

低温用形鋼の機械的性質と溶接性

Mechanical Properties and Weldability of Steel Angle for Low Temperature Service

服 部 邦 宏*

Kunihiro Hattori

田 淵 俊**

Takashi Tabuchi

亀 田 正 紀***

Masaki Kameda

Synopsis :

Mechanical properties and weldability have been examined of low-temperature angles test-manufactured from Al-treated fine grain killed steels. Results of the test have revealed that with their excellent notch toughness and good weldability, they are suited as the materials for the LPG vessels to be stored at normal pressure, and other low-temperature vessels and structures.

1. はじめに

近年エネルギー源の一つとして、各種液化ガスの需要の伸びは急激なものがあ、液化ガスの貯蔵や運搬に使用される槽、容器類の建造が引き続いている。これらの槽、容器類またはその他の低温構造物は低温にさらされるため、低温での切欠じん性にすぐれた低温用鋼板で製作されているが、構造物には鋼板のほか、形鋼の要求度も高いため、Al キルド鋼による低温溶接構造用等 辺山形鋼 KL33A を試作開発した。本稿はその機械的性質と溶接性について調査した結果を報告する。

2. 製造の概要

溶 製 : 15 t=電気炉ⁱ

分塊寸法 : 170 mm×175 mm×1600 mm

圧延寸法 : 100 mm×100 mm×10 mm×l

〃 : 75 mm×75 mm×6 mm×l

熱処理条件 : 930°C×15~20 min AC

出鋼は当社知多工場、分塊を当社水島製鉄所で実施、アングル圧延は東京製鉄KKに依頼した。

熱処理は水島、千葉製鉄所の連続焼準炉を利用した。

低温用形鋼の川鉄規格を表1に示す。

表 1 低温用形鋼の川鉄規格

	化 学 成 分 (%)						引張試験 (JIS 5号試験片)			曲げ試験	
	C	Si	Mn	P	S	Ni*	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び** (%)	曲げ角度	曲げ半径 (t : 板厚)
KL33A		0.15	1.00			0.1			≥25(t=6)		
Angle	≤0.14	0.45	1.50	≤0.030	≤0.030	0.3	≥33	≥45	≥34(t=24)	180°	1.5t

* 必要に応じて添加

** 6 < t < 24mm の伸びは直線補間による

* 鋼材技術部東京鋼材技術室課長 (現神戸鋼材研究室課長)

** 水島製鉄所条鋼管理課掛長

*** 千葉製鉄所検査課

表 2 化学成分の一例

分析サンプル	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Ceq*
レードル	0.10	0.29	1.23	0.007	0.007	0.25	0.048	0.32
チェック	0.10	0.29	1.26	0.007	0.008	0.26	0.059	0.33
"	0.11	0.29	1.26	0.007	0.009	0.26	0.056	0.34
"	0.11	0.28	1.26	0.007	0.008	0.26	0.060	0.34

* $Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

3. 母材の性質

3.1 化学成分と顕微鏡組織

化学成分として供試材の取鍋分析値とチェック分析値を表2に示す。

低温靱性を改善するため、Mn/C比を10以上とした低炭素高Mn系にNiを約0.25%添加したAlキルド鋼で、焼ならし処理によって写真1のように均一な細粒組織をしめし、結晶粒度は9~10である。

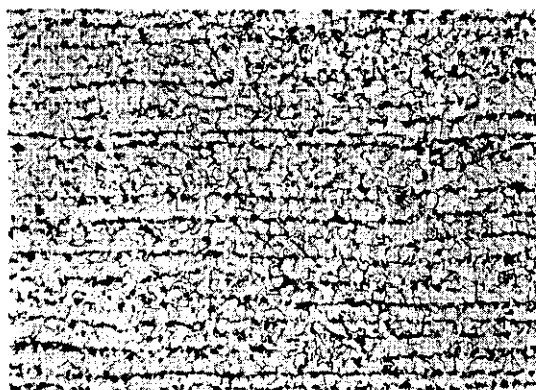


写真 1 顕微鏡組織 (×100)

3.2 引張および曲げ試験

引張および曲げ試験の結果を表3に示す。

表 3 引張および曲げ試験結果

板 厚 (mm)	引張試験 (JIS 5号試験片)			曲げ試験
	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	R=1.5t 180°曲げ
10	37.3	49.7	43	良
	37.0	49.9	41	良
	37.3	50.3	41	良
	38.1	50.6	38	良
6	37.3	51.0	36	良
	38.0	50.3	38	良

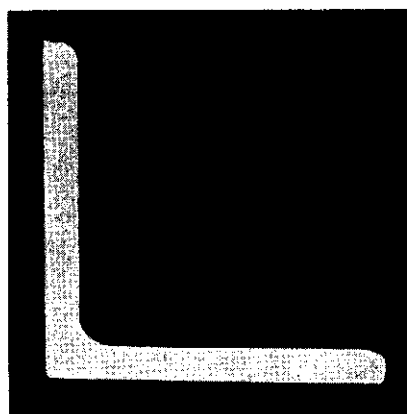


写真 2 マクロ組織

3.3 切欠じん性試験

降伏点は 37~38 kg/mm² と引張強さの割りに高く、伸びも36~43%と良好で、曲げ加工性もすぐれている。

低温におけるじん性を知るため、Vノッチ、Uノッチ、プレスノッチシャルピー衝撃試験を実施した。シャルピー衝撃試験片は圧延方向と平行に

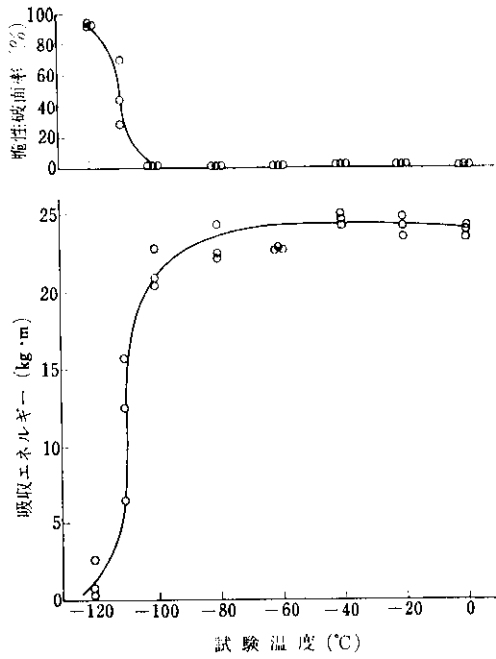


図 1 2 mm V ノッチシャルピー遷移曲線
(7.5 mm 幅小型試験片)

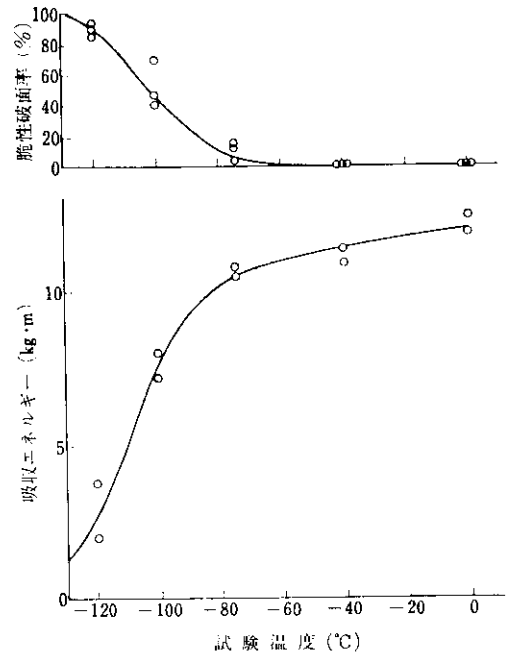


図 2 2 mm V ノッチシャルピー遷移曲線
(5.0 mm 幅小型試験片)

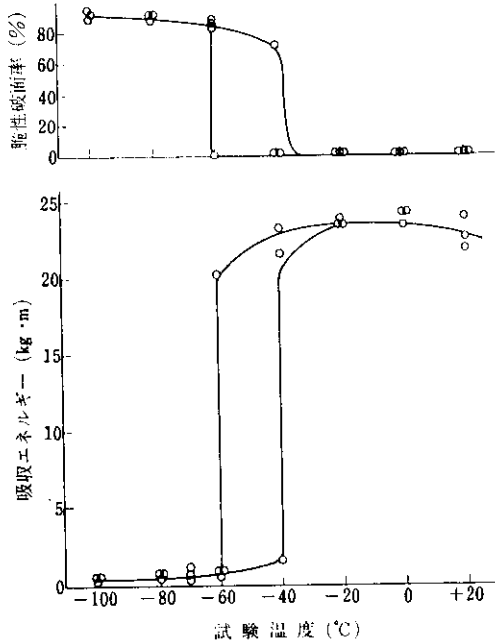


図 3 プレスノッチシャルピー遷移曲線
(7.5 mm 幅小型試験片)

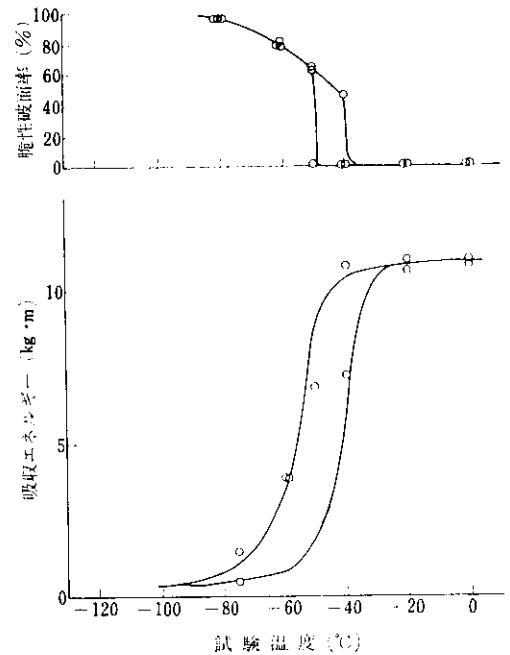


図 4 プレスノッチシャルピー遷移曲線
(5.0 mm 幅小型試験片)

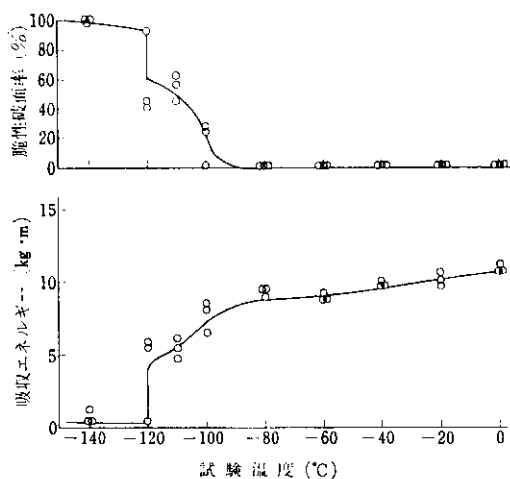


図 5 5 mm U ノッチシャルビー遷移曲線
(7.5 mm 幅小型試験片)

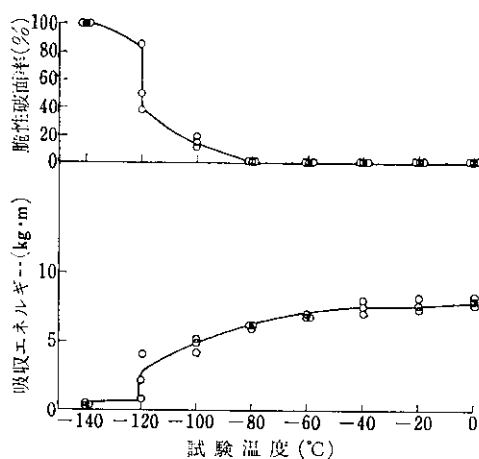


図 6 5 mm U ノッチシャルビー遷移曲線
(5.0 mm 幅小型試験片)

表 4 各種シャルビー衝撃試験結果

板 厚 (mm)	2 mm V ノッチ				5 mm U ノッチ		プレスノッチ	
	E_0 (kg·m)	E_{-100} (kg·m)	vT_E (°C)	vT_S (°C)	uT_{15} (°C)	uT_d (°C)	pT_E (°C)	pT_U (°C)
10	23.8	21.3	-100	100	-120	-120	-55	-55
6	12.4	7.6	-107	-105	—	—	-55	-55

採取し、板厚 10 mm は 7.5 mm 幅の小型試験片を、板厚 6 mm は 5.0 mm 幅の小型試験片を使用した。各種シャルビー衝撃試験の結果を表 4 に、遷移曲線を図 1, 2, 3, 4, 5, 6 に示す。

試験結果は小型試験片にもかかわらず吸収エネルギー飽和値は比較的高く、2 mm V ノッチシャルビー試験のエネルギー遷移温度、破面遷移温度とも、 $-105 \sim -110^\circ\text{C}$ と非常に低温側であり、5 mm U ノッチ、プレスノッチの結果もすぐれている。

3.4 歪時効試験

一般に構造物は加工中、冷間加工をうけることがあり、この場合歪時効によるじん性の劣化が考えられるので、あらかじめ時効劣化の程度を知っておく必要がある。試験は図 7 に示す試験片を圧延方向と平行に、採取し、長さ方向に、2.5%お

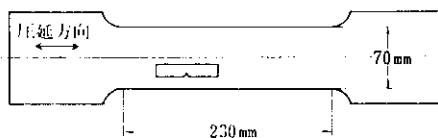


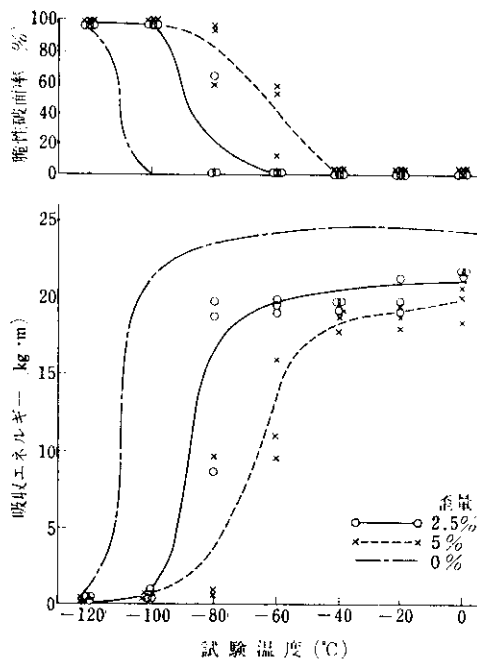
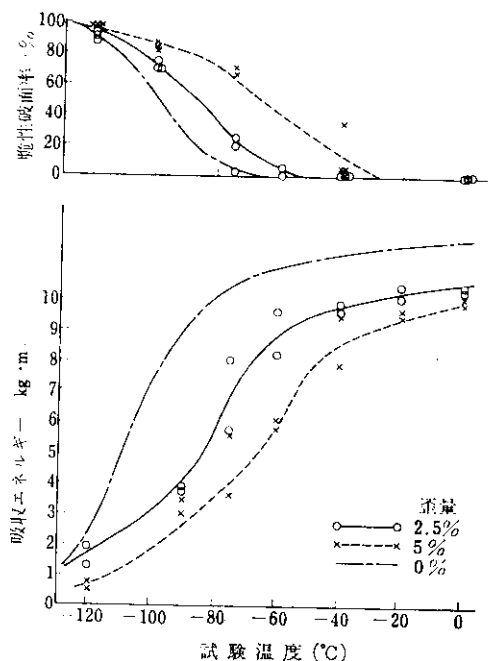
図 7 歪時効試験片

び 5% の引張歪をあたえ、 $250^\circ\text{C} \times 1 \text{ hr}$ の時効処理をほどこしたのち、2 mm V ノッチシャルビー試験片を削り出し、衝撃試験を行なった。試験結果を表 5 に、遷移曲線を図 8, 9 に示す。

歪時効によるじん性の劣化を遷移温度でみると 2.5% の歪量で 20°C 、5% で $40 \sim 45^\circ\text{C}$ 高温側に移動している。しかしこの歪量 1% に対し $8 \sim 9^\circ\text{C}$ の劣化は他の鋼種に比し、特に異常なものではない。

表 5 歪時効シャルピー衝撃試験結果

板 厚 (mm)	歪 量 (%)	試 験 片	vT_E (°C)	vT_S (°C)	vE_0 (kg·m)	vE_{-60} (kg·m)	vE_{-80} (kg·m)	vE_{-100} (kg·m)
10	0	7.5mm 幅小型試験片	-110	-110	23.8	24.2	23.4	21.3
"	2.5		-87	-90	21.5	19.2	15.6	0.6
"	5.0		-65	-64	19.8	13.0	3.7	0.6
6	0	5.0mm 幅小型試験片	-107	-105	12.4	11.9	10.5	7.6
"	2.5		-82	-85	10.5	8.9	5.8	3.1
"	5.0		-65	-65	10.1	6.1	2.4	1.8

図 8 歪時効シャルピー遷移曲線
(7.5 mm 幅小型試験片)図 9 歪時効シャルピー遷移曲線
(5.0 mm 幅小型試験片)

4. 溶接性試験

溶接性を知るため最高硬さ試験と溶接継手性能試験、さらに溶接熱影響部のじん性を調べるレ型開先溶接熱影響部衝撃試験を板厚 10 mm の形鋼についておこなった。

4.1 最高硬さ試験

溶接部の硬化性を調べるために図10の試験片を採取し、表6の標準溶接条件でシングルビードを置き最高硬さをもとめた、測定結果を図11に示す。

最高硬さは0°Cにおいても 221 Hv であり溶接硬化性は非常に低い。これはC当量が0.33~0.34と低いことから推定される。したがって普通の溶接では予熱の必要はない。

表 6 溶 接 条 件

溶 接 材 料	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	鋼 板 初 温 (°C)
KS76LT (4 mmφ)	170±10	24±2	150±10	0, 25, 50, 100

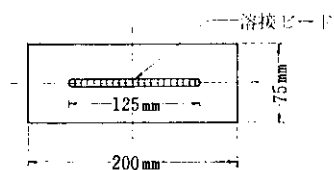


図 10 溶接部最高硬さ試験片

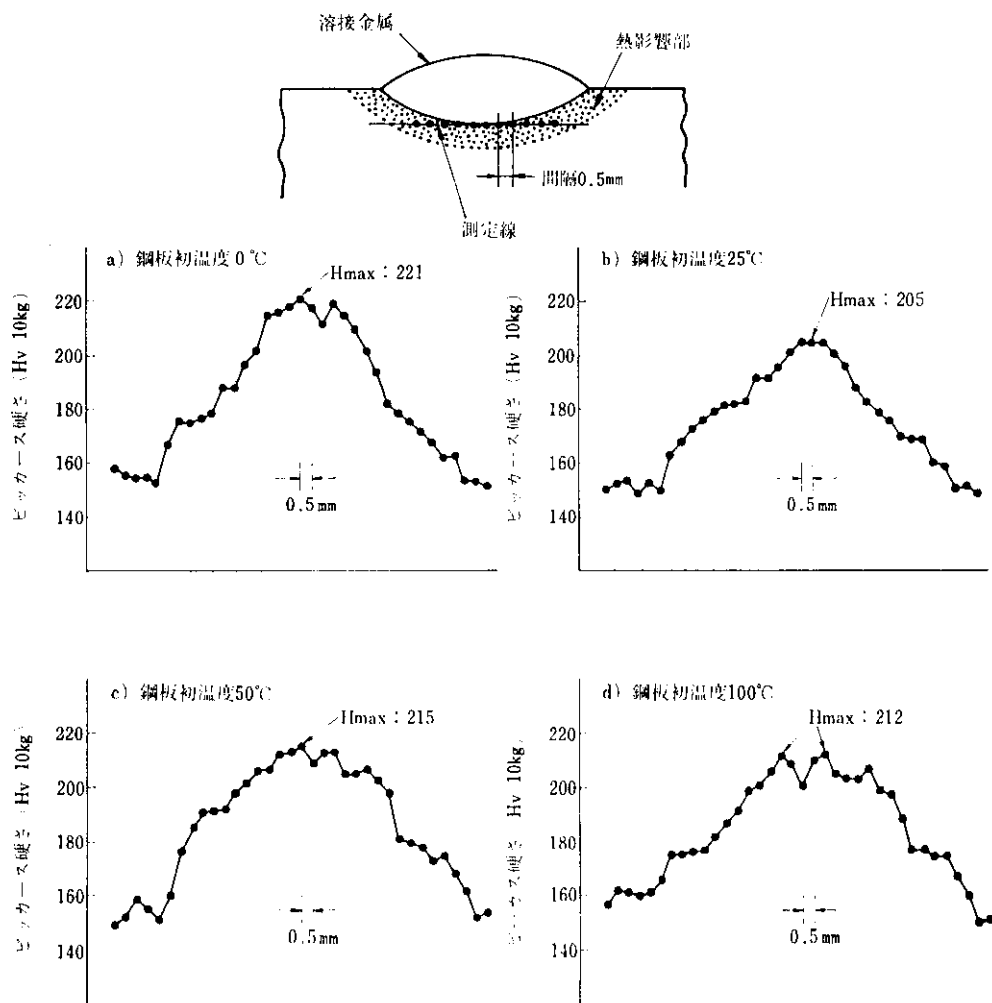


図 11 溶接部最高硬さ試験結果

4.2 被覆アーク溶接継手性能試験

厚さ 10 mm の形鋼について被覆アーク溶接による継手性能を調査した。試験片は溶接開先線が圧延方向に直角になるように採り、図12のような開先を機械加工し、表7にしめす溶接条件で溶接した。溶接継手の引張、曲げ試験結果を表8に、溶着金属の衝撃試験結果を表9および図13にしめす。

引張試験の破断位置はいずれも母材側で、曲げ試験の結果も写真3にみられるごとく亀裂もなく良好であり、溶着金属の遷移温度は $-40 \sim -44^{\circ}\text{C}$ であった。

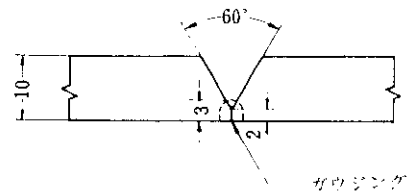
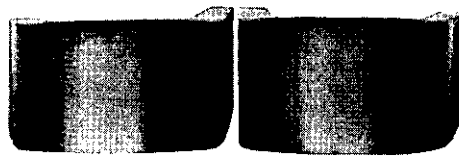
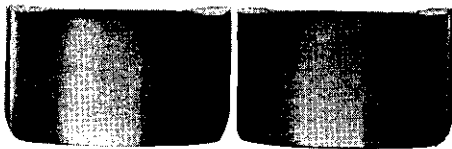


図 12 V開先溶接継手試験片



正面



背面



側面

写真 3 溶接継手曲げ試験後のマクロ組織

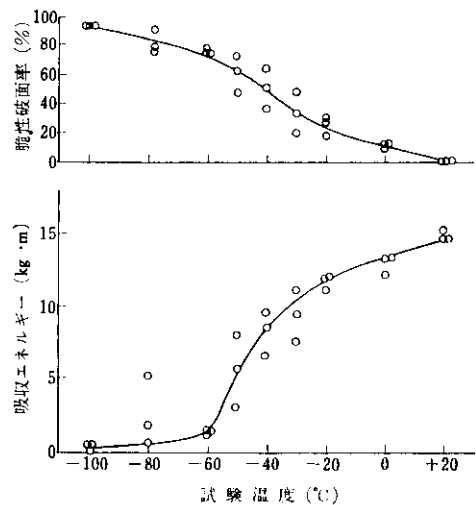


図 13 溶接金属の 2 mm V シャルピー遷移曲線 (5.0 mm 幅小型試験片)

表 7 溶 接 条 件

層 数	溶 接 材 料	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	層間温度 (°C)
初 層	KS76LT (4 mmφ)	170±10	24±2	150±10	100
2層目以降	KS76LT (5 mmφ)	230±10	27±2	150±10	100

表 8 溶接継手の引張、曲げ試験結果

引 張 試 験*					曲 げ 試 験		
長ゲージ試験片			短ゲージ試験片		表 曲 げ	裏 曲 げ	側 曲 げ
降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	R=2.0t t=10mm	R=2.0t t=10mm	R=2.0b b=10mm
35.7	49.5	19	—	54.3	良	良	良
36.1	48.9	20	—	54.2	良	良	良

* 引張試験の破断位置はいずれも母材部である。

表 9 溶接金属の 2 mm V ノッチシャルビー試験結果

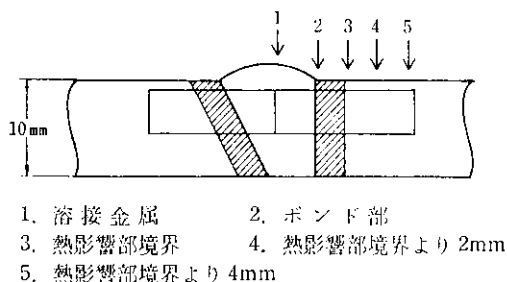
板 厚 (mm)	vE ₀ (kg·m)	vE ₋₂₀ (kg·m)	vE ₋₄₀ (kg·m)	vE ₋₆₀ (°C)	vT _K (°C)	vT _S (°C)	vT ₁₅ (°C)
10	13.4	11.8	8.5	1.3	-44	-40	-57

* 試験片は5.0mm幅小型試験片

4.3 レ型開先による溶接熱影響部の 衝撃試験

溶接熱影響部のじん性を調べるため、図14の試験片を圧延方向に直角になるように採取し、レ型の開先を機械加工後、被覆アーク溶接継手性能試験と同じ溶接条件で溶接した。衝撃試験は図14に示した各位置にノッチがくるよう 2 mm V ノッチシャルビー試験片をとり試験した。結果を表 10 に、各ノッチ位置別の遷移曲線を図15に示す。

ボンド部は溶着金属の性能が母材よりも劣るためその影響を受けているが、遷移温度は -50°C であり、熱影響部は遷移温度 -90°~-95°C と良好である。



1. 溶接金属
2. ボンド部
3. 熱影響部境界
4. 熱影響部境界より2mm
5. 熱影響部境界より4mm

図 14 シャルビー衝撃試験片のノッチ位置

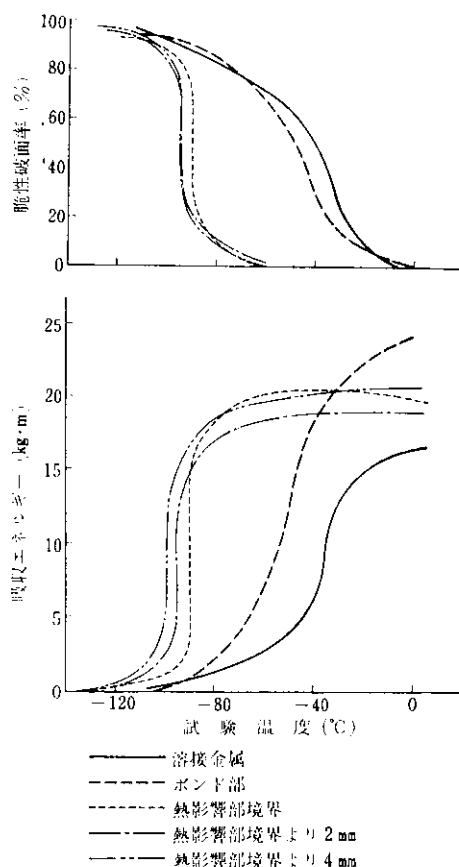
図 15 熱影響部の 2 mm V ノッチシャルビー
衝撃遷移曲線（5.0 mm 幅小型試験片）

表 10 溶接熱影響部の 2 mm V ノッチシャルビー衝撃試験結果

切 欠 位 置	E_0 (kg·m)	E_{-40} (kg·m)	E_{-80} (kg·m)	$v T_R$ (°C)	$v T_S$ (°C)
1. 溶接金属	16.3	6.0	1.3	-36	-40
2. ボンド部	24.0	18.3	2.5	-51	-50
3. 熱影響部境界	19.6	20.3	18.0	-90	-90
4. 熱影響部境界より 2 mm	18.8	18.6	17.0	-95	-95
5. 熱影響部境界より 4 mm	20.3	20.0	18.6	-95	-95

※ 5.0mm幅小型試験片

5. ま と め

低温用形鋼として KL33A 等辺山形鋼を試作し、その特性の概略を調べた。

厚鋼板 KL33A と同様にすぐれた切欠じん性と

良好な溶接性をもち、低温溶接構造用形鋼として、LPG 常圧貯蔵槽はもちろんその他の低温装置、構造物などに広範囲の適応が考えられる。

終りに本形鋼の圧延をお願いした東京製鉄㈱の関係各位に深謝の意を表します。