

< 連載 >

ガスシールドアーク溶接のシールド性に関する研究報告

第6回 大気以外からの窒素進入と連載総括

日本溶接協会 溶接棒部会 技術委員会 共研第6分科会

1 はじめに

これまでに鋼の健全性に悪影響をもたらす窒素が溶接時に混入する主原因であるシールド不良について数々の研究成果の報告をしてきた。シールド性に関する研究報告はこれをもって一旦終了とするが、その他関連事項として、溶接金属への窒素混入という共通項から、大気以外からの窒素混入、中でも鋼材の影響について簡単に紹介する。最後に全6回に渡って連載した本研究報告の総括をする。

2 鋼材中窒素の影響

本稿のテーマであるガスシールド性とは直接は無関係であるが、図1に示す如く溶接金属の窒素進入防止という点で共通であるため、施工管理条件以外の要素として鋼材について着目した検討結果を最後に報告する。

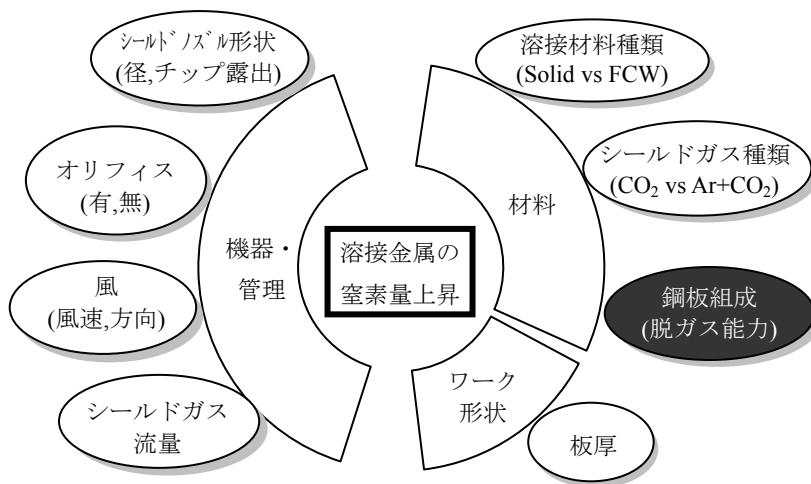


図1 溶接金属の窒素量に及ぼす諸因子

2-1 鋼材の窒素量と脱ガス設備

機械的性能や溶接性が優れた構造用鋼には、不純物の少ない高純度な成分調整が必要とされる。製鋼過程において脱硫、脱ガス、脱炭を担うプロセスは2次製錬と呼ばれ、中でも酸素、窒素、水素といったガス成分を除去する代表的な設備がRH(Ruhrstahl Hausen)脱ガス装置あるいはDH(Dotmund-Hörde)脱ガス装置である。現在主力のRH脱ガス装置の模式図を図2に示す¹⁾。原理は、減圧した容器の中に溶鋼を入れることによって、

平衡分圧を下げて、溶鋼中のガス成分を除去する。

しかし、全ての鉄鋼メーカーが脱ガス処理を所有している、あるいは鋼種を問わず積極的に使っているわけではない。表1に代表的な構造用炭素鋼の成分規格の例を示す。現在非常に多く使われているSS材、SM材、SN材には窒素が規定されていない。ゆえに、脱ガス処理を適切に行っていない鉄鋼メーカーが生産している鋼材も多く流通しており、SM、SN鋼でも窒素が100ppm以上、中には200ppm近いものも見られる。

鋼材に含まれる窒素は溶接時に母材希積分として溶接金属中の窒素量を上昇させる一因となる。(図3)したがって、窒素量の少ない優れた溶接金属を形成するには、鋼材の窒素量にも気を払うべきである。

2008年に制定された最新の溶接構造用鋼である通称BHS鋼板(JIS G3140)には炭素、硫黄、 P_{CM} (割れ感受性指数)のさらなる低減に加え、窒素の上限が追加され、最大60ppmと厳しく制限されている。

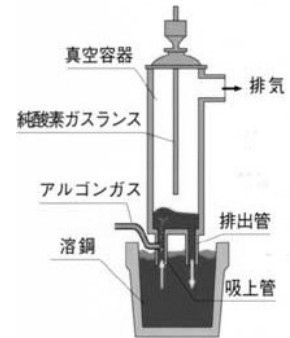


図2 RH脱ガス設備

表1 代表的な構造用鋼と化学成分の規格の例

規格名称	JIS No.	種類の記号	化学成分 (%)						
			C	Si	Mn	P	S	N	P_{CM}
一般構造用圧延鋼材	G3101	SS400	-	-	-	≦0.050	≦0.050	-	-
溶接構造用圧延鋼材	G3106	SM490C	≦0.18	≦0.55	≦1.60	≦0.035	≦0.035	-	-
建築構造用圧延鋼材	G3136	SN490C	≦0.18	≦0.55	≦1.60	≦0.020	≦0.008	-	≦0.29
橋梁用高降伏点鋼板	G3140	SBHS500	≦0.11	≦0.55	≦2.00	≦0.020	≦0.006	≦0.006	≦0.20

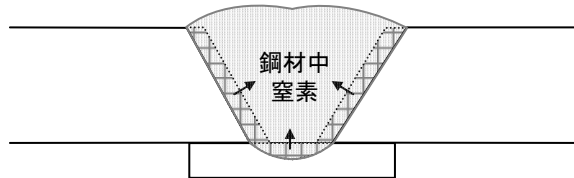


図3 母材希積による鋼材窒素の溶接金属への移動

2-2 鋼材の窒素量がガスシールドアーク溶接金属に及ぼす影響

2-2-1 試験方法

表2に示すように、規格や化学成分が比較的類似しているが、窒素含有量が異なるメーカーの鋼材を入手し、組み合わせて多層突合せ溶接を行った。板厚は12mmと22mmの2種類。鋼材の窒素量はそれぞれ低窒素鋼継手[A]が26~36ppm、高窒素鋼継手[B]が85~120ppmである。これらの継手に対して、表3に示すワイヤ、シールドガス、その他溶接条件にて溶接し、溶接金属中央部の窒素量を測定した。なお、シールド性に関してはほぼ理想的条件である。

表2 供試鋼板の化学成分 (%)

鋼材の組合せ		板厚	鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	O	N
[A] 低窒素鋼 継手	母材	12mm	SS400	0.10	0.19	0.98	0.014	0.002	<0.01	0.0007	0.0034
		22mm	SM490	0.14	0.20	1.20	0.016	0.005	<0.01	<0.0005	0.0036
	裏当て金	9mm	SS400	0.12	0.21	1.01	0.016	0.004	0.01	0.0014	0.0026
[B] 高窒素鋼 継手	母材	12mm	SS400	0.11	0.26	1.30	0.013	0.010	0.12	0.0035	0.0091
		22mm	SS400	0.10	0.27	1.33	0.017	0.014	0.13	0.0027	0.0085
	裏当て金	9mm	SS400	0.12	0.14	0.48	0.025	0.016	0.26	0.0072	0.0120

表 3 溶接条件

溶接方法	簡易自動機による下向自動溶接
供試ワイヤ	a) JIS Z3312 YGW11 (CO ₂ 用ソリッドワイヤ) b) JIS Z3312 YGW15 (Ar+CO ₂ 用ソリッドワイヤ) c) JIS Z3313 YFW-C50DR (CO ₂ 用フラックス入りワイヤ) ワイヤ径は全て 1.2mm φ
供試鋼板	化学成分; 表 2 板厚 12mm および 22mm 幅、長さは共に(125+125)mm×300mm
開先形状	45° V 開先 ルートギャップ 6mm (図 4)
溶接電源	松下溶接システム製 RF500
溶接条件	板厚 12mm ワイヤ a) 250A-30V-300mm/min (入熱 1.5kJ/mm) ワイヤ b) 250A-30V-300mm/min (入熱 1.5kJ/mm) ワイヤ c) 250A-30V-300mm/min (入熱 1.5kJ/mm) 板厚 22mm ワイヤ a) 300A-34V-300mm/min (入熱 2.0kJ/mm) ワイヤ b) 290A-34V-280mm/min (入熱 2.1kJ/mm) ワイヤ c) 280A-32V-300mm/min (入熱 1.8kJ/mm)
ワイヤ突出し長さ	25mm
トーチ角度	垂直 (前進・後退角無し)
予熱	無し
パス間温度	ワイヤ a),b) max.250℃ ワイヤ c) max.150℃
積層要領	ワイヤ a) 板厚 12mm; 4 層 5 パス、板厚 22mm; 5 層 8 パス ワイヤ b) 板厚 12mm; 5 層 7 パス、板厚 22mm; 6 層 9 パス ワイヤ c) 板厚 12mm; 4 層 5 パス、板厚 22mm; 6 層 9 パス
シールドガス	ワイヤ a),c) 100%CO ₂ 流量 25L/min ワイヤ b) 80%Ar-20%CO ₂ 流量 25L/min
シールドノズル	500A 標準(長さ 84mm)
オリフィス	有
風	無風

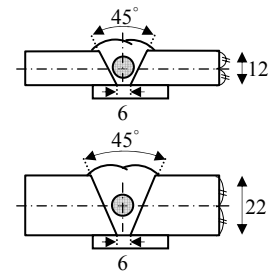


図 4 開先形状と成分分析位置

2-2-2 試験結果

図 5 に鋼材が溶接金属窒素量に及ぼす影響を、溶接材料とシールドガスの組合せ毎に示す。

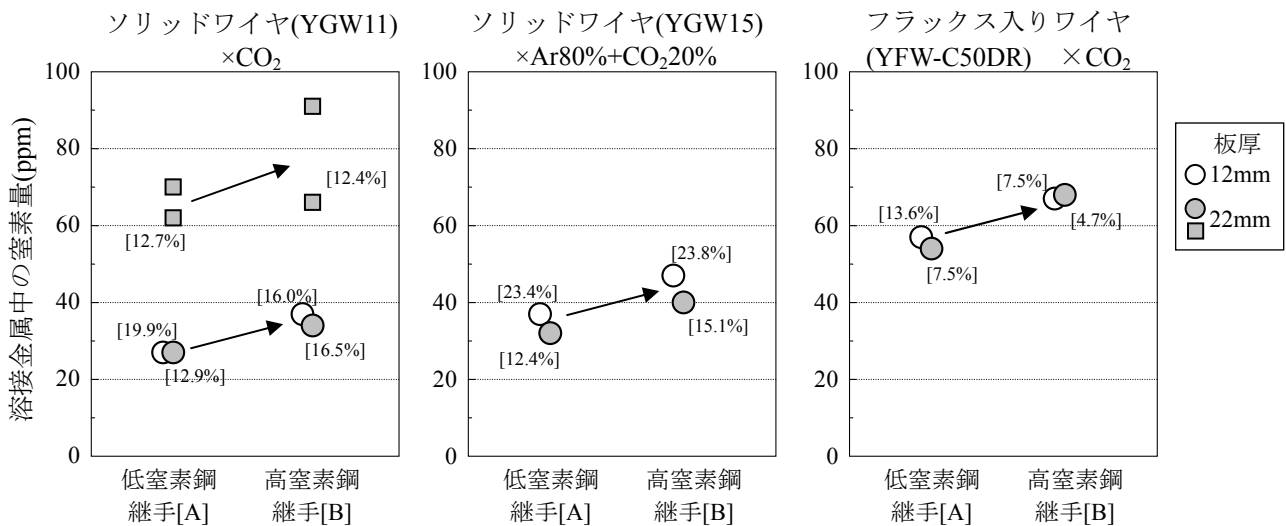


図 5 鋼材の窒素量が溶接金属中窒素量に及ぼす影響

[]は母材希釈率

2-2-3 得られた知見と考察

- 1) 高窒素鋼継手は低窒素鋼継手に対して、いずれの溶接材料やシールドガスの組合せにおいても 10~20ppm 程度溶接金属の窒素が高い傾向が得られた。この上昇量は鋼材からの流入と考えることができる。
- 2) 10~20ppm の窒素上昇はシールド不良による大気混入に比べれば影響は小さいものの、シールド不良との相

乗により溶接金属の窒素量が 100ppm 以上の高いレベルに至った場合には、金属としての性質を劣化させる一因となる。

- 3) 今回の母材希釈率は断面マクロ写真から算出した結果、5~24%程度であった。①鋼材の窒素量がさらに高いものを用いた場合、②高電流等母材希釈率の大きい溶接条件を適用した場合、③サブマージアーク溶接法やエレクトロスラグ溶接法などのように非常に母材希釈率の大きい溶接法を適用した場合などでは鋼材の窒素量の影響がより大きくなることが示唆される。

2-3 知見の総括

- 1) 鋼材中の窒素量もシールド不良と同様に溶接金属の窒素量を上昇、脆化させる要因の一つである。
- 2) 鋼材の規格には窒素が規定されていないものが多く、メーカーによって含有量には大きなバラツキがある。
- 3) 優れた品質の溶接金属を得るためには鋼材成分にも注意を払うべきである。

3 総括

これまで全 6 回にわたって、2005~07 年に活動した溶接材料、溶接機、ガスのメーカー参集による共同研究成果を報告してきた。現在、圧倒的主流の溶接法となったガスシールドアーク溶接法(マグ・ミグ溶接法)だが、その名称となっている基本的な性質“ガスシールド性”について改めて焦点を当てた。そして、溶接技術の品質、信頼性の底上げにつながる成果を上げたと自負するものである。その意義を簡単に言えば、ガスシールドアーク溶接法は“シールドされているのが当たり前では無い”、“最大の弱点である”ことを意識すべきである。どれほど優れた鋼材や溶接材料を用い、予熱、入熱などの熱管理を施しても、溶接時にシールド不良で大気を巻き込めば、その努力が水泡に帰すこともあり得る。今後、高品質な溶接部を得るための施工管理に本研究成果を活用していただければ幸いである。

最後に本研究で得られた代表的な知見を表 4 に列記する。

執筆：共研 6 分科会主査 鈴木励一(㈱神戸製鋼所)

参考文献

- 1) JFE スチール http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/chapter_2/2i_1.html

表4 本研究で得られた代表的知見

- (1)窒素混入によるブローホールが発生するのは溶接金属中窒素量が 200ppm 程度であるが、靱性劣化の点からは少量の窒素量増加でも本来の溶接材料の性質を発揮しなくなる。(図 6-1)
- (2)溶接金属中窒素量が 100ppm 程度に至るのは、シールドガスへわずか 1%の窒素が混入した影響にすぎない。(※Ar 混合ガス溶接では更に少ない) (図 6-2)
- (3)多層のガスシールドアーク溶接法における許容風速上限は、従来知見の 2m/sec ではなく、高々 0.5m/sec 程度に過ぎない。(図 6-3) 被覆アーク溶接法やサブマージアーク溶接法などに比べて極めて脆弱である。(※一般的シールドガス流量の場合。風速 0.5m/sec は煙が斜めにたなびく程度のイメージ。(図 6-4))
- (4)風速が大きくなるにつれ、ノズルから離れたシールドガス層領域が押し流され、アーク近傍に大気が近づいて、巻き込まれる様子が観察された。(図 6-5)
- (5)風がある場合は防風対策が最も重要であるが、避けられない場合はシールドガス流量の増加などである程度シールド性を改善できる。ガス流量とシールドノズル径から算出されるガス流速が風速の 2 倍を超えるように設定するのが目安となる。(図 6-6) (※ノズル-母材間距離が短い場合)
- (6)電圧を高くする(=アーク長が長くなる)につれて、窒素上昇しやすくなる。(図 6-7)
- (7)溶接金属中の窒素は積層を重ねると共に上昇する傾向がある。(図 6-8,9) すなわち板厚が大きくなるほど、厳しい管理が必要である。
- (8)窒素上昇度合や靱性値は溶接ワイヤの種類やシールドガス組成によって異なる。Ar 混合ガス溶接は溶接金属の靱性レベルは比較的高いものの、CO₂ 溶接に比べて窒素上昇しやすく、ブローホール発生まで至りやすい。炭酸ガスフラックス入りワイヤは逆に窒素上昇しにくい特性があるが、靱性レベルはそれほど高くない。(図 6-1) これらの差はワイヤ成分やガス成分による窒素との直接的、間接的な化学反応やアーク形態の差に起因すると考えられる。
- (9)無風環境においても、ガス流量やシールドノズルの長さ、オリフィス等の機器の組合せによってシールド不良となって溶接金属の窒素が上昇し、靱性劣化、ブローホール発生に至ることがある。(図 6-8)
- (10)溶接金属への窒素混入はシールド劣化だけでなく、鋼材からの混入も助長要因となる。(図 6-10)

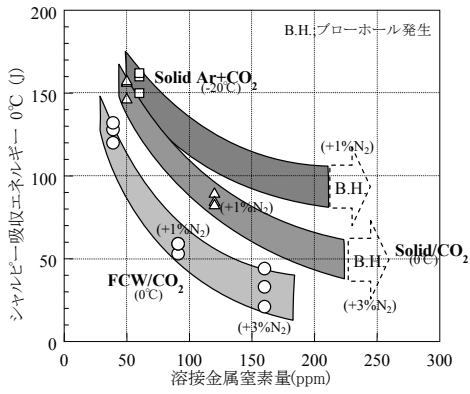


図 6-1 (第 2 回-図 4)

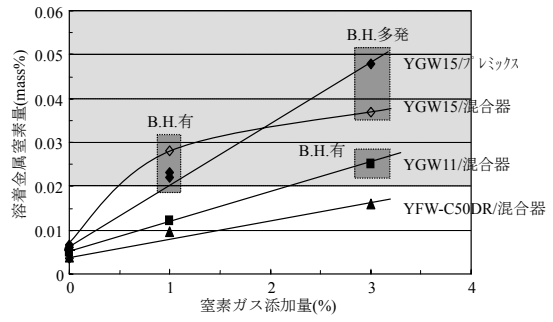


図 6-2 (第 2 回-図 3)

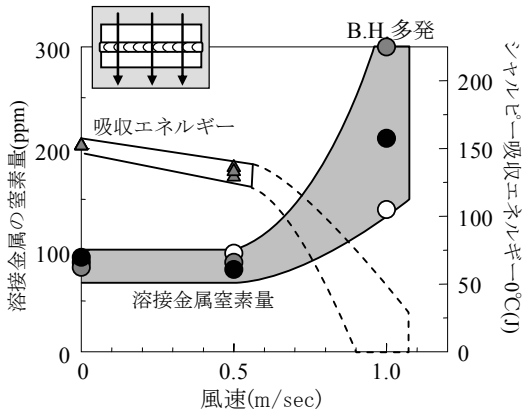


図 6-3 (第 4 回-図 5)

風速
0.5m/sec

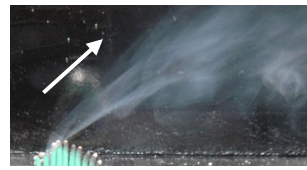


図 6-4 (第 4 回-写真 8)

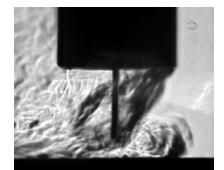


図 6-5 (第 5 回-図 4)

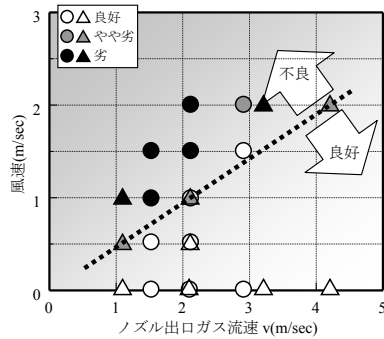


図 6-6 (第 5 回-図 7)

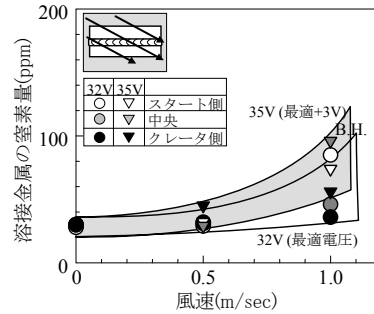


図 6-7 (第 4 回-図 9)

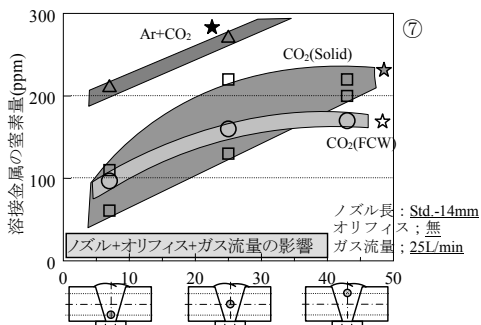


図 6-8 (第 3 回-図 3)

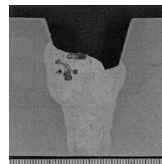


図 6-9 (第 3 回-写真 2)

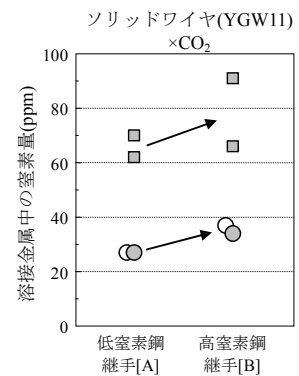


図 6-10 (第 6 回-図 5)