技術資料

外 観 検 査*

成 田 圀 郎**

Visual Inspection of Welds*

by Kunio Narita**

キーワード：溶接検査，目試試験，寸法計測試験

第 1 部 溶接製品・構造物の外観検査の意義…… 設計者，使用者，検査関係者のために

溶接の検査というと、各種の非破壊試験機器を駆使する非破壊検査が連想されるが、外観検査を主とする溶接、検査又は溶接インスペクションの重要性も広く認められている。英国規格 BS 5289 “CP 融接継手の外観検査” は、溶接作業、溶接材料及びその取扱い、予熱・パス間温度の管理を含む広い範囲をカバーしており、IIW（国際溶接学会）で立案が進められている溶接インスペクタ（非破壊試験オペレータを除く）に関する ISO 国際規格草案では、これに非破壊検査情報の解釈を含む業務を対象として、レベル 1～3 の資格を定め、試験と認定を行うようになっている。

このように、溶接製品・構造物の製造で、図面・仕様などを理解し、溶接施工要領書が実際の施工で実現されていることをチェックし、外観検査を行い、非破壊検査情報を併せて溶接部の品質を評価することは溶接技術の真髄と言える。この見方からは、外観検査並びにこれを行う技術者及びシステムは、溶接施工管理の中で極めて重要な位置を占めることになる。

このような国際的な流れの中で、我が国で立派に育った TQC の考え方に立脚した外観検査のあり方を確立することは、国内はもちろん、開発途上国を含めた全世界の溶接技術にとって不可欠の課題であり、我が国溶接関係者の最大の責務とも考えられる。溶接施工及び管理に携わる技術者は

もちろん、設計、検査、使用の各方面の方々の理解と協力が必要と考え、従来、正面から取り上げられなかった外観検査について、あえて取り組んだ次第である。

1. 溶接品質と外観検査の重要性

外観検査は、最も古くから、最も広く適用されている検査方法であるが、近年になって、RT（放射線透過試験）、UT（超音波探傷試験）、MT（磁粉探傷試験）、PT（浸透探傷試験）など、特殊な機器、検査液等を使用する非破壊試験（NDT）方法の進歩と適用範囲の拡大によって、外観検査を軽視する向きもあるように見られる。しかし、このような考え方は間違っている。

溶接部の外観検査は溶接検査の基本であり、溶接で最も重要と言える形状、寸法、構造的応力集中、アングカットのような欠陥は外観検査の対象である。さらに、溶接の良否や継手の性能に重大な影響を与えるベベル及び開先の形状寸法、目違いや角変形の値も外観検査で調べられる。このため、溶接施工の計画・実施・管理と溶接前・溶接中・溶接後の外観検査が適切に行われれば、多くの場合に十分満足できる品質の溶接部又は溶接構造物が得られることは、内外の経験豊かな溶接技術者がひとしく指摘するところである。

外観検査は、他の非破壊試験方法と異なり、2 で述べる比類ない特徴を持っている。今日、溶接継手及び溶接製品又は溶接構造物の品質の重要性があらためて強調されているが、外観検査を無視

*原稿受付 昭和62年3月15日

**正 員 日本鋼管(株) Member, Nippon Kokan K.K.

図1 溶接部断面形状

図2 すみ肉溶接のサイズ

図3 ベベルの検査項目

又は軽視しては、品質保証が成り立つことは不可能である。

2. 外観検査の特徴

(1) 適用条件が広い 外観検査特に目視は、作業が行われる場所で、どんな条件でも適用できる。可視アーク溶接では、アークの状態や溶融池・溶融スラグを観察することができ、エアアークガウジング中には、溶込みや溶接部の欠陥及びその除去の状況をチェックできる。また、図9に見られるように、溶接関連工程のすべての段階で適用できる。

作業進行中に検査できるため、情報の速やかな入手と、これに基づく処置が遅滞なく行えるという大きな利益が得られる。したがって、外観検査が適切な検査者によって適時に行われれば、溶接

図 4 突合せ継手の開先

図 5 両面V形開先の精度

の品質及び経済性の確保・向上に計り知れない効果が挙げられる。

(2) 工程に影響しない 外観検査は、現場から作業者を排除しないで行うことができる。放射

図 6 すみ肉溶接の組立精度

図 7 角度を持つ部材の接合

(a) 溶接のまま

(b) ビードの波仕上げ

(c) 滑らかに仕上げ

(d) 平らに仕上げ

図 8 表面の仕上げ

線の照射、探触子の操作、磁粉や浸透液の適用などが必要な他の非破壊検査 (NDE) 方法とは大いに異なる。特殊な道具や消耗品、特別な段取りも必要とせず、これらの点から、外観検査は、自主検査の手段として極めて優れている。

(3) 検査の一貫性 素材や部品、加工・組立状態、タック溶接時、溶接開始前、溶接中、溶接

表1 溶接部の寸法

	符 号	名 称
突 合 せ 溶 接	H	余盛高さ
	T	材料の厚さ
	W	溶接幅(余盛幅)
	ρ	止端半径
	ψ_c	余盛接触角度
す み 肉 溶 接	$\psi_f\alpha$	余盛フランク角度
	l, z	脚 長
す み 肉 溶 接	s	サ イ ズ
	a	の ど 厚
	a_t	理論のど厚
	a_a	実際のど厚

表2 開先各部等の符号

	符 号	名 称
開 先 溶 接	θ	開先角度
	ϕ	ベベル角度
	a	ルート間隔
	b	ルート面
	d, c	開先深さ
	e, f	目 違 い
す み 肉 溶 接	r	ルート半径
	g	透 き 間
	α	透き間角度
	β	倒れ角度
	θ	すみ肉角度

図9 溶接工程と外観検査

後、仕上げ・矯正・熱処理の前後など、すべての溶接関連工程のあらゆる段階で一貫した検査を行うことができる。また、特別なデータ整理を行わなくても、溶接継手、製品又は半製品の全般的な状態が把握しやすい。

(4) 検査技術 検査方法や機器に対する特別な知識と経験は必要としない。溶接施工に関する知識・経験と、溶接の品質・検査に関する知識及び溶接検査の経験は必要である。さらに、外観検

査を有効に実施するには、検査に当たる技術者及びオペレータの能力と、これを動かす溶接施工（管理）システム及び検査システムがしっかりしている必要がある。

(5) 欠陥検出能力 外観検査は RT や UT と違って、内部欠陥を検出することはできない。予測は、場合によって可能である。表面欠陥でも、小さな割れなどを検出するには MT や PT の力を借りる必要がある。

3. 外観検査の定義と試験方法

外観検査は、長い間広く適用されてきて、多くの人が口にし、文書にしているが、定義や意味を明確にしようとする、必ずしも簡単でない。4で詳しく述べるが、外観検査の内容を広く解釈すると、我が国で通常、管理と呼んでいるものまで入ってくる。

3.1 試験と検査

非破壊試験・検査では、英語では testing, examination 及び inspection の三つが使い分けられるのに対して、日本語では試験と検査の二つしかない不便がある。一方、外観検査、特に目視による外観検査では、全く判定を含まない試験行為は考えにくい。実際に、目視試験という言葉はよく使われるが、外観試験という言葉は余りなじみがない。

本稿では、試験方法の区分として外観試験、目視試験及び寸法計測試験を用い、実際に外観を調べることを外観検査と呼ぶことにする。

3.2 外観試験の構成

外観試験 (appearance test, AT) は、目視試験 (AT-V 又は狭義の visual test, VT) 及び寸法計測試験 (dimensional test, AT-D) に分けることができる (表3)。

visual という言葉は、目視とも外観とも訳されるが、ここでは、目視は一般通念、精神規定又は

表3 外観試験の分類

AT (広義の VT)	AT-V (狭義の VT)
	AT-D
	... (施工のチェック)

AT: 外観試験

AT-V: 目視試験

AT-D: 寸法計測試験

VT: 目視試験 (狭義の場合) 又は
外観試験 (広義の場合)

サンプルに基づいて、検査実施者の目と頭脳によって判断する行為に限定する。一方、寸法計測は、スケール、ゲージ、計測ジグ等を用いる点で区別する。寸法計測は、抜取りで実寸法を計測・記録する場合と、テンプレートや限界ゲージを用いて go-no go ベースでの検査を行う場合とがある。多くは後者によるが、統計学的検討を行うため、前者によることもある。

3.3 外観検査の試験方法

(1) 目視試験 文字どおり人の目による試験で、補助手段は検査の信頼度を高めるためにある程度用いられるが、これに頼りすぎるのは邪道で、目視試験を混乱に導くことになる。

(a) 目視試験と視力 検査を行う人の視力は基本的条件である。しかし、視力抜群でも技術力貧弱では検査はできない。矯正視力が特に劣っていなければ、技術力の優れた人の方が適任と言える。

(b) 拡大鏡の利用 目視の原則から、通常の視野と判別力が基本で、試験部のごく一部を拡大して調べるのはこれに反する。ただし、怪しい判定を防ぐために低倍率の拡大鏡を使用することは一般に認められている¹⁾。この点を試験片を精密に調べる仕方と混同してはならない。

(c) 明るさ 十分な明るさが検査のための条件で、暗い場所では適切な照明が必要である。低倍率拡大鏡とライトを組み合わせたものも用いられる¹⁾。

(d) 接近できない箇所の目視試験 溶接が行われた方向からは、一般に溶接直後の目視は可能である。小径管片面突合せ溶接部内面など、試験部に接近して直接目視できないときは、鏡、ファイバースコープ、工業用テレビなどが用いられる。

(e) サンプルの使用 目視試験の項目のすべてを定量化して示すことはできないので、実際の溶接部と施工方法に基づくサンプル(第2部で後述)の使用は大いに役立つ²⁾。

(f) MT, PT との関係 通常の MT 及び PT では、目視では判別できない微小な表面割れなどを、磁粉や浸透液などの助けを借りて目視で調べる。補助手段を用いた目視試験とも言えるが、一般には区別されている。

(2) 寸法計測試験 各種のスケール、ゲージその他の道具(計測機器)を用いる。計測機器には、現場で広く使われるごく簡単なものから多目

的又は複雑なもの、寸法を計測するものと限界ゲージなど多種のものがある。

(a) 計測機器の選定 溶接各部の形状、寸法などを計測する器具は、種類が多く、また一般用のスケールなどを除いて規格も定められていないので、外観検査の対象(構造及び継手)やその品質要求に基づいて適切なものを選定する必要がある。現場で用いるものは、なるべく簡便、軽量、堅ろうなことが望ましい。複雑な多目的計測具は、チェックには便利であるが、現場での頻度の高い計測には適当と言えない。計測具は、例えばストレートエッジ又はテンプレートとスケール又は透き間ゲージの併用のように組み合わせて用いられることも多い。

(b) 計測機器の管理 特に現場で使用されるものでは、精度とともに耐久性が優れていることが望ましい。精度の維持には、機器の特性と使用状態に応じた性能のチェックとこれに基づく管理が必要である。

(c) 統計学的処理と目視検査の併用 断続すみ肉溶接の長さやピッチなどの計測は全数検査が可能であるが、溶接継手断面形状(図1)などは全数検査が一般に不可能である。このため、抜取検査と統計学的処理を検査対象に応じて考慮すべきで、抜取方法や抜取率を適切に定めることが重要である。この際、AT-D のほかに AT-V を併用して、一律な抜取率の適用による検査の無駄や検査漏れを防ぐことは有効である。

(d) その他 計測の自動化、検査ロボット、管内検査ジグなども研究・開発・実用化されている。型取法も計測・記録の目的で適用されることが多い。

(3) 外観検査はだれが行うか 溶接部の外観検査に要求される技術レベルはかなり高く、理想を言えば、溶接技術の知識と経験を広く有する技術者がこれに当たることが望ましい。しかし、すみ肉溶接を含めた溶接外観検査の検査量は極めて多く、他の非破壊試験方法が適用されるよりもはるかに長い溶接部が検査の対象となる。さらに、外観検査は溶接完了後だけでなく、溶接に関連する各工程で行われるので、すべての外観検査を十分な能力を持つ技術者が行うことは不可能である。

実際には、しかるべき技術者が外観検査システムを計画し、試験方法と判定の詳細を定め、システムを管理して、検査の実務は十分に教育した補

助者又はオペレータに行わせることとなろう。溶接作業者等による自主外観検査は、溶接施工管理システムの一環として各人が正しく行い、溶接指導者がこれをチェック・指導すべきであるが、外観検査システムの底辺としても機能する。

外観検査を計画、管理する技術者は、溶接技術に通じているのはもちろん、関連法規・規格・設計・仕様・図面をよく知っており、かつ、外観検査で疑問が生じたときの他の非破壊試験方法の追加適用や非破壊検査情報の理解と活用を含めて、試験検査特に非破壊検査技術に十分な理解を持っていなければならない。

IIW 第 XIV 委員会は、溶接技術者の資格認定に引き続いて、溶接インスペクタ (welding inspector) レベル 1~3 の資格認定に関する ISO 規格原案の作成を進めている。溶接インスペクタは非破壊検査の実施と直接関係しないが、1, 2, 3 の各レベルに応じて、レベル 1 は溶接材料、継手準備、予熱・パス間温度のチェック及び外観検査を行う。レベル 2 はこのほか、コード・規格の理解、溶接施工方法・溶接技術検定に関すること、PWHT 及び外観検査の確認、NDT 報告による溶接欠陥位置の指示などを行う。レベル 3 には、更に 1, 2 の監督、図面の解釈、溶接欠陥生成要因の評価、放射線透過写真の解釈、NDT 報告の評価などが加わるような内容が提案されている。

4. 溶接部外観検査に関する規格

溶接部の外観検査は、各種の溶接構造物、溶接製品を対象とする各国の規格、技術基準などに規定されている。一方、判定基準は、検査方法とは無関係に表面及び内部欠陥の許容水準を定める考え方が各国で出てきている^{3,4)}。外観検査では、この中の表面欠陥、溶接準備、変形その他に関するものが取り扱われる。

溶接及び溶接検査に関するハンドブック・解説書などでは、溶接検査や溶接部の非破壊検査について詳しく説明しており、その中で外観検査について丁寧に記述しているものもある^{2,5)}。

一般的な溶接部外観検査に関する規格としては、BS 5289 “Code of Practice 融接継手の外観検査”⁶⁾が、製品を特定せず、一般の融接継手を対象として、外観検査に関する事項を規定している。そこで、以下に BS 5289 の概要を簡単に説明する。

(1) 検査の範囲 目視を適切な補助具及び計

測具で補うという考え方である。検査項目は広く、かつ、溶接前・中・後、補修時、製造完了後の工程にわたっている。奇異に感ずるのは、溶接材料、予熱条件、パス間温度、溶接後熱処理条件のチェックなども含まれていることである。

マクロ組織試験も規定されているが、反面、規格名が示すように継手を対象としているため、完了した製品全体の形状や寸法は規格の適用外である。

(2) 検査員 外観検査を行う検査員は、適用される規格、溶接施工方法、溶接技術検定等の知識を持っていることが必要とされ、図面が準備されていることも規定されているが、基本的な能力・資格の要求事項はない。

(3) 判定基準 判定基準は特に規定されてなく、“正規な”という表現によるか、又は他の合格基準に委ねている。

(4) 関連事項 “まえがき”で、この規格は他の非破壊検査規格と連動していること、すべての溶接を外観検査すべきこと、外観検査は基本的な方法であるが、有効に行うには豊富な経験が必要なこと、及び、一般的な施工では主な欠陥は外観検査で発見できるが、そうでない場合もあると述べている。

5. 外観検査の実施と問題点

1 で述べたように、外観検査は溶接検査の基本であり、適用範囲も最も広く、いつでも、どこでも、また、だれでもできる便利な検査方法であるが、それだけに、関係する多くの人々の技術力と責任感の影響を大いに受け、検査結果がややもすると不安定になる。また、外観検査の具体的な実施方法には、あいまいな点があり、これも外観検査に対する信用を落としている。ここでは、外観検査の合理的な適用のために、実施上の問題点を幾つか取り上げて検討する。

5.1 外観検査の位置付け

試験方法を破壊試験と非破壊試験に分ければ、外観検査を構成する目視試験 (AT-V) 及び寸法計測試験は、明らかに非破壊試験方法に属する。しかし、溶接検査に用いられる、俗に言う非破壊試験方法と外観試験 (AT) とでは、その性格に大きな違いがある。

このため、いわゆる非破壊試験技術者にとっては、電氣的、又は化学的な道具を使わず、いわば眼と物差しだけによって行う AT はなじみ難く、

しかも、溶接方法や施工をよく知らないと検査がうまくいかない、やっかいなものである。溶接技術者にとっては、本来はなじみやすい試験方法であるが、地味で、新技術が余り取り入れられず、面白くないものである。

ところで、我が国では、TQC又はCWQCと呼ばれる、事業所又は会社を挙げての品質管理が大きな成果を収め、世界の注目を浴びている。この活動の中での“全員参加”及び“自主管理”の考えは、検査の中では外観検査が最も取り上げやすい方法である。TQCのシステムの中で、溶接の外観検査を重視し、これを施工管理のシステムと検査システムの中で有効に機能させることを基本とすべきであると考ええる。

5.2 外観検査の有効利用

外観検査は、本来、与えられるもの、課されるものではなく、自主的なものである。書でも絵でも、作ったものは必ず自分で目視検査しているなずである。施工・加工は必ず目視による外観検査が伴うという考え方に立って、外観検査を実行すべきである。

(1) 施工と外観検査 溶接関連工程の施工の結果が、目視及び計測の対象になるので、外部からの最低要求のみを規準とするのではなく、工程の出来栄え(workmanship)を量る尺度として外観検査を利用すべきである。品質の上昇又は下降の傾向や、合格ではあっても排除が望ましい欠陥を、比較的たやすく指摘できる。

(2) 目視試験と寸法計測試験 余盛の形状、アンダカット、変形などは、目視と計測を併用して検査するのが普通である。教育と経験によって、目視でかなりの判断ができるようになるし、また、計測の量を少なくして実質的に有効な外観検査を行うこともできる。

5.3 目視試験の欠陥検出能力

外観検査は、適切な人が適時に行えば、溶接部の有害な欠陥の大部分を防止できる。しかし、外観検査で内部欠陥が直接調べられるわけではなく、管理された工程と、検査を行う人の技術と経験に裏付けられた、洞察力を含む能力に負うところが大きい。表面欠陥についても、微小な欠陥の検出には、当然、限界がある。

(1) 眼の能力 平均的な観察条件での正常な眼は、直径約0.25 mmの円盤及び幅約0.025 mmの線を見ることができると言われる。この値は、

対象を照明する光の波長(色)と強さ、視野の色及び質感(texture)などの影響を受ける。コントラストは、かなりの重要性を持つ¹⁾。

(2) 表面欠陥の検出 高張力鋼熱影響部の微小割れが、目視で見付からず、磁粉探傷で検出されるように、磁粉や浸透液の助けを借りないと、微小な欠陥は目視検査で検出できない。しかし、厚さが大きくない軟鋼のすみ肉継手など微小割れが発生しないような母材と溶接施工条件の組合せでは、表面欠陥の検査は目視で一般に満足できる。

(3) 欠陥の隠ぺい さび、スケールなどが表面欠陥を覆い隠すことがあり、また、アンダカットの底の割れも検出し難い。ピットやクレータ収縮孔に付随する割れを見落とすことがある。

5.4 外観検査の方法の仕様

計測を含む外観検査については、判定基準のみが示されて、試験ないし検査の手段が明確でないことが多い。全線の目視検査では、チェックのための計測が不明確であり、寸法計測では、測定の方法と機器が明らかでない例が多い。角変形を例に取れば、直線状の折れは別として、曲がりが入っていると、計測スパンや機器によって異なる値(第2部図1の ω , λ , β)が示される。

仕様等に表示される数値も、必須の要求か、努力目標か又は多少は逸脱してもよいのかがはっきりせず、見積りの段階と施工・検査の段階で当時者同士の解釈が食い違うこともある。規制又は注文者側は、品質要求の目的と根拠を明らかにし、一方、施工者側は、この要求に合うような施工方法と併せて試験方法及び適用を定め、注文者の了承を取るべきである。

寸法測定では、必然的に抜取検査が導入されるが、その手順を規格や一般仕様で定めることは無理かつ有害であり、施工者側の提案に基づき、注文者と協議するのが適切であろう。施工者側は、この問題を十分検討、理解すべきであり、業界としてのガイドラインを自主的に作ることも望ましいことと考えられる。

5.5 外観検査と教育

外観検査は、自主検査を含めて極めて多数の人々によって行われるため、検査を正しく行うための教育は特に重要である。他の非破壊試験方法の適用を含めて検査全体を計画する機能、外観検査によって溶接部を評価する機能、要領書や指導書に従って分担する試験業務を正しく実施する機能な

どが、検査システムの中の役割に応じて要求され、各人はその責任を果たす必要がある。

本来は、外観検査に関する資格があってしかるべきで、3.3(3)でこの点に触れたが、溶接施工の多様さと、溶接施工をよく知らないと有効な検査ができないことから、能力を一律な基準で評価するのは難しい。個人の能力とともに、システムの機能も大きく物を言う。

4で述べた IIW 第 XIV 委員会で作成中の welding inspector 資格に関する ISO 国際規格原案資料でも、レベル3、インスペクタにはレベル1及び2インスペクタの監督や品質プログラムに従うことが任務として規定されている。

外観検査で教育が重要なことは古くから指摘されているが、押しつけの教育ではなく、日常の管理と指導、検査実施上の問題点の吸い上げ、オペレータの迷いに対する指導解釈などが行き届いていることが望ましい。人の眼と頭脳による外観検査は、教育と血の通った人間関係によって信頼度が高められるもので、溶接施工管理システムと溶接技術者の役割が特に期待される。

5.6 統計学的検討

検査量の大きい外観検査では、意識しなくても統計学的感覚が入ってくる。統計学的な根拠によって採取方法と判定基準を定めている例もある。

近年は、合目的基準 (fitness-for-purpose criteria) に関して、破壊力学と NDE の結果の統計的解析を結び付ける議論が行われている。しかし、統計に余りこだわると検査を不必要に複雑にする。余裕を持って合格している継手の開先検査で、統計を取るためにルート間隔や目違いの量を精密に測定し、記録するのは、場合にもよるが過剰検査であろう。

外観検査への統計学的検討の導入は必要であり、筆者も JWN (溶接部の品質評価) 委員会などで試案を出したこともあるが、この問題を取り上げると、肝心の外観検査の技術的な面が薄れるおそれがあるので、本稿では省略させていただく。

参 考 文 献

- 1) BS 5289-1976 Code of Practice Visual Inspection of Fusion Welded Joint
- 2) Welding Inspection, AWS, 1980
- 3) DIN 8563 "Sicherung der Güte von Schweißarbeiten", Teil 3 Anforderungen, Bewertungsgruppen
- 4) ISO/DIS 5817 welded joints in steel materials-Geometrical imperfections-Acceptance levels (1986-12-30)
- 5) Welding handbook Vol.5 7th edition, AWS, 1984

溶接に関する国際行事の御案内 (1988)

会 議 名	日 時	開 催 地	会議用語	主 催 (連 絡 先)
16' Biennale Macchina Utensile (16' Biennial Machine Tool Exhibition-BIMU) Welding machines and robots	OCTOBER	Milano ITALY	—	CEU-Viale F. Testi, 178 20092 Cinisello Balsamo- (MI) ITALY
Congres de l'Association Francaise des ingenieurs en appareils a pression	OCTOBER	Paris FRANCE	French	A.F.I.A.P. -10 Avenue Hoche 75008 Paris-FRANCE
The Australian Welding Institute Bi-Centenary Conference and IIW Regional Congress & International Conference on "Welding in Developing world" "Fitness for purpose" "Welding Fundamentals and Developments"	12-18/NOV.	Hobart (Tasmania) AUSTRA- LIA	English French	Int. Institute of Welding (IIW) General Secretary, 54 Princess Gate-Exhibition Road, London SW 7 2 PL-UK
Asian-Pacific Congress				

(44頁へつづく)