

建築用高性能鋼材の溶接能率アップ！

～大入熱溶接用SA440鋼板の開発と溶接施工試験～

Developed Steel “SA440” and Application Test for High Performance Weld Methods

湯田 誠
Makoto YUDA

川田工業(株)生産本部溶接研究室係長

岩田 祥史
Yoshifumi IWATA

川田工業(株)生産本部溶接研究室

増井 利弘
Toshihiro MASUI

川田工業(株)生産本部溶接研究室室長

近年、建築構造物の高層化と大スパン化の趨勢をうけて建築用鋼板に対する高強度ニーズが高まるなか、高強度の建築用590 N/mm²級鋼板（SA440）が開発され、これまでに数多くの物件で採用されています。

一方、高層建築物では、柱形状として4面BOX構造の採用が多く、その製造においては大半が高能率溶接法（大入熱サブマージアーク溶接；SAWやエレクトロスラグ溶接；ESW）を適用しています。これまでSA440鋼板が採用された場合、これら溶接継ぎ手部の要求靱性値は従来の570 N/mm²級鋼板を主とした検討結果をとりまとめた溶接施工指針¹⁾が1つの目安とされています。これを受け、実際の製造現場ではより高い入熱の採用も試みられていますが、阪神大震災以来、溶接継ぎ手部の適正靱性値に対する議論は高まっています。

これらの背景をうけ今後のSA440鋼板に対しては高強度の確保、低降伏比の実現、そして大入熱特性（HAZ靱性）の確保の3つを同時に満足することが求められます。本検討では、このSA440鋼板に対する高性能化に着目し、従来にない成分設計と製造技術を駆使することで新たなSA440鋼板を開発しました^{2),3)}。そして、開発材を用いた大入熱溶接継ぎ手性能についての確認を行いましたので紹介します。

開発材の概要

(1) 技術的特徴

a) 低降伏比（低YR）の実現

特殊な熱処理（Q-Q' T），すなわち焼き入れ熱処理のあとに2相域温度からの焼入れ（Q'）を適用することで硬い組織と軟らかい組織を分散，結果的に変形時におけるひずみを軟らかい組織に集中させることでYRを低減させています⁴⁾。

表1 開発鋼板の化学成分

板厚	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	その他	Ceq	Pcm
60 mm	0.15	0.33	1.51	Nb, Ti	0.42	0.24
spec	0.18	0.55	1.60	(必要に応じて添加)					0.47	

Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B (%)

b) 母材の強度確保とHAZ靱性の向上

溶接熱影響部（HAZ）のミクロ組織と靱性の関係は図1に示す通りであり、特に下部ベイナイト（LB）と呼ばれる組織が有効であることが知られています^{5),6)}。一方、従来の製造法（Q-Q' T）において安定的に強度を確保するには、炭素等量（Ceq）を高めとした成分系が要求されます。このことは、HAZ靱性を確保することと相反することを意味しています。

開発材では、まずCeqを低減しHAZ靱性を確保可能とする成分系を選定し、母材強度と低YRを実現可能とする製造条件について検討を行いました。すなわち、高度に制御したTMCP技術（制御圧延と加速冷却）によって大入熱型SA440は造られています。

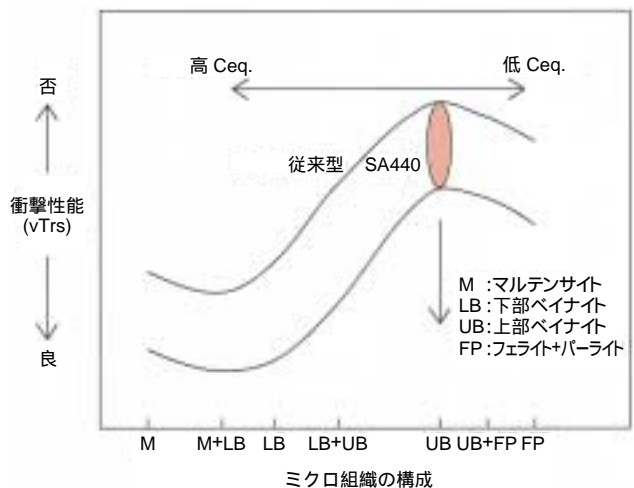


図1 ミクロ組織とHAZ靱性の関係の模式図

(2) 母材特性

a) 化学成分

開発材の化学成分を表1に示します。TMCP技術の活

用を前提に強化元素（Cu，Ni，Cr，Mo，V）を削減し，Ce_qの低減を図りました。また，母材の微細化と焼き入れ性のためのNbと，大入熱HAZ靱性向上のためのTiを微量添加しています⁷⁾。

b) 機械的性質

機械的性質を表2に示します。強度，低YR，母材の衝撃特性のいずれも十分な性能を有しています。

表2 開発材の機械的性質

板厚	位置	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)	衝撃試験 (J)	Z方向 引張試験 (%)
60 mm	1/4 t	481	624	77	29	292	71
	spec	440~540	590~740	80	20	47	25

c) 溶接性（低温割れ性）

図2に斜めY型溶接割れ試験結果を示します。割れ防止温度は25℃であり，優れた耐溶接割れ性能を有しています。

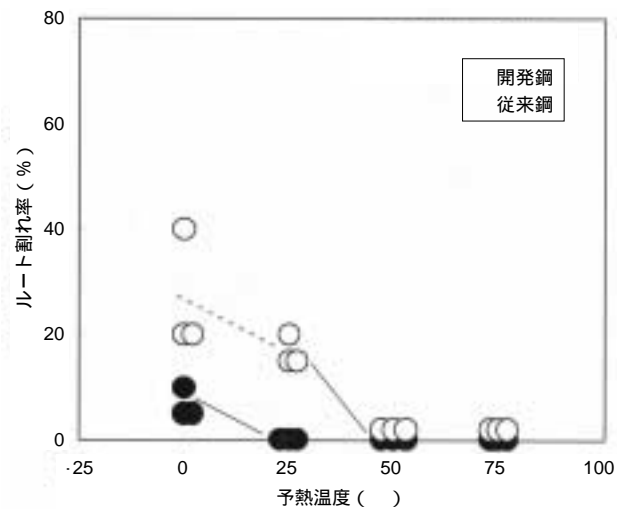


図2 開発鋼と従来鋼のルート割れ率比較

大入熱溶接による継ぎ手特性

開発材を4面BOX柱に採用した場合を想定し，高能率溶接法による継ぎ手性能（衝撃特性）の確認を行いました。

a) 大入熱SAW法による角継ぎ手特性

適用条件，機械試験結果を表3に示します。開発材の板厚は60 mmであり，下盛りCO₂溶接を行った後にSAWを行いました。入熱量が554 kJ/cmと溶接施工指針¹⁾規定の400 kJを大きく越えた大入熱溶接であるにもかかわらず，各部の衝撃値は60 J以上の高い靱性値を示しています。

b) ESW法によるダイヤフラム部の継ぎ手特性

適用条件，機械試験結果を表4に示します。適用入熱量は930 kJ/cmであり溶接施工指針¹⁾の規定範囲内であるものの，基準限界に近い超大入熱による検討を行っています。衝撃試験結果では，溶着金属部ならびに溶着金属部の影響の大きな融合部（ボンド）にやや低い値が得られたものの，ボンド+1~5 mmの範囲（熱影響部）ではいずれも70 J以上の良好な値が得られています。ボンド

部の靱性は，今後，溶接材料の組み合わせや改善により更なる値も期待されます。

表3 大入熱SAW法による角継ぎ手特性

溶接方法	適用溶接材料	検討入熱量
大入熱SAW法	ワイヤ ; US-49 6.4 フラックス ; PFI-53ES 下盛りCO ₂ ; YM-60C	554 kJ/cm

各部衝撃特性 (0℃ 3本の平均値)	
a (フランジ側BOND + 5 mm)	: 286 J
b (フランジ側BOND部)	: 74 J
α (溶着金属部)	: 76 J
d (ウエブ側BOND部)	: 60 J
e (ウエブ側BOND + 5 mm)	: 130 J

表4 ESW法によるダイヤフラム継ぎ手特性

溶接方法	適用溶接材料	検討入熱量
ESW法 (SESNET)	ワイヤ ; YM-60E 1.6 フラックス ; YF-15 (20* D)	930 kJ/cm

各部衝撃特性 (0℃ 3本の平均値)	
a (スキン側BOND + 5 mm)	: 159 J
b (スキン側BOND + 3 mm)	: 118 J
c (スキン側BOND + 1 mm)	: 77 J
d (スキン側BOND部)	: 39 J
e (溶着金属部)	: 36 J
f (ダイヤ側BOND部)	: 56 J
g (ダイヤ側BOND + 1 mm)	: 90 J
h (ダイヤ側BOND + 3 mm)	: 130 J
i (ダイヤ側BOND + 5 mm)	: 182 J

まとめ

建築用590 N/mm²級鋼板（SA440）に対し，大入熱特性を加えた高性能材を開発，その大入熱溶接継ぎ手特性について調査しました。今回の検討により，開発材は当初の目的に対し十分なスペックを有することが確認できました。

今後は，更なる高能率な施工のニーズに応えるべく母材や大入熱特性の改善に着目していきたいと思えます。

最後に，開発材をご担当いただいた㈱神戸製鋼所の皆様に紙面をかりて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社鋼材倶楽部：高性能利用技術指針，1994.
- 2) 岡野ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.46，No.3，p.9，1996.
- 3) 泉ほか：材料とプロセス，Vol.10，p.593，1997.
- 4) 岡野ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.42，No.3，p.6，1992.
- 5) 笠松ほか：鉄と鋼，Vol.65，No.8，p.92，1979.
- 6) 山戸ほか：溶接学会誌，Vol.50，No.11，p.11，1981.
- 7) 笠松ほか：鉄と鋼，Vol.65，No.8，p.102，1979.