

## 溶接施工合理化を支える建築構造用厚板製品の開発

## Development of Steel Plate Products for High Efficient Welding in Building Structures

一 戸 康 生\*  
Yasuo ICHINOHE鈴 木 孝 彦  
Takahiko SUZUKI竹 内 一 郎  
Ichiro TAKEUCHI二階堂 真人  
Masato NIKAI DOH有 田 政 樹  
Masaki ARITA渡 部 義 之  
Yoshiyuki WATANABE

## 抄 録

大型化、厚肉化する鉄骨部材のコスト競争力を高めるため、鋼材の高強度化とともに、溶接施工の合理化が鋼構造分野の重要課題となっている。溶接施工の高効率化と溶接部の高靱性化という2つのニーズに応えるため、HTUFF® 技術を駆使して開発された590N/mm<sup>2</sup>級予熱低減型TMCP鋼板と490N/mm<sup>2</sup>級及び550N/mm<sup>2</sup>級TMCP型冷間プレス成形角形鋼管の2つを取り上げて解説するとともに、今後の展望について記した。

## Abstract

For safety against earthquake and for high efficient welding in high-rise building constructions, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation has developed various high performance steel based on the new technology for HAZ microstructure refinement, HTUFF™. This paper presents the performance of two types of HTUFF plates, one is 590N/mm<sup>2</sup> class steel for welded box columns and the other is 550N/mm<sup>2</sup> class steel for cold forming square tubed columns.

## 1. はじめに

鋼構造建築物の高層化、大型化や設計上想定する外力の増大により、主要構造である柱や梁の部材断面が大型化、厚肉化している。これら鉄骨部材のコスト競争力を高めるため、鋼材の高強度化とともに、溶接施工の合理化が鋼構造分野の重要課題となっている<sup>1,2)</sup>。溶接施工合理化に関するニーズとしては、溶接時の予熱及び後熱の低減、省略や大入熱溶接の採用による溶接効率向上が挙げられる。また、近年、超高層建築案件や重要施設案件においても、従来の溶接組立箱形断面柱（以下、四面ボックス）の代わりに高能率なロボット溶接の適用が可能な冷間プレス成形角形鋼管の適用が増加している。

一般に溶接施工の合理化は、溶接部の品質とトレードオフの関係にある。例えば、大入熱溶接を用いて施工効率を追求すると、従来の鋼材ではHAZ（Heat Affected Zone：溶接熱影響部）の組織が粗大化して、鉄骨部材の構造性能に直結するHAZ靱性の低下を招来する。一方、1995年の兵庫県南部地震を受けて実施された一連の研究により、鉄骨部材の脆性破断を防止するために必要な溶接部の性能

が次第に明確化しつつあり<sup>3,4)</sup>、構造設計者が建築物の耐震性能確保の観点から、主要構造の溶接部に対してHAZ靱性の要求値を指定する案件が増えてきた。

このような溶接施工の高効率化と溶接部の高靱性化という2つのニーズに同時に答えるため、新日鐵住金(株)ではHAZ高靱化技術HTUFF®（High HAZ Toughness Technology with Fine Microstructure Imparted by Fine Particles：エイチタフ）を開発した<sup>5)</sup>。HTUFFは、熱的に安定な酸化物や硫化物等の微細粒子を鋼中に分散させ、そのピン止め効果を活用してHAZ組織を微細化するHAZ高靱化技術の総称である<sup>6)</sup>。

本稿では、近年の開発動向の一例として鋼構造柱部材の溶接施工合理化に焦点を当て、HTUFF技術を駆使して開発された590N/mm<sup>2</sup>級予熱低減型TMCP（Thermo-mechanical control process：加工熱処理制御法）鋼板と490N/mm<sup>2</sup>級及び550N/mm<sup>2</sup>級TMCP型冷間プレス成形角形鋼管の2つを取り上げて解説するとともに今後の展望について記す。

\* 建材事業部 建材開発技術部 部長 博士(工学) 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

## 2. 590N/mm<sup>2</sup>級予熱低減型TMCP鋼板

### 2.1 開発の背景

建築構造用高性能 590N/mm<sup>2</sup> 鋼材 (SA440) は、低降伏比 (80%以下) を保証した高強度鋼として、(一社)日本鉄鋼連盟 (当時、(社)鋼材倶楽部) にて 1996 年に規格化された。その後、超高層建築物の四面ボックスに適用されていく中、兵庫県南部地震での溶接部の脆性的破断の被害を受けて、溶接部の靱性確保が指摘され始めた。四面ボックス製作に用いられる内ダイアフラムエレクトロスラグ溶接 (Electro Slag Welding:以下, ESW) や角継手サブマージーク溶接 (Submerged Arc Welding:以下, SAW) では、その溶接入熱量の大きさから溶接部、特に HAZ 部の靱性確保が困難である。そこで、溶接施工効率を損なわずに HAZ の靱性向上を図るため、HTUFF を適用した 590N/mm<sup>2</sup> 級高 HAZ 靱性鋼 (BT-HT440C-HF) を開発した<sup>9)</sup>。

一方で、鋼材の高強度化に伴う溶接性の低下は否めず、SA440 では割れ防止のための予熱 (板厚 75mm 超で 100℃以上) を必要としていた。近年、接合箇所を減らしてコスト低減を図ろうとする梁端現場溶接形式、いわゆるノンブラケット形式が超高層建築で定着し、590N/mm<sup>2</sup> 級四面ボックス柱における現場溶接箇所が急増することとなった。現場での予熱は作業負荷が高いため、予熱フリーのニーズは高い。これに対しては P<sub>CM</sub> (溶接割れ感受性塑性) 0.22% 以下を目標に、鋼成分の最適化と鋼板製造技術を駆使した高溶接性 590N/mm<sup>2</sup> 鋼材を開発し<sup>7)</sup>、板厚 100mm まで予熱フリーの SA440 として、国土交通大臣の材料認定 (BT-HT440-SP: 建築構造用高溶接性高性能 590N/mm<sup>2</sup> 鋼材) を取得した。その後、最新の TMCP 設備 CLC-μ<sup>6)</sup> を適用することで、短工期化も実現している。

表1 開発鋼 (SP-HF) と従来鋼 (SP 鋼) の化学成分  
Chemical compositions

Steel	Thickness (mm)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	P <sub>CM</sub> (%)
SP-HF Developed steel	40	0.09	0.08	1.56	0.009	0.002	0.18
	60						
SP Conventional steel	40	0.08	0.27	1.56	0.009	0.002	0.18
	60						

表2 開発鋼 (SP-HF) と従来鋼 (SP 鋼) の機械的特性  
Mechanical properties

Steel	Thickness (mm)	YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	YR (%)	EL* (%)	vE <sub>0</sub> (J)
SP-HF Developed steel	40	495	668	74	47 (No.5)	287
	60	497	643	77	26 (No.4)	272
SP Conventional steel	40	517	684	76	50 (No.5)	336
	60	468	635	74	27 (No.4)	347
SA440 Specification	19 ≤ ≤ 100	440 ≤ ≤ 540	590 ≤ ≤ 740	≤ 80	26 ≤ (No.5) 20 ≤ (No.4)	47 ≤

\* Test piece for tensile test: JIS Z 2241

こうした溶接部品質と溶接性に対するニーズに個別に応じてきたが、更なる溶接部の品質向上と溶接作業の施工合理化を目指すべく、BT-HT440-SP (以下, SP 鋼) をベースに大入熱溶接部の HAZ 靱性向上に取り組んだ。

### 2.2 製品の概要

低 C, 低 P<sub>CM</sub> で予熱フリーとした SP 鋼では、高強度化に不可欠な合金添加に伴う脆化組織 (MA: 島状マルテンサイト) の増加により、HAZ 靱性確保が困難な状況にあった。そこで、HTUFF の適用に加え、MA の徹底した低減を目指した鋼成分の最適化を図ることを目指した。以下では、開発した高 HAZ 靱性鋼 (SP-HF 鋼) を、従来鋼 (SP 鋼) と対比しながら、その特徴を示す。

表1と表2に、開発鋼 SP-HF と従来鋼 SP の化学成分と機械的特性を示す。板厚はいずれも 40mm と 60mm で、P<sub>CM</sub> は開発鋼と従来鋼とで変わらない。降伏耐力 (YS)、引張強さ (TS)、降伏比 (YR) は、いずれも SA440 の鋼材規格を満足しており、伸び (EL)、母材のシャルピー値 (vE<sub>0</sub>) も従来鋼と同等である。

溶接性を確認するために、JIS Z 3158 に準拠して、y 形溶接割れ試験を実施した。その試験条件と試験結果を表3に示す。雰囲気温度 0℃ の状況で予熱なし (繰返し数 2) でも割れは確認されず、良好な溶接性を有することが確認できた。

### 2.3 大入熱溶接部の性能

開発目標とした大入熱溶接部の HAZ 靱性の改善効果を確認するために、ファブリケータ 2 社の協力を得て、実手での溶接部性能確認試験を実施した。

表3 開発鋼 (SP-HF 60mm) の y 形溶接割れ試験結果  
Results of y-groove cracking test (SP-HF 60mm)

Test condition			Test results Cracking ratio (%)		
Welding consumable	Welding condition	Preheating temperature	Surface	Section	Root
JIS Z 3312 G59JA1UC3MIT 1.2mmφ	100%CO <sub>2</sub> 17kJ/cm	0℃	0%	0%	0%
		0℃	0%	0%	0%
		20℃	0%	0%	0%

表4 開発鋼 (SP-HF) と従来鋼 (SP 鋼) の溶接継手試験体一覧  
List of welded joints test specimens

Welded joint No.	Welding process	Column skin-plate	Inner-diaphragm	Welding consumables	Actual heat input
F-E46	-A	BT-HT440C-SP-HF	BT-HT385B	JIS Z 3353 YES602-S/FES-Z	-A 792kJ/cm
	-B	40mm	60mm		-B 979kJ/cm
P-E46	-A	BT-HT440C-SP	BT-HT385B		-A 833kJ/cm
	-B	40mm	60mm		-B 1031kJ/cm
F-E64	-A	BT-HT440C-SP-HF	BT-HT385B	JIS Z 3183 S621-H1	-A 582kJ/cm
	-B	60mm	40mm		-B 655kJ/cm
P-E64	-A	BT-HT440C-SP	BT-HT385B		-A 571kJ/cm
	-B	60mm	40mm		-B 676kJ/cm
F-S6	-A	BT-HT440C-SP-HF	-	JIS Z 3183 S621-H1	-A 342kJ/cm 331kJ/cm
F-S6	-B	BT-HT440C-SP-HF	-	JIS Z 3183 S622-H4	-B 489kJ/cm

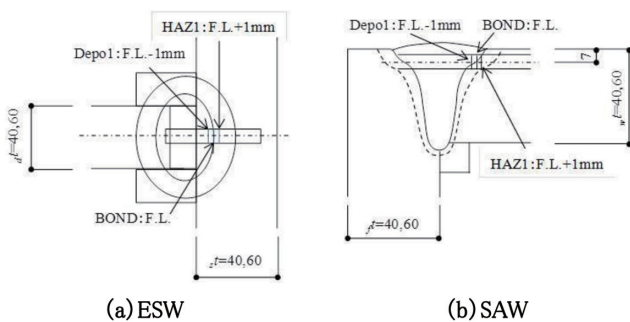
図1 シャルピー衝撃試験片の採取位置とノッチ位置  
Specimen and V-notch positions of Charpy impact test

表4に製作した試験体一覧を示す。対象はESWとSAWで、ESWではT継手溶接を2線同時に行うH形状の試験体（溶接線長さ1000mm）とした。SAWも角継手2線同時施工のボックス（ファブリケータA社）、またはコ形試験体（ファブリケータB社）とした。ESW試験体では、開発鋼と従来鋼とで同じ条件とし、そのパラメータは柱スキンプレートと内ダイアフラムの板厚の組合せである。薄スキンプレート-厚ダイアフラム（40mm-60mm）と厚スキンプレート-薄ダイアフラム（60mm-40mm）の2種類の組合せで、溶接材料は共通としている。SAW試験体は開発鋼のみを対象とし、そのパラメータは積層方法とした。1パス溶接と2パス溶接の2種類の積層方法で、溶接材料は各々、積層方法に適したワイヤとフラックスの組合せとしている。

以上の試験体から、ESWとSAWの各々に対して図1に示す位置からシャルピー試験片を採取し、衝撃試験を行った。昨今の研究<sup>4)</sup>にしたがい、ノッチは溶接融合部（F.L.）を基準に鋼材側、溶接金属側に1mmずらした位置で計3か所（F.L.-1mm, F.L., F.L.+1mm）に設定した。いずれも各ノッチ位置で6個の試験を行っている。

ESWとSAWの試験結果を各々、図2と図3に示す。各ノッチ位置に対する個々値をプロットで、平均値を折れ線で示す。また同図には、韌性の目標値として27J, 47J,

70Jのラインを付け加えている。

図2のESW試験結果から、破線で示した従来鋼に対して、実線で示した開発鋼は融合部及びHAZ部で韌性が大きく改善していることがわかる。融合部では結果がばらつき、入熱のより高いE46-B試験体では開発鋼においても低値が見られた。破面観察の結果から、不可避な非金属介在物を起点に脆性き裂が発生したことを確認しているが、安定した性能を得るには入熱を抑えることが重要と考える。また、図3のSAW試験結果においても、HAZ部ではばらつきは見られるものの、高位で溶接部韌性が確保されていることが確認された。

写真1にESW融合部近傍での組織観察結果を示す。写真中の白い部分がMAである。従来鋼では多数存在する一方で、開発鋼ではほとんど見られない。このMAの出現率の差が、融合部及びHAZ部での韌性の違いとなって現れたと言える。

以上の結果から、強度、降伏比、溶接性、溶接部韌性、さらには工期に対する全てのニーズに応えられる590N/mm<sup>2</sup>鋼材を開発できたと考える。

### 3. 490N/mm<sup>2</sup>級及び550N/mm<sup>2</sup>級TMCP型冷間プレス成形角形鋼管

#### 3.1 開発の背景

冷間プレス成形角形鋼管はロボット溶接に適しているため鉄骨生産性が高く、多くの建築構造物の柱に適用されている。

一般的な冷間プレス成形角形鋼管BCP325を柱に用いる場合、角部が冷間加工されていることと、通しダイアフラム形式とした場合の柱とダイアフラム溶接部への応力を抑制するため、例えば部分崩壊における柱の全塑性耐力低減といった設計付加事項による安全率が課されている。しかし、高性能な冷間プレス成形角形鋼管として2002年に日本鉄鋼連盟により製品規定化されたBCP325Tは、BCP325Tとダイアフラムの溶接部において母材側に溶接ビード



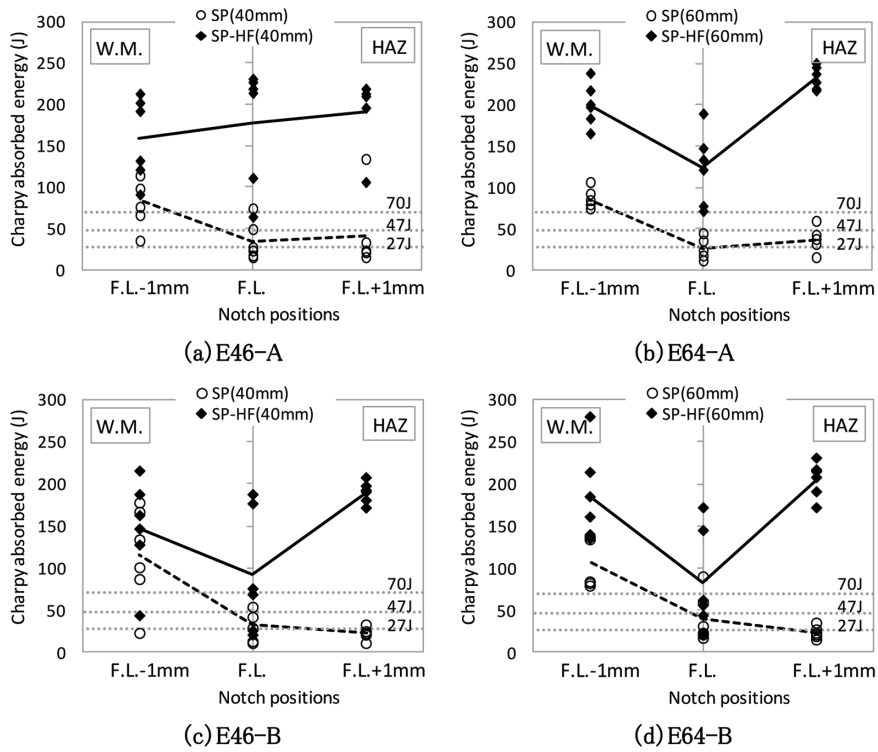


図2 ESW 試験体衝撃試験結果  
Results of ESW Charpy impact test

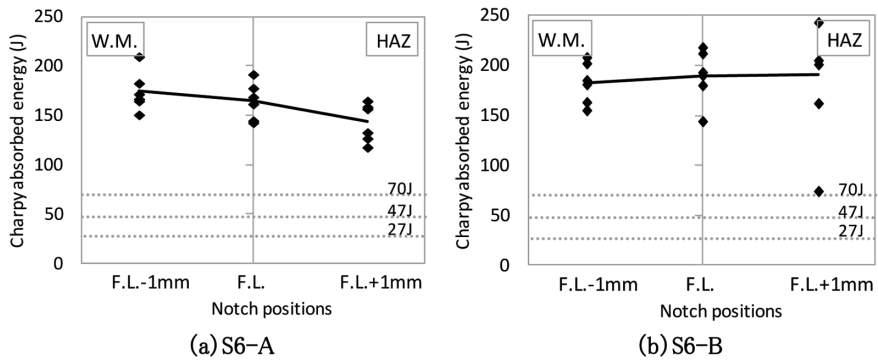


図3 SAW 試験体衝撃試験結果  
Results of SAW Charpy impact test

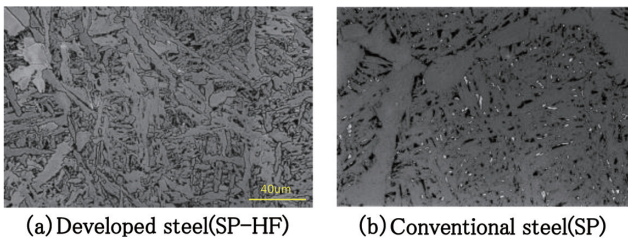


写真1 ESW 溶融部近傍の組織観察結果  
HAZ microstructure of ESW fusion zone

をオーバーラップさせ、さらにその上に再熱ビードを設けることで溶接品質を確保した場合、設計付加事項を解除可能であり、設計上の取り扱いを四面ボックスと同条件とできる。このため、BCP325Tは、主に四面ボックスが使われていた超高層建築物等の重要建築物の柱材への採用が増加している<sup>8)</sup>。

ここで紹介する TMCP 型建築構造用高性能冷間プレス成形角形鋼管“BCHT325BTF,CTF”, “BCHT385BTF,CTF”は、母材に HTUFF を適用した TMCP 鋼板を用いており、靱性と溶接性能を飛躍的に向上させている。これにより、BCP325 と同様の溶接積層方法を用いても柱の設計上の取り扱いを BCP325T と同条件とできる冷間プレス成形角形鋼管であり、国土交通大臣認定と、設計法・施工要領に関して(一財)日本建築センターの評定を取得した。なお、BCHT325BTF,CTF, BCHT385BTF,CTF の規格名称末尾の“TF”は靱性 (Toughness)、と溶接性の指標であるマグ溶接熱影響部靱性指標 ( $f_{HAZ}$ ) を最高レベルに設定したことを表して付与した符号である<sup>9)</sup>。

### 3.2 製品の概要

BCHT325BTF,CTF ならびに BCHT385BTF,CTF は、表5

～表8に示すように、基準強度が325N/mm<sup>2</sup>及び385N/mm<sup>2</sup>の2水準、厚さ方向特性の保証有無を区別するB種及びC種の計4種の規格で構成している。靱性は、平板部分のみならず角部においても建築構造物として最高グレードのシャルピー吸収エネルギー0℃、70J以上を保証している。また、基準強度が385N/mm<sup>2</sup>の従来の冷間プレス成形角形鋼管BCHT385B,Cが最大板厚50mmだったことにに対し、BCHT385BTF,CTFでは最大板厚60mmまで拡大している。

溶接特性としては、炭素当量(C<sub>eq</sub>)、溶接割れ感受性組成(P<sub>CM</sub>)に加え、マグ溶接熱影響部靱性指標(f<sub>HAZ</sub>)を規定している。ダイアフラムとの溶接部においてBCP325と同じ溶接積層方法と入熱・パス間温度の管理のみで角部の溶接熱影響部(HAZ部)に“0℃、70J以上”のシャルピー吸収エネルギーを確保させ、HAZ部における脆性的破壊を防止するため、f<sub>HAZ</sub>をBCP325Tよりも0.12%低減させた0.46%以下に抑え、さらにチタン(Ti)と窒素(N)の上下

限を規定してTi-N析出物による結晶粒の粗大化を抑制している<sup>10)</sup>。

### 3.3 溶接継手部性能と柱部材としての構造性能

BCHT325BTF,CTFとBCHT385BTF,CTFは、前項の性能を付与したことにより、柱に一般的な冷間プレス成形角形鋼管を用いた場合に要求される設計付加事項の適用を除外でき、四面ボックスと同じ条件で設計できる<sup>8)</sup>。

ダイアフラムとの溶接では、BCP325Tを採用した際の溶接ビード形状の詳細管理や、補修溶接が必要となった場合の煩雑な作業など、溶接作業・管理を合理化できる。また、仕口部に冷間プレス成形テーパ角形鋼管を用いた場合も、ロボット溶接が可能になる等のメリットも享受できる。

BCHT385BTFの場合の溶接継手部性能、柱部材としての構造性能について以下に記す。BCHT385BTFの溶接部性能評価における供試体の化学成分を表9、平板部と角部の機械的性質を表10に示す。また、溶接施工条件を表

表5 化学成分  
Chemical compositions

Steel	Thickness (mm)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ti (%)	N (%)
BCHT325BTF	16 ≤	≤ 0.18	≤ 0.55	≤ 1.65	≤ 0.030	≤ 0.015	0.005 ≤	0.002 ≤
BCHT325CTF	≤ 40				≤ 0.020	≤ 0.008		
BCHT385BTF	16 ≤	≤ 0.20	≤ 0.55	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.015	0.005 ≤	0.002 ≤
BCHT385CTF	≤ 60				≤ 0.020	≤ 0.008		

表6 機械的性質  
Mechanical properties

Steel	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	YR (%)	EL*			vE <sub>0</sub> (J)	
				Thickness (mm)	Test piece*	(%)	Flat	Corner
BCHT325BTF	325 ≤	490 ≤	≤ 80	t=16	1A	17 ≤	70 ≤	70 ≤
BCHT325CTF	≤ 445	≤ 610		16 < t ≤ 40		21 ≤		
BCHT385BTF	385 ≤	550 ≤	≤ 80	t ≤ 32	1A	15 ≤	70 ≤	70 ≤
BCHT385CTF	≤ 505	≤ 670		t > 32	4	20 ≤		

\* Test piece for tensile test: JIS Z 2241

表7 溶接特性  
Weld properties

Steel	Thickness (mm)	C <sub>eq</sub> (%)	P <sub>CM</sub> (%)	f <sub>HAZ</sub> (%)
BCHT325BTF BCHT325CTF	16 ≤ t ≤ 40	≤ 0.38	≤ 0.24	≤ 0.46
BCHT385BTF BCHT385CTF	t < 19	≤ 0.44	≤ 0.29	≤ 0.46
	19 ≤ t ≤ 50	≤ 0.40	≤ 0.26	
	50 < t ≤ 60	≤ 0.42	≤ 0.27	

表8 厚さ方向特性  
Through-thickness characteristics

Steel	Reduction of area (%)	
	Average	Each
BCHT325CTF BCHT385CTF	25 ≤	15 ≤

表9 BCHT385B 供試材の化学成分、溶接性  
Chemical compositions of specimens (BCHT385B)

Spec. No.	Section D×t (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ti	N	C <sub>eq</sub>	P <sub>CM</sub>	f <sub>HAZ</sub>
T60	□750×60	0.14	0.27	1.45	0.016	0.003	0.014	0.004	0.40	0.22	0.42
T50	□650×50	0.14	0.28	1.30	0.013	0.003	0.011	0.003	0.37	0.22	0.39
T32	□450×32	0.14	0.28	1.31	0.011	0.002	0.011	0.003	0.37	0.22	0.37
T28	□500×28	0.14	0.28	1.30	0.013	0.003	0.011	0.003	0.37	0.22	0.39
T19	□500×19	0.14	0.28	1.27	0.009	0.002	0.011	0.003	0.37	0.22	0.36

表 10 BCHT385 供試材の機械的性質  
Mechanical properties of specimens

Spec. No.	Flat area (JIS Z 2241 4 (t > 32mm), 1A (t ≤ 32mm))				Corner area (JIS Z 2241 14B)			
	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	YR (%)	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	YR (%)
T60	441	574	33.3	76.8	609	680	19.0	89.5
T50	408	563	36.2	73.3	581	647	19.6	89.8
T32	457	601	23.3	76.0	602	671	17.2	89.7
T28	433	601	24.5	73.2	599	691	16.0	86.8
T19	463	617	21.1	75.0	641	714	16.3	89.8

表 11 溶接施工条件  
Welding conditions

Joint	Groove angle (deg.)	Root gap (mm)	Root face (mm)	Welding wire	Heat input (kJ/cm)		Maximum interpass temperature (°C)
					Flat	Corner	
Column-diaphragm	35	7	0	G59JA1U C3MIT	≤ 40	≤ 30	≤ 250

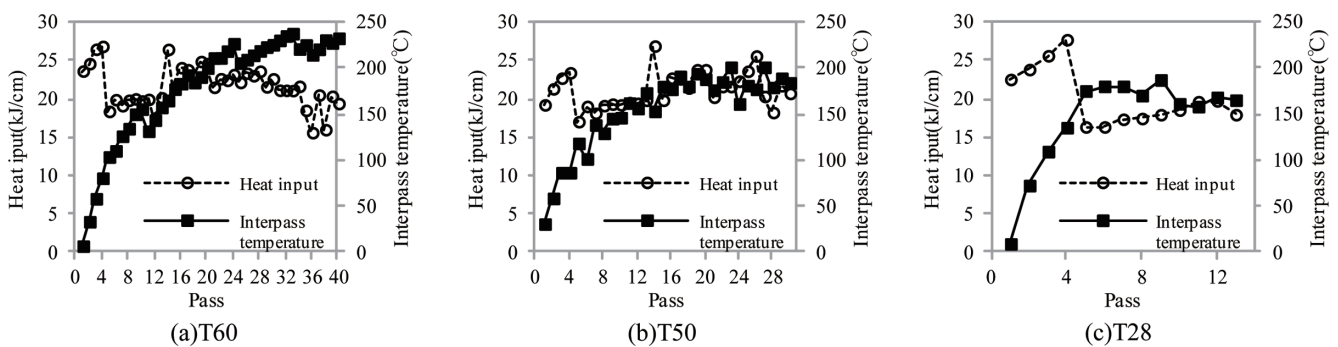


図 4 溶接施工記録  
Heat input and interpass temperature record

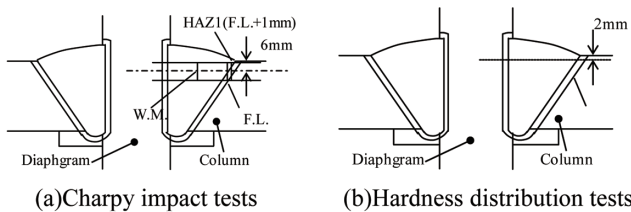


図 5 試験片採取要領

Positions of specimens for Charpy impact tests and hardness distribution tests

11, 板厚 60mm, 50mm 及び 28mm の供試体製作における溶接施工記録を図 4 に示す。入熱は板厚による有意差がないが、パス間温度は板厚の増大とともに高くなる傾向で、最大板厚の 60mm では管理値上限の 250°C に近いパス間温度となっていることがわかる。

図 5 (a) に溶接部のシャルピー衝撃試験片の採取位置を、表 12 に試験温度 0°C での溶接部の衝撃試験結果を示す。試験片形状は JIS Z 2242 の V ノッチ試験片とし、試験片は外表面から 6mm 内側の位置を中心とし採取した。入熱・パス間温度が高くなると一般に溶接部の靱性は低下する傾向を示すが、管理値上限近傍となった最大板厚 60mm の試験体も含め、HAZ 部のシャルピー吸収エネルギーは 3 個の平均値で平坦部、角部ともに 150J ~ 180J であり、70J

表 12 シャルピー試験結果  
Charpy impact test results of welded joints

Spec. No.	Column-diaphragm joint					
	Flat area			Corner area		
	HAZ (F.L.+1mm)	F.L.	W.M.	HAZ (F.L.+1mm)	F.L.	W.M.
T60	198	148	90	150	141	93
T50	180	177	92	187	146	78
T28	157	192	129	171	160	99

を上回る高い靱性を有することがわかる。

図 6 に溶接部のビッカース硬度試験結果を示す。硬度試験の測定位置は図 5 (b) に示すように外表面から 2mm 内側の位置とし、試験力は 98N で行った。溶接継手の硬度は両試験体共に、最大 230HV 程度であった。

ダイアフラムを設けた柱部材としての構造性能は、3 点曲げ実験により評価した。加力は、破断に対して厳しい角部溶接部の性能を評価するため、45° 方向载荷としている。試験対象とした BCHT385BTF は溶接部継手性能評価と同一の鋼材、溶接材料を用い、溶接条件も同じとした。一例として、最大板厚である 60mm の BCHT385BTF の履歴特性を図 7 に、破断部の断面マクロを写真 2 に示す。いずれの試験体も溶接部近傍に発生する亀裂は延性的に柱の母材

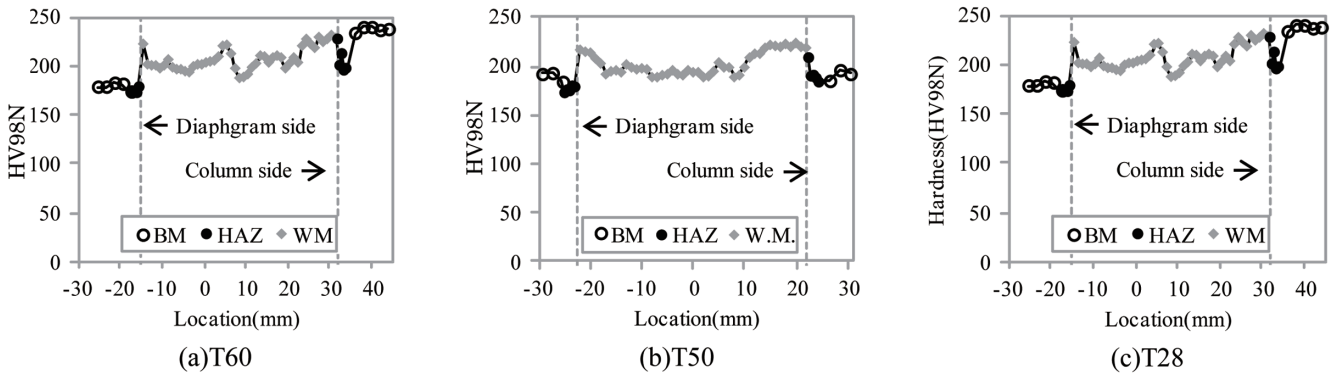


図6 硬さ試験結果  
Hardness distribution tests results of welded joints

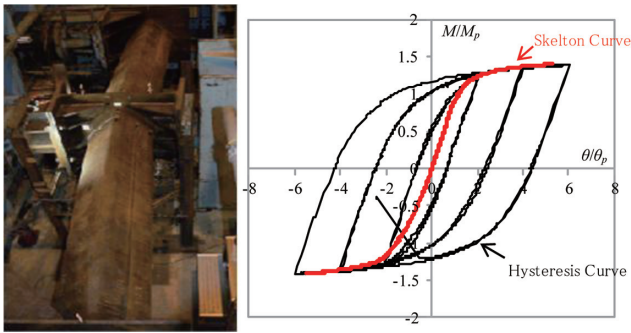


図7 BCHT385BTF の履歴特性 (板厚 60mm)  
Hysteretic behavior of BCHT385BTF

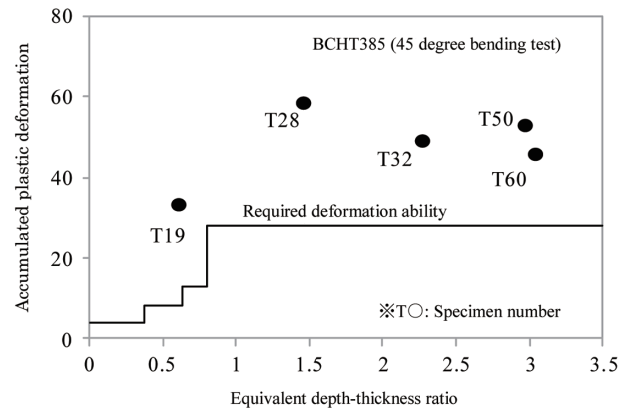


図8 等価幅厚比と累積塑性変形倍率の関係(BCHT385BTF)  
Effect of depth-thickness ratio on accumulated plastic deformation

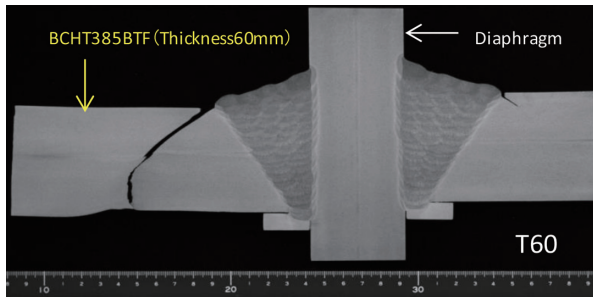


写真2 BCHT385BTF の破断面マクロ (板厚 60mm)  
Macrostructure around fracture origin

側に進展し、柱母材がネッキングを伴いながら十分に塑性変形した後に母材貫通に至ることが確認できている。

図8に、BCHT385BTFの45°方向3点曲げ実験結果を、縦軸に累積塑性変形倍率、横軸に等価幅厚比  $1/\alpha$  をとって示す。このとき  $\alpha$  は次式で算定される。

$$\alpha = (\sigma_y/E) \cdot (D/t)^2$$

ここで、 $\sigma_y$ ：試験体平板部の降伏点、 $E$ ：ヤング率、 $D$ ：試験体の径、 $t$ ：試験体の板厚いずれも文献<sup>11)</sup>に示される柱部材の必要変形性能を十分に上回っていることが確認される。

以上の結果から、BCHT385BTFは、一般のBCPと同条件の溶接積層方法としても溶接継手部で高い靱性を確保し、HAZ部での脆性的破断が早期に発生することなく優れた変形性能を有する冷間プレス成形角形鋼管であることがわかる。

なお、本稿で紹介していないBCHT325BTF,CTFの溶接継手性能、柱部材の構造性能に関しては、文献<sup>12)</sup>を参照されたい。

#### 4. 今後の展望

溶接施工の合理化技術の発展を材料的な立場から支援するためには、建築物の構造性能及び鉄骨部材の塑性変形能力について在るべき姿を想起しながら、力学的視座に立脚したアプローチを用いて溶接部に要求される性能、即ち溶接部の靱性や強度に対する必要性能を明らかにしておく必要がある。

このような溶接部の必要性能解明に関する体系的な取り組みとしては、現状、490N/mm<sup>2</sup>級鋼の梁端溶接接合部（炭酸ガスまたは混合ガスアーク溶接）<sup>3)</sup>及び四面ボックス内ダイアフラム部のエレクトロスラグ溶接に関する研究<sup>4)</sup>があるのみで、とりわけ高強度鋼材の溶接部の必要性能については必ずしも明確化されていない。斯かる状況に鑑み、日本鉄鋼連盟では、(一社)日本鋼構造協会に委託し2015年4月に“各種溶接部の必要性能研究会(委員長：山田哲東京工業大学教授)”を立ち上げ、研究を開始した。さらに溶接部の強度に関しては、従来、建築基準法(告示平12建告第1464号)の枠組みの中、母材と同等以上の強度が必



要と考えられてきたが、近年、母材よりも低強度の溶接材料を積極的に活用する、いわゆる軟質継手（アンダーマッティング溶接）の研究が精力的に実施されている<sup>13,14)</sup>。

今後、建築物の耐震性を確保するために必要な溶接部の性能を審らかにしながら、溶接施工合理化と溶接部品質を高い次元で両立させることを目指して材料開発を継続して行く。

#### 参考文献

- 1) 鈴木孝彦 ほか：新日鉄技報. (387), 64-73 (2007)
- 2) 一戸康生 ほか：ふえらむ. 20 (3), 90-95 (2015)
- 3) 日本建築センター：鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説. 2003.8
- 4) 例えば、島貫広志 ほか：日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22439, 2003.9
- 5) 児島明彦 ほか：新日鉄技報. (380), 33-37 (2004)
- 6) 植森龍治 ほか：新日鉄技報. (391), 37-47 (2011)
- 7) 渡部義之 ほか：新日鉄技報. (380), 45-49 (2004)
- 8) 日本建築センター：2008年版冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル. 2008.12
- 9) 古谷 ほか：建築柱梁接合部を再現した溶接部のHAZ 韌性に及ぼす鋼材化学成分の影響とその定常化. 鋼構造論文集. 8 (32), 2001.12
- 10) 中西陸夫 ほか：窒化物及び酸化物分散による溶接ポンド部の韌性改善. 溶接学会誌. 52 (2), 1983
- 11) 建設省建築研究所, (社)鋼材倶楽部：角形鋼管設計研究会報告書. 1993
- 12) 前田 ほか：日本建築学会大会学術梗概集(近畿). 22486-22487, 2014.9
- 13) 田中剛 ほか：日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22627-22628, 2012.9
- 14) 吹田敬一郎 ほか：日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22595-22596, 2012.9



一戸康生 Yasuo ICHINOHE  
 建材事業部 建材開発技術部 部長  
 博士(工学)  
 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



二階堂真人 Masato NIKAIDOH  
 建材事業部 建材開発技術部  
 建築建材技術室



鈴木孝彦 Takahiko SUZUKI  
 建材事業部 建材開発技術部  
 建築建材技術室 主幹 博士(工学)



有田政樹 Masaki ARITA  
 鉄鋼研究所 鋼構造研究部



竹内一郎 Ichiro TAKEUCHI  
 建材事業部 建材開発技術部  
 建築建材技術室 主幹



渡部義之 Yoshiyuki WATANABE  
 君津製鉄所 品質管理部 厚板管理室 主幹