

土木研究所資料

ダム・堰構造物におけるステンレス鋼の 溶接継手効率に関する調査

平成4年3月

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室

ダム・堰構造物におけるステンレス鋼の 溶接継手効率に関する調査

機械研究室 室 長 杉 山 篤
竹 田 英 之
米 村 克 己
部外研究員 霧 見 篤^{*1}

*1 三菱重工業(株)横浜製作所鉄構部水門鉄管設計課

要 旨

本調査は、ダム・堰などの水門に使用されるオーステナイト系ステンレス鋼材 (SUS304) の突合せ溶接継手の継手効率の検討を目的とした調査である。

溶接継手効率の調査として、母材、溶接継手、内部欠陥継手について静的引張強度試験を行い、引張強さを比較した。また、軟鋼 (SS400) と、SUS304鋼と継手強度の比較を行った。この報告書は、実施した調査及び試験結果をまとめたものである。

キーワード：溶接継手効率、オーステナイト系ステンレス鋼、突合せ継手、SUS304、引張強度試験、ダム、堰、水門、構造部材、内部欠陥

ま え が き

ダム・堰等は、河川水を多目的に利用するための重要構造物であり、常にその機能を維持することが求められている。このため、水門のメンテナンスにおいて防錆対策は特に重要なものとなっている。近年の材料技術加工技術の発展を背景にステンレス鋼を構造部材として用いることが検討されており、ダム・堰等の構造物においても、ステンレス鋼を用いてメンテナンスの合理化を図ることが考えられる。このため、オールステンレス製の水門を想定し研究を行ってきた。しかし、材料・加工等の多くの変動要因を設計する上で考慮する諸数値の設定や全体的な技術レベルの調査等に関する調査が残されている。これらの実務上の諸問題を含んだ基準の設定を目的として、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼及び軟鋼の溶接継手効率に関する実験調査を実施した。

この調査の概略内容は母材と溶接継手について、種々の性能試験を行ったものであり、溶接継手施工条件については、工場内での溶接はもちろんのこと現場施工も考慮し、各種設定した。また、人工欠陥を施した溶接継手についても性能試験を行い、欠陥等級及び欠陥率と継手強度との関係を示した。さらに、耐食性の劣化の原因となる鋭敏化の程度の測定も行った。

以上の実験調査を行い、得られたデータと普通鋼材との数値を比較・検討した。

本報告書は、これらの結果をとりまとめたものである。

平成4年3月

機械研究室 室 長 杉 山 篤

竹 田 英 之

米 村 克 己

部外研究員 靄 見 篤

目 次

まえがき

I. 概 要

1. 調査目的	1
2. 調査内容	1

II. 試 験

1. 試験概要	4
2. 母材強度試験	10
2.1 試験の目的	10
2.2 試験の内容	11
2.3 試験結果	12
2.4 ま と め	12
3. 突合せ溶接継手の強度試験 (A)	13
3.1 試験の目的	13
3.2 試験方法	13
3.3 試験結果	16
3.4 ま と め	20
4. 突合せ溶接継手の強度試験 (B)	21
4.1 試験の目的	21
4.2 試験方法	22
4.3 試験結果	23
4.4 ま と め	26
5. 人工内部欠陥突合せ溶接継手の強度試験	26
5.1 試験の目的	26
5.2 予備試験	26
5.3 試験方法	36
5.4 試験結果	40
5.5 ま と め	41
6. 鋭敏化度の検査測定	43
6.1 EPR法による鋭敏化度の測定	43
6.2 測定機器	44
6.3 測定方法	45
6.4 測定結果	46

III. 溶接継手の継手効率の検討

1. 溶接継手効率について	48
1.1 溶接継手効率の検討	48
1.2 溶接作業環境の影響	52
1.3 他材種への対応	53
1.4 板厚の変化への対応	55
1.5 すみ肉溶接継手の継手効率	56
2. 今後の課題	56

IV. 結 論

58

あ と が き	59
---------------	----

調査関係者	60
-------------	----

参 考 文 献	61
---------------	----

参 考 資 料	63
---------------	----

Appendix 1. 既存の材料試験データ	65
------------------------------	----

Appendix 2. 溶接継手効率に関する他基準について	70
-------------------------------------	----

Appendix 3. 鋭敏化度測定	81
--------------------------	----

Appendix 4. 試験状況写真	83
--------------------------	----

I. 概 要

1. 調査目的

ダム・堰及び水門等のメンテナンスにおいて防錆対策は、重要なものとなっている。近年の材料技術加工技術の発展を背景に、ステンレス鋼を構造部材として用いることが検討されている。ダム・堰等の重要構造物においても、ステンレス鋼を用いてメンテナンスの合理化、機能の向上を図ることが挙げられる。このため、オールステンレス製の水門を想定した研究を行ってきた結果、ダム・堰等の水門の主要構造部材としての強度と性能を発揮できることが確認されてきた。しかし、材料、加工等の多くの変動要因を設計する上で考慮する諸数値の設定や全体的な技術レベルの調査等に関する調査が残されている。これらの実務上の諸問題を含んだ基準の設定を目的として、ステンレス鋼 (SUS304) 及び軟鋼 (SS400) の溶接継手効率に関する実験調査と実施し、得られたデータをもとに継手効率の検討を行うことを目的とする。

2. 調査内容

2.1 調査項目の特定

「溶接構造物の設計と基準」¹⁾によれば溶接継手の、継手効率 (η) を決定すると考えられる因子として次のようなものが示されている。

η_1 = 溶接材料 (母材, 溶接棒, 板厚)

η_2 = 溶接方法 (手溶接, 自動溶接, ガス溶接; 工場溶接, 現場溶接)

η_3 = 溶接姿勢 (下向き, 上向き, 縦向き, 横向き)

η_4 = 熱処理 (応力除去焼きなまし, 焼きなまし, 余熱)

η_5 = 表面仕上げ程度 (余盛り除去方法; はつり, 研削, 切削, 研磨)

η_6 = 表面処理 (ピーニング, 化学処理)

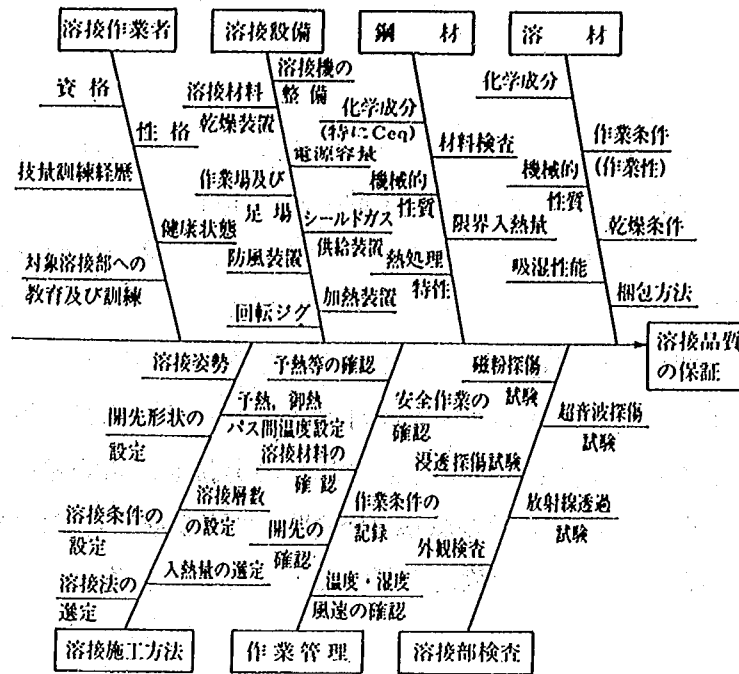
η_7 = 試験法 (全線放射線試験, スポット放射線試験, 機械的試験, 耐圧試験)

η_8 = 継手の種類 (突合せ, すみ肉; 裏はつりの有無)

η_9 = 荷重の種類と大きさ (静荷重, 動荷重, 衝撃荷重; 余荷重)

η_{10} = 使用条件 (使用温度, 圧力, 腐食環境)

これらの因子のうち、 $\eta_8 \sim \eta_{10}$ は一応設計的に決まる因子であり、ASME規格では $\eta_1 \sim \eta_4$ は溶接等級を規定する因子、 $\eta_5 \sim \eta_7$ は継手効率の決定因子であるとしている。例えば、火なし压力容器では η_7 の試験法に限定、パワー・ボイラでは η_5 の表面仕上げ程度のみに限定し、使用条件との関係で設計的に考慮すべきものとして省略している。図-1.2.1に溶接の品質に影響を与える特性要因図の例を示す。



図一 I .2.1 溶接品質に関する特性要因図例（出典：機械工学便覧）

従来のダム等水門設計における溶接継手効率の設定は、ダム・堰施設技術基準（一次案）及び水門鉄管技術基準では、 η_2 、 η_1 及び η_0 を決定要因としている。但し、解説の中でその他の要因の影響度合いが無視できない場合には、考慮を要するとしている。

溶接継手効率を最終的に決める際にこれらの要因をそれぞれ検討・加味し、係数化して実際に使用するには、各影響因子を実験や経験・実績等から定量化し、総合的な効率の係数値を統計的手法を用いて（例えば、数量化Ⅰ類）表現することで、ある程度の実現が可能になると思われる。しかし、各々の影響因子の定量化の作業は、条件の設定や既存データがないなどすぐにまとめるのが困難な事項であり、また、時間と費用を要することが予想されるため、実施は相当困難であると思われる。

従って、継手効率を現状基準のように係数として表現する方法としては、ASMEのボイラや既存基準のように、使用する構造物の特性などをもとに継手効率への影響因子を限定し、各々の因子について継手効率に影響を与える条件とその条件下での継手効率の関係を調査し、最終的には設定した条件における継手効率を係数化する方法が実践的な手順であると考えられる。そこで、本調査では、以下の4点を行った。

- (1) 溶接継手の継手効率の定義
- (2) 既存基準の調査
- (3) 本調査における継手効率の考え方を決め、SUS304について条件を絞った試験の実施
- (4) 既存の試験データの収集・整理

ダム用ゲートにオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）を使用する場合、溶接継手の継

手効率は、従来使用している普通鋼材の差異の有無を調べた。

2.2 溶接継手形状と継手の応力度

溶接継手にかかる応力の種類は、設計の際にケースに応じて以下の想定のもとに行われる。

- (1) 軸方向力又はせん断力を受ける場合
- (2) 曲げモーメントを受ける場合
- (3) せん断力と曲げモーメントを同時に受ける場合
- (4) 二軸方向力並びにせん断応力を受ける場合

《継手効率の定義》

溶接構造物を設計する場合、溶接継手効率 (Welded joint efficiency) を考慮する必要がある、これは継手の強度が母材の引張強さの何%の大きさを示す数値で示されるとある²⁾。つまり、引張力が作用する場合には引張強さを、せん断力が作用する場合にはせん断力の母材と溶接継手の応力の比を用いる。

すなわち、

$$\text{溶接継手効率} (\eta_{wje}) = \frac{\text{溶接継手試験片の引張強さ (N)}}{\text{母材の引張強さ (N)}} \times 100 (\%) \quad (\text{式 1})$$

で示される。

溶接継手の許容応力の決定には、以下のような考え方がある。

- 1) 溶着(接)金属の機械的性質をもとにして、安全率を考慮し継手の許容応力を直接示す。
- 2) 継手効率を定め、母材の許容応力にこれに乗じて継手の許容応力を求める。

上記の考え方の詳細として、個々に継手に作用する応力の種類 (引張、圧縮やせん断など) や継手の種類 (突合せ、すみ肉など)、熱処理 (焼なましの有無、応力除去など)、放射線検査の実施、そして鋼種などごとに示しているのは、周知のところである。

そこで、本調査は、以下の3つの試験を実施した。

- (1) 母材の強度試験
- (2) 突合せ溶接継手引張強度試験 (A), (B)
- (3) 人工内部欠陥突合せ溶接継手の引張強度試験

母材については、SUS304とSS400の引張試験を行い引張強度を測定した。また、溶接棒や溶接条件、開先形状は通常、ゲートの設計製作時に用いられる条件とした。

ステンレスクラッド鋼についても、通常クラッド鋼といえば指定しない限り常識的に1種、つまり放射線透過試験をしたものが使用されていることから、本調査でも、1種を使用して試験を実施した。

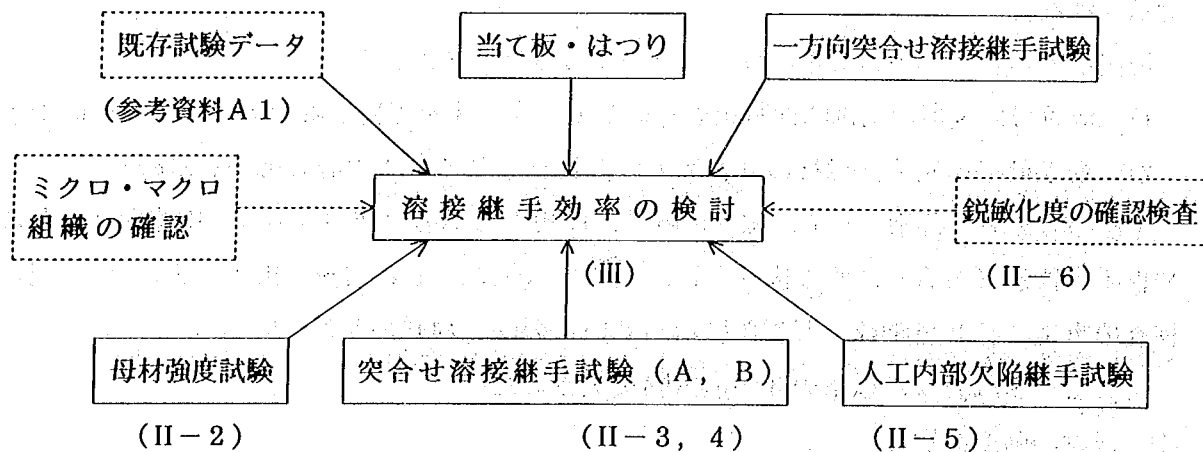
II. 試 験

1. 試験概要

1.1 試験概要

本調査試験の項目は、溶接継手効率を検討するために図－II.1.1に示すような試験を実施した。図中のカッコ内に示した番号は、本報告書の章・節を示している。試験は主に、母材強度試験、突合せ溶接継手試験、溶接継手の溶接部内部に人工的に空洞欠陥をつくり、継手部の引張強度を調査する人工内部欠陥継手試験の3種類である。その他、参考的な調査や試験として、クラッド鋼を一方向から突合せ溶接した時の溶接継手の引張強度試験やステンレス及びステンレスクラッド鋼の溶接部近傍部の鋭敏化度を測定し、溶接入熱量を確認する鋭敏化度の確認検査、継手部近傍の組織の写真による確認を行った。

試験片形状は、母材と溶接継手のものとの比較のために同一形状とした。但し、母材についてはミルシートの値との比較のため、ミルシート作成と同様の試験片形状での試験も併せて実施した。



※図中の添番号は、目次の章段落を示す。
破線は、確認もしくは参考調査であることを示す。

図－II.1.1 調査内容の構成

1.2 試験片

1.2.1 試験片形状

試験片の板厚は、試験に供するどの材料もJISを満足するものとした。これは、実際のゲート等の発注における形態がJISで規定されているからである。板厚が20mmと指定した場合には、19.5mm～が許容範囲となり、今回の調査における試験片の板厚も20mmで注文したが、特に板厚調整等の切削は施していないので、ここでの板厚は20mmとした。

なお、実際の板厚については、ステンレスクラッド鋼の全板厚の許容量は、JIS G3601-1989に規定されており、表Ⅱ.1.1にその抜粋を示す。

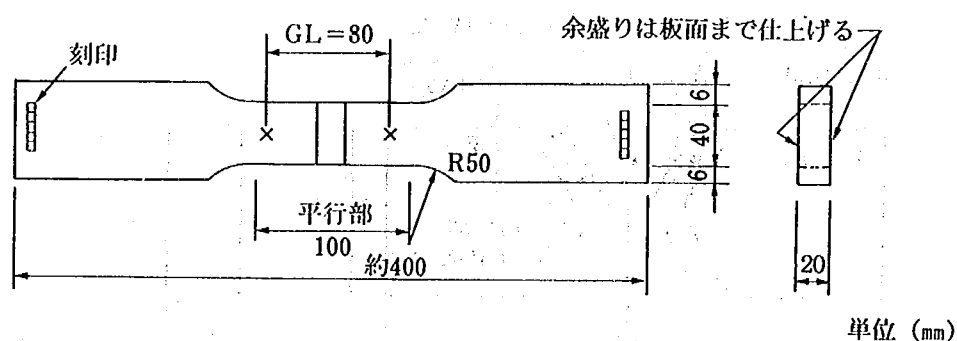
表Ⅱ.1.1 ステンレスクラッド鋼の板厚公差

合せ材厚さ (mm)	厚 さ の 許 容 差	
	マイ ナ ス 側	プ ラ ス 側
1 以上 5 以下	合せ材呼び厚さの10%	規定しない
5 を 超 え る も の	0.5mm	

ステンレスクラッド鋼は、通常JIS購入品として購入した場合、板厚がプラス側の傾向にあり、本調査で使用したものも1mm程度厚いものであった。

(1) 引張試験片

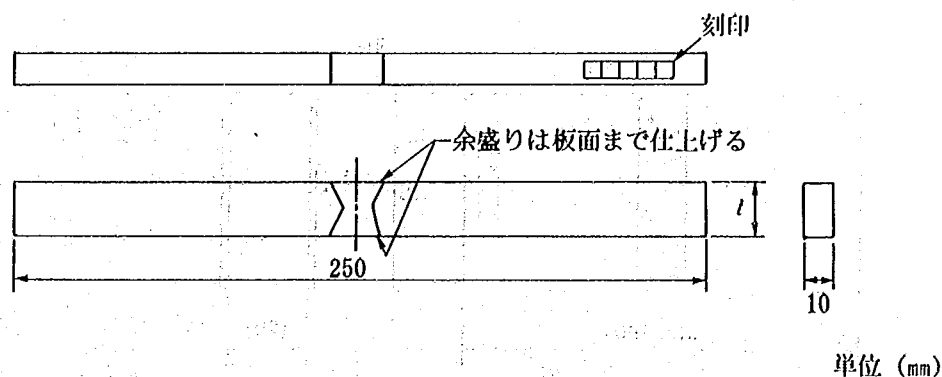
JIS Z3121-1984 1号に準ずる。



図Ⅱ.1.2 引張試験片

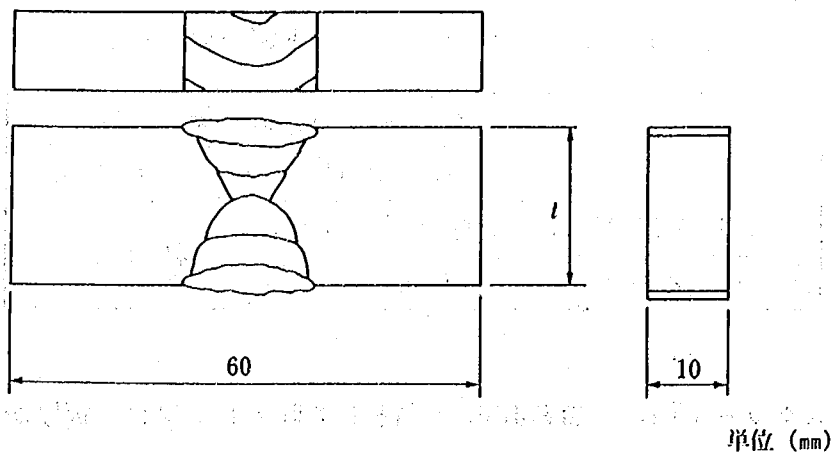
(2) 曲げ試験片

JIS Z3122-1990に準ずる。



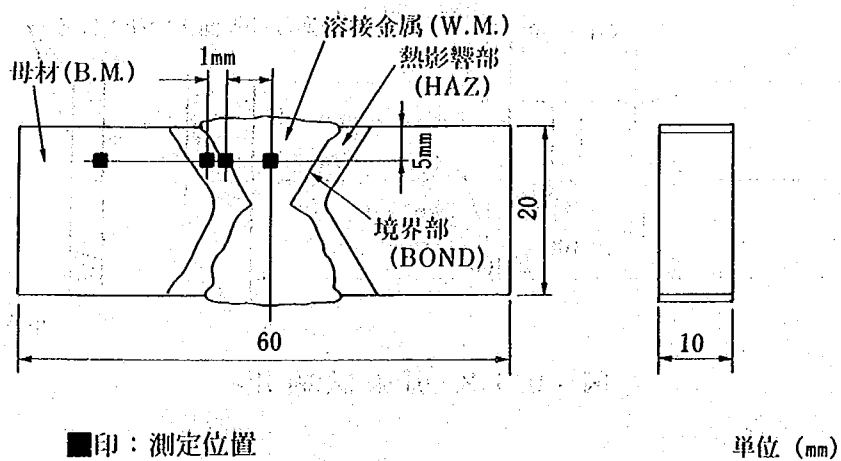
図Ⅱ.1.3 側曲げ試験片

(3) マクロ試験片



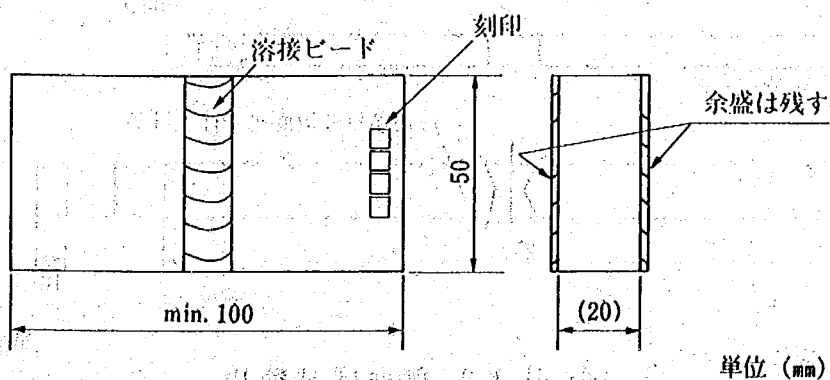
図－II.1.4 マクロ試験片

(4) ミクロ試験片



図－II.1.5 ミクロ試験片

(5) 鋭敏化度測定試験片



図－II.1.6 鋭敏化度測定試験片

以上に示した関連JIS名称等を参考文献に示す。

1.2.2 開先形状

表－II.1.2にX開先の形状を，表－II.1.3にV開先の形状を示す。

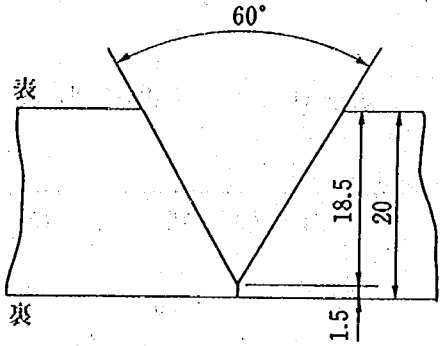
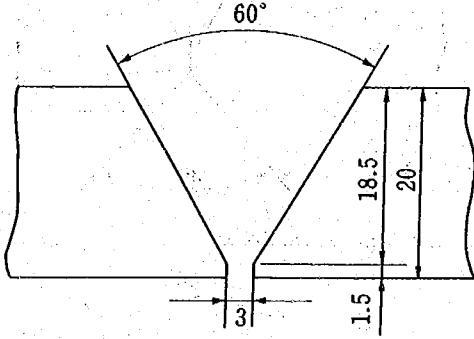
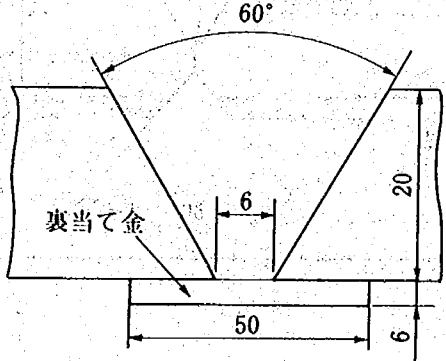
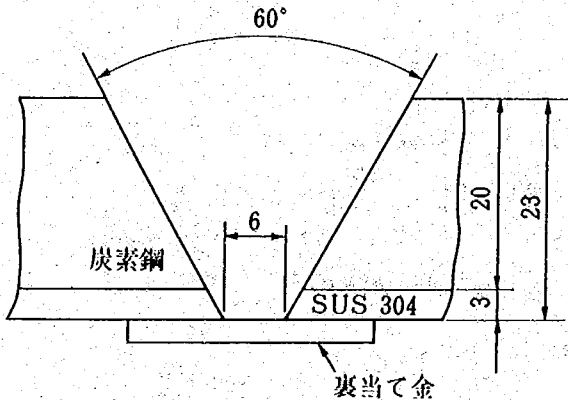
表－II.1.2 X開先形状

(単位：mm)

No.	適用材質	開先形状及び寸法	区分
1	SUS304 及び SS400		裏はつり有
2	SUS-Clad鋼		裏はつり有

表-II.1.3 V開先形状

(単位: mm)

No.	適用材質	開先形状及び寸法	区分
3	SUS304		裏はつき有
4	SUS304		裏はつき無
5	SUS304		裏当て金有
6	SUS-Clad鋼		裏当て金有

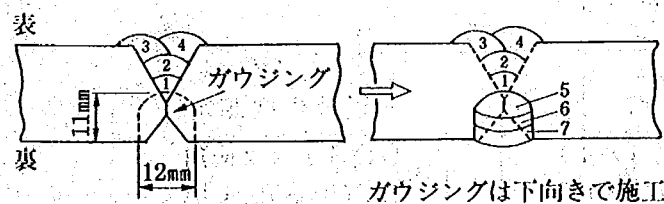
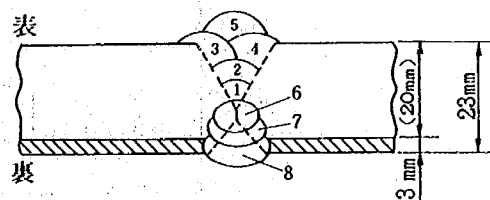
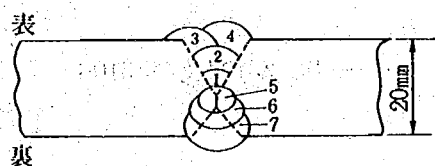
1.3 溶接施工

1.3.1 積層方法

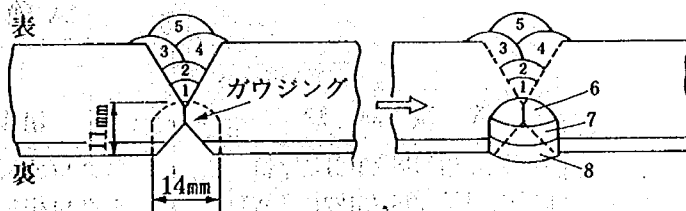
表－II.1.4に積層条件を，図－II.1.7にSUS304及びSS400の積層方法を，図－II.1.8にSUS－Cladの積層方法を示す。

表－II.1.4 積層条件

鋼 種	溶接条件	層	溶接姿勢	溶 接 ワ イ ヤ
SUS304 — II	良	1～7	下向き	DW－308
	やや良	1～4	上向き	
		5～7	下向き	
SS400	良	1～7	下向き	DW－100
	やや良	1～4	上向き	
		5～7	下向き	
SUS－Clad	良	1～8	下向き	1～6はDW－100 7,8はDW－309
	やや良	1～4	上向き	
		5～8	下向き	



ガウジングは下向きで施工



番号は，積層の順序を示す。

番号は，積層の順序を示す。

図－II.1.7 積層方法(SUS304,SS400)

図－II.1.8 積層方法(SUS－Clad)

1.3.2 溶接材料

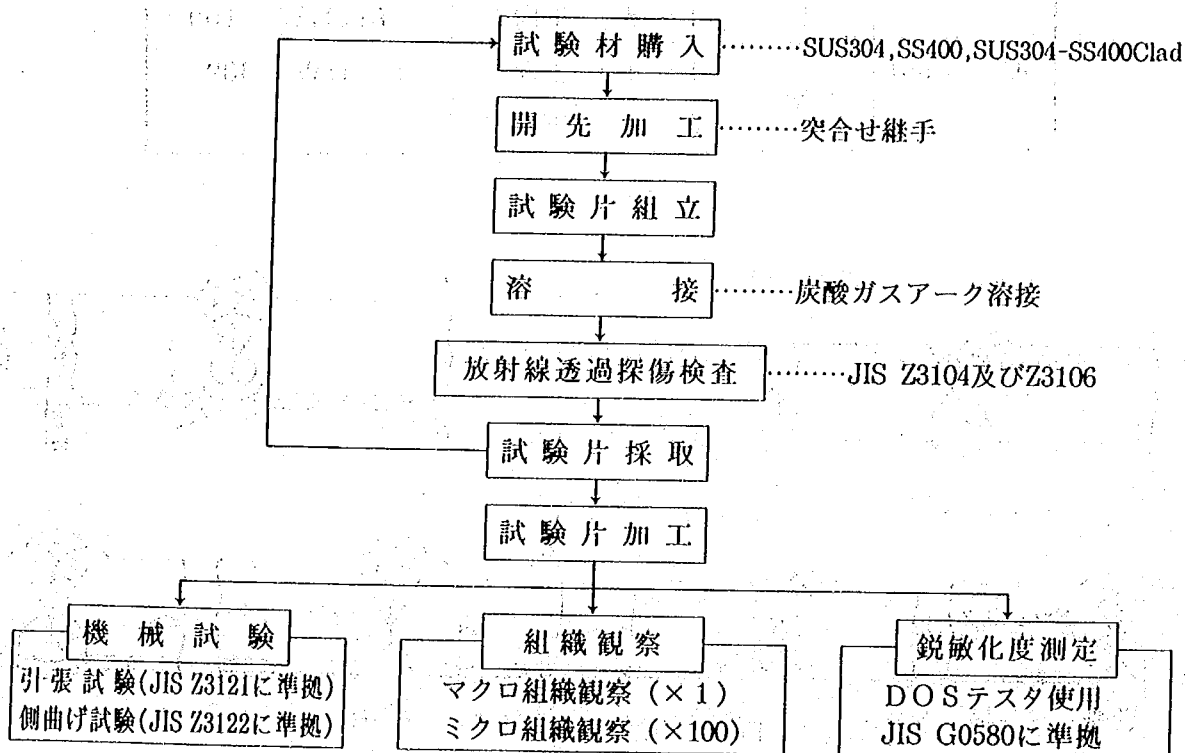
本試験に用いた溶接材料を表－II.1.5に示す。

表－II.1.5 溶 接 材 料

鋼 種	溶 接 方 法	規 格	種別記号	銘 柄	ワイヤ径
SUS304	炭酸ガス アーク溶接	JIS Z3323	YF308C	DW-308	φ 1.2 (mm)
SUS-Clad		JIS Z3323	YF309C	DW-309	
		JIS Z3313	YFW24	DW-100	
SS400		JIS Z3313	YFW24	DW-100	

1.4 試験内容

試験実施手順を図－II.1.9に示す。



図－II.1.9 試験の手順

2. 母材強度試験

2.1 試験の目的

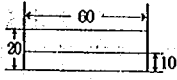
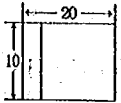
溶接継手効率の定義を踏まえると、最低限、何の施工も施さない状態の母材の引張強度値を知っておく必要がある。本調査では、調査対象材料としてSUS304, SUS304-SS400クラッド

及びSS400を選択している。このうち、SUS304及びSS400については、JISにより引張強度や0.2%耐力値等が規定されており、本調査で使用了材料は、ミルシートによりJISをクリアしていることが保証されている。従って、本来であればJISに示された値を母材強度として使用してもよいのだが、試験条件を極力同じくする意味と、実際の値と状態の確認のために、母材の引張試験、曲げ試験及び溶接施工を施した材料組織と何も施していない組織とを比較するために、マクロ（倍率：1倍）及びミクロ（倍率：100倍）組織の状態を確認した。

2.2 試験の内容

表－II.2.1に試験内容を示す。

表－II.2.1 試験内容

試験項目	試験片形状	試験方法	材 質	試 験 細 目
引張試験	JIS Z3121 (1号)	JIS Z2241	SS400	降伏点又は耐力・引張強さ・伸び
	JIS Z2201 (1A)		SUS304-SS400Clad	降伏点又は耐力・引張強さ・伸び
			SUS304	耐力・引張強さ・伸び
曲げ試験	JIS Z3122 (3号)	JIS Z3122	SS400 SUS304-SS400Clad SUS304	側曲げ $R = 2t$, 180° 曲げ (SS400 $t=23$ 除く)
	JIS Z2204 (3号)	JIS Z2248	SS400	$R = 1.5t$, 180° 曲げ
			SUS304-SS400Clad	表曲げ 裏曲げ $R = 1t$, 180° 曲げ
マクロ試験	$L = 60\text{mm}$	JIS G0553	SS400 SUS304-SS400Clad SUS304	母材の断面状態 組織写真 倍率： $\times 1$ 倍
ミクロ試験	$L = 60\text{mm}$	—	SUS304	ステンレス鋼の断面状態 組織写真 倍率： $\times 100$ 倍 撮影個所 (1/2t) 
			SUS304-SS400Clad	撮影個所  母材 SUS304
放射線透過試験		JIS Z3104 JIS Z3106	SS400 SUS304-SS400Clad SUS304	—

2.3 試験結果

試験結果を表－II.2.2に示す。

表－II.2.2 母材試験結果

材 種	試験片 形 状	試験片 厚 さ (mm)	試験片 番 号	引 張 強 さ 耐 力 (N/mm ²)	降 伏 点 (N/mm ²)
SS400	JIS Z3121 1 号 に準じる	20	1 P L 1	448	294
			1 P L 2	446	310
			1 P L 3	448	307
	J I S 規定値(JIS G3101)			400～510	235 以上
	ミルシート保証値			458	313
SUS304	JIS Z3121 1 号 に準じる	20	2 P L 1	578	255
			2 P L 2	578	255
			2 P L 3	578	255
	J I S 規定値(JIS G4304)			206 以上	520 以上
	ミルシート保証値			617	265
SUS304 －SS400 Clad	JIS Z3121 1 号 に準じる	24	3 P L 1	456	268
			3 P L 2	462	278
			3 P L 3	455	274
	J I S 規定値(JIS G3601)			420 以上	230 以上
	ミルシート保証値			453	254
SS400	JIS Z3121 1 号 に準じる	23	4 P L 1	435	281
			4 P L 2	435	278
			4 P L 3	436	278
	J I S 規定値(JIS G3601)			400～510	235 以上
	ミルシート保証値			453	283

2.4 まとめ

母材強度について、以下のことがいえる。

- (1) 母材強度は、JIS規定値を満足している。
- (2) 材料の圧延ロール方向とクロス方向での強度の差異は、顕著ではない。

3. 突合せ溶接継手の強度試験 (A)

3.1 試験の目的

本試験は、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼及び軟鋼の通常工場や現場で行われている方法で施工した突合せ溶接継手の引張試験を行い、引張強度を前項で実施した母材強度と比較するとともに、継手部の溶接作業環境を変えて溶接施工した場合の溶接継手の強度変化に与える影響を調べることを目的として実施した。

一般的に、構造物の溶接継手は、工場か現場のどちらかにおいて溶接施工され、常識としてどちらの場合においても、溶接環境が悪い環境での施工は行われたい。ここで、溶接継手効率を検討するにあたり、溶接作業環境の異なる2種類を設定し、その条件において効率が多少でも変化するかどうかを調べ、継手効率のガイドラインを示す際の一つの条件にならないかと考えた。

溶接法は、実際に工場と現場の両方で使用されている炭酸ガスアーク溶接法とし、溶接作業環境は、「良」と「やや良」とした。「良」とは、工場内での無風、常温、溶接姿勢は下向きという理想的な状態とし、また、「やや良」とは、人工的に起した風速3 m/s程度の風の中で、かつ溶接姿勢は上向きという特殊な条件とした。

なお、「良」を工場、「やや良」を現場の厳しい条件と仮定した訳ではない。なぜなら、これを裏づける相関関係はないからである。この点については、今後の課題である。

3.2 試験方法

3.2.1 試験条件

本試験は、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼及び軟鋼の3種類について、溶接施工条件は工場内の理想的な溶接環境を想定（屋内、無風、常温で溶接姿勢は下向きの理想的な条件設定）したものを良条件、また、現場での不十分な溶接環境を想定（人工的に起こした3 m/s程度の風速下で、かつ溶接姿勢は上向きの特殊な条件設定）したものをやや良条件とした場合の継手性能の評価を行うものである。

表－II.3.1に試験条件の概要を示す。

表－II.3.1 試験条件

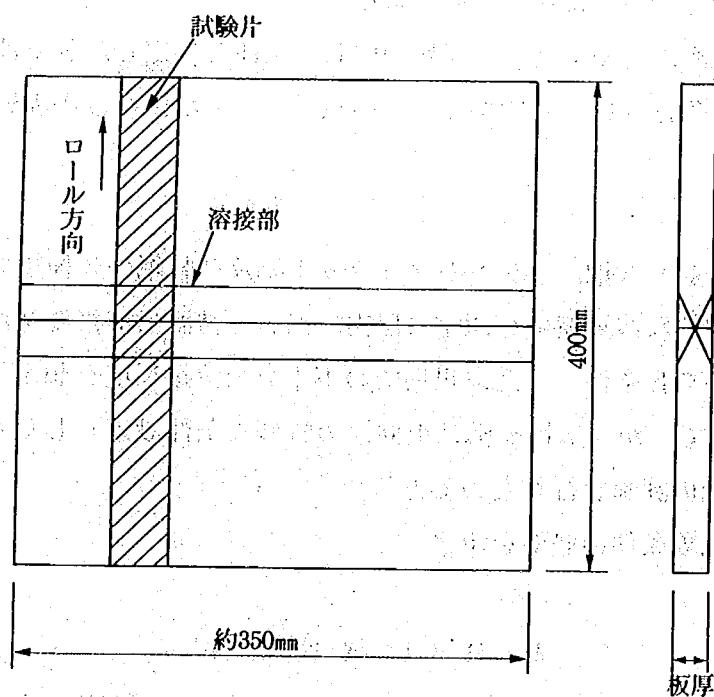
材 種	公 称 板 厚	継 手 形 態	溶 接 方 法	溶接条件	試 験 内 容	主 な 検 査 測 定 事 項
軟 鋼 SS400	20mm	突 合 せ 溶 接 継 手	炭 酸 ガ ス 溶 接	良 及 び やや良	引張り試験 側曲げ試験	A. マクロ組織 写真検査 B. ミクロ組織 写真検査 C. 放射線 透過検査 D. 鋭敏化度 測定検査
ステンレスクラッド鋼 SUS304+SS400	(3+20) 23mm			良 及 び やや良	引張り試験 側曲げ試験	
ステンレス鋼 SUS304	20mm			良 及 び やや良	引張り試験 側曲げ試験	

3.2.2 供試材料

本試験に用いる供試材料の材質を表－II.3.2に，供試材料の寸法形状を図－II.3.1に示す。

表－II.3.2 供試材料の材質

鋼 種	適 用 規 格	種 別 記 号	板 厚	製 造 所
冷間圧延ステンレス鋼板	JIS G4304-1984	SUS304	20	新日鉄
ステンレスクラッド鋼板	JIS G3601-1982	SS400+SUS304-R1	23(20+3)	〃
一般構造用圧延鋼材	JIS G3101-1987	SS400	20	〃



図－II.3.1 供試材料の寸法形状

3.2.3 溶接条件

表－II.3.3に溶接条件，表－II.3.4に溶接施工条件，表－II.3.5に試験項目，表－II.3.6に試験数量を示す。

表－II.3.3 溶 接 条 件

材 種	SUS304	SUS304+SS400Clad	SS400	
継 ぎ 手 形 式	突合せ溶接			
溶 接 方 法	炭酸ガスフラックス入りワイヤアーク溶接			
試 験 材 寸 法	400×350×20 t	400×350×23 t	400×350×20 t	
試験材製作数	2 組			
開 先 形 状	II章 1.2.2 項 (1)X開先による。			
溶 接 棒	II章 1.3.2 項 溶接材料による。			
溶 接 層	II章 1.3.1 項 積層方法による。			
溶 接 環 境	下記の良，やや良の2環境を設定する。			
	項 目	良	やや良	備 考
	溶 接 姿 勢	下向き	上向き	—
	防 風 衝 立	3 方	無	—
	風	無 風	風速 3 m/s程度	屋 内
	層 間 時 間	連 続	連 続	—
	母 材 温 度	常 温	常 温	初層開始時
	ビート継ぎ	無	有	—

本試験に携わる溶接工は，JIS Z3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた資格のうち，本試験内容に該当する資格を有するもので6ヶ月以上溶接作業に従事したものとする。

表－II.3.4 溶接施工条件

ワイヤ径 (mm)	溶接姿勢	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	ガス流量 (ℓ/min)	層間温度 (℃)
φ1.2	下 向 き	210～260	32～35	15～30	25～30	記 録
	上 向 き	100～200	16～30	15～25	25～30	

表-II.3.5 試験項目

項 目	試 験 方 法	試 験 片 形 状 等
引 張 り 試 験	JIS Z2241-1980	JIS Z3121 1号に準拠
側 曲 げ 試 験	JIS Z3122-1990	JIS Z3121 3号
マクロ組織写真	JIS G0553に準拠	————
ミクロ組織写真	————	BM, FUSION, HAZ, WM, 100倍
放射線透過試験	JIS Z3104-1998 JIS Z3106-1971	————
鋭敏化度測定検査	JIS G0580に準拠	DOSテストによる測定

表-II.3.6 試験数量

材 種	溶 接 条 件	試験片数量
軟 鋼 SS400	良	3 本
	やや良	3 本
ステンレス鋼 SUS304	良	3 本
	やや良	3 本
ステンレスクラッド SUS304+ SS400	良	3 本
	やや良	3 本

3.3 試験結果

1) 放射線検査

SS400, SUS304, ステンレスクラッド鋼の各試験片のうち, SS400のやや良条件の3枚中2枚におおの3級及び4級に相当する欠陥が認められ, 欠陥の内容は集中ブローであった。

2) 機械試験

試験片は無欠陥の位置より採取した。この試験片を用いて機械試験を行った。

各条件下における引張試験結果によれば, 材質, 溶接条件に関係なくいずれも溶接継手部の強度は母材引張試験で得られた引張強度を上回る結果が得られた。

また, 各条件下における側曲げ試験においても, 無欠陥の位置により試験片を採取したこともあるが, 欠陥の発生も確認されず, 良好な結果が得られた。

(1) 引張試験

① SS400の引張試験結果

SS400の引張試験結果を表-II.3.7及び図-II.3.2~3に示す。良条件, やや良条件

についても規格値 400N/mm^2 を超えており、破断位置は全て母材部であった。本試験で設定した良、やや良の条件における引張強さの差は殆どみられなかった。

表－II.3.7 SS400の引張試験結果

単位 (N/mm^2)

	T. P. No.	引張強さ	破断位置		T. P. No.	引張強さ	破断位置
良 条 件	T.P.1	470	母 材	やや良条件	T.P.1	470	母 材
	T.P.2	463	母 材		T.P.2	469	母 材
	T.P.3	472	母 材		T.P.3	462	母 材
平 均	468			平 均	467		
母材強度	447						
規 格 値	400						

② SUS304の引張試験結果

SUS304の引張試験結果を表－II.3.8及び図－II.3.4～5に示す。良条件、やや良条件についても規格値 619N/mm^2 を超えていた。破断位置は一部溶接部であったが、溶接材料の引張強度と母材の引張強度とが近接しているためと思われる。また、両溶接条件についても、引張強さの差は殆どなかった。

表－II.3.8 SUS304の引張試験結果

単位 (N/mm^2)

	T. P. No.	引張強さ	破断位置		T. P. No.	引張強さ	破断位置
良 条 件	T.P.1	607	溶接部	やや良条件	T.P.1	598	母 材
	T.P.2	582	母 材		T.P.2	607	溶接部
	T.P.3	598	母 材		T.P.3	592	母 材
平 均	598			平 均	599		
母材強度	579						
規 格 値	519						

③ ステンレスクラッド鋼の引張試験結果

ステンレスクラッド鋼の引張試験結果を表－II.3.9及び図－II.3.6～7に示す。良条件、やや良条件についても規格値 416N/mm^2 を超えており、破断位置も全て母材部であった。また、両溶接条件についても差は殆どなかった。

表-II.3.9 ステンレスクラッド鋼の引張試験結果

単位 (N/mm²)

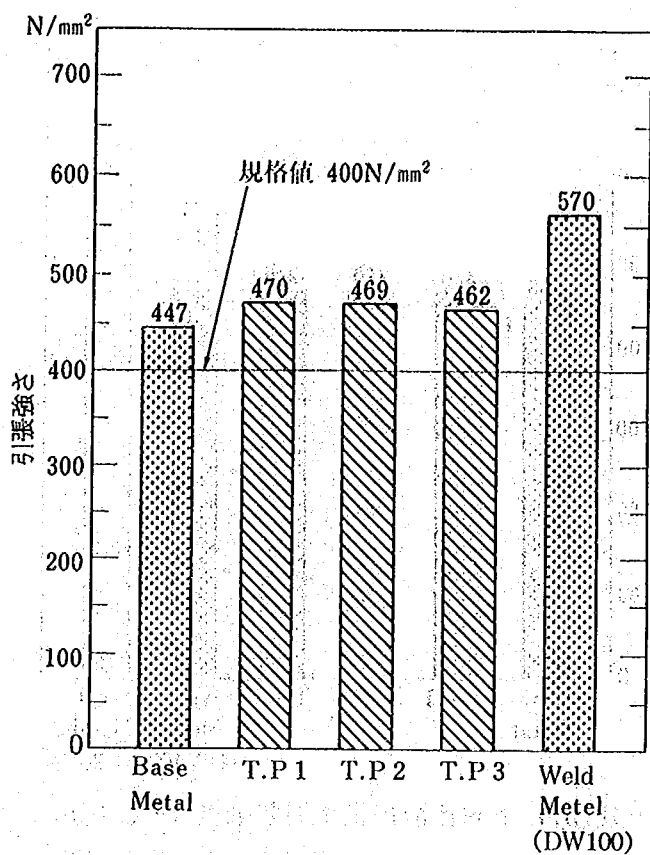
	T. P. No.	引張強さ	破断位置		T. P. No.	引張強さ	破断位置
良 条 件	T.P.1	470	溶接部	やや良条件	T.P.1	469	母 材
	T.P.2	470	母 材		T.P.2	470	溶接部
	T.P.3	467	母 材		T.P.3	468	母 材
平 均	469			平 均	469		
母材強度	458						
規 格 値	416※						

備考：※印は公称板厚からの計算値を示す。

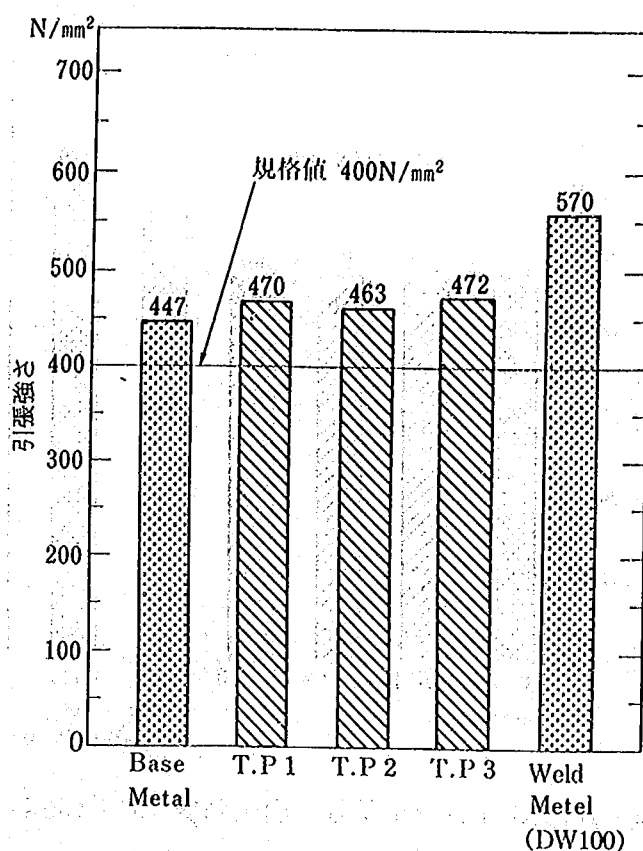
以上の結果より、今回の調査で設定した溶接条件では、溶接継手の強度が母材強度を全て上回り、溶接条件の違いによる引張強さの差は認められなかった。

(2) 組織観察

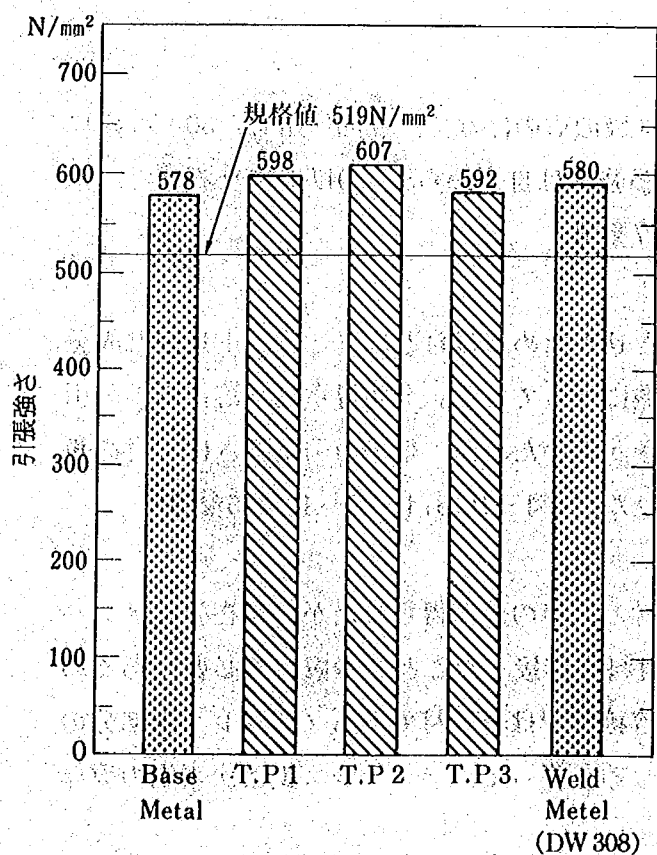
軟鋼，ステンレス鋼，ステンレスクラッド鋼とも良好な結果が得られた。



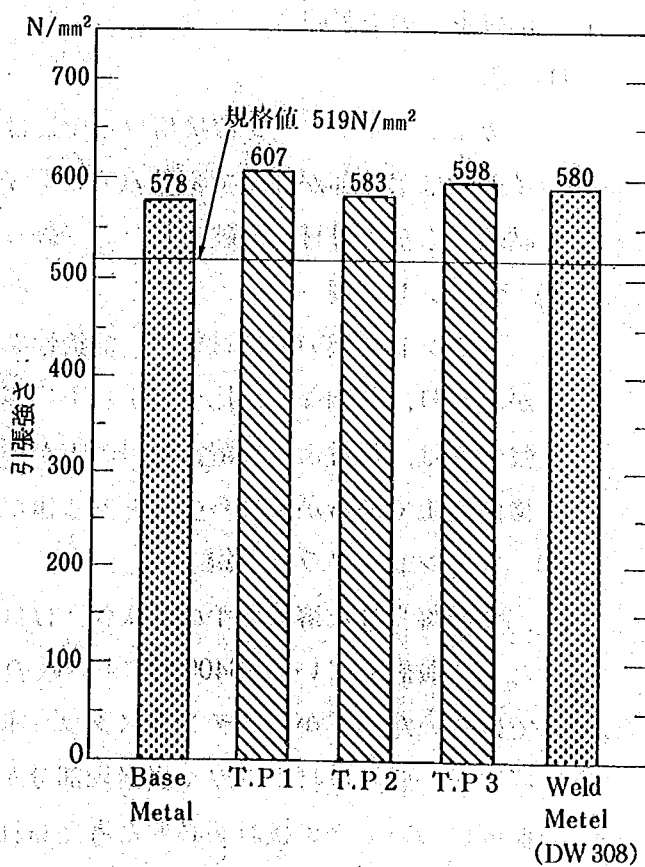
図一 II.3.3 下向き溶接継手引張強度(SS400)



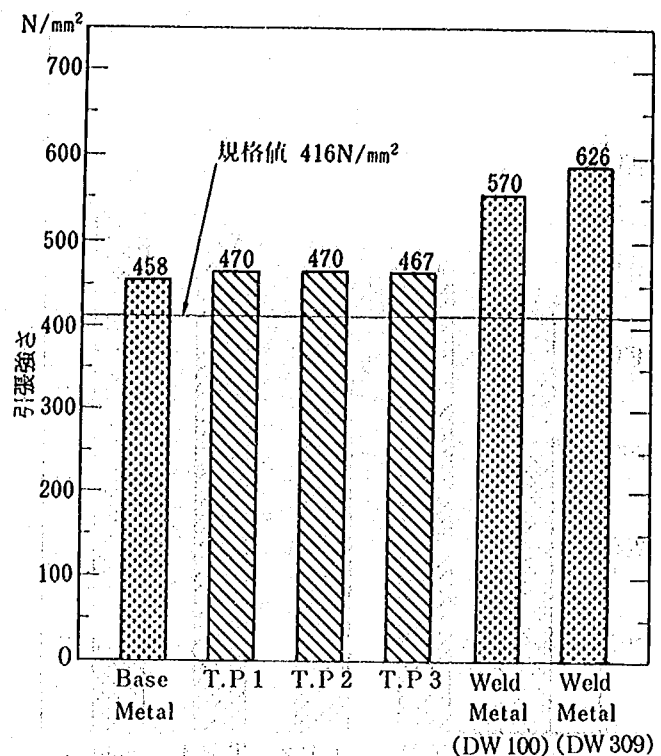
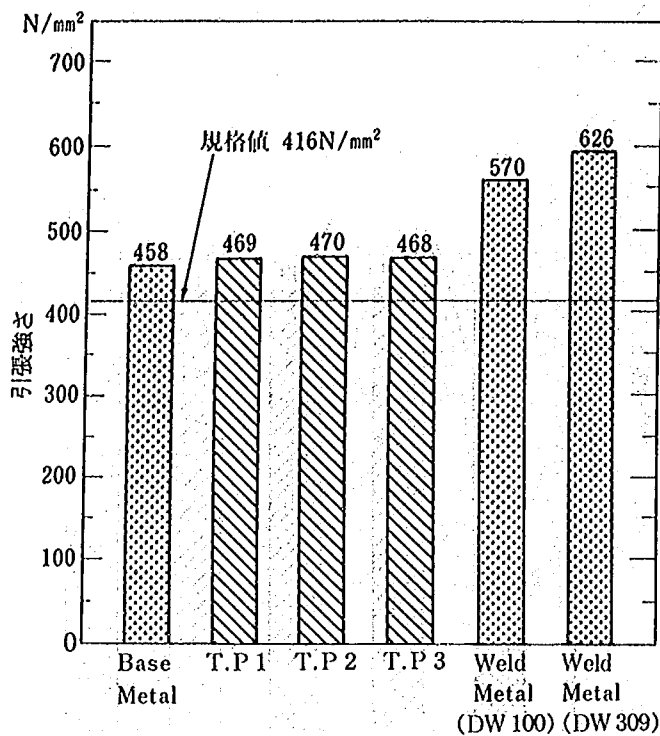
図一 II.3.2 上向き溶接継手引張強度(SS400)



図一 II.3.4 上向き溶接継手引張強度(SUS304)



図一 II.3.5 下向き溶接継手引張強度(SUS304)



図一 II .3.6 上向き溶接継手引張強度(SUS-Clad) 図一 II .3.7 下向き溶接継手引張強度(SUS-Clad)

3.4 まとめ

1) 溶接継手の引張強さ

(1) 軟鋼

ガスシールドアーク溶接用ワイヤには41キロ級のものはなく、今回使用した50キロ級ワイヤでは溶接部が健全であるならば、その引張強さは自ずからSS400以上になるので、本試験でも全て母材にて破断した。(表一 II .3.7参照)

(2) ステンレス鋼

ステンレス鋼の溶接材料は、溶接性を向上させるために母材とはフェライト量など成分が異なり、軟鋼などに比べてより不均質な組織になっている。今回得られた溶接継手の引張強さは、母材よりも溶接材料の方が引張強さが低いためか、継手の引張強さは母材の規格値以上であるがそれらの中間的な値が得られた。(図一 II .3.4～図一 II .3.5参照)

(3) ステンレスクラッド鋼

今回得られた溶接継手の引張強さはほぼ母材と同等の値が得られたが、現在強度メンバとして設計しているSS400を50キロ級の溶接材料で溶接したことを考慮する必要があるのではないだろうか。ステンレスクラッド鋼の溶接部では合せ材であるステンレス鋼部分の厚さが一般に母材より厚く炭素鋼部分が薄くなる。従って、ステンレス鋼と炭素鋼の板厚構成について今後検討が必要と考えられる。

2) 炭酸ガスアーク溶接の上向き溶接

現場溶接を想定して上向き溶接を行ったが、今回使用した溶接材料の組合せでは以下の問題点がある。

- (1) スパッタの量が多いため、ノズルがつまりシールド効果が低下しブローホール等の欠陥が発生しやすい。
- (2) スパッタがチップに付着してワイヤの供給及びアークが不安定になりやすい。
- (3) 溶着金属が垂れ下がりやすく凸型のビード形状になりやすい。そのため次層の溶接前にビード形状を整形し溶け込み不足などの欠陥を防止する必要がある、また、仕上げ層では余盛りの許容値を超える可能性が高く応力集中などの問題も関連してくるため溶接後のビード整形が必要になる。
- (4) 連続して溶接した場合、溶着金属が垂れ下がるため、断続的にアークを発生させる施工法が必要な場合がある（ステンレス鋼はこの方法で行った）。
- (5) 上向き溶接を行うには溶接電源、シールドガス、溶接ワイヤ等について検討する必要がある。

今回採用した条件ではアークの状態はショートアーク領域からグロービュールアーク領域までしかなくスパッタ量の多いのは覚悟しなければならない。改良の方法としてはインバータで電源の採用をして安定したアークの状態を得る方法、シールドガスを炭酸ガスから混合ガス（例えばAr80%+CO₂20%）や純アルゴンガスにしてスプレーアーク領域で溶接することによりスパッタを減少させる方法、上向き溶接に適した溶接材料を選択する方法等が考えられる。

3) 風の影響

ガスシールドアーク溶接は一般に風に対して弱く、その限界は2～3 m/sといわれている。上向き溶接では先に述べたようにシールド効果は必ずしも万全とはいえない。従って、風の影響する環境では防風対策を施すことはもちろんのこと、シールド効果を高めるためにガス流量の増加や二重シールドノズルの採用などの対策を用いることが必要である。

4) 溶接環境と溶接欠陥

本調査では、工場溶接を想定した溶接条件が“良”（下向き姿勢、無風）と現場溶接を想定した溶接条件“やや良”（上向き姿勢、風のある環境）の二つの溶接条件で調査を実施したが、放射線透過試験の結果からわかるように溶接条件“やや良”に欠陥が多く発生していることから、溶接継手強度を検討する際には溶接環境も考慮する必要があると考えられる。

4. 突合せ溶接継手の強度試験（B）

4.1 試験の目的

本試験は、突合せ溶接継手の溶接施工に用いられる「裏はつり」と「裏当て金」が、継手強度に与える影響を調べ、溶接継手効率の検討項目とするとともに、これとは別に実験的試験と

して、アメリカの原子炉の施工で使用されたステンレスクラッド鋼の一方向からのみの溶接施工方法について、実際に施工し、引張強度や溶接施工状態を調査することを目的とする。

試験は、次に示す3つを行った。

- (1) ステンレス鋼において、裏はつりを行った場合と行わない場合の継手強度を比較した。
- (2) 溶接施工の際に、裏当て金を使用した場合としない場合の継手強度比較を行った。
- (3) ステンレスクラッド鋼において、通常では表面と裏面の両方向から溶接施工を行うものを、溶接時の制約や構造物としての美観上の観点から、一方向から溶接施工した場合の継手強度と母材や通常の施工方法のものと比較した。

4.2 試験方法

4.2.1 試験条件

表－II.4.1に試験条件を示す。

表－II.4.1 試験条件

		開先No	材 質	板 厚 (mm)	溶 接 方 法		溶接材料	予熱	パス間温度	ガ ス 流 量
裏はつり	有	3	SUS304	20	炭酸ガスアーク溶接		DW308	無	200℃以下	CO ₂ 20～30 ℓ / min
	無	4	〃	20	初層	T I G溶接	TGS-308	無	〃	Ar 8～12 ℓ / min (バックシールド実施)
					2層以降	炭酸ガスアーク溶接	DW308			CO ₂ 20～30 ℓ / min
裏当て金有		5	〃	20	炭酸ガスアーク溶接		DW308	無	〃	CO ₂ 20～30 ℓ / min
一方向溶接 (裏当て金有)		6	クラッド鋼	23 (3+20)	炭酸ガスアーク溶接		DW309	無	〃	CO ₂ 20～30 ℓ / min (バックシールド実施)

備考：1. 溶接姿勢は全て下向き。

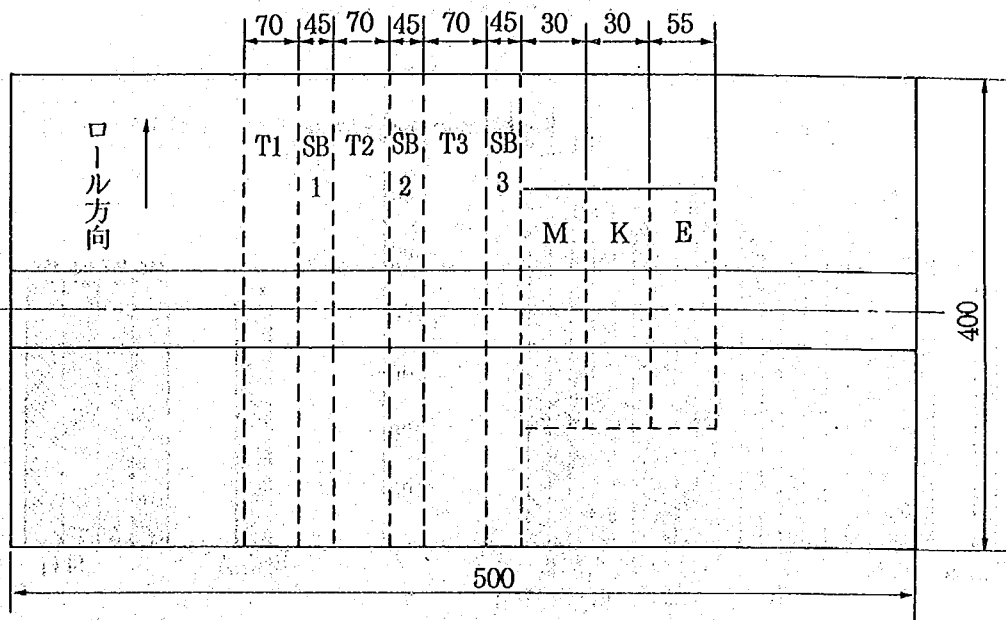
2. 開先形状は、II章1.2.2項(2)のV開先による。

4.2.2 試験項目

溶接を行った試験材より表－II.4.2に示す機械試験項目の試験片を図－II.4.1の試験片採取要領に基づいて採取する。

表－II.4.2 試験項目

試験項目	試験片の規格	試験方法	試験片数
引張試験	JIS Z3121(1号)	JIS Z2241	3
側曲げ試験	JIS Z3121(3号)	JIS Z3122	3
マクロ試験	—	JIS G0553に準ずる	1
ミクロ試験	—	—	1
放射線透過試験	—	JIS Z3104	全線
鋭敏化度測定	—	JIS G0580等に基づく	溶接部近傍



備考

T：引張試験片 SB：側曲げ試験片 M：マクロ試験片

K：ミクロ試験片 E：鋭敏化度測定

単位：mm

図－II.4.1 試験片採取方法

4.3 試験結果

(1) 引張試験

図－II.4.2～3 及び表－II.4.3～4 に引張試験結果を示す。表中には母材の試験結果も合わせて示す。

SUS304 当て金有りのうち、2 試験片は溶接部で破断したが、引張強さは母材部で破断したほかの試験片とはほぼ同じ値を示している。これは、溶接材料の強さが母材の強度より、わ

ずかに小さいため溶接部で切断したものである。

(2) 側曲げ試験

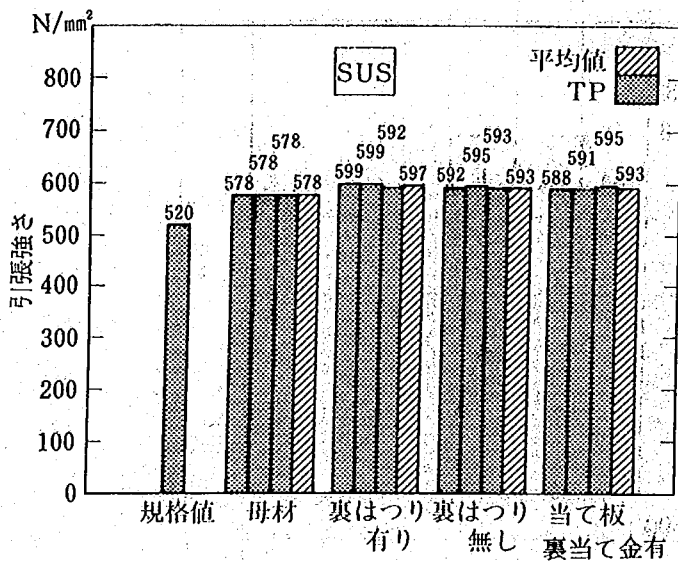
表一Ⅱ.4.4ステンレスクラッド鋼の試験結果を示す。試験番号TP2のみ溶接境界上に5 cmの割れが生じた。

(3) マクロ及びミクロ組織検査

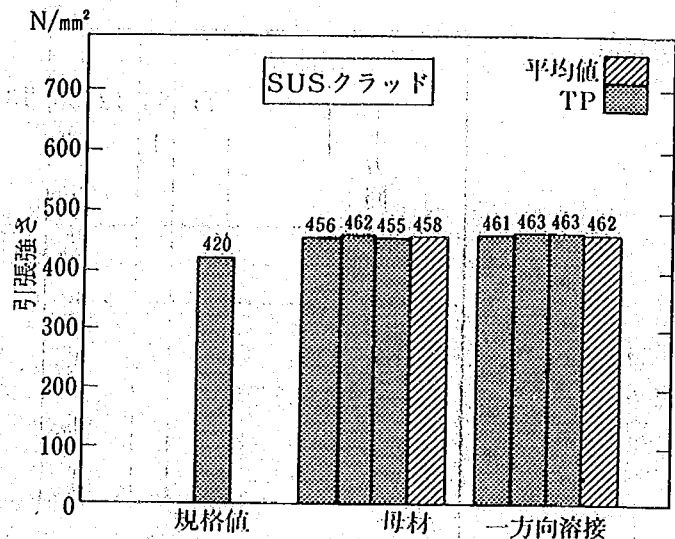
ステンレス鋼のマクロ試験を行った結果、当て板とルートフェスとの境界部に細疵（小さな傷）が生じていた。これは、RT, UTでは発見できないほど小さいものであった。また、ステンレスクラッド鋼のミクロ試験結果からも、ステンレス鋼と当て金とのボンド部に細疵（長さ約0.1mm）があることがわかった。

(4) 放射線透過探傷試験

試験結果、全て合格であった。



図一Ⅱ.4.2 SUS304鋼における引張強さと溶接方法の関係



図一Ⅱ.4.3 SUS-Clad鋼における引張強さと溶接方法の関係

表－II.4.3 ステンレス鋼 (SUS304) の試験結果

	引 張 試 験							
	試験片番号	厚さ	幅	断面積	最大荷重	引張強さ	伸 び	切 断 位 置
		mm		mm ²	N	N/mm ²	%	
裏はつり有	T P 1	20.19×40.15		810.6	485500	599	47.6	母材部
	T P 2	20.11×40.07		805.6	482500	599	47.0	母材部
	T P 3	20.19×40.09		809.4	479000	592	46.9	母材部
裏はつり無	T P 1	20.16×40.08		808.0	478300	592	50.8	母材部
	T P 2	20.15×40.07		807.4	480400	595	50.6	母材部
	T P 3	20.11×40.08		806.0	477900	593	50.3	母材部
裏当て金有	T P 1	20.25×40.10		812.0	477400	588	38.4	溶接部
	T P 2	20.28×40.14		814.0	481000	591	47.4	母材部
	T P 3	20.26×40.08		812.0	483000	595	40.2	溶 接

表－II.4.4 ステンレスクラッド鋼の試験結果

	引 張 試 験								
	試験片番号	厚さ	幅	断面積	最大荷重	引張強さ	伸 び	切 断 位 置	備 考
		mm		mm ²	N	N/mm ²	%		
一 方 溶	T P 1	25.15×40.08		1008.0	464800	461	33.1	母材部	R.T (23℃)
	T P 2	24.90×40.10		998.5	461900	463	33.1	母材部	R.T (23℃)
	T P 3	24.95×40.10		1000.5	462900	463	34.4	母材部	R.T (23℃)
接	側 曲 げ 試 験								
	試験片番号	厚さ	幅	曲 げ 半 径	曲 げ 角 度	曲げ状況	備 考		
		mm		mm	°				
継 手	T P 1	24.90×10.15		46.0	180	良好			
	T P 2	24.85×10.10		46.0	180	5 mmの割れ	コーナーより溶接境界上		
	T P 3	24.85×10.10		46.0	180	良好			

4.4 まとめ

ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼溶接方法の違いと継手強度の関係を調査した結果より次のようなことが挙げられる。

- 1) 引張試験の結果は、溶接方法による差は殆どなく、全て母材の強度と同程度であった。
なお、図－II.4.2～3に溶接方法の違いと引張強さの関係を示す。
- 2) 側曲げ試験等については、ステンレスクラッド鋼のみを実施したところ、3ピースのうち1ピースに割れが生じた。この原因としては、溶接部は歪みが集中しやすいこと及びステンレス鋼（溶接材料）と軟鋼との伸びの違い等が考えられる。
- 3) マクロ及びミクロ試験結果より、ステンレス鋼及びステンレスクラッド鋼の当て金有りの試験片に当て板とルートフェイス境界部に細疵が生じた。この細疵は、裏当て金溶接では通常発生するものであり、強度上何ら問題ないものである。
- 4) 留意点としては以下の2点が挙げられる。
 - (1) 溶接部は歪みが集中しやすいため、曲げ加工にあたっては曲げ半径等につき十分注意する必要がある。特に、ステンレスクラッド鋼は、ステンレス部と軟鋼部の伸びが異なるため曲げ加工方法が不適当な場合、溶接部で割れる可能性が大きい。
 - (2) 裏当て溶接では、当て板とルートフェイスの境界部の細疵を完全になくすことは困難である。この細疵は、RT、UTでも発見できないほど小さなものであり、強度に影響することはない。

5. 人工内部欠陥突合せ溶接継手の強度試験

5.1 試験の目的

本試験は、試験片の溶接部の内部に溶接する際に人工的にブローホールを想定して空洞欠陥を作成し、その欠陥の程度（JIS等級と断面の欠陥率）と引張強度の関係を調査し、許容される欠陥の程度を確認するものである。

人工欠陥の作成は、試験片の溶接部に意図的に作成するが、通常では作意的に欠陥をつくるということを行わないため、作成方法や溶接する際の諸条件がわからず、従って、机上で計画した欠陥を実際のテストピースにつくるためには、まずその作成方法を調べる予備調査を行い、得られた条件に基づいて本試験用のテストピースを作成し、試験を行った。

5.2 予備試験

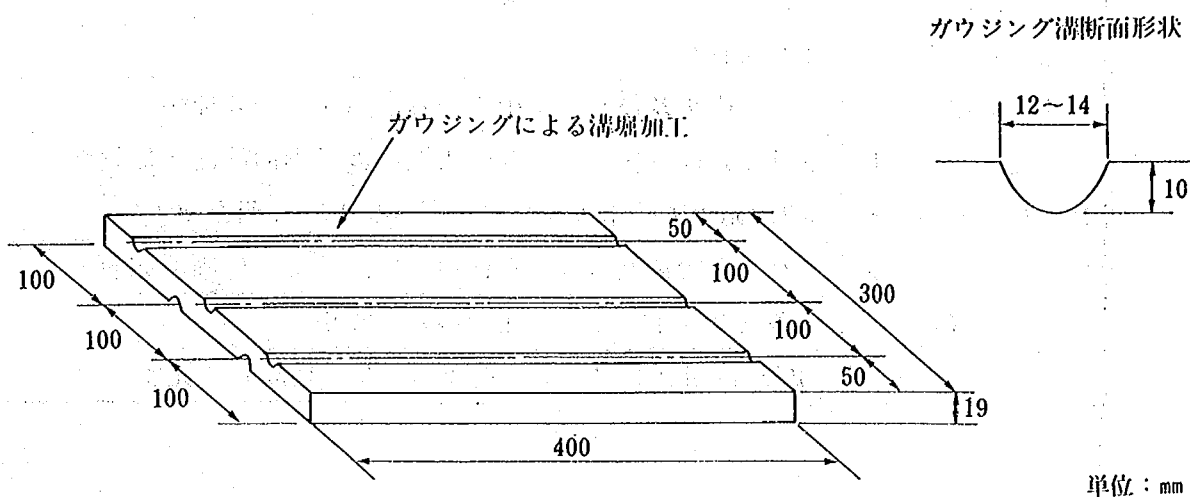
5.2.1 予備試験の目的

本予備試験は、溶接継手に人工内部欠陥溶接継手の強度調査の実施に先立ち、人工的に欠陥を作成方法が不明確なことから、その作成方法について適正な施工方法の検討及び確認を行うために実施したものである。ここでいう施工方法とは、ドリル径、穴の所要深さ及びドリル穴への充填材の選定である。

5.2.2 実験方法

(1) 試験体

本試験では、溶接材料のみを軟鋼用とステンレス鋼用の2種類とした。また、試験片の溶接開先形状は試験板にガウジング溝堀加工し、グラインダで整形したものとした。予備試験で使用した試験片形状を図－II.5.1に示す。



図－II.5.1 試験片形状

(2) 溶接方法

溶接方法を表－II.5.1に示す。

表－II.5.1 溶接方法

溶接方法	炭酸ガスアーク半自動溶接法	
溶接姿勢	下向き	
溶接材料	φ1.2フラックス入りワイヤ	軟鋼用：DW-100（神鋼）
		ステンレス鋼用：GFW：308（タセト）
溶接工	JIS半自動溶接技量有資格者（JIS Z3841/SA-3F）による。	
積層方法	3パス仕上げとし、2パス終了時に溶接ビード高さが板表面より2 mm程度以下になるように溶接条件を調節した。	

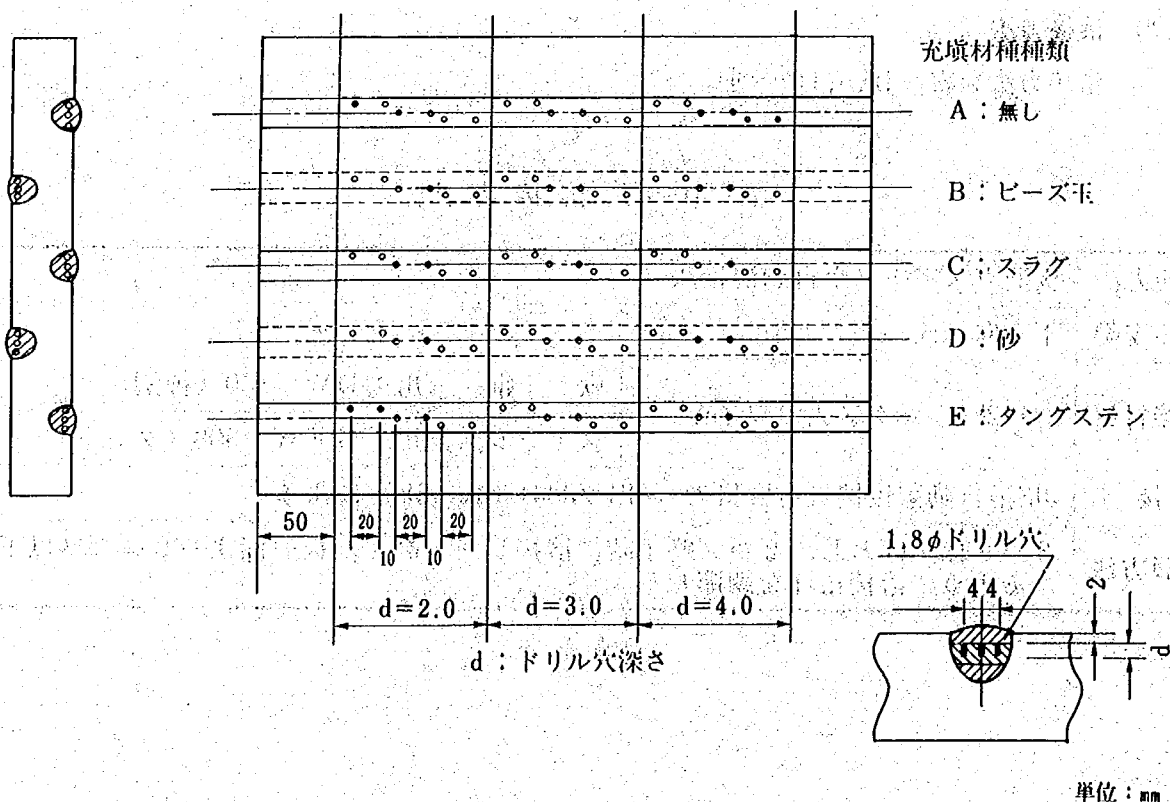
(3) 試驗方法

人工欠陥の模擬対象は、ブローホールである。

表一Ⅱ.5.2 穴開けと充填材

穴 開 け	ドリル径		φ18mm (ビーズ玉充填時は2.2mm)
	ドリル穴深さ		3種類(2, 3及び4mm)
	穴開けビード		2パス目ビード
	穴開け位置		ビード中央及びビード中心から左右4mmの3種類
充 填 材	A	無 し	ドリル穴開け後、スプレー式洗浄液で内面洗浄後に乾燥
	B	ビ ー ズ 玉	φ2.0mmの工業用ガラスビーズ玉を1～2個充填
	C	ス ラ グ	2パス目の溶接スラグを使用。粉碎して穴に固く充填
	D	砂	珪砂(サンドブラスト用の砂)を充填
	E	タングステン	TIG溶接用タングステン電極棒を短く切断して充填

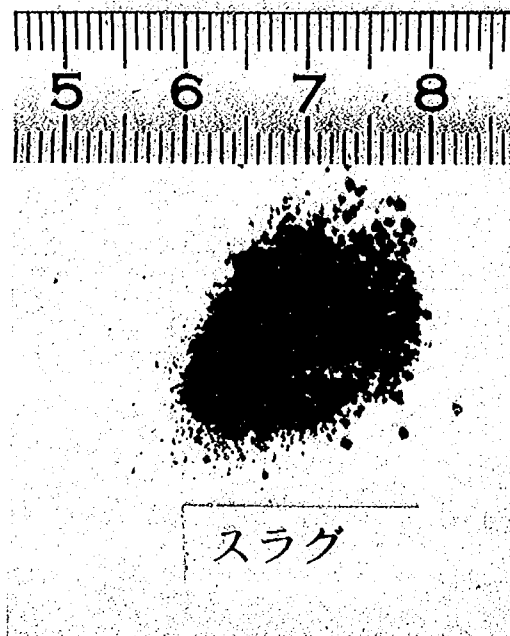
試験板におけるドリル穴開け位置及び充填材の位置を図- II.5.2に、各充填材を写真- II.5.1に示す。



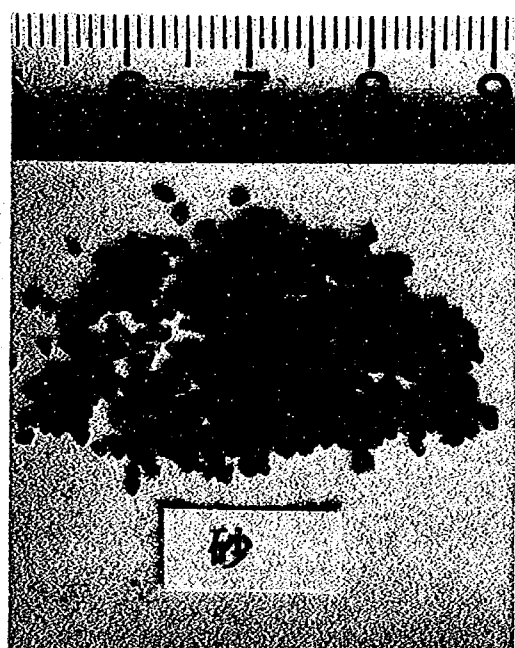
图—II.5.2 人工欠陷設定位置



ビーズ玉 (直径 2 mm、厚さ 1.5 mm)



スラグ (フラックス入りワイヤCO₂溶接スラグ)



砂

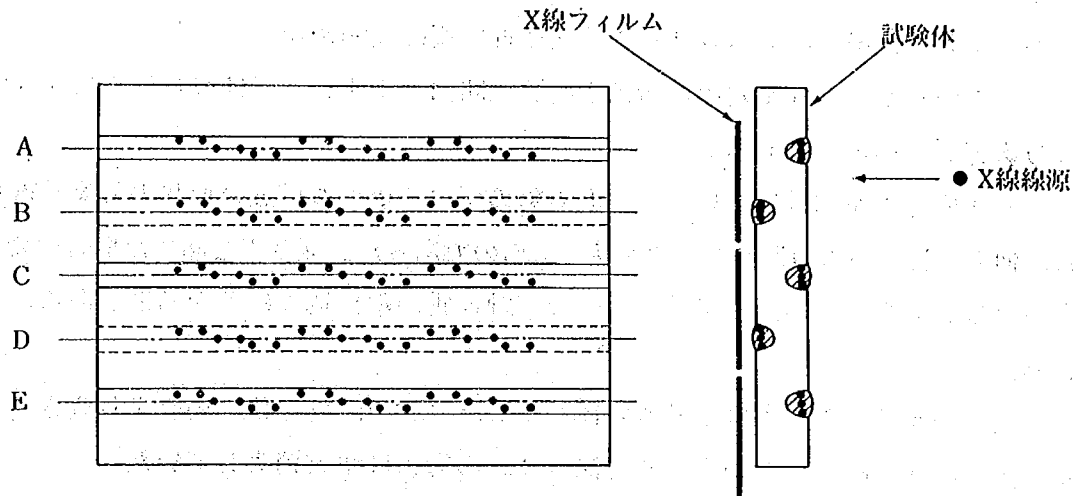


タングステン (φ1.6mmトリタニウム電極棒)

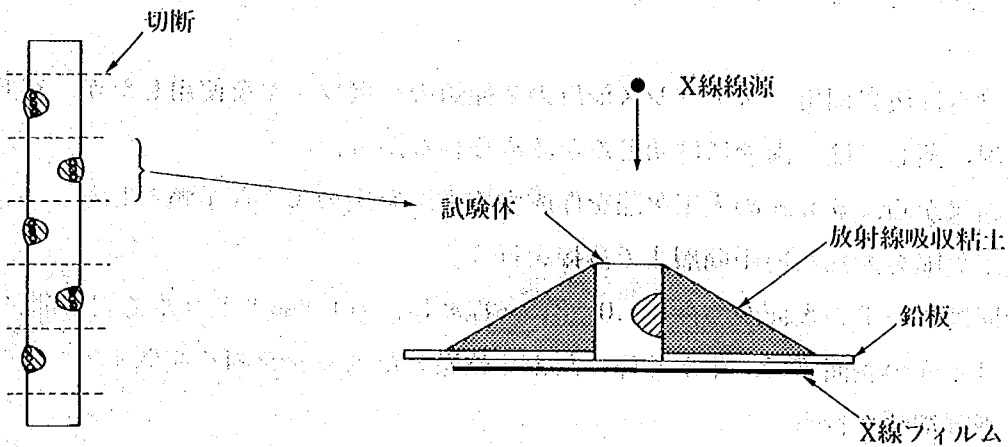
写真-Ⅱ.5.1 充填材外観

(4) 欠陥の検査方法

作成した人工欠陥の検査は、ビード平面の垂直探傷による放射線透過試験と、その後に試験板を短冊状に切断して撮影したビード側面からの放射線透過写真で行った。また、欠陥部の実際の形状については、一部、切取りで断面のマクロ試験を行い確認した。図－II.5.3に放射線透過試験の要領を示す。



a. ビード平面撮影要領



b. ビード側面撮影要領

図－II.5.3 放射線透過試験

5.2.3 試験結果

試験結果の一覧を表Ⅱ.5.3に、試験片断面のマクロ写真を写真Ⅱ.5.2及びⅡ.5.3に示す。 $\phi 1.8\text{mm}$ のドリル穴を開け、炭酸ガスアーク溶接した場合の人工欠陥作成方法について次のことがわかった。

- (1) ドリル穴開け深さについて、深さ 2mm では溶接の溶け込みによりドリル穴が消失してしまうが、深さ、形状が不揃いとなり、再現性のある人工欠陥の作成は困難であった。穴開け深さが 3mm の場合が最も $\phi 2\text{mm}$ の球状に近い側面欠陥像が得られた。
- (2) ビード中心からドリル穴の位置は本実験範囲内 ($\pm 4\text{mm}$) では得られる欠陥寸法にはあまり影響しないようである。
- (3) ドリル穴への充填材について、最も実際のブローホールに近い形状の欠陥が得られたのは、何も入れないものと、スラグを詰めたものであった。スラグを詰めた場合の効果ははっきりとは認められないが、ドリル穴への溶融金属の垂れ込みに多少効果があるように思われる。

ビーズ玉を詰めたものはドリル穴径が $\phi 2.2\text{mm}$ で 0.4mm ほど他の場合より大きかったためか、欠陥深さのばらつきが大きく、深さ 2mm のものは殆ど消失していた。

砂の場合は、特別に乾燥を行わなかったため、溶接中に付着水分がガスとなって吹き出したようで、得られた欠陥にはドリル穴からさらに伸びた形状をしていた。

タングステンについては、細かく砕いて、深さ 2mm の穴に入れたものでも、溶接アークによる溶接は殆ど認められず、それらの殆どが始めの穴の位置から移動しているのが観察された。

- (4) 溶接材料は炭素鋼用とステンレス鋼用の2種類の溶接ワイヤを使用した。得られた欠陥の状況に関しては、両者には殆ど差が認められなかった。

これらの結果から、 $\phi 2\text{mm}$ の人工欠陥を作成する方法を次のような手順とした。

- 1) 人工欠陥を入りたい中間層まで溶接を行う。
- 2) 中間層ビードの表面から深さ $3.0\sim 3.5\text{mm}$ 程度に、 $\phi 1.8\text{mm}$ のドリルで穴を開ける。
- 3) ドリル穴の表面まで、細かく砕いたよく乾燥したスラグを固く充填する。
- 4) 仕上げ溶接を行う。

表- II .5.3 人工欠陥予備試験結果

試験記号		溶接溝 形状		溶接施工条件						欠陥作成方法			実欠陥状況 RT写真判定		試験 結果 評価
試験体 (材質)	継手			パス	溶材	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	入熱 J/cm	ドリル穴		詰物	径	深さ	
TP1 SS400	A	12		1	DW	240	30	40	11K	1.8 φ	2 mm		0~1.5	0 ~1.0	×
		12		2	—	220	30	29	14K		3 mm	無	1.8	1.5~2.0	○
		13		3	100	240	32	22	21K		4 mm		1.8	3.5~5.0	×
	B	13	10	1	DW	220	29	36	11K	2.2 φ	2 mm	ビーズ 玉	0	0	×
		13	10	2	—	220	29	29	13K		3 mm		1.8	0.5~1.5	×
		14	11	3	100	240	32	25	18K		4 mm		2.2	2.0~3.5	×
	C	13	11	1	DW	220	30	44	9K	1.8 φ	2 mm		1.8	0 ~1.5	×
		13	11	2	—	220	30	31	13K		3 mm	スラグ	1.8	1.5~2.0	○
		14	12	3	100	240	32	20	23K		4 mm		1.8	2.0~4.0	×
	D	13	10	1	DW	220	30	44	9K	1.8 φ	2 mm	砂	0~1.5	0 ~1.0	×
		13	10	2	—	220	30	27	15K		3 mm		2.0	3.0~8.0	×
		14	11	3	100	240	32	18	26K		4 mm		2.0	3.0~9.0	×
	E	13	10	1	DW	220	30	51	8K	1.8 φ	2 mm	タング ステン	—	—	×
		13	10	2	—	220	30	30	13K		3 mm		2.0	3.0~4.0	×
		14	11	3	100	240	32	19	24K		4 mm		2.0	4.0~5.0	×
TP2 SS400	A	10		1	GFW	200	30	39	9K	1.8 φ	2 mm		0~1.8	0 ~1.0	×
		13		2	—	220	30	29	14K		3 mm	無	1.8	2.0~2.5	○
		11		3	308	200	32	21	18K		4 mm		1.8	2.0~4.5	×
	B	12	11	1	GFW	220	30	38	10K	2.2 φ	2 mm	ビーズ 玉	0~1.5	0 ~1.0	×
		13	11	2	—	210	32	36	11K		3 mm		2.2	1.3~3.0	×
		13	12	3	308	200	32	20	19K		4 mm		2.2	3.8~5.0	×
	C	12	11	1	GFW	200	30	33	11K	1.8 φ	2 mm		0~1	0	×
		13	11	2	—	200	30	28	13K		3 mm	スラグ	1.8	1.5~2.0	○
		13	12	3	308	220	32	21	20K		4 mm		1.8	2.5~3.0	×
	D	13	11	1	GFW	200	30	41	9K	1.8 φ	2 mm	砂	0~1.5	0 ~2.0	×
		13	11	2	—	200	30	24	15K		3 mm		1.8	3.0~4.7	×
		14	12	3	308	200	32	19	20K		4 mm		2.0	5.0~8.0	×
	E	10		1	GFW	200	30	40	9K	1.8 φ	2 mm	タング ステン	—	—	×
		13		2	—	200	30	33	11K		3 mm		2.0	3.0~4.0	×
		11		3	308	200	32	20	19K		4 mm		2.5	4.0~5.0	×

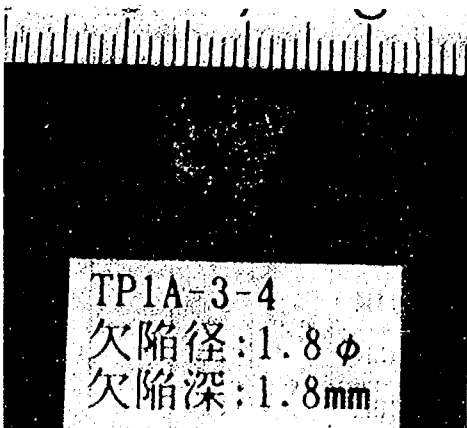
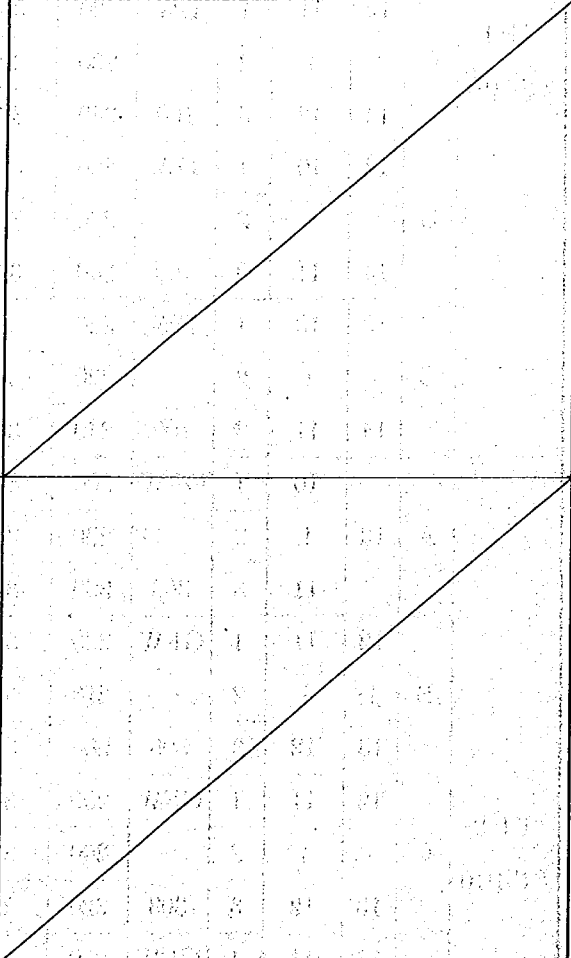
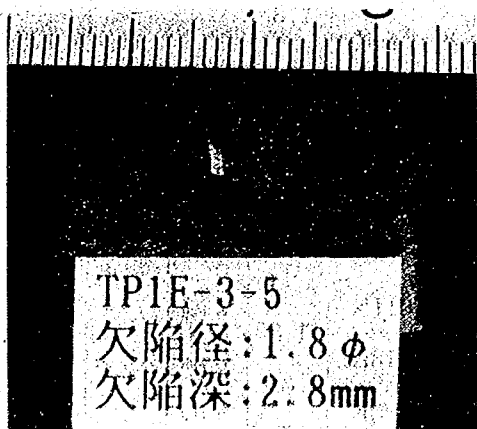
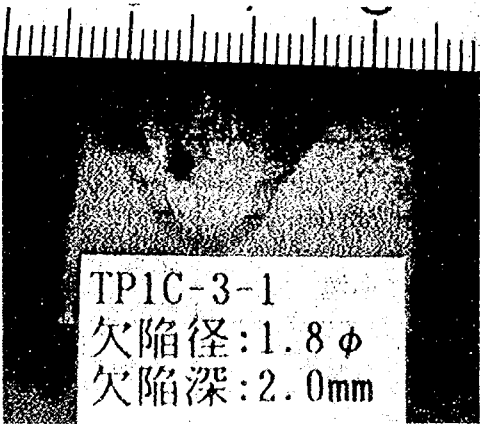
充填物の種類	溶接ビード区分	
	軟鋼溶接ビード	ステンレス鋼溶接ビード
A 充填物無し	 TP1A-3-4 欠陥径:1.8φ 欠陥深:1.8mm	 TP2A-3-5 欠陥径:1.8φ 欠陥深:2.5mm
B ビーズ玉	 TP1B-3-6 欠陥径:1.8φ 欠陥深:1.0mm	
E タングステン	 TP1E-3-5 欠陥径:1.8φ 欠陥深:2.8mm	

写真-Ⅱ.5.2 断面マクロ写真 (その1)

充填物の種類	溶接ビード区分	
	軟鋼溶接ビード	ステンレス鋼溶接ビード
C スラグ	 TP1C-3-1 欠陥径: 1.8 ϕ 欠陥深: 2.0mm	 TP2C-3-5 欠陥径: 1.8 ϕ 欠陥深: 2.0mm
	 TP1C-4-1 欠陥径: 1.8 ϕ 欠陥深: 4.5mm	
D 砂	 TP1D-3-6 欠陥径: 1.8 ϕ 欠陥深: 8.3mm	

写真－II.5.3 断面マクロ写真（その2）

5.3 試験方法

5.3.1 試験検査項目

本実験で行った試験検査項目を表－II.5.4に示す。

表－II.5.4 試験検査項目

試験項目	試験数量	適用規準	備考
放射線透過試験	全線／継手	JIS Z3104-1908, Z3106-1971	垂直, 45度傾斜撮影
継手引張試験	3本／欠陥	JIS Z3121-1984に準拠	平行部を100mmとしG.L.=80mmで破断伸びを測定する。
側曲げ試験	3本／継手	JIS Z3122-1990	ローラ曲げ試験による。 (曲げ半径: 20mm)
断面マクロ試験	1本／継手	JIS G0533に準拠	
ミクロ組織検査	1本／継手	—————	DM, BOND, HAZ(BONDより1mm)深さ: 表面より5mm
鋭敏化度測定検査	1本／継手	JIS G0580に準拠	熱影響部 (3 ^w ×15 ^L mm) DO Sテスト使用

5.3.2 人工欠陥作成

(1) 人工欠陥の種類

溶接継手に導入した人工欠陥の種類, 組合せを表－II.5.5に示す。

表中の人工欠陥の等級分類はJISの放射線透過試験の規定によるものとし, 欠陥率は引張試験の断面に対する人工欠陥の合計断面の比率を示す。

表－II.5.5 人工欠陥の種類

分類 等級	欠 陥 率				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
1 級	—	○, □	—	—	—
2 級	○	○, □	○	○	○
3 級	—	○, □	—	—	—

○: ステンレス鋼試験片

□: 軟鋼試験体

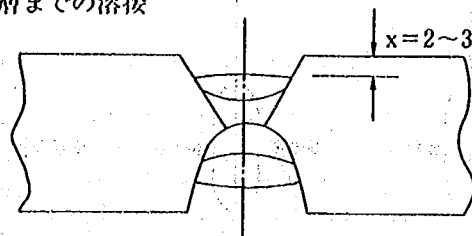
(2) 人工欠陥作成手順

試験溶接継手に導入した人工欠陥の作成手順を図－II.5.4に示す。

(3) 人工欠陥の導入位置と数量

各溶接継手に作成した人工欠陥の引張試験片における位置と数量を図－II.5.5に示す。

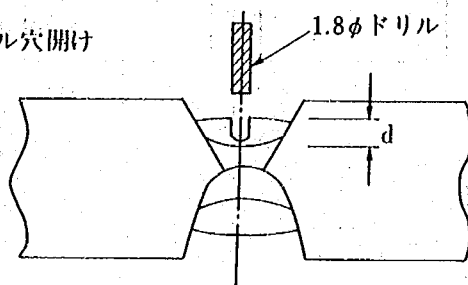
① 中間層までの溶接



施工要領

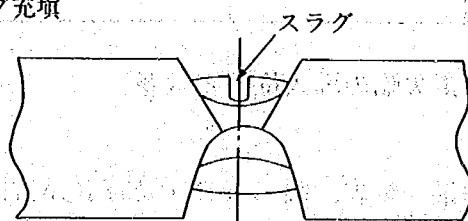
2パス目の溶接で表面より
2～3mmの高さになるよう
溶接条件を制御する。

② ドリル穴開け



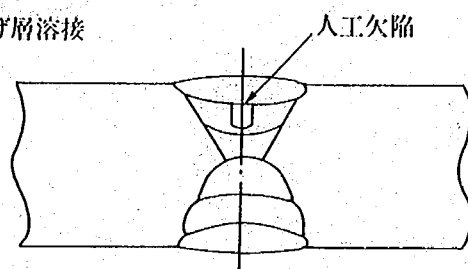
ビード中央にφ1.8のドリルで、ビード表面より
深さd mmの穴を開ける。
dは所要欠陥長さ+1.0
～1.5mmとする。
2mm欠陥: d=3.0～3.5
4mm欠陥: d=5.0～5.5

③ スラグ充填



仕上げ層を溶接する前に十分
乾燥したスラグを細かく砕
き、ドリル穴に表面まで詰め
込む。
スラグの充填は各面の溶接前
に行う。

④ 仕上げ層溶接



図－II.5.4 人工欠陥作成手順

等級	欠陥率				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
1級	正面図 	正面図 	正面図 	正面図 	正面図
	側面図 	側面図 	側面図 	側面図 	側面図
2級	正面図 	正面図 	正面図 	正面図 	正面図
	側面図 	側面図 	側面図 	側面図 	側面図
3級	正面図 	正面図 	正面図 	正面図 	正面図
	側面図 	側面図 	側面図 	側面図 	側面図

図一 II.5.5 人工欠陥の導入位置と数量

表一 II.5.6及び II.5.7に引張試験結果一覧表，図一 II.5.6及び II.5.7に引張強さを要求分類との関係，図一 II.5.8に引張強さに及ぼす欠陥率の影響を示す。

表-Ⅱ.5.6 人工欠陥試験片引張試験結果 (SUS304)

実験 No.	試験片 No.	等級	欠陥率 (%)		引張強度 (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置
			計画欠陥率 (%)	(*-1)推定欠陥率 (%)			
Ⅲ-1	2K12MI-1	1	2	2.1	591	38	溶 接 部
	2	1	2	1.9	588	35	〃
	3	1	2	2.1	585	35	〃
	(参 考)	2	—	2.0	592	36	〃
	(〃)	3	—	2.5	589	34	〃
Ⅲ-2	2K22N-1	2	2	2.1	598	54.2	〃
	2	2	2	2.1	613	46.9	〃
	3	2	2	—	598	56.2	母 材
Ⅲ-3	2K32KA-1	3	2	2.1	595	43.8	溶 接 部
	2	3	2	2.7	595	44.4	〃
	3	3	2	2.4	598	46.3	〃
Ⅳ-1	2K21I-1	2	1	—	594	57.4	母 材
	2	2	1	1.4	598	44.6	溶 接 部
	3	2	1	1.4	589	45.7	〃
	2K23I-1	2	3	4.8	539	25.2	〃
	2	2	3	4.8	546	26.2	〃
	3	2	3	3.0	552	28.3	〃
Ⅳ-2	2K24MH-1	3	4	4.4	564	27.3	〃
	2	3	4	3.7	589	37.6	〃
	3	3	4	3.7	571	27.9	〃
	2K25MH-1	2	5	6.8	566	28.5	〃
	2	2	5	6.7	560	26.8	〃
	3	2	5	6.2	567	29.1	〃

(*-1) 推定欠陥率 = $\frac{\text{破断後の欠陥面積}}{\text{破断後の破断面積}}$

(*-2) 伸びは、G.L.80の場合についてのみ記載した。

表－II.5.7 人工欠陥試験片引張試験結果 (SS400)

実験 No.	試験片 No.	等級	欠陥率 (%)		引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)	破断位置
			計画欠陥率 (%)	(*)推定欠陥率 (%)			
III－1	1K12MI－1	1	2	－	469	26	母材
	2	1	2	－	475	26	〃
	3	1	2	－	474	28	〃
	(参考)	1	2	－	471	29	〃
	(〃)	1	2	－	473	29	〃
III－2	1K22N－1	2	2	－	458	31.8	〃
	2	2	2	－	463	31.2	〃
	3	2	2	－	465	31.3	〃
III－3	1K32KA－1	3	2	－	475	28.8	〃
	2	3	2	－	474	28.3	〃
	3	3	2	－	473	29.5	〃

(*) 推定欠陥率 = $\frac{\text{破断後の欠陥面積}}{\text{破断後の破断面積}}$

(*) 伸びは、G.L.80の場合についてのみ記載した。

5.4 試験結果

1) 溶接部の放射線透過検査

各溶接部に導入された人工欠陥の状態を確認する目的で、JIS Z3106により放射線透過試験を行った。全ての引張試験片に所定の欠陥が導入されていた。

2) 溶接継手部の引張試験結果

人工欠陥が導入された各溶接継手部の引張試験を行った結果

- (1) 軟鋼 (SS400) 及びステンレス (SUS304) とも、いずれの等級 (1～3級) , 欠陥率 (1～5%) においても母材の規格値を上回る引張強度が得られた。
- (2) 軟鋼 (SS400) の場合は全て母材破断であった。
- (3) ステンレス (SUS304) の場合は、一部母材で破断したが、殆ど溶接部 (欠陥部) で破断した。
- (4) 引張強さと等級分類との関係では、軟鋼 (SS400) 及びステンレス (SUS304) とも差異はあまり認められなかった。
- (5) ステンレス (SUS304) の場合、引張強さに及ぼす欠陥率の影響は、欠陥率が増加すると引張強さが低下する傾向にあった。

3) 溶接継手部の側曲げ試験結果

各溶接継手部から3本の側曲げ試験片を採取し、JIS Z3122により、試験を行った結果、全て無欠陥であり、良好な曲げ延性を有していることが確認された。

4) 溶接継手部のマクロ及びミクロ組織

各溶接継手部とも溶接欠陥もなく、健全なマクロ組織である。顕微鏡組織も、溶接金属部は数%のフェライト組織を有し、溶接熱影響部もクロム炭化物の析出も認められず、健全な組織であった。

5.5 まとめ

1) 人工欠陥を入れた溶接継手の引張試験結果によれば、本試験条件範囲内の欠陥等級（1～3級）及び欠陥率（1～5%）の組合せでは軟鋼（SS400）及びステンレス鋼（SUS304）のいずれも、溶接継手強度は母材強度の規格値を下回るものではなかった。（図－II.5.6, 図－II.5.7）

2) 伸びについては、軟鋼の場合、母材の値（45.3%）よりは大きく下回った（36～31.8%）が母材のJIS規格値（ $\geq 21\%$ ）は満足した。ステンレス鋼の場合も、母材の値（65%）より下回り（25.2～57.4%）一部母材のJIS規格値（ $\geq 40\%$ ）よりも下回った。（表－II.5.6, 表－II.5.7）

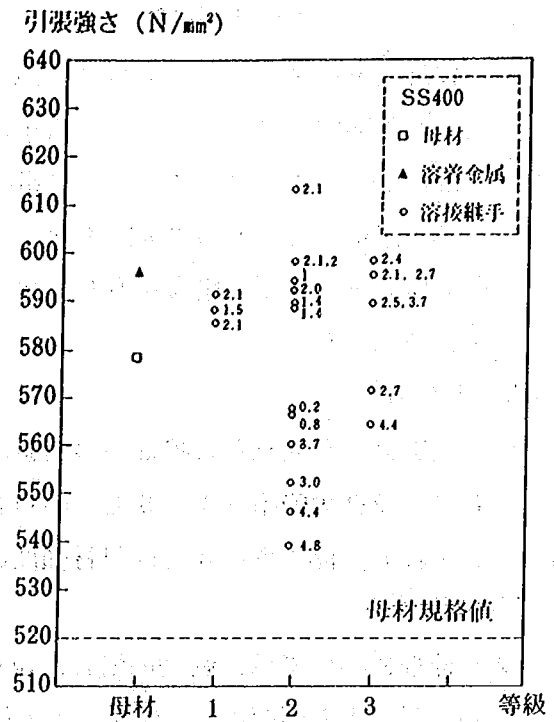
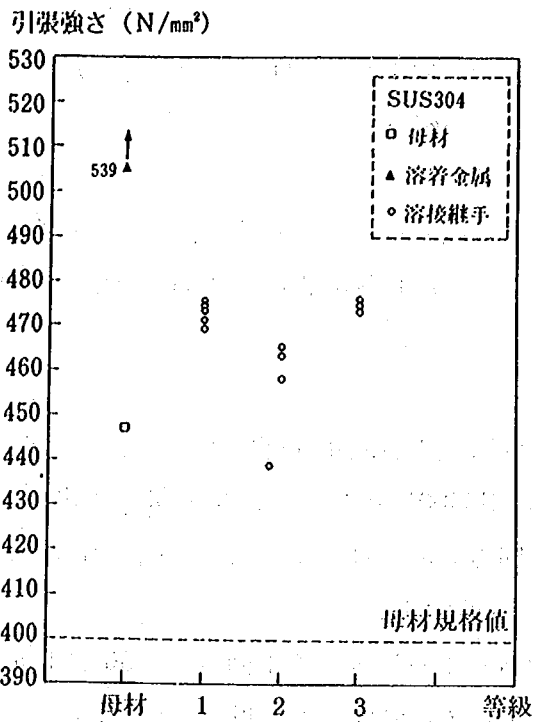
しかし、溶接継手の試験片の伸びを計測及び判定基準にすることは殆どない。その理由は、母材部と溶接部とは、金属組織、引張強度及び伸び等が異なるため、一様伸びとならず、標点距離のとり方によって値がまちまちになり、伸びを計測する意味がないのである。よってこの値は参考値とすべきである。

3) 軟鋼溶接継手では全て母材で破断している。これは軟鋼（SS400）の母材に対して使用した溶接材料（DW-100）が、かなり高い破断強度を持っていた（ミルシート値で母材458N/mm²に対し、溶着金属強度580～590N/mm²で約26%ほど高強度である）ために5%程度の断面欠損率では欠陥部の応力集中を加味しても溶接部は母材強度を上回っていたためと考えられる。（表－II.5.7）

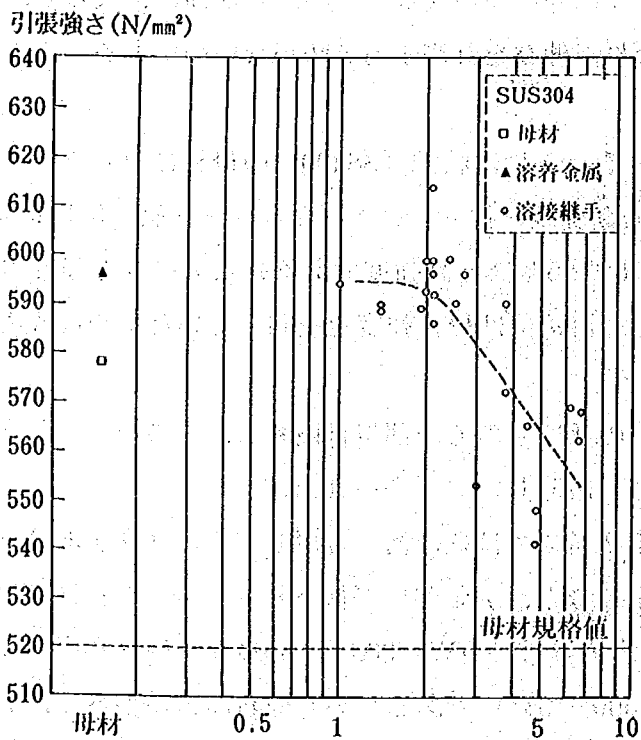
一方、ステンレス鋼溶接継手では欠陥率の低いもので一部母材破断したものがあつた（2本）が、他は全て人工欠陥を入れた溶接部で破断した。（表－II.5.6）

4) 引張強度は欠陥等級にかかわらず欠陥率2%まではほぼ溶着金属レベルの強度があり、欠陥率が3%以上になると欠陥率が大きくなるほど、引張強度が低下している。これはステンレス鋼（SUS304）の母材強度と使用した溶接材料（DW-308）の強度がほぼ同程度（ミルシート値で母材618N/mm²、溶着金属で約590N/mm²）であるため有効断面積が小さく、欠陥による応力集中の発生する溶接部から破断が生じたものと考えられる。（図－II.5.8）

5) ステンレス鋼で母材破断したものはいずれも欠陥率2%以下のものであることから今回実施したような一般的なステンレス鋼の溶接継手においては、欠陥等級にかかわらず断面欠陥率2%以下であれば継手強度は溶着金属強度と同等かそれ以上とみなし得る。また、2級の



図一 II.5.6 引張強さと等級分類との関係(SS400) 図一 II.5.7 引張強さと等級分類との関係(SUS304)
(図中の添数字〇²¹は推定欠陥率を示す)



図一 II.5.8 引張強さに及ぼす欠陥率の影響(SUS304)

欠陥であれば5%の欠陥率でも継手強度は母材規格強度を下回ることはいえないといえる。

しかし、今回の実験での人工欠陥作成方法によれば、欠陥等級が2級としたものでも欠陥率3%以上のものは垂直透過の放射線検査でのみ2級であり、斜め透過ではいずれも3級、もしくはそれ以上と判定されるのであることから、欠陥率による引張強度の低減率を考慮しても、実施工上での欠陥においては、3級（但し、2種の欠陥の場合）以上の欠陥等級であれば、溶接継手強度は母材規格強度を下回ることはいえないと思われる。

6. 鋭敏化度の検査測定（補足調査）

6.1 EPR法による鋭敏化度の測定

オーステナイト系ステンレス鋼は、550～850℃で加熱された履歴をもつと粒界腐食感受性を示すことがある。この現象は「鋭敏化」といわれ、結晶粒界にクロム炭化物が析出することにより粒界近傍のクロム濃度が低下し、この部分の耐食性が劣化することによるとされている。鋭敏化の程度を測定する方法として、日本工業規格では5種類の腐食試験が規格化されている（JIS G0571～G0575）。しかし、これらの方法はいずれも定性的な判断（鋭敏化しているか、否か）の判断しか行えず、しかも破壊試験であるために装置の健全性を評価する手段としてはその利用は困難である。これらを踏まえて、電気化学的手法を用いる方法として、電気化学再活性化法（以下、EPR法：Electrochemical Potentiokinetic Reactivation methodという）が、1984年に新たにJIS G0580として規格化されている。これは、KSCNを含む H_2SO_4 溶液中で動電位法により試験体電位を活性状態電位域と不動態電位域との間を往復させるもので、一度不動態化させた試験体を活性状態電位に下げたときの再活性化状態での溶解挙動を測定することによって鋭敏化度を評価するものである。

鋭敏化熱処理した材料のEPR法試験における分極曲線の一例を図－II.6.1に示す。鋭敏化していない状態（固溶化状態）では、不動態電位から低電位側に逆掃引した場合、再活性化電流は観察されないが、鋭敏化履歴を受けて粒界近傍のCr量が減少している場合には、逆掃引においてCr欠乏層が溶解し、再活性化電流が検出される。この再活性化電流量が、鋭敏化度を定量的に評価する基準として用いられる。具体的な鋭敏化度の評価基準としては、再活性化率（ I_r/I_a ）（%）（ここで、再活性化過程での極大電流密度（ I_r ）とアノード分極時の極大電流密度（ I_a ）の比）が使用されている。この場合には、合金元素の影響や測定面の影響などを打ち消すことができ、鋭敏化に基づく粒界応力腐食割れ感受性も忠実に評価ができる。

図－II.6.2に再活性化率と各種腐食試験結果の整理したものを示す。この試験結果によれば、各種腐食試験により粒界腐食感受性を示したものは、EPR法によると5%程度以上の再活性化率が得られる場合に対応していることがわかる。逆にいえば、EPR法は、腐食試験法では評価できない軽微に鋭敏化を呈している場合でも、定量的に評価が可能となる。「使用する材料に鋭敏化がどの程度であれば健全であるといえるのか」の判断は、材料の使用環境条件により異なり、厳しい腐食環境であれば限界鋭敏化度は、低くしておかなければいけない。JISの

粒界腐食試験法はいずれも厳しい試験環境であるため、その可否に対応するEPR法による「5%」という評価値は厳しい判定基準であると考えられる。

いくつかのプラント製作の際におけるテストや実機の経験などから大気環境下での判定目安として5%が妥当との認識がある。参考として、表-II.6.1にEPR法と3種類のJISの試験法との関連性を示す。JIS G0572、G0573及びG0575は、試験判定基準に従い鋭敏化に対して合格・不合格を判定するものであり、JIS G0571はエッチングによる結晶の腐食状況を示したものである。鋭敏化が進むと結晶粒界が選択的には腐食し、顕微鏡写真によると結晶粒界が溝状に見える。鋭敏化していない場合には、結晶粒界ごとに全体的に腐食し段状に見える。なお、この表において混合とは溝状段状両者が観測される状態であることを示す。

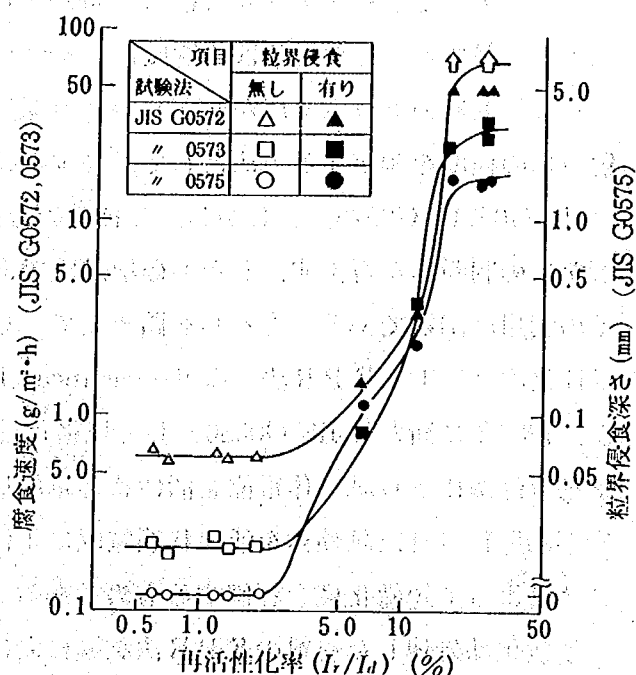
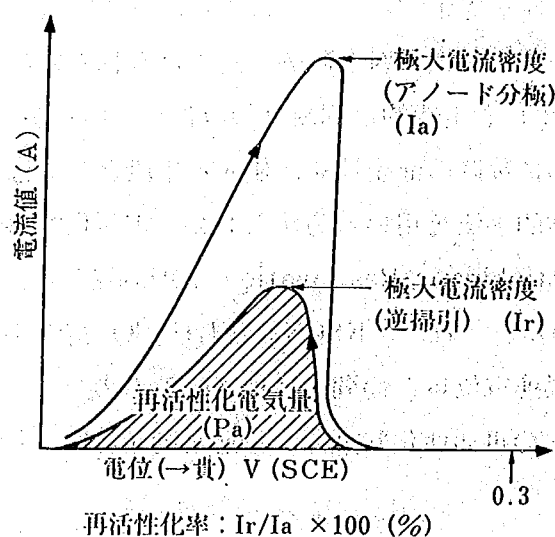


図-II.6.1 EPR試験による分極曲線 図-II.6.2 SUS304の再活性化率-腐食速度の関係

6.2 測定機器

表-II.6.1 EPR試験の再活性化率と各種腐食試験結果との相関性 (SUS304)

EPR試験	1.0%	5.0%	10%	50%
JIS G0572	○		×	
JIS G0573	○		×	
JIS G0575	○		×	
JIS G0571	段 状	混 合	溝 状	

(注) ○: 合格 ×: 不合格

本調査で使用した機器の主な性能を以下に示す。なお、これは日本工業規格のG0580の基準に準じている。

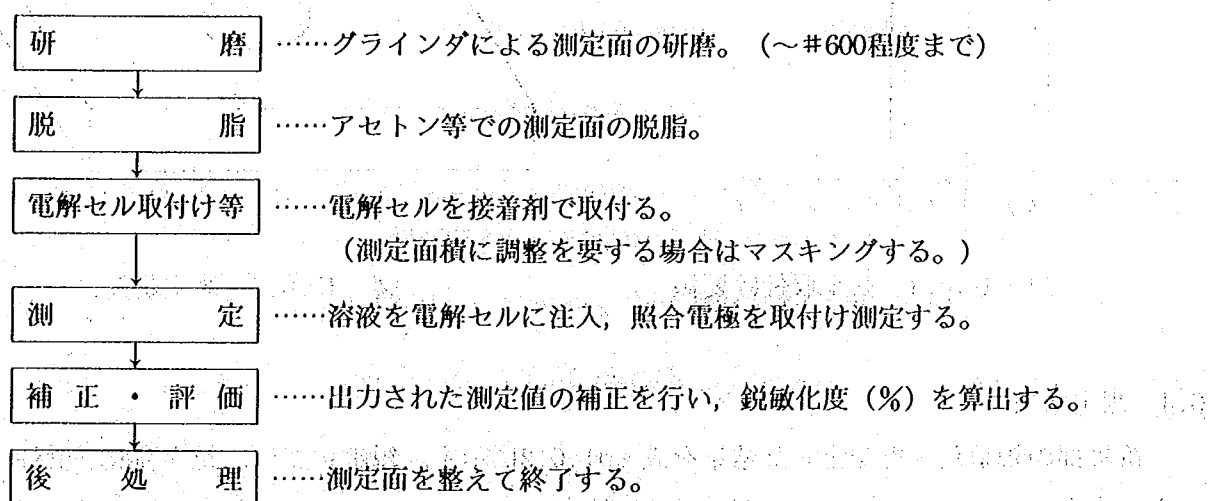
《主な機器性能》

- ・最大出力 $\pm 1 \text{ V} \pm 80 \text{ mA}$
- ・制御誤差 $\pm 80 \text{ mA} \pm 20 \mu \text{ A}$
- ・応答速度 1 ms 以下
- ・使用可能最大電流 $\text{AC } 100 \text{ V} \quad 110 \text{ V} \quad 115 \text{ V} \quad (50 \text{ Hz} \quad 60 \text{ Hz})$
- ・寸 法 $300 \text{ W} \times 350 \text{ D} \times 140 \text{ H} \quad (\text{mm})$
- ・重 量 7.0 kg

6.3 測定方法

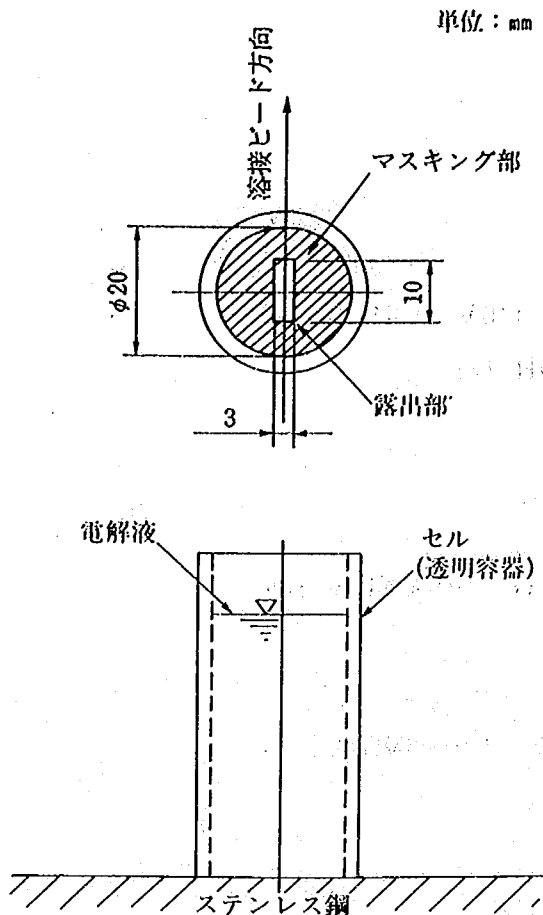
6.3.1 測定手順

測定手順を図－II.6.3に、図－II.6.4及び写真－II.6.1にその状況図を示す。

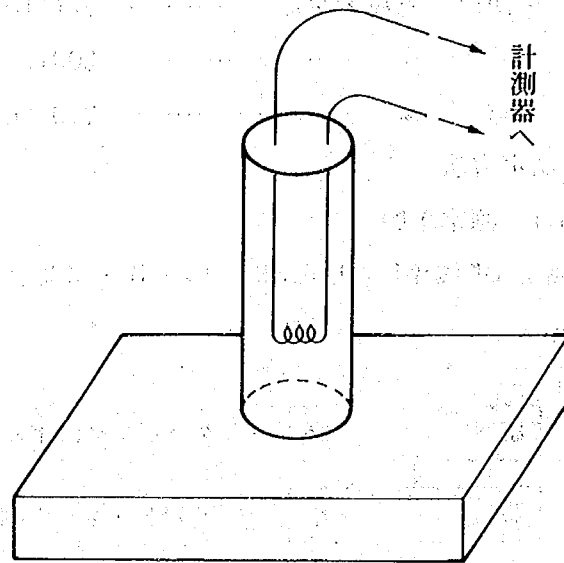


図－II.6.3 測 定 手 順

6.3.2 測定



図－II.6.4 セル取付け要領



図－II.6.5 測定状況

6.4 測定結果

溶接部の鋭敏化度を測定した結果を表－II.6.2に示す。鋭敏化度は、粒界腐食感受性の程度を示すものでその値が大きいほど感受性が高くなる。今回の試験において、溶接熱影響がどの程度鋭敏化したのかの計測を実施した。これより、鋭敏化度は、0.1～3.9%といずれも5%を下回っていた。従って、本試験における試験片の溶接法案では、鋭敏化に対しては問題ない条件での施工と思われる。

表- II.6.2 鋭敏化度測定結果

No.	鋼 種	テストピース番号	測 定 位 置	鋭敏化度(%)	No.	鋼 種	テストピース番号	測 定 位 置	鋭敏化度(%)
1	SUS304	2 A-T	F HAZ F B M B HAZ	0.9 0.2 0.1	13	SUS304	M I-2 K 1 2	F HAZ F B M B HAZ	0.7 0.3 0.6
2	SUS304	2 B-T	F HAZ F B M B HAZ	0.3 0.2 1.3	14	SUS304	2 K 2 2 N	F HAZ F B M B HAZ	0.1 0.4 0.6
3	SUS clad	3 A-T	HAZ B M	3.4 1.2	15	SUS304	2 K-3 2-EKA	F HAZ F B M B HAZ	0.5 0.1 0.1
4	SUS clad	3 B-T	HAZ B M	2.9 0.3	16	SUS304	2 K-2 4-MH	F HAZ F B M B HAZ	2.2 0.9 1.7
5	SUS304	2 A-S	F HAZ F B M B HAZ	2.7 0.2 1.2	17	SUS304	2 K-2 5-MH	F HAZ F B M B HAZ	0.3 0.9 1.2
6	SUS304	2 B-S	F HAZ F B M B HAZ	1.2 0.1 0.1	18	SUS304	V-1-2-A-H (2-A-1-H)	F HAZ F HAZ F B M B HAZ	1.5 1.1 0.2 1.2
7	SUS clad	3 A-S	HAZ B M	0.3 0.3	19	SUS304	V-2-2-A-H (2-A-2-H)	F HAZ F HAZ F B M B HAZ	3.3 2.9 0.3 2.4
8	SUS clad	3 B-S	HAZ B M	0.3 0.2	20	SUS304	V-3-2-A-H	F HAZ F HAZ F B M B HAZ	0.5 1.1 0.2 0.5
9	SUS304	2 A-KU	F HAZ F B M B HAZ	0.1 0.3 0.6	21	SUS clad	V I-3-A-H-E	HAZ B M	0.2 0.2
10	SUS304	2 B-KU	F HAZ F B M B HAZ	1.8 0.3 1.1	22	SUS304	2 K-2 1 1	F HAZ F B M B HAZ	0.3 0.2 0.3
11	SUS clad	3 A-KU	HAZ B M	1.5 1.0	23	SUS304	2 K-2 3 1	F HAZ F B M B HAZ	0.1 0.1 0.3
12	SUS clad	3 B-KU	HAZ B M	2.3 0.2					

備 考

(1) HAZ : (溶接) 熱影響部 Heat Affected Zoneの略。

(2) B M : 母 材 Base Metalの略。

(3) F : 表 面 (刻印面) Faceの略。

(4) B : 裏 面 Backの略。

例: F-HAZは、表面の熱影響部を示す。

B-B Mは、裏面の母材部を示す。

III. 溶接継手効率の検討

1. 溶接継手効率について

1.1 溶接継手効率の検討

溶接ハンドブック（鈴木義春 山海堂）に示されている「軟鋼突合せ溶接部の欠陥度に伴う強さの低下」の関係を図-III.1.1に、また、日本造船研究会第32研究部会による「軟鋼の強さに及ぼす突合せ溶接部の欠陥の影響（主として気孔及びスラグ巻込み）」の調査結果を図-III.1.2に示す。

これは、欠陥の種類を気孔（第1種）、もしくはスラグ巻込み（第2種）として行われており、静的引張強さでは、JIS 3 級で強度の低下が見られていることがわかる。

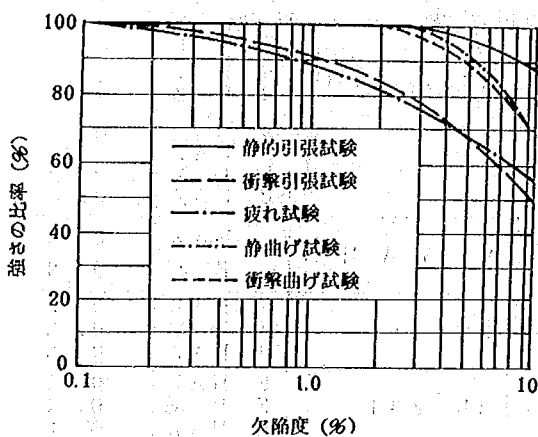


図-III.1.1 軟鋼突合せ溶接部の欠陥度に伴う強さの低下

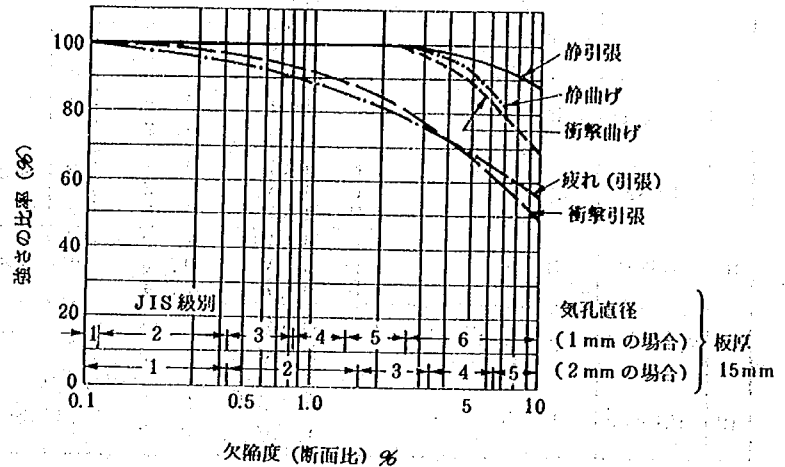


図-III.1.2 軟鋼の強さに及ぼす突合せ溶接部の欠陥の影響

比較といっても、軟鋼とオーステナイト系ステンレス鋼（以下SUS304）とは、条件として、板厚、溶接者の技量や条件などが不明であったり明らかに試験条件が異っているものもあり、単純に比較できないが、両試験とも適切な条件で行ったものとみなし、静的引張強さを比較すると、軟鋼及びSUS304ともに、欠陥度が2.5～3%強さの比率の低下が見られた。

現在、建設省の諸基準では、溶接部の放射線透過試験による透過試験の等級分類により、溶接部の良否を判定している。規定としては、「重要な突合せ溶接継手の全長の20%を撮影するのを標準とする」としており、その合否は、試験結果が3級以上の合格とする。

また、ダム・堰施設技術基準（一次案）では、以下のように示している。

- (1) 水門扉主要構造部の突合せ継手は、溶接線長の5%以上の検査を行うものとする。
- (2) 特に新しい材料、高圧水門、複雑な構造物などの重要な突合せ継手は、溶接線上の20%の検査を行うのを標準とする。
- (3) 検査方法はJIS Z3104によるものとし、判定基準は次に示す。

表の放射線検査及び判定基準によれば、板厚が50mm以下の場合、第3種の欠陥を除き「2級」とされている。

このことは、今回の試験結果を満足している。JIS Z3104やJIS Z3106で規定している放射線透過試験は、原則的に板垂直にX線を当てた場合の欠陥の個数などが規定されているので、例えば、欠陥が上下で完全に重なった位置関係の際などに、誤って認識した場合には、等級は同じで、断面の欠陥度に多少幅がでてくとも考えられる。しかし、実際問題として、このようなケースは溶接線長が極端に短い場合を除けば、全長に占めるこのような誤まった認識の割合は微々たるものと思われ、また、検査の結果、疑わしい欠陥がある場合には、X線の照射位置や角度を変えるなどで十分対応が可能となる。

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部は、原則として応力除去や焼きなましは避ける傾向にある。SUS304は、熱伝導率が軟鋼の約1/3倍で、縦弾性係数が約1.5倍であることから、溶接のように加熱した場合には軟鋼に比べて歪みが生じやすいので、ストロングバックなどで拘束しての施工となる。現場溶接において、これらが十分に期待できない場合などには部分的に突合せ溶接する開先が設計通りいかず、段差が生じたり、すき間が多くなったりすることが考えられる。

継手の疲労強度については、継手のビードの形状によって強度に対する評価が変わってくるので、一概に比較することは難しいと考える。総じていえることは、SUS304と軟鋼は常識的な施工のもとに構造部材として加工される場合には、試験レベルであるが、軟鋼と同程度の強度を呈していることがわかった。表-III.1.1~3に本試験の結果一覧を示す。

軟鋼 (SS400)、ステンレス鋼 (SUS304) 及びステンレスクラッド鋼 (SUS304+SS400) に関して、溶接方法及び溶接条件を変えた場合と人工欠陥を与えた場合の突合せ溶接継手の強度を検証した結果、引張強度は殆どばらつきがなく、母材強度以上の引張強度が全てのテストピースについて確認された。

母材と突合せ溶接継手の強度試験(B)の突合せ継手の引張強度を比較すると、下向き、上向き、裏当て金有り、又は無し等の諸条件下でも、健全な溶接が施工されている場合は、突合せ継手の引張強度は母材の引張強度と同等あるいはそれを上回っている。一方、人工欠陥を入れた溶接継手の引張強度は、試験片の破断後の破断面積のうち欠陥の占める総面積の百分率を欠陥率として示すと、ステンレス鋼の突合せ継手では、欠陥率が2%程度までは、引張強度の低下はみられず、欠陥率が3%以上となると欠陥率が大きくなるほど引張強度が低下し、欠陥率6%で約5%ほど引張強度が低下している。図-III.1.2の日本造船研究協会第32研究部会の軟鋼の溶接欠陥と強度の関連性についての研究結果によると、欠陥率が2%程度までは引張強度の低下はみられないが、以後欠陥率の増加とともに引張強度は低下し、欠陥率6%で約5%引張強度が低下することがわかる。これらを比較してみると、欠陥率と引張強度の関係はよく一致し、軟鋼、ステンレス鋼という種類の差はないものと思われる。

表-III.1.1 SUS304引張試験結果

	等級	欠 陥 率 (%)		引張強度 (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置	試 験 片 No	備 考
		計画欠陥率 (%)	(*)推定欠陥率 (%)					
母材				578	(*)65		母 材	II-1-2PL-1~3の平均値
突合せ継手				607	55	溶 接 部	2 A T	下向き溶接
				583	63	"	2 B T	上向き溶接
				598	62	母 材	2 A S	下向き溶接
				607	52	"	2 B S	上向き溶接
				592	59	"	2 A K	下向き溶接
				598	61	"	2 B K	上向き溶接
人 工 内 部 欠 陥	1	2	2.1	591	38	溶 接 部	2K12MI-1	
	1	2	1.9	588	35	"	2	
	1	2	2.1	585	35	"	3	
	2	—	2.0	592	36	"	(参 考)	(2K12MI-4)
	3	—	2.5	589	34	"	(")	(2K12MI-5)
	2	2	2.1	598	54.2	"	2K22N-1	
	2	2	2.1	613	46.9	"	2	
	2	2	—	598	56.2	母 材	3	
	3	2	2.1	595	43.8	溶 接 部	2K32KA-1	
	3	2	2.7	595	44.4	"	2	
	3	2	2.4	598	46.3	"	3	
	2	1	—	594	57.4	母 材	2K21I-1	
	2	1	1.4	588	44.6	溶 接 部	2	
	2	1	1.4	589	45.7	"	3	
	2	3	4.8	539	25.2	"	2K23I-1	
	2	3	4.8	546	26.2	"	2	
	2	3	3.0	552	28.3	"	3	
	3	4	4.4	564	27.3	"	2K24MH-1	目標等級2級
	3	4	3.7	589	37.6	"	2	"
	3	4	3.7	571	27.9	"	3	"
	2	5	6.8	566	28.5	"	2K25MH-1	
	2	5	6.7	560	26.8	"	2	
	2	5	6.2	567	29.1	"	3	
裏はつり有				599	47.6	母 材	2AH-JT1	
				599	47.0	"	2AH-JT2	
				592	46.9	"	2AH-JT3	
裏はつり無				592	50.8	"	2AH-JT1	
				595	50.6	"	2AH-JT2	
				593	50.3	"	2AH-JT3	
裏当て金有				588	38.4	溶 接 部	2AH-JT1	
				591	47.4	母 材	2AH-JT2	
				595	40.2	溶 接 部	2AH-JT3	

(*)推定欠陥率= $\frac{\text{破断後の欠陥面積}}{\text{破断後の破断面積}}$

(*)伸びは、G.L.80の場合についてのみ記載した。

表-III.1.2 SS400 引張試験結果

	等級	欠 陥 率 (%)		引張強度 (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置	試 験 片 No.	(*-3) 備 考
		計画欠陥率 (%)	(*-1) 推定欠陥率 (%)					
母材				446	(*-2)45.3		母 材	II-1-1PI-1~3の平均値
溶接環境条件				470	32.0	母 材	1 A T	下向き溶接
				470	29.0	"	1 B T	上向き溶接
				463	30	"	1 A S	下向き溶接
				462	26	"	1 B S	上向き溶接
				472	30.5	"	1 A K	下向き溶接
				469	32.5	"	1 B K	上向き溶接
人工内部欠陥	1	2	—	469	26	"	1 K 1 2 M I - 1	
	1	2	—	475	26	"	2	
	1	2	—	474	28	"	3	
	1	2	—	471	29	"	(参 考)	(1K12MI-4)
	1	2	—	473	29	"	(")	(1K12MI-5)
	2	2	—	458	31.8	"	1 K 2 2 N - 1	
	2	2	—	463	31.2	"	2	
	2	2	—	465	31.3	"	3	
	3	2	—	475	28.8	"	1 K 3 2 K A - 1	
	3	2	—	474	28.3	"	2	
	3	2	—	473	29.5	"	3	

(*-1) 推定欠陥率 = $\frac{\text{破断後の欠陥面積}}{\text{破断後の破断面積}}$

(*-2) 伸びは、G.L.80の場合についてのみ記載した。

(*-3) 備考欄に「上向き溶接」の記載があるもの以外は全て「下向き溶接」を表わす。

表-III.1.3 SUS304 + SS400 クラッド鋼引張試験結果

	引張強度 (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置	試 験 片 No.	備 考
母 材	455	(*-2)48.7		(*-1) 母 材	
溶接環境条件	470	32	母 材	3 A T	下向き溶接
	470	34	"	3 B T	上向き溶接
	467	35	"	3 A S	下向き溶接
	469	35	"	3 B S	上向き溶接
	470	35	"	3 A K	下向き溶接
	468	33	"	3 B S	上向き溶接
一方向溶接	461	33.1	"	3 A H T 1	裏当て金有
	463	33.1	"	3 A H T 2	"
	463	34.4	"	3 A H T 3	"
(母材)	433	(*-2)45.3	"	S S 4 0 0 (PL23) 母材	

(*-1) ここでいう母材とは溶接しないクラッド鋼 (SS400+SUS304) そのものをいう。

(*-2) 伸びは、G.L.80の場合についてのみ記載した。

(*-3) 備考欄に「上向き溶接」の記載があるもの以外は全て「下向き溶接」をいう。

本調査で行った試験結果を溶接継手効率の点からまとめると次のようになる。

- 1) 無欠陥の溶接継手の継手効率は100%以上であった。
- 2) 2%以下の断面欠陥率をもつ人工欠陥入り溶接継手の継手効率は100%以上であった。
- 3) 7%以下の断面欠陥率をもつ人工欠陥入り溶接継手の継手効率は90%以上であった。
(調査実験の結果では約93%であった。)
- 4) 上向き姿勢で風によりシールドが不良になった場合、ブローホールやスラグ巻き込み等の欠陥が発生することがあった。
- 5) 裏当て有りの継手では微少な割れが発生することがあったが、放射線検査で検出できない程度のもので、継手効率は100%以上を示した。

これらの試験結果から溶接継手効率については次のことがいえる。

- a) 許容断面欠陥率を2%以下とする判定基準で全線検査された溶接継手の継手効率は100%が期待できる。
- b) 継手全長に欠陥がある場合でもその断面欠陥率が7%以下であれば継手効率は90%以上が期待できる。(但し、1種もしくは2種欠陥についてであり3種欠陥については不明)

以上のことをSS材の実験結果についても検討した場合、SS材においては溶接材料の強度が母材よりかなり高かったため、上記のa)項はSUS材と同様であるといえるが、b)項については欠陥部での破断データが得られなかったので言及はできない。

今回の試験結果をもとに、現在のSS材の継手効率基準を参考にしてSUS304材の基準を考えると次のようなことになる。

- (1) 100%放射線検査する場合は、継手効率は100%とみなす。
- (2) 抜き取り検査をする場合は、継手効率は90%から100%の間の値とみなす。
- (3) 検査をしない場合は、90%以下とみなす。

この内容は、ほぼ現状のSS材の継手効率基準の内容と同等なものである。このことから、SS材の基準をそのままSUS304材に適用しても、特に基準が緩くなるというような問題は生じないと思われる。

従って、溶接継手効率の検討にあたっては、放射線試験の割合、溶接熱後処理も加味して定められている「ダム・堰施設技術基準」に従い一般炭素鋼と同様、ステンレス鋼の溶接継手効率を定めても不自然さはないと思われる。

1.2 溶接作業環境の影響

現在運用している基準における溶接継手効率では、工場溶接や現場溶接でその効率の数値が異っている。これは、溶接施工面から設備や環境が十分でないような場合には信頼性の低下を考慮して係数値を低くみている。本調査では、風が継手の強度等に及ぼす影響をみる試験も行っ

たが、測定や要因設定の困難さなどから、結果としてはビードが正常に形成される程度であれば、強度に大差はみられなかったということになるが、定量的に言うのは困難である。従って、溶接継手効率を検討する際の決め手として、放射線や超音波等の検査の実施の有無やその測定結果で継手効率を使い分けることとした。

1.3 他材種への対応

本調査では、ダム・堰などの主要構造部材の用いられると考えられるオーステナイト系ステンレス鋼のうち、その使用が主になると思われるSUS304鋼について調査試験を実施した。

表－Ⅲ.1.4に水門用に使用されるステンレス鋼を、図－Ⅲ.1.3にステンレス鋼の系統図を示す。このうち、突合せ溶接を行う箇所は、スキンプレートなど板材として広い面積に使用する部材にある。こうした部材の大部分はSUS304、SUS316などのオーステナイト系ステンレス鋼である。SUS410に代表されるマルテンサイト系ステンレス (martensitic stainless steel) や SUS329J1に代表される2相系ステンレス鋼 (duplex stainless steel) などは、軸やローラールなど強度や硬度が要求される箇所に使用されており、突合せ溶接を行うような使われ方は殆どないようである。

主要構造部材として、他にその使用が考えられるステンレス鋼としては、同じくオーステナイト系のSUS304L、SUS304N、SUS316、SUS316Lなどが挙げられる。

表一Ⅲ.4.1 水門扉（扉体、戸当り、固定部）の主な使用材料

No	一 般 名 称	種 類	使 用 材 料	水門扉の使用材料	
				扉体、戸 当り及び 固定部	開閉装置
1	一般構造用圧延鋼材	JIS G3101 SS	SS 400	○	○
2	溶接構造用圧延鋼材	JIS G3106 SM	SM 400 SM 490	○	
3	溶接構造用耐侯性熱間圧延鋼材	JIS G3114 SMA	SMA 400 SMA 490	○	
4	炭 素 鋼 鋳 鋼 品	JIS G5101 SC	SC 450 SC 480	○	○
5	熱間圧延ステンレス鋼板	JIS G4304 SUS	SUS304 SUS304N2 SUS316 SUS329J1 SUS329J2L SUS410系	○	
6	冷間圧延ステンレス鋼板	JIS G4305 SUS		○	
7	ステンレスクラッド鋼	JIS G3601 SS (SM又はSMA)+SUS		○	
8	一般構造用炭素鋼鋼管	JIS G3444 STK			○
9	配管用炭素鋼鋼管	JIS G3452 SGP			○
10	圧力配管用炭素鋼鋼管	JIS G3454 STPG			○
11	炭 素 鋼 鍛 鋼 品	JIS G3201 SF	SF 440	○	○
12	リベット用丸鋼	JIS G3104 SV		○	
13	ボイラ及び圧力容器用炭素鋼及び モリブデン鋼鋼板	JIS G3103 SB-M			○
14	鉄筋コンクリート用棒鋼	JIS G3112 SR, SD		○	
15	みがき棒鋼	JIS G3123 SGD-D			○
16	高圧配管用炭素鋼鋼管	JIS G3455 STS			○
17	配管用ステンレス鋼鋼管	JIS G3459 SUS-TP			○
18	ワイヤロープ	JIS G3525			○
19	P C 鋼 棒	JIS G3109 SBPR		○	
20	P C 鋼線及びP C 鋼より線	JIS G3536 WPR,SWPD		○	
21	機械構造用炭素鋼鋼材	JIS G4051 S-C	S 25 C S 35 C S 45 C	○	○
22	ニッケルクロム鋼鋼材	JIS G4102 SNC			○
23	クロムモリブデン鋼鋼材	JIS G4105 SCM		○	○
24	ス テ ン レ ス 鋼 棒	JIS G4303 SUS	SUS 304 SUS 403	○	○
25	溶 接 構 造 用 鋳 鋼 品	JIS G5102 SCW	SCW 410	○	○
26	構造用高張力炭素鋼及び低合金鋼鋳鋼品	JIS G5111 SCMn SCMnCr	SCMn2B SCMnCr3B SCMnM3B SCMnCR2B SCMnCr3B	○	○
27	ステンレス鋼鋳鋼品	JIS G5121 SCS	SCS 13	○	○
28	ね ず み 鋳 鉄 品	JIS G5501 FC			○
29	球 状 黒 鉛 鋳 鉄 品	JIS G5502 FCD			○
30	鋼及び銅合金の板及び条	JIS H3100 C-P		○	
31	高 力 黄 銅 鋳 物	JIS H5102 HBsC		○	
32	青 銅 鋳 物	JIS H5111 BC		○	○
33	りん 青 銅 鋳 物	JIS H5113 PBC			○
34	アルミニウム青銅鋳物	JIS H5114 Al BC		○	
35	鉛 青 銅 鋳 物	JIS H5115 LBC		○	○
36	オイルレスメタル			○	○
37	普 通 レ ー ル	JIS E1101			○
38	鉄道車輛用炭素鋼一体圧延車輪	JIS E5402 SSWR,SSWQ		○	
39	機械構造用炭素鋼鋼管	JIS G3445 STKM			○

出典：ダム・堰施設技術基準（一次案）

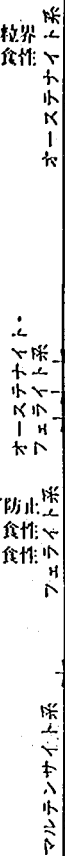


図-III.1.3 ステンレス鋼の系統図 (出典：機械工学便覧)

1.4 板厚の変化への対応

本調査試験は、試験材の板厚を試験の計画上及び実際製作される構造物における使用頻度等から板厚を20mmに限定して実施した。実際問題として構造物が製作される際にはこれ以外の板厚が使用されるが、20mm以外についての適用について考えてみると、板厚が厚くなればなるほど、当然のことながら溶接時のパス数が増加し、一般的に溶接欠陥の生じる可能性が高くなると考えられる。また、JIS Z3106で、表Ⅲ.1.5に示したように母材の厚さで欠陥点数の許容限度を定めており、このことは板厚が増加すると溶接の状況が異なることを示しており、実際には、板厚を変えて、本試験で実施したような試験を行い、確認しておく必要はあると思われる。

表Ⅲ.1.5 第1種及び第4種欠陥の等級分類

(単位：個)

試験視野 mm 母材の厚さ mm		10×10		10×20		10×30
		10以下	10をこえ 25以下	25をこえ 50以下	50をこえ 100以下	100をこ えるもの
1	級	1	2	4	5	6
2	級	3	6	12	15	18
3	級	6	12	24	30	36
4	級	欠陥点数が3級より多いもの				

(出典：JIS Z3106-1971)

1.5 すみ肉溶接継手の継手効率

本調査では、突合せ溶接継手に範囲を限定して調査を実施した。現行設計、検討等の際に用いられる基準ではこの他の継手形状として、すみ肉溶接継手についても規定している。すみ肉溶接継手について考える場合、JIS Z3132「側面すみ肉溶接継手のせん断試験方法」やJIS Z3131「前面すみ肉継手の引張試験方法」に、継手の試験方法が示されている。

すみ肉継手は、使用される部分によって突合せ継手以上に継手形状の影響（応力集中や疲労など）に対する検討を行う必要があると考える。また、評価の方法及び考え方については、突合せ継手以上に思慮が必要であると思われる。

2. 今後の課題

今後の課題としては、以下の事項について調査試験を行い充実を図っていくことが求められるであろう。

- (1) すみ肉溶接継手の継手効率の提示
- (2) 板厚及び鋼種が変化した時の継手効率の提示
- (3) 溶接継手の疲労強度に対する検討
- (4) 溶接継手の衝撃強度に対する検討
- (5) 放射線検査長の溶接全線長に対する割合の数値の決定根拠の明確化

などである。

(1)については、JIS Z3132「側面すみ肉溶接継手のせん断試験方法」、JIS Z3154「重ね継手溶接割れ試験方法」及び前出のJIS Z3131「前面すみ肉継手の引張試験方法」などにより試験実施は可能であるが、母材との比較という点で、適切な手法が見い出せないという問題が生じた。突合せ溶接継手の場合、継手の余盛り部分を削り母材の形状に近づけ、前提条件を同じくすることにより母材との比較が容易になるが、すみ肉溶接継手の場合、突合せ継手にも増して明快な試験方法を考えなければならない。すみ肉溶接の場合には、脚長さやのど厚を変えることにより強度が変化してしまうので、設計値（理論値）との比較は出来るが、比較する基準となるも

のが不明確なので効率としては考えにくい。むしろ、溶接継手効率の定義を視点を変えて考える必要があると思う。

(5)については、現行基準のように放射線透過試験実施長さを溶接線全長に対する割合(%)で指定しているが、例えば5%や20%といった数値については、代表的な既存構造物をピックアップし、図面等から検査の必要性のある重要な部分をマーキングし、全長との割合を出してみる作業も細かい点ではあるが素朴な疑問として残る点である。また、マーキングする部分の選択は、構造上重要な部分である、溶接施工が難しい、溶接が集中するなどによって決定することになるであろう。

Ⅳ. 結 論

本調査を実施した結果、以下のことがわかった。

オーステナイト系ステンレス鋼の代表である板厚20mmのSUS304鋼の突合せ溶接継手の継手の強度は、実施した本試験条件下において、一定レベル以上の溶接施工者により施工された場合には、同等程度の施工条件により施工された構造用炭素鋼であるSS400の継手の強度と大差ないことがわかった。

あ　と　が　き

本報告書では、具体的な溶接効率の係数値の提示は行っていない。なぜなら、諸数値を決定するためには、影響要因を数値化する必要があるが困難性があるため、調査や試験に決定打がない本調査結果のみならず、いろいろな研究結果並びに実績等を踏まえた上で検討し決められるべきであるとする。

本調査は、近畿地方建設局大滝ダム工事事務所並びにゲートメーカー10社の協力を得て調査試験を実施した。本調査結果が今後、この分野における研究や基準等を検討する際の参考となれば幸いであるとする。

謝　辞

最後に、本調査及び検討を行うに当り多大なご配慮いただきました建設省建設経済局建設機械課橋元課長補佐（現　下水道事業団機械課長）並びに渡辺機械設備係長、貴重な時間を割いて試験の実施並びにご助言を頂きましたゲート製作各社の皆様そして検討の機会の場を与えて頂きました土木研究所高須ダム土工研究室長並びに（社）ダム・堰施設技術協会の皆様に感謝の意を表します。

調 査 関 係 者

本調査は、以下の方々のご協力の基に実施し、まとめたものです。

調査期間：平成3年5月～平成4年2月

所 属	氏 名	部 署
石川島播磨重工業(株)	堀 岡 征 二	鉄構事業部 設計部
	小 林 徹 也	〃 〃
	川 島 巖	技術研究所 接合部
(株) エ ミ ッ ク	桜 井 好 文	技術部
川 崎 重 工 業 (株)	羽 田 靖 人	産機・鉄構鋼事業本部 鉄構事業部 水門鉄管設計
	岩 瀬 敏 典	鉄構事業部 播磨工場 技術課
(株) 栗 本 鐵 工	和 田 宏 三	水門設計部
	久 野 佳 三	〃
	鐵 岡 聖 司	住吉工場 鉄構製造部
	亀 谷 博 仁	〃 〃 技術担当グループ
	上 田 十喜雄	〃 水門設計部水門設計二課
	菅 義 則	〃 鉄構品質管理課
佐 藤 鉄 工 (株)	貴 堂 巖	鉄構設計部
	西 尾 豊	製造第一部製造一課
(株) 田 原 製 作 所	明 石 英 男	技術部
	中 村 直 行	製造部
	坂 田 雄 吉	製造部
日 本 鋼 管 (株)	矢 島 和 義	重機・鉄構技術部 水門計画室
	千 葉 幸 憲	〃 〃
日 立 造 船 (株)	酒 井 克 己	鉄構・建機事業本部 水門・鉄管設計部 設計一課
(株)丸島アクアシステム	上 野 米 久	技術本部
	柏 峰 夫	品質管理室
	田 村 匡 宏	技術本部 製作設計第一グループ
三 井 造 船 (株)	河 本 淳	鉄構土木事業部 水門鉄構事業室設計グループ
	長 柄 博 壽	〃 〃
	岸 本 泰 樹	〃 玉野事業所 鉄鋼部工務課
三 菱 重 工 業 (株)	重 永 憲 明	横浜製作所鉄構部 水門設計担当
	五十嵐 昇	〃 品質保証課
	熊 倉 益 男	〃 〃

※会社名は五十音順。敬称略（平成4年2月現在）

参 考 文 献

- 1) 超音波斜角探傷法による溶接欠陥の寸法評価 日本建築学会論文報告集第192号 昭和47年 2月 加藤, 古沢, 森田
- 2) 溶接ハンドブック 鈴木義春 山海堂 P297
- 3) 欠陥の程度の強度に及ぼす影響 石井勇五郎 溶接欠陥の評価と継手強度に関するシンポジウム
- 4) 水門鉄管技術基準 水門鉄管協会
- 5) 河川用ゲート設計指針(案) 一鋼製ゲート編一
- 6) ダム・堰施設技術基準(一次案) (社)ダム・堰施設技術協会
- 7) 日本工業規格
- 8) 機械工学便覧 (社)日本機械学会編
- 9) 日本造船研究第32研究部会「軟鋼の溶接欠陥と強度の関連性」
- 10) 溶接全書第4巻 溶接構造物の設計と基準
- 11) ステンレス鋼の溶接 渡辺正紀, 向井喜彦 著 日刊工業新聞社

参 考 資 料

Appendix 1 既存の材料試験データ

本図は、既存に試験したデータを収集し、鋼種ごとにそのデータをプロットしたものである。従って、詳細な実験条件や測定機器は異なるが、一つの参考データとなると考え、まとめたものである。

リ ス ト

図 番 号	鋼 種	図 番 号	鋼 種
図-A 1.1	SUS304	図-A 1.7	SUS308H
図-A 1.2	SUS304H	図-A 1.8	SUS310S
図-A 1.3	SUS304L	図-A 1.9	SUS316L
図-A 1.4	SUS304N2	図-A 1.10	SUS329J1
図-A 1.5	AUS304STB	図-A 1.11	SUS410
図-A 1.6	AUS304STC	図-A 1.12	SUS410S

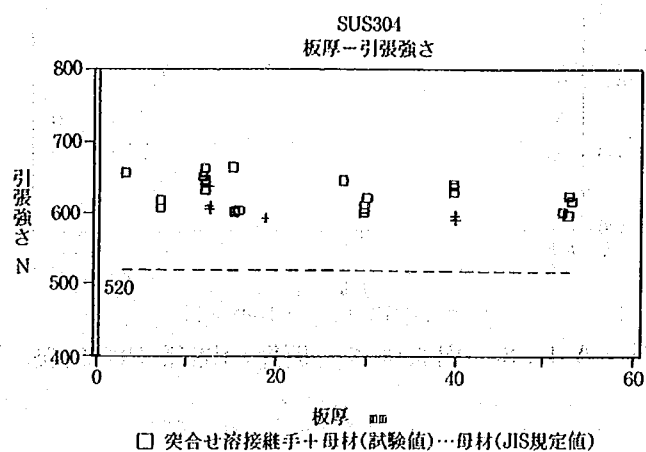


図-A 1.1 引張強さと板厚の関係(SUS304)

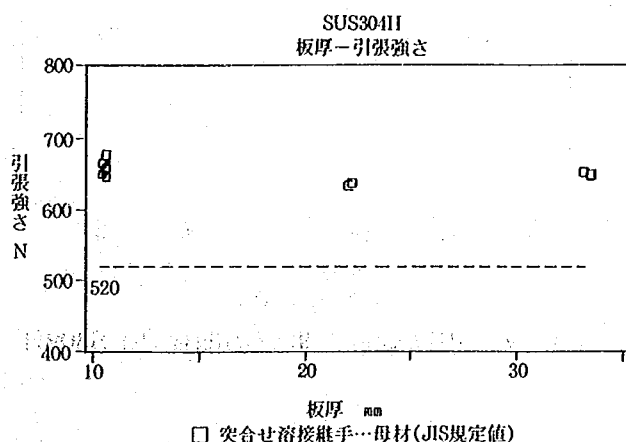


図-A 1.2 引張強さと板厚の関係(SUS304H)

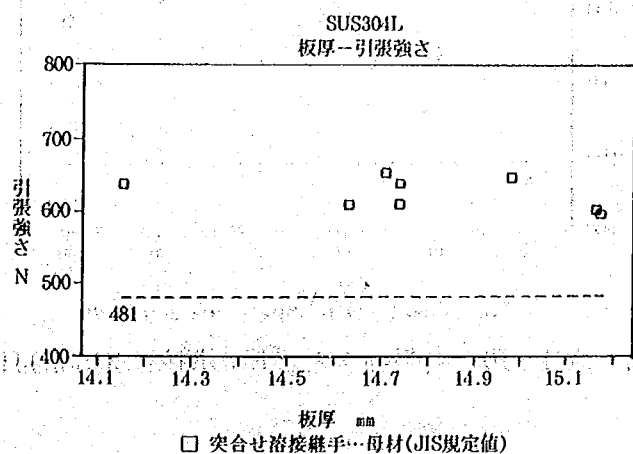


図-A 1.3 引張強さと板厚の関係(SUS304L)

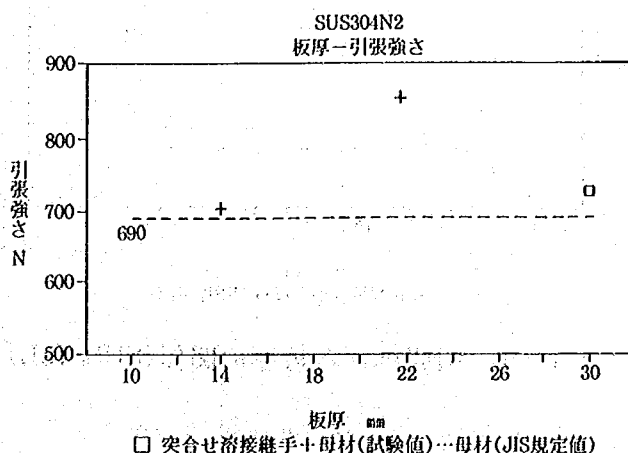


図-A 1.4 引張強さと板厚の関係(SUS304N2)

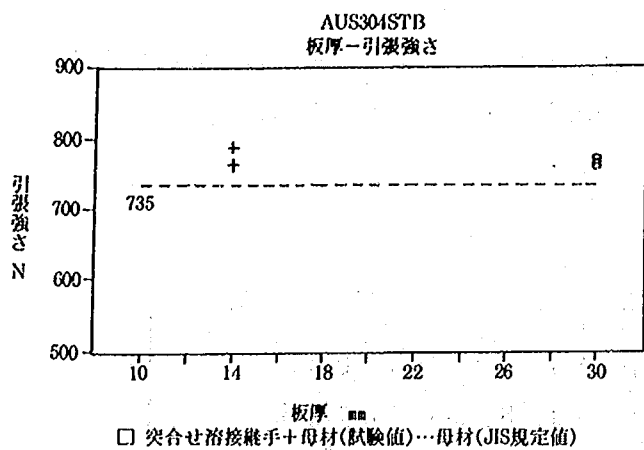


図-A 1.5 引張強さと板厚の関係 (AUS304STB)

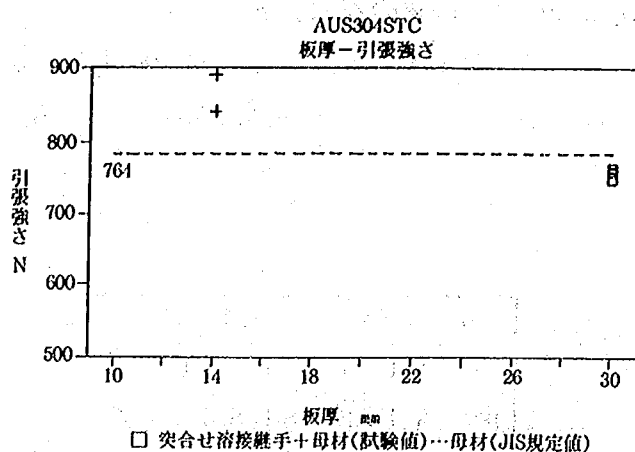


図-A 1.6 引張強さと板厚の関係 (AUS304STC)

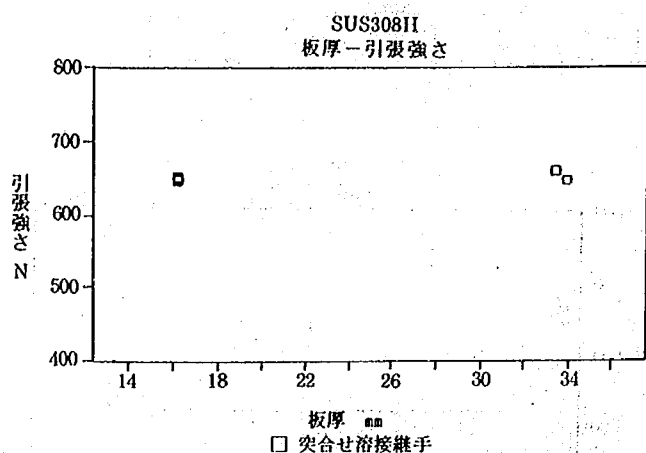


図-A 1.7 引張強さと板厚の関係(SUS308H)

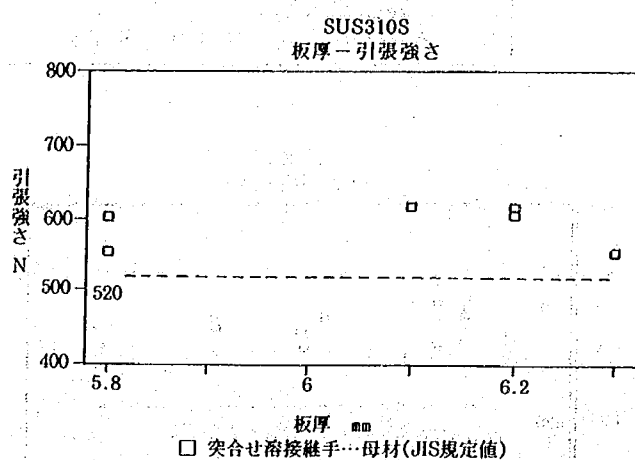


図-A 1.8 引張強さと板厚の関係(SUS310S)

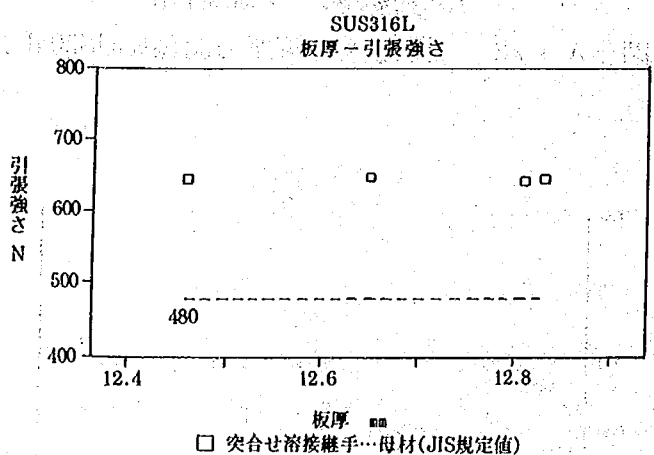


図-A 1.9 引張強さと板厚の関係(SUS316L)

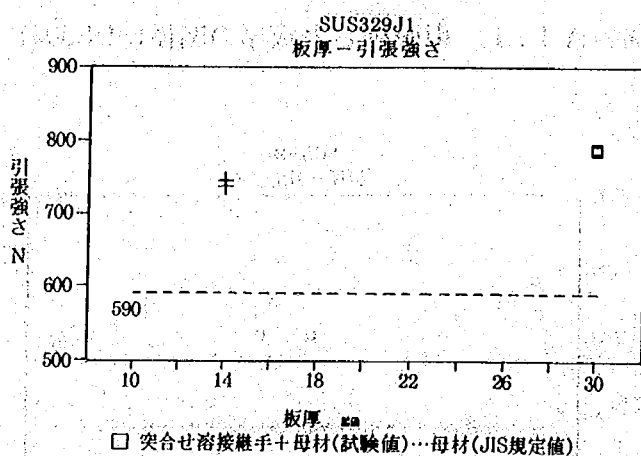


図-A 1.10 引張強さと板厚の関係(SUS329J1)

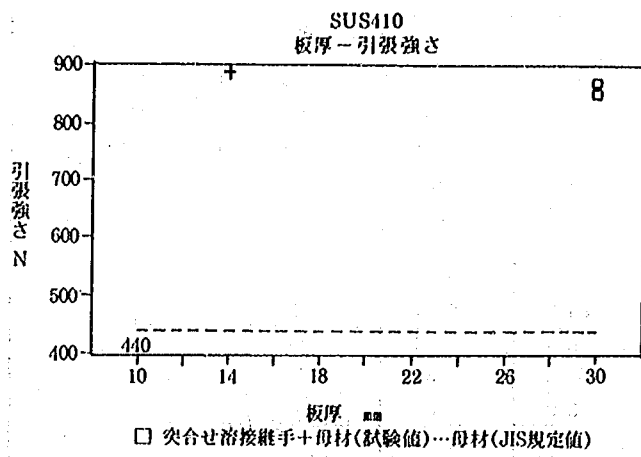


図-A 1.11 引張強さと板厚の関係(SUS410)

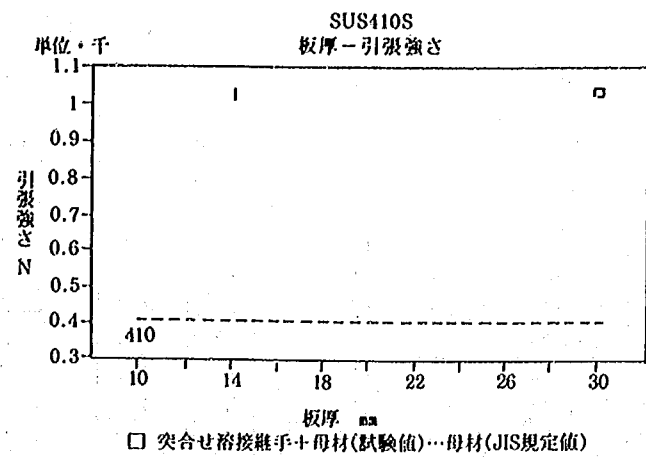


図-A 1.12 引張強さと板厚の関係(SUS410S)

No.	材 種	厚さ(mm)	幅(mm)	試 験 片	引 張 強 さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm)	伸 び (%)	引 張 強 さ (JIS規定値)	備 考
1	SUS304N2改	φ 14		Z2201 4号	91	70.2	36.6	80	AUS304STC
2	SUS304N2改	φ 14		Z2201 4号	85.6	67.1	38.6	80	AUS304STC
3	SUS304N2改	φ 14		Z2201 4号	80.6	56.9	42.2	75	AUS304STB
4	SUS304N2改	φ 14		Z2201 4号	78.1	56.1	45.4	75	AUS304STB
5	SUS410S	φ 14		Z2201 4号	105.3	82.8	17.2	42	
6	SUS410S	φ 14		Z2201 4号	105.2	82.1	17	42	
7	SUS410	φ 14		Z2201 4号	91	67.4	21.6	45	
8	SUS410	φ 14		Z2201 4号	90.8	65.7	22.4	45	
9	SUS329J1	φ 14		Z2201 4号	75.3	56.9	32	60	
10	SUS329J1	φ 14		Z2201 4号	75.9	57.8	34	60	
11	SUS304N2	φ 14		Z2201 4号	71.6	42.9	52	70	
12	SUS304N2	φ 14		Z2201 4号	71.5	43	49.4	70	
13	SUS304	φ 12.5		Z2201 10号	62.1		58	53	
14	SUS304	18.7	25		60.5		70	53	
15	SUS304	φ 12.5		Z2201 10号	62.3		64	53	
16	SUS304	φ 12.5		Z2201 10号	62.1		58	53	
17	SUS304N2	21.9	25		86.8		48	70	
18	SM41A+SUS304	33.4	40		45.9		37.5	41.8	
19	SUS304	φ 12.5		Z2201 10号	64.9		58	53	
20	SUS304				60	28	63	53	ミルシート
21	SUS304				54	29	57	53	ミルシート
22	SUS304クラッド	22			46.8		33.5	46.8	SUS304+SM41+SUS304
23	SUS304	39.9	30.09		60.4	26.6	59.5	53	
24	SUS304	39.9	30.1		60.6	28.7	60	53	
25	SUS304	39.9	30.1		60.8	28.4	61	53	

No.	継手形式	材 種	溶 接 姿 勢	厚さ(mm)	幅 (mm)	試 験 片 (Z3121)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	切断位置	備 考	溶 接 法	M E M O
1	突合せ	SUS304H	下向き+上向き	33.2	25.2		66.6	溶接金属	日本油脂	GMAW+SMAW	
2	突合せ	SUS304H	下向き+上向き	33.5	25.2		66.2	溶接金属	日本油脂	GMAW+SMAW	
3	突合せ	SUS308H	横 向 き	33.9	25.2		66.1	溶接金属	日本油脂	GMAW	
4	突合せ	SUS308H	横 向 き	33.4	25.1		67.5	溶接金属	日本油脂	GMAW	
5	突合せ	SUS308H	下 向 き	16.2	40.2		66.3	溶接金属	日本油脂	GMAW	
6	突合せ	SUS308H	下 向 き	16.2	40.2		66.5	ボ ン ド	日本油脂	GMAW	
7	突合せ	SUS310S		6.2	39.7		62.8	母 材	神 鋼	SMAW	
8	突合せ	SUS310S		6.1	39.6		63	母 材	日本油脂	SMAW	
9	突合せ	SUS310S		6.2	39.4		61.9	溶接金属	日本油脂	GTAW	
10	突合せ	SUS310S		5.8	39.8		61.4	溶接金属	W E L	SMAW	
11	突合せ	SUS310S		6.3	40		56.7	溶接金属	神 鋼	GTAW	
12	突合せ	SUS310S		5.8	40		56.5	溶接金属	W E L	GTAW	
13	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.34	38.38		67.8	溶接金属	W E L	SMAW	F 8-11
14	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.38	38.35		67.6	溶接金属	W E L	SMAW	F 8-11
15	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.62	38.13		67.1	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-12
16	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.38	38.15		66.4	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-12
17	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.58	38.2		69.1	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-13
18	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.61	38.22		67.7	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-13
19	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.59	38.35		67	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-16
20	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.53	38.33		66.3	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-16
21	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.59	38.15		67.3	溶接金属	W E L	SMAW	F 8-18
22	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.45	38.12		67.1	溶接金属	W E L	SMAW	F 8-18
23	突合せ	SUS304H	下 向 き	22.03	38.18		64.8	溶接金属	神 鋼	SAW	F 8-19
24	突合せ	SUS304H	下 向 き	22.16	38.16		64.9	溶接金属	神 鋼	SAW	F 8-19
25	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.52	38.12		66.8	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-20
26	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.56	38.13		66.3	溶接金属	W E L	GMAW	F 8-20
27	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.62	38.23		66	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-21
28	突合せ	SUS304H	下 向 き	10.57	38.12		67	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-21
29	突合せ	SUS304L	立 向 き	14.74	37.66		65	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-15
30	突合せ	SUS304L	立 向 き	14.15	38.12		65.1	溶接金属	神 鋼	GTAW	F 8-15

No.	継手形式	材 種	溶接姿勢	厚さ(mm)	幅 (mm)	試験片 (Z3121)	引張強さ (kg/mm ²)	切断位置	備 考	溶 接 法	M E M O
31	突合せ	SUS304L	立向き	15.16	38.07		61.2	溶接金属	W E L	SMAW	F8-9
32	突合せ	SUS304L	立向き	15.17	38.22		60.5	母 材	W E L	SMAW	F8-9
33	突合せ	SUS304L	立向き	14.74	38.35		62.1	母 材	神 鋼	GTAW	F8-14
34	突合せ	SUS304L	立向き	14.63	38.33		62	母 材	神 鋼	GTAW	F8-14
35	突合せ	SUS304L	立向き	14.71	38.21		66.5	溶接金属	W E L	SMAW	F8-8
36	突合せ	SUS304L	立向き	14.98	38.28		65.8	溶接金属	W E L	SMAW	F8-8
37	突合せ	SUS316L	下向き	12.46	38.04		66	母 材	W E L	SMAW	F8-17
38	突合せ	SUS316L	下向き	12.81	37.99		65.7	母 材	W E L	SMAW	F8-17
39	突合せ	SUS316L	下向き	12.65	37.98		66.3	母 材	W E L	SMAW	F8-10
40	突合せ	SUS316L	下向き	12.83	38.05		66	母 材	W E L	SMAW	F8-10
41	突合せ	SUS304N2	下向き	30	25	1号試験片	74.2	溶接金属	W E L	SMAW	
42	突合せ	SUS304N2	下向き	30	25	1号試験片	73.9	溶接金属	W E L	SMAW	
43	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	77.9	溶接金属	日 鉄	SAW	
44	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	78.6	溶接金属	W E L	SMAW	
45	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	77.2	溶接金属	W E L	SMAW	
46	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	77.9	溶接金属	日 鉄	SAW	
47	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	76.3	溶接金属	W E L	SMAW	
48	突合せ	SUS304N2改	下向き	30	25	1号試験片	77.8	溶接金属	W E L	SMAW	
49	突合せ	SUS329J1	下向き	30	25	1号試験片	80.6	溶接金属	W E L	SMAW	
50	突合せ	SUS329J1	下向き	30	25	1号試験片	80.2	溶接金属	W E L	SMAW	
51	突合せ	SUS410	下向き	30	25	1号試験片	89.2	溶接金属	W E L	SMAW	
52	突合せ	SUS410	下向き	30	25	1号試験片	87.4	溶接金属	W E L	SMAW	
53	突合せ	SUS410S	下向き	30	25	1号試験片	105.5	ボンド	W E L	SMAW	
54	突合せ	SUS410S	下向き	30	25	1号試験片	106	ボンド	W E L	SMAW	
55	突合せ	SUS304	下向き	3	40	1号試験片	67.1	溶接金属	W E L	GTAW	
56	突合せ	SUS304	下向き	3	40	1号試験片	66.8	溶接金属	W E L	GTAW	
57	突合せ	SUS304	下向き	12	40	1号試験片	66	溶接金属	神 鋼	SMAW	
58	突合せ	SUS304	下向き	11.7	40	1号試験片	66.5	溶接金属	神 鋼	SMAW	
59	突合せ	SUS304	下向き	15	40	1号試験片	68	溶接金属	神 鋼	GTAW	
60	突合せ	SUS304	下向き	12	40	1号試験片	64.7	溶接金属	神 鋼	GMAW	
61	突合せ	SUS304	下向き	11.7	40	1号試験片	66.1	溶接金属	神 鋼	SMAW	
62	突合せ	SUS304	下向き	12	40	1号試験片	64.5	溶接金属	神 鋼	GMAW	
63	突合せ	SUS304	下向き	12	40	1号試験片	67.6	溶接金属	神 鋼	SMAW	
64	突合せ	SUS304	下向き	15	40	1号試験片	67.7	溶接金属	神 鋼	GTAW	
65	突合せ	SUS316	下向き	30	25	1号試験片	62	溶接金属	神 鋼	GMAW	
66	突合せ	SUS316	下向き	30	25	1号試験片	62	溶接金属	神 鋼	GMAW	
67	突合せ	SUSクラッド	下向き	12	40	1号試験片	58.2	母 材	神 鋼	SMAW	SUS304+SM50A
68	突合せ	SUSクラッド	下向き	12	40	1号試験片	59.3	母 材	神 鋼	SMAW	SUS304+SM50A
69	突合せ	SUSクラッド	下向き	35	25	1号試験片	56.7	溶接金属	神 鋼	SMAW	SUS304+SM50A
70	突合せ	SUSクラッド	下向き	35	25	1号試験片	57	溶接金属	神 鋼	SMAW	SUS304+SM50A
71	突合せ	SUSクラッド	下向き	12	40	1号試験片	58.4	母 材	日鉄+神鋼	GMAW	SUS304+SM50A
72	突合せ	SUSクラッド	下向き	12	40	1号試験片	59	母 材	日鉄+神鋼	GMAW	SUS304+SM50A
73	突合せ	SUS304	下向き	29.6	25		62.1	溶接金属	神 鋼	GMAW	
74	突合せ	SUS304	下向き	29.6	25		61.5	溶接金属	神 鋼	GMAW	
75	突合せ	SUS304	下向き	52.9	25		63.7	溶接金属	神 鋼	SAW	
76	突合せ	SUS304	下向き	27.2	25.1		65.9	溶接金属	神 鋼	SAW	
77	突合せ	SUS304	下向き	27.2	25.1		65.8	溶接金属	神 鋼	SAW	
78	突合せ	SUS304	下向き	53.2	25		63.2	溶接金属	神 鋼	SAW	
79	突合せ	SUS304	上向き	52.2	25		61.4	溶接金属	神 鋼	GMAW	
80	突合せ	SUS304	上向き	30	25		63.2	溶接金属	神 鋼	GMAW	
81	突合せ	SUS304	上向き	30	25		63.5	溶接金属	神 鋼	GMAW	
82	突合せ	SUS304	上向き	52.7	25.1		61.1	溶接金属	神 鋼	GMAW	
83	突合せ	SUS304	立向き	15.8	40.1		61.6	溶接金属	神 鋼	SMAW	
84	突合せ	SUS304	立向き	15.4	40.1		61.5	溶接金属	神 鋼	SMAW	
85	突合せ	SUS304	立向き	6.9	40.2		63.1	溶接金属	神 鋼	SMAW	
86	突合せ	SUS304	立向き	7.1	40.2		62	溶接金属	神 鋼	SMAW	
87	突合せ	SUS304	下向き	39.63	25.05		65.1	溶接金属	神 鋼	GMAW	
88	突合せ	SUS304	下向き	39.68	25.04		65.3	溶接金属	神 鋼	GMAW	
89	突合せ	SUS304	下向き	39.77	25.06		64.4	溶接金属	神 鋼	GMAW	
90	突合せ	SUSクラッド	下向き	22	25	1号試験片	51.8	母 材	住 金	GMAW	SUS304+SS41+SUS304
91	突合せ	SUSクラッド	下向き	22	25	1号試験片	52.5	母 材	住 金	GMAW	SUS304+SS41+SUS304

Appendix 2 溶接継手効率に関する他基準

A-2.1 機械工学便覧抜粋

A-2.2 陸用鋼製ボイラ (JIS B8201-1987)

A-2.3 アルミニウム製貯槽の構造 (JIS B8502)

A-2.4 アルミニウム製円筒形サイロの構造 (JIS B8511)

A-2.5 圧力容器の構造 (JIS B8243)

A-2.6 ダム・堰施設技術基準 (一次案)

材 料	継 手 効 率 の 求 め 方	参 考 資 料
現 用 構 造 用 鋼 材	・一般工場での溶接の場合 (信頼度の高い場合) 突合せ継手……多くの場合100% すみ肉継手……約60% ・設備や環境が十分でない現場溶接の場合 信頼度が若干おちることを考慮して一般工場の場合の80~90%程度とする。 ・継手の信頼度に欠ける要素のある場合 その程度に応じて継手効率を適当におとす。	機械工学便覧 (日本機械学会編)
構 造 用 鋼 (SM400, SM490)	日本建築基準施行令 (1950) で、突合せ継手・すみ肉継手ともに100%と定めている。	溶接設計 (日本工業新聞社)
圧 力 容 器 用 鋼 板 (JIS G3115)	JIS B8243圧力容器の構造で定めている。	日本工業規格 (JIS B8243)
ボイラ用圧延鋼材 (JIS G3103)	JIS B8201陸用鋼製ボイラの構造で定めている。	日本工業規格 (JIS B8201)
ア ル ミ ニ ウ ム	JIS B8502アルミニウム製貯槽の構造、およびJIS B8511アルミニウム製円筒形サイロの構造で定めている。	日本工業規格 (JIS B8502, JIS B8511)
SS400, SM400, SM490	ダム・堰施設技術基準で定めている。(放流管)	
SS400, SM400, SM490, SMA400	ダム・堰施設技術基準で定めている。(水門扉)	

A-2.1 溶接継手の許容応力、安全率及び継手効率

現用構造用鋼材の継手効率を定める一般原則を述べると次のとおりである。(a) 突合せ継手の強度は現在母材と同程度と考えてさしつかえなく、継手効率は多くの場合100%にとっている。(b) すみ肉継手はせん断力を伝達するものと考え母材のせん断許容応力と同程度にとる。すなわち母材の引張許容応力の約60%程度とする。(c) 以上は一般に工場で溶接が行われる信頼度の高い場合であるが、溶接施工の面から設備や環境が十分でないような現場溶接の場合には信頼度が若干落ちることを考慮して継手効率を下げる。通常工場溶接の場合の80~90%程度とすることが多い。(d) 例えば突合せ継手で裏はつり裏溶接の不可能な場合とか、その他継手の信頼度に欠ける要素のある場合には、その程度に応じて継手効率を適当に下げる。

しかし構造物によっては設計規準あるいは示方書によって継手の許容応力、安全率、継手効率などを定めたものもあり、規格によってまちまちであるから、そのような場合にはその規格に従っ

て設計すればよい。第60表はわが国におけるボイラ、圧力容器関係の規格を示す。また、各国の規格から鋼構造物の溶接継手の許容応力を母材の許容応力に対する比で比較してみると、静荷重の場合、突合せ溶接では引張、圧縮、せん断とも日本では0.8~1.0、アメリカでは1、ドイツでは引張り0.8、圧縮1、せん断には母材の引張許容応力の0.65、また、すみ肉溶接では日本は母材のせん断許容応力と等しくとり、ドイツでは母材の引張許容応力の0.65となっている。なお、最近降伏比の高い高張力鋼の実用化が進むに従い降伏点を設計基準にとったものもあるが、この場合降伏比の大きいもの程安全率を大きくとる傾向にある。

第60表 日本におけるボイラ、圧力容器の規格による
溶接継手効率 (JIS B8201-1972)

溶 接 方 法			鋼材の 種 類	溶 接 継 手 の 効 率 %	
継 手 の 種 類	後熱処理 の 実 施	余 盛 の 削 り 方		放射線検査を 行うもの	放射線検査を 行わないもの
(1) 突合せ両側溶接またはこれと同等とみなされる突合せ片側溶接	行 う	十分に削る	A	100	80
			B	95	76
			C	90	72
	行わない	十分に削る	A	95	76
			B	91	73
			C	86	69
(2) 裏当て金を使用した突合せ片側溶接	行 う	十分に削る	A	95	76
			B	91	73
			C	86	69
	行わない	十分に削る	A	91	73
			B	86	69
			C	82	65
(3) (1), (2)以外の突合せ片側溶接	行 う	軽く削るか又は削らない	A	90	72
			B	85	68
			C	81	65
	行わない	軽く削るか又は削らない	A	85	68
			B	81	65
			C	77	61
(4) 両側全厚すみ肉重ね溶接	行 う	軽く削るか又は削らない	A	83	67
			B	79	64
			C	75	60
	行わない	軽く削るか又は削らない	A	79	64
			B	75	60
			C	71	57
(5) 片側全厚すみ肉重ね溶接	行 う	—	A	—	65
			B	—	62
			C	—	59
	行わない	—	A	—	62
			B	—	59
			C	—	56
(6) 片側全厚すみ肉重ね溶接	行 う	—	A	—	50
			B	—	48
			C	—	45
	行わない	—	A	—	48
			B	—	46
			C	—	43

種別の記号	鋼 材 の 種 別
A	JIS G3103 (ボイラ用圧延鋼材), JIS G3115 (圧力容器用鋼板), JIS G3106 (溶接構造用圧延鋼材で1種 A を除く) 並びに炭素鋼, 合金鋼でこれに準ずる鋼材
B	JIS G3106 (溶接構造用圧延鋼材) の1種 A 並びに炭素鋼, 合金鋼でこれに準ずる鋼材
C	A・B以外の鋼材

- 備考: 1) 放射線検査に合格したものの係数 (溶接継手の効率) は, JIS B8201-1972 の13.26項に規定する検査を継手全部について行った場合とする。すみ肉溶接の場合は, 放射線検査に関係しないものとする。
- 2) 放射線検査を行わないものの効率は, 放射線検査を行わないでよいことが規定されているものだけに適用する。
- 3) 片側全厚すみ肉重ね溶接は, 管のさし込み溶接継手などの場合に限る。
- 4) 表中の突合せ溶接には, T継手の突合せ溶接を含むものとする。

A-2.2 陸用鋼製ボイラの構造

13.2.3 溶接継手の効率

計算に用いる溶接継手の効率は, 表13.2による。

表13.2 溶接継手の効率

分類番号	継 手 の 種 類	溶 接 継 手 の 効 率 %	
		放射線検査を行うもの	放射線検査を行わないもの
(1)	突合せ両側溶接又はこれを同等とみなされる突合せ片側溶接継手	余盛を十分に削る	70
		余盛を軽く削るか又は削らない	
(2)	裏当て金を使用した突合せ片側溶接継手で当て金を残す場合	90	65
(3)	(1), (2)以外の突合せ片側溶接継手	80	60
(4)	両側全厚隅肉重ね溶接継手	—	55
(5)	片側全厚隅肉重ね溶接継手	—	45

A-2.3 アルミニウム製貯槽の構造

3.3.4 溶接継手の効率

溶接継手の効率は, 次による。

- (1) 計算に用いる溶接継手の効率は, 表1による。
- (2) 表1に掲げる部分放射線検査を行う溶接継手の効率は, 7.3.3に示す放射線透過試験を行う継手に限り使用できる。

(a) 側板の水平継手

板厚、グループ及び溶接施工方法が変わるごとに最初の3mの任意の位置から1か所、その後は、溶接線の総長について30mごとに任意の箇所から1か所。

(b) 側板の縦継手

板厚、グループ及び溶接施工方法が変わるごとに最初の3mの任意の位置から1か所、その後は、溶接線の総長について15mごとに任意の箇所から1か所。

(c) 側板の最下段の板厚が20mmを超えるときは、最下段のすべての縦継手について底板にできるだけ近い所から各々1か所。

表1 溶接継手の効率

溶 接 継 手 の 種 類	溶 接 継 手 の 効 率 %		
	全線放射線試験を行うもの	部分放射線試験を行うもの	放射線試験を行わないもの
(1) 突合せ両側溶接又はこれを同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	100	85	70
(2) 裏当て金を使用した突合せ片側溶接継手で当て金を残す場合	90	80	65
(3) (1), (2)以外の突合せ片側溶接継手	—	—	60
(4) 両側全厚すみ肉重ね継手	—	—	50

A-2.4 アルミニウム製円筒形サイロの構造

3.3.2 溶接継手の効率

溶接継手の効率は、次による。

(1) 計算に用いる溶接継手の効率は、表6による。

(2) 表6に掲げる部分放射線検査を行う場合のサンプリングは、次のとおりとする。

(a) 側板の水平継手

板厚、グループ及び溶接施工方法が変わるごとに、最初の3mの任意の位置から1か所、その後は、溶接線の総長について30mごとに任意の箇所から1か所。

(b) 側板の縦継手

板厚、グループ及び溶接施工方法が変わるごとに、最初の3mの任意の位置から1か所、その後は、溶接線の総長について15mごとに任意の箇所から1か所。

表6 溶接継手の効率

溶 接 継 手 の 種 類	溶 接 継 手 の 効 率 %		
	全線放射線試験を行うもの	部分放射線試験を行うもの	放射線試験を行わないもの
(1) 突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	100	85	70
(2) 裏当て金を使用した突合せ片側溶接継手で当て金を残す場合	90	80	65
(3) (1), (2)以外の突合せ片側溶接継手	—	—	60
(4) 両側全厚すみ肉重ね継手	—	—	50

A-2.5 圧力容器の構造

12.2.3 溶接継手の効率

溶接継手の効率は、次による。

- (1) 計算に用いる溶接継手の効率は、表12.2による。

表12.2に掲げる部分放射線試験を行う溶接継手の効率は、長手継手からそれぞれ任意に採取し、そのうち少なくとも1か所以上は長手継手及び周継手の交差部を含み、溶接線の全長の20%以上について放射線試験を行う溶接継手に限り使用できる。

- (3) 表12.2に掲げる放射線試験を行わない溶接継手の効率は、放射線試験をとくに規定していない溶接継手に限り使用できる。

表12.2 溶接継手の効率

分類 番号	溶 接 継 手 の 種 類	溶 接 継 手 の 効 率 (%)		
		全線放射線試験を行うもの	部分放射線試験を行うもの	放射線試験を行わないもの
(1)	突合せ両側溶接又はこれを同等以上と見なされる突合せ片側溶接継手	100	95	70
(2)	裏当て金を使用した突合せ片側溶接継手で当て金を残す場合	90	85	65
(3)	(1), (2)以外の突合せ片側溶接継手	—	—	60
(4)	両側全厚すみ肉重ね溶接継手	—	—	55
(5)	プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接継手	—	—	50
(6)	プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接継手	—	—	45

A-2.6 ダム・堰施設技術基準（一次案）

2-0-7 材料の許容応力度

1. 扉体、戸当り、固定部に用いられる構造用鋼材の許容応力度は、表2.0.7-1及び表2.0.7-2に示す値とする。

表2.0.7-1 構造用鋼材の許容応力度（その1）

(単位: kgf/cm²)

鋼 種 種 類	SS400, SM400, SMA400		SM490		SMA490	
	厚さ ≤ 40mm	> 40	厚さ ≤ 40mm	> 40	厚さ ≤ 40mm	> 40
1. 軸方向引張応力度 (純断面積につき)	1,200		1,600		1,800	
2. 軸方向圧縮応力度 (総断面積につき)	$\frac{l}{r} \leq 20$: 1,200 $20 < \frac{l}{r} \leq 93$:		$\frac{l}{r} \leq 15$: 1,600 $15 < \frac{l}{r} \leq 80$:		$\frac{l}{r} \leq 14$: 1,800 $14 < \frac{l}{r} \leq 76$:	
圧縮部材 l : 部材の座屈長 (cm)	$1,200 - 7.5 \left(\frac{l}{r} - 20 \right)$		$1,600 - 11.2 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$		$1,800 - 13.3 \left(\frac{l}{r} - 14 \right)$	
r : 部材の総断面 の断面二次半径 (cm)	$93 < \frac{l}{r} : \frac{10,000,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	左 記 応	$80 < \frac{l}{r} : \frac{10,000,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	左 記 応	$76 < \frac{l}{r} : \frac{10,000,000}{4,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	左 記 応
圧縮添接材	1,200		1,600		1,800	
3. 曲げ応力度 桁の引張 (純断面積につき)	1,200	力 度 の 0.92 倍 と す る	1,600	力 度 の 0.94 倍 と す る	1,800	力 度 の 0.95 倍 と す る
桁の圧縮 (総断面積につき)	$\frac{l}{b} \leq \frac{9}{K}$: 1,200 $\frac{9}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$:		$\frac{l}{b} \leq \frac{8}{K}$: 1,600 $\frac{8}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$:		$\frac{l}{b} \leq \frac{7}{K}$: 1,800 $\frac{7}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$:	
A_w : 腹板の総断面 積 (cm ²)						
A_c : 圧縮フランジ の総断面積 (cm ²)	$1,200 - 11 \left(K \frac{l}{b} - 9 \right)$		$1,600 - 16 \left(K \frac{l}{b} - 8 \right)$		$1,800 - 19 \left(K \frac{l}{b} - 7 \right)$	
l : 圧縮フランジの 固定点間距離 (cm)	但し $\frac{A_w}{A_c} < 2$ の場合は		但し $\frac{A_w}{A_c} < 2$ の場合は		但し $\frac{A_w}{A_c} < 2$ の場合は	
b : 圧縮フランジ 幅 (cm)	$K = 2$ とする。		$K = 2$ とする。		$K = 2$ とする。	
$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$						
スキンプレート 等で直接固定された 場合	1,200		1,600		1,800	
4. せん断応力度 (総断面積につき)	700		900		1,050	
5. 支圧応力度	1,800		2,400		2,700	

表2.0.7-2 構造用鋼材の許容応力度 (その2)

(単位: kgf/cm²)

鋼 種 種 類	鍛鋼品	鋳 鋼 品			合 金 鋼		
	SF440A	SC450	SC480	SCW410	S25C (径≤20mm)	S35C (径≤32mm)	S45C (径≤37mm)
1.軸方向引張応力度	1,150	1,150	1,250	1,200	1,350	1,550	1,750
2.軸方向圧縮応力度	1,150	1,150	1,250	1,200	1,350	1,550	1,750
3.曲 げ 応 力 度	1,150	1,150	1,250	1,200	1,350	1,550	1,750
4.せん断応力度	650	650	700	700	800	900	1,000
5.支 圧 応 力 度	1,750	1,750	1,900	1,800	2,050	2,350	2,650

2. 扉体, 戸当り, 固定部に用いられる接合用鋼材の許容応力度は, 表2.0.7-3に示す値とする。

表2.0.7-3 接合用鋼材の許容応力度

(単位: kgf/cm²)

鋼 材 種 類	SS400, SM400		SM490	
	厚さ≤40mm	>40	厚さ≤40mm	>40
リ ベ ッ ト	SV330		SV400	
1. せん断応力度 工場リベット 現場リベット	950 850		1,200 1,050	
2. 支 圧 応 力 度 工場リベット 現場リベット	1,950 1,700	左記の0.92倍 とする	2,550 2,300	左記の0.94倍 とする
ボ ル ト	SS400, S20C		S35C	
1. せん断応力度 仕上ボルト アンカーボルト	750 500		1,000 650	
2. 支 圧 応 力 度 仕上ボルト ピ ン	1,700 1,700	左記の0.92倍 とする	2,300 2,300	左記の0.94倍 とする

3. 固定部に用いられるPC鋼線, PC鋼より線及びPC鋼棒の許容引張応力度は, 表2.0.7-4に示す値とする。

表2.0.7-4 PC鋼線, PC鋼より線及びPC鋼棒の許容引張応力度

適 用 時	引 張 応 力 度
緊 張 直 後 導 入 時 載 荷 時	0.60 σ_{pu} または 0.70 σ_{pv} のうちいずれか小なる値 0.50 σ_{pu} または 0.60 σ_{pv} のうちいずれか小なる値 0.40 σ_{pu} または 0.55 σ_{pv} のうちいずれか小なる値

ここに, σ_{pu} : PC鋼材の引張強度

σ_{pv} : PC鋼材の降伏点応力度

4. 溶接による継手箇所については, 表2.0.7-1及び表2.0.7-2に示した値に表2.0.7-5に定める値を乗じた値を許容応力度とする。

表2.0.7-5 溶接の継手効率

区 分		工 場 溶 接	現 場 溶 接
突 合 せ 溶 接	放射線検査を行うとき	0.95(1.0)	0.90(0.95)
	放射線検査を行わないとき	0.85	0.80
す み 肉 溶 接		0.95	0.90

注) 放射線検査は溶接線の20%を対象とし、全長について行う場合は()を効率とする。

5. 同一軸方向の応力のみでない場合は、その合成応力度を次式により計算し、許容応力度以内となるよう設計するものとする。

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots (2.0.7-1)$$

ここに、 σ_y : 合成応力度 (kgf/cm²)

σ_1 : 軸応力度 (引張を正とする) (kgf/cm²)

σ_2 : σ_1 に直角な方向の軸応力度 (引張を正とする) (kgf/cm²)

τ : せん断応力度 (kgf/cm²)

合成応力度に対する許容値は、次のとおりとする。

常 時 : $1.1\sigma_2$ ここに、 σ_2 許容軸方向引張応力度

6. 戸当り及び固定部に使用される無筋及び鉄筋コンクリートの許容応力度は、土木学会によるコンクリート標準示方書「許容応力度方による設計」を準用するものとする。
7. ここに規定していない材料を使用するときの許容応力度は、この規定に準じて各応力度を決定するものとする。

【解 説】

1. 扉体、戸当り及び固定部の強度計算に使用する各許容応力度について示したものである。なお、許容応力度を決定する際の安全率は、JISに規定された板厚公差についても考慮したものであり、本基準では余裕厚や最小板厚の規定において、この板厚公差を考慮しないものとする。

2-0-5 材料の許容応力度

1. 設計計算に用いる鋼材の許容応力度は、表2.0.5-1の値以下としなければならない。

表2.0.5-1 鋼材の許容応力度

材 種	料 別	引張応力 (kgf/cm ²)	圧縮応力 (kgf/cm ²)	せん断応力 (kgf/cm ²)	支圧応力 (kgf/cm ²)
一般構造用圧延鋼材	SS400 厚さ≤40mm	1,200	1,200	700	1,800
	厚さ≤40mm	1,200	1,100	650	1,650
溶接構造用圧延鋼材	SM400 厚さ≤40mm	1,200	1,200	700	1,800
	厚さ≤40mm	1,100	1,100	650	1,650
	SM490 厚さ≤40mm	1,600	1,600	900	2,400
	厚さ≤40mm	1,500	1,500	850	2,250
炭素鋼鋳鋼品	SC450	1,150	1,150	650	1,750
炭素鋼鋳鋼品	SF440A	1,150	1,150	650	1,750
機械構造用炭素鋼鋼材	S20C	1,250	1,250	700	1,900
	S25C	1,350	1,350	800	2,050
配管用アーク溶接炭素鋼鋼材	STPY400	1,150	1,150	650	1,750
圧力配管用炭素鋼鋼材	STPG370	1,100	1,100	650	1,650
配管用ステンレス鋼鋼材	SUS304TP	1,050	1,050	600	1,600
鉄筋コンクリート用棒鋼	SD295	1,500	1,500	850	2,250
	SD345	1,750	1,750	1,000	2,650

2. 材料の継手部分の許容応力度は、表2.0.5-1 値に継手効率を乗じた値とする。

表2.0.5-2 継手の効率 (I)

区 分		工 場 溶 接	現 場 溶 接
突合わせ溶接継手	放射線検査を行うとき	0.95 (1.0)	0.90 (0.95)
	放射線検査を行わないとき	0.85	0.80
すみ肉溶接継手		0.95	0.90

放射線検査は、突合せ継手の5%以上の長さについて実施するものとする。

溶接継手が集中し残留応力の影響が大きい分岐部などは応力除去焼きなましを行うのが望ましいが、焼きなましを行わない場合には、表2.0.5-2の代わりに表2.0.5-3を用いる。

表2.0.5-3 継手の効率(2)

区 分		工 場 溶 接	現 場 溶 接
突合わせ溶接継手	放射線検査を行うとき	0.90(0.95)	0.85(0.90)
	放射線検査を行わないとき	0.80	0.75

なお、() 書は、溶接線全長にわたって放射線検査を行う場合の値である。

3. コンクリートの許容応力度は、コンクリート標準示方書（土木学会制定）によるものとする。
4. 表2.0.5-1に規定していない材料を使用するときは、その材料の性質等について特に十分な検討をした上で、許容応力度を決定しなければならない。

【解 説】

1. これまで、水門扉と方流管に使用される鋼材の許容応力度は、降伏点に対する安全率のとり方の違いにより同一の材料であっても異なった値を採用してきたが、方流管及び水門扉は一体の構造物としてその機能が発揮され、安全性が議論されるべきであるとの観点から、本基準では同じ安全率を採用することとした。高圧水門扉は振動の発生や不測の応力の増加の恐れがあるため、通常の水門扉に対して許容応力度を厳しく設定しているが、放流管は、その構造特性からみて振動などの可能性が小さいため水圧によって区別することなく一律とした。

(1) 許容引張応力度

鋼材の許容引張応力度は、その設計基本強度に対して2.0の安全率をもつように定めた。鋼材の設計基本強度とは、降伏点を材料係数で除したもので、材料係数は各鋼種に対し、降伏比、冷間加工性、破壊までの吸収エネルギーの差異等、鋼種の違いによる信頼度の相違を考慮して定めた係数である。本条で対象とした鋼材では、すべて材料係数を1.0としている。

炭素鋼鋳鋼品及びステンレス鋼鋳鋼品は、材料の均質性への不安から、従来は方流管の場合のみ引張強さに対して安全率を6としていたが、水門扉の場合と基本的には同様に扱うべきものと考えられるので、他の鋼材と同様の安全率をとり、降伏点に対して安全率を2.0とし、水門扉と整合を図った。

(2) 許容圧縮応力度

鋼材の圧縮強さは、実験その他により引張強さにはほぼ等しいといわれており、許容引張応力度と同じとした。

(3) 許容せん断応力度

許容せん断応力度は、ミゼス(Mises)の降伏条件より許容引張応力度の約 $1/\sqrt{3}$ とした。

(4) 許容支圧応力度

許容支圧応力度は、安全をみて許容引張応力度の150%とした。

2. ステンレス鋼及びステンレス鋼鋳鋼品の許容応力度は、表2.0.5-4に示す値とする。これは、ステンレス鋼材の設計基本強度となる耐力に対して、2.0の安全率を持つように定めた。

表2.0.5-4 ステンレス鋼及びステンレス鋼鋳鋼品の許容応力度

材 料	種 別	引張応力度	圧縮応力度	せん断応力度	支圧応力度
		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
熱間圧延ステンレス鋼材	SUS304	1,050	1,050	600	1,600
	SUS304L	900	900	500	1,350
ステンレス鋼鋳鋼品	SCS13	950	950	550	1,450

3. ステンレスクラッド鋼の許容応力度は、SUS部は考慮せず母材の材料の許容応力度によるものとする。

4. 一時的な外圧であるコンクリート打込み圧及びグラウチング圧に対する設計計算では、余裕厚も含めた板厚で計算し、許容応力度も50%割増ししてよい。

また、管胴本体及び補剛材は、管胴に作用する外圧の1.5倍の外圧に対して座屈しないこととする。

5. 表2.0.5-1に規定していない材料を使用するときの許容応力度は、その材料の降伏点（又は耐力）に基づき、本条の規定に準じて求めるものとする。

Appendix 3 鋭敏化測定

A 3.1 測定原理とプロセス

鋭敏化度は、図-A 3.1 に示すように測定する材料の表面を電解液中で往復アノード分極を行い、両過程における極大電流の比（再活性化率）により測定される。

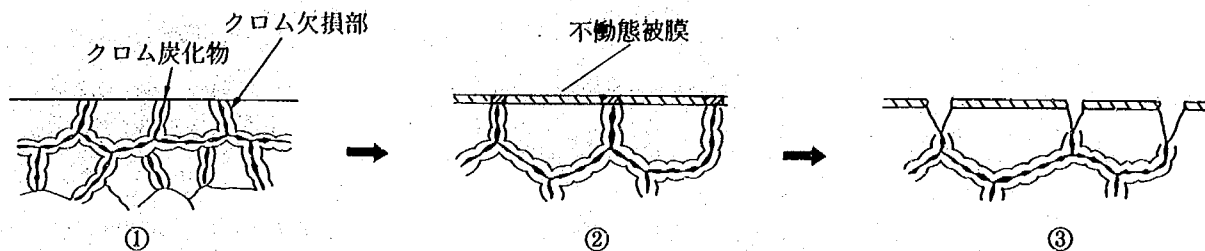
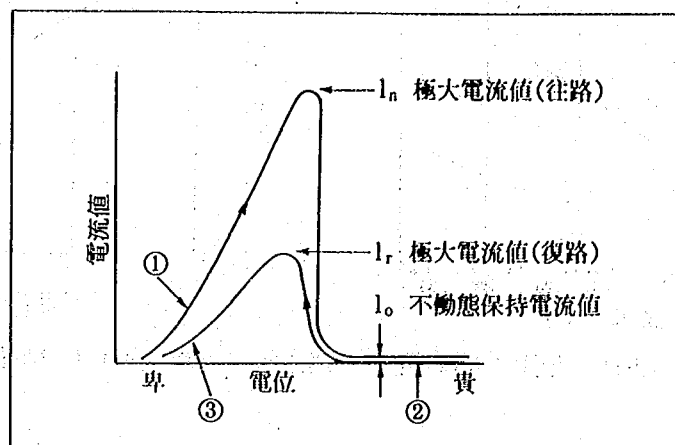


図-A 3.1 測定プロセス

A 3.2 測定値の補正

測定した値は、測定した時の条件により補正の必要性がある。以下にその例を示す。

【測定条件】

- (1) 測定時の材料温度：
- (2) 測定姿勢：下向き
- (3) 材 質：SUS304（結晶粒度 3）
- (4) 測定結果：3.1%（機器による測定値）

※ここで結晶粒度とは、 である。

【補 正】

- (a) 温度補正：図-A 3.2 の補正曲線により5.0%となる。
- (b) 姿勢補正：下向きで測定した場合のみに適用し、 $(5.0\% \div 1.5 = 3.3\%)$ となる。
- (c) 粒度補正：図-A 3.3 の補正曲線により、 $(3.3\% \div 2 = 6.6\%)$ となる。

以上より、評価値6.6%が得られる。

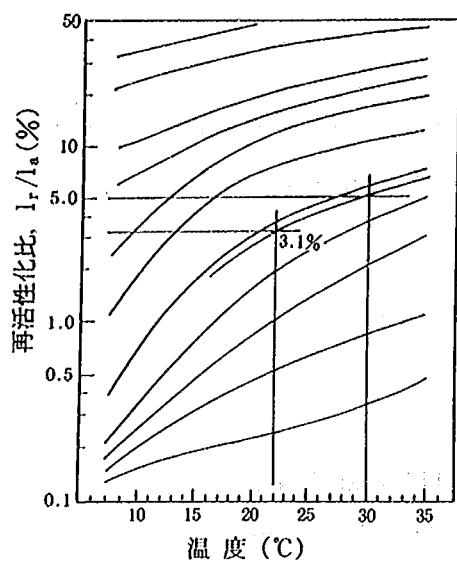


図-A3.2 SUS304の再活性化比に及ぼす温度効果

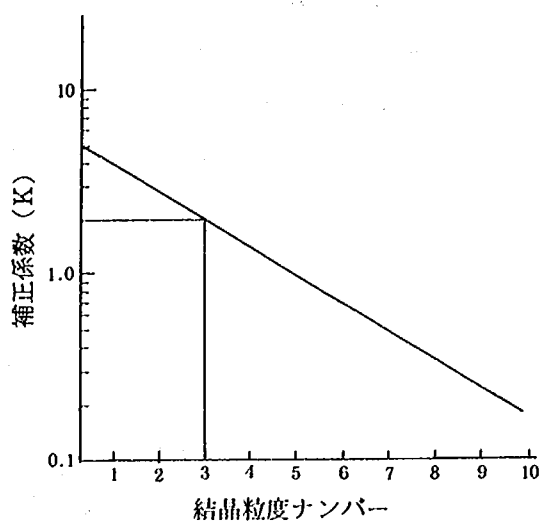
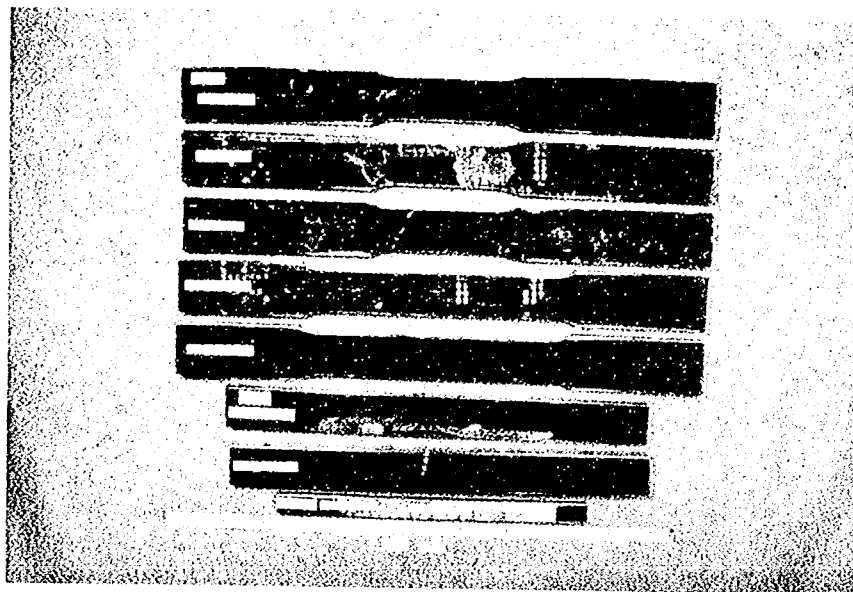
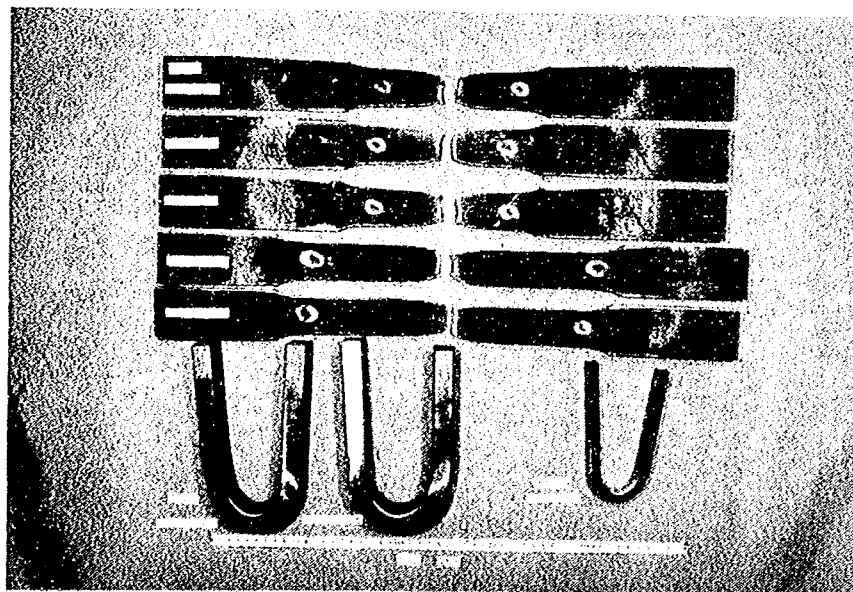


図-A3.3 結晶粒度による補正曲線

Appendix 4 試験状況写真



写真－A4.1 試験前のテストピース



写真－A4.2 試験後のテストピース

ダム・堰構造物におけるステンレス
鋼の溶接継手効率に関する調査

土木研究所資料第3094号
平成4年3月(1992)
機械施工部機械研究室

要 旨

本調査は、ダム・堰などの水門に使用されるオーステナイト系ステンレス鋼材 (SUS304) の突合せ溶接継手の継手効率の検討を目的とした調査である。

溶接継手効率の調査として、母材、溶接継手、内部欠陥継手について静的引張強度試験を行い、引張強さを比較した。また、軟鋼 (SS400) と、SUS304鋼と継手強度の比較を行った。この報告書は、実施した調査及び試験結果をまとめたものである。

キーワード：溶接継手効率、オーステナイト系ステンレス鋼、突合せ継手、SUS304、引張強度試験、ダム、堰、水門、構造部材、内部欠陥



郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

機械施工部機械研究室

御中

No. 13

No. 13

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第3094号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印

土木研究所資料第3094号



ダム・堰構造物におけるステンレス鋼の
溶接継手効率に関する調査