

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-139 改7
提出年月日	平成30年6月15日

V-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 原子炉格納施設の設計条件	5
3.1 原子炉格納容器の設計基準事故時を考慮した構造及び機能	5
3.1.1 最高使用圧力及び最高使用温度	5
3.1.2 漏えい率に対する設計条件	8
3.1.3 最低使用温度	8
3.1.4 使用材料	8
3.1.5 耐圧試験圧力	10
3.1.6 開口部	10
3.1.7 配管貫通部	10
3.1.8 電線配線貫通部	10
3.1.9 原子炉格納容器隔離弁	11
3.1.10 原子炉格納容器体積	21
3.1.11 原子炉格納容器安全設備	21
3.1.12 許容外圧	21
3.1.13 圧力抑制効果を得るために必要な構造及び寸法	21
3.1.14 ダイヤフラム・フロアの設計差圧及び設計温度差	23
3.1.15 真空破壊装置	23
3.1.16 原子炉建屋原子炉棟	24
3.1.17 可燃性ガス濃度制御設備	24
3.1.18 放射性物質濃度制御設備	24
3.1.19 原子炉格納容器調気設備	24
3.1.20 原子炉冷却材喪失時の荷重	25
3.1.21 逃がし安全弁作動時の荷重	32
3.2 原子炉格納容器の重大事故等時における設計条件	35
3.2.1 重大事故等時の評価温度，評価圧力	35
3.2.2 重大事故等時における原子炉格納容器冷却機能	
3.2.3 重大事故等時における原子炉格納容器の過圧破損防止機能	
3.2.4 重大事故等時における原子炉格納容器下部の熔融炉心冷却機能	
3.2.5 重大事故等時における水素爆発による原子炉格納容器の破損防止機能	
3.2.6 重大事故等時における水素爆発による原子炉建屋等の損傷防止機能	
3.2.7 原子炉格納容器外面への放水設備等	

- 4. 重大事故等時における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価及びその他影響確認
  - 4.1 重大事故等時における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価……………
    - 4.1.1 評価方針……………
    - 4.1.2 評価対象部位及び評価対象部位における機能喪失要因……………
    - 4.1.3 評価方法……………
    - 4.1.4 評価結果……………
  - 4.2 その他原子炉格納容器評価温度，圧力に対する影響確認……………
    - 4.2.1 確認内容……………
    - 4.2.2 確認結果……………

別添 1 原子炉格納容器の重大事故等時の閉じ込め機能健全性について

別添 2 コリウムシールド及びペDESTAL排水系の設計

別添 3 格納容器圧力逃がし装置の設計

別添 4 代替循環冷却系の設計

下線：本日説明

## 別添2 コリウムシールド及びペデスタル排水系の機能

## 目 次

1. ペDESTAL（ドライウェル部）に係る設備対策の概要について…………… 別添 2-1～3
2. コリウムシールドの設計について…………… 別添 2-4～9
3. ペDESTAL水位管理に係る対策設備の設計について…………… 別添 2-10～14

## 1. ペDESTAL（ドライウエル部）に係る設備対策の概要について

東海第二発電所における、熔融燃料－冷却材相互作用及び熔融炉心・コンクリート相互作用の影響抑制を考慮したペDESTAL（ドライウエル部）（以下「ペDESTAL」という。）に係る設備対策の概要を以下に示す。

東海第二発電所のペDESTALの概要図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

ペDESTAL内の底面及び側面には、原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）が破損し熔融炉心（以下「デブリ」という。）が落下した際のペDESTAL構造健全性確保のため、ZrO<sub>2</sub>製のコリウムシールドを設置する。また、コリウムシールド内は格納容器床ドレンサンプとして用いるために、コリウムシールド表面にSUS製のライナを敷設し通常運転中の水密性を確保するとともに、その内側に格納容器機器ドレンサンプを設置する。

ドライウエルにて生じる床ドレン及び機器ドレンと、格納容器機器ドレンサンプを冷却するための冷却水は、図 1-1 及び図 1-2 のようにペDESTAL側壁の貫通孔を通る配管により各ドレンサンプへ導かれる。これらの配管には、事故時にペDESTAL内への流入水を制限するため、ペDESTAL側壁の外側に制限弁を設ける。

格納容器床ドレンサンプ内に流入した水は、1m に立ち上げたスワンネックから流出させ、スリット及び配管を通じて原子炉建屋原子炉棟床ドレンサンプ設備へ排水する。また、排水配管を分岐させベント管へ接続することで、事故時においてペDESTALからサブプレッション・チェンバへ排水する経路を設けるとともに、排水完了後にペDESTALからの冷却水の流出を防止するための排水弁を設ける。さらに、RPVが破損しデブリがスリット内へ流入した際に、下流側の配管内で圧力上昇が生じる可能性を考慮し、安全弁を設ける。

ペDESTALの側壁は鋼製スカートを介してRPVを支持しており、RPV下部プレナムの中心付近には原子炉冷却材浄化系のボトムドレン配管が接続されているとともに、ペDESTAL内には制御棒駆動水圧系配管が敷設されている。

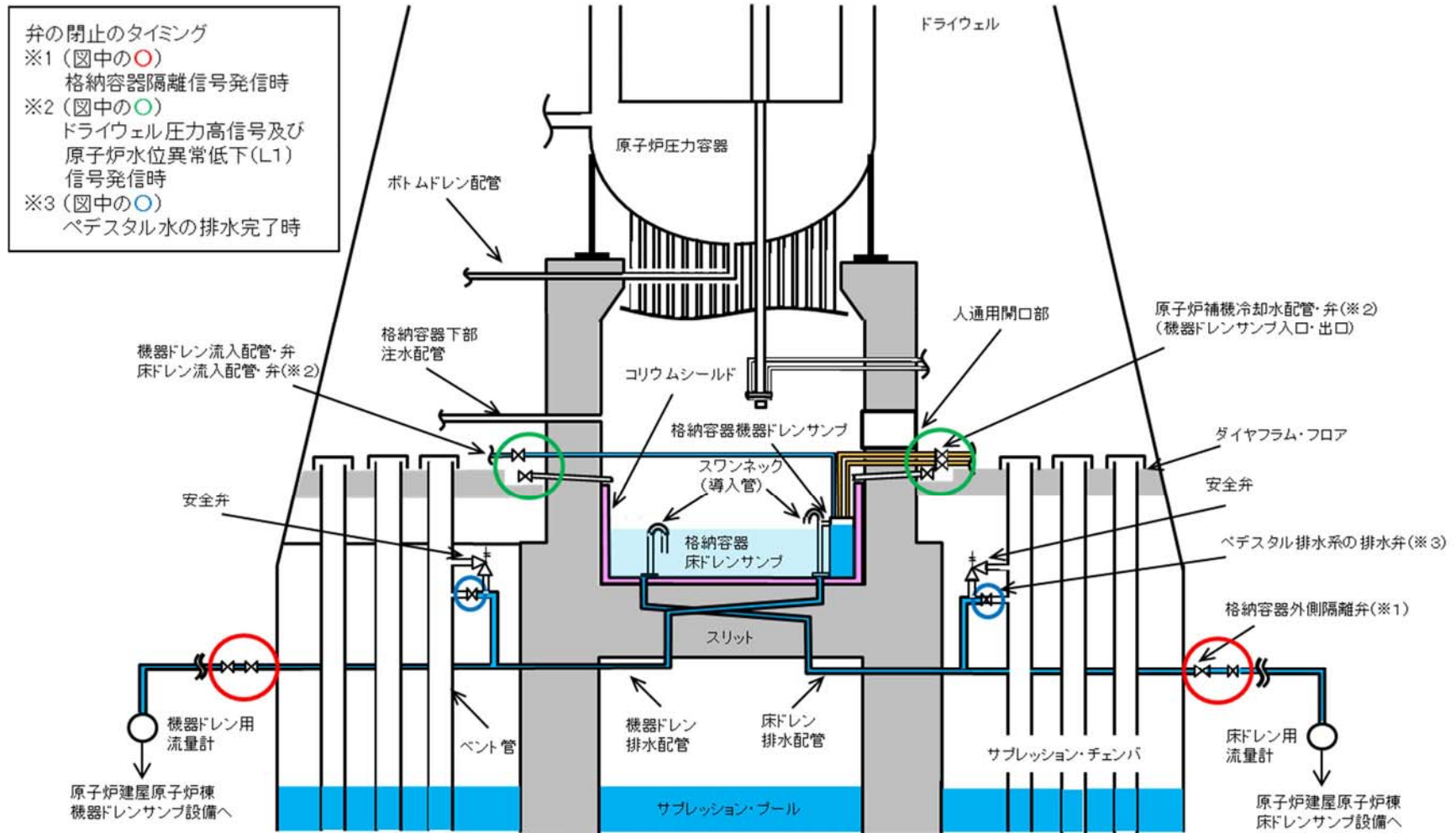


図 1-1 ペDESTAL概要図 (断面図)

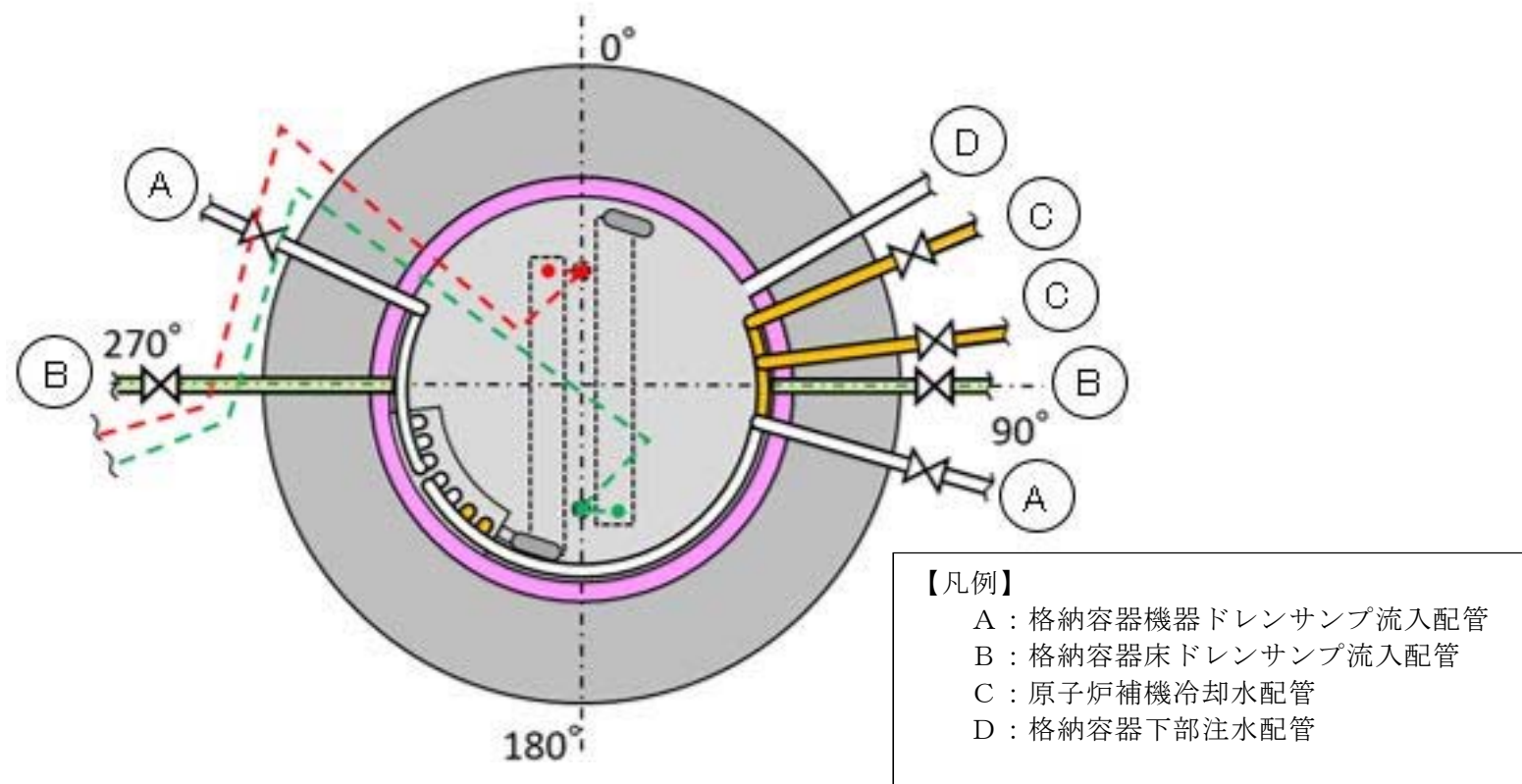


図 1-2 ペDESTAL概要図 (平面図)



## 2. コリウムシールドの設計について

### 2.1 コリウムシールド材料の選定

コリウムシールドの材料としては、模擬溶融炉心を用いた種々の試験結果を基に、高融点でかつ化学的安定性に優れており、溶融炉心に対して高い耐性を有していることが確認された  $ZrO_2$  を選定した。

表 2-1 に、試験の概要を示す。また、各試験の試験方法及び結果の詳細については補足-270-2 の「補足 3 コリウムシールド材料の選定について」に示す。

表 2-1 コリウムシールド材料の選定に係る試験の概要

試験の種類	概要
溶融 $Zr$ による耐熱材侵食試験	模擬溶融炉心として、侵食量が大きくなる $100mol\% Zr$ をるつぼ内で $2,000^{\circ}C \sim 2,200^{\circ}C$ の所定温度に昇温・溶融し、 $ZrO_2$ の耐熱材試験片を上部から挿入し 5 分間保持した後、取り出して残存状態を確認。 侵食量は $ZrO_2$ となり、 $ZrO_2$ の順に耐侵食性に優れていることを確認。
模擬溶融炉心による耐熱材侵食試験	るつぼ内に円柱状に加工した $ZrO_2$ 耐熱材と模擬溶融炉心粒子 ( $UO_2 - ZrO_2 - Zr : 30mol\% - 30mol\% - 40mol\%$ ) を装荷し、模擬溶融炉心を $2,000^{\circ}C \sim 2,100^{\circ}C$ に昇温・溶融し 10 分間保持した後、るつぼを切断し断面を確認。 $ZrO_2$ 耐熱材の厚さは試験前から変化せず、模擬溶融炉心による $ZrO_2$ 耐熱材の有意な侵食がないことを確認。
耐熱材への模擬溶融炉心落下試験	$ZrO_2$ 耐熱材を内張りしたコンクリートトラップに、 $2,450^{\circ}C$ 以上に加熱した模擬溶融炉心 ( $UO_2 - ZrO_2 - Zr : 30mol\% - 30mol\% - 40mol\%$ ) を落下させ、耐熱材の侵食状況等を確認。 模擬溶融炉心接触部から最大約 1cm の範囲で $ZrO_2$ 耐熱材が黒色化し、その周辺部が白色化していることが確認されたものの、顕著な耐熱材の侵食及び耐熱材の割れが生じていないことを確認。 黒色化した部分について X 線回折分析を行った結果、耐熱材表面の組成に有意な変化がないことを確認。

### 2.2 コリウムシールド厚さ、高さの設定

コリウムシールドは、溶融炉心・コンクリート相互作用の影響抑制の目的で設置するが、ペグスタル内の設備配置上、設置高さに制限があり、これを考慮した上で、原子炉压力容器から落下するデブリを全量保有でき、かつ、溶融炉心・コンクリート相互作用の影響も抑制できるよう、その厚さを設定する必要がある。これを踏まえ、コリウムシールドは、高さ 1.88m、厚

さ 0.15m とすることとした。以下にその考え方を示す。

(1) コリウムシールド高さの設定

ペDESTAL内には人通用開口部や床ドレン配管等のドライウエルと通じる経路があるため、デブリ堆積高さがこれらの経路に到達した場合、ペDESTAL外へ流出するおそれがある。そのため、デブリをペDESTAL内に全量保有する観点から、デブリ堆積高さはデブリがペDESTAL外に流出する可能性のある経路よりも低い位置とする必要がある。ペDESTAL床高さに対して最も低い位置となる経路は、ドライウエルからペDESTAL床ドレンサンプへのドレン配管である(図 2-1)。当該配管の下端は、ペDESTAL床から約 1.88m の位置に存在することから、コリウムシールド設置高さの上限として 1.88m を設定する。

(2) コリウムシールド厚さの設定

ペDESTALにおけるコンクリート侵食抑制及びコンクリートへの熱影響を抑制する観点からは、コリウムシールドは可能な限り厚さを確保することが望ましい。ただし、コリウムシールドの設置高さには上限があるため、厚さを増加させるとコリウムシールド内に保有可能なデブリ量が減少する。したがって、ある程度の保守性を見込んだデブリ体積を全量保有できる上限の厚さとして、0.15m を設定する。

以下にコリウムシールド厚さの計算方法を示す。また、計算におけるデブリ体積等の条件の考え方については、補足-270-2 の「補足 4 コリウムシールド厚さ、高さの設定について」に示す。

デブリの堆積高さ  $H_{\text{debr}}i$  は、式(1)及び式(2)で算定される。

$$H_{\text{debr}}i = (V_m \times (1 - \Phi_{\text{ent}}) + V_s + V_m \times \Phi_{\text{ent}} \div (1 - P)) \div S_{fz} \quad (1)$$

$$S_{fz} = (L_{\text{PD}} / 2 - D_{\text{CS}})^2 \times \pi \quad (2)$$

$V_m$  : 溶融物体積 [36m<sup>3</sup>]

$V_s$  : ペDESTAL内構造物体積 [4m<sup>3</sup>]

$\Phi_{\text{ent}}$  : 粒子化割合 [0.173]

P : ポロシティ [0.5]

$S_{fz}$  : コリウムシールドの設置を考慮した床面積 [ $m^3$ ]

$L_{PD}$  : ペDESTAL床直径 [6.172m]

$D_{CS}$  : コリウムシールド厚さ [m]

コリウムシールドの高さは、デブリ堆積高さと同様に床に設置するコリウムシールドの厚さを加えた値となるため、式(1)において  $H_{debr}$  を  $(1.88 - D_{CS})m$  として計算した結果、 $D_{CS} = \text{約} 0.15m$  となる。

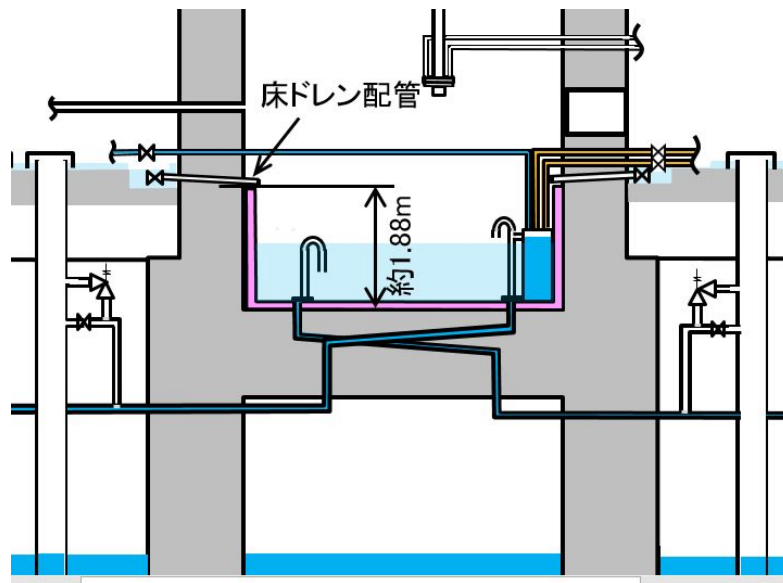


図 2-1 デブリがペDESTAL外へ流出する可能性のある経路

### 2.3 コリウムシールドを考慮した侵食量評価

格納容器破損防止対策の有効性評価においては、コリウムシールドを考慮したデブリによる侵食量評価を、MAAPコードを用いた解析により実施している。また、デブリから冷却水への熱流束、コリウムシールドの物性値及び侵食量に係る不確かさを踏まえた感度解析を実施し、コリウムシールド及びペDESTALコンクリートに侵食が生じないことを確認している。

ベースケース及び感度ケースの解析条件を表 2-2 に、解析結果を表 2-3 に示す。また、各解析ケースの条件設定の考え方等の詳細について、補足-270-2の「補足 10 コリウムシールドを考慮した熔融炉心・コンクリート相互作用による侵食量評価について」に示す。

表 2-2 侵食量評価における解析条件

項目	ベースケース	感度ケース①	感度ケース②
対象シーケンス	過渡事象時に損傷炉心冷却に失敗し，原子炉圧力容器が破損するシーケンス	大破断LOCA時に損傷炉心冷却に失敗し，原子炉圧力容器が破損するシーケンス	
溶融炉心から水プールへの限界熱流束	800kW/m <sup>2</sup> (圧力依存性あり)	800kW/m <sup>2</sup> (一定 <sup>*1</sup> )	800kW/m <sup>2</sup> (圧力依存性あり)
ペDESTAL初期水位	1m		
ペDESTAL注水	R P V破損 7 分後から 80m <sup>3</sup> /h		
コリウムシールド厚さ	15cm	11cm	
コリウムシールド熱伝導率			
コリウムシールド比熱			
コリウムシールド侵食開始温度	2, 100℃		
R P V破損時の溶融炉心温度	M A A P 解析結果に基づく		

表 2-3 侵食量評価における解析結果

項目	ベースケース	感度ケース①	感度ケース②
コリウムシールド侵食量 (壁面及び床面)	侵食なし	侵食なし	侵食なし
コンクリート侵食量 (壁面及び床面)	侵食なし	侵食なし	侵食なし

#### 2.4 デブリによる熱影響評価

R P Vが破損破損しデブリがペDESTALへ落下した場合，デブリからの熱影響によってペDESTALの鉄筋やコンクリートの強度が低下することが考えられる。これに対して，コリウムシールド等の対策を考慮した上で，ペDESTALに要求されるR P V支持機能及びデブリ保持機能が損なわれないことを確認している。

評価方法及び評価結果を以下に示す。また，評価条件の考え方等の詳細については，補足-270-2の「補足 11 溶融炉心による熱影響評価について」に示す。

## (1) 評価方法

### ・荷重条件

構造強度の評価に当たり、R P V支持機能の評価ではR P V、遮へい壁等の自重を考慮する。また、デブリ保持機能の評価では、デブリ、コリウムシールド、床スラブ躯体等の自重を考慮する。

### ・評価部位及び項目

#### a. 側壁（R P V支持機能）

R P V等の自重により、側壁コンクリートには圧縮軸力が作用し、側壁基部コンクリートには面外方向のせん断力が作用する。このため、高温によるコンクリート圧縮強度の低下を考慮した等価壁厚を評価し、R P V等の自重による圧縮軸力及び面外せん断に対して必要な壁厚と比較する。

#### b. 床スラブ（デブリ保持機能）

デブリ等の自重により、床スラブのコンクリートには面外せん断力が作用し、鉄筋には曲げ応力が作用する。このため、高温によるコンクリートの圧縮強度の低下を考慮した等価板厚を評価し、デブリ等の自重によるせん断力に対して必要な板厚と比較する。また、高温による鉄筋の強度低下を考慮した等価鉄筋量を評価し、デブリ等の自重による曲げ応力に対して必要な鉄筋量と比較する。

### ・温度条件

デブリからの伝熱によるペDESTALの側壁及び床スラブの温度は、MAAPコードによる解析結果に基づき、汎用有限解析コードABAQUSによる熱伝導解析にて評価する。

### ・判断基準

炉心損傷防止に失敗し、重大事故時を想定する防護レベルにおいて、格納容器の健全性維持に必要な安全機能が維持されることを確認する観点より、判断基準は終局限界状態に至らないこととする。具体的には、側壁コンクリートの必要壁厚、床スラブコンクリートの必要板厚、床スラブの必要鉄筋量の算定において、終局強度又は短期許容応力度を適用する。

(2) 評価結果

各評価項目に対する判断基準及び評価結果を、表 2-4 に示す。

表 2-4 デブリによる熱影響評価結果

項目	判断基準	評価結果	判定
側壁コンクリート 圧縮軸力	必要壁厚 133mm	熱影響を考慮した等価壁厚 約 1,229mm	○
側壁基部コンクリート 面外せん断力	必要壁厚 192mm	熱影響を考慮した等価壁厚 約 1,276mm	○
床スラブコンクリート 面外せん断力	必要板厚 □	熱影響を考慮した等価板厚 約 629mm	○
床スラブ鉄筋 曲げ応力	必要鉄筋量 □	熱影響を考慮した等価鉄筋量 約 □	○

### 3. ペDESTAL水位管理に係る対策設備の設計について

#### 3.1 ペDESTAL水位管理に係る対策設備の機能

ペDESTAL水位管理に用いる設備について、それぞれの機能を以下に示す。また、各設備を用いた水位管理方法の詳細については、補足-270-2の「補足1 ペDESTAL（ドライウエル部）内の水位管理方法について」に示す。なお、各設備の配置関係については、図1-1及び図1-2に示したとおりである。

##### (1) 格納容器床ドレン制限弁、格納容器機器ドレン制限弁及び原子炉補器冷却水制限弁

ドライウエルからペDESTAL内の格納容器床ドレンサンプ及び格納容器機器ドレンサンプへ流入する配管に対して、ペDESTAL外側に制限弁を設置する。

事故時においてペDESTAL内水位を制御するため、ドライウエル圧力高信号及び原子炉水位異常低下（レベル1）信号が同時に発信した場合に自動閉止し、ペDESTAL内への流入水を遮断する設計とする。

##### (2) 格納容器床ドレンサンプ導入管及び格納容器機器ドレンサンプ導入管

格納容器床ドレンサンプからの排水配管の入口に、床ドレンサンプ底部から1m高さのスワソネック形状の導入管を設置する。これにより、通常運転中からペDESTAL内水位は約1mで維持されるとともに、事故発生後にペDESTAL内への流入水が生じた場合、ペDESTAL内水位が1mとなるまで排水される設計とする。

また、格納容器機器ドレンサンプについても、床ドレンサンプ底部から1.2m高さ<sup>※</sup>のスワソネック形状の導入管を設置する。これにより、事故発生後の流入水によりペDESTAL内水位が1.2m以上となった場合には、格納容器床ドレンサンプ導入管と併せてペDESTALからの排水が可能となり、排水機能の信頼性が向上する。

※ 通常運転中に床ドレンと機器ドレンが混合することを防止するため、格納容器床ドレンサンプ導入管に対して高低差をもった設計とする。

各ドレンサンプ導入管は、排水性の確保及び意図した水位で排水を停止させるため、スワソ

ネック形状の頂部付近に空気抜き孔を有する設計とする（図 3-1）。

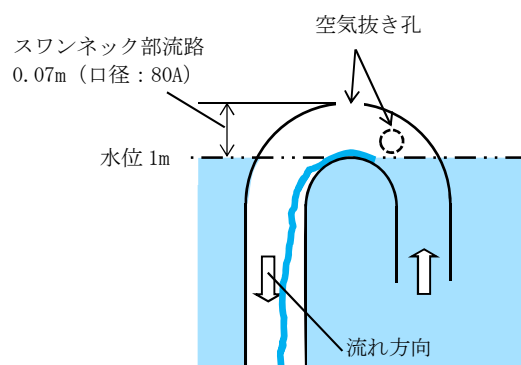


図 3-1 ドレンサンプル導入管の構造

### (3) ドレンサンプル導入管保護カバー

ペDESTAL内での落下物により、格納容器床／機器ドレンサンプル導入管が損傷すること、また、異物の流入により排水流路が閉塞することを防止するため、各ドレンサンプル導入管の周囲に保護カバーを設置する。

保護カバーは、排水流路のスリット部の短辺  よりも小さい開口径を多数有する板を用い、これを開口が重ならないよう二重に配置することで、線状の異物についても流入を防止する設計とする（図 3-2）。



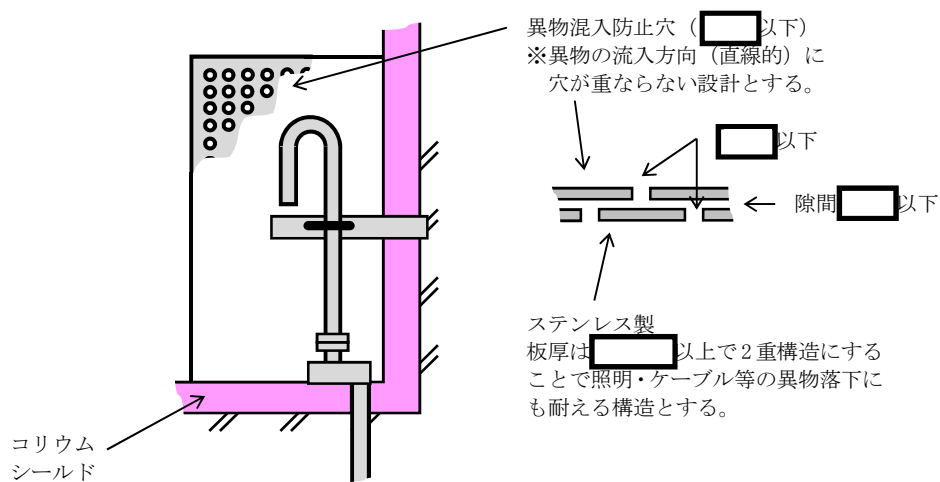


図 3-2 ドレンサンプ導入管保護カバーの構造

(4) ドレンサンプ排水流路スリット部

R P V 破損時にペDESTALに落下したデブリが、各ドレンサンプの排水流路を通じてサブプレッション・チェンバへ移行することを防止するため、ペDESTAL床スラブのコンクリート内に高さ  × 幅  のスリット形状の流路を設置する (図 3-3)。

スリット部は厚さ  のステンレスで製作し、流入したデブリの冷却及び凝固停止を促進する設計とする。また、横方向スリット部の長さは約  とすることで、流入したデブリがスリット長さの範囲内で凝固停止することを確認している。デブリの凝固停止評価の詳細については、補足-270-2 の「補足 12 溶融炉心の排水流路内での凝固停止評価について」に示す。

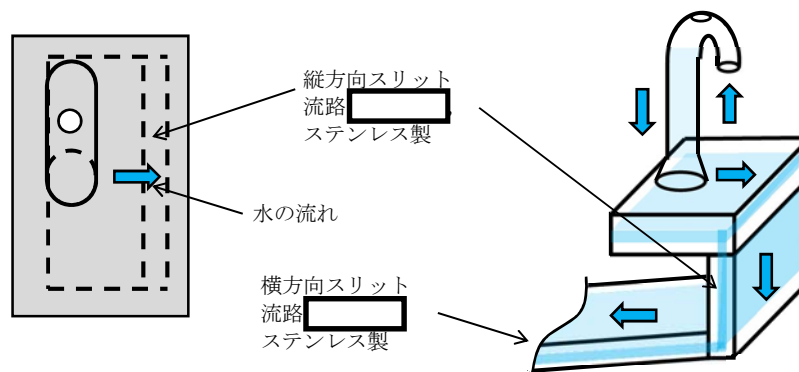


図 3-3 排水流路のスリット部の構造

(5) ペDESTAL排水配管及び排水弁

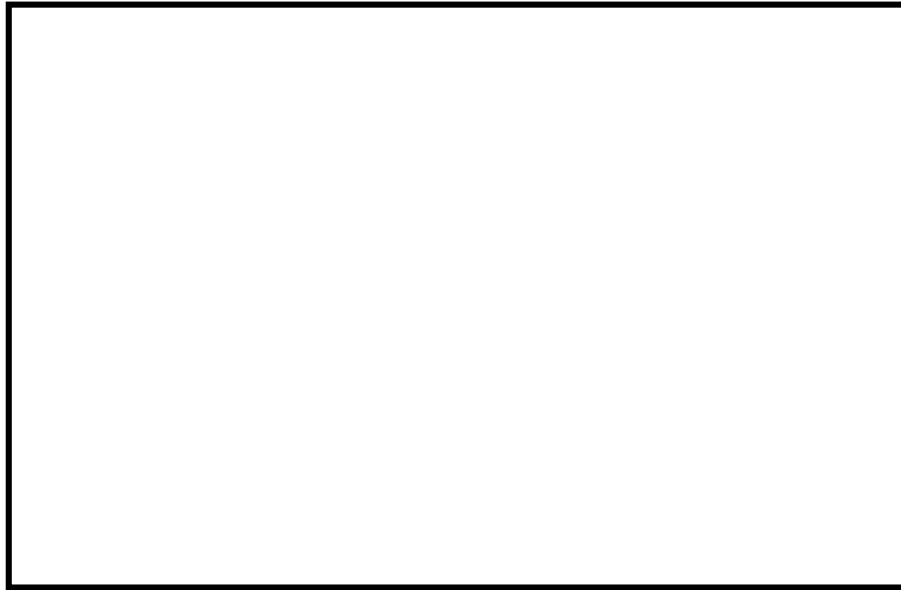
通常運転中、ペDESTALへ流入した格納容器床ドレン及び機器ドレンは、各ドレンサンプの導入管から排水され、下流の配管及び格納容器外側隔離弁を通じて原子炉建屋原子炉棟のドレンサンプへ導かれる。

事故発生時には、格納容器隔離信号により格納容器外側隔離弁は自動閉止されるため、各ドレンサンプの排水配管を分岐させベント管に接続することで、事故発生後のペDESTALからの排水を可能とする。

排水配管を接続するベント管は、真空破壊弁作動時のベント管内の上昇流がペDESTALからの排水に影響することがないように、真空破壊弁が設置されていないものを選定する（図 3-4）。

ベント管接続部にはペDESTAL排水弁を設置し、通常運転中から開状態としておく。事故発生後、RPV破損前のペDESTAL注水により一旦水位を上昇させるが、その後排水により格納容器下部水位（ペDESTAL床面高さ+1.05m 検知用）が水位を検知しなくなった時点から約 6 分後<sup>\*</sup>に、自動で閉止する設計とする。

※ ペDESTAL水位が 1.05m から 1m まで低下する時間（モックアップ試験より得られたスリット部圧損係数を踏まえ評価した時間



--- 機器ドレン排水配管(80A)  
(原子炉建屋原子炉棟機器ドレンサンプ設備へ)

--- 床ドレン排水配管(80A)  
(原子炉建屋原子炉棟床ドレンサンプ設備へ)

- ベント管 ペDESTAL床ドレンの排水経路となるもの(真空破壊弁なし 1か所)
- ベント管 ペDESTAL機器ドレンの排水経路となるもの(真空破壊弁なし 1か所)
- ベント管 真空破壊弁付き (11か所)
- ベント管 真空破壊弁なし (95か所)

図 3-4 ペDESTAL排水配管及び排水弁の配置