

# 「常陽」 2次冷却系機器配管材

## サーベイランス試験計画書

区 分 変 更	
変更後資料番号	PNC <i>TN908</i> 77-04
決裁年月日	平成 10年 3月 26日

1 9 7 7 年 8 月

動力炉・核燃料開発事業団

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため限られた関係者だけに配布するものです。したがってその取扱いには充分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

## 2 次 冷 却 系 機 器 配 管 材

### サーベイランス試験計画書

鈴木 和久\*      谷 賢\*  
柚原 俊一\*\*    永田佐登司\*\*  
小杉 久夫\*\*\*   古 平 清\*\*\*\*

### 要 旨

高速実験炉「常陽」では原子炉の安全性を確保するために、その全供用期間にわたって主要部材の健全性を確認するためのサーベイランス試験を行うことを計画している。サーベイランス試験計画は

- 1) 原子炉構造材サーベイランス試験計画
- 2) 安全容器構造材サーベイランス試験計画
- 3) 1次主冷却系配管材サーベイランス試験計画
- 4) 2次冷却系機器配管材サーベイランス試験計画

からなり、本稿はこのうちの2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験計画をとりまとめたものであり、長期間にわたる試験の試験方法、データの評価方法等の統一を目的としたものである。

〔 本資料は、SN941-75-24(1975年4月)に若干の変更と追加があったので補正した  
ものである。 〕

---

\* 大洗工学センター 燃料材料試験部 照射材料試験室  
\*\* 大洗工学センター ナトリウム技術部 ナトリウム技術開発室  
\*\*\* 大洗工学センター 高速実験炉部 部付  
\*\*\*\* 大洗工学センター 高速実験炉部 技術課

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 2次冷却系機器配管材の仕様 .....	2
2.1 2次冷却系フローシートと構成材料 .....	2
2.2 構成材料の製造履歴と化学成分 .....	4
2.3 構成機器・配管の溶接施行法 .....	10
3. 試験片製作要領 .....	13
3.1 素材および保管材 .....	13
3.2 試験片の形状および加工要領 .....	13
3.3 試験片番号とその刻印要領 .....	16
4. 確認試験要領 .....	40
4.1 引張試験 .....	40
4.2 衝撃試験 .....	40
4.3 クリープ試験 .....	41
4.4 金相試験 .....	41
4.5 試験片の管理 .....	43
5. 試験片の組込みおよび取出要領 .....	46
5.1 試験片の組込み要領およびナトリウム浸漬条件 .....	46
5.2 試験片の取出要領および洗浄 .....	46
5.3 取出しスケジュール .....	47
6. サーベイランス試験要領 .....	51
6.1 引張試験 .....	51
6.2 衝撃試験 .....	51
6.3 クリープ試験 .....	51
6.4 金相試験 .....	51
6.5 試験片の管理 .....	52
7. 試験結果のまとめ方 .....	54
7.1 引張試験 .....	54
7.2 衝撃試験 .....	57

7.3	クリープ試験	57
7.4	金相試験	57
7.5	試験結果の総合的な評価	59
8.	あとがき	65
9.	参考文献	66
添付資料 I	2次冷却系サーベイランス試験片および参考試験片寸法のきめ方	67
添付資料 II	第1図 2次冷却系主配管内(ホットレグ)サーベイランス試験片組込図(その1)	71
	第2図	73
	第3図 2次冷却系オーバフロータンク内(コールドレグ)サーベイランス試験片組込図	74
	第4図 2次冷却系ダンプタンク内サーベイランス試験片組込図	75

## 目 次

- 第 1 図 「常陽」原子炉冷却系統図と 2 次冷却系サーベイランス試験片装荷位置
- 第 2 図 開先形状詳細図
- 第 3 図 室温および高温引張用サーベイランス試験片, その 1 (STPA24 母材)
- 第 4 図 " " , その 2 (SB42 母材)
- 第 5 図 " " , その 3 (STPA24 継手)
- 第 6 図 " " , その 4 (STPA24-SUS304 継手)
- 第 7 図 " " , その 5 (STPA24-STPT42 継手)
- 第 8 図 クリープ破断用サーベイランス試験片, その 1 (STPT24 母材)
- 第 9 図 " " , その 2 (STPA24 継手)
- 第 10 図 " " , その 3 (STPA24-SUS304 継手)
- 第 11 図 衝撃用サーベイランス試験片
- 第 12 図 腐食・金相・かたさ用試験片
- 第 13 図 " "
- 第 14 図 室温および高温引張用参考試験片, その 1 (STPA24 母材)
- 第 15 図 " " , その 2 (SB42 母材)
- 第 16 図 " " , その 3 (STPA24 継手)
- 第 17 図 " " , その 4 (STPA24-SUS304 継手)
- 第 18 図 " " , その 5 (STPA24-STPT42 継手)
- 第 19 図 クリープ破断用参考試験片, その 1 (STPA24 母材)
- 第 20 図 " " , その 2 (STPA24 継手)
- 第 21 図 " " , その 3 (STPA24-SUS304 継手)
- 第 22 図 衝撃用参考試験片
- 第 23 図 確認試験用衝撃試験片切欠位置 (参考試験片)
- 第 24 図 131500 時間制限応力強さ  $S_t$  (設計値) と確認試験データおよびサーベイランスデータの比較 (例)
- 第 25 図 CASE 1592 の  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼 { 焼なまし材  $C(w/o) = 0.07 \sim 0.15$  } の 100% 最小クリープ破断強度
- 第 26 図 Decarburization rate constants for all investigation.
- 第 27 図  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の温度に対する脱炭速度定数

## 目 次

第 1 表	定格運転時 ( 50 MW t , 100 MW t ) 設計及び使用温度条件
第 2 表	2 次主冷却系配管及びダンプタンク使用条件 ( 100 MW t )
第 3 表	サーベイランス材ミルシート ( サーベイランス装荷試験片 )
第 4 表	サーベイランス材ミルシート ( サーベイランス追加参考試験片 )
第 5 表	溶接施行法一覧表
第 6 表	「常陽」2 次主冷却系サーベイランス装荷試験片形状
第 7 表	「常陽」2 次主冷却系サーベイランス保管材形状
第 8 表	ホットレグ内装荷試験片番号 ( 2 次主冷却器入口配管内 )
第 9 表	コールド・レグ内装荷試験片番号 ( オーバフロータンク内 )
第 10 表	ダンプ・タンク内装荷試験片番号 ( ダンプタンク内 )
第 11 表	2 次冷却系確認試験条件
第 12 表	確認試験片番号
第 13 表	2 次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール
第 14 表	” ( 装荷位置Ⓐ )
第 15 表	” ( 装荷位置Ⓑ )
第 16 表	2 次冷却系サーベイランス試験条件 ( 装荷位置Ⓒ )
第 17 表	STPA24 ( 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> G - 1 Mo ) の時間に依存しない設計応力強さ
第 18 表	STPA24 ( 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> G - 1 Mo ) および SB42, STPT42 の時間に依存しない許容応力
第 19 表	STRESS LIMIT ADJUSTMENT FACTORS FOR SODIUM EXPOSURE
第 20 表	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> Cr - 1 Mo 鋼の時間に依存しない設計応力強さ ( CASE 1592 )
第 21 表	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> Cr - 1 Mo 鋼の時間と温度に依存する設計応力強さ

## 1. ま え が き

2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験は、原子炉の運転にともなって、その材料強度特性がどのように変化して行くかを調査し、(1)運転を継続しても2次冷却系が安全であることを確認し、(2)配管の使用寿命を予測するために行なわれるものである。

2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験では、配管材そのものが置かれている特徴的な同一環境条件下に、着脱が容易な構造のサーベイランス試験片を装荷する（以下、サーベイランス装荷試験片と称する）。これらの試験片を定期的に抜き出し、ナトリウム浸漬前の試験データ（本報告では確認試験データと称する）および常陽の設計応力値など<sup>1)2)3)</sup>と比較し、上記(1)、(2)の目的を達成するため、材料強度ならびに腐食に関する試験を行なうものである。

本報告は「常陽」2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験計画の内容についてのべたものである。



## 2. 2次冷却系機器配管材の仕様

2次主冷却系機器配管材としてサーベイランス試験の対象とされているのは、(1)2次主冷却系ホットレグ部配管、(2)2次主冷却系コールドレグ部配管、(3)2次系ダンプタンクの3つである。

2次主冷却系配管は、主中間熱交換器～主冷却器、主冷却器～2次主冷却系循環ポンプ、2次主冷却系循環ポンプ～主中間熱交換器の主配管と、その他の付属配管よりなる。本系統は非放射性で、主中間熱交換器と格納容器を結ぶ経路を除き、格納容器外に設置され全て一重管である。

ダンプタンクは、横置円筒サドル支持型で2次系の冷却材として使用されるナトリウムを充填前に保持し、またドレン時に貯蔵する目的で設置されている。

サーベイランス個所と対応する試験片装荷位置は下記の通りである。

- (i) 2次主冷却系ホットレグ部配管………2次主配管(ホットレグ)内
- (ii) 2次主冷却系コールドレグ部配管………2次冷却系オーバーフロータンク内
- (iii) 2次冷却系ダンプタンク………2次冷却系ダンプタンク内

### 2.1 2次冷却系フローシートと構成材料

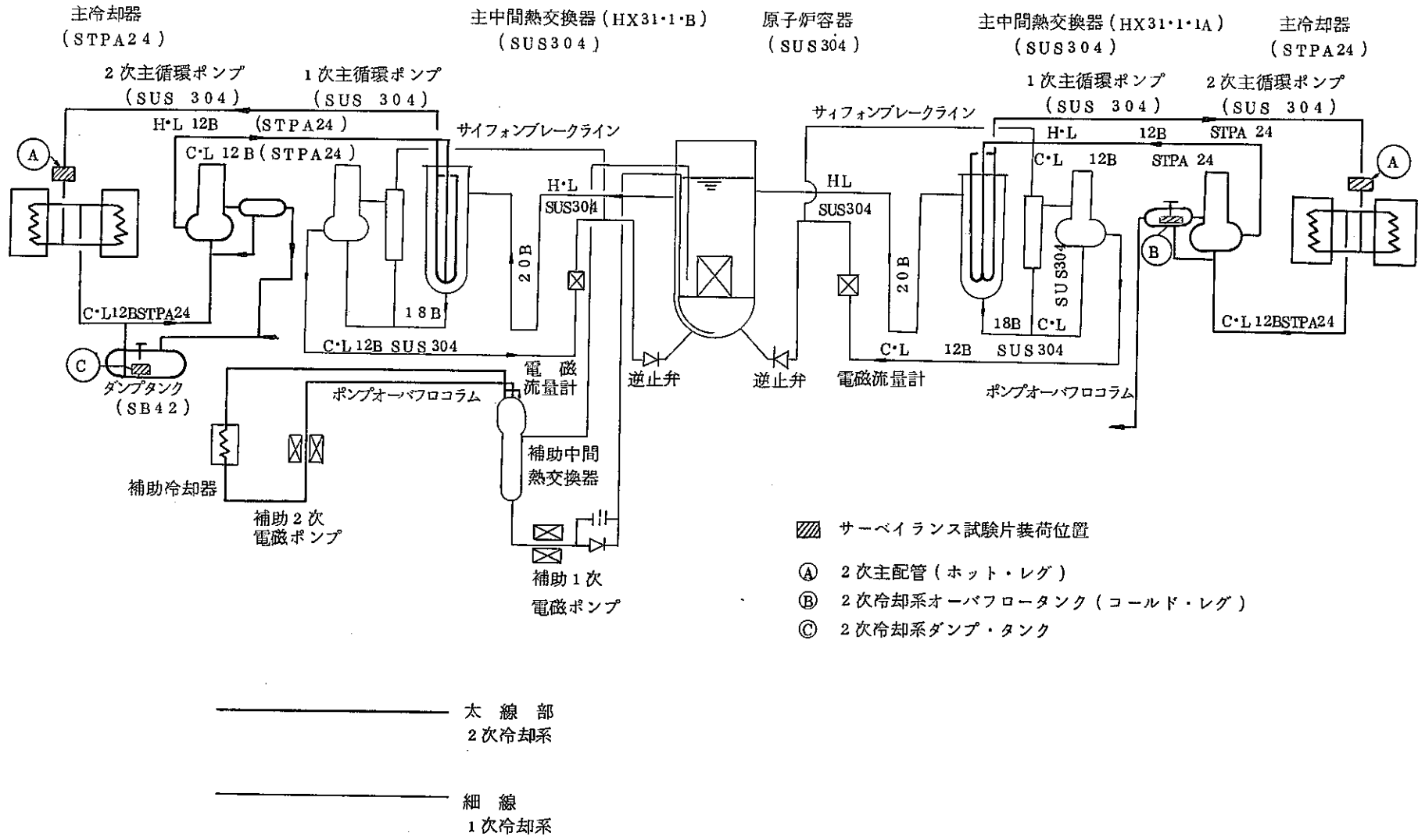
第1図に「常陽」原子炉冷却系フローシートとサーベイランス試験片装荷位置を示す。図中の太線が2次冷却系である。

2次主冷却系機器配管材はSTPA 24(12B, Sch 40)鋼が使用されており、2次系ダンプタンクおよびオーバーフロータンクにはSB-42(14mmt および 9mmt)鋼が使用されている。

第1表に「常陽」定格運転時(50MWt, 100MWt)の設計および使用温度条件、第2表に2次冷却系の使用条件を示す。

第1表 定格運転時(50MWt, 100MWt)設計及び使用温度条件

出力		1次主冷却系		2次主冷却系		2次冷却系 ダンプタンク
		ホット・レグ (炉心出口)	コールドレグ (炉心入口)	ホット・レグ (IHX出口)	コールドレグ (IHX入口)	
運転	50 MWt	435℃	370℃	420℃	355℃	250℃ (充填ドレン時)
条件	100 MWt	500℃	370℃	470℃	340℃	
設計	50 MWt &100MWt	550℃	450℃	520℃	400℃	400℃



第1図 「常陽」原子炉冷却系統図と2次冷却系サーベイランス試験片装荷位置

第2表 2次主冷却系配管及びダンプタンク使用条件(100MWt)

		設計条件		運転条件(通常状態)		
		圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g)	温度 (℃)	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g)	温度 (℃)	熱サイクル
ホットレグ配管	主中間熱交換器～ 主冷却器	内圧 4.5 外圧 1.35	内圧負荷時 520 外圧負荷時 520	内圧 3.27 外圧 1.0	内圧負荷時 470～250 外圧負荷時 250～150	通常運転起動 250回, 50℃/hr  通常運転停止 250回, -50℃/hr  スクラム後起動 500回, 50℃/hr
	コールドレグ配管	主冷却器～循環ポンプ	内圧 2.0 外圧 1.35	内圧負荷時 400	内圧 1.27 外圧 1.0	
	循環ポンプ～主冷却器	内圧 5.0 外圧 1.35	外圧負荷時 400	内圧 3.54 外圧 1.0		
ダンプタンク		内圧 1.9 外圧 1.0	内圧負荷時 400 外圧負荷時 250	1.5	340	—

2.2 構成材料の製造履歴と化学成分

サーベイランス対象部材の製造履歴は下記の通りである。

(1) 2次主冷却系配管(STPA 24, 12B Sch 40)

(1.1) 製造履歴

溶 製	塩基性転炉
	公称容量 70トン/チャージ
熱間製管	マンネスマンプラグミル製管機
冷間抽伸	200トン/水圧抽伸機
熱 処 理	焼ならし 焼戻し (台車式バッチ炉)
非破壊検査	
超音波探傷試験	探傷器 SPERRY UR-C 周波数 2.25MHZ 検査成績 欠陥波なし

マクロエッチ試験 正 常

ミクロ組織試験 正 常

(2) 2次主冷却系配管—IHX 出入口部配管—(SUS304, 12B Sch40)

(2.1) 製 造 履 歴

溶 製	塩基性電気炉
	公称容量 8ton/チャージ
熱 間 製 管	エルハルトブッシュベンチ製管機
熱 処 理	溶体化熱処理 (台車式 バッチ炉)
仕 上	内, 外旋削仕上
非 破 壊 検 査	
超 音 波 探 傷	探 傷 器 東京計器 UM 721 試験周波数 2.25MHZ 検 査 成 績 欠陥なし
浸 透 探 傷 試 験	浸 透 液 特殊塗料(株)製 P - T 洗 滌 液 R - T 現 像 液 D - T 検 査 成 績 欠陥指示なし
腐 食 試 験	正 常 (合 格) JIS. G. 0575 による。

(3) ダンプタンク接続部配管 (STPT 42, 2B Sch40)

製 造 履 歴	
溶 製	塩基性転炉
	公称容量 70ton/チャージ
熱 間 製 管	マンネスマンプラグミル製管機
熱 処 理	焼ナマシ 空冷 (ローラーハース炉)

(4) ダンプタンク接続部配管 (STPA24, 2B Sch40)

製 造 履 歴 ; (1)のSTPA24 (12B Sch40) と同一

(5) ダンプタンク胴板 (SB42)

(5.1) 製造履歴

溶製

純酸素上吹転炉

公称容量 ; 70 ton/チャージ

鋼塊 ; 20 ton

分塊

熱間圧延 (スラブ厚さ 150mm)

手入れ

ホットスカーフィング又はグラインダー

圧延

160° 二重逆転式粗圧延機

170° 四重逆転式仕上ロール

非破壊検査

Head Plate 用素材についてのみ超音波探傷検査を行ない、その要領は下記による。

探傷装置 海上電機(株) F-1 型パルス反射式

探触子 // T-19D-3

垂直非分割 10mmφ

周波数 5 MHz

探傷箇所 素材 100mm マス目の交点

検査成績 欠陥波なし

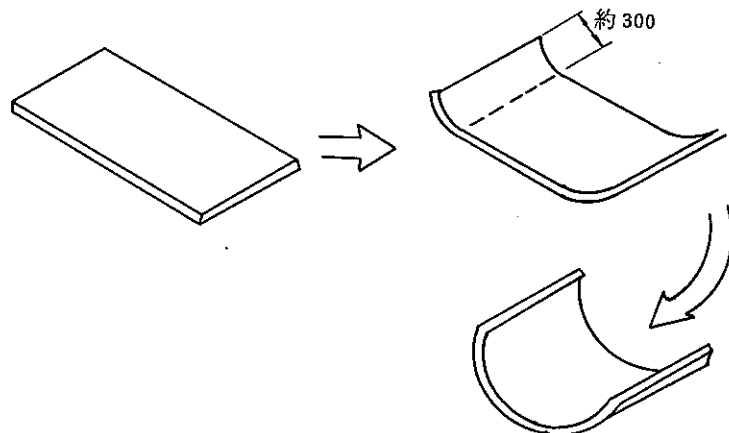
(5.2) 加工履歴

曲げ加工

胴板 (板厚 14mmt)

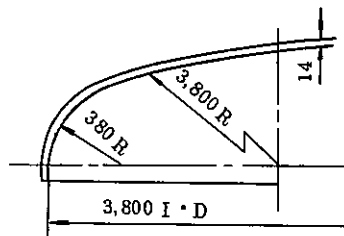
平板を所要寸法に切断の後、平板両端の約 300mm をプレスにて 1,900mmR に曲げ加工を行なう。

上記、加工後ベンディングローラにて 3,800mmφ に曲げ加工を行なう。

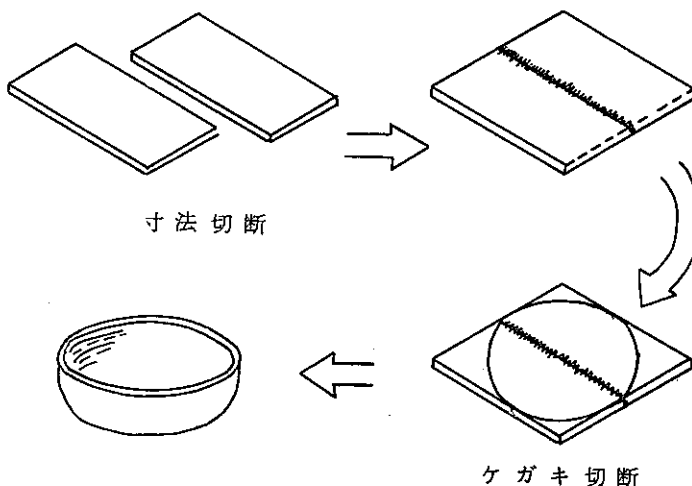


鏡板

1. 平板を所要寸法に切断の後，継手溶接を行なう。
2. 2枚継板を鏡板プラグダイヤにて切断する。
3. プレス加工後，熱間スピニング加工にて下図の様に加工する。

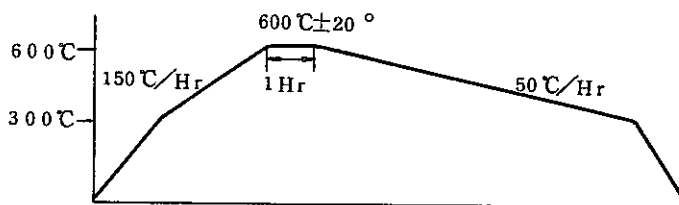


鏡板形状



熱処理

鏡板の成型加工後行ない，熱処理温度は下図に依る。



表面仕上げ

製品内面の溶接線についてのみグラインダー（120 #砥石）にて仕上げを行なう。

サーベイランス対象部材の化学成分については，第3表，第4表の「サーベイランス対象部材ミルシート」に詳細を示す。

第3表 サーベイランス材ミルシート(サーベイランス装荷試験片)

材 料	製造メーカー Change. No.		引 張 試 験			化 学 成 分 ( % )									
			耐 力 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co
STPA24 (12B)	住友金属 NNC3633	規格値	≥21	≥42	≥30	≤0.15	≤0.50	0.30~ 0.60	≤0.030	≤0.030	—	—	1.90~ 2.60	0.87~ 1.13	—
			37	53	36	L 0.10	0.37	0.46	0.020	0.016	—	—	2.16	0.99	—
			38	54	37	C 0.11	0.36	0.48	0.019	0.015	—	—	2.21	0.95	—
			39	54	34										
STPA24 (2B)	住友金属 NQC9805	規格値	≥21	≥42	≥30	≤0.15	≤0.50	0.30~ 0.60	≤0.030	≤0.030	—	—	1.90~ 2.60	0.87~ 1.13	—
			33	53	48	L 0.10	0.39	0.46	0.013	0.007	—	—	2.19	0.95	—
						C 0.09	0.42	0.50	0.016	0.007	—	—	2.18	0.93	—
SB42	新日本製鉄 3084	規格値	≥23	42~50	≥23	≤0.24	0.15~ 0.30	≤0.80	≤0.035	≤0.040	—	—	—	—	—
			28	45	27	L 0.17	0.27	0.68	0.022	0.007	—	—	—	—	—
			28	45	29	C —	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STPT42 (2B)	住友金属 NQA9219	規格値	≥25	≥42	≥25	≤0.30	0.10~ 0.35	0.30~ 1.00	≤0.035	≤0.035	≤0.20	—	—	—	—
			31	45	62	L 0.14	0.27	0.47	0.034	0.028	0.02	—	—	—	—
						C 0.15	0.27	0.49	0.033	0.023	0.01	—	—	—	—
SUS304 (12B)	住友金属 NND9631	規格値	≥21	≥53	≥35	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	—	8.00~ 10.00	18.00~ 20.00	—	—
			23	57	68	L 0.06	0.55	1.70	0.022	0.005	—	9.20	18.50	—	0.24
						C 0.06	0.56	1.71	0.022	0.005	—	9.20	18.40	—	0.24

第4表 サーベイランス材ミルシート(サーベイランス追加参考試験片)

材 料	製造メーカー Charge. No.		引 張 試 験			化 学 成 分 ( % )									
			耐 力 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co
STPA24 (12B)	住友金属 NNC3633	規格値	≥21	≥42	≥30	≤0.15	≤50	0.30~ 0.60	≤0.030	≤0.030	—	—	1.90~ 2.60	0.87~ 1.13	—
			37	53	36	L 0.10	0.37	0.46	0.020	0.016	—	—	2.16	0.99	—
			38 39	54 54	37 34	C 0.11	0.36	0.48	0.019	0.015	—	—	2.21	0.95	—
STPA24 (2B)	住友金属 NNS8450	規格値	≥21	≥42	≥30	≤0.15	≤0.50	0.30~ 0.60	≤0.030	≤0.030	—	—	1.90~ 2.60	0.87~ 1.13	—
			31	52	50	L 0.12	0.40	0.47	0.015	0.005	—	—	2.20	0.96	—
			32	52	49	C 0.11	0.42	0.48	0.020	0.005	—	—	2.23	0.96	—
SB42	新日本製鉄 1123	規格値	≥23	42~50	≥23	≤0.24	0.15~ 0.30	≤0.80	≤0.035	≤0.040	—	—	—	—	—
			28	46	32	L 0.18	0.24	0.72	0.022	0.004	—	—	—	—	—
						C —	—	—	—	—	—	—	—	—	—
STPA42 (2B)	住友金属 NQA9219	規格値	≥25	≥42	≥25	≤0.30	0.10~ 0.35	0.30~ 1.00	≤0.035	≤0.035	≤0.20	—	—	—	—
			31	45	62	L 0.14	0.27	0.47	0.034	0.028	0.02	—	—	—	—
						C 0.15	0.27	0.49	0.033	0.023	0.01	—	—	—	—
SUS304 (12B)	住友金属 NNC2134	規格値	≥21	≥53	≥35	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	—	8.00~ 11.00	18.00~ 20.00	—	—
			26	59	72	L 0.06	0.38	1.58	0.023	0.008	—	9.30	18.45	—	—
						C 0.06	0.40	1.60	0.024	0.006	—	9.30	18.40	—	—



### 2.3 構成機器配管の溶接施行法

2次主冷却系機器，配管の溶接は，科学技術庁又は通商産業省に認可された溶接施行法及び溶接士により行なわれている。

溶接は，全溶込貫通溶接でJIS 1級以上の検査に合格するものである。これらの試験・検査は通商産業省令 81号及び告示 501号等に準拠して行なわれた。

#### 試験項目

- (1) 材料試験……………耐圧部の材料は，素材メーカーの発行する材料成績表（ミルシート）により該当する規格通りの化学成分，機械強度であることを確認する。
- (2) 溶接部試験……………溶接部は(1)開先寸法検査，(2)機械試験，(3)液体浸透探傷試験及び(4)放射線透過試験で確認する。
- (3) 耐圧試験……………耐圧溶接部は，設計圧力の1.25倍の気圧，または1.5倍の水圧で耐圧試験を行ないこれに耐えかつ漏洩のないことを確認する。
- (4) 漏洩試験……………主要溶接部は，He漏洩試験を行ない1溶接線当りの漏洩量が常温において $1 \times 10^{-6}$  Acc/sec以下であることを確認する。
- (5) 外観寸法検査……………機器，配管完成後目視により外観検査を行ない，外観寸法の測定，各継手位置，方向を確認する。

溶接施行法一覧表を第5表に，また，開先形状を第2図に示す。

第 5 表 溶 接 施 行 法 一 覧 表

*1 継手 種別	板厚 (mm)	材 質	*2 溶接方法	姿勢	溶着金属	予熱温度 (°C以上)	*4 被覆棒	溶 接 材 料					溶接機	層数	(注) 応力除去、焼鈍
								自動、半自動		TIG, MIG					
								心棒	フラックスまたは シールドガス	*5 溶加材	シールド ガス	裏ガス 保護			
I	10.3	STPA 24	T <sub>F</sub> +M	A	クローム・モ リブデン鋼	T <sub>F</sub> =50 M=250	CMA -106	-	-	TGS -2CM	Ar	行なう	DC &AC	多層	
II	10.3	STPA 24 SUS 304	T <sub>F</sub> +M	A	インコネル	なし	NIC -70A	-	-	インコネル #82T	Ar	行なう	DC &AC	多層	
III	3.9	STPA 24 STPT 42	T <sub>F</sub> +M	A	クローム・モ リブデン鋼	T <sub>F</sub> =50 M=250	BL76	-	-	TGS -M	Ar	行なう	DC &AC	多層	
IV	14.0	SB42	M	F	炭素鋼	-	LB 52U	-	-	-	-	-	AC	多層	

\* 1 : 開先形状は、第 2 図に示す。

\* 2 : T<sub>F</sub> は初層ティグ溶接、M は被覆アーク溶接を示す。

\* 3 : A は全姿勢溶接、F は下向姿勢溶接を示す。

\* 4 : CMA-106 は JIS 2416, NIC-70A は AWS : ENiCr-Fe-1, BL76 は JIS : D5016, LB52U は JIS : D4316 相当品である。

\* 5 : TGS-M は 0.5% Mo 鋼用、TGS-2CM は 2.25% Cr-1 Mo 鋼用溶加材

(注) 直接加熱の場合の保持時間  
である。炉内加熱の場合は  
約 1 時間増 (直接加熱+Hr)  
である。

第2図 開先形状詳細図

継手種別	開先形状
I	
II	
III	
VI	

### 3. 試験片製作要領

2次冷却系サーベイランス装荷試験片は放射化されないことから、冷却系から取り出した後、コールド・エアで試験および機械加工等を行なう。従って、装荷試験片は、(イ)実機の挙動を確認できる。(ロ)実機に装荷しやすい、(ハ)浸漬後各種の試験片製作が可能である等という点を考慮して第6表に示すような実機から切り出した実寸の円弧型試験片もしくは平板試験片形状を採用する。

さらに参考試験用として、(1)腐食の影響を敏感にキャッチする、(2)溶接部の目違いや、余盛などの形状効果によるデータのバラツキをより正確に評価する目的で第1回目の試験片取出後、その取付部に、JIS規格に準拠した形状の引張試験片(円型断面)およびクリープ破断試験片(同)、衝撃試験片(角型断面)を各サーベイランス試験片装荷部に挿入する。以下、これらを装荷参考試験片と呼ぶ。

#### 3.1 素材および保管材

サーベイランス試験の素材は、①STPA24母材、②STPA24-S TPA24継手部材③STPA24-SUS304継手部材、④SB42母材、⑤STPT42-S TPA24継手部材の5種類ある。

2次主冷却系配管材については、ホットレグに装荷(2次主冷却器入口配管内)するものは、実機のホットレグ配管の残材から、また、コールド装荷(オーバーフロータンク内)するものは、実機のコールドレグ配管の残材から採取する。

タンク材については、実機のダンプタンク残材より採取する。また、継手部材②、③、⑤は、実機と同一仕様の溶接で、実機と同一の試験検査に合格したものより採取する。

なお、サーベイランス装荷試験片の他に、将来、追加試験等の必要が生じた場合に備え、保管材を準備している。これも又、実機の残材より採取したものである。

第6表及び第7表にサーベイランス装荷試験片及び保管材の形状・寸法を示す。

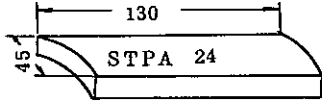
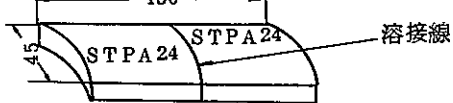
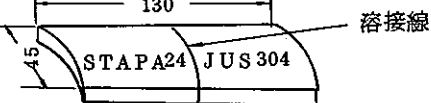
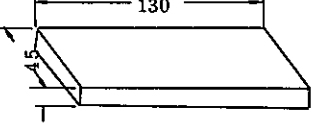
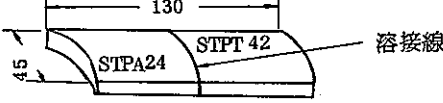
#### 3.2 試験片の形状および加工要領

2次冷却系サーベイランス装荷試験片は、管長手方向およびロール方向(SB42材)から切り出す。

サーベイランス装荷試験片の長手断面表面の1部は、腐食観察のため、鏡面仕上げをしている。

サーベイランス装荷試験片からのサーベイランス試験片切り出しは、すべて管長方向およ

第6表 「常陽」2次主冷却系サーベイランス装荷試験片形状

<p>STPA 24 管材の 母材試験片</p>	 <p>12B Sch40の管材より切り出す</p>
<p>STPA 24 管材の 継手試験片</p>	 <p>12B Sch40の管材より切り出す</p>
<p>STPA 24-SUS 304 管 材の継手試験片</p>	 <p>12B Sch40の管材より切り出す</p>
<p>SB 42 板材の母材 試験片</p>	
<p>STPA 24-STPT 42 管 材の継手試験片</p>	 <p>12B Sch40の管材より切り出す</p>

第7表 「常陽」2次主冷却系サーベイランス保管材形状

材 種	員数	寸 法	備 考
STPA24(12B), 母材	2		㊟ ク, 引, 衝, 金 ㊿ ク, 引, 衝
	1		㊟ ク, 引, 衝, 金 ㊿ ク, 引, 衝
STPA24(12B)/STPA24 (12B)継手	2		㊟ ク ㊿ 引, ク, 衝
	2		㊟ ク, 引, 衝, 金
STPA24(12B)/SUS304 (12B)継手	1		㊟ ク ㊿ ク 但し, SUS304 が実機と異なる。
	2		㊟ ク, 引, 衝, 金 ㊿ ク, 引, 衝
SB42	1		㊿ 引, 衝
	1		㊟ 引, 衝, 金
STPA24(2B)/STPT42 (2B)継手	1		㊟ 引, 衝, 金 ㊿ 引, 衝,

㊟ サーベイランス装荷試験片と同一材

㊿ " 装荷参考試験片と同一材

ク：クリープ試験片，引：引張試験片，衝：衝撃試験片，金：金相試験片

びロール方向とする。また、衝撃試験片のノッチはすべて管径方向につけるものとする。腐食、金相、かたさ用試験片の中の少なくとも1本は長手方向断面に鏡面仕上げされた面を残すように切出すこと。

サーベイランス装荷試験片から切り出される試験片（以下、サーベイランス試験片と称する）の形状を第3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13図に、参考試験片形状を第14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22図に示す。

### 3.3 試験片番号とその刻印要領

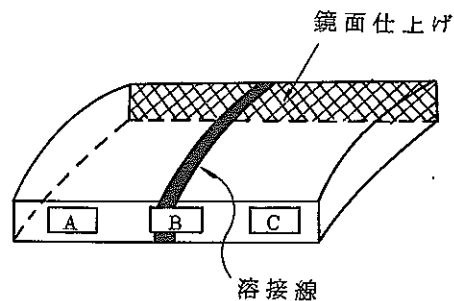
2次冷却系サーベイランス装荷試験片は、2次主冷却系ホット・レグ（主冷却器入口配管）内、コールド・レグ（オーバーフロータンク）内、及びタンク内に素材（円弧状および板状試験片）の形で装荷されている。各装荷場所での試験片には、番号が刻印されており、その番号に従って取出し、材料試験が行なわれる。試験片の装荷装置、取出し年次、試験片番号、ならびに試験の種類を第8, 9, 10表に示す。

素材の刻印要領は、下図に示す通り、素材片端面A, B, Cの個所に刻印する。そして、一素材から採取する試験片の数の違いにより、

- 1 素材から1本の試験片の採取の時…………… Bの位置
- 1 素材から2本の試験片の採取の時…………… A, Cの位置
- 1 素材から3本の試験片の採取の時…………… A, B, Cの位置

にそれぞれ刻印する。

なお、素材に鏡面仕上げの指示あるものは、刻印端と反対側端面が鏡面仕上げになっている。



同様に装荷参考試験片の装荷位置、取出し年次、試験片番号ならびに試験の種類を第8, 9, 10表に示す。

試験片の刻印個所は、第3～22図中に示す通り、試験片断面に刻印する。

第8表 ホットレグ内装荷試験片番号(2次主冷却器入口配管内)

目標取出年次	材料試験	試験片番号						
		サーベイランス装荷試験片				装荷参考試験片		
		素材No.	STPA24母材	STPA24継手	STPA24-SUS304継手	STPA24母材	PTPA24継手	STPA24-SUS304継手
1	引張試験	1 2	R001, R002 R003, R004	S001, S002 S003, S004	T001, T002 T003, T004	-	-	-
	衝撃試験	3	R101 ~R103	S101 ~S103	T101 ~T103	-	-	-
	クリープ試験	4 5 6	R201, R202 R203, R204 R205, R206	S201, S202 S203, S204 S205, S206	T201, T202 T203, T204 T205, T206	-	-	-
	腐食, 金相, かたさ	7	R301 ~R303	S301 ~S303	T301 ~T303	-	-	-
25	引張試験	8 9	R005, R006 R007, R008	S005, S006 S007, S008	T005, T006 T007, T008	AR001 ~AR004	ASS001 ~ASS004	ATT001 ~ATT004
	衝撃試験	10	R104 ~R106	S104 ~S106	T104 ~T106	AR101 ~AR103	AS101 ~AS103	AT101 ~AT103
	クリープ試験	11 12 13	R207, R208 R209, R210 R211, R212	S207, S208 S209, S210 S211, S212	T207, T208 T209, T210 T211, T212	AR201 ~AR206	ASS201 ~ASS206	ATT201 ~ATT206
	腐食, 金相, かたさ	14	R304 ~R306	S304 ~S306	T304 ~T306	-	-	-
5	引張試験	15 16	R009, R010 R011, R012	S009, S010 S011, S012	T009, T010 T011, T012	AR005 ~AR008	ASS005 ~ASS008	ATT005 ~ATT008
	衝撃試験	17	R107 ~R109	S107 ~S109	T107 ~T109	AR104 ~AR106	AS104 ~AS106	AT104 ~AT106
	クリープ試験	18 19 20	R213, R214 R215, R216 R217, R218	S213, S214 S215, S216 S217, S218	T213, T214 T215, T216 T217, T218	AR207 ~AR212	ASS207 } ASS212	ATT207 } ATT212
	腐食, 金相, かたさ	21	R307 ~R309	S307 ~S309	T307 ~T309	-	-	-
10	引張試験	22 23	R013, R014 R015, R016	S013, S014 S015, S016	T013, T014 T015, T016	AR009 ~AR012	ASS009 ~ASS012	ATT009 ~ATT012
	衝撃試験	24	R110 ~R112	S110 ~S112	T110 ~T112	AR107 ~AR109	AS107 ~AS109	AT107 ~AT109
	クリープ試験	25 26 27	R219, R220 R221, R222 R223, R224	S219, S220 S221, S222 S223, S224	T219, T220 T221, T222 T223, T224	AR213 ~AR218	ASS213 } ASS218	ATT213 } ATT218
	腐食, 金相, かたさ	28	R310 ~R312	S310 ~S312	T310 ~T312	-	-	-
15	引張試験	29 30	R017, R018 R019, R020	S017, S018 S019, S020	T017, T018 T019, T020	AR013 ~AR016	ASS013 ASS016	ATT013 ~ATT016
	衝撃試験	31	R113 ~R115	S113 ~S115	T113 ~T115	AR110 ~AR112	AS110 ~AS112	AT110 ~AT112
	クリープ試験	32 33 34	R225, R226 R227, R228 R229, R230	S225, S226 S227, S228 S229, S230	T225, S226 T227, S228 T229, S230	AR219 ~AR224	ASS219 } ASS224	ATT219 } ATT224
	腐食, 金相, かたさ	35	R313 ~R315	S313 ~S315	T313 ~T315	-	-	-



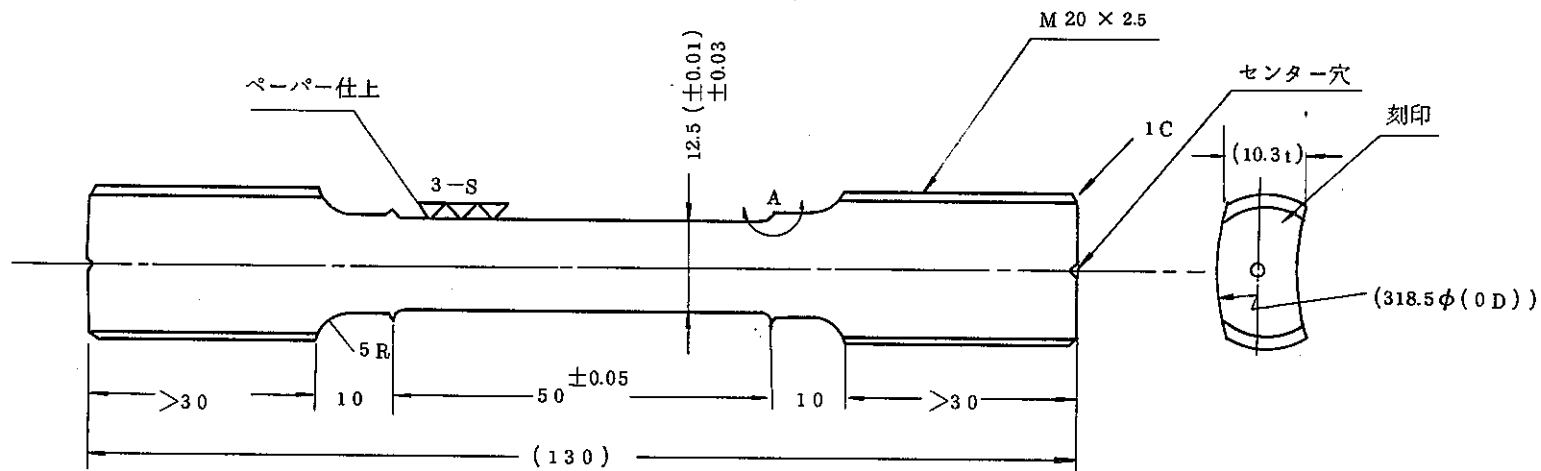
第9表 コールド・レグ内装荷試験片番号(オーパフロータンク内)

目標取 出年次	材 料 試 験	試 験 片 番 号						
		サーベイランス装荷試験片				装荷参考試験片		
		素材 No.	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24-SUS 304 継手	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24- SUS 304 継手
1	引 張 試 験	1	R021, R022	S021, 022	T021, T022	-	-	-
		2	R023, R024	S023, 024	T023, T024	-	-	-
	衝 撃 試 験	3	R116 ~R118	S116 ~S118	T116 ~T118	-	-	-
		4	R316 ~R318	S316 ~S318	T316 ~T318	-	-	-
2.5	引 張 試 験	6	R025, R026	S025, S026	T025, T026	AR017	ASS017	ATT017
		7	R027, R028	S027, S028	T027, T028	~AR020	~ASS020	~ATT020
	衝 撃 試 験	8	R119 ~R321	S119 ~S121	T119 ~T121	AR113 ~AR115	AR113 ~AS115	AT113 ~ATT015
		9	S319 ~R321	S319 ~S321	T319 ~T321	-	-	-
5	引 張 試 験	11	R029, R030	S029, S030	T029, T030	AR021	ASS021	ATT021
		12	R031, R032	S031, S032	T031, T032	~AR024	~ASS024	~ATT024
	衝 撃 試 験	13	R122 ~R124	S122 ~S124	T122 ~T124	AR116 ~AR118	AS116 ~AS118	AT116 ~AT118
		14	R322 ~R324	S322 ~S324	T322 ~T324	-	-	-
10	引 張 試 験	16	R033, R034	S033, S034	T033, T034	AR025	ASS025	ATT025
		17	R035, R036	S035, S036	T035, T036	~AR028	~ASS028	~ATT028
	衝 撃 試 験	18	R125 ~R127	S125 ~S127	T125 ~T127	AR119 ~AR121	AS119 ~AS121	AT119 ~AT121
		19	R325 ~R327	S125 ~S327	T325 ~T327	-	-	-
15	引 張 試 験	21	R037, R038	S037, S038	T037, T038	AR029	ASS029	ATT029
		22	R039, R040	S039, S040	T039, T040	~AR032	~ASS032	~ATT032
	衝 撃 試 験	23	R128 ~R130	S128 ~S130	T128 ~T130	AR122 ~AR124	AS119 ~AS124	AT119 ~AT124
		24	R328 ~R330	S328 ~S330	T328 ~T330	-	-	-
		25	予備材	同 左	同 左	-	-	-

第10表 ダンプタンク内装荷試験片番号(ダンプタンク内)

目標取 出年次	材料試験	試験片番号				
		サーベイランス装荷試験片			装荷参考試験片	
		素材 No.	SB42母材	STPA24- STPT42継手	SB42母材	STPA24- STPT42継手
1	引張試験	1 2 3 4	X001 X002 X003 X004	Z001 Z002 Z003 Z004	-	-
	衝撃試験	5	X101~X103	Z101~Z103	-	-
	腐食, 金相, かたさ	(注1)	X301~X303	Z301~Z303	-	-
25	引張試験	6 7 8 9	X005 X006 X007 X008	Z005 Z006 Z007 Z008	AX001~AX004	AZZ001 } AZZ004
	衝撃試験	10	X104~X106	Z104~Z106	AX101~AX103	AZ101~AZ103
	腐食, 金相, かたさ	(注1)	X304~X306	Z304~Z306	-	-
5	引張試験	11 12 13 14	X009 X010 X011 X012	Z009 Z010 Z011 Z012	AX~005~AX008	AZZ005 } AZZ008
	衝撃試験	15	X107~X109	Z107~Z109	AX104~AX106	AZ104~AZ106
	腐食, 金相, かたさ	(注1)	X307~X309	Z307~Z309	-	-
10	引張試験	16 17 18 19	X013 X014 X015 X016	Z013 Z014 Z015 Z016	AX009~AX012	AZZ009 } AZZ012
	衝撃試験	20	X110~X112	Z110~Z112	AX107~AX109	AZ107~AZ109
	腐食, 金相, かたさ	(注1)	X310~X312	Z310~Z312	-	-
15	引張試験	21 22 23 24	X017 X018 X019 X020	Z017 Z018 Z019 Z020	AX013~AX016	AZZ013 } AZZ016
	衝撃試験	25	X113~X115	Z113~Z115	AX110~AX112	AZ110~AZ112
	腐食, 金相, かたさ	(注1)	X313~X315	Z313~Z315	-	-

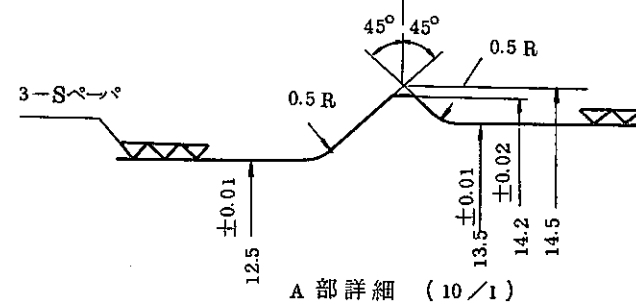
注1……………腐食, 金相, かたさ試験は, 衝撃試験片切出し後の残材を使用。



尺度 (1/1)  
 単位 mm

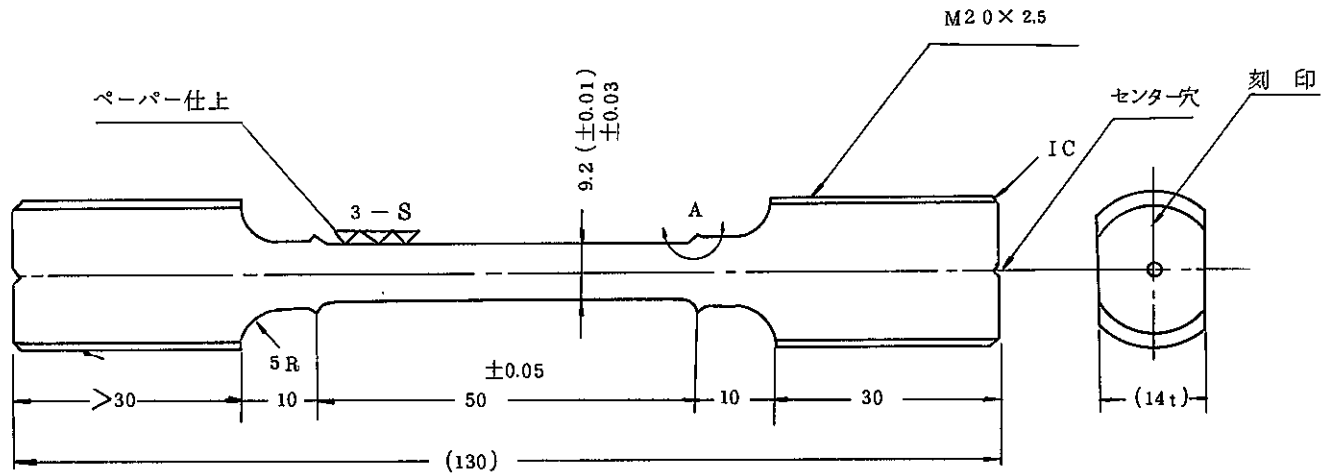
注. ネジ部の加工精度はJIS2級とし  
 2級の限界ネジゲージにより検査  
 合格したものとす。

注. 平行部公差 ( $\pm 0.01$ ) は目標値と  
 する。



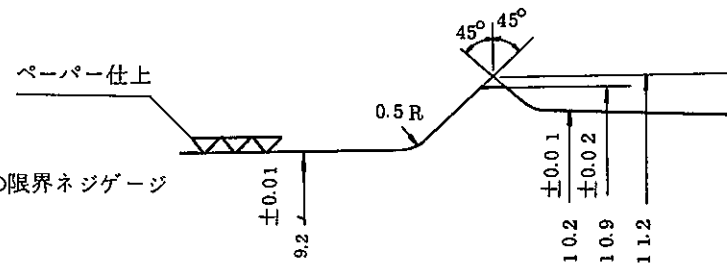
A部詳細 (10/1)

第3図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その1 (STPA24母材)



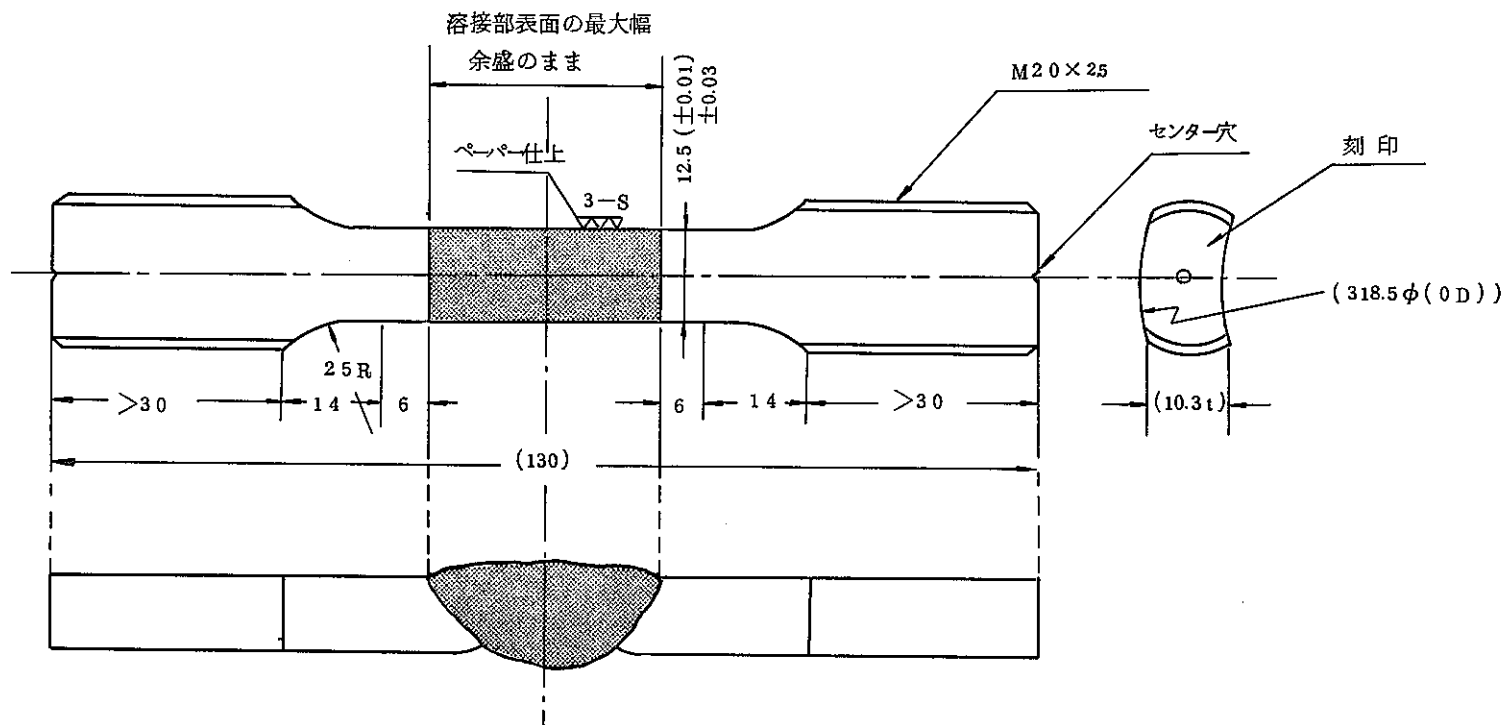
尺度 (1/1)  
 単位 (mm)

注. ネジ部の加工精度はJIS2級とし、2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。  
 注. 寸法公差 (1.001) は目標値とする。



A部詳細 (10/1)

第4図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その2 (SB42母材)



尺度 (1/1)

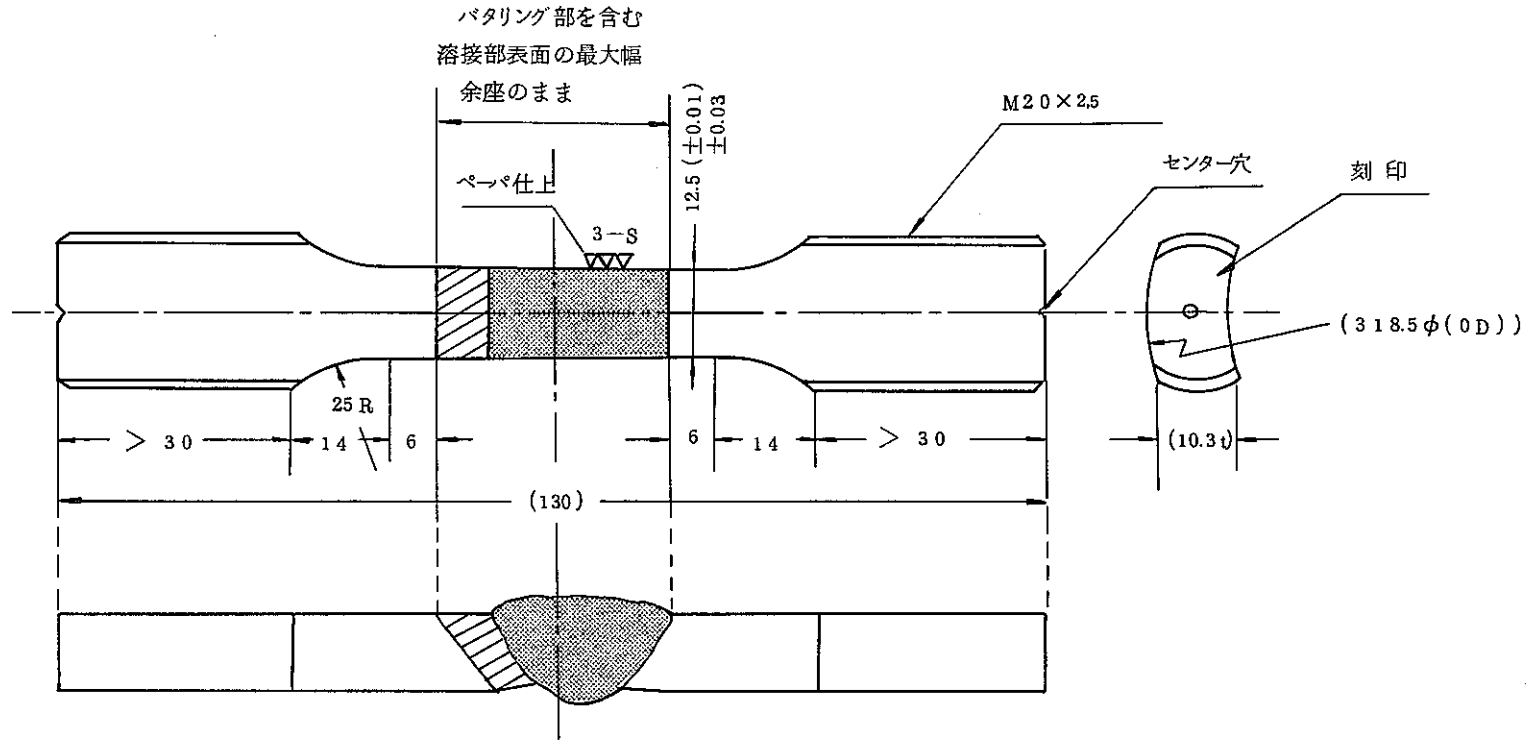
単位 (mm)

注. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし、2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注. 寸法公差(±0.01)は目標値とする。

注. 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第5図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その3 (STPA 24 継手)



尺度 (1/1)

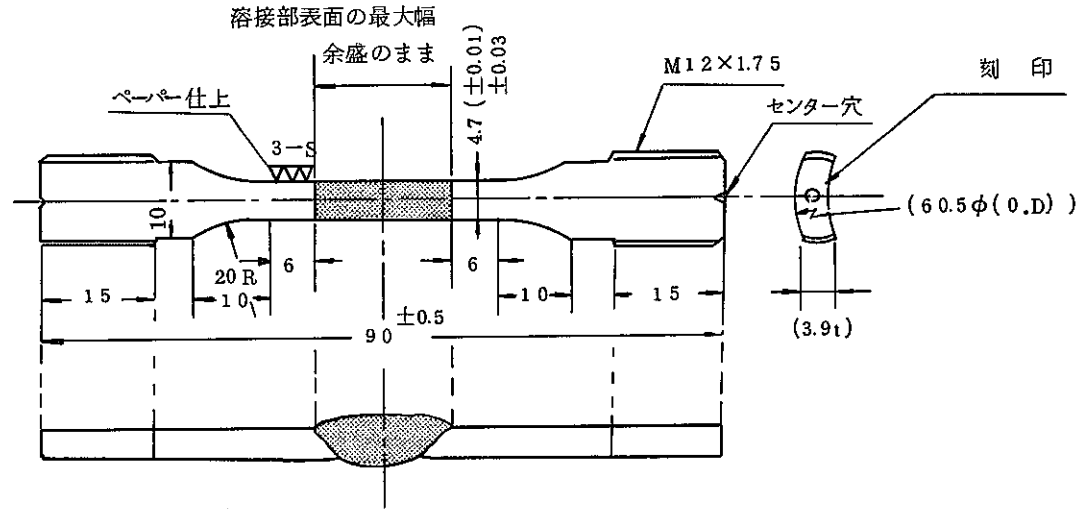
単位 (mm)

注. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし、2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注. 寸法公差(±0.01)は目標値とする。

注. 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第6図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その4 (STPA 24-SUS 304継手)



尺 度 (1/1)

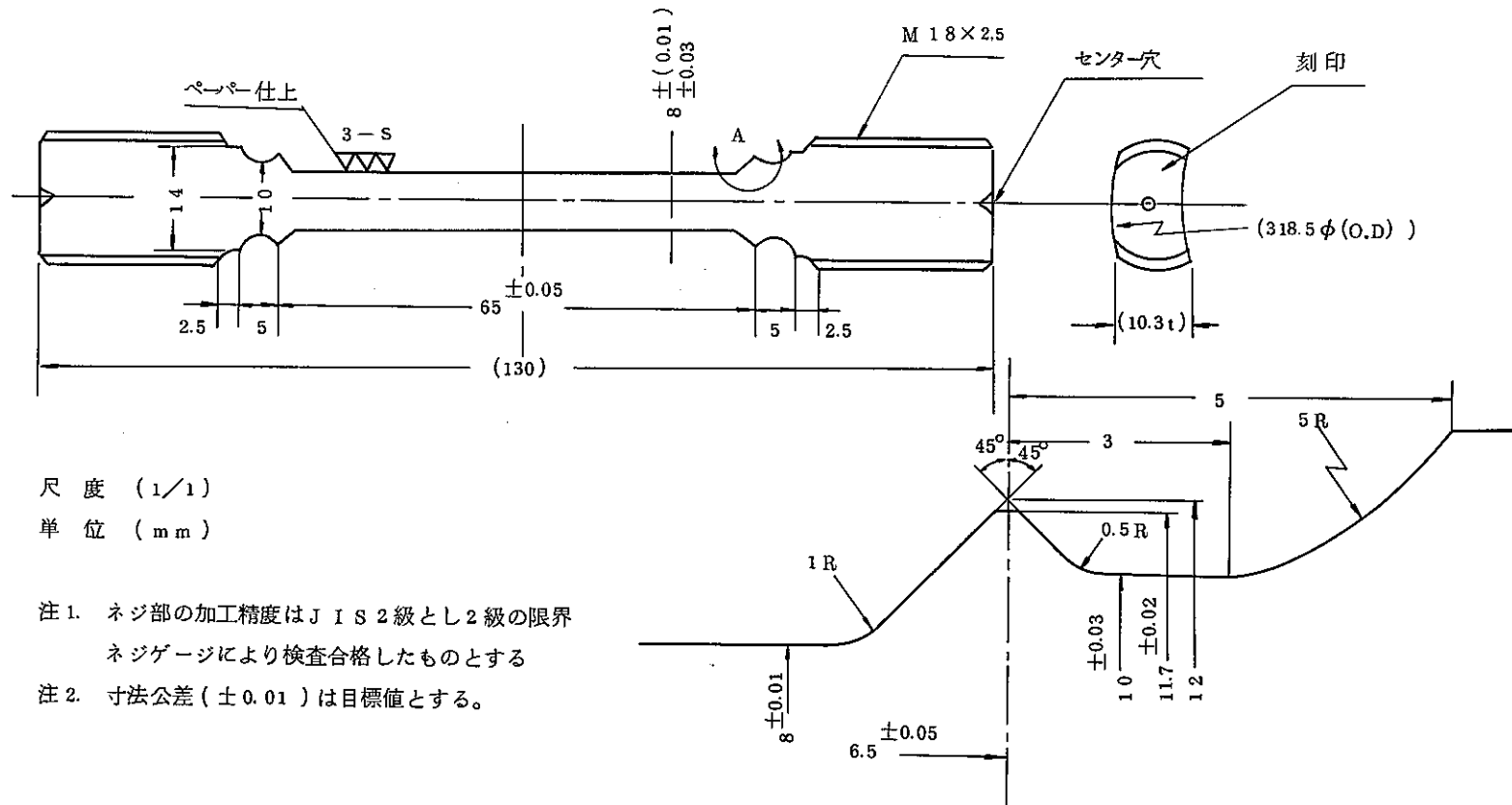
単 位 (mm)

注. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし、2級の限界ネジゲージにより  
検査合格したものとする。

注. 寸法公差±0.01は目標値とする。

注. 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第7図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その5 (STPA24-STPT42継手)



尺度 (1/1)

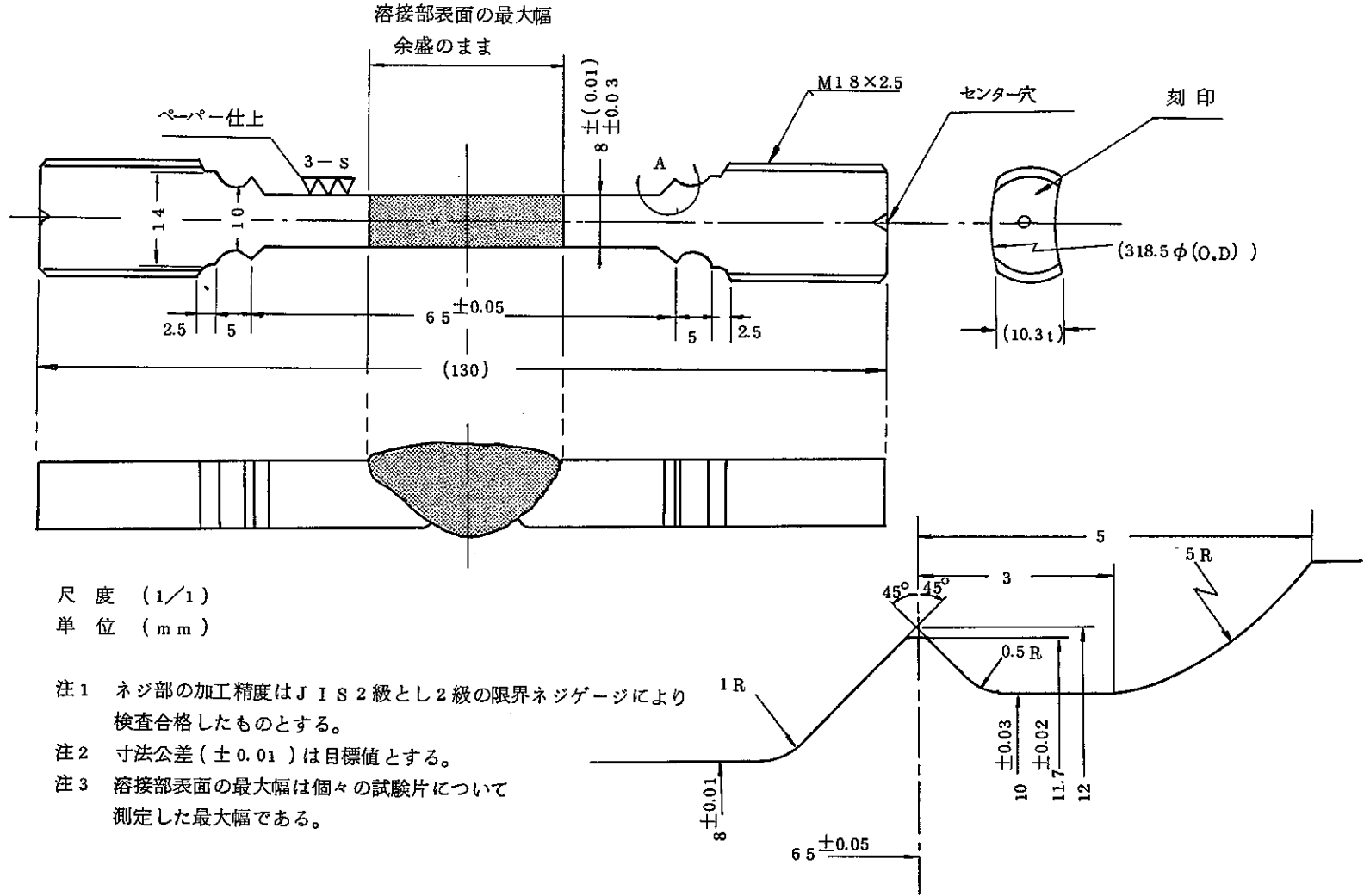
単位 (mm)

注1. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の限界  
ネジゲージにより検査合格したものとする

注2. 寸法公差 (±0.01) は目標値とする。

第8図 クリープ破断用サーベイランス試験片 その1 (STPA 24 母材)

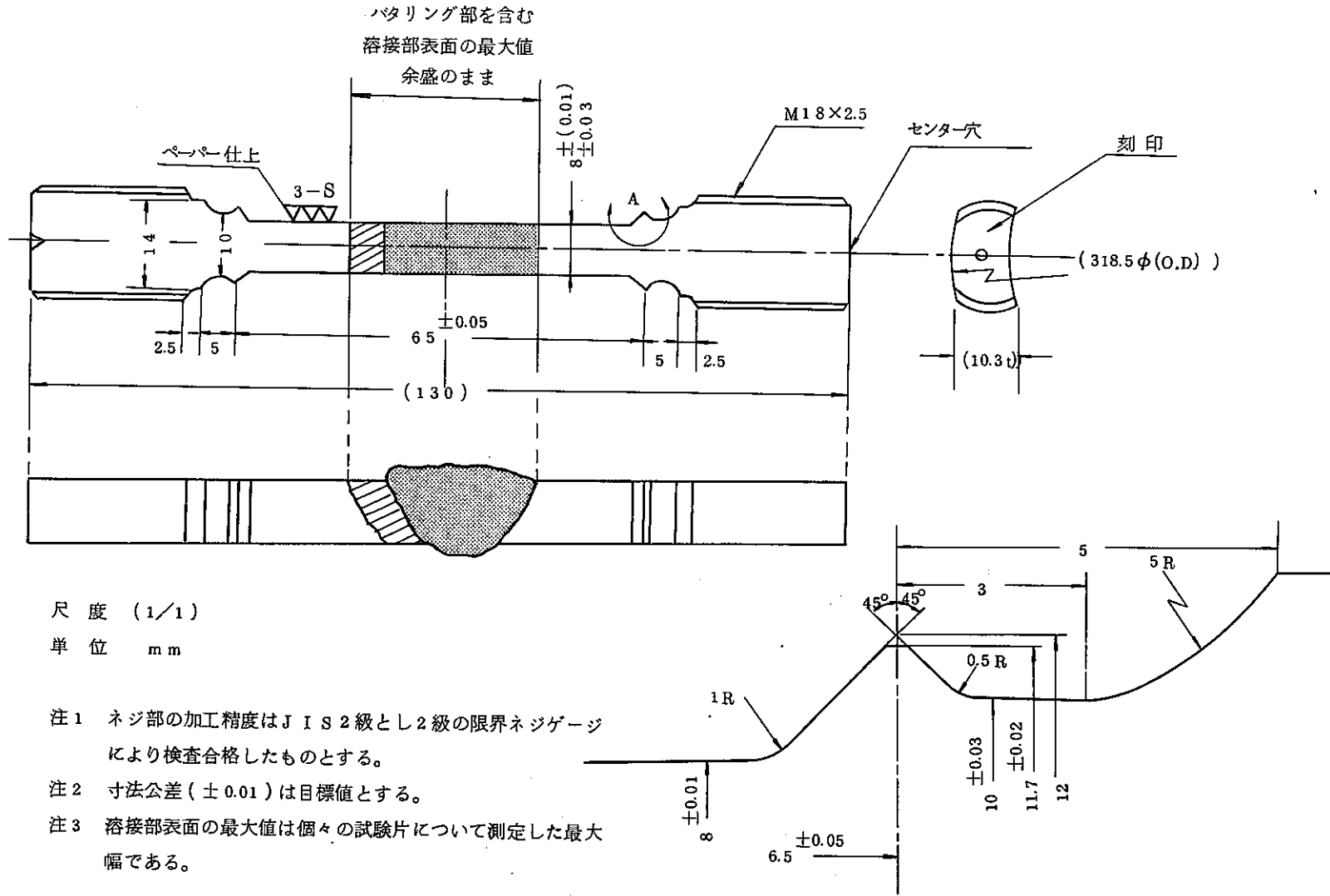




尺度 (1/1)  
 単位 (mm)

- 注1 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。
- 注2 寸法公差(±0.01)は目標値とする。
- 注3 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第9図 クリープ破断用サーベイランス試験片その2 (STPA 24 継手)



尺度 (1/1)

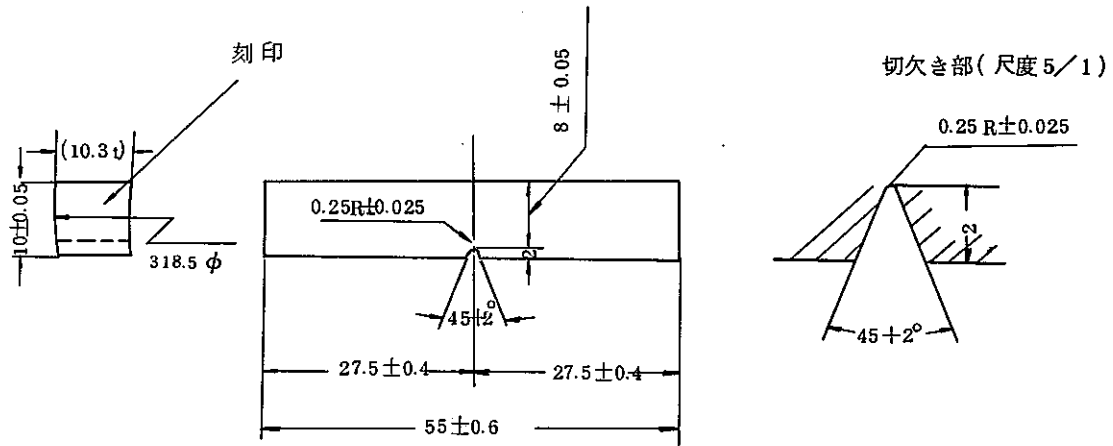
単位 mm

注1 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注2 寸法公差(±0.01)は目標値とする。

注3 溶接部表面の最大値は個々の試験片について測定した最大幅である。

第10図 クリープ破断用サーベイランス試験片 その3 (STPA 24-SUS 304継手)

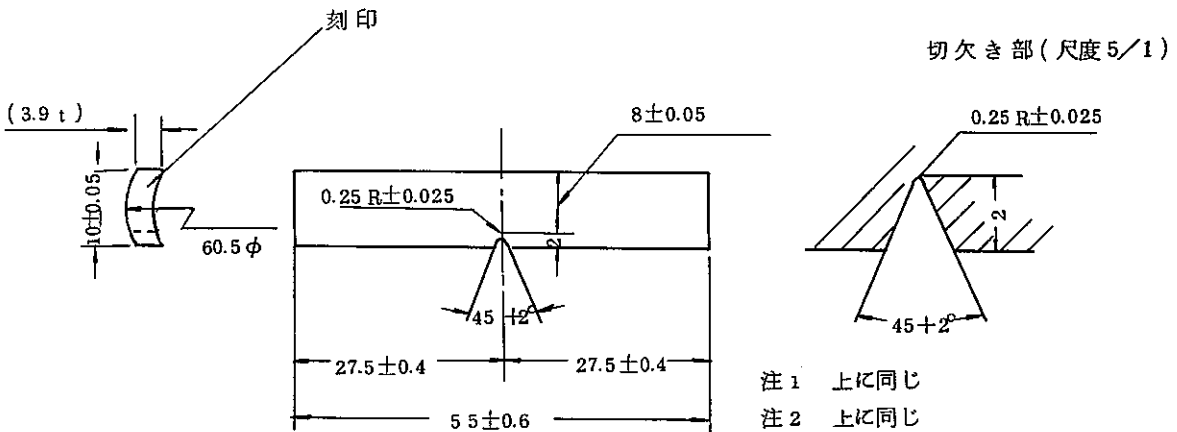


注1 ノッチはすべて径方向に入れる。

注2 継手材のノッチ位置は、本文 4.2 項および 6.2 項を参照する。

(a) 衝撃用サーベイランス試験片 その1

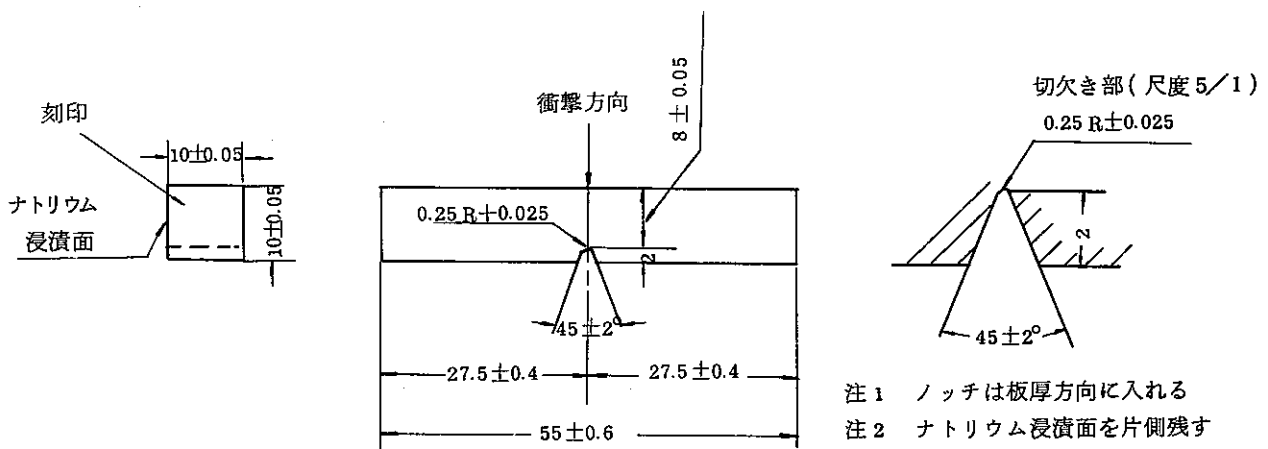
(STPA24母材, STPA24継手, STPA24-SUS304継手)



注1 上に同じ

注2 上に同じ

(b) 衝撃用サーベイランス試験片 その2 (STPA24-STPT42継手)

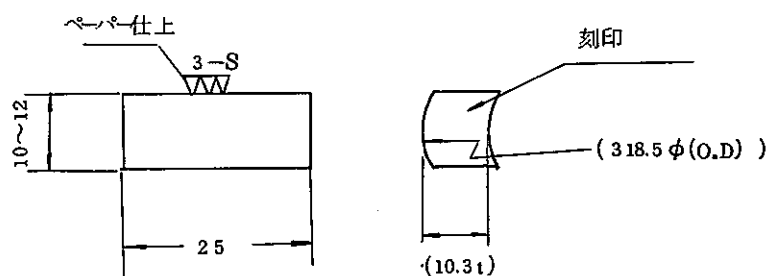


注1 ノッチは板厚方向に入れる

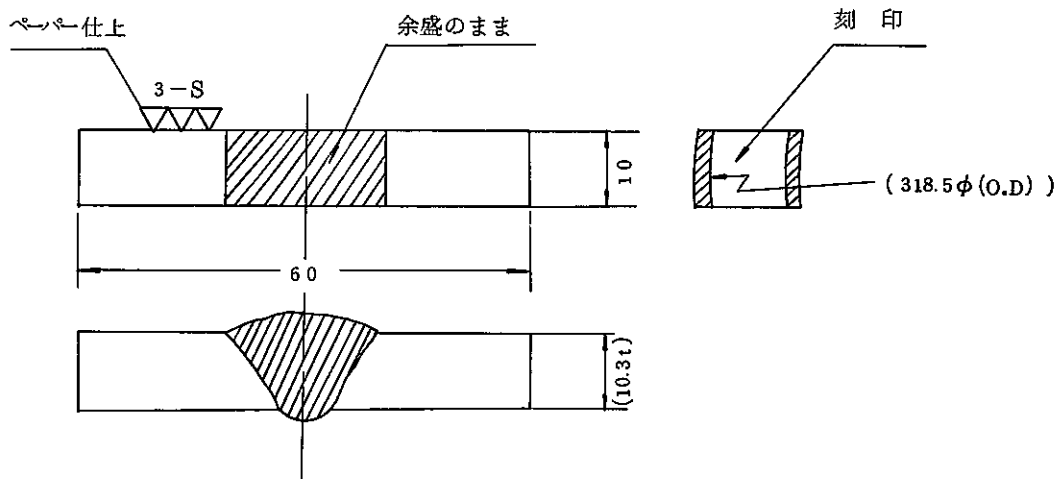
注2 ナトリウム浸漬面を片側残す

(c) 衝撃用サーベイランス試験片 その3 (SB42母材)(尺度 1/1, 単位 mm)

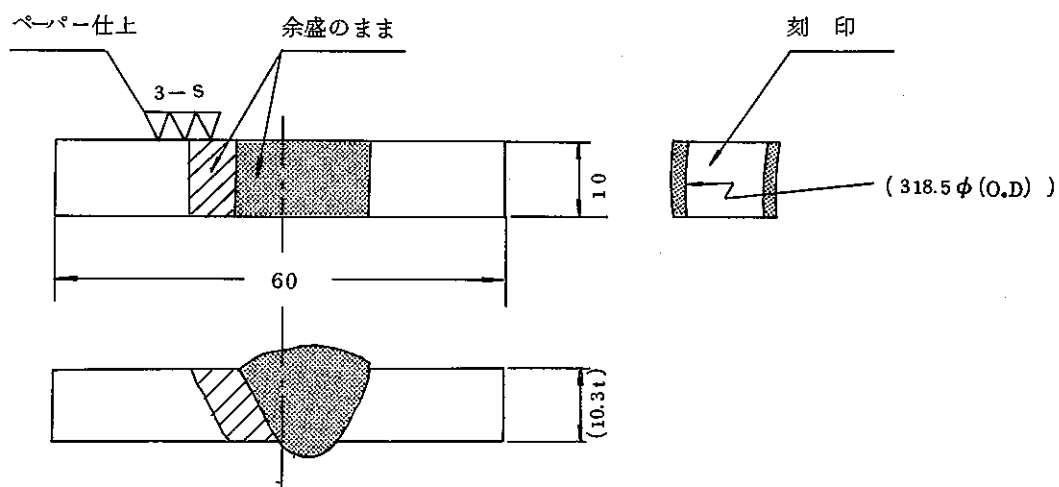
第11図 衝撃用サーベイランス試験片



(a) 腐食, 金相, かたさ用試験片 その1 (STPA 24 母材)



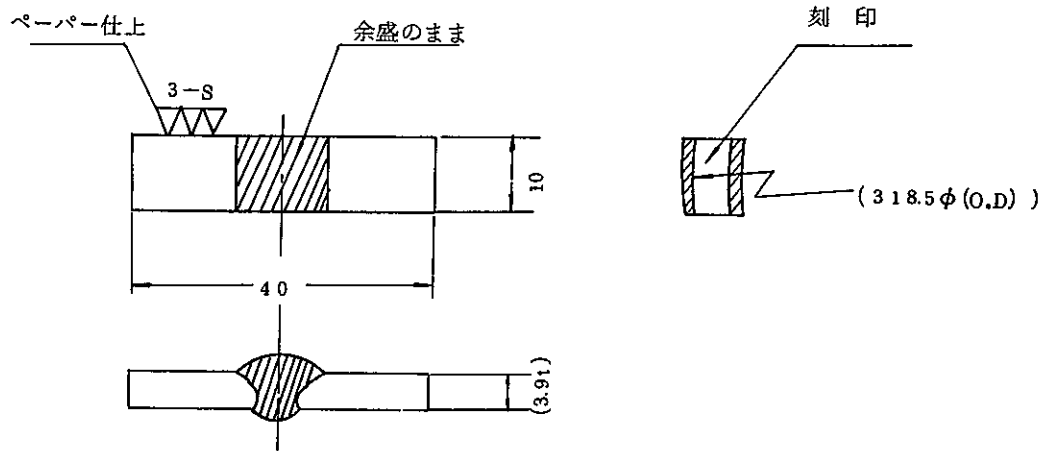
(b) 腐食, 金相, かたさ用試験片 その2 (STPA 24 継手)



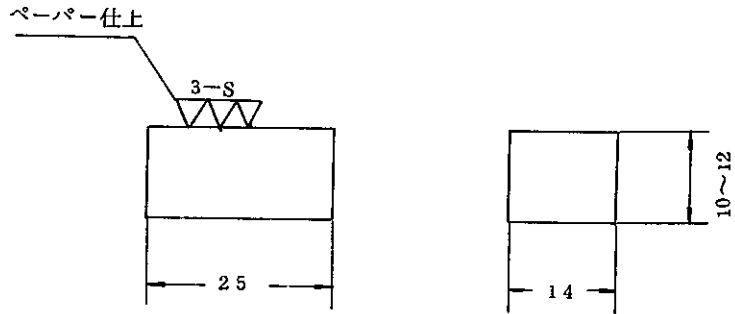
(c) 腐食, 金相, かたさ用試験片 その3 (STPA 24-SUS 304 継手)

第12図 腐食, 金相, かたさ用試験片

注 長手方向断面仕上については本文 3.2 項を参照する。



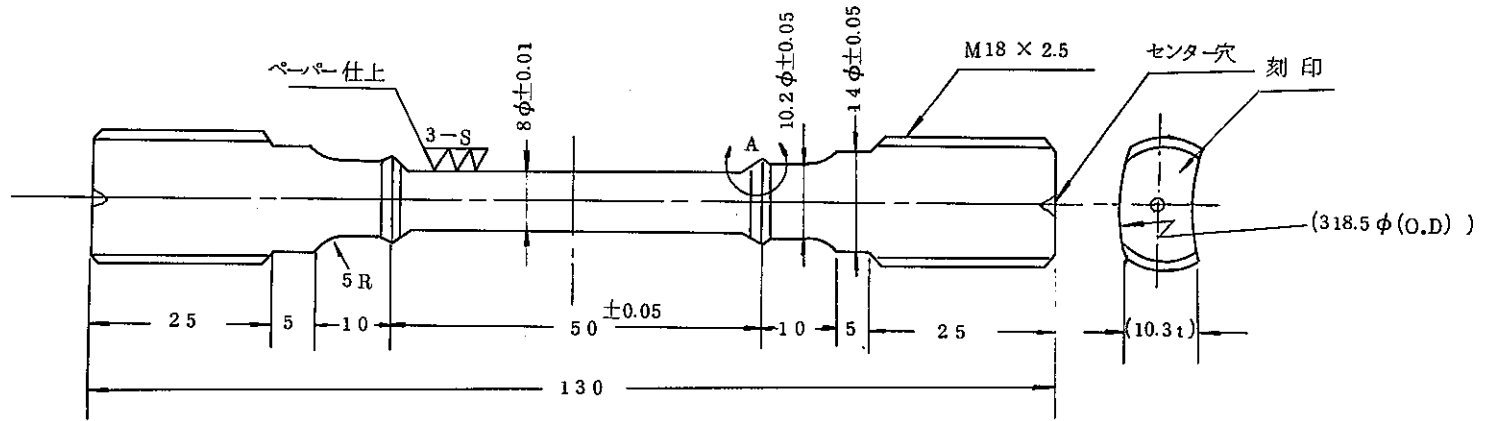
(d) 腐食，金相，かたさ試験片 その4 (STPA24-STPT42継手)



(e) 腐食，金相，かたさ試験片 その5 (SB42母材)

第13図 腐食，金相，かたさ試験片

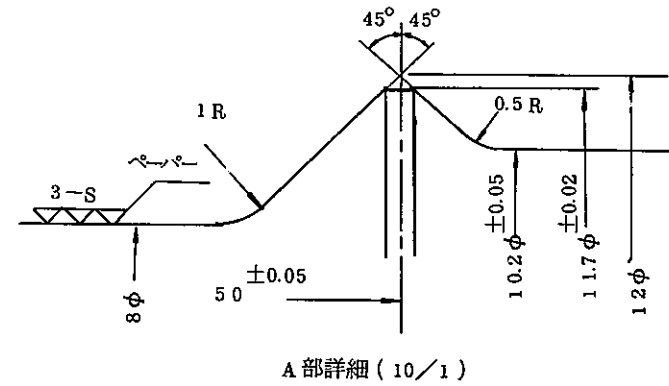
注 長手方向断面仕上については本文3.2項を参照する。



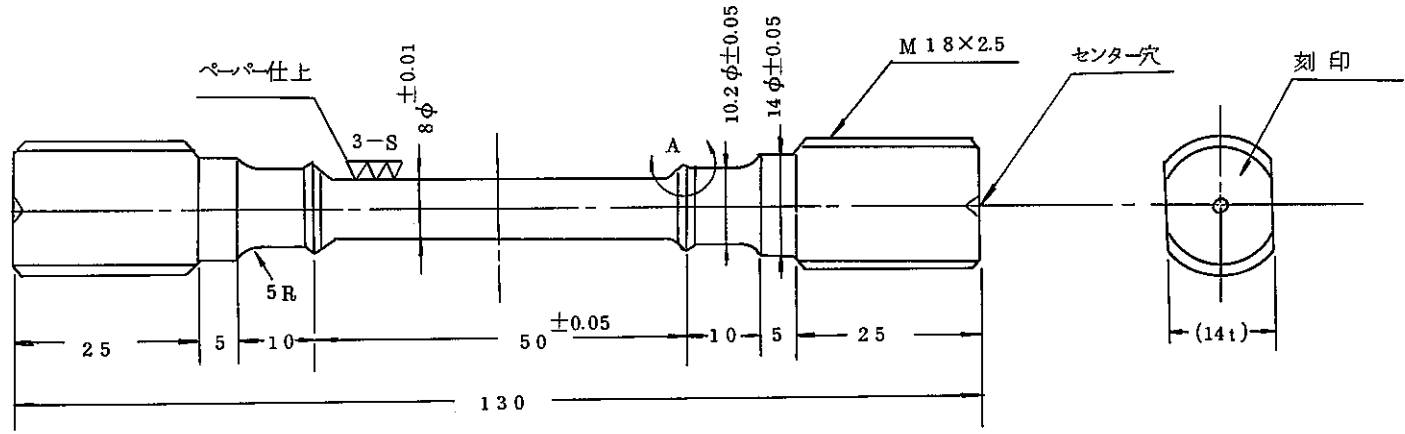
尺度 (1/1)

単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の  
限界ネジゲージにより検査合格したもの  
とする。

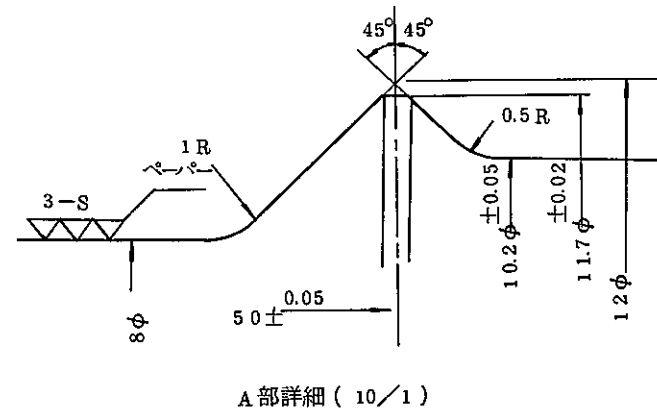


第 14 図 室温および高温引張用参考試験片 その1 (STPA 24 母材)



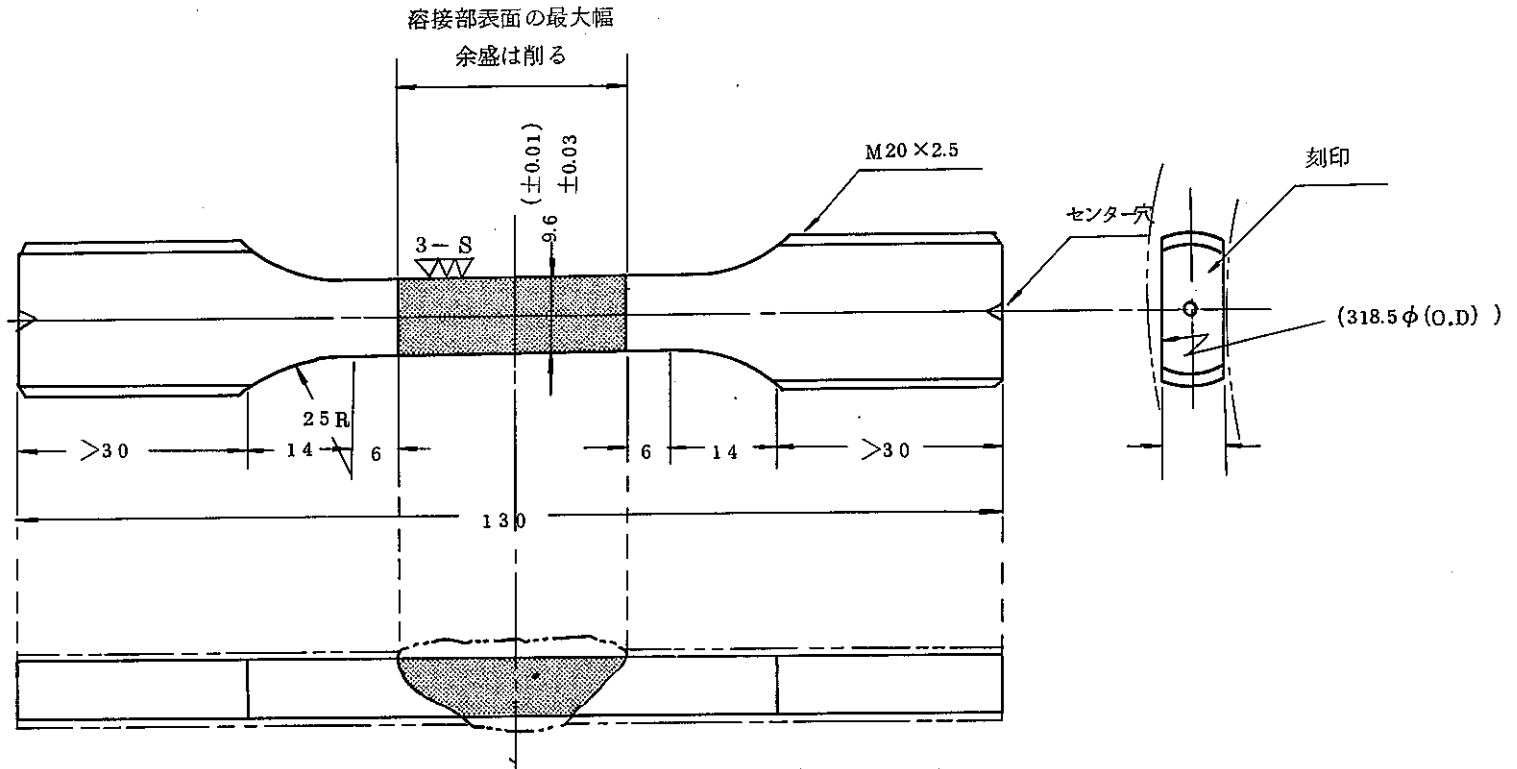
尺度 (1/1)  
 単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS2級とし2級の限界  
 ネジゲージにより検査合格したるものとする。



A部詳細 (10/1)

第15図 室温および高温引張用参考試験片 その2 (SB42母材)



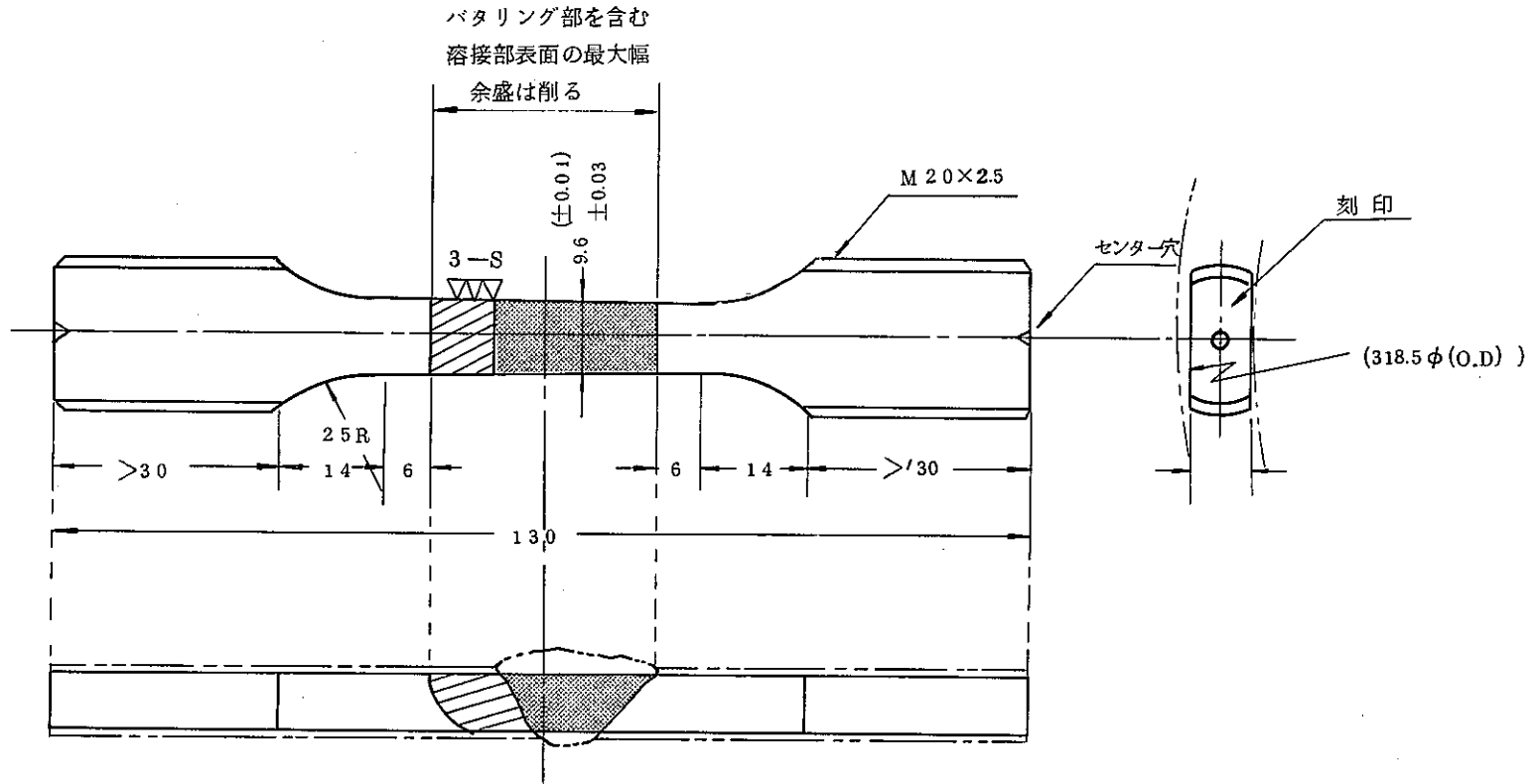
注. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注. 寸法公差(±0.01)は目標値とする。

注. 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第16図 室温および高温引張用参考試験片 その3 (STPA 24継手)



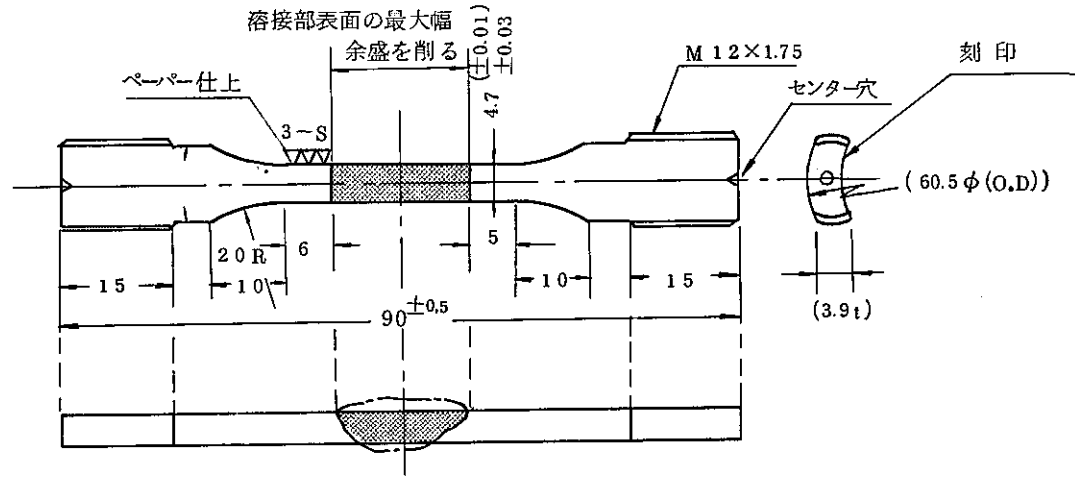


注. ネジ部の加工精度はJIS2級とし2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注. 寸法公差(±0.01)は目標値とする。

注. 溶接部表面の最大幅は個々の試験片について測定した最大幅である。

第 17 図 室温および高温引張用参考試験片 その4 (STPA24-SUS304継手)



尺度 (1/1)

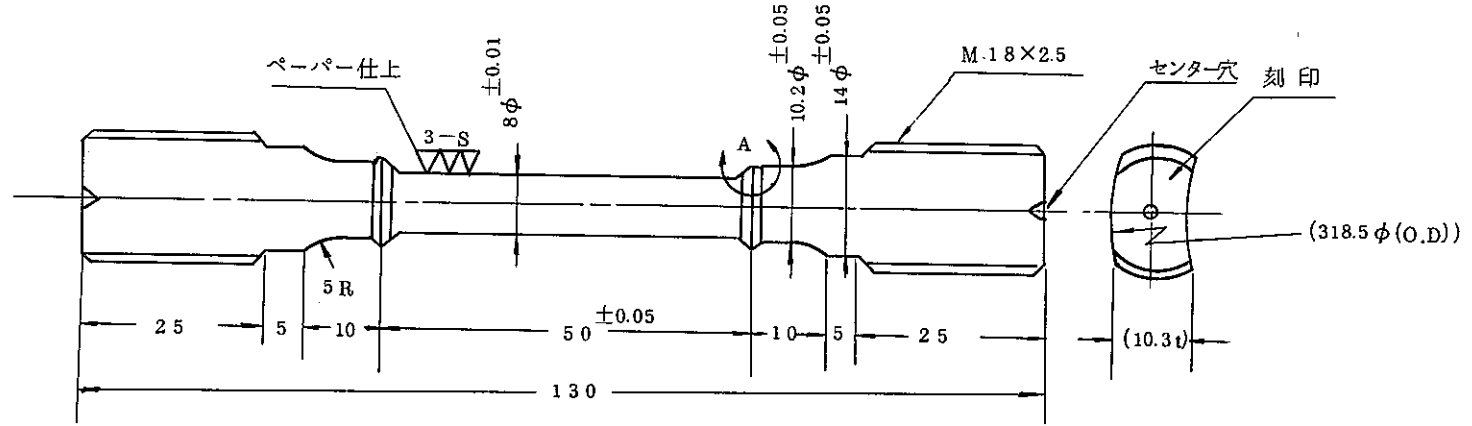
単位 mm

注. ネジ部の加工精度はJIS 2級とし、2級の限界ネジゲージにより  
検査合格したものとする。

注. 寸法公差 (±0.01)は目標値とする。

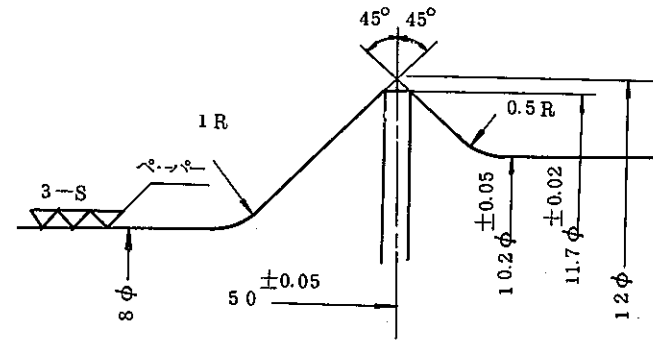
注. 溶接部表面の最大幅は試験片について測定した最大幅である。

第18図 室温および高温引張用参考試験片 その5 (STPA24-STPT42継手)



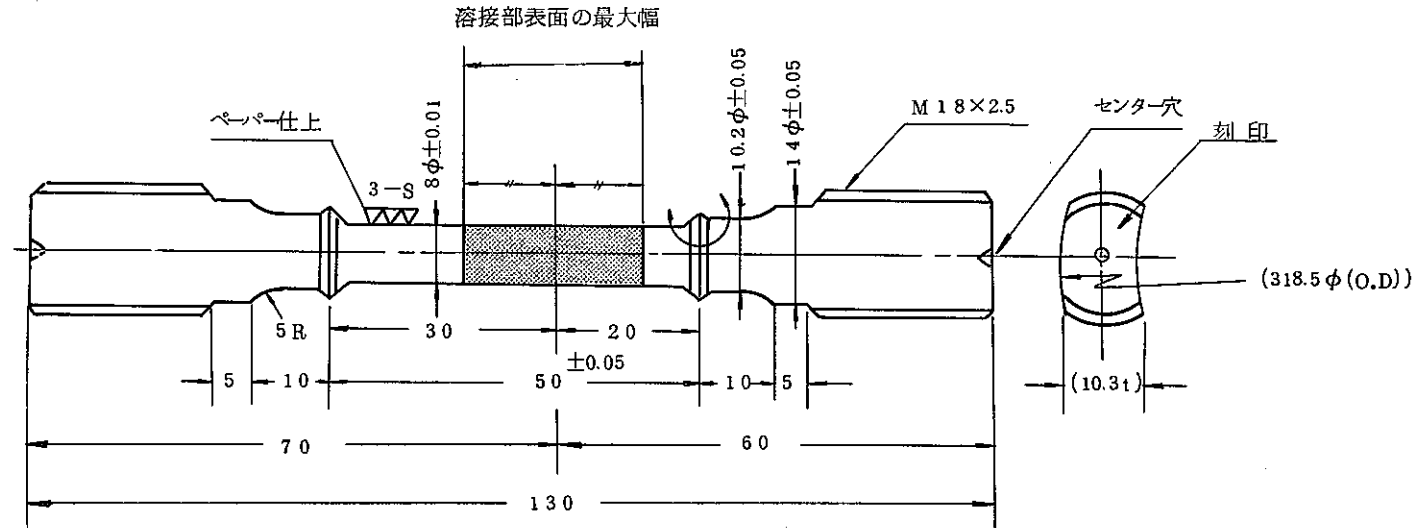
尺度 (1/1)  
 単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の  
 限界ネジゲージにより検査合格したもの  
 のとする。



A部詳細 (10/1)

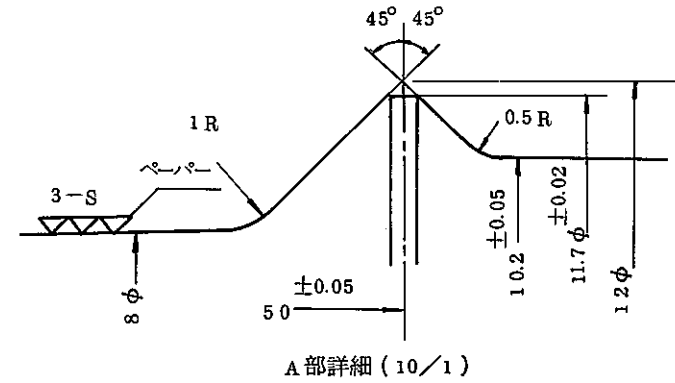
第19図 クリープ破断用参考試験片 その1 (STPA 24母材)



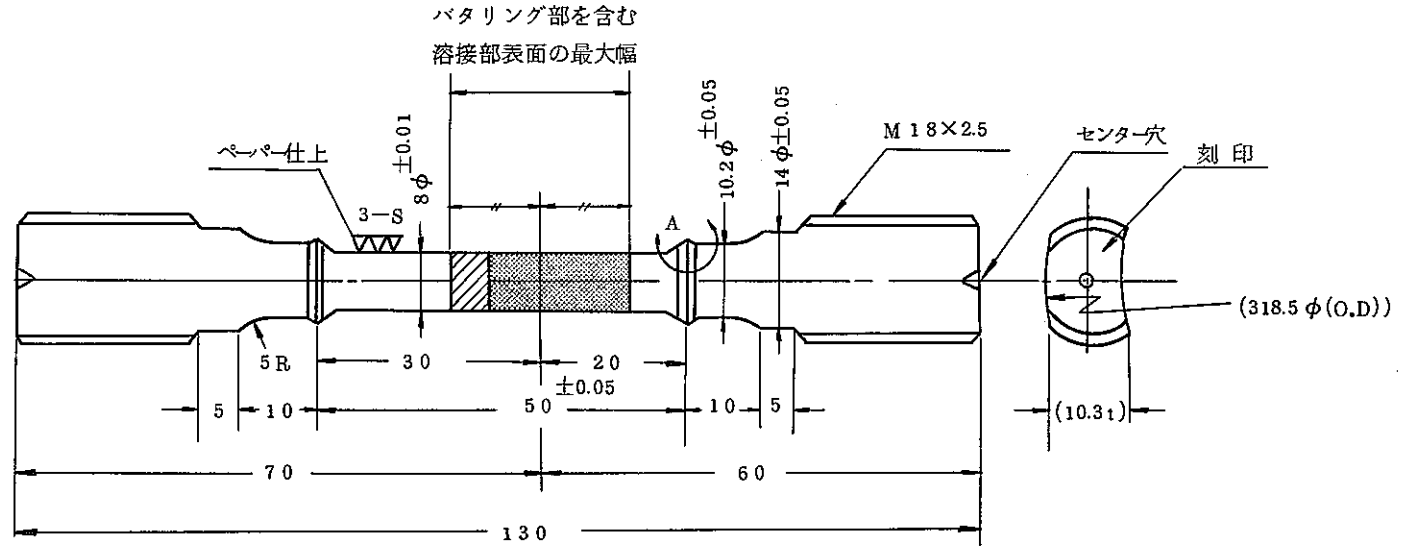
尺度 (1/1)

単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の  
限界ネジゲージにより検査合格したもの  
とする。

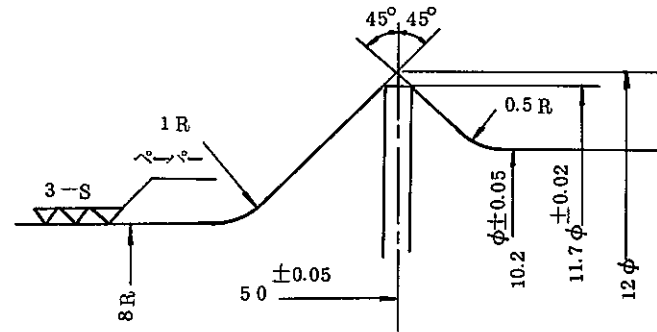


第20図 クリープ破断用参考試験片 その2 (STPA 24継手)



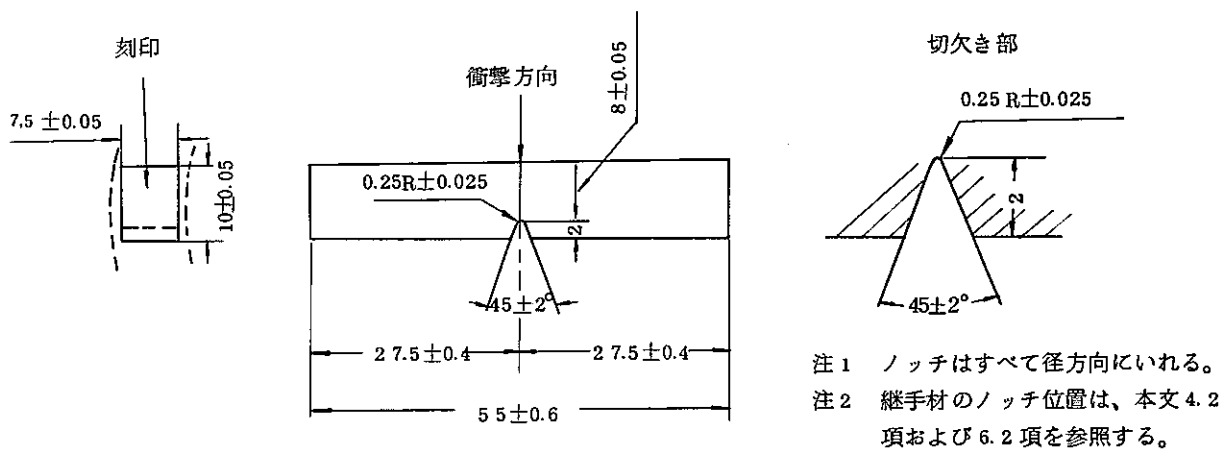
尺度 (1/1)  
 単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS2級とし2級の限界  
 ネジゲージにより検査合格したものとする。

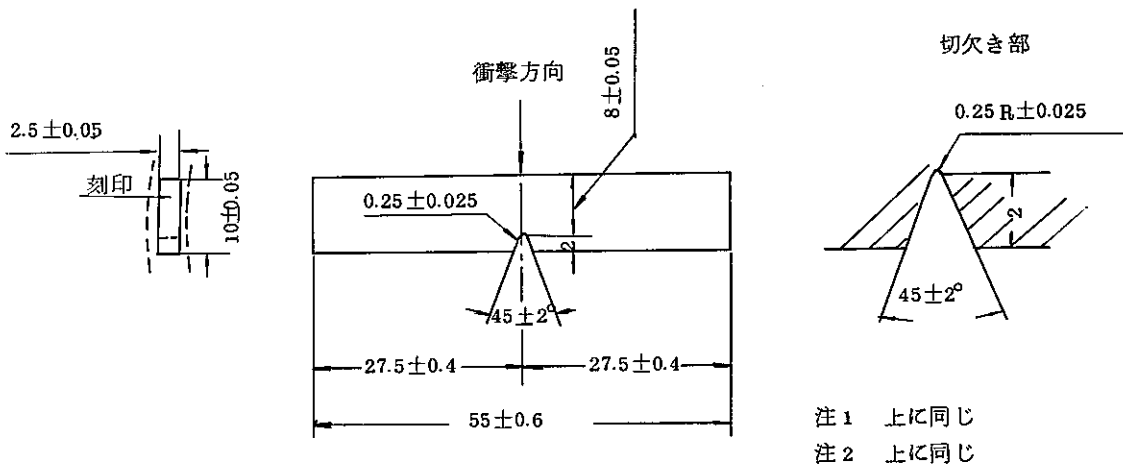


A部詳細 (10/1)

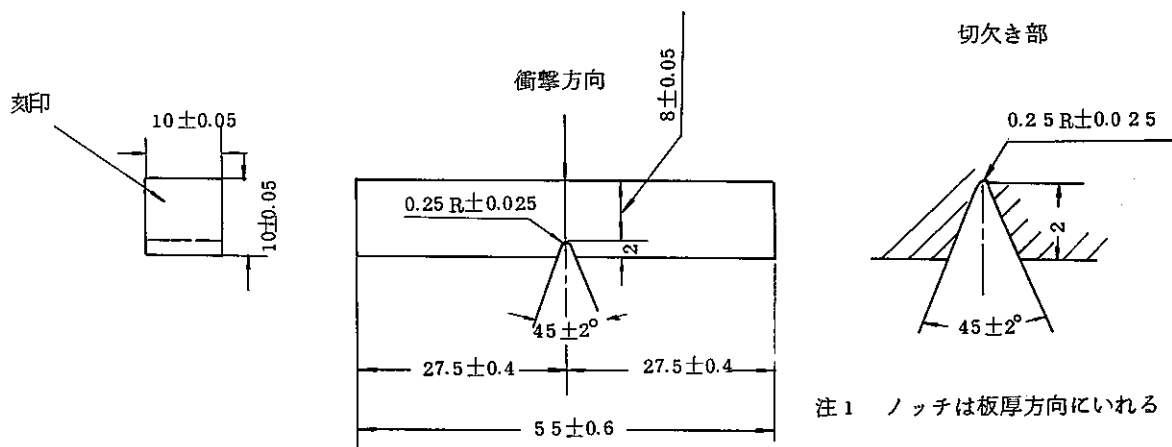
第21図 クリープ破断用参考試験片 その3 (STPA 24-SUS 304継手)



(a) 衝撃用参考試験片 その1 (STPA24母材, STPA24継手, STPA24-SUS304継手)



(b) 衝撃用参考試験片 その2 (STPA24-STPT42継手)



(c) 衝撃用参考試験片 その3 (SB42母材)

第22図 衝撃用参考試験片

## 4. 確認試験要領

確認試験は、実機の2次冷却系機器配管から切り出された素材そのものの材料強度データを  
得るために行なうもので、その試験結果は、今後、行なわれるサーベイランス試験結果を解析  
するための基準データとなるものである。なお、確認試験は、サーベイランス試験の予備試験  
的性格を有し、試験方法を確立するためにも重要である。

確認試験は以下の5項目、(i)引張試験、(ii)金相試験、(iii)衝撃試験、(iv)かたさ試験、(v)クリー  
プ試験について行なう。

第11表に確認試験条件を、また第12表に試験片番号を一覧表にして示す。

### 4.1 引張試験

対象部材は、2次主冷却系配管（STPA24母材，STPA24継手，STPA24-SUS304継手），  
2次系ダンプ・タンク材（SB42母材，STPA24-STPT42継手）である。設計温度520℃，400℃および定常運転（100MWt）時の使用温度  
340～470℃を考慮して、試験温度は、室温，400℃，520℃とする。1試験条件に対する  
試験片本数は2本とする。引張試験方法は、JIS規格JIS-Z2241およびJIS-G-0567に  
準拠する。試験片の引張歪み速度は降伏点をこえるまでは0.3%/min以下とし、降伏点をこ  
えたあとの速度は5～10%/minとする。

引張試験により求めるデータは、(i)0.2%オフセット耐力、(ii)引張強さ、(iii)一様伸び、  
(iv)破断伸び、(v)絞りとする。

これらのデータのうち、(i)、(ii)、(iii)は試験機に付属する記録計上の荷重-伸び曲線から求  
める。一様伸びはチャートから求めた最大荷重時の永久伸びとする。破断伸びはコンパレー  
ターにより測定した突き合せ伸びとする。

絞りは、投影器上で破断面を突き合せにより測定した絞り部の最小外径（直交する2方向）  
の平均値より求める。

なお、破断後の外観写真を撮影すると共に、代表的試料について、金相試験を行なう。

SEM観察は必要に応じて行なう。

### 4.2 衝撃試験（本試験は参考のために実施するものである。）

試験対象材は、2次主冷却系配管材（STPA24母材，STPA24継手，STPA24-SUS304  
継手），ダンプ・タンク材（SB42母材，STPA24-STPT42継手）である。管材  
から採取する試験片はすべて管長手方向より切り出し、ノッチは管径方向に切り込むものと

する。

衝撃試験方法は金属材料衝撃試験方法（JIS・Z・2242）に準拠する。試験に使用する衝撃試験機は、30 kg・m シャルピー衝撃試験機である。試験は室温にて行ない、その温度を記録する。溶接継手材の参考試験片は、溶接金属部、熱影響部およびボンド部など第23図に示す各種切欠位置について試験を行なう。溶接継手材サーベイランス試験片は、これらの参考試験片中で、最も低い衝撃値を示した切欠位置について試験を行なう。

衝撃試験により求めるデータは、(i)シャルピー吸収エネルギー、(ii)シャルピー衝撃値、(iii)破断後外観写真とし、必要に応じて破断面観察を行なう。

#### 4.3 クリープ試験

試験対象材は、2次主冷却系ホット・レグ部配管材（STPA24母材，STPA24継手，STPA24-SUS304継手）である。試験温度は、500℃，550℃および600℃とする。目標破断時間は、各温度において、300, 1000, 3000, 5000の各時間（目標10000時間の試験も必要に応じて行なう）とする。

試験片は原則として、1温度1応力条件につき1本とする。

試験方法、試験機はJIS・Z・2272に準拠する。求めるデータは、(i)破断時間、(ii)破断伸び、(iii)破断絞り、(iv)破断個所（継手材のみ）、(v)破断後外観写真である。(ii)、(iii)の測定方法は、4.1節の方法による。クリープ破断後、代表的な試験片について、組織観察、破断観察を行なう。

#### 4.4 金相試験

試験対象材は、2次主冷却系配管材（STPA24, STPA24継手，SUS304-STPA24継手），ダンプ・タンク材（SB42母材，STPA24-STPT42継手）である。金相試験方法は予備試験により決定する。光学顕微鏡写真は100倍および400倍で撮影する。

母材については、析出物の状況、結晶粒度、継手材については、溶接金属部、溶接部境界、熱影響部の組織変化に着目する。

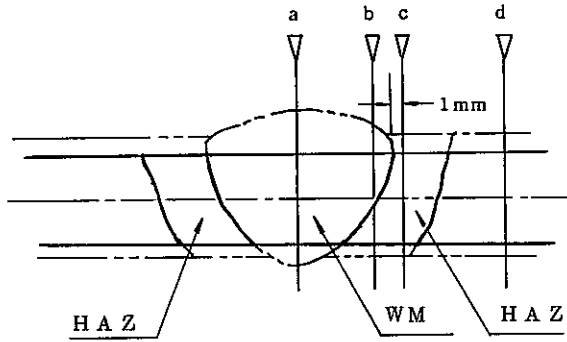
材料試験後の金相試験は、特徴的な変形組織等について着目して行なう。

かたさ試験についても、同様な対象材について行なう。試験は、微小硬さ計によるピッカース硬さ試験とし、試験方法は、JIS・Z・2244に準拠して行なう。なお、かたさ荷重は300gとする。かたさ試験は、母材の表層部および中心部のかたさ、溶接継手の溶接金属部および熱影響部のかたさの変化に着目し、かたさの分布を測定する。

XMA試験、表面SEM観察、成分の化学分析は必要に応じて行なう。

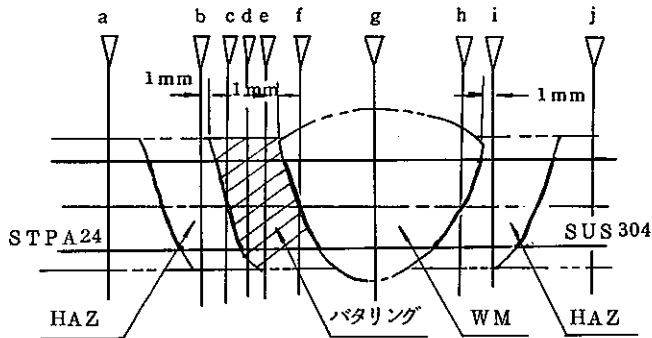


(1) STPA24 継手



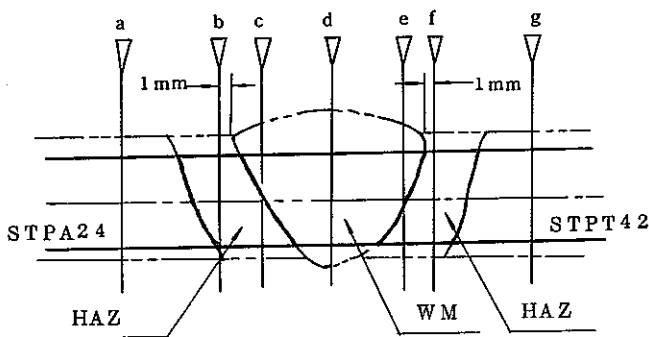
- a : 溶接金属部 (WM)
- b : BOND部 (WM-STPA24)
- c : 熱影響部 (HAZ)
- d : 母材 (BM)

(2) STPA24-SUS304 継手



- a : BM (STPA24)
- b : HAZ (STPA24)
- c : BOND部 (STPA24-バタリング)
- d : バタリング部 (インコネル)
- e : HAZ (バタリング-インコネル)
- f : BOND部 (バタリング-WM)
- g : WM
- h : BOND部 (WM-SUS304)
- i : HAZ (SUS304)
- j : BM (SUS304)

(3) STPA24-STPT42 継手



- a : BM (STPA24)
- b : HAZ (STPA24)
- c : BOND (STPA24-WM)
- d : WM
- e : BOND (WM-STPT42)
- f : HAZ (STPT42)
- g : BM (STPT42)

第 23 図 確認試験用衝撃試験片切欠位置 (参考試験片)

#### 4.5 試験片の管理

試験終了後の試験片は、サーベイランス試験が終了するまで保管される。保管材についても同様とする。保管は、サーベイランス試験実施の過程において、再試験、追加試験、試験片検討の必要が生じた場合を考慮して行なうものである。

保管材および試験片は、ナトリウム技術開発室にて保管される。保管にさいしては、防錆等を考慮する。

第 11 表 2 次冷却系材確認試験条件

対象部材	試験種類	確 認 試 験 (注2)					備 考
		繰返し数(本)	材 種 別	温度条件数	Total本数	試 験 条 件	
2次主冷却系配管 (ホット・レグ部) [STPA24 母材 " 継手 STPA24-SUS 304 継手]	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R.T	注1 ( )外数字, ( )内数字はそれぞれサーベイランス試験片, 参考試験に対するものである。  注2 試験片形状がクリープ試験片と同一形状
	高温引張	2 (2)	3 (3)	2 (2)	12 (12)	400℃, 520℃	
		2 (2)	3 (3)	3 (3)	18 (18)	(注2) 500, 550, 600℃	
	クリープ試験	4 (4)	3 (3)	3 (3)	36 (36)	500, 550, 600℃	
	衝 撃	3 (3)	3 (3)	1 (1)	9 (9)	R.T	
	腐食・金相・かたさ	3	3	1	9	一般金属組織 SEM.XMA.かたさ	
2次主冷却系配管 (コールド・レグ部) [STPA24 母材 " 継手 STPA24-SUS 304 継手]	室温引張	} ホットレグ部試験により代行する。					
高温引張							
衝 撃							
腐食・金相・かたさ							
2次系ダンプ タンク部 [SB42 母材 STPA24-STPT 42 継手]	室温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	R.T	
	高温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	400℃	
	衝 撃	3 (3)	2 (4)	1 (1)	6 (12)	R.T	
	腐食・金相・かたさ	3	2	1	6		

第12表 確認試験片番号

材料試験	試験片番号									
	サーベイランス試験片					参考試験片				
	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24-SUS 304継手	SB42 母材	STPA24- STPA42継手	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24- SUS304継手	SB42 母材	STPA24- STPT42継手
引張試験	R041 } R052	S041 } S052	T041 } T052	X021 } X024	Y021 } Y024	AR033 } AR044	ASS033 } ASS044	ATT033 } ATT044	AX017 } AX020	AZZ017 } AZZ020
衝撃試験	R131 } R133	S131 } S133	T131 } T133	X116 } X118	Y116 } Y118	AR125 } AR127	AS125 } AS133	AT125 } AT151	AX113 } AX115	AZ113 } AZ133
クリープ試験	R231 } R242	S231 } S242	T231 } T242	-	-	AR225 } AR236	ASS225 } ASS236	ATT225 } ATT236	-	-
腐食, 金相, かたさ	R331 } R333	S331 } S333	T331 } T333	X316 } X318	Y316 } Y318	-	-	-	-	-

## 5. 試験片の組み込みおよび取出要領

### 5.1 試験片の組込要領およびナトリウム浸漬条件

#### (1) 試験片の組込要領

2次冷却系サーベイランス試験片は、**Ⓐ**2次主冷却器入口配管内（ホット・レグ）、**Ⓑ**オーバフロータンク内、**Ⓒ**ダンプタンク内にそれぞれ装荷され、各装荷位置の試験片は試験片ホルダーの中に取り出し年次毎に1つのアセンブリーに組込まれている。また装荷参考試験片は、サーベイランス装荷試験片の第1回取出し時に、それぞれの個所（**Ⓐ**～**Ⓒ**）に装荷する。（第1図・参照）

なお、各装荷位置に於る試験片配置、および試験片ホルダー、アセンブリー形状の詳細は、添付図面第1図～第4図に示す。

#### (2) ナトリウム浸漬条件

サーベイランス試験片の各装荷位置に於るナトリウム浸漬条件（通常運転時）を次に示す。

装 荷 場 所	Na温度	Na 流 速	Na純度
2次主冷却器入口配管 （2次主冷却系ホットレグ）	470℃	1246m <sup>3</sup> /hr （約5m/sec）	酸素濃度 20ppm以下
オーバフロータンク （2次主冷却系コールドレグ）	340℃	主循環ポンプをオーバフローしたNa（340℃）が常時流入している。	
ダンプタンク	340℃	オーバフロータンクからNaが流れ込み、また、ダンプからは、2次純化系統へ、Naが吸み上げられている。	

### 5.2 試験片の取出要領および洗浄

2次冷却系サーベイランス装荷試験片および同参考試験片の取出しは、系統内へ空気が混入しないよう十分注意して行なう。各装荷位置からの試験片の取出しは、キャスクを用いて行なう。

キャスクは、各試験片取出し部に取付け、取付け後キャスク内をアルゴンガス雰囲気にし、その中で試験片の取出しを行なう。取出した試験片は、アルコール漬けにしナトリウム技術開発室へ搬入し、アルコール超音波洗浄、試験片加工をした後、各種材料試験を行なう。

### 5.3 取出しスケジュール

「常陽」の使用期間中、2次系配管サーベイランス装荷試験片については、5回の取出しを行なう。それぞれの取出目標年次は、「常陽」の出力上昇後、1年、2.5年、5年、10年、15年の各年後とする。目標年次は、運転出力、稼働率に応じて、100MWt等価時間で考慮し、定検時期に合わせてスライドする。各年次のサーベイランス試験に対する基本的な考え方としては、どの年次（15年次以降の試験は除く）に行なわれるサーベイランス試験でも、要求される最小限の情報としては、その次の次の年次のサーベイランス試験結果が得られるまでの間について「常陽」の材料強度上の健全性ならびに安全性を評価するために必要なデータを得ることを目標とする。

第13, 14, 15表に、「常陽」2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類と取出しスケジュールを示す。

第13表 2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール(装荷位置A)

試験種類	材種および試験条件		目標取出年次					小計	備考	
			1	2.5	5	10	15			
*1 引張試験	STPA24 母材	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*1 ハツ橋型試片から各2本の試験片を製作	
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)		
	STPA24 継手	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*2 ハツ橋型試片から各3本の試験片を製作	
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)		
	STPA24-SUS304継手	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)		
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)		
*1 クリープ試験	STPA24 母材		6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		( )内数字は、装荷参考試験片本数を示す。
	STPA24 継手		6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		
	STPA24-SUS304 継手		6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		
*2 衝撃試験	STPA24 母材		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
	STPA24 継手		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
	STPA24-SUS304 継手		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
*2 腐食, 金相 かたさ, 試験	STPA24 母材		3	3	3	3	3	15		
	STPA24 継手		3	3	3	3	3	15		
	STPA24-SUS304 継手		3	3	3	3	3	15		

第14表 2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール(装荷位置 ⑧)

試験種類	材種および試験条件		目標取出年次					小計	備考
			1	2.5	5	10	15		
*1 引張試験	STPA24 母材	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*1 ハツ橋型試験片から各2本の試験片を製作  *2 ハツ橋型試験から各3本の試験片を製作  予備試験片はハツ橋型試験片1個  ( )内数字は装荷参考試験片本数を示す。
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24 継手	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24-SUS304 継手	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
*2 衝撃試験	STPA24 母材		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15(12)	
	STPA24 継手		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15(12)	
	STPA24-SUS304 継手		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15(12)	
*2 腐食, 金相 かたさ, 腐食	STPA24 母材		3	3	3	3	3	15	
	STPA24 継手		3	3	3	3	3	15	
	STPA24-SUS304 継手		3	3	3	3	3	15	



第15表 2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール(装荷位置◎)

試験種類	材種および試験条件		目標取出年次					小計	備考
			1	2.5	5	10	15		
*1 引張試験	SB42 母材	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*1 装荷試験片から各1本の試験片を製作
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24-STPT42継手	室温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*2 装荷試験片から各3本の試験片を製作
		高温	2	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
*2 衝撃試験	SB42 母材		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	*3 衝撃試験片切出し後の残材を使用
	STPA24-STPT42継手		3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
*3 腐食, 金相 かたさ, 試験	SB42 母材		3	3	3	3	3	15	( )内数字は装荷参考試験片本数を示す。
	STPA24-STPT42継手		3	3	3	3	3	15	

## 6. サーベイランス試験要領

サーベイランス試験条件を第16表に示す。

サーベイランス試験における対象部は、2次主冷却系ホット・レグ部と同コールド・レグ部および2次系ダンプ・タンク部の3箇所である。

サーベイランス試験温度条件としては、設計温度もしくはそれに近い温度および室温を選定している。

### 6.1 引張試験

対象材としては、2次冷却系配管ホット・レグ部およびコールド・レグ部材、2次系ダンプ・タンク材である。対象材の詳細は第13表、第14表、および第15表に示した通りである。

試験は、それぞれの部材について、設計温度および室温にて実施する。

### 6.2 衝撃試験（本試験は参考のため実施するものである。）

対象材は引張試験の場合と同一である。室温にて各3本の試験を行なう。溶接部の試験は、確認試験により得られたデータから判断して、最も低い衝撃値を示すノッチ部について行なう。その他の試験要領は確認試験と同一とする。

### 6.3 クリープ試験

対象部は2次主冷却系配管ホット・レグ部で、STPA 24 母材、STPA 24 継手、STPA 24 - SUS 304 継手について試験を行なう。

試験条件は550℃で、目標破断時間は、300、1000、3000、5000の各時間（目標10000時間の試験も必要に応じて行なう<sup>\*</sup>）とする。

その他の試験要領ならびに採取するデータは確認試験の場合と同一とする。

### 6.4 金相試験

対象材としては、2次冷却系配管ホット・レグ部およびコールド・レグ部の各配管材、2次系ダンプ・タンク材である。

（表面観察）

光学顕微鏡およびSEM観察を行なう。ナトリウム浸漬表面の腐食形態、一般腐食、粒界腐食および局部腐食の有無、腐食生成物の沈着状況などに着目する。さらにXMAにより、必要箇所については、成分元素の変化を調べる。

---

\*10000時間の試験については、データ解析上、必須でなくなる場合には省略することもある。

(断面観察)

母材および溶接材について、表層部および中心部の組織観察を光学顕微鏡により、脱炭状態析出物、粒界腐食の有無などに着目して行なう。断面についても、必要があればXMA試験を行なう。

(かたさ測定)

表面のかたさ、断面のかたさ分布の測定を行ない、脱炭現象も含めた腐食によるかたさ変化を検出する。

材料試験後の金相試験は、必要に応じて行ない、特徴的な変形組織などに着目する。

(化学分析)

成分分析を炭素元素などについて行なう。

その他の試験要領は確認試験の場合と同一である。

#### 6.5 試験片の管理

確認試験片の場合と同様に、サーベイランス試験が終了するまで保管する。

第16表 2次冷却系サーベイランス試験条件

対象部材	試験種類	サーベイランス試験					備考
		繰返し数	材種数	温度条件数	TOTAL本数	試験条件	
2次主冷却系配管 (STPA 24) ホット・レグ部	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R. T	( )内数字は装荷参考試験片 に対するものであり、第2回 目の取出年次から試験され る。  ( )内数字はサーベランス試験片に 対するものである。
	高温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	520℃	
	クリープ	6 (6)	3 (3)	1 (1)	18 (18)	550℃	
	衝撃	3 (3)	3 (3)	1 (3)	9 (9)	R. T	
	腐食, 金相, かたさ	3	3	1	9	一般金属組織 SEM, XMA, かたさ	
2次主冷却系配管 (STPA 24) コールド・レグ部	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R. T	
	高温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	400℃	
	衝撃	3 (3)	3 (3)	1 (1)	9 (9)	R. T	
	腐食, 金相, かたさ	3	3	1	9	一般金属組織 SEM, XMA, かたさ	
2次系ダンプ・タンク部 (SB 42)	室温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	R. T	
	高温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	400℃	
	衝撃	3 (3)	2 (2)	1 (1)	6 (6)	R. T	
	腐食, 金相, かたさ	3	2	1	6	一般金属組織 SEM, XMA, かたさ	

## 7. 試験結果のまとめ方

どの年次（第5回目の試験を除いて）に行なわれるサーベイランス試験に於ても、要求される最小限の情報は、その次の次の年次のサーベイランス試験が得られるまでの間、「常陽」の材料強度上の健全性及び安全性を評価するために十分なものでなければならない。

常陽の2次冷却系は、SUS304とSTPA24とのバイメタリック・ループを構成しているため、一般的には、SUS304とSTPA24の炭素活量の差により、STPA24側で脱炭が起り、SUS304側で浸炭が起ることが予想される。さらに、ナトリウムにさらされている配管内面からの成分元素のほゞ様な溶出とみなされる一般腐食や、高温長時間保持による熱履歴による2次系材料の材質変化が起ることが考えられる。

従って、2次冷却系主配管等材料の一般腐食、脱炭および熱履歴効果による材料強度の劣化の度合、その相互関連性を明らかにすることが、サーベイランス試験の解析評価の主たる目的となる。

### 7.1 引張試験

#### (i) 機械的性質の使用時間に対する変化傾向

各母材については、0.2%耐力、引張強さ、破断伸びについてのサーベイランス試験データ値と確認試験データ値との比を縦軸にとり、横軸にNa浸漬時間をとり、機械的性質の使用時間に対する変化傾向を把握する。

#### (ii) クリープ領域以下の温度における設計応力値との比較

「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針（以下「常陽」指針と称する。）が採用しているクリープ領域以下の温度における設計応力強さおよび許容応力は、フェライト鋼（STPA24, STPT42, SB42）は以下の基準に従って定めている。

##### 設計応力強さ

- (1) 室温での引張強さの1/3
- (2) 高温での引張強さの1/3
- (3) 室温での降伏強さ（0.2%耐力）の2/3
- (4) 高温での降伏強さ（0.2%耐力）の2/3

##### 許容応力

- (1) 室温での引張強さの1/4
- (2) 高温での引張強さの1/4

- (3) 室温での降伏強さ ( 0.2 % 耐力 ) の 5/8
- (4) 高温での降伏強さ ( 0.2 % 耐力 ) の 5/8

サーベイランス・データを上記の基準に従って整理し、これらの最小値とその条件における「常陽」指針に示された設計応力強さおよび許容応力と比較する。「常陽」指針に示された各温度での設計応力強さおよび許容応力の値を第 17 表および第 18 表に示す。

第 17 表 STPA 24 (  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo ) の時間に依存しない設計応力強さ ( kg/mm<sup>2</sup> )

材料 \ 温度	-30 ~40	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	520
	STPA 24	11.8	11.8	11.8	11.8	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	9.8

第 18 表 STPA 24 (  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo ) および SB42, STPT 42 の時間に依存しない許容応力

材料 \ 温度	-30 ~40	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	520
	STPA 24	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	5.9
SB 42 STPT 42									6.7			

(ただし、ナトリウム機器配管に対して定められる値)

(iii) 強度劣化と脱炭量

6.4 で測定する脱炭量と強度劣化の関係を相対的な比率 ( 確認データとの比 ) で整理し、従来、提案されている Adjustment Factor と比較する。Goldmann<sup>4)</sup> が提案した Adjustment Factor の値を第 19 表に示す。さらに縦軸にこれらの機械的性質の値をとり、横軸に炭素分量をとり、脱炭量に対するこれらの性質の変化傾向に注目する。

(iv) その他、STPA 24 材については、現時点で最も新しい設計基準である ASME の CASE 1592 が与えている時間に依存しない設計応力強さとの比較も行なう。CASE 1592 の設計応力強さは以下の基準によっている。

- (1) 室温での最小引張強さの 1/3
- (2) 高温での引張強さの 1/3

(3) 室温での最小降伏強さ ( 0.2 % 耐力 ) の 2/3

(4) 高温での降伏強さ ( 0.2 % 耐力 ) の 2/3

第19表 STRESS LIMIT ADJUSTMENT FACTORS FOR SODIUM EXPOSURE<sup>4)</sup>

Material	Location	Type of System	Change	Carbon Content (%)	UTS	YS	SR	CR	Fatigue	Impact
2 1/4 Cr-1 Mo	Hot and cold leg	Bimetallic	Decarburization	0.01	0.60	0.60	0.60	0.39	1.0	1.0
				0.03	0.68	0.68	0.68	0.49	1.0	1.0
				0.05	0.75	0.75	0.75	0.61	1.0	1.0
				0.07	0.83	0.83	0.83	0.72	1.0	1.0
				0.09	0.90	0.90	0.90	0.83	1.0	1.0
				0.11	0.97	0.97	0.97	1.0	1.0	1.0
				> 0.12	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0
304SS	Hot leg	Monometallic	Decarburization	< 0.04	L	L	L	L	L	L
304SS	Hot leg	Bimetallic	Carburization	> 0.10	1.0	1.0	1.0	0.65	1.0	0.5
316SS	Hot leg	Monometallic	Decarburization	< 0.04	L	L	L	L	L	L
316SS	Hot leg	Bimetallic	Carburization	> 0.10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5

UTS: ultimate tensile strength

YS: 0.2% offset yield strength

SR: stress-to-rupture in 100,000hr

CR: stress for secondary creep rate of 0.01% in 1000 hr

L: use low-carbon-grade values

比較は上記(ii)と同様にして行なう。CASE1592<sup>5)</sup>が与えている 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の設計応力強さを第 20 表に示す。

第 20 表 2 1/4 Cr-Mo 鋼の時間に依存しない設計応力強さ (CASE1592)<sup>5)</sup>

材料	温度	700 °F	750	800	850	900	950	1000
		( 371.1 °C )	( 398.9 )	( 426.7 )	( 454.4 )	( 482.2 )	( 510.0 )	( 537.8 )
STPA 24		17.9ksi	17.9	17.9	17.6	17.2	16.7	15.9
( 2 1/4 Cr-Mo )		( 12.6 ) kg/mm <sup>2</sup>	( 12.6 )	( 12.6 )	( 12.4 )	( 12.1 )	( 11.7 )	( 11.2 )

## (V) 伸び値

STPA 24, STPT 42, SB 42 母材の室温破断伸び値については、JIS規格との比較を行なう。

溶接継手については、引張強さのみを対象として、(i), (ii), (iv) の評価を行なう。さらに、破断形態および破断部と強度との関係について注目する。

## 7.2 衝撃試験（本試験は、参考のために実施するものである。）

衝撃性質の使用時間に対する変化傾向

衝撃値および吸収エネルギー<sup>\*</sup>について、7.1節と同様な方法で使用時間に対する変化傾向を把握する。さらに脆性破面率の時間的な変化についても注目する。

## 7.3 クリープ試験

## (i) 確認試験データの Larson-Miller パラメータによる整理

確認試験の結果を Larson-Miller パラメータを用い、統計的な手法で<sup>例えば 8)</sup>整理する。得られたクリープ曲線から常陽 2 次系設計最高温度 520℃ 以下の温度領域でのクリープ制限応力  $S_t$  (A temperature and time dependent stress intensity) を「常陽」指針<sup>1)</sup>が採用している次のクライテリオン<sup>\*\*</sup>により求める。

荷重作用時間（131500 時間）でのクリープ・ラプチャの最小値の 66.7%

このようにして実験的に求められた制限応力強さ  $S_t$  と「常陽」指針の値と比較する。第 21 表に「常陽」指針に記載されている  $S_t$  値を示す。

\* 形状効果については、サーベイランス予備試験の結果により補正する。

\*\* 「常陽」指針では次の基準によることを定めている。

クリープ特性基準

荷重作用時間を 131500 時間とし、これにナトリウム効果を考慮した材料データより次のように定める。

- a. 荷重作用時間でのクリープ・ラプチャの最小値の 66.7%
- b. クリープ歪率が 1/荷重作用時間〔%/hr〕となる最小値。

これらの 2 つの基準により求められた値のうちより低い応力値がクリープ制限応力となる。他の R&D 関係の試験<sup>7)</sup>により、クリープ制限応力を決定するのは a 項であることが確認されている。



第 21 表 STPA 24 (  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  ) の時間と温度に依存する設計応力強さ (  $\text{kg}/\text{mm}^2$  )

温度 (°C) / 材料	400	425	450	475	500	520
STPA 24	10.4	10.3	10.2	8.4	5.9	4.6

(ii) サーベイランス・データの Larson-Miller パラメータ法による整理

サーベイランス試験により得られた各々の応力-破断時間データを、「常陽」荷重作用時間での Larson-Miller パラメータ, P に次のようにしておきかえる。

$$P = T(C + \log_{10} tr) = A_0 + A_1 \log_{10} \sigma + A_2 (\log_{10} \sigma)^2 + \dots \dots \dots (1)$$

$$T_e = \frac{T(C + \log_{10} tr)}{C + \log_{10} 131500} \dots \dots \dots (2)$$

ここで, T は絶対温度 (°K), C はパラメータ定数, tr は破断持間 (hr),  $A_0, A_1, A_2, \dots$  は定数,  $\sigma$  は応力 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) である。C,  $A_0, A_1, A_2, \dots$  はサーベイランス確認データから求めた値である。Te はサーベイランス試験データを「常陽」荷重作用時間, 131500 hr に対応させた場合の相当温度である。この置換された相当温度での応力値の 66.7%, すなわち制限応力値を, 横軸に温度をとり縦軸に対数応力をとったグラフ上にプロットする。このグラフ上で, サーベイランス試験データから変換された相当温度での制限応力値と確認試験データから求められた  $S_t$  および「常陽」指針<sup>1)</sup>の設計応力強さ  $S_{mt}$  と比較する。このグラフ上に整理されたサーベイランス試験データのバラツキの中で長時間側に外挿した場合の傾向についても注目する。第 24 図に温度に対する 131500 時間制限応力強さ  $S_t$  を示す。さらに主クリープ破断曲線上で, 確認試験データとサーベイランス試験データとの比較を行なう。このグラフ (主クリープ破断曲線) から, 次の次の取出年次までの使用時間の  $S_t$  値を求め, この値が「常陽」指針<sup>1)</sup>の設計応力強さを下まわらないことを確認する。この場合, その時点での脱炭の進行による影響も考慮する。

(iii) クリープ破断特性の使用時間に対する変化傾向

サーベイランス試験温度 550°C でのクリープ・ラプチャデータを同温度での確認材データと応力-破断時間曲線で比較し, 1000 hr, 3000 hr 時間破断強度の比を求め, 使用時

間に対する変化傾向を把握する。さらに、サーベイランスの応力-破断時間曲線とCASE 1592の100%最小クリープ破断曲線と比較する。第25図にCASE1592の $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼(焼なまし材, C(w/o)=0.07~0.15)の100%最小クリープ破断強度を示す。

#### (v) クリープ破断強度と脱炭量

6.4で測定する脱炭量と1000時間および3000時間破断強度の劣化との関係を相対的な比率(確認データとの比)で整理し、従来、提案されている Adjustment Factor<sup>4)</sup>と比較する(7.1の第19表参照。)

上記のクリープに関する解析手法を、母材および継手部材の両者に適用する考えであるが試験条件が限定されており、特に継手については、データのバラツキ巾が大きくなることも予測されるため、これらの試験結果の評価にさいしては、関連試験結果および他のR&D結果等を参照して行なうものとする。

### 7.4 金相試験

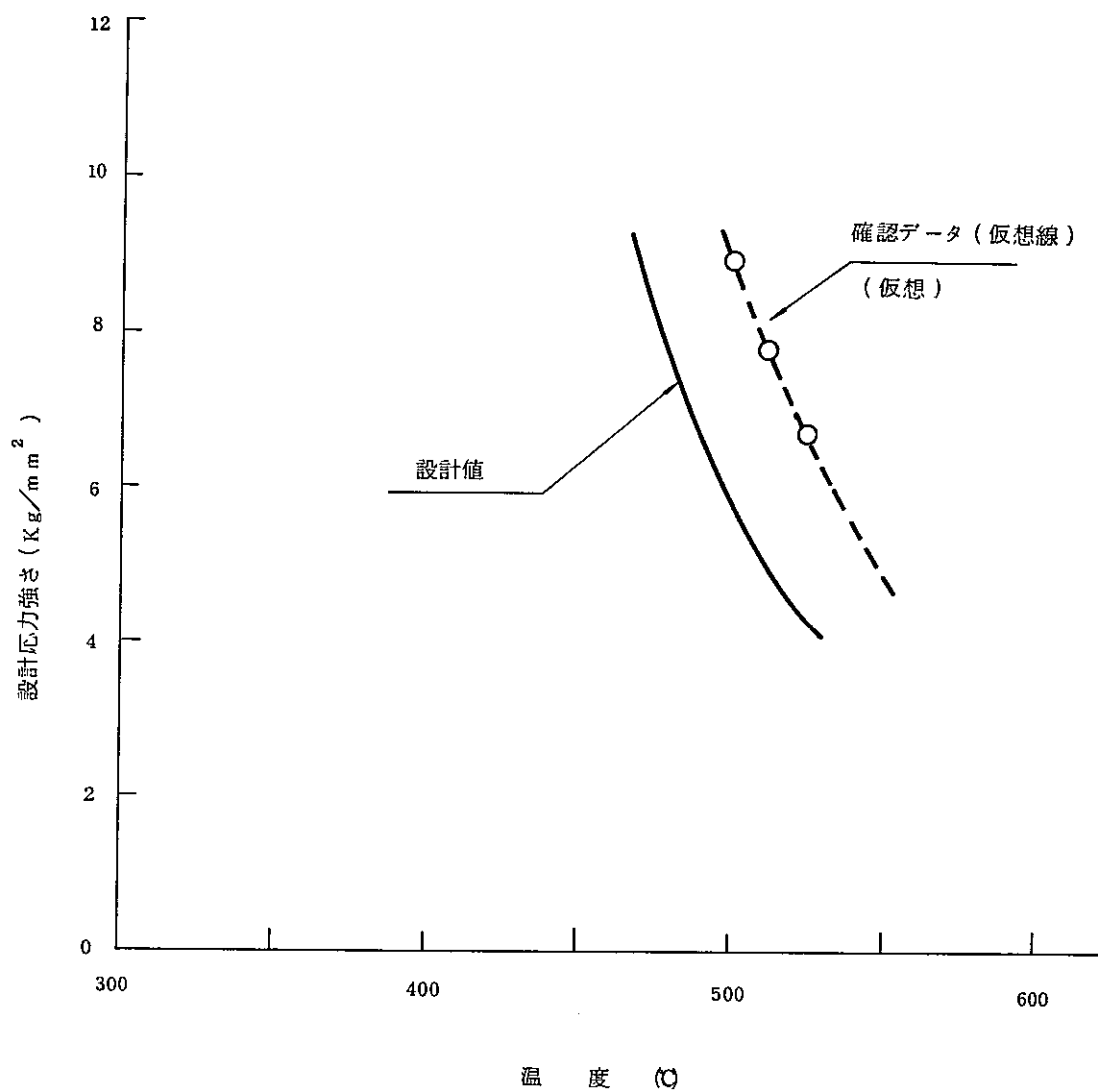
金相試験ではナトリウム浸漬前後における炭素成分、金属組織および変形挙動の材質的な変化を解析し、材質の健全性および劣化の傾向を材料強度に関する性質の変化との関連において把握することを狙う。以下の要領で行なう。

- (i) 脱炭層とその分布を成分分析により評価する。
- (ii) 全肉厚平均についての脱炭量から、Krankota<sup>6)</sup>等が提案している脱炭速度定数を求め、第26図及び第27図に示すような従来データとの比較を行なうと共に、脱炭量の予測を行なう。
- (iii) 脱炭層を金属組織的に評価する。
- (iv) かたさ試験によるかたさ分布と(i), (ii)の比較を行なう。
- (v) 材料試験を行なった後の金相試験では、破断形態、浸漬表面におけるクラック分布とその挙動、析出物と変形挙動の関連などを評価する。特に継手のサーベイランス試験片については、クラックの発生個所、拡大進展挙動等に注目する。

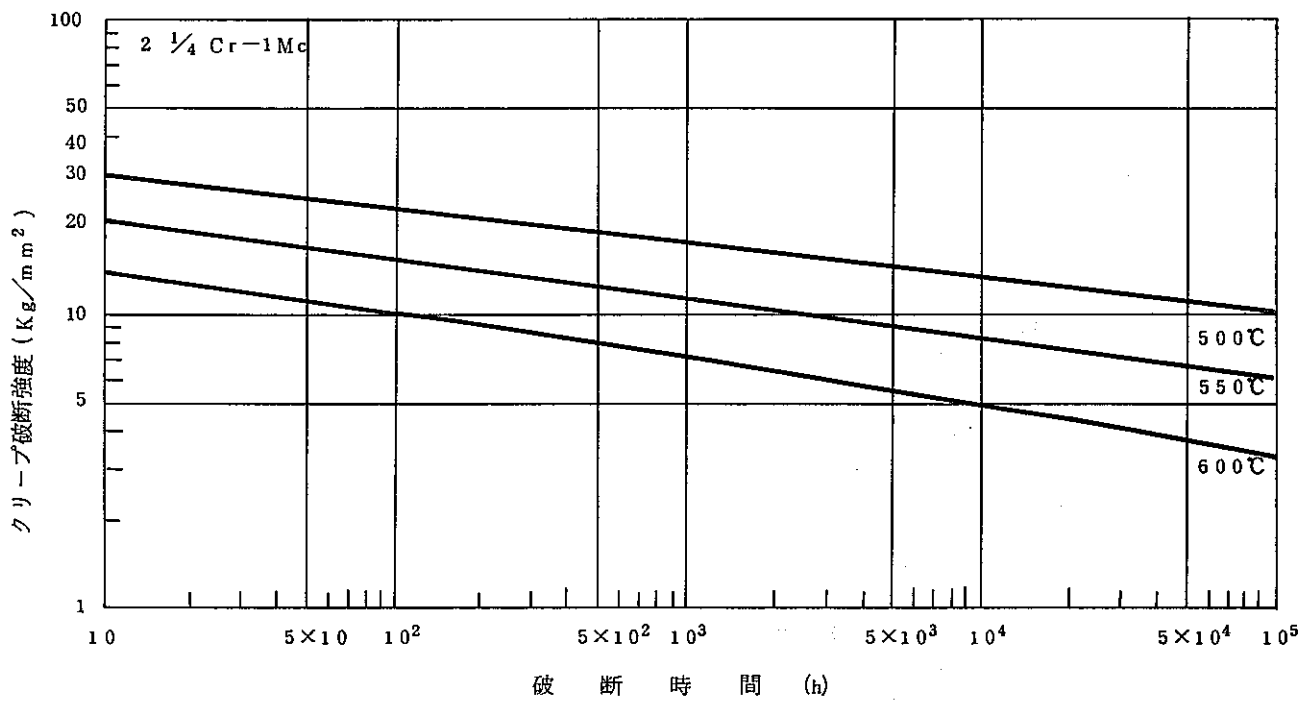
以上の解析評価の他に必要に応じて、XMAによる成分変化の分析およびSEM観察などを行ない、ミクロな挙動を評価する。

### 7.5 試験結果の総合的な評価

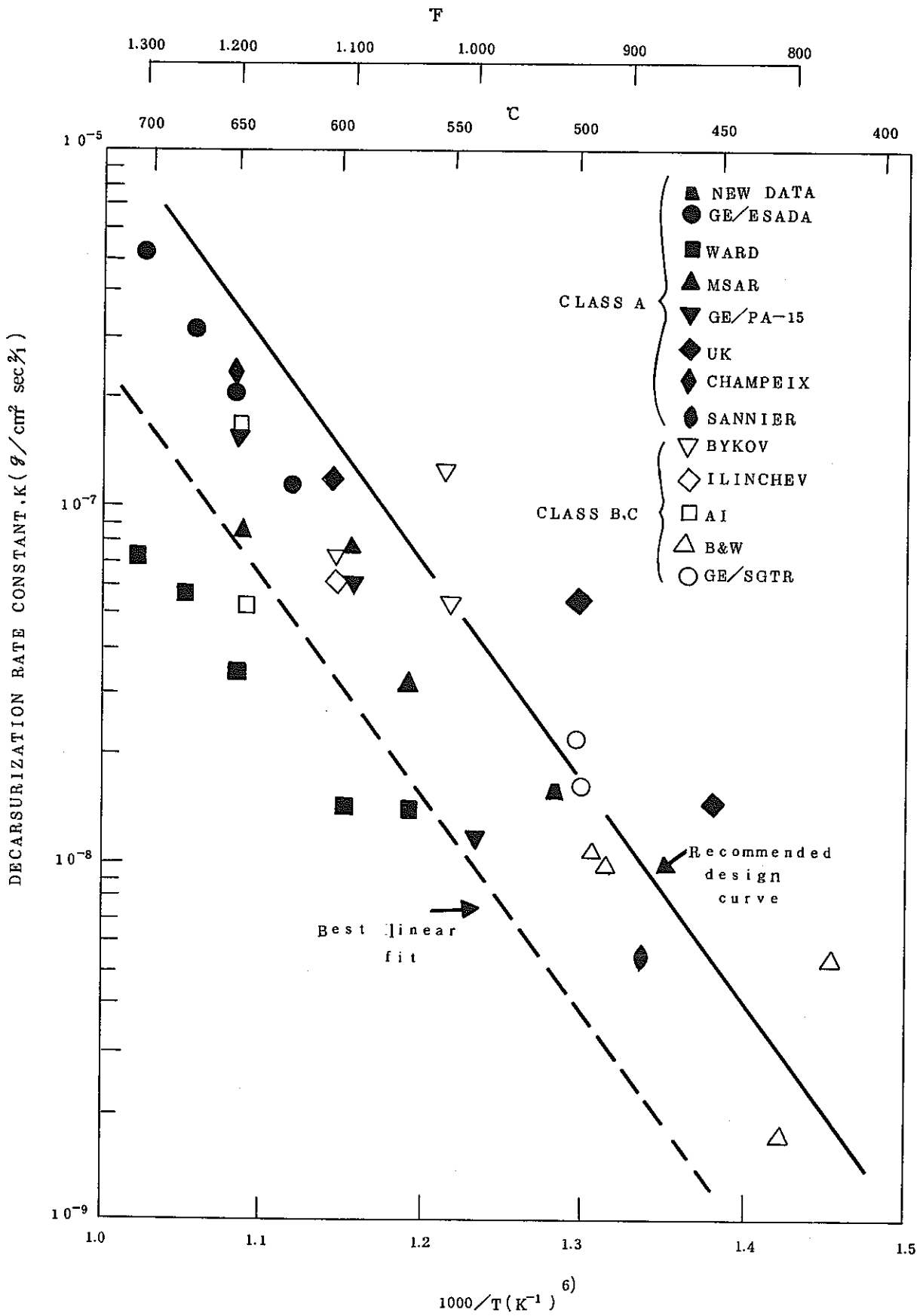
2次冷却系配管類のサーベイランス試験の主要な目的は、(1)その材料強度に関する性質が、運転を継続するのに危険なほどには劣化していないことを確認し、(2)配管類の使用寿命を予測することにある。



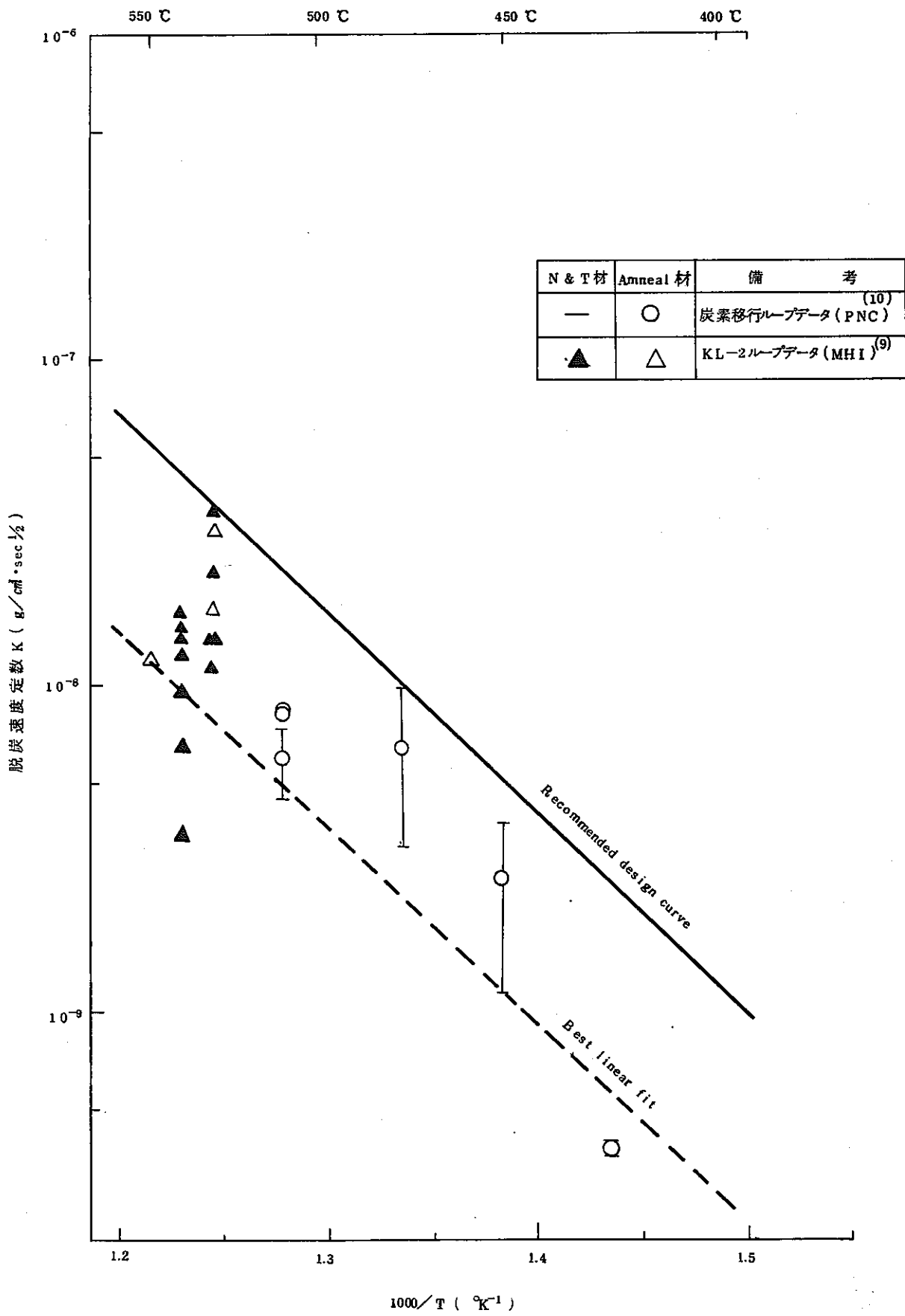
第 24 図 131500 時間制限応力強さ  $S_t$  (設計値) と確認試験データおよびサーベイランスデータの比較 (例)



第25図 CASE1592の $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼(焼なまし材, C(w/o)=0.07~0.15)の  
100%最小クリープ破断強度<sup>5)</sup>



第 26 图 Decarburization rate constants for all investigation.



第 27 図 2 1/4Cr-1Mo 鋼の温度に対する脱炭速度定数

この目的を達成するため、本試験計画ではサーベイランス試験結果の評価のための第一の基準としては「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針が使用される。さらに、評価には現時点で最も新しい設計基準であるCASE1592<sup>5)</sup>等も併せて用いた。しかし、設計に関する考え方の進歩に伴って、「常陽」指針とともに、常に最新の信頼できる設計基準とも比較検討し評価する必要がある。

これらのサーベイランス試験の評価の結果は、In service inspectionの結果ならびに「常陽」の運転結果などと併せて、上記の(1)運転継続、(2)使用寿命の予測のための総合的な評価がなされなければならない。

なお、すべてのサーベイランス用装荷試験片が、必ずしも原子炉系の最も苛酷な条件下におかれているとは限らないこと(例えば荷重は負荷されない)を、評価のさいには必ず考慮する必要がある。さらには、この「常陽」サーベイランス試験結果が、「文珠」→実用炉に反映できるように、試験ならびに評価のさいには留意して行なうことが望まれる。

## 8. あ と が き

「常陽」主冷却系サーベイランス試験の内容は、冷却系に組み込まれる試験片の浸漬条件、装荷個所および試験片の数量等が「常陽」冷却系の構造および運転条件等から制限を受けるため、必ずしも十分なものではないが、これらのサーベイランス試験を補足するための試験およびさらに苛酷な条件下での材料強度および腐食に関する試験が、大洗工学センターに設置された材料試験ループ等により行なわれている。

また、常陽の100MW定格出力条件と同一の条件で、ループ構成材の耐久試験が常陽2次冷却系を模擬した耐久試験ループにより、すゝめられている。

サーベイランス試験と、これらのR & D試験を有機的に行なうことによって、「常陽」のサーベイランスの目的は充分達成しうるものと考えられる。

最後に、種々の討論と検討を加えられた大洗工学センターナトリウム技術開発室の中筋室長ならびに常陽サーベイランス打合せに参加された方々（安全性Gr.、岡林副主研他）に感謝の意を表します。また、常々、本サーベイランス業務の推進を計られたFBR本部厚母栄夫主任研究員に謝意を表します。



## 9. 参 考 文 献

- (1) 「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針，動燃事業団技術資料番号N252-71-01.
- (2) 「常陽」へのフェライト鋼使用に関する検討，高速実験炉参考資料，昭和45年11月.  
動燃事業団技術資料番号，N241-71-11.
- (3) 「常陽」へのフェライト鋼使用に関する検討—そのII，動燃事業団技術資料番号  
SN241 75-01
- (4) Environmental design factors for sodium cooled fast reactors components, K Goldman, UNC, Monaco Conf., IAEA-SM-130/62, (1970).
- (5) Cases of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 1592, (1974).
- (6) Decarburization Kinetics of Low Alloy Ferritic Steels in Sodium, J. L. Krankota and J. S. Armijo, Met. Trans., Vol. 3, September (1972).
- (7) 高温ナトリウム中における高速炉用 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼のクリープ特性  
動燃事業団技術資料番号N941 74-62.
- (8) 学振123,委員会，田中他，Vol. 11, No 2, 218. (1970).
- (9) 三菱重工(株)；材料試験用Naループ(KL-2)データ，(未発表)
- (10) 動燃事業団，炭素移行ループデータ，(未発表)

添 付 資 料

## 2次冷却系サーベイランス試験片 および参考試験片寸法の決め方

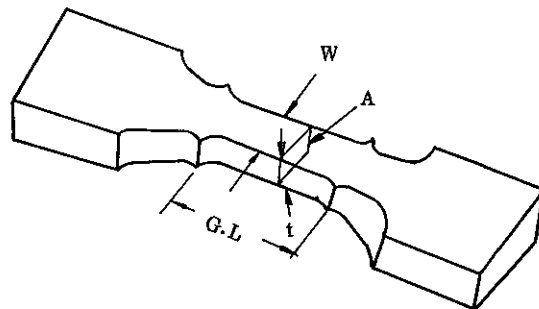
### 1. 基本的考え方

- (1) 当初計画の円弧状あるいは平板状のサーベイランス装荷試験片から切り出した材料試験片により、主たるデータを得る。
- (2) サーベイランス試験片はナトリウム浸漬表面が可能な範囲で最大限残るような形状で採取される。
- (3) 円弧状、あるいは平板状の炉内サーベイランス装荷試験片（130mmL×45mmW×tmm）から2本のサーベイランス試験片（衝撃の場合は3本）を切り出す。
- (4) 参考試験片形状はJISに準拠する。
- (5) 参考試験片は、腐食の影響を敏感にキャッチしうる形状で、かつ溶接部の目違いや、余盛りなどの形状の相違を除いたものとする。

### 2. サーベイランス試験片寸法詳細のきめ方

#### (1) 引張試験片

- (イ) ナトリウムの影響について、相似形状で比較するため $W/t$ を原則として同一にした円弧板状試験片とする。
- (ロ) JISになるべく準拠する。



#### (2) クリープ破断破断試験片

- (イ) ナトリウム浸漬面をなるべく残すため円弧板状試験片とする。
- (ロ)  $G.L/\sqrt{A}$ を同一にする。
- (ハ) 試験機最大荷重容量 3t
- (ニ) ネジ部径 M18×2.5

#### (3) 衝撃試験片

- (イ) ナトリウム浸漬面をなるべく残す。
- (ロ) 溶接継手試験片のノッチ位置はサーベイランス確認試験片の結果により決定する。

## 3. サーベイランス参考試験片寸法詳細のきめ方

## (1) 引張試験片

(イ) 母材試験片は、高温引張試験に関する規格 J I S G0567 に規定する試験片形状とする。かつ、クリープ破断試験片との対比を考慮の上、平行部直径 8mm、平行部長さは 50mm とする。

(ロ) 溶接継手試験片は余盛部と母材部との寸法のくい違い等をなくし、データの解析を容易にするため、余盛は削除する。

試験片形状は J I S Z 2121 に準拠する。

(ハ) 溶接継手試験片は J I S Z 2121 に準拠するため板状となるが、ナトリウムの影響について相似形状で比較するため  $W/t$  を同一とする。

## (2) クリープ破断試験片

(イ) J I S になるべく準拠させ、余盛、目違いの影響を除くため円形断面試験片とする。

試験片平行部の直径は採取しうる最大の標準直径（溶接継手を含む）である 8φ で統一し、ゲージ長さは 50mm ( $> 5D$ ,  $G. L/\sqrt{A} = 7.1$ ) とする。

(ロ) STPA 24 同材継手試験片では、溶接金属幅のバラツキが考えられる。試験片はまた溶接金属部中心に対して、材質的に対象であると考えられることから、ボンド部、HAZ の片側を試験片平行部に充分配置させる目的で溶接金属部の中心を平行部中心から 5mm 移行する。

(ハ) STPA 24-SUS 304 継手試験片では、最大溶接金属幅が 30mm 以上に達するものもみられ、一部の試験片ではバタリング部が平行部から僅かにはみ出る。STPA 24 側のバタリング部を含む溶接金属部が平行部に入るように、溶接金属部の中心を SUS 側突起部から 20mm の位置におく。

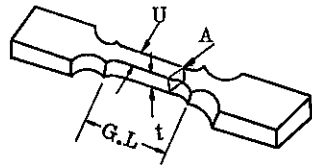
## (3) 衝撃試験片

(イ) J I S による標準サイズの試験片および J I S 規定のサブサイズ試験片とする。

(ロ) 溶接継手試験片のノッチ位置は確認参考試験片の結果により決定する。

2次冷却系サーベイランス試験片および同参考試験片に関するメモー1

種 別	対 部 材	サーベイランス試験片						参 考 試 験 片						備 考
		規格など	平行部 断面形状	形 状 因 子				規格など	平行部 断面形状	形 状 因 子				
				G.L(mm)	w/t	G.L/A	全長(mm)			G.L(mm)	w/t	G.L/A	全長(mm)	
室温および 高温引張試験 (母材)	2次主冷却系配管 STPA 24母材 12BSch40 (318.5φ0.D×10.3mm t)	JIS 13 B号 準拠	円弧型	50	1.2	4.4	130		8φ	50	—	7.1	130	
	ダンプタンク材 SB 42 (14mm t)		角 型	50	0.66	4.4	130	同 上						
同 (継手)	2次冷却系配管 STPA 24継手 SUS304-STPA 24継手 12BSch40 (318.5φ0.D ×10.3mm t)	JISZ 2121 に準拠 (余盛のまま)	円弧型	~	1.2	~	130	JISZ 3121 に準拠 (余盛は削る)	板 状	—	1.2	—	130	
	STPA 24-STPT 42 継手 2BSch40 (60.5φ0.D×3.9mm t)	JISZ 3121 に準拠 (余盛のまま)	円弧型	~	1.2	~	90	JISZ 3121 に準拠 (余盛は削る)	弧 型	—	1.2	—	90	



GL: ゲージ長さ

t: 平行部板厚

W: 平行部幅

A: 平行部断面積

2次冷却系サーベイランス試験片および同参考試験片に関するメモー2

SN908 77-04

種 別	対 象 部 材	サーベイランス試験片						参 考 試 験 片						備 考
		規格など	平行部 断面形状	形 状 因 子				規格など	平行部断面 形状など	形 状 因 子				
				G.L(mm)	w/t	G.L/√A	全長(mm)			G.L(mm)	w/t	G.L/√A	全長(mm)	
クリープ破断 試験片	2次冷却系主配管 STPA 24母材 12BSch40 (318.5φ 0.D.×10.3mm t)		円弧型	65	0.78	7.2	130		8φ	50	—	7.1	130	
	同 上 STPA 24継手 STPA 24—SUS304継手		円弧型	65	0.78	7.2	130		8φ	50	—	7.1	130	
衝撃試験片	2次冷却系配管 STPA 24母材 12BSch40 (318.5φ 0.D.×10.3mm t)	JIS4号に準拠	円弧型 (55×10.3×10)					JIS4号に準拠	55×10×7.5					
	2次冷却系配管 STPA 24継手 STPA 24—SUS304継手 12BSch40 (318.5φ 0.D.×10.3mm t)		円弧型 (55×10.3×10)					JIS4号に準拠	55×10×7.5					サーベイランス試験片は余盛のまま試験する
	ダンプタンク部 STPA 24—STPT 42継手 2BSch40 (60.5φ 0.D.×3.9mm t)		円弧型 (55×3.9×10)					JIS4号に準拠	55×10×2.5					参考試験片のノッチ部方向の厚さは2.5mm ノッチはSTPT 42側にいれる。
	同上SB42 (13mm t)	JIS4号に準拠	55×10×10*					JIS4号に準拠	55×10×10					*ナトリウム浸漬面を片側のみ残す。

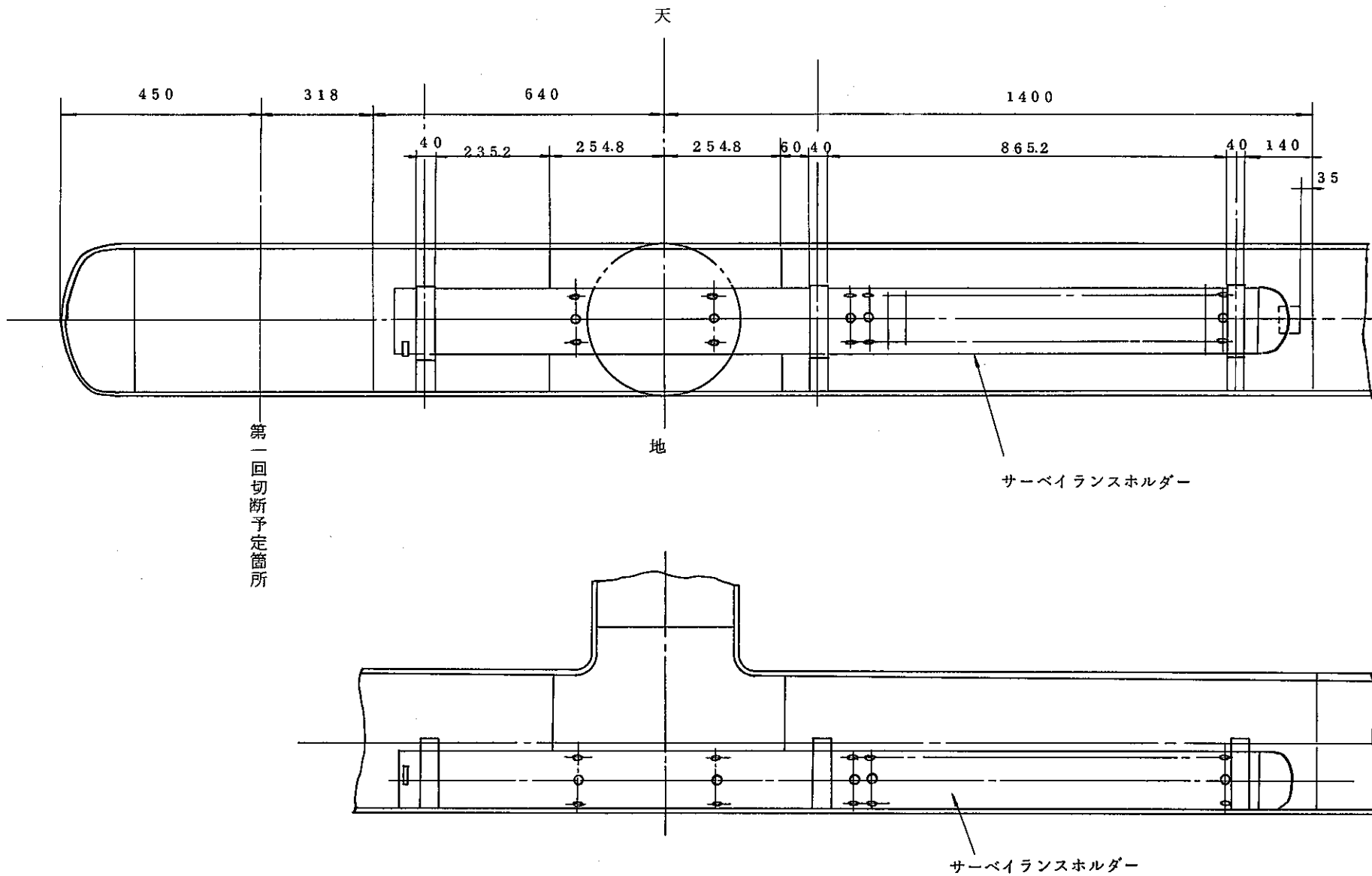
添付資料 II

第1図 2次冷却系主配管内（ホットレグ）サーベイランス  
試験片組込図（その1）

第2図 2次冷却系主配管内（ホットレグ）サーベイランス  
試験片組込図（その2）

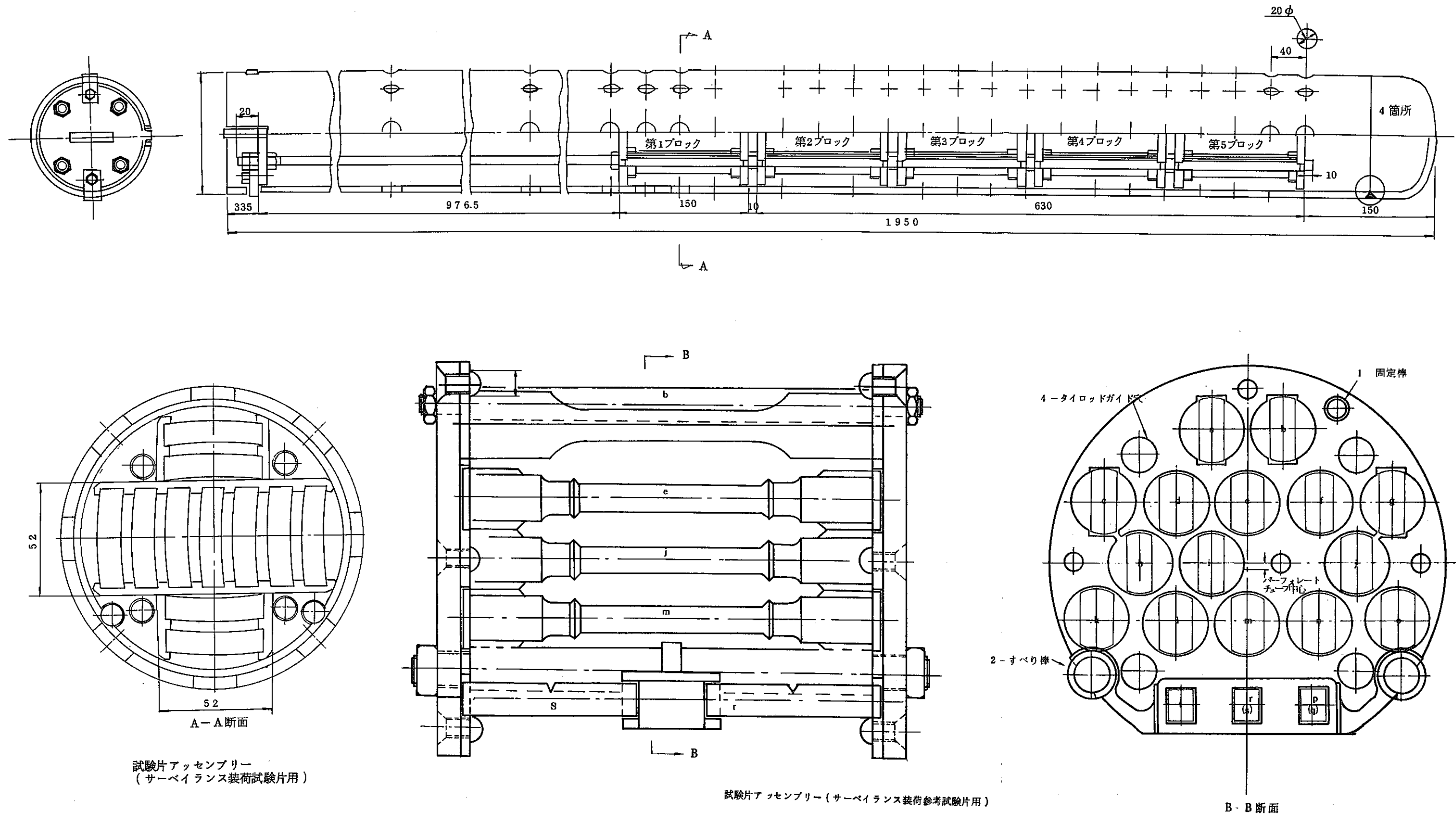
第3図 2次冷却系オーバフロータンク内（コールドレグ）  
サーベイランス試験片組込図

第4図 2次冷却系ダンプタンク内サーベイランス  
試験片組込図



第1図 2次冷却系主配管内(ホットレグ)サーベイランス試験片組込図(その1)

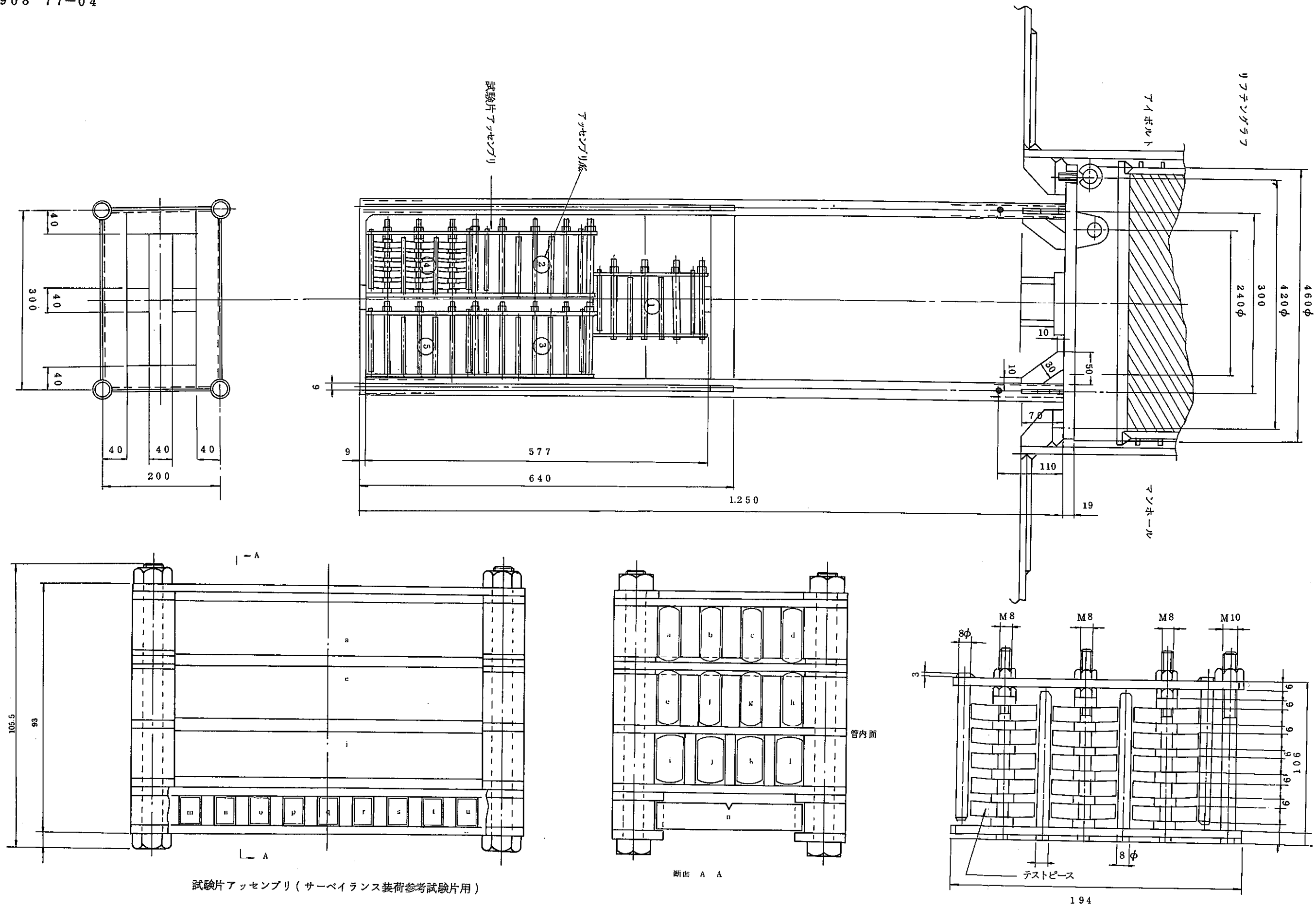




注：本アッセンブリは、サーベイランス装荷試験片の第1回の取出し後に装荷する

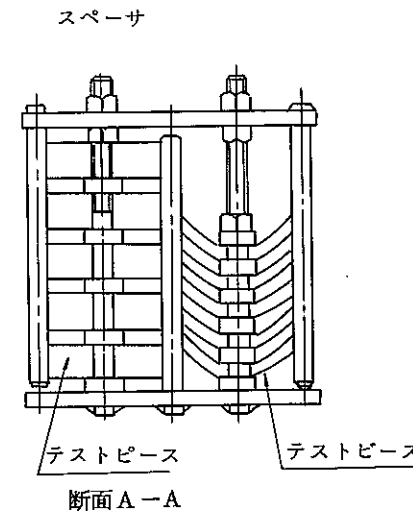
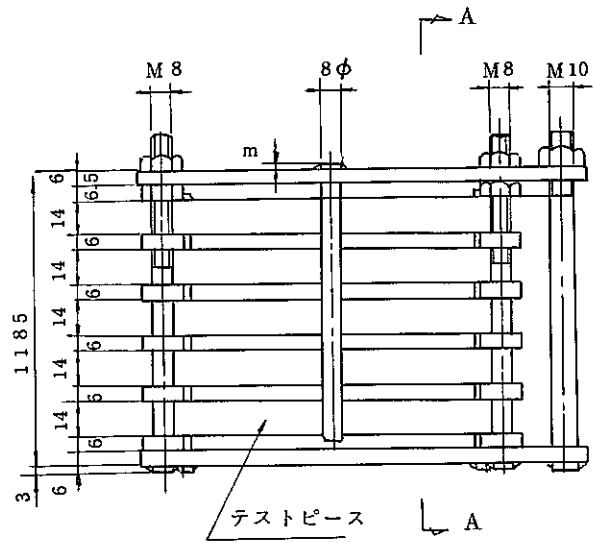
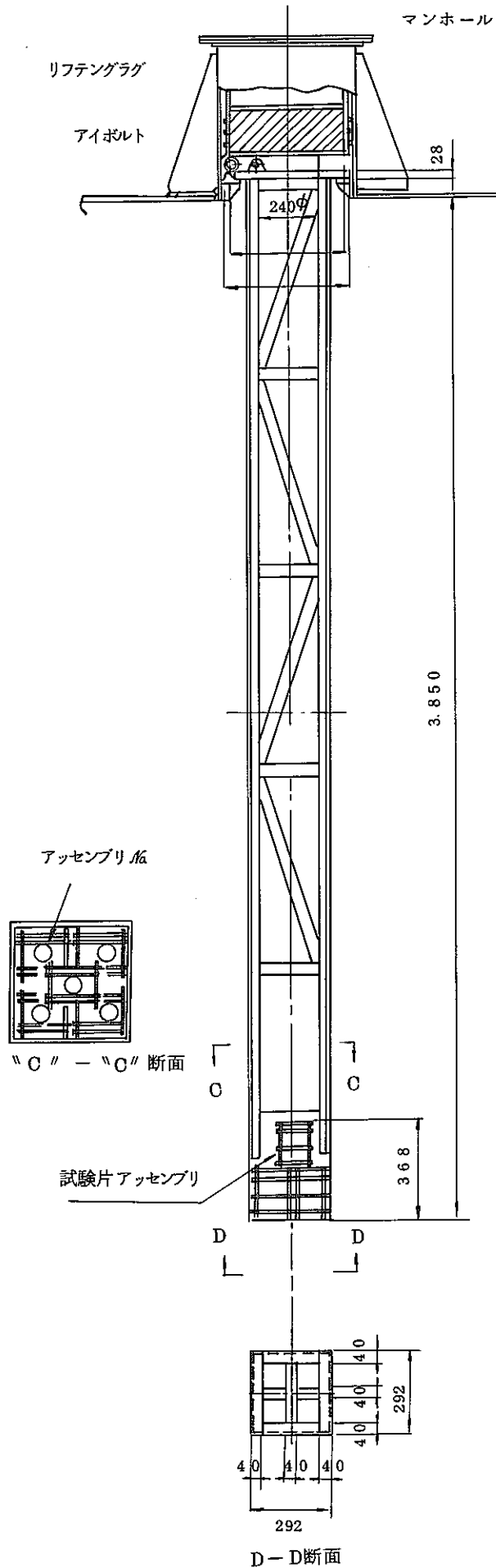
第2図 2次冷却系主配管内(コールドレグ)サーベイランス試験片組込図(その2)

第3図 2次冷却系オーバーフロータンク内(コールドレグ)サーベイランス試験片組込図

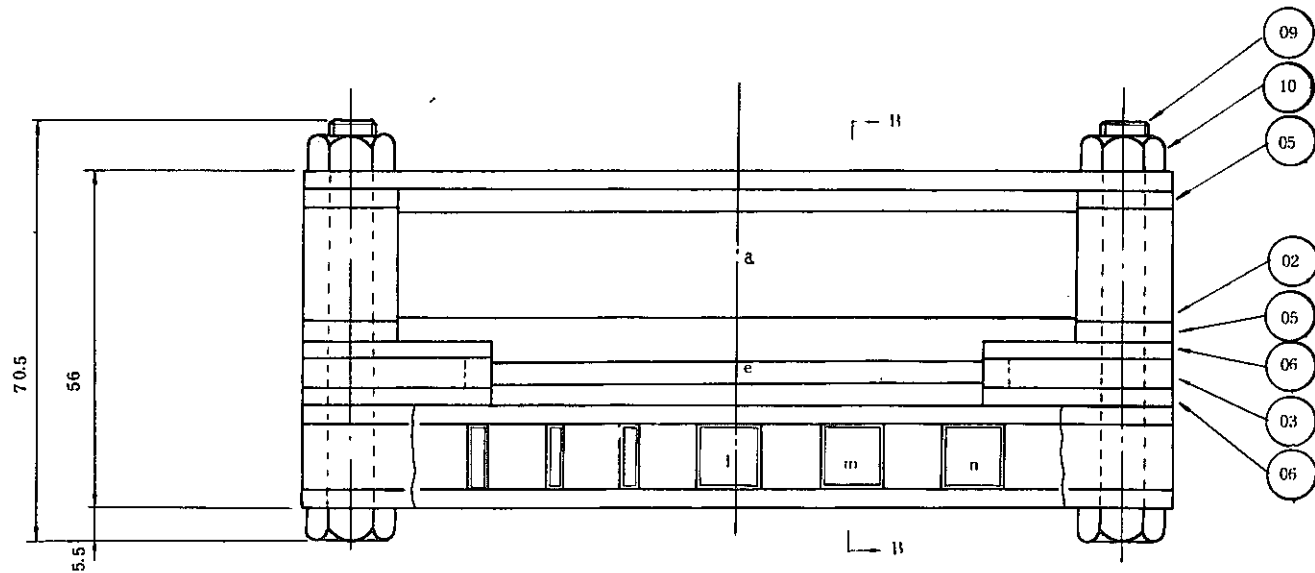


(注) 本アセンブリは、サーベイランス装荷試験片の第1回の取出し時に装荷する。

試験片アセンブリ (サーベイランス装荷試験片用)



試験片アッセンブリ(サーベイランス装荷試験片用)



試験片アッセンブリ(サーベイランス装荷参考試験片)

(注)本アッセンブリは、サーベイランス装荷試験片の第1回の取出し時に装荷する。

第4図 2次系ダンプタンク内サーベイランス試験組込図