A Study on the Relationship between Weld Strength and Evaluation Standards of Weld Defects

in Non-destructive Testing

Abstracts

It is of great significance for evaluation of the quality of weld joints to know the influence of weld defects upon the weld strength. Under the present situation lacking any reliably scientific authority, critical judgement to pass or reject a given weld joint in the non-destructive test is made on the basis of temporarily adopted standards.

The present Research Committee has devoted its efforts to attainment of authoritative standards for evaluating the results of non-destructive testing, based on sufficiently scientific grounds, by clarifying the relationship between the weld strength of a joint and the non-destructive test results of that joint.

1) Relative capacities of different types of non-destructive inspection to detect weld defects.

2) Relation between defects and the strengths, static and impact, of welded structures.

To know the relation between defects and strengths, experiments should be made on weld specimens containing different forms of defect in different measures. As a preliminary step to this study, methods were developed to artificially create any defects as desired without causing qualitative change of material as far as possible. They include variation of welding current, spraying of gases during welding; with impurities scattered on the work to be welded; boring with a drill or grooving with a saw of the first or the second layer of bead and then welding over the area.

Preparatory test results with specimens containing such artificial flaws have been published in a report.

3) Relation between defects and fatigue strength of welded structures.

Calibration of fatigue testing machines and stress control while testing are essential for accurately conducting a fatigue test. To this end, an IIW International Standard calibrating equipment for the fatigue testing machines has been constructed; it proved satisfactory in its performance.

The results of fatigue tests tend to be statistically scattered. The committee has carried out a statistical study of fatigue strengths of a mild steel plate which constitutes the mother metal of the welds to know the pattern of such scatter. An enormous number of weld joints were fabricated and X-ray inspected; out of them, 160 fatigue testpieces representing typical kinds and distributions of defects were selected. The tests on these speciments are now under way and the results are not yet available.

4) Investigation of relationship between weld defects of actual ships and mishaps.

Preceding this investigation, the weld joints in the hulls of newly-built ships were radiographed in many shipyards, revealing as a result the extent of welding defectiveness. On the other hand, foreign ships were subjected to X-ray test at the time of their docking for repair in order to have information on the extent of defectiveness of welding in them. The results of investigation are going to be published.

5) Formulation of interpretation standards.

With reference to formulation of the Inspection Procedure of Welds, the Committee has reached a definite conclusion on the technique to be adopted through the study described under 1). But as the relation with strength has not yet been clarified, judgement standards by which to pass or reject cannot be established. Therefore the report on this subject will be reserved for the next opportunity. 熔接欠陥の非破壊検査による判定基準と熔接強度との 関連性に関する研究(第1報)

緒言

近代工業に於て鉄鋼構造物はその重要部分を占有している割合が非常に多い。特に船舶の大部分は 鉄鋼構造物である。その造船技術に今日の隆盛を来した原因は一に熔接技術の発達によるものといつ ても過言でない。このような造船技術の発展を招いた熔接も,欠陥を全然含まない場合の強度に関し ては数多くの研究がなされており,設計上の問題も相当解決している現状である。

しかるに一般構造物における無欠陥の熔接ということは殆んど不可能である。以下の報告に示すご とく X 線検査によるものだけでも殆んど大部分がある程度の欠陥を含んでいる。ところがその欠陥 が強度に如何なる影響を及ぼすかについては現在まで殆んど不明のままに残されていた。日本におい てX線検査についてはフイルム上にあらわれた欠陥像によつて客観的なデータもなしに任意に6等級 に分類しているが,各構造物についてどの等級まで許されるかに関しては殆んど未解決のままで,た だ根拠もなしにボイラーは1級,船体は3級等と常識的に採用しているだけである。この程度の現状 で我国および米国に於いて客観的裏付ないまま規格化されている程度である。

しからば何故に熔接技術の発達した現在このような状態にあるかと云う原因については次のような ことが挙げられる。

1. 欠陥度を客観的に定める方法が見つからなかつたこと。

すなわち, 強度は数的に表現されるものであり, 従つて欠陥も数的に規定するのでなければ欠陥と強度との客観的関係は求められない。しかるに欠陥を数値で如何に表現するかが問題であり, その表現方法も強度と関連するものでなければならない。この表現方法が得られなかつたため過去における欠陥と強度との関係の文献は互に関連をつけられずそれを適用し得ない。しかるに我国において JIS Z 2341(金属材料の放射線透過試験法)の規格は不完全ながら欠陥を数的に表現したものである。従つて我々の研究はこれを足がかりとして欠陥数と強度との関係を求めて欠陥度の表現方法を完全なものにして行くべきである。

2. 任意の欠陥を作ることが困難であつた。

すなわち欠陥と強度との関係を求めるには熔接方法や母材の材質,熔接棒の種類その他によつて熔 接部の強度におよぼす影響を取除き,欠陥度と強度との相関関係を求めなければならない。それには 意図する欠陥が任意に得られる研究が先づなされなければならない。

以上のような事情にあるため本研究では欠陥度と強度との研究を行う前に欠陥度を正確に決定する ため各種の欠陥検出方法の能力とその比較を基礎研究として行い,他方任意の欠陥を有する熔接方法 の研究に主力を注ぎ,来る次の強度試験の研究のために系統ある欠陥を有する一連の試験片を作製す る研究を行つた。

- 1 -

なお現在まで得られた欠陥のある熔接試験片について予備強度試験を行い,更に現在の建造船,外 国の修理船などにつき熔接欠陥の実態調査を行つた。

以下これらにつき昭和 32 年3月まで得られた結果を第1報として報告する。

第1編 非破壊検査法の熔接部欠陥検査能力の比較

第1章 総 論

1・1 緒 言

熔接部の欠陥とその機械的強度の研究を行うにあたり、まずその欠陥の程度を定めなければならぬ、 そのためにまず欠陥を検出する方法とその検出能力について研究を行つた。

熔接部に現われる欠陥には偏析などによつて現われる材質的な欠陥,熱的過程によつて現われる欠 陥,またはスラッグ,ガス等の介在によるもの,溶込不足,融合不良,割れ,アンダーカットなどの 幾何学的欠陥など色々挙げられる。しかしこれらの欠陥が如何に小さいものでもまたどんな種類のも のでも非破壊的に検出されるとは限らない。今回検査法としては内部欠陥の検出を主としたので X 線透過検査,超音波による探傷法および磁粉検査の三方法を使用してみた。この三方法のうちX線透 過検査は幾何学的欠陥に対しては最も直観性があるため最も広く用いられている。しかし一枚のフィ ルムだけからは欠陥の平面的の位置しか求められず厚さの方向の位置を求めるには立体撮影をしなけ ればならない。超音波探傷法はX線で検出されない厚いものの検査もできまた厚さの方向の位置も求 め得る。しかし直感性が乏しく小さい欠陥の検出は困難である。磁粉検査はX線検査に次ぎ直観性あ り,幾何学的欠陥以外に材質的な欠陥の検出の可能性もある。

以上のごとく種々の特徴を有する三方法を熔接部欠陥の検用に対してどの程度の検出能力あるかを それぞれの方法について行い,また同一の試料についてこれら三方法を同時に行い各方法の比較検討 を行つた。

しかし厚さ 10~20 mm 程度の試料について行つたが今回は厚物に対する実験は行わなかつた。

1・2 試 験 片

非破壊検査を行つた熔接試験片は 20×40 cm³ 厚さ 15 ~20 mm の軟鋼板を 2 枚熔接して 第 1・1 図 のような 試験片を作つた。熔接は手,自動両法を用いたが意図す る欠陥を作ろうとするには手熔接が容易なので主に手熔 接を用いた。

欠陥検出はビードの余盛のまま三方法によつて行い, 次に余盛を取つて同じく三方法を実施した。

試験片は第1・1 図のごとくビードを横切つてA,B なる切溝を入れてある範囲が検査の対象となつた箇所で ある。X線はこの図の前面より後面へ透過するように投

- 3 --



第1·1 図

射して撮影した。この X線フィルムを規準にして超音波,および磁粉検査を行つた。また超音波の 入射方向を規定するため各試験片に第1象限から第4象限まで決めた。すなわち X線フィルムのフ ィルムマーク NDI×× が正しく右上にあるごとくした場合を基にしその場合の上部を第1象限,下 を第2象限,第1象限の裏面を第4象限,第2象限の裏面を第3象限として定めた。また超音波の測 定位置を示す横軸をビードに平行にとりAを原点としてAからBの方え mm の数で示すようにした。

第2章 熔接部 X 線透過検查能力

2·1 X 線透過検查方法

物体の内部に欠陥があればその部分は X 線の吸収程度に差があるため透過した X 線の強度が異つ て来る。この強度変化から欠陥の状態を調べるのが X 線透過検査法である。この強度変化を調べる にはフィルムに撮影する方法, 螢光板を用いて観察する方法, あるはは計数管で測定する方法等があ つて, それぞれ特徴を有しており目的に応じて何れかの方法を採用する。

(1) 直接撮影法

これは X 線の写真作用を利用して,写真フィルムに透過像をうつし,肉眼で検査する方法である。 この方法は欠陥を明確に把握できる点とフィルムが永く保存できる点で現在最も利用されている方法 である。

(2) 透視法

これは螢光板に透過像をうつし、肉眼で観察する方法である。フィルム、写真薬品を使用しないた め経費も少く、また短時間で行い得る最も簡単な方法である。しかし欠陥検出能力が直接撮影法に劣 っているのが欠点である。

(3) 間接撮影法

これは螢光板にうつつた透過像を小型カメラに撮影する方法である。この方法の長所、短所は直接 撮影法と透視法の中間である。

(4) 計数管法

これはガイガ計数管を用いて透過した X 線の強さを順次測定し、この値の変化から欠陥を発見する方法であるが、現在のところまだ充分に利用されるに至つていない。

2.2 欠陷検出度を左右する因子

X線透過写真によつて如何なる程度の欠陥まで検出できるかと云うことは色々な因子によつて決定 する。すなわち X 線フィルム, 増感紙, X 線管電圧, X 線の焦点, 撮影の際の管球と物体およびフ ィルムとの間の相互間距離, フィルターの種類, 散乱線など色々な因子によつて欠陥の判別限界が左 右される。しかも最良の条件でも撮影時間や経済的条件によつて制約される。従つてそれらの条件の 欠陥判別度に及ぼす因子について試験する必要がある。

- 4 -

2·2·1 X 線フィルム

工業用 X 線フィルムを大別すれば螢光増感紙用と金属箔増感紙用(ノースクリーン用)とあり, 金属箔増感紙用は更に高感度用と高解像力用とに分けられる。市販の X 線フィルムのうち 2,3 を 分類すると第 2・1 表となる。

- 第 2・1 表 - A 線フィルム(

螢 光 增感紙用			コダック F, ブルーブランド, ゲバルト Plus S, Curix フジ #400, フジ医療用, デュフェイ High Speed さくら Type S, さくら Type Y	鉄鋼など厚物撮 影用
ノースク リーン用	高感度川		ゴダックノースクリーン, K, ゲバルト D10, フジ #200, さくら Type N, デュフェイ Industrial Standard	軽合金, 薄物撮 影用
	高 解 像力用	微 粒 子 極微粒子	コダック A, ゲバルト D7 フジ #80, さくら Type R, デュフェイ Industrial Contrast	微細構造検査用 (金属箔併用す) (ることが多い)
		TELPSATE J		

以上に示すような各種のフィルムがあるが、これを如何に使用するかによつて欠陥検出限度が決定 する。

2.2.2 増 感 紙

増感紙にも使用用途によつて大別して螢光増感紙と金属箔増感紙とある。螢光増感紙にも高感度用, 高解像力用とあり,金属箔増感紙にも鉛箔増感紙,またはそれに金箔,ビスマスを蒸着させたような ものもある。

螢光増感紙の増感率は数十から数百にもなり撮影時間を非常に短縮するが解像力が高くなく,X線の管電圧が高くなれば使用できなくなる。それに比し金属箔増感紙は電子による増感であるため解像 力の低下が少く,散乱線を遮蔽し鮮鋭な像が得られる。増感率を測定してみた結果が第2・2表の通 りである。

第 2・2 表 鉛箔増感紙の増感率(濃度 1.0~2.0)

front 0.04 mm back $\begin{cases} 0.3 \text{ mm} (100, 180 \text{ kVp}) \\ 0.04 \text{ mm} (150 \text{ kVp}) \end{cases}$

	(0.04 mm (100 k (p)						
電圧 kVp フィルム	100	150	180				
ゲバルト D7	1.4	2.2	2.9				
フジ # 80	1.4	2.3	3.1				

これは鉛箔増感紙についての値であるが、その他の金属箔増感紙についても大体同じ程度の値であった。

2・2・3 鉄板の熔接部検査可能範囲

上述のフィルム, 増感紙を組合せて使用した場合 JIS に規定された現在要求されている限度で経 済的に間に合う時間(数分間)露出で撮影できる範囲を求めた結果第 2・3 表を得た。

--- 5 ---

		(撮影)	矩離 60 cm として)) 		
	増感紙 X線	螢 光高感度	增 感 紙 用 高解像力用	鉛箔坩	曾 感 紙	
	フィルム	终来前周	が紅田ファルス	鉛箔増感紙	用フィルム	
X 線装置		国見知道		高感度用	高解像力用	
125	kVp	30	25	15	10	
175	"	55	50	30	20	
200	"	65	60	40	25	
250	"	80	70	50	30	
300	"	100	90	60	35	
400	"	130	110	90	55	
1	${ m MeV}$	180			130	
2	//				210	
20	"				340	

第2・3表 数分程度の露出時間で検査しうる軟鋼の厚さ (mm) (撮影距離 60 cm として)

2·2・4 X 線写真のコントラスト

熔接部の X 線透過検査するとき X 線写真に適当なコントラストがなければ欠陥の判別がしにくい 場合がある。隅肉や薄板の熔接は被写体の厚さに相当の変化あるためできるだけ検査しようとする全 範囲を適当な濃度にする必要がある。また余盛を除去した熔接部の検査にはできるだけコントラスト の強いものが望ましい。これらのコントラストを規定するものに被写体コントラストとフィルムコン トラストとありこれら二つのコントラストの重りによつて X 線写真のコントラストが決定する。

(2) 被写体コントラスト

被写体の厚さによるコントラストの事情を明かにするため鉄のフイルター 5 mm から 25 mm まで のものを使用し、そのフィルターの厚さに 5 mm の差があるときに同一濃度にするための露出時間の 比を求めて第 2・4 表のような結果を得た。これはコダック・ノースクリンフィルムを用い濃度 1.0 になるようにしたものであるが、濃度が変つてもフィルムが変つても大きな変化はない。これによれ ば電圧が大になれば X 線の波長分布が短い方に移動するので被写体コントラストは小となり、また 透過する厚さの増大と共に長波長部分の吸収が大きく短波長部分が多くなるため被写体コントラスト が多少小さくなる。

> 第2・4 表 被写体コントラストの一例(鉄 5 mm の厚さの差について) (フィルム,コダックノースクリーン濃度 1.0)

厚さ mm 電圧 kVp	$5 \sim 10$	$10{\sim}15$	$15 \sim 20$	$20 \sim 25$
100	10.4			
140	4.6	3.6	3.5	
180			2.3	2.1

(2) フィルムコントラスト

フィルムコントラストはフィルムの特性曲線の傾斜(グラデイエント)によつて示され、フィルムの種類,現像条件,濃度等によつて決まる。各種フィルムに対し 5~30 mm の鉄フィルターを使用

- 6 --

し, 100~180 kVp で露出後指定の写真処理を行い濃 度 1.0~2.0 の平均のグラデイエントを求めた 2, 3 の例を第 2・5 表に示す。

(3) X 線写真のコントラスト

X線写真のコントラストは被写体コントラストの対 数とフィルムコントラストとの積によつて与えられる。 ここで I_A , I_B をそれぞれ厚さの異なる部分を透過後 のX線の強さとし, \bar{G}_{AB} をフィルムコントラストとす れば、

$$D_A - D_B = \log(I_B/I_A)\bar{G}_{AB}$$

となる。

被写体に厚さの差がある場合, 濃度が大体1.0~2.0 になるフィルム, 増感紙の組合せを実用上から簡単に 整理した一例は第2.6 表である。

次に第 2・1 図の重ね接手に対し、X線装置が 180 kVpの場合、最高電圧でフィルムコントラストが 1.9 のフィルムを用いた場合を考える。5 mm 差の被写体 コントラストを 2.6 とすれば、その対数の 1 mm 当 りの値は 0.08 となり、最大及び最小濃度の 濃度 差 ΔD は、

 $\Delta D = 0.08 \times 10 \times 1.9 \Rightarrow 1.5$

となり, 濃度は大体 0.7~2.2 となる。鉛箔増感紙を 使用すれば露出時間は約 1/3 となる。

X線装置に余裕があれば,電圧を更に上昇させて写 真のコントラストを低くすることが可能であり,更に 板厚が増加しても特別な手段を講ずることなく比較的 良好な写真撮影ができる。

2·2·5 X 線管球の焦点

(1) 焦点の形および撮影法

工業用X線透過写真の撮影に際して,焦点の小さい X線管球の使用が望ましい条件の1つであることは当 然である。しかし焦点を小さくすることは対陰極の局 部的加熱のため管球製作技術上種々の困難が伴う。 このため比較的大きな焦点により透過写真を撮影して いるのが現状である。しかも実際作業上焦点から 60 cm の距離において撮影範囲が 30 cm¢ 以上を要求さ

- 7 --

第2・5表 フィルムコントラスト

71)		"ラディエント	$ar{G}1$ ~1.5	$\bar{G}1\sim 2$
コダ	ックノ	ースクリーン	1.9	2.3
7	ジ	# 400	1.7	1.9
フ	ジ	# 200	2.2	2.5
フ	ジ	医療用	1.7	1.9
フ	ジ	# 80	2.5	3.0
コダ	ック	Α	2.5	3.0

第2・6表 被写体の厚さの差とフィルム増感紙 (装置 180 kVp として)

被写体の 厚さの差	材 厚 (mm)	使用フ サクラ	ィルムフジ	增感紙
	~ 25	\mathbf{R}	80	鉛 箔
0 mm	~ 35	Ν	200	//
	~ 60	\mathbf{S}	400	螢 光
1. d A	~ 25	R	80	鉛箔
$2\mathrm{mm}$	~ 35	Ν	200	"
	$15 \sim 60$	S	400	螢 光
	$15 \sim 25$	R	80	鉛 箔
5 m m	$20 \sim 35$	Ν	200	"
	$35 \sim 60$	S	400	螢 光



第2・1図 重ね接手の検査





れているため対陰極は通常約20°もしくはそれ以上の傾斜をもつている。このため焦点はこれをみる 位置によつて大きさが異なつてくるわけである(第2・2図参照)。X線透過写真における像の形状が 焦点の形状の影響を受けることは当然予想されるところであつて,これに関し検討を加えることは写 真判定を行う上から必要欠くべからざるものである。

さて工業用X線透過写真撮影用の管球には種々の形式があるが、これを焦点の形から大別すれば角 焦点と楕円焦点とになる。焦点の形状は対陰極の形状及びフイラメントの形状、電子集束用キャップ の位置及び形状等により異なつてくるがその相互間の関係は可成り複雑である。X線は焦点の全面か ら放射されているのであるが、これを更に拡大して調べると第2・3図の如く焦点以外の対陰極の全 面からも弱い X線が放射されている。また焦点については角焦点の場合は両端が極めて X線の強度 が大であり、楕円焦点においては楕円形リングとして現れる(第2・4図)。

X線管球焦点の撮影は第2・5 図に示す方法で行つたがこれによる焦点の1例が第2・4 図である。 第2・5 図の方法は所謂有効焦点を求めるためには十分であるが、実際には撮影範囲の全面の各点 から見た有効焦点の形状を知る必要がある。このため厚さ 0.3~0.5 mm の鉛板に多数の小穴をあけ 第2・6 図 (a) の如く配置して撮影するとそれぞれの小穴から第2・4 図の如き焦点写真が得られる ため全体として第2・6 図 (b) の如き焦点写真が得られる。この1例を第2・7 図に示してあるがこ の中央附近の1 個の焦点写真は前述の第2・4 図に対応するものである。



第2・7図

(2) 焦点の像におよぼす影響

前述の焦点の形状の像に及ぼす影響を調べるために被写体と して球と線を選びこれについて検討した。球としては真球度の 高い $13/16''\phi$ 及び $1/2''\phi$ のボールベアリング用鋼球を用い, 線としては 24 mesh 及び 20 mesh の標準篩を使用した。

(i) 球に及ぼす影響

鋼球を第2・8 図 (a) の如く配置して撮影すれば(b) の 如き真影と半影を有する写真の得られることが想像される。さ て実際に撮影してみると,想像されるものとは可成り異なつた ものとなる。その1例を第2・9 図の(1)~(6) に示す。像の 大きさが異なるのは撮影条件の相違によるものであつて半影の 出現様式とは無関係である。写真では印刷のためフィルム原板 に比しデテールが明らかでないのでこれを模型的に表してある。 半影の大きく現れる方向は第2・6 図の EF 方向であつて,AB 方向の半影は非常に小さい。なお第2・9 図の(3)の半影の濃 度が階段的に変化しているのは焦点内のX線強度分布に関聯し ている。

(ii) 線に及ぼす影響

焦点の像に及ぼす影響を調べるために 従来は 第 2・10 図の 如く傾斜させて金網を撮影していたが,これは焦点の形状及び フィルム-金網間の距離の相違の両者の影響が重畳することに なる。このため金網を傾斜せずに水平に置いて先づ焦点の形状 による変化を,次にフィルム-金網間の距離に伴うものと両者 を分離して検討を加えた。

a. 焦点の形状に伴う変化

第2・11 図の如く 配置して 種々の管球により撮影した 2, 3 の例を第2・12 図に示す。これは焦点―フィルム間距離の比 即ち H/h を5 或は6とした場合であるが左右において写真の 縦方向の針金の像の鮮鋭度に非常に大きな相違が認められる。 像の鮮鋭な右側は小さい焦点によるものであり,左側は大きな 焦点によるものである。即ち同一管球の焦点による写真におい ても被写体のおかれた位置からみた焦点の大きさが像の鮮鋭度 に著しい影響を与えていることが明瞭である。なお写真の横方 向の針金の鮮鋭度の悪いことは前述の鋼球の場合の半影の方向 性を考慮すれば当然と云えよう。しかし以上のことは写真撮影 上ならびに判定上特に注意をする必要があると考えられる。

-10 -



第2・11 図

b. 焦点--被写体--フィルム間距離に伴う変化

焦点一被写体間の距離が大きい程,また被写体一フィルム間距離が小さい程像の鮮鋭度が良好となることは当然である。しかし実際作業の上からは両者の何れにも制限があるため距離がどの程度像の



第2・12 図

鮮鋭度に影響を及ぼすかを検討する必要が生ずる。このため1つの管球について H/h を順次変化さ せて撮影した1例を第2・13 図に示してあるが、比が大きくなるに従つて像の鮮鋭度の増しているこ とが明瞭に認められる。なおこれらの場合に金網一焦点間距離を一定としフィルム一金網間距離を増 大せしめて比の値を大きくした。



2・2・6 散乱放射線の影響

放射線が物体に照射されると、そこから散乱放射線が発生する。散乱線は放射線透過写真のコント ラストを低下させ、欠陥検出能力を減少させるばかりでなく、従事者の放射線障害を引起す原因とな る。従つて写真の像質を向上し、欠陥検出力能を高めるためには、散乱線によるフィルムのカブリを 極力少くすることが大切である。

この散乱放射線を二つに分け,フィルムの前面より到来するものと背面より到来するものとに分け て考えることにする。

(1) 前面散乱線

フィルムの前面より到来する散乱線には被検査物体内部で発生する前面伝達散乱線(Forward Transmitted Scatter)と周囲の物体に反射して到来する前面反射散乱線(Forward Reflected Scatter)とに分けて考えることができる。

これらの前面散乱線の影響を少くするためには次の種々の方法が考えられている。

(a) X線管と被検査物体との間に鉛板で作つた絞りをおき,物体に照射される X 線の立体角を できるだけ小さくすれば, 散乱 X 線の発生量は少くなる。

- 12 --

(b) ブレンデを被検査物とフィルムの間に置いて撮影すると、フィルムに露出する散乱X線を減 らすことができる。ブレンデは厚さの等しい鉛箔を等間隔にならべたもので、箔の厚さもできるだけ け小さいことが望ましい。散乱 X 線は透過 X 線と進行方向が違うので、鉛箔に対して斜めに入射し、 これに吸収されてしまう。ブレンデを固定させておくと鉛箔の陰影が縞模様としてフィルムに現われ るから、等速度で運動させて影が出ないようにする。現在入手できるブレンデは医療用のものである ので、高圧 X 線の場合には固定しておいても陰影は目立たない。ブレンデの鉛箔から発生する特性 X線を吸収するために、厚さ 1 mm の錫板と厚さ 0.2 mm の銅箔と厚さ 0.1 mm のアルミニウム 箔を重ねて順に上層の金属から発生する特性 X 線を吸収するようなフィルターを使うとよい結果が 得られる。

(c) 重金属の箔をブレンデの代りに使つても散乱線の影響を減少させることができる。散乱X線 はフィルターを斜めに透過することになり、その道程は透過X線より長く、従つてフィルターで吸 収される割合が大きい、しかも散乱線は透過X線より波長が長くなつているので、一層吸収され易い。 フィルターの効果は硬いX線やY線の場合に特に有効である。増感紙として使われる鉛箔もフィル ターとしての役目を兼ねている。

(2) 背面散乱線

床,壁などフィルムの背後にある物体が散乱線の発生源となつて、フィルムの背面より到達する背面散乱線(Back Scatter)についてはカセツテの後側に散乱線を吸収するに充分な厚さの鉛板で包めばよいことは周知の通りであるが、種々の実験を行つた結果次の如きことが判つた。

(a) 背面散乱線の線量は散乱体の材質によつて異り,実験に使用した材料の中では木材が桁違い に大きく,煉瓦,コンクリート,空気,軟鋼の順で少くなる。第2・14,2・15,2・16 図はこの事 情を示す。すなわち第2・14 図は裏当鉛板を使用しない部分は背面散乱線によるカブリのため写真濃 度は最高となるので,この濃度を標準として各板厚(横軸)の裏当鉛板を使用した部分の濃度との差 を縦軸に示してある。第2・15 図は曲線が横軸の下側にある部分では鉛板による背面散乱線の吸収よ りも鉛板からの散乱がより多く影響していることを意味している。第2・16 図は黒紙による背面散乱 線の吸収を示す。



- 13 -



(b) 背面散乱X線は線管球電圧の上昇に 伴つて増加する。従つて管球電圧か高くなる ほど散乱線の影響によつてもコントラストが 低下する。

(c) 背面散乱線を吸収するために用いる
 裏当鉛板の厚さは通常1mm, X線管球電圧
 の高い場合(400 kV 以下で)でも2mmあ
 れば実用上充分である。

(d) 散乱体が空気,または軟鋼だけであ る場合には裏当鉛板はむしろ用いない方がよ

い。裏当鉛板自体からの散乱線影響の方が大きい。

(e) 軟鋼板の方が鉛板より散乱線量が少いから,背面散乱線の吸収に用いる裏当板にはできれば 軟鋼板の方が望ましい。

(f) 直接線に対しては吸収が無視できる物質でも背面散乱線に対しては波長が長いので無視できないことがある。フィルムの背後に紙などを不均一に重ねておくとその陰影が生ずる。

(g) 背面散乱線を吸収するための裏当鉛板を用いない場合はフィルムの黒化は背面散乱線による 成分の方が多く,透過写真としては無意味な濃度の成分を相当含んでいることがある。

2・2・7 像の鮮銳度

X線透過像を明瞭に出させるためには像のコントラストを高めるとともに像を鋭く出させることが 必要である。この場合散乱線は非常に悪影響を及ぼすため散乱線の影響を少くすることに留意する必 要がある。

像のコントラストを高めるためにはX線管電圧を低くし、またコントラストの高いフィルムを用い る必要がある。また像を鋭く出すためには焦点の小さいX線管を用い焦点被写体間距離を大きく被写 体フィルム間距離を小さくすると同時に粒状性の良好なフィルムを使用すればよい。この場合螢光増 感紙の使用はX線管電圧の低下とコントラストの増大を可能にするが、鮮鋭度は低下する。また金属 箔増感紙の使用は反対にコントラストの増大は望めないが鮮鋭度を低下せずむしろ向上させる。

2.3 欠 昭 檢 出 能 力

前述したように欠陥検出に対する種々な因子について検討しその状況を調べたが,撮影された写真 が果して以上のような考慮を払つて撮影されたものであるのに欠陥が現れていないのか,また撮影に 際し充分な考慮を払わなかつたために現れるべき欠陥も現れなかつたのかということを確認するため 透過度計を用いる。すなわち定められた一定の太さの針金または一定の厚さに孔をあけたものと被写 体とを同時に撮影してどの程度のものまで現れているかによつてその撮影法の適否,従つてその写真 が要求する検出能力を有しているか否かを判定する。これと同様に透視をする場合は透視度計を用い るのであるがこれらに関しては金属材料の放射線透過試験 JIS Z 2341 (1955) に規定されている。

今ここにこれらの透過度計、透視度計について検出能力を求める実験を行つてみた。

3・3・1 針金型透過度計と有孔型透過度計

透過度計の型式としては針金型と有孔型とがある。透過度計はX線写真の検出能力のスケールと考 えられているが同一写真において針金型から得られる欠陥検出度の値と有孔型から計算される欠陥検 出度は等しいとは限らない。すなわち欠陥検出能力は一般に次の式で求められる。

あるいは

ここで求められた % の数値が小さいほど欠陥検出能力が高いことになり、数値が大きいほど欠陥 検出能力が低いことになる。

色々な鉄板の上にこれら二つの透過度計をおき,その検出される度合から云えば一般に試験部が薄 くなるに従つて針金型による方が欠陥検出能力が低くなる。その一例としてイメージインテンシファ イヤーを用いアルミニウムの透視検査を行つたところ針金型と有孔型で第2・7表のような結果を得 た。

試験部の厚さ (mm)	X線管電圧	針金型による 欠陥検出能力	有孔型による 欠陥検出能力
3.2	$rac{kV}{40}$	% 11	4.5%
6.4	50	7.9	3.4
10	60	6.3	2.3
13	65	4.7	2.2
19	75	4.2	2.4
25	85	3.5	2.0
32	90	2.5	2.1
40	1.00	2.6	2.4
	1		

第2.7表

焦点螢光板距離: 150 cm, 管電流: 10 mA, 焦点: 5.0 mm

2・3・2 透視法の欠陷検出能力

透視法の欠陥検出能力はイメージインテンシファイヤーを用いるか用いないかで非常に異なつてく

川二 これ アルミニアムの近抗と人間換山能力	第 2・8 表	アルミニウムの透視と欠陥検出能力
------------------------	---------	------------------

	イメージインテンシファイヤーによる透視 螢光板による透視						
試験物の厚さ (mm)	焦点 0.3mm 距離 50 cm	拡大率 2 管電流 2mA	焦点 5.0mm 距離 150 cm	拡大率 1.08 管電流 10 mA	焦点 5.0mm 距離 150 cm	拡大率 1.05 管電流 10 mA	
	管電圧	欠陥検出能力	管電圧	欠陥検出能力	管電圧	欠陥検出能力	
$\begin{array}{c} 3.2\\ 6.4\\ 13\\ 25\\ 40\\ 50\\ 63\\ 75\\ 90\\ 100\\ 115\\ 130\\ \end{array}$	$\begin{array}{r} & 30 \\ & 44 \\ & 48 \\ & 63 \\ & 77 \\ & 88 \\ & 99 \\ & 107 \\ & 121 \\ & 125 \\ & 125 \\ & 125 \\ & 125 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6.3^{\%} \\ 3.9 \\ 2.4 \\ 2.0 \\ 1.6 \\ 1.4 \\ 1.3 \\ 1.0 \\ 1.1 \\ 1.2 \\ 2.2 \\ 2.4 \end{array}$	$\begin{array}{r} 40^{\rm kV} \\ 50 \\ 65 \\ 85 \\ 100 \\ 120 \\ 120 \\ 120 \\ 160 \\ 190 \\ 200 \end{array}$	$11 \frac{\%}{7.9} \\ 4.7 \\ 2.4 \\ 2.6 \\ 2.3 \\ 2.8 \\ 2.6 \\ 3.4 \\ 3.9$	$\begin{array}{r} 80^{\rm kV}\\ 100\\ 100\\ 130\\ 160\\ 180\\ 190\end{array}$	19% 12.5 7 5.9 5.3 5 4.7	

- 15 -

	イメ-	-ジインテンシフ	螢光板による透視			
試験物の厚さ (mm)	焦点 0.3mm 距離 50 cm	拡大率 2 管電流 2mA	焦点 5.0mm 距離 150 cm	拡大率 1.08 管電流 10 mA	焦点 5.0mm 距離 150 cm	拡大率 1.05 管電流 10 mA
()	管電圧	欠陥検出能力	管電圧	欠陥検出能力	管電圧	欠陥検出能力
3.1	81 ^{kV}	4.7%	80 ^{kV}	12.5%	200^{kV}	16 %
6.4	103	3.9	105	7.8	200	11
10	121	3.7	130	7.3	200	9.5
13	125	3.2	150	7.1	200	9.6
16	125	3.2				· · · · ·
19	125	4.3	200	5.3	200	8.5
25		1	200	4.8	200	8.0
32			200	6.4		
40			200	7.0		

第2・9表 鋼の透視と欠陥検出能力

る。また拡大透視の拡大率によつても異なる。これらの比較の1例を第2.8,2.9 表に示す。第2.8 表はアルミニウムに対するものである。これからわかるように螢光板による透視よりもイメージイン テンシファイヤーを用いた方が遙かに欠陥検出能力が高くまた拡大透視により更に向上することが明 瞭である。なおこの場合の欠陥検出能力は針金型使用の場合である。

2・3・3 間接撮影法と直接撮影法の欠陷検出能力

間接撮影法を行えば透視法に比べて欠陥検出能力は向上するが直接撮影法による場合よりは低い。 間接撮影の場合でも透視の場合と同様拡大撮影により欠陥検出能力が向上する。通常の直接撮影法に よるものとイメージインテンシファイヤーによる2倍拡大の間接撮影法によるものとの欠陥検出能力 の比較を第2・10表(アルミニウムについて),第2・11表(鋼について)に示す。この場合も透視 度計は針金型である。

第2・10表,第2・11表からイメージインテンシファイヤーによる間接撮影では直接撮影に比べ

	間接撮影	焦点 0.3 m 距離 50 cm	nm 拡大率 n 4 mA 4	2 10 sec	直接撮影	彡 (ノースク	リーン用フ	ィルム)
試験物の 厚 さ	鮮鋭度用	フィルム	高感度用	フィルム	高解像力用	ヨフィルム	高感度用	フィルム
(mm)	管電圧	欠 陷 検出能力	管電圧	欠 陷 検出能力	管電圧	欠 陷 検出能力	管電圧	欠 陥 検出能力
	kV	%	kV	%	kV	%	kV	0.00
6.4	28	3.2			60	1.56	60	2.36
13	32	2.0	28	2.8	75	1.18	75	1.58
19	35	1.6	31	2.1				
25	39	1.6	33	2.0	100	1.19	1.00	1.57
40	46	1.3	39	1.3				
50	53	1.2	44	1.4	120	0.60	-120	0.79
65	58	1.0	48	1.3				
75	66	0.8	53	1.1				
100	80	0.6	61	1.0	220	0.59	220	0.79
130	98	0.6	71	0.8				
150	112	0.8	84	1.6				
175	125	0.9	96	2.0				
		The second secon	comments a second concernent of second concernent of					

第 2・10 表 アルミニウム間接撮影及び直接撮影と欠陥検出能力

- 16 -

て管電圧が約半分でよいことになる。しかし直接撮影の場合はノースクリーン用フイルムを使用して いるからで螢光増感紙用フィルムと螢光増感紙を使用すれば電圧は低くなるので大体同程度のものと なる。なお螢光増感紙使用の場合は欠陥検出能力はノースクリン用フィルム使用の場合に比べて低下 する傾向にあるがフィルム増感紙の組合せは非常に複雑になるので今回はそれまで実験はできなかつ た。

	間接撮	影 焦点 0.3 距離 5 c	3mm 拡大 m 4mA	<率 2 40 sec	直接撮	影(ノースク	リーン用フ	イルム)
試験物の 厚 さ	鮮鋭度用	フィルム	高感度用	フィルム	高解像力	用フィルム	高感度用	フィルム
(mm)	管電圧	欠 陥 検出能力	管電圧	欠 陷 検出能力	管電圧	欠 陥 検出能力	管電圧	欠 陥 検出能力
	kV	%	kV	%	kV	· %	kV	%
3.2	52	4.8	44	4.8	120	<3.12	120	< 3.12
6.4	67	2.4	53	4.8	140	1.56	140	2.36
10	88	2.7	63	3.7				
13	1.01	2.0	72	2.8	180	1.24	180	1.58
19	123	1.6	94	2.6				
25			109	3.1	220	1.18	220	1.18
32	:		122	2.5				

第2・11 表 鋼の間接撮影及び直接撮影と欠陥検出能力

2・3・4 G. M. 管法による欠陷検出能力

フィルムによる方法は最近それに関する研究により急速に進歩し、非破壊検査法としては最も優れ

た確実な方法であるが現像処理等で多少の時 間を要する点,また厚物熔接部,大型鋳物を 検査する場合には可成り長い露田時間を要し, 特にラジオアイソトープを使用する場合は数 時間から数十時間を必要とすると云う不便な 点がある。そこでフィルムの代りにG.M.管 を使用すれば迅速に欠陥検出が可能であり, 且つ相当弱い放射線源でも充分であると云う 利点がある。しかしながらフィルム法とは根 本的に異り,欠陥検出能力に及ぼす因子は可 成複雑なようである。

方法としては第2・17図(a)に示す如く, 放射線源,試料,G.M. 管の相互位置はフィ ルム法のそれと同様であるが,フィルム法で は試料—フィルム間距離は近いほど良く,且 つフィルム—線源間は遠いほど良いのに対し てG.M. 管法では欠陥,G.M. 管等の大さに より,線源,欠陥,G.M. 管との間に適当な 相互間距離が存在するのである。



-17 -



第 2・17 図 (a) に於て放射線束が欠陥を含む立体角を ω ,線源, G. M. 管間距離を d, G. M. 管 の有効半径と長さをそれぞれ r, l とすると,欠陥を含む放射線束が G. M. 管によつて截り取られる 部分の体積 V が d に対して如何に変化するかを考察すると 第 2・17 (b) 図の如くになる。欠陥が あるときと無いときとの G. M. 管モニターの電流計のフレの差の大いさは欠陥を含む 放射 線 束 が G. M. 管を截る体積に比例し,距離dの2乗に逆比例する。即ち第 2・18 図は距離dに対する電流 計のフレの差との関係を示す。これは欠陥,G. M. 管の大さにより線源,欠陥,G. M. 管との間に適 当な相互間距離が存在する,云いかえれば相互間距離の間に欠陥検出能力の最も良い条件が存在する ことである。

またフィルム法では散乱線が常に欠陥検出能力を低下させる原因になつているが G. M. 管法ではその影響は更に大きいので線源側に鉛のスリットを置くことにより欠陥判別能力を向上させることができる。第2・18 図はそれらの関係の実験結果を示す。これによれば線源側に厚さ 50 mm 巾 3 mm の鉛スリットを用いた場合, G. M. 管に用いるシールドは 1 mm 程度の鉛で充分であることが判明した。

穴型欠陥と矩形状欠陥とでは欠陥を含む放射線束が矩形状欠陥の方が大きいので当然検出し易い。

板厚が一定の場合,欠陥の厚さ,巾によつて欠陥の検出度がいかに変るかと云う1例として,板厚 150 mm のとき欠陥の厚さがそれぞれ 20, 15, 10 mm とした場合を第 2・19 図に示す。

以上の実験に於ては G.M. 管として Seven Unit Counter を用い, 放射線源として Co⁶⁰ 300 mC を使用したのであるが条件の最も良いと思われる状態にある場合には板厚の約 3% までの欠陥

- 18 -

検出が可能である。今後エネルギーの異つた他の放射線源を用い、シンチレーション・カウンターの ような高感度の検出器を使用することにより検出能力を更に向上させることが可能と思われる。

2・3・5 欠陷検出能力の比較

各種X線透過検査法による欠陥検出能力について 2,3の比較を行つたが現在のところ欠陥検出能力の高い順に列記すれば次のようになる。

- (1) ノースクリーン用高解像力用極微粒子X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (2) ノースクリーン用高解像力微粒子X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (3) ノースクリーン用高感度用X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (4) 螢光増感紙用X線フィルムと鮮鋭度用螢光増感紙による直接撮影。
- (5) 螢光増感紙用X線フィルムと高感度用螢光増感紙による直接撮影。
- (6) イメージインテンシファイヤーと鮮鋭度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (7) イメージインテンシファイヤーと高感度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (8) 螢光板と鮮鋭度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (9) 螢光板と高感度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (10) イメージインテンシファイヤーによる透視。
- (11) 螢光板による透視。

なお拡大撮影によつて欠陥検出能力はすべて向上するため拡大率が異なる場合には上記の順序が変 つてくる。

また計数管法については欠陥検出方法が全く異なるため上記の諸方法とは比較し難い。

2・3・6 X 線透過写真の欠陷検出能力の比較

(1) 各種フィルム, 増感紙の影響(薄板熔接)

最初にビードの厚さ 5 mm の軟鋼熔接試験片の X 線検査を各種フィルム, 増感紙の組合せて撮影 を行い, この結果から露出時間(この場合はすべて1分 30 秒)および現像条件(この場合はすべて フジレンドール 20°C 6 分タンク現像)を一定にした場合にフィルム, 増感紙の組合せに対して同一 濃度(この場合はビードの最も厚い部分の濃度がなるべく同一になるようにした)を得るに必要な電 圧の差と,得られたX線透過写真における欠陥検出能力の差,および写真のコントラストの相異を次 の第2・12表に示す。この表で欠陥検査能力の高低および写真のコントラストの大小の順序を数字で 示してある。

写真 番号	フィ ルム	增感紙	電圧	電流	露出時間	撮影 距離	現	像	条	件	欠陥検出能 力の順序	写真のコント ラストの順序
1-1	400	KZ–S	65 kVp	4mA	1分30秒	60 cm	フジレ 6分タ	シド	ール 現像	20°C	4	1
1-2	"	KZ–F	70 ″	"	"	"		1	/		3	2
I –3	200	Pd	90 ″	"	"	"		1	/		2	3
1-4	80	"	115 ″	"	"	"		1,	,		1	4

第2・12表 撮影条件と欠陥検出能力と写真コントラスト

上の表から分るように 1-1 が最も電圧が低く,1-4 が最も高い電圧を必要とする。しかし欠陥検

- 19 -

出能力は 【-4 が最も高い。また写真のコントラストは 【-1, 】-2 のように螢光増感紙の使用の場合に大きく, 【-3, 【-4 のように鉛箔増感紙使用の場合に小さい。

(2) 各種フィルム, 増感紙の影響(厚板熔接)

次にビードの 厚さ 25 mm の軟鋼熔接試験片の X 線検査を前項(1)と同様に各種フィルムと増感 紙を合組せて撮影を行い,これからフィルム,増感紙の組合せに対して同一濃度(この場合はビード の最も厚い部分の濃度が同一になるようにした)を得るに必要な電圧の差あるいは露出時間の差と, 得られたX線透過写真における欠陥検出能力の差および写真のコントラストの 相異を第 2・13 表に 示した。

写真 番号	フィ ルム	增感紙	電 圧	電流	露出時間	撮影 距離	現像	条	件	欠陥検出能 力 の 順 序	写真のコント ラストの順序
т-1	400	KZ-S	112 kVp	4 mA	1分	60 cm	フジレン 6分タン:	ドール フ現像	20°C	4	1
∏−2		KZ–F	120 ″	"	<i>"</i>	"		//		3	2
П-3	200	Pb	170 ″	"	1分30秒	"		"		2	3
п-4	80	"	170 ″	"	6分	"		//		1	4

第2・13表 撮影条件,欠陥検出能力および写真コントラスト



上の表から分るように螢光増感紙使用の場合は低電圧でよい が,鉛箔増感紙使用の場合は高電圧を必要とする。また I-1, I-2 では螢光増感紙の感度の差が電圧の差として現れており, I-3, I-4 ではフィルムの感度の差が露出時間の差として現れ ている。

(3) 隅肉熔接の撮影

板厚 9 mm の軟鋼の隅肉熔接, 試験片(第 2・20 図のよう に撮影すると試験部の最大厚さ, すなわち材厚は 16 mm)に ついて3種類の撮影条件でX線透過検査を行つた。

第2・20 図

熔接部の濃度を大体同一にした場合の電圧および露出時間,

ならびに欠陥検出能力の相異を第2・14表に示す。

写真 番号	フィ ルム	増 感 紙	電圧	電流	露出時間	撮影距離	現	像	条	件	欠陥検出能 力 の 順 序
ш-1	400	KZ-F	100 kVp	4 mA	40 秒	60 cm	フジレ 6分タ	シン	ドール ク現像	20°C	3
<u>т</u> –2	200	Pb	140 ″	"	1分	"			″		2
тп−3	80	"	180 ″	"	1分30秒	"			″		1

第2・14 表 撮影条件と欠陥検出能力

2・3・7 写真処理と欠陷検出能力

(1) 現像温度,現像時間の影響

1

ビードの厚さ25mmの軟鋼試験片を試料とし同一フィルム(#400)および同一の螢光増感紙(KZ-

- 20 -

S)を使用して露出条件と現像温度,現像時間との関連性を比較てみた。 露出条件,現像条件の中電流 (4 mA),露出時間 (1分),撮影距離 (60 cm)および現像液 (フジレンドール)を一定とし,電 圧と現像温度,現像時間の3条件を変えて次の結果を得た。 第2・15 表はその撮影条件を示す。

写真番号 フ	ィルム	增感紙	電 圧	電流	露出時間	撮影距離	現	像	条	件
IV- 1	400	KZ-S	$85 \mathrm{kVp}$	4 mA	1分	60 cm	フジレンドー	ル 20°C	26分	タンク現像
IV-2	//	"	"	"	"	· //	"	"	8分	"
1V- 3	"	"	"	"	"	"	"	//	10分	"
IV- 4	"	//	90	"	"	"	//	"	3分	//
IV- 5	//	"	"	"	"	"	//	"	6分	"
1V- 6	"	"	"	"	"	"	"	"	9分	"
IV- 7	"	"	100	"	"	"	"	"	2分	"
IV- 8	"	"	"		"	"	//	"	4分	"
IV- 9	//	"	"	"	"	"	//	//	6分	"
10-10	"	"	90	"	"	"	//	16°	56分	//
IV-11	"	"	"	"	"	//	//	//	8分	"
W-12	//	"	"	"	"	"	//	"	10分	"
IV-13	//	"	"	"	"	"	//	25°C	22分	//
<u>1v–14</u>	"	"	"	"	"	"	//	"	4分	//
IV-15	"	"	"	"	"	"	"	"	6分	//

第2.15 表 撮 影 条 件

(a) 写真濃度

(i) 現像時間の影響

現像時間だけ変化し他の撮影条件はすべて一定の場合何れのグループにおいても現像時間の増加に 伴つて写真濃度の増加が認められた。

(ii) 現像温度の影響

現像温度だけ変化し他の撮影条件はすべて一定の場合現像温度の上昇に伴つて写真濃度の増加が認められ、特に現像温度が 25°C の場合には濃度増加が著しい。

(b) 欠陥検出能力

(i) 電圧と濃度

一般的に低電圧で撮影し試験部の濃度が 1.0~2.0 程度になる場合に欠陥検出能力が高いことがよ く認められる。すなわち 100 kVp で撮影したものは欠陥検出能力が非常に低く, 90 kVp で撮影し たものの方が欠陥検出能力が高い。この場合 85 kVp で撮影したものは更に欠陥検出能力が高いと予 想されるわけであるが,撮影時間を1分にした場合には 85 kVp ではやや露出不足で写真濃度が十分 でないため欠陥検出能力は 90 kVp の場合よりも低くなつている。

(ii) 現像温度と現像時間

X 線フィルム #400 に対し適当な露出を行い標準の現像温度,現像時間,すなわちフジレンドールで 20°C 6 分タンク現像を行い適当な写真濃度を得るような撮影結果に比して現像温度,現像時間あるいはその両者を変化させても欠陥検出能力は高くならない。

$$-21$$

(iii) 撮影条件

以上の結果からすべての場合に対し結論を下すことはできないが,一般的に云つて現像温度と現像 時間を標準の現像温度,現像時間から変化させても,欠陥検出能力の高い撮影結果を期待することは 困難である。このため欠陥検出能力の高い撮影を行うには標準の現像温度,現像時間で適当な濃度範 囲になるような露出を行うことが必要である。

なお,露田としては低電圧の方が欠陥検出能力が高いが適当な濃度にするためには露田時間が長く なる。実際には1枚当りの露出時間は数分程度にするのが普通であるため,その時の露出時間,すな わち最大許容時間で適当な濃度が得られるような電圧を選ぶべきである。

第3章 熔接部超音波検查能力

3・1 超音波検査による欠陥検出

超音波を使つて材料中の傷を検出することは、分野によつては既に広く実用されている。しかし必ずしも工業全分野にわたつて使われているわけではなく、時に熔接部の超音波検査は、その方法、目的によつて非常に難易があり、その有効な適用法は研究を要するところである。超音波検査法の特徴 とするところは

1) 検査方向の長さをX線より大きくとることができる。

即ち厚板を熔接したボイラーの場合,最近の如く高圧化したボイラーで肉厚の大きいものでは,X 線検査が装置の管球電圧,露出時間の点で困難になるのに反し,超音波によれば鋼板中の減衰がX線 より少いので,熔接で問題になる位の距離は充分透過することができる。

2) 超音波検査は検査業務に要する経費が少い。

熔接部をX線検査するには、熔接線の長さに比例してフィルム、現像費等を要する。超音波の場合 にも勿論接触媒質としての油が熔接線の長さに比例して消費されるがX線の場合よりは経費が安い。

3・2 熔接部の垂直探傷法

超音波探傷法のうちで最も簡易で、広く使われている方法は検査面と垂直に超音波を入射させる垂 直探傷法である。2~10 Mc の超音波インパルスを使えば、鋼板中の 0.2 mm 位の傷も容易に検出 されている。したがつて熔接線に平行に母材の端面がある場合にはそれを検査面に使つて熔接部の探 傷を行うことができる。また高圧ボイラーの場合のごとく肉厚が厚く、また補強盛を落してある場合 には、熔接部に接して、板面に垂直に超音波検査を行うことができる。

第 3·1 図 垂直探傷法

垂直探傷法の検査の要領を第3・1図に示す。この方法
 によつて傷の形状にもよるが0.2mm¢位の傷を2.25
 ~5 Mc位の周数で検出しえている。

-22 -

3・3 熔接部の斜角探傷法

上記のように垂直探傷法は多くの超音波検査において主役をなしてはいるが、熔接部の検査には不 適である。そこで熔接線検査を主目的として考案されたのが第3・2図の如く板面から斜に超音波を

送り込む斜角探傷法である。即ち探触子と板との間 にポリスチロール等で作つた楔をはさみ、板中へ斜 に超音波を輻射する。楔の頂角をかえることにより 板中へ輻射する超音波ビームの板面との角度を適当 にえらぶことができる。その角度は用途に応じて、 10~55°位の範囲のものが作られており、(何れも 鋼板に対し)また連続的にかえうるものもある、熔 接部検査ではこの角度を大きくとつて板中での反射 回数を多くするのは得策でない。補強盛部からの不 要な反射波が多くなるからである。現在本邦で使わ れているは 屈 折 角 45°(Sperry 製)および 70°



第3・3図 一探子法,二探触子法の区別

(Kelvin 製) のものが多い。しかし最近は両者共多くの角度の探触子を適用しているので、本回の実験では、Sperry 型、Kelvin 型とも 70°の探触子を使用した。なお 45° と 70° では優劣は明らかなので Sperry 型 45° のものは予備実験だけにとどめた。

インパルス探傷法では超音波を送り出す部分と、受信する部分とを一つの探触子で兼用させる一探 触子法と、送信受信別々の探触子を使う二探触子法とがあるが、斜角探傷法の場合も同様で第3・3 図(a)の如く1個だけ使うものと同図(b)の如く2個使う場合とある。(a)の場合は楔中での超音 波の多重反射による妨害波がブラウン管上に現われて測定者をまどわすことがある。(b)はその点は 問題ないが送波及び受波用探触子を適当に向い合わせて、検査したい個所に双方の超音波ビームが集 中するよう、熔接線までの距離に応じて角度を選定し直す必要がある。その角度に両探触子を保持す るための保持器も作られているが何れにしても一探触子方法に較べると探触子の保持がやつかいなの はやむをえない。

熔接線の検査に際しては熔接部から適当な距離(角度 α と板厚及び反射回数から 簡単に算出し得, グラフ化しておける。専用の計算尺もできている)だけ離して探触子を熔接線と平行に移動させなが らブラウン管上の反射波形を観察する。

3・4 熔接部の透過探傷法

板中に超音波を透過させると、板中に邪魔物があれば透過がさまたげられる。したがつて、一定量の超音波を送波器から板中へ送りこんでおき、熔接部を通した向い側で受波すると熔接部の傷の有無によつて受信出力が変化する。送受波器の相対関係を一定に保つたまま熔接線と平行に移動させれば、健全部と異常部で受信出力が異るので、それをメーターに指示させ或いは赤ランプをつけることもできる。インパルス法に較べて装置が簡単なので、今日の実験でも Lehfeldt 製 Sonometer によつて

- 23 -

試みた。

3.5 突合せ熔接試験片による欠陷検出能力の比較

3・5・1 実験装置及び方法

- (1) パルス反射式超音波探傷器二探触子斜角法による方法
 - a) 実験諸元

探傷器: Kelvin 製 Flaw Detector Mark 5

探触子: 送受別斜角探触子

鋼に於ける屈折角 70°

- 周波数 2.5 Mc
- 水晶径 25 mmø

接触子接触面 30 mm×50 mm

- 調度: パルス巾 max.
 - 利 得 max.
 - 消 去 off

接触媒質: マシン油

- 試験材表面: 圧延黒皮の儘
- 探傷位置及び入射方向: 熔接板第2象限に於いて, 熔接線に垂直な面に対して対称に送受信 探触子を置く(第3・4図)。探傷方向は超音波が裏面で1回反射して斜め下方より熔接部に 当るようにする。
- 走査方法: 熔接線より上記距離の位置を熔接線に平行に連続走査する。記録は 5 mm 間隔に とる。



NII-Electronic Library Service

b) 記錄図形說明

第5・1 図~第5・14 図の d_1 , d_2 , d_3 に探傷結果を示してある。同図縦軸はエコーの高さ、横軸は熔接部の位置である。

d₁ 図には探傷図形上で、熔接部のほぼ中心に相当する位置に生ずるエコー(第 3・5 図 A エコー)の高さを各位置に対して記録してある。

d₂ 図は探線図形上で、 熔接部の中心線をやや離れた位置に相当するところに生ずるエコー (第 3・5 図Bエコー)の高さを各位置に対して記録してある。同図上 \leftarrow 印は中心線より手前に生ずる エコーであり \rightarrow 印は先にあるエコーである。



第3・5 図

 d_3 図は d_2 図に記したエコーより更に先に生じたエコーの高さを記してある。(第3・5 図Cエコー)

(2) パルス反射式超音波探傷器1探触子斜角法による方法

a) 実験諸元

探傷器: 東京計器製スペリー式 型探傷器

探触子: 送受共用斜角探触子

鋼に於ける屈折角 66°

周波数 2.5 Mc

水晶径 25 mmø

接触子面積 30 mm×50 mm

探傷器周波数 2.25 Mc

調度: パルス巾 3

- 利 得 max.
- 消 去 off.
- 同 調 9.3

接触媒質: マシン油

- 25 -



第3・6 図

試験材表面: 圧延黒皮のまま

探傷位置及び入射方向: 熔接板第2象限上で, 熔接線に垂直に探触子を向ける。 熔接線との 距離は板の表裏面で1回以上超音波が反射して熔接部に当るような位置にて行う。(第3・6 図

走査方法: 熔接線より上記距離の位置を熔接線に平行に連続走査する。記録は 5 mm 間隔毎 にとる。

b) 記錄図形説明

第 5・1 図~第 5・14 図 e に探傷結果を示してある。同図縦軸は熔接部よりのエコーの高さ、 横軸は熔接部の位置である。

また同図中央上の図は熔接部近傍に於ける超音波の伝播方向を矢印を以つて示してある。

(3) 連続波透過式超音波探傷器による方法

(1),(2)の方式は超音波のパルスを発射するのに対し,この方法は連続的に超音波を発射する。 また(1),(2)の方式が超音波の傷からの反射波をとるのに対し,この方法は傷の部分で減衰する割 合を調べるのである。今回行つたのは第3・1表に示すレーフェルト社のソノメーターと称する装置 である。ソノメーターには樹脂製及び金属製の各種の接触子が附属し,特に球座を有するものは表面 に若干の凹凸があつてもよく超音波を入射させるので便利であるが,今回試作した各種の板型熔接試 験片の表面は種々雑多で,その黒皮の表面粗なものに対しては,球座を有する接触子を用いても一様 な入射が不可能であると共に,熔接母材は材料毎に減衰度が異る。更にまた表面の粗さによつても入 反射の際の減衰が異る。これ等を試験片毎に検査して補正し,欠陥の大きさ及び熔接部の減衰の大き さに比例させた測定直を求める必要がある。そこで今回は次に述べる特別のペネトラメータを用いた

第3	• 1	表	$\nu -$	フェルト社のソノメ	~
			77		

第	3	•	2	表
---	----------	---	----------	---

— тур п	の諸元
波数	$2.85 \mathrm{Mc/s}$
;域 巾	180 kc/s
步域 巾	130 kc/s
1 期	50 c/s
出 力	$1 \mathrm{mW} \sim 1 \mathrm{W}$
度	1~1000
"high" 測定電圧	3 mV
"low" 測定電圧	$0.3\mathrm{mV}$
、範 囲 無関係)	0.3 mV
	 - Iyp II 波数 減巾 減巾 減巾 調 出力 度 "high" 測定電圧 "low" 測定電圧 範囲 紙関係)

試験片番号	出力ダイヤル	感度ダイヤル	ペネトラ メーター (mm)
202	4.8	3	4
212	4.0	2.0	4
24	3.8	3	4
3	$\begin{array}{c} 4.3 \\ (4) \end{array}$	$\begin{array}{c} 1.2 \\ (1.2) \end{array}$	$\begin{pmatrix} 4\\(3) \end{pmatrix}$
8	3.8	1.2	4
91 (ビードあり)	6	4.25	3
91 (ビード削正)	4.5	1.2	4
125	5	2	4

水浸法によつて試験を行つた。

水浸法とは接触子の端から下試験片までを水中に没して試験する方法である。この方法では次に述 べるペネトラメーターを用いることができのみならず,表面の凹凸にそれほど鋭敏でないのが特徴で ある。測定を行う出力及び感度を定めるには次の方法を用いた。即ち試験片を予め超音波探傷して, 熔接部外で欠陥が無い場所を探す。その場所で熔接部の検査を行うと同じ状態に探触子を配置する。 ただ探触子の軸線に平行に一定の太さの鋼棒 (ペネトラメータ)を試験片上に水中に置く。ペネトラ メータによる減衰によつて丁度パイロットランプが点く(目盛4)ように出力及び感度を調整する。 このようにして定めた出力及び感度目盛を第3・2表に示す。そのような条件で試験することは,欠 陥のない鋼板にペネトラメーターの直径と同じ直径の孔を鋼板面に平行にあけたときの減衰とほぼ等 価である。従つてこのようにしてパイロットをつける減衰を与える位置を求めることは,各試験片に 同径の孔をあけて,減衰量をその孔による減衰に合せたのと同じ効果がある。

検査に当つては厚板に対しては一回反射,薄板(12~14 mm)に対しては3回反射による減衰を求めた。その模様は第3・7図に示す。探触子は熔接部検査用の枠に取付け,熔接線の両側に取付けたレールの上を探触子枠をころがしながら試験した。



第3・7図

試験結果(第 5・1 図 ~ 第 5・14 図 f)は横軸に長さ,縦軸に減衰量を示す。目盛0は減衰が大きく,目盛4は ϕ のペネトラメーターの減衰と等しい減衰,即ち鋼板にあけた ϕ の孔の減衰と等しい減衰を示すことを示す。目盛8~7は減衰が非常に少いことを示す。

鋼中の超音波の減衰は種々の原因によつて増加する。それ等の或るものは疲労強度に影響があると 考えられるが、或る原因は疲労強度と余り関係がないと考えられる。従つて鋼の減衰と疲労強度とを 直接結びつけることは現在の段階では不可能である。然し欠陥に基く減衰は比較的に大きいので、熔 接が一様に行われているなら、欠陥の部位は他の部位より減衰が大きいということにより検出でき、

- 27 -

全体に分布している欠陥は同じ熔接法の他の欠陥のない熔接部より減衰が逃だしいと云うことで判別 し得る。然しこの方法だけでは適確に欠陥の大きさ位置を知ることは不可能である。ただこの方法は 検査速度が早く,他の超音波検査より簡便であることに特徴がある。従つてこの方法は予備検査的な 試験や,品質管理用の試験には好適である。

3·5·2 実験結果

第1章記載の熔接試験片約 40 枚について実験を行つた代表的なもの7枚について補強盛切削前後のデーターを第 5・1~5・14 図に示した。また検査例として Kelvin 製探傷器による結果と X 線 との個々の比較を $3 \cdot 5 \cdot 3$ に示す。

超音波による熔接部検査の結果を総合すると

1) 熔接部の検査には斜角探傷法がよい。

2) 屈折角 45° のものよりも 70° のものの方がよい。

3) 補強盛のある場合はその反射波が検査をさまたげるため大きな傷しか検出できない。

4) 母材の面が悪いと検査できない。

5) 板厚約 12 mm 以上のものでは探触子を熔接線に平行に滑らせるだけでなく,第3・6 図の如 く前後にも動かす必要がある。

6) 直線検波方式と二乗検波方式の優劣は今後の検討を要する。

7) 一探型より二探型の方が近距離で探傷できる。

3.5.3 超音波と X 線による熔接部欠陷検査能力の比較

3・5・1 の実験を X 線写真と較べた結果を総合すると

1) 補強盛のある場合は双方共検査結果が不安定で大きな傷の場合しか一致しない。

2) 補強盛を落すと、X線で現れた単独の傷は全部検出できる。

3) 逆にX線写真で欠陥が認められなくても、反射波の現れる場合があり、これは何らかの欠陥の 存在することを示すものと考えられる。

4) 割れの場合は良く検出できる。

5) 板面に垂直な小さなクラックは強度的には影響が大きいにもかかわらずX線では小さく現れる が超音波を使えば相対的に大きく検出される。

6) 小欠陥が集合してある場合には反射波高は欠陥数に比例しては高くならない。反射波の巾が広



くなる。

 7) したがつて例えば第 3・8 図の場合, Aの 方がBよりも反射波は強く出る。X線の級別の判 定法では AB 共同級になる。

このように超音波検査結果はX線による結果と 本質的に違い得るものであり早計に双方の優劣を 決めることはできない。検査の簡便性の点で超音 波が優れ,検査の正確さに於いてX線が優る。特

に厚板の場合X線の欠点を超音波が補つている。全体としてもX線検査と超音波検査は相補つて効果

を発揮すべきものと考えられる。

第4章 熔接部磁粉検查能力

4.1 基礎試驗

磁粉探傷とは、強磁性体よりなる材料部品を磁化し、表面附近にある欠陥に基く漏洩磁束によつて 磁粉を凝集させ、欠陥の存在を知ろうとする方法であり、表面に用ている欠陥に対し、鋭敏なことは 勿論、相当深いところにある欠陥に対しても、その 方法さえ適当ならば発見可能なことが解つた。

4・1・1 円筒形大型試験片による実験

人工的の内部欠陥の例として,第4・1 図の如く 直径 223 mm 長さ 175 mm の軟鋼に,週に多数の 小孔を深さ及び大きさを変えてあけ,その中央にあ けた 30 ¢ の孔に 1″ の銅棒を通し,これに電流を 通して、表面に検索速な適用した。 スの体界を従く



第 4·1 図

通して,表面に検査液を適用した。その結果を第4・1表に示す。

表中△は辛じて磁粉模様が判る程度,□は普通の強さ,○は極めて明瞭な磁粉模様を示す。

磁石	と電流(A)		2500)		5000)	磁化電	2500			5000			
孔の 直径 (mm)	通電時間 孔の sec 深さ (mm)	1⁄6	1/3	1⁄2	<u>1</u> ⁄6	1/3	1⁄2	孔の 直径 (mm) 深さ (m	通電時間 sec m)	1⁄6	1/3	1 /2	1/6	1/3	1⁄2
$egin{array}{c} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{array}$	$egin{array}{c} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array}$							3 3 5 5	89 10 3 4	00	0	0	4		
$egin{array}{c} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \end{array}$	$7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 2$		0		\bigcirc			5 5 5 5 5	5 6 7 8 9	004					
$2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2$	$ \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{array} $							5 5 5 5 5	$ \begin{array}{c} 10 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \\ 6 \end{array} $			[""] ;			
2 2 3 3		00	00			00		8 8 8 8 8							
3 3 3 3	$\begin{array}{c} 4\\ 5\\ 6\\ 7\end{array}$						0000	8 8 8	$12 \\ 13 \\ 14$						

第 4・1 表

4・1・2 角型試験片による実験

人工欠陥として, 100×100×100 mm の各辺の中央に表面から各深さのところに 1 mm の孔をあ

-29 -

け、中央にあけた孔に銅棒を通して、銅棒に電流を流し、磁粉模様の現われる様子をしらべた。試験 片の形は第4・2図に示し、その結果を第4・2表に示す。



第 4·2 表

磁化器	孔の深さ mm 電流A	1	2	3	4	5	6	7	8
半 波	$ \begin{array}{r} 1000 \\ 2000 \\ 3000 \\ 4000 \\ 5000 \end{array} $	00000				A A O			
コンデンサー 式	$ 1500 \\ 2000 \\ 2500 \\ 3000 $								
仙台管式	$ 1000 \\ 1500 \\ 2000 \\ 2500 \\ 3000 $						· ·		
交 流	$ \begin{array}{r} 1000 \\ 2000 \\ 3000 \\ 4000 \end{array} $	0000							
極間法(AT)	$\begin{array}{c} 750\\ 900\\ 1050\\ 1500\\ 1800\\ 2100\\ 2400\\ 3700\\ 3000\\ 3000\\ 3300\\ 3600\\ 3900\\ 4200\\ 4500\\ 4500\\ 4500\\ 5100\\ 5400\\ 5700\\ 6000\\ 6300\\ 6600\\ 6600\\ \end{array}$					4 1 0 0	4 4 1 0 0	4 4 0 0 0	
三相全波整流	$\begin{array}{r} 850 \\ 2000 \\ 3000 \\ 4100 \\ 5400 \end{array}$	0	0						

- 30 -

4·1·3 結 論

以上二つの実験から、次のことが判明した。

- (1) 欠陥が小さいほど大きい電流を要す。
- (2) 欠陥が大きくなれば深いところにあるものまで検出し得る。
- (3) 通電時間は長いほどよいが、装置や試験片を焼損する恐れがあるため限度がある。
- (4) 電流波形によつて同じ電流でも欠陥検出能力が異る。
- 次に 1 mm
 Ø の孔の検出可能の限界の深さを記すと
- (5) 交流では最も内部欠陥検出能力が劣り、4000 A で深さ 3 mm まである。
- (6) 仙台管式はその次に位し、3000 A で深さ 4 mm までであり。
- (7) コンデンサー法は 3000 A で深さ 5 mm まで。
- (8) 単相交流の半波整流では 3000 A で 5 mm, 5000 A で 7 mm まで。

(9) 直流極間法, 及び三相全波整流では確実に深さ 8 mm まで検出可能であるが, 相当な大電流または大きいアンペアターンを要する。

(10) 従つて、厚さ 16 mm 程度までの鉄板なら、その熔接部の欠陥を両面から磁粉探傷によつて 調べることは可能である。但し、各種欠陥の検出限度は実験によらねばならない。

4・2 熔接部の磁粉探傷の基礎実験

現在一般に使用されている磁粉探傷装置は直流大電流を極く短時間通電して磁化を完了する形式の ものが多い。これらは焼割れ,研磨割れ等欠陥が表面に露出している場合や,疲労傷,偏析等の非常 に表面に近い場合には極めてよい結果が得られる。しかし最近諸工業の発達に伴い,高度の機械的性 質が部品や材料に要求されるようになり,従つて相当深部に存在する種々なる内部欠陥の検出が必要 になつて来た。

磁気粉末検査法を内部欠陥の検出に応用することはその性質上非常に困難である。しかしこれが応 用できるならば装置並びに操作が比較的簡便であるため、大量の製品に対する全数検査等には極めて 有効な方法と思われる。

従来の磁気探傷装置より更に強力な磁束と、より長い通電時間を使用できる電磁石式連続磁化法を 用い、薄板の熔接部に発生する内部欠陥に対し検査した結果をX線透過検査結果と対比し、或る程度 の確実性を認めた。直流電源としては直流熔接機をそのまま利用している。検査用磁気粉末は磁気録 音用テープ材料を容器素地と充分コントラストを有するようにし、その感度を調整したものをケロシ ンに懸濁させて用いた。

4·2·1 試験結果

連続磁化法は非常に欠陥検出感度が高いと同時に目的とする欠陥以外の原因,すなわち表面の凹凸, 熱影響による組織,応力の変化,または繊維組織等所調磁気的不連続に対してはすべて指示模様が観 察される。従つてその目的とする欠陥の観察は相当困難である。特に熔接部をビードのまま仕上げを せずに検査するには種々なる場合の指示模様をX線透過検査等で比較検討しておかなければ完全な検 査は行われ得ない。第4・3 図は鋸双の熔接による熱影響に基く指示模様である。第4・4 図は圧延

- 31 --



第4・3図 鋸の熔接熱影響部の指示模様



第4・4図 圧延組織の指示模様



X 線透過写真



磁 粉 検 査 第 4・5 図 割れ,アンダーカットの指示模様



X 線透過写真



磁 粉 検 査 第 4・6 図 スラッグ,アンダーカットの指示模様



X 線透過写真



磁 粉 検 査 第 **4・7** 図 溶込不足の指示模様



X]線透過写真



磁 粉 検 査 第 4・8 図 溶込不足, ブローホールの指示模様



第4・9図 余盛を削り取つた場合のブローホールの指示模様

- 33 -

組織の指示模様の一例である。

熔接部の指示模様は第4・5~4・8 図に示すように熔接特有のビードの波,アンダーカット,母材 二番の表面の粗さ等すべてが非常に明かに観察され,小さな欠陥はこれに禍されてしまうことが多い。 溶込不足,割れ,大きいスラッグ等は明瞭に指示される。ブローホールは4~5mmの細線となつて 第4・8 図のごとく無数に現れるので発見出来る。第4・9 図はビードを削り取つた場合のブローホ ールの指示模様である。第4・5 図第4・6 図の欠陥は板厚 16mm で相当深く存在する欠陥である が比較的鮮明な指示模様が得られる。

4・3 突合熔接試験片による磁粉探傷試験

基礎試験によつて、極間連続磁化法が最もよく内部欠陥を検出することが判つたので、今回製作した突合熔接試験片の検査はすべて極間連続磁化法によつた。

試験装置は第4・10 図に示す如く, 断面積 90 mm×100 mm 極間距離 150 mm の馬蹄形電磁石 の各脚に 1500 回巻き線をほどこしたものを用いその上に突合熔接試験片をその熔接線が,磁極を結 ぶ線に直交するように配置し, 20 A 流した状態で検査液を適用した。磁粉には赤色磁粉を用い,液 体媒剤には灯油を用いて試験し,電流を流している間に写真を撮影した。



第4・10 図

X線透過写真と比較すると次の如くなつた。即ち,磁粉探傷の特性として,表面に極く近いものは 非常に明瞭であるが,表面から遠くなるに従つて磁粉模様はボケて来る。これに対しX線写真は表面 からの距離に無関係に示される。また,磁粉探傷に於ては両検査面と交るわれ等の不連続面があると 非常に鋭敏に磁粉模様が現れるのに対し,X線では厚さが零に近い割れは非常に判別し難い。これ等 の諸特性を表記すると第4・3表の如くなる。

なお今回は実験を誤り、ビードある時の正確なデータが得られなかつたのでこれを載せてない。総 てビードのない時の結果についてである。

- 34 -
第5章 熔接部X線,超音波および磁粉検査の比較

X線超音波及び磁粉検査の特徴を調べ,それ等の欠陥検出能力を比較するために故意に欠陥ができ るように熔接して多数の板型熔接試験片を作つた。これ等に対し先づX線写真を撮り,各種類の典型 的な欠陥を有する試験片を選び出した。選び出した 39 枚の試験片を第5・1 表に示す。これ等に対 し先づビードがある状態でX線透過,超音波及び磁粉検査を行つた。超音波及び磁粉検査の方法は第

試験片 番 号	欠陥の種類	板 厚 (mm)	試験片 番 号	欠陥の種	類	板 厚 (mm)
161	ブローホール	12	69	直線状スラ	ッグ	10
162	"	12	106	"		16
103	"	13	204	"		12
201	"	12	87	融合不	白	15.5
68	//	10	94		Д Х	10.0
202	11	12	09	"		12
180	"	12	9 <u>4</u>	"		10
122	"	16	ۍ 	//		01
101	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	14	205	溶 込 不	良	12
101	N1 E / 9	14	61	"		19
210	"	10	62	"		19
211	"	10	8	//		22
212	"	16	36	"		12
213	"	16	127	//		12
214	"	16	128	"		12
215	"	16				
94	形状雑多たスラッグ	14	100	縦割	れ	13
21		12	111	"		16
23	"	12	91	//		15.5
20	"	12	133	"		10
203	"	12	125	横 割	ħ	14

第5・1表

3・4 章に記した通りである。次でビードを削り取つてから全く同じ方法で検査を行つた。第5・2表 はそれらについて行つた超音波探傷の結果である。X線,磁粉検査結果については全部を載せられな いので,その中の各欠陥の代表的なもの1枚づつを選び欠陥検査の結果を第5・1図~第5・15図 に示す。これ等の図中の右端にある $a_1 a_2 \cdots f$ の各欄の内容は第5・3表に示す通りである。また それ等の表示方法は第4章に於て説明した通りである。X線透過写真撮影の条件を第5・4表に示す。 の所見は第5.5表の通りである。

-35-

第5・2表 Kelvin 製超音波探傷器による熔接部欠陥検出能と X 線像との比較 試験片 探傷結果とX線写真対応 欠陥による分類 番 导 161 ブローホール 加工前は A, B 及 C 共に反射波が現われて居る。 加工後は A, C には反射波が現われて居ないが B には現われて居り, 其の傾向は加 工前のものと良く似て居る。但し,写真と反射波とは相応していない。 162 ブローホール 加工前は A には左端の大きな欠陥に対応する反射波が現われて 居ないが, 左よ り 130 mm の個所及 210 mm の個所の山は欠陥群に対応して居るように思われる。B は左端の欠陥に相当する反射波が高くなつて居り左端より 150~200 mm の間を除き 反射波の傾向は欠陥群に対応して居るように思われる。 加工後は,Aの左端の反射波および左端から 120 mm の反射波は欠陥に対応して居る ように思われるが左端から 200 mm より右に存在する欠陥に対応 する 反射波は現わ れて居ない。B の反射波は一部を除き欠陥部にほぼ対応して居るように思われる。 103 ブローホール三加工前後共,欠陥に対する反射波が現われては居るが,加工前は勿論,加工後も写真 には欠陥の見受けられない個所からの反射波が相当現われて居り判定は不 可能であ る。 201ブローホール|加工前後共, A, B を綜合すれば欠陥に一致する所もあるが, 反射波の高さは, 欠陥 の大きさには比例していない。 ブローホール!加工前は、反射波と、欠陥が一致していないが加工後は一致している個所もあるが、 68 写真に欠陥が無い所からも反射波が現われている。 ブローホール 小さな欠陥が巾広く全長に渡つて存在している。反射波も全長に渡つてかなり高く現 202われて居り、綜合すれば欠陥群と一致していると思われる。尚加工後の反射波は加工 前よりも全般的に低くなつている。 ブローホール 小さい欠陥 (ブローホール) が全長に渡つて存在するが反射波も全長に渡つて現われ 180て居り, A, B を綜合すれば欠陥群に対応する個所もあるが, 全般的には必ずしも対 応していない。 122ブローホール 加工前後共, A, B を綜合すれば比較的良く一致して居る。 101 加工前後共, A, B を綜合すればほぼ欠陥に対応して居り, 反射波の高さも, ほぼ欠 パイ プ 陥群の大きさに比例して居る。 **維多なスラック「加工前は, Aの方が対応して居るがBは写真に欠陥が現われて無い個所からも反射波** 94が現われて居る。加工後は A, B を綜合すればかなり良く対応して居る。 21雑多なスラック。加工前後共,A,B を綜合すれば反射波は欠陥に対応して居る。 雑多なスラッグ「加工前は、Aはかなり欠陥に対応して居る。加工後は写真の左端に大きな欠陥がある 23のにAに現われて居ないが, A, B を綜合すればほぼ対応して居る。 雑多なスラッグ二加工前後共、大きな欠陥の個所はいずれも反射波が高くなつて居るが、小さな欠陥が 24ある個所からもかなりの反射波が現われて居る。 雑多なスラック「加工前はAだけでもほぼ対応して居るが、A,B を綜合すればより良く対応してお 203 り、加工後の探傷結果の方が一層良く対応している。 直線状スラッグ 加工後は,加工前に比較して, A, B とも反射波の高さは低くなつているが其の傾向 106はほぼ同一で欠陥に対応している。 204 ウィービング不良 加工前後共, A, B を綜合すれば比較的欠陥と一致して居る。 によるスラック

87 融 合 不 良 加工前後共欠陥に対応する反射波は出て居るが、写真に欠陥が現われて無い個所から も反射波が現われて居る。

- 36 --

試驗片 番 号	欠陥	名による	分類	探傷結果とX線写真対応							
34	融	合 不	良	融合不足が殆んど全長に渡つているが, A, B を綜合すれば反射波も全長に渡つて出 ているが加工後は加工前に比べて, A, B の反射波はかなり低くなつている。							
3	融	合 不	Ŕ	加工前は,加工後に比べるとすべて欠陥波高が低く,欠陥とはあまり一致していない が,加工後は綜合すれば欠陥群と一致している。							
205	溶	込 不	足	溶込不足及他の欠陥が全長に渡つて出て居るが,反射波も A, B を綜合すれば全長に 渡つて出て居る。							
8	溶	込 不	足	加工前後の反射波の傾向は似て居るが綜合すれば、加工後の方が反射波と欠陥が一致 している個所が多い。							
36	溶	込 不	足	加工前後共,反射波の傾向は似て居るが,加工後の方がAが特に低くなつて居る。 A, B を綜合すればほぼ欠陥に対応して居る。							
127	溶	込 不	足	欠陥は全長に渡つて出て居るが,加工前後のAの反射波も全長に渡り極めて高く出て いる。							
128	裕	込 不	不 足 全長に渡り溶込不足があるが, Aの反射波も全長に渡つて極めて高く出ている。この 場合Bの反射波は極めて低くかつた。								
100	縦	割 れ 加工前後共 A, B を綜合すれば欠陥と良く対応している。かつ A, B の反射法 は加工前後とも殆んど同一である。									
111	縦	割	れ	加工前後共, Bには全長に渡つて現われて居るが, Aには欠陥があるにもかかわらず 反射波が現われていない所もある。							
91	縦	割	れ	加工前後共綜合すれば,欠陥はほぼ一致しているが,加工後の方が加工前よりも一致 している。							
133	縦	割	れ	欠陥は全長に渡り存在するが,反射波も全長に渡つて現われている。A,B を綜合す れば加工前後の反射波の傾向はほぼ同一である。							
125	樹	割	れ	加工前後共 A, B を綜合して見れば欠陥に対応して居ると思われる。							
21.0				加工前は, A, B 共に反射波は全長に波つて現われて居るが, 欠陥とはあまり一致し ない。加工後は加工前に比べるとBの反射波が低くなつて, Aの反射波が高くなつて いるが, A, B 綜合すれ欠陥と良く一致して居る。なおビードからの反射波と思われ るCは加工後は現われていない。							
211				欠陥は全長に渡つて存在して居り反射波も, A, B 綜合すれば全面に渡つて現われて は居るが, 写真上の欠陥の大きさと反射波の高さとは殆んど一致していない。又, 加 工後は加工前に比べると B の反射波が著しく低くなり一方 A の反射波が高く現われ て居る。							
212				加工前は B は欠陥と反射波は一致していないが A は中央の反射波を除き一致してい る。加工後はBの方が欠陥と反射波が一致している。							
213				加工前後共,写真に欠陥が見受けられない個所からもかなり高い反射波が現われて居る。又加工後は C の反射波は現われなくなり B の反射波も低くなつている。							
214				加工前後共, Aの反射波の方が欠陥と一致しているようである。尚加工後は, 写真で は欠陥が見られない個所からもかなりの反射波が現われている。							
215				溶込不足が全長に渡つて現われて居り, A, B を綜合すれば反射波も全長に渡つて現 われて居るが, 欠陥の大きさと反射波とは必ずしも比例していない。							
 	1- 1	······		χρ. Ε. 1. εξα /1Ν. εκαί με ματ							

註 1) 検査方法第 3・5・1 章 (1) 項参照。
2) 本表中 A.B.C. の附号は,第 3・6 図中のエコー A.B.C. に夫々対応する。

第 5・3 表

\mathbf{a}_1	外	観	写	阒	表	\mathbf{c}_2	磁粉模様の写真 裏
\mathbf{a}_2	外	観	孚	真	裛	$\mathbf{d_{1},d_{2},d_{3},}$	ケルビンによる測定結果
b	X	線透	過写	真		е	スペリーによる測定結果
\mathbf{c}_1	磁彩	} 模核	後の空	氵真	表	f	ソノメーターによる測定結果
	a_1 a_2 b c_1	a ₁ 外 a ₂ 外 b X; c ₁ 磁彩	a ₁ 外 観 a ₂ 外 観 b X 線透 c ₁ 磁粉模构	a1 外 観 写 a2 外 観 写 b X 線透過写 c1 磁粉模様の3	a1 外 観 写 真 a2 外 観 写 真 b X 線透過写真 c1 磁粉模様の写真	a1 外観写真表 a2 外観写真裏 b X線透過写真 c1 磁粉模様の写真表	a_1 外 観 写 真 表 c_2 a_2 外 観 写 真 裏 $d_1, d_2, d_3,$ b X 線透過写真 e $c_1 磁粉模様の写真 表 f$

第 5 · 4 表 X 線透過写真撮影条件

ビードを仕上げないもの

番号	X 線 装 置	管球電圧 kVp	管球電流 mA	露出時間 (分)	フィルム	增感紙	距離 cm	現像液	現像時間 (分)
202			—						
212	ザイフェルト・イ ゾボルト・400	240	6	1	フジ 80	${ m Pb} \\ 0.03{ m mm}$	78		20°C 5 分
24	· · · · · · · · · ·	120	3	0.6	フジ	Acme	44	FD-11	"
3		125	4	1.5	フジ 400	KZ-F	60	FD-R	"
8		140	3	1.7	フジ	Acme	44.5		
91		180	5	3	フジ 400	Pb	80	FD-111	20°C 5 分
125		126	5	1.5	"	KZ-F	″	"	"

ビードを仕上げたもの

番号	X 線 装 置	管球電圧 kVp	管球電流 mA	露出時間 (分)	フィルム	增減紙	距離 cm	現像液	現像時間 (分)
202	ザイフェルト・イ ゾボルト・400	225	6	1	Kodak M	Pb 0.03 mm	78.5	FD–R	20°C 5 分
212	//	255	"	"	"	"	58	"	"
24	//	225	"	"	<i></i>	"	78.5	"	"
3	//	255	"	"	"	"	78.1	"	"
8	11	295	"	"	"	"	77.5	11	"
91	"	240	"	"	"	"	78.3	"	"
125	11	225	"	//	"	"	"	"	"

第 5 表

試験片 番 号	所 見	備考
202.	欠陥の種類	ブローホール
	X 線 所 見	熔接部一面にブロホールが散在している。
	ケルビン所見)	単独の大きいブローホールには対応する。
	スペリー所見	然し、箇々の小さいブロホールに対応していない。
	ソノメーター 所 見	全体的に減衰が大きい点では合つている。
	磁粉所見	表面に近いもののみが出るが,表面近くにも沢山のブローホールがあることがわかる。

- 38 -

212	か怒の類物	مرد بر ۲ مرد
<i>LI</i> .	ス 船 所 目	ハイビノン
	ケルビン所見	二時に前に当時なハイビンノね間に頃ましたハイビンノがめる。
	スペリー所見	
	ソノメーター所見	
	磁粉所見	「右側のパイプは出るが、左側のは判らない。
24.	欠陥の種類	形状雑多なスラッグ。
	X線所見	左側と右側に大きなスラッグ群がある。
	ケルビン所見	ビード削正前後とも大きいスラッグからの反射波は切瞭である。小さい欠陥からの反 射波も見られる。
	スペリー 所見	加工前は左右とも解る。加工後も大体一致しているが,右側の反射波が却つて減少し ている。
	ソノメーター所見	実線が大体一致している。
	磁粉所見	大きい欠陥はよく対応している。
3.	欠陥の種類	融合不良
	X線所見	左側に ² 線の不連続な融合不良があり、中央から右に相当長い融合不良の線がある。
	ケルビン 所見	加工前は余り明瞭でないが、欠陥と反射波とは大体対応出来る。加工後は欠陥群とよく対応した反射波がある。
	スペリー所見	加工前後ともほぼ欠陥との対応が出来る。加工後の方がよく一致している。
	ソノメーター所見	X線で平面的に見えるものが、色々な深さにあることがわかり、よく対応している。
	磁粉所見	欠陥の中表面に近いものと,裏面に近いものとかよく解り。大体対応している。
8.	欠陥の種類	溶込不良
	X 線 所 見	左側に溶込不良があり、全長に亘つて不連続な融合不良がある。
	ケルビン所見	溶込不良からの反射波は左端に於ては加工前後とも明瞭だが, 左端より60~70mm 附近では手前にある欠陥が邪魔する為か明瞭でない。
	スペリー所見	加工前後ともほぼ欠陥と対応している。然し、右側の融込み不良はよく一致するのに
		対し、融合不良は明瞭でない。
	ソノメーター所見	融合不良が全長に亘つているので溶込不足は明瞭でないか,全体として減衰が多いこ とが判る。
	磁粉听見	左端照明むらのためよく解らないが,他の試験片から推定するとこの程度の融合不良 は非常によく解る。裏面に近い融合不良は非常に明瞭である。
91.	欠陥の種類	縦割れ。
	X 線 所 見	縦割れは左端から 150 mm 迄延び, 全長にわたつて融合不良がある。
	ケルビン所見	加工前後ともおおむね一致しているが,加工後の方がよく一致している。
	スペリー所見	X線の所見とほぼよく一致している。
	ソノメーター所見	箇々の山の説明はつくが,それだけからではどんな欠陥があるかは判らない。
	.	

- 39 -

91.	磁粉顶見	割れは裏面に近い裏ため面に非常に明瞭であり、融合不良は表面に近いため表面側に 非常に明瞭である。
125.	欠陥の種類	横割れ。
	X 線 所 見	全体に分布したブローホールがあり、中央部附近に数個所横割れがある。
	ケルビン所見	ブローホールの集団と反射波とが対応している。
	スペリー所見	ブローホールの群との対応はあるが横割れは判らない。
	ソノメーター所見	ブローホールが沢山あるために全体として減衰が多い。
	磁粉所見	ブローホルが沢山あることは解る。第5・14図には前に述べた磁化方法を用いたが, 第5・15図にこれと直角方向に磁化したものを示す。これによれば横割れが非常に明 瞭なことがわかる。

結 論

以上5章にわたつて述べて来たことを纒め、細かい点を省略して結論を述べれば次の如くなる。

1. X線超音波及び磁粉検査は各々その特徴があつて一つのみで結論を導き難く,一つを以て他に 代え難い。

2. 超音波反射とX線とを比較すると大きい欠陥はおおむね一致するが、細部にわたつては必ずし も一致しない。

3. 超音波透過とX線とを比較すると一面に分散した欠陥及び大きい欠陥はおおむね一致する。

4. 磁粉は表面近くの欠陥は非常に誇張されて出るから判り易い。ブローホールの如く微細な欠陥 の集りは連続した模様になつて個々の欠陥は必ずしも明瞭でない。

5. 試験した範囲の板厚では超音波検査ではビードを仕上げないではほとんど有効な検査を行うことができない。その場合,二探触子法の方が一探触子法より若干優れている。

6. 磁粉検査はビードを仕上げる必要があり、板厚 10 mm 以上の場合は両面より試験する必要が ある。

7. ビードのあるままの検査はX線がよい。

8. 大きい欠陥のみを見出したり、予備的な検査としては超音波が便利である。

9. 表面附近の欠陥を見出すには磁粉検査がよい。

なお今回は測定及び検討の時間が不足しているためすべての測定が終つてはおらず,また測定され たすべての結果について検討が終つていない。更にまた疲労強度を比較して,如何なる欠陥が最も疲 労に影響を及ぼすかを調べた時,そのような欠陥をよく検出する装置は何であるかを再検討すべきで ある。更にまた非破壊検査の各技術は非常な速度で進歩し,昨日不可能であつたことも明日可能にな ることが多い。従つて上に述べた結論もこれを報告した時の結論であり,少くとも一年経てば書き替 えを要する部分が出て来ると考えねばならない。

- 40 -







第5·1図 No. 202 ブローホール, ビード有り

- 41 --







-- 43 ---



NII-Electronic Library Service





第 5・5 図 No. 24 形状雑多なスラッグ, ビード有り

- 45 --







第5・7図 No.3 融合不良, ビード有り

- 47 -







第5·9図 No.8 溶込不足, ビード有り

- 49 -













第5・14 図 No. 125 横割れ, ビード削正



第 5・15 図 No. 125 横割れ,ビード削正
 横割れのため,磁化方向を 90° 変換したもの
 (磁力線はビードに平行)

- 55 -

第2編 欠陥と熔接構造の静的および衝撃強度との関係

第1章 熔接欠陷の人工的作成

1.1 緒 言

工業用構造物が熔接によつて組立てられることが常となつた今日においては,既知の機械的性質を 有する素材を以て組立てられた構造物の強度は熔接接手の強度に依存する。しかるに熔接接手におい て全く欠陥の存在しない場合は稀であつて作業の性質上何らかの欠陥が介在することが多い。

材料の一部に欠陥があれば, 強度に大きい影響があることは当然であつて, この間の関連性につい て深い研究が望まれるのである。

現在までに熔接接手の欠陥と強度の関係について、研究がなされていない訳ではないが、いずれも 定性的且つ再現性に乏しいものである上、その欠陥の判定もまちまちであつて劃一性がない。従つて この辺の不備をおぎない、綜合判断が可能であるように研究を行わなければならないのである。

ところが実際問題としては、熔接欠陥の場所的任意性,種類,大きさ等の不定,発生の条件的偶然 性のために通常の方法を踏襲したのでは徒らに経費と時間がかかつて定量的な再現性のある研究の成 功は期し難い。

このため本委員会においては、欠陥と強度の関係を研究する基礎として、人工的に任意の欠陥を作 成する研究から着手せんと計画し、31 年度においてこの研究計画に従つて実験研究を進めて来たの である。

この目論みは成功を博し,所期の如き成果を収めたのであつて,次下に於てその研究方法と結果を 述べて中間報告とするものである。

1・2 熔接欠陥の種類と作成上の必要条件

I.I.W. に於ても我が国通産省工業技術院に於ても、欠陥の種類と等級を規定している。

本委員会に於ても欠陥を定義する必要上,大体その標準に則り,次のように欠陥を分類した。標準 の規格案をそのまま採用しなかかつた理由は次のようである。即ち,研究せんとする欠陥と強度の関 連性は,実際に使用すべき構造物の包蔵せる欠陥の強度に及ぼす影響であつて欠陥の全般に亘るもの ではない。また欠陥作成上便利な分類とするためである。

I. Blow hole

- (a) porosity
- (b) piping
- II. Slag inclusions
 - (a) slag 点在する。形,方向任意

-56 -

- (b) slag line
- (c) weaving faults
- (d) bad chipping
- (e) その他
- III. Lack of fusion 融合不良
- IV. Incomplete penetration 溶込不足
- V. Cracks
- VI. Undercutland overlap etc....
 - 〔註〕 不合格と判定されるものは研究の対象としない。

完全熔接は研究の対象でない。

以上の如き分類に従つて欠陥を作成する計画を立てたのであるが, 強度的観点からまた作成上の観 点から,大まかに

- A. (I) Blow hole
- B. (II) Slag inclusion
- C. (III. IV) poor penetration
- D. Cracks
- E. その他

とした。人工的にこれ等の欠陥を作成する以上,これ等の欠陥は再現性がなくてはならない。また大 きさ,密度,場所が任意にできねばならないのである。この要求を整理すれば

- (i) 再現性のあること。
- (ii) 特定の場所に,任意の形状,大きさの欠陥が,任意の密度で作成されねばならぬ。
- (iii) 製作が比較的容易でなくてはならない。(経済的,時間的に)
- (iv) 欠陥を作成したために熔着金属の特性が変化してはならない。また止むを得ぬ時は, はつき
- りした補正が必要であつて、これが可能でなくてはならぬ。
- (v) 実際の場合に則したものであること。
- である。

委員会を開催しこれ等の要求を満し得る方法を討論し,実験研究を行つた結果,次章以下に述べる 如く,成功を収めたのである。

1・3 熔接欠陷作成のための予備実験

1·3·1 熔接条件

欠陥を作成するに当つて、先づ普通には避けねばならぬとされている条件について考えたのである。 即ち欠陥ができ易いから悪いと判断される事実を挙げると

- (i) 熔接棒の乾燥を行わない。(ブローホール)
- (ii) 開先の清掃が行われない。(スラッグインクルージョン)
- (iii) 熔接条件が不適当である。

(iv) 熔接技倆が未熟である。

(v) 棒の型式

(vi) その他

等あつて、これ等を一々検討して最悪の場合を考えて実験を行つた。

この外に、これ等の事柄から派生的に類推される事態を予想しての実験も行つた。

まず"熔接棒の乾燥が不充分である"→"乾燥しない"→"水に浸す"と考え、雨中作業等の場合は起り得ることであるとして、低水素棒を水に浸し、また試験片を水に浸して熔接した。

Ⅰ. 開先の清掃不充分と云う場合について,開先に異物を入れて熔接することと多層盛熔接の場合 に先の熔接残滓を全く除去しないで熔接した。

また酸化皮膜の厚いものがある場合を予想し、塩水に試験片を浸漬し、これを取り出して放置し、 錆を生ぜしめそのまま熔接を行つた。

■. 故意に過大電流・過小電流を用い,不適当条件下の熔接を行つた。

Ⅳ. 技倆の未熟な人々による熔接も行われた。

V. 棒の型式については、裸棒を使用すること、と flux 中の Mn, Si 含量を変えることが考えられた。

 ∬. ガスを吹付けながら熔接する方法と機械的な方法によつて欠陥を作成することが問題となつた。
 如上の検討を実験に移すに当つて、実際の条件に即さぬものとか作成至難のものは再検討の上、除

 かし、起り得る場合について考えた。

(1) Blow hole

- (a) 開先に砂を撒いて熔着する。
- (b) ベンガラを撒く。
- (c) 試験片及び熔接棒を水に浸して熔接する。
- (d) 砂と水を開先に置いて熔接する方法。
- (e) グラフアイト粉末を撒く。
- (f) 銹の影響
- (g) **O**₂ gas を吹付けながら熔接する。
- (h) Ar gas を吹付けながら行う。
- (i) Compressed air. N₂, CO₂ 等, その他の gas を吹付けて行う。
- (j) 技倆未熟の人々によつて熔接する。
- (k) 不適当条件で熔接する。
- (1) 棒種をかえて行う。
- (m) 有機物を開先に入れる。
- (n) 機械的な方法。

(2) Slag inclusion

- (a) 開先を清掃しない。つまり熔接残滓を残したまま熔接する。
- (b) 多層盛の場合, 第何層目かに孔を明け異物を塡充してその上を仮付けし以下の層を熔着す

--- 58 ---

る。

- (c) 開先の形状とか熔接方法による。
- (3) poor penetration
 - (a) 機械的な方法
 - (b) 熔着法による方法

の如くである。

ັ
悲しい外観上の欠陥(非破壊検査以前に不合格となるもの)とか, crack の如き不合格のものについては今は触れないことにする。

次に、この各条件について実験が行われたのであつて、その方法と結果をのべることにする。

1・3・2 予備実験とその結果

(1) Blow hole の作成

1) Blow hole の作成の項目中 (a), (b), (e), (m) の各項目は熔着金属中に於て, これ等の 物質が熔解または蒸発して凝固後に blow hole を残すのではないかと考えて 実験したものであつ てその結果の中の代表的な例を第 1・1 図に示す。この図は 見易くするために X 線フィルムを模 写し, それを 1/2 に縮尺したもので以下全部これに做つた。 それらの熔接条件は以下のものも含 めて第 1・1 表に示す。これによれば多少の差はあれども Blow hole が発生した。

(c) は雨中作業時に起り得る場合であるし、熔接棒は乾燥して行うものであるため、このような時の最悪の場合の想定による。この際も僅か Blow hole が発生した。



第1・1 図

— 59 —

	:			熔	:	接 条	き 作		
試料記号	熔接種類	姿勢	熔接棒	開先	ルート (mm)	電 流 Amp	表 而 状 態	バッキング	層数
3B1	V衝合	下向	G-200, 5¢	60°	6	150	裏面グラインド 表面そのます	有,熔接後除く	5
3B4	"	//	//	"	"	$150 \sim 170$		"	"
3B5	"	//	//	"	"	"	"	"	"
3B6	"	//	LB-26, 5¢	"	"	$190 \sim 220$	"	"	"
3B7	"	//	"	"	"	240	"	"	7
3B9	"	"	"	//	"	"	"	"	"
3B11		//	B-17, 5ϕ	//	"	230	"	"	"
3B13	"	"	TB-24, 5ϕ	//	"	235	"	//	"
3B18	"	"	HC-24, 5 ¢	"	"	190	"	"	"
3B19	"	"	A-100, 5 ¢	"	"	$190 \sim 210$	"	"	8
3C3	"	"	LB-26, 5¢	"		250	11	<i>"</i>	7
3C6	"	"	//	//	"	"	"	"	"
3C8	"	//	LB–55, 5ϕ	"	//	$190\sim 220$	"	"	8
4Ba2	//	//	LB-26, 5¢	<i>11</i>	//	$190 \sim 230$	11	"	7
4Ba3	"	"	B-17, 5ϕ	//	//	$190 \sim 210$	"	"	"
4Ba6	"		LB-55, 5¢	//	"	$190 \sim 220$	"	"	"





第1・2 図





第1・3図

この実験結果の例を第1・2図に示す。

(d) は (a) と (c) の影響が重畳すれば欠陥のでき方は甚しいと考えられたためである。この1 例を第 $1 \cdot 3$ 図に示す。これによれば各層毎に試験片を濡らし砂を撒いただけでは Blow hole は 発生しなかつたが乾燥しない低水素棒では発生している。

(f) も屢々起り得る Case と考えられる。(第1・4図)

この際には Blow hole の発生は僅か熔接の始端と終点に出たものがあつたに過ぎない。

(g), (h), (i) は熔着金属に及ぼすガスの影響と,分子状ガス気泡の内圧と亀裂の関係などの想定より実験したもので,その方法によつて欠陥を作ることに成功した。これについては後に述べる。

(i), (k) は実験の結果,良好な実験でないことが明かとなつたので考えないことにした。

(1) 各種の型の熔接棒による実験も行われた。(第1・5図)



第1・4 図





第1・5 図



第1.6 図

- 61 -

この結果 TB-24 にスラッグ, HC-24 に Blow hole が現れたが B-17, TB-62は無欠陥 LB-26, B-30 は始端および終端に僅か欠陥があらわれていた。

 $(l)_{2}$ flux 中の Si, Mn 量を変えた熔接棒による熔接も行われた。 その結果の1例を 第 1・6 図に示す。

これは自然発生の blow hole と同じものであるので人工的のものとの比較をするためである。

(m) 有機物として oil を開先面に塗布して熔接した,この方法は成功しななつた。

(n) 最も適当な方法であることが判明した。今後実験遂行の中心となる方法であると考えられるので詳細に次章にのべることにする。

- (2) Slag inclusion
 - (a) 普通の方法で、ただ前層熔着時の熔接残滓を残して熔接したのみでは余り欠陥はできなか つた。(c)の熔接方法を按照する方法の combination として成功した。

(b) は余り適当でないようであつたので実施しなかつた。

(c) 種々の実験の結果成功した。(第1・21図)





第1・7図 (b) 開先の形状を変えて第1・7図のようにhをかえて行う。

(4) この外にスターター,クレーター部に欠陥が生じ勝ちであると云う事実に鑑み,ビードの上



第1・8 図

$$-62 -$$

から下まで等しい密度で欠陥が分布するような試片が得られないかと考えて,カスケードタイプ の熔接を行つた。

この結果は Blow hole が多くできたその1例を第1・8 図に示す。

1。4 熔接欠陷の作成

1・4・1 Blow hole 欠陷の作成法

前節 1・3 の予備実験の結果より判断して, 欠陥作成上の必要条件をすべて満足するものとしてガス吹付け法と機械的方法の2つがある。

(1) ガス吹付け法

この方法の特徴は Blow hole が自然であつて, 機械的方法のように Blow hole の形状についての心配はないことである。しかし位置の指定と密度の調整が困難で

あることと,ガスを吹付けたために熔着金属の特性が変らないかと いう心配がある。従つてこの方法を応用できる場合は,大型の試験 片について現行 JIS 判定規格の4級,5級に相当するような多数 の欠陥を作成する場合に最も適している。各層毎に行えば均等に分 布した欠陥も再現できる。この場合の欠陥の密度はガス圧力,流量 を調整してX線写真をとつて予備試験を行い,所要の条件を採用す ればよい。方法は第1・9 図の如くである。





第1・10 図

-- 63 ---

現在までに実験に用いられたガスは $Ar \ge O_3$ である。その結果流量を大にすれば Blow hole の 数も多くなつた。その1例を第1・10図に示す。

また試験片断面の写真を第1・11~1・12図に示す。

ガス吹付け法によるときはガスの影響によつて熔着金属の特性が変化しないかどうかという問題が 起きて来る。そこでガス吹付け法によつて欠陥を作成した場合は、その熔着金属自体の特性を吟味し



第1·11 図 O₂ gas 吹付け



第1·12 図 Ar gas 吹付け

第1・2表 欠陥作製に用いたガスが熔金に及ぼす影響

試験温度と衝撃吸収	(エネ	ルギ	— .
-----------	-----	----	-----

温度 °C		-60		Ì	-40		-1		20	0		20	
試嗎 棒種	_{贪片} No.	1	2		3	4		5	6	7	8	9	10
B-17	(B7)	0.8	0.6	:	2.4	3.2	:	6.2	4.5	7.0	5.3	12.6	7.0
LB-26	(LB)	10.5	10.5		6.8	5.6		16.7	12.9	20.5	21.9	22.2	19.8
В–17, Ал	: (AB)	2.7	2.4		2.9	2.2	-	3.6	6.8	9.6	10.2	11.2	10.2
$B-17, O_2$	(OB)	2.2	2.0		0.8	0.6		3.4	2.7	5.6	5.1	9.6	5.3
LB-26, 1	Ar (ALB)	6.2	6.2		6.5	8.3		14.3	19.5	9.3	13.3	21.6	20.6

(註) Vノッチ衝撃試験片 (シャルピー),浸漬時間 30 分間



試験温度と衝撃吸收エネルギー

NII-Electronic Library Service

試験温度と脆性破面率

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
▲ 温度 (°C) 棒種		60	-	- 40		- 20		0		-20	備行
	73	78	68	70	52	38	24	32	0	0	脆性破面積
B-17	91.0	97.5	85.0	87.5	65.0	47.5	30.0	40.0	0	0	" (%)
	94.5		8	3.5	56	56.5		35.0		0	〃 平均(%)
	80	80	65	75	55	28	12	9	2	8	"
B-17 (Ar)	100	1.00	81.0	94.0	69.0	35.0	15.0	11.0	1.6	10.0	"
	100 87			7.0	25.0			13.0		5.8	//
	80	80	80	80	44	56	31	40	. 7	3.7	"
$B-17-(O_2)$	100	100	100	100	55.0	81.0	39.0	50.0	8.7	4.6	"
	100		1	100		68		44		.6	
	60	65	75	76	35	50	15	10	12	14	//
LB-26	75.0	81.0	94.0	95.0	44.0	62.5	17.8	12.5	15.0	17.5	"
	78.0		94.5		53	53.2		.5	16.2		//
	80	75	63	68	43	35	40	32	14	15	"
LB-26 (Ar)	1.00	94.0	79.0	85.0	54.0	43.0	50.0	40.0	17.5	18.8	"
	97		8	82		48.5		45.0		.1	//

第1・3表 欠陥作製に用いたガスが熔金に及ぼす影響

なければならないので,ガス吹付けによつて欠陥 を作成した熔接接手について,X線透過検査を行 い,欠陥のない場所を選んでシャルピー標準試験 片を切り出して衝撃試験を行つた。その結果を第

1・2 表, 第1・13 図, 第1・3 表, 第1・14 図に示す如くガス吹付け法により作成された欠陥 と機械的性質との関連性は明瞭な差は認められな



第1・15 図

い。またこの方法による欠陥の作成の再現性はむつかしい。また試験片の切り出し方は第1・15図の 如くである。

(2) 機械的方法

極めて厳密に欠陥の位置,大きさ及び密度が指定し得る方法であつて今後この方法を主体として実 験研究を行う予定である。その方法は第1・16図に示す通りである。即ち第2~第3層上にドリル で孔を明けてから次の層を熔着するのであつて,ドリルの径と穿孔の深さを変えると任意の大きさの





第1・17図

- 65 -



第1・18 図

Blow hole の標本ができる。 熔接接手のX線透過写真で屡々現れるような Blow hole は、 $1\sim1.5$ mm の径のドリルを用い $1\sim3$ mm の深さに穿孔すれば適当と思われる。このために作成した試験片のX線透過写真と欠陥部切断面の写真を示すと次の第 $1\cdot17$ 図の如くである。

なお第1・18 図のX線透過写真は、後に機械試験のための試験片を作成する場合の準備として、 ドリル径とピッチをかえて作成した欠陥の比較である。その熔接条件は以下のも含めて第1・4表に 示す。

第1・4表

					熔		接	条件		
試料記号	熔接種類	姿勢	熔接	棒	開先	$\mathcal{V} \leftarrow \mathbb{P}$ (mm)	電 流 Amp	表 面 状 態	バッキング	層数
4Bb2	V衝合	下向	G–200,	5ϕ	60°	6	150~170	裏面グラインド 表面そのまま	有, 熔接後除く	7
4Bb3	"	//	B–17,	5ϕ	"	//	//	//		5
4Bb6	"	//	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		"	//	$190 \sim 220$	"	//	
4Bb7	"	//	"		"	//	"	"	"	ΤĻ
4S2	"	//	"		"	//	$190 \sim 210$	"	"	9 7
4P1	"	"	//			//	130	"	"	

- 66 ---

(2) Slag inclusion

はじめに, 熔接残滓を残して後の層を熔着すればできるとのみ考えて種々と試みたが成功しなかつ た。

数次の実験の後に次の如き方法で巧みに Slag inclusion ができることが明かとなり、この方法を 繰返したが極めて再現性よく、これ等の一連の写真を第1・19図に示す。



第1・19 図

作成方法は第1・20図の如くである。

即ち,始め2層位を熔着した後,弱い電流で1~2層を 熔着し,そのままでその上に4~7層目を熔着する。かく て作成された試料のX線透過写真の1例を第1・21図に 示し熔接条件は第1・4 表に示す。

(3) poor penetration

Blow hole 作成の時の、ドリル穿孔法よりの類推で、第





第1・21 図

- 67 --



第1·24 図

2~第3層まで熔着した熔着金属に第1・22図のようにノコ目を入れてから後第4~第7層を熔着 する。この方法によつて、溶込み不良の欠陥標本の作成は成功した。

この場合の試験片断面を第1・23図に、またそのX線透過写真の1例第1・24図に示す。

第2章 熔接欠陷の機械的強度におよぼす影響(予備実験)

2.1 緒 言

以上の如くして熔接欠陥が充分なる再現性を以て、定量的に、しかも任意に作成し得ることが明か となつたので、これを機械試験に移し、強度との関連性を求めねばならない。このため試験方案を作 成して試験を行うことになつた。

まず"試験方案原案"が提出されて、実験を二、三行い、その結果正式に方案を決定することとなった。

普通に考えられる試験法としては

1) 引張り試験

- 2) 曲げ試験
- 3) 衝撃試験
- 4) その他

である。

試験片は大型と小型の両者を行う予定であつて、どの荷重方式の場合も小型試験片で試験して、そ

- 68 ---

の結果を見てから大型にする。

2・2 試驗片の形状

2·2·1 H 型拘束試験片

応力下に於て甚しい欠陥を包蔵する構造物が温度変化によつて脆性破壊を起すや否やを確めるため 第2・1 図のような中央に人工欠陥を有するH型拘束試験片を作り bath に浸漬して温度変化を与え る。

a) 該 験 片

中央に A.D. (Artificial defect) を有する H 型として bath に浸漬して温度変化を与える。



が 武験温度は -70, -100 C で各 2 時間保持

第 2・1 図

2・2・2 引張り試験

引張り試験片は第2・2図の如く4種類の試験片を作成する。

- (I) 各種人工欠陥を有し notch を有す
- (I) 各種人工欠陥を有し notch なし
- (■) 完全な熔接部 notch あり
- (Ⅳ) 完全な熔接部 notch なし
- Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ の比較より
 - i) 如何なる欠陥は如何なる notch に対応するかということ。
 - ii) 欠陥の影響

を求めることができる。

- ・遷移温度
- ・相当高温まで試験を行う。
- 2・2・3 曲げ試験

試験片,曲げ方等はその都度決定するが一応,シャルピー型試験片で Slow bend を行うことと

- 69 -





第2.3 図 試験片形状



第 2 · 4 図 欠陥作製法

後グラインダー仕上後ドリル穿 孔を行う。その上に又4層熔接 しドリルにて穿孔、穿孔完了後



第2.5 図 試験片採取要領





第2・7図 大型引張り衝撃試験片
free bend が予定されている。

2.2.4 衝 撃 試 験

(1) 小型曲げ衝撃試験

小型試験片によつてはドリル穿孔法による欠陥 model の影響を求める。

なお欠陥の位置と剝離、あるいは亀裂進路の関係を も求め得る。

試験片は第2・3~第2・5図の如く採取する。

(2) 大型曲げ衝撃試験片

その形状は第2・6図に示す。

(3) 大型引張り衝撃試験片

その形状は第2・7図に示す。

2・2・5 欠陷と亀裂進展の関係

カーンタイプ試験

第2・8 図

-1++1++1++1++11++11++1

坣

THIL

HIH

カーンタイプの試験片に第2・8図の点線のような種々の角度の欠陥を包蔵する熔接部を作り、こ れを破壊せしめて, 亀裂の進展の仕方を見る。

2·3 予備強度試驗結果

以上のような、試験法案に基づいて、予備的に実験を行つた。既に行われた実験の一部の結果を次 に示す。

2.3.1 衝撃試験結果



- 71 -



試験片の形状は第2・9 図の如くであり、その結果は2・10~2・11 図である。その破面が第2・12 図である。また欠陥と位置と衝撃値との関係第2・13 図を得た。



第 2 · 11 図



第2・12図



-72 -

更に欠陥と衝撃並びに Slow Bend の関係について第 $2 \cdot 13$ 図の試験と同様な欠陥を有する試験 片について第 $2 \cdot 1 \sim 2 \cdot 2$ 表を得た。

討ト		No. 1	No. 2	No. 3
片番号	温度 (°C)	Notch 0mm 吸収エネルギ (kgM/cm ²)	Notch 2mm 吸収エネルギ (kg-M/cm ²)	欠 陥 な し 吸収エネルギ (kg-M/cm ²)
$\frac{1}{2}$	20	$\begin{array}{c} 6.2 \\ 5.3 \end{array}$	$\begin{array}{c} 12.9 \\ 6.2 \end{array}$	11.4
$\frac{3}{4}$	0	$\begin{array}{c} 3.7\\ 3.9\end{array}$	$9.6\\10.5$	9.8
	- 20	$\begin{array}{c} 4.2\\ 3.7\end{array}$	$\begin{array}{c} 11.2 \\ 5.1 \end{array}$	5.0
7 8	-40	3.4 2.7	3.7 3.2	2.6
910	-60	$\begin{array}{c} 0.8\\ 1.8\end{array}$	$\begin{array}{c} 2.4 \\ 3.2 \end{array}$	2.6

第2・1表 欠陥と衝撃との関係

第 2·2 表 欠陥と Slow Bend の関係

試験片	温 度	No. 1, No	tch 0 mm	No. 2, Notch 2 mm				
番号	(°C)	曲 げ 角 (æ`)	荷重 (kg)	曲 げ 角 (a°)	荷 重 (kg)			
11	-40	12	790	. 26	1,130			
12	40	11	910	32	1,170			
13	-40	12	1,000	26	1,140			
(註)			•	/ <u>.</u>	· · · · ·			

2·3·2 H 型試験片についての試験

- (1) H型試験片に熔接を行い、その熔接部に欠陥を作成せしめ、-70、-100°Cの温度にて各
 2時間保つたが、熔接部に亀裂は現われなかつた。
- (2) H型試験片の応力を測定するため第 2・14 図に示す如く SR-4 を用いて応力測定を行つた。 その結果第 2・3 表に示す如きの結果を得た。



	第 2·3 表 測定結果												
		変 型 10 – b	応 力 kg/mm²										
表	a b	$+170 \\ -700$	$^{+ 0.9}_{+ 15.0}$										
裏	a b	$^{+170}_{-780}$	$^{+1.5}_{+16.8}$										
	1												

結 言

以上の報告のごとく各種の熔接欠陥は、人為的に、充分な再現性を以て、しかも定量的に作成し得た。 32 年度に於てはこれらの方法によつて作成した欠陥を包蔵する熔接試験片を多数作成し、あらゆ る機械試験を施して、欠陥と強度の関係を明かにせんとするものである。

-73 -

欠陥と強度の関係が明かとなれば、熔接欠陥に対する理由のない恐怖と、ために起る神経の消耗は 全く除かれるのであつて、熔接関係者のこの問題に対する待望は久しいものがあつたのである。 またそのために、不必要なまでに high order class の判定結果を要求し、徒らな費用をついやす ような弊風も改められることになるであろう。

第3編 実船における熔接欠陥と事故との関係

実船の熔接はどの程度の欠陥を含んでいるかまたその欠陥が事故にどんな関係があるかと言うこと の調査が実際上必要である。この調査を行うにあたりまず現在の新造船の熔接部はどの程度に欠陥を 含んでいるかということを調査し、なお外国の修理船について同様な調査を行つた。

第1章 我国における新造船の熔接部における欠陷の調査

調査結果を第 1・1 表から第 1・6 表に示し,またそれを見易くするため 第 1・1 図 から第 1・6 図に図示した。

成平下	ソト成で同ら	検	査	場	所	不	良	個	所	不	良 発	生率	%
加口里	道炉仍	現	場	地	Ŀ	現	場	地	Ŀ.	現	場	地	Ŀ
貨	A B C D E	$162 \\ 177 \\ 170 \\ 106 \\ 154$		$242 \\ 94 \\ 186 \\ 32 \\$		10 29 41 14	$16 \\ 29 \\ 9 \\ 41 \\ 14$		$\begin{array}{c} 24\\ 13\\ 8\\ 8\end{array}$		$10 \\ 16.4 \\ 5.3 \\ 39 \\ 9.1$		$0 \\ 3.7 \\ 4.3 \\ 5 \\$
物	F G H	$32 \\ 113 \\ 212 \\ 107$		48				1		$18.8 \\ 14.2 \\ 10 \\ 7.3$		2. 	
船	1 166 J 48 K 94 平均 140		48 94 40	$5\\67\\43\\90$		$\begin{array}{c}12\\3\\15\\15.7\end{array}$		55 58.6		1 1	$7.3 \\ 6.3 \\ 15.9 \\ 13.8$		7.5 1.6 1.7

1·1 各造船所X線検査結果

第1·1表

第1・2表

船種	्य- हम चट	検	査	場	所	不	良	個	所	「不.	良 発	生 率	%
脂悝	道加州	現	場	地	上	現	場	地	Ŀ	現	場	地	上
油	A B C D E	348 120		(322 16	52 	2 - - -		51 2		$ \begin{array}{c} 14.9\\ -\\ 16\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\$.2
槽	F G H	1	$\begin{array}{c} 68\\141\end{array}$		$\begin{array}{c} 47\\272\end{array}$		$\begin{array}{c} 12\\12\\\end{array}$		$ \begin{array}{c} 0 \\ 48 \\ \hline \end{array} $.7 .5	0 17	.7
船	I J	2			11	L -		27	4.1		26.8		
	K 平均	1	90		210	21	.3		25.5	12	.2	13	.8

-- 75 ---

1·2 工事種別 X 線検査結果

二事	造船	検査	個所	不良	個所	不良発生率			
種別	所	現場	地上	現場	地上	現場	地上		
	Α	33	103	2	10	6.2	9.8		
	в	40	26	2	0	5	0		
L	C	34	70	1	1	3	1.4		
-4-	D	26	16	9	6	35	37		
	Е	54		5		9.3			
申	F	10	6	2	0	20	0		
;	G	43		9		21			
	H	66		3		4.5			
板	Ι	60	2	1	2	1.7	100		
	J	5	22	1	0	20	0		
	Κ	18	24	3	3	16.6	12.5		
	Α	36	54	7	3	9.5	5.5		
	В	17	16	3	1	17.6	6.3		
船	С	44	46	3	1	7	2.2		
	D	17	3	10	2	58	67		
側	\mathbf{E}	36		3		8.3			
	\mathbf{F}	8	8	1	0	12.5	: 0		
外	G	44		5		11.4			
	H	48		15		31.2	·		
权	Ι	55		9		16.4			
	J	24	24	2	0	8.3	0		
	K	38	5	7	0	21.2	0		
	Α	94	85	7	11	7.4	13		
	в	97	12	17	1	1	8.3		
船	С	48	36	2	1	1	2.9		
	D	39	10	16	0	0	0		
底	\mathbf{E}	64		6					
	\mathbf{F}	9	16	2	0	0	0		
外	G	26		2					
	Η	54		2			·		
板	I	46	3	0	3	0	100		
	J	19	27	0	5	0	29		
	K	2	14	0	2	0	14.3		

第**1・3**表(貨物船)

第1·4表 (油槽船)

			•				
工事	造船	検査	個 所	不良	個所	不良多	発生率 ど
種別	所	現場	地上	現場	地上	現場	地上
	Α	154	223	21	15	13.6	6.7
	В						
L	С						
_E.	D	25	3	5	0	20	0
	Е						
甲	F	24	20	5	0	20.8	0
	G	44	111	4	18	9.1	16.2
	н	- -					·
权	Ι	79	39	1	5	1.27	12.8
	J						
	Κ						
	Α	46	108	12	11	26.1	11
	В						
船	C	Access of					
	D	54	3	12	1	22	33
側	\mathbf{E}						
	\mathbf{F}	26	5	4	0	15.4	0
外	G	46	85	0	9	0	10.6
招	H	!	·				—
102	1 -	90	21	6	5	6.6	23.7
	J						
	K		······	;			
1	Α	148	175	29	9	12.8	5.1
	В		!				
船	С						
	D	33	8 .	2	1	6	13
底	\mathbf{E}						
	F	18	22	3	0	16	0
外	G	51	76	8	21	15.7	27.6
栀,	H						41 5
112	I	100	41	4	17	4	41.5
	J			-		'	
	ĸ						

- 76 -

1·3 X 線結果等級別比率 %

			···	現		場				地	Ŀ	:	
成八五百	火山水市	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		等	級					等	級		
カロイ里	入旦刀口/기	1級	2級	3級	4級	5 級	6級	1級	2級	3級	4級	5 級	6 級
	Α	50	23.5	16	4.3	1.8	3.7	72	18	7	3.7	2	3.7
	В	32.8	30.5	20.3	6.8	4.5	5.1	68	9.6	8.5	7.5	0	6.4
	C	84	44.7	5.9	2.4	1.2	1.7	88	3.7	3.7	2.7	0.5	1.8
貨	D	40	20	12	13	8	7	65	12.5	2.5	10	0	10
	Е	50	26.6	12.3	3.8	1.3	3.8						
lida	F	34.4	28.1	18.7	6.3	6.3	6.3	87.5	10.4	0	0	0	2.1
初	G	42.5	30.1	13.3	9.7	4.4	0			<u> </u>			
	Н	28.4	24.5	17.0	6.9	0	3.2						
船	I	61.3	24.8	6.7	2.4	3.0	1.8	0	0	0	0	80	20
	J	7.3	12.5	15.8	0	0	0	71	0	0	0	29.5	0
	K	22.2	42.5	19.1	1.5	8.5	6.2	32.6	41.7	14.0	4.7	0	0
	平均	47	24.5	13.9	5.7	3.5	3.5	60	12	4.4	4.9	14.0	6.1

第 1 · 5 表 場

第1・6 表

船種	24: 秋司后			等	級			等級						
刀口个里		1級	2級	3級	4級	5級	6級	1級	2級	3級	4級	5級	6級	
	Α	33	28	24.5	2.5	3.0	9.0	71.1	13	7.6	2.2	5.25	3.85	
	В													
	С				·		Sec							
油	D	44	31	11.5	2.0	5.0	6.5	56	22	11	0	5.5	5.5	
	Е												-	
tilli	F	36.8	30.9	14.7	2.9	4.4	10.3	87.3	10.6	2.1	0	0	0	
ተጀሃ	G	40.4	35.4	15.6	5.0	3.6	0	60.6	12.9	3.8	7.7	7.4	2.6	
	Н			,							_			
船	Ι	54.7	33	8.2	2.2	0.75	1.12	52.5	16.8	3.9	11.9	3.9	10.9	
	J													
	K				· · ·						- 1	·		
	平均	42	31.5	23	2.9	3.35	5.4	65	15	6.7	4.3	3.8	4.5	



第1·1 図 各造船所全X線検査個所数比較



第1·2 図 各造船所 X 線検査個所数綜合比較

- 79 --



第 1 · 3 図 各造船所工事種別 X 線検査個所数比較

- 80 -



(全造船所の綜合平均成績)



第1・6 図 工事種別X線検査個所綜合平均
 (第1・2~3 図の平均値を拾つたもの)

第2章 外国船熔接部のX線検査結果

修理船については新造船のごとく調査が自由でないので調査実例が少ないが現在まで集めた報告を まとめた結果は次の通りである。

第2・1表

						1.21 A.		1 - mar -		
場所	等級	欠陥種別	板厚 mm	備 考	場所	等級	欠 陥 種 別	板厚 mm	備	考
船底 (中)	3	ブローホール	29	"OLYMPIC TORCH"	上甲板 (中)	6	熔 込 不 足 ブローホール	16		
"	1		"		"	"	ブロ ー ホ ー ル アンダーカット	"		
上甲板(中)	6	熔込不足パイプ	16	"OMNIUM" MONROVIA	船底 (中)	"	ブローホール	"		
"	"	熔 込 不 足 ブローホール	"	8,000 t DW	"	5	ブローホール	"		
"	"	ブローホール	"		"	6	熔 込 不 足 スラッグ捲込み	"		
″ (前)	"	熔 込 不 足 ブローホール	"		"	"	スラッグ捲込み ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル	"		
//	"	ブロ <i>ー ホ ー ル</i> スラッグ捲込み	"		"	5	ブローホール	"	1	
"	"	ブロー ホール スラッグ捲込み	"		"	4	パイプ	"		

- 82 --

場所	等級	欠 陥 種 別	板厚 mm	備考	場所	等級	欠陥種別	板厚 mm	備 考
	5	ブローホール	16		船側 (前)	3	スラッグ捲込み	$13 \sim 21$	
"	6	ブロー ホール スラッグ捲込み	"			4	スラッグ捲込み	16~18	
"	"	スラッグ捲込み	"		"	2	ブローホール	"	
"	2	ブローホール	"		"	6	割 れ スラッグ 捲込み	$^{13}\sim_{16.5}$	
"	5	ブローホール	"		"	2	スラッグ捲込み	"	
"	6	スラッグ捲込み	"		"	6	熔込不足ブローホール	$13 \sim 14.75$	
"	1		"		"	1		"	
"	6	スラッグ捲込み アンダーカット	"	"CONSTNCE"	"	5	融合不良	$^{14} \sim_{16.5}$	
"	1		"	1,600 t	"	1		"	
"	6	融合不良	"		上甲板 (前)	"	ブローホール	$9.5 \sim 12$	
"	5	融合不良	"		"	6	熔 込 不 足 スラッグ捲込み	"	1
"	"	スラッグ捲込み	"		"	3	熔込不足ブローホール	$9.5 \sim 10$	
"	6	スラッグ捲込み ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル	12	"VAN WAFP	"	6	スラッグ捲込み	"	
"	"	スラッグ捲込み ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル	"	WAER- WJCK"	"	"	熔 込 不 足	10~14	
"	2	ブローホール	"	3,900 t 1944 建浩	"	"	熔 込 不 足 融 合 不 良	"	
"	"	ブローホール	"		"	//	熔 込 不 足 スラッグ捲込み	10~12	
"	"	ブローホール	"		"	3	スラッグ捲込み	"	
"	6	ブローホール	"		船側 (中)	2	ブローホール	記載 なし	"AUBURN"
"	3	ブローホール	"		"	6	融合不良		AB船級
"	2	ブローホール	"		"	"	スラッグ捲込み		リバティ型 1944 建浩
上甲板 (中)	6	ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル スラッグ捲込み	"		"	5	熔込不足		7, 212 t
"	"	スラッグ捲込み	"		"	1.			長さ 441′6″ 山 57′0″
"	3	ブローホール	"		上甲板 (中)	"			深さ 37′8%″
般側 (前)	2	ブローホール	18 ~ 20	ロイド船級 E × PP	"	4	ブローホール		
"	5	スラッグ捲込み ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル	"	455'0"	"	6	スラッグ捲込み		
"	3	スラッグ捲込み ブロ <i>ー</i> ホ <i>ー</i> ル	19 ~ 21	13'—9"	"	"	スラッグ捲込み		
"	"	スラッグ捲込み ブロ <i>ー ホ ー ル</i>	"	深さ mld 41′—3″	//	1		1	
"	1	ブローホール	$13 \sim 21$	吃水 27'41/3	"	6	融 合 不 良 スラッグ捲込み	i	
13	2.2		· · · ·						•

(註)(中)とあるは中央 2/3L の場所(前)はそれより前方

以上の表をまとめると次のごとくなる。

第	; 2	2.	2	表	等	級	別	分	類

場所	 等級		1		2	i	3	4		5	6	合 計
船	底		3	i	5	1	2	1		6	11	28
船	側		4	1	4	i	3	1		3	4	19
上	 板		3		0		3	1		0	18	25
	計	í	10		9		8	3	1	9	33	72

- 83 -