

| | |
|--------------|-------------------|
| 東海第二発電所 審査資料 | |
| 資料番号 | PD-1-14 改 32 |
| 提出年月日 | 平成 29 年 12 月 18 日 |

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成 29 年 12 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第4条：地震による損傷の防止

目 次

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適合性

下線部：今回提出資料

(1) 位置，構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添 - 1 設計用地震力
- 別添 - 2 動的機能維持の評価
- 別添 - 3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添 - 4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添 - 5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添 - 6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添 - 7 主要建屋の構造概要について
- 別添 - 8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別 紙)

- 別紙 - 1 既工認との手法の相違点の整理について (設置変更許可申請段階での整理)
- 別紙 - 2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙 - 3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙 - 4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙 - 5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙 - 6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙 - 7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙 - 8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙 - 9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙 - 10 液状化影響の検討方針について
- 別紙 - 11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙 - 12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙 - 13 動的機能維持評価の検討方針について
- 別紙 - 14 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造の変遷について

1.3.3 主要施設の耐震構造

1.3.3.1 原子炉建屋

原子炉建屋は、地上 6 階、地下 2 階建で、平面が約 67m（南北方向）×約 67m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

最下階床面からの高さは約68mで地上高さは約56mである。

建物中央部には一次格納容器を囲む円型の一次遮蔽壁があり、その外側に二次格納施設である原子炉棟の外壁及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁がある。

これらは原子炉建屋の主要な耐震壁を構成している。

これらの耐震壁間を床が一体に連絡し、全体として剛な構造としている。

原子炉建屋の基礎は、平面が約67m（南北方向）×約67m（東西方向）、厚さ約5mのべた基礎で、人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

1.3.3.2 タービン建屋

タービン建屋は、地上 2 階、地下 1 階建で、平面が約 70m（南北方向）×約 105m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

タービン建屋の基礎は、平面が約 70m（南北方向）×約 105m（東西方向）、厚さ約 1.9m で、杭及びケーソンを介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

1.3.3.3 廃棄物処理建屋

廃棄物処理建屋は、地上 4 階、地下 3 階建で、平面は約 41m（南北方向）×約 69m（東西方向）の鉄筋コンクリート造の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

廃棄物処理建屋の基礎は、平面が約 41 m（南北方向）×約 69 m（東西方向）、厚さ約 2.5 m のべた基礎で、人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

1.3.3.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地上 1 階建で平面が約 52m（南北方向）×約 24m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎は、平面が約 60m（南北方向）×約 33m（東西方向）、厚さ約 2.5m（一部約 2.0m）で、鋼管杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

1.3.3.5 防潮堤及び防潮扉

防潮堤は、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁の 3 種類の構造形式に区分され、敷地を取り囲む形で設置する。また、防潮堤のうち、敷地側面南側の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁及び敷地前面東側の鉄筋コンクリート防潮壁には、それぞれ 1 箇所ずつ防潮扉を設置する。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、延長約 1.5km、直径約 2m～約 2.5m の複数の鋼管杭を鉄筋コンクリートで巻き立てた天端高さ T.P. + 18m～T.P. + 20m の鉄筋コンクリート梁壁と鋼管鉄筋コンクリートとを一体とした剛な構造物であり、鋼管杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

鋼製防護壁は、延長約 80m、天端高さ T.P. + 20m、奥行約 5m～約 16m の鋼殻構造であり、適切に配置された鋼板を溶接及び高力ボルトで接合した剛な構造である。鋼製防護壁は、幅約 50m の取水構造物を横断し、取水構造物の側方に位置する地中連続壁基礎を介して、砂質泥岩である久米層に岩着して

いる。

鉄筋コンクリート防潮壁は、延長約 160m、天端高さ T.P. + 20m、奥行約 10m～約 23m の鉄筋コンクリート造の剛な構造物であり、地中連続壁基礎を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁及び鉄筋コンクリート防潮壁に設置する防潮扉は上下スライド式の鋼製扉であり、それぞれ杭又は地中連続壁基礎を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

1.3.3.6 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、内径約 26m、高さ約 16m、厚さ約 3.2cm～約 3.8cm の鋼製円筒殻と底部内径約 26m、頂部内径約 12m、高さ約 24m、厚さ約 2.8cm～約 3.8cm の鋼製円錐殻、底部内径約 12m、頂部内径約 9.7m、高さ約 2m の鋼製円錐殻、その上に載る格納容器ヘッド及び底部コンクリートスラブより構成され全体の高さは約 48m である。

円筒殻と底部コンクリートスラブとの接続にはアンカーボルトを用いる。

円筒殻と円錐殻の接続部の高さに、原子炉格納容器を上下に分けるダイヤフラム・フロアがあり、下部はサブプレッション・チェンバになっている。

円錐殻頂部付近には上部シアラグ及びスタビライザがあり、原子炉圧力容器より原子炉格納容器に伝えられる水平力及び原子炉格納容器にかかる水平力の一部を周囲の一次遮蔽壁に伝える構造となっている。

1.3.3.7 原子炉圧力容器

原子炉圧力容器は内径約 6.4m、高さ約 23m、重量は原子炉圧力容器内部構造物、原子炉冷却材及び燃料集合体を含めて約 1,600 t である。

この容器は底部の鋼製スカートで支持され、スカートは鉄筋コンクリート造円筒形の原子炉本体の基礎に固定されたベヤリングプレートにボルトで接続されている。

原子炉压力容器は、その外周の原子炉遮蔽頂部で原子炉压力容器スタビライザによって水平方向に支持されて、原子炉遮蔽の頂部は原子炉格納容器スタビライザによって原子炉格納容器に結合されている。原子炉压力容器スタビライザは地震力に対し原子炉压力容器の上部を横方向に支持している。

したがって、水平力に対して原子炉压力容器はスカートで下端固定、原子炉压力容器スタビライザで上部ピン支持となっている。

1.3.3.8 原子炉压力容器内部構造物

炉心に作用する水平力は、ステンレス鋼の炉心シュラウドによって支持されている。炉心シュラウドは、円筒形をした構造で原子炉压力容器の下部に溶接されている。

燃料集合体に作用する水平力は、上部格子板及び炉心支持板を通して炉心シュラウドに伝えられ、燃料集合体はジルカロイ製の細長いチャンネル・ボックスに納められている。燃料棒は、過度の変形を生ずることがないように、燃料集合体頂部と底部のタイプレートで押さえ、中間部もスペーサによって押さえられている。

スタンドパイプと気水分離器は溶接によって一体となっている。蒸気乾燥器は原子炉压力容器につけたブラケットによって支持されている。ジェットポンプは炉心シュラウドの外周に配置されている。ライザは原子炉压力容器を貫通して立上り、上部において原子炉压力容器に支持され、ジェットポンプは上部においてライザに結合されている。

ジェットポンプの下部はシュラウドサポートプレートに溶接されている。この機構によってジェットポンプは熱膨脹を拘束されずに振動を防止できる構造となっている。制御棒駆動機構ハウジングは、上部は原子炉压力容器底部に溶接されており、地震荷重に対しても十分な強度を持つように設計

する。

1.3.3.9 再循環系

再循環ループは 2 ループあって、外径約 610mm のステンレス鋼管で原子炉圧力容器から下方に伸び、その最下部に再循環系ポンプを設け、持ち再び立ち上げてヘッダに入り、そこから 5 本の外径約 320mm のステンレス鋼管に分れ、原子炉圧力容器に接続される。この系の支持方法は、熱膨張による動きを拘束せず、できる限り剛な系になるように、適切なスプリングハンガ、スナッパ等を採用する。再循環系ポンプは、ケーシングに取り付けられたコンスタントハンガ、スナッパ等によって支持される。

1.3.3.10 その他

その他の機器・配管系については、運転荷重、地震荷重、熱膨張による荷重を考慮して、必要に応じてスナッパ、ハンガ、その他の支持装置を使用して耐震性に対しても熱的にも安全な設計とする。

1.3.4 地震検知による耐震安全性の確保

(1) 地震検出計

安全保護系の一つとして地震検出計を設け、ある程度以上の地震が起こった場合に原子炉を自動的に停止させる。スクラム設定値は、弾性設計用地震動 S_0 の加速度レベルに余裕を持たせた値とする。安全保護系は、フェイル・セーフ設備とするが、地震以外のショックによって原子炉をスクラムさせないよう配慮する。

地震検出計は、基盤の地震動をできるだけ直接的に検出するため建屋基礎版の位置、また主要な機器が配置されている代表的な床面に設置する。なお、設置に当たっては試験及び保守管理が可能な原子炉建屋の適切な場所に設置する。

(2) 地震観測等による耐震性の確認

原子炉施設のうち安全上特に重要なものに対しては，地震観測網を適切に設置し，地震観測等により振動性状の把握を行い，それらの測定結果に基づく解析等により，施設の機能に支障のないことを確認していくものとする。

地震観測を継続して実施するために，地震観測網の適切な維持管理を行う。

東海第二発電所

下位クラス施設の波及的影響の検討について
(耐震)

大物搬入口建屋の耐震重要度分類について

1. はじめに

大物搬入口建屋の機能要求を踏まえて、耐震設計上の取扱いについて、以下のとおり整理した。

2. 二次格納施設の範囲、気密性に係る要求及びその取扱いについて

(1) 二次格納施設の範囲及び気密性に係る要求について

二次格納施設の範囲を示した原子炉建屋概略平面図を第 1 図に示す。

二次格納施設を負圧に維持するため、機器搬入口内側扉（以下「内側扉」という。）又は機器搬入口外側扉（以下「外側扉」という。）のどちらか一方の扉は閉鎖状態であることが要求される。これは、通常運転時に二次格納施設を負圧に維持するとともに、設計基準事故（原子炉冷却材喪失（LOCA）、燃料集合体の落下）が発生した際に、原子炉建屋ガス処理系（非常用ガス処理系、非常用ガス再循環系）により二次格納施設内のガスを処理し、二次格納施設を負圧に維持するための「気密性に係る要求」である。

実運用としては、原則、内側扉及び外側扉ともに閉鎖状態としている。また、機器の搬出入等に伴い一時的に内側扉又は外側扉を開放する場合は、もう一方の扉は閉鎖状態を維持し、二次格納施設の気密性を確保することとしている。

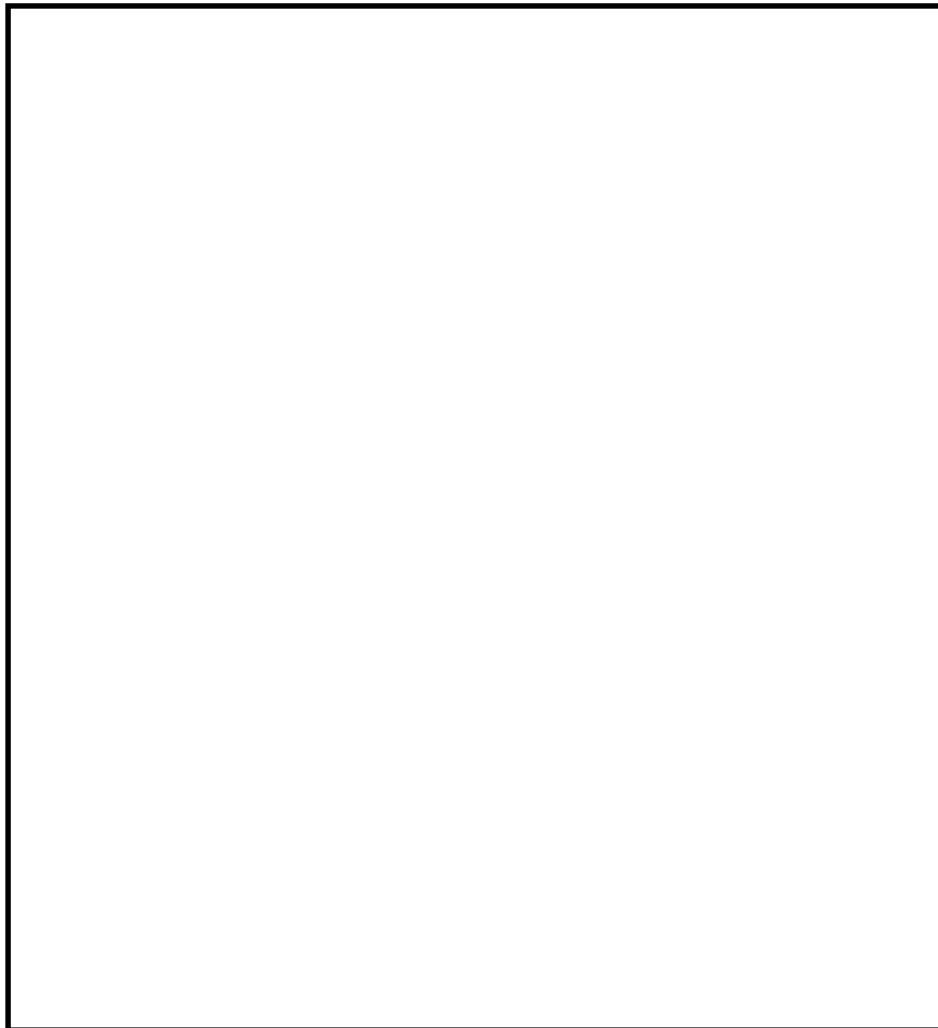
(2) 二次格納施設の気密性に係る要求の取扱い

二次格納施設の気密性に係る要求として、原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、内側扉又は外側扉の何れか一方の扉が閉鎖状態であることを定めている。これを満足しない場合は、二次格納施設を負圧に保つための措置を 4 時間以内に講じることが要求され、さらにこの要求を

満足できない場合には、プラント停止等の必要な措置を決められた時間内に実施することが要求される。

(3) 東海第二発電所における耐震設計上の取扱いの方針

東海第二発電所では、一時的な機器搬出入時を除いて閉鎖状態とする内側扉までを二次格納施設として扱い耐震Sクラスとし、大物搬入口建屋を含む外側扉については、耐震Cクラスとしている。



: 二次格納施設



: 機器搬入口内側扉開放時に一時的に
気密性を要求する範囲

第 1 図 原子炉建屋概略平面図 (EL.8.2m)

3. 耐震重要度分類の整理

大物搬入口建屋を含む外側扉を耐震Cクラスとしている理由について整理する。

(1) 通常運転時は内側扉及び外側扉の両方を閉めて運転していること

上記2.(1)のとおり、通常運転時は、原則、内側扉及び外側扉を閉じて運転しており、地震発生等により大物搬入口建屋を含む外側扉の気密性が確保されない場合でも、耐震Sクラスとした内側扉にて二次格納施設の気密性は確保可能である。

(2) 通常運転時の内側扉開放時に気密性が損なわれた場合でも外部への被ばく影響は小さいこと

内側扉開放時に外側扉を含む機器搬入口建屋が損傷に至ると、保安規定で要求される内側扉又は外側扉の閉鎖状態の確保を満足していない状態となるため、二次格納施設を負圧に保つための措置として、4時間以内に内側扉を閉鎖する必要がある。過去の作業実績から内側扉の閉鎖作業時間は約1時間であるが、保守的に4時間開放されるものとして平常時被ばく評価への影響を確認した。

通常運転時においては、放射性物質が換気系を通して排気筒から放出されるが、内側扉が開放される場合は、気密性が失われ、二次格納施設内から直接地上放出すると仮定し、通常運転時の換気系から年間放出量のうち、内側扉が開放される4時間に当たる放出量が地上から放出すると想定し、平常時の被ばく評価を行った。第1表に被ばく評価に使用した放出量を示す。その結果、人の居住を考慮した実効線量は、わずかに増加するものの添付書類九の記載値の約 $8.4 \mu\text{Sv}/\text{年}$ から変動はなく、平常時被ばく評価への影響は小さいこと確認した。また、この値は線量目標値である $50 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を十分下回る。

第 1 表 被ばく評価に使用した放出量

(Bq/y)

| | 内側扉開放を考慮した場合 | | 通常運転時の場合 |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 地上放出 (4 時間放出) | 排気筒放出 | 排気筒放出 |
| 希ガス | 2.2×10^{11} | 1.4×10^{15} | 1.4×10^{15} |
| I - 131 | 1.5×10^7 | 5.9×10^{10} | 5.9×10^{10} |
| I - 133 | 4.1×10^7 | 9.4×10^{10} | 9.4×10^{10} |

- (3) 基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる事故が発生せず二次格納施設の健全性の維持が可能であること

二次格納施設の気密性の要求は、原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる設計基準事故(LOCA, 燃料集合体の落下)に備えたものであるが、原子炉冷却材圧力バウンダリは耐震 S クラスとしており、基準地震動 S_s による LOCA の発生はない。また、燃料交換機は、基準地震動 S_s によっても、吊り上げた燃料を落下させることはなく、燃料集合体の落下は発生しない。

以上より、基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる事故は考慮不要であることから、内側扉の開放時において決定論的に地震の発生を想定した場合においても設計基準事故に至らず、地震発生後に速やかに内側扉の閉鎖を行うことにより、二次格納施設の気密性を維持することができる。

- (4) 内側扉の開放時間が限定的でありその間に事故等が発生する確率が小さいこと

a. LOCA に対する検討

内側扉の開放時に地震起因の LOCA が発生した場合には、二次格納施

設の気密性確保が一時的に損なわれることとなるが、地震 P R Aにおける地震加速度が 1.10 G までの L O C A の発生確率は約 1×10^{-11} / 炉年であり、内側扉の開閉状態に関係なく、基準地震動 S_s により L O C A が発生する確率は十分小さい。さらに、後述での年間当たり内側扉が開放している確率である 1.1×10^{-2} を考慮すれば、確率的に極めて小さくなるため、L O C A の発生は、地震との独立事象として整理できる。

基準地震動 S_s 相当である 1.03 G を包絡する地震加速度

内側扉の開放時における L O C A の発生について

- ・ 1 年間における内側扉が開放している確率

新燃料の受入れ、使用済燃料の移送等計画的に実施する作業における内側扉の開放時間は、1 回当たりの作業時間として 2 ~ 3 時間であり、年間の合計時間は約 90 時間となる。この合計時間に基づく 1 年間当たり内側扉が開放している確率は、 1.1×10^{-2} である。なお、この開放時間は、過去の作業時間を参考に算定したものであり、今後の内側扉の開放作業に際しては作業効率を図ることや計画的に実施することにより、内側扉の開放時間を極力抑えることが可能である。

- ・ L O C A の発生確率

内部事象 P R A における L O C A の発生確率は、大破断 L O C A が 2.0×10^{-5} / 炉年、中破断 L O C A が 2.0×10^{-4} / 炉年、小破断 L O C A が 3.0×10^{-4} / 炉年であり、その合計は 5.2×10^{-4} / 炉年である。なお、内側扉の開放時に偶発的に L O C A が発生した場合においても、外側扉は閉じられているため、二次格納施設の気密性確保に問題はない。

以上より、内側扉の開放時における L O C A の発生確率は、約 5.8×10^{-4}

- 6 / 炉年となる。

LOCA発生後の内側扉開放時に地震が発生する確率について

内側扉開放時にLOCAが発生した場合、耐震Cクラスの大物搬入口建屋を含む外側扉において気密性を確保することになるため、耐震Sクラスである内側扉の閉鎖作業を速やかに行う。以下では、LOCAが発生し内側扉を閉鎖するまでの間に地震が発生する確率を求める。

- ・ 内側扉の閉鎖時間

内側扉を開放する1回の作業継続時間は最長でも3時間であり、そのうち閉鎖可能時間は過去の作業実績から約1時間である。この作業実績の約1時間に保守性を考慮し、内側扉開放時にLOCAが発生した時点から内側扉を閉鎖するまでの時間、すなわち外側扉で気密性を確保する期間を約10時間 (1.2×10^{-3} 年) とする。

- ・ 地震の発生確率

JEAG4601・補-1984に記載されている基準地震動 S_2 及び S_1 の発生確率を基準地震動 S_5 及び弾性設計用地震動 S_d の超過確率に読み替えることにより、地震の発生確率として適用する。その結果、基準地震動 S_5 の発生確率は 5×10^{-4} /年、弾性設計用地震動 S_d の発生確率は 10^{-2} /年となる。

また、東海第二発電所の大物搬入口建屋は耐震Cクラスであるため、耐震Cクラス設計用地震力(以下「 S_c 」という。)を超える地震が発生する確率として、1/年を想定する。この値は、東海第二発電所運転開始39年経過時点においても、大物搬入口建屋が地震によって損傷に至っていないことを考慮すれば十分に保守的な値と考える。

以上より、LOCA発生後の内側扉開放時に地震が発生する確率は、

基準地震動 S_s に対しては 6.0×10^{-7} , 弾性設計用地震動 S_d に対しては 1.2×10^{-5} , S_c を超える地震に対しては 1.2×10^{-3} となる。

及び より、内側扉開放時に L O C A が発生し内側扉を閉鎖するまでの間に地震が発生する確率を第 2 表に整理した。各々の地震に対する確率は、基準地震動 S_s の場合は約 3.5×10^{-12} / 年、弾性設計用地震動 S_d の場合は約 6.9×10^{-11} / 年、 S_c を超える地震の場合は約 6.9×10^{-9} / 年となり、JEAG4601・補-1984 で用いられる荷重の組合せに関する判断目安である 10^{-7} / 炉年よりも極めて小さい。

第 2 表 内側扉開放時に L O C A が発生し内側扉閉鎖までの間の地震発生確率

| 内側扉開放時に L O C A が発生する確率 | | | L O C A 発生後の内側扉閉止 までに地震が発生する確率 | | | × 合計 (/ 炉年) |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 年間当たり 内側扉が開放 している確率 (-) | L O C A の 発生確率 (/ 炉年) | 合計 (/ 炉年) | 地震の発生 確率 (/ 年) | 内側扉の 閉鎖時間 (年) | 合計 (-) | |
| 1.1×10^{-2} | 5.2×10^{-4} | 5.8×10^{-6} | $S_s : 5 \times 10^{-4}$ | 1.2×10^{-4} | 6.0×10^{-7} | 約 3.5×10^{-12} |
| | | | $S_d : 10^{-2}$ | | 1.2×10^{-5} | 約 6.9×10^{-11} |
| | | | $S_c : 1$ | | 1.2×10^{-3} | 約 6.9×10^{-9} |

内側扉開放時に地震が発生した場合の検討

内側扉開放時に地震が発生した場合には、二次格納施設の気密性確保が一時的に損なわれることになるが、前述したとおり、地震起因により L O C A が発生する確率は約 1×10^{-11} / 炉年であり極めて小さい。また、地震起因でなく偶発的に発生する L O C A に対しては、地震後に速やかに内側扉を閉止することで、内側扉が開放した状態で L O C A を防止することは可能である。

一方で大物搬入口建屋を耐震Cクラスとして扱うことで、 S_c を超える地震により大物搬入口建屋が損傷し、内側扉の閉鎖作業を妨げる可能性は否定できない。この場合は、二次格納施設の気密性確保のため、内側扉の閉鎖を妨げる障害物を撤去し、内側扉の閉鎖作業を行うこととするが、4時間以内に内側扉が閉鎖できなければ、保安規定に基づきプラントを停止する。

b. 燃料集合体の落下に対する検討

燃料集合体落下の可能性を有する作業として、定期検査時の燃料集合体の取替作業（以下「燃料取替作業」という。）がある。

燃料取替作業時における内側扉の開放作業は、燃料取替作業時には内側扉の開放作業を計画的に実施しない運用とすること、また燃料取替作業時に内側扉の開放の必要が生じたときには燃料集合体を取り扱う作業を一時的に中断する運用とすることにより、内側扉が開放された状態での燃料取替作業時における燃料集合体の落下を防ぐこととする。

4. まとめ

以上のとおり、大物搬入口建屋は通常運転時には原則内側扉及び外側扉を閉鎖状態としていること、通常運転時の内側扉開放時に気密性が損なわれた場合でも外部への被ばく影響は小さいこと、基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要な事故は考慮不要であること、内側扉の開放時にLOCAが発生し、内側扉を閉鎖するまでに地震により大物搬入口建屋が損傷する確率は極めて小さいことから、内側扉を耐震Sクラスとし、大物搬入口建屋を含む外側扉までを耐震Cクラスとして扱うこととする。

また、大物搬入口建屋の損傷による耐震Sクラスの設備への波及的影響として、詳細設計段階で以下の事項について検討を行うこととする。

- ・大物搬入口建屋の損傷による使用済燃料輸送中のキャスクに対する波及的影響
- ・大物搬入口建屋の損傷による内側扉の開閉機能に対する波及的影響

(参考)

地震荷重の組合せが必要となる継続時間について

重大事故等対処施設における荷重の組合せにおいて、組合せの目安となる継続時間は第3表及び第1図に示すとおり設定しており、SA発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期(運転状態(S))、弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な 10^{-2} から 2×10^{-1} 年を長期(L)(運転状態(L))、基準地震動 S_s との組合せが必要な期間 2×10^{-1} 年以降を長期(LL)(運転状態(LL))としている。

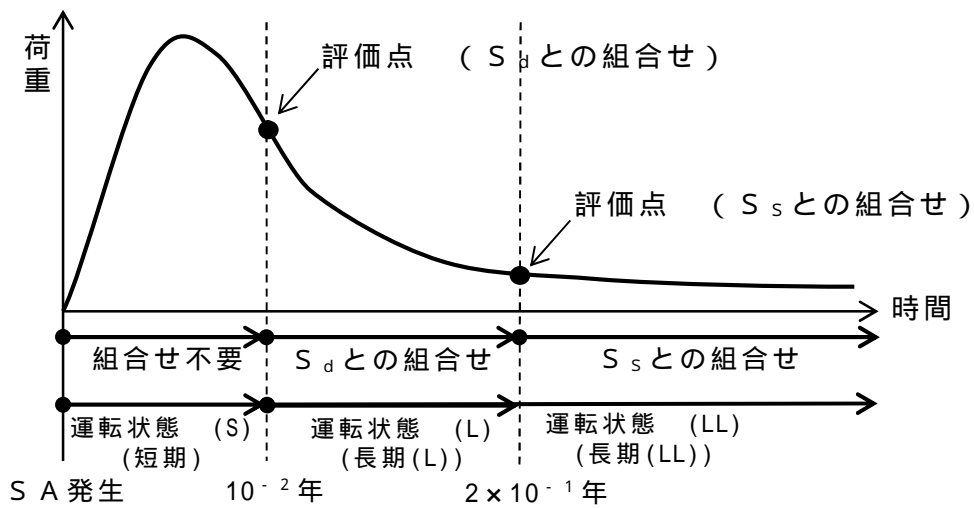
一方で、内側扉開放時にLOCAが発生した状態において、各地震を考慮すべき有意な確率となる継続時間は第4表のとおり計算される。なお、この有意な確率とは、JEAG4601・補-1984で用いられる荷重の組合せに関する判断目安である 10^{-7} /炉年とした。

継続時間とは、内側扉開放時にLOCAが発生した時点から、内側扉を閉止するまでの期間のこと。この期間に地震が発生した場合、二次格納施設の気密性が損なわれる可能性がある。

継続時間は、基準地震動 S_s の場合は約 3.5×10^1 年以上、弾性設計用地震動 S_d の場合は約1.7年以上、 S_c を超える地震の場合は約 1.7×10^{-2} 年以上(約6日以上)となり、過去作業実績における内側扉閉鎖作業時間である約1時間を十分上回る。したがって、過去作業実績を考慮すると、内側扉開放時にLOCAが発生した時点から内側扉を閉止するまでの期間に、大物搬入口建屋が損傷する可能性のある地震の発生確率は十分低い。

第3表 SA施設における荷重の組合せにおける継続時間

| 事故シナシ | 重大事故等の発生確率 | 地震動の発生確率 | | 荷重の組合せを考慮する判断目安 | 組合せの目安となる継続時間 |
|-------|---------------|----------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| | | 基準地震動 S_s | 5×10^{-4} / 年 | | |
| 全てのSA | 10^{-4} / 年 | 弾性設計用地震動 S_d | 10^{-2} / 年 | 10^{-8} / 年以上 | 2×10^{-1} 年以上 |
| | | 基準地震動 S_s | 5×10^{-4} / 年 | | 10^{-2} 年以上 |



第1図 荷重の組合せと継続時間の関係 (イメージ)

第4表 内側扉開放及びLOCA発生時に判断目安に到達する継続時間

| 内側扉開放時に LOCAが発生する確率 | | | 地震の発生確率 (/ 年) | 判断目安 (/ 炉年) | 組合せの目安 となる継続時間 |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------|---|
| 1年間当たり 内側扉が開放 している確率 (-) | LOCAの 発生確率 (/ 炉年) | 合計 (/ 炉年) | | | |
| 1.1×10^{-2} | 5.2×10^{-4} | 5.8×10^{-6} | 基準地震動 S_s 5×10^{-4} | 10^{-7} | 約 3.5×10^1 年 以上 |
| | | | 弾性設計用 地震動 S_d 10^{-2} | | 約 1.7 年 以上 |
| | | | S_c を超える 地震 1 | | 約 1.7×10^{-2} 年 以上 (約 6 日 以上) |

東海第二発電所

屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定について
(耐震)

2.3 屋外二重管の断面選定の考え方

屋外二重管は、Sクラス機器である残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機用海水系配管等の間接支持機能を有する。

屋外二重管は、延長約 215m、内径 2.0m 及び 1.8m の 2 本の鋼管の地中構造物である。また、地震時の相対変位を吸収するため、2 本の鋼管にはそれぞれ 3 箇所にかとう管が設定されている。構造物直下には液状化検討対象層である As 層、Ag1 層及び Ag2 層が分布している。なお、指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として、平成 21 年に Ag2 層を対象とした地盤改良を実施している。

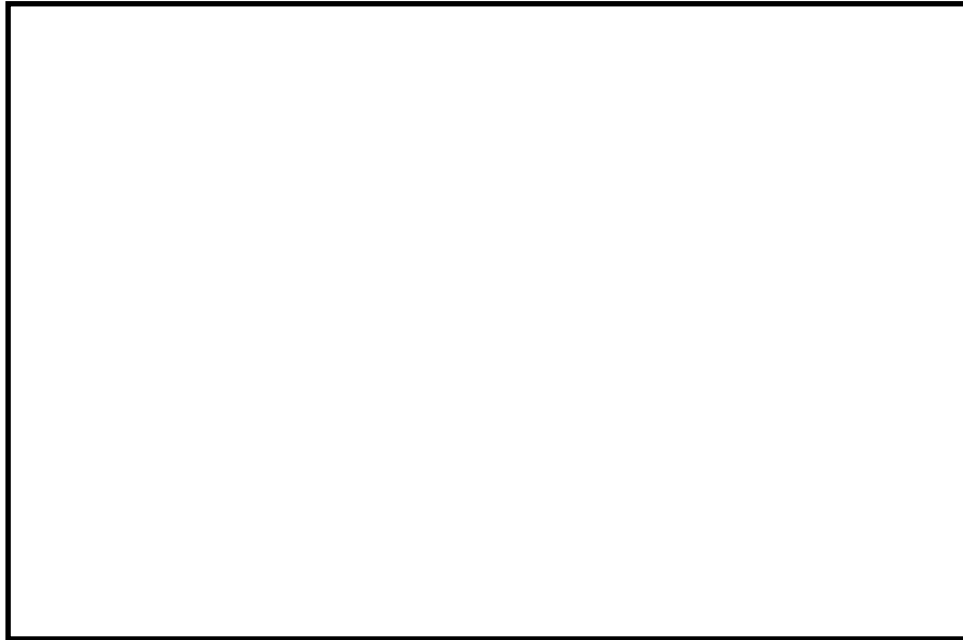
設置許可基準規則第 3 条第 1 項への適合性の観点から、本構造物は杭等を介して岩盤で支持する構造とする。

屋外二重管の平面図を第 2.3 - 1 図に、縦断面図を第 2.3 - 2 図に、横断面図を第 2.3 - 3 図に示す。

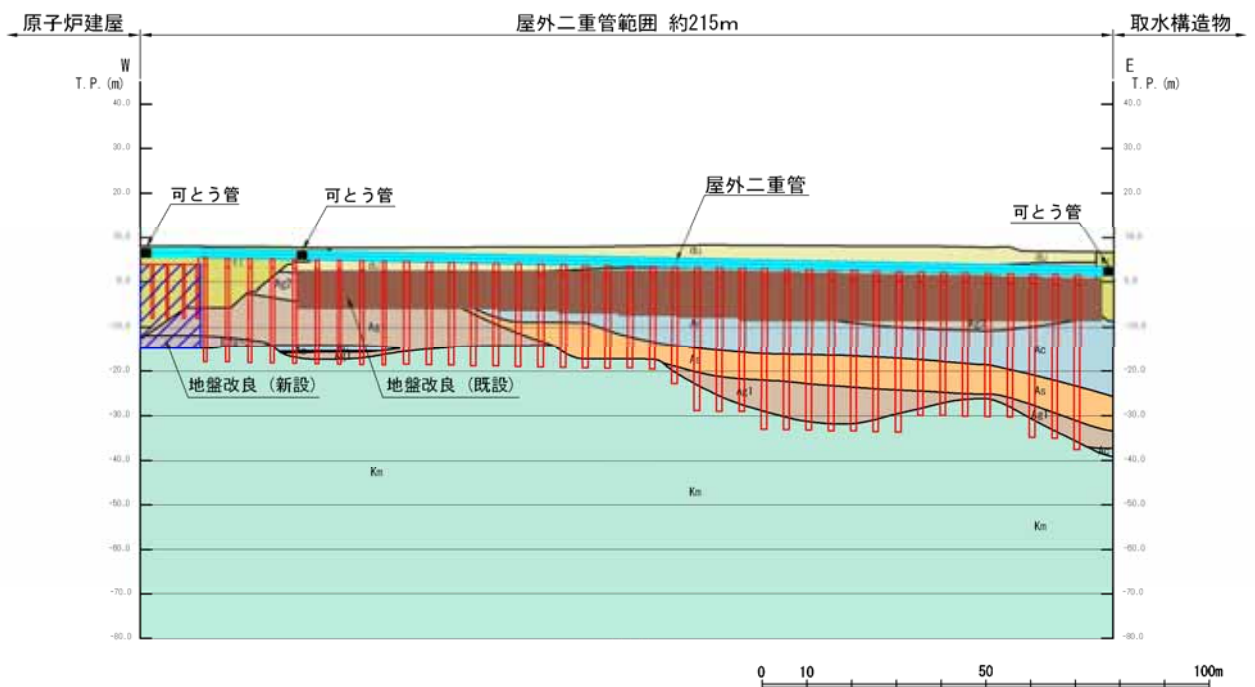
主な範囲においては、屋外二重管の直下に沈下防止を目的とした鋼製梁を設置して、鋼管杭を介して岩盤で支持させる。また、原子炉建屋近傍で、移設不可能な既設構造物（排気筒基礎等）や埋設物との干渉によって鋼管杭の打設が困難な箇所については、屋外二重管直下を地盤改良（セメント固化工法等）することにより補強する地盤に支持させる検討を行う。屋外二重管の基礎構造概要図を第 2.3 - 4 図に示す。

屋外二重管のうち二重管部分は任意の管軸直交方向断面において一様の形状を示す線状の構造物である。二重管部分の耐震評価では、一般的な地中埋設構造管路の設計を考慮し、管周方向応力と管軸方向応力の組合せを考慮した検討を行う。上記検討に当たっては、かとう管及び杭基礎への影響についても考慮し、耐震安全上最も厳しくなる断面にて基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

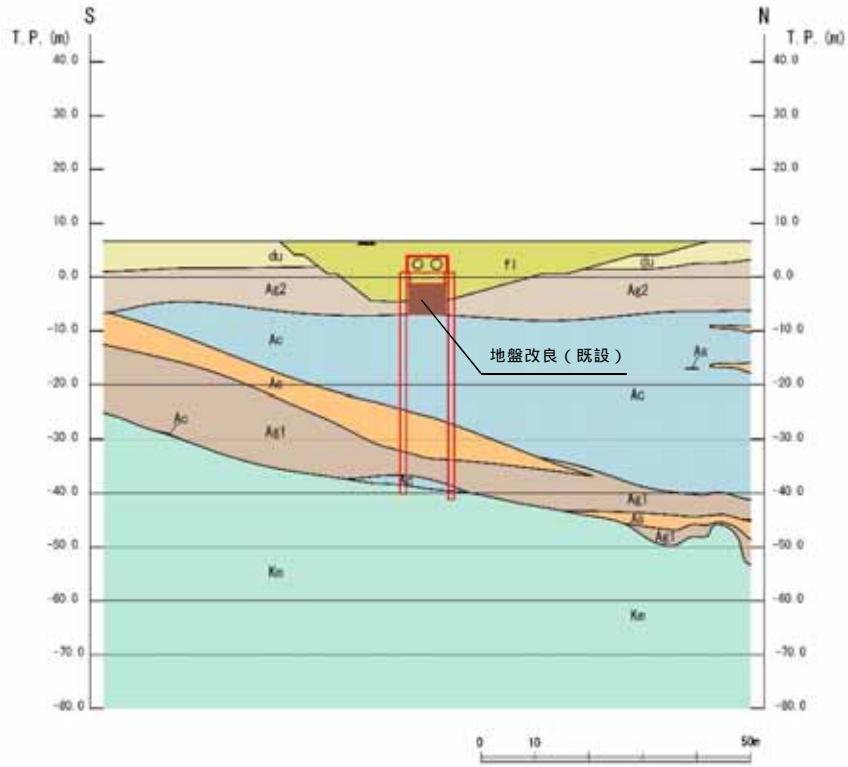
また、屋外二重管には残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機用海水系配管等が設置されることから、これら配管系への影響も踏まえた評価を実施する。



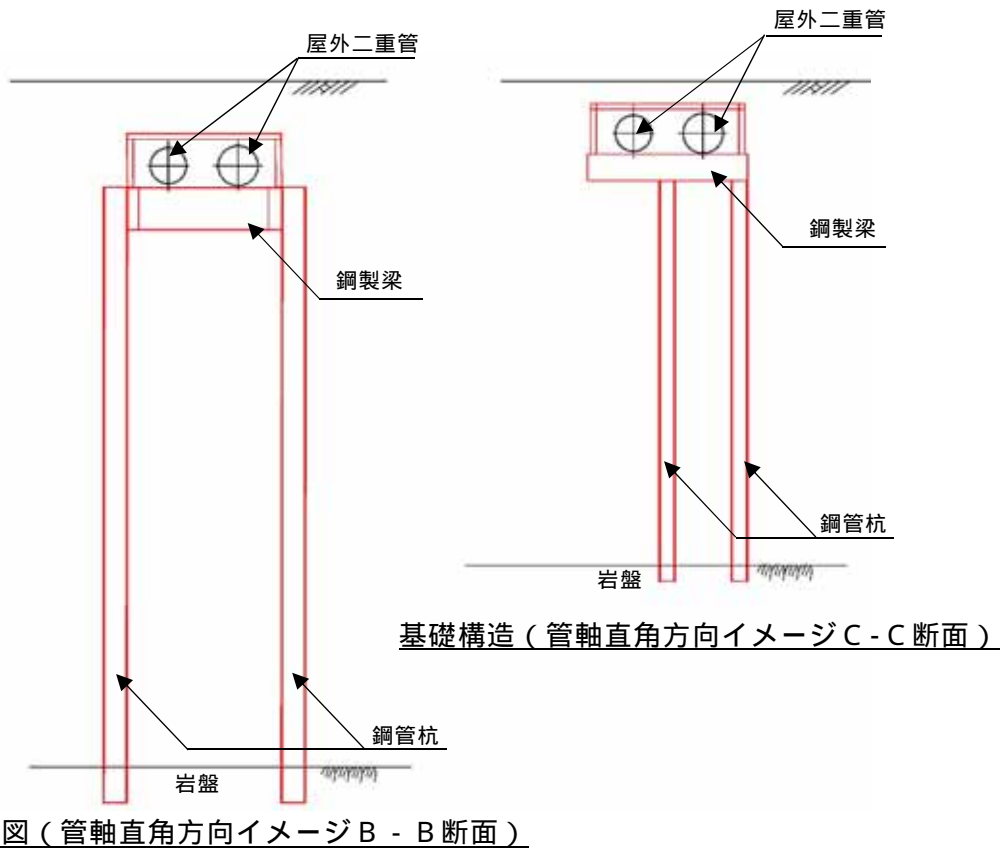
第 2.3 - 1 図 屋外二重管 平面図



第 2.3 - 2 図 屋外二重管 縦断面図 (A - A 断面)



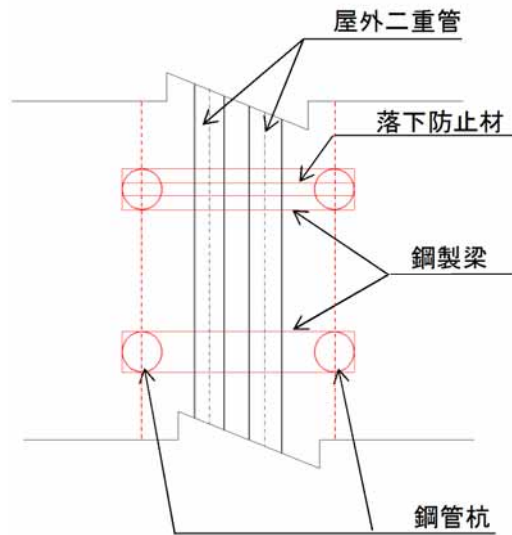
第 2.3 - 3 図 屋外二重管 横断面図 (B - B 断面)



基礎構図 (管軸直角方向イメージ B - B 断面)

基礎構造 (管軸直角方向イメージ C - C 断面)

第 2.3 - 4 図 基礎構造概要図

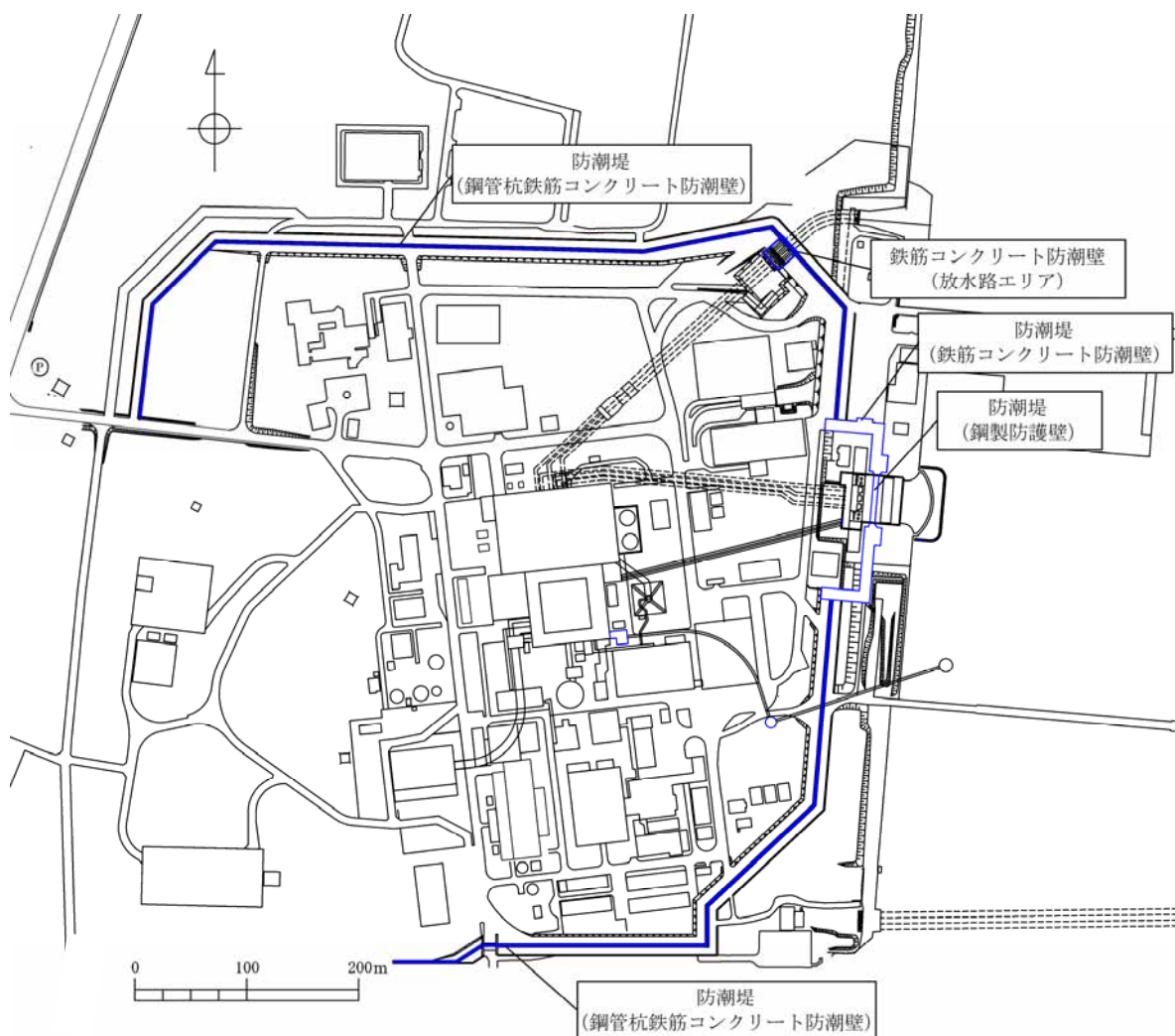


基礎構造（平面イメージ）

第 2.3 - 5 図 基礎構造概要図

2.5 防潮堤の断面選定の考え方

防潮堤の平面図を第 2.5 - 1 図に示す。防潮堤は，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁，鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁に区分され，総延長は約 2.3km，天端高さは T.P. + 20m（敷地前面東側）又は T.P. + 18m（敷地側面北側及び敷地側面南側）からなる。以下に，それぞれの断面選定の考え方を示す。



第 2.5 - 1 図 防潮堤 平面図

2.5.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

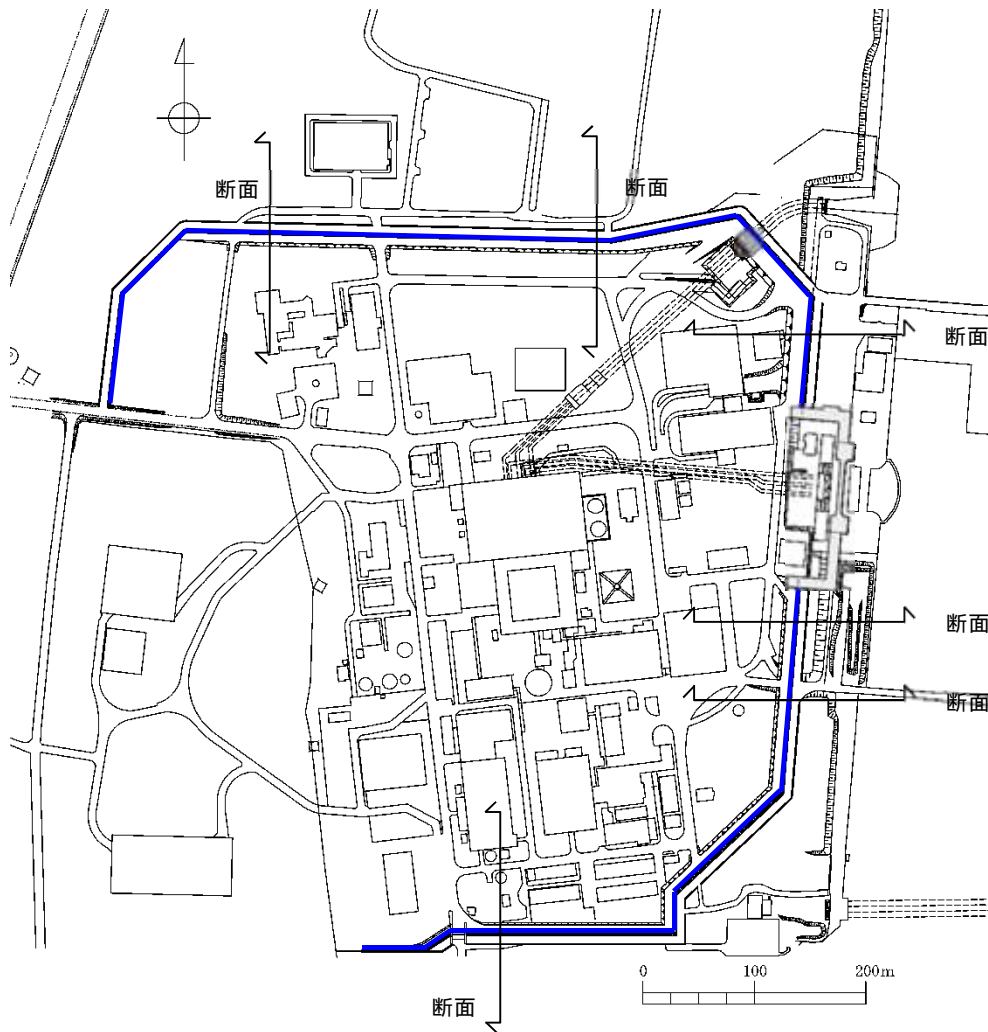
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の平面図を第 2.5 - 2 図に，正面図及び断面図を第 2.5 - 3 図に，横断面図を第 2.5 - 4 ~ 5 図に示す。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，延長約 2km，直径 2 ~ 2.5m の複数の鋼管杭を鉄筋コンクリートで巻き立てた鉄筋コンクリート造の防潮壁を 1 つのブロックとした構造物であり，鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

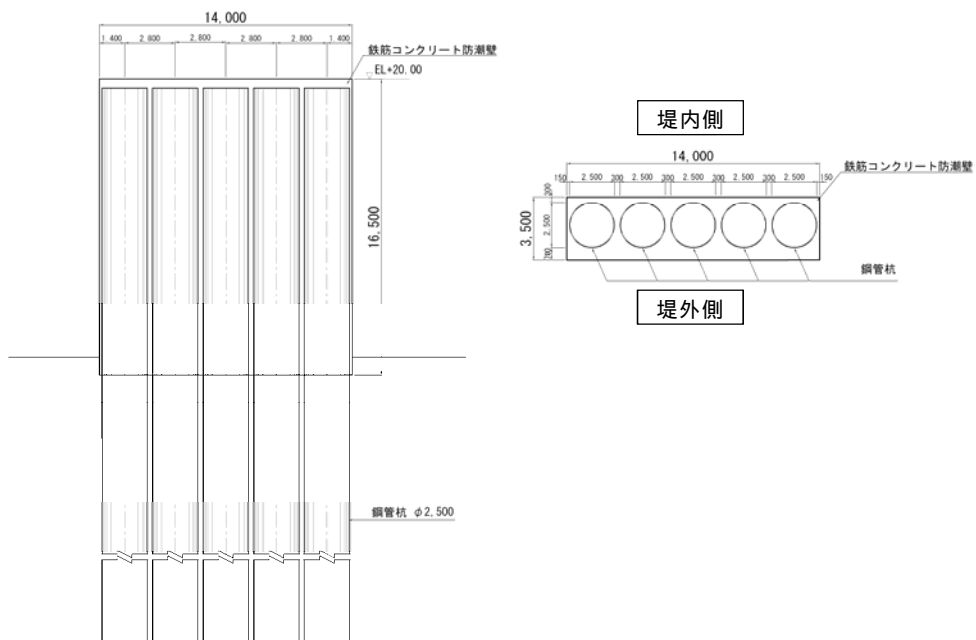
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の縦断方向は，加振方向に対して，長辺方向の躯体及び縦列の杭基礎の構造断面性能により抵抗することから，強軸断面方向となる。一方，横断方向は，加振方向に対して，短辺方向の躯体及び杭基礎の構造断面性能により抵抗するため，弱軸断面方向となる。

耐震評価では，構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して，構造の安全性に支配的な弱軸断面方向である横断方向の断面について，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

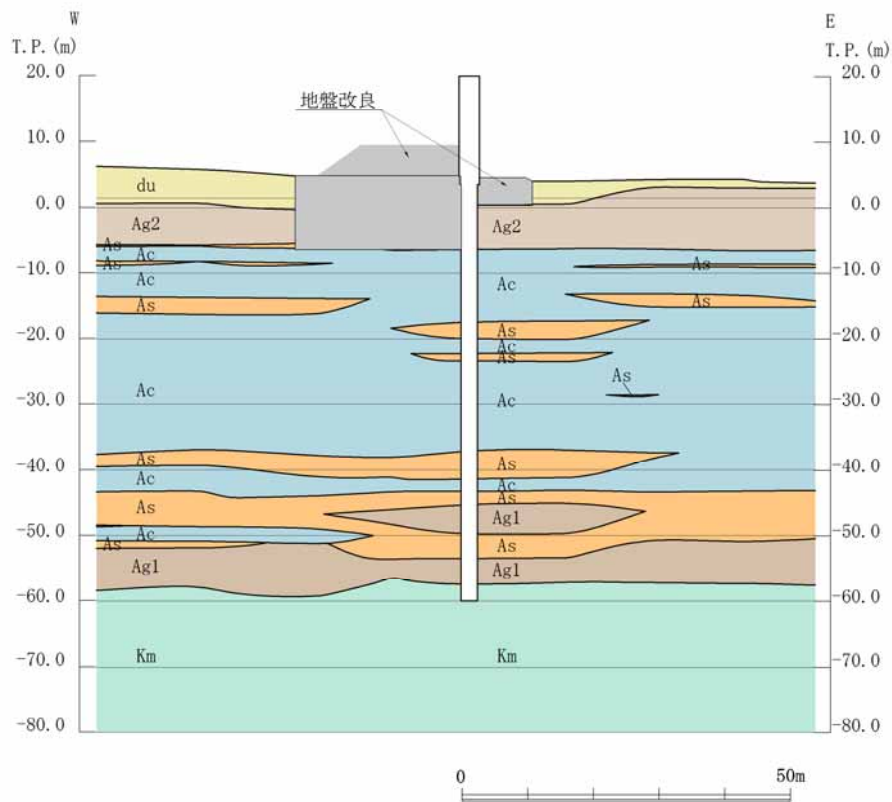
なお，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は敷地の全域に渡り設置することから，敷地の地質・地質構造の特徴や遡上津波の特性等を踏まえ，それらを網羅的に考慮した検討断面を第 2.5 - 1 表，第 2.5 - 2 表，第 2.5 - 6 図，第 2.5 - 7 図に基づき選定した（ 断面 ~ 断面 ）。



第 2.5 - 2 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 平面図

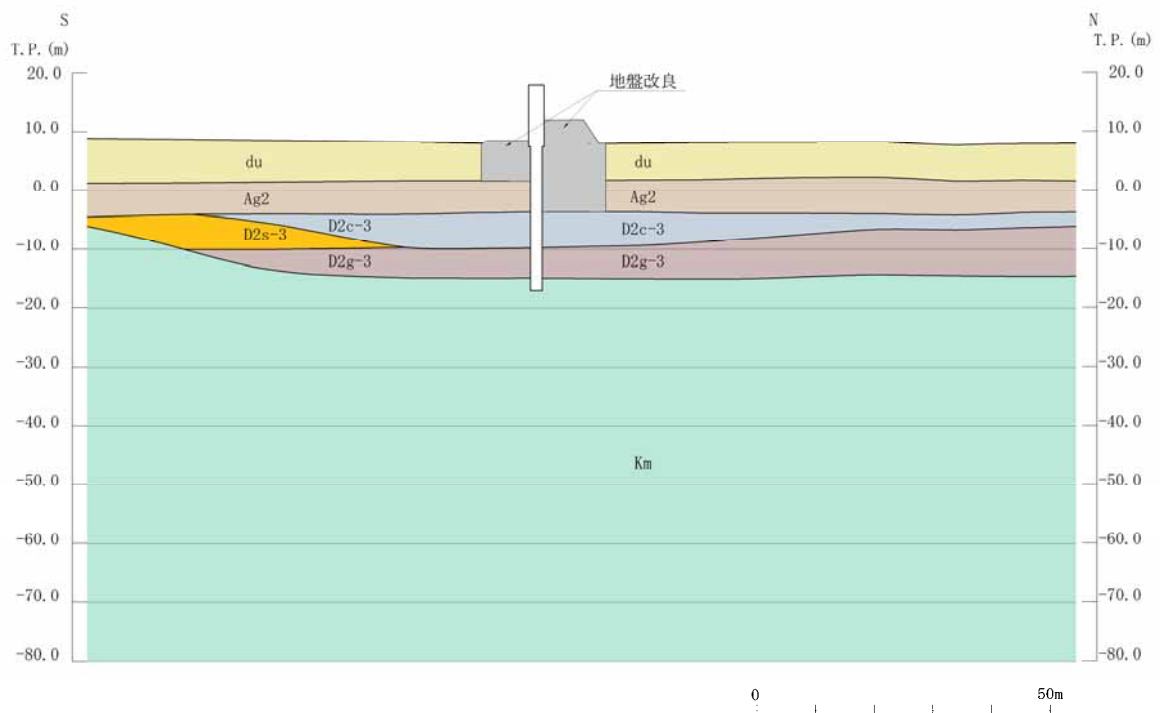


第 2.5 - 3 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 正面図及び断面図



注：地盤改良の範囲については、今後の設計進捗により変更の可能性がある。

第 2.5 - 4 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 横断面図 (断面)

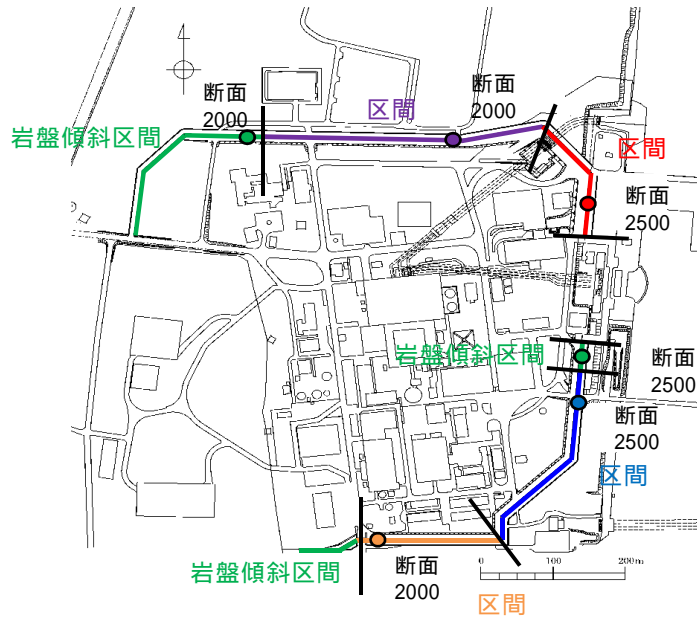


注：地盤改良の範囲については、今後の設計進捗により変更の可能性がある。

第 2.5 - 5 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 横断面図 (断面)

第 2.5 - 1 表 検討断面選定理由

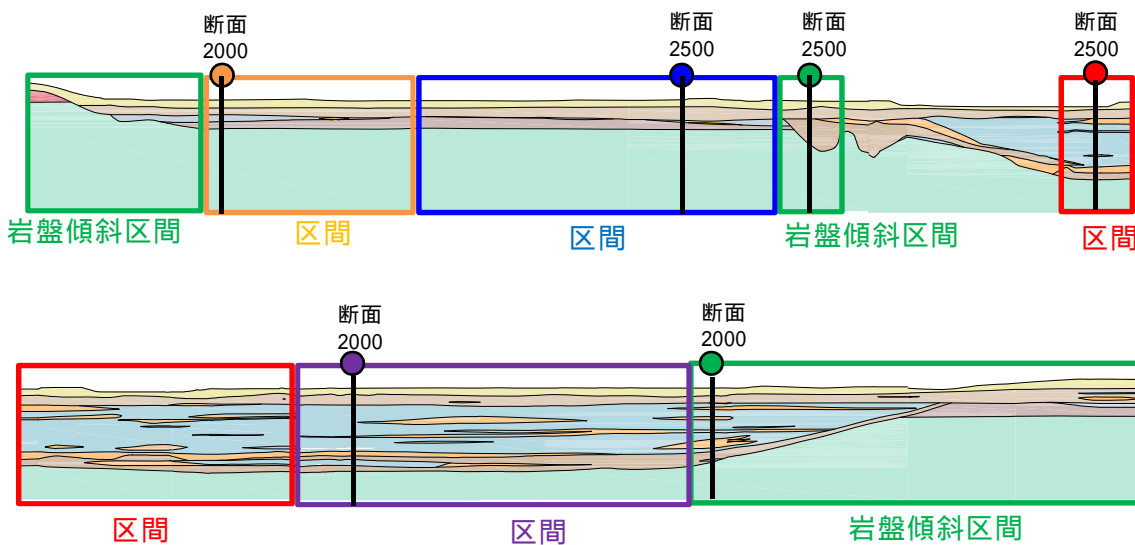
| 検討断面 | 地質的特徴 | 区間名 (防潮堤天端高さ) | 選定理由 |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| くは断面 断面もし | 岩盤が傾斜する。 | 岩盤傾斜区間 (T.P.+18m もしくは T.P.+20m) | 岩盤の傾斜角が最も大きい箇所 |
| 断面 | 岩盤標高が低い (第四系の層厚が厚い) | 区間 (T.P.+18m) | 粘土層が最も厚く堆積する箇所(区間内で第四系の層厚はほぼ一定) |
| 断面 | | 区間 (T.P.+20m) | 全区間で防潮壁の壁高さが最も高い箇所(全区間で津波荷重が最も大きい箇所) |
| 断面 | 岩盤標高が高い (第四系の層厚が薄い) 更新統が存在する。 | 区間 (T.P.+20m) | 当該区間で第四系の層厚が最も厚い箇所 |
| 断面 | | 区間 (T.P.+18m) | 当該区間で第四系の層厚が最も厚い箇所 |



第 2.5 - 6 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の区間割図

第 2.5 - 2 表 区間別の第四系層厚

| 凡例 | 区間 | 鋼管杭径 | 第四系の層厚(岩盤の出現深さ) |
|----|--------|----------------|-----------------|
| — | 岩盤傾斜区間 | 2,000 or 2,500 | 薄い~厚い(傾斜) |
| — | 区間 | 2,000 | 一定の厚さで厚い(深い) |
| — | 区間 | 2,500 | 一定の厚さで厚い(深い) |
| — | 区間 | 2,500 | 一定の厚さで薄い(浅い) |
| — | 区間 | 2,000 | 一定の厚さで薄い(浅い) |



| 地質凡例 | | | |
|---------------------------------|---------|-------|-----|
| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
| 先 新 世 | 砂丘層 | du | 砂 |
| | | Ag2 | 砂礫 |
| | 沖積低地堆積層 | Ac | 粘土 |
| 更 新 世 | | Ag1 | 砂礫 |
| | | D2c-3 | シルト |
| | | D2e-3 | 砂 |
| | 低位段丘堆積層 | D2g-3 | 砂礫 |
| | | D2c-2 | シルト |
| | | D2g-2 | 砂礫 |
| 中 位 段 丘 堆 積 層 | | im | ローム |
| | | D1c-1 | シルト |
| | | D1g-1 | 砂礫 |
| 久米層 | Km | 砂質泥岩 | |

第 2.5 - 7 図 検討断面位置図

2.6 常設代替高圧電源装置置場の断面選定の考え方

常設代替高圧電源装置置場の平面図を第 2.6 - 1 図に，断面図を第 2.6 - 2 図に示す。

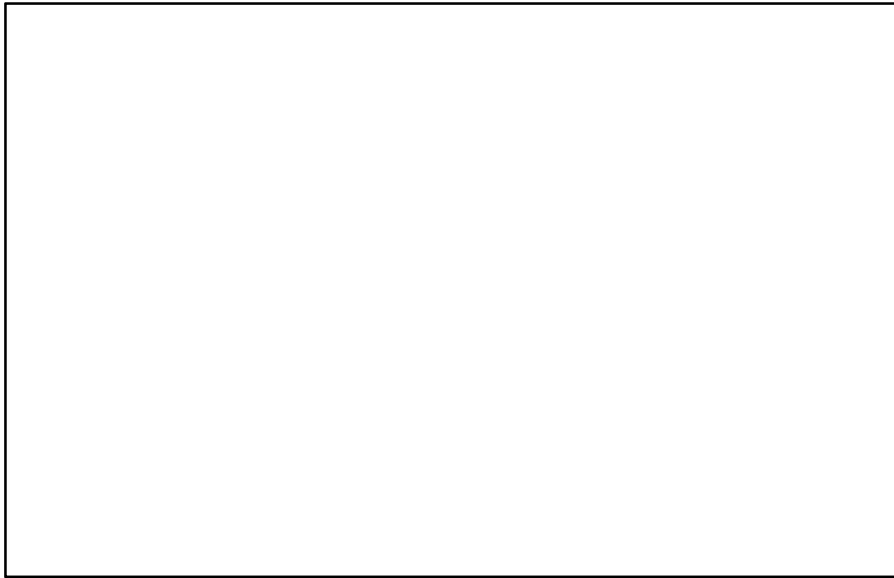
常設代替高圧電源装置置場は常設重大事故等対処施設であり，常設代替高圧電源装置等を内包すると共に，S クラス施設である軽油貯蔵タンクを間接支持する機能を有する。

常設代替高圧電源装置置場は，幅約 46m（南北方向）×約 56m（東西方向），高さ約 47m の多層ラーメン構造の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。

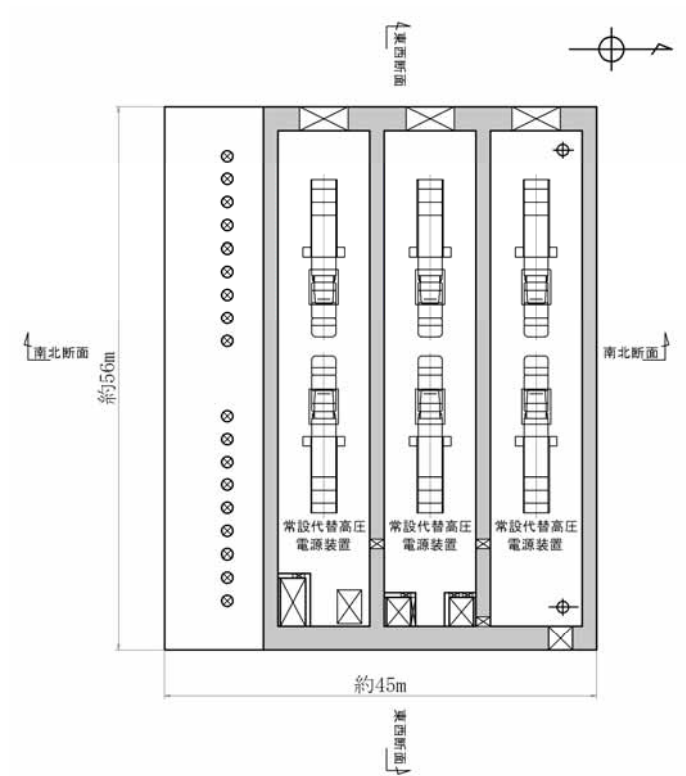
常設代替高圧電源装置置場では内包する常設代替高圧電源装置や間接支持する S クラス施設が縦断方向（東西方向）に一様に設置されているため，機器・配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

常設代替高圧電源装置置場の東西方向は加振方向に対して平行に配置される側壁又は隔壁の構造断面性能により抵抗することから，強軸断面方向となる。一方，南北方向は，設備の配置などから加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから弱軸断面方向となる。

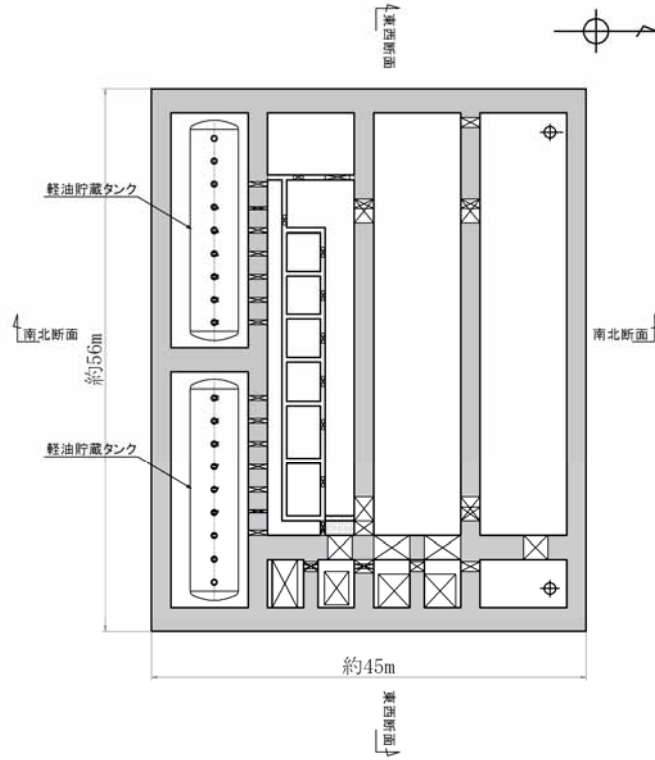
常設代替高圧電源装置置場は，東西方向にほぼ一様な構造であること，周辺の地質構造は施設の縦断方向について一様であることから，耐震評価では，構造の安全性に支配的な弱軸断面方向である南北方向の断面を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



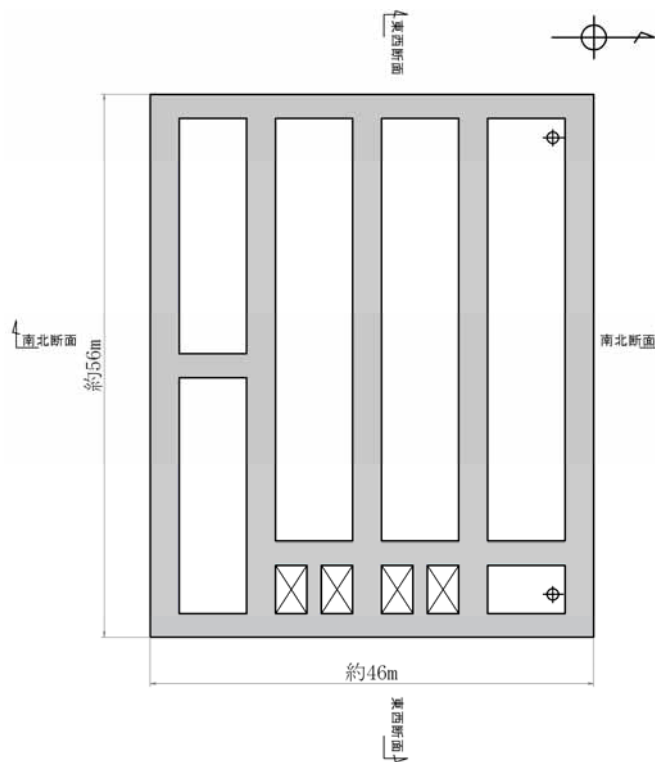
第 2.6 - 1 (1) 図 常設代替高压電源装置置場 平面図



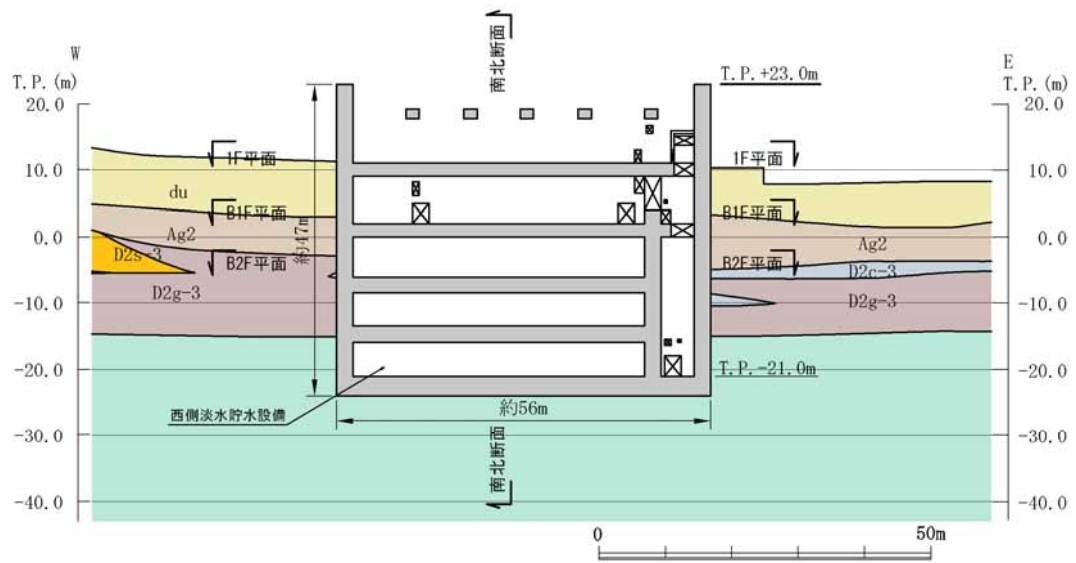
第 2.6 - 1 (2) 図 常設代替高压電源装置置場 1F 平面図



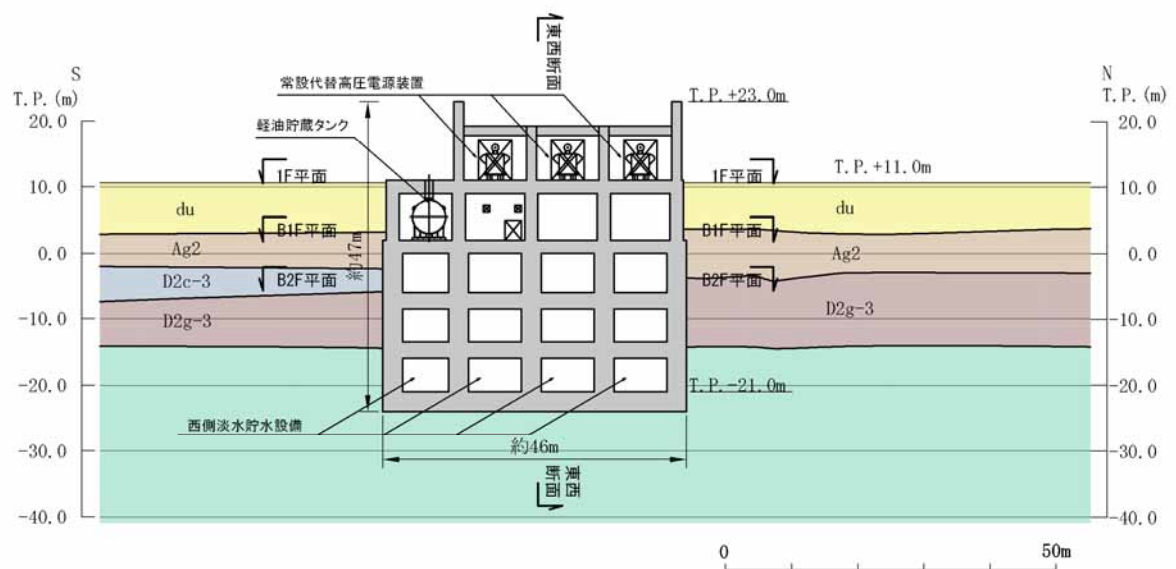
第 2.6 - 1 (3) 図 常設代替高圧電源装置置場 B1F 平面図



第 2.6 - 1 (4) 図 常設代替高圧電源装置置場 B2F 平面図



第 2.6 - 2 (1) 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図 (東西断面)



第 2.6 - 2 (2) 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図 (南北断面)

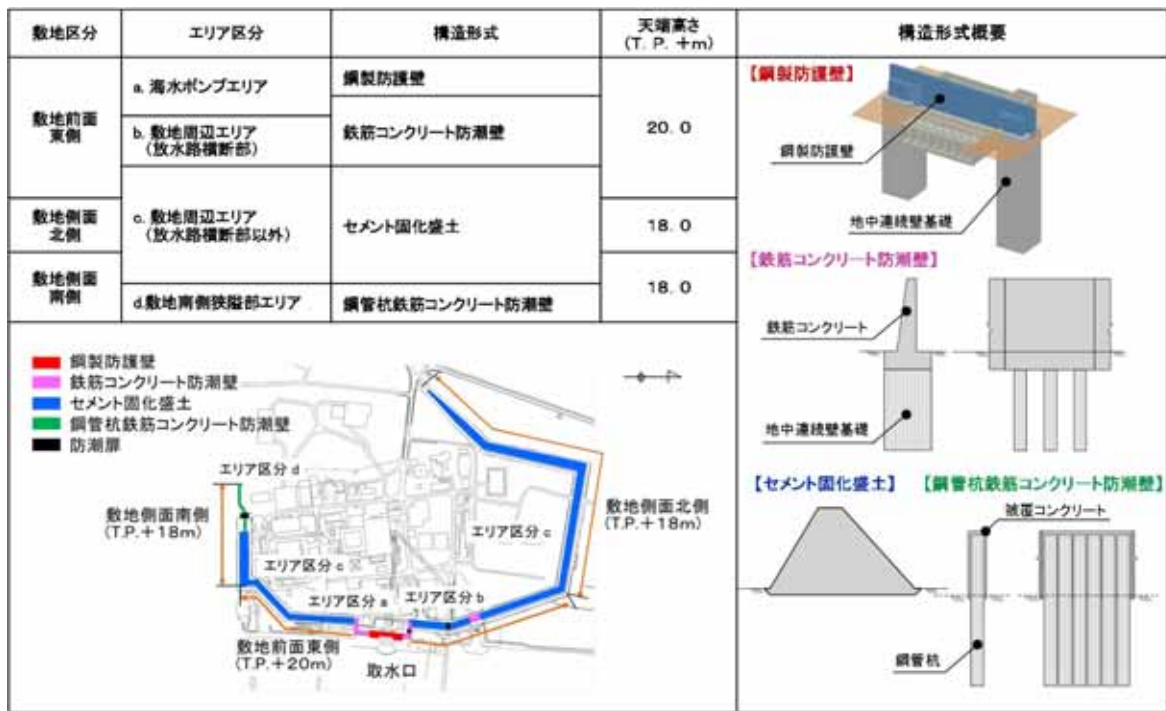
東海第二発電所

防潮堤の構造及び設置ルートの変遷について

1. 防潮堤の構造形式および設置ルートの変遷について

(1) 申請当時の構造について（平成 26 年 5 月）

東海第二発電所における津波に対する浸水防止（外郭防護）は，防潮堤を設置することにより対応する方針であり，申請当時（平成 26 年 5 月）において，防潮堤の構造形式は，第 1 図に示す通り鋼製防護壁構造，鉄筋コンクリート防潮壁構造，セメント固化盛土構造，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造の 4 種類とし，それぞれの配置は以下の通りであった。



第 1 図 申請当時の防潮堤の構造形式と配置図（平成 26 年 5 月）

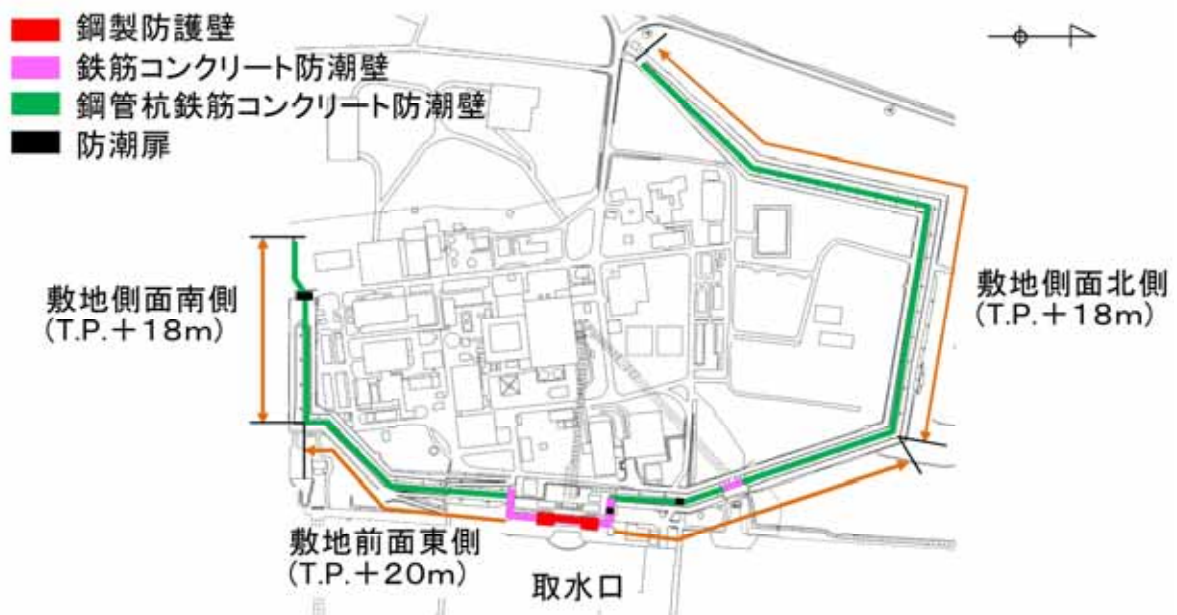
(2) セメント固化盛土構造から鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造への変更
（平成 29 年 4 月）

申請当時は，上記の 4 種類の構造形式のうち，セメント固化盛土構造区間が最も長い延長となる計画であったが，セメント固化盛土構造区間については，防潮堤上部構造の総重量が比較的軽量で常時の圧密荷重と地震時の慣性

力を低減でき、より一層強固な部材である鋼管杭や鉄筋コンクリートを用いることで耐震、耐津波の安全裕度向上が見込まれる鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造へ変更することとした。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造への構造変更により、詳細設計で強度設定の変更が生じた場合でも、構造部材が工場製品の組合せであることから、迅速かつ柔軟に設計外力へ対応した設計が可能となる。また、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造の場合^は、杭支持により防潮堤の長期的な安定性を確保することが可能となる。これら設計上の利点も勘案した上で、構造変更を行ったものである。

なお、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造は、申請当時から岩盤が比較的浅い敷地側面南側の日本原子力研究開発機構との敷地境界付近の区間を対象に設計検討を進め、平成 29 年 3 月までの地盤調査や各種解析の結果、液状化検討対象層を考慮しても構造成立性が見通しが得られていたことに基づき、これを最大延長にて計画されていたセメント固化盛土構造区間へも適用したものである。変更後の防潮堤の構造形式と配置図を第 2 図に示す。



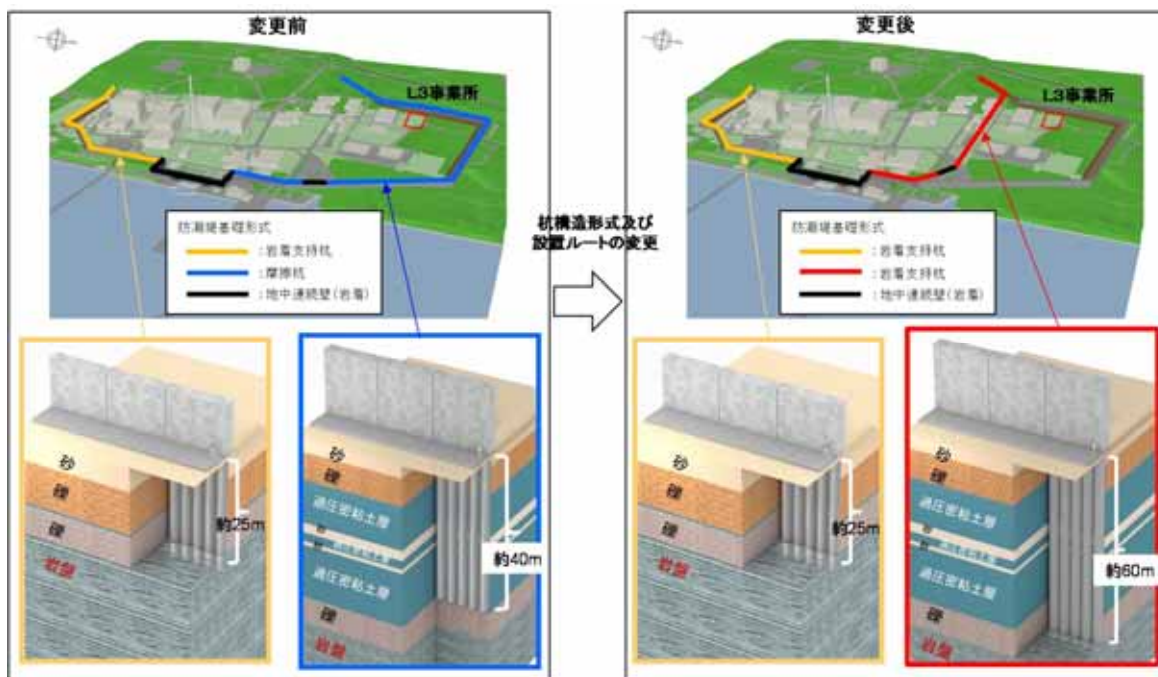
第 2 図 変更後の防潮堤の構造形式と配置図 (平成 29 年 4 月)

(3) 摩擦杭形式から岩着支持杭形式への変更及びルート変更（平成 29 年 7 月）

平成 29 年 4 月時点においては、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造の杭基礎の支持形式について、敷地地盤の特徴を踏まえ、敷地南側は岩盤に支持させる岩着支持杭形式とし、敷地北側は恒久的な非液状化層である過圧密粘土層だけでも必要な支持性能を確保できる摩擦杭形式とする計画であった。

しかし、設置許可基準規則第三条第 1 項及び第 2 項に照らして、より安全裕度が高い支持性能が得られるよう、敷地北側の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間の全ての摩擦杭形式を敷地南側と同様の岩着支持杭形式へ変更することとした。

また、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁周辺の表層地盤については、地震時における地盤の変形や津波による洗掘などに対して、浸水防護をより確実なものとするため表層地盤改良を行う計画としていたが、表層地盤改良等の実施に当たっては、敷地北側の「低レベル放射性廃棄物埋設事業所廃棄物埋設施設（L3 事業所）」及び他事業所施設の地下水流況に影響を及ぼす可能性を考慮して、岩着支持杭形式への構造変更とあわせて、防潮堤のルートの一部を変更した。第 4 図に構造変更及び一部ルート変更の結果を示す。



第4図 杭基礎の支持形式及び防潮堤設置ルートの変更（平成29年7月）

2. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について

(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針及び構造成立性の評価結果について（平成29年10月）

構造成立性の検討では、構造体の各部位の評価において荷重伝達を踏まえた荷重の受け渡しや検討条件の整合性又は包絡性について体系的に整理した上で、構造体に対してより厳しい評価となる解析断面を選定し、その地盤モデルについても地層構成の不確かさや地盤物性値のバラツキなどを安全側に考慮（極端な地層厚の組合せや強制的な液状化を仮定するなど）することで十分な保守性を持たせた。さらに、今後の詳細設計段階で検討条件の変化が生じた場合に応じて、材料仕様の変更等により柔軟に安全裕度向上策の実施が可能な構造となるよう配慮した。

評価結果によれば、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部構造及び下部構造とも、各照査項目は許容値内に収まっていることを確認した。

以上のことから，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震及び耐津波設計の検討としては，安全側に包含する検討条件での評価により，十分な構造強度と止水性能を有する構造成立性を確認したのと共に，今後の詳細設計で検討条件の変化が生じた場合においても，材料仕様の変更等により柔軟な設計対応が可能である見通しを得た。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針及び構造成立性の評価結果については，審査資料「津波による損傷の防止 添付資料 2 4 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針及び構造成立性の評価結果について」に記載する。