

(解説)

厚板分野のコアコンピタンスと高機能商品

Core Competency in Advanced High Performance Steel Plates



大宮良信*

Yoshinobu OMIYA



藤内秀人**

Hidehito FUJIUCHI



岡崎喜臣***

Yoshitomi OKAZAKI

Since starting the operation of a plate mill at Kakogawa Works in 1968, Kobe Steel has been striving to meet society's and customers' needs by developing steel plates with excellent weldabilities. The development is based on advanced microstructure-control technologies and an advantageous thermo-mechanical control process (TMCP). This paper describes recent advancement of the TMCP process and microstructure-control technology for steel plates and some examples of high performance steel plates.

まえがき = 当社は、1968年に加古川製鉄所に厚板工場が稼動して以来、現在に至るまで造船、建築、橋梁、エネルギー、産業機械をはじめとする各需要業界のニーズを的確に補えた高機能厚鋼板をタイムリーに提供してきた。厚鋼板における品質面での最大の課題は、施工コストの低減や工期短縮を目的とした需要家での大入熱溶接化に対応できる HAZ (heat affected zone: 溶接熱影響部) 靱性の確保である。これまで大入熱溶接 HAZ 部の (オーステナイト) 組織の粗大化を抑制し、(フェライト) 組織生成の促進をはかるため TiN 析出物を活用する KST (Kobe super toughness) 処理^{1)~3)}と、溶接継手靱性向上に有利な低成分鋼においても高強度を確保できる KCL (Kobe Steel's controlled rolling and accelerated cooling) プロセス (当社の TMCP (thermo-mechanical control process) 技術の呼称) を駆使して需要家ニーズにこたえてきた。

しかし、近年の構造物の大型化に伴う鋼材の高強度化、厚肉化により、大入熱溶接対応技術の一層の高度化が求められている。こうした状況のもと、あらたに中核をなす技術として開発、実用化したのが「低C (カーボン) 多方位ベイナイト」^{4)~6)}と呼ぶ組織制御技術である。これは、低C化に加えて弱炭化物形成元素を最適に添加することにより、大入熱溶接 HAZ でのベイナイト組織の微細化と MA (martensite-austenite constituent) と呼ばれる島状の硬化組織の低減を達成し、優れた HAZ 靱性を確保する技術である。現在コーベスーパータフネスシリーズとして商品メニュー化を完成し、あらゆる分野の需要家から高い評価をいただいている。

一方、TMCP 技術に関しては、最大加圧力 5,000 トン級の多機能ローラレベラの設置や鋼材全長にわたって板厚や平坦度、材料特性をオンラインで精緻に制御することができる PROME (plate rolling system for mechanical

property control) システム^{7)~9)}の導入など独自の設備、制御技術の開発を進め、製造技術力の高度化を図った。これにより、寸法、形状、品質の均質性が飛躍的に優れた大入熱溶接用鋼の大量かつ安定した生産が可能となった。さらには、本技術の活用により板面内の残留応力の不均一分布に起因するひずみや形状にかかわる課題を解消した新商品ヒズミレス[®]鋼板¹⁰⁾を実用化し、需要家の生産性、工作精度の向上に寄与している。

本稿では、当社厚板分野の中核技術である上記「低C多方位ベイナイト技術」と「TMCP 技術」について最新の技術動向を概説するとともに、それらを含めた独自の要素技術を活用して開発した特長ある厚板商品について紹介する。

1. 大入熱溶接 HAZ 靱性を向上させる組織制御技術

これまで当社では、大入熱溶接対応技術として、TiN を析出させることで溶接時の 粒の粗大化を抑制し、析出を促進させる KST 処理を開発し、TMCP 技術と組合せることで良好な HAZ 靱性と母材の高強度・高靱性の両立を実現してきた。その一方で、さらなる高強度化や大入熱溶接 HAZ 靱性に対する高度な要求に対応するために、従来技術の改良と新技術の開発に取組んできた。

従来から、HAZ 靱性改善手段として下記3点が有効であると言われており⁶⁾、この観点での進歩を以下に紹介する。

溶融線近傍の 粒粗大化抑制

MA 低減¹⁾

粒内の変態組織の微細化

の 粒粗大化抑制に対しては、先に述べた TiN の微細分散が有効²⁾であるが、入熱 50kJ/mm を超える大入熱溶接においては、その効果は十分に得られない。これ

* 鉄鋼部門 加古川製鉄所 技術研究センター ** 鉄鋼部門 加古川製鉄所 厚板部 *** 技術開発本部 材料研究所

は、大入熱溶接により溶融線近傍が 1,400 を超える高温にさらされることにより、TiN の大部分が固溶し、粒粗大化抑制効果が十分に発揮されないためである。その対策として Ti 量増大により高温で残存しうる TiN 量を増大させることが提案されているが、TiN が粗大化するため HAZ 韌性確保にはつながらない¹¹⁾。そこで、当社ではスラブ鑄造時における TiN の析出挙動を詳細に調査した。その結果、Ti/N バランスの適正化ならびに Ti の拡散が促進され TiN が粗大化しやすいフェライト温度域を狭幅化する合金成分設計により、図 1 に示すように TiN を多量にかつ微細に分散させることに成功し、大入熱溶接 HAZ 部における 粒の粗大化抑制を実現した^{12), 13)}。

の MA 低減については、鋼板の C 量を低減することにより達成される。MA は、溶接により高温にさらされた HAZ 部がいったん 相となり、その後の冷却中に変態が進行する過程で未変態 への C の濃縮が起り、が安定化した結果生成するものである。したがって、C 量低減により未変態 への C の濃縮を抑制することでその生成量の低減が可能となる。図 2 に従来の C 量 (0.10mass%) と大幅に C 量を低減した鋼 (0.03mass%) について、大入熱溶接を模擬した熱履歴を与えて生成した組織を比較した結果を示す。C 量を低減することで MA が微細化されるとともに、体積分率が大幅に低減することがわかる。

の 粒内の変態組織の微細化については、これまで粒内 生成促進により微細化を図ってきたが、溶接 HAZ 部がベイナイト単相となる高強度鋼には適用できないため、大入熱溶接 HAZ 韌性改善には、 から生成するベイナイト組織を微細化することが必要である。当社では、低 C 化することで大幅に MA を低減させた上で、さら

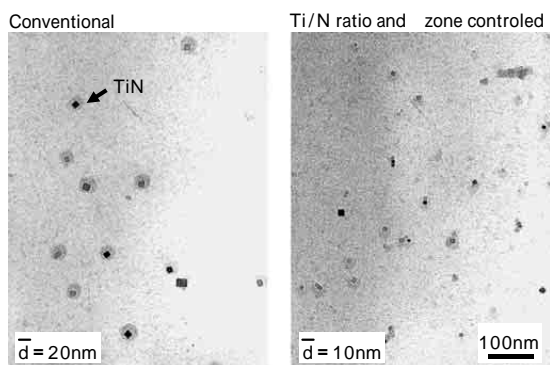


図 1 TiN 分散形態におよぼす Ti/N バランス、合金成分の影響
Fig. 1 Influences of Ti/N ratio and alloying elements on dispersion of TiN particles

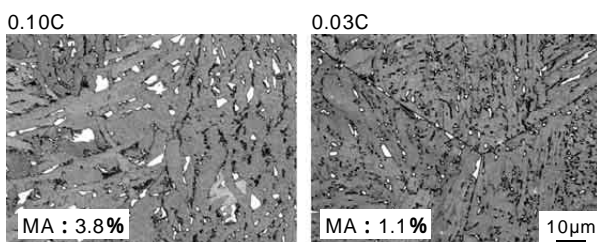


図 2 MA 形態におよぼす C 量の影響
Fig. 2 Influences of C content on morphology of MA

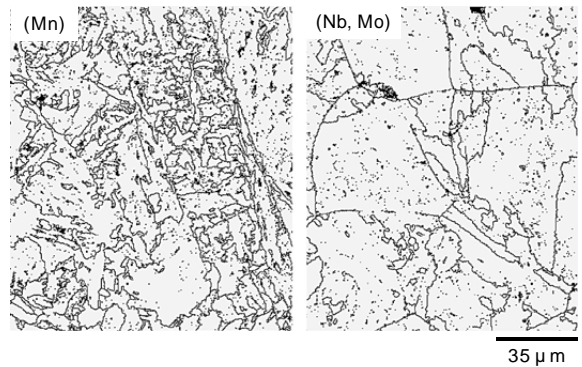


図 3 再現 HAZ 組織の結晶粒界マップにおよぼす合金元素の影響
Fig. 3 Influences of alloying elements on grain boundary maps (tolerance angle of > 15deg) of simulated HAZ

に、ベイナイト組織を微細化させる合金成分設計に取り組んできた。

低 C ベイナイトの組織形態におよぼす合金成分の影響を調査した結果、図 3 に示すように、Nb, Mo を添加した鋼種と、Mn を添加した鋼種で明らかに組織形態が変化することを見出している⁴⁾。さらに検討を重ね、ベイナイト組織微細化には、核生成頻度を高め、かつ結晶方位をランダム化することが有効であり、変態駆動力を上昇させる成分設計により実現できることを見出し、成分設計技術「低 C 多方位ベイナイト技術」を種々の高強度鋼に適用している。

2. 高機能鋼板製造のための TMCP 技術の高度化

溶接性に優れたオンリーワン厚板商品を創出するための製造技術として重要な位置を占めるのが TMCP 技術である。TMCP 技術は、圧延とその後の冷却を適正条件下で行う (制御圧延・制御冷却) ことにより、高品質な特性を得る製造技術である。当社においては 1980 年代より制御圧延技術と制御冷却設備を導入し、現在では造船・建築分野向けをはじめとする高機能鋼板の製造に幅広く適用している。

TMCP においては、低温域圧延を行うことによって粒を微細化し、また加工ひずみを導入してその後の変態における核生成サイトの密度を増加させる。さらに加速冷却において、その核生成サイトを起点にして微細なを生成させ、あるいは変態組織を得ることにより母材の高強度・高韌性化を達成することが目的である。そのためには、下記 3 点の技術確立が不可欠となる。

圧延工程において、目標材質に応じた適正な温度域で適正な圧下を加えるための圧延制御技術

冷却工程において、種々の目標材質に応じた適正な冷却条件 (冷却速度、冷却開始・停止温度) を実現できる自由度の高い加速冷却設備とその制御技術

TMCP 鋼板の切断などの加工時における変形を引起こす可能性がある鋼板内部のひずみ (残留応力) を、適正なレベルまで低減して出荷する残留応力評価・低減技術

加古川製鉄所では、これらの観点から TMCP 技術の高度化を進めてきており、それぞれについて以下で概説する。

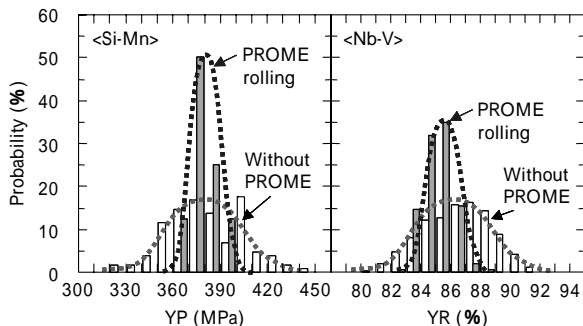


図4 Si-Mn添加鋼のYP制御とNb-V添加鋼のYR制御におよぼすプロメ圧延の効果
Fig. 4 Effect of PROME rolling on YP control of Si-Mn added steel and YR control of Nb-V added steel

圧延での材質制御を行う制御システムとして、2001年に PROME システムを開発・導入した。従来の圧延制御では、板厚・形状を目標値に制御するための圧下パターン(パススケジュール)を設定していた。本システムはオンライン計算可能な材質予測モデルを搭載し、板厚・形状に加えて材質を目標値に制御するために適正な温度域での圧下量を確保できるパススケジュールの自動設定を行う。本システムを適用して材質制御を行うことにより、図4に示すように、材質のばらつきを大幅に低減できる⁷⁾。

加速冷却設備が加古川製鉄所で稼動したのは1983年であり、その後の厚肉高強度化ニーズに対応すべく、冷却能力(最大冷却速度)の増強を行ってきた。現在では、形式の異なる4種類のノズルを配置し、対象材の材質・鋼板サイズに応じて使い分けができる。これにより、冷却速度についてはたとえば板厚25mmの鋼板で38 / 秒から4 / 秒、また、冷却開始 / 停止温度についても幅広い冷却条件を実現できる設備構成となっている。

さらに、2005年には冷却設備前にもレベラ矯正機を設置し、冷却前の鋼板平坦度を高めることにより均一冷却性能をレベルアップした。

従来のTMCP鋼板では、切断加工や溶接時に変形が

発生し、施工効率の低下や、矯正工程の追加などの不具合が生じることがあった。これは、鋼板内部に蓄積したひずみ(残留応力)に起因しており、その製造プロセスにおける鋼板のわずかな温度不均一が原因である。これまでに鋼板の温度均一化に向けて、加熱・圧延から加速冷却の各工程において、均一化のための対策を行ってきた(図5)。

その一方で、残留応力レベルを許容値以下に低減する目的で総合的な残留応力制御システムを導入している^{10), 14)}。このシステムでは、残留応力とそれに起因して需要家での条切断などにおいて発生する変形量を製造実績に基づいて鋼板ごとに予測し、許容値を超える場合には機械的あるいは熱的な手段で残留応力を低減するための工程を追加する。

残留応力を制御する手段の一つであるローラレベラに関しては、1999年に最大加圧力5,000トンの多機能ローラレベラを導入し、残留応力レベルの均一化に活用している。本技術を適用した鋼板は、許容値以下に残留応力レベルを低減しているため、残留応力に起因する変形は発生しない。その一例として、造船での製造工程であるトランス材のスリットスロット切断時における変形形状および変形量をそれぞれ図6、図7に示す¹⁰⁾。このように、残留応力を制御した鋼板の変形量は大幅に減少することがわかる。

また、多機能ローラレベラと PROME 圧延を活用することにより、切断加工・溶接・曲げ加工時に生じる変形量のばらつきを極限まで低減することが可能である。これらの特長を持つ商品群については後述する。

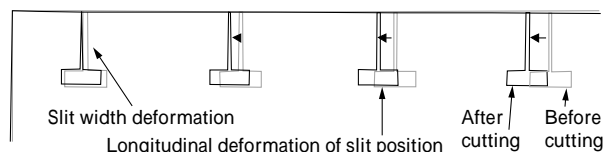


図6 スリット位置における変形
Fig. 6 Typical deformation in slit cutting

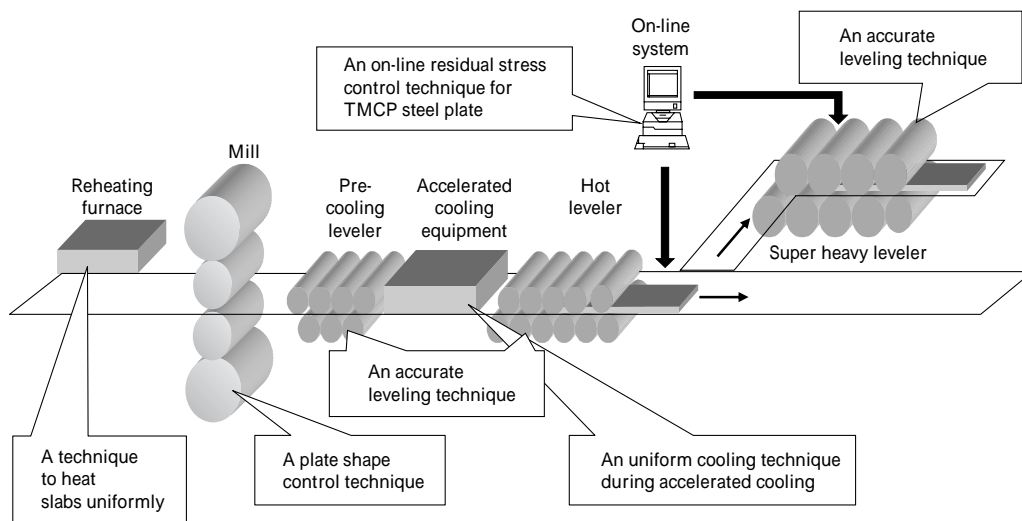


図5 残留応力制御技術
Fig. 5 Residual stress control techniques for TMCP steel plate

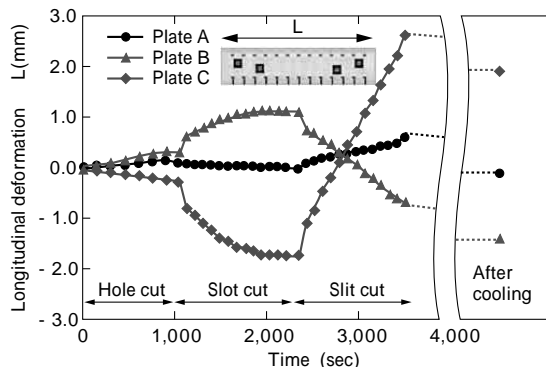


図7 プラズマ切断における長手方向変形量
(Plate A: 応力分布制御鋼板)

Fig. 7 Longitudinal deformation in plasma cutting
(Plate A: stress distribution controlled plate)

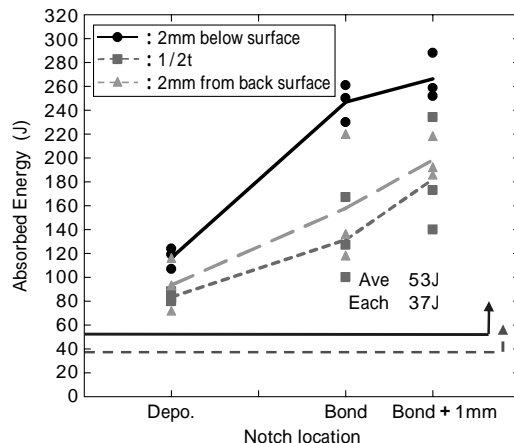


図8 YP460 鋼のシャルピー衝撃試験結果 (ルートギャップ 8mm)
Fig. 8 Charpy V-notch impact test results of YP460 steel (root gap 8mm)

3. 特長ある厚板商品

3.1 超大型コンテナ船向け大入熱溶接用 YP460 級鋼板

本鋼板は、コンテナ船の大型化に伴う上甲板周辺部材の高強度化に対応すべく開発された YP460MPa 級の厚鋼板である。当社独自の PROME システムや強冷却 TMCP 技術を駆使するとともに微量の Nb や Ti の添加と低 Ce_q (炭素当量) 化により、高強度、高靱性、優れた溶接継手特性、および高い破壊靱性を具備している。大入熱溶接での継手特性の一例として、1 電極エレクトロガスアーク溶接 (SEGARC 溶接: 入熱 42kJ/mm) における継手靱性評価結果を図 8 に示す。良好な継手特性を有しており、船体の安全性向上と造船所における建造効率の向上が可能となっている。

3.2 ヒズミレス

本鋼板は、従来の TMCP 鋼板が有するひずみや形状の問題を解消した鋼板であり、造船分野や橋梁分野における鋼構造物の工作精度の向上と工数削減を実現している。

ヒズミレスには、残留応力を低いレベルに制御したヒズミレスと、残留応力制御に加えて降伏応力のばらつきを従来鋼の 1/6 に低減したスーパーヒズミレスがあり、前者は船体や橋梁の直線部に、後者は曲面部に適用されている。本鋼板適用の効果の一例として、図 9 にトランスパネルへの適用結果を示すが、ヒズミレスは条材やトランスパネル、スキンパネルの切断や溶接工程において、スーパーヒズミレスは船首・船尾の曲がり部の熱曲げ加工工程において、数十%の工数削減効果が得られている。

3.3 低温用加速冷却型アルミキルド鋼板

本鋼板は、LPG 船のタンクや二次防壁材向けに開発された低温靱性と HAZ 靱性に優れた鋼板である。とくに制御圧延と加速冷却により圧延ままで高強度と高靱性を両立させる KCL プロセスと大入熱溶接 HAZ 靱性改善技術である KST 処理を最大限活用しており、表 1¹⁵⁾ に示すようにシャルピー吸収エネルギーは規格値を満足するとともに、破面遷移温度 FATT が -91 以下と優れた低温靱性を有している。また低 Ce_q 化を図るなどの成分設計面での工夫もあり、種々の大入熱溶接施工の適用が可能となっている。

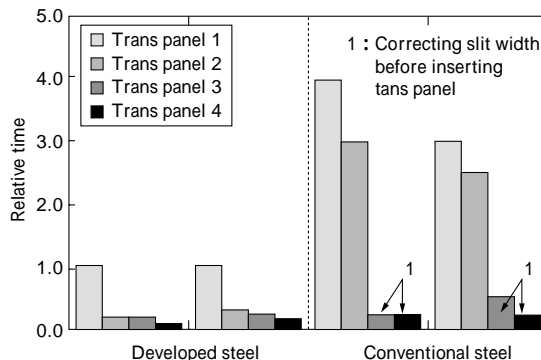


図9 トランスパネル引き込み時間

Fig. 9 Insert time of transverse panel into skin panel from longitudinal end

表1 低温用加速冷却型鋼板 KCL33 の機械的性質

Table 1 Mechanical properties of Accelerated cooled type steel plate for low temperature service "KCL33"

Steel	Thickness (mm)	Tensile properties			Impact properties	
		YP (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	$\sqrt{E_{60}}$ (J)	FATT (°C)
KCL33	30	362	480	29	218	-91
NK Specification	-	325	440-560	20	27	-

<Note> Tensile specimen: Transverse direction, NK U1

Charpy impact specimen: Transverse direction, NK U4

LPG 以外に液化アンモニアも運搬する多目的ガス船の場合は、応力腐食割れ性と低温での HAZ 靱性の向上が求められる。このため、C 量を 0.05% まで低減し PROME 圧延条件の厳格管理によって HAZ 部の硬化防止と母材の低 YR (降伏比) 化を実現した低温用鋼を商品化している。

3.4 建築構造用高強度鋼材

鋼構造建築物の分野では、耐震安全性向上、超高層化、居住空間の拡大、意匠性の向上、建築施工コスト低減などのニーズが拡大している。そのため、鋼板や部材に求められる強度レベルや特性も多様化している。従来から SN400/490, TMCP325/355, SA440 などの TS400 ~ 590 MPa 級の低 YR 鋼板が使用されているが、近年さらなる高強度の 780MPa 級鋼板や、これらの中間強度の 550MPa 級鋼板、弾性設計適用による高降伏点 (YP400&500 級) 鋼板などが要望されている。

当社では、これら多様なニーズに対応した鋼板をいち早く開発し、2007 年以降、表 2、図 10 に示す開発鋼の

表2 国交省大臣認定を取得した建築用鋼材のメニュー

Table 2 Menu of plate steels for building and construction use approved by minister of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Steel		Mechanical properties			Specification	
		YP (MPa)	TS (MPa)	YR ^{*)} (%)	Plate steel	Steel pipe
Low YR type	Conventional	325	490	80(85)	KCL A325	KSAT325
		355	520	80(85)	KCL A355	KSAT355
	Developed	385	550	80(85)	KCL A385	KSAT385
	Conventional	440	590	80(85)	SA440	KSAT440
	Developed	630	780	85(90)	KBSA630	KSAT630
High YR type	Developed	400	490	90(95)	KCL A400	KSAT400
		500	590	(95)	-	KSAT500

^{*)} YR specification of plate steel (steel pipe)

表3 開発鋼の代表的な性能

Table 3 Chemical compositions and mechanical properties of developed steels and pipes

Steel	Specification	Chemical compositions (mass%)					Thickness (mm)	Dia./ thickness	YP (MPa)	TS (MPa)	YR (%)	vE ₀ (J)
		C	Mn	Others	Ceq	Pcm						
plate	KCL A385	0.14	1.36	Nb, Ti	0.39	0.22	35	-	490	629	78	288
		50	-	473	609	78	302					
	KCL A400	0.08	1.55	Nb, Ti, B	0.34	0.17	50	-	471	574	82	317
		80	-	438	555	79	310					
	KBSA 630	0.05	1.99	Cu, Ni, Cr, Mo, B	-	0.27	40	-	659	816	81	255
		60	-	653	814	80	231					
Pipe	KSAT 385	0.14	1.35	Nb, Ti	0.38	0.22	40	10	496	617	80	254
		65	10	473	589	80	203					
	KSAT 400	0.18	1.55	Nb, Ti, B	0.34	0.17	50	20	510	587	87	311
		80	10	507	579	88	280					
	KSAT 500	0.12	1.47	Cu, Ni, Mo, V	0.43	0.23	60	17	594	686	87	284
		100	23	554	644	86	527					
	KSAT 630	0.05	1.99	Cu, Ni, Cr, Mo, B	-	0.27	40	10	793	900	88	222
							60	10	796	901	88	216

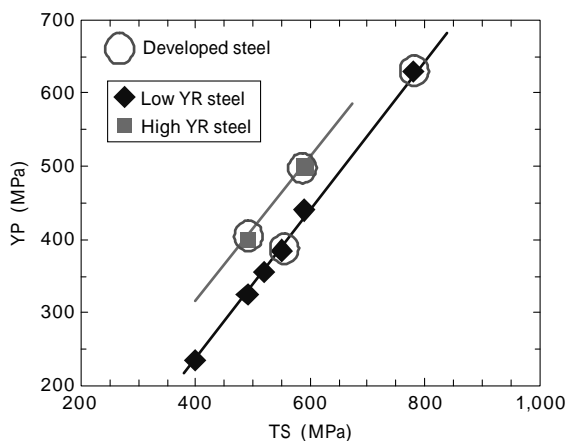


図10 開発鋼の YP - TS 規格下限値バランス

Fig.10 Minimum YP-TS combination of specification and developed steel

国土交通省大臣認定を取得した。高降伏点鋼は、制震ダンパなどを活用し弾性範囲に留まる設計を前提に、従来の同一 TS レベルの鋼板より高い設計基準強度での合理的な設計が可能である。

東京スカイツリーには、当社の高降伏点鋼管である KSAT400, KSAT500 が大量に採用される見込みである。また、この塔頂部に 780MPa 級鋼管 KSAT630 が適用される見込みである。高層ビルでは TMCP355 と SA440 の中間強度の TMCP385 (KCL A385) や TMCP400 (KCL A400) のニーズも高まっており、当社では TMCP 技術を駆使して、安定した母材品質と 490MPa 級鋼並の溶接性、大入熱溶接 HAZ 靱性を実現している。780MPa 級鋼板 KBSA630 は、低 C 多方位ベイナイト技術による HAZ 靱性向上と高い耐溶接割れ性を実現し、高層ビル大梁への

適用実績があるが、さらに高層ビル柱材へ適用検討も進められつつある。

表3にこれら開発鋼の代表的な性能を示す。いずれも TMCP 条件や熱処理条件の適正化により、母材強度・靱性の規格値を十分満足するとともに、低 P_{cm} (溶接割れ感受性組成) の適正成分設計により溶接時の予熱軽減など溶接施工性を改善している。

3.5 ニッケル系高耐候性鋼板(スーパータイコール W[®])

橋梁においてはライフサイクルコストの低減が大きな課題となっており、最小限の維持管理で最大限の長寿命化を目指す「ミニマムメンテナンス橋」のニーズが高まっている。ニッケル系高耐候性鋼板はそうした用途向けに開発した商品であり、とくに海岸に近い地域や凍結防止剤を散布する山間部など、塩化物環境で腐食性の厳しい条件下においても無塗装(裸)使用が可能である。

普通鋼 (SM490), JIS 耐候性鋼 (SMA490W), およびスーパータイコール W を用い、当社加古川製鉄所岸壁 (年平均飛来塩分量: 0.42mg NaCl/dm²/day) にて 3% NaCl 溶液を 1 回 / 週噴霧の条件下 (散布塩分量からは 1.4mg NaCl/dm²/day に相当) で行った促進暴露試験結果を図11¹⁶⁾に示す。スーパータイコール W は、有害とされる層状剥離さびが生成せず、板厚減少が JIS 耐候性鋼の半分程度に抑えられており優れた裸耐食性を示している。

本鋼板は一般耐食性確保のために Cu, Ni を必須とし、腐食先端部の pH 低下による塩化物耐食性向上のために Cr フリーに、そして安定性、緻密性に劣るといわれる -FeOOH さびの生成を抑制するために高 Ti を添加するという独自の成分設計であり、とくに Ti の耐候性向上効果の活用によって Ni 添加量を最小限 (1%) に抑え

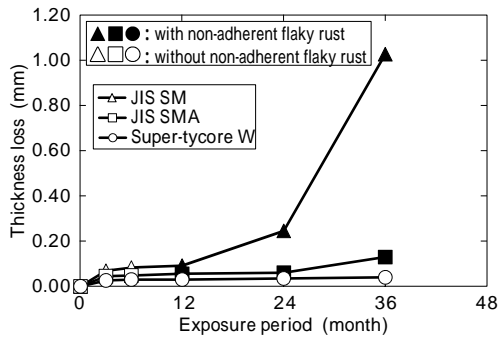


図11 スーパータイコールWの促進暴露試験結果(週1回3%NaCl散布)
Fig.11 Results of accelerated exposure test of steel " Super-tycore W " (added 3%NaCl spray once a week)

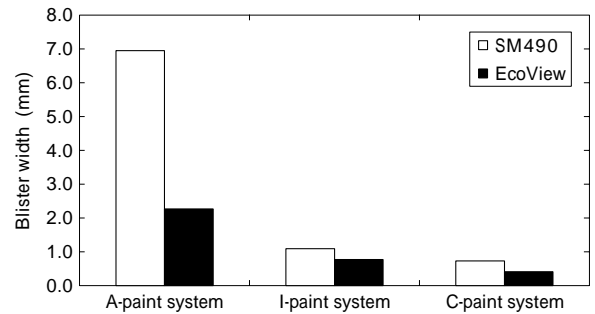


図12 各種塗装鋼板の複合サイクル試験後の塗膜ふくれ幅
Fig.12 Blister width of each painted steels after cyclic corrosion test

表 4 1.25%Cr-0.5%Mo 開発鋼の機械的特性および溶接性
Table 4 Mechanical properties and weldability of newly developed 1.25%Cr-0.5%Mo steel plate

Steel	Thickness (mm)	Tensile properties		Weldability	
		YP (MPa)	TS (MPa)	Limited min. pre-heating temperature ()	SR fracture rate (%)
Developed steel	50	293	472	50	0
Conventional steel	50	325	495	125	0
JIS G 4109 SCMV3-1	50	235	410-590	-	-

<Note> SR condition : 690 × 8h
Weldability test : Conformed to JIS Z 3158
(To measure SR fracture rate after SR treatment)

コストパフォーマンスに優れた点に特長がある。加えてTMCPの活用により P_{cm} を0.20%にまで抑えたことで予熱温度の低減や大入熱溶接の適用を可能にしている。

3.6 ロングライフ塗装用鋼板(エコビュー®)

本鋼板は、景観のために塗装を施す都市部や塩分環境の厳しい地域の橋梁への適用を目指して開発したもので、鋼材の塗膜下腐食抑制機能によって塗替周期の長期化を可能とする。鋼材の成分設計は、従来から使用されている溶接構造用鋼材の該当JIS規格(JIS G 3106: SM材)の範囲内で、上述したスーパータイコールWと同様にCu-Ni-高Ti(Crフリー)とし、塗装を前提にそれぞれの元素の添加量を最適化した。

JIS SM材を比較鋼に各種塗装条件での耐食性を評価した結果を図12¹⁷⁾に示す。ここで用いた塗装系は広く適用されている一般環境用のA系(油性さび止めペイント+フタル酸樹脂系)、厳しい腐食環境用のC系(ジンクリッチペイントを下地に塗装した重防食塗装)、日本道路公団(JH)で採用実績のあるI系(薄膜重防食塗装)の3種で、塗装耐食性試験はJHS403-1997¹⁸⁾に準拠した複合サイクル試験を6ヶ月間、720サイクル実施した。塗膜ふくれ幅はいずれの塗装系においてもエコビューがSM490に比べて小さく、耐食性向上効果が認められた。少なく見積もっても1.5倍程度には塗替周期の長期化が可能と考えられる。なお、機械的特性や溶接性など耐食性以外の性能については、TMCP条件の制御によりJIS SM規格内に収めている。

3.7 予熱軽減型1.25%Cr-0.5%Mo鋼板

発電用ボイラや圧力容器、化学反応容器用として用いられるCr-Mo鋼板は、低温割れ感受性が高い。このため、溶接施工時の予熱を余儀なくされており、施工効率向上の観点から予熱温度の低減が強く求められている。

本鋼板は、C含有量を従来鋼板に比べてほぼ半減させ、 P_{cm} を0.22%まで低減させた。さらにNi, Nbを最適量添

加したことにより、表4¹⁹⁾に示すように690 × 8hのSR(stress relief: 応力除去)処理後の強度はJIS SCMV3-1鋼板規格を満足するとともに、予熱温度を従来鋼板の125 から50まで低減することを可能にしている。

むすび=造船を中心とした厚板需要が高いレベルを維持し続けるなか、韓国、中国ミルの圧倒的な生産能力増強により今後ますます競争が激化することが予想されている。一方で、従来は高強度鋼化や施工コスト低減であった需要家の要望も、近年では構造物としての安全性やライフサイクルコストの低減に重きがおかれるなど変化しつつある。今後とも当社は得意とする技術開発力に磨きをかけ、需要家の安心、信頼、満足を得る商品を提供し続けることで社会貢献の責務を果たしていきたい。

参考文献

- 1) 笠松 裕ほか: 鉄と鋼, Vol.65, No.8 (1979) pp.1222-1231.
- 2) 笠松 裕ほか: 鉄と鋼, Vol.65, No.8 (1979) pp.1232-1241.
- 3) 山内 学: R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.3(2000) pp.16-19.
- 4) 畑野 等ほか: まてりあ, Vol.43, No.3 (2004) pp.244-246.
- 5) 畑野 等ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.2 (2004) pp.105-109.
- 6) 安部研吾ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.55, No.2(2005) pp.26-29.
- 7) 藤内秀人ほか: CAMP-ISIJ, Vol.14 (2001) p.1040.
- 8) 西野 都ほか: CAMP-ISIJ, Vol.14 (2001) p.1041.
- 9) 種本敬久ほか: CAMP-ISIJ, Vol.14 (2001) p.1042.
- 10) 谷 徳孝ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.1 (2002) pp.6-10.
- 11) Ki-Bong et al.: Proc. ASIA STEEL Int. Conf., ISIJ (2006) p.134.
- 12) 高岡宏行ほか: CAMP-ISIJ, Vol.20 (2007) p.1226.
- 13) 高橋祐二ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.58, No.1(2008) pp.42-46.
- 14) 大江憲一ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.41, No.4(1991) pp.52-55.
- 15) 梶 晴男ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.35, No.4 (1985), pp.122-123.
- 16) 川野晴弥ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.1(2002) pp.25-28.
- 17) 岡野重雄ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.1(2002) pp.39-43.
- 18) 藤原 博: 土木学会論文集, No.570 (1997) p.129.
- 19) 池田 充ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.49, No.2(1999) p.83.