多層溶接金属品質を考慮したマグ溶接の耐風性に関する研究*

鈴木 励一**, 笹倉 秀司**, 横田 泰之**, 佐藤 豊幸***, 重森 康伸****,
上仲 明郎*****, 西村 仁志*****, 木曾 博之*****

Study of wind-toughness in consideration of multi-pass weld metal quality about Gas Metal Arc Welding*

by SUZUKI Reiichi**, SASAKURA Shuji**, YOKOTA Yasuyuki**, SATO Toyoyuki***, SHIGEMORI Yasunobu****,
UENAKA Akio*****, NISHIMURA Hitoshi***** and KISO Hiroyuki*****

Maximum cause to make mechanical toughness of the weld metal reduce in the process management is known to be a mixture of nitrogen including in the atmosphere by breaking the shield condition. Mixture of the atmosphere is prevented by blowing the shielding gas such as carbon dioxide, argon, and this mixture to the arc and the molten pool in the gas metal arc welding, but it is easily affected by the wind. Therefore, it has been recommended conventionally that wind velocity should be controlled less than 2.0m/sec. But it is thought that this recommendation value is unsuitable to produce multi-pass weld metal with high mechanical and porosity toughness property. Because this was provided from examination results by only consideration porosity toughness of single-pass weld metal but non-consideration mechanical toughness. In this paper, shielding condition is evaluated not only chemical analysis and mechanical properties of multi-pass weld metal in some velocity wind environment but also visualizing varied shielding gas behavior by the Schlieren method. As a result, it is necessary to be controlled the wind velocity less than 0.5m/sec to produce multi-pass weld metal with good properties. And the calculated velocity of shielding gas should be controlled more than twice the wind velocity.

Key Words: Wind, Porosity, Toughness, Gas shield, Visualization, Schlieren

1. 緒 言

マグ・ミグ溶接法は、高能率性、簡便性、全姿勢対応性、ロボットとの親和性といったバランスに優れていることから、被覆アーク溶接法やサブマージアーク溶接法に代わって現在主流のアーク溶接法となっている。一方、短所として、アーク雰囲気の大気からの遮断性、いわゆるシールド性能がこれらの溶接法より劣るとされている¹⁾。

しかし、時代の趨勢は環境負荷低減に伴う省エネ化、高付加価値化、高耐久性といった性能を鋼構造物に求めている。この要求に応えるべく、鋼の高強度化、溶接法の高エネルギー化が進むが、必然的に溶接金属の更なる高靱性化要求も高まる一方である。一例として、鉄骨建築の柱梁継手には0℃で27J以上だった要求値が、現在では耐震性確保のため

には70J以上必要との指針が出されている²⁾。

溶接金属の高靱性化を達成するためには溶接材料や鋼材といった材料面の性能向上は無論であるが、施工面の管理、中でもシールド不良による窒素混入は極めて悪影響が大きい事が知られている³⁾。シールド破壊の最大の原因は風である。現在周知されている目安の管理値としては、風速2m/sec以下とされており、例えば溶接管理技術者の教育でも引用されている⁴⁻⁷⁾。しかし、当管理値の出所を論文調査した結果、当管理値は1パス溶接におけるブローホール発生限界風速であることがわかった^{8, 9)}。

実際の継手では多パス溶接も多く、シールド不良状態ではパスを重ねることで次第に上層部の窒素濃度が上昇する現象が報告されており、1パスあたりに許容出来る窒素量限界はより少ないはずと予想される。さらに、肝心の靱性の観点が無考慮であることから、当管理値は靱性要求値のある溶接部に適用するのは問題があると考えられる事が出来る。

また、ノズルから噴出されるシールドガスの流速は、噴出方向に対して直角方向から受ける風速と同程度であれば影響を受けないという記述も見られるが、その根拠性も見つけることができなかった¹⁾。

以上の実状を踏まえ、溶接金属の靱性確保の観点でマグ溶接における風速と溶接金属中の窒素量および靱性の相関性を評価し、さらにシールド性が確保できる風速とシール

*受付日 平成26年7月7日 受理日 平成26年9月25日 平成18/2/25, 平成19/12/22 日本溶接協会主催「溶接の研究」講習会で発表

**正 員 株式会社神戸製鋼所 Member, Kobe Steel, Ltd.

***正 員 大陽日酸株式会社 Member, Taiyo Nippon Sanso Co.

****正 員 日鐵住金溶接工業株式会社 Member, Nippon Steel & Sumikin Welding Co.Ltd.

*****正 員 大同特殊鋼株式会社 Member, Daido Steel Co., Ltd.

*****正 員 株式会社パナソニック溶接システム Member, Panasonic Welding Systems Co., Ltd.

ドガス流量の関係について研究を行った。また、シールドガスの流れを特殊装置によって可視化し、窒素量データとの相関も確認すると共に、シールド性が確保されるシールドガス噴出速度と風速の関係についても考察を行った。

2. 実験方法

風速と溶着金属中の窒素量およびシャルピー吸収エネルギーの関係を調査する溶接試験と、シールドノズルから吹き出すガス流束に対する風速の挙動を観察するシールドガス可視化試験の2つを実施した。

2.1 溶接試験方法

JIS Z3312:1999「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ」あるいはZ3313:1999「軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用フラックス入りワイヤ」に準拠し、Fig. 1に示す板厚20mm、長さ300mmの鋼板を突合せ多層溶接した。用いた溶接ワイヤとシールドガスの組合せは①一般炭素鋼用炭酸ガスソリッドワイヤ YGW11/CO₂、②一般炭素鋼用混合ガスソリッドワイヤ YGW15/Ar80%+CO₂20%、③一般炭素鋼用フラックス入りワイヤ YFW-C50DR/CO₂の3種とした。なお、溶接時にはFig. 2に示す3方向から、スライダックにて入力電圧を調整出来るようにした扇風機により人工的に風速を発生させた。風速は0（無風）、0.5 m/sec、1.0 m/secの三段階とした。風速の測定位置はFig. 3に示す6箇所

Fig. 1 Size and groove condition of the welding test (Unit: mm)

Fig. 4 Positions of mechanical and chemical analyze test pieces

Fig. 2 Electrical fan and weld test plate positions and the wind directions

Fig. 3 Measurement point of the wind velocity

Table 1 Parameters of welding condition

Combinations of welding wire and shielding gas composition	Wind direction	Wind velocity (m/sec)	Shielding gas flow (l/min)
· Solid wire (YGW11) / CO ₂	· T; Traverse	· 0	· 25 (Partially 35,50)
· Solid wire (YGW15) / Ar80%+CO ₂ 20%	· S; Slant	· 0.5	
· Flux cored wire (YFW-C50DR) / CO ₂	· L; Longitude	· 1.0	

Table 2 Common welding condition

Welding equipment	By semi-automatic welder
Base metal material	JIS G3106 SM490A
Base metal size	20mm(thickness)×125mm(wide)×300mm(length)
Groove	45deg. V-shape Root gap:12mm
Welding position	Flat
Power source	Conventional inverter type max.500A
Current, Voltage, and heat input(H.I.)	Solid wires: YGW11, YGW15: 270-280A, Each suitable voltage, H.I.:3.0kJ/mm target Flux cored wire: YFW-C50DR: 280A, Suitable voltage, H.I.:2.0kJ/mm target
Torch and shield nozzle type	For 500A (Inner dia. 19mm nozzle)
Distance between the contact tip and base metal	25mm
Preheat and interpass temperature	Solid wires: YGW11, YGW15: None/ 150~250 deg. Celsius Flux cored wire: YFW-C50DR: 135~150 deg. Celsius

測定し、平均値を指標として目標風速への管理値とした。シールドガス流量は一般的に溶接トーチメーカーが推奨している 25 l/min とし、風速 1.0 m/sec 環境でシールド性が確保されない場合のガス流量増大効果を確認するためにフラックス入りワイヤの条件に 35 および 50 l/min を加えた。

試験は風向別に 2 社分担とし、風速 0/min を共通条件とした。

溶接条件を Table 1 および Table 2 に示す。溶接後、X 線透過撮影により、ブローホールの発生有無を確認した後、Fig. 4 に示す位置から各種機械試験片や化学分析用試験片を採取して、機械試験や分析を行った。シャルピー衝撃試験の温度は、溶接材料の該当 JIS で指定されているそれぞれの温度 (0℃ もしくは -20℃) とした。

2.2 シールドガス可視化試験方法

シールドノズルから噴出されるシールドガス流の挙動を観察することで、上記溶接試験で得られる風速と溶接金属の窒素上昇の関係に整合性が得られるか検討を試みた。ガスは無色透明であることから、その流れを直接観察することはできない。そこで、シュリーレン法を用いてシールドガスを可視化した¹⁰⁾。ただし、現在の技術ではアーク発生時の気流の流れをシュリーレン法で観察することは極めて難しいとされていることから、アーク無しの状態での観察とした。アーク発生時にはその近傍に圧力差によって発生する高速のプラズマ気流が存在していることが知られており、この気流の影響は実際には無視できないということは留意の上での実験精度と考えた。

また、開先条件についても、Fig. 5 に示す如く、開先内底部ではシールドガス流は Z 方向に広がるため、シュリーレン装置を Z 方向に配置して観察を試みても、気体の圧力差が

Fig. 5 Weak point of gas flow observation in the groove

Fig. 6 Example of shielding gas flow behavior in the groove (Groove: Fig. 1, CO₂, 25 l/sec, 19 mm inner dia. nozzle)

不安定かつ部分的となってしまう、溶接ワイヤ先端付近の挙動が不明瞭であった。(Fig. 6) したがって、最もワイヤ先端付近のガスの流れが明瞭に観察出来る平板上での実験とした。開先溶接では表層近傍に相当と考える事が出来る。

観察方法を Fig. 7 に、適用シールドノズルと突出し長さの関係を Fig. 8 に示す。観察方向は風向に対して直角とした。シールドノズルは細径 350 A 用と 500 A 標準品を用い、ノズル先端から母材までの距離はノズルサイズに対して標準的とされる各々 15 mm, 25 mm とした。流すシールドガスの種類は CO₂ とし、流量は 350 A トーチ用を 5~20 l/min, 500 A トーチ用を 25~50 l/min とした。

3. 実験結果

3.1 溶接試験結果

Table 3 にブローホール発生有無、溶接金属中の窒素量および溶接金属の機械的性能に及ぼす風とガス流量の影響の一覧を示す。なお、窒素分析において“-”となっているものは、分析可能範囲を超えて高い値であり、定量値として信頼性がないことから記載を省略としたものである。さらに、引張試験およびシャルピー衝撃試験欄が“-”となっているものは、試験片機械加工において気孔欠陥が多数確認されたため、溶接金属として不健全と判断し、機械的性能試験を測定するに至らないと判断したものである。

この結果から、溶接ワイヤとシールドガス組成の組合せ毎の風速と溶接金属窒素量およびシャルピー吸収エネルギーの関係として示したグラフを Fig. 9~11 に示す。また、

Fig. 7 The observation method of shielding gas flow behavior

Fig. 8 Shield nozzle size and distance from plate and the contact tip applied to the observation test

Table 3 Influence of the wind velocity and the shielding gas flow against the porosity generation, nitrogen content in the deposited metal and the mechanical properties

Combination of welding wire and shielding gas composition	Wind direction (Ref. Fig2)	Wind velocity (m/sec)	Shielding gas flow (l/min)	Porosity generation	Nitrogen content in the deposited metal. (ppm)				Tensile test				Charpy impact test				
					Start side	Center	Finish side	Max.	0.2% P.S. (MPa)	T.S. (MPa)	El. (%)	R.A. (%)	Temp. (deg.)	Absorbed energy (J)			
YGW11 + CO ₂	0		25	-	88	83	93	93	444	540	37	73	0	152,152,152			
	T	0.5		-	28	30	30	30	422	518	35	73		153,170,167			
		1.0		-	97	88	81	97	450	554	35	75		136,129,133			
	S	0.5		Much	140	-	210	>200	-	-	-	-		-			
		1.0		-	96	85	82	96	462	560	33	77		140,148,148			
	L	0.5		Few	130	160	180	180	476	577	30	68		82, 92, 98			
		1.0		-	29	31	32	32	428	524	33	72		145,167,167			
		0.5		-	85	46	36	85	459	546	32	74		145,156,153			
		1.0		-	99	95	96	99	440	531	36	77		132,136,135			
		1.0		-	41	42	49	49	385	470	36	77		202,209,219			
YGW15 + Ar80%+CO ₂ 20%	0		25	-	98	100	83	100	450	554	35	75	-20	104,107,116			
	T	0.5		Much	160	-	580	>200	-	-	-	-		-			
		1.0		-	160	140	150	160	441	548	35	75		92, 93, 83			
	S	0.5		Much	310	-	290	>200	-	-	-	-		-			
		1.0		-	64	72	100	100	391	478	35	76		207,214,209			
	L	0.5		Much	225	170	661	>200	410	494	35	75		59, 47, 156			
		1.0		-	63	58	51	63	470	556	31	72		123,100,101			
	YFW-C50DR + CO ₂	0		35	-	54	57	58	58	538	603	29		61	0	112,109,117	
		T			0.5	-	59	59	60	60	494	572		30		72	103, 81, 94
					1.0	-	67	110	70	110	528	601		25		72	98, 35, 49
S		0.5	-		70	52	46	70	500	581	30	72	87,117,101				
		1.0	-		98	67	52	98	515	588	30	68	97, 93, 99				
L		0.5	-		63	60	59	63	538	607	27	63	109,106,112				
		1.0	-		100	90	120	120	556	624	27	62	106,106,101				
0		50	-		37	38	36	38	485	559	30	75	115,118,119				
T		1.0	50		-	43	38	37	43	489	562	30	73	105,116, 93			
			35		-	36	38	35	38	477	553	32	73	106,120,110			
50	-		38	38	37	38	484	556	33	75	115,115,108						
35	-		36	37	37	37	481	555	34	75	102,113,102						
S	50	-	41	37	39	41	480	554	33	74	119,113,113

Fig. 9 Relationship of wind velocity, nitrogen content and impact absorbed energy of deposited metal applied YGW11 solid wire and CO₂ shielding gas (○Start side ●Center ●Finish side)

Fig. 10 Relationship of wind velocity, nitrogen content and impact absorbed energy of deposited metal applied YGW15 solid wire and Ar80%+CO₂20% shielding gas (○Start side ●Center ●Finish side)

Fig. 11 Relationship of wind velocity, nitrogen content and impact absorbed energy of deposited metal applied YFW-C50DR Flux cored wire and CO₂ shielding gas (○Start side ●Center ●Finish side)

Fig. 12 Relationship of shielding gas flow, nitrogen content and impact absorbed energy of deposited metal applied YFW-C50DR Flux cored wire and CO₂ shielding gas (○Start side ●Center ●Finish side)

Wind velocity (m/sec)	Shielding gas flow (l/min)			
	5	10	15	20
0				
0.5			—	—
1.0			—	—
2.0	—	—		

Fig. 13 Influence of the wind velocity and the shielding gas flow against shielding gas behavior in the case of inner dia. 10mm shield nozzle (Evaluation of air invasion to the wire tip position: ○:very little, ●:little, ●:large, ←:Direction of wind)

Fig. 14 Influence of the wind velocity and the shielding gas flow against shielding gas behavior in the case of inner dia. 19mm shield nozzle
(Evaluation of air invasion to the wire tip position: ○:very little, ●:little, ●:large, ←:Direction of wind))

風速ゼロおよび 1.0 m/sec 環境におけるシールドガス流量の影響を Fig. 12 に示す。

3.2 シールドガス可視化試験結果

Fig. 13 に 350 A トーチ用 10φ ノズル, Fig. 14 に 500 A トーチ用 19φ ノズルにおける風速とシールドガスの状態を観察した写真を示す。なお、実際には風およびシールドガスの流れは常に複雑な動きを示す。無風条件以外はシールドガス流が最も大きく影響を受けた状態を静止画として記録、掲載した。

4. 考 察

4.1 風速と窒素量の関係

1) ソリッドワイヤは CO₂, Ar80%+CO₂20% ガスによらず風

速が 1.0 m/sec 以上になると急激に溶接金属の窒素量が増加し、150~200 ppm を超え、吸収エネルギーの低下とブローホールの発生に至ることがある (Fig. 9, 10)。特に Ar+CO₂ 混合ガスではブローホールの発生が顕著であった。Ar 混合ガスにおいてブローホールが発生しやすいという傾向は過去の研究でも報告されており、今回の結果は整合する。また、その理由については本研究目的から外れるため追求していないが、アーク中での Ar と CO₂ の解離状態における窒素分圧の違い、さらに溶滴移行形態の差異に伴う液柱の長さの違いによって、窒素と鉄の反応面積・時間の差が生じるため、との研究事例がある¹¹⁾。

2) 風速 1.0 m/sec で発生したブローホールは開先表面近くで発生することが多かった。すなわち、1 パス溶接では発生に至らなくても、多層溶接では窒素量が徐々に増加し、

Fig. 15 Example of porosity generating at cap pass (Ar80%+CO₂20%, Wind velocity: 1.0m/sec)

ブローホール限界に達することがあると考えられる (Fig. 15).

- 3) フラックス入りワイヤ (YFW-D50DR) では 1.0 m/sec の風速でも窒素上昇は顕著でなく、ブローホールも発生しなかった (Fig. 11). しかし、基本的にソリッドワイヤに比較して吸収エネルギー性能が高くないことから、風速 1.0 m/sec で窒素量 100 ppm を超える程度でも吸収エネルギーが低値を示すことがあった。
- 4) 以上の知見から、これまで常識的とされていたガスシールドアーク溶接における防風対策の管理基準：風速 2.0 m/sec 以下の基準は現実的な多層施工を考慮すると、非常に緩いと考えられる。高品質な溶接金属を得るためには風速 0.5 m/sec 以下の管理基準が推奨される。

4.2 シールドガスの流れに及ぼす風の影響

- 1) 従来知見として、ノズル先端から噴出したシールドガスは、Fig.16 (a) のように、暫くその径をほぼ保った層流を形成するが、離れるにつれて次第に空気抵抗を受けることで分散した乱流になるとされる¹²⁾。Fig. 13, 14 の無風状態の観察結果からはシールドガス流量によらず、15 mm あるいは 25 mm のノズル先端-母材間距離では良好な層流域が形成されていることがわかる。母材に当たったシールドガス流は左右 (実際には同心円状) に広がり、本来アークが発生するワイヤ先端部はしっかりとシールドが行われていることがわかる。
- 2) 風が吹くと、風上側の層流がノズル先端から離れるにつれて押し出されていく。そして母材に当たったガス流の大半は風下側に流されるが、一部は風上側に向かい、直ぐに戻されて激しい渦巻を形成する (Fig. 16 (b))。この渦巻と層流の間から大気が巻き込まれてアークに到達し、シールド不良に至ると考えられる。
- 3) 風速が小さい、あるいはシールドガス流量が足りている場合は、風上側層流域と渦巻がワイヤ先端から離れており、大気がアークまで直接到達しないが、風速上昇、シールドガス流量不足となるとこれらの位置が風下側に移り、アークに到達する。過度の風速、ガス流量不足の条件では、渦巻すら形成されず、ワイヤ先端は完全にシールド域から外れ、露出してしまう場合もある。(Fig.16 (c), 実例：Fig. 13: 1.0 m/sec-5 l/min, Fig. 14: 1.5 m/sec-25

Fig. 16 Schematic of shielding gas behavior and the wind

Fig. 17 Relationship of shielding gas flow, wind velocity, and the evaluation of shield performance

Evaluation of air invasion
 ○ Very little (Good)
 ● Little
 ● Large (Worse)

l/min, 2.0 m/sec-35 l/min) これらの程度によって溶接金属中窒素量が変化すると考えられる。

- 4) Fig. 13, Fig. 14 の各写真にはガスの流れ観察からシールド性を定性的に判断した評価結果を付与した。判断基準は以下のとおりである。

- ：ノズルから噴出されたシールドガスがワイヤ先端位置で層流を維持しており、大気の進入が非常に少ないと判断される状態。
- ：ワイヤ先端の風上側に渦巻が発生し、渦巻と層流の境界部から層流域への大気進入が懸念される状態。
- ：ワイヤ先端の風上側に高速の渦巻が発生し、かつその距離が近く、渦巻と層流の境界部からワイヤ先端近傍に大気進入が予想される状態。あるいは完全に層流が風下側に流され、ワイヤ先端が大気に暴露されて、シールド機能を失った状態。

以上の観察による判断結果を Fig. 17 にガス流量と風速に対してシールド性判断結果をプロットした。この結果から、ノズル径毎に推奨される下限流量では、従来管理指標として知られている 2.0 m/sec ではシールド性が不十分であり、0.5 m/sec 程度に抑制する必要があると判断される。このシールドガスの流れの直接観察結果の結果は、上述 4.1 項 4) の結論と同じである。すなわち、溶接金属の窒素量や靱性評価と、シュリーレン法によるシールド状態の観察結果は相互に信頼性があると考えられる。

4.3 風環境におけるシールドガス流量増の効果

- 1) フラックス入りワイヤ×CO₂溶接, 風速 1.0 m/sec, シールドガス流量 25 l/minでは溶接金属の窒素量が 100 ppmを超え, 吸収エネルギーも低値を示すことがあったが, ガス流量を 35 l/min 以上にすると窒素量は 50 ppm 程度となり, 高い吸収エネルギーを示した (Fig. 12). したがって, 防風対策がどうしても不十分な場合は, シールドガス流量を通常よりも高めてシールド性を改善し, 窒素上昇を抑制することが可能となる場合がある.
- 2) シールドガス流の観察においても, ガス流量を 35 l/min に増やせば 1.0 m/sec, さらに 50 l/min に増やせば 1.5 m/sec の風速に耐えられるようになる (Fig. 14). したがって, 防風対策に合わせ, 適切なシールドガス流量を選択することが望ましい. ただし, 流量過剰な場合, コストアップだけでなく, 狭隘部などで逆に乱流を起こし, 大気を巻き込む可能性があるとの従来知見があり, 注意が必要であろうと示唆される.

4.4 シールド性に及ぼすシールドガスの噴出流速と風速の関係

- 1) 風に対するシールドガス流束の堅牢性は, シールドガスの流速に依存すると考えることができる. アーク近傍のガス流速を決める主要パラメータは a) シールドガス流量, b) ノズル出口断面積, c) ノズル先端から母材までの距離の3要素である. c) および通電チップ断面積を無視してノズル出口の流速を (1) 式にて算出し, 風速に対してのシールド性評価 (Fig. 17) をプロットし直した結果を Fig. 18 に示す.

Fig. 18 Relationship of calculated shielding gas flow velocity at the nozzle out, wind velocity, and the evaluation of shield performance

Evaluation of air invasion
 ○ Very little (Good)
 ● Little
 ● Large (Worse)

Fig. 19 An recommendation of the necessary gas flow quantity

$$\left(\begin{array}{l} \text{Wind velocity} \leq 1.5 \text{ m/sec} \\ \text{Distance from shield nozzle to base metal} \leq 25 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$V_{\text{nozzle}} = \frac{L/1000}{\pi \cdot \left(\frac{D/2}{1000} \right)^2} \cdot \frac{1}{60} \quad \dots\dots\dots(1)$$

V_{nozzle} ; Shielding gas velocity at the nozzle out (m/sec)
 L ; Shielding gas flow (l/min)
 D ; Inner diameter of the shield nozzle (mm)

この図から, 従来記述²⁾とは異なり, ノズル出口のシールドガス流速は風速の2倍を超えるように設定しなければ良好なシールド性は保たれないと推察される (Fig. 19).

- 2) (1) 式からは, ノズル出口ガス流速にはノズル内径が大きく影響を及ぼし, 細径ほど噴出速度が高まってシールド性が優れると示唆される. ただし, 実用的な下限については, 今後の確認課題である. また, 本研究ではノズル先端-母材間距離は適正值と呼ばれる範囲での確認であり, 本研究範囲より長くなれば, アーク近傍でのシールドガス流速は低下するのは明らかなため, 当該距離の影響についても同様に今後の研究課題である.

5. 結 言

- 1) 窒素と耐気孔性または機械的性能の相関は, 溶接ワイヤ種類とガス組成の組合せによって多少異なる. 特に Ar 混合ガスは窒素上昇とそれによって気孔欠陥が発生しやすい. なお, いずれの組合せでも窒素混入によって靱性は低下する.
- 2) ガスシールドアーク溶接において安定的に健全かつ高品質な溶接金属を得るには, 風速管理は従来の“2.0 m/sec 以下”では不十分であり, “0.5 m/sec 以下”が推奨される.
- 3) 炭酸ガスアーク溶接の場合, 風速 1.5 m/sec まではシールドガス流量増によってシールド性を確保できることを確認した.
- 4) シュリーレン法によりシールドガスの流れを観察することで, 風によって大気がアーク近傍に到達する様子を視覚的に理解することができた. 風によりガスの層流域が曲げられることで, 大気がアークに進入する経路が出来る.
- 5) ノズル径とシールドガス流量から簡易計算されるシール

ドガス出口の流速によって、風速とシールド性合否を概ね整理することが可能である。シールド性を確保するための目安として、ノズル出口流速が風速の2倍を超える値となるように最低ガス流量を管理する必要がある。

謝 辞

本研究は2005～2007年度にかけて実施された日本溶接協会 溶接棒部会 技術委員会 共研第6分科会による合同研究調査の成果¹³⁾の一部である。分科会活動に協力頂いた諸氏に対し、ここに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 新版 溶接・接合技術特論 溶接学会編，産報出版，(2013)，p459-461
- 2) 鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説 (2003)，The Building Center of Japan
- 3) Y. Kagami, M. Kuramochi, K. Ishihara, I. Tsuyama: Study on Influences of Welding Conditions for Mechanical Properties of Weld Metals in Steel Structures (Part 2 Multiple Regression Analysis), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan (2001), No.22368 & 22369, 735-738 (in Japanese)
- 4) 新版 溶接・接合技術入門 溶接学会編，産報出版，(2012)，p283
- 5) 新版 溶接・接合技術特論 溶接学会編，産報出版，(2013)，p381
- 6) マグ・ミグ溶接の欠陥と防止対策，(1991)，p28；産報出版
- 7) Japanese Architectural Standard Specification JASS 6 (1996), Structural Steelwork Specification for Building Construction (in Japanese)
- 8) 酒井ら，溶接の研究 No.15, 16「シールドガス組成の溶接金属特性に及ぼす影響に関する研究」，日本溶接協会溶接棒部会，(1975, 1976)
- 9) 藍田ら，溶接の研究 No.23～25「MAG (MIG) 溶接の溶接欠陥 (ブローホール) に及ぼすシールドガス組成等の影響に関する研究」，日本溶接協会溶接棒部会，(1984～1986)
- 10) K.Tamaki, I.Masumoto, Y.Takahashi; Some observation on the gas shielding conditions of CO₂ arc welding by the application of a television system, Journal of the Japan welding society vol.47 No.5, (1978), p37 (in Japanese)
- 11) R. Suzuki, K. Yamazaki: Investigation of the cause of nitrogen content increasing in weld metal with argon mixing ratio in shielding gas when shield atmosphere is poor, No.213 Technical Commission on Welding Process, No.SW-3367-11, (2011) (in Japanese)
- 12) マグ・ミグ溶接の欠陥と防止対策，(1991)，p47；産報出版
- 13) 鈴木ら，溶接の研究 No.45～47「マグ・ミグ溶接のガスシールドに関する研究」，日本溶接協会溶接棒部会，(2005～2007)