

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.1 (1969) No.1

UD 鋼の開発経過とその特性

Development of UD Steel and Its Characteristics

清水 政治(Masaharu Shimizu) 佐々木 健二(Kenji Sasaki) 神崎 文暁(Humiaki Kanzaki) 持舘 肇(Hajime Mottate)

要旨：

当社では圧延のままで切欠靱性と溶接性に優れた 50kg/mm² 高張力鋼板の製造に成功した。これは UD 鋼 (Uniformity & Ductility Steel) と名づけられたが、その性能は船体用 50kg/mm² 高張力 D 級鋼に匹敵するものとして、各船級協会の製造承認を得ることができ、すでに「出光丸」をはじめ大型船舶に大量に使用されている。UD 鋼は切欠靱性、溶接性が優れているのみならず、熱処理を省略した圧延のままの鋼板であるので大量生産向きであり、かつ経済的な船体用鋼板である。本文は UD 鋼の開発の経過と、諸特性に関する各種確性試験の結果を報告したものである。

Synopsis：

50kg/mm² high-tensile strength steel plates having good notch toughness and weldability are being manufactured as rolled on the plate mill at Chiba and Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation. Named after Uniformity and Ductility, UD Steel was approved by Classification Societies of Shipping as 50kg/mm² high-tensile strength hull steel plate Grade D, and has been used for many large ships such as the Idemitsu Maru (209,300 DWT). As hull steel plate, UD Steel has superior notch toughness and weldability and because of the omission of heat treatment, it is suited for mass production with excellent economic advantage. This report describes the process of the development of UD Steel and its characteristics as obtained from various tests.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

UD 鋼の開発経過とその特性

Development of UD Steel and Its Characteristics

清水 政治*

Masaharu Shimizu

佐々木 健二**

Kenji Sasaki

神崎 文暁***

Humiaki Kanzaki

持 館 肇****

Hajime Mottate

Synopsis :

50kg/mm² high-tensile strength steel plates having good notch toughness and weldability are being manufactured as-rolled on the plate mill at Chiba and Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation. Named after Uniformity and Ductility, UD Steel was approved by Classification Societies of Shipping as 50kg/mm² high-tensile strength hull steel plate Grade D, and has been used for many large ships such as the Idemitsu Maru (209,300 DWT).

As hull steel plate, UD Steel has superior notch toughness and weldability and because of the omission of heat treatment, it is suited for mass production with excellent economic advantage.

This report describes the process of the development of UD Steel and its characteristics as obtained from various tests.

1. UD 鋼とは

最近の船舶は運賃のコストダウンを図るため飛躍的に大型化の傾向をたどっている。それとともに一隻当りの使用鋼材量も莫大なものとなり、また材質的にも高張力鋼 (50kg/mm² 鋼) が大幅に使用されるようになった。一方造船技術の向上により建造期間も短くなり、10数万トン級の船舶に使用される大量の鋼材を製鉄メーカーは短期間に納入することを要請されるようになった。

50kg/mm² 高張力鋼のうち多く使用される D 級鋼は高い切欠靱性が要求されるため、従来焼準 (Normalizing) を行なってその性能を満足させていたが、このように大量の焼準材を短期間で供給することは、我が国鉄鋼業の設備能力の面から

考えて一つの問題であり、かつ焼準材では添加元素の低減にも限度があつて溶接性改良が困難であつた。一方、圧延のまま切欠靱性を向上させる一つの方法として、適当な合金元素を加えることも考えられるが、この方法もコストを高め、一般に溶接性を阻害する欠陥があつた。

このような情勢のもとに、当社では研究を重ねた結果、若干の合金元素を添加し圧延条件をコントロールすることにより、従来の焼準工程を省略して、圧延のままの状態で優れた溶接性と切欠靱性を有する 50kg/mm² 高張力鋼板を製造することに成功し、これを UD 鋼 (Uniformity & Ductility Steel) と名づけた。

表 1 に UD 鋼とそれに対応する各船級協会の船体用高張力 D 級鋼の規格を示したが、UD 鋼はこの表に示されるごとく、C 0.16% 以下、Mn 1.10

* 千葉製鉄所管理部部長 (現在製鉄部長)

** 千葉製鉄所管理部副部長

*** 技術研究所溶接研究室長工学博士

**** 千葉製鉄所管理部掛長

～1.50%を含み、Ni または Mo あるいはその両者を0.02～0.25%添加し、Si および Al で脱酸されたキルド鋼であり、800～900℃の間の適当な仕上温度で熱間圧延された鋼板である。

UD 鋼の主な特徴はつぎのとおりである。

- (1) 圧延のままで製造され、焼準工程が省略できるので経済的かつ大量生産が可能である。
- (2) Mn/C比が高く、溶接性を損なわない程度に Ni, Mo を添加し、かつ圧延仕上温度の厳しい調整により良好な切欠靱性が得られる。
- (3) Mn/C比を高くすることにより溶接性を阻害するC量が低くなり、さらに圧延のままで仕上するため、同一強度レベルの焼準処理された鋼板に比較し、炭素当量が低くなるので溶接性がよくなる。

UD 鋼の性能はNK, AB, LR, NVなど各船級協会からも認められ、船体用 50kg/mm² 高張力D級鋼として製造認可を得て多くの船舶に使用されているが、このことは経済性のある鋼板と

して、鉄鋼界のみならず、造船界にも大きな貢献をなしたと考えられる。

以下にその開発経過と諸特性などを説明し、さらに 209, 300 DWTマンモスタンカー出光丸をはじめ大型船舶に船体用50kg/mm² 高張力D級鋼として使用されている現状を紹介する。

2. 開発の経過

以前から焼準工程を経ない圧延のままの 50kg/mm² 高張力鋼板は各社で作られており、それらは一般の溶接構造用鋼板としてすでに多くの実績があった。しかし、造船に用いられる鋼板のように高い切欠靱性と複雑で厳しい溶接条件に耐えうる材料を圧延のままで製造するためには、前に説明したとおり多くの困難があり、とくに船体主要部材に使用されるD級鋼では、従来から仕上げ圧延後さらに焼準処理が行われてきた。

昭和40年、このような情勢の中で石川島播磨重工業(株)横浜第2工場では、当時世界最大のマンモスタンカー出光丸(209, 300DWT)の建造が

表1 UD 鋼および船級協会船体用D級高張力

協 会	級 別	統一記号	化 学 成 分 (%)								備 考	引 張 試 験				
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Ceq		降伏点 kg/mm ²	引 張 強 さ kg/mm ²	伸 び 板 厚 mm %		試験片
U D 鋼			0.16 以下	0.15 ～0.55	1.10 ～1.50	0.040 以下	0.040 以下	Ni+Mo 0.02～0.25		0.45 以下	*1 キルド 鋼圧延 のまま	引張り、曲げ、衝撃の保証値は注文の規				
NK	第1種 D級	K5D	0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	*1 キルド 鋼必要 に 焼準	32以上	50～60	6以下 30以上 30以上	14以上*1 2.以上 24以上	NK1号 " NK4号
AB	*1 DHS	A5DS	0.18 以下	0.15 ～0.50	1.10 ～1.50	0.050 以下	0.050 以下	0.01 ～0.30	0.01 ～0.04	0.43 以下	*2 細粒キ ルド鋼	33以上	50～60	35以下	19以上	G.L. = 200mm
LR	DH	L5D1	0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	—	—	0.45 以下	*1 細粒キ ルド鋼 厚さ38 mmこ え 焼準	33以上	50～60	6以下	14以上	*2 LR矩形
		L5D2								0.41 以下	30以上			20以上	"	
LR	DH		0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	—	—	0.41 以下		33以上	50～60	30以上	24以上	LR丸棒
														30以上	24以上	
NV	NVD -32	N32D	0.18 以下	0.50 以下	1.60 以下	0.040 以下	0.040 以下	—	—	0.32 以下	*1 キルド 鋼焼準	32以上	降伏比 80%以 下	—	22以上	G.L. = 5×d

計画され、船体主要部に約10,000 tの50kg/mm²高張力鋼板が使用されることになり、そのため石川島播磨重工業（株）と当社の間に共同研究会がもたれた。そして

- (1) 使用鋼材の均質性と溶接性の調査研究
 - (2) 横2方式および現場エレクトロン溶接に適する溶接材料の研究開発
 - (3) グラビティ溶接および手溶接の検討
- などについて種々検討が行なわれた。

約半年間を要したこの研究会の研究成果は昭和40年11月に両社連名になる「50HT鋼共同研究委員会報告書」として集大成された。本研究の過程において、D級鋼についての製造方法が技術的経済的観点から種々検討され、従来の焼準工程を省いても、圧延のままで炭素当量が低く、溶接性に優れた経済的な鋼板を製造しうること、さらにこのような鋼板が船体主要部材として十分満足すべき性能を有することが確認され、その結論をもとにして独自の50kg/mm²鋼製作仕様を設定された。

この圧延のままで船体用50kg/mm²D級鋼として使用出来る鋼材を、従来の焼準処理によるD級

鋼板規格抜萃

曲げ試験		衝撃試験		備 考
曲 度	内 径	試 温	吸 収	
度	半 径	℃	エ ネ ル	
			ギ	
			キ	
			ロ	
			ウ	
			エ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	
			チ	
			リ	
			フ	
			ク	
			ケ	
			コ	
			サ	
			シ	
			ス	
			セ	
			ソ	
			ダ	
			デ	
			ド	
			ヘ	
			ト	

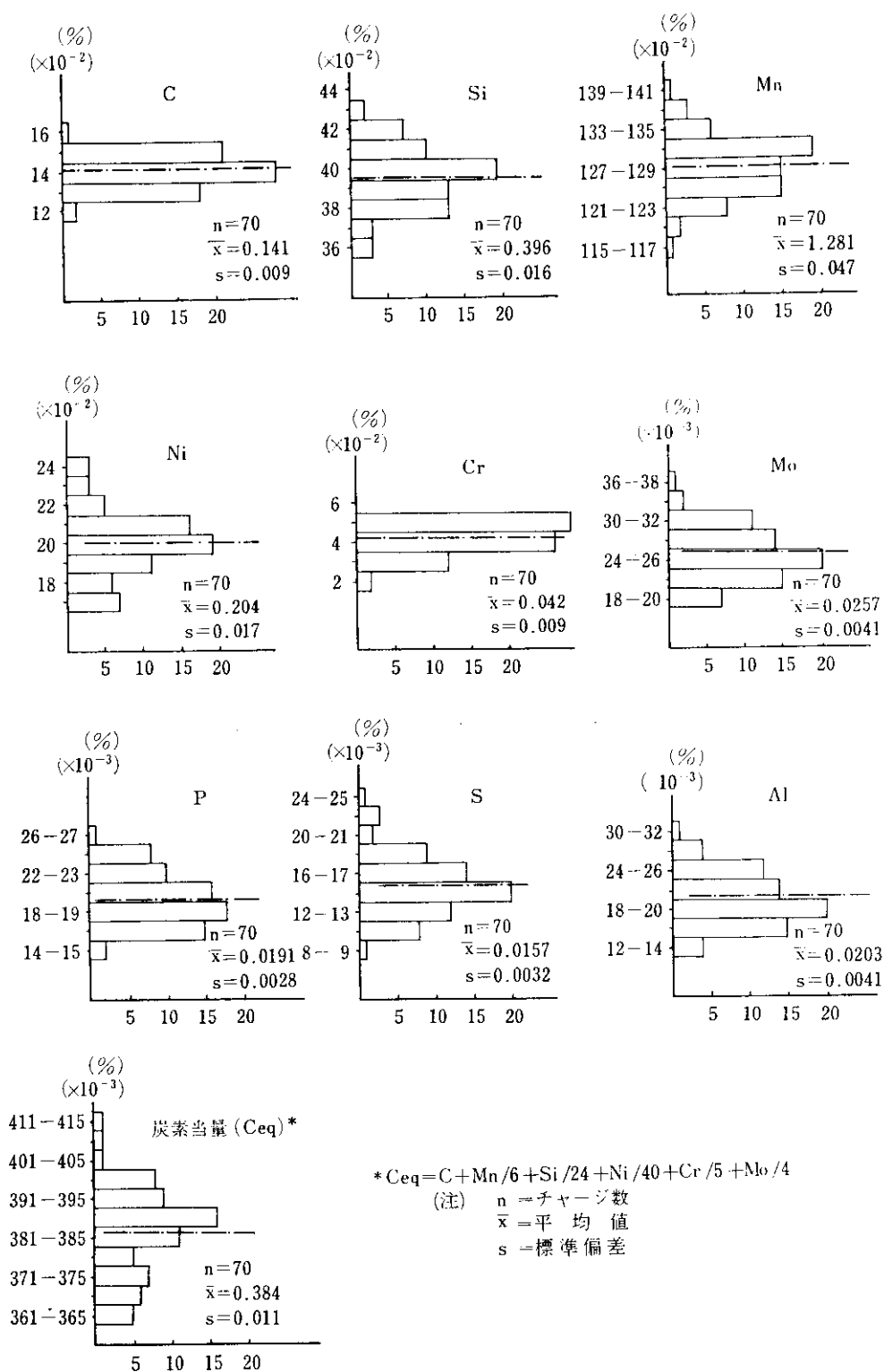


図1 U D 鋼の化学成分

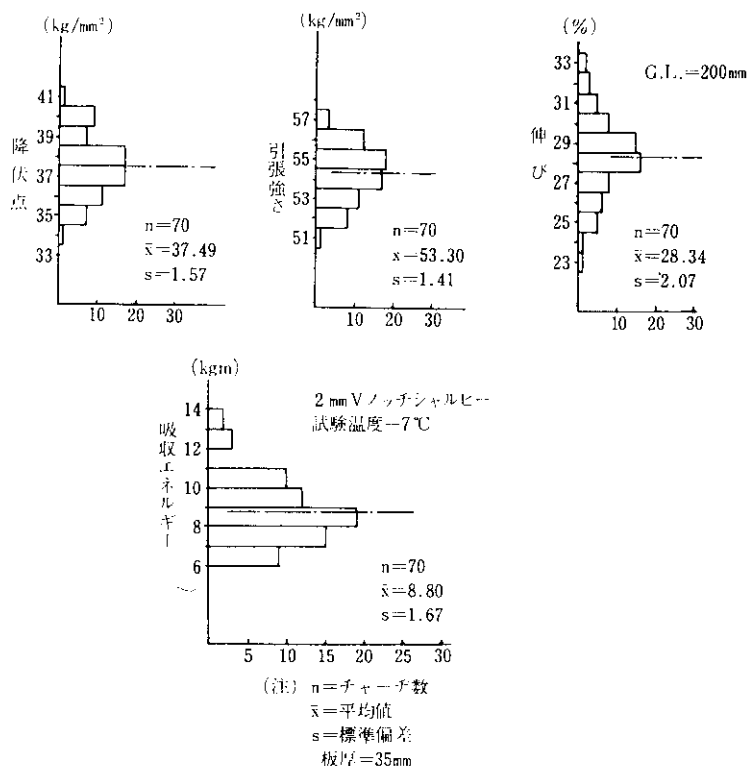


図2 U D 鋼の機械的性質

発と溶接条件の決定

- (2) 船台上の手溶接併用自動溶接に適する潜弧溶接用心線，フラックスの開発と溶接条件の決定
- (3) 隅肉グラビティ溶接棒の開発
- (4) 突合わせグラビティ溶接棒の開発
- (5) 低水素系溶接棒の改善
- (6) 隅肉溶接における予熱温度の検討
- (7) 立向き下進溶接棒の改善

UD 鋼は以上のような経過をへて，圧延のままの船体用50kg/mm² D級鋼としては世界で始めて本格的な材料として，昭和41年2月出光丸の建造に使用された。それ以来，後述するように UD 鋼は相次いで大型船舶に大量に使用され，現在までの使用実績は約40,000 tに達している。このような目覚ましい発展も AB 船級協会の特認により D H S という規格が設定されたこと，焼準が前提となっている NV 船級協会から NV D-32 として承認をうけることができたことなど，UD 鋼に対する各船級協会の深いご理解によるものといわねば

ならない。

3. UD 鋼の確性試験結果

UD 鋼の特徴および性能の概要は前述のとおりであるが，つぎに確性試験の結果を母材試験と溶接性試験および溶接継手性能試験に分けて説明する。

3・1 母材試験

母材試験では，化学成分，引張試験，曲げ試験，衝撃試験，歪時効試験，N R L 落重試験，顕微鏡などの試験を表2に掲げた板厚35mmの供試鋼板を用いて行なった。

3・1・1 化学成分と機械的性質

化学成分，引張試験，曲げ試験，衝撃試験の結果を表2に一括して示す。試験結果はいずれも良好な値を示しており，各船級協会の50kg/mm² 高張力D級鋼の規格を十分満足できるものである。

表2 UD鋼の化学成分と機械的性質

板 番	化 学 成 分 (%)											*板厚 mm	仕上り 状 態	引 張 試 験			
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr	Cu	Al	Ceq			方 向	降 伏 点 kg/mm ²	引 張 強 さ kg/mm ²	伸 び %
5921632	取鋼0.13	0.43	1.39	0.020	0.022	0.21	0.030	0.06	0.05	0.025	0.405	35	圧延の まま	L	37	53	29
	照合0.14	0.42	1.39	0.021	0.021	0.21	0.029	0.05	0.05	0.027	0.412			C	38	53	24
5915434	取鋼0.15	0.42	1.34	0.015	0.012	0.20	0.025	0.05	0.07	0.021	0.412	35	圧延の まま	L	38	53	30
	照合0.16	0.42	1.36	0.015	0.014	0.21	0.026	0.05	0.07	0.024	0.427			C	38	53	25

* $Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4$ (%)

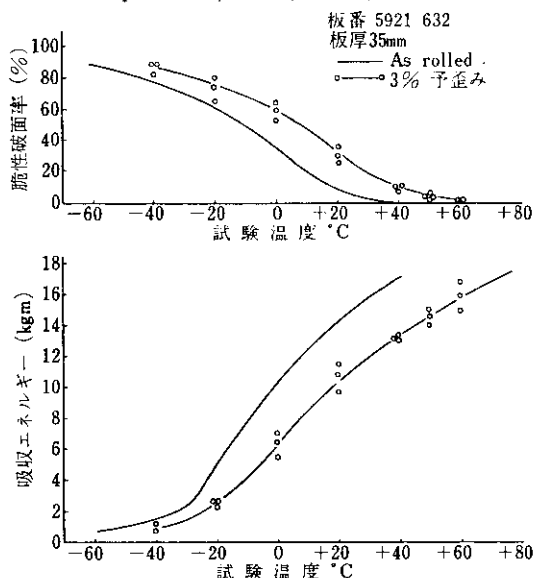


図3 歪時効試験結果

3・1・2 歪時効試験

加工歪みによる材質の劣化度合を見るために歪時効試験を行なった。これは平行部幅70mm、長さ230mmの大きな引張試験片に3%の予歪みを与え、ついで250℃に板厚25mmにつき1時間の割合で加熱し時効させたのち、予歪みを与えた軸と平行に2mm Vノッチシャルピー試験片を採取し、衝撃試験を行なった。試験結果は図3に示すとおりで3%予歪みをあたえてもほぼ規格値を満足している。

3・1・3 NRL落重試験

UD鋼の脆性破壊特性をみるために、NRL落重試験を行なった。試験条件はつぎのとおりである。

表3 NRL落重試験結果

板番 5921632 板厚 35mm

試験温度 (°C)	試 験 結 果
-20	○ ○ ○
-25	○ ⊙ ⊙
-30	● ⊙ ⊙ ⊙
-35	● ● ●
-40	● ● ●
N.D.T.	-30°C

注 ○ 亀裂なし
 ⊙ ビードから小亀裂発生
 ● 片側全長亀裂
 ● 両側全長亀裂

スパン 305mm

撓み止め 7.6mm

重錘重量 59kg

落下高さ 1.8m

クラックスターター KSH300 5mmφ

(Murex Hardexに相当)

試験結果を表3に示すが、NDT温度が-30℃であり溶接構造用鋼として優れた特性をもっていることがわかった。

3・1・4 顕微鏡組織

写真2に顕微鏡組織とオーステナイト結晶粒度写真を示す。顕微鏡組織はフェライト-パーライト組織であってフェライト粒度番号8以上の細粒である。オーステナイト結晶粒度も粒度番号9以上の細粒であり、切欠靱性の優れた鋼材の特徴を示している。

3・2 溶接性試験

船の構造が大型になり、設計が厳しくなってく

の1例 (確性試験材)

曲げ試験		2 mm Vノッチシャルピー試験				
180° R=1.5 t	方 向	V T _S	V T ₁₅	E ₀	E ₋₇	E ₋₁₀
good	L	-10°C	-32°C	kgm	kgm	kgm
good	L	-10°C	-49°C	10.3	8.3	7.5
good	L	-10°C	-49°C	kgm	kgm	kgm
good	L	-10°C	-49°C	11.7	9.5	8.6

るにつれて、溶接はますます能率的で性能の完全なものが要求されるようになり、したがって使用される鋼材の溶接性も非常に重要な問題となる。

以下UD鋼の溶接性を確認する試験として行なったコマレル試験、最高硬さ試験、溶接熱影響部衝撃試験、斜めY型開先拘束割れ試験、溶接用C.C.T.曲線、ガス切断硬度試験などの結果を各試験項目ごとに説明する。これらの試験結果から、炭素当量を低く管理されたUD鋼は優れた溶接性をもっていることが明らかになった。

3・2・1 コマレル試験および最高硬さ試験

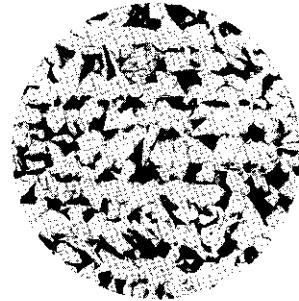
供試材として表4に示す3種類の成分のものを用了。供試材Dは炭素当量を低くおさえたUD鋼として標準的な成分の材料であり、供試材SDはそれよりもさらに炭素当量が低く、供試材BDは炭素当量が高めのものである。

図4に示すコマレル試験片の中央の溝に川鉄溶接棒KS-76の4mmφ棒を用い電流170 Amp、溶接速度150 mm/minで溶接ビードを置いた。また試験片の裏からはサーモカップルを挿入し冷却速度の測定も行なえるようにした。試験は予熱温度、溶接ビード長さを変えることにより、冷却速度、最高硬度、コマレル試験曲げ角度にどのような影響をおよぼすかを調査し、最低予熱温度、最小ビード長さを決定した。

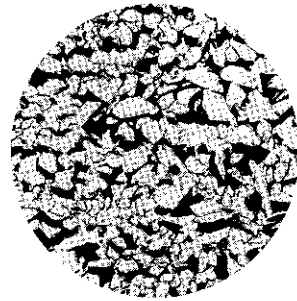
試験結果を図5、6、7、8に示す。図5によればコマレル試験の限界曲げ角度60°以上の曲げ角度を得るためには、溶接熱影響部の最高硬さはHv384以下でなければならないことがわかる。

図6に溶接後の540°Cにおける冷却速度と熱影響部最高硬さの関係について求めた結果を示した。これによれば硬度Hv384以下とするためには540°Cにおける冷却速度は板厚35mmの場合48°C

① 顕微鏡組織 (×100) as rolled

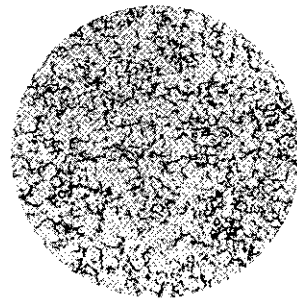


板番5921632 (35mm)
ASTM フェライト No.8

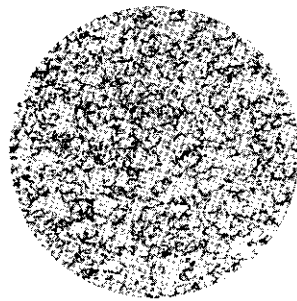


板番 5915434 (35mm)
ASTM フェライト No. 8.5

② オーステナイト結晶粒度



板番5921632(35mm)
ASTM No. 9.5



板番 5915 434 (35mm)
ASTM No. 9.5

写真2 顕微鏡組織およびオーステナイト結晶粒度

表4 コマレル試験用供試材化学成分

供試材		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ceq
D	取鍋分析	0.14	0.36	1.30	0.024	0.025	0.24	0.05	0.023	0.394
	照合分析	0.15	0.40	1.31	0.018	0.021	0.25	0.05	0.025	0.416
SD	取鍋分析	0.13	0.39	1.32	0.016	0.024	0.24	0.05	0.029	0.389
	照合分析	0.14	0.40	1.36	0.015	0.017	0.24	0.05	0.031	0.406
BD	取鍋分析	0.15	0.42	1.47	0.029	0.027	0.25	0.06	0.037	0.441
	照合分析	0.16	0.44	1.47	0.030	0.025	0.25	0.06	0.039	0.451

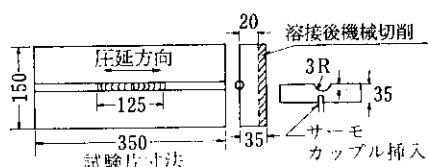


図4 コマレル試験片形状および冷却速度測定方法

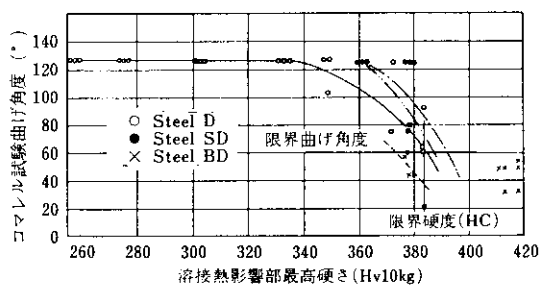


図5 熱影響部最高硬度とコマレル試験曲げ角度の関係

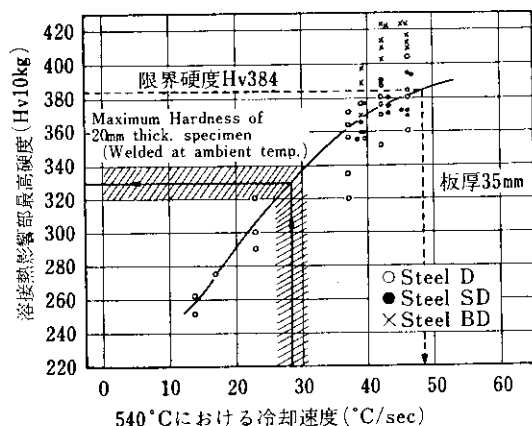


図6 冷却速度と熱影響部最高硬度

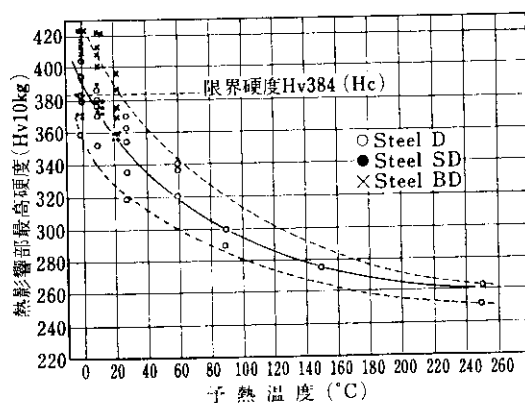


図7 予熱温度と熱影響部最高硬度の関係

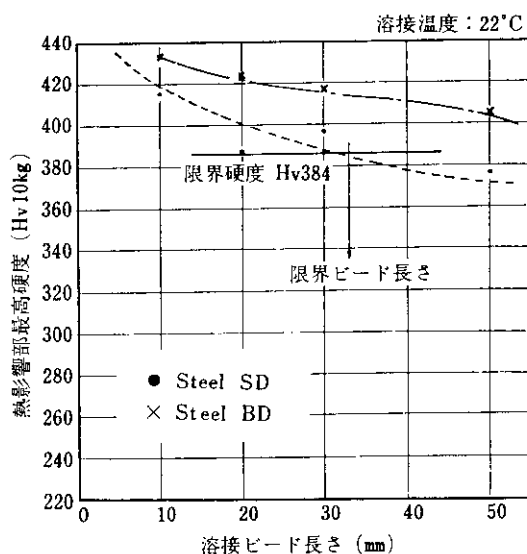


図8 溶接ビード長さと熱影響部最高硬度の関係

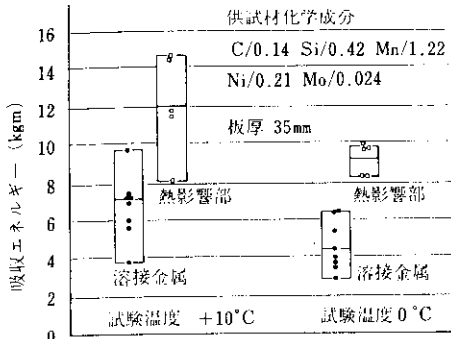


図9 溶接熱影響部衝撃試験結果

/sec 以下であればよい。これは板厚20 mm の標準冷却速度 28°C/sec の場合には最高硬度が Hv 330以下になることを示している。

図7は予熱温度と熱影響部最高硬度の関係について求めた結果である。これによれば熱影響部の硬度を限界硬度Hv384以下にするための予熱は、とくに炭素当量の高いBD材以外の材料は必要無いことがわかる。

図8には溶接ビード長さと熱影響部の最高硬度の関係を示したが、それによると溶接時の温度22°Cの場合、炭素当量の一番低いSD材はビード長さ33mm以上で熱影響部最高硬度 Hv384 以下になるのに対し、炭素当量の最も高いBD材は50 mmのビード長さでもHv400以上の硬度を示した。炭素当量の低い材料は予熱省略が出来る利点のほかにさらにビード長さの制限も緩和され実船建造の際、非常に安全であるといえることができる。

またこの一連の実験では上記のほか原厚のままの試験片を曲げたり、試験片寸法を変え寸法効果を調べる試験なども行なっているが、その結果によっても炭素当量の高いBD材以外は問題となるような硬度の上昇はみられなかった。

3・2・2 溶接熱影響部衝撃試験

溶接熱影響部の切欠靱性調査試験を行なった。溶接は35mmの板にギャッ

プ4 mm、角度55°のV開先をとり、CO₂ガス溶接1層、潜弧自動溶接2層の計3層行なった。潜弧自動溶接の溶接条件は電流1150~1200A、電圧40V、溶接速度は23cm/min、入熱量120,000~134,000Joule/cmである。

試験結果は図9に示すが、これによると、溶接熱影響部の切欠靱性は非常に優れており溶接金属の値よりかなり高い値を示した。

3・2・3 斜めY型開先拘束割れ試験

溶接熱影響部の割れ感受性を調べるために斜めY型開先拘束割れ試験を行なった。表5に供試材の製品分析値を示し、図10に試験結果を示した。

斜めY型開先拘束割れ試験のルート割れ阻止温度は、造船所で大きな拘束をうけている部分の溶接第一層の割れ阻止温度と想定することができるが、この試験結果ではルート割れ阻止温度がA材(炭素当量:0.428%)では75°C、BD材(炭素当量:0.451%)では120°Cとなっている。しかしながらつぎのように条件を緩和してやれば、さらに割れ阻止温度を低下させることが可能である。

表5 供試材製品分析値(斜めY型開先拘束割れ試験)

供試材	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ceq*
A	0.16	0.42	1.36	0.015	0.014	0.05	0.21	0.05	0.032	0.428
BD	0.16	0.44	1.47	0.030	0.025	0.06	0.25	0.06	0.039	0.451

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

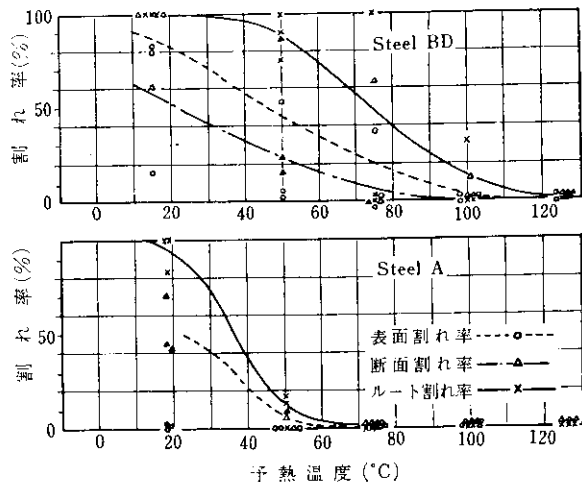


図10 斜めY型開先拘束割れ試験結果

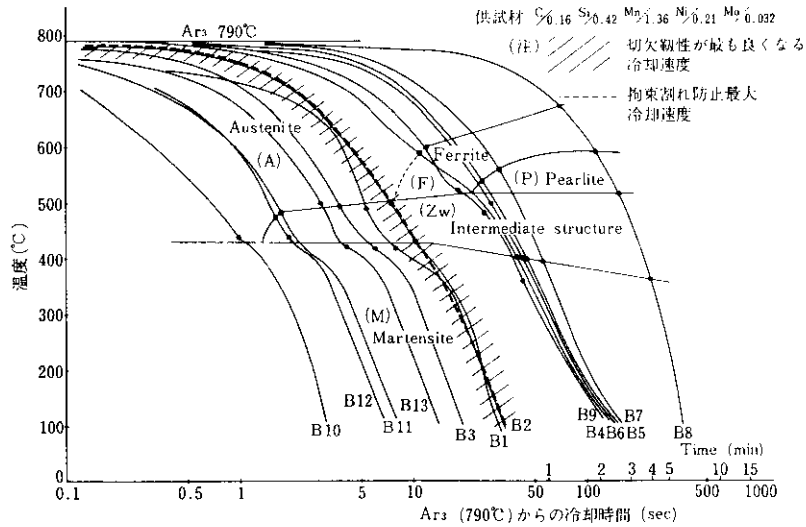


図11 U D 鋼の C. C. T. 曲線

- (1) 溶接の入熱量を大きくする。
- (2) 拘束を緩和してやる
- (3) 二層目の溶接を一層目に引続いて直ぐに行なう。

3・2・4 溶接用 C. C. T. 曲線

斜めY型開先拘束割れ試験に用いたA材について作成した溶接用 C. C. T. 曲線を図11に示す。図

中にもっとも高い切欠靱性が得られる冷却速度と、拘束が大きい場合の拘束割れを防止しうる限界の最大冷却速度も示した。これによれば高い切欠靱性が得られる冷却速度は溶接割れ防止の限界冷却速度に近接しているが、実際の溶接構造の場合は拘束が割れ試験の拘束に比較して小さい場合が多いので、溶接割れを防止するために小さな冷却速度を選択し、そのため切欠靱性が大きく低下

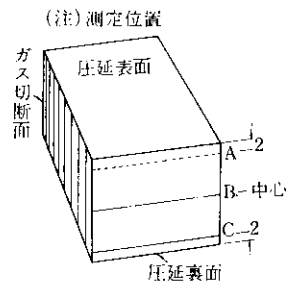
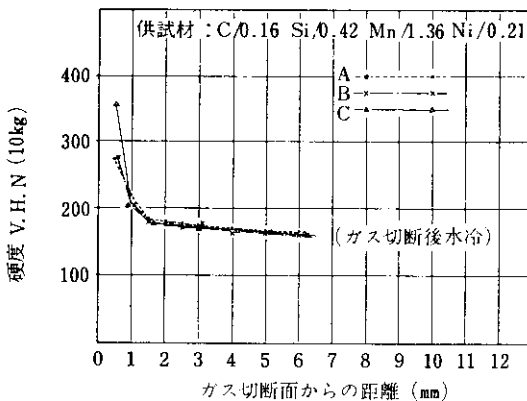


図12 ガス切断面の硬度 (水冷)

するということはない。

3・2・5 ガス切断面の硬度

ガス切断を行なったのち20~30秒後に水冷した場合の切断面について硬度測定を行なった結果を図12に示す。水冷した場合でも Hv360 が最高硬度であり、前述のコマレル試験における溶接熱影響部の曲げ延性に対する臨界硬度 Hv384 より低い値になっている。

3・3 溶接継手性能試験

当社で製造されている UD鋼用の主な溶接材料には、アーク溶接棒として KS-76F、溶弧自動溶接材料としてKW43×KB50があり、すでにUD鋼と同じように多くの使用実績をもっている。

これらの溶接材料を用いて UD鋼を溶接した場合の継手性能を以下に示すが、これらの試験結果から UD鋼の溶接継手は母材の性能に比肩しうる性能をもっていることが明らかである。

3・3・1 KS-76F 突合せグラビティ溶接

板厚25mmの板に、KS-76F により下向き突合せグラビティ溶接を行なった。溶接条件および試験結果を表6に示す。この表から明らかなおり強度、溶接金属の切欠靱性とも非常に良い値を示している。

3・3・2 混用突合せ継手

板厚35mmの試験片にKS-76FとKW43×KB50

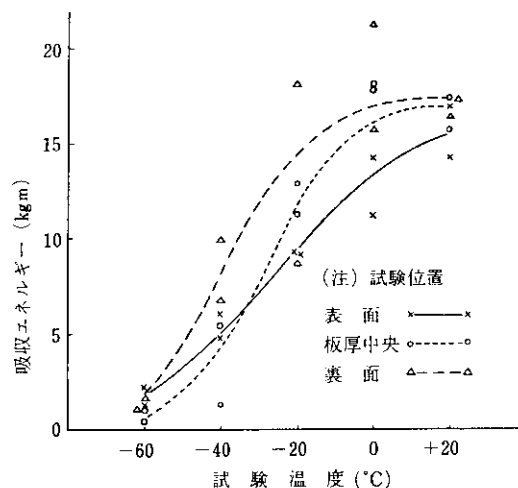
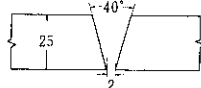


図13 混用突合せ継手の溶接金属衝撃試験結果

表6 KS-76下突合せグラビティ溶接継手の溶接条件および試験結果

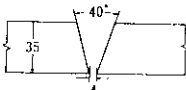
溶接条件	層数		棒径(mm)	溶接条件				
	1		4.0	150A				
	2		5.0	230A (グラビティー)				
	3		6.0	280A (")				
	4		6.0	" (")				
	5		7.0	340A (")				
	6		7.0	" (")				
	7		7.0	" (")				
開先形状								

供試材	C	Si	Mn	P	S	板厚
	0.12	0.37	1.13	0.016	0.017	25mm

試験結果	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	自由曲げ		側曲げ
				表	裏	
	52.1	57.6	母材	良	良	良
	49.6	57.5	母材			
	試験片採取位置		溶接金属の切欠靱性 (kgm/cm ²)			
		0°C	-7°C		-17°C	
下 面		18.0	16.7		14.7	
中 央		17.0	15.0		11.5	
上 面		14.0	12.8		10.5	

表7 混用突合せ継手の溶接条件および試験結果

溶接条件

層数	溶接棒	溶剤	心線	溶接条件
1	KS-76F		4.0φ	150A
2	"		5.0φ	230A グラビティー
3	"		6.0φ	280A "
4	"		7.0φ	340A "
5	KB-50×KW-43 +鉄粉			1300A 38V 23cm/min
6	KB-50×KW-43			900A 34V 30cm/min
開先形状				

供試材

C	Si	Mn	P	S	Ni	板厚
0.16	0.33	1.28	0.028	0.019	0.24	35mm

試験結果

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置
—	53.0	溶接金属
—	53.8	"

試験片 採取位置	溶接金属の切欠靱性 (kgm/cm ²)		
	0°C	-7°C	-17°C
下 面	13.4	12.2	10.2
中 央	16.2	15.2	12.8
上 面	17.0	16.4	15.0

の両方の溶接材料を用いて溶接を行ない継手を作り試験を行なった。溶接条件、試験結果を表7および図13に示す。板厚が厚くなった上に溶接層数が少なくなっているにもかかわらず、継手は母材に匹敵する強度、切欠靱性を有している。

3・3・3 潜弧自動溶接継手

板厚25mmと35mmの板にKW43×KB50を用いて溶接した継手の溶接条件と試験結果を表8および図14に示す。試験結果を被覆アーク溶接棒KS-76Fと比較すると、継手強度はほとんど変わらないが、切欠靱性に低下がみられる。しかし母材にほぼ匹敵する値を示しており、規格に対しても十分満足できる成績である。

3・3・4 鉄粉片面溶接

銅の当て金と開先内に充填した鉄粉とKB50を組合せて溶接を行なう鉄粉片面溶接KIP法の試験結果を図15に示す。図中には -17°C における2mmVノッチシャルピー試験の吸収エネルギーのみ示したが、試験温度 -17°C に近い -15°C で試験を行なうNV船級協会NVD-32の規格値2.8kgmを大きく上廻る値を示しており、さらにNK規格K5Eの規格値 $vE_{-17} \geq 6.2\text{kgm}$ をも満足している。この試験の溶接材料としては、フラックスはKB50(12×200)、心線はKW43(6.4mmφ)、充填剤はKIP-W1(100×D)を用い開先角度は 30° 、ギャップは5mmとした。

4. 製造実績

UD鋼が船体用鋼板として使用されるためには船級協会の承認を得なければならない。表9は千葉製鉄所における各船級協会の50kg/mm²高張力D級鋼の承認状況を示すもので、このうち圧延のままの鋼板にはいずれもUD鋼が適用されている。

AB船級協会のグレードDHSは、出光丸建造時のNK規格K5Dの実績によりUD鋼が特別承認されたものであるが、使用する際は各船番単位に申請を必要としている。また圧延のままの鋼板の最大板厚限度はABが35mm、NK、LR、NVが38mmであるが、現在のところこれ以上の板厚

表8 潜弧自動溶接継手の溶接条件と試験結果

溶接条件	板厚 (mm)	溶剂 心線	側電	溶接条件		
				電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
	35	KB-50× KW-43 6.4mmφ	B	1250	36	25
			F	1400	40	20
25	KB-50× KW-43 6.4mmφ	B	1050	36	30	
		F	1200	38	25	
開先形状						
試験結果	板厚 (mm)	引張試験			側曲げ試験	
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置		
	35	—	57.2	母材	良	好
		—	56.7	母材	良	好
25	—	56.7	母材	良	好	
	—	57.0	母材	良	好	

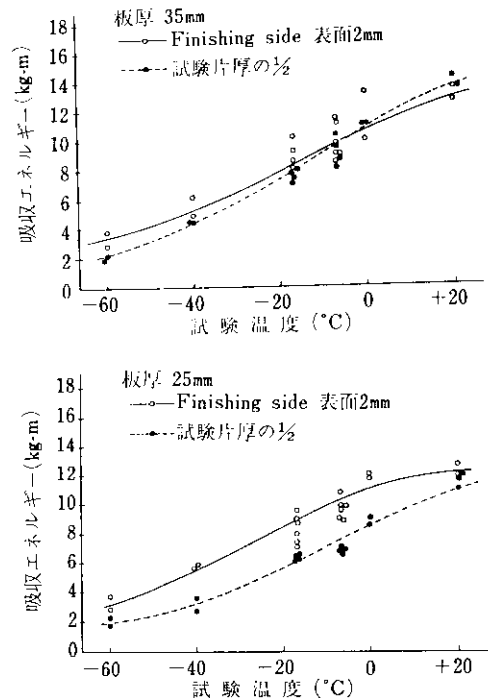


図14 潜弧溶接継手溶接金属の衝撃試験結果

のD級鋼の要求は無い。

UD鋼の最初の実績は昭和41年12月石川島播磨重工業(株)横浜第2工場竣工した出光丸である。

全	長	342.00m
船	幅	49.80m
深	さ	23.20m

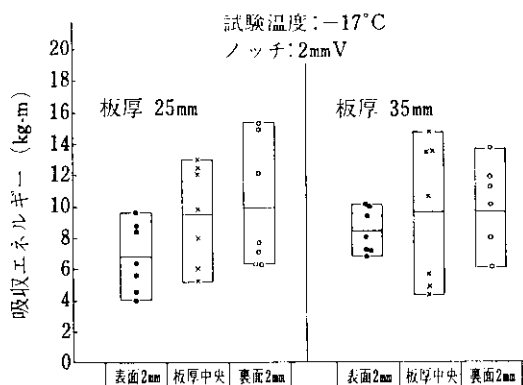


図15 鉄粉片面溶接継手衝撃試験結果

載 荷 重 量	209,302 t
油タンク容積	245,058m³
起 工	昭和41年 2月
進 水	" 9月
竣 工	" 12月

出光丸についてはすでに広く紹介されているが、その概略は以上のとおりであり、所要鋼材には経済的に可能な限り50kg/mm²高張力鋼が採用されている。その使用量はつぎのとおりであるが、そのうちD級鋼は72%にあたる6,214 t使用されすべてUD鋼が用いられた。

5 A (plate) ……1,321 t (板厚25mm以下)
5 A (flat bar) ……242 t (")
5 D (plate) ……4,468 t (板厚25～38mm)
5 D (flat bar) ……1,746 t (")
5 E (plate) ……882 t (")
合 計 8,659 t

表9 造船50kg/mm²D 級鋼承認取得状況

協会	記号および熱処理	承認取得年月日	備 考
NK	記号: K 5 D 厚さ38mm以下圧延のまま 厚さ38mmこえ焼準	1964年 1月25日	規格どおり厚さは原則として50mm以下
AB	記号: D H S 圧延のまま	1966年 7月4日	K 5 Dの実績により許可されたが厚さは1 1/2" (35mm) 以下である(日本最初)。D H Sを使用する際は各船番毎にABに申請する
LR	記号: D H 厚さ1 1/2" (38mm)以下圧延のまま 厚さ1 1/2" (38mm)こえ焼準	1966年 12月19日	承認試験を行って製造許可。厚さは原則として50mm以下
NV	記号: N V D-32 厚さ38mm以下 圧延のまま 厚さ38mmこえ焼準	1967年 3月23日	承認試験を行って製造許可

UD 鋼は主として、船の中央部のデッキプレート、ボトムプレートおよびロンヂ材に使用され、その材料寸法は次のとおりである。

Deck Plate	35mm
Deck Long.	web 35mm×418mm face plate 35mm×230mm
Keel & Bottom Plate	35mm
Bottom Long.	web 35mm×848mm face plate 35mm×230mm
Bottom Side Girder	web 35mm×1390mm face plate 35mm×230mm

以上のように出光丸には6,200 tにもおよぶ大量のD級鋼が使用されたが、UD 鋼を採用することによりわずか4ヶ月でほとんど納入を完了することができた。また納入された鋼板はトラブルも無く、出光丸は起工後7ヶ月で無事進水した。

表10 は出光丸以降のUD鋼の受注実績を石川島播磨重工業・日立造船・川崎重工業の三社について示したものである。

この表から明らかなごとく、これら三社について当社が受注した船体用50kg/mm²高張力鋼の50%近くがUD 鋼となっており、これは出光丸での実績と各船級協会の承認取得によってUD鋼の利用価値が高く評価されてきたことを物語るものといえよう。

今後は船舶の巨大化にともないその他の造船所もふくめて、UD 鋼の使用が普及し需要もますます増加していくものと考えられる。

5. むすび

圧延のままで船体用50kg/mm² D級鋼に使用さ

表10 造船用50kg/mm² 鋼製造実績

(昭和40年2月～昭和43年12月)

単位: t

グレード	A	B	C	D	E	計
造船所						
石川島播磨	12,028	—	81	19,864	3,089	35,062
日立造船	4,223	1,431	484	5,354	1,417	12,909
川崎重工	10,250	—	—	8,419	2,141	20,810
計	26,501	1,431	565	33,637	6,647	68,781

れる UD 鋼の開発の経過、母材特性、溶接性、継手性能、製造実績について説明したが、以上を要約するとつぎのとおりである

- (1) UD 鋼は圧延のままで製造される 50kg/mm² 高張力鋼であり、母材特性は強度、切欠靱性ともに優れ、NK, AB, LR, NV から船体用 50kg/mm² D 級鋼として製造承認を受けている。
- (2) 圧延のままであるので、経済的であり、かつ熱処理の必要がないので生産能力が大幅に増加し、短納期の大量発注にも即応できる。
- (3) 焼準材に比較し炭素当量が低く、溶接性にすぐれており、実船製造の際の複雑な各種溶接作業に適した鋼材である。
- (4) UD 鋼の開発と同時に溶接材料（被覆アーク溶接棒、潜弧自動溶接材料など）も開発され、UD 鋼と組合せて各種の溶接試験を行ない、性能が確認されている。
- (5) UD 鋼はすでに出光丸をはじめ大型の船舶に大量に使用された実績をもっており、今後ますます需要の増加が期待される鋼材である。

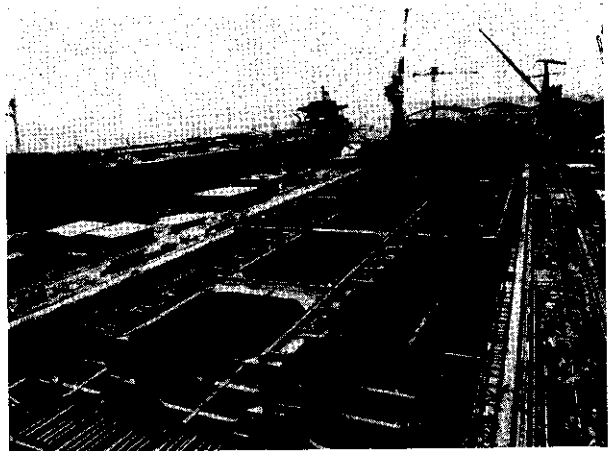


写真 3 建造中の「出光丸」（IHI 横浜第 2 工場）

終りにこの報文を発表するにあたり、貴重な資料の提供ならびに発表を心よくお許しいただいた石川島播磨重工業（株）横浜第 2 工場および技術研究所の方々に心からお礼申しあげたい。

なお本文中にふれる機会がなかったが UD 鋼の開発にあたり、営業担当部門から終始積極的な支援をうけたことは大きな力になった。新製品開発には営業から生産現場に至る総力の結集がいかに大事なことであるか、あらためて認識させられたことを付記しておきたい。