

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 7. 31 [技術情報室]

配布限定

J 225 80-04
JWES-AE-8006

備

昭和51, 52, 53年度動力炉・核燃料開発事業団委託研究

ナトリウム配管補修溶接法試験 成果報告ダイジェスト

昭和55年 6 月

社団法人 日本溶接協会 原子力研究委員会
PFW小委員会 Bグループ

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

ナトリウム配管補修溶接法試験成果報告ダイジェスト

1. はじめに

PFW 小委員会Bグループでは、動燃事業団よりの委託研究として、昭和51年度から53年度の3ケ年にわたり、SUS 304及び2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼ナトリウム浸漬配管の補修溶接に関し、関連基礎試験を広範囲に実施し、得られた成果を以下の3冊の報告書として既に報告した。

- 1) ナトリウム配管補修溶接法試験(I)成果報告書, PNC SJ 225 77-04, JWES-AE-77-04
- 2) ナトリウム配管補修溶接法試験(II)成果報告書, SJ 225 78-05, JWES-AE-7808
- 3) ナトリウム配管補修溶接法試験(III)成果報告書, SJ 225 80-01, JWES-AE-8001

この報告は、上記3ケ年の各成果報告を、活用の便に供するために、更に一冊のダイジェストとしてとりまとめたものである。本書では、まず、試験研究の目的、研究の概要、組織を記し、その後で項目別に成果をダイジェストした。

2. 試験研究の目的

ナトリウム冷却高速増殖炉(FBR)の運転中に、コンポーネントの故障やサーベイランス試料の取出しなどのために配管を切断し、再溶接する必要が生じ得る。この場合は、新規製作時と異なり、既設側はナトリウムにさらされ、母材の状態が変わっていると考えられ、また、溶接後の検査も炉のサイトにあるためより困難となる。このような場合の配管補修法を確立しておくことは近い将来のために必要であると考えられるのでこれに関する一連の開発試験を行った。

なお、当面の対象としては、「常陽」の1次系及び2次系配管とした。

3. 試験研究の概要

PFW小委員会Bグループでは、動燃事業団よりの委託研究として、過去3年間にわたりSUS 304及び2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼ナトリウム浸漬配管の補修溶接に関し、関連基礎試験を広範囲に実施してきた。表1にPFW小委員会Bグループにおける試験研究項目を示す。すなわち51年度においては、1次系配管の補修溶接を対象として動燃大洗工学センターNa 機器構造試験ループにおいて13,000時間運転された後、ループより切り出されたナトリウム浸漬後配管材(外径318.5mm, 肉厚6.5mm)及び未浸漬材を供試母材として、実際の補修溶接を模擬してV形開先、全姿勢、全層TIG手溶接により溶接リングを製作した。試験としては、母材のナトリウム浸漬の影響を把握するため、ナトリウム浸漬後配管材より試験片を採取し、機械的及び金属学的試験を実施し、つぎに、溶接リングより試験片を切り出し、施工法確認試験及び継手性能試験を行い、溶接継手の性能を調査した。これらの結果から、浸漬母材については、

管内面で炭素濃度分布がやや高くなる傾向が認められた以外はとくに問題ないこと、及び補修溶接に関しては、開先の内面合せ面加工時にこの部分は削除されており、補修溶接に影響はなく、通常の継手性能が得られており、現時点での補修溶接は問題ないという結論が得られた。

52年度においては、以下の3つのカテゴリーに分けて試験研究を実施した。

① 大口径2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管

2次系配管の補修溶接を対象として、動燃大洗工学センターNa 機器構造試験ループにおいて18,600時間運転された後、切り出されたナトリウム浸漬配管材(外径318.5mm, 肉厚10.3mm)及び未浸漬配管材を供試材として、実際の補修溶接を模擬(V形開先、全姿勢、被覆アーク及びTIG手溶接)して溶接リングを製作し、機械的及び金属学的試験を実施して溶接継手の性能を調査した。

② 大口径SUS 304 鋼管

51年度に残された課題として、同一の供試材を用い、溶接継手の疲れ強さ、浸漬配管材の溶接性、継手性能に及ぼす欠陥補修回数の影響を明らかにするための試験研究を実施した。

③ ナトリウム洗浄条件の影響

溶接施工及び継手性能に及ぼすナトリウム洗浄条件の影響を明らかにするため、各社の手持ちナトリウム浸漬配管材を供試材として、中口径ナトリウム配管、長時間使用ナトリウム配管及び実ループでの補修溶接を実施した。

以上の2ケ年にわたる試験研究により、被覆アーク(初層TIG)及びTIG手溶接による溶接施工を行い溶接性、継手性能(常温及び高温引張性質、疲れ強さ等)に及ぼすナトリウム浸漬の影響等を検討した結果、とくに問題がなかった。したがって、「常陽」の配管補修溶接を手動溶接によって施工する場合、その施工技術は確立されたと結論された。

そこで53年度においては、これらの成果をふまえて以下のテーマを設定し、試験研究を実施した。

① 補修溶接の機械化に関する研究

大口径SUS 304及び2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管の補修溶接の機械化に関して広範囲に検討を加え、全姿勢自動TIG溶接の適正溶接条件等、種々の基礎データを蓄積した。

② 溶接継手の非破壊試験に関する研究

大口径SUS 304及び2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼溶接継手の種々の欠陥について、放射線(X線及びガンマ線)透過試験、超音波探傷試験を実施し、欠陥検出の有効性を検討した。

③ 原子炉配管の補修溶接の機械化及びその非破壊試験に関する文献調査

補修溶接及び非破壊検査についての現状と課題、今後必要となる研究開発項目が明らかにされた。

④ 2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼浸漬配管の疲れ特性

疲れ特性に及ぼすナトリウム浸漬の影響のないことが明らかにされた。

表1 PFW 小委員会B グループにおける試験研究項目

昭和 51 年度試験研究	昭和 52 年度試験研究	昭和 53 年度試験研究
<p>1. 大口径 SUS304 鋼管 (12 B)</p> <p>1.1 母材試験 (担当: 東芝 - IHI, 富士電機, 新日鉄)</p> <p>1.2 施工法確認試験 (担当: 日立製作)</p> <p>1.3 継手性能試験 (担当: 神鋼)</p>	<p>1. 大口径 2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管 (12 B)</p> <p>1.1 母材試験 (担当: 神鋼, 富士電機, 住金)</p> <p>1.2 施工法確認試験 (担当: 三菱重工)</p> <p>1.3 継手性能試験 (担当: 神鋼)</p> <p>2. 大口径 SUS304 鋼管 (12 B)</p> <p>2.1 補修溶接継手の疲れ試験 (担当: 川重)</p> <p>2.2 浸漬配管材の溶接性試験 (担当: 川重)</p> <p>2.3 欠陥補修回数と強度の関係 (担当: 日立製作)</p> <p>3. Na 洗浄条件の影響</p> <p>3.1 中口径 Na 配管の補修溶接 (担当: 三菱重工)</p> <p>3.2 長時間使用 Na 配管の補修溶接 (担当: IHI)</p> <p>3.3 実ループでの補修溶接 (担当: 東芝)</p>	<p>1. 補修溶接の機械化に関する研究</p> <p>1.1 SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査 (担当: 日ウエル)</p> <p>1.2 SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究 (担当: 三井造船)</p> <p>1.3 オーステナイト系ステンレス鋼管の自動溶接試験 (担当: 三菱重工)</p> <p>1.4 SUS 304 鋼管補修溶接試験 (担当: 日立製作)</p> <p>1.5 2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管の自動 TIG 溶接におけるバックシールドの必要性の検討 (担当: 神鋼)</p> <p>2. 溶接継手の非破壊試験に関する研究</p> <p>2.1 大口径 2 1/4 Cr - 1 Mo, SUS304 鋼管溶接継手欠陥検出確認試験 (担当: IHI)</p> <p>2.2 SUS 304 鋼管溶接継手の非破壊試験 (担当: 富士電機)</p> <p>3. 原子炉配管の補修溶接の機械化及びその非破壊試験に関する文献調査 (担当: 川重)</p> <p>4. 2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼浸漬配管の疲れ特性 (担当: 川重)</p>

4. 試験研究組織

本試験研究は、日本溶接協会 原子力研究委員会内に、PFW小委員会Bグループを設けて実施された。委員会の構成は、下記のとおりである。

PFW 運営委員会名簿

	氏名	所属	住所	〒
主査	木原 博	(社)日本溶接協会会長	東京都千代田区神田佐久間町1-11 03-255-2472	101
主査代行	寺沢 一雄	高温構造安全技術研究組合 専務理事	(自)兵庫県西宮市浜甲子園2-12-18 0798-41-2613	663
学識委員	安藤 良夫	東京大学工学部 原子力工学科教授	東京都文京区本郷7-3-1 03-812-2111 (内)6992	113
"	飯田 国広	東京大学工学部 船舶工学科教授	東京都文京区本郷7-3-1 03-812-2111 (内)6530	113
"	稲垣 道夫	金属材料技術研究所 溶接研究部々長	東京都目黒区中目黒2-3-12 03-719-2271	153
"	鶴戸口 英善	千葉大学工学部 機械工学第二学科教授	千葉県千葉市弥生町1-33 0472-51-1111 (内)2830	280
"	小林 卓郎	東北大学 名誉教授	宮城県仙台市荒巻青葉 0222-22-1800	980
"	長谷川 正義	早稲田大学 金属工学科教授	東京都新宿区西大久保町4-170 03-200-2567	160
"	益本 功	名古屋大学工学部 金属工学科教授	愛知県名古屋市千種区不老町 052-781-5111	464
学識委員 幹事	鈴木 和久	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 照射材料試験室々長	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311 -13
"	藤村 理人	高温構造安全技術研究組合 事務局長	東京都千代田区神田駿河台3-1-9 03-295-8051 日光ビル	101
会社委員	栗山 良員	石川島播磨重工業(株) 溶接研究所 所長	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内)6042	235
"	松本 圭司	石川島播磨重工業(株) 技術研究所原子力機器部副部長	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内)6133	235
会社委員 幹事	須清 修造	川崎重工業(株) 技術研究所溶接研究室々長	兵庫県神戸市生田区東川崎町2-14 078-671-5001	650 -91
"	清水 茂樹	川崎重工業(株)原子力本部開発部 開発第3課々長	神奈川県川崎市川崎区桜本2-32-1 044-288-5351	210
"	五代 友和	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部 技術部々長	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100-1 0466-23-5111	251
"	杉山 暢	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部 技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100-1 0466-23-5111	251

	氏名	所属	住所	〒
会社委員 幹事	大野 章	新日本製鉄(株) 技術開発部専門副部長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	高井 重治	住友金属工業(株) 第3技術開発室次長	東京都千代田区丸ノ内1-3-2 03-282-6176 新住友ビル	100
"	羽田 幹夫	東京芝浦電気(株) 動力炉開発部技術主幹	東京都港区虎ノ門1-25-5 34森ビル 03-507-6012	105
会社委員	池見 恒夫	(株)日本製鋼所 取締役(開発技術副本部長)	東京都千代田区有楽町1-1-2 03-501-6111	100
"	本間 亮介	(株)日本製鋼所鉄鋼重機事業本部 原子力技術部原子力技術グループ課長	東京都千代田区有楽町1-1-2 03-501-6111	100
"	佐々木 良一	(株)日立製作所 日立研究所 構造材料信頼性研究センター長	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内)2494	317
会社委員 幹事	柴藤 英造	(株)日立製作所 日立工場 原子力開発部主任技師	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内)2330	317
"	国府 哲郎	三菱重工業(株)原子力技術部 新型炉技術課々長	東京都千代田区丸ノ内2-5-1 03-212-3111	100
委員	厚母 栄夫	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 03-586-3311	107
"	望月 恵一	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 03-586-3311	107
"	安部 重二	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 03-586-3311	107

51年度PFW小委員会Bグループ名簿

	氏名	所属	住所	〒
主任 研究者	木原 博	日本溶接協会会長	東京都港区浜松町1-10-17 産報ビル 03-436-6626 木原事務所	105
主査	稲垣 道夫	金属材料技術研究所 溶接研究部部長	東京都目黒区中目黒2-3-12 03-719-2271	153
学識委員	鈴木 和久	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター・照射材料 試験室室長	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311 -13
"	藤村 理人	高温構造安全技術研究組合 事務局長	東京都千代田区神田駿河台3-1-9 03-295-8051 日光ビル	101
幹事	古平 恒夫	日本原子力研究所 安全工学部構造強度研究室	茨城県那珂郡東海村 02928-2-5291	319 -11
"	青木 直司	日立製作所 日立工場 原子力開発部	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111	317
"	下山 仁一	三菱重工業株式会社 溶接研究室長	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
委員	松本 圭司	石川島播磨重工業株式会社 技術研究所原子力機器部次長	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内)6133	235
"	谷岡 慎一	石川島播磨重工業株式会社 溶接研究所 第二実験部主任研究員	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内)6052	235
"	服部 常一	石川島播磨重工業株式会社 技術研究所原子力機器部	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231	235
"	清水 茂樹	川崎重工業株式会社原子力部	神奈川県川崎市川崎区桜本町2-32-1 044-288-5351	210
"	青田 利一	川崎重工業株式会社原子力部	神奈川県川崎市川崎区桜本町2-32-1 044-288-5351	210
"	山香 誠	神鋼製鋼所 溶接棒事業部 技術本部技術部主任研究員	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100-1 0466-23-5111	251
"	山本 茂昭	神鋼製鋼所 溶接棒事業部 技術本部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100-1 0466-23-5111	251
"	小川 恒司	神鋼製鋼所 溶接棒事業部 技術本部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100-1 0466-23-5111	251
"	三輪 瑛逸	新日本製鉄株式会社 鋼管技術部課長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	大野 章	新日本製鉄株式会社 技術開発部専門副部長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	長谷部 茂雄	住友金属工業株式会社 東京技術部主任部員	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6731	100

	氏名	所属	住所	〒
委員	高井 重治	住友金属工業株式会社 東京技術部主任部員	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6167・6176	100
"	竹原 健	東京芝浦電気株式会社 原子力機器製造部技術主幹	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351 東芝鶴見工場	230
"	松村 誠	東京芝浦電気株式会社 原子力機器製造部技術主務	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351	230
"	村林 頼樹	東京芝浦電気株式会社総合研究所 金属セラミック研究所金試課	神奈川県川崎市幸区小向 044-511-2111 内2313	210
"	小川 和夫	東京芝浦電気株式会社総合研究所 金属セラミック研究所金試課	神奈川県川崎市幸区小向 044-511-2111 内2313	210
"	乾 誠	日本ウェルディングロッド株式会社 研究第一課長	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	樋村 淳	日本ウェルディングロッド株式会社 試験検査係長	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	小山 高一	日立製作所 日立工場 原子力製造部生産技術課長	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内)2274	317
"	山元 信和	日立製作所 日立工場 原子力製造部生産技術課	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111	317
"	幡谷 文男	日立製作所 日立研究所 第5部第4研究室長主任研究員	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内)2318	317
"	三好 滋	富士電機製造株式会社 品質管理部	神奈川県川崎市田辺新田1-1 044-333-7111	210
"	前田 宜喜	富士電機製造株式会社 品質管理部原子力グループ	神奈川県川崎市田辺新田1-1 044-333-7111	210
"	印藤 弘郷	三井造船株式会社 千葉研究所 溶接研究室	千葉県市原市八幡海岸通り 0436-41-1111 (内)2330	290
委員 (担当)	望月 恵一	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 03-584-1241	107
"	山本 研	"	"	107
委員	川島 俊吉	"	"	107
"	太田 芳雄	"	"	107
"	松野 義明	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター・高速実験 炉原子力二課	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311 -12

52年度PFW小委員会Bグループ名簿

	氏名	所属	住所	〒
主査	稲垣道夫	金属材料技術研究所 溶接研究部長	東京都目黒区中目黒2-3-12 03-719-2271	153
学識委員	鈴木和久	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター・照射材料 試験室長	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311 -13
"	藤村理人	高温構造安全技術研究組合 事務局長	東京都千代田区神田駿河台3-1-9 03-295-8051 日光ビル	101
幹事	古平恒夫	日本原子力研究所 安全工学部構造強度研究室	茨城県那珂郡東海村 02928-2-5290	319 -11
"	柴藤英造	(株)日立製作所 日立工場 原子力開発部	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111	317
"	下山仁一	三菱重工(株)高砂研究所 溶接研究室長	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
委員	松本圭司	石川島播磨重工業(株) 技術研究所原子力機器部副部長	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内) 6133	235
"	服部常一	石川島播磨重工業(株) 技術研究所原子力機器部	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231	235
"	谷岡慎一	石川島播磨重工業(株) 溶接研究所 第二実験部主任研究員	神奈川県横浜市磯子区新中原町1 045-751-1231 (内) 6025	235
"	片岡忠幸	石川島播磨重工業(株) 技術研究所基礎技術部	東京都江東区豊洲3-1-15 03-534-3336	135 -91
"	清水茂樹	川崎重工業(株)原子力部	神奈川県川崎市川崎区桜本町2-32 -1 044-288-5351	210
"	青田利一	川崎重工業(株)原子力部	神奈川県川崎市川崎区桜本町2-32 -1 044-288-5351	210
"	湊昭二	(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部 技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100- 1 0466-23-5111	251
"	山本茂昭	(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部 技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100- 1 0466-23-5111	251
"	小川恒司	(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部 技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内100- 1 0466-23-5111	251

	氏名	所属	住所	〒
委員	大野章	新日本製鉄(株) 技術開発部専門副部長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	三輪瑛逸	新日本製鉄(株) 鋼管技術部課長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	高井重治	住友金属工業(株) 東京技術部主任部員	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6167・6176	100
"	渡辺孫也	住友金属工業(株) 東京技術部主任部員	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6163	100
"	吉川洲彦	住友金属工業(株) 中央技術研究所鋼材研究室	兵庫県尼崎市西長洲本通1-3 06-401-6201	660
"	富士川尚男	住友金属工業(株) 中央技術研究所化学研究室	兵庫県尼崎市西長洲本通1-3 06-401-6201	660
"	竹原健	東京芝浦電気(株) 原子力機器製造部技術主幹	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351 東芝鶴見工場	230
"	小木曾進	東京芝浦電気(株) 原子力機器製造部製造技術担 当グループ	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351	230
"	村林顯樹	東京芝浦電気(株)総合研究所 金属セラミック研究所金試課	神奈川県川崎市幸区小向 044-511-2111 (内) 2313	210
"	庄司孝一	東京芝浦電気(株) 原子力機器製造部原子炉機器 開発課	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351 (内) 2456	230
"	赤坂正敏	東京芝浦電気(株) 原子力機器製造グループ製造技 術担当	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351	230
"	乾誠	日本ウェルディングロッド(株) 研究第一課長	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	樋村淳	日本ウェルディングロッド(株) 試験検査係長	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	渡辺潔	日本油脂(株)溶接事業部 技師長	神奈川県川崎市幸区神明町1-44 044-522-6541	210
"	小山高一	(株)日立製作所 日立工場 原子力製造部生産技術課長	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内) 2274	317
"	幡谷文男	(株)日立製作所 日立研究所 第5部第4研究室主任研究員	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111 (内) 2251	317
"	三好滋	富士電機製造(株) 品質管理部	神奈川県川崎市田辺新田1-1 044-333-7111	210

53年度 PFW小委員会Bグループ名簿

	氏名	所属	住所	〒
委員	前田 宜喜	富士電機製造(株) 品質管理部原子力グループ	神奈川県川崎市川崎区田辺新田1-1 044-333-7111	210
"	印藤 弘郷	三井造船(株)千葉研究所 溶接研究室	千葉県市原市八幡海岸通り 0436-41-1111(内)2330	290
"	松本 長	三菱重工業(株)高砂研究所 溶接研究室主任	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
"	川口 聖一	三菱重工業(株)高砂研究所 溶接研究室	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
"	中村 彰男	三菱重工業(株)神戸造船所 管工作課	兵庫県神戸市兵庫区和田崎町1-1 -1 078-671-5061	652
委員 (担当)	山本 研	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会 堂ビル 03-586-3311	107
"	厚母 栄夫	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会 堂ビル 03-586-3311	107
"	一海 俊景	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会 堂ビル 03-586-3311	107
"	松野 義明	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三会 堂ビル 03-586-3311	107
事務 担当者	嵯峨 敬	(社)日本溶接協会	東京都千代田区神田佐久間町1-11 03-253-0581~3	101
"	小野沢 昭一	(社)日本溶接協会	東京都千代田区神田佐久間町1-11 03-253-0581~3	101

	氏名	所属	住所	〒
主査	稲垣 道夫	金属材料技術研究所 溶接研究部長	東京都目黒区中目黒2-3-12 03-719-2271	153
学識委員	鈴木 和久	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター・照射 材料試験室長	茨城県東茨城郡大洗町成田 4002 0292-67-4141	311-13
"	藤村 理人	高温構造安全技術研究組合 事務局長	東京都千代田区神田駿河台 3-1-9 日光ビル 03-295-8051	101
幹事	古平 恒夫	日本原子力研究所 安全工学部構造強度研究室	茨城県那珂郡東海村 02928-2-5290, 5292	319-11
"	柴藤 英造	日立製作所 日立工場 原子力開発部 主任技師	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111	317
"	下山 仁一	三菱重工(株)高砂研究所 溶接研究室長	兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1 07944-2-2121	676
委員	松本 圭司	石川島播磨重工業(株) 技術研究所原子力機器部 副部長	神奈川県横浜市磯子区 新中原町1 045-751-1231(内)6133	235
"	荒川 敬弘	石川島播磨重工業(株) 溶接研究所第二実験部	神奈川県横浜市磯子区 新中原町1 045-751-1231(内)6128	235
"	中村 敬治	石川島播磨重工業(株) プラント事業本部 原子力エンジニアリング室 検査技術グループ	神奈川県横浜市磯子区 新中原町1 045-751-1231(内)3109	235
"	米山 弘志	石川島播磨重工業(株) 技術研究所基礎技術部	東京都江東区豊洲3-1-15 03-534-3335	135-91
"	清水 茂樹	川崎重工業(株)原子力本部 開発部開発第三課課長	神奈川県川崎市川崎区桜本町 2-32-1 044-288-5351	210
"	青田 利一	川崎重工業(株)原子力本部 開発部開発第三課	神奈川県川崎市川崎区桜本町 2-32-1 044-288-5351	210
"	森 英介	川崎重工業(株)技術研究所 溶接研究室	兵庫県神戸市生田区東川崎町 2-14 078-671-5001	650-91
"	湊 昭二	神戸製鋼所 溶接棒事業部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内 100-1 0466-23-5111	251
"	山本 茂昭	神戸製鋼所 溶接棒事業部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内 100-1 0466-23-5111	251
"	小川 恒司	神戸製鋼所 溶接棒事業部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内 100-1 0466-23-5111	251
"	青木 隆清	神戸製鋼所 溶接棒事業部技術部	神奈川県藤沢市宮前字裏河内 100-1 0466-23-5111	251
"	川口 宜人	新日本製鉄(株) 技術開発部溶接企画 開発室課長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100
"	三輪 瑛逸	新日本製鉄(株) 鋼管技術部課長	東京都千代田区大手町2-6-3 03-242-4111	100

	氏名	所属	住所	〒
委員	高井重治	住友金属工業㈱ 第3技術開発室次長	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6167・6176	100
"	渡辺孫也	住友金属工業㈱ 技術開発調査部主任部員	東京都千代田区丸の内1-3-2 03-282-6163	100
"	吉川洲彦	住友金属工業㈱ 中央技術研究所鋼材研究室主任研究員	兵庫県尼崎市西長洲本通1-3 06-401-6201	660
"	富士川尚男	住友金属工業㈱ 中央技術研究所化学研究室主任研究員	兵庫県尼崎市西長洲本通1-3 06-401-6201	660
"	大工基一	東京芝浦電気㈱ 動力炉開発部炉機技術課	東京都港区虎ノ門1-25-4 03-507-6043	105
"	竹中一博	東京芝浦電気㈱ 重電技術研究所溶接技術主査	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351(内)2289	230
"	山田啓司	東京芝浦電気㈱ 原子力機器製造部原子炉機器開発課課長	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 045-511-1351(内)2038	230
"	乾誠	日本ウエルディングロッド㈱ 研究第一課長	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	稲田直実	日本ウエルディングロッド㈱ 研究一課	神奈川県厚木市関口115-1 0462-45-3636	243
"	渡辺潔	日本油脂㈱溶接事業部 技師長	神奈川県川崎市幸区神明町1-44 044-522-6541	210
"	小山高一	㈱日立製作所 日立工場 原子力製造部副部長	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111(内)2274	317
"	幡谷文男	㈱日立製作所 日立研究所 構造材料信頼性研究センター 第3研究室長	茨城県日立市幸町3-1-1 0294-21-1111(内)2251	317
"	三好滋	富士電気製造㈱ 品質管理部部長	神奈川県川崎市川崎区田辺新田1-1 044-333-7111	210
"	前田宜喜	富士電機製造㈱ 品質管理部原子力グループ	神奈川県川崎市川崎区田辺新田1-1 044-333-7111	210
"	印藤弘郷	三井造船㈱千葉研究所 溶接研究室主任研究員	千葉県市原市八幡海岸通り1 0436-41-1111(内)2330	290
"	松本恒文	三井造船㈱千葉研究所 溶接研究室主任研究員	千葉県市原市八幡海岸通り1 0436-41-1111(内)2332	290
"	松本長	三菱重工業㈱高砂研究所 溶接技術課係長	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
"	川口聖一	三菱重工業㈱高砂研究所 溶接研究室	兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1 07944-2-2121	676
"	中村彰男	三菱重工業㈱神戸造船所 管工作課	兵庫県神戸市兵庫区和田崎町1-1-1 078-671-5061	652

	氏名	所属	住所	〒
委員 (担当)	山本研	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三會堂ビル 03-586-3311	107
"	厚母栄夫	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三會堂ビル 03-586-3311	107
"	一海俊景	動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター, 照射材料試験室	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311-12
"	江端誠	動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉開発本部	東京都港区赤坂1-9-13 三會堂ビル 03-586-3311	107
"	瀬川卓真	動力炉・核燃料開発事業団 実験炉部原子炉第2課	茨城県東茨城郡大洗町成田4002 0292-67-4141	311-12
事務 担当者	嵯峨敬	社日本溶接協会	東京都千代田区神田佐久間町1-11 03-253-0581~3	101
"	小野沢昭一	社日本溶接協会	東京都千代田区神田佐久間町1-11 03-253-0581~3	101

成果報告ダイジェスト執筆者名簿

主査	稲垣道夫 (Michio Inagaki)	金属材料技術研究所
幹事	古平恒夫 (Tsuneo Kodaira)	日本原子力研究所
委員	米山弘志 (Hiroshi Yoneyama)	石川島播磨重工業㈱
"	荒川敬弘 (Takahiro Arakawa)	石川島播磨重工業㈱
"	青田利一 (Toshiichi Aota)	川崎重工業㈱
"	森英介 (Eisuke Mori)	川崎重工業㈱
"	伊藤正 (Masashi Ito)	㈱日立製作所
"	山元信和 (Nobukazu Yamamoto)	㈱日立製作所
"	川口聖一 (Seiichi Kawaguchi)	三菱重工業㈱
"	中村彰男 (Akio Nakamura)	三菱重工業㈱

		大口徑 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接	大口徑 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接 (欠陥補修回数と強度の関係)																																																																																										
供試材	母材の組合せ	<p>浸漬材 未浸漬材</p> <p>SUS 27 TP (12 B × sch 20 S) - SUS 304 TP (12 B × sch 20 S)</p> <p>(浸漬材運転履歴)</p> <p>ループ : 大学工学センタ ナトリウム機器構造試験ループ</p> <p>運転履歴 : 250 ~ 370 °C, 17,000 h</p>																																																																																											
	試験項目	化学成分分析, 引張試験, 曲げ試験, 衝撃試験, 硬さ試験, SEM, EPMA 分析, マクロ・マイクロ組織																																																																																											
	試験結果	<p>表 1 供試材の化学成分及び機械的性質</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試材</th> <th colspan="7">化 学 成 分 (%)</th> <th colspan="3">機 械 的 性 質</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>硬さ</th> <th>耐力 (kg/mm²)</th> <th>引張強さ (kg/mm²)</th> <th>伸び (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新 管 材</td> <td>0.06</td> <td>0.61</td> <td>1.05</td> <td>0.025</td> <td>0.003</td> <td>9.20</td> <td>18.65</td> <td>134 (HB)</td> <td>25</td> <td>61</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>ナトリウム 浸漬後材</td> <td>0.05</td> <td>0.66</td> <td>1.70</td> <td>0.026</td> <td>0.006</td> <td>9.04</td> <td>18.22</td> <td>80 (HRB)</td> <td>-</td> <td>54.1 55.8 57.6 58.2</td> <td>66.4 65.2 68.0 67.4</td> </tr> </tbody> </table>		供試材	化 学 成 分 (%)							機 械 的 性 質			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	硬さ	耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	新 管 材	0.06	0.61	1.05	0.025	0.003	9.20	18.65	134 (HB)	25	61	62	ナトリウム 浸漬後材	0.05	0.66	1.70	0.026	0.006	9.04	18.22	80 (HRB)	-	54.1 55.8 57.6 58.2	66.4 65.2 68.0 67.4	<p>表 5 浸漬材の引張試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験温度</th> <th colspan="2">RT</th> <th colspan="2">370°C</th> <th colspan="2">500°C</th> </tr> <tr> <th>試験片番号</th> <th>BT11</th> <th>BT12</th> <th>BT13</th> <th>BT14</th> <th>BT15</th> <th>BT16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張強さ (kg/mm²)</td> <td>67.7</td> <td>66.7</td> <td>46.5</td> <td>47.3</td> <td>43.7</td> <td>43.9</td> </tr> <tr> <td>0.2%耐力 (kg/mm²)</td> <td>28.2</td> <td>26.3</td> <td>16.7</td> <td>17.5</td> <td>15.7</td> <td>15.3</td> </tr> <tr> <td>破断伸び (%)</td> <td>85.5</td> <td>86.7</td> <td>55.8</td> <td>56.4</td> <td>54.0</td> <td>55.4</td> </tr> <tr> <td>絞 り (%)</td> <td>80.0</td> <td>81.0</td> <td>70.3</td> <td>73.8</td> <td>70.9</td> <td>70.0</td> </tr> </tbody> </table>		試験温度	RT		370°C		500°C		試験片番号	BT11	BT12	BT13	BT14	BT15	BT16	引張強さ (kg/mm ²)	67.7	66.7	46.5	47.3	43.7	43.9	0.2%耐力 (kg/mm ²)	28.2	26.3	16.7	17.5	15.7	15.3	破断伸び (%)	85.5	86.7	55.8	56.4	54.0	55.4	絞 り (%)	80.0	81.0	70.3	73.8	70.9	70.0
		供試材	化 学 成 分 (%)							機 械 的 性 質																																																																																			
C			Si	Mn	P	S	Ni	Cr	硬さ	耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)																																																																																	
新 管 材	0.06	0.61	1.05	0.025	0.003	9.20	18.65	134 (HB)	25	61	62																																																																																		
ナトリウム 浸漬後材	0.05	0.66	1.70	0.026	0.006	9.04	18.22	80 (HRB)	-	54.1 55.8 57.6 58.2	66.4 65.2 68.0 67.4																																																																																		
試験温度	RT		370°C		500°C																																																																																								
試験片番号	BT11	BT12	BT13	BT14	BT15	BT16																																																																																							
引張強さ (kg/mm ²)	67.7	66.7	46.5	47.3	43.7	43.9																																																																																							
0.2%耐力 (kg/mm ²)	28.2	26.3	16.7	17.5	15.7	15.3																																																																																							
破断伸び (%)	85.5	86.7	55.8	56.4	54.0	55.4																																																																																							
絞 り (%)	80.0	81.0	70.3	73.8	70.9	70.0																																																																																							
試験結果	<p>表 2 発光分光分析試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>成分</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>内表面*</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>0.01mm</td> <td>0.015</td> <td>0.10</td> <td>0.67</td> <td>1.73</td> <td>8.81</td> <td>17.84</td> </tr> <tr> <td>0.02</td> <td>0.022</td> <td>0.046</td> <td>0.68</td> <td>1.73</td> <td>8.85</td> <td>17.94</td> </tr> <tr> <td>0.03</td> <td>0.037</td> <td>0.044</td> <td>0.68</td> <td>1.73</td> <td>8.87</td> <td>17.91</td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td>0.101</td> <td>0.049</td> <td>0.67</td> <td>1.70</td> <td>8.67</td> <td>17.89</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>0.505</td> <td>0.057</td> <td>0.68</td> <td>1.73</td> <td>8.87</td> <td>17.82</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.038</td> <td>0.056</td> <td>0.67</td> <td>1.72</td> <td>8.78</td> <td>17.71</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.970</td> <td>0.058</td> <td>0.67</td> <td>1.71</td> <td>8.84</td> <td>17.68</td> </tr> </tbody> </table> <p>*内表面は付着物存在のため測定不能</p>		成分	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	内表面*	-	-	-	-	-	-	0.01mm	0.015	0.10	0.67	1.73	8.81	17.84	0.02	0.022	0.046	0.68	1.73	8.85	17.94	0.03	0.037	0.044	0.68	1.73	8.87	17.91	0.1	0.101	0.049	0.67	1.70	8.67	17.89	0.5	0.505	0.057	0.68	1.73	8.87	17.82	1	1.038	0.056	0.67	1.72	8.78	17.71	3	2.970	0.058	0.67	1.71	8.84	17.68	<p>表 3 C 分析詳細</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>表面からの のきり</th> <th>C (n=2)</th> <th>C (平均)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.003</td> <td>0.34 0.34</td> <td>0.34</td> </tr> <tr> <td>0.012</td> <td>0.091 0.123</td> <td>0.107</td> </tr> <tr> <td>0.015</td> <td>—</td> <td>0.10*</td> </tr> <tr> <td>0.022</td> <td>—</td> <td>0.046*</td> </tr> <tr> <td>0.037</td> <td>0.043 0.043</td> <td>0.043</td> </tr> <tr> <td>0.039</td> <td>0.038 0.038</td> <td>0.038</td> </tr> </tbody> </table> <p>*は表2の値</p>		表面からの のきり	C (n=2)	C (平均)	0.003	0.34 0.34	0.34	0.012	0.091 0.123	0.107	0.015	—	0.10*	0.022	—	0.046*	0.037	0.043 0.043	0.043	0.039	0.038 0.038	0.038					
成分	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo																																																																																							
内表面*	-	-	-	-	-	-																																																																																							
0.01mm	0.015	0.10	0.67	1.73	8.81	17.84																																																																																							
0.02	0.022	0.046	0.68	1.73	8.85	17.94																																																																																							
0.03	0.037	0.044	0.68	1.73	8.87	17.91																																																																																							
0.1	0.101	0.049	0.67	1.70	8.67	17.89																																																																																							
0.5	0.505	0.057	0.68	1.73	8.87	17.82																																																																																							
1	1.038	0.056	0.67	1.72	8.78	17.71																																																																																							
3	2.970	0.058	0.67	1.71	8.84	17.68																																																																																							
表面からの のきり	C (n=2)	C (平均)																																																																																											
0.003	0.34 0.34	0.34																																																																																											
0.012	0.091 0.123	0.107																																																																																											
0.015	—	0.10*																																																																																											
0.022	—	0.046*																																																																																											
0.037	0.043 0.043	0.043																																																																																											
0.039	0.038 0.038	0.038																																																																																											
試験結果	<p>表 4 新管材の引張試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験温度</th> <th colspan="2">RT</th> <th colspan="2">370°C</th> <th colspan="2">500°C</th> </tr> <tr> <th>試験片番号</th> <th>BT01</th> <th>BT02</th> <th>BT03</th> <th>BT04</th> <th>BT05</th> <th>BT06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張強さ (kg/mm²)</td> <td>67.7</td> <td>68.4</td> <td>47.1</td> <td>46.6</td> <td>44.6</td> <td>44.0</td> </tr> <tr> <td>0.2%耐力 (kg/mm²)</td> <td>31.3</td> <td>33.5</td> <td>19.7</td> <td>19.5</td> <td>23.7</td> <td>27.4</td> </tr> <tr> <td>破断伸び (%)</td> <td>82.6</td> <td>81.5</td> <td>55.2</td> <td>55.5</td> <td>52.5</td> <td>38.6</td> </tr> <tr> <td>絞 り (%)</td> <td>82.1</td> <td>81.4</td> <td>73.9</td> <td>71.8</td> <td>73.5</td> <td>73.2</td> </tr> </tbody> </table>		試験温度	RT		370°C		500°C		試験片番号	BT01	BT02	BT03	BT04	BT05	BT06	引張強さ (kg/mm ²)	67.7	68.4	47.1	46.6	44.6	44.0	0.2%耐力 (kg/mm ²)	31.3	33.5	19.7	19.5	23.7	27.4	破断伸び (%)	82.6	81.5	55.2	55.5	52.5	38.6	絞 り (%)	82.1	81.4	73.9	71.8	73.5	73.2	<p>表 6 曲げ試験結果 (90° 曲げに要した荷重)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料名</th> <th>試験片番号</th> <th>90°曲げに要した荷重 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">新管材</td> <td>BB01</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>BB02</td> <td>1490</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">浸漬材</td> <td>BB11</td> <td>1045</td> </tr> <tr> <td>BB12</td> <td>1080</td> </tr> </tbody> </table>		材料名	試験片番号	90°曲げに要した荷重 (kg)	新管材	BB01	1500	BB02	1490	浸漬材	BB11	1045	BB12	1080																																		
試験温度	RT		370°C		500°C																																																																																								
試験片番号	BT01	BT02	BT03	BT04	BT05	BT06																																																																																							
引張強さ (kg/mm ²)	67.7	68.4	47.1	46.6	44.6	44.0																																																																																							
0.2%耐力 (kg/mm ²)	31.3	33.5	19.7	19.5	23.7	27.4																																																																																							
破断伸び (%)	82.6	81.5	55.2	55.5	52.5	38.6																																																																																							
絞 り (%)	82.1	81.4	73.9	71.8	73.5	73.2																																																																																							
材料名	試験片番号	90°曲げに要した荷重 (kg)																																																																																											
新管材	BB01	1500																																																																																											
	BB02	1490																																																																																											
浸漬材	BB11	1045																																																																																											
	BB12	1080																																																																																											
試験結果	<p>表 7 衝撃試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料名</th> <th>試験片番号</th> <th>吸収エネルギー (kg·m)</th> <th>衝撃値 (kg·m/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">新管材</td> <td>BI01</td> <td>11.33</td> <td>28.33</td> </tr> <tr> <td>BI02</td> <td>11.33</td> <td>28.33</td> </tr> <tr> <td>BI03</td> <td>8.54</td> <td>21.35</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">浸漬材</td> <td>BI11</td> <td>9.92</td> <td>24.80</td> </tr> <tr> <td>BI12</td> <td>9.92</td> <td>24.80</td> </tr> <tr> <td>BI13</td> <td>9.09</td> <td>22.73</td> </tr> </tbody> </table>		材料名	試験片番号	吸収エネルギー (kg·m)	衝撃値 (kg·m/cm ²)	新管材	BI01	11.33	28.33	BI02	11.33	28.33	BI03	8.54	21.35	浸漬材	BI11	9.92	24.80	BI12	9.92	24.80	BI13	9.09	22.73	<p>図 1 硬さ分布図</p>																																																																		
材料名	試験片番号	吸収エネルギー (kg·m)	衝撃値 (kg·m/cm ²)																																																																																										
新管材	BI01	11.33	28.33																																																																																										
	BI02	11.33	28.33																																																																																										
	BI03	8.54	21.35																																																																																										
浸漬材	BI11	9.92	24.80																																																																																										
	BI12	9.92	24.80																																																																																										
	BI13	9.09	22.73																																																																																										

中口径ナトリウム配管の補修溶接

SUS 304 TP (114.30 × 4.0 t)
(未浸漬材, 浸漬材とも同一チャージ)

(浸漬材運転履歴)

ループ : 三菱重工高砂研究所バイメタリック Naループ

運転履歴 : 10010 HR (SUS 304 TP 505 °C ~ 535 °C)

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

浸漬材 未浸漬材
A1 SI 304 - JIS 304 TPS-C
(φ21.2×2.75t) (φ 21.7×3.7t)
(浸漬材運転履歴)

ループ : IHI 所有材料試験用 Na ループ

運転履歴 : 15000 HR (at 520 °C)

実ループでの補修溶接

浸漬材 : SUS 27TP (φ89.10 × 4.0 t)
未浸漬材 : SUS 304TP (φ89.10 × 4.0 t)
(浸漬材運転履歴)
ループ : 東芝エネルギー機器研究所
CRD テストループ
運転履歴 : 4000 HR (内 500 °C以上 2800 HR) Hot点 500 °C, Cold点 300 °C

浸漬母材 (洗浄 1)
浸漬母材 (洗浄 2)
未浸漬 - 未浸漬溶接継手材
浸漬材 (洗浄 2) - 未浸漬溶接継手材
浸漬材 (洗浄 1) - 未浸漬溶接継手材

化学成分分析, 発光分光分析, 引張試験, ミクロ硬さ試験, SEM金属組織観察

化学成分分析, 発光分光分析, EPMA分析

化学成分分析, 引張試験

表1 供試材の化学成分と熱処理条件

項目	区分	化学成分 (%)										熱処理	入手形状
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe			
SUS 304 TP	JIS規格	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00 11.00	18.00 20.00	-	Bal.		溶体化処理	114.3φ×4.0t ×5,000ℓ
	ミルシート値	0.06	0.51	1.69	0.021	0.006	9.10	19.25	-	Bal.	1120°C W.Q.		

表2 母材SUS 304 TPとSTPA 24の引張試験結果

材質	性状	試験温度	引張性質				
			0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び % GL=50mm	絞り %	破断位置
SUS 304 TP	浸漬材	RT (19 °C)	30.1	64.8	49.5	56.2	A
			30.0	63.4	51.0	57.5	"
		500 °C	17.5	42.9	34.5	57.6	"
	未浸漬材	RT (19 °C)	30.0	61.6	56.5	65.5	"
			28.8	62.3	57.5	66.0	"
		500 °C	16.9	44.0	39.0	66.0	"
		500 °C	17.1	43.5	37.0	64.8	"

表1 供試材料の化学成分

(%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
JIS規格	max. 0.08	max. 1.00	max. 2.00	max. 0.040	max. 0.030	8.00 ~11.00	18.00 ~20.00
浸漬材	0.069	0.59	1.67	0.020	0.007	9.64	18.82
未浸漬材	0.058	0.33	1.61	0.031	0.026	9.16	18.22

表2 管内表面からの炭素濃度 (浸漬材)

距離 (ミクロン)	0	5	59	109	155	200	246	292	381	498	614	718	1172
分析値 (%)	0.36	0.19	0.15	0.13	0.11	0.11	0.090	0.084	0.055	0.068	0.060	0.059	0.062

表1 供試材の化学成分及び機械的性質

供試材	化学成分 (%)							機械的性質			
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	硬さ	耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
新管材	0.05	0.51	1.53	0.026	0.007	9.20	18.20	-	32 31	60 58	56 52
ナトリウム 浸漬後材	0.06	0.48	1.74	0.023	0.008	9.70	18.70	84 83 (HRB)	29	59	62 62

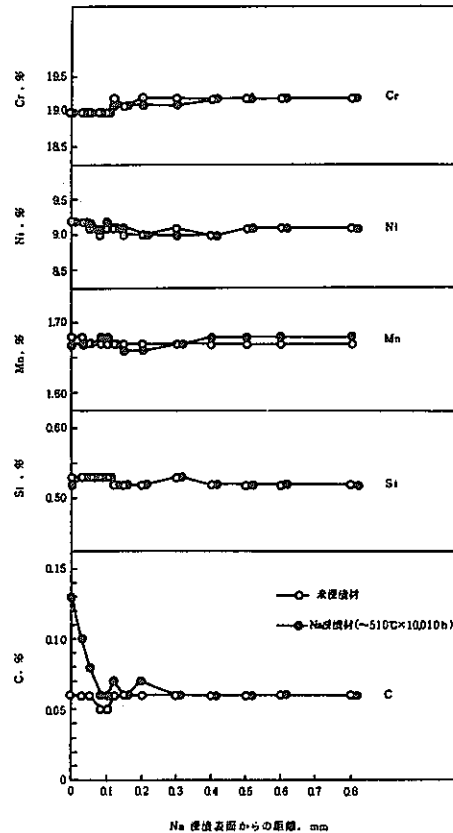


図1 SUS 304 TP の組成分布

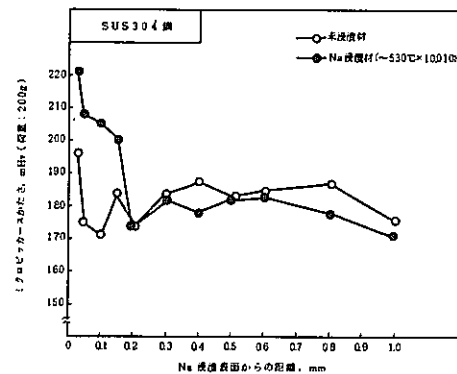
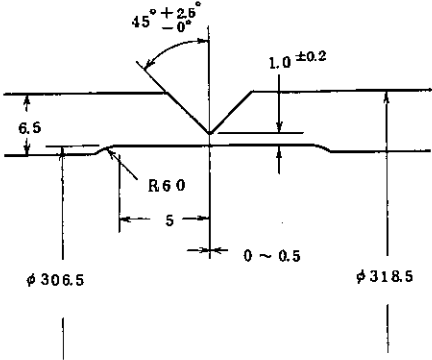
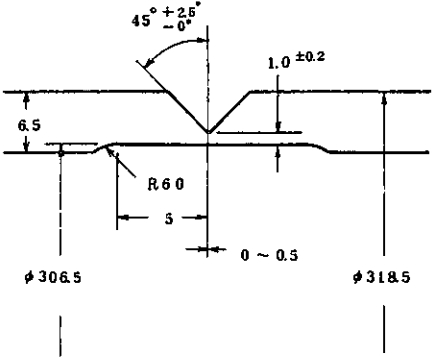


図2 SUS 304 TP の断面マイクロピッカースかたさ分布 (母材)

		大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接	大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接 (欠陥補修回数と強度の関係)																													
ナトリウム洗浄条件		エチルアルコールを浸ませた布により管内面を拭い、ナトリウムを除去。 但し、溶接時内面機械加工																														
溶接施工条件	開先形状																															
	開先加工法	グラインディング	グラインディング																													
	溶接法	手動ティグ溶接	手動ティグ溶接																													
	溶接材料	WEL TIG 308 FR	TG 308																													
	溶接姿勢	全姿勢 (水平固定)	全姿勢 (水平固定)																													
	アークシールドガス	Ar ガス	Ar ガス																													
	バックシールドガス	Ar ガス	Ar ガス																													
	溶接条件	<table border="1"> <thead> <tr> <th>棒径 (φ)</th> <th>電流 (A)</th> <th>電圧 (V)</th> <th>速度 (cm/min)</th> <th>入熱量 (KJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.6</td> <td>110</td> <td>12</td> <td>8~10</td> <td>7.9~9.9</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>105~110</td> <td>12</td> <td>8~10</td> <td>7.5~9.9</td> </tr> </tbody> </table>	棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	1.6	110	12	8~10	7.9~9.9	2.4	105~110	12	8~10	7.5~9.9	<table border="1"> <thead> <tr> <th>棒径 (φ)</th> <th>電流 (A)</th> <th>電圧 (V)</th> <th>速度 (cm/min)</th> <th>入熱量 (KJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.6</td> <td>100~130</td> <td>11~12</td> <td>6~8</td> <td>8.2~15.6</td> </tr> <tr> <td>2.4</td> <td>110~130</td> <td>12~13</td> <td>6~8</td> <td>9.9~16.9</td> </tr> </tbody> </table>	棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	1.6	100~130	11~12	6~8	8.2~15.6	2.4	110~130	12~13	6~8
棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)																												
1.6	110	12	8~10	7.9~9.9																												
2.4	105~110	12	8~10	7.5~9.9																												
棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)																												
1.6	100~130	11~12	6~8	8.2~15.6																												
2.4	110~130	12~13	6~8	9.9~16.9																												
予熱・パス間温度	予熱 : なし パス間温度 : 180℃以下		予熱 : なし パス間温度 : 180℃以下																													
溶接後熱処理	なし		なし																													

中口径ナトリウム配管の補修溶接						長時間使用ナトリウム配管の補修溶接						実ループでの補修溶接					
① アルコール洗浄 ② アルコール 90% + 水 10% 洗浄 ③ 管内面機械仕上げ						① アルコール洗浄 ② アルコール洗浄後水分を含む布で拭く ③ 洗浄なし						洗浄法 1 アルコールのみ 洗浄法 2 アルコール洗浄後水ふき, その後アセトンふき					
機械加工						機械加工						機械加工					
手動ティグ溶接						手動ティグ溶接						手動ティグ溶接					
TGS 308						WEL TIG 308						TG 308					
全姿勢						全姿勢						全姿勢					
Ar ガス						Ar ガス						Ar ガス					
Ar ガス						Ar ガス						Ar ガス					
	棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)		棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)		棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)
初層	2.0	90	10	7~8	6.8~7.7		1.6	60	11	9.0~12.7	3.1~4.4		2.0	75	12	5~7	7.7~10.8
2層以降	2.0	90	10	5~7	7.7~10.8												
予熱 : なし パス間温度 : 177℃以下						予熱 : なし パス間温度 : 150℃以下						予熱 : なし パス間温度 : 150℃以下					
なし						なし						なし					

大口徑SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接

大口徑SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接
(欠陥補修回数と強度の関係)

溶 加 材

非破壊試験

表 8 全溶着金属の化学成分 (%)

寸法 (mmφ)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Co	B	N
2.4	0.047	0.40	1.66	0.009	0.006	9.70	19.85	0.01	Tr.	Tr.	0.006	0.020
1.6	0.046	0.39	1.64	0.007	0.006	9.65	19.84	0.01	Tr.	Tr.	0.006	0.021

表 9 全溶着金属のCr/Ni比

寸法 (mmφ)	Cr/Ni
2.4	2.05
1.6	2.06

表 10 全溶着金属の引張強さおよび伸び

寸法 (mmφ)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
2.4	69.5	43.0
1.6	66.7	51.6
S.51.12.20 付規格	≧ 56	≧ 35

表 11 全溶着金属のフェライト量 (%)

寸法 (mmφ)	フェライトインジケータ	シェフラーの状態 図
2.4	7.5~10	8.0
1.6	7.5~10	8.3
S.51.12.20 付規格	7.5~15	5~12

表 8 全溶着金属の化学成分と引張試験結果

(ミルシート値)

棒径 (φ)	化 学 成 分 (%)								全溶着金属引張試験	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
1.6	0.060	0.47	2.12	0.014	0.009	9.28	19.58	0.04	61.7	44.0
2.4	0.060	0.47	2.12	0.014	0.009	9.28	19.58	0.04	60.8	44.6

開先面液体浸透探傷試験 : 省令 (81 号) 第 12 条に合格
 溶接部 " : "
 溶接部放射線透過試験 : 省令 (81 号) 第 39 条に合格

省令 (81 号) : 電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令

開先面液体浸透探傷試験 : 省令 (81 号) 第 12 条に合格
 溶接部 " : "
 溶接部放射線透過試験 : 省令 (81 号) 第 39 条に合格

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

表3 溶接材料の化学成分 (%) (ミルシート値)

TIG 棒	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
TGS 308	0.05	1.76	0.35	0.017	0.009	-	10.01	20.31	-

表2 全溶着金属の化学成分と引張試験結果 (ミルシート値)

棒径 (φ)	化 学 成 分 (%)							全溶着金属引張試験	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
2.0	0.048	0.36	1.78	0.024	0.008	9.70	19.61	59.1	43.2

溶接部(内外)液体浸透探傷試験 : 欠陥なし
 溶接部放射線透過試験 : JIS 1級合格

溶接部液体浸透探傷試験 : 欠陥なし
 溶接部放射線透過試験 : JIS 1級合格

溶接部液体浸透探傷試験 : 良
 溶接部放射線透過試験 : 一部不良* (判定基準 JIS 1級)

(* 試験中の装置であり、閉ループ状態を維持して溶接施工したため、最終溶接部に生じた欠陥である。)

大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接

大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接
(欠陥補修回数と強度の関係)

試験項目

マクロ・マイクロ組織、継手引張、表曲げ、裏曲げ、衝撃、硬さ試験、裏波形状調査

マクロ・マイクロ組織、継手引張、表曲げ、裏曲げ、衝撃、硬さ試験

マクロ・マイクロ組織調査結果では、未浸漬材側母材及び浸漬材側母材を比較し、特に変りはなかった。

マクロ・マイクロ組織調査結果では異常な組織は見られず、補修回数の影響の差は認められなかった。

表12 溶接施工法確認試験結果

試験名	試験片番号	引張試験結果		曲げ試験結果	吸収エネルギー (kg-m)
		引張強さ (kg/mm ²)	破断位置		
継手引張	JT1	58.7	溶接金属	欠陥なし	
	" 2	59.9	新管材側母材原質部		
	" 3	58.5	"		
	" 4	57.5	溶接金属		
曲げ (13R-180°)	JS1 ^{注1}			"	
	" 2			"	
	" 3			"	
	" 4			"	
衝撃 (2mm Vノッチ +20°C)	JI1 ^{注3}				8.75
	" 2				8.19
	" 3				9.32
	" 4 ^{注4}				9.89
	" 5				9.32
	" 6				9.75
	" 7 ^{注5}				9.18
	" 8				9.75
	" 9				8.75
	" 10 ^{注6}				9.89
	" 11				9.89
	" 12				9.61
	" 13 ^{注7}				9.04
	" 14				8.33
" 15				8.90	
" 16 ^{注8}				9.04	
" 17				9.04	
" 18				9.04	

注1：表曲げ
 " 2：裏曲げ
 " 3：溶接金属部 } ノッチ位置
 " 4：新管材側熱影響部 }
 注5：浸漬後材側熱影響部
 " 6：新管材側 " }
 " 7：溶接金属部 }
 " 8：浸漬後材側熱影響部 }

表9 引張試験結果

補修回数	試験片番号	引張強さ (kg/mm ²)	切断位置
補修なし	W0A1	62.7	溶接金属
	W0A2	60.5	"
1回	W1A1	60.0	"
	W1A2	60.8	"
2回	W2A1	60.7	"
	W2A2	60.9	"
3回	W3A1	60.8	"
	W3A2	60.7	"

表10 曲げ試験結果

補修回数	表曲げ試験	裏曲げ試験
補修なし	欠陥なし	欠陥なし
1回	"	"
2回	"	"
3回	"	"

表11 衝撃試験結果

2mmVノッチ 20°C

補修回数	吸収エネルギー (kg-m)					
	溶接金属部		新管材熱影響部		浸漬後材熱影響部	
補修なし	8.33	8.64	9.55	9.59	9.41	9.41
	8.99		9.55		9.41	
	8.59		9.68		9.41	
1回	9.28	8.95	9.12	9.26	9.99	9.65
	8.86		9.12		9.68	
	8.72		9.55		9.28	
2回	8.99	8.72	9.55	9.68	9.41	9.31
	8.59		9.68		9.41	
	8.59		9.82		9.12	
3回	10.64	9.91	9.82	9.63	9.28	9.46
	9.55		8.99		9.55	
	9.55		10.09		9.55	

施工法確認試験

試験結果

中口径ナトリウム配管の補修溶接

マクロ・マイクロ組織, 継手引張, 表曲げ, 裏曲げ, 溶接金属化学成分分析
硬さ試験

マクロ・マイクロ組織調査の結果, 溶接欠陥等の異常は認められず, 溶接金属, 溶接境界熱影響部のマイクロ組織においても, 洗浄方法, 溶接姿勢等による違いは認められなかった。

表4 継手引張試験結果 (準JIS Z 3121 3号試験片)

試験片番号	材質	洗浄方法	引張試験結果	
			引張強さ(kg/mm ²)	破断位置
S5-1	SUS 304 TP	アルコール	57.3	溶接金属
" 2			57.1	"
S4-1		アルコール90%+水10%	58.1	"
" 2			58.1	"
S6-1		管内面機械仕上げ	58.0	"
" 2			58.5	"

表5 表曲げ試験結果

試験片番号	材質	洗浄方法	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果
S5-1	SUS 304 TP	アルコール	8R	180°	良好
" 2			"	"	"
S4-1		アルコール90%+水10%	"	"	"
" 2			"	"	"
S6-1		管内面機械仕上げ	"	"	"
" 2			"	"	"

表6 裏曲げ試験結果

試験片番号	材質	洗浄方法	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果
S5-1	SUS 304 TP	アルコール	8R	180°	良好
" 2			"	"	"
S4-1		アルコール90%+水10%	"	"	"
" 2			"	"	"
S6-1		管内面機械仕上げ	"	"	"
" 2			"	"	"

表7 溶接金属の化学成分

TP No	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	洗浄方法
S-4	0.045	0.42	1.69	0.019	<0.005	9.78	19.6	<0.05	アルコール90%+水10%
S-5	0.044	0.44	1.66	0.020	<0.005	9.67	19.5	<0.05	アルコール
S-6	0.044	0.44	1.70	0.020	<0.005	9.44	18.9	<0.05	管内面機械仕上

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

マイクロ組織, 裏曲げ, 溶接金属化学成分分析, 硬さ試験

マイクロ組織調査の結果は正常組織であり, 問題となるようなことは認められなかった。

裏曲げ試験: 欠陥なし

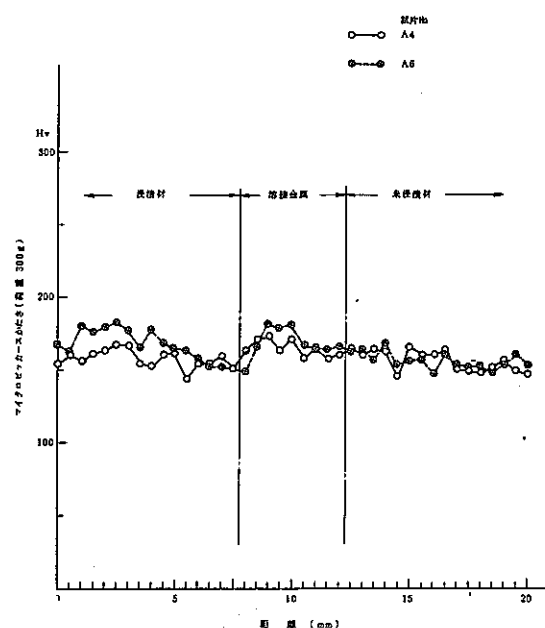


図1 軸方向かたさ分布 (アルコール洗浄)

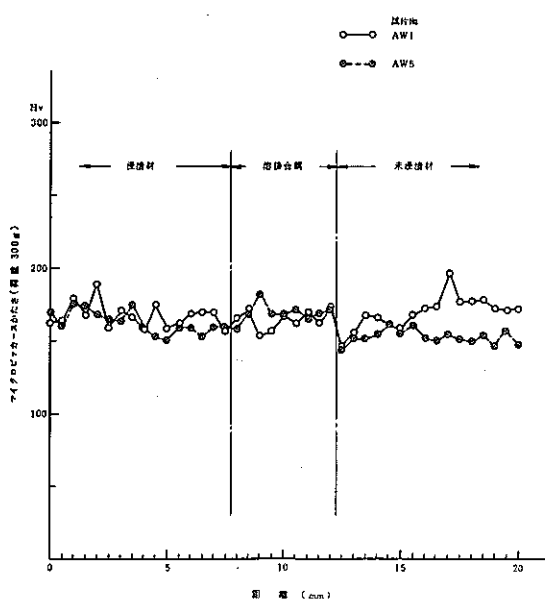


図2 軸方向かたさ分布 (アルコール洗浄)

表3 溶接金属の化学成分

符号 (%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	備考
M C	0.060	0.33	1.99	0.025	0.009	9.50	19.29	内面切削
A W C	0.050	0.34	2.03	0.025	0.011	9.50	19.24	アルコール後水洗浄
N C	0.064	0.34	2.02	0.025	0.009	9.55	19.21	洗浄なし

実ループでの補修溶接

マクロ・マイクロ組織, 裏曲げ

マクロ・マイクロ組織調査の結果, 浸漬材母材の使用 Naによる損傷および溶接部の欠陥は認められなかった。

表3 曲げ試験結果

試験材種類	90°曲げに要した荷重(kg)
浸漬母材 (洗浄1)	350 325
浸漬母材 (洗浄2)	335 320
未浸漬 - 未浸漬溶接継手材	370 330
浸漬材 (洗浄1) - 未浸漬溶接継手材	390 370
浸漬材 (洗浄2) - 未浸漬溶接継手材	335 345

全てクラックなし

施工法確認試験 (続き)

試験結果 (続き)

大口径 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接

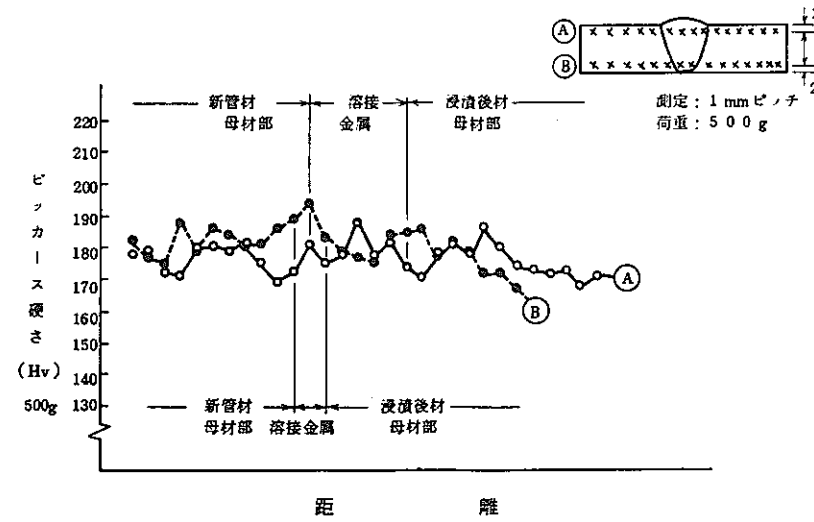


図2 硬さ試験結果 (試験片 No. JH1)

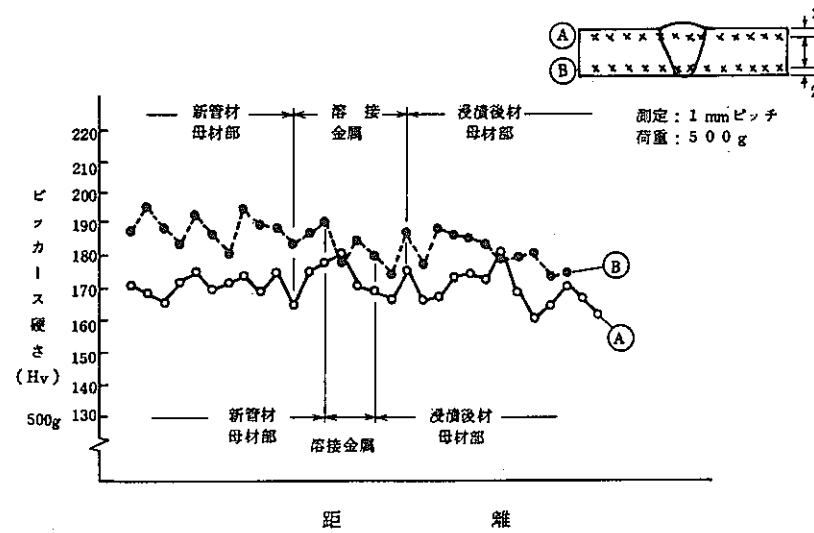
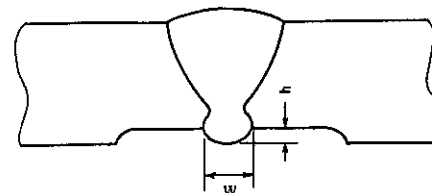


図3 硬さ試験結果 (試験片 No. JH2)

表 13 裏波形状寸法調査結果

試験片種類	試験片記号	裏波形状	
		高さ h (mm)	幅 W (mm)
マクロ・マイクロ硬さ	JH1	0.8	3.3~4
	JH2	0.8	3.6~4
裏曲げ試験片	JB1	0.7	3.5~4
	JB2	0.8	3.0~3.3
	JB3	0.8	3.0~3.4
	JB4	0.7	3.6~4



大口径 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接
(欠陥補修回数と強度の関係)

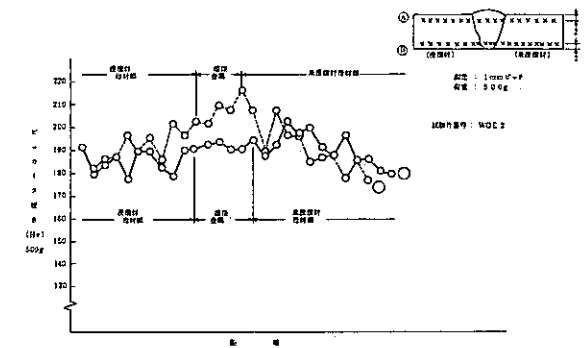


図2 硬さ試験結果 (補修なし)

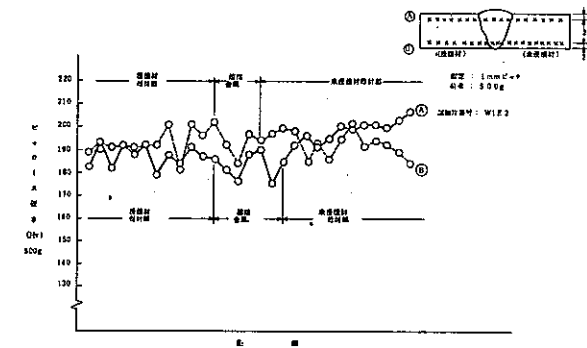


図3 硬さ試験結果 (1回目補修)

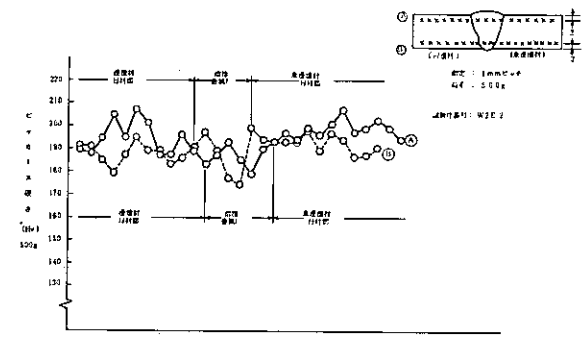


図4 硬さ試験結果 (2回目補修)

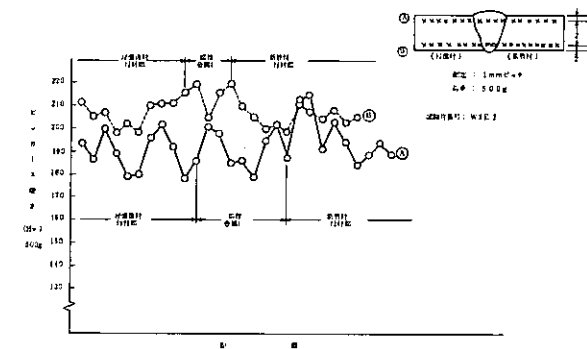


図5 硬さ試験結果 (3回目補修)

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

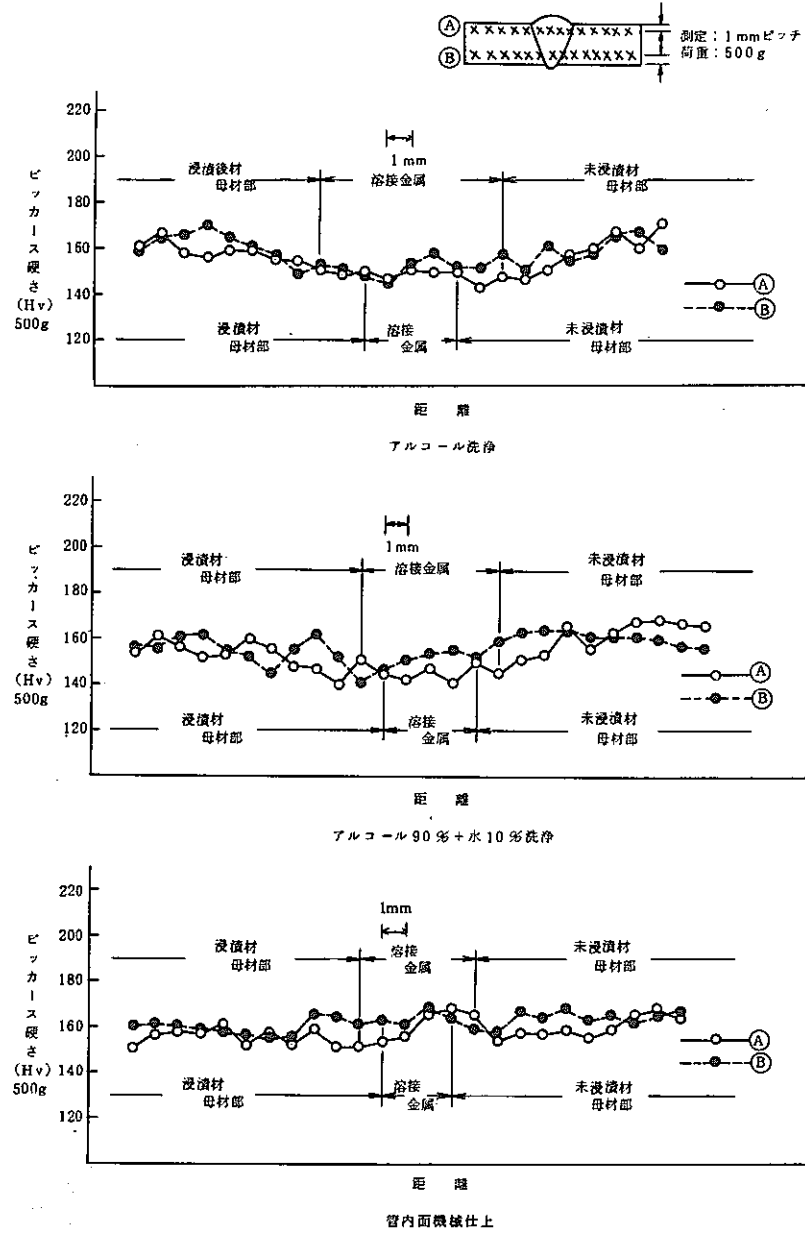


図3 SUS 304 TP の硬さ試験結果

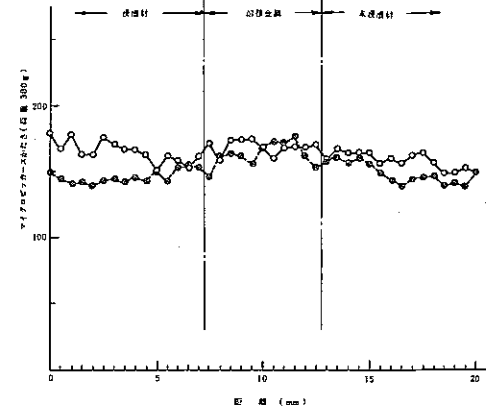


図3 軸方向かたさ分布 (洗浄なし)

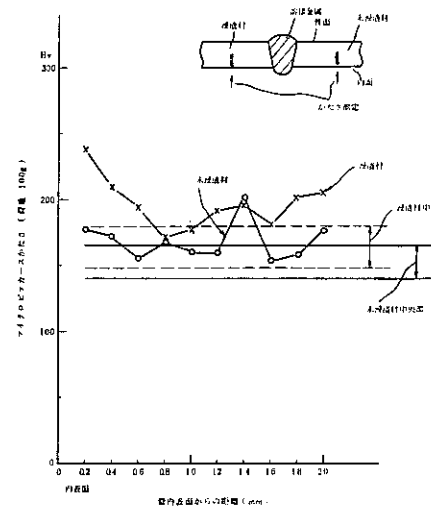


図4 肉厚方向かたさ分布 (洗浄なし)

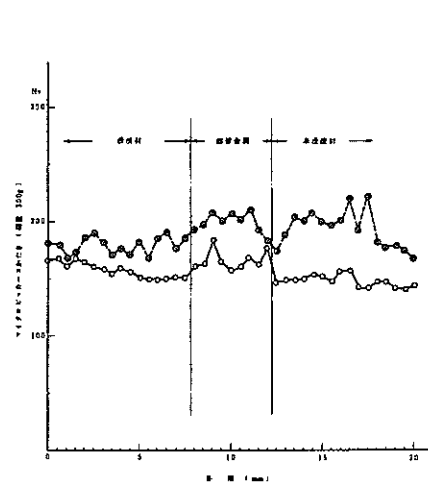


図5 軸方向かたさ分布 (内面切削)

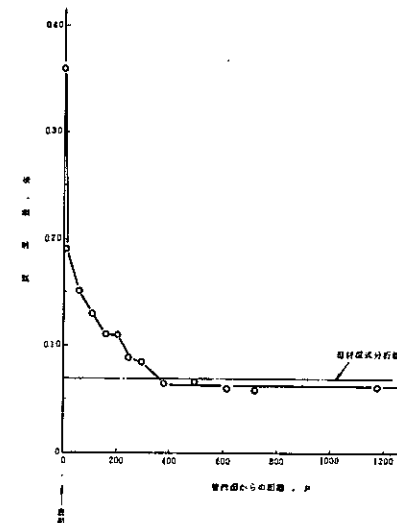


図6 管内表面から肉厚中央への炭素濃度 (浸漬材)

大口径 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接

大口径 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接
(欠陥補修回数と強度の関係)

試験項目

常・高温引張試験, 疲れ試験

常・高温引張試験, クリープ破断試験

表14 継手性能試験結果

試験温度	RT		370°C		500°C	
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6
試験片番号	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6
引張強さ (kg/mm ²)	60.9	63.3	46.7	47.9	42.9	43.3
0.2%耐力 (kg/mm ²)	31.3	29.1	20.8	22.7	19.4	18.4
破断伸び (%)	49.2	54.6	45.9	50.1	42.9	43.0
絞り (%)	71.3	71.3	72.9	71.1	70.0	69.6

表15 低サイクル疲れ試験結果

試験温度: 390°C
繰り上げ速度: 0.05%/sec

材料	試験片番号 (H ₂)	回数を (Hz)	全ひずみ範囲 J _{e1} (%)	試験結果				破断繰り返し数 N(=N ₁₀) (cycle)
				全ひずみ範囲 J _{e1} (%)	ひずみ範囲 J _{eP} (%)	弾性ひずみ範囲 J _{eE} (%)	くり返し数 N (cycle)	
未溶材と未溶材のTIG溶接	AW-6	00190	2723	2723	2135	0589	116	231
	AW-5	00218	2465	2465	1899	0566	126	251
	AW-1	00245	2211	2211	1655	0555	212	424
	AW-3	00329	1706	1706	1176	0528	253	506
未溶材母材	AW-4	00396	1416	1416	0979	0437	550	1099
	AW-7	00490	1131	1131	0779	0352	1308	2615
	BW-7	00196	2698	2698	2177	0521	160	320
	BW-1	00250	2178	2178	1708	0470	375	758
未溶材母材	BW-2	00279	1927	1927	1487	0440	423	847
	BW-4	0040	1407	1407	1006	0401	1380	2360
	BW-5	0050	1124	1124	0778	0346	2473	4945
	BW-7	00194	2696	2696	2153	0543	213	425
未溶材母材	BB-1	00243	2210	2210	1669	0541	269	517
	BB-2	00286	1939	1939	1480	0459	769	1538
	BB-10	00280	1925	1925	1464	0461	497	994
	BB-3	00333	1688	1688	1220	0468	775	1549
	BB-9	00040	1419	1419	1001	0418	988	1915
	BB-5	0050	1149	1149	0776	0373	1792	3584
BB-6	00666	0857	0857	0578	0289	11469	>31270	

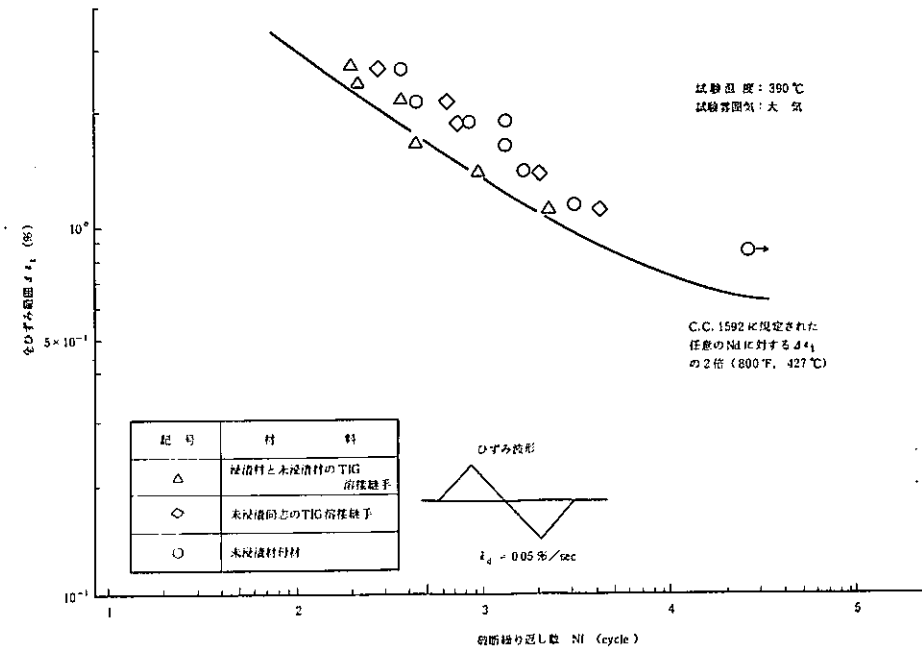


図4 低サイクル疲れ試験結果 (全ひずみ範囲と破断繰り返し数の関係)

表12 継手性能試験結果

試験温度 (°C)	補修回数	引張強さ (kg/mm ²)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置
RT	補修ナシ	57.1	28.1	43.9	77.0	溶接金属
		60.1	29.6	55.3	74.5	"
	1回	59.5	28.8	55.3	71.9	"
		58.7	29.9	52.3	79.7	"
	2回	61.3	28.4	53.8	66.6	"
		60.9	27.7	51.4	68.7	"
370°C	補修ナシ	43.8	21.4	30.2	64.9	"
		42.4	20.4	29.6	76.3	"
	1回	44.0	21.7	30.0	65.5	"
		42.8	20.2	27.8	61.0	"
	2回	44.3	22.1	31.2	67.4	"
		44.5	21.7	31.2	67.6	"
500°C	補修ナシ	39.5	19.2	28.7	63.2	"
		40.6	20.3	28.5	61.3	"
	1回	40.1	18.7	29.2	73.9	"
		40.3	22.1	27.6	71.6	"
	2回	40.1	18.1	27.8	70.8	"
		39.8	18.2	28.4	55.2	"
3回	40.2	17.7	30.2	68.1	"	
	38.8	16.5	30.7	64.3	"	

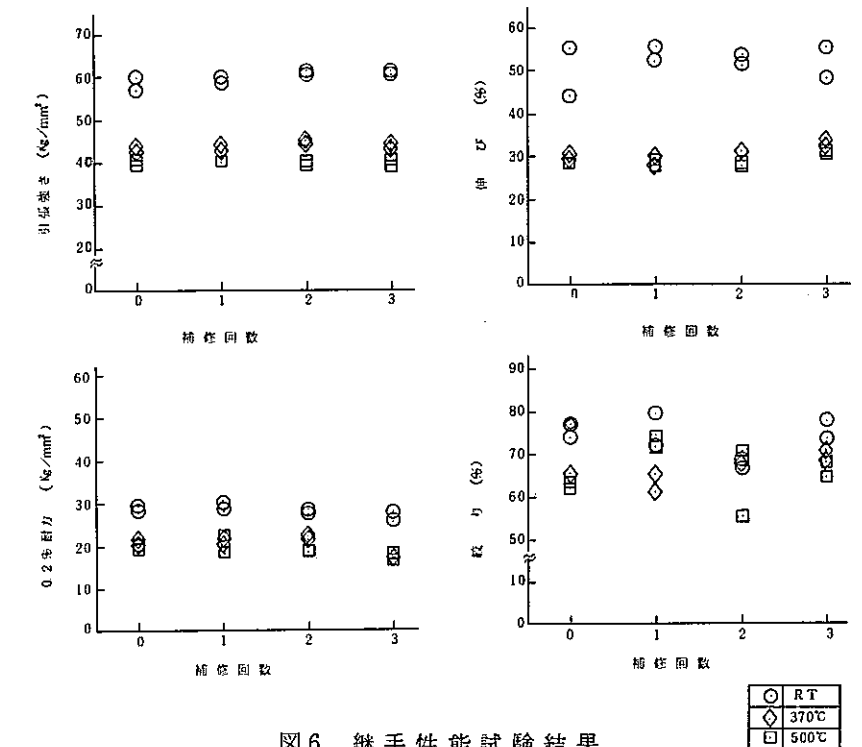


図6 継手性能試験結果

継手性能試験

試験結果

中口径ナトリウム配管の補修溶接

常・高温引張試験

表8 継手引張試験結果 (JIS Z 2201 12号試験片)

試験片符号	材質	試験温度	洗浄方法	引張試験結果 引張強さ(kg/mm ²)	試験結果 破断位置
S 8-1	SUS 304 TP	RT (29℃)	アルコール	56.9	溶接金属
2				58.7	母材部(浸漬材側)
3				38.7	溶接金属
4				39.5	"
S 7-1		RT (29℃)	アルコール	57.5	"
2				59.7	母材部(浸漬材側)
3				37.8	溶接金属
4				39.2	"
S 9-1		RT (29℃)	管内面機械仕上	54.7	"
2				57.6	"
3				37.3	"
4				36.8	"

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

常・高温引張試験

表4 引張試験

グループ	符号	試験温度	引張強さ kg/mm ²	0.2% off-set 耐力kg/mm ²	破断位置	備考
1	N 1	常温	60.9	23.9	溶接金属部	洗浄なし
	N 2	"	63.4	25.7	"	
	N 3	500℃	43.4	23.5	未浸漬材母材	
	N 5	"	43.1	15.0	"	
2	A 1	常温	63.7	27.6	溶接金属部	アルコール洗浄
	A 2	"	65.5	28.2	"	
	A 3	500℃	43.9	25.7	"	
	A 4	"	42.9	14.3	未浸漬材母材	
	A 5	"	42.9	14.3	未浸漬材母材	
3	AW 2	常温	62.4	29.5	溶接金属部	アルコール洗浄 後水洗浄
	AW 3	"	63.2	23.5	"	
	AW 4	500℃	42.1	16.3	未浸漬材母材	
	AW 6	"	42.8	16.0	溶接金属部	
4	M 1	常温	64.7	33.5	"	内面切削
	M 2	"	62.4	28.0	"	
	M 5	500℃	40.3	16.4	"	
5	AS 1	常温	66.2	30.0	A	未浸漬材母材
	AS 2	500℃	42.8	14.5	A	
6	U 1	常温	71.8	34.3	B	浸漬材母材
	U 2	500℃	44.7	21.8	A	

実ループでの補修溶接

常・高温引張試験, クリープ破断試験

表4 引張試験結果 (常温)

試験材種類	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置
浸漬母材 (洗浄1)	29.4	63.4	67	C
	28.4	63.3	66	C
浸漬母材 (洗浄2)	29.8	63.6	65	C
	29.2	63.5	67	C
未浸漬 - 未浸漬溶接継手材	30.3	66.3	52	A 2
	28.3	62.2	44	B 2
浸漬材 (洗浄1) - 未浸漬溶接継手材	31.8	66.9	54	A 2
	31.2	64.8	52	A 1
浸漬材 (洗浄2) - 未浸漬溶接継手材	29.8	64.9	49	A 2
	29.1	64.0	49	A 1

表5 引張試験結果 (500℃)

試験材種類	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置
浸漬母材 (洗浄1)	16.2	42.1	42	C
	16.6	42.4	42	C
浸漬母材 (洗浄2)	16.5	41.9	42	C
	16.4	42.1	45	C
未浸漬 - 未浸漬溶接継手材	19.1	43.5	34	A 2
	17.7	43.3	33	A 2
浸漬材 (洗浄1) - 未浸漬溶接継手材	18.2	43.4	29	A 1
	17.5	42.8	33	A 1
浸漬材 (洗浄2) - 未浸漬溶接継手材	21.0	42.3	24	A 1
	17.4	41.9	32	A 2

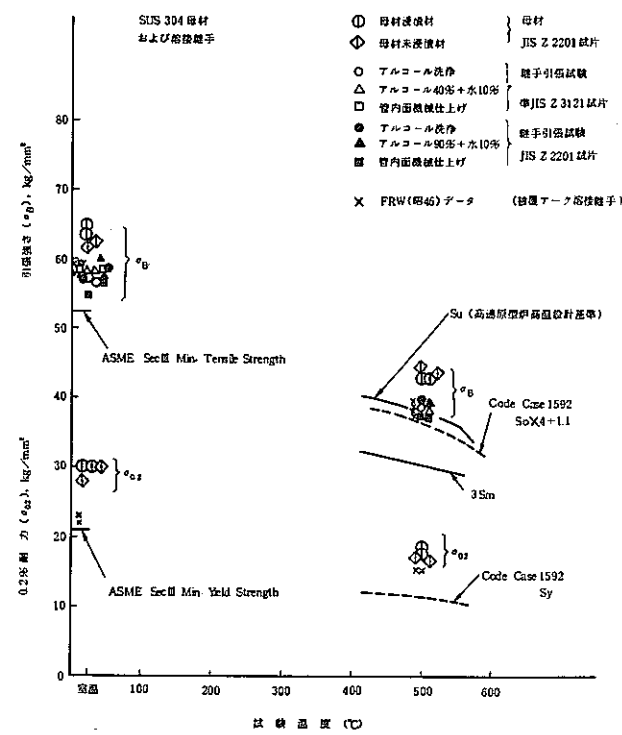


図4 SUS 304 母材と溶接継手の引張強さ

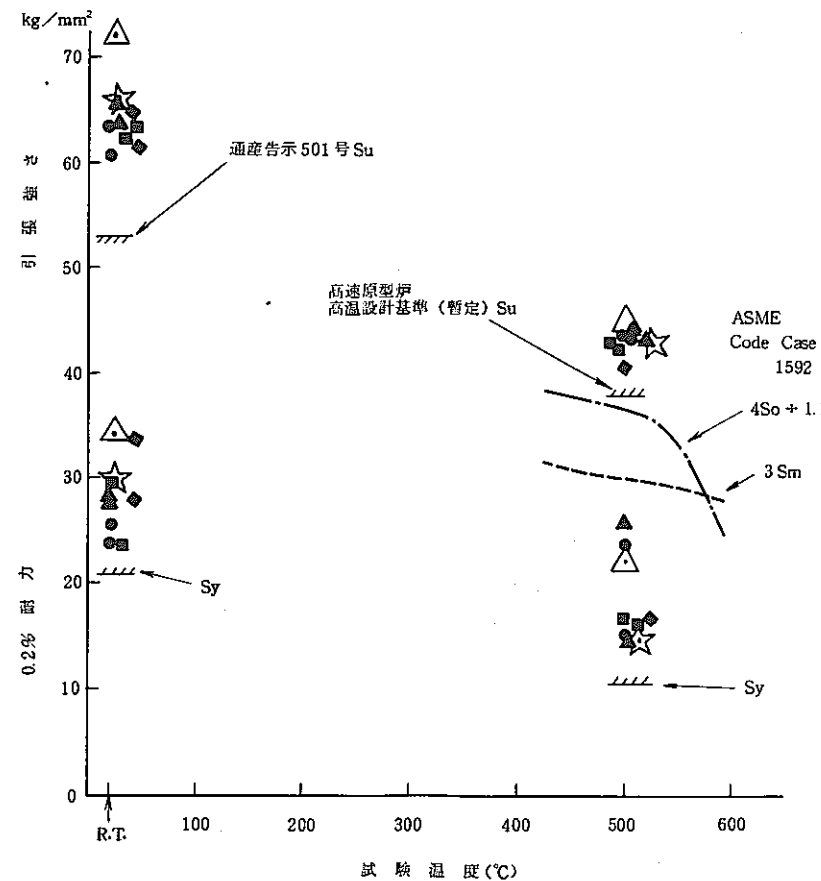


図7 引張強さ

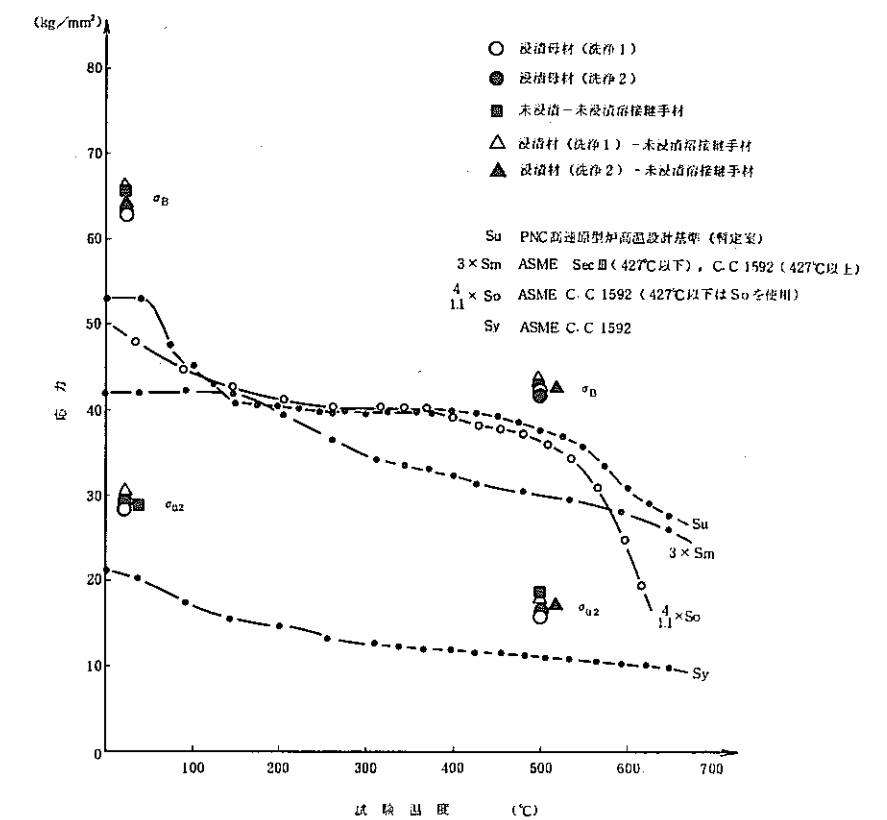


図1 強度に関する規格値との比較

大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接

表 16 高サイクル疲れ試験結果

材 料	試験片番号	試験温度 (°C)	応 力 (kg/mm ²)	周波数 (Hz)	破断繰り返し数 Nf (cycle)	破断位置	備 考
浸漬材と未浸漬材のTIG溶接継手	17	RT	32	5	3.7×10 ⁴	境界部	
	18		29	"	1.9×10 ⁴	母材	
	19		26	30	4.6×10 ⁴	境界部	
	20		22	"	>1.5×10 ⁵	-	破断せず
	21	390	22	5	1.9×10 ⁴	境界部	
	22		18	30	9.7×10 ⁴	"	
	23		14	40	1.9×10 ⁴	母材	
	24		11	50	>1.2×10 ⁵	-	破断せず
未浸漬材同士のTIG溶接継手	9	RT	32	5	3.6×10 ⁴	境界部	
	10		29	"	2.6×10 ⁴	母材	
	11		24	30	>9.3×10 ⁴	-	E.B溶接部で破断
	12		22	"	>1.6×10 ⁵	-	破断せず
	13	390	22	5	3.7×10 ⁴	母材	
	14		18	30	1.4×10 ⁴	境界部	
	15		14	40	1.8×10 ⁴	溶接金属	
	16		11	"	>2.2×10 ⁵	-	破断せず
浸漬材母材	1	RT	32	5	2.0×10 ⁴		
	2		29	"	3.5×10 ⁴		
	3		24	30	4.6×10 ⁴		
	4		19	"	>1.5×10 ⁵		破断せず
	5	390	22	5	9.7×10 ⁴		
	6		18	30	6.5×10 ⁴		
	7		14	40	3.6×10 ⁴		
	8		9	"	7.7×10 ⁴		
	25		8	50	>1.2×10 ⁵		破断せず

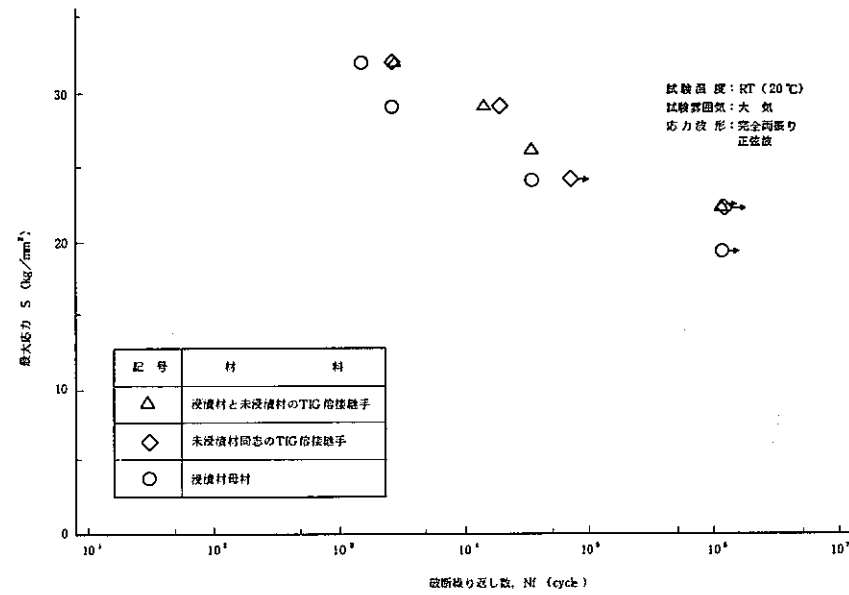


図5 高サイクル疲れS-N曲線 (温度: 室温)

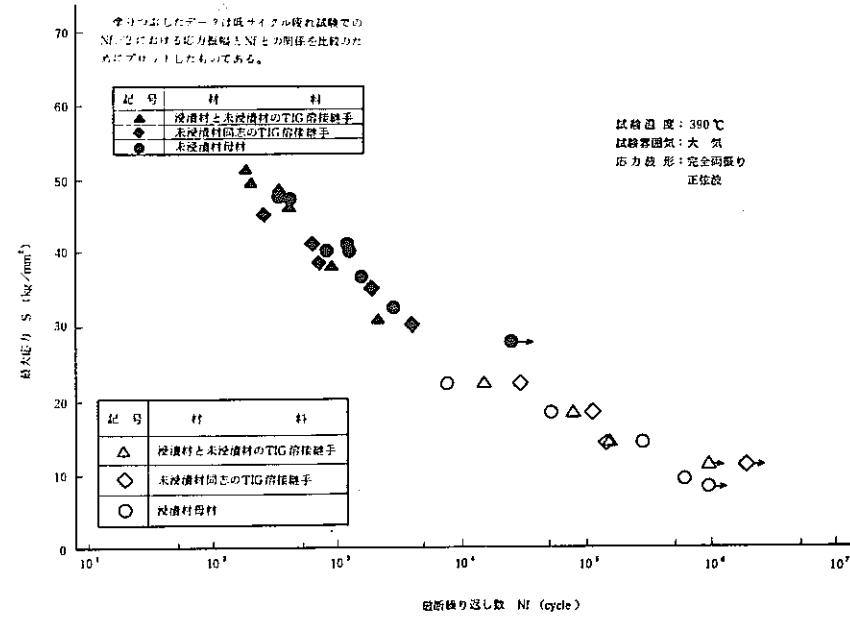


図6 高サイクル疲れS-N曲線 (温度: 390°C)

大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接 (欠陥補修回数と強度の関係)

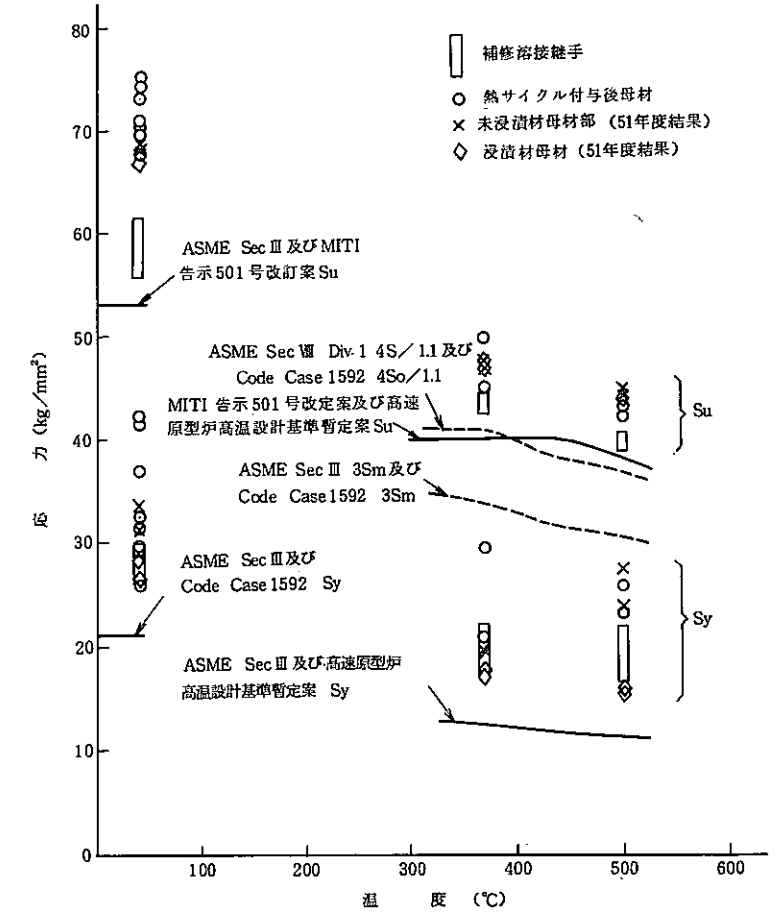


図17 引張試験結果と設計基準値の比較

表 13 クリープ破断試験結果

母材の組合せ	補修回数	試験温度 (°C)	試験片番号	引張応力 (kg/mm ²)	破断時間 (h)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置
未浸漬材 + 浸漬材	補修なし	550	H11	22	586.8	17.8	40.0	溶接金属
	1回	550	H21	22	775.6	14.2	46.5	溶接金属
	2回	550	H31	22	611.9	13.3	37.7	溶接金属
	3回	550	H41	22	533.1	12.0	36.3	溶接金属

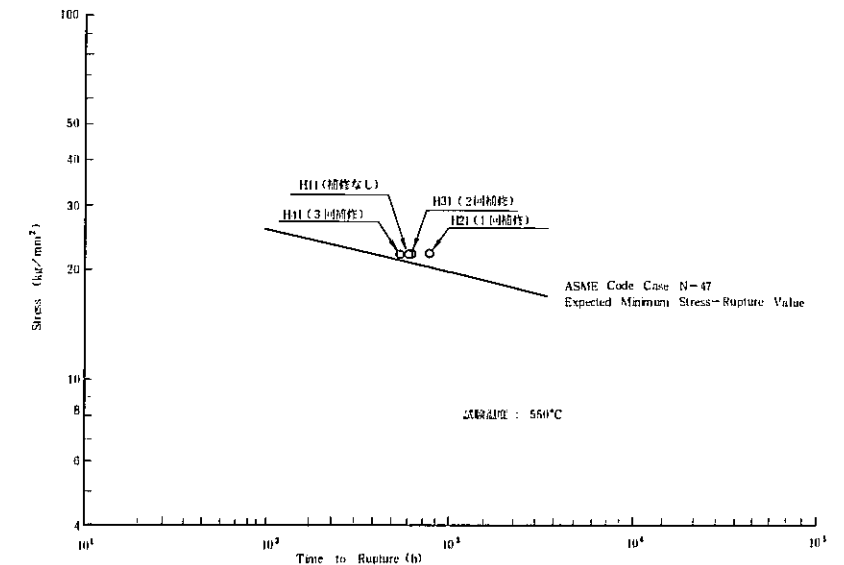


図8 SUS 304 材 TIG 溶接継手のクリープ破断強度

継手性能試験

試験結果

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

表6 クリープ破断試験結果 (500℃)

試験材種類	応力 (kg/mm ²)	破断時間 (hr)	伸び (%)	破断位置
浸漬母材 (洗浄1)	27	256.5	19	
	24	798.6	8	
浸漬母材 (洗浄2)	27	270.8	14	
	24	914.8	11	
未浸漬 - 未浸漬溶接継手材	27	878.0	15	C
	24	(1300)		
浸漬材 (洗浄1) - 未浸漬溶接継手材	27	228.6	12	B.
	24	643.9	10	
浸漬材 (洗浄2) - 未浸漬溶接継手材	27	52.2	10	B.
	24	837.8	10	

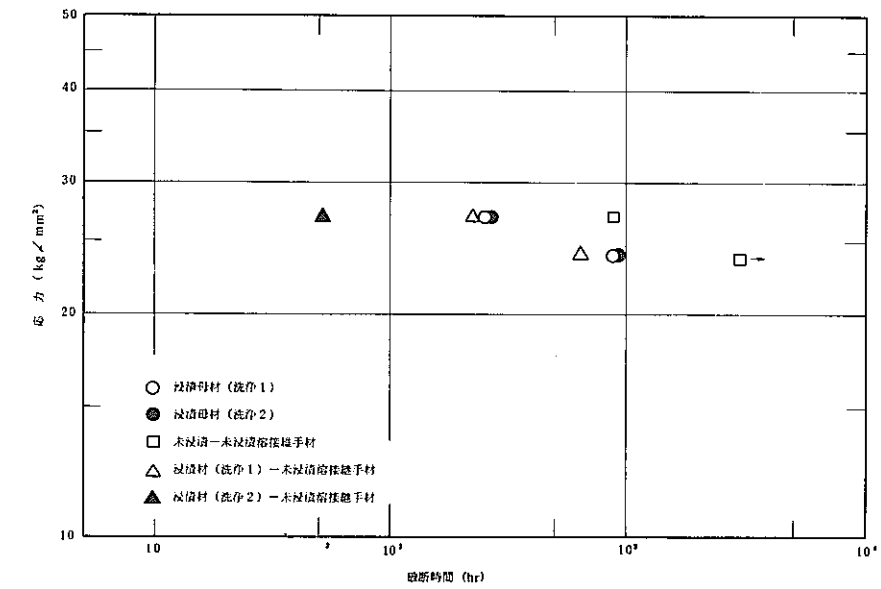


図2 応力-破断時間関係 (550℃)

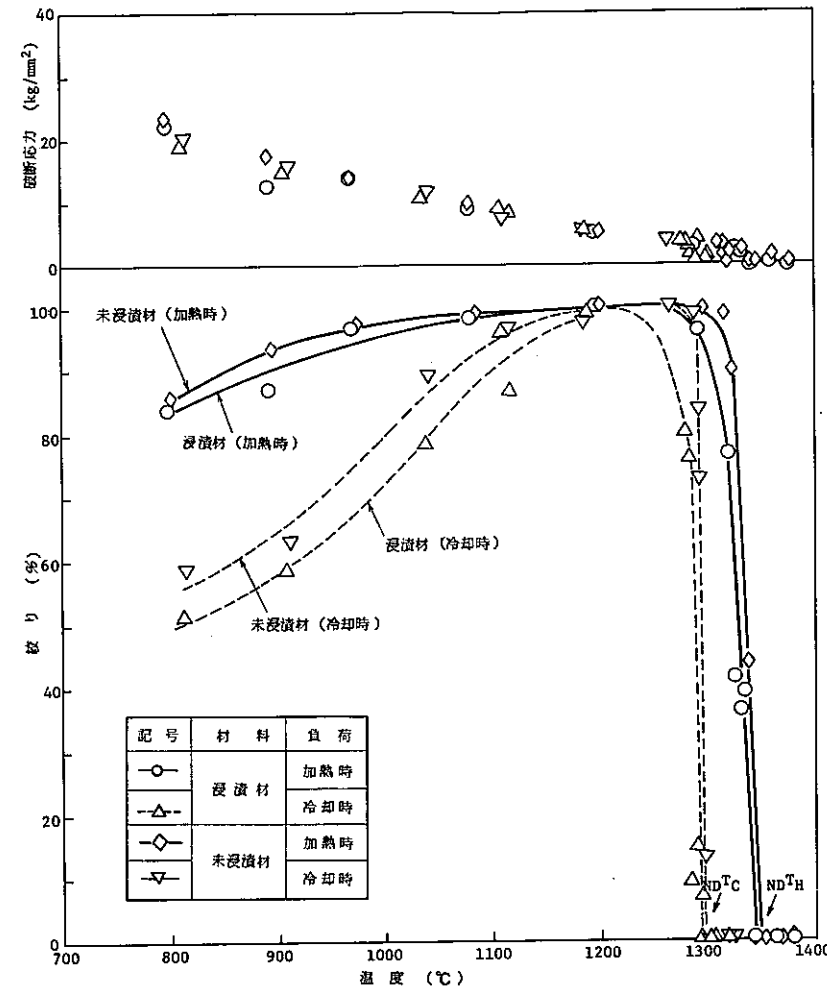


図7 浸漬材および未浸漬材の高温延性試験結果

表17 高温延性試験結果の総括

材 料	ND TH (°C)	ND ^{TC} (°C)	ΔT _{HO} (°C)	B ^{TR} (°C)
浸 漬 材	1343	1295	48	161
未浸漬材	1345	1298	47	147

付記

NDTH : Nil Ductility Temperature on Heating

ND^{TC} : Nil Ductility Temperature on Cooling

ΔT_{HO} : NDTH - ND^{TC}

B^{TR} : T_L - ND^{TC}

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

浸漬配管材の溶接性試験（続き）

大口径SUS 304 ナトリウム 配管の補修溶接

大口径SUS 304 ナトリウム 配管の補修溶接
(欠陥補修回数と強度の関係)

記号	材	料	位 置
○	浸漬材	母材	内厚中央部
△			管 内 面
◇			管 内 面
□	未浸漬材	母材	内厚中央部
▽			管 内 面

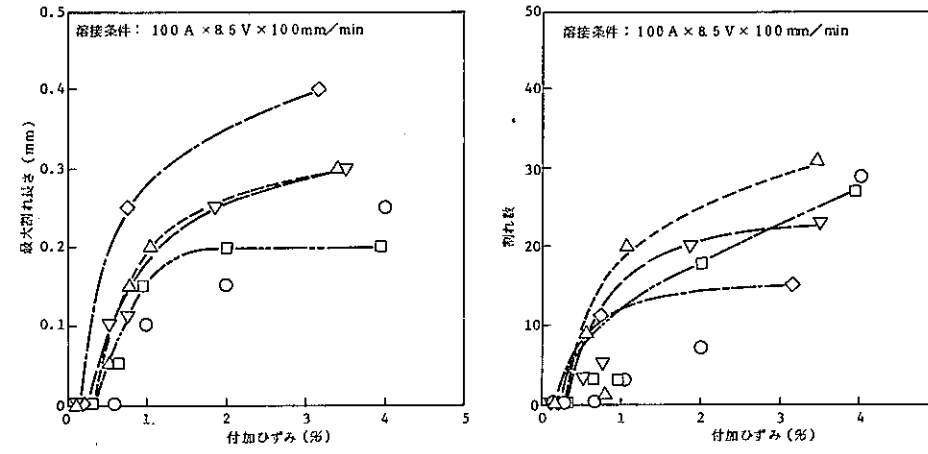


図8 Trans-Varestraint 試験結果

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

		大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接	大口径SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接 (欠陥補修回数と強度の関係)
結論		<p>施工法確認試験の結果、機械試験、硬さ試験、マクロ・マイクロ組織調査とも問題なく良好であった。</p> <p>継手性能試験結果は次の通りであった。</p> <p>(1) 常高温引張試験結果では、破断位置は溶接金属であり、母材に比べて破断伸びの低下が見られたが、0.2%耐力及び引張強さ共に、母材試験と有意差はなかった。</p> <p>(2) 低サイクル、高サイクル疲れ試験結果では、配管の補修溶接の対象となる浸漬材と未浸漬材のティグ溶接継手の疲れ特性は同等で問題ないことが分った。</p> <p>浸漬配管材の溶接性試験結果は次の通りであった。</p> <p>(1) 高温延性試験結果より、ND_{TH}、ND_{TC}、ΔT_{HC}、B_{TR}は未浸漬材、浸漬材とも同じ程度であり、ナトリウム浸漬による影響は認められなかった。</p> <p>(2) Trans - Varestraint 試験結果より、未浸漬材、浸漬材の間で有意差はなく、いずれもナトリウム浸漬が高温割れ感受性におよぼす影響は、ほとんどないことが分った。</p>	<p>施工法確認試験の結果、機械試験、硬さ試験、マクロ・マイクロ組織調査とも問題なく、良好であり、機械的性質におよぼす補修回数の影響による差は見られなかった。</p> <p>継手性能試験結果は次の通りであった。</p> <p>(1) 常高温引張試験でも補修なしから3回補修まで継手性能はいずれも正常な結果が得られ、また継手性能に及ぼす補修回数の影響による差は見られなかった。</p> <p>(2) クリープ破断試験結果より、欠陥補修回数と、クリープ破断時間、破断伸びおよび破断絞りの相関関係は特に認められず、またクリープ破断強度は全て、設計基準を満足していることが分った。</p>
まとめ		<p>SUS 304 についての試験研究に関して総じていえば、溶接施工、溶接性、継手性能（常温及び高温引張性質、疲れ強さ、クリープ破断強度等）に及ぼすナトリウム浸漬の影響及び継手強度に及ぼす欠陥補修回数の影響は認められなかった。また、溶接継手強度について現行の設計基準における許容応力値と比較検討した結果では、SUS 304 鋼の場合、設計上、継手強度を母材と同等であった。ただ、現実には継手は母材に比べデータのバラツキも大きいため、データの蓄積をはかってゆく必要がある。さらに、実機の補修溶接を考えると、多大の作業時間を要することが予想され、1次系作業の場合は対放射線対策を考慮する必要があり今後、補修溶接の機械化が望まれるところである。</p>	

中口径ナトリウム配管の補修溶接

長時間使用ナトリウム配管の補修溶接

実ループでの補修溶接

1) 浸漬表面を残した2洗浄条件(アルコール10%とアルコール90%+水10%)及び管内面機械仕上げの後、完全に管内面削除した開先条件で溶接しても溶接性及び機械的性質の差は認められず、いずれにおいても良好な結果を得た。

2) 高温の引張強さにおいては、母材に比べて溶接継手が低い値を示す傾向にある。設計基準と比較した場合、C.C. 1592×4÷1.1 値、ASME Sec IIIおよびC.C. 1592 設計強さSmの3倍の値をいずれも満足するが、高速原型炉設計基準Su(暫定値)を若干下廻るものがあった。

以上より次の点が結論として得られた。

初層溶接及び多層溶接において、管内面機械仕上げ及びアルコール洗浄のいずれのNa洗浄条件下でも、溶接性及び機械的性質は良好な結果を示し、Na洗浄条件の影響は認められなかった。

高温 Na 中で長時間使用されたステンレス鋼管と未浸漬材の溶接継手について調べた結果、つぎのことがわかった。

(1) 浸漬材内面(Na接触側)の洗浄条件を変えた浸漬材と未浸漬材とを溶接した結果、工場溶接の作業性および溶接後検査には特に異常は認められなかった。

(2) 浸漬材の内面は、組織観察、組成分析およびかたさ測定に変化が認められ、浸炭していることがわかった。

(3) 溶接継手部の組織観察の結果は正常組織であり、機械試験(引張り、曲げ)の結果も含め洗浄および浸炭の影響は認められず、総合的に問題となるようなことは発見されなかった。

実ループにおける切断補修作業を実際に行ない、現地工事における問題点を把握するとともに、浸漬材、未浸漬材およびこれらの溶接部より作成した試験片に対して各種試験を実施した結果を要約すると下記の通りである。

(1) 洗浄方法(アルコールのみとアルコール・水、アセトン洗浄)による洗浄程度の異差は配管表面成分分析によれば認められない。

(2) 浸漬材と未浸漬材との溶接継手部の各種試験の結果、洗浄条件のちがいによる溶接継手部への影響は認められない。また、本ループでは管肉厚断面部の面分析結果による配管への浸炭はみられず、クリープ破断試験をのぞく各種試験の結果でもNa浸炭による溶接継手性能への影響は認められないが、クリープ破断試験の結果、未浸漬-未浸漬溶接継手材と浸漬材-未浸漬溶接継手材との破断時間に差が認められたため、今後さらに検討を要する。

(3) 現地における溶接補修工事は多大の作業時間を要するので、1次系の作業の場合には対放射線対策を要する。

		大口径 2 1/4 Cr-1 Mo ナトリウム配管の補修溶接	中口径ナトリウム配管の補修溶接																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
供試材	母材の組合せ	未浸漬材 : STPA 24 (φ318.5×10.3t, 12B) } 組合せ : 未浸漬材+未浸漬材 浸漬材 : STPA 24 (φ318.5×10.3t, 12B) } 未浸漬材+浸漬材 (浸漬材運転履歴) ループ : 動燃大洗工学センターナトリウム機器構造試験ループ(モノメタリック) 運転履歴 : 340℃ 18,600 Hr	未浸漬材 : STPA24 (φ114.3×6.0t, 4B) } 組合せ : 未浸漬材+浸漬材 浸漬材 : STPA24 (φ114.3×6.0t, 4B) } (浸漬材運転履歴) ループ : 三菱重工高砂研究所ナトリウムループ(バイメタリック) 運転履歴 : 485~515℃ 10,010 Hr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	試験項目	化学成分分析, 引張試験, 曲げ試験, 衝撃試験, SEM, EPMA 分析 マクロ・マイクロ組織, 硬さ試験	化学成分分析, 引張試験, 硬さ試験, SEM観察, マクロ・マイクロ組織																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	試験結果	<p style="text-align: center;">表1 浸漬材と未浸漬材の機械的性質と化学成分 (ミルシート)</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試材</th> <th colspan="3">機械的性質</th> <th colspan="7">化学成分%</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>降伏点 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び% GL50mm</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">浸漬材</td> <td>28</td> <td>51</td> <td>38</td> <td>0.09</td> <td>0.39</td> <td>0.48</td> <td>0.006</td> <td>0.008</td> <td>2.14</td> <td>0.96</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>50</td> <td>39</td> <td>0.10</td> <td>0.40</td> <td>0.45</td> <td>0.006</td> <td>0.008</td> <td>2.12</td> <td>0.95</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">未浸漬材</td> <td>37</td> <td>53</td> <td>36</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>53</td> <td>37</td> <td>0.10</td> <td>0.37</td> <td>0.46</td> <td>0.020</td> <td>0.016</td> <td>2.16</td> <td>0.99</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>54</td> <td>37</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>54</td> <td>34</td> <td>0.10</td> <td>0.35</td> <td>0.49</td> <td>0.019</td> <td>0.016</td> <td>2.22</td> <td>0.96</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>54</td> <td>34</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>54</td> <td>36</td> <td>0.11</td> <td>0.36</td> <td>0.40</td> <td>0.019</td> <td>0.015</td> <td>2.21</td> <td>0.95</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>37</td> <td>53</td> <td>36</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表2 引張試験結果</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試材</th> <th rowspan="2">試験片 マーク</th> <th rowspan="2">試験温度 (℃)</th> <th rowspan="2">0.2%耐力 (kg/mm²)</th> <th rowspan="2">引張強さ (kg/mm²)</th> <th rowspan="2">伸び (%)</th> <th rowspan="2">*1 絞り (%)</th> <th rowspan="2">破断 位置</th> <th rowspan="2">破断 場所</th> <th rowspan="2">降伏比 σ_{0.2}/σ_B</th> </tr> <tr> <th>GL=5D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">浸漬材</td> <td rowspan="2">BT-1 4</td> <td rowspan="2">R.T</td> <td>28.7</td> <td>52.4</td> <td>29</td> <td>79</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>28.7</td> <td>52.7</td> <td>28</td> <td>79</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">未浸漬材</td> <td rowspan="2">11 14</td> <td rowspan="2">R.T</td> <td>36.1</td> <td>52.7</td> <td>29</td> <td>77</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td>37.0</td> <td>54.0</td> <td>27</td> <td>77</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">浸漬材</td> <td rowspan="2">BT-2 5</td> <td rowspan="2">340</td> <td>25.5</td> <td>44.6</td> <td>27</td> <td>77</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td>24.8</td> <td>43.9</td> <td>22</td> <td>75</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.56</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">未浸漬材</td> <td rowspan="2">12 15</td> <td rowspan="2">340</td> <td>32.2</td> <td>48.4</td> <td>20</td> <td>70</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>31.7</td> <td>49.3</td> <td>20</td> <td>71</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.64</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">浸漬材</td> <td rowspan="2">BT-3 6</td> <td rowspan="2">470</td> <td>23.4</td> <td>42.2</td> <td>25</td> <td>78</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>22.4</td> <td>42.1</td> <td>25</td> <td>78</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.53</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">未浸漬材</td> <td rowspan="2">13 16</td> <td rowspan="2">470</td> <td>28.5</td> <td>45.6</td> <td>24</td> <td>74</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.63</td> </tr> <tr> <td>28.9</td> <td>46.6</td> <td>23</td> <td>72</td> <td>A</td> <td>良</td> <td>0.62</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">*1 GL=5D</p> <p style="text-align: center;">表3 衝撃試験結果</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試材</th> <th rowspan="2">試験片マーク</th> <th rowspan="2">試験温度 (℃)</th> <th rowspan="2">吸収エネルギー (kg-m)</th> <th rowspan="2">脆性破面率 (%)</th> <th rowspan="2">ノッチ底部の 深さ (mm)</th> </tr> <tr> <th>GL=5D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">浸漬材</td> <td>BI-1</td> <td>0</td> <td>16.10</td> <td>18</td> <td>* 7.87</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>18.10</td> <td>0</td> <td>* 7.92</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>15.33</td> <td>17</td> <td>* 7.87</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">未浸漬材</td> <td>BI-11</td> <td>0</td> <td>13.19</td> <td>27</td> <td>* 7.88</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>0</td> <td>11.44</td> <td>41</td> <td>* 7.91</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0</td> <td>12.32</td> <td>38</td> <td>7.97</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">* JIS Z 2202, 4号の寸法公差 8±0.05 を満足していない。</p>	供試材	機械的性質			化学成分%							備考	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び% GL50mm	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	浸漬材	28	51	38	0.09	0.39	0.48	0.006	0.008	2.14	0.96	L	30	50	39	0.10	0.40	0.45	0.006	0.008	2.12	0.95	C	未浸漬材	37	53	36									36	53	37	0.10	0.37	0.46	0.020	0.016	2.16	0.99	L	38	54	37									39	54	34	0.10	0.35	0.49	0.019	0.016	2.22	0.96	C	39	54	34									38	54	36	0.11	0.36	0.40	0.019	0.015	2.21	0.95	C		37	53	36									供試材	試験片 マーク	試験温度 (℃)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	*1 絞り (%)	破断 位置	破断 場所	降伏比 σ _{0.2} /σ _B	GL=5D	浸漬材	BT-1 4	R.T	28.7	52.4	29	79	A	良	0.55	28.7	52.7	28	79	A	良	0.54	未浸漬材	11 14	R.T	36.1	52.7	29	77	A	良	0.69	37.0	54.0	27	77	A	良	0.69	浸漬材	BT-2 5	340	25.5	44.6	27	77	A	良	0.57	24.8	43.9	22	75	A	良	0.56	未浸漬材	12 15	340	32.2	48.4	20	70	A	良	0.67	31.7	49.3	20	71	A	良	0.64	浸漬材	BT-3 6	470	23.4	42.2	25	78	A	良	0.55	22.4	42.1	25	78	A	良	0.53	未浸漬材	13 16	470	28.5	45.6	24	74	A	良	0.63	28.9	46.6	23	72	A	良	0.62	供試材	試験片マーク	試験温度 (℃)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破面率 (%)	ノッチ底部の 深さ (mm)	GL=5D	浸漬材	BI-1	0	16.10	18	* 7.87	2	0	18.10	0	* 7.92	3	0	15.33	17	* 7.87	未浸漬材	BI-11	0	13.19	27	* 7.88	12	0	11.44	41	* 7.91	13	0	12.32	38	7.97	<p style="text-align: center;">表1 供試材の化学成分と熱処理条件</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">鋼種</th> <th rowspan="2">区分</th> <th colspan="10">化学成分%</th> <th rowspan="2">熱処理</th> <th rowspan="2">入手形状</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">STPA 24 (2 1/4 Cr-1 Mo鋼)</td> <td>JIS規格</td> <td><0.15</td> <td><0.50</td> <td>0.30 0.50</td> <td><0.030</td> <td><0.030</td> <td>-</td> <td>1.90 2.60</td> <td>0.87 1.13</td> <td>Bal.</td> <td></td> <td rowspan="2">完全焼鈍 900℃~950℃</td> <td rowspan="2">114.3φ×6.0t×5,000ℓ</td> </tr> <tr> <td>ミルシート値</td> <td>0.11</td> <td>0.40</td> <td>0.45</td> <td>0.026</td> <td>0.011</td> <td>-</td> <td>2.08</td> <td>0.95</td> <td>Bal.</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">図1 STPA 24 の組成分布</p> <p style="text-align: center;">表2 引張試験結果</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材質</th> <th rowspan="2">性状</th> <th rowspan="2">試験温度</th> <th colspan="5">引張性質</th> </tr> <tr> <th>0.2%耐力 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び% GL=50mm</th> <th>絞り%</th> <th>破断位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">STPA-24</td> <td rowspan="4">浸漬材</td> <td rowspan="2">RT (19℃)</td> <td>24.6</td> <td>49.8</td> <td>31.0</td> <td>76.3</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>24.1</td> <td>50.1</td> <td>30.0</td> <td>74.7</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">470℃</td> <td>17.7</td> <td>34.2</td> <td>30.5</td> <td>77.5</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>18.1</td> <td>34.9</td> <td>30.0</td> <td>77.0</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">未浸漬材</td> <td rowspan="2">RT (19℃)</td> <td>34.7</td> <td>54.0</td> <td>29.5</td> <td>76.6</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>35.5</td> <td>54.5</td> <td>29.5</td> <td>77.3</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>470℃</td> <td>24.3</td> <td>46.8</td> <td>24.0</td> <td>74.5</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>23.8</td> <td>45.6</td> <td>24.0</td> <td>77.2</td> <td>"</td> </tr> </tbody> </table>	鋼種	区分	化学成分%										熱処理	入手形状	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe	STPA 24 (2 1/4 Cr-1 Mo鋼)	JIS規格	<0.15	<0.50	0.30 0.50	<0.030	<0.030	-	1.90 2.60	0.87 1.13	Bal.		完全焼鈍 900℃~950℃	114.3φ×6.0t×5,000ℓ	ミルシート値	0.11	0.40	0.45	0.026	0.011	-	2.08	0.95	Bal.	材質	性状	試験温度	引張性質					0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び% GL=50mm	絞り%	破断位置	STPA-24	浸漬材	RT (19℃)	24.6	49.8	31.0	76.3	A	24.1	50.1	30.0	74.7	"	470℃	17.7	34.2	30.5	77.5	"	18.1	34.9	30.0	77.0	"	未浸漬材	RT (19℃)	34.7	54.0	29.5	76.6	"	35.5	54.5	29.5	77.3	"			470℃	24.3	46.8	24.0	74.5	"				23.8	45.6	24.0	77.2
供試材	機械的性質			化学成分%							備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び% GL50mm	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
浸漬材	28	51	38	0.09	0.39	0.48	0.006	0.008	2.14	0.96	L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	30	50	39	0.10	0.40	0.45	0.006	0.008	2.12	0.95	C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
未浸漬材	37	53	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	36	53	37	0.10	0.37	0.46	0.020	0.016	2.16	0.99	L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	38	54	37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	39	54	34	0.10	0.35	0.49	0.019	0.016	2.22	0.96	C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	39	54	34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	38	54	36	0.11	0.36	0.40	0.019	0.015	2.21	0.95	C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	37	53	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
供試材	試験片 マーク	試験温度 (℃)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	*1 絞り (%)	破断 位置	破断 場所	降伏比 σ _{0.2} /σ _B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
										GL=5D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
浸漬材	BT-1 4	R.T	28.7	52.4	29	79	A	良	0.55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			28.7	52.7	28	79	A	良	0.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
未浸漬材	11 14	R.T	36.1	52.7	29	77	A	良	0.69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			37.0	54.0	27	77	A	良	0.69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
浸漬材	BT-2 5	340	25.5	44.6	27	77	A	良	0.57																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			24.8	43.9	22	75	A	良	0.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
未浸漬材	12 15	340	32.2	48.4	20	70	A	良	0.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			31.7	49.3	20	71	A	良	0.64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
浸漬材	BT-3 6	470	23.4	42.2	25	78	A	良	0.55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			22.4	42.1	25	78	A	良	0.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
未浸漬材	13 16	470	28.5	45.6	24	74	A	良	0.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			28.9	46.6	23	72	A	良	0.62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
供試材	試験片マーク	試験温度 (℃)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破面率 (%)	ノッチ底部の 深さ (mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
						GL=5D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
浸漬材	BI-1	0	16.10	18	* 7.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	2	0	18.10	0	* 7.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	3	0	15.33	17	* 7.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
未浸漬材	BI-11	0	13.19	27	* 7.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	12	0	11.44	41	* 7.91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	13	0	12.32	38	7.97																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
鋼種	区分	化学成分%										熱処理	入手形状																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
STPA 24 (2 1/4 Cr-1 Mo鋼)	JIS規格	<0.15	<0.50	0.30 0.50	<0.030	<0.030	-	1.90 2.60	0.87 1.13	Bal.		完全焼鈍 900℃~950℃	114.3φ×6.0t×5,000ℓ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	ミルシート値	0.11	0.40	0.45	0.026	0.011	-	2.08	0.95	Bal.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
材質	性状	試験温度	引張性質																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び% GL=50mm	絞り%	破断位置																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
STPA-24	浸漬材	RT (19℃)	24.6	49.8	31.0	76.3	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			24.1	50.1	30.0	74.7	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		470℃	17.7	34.2	30.5	77.5	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			18.1	34.9	30.0	77.0	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	未浸漬材	RT (19℃)	34.7	54.0	29.5	76.6	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			35.5	54.5	29.5	77.3	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		470℃	24.3	46.8	24.0	74.5	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			23.8	45.6	24.0	77.2	"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

大口径 2 1/4Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接

中口径ナトリウム配管の補修溶接

表4 発光分光分析結果

鋼種	内表面からの距離 (mm)	化 学 成 分 (%)					
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
浸漬管材	0*	—	—	—	—	—	—
	0.01	0.074	0.37	0.45	0.05	2.17	0.92
	0.02	0.064	0.36	0.45	0.04	2.16	0.91
	0.03	0.065	0.37	0.45	0.05	2.17	0.92
	0.04	0.067	0.37	0.45	0.05	2.17	0.92
	0.1	0.073	0.37	0.45	0.05	2.18	0.93
	0.29	0.085	0.37	0.45	0.05	2.19	0.94
	0.5	0.089	0.38	0.46	0.05	2.17	0.93
新管材	0*	—	—	—	—	—	—
	0.01	0.079	0.37	0.46	0.03	2.33	0.96
	0.02	0.079	0.36	0.46	0.03	2.32	0.95
	0.03	0.079	0.36	0.46	0.03	2.32	0.94
	0.04	0.078	0.36	0.46	0.03	2.32	0.95
	0.10	0.084	0.36	0.47	0.03	2.34	0.97
	0.36	0.091	0.36	0.47	0.03	2.34	0.97
	0.5	0.092	0.37	0.42	0.03	2.32	0.94
中心部	1.0	0.091	0.36	0.45	0.03	2.29	0.93
	3.0	0.092	0.36	0.46	0.03	2.31	0.93

* 表面は付着スケール残存のため分析不可能

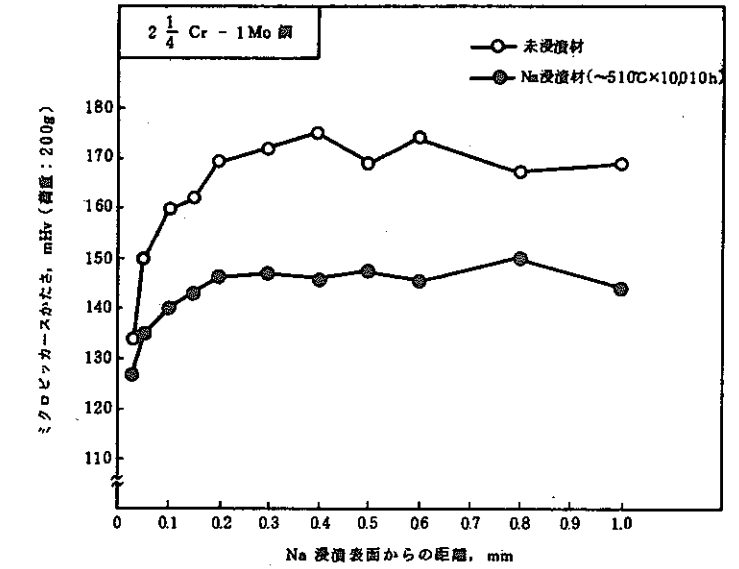


図2 STPA 24 の断面マイクロビッカースかたさ分布 (母材)

表5 マイクロビッカース硬さ測定結果

鋼種	内表面からの距離 (mm)	マイクロビッカース硬さ (荷重200 gr)					
		1	2	3	4	5	平均
浸漬材	0.05	127	121	124	128	127	125
	0.1	125	128	127	135	132	129
	0.2	139	139	139	144	143	141
	0.3	141	145	139	140	148	143
	0.4	145	139	135	139	135	139
	0.5	132	130	140	139	136	135
	0.6	136	136	146	140	143	140
	0.8	139	140	137	143	141	140
	1.0	144	144	145	139	139	142
2.0	139	143	137	139	138	139	
中心部	148	140	140	146	148	144	
未浸漬材	0.05	147	140	138	142	142	142
	0.1	146	142	148	144	148	146
	0.2	157	140	150	148	145	148
	0.3	140	152	145	145	150	146
	0.4	157	157	151	158	158	156
	0.5	148	152	153	156	153	152
	0.6	158	153	156	157	150	155
	0.8	148	150	150	148	148	149
	1.0	148	148	149	146	148	148
2.0	148	150	151	158	157	153	
中心部	154	155	157	156	160	156	

供試材

試験結果 (続き)

		大口径 2 1/4 Cr-1 Mo ナトリウム配管の補修溶接	中口径ナトリウム配管の補修溶接																																				
ナトリウム洗浄条件		未浸漬材+未浸漬材 : (機械仕上げ) } 未浸漬材+浸漬材 : (") } 変形エチルアルコールを 未浸漬材+浸漬材 : (アルコール洗浄) } 浸した布切れで拭き水道 水でリンスし布で拭い自然乾燥	アルコール アルコール+10%水 管内面機械仕上																																				
溶接施工条件	開先形状	内面機械仕上げあり 	内面機械仕上げなし アルコール洗浄 																																				
	開先加工法	機械加工	機械加工																																				
	溶接法	初層 : 手動ティグ溶接 2層以降 : 被覆アーク溶接	手動ティグ溶接																																				
	溶接材料	初層 : TGS-2 CM 2層以降 : CMA-106	TGS-2 CM																																				
	溶接姿勢	全姿勢 (水平固定)	全姿勢 (水平固定)																																				
	アークシールドガス	Ar ガス	Ar ガス																																				
	バックシールドガス	なし	なし																																				
	溶接条件	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>棒径 (φ)</th> <th>電流 (A)</th> <th>電圧 (V)</th> <th>速度 (cm/min)</th> <th>入熱量 (KJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>初層</td> <td>2.0</td> <td>90~110</td> <td>11~12</td> <td>6~8</td> <td>9.~11.5</td> </tr> <tr> <td>2層以降</td> <td>3.2</td> <td>70~120</td> <td>11~13</td> <td>6~8</td> <td>10.5~14.5</td> </tr> </tbody> </table>		棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	初層	2.0	90~110	11~12	6~8	9.~11.5	2層以降	3.2	70~120	11~13	6~8	10.5~14.5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>棒径 (φ)</th> <th>電流 (A)</th> <th>電圧 (V)</th> <th>速度 (cm/min)</th> <th>入熱量 (KJ/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>初層</td> <td>2.0</td> <td>110</td> <td>11</td> <td>7~8</td> <td>8.3~10.4</td> </tr> <tr> <td>2層以降</td> <td>2.0</td> <td>110</td> <td>11</td> <td>6~7</td> <td>10.4~12.1</td> </tr> </tbody> </table>		棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	初層	2.0	110	11	7~8	8.3~10.4	2層以降	2.0	110	11	6~7	10.4~12.1
		棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)																																	
	初層	2.0	90~110	11~12	6~8	9.~11.5																																	
2層以降	3.2	70~120	11~13	6~8	10.5~14.5																																		
	棒径 (φ)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)																																		
初層	2.0	110	11	7~8	8.3~10.4																																		
2層以降	2.0	110	11	6~7	10.4~12.1																																		
予熱・パス間温度	初層 : 50℃以上 2層以降 : 250℃以上	初層 : 50℃以上 2層以降 : 250℃以上																																					
溶接後熱処理	740℃×1Hr炉冷 	700℃×30分炉冷																																					

大口径2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接

中口径ナトリウム配管の補修溶接

表6 溶加材, 溶接棒の化学成分並びに機械的性質

TIG 溶接溶加材									
銘柄	TGS-2CM (神戸製鋼所製)								
径	2.0 mm								
製造番号	5K - 5951								
化学成分	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
	0.08	1.03	0.56	0.014	0.014	-	-	2.36	1.09
被覆ワーク溶接棒									
銘柄	CMA-106 (神戸製鋼所製)								
径	3.2 mm								
製造番号	B - 691								
機械的性質	0.2%耐力 (kg/mm ²)		引張強さ (kg/mm ²)		伸び (%)		熱処理		
	68.8		77.5		20		690℃×1Hr		
化学成分	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
	0.06	0.45	0.25	0.006	0.007	0.05	0.05	2.46	1.06
母材金属	0.06	0.70	0.38	0.009	0.005	-	-	2.31	1.00

表3 溶接材料の化学成分 (%)

TIG 棒	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
TGS 2CM	0.07	0.96	0.65	0.013	0.006	-	-	2.26	1.08

溶加材

非破壊試験

開先面液体浸透探傷試験 : 欠陥なし
 溶接部 " : "
 溶接部放射線透過試験 : JIS 1級合格

溶接部液体浸透探傷試験 : 欠陥なし
 溶接部放射線透過試験 : JIS 1級合格

大口径2¼Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接

中口径ナトリウム配管の補修溶接

試験項目

マクロ・マイクロ組織, 継手引張, 表曲げ, 裏曲げ, 衝撃, 硬さ試験
裏波形状調査

マクロ・マイクロ組織, 継手引張, 表曲げ, 裏曲げ, 硬さ試験

母材, 熱影響部, 溶接金属のマイクロ組織において異常は認められず
未浸漬材と浸漬材の差違および管内面機械仕上げの有無の影響は認められなかった。

マクロ・マイクロ試験の結果, 溶接等の欠陥は認められなかった。
溶接金属, 溶接境界, 熱影響部のマイクロ組織において洗浄方法による違いは認められなかった。

表7 継手引張試験結果

試験片 No	引張試験結果		溶接継手
	引張強さ	破断位置	
JT 1	47.3	母材部	未浸漬材 + 未浸漬材 (管内面機械仕上)
" 2	51.0	"	
" 3	51.2	"	
" 4	52.3	"	
" 5	51.3	未浸漬材 母材部	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面機械仕上)
" 6	50.8	浸漬材側 母材部	
" 7	51.3	"	
" 8	50.5	"	
" 9	51.5	未浸漬材 母材部	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面アルコール洗浄)
" 10	51.3	"	
" 11	51.1	浸漬材側 母材部	
" 12	48.1	"	

表4 継手引張試験結果 (JIS Z 3121 3号試験片)

試験片符号	材質	洗浄方法	引張試験結果	
			引張強さ(kg/mm ²)	破断位置
C5-1	STPA 24	アルコール	52.1	母材部(未浸漬材側)
" 2			49.1	"
C4-1		アルコール90%+水10%	50.6	"
" 2			52.0	母材部(浸漬材側)
C6-1		管内面機械仕上げ	48.5	"
" 2			50.7	"

注) 試験温度 29℃

表8 表曲げ試験結果

試験片 No	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果	溶接継手
TS 1	19 R	180°	良好	未浸漬材 + 未浸漬材 (管内面機械仕上)
" 2	"	"	"	
" 3	"	"	"	
" 4	"	"	"	
" 5	"	"	"	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面機械仕上)
" 6	"	"	"	
" 7	"	"	"	
" 8	"	"	"	
" 9	"	"	"	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面アルコール洗浄)
" 10	"	"	"	
" 11	"	"	"	
" 12	"	"	"	

表5 表曲げ試験結果

試験片符号	材質	洗浄方法	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果
C5-1	STPA 24	アルコール	13 R	"	"
" 2			"	"	"
C4-1		アルコール90%+水10%	"	"	"
" 2			"	"	"
C6-1		管内面機械仕上げ	"	"	"
" 2			"	"	"

表6 裏曲げ試験結果

試験片符号	材質	洗浄方法	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果
C5-1	STPA 24	アルコール	13 R	"	"
" 2			"	"	"
C4-1		アルコール90%+水10%	"	"	"
" 2			"	"	"
C6-1		管内面機械仕上げ	"	"	"
" 2			"	"	"

表9 裏曲げ試験結果

試験片 No	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果	溶接継手
TB 1	19 R	180°	良好	未浸漬材 + 未浸漬材 (管内面機械仕上)
" 2	"	"	"	
" 3	"	"	"	
" 4	"	"	"	
" 5	"	"	"	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面機械仕上)
" 6	"	"	"	
" 7	"	"	"	
" 8	"	"	"	
" 9	"	"	"	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面アルコール洗浄)
" 10	"	"	"	
" 11	"	"	"	
" 12	"	"	"	

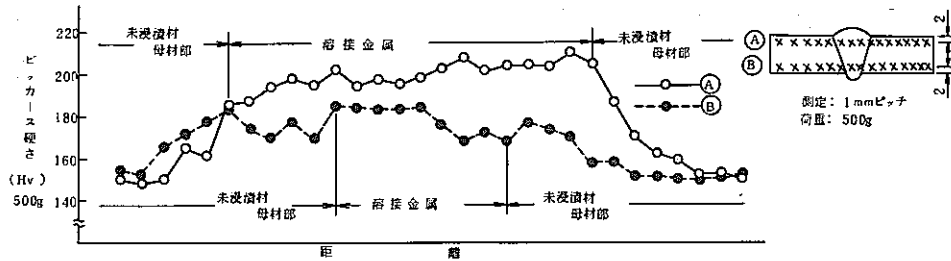
施工法確認試験

試験結果

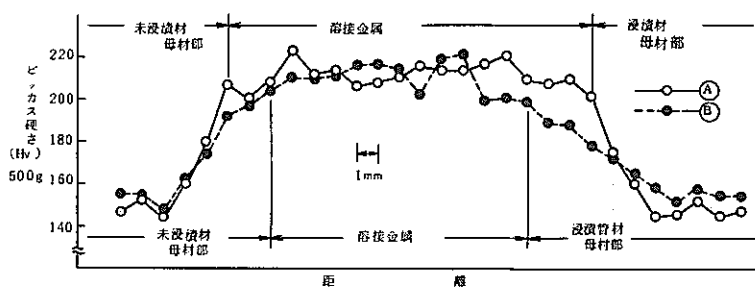
大口径2 1/4Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接

表10 衝撃試験結果

ノッチ位置	未浸漬材+未浸漬材 (管内面機械仕上)			未浸漬材+浸漬材 (管内面機械仕上)			未浸漬材+浸漬材 (管内面アルコール洗浄)		
	試験片 No	吸収エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験片 No	吸収エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験片 No	吸収エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
溶接金属部	J1-1	12.1	20	J1-19	12.1	19	J1-37	10.7	17
	2	11.2	15	20	9.5	23	38	13.0	12
	3	13.0	13	21	11.8	18	39	11.2	19
	4	9.5	24	22	10.4	22	40	12.4	20
	5	11.8	20	23	10.9	16	41	10.1	28
	6	12.4	12	24	9.2	33	42	8.6	29
未浸漬材側 熱影響部	7	18.4	0	25	21.1	0	43	19.5	0
	8	20.6	0	26	15.3	26	44	19.5	0
	9	18.4	0	27	19.0	0	45	23.8	0
	10	13.9	29	28	16.8	17	46	19.3	0
	11	20.3	0	29	20.6	0	47	18.7	0
	12	18.2	0	30	19.0	0	48	19.0	0
浸漬材側 熱影響部	13	19.5	0	31	21.4	0	49	23.3	0
	14	19.3	0	32	21.4	0	50	23.8	0
	15	20.6	0	33	19.8	0	51	21.4	0
	16	24.7	0	34	21.4	0	52	21.1	0
	17	22.1	0	35	22.6	0	53	24.0	0
	18	22.4	0	36	21.6	0	54	23.3	0



(c) 未浸漬材+未浸漬材 (管内面機械仕上) の硬さ試験結果 (JH1)



(b) 未浸漬材+浸漬材 (管内面機械仕上) の硬さ試験結果 (JH3)

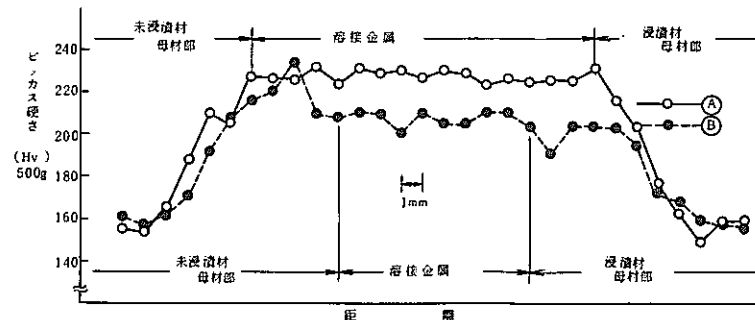


図1(a) 未浸漬材+浸漬材 (管内面アルコール洗浄) の硬さ試験結果 (JH5)

中口径ナトリウム配管の補修溶接

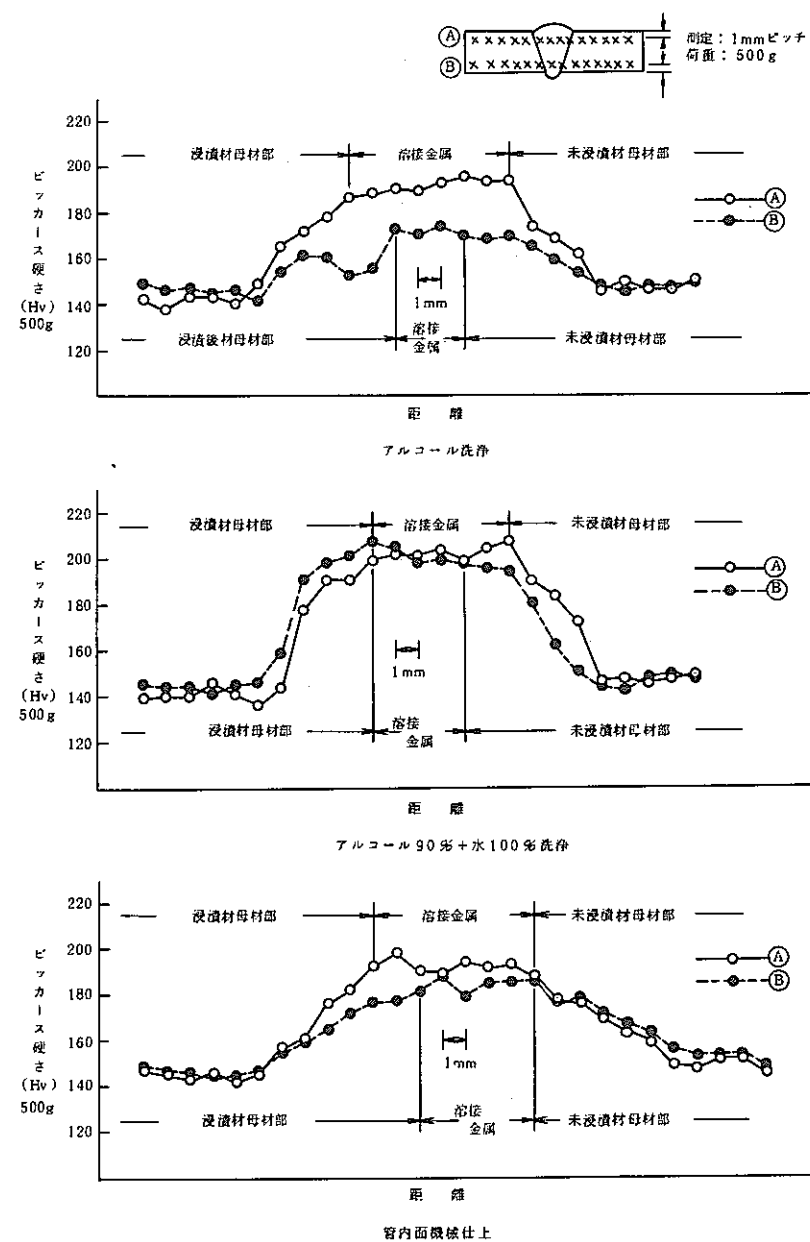


図3 STPA 24 の硬さ試験結果

表7 溶接金属の化学成分

母材 (TIG母接)	TP No	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	洗浄方法
STPA 24 (TGS 2CM)	C-4	0.067	0.44	0.77	0.016	0.005	-	2.19	1.11	アルコール90%+水10%
	C-5	0.056	0.42	0.74	0.017	0.008	-	2.20	1.08	アルコール
	C-6	0.056	0.41	0.71	0.017	0.009	-	2.16	1.08	管内面機械仕上

(当所分析値)

施工法確認試験

試験結果 (続き)

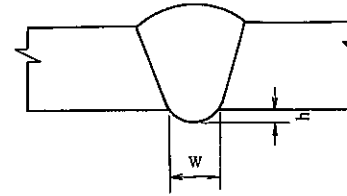
大口徑 2¼Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接

中口径ナトリウム配管の補修溶接

施工法確認試験 (続き)

表 11 裏波形状寸法調査結果

試験片記号	裏波形状		溶接姿勢 ^{*1}	溶接継手
	高さ h (mm)	幅 W (mm)		
JH 1	2.0	7.2	下向溶接	未浸漬材 + 未浸漬材 (管内面機械仕上)
2	0.4	6.3	上向溶接	
3	1.6	7.2	下向溶接	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面機械仕上)
4	1.3	7.9	上向溶接	
5	1.8	7.3	下向溶接	未浸漬材 + 浸漬材 (管内面アルコール洗浄)
6	1.1	6.3	上向溶接	



注) *1 試験採取箇所の溶接姿勢を示す。

試験項目

常・高温引張試験

疲れ試験

常・高温引張試験

継手性能試験

試験結果

表 12 溶接継手の引張試験結果

溶接リング No. ^{*1}	試験片 マーク	試験温度 (℃)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	破断 位置 ^{*2}	破断 状況 ^{*3}	降伏比 σ0.2/σB
N5×N5	PT-1 4	R.T	36.2	56.6	14	72	N	良	0.64
			34.8	56.1	14	75	N	良	0.62
N13×O3	7 10	R.T	34.9	54.6	15	74	N	良	0.64
			33.1	54.5	15	76	N	良	0.61
N18×O8	13 16	R.T	32.7	53.8	16	76	O	良	0.61
			35.1	54.6	16	74	N	良	0.64
N5×N5	PT-2 5	340	31.4	48.5	10	70	N	良	0.65
			33.3	47.0	12	71	N	良	0.71
N13×O3	8 11	340	28.5	45.3	13	72	N	良	0.63
			31.2	47.9	12	70	N	良	0.65
N18×O8	14 17	340	28.7	44.5	14	74	O	良	0.64
			29.9	44.4	13	72	O	良	0.67
N5×N6	PT-3 6	470	32.3	46.0	13	72	N	良	0.70
			28.8	45.3	12	73	N	良	0.64
N13×O3	9 12	470	28.3	44.9	13	72	N	良	0.63
			26.1	43.3	14	72	N	良	0.60
N18×O8	15 18	470	29.2	45.1	13	72	O	良	0.65
			27.9	44.6	14	73	O	良	0.63

- 1 N5×N6 : 未浸漬材×未浸漬材 (内面機械仕上げあり)
- N13×O3 : 未浸漬材×浸漬材 (内面機械仕上げあり)
- N18×O8 : 未浸漬材×浸漬材 (内面機械仕上げなし)
- 2 GL=5D
- 3 破断位置は全て母材側質部
 N : 未浸漬材部 O : 浸漬材部

表 8 継手引張試験結果 (JIS Z 2201 12号試験片)

試験片番号	材質	試験温度	洗浄方法	引張強さ (kg/mm ²)	試験結果 破断位置
C8-1	STPA 24	RT (29℃)	アルコール	48.8	母材部 (浸漬材側)
2		"		47.0	母材部 (未浸漬材側)
3		470℃		43.8	"
4		"		42.3	"
C1		RT (29℃)	アルコール90% + 水 10%	47.6	"
2		"		47.8	"
3		470℃		42.7	"
4		"		38.0	"
C9-1		RT (29℃)	管内面機械仕上	48.9	母材部 (浸漬材側)
2		"		48.4	"
3		470℃		38.2	母材部 (未浸漬材側)
4		"		38.0	母材部 (浸漬材側)

大口径 2 1/4 Cr-1 Mo ナトリウム配管の補修溶接

中口径ナトリウム配管の補修溶接

継手性能試験

試験結果 (続き)

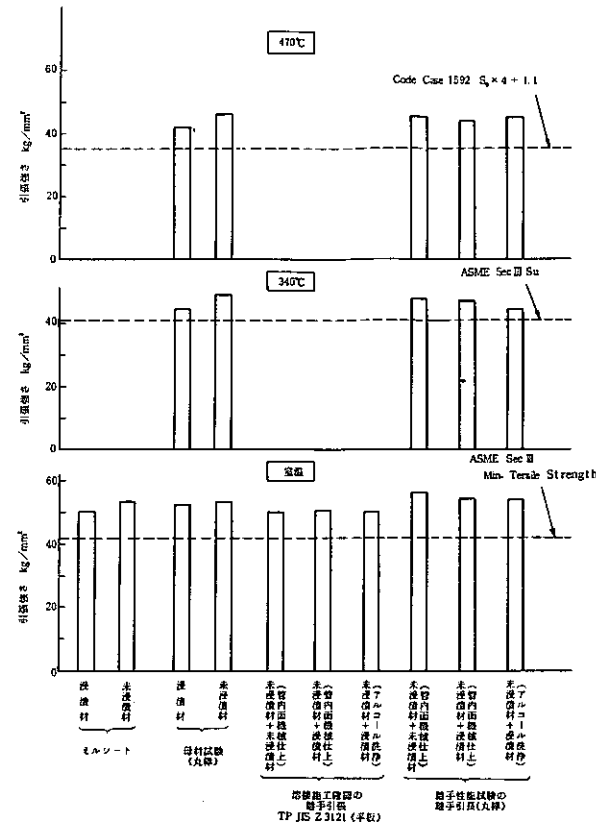


図2 各種材料の引張強さ

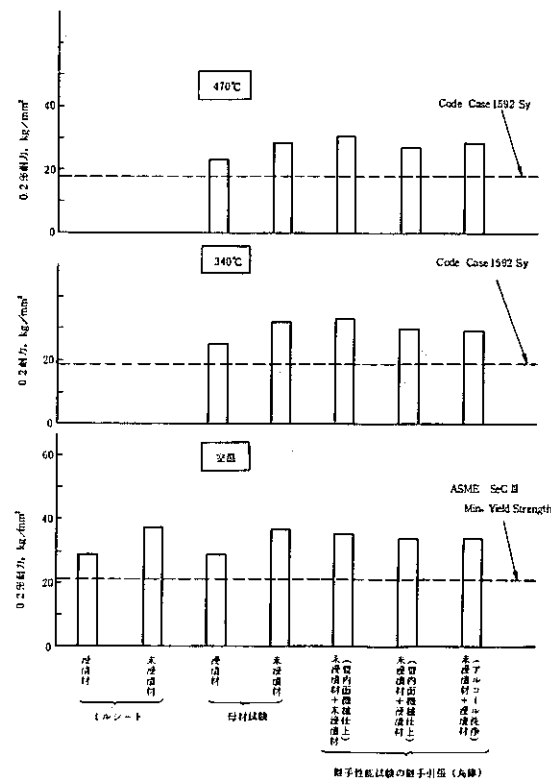


図3 各種材料の0.2%耐力

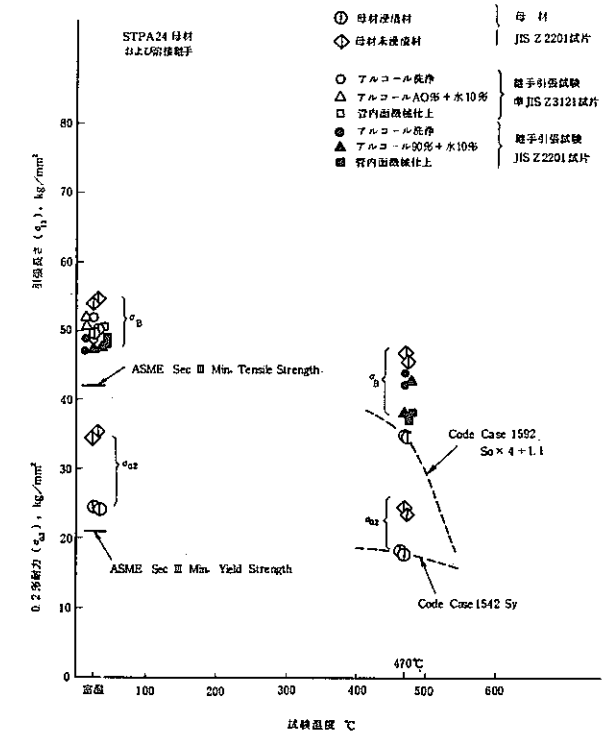


図4 STPA20 母材と溶接継手の引張特性

継手性能試験

試験結果(続き)

表13 低サイクル疲れ試験結果の一覧

試験温度: 470°C
波 形: 完全両振り三角波
径ひずみ速度: 0.05%/sec

母材継手の区別	浸漬未浸漬の区別	試験片番号	全ひずみ $\Delta \epsilon_i$ (%)	周波数 (Hz)	所定の繰り返し数での負荷ひずみ代表値			所定の繰り返し数 (cycle)	破断繰り返し数 N_f (cycle)
					$\Delta \epsilon_i$ (%)	$\Delta \epsilon_p$ (%)	$\Delta \epsilon_e$ (%)		
母材	浸漬材	○1	2.221	0.025	2.221	1.814	0.407	303	606
		○4	1.957	0.0286	1.957	1.572	0.385	225	449
		○2	1.684	0.0333	1.684	1.309	0.375	384	767
		○3	1.168	0.05	1.168	0.819	0.349	523	1,046
		○5	0.911	0.0667	0.911	0.586	0.325	1,429	2,857
	未浸漬材	N6	2.213	0.025	2.213	1.826	0.387	293	585
		N4	1.950	0.0286	1.950	1.571	0.379	316	631
		N8	1.680	0.0333	1.680	1.326	0.354	326	651
		N7	1.167	0.05	1.167	0.823	0.344	537	1,073
		N5	0.912	0.0667	0.912	0.584	0.328	1,057	2,113
継手	浸漬材と未浸漬材	NO1	2.250	0.025	2.250	1.786	0.464	144	287
		NO4	1.983	0.0286	1.983	1.534	0.449	245	489
		NO2	1.718	0.0333	1.718	1.285	0.433	340	679
		NO3	1.201	0.05	1.201	0.794	0.407	686	1,372
		NO5	0.937	0.0667	0.937	0.548	0.389	910	1,820
	未浸漬材	NN1	2.239	0.025	2.239	1.788	0.451	247	494
		NN4	1.996	0.0286	1.996	1.526	0.470	262	523
		NN2	1.724	0.0333	1.724	1.260	0.464	348	695
		NN3	1.214	0.05	1.214	0.774	0.440	537	1,073

付記: N_f は N_{25} とした。

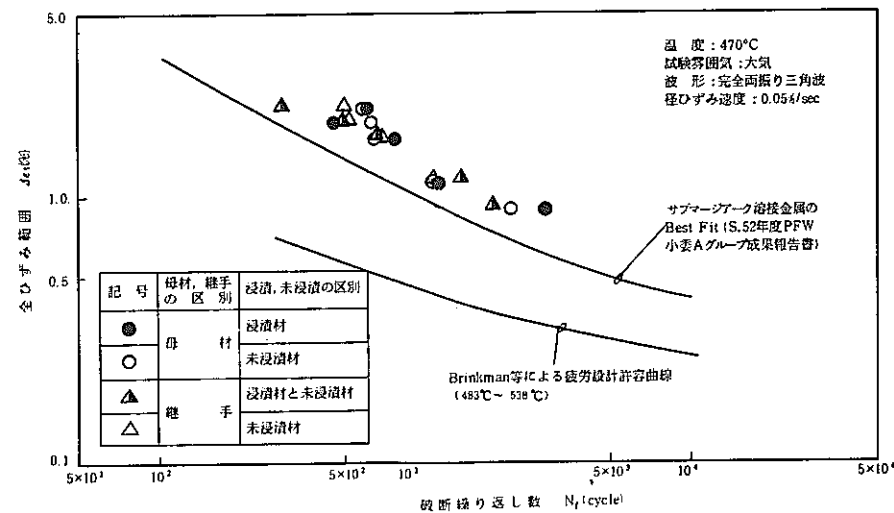


図4 低サイクル疲れ試験結果(全ひずみ範囲と破断繰り返し数の関係)

	大口径 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo ナトリウム配管の補修溶接	中口径ナトリウム配管の補修溶接
<p>結論</p>	<p>(1) 浸漬母材(モノメタリックループ)および未浸漬母材について、金属学的試験を実施した結果、浸漬材の管内表面で約0.1mm以内に脱炭が認められたが、未浸漬材にも同様に認められたことから、製作時に生じたものと考えられる。</p> <p>(2) 未浸漬材と浸漬材の溶接性の差および開先の管内面仕上げの有無の影響を検討するため、継手の組合せとして、①未浸漬材と未浸漬材(管内面機械仕上げ)、②未浸漬材と浸漬材(管内面機械仕上げ)③未浸漬材と浸漬材(アルコール洗浄のみ、管内面機械仕上げ)の3種を用いて、溶接施工法および継手性能の調査を行った。その結果、いずれの溶接においても良好な溶接継手が得られ、未浸漬材と浸漬材の有意差および管内面機械仕上げの有無の影響は認められなかった。</p> <p>(3) 母材および溶接継手の静的引張試験の結果、未浸漬母材は浸漬母材とチャージが異なり、結果として引張強さ、0.2%耐力とも高い値を示した。又溶接継手においては洗浄条件の違いによる影響は認められなかった。</p> <p>(4) 他データと対応させた場合、常温引張強さはASME Sec. III Min. Tensile Strengthを満足し、高温340℃ではASME Sec. III Su値を満足した。又高温470℃の引張強さについては、C.C.1592 Su\times4\div1.1値を満足した。一方常温の0.2%耐力は、ASME Sec. III Yield Strengthを、高温340℃、470℃ではC.C.1592 Sy 値を満足した。</p>	<p>(1) 母材調査の結果、長時間のNa浸漬(バイメタリックループ)により、STPA24管内表面に脱炭(SUS304には浸炭)が認められ、また管内表面にはNa浸漬による沈着物が認められた。</p> <p>(2) 浸漬材の機械的性質は未浸漬材に比べて、STPA24では強度が若干低下する傾向を示した。これは主として長時間加熱履歴によると考えられる。</p> <p>(3) 上記素材を用いた溶接性試験の結果、浸漬表面を残した2洗浄条件(アルコール100%とアルコール90%+水10%)及び管内面機械仕上げにより完全に管内面削除した開先条件で溶接しても、溶接性及び機械的性質の差は認められず、いずれにおいても良好な結果が得られた。</p> <p>(4) 引張強さおよび0.2%耐力を設計基準と比較した場合、浸漬母材の高温引張強さ、0.2%耐力はC.C. 1592\times4\div1.1値およびSy値に近い値を示すものがあったが、溶接継手はいずれにおいてもASME Sec IIIおよびC.C. 1592 So\times4\div1.1を満足するものであった。</p>
<p>まとめ</p>	<p>2$\frac{1}{4}$Cr-1Mo鋼の試験研究に関しては、溶接施工、溶接性、継手性能(常温及び高温引張性質)に及ぼすナトリウム浸漬の影響は認められなかった。</p>	

		SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査	SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究 (全姿勢, 全自動TIG溶接法)																																																																																													
供試材	母材の組み合わせ	SUS 304 TP (未浸漬材) : 318.5 OD × 6.5 t (12B)	SUS 304 TP (未浸漬材) : 318.5 OD × 6.5 t (12B)																																																																																													
	試験項目	「大口径 SUS 304 配管の補修溶接」の供試材と同じ	(メーカーデータ) 鋼板: 化学分析, 常高温 (425°C) 引張, 硬さ, 結晶粒度 清浄度, 組織, UT, PT 等 鋼管: 化学分析 (溶接金属) 常高温 (425°C) 引張, フェライト 量, 曲げ, 組織, UT, PT, 耐圧, 寸法計測等																																																																																													
	試験結果		<p>表1 鋼板の化学成分 (メーカーデータ)</p> <p style="text-align: right;">(wt%)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>鋼種</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Co</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>規格</td> <td>0.04 ~0.08</td> <td>1.00 以下</td> <td>2.00 以下</td> <td>0.040 以下</td> <td>0.030 以下</td> <td>8.00 ~10.50</td> <td>18.00 ~20.00</td> <td>0.25 以下</td> </tr> <tr> <td>とりべ分析</td> <td>0.04</td> <td>0.58</td> <td>0.90</td> <td>0.029</td> <td>0.004</td> <td>8.95</td> <td>18.70</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>製品分析</td> <td>0.04</td> <td>0.57</td> <td>0.90</td> <td>0.028</td> <td>0.003</td> <td>8.98</td> <td>18.65</td> <td>0.20</td> </tr> </tbody> </table> <p>表2 鋼板の機械的性質 (メーカーデータ)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>鋼種</th> <th>0.2%耐力 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び %</th> <th>ブリネル 硬さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>規格</td> <td>21 以上</td> <td>53 以上</td> <td>40 以上</td> <td>187 以下</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">試験</td> <td>28.9</td> <td>67.1</td> <td>65.3</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>23.3</td> <td>64.4</td> <td>66.7</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">(丸棒 60mmφ, G.L.30mm)</p> <p>表3 鋼管の寸法記録</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">外径 (mm)</th> <th colspan="2">円周 (mm)</th> <th colspan="2">厚さ (mm)</th> <th rowspan="2">長さ (mm)</th> <th rowspan="2">曲り (mm)</th> </tr> <tr> <th>最大~最小</th> <th>差</th> <th>最大~最小</th> <th>円周差</th> <th>母材</th> <th>ビード部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>規格</td> <td>(±1%) 321.68 ~315.32</td> <td>6.36</td> <td>(±0.4%) 1004.09 ~996.09</td> <td>8</td> <td>(+20% -0%) 6.5~7.8</td> <td>6.0以上</td> <td>(+10% -0%) 5010~5000</td> <td>(1/1000) 5</td> </tr> <tr> <td>A端</td> <td>318.1 ~317.5</td> <td>0.6</td> <td>1001</td> <td rowspan="2">1</td> <td>7.13</td> <td>6.65</td> <td rowspan="2">5007</td> <td rowspan="2">3.5</td> </tr> <tr> <td>B端</td> <td>318.3 ~315.5</td> <td>2.8</td> <td>~1000</td> <td>7.15</td> <td>6.53</td> </tr> </tbody> </table>	鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	規格	0.04 ~0.08	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	0.25 以下	とりべ分析	0.04	0.58	0.90	0.029	0.004	8.95	18.70	0.21	製品分析	0.04	0.57	0.90	0.028	0.003	8.98	18.65	0.20	鋼種	0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	ブリネル 硬さ	規格	21 以上	53 以上	40 以上	187 以下	試験	28.9	67.1	65.3	165	23.3	64.4	66.7	150		外径 (mm)		円周 (mm)		厚さ (mm)		長さ (mm)	曲り (mm)	最大~最小	差	最大~最小	円周差	母材	ビード部	規格	(±1%) 321.68 ~315.32	6.36	(±0.4%) 1004.09 ~996.09	8	(+20% -0%) 6.5~7.8	6.0以上	(+10% -0%) 5010~5000	(1/1000) 5	A端	318.1 ~317.5	0.6	1001	1	7.13	6.65	5007	3.5	B端	318.3 ~315.5	2.8	~1000	7.15
鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co																																																																																								
規格	0.04 ~0.08	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	0.25 以下																																																																																								
とりべ分析	0.04	0.58	0.90	0.029	0.004	8.95	18.70	0.21																																																																																								
製品分析	0.04	0.57	0.90	0.028	0.003	8.98	18.65	0.20																																																																																								
鋼種	0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	ブリネル 硬さ																																																																																												
規格	21 以上	53 以上	40 以上	187 以下																																																																																												
試験	28.9	67.1	65.3	165																																																																																												
	23.3	64.4	66.7	150																																																																																												
	外径 (mm)		円周 (mm)		厚さ (mm)		長さ (mm)	曲り (mm)																																																																																								
	最大~最小	差	最大~最小	円周差	母材	ビード部																																																																																										
規格	(±1%) 321.68 ~315.32	6.36	(±0.4%) 1004.09 ~996.09	8	(+20% -0%) 6.5~7.8	6.0以上	(+10% -0%) 5010~5000	(1/1000) 5																																																																																								
A端	318.1 ~317.5	0.6	1001	1	7.13	6.65	5007	3.5																																																																																								
B端	318.3 ~315.5	2.8	~1000		7.15	6.53																																																																																										

オーステナイト系ステンレス鋼管の自動溶接試験

SUS 304 鋼管補修溶接試験

2 1/4Cr-1Mo 鋼管の自動 TIG 溶接におけるバックシールドの必要性の検討

SUS 304 TP (未浸漬材) : 609.6 OD × 9.5 t (24B)

SUS 304 TP (未浸漬材) (12B Sch 20S) - SUS 304 TP (未浸漬材) (12B Sch 20S)
 SUS 304 TP (浸漬材) (12B Sch 20S) - SUS 304 TP (未浸漬材) (12B Sch 20S)
 12B Sch 20S : 318.5 OD × 6.5 t

STPA 24 (浸漬材) : 318.5 OD × 10.3 t (12B Sch 40)

(浸漬材履歴)

ループ : 大洗工学センターナトリウム機器構造試験ループ

(浸漬材履歴)

ループ : 大洗工学センターナトリウム機器構造試験ループ

(メーカーデータ) 鋼板 : 化学分析, 常高温 (425°C) 引張, 硬さ, 結晶粒度, 清浄度組織, UT, PT
 鋼管 : 化学分析 (溶接金属) 常高温 (425°C) 引張, フェライト量, 曲げ, 組織, UT, PT, 耐圧, 寸法計測等

未浸漬材は「大口径 SUS 304 ナトリウム配管の補修溶接」の供試材と同じ

表1 供試鋼管の化学成分 (Wt%)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	Al
0.10	0.47	0.37	0.017	0.014	2.16	0.92	0.015	0.031	0.006

表1 鋼板の化学成分 (メーカーデータ)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co
規格	0.04 ~0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	≤0.25
とりべ分析	0.05	0.60	1.12	0.030	0.007	9.05	18.70	0.20
製品分析	0.05	0.61	1.11	0.030	0.007	9.05	18.70	0.20

表2 鋼板の機械的性質 (メーカーデータ)

	0.2%耐力 (kg/cm ²)	引張強さ (kg/cm ²)	伸び (%)	ブリネル 硬さ
規格	≥21	≥53	≥40	≤187
試験	28	64	63	151
	29	64	62	151

(JISZ 2201 14号B試験片)

表3 管の機械的性質 (メーカーデータ)

	母材部			溶接部		
	0.2%耐力 (kg/cm ²)	引張強さ (kg/cm ²)	伸び (%)	引張強さ (kg/mm ²)	自由曲げ	側曲げ
規格	≥21	≥53	≥35	≥53	省令 15条	省令 16条
試験値	32.3	61.9	62.4	60.3	良	良
	32.4	62.0	63.0	60.7	良	良

(丸棒試験片φ6.0 GL 30.0)

表4 管の寸法記録 (メーカーデータ)

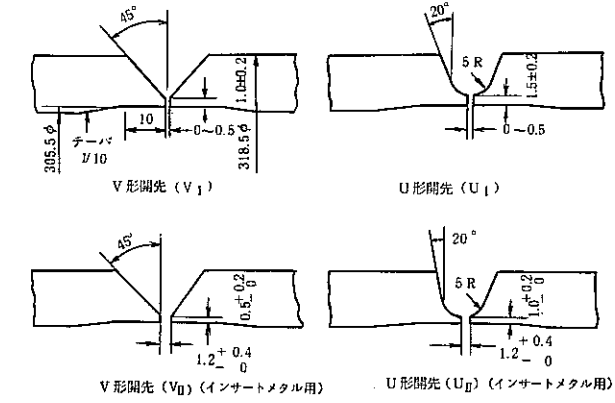
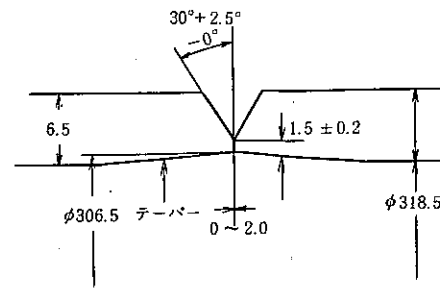
	真円度	周 長 (mm)		厚 さ (mm)			長 さ (mm)	曲 り (mm)
		最大 ~ 最小 (±0.4%)	周長差	ビード部	ビード部近傍	母材部		
規格	9.1mm (1.5%)	1922.7 ~ 1907.5 (±0.4%)	4.0	11.40 ~ 9.50	11.40 ~ 9.00	11.40 ~ 9.5 (±20%)	5010 ~ 5000 (±10%)	5.0 (1/1000)
A端 (0.3%)	1.7mm	1915 ~ 1913	2.0	10.97	10.80 ~ 10.68	11.02 ~ 10.91	5009	2.5
B端 (0%)	0			10.59	10.41 ~ 10.59	10.88 ~ 10.80		

SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査

SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究 (全姿勢, 全自動TIG溶接法)

溶接施工条件

開先形状



開先加工法

機械加工法

機械加工法

溶接方法

自動TIG, MIG溶接

自動TIG溶接

溶接材料

WEL TIG 308 FR (φ1.2)

ワイヤ: TGS-308N (φ1.2) インサートメタル: 308L

溶接姿勢

下向

全姿勢 (管水平固定)

アークシールドガス

Ar (TIG) Ar + 2% O₂ (MIG)

Ar ガス

バックシールドガス

有

有

溶接条件

表1 TIG溶接条件

溶接手順	パス数	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	ワイヤ送給 (cm/min)	溶接速度 (cm/min)	アークタイム (min)	入熱量 (KJ)	その他
4パス 3層	1	180	11	なし	11	8' 54"	10.8	シールドガス: Ar 15 ℓ/min
	2	160	11	50	11	9' 18"	9.6	
	3	180	11	52	14	7' 10"	8.5	予熱・パス間温度: 150°C以下
	4	180	11	27	14	7' 13"	8.5	

溶接機: AIRCO DC/AC HELIWELDER

表2 MIG溶接条件

溶接手順	パス数	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	ベース電圧 (V)	ピーク電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	アークタイム (min)	入熱量 (KJ)	その他
1パス 1層	1	250	26	32	50	46	2' 10"	8.5	パルス周波数: 100 Hz 電流域: normal 側 シールドガス: Ar + 2% O ₂ 20 ℓ/min 予熱: なし

溶接機: AIRCO ORBIMATIC PA-3

表4 適正溶接施工条件の例 (全姿勢自動TIG溶接法)

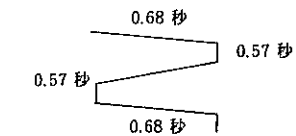
開先状況	パス数	溶接電流				溶接速度 (cm/min)	ワイヤ* 送給速度 (cm/min)	オシレート**	入熱量 (J/cm)
		Ip (A)	Ib (A)	平均 (A)	パルス 周期 (Hz)				
	1	105	75	90	1.5	8.5	無	無	6,000
	2	150	80	115	1.5	7.0	65 ~ 75	無	9,400
インサート: EBウエルド インサート 3.2φ	3	180	80	130	1.5	5.0	55 ~ 65	有 (0.4 Hz)	16,000

* フィラワイヤ: TGS-308N (神鋼) 1.2φ ** 両端停止 0.57秒

○予熱: なし

※ オシレートは最終層のみ

オシレートパターン: 両端停止 (0.57秒)
0.4 Hz (24回/分)



溶加材

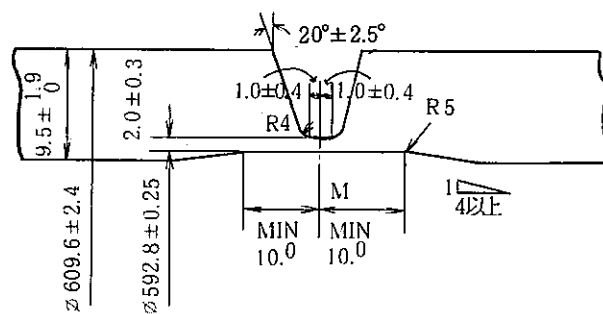
表3 溶接材料の化学成分 (%) と引張試験結果 (Wt %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	引張強さ (kg/mm ²)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
WEL MIG 308 FR ワイヤ	0.063	0.48	1.53	0.020	0.004	9.68	20.30	---	---	---	---
溶着金属 TIG	0.051	0.50	1.61	0.022	0.005	9.61	20.15	70.6	50.2	47.2	58.4

表5 円周溶接用溶加材の化学成分 (メーカーデータ) (Wt %)

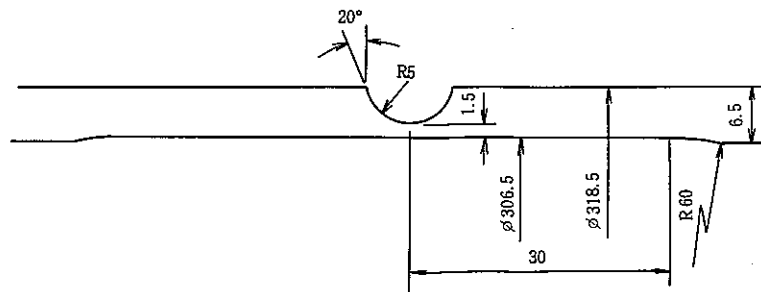
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Nb	Co	N
ワイヤ規格 Y 308	0.08	1.0	0.60	0.030	0.030	9.0	19.5	---	---	---
ワイヤ TGS-308N	0.074	1.62	0.21	0.028	0.002	10.38	19.82	0.029	0.008	---
溶着金属	0.070	1.55	0.24	0.028	0.002	10.08	19.63	0.024	---	0.020
インサート メタル308L	0.02	1.70	0.48	0.017	0.017	9.89	20.44	---	0.045	---

オーステナイト系ステンレス鋼管の自動溶接試験

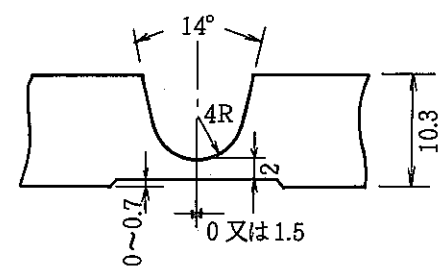


(開先合せ時には管内面修正ジグを用いない場合 (A 継手) と用いた場合 (B 継手) の2条件を行った。)

SUS 304 鋼管補修溶接試験



2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管の自動 TIG 溶接におけるバックシールドの必要性の検討



ベベリングマシン

自動 TIG 溶接

TGS-308N (φ1.2)

全姿勢 (管水平固定)

Ar ガス

Ar ガス

機械加工法

自動 TIG 溶接

WEL MIG 308FR (φ1.2)

下 向

Ar ガス

Ar ガス

機械加工法

自動 TIG 溶接

TGS-2CM (φ1.2)

全姿勢 (管水平固定)

Ar ガス

Ar ガス有, 無

表5 溶接条件 (管水平固定全姿勢溶接)

層数	分割	電 (A) 流		電圧 (V)	速 度 (mm/min)	ワイヤ量 (mm/min)	オシレーション巾 (mm)	オシレーション速度 (mm/sec)	両端停止時間 (sec)	
		ピーク	ベース						右 端	左 端
1	1	190	90	7.5	70	700	-	-	-	-
	2	200	90	7.5	70	850	-	-	-	-
	3	190	80	7.5	78	850	-	-	-	-
	4	190	80	7.5	70	780	-	-	-	-
2	1	200	50	8.0	85	700	-	-	-	-
	2	200	50	8.0	85	700	-	-	-	-
	3	200	50	8.0	94	700	-	-	-	-
	4	200	50	8.0	85	700	-	-	-	-
3	1	190	90	8.0	82	780	5.0	16.7	0.5	0.5
	2	190	90	8.0	82	780	5.0	"	"	"
	3	190	90	8.0	94	780	5.0	"	"	"
	4	190	50	8.0	82	780	5.0	"	0.5	0.5
4	1	190	90	8.0	70	940	7.0	"	0.6	0.6
	2	190	90	8.0	82	940	7.0	"	"	"
	3	190	90	8.0	74	940	7.0	"	"	"
	4	190	80	8.0	74	940	7.0	16.7	0.6	0.6

表1 溶接条件

継手No	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速 度 (mm/min)	ワイヤ量 (mm/min)	オシレーション (mm/min)	両端停止時間	
							右 端	左 端
S001	1	120	10	110	500~800	行わず	行わず	行わず
	2	90	"	"	"	"	"	"
	3	100	"	"	"	"	"	"
	4	100	"	"	"	"	"	"
	5	140	11	"	"	"	"	"
S002	1	140	10	110	"	"	"	"
	2	150	11	"	"	"	"	"
	3	160	"	"	"	"	"	"
	4	"	"	"	"	"	"	"
	5	"	"	"	"	"	"	"
S003	1	140	11	110	"	"	"	"
	2	150	"	"	"	"	"	"
	3	160	"	"	"	"	"	"
	4	"	"	"	"	"	"	"
	5	"	"	"	"	"	"	"
S004	1	140	11	110	"	"	"	"
	2	160	"	"	"	"	"	"
	3	"	"	"	"	"	"	"
	4	"	"	"	"	"	"	"
	5	"	"	"	"	"	"	"

○ 予熱なし

表2 溶接条件

ルート	バック	ギャップ	シールド	溶接位置	パス数	位置および方向	溶接条件						
							電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	ワイヤ送給量 (g/min)	ワイヤ送給速度 (mm/min)	予熱	パス間及び時間 (sec)
0	有	5	5	5	1	12	140	11	7	8	50A ON:0.5sec OFF:0.5sec	200	
					2	-	180	12	5.5	9	-		
					3	-	220	-	-	11	-		
					4	-	-	-	-	-	-		
					5	-	-	-	-	-	-		
	無	5	5	5	5	1	12	110	11	7	8	50A ON:0.5sec OFF:0.5sec	250
						2	-	160	12	8	9	-	
						3	-	200	-	-	11	-	
						4	-	220	-	-	11	-	
						5	-	-	-	-	-	-	

- 1) 走行方向逆転 (数字は時計の時間を示す)
- 2) シールドガス流量: 20ℓ/min 純アルゴン
- 3) Gap 0mmについては全周同一施工条件
- Gap 5mmについては初層のみ全周同一施工条件その他のパスは6時にて条件変更
- 4) 予熱はガスバーナー使用, 温度チェックは温度チェック (198°C 及び 256°C) にて行なった。
- 5) 使用溶接電源: 大阪電機製作所製 ARGON-500
- 6) 溶接機: 固定型自動溶接装置 TIL-P

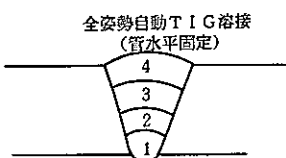
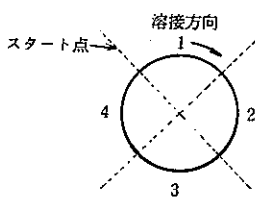


表6 円周溶接用 TIG 溶加材の化学成分 (神鋼データ)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	N	Co
規格 Y 308	≤0.08	≤0.60	1.00 ~ 2.50	≤0.030	≤0.030	9.00 ~ 11.00	19.5 ~ 22.0	-	-	-
TGS-308N	0.074	0.21	1.62	0.028	0.002	10.38	19.82	0.029	-	0.008
溶着金属	0.070	0.24	1.55	0.028	0.002	10.08	19.63	0.024	0.024	-

表2 溶加材の化学成分 (Wt %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
Spec	0.08 max	0.06 max	1.0 to 2.5	0.03 max	0.03 max	9.0 to 11.0	19.5 to 22.0
Let Na VI 1778	0.063	0.48	1.53	0.020	0.004	9.68	20.30

表3 供試溶接材料の化学成分 (Wt %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0.11	0.69	0.33	0.013	0.007	2.33	1.05

		SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査	SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究 (全姿勢, 全自動 TIG 溶接法)																																																																																																																																																																																																																																													
溶接後熱処理		無	無																																																																																																																																																																																																																																													
非破壊試験		放射線透過試験, TIG および MIG 溶接ともスタート部を除いて1級であった。TIG, MIG 溶接ともスタート部に溶込み不良がみられ, MIG 溶接ではスタート部に5ヶ, そのほかに1ヶ, 1mm以下のブローホールがみられた。	浸透探傷試験: 省令第12条に合格 放射線透過試験: (省令第39条) では1部欠陥が発生																																																																																																																																																																																																																																													
施工法確認試験	試験項目	金属学的試験, 継手引張, 表曲げ, 裏曲げ, 衝撃 フェライト量, 硬さ	金属学的試験, 継手引張, 表曲げ, 裏曲げ, 衝撃, 硬さ, 裏波形状 寸法計測																																																																																																																																																																																																																																													
	金属学的試験	マクロ・ミクロ組織において, 溶接方法による差はほとんどみられなかった。	マクロ・ミクロ組織において異常な組織は見られず, 溶接の欠陥も認められなかった。																																																																																																																																																																																																																																													
	化学分析 継手引張 曲げ 衝撃	<p>表4 常温継手引張試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>試験片記号</th> <th>引張強さ (kg/mm²)</th> <th>伸び* (%)</th> <th>破断位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">TIG</td> <td>T JT1-1</td> <td>70.8</td> <td>49.6</td> <td>溶接金属</td> </tr> <tr> <td>T JT1-2</td> <td>69.9</td> <td>48.0</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>T-JT1-3</td> <td>67.8</td> <td>48.4</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">MIG</td> <td>M JT1-1</td> <td>69.4</td> <td>40.7</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>M JT1-2</td> <td>71.2</td> <td>39.9</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>M JT1-3</td> <td>68.0</td> <td>39.1</td> <td>"</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 参考値 G.L. = 25mmとした。</p> <p>表5 曲げ試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>試験片記号</th> <th>表曲げ試験</th> <th>試験片記号</th> <th>裏曲げ試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">TIG</td> <td>T JS-1</td> <td>欠陥なし</td> <td>T JB-1</td> <td>欠陥なし</td> </tr> <tr> <td>T JS-2</td> <td>"</td> <td>T JB-2</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>T JS-3</td> <td>"</td> <td>T JB-3</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">MIG</td> <td>M JS-1</td> <td>"</td> <td>M JB-1</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>M JS-2</td> <td>"</td> <td>M JB-2</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>M JS-3</td> <td>"</td> <td>M JB-3</td> <td>"</td> </tr> </tbody> </table> <p>表6 衝撃試験結果 試験温度: 21°C</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">TIG</th> <th colspan="4">MIG</th> </tr> <tr> <th>試験片記号</th> <th>ノッチ位置</th> <th colspan="2">吸収エネルギー (kg·m)</th> <th>試験片記号</th> <th>ノッチ位置</th> <th colspan="2">吸収エネルギー (kg·m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">T IW</td> <td>1</td> <td>9.0</td> <td>平均</td> <td rowspan="3">M IW</td> <td>1</td> <td>6.3</td> <td>平均</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.0</td> <td>8.8</td> <td>2</td> <td>溶接金属</td> <td>5.7</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8.4</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>6.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">T IB_o</td> <td>1</td> <td>9.3</td> <td></td> <td rowspan="3">M IB_o</td> <td>1</td> <td>9.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.3</td> <td>9.1</td> <td>2</td> <td>境界</td> <td>9.0</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8.6</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>9.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">T IH</td> <td>1</td> <td>10.6</td> <td></td> <td rowspan="3">M IH</td> <td>1</td> <td>9.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.0</td> <td>9.5</td> <td>2</td> <td>熱影響部</td> <td>10.0</td> <td>9.9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>9.4</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>9.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">T IBM</td> <td>1</td> <td>9.9</td> <td></td> <td rowspan="3">M IBM</td> <td>1</td> <td>10.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.7</td> <td>10.0</td> <td>2</td> <td>母材</td> <td>10.2</td> <td>10.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10.4</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>10.0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		試験片記号	引張強さ (kg/mm ²)	伸び* (%)	破断位置	TIG	T JT1-1	70.8	49.6	溶接金属	T JT1-2	69.9	48.0	"	T-JT1-3	67.8	48.4	"	MIG	M JT1-1	69.4	40.7	"	M JT1-2	71.2	39.9	"	M JT1-3	68.0	39.1	"		試験片記号	表曲げ試験	試験片記号	裏曲げ試験	TIG	T JS-1	欠陥なし	T JB-1	欠陥なし	T JS-2	"	T JB-2	"	T JS-3	"	T JB-3	"	MIG	M JS-1	"	M JB-1	"	M JS-2	"	M JB-2	"	M JS-3	"	M JB-3	"	TIG				MIG				試験片記号	ノッチ位置	吸収エネルギー (kg·m)		試験片記号	ノッチ位置	吸収エネルギー (kg·m)		T IW	1	9.0	平均	M IW	1	6.3	平均	2	9.0	8.8	2	溶接金属	5.7	6.0	3	8.4		3		6.0		T IB _o	1	9.3		M IB _o	1	9.0		2	9.3	9.1	2	境界	9.0	9.1	3	8.6		3		9.3		T IH	1	10.6		M IH	1	9.9		2	9.0	9.5	2	熱影響部	10.0	9.9	3	9.4		3		9.9		T IBM	1	9.9		M IBM	1	10.2		2	9.7	10.0	2	母材	10.2	10.1	3	10.4		3		10.0		<p>表6 供試配管母材および溶加材と溶接継手引張強さの比較</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>規定値 (kg/mm²)</th> <th>試験結果 (kg/mm²)</th> <th>試験担当</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>母材</td> <td>≥53</td> <td>60.4, 60.4</td> <td>新日鉄</td> </tr> <tr> <td>溶加材*</td> <td>≥56</td> <td>60.0</td> <td>神鋼</td> </tr> <tr> <td>溶接継手</td> <td>≥53</td> <td>60.1, 60.4 60.3, 59.3</td> <td>三井造船</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 全溶着金属</p> <p>表7 曲げ試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>表曲げ</th> <th>No</th> <th>裏曲げ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15-3</td> <td>良好</td> <td>15-6</td> <td>良好</td> </tr> <tr> <td>15-9</td> <td>"</td> <td>15-11</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>16-3</td> <td>"</td> <td>16-6</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>16-8</td> <td>"</td> <td>16-11</td> <td>"</td> </tr> </tbody> </table> <p>表8 衝撃試験結果 2mmVノッチ 試験温度 23°C</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>テストピース番号</th> <th>吸収エネルギー (kg·m)</th> <th>平均値 (kg·m)</th> <th>切欠位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15-4-1</td> <td>10.71</td> <td rowspan="3">11.12</td> <td rowspan="3">HAZ</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>11.12</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>11.53</td> </tr> <tr> <td>16-4-1</td> <td>11.65</td> <td rowspan="3">11.20</td> <td rowspan="3">HAZ</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>10.59</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>11.35</td> </tr> <tr> <td>15-10-1</td> <td>8.79</td> <td rowspan="3">9.02</td> <td rowspan="3">W.M</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>9.14</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>9.14</td> </tr> <tr> <td>16-10-1</td> <td>8.91</td> <td rowspan="3">9.14</td> <td rowspan="3">W.M</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>9.08</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>9.43</td> </tr> </tbody> </table> <p>試験片採取位置は板厚中央部</p>	項目	規定値 (kg/mm ²)	試験結果 (kg/mm ²)	試験担当	母材	≥53	60.4, 60.4	新日鉄	溶加材*	≥56	60.0	神鋼	溶接継手	≥53	60.1, 60.4 60.3, 59.3	三井造船	No	表曲げ	No	裏曲げ	15-3	良好	15-6	良好	15-9	"	15-11	"	16-3	"	16-6	"	16-8	"	16-11	"	テストピース番号	吸収エネルギー (kg·m)	平均値 (kg·m)	切欠位置	15-4-1	10.71	11.12	HAZ	-2	11.12	-3	11.53	16-4-1	11.65	11.20	HAZ	-2	10.59	-3	11.35	15-10-1	8.79	9.02	W.M	-2	9.14	-3	9.14	16-10-1	8.91	9.14	W.M	-2	9.08	-3
	試験片記号	引張強さ (kg/mm ²)	伸び* (%)	破断位置																																																																																																																																																																																																																																												
TIG	T JT1-1	70.8	49.6	溶接金属																																																																																																																																																																																																																																												
	T JT1-2	69.9	48.0	"																																																																																																																																																																																																																																												
	T-JT1-3	67.8	48.4	"																																																																																																																																																																																																																																												
MIG	M JT1-1	69.4	40.7	"																																																																																																																																																																																																																																												
	M JT1-2	71.2	39.9	"																																																																																																																																																																																																																																												
	M JT1-3	68.0	39.1	"																																																																																																																																																																																																																																												
	試験片記号	表曲げ試験	試験片記号	裏曲げ試験																																																																																																																																																																																																																																												
TIG	T JS-1	欠陥なし	T JB-1	欠陥なし																																																																																																																																																																																																																																												
	T JS-2	"	T JB-2	"																																																																																																																																																																																																																																												
	T JS-3	"	T JB-3	"																																																																																																																																																																																																																																												
MIG	M JS-1	"	M JB-1	"																																																																																																																																																																																																																																												
	M JS-2	"	M JB-2	"																																																																																																																																																																																																																																												
	M JS-3	"	M JB-3	"																																																																																																																																																																																																																																												
TIG				MIG																																																																																																																																																																																																																																												
試験片記号	ノッチ位置	吸収エネルギー (kg·m)		試験片記号	ノッチ位置	吸収エネルギー (kg·m)																																																																																																																																																																																																																																										
T IW	1	9.0	平均	M IW	1	6.3	平均																																																																																																																																																																																																																																									
	2	9.0	8.8		2	溶接金属	5.7	6.0																																																																																																																																																																																																																																								
	3	8.4			3		6.0																																																																																																																																																																																																																																									
T IB _o	1	9.3		M IB _o	1	9.0																																																																																																																																																																																																																																										
	2	9.3	9.1		2	境界	9.0	9.1																																																																																																																																																																																																																																								
	3	8.6			3		9.3																																																																																																																																																																																																																																									
T IH	1	10.6		M IH	1	9.9																																																																																																																																																																																																																																										
	2	9.0	9.5		2	熱影響部	10.0	9.9																																																																																																																																																																																																																																								
	3	9.4			3		9.9																																																																																																																																																																																																																																									
T IBM	1	9.9		M IBM	1	10.2																																																																																																																																																																																																																																										
	2	9.7	10.0		2	母材	10.2	10.1																																																																																																																																																																																																																																								
	3	10.4			3		10.0																																																																																																																																																																																																																																									
項目	規定値 (kg/mm ²)	試験結果 (kg/mm ²)	試験担当																																																																																																																																																																																																																																													
母材	≥53	60.4, 60.4	新日鉄																																																																																																																																																																																																																																													
溶加材*	≥56	60.0	神鋼																																																																																																																																																																																																																																													
溶接継手	≥53	60.1, 60.4 60.3, 59.3	三井造船																																																																																																																																																																																																																																													
No	表曲げ	No	裏曲げ																																																																																																																																																																																																																																													
15-3	良好	15-6	良好																																																																																																																																																																																																																																													
15-9	"	15-11	"																																																																																																																																																																																																																																													
16-3	"	16-6	"																																																																																																																																																																																																																																													
16-8	"	16-11	"																																																																																																																																																																																																																																													
テストピース番号	吸収エネルギー (kg·m)	平均値 (kg·m)	切欠位置																																																																																																																																																																																																																																													
15-4-1	10.71	11.12	HAZ																																																																																																																																																																																																																																													
-2	11.12																																																																																																																																																																																																																																															
-3	11.53																																																																																																																																																																																																																																															
16-4-1	11.65	11.20	HAZ																																																																																																																																																																																																																																													
-2	10.59																																																																																																																																																																																																																																															
-3	11.35																																																																																																																																																																																																																																															
15-10-1	8.79	9.02	W.M																																																																																																																																																																																																																																													
-2	9.14																																																																																																																																																																																																																																															
-3	9.14																																																																																																																																																																																																																																															
16-10-1	8.91	9.14	W.M																																																																																																																																																																																																																																													
-2	9.08																																																																																																																																																																																																																																															
-3	9.43																																																																																																																																																																																																																																															

オーステナイト系ステンレス鋼の自動溶接試験

SUS 304 鋼管補修溶接試験

2 1/4Cr-1Mo 鋼管の自動TIG溶接におけるバックシールドの必要性の検討

無

無

690°C × 1H 炉冷

液体浸透探傷試験：異常は認められなかった。
放射線透過試験：JIS 1級合格

液体浸透探傷試験：省令第12条により合格
放射線透過試験：省令第39条により合格

液体浸透探傷試験：良好であった。
放射線透過試験：良好であった。
但し、バックシールドを行わなかった継手の裏波ビードにはヘリンボーンが検知されたが、ルートギャップの大きい場合には、比較的その発生が少なかった。

金属学的試験，化学分析，継手引張，表曲げ，裏曲げ，フェライト量，硬さ，裏波形状，寸法計測

金属学的試験，継手引張，表曲げ，裏曲げ，硬さ

金属学的試験，化学分析，継手引張，表曲げ，裏曲げ，硬さ，裏波形状，寸法計測

マクロ・マイクロ試験の結果，溶接欠陥等の異常は認められず，いずれも良好であった。

マクロ・マイクロ組織において，異常な組織は見られず，正常であった。

マクロ・マイクロ試験の結果，いずれも正常組織を示し，バックシールドの有無，ルートギャップの大小，溶接位置の相違に関係なく裏波ビードの組織に大差なかった。

表7 化学成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	その他
母材 ミルシート値 (製品分析)	0.05	0.61	1.11	0.030	0.007	9.05	18.70	-	-	Co 0.20
母材 分析値	0.045	0.40	1.12	0.029	0.007	8.8.80	18.6	0.11	0.007	-
溶接材料 (ワイヤ・ミルシート値)	0.074	0.21	1.62	0.028	0.002	10.38	19.82	-	-	Co 0.008 Nb 0.029
溶接金属分析値※1	0.060	0.39	1.45	0.029	0.005	9.85	19.3	<0.05	0.015	-

※1 継手Aより採取
※フェライト量(デロング)：フェライト番号6.2 FN

表8 溶接継手の引張試験結果(JIS Z 3121)

継手種類	試験温度(°C)	溶接姿勢	試験片記号	引張強さ(kg/mm)	破断位置	試験片採取箇所
A継手	室温(12°C)	45°	A2T	64.7	溶接金属	
		225°	A8T	64.0	"	
B継手	室温(12°C)	45°	B2T	64.2	"	
		225°	B8T	63.5	"	
JIS SUS 304TP 規格				≥ 53		

注) 試験片 JIS Z 3121 3号

表9 表曲げ・裏曲げ試験結果

継手種類	試験片	溶接姿勢	試験片記号	曲げ半径	曲げ角度	曲げ試験結果
A継手	表曲げ	45°	A2F	20 R	180°	良好
		225°	A8F	"	"	"
B継手	表曲げ	45°	B2F	"	"	"
		225°	B8F	"	"	"
A継手	裏曲げ	135°	A5R	"	"	"
		315°	A11R	"	"	"
B継手	裏曲げ	135°	B5R	"	"	"
		315°	B11R	"	"	"

表3 引張試験結果

母材の組合せ	試験片番号	引張強さ(kg/mm ²)	破断位置
未浸漬材	A11	64.2	溶接金属
浸漬材	A12	62.4	"
未浸漬材	A21	64.2	"
未浸漬材 + 未浸漬材	A22	61.7	"

表4 曲げ試験結果

母材の組合せ	試験内容	試験片番号	試験結果
未浸漬材	表曲げ	B11	欠陥なし
		B12	"
浸漬材	裏曲げ	C11	"
		C12	"
未浸漬材	表曲げ	B21	"
		B22	"
未浸漬材 + 未浸漬材	裏曲げ	C21	"
		C22	"

表5 衝撃試験結果 (20°C)

母材の組合せ	2mmVノッチ位置	試験片番号	吸収エネルギー(kg-m)	平均値(kg-m)
未浸漬材	(浸漬材) 熱影響部	D11	8.75	7.91
		D12	7.91	
		D13	7.09	
浸漬材 + 未浸漬材	溶接金属	D14	7.91	7.82
		D15	8.33	
		D16	7.22	
浸漬材	(未浸漬材) 熱影響部	D17	8.75	8.94
		D18	8.90	
		D19	9.18	
未浸漬材	(未浸漬材) 熱影響部	D21	8.61	8.66
		D22	8.90	
		D23	8.47	
浸漬材 + 未浸漬材	溶接金属	D24	7.64	7.86
		D25	7.91	
		D26	8.05	
未浸漬材	(未浸漬材) 熱影響部	D27	8.61	8.99
		D28	9.18	
		D29	9.18	

表4 溶接金属の化学成分(Wt%)

継手No.	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	Al
A 1	0.100	0.67	0.33	0.013	0.009	2.21	1.00	0.12	0.030	0.005
A 2	0.092	0.66	0.33	0.012	0.009	2.20	1.00	0.13	0.029	0.006
N 1	0.097	0.66	0.33	0.013	0.009	2.20	0.99	0.11	0.030	0.006
N 2	0.090	0.67	0.33	0.012	0.009	2.20	1.00	0.12	0.029	0.006

表5 溶接継手の引張試験結果

継手No.	試験片No.	引張強さ(kg/mm ²)	破断位置
A 1	1	54.9	母材
	2	55.3	"
A 2	1	53.8	"
	2	55.5	"
N 1	1	54.6	"
	2	55.3	"
N 2	1	55.7	"
	2	54.5	"

表7 溶接継手のシャルピー衝撃吸収エネルギー

継手No.	試験片採取位置	試験片No.	*ノッチ位置	吸収エネルギー(kg-m)			平均値	
				17.42	18.13	19.04		
A 1	C 1	1,2,3	溶接金属	17.42	18.13	19.04	18.20	
		4,5,6	HAZ	23.15	23.15	18.61	21.64	
	C 2	1,2,3	溶接金属	17.42	14.69	18.09	16.73	
		4,5,6	ボンド	19.77	16.99	18.28	18.35	
	C 3	1,2,3	溶接金属	14.60	14.88	17.09	15.52	
		4,5,6	HAZ	19.72	19.00	19.52	19.41	
	C 4	1,2,3	溶接金属	17.85	17.99	17.75	17.86	
		4,5,6	ボンド	17.32	18.04	18.80	18.05	
A 2	C 1	1,2,3	溶接金属	15.11	18.56	15.48	16.38	
		4,5,6	HAZ	21.07	18.52	20.92	20.17	
	C 2	1,2,3	溶接金属	16.33	14.41	12.40	14.38	
		4,5,6	ボンド	19.91	19.86	18.61	19.46	
	C 3	1,2,3	溶接金属	16.42	15.81	19.43	17.22	
		4,5,6	HAZ	20.34	22.95	22.28	21.86	
	C 4	1,2,3	溶接金属	13.31	17.47	8.23	13.00	
		4,5,6	ボンド	21.50	18.90	20.58	20.33	
N 1	C 1	1,2,3	溶接金属	18.71	18.76	18.23	18.57	
		4,5,6	ボンド	17.18	20.68	23.00	20.29	
	C 3	1,2,3	溶接金属	18.71	18.28	18.52	18.50	
		4,5,6	HAZ	20.83	19.91	18.61	19.78	
	C 4	1,2,3	溶接金属	16.42	19.00	19.81	18.41	
		4,5,6	ボンド	17.61	12.13	18.47	16.07	
	N 2	C 1	1,2,3	溶接金属	15.25	15.06	13.40	14.57
			4,5,6	HAZ	20.49	21.02	20.68	20.73
C 2		1,2,3	溶接金属	16.57	17.66	19.09	17.77	
		4,5,6	ボンド	19.38	20.39	22.71	20.83	
C 3	1,2,3	溶接金属	17.42	15.53	14.32	15.76		
	4,5,6	HAZ	20.01	18.37	19.38	19.25		
C 4	1,2,3	溶接金属	19.62	16.52	14.09	16.74		
	4,5,6	ボンド	23.39	20.73	20.73	21.62		

*ノッチ位置は図2.5.7参照

表6 曲げ試験結果

試験	継手	採取位置(時)	曲げ半径	曲げ角度	結果
表曲げ	A 1	3, 12	20 mm	180°	良好
	A 2	"			"
	N 1	"			"
	N 2	"			"
裏曲げ	A 1	12, 3, 6, 9	20 mm	180°	良好
	A 2	"			"
	N 1	"			"
	N 2	"			"

SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査

δ フェライト量

硬さ

表7 溶接金属のフェライト量 (%)

TIG	MIG	測定試験片
5.6, 6.4	6.5, 6.0	マクロ
5.3, 6.0	6.3, 6.3	ミクロ
6.3, 5.5	6.7, 6.0	硬さ
5.9	6.3	平均

○フェライトスコープによる。

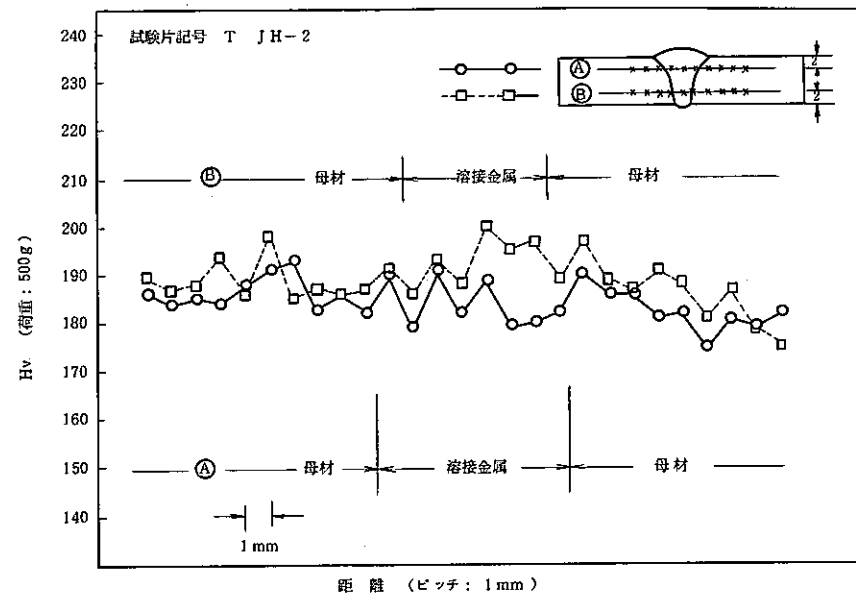


図1 硬さ分布 (TIG)

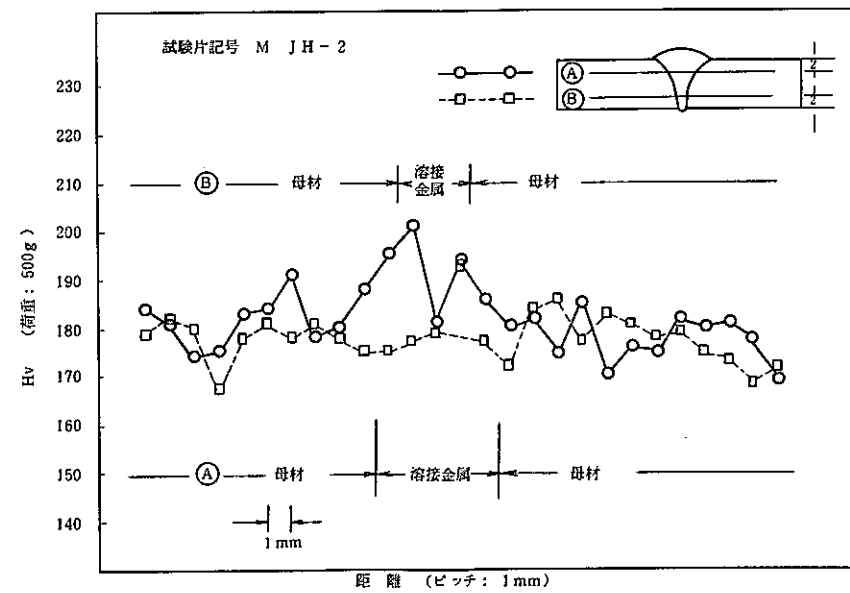


図2 硬さ分布 (MIG)

SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究 (全姿勢, 全自動TIG溶接法)

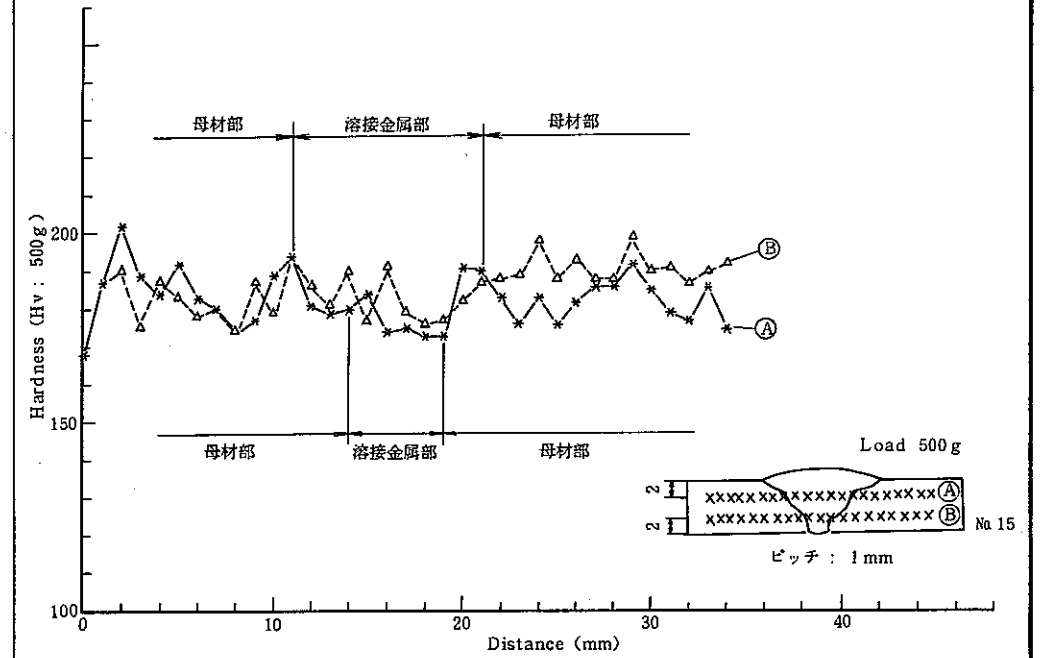


図1 硬さ試験結果 (No.15, U開先, インサートメタル無)

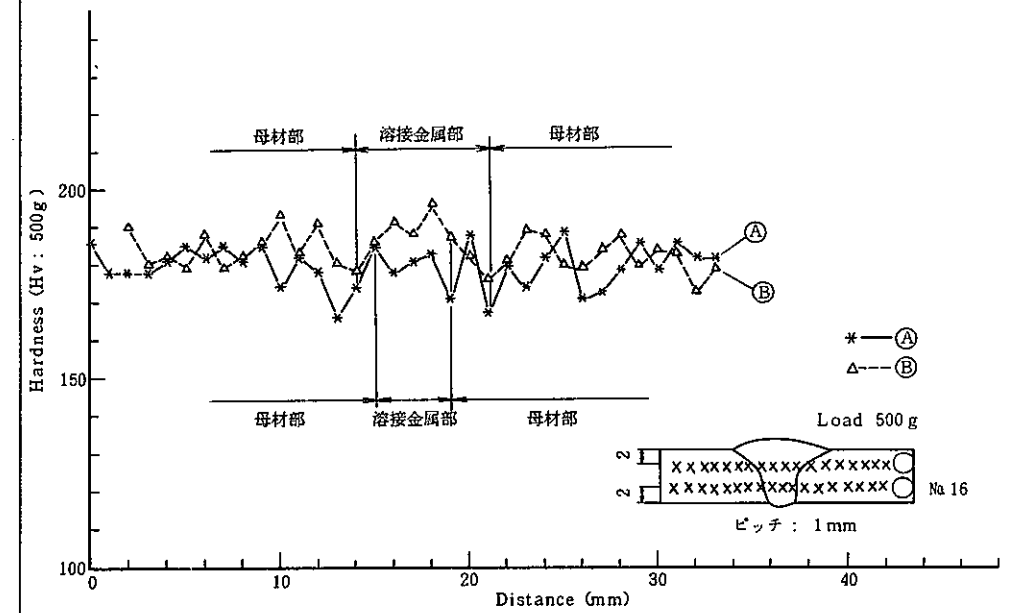


図2 硬さ試験結果 (No.16, V開先, インサートメタル有)

表10 溶接金属のフェライト量測定結果

試験片種類	供試材	符号	測定方法		符号位置	測定要領
			インジケータ	パーマ※1 スコープ		
マクロ試験片	A継手	A0M	7.5%	6.1%		マクロ試験片の表ビード表面で測定
		A2M	7.5%	4.7%		
		A3M	7.5%	5.1%		
		A5M	7.5%	5.9%		
		A6M	7.5%	5.5%		
		A8M	7.5%	5.5%		
		A9M	7.5%	4.8%		
		A11M	7.5%	5.0%		
		B0M	7.5%	4.3%		
		B3M	7.5%	4.3%		
B継手		B6M	7.5%	5.3%		マクロ試験片の表ビード表面で測定
		B9M	7.5%	5.0%		

A 溶接継手の溶接金属の化学分析値よりディロンクによるδフェライト量は6.2FNとなった。

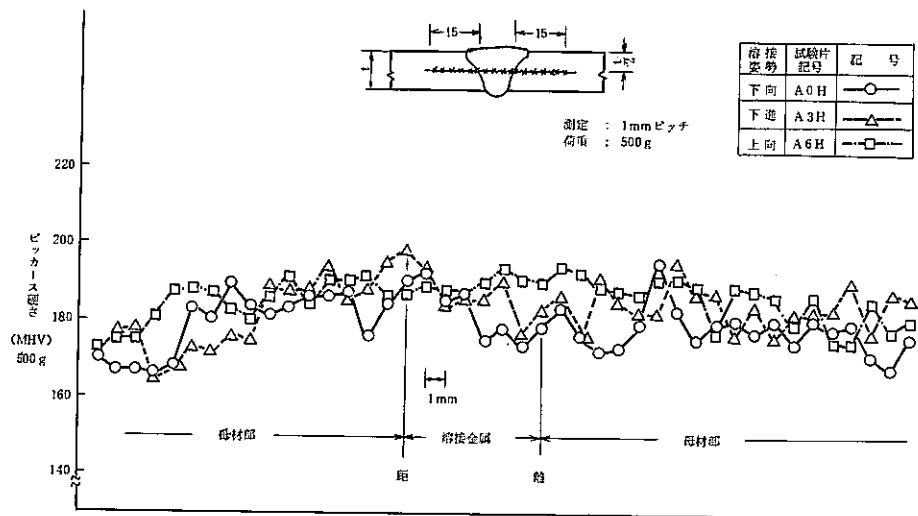


図1 溶接継手の硬さ試験結果 (SUS304 TP, 同継手)

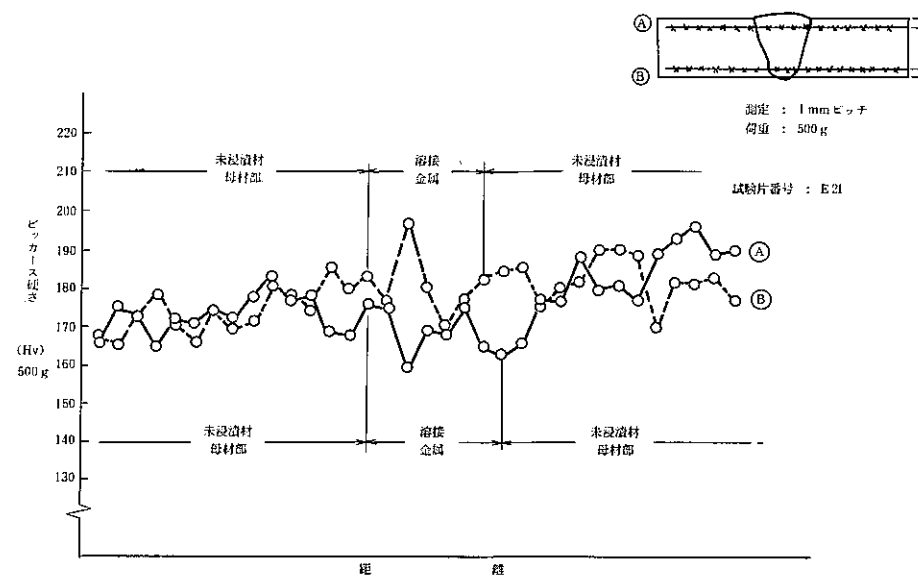


図1 硬さ試験結果 (SUS 304+SUS 27)

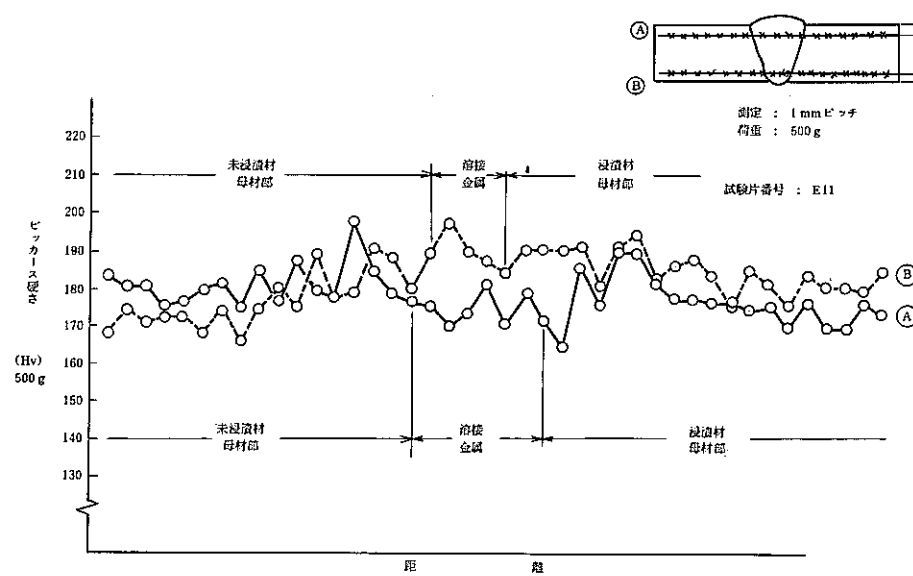


図2 硬さ試験結果 (SUS 304+SUS 27)

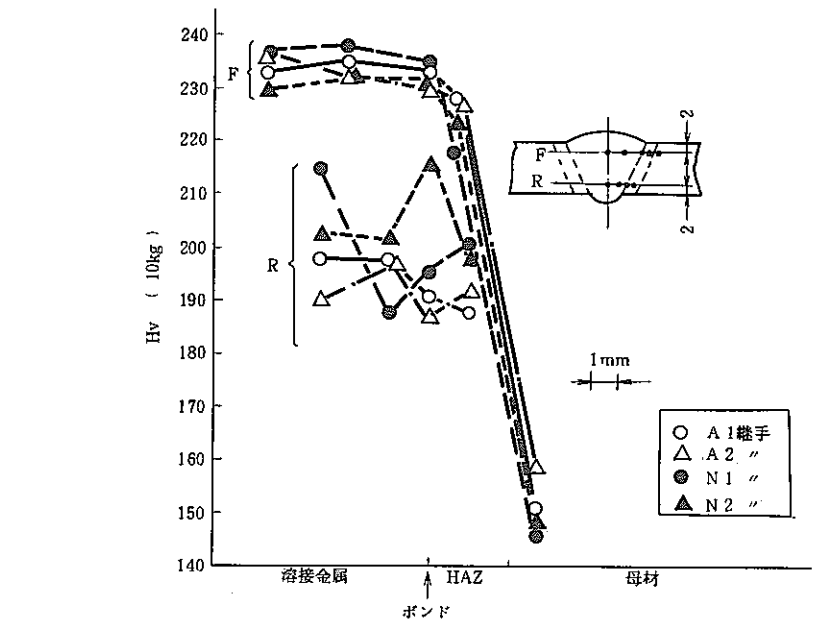


図1 溶接継手の硬さ (試験片採取位置: 12時)

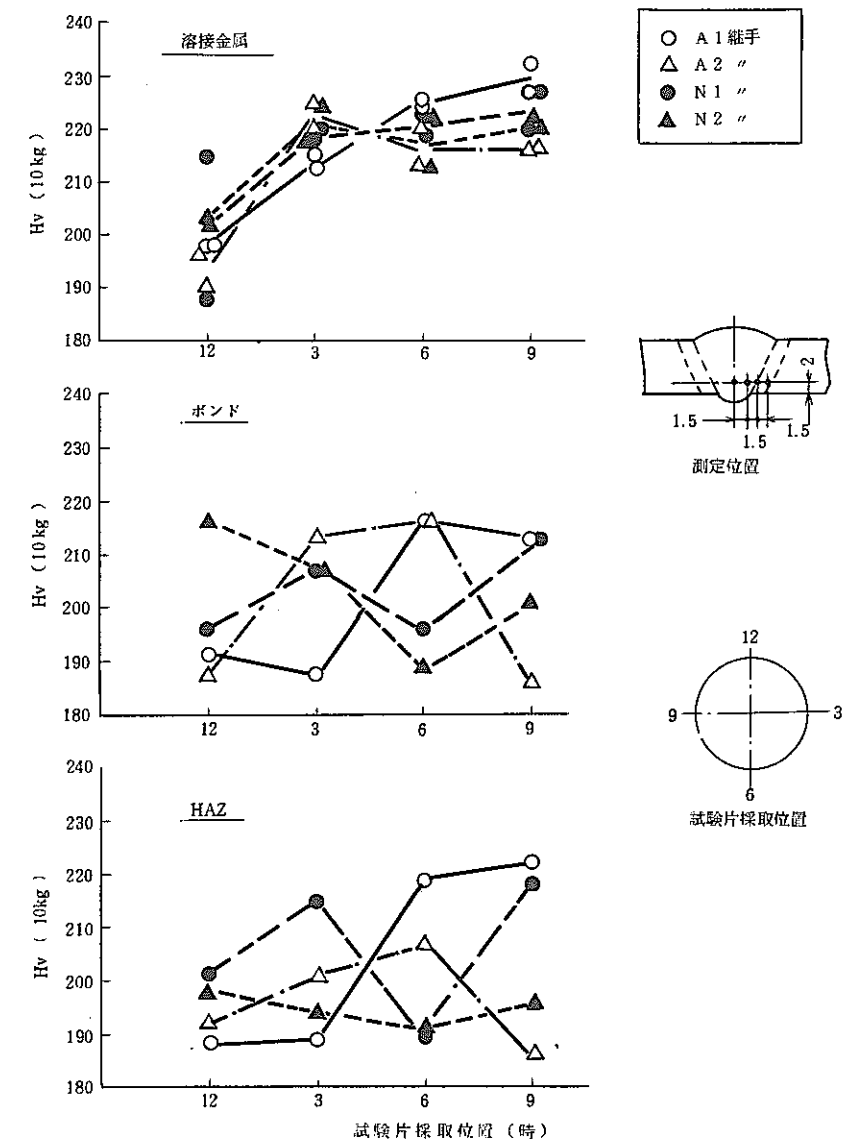


図2 溶接継手の硬さ

裏波形状調査

寸法計測

表 8 溶接ビード巾と余盛高さ

TIG				MIG				測定箇所 試験片
表ビード		裏ビード		表ビード		裏ビード		
ビード巾: w	余盛高さ: h	ビード巾: w	余盛高さ: h	ビード巾: w	余盛高さ: h	ビード巾: w	余盛高さ: h	
10.5	1.1	4.1	1.7	10.9	1.6	2.7	1.1	マクロ
9.2	1.2	5.0	1.8	11.1	1.2	3.3	1.3	
10.2	1.0	3.8	1.3	11.2	1.8	3.4	1.2	ミクロ
8.9	1.1	4.4	1.6	11.1	1.6	2.6	0.8	
10.0	0.9	4.2	1.6	11.3	1.8	1.8	0.8	硬さ
11.3	0.7	4.8	1.5	10.8	1.3	3.3	1.2	

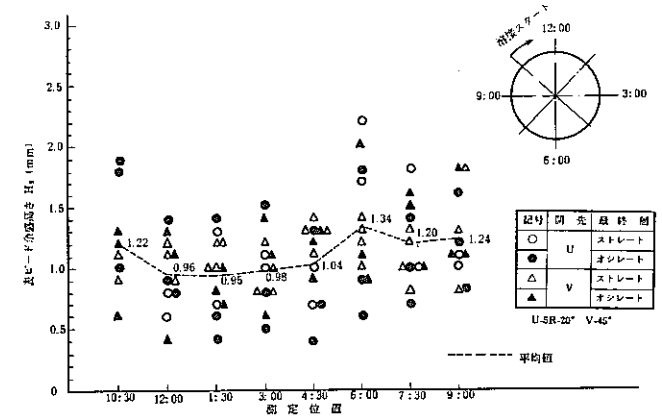


図 3 表ビード余盛高さ測定結果

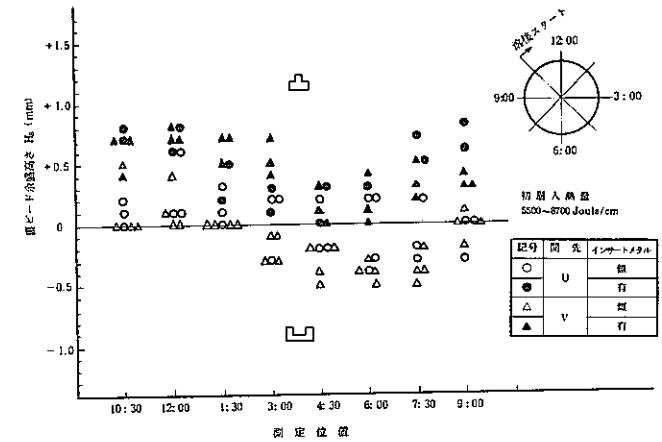


図 4 裏ビード余盛高さ測定結果

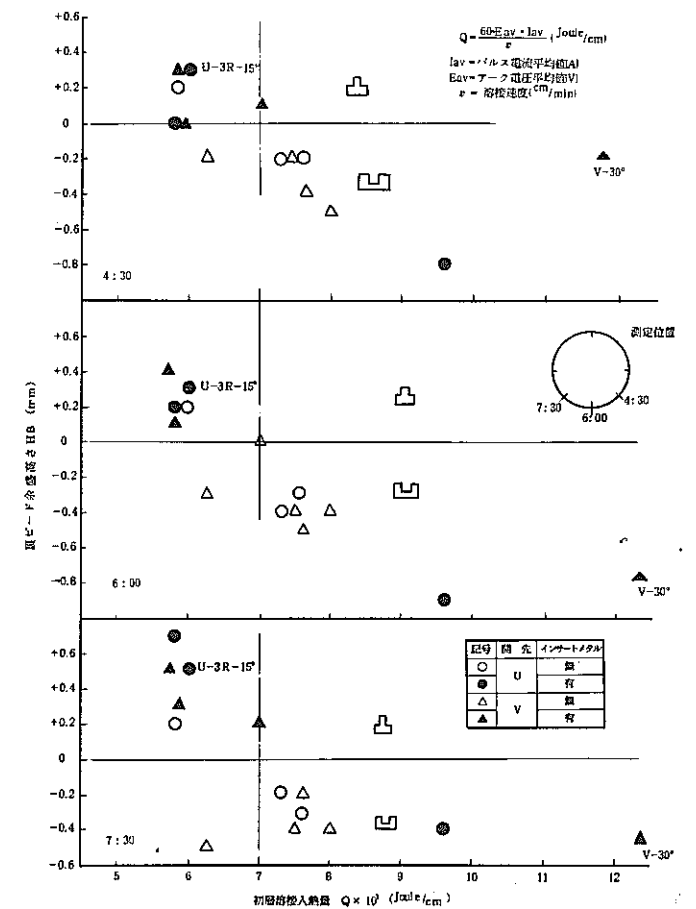


図 5 初層溶接の入熱量と裏ビード余盛高さの関係 (4:30~7:30)

オーステナイト系ステンレス鋼管の自動溶接試験

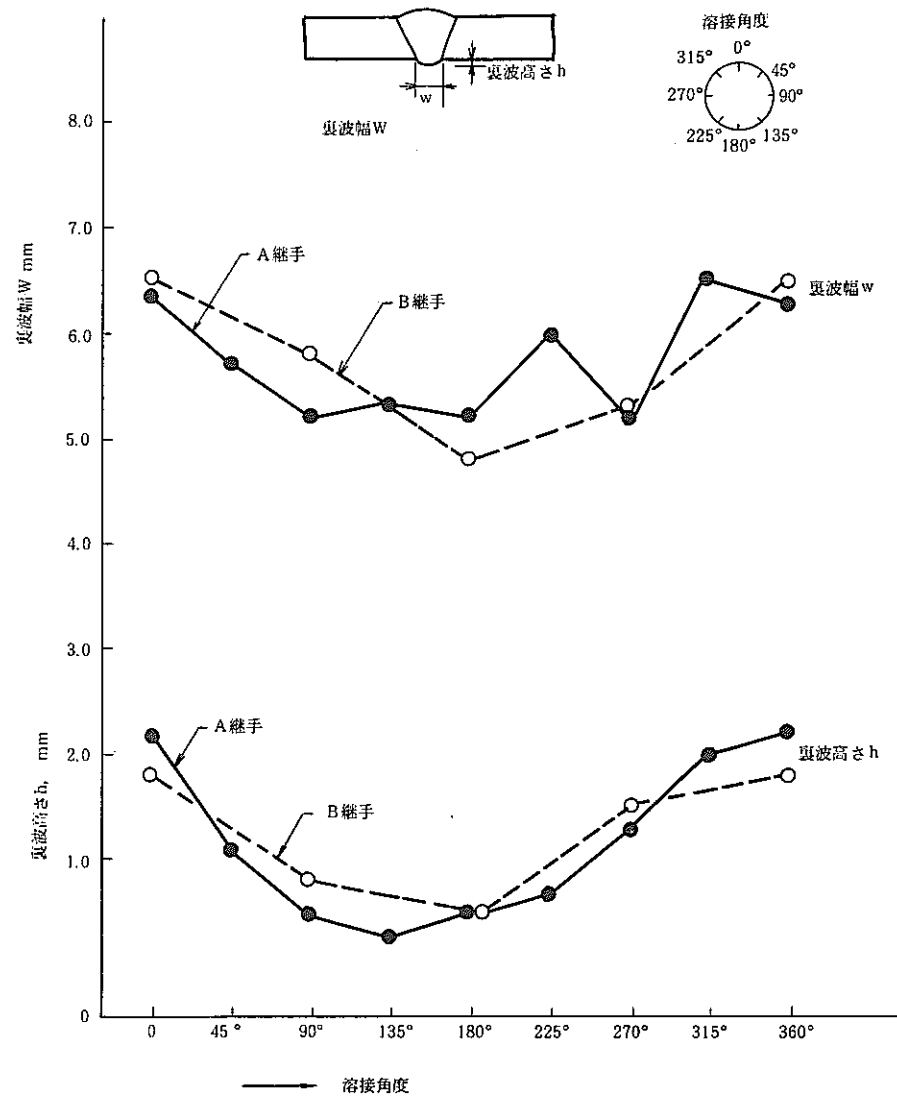
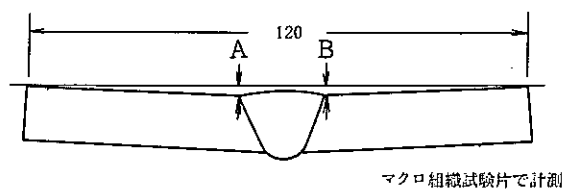


図2 裏波高さ、裏波幅に及ぼす溶接姿勢の影響

表11 溶接ビード止端部の落込み量調査結果

継手種類	試験片記号	ビード止端部の落込み量		溶接姿勢※1	試験片採取箇所
		A部(mm)	B部(mm)		
A継手	A 0 M	0	0.3	0°	
	A 2 M	0.3	0.3	45°	
	A 3 M	0	0.5	90°	
	A 5 M	0.4	1.0	135°	
	A 6 M	0.5	0	180°	
	A 8 M	0.4	0.6	225°	
	A 9 M	0	0.5	270°	
A 11 M	0	1.3	315°		
B継手	B 0 M	0.6	0	0°	
	B 3 M	0.7	1.0	90°	
	B 6 M	1.0	1.0	180°	
	B 9 M	0.5	1.0	270°	



マクロ組織試験片で計測

注) ※1 試験片採取箇所の溶接姿勢を示す。

SUS 304 鋼管補修溶接試験

2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管の自動TIG溶接におけるバックシールドの必要性の検討

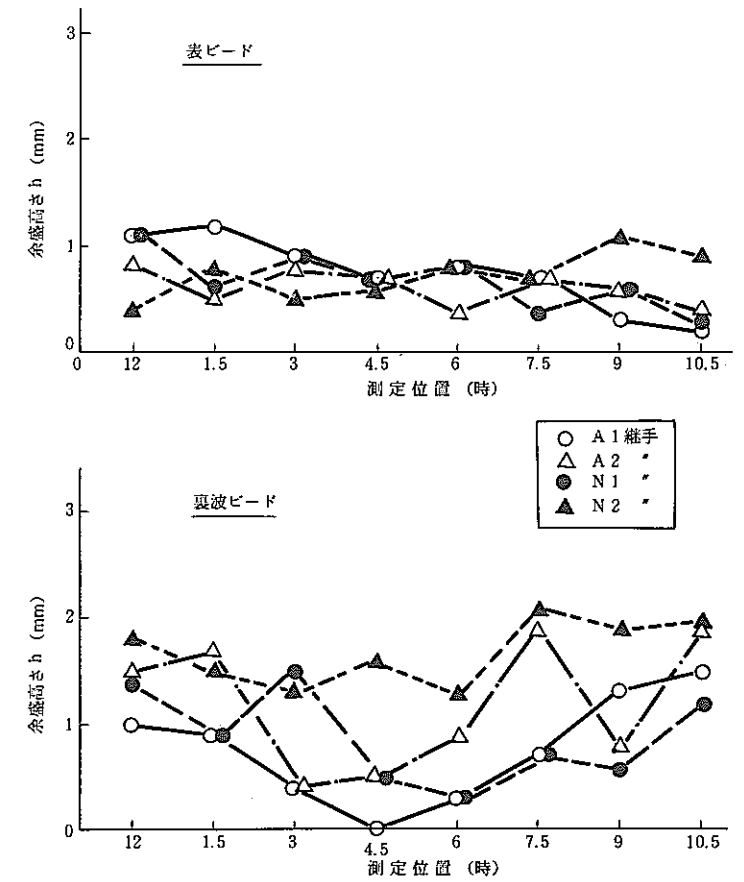


図3 溶接継手の余盛高さ

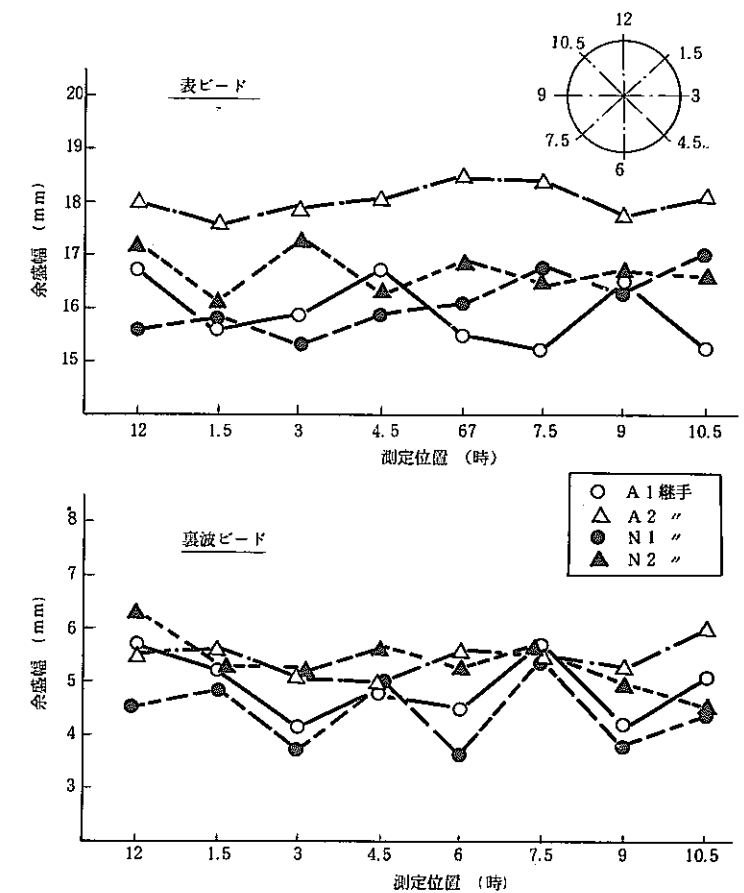


図4 溶接継手の余盛幅

SUS304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査

SUS304 鋼管の補修溶接法の研究 (全姿勢, 全自動TIG 溶接法)

継手性能試験

高温引張試験

クリープラプチャー強度

表9 高温引張試験結果

試験温度 (°C)	T I G				M I G					
	試験片記号	引張強さ (kg/mm ²)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置	試験片記号	引張強さ (kg/mm ²)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置
425	T JT2-1	42.5	22.0	34.7	溶接金属	M JT2-1	46.2	21.8	32.2	溶接金属
	T JT2-3	44.4	22.4	30.3	"	M JT2-3	45.4	20.0	30.5	"
	T JT2-5	44.4	22.2	30.9	"	M JT2-5	45.1	21.7	31.5	"
500	T JT2-2	42.3	20.9	29.1	"	M JT2-2	43.1	20.0	28.5	"
	T JT2-4	42.7	20.9	26.1	"	M JT2-4	42.7	23.7	26.1	"
	T JT2-6	43.1	21.7	31.1	"	M JT2-6	44.0	21.6	26.6	"

表9 高温引張試験結果

破断位置は
JIS Z 2241による



インサート メタル	テストピース 番号	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び G.L=20mm (%)	紋 理 (%)	破 断 位 置	試験温度 (°C)
無	15-12-1	21.1	43.2	30	66	A	425
	15-12-2	17.8	42.6	30	72	A	
有	16-12-1	21.3	42.4	27	66	A	
	16-12-2	22.0	43.4	29	67	A	
無	15-5-1	20.2	42.0	32	72	A	500
	15-5-2	20.2	41.2	31	68	A	
有	16-5-1	17.8	39.8	25	69	A	
	16-5-2	20.0	40.5	28	67	A	
参 考 値		≧12	≧40	≧26	-	-	425

表12 溶接継手の引張試験結果(つば付丸状試験片)

継手種類	試験温度(°C)	溶接姿勢	試験片記号	0.2%耐力(kgf/mm ²)	引張強さ(kgf/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置
A継手	室温(20°C)	下向姿勢	A01	29.9	60.9	38.0	65.4	溶接金属
		下向姿勢	A02	30.4	60.5	39.0	65.0	"
		上向姿勢	A61	29.9	61.8	37.3	66.0	"
		上向姿勢	A62	30.1	61.7	36.7	63.0	"
		上進姿勢	A91	30.6	61.5	36.7	63.6	"
		上進姿勢	A92	30.5	61.6	38.3	65.0	"
B継手	室温(20°C)	下向姿勢	B01	30.4	60.8	37.3	69.2	"
		下向姿勢	B02	30.6	60.4	36.7	68.5	"
		上向姿勢	B61	32.2	60.5	36.3	60.9	"
		上向姿勢	B62	32.5	60.8	38.3	65.6	"
		上進姿勢	B91	31.8	60.0	35.0	60.3	"
		上進姿勢	B92	33.0	60.1	33.3	62.9	"
A継手	高温(425°C)	下向姿勢	A0H1	21.9	43.5	31.0	48.6	"
		下向姿勢	A0H2	21.9	43.2	31.7	54.6	"
		上向姿勢	A6H1	21.6	43.7	34.3	68.3	境界
		上向姿勢	A6H2	21.2	43.2	34.3	69.8	"
		上進姿勢	A9H1	21.9	42.4	30.3	53.3	溶接金属
		上進姿勢	A9H2	21.9	42.4	28.3	55.8	"
	高温(500°C)	下向姿勢	A0H3	21.0	41.1	28.7	53.3	"
		下向姿勢	A0H4	20.5	40.7	28.7	59.3	"
		上向姿勢	A6H3	20.7	41.4	32.0	66.6	境界
		上向姿勢	A6H4	20.2	41.0	32.7	59.5	"
		上進姿勢	A9H3	21.6	40.1	26.7	51.0	溶接金属
		上進姿勢	A9H4	21.3	40.2	26.7	51.2	"

注1) 試験片つば付 6mmφ丸状 ※1 GL = 30mm

注2) ※2 JIS Z 2201 12号試験片

- SUS304
- メーカーデータ
 - 鋼板 母材 JIS Z 2201 14号B試験片
 - 鋼板 母材 つば付丸状試験片(6mmφ)
 - 鋼管 母材 丸状試験片(6mmφ)
 - △ 鋼管 継手 " "
 - 本試験データ
 - ▲ 周継手(A継手) つば付丸状試験片(6mmφ)
 - 周継手 JIS Z 3121 試験片

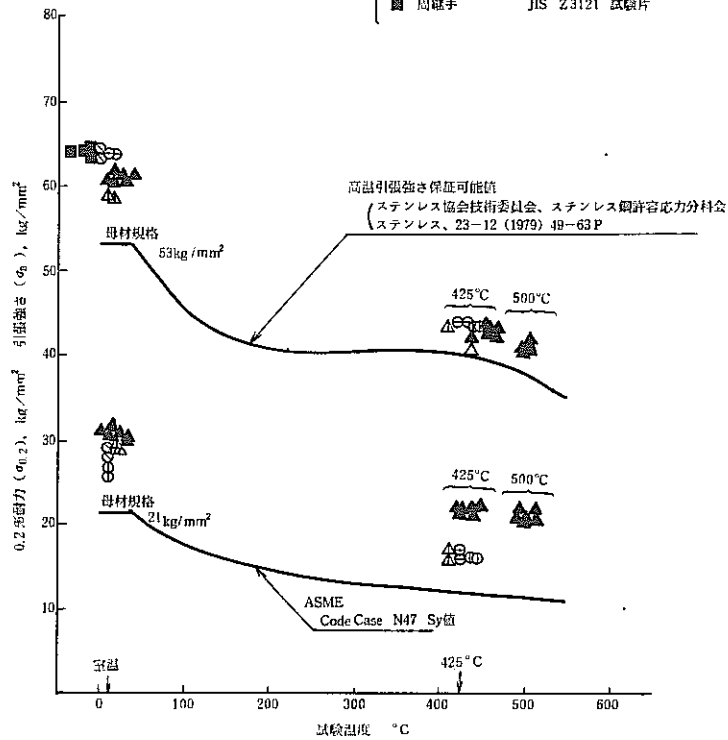


図3 SUS304母材及び溶接継手の引張性質と他データとの比較

表6 引張試験結果

母材の組合せ	試験温度(°C)	試験片番号	0.2%耐力(kgf/mm ²)	引張強さ(kgf/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置	
未浸漬材 + 浸漬材	20	F11	33.1	64.5	41.3	68.7	溶接金属	
		F12	33.1	62.7	35.0	69.7	"	
		F13	25.0	45.8	27.3	60.3	"	
	370	F14	23.9	45.6	27.7	59.0	"	
		500	F15	24.3	43.1	25.6	63.2	"
			F16	22.1	41.7	23.3	63.7	"
未浸漬材 + 未浸漬材	20	F21	32.2	61.9	36.7	66.5	"	
		F22	33.4	61.9	33.7	65.5	"	
		F23	25.6	44.9	25.3	51.2	"	
	370	F24	26.7	43.3	22.3	64.0	"	
		500	F25	21.0	42.2	24.7	61.9	"
			F26	22.2	42.3	25.0	59.5	"

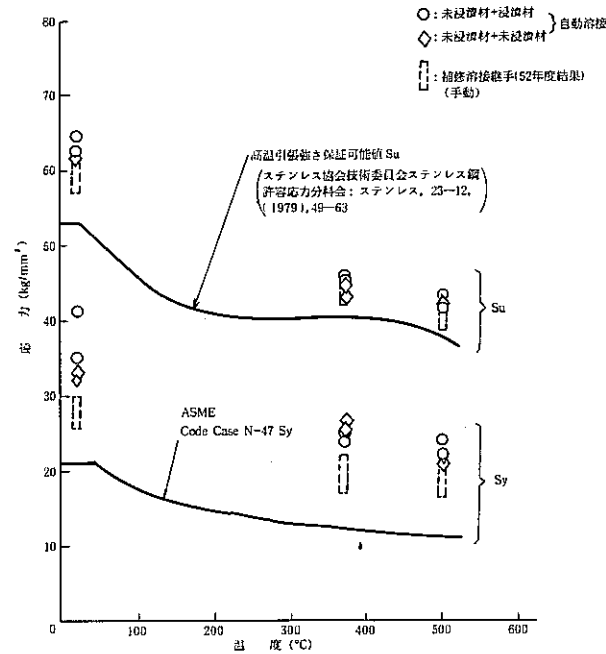


図3 SUS304 TP 溶接継手の引張性質

表7 クリープ破断試験結果

母材の組合せ	試験温度(°C)	試験片番号	引張応力(kgf/mm ²)	破断時間(h)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置
未浸漬材+浸漬材	550	G11	26	275.3	17.8	54.8	溶接金属
未浸漬材+未浸漬材	550	G21	26	222.7	18.2	51.4	"

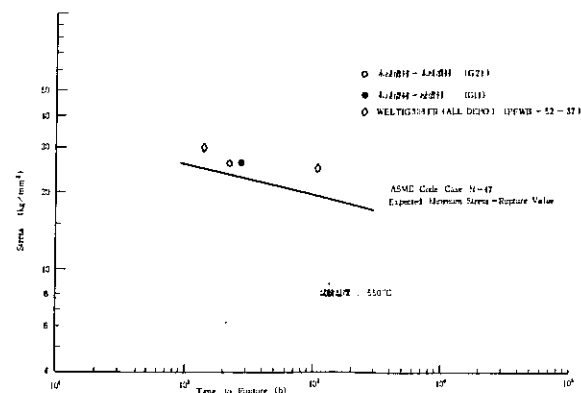


図4 SUS304自動溶接継手のクリープ破断強度

	SUS 304 鋼管の自動溶接法による溶接継手の性能調査	SUS 304 鋼管の補修溶接法の研究（全姿勢，全自動 TIG 溶接法）
<p>結 論</p>	<p>12B SUS 304 鋼管を下向で自動 TIG および MIG 溶接で溶接継手を作製し、性能試験を行った結果をまとめると次のようである。</p> <p>a) MIG 溶接では継手製作にあたってスタート部に溶込み不良やブローホールの欠陥が生じており、施工方法については問題があり検討する必要があると考える。</p> <p>b) 健全な継手の機械的試験では MIG の溶接金属の吸収エネルギーが TIG に比べてやや低い値を示したほかは、常温、高温引張、曲げ試験、および硬さ測定では溶接方法による差はみられなかった。</p> <p>c) フェライト量、マイクロ組織など冶金学的試験においても溶接方法による差はほとんどみられなかった。</p> <p>d) したがって、施工方法の問題が解決されれば、TIG および MIG 溶接とも十分な継手性能を有しているものと考えられる。</p>	<p>溶接施工確認試験および継手性能試験の結果を要約すると下記の通りであった。</p> <p>a) 全姿勢溶接において裏波ビードが凹みやすい 3 時～9 時の位置でもインサートを使用すると凸にすることができ、インサート金属の有効性が確認できた。</p> <p>b) 裏ビード余盛高さが凸となりやすいのは、①U・V 開先インサート金属有、②U 開先インサート無、③V 開先インサート無、の順であった。</p> <p>c) 裏波ビードを凸にする初層溶接条件は、$Q \leq 6000 \text{ Joule/cm}$ を満足する必要があった。ただし、$Q = 60 \cdot E_{av} \cdot I_{av} / v$ (Joule/cm)</p> <p>上記の条件を満足しないと、インサート金属を使用しても 4 時 30 分～7 時 30 分で裏ビードは凹む。</p> <p>d) 開先状況は U 開先 (5R - 15°), V 開先 (45°) が適正であった。U 開先で 3R, V 開先で 30° など開先を狭くした場合、下り坂溶接部 (3 時～5 時) で層間に融合不良が生じた。</p> <p>e) トーチをオシレートした場合と、固定 (ストレートビード) した場合の最終層のビード外観を比較すると、オシレートした方が良好である。</p> <p>f) 継手性能試験の結果は、機械試験、(継手引張、表曲げ、裏曲げ、衝撃、高温引張) 冶金試験 (マクロ、マイクロ組織、硬さ) とともに良好であった。</p> <p>g) 実験に用いた試験片の外径・肉厚及び開先加工後の開先寸法等はすべて規格内あるいは、設定範囲内であった。しかし溶接施工時、これらのばらつきの程度に応じて溶接条件を少し変化させる必要があるときもあった。</p> <p>鋼管の製造精度、開先加工精度と溶接施工条件との関係については今後検討が必要であろう。</p> <p>以上の結果 SUS 304 TP, 12B, 40S の水平固定管の自動溶接施工条件は、基本的に確立できた。またこの条件で溶接し施工した円周継手は良好であることが分かった。</p>
<p>まとめ</p>	<p>補修溶接の機械化に関する研究では、大口径 SUS 304 及び 2 1/4 Cr-1Mo 鋼管の補修溶接の機械化について広範囲な検討を加えた結果、全姿勢自動 TIG 溶接の適正溶接条件や継手の引張、曲げ性能等種々の基礎データを蓄積できた。これらのデータは今後の研究開発に有用な知見を提供することになると期待される。</p>	

オーステナイト系ステンレス鋼管の自動溶接試験

24 B SUS 304 (609.6mm外径, 9.5mm肉厚) 大径ステンレス鋼管を対象に、現地補修溶接を想定して、ベベリングマシンを採用し、開先合せ時には真円修正ジグを用いない場合(A継手)と比較のためジグを用いた場合(B継手)の2条件の突合せ継手について、全姿勢自動TIG溶接法の施工条件の把握及び継手性能の基礎的調査を行った。

なお溶材にはクリープ強度、延性改善のワイヤ(TGS 308 N)を供試した。その結果を要約すると下記の通りであった。

a) ベベリングマシンを用いて管の切断及び開先加工を行い、開先合せ時に、真円修正ジグ有無の2継手の全姿勢自動TIG溶接試験の結果、いずれの継手においても、健全な継手が得られ、曲げ、引張等の機械的性質も良好であった。

なお、本試験では1本の直管試験体を製作したため寸法精度がよかったものと考えられる。

b) マクロ組織観察の結果、裏波高さは下向姿勢に移行するにつれて小さくなるが、上向姿勢での裏波のくぼみ(凹)はほとんど生じなかった。又管外面の溶接ビード止端部落ち込み(長さ120mmのマクロ試片において)は、溶接姿勢に関係なく約0.3~1.0mm程度であった。

c) 継手マクロ組織を見ると原肉厚に対し、内面機械仕上げされた部の肉厚は薄いように見える。これは、内面機械仕上げ寸法が最大径で、最小肉厚の場合でも一致するよう外径公差、肉厚公差を考慮して決定されたためである。

d) 溶接継手の常温及び高温引張強度(0.2%耐力, 引張強さ)はいずれの継手においても有意差はなかった。又、他データと比較した場合図3に示す通り、母材規格、高温引張強さ保証可能値、及び、ASME Case N 47 Sy 値を全て満足するものであった。

SUS304 鋼管補修溶接試験

a) 施工法試験

イ. 引張試験

引張強さは、母材規格値(≥53kg/mm²)を十分越えており、母材の組合せ(未浸漬材+浸漬材, 未浸漬材+未浸漬材)による影響の差は、出なかった。

ロ. 曲げ試験

表曲げ、裏曲げとも欠陥なしで良好な曲げ延性を確認出来た。

ハ. 衝撃試験

母材熱影響部、溶接金属の吸収エネルギーは良好な値が得られた。

ニ. マクロ・ミクロ・硬さ試験

マクロ・ミクロ組織においても異常な組織は見られず、また硬さ分布も正常であった。

b) 継手性能試験

イ. 引張試験

常温および高温引張試験の結果、引張強さ、0.2%耐力、伸びおよび絞りには正常であり、母材の組合せによる影響の差は見られなかった。また、図3に示すとおり引張強さ(Su)および0.2%耐力(Sy)はいずれも設計基準等を満足していた。

ロ. クリープ破断試験

クリープ破断試験の結果、クリープ破断位置はいずれも溶接金属であり、クリープ破断強度はいずれの母材の組合せに対しても設計基準を満足していた。

将来の補修溶接自動化に備え、自動溶接機による補修継手の基礎的なデータを得る目的でステンレス鋼管の下向自動TIG溶接による施工法試験および継手性能試験(常温、高温引張試験およびクリープ破断試験)を行った。その結果、施工法試験結果は良好であり、また継手性能もASME Code Case N-47に示される設計基準値等を満足するものであった。

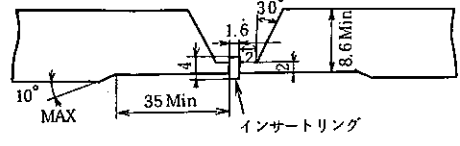
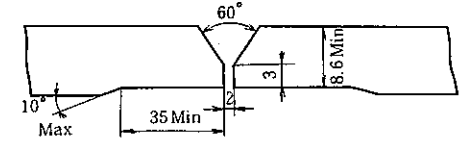
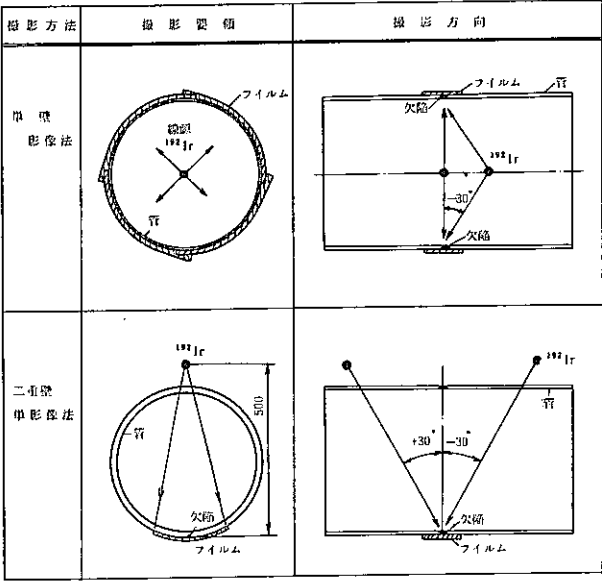
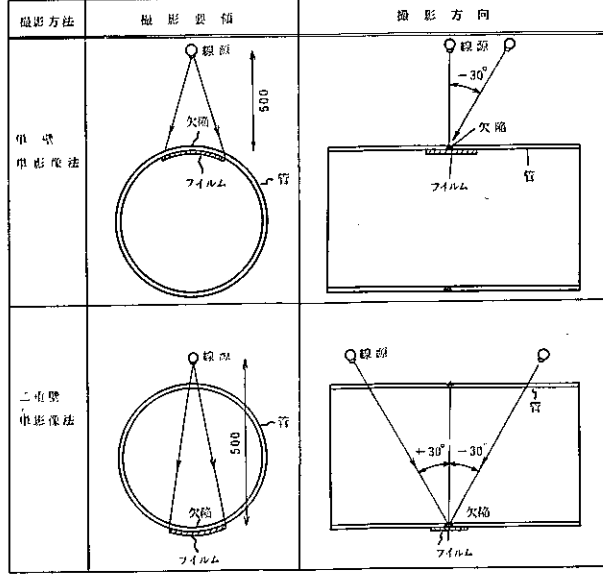
2 1/4Cr-1Mo 鋼管の自動TIG溶接におけるバックシールドの必要性の検討

試験項目	試験結果の要点	考 察
PT	いずれの継手も顕著な欠陥指示なし	
RT	いずれの継手もJIS 1級に判定されたが4.0φmm以下の微小ブローホールは一部に認められた。なおバックシールド無しの継手では一部に不明瞭な陰影が認められたが外観検査によりこれは全て裏波ビード表面層におけるヘリンボーンであることが判明したので等級判定上は除外した。ヘリンボーンの発生はルートギャップが広い場合には減少する傾向が認められた。	裏波ビード表面層にみられるヘリンボーンは管内部の大気の影響によるものと考えられる。また、ルートギャップが広い場合ヘリンボーンが減少しているのはトーチシールドガスが管内部に流入しやすくこれがある程度のシールド効果をもたらしたものと考えられる。
外 観	バックシールド無しの継手の下向位置(12時近傍)以外の裏波ビードの表面層にはヘリンボーンが認められる。	
余盛寸法	裏波ビードの余盛高さはルートギャップの大きい場合の方がより大きい。また上向位置(4.5~6時)近傍での裏波ビードの余盛高さは比較的小さい傾向がある。	
マ ク ロ	いずれの継手も良好な結果を示した。	
ミ ク ロ	いずれの継手も大差のない結果を示した。また初層溶接金属はかなり細粒化されている。	
硬 さ	初層溶接部は最終層に比べかなり低い値を示した。12時の位置から採取した試験片の溶接金属の硬さはその他の位置から採取したものに比べ低い値を示す傾向が認められた。	初層は細粒組織であるためと考えられる。12時の位置はビードのスタート点であると同時に終点であるため最も再熱を受けやすく、従って細粒化されやすいためと考えられる。
化学成分	いずれの継手も大差のない結果を示した。	
曲 げ	裏波ビードの表面層にヘリンボーンがある試験片を含めて全ての試験片に全く欠陥が認められない。	
引 張	いずれの試験片も全て破断位置は母材でSTPA-24の強度要求値を十分満足し、大差のない値を示した。	
衝 撃	いずれの試験片も良好な値を示した。	

溶接装置TIL-Pと溶接材料TGS-2CMとの組合せによるSTPA-24水平固定管全姿勢溶接において管内面のバックシールドの有無とルートギャップの大小の継手品質に与える影響、並びに溶接継手としての基本的な性能を試験し次の結論を得た。

バックシールドの有無あるいはルートギャップの大小を問わず溶接継手としての基本的な性能はほぼ満足のゆくものである。

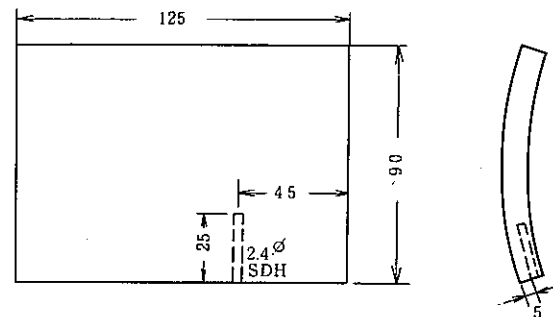
しかしバックシールドを施さない場合には裏波ビード表面層にはヘリンボーンの発生が認められRTでも検知しうる。従って施工仕様や現物外観検査の可能性を勘案しながらバックシールドの選択をしてゆくことが肝要と思われる。

		大口徑 SUS 304 鋼管		大口徑 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼管	
供 試 材		SUS 304 TP (12B × Sch. 40)		STPA 24 (12B × Sch. 40)	
試 験 片 作 製	割 れ	(開先形状) 	(作製要領) 欠陥部のインサート・リングに WEL-IR-82 (インコネル) を用いて溶接 (欠陥深さ 3/4t, t : 溶接部の厚さ ; 欠陥長さ 15~60 mm)	(開先形状) 	(作製要領) 拘束を大きくした開先部の初層を予熱をしないで HF-500 (Depo 割れ) 又は CMA 106 (H.A.Z. 割れ) により、欠陥長さ分を溶接 (欠陥深さ 1/2, 2/3t ; 欠陥長さ 15~42 mm)
	溶 込 み 不 良	同 上	故意にインサート・リングを未溶融 (欠陥長さ, 37~53 mm)	SUS 304 TP と同じ	(欠陥長さ 15~30 mm)
	融 合 不 良	同 上	TIG で故意に作製 (欠陥深さ 1/2t ; 欠陥長さ 33~78 mm)	SUS 304 TP と同じ	(欠陥深さ 1/2 ; 欠陥長さ 28~60 mm)
	ス ラ グ 巻 込 み	同 上	被覆アーク溶接棒で故意に作製 (欠陥深さ 1/3t ; 欠陥長さ 18~52 mm)	SUS 304 TP と同じ	(欠陥深さ 1/10, 1/3t ; 欠陥長さ 17~40 mm)
	ブ ロ ー ・ ホ ール	同 上	N ₂ ガスを混入させた MIG 溶接で作製 (欠陥深さ 1/4~2/3t)	SUS 304 TP と同じ	(欠陥深さ 1/2t ; 欠陥長さ 18~57 mm)
試 験 方 法	X 一 線 透 過 試 験 及 び γ 一 線 透 過 試 験	電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令 81 号に基づく X 一線透過試験及び γ 一線透過試験 (放射性同位元素 ; ¹⁹² Ir) X 一線透過試験 		SUS 304 TP と同じ γ 一線透過試験 	
	超 音 波 探 傷 試 験	i) 対比試験片 ; 試験体と同一材料より、次に示す形状の対比試験片を作製し、DAC 曲線を作成した。		i) 対比試験片形状は SUS 304 TP と同じ	

大口徑 SUS 304 鋼管

大口徑 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼管

超音波探傷試験



- ii) 探傷面と表面状態 ; 配管外表面, グラインダー仕上げ及び一部エメリー紙による手入れ。
- iii) 欠陥検出確認試験 ; 使用探触子, 探傷器, 探傷方法等を一覧表に示す。

探 触 子				探傷器	接触媒質	探傷範囲	探傷感度	欠 陥 検出感度	指示長さ 測定法
型 式	屈折角	周波数 MHz	モード						
MWB 45-N2	45°	2	横 波	USIP 11	ヒマシ油	1スキップ 以 内	DAC +12 dB	DAC +24 dB	DAC ** -12dB
KGKLA 55	55°	5	たて波	"	"	直 射	"	"	"
V 404 +ABWS 1003	45°	2.25	"	"	"	"	"	"	"
ANN 5-2-2 +WL-45-F	45°	5	"	"	"	"	"	"	"
SEB 4KF 8	0°	4	"	"	"	"	DAC +6 dB	DAC +18 dB	"
MWB 60-N2	60°	2	横 波	"	"	1スキップ 以 内	"	"	"
MWB 70-N2	70°	2	"	"	"	"	"	"	"
V 404 +ABWS 1005	70°	2.25	たて波	"	"	直 射	"	"	"
ANN 5-2-2 +WL-60 F	60°	5	"	"	"	"	"	"	"
ANN 5-2-2 +WL-70 F	70°	5	"	"	"	"	"	"	"
2 Z10×10A45	45°	2	横 波	SM80DA	グリセリン	1スキップ 以 内	"	DAC +14 dB	DAC-14 dB, (Hmax-6 dB)* (Hmax-10dB)*
2 Z10×10A60	60°	2	"	"	"	"	"	"	"
2 Z10×10A70	70°	2	"	"	"	"	"	"	"
RTD・60	60°	2	たて波	"	"	直 射	"	DAC +12dB	"
RTD・70	70°	2	"	"	"	"	"	"	"
WSY-45	45°	4	"	"	"	"	"	"	"
WSY-70	70°	4	"	"	"	"	"	"	"
5 Z 5 D	0°	5	"	MPT10 (レフェルト)	"	"	"	検出した 全 て	エコーが現わ れて消えるまで

*参考として記録
* DACレベルの 1/4 (-12dB) となるエコーの得られる位置を欠陥の端部とする測定法

- ii) SUS 304 TP に同じ
- iii)

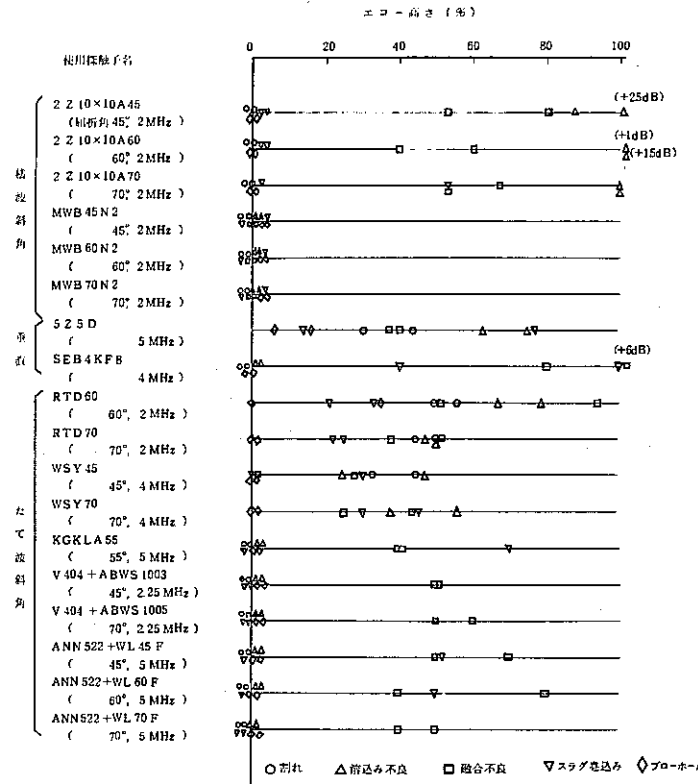
探 触 子				探傷器	接触媒質	探傷範囲	探傷感度	欠 陥 検出感度	指示長さ 測定法
型 式	屈折角	周波数 MHz	モード						
5Z10×10A45	45°	5	横 波			ノスキップ 以 内			
5Z10×10A60	60°	5	"	SM80DA	グリセリン	"	DAC +6 dB	DAC +14 dB	DAC-14 dB, DAC-6dB, Hmax-10dB* &Hmax-6dB
5Z10×10A70	70°	5	"			"			
5 Z 5 N	0°	5	たて波			直 射			

*最大エコー高さを基準として, その約 1/3 (-10 dB) なるレベルを欠陥の
端のエコー高さとする測定法。

		大口徑 SUS 304 TP	大口徑 2 1/4 Cr - 1 Mo 鋼管																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
試験方法	切断試験	非破壊検査の対象個所を切断し、マクロ観察を行った。その後2.5mmピッチで欠陥部を長手方向に切断し、欠陥の有無の面の中間位置を欠陥の端部として、欠陥長さを測定した。	SUS 304 TP に同じ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	X線透過試験および γ線透過試験	欠陥検出状況 X線透過試験結果 ● 欠陥を検出したもの ○ 欠陥を検出できないもの ● $le/tr \geq 0.7$ ○ $0.7 > le/tr \geq 0.3$ ⊙ $le/tr < 0.3$ ● $le/tr \geq 0.7$ ⊙ $le/tr < 0.3$ ○ $0.7 > le/tr \geq 0.3$ — 検出できないもの ● $le/tr \geq 0.7$ ⊙ $le/tr < 0.3$ ○ $0.7 > le/tr \geq 0.3$ — 検出できないもの	● $le/tr \geq 0.7$ ⊙ $le/tr < 0.3$ ○ $0.7 > le/tr \geq 0.3$ — 検出できないもの																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">(撮影法)</th> <th rowspan="2">(照射方向)</th> <th colspan="4">割れ</th> <th colspan="4">溶込み不良</th> <th colspan="4">融合不良</th> <th colspan="4">スラグ巻き込み</th> <th colspan="4">ブロー・ホール</th> </tr> <tr> <th>B-1</th><th>B-2</th><th>B-3</th><th>B-4</th> <th>C-1</th><th>C-2</th><th>C-3</th><th>C-4</th> <th>A-1</th><th>A-2</th><th>A-3</th><th>A-4</th> <th>D-1</th><th>D-2</th><th>D-3</th><th>D-4</th> <th>E-1</th><th>E-2</th><th>E-3</th><th>E-4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>0°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>●</td><td>○</td><td>●</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>●</td><td>○</td><td>●</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>+30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">γ線透過試験結果</th> <th colspan="4">割れ</th> <th colspan="4">溶込み不良</th> <th colspan="4">融合不良</th> <th colspan="4">スラグ巻き込み</th> <th colspan="4">ブロー・ホール</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">(撮影法)</th> <th rowspan="2">(照射方向)</th> <th>B-1</th><th>B-2</th><th>B-3</th><th>B-4</th> <th>C-1</th><th>C-2</th><th>C-3</th><th>C-4</th> <th>A-1</th><th>A-2</th><th>A-3</th><th>A-4</th> <th>D-1</th><th>D-2</th><th>D-3</th><th>D-4</th> <th>E-1</th><th>E-2</th><th>E-3</th><th>E-4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>0°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>●</td><td>○</td><td>●</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>●</td><td>○</td><td>●</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>+30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> <td>●</td><td>●</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>●</td><td>○</td><td>●</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> <td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td> </tr> </tbody> </table>	(撮影法)	(照射方向)	割れ				溶込み不良				融合不良				スラグ巻き込み				ブロー・ホール				B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	A-1	A-2	A-3	A-4	D-1	D-2	D-3	D-4	E-1	E-2	E-3	E-4	単壁撮影法	0°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	単壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	二重壁撮影法	+30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	二重壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	γ線透過試験結果		割れ				溶込み不良				融合不良				スラグ巻き込み				ブロー・ホール				(撮影法)	(照射方向)	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	A-1	A-2	A-3	A-4	D-1	D-2	D-3	D-4	E-1	E-2	E-3	E-4	単壁撮影法	0°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	単壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	二重壁撮影法	+30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	二重壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">(撮影法)</th> <th rowspan="2">(照射方向)</th> <th colspan="5">X線透過試験</th> <th colspan="5">γ線透過試験</th> </tr> <tr> <th>割れ</th><th>溶込み不良</th><th>融合不良</th><th>スラグ巻き込み</th><th>ブロー・ホール</th> <th>割れ</th><th>溶込み不良</th><th>融合不良</th><th>スラグ巻き込み</th><th>ブロー・ホール</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>0°</td> <td>●</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> <td>●</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> </tr> <tr> <td>単壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>●</td><td>⊙</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> <td>⊙</td><td>—</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>+30°</td> <td>●</td><td>—</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> <td>—</td><td>—</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> </tr> <tr> <td>二重壁撮影法</td> <td>-30°</td> <td>—</td><td>—</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> <td>—</td><td>—</td><td>●</td><td>●</td><td>●</td> </tr> </tbody> </table> 割れ (B-2) の照射方向を 10° 毎変えて撮影した結果を示す。 <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">照射方向</th> <th colspan="2">X-ray</th> <th colspan="2">γ-ray</th> </tr> <tr> <th>単壁撮影法</th> <th>二重壁撮影法</th> <th>単壁撮影法</th> <th>二重壁撮影法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	(撮影法)	(照射方向)	X線透過試験					γ線透過試験					割れ	溶込み不良	融合不良	スラグ巻き込み	ブロー・ホール	割れ	溶込み不良	融合不良	スラグ巻き込み	ブロー・ホール	単壁撮影法	0°	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	単壁撮影法	-30°	●	⊙	●	●	●	⊙	—	●	●	●	二重壁撮影法	+30°	●	—	●	●	●	—	—	●	●	●	二重壁撮影法	-30°	—	—	●	●	●	—	—	●	●	●	照射方向	X-ray		γ-ray		単壁撮影法	二重壁撮影法	単壁撮影法	二重壁撮影法	0°					10°					20°					30°			
(撮影法)	(照射方向)	割れ				溶込み不良				融合不良				スラグ巻き込み				ブロー・ホール																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	A-1	A-2	A-3	A-4	D-1	D-2	D-3	D-4	E-1	E-2	E-3	E-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
単壁撮影法	0°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
単壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
二重壁撮影法	+30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
二重壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
γ線透過試験結果		割れ				溶込み不良				融合不良				スラグ巻き込み				ブロー・ホール																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
(撮影法)	(照射方向)	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	A-1	A-2	A-3	A-4	D-1	D-2	D-3	D-4	E-1	E-2	E-3	E-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		単壁撮影法	0°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
単壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
二重壁撮影法	+30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
二重壁撮影法	-30°	—	—	—	—	●	●	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
(撮影法)	(照射方向)	X線透過試験					γ線透過試験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		割れ	溶込み不良	融合不良	スラグ巻き込み	ブロー・ホール	割れ	溶込み不良	融合不良	スラグ巻き込み	ブロー・ホール																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
単壁撮影法	0°	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
単壁撮影法	-30°	●	⊙	●	●	●	⊙	—	●	●	●																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
二重壁撮影法	+30°	●	—	●	●	●	—	—	●	●	●																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
二重壁撮影法	-30°	—	—	●	●	●	—	—	●	●	●																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
照射方向	X-ray		γ-ray																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	単壁撮影法	二重壁撮影法	単壁撮影法	二重壁撮影法																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
10°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
20°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
30°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
試験結果	超音波探傷試験	i) エコー高さよりみた欠陥検出状況	i) エコー高さよりみた欠陥検出状況																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

大口徑 SUS 304 TP

超音波探傷試験



ii) 指示長さよりみた欠陥検出状況

UT ○: U/R < 70% △: 70% > U/R < 90%
 ×: 90% > U/R
 - : 検出できない
 U: 超音波探傷試験 (UT) に
 による欠陥指示長さ
 R: 放射線透過試験 (RT)
 による欠陥長さ

- 検出できないもの
 ○ 検出できたもの
 切断により欠陥実長を測定したのものについては
 次のように表わす。le: 指示長さ lr: 実長
 ● le/lr ≥ 1 ⊙ 0.7 > le/lr ≥ 0.3
 ⊕ 1 > le/lr ≥ 0.7 ⊖ 0.7 > le/lr < 0.3
 - 検出できないもの

試験法	UT										
	縦波斜角法					横波斜角法					
探傷機	SEB	MWB45	MWB60	MWB70	KGKLA	V404	V404	ANN	ANN	ANN	
探傷機	4KF8	-N2	-N2	-N2	55	1003	1005	5-2-2	5-2-2	5-2-2	
探傷機						ABWS	ABWS	+WL	+WL	+WL	
探傷機						1003	1005	-45-F	-45-F	-70-F	
融	A-1	○	-	-	-	○	○	○	△	○	△
合	2	○	-	-	-	○	○	○	○	○	×
不	3	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○
良	4	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○
割	B-1	-	-	-	-	△	△	△	△	△	△
れ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
溶	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
不	C-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
良	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ス	3	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○
ラ	4	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○
グ	D-1	○	-	-	-	○	-	-	○	×	-
巻	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	3	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-
み	4	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
プ	E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ロ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ー	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ホ	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ール											

注) 横波斜角法については探傷機・探傷機・探傷機等のため
 SN比が低く (< 2) 検出できなかった。

試験法	UT									
	縦波斜角法					横波斜角法				
探傷機	SEB	MWB45	MWB60	MWB70	KGKLA	V404	V404	ANN	ANN	ANN
探傷機	4KF8	-N2	-N2	-N2	55	1003	1005	5-2-2	5-2-2	5-2-2
探傷機						ABWS	ABWS	+WL	+WL	+WL
探傷機						1003	1005	-45-F	-45-F	-70-F
融	A-1	○	-	-	-	○	○	○	○	○
合	2	○	-	-	-	○	○	○	○	○
不	3	○	-	-	-	○	○	○	○	○
良	4	○	-	-	-	○	○	○	○	○
割	B-1	-	-	-	-	△	△	△	△	△
れ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
溶	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
不	C-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
良	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ス	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ラ	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
グ	D-1	-	-	-	-	○	-	-	○	○
巻	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
み	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
プ	E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ロ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ー	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ホ	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ール										

大口徑 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼管

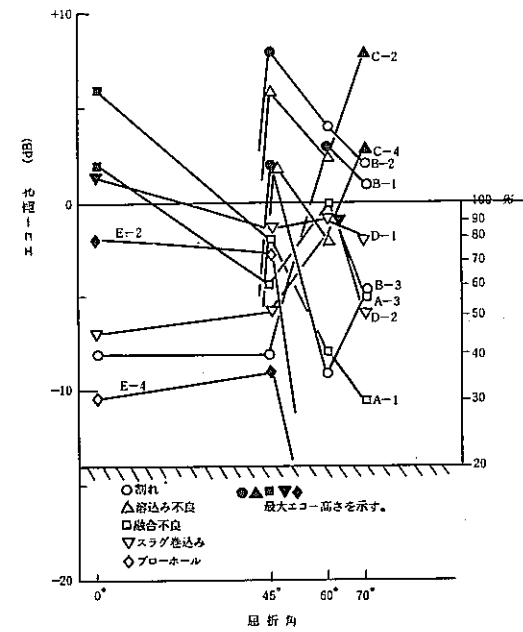


図 3.1.5. 屈折角とエコー高さとの関係 (2 1/4 Cr-1 Mo 鋼管)

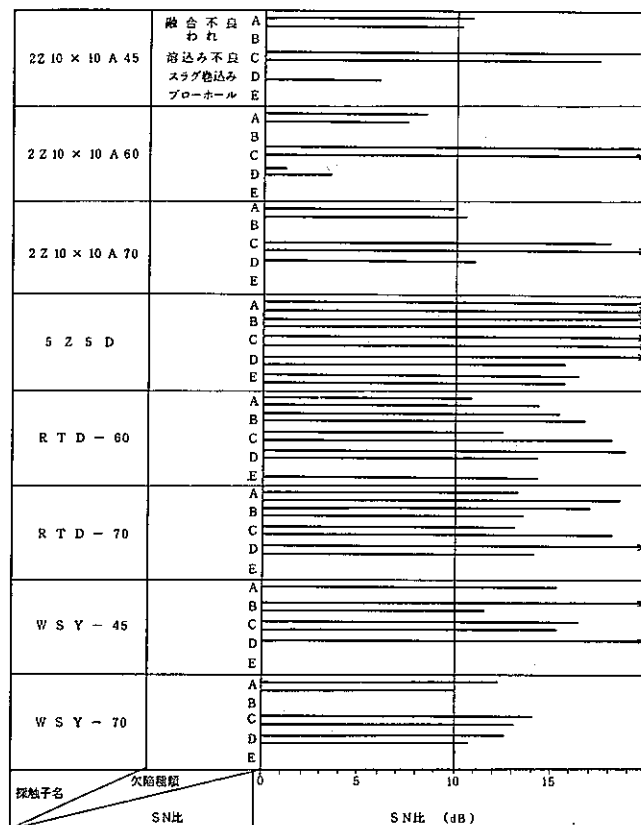
ii) 指示長さ (DAC-14 dB) よりみた欠陥検出状況

● $le/lr \geq 1$ ⊖ $0.7 > le/lr \geq 0.3$ le: 指示長さ (DAC-14dB)
 ⊕ $1 > le/lr \geq 0.7$ ⊙ $le/lr < 0.3$ lr: 実長
 - 検出できないもの

試験法	UT									
	縦波斜角法					横波斜角法				
探傷機	SEB	MWB45	MWB60	MWB70	KGKLA	V404	V404	ANN	ANN	ANN
探傷機	4KF8	-N2	-N2	-N2	55	1003	1005	5-2-2	5-2-2	5-2-2
探傷機						ABWS	ABWS	+WL	+WL	+WL
探傷機						1003	1005	-45-F	-45-F	-70-F
融	A-1	○	-	-	-	○	○	○	○	○
合	2	○	-	-	-	○	○	○	○	○
不	3	○	-	-	-	○	○	○	○	○
良	4	○	-	-	-	○	○	○	○	○
割	B-1	-	-	-	-	△	△	△	△	△
れ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
溶	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
不	C-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
良	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ス	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ラ	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
グ	D-1	-	-	-	-	○	-	-	○	○
巻	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
込	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
み	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
プ	E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ロ	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ー	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ホ	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ール										

超音波探傷試験

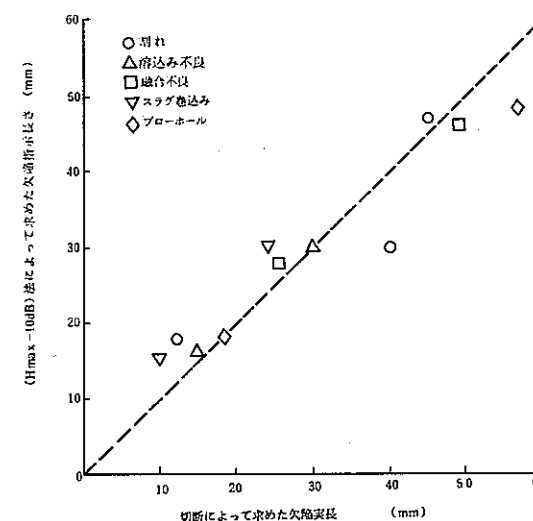
iii) SN比 ; SN比の比較を示す。



iii) SN比 ; 通常の炭素鋼の場合と大差なく、ほとんど 20 dB 以上であった。

iv) 欠陥寸法推定精度の一例 ; 欠陥よりの最大エコー高さを基準として、その約 1/3 (-10dB) なるレベルを欠陥の端のエコー高さとする方法 (Hmax - 10dB) によって欠陥寸法を推定した場合の精度について示す。

この時の指示長さは、各屈折角を用いて求めたもののうち最大のものとした。



試験結果

結論

1) 放射線透過試験を行い、切断によって欠陥の有無を確認したところ、管壁にはほぼ平行に生じた割れを除いた全ての欠陥は線源にエックス線、ガンマ線を用いて単壁及び二重壁単影像法による撮影とも十分に検出可能であった。

ただし、透過写真上の未溶融のインサートリング像を溶込み不良と判断するかどうかについては議論がわかれた。

2) 超音波探傷試験では、横波斜角法で、溶接ボンド付近の欠陥が、また、たて波斜角法の使用によりほとんどの欠陥が検出可能であった。しかし、使用装置・探触子などの違いにより結果にはばらつきがあり、今後の研究・開発とともに試験手順等の標準化が望まれる。

3) 超音波探傷試験結果のばらつきの原因として、横波斜角法では複雑なブラウン管波形の解読法、たて波探傷では探傷器、探触子さらに欠陥と判断する基準などの差異によると思われる。

1) 線源にエックス線・ガンマ線を用いて単壁及び二重壁単影像法による放射線透過試験を行ったところ、欠陥の傾向きが照射方向と著るしく異なる割れの一部を除いて検出が可能であった。

2) 超音波探傷試験によれば、作成した全ての欠陥を検出できた。

ま と め

1. 放射線透過試験において、材質の違い（SUS 304 TP 及び 2 1/4 Cr - 1Mo 鋼管）による探傷結果の大差はみられなかった。
2. 横波斜角を用いた超音波探傷試験において、2 1/4 Cr - 1Mo 鋼管の場合は全ての欠陥検出が可能であったが、一方、SUS 304 鋼管の場合には、溶接部中央に位置する欠陥の検出は困難であった。
3. たて波斜角探傷を用いれば、SUS 304 鋼管であってもブローホールの一部を除いて検出可能ではあったが、一方使用装置、探触子等の違いによって、探傷結果に差が生じ今後も研究、開発が必要である。

5. 原子炉配管の補修溶接の機械化及びその非破壊試験に関する文献調査

配管の自動溶接及びその非破壊試験の現状を JICST, METADEX, ENERGY, COM-PENDEX 及び NTIS のデータベースより得られた国内及び海外の文献を通じて調査し、問題点を抽出した。また、その結果今後必要となる研究開発課題を下表に示すように明確にした。なお、本調査において引用した文献を羅列して示す。

今後の研究開発課題

項目	問題点	研究開発課題
溶接	<ol style="list-style-type: none"> マイコンを使用した配管の多層自動溶接の試作例が少なく、実機への適用例がきわめて少ない。^{20)~20)} 信頼性の高い Remote Monitoring の配管溶接への適用例が少ない。^{20)~22)} 狭隘かつ複雑な環境下にある配管用知能ロボットがない。²³⁾ 	<ol style="list-style-type: none"> 既存の制御技術を積極的に実機に適用することにより問題点を抽出し、さらに改良を加える。 既存の Remote Monitoring 技術の実製品への適用を通じて問題点を抽出し、改良を加える。また、他の技術の製品化を行う。 現地配管溶接に有効な知能ロボットの試作とその Feasibility について検討する。
超音波探傷試験	<ol style="list-style-type: none"> 欠陥の位置及びサイズの評価が現状では困難である。^{25)~31)} 対象とする欠陥の明確化（欠陥の種類及びその場所 ex. 溶接金属または HAZ）がなされていない。^{5)~7)} 実際の配管溶接部に対する Feasibility が明確ではない。 遠隔操作による超音波探傷試験技術に必要な技術が確立していない。 	<ol style="list-style-type: none"> 種々の人工欠陥を有する試験片を使用して、欠陥位置とそのサイズの評価に必要な定量的検出法の確立を計る。 対象とする欠陥の種類及びその場所に関する議論を種々の観点より行うことにより明確にする。 超音波探傷性を損う因子を有する溶接部の探傷時の対策の立案と欠陥検出性の向上について種々検討する。 現地配管の探傷時に必要な探傷装置の取付け及び取外し用知能ロボットを試作し、その Feasibility についても検討する。

参考文献リスト

- 1) 浜田他, “鋼管の周継手全姿勢自動溶接法の実用化研究”, 三菱重工技報, Vol. 13 (1976), No. 6, 8~11
- 2) 通産省告示 501号 — 昭和 45 年 9 月発行「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」
- 3) 通産省省令第 81 号
- 4) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. III, Nuclear Power Plant Components
- 5) ASME Code Case 1594 および 1595
- 6) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. XI, Rules for Nuclear Inservice Inspection
- 7) 日本電気協会指針「原子炉冷却材圧力バウンダリーの使用期間中検査 JEAC-4205」改訂案
- 8) Owen Hedden, “Code Requirements”, Proceedings of NDE Experts Workshop on Austenitic Pipe Inspection, February, 1976, 4-1~4-13
- 9) Gary J. Dau. BSME. PhD, “A Status Report on Austenitic Pipe Inspection.” IMechE, 1976, 141~145
- 10) 石井, 山寺, “原子力配管の溶接技術”, 原子力工業, 第 22 巻 (1976), 第 11 号, 65~69
- 11) G.R.Egan, “Fabrication Considerations,” Proceedings of NDE Experts Workshop on Austenitic Pipe Inspection, February, 1976, 8-1~8-10
- 12) Published by IIW, “Recommended Welded Connections for Pipe Work”, IIW Com. XI, Doc. No. IIW-146-64
- 13) J.P.Higgins, “The General Electric Report”, Nuclears News, Nov., 1968, 37~43
- 14) Allen Whiting, “Environmental Considerations”, Proceedings of NDE Experts Workshop on Austenitic Pipe Inspection, February, 1976, 5-1~5-15
- 15) G.R.Egan, “Subgroup Recommendations” Proceedings of NDE Experts Workshop on Austenitic Pipe Inspection, February, 1976, 11-1~11-20
- 16) John V. Mulcahy, “Pulsed - Current Orbital Tube and Pipe Welding”, Transactions of American Nuclear Society, No. 19 (1974), 122
- 17) A.F.Taylor “Experience with Pulsed TIG -welding at UKAEA Springfields”, Welding Inst. Seminar on Pulsed TIG Welding, 1973, 9~17
- 18) Peter P. Holz, “The ORNL Automated Orbital Pipe Welding Systems”, January, 1973, 1~50
- 19) Peter P. Holz et al, “Progress Report on Program Entitled Automated Welder for Nuclear Pipe Construction”, ORNL-TM-3764, March, 1972, 1~16
- 20) 吉田, “配管の遠隔操作による自動溶接”, 溶接技術, 1977 年 9 月, 15~23
- 21) 吉田他, “配管自動溶接機について”, 配管技術, 1978 年 5 月, 79~90
- 22) 岡田, 稲垣, “配管溶接における溶融状態のリモート, モニタリングについて”, PFW小委 B グループ配布資料, PFWB-54-27, 昭和 54 年 10 月 17 日
- 23) 久良, “視覚とロボットによる自動化 — パイプ溶接システムの場合 —” BITTO, Vol. 8 (1976), No. 8, 824~833
- 24) 木村, 松本: NDI 資料 No. 2330 (1969)
- 25) NDI 編: 超音波探傷試験 A (1976), 158~161
- 26) H.U.Richter, “Zur Ultraschallprüfung austenischer Schweißverbindungen”, Die Technik, 23 (10), 1968
- 27) 山本他, “オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷基礎実験”, 非破壊検査, Vol. 25 (1976), No. 9, 610~611
- 28) 米山, 芝田, 岸山, “オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷試験のための一実験 (その 2)”, NDI 資料 No. 2660, 昭和 53 年 1 月
- 29) 岩崎, 松本, 鈴木: NDI 資料 No. 2704, 昭和 53 年 11 月
- 30) H. Iwasaki et al, “Acoustic and Elastic Properties of Austenitic Stainless Steel Welds produced by TIG, MIG and SMAW”, Proceedings of the 21st Japan Congress on Materials Research
- 31) 山本, “オーステナイト系材料溶接部の結晶組織と超音波の減衰について”, NDI 資料 No. 2551, 昭和 50 年 6 月
- 32) NDI 202 小委員会 WG-7, “オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波斜角探傷”, NDI 第二分科会資料 No. 2661 (1978)
- 33) E. Neumal et al, “The Ultrasonic Testing of Welds in Austenitic Steels”, Proceedings of the International Conference on Quality Control and NDT in Welding, Nov., 1974, Paper 21
- 34) V.V.Grebennikov et al: Soviet Journal of NDT, 1974, 67
- 35) J.P.Pelseneer et al, “Ultrasonic Testing of Austenitic Steel Costing and Welds”, British Journal of NDT, July, 1974, 107
- 36) Mc Elroy, J.T., “Detailed Analysis of Fundamental Ultrasonic Response Data from Stainless Steel Corrosion Crack Specimens.”, Final Report, EPRI Tech. Planning Study 15-26 and SWRI Inc. Res. Proj. 17-9183, San Antonio, TX, June, 1976