我が国最初の改良標準型原子炉格納容器の開発

Development of Improved MARK-II Primary Containment Vessel

原子力発電所の安全上最も重要な設備の一つである原子炉格納容器について、これまでの建設、運転及び保守経験をもとに、従来の設計に改良を加え、標準化する作業が進められてきた。その成果を基に設計・製作され、現在建設中の東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機(2F-2)は、この改良標準型格納容器を採用した1号機であるが、昭和55年8月30日格納容器の耐圧及び漏洩率試験を無事に完了することができた。

この格納容器の特長は、機器の保守点検作業を容易にし、作業員の被曝量の低減を図るために、格納容器の直径を大きくし内部空間に余裕をもたせたこと、逃し安全弁と制御棒駆動装置の専用搬出入口を設けたこと、従来の材料よりも強度の高い高張力鋼の採用、底部ライナプレート溶接部の構造改良、ステンレス鋼製ダイアフラムフロアシールベローズの採用などをはじめ、随所に品質向上を目的とした新設計が盛り込まれている。

小山田 修* Osamu Oyamada 古川 秀康* Hideyasu Furukawa 魚住 弘人* Hiroto Uozumi

1 緒言

日立製作所が主契約者として全プラントの設計・建設を担当し、昭和54年2月に着工された東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機(以下,2F-2という。)は、世界で初めての改良標準型MARK-II格納容器を採用している。改良標準型MARK-II格納容器は、単に強度あるいは信頼性の向上だけでなく、今後の原子力プラントで最も切実な要求事項である保守点検時の作業性の改善のための設計を、積極的に取り入れているという点で画期的な格納容器であり、2F-2はその世界最初の適用プラントとして、日本国内はもとより広く海外からも注目を集めている。図1に建設中の2F-2を示す。

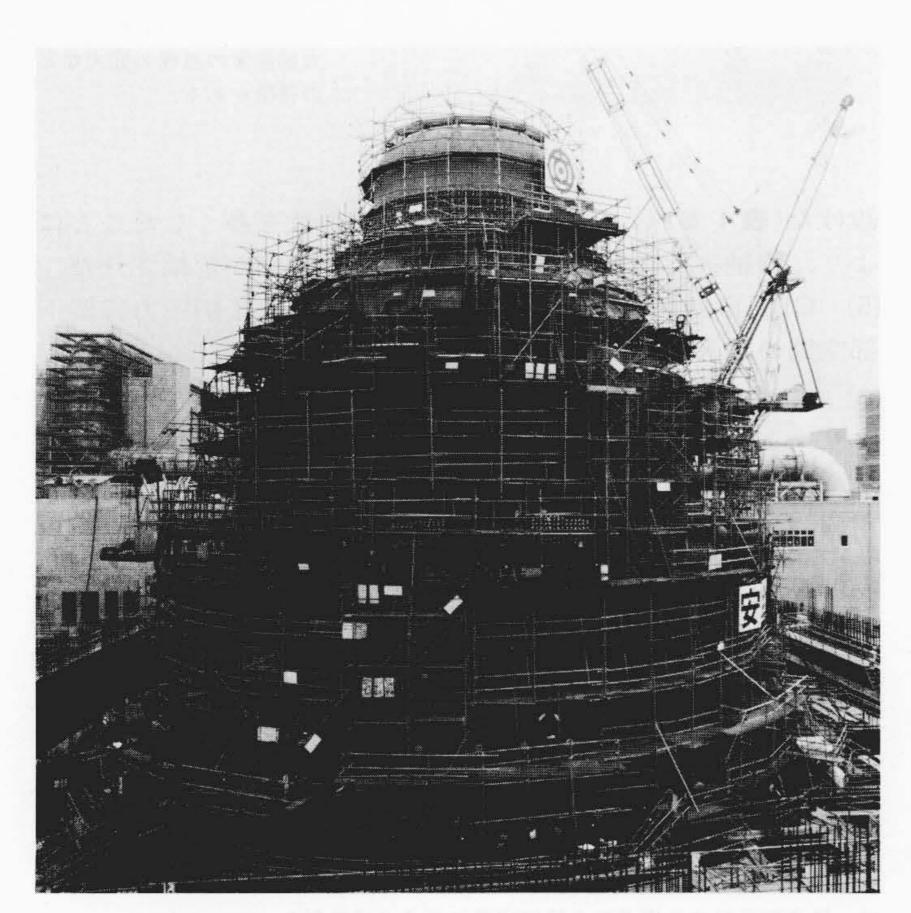


図 I 建設中の東京電力株式会社福島第二原子力発電所 2 号機原 子炉格納容器 耐圧テスト直前の建設状況を示す。

以下に、この格納容器の設計上の特徴について述べる。

2 構 造

2.1 MARK-II型格納容器の基本構造

図2によって、MARK-II型格納容器の基本構造(従来型と改良標準型に共通)について説明する。

MARK-II型格納容器は、ドライウェルと圧力抑制室の間を、断熱コンクリートと鉄筋コンクリートを組み合わせたダイアフラムフロアによって仕切り、これに108本の円筒状ベント管を貫通させて連絡したものである。圧力抑制室の円筒胴は、底部鉄筋コンクリートマットに、544本のアンカボルトによって固定した。このために円筒胴下端に大きな拘束応力が発生するので、固定部外周にサンドピットを設け、砂の反力によって応力を緩和させる構造とした。更に、圧力抑制室の底部は、コンクリートマットの上面に鋼製のライナプレートを設置した。ライナプレートは格納容器の気密を保つバリアで、荷重はコンクリートマットで受けることになっている。ドライウェルの円錐部上方には8個、下方には18個の耐震用シアラグが取り付けられ、水平方向の地震荷重を拘束支持する構造とした。

2.2 改良標準型MARK-II格納容器の特徴

図2に従来型と改良標準型格納容器の比較を示すが、改良標準型の主な特徴は次に述べるとおりである〔(1)から(7)までの項番は、図2中の番号に対応している〕。

(1) ドライウェル空間部の拡大

ドライウェル内に据え付けられる機器は、従来型とほぼ同じであるのに対し、ドライウェル容積は改良標準型が従来型の1.5倍とした。したがって、定期検査時の通路及びISI(供用期間中検査)作業のための空間が従来型に比べ十分に確保されている。

(2) 圧力抑制室の直径拡大

上記のドライウェル空間部の拡大に伴い、圧力抑制室の直径が、従来型の26mから29mに拡大された。これに対応して、圧力抑制室には従来よりも強度の高い材料を用いた(4.1参照)。

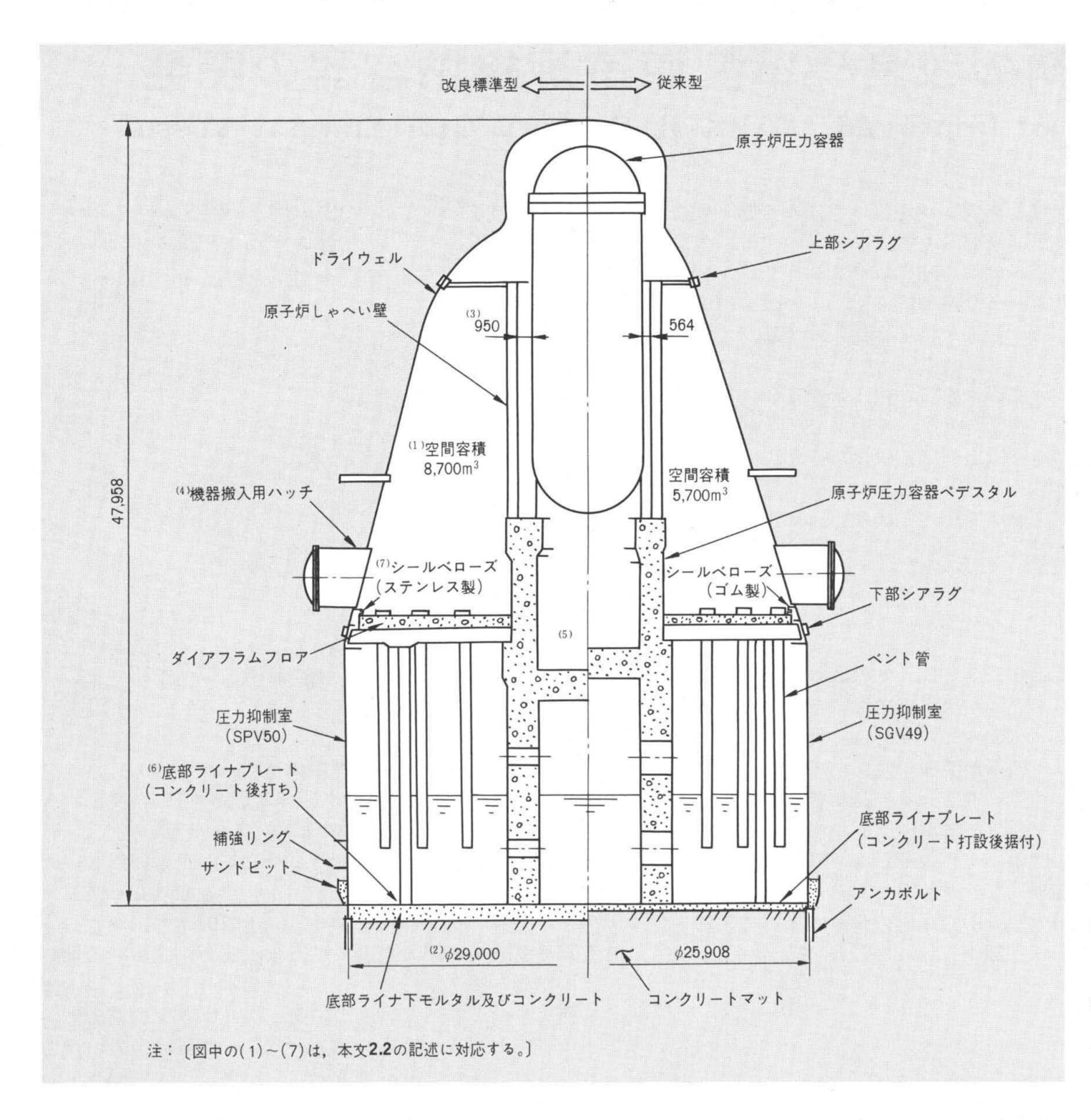


図 2 原子炉格納容器 の従来型と改良標準型 の比較 改良標準型格 納容器は、従来型に比べて ドライウェル部の拡大、圧 力抑制室の直径の拡大など の特徴がある。

(3) 原子炉圧力容器と原子炉しゃへい壁の間隙の拡大

間隙を950mmに拡大することにより、工場での製作工程の長い原子炉圧力容器のつり込みの前に、原子炉しゃへい壁を据え付けることが可能になり、ドライウェル内の機器・配管据付作業の早期消化を可能とした。

(4) ハッチ員数の増加

改良標準型では、機器搬入用ハッチを二つに増加したのを はじめ、定期検査時に使用される逃し安全弁搬出入口などを

表 | ハッチの員数 改良型格納容器では、機器搬入用ハッチをはじめハッチの数が増加しているため、保守のための機器の上げ下げ作業、被曝の減少及び機器搬出入時間の短縮が図れる。

ハッチ名称	従 来 型 格納容器	改良標準型格 納 容 器
所員用エアロック	1	1
機器搬入用ハッチ	1	2
逃し安全弁搬出入口	0	1
制御棒駆動機構搬出入口	1 *	1
サプレッションチェンバ出入口	T T	1
ダイアフラムフロアマンホール	0	2

注:*機器搬入用ハッチの蓋に設置されている。

設けた(表1参照)。このようにハッチの数を多くしたことにより、格納容器への機器搬出入に要する時間が短縮された。

- (5) CRD自動交換機の信頼性向上のための原子炉圧力容器下 部空間の拡大。
- (6) 底部ライナプレートの溶接部の信頼性向上のためのコンクリート後打ち構造の採用(4.2参照)。
- (7) ステンレス鋼製ダイアフラムフロアシールベローズの採用(4.3参照)。

3 設計の基本仕様

3.1 設計圧力・設計温度

設計圧力及び設計温度を表2に示す。これらは、従来型及び改良標準型MARK-II格納容器に共通の値である。

表 2 MARK-II 格納容器の設計圧力・温度 設計圧力及び設計温度は、従来型及び改良標準型の格納容器に共通の値である。

E	設 計 圧 カ (kg/cm ²)	設 計 温 度 (°C)
ドライウェル	2.85	171
圧 力 抑 制 室	2.85	104

3.2 適用規格

設計は下記の規格などに従って実施した。

- (1) 発電用原子力設備に関する技術基準(通商産業省)
- (2) 通商産業省技術顧問会内規集(1)
- (3) 建築基準法及び同施行令
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会 1975改定)
- (5) 鋼構造設計規準(日本建築学会 1970制定)
- (6) 新型格納容器底部に関する仕様(東京電力株式会社,関 西電力株式会社, 日本原子力発電株式会社)
- (7) 新型格納容器ダイアフラムフロア(BWR)及び内部コンク リート構造(PWR)に関する仕様(東京電力株式会社, 関西電 力株式会社及び日本原子力発電株式会社)

設計上の特徴

4.1 高強度材料の採用

従来の格納容器に用いられている材料はJIS G3118SGV49 であるが, 改良標準型格納容器では直径が大きくなったこと に対応して、圧力抑制室により強度の高いJIS G3115SPV50 を採用した。

SGV49とSPV50の機械的性質の規格値を表3に示す。

表 3 格納容器用材料の機械的性質 SPV50は, SGV49に比べ, 降伏 点及び引張強さが高く, 高強度材料である。

		引 張 試 験		
材料	材料区分	降 伏 点 (kg/mm²)	引張強さ (kg/mm²)	伸 (%)
JIS G 3118 SGV 49	規格値	≥27	49~60	≥21
JIS G 3115 SPV 50	規格値	≥50	62~75	≥19

格納容器胴 原子炉圧力容器ペデスタル ダイアフラムフロア支持柱 格納容器中心 クエンチャ ライナ支持アンカボルト 原子炉圧力容器ペデスタル アンカボルト 格納容器アンカボルト クエンチャ基礎アンカボルト 支持柱アンカボルト

図 3 格納容器の底部構造 底部ライナプレート直下のImのコンクリー トを、ライナプレート据付後に打設する方法を採用し、溶接部の信頼性が大幅 に向上された。

4.2 底部ライナ構造

従来のMARK-II型原子炉格納容器底部ライナは、打設後 のコンクリートマット上に据え付ける方式を採用していたが, 2F-2では、底部ライナプレートの健全性をいっそう高めるた めに、ライナプレート直下の厚さ1mのコンクリートをライナ プレート据付け後に打設する, いわゆるコンクリート後打ち 方式を採用した。これによって, 従来不可能であったライナ プレート溶接部の完全溶込み溶接,及び放射線検査を可能に した。一方,後打ち方式では打設時にエアボイドが発生する 可能性があるので、採用に当たっては各種のモックアップ実 験を実施し、エアボイドが十分許容値以下となる打設方法を 開発した。

図 3 に2F-2の底部構造を示す。

4.3 ダイアフラムフロアシールベローズ

ダイアフラムフロアシールベローズは, 主として冷却材喪 失事故時での格納容器と、ダイアフラムフロア間の温度差に よる相対移動量を吸収するために用いられている。従来プラ ントでは、このシールベローズにゴムなどが使用されていた が、本プラントでは図4に示すように、より信頼性の高いス テンレス鋼製二重ベローズを採用した。形状は、設計条件の 厳しさ、製作・据付の容易さなどを含め、総合的な観点から 決定した。なお、本構造の信頼性については、実機と同サイ ズの部分モデルによる試験を実施するなど、プラント寿命中想 定されるすべての条件で十分機能が満足されることを確認した。

4.4 原子炉しゃへい壁

原子炉しゃへい壁は、炉心からの放射線をしゃへいし、ド ライウェル内の空間線量率を下げることを目的としているが, 地震力,配管破断時の荷重に対して十分な強度をもっている ことが必要である。従来の構造は、二重の円筒に補強板が縦 方向及び水平方向に設けられ, 内側にコンクリートが充填さ れている。本プラントでは、コンクリート打設工事を容易に するために、円筒の板厚を増加し、補強板は縦方向にだけ設 ける構造を採用した。

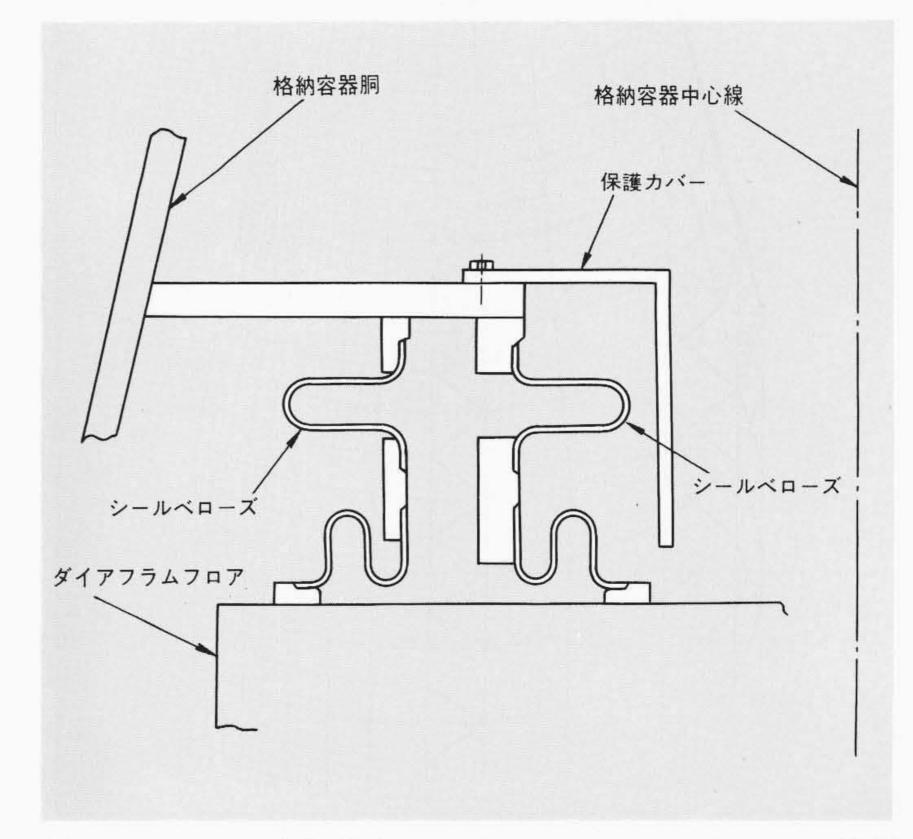


図 4 ステンレス鋼製ダイアフラムフロアシールベローズ 容器とダイアフラムフロア間の温度差による相対移動量を吸収するためのベロ ーズにステンレス鋼を採用し、信頼性の向上を図った。

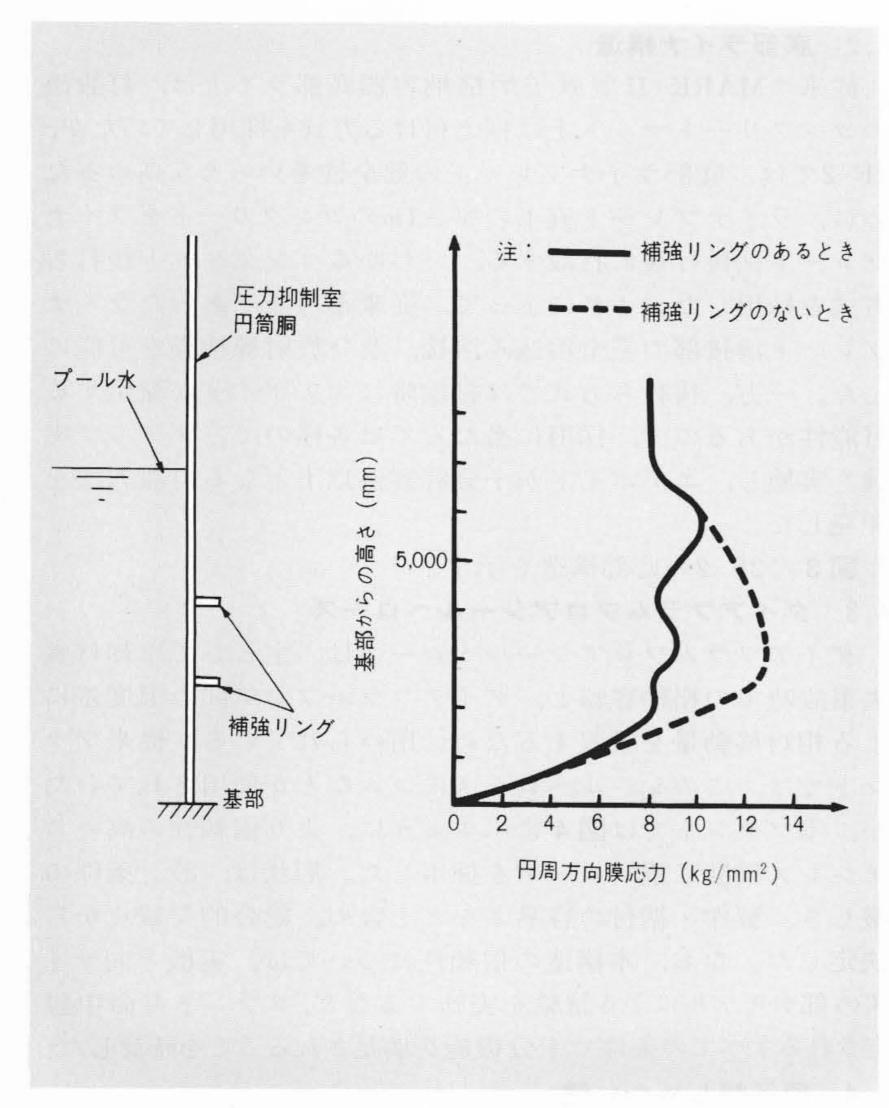


図 5 圧力抑制室円筒胴の内圧ほかによる応力分布 補強リングによって, 応力が効果的に低減されていることが分かる。

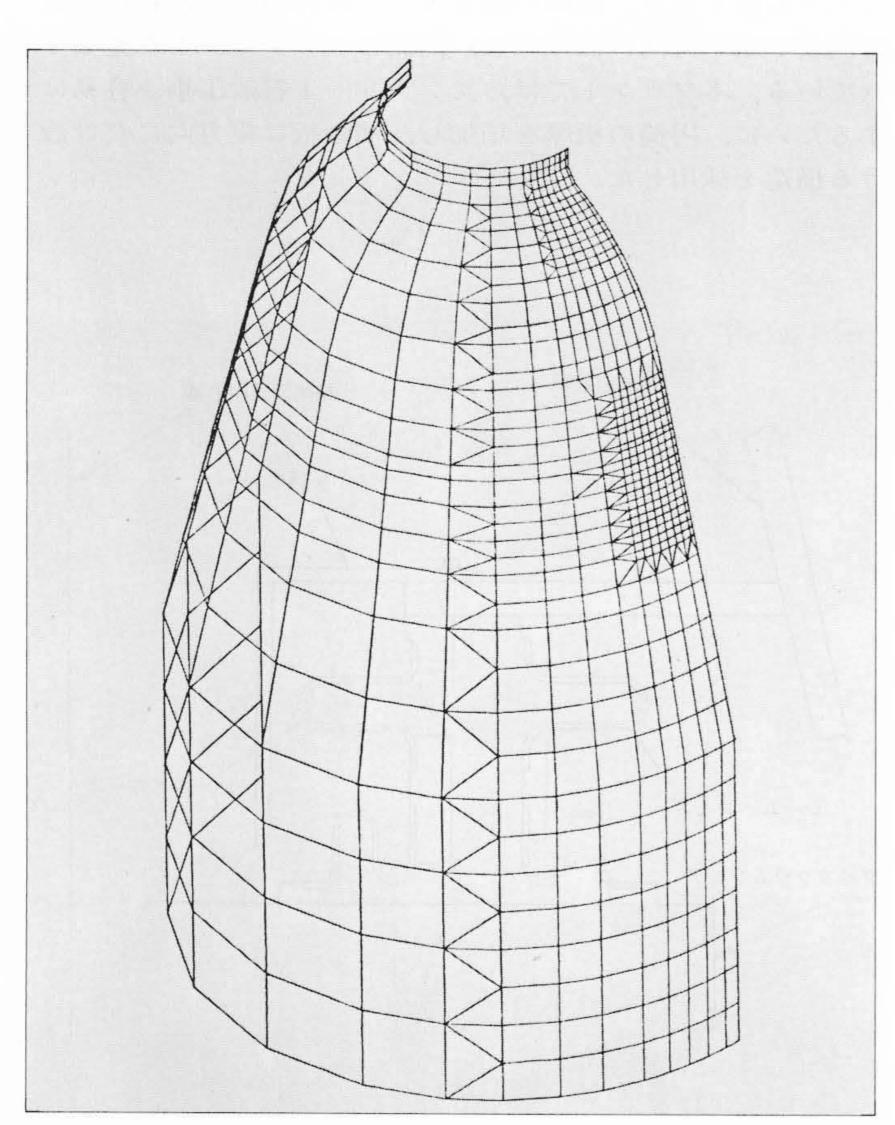


図6 ジェット力に対する格納容器胴解析モデル 格納容器は、配管破断により発生するジェット力に対しても十分な強度をもっているように設計されなければならないが、この図はそのための応力計算モデルである。

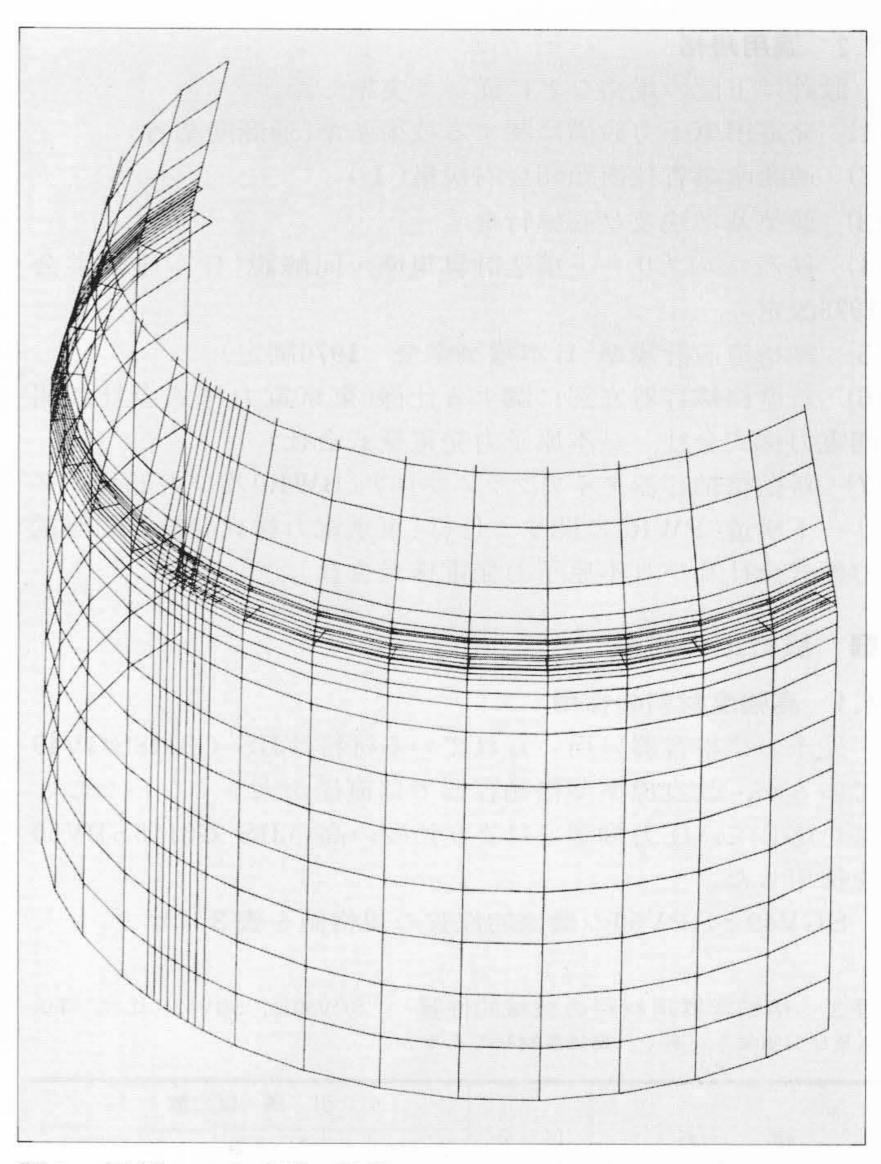


図7 下部シアラグ部の計算モデル 詳細な応力評価を行なうために、数多くの3次元計算モデルが用いられている。この図はそのうちの一つで、地震荷重による下部シアラグ近傍の応力を求めるためのものである。

5 重要部分の応力計算

圧力抑制室円筒胴部には、想定事故時に対する強度上の信頼性を高める目的で補強リングを設置しているが、その設計に当たっては、設置位置などをパラメータとするサーベイにより、最適設計を行なった。図5に応力分布例を示す。また、図6にジェット力による格納容器の応力計算のモデルを、図7に下部シアラグ部の地震荷重による応力計算のモデルを示す。これら多数のモデルを用いた有限要素法による解析によって、各部の詳細な応力を求め、格納容器の強度上の健全性を高めた。

6 結 言

世界で初めての改良標準型MARK-II 格納容器である2F-2 格納容器について、その設計上の特徴について述べた。2F-2 格納容器の据付けは順調に進められ、当初の予定より1箇月 早く昭和55年8月30日に、耐圧及び漏洩率試験を無事完了す ることができたが、格納容器の工場内での製作及び現地での 据付けについては、別の機会に紹介することとしたい。

最後に、本格納容器の設計に当たり、御指導をいただいた 東京電力株式会社の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第 である。