

建築構造用高性能 590 N/mm² 級 TMCP 鋼板「HBL[®]440」

大森章夫^{*1)} 中川 佳^{*2)} 中川郷司^{*3)}
室田康宏^{*4)} 石川 操^{*5)}

1. はじめに

地震が多発する我が国では、建築構造物の鉄骨部材には、大地震による倒壊を防ぐため、塑性変形によってエネルギーを吸収することが求められる。そのため、柱や梁などの建築鉄骨部材に用いられる鋼材には、多くの場合、降伏比(YR=降伏強度YS/引張強度TS)が80%以下の低YR特性が要求される。

一方、近年の高層建築物の大スパン化や、商業スペース、オフィス、ホテルなどの重層化などに伴い、鋼材重量低減や、加工、運搬、建方など各過程での負荷軽減のため、高強度鋼材の必要性が高まっている。しかしながら、一般的に鋼材強度の増加に伴ってYRは上昇するため、高強度化と低YR化の両立は困難になる。1990年代に開発された建築構造用高性能590 N/mm²級鋼板(SA440)では、多量の合金添加とともに、例えば図1(a)に示すような2相域焼入を含む多段熱処理により低YR特性を確保している。このような複雑な熱処理は工期の長期化を、合金添加は溶接性の低下をもたらし、SA440の適用拡大を妨げる要因となっていた。

JFE スチールでは、TMCP(Thermo-mechanical control process: 加工熱処理)技術を駆使することにより、図1(b)のような2相域熱処理を省略したプロセスでSA440と同等の機械的特性(YS/440~540 MPa, TS/590~740 MPa, YR ≤ 80%, vE0°C ≥ 47 J)を確保し、優れた溶接施工性をも兼ね備えた建築構造用高性能590 N/mm²級TMCP鋼板「HBL440」(板厚19~50 mm)を開発した。本稿では、開発

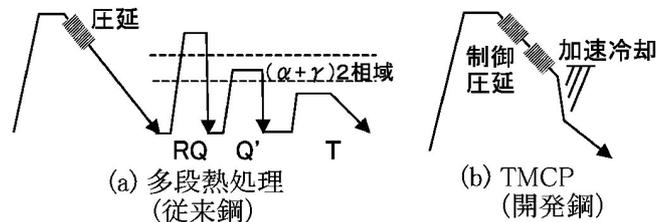


図1 590 N/mm²級低YR鋼の製造プロセス。

鋼のマイクロ組織制御指針と基本性能を紹介する。

2. 低YR化のためのTMCP技術

高強度鋼において低YR特性を確保するための基本指針は、マイクロ組織を軟質相(フェライト)と硬質相(ベイナイトやマルテンサイト)からなる複相組織にすることである。TMCPによって高強度と低YRを両立させるには、加速冷却中および停止後に適量の微細フェライトと島状マルテンサイトを(MA: Martensite-austenite constituent)を含む複相組織を生成させなければならない。そのために、①化学成分、②加速冷却停止温度、③制御圧延条件を最適化する必要がある。

図2は、開発鋼のマイクロ組織に及ぼす加速冷却停止温度の影響をCCT線図を用いて示した模式図である。適正な加速冷却条件(b)では、図3(b)に示すようなフェライト+パーライト+ベイナイト+MAの複相組織が得られ、目標の機械的

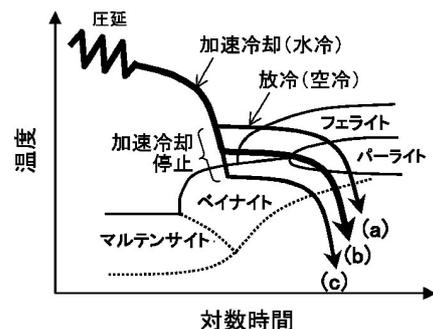


図2 ミクロ組織に及ぼす加速冷却停止温度の影響(模式図)。

* JFE スチール株式会社スチール研究所

1) 鋼材研究部: 主任研究員

2) 土木・建築研究部: 主任研究員

3) 建材開発部: 主任部員

東日本製鉄所: 商品技術部厚板室: 4) 主任部員 5) 室長

High Performance 590 N/mm² TMCP Steel Plate “HBL[®]440” for Building Structure; Akio Ohmori, Kei Nakagawa, Satoshi Nakagawa, Yasuhiro Murota and Misao Ishikawa (JFE Steel Corporation)

2011年10月31日受理

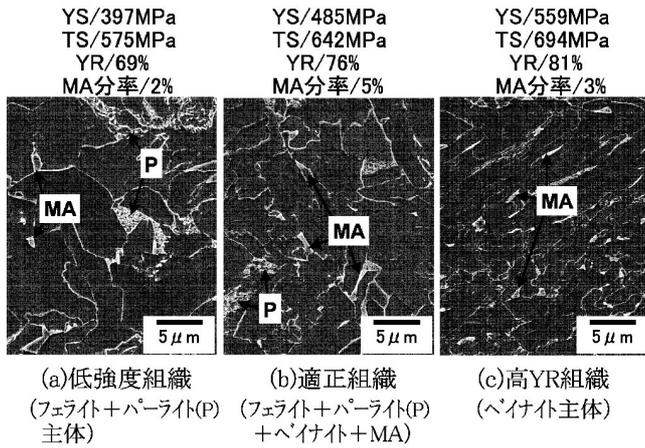


図3 開発鋼のマイクロ組織例。

性が得られる。図2(a)のように冷却停止温度が高すぎると、図3(a)のようにフェライトとパーライト主体の組織となって強度が不足し、図2(c)のように冷却停止温度が低すぎると、図3(c)のようにMAの少ない高YRのベイナイト主体組織となる。Moなどの合金添加量や冷却速度の変化によっても、類似の組織変化が起きる。開発鋼「HBL440」では、高精度の加速冷却が可能な水冷装置 Super-OLAC[®](1)を活用するとともに、Cr, Mo, V, Nb(フェライトおよびパーライト変態を抑制し、ベイナイトやMAの生成を促進する炭化物生成元素)の添加量を最適化し、適正なマイクロ組織と機械的性質を達成した。

3. 開発鋼の性能

(1) 母材特性・溶接性

表1に開発鋼の化学成分を示す。P_{CM}の低減と鋼板表層の硬化を軽減するため、C含有量は0.06%に低減し、ベイナイトとMAを生成させるためにCr, Mo, V, Nbを添加した。

表2には鋼板の引張特性およびシャルピー衝撃特性を示す。いずれもSA440規格を満足している。シャルピー破面遷移温度(*vTrs*)は-50°C以下であり、優れた母材靱性を示した。

表3には板厚50mmのy形溶接割れ試験結果を示す。被覆アーク溶接(SMAW)では25°C、CO₂溶接(GMAW)では5°Cで割れは発生しなかった。従来のSA440(P_{CM}規格値(*t* ≤ 40mm)0.28以下)に対して大幅に溶接性が向上しており、高施工型のSA440(P_{CM}規格値0.22以下)と同等以上の優れた溶接性を有する。

(2) 溶接継手特性

CO₂溶接(SMAW)、多層サブマージアーク溶接(SAW)、

エレクトロスラグ溶接(ESW)による溶接継手を作製し、シャルピー衝撃試験を行った。溶接条件と継手概要を表4に、シャルピー試験結果を図4に示す。入熱60kJ/cm未満のSMAWおよびSAW継手では100J以上の優れた靱性を示し、大入熱ESW継手でも平均47J以上を確保した。

(3) 部材性能

局部座屈評価のため、板厚19mmの開発鋼板を用いて図5(a)に示すような溶接4面ボックス柱試験体を作製し、短柱圧縮試験を行った。図5(b)に日本建築学会指針⁽²⁾の目標値や従来鋼SA440のデータ⁽³⁾と比較して試験結果を示す。開発鋼は学会指針以上の塑性変形倍率を有しており、現行設計での幅厚比制限値を適用できると考えられる。

次に、梁端接合部の性能を評価するため、板厚19mmおよび25mmの開発鋼板からなる溶接組立H形鋼を梁材とした試験体(図6(a))の梁端接合部繰り返し曲げ実験⁽⁴⁾を行った。接合部を工場型ノンスカリップとした試験体の実験結果を図6(b)に示す。図6(b)の縦軸と横軸は、それぞれ梁端モーメント*M*と回転角*θ*を全塑性時のモーメント*M_p*と全塑性時の弾性回転角*θ_p*で基準化したものである。塑性率*θ/θ_p*は5を超えており、十分な変形性能を有している。

表2 機械的特性。

板厚 (mm)	試験片	引張特性*1				シャルピー 特性*2	
		YS (MPa)	TS (MPa)	YR (%)	El (%)	<i>vE_{0°C}</i> (J)	<i>vTrs</i> (°C)
19	JIS 5号	485	630	77	44	358	-100
25	JIS 5号	494	629	79	48	371	-65
40	JIS 5号	479	620	77	54	364	-50
50	JIS 4号	486	614	79	30	380	-100
SA440 規格	19~ 100	JIS 4号 440~ 540	590~ 740	≤80	≥20 ≥26	≥47	—

*1: C方向, 1/4 t位置(JIS 4号) *2: L方向, 1/4 t位置

表3 y形溶接割れ試験結果(板厚50mm)。

溶接 方法	溶接材料	溶接条件	雰囲気	予熱 温度	割れ 率*
SMAW	LB-62, φ4.0 (JIS Z 3211 E6216-N1M1 U)	170 A-24 V 15 cm/min	20°C 湿度60%	25°C	0%
GMAW (CO ₂)	MG-60, φ1.2 (JIS Z 3312 G59JA1UC 3M1T)	220 A-23 V 24 cm/min	5°C 湿度60%	5°C	0%
			20°C 湿度60%	25°C	0%

* 各条件3体ずつの平均

表1 開発鋼の化学成分(mass%)。

	板厚(mm)	C	Si	Mn	P	S	others	Ceq	P _{CM}
開発鋼	19, 25, 40, 50	0.06	0.20	1.48	0.008	0.002	Cr, Mo, V, Nb, Ti	0.42	0.17
SA440C	19 ≤ <i>t</i> ≤ 40 40 < <i>t</i> ≤ 100	≤ 0.12	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	≤ 0.008	必要に応じて添加できる。	≤ 0.44 ≤ 0.47	≤ 0.28 ≤ 0.30

Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 P_{CM} = Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

表4 溶接継手作製条件.

溶接方法	GMAW(CO ₂)	SAW(2電極)	ESW(SESNET)
溶接材料	MG-60, φ1.2	KW-101B, φ4.8 KB-110	KW-101B, φ1.6 KF-100
入熱量	17~30 kJ/cm	46~53 kJ/cm	617 kJ/cm
パス間温度	70~90°C	54~186°C	—

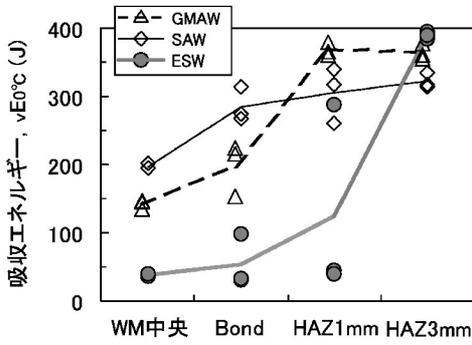
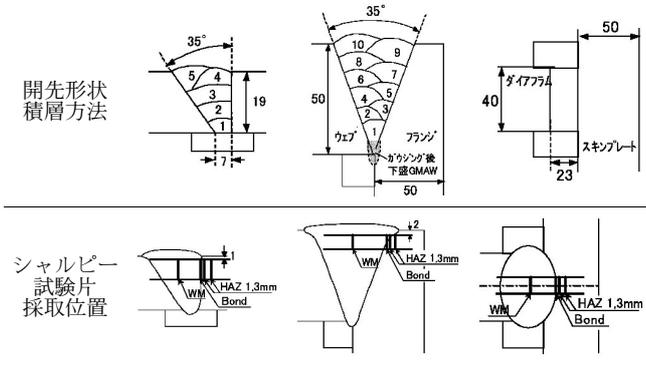


図4 溶接継手シャルピー試験結果.

4. 適用分野

本開発鋼は、TMCP技術を駆使することにより、従来の建築構造用590 N/mm²級低YR鋼板(SA440)に必須であった2相域熱処理を省略して、同等の機械的性質と優れた溶接性を実現したものである。溶接組立H形鋼、角形鋼管(プレスコラム)、円形鋼管、4面溶接BOX柱などの建築鉄骨部材への適用が期待される。

5. 特許

本開発鋼に関しては、特許4730102号の他、特開2007-177325、特開2007-177326、特開2009-221565など6件を出願済みである。

文 献

- (1) 小侯一夫, 吉村 洋, 山本定宏: NKK 技報, No. 179(2002), 57-62.
- (2) 鋼構造限界状態設計指針・解説, 日本建築学会, (2002), 121-124.
- (3) 井上哲朗, 桑村 仁: 日本建築学会構造工学論文集, 37B(1991), 225-238.
- (4) 藤牧勇太, 中込忠男, 川端洋介, 戸堀一真, 崎野良比呂, 服部和徳, 石井 匠: 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), (2010), 1141-1144.

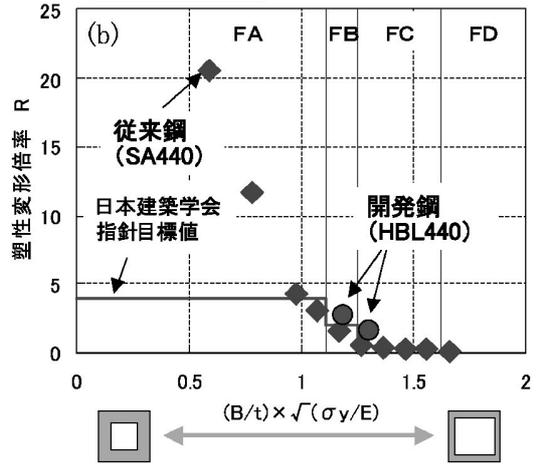
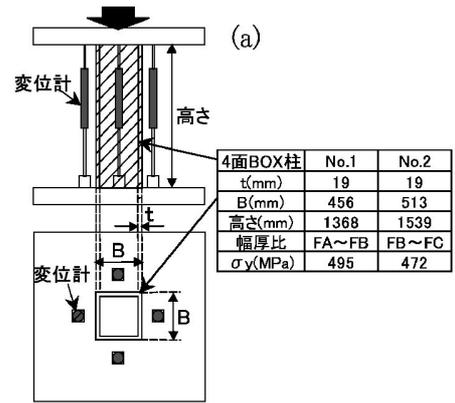


図5 短柱圧縮実験。(a)試験体 (b)実験結果

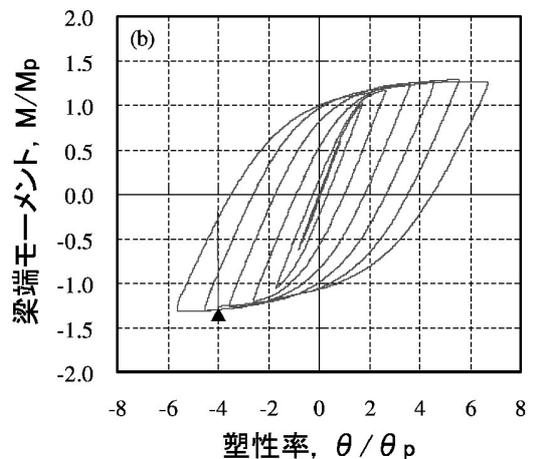
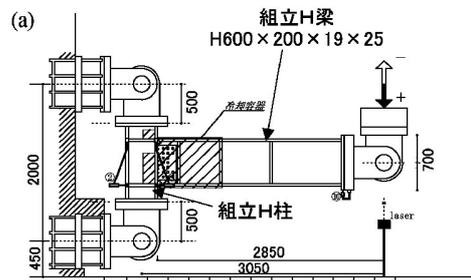


図6 梁端曲げ実験。(a)試験体 (b)実験結果