

技術論文

鉄骨柱部材製作の生産性向上を支える建築構造用厚板製品の開発

Development of High Performance and High Strength Steel Plates for Columns in Building Construction

伊藤 浩 資*
Hiroshi ITO

二階堂 真人
Masato NIKAI DOH

鈴木 至
Itaru SUZUKI

浦川 智 樹
Tomoki URAKAWA

鈴木 悠 介
Yusuke SUZUKI

中川 治 彦
Haruhiko NAKAGAWA

有 田 政 樹
Masaki ARITA

抄 録

鋼構造建築物の高層化、大型化に伴う鉄骨部材の大断面、厚肉化や、地震後の建物の継続利用といったニーズに対し、鉄骨部材のコスト競争力を高めるため、鋼材の高強度化に加え、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。本稿では、溶接性と経済性を両立させる建築用高強度鋼板の近年の開発事例として、大入熱溶接対応 550、590 N/mm² 級 TMCP 鋼板の厚肉化対応、および 590 N/mm² 級 TMCP 型冷間プレス成形角形鋼管について解説し、今後の展望を記した。

Abstract

Large and stocky section steel columns are typically used in steel buildings due to progressively increasing height and large spans. Nippon Steel Corporation has developed various high performance and high strength steel products in an attempt to enhance welding productivity in steel fabrication and control the total weight of the steel construction. This paper describes the recently developed 550 and 590 N/mm² class TMCP steel plate products for built-up box section columns and cold press-formed hollow square section columns.

1. はじめに

日本製鉄(株)では、1960年代より建設が始まった超高層建物をはじめとする大規模建築物の経済合理性、生産性ニーズに応えるべく、建築構造用鋼材および接合・利用技術の開発・実用化を進めてきた。近年においても首都圏を中心に、超高層建物等の大規模再開発が活況であり、鋼構造建築物の高層化・大型化に加え、設計上想定する外力の増大に伴い、主要構造である柱や梁の部材断面の大型化・厚肉化が一層進んできている。更に、大地震に対する建築構造物の倒壊防止だけでなく、地震後も建築物としての機能を継続して利用可能とする観点から、弾性変形域の大きな高強度鋼が注目されている。これらのニーズを踏まえた鉄骨部材のコスト競争力を高めるため、鋼材の高強度化に加え、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^{1,2)}。このような背景のもと、日本製鉄では、豊富な高強度・高性能鋼材の製造実績を活かし、溶接性と経済性を両立させる建築用高強度鋼板とこれを用いた冷間プレス成形角形鋼管の開発を進めてきた。本稿では、建築構造用厚

鋼板の動向・製品ラインアップを示し、近年の開発事例として大入熱溶接対応 550、590 N/mm² 級 TMCP 鋼板の厚肉断面への適用、更に 590 N/mm² 級 TMCP 鋼板を用いた冷間プレス成形角形鋼管について述べる。

2. 建築用高強度鋼板、高性能冷間プレス成形角形鋼管の製品ラインアップ

2.1 建築構造用鋼板の動向

近年の建築構造物は、1981年の建築基準法改正で導入された新耐震設計法に基づき、中規模地震に対しては骨組を弾性変形の範囲に留め、耐用年限中に一回遭遇するかもしれない大地震に対しては、骨組を塑性変形させることで地震エネルギーを吸収する設計が行われてきた。また建築構造物の高層化・大規模化が進む中で、骨組に使用される鋼材の厚肉化、高強度化が求められるようになった。1980年代後半には、熱加工制御(TMCP)を駆使し、板厚100mmまで一定の降伏強度を確保するとともに、炭素当量 C_{eq} や溶接割れ感受性組成 P_{CM} を低く抑え、良好な溶接性を確保した引張強さ490、520 N/mm²級の建築構造用TMCP鋼

* 大阪支社 建材開発技術室 建築建材技術課長 博士(工学) 大阪府大阪市中央区北浜 4-5-33 〒541-0041

が実用化された。1990年代には、骨組の塑性変形能の信頼性を向上させるための研究が進められ、耐震用鋼材としての性能を備えた建築構造用圧延鋼材(SN)規格制定に併せて、建築構造用TMCP鋼にも降伏比と降伏強さの上限規定が設けられた。建築構造用高性能590N/mm²鋼(SA440)もSN規格のコンセプトと整合を取りながら実用化され、超高層建物を中心に使用されている。1990年代後半には、SA440と同じ考え方に基づく建築構造用780N/mm²鋼が実用化され、実案件への適用がなされている^{3,4)}。2000年代以降は、大入熱溶接部の品質の向上や高強度鋼に対する施工合理化ニーズの高まりを受け、溶接時の予熱および後熱の低減・省略や、大入熱溶接の採用による溶接効率向上が図られ、溶接組立箱形断面柱(以下、四面ボックス)製作における溶接施工の高効率化と溶接部の高靱性化を両立する高HAZ靱性鋼や、溶接性に優れたTMCP技術を適用した550, 590N/mm²級鋼などの高強度鋼が開発されている。

1995年の兵庫県南部地震を契機に、各種エネルギー吸収装置の発展とも相まって、巨大地震に対しても主要構造部の損傷を最小限に留め、地震後も本来の機能を継続して利用可能とする損傷制御設計の考え方が注目を浴びるようになった。このような背景のもと、府省連携“革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発プロジェクト”では、震度7クラスの地震でも建物の主要部材は弾性挙動に留まり損傷を生じない構造を目指し、これに適用する鋼材として、これまでにない高降伏比型(YR98%以下)の鋼材である780N/mm²級超高強度鋼(H-SA700)が開発されている。また、同様のコンセプトを持つ高YR型(YR90%

以下)の490, 590N/mm²級鋼が開発されている。

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も開発が進められてきた。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、通シ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に対する応力抑制のため、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。これに対し、高性能な冷間プレス成形角形鋼管BCP325Tは、ダイアフラムとの溶接部において母材側に溶接ビードをオーバーラップさせ、更にもう一つに再熱ビードを設けることで溶接品質を確保することで、四面ボックスと同条件の設計上の取扱いができるようになった。更に冷間プレス成形角形鋼管に用いる鋼板の靱性と溶接性能を飛躍的に向上させることで、BCP325と同様の溶接積層方法を用いても柱の設計上の取扱いをBCP325Tと同条件とすることができるTMCP型建築構造用高性能冷間プレス成形角形鋼管が実用化されている。また冷間プレス成形角形鋼管においても、550, 590N/mm²級の高強度製品が開発され、大規模建築物の柱材に適用されている。

2.2 建築用高強度鋼板、高性能冷間プレス成形角形鋼管の製品ラインアップ

日本製鉄では、前述した多様な建築用鋼材のニーズに応えながら、建築構造用高張力鋼板のラインアップ構築を図ってきた。表1、表2に建築構造用高張力鋼板BT-HTシリーズ、高性能冷間プレス成形角形鋼管BCHTシリーズ

表1 建築構造用高張力鋼板BT-HTシリーズのラインアップ
“BT-HT” series of high strength steel plate products

Steel	Thickness (mm)	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	$\sqrt{E_0}$ (J)
BT-HT325B, C	40 < t ≤ 100	325–445	490–610	≤80	27 ≤
BT-HT355B, C	40 < t ≤ 100	355–475	520–620	≤80	27 ≤
BT-HT385B	12 ≤ t ≤ 100	385–505	550–670	≤80	70 ≤
BT-HT385C	16 ≤ t ≤ 100				
BT-HT440B, C	19 ≤ t ≤ 100	440–540	590–740	≤80	47 ≤
BT-HT440B-SP, C-SP	19 ≤ t ≤ 100	440–540	590–740	≤80	70 ≤
BT-HT630B-ES, C-ES	40 ≤ t ≤ 100	630–750	780–930	≤85	47 ≤
BT-HT400C	16 < t ≤ 100	400–550	490–640	≤90	70 ≤
BT-HT500C	19 ≤ t ≤ 100	500–650	590–740	≤90	70 ≤
BT-HT700A, B	6 ≤ t ≤ 50	700–900	780–1000	≤98	47 ^{*1} ≤
BT-HT880B, C	9 ≤ t ≤ 50	880–1060	950–1130	≤98	70 ^{*2} ≤

*1: Test temperature at -20°C, *2: 12 < t ≤ 50

表2 高性能冷間プレス成形角形鋼管BCHTシリーズのラインアップ
“BCHT” series of high performance cold press-formed steel hollow square section products

Steel	Thickness (mm)	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	$\sqrt{E_0}$ (J)	
					Flat part	Corner part
BCHT325BTF, CTF	16 ≤ t ≤ 40	325–445	490–610	≤80	70 ≤	70 ≤
BCHT385B, C	19 ≤ t ≤ 50	385–505	550–670	≤80	70 ≤	-
BCHT385BT, CT	19 ≤ t ≤ 50	385–505	550–670	≤80	70 ≤	70 ≤
BCHT385BTF, CTF	16 ≤ t ≤ 60	385–505	550–670	≤80	70 ≤	70 ≤
BCHT440B, C	19 ≤ t ≤ 50	440–540	590–740	≤80	70 ≤	-
BCHT400B, C	19 ≤ t ≤ 50	400–550	490–640	≤85	70 ≤	-

のラインアップを示す。

BT-HT シリーズでは、490～780N/mm²級の低降伏比型鋼材 BT-HT325, 355, 385, 440 (=SA440), 630-ES をラインアップしている。590N/mm²級では、従来の BT-HT440 から、現場溶接における予熱省略のニーズに対し、鋼材成分の最適化と TMCP 技術を適用して板厚 100mm まで予熱フリーとした予熱低減型の BT-HT440-SP をラインアップに加えている。BT-HT630-ES は、従来の 780N/mm²級鋼から化学成分の最適化により溶接性を向上させたものである。更に、柱用鋼材として降伏比を緩和した弾性設計用の高降伏点鋼材 BT-HT400, 500, 700 (=H-SA700), 880 のラインアップを充実し、様々な設計ニーズに対応している。

超高層建築で多用される四面ボックス柱の製作では、一般にエレクトロスラグ溶接 (Electro Slag Welding: 以下, ESW) や多電極サブマージーク溶接 (Submerged Arc Welding: 以下, SAW) などが使用され、その入熱量は 500～1200kJ/cm にも及ぶ。このような大入熱溶接を従来鋼に適用すると、溶接熱影響部 (HAZ) 組織が粗大化して靱性が劣化し、脆性破断に対する危険性が增大する⁵⁾。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応えるため、HAZ 細粒高靱化技術 HTUFF⁶⁾ を開発し、BT-HT325, 355, 385, 440, 440-SP へ適用した高 HAZ 靱性鋼 (-HF) を実用化し、溶接条件の厳しい厚肉断面部材への適用を進めてきている。

冷間プレス成形角形鋼管では、BCP325, BCP325T に加え、母材に TMCP 鋼板を用いることで靱性と溶接性能を向上させ、BCP325T で要求される複雑な溶接施工管理を不要としながら、BCP325T と同等以上の構造性能を発揮することを可能とした 490N/mm²級および 550N/mm²級 TMCP 型冷間プレス成形角形鋼管 BCHT325BTF, CTF および BCHT385BTF, CTF をラインアップしている。更に高強度

590N/mm²級の冷間プレス成形角形鋼管 BCHT440B, C を新たに開発し市場投入している。

3. 大入熱溶接対応550, 590N/mm²級TMCP鋼板の厚肉化

3.1 開発の背景

近年、超高層建築物では、高い耐震性や高層化とともに、更に大スパン化や用途複合化などの空間の多様性など多岐に渡るニーズが顕在化してきている。このため、四面ボックス柱用の建築構造用鋼板に対しては、溶接部品質の向上と鉄骨製作の効率化の観点から、特に内ダイアフラム仕口部に適用される ESW や柱角継手に適用される SAW などの大入熱溶接への対応とともに、溶接性、更なる厚肉化への対応が求められてきた。上記の背景のもと、日本製鉄では TMCP 技術を適用し、予熱温度の低減を可能とする 550, 590N/mm²級高 HAZ 靱性鋼の厚肉化の開発を進めてきた。

3.2 製品の概要

550, 590N/mm²級鋼材の成分設計においては、厚肉材においても母材強度の確保、予熱温度の低減、大入熱溶接部の靱性確保を両立させるため、HTUFF 技術の適用に加え、MA (島状マルテンサイト) 組織を低減するように化学成分の最適化を図ることを目指し、開発を行ってきた。

表 3, 表 4 に、BT-HT385C-HF (板厚 70mm) と BT-HT440C-SP-HF (板厚 100mm) の開発鋼の化学成分と機械的性質を各々示す。いずれの開発鋼も、C_{eq}, P_{CM} を低く抑えて優れた溶接性を具備するとともに、機械的性質も各規格値を十分満足している。

表 3 開発鋼の化学成分
Chemical composition

Steel	Thickness (mm)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	C _{eq} (%)	P _{CM} (%)
BT-HT385C-HF	70	0.08	0.15	1.40	0.008	0.003	0.40	0.19
Specification	-	≤0.20	≤0.55	≤2.00	≤0.020	≤0.008	≤0.42 ^{*1}	≤0.27 ^{*1}
BT-HT440C-SP-HF	100	0.10	0.07	1.52	0.007	0.002	0.37	0.22
Specification	-	≤0.12	≤0.55	≤1.60	≤0.020	≤0.008	≤0.47 ^{*2}	≤0.22

*1: 50<t≤100, *2: 40<t≤100

表 4 開発鋼の機械的性質
Mechanical properties

Steel	Thickness (mm)	YS or YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	EL (%)	√E ₀ (J)	RA (%)
BT-HT385C-HF	70	484	621	78	28	306	72
Specification	-	385-505	550-670	≤80	20≤ ^{*1}	70≤	25≤
BT-HT440C-SP-HF	100	471	629	75	27	232	70
Specification	-	440-540	590-710	≤80	20≤ ^{*1}	70≤	25≤

*1: for No.4 specimen (JIS Z 2241)

3.3 大入熱溶接部の性能

開発目標とした大入熱溶接部性能を確認するために、BT-HT385C-HF と BT-HT440C-SP-HF の開発鋼を各々柱スキンプレートに用いた実大の四面ボックス柱試験体(□-900×900×L3000)を計2体製作し、溶接継手性能確認試験を実施した。

表5に製作した溶接試験体一覧を示す。以下では、ESW(内ダイアフラム仕口)部の試験の概要と結果について述べる。ボックス柱試験体には、板厚(60, 75mmの2水準)、強度クラス(490, 550N/mm²の2水準)を変数として各々に計3枚の内ダイアフラムを設け、溶接入熱は最大1400kJ/cmにも及ぶ非常に高い入熱条件下で試験を行った。

図1にシャルピー衝撃試験および溶接金属引張試験の試験片採取位置を示す(BOND:溶接融合線, DEPO:溶接

金属, HAZ:母材溶接熱影響部)。図2, 表6に各々シャルピー衝撃試験結果, 溶接金属引張試験結果を示す。BT-HT385C-HF と BT-HT440C-SP-HF の開発鋼は、いずれも1000kJ/cmを超える大入熱ESWに対しても平均値で70Jを確保し、良好な靱性能を有するとともに、また溶接金属の引張強度も内ダイアフラム母材の規格強度を満足する結果であった。

以上から、日本製鉄では、強度特性、溶接性、溶接部靱性能などのニーズへ対応可能なBT-HT385C-HF, BT-HT440C-SP-HFの厚肉材を開発し、市場投入を行っている。

4. 590N/mm²級TMCP型冷間プレス成形角形鋼管

4.1 開発の背景

近年の溶接ロボットの普及により、国内の建築鉄骨は冷

表5 ESW 溶接試験体の一覧
Specimens of ESW connection

No	Column skin-plate (thickness)	Inner diaphragm (thickness)	Welding consumables (JIS Z 3353)	Heat input (kJ/cm)
55A	BT-HT385C-HF (70 mm)	BT-HT385B (75 mm)	YES602-S/ FES-Z	1127-1313
55B		BT-HT385B (60 mm)	FES-Z	982-1082
55C		BT-HT325B (75 mm)	YES501-S/ FES-Z	1119-1335
59A	BT-HT440C-SP-HF (100 mm)	BT-HT385B (75 mm)	YES602-S/ FES-Z	1268-1353
59B		BT-HT385B (60 mm)	FES-Z	1035-1163
59C		BT-HT325B (75 mm)	YES501-S/ FES-Z	1219-1424

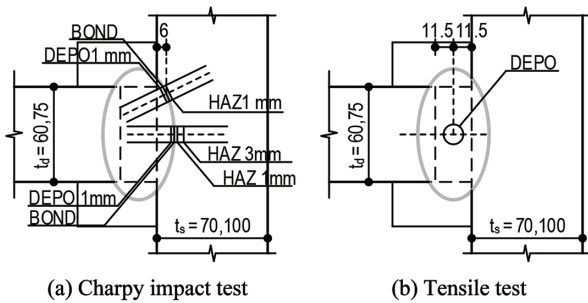
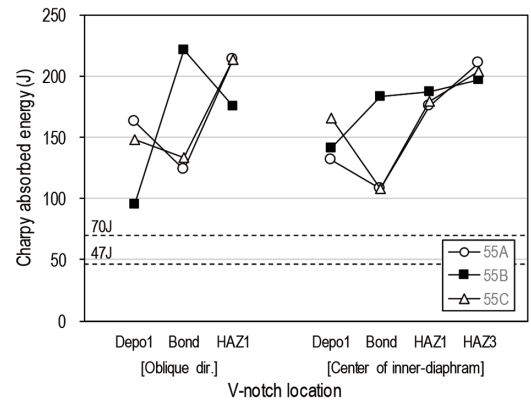
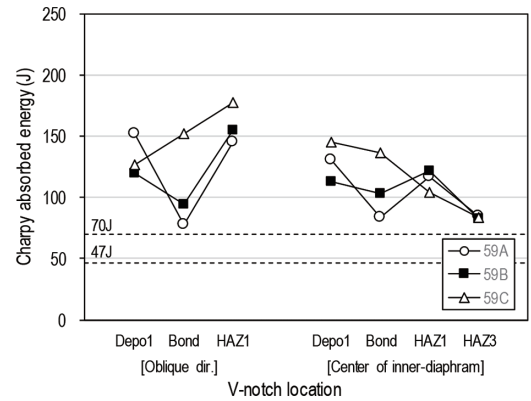


図1 試験片採取位置

Specimens and their locations of Charpy impact test and tensile test for ESW connection



(a) BT-HT385C-HF



(b) BT-HT440C-SP-HF

図2 ESW部衝撃試験結果
Results of Charpy impact test for ESW connection

表6 ESW 溶接金属引張試験結果
Results of tensile test for ESW weld metal

No	Column skin-plate (thickness)	YS or YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)	Target TS (N/mm ²)
55A	BT-HT385C-HF (70 mm)	458	643	25	550 ≤
55B		442	621	29	
55C		462	637	26	
59A	BT-HT440C-SP-HF (100 mm)	468	647	24	550 ≤
59B		467	629	23	
59C		424	559	30	

間成形角形鋼管 - H 形鋼梁構造が主流となり大型物流倉庫をはじめとして多くの建物で冷間プレス成形角形鋼管（以下、プレスコラム）が使用されてきた。更に最近では超高層建物の柱にもプレスコラムが使用される頻度が高まってきている。これらのニーズに応えるべく、日鉄建材(株)ではプレスコラムの高強度化の開発を進めてきており、今回従来の BCP325 より設計基準強度を約 35%高めた高強度プレスコラム BCHT440 を開発した。

4.2 製品の概要

BCHT440の化学成分を表7に、機械的性質を表8に示す。基準強度は 440 N/mm²、厚さ方向特性の保証有無を区別する B 種および C 種の計 2 種の規格で構成している。靱性は、

平板部で建築構造材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、最大板厚は 50mm までとしている。

溶接特性としては、炭素当量 (C_{eq})、溶接割れ感受性組成 (P_{CM}) を規定している。

4.3 溶接継手部性能と柱部材としての構造性能

BCHT440 の溶接継手性能、柱部材としての構造性能について以下に記す。BCHT440 の溶接部性能評価における供試体の化学成分を表 9、平坦部と角部の機械的性質を表 10 に示す。また、溶接施工記録を表 11 に示す。

図 3 (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℃での溶接部の衝撃試験結果を示す。

表 7 化学成分
Chemical compositions

Steel	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	Thickness (mm)	C _{eq} (%)	P _{CM} (%)
BCHT440B	≤0.12	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.008	≤0.006	19 ≤ t ≤ 40	≤0.44	≤0.22
BCHT440C				≤0.020			40 < t ≤ 50		

表 8 機械的性質
Mechanical properties

Steel	YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	EL*			√E ₀ (Flat) (J)
				Thickness (mm)	Test piece*	(%)	
BCHT440B	440 ≤	590 ≤	≤80	19 ≤ t ≤ 25	5	33 ≤	70 ≤
BCHT440C	≤540	≤740		25 < t ≤ 50	4	20 ≤	70 ≤

* Test piece for tensile test: JIS Z 2241

表 9 供試材の化学成分
Chemical compositions of specimens

Spec. No.	Section D×t (mm)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	C _{eq} (%)	P _{CM} (%)
T50	□600×50	0.08	0.26	1.54	0.012	0.003	0.003	0.41	0.18
T32	□450×32	0.09	0.22	1.57	0.008	0.003	0.003	0.37	0.19

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

Spec. No.	Flat area					Corner area			
	Test piece	YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)	YR (%)	Test piece	YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)
T50	4	482	644	31.9	75	4	707	776	91
T32	1A	455	626	23.5	73	1B	663	746	89

表 11 溶接施工記録
Welding conditions

Spec. No.	Maximum heat input (kJ/cm)		Maximum interpass temperature (°C)		Pass
	Results	Management	Results	Management	
T50	30.4	≤30	218	≤250	30
T32	28.0		205		15

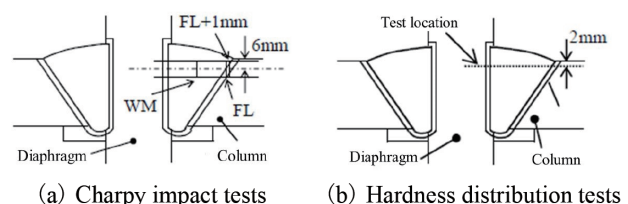


図 3 試験片採取要領
Positions of specimens of Charpy impact tests and hardness distribution tests

表 12 溶接部のシャルピー衝撃試験結果
Charpy impact test results of welded joints

Spec. No.	Column-diaphragm joint (Corner area)	
	FL+1 mm	FL
T50	177	136
T32	184	174

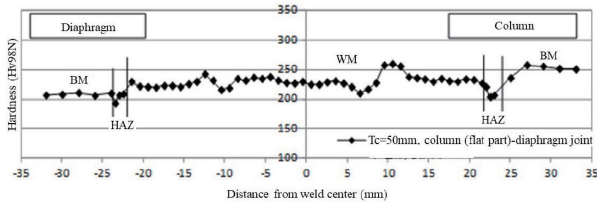


図 4 硬さ試験結果
Hardness distribution test results of welded joints

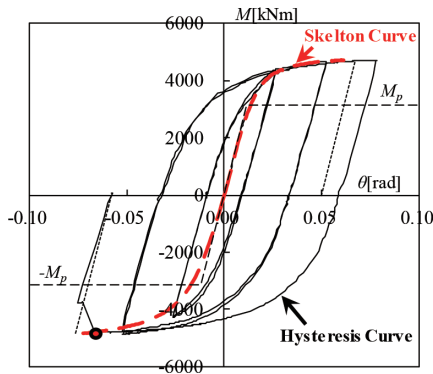


図 5 曲げモーメントと部材角の関係
Hysteric behavior of BCHT440

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て採取した。

図 4 に溶接部のピッカース硬さ試験結果を示す。硬さ試験の測定位置は図 3 (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。溶接継手の硬度の最大は 350 を下回っている。

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。一例として、板厚 32mm の BCHT440 の履歴特性を図 5 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を確認した。

図 6 に、BCHT440 および既往の 590N/mm² 級冷間成形角形鋼管⁸⁻¹⁰⁾ 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/α をとって示す。このとき α は次式で算定される。

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

(σ_y: 試験体平板部の降伏点, E: ヤング率, D: 試験体の径,

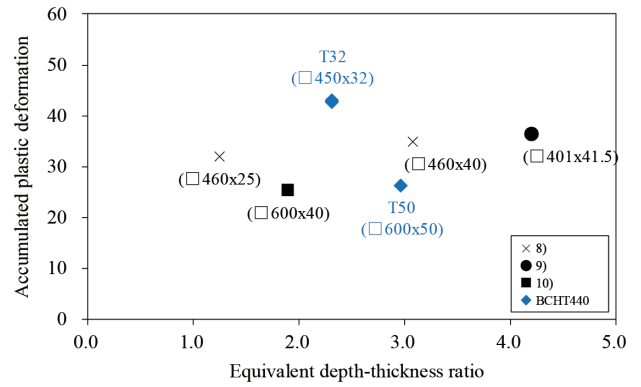


図 6 等価幅厚比と累積塑性変形倍率の関係 (BCHT440)
Effect of depth-thickness ratio on accumulated plastic deformation

t: 試験体の板厚)

累積塑性変形倍率は、590N/mm² 級冷間成形角形鋼管における柱の要求性能を満足している。

以上の結果から、引張強さ 590N/mm² 級の TMCP 鋼板を用いた冷間プレス成形角形鋼管 BCHT440 は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 BCHT440 の溶接継手性能、柱部材の構造性能に関しては、文献 11) を参照されたい。

5. おわりに

本稿では、大入熱溶接対応 550, 590N/mm² 級 TMCP 鋼板の厚肉断面への適用、590N/mm² 級 TMCP 鋼板を用いた冷間プレス成形角形鋼管の開発事例を述べた。建築構造用高強度鋼への TMCP 技術、HAZ 細粒高硬化技術 HTUFF の適用を進めることで、高強度と溶接施工性の両立を図ることができる。今後、更なる高強度高溶接性の鋼材開発を進めるとともに、溶接条件の合理化に資する新しい溶接材料の開発、軟質継手 (アンダーマッチング継手)¹²⁻¹⁴⁾ などの適用といった関連技術の開発整備も進め、厚肉大断面の鉄骨柱製作合理化ニーズに対応していく。

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) 中平和人 ほか: 鉄構技術. (191), (2004)
- 4) 日経アーキテクチュア. (580), (1997)
- 5) 島貫広志 ほか: 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 22439, 2003.9
- 6) 児島明彦 ほか: 新日鉄技報. (380), 33-37 (2004)
- 7) 二階堂真人 ほか: 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 1594-1595, 2006.8
- 8) 中島 ほか: 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 653-

654, 2009.8

- 9) 下川 ほか：鋼構造年次論文報告集, 2008.11
- 10) 沖 ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 723-724, 2012.9
- 11) 伊藤 ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 1177-1180, 2018.9
- 12) 日本鉄鋼連盟：建築構造用高強度 780N/mm² 鋼材 (H-SA700) 利用技術指針. 第二版, 2021
- 13) 田中剛 ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 22627-22628, 2012.9
- 14) 吹田敬一郎 ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 22595-22596, 2012.9



伊藤浩資 Hiroshi ITO
大阪支社 建材開発技術室
建築建材技術課長 博士(工学)
大阪府大阪市中央区北浜4-5-33 〒541-0041



二階堂真人 Masato NIKAIDOH
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第二室 研究第一課 主幹研究員



鈴木 至 Itaru SUZUKI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第一課 主幹



浦川智樹 Tomoki URAKAWA
東日本製鉄所 品質管理部
君津厚板管理室 主幹



鈴木悠介 Yusuke SUZUKI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第一課長 Ph.D.



中川治彦 Haruhiko NAKAGAWA
日鉄建材(株)
建築商品開発部 建築商品開発室長



有田政樹 Masaki ARITA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第二室 研究第一課 主幹研究員