

---

(補足説明資料)  
敷地の地質・地質構造の評価

# 敷地の地質・地質構造について 検討フロー

## 敷地の地質・地質構造に関する検討の目的

1. 敷地における断層の有無及びその活動性を明らかにする。
2. 敷地の詳細な地質・地質構造を把握し、設計上必要な地盤の物性を検討するための基礎資料を得る。

- 敷地の地質・地質構造の詳細な調査を実施
  - 文献調査
  - 変動地形学的調査
  - 地球物理学的調査  
反射法地震探査3測線：合計約4,250m
  - 地質調査
    - ・ボーリング調査(全365孔、合計約22,000m)  
全7孔(合計約2,200m)を追加実施  
(約500m:1孔, 約400m:2孔, 約200m:4孔)  
全12孔(合計約2,900m)を評価に追加  
(約1,000m:1孔, 約400m:2孔, 約200m:3孔, 200m以下:6孔)
    - ・ボアホールテレビ調査(全23孔、合計約3,400m)  
全7孔(合計約1,800m)を追加実施  
(約400m:3孔, 約200m:2孔, 200m以下:2孔)  
全8孔(合計約500m)を評価に追加  
(200m以下:8孔)
    - ・テフラ分析  
粒子組成分析及び火山ガラスの屈折率測定
    - ・微化石分析  
久米層及び那珂湊層群の地層に関する微化石分析
- 調査結果から断層の有無及び活動性を検討
  - ボーリングコアの観察
  - 地質構造図の作成
    - ・久米層について、岩相区分、侵食境界、鍵層の分布、反射法地震探査結果に基づくユニット区分を追加実施
    - ・鍵層の連続性については、追加の火山灰分析結果も含めて検討

敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に関する調査結果を参照

- 文献調査  
下記の文献を追加
  - ・田切ほか(2011, 2013)
  - ・活断層データベース(2015)
  - ・関東地域の活断層の長期評価(2015)
- 変動地形学的調査
- 地質調査
  - ・敷地周辺及び敷地近傍の久米層の構造の連続性確認
  - ・隣接する日本原子力研究開発機構の敷地の久米層の構造との対比

参照  
←

- 詳細な地質・地質構造の把握
- 「将来活動する可能性のある断層等」の有無の把握

# 活構造に関する文献調査結果



東海第二発電所の敷地及び敷地近傍において、活構造の存在を指摘する文献はない。

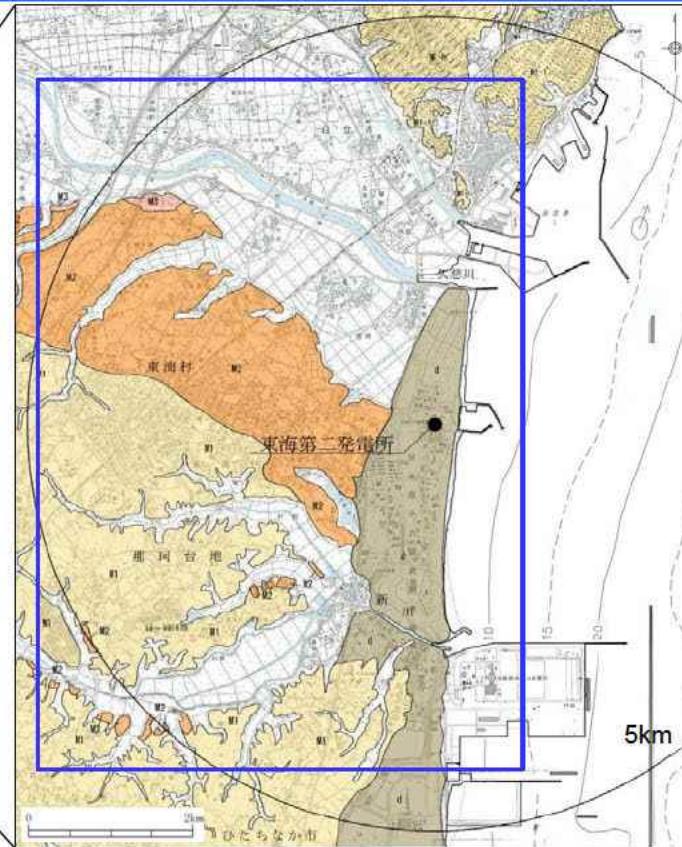


防災科学技術研究所ホームページ J-SHIS Map (2014年7月24日更新)に加筆

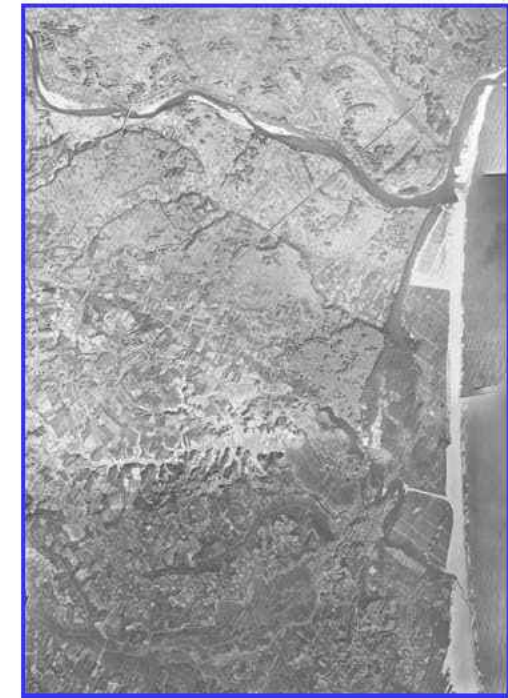


防災科学技術研究所 J-SHIS Mapでは、敷地及び敷地近傍において地すべり地形は示されていない。

# 敷地周辺及び近傍の地形



敷地近傍陸域の段丘面区分図及び変動地形学的調査結果図

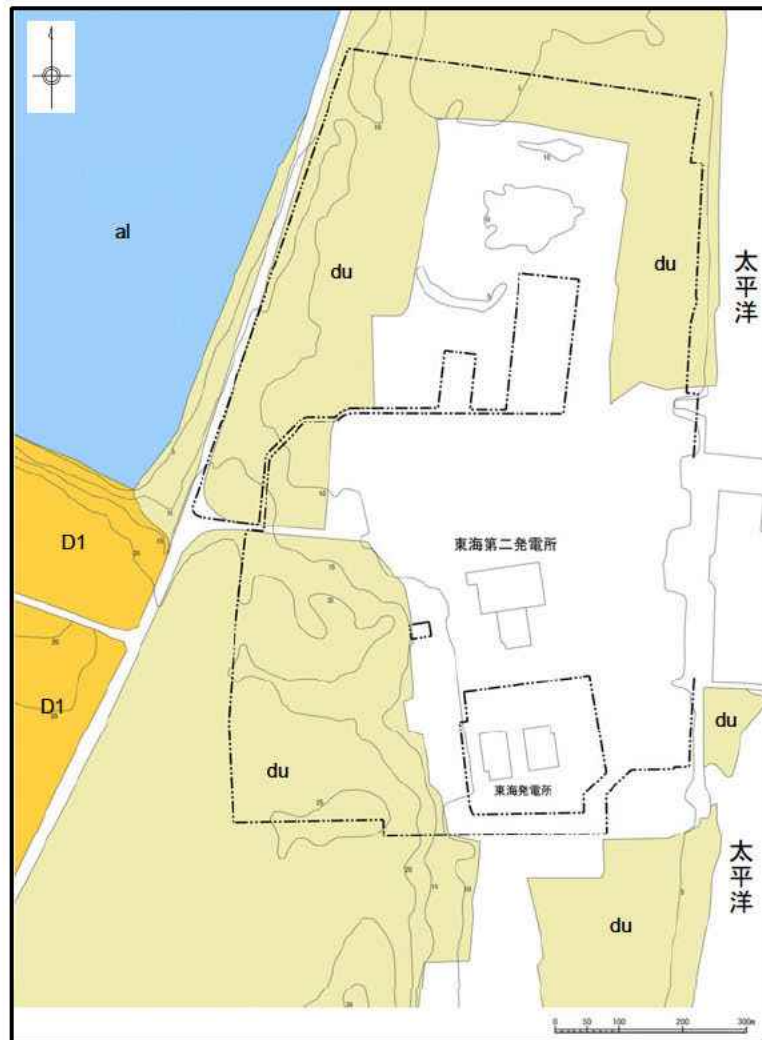


敷地近傍の航空写真(1947年米軍撮影)

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図を複製したものである。  
 (承認番号 平29情復, 第338号)  
 本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

- 敷地周辺陸域の地形は、関東北部山地にあたる八溝山地及び久慈山地、阿武隈山地の南部にあたる多賀山地並びに常磐海岸台地、関東平野の北東部にあたる那珂台地、東茨城台地等からなる。
- 敷地近傍(敷地から半径5kmの範囲)陸域の地形は、台地、低地及び海岸砂丘からなり、敷地は新川河口右岸付近の海岸砂丘に位置する。
- 台地を構成する段丘は高位からM1面、M2面、M3面に区分される。
- M1面は敷地の南西方及び北方に広く分布し、北方のM1面はM1-h面、M1-l面に細分される。
- M2面は敷地の西方に比較的広く分布するほか、敷地南西方の新川沿いなどに分布する。
- 敷地近傍海域の地形は、所々に緩い起伏が認められるが、全体的には水深30m未満で、海岸線と平行に沖合に向かって緩やかな傾斜を示す。
- 文献調査及び空中写真判読の結果、敷地及び敷地近傍に地すべり地形及びリニアメントは認められない。

# 敷地の地形及び地質の概要



敷地の地質平面図

地質層序表

年代層序区分	地層区分	地質記号	主な層相	備考	
新生界	完新統	砂丘砂層	du	灰褐色～黄灰色の細粒～中粒砂	敷地全体に広く分布する。
		沖積層	al	暗青灰色～灰褐色の粘土・砂 灰褐色～黄褐色の礫混じり砂	最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。 旧久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。
	更新統	段丘堆積物	D2	黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト	敷地全体に埋没段丘として分布する。 敷地周辺のL1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭質物の年代： 40, 830±2, 670年BP～48, 330±年BPオーバー (14C年代測定法)
			D1	敷地の南西部に分布する。 敷地周辺のM2段丘堆積物に対比される。 本層上部に分布する風化火山灰層に含まれる テフラの年代： ・赤城鹿沼テフラ >45, 000年BP ・赤城水沼1テフラ 55, 000年BP～60, 000BP	
		東茨城層群※	Hi	暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫	敷地の西部に分布する。
新第三系	鮮新統	久米層	Km	暗オリーブ灰色の砂質泥岩	敷地全体に広く分布する。原子炉建屋等の基礎地盤である。
		離山層	Hn	泥岩・凝灰岩	敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。
白亜系	那珂湊層群	Nk	泥岩・砂岩	敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。	
先白亜系	日立古生層 (日立変成岩類)	Hp	泥岩・砂岩・礫岩	1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。	

凡例

	盛土・埋戻土
	砂丘砂層
	沖積層
	段丘堆積物
	敷地境界線

※ 坂本他(1972)による見和層下部を東茨城層群と仮称する。










~~~~~:不整合

敷地に分布する地層のうち、最下位の日立古生層(日立変成岩類)は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。那珂湊層群は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。離山層は泥岩、凝灰岩からなる。久米層は砂質泥岩を主としている。東茨城層群と段丘堆積物は砂礫、砂及びシルトからなり、沖積層は粘土を主として砂及び礫混じり砂を挟む。各層は不整合関係で接している。砂丘砂層は均質な細～中粒砂からなり、敷地全体に広く分布する。

# 岩相区分

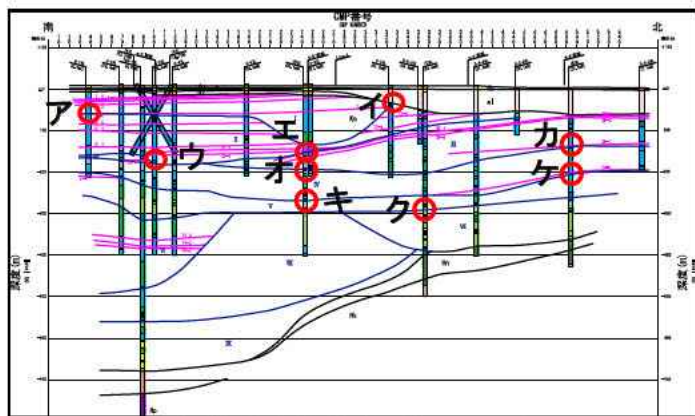
ボーリングコアの岩相観察結果に基づき、久米層以深の岩相を下記の通り区分した。

## 岩相区分表

| 地層名               | 岩 質       | 記号    | 層 相                                 | 代表的なコア写真                                                                              |
|-------------------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 久米層               | 砂質泥岩      | Km-m  | 砂質泥岩を主とする。砂質泥岩には生物擾乱、乱堆積構造が発達する。    |    |
|                   | 砂岩-砂質泥岩互層 | Km-a1 | 厚さ5cm～10cmの細粒～中粒砂岩の薄層を挟む砂質泥岩を主体とする。 |    |
|                   |           | Km-a2 | 泥岩、シルト岩の細互層を主とする。                   |    |
|                   |           | Km-a3 | 細粒砂岩、中粒砂岩を主とする細互層からなる。炭質物薄層を頻繁に挟む。  |    |
|                   | 砂 岩       | Km-s  | シルト混り細粒砂岩～中粒砂岩からなる。                 |    |
|                   | 礫 岩       | Km-g  | 偽礫のほか基盤岩礫など複数の異種礫及び貝殻片を含む。          |  |
| 離山層               | 泥岩・凝灰岩    | Hn    | 固結度の高い泥岩を主とし、凝灰岩及び軽石を多く含む。          |  |
| 那珂湊層群             | 泥岩・砂岩     | Nk    | 角礫を含む礫岩、砂岩、泥岩からなる。硬質である。            |  |
| 日立古生層<br>(日立変成岩類) | 泥岩・砂岩・礫岩  | Hp    | 非変成の硬質な砂岩、泥岩、礫岩からなる。                |  |

# ユニット区分について

- ・ボーリングコア観察結果によると、久米層中には、流動状の堆積構造あるいは偽礫、異種礫、貝殻片を含む礫岩が認められる。これらは、下位の久米層を侵食して緩く谷状に連続していることから、久米層堆積期に形成された海底谷等の侵食谷の谷底に堆積したものと判断される。
- ・上記侵食谷と岩相及び鍵層の連続性ならびに反射パターンの特徴と整合がとれるようユニット区分を行った。



侵食境界位置図 (Line-B)

↓ : 侵食境界(下端)

**ア. 侵食境界 I / II**  
 C-1孔 標高: -59.10 ~ -59.16m (深度: 68.02 ~ 68.08m)  
 (写真はGL-67.70 ~ -68.20m)

※ 細礫、貝殻片からなる薄層を挟む侵食跡

**イ. 侵食境界 I / II**  
 C-7孔 標高: -43.37 ~ -43.85m (深度: 52.50 ~ 52.98m)  
 (写真はGL-52.60 ~ -53.10m)

※ 貝殻片の混入、流動状の堆積構造が見られる侵食跡

**ウ. 侵食境界 II / III**  
 C-3孔 標高: -170.99 ~ -176.30m (深度: 179.35 ~ 184.66m)  
 (写真はGL-183.00 ~ -185.00m)

※ 偽礫を多く含む侵食跡

**エ. 侵食境界 II / III**  
 ②孔 標高: -153.62 ~ -153.77m (深度: 164.26 ~ 164.41m)  
 (写真はGL-164.10 ~ -164.60m)

※ 流動状の堆積構造が見られる侵食跡



↓ : 侵食境界(下端)

## オ. 侵食境界Ⅲ/Ⅳ

②孔 標高:-194.83~-195.57m(深度:205.47~206.21m)  
(写真はGL-205.00~-207.00m)



※ 偽礫のほか異質礫, 貝殻片が密集する侵食跡

## カ. 侵食境界Ⅲ/Ⅳ

⑥孔 標高:-139.19~-141.84m(深度:143.00~145.65m)  
(写真はGL-144.00~-146.00m)



※ 偽礫のほか流動状の堆積構造が見られる侵食跡

## キ. 侵食境界Ⅳ/Ⅴ

②孔 標高:-265.01~-268.87m(深度:275.65~279.51m)  
(写真はGL-278.00~-280.00m)



※ 偽礫のほか異質礫, 貝殻片が密集する侵食境界

## ク. 侵食境界Ⅳ/Ⅴ

①孔 標高:-254.50~-255.77m(深度:262.25~263.52m)  
(写真はGL-262.00~-264.00m)



※ 偽礫のほか流動状の堆積構造が見られる侵食境界

## ケ. 侵食境界Ⅴ/Ⅶ

⑥孔 標高:-262.00~-268.32m(深度:265.81~272.13m)  
(写真はGL-271.00~-273.00m)



※ 偽礫のほか流動状の堆積構造が見られる侵食境界

※一部に見られる傾斜した葉理については半固結及び未固結の久米層が侵食谷の上流から運搬された際に流動変形した見かけの傾斜である可能性が考えられる。

# 鍵層の特徴

- ・ 久米層内には、火山灰層及び軽石層や凝灰質泥岩層などの岩相が特徴的な地層が分布する。
- ・ これらの地層について、層相、粒子組成、火山ガラスの形態等の類似性について検討した結果、側方に広がりを持って連続する地層であることが確認された（I-5～VI-1を鍵層として評価）。
- ・ なお、これらの鍵層について、火山灰分析も併せて実施し、対比の妥当性について確認した。

## 鍵層の特徴

— : 鍵層

| 鍵層No. | 特 徴                                                                         | 粒子組成 |            | コア写真                                           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------------------------------------------|
| I-5   | ユニット区分 I の砂質泥岩 (Km-m) に含まれ、白色の中～粗粒軽石を密に含む。<br>なお、I-5～I-2は10m程度の範囲に近接して分布する。 | 重鉱物  | ho         | <p>C-2孔 標高:-21.66～-21.71m, 深度:32.80～32.85m</p> |
|       |                                                                             | ガラス  | spg >> fib |                                                |
| I-4   | ユニット区分 I の砂質泥岩 (Km-m) に含まれ、白～灰色の粗粒軽石を密に含む。<br>なお、I-5～I-2は10m程度の範囲に近接して分布する。 | 重鉱物  | —          | <p>C-3孔 標高:-21.64～-21.82m, 深度:30.00～30.18m</p> |
|       |                                                                             | ガラス  | spg > fib  |                                                |

### 重鉱物名

ho : 角閃石  
opx : 斜方輝石

火山ガラスの形態分類(岸・宮脇, 1996より引用)

| 気泡の大きさ | 気泡の形態       |                |               |
|--------|-------------|----------------|---------------|
|        | 小さい<br>約10μ | 大きい<br>約100μ   | 非常に大きい        |
| 球形に近い  | スポンジ型 (spg) | スモーク・バブル型 (sb) | バブルウォール型 (bw) |
| 一方に延びる | 繊維型 (fib)   | 平行型 (str)      |               |

火山灰, 軽石の粒径区分(東海サイト)

| 火山灰    |     | 軽石     |    |
|--------|-----|--------|----|
| 粒径(mm) | 区分  | 粒径(mm) | 区分 |
| —      | —   | —10    | 粗粒 |
| —      | —   | —4     | 中粒 |
| —2     | 粗粒  | —2     | 細粒 |
| —0.5   | 中粒  |        |    |
| —0.25  | 細粒  |        |    |
| —0.063 | 極細粒 |        |    |





※) 粒径2mm以下は火山灰となる。

# 鍵層の特徴



## 鍵層の特徴

: 鍵層





| 鍵層No. | 特 徴                                                                         | 粒子組成 |            | コア写真                                                                                                                                    |      |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| I-3   | ユニット区分 I の砂質泥岩 (Km-m) に含まれ、白色の細粒軽石を密に含む。<br>なお、I-5～I-2は10m程度の範囲に近接して分布する。   | 重鉱物  | ho         | ← 上<br>C-2孔 標高:-28.36～-28.56m, 深度:39.50～39.70m<br>   | 10cm |
|       |                                                                             | ガラス  | spg>fib    |                                                                                                                                         |      |
| I-2   | ユニット区分 I の砂質泥岩 (Km-m) に含まれ、白色の細～中粒軽石を密に含む。<br>なお、I-5～I-2は10m程度の範囲に近接して分布する。 | 重鉱物  | —          | ← 上<br>C-1孔 標高:-37.27～-37.50m, 深度:46.19～46.42m<br>   | 10cm |
|       |                                                                             | ガラス  | spg>fib    |                                                                                                                                         |      |
| I-1   | ユニット区分 I の砂質泥岩 (Km-m) に含まれる凝灰質泥岩で、白～灰色の軽石を含む。                               | 重鉱物  | —          | ← 上<br>C-2孔 標高:-56.63～-58.31m, 深度:67.77～69.45m<br>  | 10cm |
|       |                                                                             | ガラス  | spg>sb≥fib |                                                                                                                                         |      |
| II-5  | ユニット区分 II の砂質泥岩 (Km-m) に含まれ、灰白色の中～細粒火山灰からなる。                                | 重鉱物  | —          | ← 上<br>C-2孔 標高:-86.03～-86.08m, 深度:97.17～97.22m<br> | 10cm |
|       |                                                                             | ガラス  | spg>>fib   |                                                                                                                                         |      |

# 鍵層の特徴



## 鍵層の特徴





 : 鍵層

| 鍵層No. | 特 徴                                      | 粒子組成 |                   | コア写真                                                                                                                                               |
|-------|------------------------------------------|------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| II-4  | ユニット区分Ⅱの砂質泥岩 (Km-m)に含まれ、白色の極細粒火山灰からなる。   | 重鉱物  | —                 | ←上<br>D-4-0孔 標高:-61.41~-61.56m, 深度:69.70~69.85m<br><br>10cm     |
|       |                                          | ガラス  | spg>>sb>str       |                                                                                                                                                    |
| II-3  | ユニット区分Ⅱの砂質泥岩 (Km-m)に含まれ、灰白色の砂～泥質凝灰岩からなる。 | 重鉱物  | —                 | ←上<br>TSK-1孔 標高:-139.83~-139.93m, 深度:148.11~148.21m<br><br>10cm |
|       |                                          | ガラス  | spg>sb>str>fib>bw |                                                                                                                                                    |
| II-2  | ユニット区分Ⅱの砂質泥岩 (Km-m)に含まれ、白色の極細粒火山灰からなる。   | 重鉱物  | —                 | ←上<br>C-3孔 標高:-151.64~-152.26m, 深度:160.00~160.62m<br><br>10cm  |
|       |                                          | ガラス  | spg>sb>str>fib    |                                                                                                                                                    |
| II-1  | ユニット区分Ⅱの砂質泥岩 (Km-m)に含まれ、灰～白色の極細粒火山灰からなる。 | 重鉱物  | —                 | ←上<br>C-4孔 標高:-158.45~-158.51m, 深度:169.51~169.57m<br><br>10cm |
|       |                                          | ガラス  | sb≧spg>str>fib    |                                                                                                                                                    |

# 鍵層の特徴

## 鍵層の特徴






— : 鍵層

| 鍵層No. | 特 徴                                                                       | 粒子組成 |                           | コア写真                                                                                                                                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ⅲ-3   | ユニット区分Ⅲの砂質泥岩 (Km-m), 砂質泥岩優勢層 (Km-a1)に含まれ, 結晶質で灰白色の中粒~細粒火山灰からなる。やや泥, 砂を含む。 | 重鉱物  | ho                        | ②孔 標高:-155.06~-155.14m, 深度: 165.70~165.78m<br>      |
|       |                                                                           | ガラス  | spg >> fib                |                                                                                                                                        |
| Ⅲ-2   | ユニット区分Ⅲの砂質泥岩 (Km-m)に含まれ, 白色の中粒軽石をやや密に含む。<br>Ⅲ-3の約5~10m下位に分布する。            | 重鉱物  | —                         | ①孔 標高:-112.60~-112.69m, 深度: 120.35~120.44m<br>      |
|       |                                                                           | ガラス  | spg > fib                 |                                                                                                                                        |
| Ⅲ-1   | ユニット区分Ⅲの砂質泥岩 (Km-m), 砂質泥岩優勢層 (Km-a1)に含まれ, 細~中粒の軽石が密集する。                   | 重鉱物  | ho, opx                   | D-0-0孔 標高:-131.13~-131.17m, 深度: 134.14~134.18m<br> |
|       |                                                                           | ガラス  | spg > fib > sb > str      |                                                                                                                                        |
| Ⅳ-1   | ユニット区分Ⅳの砂質泥岩 (Km-m), 礫岩 (Km-g)に含まれ, 白~灰色の細粒火山灰からなる。                       | 重鉱物  | ho                        | D-4-0孔 標高:-243.88~-244.08m, 深度: 252.17 ~<br>      |
|       |                                                                           | ガラス  | sb > str > spg > fib > bw |                                                                                                                                        |

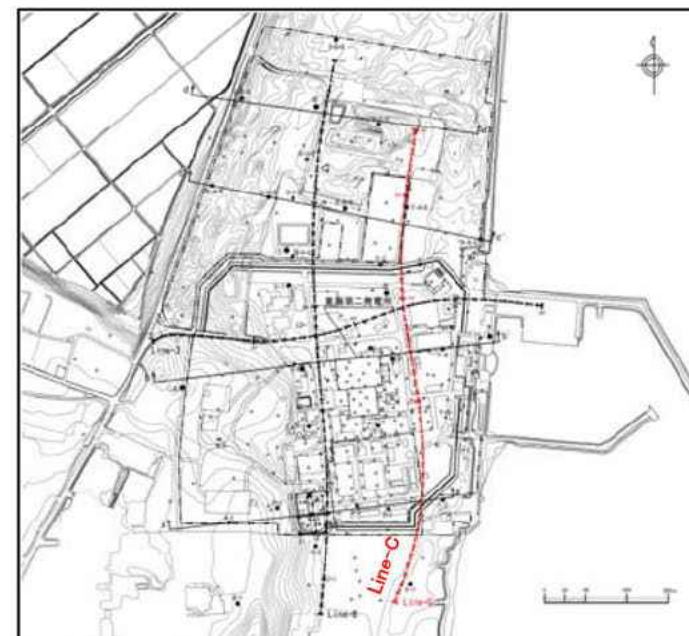
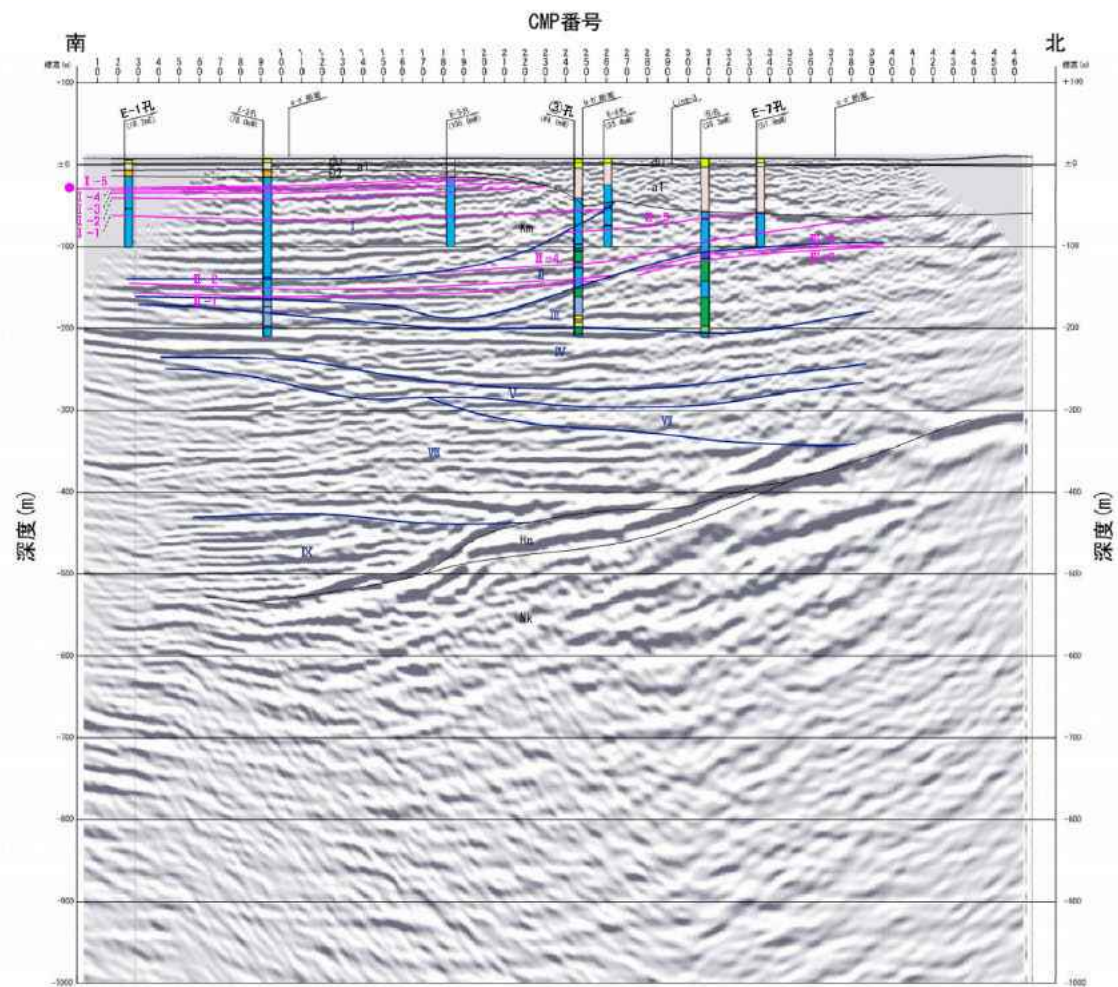
# 鍵層の特徴

## 鍵層の特徴

— : 鍵層

| 鍵層No. | 特 徴                                                        | 粒子組成 |                      | コア写真                                                                                                                                     |
|-------|------------------------------------------------------------|------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V-1   | ユニット区分Vの砂質泥岩(Km-m)に含まれ、白色の極細粒火山灰からなる。                      | 重鉱物  | —                    | C-1孔 標高:-210.13~-210.64m, 深度: 219.05 ~<br>            |
|       |                                                            | ガラス  | bw >> spg            |                                                                                                                                          |
| VI-4  | ユニット区分VIの砂岩薄層を挟む砂質泥岩優勢層(Km-a1)に含まれ、灰白色の極細粒火山灰からなる。         | 重鉱物  | —                    | C-2孔 標高:-305.11~-305.29m, 深度: 316.25 ~<br>316.43m<br> |
|       |                                                            | ガラス  | spg ≥ sb ≥ str       |                                                                                                                                          |
| VI-3  | ユニット区分VIの砂質泥岩(Km-m)に含まれ、軽石を含む灰白~白色の細粒火山灰からなる。              | 重鉱物  | —                    | TSK-1孔 標高:-362.11~-362.13m, 深度: 370.39~370.41m<br>    |
|       |                                                            | ガラス  | spg > sb > str > fib |                                                                                                                                          |
| VI-2  | ユニット区分VIの砂質泥岩(Km-m)に含まれ、灰色の極細粒火山灰からなる。<br>下位VI-1と近接して分布する。 | 重鉱物  | —                    | TSK-1孔 標高:-377.39~-377.50m, 深度: 385.67~385.78m<br>  |
|       |                                                            | ガラス  | spg >> sb > str      |                                                                                                                                          |
| VI-1  | ユニット区分VIの砂質泥岩(Km-m)に含まれ、白色の細粒火山灰からなる。<br>上位VI-2と近接して分布する。  | 重鉱物  | —                    | TSK-1孔 標高:-384.09~-384.21m, 深度: 392.37~392.49m<br>  |
|       |                                                            | ガラス  | spg > sb > str ≥ fib |                                                                                                                                          |

# 地質断面図



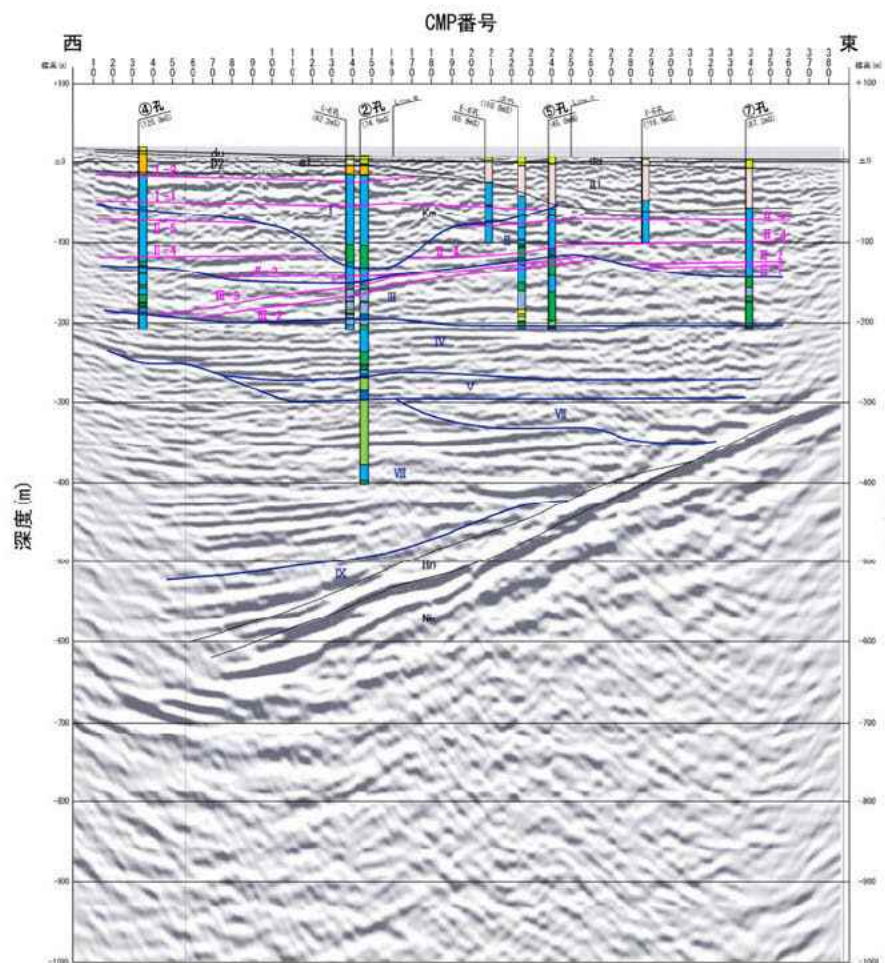
地質断面図 (Line-C)

●: 日本原子力研究開発機構の敷地に連続する鍵層

H:V=1:1

※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を反射法地震探査記録に投影

- 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められ、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められない。
- ✓ 南部 (E-1孔～③孔) では、ユニット I 及び II の鍵層が概ね水平に連続している。
- ✓ 中部～北部 (③孔～E-7孔) では、鍵層 II-4 及び II-5 が連続し、南側に細く傾斜する傾向が認められるが、下位のユニット IV 及びユニット V 付近に認められる反射面も概ね水平である。
- なお、連続性が確認された鍵層の分布は、反射法地震探査記録に認められる反射パターンの特徴と調和的である。
- ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破砕部を伴う断層は認められない。
- 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。

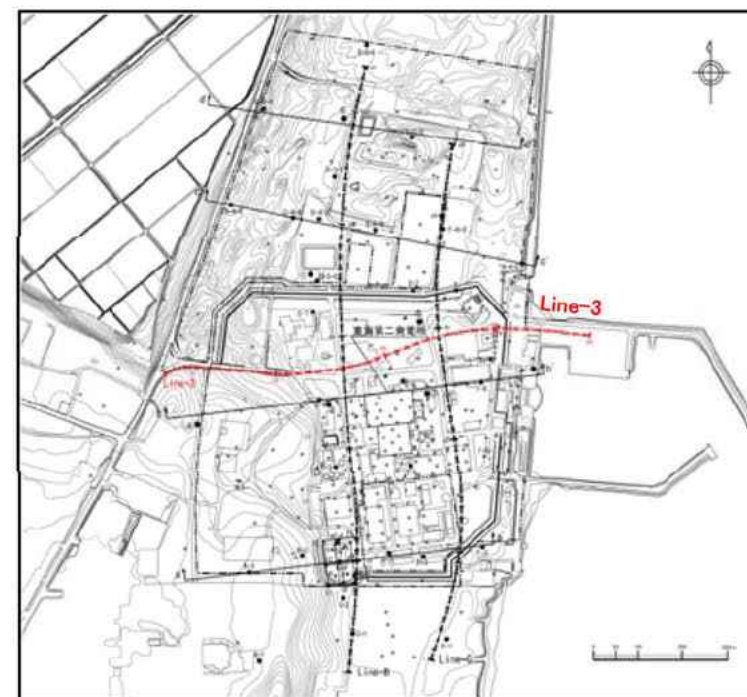


地質断面図(Line-3)

H:V=1:1

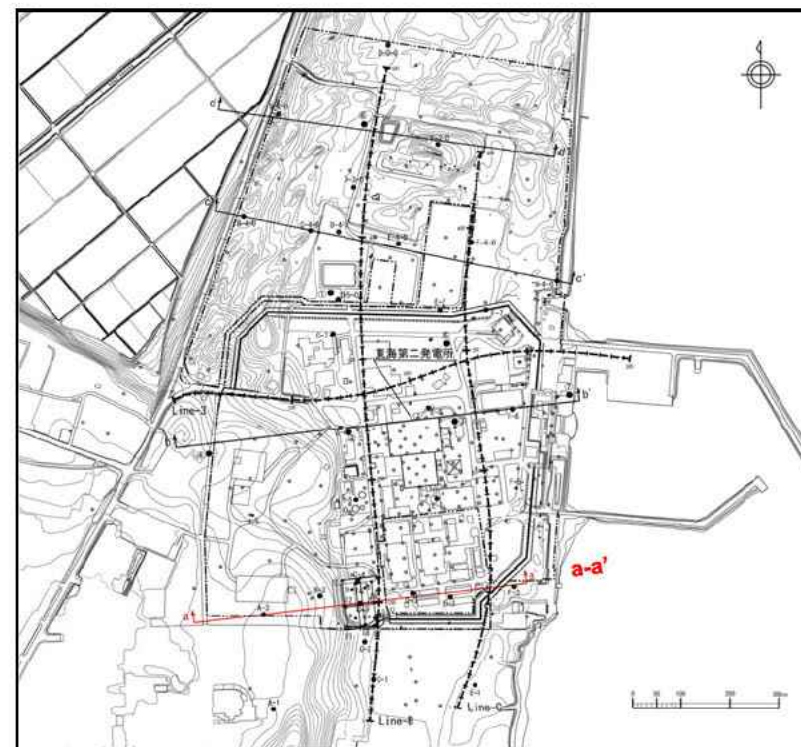
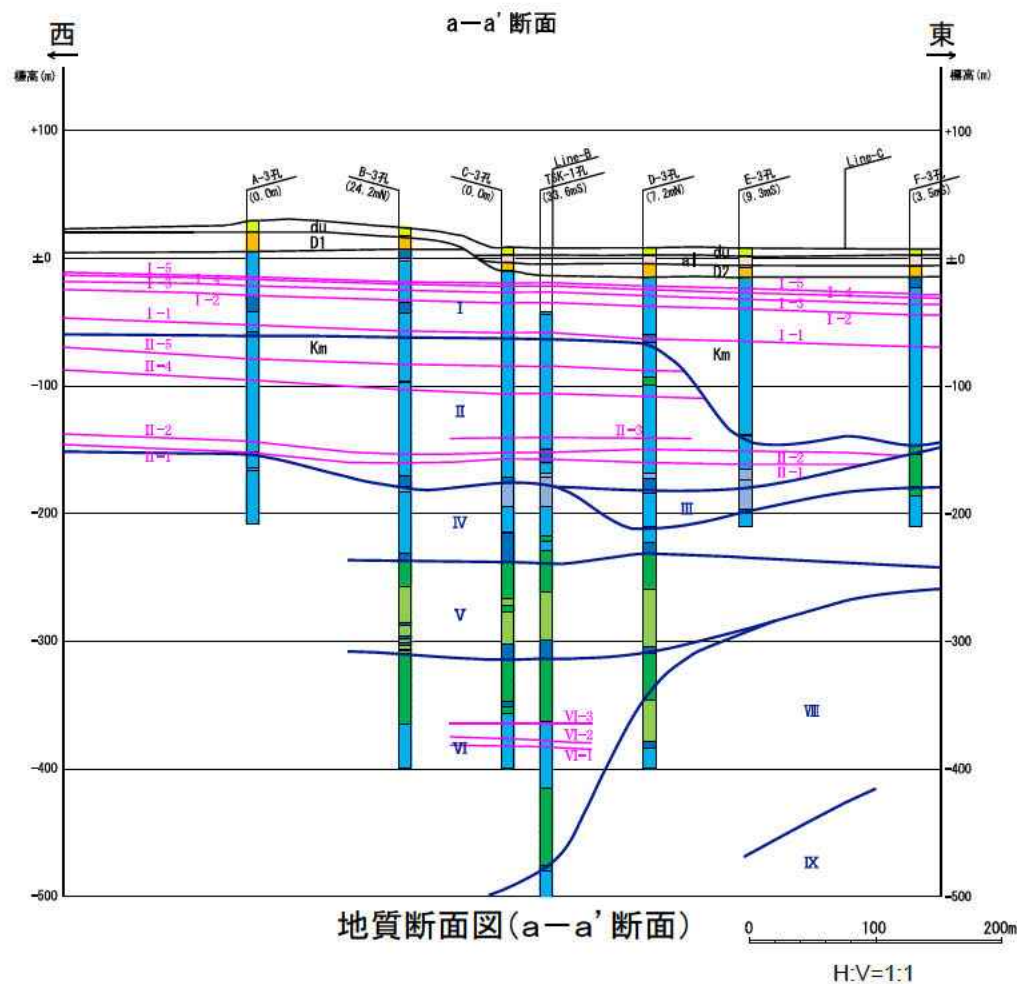
※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を反射法地震探査記録に投影

- 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められ、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められない。
- ✓ 西部(④孔～②孔)では、ユニットⅠ及びⅡの鍵層が概ね水平に連続している。
- ✓ 中部(②孔～⑤孔)では、ユニットⅢ及びⅡの鍵層が連続し、西側に傾斜する傾向が認められるが、上位の鍵層Ⅰ-1は概ね水平であり、また、下位のユニットⅣに認められる反射面も概ね水平である。
- ✓ 東部(⑤孔～⑦孔)では、ユニットⅡの鍵層が概ね水平に連続している。
- なお、連続性が確認された鍵層の分布は、反射法地震探査記録に認められる反射パターンの特徴と調和的である。
- ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破碎部を伴う断層は認められない。
- 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。





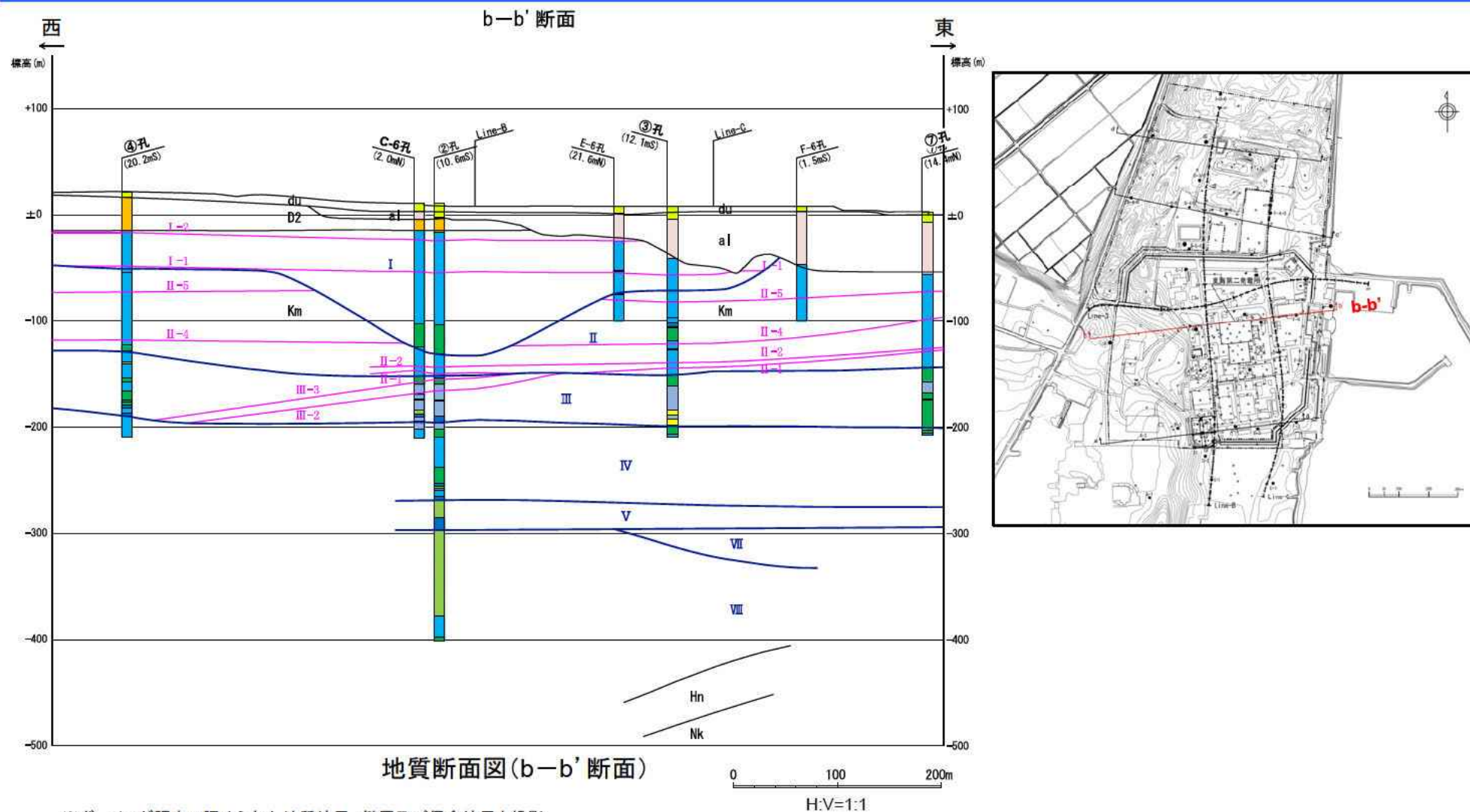
# 地質断面図



※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を投影

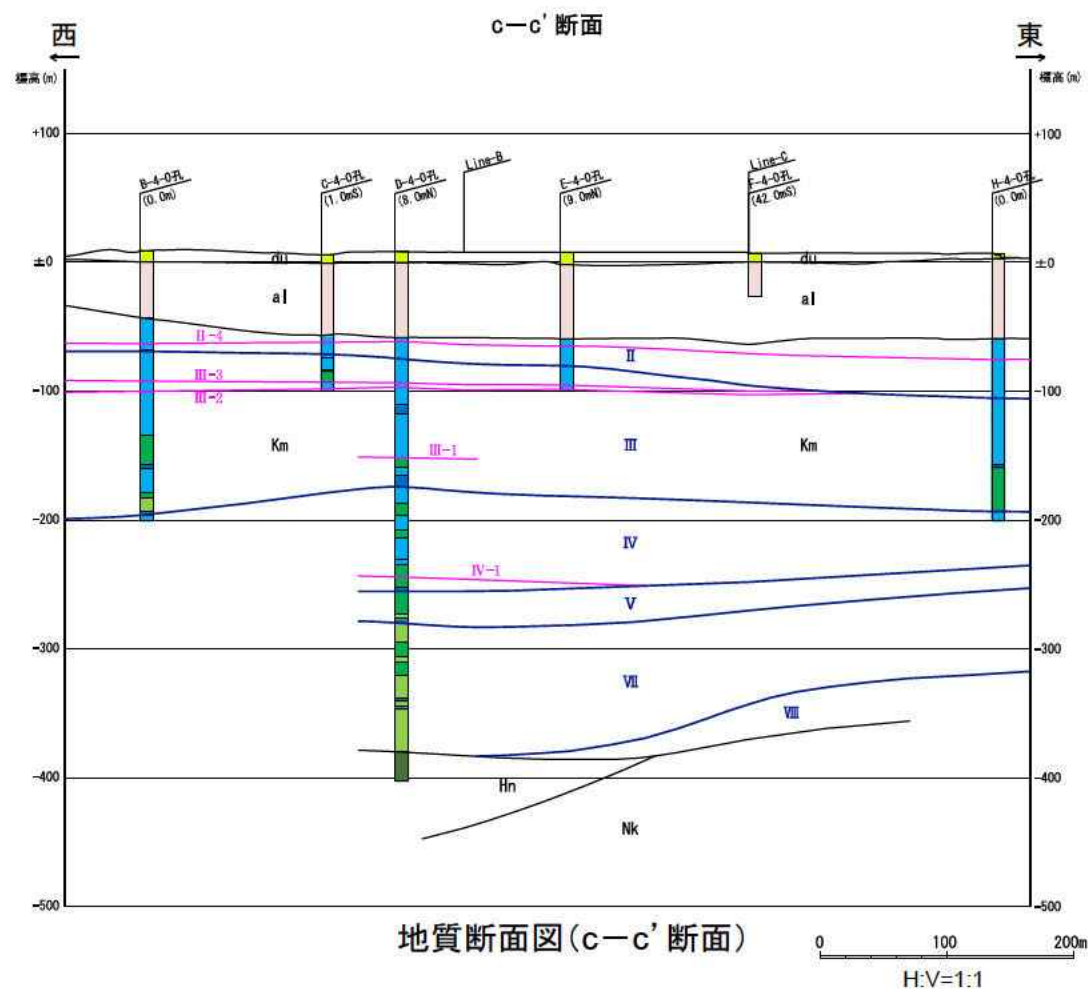
- ・ 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められる。鍵層Ⅱ-4及びⅡ-5は侵食によって一部で連続していないが、その上位の鍵層及び下位の鍵層は概ね水平に連続している。したがって、久米層中には断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められない。
- ・ ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破砕部を伴う断層は認められない。
- ・ 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。

# 地質断面図

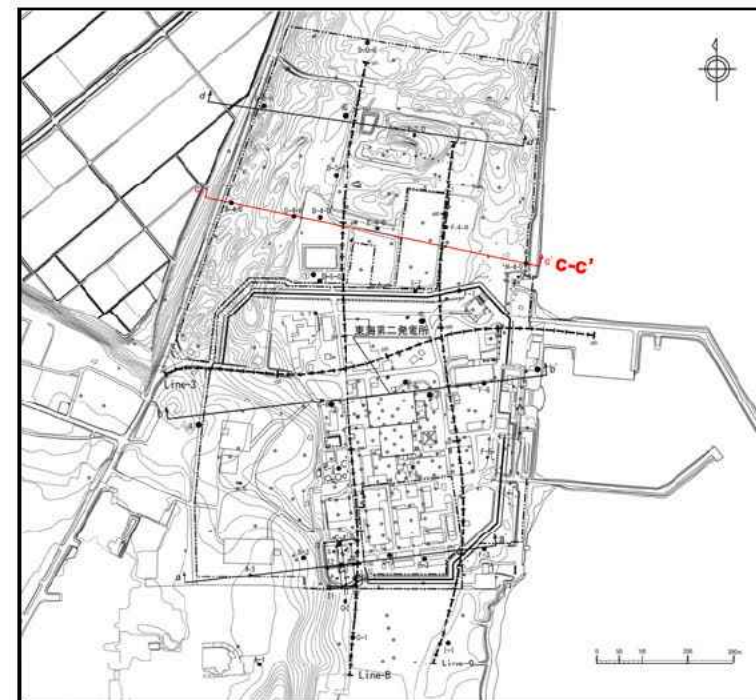


※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を投影

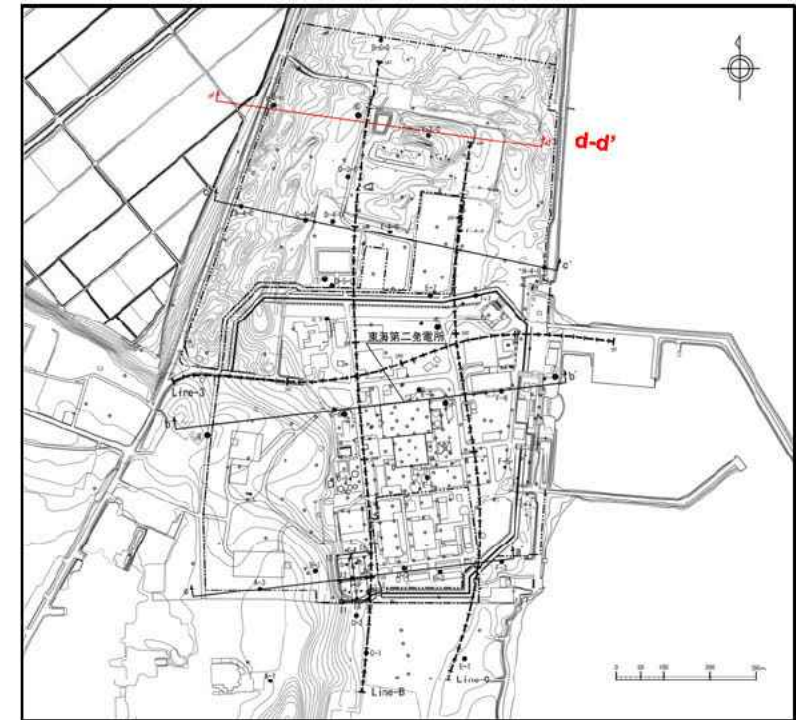
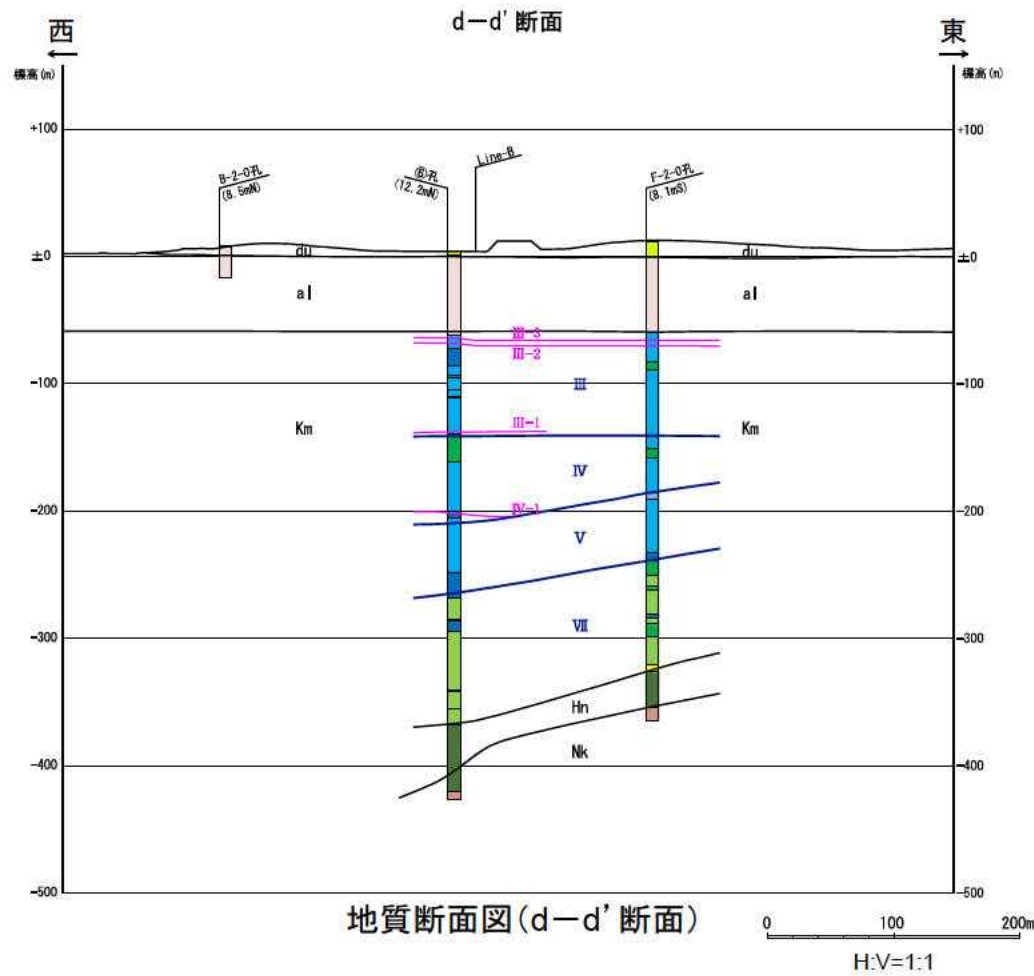
- ・ 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められ、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位は認められない。
- ✓ 西部(④孔～C-6孔)では、ユニット I 及び II の鍵層が概ね水平に連続している。
- ✓ 中部(C-6孔～③孔)では、ユニット III 及び II の鍵層が連続しており、一部で西側に傾斜する傾向が認められるが、上位のユニット I の鍵層は概ね水平に連続している。
- ✓ 東部(③孔～⑦孔)では、ユニット II の鍵層が概ね水平に連続している。
- ・ ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破砕部を伴う断層は認められない。
- ・ 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。



※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を投影



- ・ 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められる。
- ・ ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破碎部を伴う断層は認められない。
- ・ 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。



※ボーリング調査で認められた地質境界、鍵層及び侵食境界を投影

- ・ 久米層中には複数の鍵層が概ね水平に連続して認められる。
- ・ ボーリング調査の結果、久米層には癒着して固結した面構造が認められるが、粘土状破碎部を伴う断層は認められない。
- ・ 以上のことから、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。

### 地質層序表

| 年代層序区分      |      | 地質名        | 記号  | 主な層相と分布                                    |    |                                                                                       |
|-------------|------|------------|-----|--------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 新<br>生<br>界 | 第四系  | 砂丘砂層       | du  | 淘汰の良い中砂～粗砂からなる。敷地全域に広がる。                   |    |                                                                                       |
|             |      | 沖積層        | al  | シルト層～粘土層を主とし、砂層、砂礫層を挟む。敷地北側の旧久慈川を埋積して分布する。 |    |                                                                                       |
|             |      | 段丘堆積物 (D2) | D2  | 砂礫層を主とし、シルト層、砂層を挟む。砂丘砂層、沖積層に被覆されて分布する。     |    |                                                                                       |
|             |      | 段丘堆積物 (D1) | D1  | 砂礫層を主とし、シルト層、砂層を挟む。敷地の西南側に分布する。            |    |                                                                                       |
|             | 新第三系 | 鮮新統        | 久米層 | Km                                         | 上部 | 砂質泥岩を主とし砂岩薄層を挟む。生物擾乱、乱堆積構造が一般的に見られ、北部で標高-250m、南部で-200m以浅に分布する。ユニット区分 I～IV が該当する。      |
|             |      |            |     |                                            | 下部 | 砂岩層を多く挟み、標高-260～-380mで砂岩泥岩互層が多く分布する。南部で確認した標高-600m以深は細粒～中粒の砂岩層が見られ。ユニット区分 V～IX が該当する。 |
|             |      | 離山層        | Hn  | 砂質泥岩、凝灰岩が分布し、凝灰岩は偽礫や流動状の変形が多く見られる。         |    |                                                                                       |
|             | 白亜系  | 那珂湊層群      | Nk  | 黒色を帯びる泥岩が多く、硬質である。                         |    |                                                                                       |
|             | 先白亜系 | 日立古生層      | hp  | 非変成の硬質な砂岩、泥岩及び礫岩からなる。                      |    |                                                                                       |

~~~~~:不整合

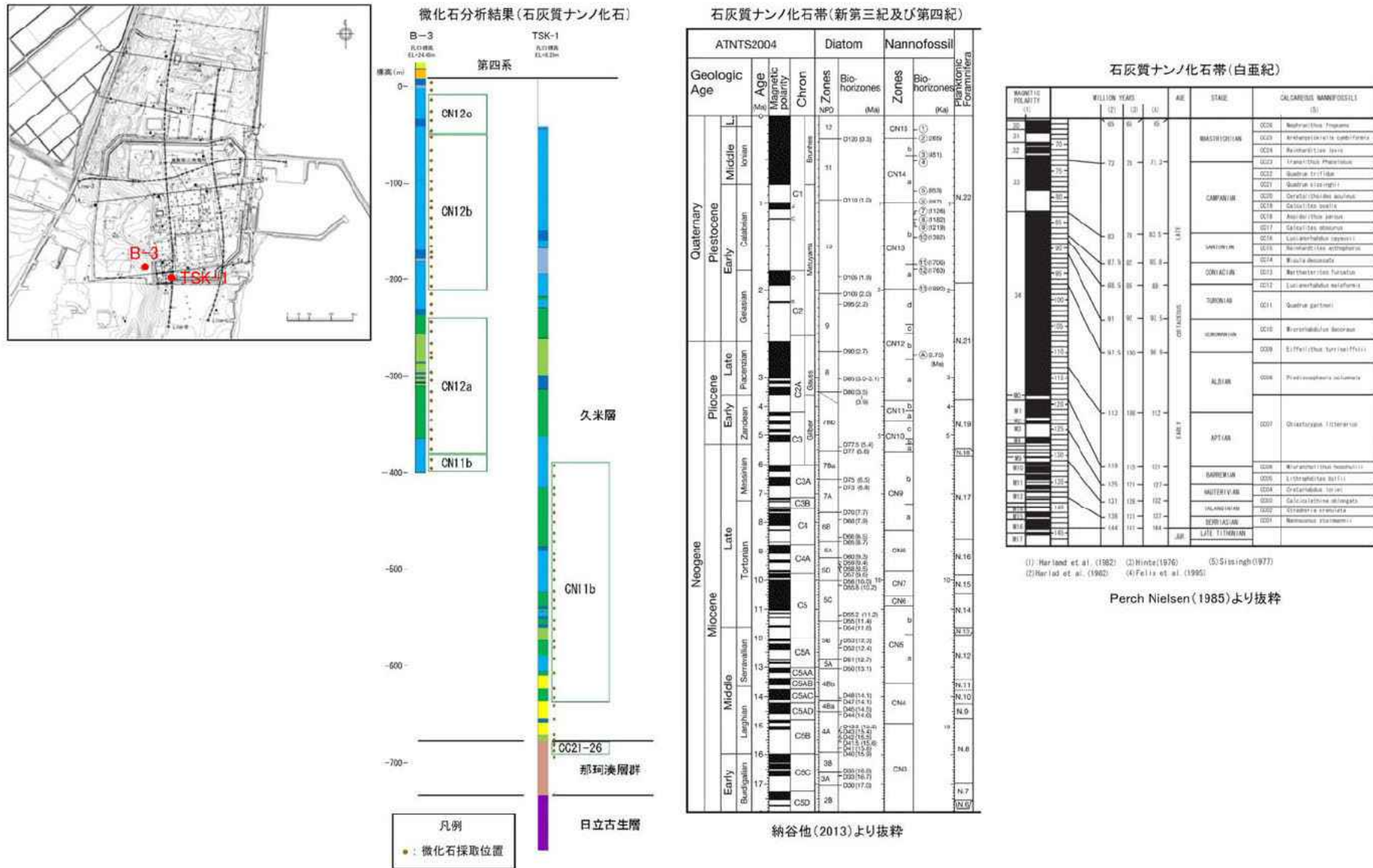
### 久米層岩相区分

| 地層名 | 岩 質       | 柱状図凡例                         | 層 相                                  |
|-----|-----------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 久米層 | 砂質泥岩      |                               | 砂質泥岩を主とする。砂質泥岩には生物擾乱、乱堆積構造が一般的に見られる。 |
|     | 砂岩-砂質泥岩互層 |                               | 厚さ5～10cmの細粒～中粒砂岩の薄層を挟む砂質泥岩を主体とする。    |
|     |           |                               | 泥岩、シルト岩の細互層を主とする。                    |
|     |           |                               | 細粒砂岩、中粒砂岩を主とする細互層。炭質物薄層を頻繁に挟む。       |
|     | 砂 岩       |                               | シルト泥り細粒砂岩～中粒砂岩からなる。                  |
| 礫 岩 |           | 偽礫のほか基盤岩礫等の複数の異種礫及び貝化石片を多く含む。 |                                      |

### 断面図凡例

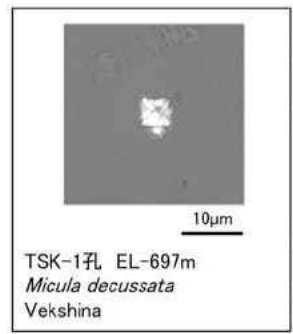
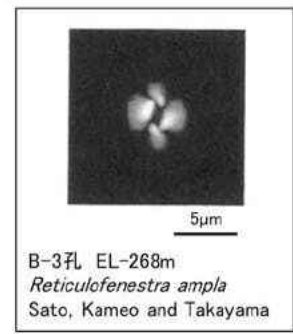
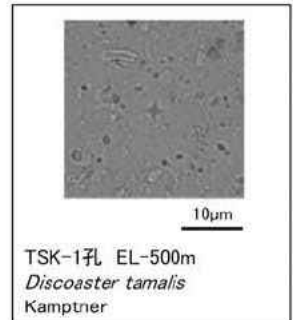
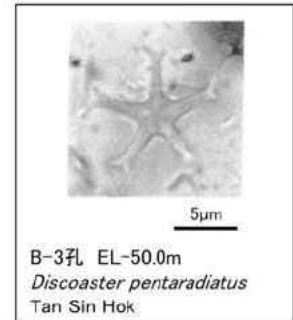
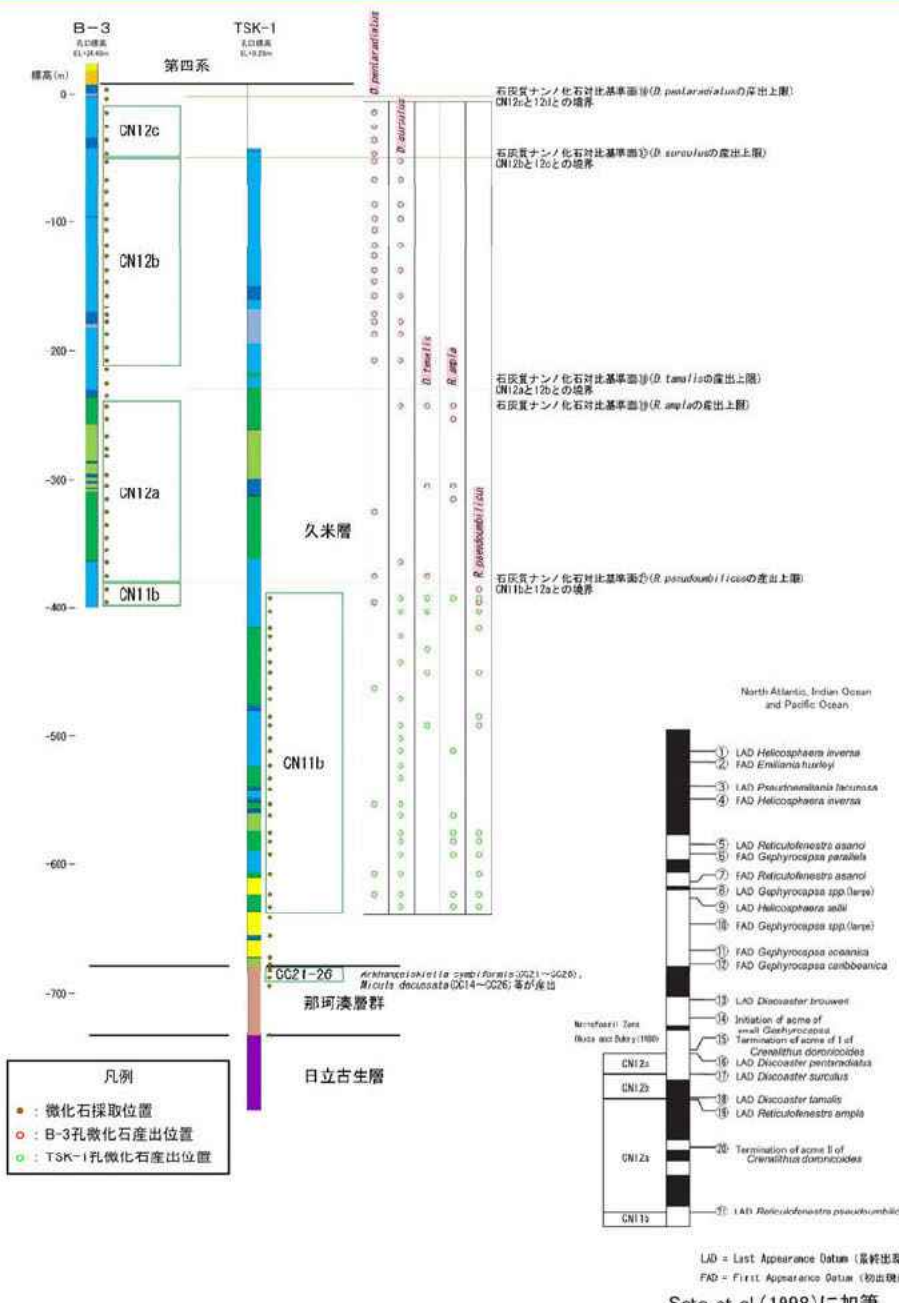


# 久米層及び那珂湊層群の地質年代対比について(微化石分析結果)



- B-3孔の標高約-400mまで、TSK-1孔の標高約-400mから-690mまでの範囲において、約10m間隔で石灰質ナノ化石の分析を実施した。
- 久米層における石灰質ナノ化石の化石帯は最下部がCN11b帯(約4Ma)、最上部がCN12c帯(約2.4Ma)であることから、久米層は前期鮮新世の後期から前期更新世の初期の間にほぼ連続的に堆積した地層と判断される。
- 那珂湊層群における石灰質ナノ化石の化石帯はCC21-26帯(約70Ma)であることから、那珂湊層群は白亜紀最末期の地層と判断される。

# 久米層及び那珂湊層群の地質年代対比について(微化石分析結果)



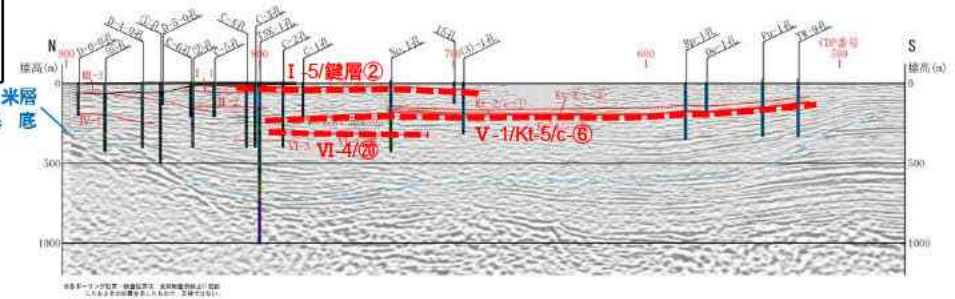
石灰質ナノ化石の顕微鏡写真

・石灰質ナノ化石帯区分について、久米層は主としてSato et al. (1998) を、那珂湊層群はSissingh (1977) を用いて行った。

# 敷地近傍の久米層の構造について



ボーリング位置案内図



| 分布位置               | 鍵層No. | 粒子組成 |          | コア写真   |
|--------------------|-------|------|----------|--|
|                    |       | 重鉱物  |          |  |
| 東海第二発電所            | I-5   | 重鉱物  | ho       | C-2孔 標高:-21.66~-21.71m, 深度:32.80~32.85m<br>  |
|                    |       | ガラス  | spg>>fib |  |
| JAEA<br>(原子力科学研究所) | ②     | 重鉱物  | ho       | No.1孔 標高:-17.24~-19.34m, 深度:36.50~38.60m<br> |
|                    |       | ガラス  | spg>>fib |  |

- ・東海第二発電所の敷地で確認された鍵層について、日本原子力研究開発機構の敷地で確認された鍵層との対比を行った。
- ・対比にあたっては、層相、粒子組成、火山ガラスの形態等の類似性に加え、火山ガラスの屈折率測定を実施した。
- ・その結果、東海第二発電所の鍵層 I-5と原子力科学研究所の鍵層②、東海第二発電所の鍵層 V-1と原子力科学研究所の鍵層Kt-5及び東海第二発電所の鍵層 VI-4と原子力科学研究所の鍵層⑩が対比されることを確認した。



# 敷地近傍の久米層の構造について

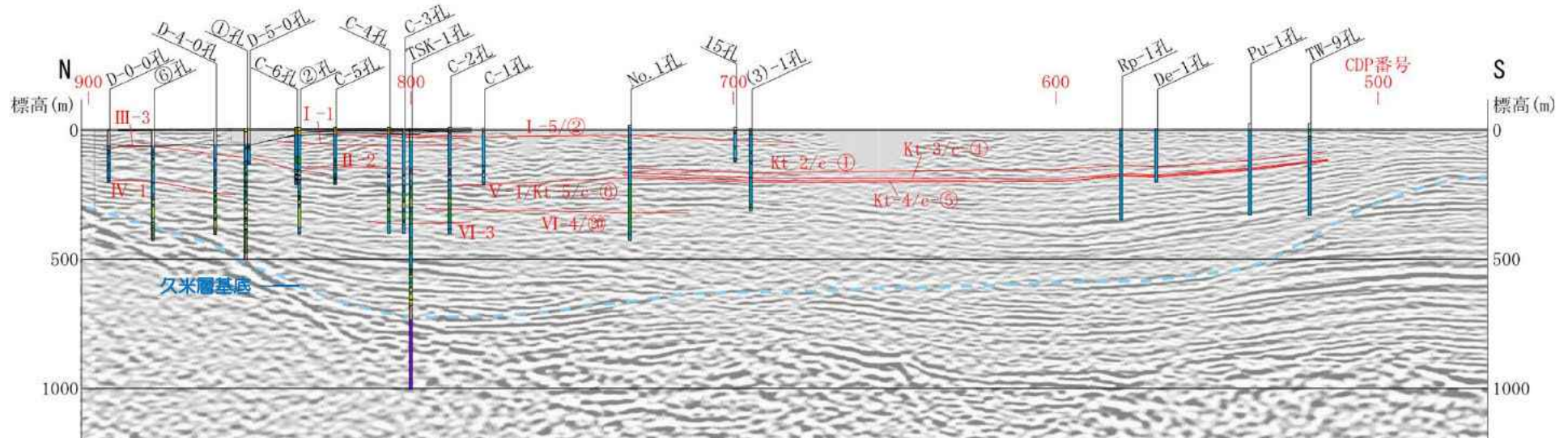
| 分布位置               | 鍵層No. | 粒子組成 |           | コア写真  |
|--------------------|-------|------|-----------|---|
| 東海第二発電所            | V-1   | 重鉱物  | —         | <p>C-2孔 標高:-213.84~-213.86m, 深度:224.98~225.00m</p>  |
|                    |       | ガラス  | bw >> spg |   |
| JAEA<br>(原子力科学研究所) | Kt-5  | 重鉱物  | —         | <p>No.1孔 標高:-181.59~-182.04m, 深度:200.85~201.30m</p> |
|                    |       | ガラス  | bw > spg  |   |

| 分布位置               | 鍵層No. | 粒子組成 |                | コア写真  |
|--------------------|-------|------|----------------|---|
| 東海第二発電所            | VI-4  | 重鉱物  | —              | <p>C-2孔 標高:-305.11~-305.29m, 深度:316.25~316.43m</p>  |
|                    |       | ガラス  | spg ≥ sb ≥ str |   |
| JAEA<br>(原子力科学研究所) | ㊶     | 重鉱物  | —              | <p>No.1孔 標高:-319.16~-319.29m, 深度:338.42~338.55m</p> |
|                    |       | ガラス  | spg ≥ sb ≥ str |   |

# 敷地近傍の久米層の構造について



調査位置図



※各ボーリング位置・断面位置は、反射断面測線上に投影したおよその位置を示したもので、正確ではない。

反射法解釈断面図 (Line-A) H:V=1:1

- ・ 久米層の基底面は、東海第二発電所直下では南に傾斜しており原子力科学研究所、核燃料サイクル工学研究所では概ね平坦である。
- ・ 東海第二発電所の敷地直下には、原子力科学研究所、核燃料サイクル工学研究所の鍵層のうち3層 (I-5, V-1及びVI-4に対応) が連続して概ね水平に分布している。

## (参考) 敷地周辺及び近傍の重力異常及び反射法地震探査について

- 敷地北方の多賀山地南西縁付近には、NNW－SSE方向に線状の重力の急勾配構造が認められており、この急勾配構造は敷地付近を通過し、南方まで延長している。
- 上記の重力異常域と地下深部構造の関係を把握することを目的として、反射法地震探査を実施した。
- 反射法地震探査の結果、大槻(1975)が示す棚倉破砕帯西縁断層の地下構造と同様な構造が認められたことから、重力異常域の地下深部の構造は棚倉破砕帯西縁断層であると判断した。
- 敷地周辺及び近傍の重力異常は、先新第三紀(約2,300万年より前)に棚倉破砕帯が活動した跡を表しているものと考えられるが、重力異常は棚倉破砕帯の活動性を評価できるものではない。
- 棚倉破砕帯の活動性については、文献調査や地質調査などを実施し、敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド(制定 平成25年6月19日 原管地発第1306191号 原子力規制委員会決定)に基づき、約12～13万年前以降の活動が否定できない区間を震源として考慮する活断層として評価している。
- 調査の結果、棚倉破砕帯西縁断層の約12～13万年前以降の活動が否定できない区間は、取上北方から原東方までの長さ約18kmであり、南端の原東方以南においては約12～13万年以降に活動した痕跡は認められない。

### 用語の解説

#### 重力異常

実測重力値またはそれに各種の補正をした値と標準重力との差をいう。重力異常から得られる情報は地球内の物質の密度分布に関する知識である。  
(新版 地学事典より抜粋)

#### 反射法地震探査 ※地学辞典では「反射法」で掲載されている

人工震源を用いる地震探査の一方。水平に近く伝わる地震波を解析して地下の地震波速度構造を推定する屈折法に対し、反射法では地下のさまざまな構造から反射してきた垂直に近い波線の地震波を解析して断面図を作成する。このため、地質との対応に便利であり、地質調査の重要な手段となっている。

(新版 地学事典より抜粋)

#### 新第三紀

23.03～2.58百万年前

(国際層序委員会より)

#### 新第三系

新第三紀に形成された堆積岩や火成岩

(新版 地学事典より抜粋)

# (参考) 中央構造線について

- 産業技術総合研究所 地質調査総合センターのホームページによれば、中央構造線とは、西南日本(特に関東西部～四国)で、地質が大きく異なる境の断層線のこと、地質境界断層としての中央構造線(断層)は日本列島の長い歴史の中でできた地層の「古傷」であり、活断層群である中央構造線断層系(四国～紀伊半島西部)はその一部を使って現在活動している断層とし、専門家でもこれを混同している場合が多々あるので厳然と区別して使う必要があるとしている(図1, 2)。
- 中央構造線は東方の関東平野には現れず、高橋(2006)によれば新第三紀以前の地層の境界断層線として存在し、中新世に活動した利根川構造線に切れ、それ以东には続かないとある(図3)。
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会によれば、中央構造線断層帯は、金剛山地の東縁から、和泉山脈の南縁、淡路島南部の海域を経て、四国北部を東西に横断し、伊予灘に達する長大な断層帯であるとしている(図4)。
- 活断層としての中央構造線(中央構造線断層帯)は東海第二発電所の敷地から十分遠方であり、敷地への影響は十分小さいと考えられる。

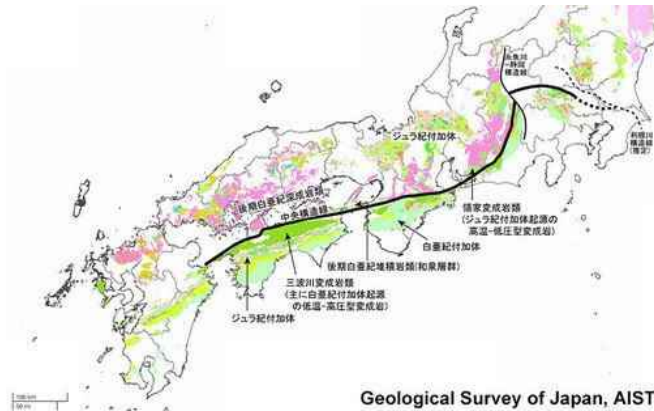


図1 地質境界としての中央構造線とその周囲の地層・岩石

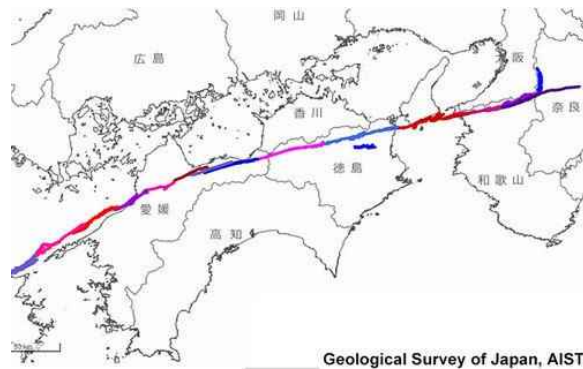


図2 中央構造線断層系

図1～図3は産業技術総合研究所 地質調査総合センターホームページより抜粋

3.地質境界としての中央構造線の断層(古傷)は四国～関東だけ

### 3.1 関東の中央構造線

地層境界としての中央構造線の断層(古傷)はどこまで続くのでしょうか。東方の関東平野には中央構造線は現れません。高橋(2006)によれば地下に新第三紀以前の地層の境界断層線として存在し、中新世に活動した利根川構造線に切れ、それ以东には続きません。

図3 関東の中央構造線

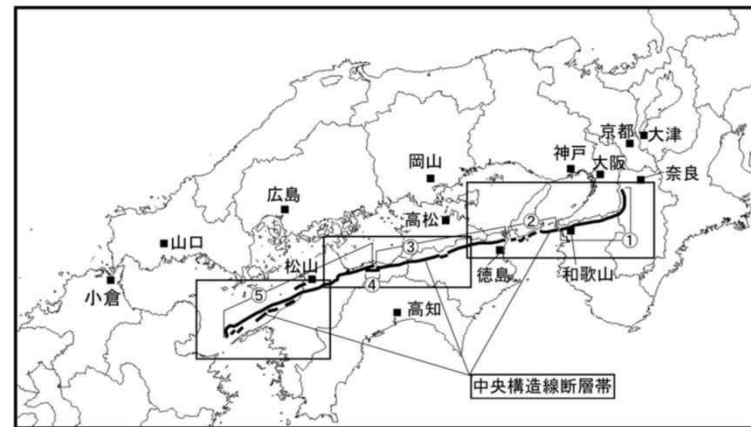


図1-1 中央構造線断層帯の概略位置図  
(長方形は図2-1～図2-3の範囲)

- ①: 金剛山地東縁-和泉山脈南縁
- ②: 紀淡海峡-鳴門海峡
- ③: 讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部
- ④: 石鎚山脈北縁
- ⑤: 石鎚山脈北縁西部-伊予灘

図4 中央構造線断層帯の概略位置図

地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2003):中央構造線断層帯(金剛山地東縁-伊予灘)の長期評価より抜粋

## (参考)本資料中の地質年代について

日本地質学会ホームページに掲載されている国際年代層序表(2021年10月改訂版)より作成  
<http://www.geosociety.jp/name/content0062.html>

| 系/紀    | 統/世   | 年代/百万年前       |
|--------|-------|---------------|
| 第四系/紀  | 完新統/世 | 現在 ~ 0.0117   |
|        | 更新統/世 | 0.0117 ~ 2.58 |
| 新第三系/紀 | 鮮新統/世 | 2.58 ~ 5.333  |
|        | 中新統/世 | 5.333 ~ 23.03 |
| 古第三系/紀 | 漸新統/世 | 23.03 ~ 33.9  |
|        | 始新統/世 | 33.9 ~ 56.0   |
|        | 暁新統/世 | 56.0 ~ 66.0   |
| 白亜系/紀  | 上部/後期 | 66.0 ~ 100.5  |
|        | 下部/前期 | 100.5 ~ 145.0 |

系/紀について ○○紀に形成された地層を○○系と呼ぶ  
統/世について ○○世に形成された地層を○○統と呼ぶ

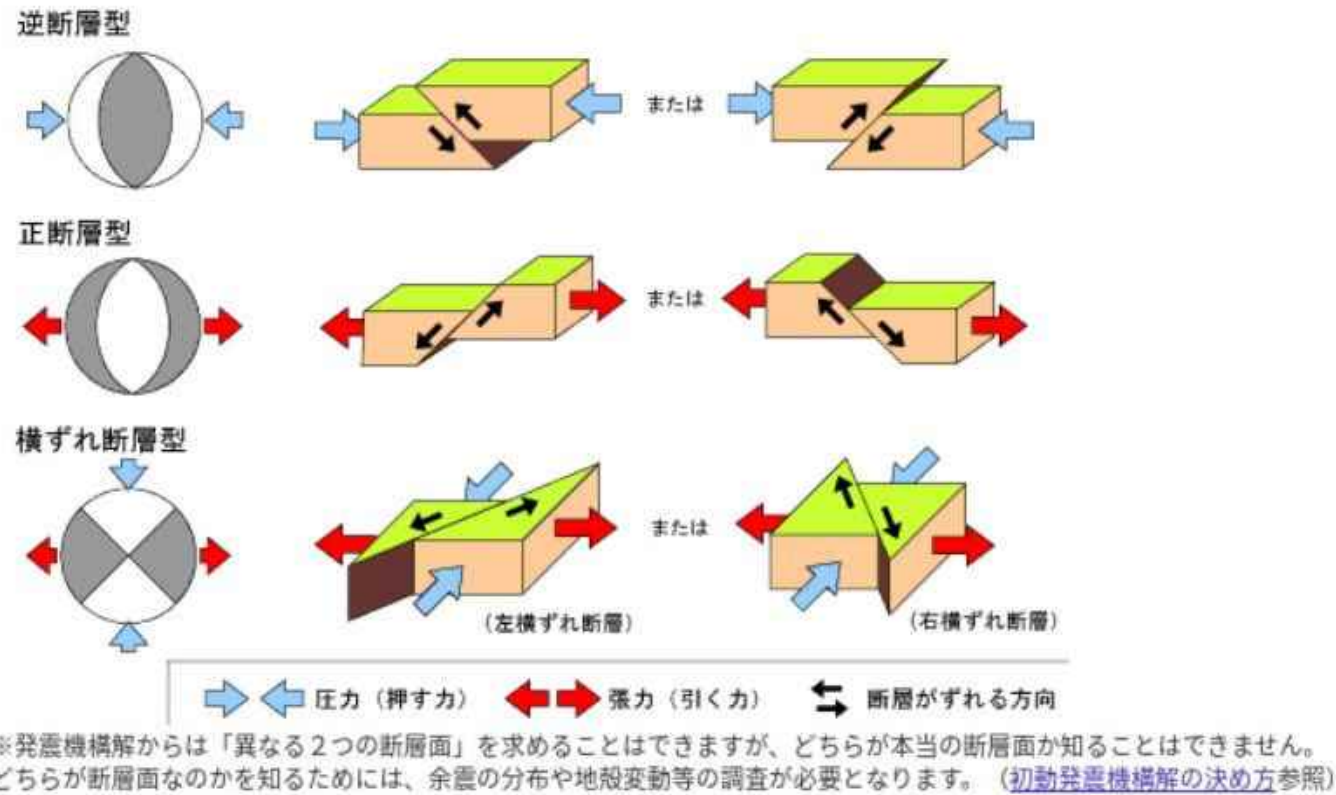


図2 発震機構解と働く力の向き、断層の動きの図

出展: 気象庁ホームページより

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/kaisetu/mechkaisetu2.html>

# (参考) 走向・傾斜, レイク角 (=すべり角) の表記について

## 断層パラメータ

地下で断層がどのようなになっているかは、断層の走向、傾斜角、すべり角という三つの数値で表現されます。これを断層パラメータと言います、それぞれ次のようなことを示しています。

走向 : 断層が水平方向でどの方向に伸びているかを示します。

傾斜角 : 断層面が水平面からどれだけ傾いているかを示します。

すべり角 : 断層がどの方向に動いたかを示します。

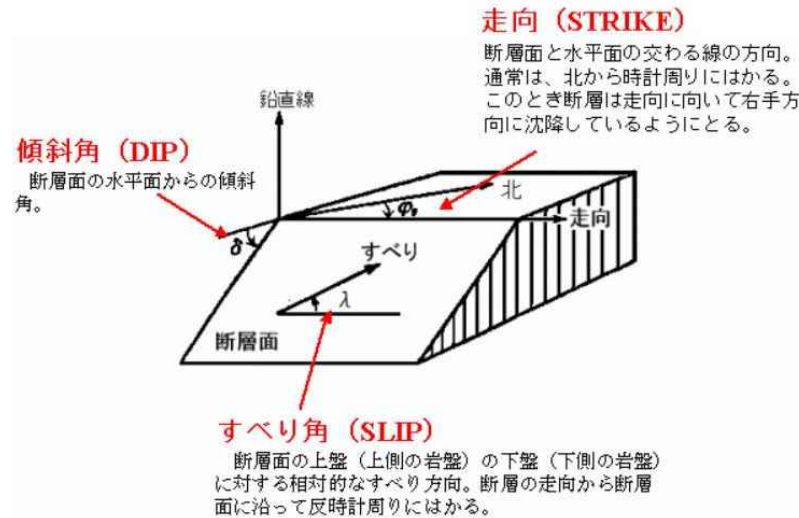


図3 断層パラメータ

出展: 気象庁ホームページより

[https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/kaisetu/mechkaisetu2.html#f\\_para](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/kaisetu/mechkaisetu2.html#f_para)

走向・傾斜の表記例

$\Phi^\circ$  E  $\delta^\circ$  SE  
走向 傾斜

走向: 北からE(東)に $\Phi^\circ$  向いた方向を指している。

傾斜: 水平面から $\delta^\circ$  傾いてSE(南東)方向に傾斜している。

레이크角 (=すべり角) の表記例

$\lambda^\circ$  N

$\lambda^\circ$  は走向となす角度, N(北)はすべり方向を指している。

【論点No.19】

棚倉破碎帯に係る追加調査結果及び敷地周辺での活動性評価等について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.459

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

資料の19ページの下の方、断層の絵が書いてあります。常陸太田市の北から2本の断層が伸びて下りてきています。これは棚倉断層といいまして、これは山形県まで伸びて、さらに日本海に伸びている古い断層だと思いますが、左側のほうに中央構造線が来ていて、中央構造線は四国のほうではいまだに動いているところもあると聞いています。関東平野まで来たら、この先が深い堆積層のおかげでよくわかっていないらしいです。

常陸太田市に北から伸びてきている棚倉断層と呼ばれていますが、あるいはこれにつながっているのではないかと  
いう学者もいます。事実、この断層の右と左、東と西では地質が大変違って、そして、気になるのは、南に伸ばすと  
ちょうど東海村の真下に来ています。

P.6, P.28~P.34

この前の地震以降、この辺も地震が多発するようになってきています。その地震は、多分、太平洋プレートが沈み込んでいて、この前の地震の余震というか、ひずみとの関わりで地震が多発していると思うんです。

この図では、久米層というのが、400万年前から240万年前ですか、それ以前に堆積したのがあって、久慈浜沖で1,500メートル堆積していると言われています。かなり深い堆積層になっていて、多分、深い堆積層だから大丈夫なんだろうということだと思うんですけども、断層ですから、これは右と左の地質が全然違うものの境目が東海村のほうに延長していると思うんですが、その辺、大丈夫なのか。太平洋プレートの沈み込みで圧力がかかり続けていますから、歪みとかひずみが出てきたりして、何かの地震のときには、液状化とかそういう想定していないことまで起きるんじゃないかということ、私ばかりではなくて、心配している次第ですけども、その辺、説明してもらえればと思います。

論点No.5で回答

P.3~ P.12

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく



【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.552

P.3～ P. 12

東海村の地下に棚倉断層がのびて来ている。太平洋プレートの沈みこみにもとまない、地盤のゆがみができる。東日本大地震の後地震の回数も増えている。説明をきいても不安である。

P.6, P28～P.34

機器・配管等の具体的な耐震補強対策等について

【説明概要】

■第22回

- ・各施設に応じた設計用地震力に対して健全性の確保が困難な場合は、耐震補強により健全性を確保する。設計用地震力を用いた耐震評価から耐震補強までの流れを配管系及び格納容器スタビライザを例として説明する。
- ・設備の構造上の特徴により地震による揺れの影響が異なる。代表的な設備として原子炉圧力容器は、水平方向の地震による影響を受け易いが、建設時の耐震評価に用いた耐震条件は、今回工認に用いた耐震条件と大きく変わっておらず、耐震補強は必要としない。一方で3次元的な広がりを持つ配管は地震による揺れを受け易く耐震補強にて耐震裕度の確保を行っている。
- ・高温になる配管の耐震補強に際しては、熱膨張による伸びは拘束しないが地震による揺れに対しては拘束するサポート(スナツバ)を適用することで、熱膨張による伸びを拘束しないようにしている。

■今回

- ・各施設の許容限界は、弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力に対しては「おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えること」、基準地震動 $S_s$ に対しては「施設の有する安全機能が保持できること」とする。

# 耐震評価に適用する地震力

○ 各施設の重要度に応じて、以下に定める地震力に対して、健全性が確保できるように設計する。また、既設設備については、基準適合のため必要に応じて耐震補強を行った上で、静的地震力及び動的地震力(基準地震動 $S_s$ 又は弾性設計用地震動 $S_d$ )に対する健全性を確保する。

| DB/SA         | 施設区分                             |   | 静的地震力 <sup>(注1)</sup>                          |  | 動的地震力 <sup>(注1)(注2)</sup>        |                                  |
|---------------|----------------------------------|---|--|--|----------------------------------|----------------------------------|
|               |                                  |   | 水平   | 鉛直   | 水平                               | 鉛直                               |
| 設計基準対象施設      | 建物・構築物 <sup>(注3)</sup><br>機器・配管系 | S | 建物: 3.0 $C_i$ <sup>(注4)</sup><br>機器: 3.6 $C_i$ | 建物: 1.0 $C_v$ <sup>(注5)</sup><br>機器: 1.2 $C_v$ | $S_s, S_d$                       | $S_s, S_d$                       |
|               |                                  | B | 建物: 1.5 $C_i$ <sup>(注4)</sup><br>機器: 1.8 $C_i$ | —  | $S_d \times 1/2$ <sup>(注6)</sup> | $S_d \times 1/2$ <sup>(注6)</sup> |
|               |                                  | C | 建物: 1.0 $C_i$ <sup>(注4)</sup><br>機器: 1.2 $C_i$ | —  | —                                | —                                |
|               | 土木構造物                            | C | 1.0 $C_i$ <sup>(注4)</sup>                      | —  | $S_s$ <sup>(注7)</sup>            | $S_s$ <sup>(注7)</sup>            |
|               | 津波防護施設<br>浸水防止設備<br>津波監視設備       | S | —  | —  | $S_s$                            | $S_s$                            |
| 重大事故等<br>対処施設 | 常設耐震重要重大事故防止設備<br>可搬型重大事故防止設備    |   | —  | —  | $S_s$                            | $S_s$                            |
|               | 常設重大事故緩和設備<br>可搬型重大事故緩和設備        |   | —  | —  | $S_s$                            | $S_s$                            |
|               | 常設耐震重要重大事故防止設備<br>以外の常設重大事故防止設備  |   | 代替する設備の耐震クラス(Bクラス又はCクラス)に対する地震力                |  |                                  |                                  |

(注1) 機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

(注2)  $S_s$ : 基準地震動 $S_s$ により定まる地震力

$S_d$ : 弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力

弾性設計用地震動 $S_d$ は、設置許可基準規則の解釈に基づき基準地震動 $S_s$ の応答スペクトルの比率0.5を適用して設定

(注3) 建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、施設の耐震重要度分類に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数はS, B, Cクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 $C_o$ は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4)  $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_o$  ( $R_t$ : 振動特性係数0.8  $A_i$ :  $C_i$ の分布係数 $C_o$ : 標準せん断力係数0.2)

(注5)  $C_v = R_v \cdot 0.3$  ( $R_v$ : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(注6) 地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

(注7) 屋外重要土木構造物(非常用取水設備, Sクラスの機器・配管系を支持する土木構造物)に適用する。

# 耐震評価に適用する許容限界

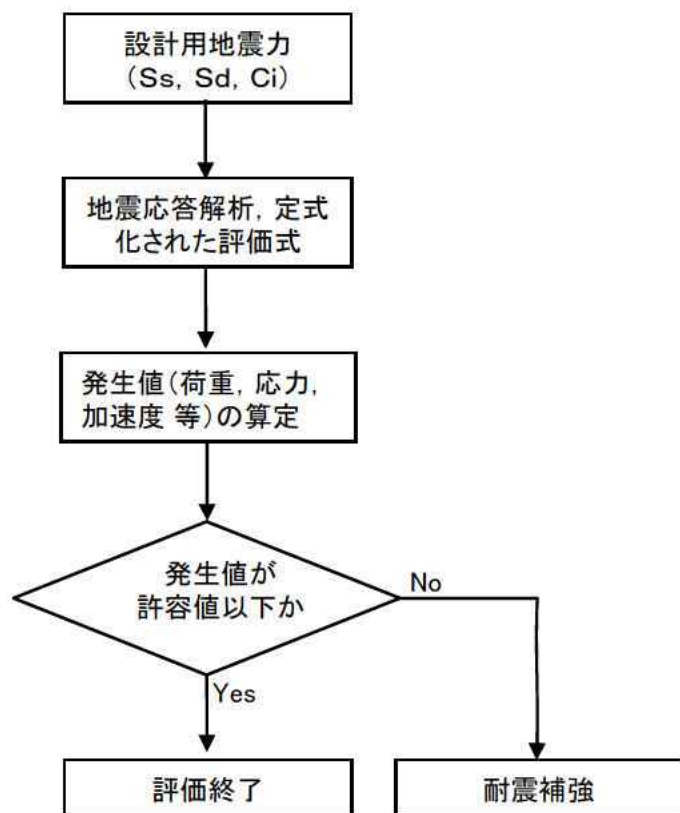
○ 各施設の許容限界は、**弾性設計用地震動Sd又は静的地震力に対しては「おおむね弾性状態\*に留まる範囲で耐えること」、基準地震動Ssに対しては「施設の有する安全機能が保持できること」とし、設置許可基準規則及びその解釈に則った設置変更許可申請の設計方針(下表)に基づいて設定する。**

\* おおむね弾性状態として扱う許容限界の一例として、建物・構築物(鉄筋コンクリート造)の評価に用いるスケルトンカーブの第1折れ点から第2折れ点までの領域がある。

| DB/SA                           | 施設区分                       |                               | 許容限界の設定                                 |  |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---|--|
|                                 |                            |                               | 弾性設計用地震動Sd<br>又は静的地震力                   | 基準地震動Ss  |
| 設計基準<br>対象施設                    | 建物・構築物                     | S                             | 建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を適用すること | 構築物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること  |
|                                 |                            | B                             | 同上                                      | —  |
|                                 |                            | C                             | 同上                                      | —  |
|                                 | 機器・配管系                     | S                             | 応答が全体的におおむね弾性状態にとどまること                  | 構築物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがないこと   |
|                                 |                            | B                             | 同上                                      | —  |
|                                 |                            | C                             | 同上                                      | —  |
|                                 | 土木構築物                      | C<br>(屋外重要土木構築物はSsを適用)        | 安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を適用すること        | 屋外重要土木構築物の許容限界は、構造部材の曲げについては限界層間変形角、終局曲率又は許容応力度とし、せん断についてはせん断耐力又は許容せん断応力度とし、限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせること        |
|                                 | 津波防護施設<br>浸水防止設備<br>津波監視設備 | S                             | —                                       | 津波防護施設は、構築物全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能)を保持すること。浸水防止設備及び津波監視設備は、各設備に要求される機能(浸水防止機能及び津波監視機能)を保持すること |
|                                 | 重大事故等<br>対処施設              | 常設耐震重要重大事故防止設備<br>可搬型重大事故防止設備 |   | —  |
| 常設重大事故緩和設備<br>可搬型重大事故緩和設備       |                            | —                             | 同上                                      |  |
| 常設耐震重要重大事故防止設備<br>以外の常設重大事故防止設備 |                            | 応答が全体的におおむね弾性状態にとどまること        | —                                       |  |

各施設の耐震評価は、基準地震動 $S_s$ 等に基づく設計用地震力から算定される発生値に対して許容値以下であれば、構造物の健全性が確認でき、評価が終了となる。一方で発生値が許容値を上回れば、耐震補強を実施することで発生値の低減や許容値の向上を図ることになる。

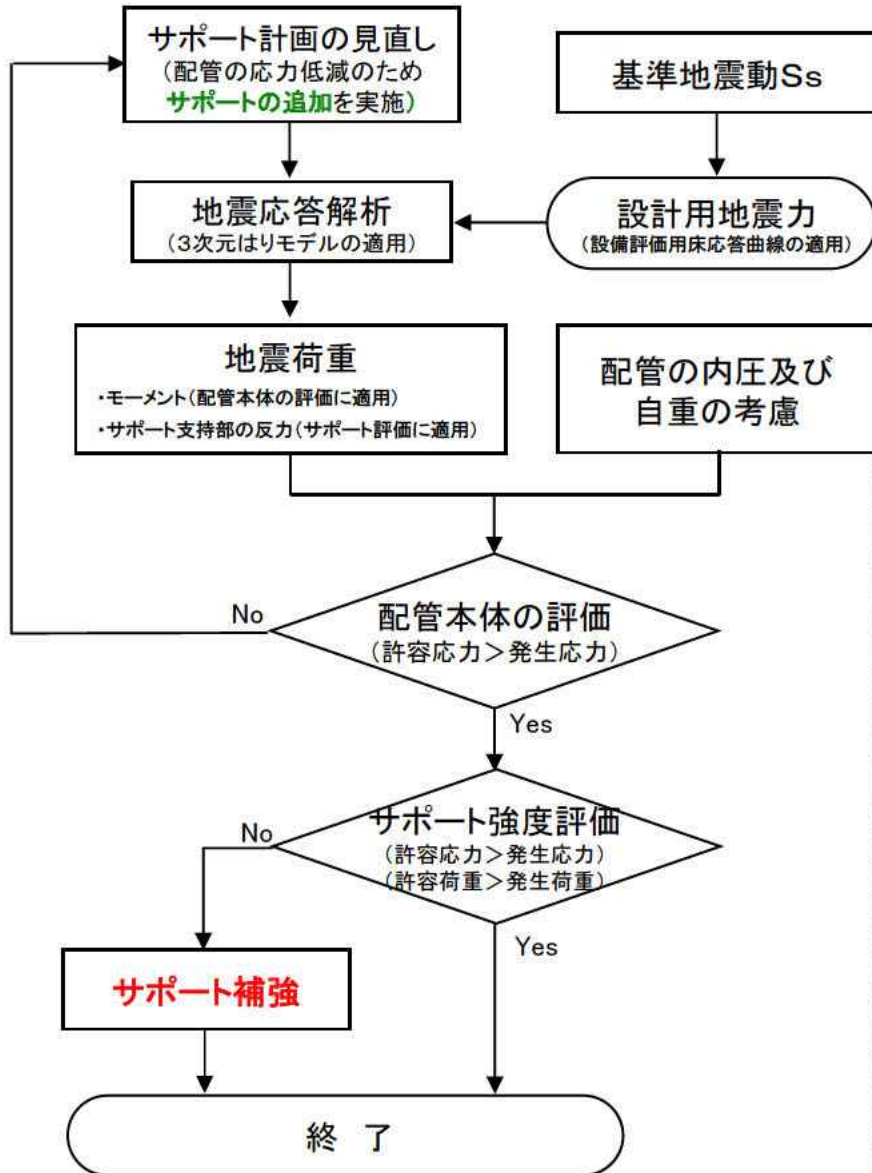
詳細な評価の内容を格納容器スタビライザ及び配管系を代表として説明する。



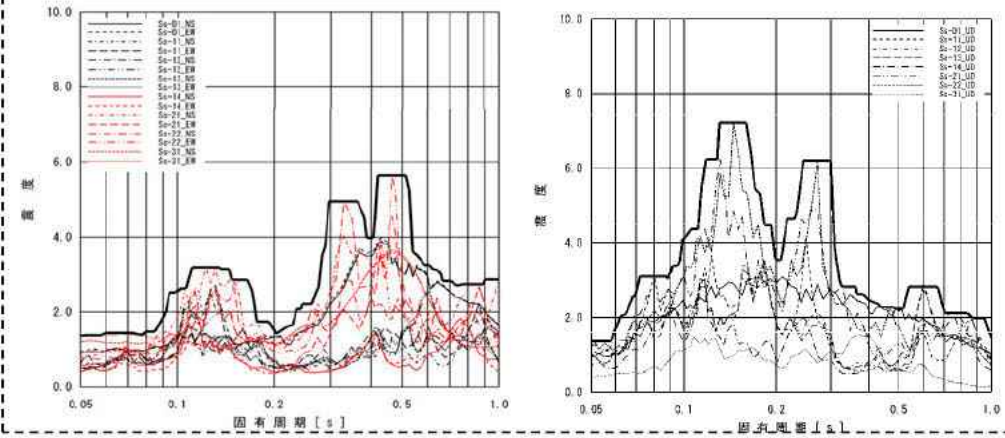
耐震評価の概略フロー

|        | 施設・設備名称     | 目的                           | 耐震補強内容                  |
|--------|-------------|------------------------------|-------------------------|
| 機器・配管系 | 格納容器スタビライザ  | フランジボルトの許容限界値の向上             | 高強度材料適用                 |
|        | 原子炉建屋クレーン   | 地震時落下防止による波及的影響防止            | 落下防止対策の追設               |
|        | 燃料取替機       | 地震時落下防止による波及的影響防止            | ガーダ等の部材強化               |
|        | 配管系         | 支持機能強化                       | サポートの追加及び補強             |
|        | 残留熱除去系熱交換器  | 支持機能強化                       | 架台部への耐震補強サポート追設         |
|        | 水圧制御ユニット    | 支持機能強化                       | 架構部への補強梁追加              |
|        | 格納容器シアラグ部   | 格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策         | シアラグ部への補強材追加            |
|        | 使用済燃料乾式貯蔵容器 | 支持機能強化                       | 支持構造物の部材のサイズ変更及び高強度材料適用 |
| 建物・構築物 | 主排気筒        | 支持機能強化                       | 鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良      |
|        | 地下排水設備      | 地盤の変位の抑制                     | 地盤改良                    |
| 土木構築物  | 貯留堰取付護岸     | 地震時の護岸構造健全性維持による貯留堰への波及的影響防止 | 地盤改良                    |
|        | 屋外二重管基礎構造   | 屋外二重管の支持機能強化                 | 屋外二重管を支持する基礎構造の追設       |
|        | 取水構築物       | 地震時の取水構築物の健全性維持              | 地盤改良                    |

## 配管系の耐震評価による設計手順



設備評価用床応答曲線の例  
(原子炉建屋 EL.20.3m 減衰2.0%)



## 配管系の耐震補強の例(原子炉再循環系配管)

- ・配管本体の耐震性確保のため**サポートの追加**を実施する。
- ・サポートの耐震性確保のため**サポートの補強**を実施する。

配管本体の耐震評価結果

| 一次応力(MPa) |          |              | 一次+二次応力(MPa) |             |          | 疲労<br>累積<br>係数 |
|-----------|----------|--------------|--------------|-------------|----------|----------------|
| 一次<br>応力  | 許容<br>応力 | 曲げとねじり<br>応力 | 許容<br>応力     | 一次+<br>二次応力 | 許容<br>応力 |                |
| 182       | 252      | 138          | 273          | 718 *       | 342      | 0.1827         |

\* 一次+二次応力が許容応力を超えているが、規格要求に基づき疲労累積係数が1以内であることを確認している。

サポートの耐震評価結果

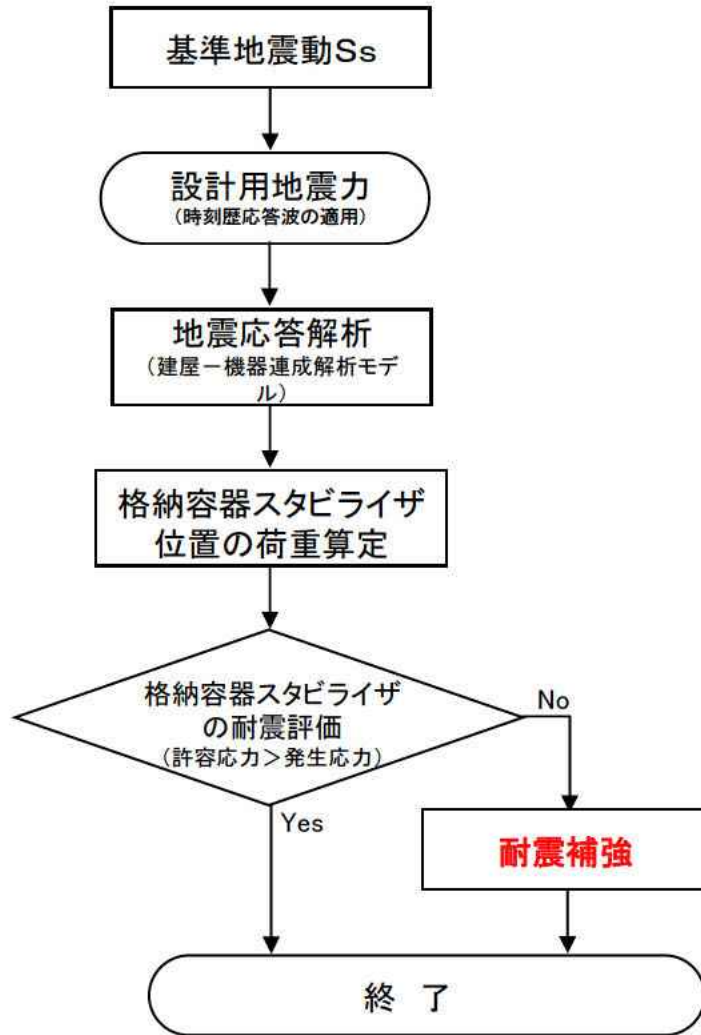
| サポート種類     | 発生<br>荷重(kN) | 許容<br>荷重(kN) |
|------------|--------------|--------------|
| オイルスナップ    | 1430         | 1500         |
| ロッドレストレイント | 852          | 1080         |
| スプリングハンガ   | 58.4         | 72.9         |
| コンスタントハンガ  | 180.0        | 207.9        |



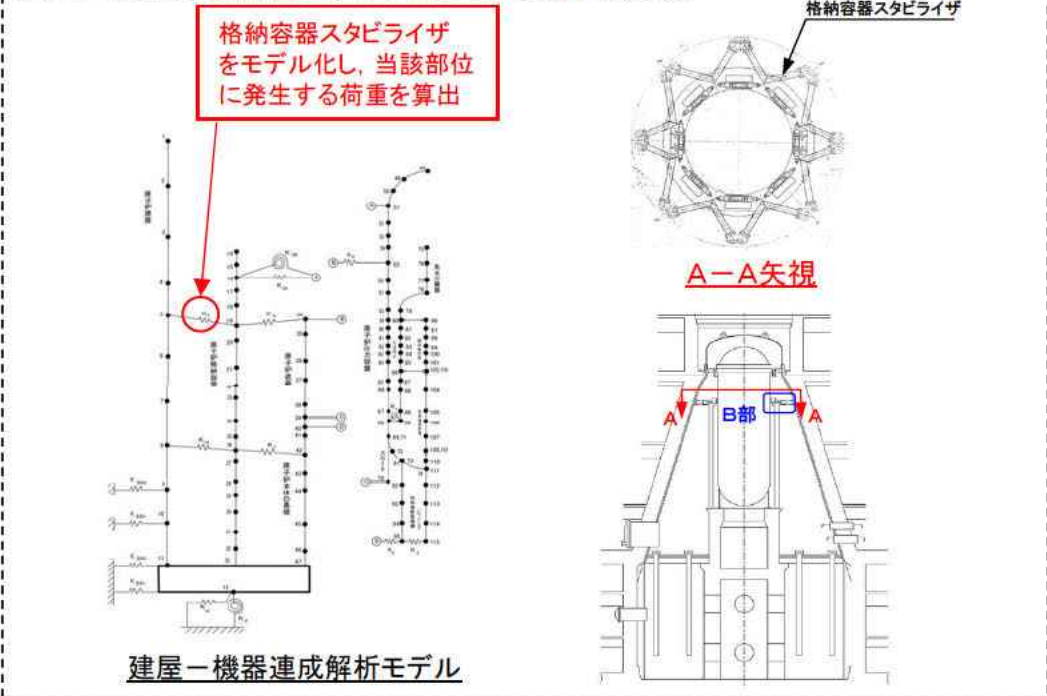
地震応答解析に適用する3次元はりモデル

# 格納容器スタビライザの耐震評価及び耐震補強の例

## 格納容器スタビライザの耐震評価による設計手順



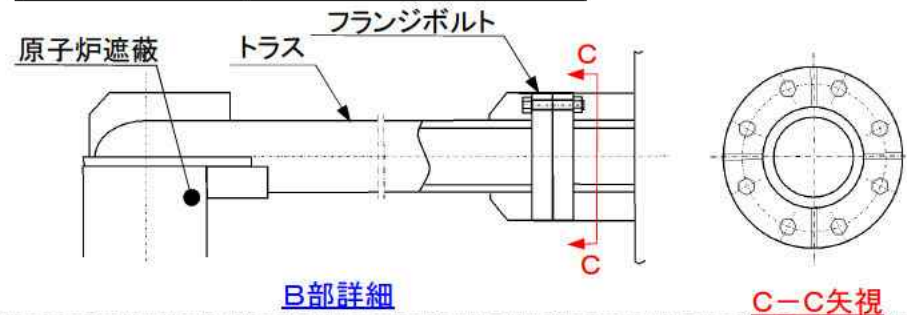
### 建屋-機器連成解析モデルを用いた地震応答解析



### 格納容器スタビライザの耐震補強

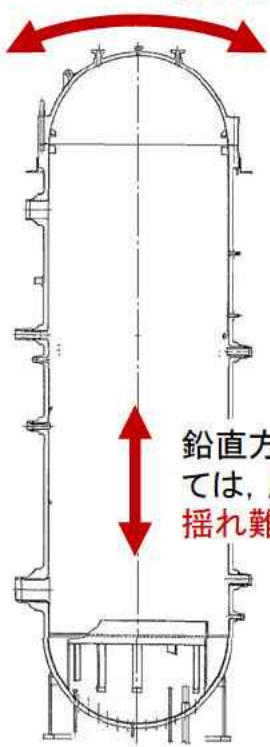
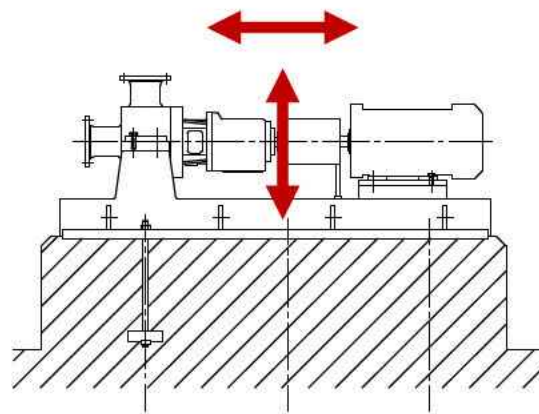
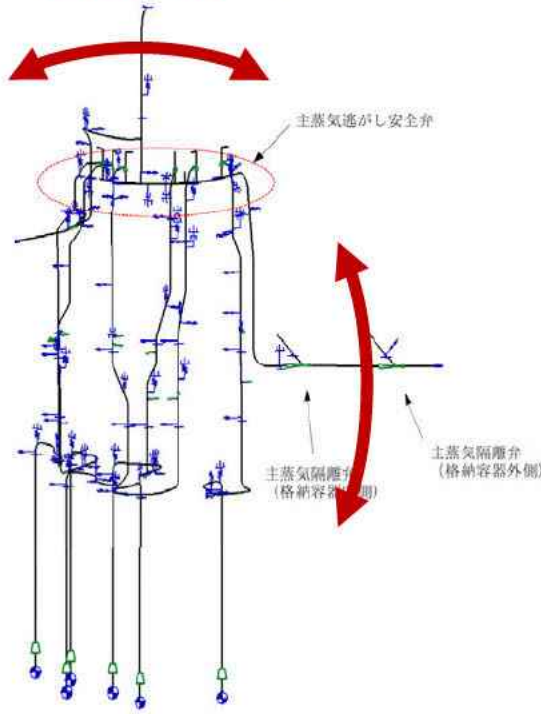
格納容器スタビライザの構成部材(評価部位)であるフランジボルトの材質を高強度材料(SCM3→SNB24-1)に変更

| 評価部位    | 発生応力    | 許容応力    |
|---------|---------|---------|
| フランジボルト | 509 MPa | 534 MPa |



# 機器配管系における設計用地震力の増大に対する影響

- 各設備の構造的な特徴によって地震による揺れがどのように影響を受けるかで、設計用地震力に対する影響が変わる。代表的な設備として、原子炉圧力容器、ポンプ、配管に対して、地震の揺れの影響の受け易さにより、建設時から設計用地震力の増大による設備への影響を概略的に示す。

| 原子炉圧力容器   | ポンプ   | 配管   |
|---|---|--|
| <p>水平方向の地震に対しては、長尺構造であるため揺れ易い傾向となる。</p>  <p>鉛直方向の地震に対しては、厚肉容器であり、揺れ難い傾向となる。</p> | <p>モータを含むポンプは基礎に固定されており、水平方向及び鉛直方向の地震に対して揺れ難い傾向となる。</p>  | <p>配管は、水平方向、鉛直方向に3次元的な広がりをもって施工されているため、水平方向の地震及び鉛直方向の地震の両方に揺れ易い傾向となる。</p>  |



# 機器配管系における設計用地震力の増大に対する影響

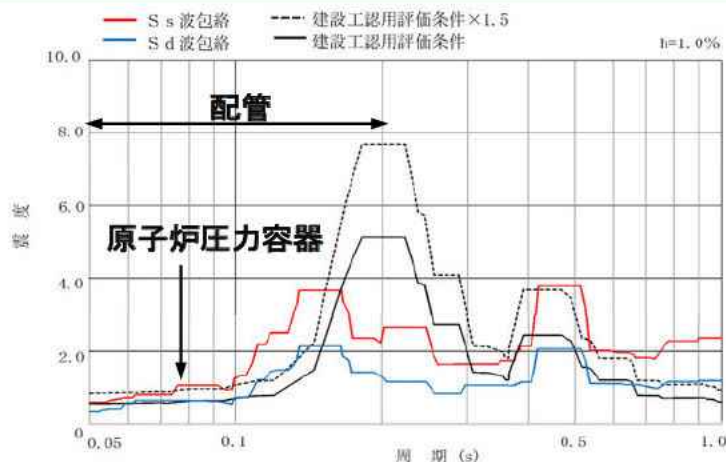
## ○ 地震に対して揺れ難い特徴を持つ設備(剛設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 水平方向: 建設時と今回工認の値はほぼ変わらないため、設備の耐震性への影響はない。
- ・ 鉛直方向: 建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、数値として小さく耐震性への影響はほぼない。

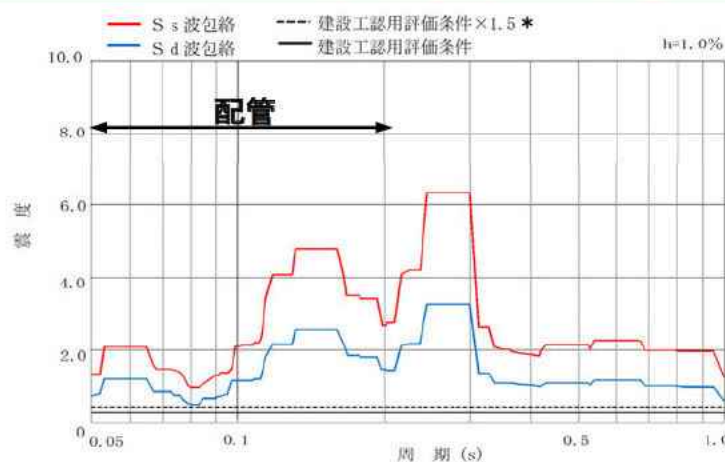
| 標高                         | 水平方向の設計用地震力(震度) |      |       |      |      |      | 標高                         | 鉛直方向の設計用地震力(震度) |      |      |      |      |      |
|----------------------------|-----------------|------|-------|------|------|------|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
|                            | 建設時             |      |       | 今回工認 |      |      |                            | 建設時             |      |      | 今回工認 |      |      |
|                            | 評価条件<br>× 1.5   | 評価条件 | 静的震度  | Ss   | Sd   | 静的震度 |                            | 評価条件<br>× 1.5   | 評価条件 | 静的震度 | Ss   | Sd   | 静的震度 |
| 原子炉建屋<br>基礎上<br>(EL.-4.0m) | 0.795           | 0.53 | 0.576 | 0.58 | 0.31 | 0.58 | 原子炉建屋<br>基礎上<br>(EL.-4.0m) | -               | -    | 0.29 | 0.60 | 0.32 | 0.29 |

## ○ 地震に対して揺れ易い特徴を持つ設備(柔設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 水平方向: 周期によって今回工認(基準地震動Ss, 弾性設計用地震動Sd)と建設時の設計用地震力の大小が変わる。
  - 原子炉圧力容器の固有周期位置では、ほぼ変わらないため耐震性への影響はない。
  - 配管系は、複数の固有周期を持っており、一部周期帯(0.1秒超)では影響を受ける。**【→耐震補強にて対応】**
- ・ 鉛直方向: 建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、影響を受ける。**【→耐震補強にて対応】**



原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(水平方向)



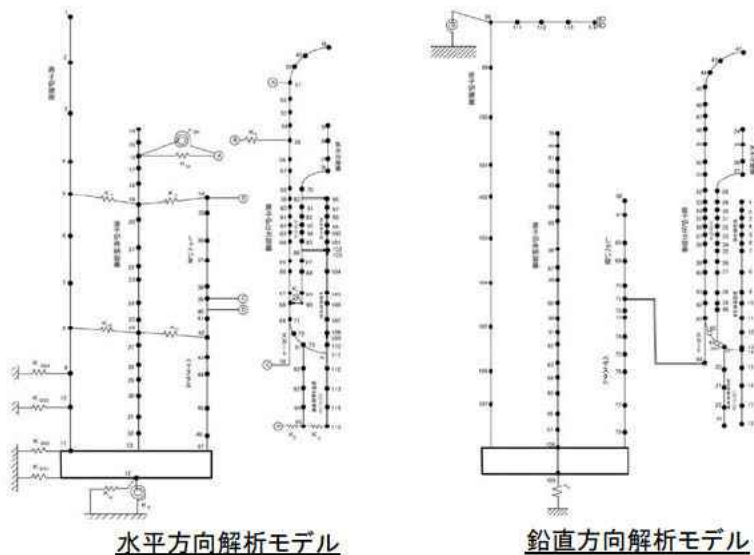
原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(鉛直方向)

\* 建設工認用評価条件は、静的震度の値を全ての周期の値として図を作成した。

# 原子炉圧力容器の耐震評価

・原子炉圧力容器の耐震評価のうち、基礎ボルトの耐震評価に用いた建設時工認及び新規制基準による工認における地震時の荷重を例示として示す。

## ①建屋－機器連成解析



## ②基準地震動S<sub>g</sub>の荷重を算出

|        |                       | 建設時工認                 | 新規制工認                 |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 水平方向地震 | せん断力Q (kN)            | 5960                  | 8340                  |
|        | 曲げモーメントM (kN・m)       | 91400                 | 52600                 |
| 鉛直方向地震 | 重力加速度±鉛直方向地震による加速度(G) | 0.71:下向き*<br>(1±0.29) | -0.40:上向き*<br>(1±1.4) |

\* 鉛直方向地震は、数値が小さいほうが原子炉圧力容器が浮き上がるように考慮され基礎ボルトの評価が厳しい結果となる。また、評価に際して当該加速度と原子炉圧力容器総重量との積により鉛直荷重(N)を算出する。

## ③地震以外の荷重 (新規制工認での値)

|                        | 鉛直方向荷重N(kN)           |
|------------------------|-----------------------|
| 地震以外<br>(自重+制御棒挿入時の荷重) | 26200(最大)<br>1030(最小) |

## ④基礎ボルトの応力算定

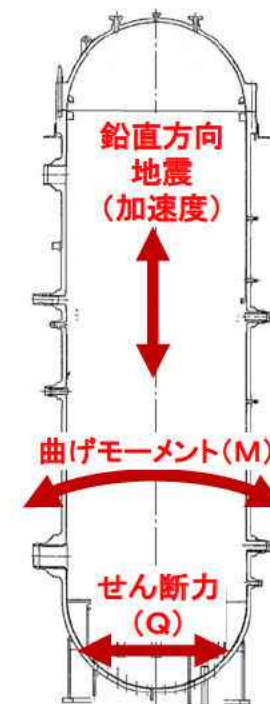
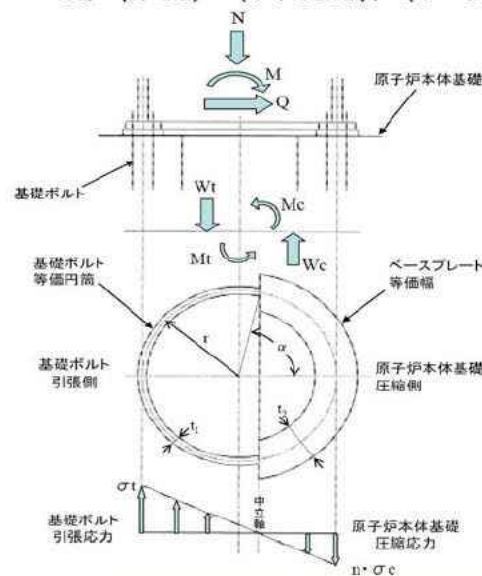
引張応力は下図において、以下の関係が成り立っており、 $\sigma_t$ ,  $\sigma_c$ ,  $\alpha$ を繰り返し計算により求める。せん断応力はせん断力を基礎ボルト断面積を除ることにより求める。

$$N + W_t - W_c = 0$$

$$M - N \cdot r \cdot \cos\alpha - M_t - M_c = 0$$

中立軸の位置と応力の関係

$$\sigma_t / (n \cdot \sigma_c) = (1 + \cos\alpha) / (1 - \cos\alpha)$$

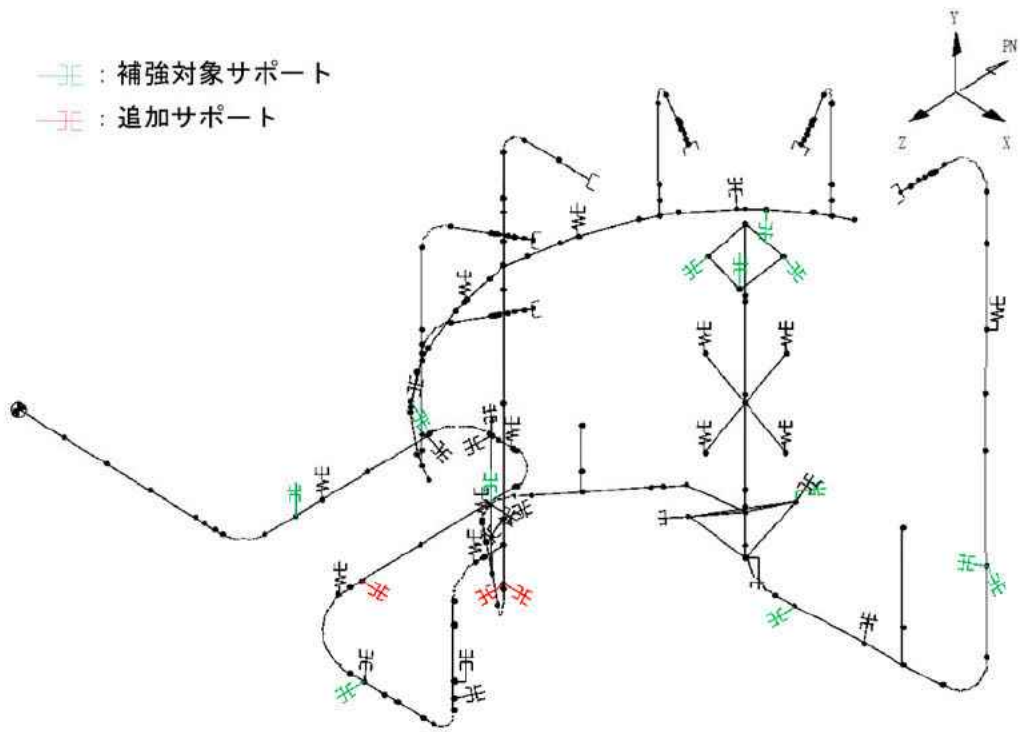


|       | 建設時工認による応力値 (MPa) | 新規制工認による応力値 (MPa) | 許容値 (MPa) |
|-------|-------------------|-------------------|-----------|
| 引張応力  | 90                | 118               | 491       |
| せん断応力 | 7*                | 16                | 378       |

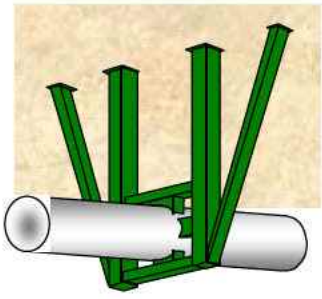
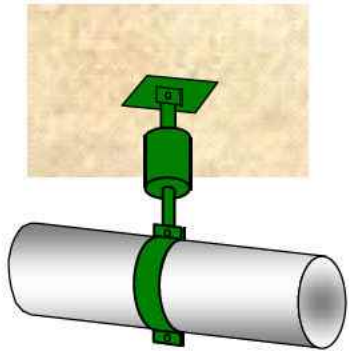
\* 建設時工認では基礎部の摩擦の効果を考慮している。

# 配管のサポート補強について

- ・配管本体は自重や地震による揺れに対して耐えるようにサポートにより支持する。配管系の耐震補強は、配管本体の発生値を低減させる目的としてサポートの追加、既往サポートの発生値を低減させる目的としてサポートの補強を実施する。
- ・高温となる配管に対しては熱膨張による配管の伸びを拘束しないように使用環境に応じた構造のものを適切に選定する。



配管系の耐震補強の例(原子炉再循環系配管)

| 代表的なサポートの例   |  |
|--|--|
| 架構式レストレイント   | オイルスナツバ  |
|  |  |
| <p>地震及び熱による変位を拘束するため、熱膨張をしない低温用の配管に適用する。</p>   | <p>熱膨張のような緩やかな変位に対しては拘束せず、地震のように急激な変位は拘束するため、熱膨張による伸びが大きな高温用の配管に適用する。</p>            |

【論点No.21】

機器・配管等の具体的な耐震補強対策等について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

No.754

東海第二の基準地震動は設置許可申請時に僅か270ガルで設計され、その後耐震設計審査指針見直しで380ガル→600ガル→901ガル、そして最終的には、2014年に提出した補正書で1009ガルにまで引き上げられた。なんと3.8倍に膨れ上がっている。実際の耐震性能アップ対策が何処まで真面目になされたのか甚だ疑問だ。考えられるのは配管の補強強化ぐらいだが、原子炉圧力容器等、機器固有に対する耐震性能アップ策はどの様になされたのか。

No.1177

P.6~9

原子炉内の配管ですが、以前写真で見た物は大変太く、地震の時は大変揺れたと聞きました。3.11以後、日本原電で話を聞きましたが、しっかり固定しましたと図で説明されました。地震の多い日本であのようにぶら下がっている状態は最初から危険と想定出来るはずです。何故、ぶら下がりの状態だったのか、現在も多くの配管がぶら下がっているのですか。固定すると熱膨張に堪えられなくなると聞いたことがあります。固定するのが安全であれば初めからやっていたら良いはず。  P.9

【委員からの指摘事項等】

<第22回ワーキングチーム指摘事項>

構築物、系統及び機器への動的地震力、静的地震力に対する耐震評価に用いた許容限界の設定について説明すること。  P.3

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

# (参考)配管系の耐震評価

## 配管本体の応力算定式の例

JEAG4601によるクラス1管の一次応力の評価式

(a) 直管部(管台及びティー継手を除く)

$$S_{prm} = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

(b) 管台及びティー継手を除く

$$S_{prm} = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_{2b} M_{bp}}{Z_b} + \frac{B_{2r} M_{ip}}{Z_r}$$

### 【凡例】

- $S_{prm}$  : 一次応力 (MPa)
- $P$  : 地震と組み合わせるべき運転状態において配管に作用する圧力 (MPa)
- $D_0$  : 管の外径 (mm)
- $t$  : 管の厚さ (mm)
- $Z_i$  : 管の断面係数 (クラス1配管) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_b$  : 管台又はティー継手に接続される分岐管の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $Z_r$  : 管台又はティー継手に接続される主管の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $M_{ip}$  : 管に生じる自重及び地震によるモーメント (N・mm)
- $M_{bp}$  : 管台又はティー継手に接続される分岐管に生じる自重及び地震によるモーメント (N・mm)
- $M_{rp}$  : 管台又はティー継手に接続される主管に生じる自重及び地震によるモーメント (N・mm)
- $B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r}$  : 応力係数 (設計・建設規格PPB-3810に定める値)

## 許容値の例

JEAG4601による基準地震動 $S_s$ に対するクラス1管の許容応力

| 許容応力状態            | 一次一般膜応力       | 一次応力 (曲げ応力を含む)     | 一次+二次応力                                     | 一次+二次+ピーク応力                                      |
|-------------------|---------------|--------------------|---|--|
| IV <sub>A</sub> S | $2 \cdot S_m$ | $3 \cdot S_m^{*1}$ | $3 \cdot S_m^{*2}$<br>地震動のみによる応力振幅について評価する。 | 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。 |

- \* 1: ただし、ねじりによる応力が $0.73 \cdot S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 \cdot S_m$ とする。
- \* 2:  $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300(同PVB-3313を除く)又はPPB-3536(1), (2), (4)及び(5)の簡易弾塑性解析を用いる。

### 【凡例】

- IVAS : 地震により生じる応力に対する許容応力
- $S_m$  : 設計応力強さ(設計・建設規格 付録材料図表 Part5表1に規定される値)

# (参考)東海第二発電所 基準地震動等の最大加速度

## 【建設時】

| 地震動                   | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |      |
|-----------------------|----------------------------|------|
|                       | 水平成分                       | UD成分 |
| EL CENTRO/TAFT/IBARGI | 180*                       | —    |

\*安全上特に重要な施設(格納容器等)については、270cm/s<sup>2</sup>を適用

## 【新規制基準】

| 基準地震動   |   | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |      |      |
|---------|---|----------------------------|------|------|
|         |   | NS方向                       | EW方向 | UD成分 |
| S s-D1  | 応答スペクトル手法による基準地震動                                     | 870                        |      | 560  |
| S s-1 1 | F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1) | 717                        | 619  | 579  |
| S s-1 2 | F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2) | 871                        | 626  | 602  |
| S s-1 3 | F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3) | 903                        | 617  | 599  |
| S s-1 4 | F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)  | 586                        | 482  | 451  |
| S s-2 1 | 2011年東北地方太平洋沖型地震<br>(短周期レベルの不確かさ)                     | 901                        | 887  | 620  |
| S s-2 2 | 2011年東北地方太平洋沖型地震<br>(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)           | 1009                       | 874  | 736  |
| S s-3 1 | 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動                     | 610                        |      | 280  |
| S s-3 2 | 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動                                  | 829                        |      | 499  |

# (参考)動的地震力に対する許容限界の設定について



| 耐震クラス                      | 地震荷重の種類                    | 許容限界の設定                                  | 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(平成18年9月)の解説*   |
|----------------------------|----------------------------|--|---|
| 耐震Sクラスの施設                  | 基準地震動 $S_s$ による地震力         | 施設の安全機能が損なわれるおそれがないように評価基準値を設定(弾性状態を超える) | 施設の耐震安全性を確保するための考え方は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、機能の安全機能が保持することが基本としている。   |
|                            | 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力      | 施設全体として、概ね弾性状態に留まるように評価基準値を設定            | 弾性設計用地震動 $S_d$ に対して、概ね弾性状態に留まる範囲の地震力を把握することにより、施設に及ぼす影響や状態を明確に評価することが可能であり、基準地震動 $S_s$ に対する施設の安全機能保持の把握を確実にするとしている。 |
| 耐震Bクラスの施設<br>(共振の可能性がある場合) | 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力の2分の1 | 同上                                       | —   |

\* H 18年9月の耐震設計審査指針の改訂において、地震動の策定方針等が大きく変更され、当該変更の考え方が解説に記載されている。

地震による原子炉内の水密度分布の変動及び核的影響並びに制御棒に係る動的機能維持評価について

【説明概要】

基準地震動に対してより低いレベルの揺れで原子炉が自動停止する設計としている。また、炉心構造に起因する摩擦力等によって原子炉内の水密度分布の有意な変動は生じないと考えられる他、仮に変動を生じても制御棒の反応度抑制効果によって有意な核的な影響は生じない。

また、加振試験及び設計基準地震動 $S_s$ を用いた地震応答解析により、制御棒の挿入性を確認している。



# 地震による原子炉内の水密度分布の変動及び核的影響について

- ・ 基準地震動に対して、より低いレベルの揺れで原子炉が自動停止する設計としており、地震による影響を最小限とする対策を実施
- ・ 原子炉内を流れる冷却材は炉心入口オリフィス等の構造材からの摩擦力を受ける他、チャンネルボックス内でも液相と蒸気との速度差に起因する摩擦力を受けるため、地震による揺れを考慮した場合も原子炉内での水密度分布の有意な変動は生じないと考えられる(次頁参照)
- ・ 仮に水密度分布の変化が生じた場合でも、制御棒の反応度抑制能力は高く、有意な核的影響は生じない

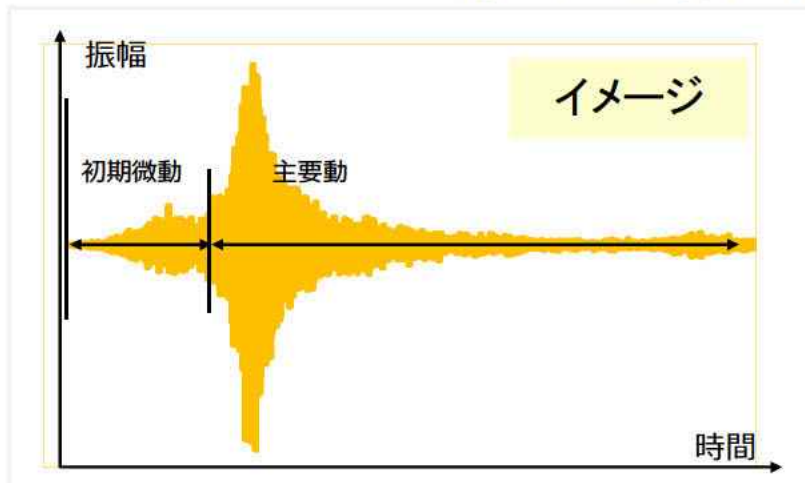
## 地震動の感知による原子炉の自動停止

原子炉建屋内で大きな揺れが感知された場合、原子炉停止系により自動的かつ速やかに原子炉を停止

- ・ 地震加速度大による原子炉スクラム(鉛直方向の例)

基準地震動(最大加速度): 490ガル

> 自動停止する加速度: 120ガル



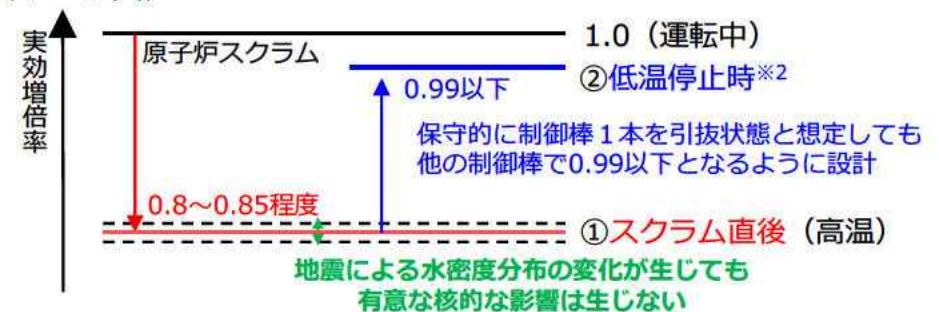
## 制御棒による反応度抑制能力

運転期間中を通じて、原子炉の低温時に制御棒によって臨界未満にできることを確認(取替炉心設計)

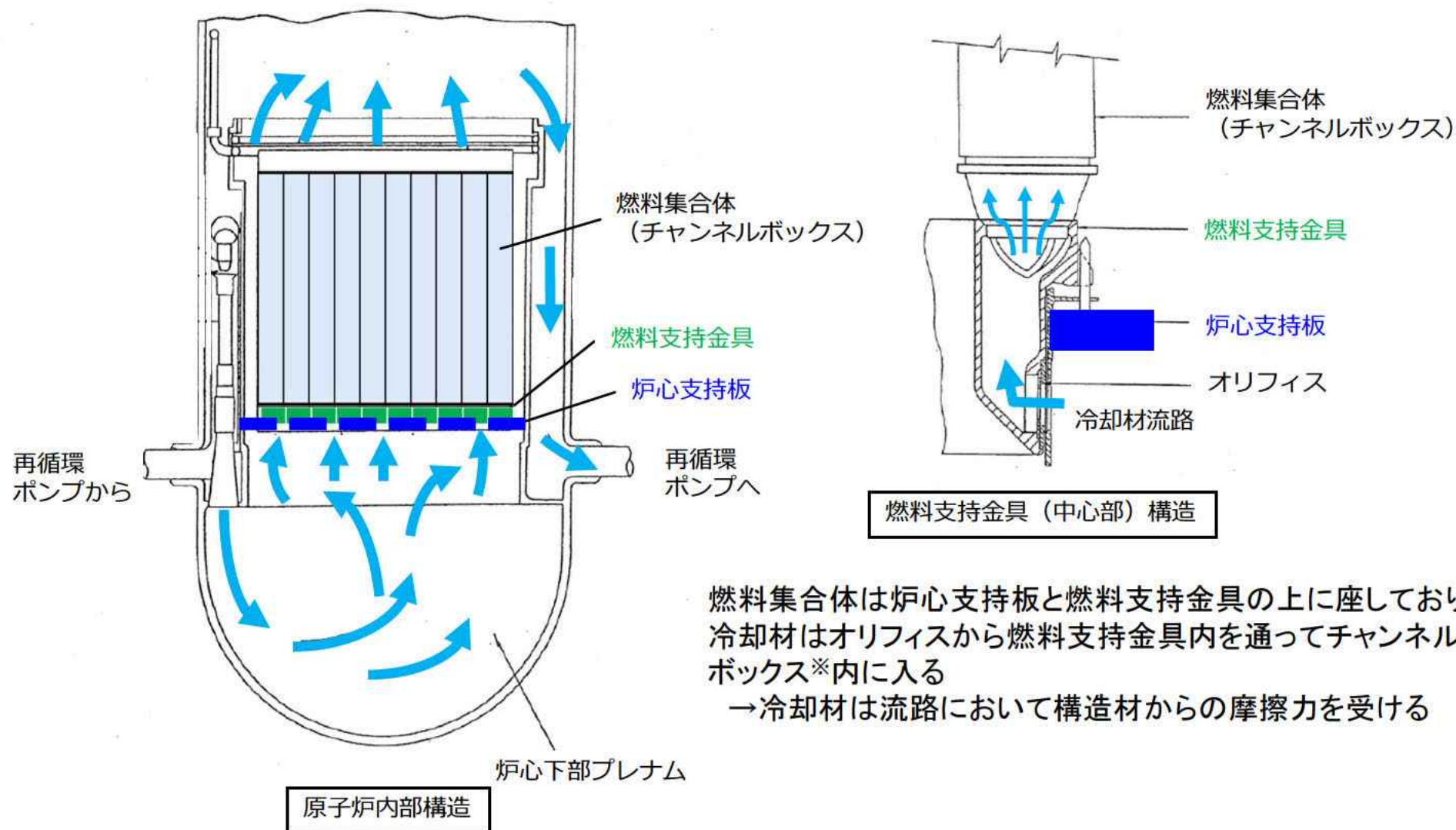
原子炉停止直後に地震による水密度分布の変化が生じても有意な核的影響は生じない

|       | ①スクラム直後 | ②低温停止  |
|-------|---------|--------|
| ボイド   | あり      | なし(冠水) |
| 冷却材温度 | 約300°C  | 約20°C  |

(イメージ図)



- ※1 原子炉スクラムによる負の反応度効果を差し引いた値
- ※2 低温の水で冠水状態になることや中性子を吸収する性質を持つ核分裂生成物(キセノン)の消滅によって実効増倍率が上昇

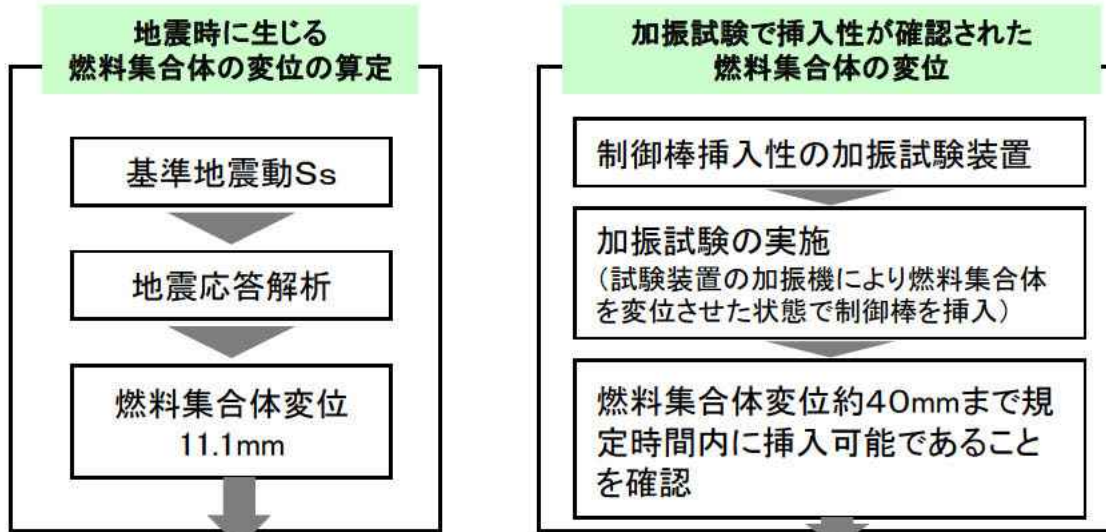


燃料集合体は炉心支持板と燃料支持金具の上に座しており、冷却材はオリフィスから燃料支持金具内を通過してチャンネルボックス※内に入る  
→冷却材は流路において構造材からの摩擦力を受ける

※燃料集合体に取り付ける四角い筒状の金属製の覆い。燃料集合体内の冷却材流路を確保するとともに、制御棒のガイドの機能を持つ。

# 地震時における制御棒の挿入性

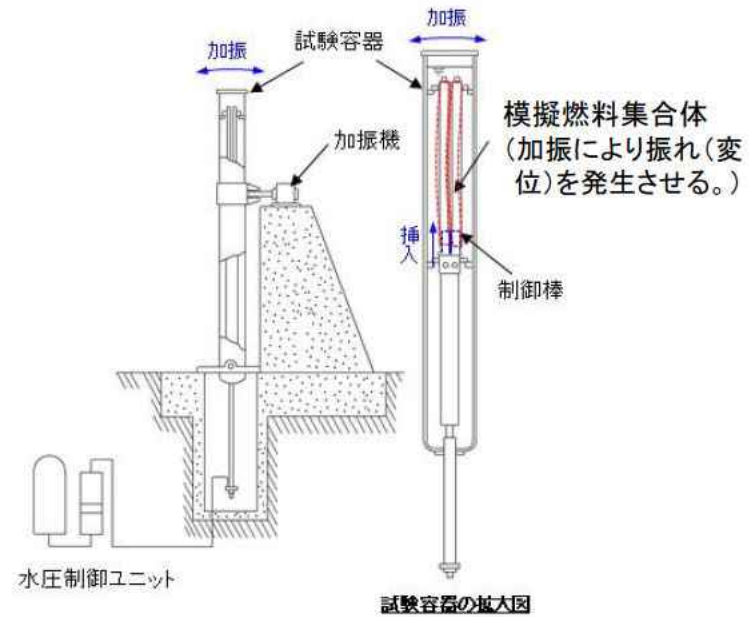
- ・制御棒の挿入性に影響する燃料集合体の変位に着目した評価により、地震時にも制御棒が挿入できることを確認
- ・制御棒駆動機構は、制御棒に引き抜き方向に荷重が作用しても抜け落ちない構造となっている。



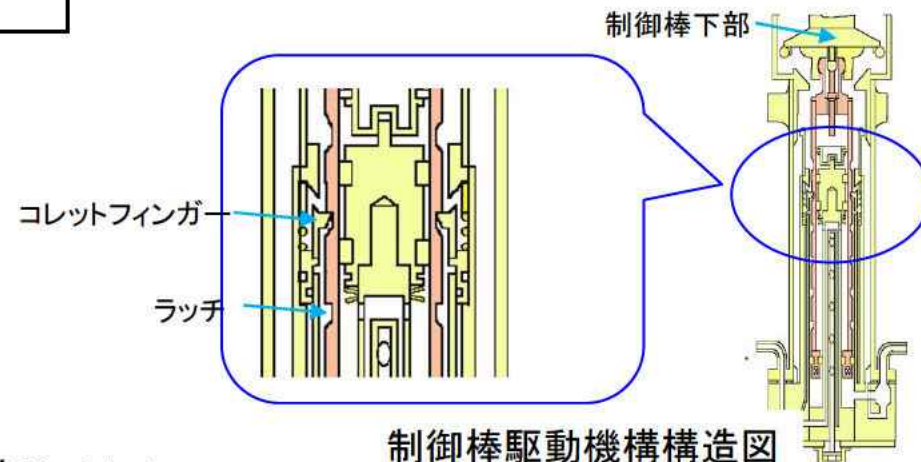
**地震時における制御棒の挿入性の評価**

基準地震動S<sub>s</sub>による東海第二発電所の燃料集合体の変位11.1mmは、加振試験結果の約40mmよりも小さく、**地震時の制御棒の挿入性は確保できることを確認**

制御棒の位置は、制御棒駆動機構のラッチとコレットフィンガー等によって保持される構造となっており、コレットフィンガー等の強度は鉛直方向地震力により制御棒に引抜方向に作用する荷重よりも大きいため、抜け落ちることはない。



試験容器の拡大図  
**加振試験装置図**



**制御棒駆動機構構造図**

【論点No.24】

地震による原子炉内の水密度分布の変動及び核的影響並びに制御棒に係る動的機能維持評価について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.8

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

非常に基本的なことをお伺いしたいんですが、BWRでは、炉心の中で減速材である水が沸騰しますよね。そのために潜水艦なんかで、船用炉では炉心が揺れたり、あるいは機関の振動があったりすることで、沸騰による減速材の分布が炉心の中で変化すると。だから、船用炉ではBWRは使われない。PWRにしか使われていないというふうに聞いておりますが、地震地帯でBWRを動かすとすると、上下動によって、機関の振動に相当するような上下動が働いて、燃料棒からのあぶくの離れ方が変化して、炉心内の蒸気の分布が変化すると。これは当然、核的に核分裂反応に影響を与えるわけですよ。

それから、熊本でもあったような大きな変位型の地震動がどーんと来たら、下部プレナムの水がすーっと上がって、ある一部分で水面が上がるとか、そういった減速材の分布が変化するということは、当然、地震地帯にB(BWR)を設置する以上、考えなければならないことだと思いますが、この辺の実験的な検討はなされているのでしょうか。

ちなみに、世界的に私が調べた範囲では、地震地帯でBWRは、現在、稼働していないと思うんです。そういう基本的な問題があるんじゃないかと思うんですが、この辺の検討の状況を教えていただきたいと思います。

今言っているのは、地震と炉心の核的な変化、そのところが実証的に検討されているのかどうかということ  
を聞いているわけです。

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.949

東海第二発電所の安全対策に関する意見

標記について、以下に事業者及び原子力規制委員会ともに未検討あるいは検討不十分の事項を示しますので、本県で十分に検討するとともに、その結果について必ず公表していただきたく、よろしくお願い致します。 P.1-3

大型のBWR炉心は、大出力を得るため、直径5m、高さ4m程もあり、上記の基本臨界寸法の数100倍の大きさですので、常温の水で満たされた時にも未臨界が維持できるよう、大きな十字型の板状制御棒(中性子をよく吸収する)が、約30cm間隔で碁盤目状に多数炉心内に装荷されます。出力運転状態では、炉心下端から数10cmの高さの沸とう開始点から徐々にボイドが増え、上端ではボイド体積率が約80%にもなります。そのため、炉心下方から挿入される制御棒は、水密度の大きい炉心下部では密に、水密度の小さい炉心上部ほど粗になるよう配置され、臨界の維持と出力分布の平坦化が図られます。

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.949(続き)

1. 原子炉暴走事故(反応度事故)(1)BWR炉心の基本臨界寸法と制御棒配置

核燃料には、その組成によって決まる一定量が一ヶ所に集まると、核分裂反応が途断えることなく持続する臨界という現象があることはよく知られていますが、その臨界量あるいは臨界寸法を超えて、核分裂出力が瞬間的に上昇(暴走)する即発臨界と呼ばれる状態に到るには、ごく少量の増加で十分であるという事実は余り知られていません。特に、核分裂反応を仲介する中性子を減速し、かつ炉心内に閉じ込める能力が最も高い軽水(普通の水)中に燃料棒を配列する軽水炉では、これらの量が非常に小さいという特徴があります。JCO臨界事故では、使用してはならない直径45cmの槽にウランの水溶液を深さ約25cmまで注入したところで臨界に達し、さらに1cm程度追加されて出力暴走が起りました。BWRの高温高圧の熱水(密度約0.7g/cm<sup>3</sup>)中では、例えば50cm×50cmの範囲に所定の間隔で燃料棒を配列すると、水位50cm程度で臨界になり、さらに3cm程水位が増加すると即発臨界になります。その出力上昇は断熱的で、燃料ペレットの温度のみが上昇し、その結果、ウランによる中性子吸収が増え(ドプラー効果と呼ばれる)、出力が下降に転じ、出力暴走は終わります。しかし、ドプラー効果を凌駕する水位10数cm以上の増加では、燃料ペレットが融解する温度に達し、水中に噴出した熔融燃料が激しい水蒸気爆発を生じて炉心を粉砕することにより出力暴走が終わることになります。なお、熱水中では臨界寸法は上記のように50cm立方程度ですが、常温の水(密度1g/cm<sup>3</sup>)ではさらに小さく、40cm立方程度になり、出力暴走に至る寸法増加もさらに小さくなります。逆に、熱水中に水蒸気泡(ボイド)が混在して水密度がさらに小さくなると、臨界寸法は大きくなります。 P.1-3

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.949(続き)

(2)地震時の炉心内水密度分布変動による出力暴走

熊本地震で見られた数mの横ずれ断層を生じるような大きな変位型の地震動がBWRに作用した場合、炉心下部及び上部プレナムの水が一方向的に動き、その半炉心側で、沸とう開始点が制御棒挿入率の小さい炉心上方へ押し上げられるとともに、上部プレナムの水が蓋をして流れを阻害するため、その半炉心部で水の量が増加し、即発臨界を超過する恐れがあります。また、強い上下動が作用すると、蒸気泡の燃料棒表面からの離脱が促進されるため、流動抵抗が低下して沸とう開始点が押し上げられたり、沸とう寸前の熱水中で突沸が生じて水塊が上方に押し上げられることも考えられます。 P.1-3

このように、炉心内で水と蒸気が混在するBWRでは、蒸気を発生させないPWRと異なり、水密度分布が変動し得るといふ根本的な弱点があります。そのため、船用炉では、船体の傾きやゆれ、機関の振動などを考慮して、PWRが使用され、BWRは使われません。また、世界の地震地帯で稼働しているBWRは、古くは米国西海岸で数例ありましたが、現在、それらはいずれも停止されています。 P.1-3

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.951

(4)実証的知見の欠如

上記の(2)及び(3)は十分起り得る事象であり、丁寧な検討が不可欠だと考えられますが、それに必要な系統的实验などを含む実証的知見が見当たりません。世界有数の地震地帯のわが国で、しかも地震活動期の最中にある現在、どうしてもBWRを稼働する必要があるということなら、まず、この実証的知見を整備することから始めるべきです。 P.1-3

No.1082

5. 地震時の強い揺れによる影響に関すること

炉心内に冷却水と蒸気が混在しているため、炉容器が地震で強く揺れると、水密度の分布が変動して思わぬ核分裂反応の増強をもたらす恐れがあると聞いている。 P.1-3

強い揺れによる各機器への影響の精査など、福島原発事故の全容が解明されることなしに茨城県の検証もできるはずはないと考える。



①防潮堤の構造及び設置ルート変更後の基準津波の遡上に関する再解析結果及び再現性確認の妥当性について

【説明概要】

波源モデルや津波伝播に関するモデルの設定にあたっては、2011年東北地方太平洋沖地震津波の津波痕跡高さを再現出来るモデルの設定と同じ考えとしている。

波源モデルや津波伝播に関するモデル(設定するメッシュサイズの大きさなど)の妥当性については、広域(最小50mのメッシュサイズ)及び発電所周辺(最小5mのメッシュサイズ)で2011年東北地方太平洋沖地震津波の津波痕跡高さを良好に再現出来ることを確認している。

②東日本大震災の痕跡値と再現解析の浸水範囲との比較及びその結果について

【説明概要】

■第19回 2011年東北地方太平洋沖地震津波による発電所で痕跡が確認された範囲と再現計算による浸水範囲を比較した結果、同程度であり、波源モデルや津波伝播に関するモデル(評価するモデル)が妥当であることを確認している。

■今回 追加の指摘事項について、東北地方太平洋沖型の津波波源の発電所周辺の再現性の確認結果における計算値と痕跡高の差のばらつき(痕跡点1～3は差が小さく、それ以外は差が大きい)について、人工構造物の密集度の違い等が挙げられる。

③海底地形の考慮について(海底勾配が1/100以下程度の遠浅であることの考慮等を含む)

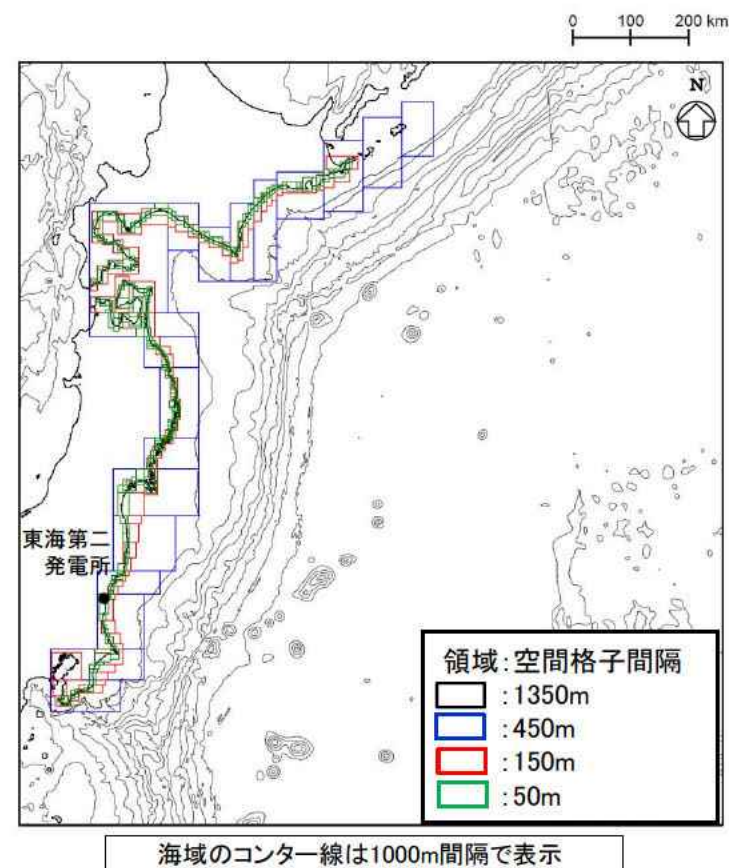
【説明概要】

既往津波を良好に再現出来るモデルを用い、最新の海底地形データも反映し、発電所の津波想定を行っている。なお、保守性については、論点26の通りである。

- 波源モデルや津波伝播に関するモデルの設定にあたっては、2011年東北地方太平洋沖地震津波の津波痕跡高さを再現出来るモデルの設定と同じ考えとしている。
- 波源モデルや津波伝播に関するモデルの妥当性を確認するため、広域(最小50mのメッシュサイズ)における2011年東北地方太平洋沖地震の津波痕跡高さの再現性の観点から以下の条件で検討した。

広域の再現解析の計算条件

| 項目       | 条件   | 備考                   |
|----------|--|----------------------|
| 計算領域     | 北海道から千葉房総付近までの太平洋<br>(南北約1,300km, 東西約1,200km)                                  |                      |
| メッシュ構成   | 沖合1,350m→450m→150m→沿岸50m   | 長谷川他(1987)           |
| 基礎方程式    | 非線形長波理論  | 後藤・小川(1982)の方法       |
| 計算スキーム   | スタaggerド格子, リープ・フロッグ法  | 後藤・小川(1982)の方法       |
| 初期変位量    | Mansinha and Smylie(1971)の方法   |                      |
| 境界条件     | 沖側:後藤・小川(1982)の自由透過の条件<br>陸側:計算格子間隔50m領域は小谷他<br>(1998)の陸上遡上境界条件<br>それ以外は完全反射条件 |                      |
| 越流条件     | 防波堤:本間公式(1940)<br>護岸:相田公式(1977)  |                      |
| 海底摩擦係数   | マンニングの粗度係数( $n=0.03m^{-1/3s}$ )  |                      |
| 水平渦動粘性係数 | 考慮していない( $Kh=0$ )  |                      |
| 計算時間間隔   | $\Delta t=0.5$ 秒   | C.F.L条件を満たすように<br>設定 |
| 計算時間     | 津波発生後240分間   | 十分な計算時間となるよう<br>に設定  |
| 潮位条件     | T.P.-0.4m  | 地震発生時の潮位             |

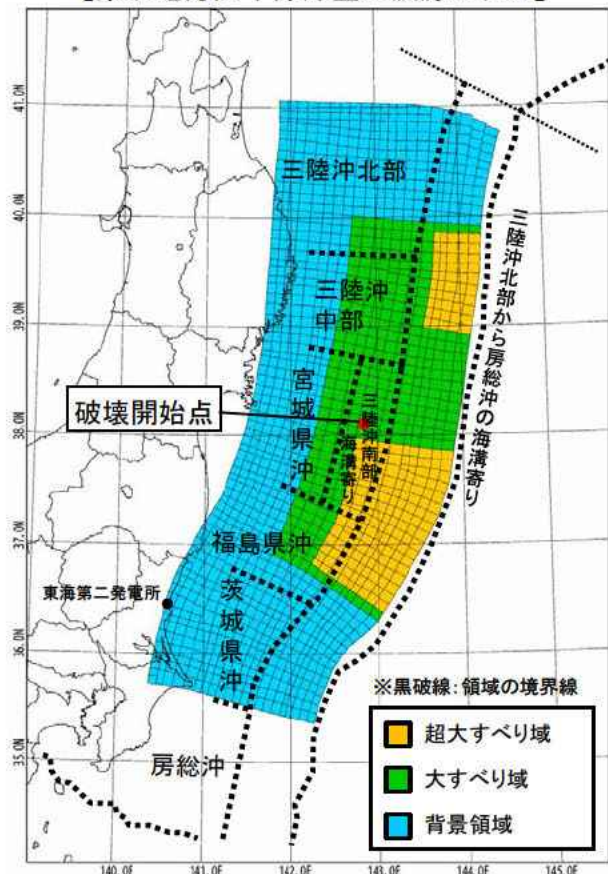


津波水位=潮位+水位変動量+2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量

計算領域と格子分割

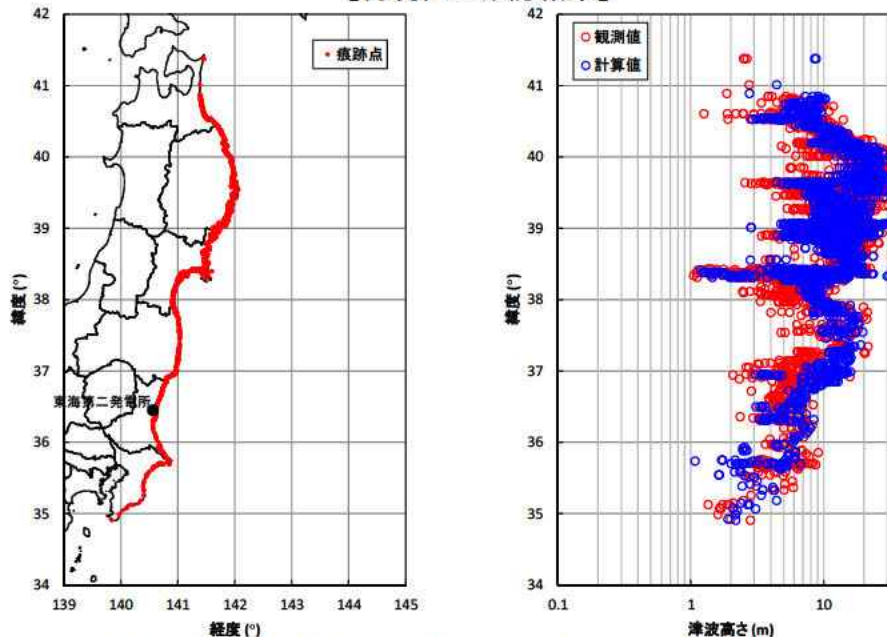
- 設定した波源モデルは、2011年東北地方太平洋沖地震の津波痕跡高(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012))に対して計算値の方が大きくなっているが(幾何平均 $K=0.94$ ), 幾何標準偏差( $\kappa=1.43$ )は土木学会(2016)の再現性の目安値を満足している。
- なお、幾何平均 $K$ は1より小さい(痕跡高に対して計算値の方が大きい)ため保守的である。

【東北地方太平洋沖型の波源モデル】



破壊開始点 : 震源位置  
破壊伝播速度 : 3.0km/s  
立ち上がり時間 : 30秒

【再現性の確認結果】



青森県北部～千葉県南部における2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の痕跡地点(左図)及び痕跡高(右図)  
(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)のデータを使用)

| 地点数<br>n | 幾何平均<br>K | 幾何標準偏差<br>$\kappa$ |
|----------|-----------|--------------------|
| 2,772    | 0.94      | 1.43               |

【幾何平均 $K$ 及び幾何標準偏差 $\kappa$ の再現性の目安】  
 $0.95 < K < 1.05$   
 $\kappa < 1.45$

(土木学会(2016))

幾何平均 $K$ : 計算による津波高さ(計算値)と津波痕跡高(観測値)の平均的な対応関係を示す。  
幾何標準偏差 $\kappa$ : 計算値と観測値との対応関係のばらつきを示す。

波源モデルや広域(最小50mのメッシュサイズ)の津波伝播に関するモデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震津波の津波痕跡高さを良好に再現出来ることを確認している。

- ・ 広域の津波の再現性が良好な波源モデルや津波伝播に関するモデルを基本として、メッシュの大きさ、陸側境界条件等を一部見直し、発電所周辺(最小5mのメッシュサイズ)における2011年東北地方太平洋沖地震の津波痕跡高さの再現性の観点から以下の条件で検討した。
- ・ 津波伝播に関するモデルが既往津波を良好に再現出来るモデルであることを確認し、発電所の津波想定を行っている。

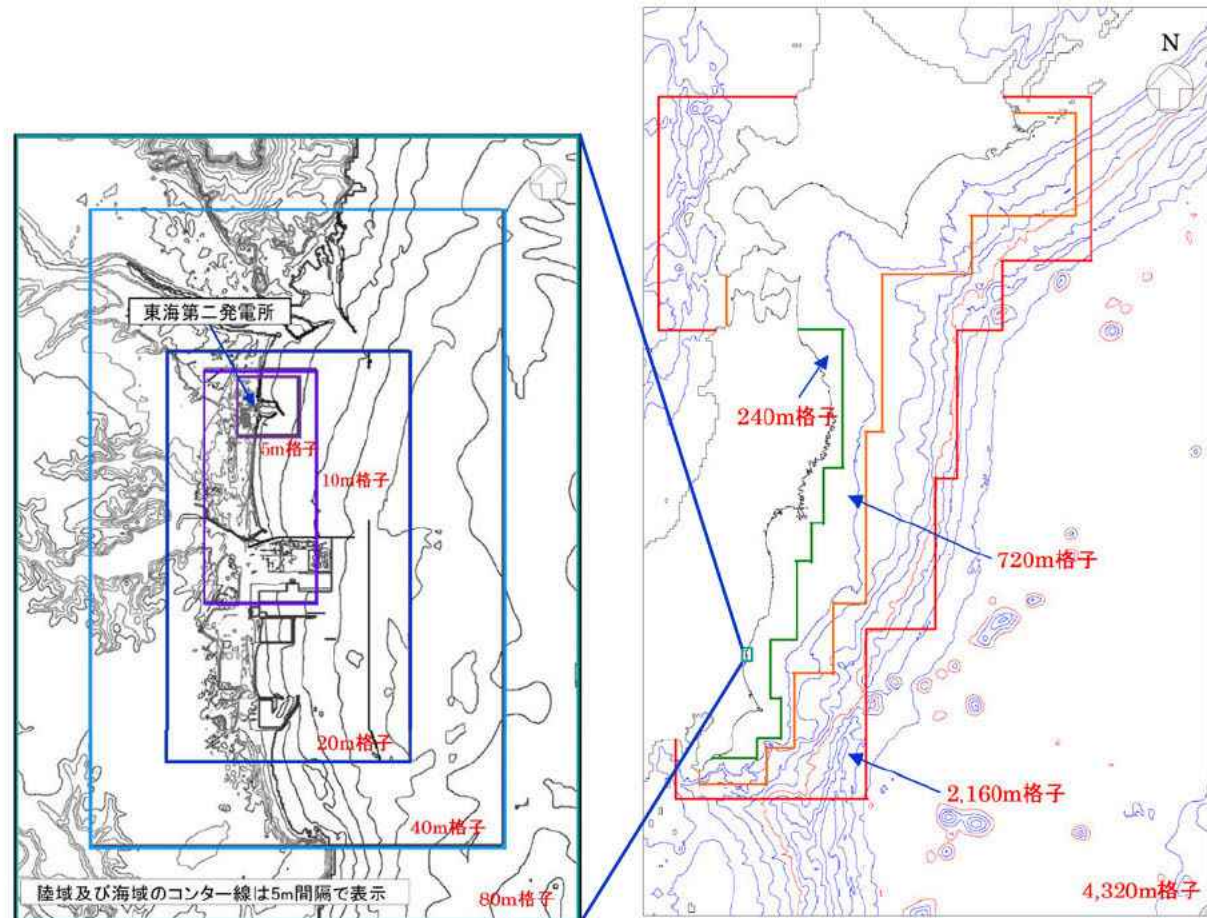
### 発電所周辺の再現解析の計算条件

| 項目       | 条件   | 備考                |
|----------|--|-------------------|
| 計算領域     | 北海道から千葉房総付近までの太平洋<br>(南北約1,300km、東西約800km)   |                   |
| メッシュ構成   | 沖合4,320m→2,160m→720m→沿岸域240m→<br>発電所周辺80m→40m→20m→10m→5m                               | 長谷川他(1987)        |
| 基礎方程式    | 非線形長波理論  | 後藤・小川(1982)の方法    |
| 計算スキーム   | スタッガード格子、リーブ・フロッグ法   | 後藤・小川(1982)の方法    |
| 初期変位置    | Mansinha and Smylie (1971)の方法  |                   |
| 境界条件     | 沖側: 後藤・小川(1982)の自由透過の条件<br>陸側: 敷地周辺(計算格子間隔80m~5m)の領域は小谷他(1998)の陸上適上境界条件<br>それ以外は完全反射条件 |                   |
| 越流条件     | 防波堤: 本間公式(1940)<br>護岸: 相田公式(1977)  |                   |
| 海底摩擦係数   | マニングの粗度係数 ( $n=0.03m^{-1/3}s$ )  |                   |
| 水平渦動粘性係数 | 考慮していない ( $K_h=0$ )  |                   |
| 計算時間間隔   | $\Delta t=0.05$ 秒  | C.F.L.条件を満たすように設定 |
| 計算時間     | 津波発生後240分間   | 十分な計算時間となるように設定   |
| 潮位条件     | TP-0.49m   | 地震発生時の日立港潮位       |

津波水位 = 潮位 + 水位変動量 + 2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量

### 津波伝播に関するモデルに用いた地形データ

| 項目   | データ  |
|------|--|
| 陸上地形 | ・ 津波解析用地形データ: 茨城県(2007)<br>・ 敷地平面図: 日本原子力発電(株)(2007)   |
| 海底地形 | ・ JTOPO30: (財)日本水路協会(2006)<br>・ 沿岸の海の基本図デジタルデータ: (財)日本水路協会(2002)<br>・ 津波解析用地形データ: 茨城県(2007)<br>・ 東海水深図: 日本原子力発電(株)(2007) |



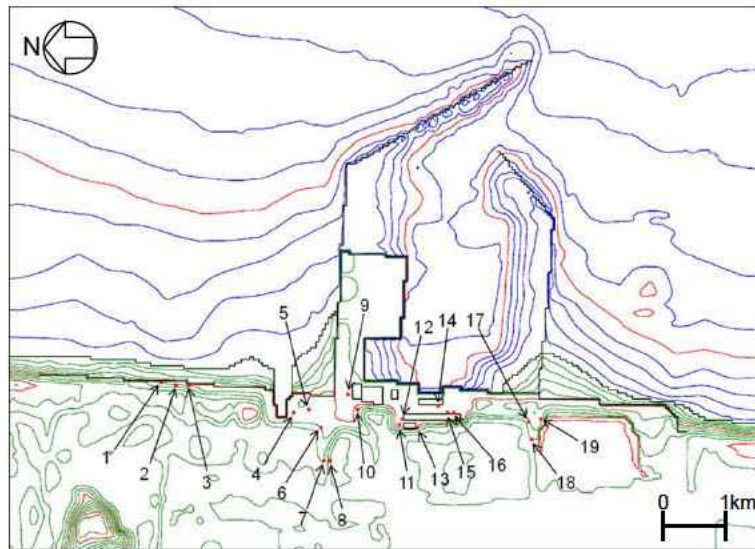
計算領域と格子分割(発電所周辺)

計算領域と格子分割(沖合~沿岸域)

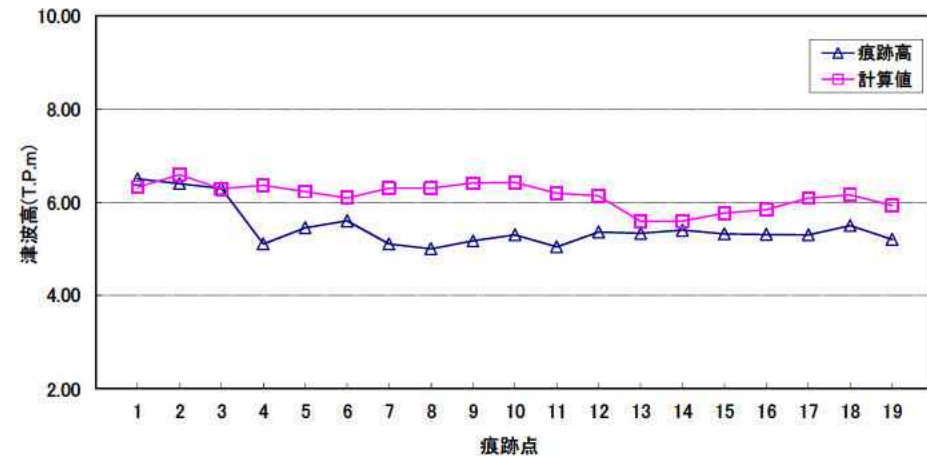
- 設定した波源モデルは、発電所では痕跡高に対して計算値の方が大きくなっているが(幾何平均 $K=0.89$ )、幾何標準偏差( $\kappa=1.08$ )は土木学会(2016)の再現性の目安値を満足している。
- なお、幾何平均 $K$ は1より小さい(痕跡高に対して計算値の方が大きい)ため保守的である。

<計算値と痕跡高の比較>

- 痕跡点1~19の計算値と痕跡高の傾向の違いを比較した。
  - 痕跡点1~3周辺には、構造物が無い。
  - 痕跡点1~3以外の周辺には、構造物が有る。
- 構造物が有る、痕跡点1~3以外の周辺には、モデル化していない構造物(地震や津波に耐えられないもの)もあるため、計算値と痕跡高の差を生じさせたと考えられる。



敷地内評価点



計算値と痕跡高の比較

| 地点数<br>n | 幾何平均<br>K | 幾何標準偏差<br>$\kappa$ |
|----------|-----------|--------------------|
| 19       | 0.89      | 1.08               |

【幾何平均 $K$ 及び幾何標準偏差 $\kappa$ の再現性の目安】

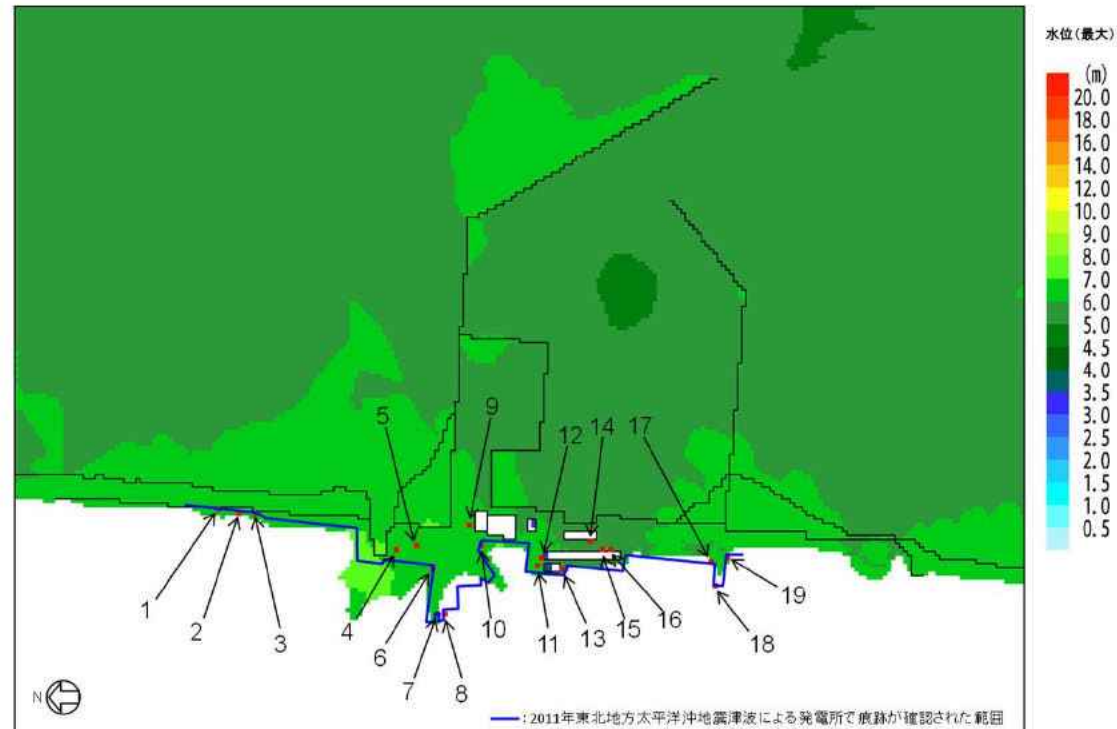
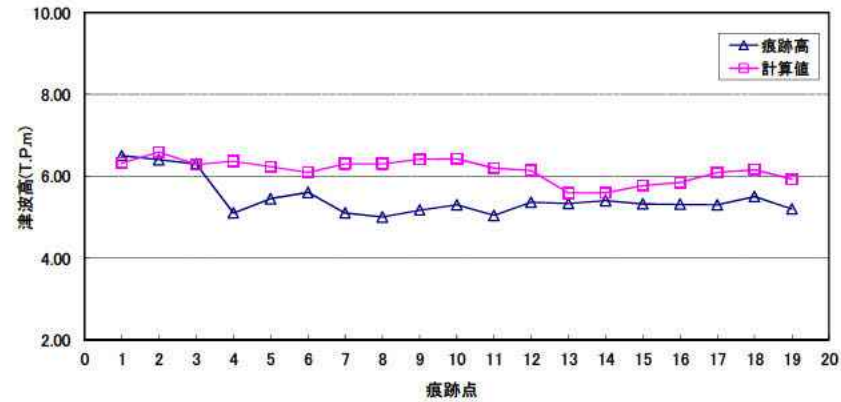
$0.95 < K < 1.05$

$\kappa < 1.45$

(土木学会(2016))

波源モデルや発電所周辺(最小5mのメッシュサイズ)の津波伝播に関するモデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震津波の津波痕跡高さを良好に再現出来ることを確認している。

- 2011年東北地方太平洋沖地震津波による発電所で痕跡が確認された範囲と再現計算による浸水範囲を比較した結果、同程度であり、波源モデルや津波伝播に関するモデル(評価するモデル)は妥当であることを確認している。



2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算の浸水範囲

論点No.27,28,30-6

【論点No.27】

防潮堤の構造及び設置ルート変更後の基準津波の遡上に関する再解析結果及び再現性確認の妥当性について

【委員からの指摘事項等】

No.19

痕跡値は50mのメッシュでは解像できない場所の詳細の津波の遡上現象まで含まれた結果であることに留意した上で再現すること。

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

P.2-5

【論点No.28】

東日本大震災の痕跡値と再現解析の浸水範囲との比較及びその結果について

【委員からの指摘事項等】

No.20

東北地方太平洋沖型の津波波源の発電所周辺の再現性確認結果に関して、評価するモデルが妥当であるか、浸水範囲についても説明すること。

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

P.6

<第19回ワーキングチーム指摘事項>

東北地方太平洋沖型の津波遡上高の計算値と痕跡高の差にばらつきがみられる理由を説明すること。  P.5

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく



【論点No.30】

海底地形の考慮について(海底勾配が1/100以下程度の遠浅であることの考慮等を含む)

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

No.22

P.4

海底の地形を考慮した上で、今回の評価は十分に保守的であるということによいのか。



津波防護施設の耐震設計方針及び液状化対策における余震等の考慮について

【説明概要】

- 津波防護施設及び浸水防止設備は、地震や津波の襲来に対して、止水性及び構造健全性を維持する設計としている(1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計の基本方針)。
- 原地盤の液状化強度試験データに基づき適切に設定(平均値 $-1\sigma$ ,  $\sigma$ は標準偏差)した液状化強度特性を用いて解析評価を行い、液状化の発生は認められないことを確認した(2. 地震時における東海第二発電所敷地内の地盤状況)。
- 更に保守的に、敷地には存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性を用いて、地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析評価も実施し、構造物の健全性に問題がないことを確認した。(3. 土木構造物(防潮堤を含む)の液状化影響等を考慮した耐震設計)。

## 1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(1/4)

津波防護施設(防潮堤等の構造物)及び浸水防止設備(逆止弁等の機器・配管設備)は、止水性及び構造健全性を維持する設計としている。

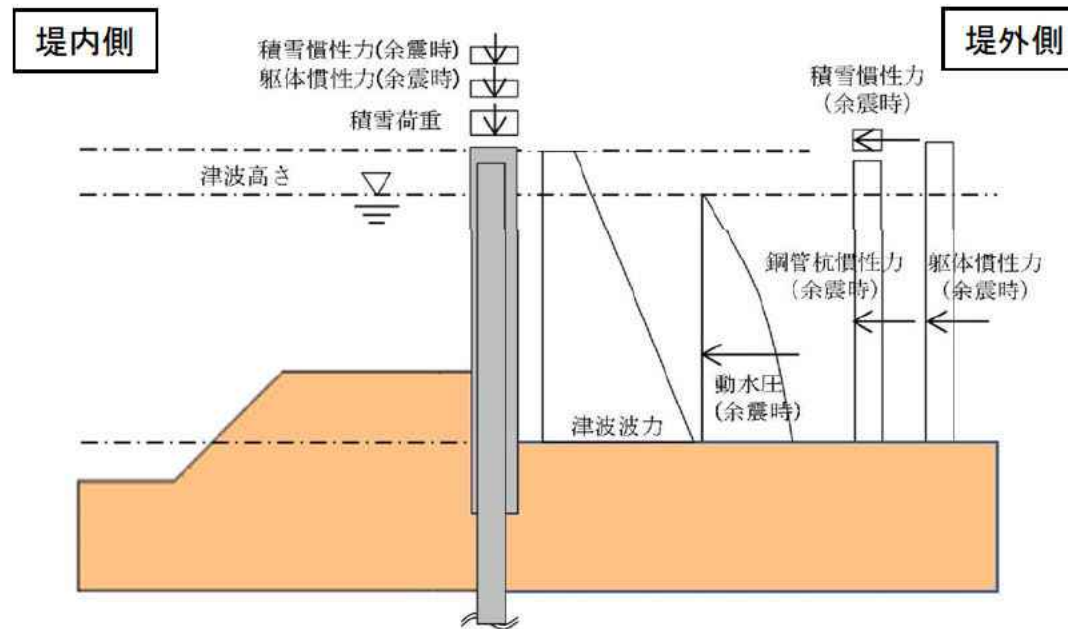
- 津波防護施設及び浸水防止設備は、以下に示す荷重条件に対して、止水性及び構造健全性を維持する設計としている。
  - 津波防護施設及び浸水防止設備は、基準地震動による荷重に風荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
  - 津波防護施設及び浸水防止設備は、津波荷重に地震(余震)による荷重、積雪荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
  - 津波防護施設及び浸水防止設備に漂流物が衝突する可能性がある場合には、津波荷重に漂流物の衝突荷重等を考慮した場合でも、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまる設計としている。
- 津波防護施設及び浸水防止設備は、地盤の液状化についての評価においても、主要部材がおおむね弾性範囲にとどまること及び支持性能が維持できることを確認し、止水性及び構造健全性が維持できる設計としている。
  - 東海第二発電所の原地盤物性を用いた耐震性評価においては、基準地震動 $S_s$ を入力しても、液状化の発生は認められないことを確認している。
  - 保守的に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施し、その場合でも主要部材がおおむね弾性範囲にとどまり、支持性能が維持できる設計としている。

# 1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(2/4)

津波防護施設の強度計算における津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せは, 以下のとおりである。

## ①津波荷重＋余震荷重

| 組合せ           | 津波荷重         | 余震荷重        | 漂流物荷重 |
|---------------|--------------|-------------|-------|
| 津波荷重<br>＋余震荷重 | 波力<br>(最大波高) | 慣性力<br>＋動水圧 | —     |

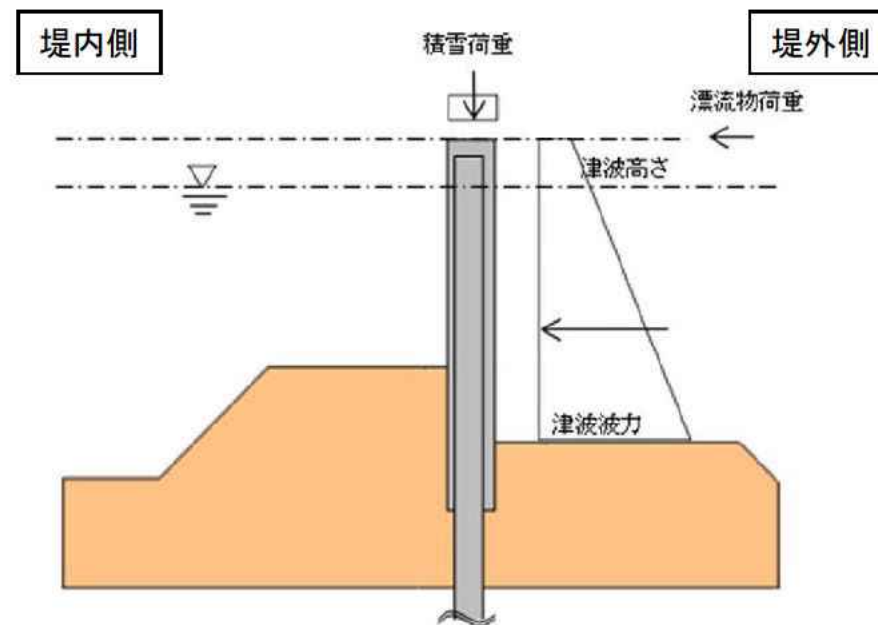


荷重作用図(津波荷重＋余震荷重)

# 1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(3/4)

## ②津波荷重＋漂流物荷重

| 組合せ            | 津波荷重         | 余震荷重 | 漂流物荷重           |
|----------------|--------------|------|-----------------|
| 津波荷重<br>＋漂流物荷重 | 波力<br>(最大波高) | —    | 漂流物荷重<br>(最大流速) |



荷重作用図(津波荷重＋漂流物荷重)

# 1. 津波防護施設及び浸水防止設備の構造設計方針(4/4)

(参考: 論点No.32【津波対策】再掲)

防潮堤の耐津波強度に係る評価及びその他の設計上の考慮を明確にし、**構造部材が津波時(津波の繰り返しの襲来や漂流物の衝突荷重を含む)及び余震との重畳時においても、許容限界(短期許容応力度)を満たしていることを確認している。**

| 評価箇所                    | 評価結果(照査値最大となる項目を記載) |           |        |                           |                           |      |
|-------------------------|---------------------|-----------|--------|---------------------------|---------------------------|------|
|                         | 評価項目                | 評価部位      | 応力分類   | 発生値                       | 許容限界                      | 照査値※ |
| 鋼製防護壁                   | 津波時<br>(敷地に遡上する津波時) | 地中連続壁     | せん断力   | 174627(kN)                | 264489(kN)                | 0.67 |
|                         | 重畳時<br>(敷地に遡上する津波時) | 地中連続壁     | 曲げ引張応力 | 445(N/mm <sup>2</sup> )   | 478.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.93 |
| 鉄筋コンクリート防潮壁             | 津波時<br>(敷地に遡上する津波時) | フーチング     | せん断力   | 3246(kN)                  | 4790(kN)                  | 0.68 |
|                         | 重畳時<br>(敷地に遡上する津波時) | 地中連続壁     | 曲げ引張応力 | 423.9(N/mm <sup>2</sup> ) | 478.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.89 |
| 鉄筋コンクリート防潮壁<br>(放水路エリア) | 津波時<br>(敷地に遡上する津波時) | 防潮壁       | 曲げ引張応力 | 352.3(N/mm <sup>2</sup> ) | 478.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.74 |
|                         | 重畳時<br>(敷地に遡上する津波時) | 防潮壁       | 曲げ引張応力 | 253.4(N/mm <sup>2</sup> ) | 478.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.53 |
| 鋼管杭鉄筋コンクリート<br>防潮壁      | 津波時<br>(敷地に遡上する津波時) | 鉄筋コンクリート壁 | 曲げ引張応力 | 428(N/mm <sup>2</sup> )   | 478.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.90 |
|                         | 重畳時<br>(敷地に遡上する津波時) | 鋼管杭       | 曲げ応力   | 352(N/mm <sup>2</sup> )   | 433.5(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.82 |

※ 照査値=発生値/許容限界  
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

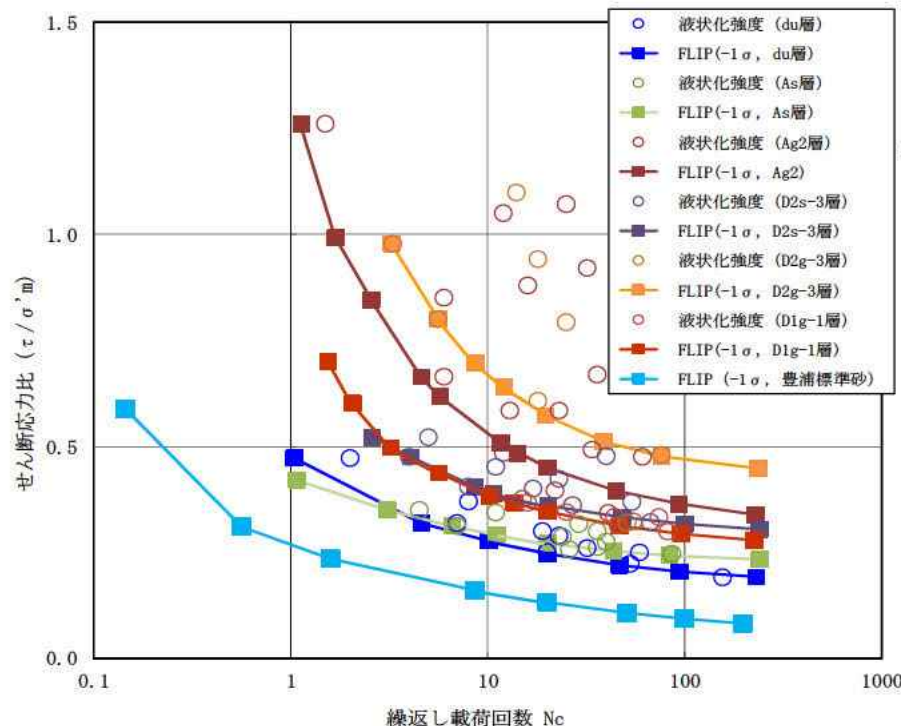
## 2. 地震時における東海第二発電所敷地内の地盤状況(1/2)

東海第二発電所の原地盤物性を用いた有効応力解析(FLIP<sup>注1)</sup>)において、地下水位を地表面に設定して基準地震動 $S_s$ を入力しても、液状化の発生は認められないことを確認している。

- 条件：
- 地下水位を地表面に設定した。
  - 原地盤の液状化強度試験データに基づき、原地盤の液状化強度特性を適切(平均値 $-1\sigma$ ,  $\sigma$ は標準偏差)に設定した。

確認内容：液状化の影響を考慮した解析を実施し、重要施設の周辺地盤に対し基準地震動 $S_s$ を入力した場合の地震時応答(液状化の状況)を確認する。

解析結果：防潮堤設置に伴う地下水位上昇の可能性を考慮し、耐震及び耐津波設計時には地下水位を地表面に設定しても地震時に敷地の原地盤の各地層内の過剰間隙水圧比が95%を下回ることから、液状化の発生は認められないことを確認した。



液状化強度試験に基づく原地盤の液状化強度特性

**注1) FLIP: Finite element analysis of Liquefaction Program**

1988年港湾技術研究所で開発された液状化現象を土の有効応力法に基づく二次元地震応答解析プログラム

**【過剰間隙水圧比を指標とした液状化の評価】**

規格・基準における記載事例等に基づき、過剰間隙水圧比が95%以上に達した状態を液状化と判定する。

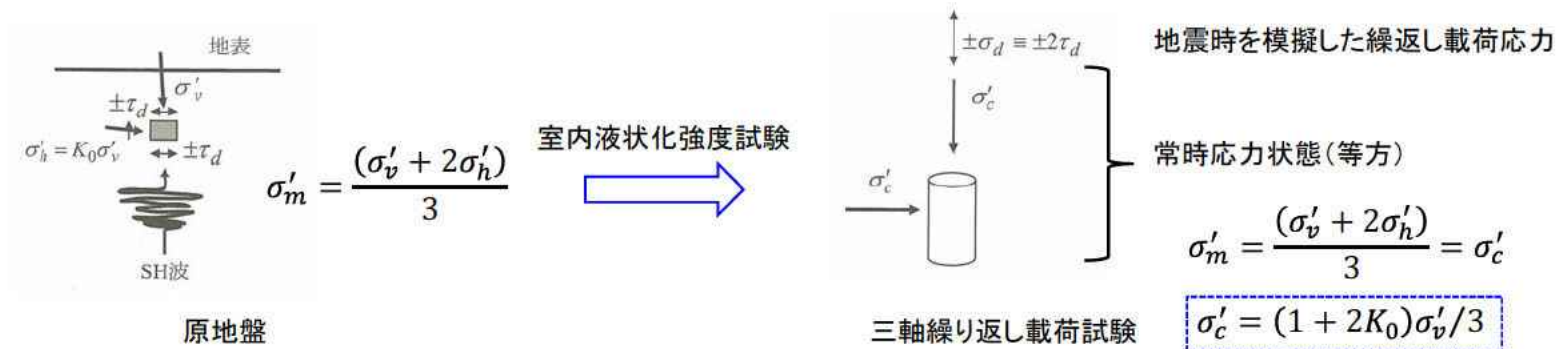
base: TK2-SCR\_2D-DYNA\_Ss-D1L++  
過剰間隙水圧比  
絶対値最大



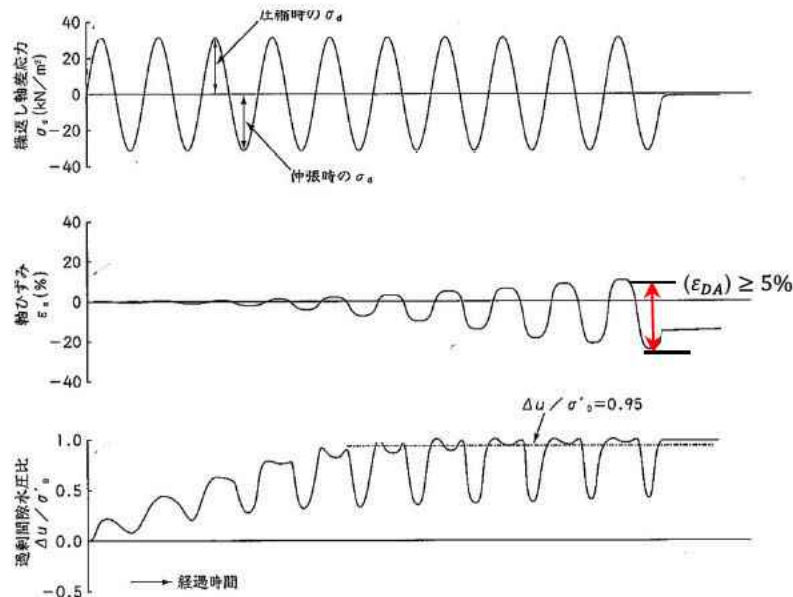
取水構造物周辺地盤の過剰間隙水圧比分布( $S_s$ -D1)

## 2. 地震時における東海第二発電所敷地内の地盤状況(2/2)

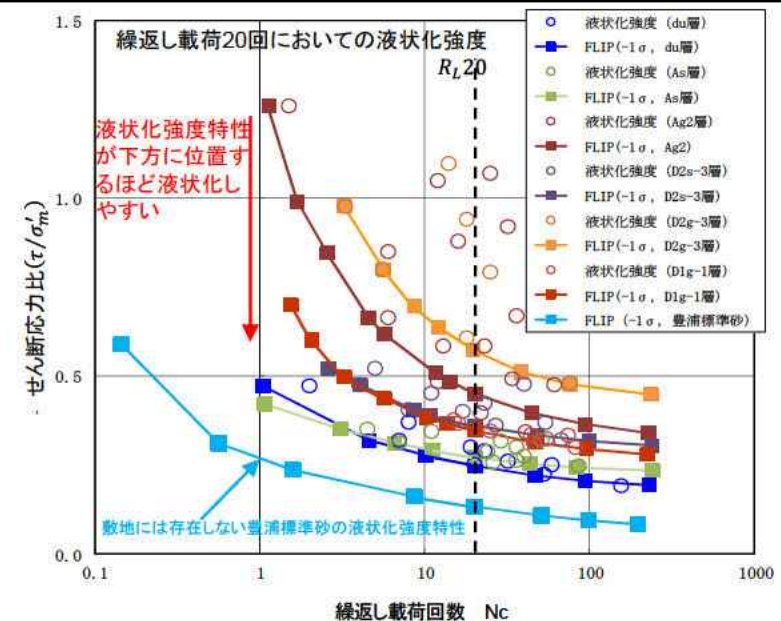
### ➤ 室内液状化強度試験



- ・原地盤より採取した試料を用いて各層毎に $\tau_d$ を変化させ、いくつかのケースの試験を実施し、供試体の過剰間隙水圧( $u/\sigma'_m$ )  $> 95\%$ 、または軸ひずみ両振幅( $\epsilon_{DA}$ )  $\geq 5\%$ に達したときの繰返し载荷回数とせん断応力比( $\tau/\sigma'_m$ )をグラフにプロットする。
- ・各土層の試験結果からデータの平均及びばらつきを考慮した(-1 $\sigma$ )液状化強度特性を設定する。
- ・試験から得られた各土層の液状化強度特性に基づき、FLIP解析パラメータを設定。



三軸繰返し载荷試験(測定データ)



各土層の液状化強度試験結果及び液状化強度特性

### 3. 土木構造物(防潮堤を含む)の液状化影響等を考慮した耐震設計(1/3)

有効応力解析において、液状化の発生は認められないことを確認しているが、地盤の液状化強度特性及びせん断波速度 $V_s$ (地盤の剛性を示す指標)のばらつきを考慮した評価に加え、地盤を強制的に液状化させることを仮定した設計としている。

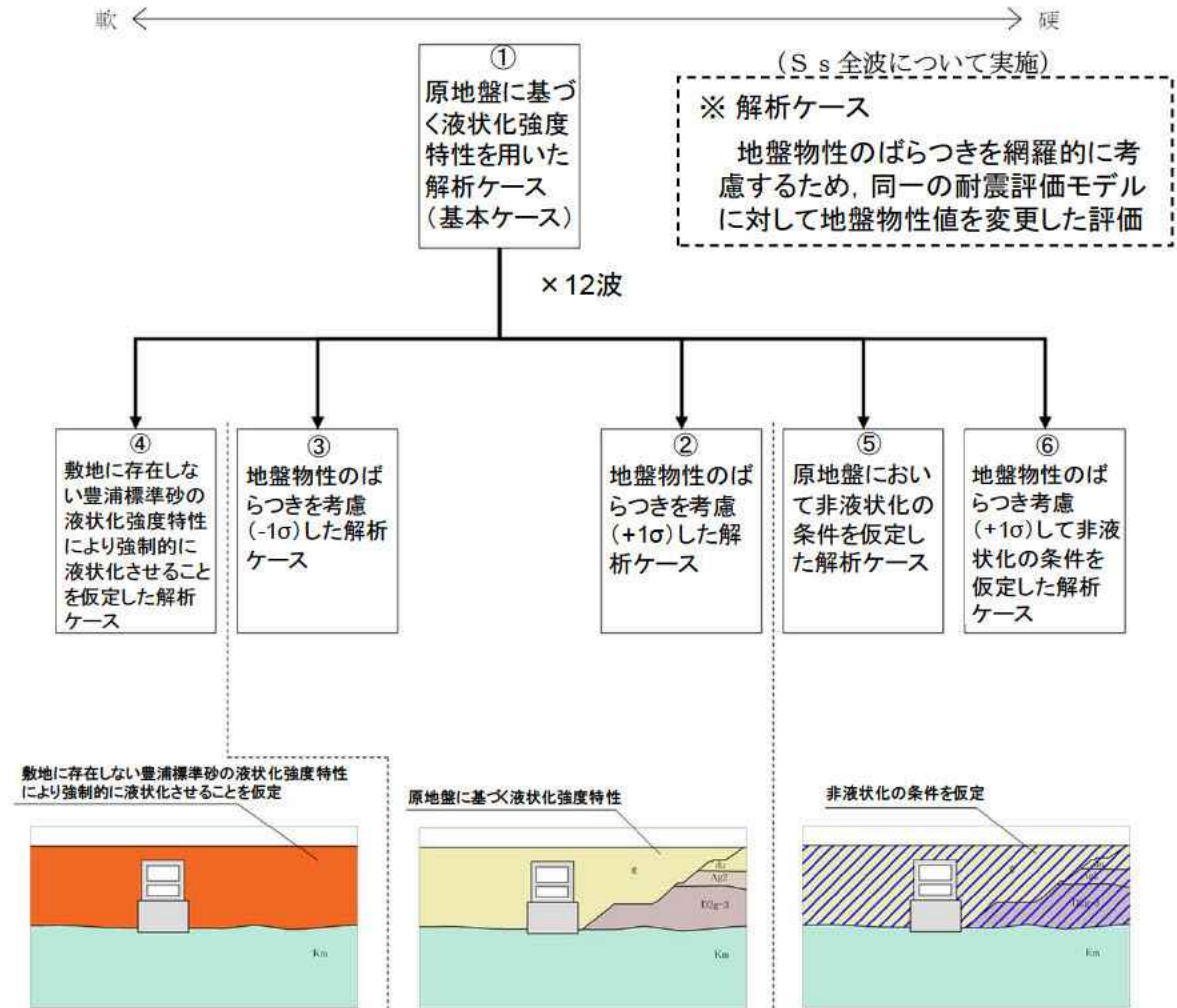
#### 【強制的な液状化を仮定した評価】

地中土木構造物への保守的な配慮として、敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により地震時に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施し、耐震性を確認している。

#### 【地盤のばらつきを考慮した解析ケース】

上記の解析(解析ケース④)を含めた、以下の解析ケースを実施することで地盤の液状化強度特性及びせん断波速度 $V_s$ (地盤の剛性を示す指標)のばらつきを考慮した耐震評価を行っている。

- ① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)
- ② 地盤物性のばらつきを考慮(+1 $\sigma$ )した解析ケース
- ③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1 $\sigma$ )した解析ケース
- ④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
- ⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
- ⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1 $\sigma$ )して非液状化の条件を仮定した解析ケース



屋外重要土木構造物及び津波防護施設の耐震評価における検討ケース



### 3. 土木構造物(防潮堤を含む)の液状化影響等を考慮した耐震設計(2/3)

#### 敷地内の液状化検討対象土層の抽出方針

- ① 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編, 平成24年3月, 社団法人 日本道路協会)の液状化検討対象土層を基本とする。
  - ・ 地下水位が地表面から-10m以内であり, かつ地表面から-20m以内の飽和土層
  - ・ 細粒分含有率 $F_c$ が35%以下, 又は $F_c$ が35%を超えても塑性指数 $I_p$ が15以下の土層
  - ・ 土粒子の平均粒径 $D_{50}$ が10mm以下で, かつ10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下である土層
- ② 道路橋示方書では液状化検討対象外としているが、保守的に地表面-20m以深及び更新統土層も液状化検討対象土層とする。

液状化検討対象層の抽出結果

| 地質記号 | 層相    | 道路橋示方書における液状化検討対象層 | 当社の液状化検討対象層 | 備考 |                               |
|------|-------|--------------------|-------------|----|-------------------------------|
| al   | du    | 砂                  | ○           |    |                               |
|      | Ag2   | 砂礫                 | ○           |    |                               |
|      | Ac    | 粘土                 | —           |    |                               |
|      | As    | 砂                  | ○           |    |                               |
|      | Ag1   | 砂礫                 | —           | □  | ・ GL-20m以深に分布するが、保守的に検討対象とする。 |
| D2   | D2c-3 | シルト                | —           |    |                               |
|      | D2s-3 | 砂                  | —           | □  | ・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。         |
|      | D2g-3 | 砂礫                 | —           | □  | ・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。         |
| D1   | lm    | ローム                | —           |    |                               |
|      | D1c-1 | シルト                | —           |    |                               |
|      | D1g-1 | 砂礫                 | —           | □  | ・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。         |

↑  
敷地に分布する地層名

#### 地質記号

al: 沖積層、最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。  
D2: 段丘堆積物、敷地南部に分布する。  
D1: 段丘堆積物、敷地南西部に分布する。

○: 検討対象

□: 道路橋示方書では検討対象外であるが  
検討対象とするもの

—: 検討対象外

□: 東海第二発電所敷地での液状化  
検討対象土層とするもの

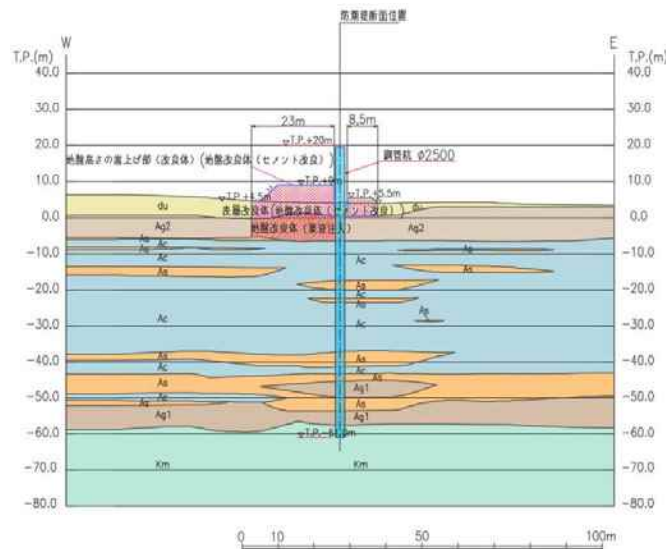
### 3. 土木構造物(防潮堤を含む)の液状化影響等を考慮した耐震設計(3/3)

○ 津波防護施設の耐震性評価結果の一例として、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の照査結果を示す。

- 条件：
- 地下水位を地表面に設定
  - 原地盤の液状化強度試験データに基づき液状化強度特性を適切に設定(平均値-1σ)
  - 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性も設定(安全側の評価)

確認内容： 液状化の影響を考慮した解析を実施し、地震時における構造部材の健全性を確認する。  
(液状化により地盤が流動化し、地中構造物に作用する土圧が大きくなるため、これを考慮した健全性について確認する)。

解析結果： 鋼管杭のせん断、曲げの照査値(応力度評価値/短期許容応力度)は1.0を下回り、防潮壁が構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認した。



地震応答解析対象断面図

鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

| 鋼管杭仕様      |            |                          | 発生断面力        |  | 応力度<br>$\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 短期許容<br>応力度<br>$\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\tau_s / \tau_{sa}$ | 解析ケース               |
|------------|------------|--------------------------|--------------|--|--------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| 杭径<br>(mm) | 板厚<br>(mm) | 断面積<br>(m <sup>2</sup> ) | せん断力<br>(kN) |  |                                      |   |                             |                     |
| 2500       | 35         | 0.263                    | 9265         |  | 71                                   | 217.5   | 0.33                        | ④S <sub>s</sub> -D1 |

※ 照査値=応力度/短期許容応力度  
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

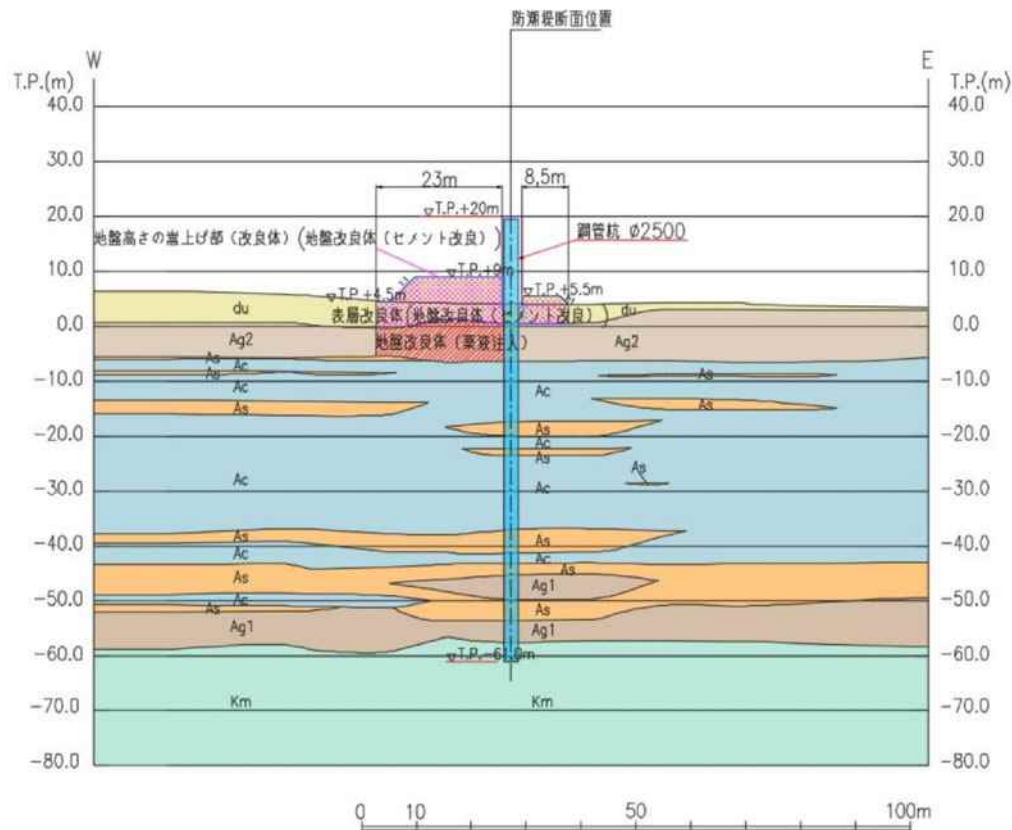
鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値

| 鋼管杭仕様      |            |                          |                           | 発生断面力                 |            | 応力度<br>$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 短期許容<br>応力度<br>$\sigma_{sa1}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\sigma_s / \sigma_{sa1}$ | 解析ケース               |
|------------|------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|------------|--|---|----------------------------------|---------------------|
| 杭径<br>(mm) | 板厚<br>(mm) | 断面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 断面係数<br>(m <sup>3</sup> ) | 曲げ<br>モーメント<br>(kN・m) | 軸力<br>(kN) |  |   |                                  |                     |
| 2500       | 35         | 0.263                    | 0.15995                   | 34955                 | 9015       | 253                                    | 382.5   | 0.67                             | ②S <sub>s</sub> -D1 |

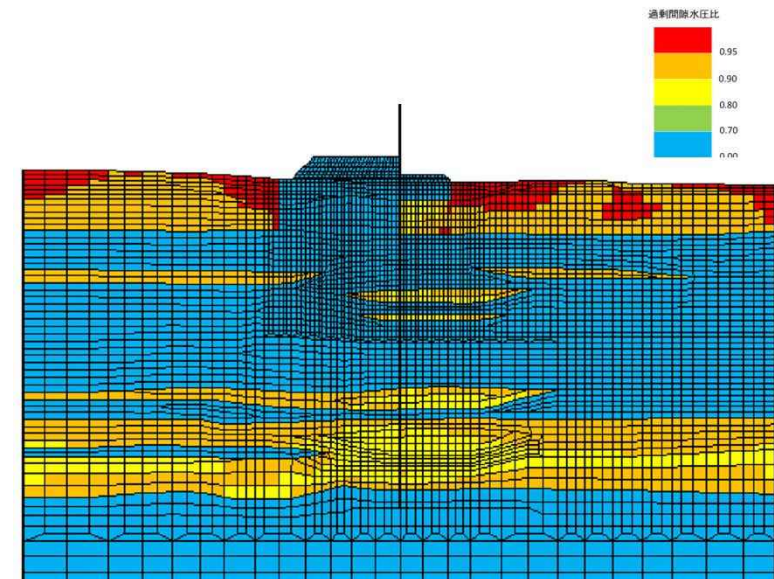
※ 照査値=応力度/短期許容応力度  
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

## 4. 本震及び余震時の原地盤の液状化による構造物への影響

- ・ 豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した十分安全側の耐震評価で防潮堤の構造成立性（部材のせん断，曲げの照査値が1.0を下回り，十分な構造強度を有すること及び止水性を損なわないこと）を確認した。
- ・ 防潮堤周辺の表層地盤は地盤改良（セメント系及び薬液注入系）により液状化対策を実施していることから、本震や余震に起因する周辺地盤の液状化による構造物への影響はない。



防潮堤断面図



敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析結果（過剰間隙水圧比分布， $S_s - D1(H+, V+)$ ）



【論点No.34】

津波防護施設の耐震設計方針及び液状化対策における余震等の考慮について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

No.28

津波は地震随件事象であることから、津波防護施設の耐震設計方針及び液状化対策において、余震等の影響をどのように考慮しているか。

P.2

P.5-10

論点No.32参照

原子炉建屋等の内郭防護及び溢水影響評価の詳細について

【説明概要】

■第19回

- 内郭防護として、地震により機器の損傷等が生じることを想定し、損傷箇所からの保有水の流出及び津波の流入による溢水量を評価し、原子炉建屋等の防護対象区画への影響はないことを確認している。
- 構内排水路による排水機能や地盤への浸透は考慮しない等の保守的な条件で、溢水伝搬挙動解析を実施した結果、原子炉建屋の浸水深は0.13m、使用済燃料乾式貯蔵建屋回りの浸水深が0.12mである。
- 浸水深が、原子炉建屋の床面高さ0.2m、使用済燃料乾式貯蔵建屋の床面高さ0.3mを超えないため、防護対象区画への浸水影響はない。

■今回

- 追加の指摘事項について、津波溢水防護のインターロックの不作動を考慮した場合でも、津波PRAへの影響は生じない。

●内郭防護として、機器の損傷等を想定し、損傷箇所からの保有水の流出及び津波の流出による溢水の影響を評価した結果、原子炉建屋等への影響はなかった。

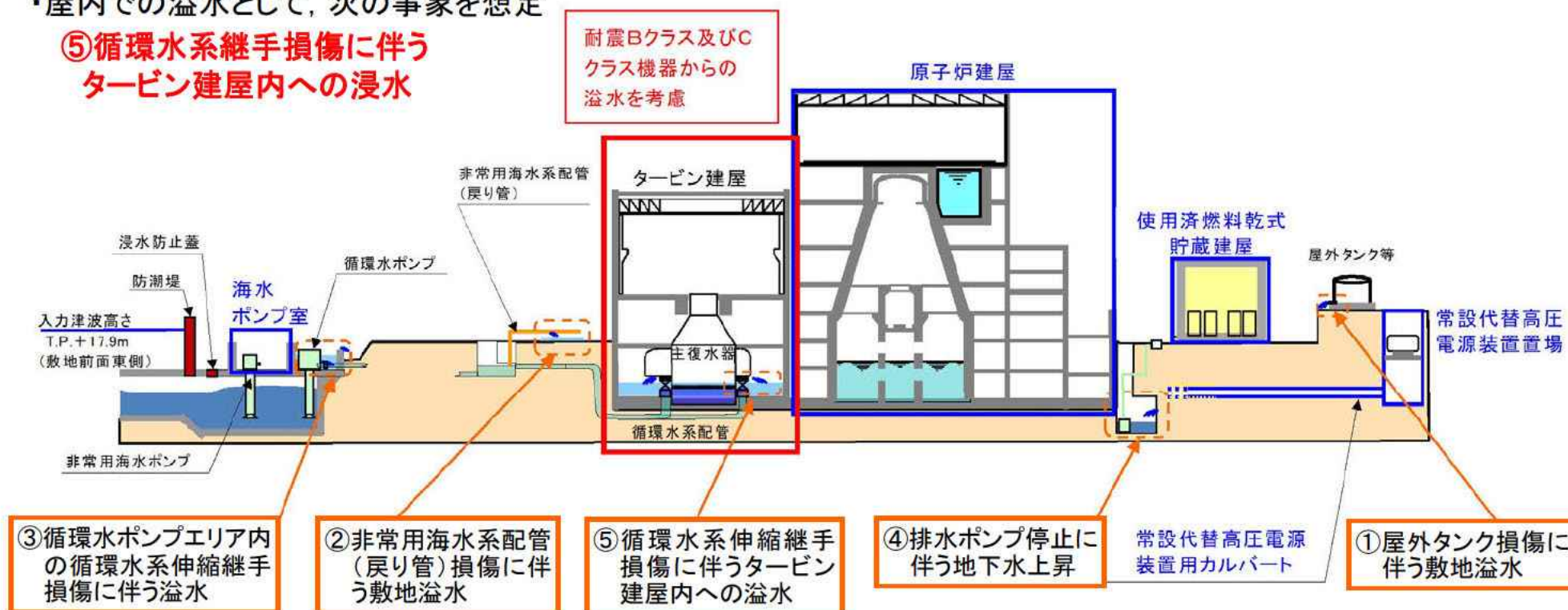
・地震により機器の損傷等が生じることを想定し、損傷箇所からの保有水の流出及び津波の流出による溢水量を評価し、原子炉建屋等への影響を確認

・屋外での溢水として、次の事象を想定

- ①屋外タンク損傷に伴う敷地溢水
- ②非常用海水系配管(戻り管)損傷に伴う敷地浸水
- ③循環水ポンプエリア内の循環水系伸縮継手損傷に伴う浸水
- ④排水ポンプ停止に伴う地下水上昇

・屋内での溢水として、次の事象を想定

- ⑤循環水系継手損傷に伴うタービン建屋内への浸水



## 屋外で敷地に浸水する溢水

注: 本評価は、屋外タンクの移設を反映して再評価した結果を示す。  
 なお、移設前の評価については<別紙1>に示す。

### ①屋外タンク等の損傷に伴う敷地浸水

#### ◆溢水量評価 その1(溢水浸水深評価)

- ・屋外タンクの損傷により保有水が流出し、滞留する範囲を考慮して評価した結果、浸水深は約0.1m(以下)となった。
- ・T.P.+8mにおける原子炉建屋の床面高さは0.2m、使用済燃料乾式貯蔵建屋の床面高さは0.3mであり、

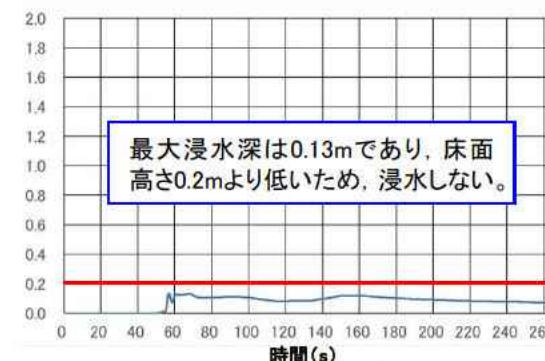
**本評価では屋外タンクの損傷に伴う溢水は流入しない。**

滞留する範囲を考慮して評価した結果

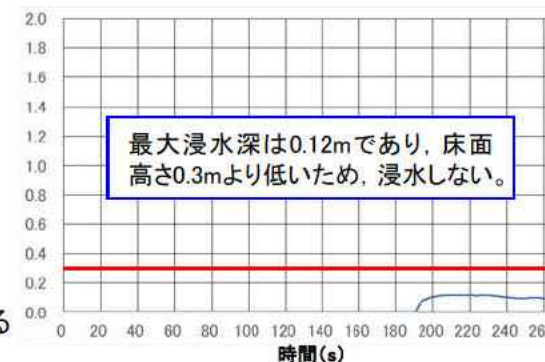
溢水源からの距離・面積に応じた浸水深

| 範囲 | 溢水源からの距離 | 評価浸水深 |
|----|----------|-------|
| ①  | 50m      | 1.61m |
| ②  | 100m     | 0.41m |
| ③  | 200m     | 0.11m |

| 建屋          | 許容浸水深(床面の高さ) | 敷地浸水深  | 評価結果 |
|-------------|--------------|--------|------|
| 原子炉建屋       | 0.2m         | 約0.1m  | 影響なし |
| 使用済燃料乾式貯蔵建屋 | 0.3m         | 0.1m以下 | 影響なし |



①原子炉建屋(機器搬入口前)



②使用済燃料乾式貯蔵建屋

#### ◆溢水量評価その2(溢水伝搬挙動解析)

- ・屋外タンクが損傷して保有水(4500m<sup>3</sup>)が流出した時の溢水伝搬挙動解析を実施し、原子炉建屋の機器搬入口及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位を評価
- ・原子炉建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.2mより低く、浸水しないため、**防護対象区画への影響はなし**
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.3mより低く、浸水しないため、**防護対象区画への影響はなし**

⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、**防護対象区画への溢水影響がないことを確認**

評価箇所

評価箇所における浸水深

## 屋外で敷地に浸水する溢水

### ②非常用海水系配管(戻り管)損傷に伴う敷地浸水

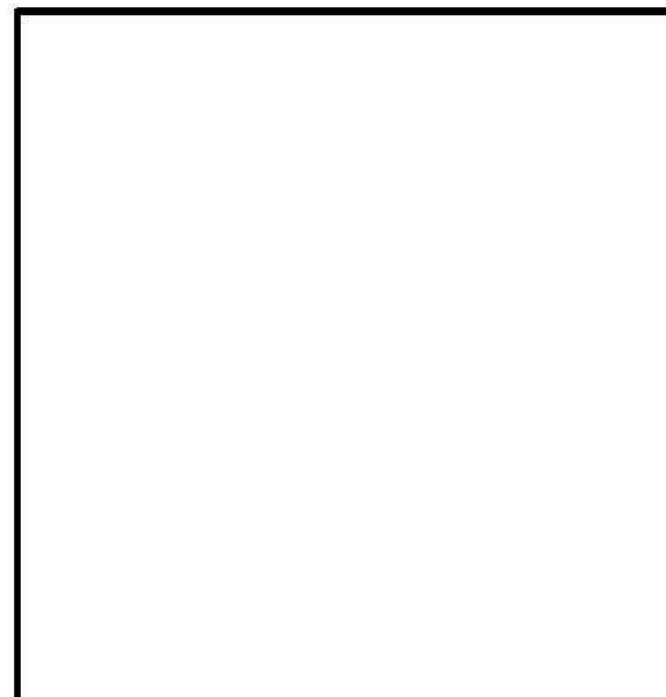
#### ◆溢水影響評価

○非常用海水系配管(戻り管)の損傷部からの非常用海水ポンプの運転に伴う溢水と津波の流入に伴う溢水を考慮して、原子炉建屋及び使用済燃料貯蔵建屋への影響を評価

- ・非常用海水ポンプの運転継続を想定し、ポンプ全7台運転に伴う流量約4321m<sup>3</sup>/hが流出することを考慮する。
- ・津波の襲来までに放水路ゲートの閉止が可能であることから、放水路を逆流した敷地内への津波の流入は考慮しない。
- ・損傷部から流出した溢水は、敷地に広がるものとして評価する。

○評価の結果→原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋回りの浸水深は0.2m以下となり、床面高さより低いため浸水しない。

⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、防護対象区画への溢水影響がないことを確認



非常用海水系配管(戻り管)設置箇所



## (1) 屋外の区画内での溢水

### ③ 循環水ポンプエリア内での循環水系伸縮継手損傷に伴う浸水

#### ◆ 溢水量評価

- ・ 損傷部からの溢水及び津波の流入を考慮※1

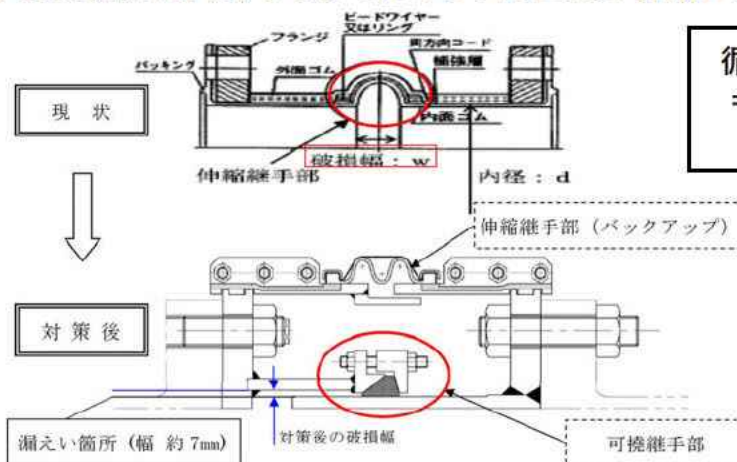
※1 漏洩検知器により損傷部からの溢水を検知し、循環水ポンプを停止して出口弁を閉止するインターロックを設ける。このため、**地震発生からポンプ停止及び出口弁閉止まで(5分間)の間の損傷部から流入する溢水量を考慮する。**

なお、インターロックにより、津波が襲来(約37分後)するまでにポンプ停止及び弁閉止が可能のため、津波の流入を考慮する必要はない。

注: インターロックのシステム信頼性評価については別紙3>に示す。

循環水系伸縮継手をゴム製伸縮継手からメカニカル式クローザージョイントに取替実施  
⇒ 現状の伸縮継手からのリング破損による溢水量を大幅に低減※2

※2 流出箇所(損傷箇所)の面積が1/10以下となるので、溢水量を大幅に低減できる。



循環水ポンプ出口弁と伸縮継手配置変更  
⇒ 弁閉止で流入を遮断し津波浸水を防ぐ  
<別紙2参照>



変更前(現状)

溢水量 約515m<sup>3</sup>

循環水ポンプエリア内に貯留可能な容量 約645m<sup>3</sup>

⇒ これらの対策により循環水ポンプエリア内で貯留可能であり他区画への流出がないことを確認

貫通部止水対策は、海水ポンプ室の浸水防護重点化範囲を全て実施

### ④ 排水ポンプ停止に伴う地下水位上昇

#### ◆ 溢水量評価

- ・ 保守的に、地下部がすべて浸水すると想定しても影響しない。

浸水水位 T.P.+8.0m(敷地地下部)

地下部には止水処置を実施しており、**防護対象区画である原子炉建屋内に浸水することはない。**

## (2) 屋内での溢水

### ⑤ 循環水系伸縮継手損傷に伴うタービン建屋内への浸水

#### ◆ 溢水量評価

- ・ 損傷部からの保有水及び津波の流入(※)と耐震B, Cクラス機器の破損による溢水を考慮
- ・ 溢水量が、タービン建屋の地下部に貯留可能な容量以下となることを確認

※漏洩検知器による循環水ポンプ停止と隔離弁閉インターロックを設ける。ポンプ停止及び弁閉止まで(5分間)の流入量を浸水量評価により算定。また、漏洩を検知した際のインターロックにより、津波が襲来するまでにポンプ停止及び弁閉止が可能なため、津波は流入しない。

地震起因による溢水量

| 項 目                |   | 溢水量(m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---|----------------------|
| 循環水系配管伸縮継手部の損傷箇所   | 地震発生から漏洩検知インターロックによる循環水ポンプ停止および復水器水室出入口弁の閉止までの溢水量 | 約14,723              |
|                    | 津波の流入量  | 0                    |
| 耐震B, Cクラス機器の保有水量   |   | 約8,610               |
| 屋外タンク等の損傷による溢水の流入量 |   | 約101                 |
| 合 計                |   | 約23,434              |

≤

注:インターロックのシステム信頼性評価については別紙3>に示す。

タービン建屋の溢水を貯留できる空間容積\*

| タービン建屋階層             | 空間容積(m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-----------------------|
| T.P.-4.00~T.P.-1.60m | 約2,784                |
| T.P.-1.60~T.P.+5.50m | 約17,326               |
| T.P.+5.50~T.P.+8.20m | 約6,589                |
| 合 計                  | 約26,699               |

\* 溢水を貯留できる空間の大部分は地下部であり、溢水の滞留に対して貯留できる機能を保持できる。

⇒タービン建屋の地下部に貯留可能であり、他区画への流出がないことを確認

約23,434m<sup>3</sup>(地震起因による溢水量) < 約26,699m<sup>3</sup>(タービン建屋の溢水を貯留できる空間容積)

貫通部止水対策は、裕度を見込みT.P.+8.2mまで実施

屋外で敷地に浸水する溢水

①屋外タンク等の損傷に伴う敷地浸水

◆溢水量評価 その1(溢水浸水深評価)

- ・屋外タンクの損傷により保有水が流出し、滞留する範囲を考慮して評価した結果、浸水深は約0.1mとなった。
- ・T.P.+8mにおける原子炉建屋の床面高さは0.2m、使用済燃料乾式貯蔵建屋の床面高さは0.3mであり、

**本評価では屋外タンクの損傷に伴う溢水は流入しない。**

滞留する範囲を考慮して評価した結果

溢水源からの距離・面積に応じた浸水深

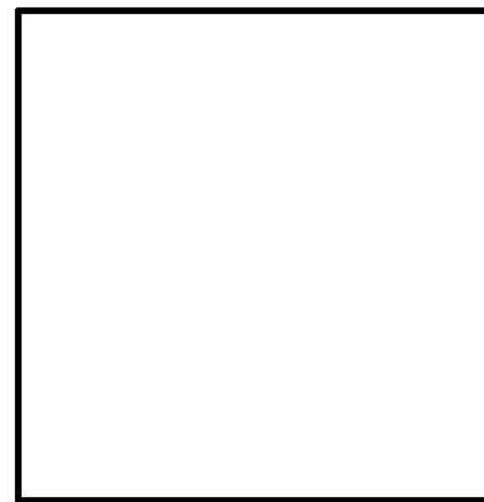
| 範囲 | 溢水源からの距離 | 評価浸水深 |
|----|----------|-------|
| ①  | 50m      | 1.61m |
| ②  | 100m     | 0.41m |
| ③  | 200m     | 0.11m |

| 建屋          | 許容浸水深(床面の高さ) | 敷地浸水深 | 評価結果 |
|-------------|--------------|-------|------|
| 原子炉建屋       | 0.2m         | 約0.1m | 影響なし |
| 使用済燃料乾式貯蔵建屋 | 0.3m         | 約0.1m | 影響なし |

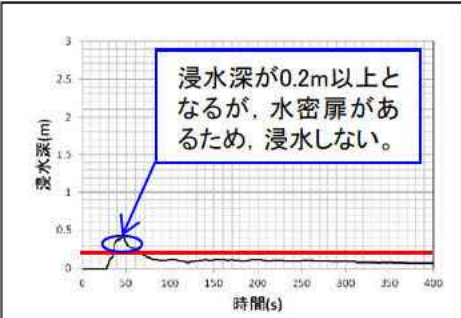


◆溢水量評価その2(溢水伝搬挙動解析)

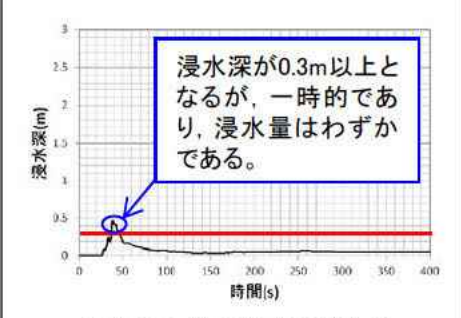
- ・屋外タンクが損傷して保有水が流出した時の溢水伝搬挙動解析を実施し、原子炉建屋の機器搬入口及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位を評価
- ・原子炉建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.2mを超えるものの、一時的であり、搬入口には水密扉があるため、**防護対象区画への浸水影響はなし**
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の機器搬入口の浸水水位は、床面高さ0.3mを超えるものの、一時的であり、浸水量はわずかであり、**防護対象区画への影響はなし**



評価箇所



①原子炉建屋(機器搬入口前)



②使用済燃料乾式貯蔵建屋(機器搬入口前)

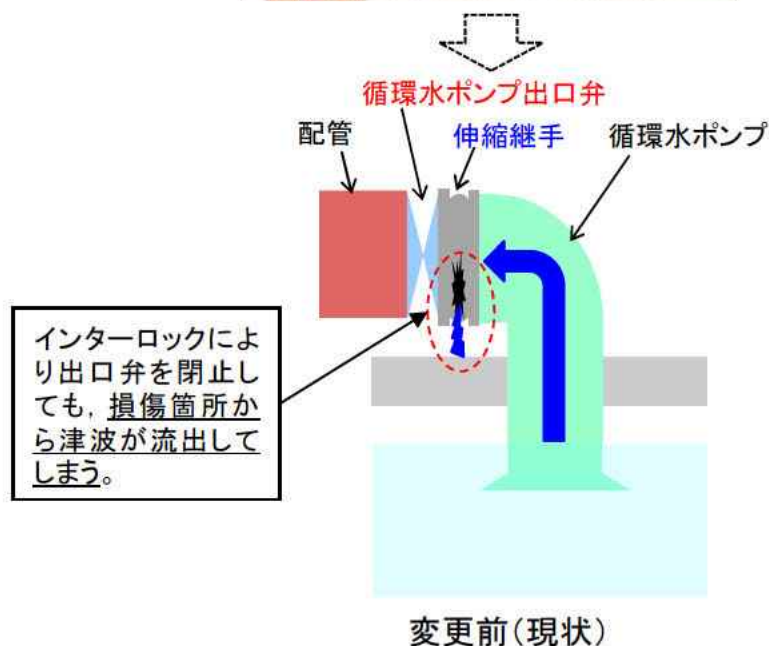
評価箇所における浸水深

⇒原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋等について、防護対象区画への溢水影響がないことを確認

## <別紙2> 出口弁と伸縮継手の配置変更による対策について

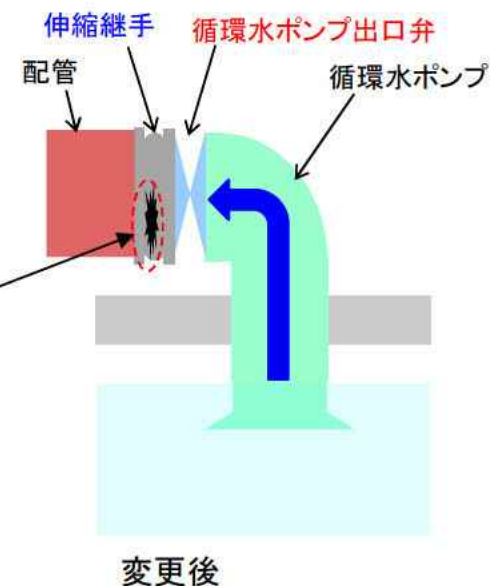
○循環水ポンプ出口弁と伸縮継手の位置を入替え、循環水ポンプ側からの津波の流入を防止する。

- ・現状は、「循環水ポンプー伸縮継手ー循環水ポンプ出口弁ー配管」といった配置となっているため、インターロックにより循環水ポンプ出口弁を閉止しても、循環水ポンプ側から津波が回込み、伸縮継手の損傷箇所から流出してしまうので、循環水ポンプ側から津波が流入してしまう構造となっている。
- ・「循環水ポンプー循環水ポンプ出口弁ー伸縮継手ー配管」といった配置に変更し、インターロックにより循環水ポンプ出口弁を閉止することにより、循環水ポンプ側から津波が流入することを防止できる構造とする。



構造変更

論点No.35-8



## ＜別紙3＞インターロックのシステム信頼性評価について

○循環水ポンプを停止し、電動弁を閉止するインターロックについて、システム信頼性評価を行った。

・本評価では、各検出器から要求されるインターロック(復水器廻り弁閉止など)までの回路の不作動確率を概略評価した。

・評価の結果、地震及び溢水発生時に当該インターロック(復水器廻りの弁の閉止信号及び循環水ポンプエリアの弁の閉止信号・循環水ポンプの停止信号)が作動しない確率は $2.8 \times 10^{-4}$ ／要求時と評価され、信頼性の高い電動弁(海水)の作動失敗の故障確率 $3.8 \times 10^{-4}$ ／要求時と比較して遜色のない十分な信頼性があることを確認した。

○当該インターロックの不作動を津波PRA※で考慮した場合においても、以下のとおり影響はない(補足図: No.35-13ページ)。

※ここでの津波PRAの目的は、有意な頻度・影響の新たな事故シーケンスの有無を確認することである

### ①タービン建屋(復水器エリア)の溢水

津波PRAでは、地震による機器の損傷は考慮しないPRAであるが、仮に地震による伸縮接手の破損とインターロックの不動作により津波が流入した場合、最終ヒートシンク喪失に至る可能性があるが、この事故シーケンスは既に選定済みであり、新たな事故シーケンスは抽出されない。また、津波PRAでは、炉心損傷防止・影響緩和設備としてタービン建屋に配置した設備に期待していない。

### ②循環水ポンプエリアの溢水

①の事象と同様に、最終ヒートシンク喪失に至る可能性があるが、この事故シーケンスは既に選定済みであり、新たな事故シーケンスは抽出されない。

○万一、津波到達時に当該インターロックの不作動が発生して津波の流入が継続し、最終的に隣接する非常用の海水ポンプ／モータが冠水、不作動になることを想定しても、SA設備として整備した常設代替高圧電源装置(空冷)、緊急用海水系等により炉心等の冷却は可能である。また、SA対策として原子炉建屋を水密化しているため、タービン建屋からの溢水や津波が原子炉建屋に到達した場合も枢要設備※への影響は無い。

※原子炉の冷却を達成するために、防護すべき必要最低限の設備

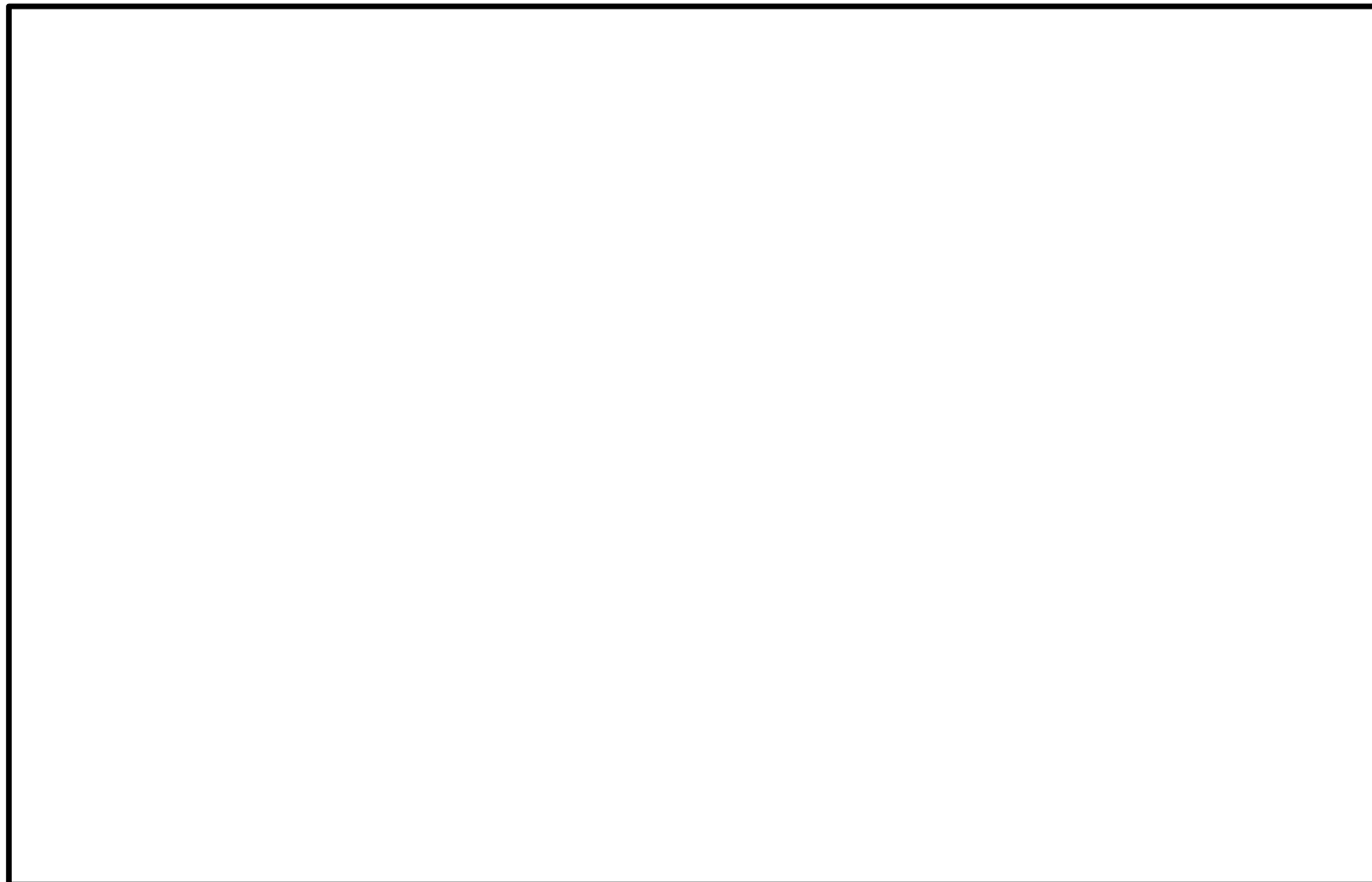


### ○インターロックの概要図(下図)

- ・青字部分が不作動想定箇所
- ・赤字部分が青字部分の不作動確率算出のためにPRA上不作動や誤動作を考慮した部分
- ・黒字部分は評価上考慮しない

### ○システム信頼性評価における主な条件

- ・事前分布として29ヵ年故障率データ\*1を使用し、東二の実績データを用いたベイズ更新により得られた東二の機器故障率データを用いた。
- ・循環水系の設備については、定期切り替えは無く、定期試験による健全性の確認も出来ないと仮定し、試験間隔は8760時間とした。RPSも試験が出来ないと仮定し、試験間隔を8760時間とした。



\*1:「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定(1982年度～2010年度29ヵ年56基データ)」一般社団法人 原子力安全推進協会, 2016年6月

## ○システム信頼性評価の方法について

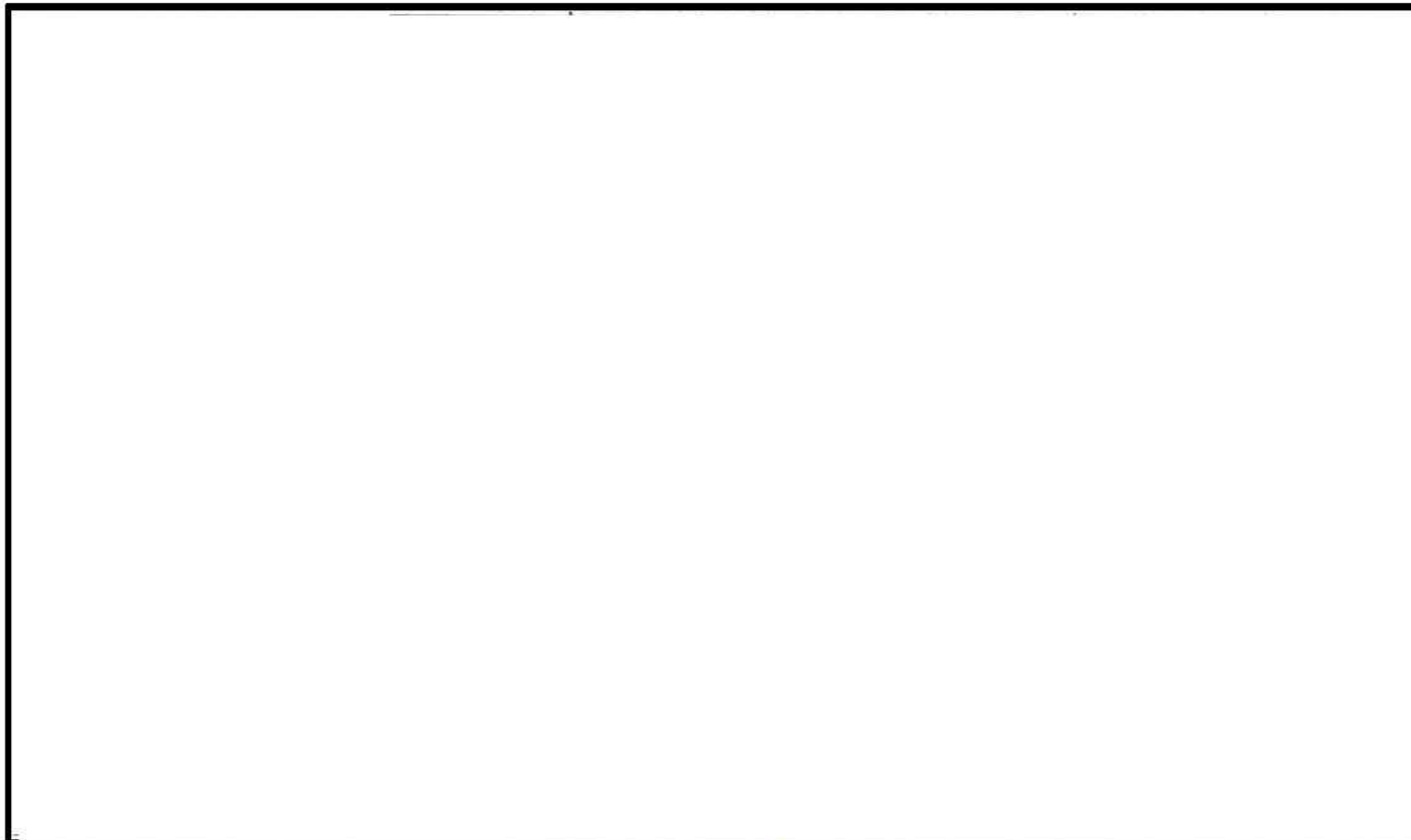
以下のステップでシステム信頼性評価を行った。本評価の範囲は各検出器から要求されるインターロック(復水器廻り弁閉止など)までの回路の不作動確率の算出である。なお、本評価では各検出器から隔離弁閉止信号又は海水ポンプ停止信号の発信に係る信号回路までを対象としており、隔離弁の閉失敗や海水ポンプの停止失敗は含めていない。

ステップ1:評価シナリオの選定 → 次のスライドで説明

ステップ2: CWDの作成

ステップ3: フォールトツリーの作成

ステップ4: フォールトツリーの定量化



# <別紙3(補足)> インターロックのシステム信頼性評価について(3/3)

## ○システム信頼性評価の方法について(ステップ1:評価シナリオの選定)

- 溢水発生エリアによって期待できる検出回路や信号が異なるため、これらを整理し、評価シナリオの選定について検討した。検討結果を以下の表に示す。
- 以下の理由を踏まえ、①を評価シナリオとして選定した。
  - A) 循環水ポンプエリアとタービン建屋(復水器エリア)の両方で溢水が発生した場合は、評価結果はタービン建屋(復水器エリア)で溢水が発生した場合の結果に包絡されることから、循環水ポンプエリアの溢水を含むシナリオは評価対象シナリオから除外する。
  - B) 循環水ポンプエリアで溢水が発生した場合は、復水器水室入口弁・出口弁・バイパス弁の閉は必要ないことから、循環水ポンプエリアの溢水シナリオは評価対象シナリオから除外する。
  - C) 同一エリア内の複数の区画で溢水が発生した場合は、両区画の検出器に期待することができるため、PRAモデル上AND条件となり不作動確率は低くなるため、評価対象シナリオから除外する。一方で、片方の区画における溢水の場合、当該区画の検出器にしか期待できないため、両区画における溢水と比べて不作動確率は高くなる。
  - D) 漏えい検出に関するインターロックは対称であるため、タービン建屋(復水器エリア)の場合、北側と南側のどちらの区画を選定しても同じであり、北側を選定した。

| 溢水シナリオ | 地震発生時の溢水発生場所   |    |           |      | 要求されるインターロックの動作    | 評価シナリオと選定理由         |
|--------|----------------|----|-----------|------|--------------------|---------------------|
|        | タービン建屋(復水器エリア) |    | 循環水ポンプエリア |      |                    |                     |
|        | 北側             | 南側 | CWP室      | バルブ室 |                    |                     |
| ①      | ○              |    |           |      | 復水器廻り弁閉止及び循環水ポンプ停止 | ○ A)~D)の理由により選定した。  |
| ②      |                | ○  |           |      | 復水器廻り弁閉止及び循環水ポンプ停止 | × D)の理由により除外した。     |
| ③      |                |    | ○         |      | 循環水ポンプ停止           | ×                   |
| ④      |                |    |           | ○    |                    | × B)の理由により除外した。     |
| ⑤      |                |    | ○         | ○    |                    | ×                   |
| ⑥      | ○              | ○  |           |      | 復水器廻り弁閉止及び循環水ポンプ停止 | × C)の理由により除外した。     |
| ⑦      | ○              |    | ○         |      |                    | × A)の理由により除外した。     |
| ⑧      | ○              |    |           | ○    |                    | × A)の理由により除外した。     |
| ⑨      |                | ○  | ○         |      |                    | × A)の理由により除外した。     |
| ⑩      |                | ○  |           | ○    |                    | × A)の理由により除外した。     |
| ⑪      | ○              | ○  | ○         |      |                    | × A), C)の理由により除外した。 |
| ⑫      | ○              | ○  |           | ○    |                    | × A), C)の理由により除外した。 |
| ⑬      | ○              |    | ○         | ○    |                    | × A), C)の理由により除外した。 |
| ⑭      |                | ○  | ○         | ○    |                    | × A), C)の理由により除外した。 |
| ⑮      | ○              | ○  | ○         | ○    |                    | × A), C)の理由により除外した。 |



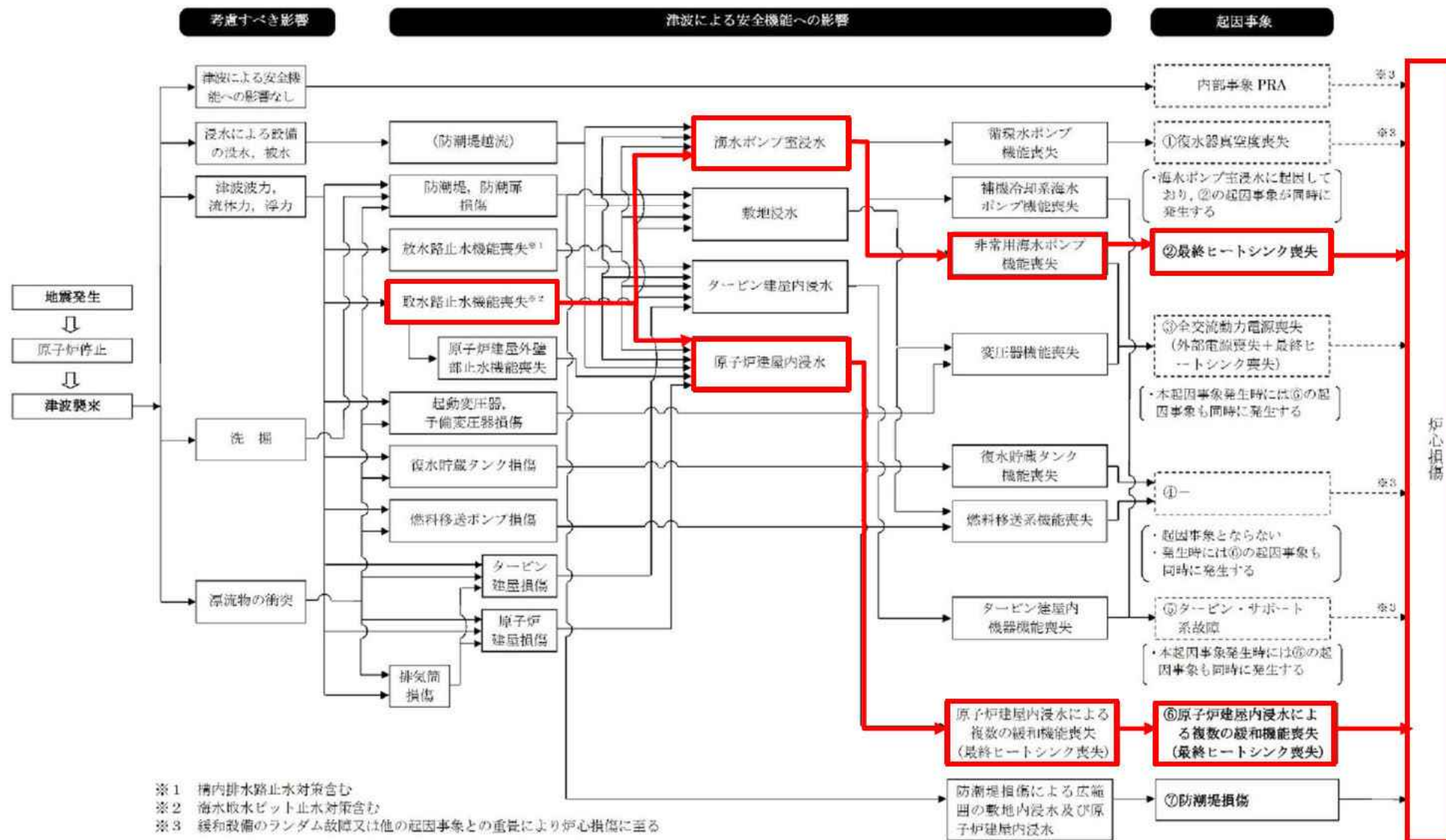


図1 (第3.2.2.1-4図) 事故シナリオの明確化及び起因事象の分析結果



【論点No.35】

原子炉建屋等の内郭防護及び溢水影響評価の詳細について

【委員からの指摘事項等】

No.29

屋外タンク等の損傷に伴う保有水流出時の原子炉建屋の浸水深50cmについて、溢水影響がないとした根拠を説明すること。 P.3

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

【論点No.35】

原子炉建屋等の内郭防護及び溢水影響評価の詳細について

【委員からの指摘事項等】

<第19回ワーキングチーム指摘事項>

津波溢水防護のインターロック不作動を考慮した場合の津波PRAへの影響について説明すること。 P.9

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載