

資料2-2

茨城県原子力安全対策委員会 東海第二発電所 安全性検討ワーキングチーム(第10回) ご説明資料

東海第二発電所

津波対策(耐津波設計)について

平成30年8月6日 日本原子力発電株式会社

本資料のうち, 🔲 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。



目 次

| 1. | 福島第一原子力発電所事故の教訓 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2-2-3 |
|----|--|
| 2. | 防護対象とする津波の区分と発電所の防護方針 ・・・・・・ 2-2-4 |
| 3. | 津波対策の従来からの主な変更点 ・・・・・・・・・・・・・ 2-2-5 |
| 4. | 津波評価の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2-2-6 |
| 5. | 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |
| 6. | 基準津波に対する対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-2-10 |
| 7. | 敷地に遡上する津波に対する対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2-2-25 |
| 8. | まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2-2-33 |
| Ŕ | 補足説明資料 津波対策(耐津波設計)について |

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓





2. 防護対象とする津波の区分と発電所の防護方針



- 太平洋に面する東海第二発電所における津波に対する安全対策の特徴として、防護対象とする津波高さを以下の二つのとおり設定し、それぞれの津波の特徴に応じた形で発電所の安全確保を図ることとしている。
- ここでは、それぞれについて防護対象設備、津波防護対策等を示す。

①基準津波(防潮堤前面最高水位T.P.+17.1m)

- ⇒決定論的手法に基づき,発電所の供用期間中に発電所の安全施設に大きな 影響を及ぼす恐れがある津波を定義したもの。(第3回ワーキングチームでご説明)
- ⇒発電所に設置する防潮堤(高さT.P.+20m)等により,基準津波を敷地に流入さ せない対策を図ることで,発電所の安全施設の機能を維持する。

②敷地に遡上する津波(防潮堤前面最高水位T.P.+24m(無限鉛直壁))

- ⇒確率論的評価を用いた津波PRA結果に基づき,基準津波の防潮堤前面高さ (T.P.+17.1m)を上回り,防潮堤高さ(T.P.+20m)を超える津波に対して発電所 の防護を行う。
- ⇒防潮堤を超えて敷地に遡上する津波に対して,原子炉建屋の外壁や重大事故 等対処設備等に水密対策を施すことで,重大事故対処設備を活用して原子炉 等の冷却を可能とする。

3. 津波対策の従来からの主な変更点



| 対策の目的 | 対策の方向性 | 従来から備えていた 対策 | 福島第一原子力発電所事故の 教訓に基づく新たな安全対策 | 備考 |
|-------------------------------|---|---|---|----|
| 津波の敷地 への流入防 止 | Sクラスに属する施 設の設置された敷地 に基準津波による遡 上波を地上部から到 達, 流入させない | ・低地の重要安全施設 (非常用海水ポンプ)を 局所的に防護する方針 ・海水ポンプ室の防護壁 の増強(T.P.約+6.1m) (当時対策実施中) (茨城県による津波評価 に基づく海水ポンプ室位 置水位:T.P.約+5.7m | ①基準津波への対策 ・発電所全体を取り囲むように防潮堤等を設置し、敷地に津波を流入させない対策を図ることで、発電所の安全施設の機能を維持する。 ・防潮堤の高さ:T.P.+20m(海岸側)及びT.P.+18m(陸側) ・上記に対応した取水路や放水路、開口部への流入防止対策、貫通部止水処置等を実施する。 【基準津波の評価に基づく 防潮堤前面の最高水位T.P.+17.1m(入力津波高さT.P.+17.9m) ②敷地に遡上する津波への対策 ・基準津波を上回り、防潮堤高さ(T.P.+20m)を超えて敷地に遡上する津波に対して発電所の防護を行う。 ・防潮堤を超えて敷地に遡上する津波に対して、原子炉建屋の外壁や重大事故等対処設備等に水密対策を施し、重大事故対処設備を活用して原子炉等の冷却を可能とする。 【敷地に遡上する津波の設定 防潮堤前面の最高水位T.P.+24m(無限鉛直壁を想定) | 新規 |
| 水位低下に よる安全機 能への影響 防止 | 水位変動に伴う取水 性低下による重要な 安全機能への影響 を防止 | ・非常用海水ポンプの吸 い込み口の取水可能水 位まで対応可能 (取水ピット水位 T.P. -5.66mまで取水可能) | ・基準津波による引き波時も安全機能を維持する。 (引き波の入力津波高さはT.P6.0mで, 非常用海水ポンプ取水可能水位T.P5.66mを下回る) ・貯留堰の設置により海水を貯留し、引き波が継続している間も非常 用海水ポンプの運転継続を可能とする。 | 新規 |
| 津波監視設 備の設置 | 津波の襲来状況を 監視するために津波 監視設備を設置 | 潮位計による潮位の監視 | ・津波の襲来状況を監視し、津波による水位の変化を監視・計測する。 ・耐震性を有する、津波・構内監視カメラ、取水ピット水位計及び潮位 計を設置する。 | 新規 |

4. 津波評価の概要









防潮堤の設置ルートの見直しを実施した。変更前後を以下に示す。



<防潮堤設置ルート変更前 全長 約2.2km> <防潮堤設置ルート変更後 全長 約1.7km>

5. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価(2/3)



基準津波の水位への影響を評価した結果,最高水位位置が同じであり,上昇側の水位に有意な差がないことを確認した。

■ 時刻歴波形



5. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価(3/3)



| 名称 | 防潮堤設置ルート変更前 | 防潮堤設置ルート変更後 | |
|-------------|-------------|-------------|--|
| 最高水位(防潮堤前面) | T.P.+17.2m | T.P.+17.1m | |
| 最低水位(取水口前面) | T.P5.3m | T.P4.9m | |



 評価の結果、防潮堤設置ルート変更前後で、最大水位上昇量及び最大水位下降量が最大となる津波波源の 位置及び最高水位位置が同じであり、水位にも有意な差は認められないことを確認した。

• 防潮堤前面の最高水位は, T.P.+17.2mからT.P.+17.1mとなった。

6. 基準津波に対する対策(1/15)





2-2-10

6. 基準津波に対する対策(2/15)



・基準津波に対する発電所の安全施設の防護方針と適合方策

| | 安 | 全施設の防護方針 | 防護方針への適合方策※ |
|---|------------------------------|--|--|
| 1 | 敷地への 流入防止 【外郭防護1】 | Sクラスに属する施設の設置された敷 地に <u>基準津波による遡上波を地上部から到達, 流入させない</u> こと。 また, 取水路及び放水路等の経路から 流入させないこと。 | 基準津波による遡上波が敷地に到達,流入することを防止するため, 敷地を取り囲む形で <u>防潮堤を設置</u> する。 また,取水路,放水路等の経路からの津波の流入を防止するため, <u>以下の対策を講じる</u> 。 ・放水路に放水路ゲートの設置 ・取水路や放水路ゲート回りの開口部,SA用海水ピットの開口部等 への浸水防止蓋の設置 ・非常用海水ポンプのグランドドレン排出口等への逆止弁の設置 ・構内排水路への逆流防止設備の設置 ・その他,貫通部止水処置等 |
| 2 | 漏水による安全 機能への影響 【外郭防護2】 | 取水・放水施設及び地下部等において, <u>漏水による浸水範囲を限定</u> して,重要 な安全機能への影響を防止すること。 | 海水ポンプ室を浸水想定範囲に設定し,浸水の可能性のある経路 に対して <u>浸水防止対策を講じることにより防水区画化</u> する。また, <u>浸</u> 水量評価を実施し,安全機能への影響がないことを確認する。 |
| 3 | 津波防護の 多重化 【内郭防護】 | 上記のほか, Sクラスに属する設備は, <u>浸水防護をすることにより津波による影</u> 響から隔離すること。 | 津波から防護する設備を内包する建屋及び区画に対して、地震による溢水影響も考慮した上で、 <u>浸水対策(原子炉建屋地下部の貫通</u> 部止水処置等)を実施する。 |
| 4 | 水位低下による 安全機能への 影響防止 | 水位変動に伴う <u>取水性低下による重要</u> な安全機能への影響を防止すること。 | 引き波による取水ピットの水位低下に対して,非常用海水ポンプの 取水性を保持するため, <u>取水口前面に貯留堰を設置</u> する。 |
| 5 | 津波監視設備 の設置 | 津波の襲来状況を監視するために <u>津波</u> <u>監視設備を設置</u> すること。 | 津波の襲来状況を監視するため,原子炉建屋屋上T.P.+64m,防潮 堤上部T.P.+18m及びT.P.+20mに <u>津波・構内監視カメラ</u> ,取水ピッ トに <u>取水ピット水位計</u> ,取水路に <u>潮位計を設置</u> する。 |

※:重大事故等対処施設に対しても,設計基準対象施設に対する要求事項に準じて,同様の適合方策を実施する。

6. 基準津波に対する対策(3/15)



①外郭防護1:防潮堤の設置

●地上部から敷地への津波の流入を防止するため,敷地を取り囲む形で防潮堤を設置



敷地区分毎の入力津波高さと防潮堤高さ

| 敷地区分 | 基準津波によ る防潮堤前面 最高水位等 (参考) | ① 津波高さの 数値ジミュレーション (地盤沈下の有無,防 波堤の有無を考慮し, 最も高い値を選定) | ②入力津波高さの策定 (①に潮位のばらつき 0.18m等を考慮) | 防潮堤高さ (②に対し余裕が あることを確認) |
|--------|-----------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| 敷地側面北側 | T.P.+11.7m | T.P.+15.2m | T.P.+15.4m | T.P.+18m |
| 敷地前面東側 | T.P.+17.1m | T.P.+17.7m | T.P.+17.9m | T.P.+20m |
| 敷地側面南側 | T.P.+15.4m | T.P.+16.6m | T.P.+16.8m | T.P.+18m |



防潮堤の構造イメージ

6. 基準津波に対する対策(4/15)





注詳細については補足説明資料参照

防潮堤高さに対する津波高さの関係(敷地前面東側の場合)

6. 基準津波に対する対策(5/15)



①外郭防護1:鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造概要

- ●鋼管杭を地震・津波荷重に耐える構造躯体とし, 杭管から津波の浸水を防止する観点で鉄筋コンクリートを被覆 する上部構造とした。
- ●支持形式については、岩盤に支持させる岩着支持杭形式とする。
- ●防潮壁間には、 地震時や津波時の変形量に追随し、 津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。





止水ジョイント部イメージ

2-2-14

6. 基準津波に対する対策(6/15)



・防潮堤の設計条件について

①敷地の液状化の発生を前提とした設計

⇒東海第二発電所の既往の地盤調査データに基づく評価結果からは、防潮堤等の設置場所の<u>地盤は液状化しないことを確認</u>している*。

*液状化検討対象層の過剰間隙水圧比が95%以下(⇒液状化しない判定)であることを確認

⇒しかし,防潮堤の基本設計に際しては,保守的に,対象地盤のうち全ての砂層・ 礫層に<u>強制的に液状化する条件*を与え</u>,その条件下でも<u>防潮堤の岩着支持杭が</u> 成立することを確認している。

*敷地に存在しない非常に液状化し易い性状の「豊浦標準砂」の液状化強度特性を対象の砂層・礫層に仮定

②津波による洗掘防止の対策

⇒防潮堤外の表層地盤をセメント改良することで,<u>津波荷重よりも強度の高い地盤とし,</u> 洗掘防止対策とする。

③防潮堤の津波に対する耐力

- ⇒基準津波(防潮堤前面T.P.+17.1m)の津波波力に加えて, <u>敷地に遡上する津波(防潮</u> <u>堤前面T.P.+24m)の津波波力(浸水深の3倍相当)に対しても, 概ね弾性範囲内に留ま</u> <u>るよう設計</u>する。
- ⇒津波と同時に防潮堤に作用する漂流物については、到達する可能性のあるもののうち 最も重量が大きい<u>漁船(総トン数5t)を衝突荷重において考慮</u>する。

6. 基準津波に対する対策(7/15)



①外郭防護1:放水路ゲートの設置

●津波が放水路を経由し, 放水ピットの開口部から敷地内に流入することを防止するため, 放水路ゲートを設置



6. 基準津波に対する対策(8/15)



①外郭防護1:SA用海水ピット及び緊急用海水ポンプピットの開口部への浸水防止蓋の設置

●地下部の海水引き込み経路より津波が敷地内に流入することを防止するため、SA用海水ピット及び緊急用海水ポンプピットの開口部 に浸水防止蓋を設置



SA用海水ピット配置図

SA用海水ピット取水塔~緊急用海水ポンプピット断面図

浸水防止蓋構造概要図

①外郭防護1:構内排水路逆流防止設備の設置

●防潮堤下部を貫通し,海に繋がる構内排水路から津波が敷地内に流入することを防止するため,構内排水路に逆流防止設備を設置



6. 基準津波に対する対策(9/15)





2-2-18

6. 基準津波に対する対策(10/15)



②外郭防護2:漏水による浸水範囲を限定し重要な安全機能への影響を防止

- ◆ 外郭防護1で示したとおり、特定した取水路、放水路等の津波の流入の可能性のある経路に対し、浸水対策を講じることにより、津波の 流入防止は可能と考える。
- ◆ しかし, 重要な安全機能を有する非常用海水ポンプの設置されている海水ポンプ室は, 津波の直接の流入経路となる海水ポンプグランドドレン排出口が存在するため, 漏水が継続することによる浸水想定範囲を設定し, 防水区画化する。



6. 基準津波に対する対策(11/15)



②外郭防護2:評価方法及び評価結果

- ◆ 取水ピットにおける上昇側の入力津波の時刻歴波形から,水位がグランドドレン配管下端レベルを上回る継続時間を保守的に設定した 上で,海水ポンプ室への漏水量及び浸水高さを算出し,許容浸水高さと比較する。
- ◆ 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁からの漏水量を評価した結果,海水ポンプ室内の浸水高さは40cm以下に留まり,海水ポンプの 機能喪失高さに対して1m以上の十分な余裕があることを確認した。





6. 基準津波に対する対策(12/15)



①循環水系伸縮継手破損に伴う系外漏洩

◆溢水量評価

・破損部からの流入(※)と耐震B, Cクラス機器の破損による溢水を考慮 ※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。ポンプ停止までの流入量を浸水量評価により算定。

地震起因による溢水量

タービン建屋の溢水を貯留できる空間容積

| | 項目 | 溢水量(m) | タービン建屋階層 | 空間容積(m) |
|------------------|---|---------|-----------------------|---------|
| 循環水系配管の | 地震発生から漏洩検知インターロック | 約11,900 | T.P4.00~T.P1.60m | 約2,784 |
| 伸縮継手部 | による循環水ホンノ 停止 および 復水 森 水室出入口弁の閉止までの 溢水量 | | T.P.−1.60~T.P. +5.50m | 約17,326 |
| 耐震B, Cクラス機器の保有水量 | | 約9,010 | T.P.+5.50~T.P. +8.20m | 約6,589 |
| 合計 | | 約20,910 | 合計 | 約26,699 |

⇒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20.910m³(地震起因による溢水量)<約26.699m³(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

6. 基準津波に対する対策(13/15)





2-2-22

6. 基準津波に対する対策(14/15)



④水位低下による安全機能への影響防止:貯留堰の設置

●引き波による取水ピット水位の低下に対して、非常用海水ポンプの取水性を保持することを目的に取水口前面に貯留堰を設置

▶ ① 非常用海水ポンプの取水可能水位

:T.P.-5.66m(残留熱除去系海水ポンプ)

▶ ② 引き波による取水ピットの下降側水位

:T.P.-5.64m, これに潮位のばらつきを考慮してT.P.-6.0mを入力津波高さとする。

▶ ③ 現状設備では①の水位を②の水位が下回るため,非常用海水ポンプの取水性を確保するため貯留堰を設置



図1 引き波の時刻歴波形と継続時間

⇒基準津波による引き波が貯留堰の天端高さを下回る時間は約3分間であるのに対して(図1), 貯留堰により非常用海水ポンプ全7台が約30分間以上運転継続可能な容量を確保することから(図2), 津波による水位低下時も非常用海水ポンプの運転継続性に問題はない。

図3 貯留堰の設置イメージ

カーテンウォ

2-2-23

6. 基準津波に対する対策(15/15)



⑤津波監視:津波の襲来状況を監視するために津波監視設備を設置

・津波の襲来状況を監視するため、津波監視設備として、津波・構内監視カメラ、取水ピット水位計、潮位計を設置する。

・津波監視設備は、中央制御室及び緊急時対策所に設置し、昼夜にわたり監視可能な設計とする。



津波監視設備の基本仕様

●:津波・構内監視カメラ 津波・構内監視カメラ配置図



- ・防潮堤外側の漂流物や堆積物, 取水ロ・放水口,防潮堤等の施設, 防潮堤内の敷地の状況が監視可 能なよう,原子炉建屋屋上に3台, 防潮堤上部に4台,合計7台設置
- ・これらのカメラにより発電所内及 び周辺のほぼ全域を監視可能
- ・上記の手段に加えて、さらに自主 対策として、ドローンによる構内の 監視手段も導入する。



海水ポンプエリア周辺拡大図





7. 敷地に遡上する津波に対する対策(2/8)





7. 敷地に遡上する津波に対する対策(3/8)





敷地に遡上する津波に対する防護対象施設の配置図(断面図)

【敷地に遡上する津波の到達範囲に応じて防護対象施設の防護方策を策定】

| 配置区分 | 高さ | 対策方針 | 対象設備 |
|--------------------|-----------|---------------------|----------|
| 1. 津波が遡上する敷地にある設備 | T.P.+8m | 浸水防止蓋,水密ハッチ,水密扉の設置等 | 図の①~5 |
| 2. 遡上する津波より高所にある設備 | T.P.+11m~ | 高所配置による津波の到達防止 | 図の①~⑦ |
| 3. 津波の流入経路【地下部】 | T.P.+8m以下 | 浸水防止蓋, 逆止弁の設置等 | 図の①【地下部】 |

7. 敷地に遡上する津波に対する対策(4/8)



敷地に遡上する津波に対する対応方針

- ▶ 敷地に遡上する津波の襲来時は、敷地内への浸水により屋外作業が制限されることを踏まえ、重大事故等対処設備の対応方針について以下のとおりとする。
 - ✓①津波防護を考慮した常設設備による対応を基本とする。
 - 屋外作業を要さずに最終ヒートシンクへ熱を輸送するための常設設備として, 緊急用海水系を設置し,これらの設備を敷地に遡上する津波に対して防護する。
 - ✓②可搬型重大事故等対処設備による対応も可能とする。

不測の事態により,上記の常設設備が一定期間は使用できない場合も想定し,可搬型設備による対応を確実にするため,津波の影響がない高所に注水 用の接続口及び水源を設置する。

* 漂流物の考慮:敷地に遡上する津波では,敷地内に津波が流入することから(原子炉 建屋付近の浸水深さ1m),敷地内の漂流物として,車両(1.5t)を遡上 範囲の重大事故等対処施設に対する衝突荷重において考慮する。

7. 敷地に遡上する津波に対する対策(5/8)



①津波防護を考慮した常設設備による対応

緊急用海水系の配置による対応



7. 敷地に遡上する津波に対する対策(6/8)



①津波防護を考慮した常設設備による対応

緊急用海水系の系統概略図

【緊急用海水系の機能】



7. 敷地に遡上する津波に対する対策(7/8)



②可搬型重大事故等対処設備による対応

- 敷地に遡上する津波の影響を受けない常設代替高圧電源装置置場(T.P.+11m)の地下に西側淡水貯水設備を設置し、
 またT.P.+11mの高さの高所接続口を東西に複数設置
- 可搬型重大事故等対処設備(可搬型代替注水中型ポンプ)を用いて、西側淡水貯水設備の水を汲み上げ高所接続口から地下トンネル内に敷設する注水配管を経由し原子炉等に注水することで、津波の影響を受けない高所にて対応作業が可能







8. まとめ



〇基準津波に対する対策

- 決定論的手法に基づき、発電所の供用期間中に発電所の安全施設に大きな影響を及ぼす恐れがある
 れがある
 津波(基準津波T.P.+17.1m)に対して、発電所の防護を行う。
- ・発電所に設置する防潮堤(高さT.P.+20m)や,すべての流入経路に対して浸水防止対策を図る ことで,基準津波を敷地に流入させず,発電所の安全施設の機能を維持する。
- ・漏水による浸水を想定した場合でも、漏水量は限定され非常用海水ポンプの機能は維持できる。
 。敷地内の溢水に対しても安全性は損なわれない。引き波による海水面の低下時においても、
 非常用海水ポンプの取水性は保持できる。また、津波の襲来状況を監視する監視カメラや水位 計等を設置する。

〇敷地に遡上する津波に対する対策

- ・確率論的評価を用いた津波PRA結果に基づき、基準津波を上回り、防潮堤高さ(T.P.+20m)を 超える津波(T.P.+24m(無限鉛直壁))に対して発電所の防護を行う。
- 防潮堤を超えて敷地に遡上する津波に対して、原子炉建屋の外壁や重大事故等対処設備等に
 水密対策を施すことで、重大事故対処設備を活用して原子炉等の冷却を可能とする。
- ・津波防護を考慮した常設の重大事故対処設備による対応として、屋外作業を要さずに最終ヒートシンクへ熱を輸送できる常設設備として、緊急用海水系を設置し、これらの設備を敷地に遡上する津波に対して防護する。
- ・さらに、不測の事態により、上記の常設設備が一定期間は使用できない場合も想定し、可搬型 設備による対応を確実にするため、津波の影響がない高所に注水用の接続口及び水源を設置 する。



(補足説明資料 津波対策(耐津波設計)について)



補足説明資料 目次

| 1. | 津波評価のあらまし・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-36 |
|----|---|--------|
| 2. | 津波評価の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-47 |
| 3. | 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-49 |
| 4. | 防波堤の有無が基準津波に与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-54 |
| 5. | 入力津波の設定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-59 |
| 6. | 基準津波に対する対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-61 |
| 7. | 敷地に遡上する津波に対する対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 2-2-70 |

1. 津波評価のあらまし (東海第二発電所 位置図)





- 東京の北方約130km, 水戸市の北東約15kmの地点で 太平洋に面して位置する。
- 東海第二発電所の敷地の広さは約75万m²。
- 東海第二発電所の原子炉建屋等の設置位置は T.P.+8mである。
- 防潮堤 高さ T.P.+18m~T.P.+20m


1. 津波評価のあらまし (津波評価の流れ)







1. 津波評価のあらまし (津波評価の流れ)



「① プレート間地震」を選定 ↓

| | ①フレート間地震 | 「炎城県沖から房総沖」で発生する津波が発電所に最も大きな影響を与える。 |
|---------|-----------------|-------------------------------------|
| 基準津波の選定 | ②海洋プレート内地震 | プリート問始雪に とくませの見 ナラッカ とのくませけかい |
| | ③海域の活断層による地殻内地震 | フレート间地長による洋波の取入向さを工凹る洋波はない。 |
| | ④地すべりや斜面崩壊 | 載地を影響たたるて地士がし、山山田色笠にたて海波はたい |
| | ⑤火山現象 | 敖地へ影音を子んる地 9 へり, 次山現象寺による洋波はない。 |

1. 津波評価のあらまし (津波のイメージ)



【地震に起因する津波】



【地震以外に起因する津波】



図版出典 Sheila B.Reed:Natural and Human-Made Hazards :Mitigation and Management Issue Wildeerness Medicine 2001:1630p

1. 津波評価のあらまし (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)



過去に発生した地震規模M8以上(国外においてはM9クラス)の津波の中で,敷地に比較的大きな影響を及ぼしたと 考えられる既往津波は,日本海溝沿いで発生したプレート間による津波である。 ✓ 1677年延宝房総沖地震津波:茨城県那珂湊(現ひたちなか市): 4.5~5.5m ✓ 2011年東北地方太平洋沖地震津波(東海第二発電所): 概ね5~6m(最大6.5m)

| | A田 + | 夕称 | 地震規模 | | 立計画太红田 | |
|------|---------------------|------------------------------|-------------|---------------------|------------------------------|---|
| | 限坝 | 白が | Mj | Mw | 入 | 高環域(地震調査委員会 |
| 近地津波 | | 869年の津波 | 8.3 ±1/4 | - | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | 三陸沖から展起沖で発生 ▲ (宮城県沖は地震調査引 評価した地震) |
| | | 1611年の津波 | ≒8.1 | 8.3 | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | · · · · |
| | 日本海溝 | 1677年延宝房総沖地震津波 | ≒8.0 | 8.2 | 茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で 4.5~5.5m | |
| | 沿い | 1793年宮城県沖地震に伴う津波 | 8.0~ 8.4 | - | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | |
| | 地 津 | 1896年明治三陸地震津波 | 8•1/4 | 8.3 | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | : 3 |
| | | 2011年東北地方太平洋沖地震 津波 | 8.4 | 9.0 | 発電所で概ね5~6m(最大6.5 m) | 東海第二発言 |
| | 千島海溝 | 1968年十勝沖地震に伴う津波 | 7.9 | 8.2 | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | |
| | 沿い | 17世紀初頭の地震(500年間隔 地震)に伴う津波 | _ | 8.8 | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | 12 AS |
| | 伊豆・小笠原 海溝沿い | 1972年八丈島東方沖地震津波 | 7.2 | M _{t0} 7.5 | 敷地付近への影響を示す津波の痕跡 はない。 | |
| | 遠 | 1700年カスケード地震津波 | _ | 9.0 | 茨城県那珂湊(現ひたちなか市)で 約2m | 1 |
| 地津波 | 地 | 1952年カムチャッカ地震津波 | _ | 9.0 | 福島県沿岸で約0.5~1.5m | 三陸沖から |
| | [≆] 波 | 1960年チリ地震津波 | _ | 9.5 | 茨城県久慈港で約2.3m | (地震 |
| | | 1964年アラスカ地震津波 | - | 9.2 | 小名浜で0.35m, 銚子で0.36m | |
| | | | | | | |

過去に発生した大規模な地震



(地震調査研究推進本部(2012)に加筆)

1. 津波評価のあらまし (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)











【茨城県沖に想定する津波波源】

2 - 2 - 41

1. 津波評価のあらまし (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)





1. 津波評価のあらまし (地震に起因する津波 ①プレート間地震に起因する津波)





詳細評価 不確かさの考慮 ・破壊開始点 :6ケース(①~⑥) ・破壊伝播速度 :5ケース(1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0km/s) ・立ち上がり時間:2ケース(30, 60秒)





《 詳細評価の結果 》 最大水位上昇量(防潮堤前面): 15.96m[※](+16.08m) 最大水位下降量(取水口前面): -4.59m[※](-4.97m)

最高水位(防潮堤前面) : T. P. +17. 1m[※] (T. P. +17. 2m) 最低水位(取水口前面) : T. P. - 4. 9m[※] (T. P. -5. 3m)

> ※ 申請時から設備形状(防潮堤の 線形形状の見直し等)を変更した モデルにおける評価水位



敷地に影響を及ぼす対象津波を選定するため,評価を実施

| 津波の発生要因 | 津波評価結果(計算) | 津波の影響評価結果 | |
|--|---|---|---|
| ①プレート間地震*1 | 最大水位上昇量: +16.08m(防潮堤前面) 最大水位下降量: -4.97m(取水口前面) | 「茨城県沖から房総沖」で発生 する津波が発電所に最も大き な影響を与える。 | └ |
| ②海洋プレート内地震 ^{※2} | 最大水位上昇量: +6.44m(防潮堤前面) 最大水位下降量: -4.19m(取水口前面) | プレート間地震による津波の | |
| ③海域の活断層による 地殻内地震^{※3} | 最大水位上昇量: +1.8m(防潮堤前面) 最大水位下降量: (影響は少ないと評価) | 最大高さを上回る津波はない。 | |
| ④地すべりや斜面崩壊 | _ | 敷地へ影響を与える地すべり、 | |
| ⑤火山現象 | _ | 火山現象等による津波はない。 | |
| | | ※1 詳細評価の結果 | |

※2 概略評価の結果

※3 簡易予測式による評価の結果





| 項目 | 地震に起因する津波 |
|--|--|
| 地震種別 | 茨城県沖から房総沖に想定する プレート間地震 |
| 最高水位(防潮堤前面) | T.P.+17.1m (**T.P.+17.2m) |
| 最低水位(取水口前面) | T.P.−4.9m (※T.P.−5.3m) |
| 最高水位(防潮堤削面) 最低水位(取水口前面) 日本 日本 | ([≫] T.P.+17.2m) T.P.−4.9m ([≫] T.P.−5.3m) |

※ 申請時の設備形状における評価水位

「地震に起因する津波」と「地震以外に起因する津波」の評価結果を踏まえ, 発電所に与える影響が最も大きい津波は『茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震 Mw=8.7』である。 以上より『茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震 Mw=8.7』を『基準津波』とする。



- 前提条件 : 津波波源を茨城県沖に設定
- 設定条件①: 津波波源の南限を房総沖まで拡張
- 設定条件②: 超大すべり域を設定
- 設定条件③: 大すべり域及び超大すべり域のすべり量を割り増し
- 設定条件④: 大すべり域及び超大すべり域がプレート境界を

跨いだケースも考慮

以上を保守的に評価したことで、

津波評価(基準津波)は

最高水位(防潮堤前面)において, T.P.+17.1m と設定した。

2. 津波評価の概要 基準津波の選定 プレート間地震に起因する津波の波源設定(概要)





2. 津波評価の概要 基準津波の選定 プレート間地震に起因する津波の波源設定(概要)

どの目安を得ること(検討ケースの序列決め)を目的とし

ている。









【変更理由】

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、地盤改良の実施及びシートパイル等の設置を行うこととした。

IFhTh

・ 地盤改良等の実施に当たっては、「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、防潮堤の設置ルートを変更する。

3. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価 評価結果の比較(水位上昇側) ペーンザルブル

基準津波の水位への影響を評価した結果,最高水位位置が同じであり,上昇側の水位に有意な差がないことを確認した。

■ 時刻歴波形



3. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価 評価結果の比較(水位下降側) ペーンザルブル



180

210

240

基準津波の水位への影響を評価した結果、下降側の水位に有意な差がないことを確認した。

■ 時刻歴波形



水位下降量

0 -1 -2 -3 -4 -5 -7 -9 -12 -16 -20 (m)











3. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価防潮堤の設置ルート変更後の評価結果(防潮堤前面及び取水口前面)

基準津波の評価結果は以下の通り。



3. 防潮堤の設置ルート変更に伴う評価 杭構造形式の変更(摩擦杭から岩着支持杭への変更)



東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、敷地北側において摩擦杭を計画していたが、これを<u>岩着支持杭に変更</u> する。

これにより鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、十分な支持性能を有する岩盤に杭を介して設置することとなる。

また、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁周りの表層付近の地盤においては、地震時における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、<u>地盤改良の実施及びシートパイル等の設置を行う</u>。

なお、地盤改良範囲等については、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保守的な条件 設定に基づいた有効応力解析結果をもとに決定する。



4. 防波堤の有無が基準津波に与える影響 検討内容



- 防潮堤前面において水位上昇量が最大となるケース並びに取水口前面において水位下降量が最大となるケースについて,港湾部(茨城港日 立港区及び茨城港常陸那珂港区を含む)の防波堤の効果がない場合について検討を行う。
- 検討に用いた地形データを以下に示す。



港湾部の防波堤効果無し



港湾部の防波堤効果有り

4. 防波堤の有無が基準津波に与える影響 検討波源

- 港湾部の防波堤の効果について、以下の通り検討を行う。
 - ✓ 防潮堤前面において水位上昇量が最大※となる波源モデル(左図)
 - ✓ 取水口前面において水位下降量が最大※となる波源モデル(右図)

※「①津波波源選定モデル」での評価結果



水位上昇量最大時の波源モデル



水位下降量最大時の波源モデル







港湾部の防波堤効果無し

港湾部の防波堤効果有り



最大水位上昇量分布 (A-3:南へ20km移動,破壊開始点⑥,破壊伝播速度3.0km/s,立ち上がり時間30秒)



4. 防波堤の有無が基準津波に与える影響 津波予測計算結果:最大水位下降量分布

港湾部の防波堤効果有り

港湾部の防波堤効果無し



最大水位下降量分布 (A-5:南へ40km移動,破壊開始点⑤,破壊伝播速度1.0km/s,立ち上がり時間30秒)

4. 防波堤の有無が基準津波に与える影響 津波予測計算結果



• 港湾部の防波堤の効果の有無の影響を評価した結果,水位に有意な差がないことを確認した。

| 名称 | 港湾部の防波堤効果無し | 港湾部の防波堤効果有り | |
|----------------|-------------|-------------|--|
| 最大水位上昇量(防潮堤前面) | 16.60m | 15.96m | |
| 最大水位下降量(取水口前面) | -4.59m | -4.59m | |





5. 入力津波の設定 地盤沈下の有無及び防波堤の有無の考慮(1/2)

◆ 入力津波の設定にあたり,以下のケースについて津波高さの数値シミュレーション(遡上解析)を実施
 ・地震による砂層及び砂礫層の液状化を仮定し,地盤面沈下の可能性を考慮して,「地盤沈下あり」と「地盤沈下なし」の場合を評価
 ・地震による発電所の防波堤及び近隣港湾施設の防波堤の損傷の可能性を考慮して,「防波堤あり」と「防波堤なし」の場合を評価

*防潮堤ルート変更の前後で上昇側水位に有意な違いがないことから(ルート変更前の方が最高水位はわずかに高い), 安全側に防潮堤ルート変更前の条件で入力津波を設定

🜗 げんてん



5.入力津波の設定 地盤沈下の有無及び防波堤の有無の考慮(2/2)





5. 入力津波の設定 潮位のばらつきの考慮



- ◆ 津波計算(基準津波による上昇側最高水位の評価)では、茨城港日立港区の潮位表(2004年~2009年)を用いて、朔望平均満潮位を T.P.+0.61mと設定(①)
- ◆ 最新の潮位観測記録データ(2006年~2010年)を用いて, 朔望平均満潮位のばらつき(標準偏差)を+0.14mと評価(②)
- ◆ 最新の潮位観測記録データによる朔望平均満潮位(T.P.+0.65m)(③)と津波計算での朔望平均満潮位(T.P.+0.61m)(①)を比較して ,最新の潮位観測記録データの方が0.04m高いため(④),この差分を上記のばらつき(標準偏差)(②)に加えて, 潮位のばらつきを0.18mに設定





潮位のばらつき:+0.18m (②標準偏差0.14m+④差分0.04m)

潮位のばらつきの考慮方法

潮位のばらつきの考慮方法

5.入力津波の設定 高潮の考慮



- 基準津波による最高水位の年超過確率は10-4程度であり、独立事象としての津波と、台風等により発生する高潮が重畳する可能性は 極めて低いが、評価では安全側に高潮の重畳を考慮する。
- ◆ プラント運転期間を超える再現期間100年に対する高潮の期待値T.P.+1.44m*1に基づき、入力津波で考慮済みの水位分を差し引いた +0.65mを防潮堤高さの裕度評価で参照する。

*1 高潮の期待値T.P.+1.44mは、入力津波で考慮済みの朔望平均満潮位T.P.+0.61m及び潮位のばらつき+0.18mを含む。

年最高潮位の記録(茨城港日立港区)

茨城港日立港区における最高潮位の超過発生確率



 再現期間と期待値は、2年:TP.+0.82m、5年:T.P. +0.92m, 10年:T.P.+1.01m, 20年:T.P.+1.11m, 50年:T.P.+1.28m, 100年:T.P.+1.44mとなる。 *2 表「年最高潮位の記録(茨城港日立港区)」参照

*3 国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備局より受領

防潮堤高さ

▼ 許容津波高さ

▼ 入力津波の高さ

(防潮堤高さ)

6. 基準津波に対する対策 表層地盤改良及びシートパイル等の設置検討方針



B (擱削幅)

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁周りの表層付近の地盤においては、地震時における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、地盤改良の実施及びシートパイル等の設置を行う。

ボイリングは、津波時の防潮堤前面と背面の水位差によって、堤内側に上向きの水圧が生じ、この浸透圧が堤内側の有効重量を 超えるようになると発生する。したがって、シートパイル等による対策を行うこととし、堤内側の土の重量とシートパイル等の先端位置に 作用する水圧との比から必要根入れ深さを評価する。

ロ 地盤改良工法の選定

<u>地盤改良は、剛性の急変部が生じないよう配慮</u>し、浸透固化工法も選定対象とする。 浸透固化工法は、地下水位以深での実施 が必要となることから、地下水位以浅はセ メント固化改良とするなど使い分けを行う。



6. 基準津波に対する対策

- 🥵 げんてん

有効応力解析による構造成立性確認(敷地内の地盤調査データに基づく杭の構造成立性確認)

既往の地盤調査データに基づく有効応力解析の結果を以下に示す(地盤改良無し)。

評価の結果,基準地震動Ss(Ss-D1)に対して防潮堤周辺地盤の過剰間隙水圧比は95%を下回ることから,液状化の発生は認められない。また,岩着支持杭の地震時の構造成立性を確認した。





-35 32 -35 32 -40 - 14

既往の地盤調査データに基づく有効応力解析結果より、岩着支持杭の基本的な成立性を確認した。

6. 基準津波に対する対策

有効応力解析による構造成立性確認(「豊浦標準砂」の液状化強度特性を仮定した杭の構造成立性確認)



既往の地盤調査データに基づく有効応力解析の結果では、液状化検討対象層の過剰間隙水圧比が95%以下であったことから 液状化しないことを確認している。しかし、保守的に全ての砂層・礫層を「豊浦標準砂」の液状化強度特性と仮定することに より、強制的に液状化する条件を与え、その条件下でも岩着支持杭が成立することを確認した。

なお、豊浦標準砂とは、粒径が均一で細粒分含有率が小さく液状化し易い性質があり、土質実験等で多用されるものである。







豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性と原地盤の液状化強度試験結果の比較

- 液状化強度試験箇所の道路橋示方書算定式で算定される平均液状化強度比R_Lが,敷地内調査孔の道路橋示方書算定式で算定される平均液状化強度比R_Lより小さいことから,液状化強度試験箇所の代表性・網羅性を確認した。
- du層, As層, D2s-3層及びD1g-1層の追加液状化強度試験で 求められた液状化強度特性は,設置変更許可申請段階で示 した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性(-1σ)と同等,ま たはより大きいことを確認した。一方, Ag2層, Ag1層, D2s-3 層及びD2g-3層の追加液状化強度試験で求められた液状化 強度特性は,設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP 解析用液状化強度特性(-1σ)よりもわずかながら小さいも のもあったが,その差は小さく,同様の傾向を呈していること から,各液状化検討対象層の設置変更許可申請段階で示し た原地盤のFLIP解析用液状化強度特性(-1σ)は,代表性を 有するものであることを確認した。
- 強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、敷地における全ての地層の液状化強度試験結果よりも、十分に小さいことを確認した。
- 以上より, FLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性
 を確認した。

6.基準津波に対する対策 津波波圧算定式適用に対する考え方 浸水深の設定



■浸水深の設定

設計用浸水深は、津波の最大遡上高さと設置地盤高さの差の1/2とし、朝倉式(浸水深の3倍の波圧に相当)により算定する。 設定理由は以下のとおり。

- ・津波の最大遡上高さと設置地盤高さの差の1/2を浸水深とし朝倉式から算定した津波荷重は、平面二次元津波シミュレーション解析で得られた浸水深を用いて朝倉式により算定した津波荷重よりも大きい。
- 水理模型実験により確認した浸水深を用いて朝倉式から算定した津波荷重は、上記から算定した津波荷重よりも更に小さいことを 確認した。



津波荷重の作用イメージ(平面二次元津波シミュレーション解析結果)





- ・解析値:分散波理論に基づいた断面二次元津波シミュレーション解析で得られた波圧
- ・実験値:水理模型実験で得られた波圧
- ・朝倉式(基準津波):分散波理論に基づいた断面二次元津波シミュレーション解析での浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧
- ・朝倉式(入力津波1/2):浸水深を(入力津波高さ-地盤高さ)×1/2として朝倉式により算出した波圧
- ・朝倉式(平面二次元):平面二次元津波シミュレーション解析で得られた浸 水深を用いて朝倉式により算出した波圧 2-2-67





6. 基準津波に対する対策 防潮堤のうち鋼製防護壁の止水機構について



7. 敷地に遡上する津波に対する対策 津波ハザード見直しを踏まえた重大事故等対処設備の津波防護設計





*1 ここで示す津波高さ(T.P.+30m)は、仮想的に防潮堤位置に無限鉛直壁を設定した場合の最高水位(駆け上がり高さ)であり、 防潮堤がない状態の津波高さはT.P.+20m程度である。 2-2-70 7. 敷地に遡上する津波に対する対策 津波高さの区分と炉心損傷頻度の関係(1/2)

▶津波PRAでは,防潮堤高さを超える領域の津波を想定して炉心損傷頻度を評価

⇒ 炉心損傷頻度への寄与が大きいT.P.+24mまでの津波高さを重大事故等対策に係る津波防護対象とする。 ⇒防潮堤損傷の可能性があるT.P.+24m以上の津波(津波区分3)は大規模損壊として対応する。(次ページ)

| 津波区分 津波高さ | 津波区分 津波高さ 津波による影響を受ける建屋・機器 | | | | |
|---|--|--|---|--|--|
| 津波区分1 T.P.+20m~T.P.+22m | 非常用海水ポンプ機能喪失 | ・ 最終ヒートシンク喪失 | _ 炉心損傷頻度 | | |
| 津波区分2 T.P.+22m~T.P.+24m | ・非常用海水ポンプ機能喪失 ・起動変圧器,予備変圧器機能喪失 ・原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 | 原子炉建屋内浸水による 複数の緩和機能喪失 | _ 約4×10 ^{−6} /年 ∫(全炉心損傷頻度 の約5.3%) | | |
| 津波区分3 T.P.+24m~ | ・非常用海水ポンプ機能喪失 ・起動変圧器,予備変圧器機能喪失 ・原子炉建屋内浸水による複数の緩和機能喪失 ・防潮堤損傷 | • 防潮堤損傷 | ♪ 炉心損傷頻度 約3×10 ⁻⁷ /年 (全炉心損傷頻度 の約0.4%) | | |
| I. P. + 24m I. P. + 22m T. P. + 22m I. P. + 20m T. P. + 20m I. P. + 20m | | | | | |

2-2-71

ない前提で評価している。

7. 敷地に遡上する津波に対する対策 津波高さの区分と炉心損傷頻度の関係(2/2)



津波区分3のT.P.+24m超津波による発電用原子炉施設の大規模な損壊に対する対応例