

# 複合オーバーパックの設計研究

## 研究概要

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託成果報告書)

1997年2月

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
Σ	J1216 97-009 98	.01 14

この資料は技術管理室保存資料です  
閲覧には技術資料閲覧票が必要です  
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

三菱重工業株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒319 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33  
動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所  
技術開発推進室・技術管理室

複合オーバーパックの設計研究

前川恒男\*, 福井 裕\*, 夏目智弘\*\*  
上 弘一\*\*\*, 鳥羽勇二\*\*\*\*

要 旨

高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発においては、人工バリアに要求される性能を確保し得る技術的方法を明らかにするため、人工バリアの設計、製作及び施工に関する工学的検討が行われている。

人工バリアの構成要素の1つであるオーバーパックについては、現在、炭素鋼オーバーパック（炭素鋼単体構造のもの）と複合オーバーパック（構造強度層としての炭素鋼外面に、チタン、銅などによる耐食層を設けた2層構造のもの）という2つの概念が示されており、それぞれに対してその機能性、製作性の面から検討が進められている。前者に関しては、既に実規模大のオーバーパック試作を通じて、製造技術面での開発要素の抽出が実施されている。

本委託研究では、第2次取まとめに向けた課題として、チタン製複合オーバーパックについて、仕様及び製作方法の検討・選定からハンドリング構造も含めた詳細構造検討を実施し、技術的成立性の確認を得た。又、あわせて製造技術上の開発要素及び仕様の合理化に向けた設計改良点の抽出も行った。今後は、本委託研究の結果をもとにチタン製複合オーバーパックの試作品を製作する予定である。

---

本報告書は、三菱重工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：080D0300

事業団担当部課室および担当者：

環境技術開発部 地層処分開発室 石川博久

- \* : 三菱重工業株式会社 神戸造船所 原子力プラント技術部 新型炉計画課
- \*\* : 三菱重工業株式会社 神戸造船所 炉心安全設計部 放射線安全設計課
- \*\*\* : 三菱重工業株式会社 神戸造船所 プラント工作部 重機器工作課
- \*\*\*\* : 三菱重工業株式会社 神戸造船所 原子力品質保証部 原子力品質保証課

## Design Study of Composite Overpack

Tsuneo Maekawa\*  
Hiroshi Fukui\*  
Tomohiro Natsume\*\*  
Kouichi Ue\*\*\*  
Yuji Toba\*\*\*\*

### Abstract

In study and development of high-level radioactive waste geological disposal, engineering study is being carried out on designing, manufacturing, and erection of the engineering barrier to clarify the engineering method that can ensure performances necessary for the engineering barrier.

For the overpack, which is one of composition elements of the engineering barrier, at present there are two conceptions : i.e. a carbon steel overpack (of simplex carbon steel construction) and a composite overpack (of two-layer construction having a carbon steel inside layer as the construction strength layer and an outside layer of titanium, copper, or so on the corrosion resistance layer). Studies are being carried out on them from the viewpoints of their respective functions and manufacturing. With respect to the carbon steel overpack, development elements in manufacturing technology have already been extracted through trial-manufacturing of a full-scale overpack.

In this entrusted study, as the theme for the secondary conclusion, we carried out from studying and selecting of the specifications and manufacturing method to studying of the detailed construction (including the handling construction) for the composite overpack made of titanium, and we have confirmed its technical feasibility. As well, we extracted development elements on manufacturing technology and design improvement point for rationalization of the specifications. At the next phase in this study, we will manufacture a composite overpack made of titanium on trial on the basis of the results of this study.

---

Work performed by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC).

Contract No. 080D0300

PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section  
Waste Technology Development Division  
Hirohisa Ishikawa

- \* : Advanced Nuclear Plant Engineering Section Nuclear Plant Engineering Department  
Kobe Shipyard and Machinery Works Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- \*\* : Radiation Safety Designing Section Core and Safety Engineering Department  
Kobe Shipyard and Machinery Works Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- \*\*\* : Heavy Component Shop Power Plant Manufacturing Department  
Kobe Shipyard and Machinery Works Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- \*\*\*\* : Nuclear Plant Quality Assurance Section Nuclear Plant Quality Assurance Department  
Kobe Shipyard and Machinery Works Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

# 目 次

1. ま え が き .....	1
2. 試作複合オーバーパックの仕様及び製作方法の検討・選定 .....	2
2.1 形状の選定 .....	2
2.2 構造強度層（内層）の材料の選定及び板厚・構造の設定 .....	3
2.2.1 材料の選定 .....	3
2.2.2 構造の選定 .....	4
2.2.3 板厚の設定 .....	4
2.3 耐食層（外層）の材料及び施工方法の選定 .....	6
2.3.1 材質の選定 .....	6
2.3.2 厚さの設定 .....	8
2.3.3 施工（接合）方法の選定 .....	8
2.4 ハンドリング構造の選定 .....	10
2.5 溶接方法の選定 .....	12
2.6 溶接検査手法の選定 .....	13
3. 詳細構造検討・設計 .....	14
3.1 詳細構造，製作手順及び製作要領の設定 .....	14
3.2 構造強度解析 .....	18
3.3 遮へい解析 .....	22
4. あとがき .....	27
参考文献 .....	28

## 図 リ ス ト

図 2.2.2-1	分割位置図	7
図 2.4-1	ハンドリング構造概念図	11
図 3.1-1	複合オーバーパック基本構造図	15
図 3.1-2	複合オーバーパック各部構造説明図	16
図 3.1-3	複合オーバーパック製作フロー図	17
図 3.3-1	複合オーバーパック縦置き時の基本構造寸法	23
図 3.3-2	複合オーバーパック横置き時の基本構造寸法	24

## 表 リ ス ト

表 3.3-1	線量当量率評価結果のまとめ (縦置き時の基本構造寸法に対する解析) .....	25
表 3.3-2	線量当量率評価結果のまとめ (横置き時の基本構造寸法に対する解析) .....	25
表 3.3-3	線量当量率評価結果のまとめ (輸送基準準拠時) .....	26

## 1. まえがき

高レベル放射性廃棄物の地層処分の開発においては、人工バリアに要求される性能を確保し得る技術的方法を明らかにするため、人工バリアの設計、製作及び施工に関する工学的検討が行われている。

人工バリアの構成要素の1つであるオーバーパックについては、現在、炭素鋼オーバーパック（炭素鋼単体構造のもの）と複合オーバーパック（構造強度層としての炭素鋼外面に、チタン、銅などによる耐食層を設けた2層構造のもの）という2つの概念が示されており、それぞれに対してその機能性、製作性の面から検討が進められている。前者に関しては、既に実規模大のオーバーパック試作を通じて、製造技術面での開発要素の抽出を実施されているが、第2次取りまとめに向けた課題として、複合オーバーパックについても同様に試作を実施し、その技術的成立性を確認するとともに、製造技術上の開発要素及び仕様の合理化に向けた設計改良点の抽出を行う必要がある。

以上を踏まえ、本委託研究では試作するチタン製複合オーバーパック（実規模大）の仕様及び製作方法の検討・選定から詳細な構造検討、設計までを実施したので、その結果を報告する。



## 2. 試作複合オーバーパックの仕様及び製作方法の検討・選定

以下の設計条件に基づいて、複合オーバーパックの設計・検討を実施した。

### ① 外圧条件

垂直成分 : 27.5MPa

水平成分 : 54.9MPa

② 設計温度 : 150℃

③ 健全性期待期間 : 1000年

### 2.1 形状の選定

オーバーパックの形状を選定するに当たって、以下項目を考慮し選定した。

- ① 耐圧性が良い。
- ② 製作性が良い。
- ③ 製作コストが低い。
- ④ 材料コストが低い。(遮蔽設計上の物量的無駄がない。)
- ⑤ 設置時の安定性がよい。
- ⑥ 緩衝材(ベントナイトブロック)の搬入性、設置が容易。

これに対し、オーバーパックの候補形状として、(a)球形、(b)鏡板付円柱形、(c)円柱形、(d)角柱形の4形状について検討・選定を行った結果、円柱形をオーバーパックの基本形状とした。(定置方式については、縦置き、横置きとも対応は可能。)

## 2.2 構造強度層（内層）の材料の選定及び板厚・構造の設定

### 2.2.1 材料の選定

#### (1) オーバーパックの材料への要求事項

- (イ) 放射性核種閉じ込めに対しては、気密性を有する。
- (ロ) 土圧等に対しては、耐圧性を有する。
- (ハ) オーバーパック周囲の環境に及ぼす放射線の影響を抑える必要があるため、遮蔽性を有する。
- (ニ) 溶接性がよい。
- (ホ) 成形・加工性がよい。
- (ヘ) 資源量が多く低コストである。

以上の機能、要求事項を満足しうる構造強度層の材料は、文献からも炭素鋼が最有力候補として上げられている。今回の検討に当たっては、材料は炭素鋼を基本条件とし、鉄鋼材料の中から具体的に選定するものとする。

#### (2) 材質の具体的選定

上記(1)に示す機能、要求事項を考慮し、以下項目について検討を行った。

- ① 耐 圧 性
- ② 遮 蔽 性
- ③ 溶 接 性
- ④ 成 形 ・ 加 工 性
- ⑤ 機 械 的 強 度
- ⑥ 組 成 の 均 一 性
- ⑦ 検 査 性
- ⑧ コ ス ト 評 価

今回検討の対象とした材料は、使用実績が豊富である鋳鉄、鋳鋼、鍛鋼及び圧延鋼材の中から選定した結果、ほぼ全ての項目に対し優れている鍛鋼品を構造強度層の材料とした。

次に鍛鋼品のうちから具体的材質を選定することとする。鍛鋼品のうちでも比較的多くの使用実績がある、a)炭素鋼鍛鋼品、b)圧力容器用炭素鋼鍛鋼品、c)高温圧力容器用Cr-Mo鋼鍛鋼品について比較検討した結果、比較的成本が安く、強度的にも劣らない炭素鋼鍛鋼品（SF490A）を構造強度層の材質とした。

## 2.2.2 構造の選定

オーバーパック構造の蓋形状及び製作時における分割位置等について検討した。想定される蓋形状及び本体部の分割位置を図 2.2.2-1 に示す。蓋形状については、ガラス固化体収納後の溶接性、検査性を考慮し、又、本体部の分割位置については、溶接・検査のコスト低減を考慮し、図に示す(二)の構造にとする。(定置方式については、縦置き、横置きとも対応は可能。)

## 2.2.3 板厚の設定

### (1) 設定条件

オーバーパック埋設条件を想定した外圧条件及び温度条件等を基に、耐圧強度計算(規格計算)を実施し、板厚を設定する。なお、腐食代は、複合オーバーパックの考えに基づき耐食層(外層)で担保するものとし、ここで設定する板厚には含めないものとする。

### (2) 板厚設定時の考え方

(イ) 現在、オーバーパックの設計に関する法規制等が決まっていない。

従って、板厚計算を行うためには、適切な基準・規格を準用する。若しくは、新たな考え方に基づいた独自の条件を選定する必要がある。

オーバーパックの置かれる環境を考慮すると、土圧(腐食生成物等による圧力含む)による外力が考えられる。この圧力による発生応力を考慮すると、1次応力相当と考えられる。

従って、このような場合には、応力基準による耐圧計算を実施するのが妥当と考えられる。

この様な手法は A S M E Code SECTION III Subsection NE 及び発電用原子力設備に関する構造等の技術基準(以下告示 501 号と記す。)に規定されている。

オーバーパックは、これらに定義される機器ではないが、現有する規格・基準を尊重することを基本方針とすれば、これらの式を準用することが適切である。

なお、告示 501 号の中での板厚計算式は、どの機器区分でも同じ式（許容応力の安全率の考え方に一部相違がある。）を採用しており、機器区分の特定をせずとも使用できるものとする。

但し、オーバーパックの機能等を考慮した適切な基準については、応力制限値等も含め、今後検討する必要がある。

### (3) 板厚計算結果

#### (イ) 定置方式が縦置きの場合

応力基準による耐圧計算を告示 501 号の式に従い板厚計算を行った結果、必要蓋厚さ：148.5mm，必要底厚さ：142.0mm，必要胴厚さ：219.2mmとなった。

#### (ロ) 定置方式が横置きの場合

横置きの場合、平板部については上記(イ)項と同様規格計算により板厚を求められるが、円筒胴部については外圧条件が偏圧（27.5～54.9MPa）となる為、規格計算が適用でない。従って胴部については、外圧条件として大きい 54.9MPa を均一な外圧として必要板厚を規格計算より求めた結果、必要蓋厚さ：209.8mm，必要底厚さ：200.6mm，必要胴厚さ：219.2mmとなった。

## 2.3 耐食層（外層）の材料及び施工方法の選定

### 2.3.1 材質の選定

耐食層（外層）の材料は、チタン（純チタン又はチタン合金）材を基本条件とし、カナダでの候補材料であるASTM Grade 2, Grade 7, Grade 12及びGrade 16の中から具体的に選定するものとする。

選定するに当たっての判断材料である腐食に関しては、すきま腐食及び水素脆化等を総合的に考慮すると、どの材質とも一長一短があり、腐食面からの具体的材質の選定は困難であると考えられる。従って、本設計研究においては、施工性の観点より選定するものとする。

施工性は、2.3.3項で検討しているが、本設計研究の成果は、次年度に予定されているチタン製複合オーバーパック試作品製作のベースとなるため機能面での密着性の要否等不確定要素がある状況では最もよい施工法を決めることは困難である為、現状技術の中で技術確証的要素の高い工法という観点より、可能な限り特殊な施工法での確認を試作品では行った方がよいと考える。

特殊な施工方法としては、2.3.3項より以下が考えられる。

- ・ 蓋部，底部の平坦部：爆着法（Grade 2及びGrade 7について対応の可能性はある。）
- ・ 胴本体外面部           ：焼きばめ挿入法（全ての材質が対応が可能。）

以上より、ASTM Grade 2又は、Grade 7が候補材として上げられるが、Grade 7はコストが高い為、製作コスト低減を考慮し、耐食層（外層）の具体的材質は、ASTM Grade 2とする。

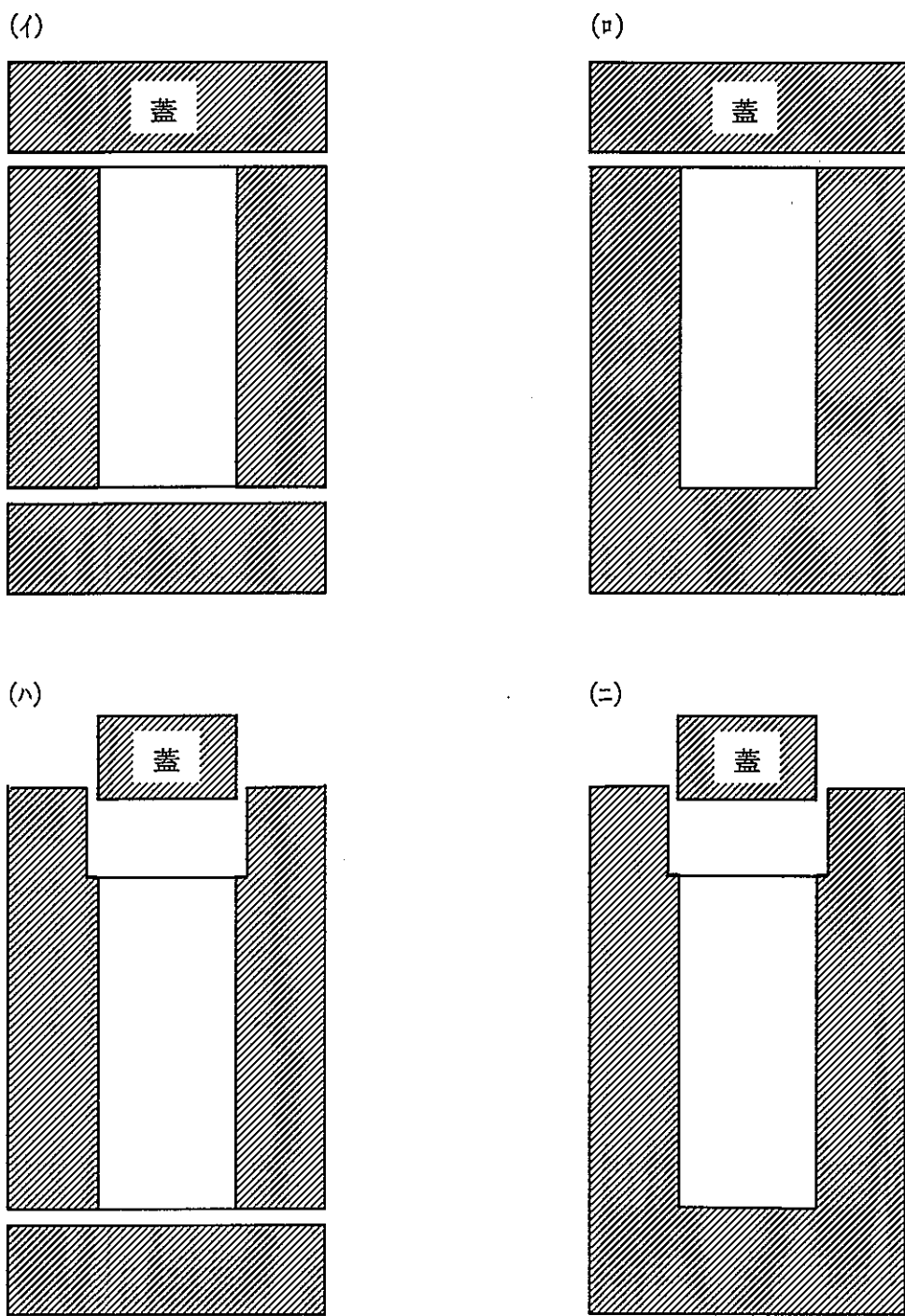


图 2.2.2-1 分割位置图

### 2.3.2 厚さの設定

厚さの設定をするに当たり、チタン材は、動燃殿既研究の成果より全面腐食速度は、 $0.1 \mu\text{m}/\text{y}$ 以下という報告があり、健全性期待期間 1000 年を考慮すると、必要厚さは 0.1mm となる。0.1mm の厚さに対しては施工が不可能なため、今回の設計研究では、製作性、検査性、及びハンドリング等の観点より決定するものとする。

今回、厚さを設定した耐食層の施工条件は、2.3.3(2)項より上面、下面部爆着方式、胴部は焼きばめ挿入方式とし、以下の通り設定した。

胴部は 12mm、上面、下面部は 6 mm とする。

### 2.3.3 施工（接合）方法の選定

#### (1) 施工方法

一般的に考えられる溶接施工法を以下に示す。

- ① TIG 溶接法
- ② 電子ビーム溶接法
- ③ レーザービーム溶接法
- ④ 爆着法
- ⑤ 圧延接合法
- ⑥ 電子ビーム肉盛溶接法（現在、三菱にて施工法確認中）
- ⑦ 焼きばめ挿入法

#### (2) オーバーパック耐食層への適用検討結果

上記(1)項に示す。溶接施工法について、オーバーパック各部への適用を検討した結果を以下に示す。

##### (イ) 蓋（上面）及び底部の施工法

密着性を考慮し、現有技術では、爆着法が最も効果的と考えられる。

##### (ロ) 胴本体外面の施工法

密着性を考慮し、現有技術では焼きばめ挿入法が最も効果的と考えられる。

##### (ハ) 胴本体と、上面、下面のコーナ部の施工法

TIG 溶接とする。

(二) 本体蓋溶接部上への最終コーティング

T i 板重ね隅肉溶接とするが、電子ビーム肉盛法の施工法が確立されれば本工法を適用する。



## 2.4 ハンドリング構造の選定

- (1) 想定される実処分場での吊り上げ等を考慮すると、吊部はあった方が作業性が良い。反面、吊部への耐食層の施工性が困難である。

また、吊部無の場合は、処分孔及び緩衝材の搬入等への影響は全くないが、反面、電磁石等付帯設備がかなり大物となる可能性がある。

以上より、ハンドリング構造を考えるには、本体に吊部が無く、吊り上げ時にはトランニオン等にて行うのが理想的な構造であるといえる。

この構想を基に検討した結果、胴部側面にハンドリング用溝を設け、着脱可能なバンド方式のハンドリング構造を選定した。又、本構造は、定置方式として、縦置き、横置きとも対応は可能である。

尚、ハンドリング構造の概念図を図2.4-1に示す。

### (2) 今後の検討課題

- (イ) 遠隔操作を考慮したバンド締めつけ部の構造検討。
- (ロ) 遠隔操作による着脱装置の開発

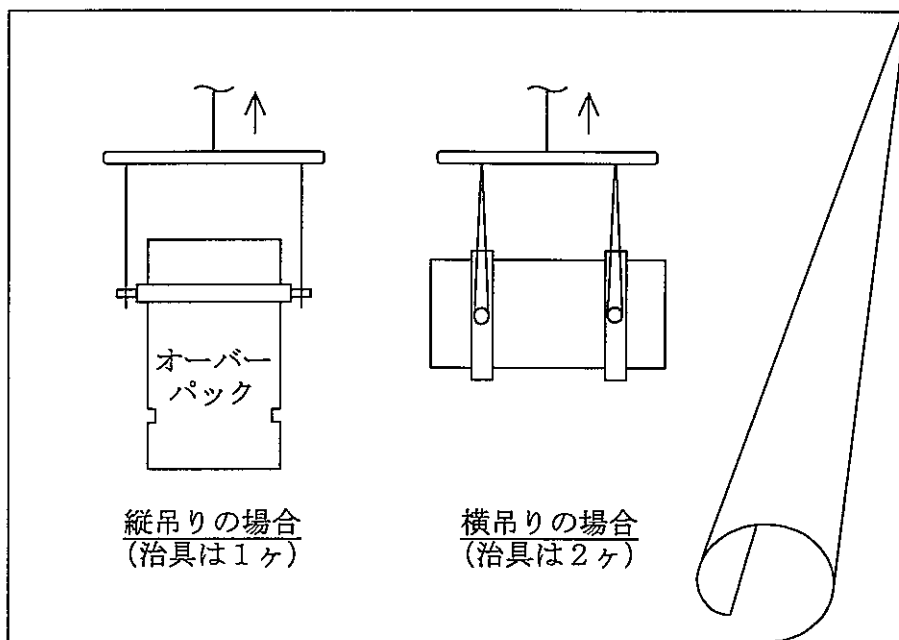
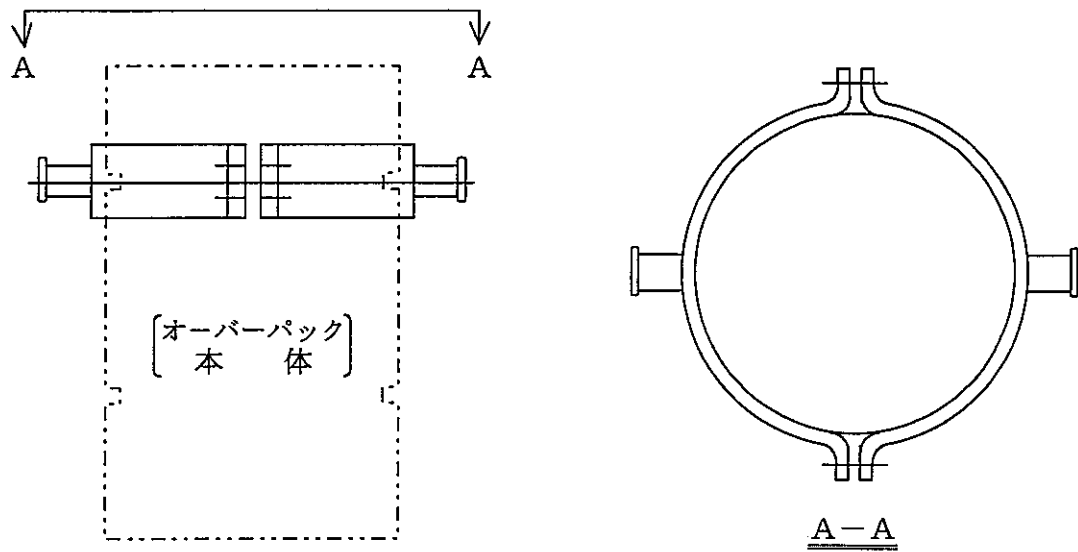


図 2.4-1 ハンドリング構造概念図

## 2.5 溶接方法の選定

### (1) 施工法

一般的に考えられる溶接方法を以下に示す。

- ① 手溶接法
- ② サブマージドアーク溶接法
- ③ MIG (MAG) 溶接法
- ④ TIG 溶接法
- ⑤ ろう付け
- ⑥ 拡散接合法
- ⑦ 電子ビーム溶接法
- ⑧ レーザービーム溶接法

### (2) オーバーパック蓋溶接部への適用性検討結果

上記(1)項に示す溶接方法について、蓋溶接部の適用性を検討した結果を以下に示す。

蓋部と本体の溶接方法としては、自動化、遠隔操作性を考慮すると、現有技術である電子ビーム溶接+狭開先MAG溶接で施工するのが最適と考える。

### (3) 今後の検討課題

- (イ) 遠隔操作による開先合せ、溶接及び溶接後の手入れ等の装置の開発。
- (ロ) 遠隔操作を行う為の治工具類の開発。
- (ハ) 溶接金属部の耐食性の確認（母材と同等となるか）。
- (ニ) 母材の熱影響部の耐食性の確認。

## 2.6 溶接検査手法の選定

### (1) 溶接検査（非破壊検査）の規定

金属材料の一般的な溶接部非破壊検査は以下の検査が採用／規定されてる。

- (イ) 放射線透過試験（R T）
- (ロ) 超音波探傷試験（U T）
- (ハ) 磁粉探傷試験（M T）
- (ニ) 浸透探傷試験（P T）

### (2) 検討結果

上記検査方法を考慮し、オーバーパックの各溶接部に対する非破壊検査は以下の通りとする。

- (イ) 蓋部溶接部：U T
- (ロ) 耐食層の最終溶接部：U T
- (ハ) 耐食層のコーナ部の溶接部：P T
- (ニ) 耐食層の長手溶接部：R TとP T

### (3) 今後の検討課題

- (イ) 遮へい及び構造強度上、許容される欠陥寸法と形状の具体化。
- (ロ) 対比試験片の製作（模擬欠陥の形状／寸法等）。
- (ハ) U Tの探傷方向とその適合性（焼ばめ面／爆着面又はライニング工法面からのU T）。
- (ニ) U T遠隔操作の検討（検査装置の開発）。
- (ホ) 内部からの放熱（ガラス固化体）による外表面温度とU T検査への影響。
- (ハ) ふた－本体間溶接部上面の最終チタンライニング部に於ける非破壊検査の実施（遠隔操作を考えた場合U Tによる表面検査の適用を検討）。
- (ト) オーバーパックに関する試験・検査基準（案）の作成。

### 3. 詳細構造検討・設計

#### 3.1 詳細構造：製作手順及び製作要領の設定

##### (1) 基本構造図

上記2項における検討結果を反映した基本構造図を図3.1-1及び各部の施工法等の説明図を図3.1-2に示す。構造強度層の板厚については、縦置き、横置きどちらでも対応可能なように寸法の大きくなる横置き方式の場合の計算結果を採用した。

##### (2) 製作手順及び製作要領

上記2項における検討結果を反映した製作フロー（施工方法は、上、下面爆着法、胴部焼きばめ挿入法を考慮）を図3.1-3に示す。

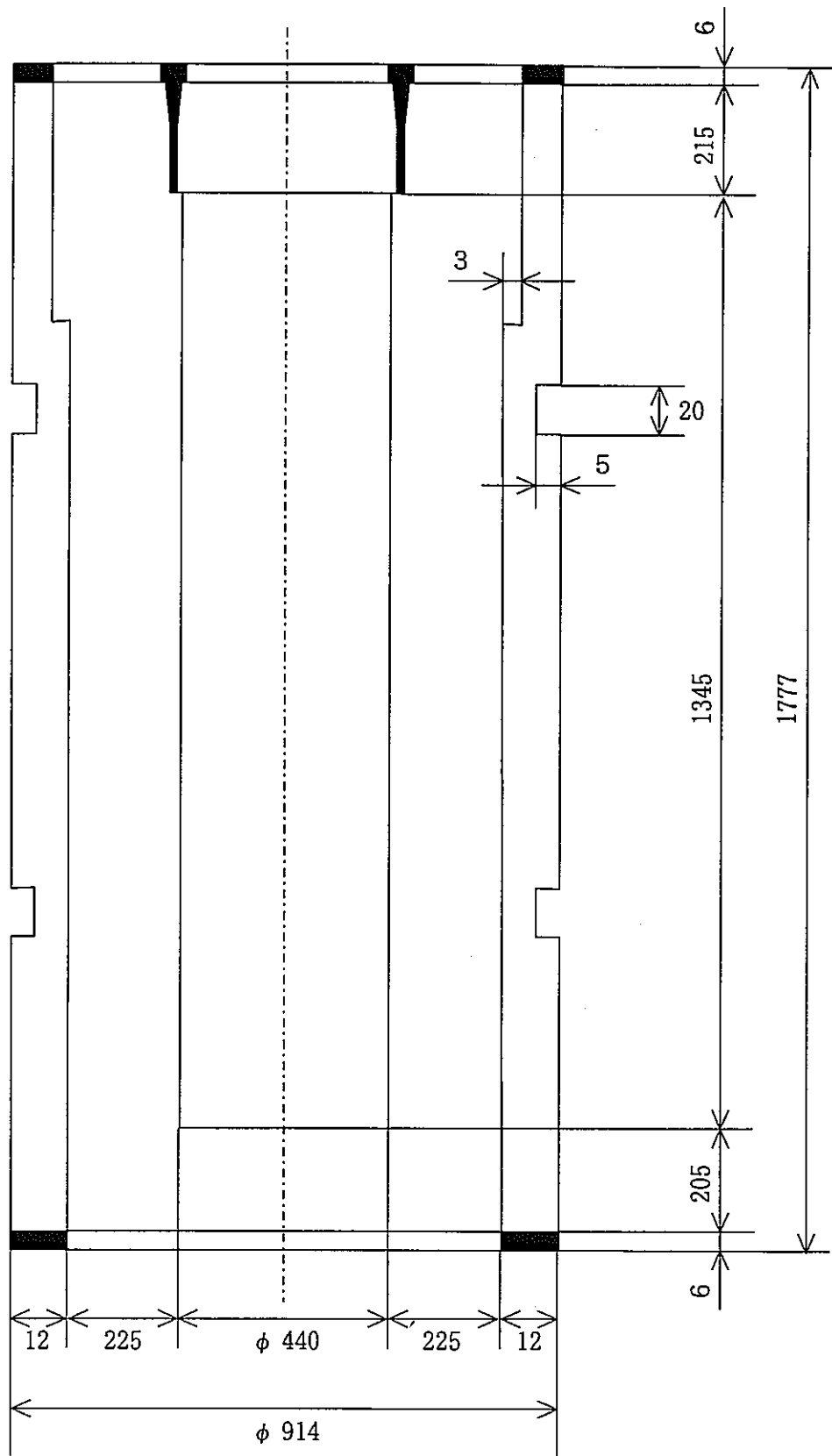


図 3.1-1 複合オーバーパック基本構造図

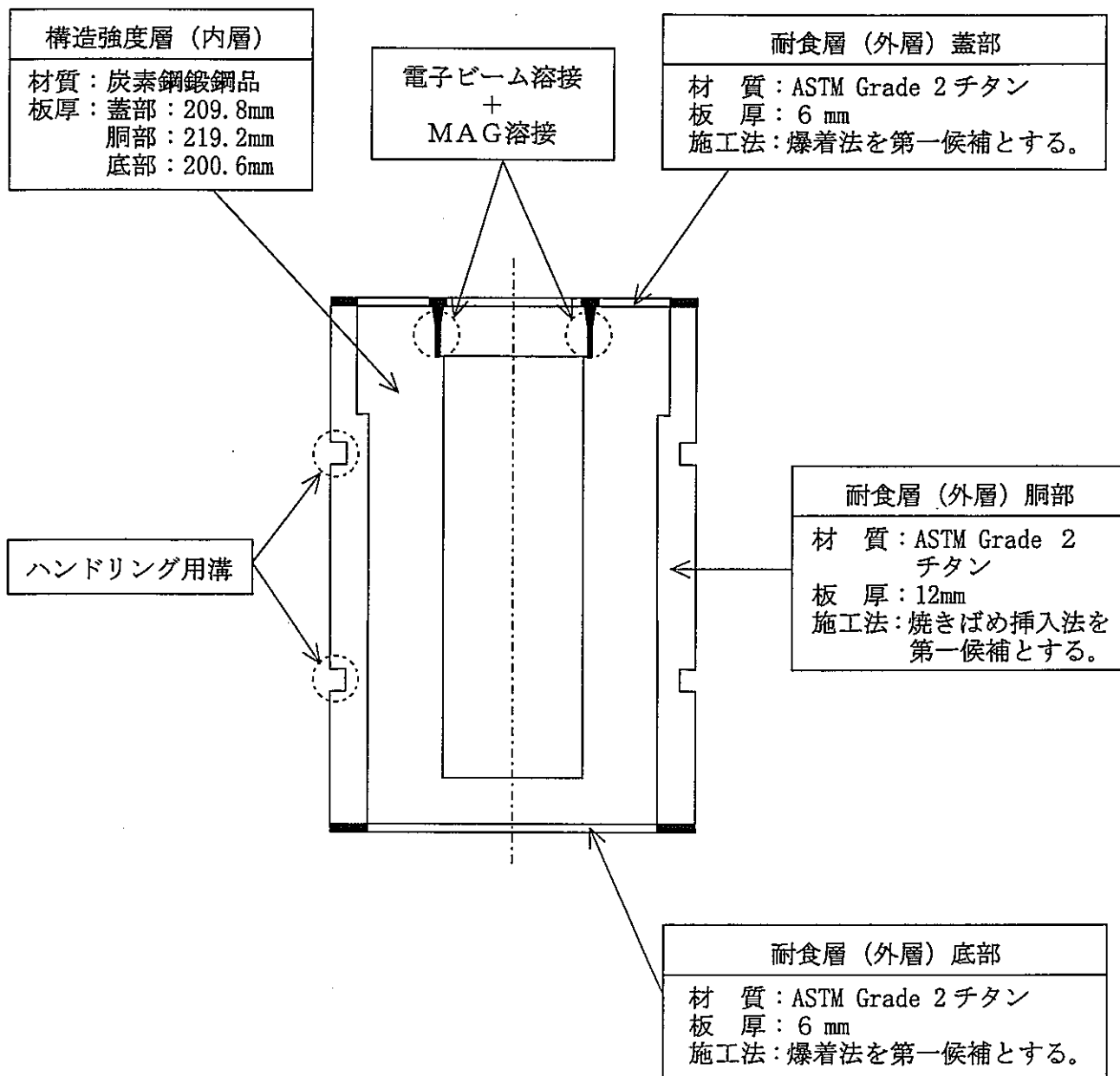


図 3.1-2 複合オーバーパック各部構造説明図

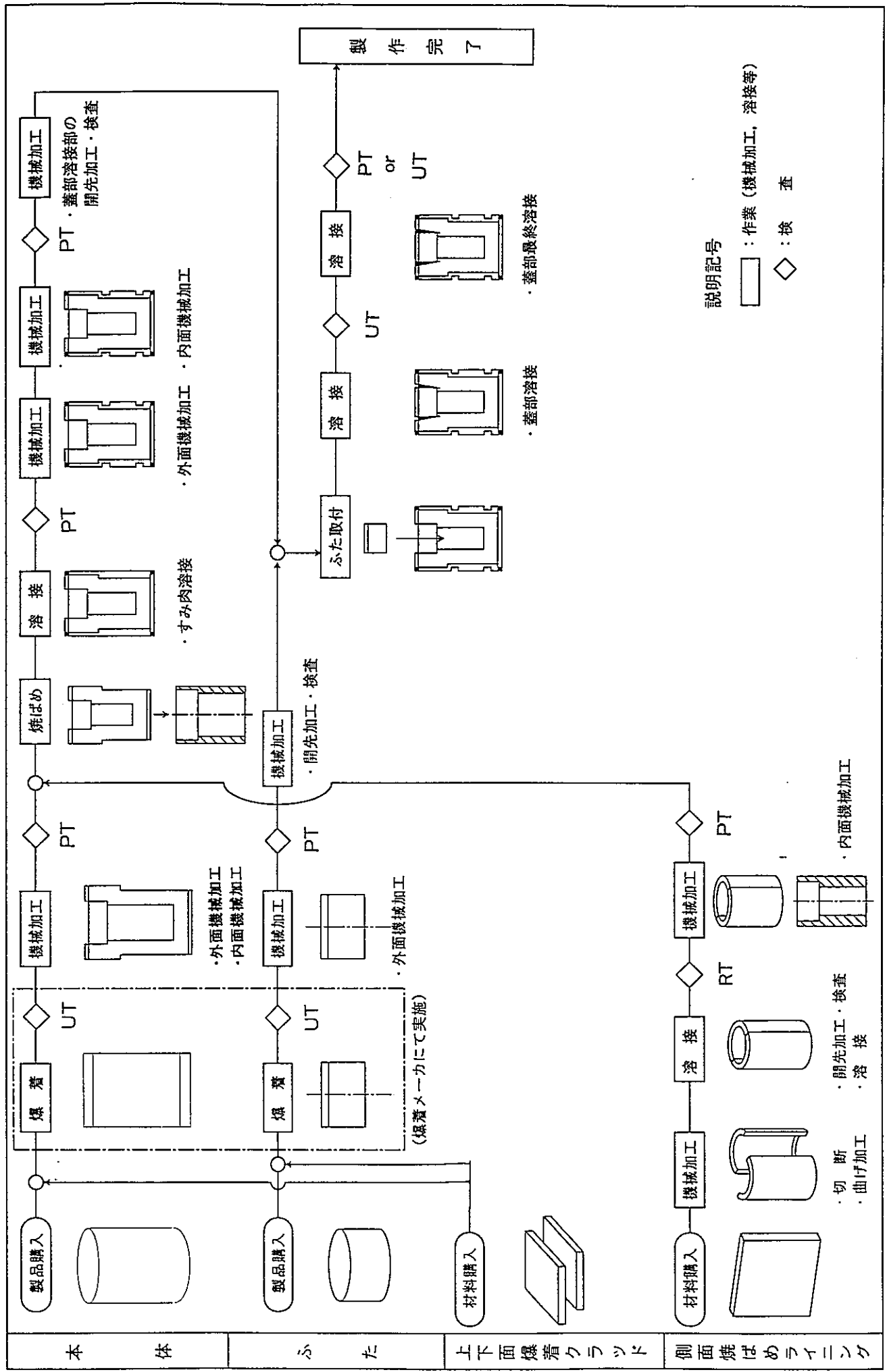


図 3.1-3 複合オーバーパック製作フロー図



### 3.2 構造強度解析

#### (1) 設計条件

##### ① 外圧条件

垂直成分：27.5MPa

水平成分：54.9MPa

##### ② 設計温度：150℃

#### (2) 縦置き方式の場合

##### (イ) 解析条件

###### (a) 構造寸法と解析モデル

縦置き方式においては、上下平板部厚さ及び円筒胴部板厚さとして、規格計算により求めた必要板厚さを構造寸法として用いた。

ふた部板厚　：148.5mm

底部板厚　　：142.0mm

円筒胴部板厚：219.2mm

また、解析モデルとして2次元軸対称ソリッドモデルを用いて行った。

###### (b) 解析プログラム

(i) 解析プログラム：ABAQUS Ver.5.5

###### (c) 荷重条件

外面に垂直な圧力として、以下の荷重を与えた。

上下面：27.5 MPa

側面：54.9 MPa

(v) 解析結果及び評価

応力評価については、板厚方向での膜応力  $\sigma_m$  及び曲げ応力  $\sigma_b$  を求め、設計  
応力強さ  $S_m$  に対して、

$$\begin{cases} \sigma_m < S_m \text{ (147 N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_m + \sigma_b < 1.5 S_m \text{ (220.5 N/mm}^2\text{)} \end{cases}$$

となることで、健全性を確認することとした。

各評価部位における応力評価結果を下表に示す。

評価部位	$\sigma_m$	$S_m$	$\sigma_m + \sigma_b$	$1.5 S_m$	健全性
A-A	59.1	147	65.3	220.5	○
B-B	63.0		81.6		○
C-C	81.3		121.4		○
D-D	65.2		82.6		○
E-E	60.1		67.6		○

単位：N/mm<sup>2</sup>

以上の応力評価の結果、発生応力の最も大きい部位C-Cにおいても問題はな  
く、オーバパックの健全性が保持されることが確認された。

(3) 横置き方式の場合

(i) 解析条件

(a) 構造寸法と解析モデル

横置きの場合，平板部については規格計算により板厚を求められるが，円筒胴部については外圧条件が偏圧 (27.5~54.9MPa) となるため規格計算が適用できない為，均一な外圧 54.9MPa に対する必要板厚を規格計算より求め，構造寸法として用いた。

平板部板厚 : 200.6mm

円筒胴部板厚 : 219.2mm

また，解析モデルは，円筒胴部への偏圧荷重条件を考慮し，3次元ソリッドモデルを用いて行った。

(b) 解析プログラム

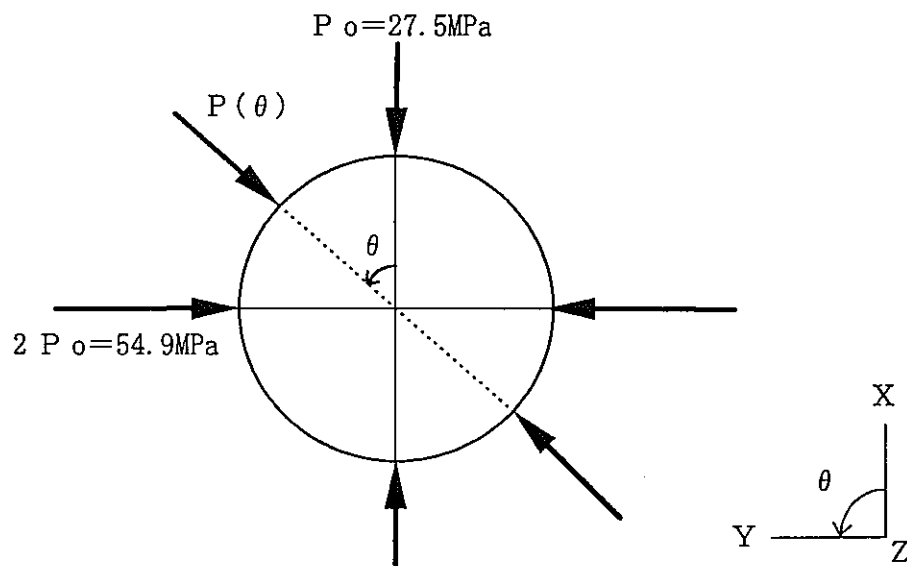
(i) 解析プログラム : ABAQUS Ver. 5.5

(c) 荷重条件

外面に垂直な圧力として，以下の荷重を与えた。

(i) 平面部 : 54.9Mpa

(ii) 円筒胴部 :  $P(\theta) = P_o \left[ \theta / \frac{\pi}{2} + 1 \right]$  ( $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ )



(ロ) 解析結果及び評価

各評価部位における応力評価結果を下表に示す。

評価部位	$\sigma_m$	$S_m$	$\sigma_m + \sigma_b$	$1.5 S_m$	健全性
A-A	51.2	147	58.3	220.5	○
B-B	46.8		100.9		○
C-C	65.1		117.4		○
D-D	52.2		59.6		○
E-E	52.2		59.6		○
F-F	39.3		69.8		○
G-G	70.9		149.8		○

単位：N/mm<sup>2</sup>

以上の応力評価の結果、発生応力が最も大きい部位G-Gにおいても問題はなく、オーバパックの健全性が保持されることが確認された。

### 3.3 遮へい解析

#### (1) 計算コード及び核データ

ガンマ線の計算には点減衰核積方法によるQADコードを使用した。中性子線の計算には2次元輸送計算コードDORT(DOTのEWS版でDOT-4.0に相当)を使用した。また、核データとしては、DLC 23-Eを使用した。

#### (2) 計算結果

2.2.3項にて検討した板厚計算式より算出された耐圧要求必要寸法に公差等を考慮した縦置き及び横置きの基本構造図(図3.3-1及び図3.3-2に示す。)の場合、及び輸送基準を満足する場合の必要板厚について検討を行った結果を表3.3-1、表3.3-2及び表3.3-3に示す。

#### (3) 評価のまとめ

輸送基準を満足させる為には、表3.3-3より径方向に関して80<sup>(\*)</sup>cm、軸方向に関して70cmという非現実的な板厚が必要となる。

このことより、地下に埋めるオーバーパックの表面線量当量率として輸送基準を適用するのは、過剰設計となるため、オーバーパック自身の炭素鋼厚さとしては、耐圧性能を満足する厚さとし、輸送及び取り扱い時には専用の遮へい体に装荷して取り扱うのが合理的であると考えられる。

(\*) 表3.3-3では、径方向に関して75cmと85cmの2点の計算をしているが、この2点の解析結果より、80cmあれば輸送基準を満足できると考える。

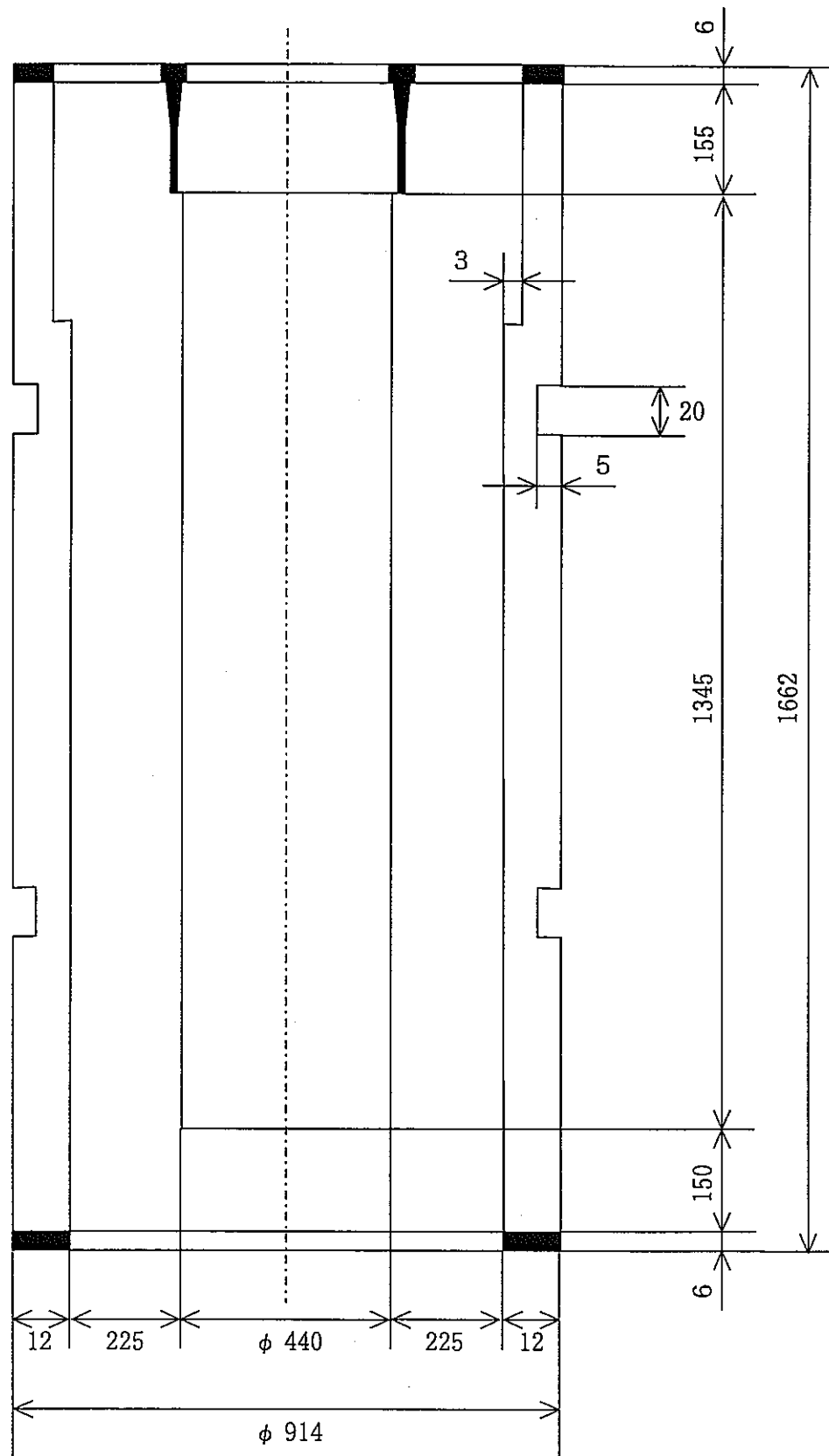


図 3.3-1 複合オーバーパック縦置き時の基本構造寸法

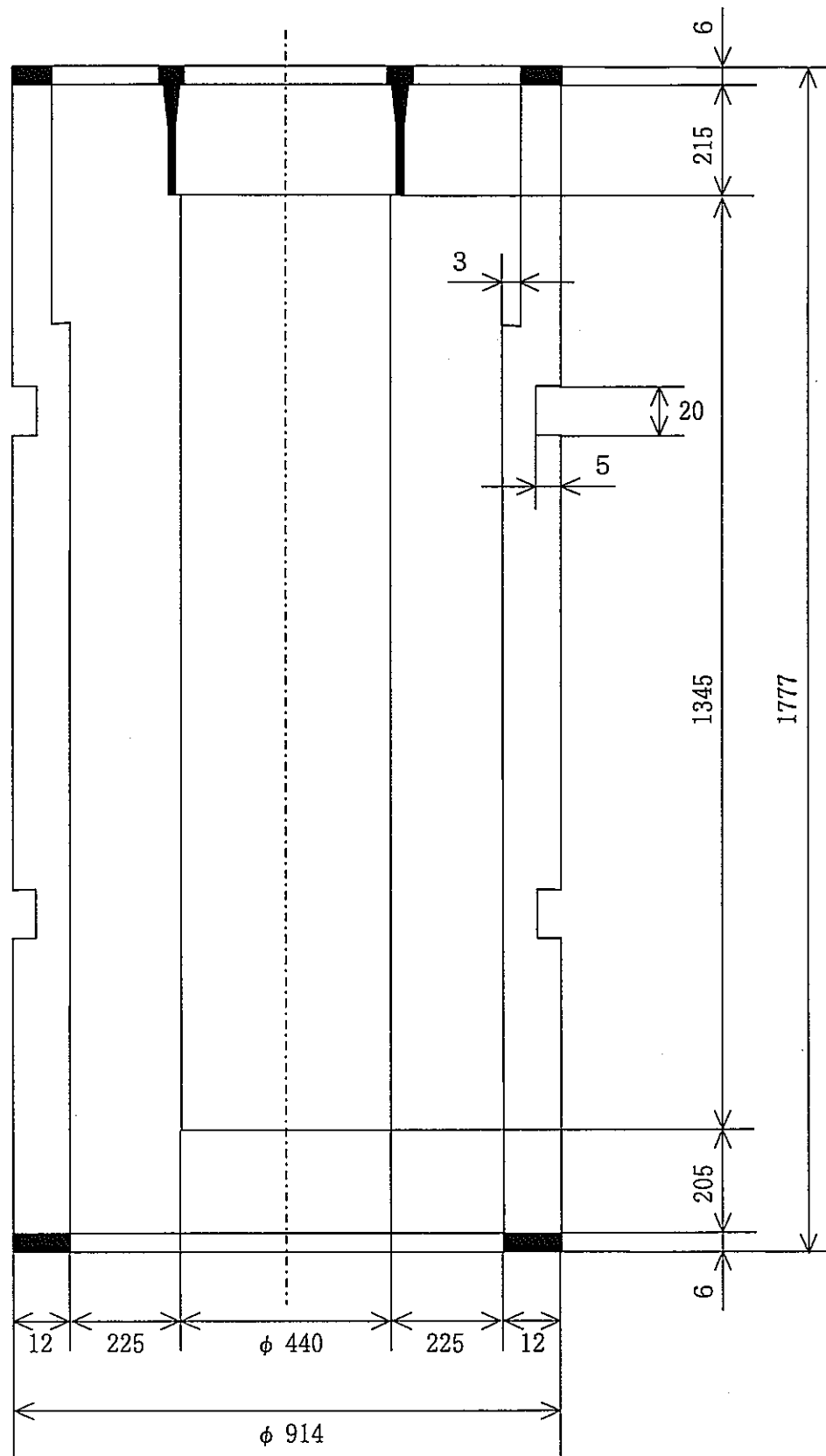


図3.3-2 複合オーバーパック横置き時の基本構造寸法

表 3.3-1 線量当量率評価結果のまとめ（縦置き時の基本構造寸法に対する解析）

単位 (mSv/h)

	炭素鋼厚さ		ガンマ線	中性子線	合計
径方向	22.5cm	表面	1.15	8.62	9.77
		表面から1m	0.33	1.12	1.45
上方向	15.5cm	表面	68.8	16.1	84.9
		表面から1m	9.59	0.69	10.28
下方向	15cm	表面	90.2	16.1	106.3
		表面から1m	12.4	0.69	13.09

表 3.3-2 線量当量率評価結果のまとめ（横置き時の基本構造寸法に対する解析）

単位 (mSv/h)

	炭素鋼厚さ		ガンマ線	中性子線	合計
径方向	22.5cm	表面	1.15	8.62	9.77
		表面から1m	0.33	1.12	1.45
上方向	21.5cm	表面	3.14	10.07	13.21
		表面から1m	0.50	0.56	1.06
下方向	20.5cm	表面	5.17	10.07	15.24
		表面から1m	0.82	0.56	1.38



表 3.3-3 線量当量率評価結果のまとめ (輸送基準準拠時)

単位 (mSv/h)

	炭素鋼厚さ		ガンマ線	中性子線	合計
径 方 向	75cm	表面	—	0.660	0.660
		表面から 1 m	—	0.117	0.117
	85cm	表面	—	0.336	0.336
		表面から 1 m	—	0.0621	0.0621
軸 方 向	70cm	表面	—	0.566	0.566
		表面から 1 m	—	0.0773	0.0773
	80cm	表面	—	0.273	0.273
		表面から 1 m	—	0.0395	0.0395

なお、輸送基準によると、表面での線量当量率制限値は2mSv/hであり、表面から1 m点での制限値は0.1mSv/hである。

本表より、輸送基準を満足するためには、以下の厚さが必要となる。

径方向厚み = 80cm

軸方向厚み = 70cm

#### 4. あとがき

本委託研究において、チタン製複合オーバーパックの仕様及び製作方法の検討・選定からハンドリング構造も含めた詳細検討を実施し、技術的成立性の確認を得た。

今後は、これらの成果をもとにチタン製複合オーバーパックの試作品を試作する予定である。

(参考文献)

- 1) 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－, PNC TN1410 92-081
- 2) 石川博久, 本田明, 井上邦博, 小畑政道, 佐々木憲明, オーバーパックスの候補材料選定と炭素鋼オーバーパックスの寿命評価: PNC TN8410 92-139 (1992)
- 3) 石川博久, 本田明, 小畑政道, 谷口直樹, 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発特集 地層処分研究 2 性能評価研究 2-2 ニアフィールド研究(1) オーバーパックスの腐食に関する研究: 動燃技報, №85, PP.23~33 (1993)
- 4) 石川博久, 武田誠一郎, 核燃料再処理及び高レベル放射性廃棄物処理・処分における材料と腐食挙動: 材料と環境, vol.43, №7, PP.388~395 (1994)
- 5) 石川博久, 本田明, 鶴留浩二, 井上邦博, 小畑政道, 佐々木憲明, 海外におけるオーバーパックスの検討例について: PNC TN8420 92-010 (1992)
- 6) 石川博久, 本田明, 海外における高レベル放射性廃棄物処分のオーバーパックスに関する研究例について: 腐食防食講演集, vol.1993, PP.419~422 (1993)
- 7) 武田和生, 谷内広明, 寺田進, 深田利明, 松田文夫, オーバーパックスの設計・製作と性能解析: 神戸製鋼技報, vol.41, №3, PP.115~118 (1991)
- 8) 石川博久, 手冢孝弥, 鶴留浩二, 湯佐泰久, 佐々木憲明, オーバーパックス材料に関する研究開発の現状: 動燃技報, №77, PP.103~111 (1991)
- 9) 谷口直樹, 本田明, 川崎学, 石川博久, オーバーパックス候補材料の局部腐食発生臨界条件の評価: 動燃技報, №93, PP.109~113 (1995)
- 10) 豊田正敏, 高レベル放射性廃棄物深地層処分場のニアフィールド挙動及びレイアウトに関する考察: 日本原子力学会誌, vol.37, №4, PP.291~302 (1995)

- 11) Debruyne W, Corrosion of Container Materials Under Clay Repository Conditions:  
At Energy Can Ltd, PP.175~186 (1990)
- 12) Knecht B, McCombie C, Development of an Overpack for the Storage of High-Level Waste in Swiss Granitic Bedrock: Materials Selection, Design and Characteristics, At Energy Can Ltd, PP.109~118 (1990)
- 13) Simpson J P, Schenk R, Corrosion Induced Hydrogen Evolution on High Level Waste Overpack Materials in Synthetic Ground Waters and Chloride Solutions:  
Sci Basis Nucl Waste Manage 12, PP.389~396 (1989)
- 14) Debruyne W, Tas H, Dresselaers J, Corrosion Resistance of Candidate Overpack Materials in Deep Argillaceous Disposal Environments: Sci Basis Nucl Waste Manage 12, PP.381~388 (1989)
- 15) McCoy H E, Griess J C, Materials Considerations Relative to Multibarrier Waste Isolation, US DOE Rep, N. ORNL-TM-7770 (1981)