その1:研究の概要およびアンケートによる実態調査

正会員 〇吉澤幹夫^{*1} 同 緑川 功^{*1} 同 椿 英顕^{*2} 同 中平和人^{*2} 同 新居 努^{*3}

高強度鋼	溶接技量	AW 検定
溶接技量試験	高強度ワイヤ	

1 研究の目的

AW 検定協議会で実施している建築鉄骨溶接技能者技量 検定試験では強度クラスが 490N/mm²級の従来鋼を対象と している.近年,建築構造用高強度鋼の 550N/mm²級鋼や 590N/mm²級鋼の普及ならびに府省連携プロジェクトでの 建築構造用高強度鋼 780N/mm²級鋼(H-SA700)の開発な どにより,550N/mm²級以上の高強度鋼が採用される機会 が増えてきている.高強度鋼を採用するプロジェクトで は,プロジェクトごとに溶接施工試験とともに溶接技能 者の技量試験が実施されることが多い.このような中で AW 検定協議会 - 西日本 - 研究評価委員会では,高強度鋼 の溶接技量試験の適正化を検討するための基礎資料を得 ることを目的として,2012 年度から基礎的研究を行って おり,本報以下 5 編の梗概で中間報告を行う.なお以後の 表記において,「N/mm²級」は「N 級」と略記する.

2 研究の方針

高強度鋼の溶接施工に関する実態をアンケートにより 調査し,アンケート結果を踏まえて高強度鋼の特殊性が 溶接技量に与える影響に関して基礎試験を実施する方針 とした.また基礎試験は以下の前提で実施した.

- ① 溶接技能者の技量を確認するための試験と捉える.
- ② 工場溶接あるいは工事現場溶接を対象とする.
- ③ ソリッドワイヤを用いた炭酸ガス半自動溶接を対象とする.

3 高強度鋼の溶接施工に関する実態調査

鉄骨製作工場向けアンケート調査を 2012 年 7 月~2012 年 12 月に, AW 検定協議会の会員向けアンケート調査を 2013 年 11 月~2014 年 1 月に, それぞれ実施した.

3.1 鉄骨製作工場向けアンケート調査

国内の S および H グレードの鉄骨製作工場 308 工場に アンケートを送付したところ,148 工場から回答があり, 回答率は48%であった.

3.1.1 設問の概要

- 550N 級以上を溶接施工で取り扱った経験の有無.
 以下2)~7)は経験有の工場に設問した項目である.
- 2) 鋼材種(550N 級鋼, 590N 級鋼, 780N 級鋼など)
- 3) 溶接方法(半自動溶接,ロボット溶接など)
- 4) 最大板厚
- 5) 溶接材料の規格

Basic study on welders skills in welding high-strength steels in steel structure buildings Part1:Outline of the basic study and the questionnaire survey investigation of the actual welding

- 6)入熱とパス間温度
- 7) 従来鋼と比べた難易度や特別な技術指導の対応等

3.1.2 アンケート結果

設問1)~5)の回答結果を図1.1~図1.5に示す.



図 1.1 520N 級を超える鋼材の実績

					1
	3	7		24	4
0%	20%	40%	60%	80%	100%
	■550N	■590N	□780N	□1000N	

図 1.2 鋼材強度別の使用実績(複数回答)

	6	7		5	2	1
0%	20%	40%	60%	809	%	100%
	■40mm以下 ■65mm以下	■ 50mr □ 95mr	n以下 n	■ 60m	m以下	



	7	4	4	4	5	6	
0%	20%	Ď	40%	60%	6 80)%	100%
	■40mm以 ⁻	л	■ 50mr	n以下	□ 601	nm以下	
	□65mm以 ⁻	ሻ	□ 80mr	n以下	$\Box 100$)mm以下	

図 1.4 590N 級鋼の最大板厚実績



YOSHIZAWA Mikio^{*1}, MIDORIKAWA Isao^{*1}, TSUBAKI Hideaki^{*2}, NAKAHIRA Kazuto^{*2}, ARAI Tsutomu^{*3} アンケート結果を分析した要約を以下に記す.

- ・高強度鋼の使用実績では 550N 級鋼と 590N 級鋼が大部 分を占める.最大板厚の実績は 550N 級鋼・590N 級鋼と も40 mmを超える厚板が多く 71%を占める.550N 級鋼で 使用する溶接材料規格は旧 YGW21 が最も多く 65%を占 める.なお旧 YGW21 は高強度ワイヤ「G59JA1UC3M1T」 等を表記したものである.
- ・入熱量とパス間温度の組み合わせは550N 級鋼・590N 級
 鋼とも30kJ/cmと250℃の組み合わせが最も多く38%,
 次いで40kJ/cmと250℃の組み合わせが多く26%である.
- ・550N 級鋼では従来鋼と比べて違いが無いとの回答が 80%以上であった.一方 590N 級鋼と 780N 級鋼では違 いが有るとの回答がそれぞれ 60%程度,75%程度あっ た.違いがあるとの記述回答としては,溶接ワイヤが硬 い,溶込みが少し浅い,スラグが硬く除去しにくい, 電流・電圧を高めにした方が良い,溶接ワイヤが硬い ためワイヤの送給に気を付けた,などが多く,鋼材の強 度が高いことに起因する回答は殆ど無く,溶接ワイヤの違 いを指摘する回答が多かった.特に溶接ワイヤが硬い,溶 込みが浅いとの回答が多数あり目立った.
- ・超音波探傷試験では 490N 級鋼などの従来鋼と比べて欠陥 率などの違いは無いとの回答が大部分であった.
- ・工場やメーカーに追加でヒアリングを行ったところ、高強度ワイヤ(旧YGW21)の硬さについては、化学成分や加工硬化などの影響によりワイヤが硬くなる傾向にあり、送給性がYGW18等と異なるため溶接技能者が違和感をもつことが判った。また溶込みの違いについては、一般的に高強度のワイヤほど溶融金属の粘性が高くなる傾向にありビード不正や溶込み不良などの欠陥の原因になりやすいと考えていることが判った。

3.2 AW 検定協議会の会員向けアンケート調査

AW 検定協議会の会員 204 名にアンケートを送付したところ, 87 名から回答があり,回答率は43%であった.

3.2.1 設問の概要

- 1) 強度クラスが 550N 級以上の鋼材の採用実績
- 2) 採用した鋼材の強度
- 3) 現行のAW 検定試験の適用範囲
- 4) 溶接施工試験・技能者技量試験の実施状況
- 5) 高強度鋼を使用する際の管理項目
- 6) 溶接部の機械的性質と溶接技量の関係

3.2.2 アンケート結果

設問 1) ~3)の回答結果を図 1.6~図 1.9 に示す.またアン ケート結果を分析した要約を以下に記す.

0% 20% 40% 60% 80% 100% ■有 ■無 図 1.6 520N 級を超える鋼材の実績 <u>26 30 7</u> 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■550N ■590N ■780N ■その他 図 1.7 採用鋼材の強度 <u>42 26 10 6</u> 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで ■590Nまで ■その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)		38			49	
■有 ■無 図 1.6 520N 級を超える鋼材の実績 26 30 7 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■550N ■590N □780N □その他 図 1.7 採用鋼材の強度 42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで ■590Nまで ■その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
図 1.6 520N 級を超える鋼材の実績 <u>26 30 7</u> 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■550N ■590N ■780N ■その他 図 1.7 採用鋼材の強度 <u>42 26 10 6</u> 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで ■590Nまで ■その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)			■有	□無		
26 30 7 0% 20% 40% 60% 80% 100% ● 550N ● 590N □ 780N □ その他 図 1.7 採用鋼材の強度 2 42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ● 490Nまで ● 520Nまで □ 550Nまで □ 590Nまで □ その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度) 11 57 7 9		図 1.6 52	20N 級を	超える鋼材	オの実績	
26 30 7 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■ 550N ■ 590N □ 780N □ その他 図 1.7 採用鋼材の強度 42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% 0% 20% 40% 60% 80% 100% 0% 20% 40% 60% 80% 100% 0% 20% 40% 60% 80% 100% 0% 20% 40% 60% 80% 100% 0400Nまで ■ 520Nまで □ 550Nまで □ 590Nまで □ その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度) 1						1
0% 20% 40% 60% 80% 100% ■550N ■590N □780N □その他 図 1.7 採用鋼材の強度 <u>42 26 10 6</u> 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで □590Nまで □その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)		26		30		7
 ■550N ■550N □780N □その他 図 1.7 採用鋼材の強度 42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで □550Nまで □590Nまで □590Nまで □50Nまで □590Nまで □50Nまで □50Nま □50Nま<td>0%</td><td>20%</td><td>40%</td><td>60%</td><td>80%</td><td>100%</td>	0%	20%	40%	60%	80%	100%
図 1.7 採用鋼材の強度 <u>42</u> <u>26</u> <u>10</u> 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで ■590Nまで ■その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度) <u>11</u> <u>57</u> 7 <u>9</u>		■ 550N	□ 590N	□ 780N	ロその	他
42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで □550Nまで □590Nまで □その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)		図 1.7 採	用鋼材の	強度		
42 26 10 6 0% 20% 40% 60% 80% 100% ■ 490Nまで ■ 520Nまで □ 550Nまで □ 590Nまで □ その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)						2
0% 20% 40% 60% 80% 100% ■490Nまで ■520Nまで ■550Nまで □590Nまで □その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度)		42		26	10	6
 ■ 490Nまで ■ 520Nまで ■ 550Nまで □ 590Nまで □ その他 図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度) 1 57 7 9 	0%	20%	40%	60%	80%	100%
図 1.8 現行 AW 検定試験の適用範囲(強度) 1 11 57 7 9	■ 49	0Nまで ■52	20Nまで 🗆	550Nまで (□590Nまで	ロその他
11 57 7 9		図 1.8 現	記行 AW 樹	〕定試験の	適用範囲	(強度)
11 57 7 9						
11 57 7 9						1
	1	1	5	7	7	9

	11				57				7		9	
C	%	20	0%	4	0%	6	60%	80)%		100	0%
	∎ 28mm ā	まで	■40m	mまて	⊡ 6	0mm ま	で	□ 80mm ま	で		その作	也
	×	1.9	現征	τ AV	Ⅴ検۶	定試調	険の	適用範	井	(1	扳厚)	

- ・現行 AW 検定試験の適用範囲として、鋼材の強度については 79%の回答者が 520N 級鋼まで、板厚については 80%の回答者が 40mm までと考えている.
- ・高強度鋼を使用するプロジェクトにおいて,溶接施工 試験については 66%の回答者が,溶接技量試験につい ては 47%の回答者がそれぞれ実施している.
- 高強度鋼の溶接施工管理で重視する事項としては、パス間温度が84%、入熱量が76%、予熱が63%であった。

3.3 アンケート結果のまとめ

アンケートでの実態調査で判った事項を以下に記す.

- ・高強度鋼が普及しており、使用頻度は550N級鋼と590N 級鋼が多く、590N級を超える鋼材は比較的少ない.
- ・現行のAW検定試験の適用範囲に関する鋼材強度や板厚
 等に関する設計者や監管理者の認識には、ばらつきが
 ある.さらに高強度鋼の溶接技量試験に関する実施の
 有無や試験の仕様についても、設計者や監管理者の判断に依存して、ばらつきが生じている.
- 溶接技能者からみた場合、高強度鋼と従来鋼との鋼材の違いはあまり感じていないようであるが、溶接ワイヤに関しては明らかな違いを感じており、従来鋼に用いられるYGW11やYGW18に対して、高強度鋼に用いられる旧YGW21については、硬さ、溶込み、溶融金属の粘りに違いがあるという意見が多数あった。

* 1 NIKKEN SEKKEI LTD. * 2 TAKENAKA Corporation * 3 OBAYASHI Corporation

- *1 日建設計
- *2 竹中工務店

*3 大林組

その2:基礎試験の概要および試験結果1

正会員	○新居	努*1	同	吉澤幹夫*2	同	緑川 功 ^{*2}
			同	椿 英顕*3	同	中平和人*3

高強度鋼	溶接技量	AW 検定
溶接技量試験	溶接条件	

1 はじめに

(その 2) では、アンケート調査をもとにした基礎試験 計画、試験概要および試験結果を述べる.

2 基礎私見の計画

2.1 試験の目的

アンケート結果を踏まえ、次のような事項について AW 検定試験に基づいた試験を行い確認する.

- ・使用頻度の高い 550N 級鋼および 590N 級鋼に対して, 高強度の鋼材・溶接ワイヤが従来鋼(490N 級鋼)と比 べ溶接技量にどのような影響をおよぼすかを検討する.
- ・溶接ワイヤは、鋼材強度に応じ YGW18、旧 YGW21 が 使われるが、550N 級鋼の場合、YGW18 と旧 YGW21 の 両方使われる場合がある.一方、旧 YGW21 は、溶接技 能者の間では一般的な YGW18 と比べ違和感を持ってい ることが今回の調査で判明した.そのため、同じ 550N 級鋼でも溶材の違いが技量にどのような影響をおよぼ すかを検討する.
- ・板厚に関しては、高強度鋼は40mm以上の厚い板を用いる場合が多いことから現行AW検定試験の19mmの試験片のままでよいかとの議論がある。そのため、板厚40mmの試験を行い、板厚が技量にどのような影響をおよぼすかを確認する。
- 本研究では、特に溶接部で最も欠陥が出やすく溶接技 能者の技量が表れる初層の溶込み状況に着目し、底面 の全線マクロを観察・分析を行い、鋼材、溶接ワイヤ、 溶接姿勢および溶接技能者による違いを検討する。
- 2.2 試験のパラメータ
- ・鋼材強度 490N 級, 550N 級, 590N 級
- ・溶接材料 YGW18, 旧 YGW21
 鋼材との組み合わせは下記とする.
 490N 級鋼-YGW18
 550N 級鋼-YGW18 および旧 YGW21
 590N 級鋼-旧 YGW21
- ・板厚 19mm, 40mm (40mm は次年度報告予定)
- ・溶接姿勢 F姿勢(下向),H姿勢(横向)
- ·溶接技能者 各試験3名(表2.1)

Basic study on welders skills in welding high-strength steels in steel structure buildings

Part 2: Outline of basic examination and results 1

溶接技能者はいずれもAW検定有資格者で,高強度鋼材の 実績が十分豊富な技能者A,ある程度実績がある技能者B, 実績のない技能者Cの3名とする.試験の計画表を表2.2 に示す.(網掛け部は次年度以降実施・報告予定)

表 2.1 技能者のプロフィール

技能者	年齡	経験 年数	AW資格 取得年度	高強度鋼材 経験度合い	前職	姿勢
А	38	7	2008	豊富	プラント溶接	F,H
В	36	2	2014	経験有	造船溶接	F,H
C1	26	4	2013	経験無	他業種	F
C2	26	2	2013	経験無	仮付溶接 サブマージ溶接	Н

表 2.2 試験計画表

試験体	試験鋼材	板厚	溶接ワイヤ	エンドタブ			姿勢		溶接技能者				
111	400N/%% #	19	YGW18	鋼製	代替	F	Н	٧	Α	В	С		
121	45011税 到	40	YGW18	鋼製	代替	F	Н	V	А	В	С		
211		19	YGW18	鋼製	代替	F	Н	٧	Α	В	С		
212	5501%政治国	19	旧YGW21	鋼製	代替	F	Н	V	А	В	С		
221	33011雨又 到明	40	YGW18	鋼製	代替	F	Н	V	А	В	С		
222		40	旧YGW21	鋼製	代替	F	Н	V	А	В	С		
312	5001版 金剛	19	旧YGW21	鋼製	代替	F	Н	V	А	В	С		
322	050111款到	40	旧YGW21	鋼製	代替	F	Н	V	A	В	С		

590N 級鋼は TMCP 鋼を採用

3 試験体および試験項目

試験体の形状および寸法を図 2.1 に示す. 試験体は AW 検定協議会の工場溶接鋼製エンドタブの試験体に準じて計画しているが, AW 検定よりも試験項目を増やす必要から, 溶接線方向を 54mm 拡幅している.

試験体は F 姿勢,H 姿勢共通であるが,取付けるじゃま 板が異なっている.図 2.2 に示すように,F 姿勢のじゃま 板は溶接線中央部に直交して設けているが,H 姿勢のじゃ ま板は溶接線と平行に,溶接部全線に設けている.

試験は立会→外観検査→放射線透過試験→マクロ試験 →硬さ試験→機械試験の順で行う.硬さ試験はマクロ試 験片1と兼用とし,その内面側で行う.硬さ試験の計測位 置は図 2.3 に示す 20 点とする. 本試験では、通常のAW検定と異なり、初層ビードの溶 込み状態を確認するため、機械試験用試験片切断に先立 って底面全線マクロ写真を記録し、ルート部の溶込み波 形の詳細な検討を行うこととする.

機械試験は裏曲げ試験・表曲げ試験とし,引張試験と 衝撃試験については後日必要に応じて実施できるよう,



図 2.1 試験体の形状・寸法

試験片を取り置くこととした.また合否判定基準は通常の AW 検定に準じることとした.

4 試験結果

F 姿勢および H 姿勢の試験結果を表 2.3 に示す.表中の 着色部分は,何らかの欠陥が検出されたことを示してい る.詳細については、(その3)に示す.



図 2.2 F 姿勢・H 姿勢のじゃま板



図 2.3 マクロ試験片による硬さ試験実施点

表 3 試験結果一覧

SI:スラグ巻き込み,IP:溶け込み不良、UC:アンダーカット

		F姿勢											H姿勢									
++						1	3	4	7	8							1	3	4	7	8	
坟 能 者	試験 パラメータ	外 観	X線	底面 マクロ	硬さ Hv	マ ク ロ	裏曲げ	表曲げ	マクロ	割 れ	合否	試験 パラメータ	外 観	X 線	底面 マクロ	硬さ Hv	マ ク ロ	裏 曲 げ	表曲げ	マ ク ロ	割 れ	合否
	F111	0	0	0.6	254	0	0	0	0	0	0	H111	0	0	0	254	0	0	0	0	0	0
Δ	F211	0	1種1類	0.5	219	0	0	0	0	0	0	H211	0	0	0	227	0	0	UC 1.4	0	0	0
	F212	0	0	0	227	0	0	0	0	0	0	H212	0	0	5.1	250	0	0	UC 0.7	0	0	0
	F312	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	H312	0	0	0	219	0	0	0	0	0	0
	F111	0	0	07,0.6,0.4,0.4	227	0	SI 0.5	0	0	0	0	H111	0	0	0	218	0	0	UC 0.8	0	0	0
в	F211	0	1種1類	0.9,0.4	218	0	0	0	0	0	0	H211	0	0	2.3,3.1	205	0	0	0	0	0	0
D	F212	0	2種1類	2	220	0	0	0	0	0	0	H212	0	0	4.3	227	0	0	UC 3.8	0	0	0
	F312	0	1種1類	0.9	235	0	SI 0.4	0	0	0	0	H312	0	0	3.3,1.2,0.7	220	0	0	0	0	0	0
C1 (F)	F111	0	1種2類 2種1類	4.8,2.5,2.1,1.5 1.2,1.0以下×4	250	0	0	SI 0.4	0	0	0	H111	0	0	0	215	0	0	UC 2.3	0	0	0
	F211	0	0	0.8,0.6,0.4	205	0	SI 0.5	SI 1.6	0	0	0	H211	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0
C2 (H)	F212	0	1種1類	4.0×2,3.2,1.1 1.0以下×7	215	0	0	IP 0.7	0	0	0	H212	0	0	0	235	0	0	UC 1.7	0	0	0
	F312	0	2種4類	8.0,1.4,1.1,0.4	228	0	SI 0.2	SI 0.8,0.5	0	0	×	H312	0	0	0	228	0	0	0	0	0	0

*1 大林組

*2 日建設計

*3 竹中工務店

*1 OBAYASHI Corporation

*2 NIKKEN SEKKEI LTD.

*3 TAKENAKA Corporation

その3:試験結果2

E会員	○緑川	功*1	同	吉澤幹夫*1	同	椿 英顕*2
			同	中平和人*2	同	新居 努*3

 高強度鋼
 溶接技量
 AW 検定

 溶接技量試験
 溶接条件

1 はじめに

(その3)では、表 2.3 で示した基礎試験結果の詳細を 述べる.

2 試験結果概要

2.1 外観検査・マクロ試験

F 姿勢・H 姿勢とも,外観検査および両端部マクロ試験 は全試験体で問題なく,良好であった.また全試験体で 割れはなかった.

2.3 放射線透過試験(以下 RT)

2.3.1 F 姿勢 RT 結果

・技能者 A の試験体は全て合格であった。F211 で 1 種 1 類ブローホール (以下 BH) の合格きずが検出された.

・技能者 B の試験体は全て合格であったが, F211 で1種1類 BH, F212 で2種1類パイプ, F312 で1種1類 BH の合格欠陥がそれぞれ検出された.

・技能者 C の試験体は F312 が 2 種 4 類溶込み不良(以下 ら IP)で不合格となった.また F111 で 1 種 2 類 BH と 2 種 1 類スラグ巻込み(以下 SI), F212 で 1 種 1 類 BH の合格 300 欠陥がそれぞれ検出された. 250

2.3.2 H 姿勢 RT 結果

RT 結果は全技能者の全試験体が無傷であった.

2.4 底面全線マクロ

2.4.1 F姿勢底面全線マクロ

表 2.3 で、底面全線マクロにおける欠陥発生状況を技能 者別にみると、技能者 A にほとんど欠陥が見られないの に対して、技能者 C はパラメータにあまり関わりなく欠 陥が多く見られ、技能者 B はその中間であることがわか る. 鋼材や溶材パラメータによる差違があるとは言い難 いが、技能者の経験による差が認められる.

2.4.2 H姿勢底面全線マクロ

試験体 H111 では, 技能者 A・B・C いずれも無傷であった. 試験体 H211 では, 技能者 B で 2.3mm と 3.1mm の 2 箇所の欠陥が認められた. 試験体 H212 では, 技能者 A で 5.1mm の欠陥が 1 箇所, 技能者 B で 4.3mm の欠陥が 1 箇所認められた. 試験体 H312 では, 技能者 B で 3.3mm, 1.2mm, 0.7mm の欠陥が 3 箇所認められた. 鋼材や溶材パラメータによる差違は, F 姿勢と同様, 見受けられない.

Basic study on welders skills in welding high-strength steels in steel structure buildings Part3: Examination results 2

2.5 硬さ試験

より硬さのばらつく傾向にある F 姿勢の硬さ試験結果 を図 3.1 に示す. 縦軸はビッカース硬さ,横軸は表面から 深さ 1mm の合計 20 ポイントの硬さ試験実施位置である. 両姿勢の全試験体とも,最大硬さは概ね Hv250 以下であ り,また BOND 部から HAZ 部にかけての急激な硬度上昇 はほとんどない.

2.6 裏曲げおよび表曲げ試験

表 2.3 で F 姿勢の裏曲げ試験および表曲げ試験を技能者 別にみると,技能者 A に欠陥が見られないのに対して, 技能者 C には欠陥が散見され,技能者 B はその中間であ ることがわかる.経験の差が見られるも鋼材や溶材パラ メータによる明確な差違があるとは言い難い.

一方,H 姿勢の裏曲げ試験および表曲げ試験について は,技能者による差,試験体による差ともほとんど認め られなかった.









図 3.2 F 姿勢積層図 の一例(6 層 8 パス)

図 3.3 H 姿勢積層図の 一例(5 層 12 パス)

MIDORIKAWA Isao^{*1},YOSHIZAWA Mikio^{*1} TSUBAKI Hideaki^{*2},NAKAHIRA Kazuto^{*2} ARAI TsutomuTitle^{*3}

3 溶接条件に関する考察

F 姿勢 H 姿勢それぞれにおいて, 横軸をパ ス数として技能者ごとに溶接条件をまとめた ものを図 3.4 および図 3.5 に示す. 積層は, 図 3.2, 図 3.3 に示すように F 姿勢で 6 層 8 パス, H 姿勢で 5 層 12 パスないしは 13 パス である.

3.1 F 姿勢溶接条件に関する考察

アーク電圧は、全試験体において、各溶接 パスともほぼ一定値で 35V を維持している. 溶接電流も、全試験体において各溶接ともほ ぼ 300A 程度である.溶接パスが進むにした がって若干右肩下がりとなる.

溶接速度は、各技能者において、パスごと の溶接速度の分布は試験体に関わらずほぼ同 じになっている.

3.2 H姿勢溶接条件に関する考察

アーク電圧は、全試験体において、溶接パ スに対して 27.5V~32.5V の範囲である. 溶 接電流は、全試験体において、F 姿勢と同様 の傾向を示す.

溶接速度は、各技能者において、パスごとの 溶接速度の分布は試験体に関わらず概ね同じ になっている.

技能者 A と B では,終盤パスの溶接速度 が速く,45cm/min を超えているが,技能者 C の溶接速度は技能者 A・B より相対的に速 く,中盤,終盤パスおいて 45cm/min を大き く超える.総じて山谷の傾向が F と違って顕 著でないのは,各溶接ビードの断面積が F 姿 勢より小さいストリンガビードとなっている ためと考えられる.

3.3 溶接条件に関する考察のまとめ

各姿勢とも全試験体において,最終溶接パスまでの総入熱量は,130~160 kJ/cmとなっている.また各技能者において,パスごとの総入熱量の分布は試験体に関わらずほぼ同一である.

一定の開先を定められたパス数で埋めるという作業においては、各技能者固有の技量や癖に負うところが多く、鋼材強度やワイヤの強度が変わっても、一技能者の中ではほとんど有意な差が見られないことがわかった.

結論は(その5)にてまとめて示す.



*2 竹中工務店

*3 大林組



図 3.4 F 姿勢技能者別溶接条件まとめ

--- 212

--312

-111 ----211

* 1 NIKKEN SEKKEI LTD.
* 2 TAKENAKA Corporation
* 3 OBAYASHI Corporation

その4:底面全線マクロ溶込み波形の分析 1

正会員 ○椿 英顕^{*1} 同 中平和人^{*1} 同 吉澤幹夫^{*2} 同 緑川 功^{*2} 同 新居 努^{*3}

- 高強度鋼 溶接技量 AW 検定
- 底面マクロ フーリエスペクトル
- 1 はじめに

(その 4) では,溶接欠陥のもっとも発生しやすく,溶 接技量の差違が顕著に表れる,初層の底面全線マクロ溶 込み波形について考察する.

2 底面全線マクロの溶込みに関する考察

2.1 底面全線マクロの溶込み波形

底面全線マクロ写真の一例を図 4.1~図 4.4 に示す.上 側が開先側,下側が壁側の溶込み波形である.溶込み波 形の取込みはデジタル処理により行うが,取込みやすい よう手描きにより溶込み線を強調している.波形の AD 変 換は溶接線全長 312mm を 1000 分割して行った.取込み の数値は,幅を有する線の上端下端の中間値とした.

開先の壁位置および各試験体のルートギャップ測定値 より開先先端位置を特定し,壁側および開先側での溶込 み量や溶込み状況を,技能者毎・パラメーター毎に確認 した.

2.2 F姿勢底面全線マクロの溶込み波形

F 姿勢のビード幅・ビード中心の変動・開先側溶込み 量・壁側溶込み量を,図4.5~図4.8にそれぞれ示す.

ビード幅をみると, F111→F312 とワイヤが高強度とな るに従って,より小刻みにウィービングしている傾向が 見られる.またビード中心の変動についても,ワイヤが 高強度となるに従って変動幅が大きくなっている.これ らは溶接技能者にとって,旧 YGW21 が YGW18 と比べて 「硬い」「粘い」と感じられるため,十分な溶込みを確保 すべく,運棒を小刻みに動かすとともに,大きく振る動 作を意識的に行っている可能性が高い. 溶込み量は、全試験体において、試験材中央で壁側へ の溶込みが大きく減っている.これは梁幅中央部のじゃ ま板により一旦溶接が中断するためと考えられる.また 開先側への溶込みは高強度になるに従い少なくなってい る.

2.3 H 姿勢底面全線マクロの溶込み波形

ビード幅の変動は, H111→H312 とワイヤが高強度にな るにつれて少なくなっている.

ビード中心の変動は,F 姿勢と同様に,高強度になるに 従い,変動・振れ幅が若干大きくなる傾向があるものの, F 姿勢ほど顕著ではない.

H 姿勢の溶込み量は,F 姿勢に比べ開先側への溶込みが 安定しており,概ね 1mm 以上の溶込みが確保されている. 壁側への溶込みもF 姿勢に比べ安定しており,ばらつき が少ない.

また溶込みは開先側・壁側ともに,高強度になるに従 い,技能者によるばらつきが増大している.

H 姿勢の場合,旧 YGW21 の方が YGW18 よりばらつき の少ない安定した溶込みが得られている.これは,溶融 ワイヤが高強度ほど粘性が高いことに起因していると考 えられ,F 姿勢と違って H 姿勢は高強度化に伴う難易度 が高くなっていない可能性も示唆される.事実(その 2) 表 2.3 に示されているとおり,H 姿勢の底面マクロにおけ る溶接欠陥は,F 姿勢と比べて質・量ともに少なかった.

3 底面全線マクロ溶込み波形のフーリエ変換

底面マクロの溶込み波形は、そのまま比較観察しても なかなかその特性をつかみにくい.そこで波形をフーリ



Basic study on welders skills in welding the high-strength steels in steel structure buildings Part 4: Analyzation of wave pattern of root pass penetration 1 TSUBAKI Hideaki^{*1}, NAKAHIRA Kazuto^{*1}, YOSHIZAWA Mikio^{*2}, MIDORIKAWA Isao^{*2}, ARAI Tsutomu^{*3}



エ変換して,波の卓越成分や周期特 性からその特徴を把握し比較検討す ることを試みた. なおフーリエ変換 にあたっては以下の仮定をおいた.

Mark 1

250

250

250

250

250

250

250

250

250

250

250

250

-212 -312

-212 -312

(m

300

300

300

312

(m

(m)

(mm

300

300

(m

300

300

-312

(mr

300

-312

300

(m

300

300

-212 -312

300

- ・底面マクロの溶込み波形を連続的 な時刻歴波形とみなす.
- •F 姿勢 H 姿勢とも初層の溶接速度 が開始から終了まで一定である.

解析上の溶接速度は、初層の溶接 速度の計測値平均より求め, F 姿勢 5.39 mm/s, H 姿勢 4.31mm/s とした.

得られたフーリエ振幅スペクトル の一例を図 4.13 に示す. スペクト ルは開先側・壁側それぞれの溶込み 波形について求めた.

横軸は周波数であるが, その逆数 を速度に乗じれば、溶込み波形の波 長に換算することができる. 図中の 縦線は、波長の溶接線全長 312 mm に対する比(左から 0.5, 0.1, 0.05, 0.03, 0.02, 0.01,*0.005【*はH姿勢の み) を示している.

全般的に低周波成分ほどパワーが 大で、高周波成分ほど小となる傾向 があるが、もっとも左側の縦線より 低い周波数領域は、波長が試験体幅 の 1/2 を超えるため、意味は希薄で あると考えられる. また 3Hz 以上 の高周波領域についても, 波長が 1mm~2mm 程度以下の波であり, 絶対パワーが小であることから、表 示を省いている.

得られたフーリエスペクトルおよ び位相スペクトルによる特性分析に ついては、本報(その5)にて述べ る. また(その5)で全体のまとめ を行う.



- *1 竹中工務店
- *2 日建設計
- *3 大林組

12 11 10

9 8 7

é

12 11 10

9 8 7

6 5

5

4

з 2

1

5

4

з

2

1

5 4

з

2

1

4

4

1 0 -1

4 з

2

1 0 -1

1

0

-1

-2

-3

1

0

-1

-2

-3

1

0

-1

-2

-3

o

0

n

0

0

0

*1 TAKENAKA Corporation *2 NIKKEN SEKKEI LTD. *3 OBAYASHI Corporation

その5:底面全線マクロ溶込み波形の分析 2 <図5.1修正版>

正会員 〇中平和人*1 同 椿 英顕*1 同 吉澤幹夫*2

同 緑川 功^{*2} 同 新居 努^{*3}

高強度鋼 溶接技量 AW 検定

底面マクロ フーリエスペクトル

1 はじめに

(その5)では、初層の底面全線マクロ溶込み波 形のフーリエスペクトルおよび位相スペクトルにつ いて考察する.また溶接ロボットの底面マクロ溶込 み波形を溶接技能者のそれと比較検討し、考察する. 最後に全体のまとめを行う.

2 底面マクロ溶込み波形のフーリエ変換

底面全線マクロ溶込み波形のフーリエ変換については、(その4)にて述べた通りである。

2.1 F姿勢のフーリエスペクトル

図 5.1 において各技能者を比較すると,技能者 A と技能者 B は強度の違いによるスペクトルの変化が 少ないのに対し,技能者 C は高強度になるほど 0.7 ~0.8Hz 近傍のパワーが大きくなっている.これは, ワイヤを大きな波長で振っていると同時に小刻みに 動かしていることを示しており,ワイヤが高強度に なるほどこの傾向が顕著になる.

2.2 日姿勢のフーリエスペクトル

図 5.2 において技能者 A と技能者 C のスペクトル を比較すると、技能者 C は 0.6~0.7Hz 近傍に明瞭な ピークが見られる.この理由および傾向は、F 姿勢 と同様と考えられる.H 姿勢において、技能者 B は 特に運棒が安定しており、鋼材・ワイヤ強度に関わ らず同一の運棒で溶接している.

2.3 底面溶込み波形の位相スペクトル

底面溶込み波形の位相スペクトルの一例を図 5.3 に示す. H 姿勢の開先側溶込み量の位相スペクトル においては,技能者 A の位相角が正側・負側でほぼ 均一なのに対し,技能者 C は 1.0Hz 以上の領域にお いて正側に大きく片寄り,技能者 B はやや片寄る傾 向が認められる. いずれの技能者も, 1.0Hz 以下の 領域においてはこの片寄りは見られない. この傾向 はワイヤ強度にかかわらず発現している. なお壁側 溶込み波形においては、この傾向はみられない.

2.4 底面全線マクロ溶込み波形のまとめ

いずれの技能者にも,旧 YGW21 に対しては高周 波領域でスペクトルの乱れが散見されるが,全般的 に,経験豊富な技能者ほど,ワイヤ強度が変わって

Basic study on welders skills in welding the high-strength steels in steel structure buildings



(mm•sec) H_111A H_111B H_111C ର୍ଚ୍ଚ _{ବି} 10 10 10 111A開先側 111B開先側 111C開先側 8 8 8 -111C壁側 -111A壁側 -111B壁側 6 6 6 4 4 4 2 2 2 0 🛤 (Hz) 0 0 🖣 (Hz) 0.0 1.0 2.0 3.0 0.0 10 2.0 3.0 0.0 1.0 2.0 3.0



NAKAHIRA Kazuto^{*1}, TSUBAKI Hideaki^{*1}, YOSHIZAWA Mikio^{*2}, MIDORIKAWA Isao^{*2}, ARAI Tsutomu^{*3}

Part 5: Analyzation of wave pattern of root pass penetration 2

も運棒方法を大きく変更せず,経験が浅い技能者ほど, 高強度ワイヤの感覚的な違い(硬い・粘い)に対して敏 感に反応してしまう傾向が見られる.

3 溶接ロボットと溶接技能者との比較

参考のため、常に一定の運棒が可能とされる溶接ロボ ットの初層底面マクロの溶込み状況を、溶接技能者 A・ B・C と比較した.溶接ロボットは異なる 3 鉄骨製作工場 のもので、ロボット 1 は X 社、ロボット 2 およびロボッ ト 3 は Y 社製のものである.冷間成形角形鋼管の下向溶 接平面部について、溶接技能者と同様の整理を行った結 果を図 5.4 および図 5.5 に示す.ワイヤは YGW18、鋼材 は鋼管・板材ともに 490N 級、溶接長は 280mm、また溶 接速度は 5.13mm/s であった.

溶接ロボットは、そのシステム上、鋼材強度やワイヤ 強度によって運棒や積層計画を変えるという所作を行っ ておらず、プログラムも同一である.

ロボット1(X 社製)は、小刻みの運棒を繰り返しなが ら大きく波打って運棒している.小刻みの運棒は、フー リエスペクトルにおいて1.1Hz 近傍のピークで表されてい る.この振動数を波長に換算すると4.7mm 程度となり、 図 5.4 の溶込み波形の傾向とよく一致している.

ロボット 2 およびロボット 3 (ともに Y 社製) には上述のピークがなく,高周波になるに従って成分がなだらかに減少している.また図 5.4 は,Y 社製ロボットの同一 運棒プログラムであれば,概ね同一の運棒をすることをよく示している.

スペクトルのピーク周波数は異なるものの, ロボット 1 の運棒傾向は技能者 C と, ロボット 2 およびロボット 3 の運棒傾向は技能者 A および技能者 B の特徴との類似が 見られる.

ロボットと技能者の位相スペクトルを比較しても,ロ ボット1と技能者Cは進角が負側よりも正側に集中して いる点に類似点が見られる.

4 結論

(その 1) で述べた溶接技能者の感ずる運棒感覚,(その 2~3) で示した基礎試験結果,および(その 4~5) で示した底面マクロ溶込み波形分析を総合的に鑑み,以下の結論を得た.

- ・技量に対して、高強度化に伴う溶接ワイヤの違いによる影響は見受けられるが、鋼材強度の違いによる影響は見られない。
- ・従って、板厚 19mm においては、鋼材が 550N 級になっても溶接ワイヤが AW 検定受験時のワイヤと同一であれば、溶接技能者の技量という観点では、現行の AW 検定結果を準用しても支障ないものと考えられる.

*1 竹中工務店

- *2 日建設計
- *3 大林組





図 5.5 ロボット溶接の位相スペクトル

謝辞

本研究は、2012 年~14 年度 AW 検定協議会-西日本-研究 評価委員会の活動として実施したものである.アンケートに ついては、全国のSおよび H グレード鉄骨製作工場ならびに AW 検定協議会会員のご協力をいただいた.高強度鋼の溶接施 工に関しては、(株)川哲工業 川方久敬氏に貴重な知見をご 提供いただいた.また試験の実施に当っては、竹島鉄工建設 (株)竹島徹氏、中尾尊澄氏に多大なるご協力・ご尽力をい ただいた.ここに記して感謝の意を表する.

* 1 TAKENAKA Corporation* 2 NIKKEN SEKKEI LTD.* 3 OBAYASHI Corporation