

溶接部特性に優れた橋梁用570Ma級極低炭素ベイナイト鋼

川崎製鉄（株）技術研究所 正会員 岡津光浩，非会員 川端文丸，天野虔一
水島製鉄所 非会員 佐藤道夫
本社 非会員 谷川 治

1. はじめに

溶接構造物の大型化や、溶接施工の高能率化に伴い、鋼材にも強度、靱性、溶接性と多機能の要求がなされるようになった。しかし、従来技術では図1に示すように、高強度化のためには炭素当量の増大が必要であり、溶接性の低下や溶接熱影響部（HAZ）靱性の劣化が生じる。これらの問題点を解消すべく、極低炭素鋼のベイナイト組織の特徴に着目し、新たな非調質高張力鋼の開発を行った。本報告では、橋梁用570MPa級極低炭素ベイナイト鋼の特に溶接部特性における特徴と、製品の母材および継手特性について報告する。

2. 極低炭素ベイナイト鋼の特徴

（１）ミクロ組織設計

極低炭素鋼を高張力化するため、ミクロ組織制御による高強度化技術を確立した。図2に従来鋼とのミクロ組織の比較を示す。Nb, Bといった合金元素添加により、圧延ままでも従来のQT鋼に見られる焼戻しマルテンサイト組織に近い極低炭素ベイナイト組織となる。この極低炭素ベイナイト組織とすることで従来鋼と同等の強度が得られる。

（２）溶接硬化性

図3にJIS Z 3101溶接熱影響部の最高硬さ試験の結果を示す。極低炭素ベイナイト鋼(ELCB)は、溶接ビード長が短くなくてもHAZ最高硬さの上昇が起らず、点付け溶接条件でもビッカース硬さで268と著しく低い。

（３）大入熱溶接HAZ靱性

図4に再現熱サイクル試験で入熱20～200kJ/cmに相当する溶接部の粗粒域（CGHAZ）のシャルピー靱性を示す。極低炭素ベイナイト鋼は、溶接入熱が200kJ/cmまで増大しても吸収エネルギーの低下が少ない。これは、極低炭素化により溶接熱影響部の靱性劣化に寄与する硬化組織の生成が抑制されたためである。

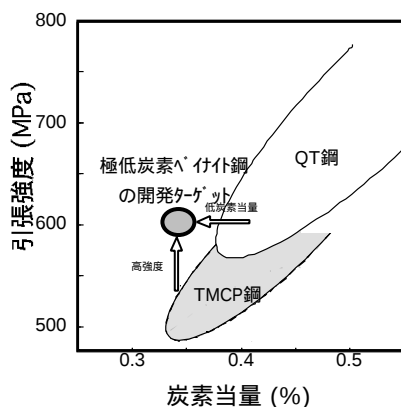


図1 極低炭素ベイナイト鋼の開発目標

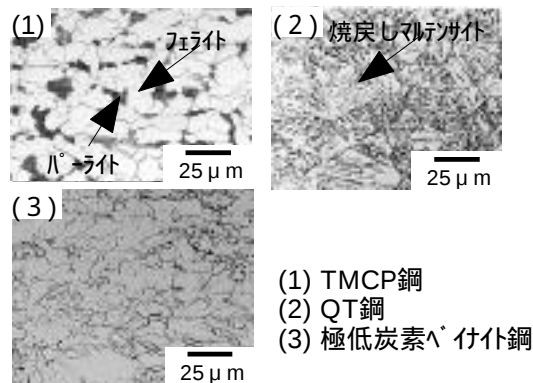


図2 極低炭素ベイナイト鋼のミクロ組織制御

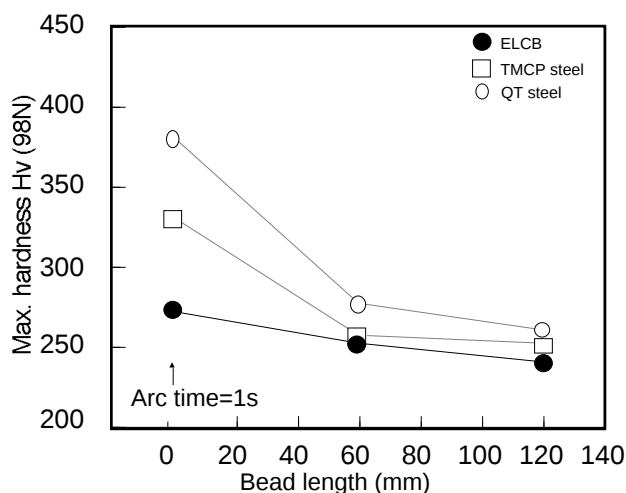


図3 溶接熱影響部最高硬さ試験結果

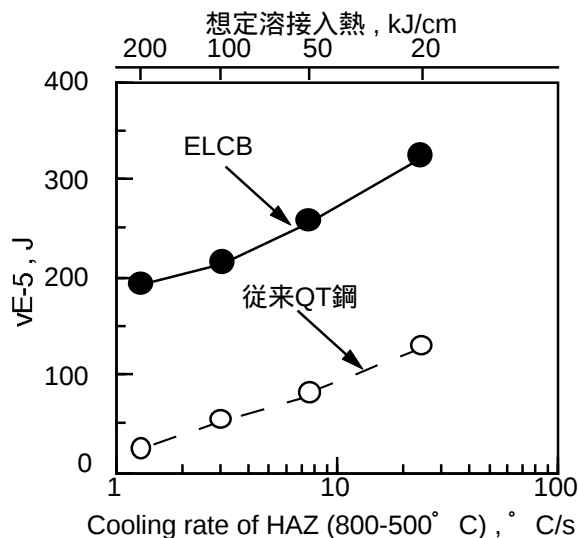


図4 溶接入熱変化時の再現CGHAZ靱性変化

キーワード：橋梁，高張力鋼，溶接性，靱性
〒712-8511 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 川崎製鉄（株）技術研究所
Tel. 086-447-3964, Fax. 086-447-3939

3. 570MPa級厚鋼板の母材特性

表1に橋梁用570MPa級厚鋼板の成分目標を示す。炭素量は0.02mass%以下とし、他の成分はJIS SM570TMC規格の範囲内である。表2に、工程製品の機械的性質の一例を示す。いずれも、JIS SM570TMC規格を満足する強度、靱性を示している。また、板厚位置での強度差が少ないという特徴がある。

4. 570MPa級厚鋼板の継手特性

実構造物への適用性評価のため、表3に示す溶接条件で多層GMAW継手、多層SAW継手および単層EGW継手を製作し、継手部の特性を評価した。表4に継手強度および継手曲げ試験結果を示す。いずれの継手も600MPa以上の継手強度を満足している。また、継手側曲げ試験においても欠陥の発生はなかった。

表5に継手シャルピー試験結果を示す。ノッチ位置はWM,ボンド（溶融線近傍の熱影響部側）、HAZ中央とした。いずれのノッチ位置でも継手種類、入熱条件によらず100J以上の吸収エネルギーを示し、JIS SM570TMCの母材規格値vE-5 47Jを満足した。

5. まとめ

従来鋼よりも低炭素当量で高強度化が達成可能な極低炭素ベイナイト鋼を利用し、橋梁向570MPa級厚鋼板を開発した。開発鋼は、

- (1) 点付け溶接のような非定常溶接条件でもHAZ最高硬さが低い、卓越した耐溶接硬化性を示す。
- (2) 溶接入熱が増大してもCGHAZ組織変化（劣化）が少なく、高いHAZ靱性を示す。
- (3) 工程製造材の機械的性質は、いずれもJIS SM570TMC規格の強度・靱性を満足する。
- (4) 実用性評価のための溶接継手特性評価において、多層GMAW継手、多層SAW継手、単層EGW継手いずれも橋梁用途としては十分な特性を示す。

表1 橋梁用570MPa級極低炭素ベイナイト鋼の化学組成（目標値） mass%

	C	Si	Mn	P	S	Others	Ceq	Pcm
開発鋼	0.020	0.30	1.55	0.010	0.003	Cu Ni Cr NbTi B	0.35	0.15
JIS規格	0.18	0.55	1.60	0.035	0.035		0.44 [*] 0.47 ^{**}	0.28 [*] 0.30 ^{**}

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

Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/5+5*B

*板厚 50mm

**板厚 > 50mm

表2 極低炭素ベイナイト鋼の母材機械的性質

板厚 (mm)	位置	引張特性 (圧延T方向)			シャルピー靱性 (圧延L方向)	
		YS (MPa)	TS (MPa)	YR (%)	vE-5 (J)	vTrs ()
35	1/4t	465	633	73	353	-55
	1/2t	447	637	70	363	-57
50	1/4t	474	654	72	302	-25
	1/2t	453	649	70	240	-33
75	1/4t	497	647	77	289	-20
	1/2t	477	637	75	287	-22

表4 極低炭素ベイナイト鋼の継手特性

Welding method	Groove Shape	Tensile test			Bend test
		Thickness (mm)	TS (MPa)	Position of fracture*	Side bend R=2.0 t
GMAW	X	38	647	BM	Good
			648	BM	
SAW	X	75	628	BM	Good
			631	BM	
EGW	V	38	613	HAZ	Good
			613	HAZ	

* BM : Base metal

HAZ : Heat affected zone

表5 極低炭素ベイナイト鋼の継手靱性

Welding method	Groove shape	Absorbed energy at -5° C (J)		
		Weld metal	Bond	HAZ
GMAW	K	196	318	280
SAW	K	187	319	301
EGW	V	102	172	328

表3 溶接継手の製作条件

	GMAW	SAW	EGW
Thickness (mm)	38	75	38
Welding wire	KM60 1.2mmφ	KW101B 4.8mmφ	DWS60- G1.6mmφ
Welding flux	-	KB110	-
Shielding gas	Ar80%+C O ₂ 20%	-	CO ₂ 100%
Preheating temperature (°C)	23	24	21
Current (A)	307	808	380
Voltage (V)	32	36	42
Speed (mm/s)	3.2	6.0	0.8
Heat input (kJ/mm)	3.0	5.0	20.4
Groove shape	X ,K	X ,K	V