

## 建築鉄骨「材料編」\*



志村 保美\*\*

Architectural Steel Structure (Materials)\*

by SHIMURA Yasumi\*\*

**キーワード** 建築, 鉄骨, 強度, 鋼材, 耐震, 溶接性, 高強度, 建築構造, 鋼構造

### 1. はじめに

我が国の建築市場における鉄骨建物の占める割合は他国に比べて圧倒的に高い比率となっている（延べ床面積で全体のおよそ30%が鉄骨構造）。これは、我が国が地震国であり建物の耐震性確保のために鋼材が合理的な材料であったことと構造設計者による耐震設計における創意工夫とそのニーズに適した鋼材をメーカーが開発したことによるものと思われる。本稿では、我が国で使用されている建築鉄骨用の鋼材について概要を紹介する。

### 2. 建築構造用鋼材の種類（適用材料と製造プロセス）

建築鉄骨において使用されている鋼材には、建築基準法で指定されている JIS 規格製品（表1参照）と国土交通大臣による大臣認定を受けた鋼材（表2）がある。一方、国内の建築鉄骨市場は、図1に示すように低層建築の着工床面積が圧倒的に多く、10階建て以上の建築鉄骨は全体の6%程度に過ぎない。このように、建築鉄骨市場において大半を占める低層建築では、400 N/mm<sup>2</sup>鋼材あるいは490 N/mm<sup>2</sup>鋼材が主に使用されており、鋼種としてはSS, SM, SN 鋼である。SS, SM 鋼は、従来から建築鉄骨に使用されてきた鋼材であるが、これらの鋼材の JIS 規格では規定している性能項目が少なく、我が国のように耐震設計が重要視される建築鉄骨では、構造設計における塑性設計を実現するには不十分な規格であった。これに対して、1994年に建築構造物の耐震設計に相応しい鋼材として SN 鋼が規格化された<sup>1)</sup>。SS, SM, SN の規格項目を表3に比較して示す。SN 鋼の具体的な規定項

目は、SS, SM 鋼に対して、降伏点あるいは耐力の上限値、引張強さに対する降伏点あるいは耐力の比（降伏比）、溶接性の指標となる炭素当量等を追加した規定となっている（具体的な規定値は表4参照）。

一方、JIS 規格鋼材以外の国土交通大臣による大臣認定を受けた鋼材には、高層建築物や超高層建築物を実現

表1 指定建築材料の主な建築構造用鋼材（JIS）

規格番号	規格名
JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材 (SS)
JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材 (SM)
JIS G 3136	建築構造用圧延鋼材 (SN)
JIS G 3444	一般構造用炭素鋼鋼管 (STK)
JIS G 3475	建築構造用炭素鋼鋼管 (STKN)
JIS G 3446	一般構造用角形鋼管 (STKR)

表2 大臣認定を取得している主な建築構造用鋼材

記号*1	名称*1	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )
BCR	冷間ロール成形角形鋼管	400
BCP	冷間プレス成形角形鋼管	400, 490
(TMCP鋼)	TMCP鋼板、極厚H形鋼 etc	490, 520
TMCP385	建築構造用550N/mm <sup>2</sup> 級鋼材	550
SA440	建築構造用高性能590N/mm <sup>2</sup> 鋼材	590
H-SA700	建築構造用780N/mm <sup>2</sup> 鋼材	780

注記 \*1) 記号、名称は通称で正式名称では無いものも含む。

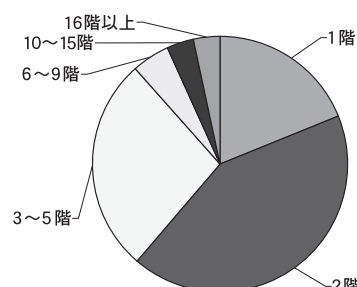


図1 建築物の階数別延床面積の比率

\*原稿受付 平成23年3月15日

\*\* 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 Construction Material &amp; Products Development Div. Nippon Steel Corporation

表3 建築構造用鋼材の種類と性能項目

鋼種	規格	構造計算仮定との整合性	溶接部の品質			変形能力確保保有耐力接合	板厚方向特性	
		板厚公差の厳格化	C上限規定	シャルピー規定	P, S規定*1 Ceq, PCM	降伏比 降伏点上限	P, S規定*2 絞り値	UT 規定
SS400	JIS G 3101	×	×	×	×	×	×	×
SM400A, SM490A	JIS G 3106	×	●	×	×	×	×	▲
SM400B, SM490B		×	●	●	×	×	×	▲
SN400A	JIS G 3136	●	●	×	×	×	×	×
SN400B, SN490B		●	●	●	●	▲	×	▲
SN400C, SN490C		●	●	●	●	●	●	●

備考) \*1:P≤0.030, S≤0.015, \*2:P≤0.020, S≤0.008

表4 各鋼材規格の比較 (板厚25mmにおける規定)

JIS規格	種類の記号	厚さmm 下限/上限	化学成分(単位:%)					引張試験				シャルピー衝撃試験 吸収エネルギー*3(J) 下限[0°C]	Z方向引張試験 絞り(%) 下限(Ave)	U S T		
			C	Si	Mn	P	S	Ceq*1	PCM*2	降伏点又は耐力 N/mm <sup>2</sup> 下限/上限	引張強さ N/mm <sup>2</sup> 下限/上限				伸び 1A号 % 下限	降伏比 % 上限
G 3101	SS400	-	-	-	-	0.050	0.050	-	-	235/	400/510	21	-	-	-	-
G 3106	SM400A	/100*2	0.23	-	/2.5×C	0.035	0.035	-	-	235/	400/510	22	-	-	-	op
	SM400B	/100*2	0.20	0.35	0.60/1.40	0.035	0.035	-	-	235/	400/510	22	-	27	-	op
	SM400C	/100	0.18	0.35	/1.40	0.035	0.035	-	-	235/	400/510	22	-	47	-	op
G 3136	SN400A	6/100	0.24	-	-	0.050	0.050	-	-	-	400/510	21	-	-	-	-
	SN400B	6/100	0.20	0.35	0.60/1.40	0.030	0.015	0.36	0.26	235/355	400/510	22	80	27	-	op
	SN400C	16/100	0.20	0.35	0.60/1.40	0.020	0.008	0.36	0.26	235/355	400/510	22	80	27	25	適用

注記) \*1:炭素当量 Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14  
 \*2:溶接割れ感受性組成 PCM = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B  
 \*3:厚さ12mmを超える鋼材に適用し、3個の試験片の平均値とする。

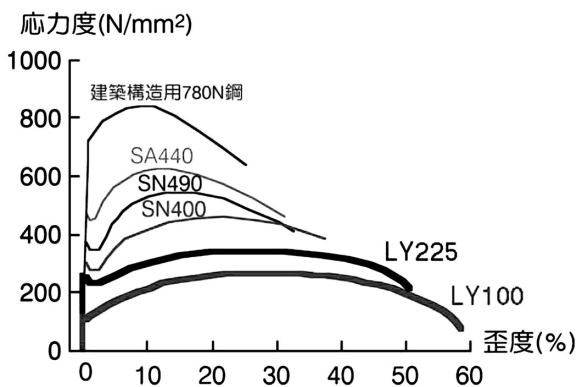


図2 各種建築構造用鋼材の応力度-歪度の関係

するために開発された高強度鋼 (SA440 等) や板厚が 40 mm を超える極厚材でも降伏点あるいは耐力が低下しない鋼材として TMCP 鋼 (耐力が 325,355 N/mm<sup>2</sup>) がある。また、近年、建物の耐震性向上策として柱等の主要部材を弾性に留める設計が増加しており、それに合理的に対応した鋼材として、降伏比を緩和し (引張強度に対して降伏点が高い)、設計強度を高く設定できる鋼材が開発されている。この降伏比緩和型の鋼材には、400 N/mm<sup>2</sup>級鋼、590 N/mm<sup>2</sup>級鋼および 780 N/mm<sup>2</sup>級鋼 (H-SA700) 等がある。

このように建築鉄骨構造で使用されている鋼材には、図 2 に示す様に、様々な強度の鋼材があり、適材適所で使用されている。以下では、各種鋼材の中で、「溶接」性能に関わる鋼材を対象として、その特徴と製造プロセスを概説する。低降伏点鋼 (LY 100, LY225) や耐火鋼等の固有の性能を具備した鋼材も開発され使用されているがここでは割愛する。

2.1 400-490 N/mm<sup>2</sup>級鋼材 [SN 鋼<sup>3)</sup>]

建築構造用圧延鋼材として制定された SN 鋼は、A, B,

C 種により構成されている。溶接性に関わる性能としては、A 種は建築鉄骨の中でも小梁等のように耐震設計に直接関係しない部材用として、SS400 をベースとして炭素量の上限を 0.24% と定めている。B 種、C 種は汎用的な耐震部材として、5 元素の成分量を定める (C, P, S にあっては厳しく定めている) とともに溶接性にかかわる性能として炭素当量の上限を 400 N/mm<sup>2</sup>鋼で 0.36, 490 N/mm<sup>2</sup>鋼で 0.44 と規定し (溶接割れ感受性組成 PCM についても規定している)、さらにシャルピー衝撃値についても下限値を 27J (0°C) として規定している。尚、C 種は B 種の規定項目に加えて板厚方向の絞り値も規定している鋼材である。これらの 400 N/mm<sup>2</sup>鋼材あるいは 490 N/mm<sup>2</sup>鋼材は何れも化学成分により性能を発現させており as roll にて製造されている。

2.2 TMCP 鋼材

建築構造物の大型化に伴い使用される鋼材の板厚が大きくなるが、400-520 N/mm<sup>2</sup>級鋼材の JIS 規格では板厚が 40 mm を超えると降伏点または耐力が低く規定されており構造設計で使用する基準強度も低くなってしまい経済的では無い。そこで、490-520 N/mm<sup>2</sup>鋼材に関して 40 mm 超の板厚でも耐力の低下が無い鋼材として、TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) による制御圧延と制御冷却を併用して製造することにより結晶粒の微細化と組織制御を行い低 Ceq で高強度と高靱性を確保できる鋼材が開発された。この鋼材は、例えば 490 N/mm<sup>2</sup>級の場合、Ceq は 0.38% (板厚が 50 mm 以上の場合 0.40%) と SN490B, C 鋼よりも低い値で規定しており、極厚材でありながら溶接性施工性も良好である。この TMCP による建築構造用厚板としては、490 N/mm<sup>2</sup>鋼、520 N/mm<sup>2</sup>鋼に加えて、550 N/mm<sup>2</sup>鋼も製造されている<sup>3, 4)</sup>。

2.3 590 N/mm<sup>2</sup>鋼材

鋼材の高強度化は様々な分野で求められ実用化されて

表5 建築構造用高強度鋼材の規格概要

鋼材の種類	種類の記号	厚さmm 下限/上限	化学成分(単位:%)								引張試験				シャルピー 衝撃試験 吸収エネルギー *3(J) 下限[0℃]	Z方向 引張試験 絞り(%) 下限(Ave)	U S T
			C	Si	Mn	P	S	Ceq*1	P <sub>CM</sub> *2	降伏点又は耐力 N/mm <sup>2</sup> 下限/上限	引張強さ N/mm <sup>2</sup> 下限/上限	伸び 5号 % 下限	降伏比 % 上限				
590N/mm <sup>2</sup> 鋼*4	SA440B SN440C	19/100	0.18	0.55	1.60	0.030 0.020	0.008	0.44 (0.47)	0.28 (0.30)	440/540	590/740	26	80	47	- 25	op 適用	
建築構造用 780N/mm <sup>2</sup> 鋼	検討案*4	25/100	0.16	0.35	0.35	0.030	0.015	0.60	-	620/	780/930	16*4	85	47	-	-	
780N/mm <sup>2</sup> 鋼 弾性用途	H-SA700A H-SA700B	6/50	0.25	0.55	2.00	0.030 0.025	0.015	0.65 0.60	0.32 0.30	700/900	780/1000	16	98	- 47(-20℃)	- 25	op 適用	

注記) \*1: 炭素当量  $C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$   
 \*2: 溶接割れ感受性組成  $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$   
 \*3: 厚さ12mmを超える鋼材に適用し、3個の試験片の平均値とする。  
 \*4:  $C_{eq}$ と $P_{CM}$ の( )内数値は板厚40mm超の場合。  
 \*5: 汎用的な規格としては制定されていないため、文献7による1案を抜粋して記載した。伸びの規定は4号試験片の値。

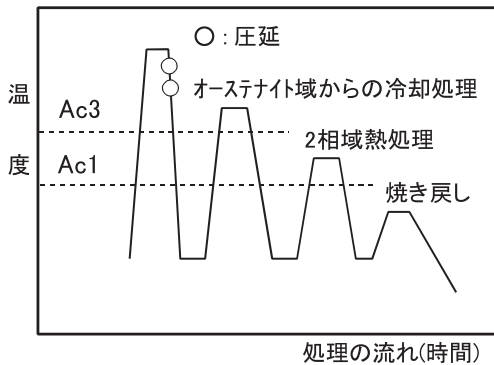


図3 SA440 鋼の製造プロセスの模式図

いるが、建築構造物では耐震性能の確保として地震エネルギーを部材の塑性化により吸収するために、鋼材には塑性変形性能が求められ、高強度鋼にあっても低YR化が必要であり通常の高強度鋼材を適用することはできない。高強度化と低YR化の両立は製造技術上極めて難しい課題であり、建築鉄骨用の鋼材としての必要性能を見極めるために、日本鉄鋼協会における委員会や建設省による総合技術開発プロジェクト等の委員会で検討が進められ、建築構造用鋼材として保有すべき性能が議論された上で設定され<sup>5)</sup>、それを達成する低YR型の建築構造用高性能590N/mm<sup>2</sup>鋼材が1996年に開発された。この建築構造用高性能590N/mm<sup>2</sup>鋼材は、表5に示すように、低降伏比、高靱性化、機械的性質のばらつきの最小化(耐力の上下限値の幅が100N/mm<sup>2</sup>)が達成されている。この鋼材の製造プロセスは、その性能を発揮させるために、3段熱処理(図3参照)が採用され圧延・熱処理工程での厳密な温度管理で製造されている。なお、本鋼材の溶接性については、添加合金量が多く $C_{eq}$ が0.44%と490N/mm<sup>2</sup>鋼よりも若干高い値で規定されており、溶接施工時において100℃の予熱が必要となることが溶接施工指針<sup>6)</sup>に定められているが、その他の溶接性については良好な性能を有している。

2.4 780 N/mm<sup>2</sup> 鋼材

建築物の高層化に対応してさらに高強度な鋼材として780N/mm<sup>2</sup>級鋼材も開発されている。従来の他分野で使用されている780N/mm<sup>2</sup>級鋼材に対して建築構造物用途として耐震性能を確保するために低YR化を図っているが、製造技術との兼ね合いで590N/mm<sup>2</sup>鋼材における降伏比である80%の上限規定よりは高い値として85%に設

表6 780 N/mm<sup>2</sup> 級溶接材料を用いた H-SA700 の一般的予熱温度(℃)

溶接法			板厚(mm)	
			6 ≤ t ≤ 25	25 < t ≤ 50
ガスシールド アーク溶接	組立・補修溶接時	すみ肉	100	125
	初層溶接時	すみ肉	75	100
		突合せ	100	125
サブマージアーク 溶接	初層溶接時	すみ肉	75	100
		突合せ	75	100

定されている。ただし、鋼材の高強度化は、降伏比5%の緩和に対応する構造設計における配慮が必要であり、また、加工技術として特に溶接施工技術の高度化が必要となり<sup>7)</sup>、現時点ではその利用は限られたものとなっているが今後の利用拡大が期待される。建築構造用780N/mm<sup>2</sup>鋼の化学成分と機械的性質の規定値の一例を表5に示す。

一方、建築構造物の耐震性を抜本的に改善し長寿命化を狙った「新構造システム建築物の開発」が府省連携研究開発プロジェクトとして平成16-20年度に取組まれ、その中では「震度7クラスの地震でも建物の主要部材は弾性挙動に納まり損傷を生じない」構造を目指し、適用する鋼材として780N/mm<sup>2</sup>級の鋼材(H-SA700)が開発された<sup>8)</sup>。この鋼材は、これまでに述べてきた耐震安全性を確保するために鋼材の塑性変形性能に期待するのではなく、鋼材の弾性限を活用するもので、経済合理性を追求する観点から従来の「合金元素添加+調質熱処理」による製造法ではなく、「低合金+TMCP」により高強度化を達成した鋼材仕様となっている(表5に示す)<sup>9)</sup>。この研究開発プロジェクトでは、H-SA700鋼の溶接継手に関する研究も進められたが、高強度鋼の溶接施工の難易度が高くなる(溶接条件の一例を表6に示す)ことを避けて、部材接合には高力ボルトを使用する接合部開発も進められた。

3. 鋼材の溶接性(材料の特性と溶接性)

建築鉄骨用鋼材はその利用形態の中で溶接接合は必要不可欠な要求性能である。建築鉄骨では部材同士を接合する方法として高力ボルト摩擦接合も併用されているが、鋼材は溶接接合が容易であるからこそ幅広く利用されているとも言える。建築鉄骨では、構造物の規模や部位に

より様々な溶接方法が採用されており、それぞれの部位に応じて溶接施工性、溶接部品質が求められている。建築鉄骨における主な溶接接合部位としては、柱部材同士の間接合部、柱-梁接合部、大型部材の組立溶接部等である。

3.1 柱-梁接合部

1) コラム-H 構造

中低層建築で最も一般的な構造形式であるコラム-H 構造は、柱部材に冷間成形角形鋼管 (BCP, BCR)、梁部材に圧延 H 形鋼を使用する構造で、使用している鋼材は 400 N/mm<sup>2</sup> 鋼材あるいは 490 N/mm<sup>2</sup> 鋼材でその溶接施工性は特に問題になるものではないが、柱梁接合部には図 4 に示すように溶接接合が一箇所に集中していることが分かる。H 形鋼梁をコラム柱に接合するために、梁の上下フランジ位置で柱部材にダイアフラムを挿入 (柱切断後にダイアフラムを溶接) し、それを介して柱部材と梁部材を接合するものである。各方向からの梁サイズが異なる場合は 2 枚ではなく 3 枚、4 枚になる場合もある。柱梁接合部は複雑であるとともに、骨組の中で地震時に最

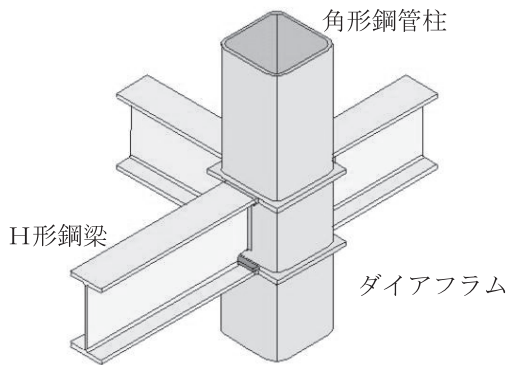


図4 中低層建築鉄骨における柱-梁接合部の概要

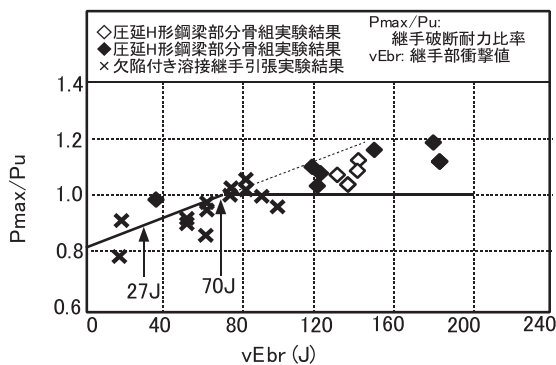


図5 梁端溶接接合部の靱性と継手破断耐力比との関係

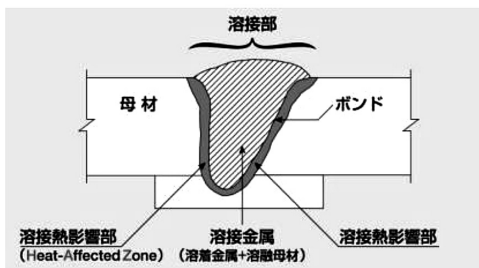


図6 溶接継手部の概要

も大きな力を受ける部位に相当しており、塑性設計を行っている建築骨組では、例えば梁部材が塑性化する場合、梁とダイアフラムの溶接接合部位は、梁部材の降伏耐力を超えて破断に至るまでの性能が要求されることになる。兵庫県南部地震では、この柱梁接合部で特に梁端における破断現象が数多く見られた<sup>10)</sup>ことから、その要求性能の高さを伺うことができる。

《耐震建築溶接構造用圧延鋼材》

中低層建築物に使用される鋼材は前述の通り 400~490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼材が主で、骨組内の溶接接合部は CO<sub>2</sub> 半自動溶接により組立てられることが一般的である。この強度クラスの鋼材は Ceq で 0.40% 程度であり溶接施工上の問題はないが、溶接金属の強度を確保するために、溶接施工条件として入熱・パス間温度が制約されていることは「設計」の項で述べられている通りである。ただし、兵庫県南部地震後に (独) 建築研究所、(社) 日本鉄鋼連盟、(社) 日本溶接協会による委員会において、建築鉄骨の梁端において脆性破断を防止するための研究が行われ、梁フランジ端溶接部が脆性破断することを防止するための性能として衝撃値の数値が示された<sup>11)</sup>。図 5 に示すように、設計に関わる内容であるが、梁端の破断耐力係数 (Pmax/Pu) に応じて 0℃ における鋼材の衝撃値として 70J もしくは 27J が性能要求値として設定された。この研究成果を受けて、鋼材としては図 6 に示す溶接熱影響部 (HAZ: Heat Affected Zone) においても衝撃値を確保する必要性が生じ、溶接入熱 40 kJ/cm 以下、溶接パス間温度 350℃ 以下の CO<sub>2</sub> 半自動溶接施工の範囲で、熱影響部の衝撃値が 27J あるいは 70J を確保可能か否かの目安として、鋼材の化学成分から判定できる指標 (マグ溶接熱影響部靱性指標 f<sub>HAZ</sub>) を導入し<sup>12)</sup>、この性能を規定した鋼材規格が日本鉄鋼連盟製品規定「耐震建築溶接構造用圧延鋼材 (MDCR0001-2003)」として制定されている。具体的には、マグ溶接熱影響部靱性指標 f<sub>HAZ</sub> = C + Mn/8 + 6(P + S) + 12N - 4Ti (mass%) (但し Ti 量が 0.005 mas% 以下の場合には Ti 量を 0 とする) として、vE(0℃) ≥ 70J の場合: f<sub>HAZ</sub> ≤ 0.58%, vE(0℃) ≥ 27J の場合: f<sub>HAZ</sub> ≤ 0.63% を規定している。これらの規定は JIS の SN 規格へオプション設定するものとしている。

2) 溶接 4 面箱型断面柱

建築鉄骨の大型構造物では、柱には 4 枚の鋼板を組立てた部材が多用されている。この溶接 4 面箱型断面柱は、冷間成形角形鋼管の製造サイズの上限 (およそ 50 mm) を超えた部材サイズが主となり、板厚が 40 mm を超えた鋼板により組立てられることが多く、組立溶接時の施工の高効率化ニーズは高く、大入熱による施工が行われている。溶接の種類は、箱型断面を構成するための角溶接では大入熱によるサブマージーク溶接が適用されており (図 7 参照)、梁部材との接合部には梁フランジの位置にダイアフラムを内蔵させており、その溶接にはエレクトロスラグ溶接が適用されている (図 8 参照)。溶接 4 面箱型断面を構成する 4 枚の鋼板の板厚は 40 mm を超えるため、角溶接は 1-2 パスの溶接施工となり、300-400 kJ/cm 程度の大入熱溶接となる。また、内蔵ダイアフラムの溶接では、梁フランジと同等あるいは 1-2 サイズ大

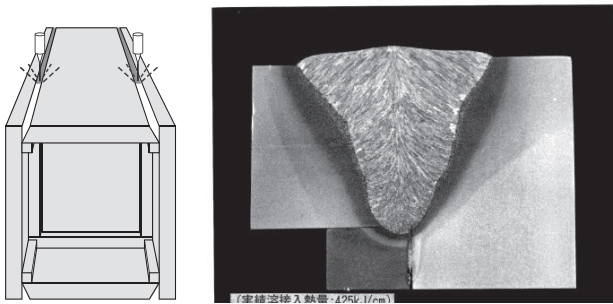


図7 箱型断面部材の角溶接とマクロ写真

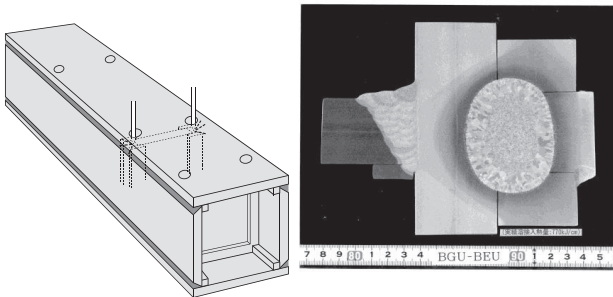


図8 箱型断面部材のダイアフラム溶接とマクロ写真

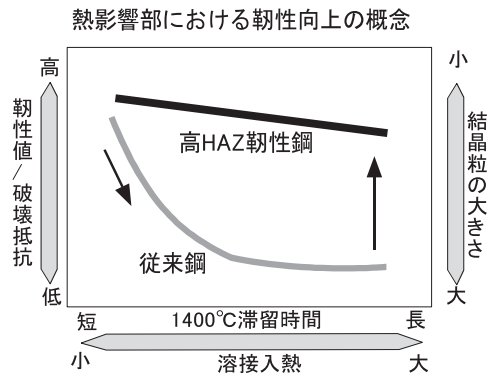
きな板厚として 40-60 mm 程度のダイアフラムを溶接するため、600 kJ/cm を超える大入熱となる場合もある。このような大入熱溶接については溶接金属の強度・靱性確保が課題であると同時に母材である厚板の溶接熱影響部に対する強度確保と靱性確保が重要な課題となる。

《高 HAZ 靱性鋼》

建物の高層化により使用する鋼材の板厚が大きくなると、前述の通り大入熱溶接が適用されることが多くなり、大入熱溶接においても鋼材の溶接熱影響部の靱性が低下しない鋼材が求められる。鋼材の溶融線近傍の熱影響部は、溶接時に鋼の溶融温度(1400℃以上)直前まで温度上昇し、大入熱溶接時等では冷却に長時間を要する為に、鋼材の組織が粗大化し耐震性能上特に重要な靱性が劣化する(図9参照)。その改善方法にはγ粒の微細化や粒内組織制御などがある。再現熱サイクル試験によりγ組織粒径と0℃衝撃試験値との関係を調べた結果を図10に示すが、結晶粒の大きさを200μ以下に制御することで、概ね100Jを確保できることが判る。このように大入熱溶接時においても鋼材の熱影響部の靱性が大きく低下しない鋼材として490~590 N/mm<sup>2</sup>クラスの鋼材が2001年頃に開発され実用化されている<sup>13)</sup>。なお、この溶接4面箱型断面柱において内蔵されるダイアフラムのESW溶接部に要求される性能(衝撃値)については、その溶接部の靱性値が低い場合、その溶接部から柱のスキンプレート側に脆性的な破壊が生じることが構造実験で確認されており<sup>14)</sup>、現在、日本鉄鋼連盟にて必要とする衝撃特性値に関する研究が進められており、今後その成果が公表される予定である。

3.2 柱部材の接合部

建築鉄骨における柱部材の接合は、工場溶接の場合は大型組立ジグによるCO<sub>2</sub>半自動下向き溶接(あるいは溶接ロボット)が用いられ、現場溶接の場合はCO<sub>2</sub>半自動横向き溶接により施工される。現場での横向き溶接につ



高温で長時間溶接されても、結晶粒がおおきくならないため靱性値が低下しにくい。

図9 熱影響部における靱性向上の概念

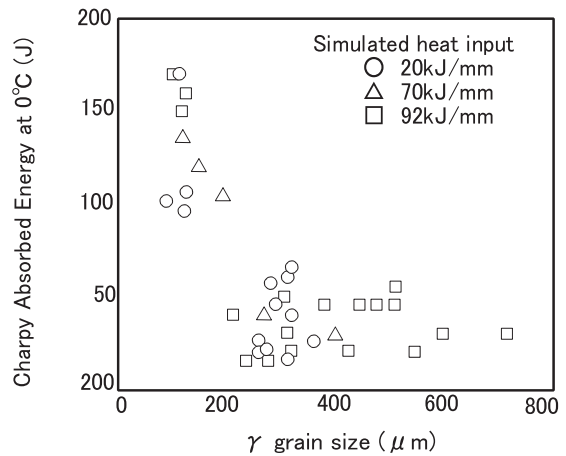


図10 HAZ 金属組織の大きさと衝撃値との関係

いては、大入熱溶接ではなく比較的入熱溶接施工となるため、鋼材に特別な性能が要求されるというよりも適切な溶接材料の選定と多パス溶接となるため高い溶接技量が必要となる施工部位である。また、柱部材には鉄骨の建方用のピース(金物)が取り付けられる場合が多く、短いビード長で小入熱溶接となり鋼材の高硬化化あるいは形状的要因から破壊の起点となる危険性があるため、溶接施工上の留意点として施工要領として最小ビード長さを定めるなどを規定している。

4. 終わりに

鋼材は元来溶接性に富む材料であり、鋼材の発展とともに適合する溶接材料が開発され、また、施工の高効率化のために溶接施工法が開発されてきた。鉄骨構造を考える場合、溶接接合技術は必要不可欠な技術であり、その技術レベルが発展の鍵を握ると言っても過言ではない。今後、鋼材の高強度化あるいは溶接施工のさらなる高効率化を指向とするならば、溶接技術の発展とそれに応じた鋼材開発も必要となるが、建築鉄骨用の溶接としてより合理的な技術として確立するには、それを利用する構造設計者による要求性能と合わせて検討することが肝要である。

## 参考文献

- 1) (社)鋼材倶楽部, 建設省住宅局建築指導課監修: 建築構造用鋼材 (SN 材).
- 2) 鈴木孝彦ら: 新日鐵技報, 第 387 号 (2007), P64-73.
- 3) 山口種美ら: 新日鐵技報, 第 356 号 (1995), P22-30.
- 4) 石井匠ら: JFES 技報, No.21 (2008. 8), P1-7.
- 5) 建設省建築研究所, 鋼材倶楽部: 「高性能鋼利用技術指針」, 1994.
- 6) (社)鋼材倶楽部, 建築構造用高性能 590 N/mm<sup>2</sup> 鋼 (SA440) 設計・溶接施工指針.
- 7) 日本鋼構造協会: 高張力鋼 (780 N/mm<sup>2</sup> 級鋼) の建築構造物への適用, 1998.
- 8) (社)新都市ハウジング協会, (社)日本鉄鋼連盟, (社)日本鋼構造協会: 「革新的構造材料を用いた新構システム建築物研究開発プロジェクト」成果報告書, 2009. 3.
- 9) 高梨晃一ら, ふえらむ Vol.14 (2009) No.2 P9-16.
- 10) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会: 1995年兵庫県南部地震鉄骨構造物被害調査報告書, 1995. 5.
- 11) (社)日本鉄鋼連盟: 柱梁溶接接合部の脆性的破断防止ガイドラインの概要, 「建築構造用鋼材とその利用技術」講習会, 2002.
- 12) 古谷仁志 溶接学会誌, 第76巻 (2007), 第 8 号, P19-22.
- 13) 例えば, 児島明彦ら, 新日鐵技報, 第 380 号 (2004), P33-37.
- 14) 秋山宏ら, 日本建築学会構造系論文集, 第 551 号 (2002. 1), P141-148.