

< 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1回 シールド性に関する従来知見の問題

日本溶接協会 溶接棒部会 技術調査委員会 共研第6分科会

1 本研究報告の概要

近年、溶接金属には脆性破壊防止の観点から一段と高い靱性要求値が規定されることが多くなっている。靱性低下の最大要因はシールド不良等による窒素混入であることが知られている。一方、ガスシールドアーク溶接法はこの数十年間において目覚ましい発展を遂げ、今日では圧倒的に多く用いられる溶接法となったが、シールド性に関しては他の溶接法に比べて劣るという短所を改めて正視すべきである。

過去のガスシールド性に及ぼす各種影響調査は、ブローホール防止を前提とした溶接欠陥防止を目的としていた。現在知られている常識は無欠陥を得るためのものである。しかし、無欠陥は無論、金属品質向上が求められる近況において、各種管理基準を見直す必要がある。

上述の状況を鑑み、日本溶接協会 溶接棒部会 技術調査委員会では、ガスシールドについて時代に沿った管理基準を提示すべく、溶接材料、シールドガス、溶接機の各メーカーが参加して2005～07年度の3ヶ年に渡って研究を行った。本研究成果を抜粋して紹介する。

2 アーク溶接法と大気の関係

アーク溶接法は圧接、ろう接などの接合法と比べて非常に高能率で汎用性に富み、接合部の品質信頼性に優れていることから、現在では当然の如く広く普及している。しかし現在のアーク溶接技術が確立される過程においては、多くの苦勞とブレイクスルーがあった。アーク溶接では、非常に高温で活性状態になっている熔融金属が暴露される状態になることから、単に溶融させただけでは大気中の窒素の混入を許すことになる。鋼、アルミ、チタンといった主な金属はいずれも窒素を混入すると、ブローホールに代表される気孔欠陥を発生し、実質的に溶接不可能となる。したがって、アーク溶接法は大気の混入を如何に防ぐかという観点で技術が進んできたという見方も出来る。

初期に開発されたアーク溶接法としては(a)被覆アーク溶接法と(b)サブマージアーク溶接法があげられる。図1(a)に示すように被覆アーク溶接棒は鉄芯の外側にフラックスを固めて塗装したものであり、アーク熱でフラックスが分解し、発生するガスで大気を遮断する機構である。アーク長が短かく、多量のスラグで溶融部が覆われるため、風に強いとされる。図1(b)にサブマージアーク溶接法の機構を示すが、本法は粉体のフラックスを多量に散布し、この中でアークを発生させる。溶融部が物理的にフラックスで覆われ、遮断されることから、大気が混入する危険性が最も小さい。

これらに対して比較的新しく開発されたのがガスシールドアーク溶接法である。本法は図1(c)に示すようにCO₂やArといった窒素を含まない酸化性もしくは不活性ガスを溶融部に吹き付け、大気を遮断する機構である。取り扱いが楽、連続溶接性が優れる、全姿勢溶接が可能、ロボットと組み合わせることが出来る、低コストといった様々な長所から現在主力のアーク溶接法となった。

図2に平成18年度の種類毎の国内溶接材料出荷量を示す。ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤを合わ

せたガスシールドアーク溶接法用材料は合計で73%に達しており、世界的に見ても高い値である。

しかし、ガスシールドアーク溶接法は気体を遮断方法としており、かつ出口(シールドノズル先端)から溶融池までの距離が比較的長いことから、風などの影響を受けやすいとされている。さらに、過剰に流しすぎても乱流を起こし、大気を巻込むことがあると言われている。シールド不良の代表的な原因を図3に示す。また、ガスは無色透明であることから、シールド不良となってもその場では認識できない問題も大きい。

表1に各アーク溶接法の相対的な特徴を示す。このようにシールド性が被覆アーク溶接やサブマージアーク溶接に比べて劣るのは否めない事実である。このため、信頼性の観点から、海外では依然、機械的性能の要求が厳しい案件においてガスシールドアーク溶接法が認められないケースも見受けられる。

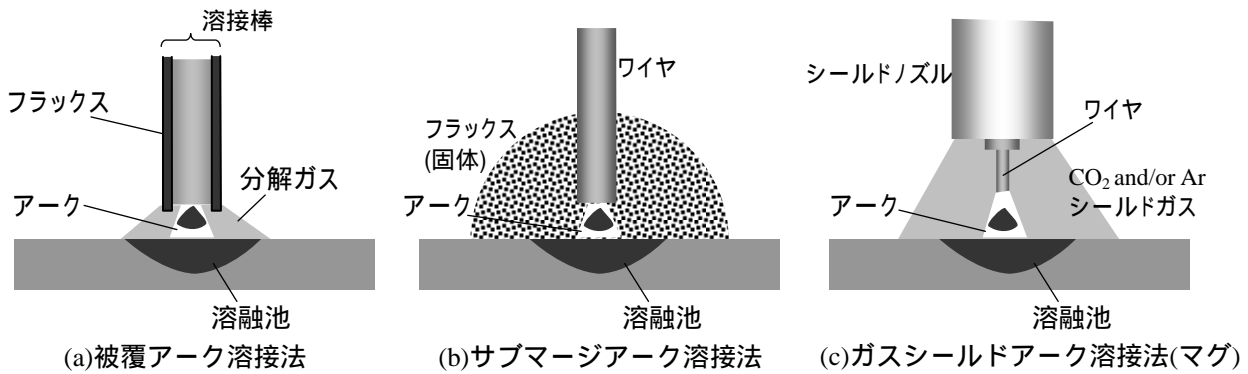


図1 各種アーク溶接法の大気遮断(シールド)機構

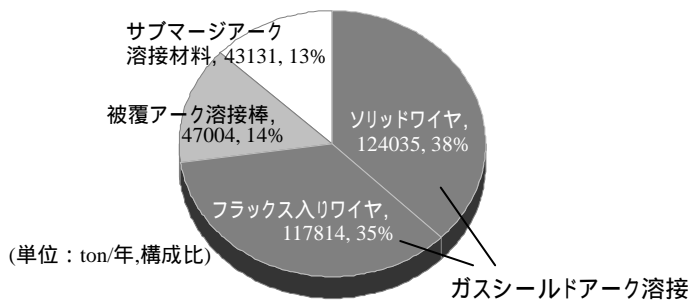


図2 平成18年度国内溶接材料生産量の種別比率 (日本溶接棒工業会統計)

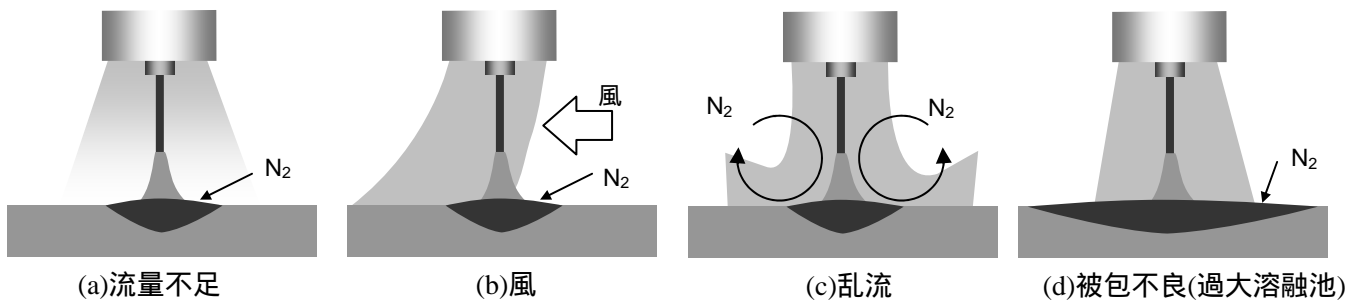


図3 ガスシールドアーク溶接におけるシールド不良の原因

表1 代表的なアーク溶接法の特徴比較

	被覆アーク溶接	サブマージアーク溶接	ガスシールドアーク溶接
溶接能率			
簡便性		×	
全姿勢溶接性		×	
深溶込み性			
ロボット適用性	×	×	
大気シールド性			

(評価 優 > > > × 劣)

3 溶接部に求められる機械的性能の動向

ガスシールドアーク溶接を適用する業界としては、鉄骨建築、造船、橋梁、圧力容器、建機、造管といった厚板系から、自動車、住宅、電機といった薄板系まで多岐に渡るが、鋼材動向と共に溶接金属には高強度化あるいは高靱性化が次第に求められてきている。本研究では中でも靱性について着目するが、代表的な例を紹介する。

コンテナ船は積載量の大型化が著しく、1万個以上搭載できるものが現れている。これによって船体構造は厚板化が進んでいるが、重量軽減、加工能率向上のために、高強度鋼板が適用され始めている。合わせて脆性破壊防止の観点から高い低温靱性値も要求されている。写真1(a)に造船の極厚溶接部の断面例を示す。鉄骨建築では都市部において超高層ビルの建築案件が目覚ましいが、'95年の兵庫県南部地震以降、鉄骨の耐震性向上について産官学研究が進んだ。柱-梁接合部(仕口部)での地震による脆性破壊を防止するために溶接部にはその設計によって従来の $vE0 \quad 27J$ から $70J$ まで要求値が著しく引き上げられた。これに合わせて高靱性を発揮するガイドライン鋼材(耐震建築溶接構造用鋼材)と $540MPa$ 級溶接材料規格が開発された。¹⁾ 最近では仕口だけでなく、箱形断面柱の組立溶接部にも高靱性要求が求められるようになってきた。写真1(b),(c)に建築鉄骨の仕口溶接部と箱形断面柱の角溶接の断面例を示す。

これらのように、厚板化や高強度化で施工は難しくなるにも係わらず、かつては 0 で $27J$ 程度の吸収エネルギー要求だったものが、品質と信頼性の向上のために高められる方向になっている。言わば、かつては「欠陥の無い溶接金属」の要求だったものが、今は「欠陥が無い+優れた靱性を有する溶接金属」に変わってきている。(図4)

鋼材については鉄鋼ミルメーカーの開発努力により達成が可能となっているが、溶接金属については材料だけでなく、溶接時の施工管理、特にシールド性確保が非常に重要になってくる。

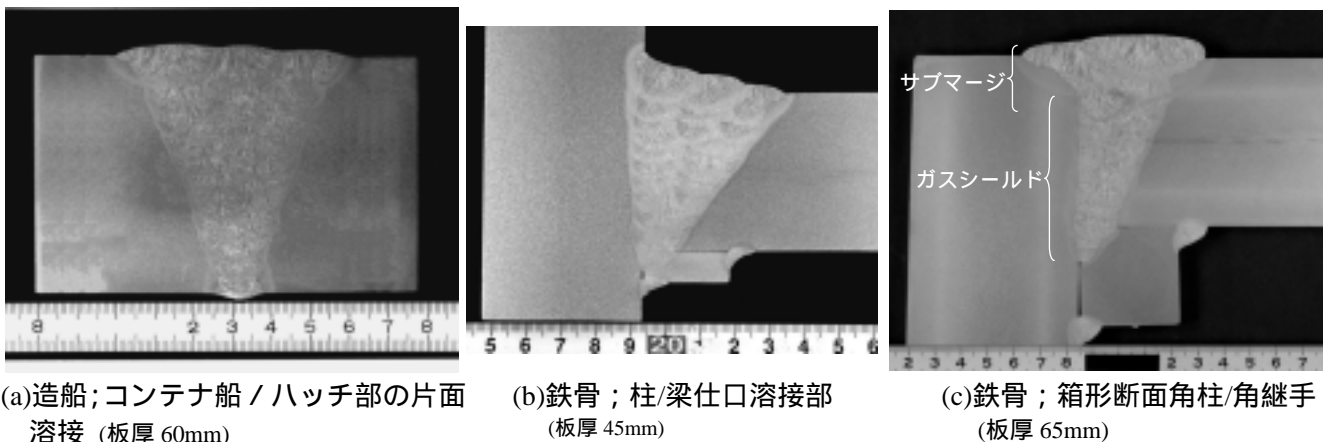


写真1 各種の高靱性要求継手例

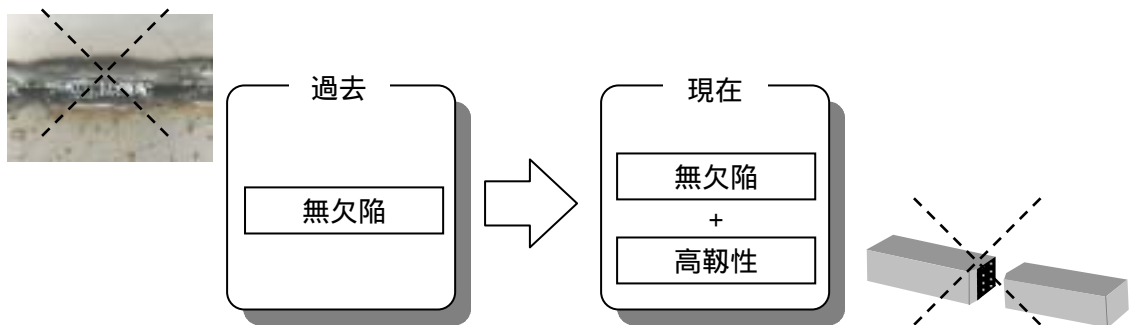


図4 溶接金属に求められる要求

4 溶接金属の機械的性能に及ぼす諸因子

図5に溶接金属の機械的性能に及ぼす代表的な因子を示す。大きくは 材料と 施工管理に分かれるが、それらは()合金元素の添加量、歩留り率、()冷却速度に応じた結晶粒径変化、組織変態、()不純物混入に影響を与える。シールド不良は()に該当するが、非常に影響が大きいことが従来から知られている。例えば、1997~2002年に活動した(社)日本溶接協会 溶接棒部会 共研第4分科会「建築構造用溶接材料の検討」において、一部の溶接ワイヤについて窒素量と機械的性能の関係が明らかにされている。結果を図6に示す。²⁾³⁾ 窒素量の増加と共に溶接金属の伸びと吸収エネルギーが急激な低下、強度の若干の上昇傾向が示唆されている。

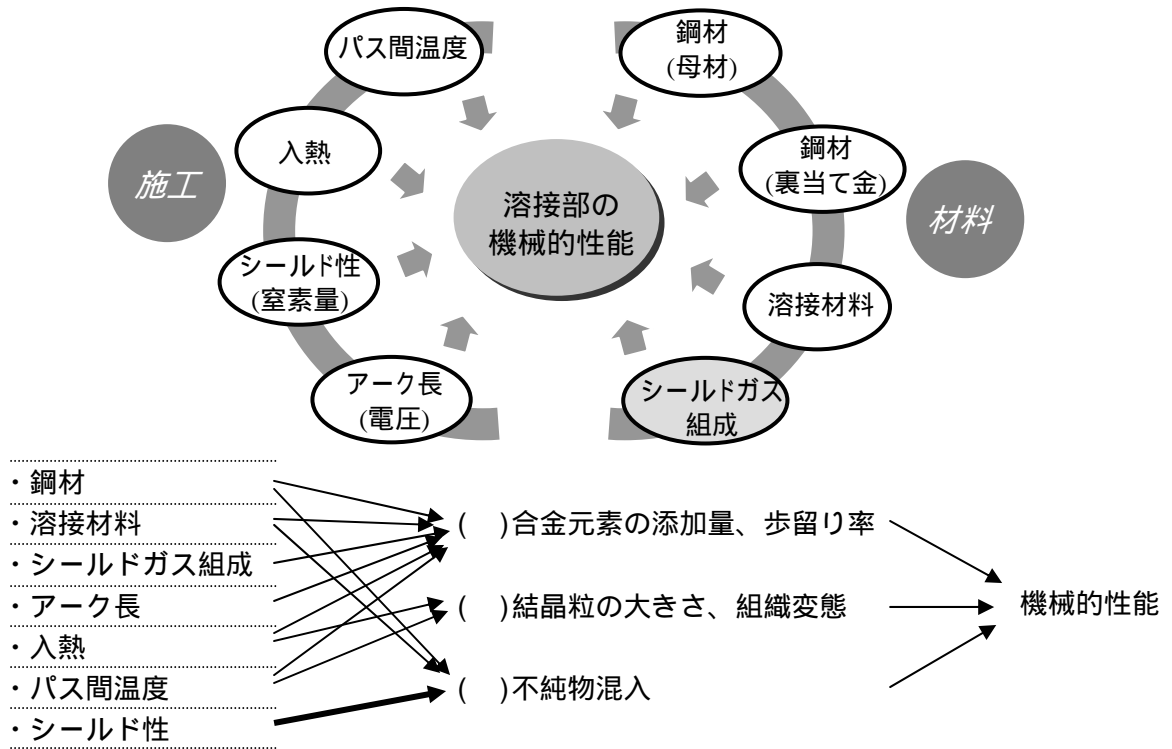


図5 溶接金属の機械的性能に及ぼす諸因子

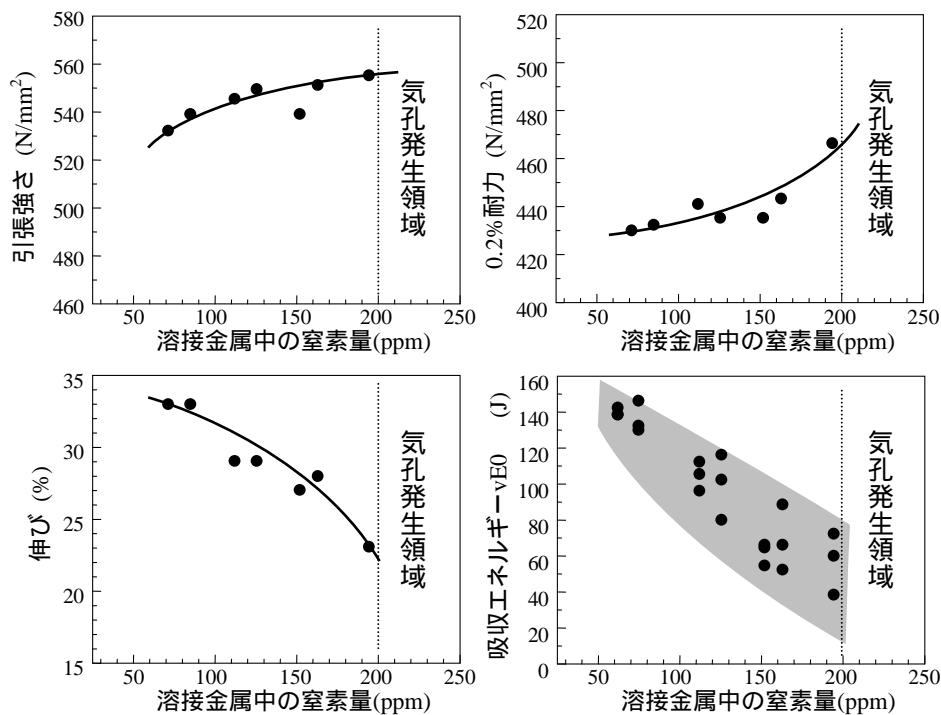


図6 溶接金属中の機械的性能と窒素量の関係 (YGW18 ソリッドワイヤ)

5 現状の課題、研究目的、構成

これまで述べたように、ガスシールドアーク溶接法の普及拡大、厚板構造物の大型化と破壊防止のための高靱性化要求という情勢において、窒素の有害性の認識までは進んでいるが、肝心のどうすれば窒素の混入を防止できるのか、さらにはワイヤやシールドガス組成の違いによるシールド性の違い等についての観点は知見が少ない。以降で紹介するとおり、過去の幾つかの検討ではあくまで気孔欠陥の発生を防止することが目的とされており、高い靱性を得るための研究ではなかった。

これに対し、本研究では 溶接ワイヤの種類、シールドガスの種類、溶接条件の組合せ、風の影響を具体的に考察し、かつ理想条件ではなく、実際の継手を想定して必要性能を満足するための注意と具体的管理手段を示すことを目的とした。なお、溶接ワイヤとシールドガスの具体的な研究対象は、それぞれ汎用性の高い炭素鋼用ソリッドワイヤ(JIS Z3312:1999 YGW11,15)およびルチル系フラックス入りワイヤ(JIS Z3313:1999 YFW-C50DR)、CO₂とAr80%+CO₂20%とした。参加委員は、(株)神戸製鋼所、日鐵住金溶接工業(株)、大同特殊鋼(株)、松下溶接システム(株)(現；パナソニック溶接システム(株))、大陽日酸(株)、ジャパン・エア・ガシズである。

6 代表的な従来知見

現在周知されている知見の多くは、日本溶接協会 溶接棒部会の 1975~76年(共研3分科)および1984~86年(共研5分科)の共研成果である。どちらも費用と労力を費やした大規模な試験が行われ、沢山の貴重な知見を得ている。現在、ブローホールやシールド性に関して記載されている多くの溶接の教科書⁴⁾⁵⁾の内容はこれらの知見成果である。しかし、見方を変えれば'86年の共研5分科から本分科会開始に至るまで20年もの間シールド性に関する共同研究は行われていないとも言え、技術的進歩はあまり進んでいないのが実態である。これら過去の文献から得られた代表的な知見を表2、図7~16に示す。

表2 シールド不良やブローホールに関する代表的な従来知見

Ar混合ガスはCO ₂ よりも気孔が発生しやすい。(図7)
Ar混合ガスでは低窒素でもブローホールが発生することがあり、その大きさは1mm以下と小さい。原因はArの巻込みによるものと思われる。
シールド不良によるブローホールはその大きさが1~3mmと大きく、その成分は主に窒素である。
気孔発生の限界窒素量は約0.02%である。(図8)
気孔発生の限界風速は約2m/secである。(図9,11)
シミュレーションによれば風速1.0m/secで健全なシールド領域が無風状態の半分に減少する。
溶接金属の酸素、窒素量が少ないほど衝撃吸収エネルギーは向上する。
耐気孔欠陥性の点から、最適なシールドノズルの先端形状とガス流量には関係がある。(図15)
溶接パスを重ねると共に窒素量が増加する。(パイルアップ効果)(図16)
下向よりも横向のほうが気孔欠陥が発生しやすい。
フラックス入りワイヤはソリッドワイヤに比較してAr量の増加に伴うブローホール数の増加が少ない。
開先内の狙い位置はシールド性にはあまり影響しない。

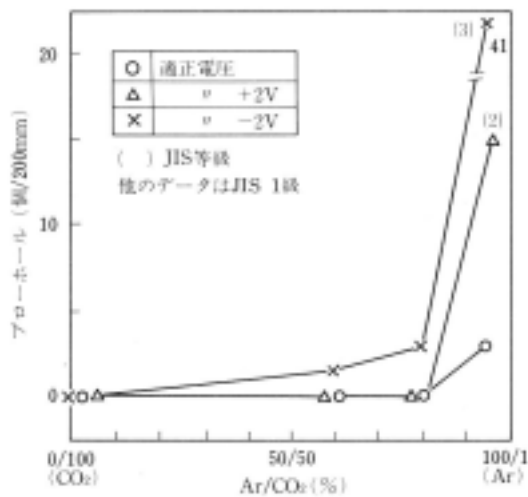


図7 シールドガスの Ar/CO₂ 比率とブローホール数の関係

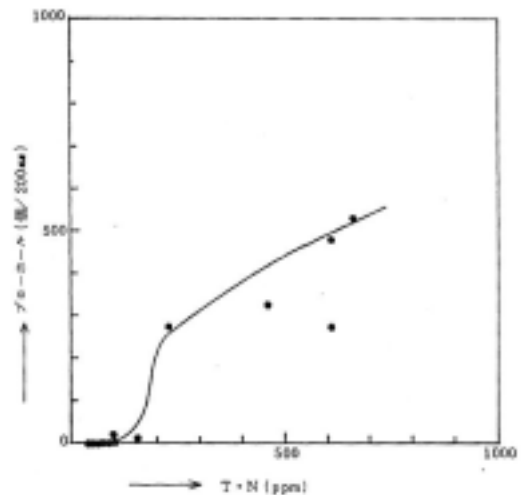


図8 窒素量とブローホールの関係

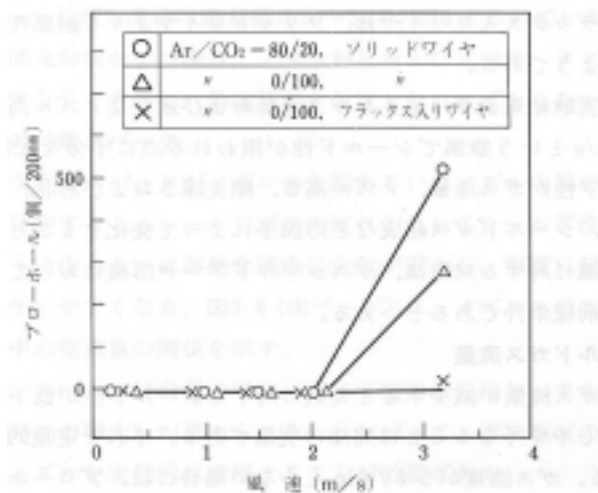


図9 風速、シールドガス組成とブローホールの関係

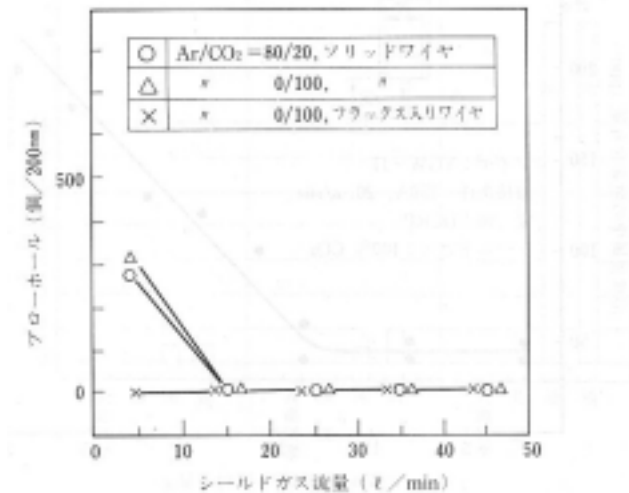


図10 シールドガス流量、ガス組成とブローホールの関係

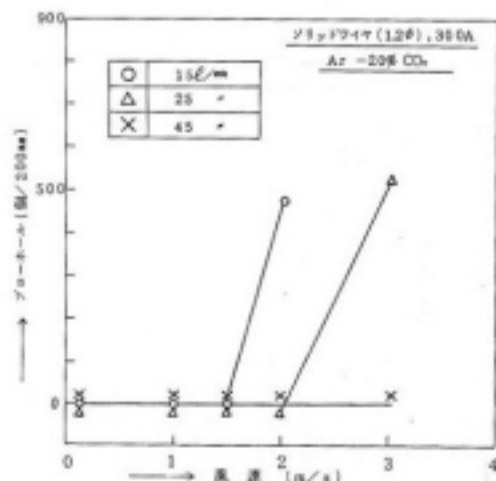


図11 風速、シールドガス流量とブローホールの関係 (Ar+CO₂)

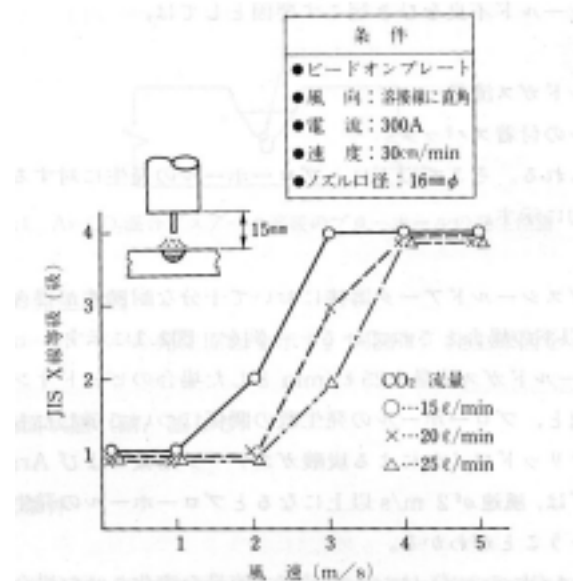


図12 風速、シールドガス流量とブローホールの関係 (CO₂)

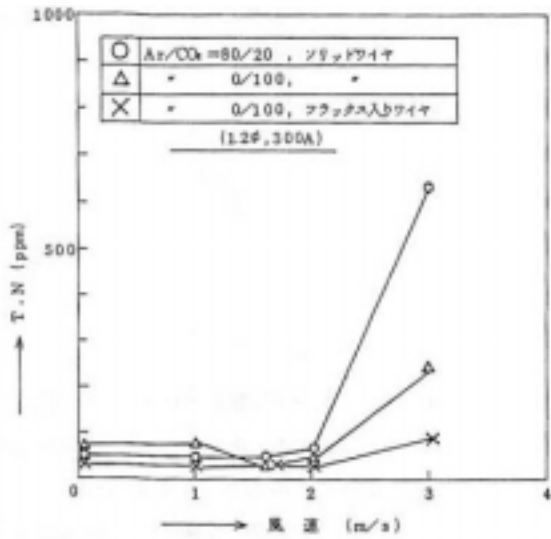


図 13 風速、シールドガス組成と窒素量の関係

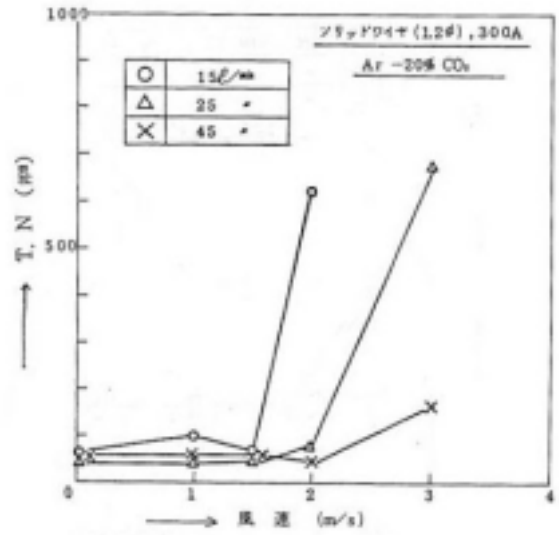


図 14 風速、シールドガス流量と窒素量の関係

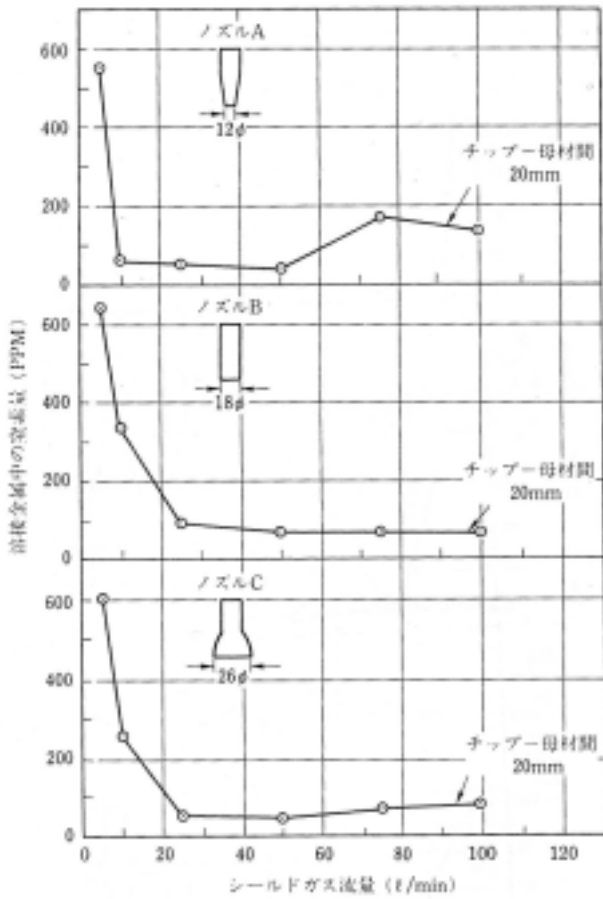


図 15 シールドノズル形状と窒素量の関係

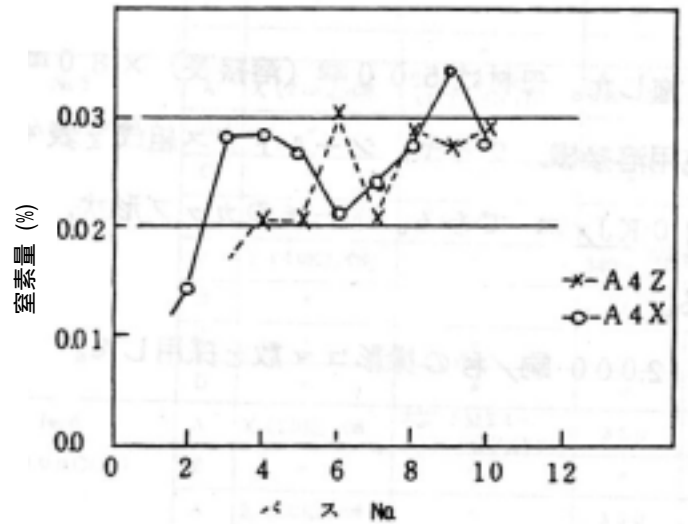


図 16 多層溶接における溶接パス No.毎の窒素量変化

7 過去の研究の問題と本研究の具体的研究内容

表2の従来知見の中で特に重要なのが である。すなわち、ブローホールの発生する窒素量は200ppm程度、その窒素量に抑制するための風速は2m/secであるという知見である。本知見は溶接業界では非常に一般化しており、WEB⁶⁷⁾など様々に引用されている。しかしこれには以下の2つの問題がある。

多層溶接ではパイルアップ効果により窒素量は増加していく知見があるにも係わらず、ベースデータは1パス溶接によるものである。
あくまでこの指針はブローホール防止が目的であり、溶接金属の機械的性能、特に靱性を良好に保つことは考慮されていない。

現実の溶接部は多層溶接が多く、かつ靱性確保が要求される昨今の状況では防風管理などの常識は不十分であると考えた。そこで、改めて溶接金属中の窒素量を主眼として試験を行った。窒素量に影響を及ぼすパラメータを図17のように考え、主に以下の試験題目とした。

- [1] シールドガスおよび溶接ワイヤ種類毎の窒素量と機械的性質の関係
- [2] 厚板多層溶接における管理条件と窒素量、機械的性能の関係
- [3] 多層溶接における風速と窒素量および機械的性能の関係
- [4] 風速に対するシールド性の可視観察と管理指針

その他、シールド性ではないが、溶接金属の窒素量を上昇させる原因として以下も合わせて検討した。

- [5] 鋼板の含有窒素量の影響

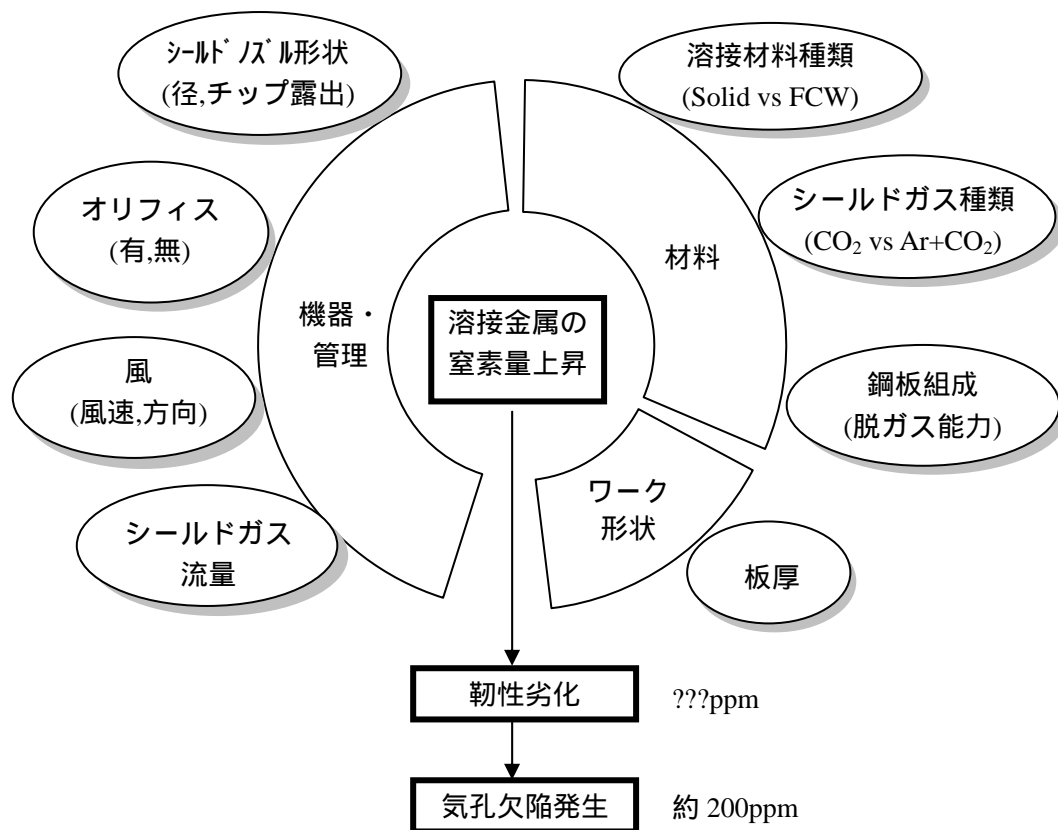


図17 溶接金属の窒素量に及ぼす諸因子

次号以降に具体的にこれらの研究結果を報告する。

- 参考文献 -

- 1) 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；日本建築センター,(2005)
- 2) 溶接の研究 No.41(2002)；日本溶接協会 溶接棒部会 技術委員会
- 3) 鉄構技術 Vol.15(2002) No.164 P32；鋼構造出版
- 4) マグ・ミグ溶接の欠陥と防止対策；産報出版
- 5) マグ・ミグ溶接 Q&A；産報出版
- 6) 日本溶接協会 JWES 接合・溶接技術 Q&A1000 http://www-it.jwes.or.jp/qa/details.jsp?pg_no=0060010070
- 7) 日本溶接協会 JWES 接合・溶接技術 Q&A1000 http://www-it.jwes.or.jp/qa/details.jsp?pg_no=0070030030