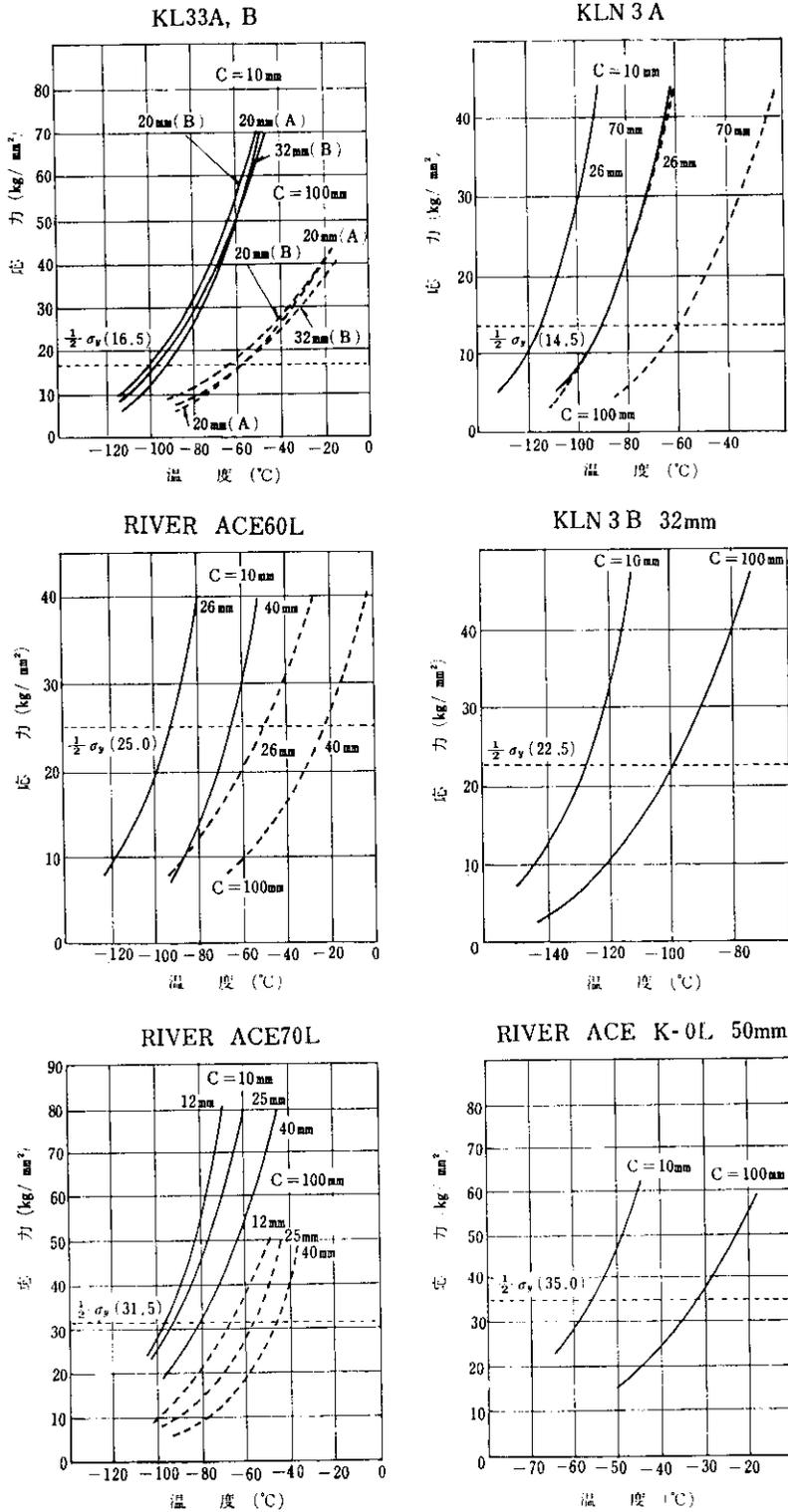


図 6 各種低温用鋼についての二重引張試験と温度勾配型 ESSO 試験結果

みて炭素当量が低いと溶接性はきわめて良好であり、一般には溶接の際の予熱を必要としない。

用途としては主に LPG の貯蔵、運搬容器、化学工業装置などに使用されるが、この他海洋開発あるいは寒冷地開発用などの新しい分野に期待が寄せられている。

4.2 KLN 3

Ni が増えると低温靱性が向上することは周知のことであり、低温用低 Ni 鋼として ASTM A 203 には 2.5%Ni 鋼と 3.5%Ni 鋼とが規定されている。当社の KLN 3 A および 3 B は成分的には ASTM A 203 E と同様、低 C の Si-Mn 系に Ni を 3.5%程度添加し、AI 脱酸した細粒キルド鋼で、このうち KLN 3 A は A 203 E と同様焼ならしを施したものであり、一方 KLN 3 B は焼入れ焼もどし処理を施すことによって、さらにすぐれた低温靱性と強度を高めたものである。金属組織的には KLN 3 A がフェライト+パーライト組織であり、KLN 3 B が焼もどしマルテンサイトとなっている。また WES 鋼種認定試験の結果によると -90°C ~ -120°C まで使用可能であり、主な用途としては沸点 104°C の液化エチレンの貯蔵、輸送タンクなどが挙げられる。

KLN 3 は KL 33 と同様に溶接硬化性が小さいため溶接性にすぐれている。

4.3 KLN 9

低炭素キルド鋼に Ni を 8.50~9.50%添加したいわゆる 9%Ni 鋼は、ASTM 規格によると二回焼ならし+焼もどししたもの (A353) と焼入れ、焼もどししたもの (A553) とがあり、両者の優劣についてはいろいろ問題にされているが、低温靱性に関しては後者の方がすぐれているため、最近ではほとんどの場合焼入れ焼もどしタイプのものが使用されている。KLN 9 は特殊焼入れ、焼もどしタイプの 9%Ni 鋼で、低温靱性がすぐれており、また引張強さも 70 kg/mm^2 以上と高いため設計上有利であるといえる。本鋼種は焼入れ状態でパーナイトあるいはマルテンサイト組織を示し、さらに所定の温度で焼もどすことによって極低温状態でも安定なオーステナイト組織を生成さ

せ、低 C, Ni 固溶の高靱性フェライトと安定オーステナイトとによって低温靱性を確保したものである。衝撃試験は図 5 に示すとおり、 -196°C の液体窒素温度においてもきわめて高い衝撃値を示すので、メタン、酸素、窒素など $-160 \sim -196^{\circ}\text{C}$ の極低温貯蔵タンク用材として使用される。溶接材料は Inconel タイプよりも Ni 含有量の少ない経済的な成分系の開発とパルス・アークによる MIG 溶接など溶接法の自動化が進められている。

4.4 低温用調質高張力鋼 RIVER ACE 60 L, 70 L, K-0 L

常温の構造物を目的とした一般の調質高張力鋼に対し、低温構造物への使用を目的として低温靱性を特に高めたものを低温用高張力鋼として区別して呼んでいる。当社の調質高張力鋼 RIVER ACE シリーズについても、低温用としてその目的に合致したものを製造しており、銘柄記号の末尾に L をつけ一般のものと区別している。もともと調質高張力鋼は強度が高いだけでなく、低 C 焼もどしマルテンサイト組織にもとづくすぐれた切欠靱性をそなえているため、すでに大型重要構造物に大量に使用されているが、この低温用調質高張力鋼は、製造工程や合金元素の添加などの操作によって、一般のものよりさらに低温靱性の改良を加えたものである。引張強さは、 60 kg/mm^2 、 70 kg/mm^2 、 80 kg/mm^2 クラスの 3 種類があり、代表的な用途としては、低温靱性と強度を同時に要求されるプロパン、エチレンなどの中圧半冷凍式の液化貯蔵容器などがあり、また、寒冷地帯で使用する機器構造物、あるいは海底石油掘削リグなどの部材にも使用される。

溶接性に関しては、一般の調質高力鋼とまったく同じであり、ただ低温用であるため、施工にあたっては溶接材料の選択とともに、溶接部ボンドおよび熱影響部の靱性が低下しないよう充分な溶接入熱制御を必要とすることは言うまでもない。

4.5 オーステナイト・ステンレス鋼

当社では厚板および薄板の各種ステンレス鋼を製造しているが、このうちオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS 27, SUS 28) は面心立方格子構造

であるため低温脆性が認められず、同時に同じ面心立方であるAlやCuに比べ、強度、衝撃値、加工性、溶接性などがすぐれているため、 -200°C 前後の超低温装置材料として適している。主な用途として、LNG、酸素、窒素、ヘリウムなどのような極低温液化ガスの貯蔵タンクの内殻、配管系に適しており、とくにLNGのメムレン式大型貯蔵タンクの一次壁にはステンレス薄板が大量に使用されている。

なお使用上の注意事項として高度の冷間加工によるマルテンサイト変態、溶接熱影響部の炭化物の析出、溶接金属の δ フェライトの析出などの原因により靱性が低下しないような配慮が必要である。

る。

5. む す び

以上、低温用鋼の意義、開発の過程ならびに当社の製品について概説したが、低温用鋼の需要は今後ますます拡大すると思われる。われわれ鉄鋼メーカーとしては低温用鋼の需要にこたえるために要求条件を満足するすぐれた品質の鋼材を経済的に供給することに努力するとともに、溶接についても自動化、能率化の推進によって、さらに製作コストの低減をはかることが必要である。

参 考 文 献

- 1) 浅田忠夫：配管と装置，6 (1970)，6