パイプラインの非破壊検査*

石井 勇 五 郎**

Non-destructive Inspection of Pipe Line*

by Yugoro Ishii**

1. ま え が き

最近の輸送状況逼迫により、気体および液体の輸送を車輛に頼ることは交通混雑ならびに事故発生に伴う危険性の上から回避しなければならず、さらに今後のエネルギー輸送から考えても急速に増大して行く気体、液体燃料の輸送問題を解決するための一つの方法としてパイプラインによる輸送が取上げられて来ている。

しかし一方日本の人家密度の高い土地柄、民家の近傍をパイプラインが通過することは常に危険物が自分の家の側にあるという感情により、パイプライン建設に苦情を呈しているのも事実である。これに反し燃料タンクをつんだ自動車が自分の家の近くを通ることに対しては自然の慣れ、または通過が瞬間的なこともあり、それに対して特に危険感を感じていないかにもえる。しかし純粋な科学的根拠に立てば、陸上輸送より、地中のパイプライン輸送ははるかに安全でだろうと考えられる。

以上のことから今後パイプラインの建設は盛になるであらうし、またこれによって陸上輸送による公害も、混雑もなくし、人類の生活も豊に出来るであらうと考えられる。

今回国鉄において八王子経由横浜大宮間に敷設するパイプラインに関し、その溶接部に対する非破壊検査基準を日本非破壊検査協会が国鉄より委託を受けて作成したのでこの基準を中心にパイプラインの非破壊試験のあり方について述べてみたいと思う。

2. パイプラインに対する非破壊試験の考え方

パイプラインは数十気圧の圧力を加えられて流体が流れるものであり、破損すれば重大な危険をおよぼすので、破損が起るような欠陥はどうしても検出しなければならない。しかしパイプラインにはどのような条件においてどのような荷重がかかるかと言うことが問題にな

る。圧力はほとんど静圧に等しいと考えてよいであらう。そのパイプラインの耐用年数においてかかる変動を考慮しても低サイクル疲労として考えなければならない範囲には入らないと考えられる。しかし流体による圧力以外の荷重は地上交通による震動荷重、地震による荷重、熱サイクルによる荷重、などで正確に把握しがたい荷重である。このうちで最も考慮に入れなければならないのは地震による荷重で、断層などによる異常応力であらう。しかし一方パイプラインは地中に掘られた溝に砂をつめてその中である程度土の変動に対して自由度が許されるようにされており、またパイプライン自体に彎曲をもち局部的異常荷重のかかるのを避けられ得るように設計されている。しかもパイプラインの母材は伸が15%以上の鋼材を使用しており断層による剪断応力に対しても地盤の応力が直接パイプにかからないような工夫もなされている。

パイプラインが地中にある限り、他の原因から来る応力の影響は非常に小さいことが知られておるために、このような条件に対しては静的設計方式をとってよいと考え、したがって小さな溶接欠陥は強度に対する影響は小さいと考えた立場に立って非破壊試験およびそれによる判定を考えている。そのためこのようなパイプラインは放射線透過試験のみを行うことを原則とし、もしこれが行なえない時は他の方法を適応することにした。極端に言えば最良と考えられる放射線透過試験によっても検出できないような小さな割れがあっても、そこからき裂が成長することはないと考えている。

しかしパイプが地上に出ておれば熱サイクルもかかり、風圧による荷重もかかる。また他物体の衝突もおこりかねない。このような事情にあるものに対しては疲労荷重がかかるものと考えて、放射線透過試験によって検出できない割れなども可能な限り発見しなければならない。表面に存在する微少な割れも見逃さず、余盛形状も良好にしアンダーカットも削除しなければならないと言う考え方に立っている。

以上の二つの事情から静的荷重に対してはA基準、疲労または不安定破壊がかかるようなものに対してはB基

* 原稿受付 昭和48年1月8日

** 正 員 東京工業大学 Member, Tokyo Institute of Technology,

準と言う考え方に立て非破壊検査基準を作ったが、この考え方が日本としても受け入れられることになるようである。

3. パイプライン溶接部の非破壊検査基準例 [NDIS-0401-71]

3.1 適用範囲

本基準は石油等パイプラインの現場突合せ継手の片面溶接部の非破壊検査に適用する。なお対象とする鋼管は規格の最小引張強さが 55 kg/mm^2 以下のものとする。

3.2 検査基準

パイプラインの敷設環境等に応じ、適用する検査基準を次の二つに分ける。

3.2.1 A 基準

導管の一般に適用するものであり、この場合には溶接部は放射線透過試験により全数検査することを原則とする、もしこの方法が適用できない場合、または特殊な事情の場合、超音波探傷試験および磁粉探傷試験を適用する。磁粉探傷試験が適用できない場合は浸透探傷試験に代えてもよい、ただし肉厚 12 mm 下の場合、超音波探傷試験については、状況により省略することができる。

3.2.2 B 基準

導管の特別な箇所に適用するものであり、この場合には、溶接部は放射線透過試験ならびに外面からの超音波探傷試験および磁粉探傷試験による全数検査を行なう。磁粉探傷試験が適用できない場合は浸透探傷試験に代えてもよい、ただし肉厚 12 mm 以下の場合、超音波探傷試験については、状況により省略することができる。

3.3 非破壊試験方法

3.3.1 放射線透過試験

溶接部の放射線透過試験は次の要領による。ただし要領に規定されていないものは原則として JIS Z3104-1968「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類」による。

(1) 試験方法

(i) 撮影方法

撮影方法は管内に線源を配置する 1 重壁単影像法を採用することを原則とする。ただし構造上この撮影法によることができない場合等は管外に線源をおく 1 重壁または 2 重壁単影像法によることができる。

(ii) 撮影配置

a) 内部に線源をおいて撮影する場合は透過度計および階調計は 90° 毎にフィルム側におくものとする。

b) 透過度計をフィルム側におく場合は、あらかじめ同一直径、同一材厚の試験片を用いて透過度計を線源側においた場合との比較実験をおこない、透過度計をフィ

ルム側においた場合の透過度計識別度を決定する。事後の透過写真を撮影する場合にはそれと同等の透過度計識別度を適用するものとする。

(iii) 放射線束の方向

管内に線源を置く 1 重壁単影像法によるときは、放射線束の中心線が管軸およびフィルム面に垂直になるようにする。ただし放射線束の中心線がパイプの中心軸に対し垂直でないある角度をもつ X 線装置を使用する場合はフィルム面に近い側の放射線束を使用する。

2 重壁単影像法によるときは放射線束の中心線が円周溶接部を含む平面に対してある傾斜をもつようにするのがその角度は像の解読に防げとならない範囲でなるべく小さくする。この撮影のため線装置を管軸に沿うて移動させるときには撮影のための実効焦点が小さくなる方向に移動させることが望ましい。

(2) 線源

線源としては X 線を使用することを原則とするが、肉厚 15 mm 以上は Ir-192 を用いてもよい。

3.3.2 超音波探傷試験

溶接部の超音波探傷試験は NDIS-2404-70「鋼構造溶接部の超音波斜角探傷試験方法および等級分類」によるほか次の要領による。

(1) 試験方法

(i) 探傷方法

探傷走査は特に理由のない限り、管外面の溶接両側から溶接全線について行う。また横割れの発生するおそれのあることが指摘されている溶接部に対しては溶接部の両側から溶接全線について斜平行走査（またはまたぎ走査）を行わなければならない。

(ii) 探傷条件

使用周波数は 5 MHz （または 4 MHz ）、屈折角は 70° を原則とする。

3.3.3 磁粉探傷試験および浸透探傷試験

磁粉探傷試験は NDIS 3402-71「鉄鋼材料の磁粉探傷試験」浸透探傷試験は NDIS-3041-71「浸透探傷試験」によるほか次の要領による。

(1) 磁化方法

磁化方法は交流極間法による

(2) 標準試験片

磁粉探傷試験の場合の標準試験片は NDIS-3402-71「鉄鋼材料の磁粉探傷試験」による A1-15/50 または A1-30/100 を使用する。

3.4 合否判定基準

3.4.1 A 基準による場合

A 基準による場合の合否判定基準は次による。

(1) 放射線透過試験による合否判定基準

(i) 溶接開先の溶込不足

目違の無い部分の溶込不足は1個につき20mm以下、連続した溶接長30cmにつき合計25mm以下、溶接長30cm未満の場合はその溶接長の8%以下を合格とする。

(ii) 目違いによる溶込不足

ルートの片側のエッジが露出している(あるいは結合されていない)とき、その長さ1ヶ所につき40mm以下、連続した溶接長30cmにつき70mm以下を合格とする。

(iii) 内面凹み

内面凹み部分の放射線写真濃度はこれに接する母材部分の放射線写真濃度以下を合格とする。内面凹みの長さは合否決定の要素としない。

(iv) 融合不足

母材と溶接金属との間の融合不足は1個につき20mm以下、溶接長30cmにつき合計長さ25mm以下、溶接長が20mm未満の場合にはその溶接長の8%以下を合格とする。溶接層間の融合不足は1個の長さは20mm以下、連続した溶接長30cmにつき合計長さ30mm以下を合格とする。

(v) 溶落ち

末補修の溶落ちはいかなる方向に測った寸法も6mmまたはパイプ肉厚の何れか小さい方を超えないものを合格とする。末補修の溶落ちの最大寸法の合計は連続した溶接長30cmにつき12mm以下を合格とする。

(vi) 細長いスラッグ巻込み

細長スラッグ巻込みは長さ20mm以下、巾1.5mm以下を合格とする。連続した溶接30cm長につき合計長30mm以下を合格とする。平行にならんだスラッグ巻込みはその間隔が1mmを超えていれば分離したものと考える。

(vii) 弧立したスラッグ巻込み

弧立したスラッグの最大巾は3mm以下、連続した溶接長30cmにつき合計長さが12mm以下を合格とする。ただしこの場合、最大巾3mmのもの4個まで合格とする。

(viii) ブローホールおよびこれに類する丸みを帯びる欠陥

ブローホールおよびこれに類する丸みを帯びた欠陥はJIS Z 3104の第1種の欠陥とみなし3級までを合格とする。

(ix) 虫状気孔(パイピングポロシター)

虫状気孔の放射線写真像の最大寸法は3mmまたはパイプの肉厚の25%の何れか小さい方を超えてはならない。その判定はJIS Z 3104の第2種の欠陥と同様に算

出し3級までを合格とする。

(x) 中空ビード

中空ビードとは初層溶接に生ずる細長い線状の気孔を言い、この欠陥の最大長さは10mm以下、合計長さは連続した溶接長30cmにつき50mm以下で、長さ6mmを超えるものは、健全な溶接金属で、50mm以上離れていなければならない。

(xi) 割れ

われはすべて不合格とする。

(xii) 欠陥の集積

目違いを除くいかなる欠陥の集積も連続した溶接長30cmにつき合計長50mm以下、全溶接長が30cm未満の場合は8%以下を合格とする。また欠陥の集積合計は全溶接長の8%以下を合格とする。

(xiii) アンダーカット

管外のアンダーカットはV字形をしてはならず、深さは0.5mmまたはパイプの肉厚の10%の何れか小さい方を超えてはならない。また一つあたりの長さは30mm、合計長さは溶接長の15%を超えてはならない。管内のアンダーカットは一つあたりの長さが50mm、合計長さが溶接長の15%を超えてはならない。

(xiv) 欠陥の濃度

a) フィルム上の大きさで合格する欠陥でも濃度が母材部の濃度より著しく大きい欠陥については不合格とすることができる。

b) 内部のビードの濃度が著しく小さい場合には不合格とすることができる。

(2) 超音波探傷試験による合否判定基準

(i) 欠陥の評価

欠陥の評価は表1による。欠陥の長さS, M, Lの値は母材の板厚に応じて表2に従う。欠陥と欠陥との

表1 欠陥の評価点

欠陥の指示長さ 最大エコー高さ	S以下	Sを超え M以下	Mを超え L以下	Lを超え るもの
領域Ⅱ	1点	2点	3点	4点
Ⅲ	2点	3点	4点	4点
Ⅳ	3点	4点	4点	4点

註 明らかにわれと判断される欠陥は4点とする。

表2 欠陥指示長さの区分

欠陥長さによる区分 の境界(mm)	S	M	L
母材の板厚			
12mm以上20mm以下	5	10	20
20mmを超え48mm以下	t/4	t/2	t

t: 母材の板厚、板厚の異なる突合せ溶接のときは薄い方の板厚とする。

間隔が大きい方の欠陥指示長さより小さい場合には同一欠陥群と見なし、それら欠陥指示の長さの和をもって欠陥指示長さとする。欠陥と欠陥との間隔が大きい方の欠陥指示長さよりも大きい場合にはそれぞれ独立した欠陥とみなす。

(ii) 合否の判定

合否の判定は(i)に定めた欠陥の評価点にもとづき3点までを合格とする。また3点を含む2個以上の欠陥がある場合には欠陥の最も密なる部分30cmについて評価点の和が5点以下を合格とする。

(3) 磁粉探傷試験による合否判定基準

NDIS-3402-71「鉄鋼材料の磁粉探傷試験」による欠陥等級分類に従ってつぎのように判定する。

(i) 管端開先面の合否判定

開先面に現れた独立線状欠陥模様は3種2級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で開先30cmにつき合計長さ50mm以下のものを合格とする。

(ii) 溶接部の合否判定

a) われはすべて不合格とする。

b) 独立線状欠陥模様は1種3級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で合計長さが12mm以下のものを合格とする。

c) 円形状欠陥模様が多く現われる場合は浸透探傷試験によって判定する。

(4) 浸透探傷試験による合否判定基準

NDIS-3401-71「浸透探傷試験」による欠陥等級分類に従って次のように判定する。

(i) 管端開先面の合否判定

開先面に現れる独立線状模様は3種2級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で開先30cmにつき合計長さは50mm以下のものを合格とする。

(ii) 溶接部の合否判定

a) われはすべて不合格とする。

b) 独立線状欠陥模様は1種3級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で合計長さ12mm以下のものを合格とする。

c) 独立円形状欠陥模様は3級までを合格とし、分散円形状欠陥模様は3種2級までを合格とする。

3.4.2 B基準による場合

B基準による場合の合否判定基準は次による。

(1) 外観試験による合否判定基準

(i) 余盛形状

管外で余盛と母材境界のなす角度が 150° 以上、あるいは曲率半径が3mm以上であること。但し余盛の高さは3mmをこえてはならない。

(ii) アンダーカット

管内外共アンダーカットはV字形をしてはならず、深さは0.5mmを超えてはならない。また一つあたりの長さは20mm、合計長さは溶接長の10%を超えてはならない。

(2) 放射線透過試験による合否判定基準

(i) 内部欠陥

JIS Z 3104-68による2級以上を合格とする。

(ii) 内面凹み

内面凹み部分の放射線写真濃度はこれに接する母材部分の放射線写真濃度以下の場合を合格とする。内面凹みの長さは合否決定の要素としない。

(iii) 欠陥の濃度

a) フィルム上の大きさで合格する欠陥でも濃度が母材部の濃度より著しく大きい欠陥については不合格とすることができる。

b) 内部のビードの濃度が著しく小さい場合には不合格とすることができる。

(iv) オーバラップ

管内ビードにオーバラップのような濃度の不連続な影の部分がない場合を合格とする。

(3) 超音波探傷試験による合否判定基準

表1および表2によって評価し、評価点2点以下を合格とする。また2点を含む2個以上の欠陥がある場合には欠陥の最も密なる部分30cmについて評価点の和が4点以下を合格とする。

(4) 磁粉探傷試験による合否判定基準

NDIS-3102-71「鉄鋼材料の磁粉探傷試験」による欠陥等級分類に従って次のように判定する。

(i) 管端開先に現れた独立線状欠陥模様は3種1級までを合格とし、連続欠陥模様は各級で30cmにつき合計長さ35mm以下のものを合格とする。

(ii) 溶接部の合否判定

a) われはすべて不合格とする。

b) 独立線状欠陥模様は1種2級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で合計長さ8mm以下のものを合格とする。

c) 円形状欠陥模様が多く現れた場合は浸透探傷試験によって判定する。

(5) 浸透探傷試験による合否判定基準

NDIS-3401-71「浸透探傷試験」による欠陥等級分類に従って次の様に判定する。

(i) 管端開先面の合否判定

開先面に現れた独立線状欠陥模様は3種1級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各級で開先30cmにつき合計長さ35mm以下のものを合格とする。

(ii) 溶接部の合否判定

- a) われはすべて不合格とする。
- b) 独立線欠陥模様は1種2級までを合格とし、連続線状欠陥模様は各類で合計長さ 8 mm 以下のものを合格とする。
- c) 独立円形状欠陥模様は3級までを合格とし、分散円形状欠陥模様は2類2級までを合格とする。

(5) 補修

表面仕上げなどにより、欠陥の除去をおこない、これが深さ 0.5 mm 以下であることが確認できれば合格とする。ただし表面仕上げによって厚さが母材の厚さ以下になってはならない。

合否判定の結果不合格となった個所は入念に補修し、補修前におこなった同じ方法で再試験して合格しなければならぬ。

4. パイプラインの非破壊試験において 今後考慮しなければならない問題点

以上例として挙げた基準例は NDIS-0401-71 であるが、国鉄のパイプラインに対する、非破壊検査基準はこれを多小変更して作ったものである。A基準は API の基準を少しく厳しくしたものであり、B基準は JIS に準拠したものである。

しかしこれらの基準を時間をかけて検討している間にまた新たな問題が起り、検討しなければと考えられる問題も起って来ている。それらについて二三論じてみたい。

4.1 各方法による合否判定基準の間の矛盾

同一基準において放射線透過試験による判定基準、超音波探傷試験による判定基準ならびに磁気浸透探傷試験による判定基準が強度に対して同一基準でなければならない。しかるにこれらの基準はそれぞれ独立に制定されたもので、同一基準に立って作られたものでない。したがって今後この基準を合理的なものとするには相互関係を考慮しながら見直さなければならないと考える。

4.2 独立欠陥に対する定義の明確化

各規格に独立な欠陥と連続的な欠陥との記述があるが、JIS Z 3104 では欠陥同士の間隔が欠陥の種類によってその欠陥の長さの1倍または2倍より大きいときを独立としており、NDIS 2404では欠陥の種類によらず1倍より大きいとき独立としている。また NDIS 3402 および NDIS 3401 では独立欠陥に対する明瞭な定義はなく解説に独立欠陥とは種々な動的応力もしくは熱応力が加わった場合でも相互に影響をおよぼしあわない位十分はなれて独立して存在する欠陥をいうとある。

しかし実際に判定を行うときにはこれらの各規格とも理論の通った、しかも一貫性のある定義にしないとあい

まいな判定になる。したがってこれらに対して強度の立場から検討して決定する必要がある。特に現存する諸外国の規格も独立の欠陥の間隔を板厚と結びつけて定義しているものはないが、最近の理論と実験によると板厚と関係のあることが明かにされている。これらの事情も考慮に入れた判定基準を作るべきであらう。

4.3 裏波の高さに対する考慮

国鉄のパイプライン全体に対する基準原案の中に溶接の裏波の高さは 2 mm 以内とすると言う条項が入っていた。これに対し、その高さの測定法をどうするかの問題がおこったときに、パイプ内部に人間が入れるぬため、X線写真の濃度より換算する外ないとの結論に達し、その方法を提示したが、実際の現場においてこの測定することは誤差等を考えると実用的でないとの理由から、溶接施工の規定によって、2 mm 以上の裏波ができないような方法にすることにして省いた。

しかし実際としては溶接による残留応力により円周溶接は径が縮少し易く、これに裏波の突出は油を分離するボールを傷つけ、かつ油の混入を長い距離にするだけでなく、疲労荷重や脆性破壊に対して非常に悪い悪影響を残すので出来るだけ裏波の盛上りは避けたいものである。

しかし実際の溶接においてもこの高さを恐れる余り、逆に電流を小として溶込不足をおこすことも考えられる。したがってむしろ裏波が 2~3 mm 出来る溶接法を採用して、内面研磨することが理想的と考えられる。研磨する装置は現在発売されていないが、X線装置が内部を自動的に走行するものが開発されている現在、必要性を要求すれば製作は容易であると考えられる。要はパイプラインの安全性のためにユーザーとメーカーの決心にあると考えられる。

4.4 基本となる関係基準の改定に対する要求

NDIS-0401 または国鉄のパイプライン溶接部の非破壊検査基準の基礎になった JIS-Z-3104 は制定以来6年目にならうとしており2回目の見なおしを行はなければならない時期に来ている。しかしこの規格は疲労強度を基準にして作られた判定基準を含んでいるものである。現在世間に判定基準は設計方式に対してそれぞれ異ったものを作るべきであるとの意見があり、かつ最近の欠陥と強度との研究結果を入れて改正すべきであるとの意見も出ており昭和48年早々の検討委員会が作られようとしている。したがって今後作られるべきパイプラインにはこのような検討の結果を用いて改正した判定基準を入れるべきであらう。

また他の NDIS も最近制定されたものであるが、前述したように強度との関連が明確していないもの多く、こ

これらの点も考慮入れるべきであろう。なお磁粉、浸透探傷による判定は合理的であらうが複雑すぎて混乱を生ずる傾向もあり、これらも実用的に整備を必要とするのではないかと考えられる。

4.5 市街地通過に対する考慮

パイプライン敷設に関する基準を制定する際には人家の側を通るものに対する考慮はしていない。それはすべてが安全であるように考えて設計している立前上市街地

であらうがなかりうが差がないのが当然である。しかし最近住民の意向が非常に強くなっている事情において、住民に対しより安心感を与えなければならないであらう。したがってこのためにはパイプラインの経験ない日本としては破損によりて災害のおよぶと考えられる地域には安全率を大きくするか、またはB基準を適応するとかの配慮も必要ではなからうかと考えられる。

次 号 予 告

特 別 講 演

長大トラス橋の溶接…………… 笹 戸 松 二

論 文

高温加熱による工業用純アルミの溶接凝固組織の変化…………… { 迎 藤 静 雄
加 田 光 昭
林 行 生

α 系 γ 系異材継手の溶接ボンドに関する研究(2)…………… { 井 川 博
新 中 野 成 夫
中 昭 彦

大出力炭酸ガスレーザの熱原的研究(6)…………… { 荒 田 吉 明
宮 本 勇

工業用純アルミの溶接熱影響部の再結晶挙動について…………… { 難 波 圭 三
福 井 利 安
杉 山 彦

鉄鋼溶接部における硫化物の挙動と凝固割れ(6)…………… { 仙 田 富 男
松 中 川 福 久
酒 井 博 二
中 井 昭 広

溶接継手の静的強度に関する信頼性の見地からみた溶接金…………… { 佐 藤 邦 彦
属と母材の適合性に関する一考察 豊 田 政 男

IIW & JIW

I I Wデュッセルドルフ出席報告