

日本原子力発電敦賀2号機 PCCV のライナ工事について

岩 城 真 一*
浦 川 博 司**

まえがき

本報告ではプレストレストコンクリート製原子炉格納容器 (PCCV) の一部として、その最内側に位置し、その耐漏洩機能を受け持つ鋼構造部分——ライナ——の工事について述べる。

1. ライナとは (機能と構造の概要)

ライナはライナプレートとライナアンカ、その他の付属物よりなる格納容器の耐漏洩機能を確保するための PCCV の内張材であって、中・常温圧力容器用炭素鋼板 (SGV 42) 板厚 6.4 mm を用いている。接続部はすべて溶接構造であり、配管貫通部、機器搬入口、エアロック、クレーンブラケット等は直接ライナに溶接されている。また配管ハンガ、機器サポート等はライナに溶接されたパッドに溶接する構造となっている。

設計的には、

- 1) 気密性の保持に支障をきたさないように、ライナプレートは、ライナアンカを介して伝達される PCCV コンクリートの変形や、ライナとコンクリートとの温度差による熱膨張差をコンクリートが拘束することによって生ずる強制ひずみ荷重に対して十分な裕度が確保される。
- 2) 格納容器貫通部、クレーンブラケット取付け部、外部荷重を受ける部分は、その荷重をコンクリートに伝えるに必要な強度を持つ。
- 3) 内圧・地震荷重等は PCCV コンクリート部で負

担し、ライナプレートに強度部材としての役割を期待しない。

- 4) 円筒部およびドーム部のライナの剛性は据付け時およびコンクリート打設時に加わる荷重に充分耐えるものとする。

ライナは PCCV の下部から底部ライナ、円筒部ライナ、ドームライナの三つの部分から成る。ライナの構造概要を図-1 に、その諸元を表-1 に示す。

2. ライナの工場製作と現場での大ブロック化

2.1 工場製作 (円筒部ライナ)

ライナ製作の代表例として円筒部ライナの製作を紹介する。ライナプレートにライナアンカを載せ、写真-1 に示す 8 電極自動溶接装置を用いて、無仮付けで MIG

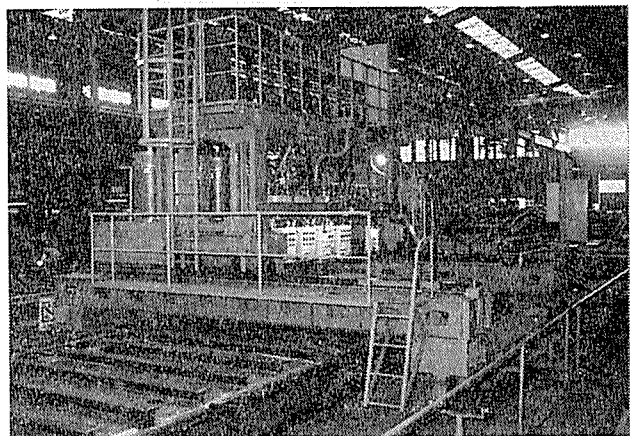
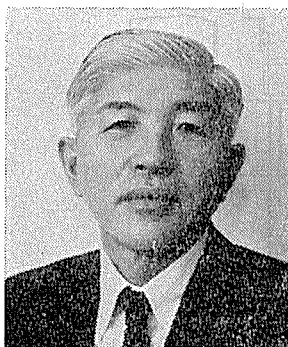
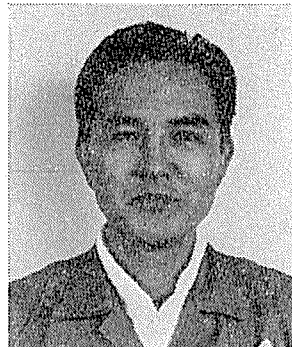


写真-1 8電極ライナアンカ溶接装置



* Shin-ichi IWAKI
三菱重工業 (株) 神戸造船所



** Hiroshi URAKAWA
三菱重工業 (株) 神戸造船所

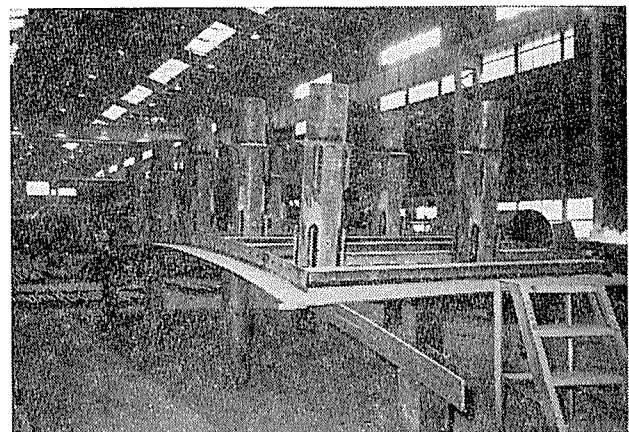
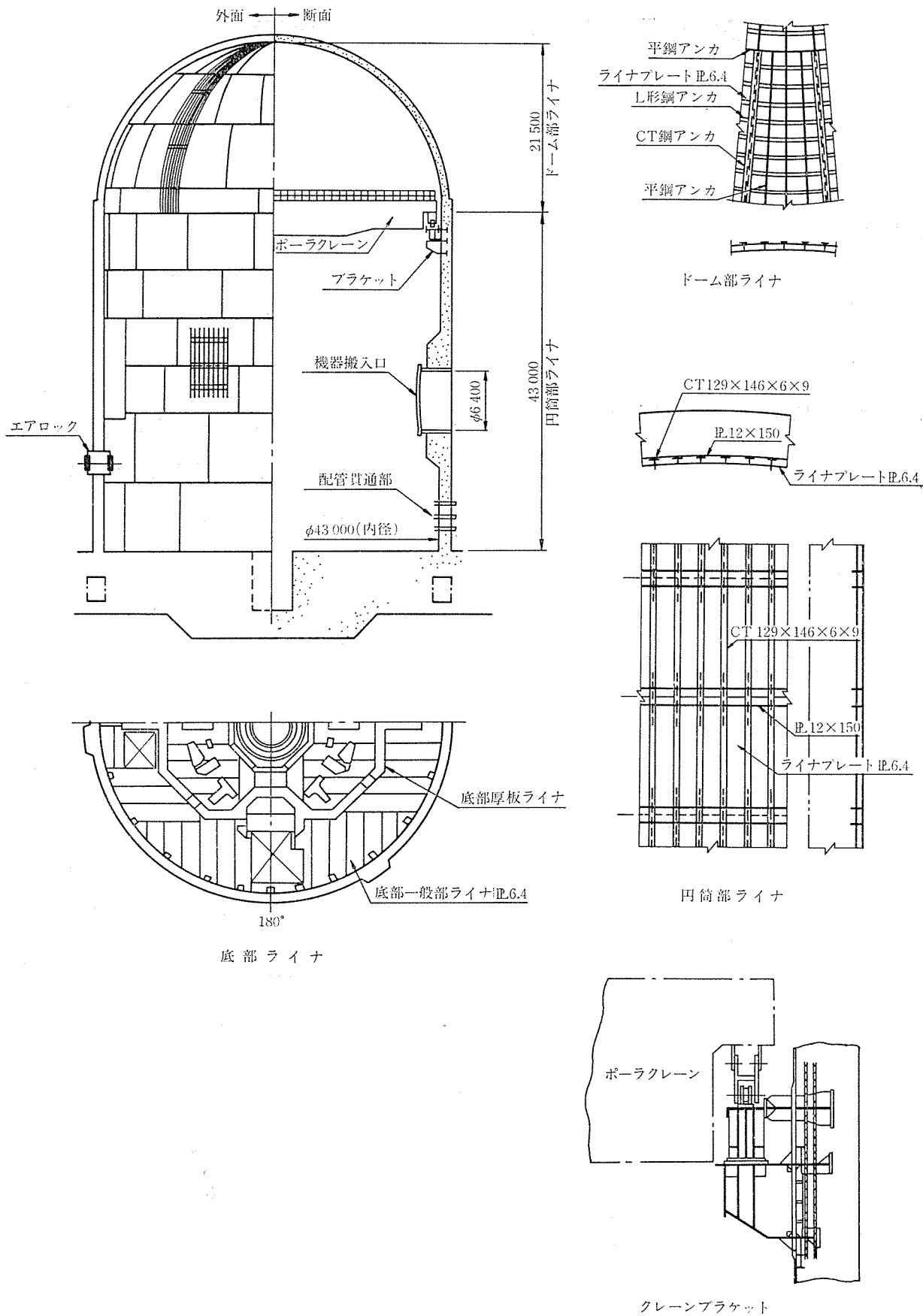


写真-2 貫通部スリーブ付きライナ



図一 敦賀発電所2号機 PCCV ライナー一般図

表-1 諸 元

区 分	項 目	寸 法 (材 質)	概算数量
底 部	埋込み形鋼	形 鋼 H 100×100×6×8 (SM 41 B)	220 本
	一般部ライナ	ラ イ ナ E 6.4 (SGV 42)	100 枚
	一次遮へい壁基礎部厚板 (カブラ付き)	厚 板 E 19 (SGV 49)	20 枚
	二次遮へい壁基礎部厚板 (カブラ付き)	カ ブ ラ (SM 58 Q)	30 枚
	炉内計装室およびサンプ (ライナアンカ付き)	ラ イ ナ E 6.4 (SGV 42) ライナアンカ CT 129×146×6×9 (SM 41 B)	60 枚
円 筒 部	一般部ライナ (ライナアンカ付き) CP1 ~ CP6 ブロック	ラ イ ナ E 6.4 (SGV 42) ライナアンカ CT 129×146×6×9 (SM 41 B) " E 12, E 22 (SM 41 B)	180 枚
	補強板 (貫通スリーブ他用)	補 強 板 E 13~E 50 (SGV 49)	40 枚
	リングガードブラケット (ライナ付き)	ブ レ ー ト E 19~E 60 (SGV 49)	30 組
	リングガードおよびレール	ブ レ ー ト E 19~E 40 (SM 50 B) レ ー ル (CR 100)	30 組
	貫通部スリーブ	板巻スリーブ 14 B 超 (SGV 49) 鋼管スリーブ 14 B 以下 (STS 49)	190 本
	エアロック (A/L)	胴φ2600 補強板 φ3250 ブ レ ー ト 22mm (SGV 49)	2
機器搬入口 (E/H)	胴φ6400 補強板 φ8000 ブ レ ー ト 100mm, 80mm (SGV 49)	1	
半 球 部	一般部ライナ (ライナアンカ付き) DP1 ~ DP5 ブロック	ラ イ ナ E 6.4 (SGV 42) ライナアンカ CT 150×150×6.5×9 (SM 41 B) " E 9, E 12 (SM 41 B)	130 枚
	仮換気孔		3
そ の 他	アタッチメント	ブ レ ー ト E 9~E 25 (SGV 49) ス タ ッ ド (S 15 C)	一 式
	テストチャンネルおよびテストパイプ	形 鋼 [75×40×5×7 (SM 41) パ イ プ (STPT 38)	一 式

(Metal Inert Gas) 溶接を行う。次にこれを凸型の架台に載せ円周方向ライナアンカを取付け溶接し、円筒部の曲面を成形する。以下、貫通部スリーブ、パッド等の取付け溶接を行い、表面処理・塗装を行う。写真-2 に貫通部スリーブの取付け状況を示す。

この製作フローを図-2 に示す。まえがきに述べた法規、省令、告示、指針、原電殿の品質要求事項に基づき、各工程において QC ポイントが設けられ、通産省、発電設備技術検査協会、客先の入念な立会検査により、品質の確認を受け、すべての品質記録が確認されたのち発送許可証が出され、現地へ出荷する。製作は三菱重工業(株)神戸造船所で行われ、輸送は海送または陸送で行った。

2.2 現場での大ブロック化

建設工程のクリティカルパスのうち、円筒部ライナ据付け部分の工程を短縮するため、工場より出荷された 3 m 高、長さ約 12 m~15 m のブロックを、現場に設備した仮工場において、9 m 高さ (3 枚継ぎ)、または 6 m 高さ (2 枚継ぎ) に大ブロック化する。写真-3 に大型ブロックを示す。



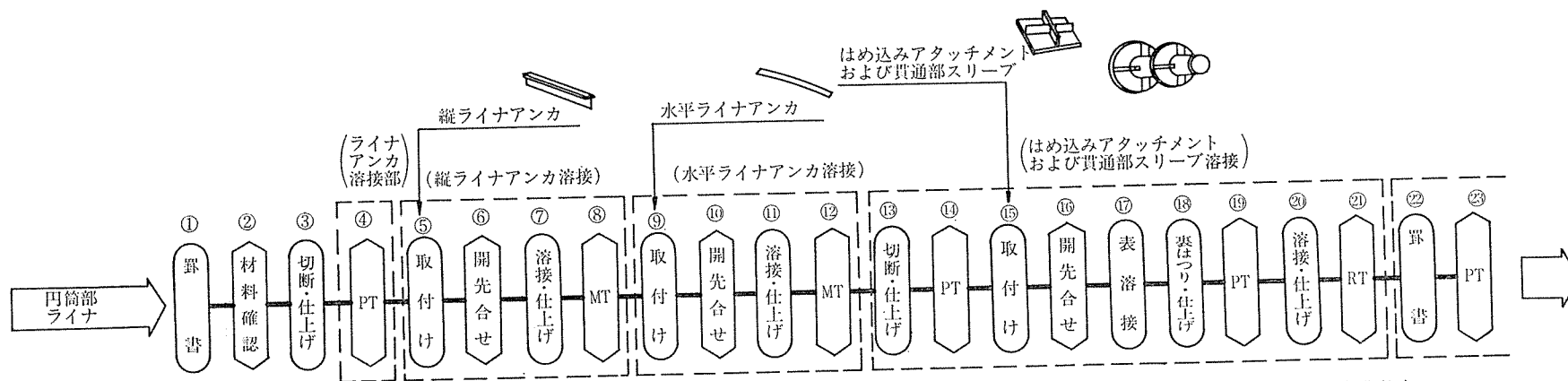
写真-3 仮工場での大ブロック化

この仮工場大ブロック化においても QC ポイント、立会検査による品質の確認は工場製作と同様である。なお底部ライナのうち、再循環サンプ等サンプライナは仮工場で大ブロック化した。

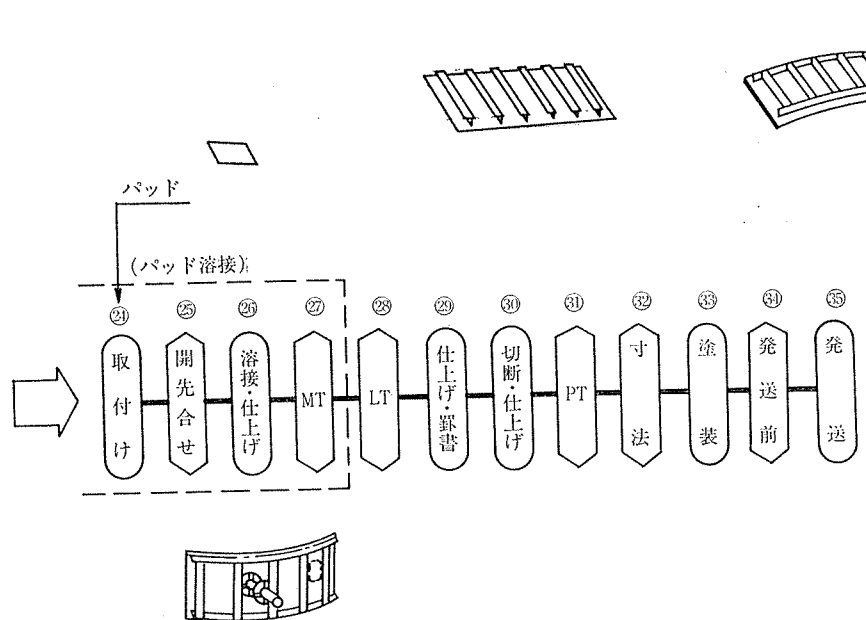
3. 底部ライナの据付け

3.1 ベースマット工事とともに

昭和 57 年 10 月 1 日よりベースマット工事が始まっ



注) PT: 液体浸透探傷検査
 MT: 磁粉探傷検査
 RT: 放射線透過検査
 LT: 漏洩検査(0.35kg/cm²G)



QCポイント

No.	検査項目	内容
②	材料確認検査	使用材料と材料証明書および図面と確認
④⑭⑲⑳	開先面検査 (PT)	開先形状、寸法 母材の健全性、清浄度
⑥⑩⑬⑯	開先合せ検査	開先形状、寸法 (ルートギャップ、開先角度、目違い等)、仮付け状態、清浄度
⑱	裏はつり検査 (PT)	裏溝の形状・寸法 裏はつり部の健全性
⑧⑫⑲⑳	溶接仕上げ検査 (MT・RT)	ビード形状寸法 (脚長、余盛、のど厚等) 著しい変形、溶接部の状態 (欠陥等)
㉘	漏洩検査	真空箱による溶接部の漏洩検査(LT)
㉜	寸法検査	形状 (曲がり) 寸法
㉞	発送前検査	製品外観、発送許可証 (検査完了確認)

図-2 円筒部ライナ製作フロー

項目	月	57		58									
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8		
炉内計装置		炉計室								底板			
サンブ	サンブ A, B			サンブ A (形鋼)		サンブ B			底板	底板			
	再循環サンブ			サンブ					底板				
厚板ライナ				(架台)		ライナ							
一般部ライナ						(形鋼)		ライナ					

図-3 底部ライナ据付け実績工程

た。このベースマット工事と並行して、図-1 に示す底部ライナのうち、炉内計装室、サンブ A, B および再循環サンブ、蒸気発生器、一次冷却材ポンプ等のアンカボルト付きの 50 mm 厚の機器用厚板ライナ、一次、二次遮へい壁ライナおよび内部鉄骨用アンカボルト付きのそれぞれ 19 mm 厚の厚板ライナが据え付けられた。

ベースマット工事は昭和 58 年 4 月 20 日に円筒部ライナ工事へクリティカルパスのバトンタッチを行った。この間の底部ライナの据付け実績工程は図-3 のとおりである。

(1) 炉内計装室ライナ、各種サンブライナ

炉内計装室を図-4 に示す。その円筒部分に原子炉容器 (Reactor Vessel) が入り、中央からトンネルを形成して、このトンネルを中性子の検出管が通る。構造的に

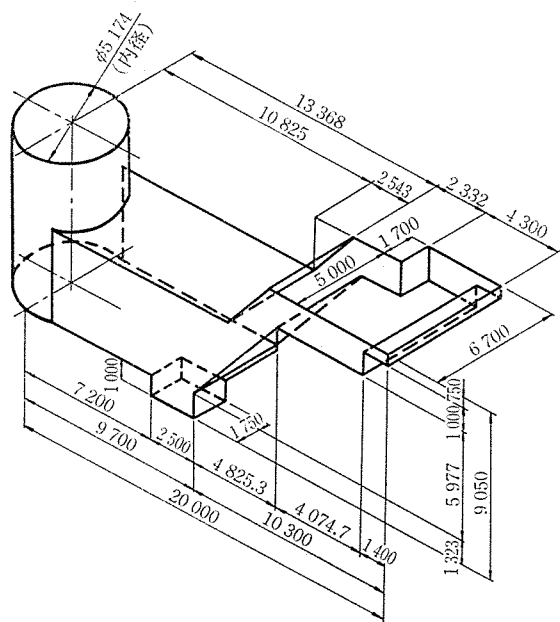


図-4 部炉内計装室ライナ

もまた据付け、溶接手順的にも非常に難しく、配筋モデルおよび部分モデルを参考にするなど慎重に検討計画して工事を行った。据付け中の炉内計装室を写真-4 に示す。

再循環サンブは安全注入系統機器、配管、槽の一部を形成する重要なサンブである。再循環サンブは仮工場で大ブロック化し、 $-0.35 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ の負圧箱による漏洩検査に合格したのち、現場に予め設置したサポート架台に吊り込み据付けた。このあと再循環スリーブを吊り込み、芯出し後、スリーブ補強板とライナとの溶接を行い、また

サンブ内部にコンクリート打設圧に耐える補強を実施した。図-5 に再循環サンブの据付け概要を示す。

(2) 底部厚板ライナの据付け

前述のアンカボルト付きまたは縦鉄筋付き厚板ライナは、据付け位置の正確さとともに、密に配筋される太径ベースマット上端筋と干渉してはならない。このために厚板ライナ据付け用架台を計画し、これの上・下にダミーパイプ用のテンプレートを設置し、まず架台を正確に据え付け、差し込んだダミーパイプと適当な間隔をとるように、上端筋を配筋した。ダミーパイプ、テンプレ

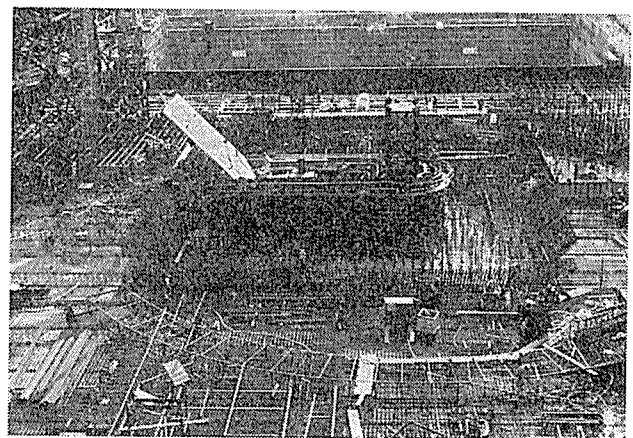


写真-4 炉内計装室ライナ

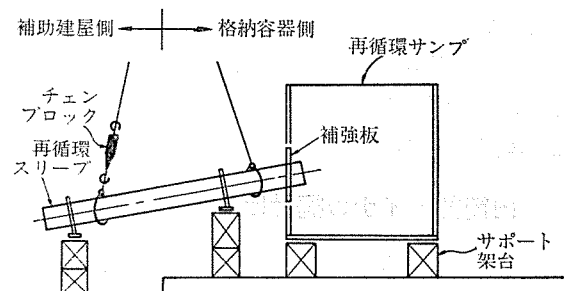
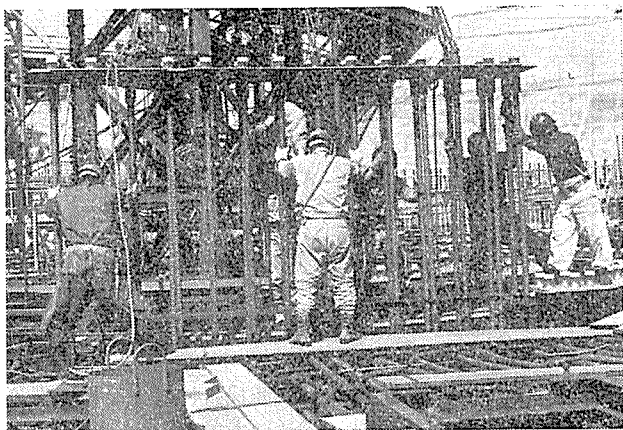
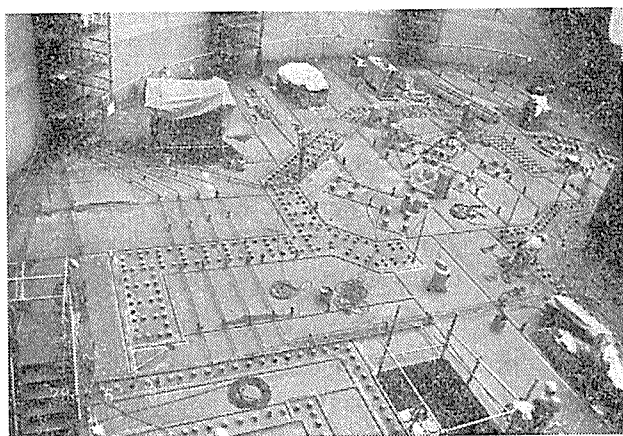


図-5 再循環サンブ据付け概要図



写真—5 底部厚板ライナの吊込み



写真—6 底部ライナ完成状況

ト撤去後、写真—5 に示す要領で厚板ライナを吊り込み、芯合せ、仮付け、溶接を行った。

3.2 一般底部ライナの据付け

板厚 6.4mm の一般底部ライナは、ベースマットコンクリート高を計画値より約 200mm 下で打止めし、ライナの溶接継手の裏当金となる高さ 100mm の埋込み形鋼の据付け、および厚板ライナ下部へ無収縮モルタルをグラウトした後、ベースマット計画高までモルタル充填仕上げしてから据え付けた。

ライナの寸法は、円筒部ライナ、サンプライナ、厚板ライナの据え付けられた位置関係を実測して決定した。これはライナ間の溶接ルート間隔を確保し、工程を短縮するためである。この寸法によって工場でライナを加工し、検査して現場に搬入した。所定位置へ吊り込み、仮付けし、ひずみ防止用のウエイトで押さえながら溶接した。写真—6 に据付け完了後の底部ライナを示す。

4. 円筒部ライナの据付け

円筒部ライナは内径、および高さ 43m で、高さ方向は 9m×2, 6m×3, 7m の6段、水平方向は 30° 割りの12ブロックからなっている。円筒部ライナの据付けに

は、この上にドーム部ライナ1段の据付けを含む。据付け現場にてライナに取り付けるものとしては、機器搬入口 (E/H)、通常用エアロック (A/L)、非常用 A/L 各1個、および燃料移送管 (FT) 貫通部スリーブ1個および主蒸気管 (MS)、主給水管 (FW) 貫通部スリーブ各4個がある。

円筒部ライナの据付けに当たっては、円筒部ライナが PCCV コンクリート およびプレストレスシステムの据付けの各種墨出しの基準となり、この墨によって配筋、 tendon 用シース等の配置が行われるので、円筒部ライナの形状品質——内半径、真円度、垂直度等——の確保が重要な課題である。このために、

- イ. 工場製作ブロックを正しく造る。
- ロ. これを大ブロック化したものを正しく造る。
- ハ. 6.4mm 厚のライナを連結した場合の全体の真円度の確保のため、継手下に内面足場兼用の水平補剛リングを設ける。
- ニ. 常に計画垂直度を確保するように建て付ける。
- ホ. 耐風対策兼用のストロングバックで固定して溶接を行う。
- ヘ. ひずみの発生が少ないバックステップ溶接を行う。

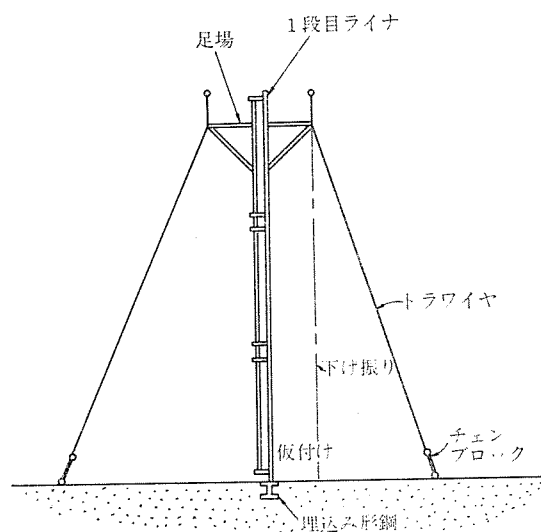
等の対策を行った。

また安全対策上、補剛リング、足場、建付け用・固定用治具は、できる限り地上で取り付けた。

4.1 一般円筒部ライナの据付け

昭和57年4月20日の敦賀2号機着工からちょうど1年後の58年4月20日に円筒部ライナ工事に着手した。

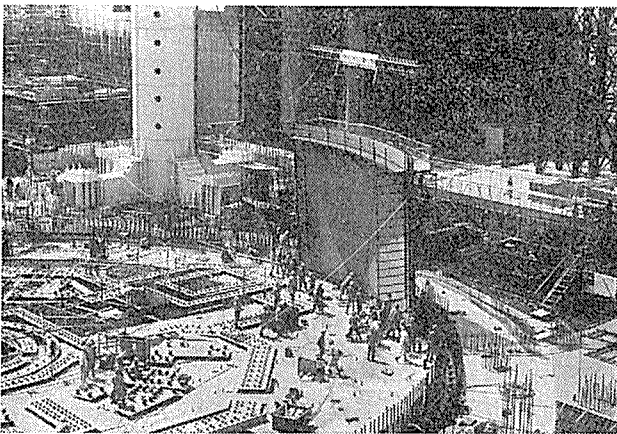
円筒部ライナ埋込み形鋼上面に、内径と継手位置を野書き、2400t-m のサイドクレーンとトラッククレーンで建起した部材をサイドクレーンで吊り込み、図—6 に



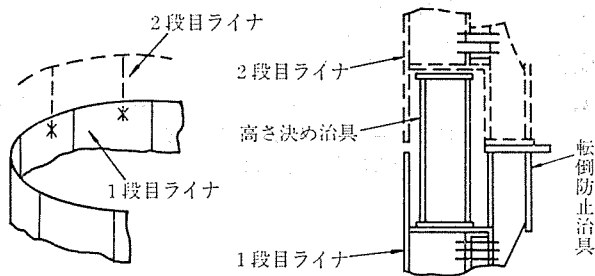
図—6 円筒部ライナ 1 段目建付け状況

示す要領で1段目ライナを建付け仮付けした。写真—7—に1段目の最初のライナを据え付けている状況を示す。2枚目以降はこれに補剛リングの取付け、寸法確認および縦継手の仮付けが加わる。

2段目以降は、図—7—に示すように継手位置を野書き、高さ決め、転倒防止治具を取り付け、弥次郎兵衛式のトラワイヤを下段足場から取り、手順的には一段目と同じ要領で建て付けていく。図—8—に円筒部ライナの据付け実績工程を示す。写真—8—に補剛リング兼内部足場、昇降設備、写真—9—に外部足場を示す。写真—10—に



写真—7— 円筒部ライナ1段目の据付け



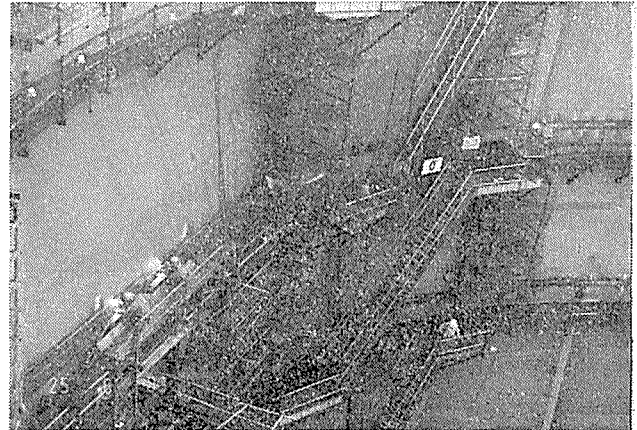
図—7— 円筒部ライナ 2段目建付け準備

円筒部ライナの全景とサイドクレーンを示す。

4.2 貫通部およびポーラクレーン走行ガーダ、レール

(1) 貫通部 (機器搬入口の例)

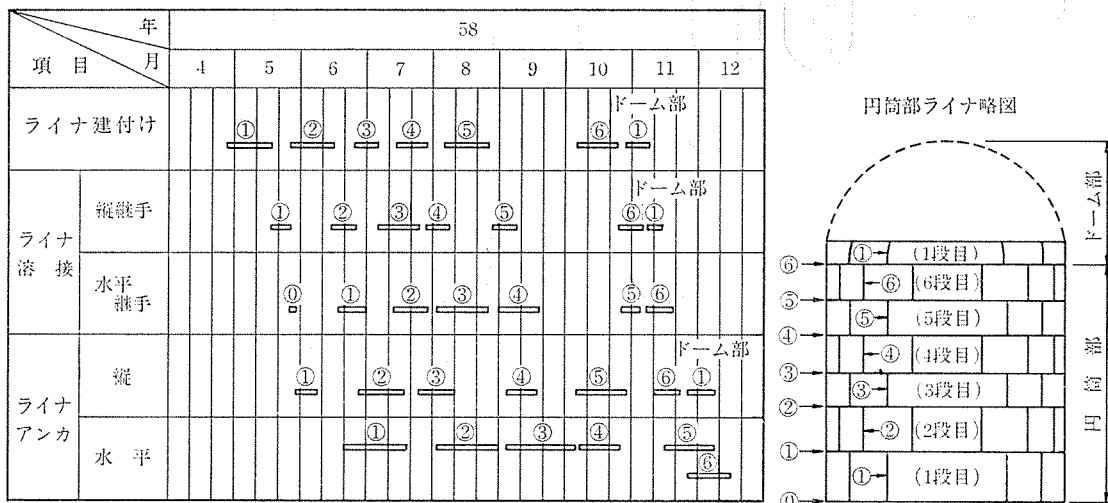
前述したように、E/H、非常用および通常用 A/L、および FT、MS、FW の各貫通部スリーブは据付け現場でライナに取り付け溶接する。



写真—8— 補剛リング兼内部足場および昇降設備

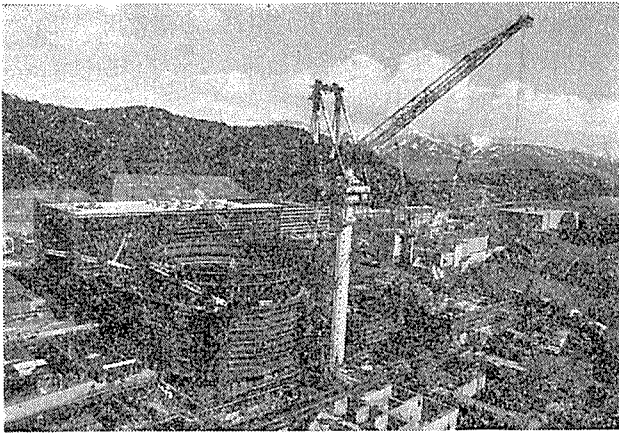


写真—9— ライナ外部足場

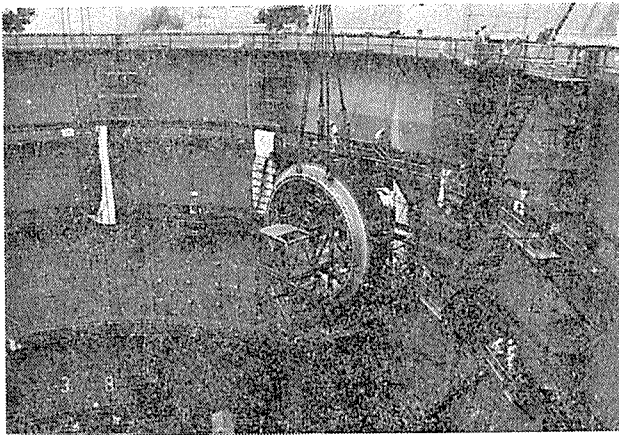


図—8— 円筒部ライナ据付け実績工程

機器搬入口（直径 6.4 m, 補強板直径 8.0 m, 重量約 45 t（蓋を除く））の据付けを例に示す。他の貫通部は重量的に軽く、ライナに重量をもたせることができた



写真—10 円筒部ライナとサイドクレーン



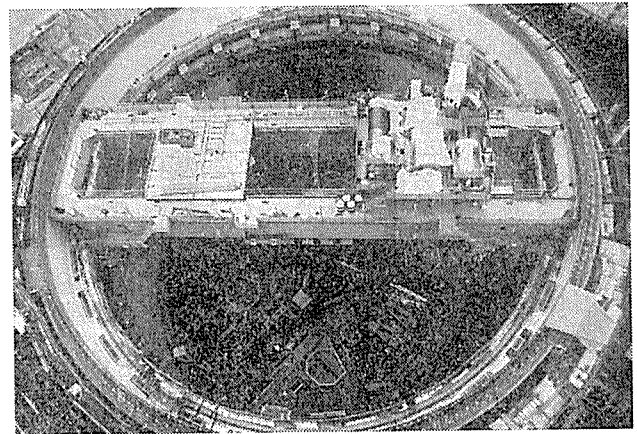
写真—11 機器搬入口の据付け

め、E/H のように地上から架台を組み、重量を支持すること以外、略々同様の手順である。

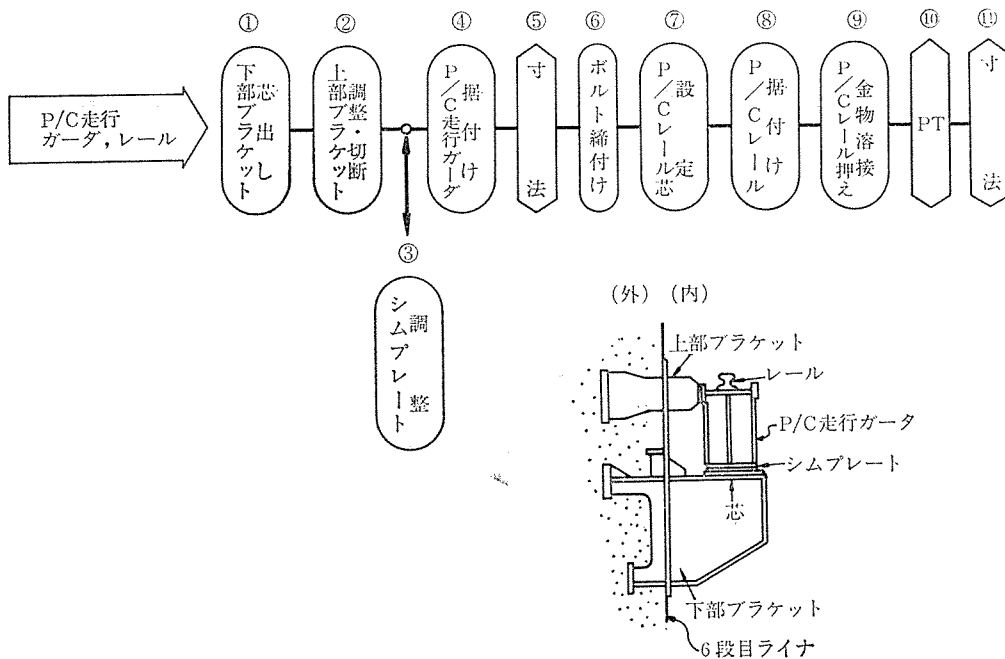
E/H の据付けは、格納容器内へのアクセス階段付きの受架台を写真—11 に示すように内および外に設置し、E/H を、各種方向に移動、調節、固定する治具を持った吊ビームにて支持するよう計画し、吊込みにはバランスをとるために、内側架台の一部を吊ビームに取り付けて、サイドクレーンにより内側から吊り込んだ。ライナと補強板を現物合せにて切断し、正確に合せ固定、溶接接合した。

(2) ポーラクレーン走行ガーダ、レール

原子炉容器、蒸気発生器、加圧器、一次冷却材ポンプ等の主要機器の吊込みや、格納容器内での重量物の取付け、取外しに使用されるポーラクレーン（吊荷重はプラント建設時 450 t, プラント運転時 200 t）、走行用ガー



写真—12 ポーラクレーン走行ガーダ、レールおよび上架されたポーラクレーン



図—9 ポーラクレーン走行ガーダおよびレール据付け施工手順図

ダ、レールの据付けは、円筒部ライナの据付け終了後、ポーラクレーンブラケットのポーラクレーン走行ガード支持位置のレベルを実測し、このデータにより切削加工したシムプレートを用いてレベルを出し、走行ガードを順次吊り込み、上・下ブラケットと HT ボルトで固定した。次に据付け完了した走行ガード上面にレール据付け芯を罫書き、慎重にチェックしたのち、レールを据え付けた。レール押え金物の溶接は当該部コンクリートの打設一週間後より実施した。図-9 にポーラクレーン走行ガードおよびレールの据付け施工手順を示す。完成後ポーラクレーンを上架した。写真-12 に完成したポーラクレーン走行ガード、レールおよび上架されたポーラクレーンの全景を示す。

4.3 仮 開 口

主要機器類の搬入を主目的として円筒部ライナに設ける仮開口は、高さ約 12m、幅約 10m で、円筒部ライナの 3 段目、4 段目各 1 枚を取り外して設けられる。

写真-13 に取外し中の仮開口部ライナを示す。

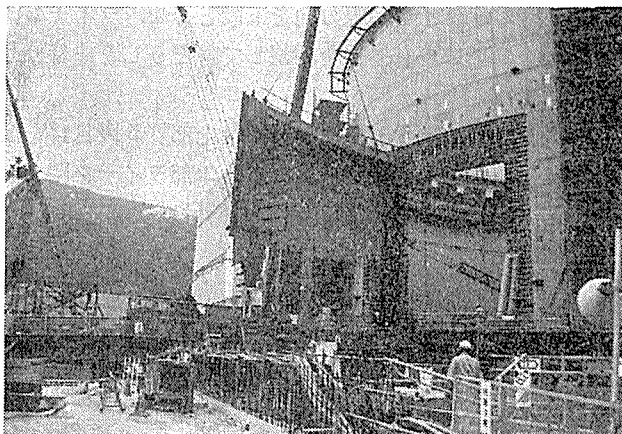


写真-13 取外し中の仮開口部ライナ

主要機器類の据付け、および大物仮設材の撤去等の工事が終わると、仮開口を閉鎖して、ライナを完成させ、この部分のコンクリート工事を行った。

5. ドームライナの据付け

ポーラクレーンの上架が終わるとドームライナの据付けに着手する。ドームライナの据付けには作業足場およびライナ建付け時の一時保持のために、ポーラクレーン中央にステーキングを組み、ここと、ポーラクレーンレールを支点とするドームトラスを組み込んだ。

5.1 ドームトラスの据付け

ドームトラスの構造は、ドームトラスの据付け、解体、および下部で行われる内部コンクリートおよび一次系機器工事を考慮して、ポーラクレーンの旋回に追従できるようにクレーンレールにローラを介して支持し、上部でトラス間のステー等を取り付ける必要のない、独立のユニット構造とし、またトラスの下面全面に落下防止用のトタン板を張った。

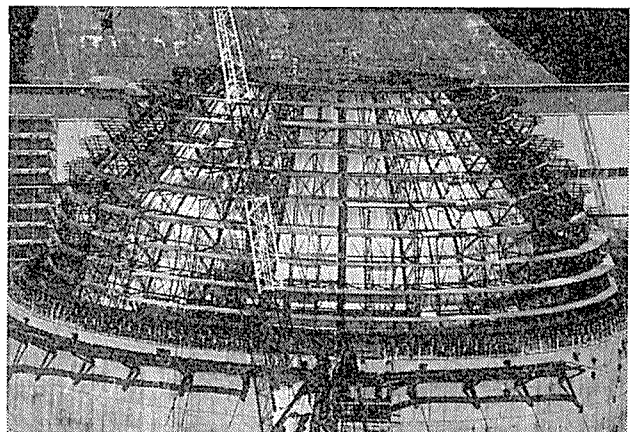


写真-14 ドームトラス（仮設）

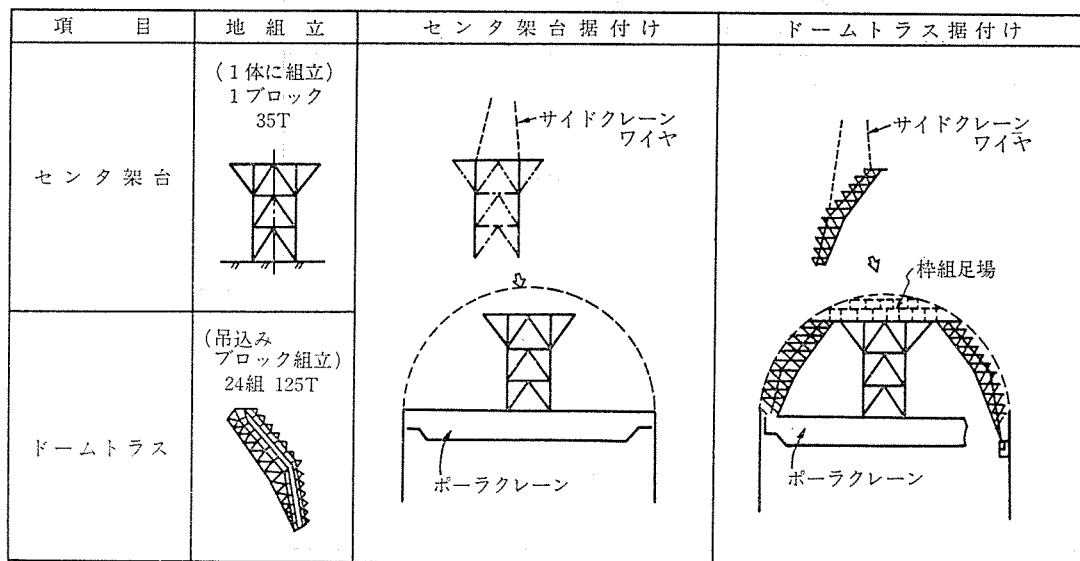
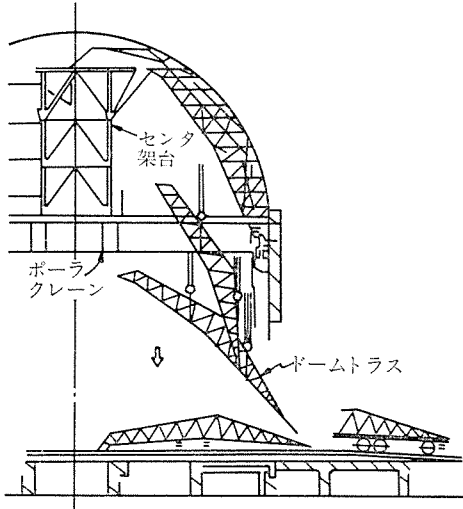


図-10 ドームトラス据付け概要図



図—11 ドームトラス解体概要図

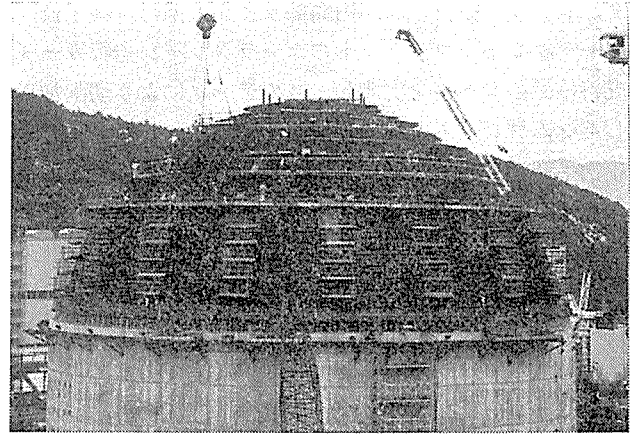
図—10 にドームトラスの据付け概要を、写真—14 にドームトラスの設置状況を、図—11 にドームトラスの解体概要を示す。

5.2 ドーム部ライナ

ドーム部ライナは半球面をなしているため、製作、据付けに当たって、

- イ. 各部材がねじれなく正しい曲りであること
- ロ. 各段切口の真円度が正しく、水平であること
- ハ. 緯線方向長さ、経線方向長さが継手部で等しいこと

が正しい球面を形成するに必要である。許容精度内に製作された各ライナ材を、許容精度内に円筒部ライナ据付け時に据え付られたドーム部ライナ第1段上に据え付け



写真—15 ドームライナの据付け

ていくに当たり、各種の誤差を吸収するため、緯線方向長さは、各段に1枚だけ調整切断するブロックを設け、経線方向では第4段と最頂部の第5段の間で調整切断する方法を採った。

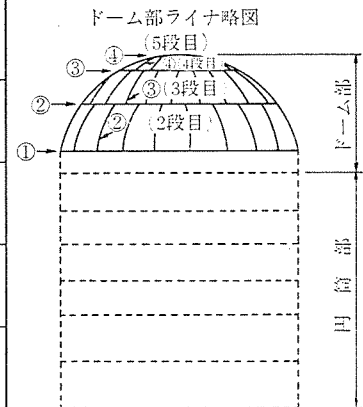
各ブロックの建付け、溶接の手順は図—12 ドーム部ライナ据付け実績工程とドーム部ライナ略図に示すが、各ライナは、ライナ緯線方向を下段と合せ、ライナの倒れと、上部切口のレベルを調整して隣どうしと建付け、仮付けした。

4段目までの継手溶接完了後、最上部(5段目)を吊込み、調整部を合せ切断して、ドーム部ライナを閉合した。写真—15 にドーム部ライナの据付け状況を示す。

6. ライナの溶接

ライナの溶接については、通産省令 81 号、敦賀発電

項目		年										
		59										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P/C走行ガーダおよびレール			走行ガーダ			レール						
ドームトラス							据付け					解体
ライナ建付け								②③④		⑤		
ライナ溶接	縦継手							②	③	④		
	水平継手							①	③	④		
ライナアンカ	縦									②	④	
	水平									①	③	



図—12 ドーム部ライナ据付け実績工程

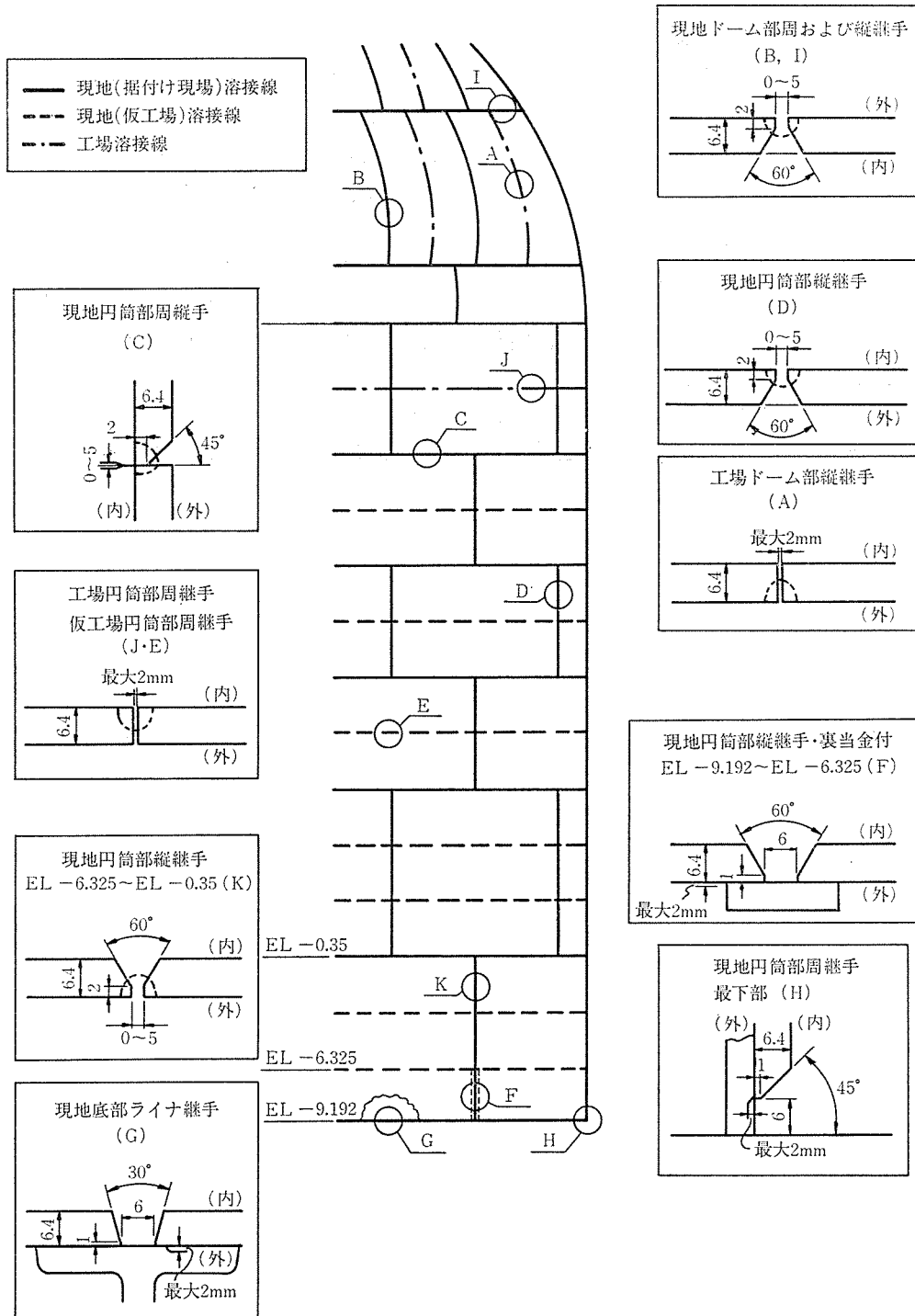
所2号機用プレストレストコンクリート格納容器に関する技術指針に従って、溶接設計、施工、検査が行われた。

漏洩バウンダリを構成する材料およびこれに直接取り付く材料はすべて識別記号を持ち、個々に刻印されて、原材からのトレーサビリティを保持している。また各溶接線は溶接線符号を持つ。

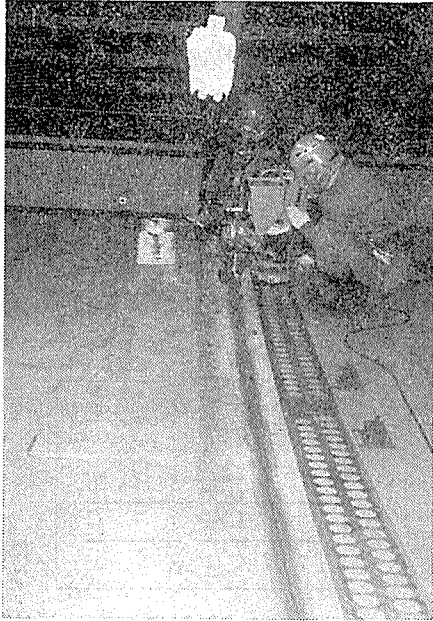
溶接は通産省発電用汽缶溶接士の各種資格を持った溶接士により、認可された各種溶接施工法の中から、各溶

接線ごとに指定された施工法に従って施工する。

溶接検査は予め発電設備技術検査協会に提出、受理された溶接検査申請書に従って各溶接線の各溶接に関する工程ごとに、同協会検査員の立会検査とともに、溶接検査記録の確認を受ける。なお漏洩バウンダリの突合せ継手については、規準に従って施工条件ごと、およびある溶接線グループごとに溶接試験板を溶接、試験片を採取し、機械試験を実施して、溶接施工の健全性の確認も受



図—13 ライナ溶接部開先代表例



写真—16 仮工場におけるライナの突合せ自動溶接

けている。

漏洩バウンダリを形成する溶接継手については、突合せ溶接部は全延長放射線透過検査，片側裏当金溶接部は全延長磁粉探傷検査に合格したのち，使用前検査として，負圧箱による $-0.35 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ の漏洩検査を受け，漏洩のないことを確認されている。

図—13 にライナ継手の溶接部開先の代表例を示す。溶接検査の時期の例としては各種フロー図を参照されたい。写真—16 に仮工場におけるライナ突合せ自動溶接状況を示す。

あとがき

本文では述べなかったが，敦賀2号機の建設に当たっては敦賀2号機総合品質保証計画，そのもとで一次系機器，格納容器の品質保証計画を行い，それに基づき，こと品質に関するあらゆる分野で品質保証活動を行った。

本稿に述べたライナの製作，据付けはこの裏打ちの品質保証活動のうえに展開されたものである。昭和57年10月1日ベースマット着工以来3年有半，昭和61年2月にPCCVの構造物健全性確認試験（SIT）および漏洩率試験（LRT）を好成績でクリアし，その安全性，信頼性が確認された。

本報告では紙面の都合もあって，詳細な報告は無理なので，ライナとは？ ライナがどのように製作され，据付けられたか，イメージ的に捉えられるように写真，図をできるだけ用いたつもりである。他稿と合せPCCVについての御理解の一助になれば幸いである。おわりに本工事に関係された各位の御協力に対して誌上を借りて深く感謝の意を表します。