

JAERI-M

7617

重水タンクシール及び炉心上部遮蔽
体の改修

— JRR - 2改修工事 —

1978年5月

番場正男・宮坂靖彦・山口 森・清水堅一

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

重水タンクシール及び炉心上部遮蔽体の改修

- JRR - 2 改修工事 -

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部

番場正男・宮坂靖彦・山口 森・清水堅一

(1978年2月15日受理)

この資料は、研究用原子炉JRR-2 (重水減速冷却, 熱出力10 MW, 最大熱中性子束 2×10^{14} n/cm²·sec) の改修のうち, 重水漏洩防止のための立上りシール溶接及び炉心上部遮蔽体の交換工事についてまとめたものであり, これらの工事は, JRR-2 運転管理上の懸案であった重水漏洩と下段プラグ燃料孔スリーブの腐食を解決するための対策を講ずると同時に, トリチウム放出率の低減, 垂直孔照射設備の改善などを考慮し, さらに, 事前の各種の炉外モックアップ試験に基づいて1974年1月から1975年9月にかけて実施した。

本工事の作業環境は, 炉運転開始以来13年間を経過していたので重水中のトリチウム濃度約 $900 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$, 炉内溶接近辺の最高表面線量率約5R/hであった。しかし, 適切な遮蔽, 防護衣の使用及び厳密な被曝管理によって作業者の被曝線量は, 最大230 mrem/man, 平均83 mrem/man と, 当初計画の $\frac{1}{2}$ 以下にすることができた。

改修後の機能試験及び約5,000時間以上の運転実績からみて改修の内容としては十分満足すべきものであり, 計画, 炉外試験, 放射化した機器の撤去, 据付作業, 機能試験及び運転結果を整理した本報は, 原子炉の改修技術の記録として十分な意味をもつものとする。

Modification of the Heavy-water Tank Seal and
Reactor Top Shield in JRR-2

Masao BANBA, Yasuhiko MIYASAKA,
Shin YAMAGUCHI and Kenichi SHIMIZU
Division of Research Reactor Operation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received February 15, 1978)

This report describes installation of a standing seal by welding to stop heavy water leakage in heavy-water tank and replacement of the reactor top shield, in research reactor JRR-2 (heavy water moderated and cooled, 10 MW thermal, and 2×10^{14} n/cm²sec peak thermal neutron flux). The purpose was to eliminate reactor operational problems, lower shielding plug corrosion and heavy water leakage and also to reduce tritium release and to improve vertical experimental facilities. Works were started in January 1974 following out-pile mock-up tests, and completed in September 1975.

Radioactivities around the work area due to 13 years reactor operation were tritium concentration about 900 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ in the heavy water and maximum surface dose rate about 5 R/h near the welding work area. Personnel exposure was strictly controlled with shielding and protective equipment to attain maximum personal safety. Maximum and average exposure dose rates were 230 mrem/man and 83 mrem/man respectively, which are about one half of the planned levels.

Modifications were satisfactory in view of 5,000 hours reactor operation and the functional test results. The schedule, out-pile-tests, removal of radioactive components, installation works, functional tests and operation results, which are described, should be significant for future references.

Keywords: Research Reactor JRR-2, Modification, Heavy Water Leakage, Standing Seal, Reactor Top Shield, Personnel Exposure, Removal of Radioactive Components, Installation Work, Repair, Working Conditions.

目 次

1. まえがき	1
2. 改修工事の経過・概要	3
2.1 工事経過	3
2.2 炉体改修の概要	3
3. 設計及び工法の検討	9
3.1 改修案の検討	9
3.2 設計及び工法	13
4. 立上りシールモックアップ試験	21
4.1 概 要	21
4.2 立上りシール部形状の比較検討	22
4.3 円輪板と梁のたわみの比較検討	29
4.4 溶接施工法の検討	30
4.5 小型模型試験片による繰返し試験	32
4.6 立上りシールモックアップ試験	37
4.7 試験結果と考察	41
5. 遮蔽体製作モックアップ試験	48
5.1 概 要	48
5.2 塗料選択試験経過と結果の概要	48
5.3 鉛鑄込に関する試験結果の概要	50
5.4 溶接施工法試験と缶体製作モックアップの概要	50
5.5 重コンクリートに関する試験	54
6. 炉体解体工事	65
6.1 概 要	65
6.2 垂直孔シンプル・制御棒類の取出し廃棄作業	65
6.3 上・下段プラグの取出し廃棄作業	68
7. 製作及び現地据付工事	72
7.1 概 要	72
7.2 工場製作と検査	72
7.3 炉頂盤据付けと炉内穴埋め工事	80
7.4 ヘリウム系配管変更工事	81
7.5 下段環状遮蔽体と立上りシール溶接工事	83
7.6 上部遮蔽体の据付工事と機能試験	86
8. 改修工事後の運転結果	90
8.1 概 要	90

8.2 重水系・ヘリウム系及び熱遮蔽軽水系の諸特性	90
8.3 炉頂の空間線量	95
9. あとがき	101
謝 辞	101
参考文献	102
Appendix - I 炉体計測と据付工法	103
Appendix - II 燃料要素の挿入時の着座安定性と流水試験の結果	106
Appendix - III JRR-2炉内線量評価と結果	117
Appendix - IV 改修工事期間の放射線被曝線量について	124
Appendix - V 耐震設計	128
Appendix - VI 立上りシールの総合評価	140
Appendix - VII アルミニウム材及びステンレス鋼中のコバルトの定量	144
Appendix - VIII (付図) 原子炉本体組立図	145

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Summary and Schedule of Modifications	3
2.1 Schedule	3
2.2 Summary	3
3. Planning	9
3.1 Method	9
3.2 Design and Planning	13
4. Mock-up Test of Standing Seal Weld	21
4.1 Summary	21
4.2 Comparative Study of Standing Seal Configurations	22
4.3 Deflections at Circular Ring Plate and Beam	29
4.4 Welding Method	30
4.5 Repetited Test with Reduced Scale Model	32
4.6 Full-size Mock-up Test	37
4.7 Results	41
5. Mock-up Test for Reactor Top Shield Fabrication	48
5.1 Summary	48
5.2 Painting Test	48
5.3 Lead Casting Test	50
5.4 Welding Test and Shield Container Fabrication Mock-up Test	50
5.5 Test on Heavy Concrete	54
6. Removal of Radioactive Components	65
6.1 Summary	65
6.2 Removal of Vertical Experimental Thimble and Control Rod	65
6.3 Removal of Lower and Upper Plug	68
7. Fabrication and Installation	72
7.1 Summary	72
7.2 Fabrication and Inspection	72

7.3	Installation of Reactor Top Board and Leakage Prevention of Container	80
7.4	Improvement of Helium System	81
7.5	Installation of Annular Lower Shield Plug and Standing Seal	83
7.6	Installation of Upper Plug and Functional Test	86
8.	Results of Modification	90
8.1	Summary	90
8.2	Functional Tests of Heavy Water, Helium and Thermal Shielding Light-water Systems	90
8.3	Radiation Leakage Around Reactor Top	95
9.	Conclusion	101
	Acknowledgements	101
	References	102
APPENDIX-1	Measurement of Reactor Core and Construction	103
II	Flow Test and Stability in Insertion of Fuel Elements	106
III	Radioactive on Dose Rates of Reactor	117
IV	Exposure Dose Rates during Modification	124
V	A Seismic Design	128
VI	Appraisal of Standing Seal Structure	140
VII	Determination of Cobalt in Aluminium and Stainless Steel	144
VIII	Assembly Drawing of Reactor	145

1. ま え が き

JRR-2は昭和35年10月に20%濃縮ウラン燃料で初臨界となったが、この燃料に問題があり90%濃縮燃料に変え、念願の最高出力での利用運転に入ったのは昭和40年3月であった。その後、JRR-2の炉体構造に問題があり、昭和40年の重水漏洩補修工事、43年の重水漏洩の再補修及び下段プラグの燃料孔スリーブの交換工事を行った。しかし、昭和47年に入って、燃料孔スリーブに腐食孔が発生し、燃料交換作業に支障があり、再度補修作業を行った。一方、重水洩れの方も徐々に増加し、47年にはサイクル当たり20~30kg、さらに48年6月には一時100kg/サイクルになった。(Table 1-1 参照)

本報で述べる改修工事は、重水漏洩に伴うトリチウムの放出及び高価な重水損失をこれ以上続けることができないと判断し、昭和47年10月から計画が具体化し、重水漏洩を燃料孔の腐食の問題を一括して解決するために重水タンク立上りシールの溶接及び炉心上部遮蔽体の交換工事を昭和49年1月から昭和50年9月にかけて実施した。

改修計画の立案に当っては、JRR-2が性能の良い重水炉であるため利用度が高く、また、特に中性子ビームの実験については、これに代替できる炉が我国にないため、計画的に炉を停止し、かつ、できるだけ工期の短縮が要望された。このため、事前に各種の炉外モックアップ試験を炉停止前に完了するよう計画した。また、組立工法を単純化し、工期の短縮に努力した。

しかし、改修工事後の低出力の特性試験中に起った熱遮蔽軽水の漏洩のため、その補修に約4ヶ月を要した。

その後、諸試験を経て、51年6月から利用運転に入り、現在、改修後の21サイクル約5,500時間を経過している。これらの運転実績からみると、改修前と比較して最も安定した運転であり、改修効果が大きかったことを示している。

以下、工事の経過、概要、設計及び工法の検討、モックアップ試験、現地据付工事及び運転実績に基づく改修評価について報告する。

Table 1-1 JRR-2 経過年数

	建設・運転時 (月・日) (建設)	(○内数字は) サイクル回数	主な補修工事
1958 (昭33)	(建設)		
1959 (昭34)	12	原子炉施設組立完了	9. 冷却管漏洩止め工事
1960 (昭35)	10.1	初臨界 (20% E-U 燃料)	
1961 (昭36)	3.22 11.29	1 MW到達 (第1次出力上昇試験) 3 MW到達 (第2次出力上昇試験)	
1962 (昭37)	4.17 10.9	初臨界 (90% E-U 燃料) 10 MW到達 (第3次出力上昇試験)	
1963 (昭38)	10.	5 MW利用運転⑩ (130時間/サイクル)	8. ・ボラルカーテン被照射空気配管補修工事 (上段プラグ取出)
1964 (昭39)	12.		
1965 (昭40)	1. 2.	8 MW利用運転② (130時間/サイクル) 10 MW利用運転⑦ (")	7. { 支持リング外周ボルト洩れ止め工事 (上・下段プラグ取出) 12. { 下段プラグ補修工事
1966 (昭41)	1. }	10 MW利用運転③ (130時間/サイクル)	
1967 (昭42)	4. 6. }	10 MW利用運転⑬ (180時間/サイクル)	
1968 (昭43)	4. 6.		7. { 制御台焼損事故復旧工事 } { 下段プラグ燃料孔補修工事
1969 (昭44)	}\br/>6. 7. }\br/>12.	10 MW利用運転⑧ (200時間/サイクル) 10 MW利用運転⑦ (288時間/サイクル)	1. { 重水支持リング漏洩止め工事
1970 (昭45)	1.7 2.	B型燃料 (90% E.U) 臨界 10 MW利用運転⑭ (288時間/サイクル)	
1971 (昭46)	}		
1972 (昭47)	}		1. ・下段プラグ腐食修理工事
1973 (昭48)	12.	(運転停止)	
1974 (昭49)			12.
1975 (昭50)	11.11	臨界試験	}\br/>9. ・JRR-2 改修工事

2. 改修工事の経過・概要

2.1 工事経過

JRR-2 の改修工事は、炉の運転を昭和48年12月に休止し、ただちに全燃料要素を燃料貯蔵プールに取出し、約4ヶ月間炉心を冷却してから解体作業を始めた。この冷却期間に、工事の準備・解体リハーサルを行うと同時に、以前から計画していたインパイル・ループ (TLG) の撤去作業及び特定施設監視盤の集中化工事を行った。

解体作業は、49年5月にまず制御棒及び実験孔シンブルを撤去し、炉心及び修理場所の γ 線線量率の追跡測定を続け、炉心上部遮蔽体の取出しを実施したのは同年12月であった。その後、放射化している取出し部品は、格納容器に入れ、原研固体廃棄物処理施設に保管廃棄した。

解体作業以後の工事過程はTable 2-1に示すように、据付工事は、①炉頂盤据付、②炉内穴埋め、③下段遮蔽体及び立上りシールの溶接、④遮蔽体据付の4期に分けた。これは作業の集中化を防ぎ、工事の安全性を高め、また、遮蔽体製作の過程で石油危機に端を発した経済状況の変動のため工程が遅れた。この遅れを戻すためであった。据付作業に当っては、適切な被曝防止用の遮蔽・治具の準備を十分に行い、当初予定した以上に順調に進み、本工事は50年9月9日に完了した。その後、新造の制御棒装置を据付け、各種の機能試験を行い、50年11月11日に改修後初臨界に達した。

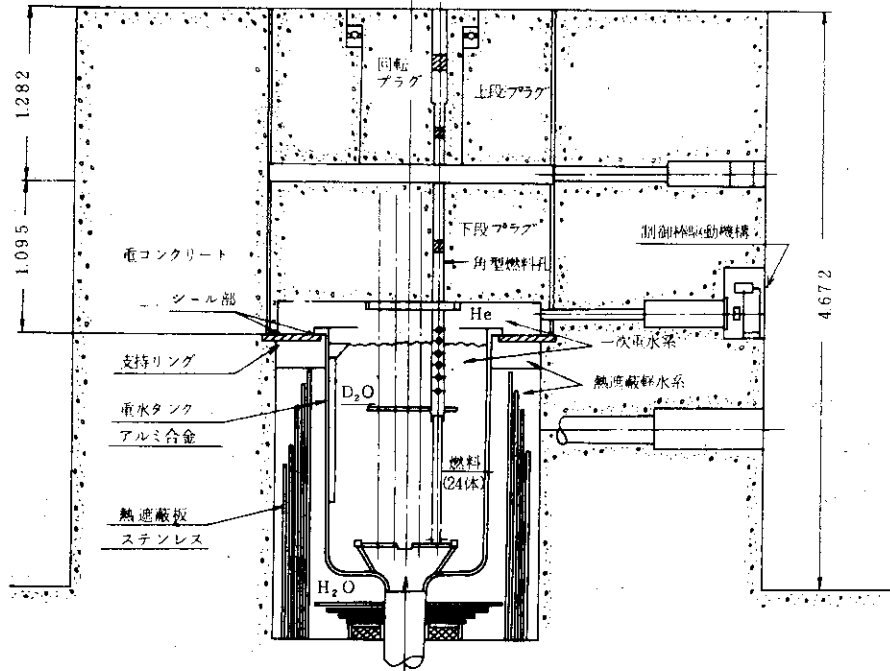
2.2 炉体改修の概要

改修前・後の炉本体の概略はFig. 2-1の(a)及び(b)に示す。改修後の大きな特徴は、重水漏洩防止用の立上りシールを設けるため下段遮蔽体を中央部と環状部に遮蔽体を分けたこと、及び上段遮蔽体が炉頂で支持されたことである。

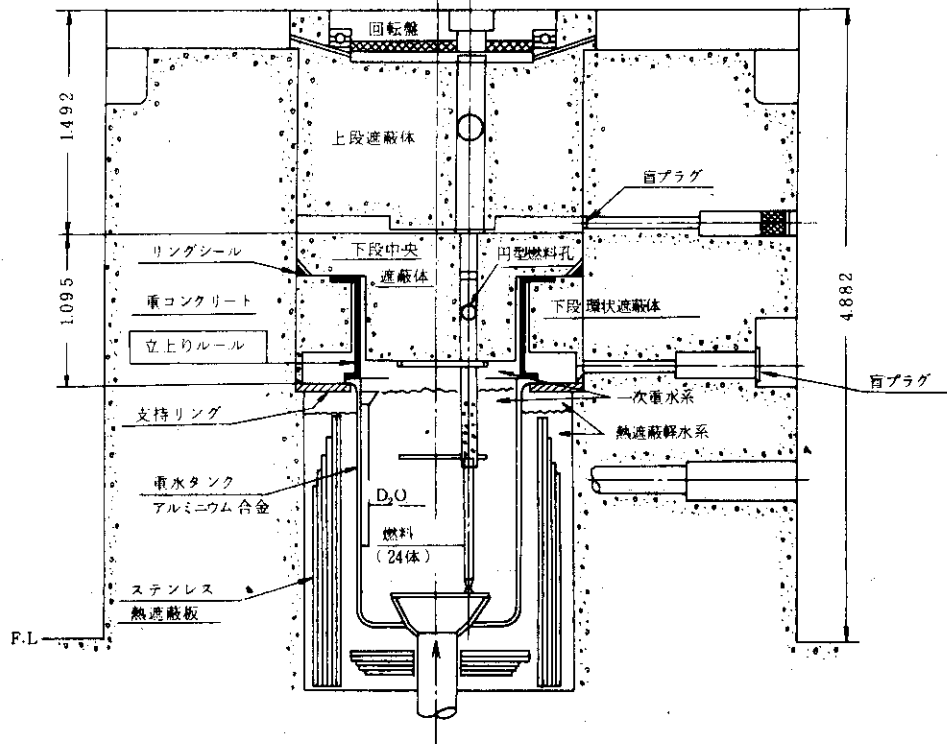
改修前の炉心上部遮蔽体は、上段プラグ (25ton) 及び下段プラグ (20ton) であり、耐食アルミニウム合金の缶体に比重 $5\text{g}/\text{cm}^3$ の重コンクリートをプレキャスト法で充填したものであった。下段プラグは、燃料孔、制御棒孔及び実験孔が中央部分にハチの巣状に貫通し、このうちの燃料孔には、角形のアルミニウム・スリーブが用いられていた。このスリーブは、下段プラグが気密構造になっていなかったため、侵入した重水蒸気が重コンクリート中のアルカリ分によってアルカリ水を生成し、アルカリ腐食を起し、スリーブの変形などにより燃料交換時に大きな障害となった。

この遮蔽体の改修に当っては、完全な気密構造とし、さらに、気密が悪くなった場合を考え、耐アルカリ性、耐放射性的のエポキシ-ポリアミド系塗料をスリーブ及び缶体内面に施した。また、燃料孔の形状は変形に強い丸形を採用した。

重水漏洩は重水タンクを支えている支持リングのシール部が不完全であったことによる。このシールワイヤーを交換することは炉心タンクを持上げることが必要で、技術的にむずかしい上に



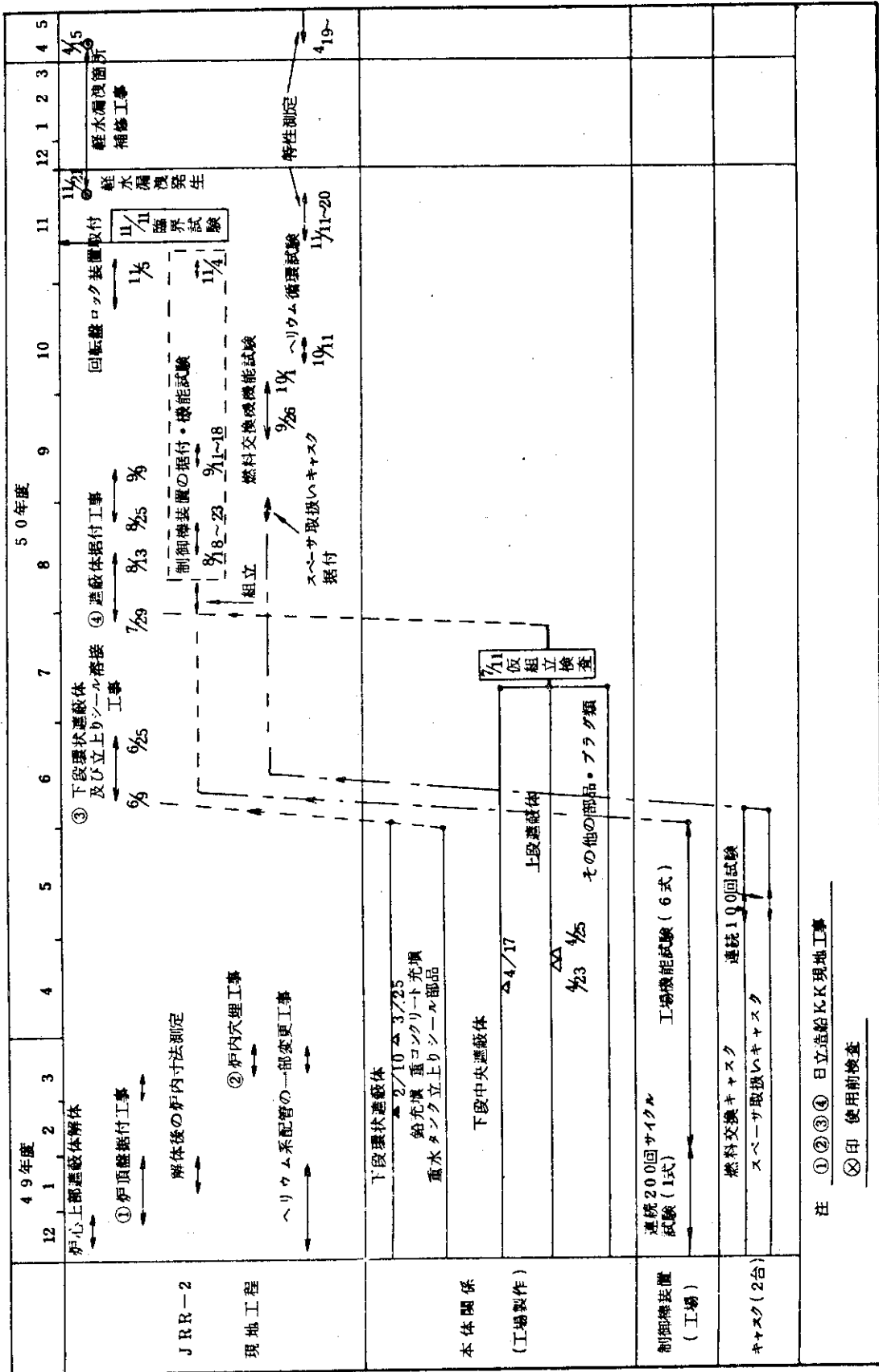
(a) (改修前)



(b) (改修後)

Fig. 2-1 改修後の炉体概略図

Table 2-1 改修工事の経過



注 ① ② ③ ④ 日立造船KK現地工事

⊗ 使用前検査

交換しても再び劣化することが予測された。そこで Fig. 2-1 (b) に示す立上りシールと呼ぶ円筒を重水タンクのフランジ部に溶接し、全て溶接構造で炉心重水と熱遮蔽軽水とを隔離した。重水タンクは重水をダンプしたり、軽水を抜いたりすると大きな荷重変化を受け、この立上りシールの上部の薄板部分にたわみを生じるので、これに耐えるかどうかを実物大のモックアップ試験で確かめてから、本工事を実施した。この結果、良好な気密溶接が得られ、完全に重水洩れを止めることができた。

下段遮蔽体の下部の燃料案内管集合体の交換に伴って、Fig. 2-2 に示すように、燃料、制御棒及び垂直実験孔の各案内管にスカート方式を採用し、重水上面のヘリウム層を2分割にし、このスカートの内側をAゾーン、外側をBゾーンとした。燃料交換時の空気開放面積はAゾーンのみであり従来の $\frac{1}{20}$ に減少した。この結果、空気中の水蒸気の吸収による重水濃度低下の防止、トリチウムの蒸気放出量及び重水損失量を大巾に低減することができた。

遮蔽体更新に当っては、照射設備への改善についても考慮した。Fig. 2-3 に改修後の炉心部の状態を示す。今回の改修で全燃料を円筒燃料にすることが可能となったが、当面6A、6B、6C、6Dの4つの燃料孔でインコア照射を行っている。反射体領域の垂直孔のうち、旧VT-3及び5は利用度が低いので廃止し、その代わりに、炉心の近接孔としてVT-10、11、12を設けた。この照射孔は熱中性子束が最大 $10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 、内径50mm、重水が自然循環できる穴明きシンプルである。VT-2の照射孔は上段遮蔽部分に大径の特殊回転プラグを設け運転中に試料の出し入れができるようになり、52年度より ^{99}Mo の生産に使用している。

本工事はいずれの作業も放射線作業を伴って、特に重水炉であるためトリチウムによる内部被曝が心配された。しかし、適切な遮蔽、防護衣の使用及び厳密な被曝管理によって作業員の被曝線量は、全工期を通して、最大230 mrem/man、平均83 mrem/manであり、当初計画の $\frac{1}{2}$ 以下に抑えることができた。これは、これまでの放射線作業経験に基づく十分な計画・準備及び管理並びに施工メーカーの協力によるところが大きい。

本報で述べる工事以外に Table 2-2 に示すように制御棒装置の整備、中性子系のノイズ対策、燃料交換キャスクの整備、 ^{41}Ar 低減対策がJRR-2改修工事に含まれ、平行して工事が行われた。これらの結果はいずれも良い結果を得ている。これらの内容の概要についてJAERI-M 7484に示す。また、詳細については別に報告する予定である。

Table 2-2 JRR-2改修工事の要点

事 項	原因など	対 策	結 果
①重水漏洩	重水タンクパッキングシールの不良	立上りシール溶接	・重水消費量の低減 ・He " の " ・ ^3H 放出率の "
② 燃料孔スリーブ腐食	(アルミニウム用チューブ) アルカリ腐食	炉心上部遮蔽体の更新	・炉頂線量率の " ・照射設備の改善
③He, ^3H の放出率低減	炉頂開放時の放出	He系排気系の改良	
④制御棒装置の整備	電磁石の吸着力不足	改良型制御棒との交換	不要なスクラムの解消
⑤中性子計装系のノイズ	ケーブル等の放射線損傷	CIC, UICケーブル等の交換	ショートペリオドの解消
⑥燃料交換キャスクの整備	安全機構の不足	改良型キャスクとの交換	信頼性、操作性の向上
⑦ ^{41}Ar の低減対策	実験孔での ^{41}Ar の生成	排気系に「 ^{41}Ar 減衰ダクト」等	放出率は従来の約 $\frac{1}{10}$ (0.3 Ci/h) 以下

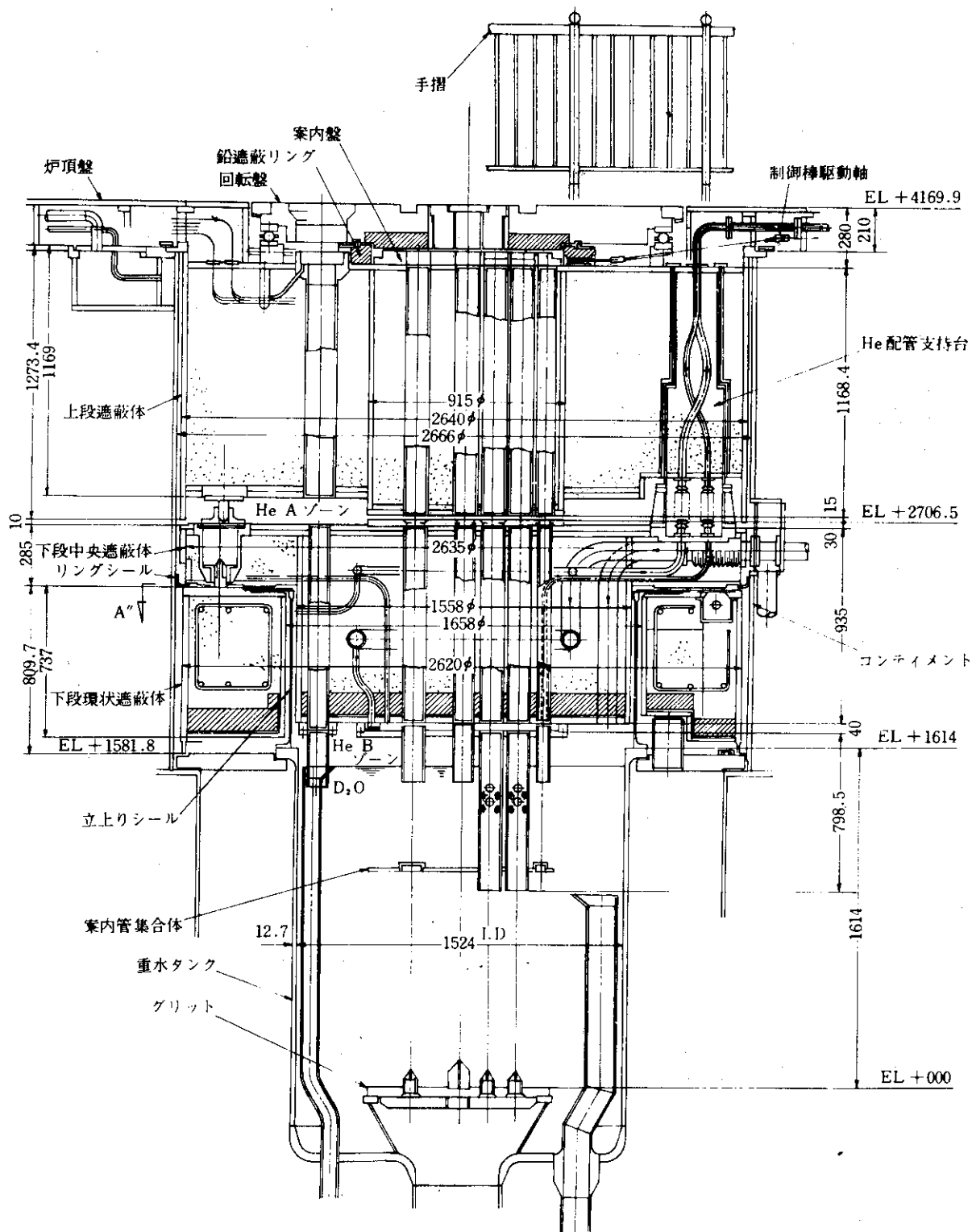
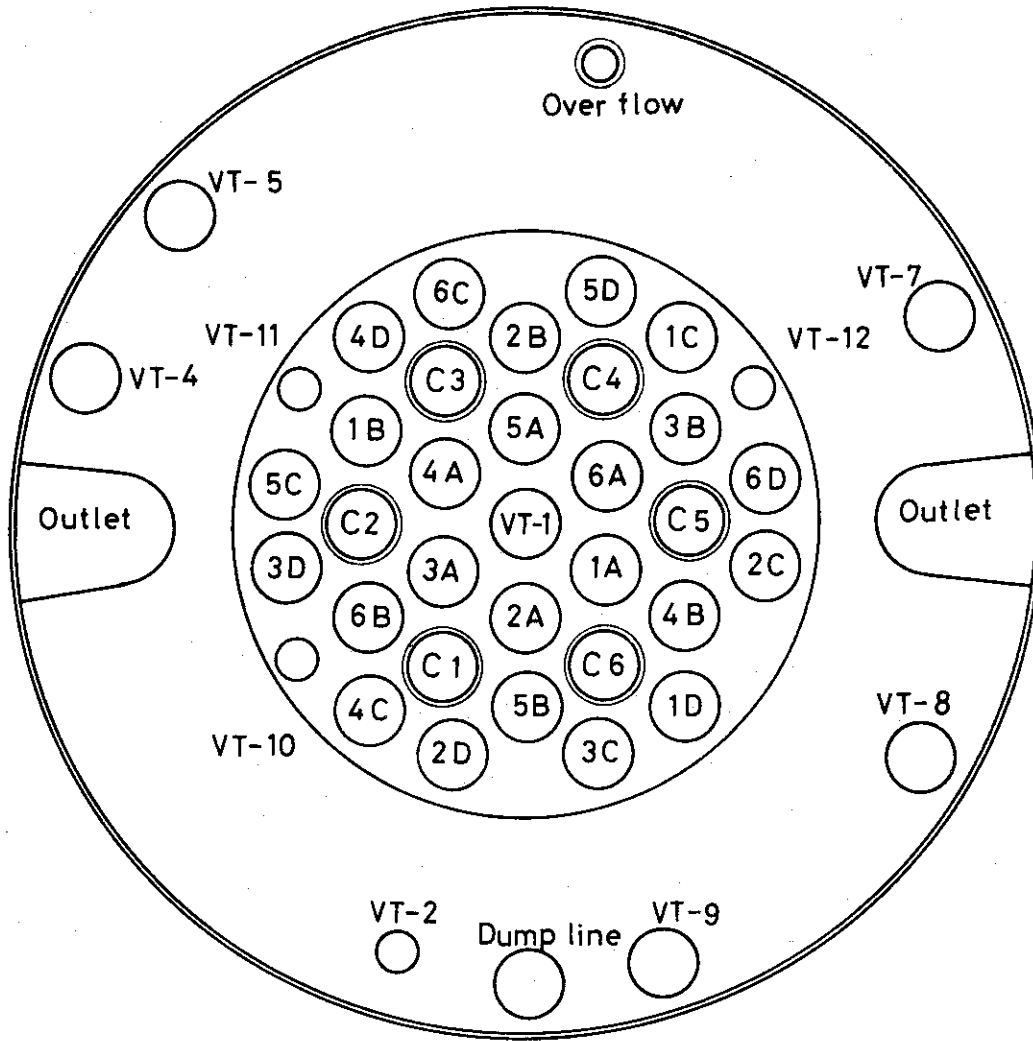


Fig. 2 - 2 改修後の上部遮蔽体垂直断面図



A B C D----- Fuel
 C ----- Control rod
 VT----- Vertical beam tube

JRR-2 core and vertical beam tube configuration

Fig. 2 - 3 改修後の炉心部の状態

3. 設計及び工法の検討

3.1 改修案の検討

原子炉上部遮蔽プラグ燃料孔スリーブの腐食、重水タンク支持リングからの重水漏洩及び熱遮蔽軽水の炉壁からの漏洩に関する改修については、昭和 47 年 4 月 4 日東海研究所に「JRR-2 原子炉改修検討委員会」（以下委員会という。）が設けられ、東海研究所長から JRR-2 の改修に関し、改修案の評価について諮問をうけた。

委員会には改修案の作成検討を行うため、小委員会が設けられ、6 回にわたる審議のあと 47 年 5 月 27 日委員会に対する小委員会報告書が提出された。

委員会はこれを受け 47 年 6 月 8 日に改修案について答申を行った。

(1) 小委員会の検討結果

原子炉上部遮蔽プラグの改造及び重水タンク支持リングからの重水漏洩の対策は、場所、工法とも相互に関連しているので Table 3-1 に示すように 8 種類の案に対して両者を一括して取扱い検討を行った。

改修案を検討するにあたっては、次の事項を基本方針とした。

- ① 重水タンク支持リング及び下段遮蔽プラグに対して、これまで実施した補修の経験及び炉外試験で得られた結果が活用でき、十分信頼性のある工法である。
- ② 今後 10 年以上利用に供することを考慮して運転及び利用の面で要求される改造について、可能なものはこの改修案にとり入れる。
- ③ 工法、工期は、炉上部解体、復旧、溶接作業などで作業者が受けることが予想される放射線被曝線量を考慮して計画する。
- ④ 工事費と今後 5 年間の保守管理に要する経費を比較する。(Cost Benefit Analysis)

(2) 委員会の答申

小委員会の検討結果を受けて委員会は次の点に留意の上で第 3 案または第 3' 案の採用が妥当と考えられ答申がなされた。

① 原子炉の利用計画と改修

- ・ ビーム利用を中心とした実験炉として、今後 10 年間は使用することを前提とする。
- ・ 改修対象設備以外の箇所の総合寿命との関連をレビューする。

② 改修案検討上の留意点

- ・ 施工に際しての信頼度及び放射線被曝について検討する。
- ・ 施工時の炉利用停止期間の短縮及び改修費と Cost Benefit Analysis について検討する。
- ・ 炉の利用性、運転管理面の向上を考慮する。

(3) 試作試験・基本設計のまとめ

改修案の検討のために昭和 47 年 10 月から 48 年 8 月にかけて基本設計を進めた。その中で特に施工上の問題及び新たに、 ^{41}Ar 低減化対策への対応のために Fig. 2-1 (b) のものが最終案とさ

Table 3-1 改修工事案に対する、工期、コスト、利点等の比較 (概略)

案	主項目	工期(月)	予算概算額 (千円)	重水, He, 制御棒等の5 年間の節約費	運転管理保守面	利用面	信頼性	被曝
1	上下段ブラグ-体 新造 立上シ-ル 垂直または, 上部 水平駆動軸制御棒 新造	炉停止期間 を含み23 ヶ月	④ 217,000	(1) 重水 - 44,000 (2) 制御棒の 保守費 - 29,600 (3) He - 3,800 ⑤ 77,400	① 重水損失の改善率 65% ② 節約重水 330 Kg/年 ③ " 費用 890万円/年 ④ 重水濃度低下 < 0.03%/年 ⑤ トリチウム排気量 15 Ci/年 ⑥ He-ベ-ジ改善率 80% ⑦ 制御棒の保守上の利点大 ⑧ 燃料交換上の利点大	① イ-ンコ-ア照射孔 の増設 ② 垂直孔の増設 ③ ①, ②の ϕ_r, ϕ_{th} が高い。 ④ ①, ②等の計装 が出来る。 ⑤ 試料交換上の利 点 (on power op Xe 対策ハン ド リング簡単)	① シ-ル溶接 部が少ない。 ② 信頼性が高 い。	① 積算線量 33,840 mrem-man ② 平均線量 mrem 845(職) 840(業) 49年度工事の推定 値職員30名, 業者 10名として積算し た。 以下各案について同 じ。
2	上下段ブラグ新造 ・立上シ-ル (垂直方式または上 部水平方式制御棒 新造)	"	④ 210,000	(1) 重水 - 40,500 (2) 制御棒の 保守費 - 29,600 (3) He - 2,900 ⑤ 73,000	① 60% ② 300 Kg/年 ③ 810万円/年 ④ < 0.03%/年 ⑤ ~ 30 Ci/年 ⑥ 60% ⑦ 第1案 ⑧ と同じ	① 第1案と は ② ほぼ 同じ	① 第1案と は ② ほぼ 同じ	① 36,800 mrem-man ② mrem 895(職) 980(業)
3	下段ブラグ新造 上段ブラグ-部改 造 立上シ-ル (垂直方式または, 中間部水平駆動方 式) 制御棒新造	"		(1) 重水 - 40,500 (2) 制御棒の 保守費 - 25,800 (3) He - 2,900 ⑤ 69,200	① 第2案と は ② ほぼ 同じ	① イ-ンコ-ア照射 孔の増設が可能 ② 垂直孔の増設不 可能 ③ ①の ϕ_r, ϕ_{th} の 高い照射が可能 ④ ①の計装が容易	① 第2案と は ② ほぼ 同じ	① 第2案と同じ ②

Table 3-1 (つづき) 改修工事案に対する、工期、コスト、利点等の比較 (概略)

案	主 項 目	工 期 (月)	予算概算額 (千円)	重水, He, 制御棒等の5 年間の節約費 (千円)	運 転 管 理 保 守 面	利 用 面	信 頼 性	被 曝
3	下段プラグのみ新 造 立上りシール (中間部水平駆動方 式制御棒新造)	炉停止期間 を含み23 ヶ月	④ 151,000	(1) 重水 - 40,500 (2) 制御棒の 保守費 - 25,800 (3) He - 2,900 ④ 69,200 注) 制御棒の保守が第1 ~3案に比べはるかに なる。	① } 第2案とは同じ ⑧ }	① イソコア-照射 ② 垂直孔 とも増設不可能	① } 第1案と ② } は同じ	① } 第2案と ② } は同じ
4	下段プラグのみ新 造 放射状立上りシール (制御棒駆動方式 変更なし)	"	④ 150,500	(1) 重水 - 12,000 (2) 制御棒の 保守費 - 0 (3) He - 0 ⑧ 12,000	① --- 18% ② --- 88 Kg/年 ③ --- 240万円/年 ④ --- 0.3%/年 ⑤ --- ~300 Ci/年 ⑥ --- 0% (現状) ⑦ 制御棒の水平駆動軸の 改造が必要である。 ⑧ 燃料交換上の利点は現 状と同じ。	①, ② 共増設不 可能	① 第1, 第2 案より溶接 部が多い。 ② シールラグ の位置ぎめ がむずかしい。	① 57,900 man·mrem ② mrem 885 (職) 3,080 (業) 手動溶接の場合 11,200 (業)
5	下段プラグのみ新造 支持リング上面全 面シール溶接 (制御棒変更なし)							
6	下段プラグのみ新造 支持リング上面全 面シール溶接 (制御棒変更なし)							

Table 3-1 (つづき) 改修工事案に対する、工期、コスト、利点等の比較 (概略)

案	主項目	工期(月)	予算概算額 (千円)	重水, He, 制御棒等の5 年間の節約費(千円)	運転管理保守面	利用面	信頼性	被曝
	下段プラグのみ新造 熱遮蔽系の加圧化 (制御棒変更なし)	-	(千円) ④ 93,000	(1) 重水 - * (2) 制御棒の 保守費 - (3) He - * *現状より費用はかかるが 額は推定出来ず。	① 改善案の評価は実験の 結果による。 ② } ③ } ④ 現状の0.3%より増大する。 ⑤ 現在排出量 300Ci/年よ り増加する。 ⑥ } ⑦ } ⑧ } 現状と同じ。	現状と同じ 問題点 ① 熱遮蔽系内の圧カバランス ② リーク量増加に対する対策 ④ 一次系 He の同時大気放散 ⑤ 重水濃度低下に対する対策 ③ 重水漏洩防止対策としての効果	問題点にかか げるとおり。	① 15,300 man·mrem ② 390 mrem (概)

れた。

同時に改修工事実施にあたってのポイントとなる、立上りシール溶接工法、遮蔽体の重コンクリート充填工法及び鉛充填等の実物大モックアップ試験を含む施工試験を行って工法に基本的な問題がないという結論を得た。

48年11月に国の安全審査を終了し、その後詳細設計及び製作のためにメーカー発注を進めた。

3.2 設計及び工法

(1) 設計条件・規格

〔設計条件〕

遮蔽体及び立上りシールの設計条件は次のとおりである。

- ① 雰囲気 : ヘリウム, 重水蒸気中
- ② ヘリウム温度 : 50 ~ 60°C
- ③ 重水温度 : 63.5°C (最高)
- ④ ヘリウム系圧力 : 水柱 64 mm (常時)
(安全弁作動圧 水柱 450 mm)
- ⑤ ヘリウム系配管, フランジ及びバルブの設計圧力 : 5 Kg/cm²
- ⑥ 遮蔽体の据付けに関する耐震設計基準 : 水平地震力 - 0.6 G
垂直地震力 - 0.3 G

〔準拠した基準及び規格〕

炉心上部遮蔽体及び重水タンク立上りシールの設計, 製作は以下の基準及び規格を適用若しくは準拠して行う。

- ① 昭和 45 年 9 月 3 日通商産業省令第 81 号
電気事業法による「電気工作物の溶接に関する技術基準」
- ② 日本工業規格
- ③ 「ASME」規格

(2) 炉心上部遮蔽体の設計

炉心上部遮蔽体は下段環状遮蔽体, 下段中央遮蔽体及び上段遮蔽体から構成され, 下段環状遮蔽体は従来と同様, 重水タンク支持リング外周部で支持され, その内側に下段中央遮蔽体が挿入される構造である。

また, 上段遮蔽体は炉体コンティメントの炉頂部で支持される。(Table 3-2, 3-3, 3-4に設計仕様を示す)

〔構造, 材料について〕

炉心上部遮蔽体は, 前述のように下段環状遮蔽体, 下段中央遮蔽体及び上段遮蔽体で構成されるが, 下段中央遮蔽体には 10 本の照射孔が設置されるほか, 燃料案内管集合体が取付けてある。この案内管集合体は, 重水, ヘリウムなどの損失防止を考慮して, スカート方式とし, 重水上面のヘリウム層を 2 分割している。

各遮蔽体の構造材には, 主に耐食アルミニウム合金 (A6061, A5052) を使用する。

このアルミニウム合金の設計許容応力は「ASME Section VIII, DIV, I」を準用する。

A 5052 - O 93°C 4.36 Kg/mm²

A 6061 - T₆ 93°C 6.30 Kg/mm²

また、重コンクリートの圧縮応力（4週強度）は200 Kg/cm²以上とする。

各遮蔽体には、鉛及び重コンクリートが充填されるが、アルミニウム構造材と重コンクリートとの防食などの対策としては特に次の諸点を考慮する。

- ① 燃料孔は、加工性、材料入手などの点から角型孔（旧遮蔽体）から変形に対して安定な丸型孔に変更する。
- ② 遮蔽体製作にあたっては気密構造とし、腐食原因となった重水蒸気の侵入を防止する構造とする。
- ③ 遮蔽体の製作にあたっては、前もって実施する重コンクリートの充填試験、防食塗料の耐放射線照射試験、溶接部の気密試験などの経験を十分活用する。
- ④ 遮蔽体スリーブの重コンクリートとの接触面には、耐放射線性の防食塗料を使用する。

（使用塗料の名称； ポリアミド・イミド）

〔炉体コンティメントの強度〕

旧上段遮蔽プラグは下段遮蔽プラグの上に重ねられ、支持リングの外周部で荷重を受けていた。今回の改修により、上段遮蔽体は炉体コンティメントの炉頂部で受けるように変更する。

この場合の炉体のコンティメントの荷重条件及び強度は次のとおりである。

- ① 炉体コンティメントに加わる荷重

炉体コンティメントに加わる荷重は上段遮蔽体に回転盤及び燃料交換キャスク荷重を加えると約47トンある。炉体コンティメントの強度計算は地震時の最大荷重を考慮する。

最大荷重（1.3W）= 61.1 トン

- ② 炉体コンティメントの強度計算結果

炉体コンティメントのまわりは重コンクリートを充填してあるが、ここでは炉体コンティメントのみで、最大荷重61.1トンを受けるとする。炉体コンティメントは弾性安全座屈の最少必要板厚6.8mmに対し、板厚19mmであるため十分な強度を有する。なおコンティメントは補強材として外周部にリブを取付けてあるため、更に安全側である。

〔遮蔽体の耐震設計〕

設計当初、遮蔽体の設置に関する耐震設計基準は「建築基準水平地震力で0.2G」の3倍を適用することで、炉心上部遮蔽体の設置は、水平地震力0.6G、垂直地震力0.3Gに耐えるよう、各遮蔽体の位置決めこのガイドピンとボス取付ボルトなどの強度を0.6Gで検討してきた。しかしながら原子炉建家の地震応答解析の動的解析によって、設計水平震度の検討を行った結果、遮蔽体の耐震設計基準を0.8Gにすることになったので各遮蔽体と炉体コンティメントの間隙にスペーサを挿入し、ガイドピンとボスの強度は耐震に関係しないようにする。

（Appendix-V 参照）

〔遮蔽設計〕

炉心上部遮蔽体の重コンクリート密度は中央部で約5g/cm³、環状部で約3.5g/cm³である。また、下段環状遮蔽体と、コンティメントとの間隙には放射線リークを防止するため、ステンレ

ス鋼板を高さ方向で約40cm充填する。

上段遮蔽体の上面の回転盤(厚さ:鉄約130mm,鉛約70mm)は,制御棒の水平駆動軸のスペース確保,燃料孔などのプラグ間隙からの放射線リーク防止などのため設ける。

遮蔽計算はBulkについて多群遮蔽計算コード(MAC-RAD)を用いて求めた。その結果は,原子炉出力10MW運転のとき上段遮蔽体の上面で,速中性子束線量率 1.7×10^{-3} mrem/h, γ 線線量率 1.2×10^{-5} mrem/hと低い。しかし炉頂の空間線量率は,スリットからの漏洩線量を考慮して,炉頂面から1mの高さで旧遮蔽プラグでの実測値20mrem/hを合格基準とした。

なお,炉頂は,原子炉出力10MW運転中,定時点検などを除いては立入り禁止区域である。

〔垂直実験孔の ^{41}Ar 対策〕

垂直実験孔の ^{41}Ar は,上段遮蔽体の炉頂部の弁箱内に各実験孔に接続する給・排気用の調整バルブを設け,運転中の放出を防止する。

(3) 重水タンク立入りシールの設計

〔構造・工法について〕

立入りシールは,熱遮蔽軽水系への重水漏洩を防止するもので,重水タンクフランジ部から円筒状に立上る溶接構造である。Table 3-5に設計仕様を示す。

〔強度計算について〕

重水タンクは支持リングの内周ボルトで固定され,熱遮蔽軽水タンクの軽水中に据付けてある。このため,重水抜き,軽水抜きなどのときの水の重量の変化や浮力などの作用によって支持リングにたわみが生じる。実物大モックアップ台によるたわみ量の測定値は最大1.26mmである。この他運転中の熱膨張,プレナム圧力及びヘリウム系の圧力による影響で立上りシール上部のシール・プレートにどの程度の応力を生じさせるかを計算した。この結果はAppendix-VI,表VI-1に示した。

シール・プレートが直接受ける圧力の効果が最も大きいことから試験時の最大圧力は水柱1000mm以内とした。また,当初一番注目した,支持リングのたわみは実際の炉で測定した結果,モックアップの約 $\frac{1}{10}$ であり,固定条件に近い値であった。(Table 4-2に実測値を示す)

なお,シールプレート部の強度は,小型モックアップ試験によって変位量で2.92mm及び1.46mmでそれぞれの繰返し回数200回,1000回を実施し,溶接部に欠陥が生じないことを確認した。(第4章参照のこと)

(4) ヘリウム系配管の一部変更に関する設計

ヘリウム系は水柱64mmの圧力のヘリウムで充填している。重水の分解によってヘリウム中にできた重水素は再結合器(RECOMBINER-DT-5)に重水になる。ヘリウム系内のヘリウム循環はヘリウムプロア(DP-6)によって重水タンク上部からサンプリング系まで多くの分岐管に分かれて循環している。ヘリウム系には,ヘリウムガスホルダ(DT-6)があって,ヘリウム系内の圧力を常時水柱64mmに保っている。また,ヘリウム系の圧力が水柱約450mmを超えた時にはヘリウムが被照射空気系に安全弁から自動的に吹き出す構造である。

炉体の改修に伴って重水上面のヘリウム層を燃料,制御棒及び垂直実験孔の各案内管などによって,AゾーンとBゾーンに分割(スカート方式)する。このためヘリウム系のヘリウム供給管と戻り管の一部を変更する計画をした。

Table 3-2 各遮蔽体の仕様

各遮蔽体の材質・構造寸法など		下段環状遮蔽体	下段中央遮蔽体	上段遮蔽体
材質	缶体(板材) : アルミニウム合金 スリーブ : " 埋込み配管 : " シールド材 : 鉛 ボラール板 重コンクリートの密度	A5052-O ナシ ナシ 約10 cm 1枚 約3.5 g/cm ³	同 左 A6061TD-T6 同上又はA5052-TE-O 約10 cm 1枚 約5.0 g/cm ³	同 左 " " ナシ ナシ 中央部約5.0g/cm ³ 環状部約3.5g/cm ³
構造	缶体 挿入孔 : 燃料用 : 制御棒用 : 垂直実験孔用 埋設配管 :	溶接構造 ナシ ナシ ナシ ナシ	溶接構造 リブ付 24本 6本 10本 He供給管(3B, 1/2 ^B) He排気管(1B, 1/2 ^B) 重水ドレンパイプ(1/2 ^B)	同 左 " " " 被照射空気用排気管 10 ^φ I-D×6 被照射空気給気管 10 ^φ I-D×6
寸法	缶体寸法 : 最大外径 : 最大高さ アルミ板の板厚 : 胴板 : 底板 : 上板 : リブ	2,620 ^φ mm 810 mm 20 mm 20 mm 20~40 mm	2,635 ^φ mm 975 mm 20 mm 20 mm 20+35 mm 20 mm	2,640 ^φ mm 1,483 mm 20 mm 20 mm 35 mm 20 mm
附属品	ガイドボス, ピン,		3組	3組

Table 3-3. その他の構造体の仕様

名 称	構 造 ・ 形 状	寸 法	材 質
(1) 案 内 板	円板に挿入孔をあけ、電線用ミ ゾ及び制御棒駆動軸孔を有する。	外 径 900 ϕ mm 板 厚 75 mm	SUS304
(2) 鉛遮蔽リング	角型断面、リング状 (円周6分割)	外 径 1210 ϕ mm 内 径 910 ϕ mm 厚 さ 95~85 mm	外 枠: SUS304 充填物: 鉛
(3) 炉 頂 盤	骨 組: 型 材	既設炉頂より210mm 高くする。 長径6,500mm × 短 径6,300mm ・14角型	・型 材: A5052-O ・板 材: A5083-R ・充填物: 普通コンク リート
(4) 回 転 盤	円板型 挿入孔付き 駆動装置……1台 (減速機付直流モータ $1\frac{1}{2}$ Ps)	外 径 2024 mm 厚 さ 200 mm	母 材: SM41 上 面: SUS304 下 面: (中央部)硬鉛 +SUS304 ライニ ング (外径1000mm)
(5) 案内管集合体	溶接構造 案内管 { ・燃料用 24本 ・実験孔用 4本 ・制御棒孔用 6本 取付構造-下段遮蔽体にボルト で取付け(金属“O”リング 使用)	高 さ 約834mm 取付フランジ径 1050 ϕ mm	板 材: A5052p-O 案内管: A6061TD -T6

Table 3-4 各種プラグの仕様

仕様項目	燃料プラグ (29本)*		実験孔用プラグ (10本)	He配管台 (1ヶ)
	上段用	下段用		
構造	円筒型 溶接気密構造	円筒型スペーサ付 溶接気密構造		円筒型 内部配管 接気密構造
充填物	重コンクリート (5.0g/cm ³ 以上) 鉛 (約10cm) ボラル板			重コンクリート (5.0g/cm ³ 以上)
外筒の材質	アルミニウム合金 6061TD-T6			アルミニウム合金 5052 P-O
フランジの材質	アルミニウム合金 5052 P-O			"
外径	114 ϕ mm	108 ϕ mm	① 114 ϕ ×84 ϕ ** (1本) ② 134 ϕ ×84 ϕ ** (5本) ③ 84 ϕ ×46 ϕ *** (4本)	280 ϕ ×200 ϕ
全長	1220 mm	約1750 mm		1280 mm
* 普通型 25本, 円筒中空型 (炉心内照射装置用) 4本 ** シンプル内径 88mm (VT-1, 4, 5, 7, 8, 9) *** " 50mm (VT-2, 10, 11, 12)				

Table 3-5 立上りシール設計仕様

名称	構造	寸法	材質
立上りシール (胴)	フランジ付円筒状	胴内径 1610 mm 高さ 7642 mm 板厚 13(8) mm	A5052-O
シールプレート	中空円板状	外径 2050 mm 内径 1618 mm 板厚 4.5 mm	A5052-O
リングシール	L型断面リング状	外径 2666 mm 板厚 6 mm	A5052-O

ヘリウム系の変更，特にスカート方式の採用によって炉頂開放が必要な作業（燃料，照射試料，制御棒の交換）及びその後のヘリウム置換作業においてはAゾーンの開放及び置換だけで可能となる。Aゾーンは，①重水表面の空気開放面積は改修前の約 $\frac{1}{20}$ に減少した。②容積が 0.8m^3 （ヘリウム全系の約6%）である。①及び②のことで次の効果が期待出来る。炉頂開放時に空気中の水蒸気の吸収による重水の濃度低下の防止，トリチウム蒸気及びヘリウム排出量の大巾な軽減による高価な重水及びヘリウムの消費量の減少と同時にヘリウム置換に要する作業時間の短縮にもなる。このことは経済性のみならず大気中へのトリチウム放出の低減という環境安全の観点からもその意義は大きい。

A・B各々のヘリウム流量は，Aゾーン $100\ell/\text{min}$ 以上，Bゾーン $200\ell/\text{min}$ 以上（合計 $300\sim 600\ell/\text{min}$ ）とした場合にヘリウム中の重水素濃度は約1.5%以下と変更前と同程度であっても安全上問題にならない。Fig. 3-1に改修後のヘリウム系のフローシートを示す。

(5) 工事計画概要

〔製作及び据付工事〕

炉心上部遮蔽体は工場では部材加工，溶接組立，鉛充填，重コンクリートの打設及び洗浄の手順で製作し寸法，重量，気密，仮組立検査などに合格したものを現地に搬入する。

この遮蔽体の据付工事は，旧炉心上部遮蔽プラグを解体，搬出，廃棄した後，炉内仮据付による芯合せ，立上りシールの溶接，下段環状，下段中央，上段遮蔽体の順に組込む。

立上りシールの据付は立上りシールと同重水タンクのフランジ部を自動溶接で行う。また，シールプレートとリングシール部の溶接は，下段環状遮蔽体の上面になるため手動で実施する。

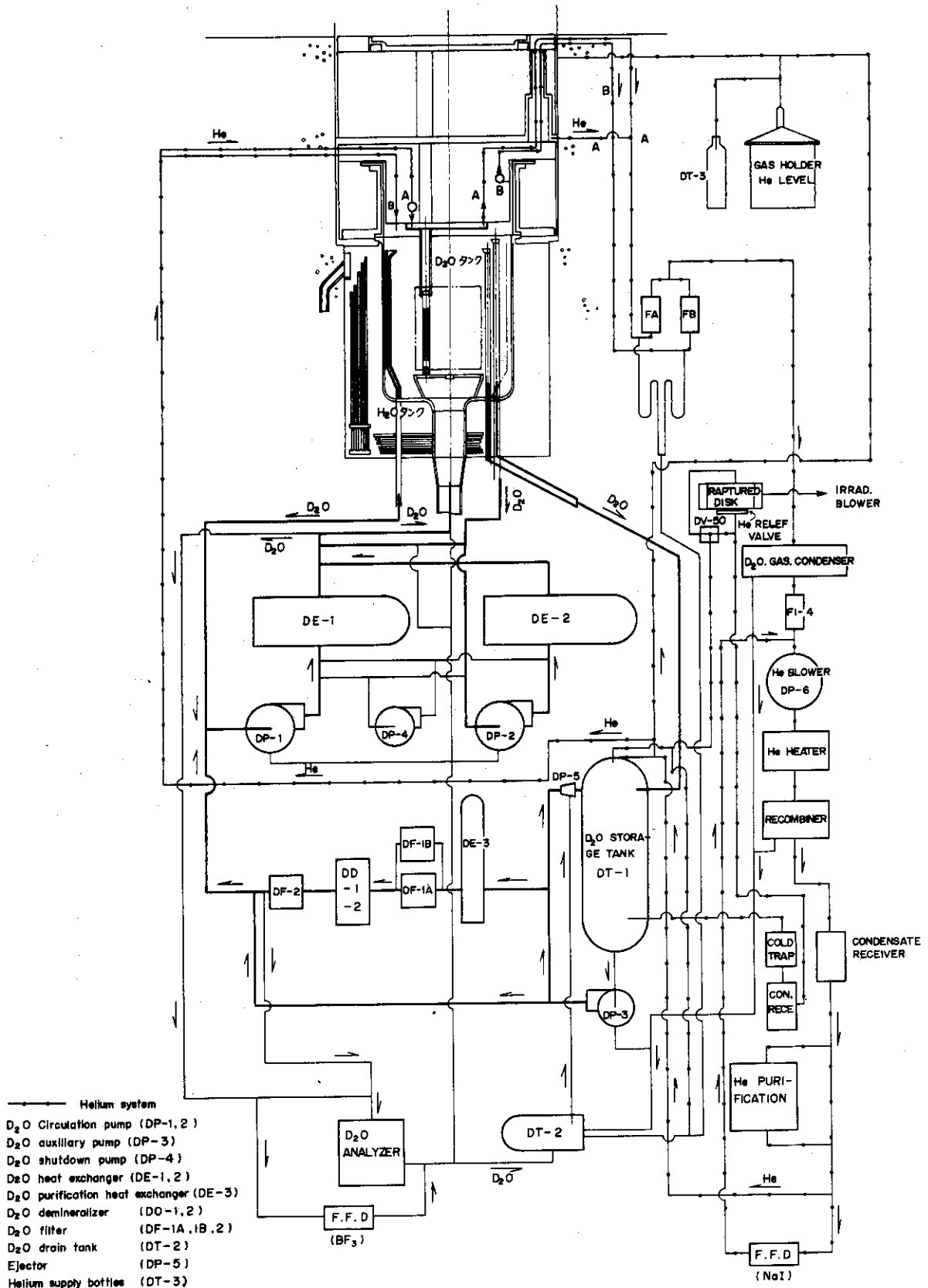
炉頂盤の据付工事は既設の炉頂面に約21cmかさ上げするもので，アルミニウム型材を置き，その上に新たにアルミ板材を張合せ，溶接で固定する。この炉頂盤の内部には普通コンクリートを充填する。

ヘリウム系配管の変更部は遮蔽体との接続部を除いてポンプルーム内で，旧配管の一部を撤去廃棄し，既設フランジとの突合せで新しい配管を取付ける。

以上の計画実施にあたっては，工事の精度を上げること及び放射線環境下の作業であり，もし失敗した場合，手直しが困難であること，作業時の放射線被曝をさける観点から次のことを十分考慮して据付工事を行う。

- ① 立上りシールの工事で自動溶接にて行う部分及びドレン孔穴埋めを行う部分については充分確立された方法で行なう。
- ② 作業時の遮蔽については作業の能率化と被曝防止を十分考慮する。
- ③ 現場合せ作業を省力化するため工場での仮組立などでその精度を上げておく。
- ④ 現場作業の集中化をさけるため作業スケジュールを考慮する。
- ⑤ 事前の検討を十分行い作業マニュアルを完備する。

等である。



JRR-2 Heavy water cooling and Helium System flow diagram after the modification

Fig. 3 - 1 改修後のヘリウム系フローシート

4. 立上りシールモックアップ試験

4.1 概要

改修工事の設計と平行して立上りシールの実物大スケールのモックアップ試験を行って施工法の確認をした。

先に述べた「JRR-2原子炉改修検討委員会」で重水漏洩の防止対策としては、重水タンクフランジ部に円筒状の「立上りシール」を溶接することが決められ、詳細な調査検討は軽金属協会に設けられた第3次原子炉補修対策委員会（略称WR-3委員会）に委託して実施した。

調査の検討内容は大きく分けると立上りシール構造と溶接工法に関してであった。溶接工法の中でも特に放射線被曝が考えられる重水タンクフランジ部と、立上りシール部との溶接が問題であった。この部分は全自動溶接で実施することで検討を進め、まず溶接の最適条件を求めるため、小型試験片を用いて手動で溶接を行った。外観検査の結果、母材ルート部に0.5mm級のブローホールが2箇所見つけたほかは、断面マクロ、断面マイクロ及びヘリウムリーク試験の結果は全く問題がなかった。

全自動溶接で施工する部分については原研所有の全自動溶接機を一部改造して使用した結果、ならい精度は±2.0mm以内のバラツキであった。溶接の結果、深さ1mm～2mm程度のピンホールが発生した。特に3パス目に新多く発生した。これは溶接金属のぬれ性が悪いことも一因であるが、ならい位置と実溶接位置とが異なりアークが十分立上りシールにあらず胴板が十分溶かされなかったためと考えられた。

これらの結果から本工事では、

- ・ 自動ならい位置をできるだけビードの近くにする。
- ・ ならい検知器が摺動する胴板と立上りシール・フランジを同心円に機械加工する。
- ・ 立上りシールの変形を防ぐため現地据付寸法前まで補強リングを使用する。

などを実施することにより満足な結果が得られると考えられた。

自動溶接部以外の現地溶接部ではリングシールと炉体コンティメントとの溶接部2箇所にヘリウム洩れ箇所が生じた。これはクレータ部に発生したもので本工事では次の措置を構ずることにした。

- ・ リングシールを4mm板厚1パス溶接から6mm板厚2パス溶接とする。
- ・ コンティメントの内周測定を行い型板を作りリングシールをこれに合せて曲げ加工することにより間隙を少なくする。

この他WR-3委員会の意見に基づいて開先形状など若干改善する点はあるが、工法としては概ね妥当であると結論された。

立上りシール胴部の製作は製品の寸法精度が溶接歪によって寸法公差内におさまらなかった。

* 昭和45年に行った支持リング内周部の接工法について事前に検討した時に製作した。

この結果から本製作では胴部について溶接後機械加工することとした。

次に立上りシールの構造が実際の荷重変動に耐え得るものかどうかの確認試験を行った。まず、荷重とたわみの関係をモックアップ台で実測し、最大荷重(7,730kg)でたわみ量1.26mmを求めた後、小型試験と実物大試験を行った。小型試験は2種の条件で実施されたが全く問題はなかった。実物大試験はASME Section IIIに規定されている「実働荷重の2倍の値を負荷し、実働サイクル数を繰返しても破壊しない」という条件を目安に最大荷重状態の2倍の試験荷重16,500Kg, 50サイクルで実施した結果溶接部の割れ、漏洩箇所は認められなかった。(実働サイクルは10年で30サイクル程度)

4.2 立上りシール部形状の比較検討

(1) 使用条件

立上りシールは重水の損失を防ぐため、重水タンクスランジ上面にてFig. 4-1に示すように重水タンクと軽水タンクとを仕切るものである。

重水タンクは支持リングの内周ボルトで固定され、軽水タンクの軽水中に据付けてある。このため重水抜き、重水ダンプ及び軽水抜き等保守管理上必要な操作時に、重量変化や浮力などの作用によって、支持リングにたわみを生じる。この変位量が立上りシールに作用するため、立上りシールのシールプレート形状は、この変位変動に耐えるような構造に設計しなくてはならない。そこで、実際に作用する変動荷重は、次のようになっている。Table 4-1は1年間に作用する変動荷重の繰返し回数を示す。ここで据付け時における立上りシールの溶接は、重水タンクフランジ部に鉛遮蔽体を仮設して行うので、溶接が終って鉛遮蔽体を除去すると遮蔽体の重量4トンが負荷荷重として残る。

Fig. 4-2は変動荷重の状況を示す。これらの結果から1年間に作用する変動荷重を安全側に見込んで、最大荷重状態(7,730Kg)が片振幅で3回繰返しを受けるものと考えた。

(2) 実物大モデルによる荷重たわみ挙動の確認

炉体においては、前項で示したような変動荷重が作用する。立上りシール部は、変動荷重によって生ずるたわみ量を基準に検討する必要があることから実物大モデルを使用して荷重とたわみ量との関係を求めた。

Fig. 4-3は実物大モデルによる荷重試験要領を示す。モックアップ台はJRR-2の支持リング付近を実物大に作ったもので、試験は、モックアップ台を定盤上に逆に置いて、荷重Wを17,260Kgまで4段階に分割して負荷した。たわみの計測は重水タンクフランジ部の立上りシール部にダイヤルゲージを取付けて、円周の4箇所で行った。(Fig. 4-3に示すS₁~S₄の位置)

Fig. 4-4は荷重とたわみの関係を示す。計測結果は測定位置によって多少のバラツキはあるが、これはモックアップ台の胴板の一部に切欠があること、あるいは荷重の負荷方法によるものと考えられる。実際の炉体にも多少の偏心荷重が考えられるので、実験結果のたわみの最大値を用いることにした。すなわち、測定位置S₂におけるたわみを基準とする。4.2(1)項で求めた運転時の最大荷重7,730KgでのS₂におけるたわみ δ はFig. 4-4から $\delta = 1.26\text{mm}$ が求められた。

一般に、原子炉容器などに繰返し荷重が作用する場合の疲れ解析に対するASME Section. III

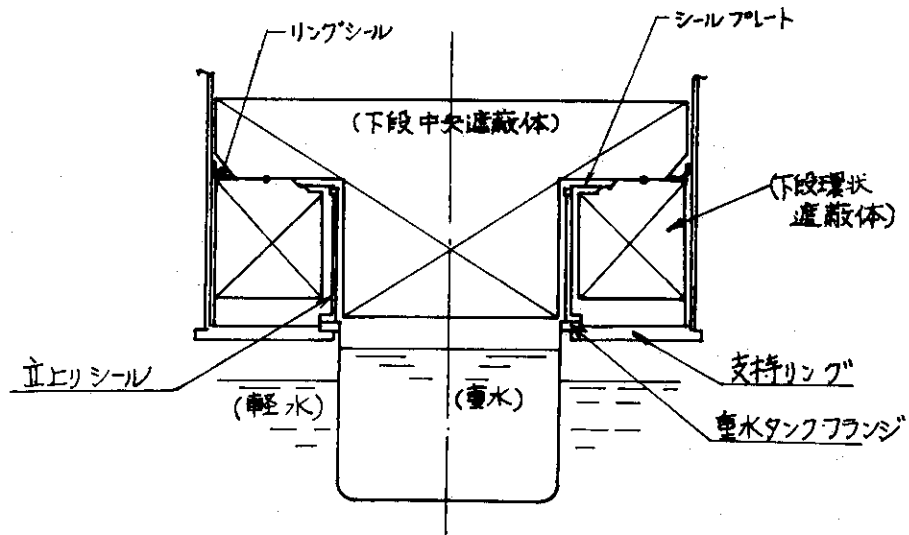


Fig. 4-1 立上リシールの状況

Table 4-1 変動荷重と繰返し回数

運転条件	荷重 (Kg)	回数/年
重水ダンプ	1200	0
軽水抜き	-3300	3
重水抜き	3730	0~1

(下向の荷重は負とする)

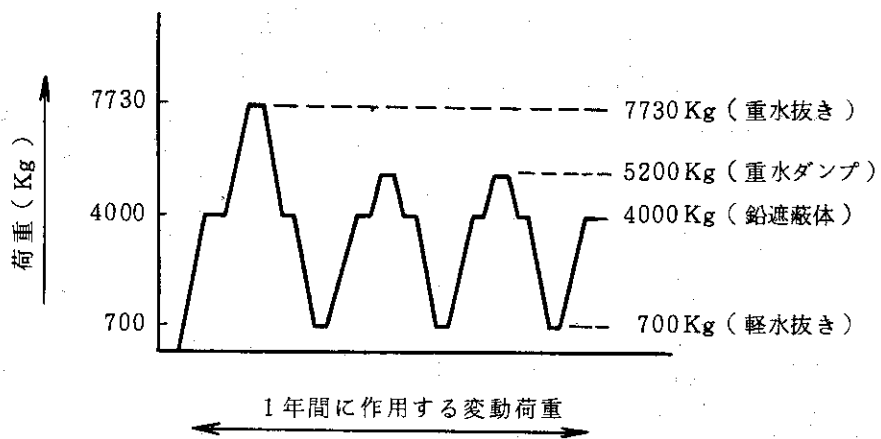


Fig. 4-2 1年間に作用する変動荷重

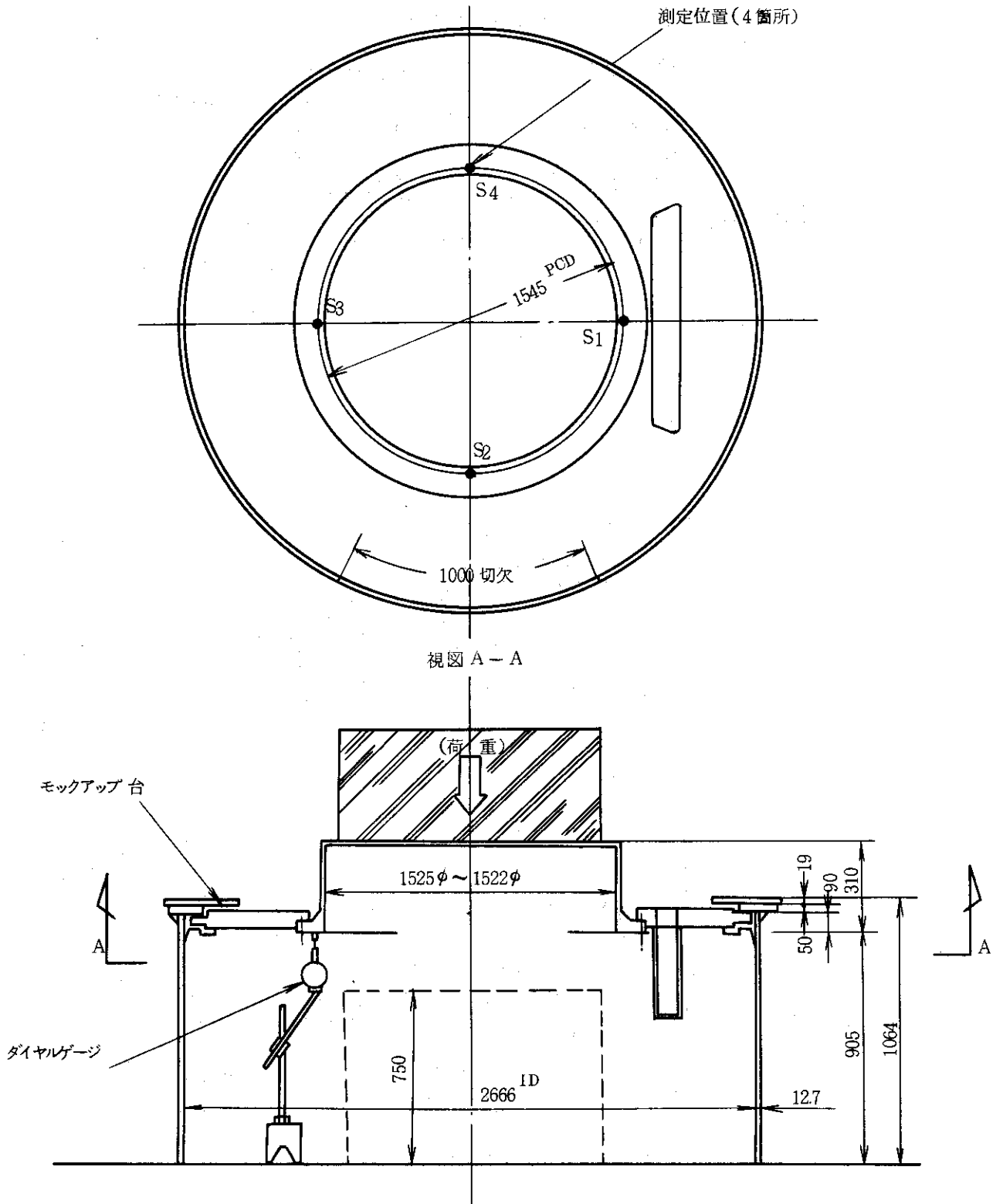


Fig. 4-3 実物大モデルによる荷重試験

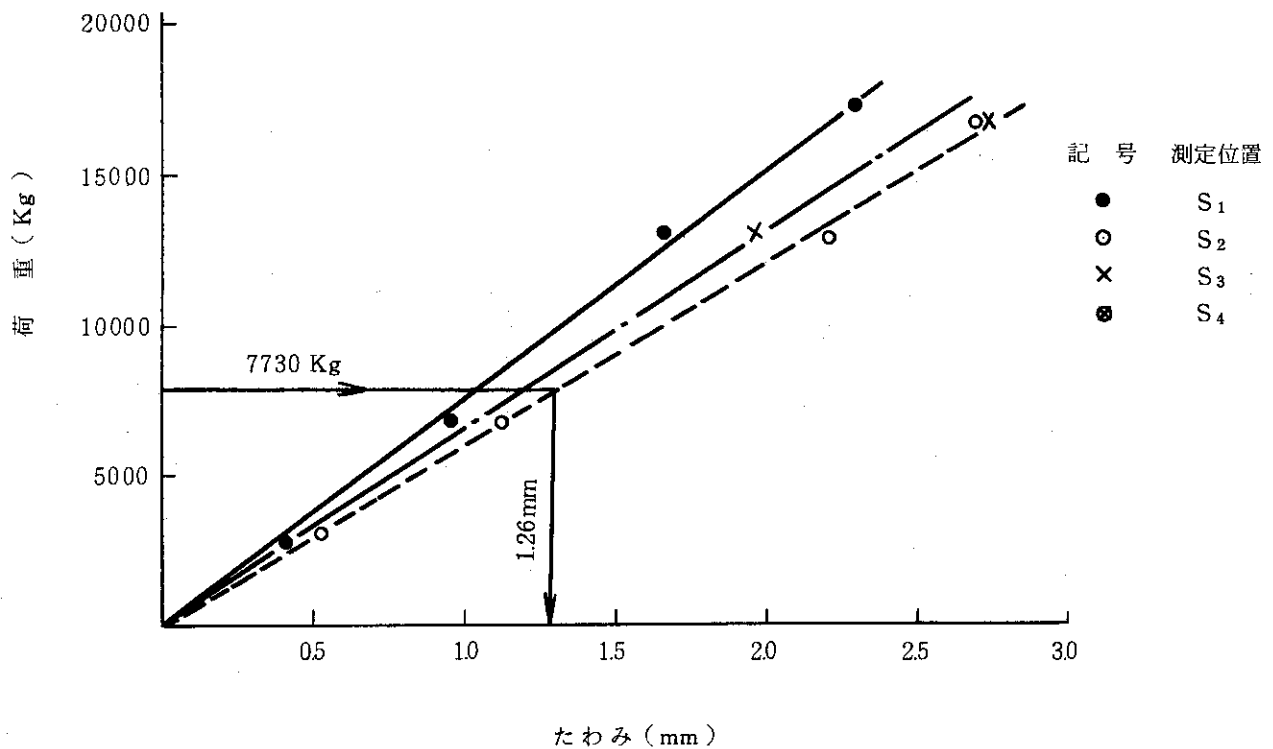


Fig. 4-4 モックアップ台による荷重とたわみの関係

の設計疲労曲線の作られた経緯にかんがみ、次の2条件のいずれも満足されることとした。

- ① 実働荷重あるいは変位の2倍の値を構成部材に負荷して耐えなければならない最低サイクル数（以下実働サイクル数と呼ぶ）を繰返しても破壊してはならない。
- ② 実働荷重あるいは変位を構成部材に負荷して実働サイクル数の20倍繰返しても破壊してはならない。

ここでは条件①に対しては、変位 δ は126 mmとして126 mmの2倍、252 mmである。実働サイクル数 N_a は10年間の寿命が必要と仮定して1年間に3回であるため、 N_a は30回となる。また、条件②に対しては δ は0~1.26 mmのたわみ全振幅を負荷する。実働サイクル数は30回であるため、その20倍の600回となる。

なお、実炉体における測定結果はTable 4-2に示すとおりであり、その支持条件からと思われるがたわみは約 $\frac{1}{10}$ におさまっている。このことから設計条件の設定については十分安全側にある。

(3) 立上りシールの形状の比較検討

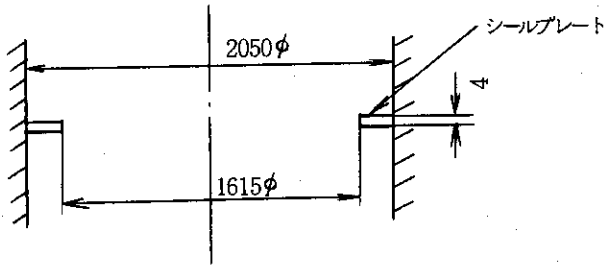
立上りシールは、4.2(2)項で求めたたわみ量が繰返し作用するため、その形状はたわみを吸収するようなものでなくてはならない。種々の形状が考えられるが、Fig. 4-5のような形状について強度計算を行った。

① 円輪板

シールプレートの強度は、中央に穴のあいた円輪板に近似して計算できるので、立上りシールの円筒を無視して行った。また、外周の境界条件は固定と考える。

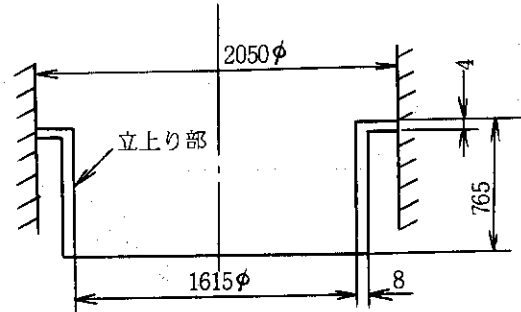
② 円輪板に内筒を取付けたもの。

要素分割数 ----- 20分割
外周完全固定



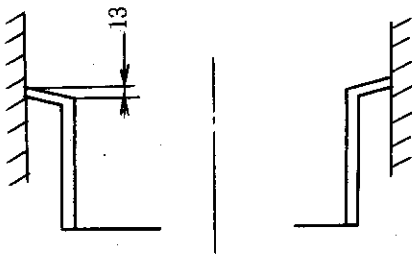
① 円輪板 (円筒を無視)

要素分割数 シール部 ---- 20分割
立上り部 ---- 30分割

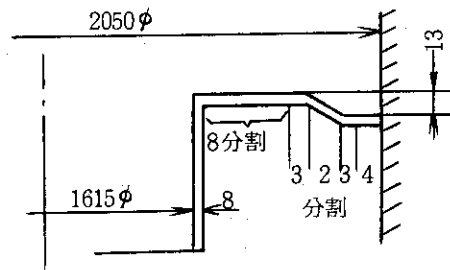


② 円輪板に内筒を取付けたもの

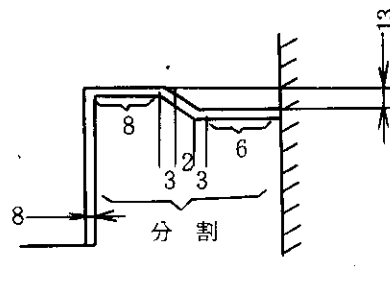
要素分割数 シール部 ---- 20分割
立上り部 ---- 30分割



③ ②のシール部に勾配をつけたもの



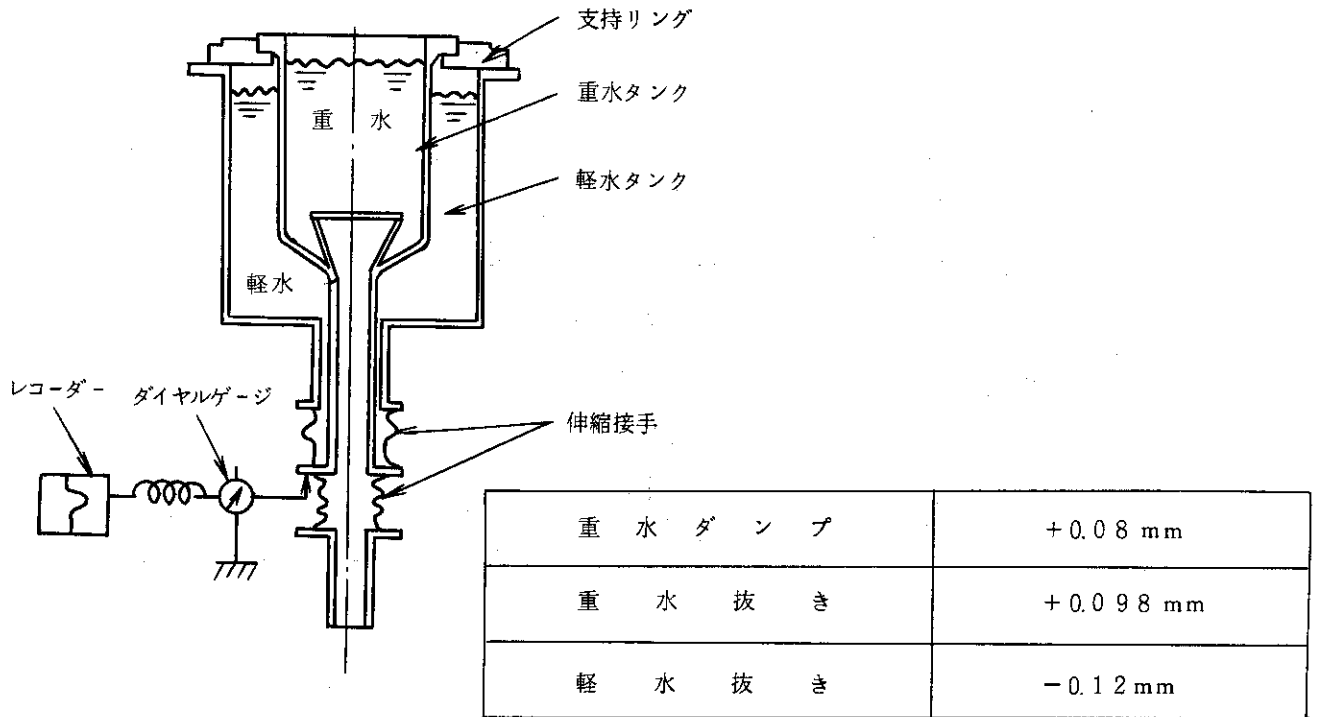
④ ②のシール部にベローズを付けたもの
(ベローズの位置を中央より少し端においたもの)



⑤ ④のベローズの位置をシールプレート
の中央に付けたもの

Fig. 4-5 立下りシール部の形状比較

Table 4-2 重水タンク支持リングのたわみ実測値



注)・記号+は↑(上向) -は↓(下向)

・測定年月日 昭和49, 10. 11

- ③ ②のシール部に勾配を付けたもの。
- ④ ②のシール部にベローズを付けたもの。(ベローズの位置を中央より少し端においたもの)
- ⑤ ④のベローズの位置を中央においたもの。

以上の5種類の形状について検討を加えた。

計算は、日立造船株で開発した軸対称殻の軸対称及び非軸対称軸による応力解析プログラム(社内記号SHELL-ASYM2)を使用して検討した。このプログラムは荷重をインプットすることにより変位と応力が求められるものであるが、ここでは、仮に最大変位として軸方向に2mmを与えて荷重を求め、その場合の最大応力並びに応力分布を求めて比較した。Table 4-3は軸方向に2mmたわませるに必要な荷重及びその場合に生ずる最大応力を各ケースにつき表わしており、応力分布は Fig. 4-6 に示す。

Table 4-3 計算結果

項目 \ 形状	①	②	③	④	⑤
2 mm たわませるに必要な荷重 (Kg)	144	564	678	768	855
最大応力 (Kg/mm ²)	1.8	4.1	4.0	4.6	4.3

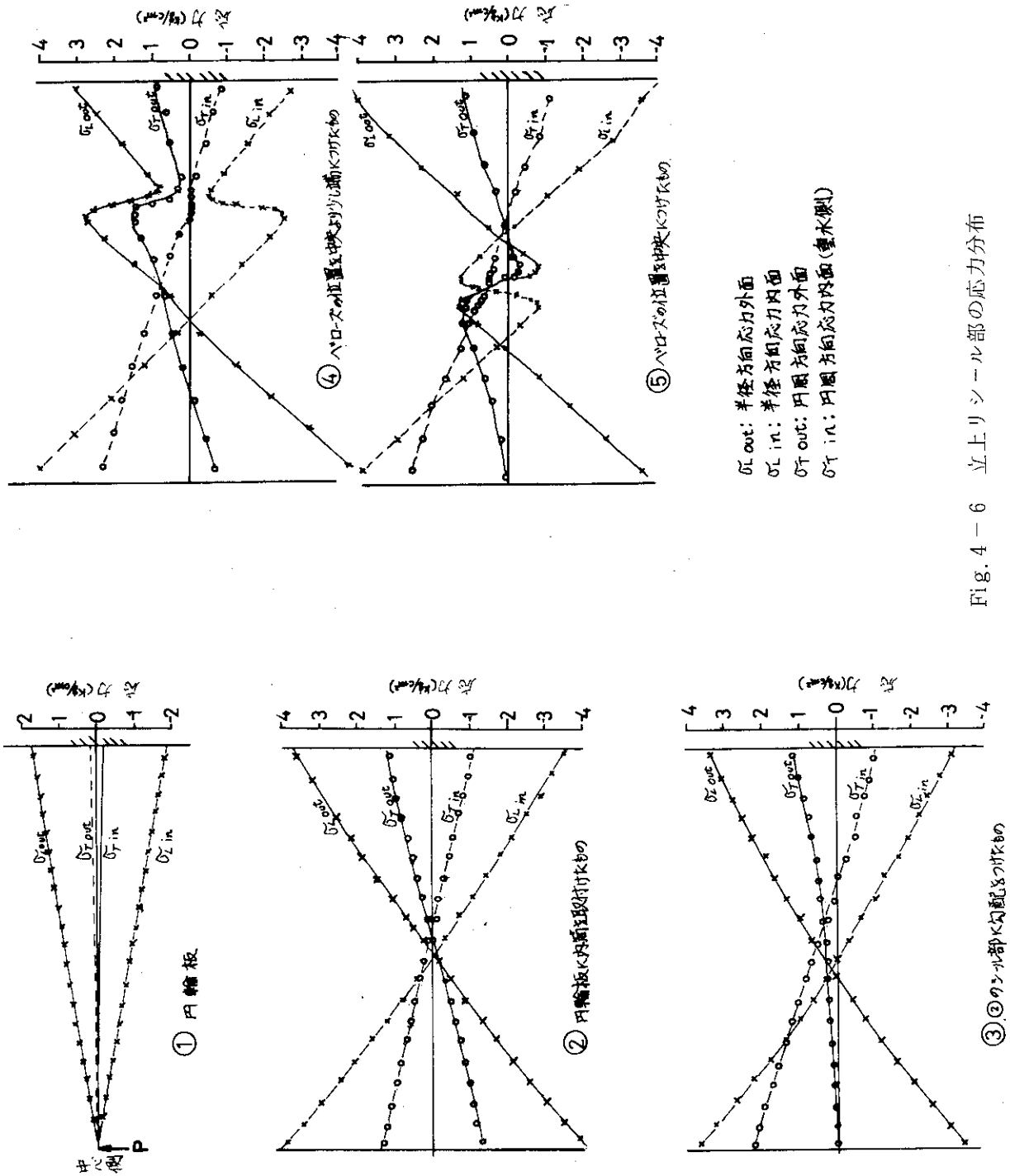


Fig. 4-6 立上リシール部の応力分布

以上の計算から、円筒のない円輪板のみの形状を除いて最大応力は $4.0 \sim 4.6 \text{ Kg/mm}^2$ である。その中でもベローズをつけたものは剛性が大きくなり最大応力は平板よりやや大きくなっている。

以上のことからケース②の平板の円輪板に円筒を取付けた形状のものが剛性も少なく、加工性もよいことから小型模型試験並びに実物大モックアップ試験で検討した。

4.3 円輪板と梁のたわみの比較検討

立上りシール部の実物大モックアップ試験に先だって小型模型試験による静的試験、繰返し試験を行い、溶接部及び構造の確認を行った。

立上りシールと小型模型試験片の形状が異なるため最大応力値が等しくなるように荷重を負荷するものとして両者の最大のたわみの関係を求めると次のようになる。

なお、両者とも両端は固定に近いので Fig. 4-7 のようなモデルを考えて計算した。

円輪板のたわみ δ_1 および最大応力 σ_1 は

$$\delta_1 = \frac{3W(m^2-1)}{4\pi m^2 E h^3} \left[a^2 - b^2 - \frac{4a^2 b^2}{a^2 - b^2} \left(\log \frac{a}{b} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここで, } m = \frac{1}{\nu}$$

$$r = \text{ポアソン比} = 0.33$$

$$E = \text{ヤング率} = 7.200 \text{ Kg/mm}^2$$

$$W = 2\pi 6p_1 \quad (P_1 = \text{単位周長さ当りの荷重})$$

最大応力 σ_1 は

$$\sigma_1 = \frac{3W}{2\pi h} \left[1 - \frac{2a^2}{a^2 - b^2} \log \frac{a}{b} \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

梁のたわみ δ_2 および最大応力 σ_2 は、

$$\delta_2 = -\frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl^3}{4EI} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{Pl}{2Z} \quad \dots\dots\dots (4)$$

単位幅について考えれば、

$$Z = \frac{1}{6} b h^2, \quad b = 1$$

$P_2 =$ 単位幅当りの荷重とすると、(4)式は、

$$\sigma_2 = \pm \frac{3P_2 \ell}{h^2} \quad \dots\dots\dots (4')$$

シールプレートの形状寸法を各数値に代入して応力を同一にするための関係を求めると、

(4)式=(2)式から

$$P_1 = \frac{37.5}{39.52} P_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。

(1),(3),(5) 式から円輪板と梁におけるたわみ比は

$$\delta_2 / \delta_1 = 1.13$$

となる。

すなわち、円輪板と梁に同一応力を発生させた場合のたわみは円輪板より梁の方が1.13倍大きくなるのがわかる。このことより発生応力が円輪板（立上りシールプレート）と同じ値になるように、また形状は立上りシールと同じ断面積を持つような寸法で試験は Fig. 4-8 で示す形状で行った。

また、この試験は溶接施工法などの適否の確認も含めて行ったものである。

4.4 溶接施工法の検討

(1) 電極ワイヤーの性能試験結果

立上りシール (A 5052) と重水タンクフランジ (A 6061) の溶接はミグ溶接とした。その電極ワイヤーは重水タンク使用温度が約 60°C になることから、高温用電極ワイヤー 5554 及び 5652 を選定し、板の突合せ及びすみ肉溶接を行い、その溶接部の機械的性質などから両者の優劣を選定した。

試験結果を比解すると機械的、断面マクロ写真、断面マイクロ写真、液体浸透探傷試験及びヘリウムリーク試験結果では両者の電極ワイヤーに差は認められず、X線透過試験においては 5652 の方が優れていた。また、溶接作業に際して 5652 の方がアークが安定していたことより 5652 電極ワイヤーを使用することとした。

(2) 溶接予備試験結果

モックアップ試験に先がけて立上りシールの上部と下部について溶接予備試験を行った。

各々について試験片の断面マクロ及びヘリウムリーク試験によって検討を行い上部は一層、二層、三層盛りについて検討した。一層についてはヘリウムリーク試験での最大洩れ量 3×10^{-7} atm・cc/sec で立上りシール洩れの許容値の 1×10^{-6} atm・cc/sec より小さく合格したが一般には、ヘリウム洩れに対しては多層盛り溶接が良いと言われており試験の結果からもそのとおりであった。しかし三層盛りにすることは、溶接部形状からかなり困難であり試験結果により二層溶接で行うこととした。

次に下部については、上部と同じよう溶接部の断面マイクロ及びマクロ並びにヘリウムリーク試験によって確かめたがいずれも異状が認められず Table 4-4 の溶接条件で本試験を行うことにした。

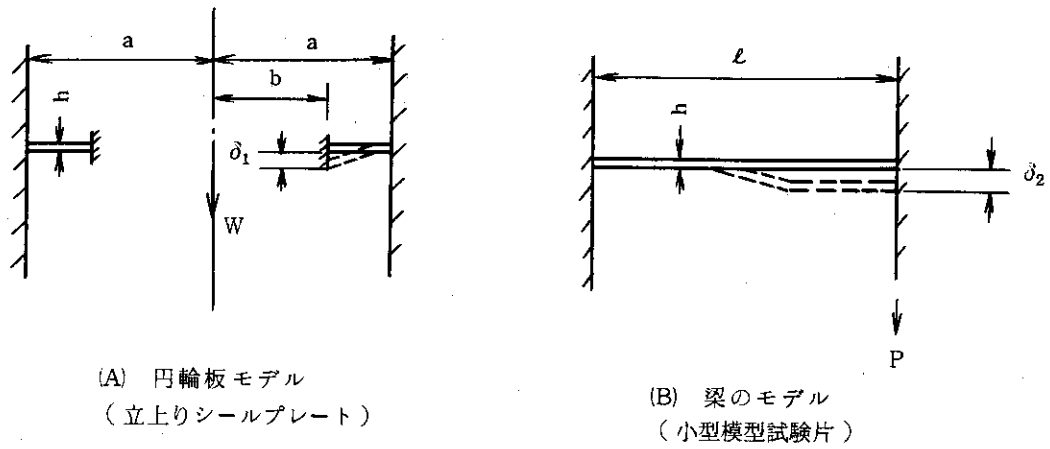


Fig. 4-7 モデルの支持条件

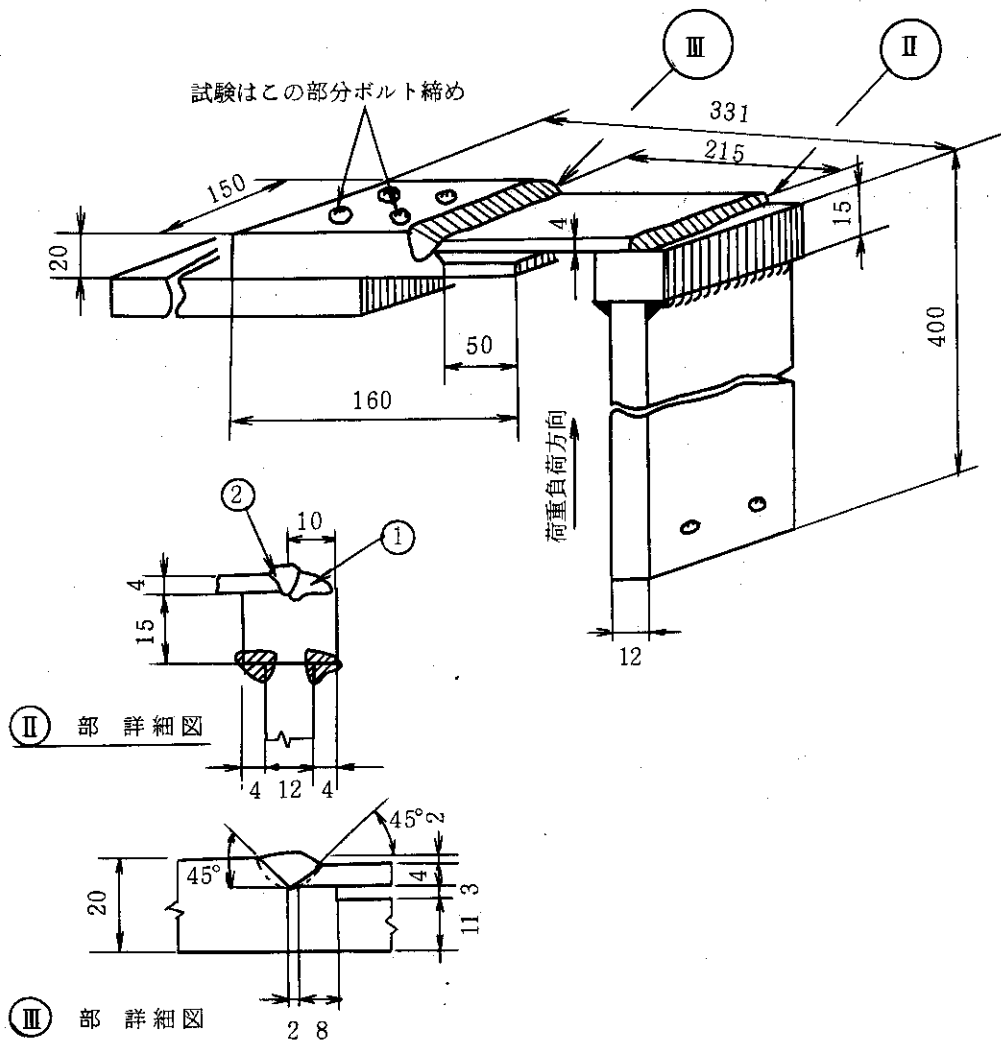


Fig. 4-8 小型模型試験片の形状寸法

Table 4-4 溶接条件 (全自動)

電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	アルゴン流量 (ℓ/min)	前 進 角	ト ー チ 角
310~320	28~29	450	30	10°	45°

本据付工事においては重水タンクフランジ部は高放射線下であるため、溶接の前処理（ワイヤーブラシがけ）の検討をしておく必要があり、前処理の溶接品質への影響を見るため次の三種の条件により溶接した。

- ① 煮沸のまま前処理をしない。
- ② 煮沸後アセトン抜き。
- ③ 煮沸後ワイヤーブラシがけの後アセトン抜き。

その後液体浸透探傷試験、断面マクロ及び破面検査を行った。その結果、液体浸透探傷試験は良好であったが、①については断面、破面にかなり多数のブローホールが認められた。それに比べて②、③はブローホールは少ないが③のワイヤーブラシをかけた効果は顕著に現われず本工事における前処理はアセトンで拭くのみとした。

4.5 小型模型試験片による繰返し試験

(1) 供試材料

4.3項及び4.4項で述べたように、立上りシール部の供試板材はA5052-Oの板厚4mmを使用し、溶接の電極ワイヤはA5652 WYのワイヤ径1.6mmを使用したものである。

溶接完了後、液体浸透探傷試験を行い欠陥のないことを確認したものを2組製作した。

(Fig. 4-8 参照)

(2) 静的試験及び繰返し試験の結果

静的試験は繰返し試験を実施する前に、試験片番号Aを使用してたわみを2.92mm発生させ、その時の荷重及びひずみ分布を求めた。荷重と変位との関係を計測値と計算値で比較すると次のようになる。

計算式は、片持梁の先端が固着状態で変形しないものとして4.3項の(3)式から、

$$\delta = -\frac{P\ell^3}{3EI} + \frac{P\ell^3}{4EI}$$

ただしここで、

E = アルミニウムのヤング率 = 7,200 Kg/mm²

I = 慣性2次モーメント = $bt^3/12$ (b = 150mm, t = 4mm)

ℓ = スパン: 215mm

P = 集中荷重 (Kg)

として求めた計算値と実測値の関係が Fig. 4-9, 4-10 である。

また、ひずみ分布は溶接部のII及びIII (Fig. 4-13 参照)の近傍で正負のそれぞれの最大値が発

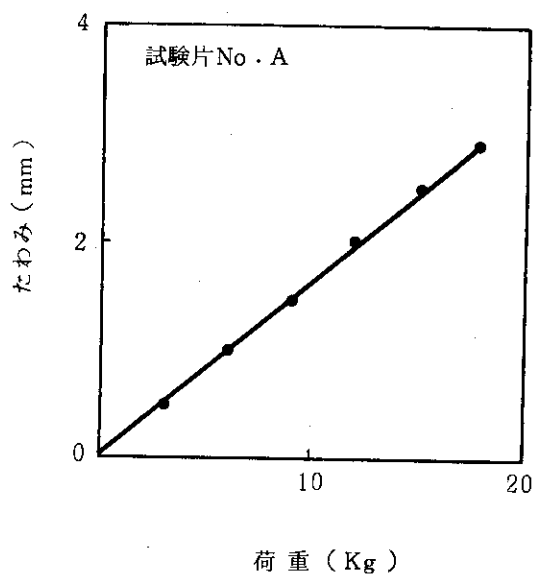


Fig. 4-9 荷重・たわみ線図

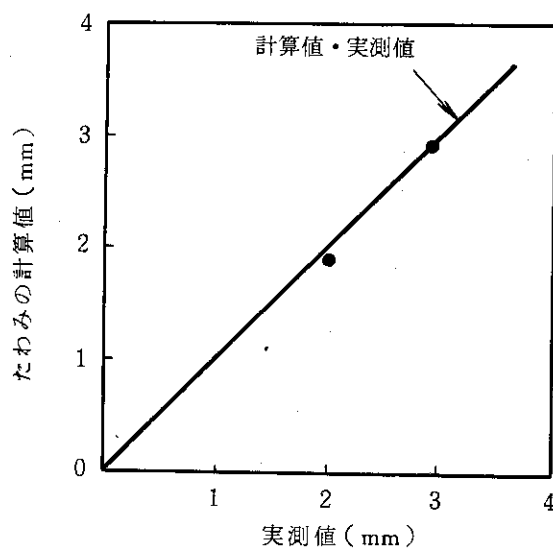


Fig. 4-10 たわみの計算値と実測値との関係

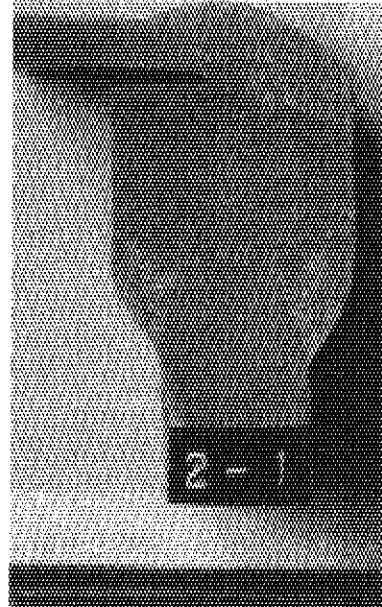
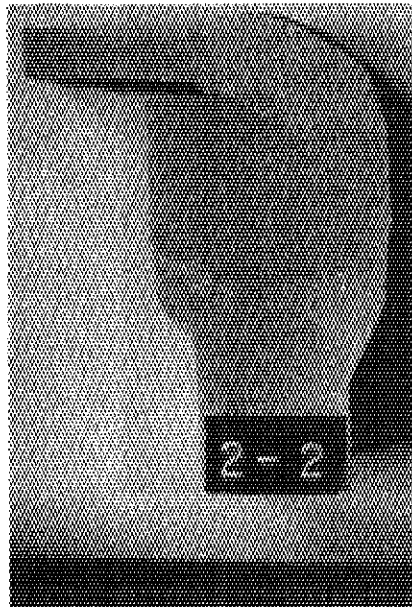
生しており、(3)式と同じ仮定をしてひずみを計算した結果と実測値は大略一致している。従って、実験で負荷したような荷重状態の場合、先端に集中荷重と曲げモーメントが合成して負荷すると考えればよいことがわかる。

繰返し試験は、万能試験機を使用したたわみ速度を10 mm/minで行い、たわみ振幅は0～1.46 mm, 0～2.92 mmの2種類とした。前者を繰返し寿命の20倍の1000回、後者を200回行い Table 4-5 に示すようにヘリウムリーク試験を各点で行って繰返し数と気密性との関係を求めたが何ら異常が認められなかった。その時のマクロ組織・マイクロ組織の写真を Fig. 4-11, 4-12 に示す。

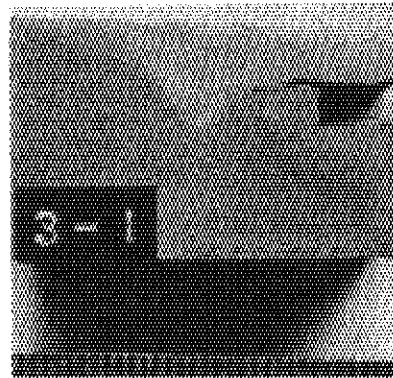
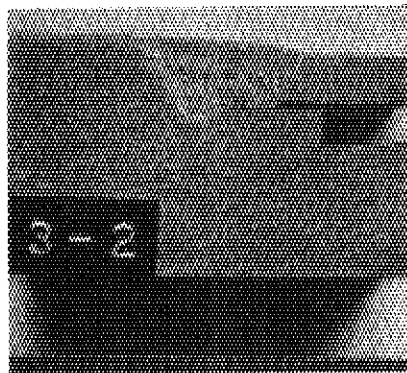
このことから、立上りシール部の構造並びに溶接施工法に関する小型模型試験片を使用して繰返し試験を行った結果実働振幅の2倍または繰返し数の20倍の寿命においてもヘリウムリーク試験及び断面検査の結果からは異常が認められず良好な方法であると判断した。

Table 4-5 繰返し試験片のヘリウムリーク試験結果

試験片 番号	たわみ 振幅 (mm)	繰返し回数	計測 位置	リーク量 (atm·cc/sec)	真空度 (μ Hg)	合否の判定		
A	0 2.92	繰返し 試験前	II	3.87×10^{-10}	0.01	合格		
			III	3.46×10^{-10}	0.01	合格		
		30	II	4.96×10^{-10}	0.025	"		
			III	5.26×10^{-10}	0.02	"		
		50	II	6.12×10^{-10}	0.02	"		
			III	4.70×10^{-10}	0.025	"		
		100	II	5.85×10^{-10}	0.025	"		
			III	5.48×10^{-10}	0.02	"		
		200	II	5.6×10^{-10}	0.025	"		
			III	5.6×10^{-10}	0.025	"		
		B	0 1.46	繰返し 試験前	II	3.25×10^{-10}	0.02	合格
					III	3.76×10^{-10}	0.02	合格
100	II			5.26×10^{-10}	0.025	"		
	III			4.41×10^{-10}	0.025	"		
300	II			5.6×10^{-10}	0.02	"		
	III			4.54×10^{-10}	0.025	"		
500	II			5.6×10^{-10}	0.025	"		
	III			5.72×10^{-10}	0.02	"		
700	II			5.06×10^{-10}	0.02	"		
	III			5.6×10^{-10}	0.025	"		
1000	II			5.26×10^{-10}	0.025	"		
	III			4.70×10^{-10}	0.02	"		

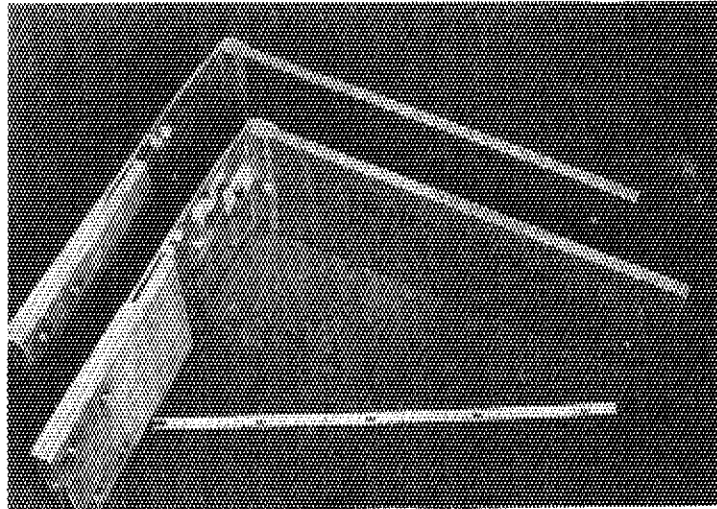


溶接番号Ⅱの断面

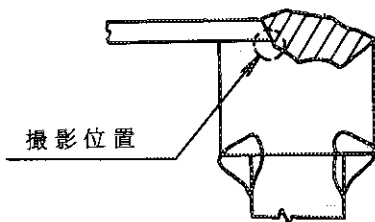
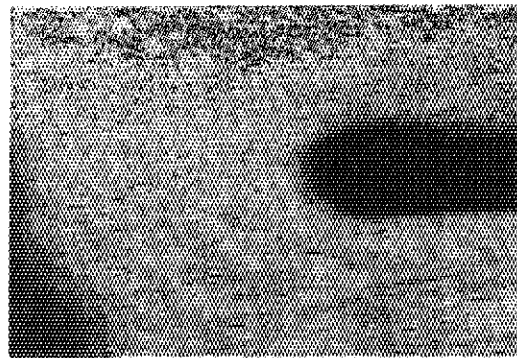
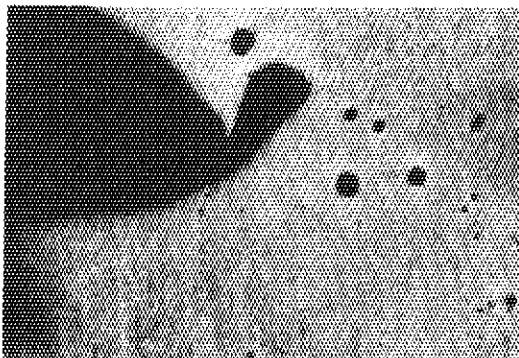


溶接番号Ⅲの断面

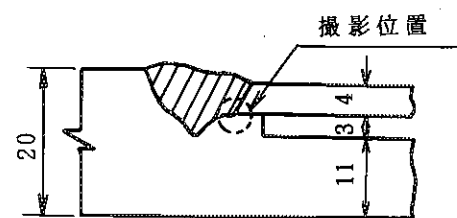
Fig. 4 - 11 繰返し試験後のマクロ組織 (No A 試験片)



繰返し試験後の試験片の外観写真



溶接番号Ⅱ



溶接番号Ⅲ

Fig. 4 - 12 繰返し試験後のマイクロ組織 (No.A 試験片)

4.6 立上りシールモックアップ試験

(1) モックアップ試験台及び円周自動溶接装置

試験台及び円周自動溶接装置は昭和46年の時点で支持リングと重水タンクフランジ部を自動及び手動で気密溶接する案を立て検討した時に製作したもので一部改造を加えてモックアップ試験に流用した。(Fig. 4-3, モックアップ試験台 Fig. 7-12 自動溶接機参照)

モックアップ施工にあたって溶接部の自動ならい部分について、そのならい精度を本溶接前にあらかじめ測定した。測定結果からならい精度は ± 2.0 mm 以内であり、この程度のずれであれば溶接可能と判断した。

(2) 溶接施工結果

すでに述べたように溶接条件などによってモックアップ溶接を行った。Fig. 4-13 は溶接施工順序を示す。また、その時の溶接施工条件を Table 4-6 に示す。

特に円周自動溶接部の (㊶) の溶接部) 外観に現われた各パスの溶接結果は、次のとおりである。

〔1 パス目〕

立上りシール胴板とビードの間にピンホール発生。

〔2 パス目〕

不良欠陥は特に発生せず。

〔3 パス目〕

ピンホール点在。

特にピンホールの発生は、円周自動溶接機のならい精度がよくなかったことに起因すると考えられた。そこで自動ならいについて下記の三点の改造を検討することとした。

① 自動ならい位置の変更

ならい位置をできるだけビードの近くにするにより、溶接を行いたい部分の変形を検知させる。

② ならい位置とフランジの機械加工

ならい位置である立上りシール胴板と、立上りシールフランジを同心円に機械加工する。これにより胴板部をならえば、適確に溶接部をトレースすることができる。

③ 補強リングの使用

立上りシールの変形を防ぐため現地据付寸前まで補強リングを使用する。以上3点を別個あるいは同時に実施することにより、円周自動溶接のならい精度は十分改善されるものと考えられた。

(3) 漏洩試験結果

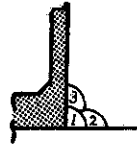
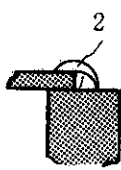
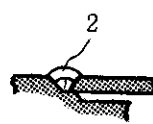
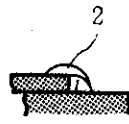
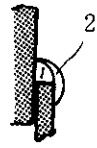
耐力試験の前後に Fig. 4-14 に示すような位置にヘリウムトラップ・フードを取付けて合計216箇所についてヘリウム洩れ量を計測している。ヘリウムリーク試験の結果 v 部分のコンティメントとシールリングの溶接部に洩れが認められたのでさらにスニッフ法により洩れ箇所を検査したところ Fig. 4-14 (b) に示すような位置に確認された。耐力試験前後でリーク量が異なるのはフードの張り方によるものである。それ以外の箇所には全く異状は認められなかった。

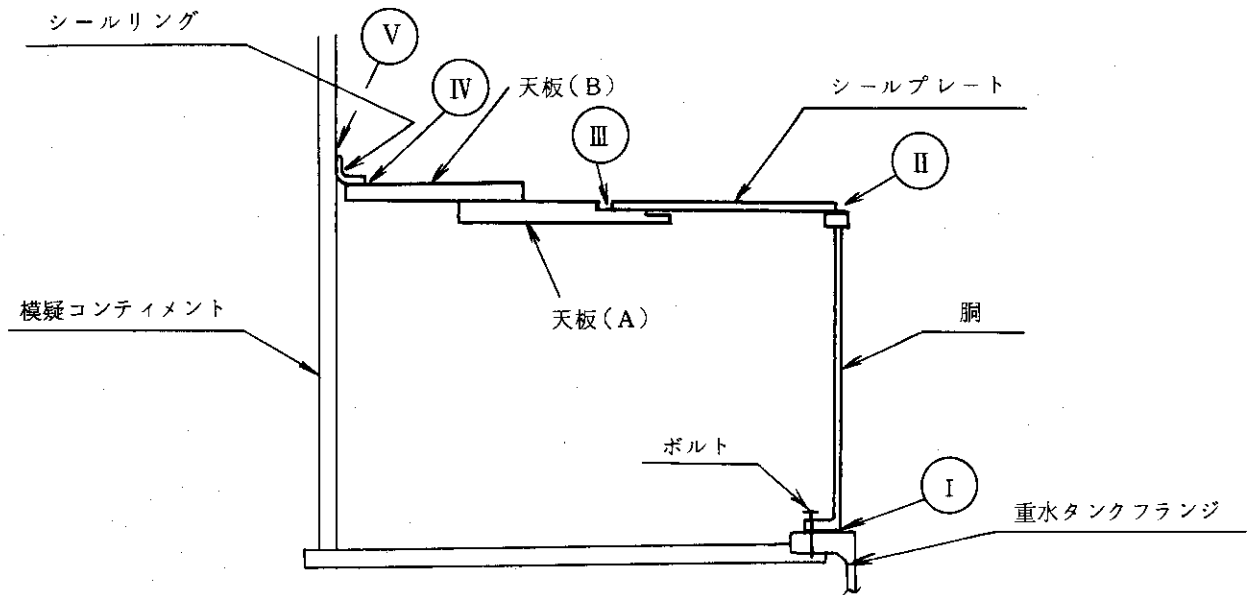
(4) 耐力試験

立上りシールは前に述べた使用条件に十分耐え得る構造でなければならない。このため、実物

Table 4-6 溶接施工条件 (モックアップ時及び本工事)

() 内は本工事時の施工条件

接 No.	開先形状	接方法	使用ワイヤ	溶接電流 (Amp)	アーク電圧 (Volt)	溶接速度 (cm/min)	ガス流量 (ℓ/min)
①		全自動 MIG	5652WY 1.6φ	各パスとも 290~320 (260~270)	28 (26)	44 (40)	30 (30)
②		半自動 MIG	5652WY 1.6φ	各パスとも 280~290 (280~290)	24 (28)	60 (55)	30 (25)
③		半自動 MIG	5652WY 1.6φ	各パスとも 270~290 (260~280)	25 (28~29)	50 (40)	30 (25)
④		半自動 MIG	5652WY 1.6φ	各パスとも 290 (260~280)	27 (27~28)	55 (50)	30 (25)
⑤		半自動 MIG	5652WY 1.6φ	各パスとも 260 (260~270)	26 (27~28)	60 (50)	30 (25)



溶接順序

- (i) 重水タンクフランジ部に胴部をボルト締めする。
- (ii) 溶接部Ⅱを施工
- (iii) " Ⅲ "
- (iv) " Ⅳ "
- (v) " Ⅴ "
- (vi) 溶接部Ⅰの自動溶接施工

Fig. 4 - 13 溶接施工手順

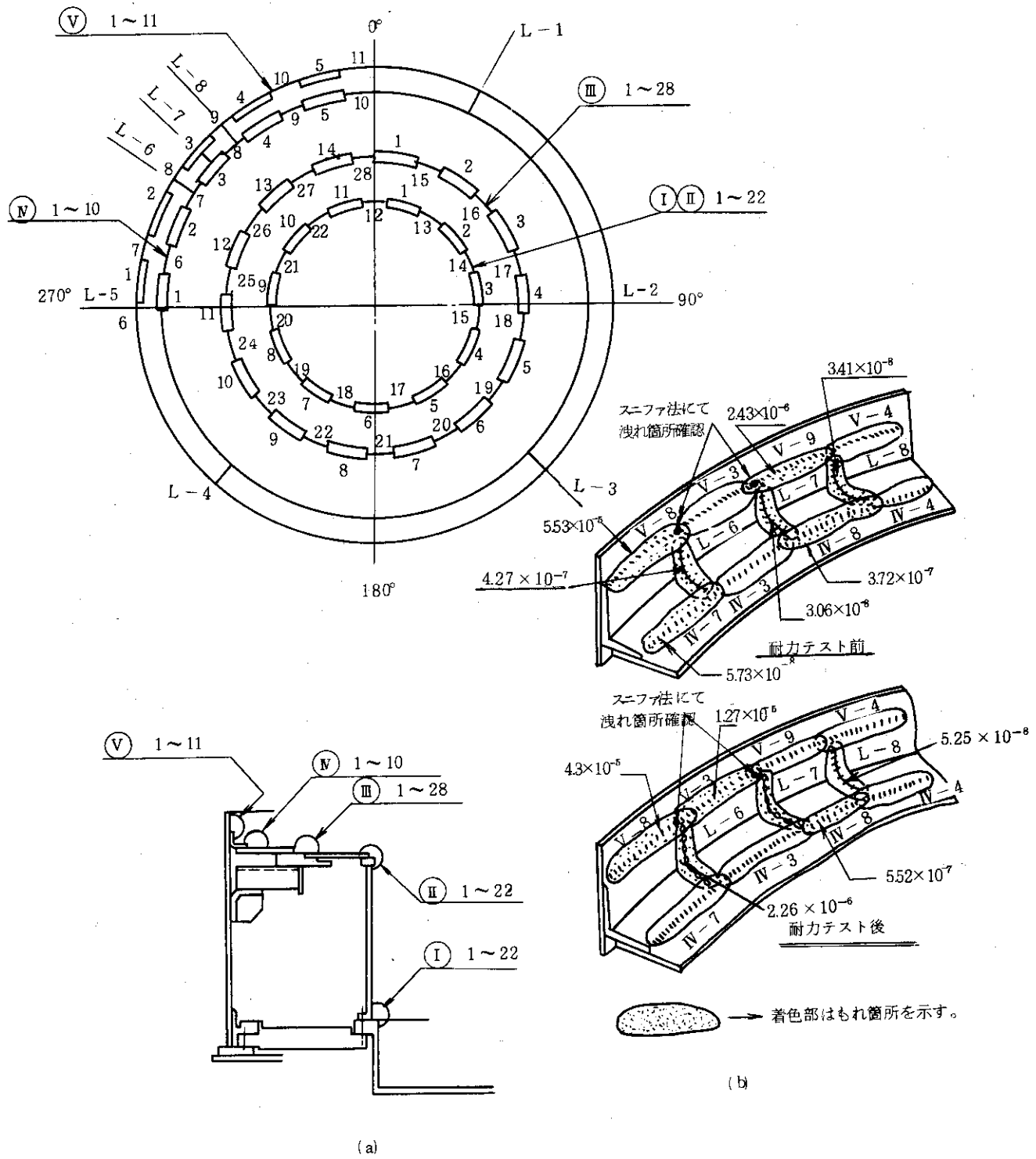


Fig. 4-14 試験体のヘリウムトラップフード取付位置と洩れ箇所の詳細

大のモックアップで耐力試験を行い、立上りシール構造を確認した。

① 試験条件

実物大モックアップ耐力試験は実際に即くした荷重状態で行う。

実際の使用条件は Fig. 4-2 で示した。これに繰返し荷重の試験条件の一つ、すなわち「実働荷重の2倍の値を構成部材に負荷して、実働サイクル数を繰返しても破壊しないこと」という条件を採用する。

ここでは余裕をとって最大荷重状態(7,730Kg)の2倍以上の荷重(試験荷重は16,500Kgとする)で、かつピーク時(重水ダンプ、重水抜き)の回数が10年間に30回繰返されることが予想できるが、それ以上の50回を繰返すこととした。

② 荷重の加え方

荷重の加え方は Fig. 4-15 に示す要領とした。重量16,500Kgの重錘をクレーンで上下し、実物大モックアップ試験台を逆に定盤上に設置して、その上に負荷した。この場合、荷重は重水タンクフランジから支持リングを介して本体に伝わる。

③ たわみ及びひずみの計測方法

たわみの計測は電動式変位計及びダイヤルゲージを使用し、ひずみは2方向ゲージ(型式PG-10 G.L: 10mm)を張付けて測定した。測定位置は Fig. 4-16 に示すように円周を4等分して0°, 90°, 180°及び270°の位置にひずみゲージを3箇所、変位計を2箇所セットした。

4.7 試験結果と考察

(1) ひずみの計測結果

ひずみゲージで計測したひずみを次式にて応力換算し、Fig. 4-17 にシールプレート部の応力分布を示す。

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x)$$

ここで、 σ_x = 円周方向の応力 (Kg/mm²)

σ_y = 軸方向の応力 (Kg/mm²)

E = ヤング率 = 7,200 Kg/mm²

ν = ポアソン比 = 0.33

ϵ_x = 円周方向のひずみ

ϵ_y = 軸方向のひずみ

図からわかるように内側のA列はやや偏心して分布しており、C列はほぼ等しく分布している。また、B列は、Fig. 4-6 からわかるとおり、その計測値は1 Kg/mm²以下である。

(2) たわみの計測結果

シールプレートのたわみの計測には変位計を使用し、電磁オンロググラフに記録された。

Table 4-7(a) にシールプレートのたわみを示し、Table 4-7(b) に定盤及び変位を示す。

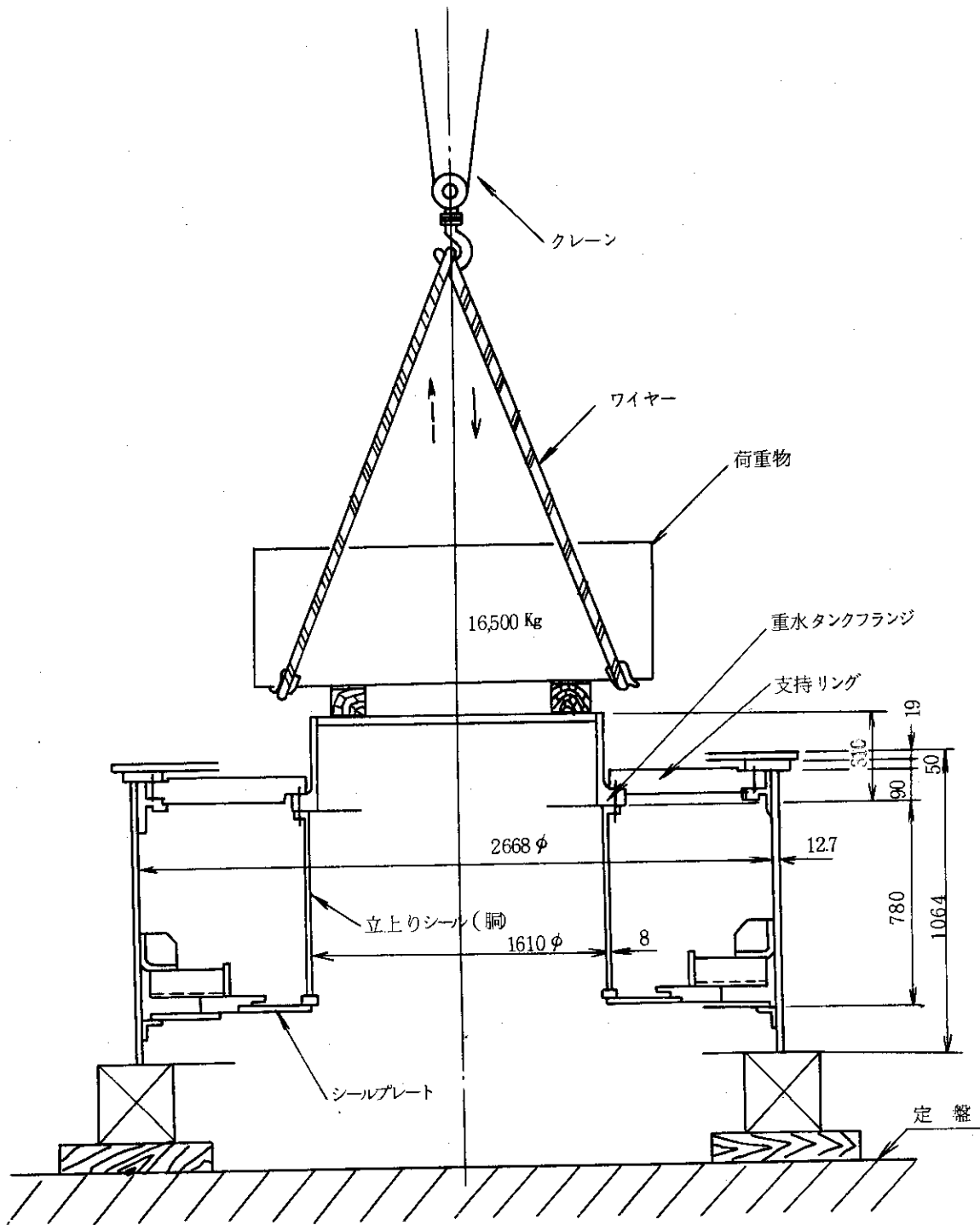


Fig. 4-15 荷重の負荷要領図

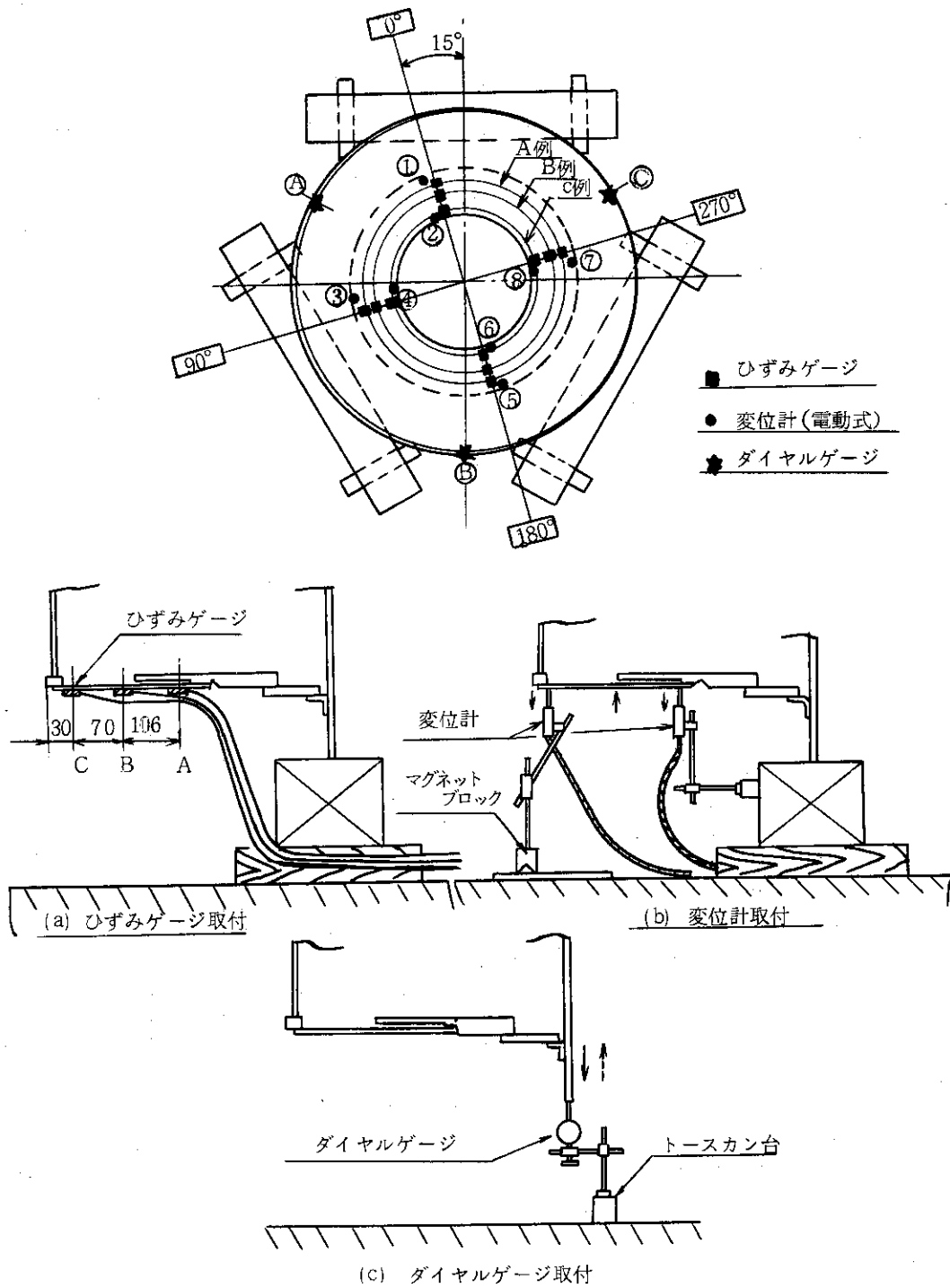


Fig. 4-16 測定位置及び測定器具取付図

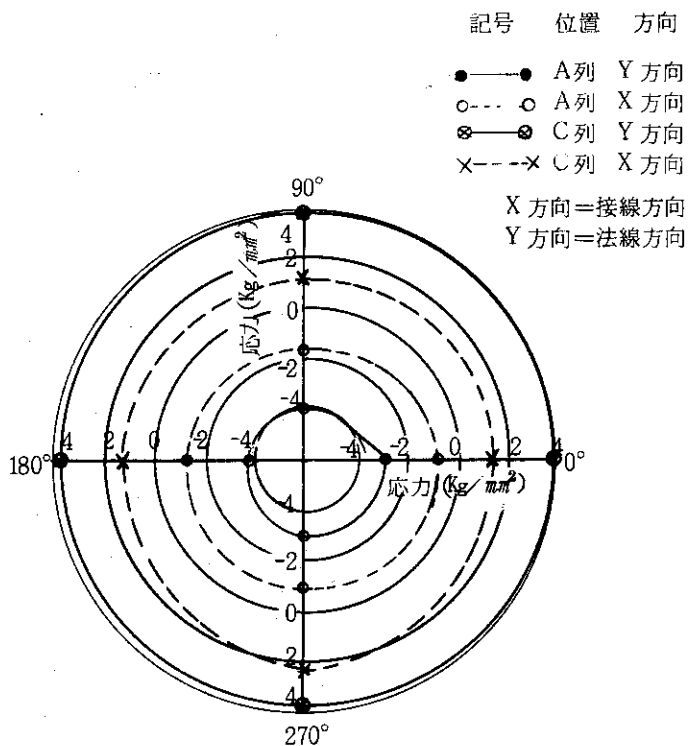


Fig. 4-17 シールプレートの応力分布

Table 4-7 シールプレートのたわみ・定盤及び床の変位

(a) シールプレートのたわみ

(単位mm)

角 度	0°		90°		180°		270°	
測定点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
1 回目	2.25	4.37	1.93	4.24	1.45	3.28	0.91	3.26
無 荷 重	0.63	0.95	0.75	1.29	0.55	0.97	0.14	0.86
2 回目	1.69	3.47	1.21	3.05	1.00	2.43	0.77	2.50
3 回目	1.70	3.47	1.25	3.05	0.98	2.43	0.77	2.52

(b) 定盤及び床の変位

(単位mm)

状態	位置	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
一 回 目	負 荷	1.42	1.58	1.28
	無 負 荷	0.33	0.63	0.38
二 回 目	負 荷	1.46	1.63	1.32
	無 負 荷	0.35	0.67	0.44

Fig. 4-18 は Table 4-7 の 2 回目のたわみ分布を示したものである。図からわかるように 0° のたわみが大きく、 180° 及び 270° の位置で小さくなって分布している状況がわかる。

(3) シールプレートに発生する応力とたわみとの関係

シールプレートに発生する応力は支持リングの剛性によって生ずるたわみによるものと考えられる。シールプレートのたわみと応力の関係は支持条件を Fig. 4-19 のように仮定すると、

外周の法線方向の応力 σ_{r_0} は、

$$\sigma_{r_0} = \frac{3W}{2\pi t^2} \left[1 - \frac{2b^2}{a^2 - b^2} \left(\log \frac{a}{b} \right) \right] \quad (6a)$$

内周の法線方向の応力 σ_{r_1} は、

$$\sigma_{r_1} = \frac{3W}{2\pi t^2} \left[1 - \frac{2a^2}{a^2 - b^2} \left(\log \frac{a}{b} \right) \right] \quad (6b)$$

たわみ δ は、

$$\delta = \frac{3W(m^2 - 1)}{4\pi m^2 E t^3} \left[a^2 - b^2 - \frac{4a^2 b^2}{a^2 - b^2} \left(\log \frac{a}{b} \right)^2 \right] \quad (7)$$

ここで、 $m = \frac{1}{\nu}$

ν = ポアソン比 = 0.33

E = ヤング率 = 7,200 Kg/mm²

シールプレートの形状寸法を各数値に代入してたわみと応力との関係を求めると、

$$\sigma_{r_0} = -1.927 \delta \quad (8a)$$

$$\sigma_{r_1} = 2.253 \delta \quad (8b)$$

となる。

Fig. 4-20 はシールプレートの応力とたわみの関係を示したものであり計算値と実験値は大略一致することがわかる。また、Fig. 4-21 は小型模型試験とモックアップ試験とでそれぞれ計測した応力を比較したもので、実線は、両者の値が等しい場合を示し両者は大略一致している。

(4) 考察

立上りシール部の構造並びに溶接施工を検討するため実物大のモックアップ試験を行い、次のことが明らかになった。

- ① 実働荷重の 2 倍の荷重と重水タンク模擬部に実働サイクル数を繰返し加えて耐力試験を行い、その前後にヘリウムリーク試験を行って確認したところ、溶接部に割れ、あるいは漏洩するような箇所は認められない。
- ② 立上りシール部の溶接施工はモックアップ試験の結果を参考に行えば実施可能である。
- ③ 実物大のモックアップ試験を行った結果、立上りシールの構造は使用条件である重水タンクの上下変動に十分耐え得ることが明確となった。

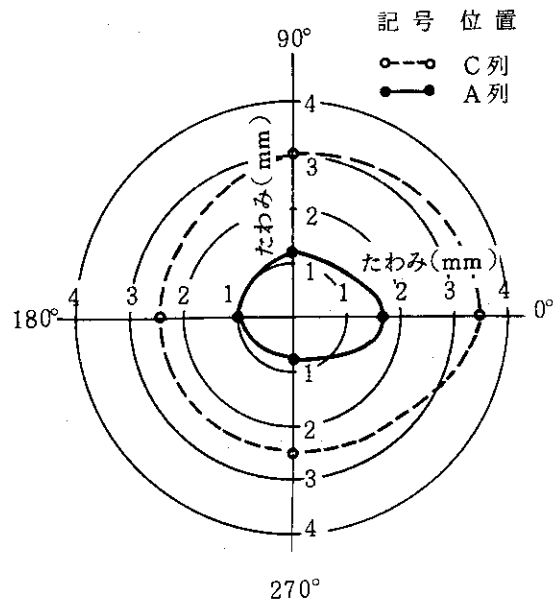


Fig. 4-18 シールプレートのたわみ分布

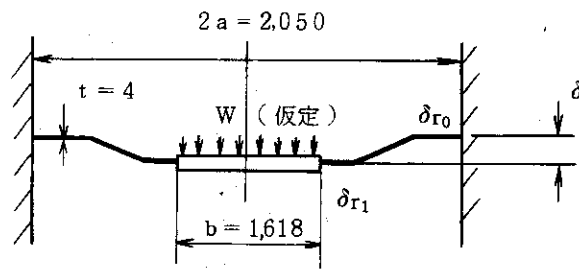


Fig. 4-19 支持条件

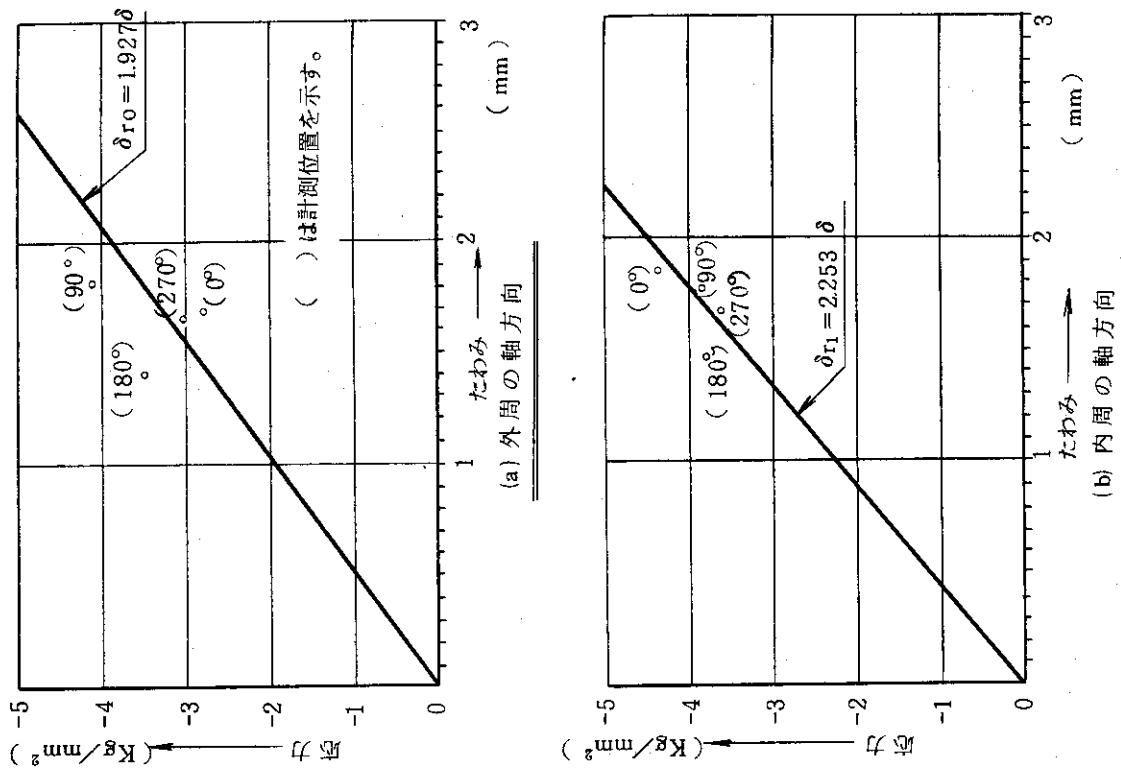


Fig. 4-20 シールプレートの応力とたわみの関係

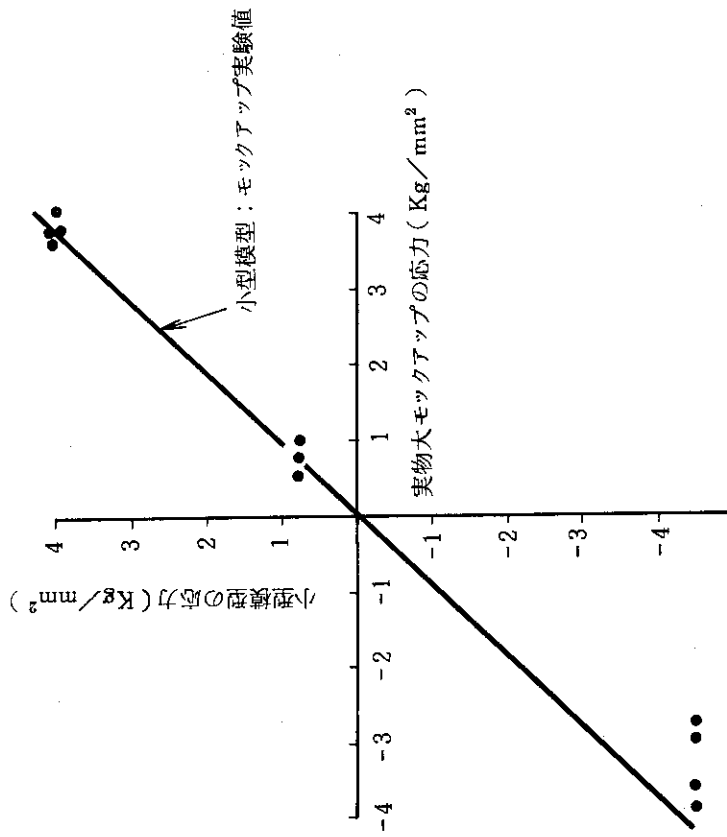


Fig. 4-21 シールプレートに発生する応力の比較

5. 遮蔽体製作モックアップ試験

5.1 概要

遮蔽体を製作するにあたって施工上問題になったことは、

- ① 遮蔽体製作に用いる防食塗料は重コンクリートとの共存を考慮した耐食性、耐放射線性及び耐熱性のある塗料を選定する。……（塗料選定試験）
- ② アルミニウム缶体内に遮蔽材として充填する重コンクリートの施工を含めた最適な工法を選定する。……（重コンクリートに関する試験）
- ③ 鉛を缶体に充填するための施工法及び選定した塗料の耐熱試験……（鉛充填試験）
- ④ アルミニウム缶体製作に関する技術上の問題の解決、特に溶接に関すること、並びに気密試験……（溶接施工法試験）

等であった。上記①～④を個々に実施し、その結果をもとに遮蔽体の一部を模擬した実物大のモックアップを製作し、最終的に解体試験で内部状態の確認を行った。

解体試験の結果も含めた総合評価で、材料、施工法、試験検査方法について、遮蔽体製作の目安が得られ、その結果を本製作に十分反映できることを確認した。本章においては、特に重コンクリート充填に関する部分について述べ他は概要にとどめた。Table 5-1 に試験内容の概略を示した。

5.2 塗料選択試験経過と結果の概要

塗料選択試験は、アルミニウム小試験片に試験用塗料を塗装し、 ^{60}Co 線源による照射試験、耐熱試験を行い第1次試験で10種類を選んだ。次に第2次試験及び第3次試験の段階で3種類（ポリアミドイミド、黒ワニス、エポキシ）の塗料が特に優れていることが判明した。

これと平行して、鉛鑄込時の温度特性を知るためのモックアップ試験を行い、最高温度約320℃に達することが測定されたので、耐熱性試験ではこの温度特性に耐え得るような塗料を選定した。

さらに、重コンクリートの共存性試験では選んだ3種類のものについて供試体（A6061-T6, 4t×60×60）に塗布し重モルタル中に埋込み1～3ヶ月の共存試験を実施した結果、①3種類の塗料とも塗装面に異状が認められなかった。②モルタルの付着は共存期間が長い程多い傾向はあるが付着したモルタルを取除くと塗膜に異常は認められなかった。

次に、実物大試験による塗膜の健全性を確認する試験検査を行った。（5.4(2)項に示す）その結果3種類の塗料は遮蔽体製作の各々の使用箇所において十分使用し得ることが判った。

以上の試験経過の概要をTable 5-2に示す。

Table 5-1 遮蔽体製作モックアップ試験項目

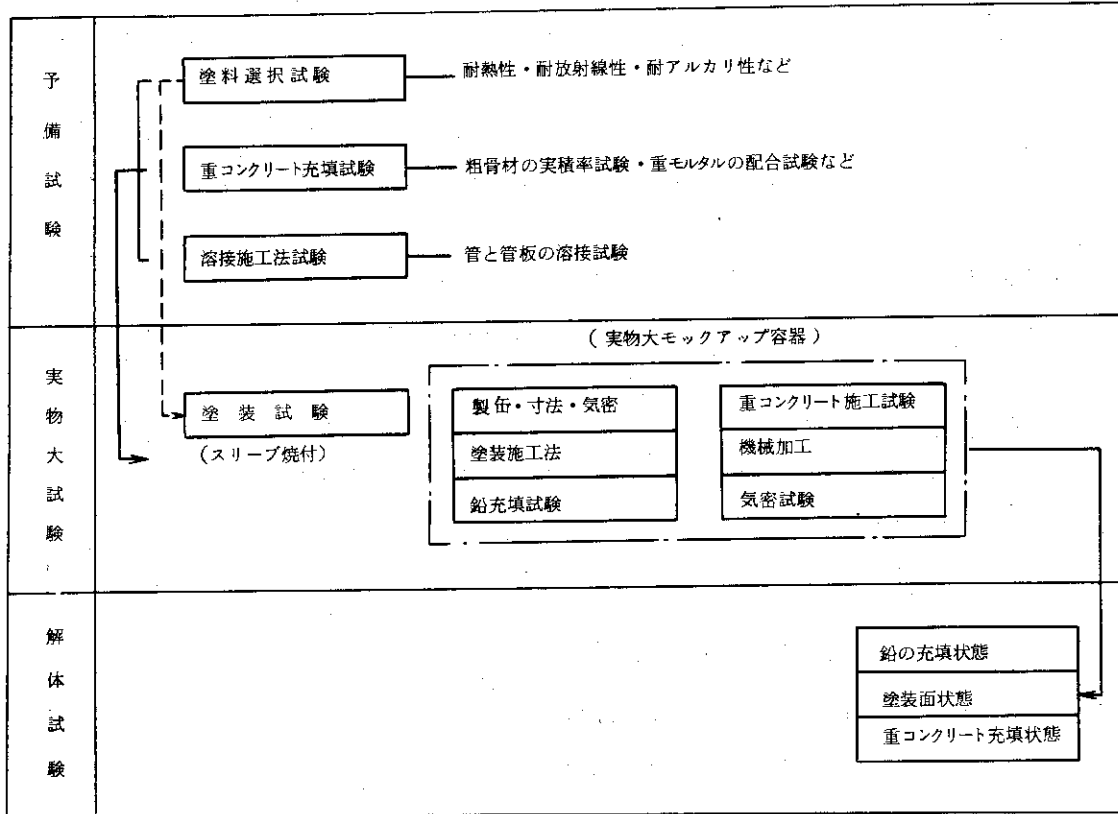
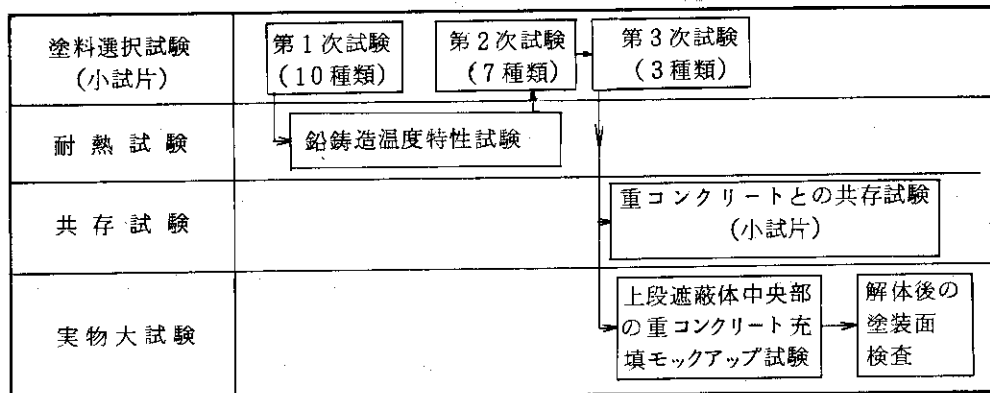


Table 5-2 塗料選択試験の概要



5.3 鉛鑄造込みに関する試験結果の概要

試験は上段遮蔽体中央部に相当する部分の実物大のアルミ缶体を使用して行った。本製作時には鉛鑄込みによって次のような問題点の生ずることが予想された。

- ① 上管板にスリーブを溶接し、下管板側は自由端にした場合、鉛の鑄込時に歪が生じスリーブの取付け精度が悪くなる。
- ② 下管板を取付けスリーブの両端を完全に溶接した場合、鉛鑄込み及び重コンクリート充填に際し、下管板に多数の充填穴を明けておく必要があり充填後に栓溶接することが困難である。

これらを解決するためにスリーブの精度保持を目的とした拾管板を取付けることとした。

また、鉛鑄込時の鑄込高さの均一化と飛沫からの塗装面保護を目的とした鉛鑄込専用治具の使用によって良い結果が得られた。

アルミ缶体は熱伝導が良いことから鉛の流れ途中で凝固し、鉛鑄込口と中央部の鑄込み高さに差が出る心配があった。そのため鑄込前に70～90℃に缶体を予熱して下記の鑄込条件でFig. 5-1に示すように鑄込んだ。

鉛熔融温度	380℃
湯口熔融温度	340℃
缶体表面温度（鑄込み前の予熱温度）	70～90℃

この時熔融炉内の鉛の温度は420℃であり、鉛鑄込み部分でのスリーブ内面の温度は最高280℃で200℃以上になっている時間は10分以内であった。

鑄込み結果はスリーブ外面に付着した飛沫は少なく専用治具の効果があつた。充填率計測結果は97.88%と良好であった。しかし解体（開放）検査の結果アルミ缶体胴内面と鉛との間に2mm程度のギャップが確認され充填率としてはこの部分が計算に入らなかった。

全体の充填厚さについては鑄込口より遠い部分で約10mm程規定の厚さより薄かったが、問題になるものではなく本製作でモックアップの施工方法を採用することで良いと判断した。

5.4 溶接施工法試験と缶体製作モックアップの概要

(1) 溶接施工法試験

アルミニウム缶体製作上で問題になった溶接に関する条件は次の点であった。

- ① 缶体は許容値以上のヘリウムの漏れは許されない。
- ② 管板（厚板）とスリーブ（薄板）との溶接であり、スリーブのピッチが狭く溶接による境界壁の溶け落ちが考えられること、機能上パイプ内壁に溶接ビードが突出することは好ましくない。
- ③ 上管板側には、ビードにかからない機械加工代が必要である。
- ④ 溶接ビードは重水等がたまるような凹凸がなく、なめらかな外観を有していることが必要である。
- ⑤ 溶接部は少なくとも母材と同程度以上の強度が必要である。

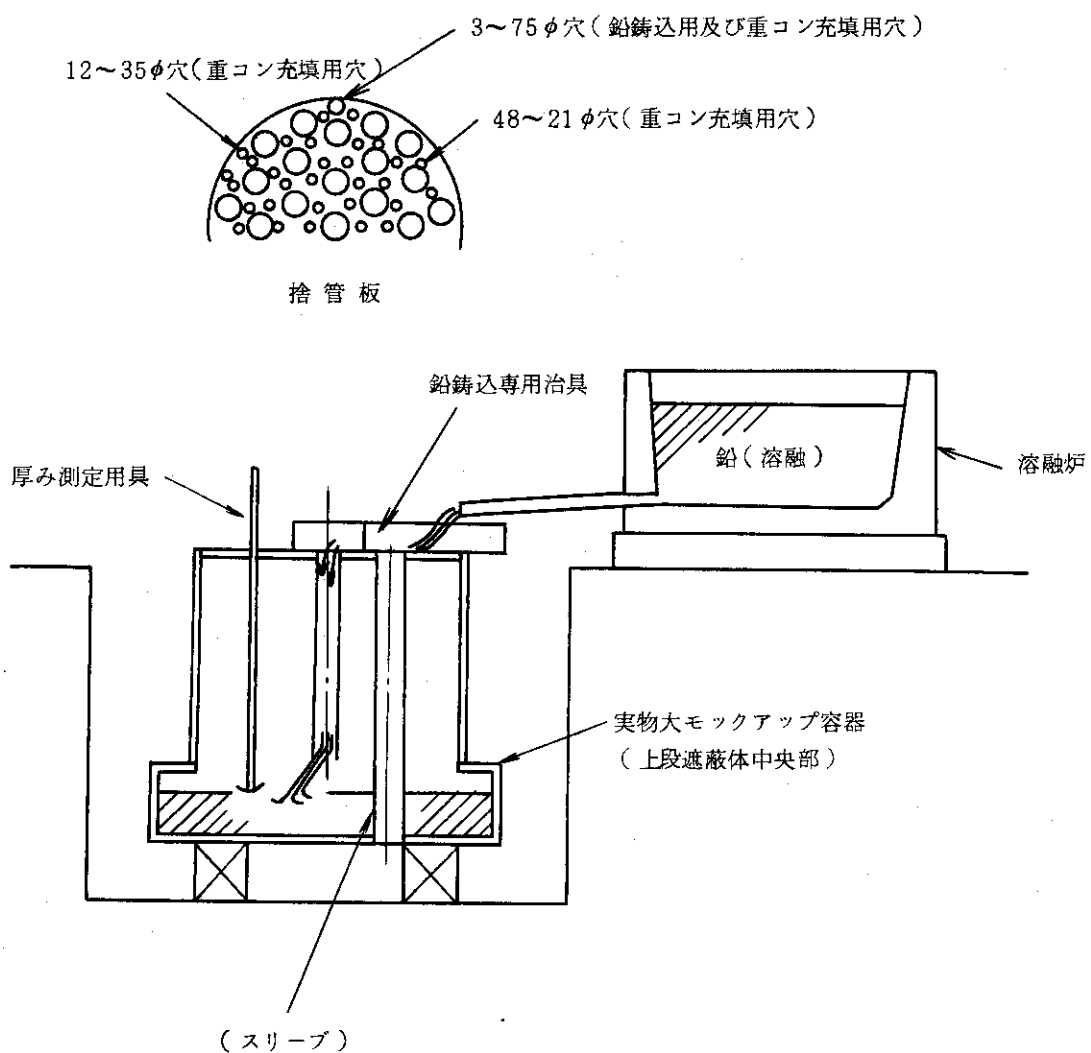


Fig. 5 - 1 鉛鑄込試験

以上の条件のすべてを満足し、しかも本製作においても再現可能な施工法を確立することがその目的であった。

実施項目とその結果概要を Table 5-3 に示す。また実験の過程で問題点をさらに明らかにすることができた。

Table 5-3 遮蔽体製作のための溶接施工法試験の概要

実施項目	実施内容	結果	備考
① 溶接施工法試験 (I)	管と管板の溶接について (i) 溶接方法の適否 (方法, 姿勢条件等) (ii) 試験 断面マクロ, ヘリウムリーク試験	外観, ヘリウムリーク共 OK, 溶け込みが少ないがほぼ良好。	①～④までの問題点 (i) 溶接方法の選択 (ii) ビード継目部 (iii) ビードの突出し (iv) 機械加工代
② 上管板と管溶接モックアップ (実寸大)	(i) 上記①の施工法試験での溶接条件で実施。 (ii) 試験 ・ヘリウムリーク試験 (真空覆函法) ・液体浸透探傷試験	ビードの突出し, 液体浸透探傷試験 OK, ヘリウム漏れ有り。	
③ 溶接施工法試験 (II)	②における問題点 (ヘリウム漏れ, ビードの突出し) の解決のため。 (i) 溶接方法 (MIG - 層+手動 TIG 一層, 手動 TIG 一層) 開先形状 (ii) 試験 ・引張試験 ・断面マクロ ・ヘリウムリーク試験	i) 三種の開先形状のうちで一種最適なものがあつた。 ii) 管厚は 4.0 mm にはもれがなかった。 iii) 断面マクロ OK iv) MIG と TIG の剪断引張強度の差はなかった。 v) 溶加棒は 5652 の方が 4043 よりすぐれている。	
④ 下管板と管の溶接モックアップ (実寸大)	(i) 開先形状 (2 種類) 溶接方法, 溶接条件 (ii) 試験 ・ヘリウムリークテスト	i) ヘリウムもれあり (手直し後 OK) ii) 境界壁の溶け落ち	

(2) 缶体製作モックアップ試験

溶接施工法試験の結果を受け缶体を製作した。これは本製作において一番条件がきびしい上段遮蔽体中央部を模擬したもので、5.2 項で述べた塗料のスリーブ塗装も含めたモックアップであり、最終的には 5.3 項で述べた鉛鑄込試験缶体及び 5.5 項の重コンクリートに関する試験容器としても使用されたものである。

モックアップ試験結果をまとめると次のとおりである。

[管と管板の溶接について]

- ① ヘリウム漏れが生じた。これは次に述べる諸点を改善することにより避けられる。
- ② 上管板側は、管相互間隔が小さいのと溶接部が管板下であり溶接時に管板の溶け落ちもあり。この部分にパッキンの当り面を作るには工法を変更する必要がある。

- ③ MIG 溶接とTIG 溶接の優劣を決定するには至らない。熱伝導、作業性、肉厚などの相違、ビードの突出均質性、溶接の再現性などを考慮し総合的に検討する必要がある。

〔スリーブの寸法精度等〕

製作上考慮したことは、i) 拾管板を設け、鉛、重コンクリート充填にピッチの精度を保持すること。ii) 上管板、拾管板の管孔は、缶体の溶接完了後に施工し溶接歪の影響を少なくすること。の二点を基本に製作したが総合的には、寸法精度は満足な結果を得られなかった。その要因は、①管外径と管孔内径のクリアランスが大き過ぎた。②管自身の曲り。③鉛及び重コンクリート充填による歪、などであるが、①を重点に本製作施工法を検討し、②はJIS引抜特殊級を十分に留意しその中からできるだけ品質の良いものを選ぶことで改善する。

〔塗装施工法〕

モックアップでは、スリーブ外面にポリアミドイミド (SK6000) , 胴板内面の鉛充填部にエポキシ (アマコート#66) , 重コンクリート充填部は黒ワニス (ビチュラックNo.203) の塗装を実施した。

塗装結果の考察及び対策の概要は次のとおりである。

- ① 塗布された塗料のたれ現象は、雰囲気温度、溶液温度との関係から適切な粘度となるよう希釈率を決めることで解決できる。
- ② 焼付温度が高い程耐食性能が良いことから、300℃程度の雰囲気温度を保持できる乾燥炉を使用する必要がある。(スリーブ材)
- ③ 制御棒スリーブの構造は段付で、2本のスリーブのはめ込み溶接構造としたが、塗装前の処理液がはめ込み部から除去されないおそれがあり、腐食を考えると構造を変更する必要がある。(スリーブ材)
- ④ 塗装後に溶接する箇所をなくすることは不可能なので、この部分は溶接後可能なかぎり塗装し、塗装されない部分を最少限にすること。また、この部分が直接重コンクリートに接触しないように工法全般を検討することが望ましい。(胴部・スリーブ材)
- ⑤ 今回の試験では、塗装のムラが見受けられたが、塗装ムラは防食効果を低下する要因となるので本製作では次の点に留意する必要がある。前処理、下地処理は妥当であるが、処理が完全であることを十分確認し、前処理の取扱いを慎重にして状態を保持する。スリーブを回転しながら均一に塗布し、乾燥炉内でもスリーブを回転させること。塗布後の機械的に生ずるムラを少なくするため管孔の面取り、重コンクリートの充填棒先端を丸くするなどの配慮をすること。
- ⑥ スリーブの外面塗装のための前処理完了時、スリーブ表面に鉄又は鉄化合物の巻込みが見かったがこれらは素材メーカー及び製造メーカーの段階で巻込みするもので皆無にすることは難しい。したがって目視検査を行い必要ならば機械的に除去する。

〔ヘリウムリーク試験〕

真空吹付法、加圧積分法、加圧吸引法の三方法について検討したが、遮蔽体のリークテストは加圧積分法、加圧吸引法が総合的に優れていることが判った。

5.5 重コンクリートに関する試験

(1) 概要

遮蔽材について検討した結果、ガンマ線の遮蔽に対して重コンクリート、中性子の遮蔽に対して重コンクリート中の水素分子の他に中性子吸収混和材を採用することにした。重コンクリートは任意の形状の遮蔽体に施工可能であること及び経済的である等の特徴があり、遮蔽材として中広く使用されているが、JRR-2改修工事の遮蔽構造物の重コンクリート打設方法では以下の点が問題であった。

i) 狭い断面（最少9mm）に比重 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の重コンクリートを均一にしかも確実に打設できるか。

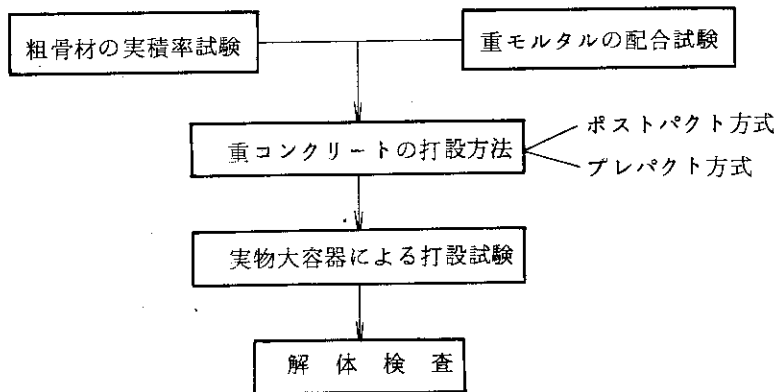
ii) アルミニウム缶体とモルタルの反応はどうか。

重コンクリートに関する試験では、i)の点を解明するため以下に記す実験を行った。

- ① 粗骨材（スチールボール及びスチールショット）がどの程度充填できるか（粗骨材充填実験）
- ② 重モルタルの材料は何にするか（重モルタル基礎実験）
- ③ 重モルタルの調合をどうするか（重モルタル基礎実験）
- ④ 重モルタルの打設方法をどうするか（打設実験）
- ⑤ 実際の容器における打設状況の確認（実物大実験）

実験は基礎的な予備実験ののち、Table 5-4に示す順序で行い、実験結果から、設計条件を十分満足すべき重コンクリートの打設工法を確認した。

Table 5-4 重コンクリートに関する試験



(2) 実験経過

遮蔽材の設計条件は次のとおりである。

- 材令2日のコンクリート比重が $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上
- 中性子吸収混和材をコンクリート重量の1%使用する。

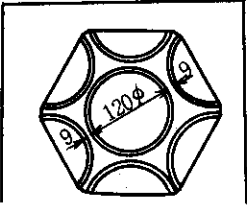
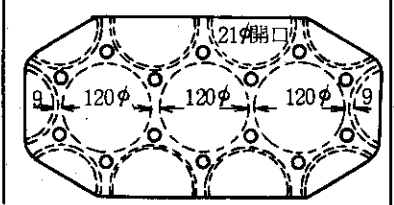
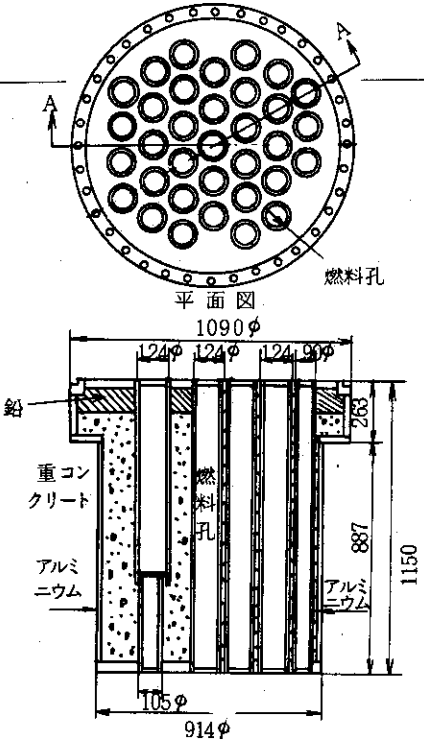
○コンクリートの圧縮強度 : $\sigma_7^{*1)} = 105 \text{ Kg/cm}^2$, $\sigma_{28}^{*2)} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 以上。

実験は次のような順序で行った。

- ① 適当な粗骨材を選定する。
- ② 模型容器に粗骨材がどの程度充填できるかを明らかにして、コンクリート比重の目安を得る。
- ③ 重モルタルの材料及び配合を選定する。
- ④ 重コンクリートの打設方法を検討する。
- ⑤ 実物大容器を用い確認試験を行う。
- ⑥ 実物大容器の内部充填状況及び他（塗装面）への影響を調べる。

使用した模型容器の仕様及び使用材の選定条件を Table 5-5, 5-6 に示す。

Table 5-5 模型容器

小型模型容器	大型模型容器	実物大容器
<p>実際の構造物の燃料孔 1本を内包するように切り出したもので、内部が観察できるようにアクリル製とした。粗骨材の実績率試験及び打設実験の一部に使用。</p>	<p>実際の構造物の燃料孔 3本を内包するように切り出したもので、小型と同様アクリル製とした。上フタに $\phi 21\text{mm}$ の開口を開けて実際の構造物に近い状態で重コンクリートが打設できるようにした。</p>	<p>重コンクリートの打設方法の最終確認実験は実物大容器を用いて行った。図の下面に開口 ($21\phi-48$個, $35\phi-12$個, $75\phi-3$個) があって、ここから重コンクリートの打設を行った。</p>
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">断面形状を示す</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高さ 30 cm ・重量 3.151 Kg ・容積 2.871 ℓ 	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">断面形状を示す</p> <p style="text-align: right;">(単位: mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高さ 60 cm ・重量 13.270 Kg ・容積 13.995 ℓ 	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">A-A 断面図 (単位: mm)</p>

*1) σ_7 ; 材令 7 日

*2) σ_{28} ; 材令 28 日

Table 5-6 使用材の選定条件

セメント	JISR5210 を満足する中庸熟ポルトランドセメントを用いた。														
細骨材	細骨材は、コンクリート比重を大きくするために飯岡産の砂鉄を使用した。砂鉄の試験成績は比重 4.67 g/cm^3 、吸水量 0.4% で、0.3 mm ふるいを 100% 通過するものを用いた。														
中性子吸収混和材	中性子吸収混和材として電気化学工業製のデンカボロンを使用した。粒度は重コンクリート中に均等に分散するように、セメント類似して $44 \sim 88 \mu$ (No S1) とした。ボロンの使用量は設計条件よりコンクリート重量の 1% とし、細骨材の一部として使用した。すなわち、重モルタル 1 m^3 あたり 118 Kg 用いた。														
混和材	混和材はコンケム社製のイントルージョンエイドを使用した。 その使用量はセメント重量の 1.25% とした。														
粗骨材	<p>粗骨材の選定は次のことを考慮して行った。①比重が大きいこと、②充填性がよいこと、③燃料孔スリーブに塗布した防食塗料を損傷しない形状であること、④コンクリートの諸性質に悪影響を及ぼさないこと、⑤経済的であること。</p> <p>上記の条件を満足するものとして、表面加工仕上げの炭素鋼球と表面粗仕上げの炭素鋼球の 2 種類を選定した。便宜上前者を「スチールボール」、後者を「スチールショット」と呼んだ。粗骨材の粒径と比重は下表の通りでありいずれの粗骨材でも、表面に付着した油を完全に除去してから使用した。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>種類 \ 粒径(mm)</th> <th>7.8</th> <th>6.4</th> <th>3.15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スチールボール</td> <td>7.76 g/cm^3</td> <td>7.78 g/cm^3</td> <td>7.66 g/cm^3</td> </tr> <tr> <td>スチールショット</td> <td>7.82 "</td> <td>7.55 "</td> <td>7.69 "</td> </tr> </tbody> </table>			種類 \ 粒径(mm)	7.8	6.4	3.15	スチールボール	7.76 g/cm^3	7.78 g/cm^3	7.66 g/cm^3	スチールショット	7.82 "	7.55 "	7.69 "
種類 \ 粒径(mm)	7.8	6.4	3.15												
スチールボール	7.76 g/cm^3	7.78 g/cm^3	7.66 g/cm^3												
スチールショット	7.82 "	7.55 "	7.69 "												

(3) 実験結果

〔粗骨材充填実験〕

粗骨材として表面加工仕上げの炭素鋼球（スチールボールと呼ぶ）表面粗仕上げの炭素鋼球（スチールショットと呼ぶ）の二種を選び粒径 7.8mm, 6.4mm, 3.15mm の三種類を選定して実験し、JISA1104 規定の実績率測定用容器、小型模型容器（Table 5-5 に示す）の二種の容器で充填実験を行った。

実験は次の 5 因子についての組合せで実績率を求めた。

- ① 粗骨材の種類 - スチールボール, スチールショット
- ② 充填方法 - 自由落下法, 棒突き方法
- ③ 粗骨材の粒径 - 7.8mm, 6.4mm, 3.15mm
- ④ 容器の種類 - 実績率測定用容器, 小型模型容器
- ⑤ 2 種の粒径の粗骨材を混合した場合。

実験の結果を総括すると次のとおりである。

粗骨材の種類

Fig. 5-2, 5-3に示すように、スチールボールとスチールショットの実績率には、ほとんど差がなく、又充填方法が異っても実績率は大差がなかった。すなわち炭素鋼球の表面加工の程度の差が実績率に及ぼす影響はきわめて少ないと考えられる。

粒径による実績率の相違

粒径が実績率に及ぼす影響は大きく、粗骨材の粒径を7.8mmから3.15mmに変えると実績率は52%から62%の範囲で異った。特に、小型模型容器の場合は、その影響が著しかった。これは粒径が大きくなるにつれて側壁及び上、下面の影響が大きくなって実績率が減少すると考えられる。

小型模型容器に粒径7.8mmの炭素鋼球を充填した場合には、その充填率が51.6から54%（約53%）であることがわかった。

容器による実績率の相違

粗骨材の種類、充填方法及び粒径にかかわらず、小型模型容器の場合には、実績率測定容器の場合よりも実績率が0.2～5.9%小さくなった。両容器の実績率の差を求めると粒径が大きくなるにつれて実績率の差が増大し、その割合は0.87(%/mm)であった。このように、容器によって実績率が異なるのは、容器の断面形状が異なるためと考えられる。

粒径が異なる粗骨材を混合した場合

2種の粒径（7.8mmと6.4mm）の粗骨材を混合しても実績率はそれほど大きくならなかった。また、小型模型容器の場合には2種の粒径の粗骨材を混合しても小粒径の粗骨材のみの実績率を上まわらないことから、以下の実験及び打設実験では単一粒径の粗骨材を使用することにした。

〔重モルタル基礎実験〕

重コンクリート比重の設計値は、材令2日で 5.0g/cm^3 以上であるが、コンクリートは打設後に比重が減少するために、打設直後の比重をその減少分だけ大きくする必要があり、経験値から0.21とかなり安全側に設定した。つまり打設直後のコンクリート比重の目標値を 5.21g/cm^3 とした。

打設直後のコンクリート比重が 5.21g/cm^3 以上となるような重モルタルの比重を計算すると次のようになる。粗骨材は粒径7.8mmのスチールボールを使用する。

$$\rho_m = \frac{\rho_c - \rho_g \cdot x}{1 - x} = \frac{5.21 - 7.76 \times 0.53}{1 - 0.53} = 2.34 (\text{g/cm}^3)$$

ただし、 ρ_c : コンクリートの比重

ρ_m : モルタルの比重

ρ_g : 粗骨材の比重

x : 粗骨材の実績率/100

重モルタルのフロー値は充填容器が断面が狭く複雑なため流動しやすいように 17 ± 2 秒といくぶん小さく設定した。

* 重モルタルのコンシステンシー試験は、土木学会基準 H-III, 1 建築学会 JASS5T-701a に示されているPロートを用いて行った。その流下時間をフロー値と呼んだ。

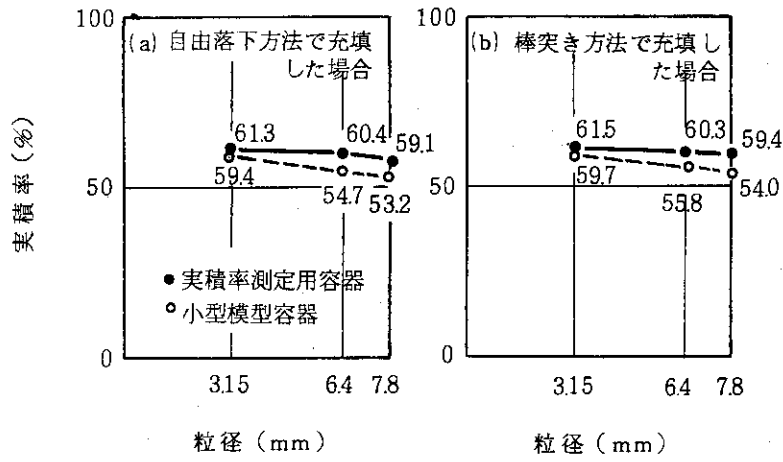


Fig. 5 - 2 スチールボールの実積率

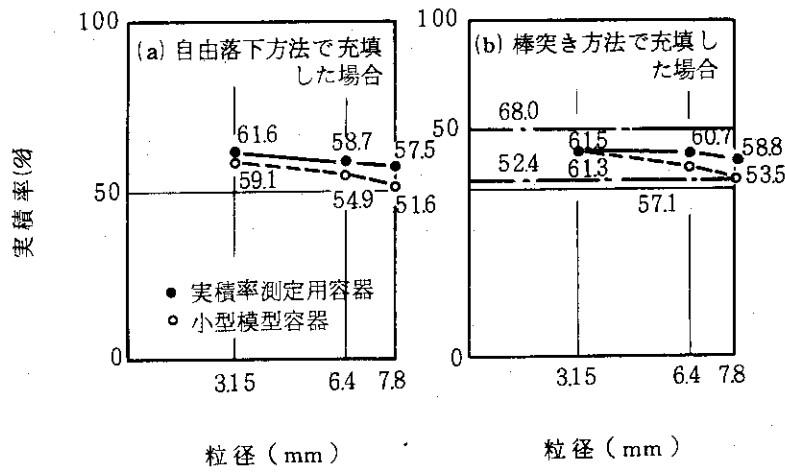


Fig. 5 - 3 スチールショットの実積率

従って、練りませ直後の比重 2.34 g/cm^3 以上、フロー値 17 ± 2 秒となるような重モルタルを選定した。試験練りの結果から Table 5-7 に示す配合であればこれを満足することができることがわかった。(フロー値 17.5 秒, 直後の比重 2.42 g/cm^3)

Table 5-7 重モルタルの配合

W/C (%)	C: (S+B)	I.A/C (%)	単 位 量 (Kg)				
			C	S	B	W	I.A
49	1 : 1.2	1.25	913	977	118	448	11.42

注) B=ボロン, I.A=混和剤

Table 5-8 ボロンが重モルタルの諸性質に及ぼす影響

ボ ロ ン		混入しない場合	混入した場合	
モルタルの配合	W/C (%)	49	49	
	C: (S+B)	1: 1.3 ¹⁾	1: 1.2	
	I.A/C (%)	1.25	1.25	
フ ロ ー 値 (sec)		13.8	19.0	
3 時 間 後 の 膨 張 率 (%)		6.2	6.1	
3 時 間 後 の プ リ ー ジ ン グ 率 (%)		3.7	3.0	
凝 結 ²⁾	始 発 (時-分)	9-32	8-47	
	終 結 (時-分)	12-05	10-52	
比 重	練りませ直後	2.53	2.43	
	脱型時 (材令 2 日)	2.44	2.34	
圧縮強度 (Kg/cm ²)	水 中 養 生	材令 7 日	152	151
		材令 28 日	298	233

注 1) ボロンと砂鉄の比重が異なるために重量比が異った。

2) 凝結時間は JIS R5201 に示されているビーカ針で試験した。

20±2°C, R.H. 60% の室内で行った。

次に、設計条件としてボロンをコンクリート重量の 1% 混入するので、ボロンが重モルタルの諸性質に及ぼす影響を検討した結果、Table 5-7 に示す重モルタルの配合でボロンを混入したものとししないものについて練りませ試験を行った。その結果を Table 5-8 に示す。試験結果からボロンの混入が重モルタルの諸性質に及ぼす影響が大きいことがわかった。このことは施工上の注意として、とくに練りおき時間を短縮すること、つまり作業時間の短縮を考慮する必要があることがわかった。

〔重コンクリートの打設実験〕

コンクリートの打設方法として次の 4 方法が考えられる。

- ① セメント、水、細・粗骨材と練りませて打設する方法。(普通コンクリート方式)
- ② 粗骨材を投入した後に、予め設置してある注入管からモルタルを注入する方法。(プレバ

Table 5-9 打設方法の実験内容

	ポストパクト方式	プレパクト方式																																
粗骨材の粒径がコンクリート比重に及ぼす影響	(実積率測定容器による)																																	
	粗骨材の粒径とコンクリート比重との関係 (ポストパクト方式による)																																	
	バッチ No	モルタル 比重	コンクリート比重 3.15mm 6.4mm 7.8mm																															
	1	2.43	5.57 5.65 5.60																															
	2	2.42	5.55 5.59 5.64																															
	3	2.42	5.63 5.65 5.61																															
	平均	2.42	5.58 0.63 5.62																															
	標準偏差	0.007	0.042 0.034 0.021																															
	① 実積率 (%)		60.3 59.9 59.3																															
	② Fig.5-3(b)に示した実積率 (%)		61.5 60.3 59.3																															
	② - ① (%)	1.2 0.4 0.1																																
小型模型容器	<ul style="list-style-type: none"> 3層に分けて各層突き固め回数 60回 打設直後のコンクリート比重 5.28 粗骨材の実積率(計算) 53% (結果) 狭い断面でも粗骨材がよく充填されている。 	<ul style="list-style-type: none"> (実験方法) 粗骨材充填→重量モルタルを1.7mのヘッド差(0.42 Kg/cm²)で注入 (試験結果) プレパクト方式の試験結果 <table border="1"> <thead> <tr> <th>粗骨材の粒径 (mm)</th> <th colspan="2">7.8</th> <th>6.4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フロー値 (sec)</td> <td>17.0</td> <td>296</td> <td>16.5</td> </tr> <tr> <td>練り上り温度 (°C)</td> <td>8.2</td> <td>8.2</td> <td>14.5</td> </tr> <tr> <td>モルタル比重</td> <td>2.52</td> <td>2.52</td> <td>2.52</td> </tr> <tr> <td>コンクリート比重</td> <td>5.42</td> <td>-</td> <td>5.71</td> </tr> <tr> <td>注入前の実積率¹⁾ (%)</td> <td>51.7</td> <td>51.3</td> <td>54.1</td> </tr> <tr> <td>注入後の実積率²⁾ (%)</td> <td>54.7</td> <td>-</td> <td>60.2</td> </tr> <tr> <td>修正したモルタル比重³⁾</td> <td>5.34</td> <td>-</td> <td>5.33</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1) 重量モルタル注入前の実積率である。 2) モルタル比重とコンクリート比重から計算した実積率である。 3) ボロンを混入したモルタル比重=2.42と注入後の実積率とから計算したモルタル比重である。</p> <ul style="list-style-type: none"> (結果) コンクリート比重の面で有利であるが重量モルタルのフロー値の管理を厳しくする必要有り。粗骨材は7.8mmが適当である。 	粗骨材の粒径 (mm)	7.8		6.4	フロー値 (sec)	17.0	296	16.5	練り上り温度 (°C)	8.2	8.2	14.5	モルタル比重	2.52	2.52	2.52	コンクリート比重	5.42	-	5.71	注入前の実積率 ¹⁾ (%)	51.7	51.3	54.1	注入後の実積率 ²⁾ (%)	54.7	-	60.2	修正したモルタル比重 ³⁾	5.34	-	5.33
	粗骨材の粒径 (mm)	7.8		6.4																														
	フロー値 (sec)	17.0	296	16.5																														
	練り上り温度 (°C)	8.2	8.2	14.5																														
	モルタル比重	2.52	2.52	2.52																														
	コンクリート比重	5.42	-	5.71																														
	注入前の実積率 ¹⁾ (%)	51.7	51.3	54.1																														
	注入後の実積率 ²⁾ (%)	54.7	-	60.2																														
	修正したモルタル比重 ³⁾	5.34	-	5.33																														
	大型模型容器	<ul style="list-style-type: none"> (実験方法) 高さ60cmを3層に分け各層の突き固め回数約150回 (試験結果) (i) コンクリート比重 : 5.28 (ii) 粗骨材 : 53.1% で均一で確実な方法である。 	<ul style="list-style-type: none"> (実験方法) 容器に注入管設置→粗骨材7.8mm投入→各層150回突き固め→ヘッド差2.35mm(0.57 Kg/cm²)で重量モルタル注入 (試験結果) (i) 比重 : 5.35 注入管の配置注入圧力の注意が必要。 																															

クト方式)

③ 粗骨材を投入した後に、上面からモルタルを注ぎ込む方法。

④ モルタルを充填した後に、粗骨材を投入する方法。(手詰め方式…ポストパクト方式)

製作する遮蔽体は断面が狭く複雑でかつ投入口が小さく、①の方法では実用上不可能であり、コンクリート打設後に粗骨材の沈下のため均等質な打設結果が得られない。また、③の方法では比重が増大するが粗骨材の上面から、その間隙を完全にモルタルで満たすことは困難である。従って、本実験では②、③の方法が缶体、スリーブと粗骨材の間隙に重モルタルが付着するので耐食上よいことも含めて両者をその対象とした。

Table 5-9 に両者の実験内容を示す。Table 5-10 に実験の範囲内で両者の比較を示す。この結果から両者とも、目標比重 5.21 g/cm^3 以上の重コンクリートを打設できることがわかったが、総合判断としてポストパクト方式の方が製作する遮蔽体に適した重コンクリート打設方法と考え採用することにした。

Table 5-10 プレパクト方式とポストパクト方式の比較

項 目	プレパクト方式	ポストパクト方式
打設直後のコンクリート 比 重	5.35	5.28
粗 骨 材 の 実 績 率	54.4 %	53.1 %
重モルタルの注入性	綿密な計画が必要	良
フ ロ - 値 の 管 理	厳密に必要	それ程必要でない
コンクリート打設の確認	打上り面のみ	各段階で可能
仮 設 の 規 模	大	小
施 工 上 の 問 題 点	モルタルの注入	粗骨材の突固め

〔実物大容器による確認試験〕

これまでの実験結果から 5.4 項で製作した実物大容器によってポストパクト方式の確認試験を行った。Table 5-11 に打設作業のフローチャート、Fig. 5-4 に打設作業状況を示す。重モルタルの配合は Table 5-7 に示すものとし、粗骨材は粒径 7.8mm のスチールボールを使用した。重コンクリートの打設方法はポストパクト方式で高さ 1m を三層に分けて行うよう計画し実施した。(Table 5-5 の図参照)

- ① 容器に打設した重コンクリートの比重管理をどうするか。
- ② 重コンクリートの打設計画をどうするか。
- ③ 作業性はどの程度か。
- ④ 充填性はどの程度か。

容器に打設した重コンクリートの比重管理方法は三層に分けた各層ごとに、また各ブロックごとに投入した重モルタル及び粗骨材の量を計画して実打設量を求め、次式のようにして打設直後の比重を求めた。

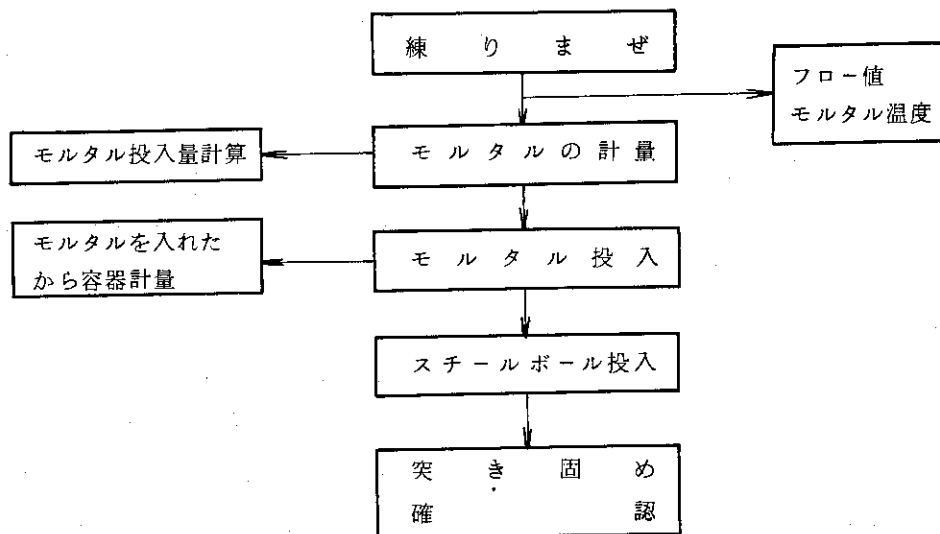
$$\frac{\text{実打設 (重モルタル+粗骨材)}}{\text{容 積}} = \frac{252.1 + 914.9}{223} = 5.23 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

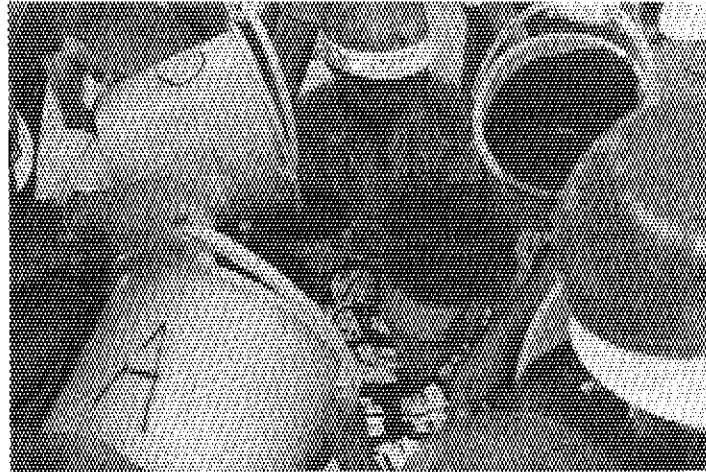
すなわち、実物不容器でも打設直後の目標比重 5.21g/cm^3 以上の重コンクリートが打設できた。これは先の重コンクリート打設実験の項で述べた大型模型容器の比重 5.28g/cm^3 より 0.05 小さい値であったが、複雑な容器に対してこのような比重で打設できたことは特記すべきことで、ポストパクト方式の実用性が確められた。

作業性について総合判断すると、打設計画を綿密に立てておけばかなり能率よく所要の重コンクリートが打設できる。(Table 5-1 参照) 充填性については、重コンクリートが硬化した後に実物大容器の一部を解体して確認した結果、Fig. 5-5 に示すように容器の拡大部を除いてはコンクリートの均一性は全体として良好であり、燃料孔スリーブの外周部もモルタルが十分充填され均一な打設を得た。また燃料孔スリーブの塗料面に突き棒によると思われる若干の傷が見られたが突き棒の改善によって解決できる。

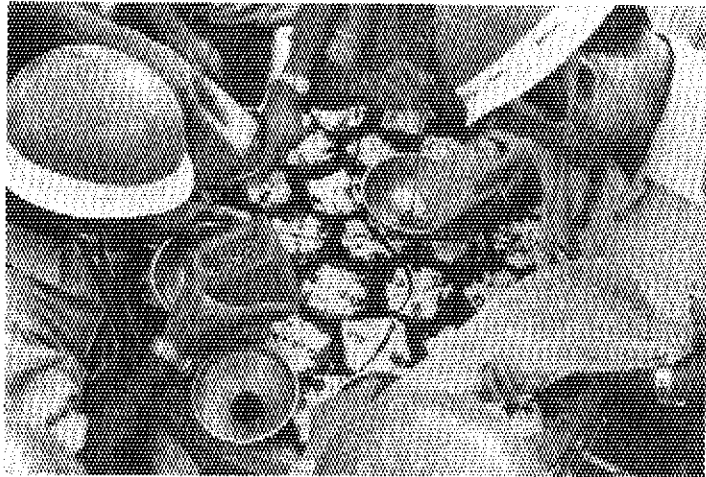
これらの結果から、ポストパクト方式によって、均一で確実な重コンクリートを打設できることが確かめられ、実際に遮蔽体に充填する場合の工法の細目について改善すべき点等も明らかになった。

Table 5-11 打設作業フローチャート

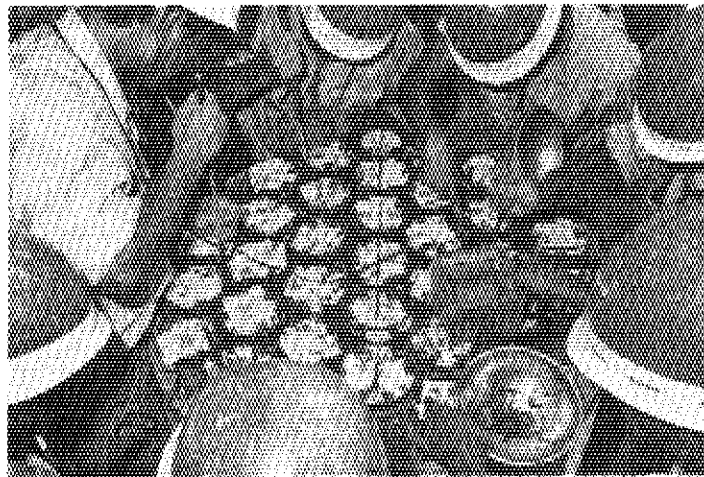




(a) 重量モルタルの投入作業

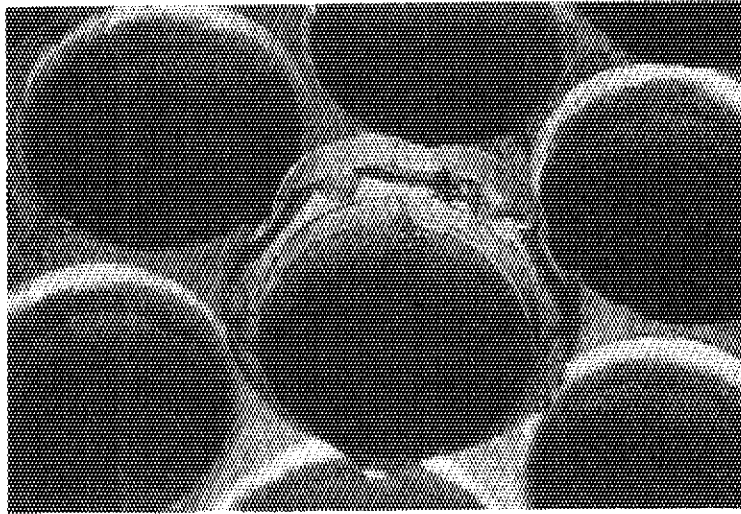


(b) 粗骨材の投入作業



(c) 突固め作業

Fig. 5 - 4 実物大容器による打設作業



(a) 燃料孔周辺の充填状況



(b) 拡大部の充填状況

Fig. 5 - 5 充填状況

6. 炉体解体工事

6.1 概要

炉体の解体は、昭和48年12月に炉を休止し、約5ヶ月間冷却後まず制御棒装置及び垂直孔シンプルを撤去した。遮蔽体の撤去作業はさらに7ヶ月冷却してから撤去した。

これらの作業は、廃棄作業を除いて昭和40年、昭和43年に実施した重水漏洩防止の補修工事と同じような内容であるため、これらの経験を生かし作業マニュアルを作成し、これに基づいて行った。

その要領は、遠隔作業が中心となる。このためリハーサルを十分に行なうと共に、線量評価 (APPENDIX-III 参照) は線量測定にもとづき、その結果を作業方法に反映させるとともに、鉛遮蔽材などを十分準備し、 γ 線による外部被曝防止処置を行った。また、内部被曝防止処置としては、排気系への吸引、ビニールシートのおおい、エアーラインスーツの着用などを作業に応じて採用した。

解体の順序は、①制御棒用水平駆動軸、実験孔シンプル・プラグの取出し、②上、下段プラグの取出し準備 (諸器材の準備、線量率測定、リハーサル)、③上段プラグの取出し、④下段プラグの取出し、⑤重水タンク及びサポートリング上面の遮蔽の順になった。

このうち、廃棄するものについては、廃棄用容器を準備し廃棄物処理場に運搬し保管廃棄した。Table 6-1 に解体したものの品名、使用した輸送キャスク類及び保管場所を示す。

Fig. 6-1 ~ Fig. 6-7 にこれらの作業を示す。

6.2 垂直孔シンプル・制御棒類の取出し廃棄作業

(1) VT-1 シンプルの取出し作業 (49.5・7)

VT-1 照射孔の上 (炉頂面) に VT-1 孔用キャスクをセットし、キャスクの中にシンプルを吊り上げ、キャスクの上に設置した特殊パイプカッター (遠隔操作可) でシンプルを切断して、下端部約 700mm をキャスクに収納し、上部は垂直孔用プラグストレージピットに一時保管、その後廃棄物容器に入れ原研内の廃棄物処理場に保管廃棄した。

キャスク内に入れた VT-1 シンプル先端部は材料試験のためホットラボへ搬出した。

(2) 制御棒廃棄・水平駆動軸の取出し・廃棄 (49.5・8 ~ 5・22)

制御棒垂直部、デスクネクト及び水平駆動軸各々 6 本については十分なりハーサルの後に慎重に作業を進めた。制御棒垂直部は廃棄用キャスクを用い 1 本抜き取るごとに廃棄物処理場に保管廃棄した。また水平駆動軸も挿入位置の関連で遮蔽材の使用が困難であったがクレーン及び作業者の遠隔操作によって専用の廃棄容器に収納し廃棄物処理場に保管廃棄した。水平駆動軸の先端部での線量率は最高 110R/h であった。

この作業での放射線被曝線量は全被曝線量 282marn-mrem, 平均 8.0 mrem/man であった。

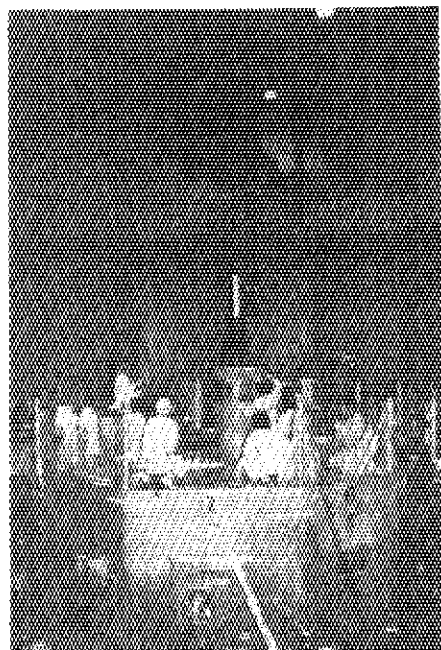


Fig. 6 - 1 制御棒垂直部の取出し

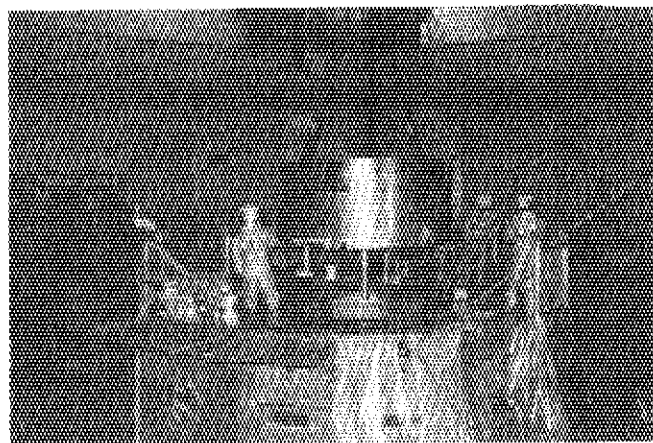


Fig. 6 - 2 上段プラグの取出し

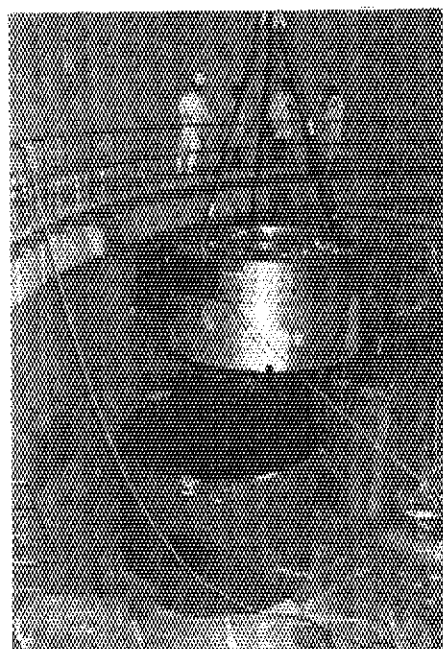


Fig. 6 - 3 下段プラグ取出しリハーサル
(上段プラグ使用)

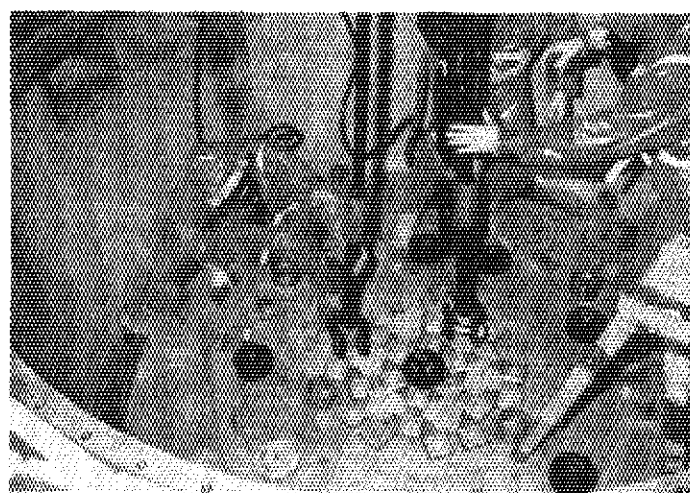


Fig. 6 - 4 下段プラグ吊上準備

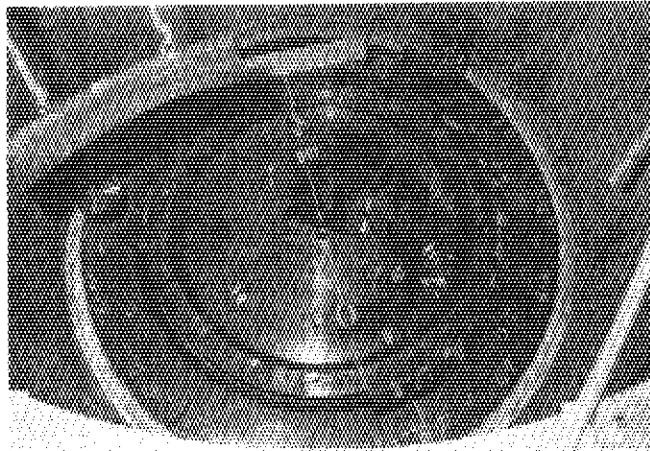


Fig. 6 - 5 支持リングの遮蔽

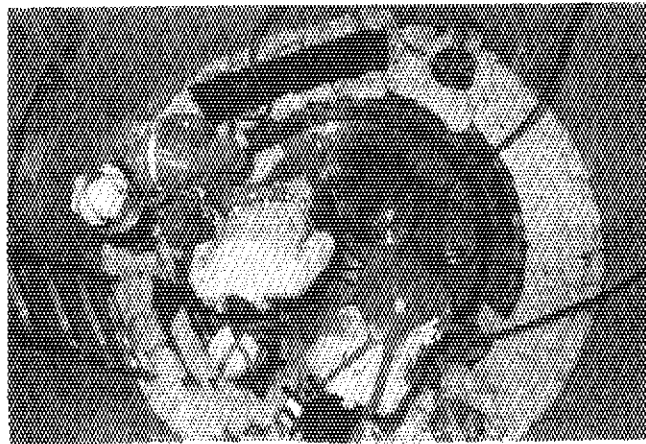


Fig. 6 - 6 支持リング遮蔽材の補強



Fig. 6 - 7 重水タンクボルト (36本) の交換作業

(3) 垂直実験孔シンプル・プラグの廃棄作業 (49.5・27 ~ 5・28)

垂直実験孔シンプル 12 本, 遮蔽プラグ 13 本 (シンプル, プラグ共 SF プールストレージに保管されていたものを含む) を製作した専用廃棄容器に収納し廃棄物処理場に保管廃棄した。

作業はクレーン及び作業者の遠隔操作によって行い, 作業者の被曝線量は最大 6 mrem/man, 平均 4 mrem/man であった。

6.3 上・下段プラグの取出し廃棄作業

上・下段プラグの取出し作業は高放射線量及び重量物 (各々約 25 トン前後) であり, 取出しリハーサルを行ってから慎重に実施した。主な作業は廃棄用容器の設置を含め炉室内の整理から始まり, 上・下段プラグの取出し, 重水タンク, サポートリング上の遮蔽材の設置, 内周ボルト (36 本) の交換, そして上・下段遮蔽体の廃棄作業を最後に昭和 50 年 1 月末に全作業を終えた。これらの作業の期間は約 2 ヶ月間を要した。作業者の被曝線量は合計 550 man-mrem (ポケットチェンバ), 平均 21 mrem/man, 最大被曝線量 59 mrem/man で計画最大被曝線量 100 mrem/man より十分低い値で作業を終了した。

(1) 準備作業

主な作業項目は次のとおりである。

- ① 上下段プラグ廃棄容器の搬入, 設置, 手直し
- ② サポートリング上部, 重水タンク上部に設置する遮蔽材の点検及び設置リハーサル (1/4 モックアップ使用)
- ③ ガイドボス (3 箇所) 取外しのリハーサル
- ④ ロータリープラグ駆動装置の撤去
- ⑤ フロックマン・スーツの準備及び着用リハーサル
- ⑥ 上段プラグ取出し準備
- ⑦ 下段プラグ取出しリハーサル (上段プラグによる)

(2) 上段プラグ取出し (49・12・4)

シール・リング等の付属部品を撤去した後, クレーンにて下段プラグを吊り上げ炉心位置から移動させ下段プラグ上面をビニールシートで目張りし, トリチウムの飛散防止をはかった。

次に吊り上げた上段プラグをダミーとして, より放射線量の高い下段プラグ取出しのリハーサルを行った。その内容は下段プラグの廃棄容器位置, クレーンの合せ位置等の確認と遠隔操作の習熟のために行ったもので, これらの作業者は内部被曝防止のためフロックマン・スーツを着用して行った。

(3) 下段プラグ取出し (49・12・5)

非常冷却用配管等の取外し後, 下段プラグの吊り上げを行った。吊り上げ時にはクレーン・マン (1 名) 及び放管員 (1 名) をクレーンガータ上に配置し他は制御室等での遠隔監視を行った。垂直吊上げ高さ, クレーンの横行, 旋回位置についてはターゲットによる合せを用いて行った。

下段プラグ先端部のガイドアレーで最高 15 R/h で炉心より約 13m はなれた制御室の窓面で放射線量率 8 mR/h であった。作業は取出し準備を含め約 1 時間を要した。

(4) 重水タンク，サポートリング上面の遮蔽作業（49・12・5）

下段プラグ取出し後の放射線量率は重水面及びサポートリング上の3箇所のガイドボス表面で各々5～6R/h，また，炉頂作業者の位置で700mR/hであり，空気中のトリチウム濃度は約 10^{-4} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ であった。重水タンク上に鉛遮蔽体を設置後，順次ガイドボス等の高放射線源を遮蔽鉛で覆った後全面にわたって遮蔽材を設置した。（鉛重量約8tonで各作業に対応し80分割出来る遮蔽ブロック）

必要な部分については補強のために袋入の鉛球で追加遮蔽を行った。遮蔽後の重水タンク中心位置の線量率は10mR/hであった。この作業では作業者全員が内部被曝防止のためフログマン・スーツを着用し，この作業の所要時間は約4時間であった。（APPENDIX-III，図III-4～図III-8参照）

Table 6-1 解体部品の運搬及び保管場所

廃棄物の名称	個数	表面線量 (主な核種)	収納キャスク	キャスク 表面線量	運搬車輛など	廃棄保管場所	備考
○ VT-1 プラゲ シンブル ○ VT-2~9 プラゲ シンブル ○ その他廃材含む	1 1 10 11 1	50mR/h Max 20 R/h Max 40 mR/h Max 8 R/h Max 10 R/h (⁶⁰ Co-5mCi)	VT 廃棄容器 ○ 17.5トン ○ 1368口×4593L×9t ○ SS-41, 鉛100重コン ○ 収納後溶接密封	(Max 40mR/h) 10mR/h	20 トントレーラ 60, 20トントレーラ 10 トントラック フォークリフト (注) 道路必要箇所は 6m×1.8m×20mm 鉄板補強	廃棄物処理場 L型ピット (S49・8・6)	(注) VT-1シン ブル先端は材料 試験のためホッ トラボラトリに 搬出
○ 制御棒 水平駆動軸 DS-1 DS-2 DS-3 DS-4 DS-5 DS-6	1 1 1 1 1 1	(R/h) Max 32 Max 40 Max 24 Max 24 Max 110 Max 80 (⁶⁰ Co-16mCi)	水平軸廃棄容器 ○ 6トン ○ 9120D×3035L×6t ○ SS-41重コン(2000) ○ 収納後溶接密封	(Max 40mR/h) 13mR/h	○ VT 廃棄容器は 20トントレーラ ・水平軸廃棄容器は 10トントラック	同 上	
○ 制御棒 垂直部 CR-9 CR-10 CR-6 CR-8 V-18 CR-7 V-17 V-15 V-13	1 1 1 1 1 1 1 1 1	(Max) (R/h) 2.6 × 10 ⁻³ " " 4.8 × 10 ⁻³ 1.55 × 10 ⁻³ 7.7 × 10 ⁻³ 4.3 × 10 ⁻³ 4.2 × 10 ⁻³ 5.3 × 10 ⁻³ 9 × 10 ⁻³	制御棒運搬キャスク (VT-1キャスク使用) ○ 約5トン ○ 670OD×180LD×約2000 ^t ○ 鉛230t	(Max) 4R/h 3mR/h	フォークリフト 15トントレーラ	廃棄物処理場 B型ストレージ (S49.5.16.-3本) (S49.5.17.-2本) (S49.5.22.-4本)	
○ 上段プラゲ	1	0.3mR/h (⁶⁰ Co-1mCi以下)	上段プラゲ廃棄容器 ○ 1.6トン ○ 2708 ^{OD} ×1328 ^H ×9t ○ SS-41 ○ 収納後溶接密封	0.07mR/h	30トントレーラ 60, 20トントレーラ (注) 道路必要箇所 鉄板補強	廃棄物処理場 L型廃棄施設 (S50・1・27~29)	

Table 6-1 解体部品の運搬及び保管場所

廃棄物の名称	個数	表面線量 (主な核種)	収納キャスク 輸送キャスク	キャスク 表面線量	運搬車輛など	廃棄保管場所	備考
<ul style="list-style-type: none"> 下段プラグ及び案内管集合体下部プラグ, スペーサ 	1 各24	Max 15 R/h — ^{60}Co -1000 mCi)	<ul style="list-style-type: none"> 下段プラグ廃棄容器 3.4 トン 2705 O.D. \times 2004 H \times 9 t SS-41, 鉛 30, 50 収納後溶接密封 	$\left(\begin{array}{l} \text{Max} \\ 60\text{mR/h} \\ 20\sim 30 \\ \text{mR/h} \end{array} \right)$	上段プラグ廃棄容器に準ずる。	廃棄物処理場 D型廃棄施設 (S50・1・27 ~ 29)	
<ul style="list-style-type: none"> ガイドボス 取付ボルト ロックピン 	3組 18本 6本	Max 15 R/h — —	<ul style="list-style-type: none"> 高放射能廃棄容器 (ホットラボラトリ所有品) 約 5 トン 728 O.D. \times 350 I.D. \times 1469 L 鉛厚 175 t カートリッジのみ廃棄 	0.06mR/h	フォークリフト	— (S49・12・9 ~ 10)	
<ul style="list-style-type: none"> 内周ボルト 	36本	15 R/h — ^{60}Co -1000mCi)	<ul style="list-style-type: none"> キャスク (ホットラボラトリ所有品) 1.3 トン 500 O.D. \times 200 I.D. \times 670 L 鉛 200 t カートリッジのみ廃棄 	15mR/h	フォークリフト	—	ホットラボラトリに搬入し他の廃棄物とともに廃棄された。
<ul style="list-style-type: none"> He系撤去配管 	1式	< 10mR/h ^{60}Co - ^3H - 50mCi	<ul style="list-style-type: none"> 専用廃棄容器 2.5 トン (内容物含む) 1000 L \times 3000 L \times 45t (アングル補強) サンプリングバルブ付密封容器 	4mR/h	トラック	廃棄物処理場 L型廃棄施設 (S49・12・9)	

7. 製作及び現地据付工事

7.1 概要

新造の炉心上部遮蔽体は、工場では部材加工、溶接組立、鉛充填、重コンクリートの打設、洗浄の手順で製作し、寸法、重量、気密試験及び仮組立検査などに合格後現地に搬入し据付組立を行った。

据付工事は、高放射線量下での作業を伴うために工事計画の上で特に次の点に留意して行った。

- ① 溶接、据付、組立、検査の各作業における工法の確立、手順の最適化と作業マニュアルの作成。
- ② 放射線被曝防止対策として放射線量評価を十分に行うとともに手順の再確認と徹底、遮蔽材の準備、安全教育の徹底など。

遮蔽体の据付けは昭和 年3月から開始し、6月末完了する予定であったが、遮蔽体類の製作期間の石油ショックの影響による材料入手難、アルミニウム溶接加工の施工確認試験の追加で約3ヶ月遅れ、完成は9月9日であった。放射線被曝防止対策に必要な遮蔽治具の準備及び炉内寸法測定結果を機械加工へ反映させるため、一連の据付工事は、①炉頂盤の据付け、②炉内穴埋め、③下段環状遮蔽体の据付及び立上りシールの溶接、④下段中央、上段遮蔽体据付工事の4期に分けて実施した。Fig.7-1からFig.7-9に据付工事の写真を示す。

7.2 工場製作と検査

(1) 工場製作

炉心上部に挿入する遮蔽体及びその他の部品、プラグ類は工場製作・検査の後現地に搬入し組立を行った。

炉頂盤工事は部材を現地においてすべて合せ加工し溶接で既設炉頂に取付け、その後コンクリートを充填してさらに上板を溶接する方法で行った。

すでに述べたように製作にあたって問題になる部分の施工法については、確認試験を行って十分本製作に反映させた。次項で述べるように遮蔽体類は製作の最終段階で工場において仮組立を行い、各々の取合せ及び組合せの精度等を確認した。

洗浄、梱包等も炉内挿入までその清浄度を保つよう配慮した。(Table 2-1に工場内製作の経過を示している)

(2) 試験・検査

各構成品の製造過程でTable 7-1に示すような検査項目は、メーカーの社内検査及び関係官庁の検査を含め適宜に行った。ここでは製作にあたっての主な検査について述べる。

〔X線検査〕

アルミニウム溶接の突合わせ部は、X線検査を実施した。特に、立上りシールの部材の製作に

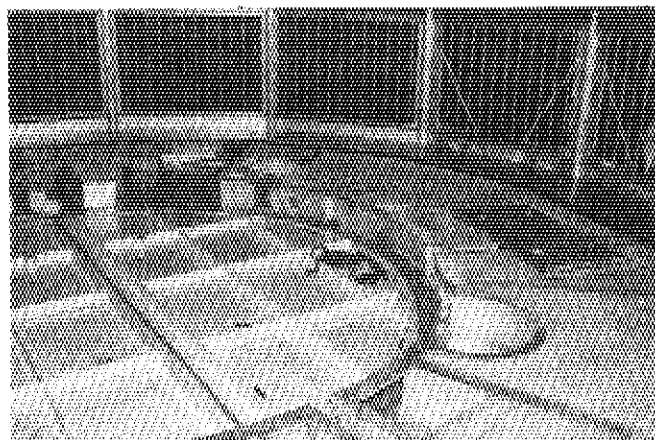


Fig. 7 - 1 新設の炉頂線（コンクリート充填後）と手摺

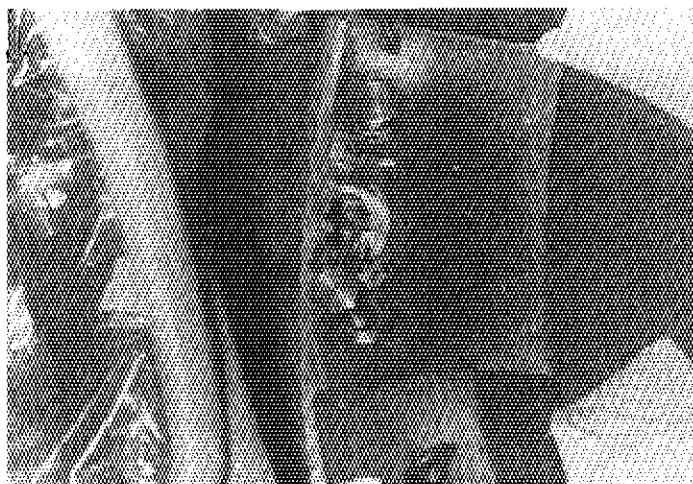


Fig. 7 - 2 ドレン孔穴埋め溶接の状態（遮蔽と作業用を兼用できる治具を使用した）

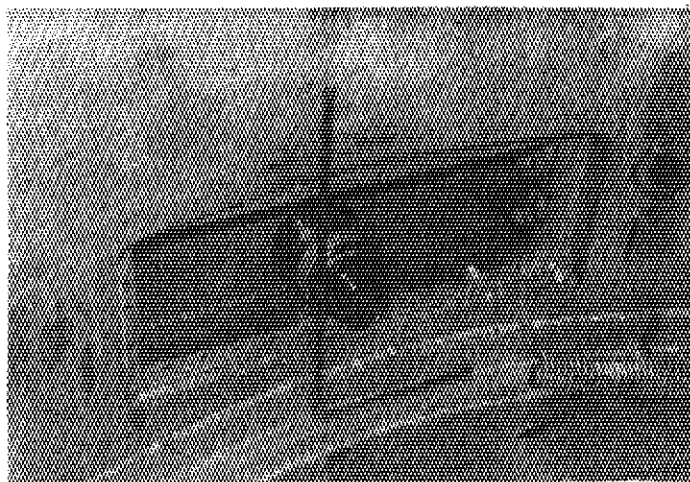


Fig. 7 - 3 ヘリウム配管継込み口の改造

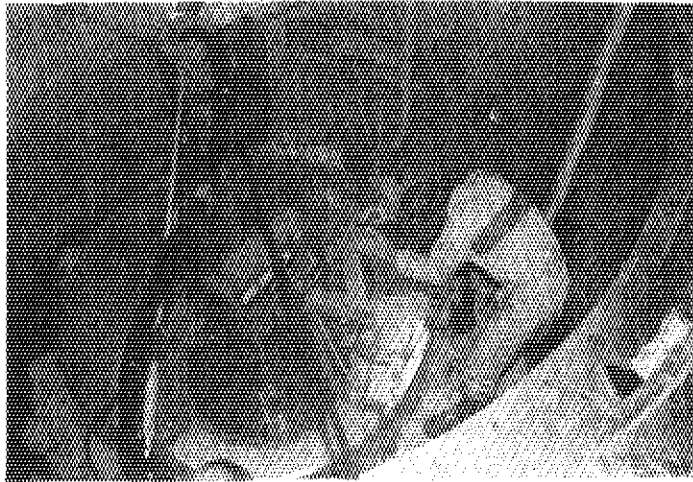


Fig. 7 - 4 立上リシールフランジ部 (①) の溶接

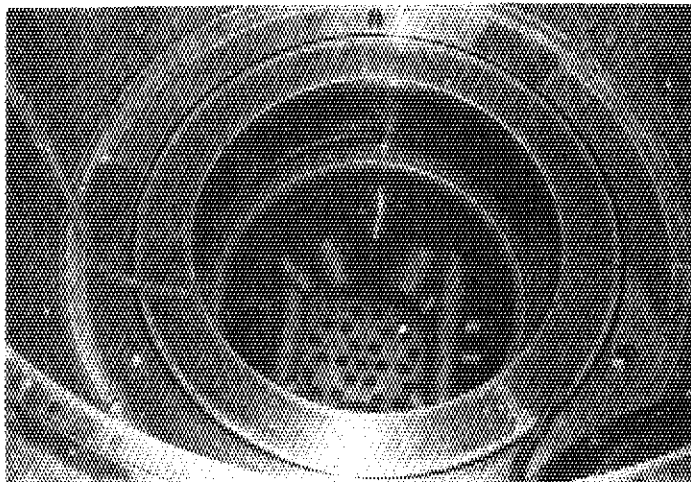


Fig. 7 - 5 立上リシール設置後の炉心部の状態
(グリッドノズル及び水平実験孔サンプル等が見える)

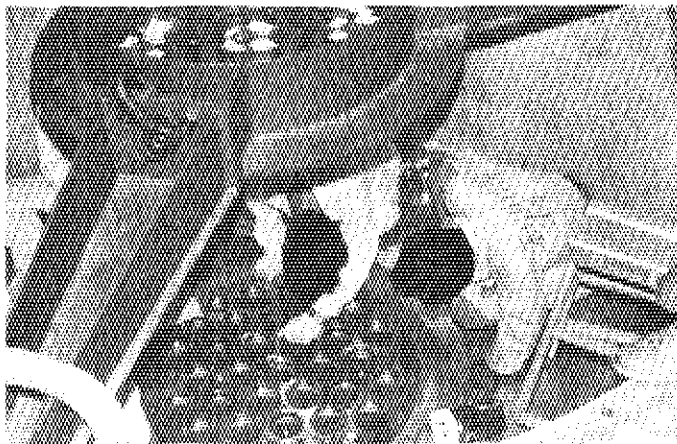


Fig. 7 - 6 下段中央遮蔽体の仮据付作業

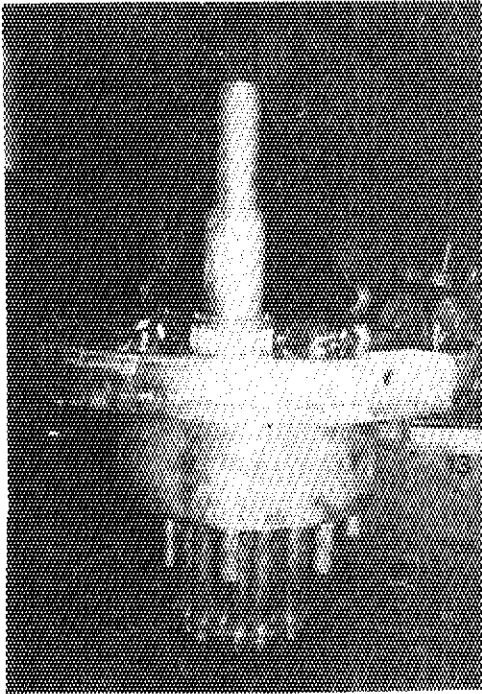


Fig. 7-7 下段中央遮蔽体の据付作業

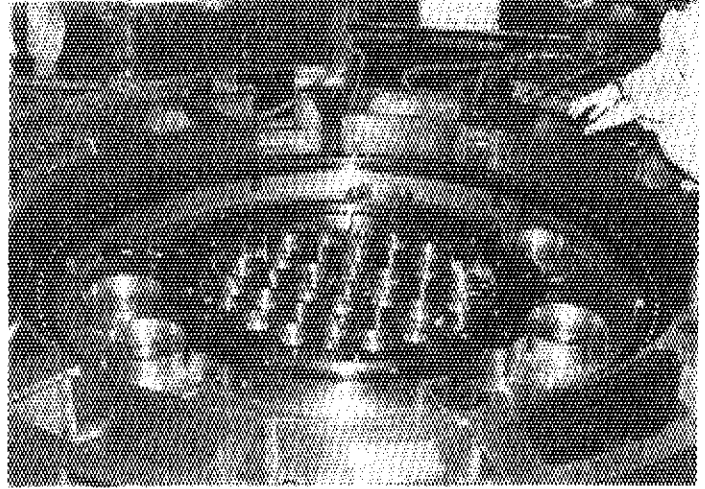


Fig. 7-8 上段遮蔽体の据付

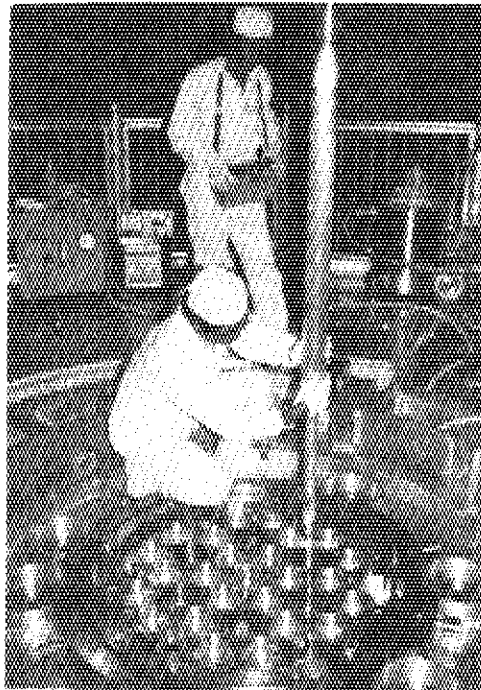


Fig. 7-9 シンプル・プラグ類の据付

Table 7-1 試験検査（工場内）項目

試験・検査項目 品名	材料検査	液体浸透 探傷検査	X線検査	ヘリウム漏洩試験 エチレングライ コール試験	水張試験	外観・寸法 検査	スリーブ塗装 検査	重コン充填 鉛充填検査	仮組立検査
下段環状遮蔽体	○	○	○	○：重コン充填後	-	○	-	○	○
下段中央遮蔽体	○	○	○	○：重コン充填後 □：充填前	-	○	○	○	○
上段遮蔽体	○	○	○	○：重コン充填後 □：充填前	-	○	○	○	○
案内板	○	-	-	-	-	○	-	-	○
鉛遮蔽リング	○	□	-	-	-	○	-	○	○
炉頂盤	○	□	-	-	-	○	-	-	-
回転盤	○	□	-	-	-	○	-	○ （*重コンナシ）	○
案内管集合体 垂直実験孔案内管	○	○	-	-	□	○	-	-	○
立上りシールド胴	○	○	○	□：部品溶接前	-	○	-	-	-
シールドプレート	○	○	○	□：部品溶接前	-	○	-	-	-
垂直実験孔シンプル	○	□	-	□：完成時	-	○	-	-	○
アラゲ類	○	□	-	□：重コン充填前 （○：完成時）	-	○	□	○	○

備考： 1) マーキング検査，開先仮付検査，中間溶接検査及び寸法検査はメーカー社内検査とする。中間溶接検査には，溶接外観溶接部液体浸透探傷検査
ヘリウム漏洩試験を含むものとする。
2) ○：原研（関係官庁含む）立合， □：メーカー社内検査， -：検査なし

当っては実施率 100%で行い、全般に良好な結果であった。

〔ヘリウムリーク試験〕

溶接後のヘリウムリーク試験は各遮蔽体の鉛、重コンクリートの充填前・後に真空法及び加圧積分法で実施し、その合格基準は 1×10^{-5} atm·cc/sec (漏洩箇所 1ヶ所当り) とした。

燃料プラグなどのプラグ類の検査は、鉛及び重コンクリート充填後の密封溶接部をエチレングライコール試験で空気が発泡しないことを確認した。

今回、特に遮蔽体の気密を重視して漏洩試験を実施した理由は、旧遮蔽体の場合、完全な密封構造でなかったため重水蒸気が侵入し、重コンクリート成分を溶出しアルミニウムが腐食したためである。

〔内部塗装検査〕

遮蔽体の缶体内面に防食塗料として、エポキシ・ポリアミド系塗料を塗装した。これは、 10^9 rad 程度まで耐える耐放射線性の優れた塗料である。施工にあたって、事前のモックアップ試験で十分な塗膜の厚さ及び強度を確認した。

〔重コンクリートの充填〕

下段中央遮蔽体、上段遮蔽体の中央部及びプラグ類は、比重を $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上とするため、鉄球入りの重コンクリートを充填した。重コンクリートの充填は、実物大のモックアップ試験により確認した方法で、拾管板に設けた投入孔から重モルタルを先に入れ、次に鉄球を投入し、突き棒で突き固めることを数回に分けて行う方法 (ポストパクト方式) を採用した。

下段環状遮蔽体 (鉄筋入り) 及び上段遮蔽体の環状部は比重 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ の重コンクリートで粗骨材に磁鉄鉱を用い、重モルタルをプレパクト方式で充填した。

各遮蔽体の重コンクリートの充填試験は、比重、圧縮強度などについて行った。Table 7-2 に重コンクリートの組成、Table 7-3 に重コンクリートの比重と圧縮強度の試験結果を示す。

〔工場仮組立試験〕

Fig. 7-10 に示すように鋼製の模擬容器を作成し各遮蔽体を組み立て次の事項について確認及び検査を行った。

- ① 各遮蔽体の挿入による取合関係。
- ② 各遮蔽体のスリーブの芯づれの測定。
- ③ 各遮蔽体の燃料孔スリーブのスリーブ内径を孔測定器を使用して垂直、XY 方向全数の測定記録。
- ④ 燃料要素 (ダミー)、制御棒、実験孔シンプル及びプラグを挿入しそれらがスムーズに挿入できることを確認。
- ⑤ 燃料要素の着座テスト。(APPENDIX-II 参照)
- ⑥ 全体の組立精度、寸法確認、外観検査。

以上のように各製品の再確認と重量物の組立への慣れが、現地での組立をよりスムーズに実施できた大きな要因と考えられる。この点でも仮組立試験は重要な工程であったと評価できる。

Table 7-2 重コンクリートの組成

	1 m ³ 当りの各素材量							比 重
	鉄 球	磁鉄鉱	砂 鉄	B ₄ C	セメント	水	I・A	
鉄球入り重コンクリート	4,180	/	454	55	425	208	5.3	5.0g/cm ³
重 コ ン ク リ ー ト	/	2,600	454	55	425	208	5.3	3.5g/cm ³

- 注 ① 鉄 球：スチールボール (7.9φmm)
 ② 磁鉄鉱：奈良県吉野郡五台松産の磁鉄鉱
 ③ 砂 鉄： " の砂鉄
 ④ B₄ C：ボロンカーバイド (中性子吸収混和材)
 ⑤ 水：水道水
 ⑥ I・A：(株)コンケム製イントージョン・エイド (膨脹剤)

Table 7-3 重コンクリートの比重・圧縮強度

遮 蔽 体	重コンクリートの分類	比 重 圧縮強度 (Kg/cm ²)		
		(g/cm ³)	材 令 2 日	材 令 28 日
上段遮蔽体 (中央部)	鉄球入り重コンクリート	5.43	228	342
下段中央遮蔽体	"	5.36	214	276
制御棒プラグ	"	5.39	/	/
燃料プラグ類	"	(5.46 5.56)	220	308
垂直孔プラグ類	"	(5.35 5.49)		
上段遮蔽体 (環状部)	重 コ ン ク リ ー ト	3.63	226	315
下段環状遮蔽体	"	3.54	132	222

- 注 比 重：打設直後の比重 (充填量と充填容積より算出)
 圧縮強度：JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験による。
 (合格基準材令 28 日, 210 Kg/cm²)

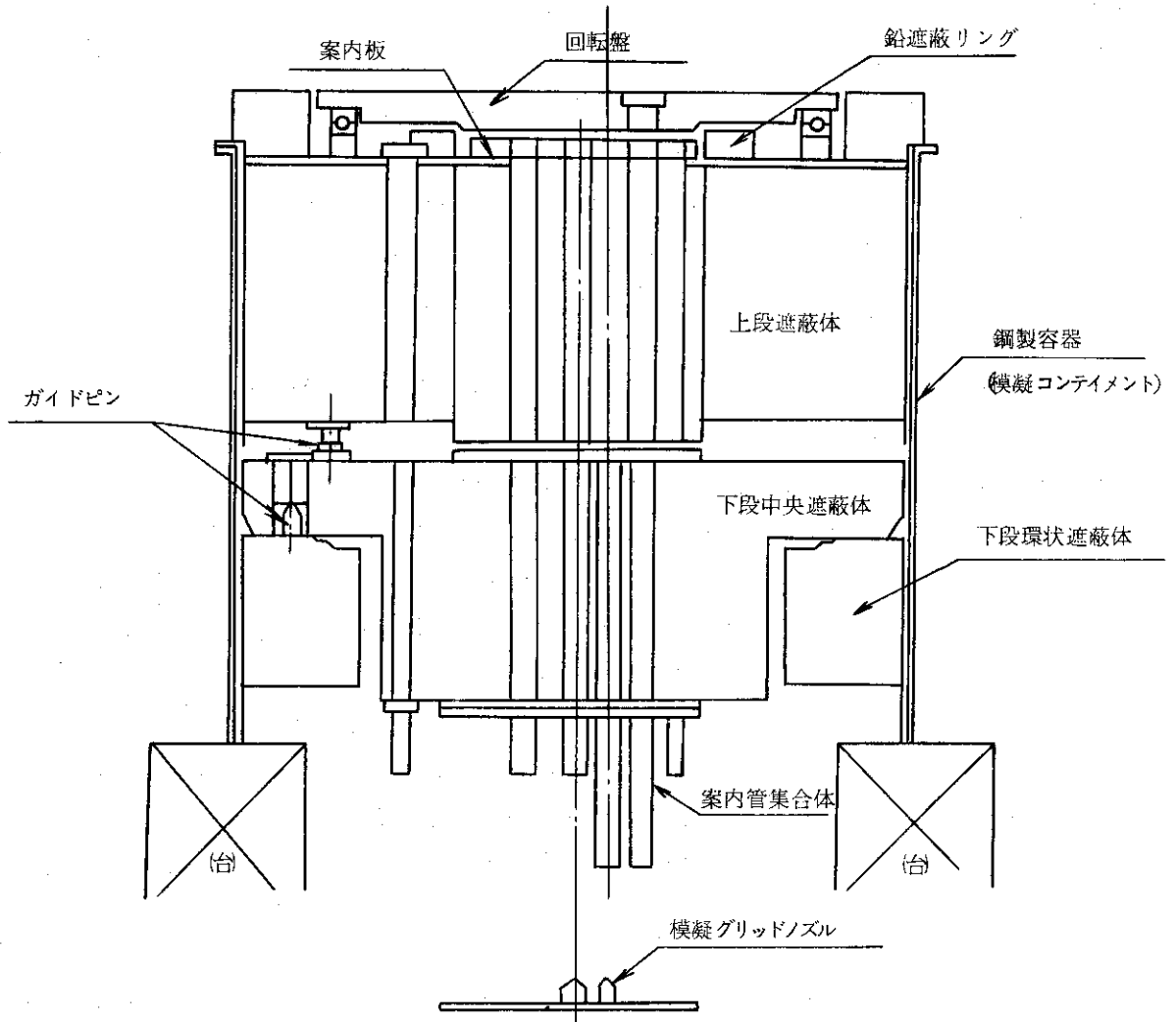


Fig. 7-10 仮組立試験略図

7.3 炉頂盤据付及び炉内穴埋め工事

既設炉体の解体作業に引き続き、第1期工事として昭和49年12月16日から50年3月20日の間に、炉頂盤のカサ上げ及び配管の一部変更工事を行った。

第二期工事は、50年3月3日から3月20日まで、炉体の気密を得るため、重水タンクフランジ部のドレン孔、制御棒ディスコネクト孔及びヘリウム排気孔の穴埋め工事を行った。また、これらの工事に併せてヘリウム配管継込み口の改造も行った。特に重水タンクフランジ部の穴埋めについては、高放射線下の作業でありその作業要領を検討し、炉外モックアップ試験を行い、工法、作業時間、被曝線量について十分な検討の上に実施した。穴埋め作業全般の被曝線量（直読式ポケットチェンバの値）は次のとおりであった。

	原研 (JRR-2, 放管)	業者
最大被曝線量	47 mrem/man	21 mrem/man
平均被曝線量	10 mrem/man	6 mrem/man
全被曝線量	207 man-mrem	107 man-mrem

(1) 炉頂盤据付工事

炉頂盤のカサ上げは、アルミニウム型材を梁に用いて既設炉頂部へ溶接固定し、210mmのカサ上げをし、同時に枠の溶接によって内部に普通コンクリートを打設できるようにした。炉頂部の配管の変更工事は、ヘリウム系及び被照射空気系配管について実施した。

ヘリウム系は炉頂部の既設軽水系配管（旧炉体での下段プラグ冷却管）を利用してA、Bゾーンの排気管に使用できるように改造するとともに、ヘリウム供給管を新設した。また、被照射空気系は、垂直実験孔の給・排気に使用するため、既設炉体の被照射空気系配管の接続箱を2分割し、更に既設炉頂部に各垂直実験孔の給・排気ヘッダを新設した。

以上の溶接部の検査は、液体浸透探傷検査及びヘリウムリーク試験で行った。液体浸透探傷試験は、手摺、腰板を除くほぼ全溶接箇所について行った。また、既設溶接部のうち、ヘリウムタイトを要する部分についても液体浸透探傷検査を行い、欠陥のないことを確認した。

ヘリウムリーク試験は、ヘリウム系配管及び垂直実験孔の給・排気系配管の各溶接箇所について実施した結果、ヘリウム系A、Bゾーン配管は 1×10^{-9} atm·cc/sec以下（加圧積分法）ヘリウム供給管は、 1×10^{-8} atm·cc/sec以下（吹付法）であった。

垂直実験孔系における供給箱部分の改造溶接においては、溶接母材の劣化により、溶接補修の難しい部分が出たので樹脂接着剤（エピコート828）の充填によって補修した。この工事で、垂直孔の ^{41}Ar 低減対策のため、炉頂部にバルブボックスを設け、各実験孔の給・排気孔と接続できるようにした。このバルブボックス内のバルブ操作で垂直孔内の空気の密封及び排気が簡単にできるようになった。

これらの溶接工事の後、アルミニウム枠の中に普通コンクリート（比重約 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、4週圧縮強度 $210\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以上）を打設した。（Fig.7-1参照）なお、コンクリート打設前に枠組みの内側に耐アルカリ性のタールエポキシ塗料を塗り耐食性の向上をはかった。

その後、コンクリート養生期間をおいて、3月3日から3月14日の間に上面板の取付けを行った。コンクリート打設部分は上板を梁及び枠に溶接で固定した。制御棒の水平駆動軸及び回転盤のドライブシャフト溝はアルミニウム板をビス止めで取付けた。また、配線溝は既設板を一部

加工して取付けた。

工事終了後の炉頂盤の水平度及び全溶接線について、液体浸透探傷検査を実施した。水平度は目標値 3 mm に対して配線溝部分で最高 1.2 mm, 最低 1.9 mm であり、それより内側の部分では最高 0.1 mm, 最低 1.0 mm に仕上げることができた。液体浸透探傷検査の結果も特に欠陥は認められなかった。

(2) 炉内穴埋め工事

重水タンクフランジ部に設けられた 3 箇所のドレン孔の穴埋め工事は次のように行った。穴埋めの方法は、重水タンクフランジ部をドリルで穴明けして溶接部分を加工して、つぎに、トリチウム蒸気の飛散防止のために溶接に影響を与えない程度に重水タンク内を被照射空気系に吸引しながらミグ半自動溶接で気密を得た。その施工法を Fig. 7-11 に示す。また施工後の写真を Fig. 7-2 に示す。

この作業は、炉心に近い位置であり、作業時の加工、溶接部での遮蔽が不可能な高放射線量下（重水タンクフランジ表面実測放射線量率約 2R/h）での作業であることから、モックアップ試験で各作業内容の所要時間を計測し、作業前あらかじめ測定した線量率分布から被曝線量を推定し、作業者の分担配置を割当てて作業を行った。また、作業者の受ける被曝線量を最少限にするために遮蔽材の形状（作業治具と遮蔽を兼用出来る）、作業姿勢及び要領を詳細に計画し実行した。

溶接後、加圧積分法によるヘリウムリーク試験の結果は、各ドレン孔ともリーク量 $1.12 \sim 3.84 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ でありすべて合格であった。

コンティメントにある旧制御棒のデスクネクスト孔とヘリウム排気配管は不用となったため、溶接による穴埋めを行った。ヘリウム排気配管については、高放射線量下での遮蔽、旧溶接線に近い位置での溶接熱による割れも懸念され、また、溶接姿勢に問題があったので作業手順を詳細に決め実施した。

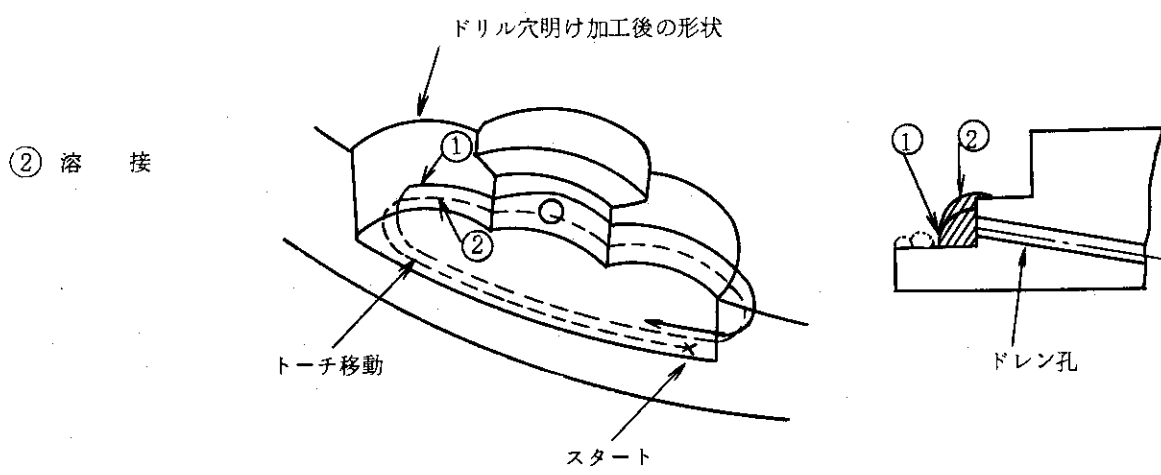
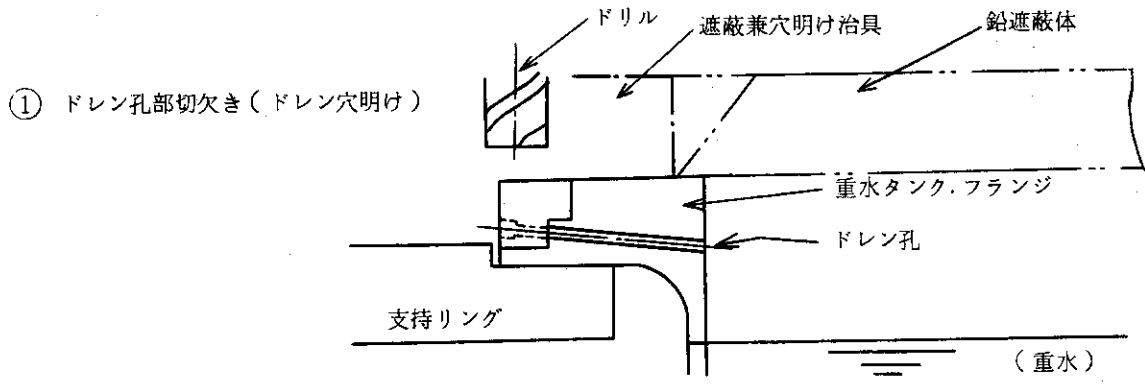
デスクネクスト孔 (C-3) の旧溶接線に欠陥が生じたので手直しを行った以外はこの作業には問題になる箇所はなかった。穴埋め溶接終了後の液体浸透探傷検査は、いずれも無欠陥であり、また、ヘリウムリーク試験の結果はデスクネクスト孔の漏洩率 $8.9 \times 10^{-9} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ 以下、ヘリウム排気配管は $2.2 \times 10^{-9} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ 以下であった。

ヘリウム配管継込み口の改造工事は、ヘリウム循環系の変更によって下段中央遮蔽体への 2 本のヘリウム供給口を確保するために、コンティメントにある旧排気箱部を溶接構造によって変更した。(Fig. 7-3 参照) 検査は、液体浸透探傷及び漏洩検査を行った。この結果 1000 mmAq 加圧による圧力降下度は 4 mmAq/h であり、液体浸透探傷検査の結果も良好であった。

7.4 ヘリウム系配管変更工事

炉体改修工事によって炉心部重水上面のヘリウム層は、燃料、制御棒及び垂直実験孔の各案内管（スカート方式）により A ゾーンと B ゾーンに分割した。このために冷却系ポンプルーム内のヘリウム系配管の変更工事を行った。

本工事は昭和 49 年 11 月 11 日から 50 年 1 月 9 日に実施した。作業場所（炉室一階ポンプルー



溶接条件

溶接方法	使用ワイヤ	溶接電流 (Amp)	アーク電圧 (Volt)	ガス流量 (l/min)
半自動MIG	A4043WY	290~300	30	20

Fig. 7-11 重水タンクフランジドレン孔穴埋め溶接

ム)での放射線線量率は最大100 mR/h, 平均2 mR/h程度であり, 作業場所は配管及び機器がこみ入っており, そのうえ天井配管部分が多く遮蔽が十分できないこと, 合せ作業が多いことから作業時間が長くかゝったこともあって, 作業者全員(外部業者含む)の全身被曝線量は最大163 mrem/man, 平均57 mrem/man, 全被曝量は1022 man・mrem(直読式ポケットチェンバの値)であった。また, 撤去作業はトリチウムによる内部被曝が心配されたが, 局部排気などの処理により問題はなかった。

撤去配管は, 12, 6, 3, 2 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ インチの各配管である。変更に伴い新しい弁(空気作動弁6個, 手動弁10個, 3方弁1個)が追加された。また, 3インチ以上の配管についてはアルミ材, 2 $\frac{1}{2}$ インチ以下の配管はステンレス材を使用した。

配管, フランジ, 弁, 流量計について, 材質, 耐圧, バブル, ヘリウムリーク, 性能試験等必要な検査を行った後最終的にヘリウム加圧漏洩試験を実施し合格であった。変更後のフローシートを Fig. 3-1 に示した。

7.5 下段環状遮蔽体と立上りシール溶接工事

本作業は, 重水タンクのフランジ部のドレン穴埋め工事に引き続き, 第三期工事(50年6月9日~6月25日)として実施したもので, 高放射線量の炉心上という悪条件下で行うため, 安全確保を最優先して工事を進めた。立上りシールの現地据付工事に先立ち先に述べたように実物大スケールのモックアップ試験で工法の確認をし, 作業の手順や施工条件について検討を行った。また, 溶接直前に再度の確度を行い作業に万全を期して実施した。

重水タンクフランジと立上りシールの溶接箇所は, 線量率が高いので, 鉛遮蔽体の上に設置した溶接機による遠隔操作で行い, その他の部分は十分な遮蔽のもとに半自動溶接で行った。

この作業に関する作業員(外部業者)の被曝線量(直読式ポケットチェンバの値)は次のとおりであった。最大28 mrem/man, 平均14 mrem/man, 全被曝線量318 man・mrem。

(1) 工事の実施

本工事の手順は概略次の①~④の手順で行った。

- ① 立上りシール胴を重水タンクフランジ部にボルト(18本)で取付け。
- ② 重水タンクフランジと立上りシールの溶接(Fig. 7-14の①の部分)。
- ③ 下段環状遮蔽体の挿入, 据付。
- ④ 上段シールプレート及びリングシール(溶接部㉑~㉒)の半自動ミグ溶接。

これらの現地作業の手順及び施工要領を Table 7-4, 施工状態を Fig. 7-12, Fig. 7-13, Fig. 7-14 に示す。(Fig. 7-4, 7-5 参照)

ドレン孔の穴埋め作業と同じように, 各作業手順の所要時間を求め, 組立, 板金加工及び溶接における作業員の被曝線量が30 mrem/Week以下になるよう計画した。

次に現地での実施経過を簡単に説明する。なお数字は Table 7-4 に示す番号である。

案内棒の取付けは立上りシール胴を所定の位置に取付けるための治具であり, 据付部が高放射線量で近寄れないため炉頂部から案内棒を操作して取付けた。

Table 7-4 の㉑の重水タンクフランジの溶接面の前処理は確認試験の結果, アセトン拭きで

Table 7-4 立上りシール現地据付工事作業手順

現 地 作 業	摘 要	現 地 作 業	摘 要
<p>1. 案内棒取付</p> <p>① コンティメントのフランジ面， 胴内面のケガキ</p> <p>② 案内棒取付部の鉛ブロック撤去</p> <p>③ 案内棒取付</p> <p>④ 立上りシール挿入</p> <p>2. 立上りシール挿入</p> <p>⑤ 立上りシール溶接部前処理 (炉外)</p> <p>⑥ 立上りシール吊上げ (炉外)</p> <p>⑦ 重水タンクフランジ面前処理</p> <p>⑧ 立上りシール挿入</p> <p>⑨ 立上りシールの両側を鉛袋で 遮蔽</p> <p>⑩ 立上りシールをボルトで締付</p> <p>⑪ 案内棒撤去 撤去穴のボルト締付</p> <p>⑬ ボルト部を鉛袋で遮蔽</p> <p>3. 下段環状遮蔽体挿入試行</p> <p>⑭ 下段環状遮蔽体挿入</p> <p>⑮ 間隙寸法計測</p> <p>⑯ 下段環状遮蔽体炉外へ</p> <p>⑰ ガイド板取付 (溶接)</p> <p>⑱ 下段環状遮蔽体挿入試行</p> <p>⑲ 下段環状遮蔽体撤去</p> <p>4. 重水タンクフランジと立上りシ ールの溶接</p> <p>⑳ 自動 接用センターポール取付 位置ケガキ</p> <p>㉑ センターポール 台座取付溶接</p> <p>㉒ 溶接装置点検確認</p> <p>㉓ 自動溶接用センターポール取付</p> <p>㉔ センターポール上部芯出し</p> <p>㉕ アーク発生テスト</p>	<p>0°, 90°, 180°, 270°の4芯及び 下段環状遮蔽体 の芯位置</p> <p>アセトン</p> <p>アセトン</p> <p>挿入治具，締付 治具</p> <p>立上りシールに 当たらないこと を確認</p> <p>(メタルアーク溶接) トーチ，ワイヤ 送給装置，電源 ガス， 溶接条 件などの確認</p> <p>(*Fig-7-12に据付 状態を示す。 試験板</p>	<p>㉖ 溶接装置の走行試験</p> <p>㉗ 立上りシールの吊金具撤去</p> <p>㉘ 1パス目溶接</p> <p>㉙ 目視検査</p> <p>㉚ 2パス目溶接</p> <p>㉛ 3パス目溶接</p> <p>㉜ 外観検査</p> <p>㉝ 吊金具取付</p> <p>㉞ 溶接装置撤去</p> <p>5. 下段環状遮蔽体挿入据付</p> <p>㉟ 鉛円筒，遮蔽体挿入</p> <p>㊱ 支持リング側鉛袋及び鉛ブロッ ク撤去</p> <p>㊲ 下段環状遮蔽体挿入</p> <p>㊳ 据付精度の確認</p> <p>㊴ ガイド板と下段環状体との間に アルミニウムスペーサを挿入</p> <p>㊵ ステンレス鋼のライナーブロッ ク挿入</p> <p>6. シールプレートの仮付溶接</p> <p>㊶ 溶接部のアセトンふき</p> <p>㊷ シールプレート取付</p> <p>7. リングシール仮付溶接</p> <p>㊸ リングシールの平坦度及び曲りを 調整</p> <p>㊹ 溶接部アセトンふき</p> <p>㊺ リングシールの寸法調整</p> <p>㊻ リングシールの仮付溶接</p> <p>8. シールプレート及びリングシ ールの溶接</p> <p>㊼ 立上りシール胴とシールプレ ートの1パス目溶接</p> <p>㊽ 遮蔽用架台取付</p> <p>㊾ 下段環状遮蔽体とシールプレ ートの1パス目溶接</p> <p>㊿ 同上の2パス目溶接</p> <p>㉀ リングシールの縦継手の溶接</p> <p>㉁ リングシールと下段環状遮蔽体 及びコンティメントの溶接</p> <p>㉂ 遮蔽用架台の撤去</p> <p>㉃ 立上りシールとシールプレート の2パス目溶接</p>	<p>一周させ異常が ないことを確認 遮蔽兼用の芯金 具</p> <p>遮蔽兼用 ポール台座も撤去</p> <p>据付位置，据付方 向，水平度，上面の 高さ。</p> <p>下段環状遮蔽体 と立上りシール とのシールプレート TIG溶接にて仮 付</p> <p>コンティメントと下 段環状遮蔽体との リングシール</p> <p>(TIG溶接)</p> <p>(* Fig.7-13に架台 取付状況を示す。)</p> <p>円周溶接は2パ ス行う。</p> <p>据付工事終了</p>

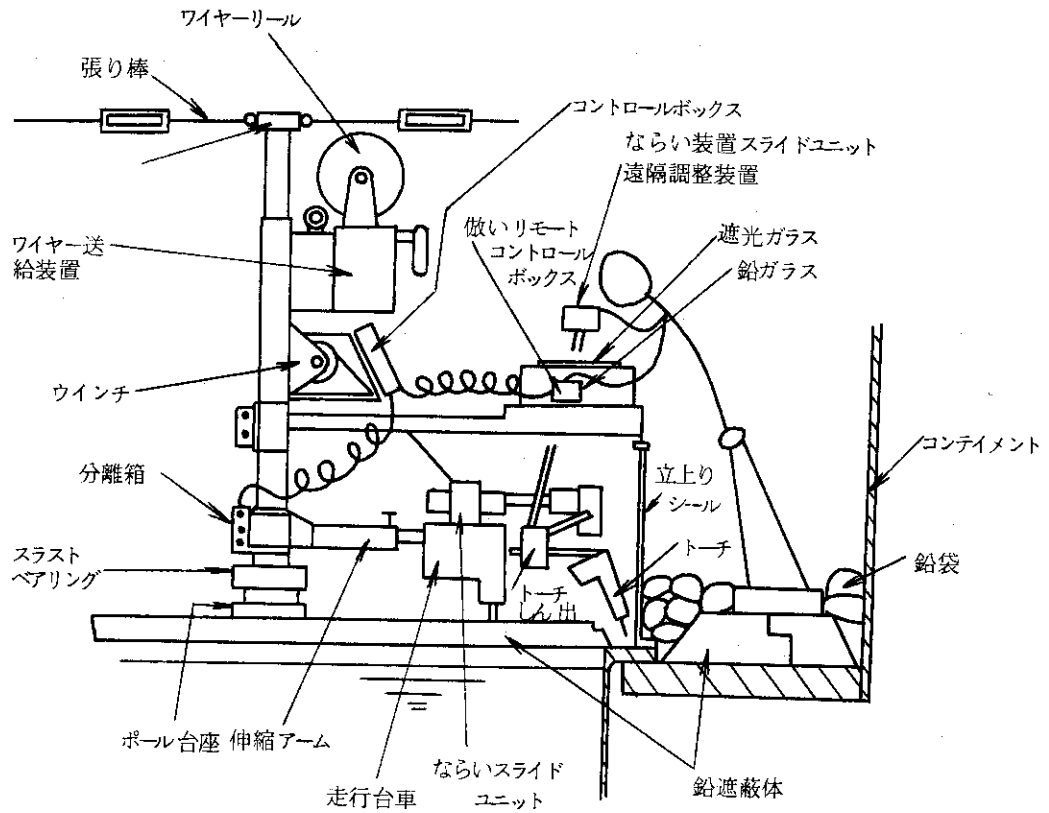


Fig. 7-12 立上りシール自動溶接状況

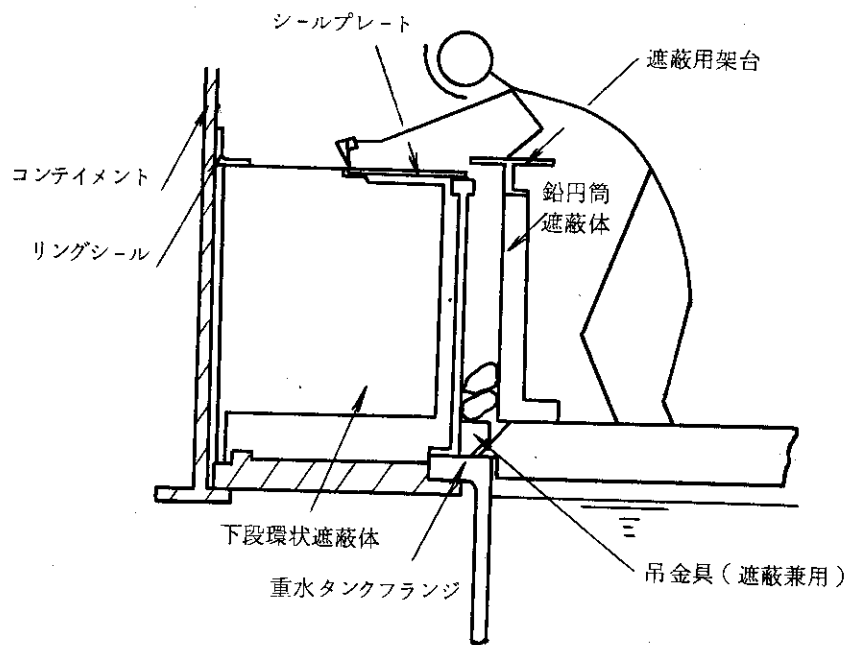


Fig. 7-13 下段環状遮蔽体とシールプレートの溶接状況

十分であると判断された。重水タンクフランジ部周辺のような高放射線量漏洩箇所は一つの作業が終るごとに鉛袋で遮蔽し（Table 7-4 の⑨、⑬等）、できるだけ漏洩線量が小さくなるような作業要領で行った。

また、下段環状遮蔽体の挿入試行は立上りシールを取付けてからでは下段環状遮蔽体の取付け精度の確保が難しくなるため行う作業である。

重水タンクフランジと立上りシールとの自動溶接装置は Fig. 7-12 に示すように重水タンク遮蔽体上の炉中心にセンターポールを立て、ポールを介して付属品が取付けられており、それが自動で回転走行して溶接する。溶接は、ならい装置の使用による完全自動で行う予定であったが、種々検討した結果、トーチのねらう位置を Fig. 7-12 に示すように、鉛遮蔽ガラスを通してアークを見ながら遠隔操作で調整するように改造した。

溶接装置の点検は炉内へ運び込む前及び炉内へセットした後、それぞれアーク発生は勿論のこと、ガス、水、ワイヤ送給、トーチ及び各スイッチの作動などを入念に調整した。また、立上りシールの吊金具は、立上りシールの真円保持、遮蔽用及び吊金具という三つの目的を持たせた。

上段シールプレート及びシールリングは現場合せで最終加工を行い精度を保持した。

現地作業手順の計画段階で各作業姿勢を決めて、その姿勢における遮蔽対策及び効果を考慮した。例えば Fig. 7-12 及び Fig. 7-13 はその 1 例である。Fig. 7-15 に立上りシール溶接時の放射線量率を示す。

(2) 溶接工事の検査結果

Fig. 7-14 に示す溶接部①のすみ肉溶接部の検査は、外観検査とヘリウムリーク試験を行った。外観検査は溶接部分が放射線量率が高い（重水タンクフランジ部表面線量 $1.5 \sim 2R/h$ ）ため炉頂から双眼鏡を用いて各パス溶接ごとに行った。1 パス目にピットがビード中央に発生したが、2, 3 パスを置くことにより、1 パス目の欠陥を取除き良好なすみ肉溶接継手を得ることができた。なお、1 パス目のピットの発生原因は、高放射線量下で、既存の重水タンクフランジ部が十分表面処理できなかったことによるものと推定される。

ヘリウムリーク試験は加圧積分法で行い、全周を 16 分割してリーク量を測定した。リーク量は 1 箇所 $1.5 \times 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ その他は $3.6 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ 以下であり、すべて合格であった。

溶接部②～⑦の部分の検査は、液体浸透探傷試験及びヘリウムリーク試験で行った。溶接終了後の溶接部表面の液体浸透探傷試験の結果は欠陥指示模様を認めず良好であった。ヘリウムリーク試験は全溶接部を 108 分割して、加圧積分法で行った。その結果、リーク量はいずれも $2 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$ 以下であり、立上りシール部の溶接継手はすべて良好な成績をおさめた。立上りシール溶接工事後の外観写真を Fig. 7-5 に示す。

7.6 上部遮蔽体の据付工事と機能試験

下段中央遮蔽体、上段遮蔽体及び回転盤などの据付並びにシンプル・プラグ類の据付工事は、第 4 期工事として昭和 50 年 7 月 29 日から始め、9 月 9 日までに完了した。この時の炉内及び遮蔽体の状況を Fig. 7-6～7-9 に示す。

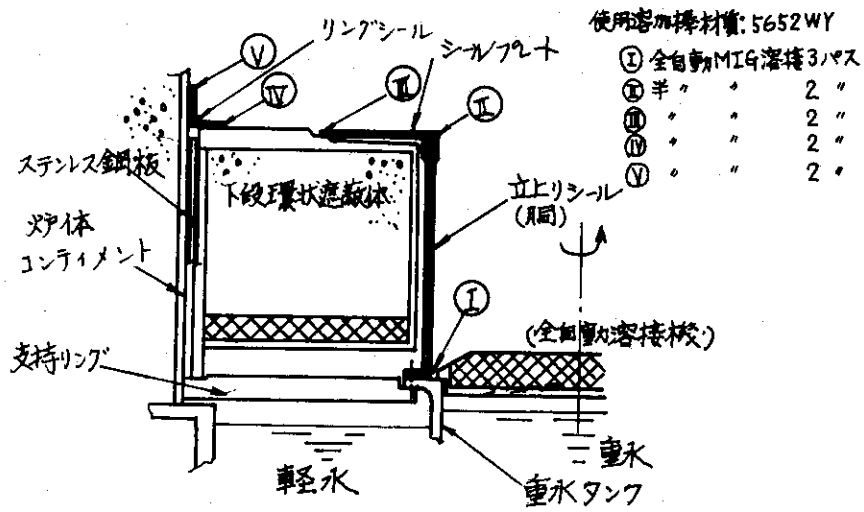


Fig. 7-14 立上リシール現地据付状態

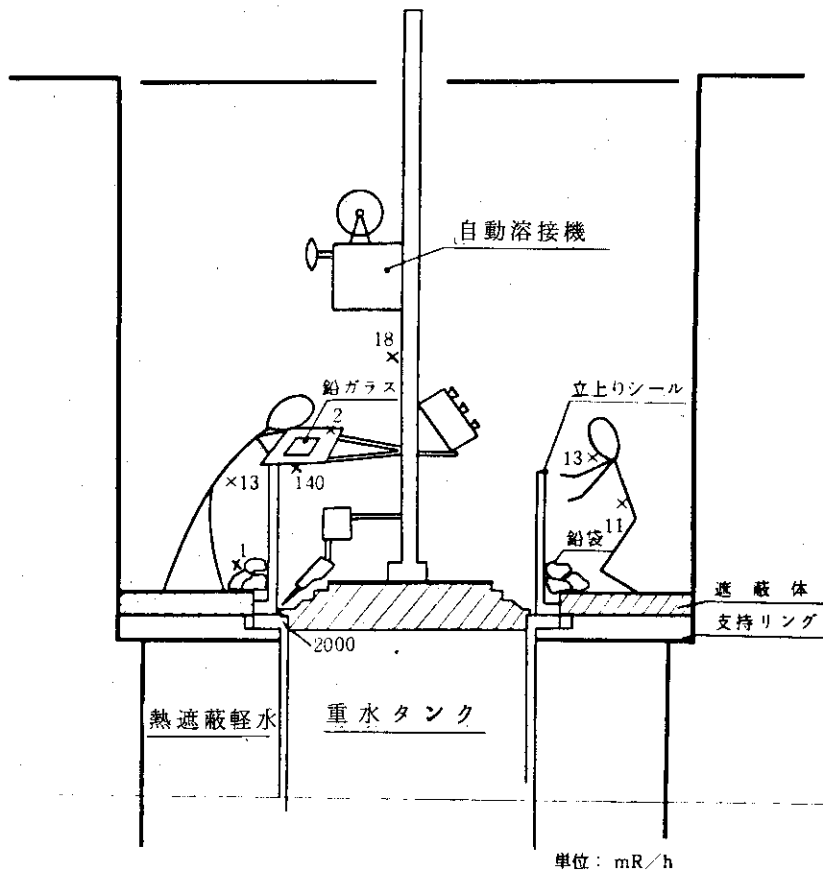


Fig. 7-15 立上リシール溶接時の放射線量率

本工事は特に重水面下の既設のグリッドノズルと据付ける遮蔽体のセンタリングの問題があったが、Appendix-Iに述べる据付工法の実施によって、作業を順調に進めることができ、かつ高精度の据付けを行うことができた。また、作業者の放射線被曝量はほとんど無視しうる値であった。

改修工事に引き続き機能試験を行ったが、いずれの機能試験結果も良好で総合判断から十分改修の目的を達するものであった。

(1) 据付工法

据付工事における一つの問題として遮蔽体の据付に関する芯合せの問題があった。これは、計画（設計）-製作-据付の段階で、①重水面下の基準点の正確な測定と基準点のうつし換え（ゲージプレートと光学機械）、②取合い部分の寸法測定値を製作する遮蔽体に反映、③製作する遮蔽体（下段中央、上段）と案内管集合体のスリーブピッチの合せ精度並びに、溶接歪みによる曲りの出ない製作と品質管理、④現場での合せ作業の軽減（工場仮組立、炉内仮据付、構造上の考慮）、⑤現地工事の集中化をさげした（工期を大きく四期に分けた）。この結果、重水面の露出を伴う作業は、8月13日の1日に集中して行うことができ、作業の安全性、作業能率と精度の向上及び作業者の被曝防止（特にトリチウムによる内部被曝）上きわめて有効であった。

以下に据付の概略を述べる。

- ① 炉内仮据付は、重水タンク上面の鉛遮蔽体を撤去する以前に下段中央遮蔽体の案内管集合体を取付けない状態でゲージプレートとの芯合せを行った。（Fig. 7-6 参照）次に上段遮蔽体を仮挿入し炉頂面の水平度調整、ガスケット類のヘリウムリーク試験。
- ② 下段環状遮蔽体にOリングの取付、下段中央遮蔽体への配管台、案内管集合体等の取付けと清掃。
- ③ 重水タンク上部の鉛遮蔽体の撤去。
- ④ 下段中央（Fig. 7-7）、上段遮蔽体類の据付。
- ⑤ 各部分調整及びシンプル・プラグ類の挿入組立。

ここで①の工程において位置合せを行ったが、炉頂部のゲージプレートを基準に振り下げによって、ズレがX、Y方向とも0.5mm以内であることを確認した。また、水平度はオートレベルで平坦度0.6mmであった。この状態で下段環状遮蔽体の3本のキーに対して下段中央遮蔽体に設ける3個のボスをセンターレス旋盤による機械加工で行いボルトとロックピンで位置決めした。なお、下段中央と上段遮蔽体は工場仮組立時に位置合せがなされている。

次に④、⑤の工程で下部燃料プラグの長さ寸法決定とその他据付寸法確認のためにグリッドプレートを基準にして寸法測定を行った。この寸法を基準に下部燃料の長さ寸法を機械加工し調整した。下部燃料の長さ寸法は燃料要素の押え荷重（APPENDIX-II 参照）及びハンドリングに関係する。

回転盤は据付後において一部次のような手直しを行った。回転盤の形状は、直径2m、厚さ約200mm（鋼130mm、鉛70mm）で上段遮蔽体のベアリング上に設置され、駆動軸と減速機付駆動用モータに連結している。燃料交換作業の時、燃料孔と合わせるため下部燃料プラグ取扱キャスク（約2トン）を載せて回転する。また、燃料交換キャスク（約13トン）も、この回転盤に置かれる。据付けの際に、駆動用モータ出力軸に微少の回転遊びを生じたので再組立を行い遊びを

小さくした。また、耐震性を考慮して回転盤ロック装置を付加した。なお、この装置のインターロックとしては、ストップを挿入したとき駆動装置電源が“OFF”となるよう設計した。

(2) 機能試験

炉体改修工事完了に引き続き、制御棒の実炉体への据付後の機能試験、キャスク類、ヘリウム系及び⁴¹Ar低減対策系の機能試験を行った。

これらは、個々の機能は勿論であるが炉体機能との関連で云々されるものであり良好な結果を得た。この他に炉体のヘリウムリーク量、回転盤の機能、炉体の遮蔽能力等の試験を行った。

系全体のヘリウムリーク量は、ガスホルダーレベル計で2mm/h (5.2ℓ/h)以下であり、この値はサポートリングからの重水漏洩及びヘリウムリークを起す以前の値の10±5mm/hに比較しても非常に少なくなったことを示す。

いずれの機能試験結果を見てもその機能を満足するものであり総合判断からも十分改修の目的を達したものであった。

8. 改修工事後の運転結果

8.1 概要

改修工事は昭和 50 年 9 月に終了し、50 年 11 月 11 日に臨界実験を行った。引き続き低出力での特性試験中において熱遮蔽軽水系の配管腐蝕による漏水がおり、その補修対策のため特性試験の中断（50 年 11 月 21 日～51 年 4 月 15 日）があったが、51 年 5 月末までに一連の特性測定を終了した。51 年 5 月 31 日から高出力（10MW）での連続運転に入り 51 年度 12 サイクルの利用運転を行い、現在（52 年 12 月）第 9 サイクルを終了し JRR-2 は改修後極めて順調に稼動している。

この間の運転実績によると過去の運転と比較して、最も安定した運転を続けている。これは、改修工事によって重水が洩れないこと、各種放射性物質の放出率が低減されたこと、その他、制御棒装置が改良され、燃料交換キャスクの更新による操作性と安全性の向上によるものである。

Table 8-1 に改修工事によって得られた原子炉の運転保守管理面でのメリットを一括して示す。これらの結果は計画時点で予期した効果とよく一致している。

本章では、立上りシール構造と上部遮蔽体の改修効果によって得られた運転管理上の効果について述べる。改修後の特性試験及びその後の通算 21 サイクルの利用運転における冷却系の諸特性、炉頂の空間放射線量測定結果を総括すると概略次のとおりである。

- ① 重水中及びヘリウム中の放射能には特に異常が認められない。
- ② 重水分解量は約 $2\text{gD}_2\text{O}/\text{MWh}$ と改修前の $\frac{1}{6}$ 以下となっている。
- ③ 重水濃度低下率は改修後 21 サイクル運転した結果では改修前に比較して大巾に良くなり、ほとんど無視出来る値となった。
- ④ ヘリウム漏洩率は炉体の気密が良く、約 $2\ell/\text{h}$ となっている。
- ⑤ 熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度の測定によって重水が漏れていないことを確認した。
- ⑥ 炉頂開放時のトリチウム放出率が改修前に比較して燃料交換、試料交換時それぞれ約 $\frac{1}{40}$ に減少している。
- ⑦ ヘリウム置換時のトリチウム放出率の低減と作業時間の短縮及びヘリウム消費量が低減した。
- ⑧ 重水樹脂塔、重水フィルタの交換頻度が大巾に減少した。
- ⑨ 炉頂の空間放射線量は改修前の約 $\frac{1}{10}$ に低減した。

などで、これらは原子炉運転管理、環境管理面及び経済性の面での大きな改善効果である。

8.2 重水系・ヘリウム系及び熱遮蔽軽水系の諸特性

(1) 重水分解量及び重水系機器管理

改修後の高出力運転時の重水分解量は、改修前の $\frac{1}{6}$ 以下に減少している。この要因は、立上

Table 8-1 改修工事の結果

問題点	対策	運転管理上の改善(結果)	備考
① 重水漏洩	重水タンクの立上りシール溶接	重水消費量の低減 熱遮蔽水中に ³ Hが入っていない D ₂ O: 950 μCi/cc H ₂ O: 2 × 10 ⁻² μCi/cc	(改修前の約 $\frac{1}{10}$) 51年後 重水ロス約 45 Kg " 回収約 40 Kg
② 燃料孔スリーブの腐食 (A管のアルカリ腐食)	炉心上部遮蔽体の更新 腐食, 炉頂線量低減, 照射設備, ⁴¹ A低減etc を考慮	腐食生成物の混入がない。 重水樹脂塔の交換頻度の低下 重水フィルタの交換頻度の低下 重水分解量 2g/MWD 再結合器の温度が低い (60 ~ 80°C → 45°C) 燃料ハンドリング上の問題低下 炉頂線量率の低下 照射設備の改善 1) インコア照射孔(円筒燃料)の増設(2本 → 4本) 2) 炉心近接孔の新設(VT-10 ~ 12) 3) ⁹⁹ Mo 生産専用孔 (ON power Loading)	(改修前の約 $\frac{1}{6}$) (改修前の約 $\frac{1}{10}$)
③ He及び ³ Hの放出率が高い	He系の改良 (案内管のスカート方式・配管変更)	He消費量の低減 ³ H放出率の低減 (51年度) (46 ~ 48年度) 廃液 7 Ci/y 150 ~ 180 Ci/y 気体 20 Ci/y 70 Ci/y	(改修前の約 $\frac{1}{4}$) 廃液 約 $\frac{1}{20}$ 気体 約 $\frac{1}{3}$
④ 制御棒装置の短寿命	制御棒装置の改良	安全運転の確保	51年度スクラム2回 52年度スクラム0回
⑤ 中性子計装系のノイズ	CIC, UIC及びケーブルの更新	安全運転の確保	
⑥ キャスクの整備	キャスクの改良	安全性, 作業性の向上	
⑦ ⁴¹ Ar放出率が高い	排気系に「 ⁴¹ Ar減衰ダクト」等の設置	⁴¹ Ar放出率は従来の約 $\frac{1}{10}$ になる(0.3 Ci/h以下 - 管理目標値 0.8 Ci/h)	

Table 8-2 改修後の熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度

年月日	熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度	一次重水中のトリチウム濃度	一次系重水中の重水濃度	備考
76. 5. 6	$7.4 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{ml}$		96.62 mol%	
5. 14	7.7×10^{-2}		-	
5. 21	7.4×10^{-2}		96.62	
5. 22	-		-	H ₂ O 1 m ³ 補給
5. 25	6.8×10^{-2}		96.62	
5. 29	-		-	H ₂ O 0.3 m ³ 補給
5. 31	6.7×10^{-2}		96.62	
6. 1	6.9×10^{-2}		"	
6. 2	7.0×10^{-2}		96.64	
6. 8	6.9×10^{-2}		"	
6. 14	7.2×10^{-2}		"	
6. 18	6.9×10^{-2}		"	
6. 24	6.7×10^{-2}		-	
6. 28	6.5×10^{-2}		96.64	
7. 5	6.7×10^{-2}		"	
7. 9	7.6×10^{-2}		"	
8. 25	7.8×10^{-2}		"	
8. 30	7.7×10^{-2}		96.68	
9. 2	7.9×10^{-2}		96.68	
9. 4	-	790 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$		
9. 24	7.8×10^{-2}			
10. 4	7.9×10^{-2}			

注1. 重水中のトリチウム濃度 51.47 770 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$

2. D₂O 100 ml漏洩したときのトリチウム濃度変化

$$\frac{770 \mu\text{Ci}/\text{ml} \times 100 \text{ ml}}{9 \times 10^6 \text{ ml}} = 8.5 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{ml}$$

りシール構造の採用，炉心上部遮蔽体の交換及び重水タンク上面のスカート方式によってヘリウム系をA，Bゾーンに分割したことによる効果と推定できる。

ヘリウム循環系の一部に重水素再結合器（RECOMBINER）が設けられており，重水分解による重水素ガスは，ヘリウムガスと共に再結合器を通り，このとき重水素ガスは酸素と再結合して重水となる。

ヘリウム系の分析は，再結合器の入口側及び出口側からサンプリングし，ヘリウム，重水素，酸素及び窒素について，サイクル運転中毎日1回の割合で実施している。この分析によって，ヘリウム系に空気の混入がないかどうか，炉心での重水素生成割合が正常であるか，再結合器が正常に働いているか調べている。

重水素及び酸素の分析結果の代表例として Fig. 8-1 に示す。

改修後の重水分解量は約 $2\text{g D}_2\text{O}/\text{MWh}$ である。この値は JRR-2 の運転実績の昭和40年の $3\sim 6\text{g D}_2\text{O}/\text{MWh}$ ，46年の $16\sim 22\text{g D}_2\text{O}/\text{MWh}$ ，48年の $12\text{g D}_2\text{O}/\text{MWh}$ と比較しても最も少ない。

また，重水分解量が少ないことは，再結合器の温度によっても明らかである。改修前 60°C 以上であったものが，改修後は約 45°C となっている。

重水の放射線分解に影響する一般的因子は，原子炉の放射線レベル（出力），温度，PH，電気伝導度，不純物，溶存酸素及び圧力等であるが，各因子の分解に寄与する傾向は明確でない。しかし，これまでの運転経験と改修内容から，重水分解量が減少したのは高純度での水質保持と考えられ，その主因は次の3つの理由による。

その第1は，スカート方式で炉頂開放時の空気接触面をそれまでの $\frac{1}{20}$ に感じたこととエヤーカーテン方式による掃気の方法の改良。第2には重水タンク支持リング上面が立上りシール構造によって重水と接触（オーバ・フロー）しない構造となった。第3には炉心上部遮蔽体の交換である。この第2，第3のことは，アルミニウムの腐食生成物などの供給減を取除く結果となった。このことは改修工事前後の重水の電気伝導度の値からある程度説明できる。

改修前には，原子炉起動時に電気伝導度が $1\mu\sigma/\text{cm}$ 以上に上昇することが，しばしば起り，定常運転中에서도 $0.3\sim 0.4\mu\sigma/\text{cm}$ であった。これに対して，改修後の値は電気伝導度が常に $0.2\mu\sigma/\text{cm}$ 以下に保たれている。

これまでのデータによる重水分解量と電気伝導度の関係は比例していることが多いが $0.3\mu\sigma/\text{cm}$ 以下では，重水分解量に大きな差がある。

高純度の水質保持は，同じく冷却系の保守管理面からいえば重水精製系のフィルタ及びイオン交換樹脂の交換頻度と性能劣化に著しい違いがあることである。例えば，フィルタの交換は47年においては5回，48年に2回行っているが，改修後から現在まで約2年間交換には至っていない。また，イオン交換樹脂についてもこれまでの実績では約 $2,500\text{m}^3$ の精製量（約6サイクル分）で性能劣化によって交換していたが，改修後現在（52年12月）まで約 $8,000\text{m}^3$ の精製量であるが劣化には至っていない。

(2) 重水濃度変化と重水損失

重水系の重水濃度は，改修工事後 Fig. 8-3 に示すように，ほとんど濃度変化が認められず通算21サイクルの運転終了時の昭和52年12月現在で $96.3\text{mol}\%$ である。また，51年度の重水

損失量は回収重水を含めて約90Kgであり、この値は回収前の約 $\frac{1}{6}$ である。

改修前の5年間（昭和44～48年）の重水濃度は、Fig. 8-2のように97.75mol%から96.6mol%に低下し、平均低下率0.23mol%/年である。しかし、この間の重水補給量は重水漏洩などのために補給量が多く、重水濃度99.75mol%以上のもの約3,900Kg（年間平均約780Kg）である。この補給効果を入れて過去の濃度低下率を求めると、約0.46mol%/年となる。改修工事後の濃度低下率は約0.1mol%であり又52年1年間の値では重水補強も行っておらず、低下はほとんど認められていない。

一方、JRR-2の重水消費量は初臨界から昭和48年度までに重水損失量約4.5トン、回収重水約3トン、合計7.5トンである。これは、全装荷重水に対する損失率で約40%であり、きわめて損失率が大きかったことを示す。

その内訳を見ると、例えば、45年1月から46年12月の期間については次のとおりであった。炉頂開放に関連する作業時（燃料及び試料交換とその後のヘリウム置換作業等）の損失約54%、イオン交換樹脂及びフィルタの交換などポンプルーム内作業に関係するもの約15%、熱遮蔽軽水系への重水漏洩約15%、不明分10%であった。これらのうちで最も損失率の大きい炉頂開放作業での改善経過を次に述べる。

昭和46年7月の測定値によれば、燃料1本の交換作業においてトリチウム放出の形で重水換算で約1ℓが飛散損失されていたが、その後、風量調節によって約300cc、また、冷却器の併用によって50ccまでに低下させた。更に、改修工事で、1本当りの飛散量は25cc弱にすることができた。とくに、炉心部からできるだけ系外に出さないことは環境管理の上で重要であり、46年当時に比して97%近くの改善率となる。

ヘリウム系は、A・Bゾーンに分けたので、通常のヘリウム置換作業はAゾーンのみ行うようになった。この結果ヘリウム置換作業でのトリチウム排気量は気体で改修前の約 $\frac{1}{3}$ に減少した。

次にイオン交換樹脂及びフィルタの交換頻度が年1回以上から2年に1回程度に減少したことによる重水損失防止の効果があげられる。イオン交換樹脂及びフィルタ廃棄時にそれぞれ約35Kg、約5Kgの重水が付着廃棄処分される。

不明分の一部を占めるヘリウム漏れに伴う重水損失については、次項に述べる炉体及びヘリウム系の気密の向上によって重水損失防止にも寄与している。

このように改修による立上りシール、スカート方式及びエヤーカーテン方式による掃気方法の改善、高純度水質保持、並びに炉体の気密向上によって重水濃度低下防止と重水損失の低減効果は大きい。

(3) ヘリウム漏洩率及びヘリウム置換作業

改修後の運転中のヘリウム漏洩率は、たとえばFig. 8-4に示すように約2ℓ/hである。また、改修直後の機能試験において空気による気密試験では、炉頂部の気密性は約130mmAq（通常加圧の2倍）で約0.5ℓ/h、ヘリウム系全体で約1ℓ/hであった。（建設当時の記録によれば系全体のヘリウム漏洩率は約5ℓ/hであった。）このようにヘリウム漏洩率が減少したのは、重水立上りシールによって熱遮蔽軽水系への重水とヘリウムの漏洩が防止できたことである。この他に炉心上部遮蔽体の改修によって炉頂部の気密が向上したこと及びポンプ室内のヘリウム系配管の一部変更に伴って、気密性が改善されたことである。

改修前の通常時の漏洩率は、炉停止中で $10\text{ l/h} \sim 25\text{ l/h}$ 、運転中で $3\text{ l/h} \sim 10\text{ l/h}$ の範囲であった。また、熱遮蔽軽水系の重水の漏洩率が增大してからは、原子炉停止時に炉心冷却効果によってヘリウム漏洩量が急増するのが特徴であった。

燃料及び試料交換などの炉頂開放によって系内のヘリウムは系外に排出される。運転開始に先立って系内の空気とヘリウムを置換する作業があり、改修前においては、約 13 m^3 の系全体を置換するために約 36 m^3 のヘリウムと約4時間の作業時間を要した。改修後はスカート方式によって炉頂開放時に放出されるヘリウム量はたかだかAゾーンの量 0.8 m^3 となった。従ってヘリウム置換作業は大巾に改善されヘリウム使用量約 4 m^3 と約1.5時間の作業時間となった。

(4) 熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度

JRR-2改修工事(重水タンクシール)によって、重水系の密封構造が完全となり熱遮蔽軽水系への重水漏洩は完全になくなった。

熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度は、R2-51-04サイクル完了時点で約 $8 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$ であり、R2-52-04サイクル中で $3.4 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$ である。これは、改修工事前の重水漏洩による残留トリチウムであり、監視のデータからは漏れはまったくない。

重水中のトリチウム濃度は昭和51年9月4日の値で $790 \mu\text{Ci/ml}$ である。従って約 1 l の重水が熱遮蔽軽水中に漏れた場合、9トンの熱遮蔽軽水中に均一に拡散したとして約 $9 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$ の濃度上昇となる。

熱遮蔽軽水系への重水漏洩の監視はこの熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度の測定(運転サイクル当たり3回)によって行っており、試験運転以後の熱遮蔽軽水中のトリチウム濃度の測定結果をTable 8-2に示す。

8.3 炉頂の空間放射線量率

JRR-2改修工事後の炉室内及び炉頂の空間線量率は炉心上部遮蔽体の改修及び水平中性子ビーム実験孔の各装置の遮蔽体の改良によって低減した。

炉頂の空間線量率の測定結果は、Table 8-3に示すように10 MW出力上昇試験時に、回転盤上面の表面で最大 0.3 mrem/h 、外周部(上段遮蔽体と炉体コンティメントの環状ギャップからのスリット)で約 5 mrem/h となっている。この外周部分は、旧遮蔽体の場合 1 rem/h 以上の漏れがあって、約 15 cm の鉄製の遮蔽体(通称、土俵)で補強しても全周で 10 mrem/h 以上の漏れがあった。この土俵は、燃料交換時に取外す必要があるなど炉頂作業上不便であり作業の能率を阻害していた。

この部分の遮蔽対策としては、下段環状遮蔽体及び上段遮蔽体と炉体コンティメントの間隙に高さ 40 cm のステンレス鋼を全周に現場合せで挿入した。この効果で、外周部の表面線量率は 2 mrem/h となった。また、外周部を利用運転に入ってから詳細にサーベイしたところ、局部的に約 $5 \sim 12\text{ mrem/h}$ 漏れていることが分かったがこの値は改修前の約 $1/10$ の値である。

なお、炉頂は10 MW運転中は、通常立入り制限区域として管理されている。

Table. 8-3 10 MW 運転中の炉頂の線量率測定結果

測定日 S 51年6月1日

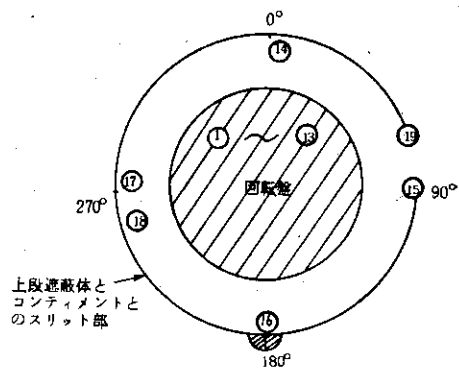
No	位置 注(1)	r線量率 mrem/h	速中性子		熱中性子		合計 mrem/h	備考
			計測値	線量率	計測値	線量率		
			cpm	mrem/h	cpm	mrem/h		
								注
①	実験孔 VT-1	0.15 0.08	60 200	0.01 0.03	140 100	0.05 0.04	0.21 0.15	上段 at 1 m 下段 表面
②	" VT-2	0.22	100	0.02	80	0.03	0.27	
③	" VT-7	0.15 0.25	120 60	0.02 0.01	160 120	0.06 0.05	0.23 0.26	He系の純度 He 98.47%
④	" VT-10	0.18 0.08	80 100	0.01 0.02	150 80	0.06 0.03	0.25 0.13	D ₂ 0.04% O ₂ 0.20% N ₂ 1.29%
⑤	" VT-12	0.08	100	0.02	100	0.04	0.14	
⑥	燃料孔 1 A	0.07	120	0.02	100	0.04	0.13	
⑦	" 4 A	0.08	200	0.03	100	0.04	0.15	
⑧	" 2 B	0.08	300	0.05	100	0.04	0.17	
⑨	" 5 B	0.06	60	0.01	100	0.04	0.11	
⑩	" 1 D	0.08	100	0.02	100	0.04	0.12	
⑪	" 4 D	0.09	350	0.06	100	0.04	0.19	
⑫	制御棒孔 CR-2	0.12	100	0.02	120	0.05	0.17	
⑬	" CR-5	0.10	120	0.02	80	0.03	0.15	
⑭	上段遮蔽体のスリット 0°	0.35 0.53	200 350	0.03 0.06	150 550	0.06 0.21	0.44 0.80	
⑮	上段遮蔽体のスリット 90°	0.35 0.75	150 100	0.03 0.02	150 320	0.06 0.12	0.44 0.89	* 1976.6.17 フィルムによる測定
⑯	" 180°	0.55 0.75	80 100	0.01 0.02	150 240	0.06 0.09	0.62 0.81	上段遮蔽体とコンテ イメントのギャップからの 最大スリット線量率
⑰	" 270°	5.20 1.90	220 200	0.04 0.03	200 350	0.08 0.13	5.32 2.06	r線 12 mR/h
⑱	" 260°付近	4.50	300	0.05	500	0.19	4.74	
⑲	" 80°付近	2.50	200	0.03	2500	0.95	3.48	

注 (1) 炉頂測定位置

注 (2) 測定器

GM サーベイメータ (G-199)

BF₃ サーベイメータ (NFT-43)



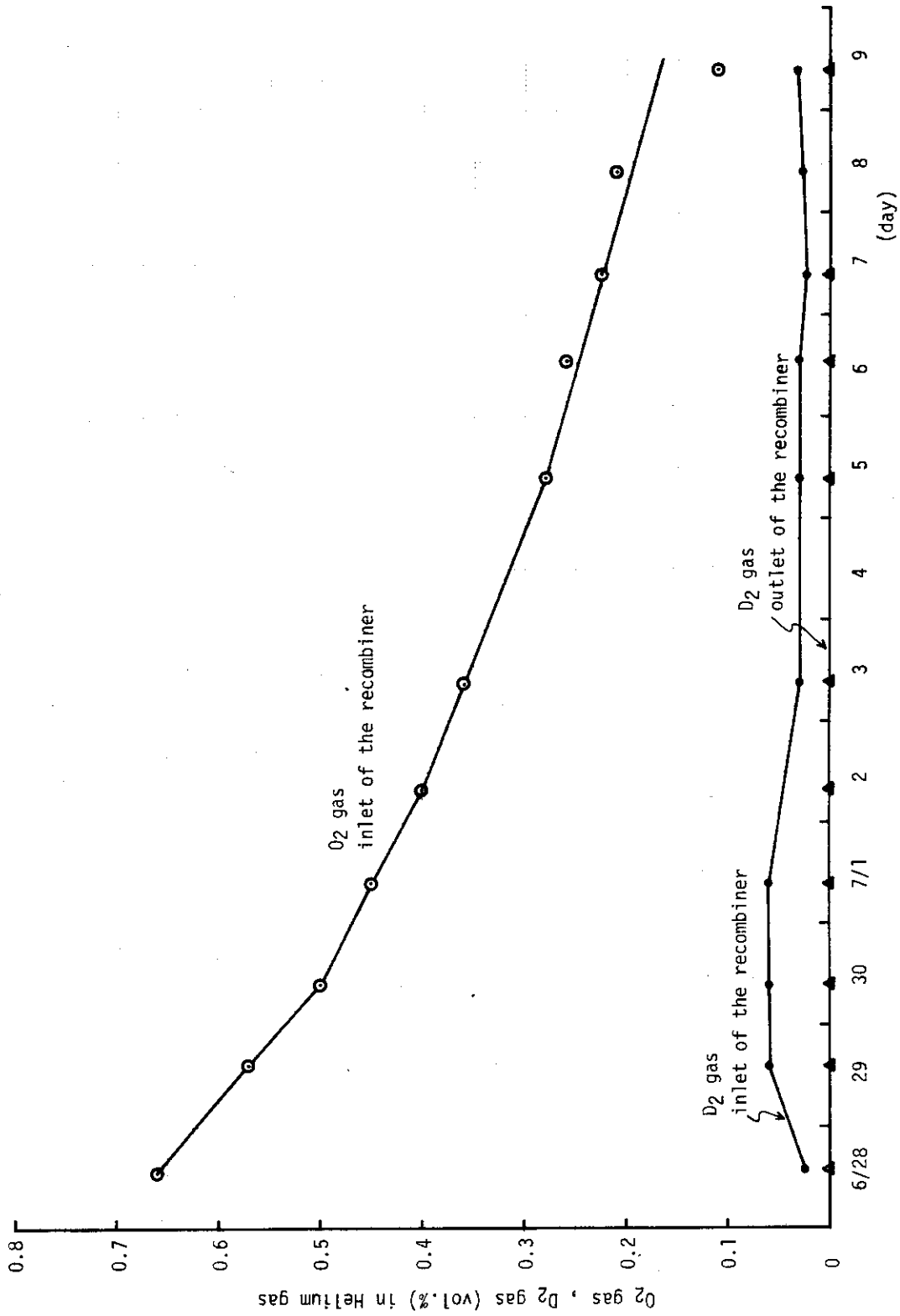


Fig. 8-1 ヘリウム中の重水素及び酸素濃度 (R-2-51-03 サイクル)

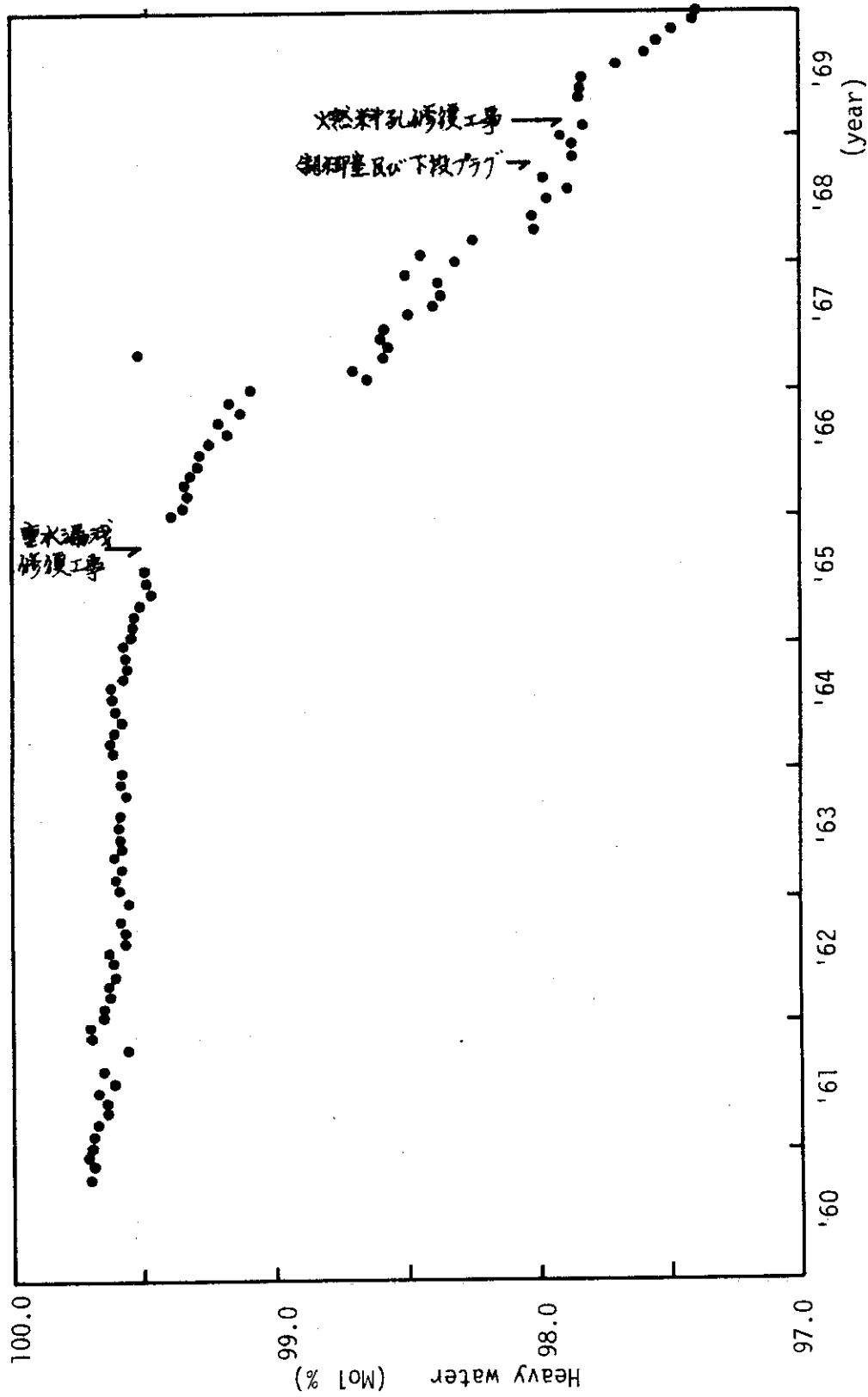


Fig. 8 - 2 JRR - 2 の重水濃度 (1960 ~ 1969)

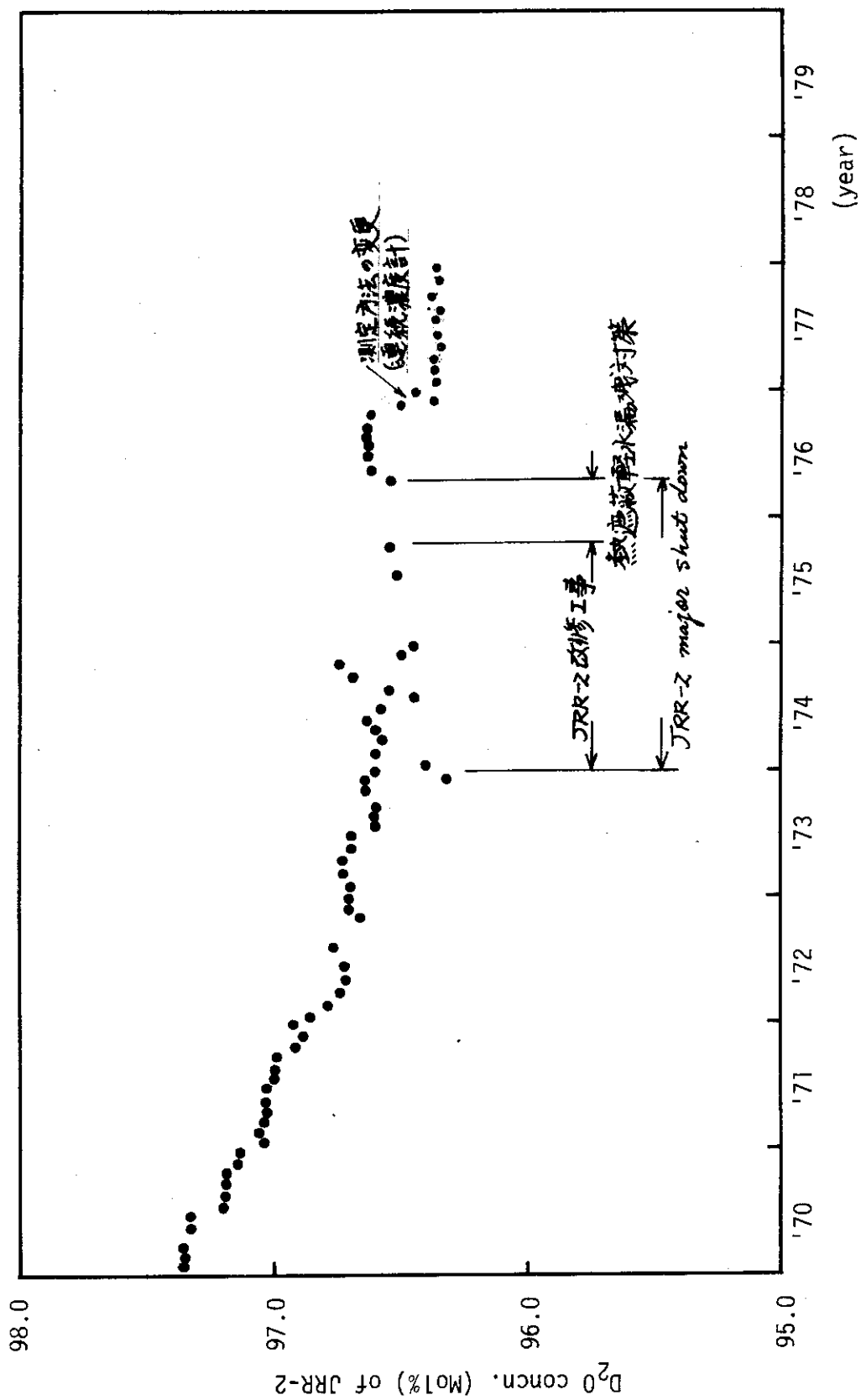


Fig. 8 - 3 JRR - 2 の重水濃度 (1970 ~ 1977)

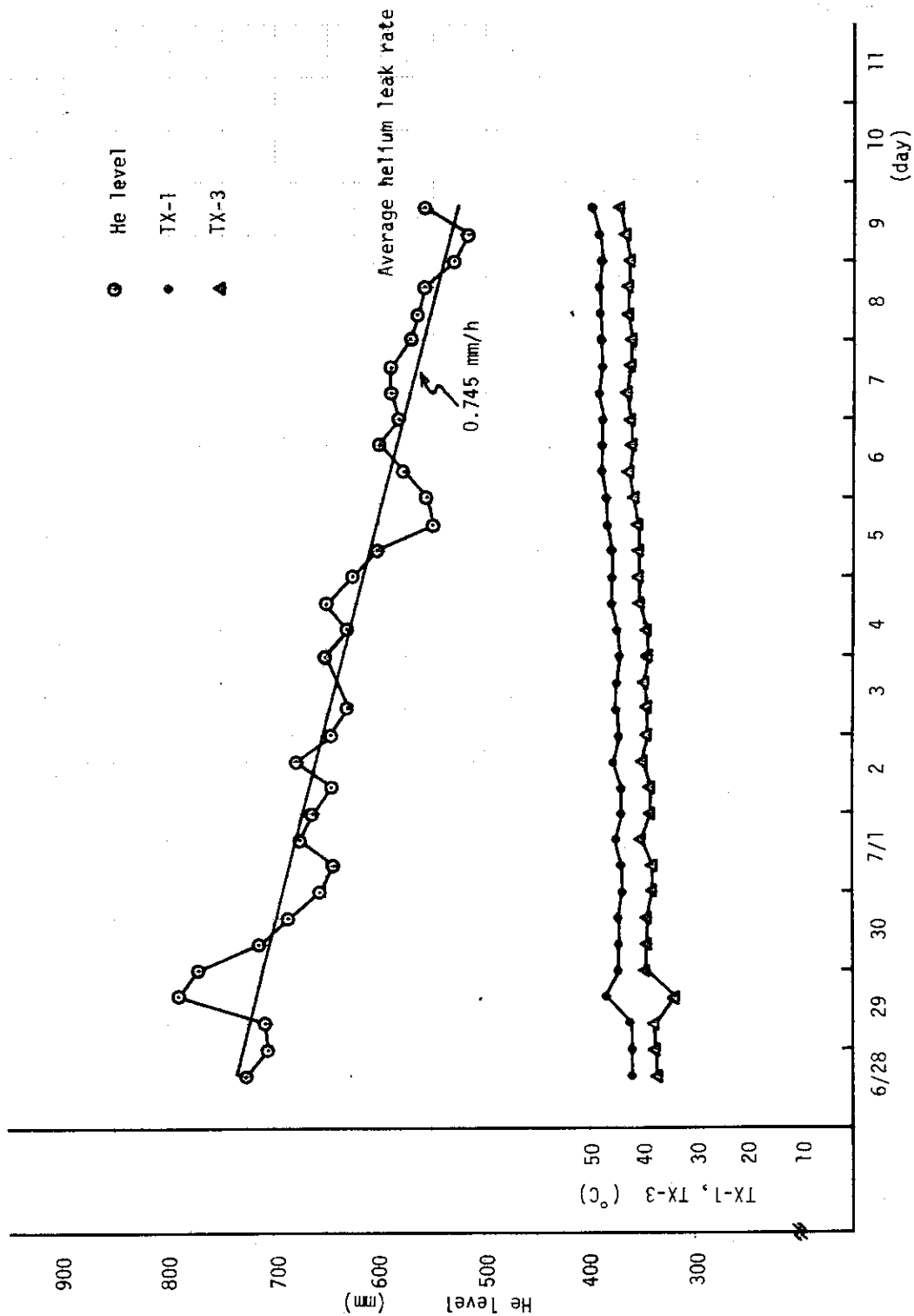


Fig. 8-4 ヘリウムガスホルダのレベル変化 (R2-51-03 サイクル)

9. あとがき

JRR-2 改修工事は本報で述べた重水漏洩防止と上部遮蔽体の腐食対策に端を発していたが、制御棒装置の更新、燃料交換キャスクの更新及び⁴¹Ar低減化対策も含め行った。

この工事は、既存の原子炉の大巾な改修という意味での多くの制約と、広範囲の問題を含んでいた。しかし、信頼性の高い工法で施工するためモックアップによる工法の選択、施工法の確認試験及び訓練がくり返し行われた。この結果を製作・据付作業への反映ができた意義は大きかった。解体、据付工事は、高放射線下での作業であったが、これまでの補修経験に基づく十分な計画、準備及び管理、そして施工メーカの協力とによって信頼性の高い施工結果と当初計画より十分低い被曝放射線量で初期の目的を達することができた。この経験は、原子炉の改修技術上の貴重な実績と考える。

改修工事後の利用運転は、すでに通算 21 サイクル（運転時間で約 5,500 時間）の運転を終了しており、過去の運転実績と比較して最も安定した運転を続けている。本報で述べた上部遮蔽体更新に伴う利用設備の改善と増設によって、今後多くの照射研究も期待できる。

最後に、JRR-2 原子炉は大型研究用原子炉として中性子束も高く他部門の利用者が多く、原子炉の安定運転と照射利用の拡大・新技術の開発が望まれているので、今後共一層の安定運転と効率的利用に努力したい。

謝 辞

本報で述べた工事の実施に当っては、その立案、準備、工事実施、そして今日の利用運転までには、原研内部の関係課室及び外部機関、メーカの多くの方々の協力に負うところが大きかった。特に、本工事の実施に当っては、第 3 次原子炉補修対策委員会、日立造船株、清水建設株の御協力、御援助を得たので、ここに厚く感謝の意を表します。

なお、本報をまとめるにあたって、研究炉管理部の深沢邦武部長、本間俊二次長、JRR-2 管理課角田準作課長の御指導を仰いだ。ここに深くお礼を申し上げる次第である。

9. あ と が き

JRR-2 改修工事は本報で述べた重水漏洩防止と上部遮蔽体の腐食対策に端を発していたが、制御棒装置の更新、燃料交換キャスクの更新及び⁴¹Ar低減化対策も含め行った。

この工事は、既存の原子炉の大巾な改修という意味での多くの制約と、広範囲の問題を含んでいた。しかし、信頼性の高い工法で施工するためモックアップによる工法の選択、施工法の確認試験及び訓練がくり返し行われた。この結果を製作・据付作業への反映ができた意義は大きかった。解体、据付工事は、高放射線下での作業であったが、これまでの補修経験に基づく十分な計画、準備及び管理、そして施工メーカの協力とによって信頼性の高い施工結果と当初計画より十分低い被曝放射線量で初期の目的を達することができた。この経験は、原子炉の改修技術上の貴重な実績と考える。

改修工事後の利用運転は、すでに通算 21 サイクル（運転時間で約 5,500 時間）の運転を終了しており、過去の運転実績と比較して最も安定した運転を続けている。本報で述べた上部遮蔽体更新に伴う利用設備の改善と増設によって、今後多くの照射研究も期待できる。

最後に、JRR-2 原子炉は大型研究用原子炉として中性子束も高く他部門の利用者が多く、原子炉の安定運転と照射利用の拡大・新技術の開発が望まれているので、今後共一層の安定運転と効率的利用に努力したい。

謝 辞

本報で述べた工事の実施に当っては、その立案、準備、工事実施、そして今日の利用運転までには、原研内部の関係課室及び外部機関、メーカの多くの方々の協力に負うところが大きかった。特に、本工事の実施に当っては、第 3 次原子炉補修対策委員会、日立造船(株)、清水建設(株)の御協力、御援助を得たので、ここに厚く感謝の意を表します。

なお、本報をまとめるにあたって、研究炉管理部の深沢邦武部長、本間俊二次長、JRR-2 管理課角田準作課長の御指導を仰いだ。ここに深くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) JAERI-memo 3646 (公開), JRR-2 の故障とその補修 (1969)
- 2) JAERI-M 5371, 研究炉・ホットラボの運転と技術管理 (昭和 47 年)
- 3) JAERI-M 5845, 研究炉・ホットラボの運転と技術管理 (昭和 48 年)
- 4) JAERI-M 6245, 研究炉・ホットラボの運転と技術管理 (昭和 49 年)
- 5) JAERI-M 6766, 研究炉・ホットラボの運転と技術管理 (昭和 50 年)
- 6) JAERI-M 6930, JRR-2改修工事に用いた塗料の諸試験及び施工法
- 7) JAERI-M 6943 JRR-2 改修後の特性測定 (1977)
- 8) 軽金属溶接技術会 「軽金属溶接」 (No. 132, 133, Vol. 14)
- 9) コンクリート工学 (Vol.13, No. 3, March 1975)
- 10) JAERI-M 7484 Modification of JRR-2

APPENDIX- I 炉体計測と据付工法

改修工事において特に留意したいことは、燃料要素の着座位置（グリッド）に対する各遮蔽体に設けられた挿入穴のセンターリングの問題であった。JRR-2建設時においてもこの据付のセンターリングの問題があったと記録されており改修においては特に高放射線下ということと、基準となるグリッドが重水面下にあることで計測及び据付に関して一貫した考えで行った。ここでは、センターリングに関して実施した計測及び各遮蔽体の据付の概略を記す。

(1) グリッド位置確認（図I-1参照）

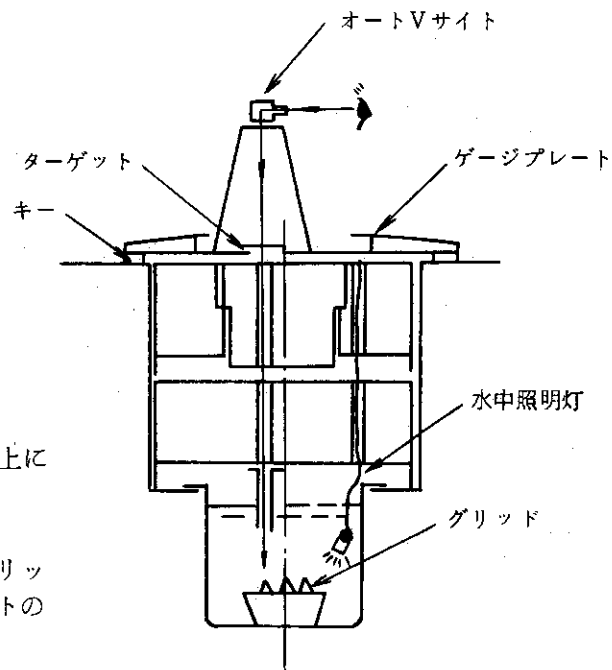
設計の段階で各遮蔽体の挿入穴については原設計の考え方の極座標（径と角度）からX, Y座標表示によって製作することにして極座標表示からX, Y座標に交換したゲージプレートによって重水面下のグリッドの全数及び制御棒位置の確認を行った。放射線被曝防止を考慮して旧遮蔽体を設置した状態で行った。最初はグリッド上面のポンチマークを基準に計測したがデータ解析の結果多少のバラツキがあったのでその後模擬燃料体を製作してその着座中心を計測した結果バラツキが少ない測定結果を得た。

(2) 遮蔽体のセンターリングと据付（図I-2参照）

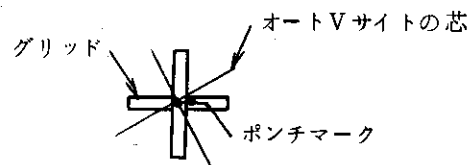
前項での測定の際ゲージプレートの設置をキーによって炉上面に三点で固定しており、キー位置を後の据付のために保存しておいた。各遮蔽体の据付はこのゲージプレートと先の測定で得た相対的なX, Y方向のずれを基準として据付けることにした。方法は「振り下げ」及び垂直視準器（オートVサイト：東京光学社製）により行った。

遮蔽体据付の考え方は高放射線下の作業であるため現地での合せをできるだけ少なくする考えで下段中央遮蔽体のみ合せによることとすべてできるようにした。下段中央遮蔽体 - 燃料案内集合体及び下段中央遮蔽体 - 上段遮蔽体とは工場の仮組立の時点で合せておき現地での合せは下段中央遮蔽体と先に述べた測定位置との合せ、つまり、グリッドとのセンターリングによってすべてができるようにした。また、下段中央遮蔽体のキー・ボスについても従来の固定方法によらずに上面にて簡単に固定できるようにした。

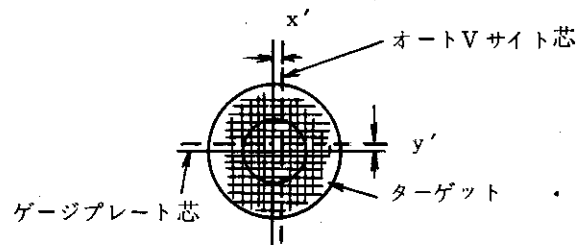
- (1) 炉上面にゲージプレートを固定し、その上にオートVサイトを設置する。(a)図参照)
- (2) 重水タンク内のグリッドに焦点を合せグリッドのセンターポンチマークにオートVサイトのセンターを合せる。(b)図参照)
- (3) その状態でゲージプレートの孔芯にターゲットを合せる。
- (4) オートVサイトの焦点をターゲット上に合せその目盛を読みとる。(c)図参照)
- (5) 計測は全孔について、前項2)~4)の操作でグリッドの芯とゲージプレートのとの相対位置を記録する。



(a) 測定要領

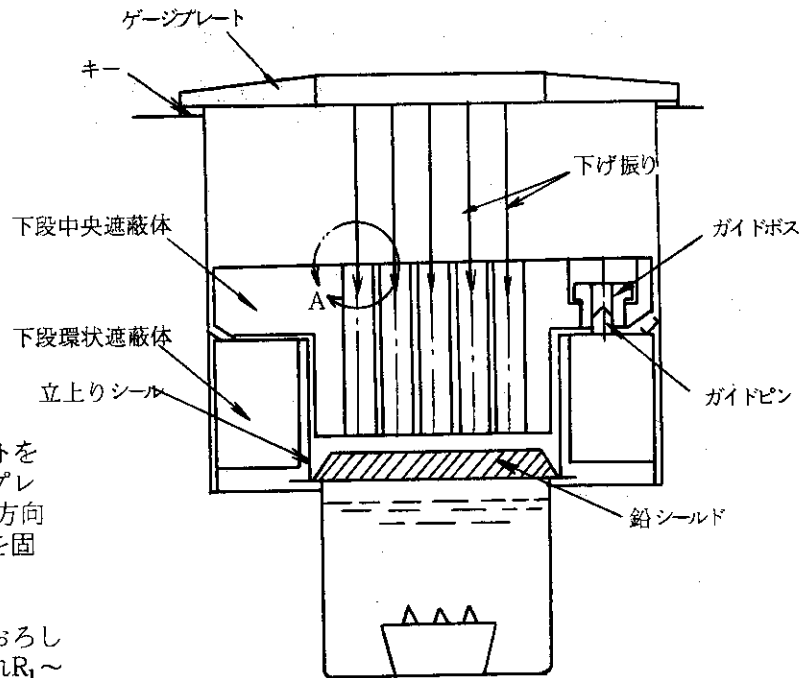


(b) オートVサイトの芯合せ

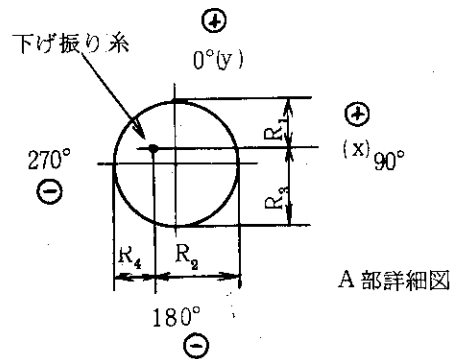


(c) ターゲットによる読み

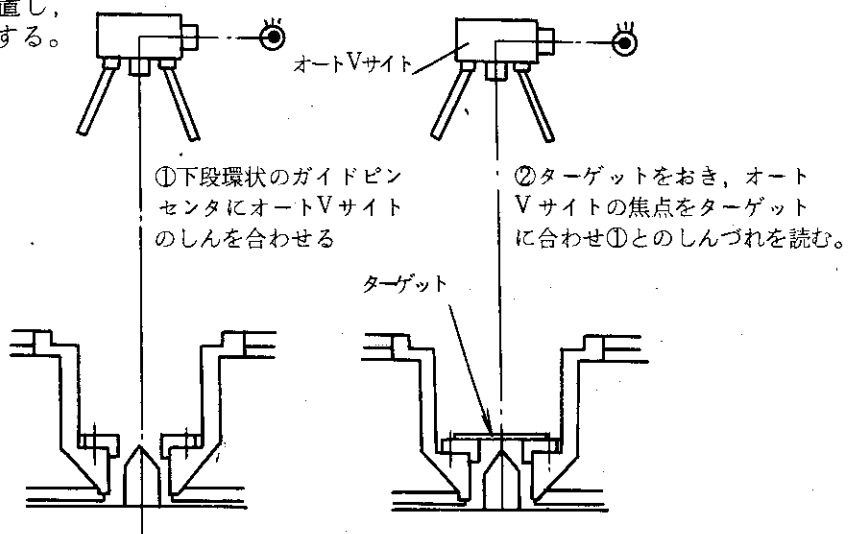
図 I - 1 計測方法



- (1) 炉上面のキーにゲージプレートを設置し、先の測定で得たゲージプレートセンタとターゲットのX, Y方向のずれを正確に出しターゲットを固定。(5点)
- (2) その位置より"下げ振り"をおろしゲージプレートに対するしんづれ $R_1 \sim R_4$ を計測し記録する。(a)図参照)
- (3) 次にキー(下段環状遮蔽体)ボス(下段中央遮蔽体)の関係を3点についてオートVサイトで計測記録する。(ガイドピンに対するガイドボスのしんづれ)(b)図参照)
- (4) (2), (3)項の記録より位置関係を、計算する。
- (5) (4)項の計算より三点のガイドボスの穴明け位置の決定と穴ぐり加工をする。
- (6) 下段中央遮蔽体のガイドボスをボルト固定し、下段環状遮蔽体上に設置し、(1)~(2)項と同様に据付位置を検査する。



(a) 遮蔽体のしんづれ計測



(b) キー・ボスのしんづれ計測

図 1 - 2 センターリングと据付

APPENDIX- II 燃料要素の挿入時の着座安定性と 流水試験の結果

(1) 概要

炉心上部遮蔽体の燃料孔の形状の変更，燃料交換キャスクの更新によって従来の燃料交換の操作が変更（ロッド方式→チェン方式）された。これを受けて燃料要素も従来のJRR-2B（角型）燃料と円筒型燃料の上部，下部両アダプタのデザイン変更を行った。また，外径の大きい円筒B型燃料を開発し，使用できるようになった。

炉体設計と燃料の形状との関連で次の2点を検討した。

- ・ 燃料要素の着座安定性
- ・ 流水試験による設計データ

(2) 着座安定性の検討

既設炉体のグリッドノズル及びセンターリングによって据付ける遮蔽体に対する燃料要素の着座安定性は，計算による関連寸法を決定し，遮蔽体の仮組立時に模擬燃料要素の挿入試験で問題ないことを確認した。

i) 計算結果

検討した燃料タイプは改修後の炉心で混合して使用予定の3つである。これらの燃料が安全に着座するかどうか次の計算で評価した。

〔計算1〕

- ① 燃料挿入可能な限界傾斜角度 θ を求める。（図II-1参照）

$$\theta = 2^{\circ}14'$$

- ② ガイドチューブとノズルとの中心線のズレ α （図II-2参照）

$$\alpha = 1, 2, 3 \dots 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1 \quad \theta = 2^{\circ}10'$$

$$\alpha = 2 \quad \theta = 2^{\circ}07'$$

$$\alpha = 3 \quad \theta = 2^{\circ}03'$$

$$\alpha = 20 \quad \theta = 1^{\circ}02'$$

〔計算2〕

ガイドチューブ先端で燃料の傾く最大角度を求める。（図II-3, II-4, II-5参照）

① 円筒B型 $\theta = 1^{\circ}04'$

② B型燃料の場合 $\theta = 39'$

③③円筒型燃料の場合 $\theta = 45'$

以上の計算結果を表II-1にまとめた。計算結果は燃料上部アダプタの最大外径寸法107mmで検討したが，108mmの計算結果も併記して置く。

最大傾斜角は増えるがまったく心配のない値であり，着座安定性から108mmにすることに何ら問題はない。

最終的には、108mmに決定した。

次に仮組立試験時の試験項目として、図Ⅱ-6に示すように着座安定性の確認を行ったが、20mmの芯ずれに対しても着座し、問題ないことを確認した。

(3) 流水試験結果

ほぼ燃料のデザインが決定した時点で、模擬燃料体と流水試験装置を使用して次の試験を行い、燃料体及び炉体改修の設計データを得た。

- ① 円筒B型燃料を開発するに当たって、流水分布を好ましいものにする下部アダプタとカプセルガイドのデザインを決定する。
- ② JRR-2 B型燃料と円筒B型燃料を同一炉心に混合挿入できるように圧力損失をほぼ同程度にする。

この他にJRR-2 炉体改修工事に伴う次項のテストを追加した。

- ③ 燃料案内管（ガイドアレ）の水抜き穴の形状決定
- ④ 下部燃料プラグ（スペーサ）下部穴径の決定
- ⑤ 冷却水面盛上りの測定
- ⑥ 燃料浮上り抑止力の測定

燃料案内管をスカートとして使用するため、水抜き穴の位置は、重水面下5cm以下に明け、かつ、燃料の冷却水量を確保した上でヘリウム流路を確保するため、燃料上部の水面の盛上りを15cm以下におさえる必要があった。

燃料案内管（ガイドアレ）に明ける水抜き穴の位置、大きさ、数及びスペーサ下部穴径が重要な因子と考えられ、それを見出すために種々の形状について、JRR-2 炉外試験装置で試験を行い以下の結論を得た。

〔ガイドアレ水抜き穴の形状〕

試験結果から水抜き穴の形状は、冷却水面盛上りに大きく影響することがわかった。ガイドアレへの水抜き穴の形状、位置、配列、面積は図Ⅱ-7(a)のように決定した。

〔スペーサ下部穴径の決定〕

B型燃料の冷却水面盛り上りが他の条件の改良によっても20cm以下に下らないため、スペーサ下部穴径をB型燃料要素については、40φ、円筒B型については、50φと決定した。

〔冷却水面盛上りの測定〕

上記の組合せによって得たオーバーフローラインよりの水面盛上りの最も少ないデザインによる測定データは次のとおりであった。

- JRR-2 B型燃料 : 8.5 cm (1 m³/min の規定流量時)
- 円筒B型燃料 : 5.5 cm (")

ただし、円筒B型燃料は、最終デザインによる値ではないが、5.5cmより大きくなることは考えにくい。また、これらの値は機能試験の炉心測定ではほぼ一致していることを確認した。

〔燃料浮上がり抑止力の測定〕

スペーサ上部に載せた荷重を順次取り除いてゆき浮上がり直前の荷重を記録した。

- B型燃料 : 15.26 Kg (1 m³/min の規定流量時)
- 円筒B型燃料 : 12.26 Kg (")

ただし、円筒B型燃料は最終デザインによるものではないが大きな変化は考えにくい。

これらを設計データとし、燃料要素の浮上り抑止はスペーサ付下部燃料プラグのスペーサ部及びプラグ部の間にスプリングを入れた構造とし、定位置におけるスプリング圧が約30Kgとなるように設計した。またこれは、プラグを万一落下させた場合、燃料要素の破損防止を考慮した設計である。(図II-7(b)参照)

なお、スプリングに関して次のように設計した。

- * 線 径 5.5 mm ϕ
- * コイル径 75 mm ϕ
- * 有効巻数 4 巻
- * 自由長さ 120 mm
- * 材 質 SUS 631JI WPG

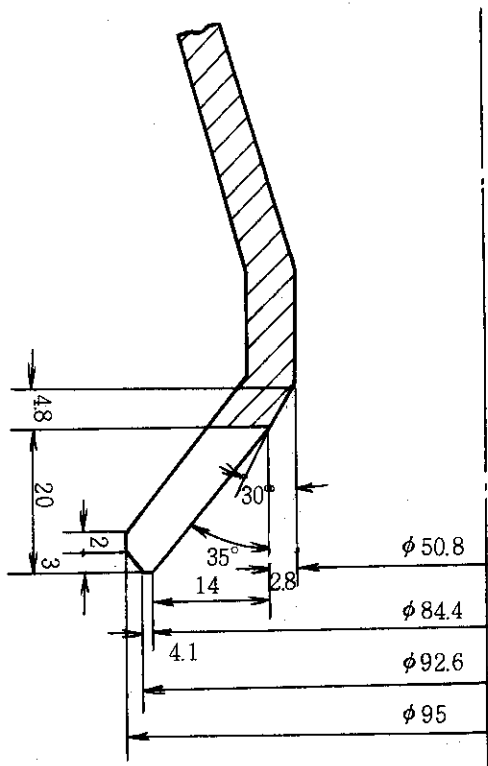
で下部燃料プラグにスプリングを装着した状態で22.9 Kgの圧縮荷重、また、使用状態(二点支持)のとき15 mm 圧縮され燃料要素に30.5 Kgの圧縮力が働らく。図II-8にスプリングの荷重とたわみの関係を示す。

表 II - 1 計算結果

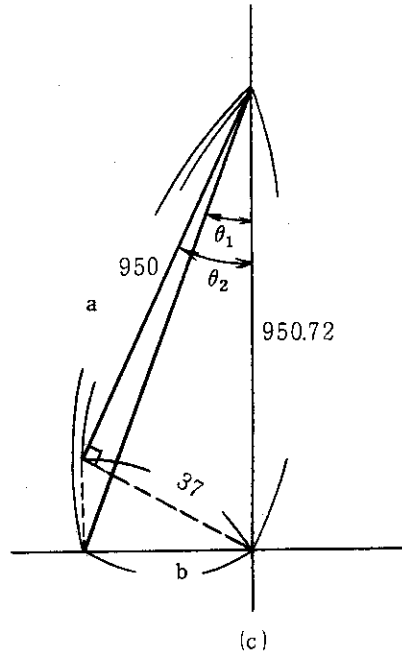
項 目		ガイドチューブとノズルの 中心線位置				
		センターズレ なし	センターズレ 1 mm	センターズレ 2 mm	センターズレ 3 mm	センターズレ 20 mm
燃料挿入可能な限界傾斜角度		2° 14'	2° 10'	2° 07'	2° 03'	1° 02'
円筒 B型	ガイドチューブ先端で の最大傾斜角度	$\phi_{107}^{*1)}$ 1° 07'	$\phi_{108}^{*1)}$ 1° 11'	1° 07'	1° 11'	1° 07'
	ガイドチューブ先端で の最大傾斜角度	$\phi_{107}^{*1)}$ 39'	$\phi_{108}^{*1)}$ 52'	39'	52'	39'
角 B型	ガイドチューブ先端で の最大傾斜角度	$\phi_{107}^{*1)}$ 45'	$\phi_{108}^{*1)}$ 47'	45'	47'	45'
	ガイドチューブ先端で の最大傾斜角度	$\phi_{107}^{*1)}$ 47'	$\phi_{108}^{*1)}$ 47'	47'	47'	47'
安定挿入性の判定		OK	OK	OK	OK	No ^{*2)}

注) *1) ガイドチューブ下端のリング内径を示す。

*2) 工場仮組立時に行った挿入試験時には挿入出来た(図II-6参照)
実際には20 mmのセンターズレは有り得ない。



(a)



(c)

①の説明

※ (a)図に示すように、高さ方向にして「20mm」テーパ部を延長した燃料について検討する。
(第17次以降の燃料に適用)

※ [条件] (b)図に示すように、ノズル頂部は、R7のゆるいカーブがつけられている。このゆるいカーブの部分は、平坦とみなし、燃料のテーパ先端が触れた場合は、挿入不能と仮定した。

燃料全長: 950mm

※ [計算] 限界傾斜角度を θ_1 とすれば(c)図に示す如く、

$$\tan \theta_2 = \frac{37}{950} = 0.0389$$

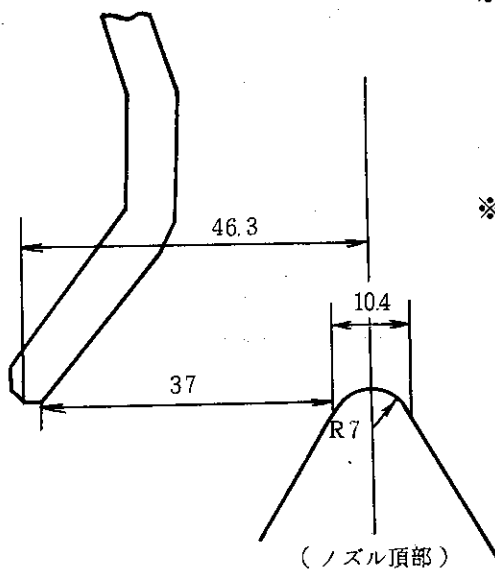
$$\therefore \theta_2 = 2^\circ 14'$$

$$\cos \theta_2 = \frac{b}{37} = 0.993$$

$$\therefore b = 36.97$$

$$\tan \theta_1 = \frac{36.97}{950.72} = 0.0389$$

$$\theta_1 = 2^\circ 14'$$



(b)

(ノズル頂部)

(参考) ノズルから脱落しない最大角度

$$\sin \theta = \frac{46.3}{950} = 0.0487 \quad \theta = 2^\circ 48'$$

図 II - 1 計算1説明図

②の説明

* ガイドチューブ中心線と、ノズルの中心線は設計では一致するが、実際の据付けにあたっては、多少のズレが起ることが予想される。ズレの大きさを α mmとして、 $\alpha=1$ mm, 2 mm, 3 mm・・・20 mmについて検討した。

* $\alpha=1$ mmの場合

図Ⅱ-1(b)図に示すテーパ部先端とノズル頂部との距離37 mmが36 mmになることに相当する。

従って、 $a=950$, $b=36$ とおけば

$$\sin \theta = \frac{36}{950} = 0.0379$$

$$\theta = 2^{\circ}10'$$

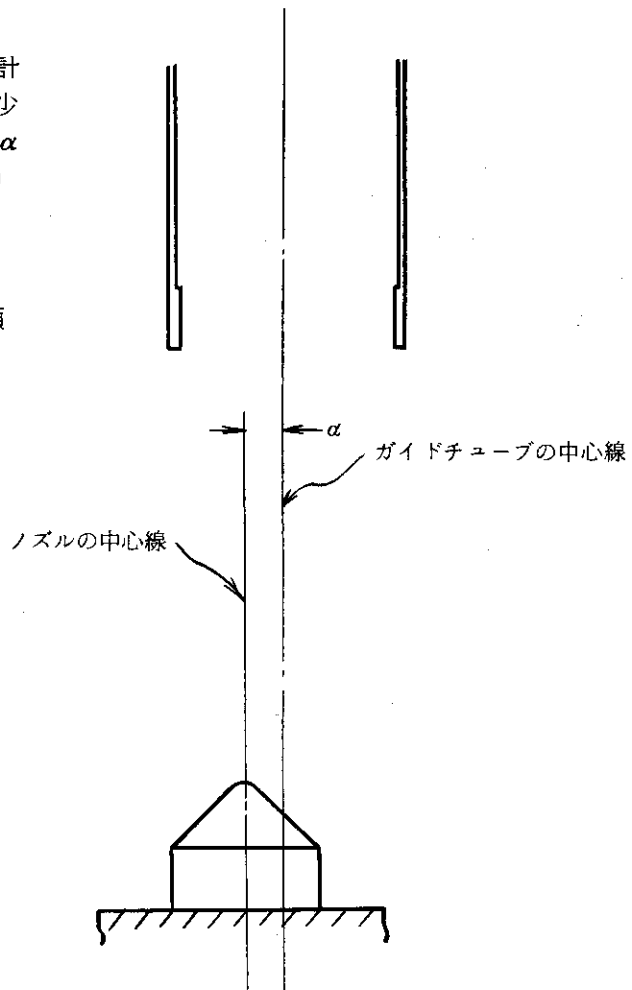
$\alpha=2$ mm, 3 mm, 20 mmの場合

同様にして、

$$\alpha = 2 \text{ mm} \quad \theta = 2^{\circ}07'$$

$$\alpha = 3 \text{ mm} \quad \theta = 2^{\circ}03'$$

$$\alpha = 20 \text{ mm} \quad \theta = 1^{\circ}02'$$



図Ⅱ-2 計算1説明図

① 円筒B型燃料の場合

ノズル頂部にテーパ部先端が達した時の燃料位置は(a)図に示す様なガイドチューブ端から108mm（実際は110mmとなるが、ノズル頭部のカーブ部を平坦とみなしているのでノズルが2mm程低い位置にあることになる）の位置に来る。此の時a図のようにガイドチューブの片側に寄り、(b)図に示すように傾く時が最大の傾き角となる。

最大傾斜角を θ とおけば、

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \text{ となる。}$$

$$\tan \theta_1 = \frac{105.5}{108} = 0.977$$

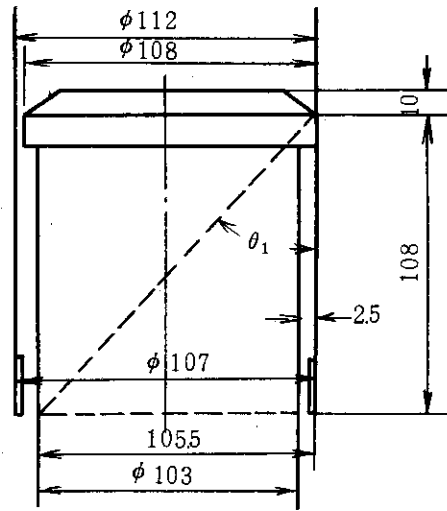
$$\therefore \theta_1 = 44^\circ 20'$$

$$\tan \theta_2 = \frac{109.5}{108} = 1.014$$

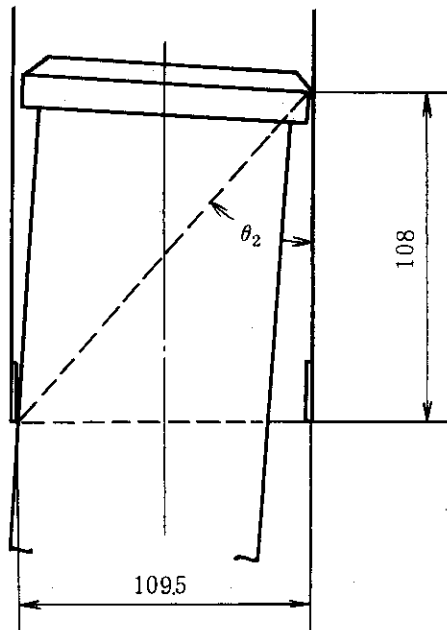
$$\therefore \theta_2 = 45^\circ 24'$$

$$\odot \theta = \theta_2 - \theta_1 = 45^\circ 24' - 44^\circ 20' = 1^\circ 04'$$

これは、燃料挿入可能な限界傾斜角度 $2^\circ 14'$ の半分以下の値であり、燃料挿入時にグリッドノズルから外れることはない。



(a)



(b)

図 II - 3 計算 2 説明図

② B型燃料の場合

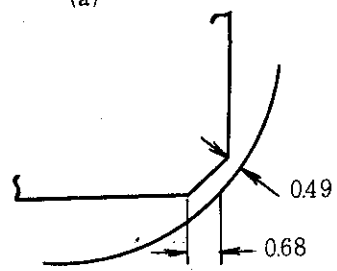
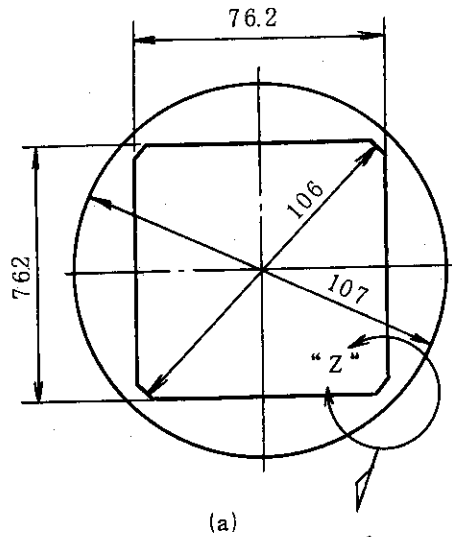
角型燃料の為、ガイドチューブ内径とのクリアランスは、対角寸法部分では、円筒B型燃料の場合よりもむしろきびしい。従って最大傾斜角度も小さくなるが、傾ける向きによって、クリアランスが異なるので、以下に述べるような条件を考慮に入れて検討をすすめた。

(イ) 角型燃料の4つのコーナ部は、切りおとし、対角寸法を106mmとした型である。

(ロ) 燃料要素の動きは、対角方向への動きと辺に平行な動きがあり辺に平行な動きのほうが大きくなる。

(ハ) コーナのカット部分は、直線にカットしている。この為、ガイドチューブ内側と、燃料要素との接触は辺とカット面とのコーナ部があたる。

以上三点をふまえ(a)図に示すごとく各々の寸法を求めた。



(b)図は片側に寄せた状態であり、(c)図は最大に傾けた状態を示している。最大傾斜角を θ とおけば、

$$\tan \theta_1 = \frac{941 - 082}{108} = 0864$$

$$\therefore \theta_1 = 40^\circ 49'$$

$$\tan \theta_2 = \frac{95.46}{108} = 0.884$$

$$\therefore \theta_2 = 41^\circ 28'$$

$$\odot \theta = \theta_2 - \theta_1 = 41^\circ 28' - 40^\circ 49' = 39'$$

挿入可能限界傾斜角度 $2^\circ 14'$ に比べ非常に小さく問題がない。

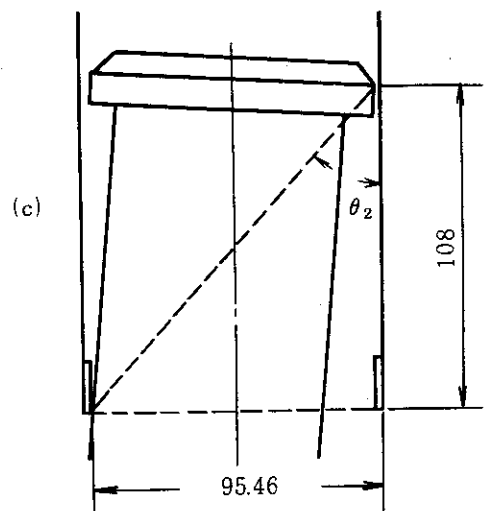
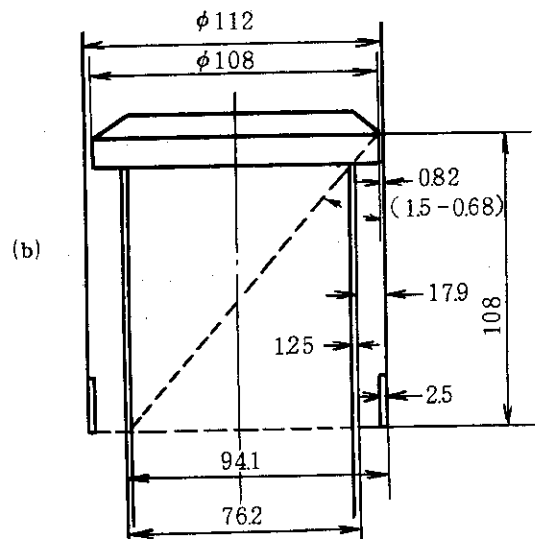


図 II - 4 計算 2 説明図

③ 円筒型燃料の場合

円筒型燃料の外筒はφ76.2と小さいが、上部アダプターが下方に伸びており、(a)(b)図に示すごとく外径はφ106の円筒型燃料と同じと考えてよい。

最大傾斜角度をθとすれば(a), (b)図より

$$\theta = \theta_2 - \theta_1$$

$$\tan \theta_1 = \frac{106+1}{108} = 0.981$$

$$\therefore \theta_1 = 44^\circ 30'$$

$$\tan \theta_2 = \frac{(109.5-0.5)}{108} = 1.009$$

$$\therefore \theta_2 = 45^\circ 15'$$

$$\therefore \theta = 45^\circ 15' - 44^\circ 30' \\ = 45'$$

挿入可能な限界傾斜角度 $2^\circ 14'$ に比べ十分に小さな値でありグリッドノズルから外れることはない。

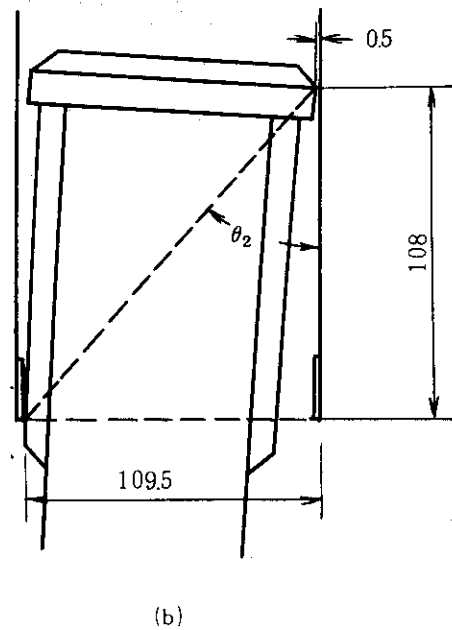
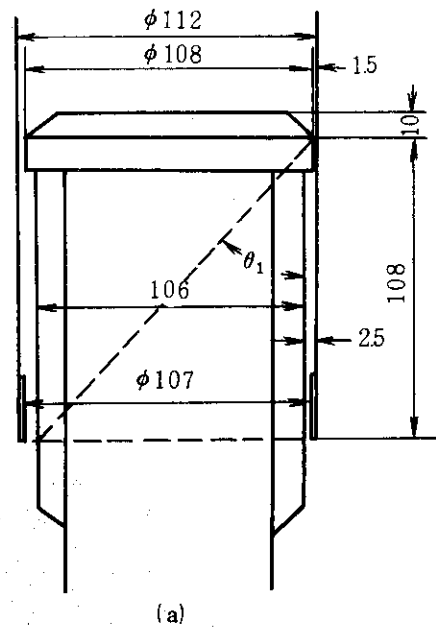


図 II - 5 計算 2 説明図



図Ⅱ-6 仮組立試験時の模擬燃料要素
による着座テスト、(写真は
20 mmの芯ズレ時の状態を示
す。)

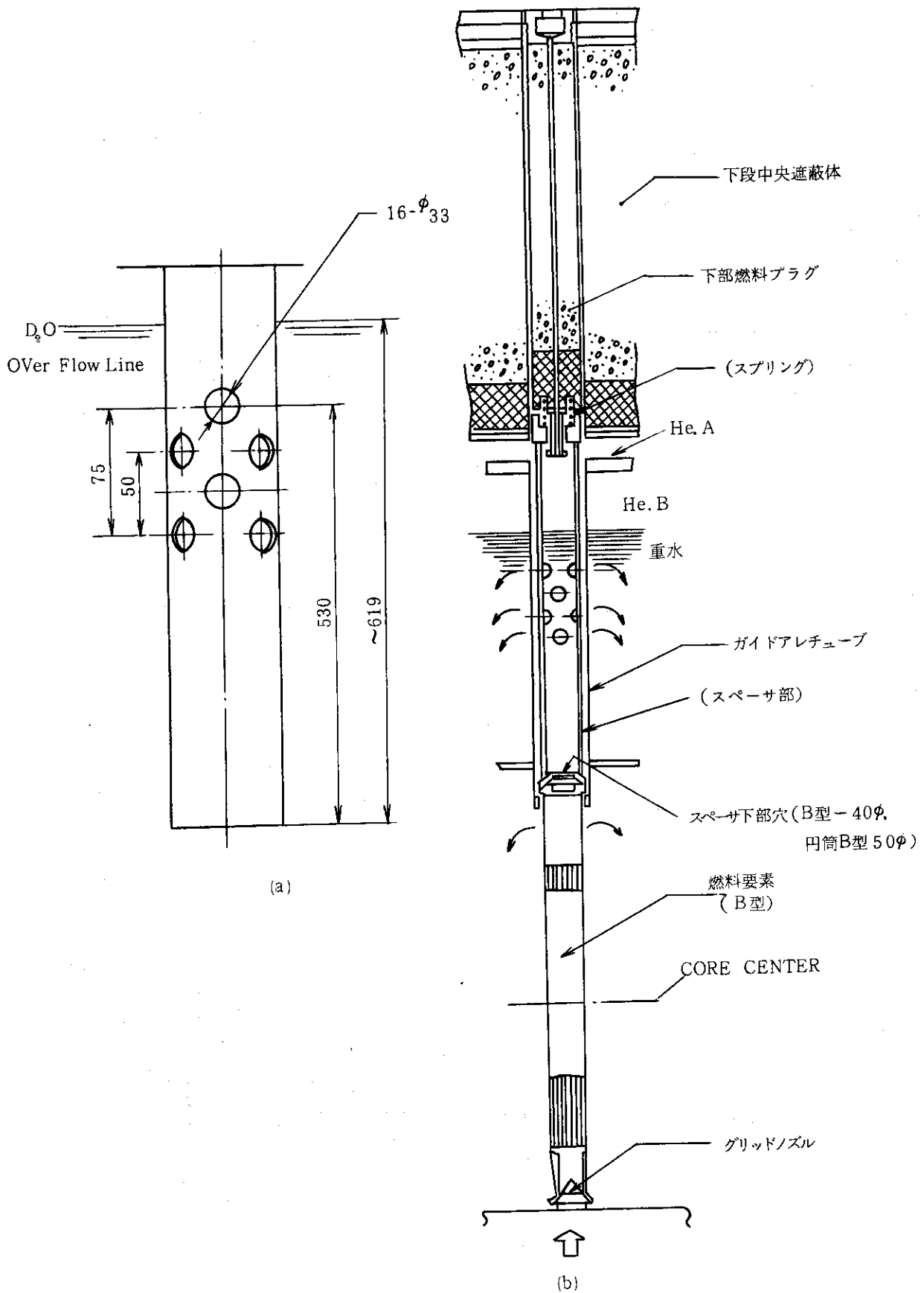
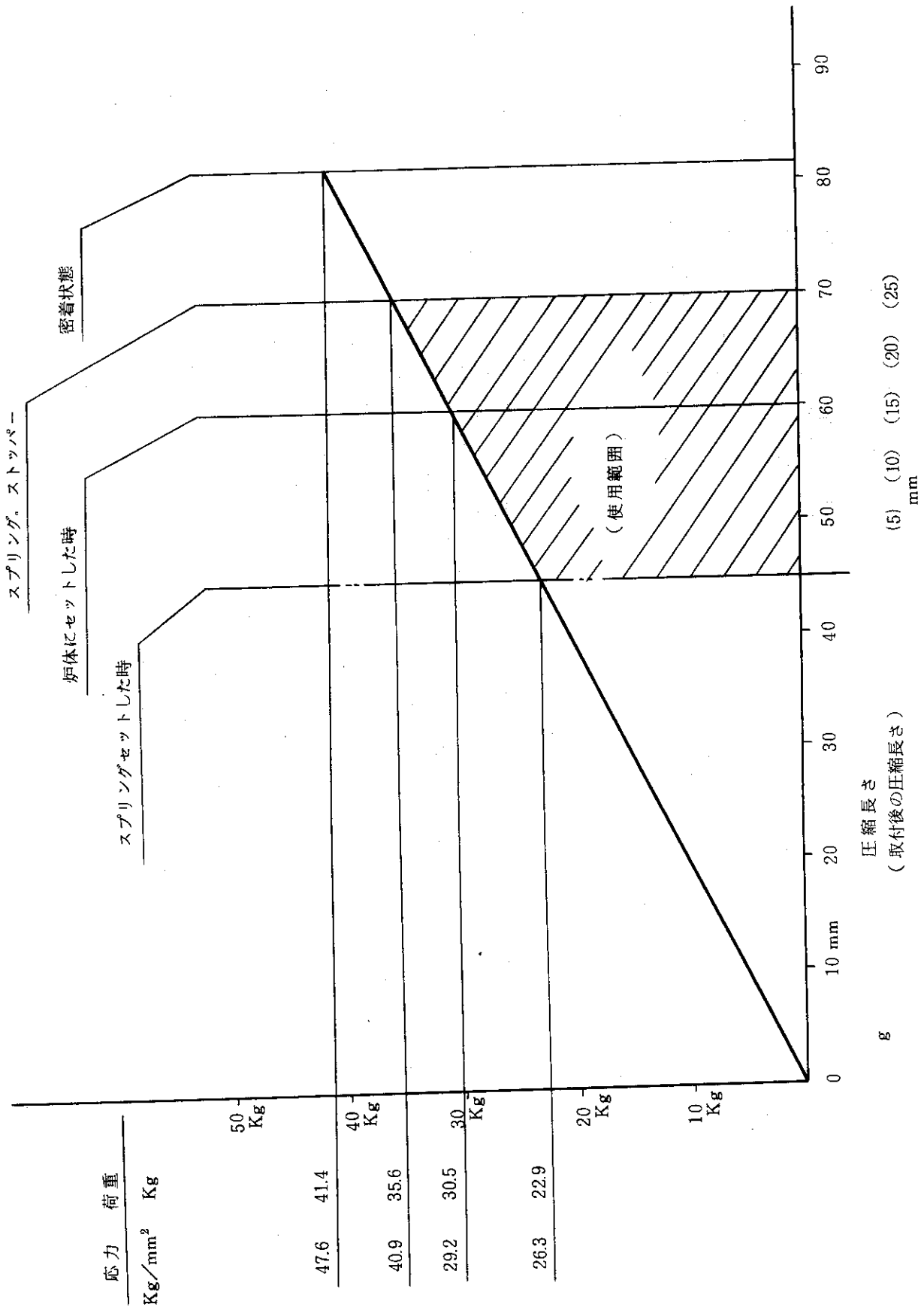


図 II-7 ガイダレチューブの寸法及び燃料要素と下部燃料プラグの組立状態図



図II-8 スプリングの荷重とたわみの関係

APPENDIX- III JRR- 2 炉内線量評価と結果

(1) 概要

改修工事を実施するに当たり、炉内各箇所の線量評価は、被曝管理上かかすことのできない条件である。この目的にそって事前に炉内各部の線量を測定し、このデータをもとに必要な作業領域の線量を推定した。

詳細な作業計画の見直し、遮蔽器材の準備はこれをもとに実施した。

以下、各部の測定値からの作業領域の推定値及び測定値の結果について二、三の例を示す。

(2) 各箇所の線量推定値並びに推定理由

表Ⅲ-1 に各作業を計画する上で特に重要な部分の線量推定値と推定理由、図Ⅲ-1, Ⅲ-2, Ⅲ-3 にそれらの根拠になった各部の放射線量率の分布図を示した。

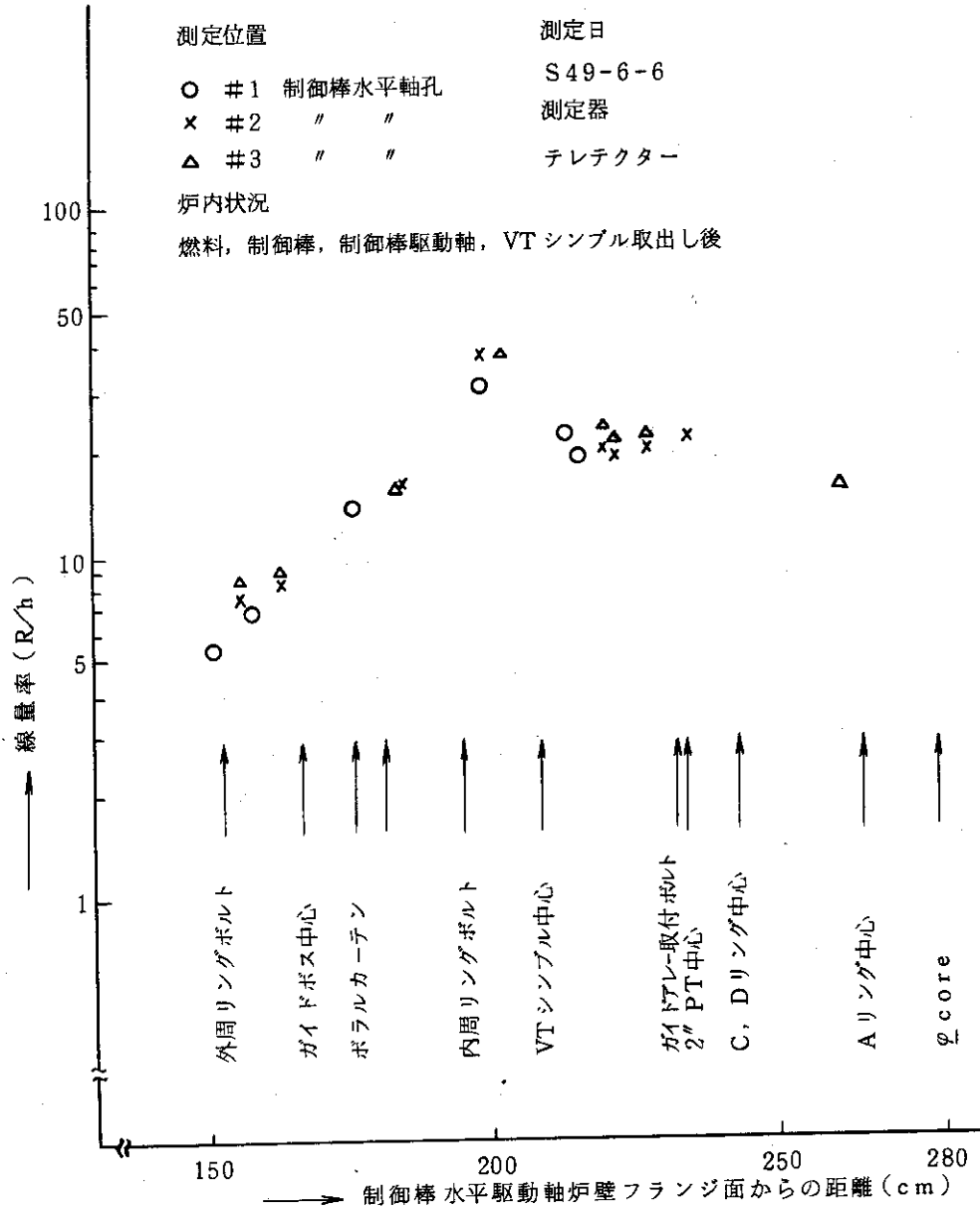
なお、各作業計画と作業用器材、廃棄容器類及び遮蔽材はこの推定値をもとに計画した。

(3) 作業時の線量率測定値の例

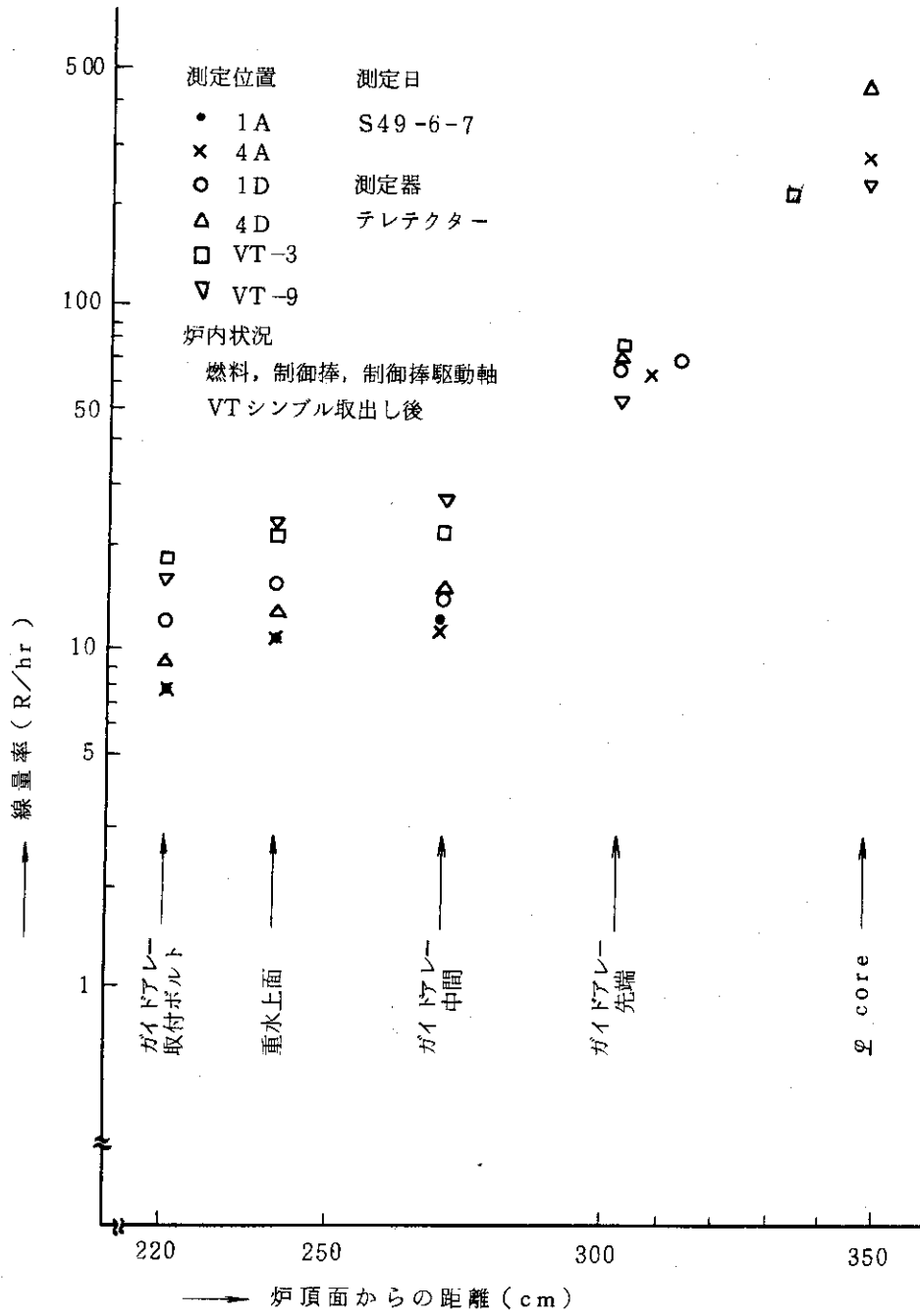
図Ⅲ-4 ~Ⅲ-8 にコンティメント内の作業実施時の線量測定結果の例を示す。

表Ⅲ-1 各部線量推定値

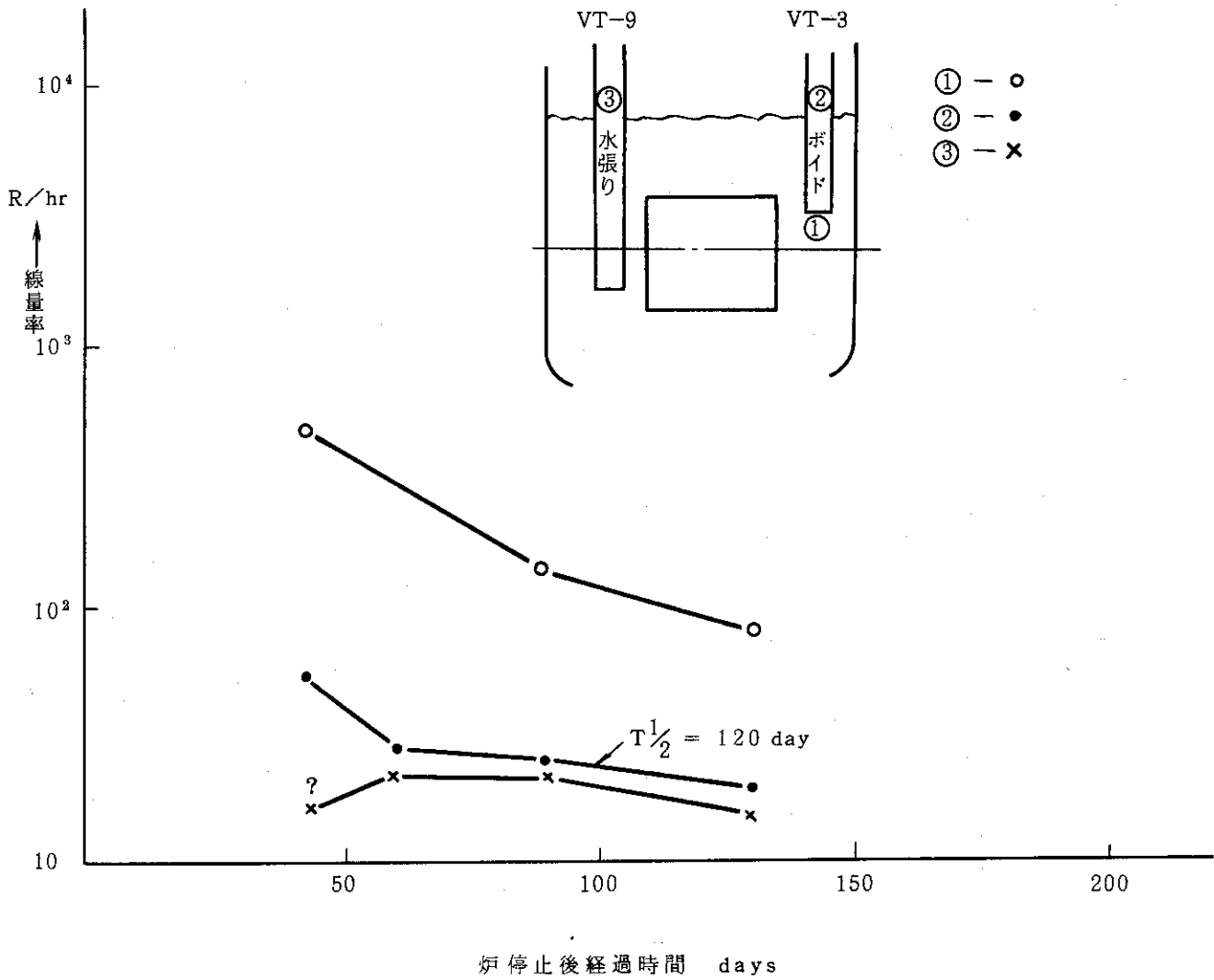
推定箇所	線量率 (R/hr)	理 由
ガイドボス	50 R/hr >	今回の測定では、ガイドボスを直接測定することができなかったが、過去の測定値から約4倍照射時間が増えているので左記線量率に推定出来る。
重水上面	10 R/hr	水平方向、垂直方向、両方向から測定した。その結果、ガイドアレー取付ボルト、内周ボルトの影響の少ないAリングからの垂直方向重水上面の値から推定した。
内周ボルト	40 R/hr	水平方向、測定値及び照射時間の両方から推定した。
外周ボルト	6 R/hr	照射量と今回の測定値から推定
ガイドアレー先端	20 R/hr	測定値は、60 R/hr 前後であるが、この線量率はグリッドプレートからの影響が相当考えられる (重水による減衰を考慮) そのため、実際の値は VT-9 シンプルの測定値 20 R/hr > が照射量の点で等価と評価し、推定した。



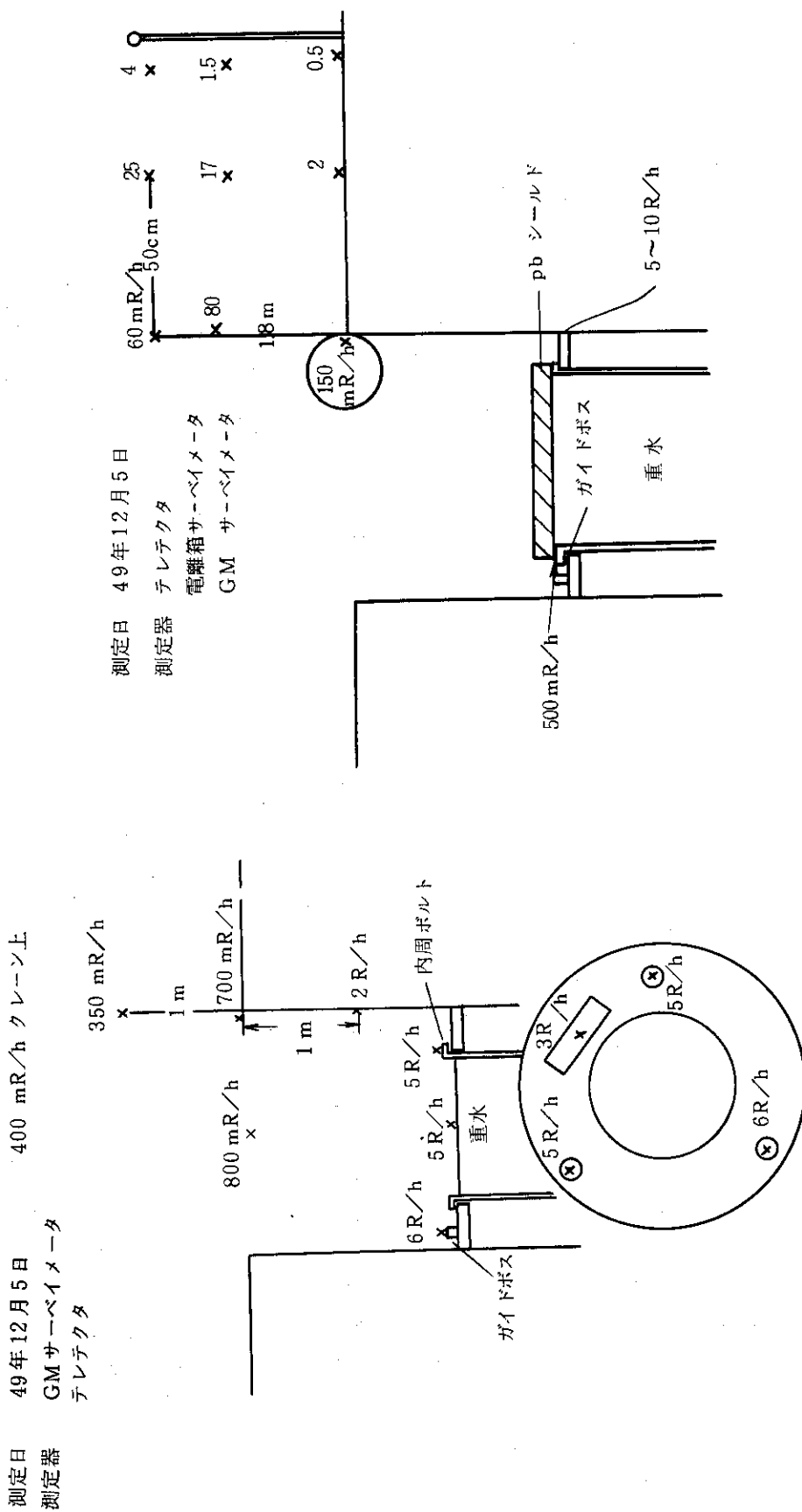
図Ⅲ-1 炉内線量率分布 (水平方向)



図III-2 炉内線量率分布 (垂直方向)



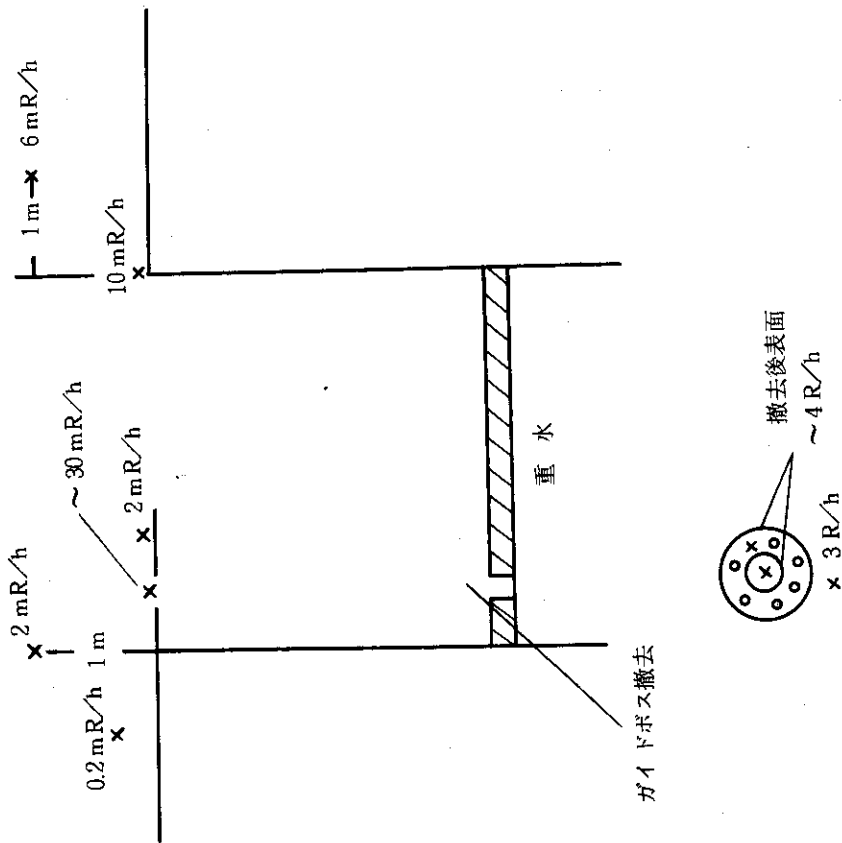
図Ⅲ-3 炉内線量測定値 (減衰図)



図III-4 下段遮蔽体取出後の線量率 (ガイドボス、ボルト撤去前)

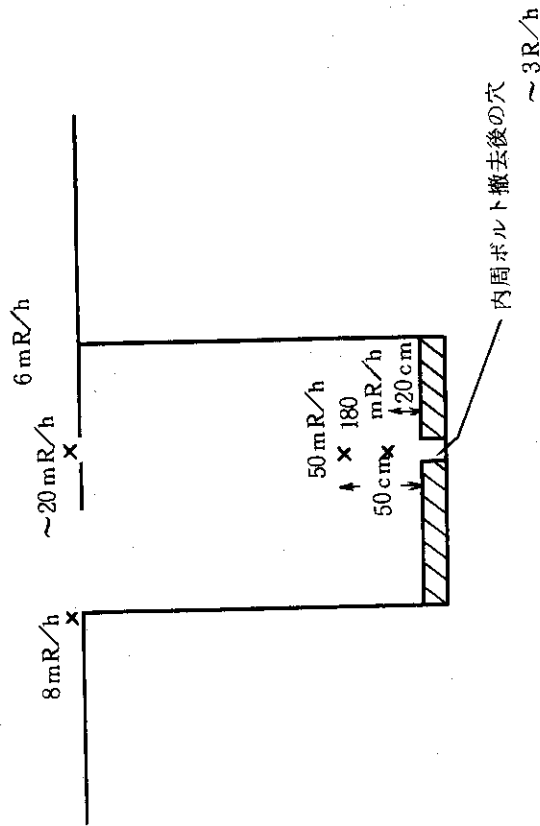
図III-5 重水タンク遮蔽後の線量率

測定日 49年12月9日
 測定器 テレテクタ
 電離箱サーベイメータ
 GM サーベイメータ



図III-6 ガイドポスト撤去後の線量率

測定日 49年12月11日
 測定器 テレテクタ
 電離箱サーベイメータ



図III-7 内周ボルト撤去後の線量率

APPENDIX-IV 改修工事期間の放射線被曝 線量について

(1) 作業概要

JRR-2は48年度の最終利用運転、第10サイクルを昭和48年12月16日完了後改修工事を開始し、50年11月11日の臨界まで約2年間の期間を要した。

解体撤去作業から始まり、遮蔽体類の据付完了までの作業項目を以下に示す。

	(年/月)
① 旧燃料及びスペーサ取出し作業	48/12
② 旧制御棒、垂直孔シンプル撤去作業	49/5
③ 内周リングの腐食状態観察作業	49/6
④ 旧制御棒、水平駆動軸及びVT-1~9 シンプル・プラグの廃棄作業	49/8
⑤ 大型バルブ交換予備試験のためのDV-5, 及びDV-7 近くの線量率測定	49/12
⑥ CIC及びUIC チェンバ取出し作業	49/10
⑦ ヘリウム系配管変更工事	49/11~50/1
⑧ 上段プラグ、下段プラグの取出し作業、ガイドボス、内周ボルトの撤去作業、遮蔽作業	49/12
⑨ 炉頂盤カサ上げ工事の実施	49/12~50/4
⑩ ドレン孔穴埋め工事(炉頂盤のHeリークテスト)	50/4
⑪ 立上りシール溶接工事	50/6
⑫ 下段中央・上段遮蔽体据付工事	50/7~50/9

(2) 被曝管理基準

[原研職員] 全身被曝線量(含む内部被曝)

- 全期間 400 mrem/man (管理目標値)
- 要注意 300 mrem/man (全期間), 100 mrem/man (1ヶ月)

[外部業者]

外部業者に対する個人被曝線量(含内部被曝)の管理は準従事者(最大許容被曝線量は年間1.5 rem, ただし、皮膚の被曝の場合は年間3rem)とし、個人被曝線量管理基準値は次のとおりである。

- ① (株)日立造船, (株)日本アルミ, (株)昭和アルミ, (株)多摩川精機(以上RR-2改修工事に伴う下段, 上段遮蔽体, 立上りシール及び制御棒据付工事関係)
 - 全期間 300 mrem/man 要注意
 - 1週間 30 mrem/man
- ② (株)大昭和熱工業(ヘリウム系配管変更工事)
 - 全期間 200 mrem/man

(3) JRR-2 管理課員及び外部業者の被曝線量 (フィルムバッチ)

〔原研職員〕

解体から掘付完了までフィルムバッチによる被曝線量は最大 230 mrem/man, 平均 83 mrem/man であり計画被曝線量より十分低くすることができた。参考のために表Ⅳ-1 に昭和 48 年, 49 年, 50 年度各四半期における JRR-2 管理課員の外部被曝線量を示す。

〔外部業者〕

① (株)日立造船, (株)日本アルミ, (株)昭和アルミ, (株)多摩川精機, 関係者は全員最少検出限界以下 (< 20 mrem) であった。

② (株)大昭和熟工業

最大 160 mrem/man, 平均 43 mrem/man であった。

表Ⅳ-2 に外部業者関係の作業別被曝線量を示す。

(4) 計画時点の主な作業別推定被曝線量と結果を示す。

計画時の推定値 (昭和 47 年 7 月) は, 昭和 43 年 9 月の補修工事における線量率のデータと積算炉出力から昭和 49 年 3 月における各作業場所における放射線量率を推定し, 各作業に要する時間及び必要人員から算定したものであり, 計画各案についての被曝線量の相对比较及び被曝線量オーダーを知るために推定した。表で示す値は今回実施された案に対する推定値である。

当初高放射線被曝が予想された炉内各作業は遮蔽条件, 作業方法の考慮によって十分低い被曝放射線量となった。一方, ヘリウム配管変更工事は, 主に天井配管と複雑で狭いポンプルーム内の作業から遮蔽ができず作業時間も予想以上にかかり, 炉内作業に比して高い被曝放射線量となった。

表Ⅳ-1 昭和 48, 49, 50 年度各四半期における被曝線量

年 度	期	人 員 人	最 高 mrem	平 均 mrem	合計被曝量 mrem	総被曝線量 man - mrem
48	1	27	70	8	220	216
	2	29	100	30	860	870
	3	30	120	13	380	390
	4	30	40	1	40	30
	年	30	300	50	1500	1500
49	1	26	70	16	410	416
	2	25	30	2	50	50
	3	26	80	37	960	962
	4	26	40	11	286	286
	年	26	150	66	1706	1706
50	1	28	30	4.3	120	120
	2	28	70	12.5	350	350
	3	30	70	27.7	830	830
	4	29	140	39.3	1140	1140
	年	29	250	82.1	2380	2380

1. フィilmバッチ測定値による。
2. 最少検出限界以下, < 20 mrem
3. JRR-2 管理課職員の外部被曝線量である。

表IV-2 作業別外部被曝線量 (業者)

工 事 内 容	期 間 人 員	被 曝 線 量			
		フィルムバッチ		ポケット線量計	
		最大値 積算値 平均値	mrem man-mrem mrem	最大値 積算値 平均値	mrem man-mrem mrem
He 配管変更工事 (ポンプルーム作業)	18	160 780 43		163 1022 57	
炉頂盤かさ上げ工事	14	<20 - <20		53 215 15	
炉内寸法測定	9	<20 - <20		12 49 5	
炉内穴埋め工事	19	<20 - <20		21 107 6	
立上りシール設置工事	23	<20 - <20		28 318 14	
上・下段遮蔽体設置工 事	14	<20 - <20		11 30 2	
炉頂盤設置工事	12	<20 - <20		13 56 5	

表IV-3 JRR-2 改修工事の主な作業の推定被曝線量と結果

	計 画 時 推 定		改 修 工 事 被 曝 線 量				(計 画 被 曝 線 量)
	全 被 曝 線 量 (man-mrem)	平 均 被 曝 線 量 (mrem-man)	全 被 曝 線 量 (man-mrem)	平 均 被 曝 線 量 (mrem-man)	最 大 被 曝 線 量 (mrem-man)		
1. 解 体	9,300	310(職)	282(職)	8	59	(職)	100 mrem/man
2. 支持リング溶接前準備	1,4540	485(職)	550(職)	21	59	(職)	
3. 炉内溶接作業 (炉内寸法, 炉内穴埋め・立上りシール溶接)	8,400	840(業)	(業) -	(<20)	(<20)	(業)	(被曝管理基準) 全期間 - 300mrem/man 1週間 - 30mrem/man
			474	27	61		
4. 据付作業 (上段・下段中央遮蔽体その他ブラグ類)	1,600	50(職)	(職) (390)	(70)	(11)	(業)	
			742	59	21		
5. He 配管変更工事	-	-	(業) -	(<20)	(<20)	(業)	(被曝管理基準) 全期間 - 200mrem/man
			30	2	11		
(備 考)	昭和47年7月における推定値 JRR-2 管理課職員 30 名 業者 (主として溶接) 10 名として 推定	-	(業) (780) 1,022	(43) 57	(160) 163	(業)	<ul style="list-style-type: none"> JRR-2 管理課職員は全工事期間を通じて400mrem/man (管理目標値) 要注意300mrem/man (全期間), 100mrem/man (1ヶ月) を被曝管理基準とした。 ポケットドジメータの値, カッコ内はフィルムバッチの値。

注) (職)は JRR-2 管理課職員, (業)は施工業者を示す。

APPENDIX- V 耐震設計

V.1 遮蔽体の据付に関する耐震設計

遮蔽体の耐震設計は、当初各遮蔽体の位置決め用のガイドピンとボスが水平地震力に耐える考え方で、取付ボルトなどの強度を0.6 Gの水平力で検討した。しかしながら、「原子炉建家の地震応答解析」によって、遮蔽体の耐震設計基準を0.6 Gから0.8 Gに変更することになった。

各遮蔽体と炉体コンティメントの間隙にスペーサを挿入し、ガイドピンとボスの強度は耐震に関係しないようにした。

(1) スペーサの挿入場所

図V-1に示すように各遮蔽体と炉体コンティメントの間隙にスペーサを挿入し、遮蔽体の横ゆれを防ぐものとする。

即ち、上段遮蔽体と炉体コンティメント、下段中央遮蔽体と炉体コンティメントの間には、それぞれ円周8等分した箇所にてスペーサを挿入する。また、下段環状遮蔽体と炉体コンティメントの間には、全周にわたってステンレス鋼板を挿入する。(これは放射性のリーク防止を兼ねたもので高さ40cmである)

(2) 上段遮蔽体の上部で支持した場合の力の衡合いは式(1.1)と(1.2)になる。

$$F_B = \frac{WR - Pe}{2R} \quad (1.1)$$

$$= \left(\frac{1}{2} - 0.4 \frac{e}{R} \right) W$$

$$F_A = \left(\frac{1}{2} + 0.4 \frac{e}{R} \right) W \quad (1.2)$$

(1.1), (1.2)を計算すると

$$F_B = \left(\frac{1}{2} - 0.4 \times \frac{453}{1365} \right) \times 34000 = 12,486 \text{ Kg}$$

$$F_A = \left(\frac{1}{2} + 0.4 \times \frac{453}{1365} \right) \times 34000 = 21,513 \text{ Kg}$$

となる。

上記の F_A , F_B はコンティメントフランジ部に支えられる力を示したもので、いずれも正であることから上段遮蔽体は地震時に動かないことを意味する。

なお、コンティメントフランジには $P = 0.8 W = 27,200 \text{ Kg}$ の圧縮荷重がスペーサに加わる。スペーサの大きさを $300\ell \times 20t$ とした場合、

圧縮応力は

$$\sigma = \frac{27,200}{30 \times 20} = 453 \text{ Kg/cm}^2$$

であり、Aℓ (A 5052-O) であっても地震時の短期荷重であるので十分耐えられるものとする。

上段遮蔽体に加わる荷重 (垂直方向)

上段遮蔽体	26,600
回転盤	4,000
鉛環状遮蔽体	600
案内盤	100
プラグ類	2,000
ベアリング	700
合計	$W = 34,000 \text{ Kg}$

(3) 下段中央遮蔽体の耐震設計

下段中央遮蔽体に加わる荷重 (垂直方向)

下段中央遮蔽体	14,600 Kg
プラグ類	2,500
合計	$W = 17,100 \text{ Kg}$

下段中央遮蔽体は垂直方向荷重を下段環状遮蔽体によって支え、水平方向はスペーサを介してコンティメントで支えられるものとする。(図V-3)

$$F'_B = \frac{W'R' - P'h^2 - P'h_1}{2R} \quad (e' = h_1 + h_2)$$

$$= W \left(\frac{1}{2} - 0.4 \frac{e'}{R} \right) \quad (1.3)$$

$$F'_A = \frac{W'R' + P'h_2 + P'h_1}{2R'}$$

$$= W \left(\frac{1}{2} + 0.4 \frac{e'}{R} \right) \quad (1.4)$$

上式を計算すると

$$F'_B = 17,100 \times \left(\frac{1}{2} - 0.4 \times \frac{400}{1052} \right) = 5,950 \text{ Kg}$$

$$F'_A = 17,100 \times \left(\frac{1}{2} + 0.4 \times \frac{400}{1052} \right) = 11,150 \text{ Kg}$$

(2)の項の上段遮蔽体と同様 F'_A 及び F'_B がいずれも正であるので動くことはない。また、スペーサの圧縮応力は上段のスペーサと同じ大きさのものを挿入するとすれば、

$$\sigma = \frac{17,100 \times 0.8}{30 \times 2} = 228 \text{ Kg/cm}^2$$

となる。

(4) 下段環状遮蔽体の耐震計算

下段中央遮蔽体によって加わる荷重は転倒しない方向にあるのでここでの検討は、下段環状遮蔽体の自重(W'')のみとする。

下段環状遮蔽体の荷重 $W'' = 12,600 \text{ Kg}$

$$\begin{aligned}
 F_B'' &= \frac{W''R'' + P''e'' - P''H}{2R''} \\
 &= \left\{ \frac{1}{2} - \frac{0.4(H-e'')}{R''} \right\} W'' \quad (15) \\
 F_A'' &= \frac{W''R'' - P''e'' + P''H}{2R''} \\
 &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{0.4(H-e'')}{R''} \right\} W''
 \end{aligned}$$

上式を計算すると、

$$\begin{aligned}
 F_B'' &= \left\{ \frac{1}{2} - \frac{0.4 \times (810 - 430)}{1310} \right\} \times 12,600 = 4,838 \text{ Kg} \\
 F_A'' &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{0.4 \times (810 - 430)}{1310} \right\} \times 12,600 = 7,762 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

上段遮蔽体と同様 F_A'' 及び F_B'' は共に正であり動くことはない。なお、下段環状遮蔽体の上面でのシールリング溶接 (6 mm^t) は耐震設計上からも補強となる。

V.2 原子炉建家 (JRR-2) の地震応答解析

(1) 概要

JRR-2 原子炉建家及び本体の耐震設計は水平地震力として建家 0.3G, 原子炉本体 0.6G, の値を用いている。

今回の JRR-2 改修工事は、炉本体の炉心上部遮蔽体の改修である。

炉心上部遮蔽体の据付構造に対する耐震設計は静的解析として 0.6G で行ったが、さらに動的解析によって改修部分の地震力の評価をした。

動的解析は入力地震波として、現地波 (JPDR Site) を用い原子炉建家基礎面における予想最強地震 (最大加速度 180 GAL) で行った。この結果、炉心上部遮蔽体上面である炉頂面での倍率は、1.75 であり最大加速度は 315 GAL である。

なお、参考として現地波のほかに EL CENTRO, TAFT を入力地震波として用いた場合についても求めた。動的解析の手法は JPDR, NSRR の場合と同じである。

(2) 振動系モデル

振動系モデルの設定は、図 V-5 に示す建家断面図から図 V-6 のようにモデル化した。即ち、地下の基礎構造 1 質点と上部構造 5 質点とし、上部構造は曲げせん断変形、基礎構造体は剛体で

支持地盤に対して回転と水平移動を考慮した。

地下側面は、基礎構造体が土に埋設しているので弱い抵抗要素と評価した。

地震の入力は基礎底面からと、地面側面からの入力と考えられるが、ここでは基礎底面から入力する手法をとった。

(3) 地震入力

入力地震波は現地波を含めて次の3種を用いた。

現地波 (JPDR Site)	1966	N 30E	継続時間	7 sec
EL CENTRO	1940	NS	"	12 sec
TAFT	1952	S 69E	"	10 sec

最大加速度は180 GAL に規準化し、 $\frac{1}{100}$ sec きざみにデジタル化して使用した。

(4) 解析結果

振動性状の解析は、原子炉建家を弾性地盤に立つ変断面曲げせん断棒とし、振動特性方程式の固有値問題を解くことにより振動系の固有周期と振動モードを求めた。この結果を図V-7に示す。

応答解析は各地震波について各質点の応答を計算し、変位、加速度などを求めた。計算に用いた主な定数は表V-1 (質量、質点高さバネ定数) に示す。

各質点の最大加速度 (倍率) 及び最大偏位はDamping factor を一次モード5%, 二次モード10%, 3~6次モード5%として計算した。この結果を図V-8, V-9に示す。

これより、炉頂面での各地震波に対する倍率は

現地波 (JPDR Site)	: 1.75 (315 GAL)
EL CENTRO	: 4.4 (790 GAL)
TAFT	: 2.95 (530 GAL)

である。

各地震波に対する1階床応答加速度スペクトルを図V-10に示す。これによると、現地波による固有周期は0.2sec近辺にピークがある。

表V-1 JRR-2 加速度分布計算使用定数

質点番号	質量 $m_l (\frac{t \cdot sec^2}{cm})$	質点高さ $H_l (cm)$	バネ定数 $K_l (t/cm)$	備 考
5	0.388	1890	4.8×10^8	
4	0.194	1255		
3	0.153	1105	3.47×10^8	
2	0.224	995	7.66×10^8	
1	4.69	805	6.63×10^8	
0	4.85	0	136.0×10^8	$I_0^* = 2.20 \times 10^6 t \cdot sec^2 \cdot cm$

I_0^* 基礎の慣性モーメント

(次頁につづく)

コンクリートの定数

(1)

ヤング率係数	$E = 210 \text{ t/cm}^2$
せん断弾性係数	$G = 90 \text{ t/cm}^2$

地盤の定数

(2)

水平バネ定数	$K_0 = 1.55 \times 10^3 \text{ t/cm}^2$
回転バネ定数	$K_\theta = 1.82 \times 10^{10} \text{ t}\cdot\text{cm/rad}$

地盤のバネ定数は、地盤を半無限弾性体として定めた。

ここに、

$$K_0 = \frac{2 \pi}{1 - \mu} \cdot G \cdot r \quad (21)$$

μ : ポアソン比 = 0.45

G : 地盤のせん断弾性係数 $\approx 3 \text{ t/cm}^2$

r : 格納容器半径 $\approx 1283 \text{ cm}$

$$K_\theta = \frac{\pi}{2(1 - \mu)} \cdot G \cdot r \quad (22)$$

上部のバネは上下剛体床板がある場合（地階）

$$K = \frac{A \cdot G}{\alpha \cdot H} + \frac{12 EI}{H^3} \quad (23)$$

α : せん断応力補正係数

H : 質点間距離

A : せん断面積

片持形式の場合は（1階より上部）

$$K = \frac{A \cdot G}{\alpha \cdot H} + \frac{3 EI}{H^3} \quad (24)$$

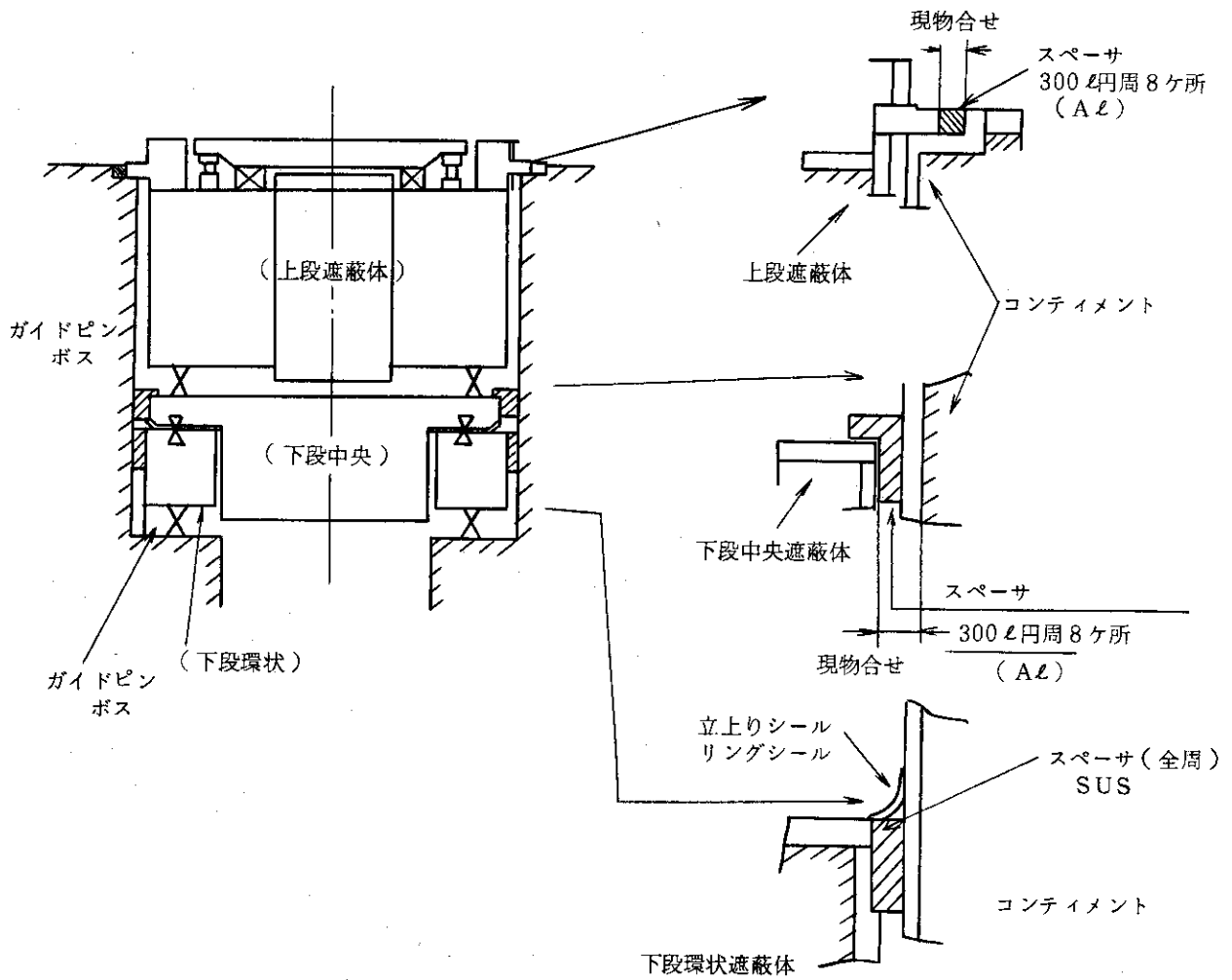


図 V-1 各遮蔽体の据付（スペーサの挿入方法）

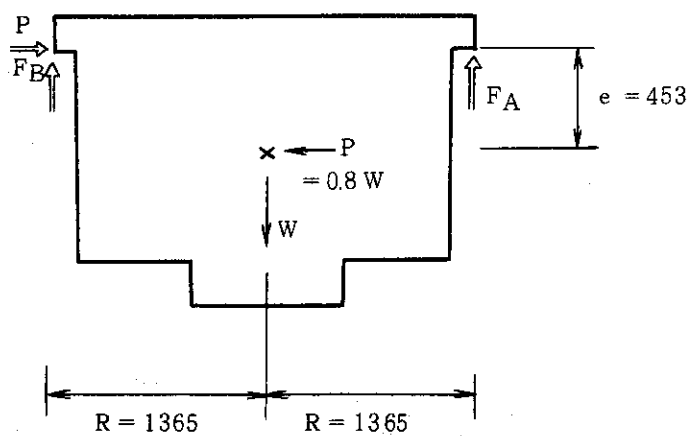


図 V - 2 上段遮蔽体の力の衡合い

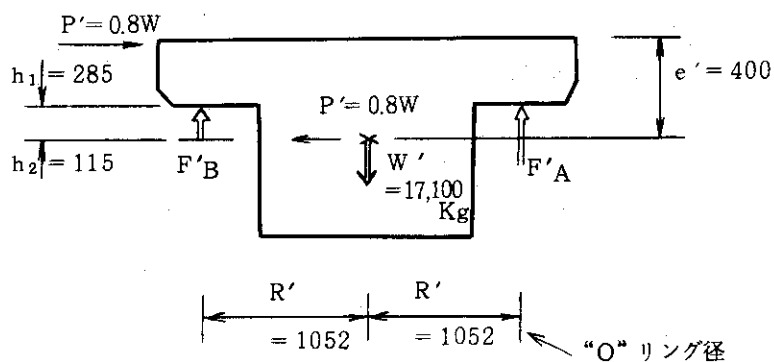


図 V - 3 下段中央遮蔽体の力の衡合い

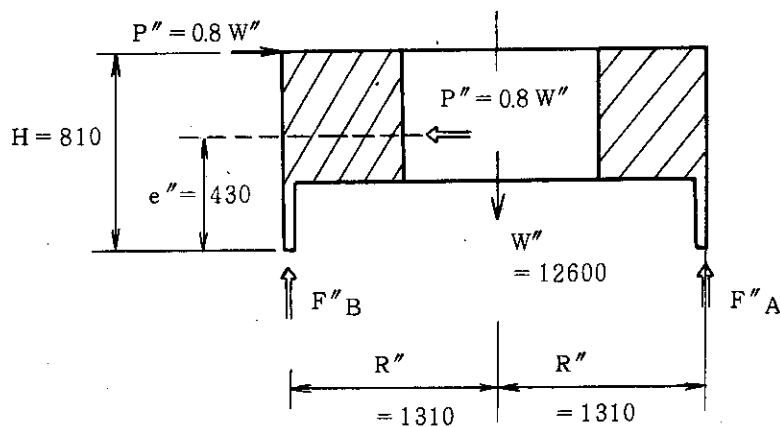
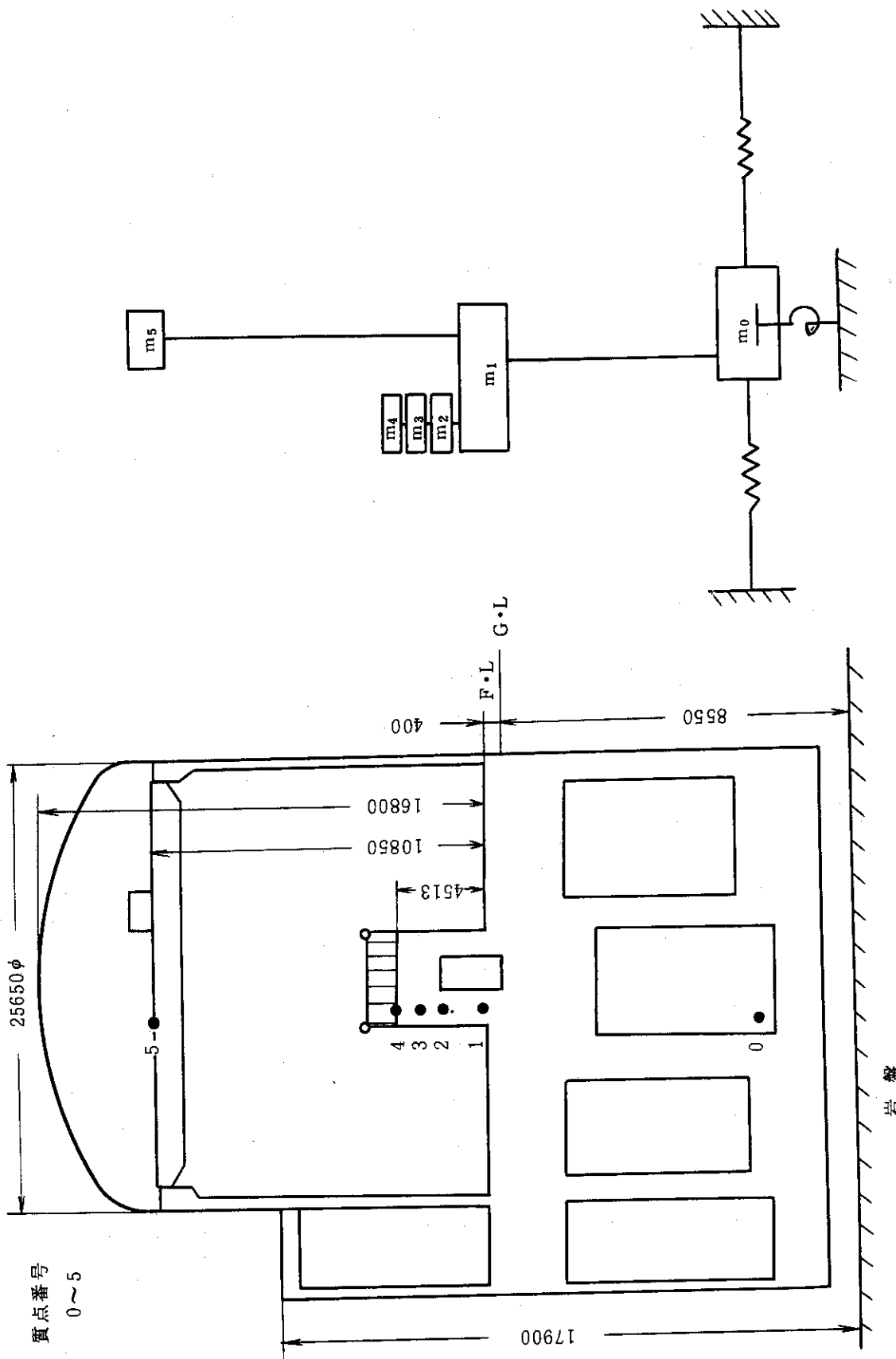


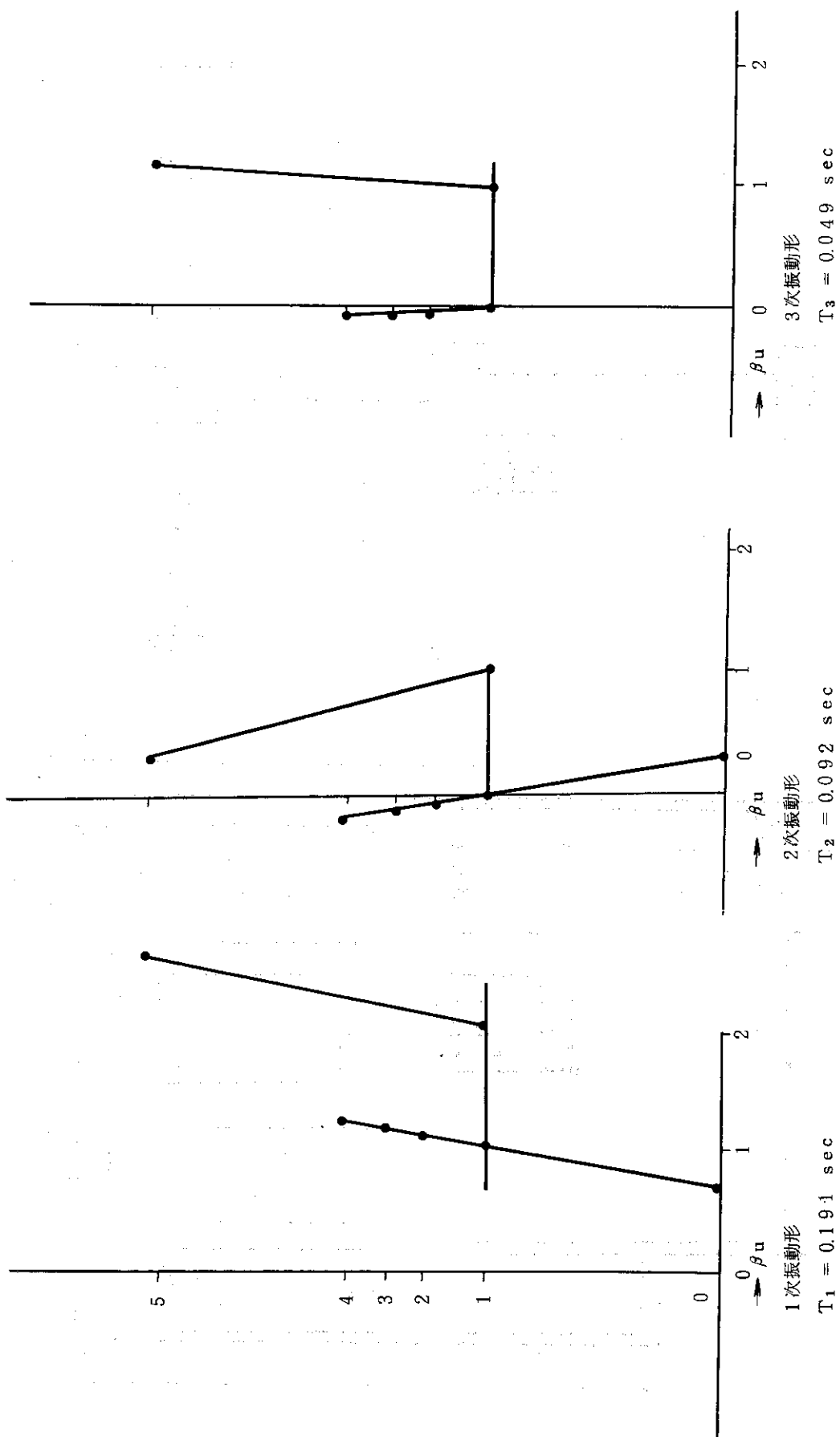
図 V - 4 下段環状遮蔽体の力の衡合い



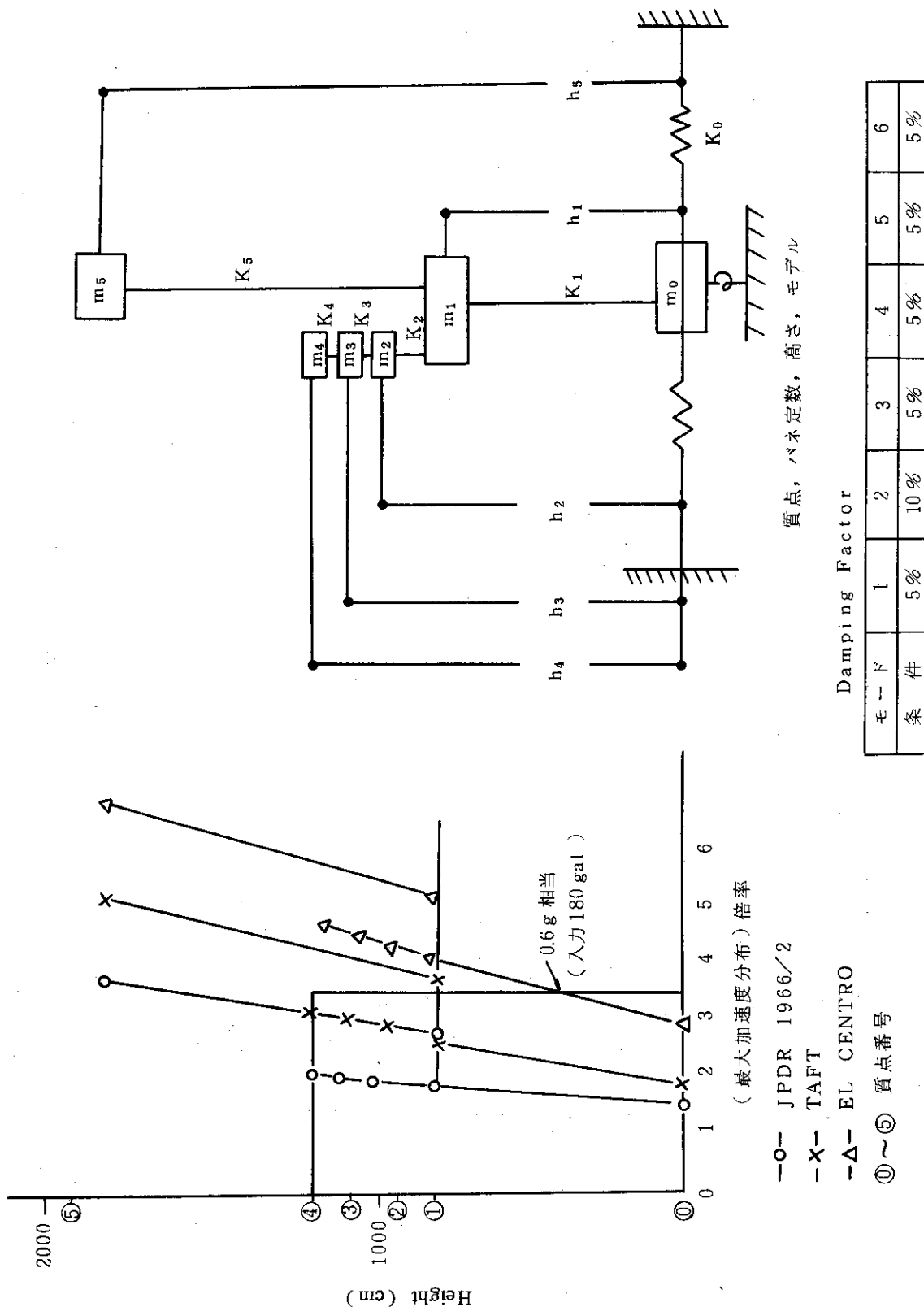
図V-6 JRR-2モデル

図V-5 JRR-2 建家断面

質点番号
0~5



図V-7 固有周期と固有モード



図V-8 最大加速度分布

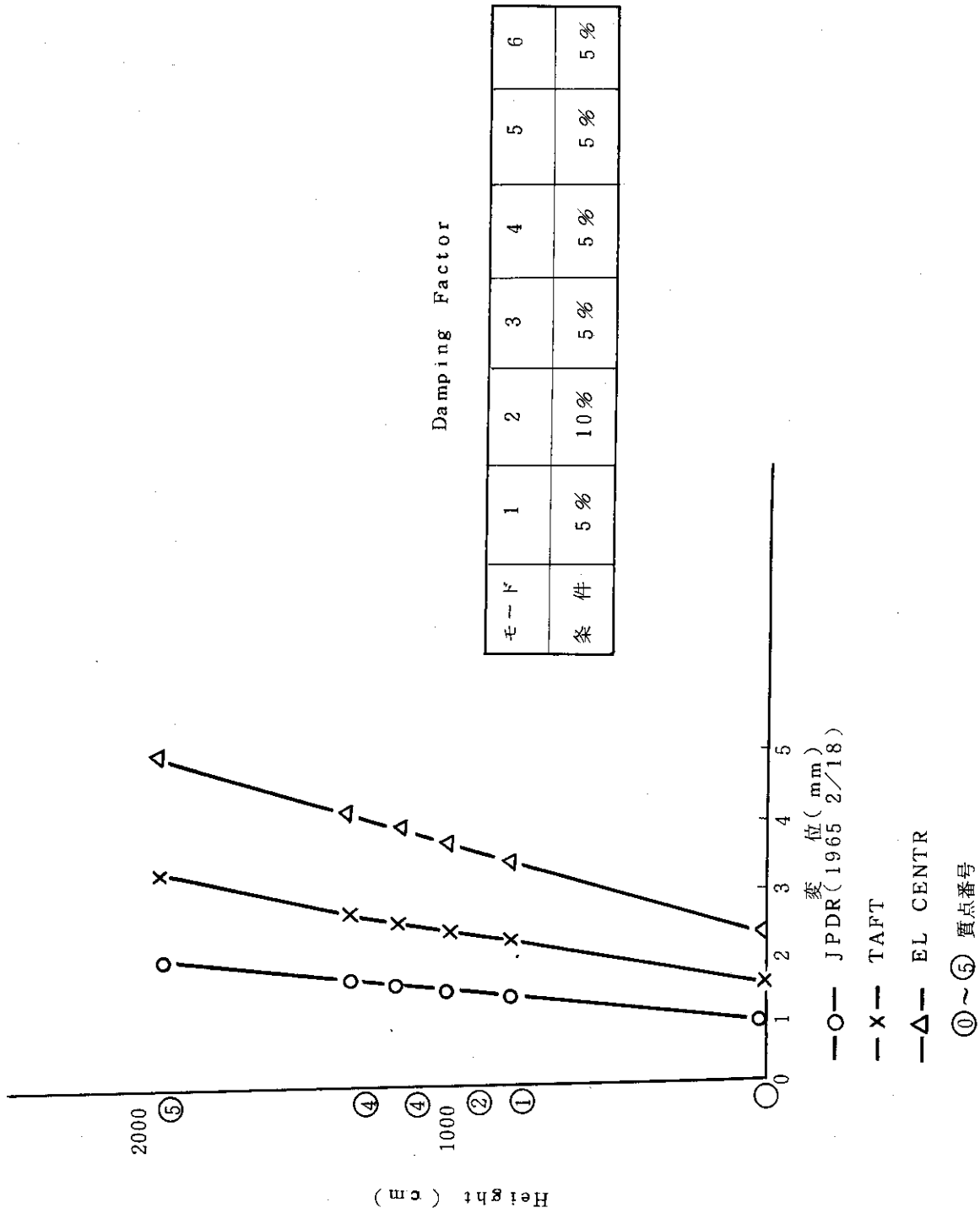


図 V-9 変位分布

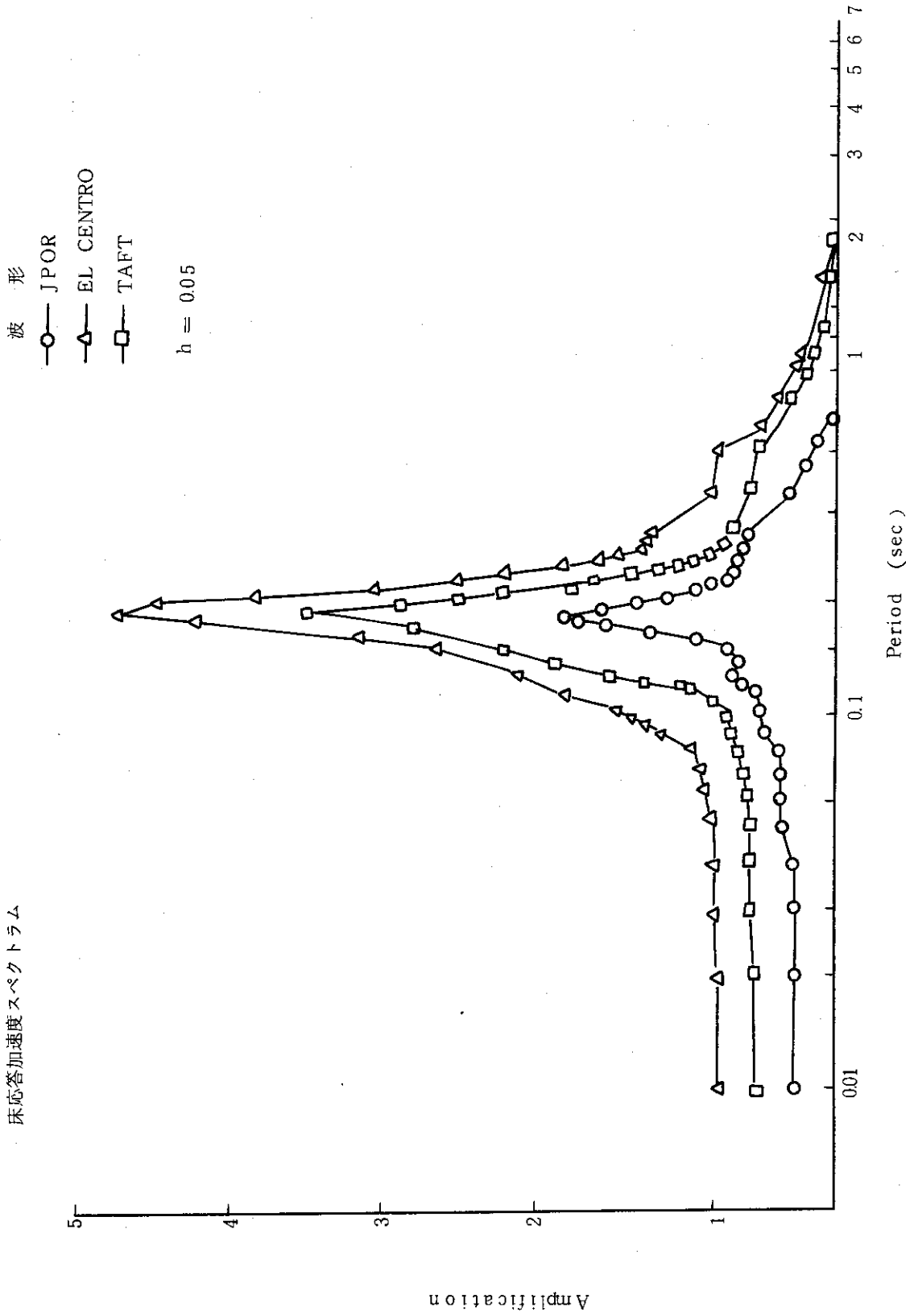


図 V-10 床応答加速度スペクトラム

APPENDIX- VI 立上りシールの総合評価

立上りシールの強度解析としては重水流入、熱膨張、圧力及び荷重変化による重水タンクの浮き沈みの効果について行った。

(1) 重水流入

定常運転中には燃料強制冷却のため重水タンク下部より垂直に重水が流入する。この流量によって重水タンクには浮揚力(W)が働らき

重水タンクに流入する重水の圧力(P) …… 3 Kg/cm²

重水入口管口径(D) = 12 B (内径 30cm)

$$W = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot P \quad (1)$$

$$= 2121 \text{ Kg}$$

と、なり重水タンクのフランジ変位はモックアップ試験の荷重-変位図より求めると

$$\delta = 0.035 \text{ cm}$$

であり、応力は (14) 式から

$$\begin{aligned} \delta_a &= \pm 3129 \cdot \delta \\ &= \pm 109.5 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

(2) 熱膨張

下段環状遮蔽体と立上りシール・シール胴の温度差によって生ずるシールプレートの変位及び応力について検討する。

最高使用温度 63°C と運転開始前の温度 20°C との差 43°C によって生ずるものと仮定する。

立上りシールの全長(L)はシールプレートが無ければ ℓ だけ伸びるがシールプレートの剛性のため $\Delta \ell_1$ しか伸びない。これは立上りシール胴の上部に W_1 の荷重が作用したのと同じである。

また、シールプレートは支持胴の伸びにより $\Delta \ell_2$ の変形が生じる。

$$|\Delta \ell_1| = |\Delta \ell_2| \rightarrow |W_1| = |W_2|$$

ここで W_1, W_2 を求めると

$$W_1 = \sigma \cdot A \quad (2)$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{\ell - \Delta \ell_1}{L} E \quad (3)$$

$$\therefore W_1 = \frac{\ell - \Delta \ell_1}{L} E \cdot A \quad (4)$$

$$\text{また, } W_2 = \frac{\Delta \ell_2 \cdot E \cdot h^3}{2 a^2} \quad (5)$$

$$\text{ここで } \ell = (T_1 - T_0) L \cdot \alpha'$$

$$\begin{aligned}
 A &= \text{立上りシール胴断面積} \quad 406.4 \text{ cm}^2 \\
 a &= \text{シールプレート外側半径} \quad 102.5 \text{ cm} \\
 E &= \text{ヤング率} \quad 7 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \alpha &= \text{定数} \quad 0.00115 \\
 \alpha' &= \text{線膨張係数} \quad 23.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \\
 L &= 76.2 \text{ cm} \\
 h &= 0.45 \text{ cm} \\
 \therefore W_2 &= 5278 \cdot \Delta l_2
 \end{aligned}$$

$W_1 = W_2$ また $\Delta l_1 = \Delta l_2$ であるので

$$\Delta l = 0.0779 \text{ cm}$$

従って、シールプレートに働らく応力は

$$\begin{aligned}
 \sigma_a &= \mp 3129 \cdot \Delta l \\
 &= \mp 2437 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned} \tag{6}$$

また、立上りシール胴の上部に働らく応力は

$$\sigma = 0.919 \text{ Kg/cm}^2$$

である。

(3) 圧力

立上りシールの胴及びシールプレートの圧力による影響を検討する。

① 胴が内圧を受けたとき

火なし圧力容器の式で応力を求める。

$$\sigma_x = \frac{P [D + 1.2 (t - \alpha)]}{200\eta (t - \alpha)} \tag{7}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 P &= \text{最大使用圧力} \quad 0.075 \text{ Kg/cm}^2 \\
 D &= \text{胴の直径} \quad 1610 \text{ mm} \\
 t &= \text{胴の板厚} \quad 8 \text{ mm} \\
 \sigma_x &= \text{発生応力} \quad \text{Kg/mm}^2 \\
 \eta &= \text{溶接効率} \quad 1.0 \quad \alpha = \text{くされ代} \quad 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_x = 0.076 \text{ Kg/mm}^2 < \sigma_{\text{allow}} = 4.36 \text{ Kg/mm}^2$$

② シールプレートに圧力を加わった場合

外周固定、内周可動として次式による

$$\sigma = \mp \beta_2 \frac{P \cdot a^2}{h^2} \tag{8}$$

$$\beta_2 \frac{a^2}{h^2} = KP \quad \text{とすると} \quad \sigma = Kp \cdot P$$

ここで

$$\begin{aligned}
 \beta_2 &= \text{定数} \quad 0.08 \\
 a &= \text{シールプレートの外周半径} \quad 102.5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$h = \text{シールプレートの厚さ } 0.45 \text{ cm}$$

$$\therefore \sigma = 4151 \cdot P \quad (9)$$

しかし、圧力により重水タンクに上下変動があり、これを加算する。

重水タンクのフランジ面に加わる荷重 W

$$W = A \cdot P$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 161^2 = 20348 \text{ cm}^2$$

次に荷重と変位の関係をモックアップデータで読むと

$$\begin{aligned} \delta &= Km \cdot W \\ &= 1.65 \times 10^{-5} \times 20348 P \\ &= 0.336 P \end{aligned} \quad (10)$$

(3)' 重水タンクの浮き沈みによる変位と応力

シールプレートの応力、変位は

$$\sigma = \mp \beta \frac{W}{h^2} \quad (11)$$

$$\delta = \alpha \frac{Wa^2}{Eh^3} \quad (12)$$

であり、Wを消去すると変位 δ と応力 σ との関係は

$$\sigma = \mp \frac{\beta \cdot E \cdot h \cdot \delta}{\alpha \cdot a^2} \quad (13)$$

$$\beta = 0.12 \quad \alpha = 0.00115$$

$$E = 7 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2 \quad a = 102.5 \text{ cm}$$

$$h = 0.45 \text{ cm}$$

$$\therefore \sigma = \mp 3129 \cdot \delta \quad (14)$$

(5) 立上りシールのシールプレートに発生する応力のまとめ

① 流体圧力による応力 $\sigma = \pm 1095 \text{ Kg/cm}^2$

② 温度差によって生ずる応力 $\sigma = \pm 2437 \text{ Kg/cm}^2$

③ 圧力による応力

圧力 (P)	$\sigma = \mp 4151 P$	$\delta = 0.336 P$ $\sigma = \mp 3129 \cdot \delta$	合成
75 mmAq	$\mp 311 \text{ Kg/cm}^2$	$\mp 789 \text{ Kg/cm}^2$	$\mp 39.0 \text{ Kg/cm}^2$
760 mmAq	$\mp 315.5 \text{ Kg/cm}^2$	$\mp 799 \text{ "}$	$\mp 395.4 \text{ "}$

④ 荷重変化時

荷重条件	応力 ($\sigma = 3129 \cdot \delta$)	(変位 δ cm ... 荷重-変位図の値)
重水ダンプ	$\pm 62.6 \text{ Kg/cm}^2$	0.02
軽水抜き	∓ 169.0 "	-0.054
重水抜き	± 194 "	0.0062

これらの結果をまとめると表VI-1に示すとおりである。

表VI-1 運転条件と応力の関係

(単位 Kg/cm^2)

圧力 \ 荷重	条件	0	重水ダンプ	軽水抜き	重水抜き
0mmAq	流体圧無 熱応力無	0	± 62.6	169.0	± 194.0
	流体圧有	± 109.5	-	-	-
	熱応力有	± 243.7	± 306.3	-	-
75mmAq	流体圧有 熱応力有	± 353.2	-	-	-
	流体圧無 熱応力無	∓ 39.0	± 23.6	∓ 208.0	± 155.0
	流体圧有	± 70.5	-	-	-
760mmAq	熱応力有	± 204.7	± 267.3	-	-
	流体圧有 熱応力有	± 314.2	-	-	-
	流体圧有 熱応力無	∓ 395.4	-	-	-
	流体圧有	-	-	-	-
760mmAq	熱応力有	-	-	-	-
	流体圧有 熱応力有	-	-	-	-
	熱応力有	-	-	-	-

注) 支持リングのたわみと荷重の関係は、実物大モックアップデータに基づく。

参考) アルミニウムA5052-O 93°Cの許容応力は 436 Kg/cm^2 (ASME Section VIII, DIV. I 準用)

APPENDIX- VII アルミニウム材及びステンレス 鋼中のコバルトの定量

(1) 概要

JRR-2 改修工事の下部燃料プラグの使用材である、アルミニウム及びステンレス中のコバルト（不純物）の定量分析を行った。

(2) 分析方法及び分析者

1-ニトロソ-2-ナフトール抽出光度法

日本原子力研究所分析センター

(3) 分析結果

試 料	定量値 (ppm)
燃料プラグ脚部押え板 A 5052-BE-O	1.5
燃料プラグ脚部押え棒 A 5052-BE-O	1.8
A 5052-TP-O	1.3
燃料特殊プラグ内管 A 6061-TP-T6	1.2
A 5083-P-R	3.1
燃料プラグバネ SUS 631-J 1-WPC	1940

「重水タンクシール及び炉心上部遮蔽体の改修」正誤表

頁	箇所	誤	正
1	上から9行目	重水漏洩を燃料孔	重水漏洩と燃料孔
	下 " 5~6行目	改修後の21サイクル約5,500	改修後の21サイクル約5,500
2	Table 1-1	JRR-2 経過年数	JRR-2 経過年表
13	上から2行目	遮蔽体の重コンクリート	遮蔽体の重コンクリート
14	下 " 8 "	位置決めこのガイド	位置決め用ガイド
15	上 " 12,14行目	立入りシール	立上りシール
	下 " 8行目	(RECOMBINER-DT-5)に重水	(RECOMBINER-DT-5)で重水
21	上 " 14 "	特に3パス目に新多く	特に3パス目に数多く
	脚注	支持リング内周部の接工法	支持リング内周部の溶接工法
22	上から6行目	破壊しないこと	破壊しないこと
	上 " 11 "	重水タンクスランジ	重水タンクフランジ
29	上 " 14 "	r = ポアソン比 = 0.33	ν = ポアソン比 = 0.33
30	上 " 8 "	円輪板と に	円輪板と梁に
	下 " 14 "	結果を比解する	結果を比較する
32	上 " 5,6 "	アセトン抜き。	アセトン拭き。
41	下 " 1 "	Table 4-7(b)に定盤及び変位	Table 4-7(b)に定盤及び床の変位
47	Fig. 4-20(b)	-1, -2, -3, -4, -5	1, 2, 3, 4, 5
50	上から1行目	5・3鉛鑄造込み	5・3鉛鑄込み
	上 " 9 "	捨管板	捨管板
	上 " 10,20行目	飛 沫	飛 沫
	下 " 4行目	機械加工代	機械加工代
53	上 " 4,5 "	捨管板	捨管板
54	上 " 4 "	水素分子	水素原子
	Table 5-4	粗骨材の実績率試験	粗骨材の実績率試験
56	Table 5-6	比重 4.67 g/cm ³	比重 4.67 g/cm ³
		混和材はコンケム社……	膨脹材はコンケム社……
		7.76g/cm ³ , 7.78g/cm ³ , 7.66g/cm ³	7.76g/cm ³ , 7.78g/cm ³ , 7.66g/cm ³
61	下から8~9行目	(Table 5-5の図参照) ① 容器に……	(Table 5-5の図参照) 実施上の問題点は次のことであった。 ① 容器に……
65	下から1行目	282 marn-mrem	282 man-mrem
72	上 " 9 "	昭和 年3月	昭和50年3月
77	上 " 17 "	捨管板	捨管板
79	Fig. 7-10	模擬グリッドノズル	模擬グリッドノズル
80	下から2,24行目	梁	梁
83	上 " 18行目	再度の確度	再度の確認
88	上 " 13 "	をさけた	をさけた
93	上 " 20 "	1/20 に感じた	1/20 に減じた
	上 " 23 "	供給減	供給源
94	上 " 1 "	回収前の	改修前の
	上 " 6 "	重水補強	重水補給
103	上 " 8 "	X, Y座標に交換した	X, Y座標に変換した
106	上 " 3 "	JRR-2B (角型)	JRR-2B型 (角型)
	下 " 8 "	ガイドチューブ失端	ガイドチューブ先端
129	上 " 1 "	30 × 20	30 × 2