

論文・報告

FR鋼の特徴と諸性質について

Characteristics and Several Mechanical Properties on Fire Resistant Steel

丸岡 義臣*
Yoshiomi MARUOKA椿 英 顯**
Hideaki TSUBAKI森 井 一 茂***
Kazushige MORII湯 田 誠****
Makoto YUDA

FR steel was originally developed for the purpose of providing fire resistance to the structural steel, however, the example of the steel frame buildings which used FR steel is yet few. This paper is intended to report that a performance test, weldability test and cutting test of base metal (SM520B, maximum plate thickness 100mm) applied to structural systems have been conducted before assembly in order to identify the performance of the FR steel in advance. As the results of these tests, it was confirmed that the FR steel had the performance equivalent to or exceeding the level of conventional materials. As for ensuring the quality of the cut surfaces, it was confirmed that the controlling condition which is different from that for ordinary types of steel was required.

Keywords : FR steel, weldability, cutting performance, parent material

1. まえがき

鉄骨建築物は、火災時に熱で鋼材強度、剛性が低下し、耐力低下が生じることから、耐火被覆で鉄骨を保護することが建築基準法で定められている。しかし、この耐火被覆工事の軽減のニーズは高く、対処方法として、

- ① 鉄骨部材が鋼管などの場合、中にコンクリートを充填し部材全体として熱容量を高める方法
- ② 鉄骨部材を室外に出し火災時に火炎が直接鉄骨に吹き付けられないようにする外部鉄骨構造の採用

などが考えられてきたが、根本的な解決方法として鉄骨そのものの耐熱性を高めることが一番有効であると考えられる。このような経緯のもとに開発されたのが、建築構造用耐火鋼材「FR鋼 (Fire Resistant Steel)」である¹⁾。このFR鋼を使用することにより、設計上でのメリットが生かされた鉄骨建築物が期待されている。

本報告では、現在製作中である本鋼材適用物件 (最大厚で100 mm; SM520B-NFR)を紹介するとともに、事前に確認が行われたFR鋼の諸特性 (母材特性、溶接性、切断性) についての報告を行う。

2. FR鋼の特徴と要求性能

鉄骨建築物に要求される耐火性能とは、建物の階数ご

とに指定されている耐火時間まで鉄骨本体に被覆を施すことにより、火災時の鉄骨温度が350℃を超えないことである。これまで一般鋼で製作された鉄骨の高温時耐力 (降伏点) は、350℃近辺で常温時の2/3以下まで低下することがいわれていた。このような一般鋼に対してFR鋼の特徴は、

- ① 図-1に示すように、高温耐力が一般鋼と比較して著しく高く、600℃での降伏点が常温時の2/3以上を保証している。

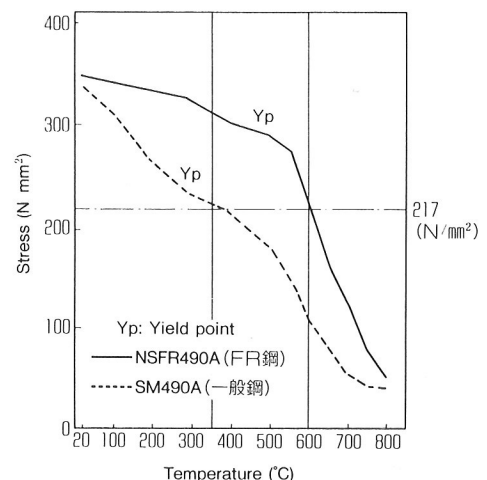


図-1 FR鋼と一般鋼の高温耐力比較

* ㈱竹中工務店大阪本店設計部次長 ** ㈱竹中工務店大阪本店設計部 *** 川田工業㈱生産事業部四国工場生産技術二課課長
**** 川田工業㈱技術本部溶接研究室

② 常温時性能は、溶接構造用圧延鋼材 (JIS G 3106) の規格に合致している。

とされており、従来にはない本鋼材の性能を評価した耐火設計が可能となった²⁾。

また、本鋼材は耐熱性を保持するための成分設計がなされており、溶接性の指標である炭素当量 (C_{eq}) はやや高めに設定されるものの溶接割れ感受性組成 (P_{CM}) は低い値に抑られている。図-2, 3 にFR鋼と一般鋼を比較した一例を示す³⁾。

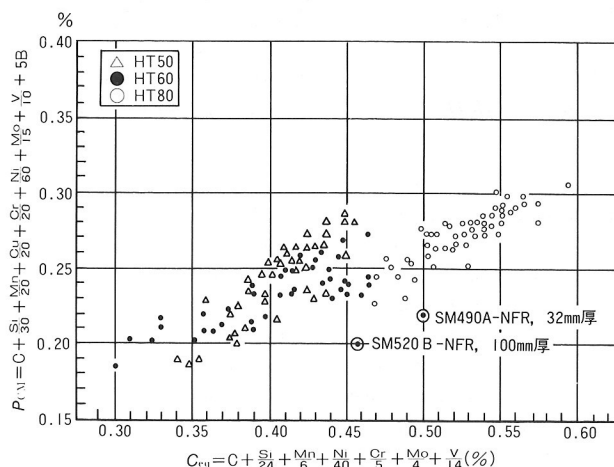


図-2 炭素当量 C_{eq} と溶接割れ感受性組成 P_{CM} との関係

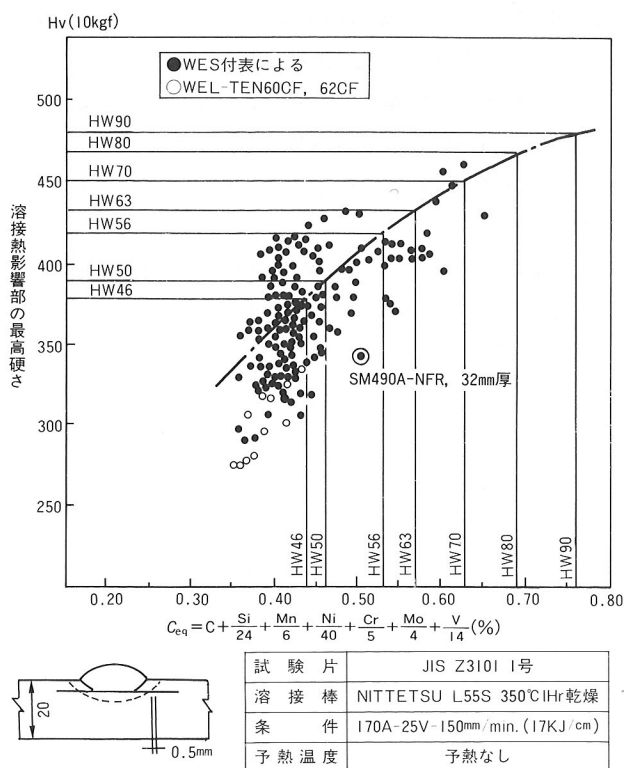


図-3 C_{eq} と溶接部最高硬さとの関係³⁾

3. FR鋼の適用事例⁴⁾

過去に、FR鋼が適用された物件事例 (当初予定された工事も含む) を表-1 に示す。適用の目的は、耐火被覆軽減、もしくは外部鉄骨構造による無被覆鉄骨となってい

る。板厚では、SM490Bで最大70 mm程度の適用であるが、このうちボックス構造部材への適用は最大厚50 mmどまりとなっている。文献4) にも紹介があるように本鋼材を使用することで

① 室内スペースの有効利用

② 耐火設計の自由度による斬新なデザイン

などの利点が注目され実際に検討が進められている。

表-1 FR鋼適用事例 (H. 2. 9月現在)

名 称	階 数	FR鋼鉄骨量 (t)	仕様	評定年月
新川ビル (新日鐵第2ビル)	地上15 (A棟) 地下2	計 3 000	被覆軽減	89年6月
八幡第2ビル	地上 8 地下 1	1 700	外部鉄骨 無被覆	89年9月
横浜そごう商品館	地上 6	2 200	被覆軽減	89年12月

4. 実製作への適用

FR鋼に関し、特徴、適用事例等を紹介してきたが、今回、FR鋼採用の実工事を施工することになったので報告する。本工事は、最も新しい鋼材 (SM520B-NFR) の適用となっており、その使用鋼材の最大厚は100 mmで、FR鋼の採用では過去に類を見ない構造および板厚となっている。以下に本工事の概要を紹介する。

工 事 名: PROCTER & GAMBLE FAR EAST, INC.

JAPAN HEADQUARTERS & TECHNICAL CENTER

建 築 主: 積水ハウス(株), アーバンライフ(株), 信泉不動産(株)

設 計 施 工: (株)竹中工務店

建 築 地: 神戸市東灘区向洋町中1丁目

階 数: 地下1階地上31階 塔屋2階

構 造 概 要: メガストラクチャによる吊構造

鉄 骨 重 量: 8 500 t (当社施工分 3 000 t)

FR鋼重量: 約4 500 t (新日本製鐵(株))

最大板厚: 100 mm (SM520B-NFR)

今回、本鋼材の採用にあたり、

① SM520B-NFRとしての母材性能 (特に極厚材に関する母材特性)

② 適用施工方法と溶接継手性能

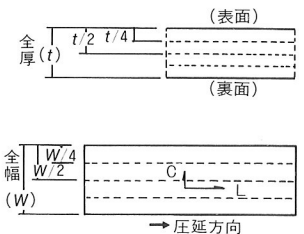
などの点で未確認の部分も多く、設計者、ミルメーカー、溶材メーカー、ファブ等を含めた検討会や試験が数多く行われた。当初、溶材等を含め技術的に開発段階にあるものも多く、従来の施工方法がそのまま適用可能かが問題であった。実際の製作時点では、最終仕様の供試材 (鋼材、溶材) による母材ならびに溶接性を含めた確認試験が行われた。以下に検討された結果等を述べる。

表-2 設計要求性能値 (FR鋼)

常 温 引 張				衝 撃	高温引張(600℃)	溶接部硬さ
Y_P (kg/mm ²)	T_s (kg/mm ²)	E_L (%)	Y_R (%)	$\sqrt{EO^\circ C}$ (kg·m)	降伏強度 (kg/mm ²)	
≥ 33	53/65	≥ 21	≤ 80	$Av. \geq 2.8$	≥ 23	≤ 350

表-3 試験項目

試 験 項 目	試 験 片									備 考	
	幅位置		厚さ位置				方 向				個 数
	W/4	W/2	表面	t/4	t/2	全厚	L	C	Z		
化 学 成 分 分 析	○	○	○	○	○	—	—	—	—	6	
常 温 引 張 試 験	○	—	○	○	○	○	○	○	—	8	
高 温 引 張 試 験	○	—	○	○	○	—	○	○	—	6	片面を1/2厚さに機械切削、圧延面を湾曲の内側に置く
厚さ方向引張試験	○	○	—	—	—	—	—	—	○	6	
曲 げ 試 験	○	○	—	—	—	—	○	○	—	4	
衝 撃 試 験	○	○	○	○	○	—	○	○	○	120	－40，－20,0,20,40℃
ビッカース硬さ試験	○	○	—	—	—	—	—	—	○	2	
サルファプリント試験	—	○	—	—	—	—	○	○	—	2	
マ ク ロ 試 験	—	○	—	—	—	—	○	○	—	2	
ミ ク ロ 試 験	○	○	—	○	○	—	○	—	—	4	鋼板を厚さ方向両面から切削し鋼板厚中心を試験片中心とする
音 響 伝 播 速 度	○	○	—	—	—	—	○	○	—	2	
斜めY形溶接割れ試験	○	—	(備考参照)				—	○	—	12	
溶 接 熱 影 響 部 最 高 硬 さ 試 験	○	—	○	—	—	—	—	○	—	3	



(1) 材料の設計要求値

本工事にFR鋼を適用するにあたり、JIS G 3106 (溶接構造用圧延鋼材)を満足し、設計要求値として表-2の仕様が適用された。

(2) 母材特性試験

試験は、SM520B-NFR ($t=100$ mm) とその比較として SM520B ($t=100$ mm) について行い、本材料が設計要求値を満足し、一般鋼と同等レベル以上の品質を有することを確認する目的で行われた。表-3に試験項目を、表-4に試験結果を示す。

a) 化学分析結果

化学分析の結果を表-5に示す。FR鋼は、今回制御圧延法が適用されており、C量は低く設定されたものの一般鋼よりも C_{eq} 値が高い値を示している。これは2章でも述べたように高温耐力を高めるためにMo等の合金元素が添加されていることによるものであるが、Cが0.1%以下にコントロールされているために図-3に示したように溶接性は良好であることがうかがえる。また、溶接割れ感受性の指標である P_{CM} 値が低くなるように成分設計されており、その結果一般鋼の P_{CM} が0.27%であるのに対し、FR鋼は0.19%と低く、溶接割れ感受性が優れていると推察される。また過去のSM520B-TMC ($t=60$ mm) のケース⁵⁾と比較しても (P_{CM} ; 0.20~0.23%)、特に P_{CM} 値は今回の方が低く予熱緩和等の溶接作業性の改善が期待でき

る。

b) 引張試験、高温引張試験結果

いずれの鋼種とも設計要求性能値を満足するものであった。特にFR鋼は、600℃での高温強度が要求されたが、L、C方向共に十分良好であった。またZ方向についてもL、C方向と遜色がなく、さらにラメラテア特性もWES規格のZ35を満足する良好な結果が得られた。

c) 曲げ試験結果

板厚の中心を曲げ表面となるように50 mmに減厚し試験を行ったが、非金属介在物や偏析による微少割れも見られず良好であった。

d) 衝撃試験結果

0℃における吸収エネルギーは、設計要求値を十分に満足するものであった。エネルギー遷移温度、破面遷移温度についても良好であり、FR鋼は一般鋼よりもバラツキが小さく、かつ低温側になっている。

e) 母材硬さ試験結果

FR鋼の測定結果例を図-4に示す。通常TMCP鋼は制御冷却のために表面近傍が中央より硬くなる傾向にあったが、FR鋼の場合板厚方向にほぼ均一な理想的分布を示す結果となった。

f) 音響異方性

過去の例⁵⁾ (SM520B-TMC; 板厚60 mm) では屈折角度差が1.1~1.8であり、これに対し今回はいずれの鋼種と

表-4 母材特性試験結果

試 験 項 目			SM520B-NFR(TMCP)	S M520 B	備 考
引 張 試 験	L 方 向	σ_v (kg/mm ²)	35～45	35～38	σ_v ：耐力 σ_u ：抗張力 Y_R ：降伏比 E_L ：伸び R_A ：絞り
		σ_u (kg/mm ²)	55～58	53～56	
		Y_R (%)	61～79	65～71	
		E_L (%)	20～27	28～38	
		R_A (%)	77～79	68～75	
	C 方 向	σ_v (kg/mm ²)	36～45	33～38	
		σ_u (kg/mm ²)	56～58	53～54	
		Y_R (%)	63～79	61～70	
		E_L (%)	18～30	29～38	
		R_A (%)	73～77	64～74	
	Z 方 向	σ_v (kg/mm ²)	38～43	34～36	
		σ_u (kg/mm ²)	54～57	53	
		Y_R (%)	70～75	61～68	
		E_L (%)	19～23	23～25	
		R_A (%)	72～76	64～66	
高 温 引 張 試 験	L 方 向	σ_v (kg/mm ²)	26～30	…	
		σ_u (kg/mm ²)	34～36	…	
		Y_R (%)	74～83	…	
		E_L (%)	23～35	…	
	C 方 向	σ_v (kg/mm ²)	27～30	…	
		σ_u (kg/mm ²)	33～37	…	
		Y_R (%)	77～91	…	
		E_L (%)	23～29	…	
曲げ試験	L 方向		GOOD	GOOD	
	C 方向		GOOD	GOOD	
衝 撃 試 験	L 方 向	vEO (kgm)	29.7～40.0	17.5～24.7	vEO ：吸収エネルギー C_rO ：脆性破面率 vT_E ：エネルギー遷移温度 vT_S ：破面遷移温度
		C_rO (%)	0～2	7～28	
		vT_E (℃)	< -40	< -40～-35	
		vT_S (℃)	< -40	-32～-13	
	C 方 向	vEO (kgm)	22.9～39.7	14.5～24.3	
		C_rO (%)	0～5	10～45	
		vT_E (℃)	< -40	< -40～-24	
		vT_S (℃)	< -40～-36	-31～-2	
	Z L 方 向	vEO (kgm)	31.0～32.7	14.0～14.6	
		C_rO (%)	2～7	40～50	
		vT_E (℃)	< -40～-31	-31	
		vT_S (℃)	< -40～-31	- 6～0	
母材：ビッカース硬さ (H _v)			160～194	149～177	
マクロ組織 ミクロ組織 サルファプリント			異常見られず	異常見られず	
音響異方性	屈折角 (60°)		0.5～1.0	0～0.5	
	音速比		1.01	1.00	
斜めY形溶接割れ試験			室温割れなし	>150℃割れなし	
熱影響部最高硬さ試験			25℃ で最高値296	25℃ で最高値382	

表-5 化学分析による炭素当量, 割れ感受性組成

鋼材	分析	炭素当量; C_{eq} (%)	割れ感受性組成; P_{CM} (%)
SM520-NFR (TMCP) $t=100$ mm	レードル	0.46	0.19
	チェック	0.44~0.46	0.18~0.19
SM520B $t=100$ mm	レードル	0.44	0.27
	チェック	0.43~0.44	0.26~0.28

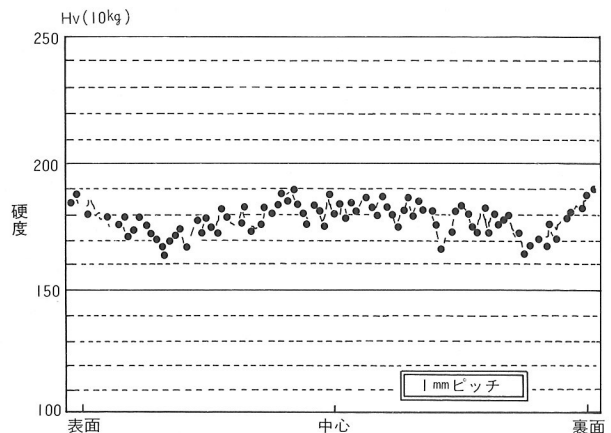


図-4 SM520B-NFR材の硬度分布例

も1.0以下となっている。このことから板厚を考慮しても良い傾向であることがわかる。

g) 斜めY形溶接割れ試験結果

試験結果を図-5に示す。低 P_{CM} 値のために室温でも割れを生じない結果となった。この結果を、これまでに得られている図-6に示すHT50と比較しても一般のTMCP鋼並みの優れた耐割れ性を有していることが理解できる。試験材は、100 mmから板中心への減厚で25 mmを採用したが、実施工時(板厚, 入熱量)の状況を考え、予熱温度についてミルメーカーから出されているCEN炭素当量により推定してみると以下ようになる⁶⁾。

CEN値に基づく予熱温度設定の手順を図-7に示す。

供試材(SM520B-NFR; 板厚100 mm)の化学成分から図-7に示す手順によって求まるCEN値は、実施工時の CO_2 半自動溶接による拡散性水素量(1~2 cc/100 g W・M)や入熱量(約20 kJ/cm)から補正すると0.2%程度

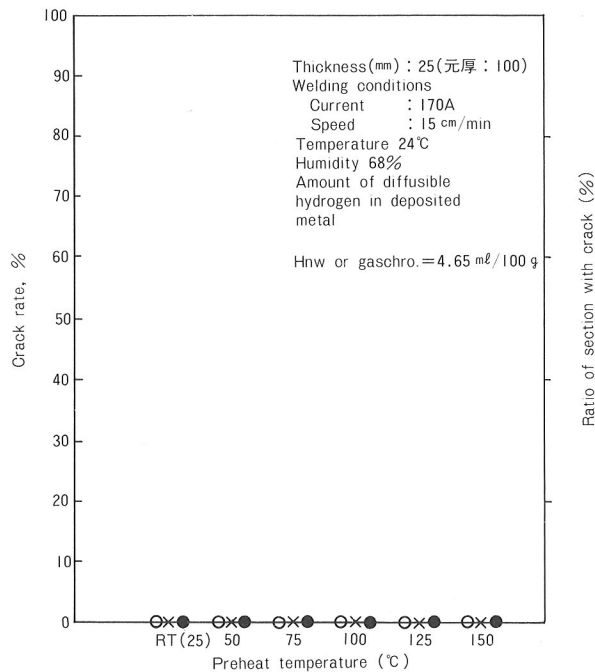


図-5 斜めY形溶接割れ試験結果 (SM520B-NFR)

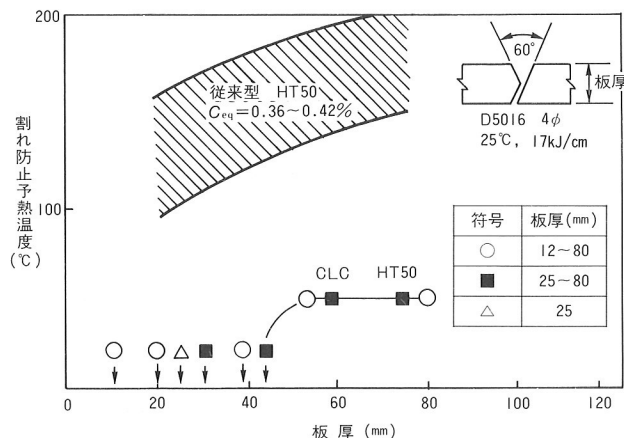
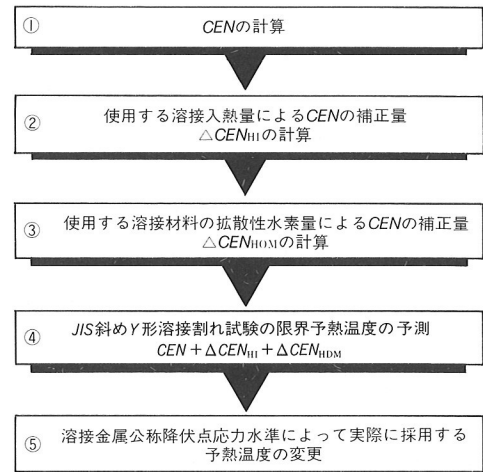


図-6 CLCと従来型HT50の溶接割れ感受性比較⁶⁾



$$CEN = C + A(C) \left(\frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr+Mo+Nb+V}{5} + 5B \right)$$

ただし、 $A(C) = 0.75 + 0.25 \tanh \{20(C - 0.12)\}$

図-7 CEN炭素当量における予熱温度の設定手順

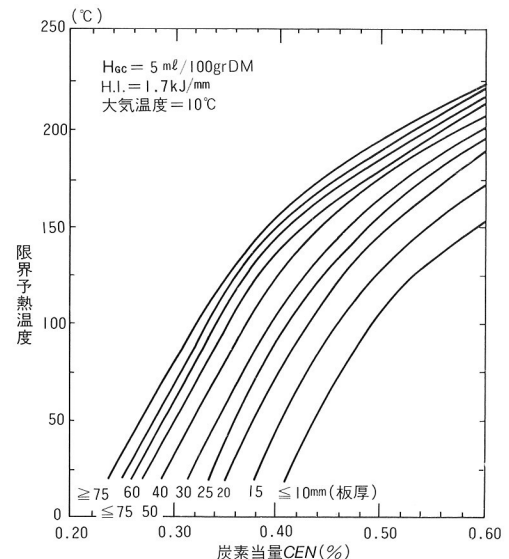


図-8 斜めY形溶接割れ限界予熱温度とCEN炭素当量⁶⁾

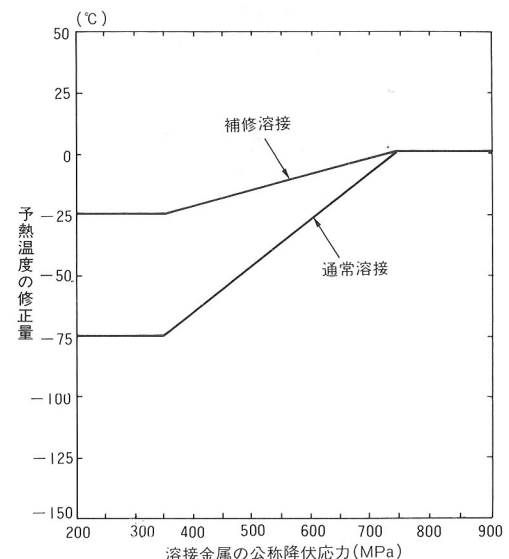


図-9 溶接金属降伏応力による予熱温度の補正⁶⁾

となる。これに溶接金属の公称降伏応力（約400 MPa）を考え合わせると、図-8, 9より予熱は不要という結果となる。ただし、実施工時には、製作時期の環境温度や湿度、実際の鋼材における化学成分の分布によっては予熱を考慮するものとした。

h) 熱影響部の最高硬さ試験結果

予熱温度を3ケース温度変化させた結果、一般鋼と同程度か、むしろ高めの C_{eq} 値にもかかわらずFR鋼は、表-6に示すようにいずれの温度でも300以下の値であり良好な結果が得られた。

以上、母材特性試験の結果を述べたが、各試験結果からFR鋼は耐熱性を目的とした特性を有し、かつ一般的な諸性質についても一般鋼と同等以上の性能を有していることが確認できた。

表-6 熱影響部の最高硬さ試験

材 質	予 熱 温 度		
	25℃	50℃	100℃
SM520B-NFR	*296	287	272
SM520B	*382	361	356

* ; 最高硬さ

(3) 溶接性確認試験

溶接性確認試験として、実施工時の継手形状の中から角継手、ダイヤフラム継手を想定した試験を行った。適用板厚は、本工事適用最大厚100 mm, 80 mmを採用し、母材特性試験と同様、FR鋼と一般鋼の比較を行った。試験内容、溶接材料、溶接条件を表-7～9に、試験体形状を図-10に示す。

a) 角溶接継手

角溶接継手に関しては、板厚が厚いことから、やや狭開先（20°）的なものを採用したが、施工性（エクステンション保持）を考えルートギャップは10 mm設けた。また今回の開先形状によって、下盛りGMAW（ガスシールドアーク溶接）後の多層盛りSAW（サブマージアーク溶接；入熱制限、200kJ/cm前後）は、占有断面積低減によるパス数低減につながるものとなった。

b) 十字形継手

十字形継手では、ダイヤフラムESW（エレクトロスラグ溶接）部に相当する板厚が80 mmと、過去に類を見ない板厚であるため、従来の非消耗ノズル方式（SESNET）では充分な溶け込みが得られないために施工が不可能とされた。そこで事前に検討された消耗ノズル式（CES）の2電極溶接法が採用されることとなった。試験体は溶接長が1 000 mmと長く、2電極施工と消耗式ノズルの使用ということで、スタート部のアーク不安定がつきものであったが、水冷銅タブの形状、フラックス投入量と投入

タイミングや溶接条件を調整することで安定した施工が行われた。

c) 予熱

斜めY形溶接割れ試験では、FR鋼は室温でも割れを生じない結果が得られ、前章の実施工を想定した予熱についても不要と推定されたが、今回の試験に際しては、

- ① 耐熱性に起因する溶接時（CO₂溶接）の融合不良
- ② CES溶接による溶け込み幅の確保
- ③ 試験時期が冬期であること

などから一般鋼と同様に予熱を行うこととした。

d) 機械試験結果

機械試験結果を表-10, 11に示す。角溶接試験体では、いずれの検討項目についても十分に規格値を満足する結果が得られた。特にFR鋼の衝撃値は良好であった。これに対し十字形突合せ継手試験体では、衝撃値で低めになったものの、他については従来鋼よりも良好であり設計要求値は満足した。衝撃値が低くなったのは、今回ダイヤフラムの板厚が80 mmと非常に厚いため、溶接入熱量が1 400 kJ/cmと極端に大きくなったことによるものであり、今後、溶接後の冷却速度がより速くなるような検討が求められよう。他の試験項目については、母材の規格値を十分に満足した。図-11に硬度測定結果例を示すが、設計要求値350以下を十分に満足した。

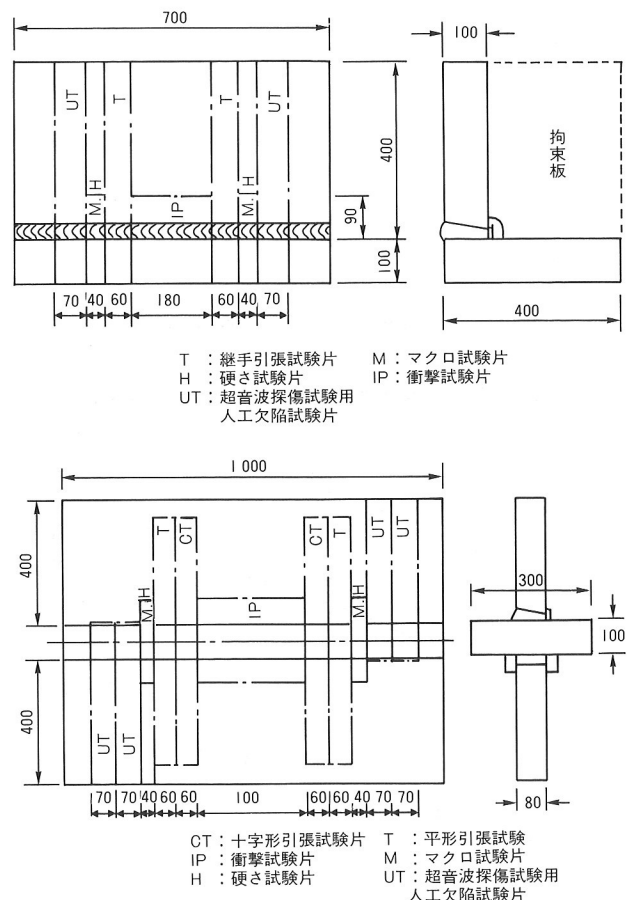


図-10 試験体形状（角、十字形継手）

表-7 試験内容

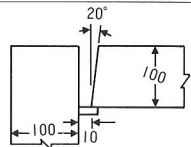
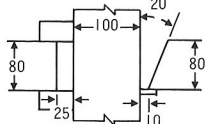
試験項目	溶接方法	供試鋼材	溶接姿勢	試験の種類	開先形状
角溶接継手試験	ガスシールド アーク溶接 + サブマージア ーク溶接	SM520B-NFR ($t=100$ mm) SM520B ($t=100$ mm)	下 向	外観検査 継手引張試験 衝撃試験 マクロ試験 硬度試験 超音波探傷試験	
十字形突合せ 溶接継手試験	エレクトロス ラグ溶接 + ガスシールド アーク溶接	SM520B-NFR ($t=100*80$ mm) SM520B ($t=100*80$ mm)	立 向 (ESW) + 下 向	外観検査 十字形引張試験 平形引張試験 衝撃試験 マクロ試験 硬度試験 超音波探傷試験	

表-8 溶接材料

継手内容		使用鋼材	溶接用材料			規 格
			ワイヤ(径)	フラックス	ノズル(径)	
角溶接継手	GMAW	SM520B-NFR ($t=100$ mm)	YM-50FR (1.4 mm)	—	—	JIS Z 3312 Y GW 14
	SAW		Y-DLFR (6.4 mm)	NB-52FRM (12*100)	—	JIS Z 3183 S502-H該当
角溶接継手	GMAW	SM520B ($t=100$ mm)	YM-26 (1.4 mm)	—	—	JIS Z 3312 Y GW 11
	SAW		Y-D (6.4 mm)	NSH-52 (12*100)	—	JIS Z 3183 S502-H該当
十字形継手	ESW	SM520B-NFR ($t=100*80$ mm)	Y-CMFR (2.4 mm)	YF-15 (20*D)	SES-15F (12 mm)	JIS Z 3351 YS-M4該当
	GMAW		YM-50FR (1.4 mm)	—	—	JIS Z 3312 Y GW 14
十字形継手	ESW	SM520B ($t=100*80$ mm)	Y-CM (2.4 mm)	YF-15 (20*D)	SES-15F (12 mm)	JIS Z 3351 YS-M4該当
	GMAW		YM-26 (1.4 mm)	—	—	JIS Z 3312 Y GW 11

GMAW: ガスシールドアーク溶接
 SAW: サブマージアーク溶接
 ESW: エレクトロスラグ溶接

表-9 溶接条件表

継手内容		使用鋼材	溶 接 条 件			
			電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(kJ/cm)
角溶接継手	GMAW	SM520B-NFR ($t=100$ mm)	340~360	39~42	22~42	21.1~39.1
	SAW		L: 1300 T: 1000	L: 36~40 T: 38~44	25~40	144.0~214.6
角溶接継手	GMAW	SM520B ($t=100$ mm)	410~420	40	21~37	26.6~45.8
	SAW		L: 1300 T: 1000	L: 36~40 T: 38~44	22~40	127.2~241.1
十字形継手	ESW	SM520B-NFR ($t=100*80$ mm)	A370~400 B380~420	A 40~42 B 40~43	1.5	1394.0
	GMAW		320~350	36~38	24~38	21.0~28.8
十字形継手	ESW	SM520B ($t=100*80$ mm)	A370~400 B370~410	A 40~43 B 40~43	1.5	1393.0
	GMAW		330~370	38~41	21~35	22.1~42.4

GMAW: ガスシールドアーク溶接, SAW: サブマージアーク溶接
 ESW: エレクトロスラグ溶接
 L, T: 先行, 後行を示す, A, B: 2電極を示す

注) ガスシールドアーク溶接については, 予熱100℃, 層間温度150℃以下とした。
 エレクトロスラグ溶接は, スタート部局部予熱(150℃)を行った。

表-10 機械試験結果(角溶接試験体: GMAW+SAW)

試験項目			使用材料	S M520 B-N F R (<i>t</i> = 100mm)	S M520 B (<i>t</i> = 100mm)
継手引張試験		σ_u (kg/mm ²) 破断位置		63.0～65.0 母材部	57.0～60.0 母材部
衝撃試験 (0℃)	初層側	DE P O	各 3 個 の平均 (kg・m)	15.4	6.6
		B O N D		29.7	16.5
		H A Z		24.5	26.5
	最終層側	DE P O	各 3 個 の平均 (kg・m)	13.6	10.5
		B O N D		15.3	5.1
		H A Z		7.2	4.9
マクロ試験			良好	良好	
硬度試験		(H _v)	256 (CO ₂ -BOND)	275 (CO ₂ -BOND)	

表-11 機械試験結果
(十字形突合せ継手試験体: ESW+GMAW)

試験項目			使用材料	S M520 B - N F R (<i>t</i> = 100 × 80mm)	S M520 B (<i>t</i> = 100 × 80mm)
十字引張試験		σ_u (kg/mm ²) 破断位置		62.5～63.0 母材：E S W部	54.0～58.9 母材：E S W部
平形引張試験		σ_u (kg/mm ²) 破断位置		60.3～62.0 母材：E S W部	56.1～57.2 母材：挟 み 板
衝撃試験 (0℃)	E S W側	DE P O	各 3 個 の平均 (kg・m)	4.9	2.9
		B O N D		3.2	2.2
		H A Z		3.9	1.7
	G M A W側	DE P O	各 3 個 の平均 (kg・m)	19.3	4.6
		B O N D		29.6	11.3
		H A Z		29.8	25.8
マクロ試験			良好	良好	
硬度試験		(H _v)	(246 (CO ₂ -BOND))	265 (CO ₂ -BOND)	

(4) ガス切断性能試験

FR鋼は、高温強度を向上させる元素が添加されているため、切断面の品質確保が難しいとされている²⁾。このことから、事前に切断性のチェックも行われた。使われた材料はSM520B-NFR (板厚100 mm) である。試験条件を

表-12 切断条件

条件	切断機	火口	切断酸素	予熱酸素	ガス	切断速度 (mm/min)				
			圧力 (kg/cm ²)			160	180	200	230	250
①	フレーム プレーナー	106-O7 #5	6	5	0.7	1-160	1-180	1-200	1-230	—
②			7	4	0.5	—	2-180	2-200	2-230	2-250
③	2 トーチ		6	5	0.7	—	3-180	3-200	3-230	3-250
④	ポータブル (ウィーゼル)	106-D7 #5	7	—	0.5	—	—	4-1,2	—	—
⑤			6	—	0.7	—	—	5-1,2	—	—

ガス種類: プロピレンガス,
火口高さ: 5 ~ 8 mm

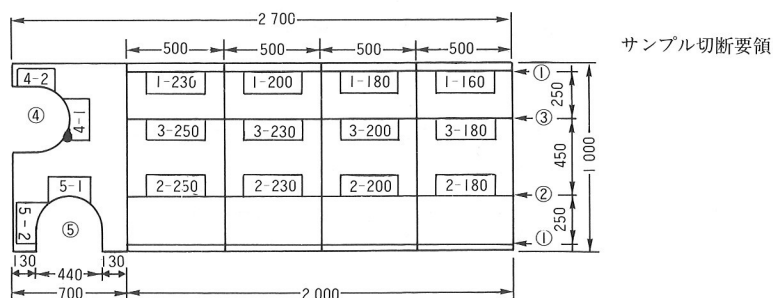


図-11 硬度試験結果例 (ESW; FR鋼)

表-12に示す。切断および予熱酸素圧、ガス圧、切断速度をそれぞれ変えて試験を行った結果を表-13に示す。この結果、最も切断面の品質の良い条件は、

- ① 直線部 { 切断酸素圧; 6.0 kg/cm²
予熱酸素圧; 5.0 kg/cm²
プロパン圧; 0.7 kg/cm² } * 切断速度 180 mm/min
- ② R 部 { 切断酸素圧; 6.0 kg/cm²
プロパン圧; 0.7 kg/cm² } * 切断速度 200 mm/min

であった。切断面の要求品質として

- ① 直線部; 限界粗度 WES 2 級 (100S)

R 部; 限界粗度 WES 1.5 級 (75S)

が要求されている。そのため今回の結果から要求品質に応じた自社切断が可能であるかを実験し、表-14に示す切断条件を設定した。

表-13 切断後品質結果

サンプルNo.	切断速度 (mm/min)	粗度 (R_a , μm)			立会時の 等級判定 WES粗度	粗 度	平坦度	上縁の 溶 け	スラグ の付着
		上部	中央	下部					
1-160	160	28	60	64	1.5	△	○	○	○
1-180	180	34	55	48	1.25	◎	○	○	○
1-200	200	30	52	69	2.5	△	○	○	○
1-230	230	30	56	45	2.5	○	○	○	○
2-180	180	82	80	83	3.0	△	○	○	○
2-200	200	40	55	71	2.2	△	○	○	○
2-230	230	32	48	58	2.0	△	○	○	○
2-250	250	29	60	77	1.8	△	○	○	○
3-180	180	10	35	*	*	*	*	○	*
3-200	200	14	41	*	*	*	*	○	*
3-230	230	23	35	*	*	*	*	○	*
3-250	250	22	32	*	*	*	*	○	*
4-1	200	43	46	49	1.25	○	○	○	○
4-2	200	43	53	60	—	△	○	○	○
5-1	200	33	54	61	1.0	◎	○	○	○
5-2	200	56	65	55	—	○	○	○	○

*：板厚上部2/3厚領域は良好な切断面なれど，下部1/3は先行トーチのスクラップ障害により後行トーチ炎の乱れが発生し正常な切断状況とならなかったため評価の対象外とする。

評価の方法：ガス切断面標準片との目視比較による

評価の基準：1) 粗度

○：WES 1 級を満足

△：WES 2 級を満足

◎：フレームプレーナおよび手切断時の最良品質

2) 平坦度 ○：WES 1 級を満足

3) 上縁の溶け ○：WES 1 級を満足

表-14 FR鋼切断標準条件

板 厚 (mm)	火 口 (#)	酸素圧 (kg/cm ²)	プロパン圧 (kg/cm ²)	切断速度 (mm/min)
90	5	4.5-5.0	0.7	150-180
80	5	4.0-4.5	0.7	150-180
70	5	4.0-4.5	0.7	160-190
60	3	3.5-4.0	0.7	180-200
50	3	3.0-3.5	0.7	180-200
40	3	3.0-3.5	0.7	200-230
30	3	2.5-3.0	0.7	200-230
25	3	2.5-3.0	0.7	250-280

※火口はダイバーセントの7気圧用で統一

5. まとめ

各種の検討、実験によりFR鋼の諸性質について一般鋼との比較や施工面における認識を深めることができた。

また、今回は同時に極厚材における施工方法も検討でき、より内容の濃いものであったと考えられる。FR鋼が、耐熱性を有していることによる溶接施工への影響として、予熱温度の考え方やCO₂半自動溶接の連続性などについては、今後さらに検討を重ねたうえで標準化を図っていきたい。また、薄板ダイヤフラム向けとして専用溶材による非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接 (SESNET法) や自動機 (写真-1) によるCO₂溶接など、適用拡大に向けてソフト面の検討を進めている状況にある。

最後に、各実験から本報告書作成にあたり多大なる御協力を頂いた新日本製鐵㈱、日鐵溶接工業㈱、㈱関西鉄鋼センターの関係各位に本紙面を借りて感謝の意を表し

ます。

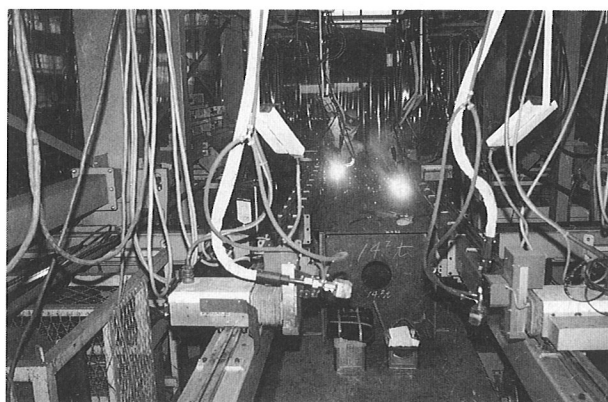


写真-1 ロボットによる施工（角継手下盛りCO₂溶接）

参考文献

- 1) 鉄骨無被覆使用への道開く，日経アーキテクチャ，1988年9月，p.267～.
- 2) 建築構造用耐火鋼材 (FR鋼)，鉄構技術，1989年7月，p.60～.
- 3) FR鋼技術資料，新日本製鐵㈱より提供.
- 4) FR鋼建物実績資料，新日本製鐵㈱より提供.
- 5) 早川ほか：クリスタルタワーに用いたTMCP鋼の確認試験について，川田技報，Vol. 9，1990.
- 6) 高張力鋼の溶接について，新日本製鐵㈱カタログ.
- 7) 丸岡ほか：PROCTER&GAMBLE FAR EAST, INC. JAPAN HEADQUATERS and TECHNICAL CENTERに用いる，SM520B-NFR鋼の開発および性能確認試験，鉄構技術，1991年9月，p.15～.