

第 1 6 回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成14年2月14日（木）  
13：00～17：55

場所 川崎製鉄(株)みやざき倶楽部

## 目 次

I	鉄骨溶接部の入熱・パス間温度と品質管理セミナー	
1.	最近の鉄骨用大入熱溶接材料について -----	1
	川崎製鉄(株)本社棒線セクター室 山口忠政	
2.	鉄骨製作者からのパス間温度・入熱管理 -----	11
	駒井鉄工(株)鉄構エンジニアリングセンター技術開発部 横山幸夫	
3.	入熱・パス間温度測定法の実際 -----	18
	(株)ジャスト 笠原基弘	
4.	建築鉄骨溶接部の入熱・パス間温度の設定と管理 -----	26
	清水建設(株)建築本部技術部 倉持 貢	
5.	溶接施工方法と溶着金属の機械的性質 -----	36
	千葉県機械金属試験場 立川克美	
6.	建築基準法の改正と溶接部の品質 -----	46
	日本建築行政会議構造部会 部会長 春原匡利 東京都都市計画局建築指導課	
7.	性能設計とパス間温度・入熱の管理 -----	51
	(株)日建設計構造設計室 津山 巖	
II	パネルディスカッション	
	入熱・パス間温度管理問題を考える	

# 鉄骨用大入熱溶接材料の動向

川崎製鉄株式会社

棒線セクター室

山口 忠 政

## 1. はじめに

1995年1月に発生した阪神淡路大地震では、建築鉄骨の柱梁接合部に多くの破断事例が見られ、鉄骨構造物の耐震性向上の観点から溶接継手部の品質向上に対する要求が強まり多くの検討がなされた。

溶接部の品質は溶接材料の特性と、その施工技術によって決まるものであり、どちらかが不十分の場合、品質を保証することは難しくなる。たとえば決められた範囲内の溶接施工条件の元では良好な特性が得られる溶接材料であっても、使用条件がメーカーの推奨条件から大幅にずれている場合、良好な特性が得られず、場合によっては溶接欠陥発生の原因にもなる。いっぽう、溶接施工管理をきちんとしても、特性が得られない溶接材料を採用した場合には同じく品質保証は難しくなる。すなわち良好な溶接部特性を得ためには、溶接材料の選択を含む溶接施工管理が、極めて重要なポイントとなる。

各溶接材料メーカーでは、自社の溶接材料に関する推奨溶接条件を技術資料等で開示しているが、一般的には溶接入熱量が多く、パス間温度が高いほど溶接部の品質は劣化し易い事が良く知られている。いっぽう、鉄骨価格の低迷から多くのファブでは溶接コスト低減のために高能率溶接（大入熱溶接）方法を採用するケースが多い事から、このような大入熱溶接であっても性能が確保できる溶接材料が検討、開発されてきている。本報では鉄骨を対象とした最近の大入熱溶接材料の動向について主としてCO<sub>2</sub>ソリッドワイヤ、SAW材料を例にとり述べる。

## 2. 建築構造用マグ溶接ワイヤ

### 2.1 490N/mm<sup>2</sup>級 CO<sub>2</sub> 溶接用従来ワイヤ YGW11 の特性

上記背景を受け、(社)日本溶接協会溶接棒部会共研第4分科会では1997年から、従来のJISマグワイヤ(YGW11、YGW15)およびFCW(YFW-C50DM)について溶接入熱量、パス間温度が溶接金属の機械的性質に及ぼす影響について詳細な検討を開始した。また、建設省建築研究所(当時)、(社)鋼材倶楽部(当時)および上記(社)溶接協会は共同で『建築構造用溶接材料と溶接接合部評価方法の確立』委員会(主査:千葉大学森田耕次教授)を設置し、1997年~2001年に主として以下を検討した。

- ① 大入熱・高パス間温度用の高強度・高靱性マグワイヤの検討
- ② 溶接継手部の性能評価方法の検討



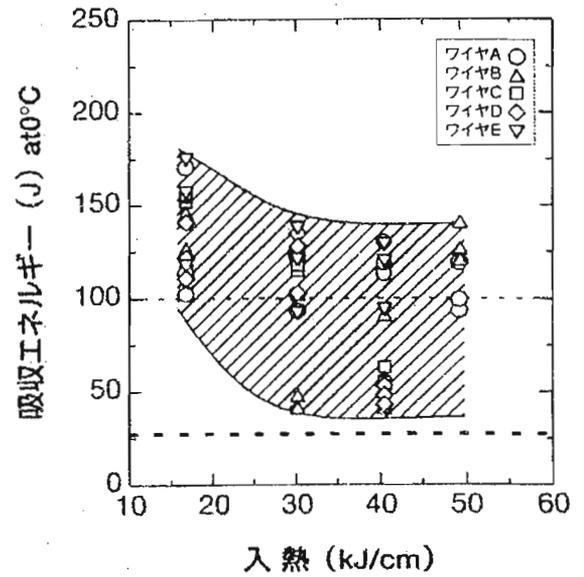
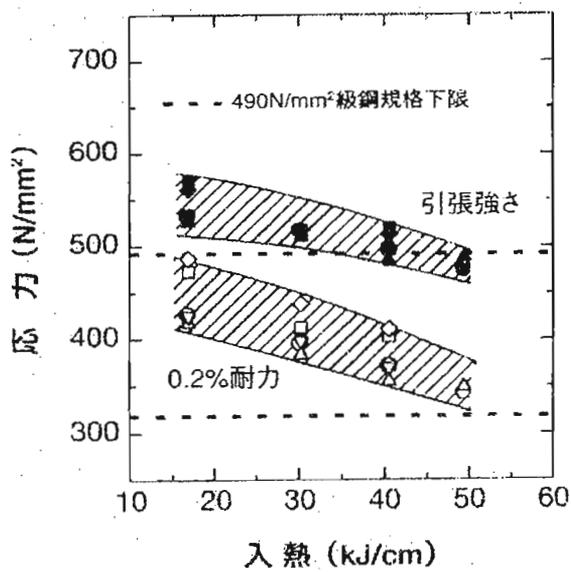


図2 CO<sub>2</sub> 溶接金属の機械的性質に及ぼす溶接入熱量の影響[1]  
(パス間温度 350°C ワイヤ YGW11)

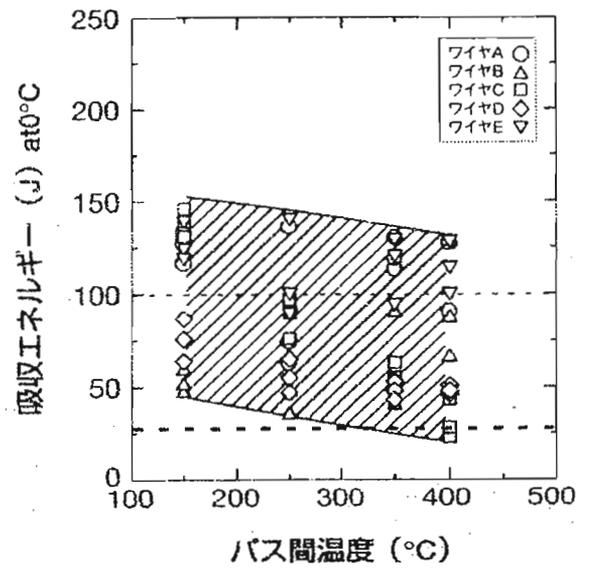
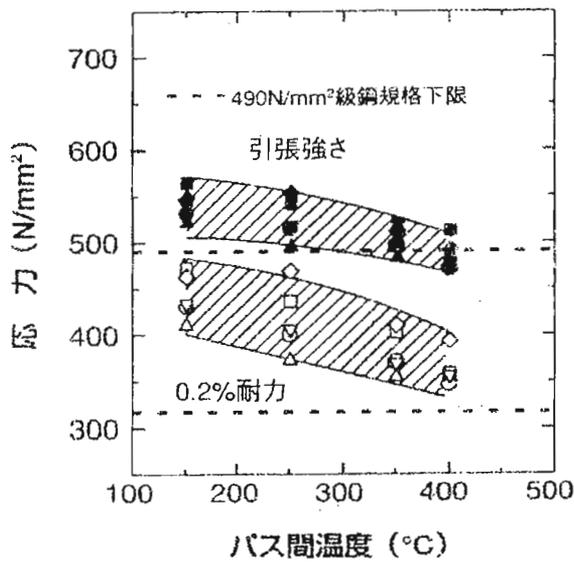


図3 CO<sub>2</sub> 溶接金属の機械的性質に及ぼすパス間温度の影響[1]  
(溶接入熱量 40kJ/cm ワイヤ YGW11)

## 2.2 CO<sub>2</sub> 溶接用 540N/mm<sup>2</sup> 級新ワイヤ YGW18 の特性

日本建築学会制定の鉄骨工事指針・工場製作編 (JASS 6) の管理目標の上限は『溶接入熱量 40kJ/cm、パス間温度 350℃』と規定されており、従来ワイヤ YGW11 ではこの溶接条件で溶接金属引張り強さ 490N/mm<sup>2</sup> を確保する事は難しい。

(社) 日本溶接協会溶接棒部会共研第 4 分科会では JASS6 条件下でも溶接金属特性を確保できるマグ溶接ワイヤ、FCW の検討を行ってきたが、ここでは新しく JIS に導入された CO<sub>2</sub> ワイヤについて述べる。

JASS6 で規定されている管理目標の上限『溶接入熱量 40kJ/cm、パス間温度 350℃』でも引張り強さ 490N/mm<sup>2</sup> 以上、靱性 27J 以上の溶接金属を得るためのワイヤとして JIS の条件 (溶接入熱量 15~20kJ/cm、パス間温度 150℃以下) で溶接金属引張り強さ 540N/mm<sup>2</sup> 以上を確保できる CO<sub>2</sub> ワイヤが選定された。

大入熱溶接で十分な強度と靱性を確保するためには合金元素を添加し、ワイヤの  $C_{eq}$  を高く設計する方法が最も簡単ではあるが、コスト、低入熱溶接時の溶接金属硬さ上昇による割れの危険性の問題があり、合金元素添加には限界がある。新しく開発された CO<sub>2</sub> ソリッドワイヤはこれらの問題が少ないように最適設計されたものであり、後述するように JIS Z 3312 (1999) に YGW18 として追加された。

YGW18 は、あくまでも JASS 6 条件上限で 490N/mm<sup>2</sup> 以上、靱性 27J 以上の溶接金属を得る事のできる CO<sub>2</sub> 溶接用ワイヤであり、JIS 条件下で 540N/mm<sup>2</sup> 確保できるワイヤという意味で 540N/mm<sup>2</sup> 級ワイヤと呼ばれているが、大入熱溶接時に 540N/mm<sup>2</sup> を保証しているものではない。

図 4 はパス間温度 350℃一定として溶接入熱量を変化させたときの、また図 5 は溶接入熱量一定でパス間温度を変化させたときに溶接金属の機械的性質を示したものである。何れの場合も JASS6 条件上限でも引張り強さ 490N/mm<sup>2</sup>、靱性 27J を満足している[1]。

YGW18 を JASS6 条件上限を超えて使用した場合、例えば溶接入熱量 50kJ/cm、パス間温度 350℃あるいは溶接入熱量 40kJ/cm、パス間温度 400℃では靱性は十分余裕があるものの引張り強さには余裕が無く、YGW-18 の適用上限は『溶接入熱量 40kJ/cm、パス間温度 350℃』と規定された。

## 2.3 Ar-CO<sub>2</sub> 溶接ワイヤ YGW15 および新ワイヤ YGW19

CO<sub>2</sub> 溶接用ワイヤ YGW11、YGW18 に対応する Ar-CO<sub>2</sub> 溶接用ワイヤとして YGW15 および YGW19 についても同様の検討がなされた。パス間温度 350℃一定で溶接入熱量を変化させた時の溶接金属機械的性質をそれぞれ図 6、図 7 に示す[1]。CO<sub>2</sub> 溶接ワイヤの場合と同じ理由で YGW15 の適用範囲は溶接入熱量 30kJ/cm、パス間温度 250℃、また YGW19 は 40kJ/cm、350℃と決定された。

## 2.4 溶材メーカーの品揃え

上記の検討結果を踏まえて、国内の溶材メーカー各社は従来の YGW11、YGW12

のほか新規に YGW18、YGW19 を各社の設計思想に基づいて開発、販売している。  
 大入熱溶接でも強度と靱性が確保でき、ファブでの溶接能率アップにもつながるため鉄骨分野での使用量が次第に増加してきている。

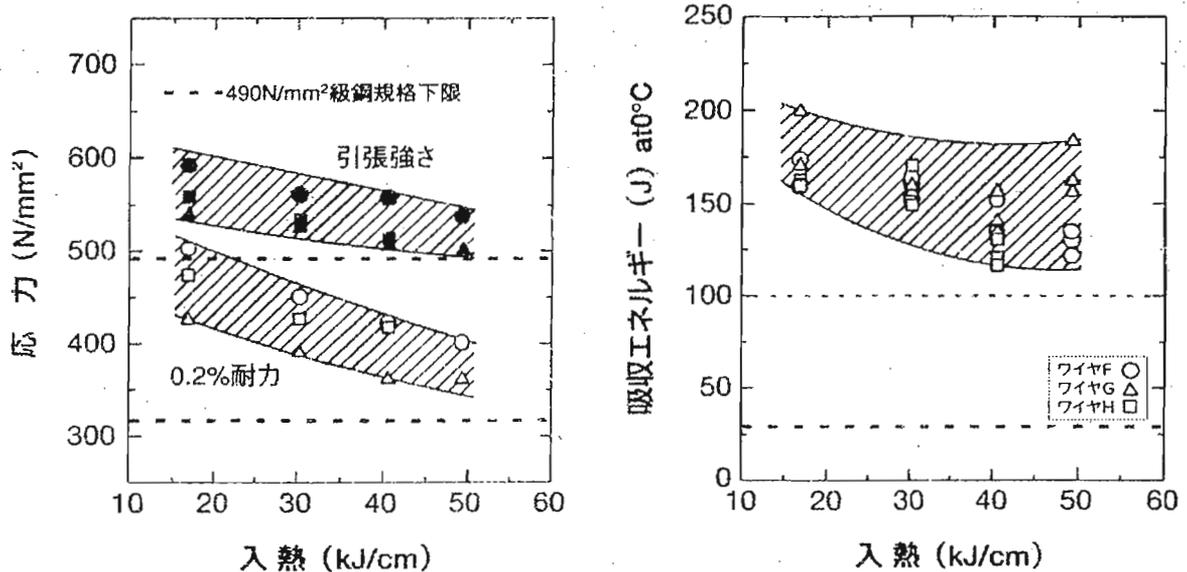


図4 CO2溶接金属の機械的性質に及ぼす溶接入熱量の影響[1]  
 (パス間温度 350°C ワイヤ YGW18)

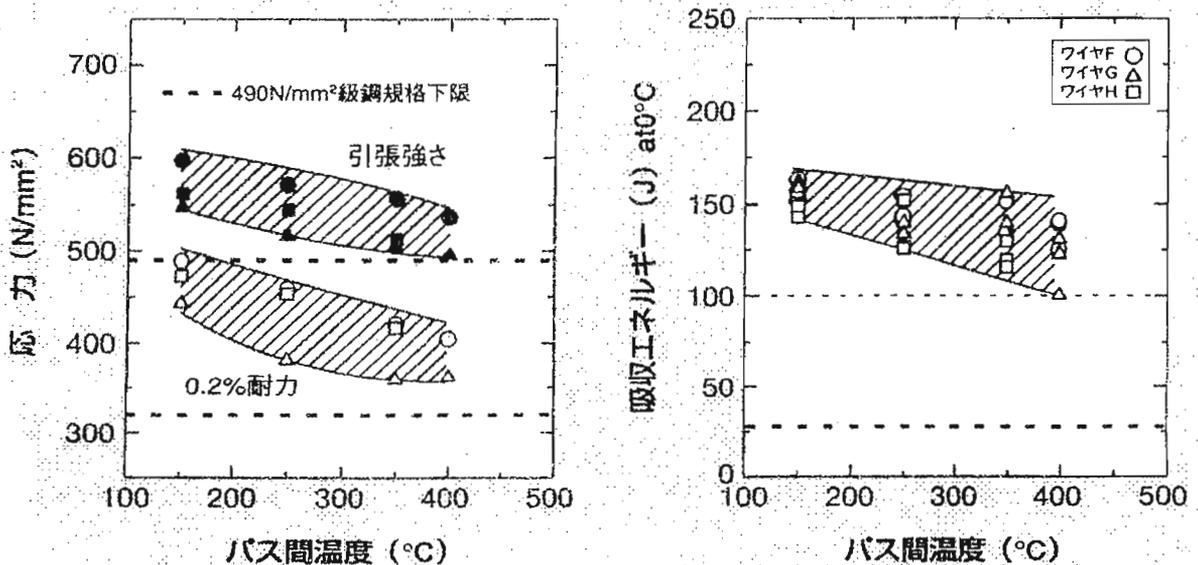


図5 CO2溶接金属の機械的性質におよぼすパス間温度の影響[1]  
 (溶接入熱量 40kJ/cm YGW18)

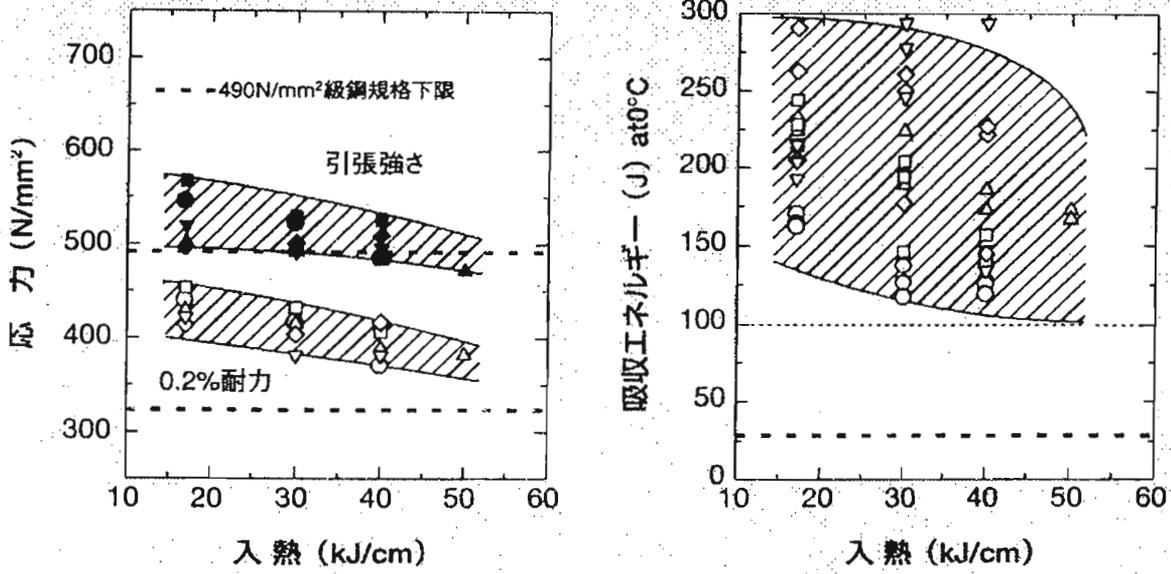


図6 Ar-CO<sub>2</sub> 溶接金属の機械的性質に及ぼす溶接入熱量の影響[1]  
(パス間温度 350°C ワイヤ YGW15)

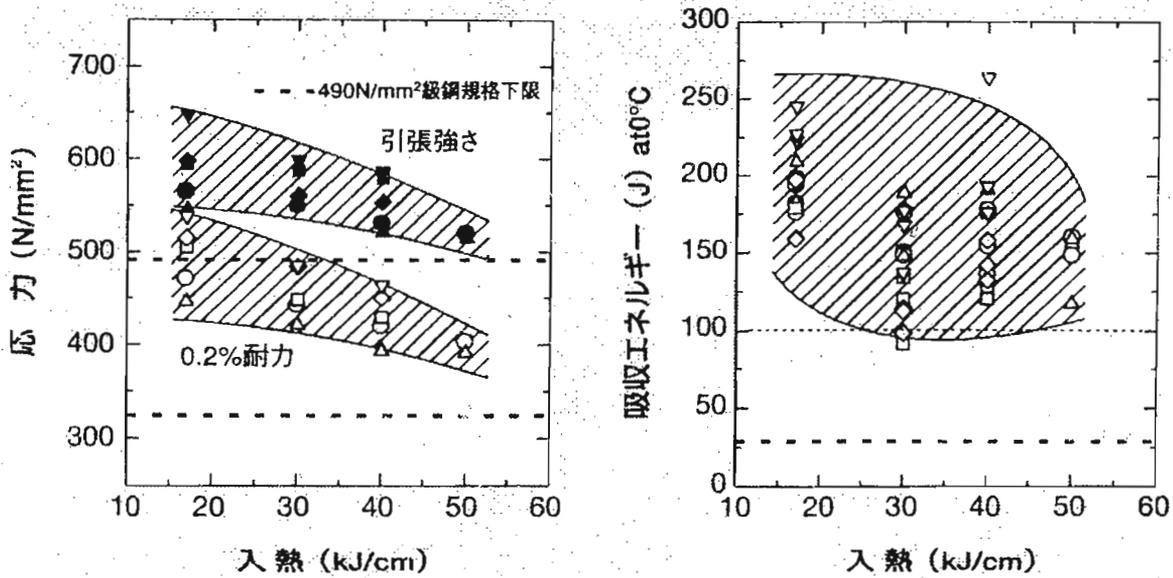


図7 Ar-CO<sub>2</sub> 溶接金属の機械的性質に及ぼす溶接入熱量の影響[1]  
(パス間温度 350°C ワイヤ YGW19)

## 2.5 マグ用ソリッドワイヤの改定 JIS と鉄骨への適用区分

上記の検討結果を基に JIS Z3312『軟鋼及び高張力鋼用マグソリッドワイヤ』が 1999 年に改定された。表 1 に JIS Z3312 に分類されているワイヤの種類を、また表 2 に溶着金属の機械的性質を示すが、CO<sub>2</sub> 溶接用 YGW18 および Ar-CO<sub>2</sub> 溶接用ワイヤ YGW19 が新たに追加された鉄骨用ワイヤである[2]。

表 1 ワイヤの種類[2]

ワイヤの種類	シールドガス	主な適用鋼種
YGW11 YGW12 YGW13 YGW14	炭酸ガス(CO <sub>2</sub> )	軟鋼及び引張強さ 490 N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼
YGW15 YGW16 YGW17	80 %アルゴン-20 %炭酸ガスの混合ガス (80 Ar-20 CO <sub>2</sub> )	
YGW18	炭酸ガス(CO <sub>2</sub> )	引張強さ 490 N/mm <sup>2</sup> , 520 N/mm <sup>2</sup> 及び 540 N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼
YGW19	80 %アルゴン-20 %炭酸ガスの混合ガス (80 Ar-20 CO <sub>2</sub> )	
YGW21 YGW22	炭酸ガス(CO <sub>2</sub> )	引張強さ 590 N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼
YGW23 YGW24	80 %アルゴン-20 %炭酸ガスの混合ガス (80 Ar-20 CO <sub>2</sub> )	

表 2 溶着金属の機械的性質[2]

ワイヤの種類	引張試験			衝撃試験	
	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	降伏点又は 0.2 %耐力 <sup>(2)</sup> N/mm <sup>2</sup>	伸び %	試験 温度 ℃	シャルピー吸収 エネルギー J
YGW11	490 以上	390 以上	22 以上	0	47 以上
YGW12					27 以上
YGW13					
YGW14	420 以上	345 以上			
YGW15	490 以上	390 以上		-20	47 以上
YGW16					27 以上
YGW17					420 以上
YGW18	540 以上	430 以上		0	47 以上
YGW19				-20	47 以上
YGW21	570 以上	490 以上	19 以上	-5	47 以上
YGW22					27 以上
YGW23				-20	47 以上
YGW24					27 以上

注<sup>(2)</sup> 降伏点か、0.2 %耐力かを試験成績書などに明記する。

JIS Z3312 解説の中に鉄骨の柱梁の溶接に多く使用される従来のワイヤ YGW11、YGW15 および新規に制定した 540N/mm<sup>2</sup> 級ワイヤ YGW18、YGW19 に関し、鉄骨建築物におけるワイヤ使用区分として表 3 が掲載されている[2]。これは要求される溶接金属の機械的性質を安定的に確保するために管理すべき溶接入熱量、パス間温度を示したもので、520N/mm<sup>2</sup> 級鋼の場合は YGW18、YGW19 のみ溶接入熱量 30kJ/cm、パス間温度 250℃までの適用が可能となっている。

表 3 鉄骨造建築別におけるワイヤの使用区分[2]

	溶接条件		適用鋼材の引張強さ		
	入熱 (kJ/cm)	パス間温度 (℃)	400 N/mm <sup>2</sup> 級	490 N/mm <sup>2</sup> 級	520 N/mm <sup>2</sup> 級
1	15~20	≦150	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19
2	15~30	≦250	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19
3	15~40	≦350	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19	

### 3 SAW 溶接材料と高能率溶接技術

柱梁のマグ溶接の他、鉄骨では BOX 柱の角溶接、BH のすみ肉溶接などに SAW 法も多用されている。最近の大型プロジェクトではビルの高層化に伴い、使用される鋼板の板厚も増加傾向にあり、溶接能率の観点から電源容量が十分にある場合は板厚 60mm までの BOX 柱角溶接は 1 パスで行われる例も多い。板厚の増加により 1 パス溶接入熱量も大きくなり、例えば板厚 50mm では 400kJ/cm 程度、板厚 60mm では 550kJ/cm 程度にも達し、ボンド部、溶接熱影響部の機械的性能に優れた鋼板の開発とあわせて溶接金属の強度と靱性が確保できる溶接材料が課題となっている[3]。

SAW 溶材に関しては公表されているデータが少ないため川崎製鉄(株)のデータを基に最近の溶接材料、溶接技術について報告する。

板厚 60mm の BOX 柱を (6.4φ+6.4φ) の 2 電極 SAW 法により溶接入熱量 550kJ/cm で 1 パス溶接した一例を図 8 に、また溶接金属の機械的性質の一例を表 4 に示す。溶接材料の適正化により、550kJ/cm の入熱量でも良好な特性が得られており、最近一部プロジェクトで要求されている靱性 70J もぎりぎりではあるが満足している。

表 4 板厚 60mmBOX 柱溶接施行結果一例

溶接材料銘柄	溶接入熱量	溶接金属 YS	溶接金属 TS	溶接金属 vE0
ワイヤ KW-55 (6.4φ+6.4φ) フラックス KB-55I	550 (kJ/cm)	480 (N/mm <sup>2</sup> )	637 (N/mm <sup>2</sup> )	75 (J)

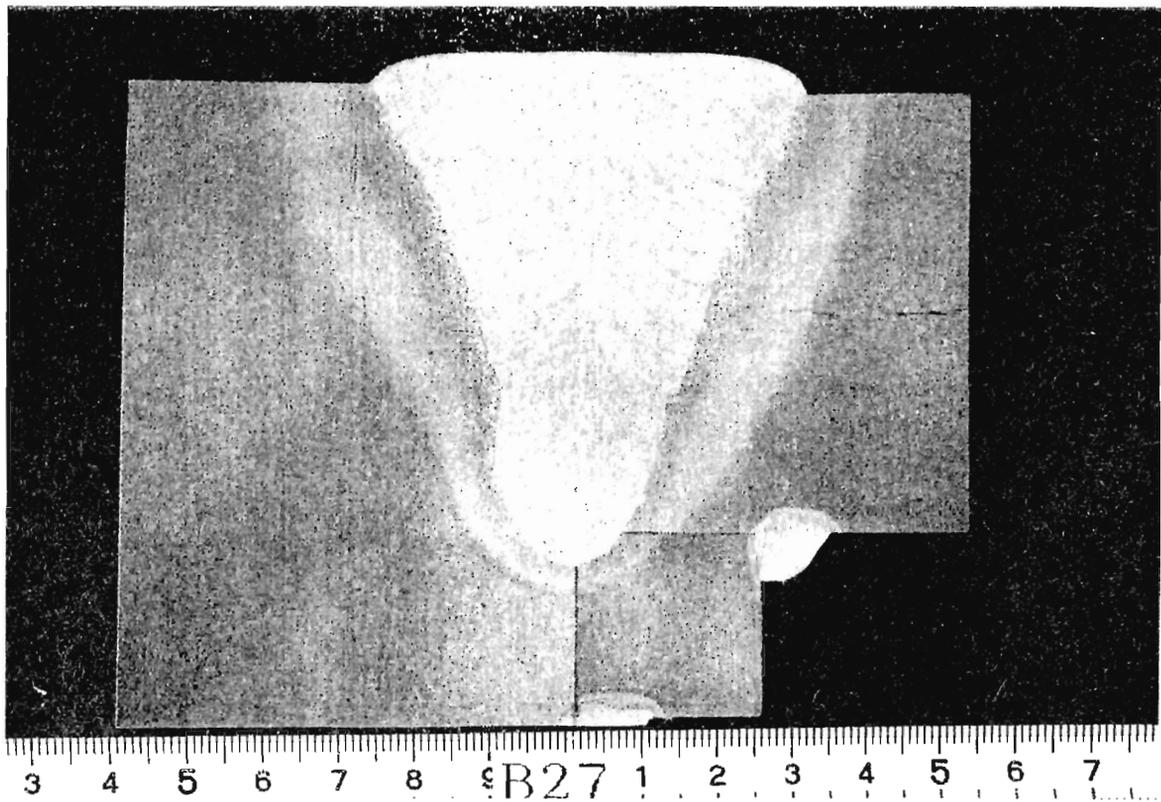


図8 板厚 60mm の BOX 柱 1 パス溶接例 (先行極 6.4mm φワイヤ)

先行極に 6.4mm φ のワイヤを用い板厚 60mm の 1 パス SAW を行うには先行極電流は 2000A を超えるためトランス容量も 3000A 程度必要となるが、実際には 2000A までのトランス容量しかないファブも多い。この様なお客様でも板厚 60mm の 1 パス溶接を可能とするために、先行極に 5.1mm φ ワイヤを適用し、必要な溶け込みと溶着量を確保する溶接施行技術を開発し、高性能 SAW 材料との組み合わせで使用頂いている。表 5 に溶接条件の一例を示すが先行極電流 1900A で 60mm の 1 パス溶接が可能である。図 9 が断面マクロ組織を示したものである。

表 5 先行極 5.1mm φ ワイヤによる 60mm BOX 柱溶接条件例

溶 接 条 件	開 先 形 状
先行極 (5.1mm φ) : 1900A 後行極 (6.4mm φ) : 1500A 溶接入熱量 : 545kJ/cm	
ワイヤ : KW-55 フラックス : KB-55I	

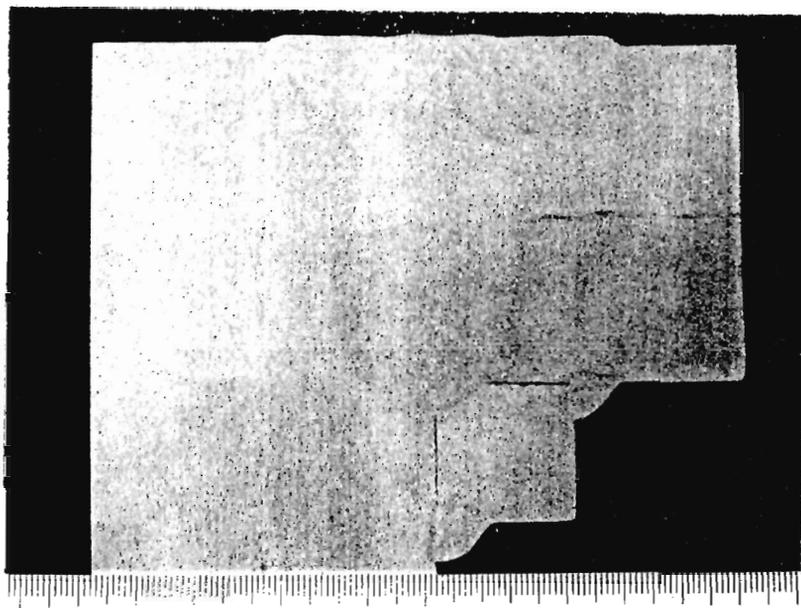


図9 板厚 60mm の BOX 柱 1 パス溶接例 (先行極 5.1mm φワイヤ)

60mm を超える BOX 柱についても高能率多層 SAW 技術を確立しており、さらには厚肉 BH 用を対象とした高性能 SAW 材料と高能率 SAW 技術も開発済みであるが詳細については講演の中で説明したい。

#### 4. まとめ

鉄骨溶接を対象とした最近の高性能溶接材料とこれらを用いた高能率溶接技術の最近の動きについて紹介した。鉄骨溶接部に要求される特性は次第に厳しくなっているが、各鋼材メーカー、溶材メーカーは価格アップを抑制しながら使い勝手が良く、かつ要求特性を満足できる材料開発、改良を継続しており、今後もユーザーニーズにマッチした材料を供給してくつもりである。

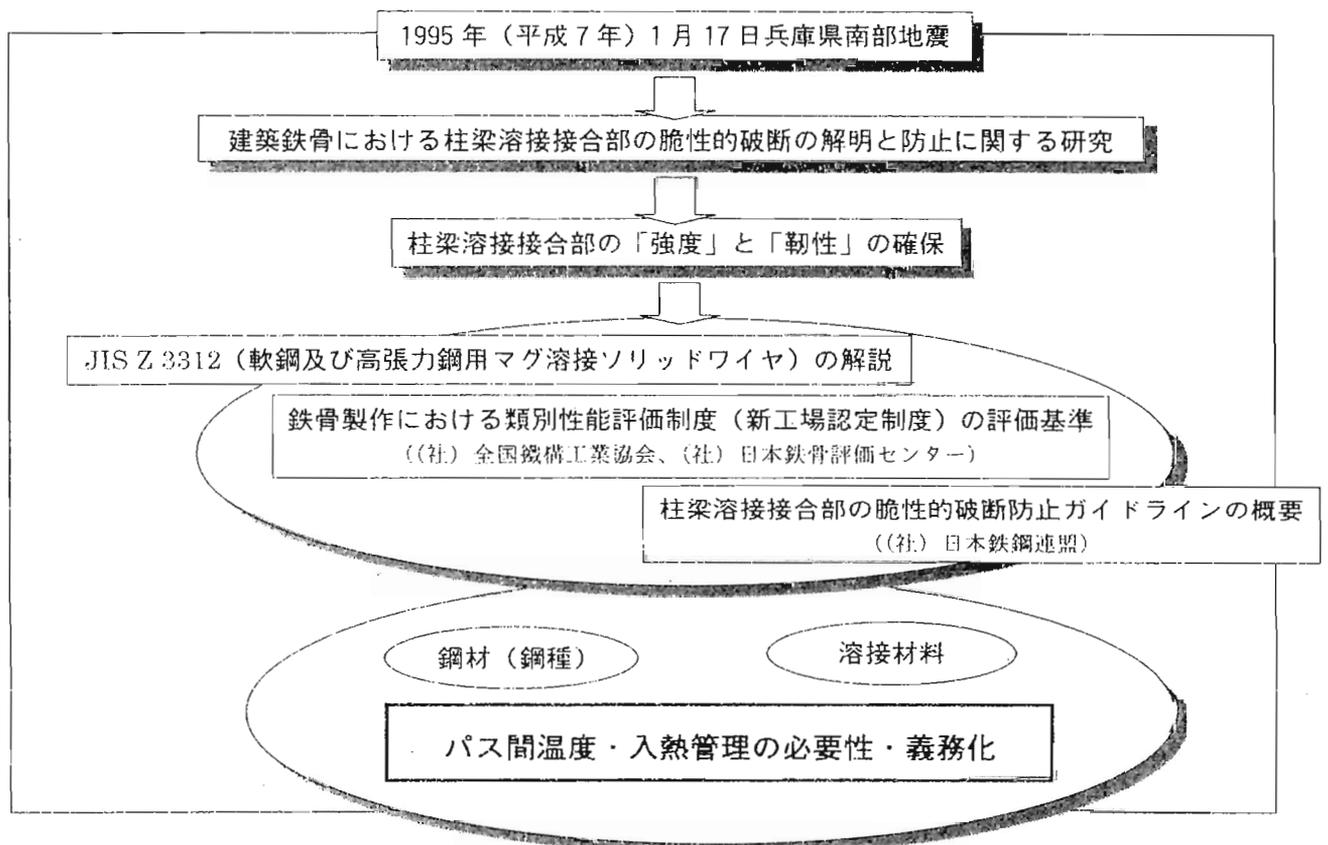
#### 5. 参考文献

- [1]向井、中野、岡本、森田：建築構造用マグ溶接ワイヤの検討  
構造論文集第7巻26号(2000年6月) pp13-pp25
- [2]日本工業規格 JIS Z3312：1999 軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ
- [3]児島、植森、皆川他：建築鉄骨用大入熱溶接対応 490～590N/mm<sup>2</sup> 級厚板の開発  
日本建築学会学術講演梗概集 22381 p761

# 鉄骨製作業者の立場からのパス間温度・入熱管理

平成 14 年 2 月 14 日

駒井鉄工株式会社 横山 幸夫



パス間温度・入熱の管理を実施することを前提

●パス間温度・入熱管理の現状の問題点及び課題

●パス間温度・入熱管理を実施するための方策

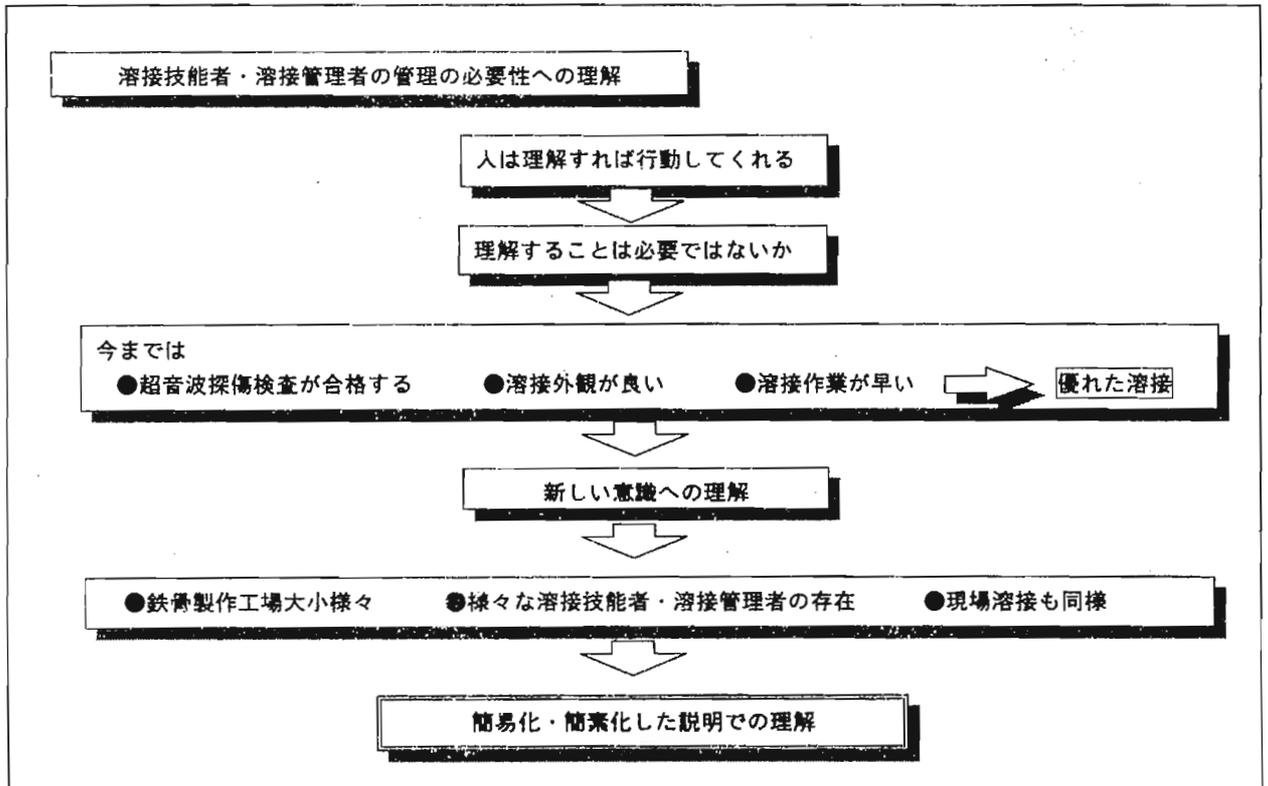
パス間温度・入熱管理の問題点及び課題

(1) 溶接技能者・溶接管理者が管理の必要性を  
理解しているか  
理解することができるか  
理解することは必要か

(2) 管理対象・管理値を明確化させているか

(3) 管理方法もしくは管理手順は難しくないか

(4) 鉄骨製作のコストアップの問題



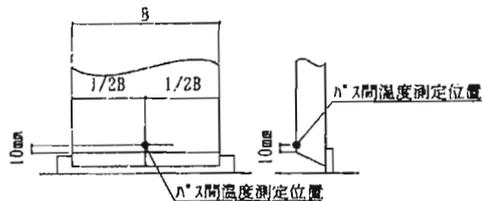
### パス間温度と入熱

パス間温度とは、

「多パス溶接において次のパスの始められる前のパスの最低温度」

パス間温度の測定位置

柱梁溶接接合部の柱と梁フランジの溶接におけるパス間温度は、梁フランジ幅の中央位置で、開先より 10mm の位置とする。



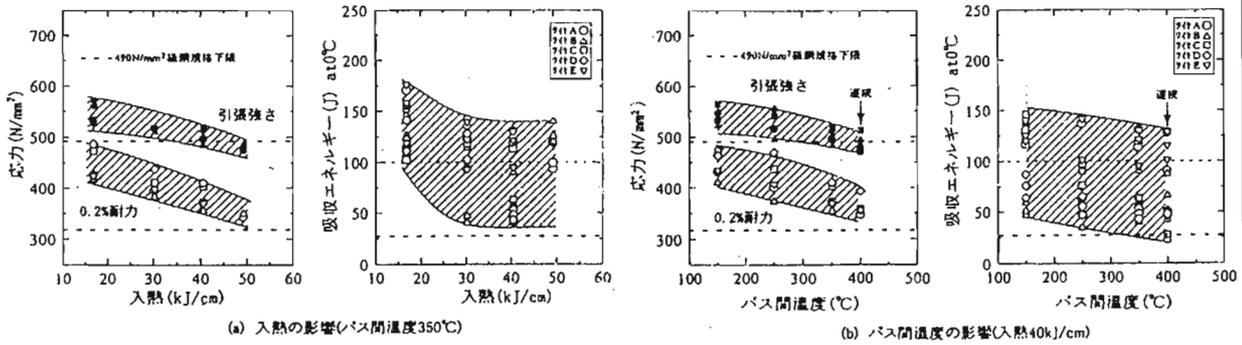
入熱とは、

「単位溶接長さあたりの溶接によって与えられた熱量」

$$\text{入熱 (J/cm)} = \frac{\text{電流 (A)} \times \text{電圧 (V)} \times 60}{\text{溶接速度 (cm/分)}}$$

溶接金属の機械的性質（強度と靱性）に及ぼすバス間温度、入熱の影響（490N/mm<sup>2</sup>ワイヤ）

（出典：鋼構造論文集 Vol. 6, No. 26, 2000.6）



鉄骨造建築物におけるワイヤの使用区分（JIS Z 3312 解説表1より）

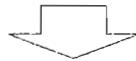
	溶接条件		適用鋼材の引張強さ		
	入熱 (kJ/cm)	バス間温度 (℃)	400 N/mm <sup>2</sup> 級	490 N/mm <sup>2</sup> 級	520 N/mm <sup>2</sup> 級
1	15~20	≦150	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19
2	15~30	≦250	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19
3	15~40	≦350	YGW-11, 15, 18, 19	YGW-18, 19	

管理対象・管理値について

今までのバス間温度・入熱管理の研究・議論の対象  
通しダイアフラム形式の柱梁溶接接合部  
(梁端接合部)



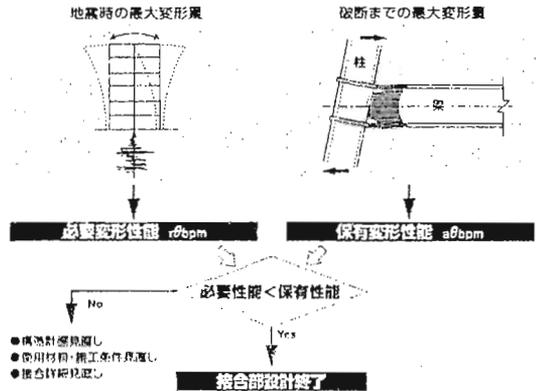
(社)日本鉄鋼連盟建築専門委員会：柱梁溶接接合部の脆性的破断防止ガイドラインの概要、「建築構造用鋼材とその利用技術」講習会、平成14年1月



柱梁溶接接合部以外の溶接接合部については管理が必要か？、不必要か？、また、必要な場合の管理値は？

やみくもに全ての完全溶込み溶接部を管理しようとしていないか？

柱梁接合部における脆性的破断防止の考え方



工事着手(契約)前に、管理対象と管理値を発注側と受注側で明確化させ、バス間温度・入熱管理を実施する

管理の対象はどこかを取決める

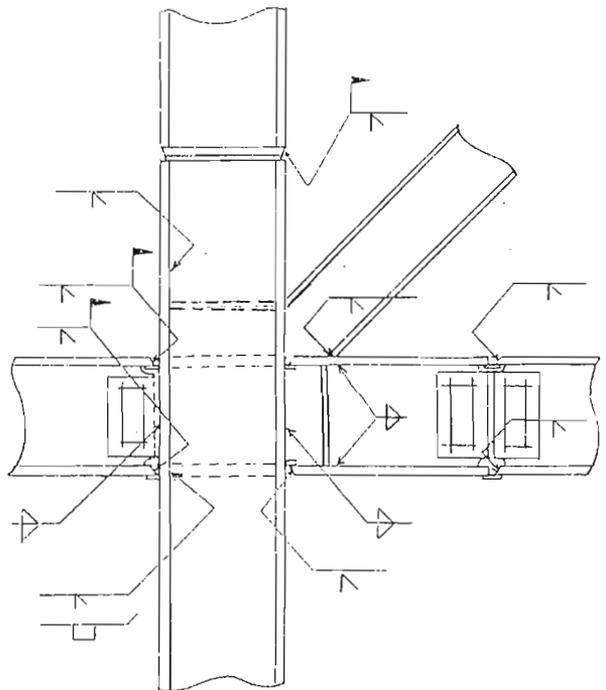
- 工場溶接継手
- 現場溶接継手
- どこの溶接部位もしくは溶接継手

必要な性能を明確化させる

- 強度
- 靱性値  
(27J以上、47J以上、70J以上)

使用する鋼材(鋼種)と溶接材料から、バス間温度・入熱の管理値を確認する。

研究・実験データ・施工データが不足しているか



管理方法（手順）について

現状のバス間温度・入熱の管理方法（手順）の方法

- 標準的な積層パターン（溶接条件、待機時間）を設定して行う方法
- 温度チョークを用いる方法
- 表面温度計を用いる方法
- 示温材を用いる方法

- 難しくはないか
- 煩雑ではないか
- 手間と時間がかかる

実施しにくくなるのではないか

溶接作業性の注意点

管理を省力化させるために、490N/mm<sup>2</sup>の鋼材に対して溶接ワイヤYGW-18を使用する

成分調整の関係からワイヤの送給ケーブル、チップ等の送給性の悪さ生じる場合があるので注意

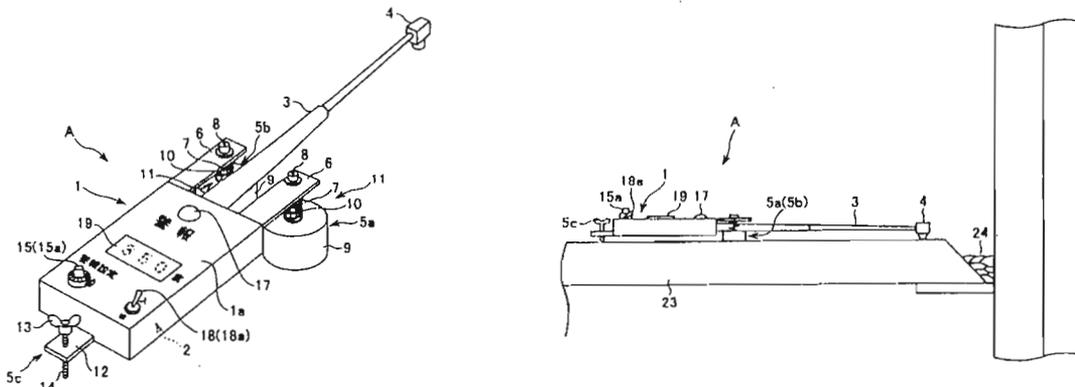
溶接管理（手順）を簡略化させる方法はないか

例1) 鋼材（鋼種）及び溶接材料について

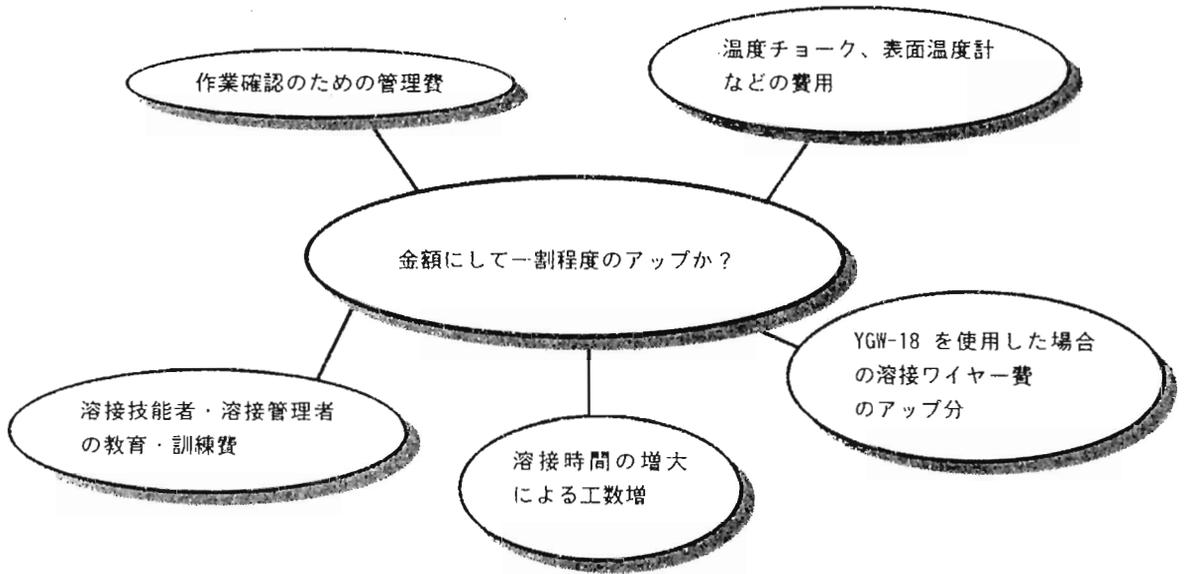
バス間温度：600℃、入熱：80kJ/cmで溶接を行っても、溶接部の必要な強度と靱性が確保可能な鋼材（鋼種）及び溶接材料の開発ができないか

例2) 溶接管理を簡略化させる方法はないか。

バス間温度管理装置の例（駒井鉄工機：特許出願中）



コストアップの要因について



ま と め

バス間温度・入熱管理の実施

1. 管理対象・管理値の明確化
2. 管理方法（手順）の簡易化
3. コストアップの対策

研究・開発として

- 通しダイアフラム形式柱梁溶接接合部（梁端接合部）以外の溶接部位の必要性能
- 高バス間温度・大入熱に対応可能な鋼材・溶接材料

# 入熱・パス間温度測定の実際とその確認法

(株) ジャスト 笠原基弘

## 1. はじめに

2000年6月1日に国土交通省告示1464号が發布され、鉄骨造の継手及び仕口に関する規定が改正された。

建設省告示1103号が廃止され、それに伴い鉄骨製作工場の類別基準が見直され、新工場認定制度がスタートした。

1995年に発生した兵庫県南部地震によって溶接継手からの破断が多く見られ、その後の調査・研究から破断の主なものとしては

- (1) スカラップ底からの破断
- (2) 組立溶接からの破断
- (3) エンドタブ付近からの破断
- (4) 過大な溶接熱影響による破断

が起因とされている。

上記(1), (2), (3)については、その後の「日本建築学会 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事」(1996)の改定に伴い具体的な規定が示された。

しかし、(4)に関する規定に関しては「日本建築学会 鉄骨工事技術指針」(1996)に推奨値が示されているものの、2000年に改定された告示にも具体的な規定はされていない。

溶接施工は、ある特定の項目を確認しただけでは保証できない特殊工程であり、溶接金属の性能の良否は溶接前の材料・組立検査から始まり、溶接施工中や溶接後の検査が一貫して管理されて良好な性能が得られる。

なお、溶接入熱・パス間温度を詳細に管理するためには、溶接施工中に溶接技能者ごとにそれらを計測しなければならないために、膨大な管理コストの増加となる。

ここでは、工場及び現場における入熱・パス間温度測定法について解説すると共に、溶接施工条件の管理にかかるコストをできるだけ低減し、今後、効率よく簡便に実施するための「入熱・パス間温度の管理・推定法」について解説する。

## 2. 溶接継手の特性

建築鉄骨の健全性は、ひとえに溶接継手に

かかっているといっても過言ではない。

溶接継手の健全性を確保する観点から、特に留意しなければならない特性として、次の4つがある(図1)。

- (1) 溶接欠陥(割れ、内部欠陥)
- (2) 残留応力(拘束力、溶接順序)
- (3) 形状不連続(表面欠陥、変形)
- (4) 冶金的不連続(結晶組織)

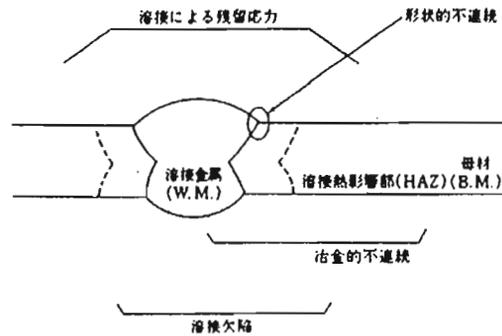


図1 溶接継手の特性

これらの内、(1), (2), (3)については通常の溶接ゲージや測定機器を用いて計測・管理が行われている。

(4)についてはミクロ的な特性であり、直接目視で確認ができないため、従来からあまり重要視されにくい現状がある。

そこで、溶接施工や管理の側面から内質的な特性を外部から簡便に識別できる方法が期待されている。

## 3. 溶接入熱

溶接ワイヤ規格には、母材と溶接ワイヤの種類によって、溶接入熱が規定されている。

一例としてはJIS Z 3312-1999「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ」の解説がある。

入熱(H)は、一般的に次式で示される。

$$H=60 \cdot E \cdot I / v \quad \dots (1)$$

ここで、H: 溶接入熱(kJ/cm)

E: 電圧(V)

I: 電流(A)

v: 溶接速度(cm/min)

溶接入熱を具体的に求めるには、

(a) クランプメータによる電流・電圧測定

(b) ストップウォッチによる溶接速度測定  
を実施することによって得られる。

なお、詳細データが必要ない場合には、使用する溶接ワイヤの種類・ワイヤ径・溶接姿勢によって適正な条件（電流・電圧）がほぼ選定されるため、それらを代用することも可能である。

例えば、YGW11、 $\phi 1.2$  ( $\phi 1.4$ ) での下向溶接を行う場合の適正条件は、図2から  $I \approx 300A$  (400A),  $E \approx 30V$  (40V) 前後の範囲である。

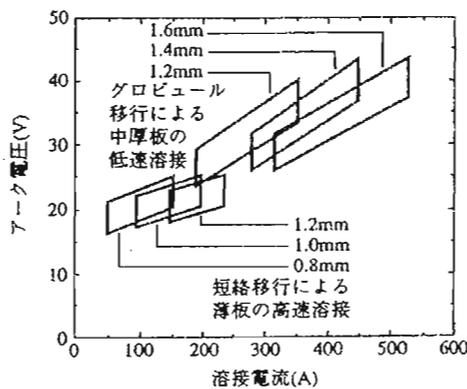


図2 マグ溶接の適正溶接条件

その場合、溶接入熱を  $H \leq 30kJ/cm$  としたときの溶接速度は、 $v \geq 18cm/min$  (32cm/min) に、また  $H \leq 40kJ/cm$  とすると  $v \geq 14cm/min$  (24cm/min) でなければならないことになる。

溶接入熱は電流及び電圧と溶接速度に影響されるが、溶接速度に最も影響を受ける。

したがって、溶接入熱の管理は溶接ビード幅を制限することによって簡便に行うことができるといえる。

#### 4. パス間温度

溶接ワイヤの規格には、溶接入熱と同様、母材と溶接ワイヤの種類によって、パス間温度が規定されている場合がある。

一例として、JIS Z 3312 - 1999「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ワイヤ」の解説にも記載されている。

パス間温度は、「次のパスを溶接する直前の温度」と定義されている。

溶接用語の定義からするとパス間温度は溶接金属の表面を計測しなければならないが、実際には計測が困難なため、建築鉄骨では溶

接線の中央部で開先面の肩から10mmの母材部とすることが通例となっている（図3）。

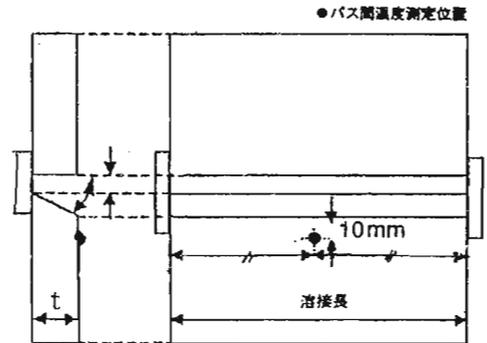
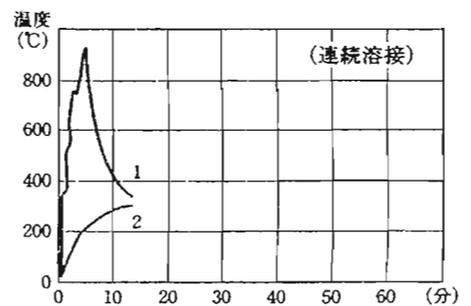
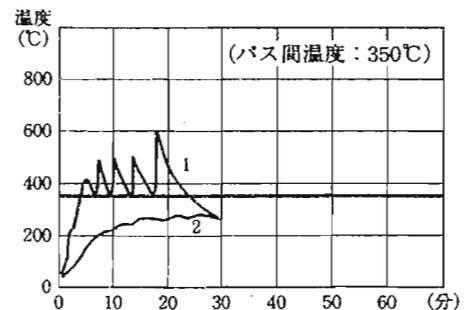
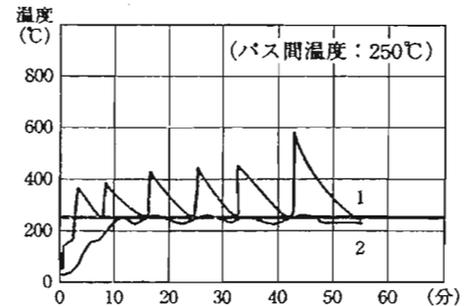


図3 パス間温度の測定点

溶接ワイヤの研究などでは、この位置に熱電対を取り付けて連続的に温度計測が行われている。

図4にパス間温度の差異による母材部の温度分布の例を示す。



(熱電対使用) 開先面から 1:10mm 2:50mm

図4 パス間温度の差異による温度変化

連続溶接による母材の温度変化は、開先面の肩から10mmの位置では最高900℃程度に、50～100mmの位置では200～300℃程度と、距離によってその温度上昇が異なる。

パス間温度は、各溶接技能者かつ各パスごとに測定しなければならないため、随時計測する場合には膨大な管理コストがかかる。

しかし、パス間温度を詳細に管理することは困難なため、実際の溶接環境に応じて溶接手順の流れをマニュアル化することが必要となる。

## 5. 表面温度計

表面温度計の種類は、接触温度計と非接触温度計に大別される。

パス間温度の最高は実質的には700℃程度であるため、パス間温度用には少なくとも500℃程度まで計測できるものが必要である。

非接触温度計は放射熱によって計測するものであるが、測定温度は被測定物の色の影響を受け、計測する測定視野径ができるだけ小さくないと、溶接熱による局所的な温度変化に追従できず、パス間温度を正しく測定できない。そのため、パス間温度の測定には表面接触温度計が適している。

機種には、反応速度が比較的速く、またセンサー部の接触寸法が15mm以下、プローブの長さが200mm程度のものが適当である。

## 6. 溶接熱サイクル

鋼における溶接熱サイクルは、非常に高温かつ局所的であり、アークは3,000℃以上、また溶接金属は1,500℃程度以上に熱せられた部分である。

常温の鋼は非常に熱伝導が悪く、溶接熱によって瞬時に高温になっても、溶接付近から300mm程度も遠ざかった部分での温度は常温と大差がない。その一例がショートビードであり、極端な場合がアークストライクである。

しかし、連続溶接では溶接熱の蓄積が大きくなり、冷却速度(800℃→500℃の傾斜)が遅くなる。

溶接金属の機械的性質は冷却速度に影響されるため、マグ溶接による連続溶接はできるだけ避けなければならない。

## 7. 溶接強度に及ぼす要因

溶接金属は、母材の種類と溶接ワイヤである溶着金属の種類によって影響を受ける。

母材の強度は主に化学成分と熱処理によって決定されるが、溶接金属の強度は基本的に添加された化学成分によって決まる。

これが溶接施工ではできるだけ多層多パスで行い、結晶組織の改善を図らなければならない理由である。

図5に示すようにJISでは母材の化学成分に比べ、溶接ワイヤでは添加されている化学成分であるSiとMnが多くなっている。

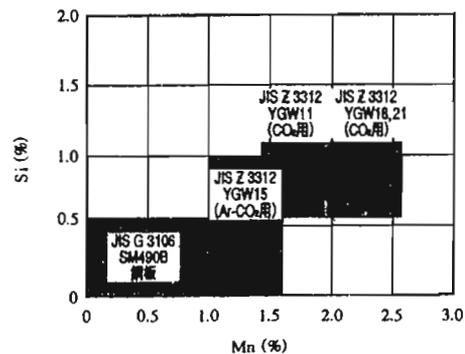


図5 規格による化学成分の規定

マグ溶接ソリッドワイヤでもシールドガスが炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)と混合ガス(Ar+CO<sub>2</sub>)の場合では、その化学成分の規定が異なる。

この理由は、CO<sub>2</sub>は高温ではCO<sub>2</sub>→CO+O<sub>2</sub>に解離して酸素量(O<sub>2</sub>)が増加し、溶接金属中に侵入する。

そのため、脱酸剤であるSiとMnの化合物を生成させ、ビード表面上にスラグを形成させることにより溶接金属内を清浄化している。

したがって、大入熱の施工ではCO<sub>2</sub>ソリッドワイヤに添加されているSiやMnの歩留まりが低下し、溶接強度が低下することになる。

なお、Arガスは不活性なため、添加元素の消耗は少ない。

溶接ワイヤの基本的な品質保証の範囲は、溶接入熱が20kJ/cm、パス間温度が150℃前後における性能であるが、パス間温度の遵守はコストの増大につながるため、高能率な施工が可能ないように大入熱・高パス間温度による強度低下を見込んだ540N/mm<sup>2</sup>相当のYGW18・YGW19などが開発され、今後建築鉄骨に普及していくことが予想される。

## 8. 温度チョークと示温材

温度変化を計測する方法は、いわば温度による物質の特性を利用したものであるが、示温材は温度変化によって変色する物質を利用して温度を計測するものである。

建築鉄骨で広く普及している示温材として、従来から温度チョークが使われている。

従来型の温度チョークは、溶接時の予熱や後熱などに使われ、その目的の温度以上になるとチョークが溶けて被測定物に描けるものである(図6)。

温度チョークの使用には、ある程度熟練が必要であり、使い慣れないと表示温度より低くも溶け出したと誤認することがある。

不可逆性示材は被測定物に常温で塗布しておき、目的の温度によって変色した後は元にもどらないものである。

変色温度は、使用する塗料の種類に応じて加熱時間と加熱速度などにより変化する。

常温で塗布する示温材には、示温物質を有機溶剤に含有した液体型と固形化されたクレヨン型のものがある(図7)。

液体型は変色が鮮やかであるが塗布しにくく、クレヨン型は発色が劣る反面、使い勝手が非常に優れている。



図6 従来型温度チョーク

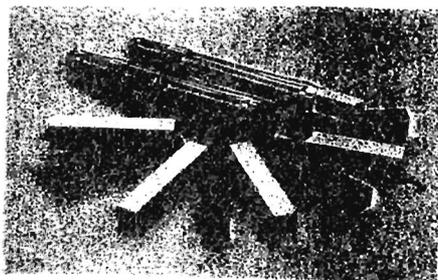


図7 液体型とクレヨン型の示温材

## 9. 不可逆性示温材の特性

不可逆性示温材の変色現象は、化学変化に基づくものであるため、その変色温度は種々の因子に影響を受けて変動する。

変色温度に影響を及ぼす因子としては、加熱速度及び加熱時間などの加熱条件が支配的である。

測定する箇所の温度上昇が最初からわかっていることは少ないが、その概略の温度上昇を把握してから計測すれば、不可逆性示温材を用いて正確な測定が可能である。

図7の不可逆性示温材は、常温での原色が青色と桃色の2種類で、それらは目的の温度に達すると、青色が白色に、また桃色が黒色に変色する(図8)。

青色の示温材は、600℃で2秒で、350℃で約1時間加熱されると白色に変色するが、300℃以下では変色しない。

桃色の示温材は、370℃で2秒で、250℃で約1時間加熱されると黒色に変色するが、200℃以下では変色しない。

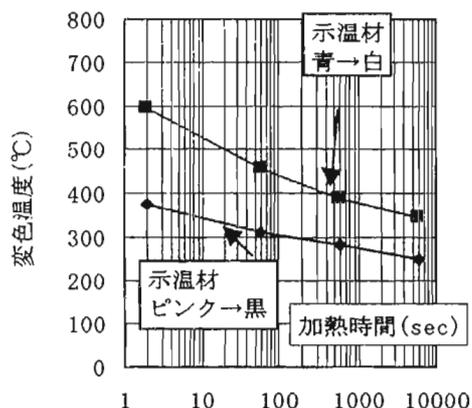


図8 不可逆性示温材の変色特性

## 10. 示温材によるパス間温度管理

パス間温度は次のパスを溶接する直前の温度であるが、表面温度計や従来型温度チョークを使って、溶接技能者や溶接管理者が各パスごとに測定・確認しなければならず、煩雑であるばかりか、膨大なコストがかかる。

そこで、溶接開始前に不可逆性示温材を溶接線と直交するように塗布しておき、適切に溶接手順に従って溶接した後、常温になってからその変色域(長さ)を測定すれば、パス間温度の履歴を確認することができる。

なお、パス間温度は溶接時の最高温度を示すものではなく、また最高温度によって示温材は直ちに变色するわけではない。

シオンクレヨンを使った場合、パス間温度が150~450℃では高温用の青色が白色に数mm~50mm程度まで变色し、低温用の桃色が黒色にその2~3倍程度の長さまで变色する。

不可逆性示温材は一度变色すると、剥がれない限りその变色域は変わらないため、記録性が優れている。

図9は溶接前の示温材の塗布例、図10は溶接後の变色例である。

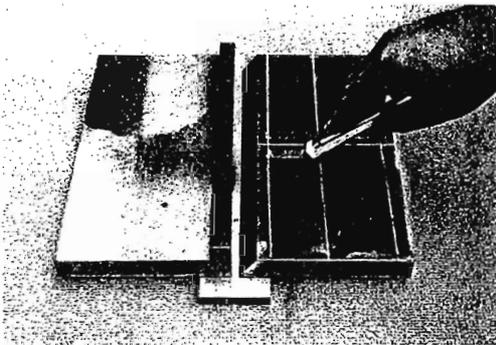


図9 溶接前の示温材の塗布

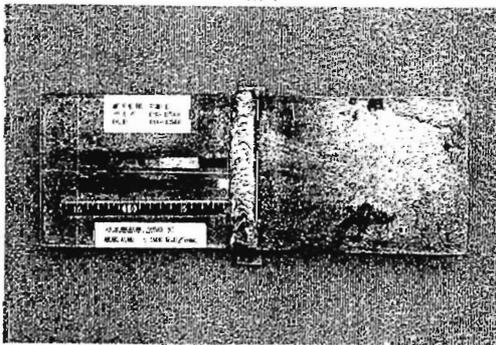


図10(a) 溶接後の示温材の变色  
( $t=19\text{mm}$ ,  $30\text{kJ/cm}$ ,  $250^\circ\text{C}$ )

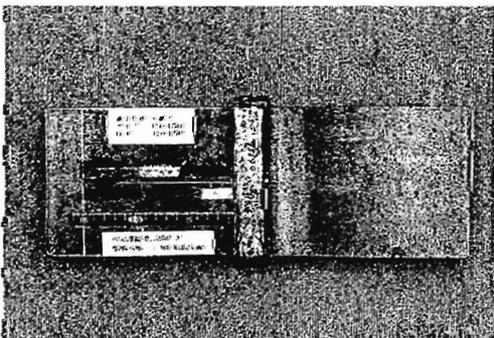


図10(b) 溶接後の示温材の变色  
( $t=19\text{mm}$ ,  $40\text{kJ/cm}$ ,  $350^\circ\text{C}$ )

現在までに種々の溶接条件で実験を行ったパス間温度と示温材变色域の関係を図11に、パス間温度による变色域を簡単に確認できるチェックゲージを図12に示す。

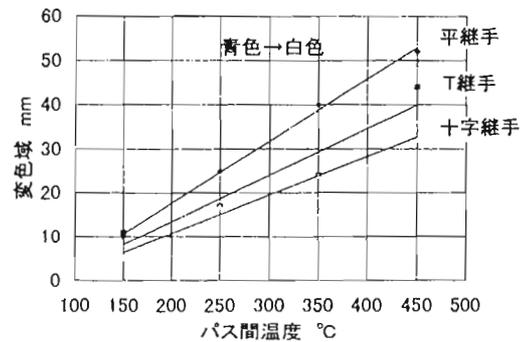
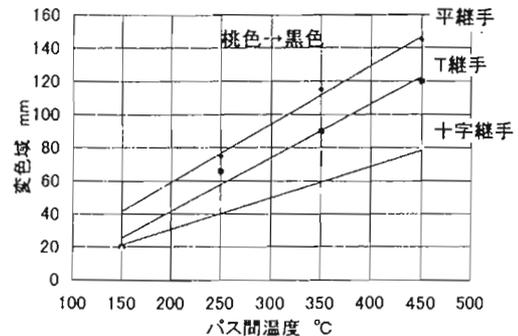


図11 パス間温度と示温材变色域の関係

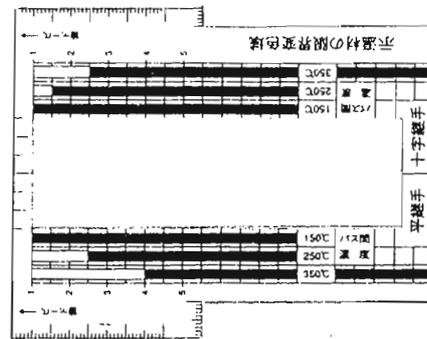


図12 示温材变色域チェックゲージ

青色の变色域は板厚や溶接長によってほとんど影響されないが、桃色の变色域は板厚や溶接長の増加に伴って溶接時間が長くなるため、变色域が長めになる傾向がある。

パス間温度が高い場合は青色の示温材、低い場合は桃色の示温材が参考となる。

詳細な管理が必要な場合は、個々の溶接施工条件により变色域が微妙に異なるため、事前に温度チョークや温度計を併用して变色域との相関をとっておけば、示温材变色域の精度は格段に向上する。

## 1 1. 溶接施工管理の現状

鉄骨製作における入熱・パス間温度関する諸問題については、現在では白熱した議論が展開されている。

今後、各方面からの研究成果や具体的な対策が提案されてくることが予想される。

新工場認定制度による溶接施工条件の指定事項の遵守の問題や、現場施工における問題点、さらに設計条件を含む施工管理の是非や具体的な手法の問題など、合理的な解決策が見いだされていないのが実状である。

新認定工場制度の認定書に記載された指定条件を厳密に遵守している工場は、果たしてどの程度存在しているのだろうか。

溶接管理に必須なクランプメータや表面接触温度計、さらに従来型温度チョークが新認定制度を契機に、これらの需要が激増したというニュースはほとんど聞くことがない。

溶接施工環境において、温度チョークを使用している溶接技能者や、溶接管理者の姿を目にすることはほとんど稀である。

温度チョークを携帯していなかったり、また落とさないように温度チョークをヘルメットに接着している溶接作業員も存在する。

また、溶接作業手順や工程を巡回もせず溶接管理データを作成している溶接管理者も少なくない。

当然であるが、決められた作業手順を遵守しないで溶接施工がなされているとすれば、品質管理がされている状態とはいえない。

また契約条件を無視してデタラメな施工が行われているとすれば、法的にも何らかの問題が生じるても不思議はない。

効率アップのために溶接ワイヤをYGW11からYGW18への変更が承認されても、黙認でYGW11を使用して施工が継続されている場合、管理されていなければ溶接品質の保証はどうなるのであろう。

SN490鋼材が故意または誤ってSS400で製作されていたら通常は問題視されるが、YGW18がYGW11で施工されていたとしたら、溶接後に目視で判別することはほとんどできない。

YGW18で施工すれば無管理でよいという風潮が体勢を占めていくことにも疑問が残る。

## 1 2. 具体的な溶接施工管理法

このような現状を踏まえ、今後、具体的な溶接管理をどのように実施すればよいのか。

従来から鉄骨製作では、コストが最も重視されているため、鉄骨製作に限らず、効率を無視した管理方法では無意味である。

したがって、溶接環境を考慮しつつ、より簡便な手法を採用しなければならない。

理論的数値や実験的な手法の導入は、鉄骨製作の環境には不向きである。

大切なのは溶接作業標準を作成し、溶接作業員に徹底させることである。

作業員がそのような状態に慣れるまでの環境作りが最大のポイントであり、その環境ができあがればその時点で施工管理体制はほぼでき上がったといえる。

溶接施工管理には細かい数値管理は不要であるが、すべての溶接に溶接施工条件の管理が必要とは限らず、ほとんど管理しなくてもよい場合もある。

例えば、一般的な柱×柱継手や横向姿勢による溶接、さらに400N鋼板を用いた溶接などであれば、重点管理の部位から除外することも可能である。

図13は、これらを踏まえ実行可能できる具体的な管理・推定方法の一例を示す。

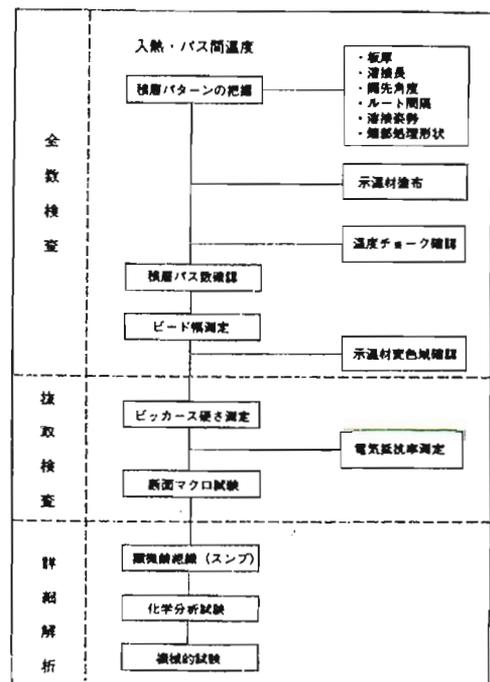


図13 入熱・パス間温度の確認・推定法

### 1 3. 積層パスによる入熱管理

開先角度=35°, ルート間隔=7mmの場合では入熱=30kJ/cmでは3パス、入熱=40kJ/cmでは4パスまではほぼ1層1パスで施工可能であり、その後振分法によって施工されていくのが通常である(図14)。

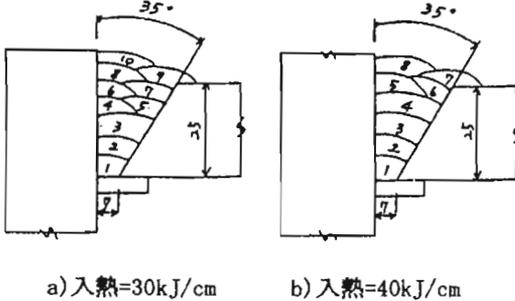


図14 積層パスによる入熱管理

溶接施工後、使用するタブによっては目視で積層パス数がおおよそ確認できるが、すべてが確認できるわけではない。

確認できない場合は断面マクロ試験を実施すれば可能であるが、容易ではない。

少なくとも板厚による積層パターンを具体的に明示し、最終層の仕上げが適切なパス数になっていることを確認すべきである。

### 1 4. 溶接ビード幅による入熱測定

溶接入熱は電流及び電圧と溶接速度に影響されるが、溶接速度に最も影響を受ける。

したがって、溶接入熱の管理は溶接ビード幅を制限することによって簡便に行うことができるが、これを実験によって確認した一例が図15である。

この関係からビード幅(B)を測定することにより概略の入熱(H)を推定でき、 $B \approx 23\text{mm}$ から $H \approx 30\text{kJ/cm}$ 、 $B \approx 30\text{mm}$ から $H \approx 40\text{kJ/cm}$ となる。

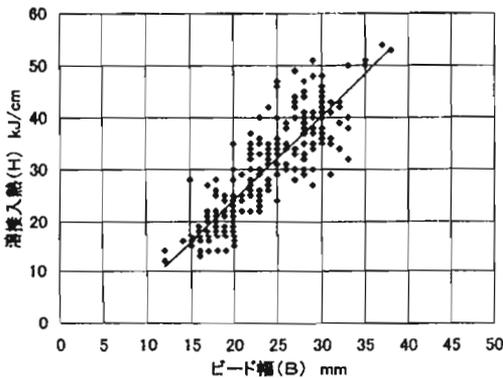


図15 ビード幅と入熱の関係

### 1 5. 入熱による電気抵抗率の変化

CO<sub>2</sub>溶接では、大入熱により添加元素であるSiとMnが消費されるため、結果として溶接金属中の電気抵抗率が低下する(図16)。

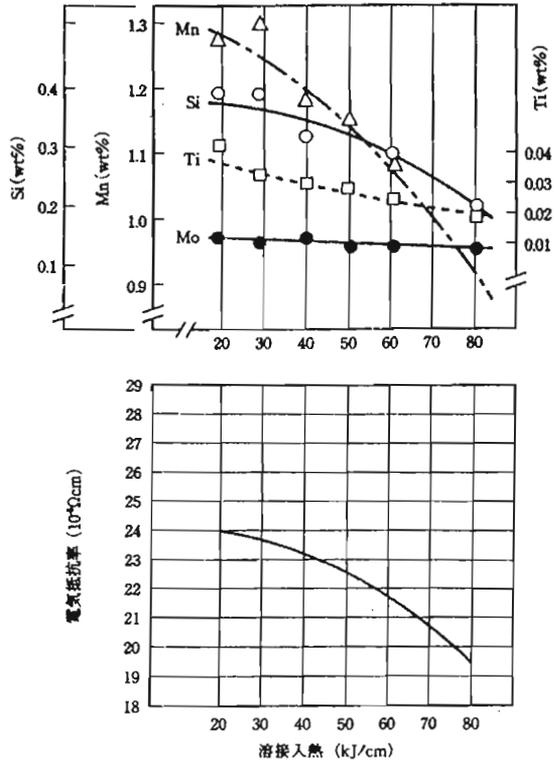


図16 入熱による電気抵抗率の推移

設定された入熱を超えて溶接が施工された場合は、所定の電気抵抗率が低下するために溶接後の入熱チェックが可能である。

溶接ビード表面を30mm位の範囲を#120程度のグラインダーで滑らかに研磨し、四端子法(図17)で電気抵抗率を測定する。

5点程度の平均から電気抵抗値を求め、その値から概略の入熱、さらに溶接ワイヤの種別や系列の確認が可能である。

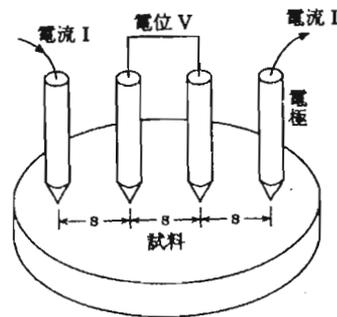


図17 四端子法による電気抵抗率の測定

## 16. 硬さによる強度確認

従来から鋼材の強度を非破壊的に確認する手段として、硬さ試験がある。

硬さ測定の種類には種々あり、代表的なものに押し込み式であるビッカース硬さ、反発式であるショア硬さがあるが、いずれも現場に適用できない試験法であった。

ビッカース試験は熱影響部などの微小部分の硬さ測定に利用されており、ダイヤモンド四角錐の圧子押し込んで生じた圧痕の対角線長さを計測し、くぼみの表面積から硬さを求める方法である(図18)。

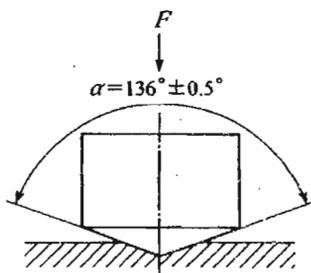


図18 ビッカース硬さ試験

近年、現場に適用できる携帯型の硬さ計が何種類か市販されている。

ビッカース硬さを超音波を利用して直読できる超音波式硬さ計や、鋼球をコイルバネで打撃し、その反発率から種々の硬さに変換して直読する反発式硬さ計(図19)がある。

硬さ試験は、硬さ値を測定することが目的ではなく、硬さ値から種々の特性を推定・把握するためのものである。

最もビッカース硬さ(Hv)と相関があるものとして引張強さ(Ts)があり、

$$Ts(N/mm^2) \approx 3.1 \cdot Hv \quad \dots (2)$$

同様に、硬さと降伏点(Yp)には

$$Yp(N/mm^2) \approx 3.4 \cdot Hv - 140 \quad \dots (3)$$

の関係がある。

これらの関係は経験値であるが、主な建築鋼材の範囲では十分に利用価値があり、Hv≒160とすればTs≒490、Yp≒400が目安となる。

なお、硬さ測定時には溶接ビード表面を30～50mm位の範囲を#120程度のグラインダーで滑らかに研磨し、10点程度の平均から硬さ値を求めなければならない。

ハードマチック HH-401



図19 携帯型反発式硬さ計

## 17. 詳細解析による管理

マクロ試験や硬さ測定などの非破壊的手法で疑問がある場合は、スンプ法などの顕微鏡組織観察や化学分析法による詳細解析を行うこともあるが、通常では実施されていない。

## 18. まとめ

過大な熱影響を伴う溶接入熱とパス間温度に関しては、その悪影響及び必要性が認識されつつあるものの、徹底して管理される環境ではないのが現状である。

現状適用されている多くの管理手法は、必ずしも簡便な手法とは言えないものが多い。

ここで紹介した種々の手法である積層パス数やビード幅の確認、示温材変色域、硬さ測定などは、溶接技能者だけでなく、溶接管理者や施工者、また監理者や第三者機関にも容易に適用できる簡便な手法である。

しかし、如何に簡便な管理方法であってもすべての溶接継手について施工条件を管理することは現実的ではない。

今後、生産効率や管理コストを考慮し、設計時に想定される性能と溶接継手の要求品質を確保できるように、適切な管理手法を選択することが重要になっていくであろう。

### 【参考文献】

- 1) 内外コーポレーション 2000.12  
「示温材によるパス間温度管理の手引き」
- 2) 鉄構技術 2001.3～2001.5  
「示温材による溶接施工条件の管理方法」
- 3) 建築知識 2002.1  
「鉄骨溶接に求められる最適な管理手法」
- 4) 鉄骨ニュース 2002.1.1/15  
「特集. 硬さ測定」

## 溶接条件の適正化と溶接材料の特性に関する調査研究

倉持 貢 加賀美安男 網島 一臣 吉澤 幹夫  
 清水建設 日建設計 東京建築研究所 日建設計

### 1. 研究目的

大地震などを想定したとき、鉄骨溶接部に要求される最も重要な品質性能は、強度と大きな塑性変形能力である。これらの溶接部の品質性能に影響をもたらす諸因子の中で、入熱・パス間温度は溶接金属の引張強さ、降伏点、衝撃値などを低下させる因子であることが明らかにされ、溶接施工条件の重要な管理項目として注目を集めている。このため、日本建築学会の鉄骨工事技術指針(以下、AIJ技術指針と略す)では管理目標値(入熱:40kJ/cm以下、パス間温度:350℃以下)を設定している。またJIS Z 3312-1999「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ」では表1に示すようなワイヤの使用区分をその解説の中で示し、入熱・パス間温度の管理をすることを勧めている。

さらに、建設省告示1103号の廃止に伴い、新たに「性能評価類別基準」を作成するとともに新工場認定

制度に移行させつつある鉄骨建設業協会と全国鉄構工業協会は、性能評価類別基準の中で、この表1に準拠する施工基準を定めている。しかし、いづれも合理的かつ実効的な規定値とは言いがたいのが現状である。

上記の背景から、AW検定協議会では、2000年4月に研究評価委員会(委員長:石原完爾氏)内に表2に示す委員で構成されるWG5「溶接条件の適正化と溶接材料の特性に関する調査研究」を設置し、研究を開始した。

本研究では、国内外7社の3種類の溶接ワイヤについて入熱やパス間温度などの溶接条件が溶着金属の基本特性(降伏点(Yp)、引張強さ(Ts)、シャルピー衝撃値(Cd)と化学成分、ミクロ組織、硬度分布などに及ぼす影響について調査することとした。

### 2. 研究概要

調査研究の概要は、以下の通りである。

a) 鋼材:

①鋼板: SN490B(高炉材で、C:0.15~0.17%、Mn:1.35~1.50%)

②裏当て金: SM490A or SN490B

b) 溶接方法:

①MAG溶接(CO<sub>2</sub>:ソリッド、φ1.4)

②下向き溶接

c) 溶接材料:

①YGW11 ②YGW18 ③YGW21

d) 溶接材料メーカー:

以下に示す7社とした。その詳細は表3に示す通りとした。

①神戸製鋼所

②日鐵溶接工業

表2

表2	
(敬称略)	
主査:	倉持 貢(清水建設)
幹事:	加賀美安男(日建設計)
委員:	網島一臣(東京建築研究所)
	石原和男(石本建築事務所)
	深井重則(清水建設)
	甲田輝久(三井建設)
	山田滋也(久米設計)
	吉澤幹夫(日建設計)
アドバイザー:	津山巖(日建設計)
	石原完爾(NTT都市開発)
協力:	磯久和之(川崎重工業)
	村井好範(川田工業)
	小林光博(駒井鉄工)
	木口立而(川岸工業)
	岩田真治(NKK)
	山田浩二(東京鐵骨橋梁)
	上條昌孝(那須ストラクチャー工業)
	磯野 博(KTEC)

表1 ワイヤの使用区分 (JIS Z 3312 解説表1)

	溶接条件		適用鋼材と溶接ワイヤの種類		
	入熱 (kJ)	パス間温度 (°C)	400N/mm <sup>2</sup> 鋼	490N/mm <sup>2</sup> 鋼	520N/mm <sup>2</sup> 鋼
1	15~20	≦150	YGW-11.15 YGW-18.19	YGW-11.15 YGW-18.19	YGW-18.19
2	15~30	≦250	YGW-11.15 YGW-18.19	YGW-11.15 YGW-18.19	YGW-18.19
3	15~40	≦350	YGW-11.15 YGW-18.19	YGW-18.19	



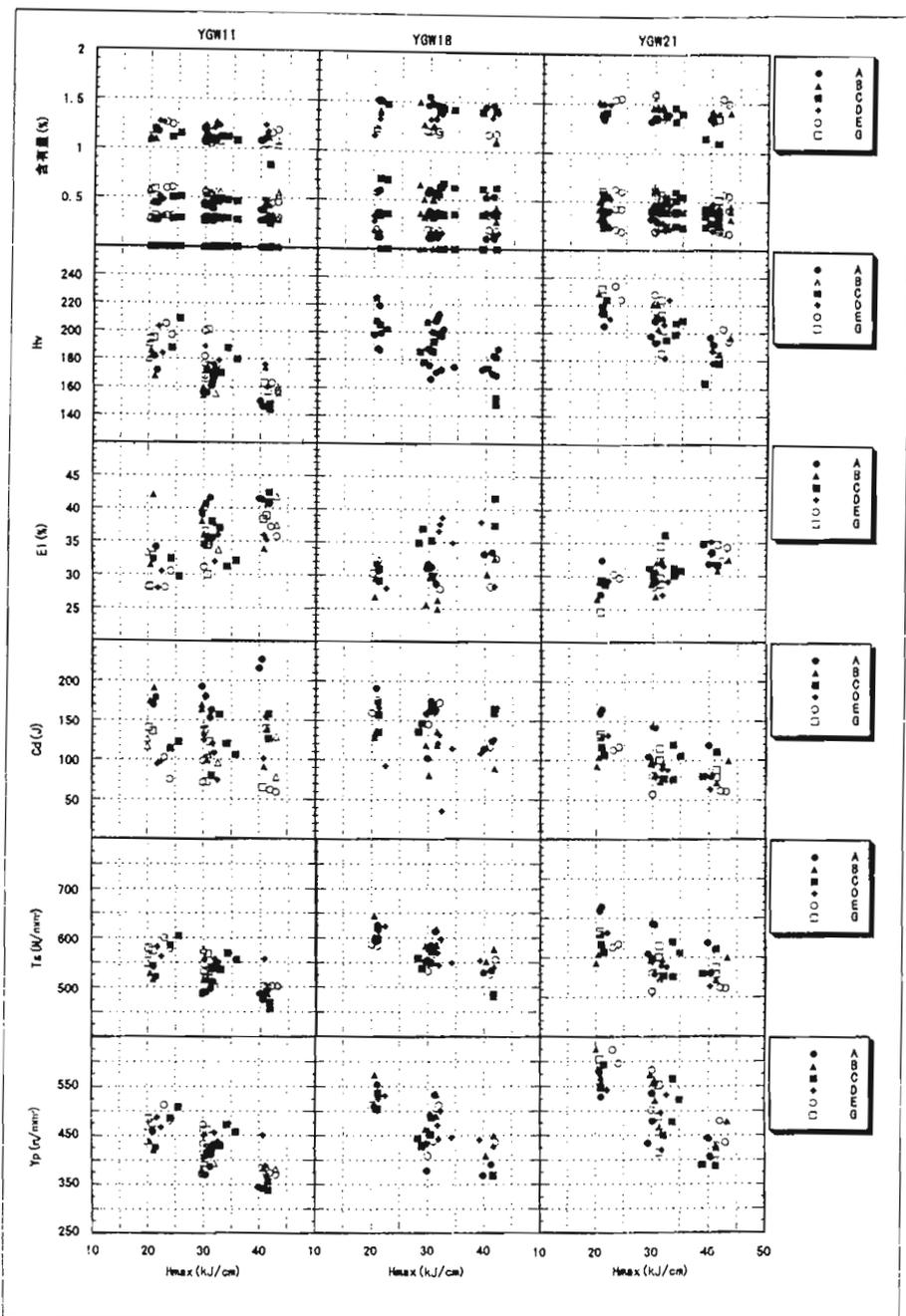


図2 機械試験の結果

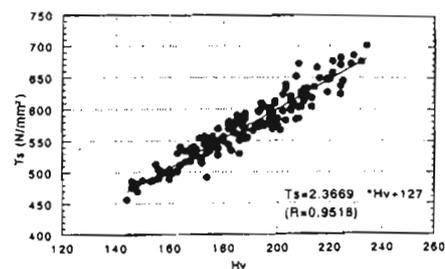


図3 HvとTsとの関係

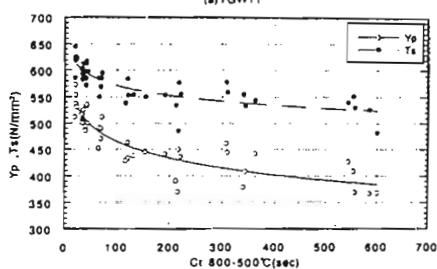
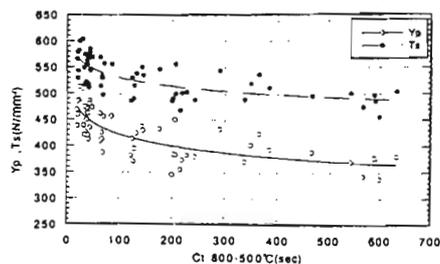


図4 冷却時間とYp、Tsとの関係

原因は、入熱・パス間温度が増大すると結晶粒が粗大化するとともにワイヤ添加元素(Si, Mn, Tiなど)の脱酸反応が促進されるためと考えられる。しかも、添加元素の脱酸反応は入熱などが高くなるほど、一段と促進されると考えられる。

#### <YGW18>

1) 入熱とパス間温度が高くなるほど、溶接金属部の降伏点・引張強さは低下し、伸びが増加する傾向はYGW11と同様である。

2) C社を除く他のワイヤは、すべての溶接施工条件下でYGW18の適用鋼材である490N/mm<sup>2</sup>鋼と520N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足する。

3) 490N/mm<sup>2</sup>鋼と520N/mm<sup>2</sup>鋼に対

の溶接施工条件下で、YGW11の適用鋼材である400N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)は満足する。

3) 490N/mm<sup>2</sup>鋼に対しては、降伏点は、すべての溶接施工条件下で鋼材規格値(下限値)を満足するが、引張強さでは規格値を下回るものがある。

4) C社の降伏点、引張強さの低下は

入熱40kJ/cmの施工時に顕著となる。

5) 降伏比(YR)は0.72~0.86の範囲にあり、入熱およびパス間温度が高くなるほど、小さな値を示す傾向にある。これは引張強さの低下量よりも降伏点の低下量の方が大きいことを示している。

6) 降伏点、引張強さが低下する主

しては、C社のYGW18は、すべての溶接施工条件下で降伏点の鋼材規格値を満足するが、引張強さでは入熱40kJ/cm、パス間温度350℃以上で規格値を下回っている。また、C社の降伏点、引張強さの低下は入熱40kJ/cmの施工時に顕著となる。

4) H社の降伏点、引張強さはE社のYGW11の結果よりも低くなっている。

## 〈YGW21〉

1) 入熱とパス間温度が高くなるほど、溶接金属部の降伏点・引張強さは低下し、伸び(EI)は増加する傾向にある。

2) 全ワイヤともにすべての溶接施工条件下で、YGW21の適用鋼材である520N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足している。

3) また590N/mm<sup>2</sup>鋼に対しては、鋼材規格値を満足しないものが全ワイヤに出現する。すなわち、A、C、D、G社のワイヤはおよそ入熱30kJ/cm以上、パス間温度350℃または450℃で降伏点と引張強さの鋼材規格値を下回り、B、E社のワイヤでは入熱40kJ/cm、パス間温度350℃以上で降伏点の鋼材規格値を下回っている。

## 5.2 シャルピー衝撃試験

### 〈YGW11〉

1) シャルピー衝撃値(Cd)は59~227Jの範囲にあり、いずれもYGW11の適用鋼材である400N/mm<sup>2</sup>鋼と490N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足している。

2) 入熱が上昇すると、シャルピー衝撃値は低下する傾向にあるが、逆に増加するものもある。一方、シャルピー衝撃値に対するパス間温度の

影響度は少なく、両者の相関は低いと考えられる。

3) 海外製ワイヤは国内製ワイヤに比較してシャルピー衝撃値が低く(Cd<80Jとなるものがある)、とくにE社のワイヤが低めの値を示している。Cd<80Jとなる試験体の多くは溶接金属中の窒素(N)含有量が100ppmとなっている。

4) D、E社のワイヤでは、溶接金属中のN含有量が、その他のワイヤよりも高い値を示していることから、その影響を受けている可能性がある。

5) 溶接金属中のN含有量は、ワイヤ特性よりも溶接施工条件、すなわちワイヤの突出し長さが長いなどのシールド性の問題であると考えられる。

### 〈YGW18〉

1) D社の1体を除くと、シャルピー衝撃値は81~191Jの範囲にあり、いずれも鋼材規格値を満足している。

2) D社でシャルピー衝撃値が35Jとなった試験体のN含有量は、本実験の最高値230ppmを示している。

### 〈YGW21〉

1) シャルピー衝撃値は57~165Jの範囲にあり、いずれも鋼材規格値を満足している。

## 5.3 化学成分分析

### 〈YGW11〉

1) 全社ともにYGW11の基本的な成分形態は、Si-Mn-Ti系である。

2) 入熱とパス間温度が高くなるほど、溶接金属中のSi、Mnの含有量が低下する傾向を示している。降伏点と引張強さが低下するのはSi、Mn含有量の低下が主原因と考えられる。

3) Nの含有量は50~160ppmの範囲にあり、Nの含有量が約100ppmを超えるとシャルピー衝撃値が比較的低い値となる。

4) 入熱とパス間温度が高くなるほど、溶接金属部のCeqが低下する傾向を示している。

### 〈YGW18〉

1) YGW18の基本的な成分形態は、高Si-Mn-Ti-B系(C、D社)とSi-Mn-Mo-Ti-B系(A、B、H社)に大別される。

2) 入熱とパス間温度が高くなるほど、Si、Mnの含有量が低下する傾向はYGW11と同様であるが、Si-Mn-Mo-Ti-B系ワイヤより高Si-Mn-Ti-B系ワイヤの方が、これらの影響を受けやすいと考えられる。

### 〈YGW21〉

1) YGW21は、Si-Mn-Mo-Ti-B系を基本的な成分形態としている。

2) 入熱とパス間温度が高くなるほど、Si、Mnの含有量が低下する傾向を示している。

3) Nの含有量は50~190ppmの範囲にあるが、その多くは100ppmを超えている。

## 5.4 硬さ試験

溶接金属の平均硬さ(Hv)と引張強さ(Ts)の間には極めて高い相関(R=0.9518)がある。

## 5.5 冷却時間

冷却時間(800℃から500℃までの時間)が長くなると、降伏点と引張強さは低下する。しかも、両者には強い相関があり、冷却時間に基づく降伏点と引張強さの推定式を構築することが可能であると考えられる。ただし、シャルピー衝撃値に関して

は、800℃～500℃の冷却時間に対するシャルピー衝撃値のばらつきが大きく両者の相関は低いと判断される。

### 5.6 機械試験結果のまとめ

本実験の機械試験の結果は、以下のようにまとめられる。

a) YGW11では、本実験で設定したすべての溶接施工条件下で400N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を十分に確保することが可能である。したがって、400N/mm<sup>2</sup>鋼に対するYGW11の全メーカーに共通する適用限界とメーカー別の適用限界は、【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。

また、490N/mm<sup>2</sup>鋼に対するYGW11の全メーカーに共通する適用限界は、【入熱30kJ/cm以下、パス間温度250℃以下】である。これはJIS溶接施工条件と一致している。しかし、ワイヤメーカーごとの適用限界は、これとは異なる。すなわち、B社のワイヤは【入熱30kJ/cm以下、パス間温度250℃以下】、A、C社は【入熱30kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】、D、E、F、G社のワイヤは【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】が適用限界である。

b) YGW18では、C社を除くほかのワイヤが、すべての溶接施工条件下でYGW18の適用鋼材である490N/mm<sup>2</sup>鋼と520N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足する。入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下の施工条件下で溶接すれば、490N/mm<sup>2</sup>鋼と520N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を満足することが可能である。したがって、A、B、D、H社の適用限界は【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。

表6 機械試験結果に基づく溶接ワイヤの適用限界

ワイヤの種類	適用鋼材	全メーカー共通の適用限界	各メーカー別の適用限界	
YGW11	400N鋼	40kJ/cm以下、450℃以下	A,B,C,D,E,F,G社	40kJ/cm以下、450℃以下
	490N鋼	30kJ/cm以下、250℃以下	D,E,F,G社	40kJ/cm以下、450℃以下
			A,C社	30kJ/cm以下、450℃以下
			B社	30kJ/cm以下、250℃以下
YGW18	490N鋼	30kJ/cm以下、450℃以下	A,B,D,H社	40kJ/cm以下、450℃以下
	520N鋼	30kJ/cm以下、450℃以下	C社	30kJ/cm以下、450℃以下
			A,B,D,H社	40kJ/cm以下、450℃以下
			C社	30kJ/cm以下、450℃以下
YGW21	520N鋼	40kJ/cm以下、450℃以下	A,B,C,D,E,G社	40kJ/cm以下、450℃以下
	590N鋼	30kJ/cm以下、250℃以下	B,E社	40kJ/cm以下、350℃以下
			C社	30kJ/cm以下、450℃以下
			A,D社	30kJ/cm以下、350℃以下
			G社	30kJ/cm以下、250℃以下

下】と設定することができる。

C社のYGW18は入熱40kJ/cm、パス間温度350℃以上の施工条件下で490N/mm<sup>2</sup>鋼と520N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を下回っている。したがって、C社の適用限界と全メーカーに共通する適用限界は【入熱30kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】である。

c) YGW21では、全ワイヤともにすべての溶接施工条件下で、520N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足している。

したがって、本鋼材に対するYGW21の全メーカーに共通する適用限界とメーカー別の適用限界は、【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。

また590N/mm<sup>2</sup>鋼に対しては、鋼材規格値を満足しないものが全ワイヤに出現する。したがって、本鋼材に対するYGW21の全メーカーに共通する適用限界は【入熱30kJ/cm以下、パス間温度250℃以下】である。しかし、ワイヤメーカーごとの適用限界は、これとは異なる。

ワイヤの種類ごとに、上記の適用限界を示したものが表6である。

## 6. 重回帰分析結果

### 6.1 重回帰分析内容と手順

あらたな重回帰分析を試みた。分析内容とその手順は、以下に示す通りである。

1) 溶接部の降伏点・引張強さ・溶着金属部の衝撃値に対して、まず入熱(Hmax)とパス間温度(Pmax)に10元素(C,Si,Mn,P,S,Mo,Al,Ti,B,N)を加えた12変数が単独ではなく互いに関連して影響する因子として位置付ける。なお、入熱量とパス間温度は多パス溶接におけるそれぞれの最大値とする。

2) 溶接材料メーカー7社の全データ(144個)をもとに、重回帰分析を行い、溶接部の降伏点・引張強さ・溶着金属部の衝撃値に対する影響因子を絞り込む。

3) 上記で絞り込まれた因子を用いて、再度、重回帰分析を行い、溶接部の降伏点・引張強さ・溶着金属部の衝撃値に対して、(1)式で示される推定式を構築する。

$$Y_p(T_s, C_d) = a \cdot P_{max} + b \cdot H_{max} + c \cdot C + d \cdot Si \cdots \cdots c \quad (1)$$

# Report

4) 上記の推定式に対応した線図を描き、要求品質に応じた溶接施工条件(入熱量とパス間温度等)の組合せを明らかにする。

## 6.2 12変数を用いた重回帰分析

溶接ワイヤを構成する化学成分と溶接施工条件が溶接金属の品質性能に及ぼす影響を明らかにする目的から、溶接材料メーカー7社の全データ(144個)を用いて重回帰分析を行った。分析結果は以下のように要約される

1) 降伏点(Yp)に対するおもな影響因子はパス間温度(Pmax)、モリブデン(Mo)、入熱(Hmax)、マンガン(Mn)、チタン(Ti)、炭素(C)である。とくに、本研究の注目点である入熱とパス間温度などの溶接施工条件は、いずれも説明変数の上位にある。これは管理項目として十分妥当性があることを意味している。

2) 引張強さ(Ts)に対するおもな影響因子は、Mo、Pmax、Mn、Si、Ti、Hmaxである。引張強さに対しては、溶接施工条件よりもワイヤの化学成分、とくにMo、Mn、Siの含有量が大きく影響していることが明らかである。とくに入熱は12変数中6番目の順位にあり、管理項目としての位置付けは必ずしも高くない。

3) 溶着金属部の衝撃値(Cd)に対するおもな影響因子は、Mo、N、Si、Hmax、P、Tiであり、降伏点や引張強さの影響因子とは異なることが明らかである。とくに窒素が上位にあることが注目される。また、降伏点や引張強さで上位を占めていたパス間温度は12変数中11番目と低い順位に下がり、これに変わって、入熱

(Hmax)が比較的上位に位置している。窒素は元来ワイヤの化学成分とは言いがたく、シールド性との関連が強いことから、施工条件のひとつとして位置付けることが妥当と考えられる。

4) 溶接部の品質性能は入熱やパス間温度などの施工条件の他、ワイヤの化学成分に大きく左右される。しかも強度と衝撃値は、おもな影響因子が異なる。したがって、降伏点・引張強さに対しては入熱・パス間温度を、またシャルピー衝撃値に対しては溶着金属部のN含有量、すなわちシールド性と入熱を施工条件の管理項目とすべきであると考えられる。

## 6.3 上位6変数を用いた推定式

前項で絞り込まれた上位6変数を用いて、再度重回帰分析を行い、溶接部の降伏点・引張強さ・溶着金属部の衝撃値に対して、(1)式で示される推定式を構築した結果が(2)~(7)式(別項)である。なお、YGW11、18、21の成分形態は5.3で示したように、Si-Mn-Ti系(7社のYGW11とC、D社のYGW18)とSi-Mn-Mo系(6社のYGW21とA、B、H社のYGW18)に大別できることから、2種類にグルーピングした。式中の変数の順位は重回帰分析で得られた説明変数の順位を示し、また、かっこ内の数値は、それぞれの変数の標準偏回帰係数を示している。Rは重相関係数である。重回帰式による推定値と実測値との相関は図5に示す通りであり、以下のように要約される。

1) 溶接部の降伏点・引張強さ・衝撃値は、いずれも4つの化学成分と2つの施工条件(Hmax, Pmax, Nのい

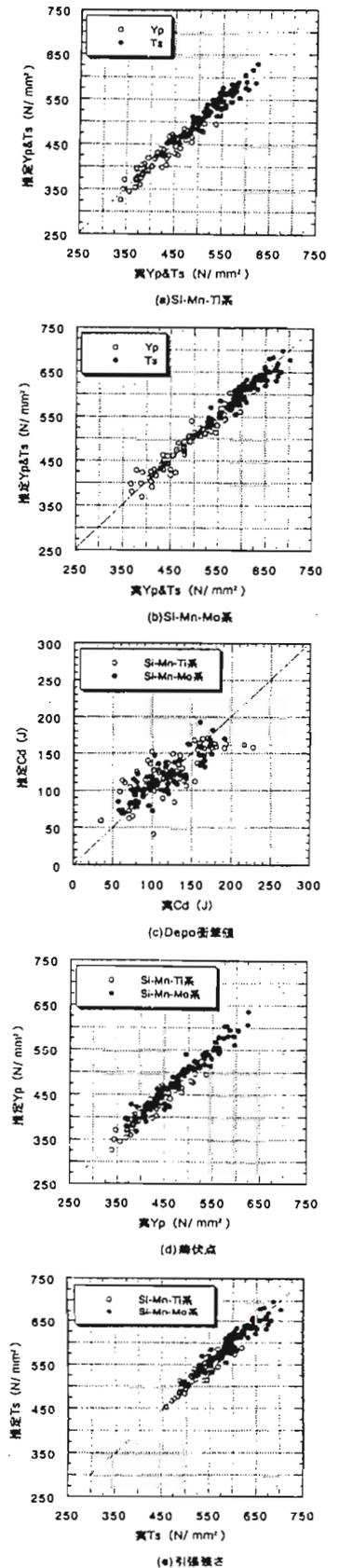


図5 推定精度(成分実測値)

れか2つ)とを説明変数とする重回帰式によって表すことができる。

2) 構築された降伏点・引張強さ衝撃値の推定式は、溶接材料メーカーやワイヤの種類ごとに構築するよりもワイヤの成分形態ごとに構築する方が、より簡素化され、かつ合理的である。

3) 降伏点の推定式はPmax、HmaxとMo、Mn、Ti、Si、Cなどの化学成分からなる。パス間温度はSi-Mn-Ti系、Si-Mn-Mo系のワイヤともに最上位の影響因子となるが、入熱量はSi-Mn-Mo系のワイヤでは比較的低位で、その重みはパス間温度の1/2～1/3程度である。

4) 引張強さ(Ts)の推定式はPmax、HmaxとMo、Mn、Si、Ti、Cなどの化学成分からなる。パス間温度は降伏点の場合と同様に影響因子の上位にあるが、入熱量の順位は5、6番と低位で、しかもその重みも最上位のパス間温度の約1/2～1/5となる。

5) 衝撃値の推定式はHmaxとW、P、

Mo、Si、Tiからなる。降伏点や引張強さの推定式で比較的上位にあったパス間温度は存在せず、N含有量が大きく寄与していることが明らかである。

6) 6個の説明変数のうち、パス間温度と入熱量は-符号であり、降伏点、引張強さ、衝撃値のすべてに対して低減させる作用がある。一方、化学成分は、おおむね降伏点、引張強さに対しては+作用、衝撃値に対しては-作用があるといえる。

7) 衝撃値の推定精度は、まだ十分ではないが、降伏点、引張強さともに従来式による結果よりも相関は格段に向上し、実測値と良い精度で一致しているといえる。

#### 6.4 PH線図とNH線図

各溶接材料メーカーとワイヤの種類ごとに構築した推定式をもとに所要要求性能(降伏点、引張強さ、衝撃値)を満足する入熱量(Hmax)とパス間温度(Pmax)の関係を図示したも

のが図6～図11である。以下、降伏点と引張強さに対する線図をPH線図と呼び、シャルピー衝撃値に対する線図をNH線図と呼ぶことにする。これらの結果は以下のように要約される。

#### <YGW11>

1) いずれのJIS施工条件およびそれ以外に入熱・パス間温度の組合せで溶接しても、全ワイヤともに鋼材規格値を満足する品質性能を確保できることが明らかである。

2) ただし、A、B社のワイヤは降伏点や引張強さが他のメーカーのものよりも相対的に低い。

3) 降伏点と引張強さでは、同一入熱に対して設定可能なパス間温度はワイヤメーカー間で200℃～250℃の差異がみられ、またシャルピー衝撃値では、同一入熱に対して、許容可能なN含有量はワイヤメーカー間で80ppmの差異がみられる。すなわち、所要要求性能を満足するための溶接条件の設定範囲が広いものと比較的狭いものが存在することが明らかである。

#### <YGW18>

1) ワイヤの成分形態の違いによって、PH線図とNH線図が大きく異なることが明らかである。

2) Si-Mn-Mo系(A、B、H社)のワイヤは、すべてのJIS施工条件とそれ以外に入熱・パス間温度の組合せで溶接しても、鋼材規格値を満足する品質性能を確保できる。

一方、Si-Mn-Ti系(C、D社)のワイヤはJIS施工条件の上限値(40kJ/cm, 350℃)で溶接すると、降伏点と引張強さの低下がSi-Mn-Mo系のワイヤよりも大きくなる。

#### 推定式

【Si-Mn-Ti系(A,B,C,D,E,F,G社のYGW11とC,D社のYGW18)】

$$Y_p = -0.2102 P_{max} - 1.6555 H_{max} + 81.0 Mn + 889.4 Ti + 98.1 Si + 780.3 C + 289 \dots (2)$$

$$R = 0.9416 \quad (-0.4822) \quad (-0.2457) \quad (0.2288) \quad (0.2250) \quad (0.1774) \quad (0.1303)$$

$$T_s = -0.1559 P_{max} + 114.6 Si + 758.5 Ti + 60.3 Mn - 1.1153 H_{max} + 790.2 C + 385 \dots (3)$$

$$R = 0.9348 \quad (-0.4406) \quad (0.2556) \quad (0.2366) \quad (0.2101) \quad (-0.2040) \quad (0.1626)$$

$$C_d = -6093.4 N - 241.0 Si + 14972.4 B - 1.2822 H_{max} - 3163.1 P + 69.1 Ti + 361 \dots (4)$$

$$R = 0.7591 \quad (-0.5688) \quad (-0.5354) \quad (0.4878) \quad (-0.2337) \quad (-0.1709) \quad (0.0215)$$

【Si-Mn-Mo系(A,B,H社のYGW18とA,B,C,D,E,G社のYGW21)】

$$Y_p = -0.4196 P_{max} + 302.5 Mo + 148.5 Mn - 1.9986 H_{max} + 1182.6 Ti + 945.4 C + 278 \dots (5)$$

$$R = 0.9662 \quad (-0.6856) \quad (0.2694) \quad (0.2515) \quad (-0.2149) \quad (0.1984) \quad (0.1037)$$

$$T_s = -0.1828 P_{max} + 324.6 Mo + 141.6 Mn + 143.1 Si + 529.7 Ti - 0.5427 H_{max} + 315 \dots (6)$$

$$R = 0.9275 \quad (-0.4670) \quad (0.4519) \quad (0.3751) \quad (0.2811) \quad (0.1389) \quad (-0.0912)$$

$$C_d = -2.2796 H_{max} - 124.0 Si - 2875.6 N - 3417.7 P - 135.0 Mo - 109.2 Ti + 341 \dots (7)$$

$$R = 0.8339 \quad (-0.4853) \quad (-0.3087) \quad (-0.3039) \quad (-0.3018) \quad (-0.2381) \quad (-0.0363)$$

Yp:降伏点(N/mm<sup>2</sup>) Ts:引張強さ(N/mm<sup>2</sup>) Cd:Depo衝撃値(J)

Pmax:最高パス間温度(℃) Hmax:入熱量(kJ/cm) C,Si,Mn,P,Mo,Ti,B,N:化学成分(%)

# Report

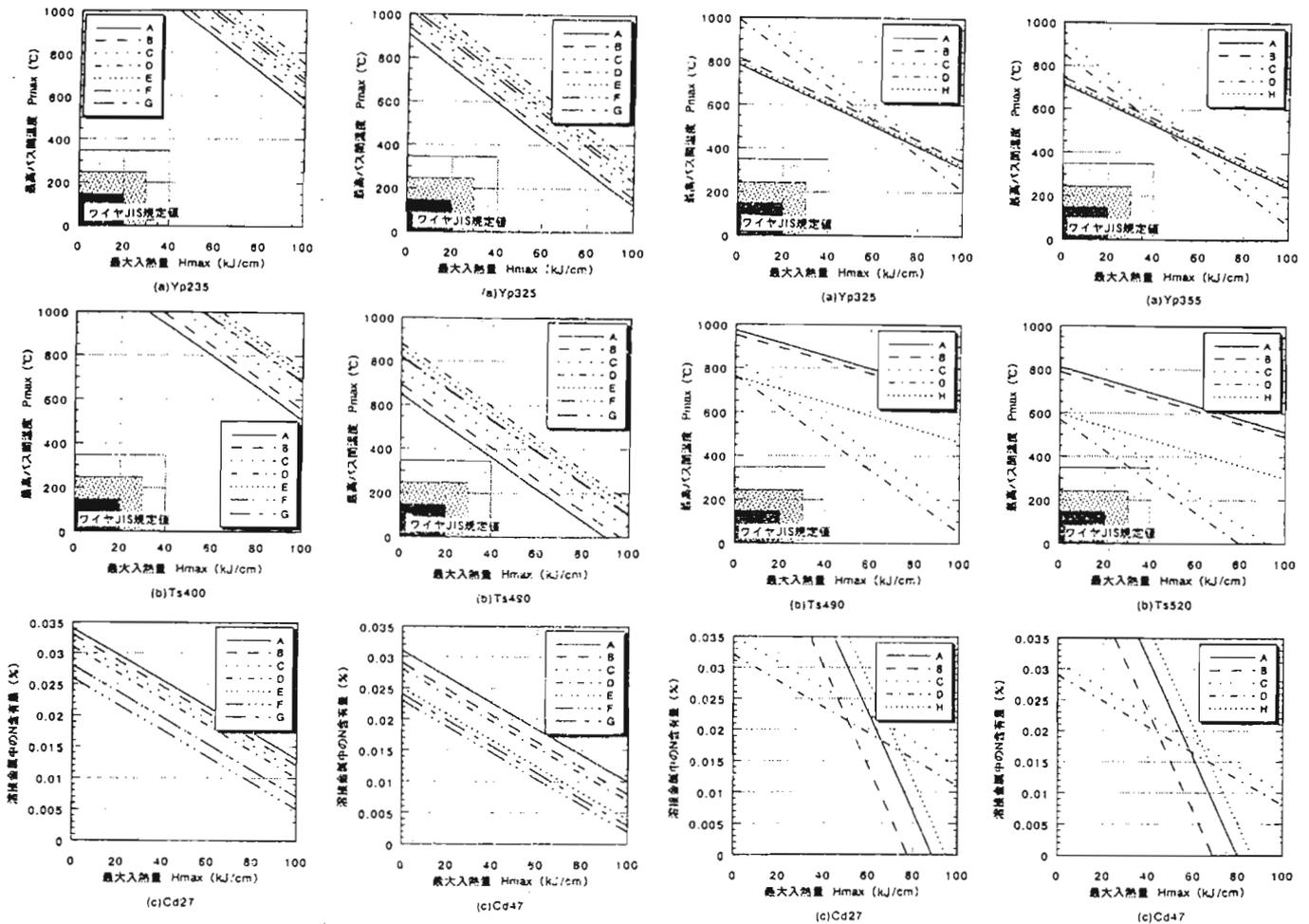


図6 PH線図、NH線図(YGW11、400N) 図7 PH線図、NH線図(YGW11、490N) 図8 PH線図、NH線図(YGW18、490N) 図9 PH線図、NH線図(YGW18、520N)

3) またSi-Mn-Ti系のワイヤはSi-Mn-Mo系に比較して、降伏点と引張強さの設定値の変動に対して溶接施工条件の設定値を大幅に変化させる必要がある。

4) 降伏点と引張強さでは、同一入熱に対して設定可能なパス間温度はワイヤメーカー間で100℃～500℃程度の差異がみられ、また、シャルピー衝撃値では、同一入熱に対して、許容可能なN含有量はワイヤメーカー間で150ppm程度の差異がみられる。すなわち、所要要求性能を満足するための溶接条件の設定範囲は、YGW11よりもメーカー間で大きな差

異が存在するといえる。

〈YGW21〉

1) いずれのJIS施工条件とそれ以外での入熱・パス間温度の組合せで溶接しても、全ワイヤともに鋼材規格値を満足する品質性能を確保できる。

2) ただし、全メーカーのワイヤともにJIS施工条件の上限値(40kJ/cm, 350℃)で溶接すると、降伏点の低下が著しくなる。

3) 降伏点と引張強さでは、同一入熱に対して設定可能なパス間温度はワイヤメーカー間で約150～250℃の差異がみられ、またシャルピー衝撃値では、同一入熱に対して、許容可

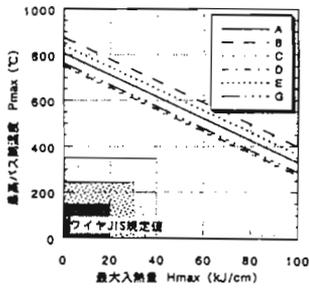
能な窒素含有量はワイヤメーカー間で100ppmの差異がみられる。

4) YGW11よりもYGW21の方が、シャルピー衝撃値に対する許容可能なN含有量の上限値が大きい。

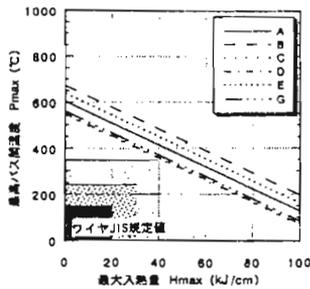
## 6.5 重回帰分析結果のまとめ

重回帰分析の結果は、以下のよう

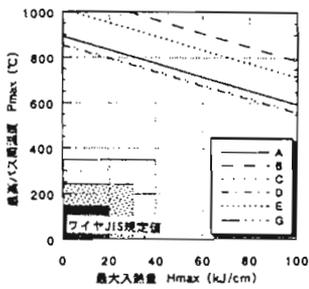
にまとめられる。  
a) YGW11では、本実験で設定したすべての溶接施工条件下で400N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を十分に確保することが可能である。したがって、400N/mm<sup>2</sup>鋼に対するYGW11の全メーカーに共通する適用限界お



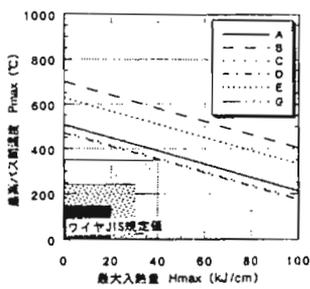
(a) Yp355



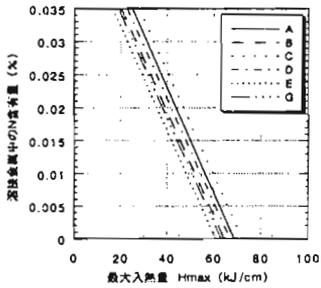
(a) Yp440



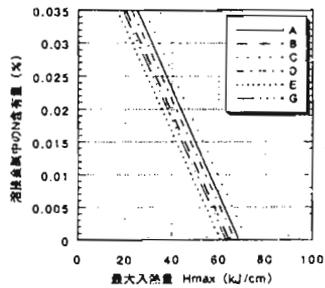
(b) Ts570



(b) Ts590



(c) Cd47



(c) Cd47

図10 PH線図、NH線図 (YGW21、520N)

図11 PH線図、NH線図 (YGW21、590N)

表7 重回帰分析結果に基づき溶接ワイヤの適用限界

ワイヤの種類	適用鋼材	全メーカー共通の適用限界	各メーカー別の適用限界	
			A,B,C,D,E,F,G社	40kJ/cm以下, 450℃以下
YGW11	400N鋼	40kJ/cm以下, 450℃以下	A,B,C,D,E,F,G社	40kJ/cm以下, 450℃以下
	490N鋼	35kJ/cm以下, 300℃以下	D,E社	40kJ/cm以下, 450℃以下
			F,G社	35kJ/cm以下, 450℃以下
			C社	30kJ/cm以下, 450℃以下
B社	35kJ/cm以下, 350℃以下			
A社	35kJ/cm以下, 300℃以下			
YGW18	490N鋼	40kJ/cm以下, 350℃以下	A,B,C,H社	40kJ/cm以下, 450℃以下
	520N鋼	25kJ/cm以下, 300℃以下	D社	40kJ/cm以下, 350℃以下
			A,B社	40kJ/cm以下, 450℃以下
			H社	30kJ/cm以下, 400℃以下
			C社	30kJ/cm以下, 350℃以下
D社	25kJ/cm以下, 300℃以下			
YGW21	520N鋼	40kJ/cm以下, 450℃以下	A,B,C,D,E,G社	40kJ/cm以下, 450℃以下
	590N鋼	25kJ/cm以下, 300℃以下	B社	35kJ/cm以下, 450℃以下
			E社	30kJ/cm以下, 450℃以下
			A,G社	40kJ/cm以下, 300℃以下
			C社	30kJ/cm以下, 300℃以下
D社	25kJ/cm以下, 300℃以下			

では490N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を下回っている。したがって、D社の適用限界と全メーカーに共通する適用限界は【入熱40kJ/cm以下、パス間温度350℃以下】である。

また、520N/mm<sup>2</sup>鋼に対しては、YGW18の全メーカーに共通する適用限界は【入熱25kJ/cm以下、パス間温度300℃以下】である。しかし、ワイヤメーカーごとの適用限界は、これとは異なる。

c) YGW21では、全ワイヤともすべての溶接施工条件下で、520N/mm<sup>2</sup>鋼の鋼材規格値(下限値)を満足している。したがって、本鋼材に対するYGW21の全メーカーに共通する適用限界とメーカー別の適用限界は【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。

また、590N/mm<sup>2</sup>鋼に対しては、鋼材規格値を満足しないものが全ワイヤに出現する。したがって、本鋼材に対するYGW21の全メーカーに共通する適用限界は【入熱25kJ/cm以下、パス間温度300℃以下】であ

よびメーカー別の適用限界は【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。

また、490N/mm<sup>2</sup>鋼に対するYGW11の全メーカーに共通する適用限界は【入熱35kJ/cm以下、パス間温度300℃以下】である。これはJIS溶接施工条件よりも若干適用範囲が拡大している。しかし、ワイヤメーカーごとの適用限界は、これとは異なる。すなわち、A社のワイヤは【入熱35kJ/cm以下、パス間温度300℃以下】、B社は【入熱35kJ/cm以下、パス間温度350℃以下】、C社は【入熱30kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】、D、E社のワイヤは【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】、F、G社は【入熱35kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】が適用限界である。

b) YGW18では、D社を除く他のワイヤが入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下の施工条件下で溶接すれば、490N/mm<sup>2</sup>鋼の所要性能(鋼材規格値)を満足することが可能である。したがって、A、B、C、H社の適用限界は【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】と設定することができる。D社のYGW18は入熱40kJ/cm、パス間温度350℃を超える施工条件

下】、D、E社のワイヤは【入熱40kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】、F、G社は【入熱35kJ/cm以下、パス間温度450℃以下】が適用限界である。

表8 MAG溶接用ソリッドワイヤの使用区分

適用鋼種	溶接施工条件	具体的施工条件			ワイヤの種類と使用区分
		最大入熱量 H(kJ/cm)	最高バス間温度 P(°C)	N含有量 (ppm)	
400N/mm <sup>2</sup> 鋼	通常溶接	15<H≤30	150<P≤350	≤100	YGW11
	大入熱・高バス間温度溶接	30<H≤Hm	350<P≤Pm	≤100	
490N/mm <sup>2</sup> 鋼	通常溶接	15<H≤30	150<P≤350	≤100	YGW18
	大入熱・高バス間温度溶接	30<H≤Hm	350<P≤Pm	≤100	
520N/mm <sup>2</sup> 鋼	通常溶接	15<H≤30	150<P≤300	≤100	YGW21
590N/mm <sup>2</sup> 鋼	通常溶接	15<H≤30	150<P≤300	≤100	
備考	Hm：ワイヤメーカー毎の入熱の適用限界値 Pm：ワイヤメーカー毎のバス間温度の適用限界値				

る。しかし、ワイヤメーカーごとの適用限界は、これとは異なる。

ワイヤの種類ごとに、適用限界を示したものが表7である。

## 7. 結言

本研究では、国内外7社の3種類の溶接ワイヤについて、入熱やバス間温度などの溶接条件が溶着金属の基本特性(降伏点、引張強さ、シャルピー衝撃値)などに及ぼす影響について調査し、その実態と適用限界を明らかにした。鉄骨溶接部に要求される最も重要な品質性能である強度と大きな塑性変形能力を考慮した場合、MAG溶接の溶接施工条件を適正に設定・管理することは極めて重要なことである。

しかし、本研究で取り上げた入熱・バス間温度だけが溶接金属の引張強さ、降伏点、衝撃値などを一様に低下させる因子でないことが判明した。とくにシャルピー衝撃値には入熱などの施工条件のほかにN含有量が無視できないことが明らかとなった。また、溶接施工条件だけを厳しくしても適正な要求品質性能を確保できるものではなく、溶接金属の機械的性質を左右するワイヤの化学

成分などは、さらに改善を要する事項と考えられる。

本研究の結果を総まとめしたものが表8である。鉄骨溶接部の溶接施工条件は、通常溶接条件と大入熱・高バス間温度溶接条件の2つの概念で整理することができる。通常溶接条件とは、その条件下で溶接すれば所要の要求性能が十分に得られる条件範囲をいい、一般的な管理を行う範囲と定義される。大入熱・高バス間温度溶接条件とは通常溶接条件を超える範囲をいい、条件によっては所要性能の確保が困難となることもあり、厳密な施工管理を必要とする条件範囲と定義される。しかし、後者の大入熱・高バス間温度溶接条件は520N/mm<sup>2</sup>鋼と590N/mm<sup>2</sup>鋼の溶接には設けてはならず、400N/mm<sup>2</sup>鋼と490N/mm<sup>2</sup>鋼の溶接だけに設定可能とする。通常溶接と大入熱・高バス間温度溶接の境界条件は、最大入熱量、最高バス間温度、N含有量から規定され、表中の数値のように鋼種によって異なるものとする。これは表6、7で示した全メーカー共通の適用限界に該当する。(一部のワイヤで表8の境界条件を満たさないものもあるが、今後の品質改善を見

込んで本数値を設定した)

上記の条件を前提とすると、建築鉄骨用MAG溶接ワイヤ(YGW11、YGW18、YGW21)の使用区分は以下のように設定することができると考えられる。すなわち、YGW11は、原則として490N/mm<sup>2</sup>鋼の通常溶接条件以下で適用すべきである。また、YGW18は490N/mm<sup>2</sup>鋼の大入熱・高バス間温度溶接と520N/mm<sup>2</sup>鋼の通常溶接条件下で、YGW21は590N/mm<sup>2</sup>鋼の通常溶接条件下で適用すべきである。

やむをえずYGW11を490N/mm<sup>2</sup>鋼の大入熱・高バス間温度溶接条件下で使用する場合は、溶接材料メーカーごとの適用限界を限度として、適正な施工条件を設定すべきである。

最後に、本研究成果が広くかつ適正に活用されることを切望します。また、本研究に多大なご協力を頂いた関係者各位に謝意を表します。

# 溶接入熱と機械的強度の関係 ～パス間温度と機械的強度に関する基礎実験～

Study on Relationship between Welding Heat Input and Mechanical Strength  
～The fundamental experiment on interpass temperature and mechanical strength～

千葉県機械金属試験場 長瀬 尚樹、立川 克美  
(協)千葉県鉄骨工業会 武藤 明義  
(株)横河ブリッジ 松見 明彦  
(株)東京鉄骨橋梁 高野倉 正三

建築鉄骨の製造工場では溶接工程の省力化を図るため、高電流で積層数の少ない大入熱溶接施工法が採用されてきた。しかし、このような溶接条件では溶接金属部の靱性が低下する可能性がある。この対策として、溶接入熱と多層溶接時の各パス間温度の管理が求められる。生産性の低下とコスト上昇は避けられない状況にある。

機械金属試験場では、協同組合千葉県鉄骨工業会及び県内大手鉄骨加工業者との共同研究にて、現在示されている入熱管理・パス間温度規定の妥当性の確認実験を行った。また、溶接部の品質確保を図りつつ、製造コスト上昇を招かない溶接施工条件を得る研究も併せて実施した。

## 1. はじめに

建築用鉄骨は構造物の大型化に伴い使用鋼材の材厚は厚くなる傾向にある。鉄骨製造業界ではかねてより溶接工程の高効率化とコスト削減を第一に、高電流で積層数の少ない大入熱溶接施工法が採用されてきた。しかし、このような溶接条件では溶着金属の結晶粒が粗大化し、溶接部の靱性が低下するのは明白で、さきの阪神淡路大震災において脆性破壊の形態を示した溶接部が多数存在したことで裏付けられている。

この対策として、一部の大学から提出された研究データが基となって、溶接入熱と多層溶接時の各パス間の温度管理が求められることになったが、鉄骨製造現場では過剰なまでの入熱管理の対応に窮しており、生産性の低下とコスト上昇は避けられない状況にある。

県内には100社を超える中小鉄骨加工業者が存在するが、バブル崩壊以降の不況は深刻さを増しており、鉄骨加工単価は低迷を続けているなかでの入熱管理規準化は更なる追い打ちを掛けられる状況となっている。

機械金属試験場では当該企業への技術支援策として、協同組合千葉県鉄骨工業会及び県内大手鉄骨加工業者と共に、現在示されている入熱管理・パス間温度規定の妥当性の確認、溶接部の品質確保を図りながら製造コストの上昇を招かない溶接

施工条件を得ること等を目的とした共同研究を実施した。

## 2. パス間温度管理が要求される背景

平成12年に改正された建築基準法では、構造設計は従来の仕様規定から性能規定に移行した。これには阪神淡路大震災での反省、規制緩和、国際規準との調和などがあげられる。溶接構造に関しては関係法令に基づく告示(1464号)において、溶接される鋼材の種類、強度などが規定され、それに相応しい強度を有する溶接ワイヤの使用と溶着金属の機械的性質が要求されることとなった。しかし、関係告示のなかにはパス間温度やシャルピー値は特に規定されていない。

鉄骨を製造する加工業者は、建築基準法77条に定められた指定性能評価機関から、国土交通省大臣の認定工場に関する審査を受けており、この鉄骨製作工場評価基準のなかに入熱・パス間温度の管理が遵守事項として定められている。評価基準では工場のグレード別により、鋼材の種類、使用溶接材料、入熱、パス間温度が規定されている。

性能規定の下で要求される機械的強度を得るには溶接施工管理を十分に実施する必要がある。しかし、管理を実施するには10%程度のコスト上昇は避けられないとの試算もある。また、規定された入熱やパス間温度が溶接施工の実態及び溶接金

属の機械的性質など溶接金属工学的見地から再検討を要する部分もある。

機械金属試験場では再検討を要する部分を明確にするために協同組合千葉県鐵骨工業会、(株)横河ブリッジ、東京鉄骨橋梁(株)袖ヶ浦工場とともに共同研究を行った。

### 3. 溶接施工の実態調査

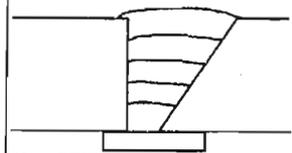
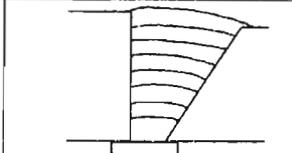
研究を行うにあたり、鐵骨工業会傘下にある3社の工場で溶接施工の実態調査を行なった。調査項目は溶接電流値、電圧値、アークタイム、パス間温度等である。表1は、各社で得られたデータである。各社で使用した板厚は異なっていたが、電流値は各社とも同程度であった。A社とC社では、電流値、電圧値とも同程度であるが、入熱はC社の方が小さかった。A社と比較してC社では、積層が多く、溶接速度が早かったためである。

図1は調査対象A社の板厚19mm梁溶接の溶接作業時間と熱履歴測定結果である。従来の溶接法他にパス間時間を1分、2分、3分にした4種類の施工を行なった。パス間時間を2分、3分とした時には、溶接終了後の冷却状況についても調査した。従来の方法では、過大なウィーピングを行ない、前進法、後進法により開先内を休むことなく連続的に往復して施工を行っていたため、トータルの時間は4分程度と短かかった。しかし、最終的な温度は、500°C近くまで上昇した。3分時間をおくと、最終的な温度は380°C程度と低い値となったが、作業時間が4倍以上となり、生産性が大幅に低下するということがわかった。

図2は調査対象B社の板厚36mmと26mm梁溶接の溶接作業時間と熱履歴測定結果である。溶接条件が連続の場合と1パスごとに温度測定を行った場合では、最終的な温度の差は認められなかった。

図3は調査対象C社の32mmのダイアフラム箱型断面柱の内部板の溶接における作業時間と熱履歴測定結果である。通常溶接方法、1パスおきに温度測定を行なう溶接方法、スタート時温度が60°C時の通常溶接方法の3種類を行なった。通常溶接方法は、4パスおき程度にスラグ除去を行なっていたため、温度測定はスラグ除去時に行なった。通常溶接方法は、1パスおきに温度測定を行った溶接方法よりも最終的な温度が高くなった。これは、ダイアフラムであるために熱がこもりやすく、母材表面への熱伝達に時間がかかったため

表1 各社における溶接条件データ

溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
		320	38
A社 積層状態			19mm+19mm
			5パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	350	44	31.2
B社 積層状態			36mm+28mm
			8パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	320	39	26.8
C社 積層状態			19mm+32mm
			13パス

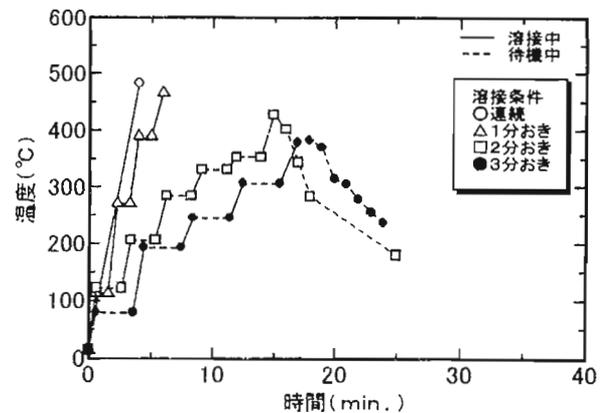


図1 A社における溶接作業時間と熱履歴

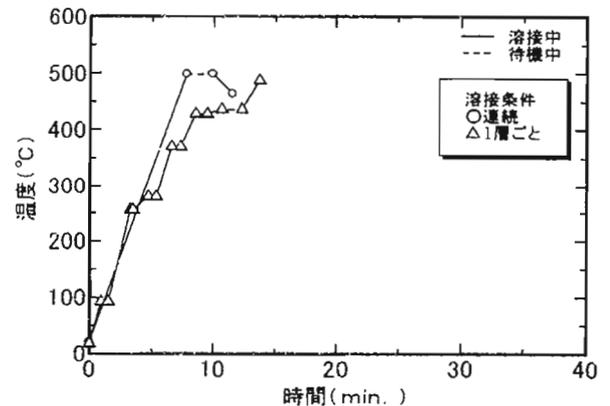


図2 B社における溶接作業時間と熱履歴

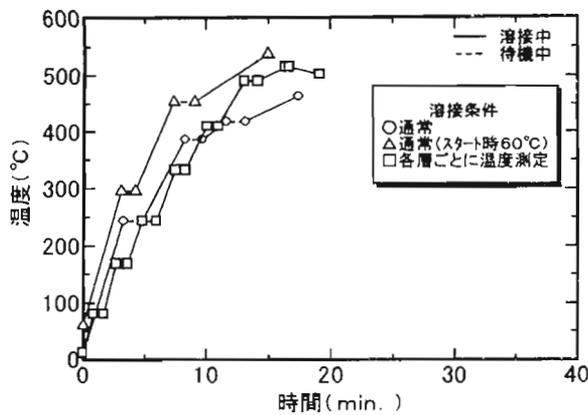


図3 C社における溶接作業時間と熱履歴

表2 実験Iにおける溶接パラメータ

入熱(kJ/cm)	パス間温度(°C)
10	150, 250, 350
20	150, 250, 350
30	150, 250, 350, 450
40	250, 350, 450
50	350, 450

あると考えられる。また、各条件とも作業時間の差はほとんど認められなかった。

#### 4. 実験

性能評価基準の遵守事項と施工調査の内容を考慮し、実験I・IIを行なった。実験Iは、溶接入熱量とパス間温度をパラメータとした実験、実験IIは電流値を主なパラメータとした実験とした。

##### 4.1 実験I

##### 4.1.1 試験体の作製

実験Iは横河ブリッジ(株)にて作製したもので、入熱を正確に制御するために溶接ロボットを用いた。使用鋼材は板厚22mmのSM490Aで、溶接ワイヤはYGW11、φ1.4を使用した。溶接パラメータを表2に示す。入熱は、10kJ/cmから50kJ/cmまで10kJ/cmごとに設定し、パス間温度は、150°Cから450°Cまで100°Cごとに設定した。入熱によって、温度上昇形態が大きく異なるため、各入熱では無理のないパス間温度を設定した。表3に各入熱における電流値、電圧値、溶接速度、積層状態を表

表3 各入熱での溶接条件

溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	速度(cm/s)
	250	30	45.0
10 kJ / cm 積層状態			20パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	速度(cm/s)
	300	30	27.0
20 kJ / cm 積層状態			11パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	速度(cm/s)
	320	32	20.4
30 kJ / cm 積層状態			6パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	速度(cm/s)
	350	32	16.8
40 kJ / cm 積層状態			5パス
溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	速度(cm/s)
	360	34	14.6
50 kJ / cm 積層状態			4パス

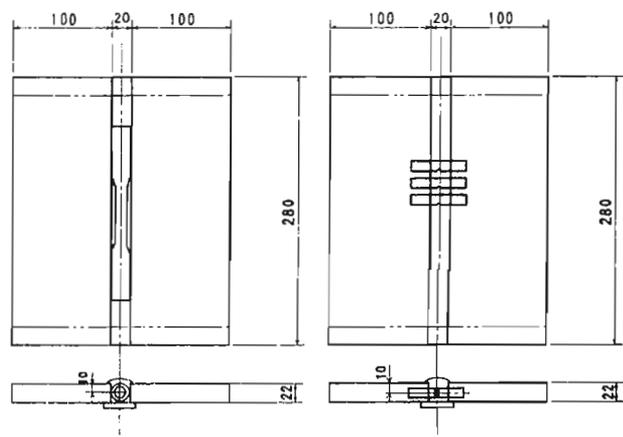


図4 実験Iでの試験片採取位置

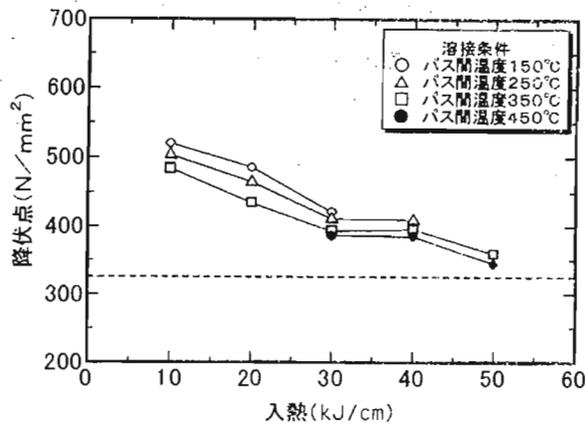


図5 入熱と降伏点の関係 (実験 I)

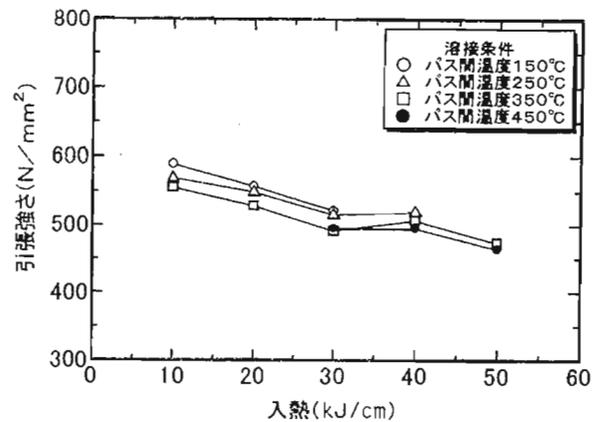


図6 入熱と引張強さの関係 (実験 I)

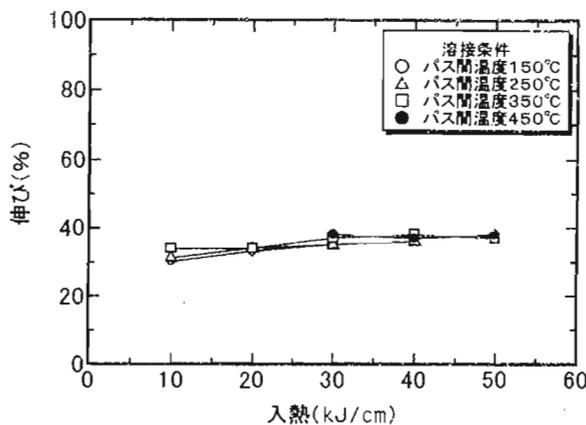


図7 入熱と伸びの関係 (実験 I)

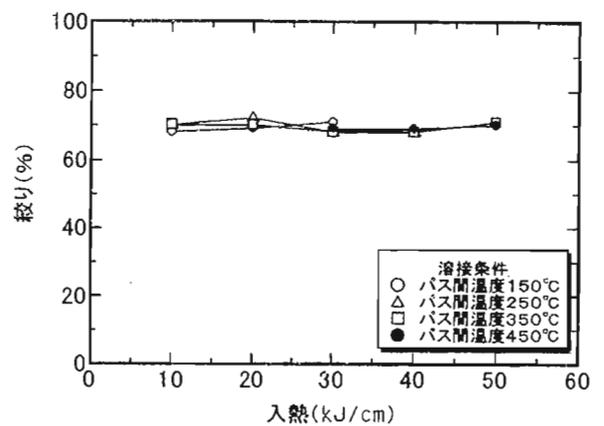


図8 入熱と絞りの関係 (実験 I)

す。入熱を大きくする場合、電流値、電圧値は大きく、溶接速度は小さくなるよう設定した。また、入熱を大きくする場合、積層は少なくなる。

#### 4.1.2 機械的強度の測定

機械的強度測定用の引張試験片1体とシャルピー衝撃試験片3体を各溶接条件で作製した試験体からJIS Z 3111に基づき採取した。実験 I の試験片採取位置を図4に示す。

引張試験は室温で行ない、降伏点、引張強さ、伸び値、絞り値を求めた。シャルピー衝撃試験は、試験片温度を0°Cにして行ない、吸収エネルギーを求めた。

#### 4.1.3 実験 I の結果

入熱とパス間温度を主なパラメータとした実験結果を図5～図9に示す。なお、図中に示した破線は建設省告示で規定された規準強度である。

図5に示す降伏強度は入熱の増加により減少傾向にあるものの、実験した入熱条件範囲では全て

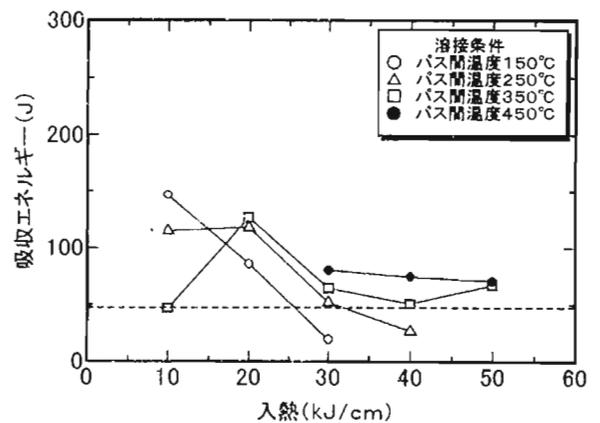


図9 入熱と0°C吸収エネルギーの関係

規準強度を上回る結果が得られた。

図6に示す引張強さは、降伏強度と同様に入熱の増加により減少傾向にあった。

図7に示す伸びは、入熱が変化してもほとんど変化しなかった。

表4 実験IIにおける溶接パラメータ

電流値 (A)	溶接条件
300	○連続的溶接 ○パス間温度350℃ ○3分おき
350	
400	
450	

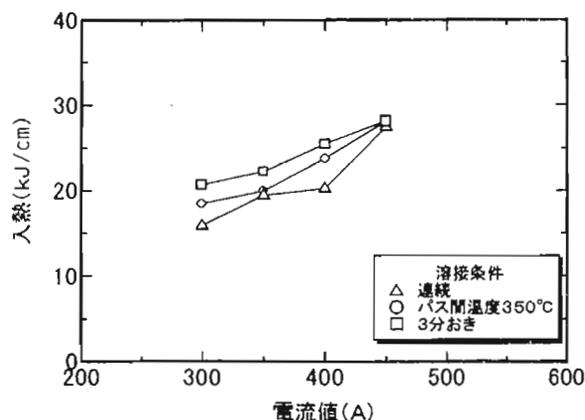


図10 電流値と入熱の関係

図8に示す絞りについても、入熱が変化してもほとんど変化しなかった。

図9に示す0℃吸収エネルギーは入熱の増加と共に減少傾向にあることが認められ、30kJ以上の入熱では規準強度を下回る結果も得られた。しかし、入熱20kJ/cm以上ではパス間温度の高い方が0℃吸収エネルギーは良好な結果が得られた。

これらの結果から、入熱やパス間温度が0℃シャルピー吸収エネルギーに影響するファクターとは認めがたいことがわかった。従って、パス間温度のコントロールだけでは、規準強度を十分に上回る0℃吸収エネルギーの確保は困難である。

なお、30kJ/cm以上の入熱を確保するには溶接施工で過大なウィービングを必要とした。

## 4.2 実験II

### 4.2.1 試験体の作製

実験IIは機械金属試験場にて実施したもので、板厚25mmのSN490B材を炭酸ガス半自動の手溶接にて作製した。使用溶接ワイヤはYGW11、φ1.4を使用した。このときの溶接パラメータを表4に示す。

表5 各電流値におけるデータ

300	溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	積層状態	280	32	18.5
350	溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	積層状態	320	35	19.9
400	溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	積層状態	370	41	23.7
450	溶接条件	電流値(A)	電圧値(V)	入熱(kJ/cm)
	積層状態	420	46	28.1

電流値は、300A~450Aに設定した。各電流値において、3つの溶接条件を設定した。連続的な溶接方法では、パス間温度の測定直後に次パスの溶接を行った。パス間温度350℃の溶接方法では、途中まで連続的な溶接方法を行ない、パス間温度が350℃を超えた場合は350℃に温度低下するまで待機した後、次パスの溶接を行なった。3分おきの溶接方法では、パス間の時間を3分おいて溶接した。図10に電流値と入熱の関係グラフを表す。溶接施工条件別の実験では、前進法で行ない、開先形状に見合ったウィービング幅としたが、入熱の最大値は溶接電流450Aの条件でも28kJであった。

表5にパス間温度350℃とした溶接条件における各設定電流における電流値、電圧値、入熱、積層状態を示す。電流値の設定はビードオンプレート時としたため、実際の試験体作製時は設定電流値より若干低下した。電流値が大きくなるにつれて、積層は少なくなった。

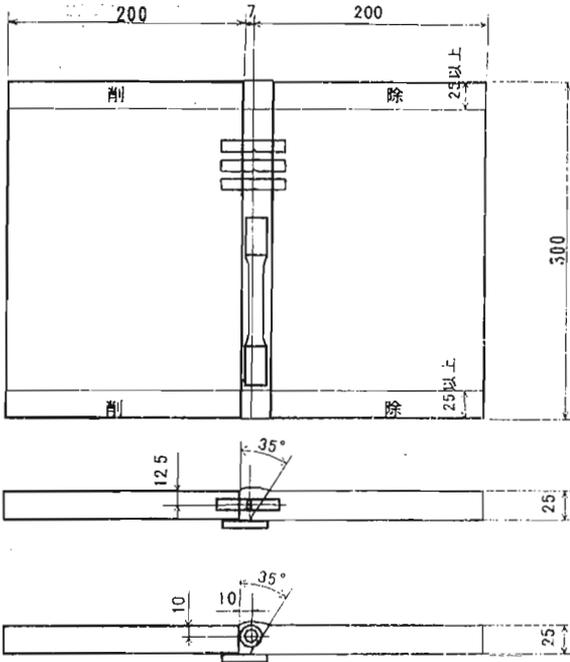


図 1 1 試験片採取位置 (実験 II)

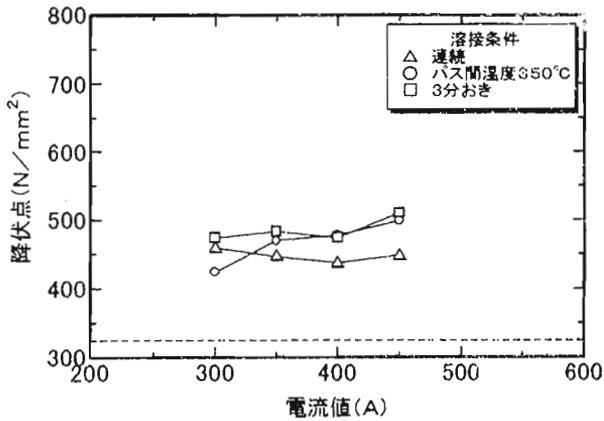


図 1 2 電流値と降伏点の関係 (実験 II)

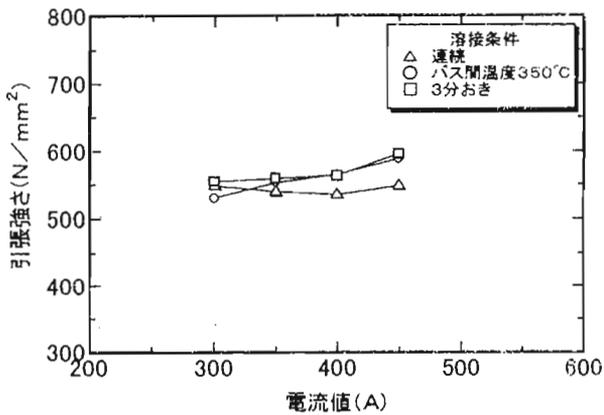


図 1 3 電流値と引張強さの関係 (実験 II)

#### 4. 2. 2 機械的強度の測定

試験体採取位置は、図11のとおりである。機械

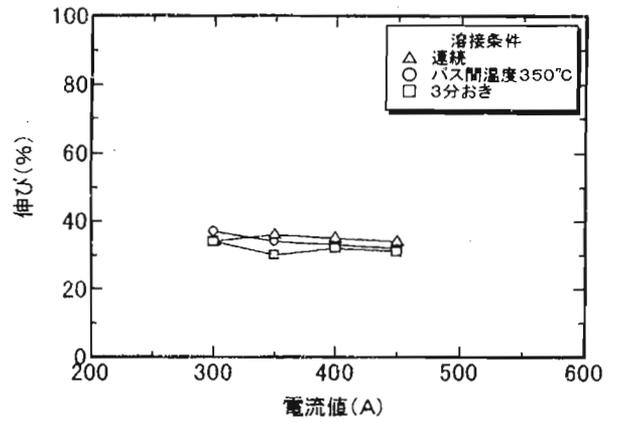


図 1 4 電流値と伸びの関係 (実験 II)

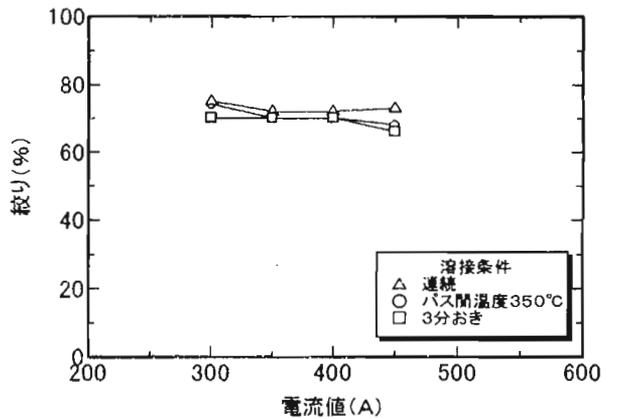


図 1 5 電流値と絞り関係 (実験 II)

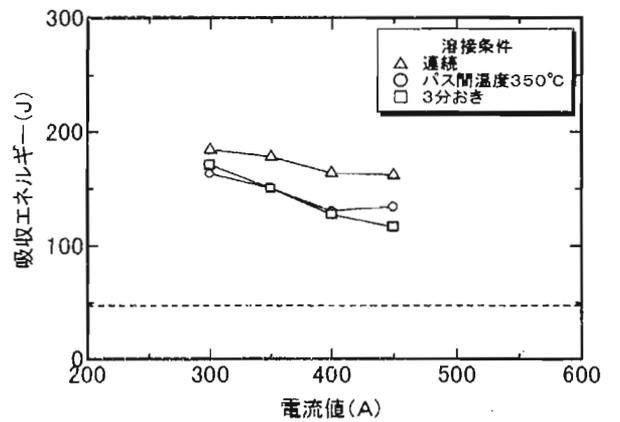


図 1 6 電流値と0°C吸収エネルギーの関係

的強度の測定は、実験 I の4. 1. 2と同様な方法で行なった。

#### 4. 2. 3 実験 II の結果

降伏強度は図12に示すように、電流値の増加による降伏強度の変化は少ない結果が得られた。

図13の引張強さでも同様に電流値の増加による変化は少なかった。

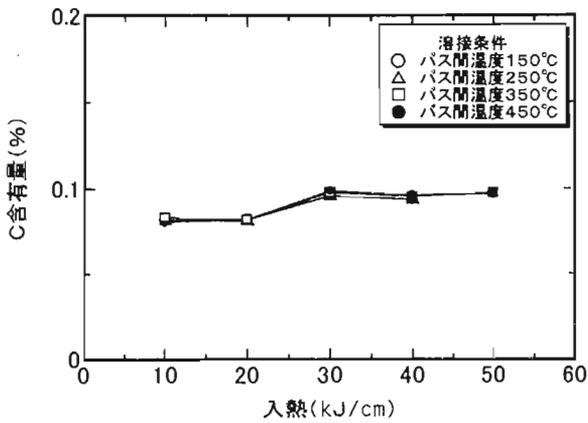


図17 入熱とC含有量の関係(実験I)

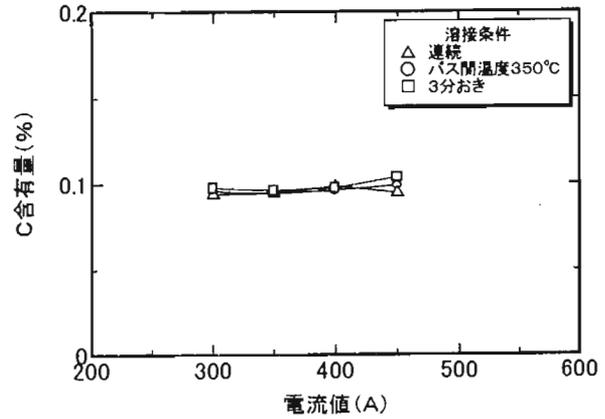


図18 電流値とC含有量の関係(実験II)

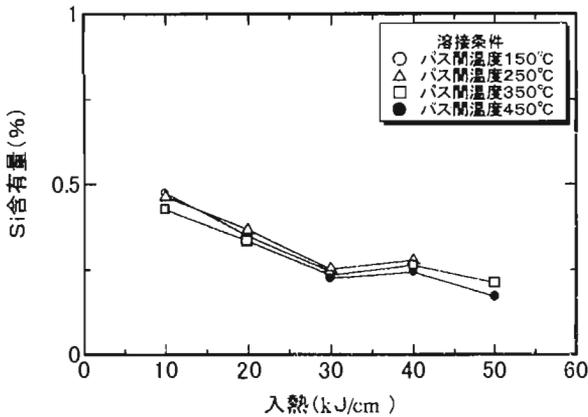


図19 入熱とSi含有量の関係(実験I)

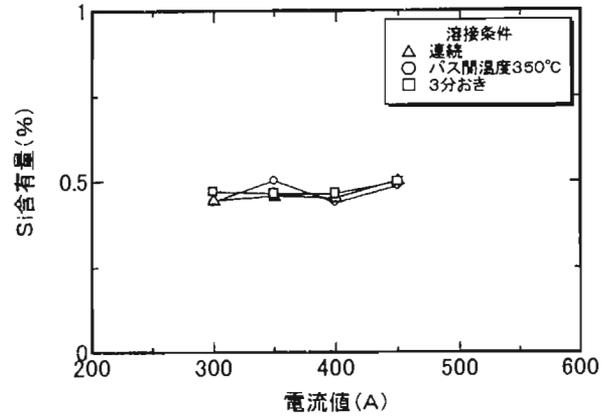


図20 電流値とSi含有量の関係(実験II)

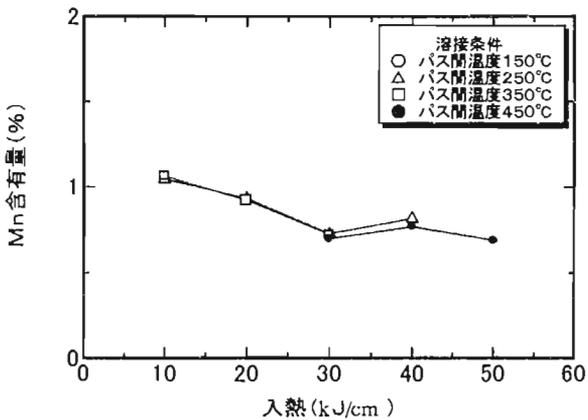


図21 入熱とMn含有量の関係(実験I)

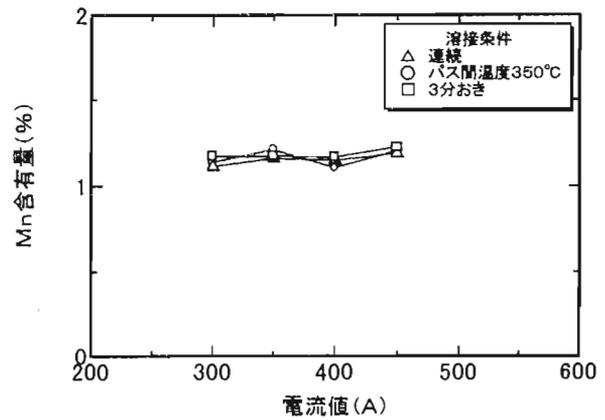


図22 電流値とMn含有量の関係(実験II)

図14, 15に示す伸び, 絞りと電流値の関係では, 電流値の増加による変化は少なかった。

図16の0°C吸収エネルギーは電流値の増加により若干の低下傾向にあるが, 全ての条件でシャルピー値は100Jを上回り, 十分な強度が得られた。従って実験結果からは0°C吸収エネルギーはパス間温度にあまり影響されない結果となった。

## 5. 溶着金属の分析結果

発光分光分析装置を使用し, 引張試験片, シャルピー衝撃試験片の採取位置と同位置の溶着金属部の化学成分について調査した。

実験I, IIにおける各溶接条件とC含有量の間を関係を表したグラフを図17, 18に示す。図17から入熱の増加に従い, C含有量が若干増加傾向にあることがわかる。図18では電流値の増加によるC含

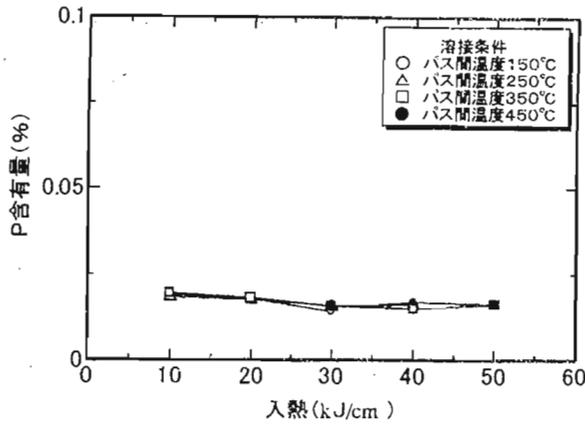


図 2 3 入熱と P 含有量の関係 (実験 I)

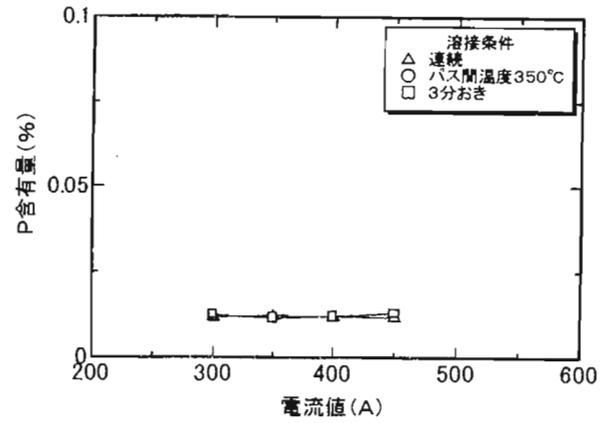


図 2 4 電流値と P 含有量の関係 (実験 II)

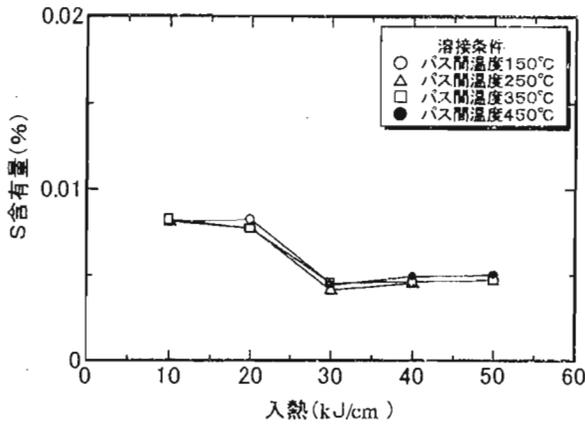


図 2 5 入熱と S 含有量の関係 (実験 I)

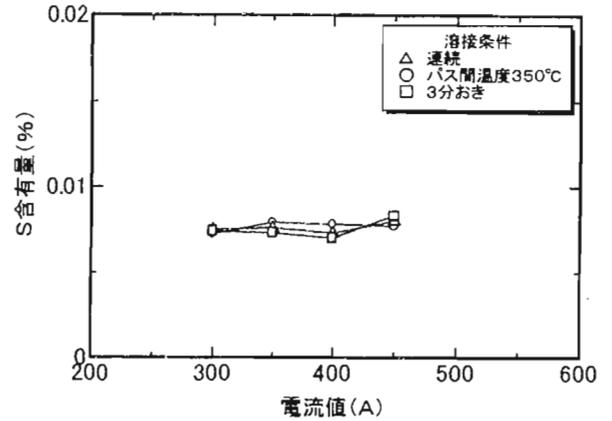


図 2 6 電流値と S 含有量の関係 (実験 II)

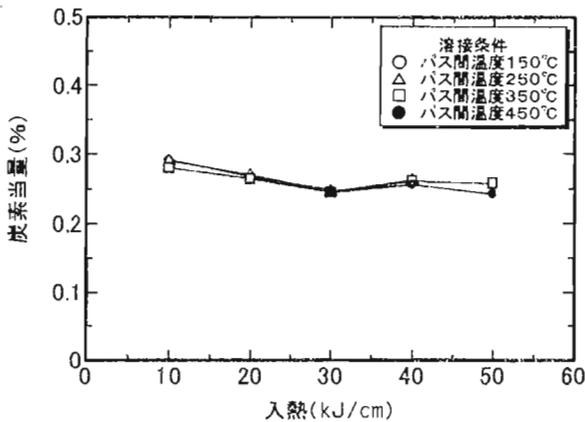


図 2 7 入熱と炭素当量の関係 (実験 I)

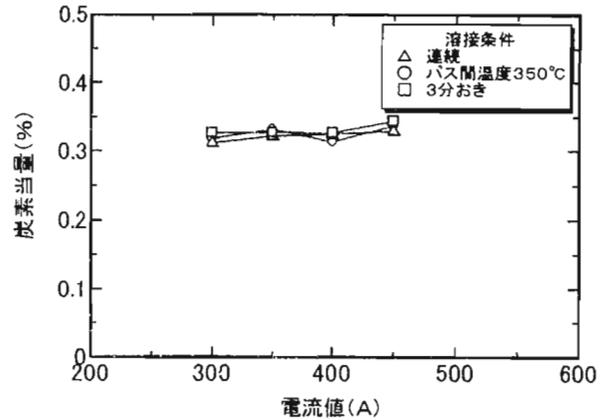


図 2 8 電流値と炭素当量の関係 (実験 II)

有量の変化は認められない。

溶着金属の Si 含有量を図 19, 20 に示す。図 19 から入熱の増加により Si 含有量が大きく低下する傾向にあることがわかる。しかし、図 20 での電流値の変化による Si 含有量の変化は認められない。

溶着金属の Mn 含有量を図 21, 22 に示す。図 21 から入熱の増加により Mn は減少する傾向にあることがわかる。また、図 22 では電流値の変化による Mn

含有量の変化は認められなかった。

溶着金属の P 含有量を図 23, 24 に示す。これらのグラフから入熱または電流値の変化による P 含有量の変化は認められなかった。

溶着金属の S 含有量を図 25, 26 に示す。図 25 では入熱が 20 kJ/cm を超えると S 含有量が減少する傾向にあることがわかる。図 26 では電流値の変化による S 含有量の変化は認められなかった。

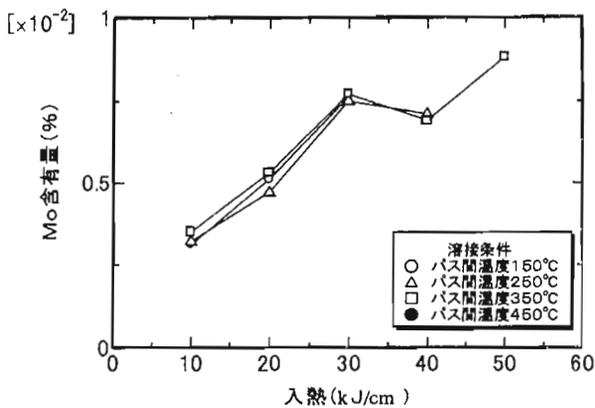


図 29 入熱とMo含有量の関係(実験I)

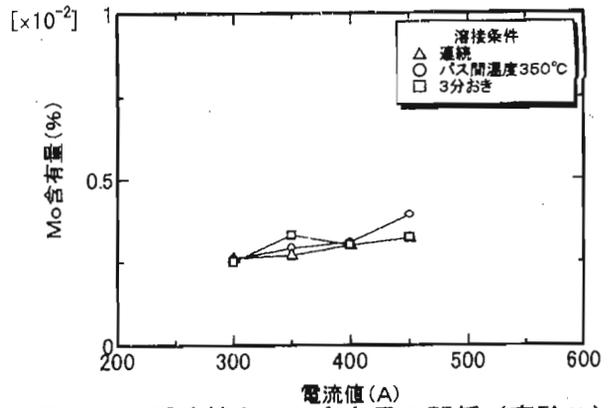


図 30 電流値とMo含有量の関係(実験II)

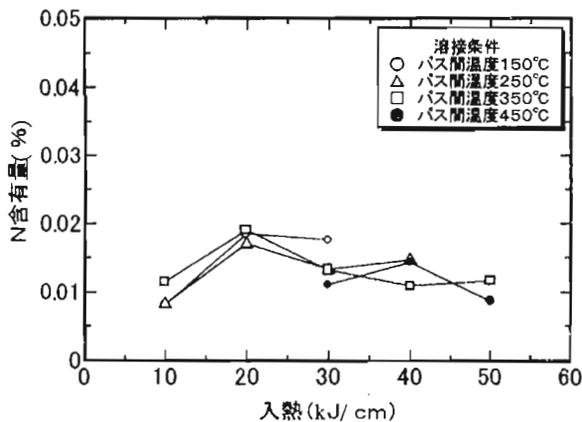


図 31 入熱とN含有量の関係(実験I)

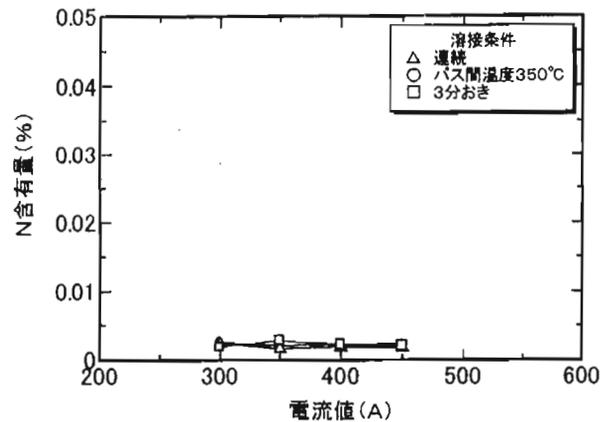


図 32 電流値とN含有量の関係(実験II)

溶着金属の炭素当量を図27, 28に示す。図27から入熱の変化によりほとんど炭素当量の変化は認められなかった。また、図28から電流値の変化による炭素当量の変化も認められなかった。

溶着金属のMo含有量を図29, 30に示す。図29から入熱の増加によりMo含有量は大きく増加する傾向がある。図30から電流値の増加によってMo含有量は若干増加傾向にある。

溶着金属のN含有量を図31, 32に示す。図31から入熱量、パス間温度の変化によってN含有量にばらつきが生じた。図32ではどの条件においてもN含有量はほとんど変化しなかった。また、実験Iと実験IIではN含有量値に10倍程度の差が認められた。

実験Iと比較して実験IIでは、電流値が増加しても各元素含有量はほとんど変化しない結果となった。実験IIの溶接施工では、溶接電流値を増加すると溶接速度も対応して増加したため、各電流値ごとの平均入熱量の範囲は16kJ/cm~28kJ/cmと小さかったためである。

実験I, IIにおける化学的成分で顕著な差異が

確認されたのはMo, N含有量であった。N含有量の増加により溶接金属のじん性は一般に低下するといわれているが、本実験でもN含有量の増加によるじん性低下の傾向は否定できない結果となった。実験Iではワイヤ突出し長さの設定は30mmで、コンタクトチップがノズルから僅かに突出し、ノズルは先端で絞られている形状となっていた。一方、実験IIではワイヤ突出し長さの設定は約25mmで、コンタクトチップは筒状のノズルによりカバーされる形状となっていた。これらのノズル形状、ガス流量、溶融プールのサイズ等が溶着金属の窒化の因子となった可能性がある。Mo含有量の差異については、今後調査を行なう予定である。

## 6. まとめ

鉄骨工場の実態調査及び建築鉄骨溶接における入熱・パス間温度の実験I, 実験IIから次の結果が得られた。

1. 工場の実態調査から、入熱・パス間温度を管理しない施工方法では、入熱は30kJ/cm, 溶接終了時のビード近傍の母材温度は500℃まで上昇し

ていることが分かった。

2. 板厚と溶接物の大きさにもよるが、連続溶接を行うと3～4パス目で開先から10mm離れた位置の母材は350℃を超える結果が得られた。

3. 溶接入熱の増加とパス間温度の上昇に伴い、溶着金属の降伏強度と引張り強さは低下する傾向にある。

4. パス間温度と入熱をパラメーターとした実験Ⅰの結果から、0℃吸収エネルギー値と入熱の間には明確な相関が得られなかった。パス間温度についても同様に0℃吸収エネルギー値との相関が得られなかった。

5. 溶接電流値を主なパラメーターとした実験Ⅱの結果では、電流値の大小に関わらず降伏強度も引張り強さもほぼ一定の良好な値を示した。

6. 実験Ⅱのウィービングを最小限に押さえた前進法の連続溶接では、パス間温度に関係なく高い0℃吸収エネルギー値が得られた。

7. 溶着金属部の分析結果から、C, Si, Mn, S等は入熱・パス間温度条件により増加又は減少している結果が得られた。

8. Nの含有量は実験ⅠとⅡとでは10倍の差が生じた。ガス流量やワイヤ突出し長さ、トーチ角度、ウィービング幅などが影響したもので溶着金属の窒化の差が生じ、0℃吸収エネルギー値に影響を及ぼした可能性がある。Mo含有量も実験ⅠとⅡとでは顕著な差が生じた。

## 7. 今後の方針

本実験は、鉄骨製作工場評価基準の中に入熱・パス間温度管理が定められたことを機に溶着金属の機械的強度及び溶接入熱・パス間温度条件との関係について研究を行ったものである。今回の実験では溶着金属の機械的強度に重点を置いたが、本来入熱の影響を受けるのは母材の熱影響部である。

今回の実験で明らかになったことを基に、さらに実験を継続する予定であるが、本実験の最終目的は、溶着金属及び熱影響部が要求される機械的強度を満たすに必要な溶接条件を得ることにあり、それには溶接作業能率、製造コスト、溶接管理等を重視した条件を求めることにある。

## 参考文献

- 1) 全国鉄構工業協会編：「建築鉄骨溶接構造の性能評価基準」2000
- 2) 日本溶接学会編：溶接・接合技術概論，産報出版，(1997)
- 3) 中込 忠男：鉄構技術，14，156，18(2001)

# 品質確保のための [鉄骨造]仕様規定化のポイント

春原匡利(東京都都市計画局建築指導部)

## 鉄骨造も性能・仕様規定化

鉄骨造に関する政令・告示は、全体が性能規定化に向かうなかで、木造と並んで仕様規定の明確化の色合いが特に濃い。これは、これらの構造が阪神・淡路大震災で倒壊などの被害を多数生じたことによる。特に鉄骨造では、柱脚および溶接接合部に被害が目立ち、施工不良を含む材料・施工の管理の不備を要因とするものが多かった。

しかし、その後の調査で、倒壊に至らない鉄骨造のなかにも、溶接接合部に従来一般的に行われていた施工方法によっていたものに被害が見られ、解体せざるを得ない事例が少なからず出てきた。鉄骨造関係の政令・告示改正は、これらの被害状況を反映したものであり、表1に掲げるように、溶接接合部の品質、鋼材の曲げ加工、柱の脚部、鉄骨加工工場の大臣認定制度に関する事項が新たに制定もしくは改正されている。

鉄骨造関連で制定された一連の告示を表2に示す。改正は鉄骨の品質確保について、主に個々の工事で「守るべき仕様規定」を整備したものである。

## 中間検査実施マニュアルの背景と要点

大震災の経験から、中間検査制度が導

入され、品質確保を制度面から担保しようとする措置がとられた。つまり、「守るべき仕様規定」が実際に守られたかどうかを確認し、建築基準法の「規制の実効性の確保」を図るための措置である。中間検査の制度は、特定行政庁が告示などで検査の対象建築物や検査の時期などを指定することによって初めて個々の工事で規制の効果を発揮する。また「守るべき仕様規定」は、中間検査の際の「合否判定基準」になるということに注意が必要である。仕様規定と中間検査制度とは、今回の改正のまさに車の両輪であり、どちらが欠けても品質確保は進退まなならずということになる。

この中間検査を補完するものとして、完了検査や中間検査の際に提出する申請書の第4面に「工事監理の状況」欄が新たに設けられ、ここに工事監理結果に関する必要な事項を具体的に記述するよう規則で定められた。また、この欄に必要な資料・写真などについては、特定行政庁が規則(細則)で定めるか、または建築主事が法第12条第3項にもとづき個々に求めるかのいずれかによることとなる。東京都では、建築工事施工計画・施工結果の報告書および関係資料についての細則で定めている。

中間検査実施マニュアルは、中間検査の制度が全国的に普及するにあたって、

規制の不統一や技術的な混乱を避けることを目的として、国の要請により日本建築主事会議(当時)現、日本建築行政会議)が作成し、「建築構造審査要領」(99年11月刊)に所収したものである。その後、国土交通省住宅局建築指導課、日本建築行政会議、日本建築センター、建築研究所などが共同編集した「建築物の構造関係技術基準解説書」の第10章に、00年の改正告示に合わせて内容を改訂し取められている。

このマニュアルでは、工事監理者や工事施工者が実施した品質管理や検査を報告書などにより審査したうえで実地検査により確認するという2段階の方法をとる。

この実地検査は図表4の中間検査チェックシートを用いて行う。このシートには重要な検査項目について、工事監理者および工事施工者がどのような方法で検査して結果がどうであったかを明確に記載するようになってい

## 00年6月以降に 施行された告示

00年6月の改正政省令の施行後に公布・施行された告示について紹介する。なお、現時点でパブリックコメントにより意見が公募された告示案のうち、まだ施行されていない告示がある。さらに、

※ これらの情報は、国土交通省ホームページ中「パブリックコメント・ご意見募集」のコーナーから取得できる。URL: <http://www.mlit.go.jp/kisha/public.html>

予定されている告示で、CFT構造など  
パブリックコメントが出されていないも  
のがある。

## 鋼材や溶接部の 許容応力度などの基準値

令90条などでは、鋼材や溶接部の許容  
応力度などを基準強度（以下、F値）の  
関数で定めている。この告示のうち、次  
の2点が改正の眼目である。

### ①ステンレス鋼と構造用ケープル

政令で、従来のSS、SM、SN、S  
TK、STKR、ボルト、鋳鋼その他の

鋼材を「炭素鋼」としてくり、新たに  
組み込まれた「ステンレス鋼」と対比さ  
せていることを受け、基準強度が与えら  
れている。

ただし、政令にある構造用ケープルに  
ついて、この告示では、炭素鋼およびス  
テンレス鋼ともに基準強度が与えられて  
いない。今後は法37条第二号による大臣  
認定を取得することになると思われる。

### ②加熱および曲げ加工の制限

告示の第1の三号では、SS、SM、  
SN材などの鋼板などに500℃を超えた加  
熱を行う場合や、厚さ6mmを超える鋼材

などの曲げ加工を外側曲げ半径が板厚の  
10倍未満で行う場合は、加工後の鋼材な  
どの機械的性質、化学成分その他の品質  
が加工前と同等級以上であることを確認し  
なければならないとされた。

このことよって、SN材の曲げ加工  
材として建築構造用冷間成形角形鋼管  
（BCP、BCR）のメーカー各社が法37  
条第二号にもとづき大臣認定を取得し、  
このF値の告示の公布と同時に別途、F  
値の指定を受けている。また、角形鋼管

構造の仕口部分に用いられるテーパ管  
も同様の理由で、大臣認定とF値を取得

しているメーカーが数社ある。つまり、  
鋼板などを鉄骨加工工場などにおいて常  
温で「角形に」曲げ加工することは、事  
実上この告示に抵触するということにな  
り、注意が必要である。そのほか、500℃  
超で加熱加工する材としてホットコラム  
のメーカー社が大臣認定を取得し、F  
値の指定を受けている。

また、当初はSTKR材がこの規定に  
抵触すると考えられていたが、表3の説  
明で、法令上は支障ないこととされた。

ただし、STKR材の曲げ加工部分の  
材質劣化などは工学上の問題が未解決の

表1 鉄骨造関連の政令・告示改正

項目	制定・改正の経緯など	内容
溶接接合部の品質に 関する規定	令67条2項制定。 平12建告1464号制定	溶接部のわれ、内部欠陥、表面欠陥・寸法 精度、溶着金属としての機械的性質につ いて規定鋼材の曲げ加工に関する規定
鋼材の曲げ加工に 関する規定	令90条「許容応力度」ほか の条項に基づく平12建告 2464号。旧告示昭55建告 1794号を廃止し、全面的な 改正	常温または高温における鋼板などの曲げ 加工について条件を付して規制
柱の脚部の 具体的な規定	令66条に基づく平12建告第 1456号	従来から用いられていた三つの工法（露 出形式、根巻き形式、埋込み形式）を具 体的な仕様として規定
鉄骨加工工場の 大臣認定制度	規則第1条の3第1項	令92条の改正に伴う昭55建告1103号 の廃止によって新たな認定制度を制定

（平成13年11月20日現在）

表2 '00年6月以後に施行済みまたは公布予定の鉄骨造関係の告示

告示の題名	根拠法令	告示公布年月日番号	区分
鋼材等及び溶接部の許容応力度並び に材料強度の基準強度を定める件(昭 55建告第1794号を廃止)	令90条、92条、96条、 98条	平成12年12月26日 建設省告示第2464号	改正
高力ボルトの基準張力、引張接合部の 引張りの許容応力度及び材料強度 の基準強度を定める件(昭55建告第 1795号を廃止)	令94条、99条	平成12年12月26日 建設省告示第2466号	改正
特殊な許容応力度及び特殊な材料強 度を定める件(木材のめりこみ及び圧 縮材の座屈の許容応力度等を定める 件：昭55建告第1799号を廃止し、題 名を含め改正)	令94条、99条	平成13年6月12日 国土交通省告示第 1024号	改正
アルミニウム合金造の構造方法に関 する安全に必要な技術基準等を定め る件	令80条の2、81条1項 ただし書き	未	新規
建築基準法第37条の規定に基づき、 平成12年建設省告示第1446号の一 部改正(タッピングねじ等に類するもの を追加)(別表第1第一号に掲げる建 築材料に、タッピングねじ等に関する 品質基準、検査項目等を追加)	法37条	平成13年11月15日 国土交通省告示 第1638号	改正
建築基準法施行令第90条、第92条、 第96条及び第98条の規定に基づき、 平成12年建設省告示第2464号の一 部改正(追加・SGH400、SGC400、 CGC490)(・SGLH400、SGLC400、 SGLH490、SGLC490) (・SWH400L)	令90条、92条、96条、 98条	平成13年11月15日 国土交通省告示 第1639号	改正
建築基準法施行令第94条及び第99 条の規定に基づき平成13年国土交通 省第1024号の一部を改正(タッピング ねじ等の許容応力度等の追加)	令94条、令99条	平成13年11月15日 国土交通省告示 第1640号	改正
薄板軽量形鋼造の建築物又は建築物 の構造部分の構造方法に関する安全 上必要な技術的基準を定める等の件	令96条、80条の2、81条 1項ただし書き	平成13年11月15日 国土交通省告示 第1641号	新規
デッキプレート版の構造方法に関す る安全上必要な技術的基準を定める 件	令80条の2	未	新規
CFT構造	令80条の2、81条	未	新規

表3 STKR材の扱い

- 法37条第一号にもとづき指定建築材料として、JIS G 3466（一般構造用角形鋼管-1988）が指定されており、許容応力度などの基準強度（F値）の告示（平12建告2464号第1、第3）でも同JISが指定されている
- 一方、JIS G 3466（一般構造用角形鋼管-1988）において、同JISの表1に掲げられた寸法以外の製品については、当事者間の取り決めによることとされ、従来は、STKC（JSSC日本鋼構造協会規格）材としてJIS規格を上回る品質で出荷されていた。この表1規格寸法以外の製品について、国土交通省と経済産業省との確認にもとづき、JIS G 3466（一般構造用角形鋼管-1988）の品質証明がなされていれば、同JIS規格品すなわちSTKR材として扱うこととされた

※ SS（一般構造用圧延鋼材）：建築用鋼材のなかでも多用されている鋼材。溶接性がよくない。SM（溶接構造用圧延鋼材）：SS材より溶接性能をよくした鋼材で、溶接性能によりA、B、Cの等級がある。SN（建築構造用圧延鋼材）：溶接性能がよく、降伏点を超えても破断しにくい（ねばり強さをもつ）。材料性能によりA、B、Cの等級がある。STK（一般構造用炭素鋼管）：材質はSS材に類似する。鋼管（パイプ）の規格材。STKR（一般構造用角形鋼管）：SS材を使用してJISで定められた工程、品質で加工された。角形鋼管の規格材。BCR（建築構造用冷間成形角形鋼管）：SN材に相当するものとして規格化された冷間成形コラム。ロール製法によるものをBCR、プレス製法によるものをBCPという

表4 鉄骨造中間検査チェックシート

検査項目	検査内容および判定基準欄中の ※は法令規定事項である重要検査項目を示す	検査日付	検査機関用注1		結果	修正 月日	
			施工者	監理者			検査方法
				A:目視検査 B:計測検査 C:報告書	良否 1次スクリーニング 2次スクリーニング		
他工程部分	基礎工事 RC工事	7(1)中間検査チェックシート(RC造)による 7(1)中間検査チェックシート(RC造)による					
I 報告書 審査に よる 確認 事項	①加工工場の選定 注3	※規則1条の3 建築物の規模等認定の条件に合った生産能力があること			C		
	②指定建築材料の品質確認	※法37 ※令67	a)鋼材、高力ボルトセットの規格、品質の確認 b)溶接材料の規格と鋼材の組合せの適合		C		
	③組立精度の確認		開先角度、ルート面、ルートギャップ、食違いなど組立て時の鉄骨の精度		C		
	④製品検査1 (鉄骨部材の寸法精度測定)		鉄骨部材の寸法精度 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準)		C		
	⑤高力ボルト接合部の処理	※令67	高力ボルト接合部の摩擦接合面の処理、ボルトの孔径・ピッチ・繰端距離など		C		
	⑥製品検査2 (溶接接合部分の品質)	※令67	外観検査および超音波探傷検査の結果確認 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準UT基準 注7)		C		
	II 現場 検査 事項 1全体	①加工工場の類別	※規則1条の3	表示板による加工工場の類別グレード確認	A・C		
		②材料の品質規格確認	※法37 ※令67	a)鋼材などの品質規格証明書と現物との照合 b)溶接材料の規格と鋼材の組合せの適合	A・C A・C		
		③部材の配置	※令3章8節	柱、梁、ブレース、床版などの配置 (確認添付図書との照合)	A・C		
		④部材の寸法・形状	※令3章8節	柱、梁、ブレース、床版などの寸法・形状(確認添付図書との照合)	A・B・C		
⑤確方精度			架構の確方制度 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準)	A・C			
2溶接 接合部		①加工溶接部分の 外観・形状 注4	※令92・96 ※令67 ※令67 ※令67 ※令67	a)溶接継目の種類(突合せ溶接・隅肉溶接) b)ダイアフラムとフランジのずれ c)突合せ継手の食違い d)アンダーカット e)われ f)その他の溶接部の外観・形状・寸法 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準)	A・B・C A・B・C A・B・C A・B・C A・B・C A・B・C		
		②現場溶接部分の 組立て精度 注5		開先角度、ルート面、ルートギャップ、食違いなど組立て時の鉄骨の精度	C		
		③現場溶接部分の 製品検査		外観検査および超音波探傷検査結果 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準、UT基準)	C		
		④現場溶接部分の 外観・形状・寸法	※令3章8節	a)現場溶接部の部位(確認図書との照合)	A・C		
		3高力 ボルト 接合部 注5	①トルシア形	※令92・96 ※令67	b)溶接継目の種類(突合せ溶接・すみ肉溶接) c)ダイアフラムとフランジのずれ	A・B・C A・B・C	
	※令67			d)突合せ継手の食違い	A・B・C		
	※令67			e)アンダーカット	A・B・C		
	※令92の2			f)その他の溶接部の外観・形状・寸法 (参考:JASS6付則6鉄骨精度検査基準)	A・B・C		
	※令92の2			a)現場受入れ検査(トルク係数確認・導入張力確認試験)実施状況の確認	C		
	②JIS形六角		※令67 ※令92の2 ※令92の2	b)ボルトの本数、スライス数、摩擦接合面の確認 c)ボルトの径・孔径・中心距離・繰端距離の確認 d)締付け状態の確認	A・C A・C A・C		
※令92の2			e)肌すきの有無・マーキングの状態の確認	C			
※令92の2 ※令67 ※令92の2			b)ボルトの本数、スライス数、摩擦接合面の確認 c)ボルトの径・孔径・中心距離・繰端距離の確認 d)締付け状態の確認	A・C A・B・C A・C			
※令92の2			e)肌すきの有無・マーキングの状態の確認	C			
※令3章8節			ブレース接合部の形式・板厚・材質・補剛材などの確認	A・C			
4ブレース 接合部	共通	※令66	柱脚接合法と仕様確認(確認添付図書との照合)	A・C			
		※令66	a)アンカーボルトの材質・径・本数とナットの長さの確認	A・B・C			
		※令66	b)アンカーボルトの均等な配置の確認	A・C			
		※令66	c)座金の使用、ナットの戻り止め措置の確認	A・C			
		※令66	d)アンカーボルトの定着長さの確認	A・B・C			
		※令66	e)柱の最下端の断面積に対するアンカーボルトの 全断面積の割合の確認	A・C			
		※令66	f)ベースプレートの厚さの確認	A・B・C			
		※令66	g)アンカーボルトの径・孔径・繰端距離の確認	A・C			
		※令66	h)アンカーボルトの締付け状態の確認	A・C			
		※令66	a)根巻き部分の高さの確認	A・C			
5柱の 脚部の 構造 方法	②根巻き形式	※令66	b)根巻き部分の立上がり主筋の 本数およびその頂部のかぎ状加工の確認	A・C			
		※令66	c)立上がり主筋の定着長さ(根巻き部分・基礎)の確認	A・B・C			
		※令66	d)根巻き部分の帯筋(令77(2)③)の確認	A・B・C			
		※令66	e)スタッドボルトの径・本数・配置の確認	A・C			
		※令66	a)柱の埋込み長さの確認	A・C			
	③埋込み形式	※令66	b)埋込み部分の鉄骨のかぶり厚さの確認	A・B・C			
		※令66b)	c)スタッドボルトの径・本数・配置の確認	A・B・C			
		※令66	d)埋込み部分の鉄骨のかぶり厚さの確認	A・B・C			
		※令66	e)スタッドボルトの径・本数・配置の確認	A・C			
		※令3章8節	a)床構造の形式(合成スラブ)	A・C			
6床 スラブ 接合部	※令3章8節	b)シャココネクター(鋼付きスタッドなどの 施工状況・検査結果の確認)	A・C				
	※令3章8節	緊結金物の取付け状況の確認	A・C				
7棟壁 などの 接合部							
Ⅷ 不具合の処理 および検査結果工事 全般の考察							
Ⅸ 添付図書							

注1 検査機関とは、建築主または指定確認検査機関をいう 注2 検査の方法(A:工事現場で目視により検査する B:工事現場で検査機器などを用いて計測検査する C:工事監理報告などの確認による) 注3 鉄骨加工工場については、規則1条の3に基づき(図書省略に関する大臣認定制度がある。図書省略しない場合は、大臣認定工場の指定はない。注4 当該工事の構造耐力上主要な部分のうち、工場で溶接された部分 注5 当該工事で構造耐力上主要な部分の接合に用いる高力ボルトなどを選別して記入する 注6 当該工事で構造耐力上主要な部分の接合に現場溶接を持ちいる場合のみ記入する。以下の③および④も同様 注7 UT標準:日本建築学会「鋼構造溶接部の超音波探傷検査基準」

ため、前述の『建築物の構造関係技術基準解説書』では、この問題点に対応している『冷間成形角形鋼管設計施工マニュアル』に、JIS G 3466の表1に定められた寸法を超える部材は曲げ加工による影響が大きいので、同マニュアルによる適用が不可欠と考えるべきであろう。なお、日本建築行政会議の『建築構造審査要領』でもこのマニュアルの適用を前提

## 特殊な許容応力度 および材料強度

平成12年建告2464号と2465号では鉄骨造関連の材料4種の許容応力度(第1)、材料強度(第2)および各材料の基準強度(第3)について規定している。その種類は次のとおり。

①鋼材などの支圧、圧縮材の座屈および曲げ材の座屈

②溶融亜鉛めっきなどを施した高力ボルト摩擦接合部の高力ボルトの軸断面对するせん断

③ターンバックルの引張り

④高強度鉄筋(SD490)

①は従来の炭素鋼に加えてステンレス鋼についても規定されたものである。②と④は、旧法38条の大臣認定の対象であったものが告示に位置づけられ一般化したものである。③は新たに設定されたものである。

## 品質確保のための中間検査

東京都では、'00年5月1日付で「建築工事の品質確保について(依頼)」を都市計画局建築指導部長名で建築関係団体宛に通知した。併せて、この通知の内容を建築確認および検査業務の参考として活用するよう、都内の特定行政庁および都内を業務範囲とする指定確認検査機関

に通知した。

東京都では、建築基準法の改正を受けて'99年7月から中間検査を実施し、完了検査では把握できなかった構造体の品質確認を行っている。また、中間検査や完了検査を補完するため、法12条第4項による任意の立入り検査および東京都建築基準法施行細則にもとづいて建築工事施工計画報告書や同施工結果報告書などの審査を行っている。この通知は、これらの検査や報告書の審査を通じて都が把握した工事施工の実態とその問題点を重大視し、関係業界への依頼というかたちで建築工事の品質確保を求めたものである。中間検査の制度化は'98-'00年にかけて行われた一連の基準法改正の巨玉の一つ

とされている。また、'00年6月には、仕様規定がより具体的に定められ、検査や審査の判定基準としての役割を果たすこととなった。

鉄骨造の接合部の品質については、旧法令に具体的な規定がなく、審査や検査などには(社)日本建築学会の仕様や基準(JASS6など)を利用してしたが、告示1464号により具体的な基準として定められた(図1参照)。

この通知で提起した問題点には、表5に挙げるものがある。表5①の柱現場溶接の食違いのほか、通しダイアフラムと梁フランジの食違いの基準をいかに遵守するかが問題となっている。角形鋼管柱を用いて通しダイアフラムと梁端部を溶

接することが多い中高層の建築工事では、この基準が製作上で最も厳しい規定となっている。従来、ダイアフラムの板厚は「梁フランジと同厚か1サイズアップ」が設計上の常識であった。しかし、この告示では最低限2サイズアップが必要とされており、設計には注意が必要である。

## 品質確保と今後の課題

前項で挙げた問題点のうち、表5⑦については、都知事の指定検査機関の団体である構造物第三者検査機関協会(STIA)および全国団体のCIW検査事業者協議会などで検査報告書の記載事項や表示方法などについて検討と提案がされ

図1 溶接部の形状・寸法(平12建告第1464号より)

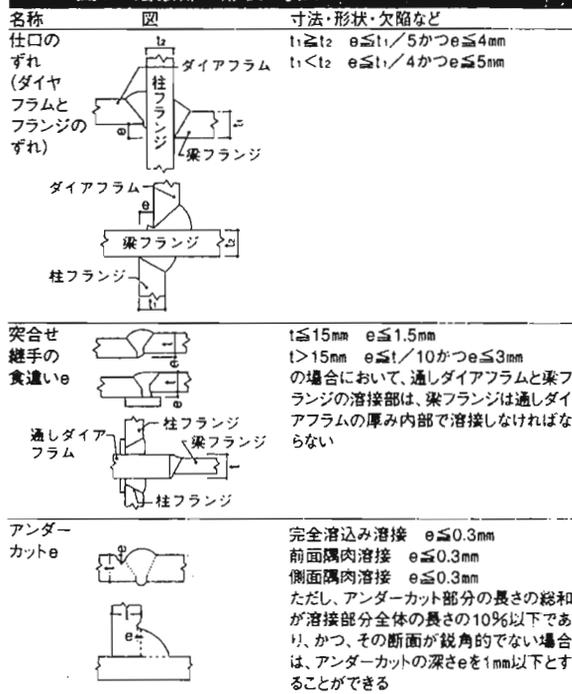


表5 '00年5月1日付都通知で提起した問題点

- ①突合せ継手の食違い、とくに柱の現場溶接継手において、告示の許容値を超えるものが少なからず見られること
- ②上記の物件のなかには、許容値の2倍から3倍を超えるものもあったこと
- ③これらの事例はすべて、都の本庁が扱っている大型物件であること
- ④これらの事例のなかに、重大な不具合の事実を工事監理者および工事施工者(元請)が報告書に記載しておらず、都の担当者が検査や添付資料(溶接部検査報告書など)の審査で指摘したことによって判明したものが数例あること
- ⑤検査会社が作成する「溶接部検査報告書」などの内容の信頼性が検査や報告書審査に決定的な影響を与えること
- ⑥鉄骨加工工場が作成し、工事監理者および工事施工者が承認する「鉄骨製作要領(検査要領等を含む)書」などのなかに、告示の基準が反映されていないものが少なからず見られたこと
- ⑦VT(外観検査)やUT(超音波探傷検査)などの溶接部検査要領書や検査結果報告書のなかには、告示の基準が反映されていないものや、情報が不備で検査や報告書審査に必要な情報を十分に提供できないものが少なからず見られたこと
- ⑧告示の許容値を超えた場合には、同告示にもつぎ次のような内容のただし書きが適用されるが、これらの具体的な方法が提案されていないこと[ただし、仕口部の鋼材の長期に生ずる力及び短期に生ずる力に対する各許容応力度にもつぎ求めた当該部分の耐力以上の耐力を有するように適切な補強を行った場合においては、この限りでない。]

ている。また、表5⑧については、(社)鉄骨建設業協会、(社)全国鉄構工業協議会の両団体が研究委員会を発足させ、(社)建築業協会、AW検定協議会などの団体などでも検討が始まっている。

東京都が出した業界への依頼通知は、建築工事の品質確保に関する現状の問題点と検討課題を提起したものである。これらの問題点の多くは、検査の透明性の確保によって解決できると考えられる。このため、東京都では検査の信頼性を確立するための制度について検討しており、合理的かつ公正な検査制度を早急に実現するべく、関係する諸団体などとの調整を図っているところである。

## 入熱・パス間温度の管理について

告示には、溶着金属としての機械的性質が接合される母材以上となるように溶接ワイヤなどの溶接材料を選択して用いることが規定された。「溶接金属」が母材の溶け込んだ部分を含むのに対して、「溶着金属」とは、溶接ワイヤのみが溶け込んだ部分である(表6内の図参照)。このことから、この告示が溶接材料と母材の組合せに関してのみ規定しているという解釈がある。しかしながら、溶着金属とは溶け込んだ後の状態を指すのであるから、その機械的性質を確保するためには、「一定の溶接条件」を守る必要が

ある。

また、法第37条第一号にもとづく告示では、指定建築材料として溶接材料のJIS規格(JIS Z 33312など)が指定されており、溶接材料の機械的性質を保証し確認するための溶接条件と試験方法が規定されている(136頁参照)。つまり溶接材料の機械的性質は、JIS規格で指定された溶接条件と試験方法によってのみ保証されている。したがって、このJIS規格を指定した建築基準法の規定が、溶着金属としての機械的強度などを定めただけで、溶接条件と無縁であると解釈することには無理があるといわざるを得ない。

最近の研究成果によると、ワイヤの銘柄の違いや作業条件などJIS規格に示された入熱・パス間温度の組合せ以外のさまざまな要素が、溶接部の機械的性質に影響を与えることが分かっていた。この結果、管理もケースごとに合理的な方法を採用することが可能になると期待されている。溶接学会では委員会を設置し、合理的な方法の検討を開始している。

## 溶接接合部の要求性能と品質

鉄骨造における溶接接合部の性能と品質確保は、最高位の重要事項である。工場溶接に関する作業条件については旧法

時代から大臣認定制度がある。今回の改正法令下で法的位置づけは変わったものの、その制度は引き継がれた。大臣認定の審査基準によって一定の作業条件が担保されており、前項の入熱・パス間温度の管理についても明確に審査基準に規定されている。

一方、現場溶接については、作業条件に関するオーソライズされた審査基準などが存在せず、個々の工事ごとの対応となっていたが、現場溶接が例外的に生じる補完的な工事として行われている時代にはやむを得ないものとされてきた。

現在の現場溶接は、梁端部仕口や柱継手など設計上で最も重要、かつ要求性能が高い部位に本格的に用いられるようになってきている。ところが作業条件に関しては旧来のまま個々の工事に対応しており、ほとんどブラックボックスのままである。

溶接部の品質に関わる条件については、予熱管理や水素脆化対策<sup>※</sup>などの溶接部の冶金学的性質に関わる従来からの問題点に加えて、上記の入熱やパス間温度の管理などの新しい課題が生じている。現場溶接には、風雨・気温などの気候条件や足場などの作業環境による特有の管理上の問題点が多くあり、これら従来からの問題点や新しい課題に関しては、工場溶接に比して不利な状況にある。

つまり、最も要求性能の高い部材・部位に、不確定要素が多く溶接作業条件の不利な現場溶接を採用するという状況が、工事の実情である。これでは、あまりにもアンバランスといわざるを得ない。安易に現場溶接を採用せず、設計の要求性能とのバランスで工夫することも必要ではないか。たとえば、従来から主として中高層の角形鋼管柱構造に用いられているブラケットタイプとするか、または各社から提案されている梁端溶接部の幅を大きくし、大地震においても降伏させないような設計法もある。

設計者は、自ら設計で要求した溶接接合部の性能が、実際の品質として作業のプロセスでどのように確保されていくのかという点に、最大級の関心を払うべきと考えるがどうであろうか。ますます高性能化と巨大化に向けて発展していく設計技術に対し、バランスを欠かない程度の品質管理と検査の位置づけを望みたい。

表6「溶着金属」などの定義(JIS Z 3001)

用語	定義
溶接部	溶接金属および熱影響部を含んだ部分の総称
熱影響部	溶接・切断などの熱で組織・冶金学的性質・機械的性質などが変化を生じた、溶融していない母材の部分
溶接金属	溶接部の一部で、溶接中に溶融凝固した金属。抵抗溶接の場合は3301ナゲット参照
溶着金属	溶接部から溶接部に移行した金属
溶接部	溶接部の中で母材が溶融した部分



※ 水素の吸収によって金属材料が脆くなる現象

## 性能設計とパス間温度・入熱の管理

(株)日建設計構造設計室 技術長 津山 巖

