講 義

溶接欠陥と継手強度の関係

渡辺正紀* 蒲地一義*

Relation between Welding Defects and Mechanical
Strength for Welded Joints

By Masaki Watanabe* and Kazuyoshi Kamachi*

1. 緒 言

溶融金属液体をインゴットケースに鑄込む場合のように十分な準備を施した場合でも、気泡ができたりして欠陥の発生が起る。溶接を行う場合には、開先の形状、表面の状態あるいは電流や速度、そのほかの周囲条件からいろいろの欠陥が発生することが考えられるのであって、溶接継手中の欠陥を絶無にすることは困難である。

このようにして欠陥が、構造物とくに強度部材に存在することは、もちろん好ましくないことではあるが、やむをえず欠陥の存在を許容しなければならないときは、その欠陥が存在するための強度の減少とか、その他の影響を正しく評価する必要がある。欠陥のもつ強度的な意味を正しく把握して、構造物の使用状態における信頼性を確めておくことは大切であるが、はなはだ困難なことであるといわねばならない。実際問題として、溶接継手中に存在する欠陥の、位置、大きさ、形、あるいはその分布の状況などは全く任意であって、容易にその実態を知悉することはできない。非破壊検査の進歩によって、ようやくその検出が可能となった訳であるがなお十分であるところまでは行っていない現状であって、欠陥の検出の技術と機器の進歩改善が望まれている次第である。

一方構造物強度という点から考えると溶接構造物に加えられる外力はきわめて複雑であって、この方面についての研究の現状も、なお十分にすべての場合について究明されているとはいえないようである。まして欠陥の一人々に対する強度的解釈を十分にするには程遠いものがあるであろう。欠陥の検出と強度的評価についての研究は、このような困難の中に行われつつあるのであって、少くとも次のような考え方によって評価研究が行われているのである。

- i) 欠陥による応力集中が考えられるので次のことがらを考慮すること。

- a) 荷重の種類、たとえば静荷重であるか繰返し荷重であるか、衝撃荷重であるか、あるいはその他の荷重または複合荷重であるかどうかということ。
b) 生じた応力が引張りであるか、圧縮であるか、曲げあるいは剪断応力であるかということ。
ii) 使用されてある材料の種類とその性質を知悉すること。使用する材料が軟鋼であるか、ステンレス鋼であるかというような分類はいうまでもなく、ここにいる種類は材質という意味である。すなわち、一応の元素成分と組織、それに付随する機械的性質、化学的性質など。また材料の履歴が問題となることが多い。圧延の方向、異方性、焼鈍してあるか否かという点など。
iii) 模型を使用したり、小型の試験片で試験した場合、あるいは標準試料を作製して試験した場合などのときには、その結果をそのまま鵜のみにしてはいけなくて、寸法効果を考えること、現象の類似性、応力状態の相異などについて十分の考察を施すこと。もちろんこのような研究的試験は十分行うことが必要である。
iii) 欠陥の形状、大きさ、位置、分布状態およびその種類などをなるべく正確に知ること。これは強度的な関係からだけではなく、欠陥発生の状況、ひいてはその原因の究明につながるものであるから、ぜひ正確に行う必要がある。

このような考え方は現在まで次のように実際の研究に活かされている。

- i) 欠陥と応力状態の関係については、考察の対象としている構造物およびその使用状態を十分考察してから欠陥の評価判定にあたる。
ii) いろいろの場合を予想した多くの標準試験を行うこと、人工的に欠陥を作成した標準試験片について試験を行い、欠陥の影響を標準試験について求めること、模型による研究を行うこと、および寸法効果

* 正員、大阪大学工学部
Osaka University

Member, Faculty of Engineering,

の研究などである。

iii) 欠陥の検出には、放射線検査結果の定量化に努力がなされているほか超音波検査結果、磁気探傷検査結果などと放射線検査結果の比較が行われている。

この他に工業的に材質を検査しようとする試みがある。可能な方法について工業的応用の研究がなされている。

本講義においては今までになされてきた研究の方法と成果および現在におけるそれらの状況についてのべることにする。

2. 溶接欠陥の検出と分類

溶接欠陥は上述のように、まったく出鱈目に発生するものであって、任意に制御することは困難である。やむをえない欠陥の存在はしかたのないことであるから少くとも欠陥の位置、大きさ、分布状況などを知っておく必要がある訳であって、このためには非破壊裡に検出を行わねばならない。現在欠陥の検出を行うための非破壊検査法としては放射線による透視検査、超音波による探傷検査、それに磁気的な探傷法が一般に用いられている。また浸透法による検査なども用いられる。放射線検査は現在もっとも信頼のおける方法であるし検出感度もよい。放射線源としてはX線がもっとも普遍的でありCo⁶⁰などの放射線同位元素からえられるγ線がこれにつぐ。またさいきん厚物の検査や形状複雑な物体の検査に加速器が応用されており、ベータートロン、ファン・ド・グラーフなどが採用されつつある。

超音波探傷法は非常に鋭敏な反応を示すので探傷技術的にいろいろの難点があつて、感度の良さ、ランニングコストの安価などという特徴にもかかわらず、一般に用いられることが少かった。しかしながら最近、いわゆるAスコープ、Bスコープ、Cスコープといわれるような諸種の探傷法およびその他の方法が研究され、また探傷実績が多くなることによっていろいろな現象の統計的な解析も可能となるようになりつつあり、その利用度は飛躍的に上昇しつつある。

磁気探傷法は湿式法、乾式法に螢光磁粉を利用するものまで広く用いられており、とくにX線や超音波で検査の盲点となる表面の欠陥や表面付近の微細なわれの検査に大きい威力を発揮している。装置的にも自動式のものが高案されたりして改良がなされている。浸透検査も手軽に行える点で広く利用されているようである。

いずれにせよ重要な部分については溶接部でなくとも非破壊的に検査を行うことが大切であるが、溶接部は必ずこれらの検査を行うことによって、欠陥の有無、欠陥の位置、形ち、大きさ、分布の状態および種類などを知悉しておく必要がある。いかなる場合にどの検査方法を採用すればよいかというような点については、個々の状

第1表 欠陥とその分類

種 類	意 味	記号
[A] gas bubbles a) Porosity b) Piping	気 泡 気泡 (まるい気泡) パイプ (長い気泡)	A A _a A _b
[B] Slag inclusion a) of any shape and in any direction b) Slag line c) Weaving faults d) Faults from bad chipping e) Faults at electrode change f) Faults at Junction of Seams	スラグ介在 非方向性・形状雑多のスラグ 直線状スラグの存在 ウィンピングの方法が悪くて残ったスラグ チップング不良で残ったスラグ 溶接棒取かえ部に残ったスラグ 溶接線交叉部に残ったスラグ	B B _a B _b B _c B _d B _e B _f
[C] Lack of fusion	融合不足、溶着金属と母材およびビード間の融合不足	C
[D] Incomplete Penetration	融け込み不足、底のわかし方の不足	D
[E] Cracks (a) Longitudinal cracks (b) Transverse cracks	わ れ 縦割れ、溶接線方向のわれ 横割れ、" に垂直な方向のわれ	E
[F] Under cutting	アンダーカット	F
形も大きさも、確実にわかるX線法によって考えてみると、これらの欠陥は特殊のものを除いては、X線で検出される。そして検出された欠陥にたいして次のような考え方をしている。		
1. Very good 2. good 3. Usable 4. Admissible after Consultation 5. Unadmissible	無欠陥又はこれと大差ないもの 欠陥は多少存在するが、重大な影響はないと考えてよいと考えられるもの。 はなはだしい強度低下を起さぬと考えられるもの。 手直し、再溶接をすべきであるけれども、完全になるかどうかわからず、かえって悪くなるような懸念のある場合、使用者と話し合いをする。 不合格	

況に応じて適当に決めねばならないであろう。

一般に溶接部に多い欠陥は気泡、溶込み不足、融合不良、割れ介在物の存在などが多く、アンダーカットやオーバーラップなどもしばしば見聞するものである。欠陥の形状などに関してもっともわかりやすいX線によって検出された欠陥を I.I.W. では次のように分類している。わが国でもこの分類にしたがっているのであって、第1表にその分類と解釈をかかげる。

3. 欠陥と強度の関係についての

試験とその結果

前節にのべたように、いろいろの欠陥が溶接継手中に発生している訳であって、これが構造物の強度にどのような影響をもたらすかということがもっとも大切なことである。ところが構造物が実際に使用中に受ける荷重は、きわめて複雑であって、容易にそのあらゆる場合についての想定を行うことはできない。したがってまずもっとも荷重状態の基本と考えられるところの引張り荷重、曲げ荷重、衝撃荷重ならびに疲労などに対する欠陥の影響を考えて、これらの基本的なデータから実際の場合についての類推を行わねばならない訳である。構造物材料としては軟鋼を主体として採用したこれらの実験研究についてのべることにする。このほかにアルミニウムについても若干実験が行われている。また実験の方法としては先にのべたように人工的な欠陥による試験方法と自然欠陥によるものを対比研究している。

3.1 静引張り強度と人工的欠陥を含む溶接継手

欠陥のどういう状態が強度にどのように影響するかということを見るためには、その欠陥の大きさ分布の状況など、諸種の条件的に類似した欠陥を含む多くの試験片を作成せねばならない。ところが欠陥の発生はまったく任意であり偶発的なものであるのでこのように同種欠陥を同様に含む試験片を多く集めることは困難である。

このような困難を克服するための手段として人為的に欠陥を作成した試験片を多く作成して試験を行うことと、判定の基準にしたがって分類された試験片について試験を行い、判定基準に対する曲線を描くことの二つが考えられている。このような考えかたから多くの試験研究が行われたが、その結果はまったく成功しているのであって予期した成果が得られている。

a) 人工欠陥の作成

人為的に第1表の分類のような欠陥を作成するために、いろいろな方法が研究され、あるいは湿った溶接棒で溶接したり、酸化鉄や砂を開先に撒いて溶接したりすることによって気泡を出そうと努力されたのである。そのほかの欠陥も同様に作成についての努力がなされたけれども、欠陥の発生はうまく行っても分布や形状に対する制御がなお困難であった。結局次のような方法でこれらの目的が達せられた。

i) 気泡 多層盛溶接継手として、始めの2～3層目でいったん溶接作業を中断してから、適当な大きさの孔を任意の密度にドリルを明け、その作業の後に溶接をふたたび行う。このようにして任意の大きさの気泡を任意の分布状態で再現することを得た。

ii) スラグインクルージョン 適正条件で1～2層の溶接を行い、あと弱電流でビードを置く。その後にはふたび適正条件で溶接を行えばスラグインクルージョンが再現できる。

iii) 融合不足 溶接部のルートギャップを規定外に広く、または肩をたかくとって溶接を行えば、融合不足が当然起る。このほか、1層目溶着部にノコで溝を入れて溶接すれば巾、高さなどの制御ができる。

ii) 亀裂 亀裂の人為的作成はあまり容易ではなかったが、1層溶接した後に曲げ荷重をかけて亀裂を発生せしめる。これを逆曲げ荷重によって旧の形状に復してから残余の層の溶接を行う。このようにすれば微小亀裂のある試験片が作成可能である。

b) 機械試験

このようにして第1図に示すような各種の試験片を截り出して静的引張り試験を行った。その結果は第2表に示すようである。

試験は各種人工欠陥を含み、しかも側方切欠きを有す

第1図 試験片

るもの (Fig. 1 の (a) 試験片). 人工欠陥を含み、切欠きを有しないもの (Fig. 1 (b)) および欠陥の存在する断面からやや (2 mm) 離れた位置断面側方に切欠きを有するもの、の3種類について行ったのである。このような人工欠陥をもった試験片の静引張り試験結果から次のような結論が得られる。すなわち、気泡は6級に相当する (J.I.S. 現行規格) のものでありながら強度に大きい影響はおよぼさない。スラグインクルージョン欠陥は、中の広いバラツキを示すが、平均して引張り強さの値は大きい低下を示さない。融合不足になると10～15%の強度の減少が認められ、伸び率も半分以下に減ずる。亀裂の存在も同様に伸び率の激減が認められるのであって、脆性破壊に対してはきわめて感受性が大きくなることを意味するものである。このような考え方によると、融合

第 2 表 静的引張試験結果

	欠陥の種類	No.	切 欠 き な し		切 欠 き		切 欠 き (2mm)		Note
			T. S. (kg/mm ²)	E (%)	T. S. (kg/mm ²)	E (%)	T. S. (kg/mm ²)	E (%)	
17 mm 厚 板	無欠陥 (N)	1	46.4	24.5 (W)	49.0	18.0 (W)	48.7	19.0 (W)	
		2	46.5	— (〃)	50.0	— (〃)	49.5	— (〃)	
	気 泡 (B)	1	47.9	— (〃)	50.1	— (〃)	50.8	— (〃)	
		2	27.0	— (〃)	50.1	— (〃)	51.6	— (〃)	
	スラグ (No. 1)	1	46.3	— (〃)	48.5	— (〃)	46.0	— (〃)	
		2	46.1	— (〃)	50.7	— (〃)	49.1	— (〃)	
	スラグ (No. 2)	1	44.1	— (〃)	47.9	— (〃)	49.5	— (〃)	
		2	45.9	— (〃)	47.3	— (〃)	47.3	— (〃)	
	融込み不足 (P)	1	40.4	12.0 (〃)	44.5	13.0 (〃)	41.3	12.0 (〃)	
		2	41.6	13.0 (〃)	44.7	15.0 (〃)	41.7	14.0 (〃)	
34 mm 厚 板	無欠陥 (N)	1	47.3	23 (M)					
		2	48.1	24 (〃)					
		3	48.2	23 (〃)					
	割 れ (中 割 れ)	1	46.9	10 (W)					
		2	45.2	10 (〃)					
		3	47.2	10 (〃)					
	割 れ (ミクロ割れ)	1	46.6	25 (M)					
		2	46.9	24 (〃)					
		3	46.7	11 (W)					

不足は亀裂と同様に考えられる最悪の欠陥であることがわかる。このような傾向は余盛りを残した試験片または裏当てを使用した溶接継手についても同様であることが実験によって確認された。

気泡については、J.I.S. 級で6級不合格の範囲に入るような状態でもなお強度の減弱がわずかであるので、この辺のことを詳しく調べる意味と、この後にのべる自然発生欠陥を含む試験片について行った試験の結果の解釈のため、との2つの目的でさらに試験を追加実施した。すなわち第2図に示すような、分布状態の異なる気泡欠陥を人為的に作成して、これから切り出した試験片について試験を行った訳である。その結果は第3図(a)(b)のようであって、上に得たような傾向は正しいことが明らかとなった。すなわち気泡欠陥のみであれば J.I.S 級で6級相当の場合でもあまり大きい強度の減弱がないと結論されたのである。同様の実験は R.B. Mc Cauley たちによっても行われており、やはり気泡の存在するため、総計10%におよぶ断面積の減少がある場合までは、気泡は強度的に大きい影響をおよぼさないと報告している。

3.2 自然発生欠陥を含む溶接継手の引張り強さ

A 項では人為的に作成した欠陥を含む多くの試験片を作成して試験を行ったのであるが、この結果をそのまま信用することにはなお不安がある。やはり自然に発生した溶接欠陥を含む場合の試験

第2図 (a) JIS 放射線透過検査判定等級と欠陥分布

第2図 (b) JIS 放射線透過検査判定等級と欠陥分布

も行って見て比較する必要がある。自然発生欠陥の場合は、さきのべたように厳密には1つ1つ欠陥の状況は異なっているので、欠陥の大きさや形についての指定はできないし、またそうしては一般の場合にあてはめて考えることが困難となる。そこで J.I.S. の判定規準にした

第3図 (a) JIS X線判定等級と静的引張強度の関係

第3図 (b) JIS X線判定等級と静的引張強度の関係

がって分類して、各級ごとに試験結果をプロットした、第4図 (a) (b) にしめすのはその結果である。(a) は 10mm の板厚の衝合わせ溶接継手のX線透過写真をとって、各級に判定分類したのから試験片を切り出して試験した結果である。バラツキは大きい引張り強度と伸びが欠陥によって変化するありさまをうかがうことができる。(b)はさらに数多くの試験片について同様の方法によって試験した結果である。試験片の板厚は 17mm と 25mm の2種類について行ったものであり、水平位置での溶接と縦位置での溶接についてX線検査を行い、各級に判定分類された部分から試験片を切りだして試験した結果である。さきの人工欠陥を含む試験片についての試験結果とよく一致した傾向を示すことが認められる。とくに自然発生欠陥では、1級から3級までに分

第4図 (a) 引張強さ、伸びと等級との関係

第4図 (b)

類される欠陥は気泡がその主たるものであり、4級ないし5級ではスラグインクルージョンが多く融合不足、亀裂などは6級に判定される。であるから強度の減弱が4級ぐらいから著しくなることは気泡による強度の減弱がすくないこととあいて、さきの実験結果を裏付けるものであることがわかる。また他になされているいろいろの実験結果の報告などもこのような傾向を裏づけている¹⁾。

3.3 人工欠陥を含む場合の衝撃試験

衝撃試験結果におよぼす欠陥の存在する影響は、とくに欠陥のもつ切欠き作用という点でたいせつである。もっとも広く用いられているシャルピー試験についての研究が行われているのであって、前項にのべた引張り試験片の場合と同様な方法で、各種の欠陥を人為的に作成した多くの試験片（シャルピー標準試験片）を各温度で試

第 5 圖 (a)

第 5 圖 (b)

第 5 図 (c)

験した。その結果は第 5 図に示すようである。

第 5 図 (a) (b) はブローホールが 1 ~ 3 コある場合、その位置が切欠き直下にあるときと切欠きから離れた位置にあるとき、および切欠きの存在する断面位置よりズレた位置にあるときの 4 つの異なった場合の比較を示している。

第 5 図 (c) は融合不足の場合とスラグインクルージョンの場合の衝撃試験結果である。どの図においても N と記してあるのは無欠陥材であってそれぞれの比較とするためである。

この図より明らかにされたことは、やはり融込み不足が存在する場合は論なく悪い結果となっていること、スラグインクルージョンの欠陥は大きさの程度によってバラツキが大きいのが概して悪い結果であること、それに気泡の存在はむしろ吸収エネルギーの値が高くなっていることなどである。気泡が存在するために吸収エネルギー値が高く出るとは一見奇異の感に打たれるものであるが、吸収エネルギー値の若干高いということは機械的性質がよいこととは必ずしも対応しない。たとえば、気泡が存在すれば亀裂の進行がそこで阻げられ、また亀裂が出発するため、エネルギーとしては大きく出るとも考えられ、あるいは切欠きの干渉の影響ということも考えられるからである。McCauley たちは気泡の大きさの総計を求めて断面積の減少についての比較をして、約 10% の断面積減少までは大きな影響はないと報告している。第 6 図 (c) にその結果を示す。気泡のみで 10% の断面積減

少といえ J.I.S. 6 級に相当する。

人工欠陥を有する試験片の結果を自然欠陥と比較するため、自然欠陥を含む試験片についても同様に多くの試験片を採取して試験を行い、第 6 図 (a) (b) に示すような結果を得た。大型試験も行ったが同様な結果であった。

3.4 曲げ試験

基本的機械試験の手法として曲げ試験を行った。欠陥の影響はシャルピー型の試験片によって自由曲げ試験を行い、亀裂発生までのエネルギー E_I と亀裂進行のためのエネルギー E_P を求めた。シャルピー試験片を用いたのはさきの衝撃試験による実験結果の解析に便利のため

第 6 図 (a) V ノッチ衝撃試験と等級との関係

第 6 図 (b)

断面減少率 (%)
 潜弧溶接による場合の気泡が衝撃吸収
 エネルギーに及ぼす影響

第 6 図 (c)

である。すなわち、気泡の存在する場合の吸収エネルギー値が高い値を示す事実がどのような理由によるものであるかということを考察するためである。この試験の結果、気泡欠陥が存在する場合は多少の気泡の数の増減によっては吸収エネルギーの値はほとんど変わらない。しかし、スラグインクルージョンとか融込み不足の欠陥につ

いては欠陥の大きさによって E_I は減少した。 E_P は ductile region では小さいものであったが（低温になって）脆性領域に入ると大きかった。

この結果からさきにしめたような結論、すなわち、無欠陥材ではいったん発生したクラックはそのまま進展するが、欠陥があればそこで亀裂はいったんその進展を阻止され、つぎに新しい亀裂が発生するので E_I の分だけのエネルギーが高くなるものであることが判明した。ちなみに E_I は E_P に比して小さいものである。

このほか曲げ試験としては、やはり人工欠陥を含む断面矩形的試験片についても行われたのであって、その結果を第 3 表に示す。

断面の中心にある気泡は曲げ強度にあまり影響しないようであるが、表面近くの気泡は曲げ角度を大きく許さなくなる。他の欠陥も圧縮側にある場合にはそれほど大きい強度の減弱を生ぜしめない。これは当然のことであるが、実際問題として、溶接欠陥は圧縮側にないのが普通である。したがって出鱈目に分布している欠陥の場合、圧縮側と引張り側と両方にくる場合の数は同様であるからそのような場合の試験が当然必要である。それでやはり自然発生欠陥について試験片をとり、曲げ試験を行った。その結果が第 7 図 (a) (b) である。

この結果を見れば明らかのように、引張り試験の場合と同様、欠陥が 4 級と判定される程度より低くなると、やはり強度的には問題となってくる。4～6 級の欠陥は主としてスラグインクルージョン、融込み不足、亀裂などである。

第 3 表

欠陥の型式	サイ ズ	曲 げ 角	試験片数	欠 陥 の 条 件
母 材	15×15×250		4	曲げ角 170° で初められ割れなし
無 欠 陥	"	145	1	
		147	2	
		150	2	
		150	1	
気 泡	"	146	1	中心部に 1 cm 間隔で 1 mm 径の孔 5 個
		132	1	同上
		121	1	中心部に 1 cm 間隔で 1 mm 径の気泡 5 個および表面からの深さ 1.5 mm で 1.5 mm 径の気泡 2 個
		120	1	1 cm 間隔表面からの深さ 1.5 mm で 1.5 mm 径の孔 5 個
		120	1	中心部に 1 cm 間隔で 1 mm 径の気泡 5 個および 1 cm 間隔、表面からの深さ 1.5 mm で 1.5 mm 径の気泡 5 個
融込み不足	"	140	1	圧縮側に欠陥
		135	1	同上

曲率 20 mm

第 7 図 (a) 曲げ試験と等級との関係

第 7 図 (b)

3.5 疲労試験

構造物などに疲労は必ず考慮しなければならない重要な問題である。欠陥が存在するための疲労強度の受ける影響は、次の方法によって試験された。

a. 人工欠陥を有するシエンク型曲げ疲労試験

b. 自然欠陥を有する引張り疲労試験

第 8 図は人工欠陥を有するシエンク型曲げ疲労試験片に作成された欠陥の状況を示すものである。第 9 図 (a) (b) (c) はそれぞれについての疲労試験の結果である。スラグインクルージョンと融込み不足の欠陥は、やはり気泡に比して大きい悪影響をおよぼしていることが判明する (第 9 図 (c) 参照)。しかし疲労に対しては気泡と

第 8 図 シエンク型疲労試験片に作成した人工欠陥

いどもそのおよぼす影響は他の試験結果に比して大きいといわねばならない。このことは第 9 図の (a) (b) の比較において明らかである。大型引張り疲労の試験は自然欠陥を含む試験をしたために J.I.S. の判定級に対して分類、プロットされたが、バラツキが大きく、判定級の低下に対する強度の減弱もはなはだしいものがあった。

4. 欠陥が強度におよぼす影響

前章でいろいろの試験を行った結果についてのべたが、ここでその結論する所をまとめて見るとつぎのようである。

まず引張り試験の結果から結論されることは、静引張り試験において引張の強さは J.I.S. 判定級で 1 級から 3 級までの間では大きい減弱はしめさない。しかし J.I.S. 級で 6 級と判定されるものは 20~30% の強度の減弱がある。

第 9 図 (a) 人工欠陥を有する疲労試験片についての試験結果

第 9 図 (b)

第 9 図 (c)

この間の状況を第10図(a)(b)に示す。

第10図(a)は J.I.S. 級に対する強度をプロットしたものであり、同図(b)は欠陥度に対してプロットしたものである。まず引張り強度の減弱は欠陥とともにいかなるようになるということが出来る。引張り衝撃試験の結果もまったくこれと同様の傾向を示した。第11図は引張り衝撃試験による欠陥の影響を示すものである。また余盛りのついたままで行った試験も同様であった。引張り疲労試験については欠陥度の増大とともに相当大きい強度の減弱が認められる。

(a)

(b)

第10図 引張り強さと欠陥との関係

第12図(a)(b)にこの様子を示す。J.I.S. 判定級で6級に相当したものは30~40%に強度が低下した。10%の欠陥においても50%低下に強度の減弱が起っていることが認められる。

曲げ試験については、個々の欠陥についていえば圧縮側に存在する場合にはその影響は小さいものであるが、引張り側にあるときは相当の影響をおよぼす。一般の場合、任意の位置に欠陥があるとき、統計的に考えると J.I.S. 3 級までに判定されるような場合、欠陥の強度減弱におよぼす影響は小さいが 4 級以下で急激に強度的減弱

がはなはだしくなる。欠陥が 1~3 級に判定されるものは気泡がその主たるものであり形状雑多な小さいスラグが含まれるのであって、上にのべたことから考えると、気泡またはこのように小さい欠陥による強度の変化はそう大きいものではないということが出来る。スラグインクルージョンの欠陥ではバラツキがはなはだしく、このような欠陥の存在はきわめて使用上不適当であると考えねばならない。

融込み不足の欠陥は亀裂とまったく同様に考えてさしつかえなく、まったく使用に耐えないものであると考えてよい。疲労に対しては気泡といえどもその影響する所はじんだいであるから、はなはだしい疲労を受ける部分の溶接部には細心の注意を払って欠陥がないようにしなければならない。

次に J.I.S. 級で 1~6 級と判定された欠陥の写真を掲げて読者諸子の参考に供する。図中 F,V はそれぞれ水平位置と縦位置で溶接した場合の記号である。また、17, 25 は 17 mm および 25 mm の軟鋼板であるということをしめす。

5. 結 論

以上で軟鋼の溶接部における溶接欠陥と継手強度について研究した所、考察した所をのべたのであって、現場技術者、設計者などの参考に供せられれば幸甚である。

溶接の準備を十分に行って溶接後欠陥が発生しないように努力しなければならないことはもちろんであるが、欠陥についての研究も今後もいっそう深く行い、構造物信頼度を高めることが大切である。

第11図 衝撃試験における比吸収エネルギーとの関係

(a)

(b)

第12図 引張疲労試験と欠陥との関係

17 F1

25 F1

17 V1

25 V1

JIS 1 級

17 F4

25 F4

17 V4

25 V4

JIS 4 級

17 F2

25 F2

17 V2

25 V2

JIS 2 級

17 F5

25 F5

17 V5

JIS 5 級

17 F3

17 V3

25 V3

JIS 3 級

17 F6

25 F6

17 V6

25 V6

JIS 6 級