

4.2 津波

4.2.1 評価の概要

(1) 想定津波の影響について

伊方発電所第3号機における想定津波の評価については、最新の情報に基づき、敷地前面海域の断層群の地震と想定東南海・南海地震による津波を検討対象として選定し、土木学会「原子力発電所の津波評価技術」（平成14年）を参考に評価している。

評価の結果、敷地前面海域の断層群の地震に伴う津波により最大の水位上昇が生じることとなり、この津波による3号機敷地前面における水位上昇量の最大値は1.87mとなる。満潮時の潮位（T.P.+1.62m（T.P.：東京湾平均海面））を初期水位とした場合、表4.2.1に示すとおり、最高水位はT.P.+3.49mとなる。これに対して、原子炉施設が設置されている敷地高さはT.P.+10mであることから、原子炉施設の安全性に対して問題はない。

この評価結果については、平成23年3月に「伊方発電所3号機『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改定に伴う耐震安全性評価結果報告書 改訂版」として国へ報告している。（添付資料－4.2.1）

表4.2.1 想定津波における水位

	敷地前面における水位
津波による水位上昇量（最大値）	+1.87m
初期水位とする潮位	T.P.+1.62m
合計	T.P.+3.49m

(2) 今回の評価の概要

上述のとおり、想定津波が襲来したとしても敷地は浸水しないが、今回の発電用原子炉施設の安全性に関する総合評価（一次評価）においては、敷地が浸水し設備が機能喪失する場合を考え、設備が浸水する高さに着目して事象進展を検討し、燃料の重大な損傷に至る浸水の高さを特定する。また、この特定された浸水の高さと上述の想定津波による敷地前面における最高水位との差を裕度として評価する。

本評価においては、想定津波における最高水位や浸水の高さ等について以下の通り定義して評価する。

- ・ 設計津波高さ
 想定津波が襲来する場合の敷地前面における最高水位(T. P. +3. 49m)をいう。
- ・ 津波高さ
 設計津波高さを超える値であり、ある高さまで敷地が浸水すると仮定して、その浸水高さ（水位）をいう。
- ・ 許容津波高さ
 設備の設置場所、設置高さおよび設置場所への浸水口高さから評価され、設備が機能維持できるまでの津波高さをいう。

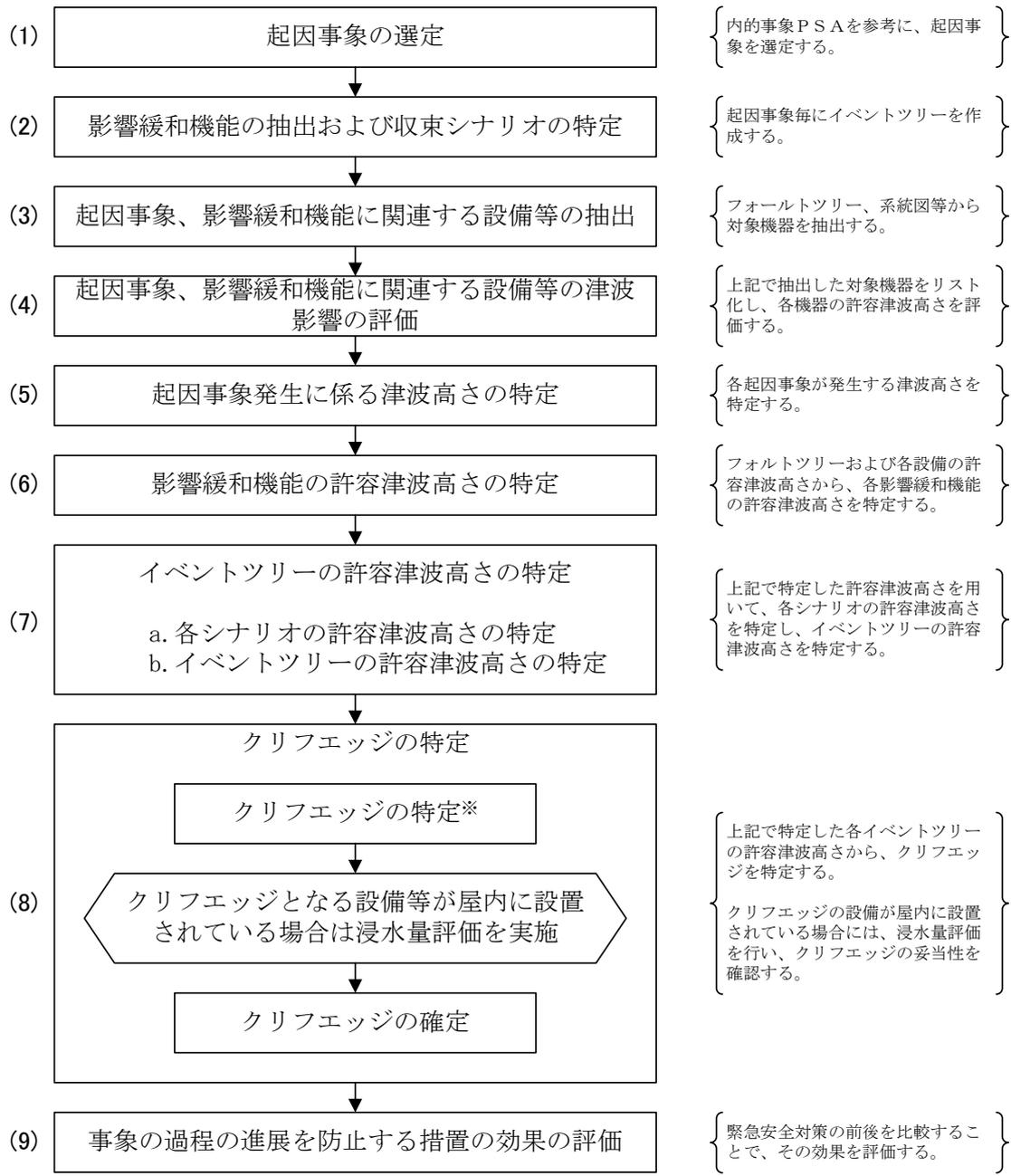
4.2.2 評価実施事項

津波に対して、以下の(1)～(3)の項目について評価を実施する。

- (1) 津波高さが、設計津波高さを超える程度に応じて、安全上重要な建屋、系統、機器（以下、「設備等」という。）および燃料の重大な損傷に関係し得るその他の設備等が損傷・機能喪失するか否かを設計津波高さ等との比較若しくはP S Aの知見等を踏まえて評価する。
- (2) (1)の評価結果を踏まえて、発生する起因事象により燃料の重大な損傷に至る事象の過程を同定し、クリフエッジの所在を特定する。また、そのときの津波高さを明らかにする。
- (3) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.2.3 評価方法

炉心にある燃料とS F Pにある燃料を対象に、図4. 2. 1のクリフエッジ評価に係るフロー図（津波）に従い、以下の評価を実施する。



※ 各イベントツリーの許容津波高さのうち、最も小さいものが、クリフエッジとなる。

図 4. 2. 1 クリフエッジ評価に係るフロー図（津波）

(1) 起因事象の選定

a. 炉心にある燃料

津波を起因として炉心損傷に至る事象を、これまで実施している内的事象 P S A での起因事象および津波の影響として固有に考慮すべき事象を勘案の上、起因事象として選定する。

b. S F P にある燃料

S F P の燃料の損傷に至る事象として、S F P 冷却系の機能喪失および S F P 保有水の流出を考慮する。

S F P 冷却系の機能喪失の原因として、S F P ポンプ・S F P 冷却器等の故障および S F P 浄化冷却設備の運転をサポートする機器の故障を考慮して起因事象を選定する。

S F P 保有水の流出については、その原因として、ピット本体の損傷が考えられるが、津波を起因としてピット本体が破損することは考えにくいいため、起因事象としては考慮しない。

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定

選定した各起因事象に対して、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成の上、事象の進展を収束させる収束シナリオを特定する。

なお、炉心にある燃料に対するイベントツリーは、これまでの P S A で用いられている成功基準、事故シーケンス分析の結果に基づき展開された各起因事象に対するイベントツリーを基本にして作成する。

(3) 起因事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出

評価対象とする設備等は、燃料の重大な損傷に係わる耐震 S クラス設備および燃料の重大な損傷に関係し得るその他のクラスの設備等とする。

なお、耐震 S クラスの設備等のうち、原子炉格納容器および原子炉格納容器内に設置されている設備等については、原子炉格納容器は水密化されており、津波によりこれらの設備等が機能喪失することはないので、評価対象外とする。一方で、S F P 冷却系の設備等については、その他のクラスではあるが、S F P の燃料の損傷に至る事象に関連することから、評価対象とする。
(添付資料－ 4. 2. 2)

具体的には、(1) 項にて選定した各起因事象に直接関連する設備等に加え、影響緩和機能に関連する設備等（フロントライン系に必要な設備等およびサポート系に必要な設備等）について、各起因事象を収束させるのに必要

なものを対象として抽出する。

なお、影響緩和機能に関する設備等については、各影響緩和機能についてフォールトツリーを作成し抽出する。

(4) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の津波影響の評価

(3)項で抽出した各設備等について、津波に対する損傷モード（水位上昇による浸水、水位低下による取水性への影響等）を考慮の上、当該設備が機能維持できる津波高さ（許容津波高さ）を設備の設置場所、設置高さおよび浸水口高さから評価する。

評価にあたっては、緊急安全対策として実施した扉・建屋貫通部のシーリング施工等の効果や建屋・機器の水密構造、耐水構造などの効果を必要に応じ考慮する。

なお、伊方発電所第3号機では、緊急安全対策において全交流電源喪失時等に使用される機器（タービン動補助給水ポンプ、蓄電池、安全系遮断器）に対し、T.P.+14.2mまでの範囲について上記シーリング施工を実施している。

(5) 起回事象発生に係る津波高さの特定

(1)項において選定した各起回事象について、(4)項で求めた各設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、どの程度の津波高さでどのような起回事象が発生するかを特定する。

(6) 影響緩和機能の許容津波高さの特定

(5)項で求めた各起回事象発生に係る津波高さが小さい起回事象から順に、(4)項で求めた各設備等の許容津波高さを使用し、当該起回事象を起点とするイベントツリーの収束シナリオに含まれる影響緩和機能の許容津波高さを特定する。

具体的には、各影響緩和機能のフォールトツリーおよび各設備等の許容津波高さから、各影響緩和機能の許容津波高さを特定する。

(7) イベントツリーの許容津波高さの特定

a. (6)項で求めた各収束シナリオの影響緩和機能の許容津波高さから、各収束シナリオの許容津波高さを特定する。

許容津波高さは、収束シナリオに必要な各影響緩和機能の許容津波高さのうち、最も小さいものとする。

- b. 収束シナリオの許容津波高さから、当該起因事象を起点とするイベントツリーの許容津波高さ（以下、「イベントツリーの許容津波高さ」という。）を特定する。

当該イベントツリーの許容津波高さは、収束シナリオが複数ある場合には、各シナリオの許容津波高さのうち、最も大きいものとする。

(8) クリフエッジの特定

起因事象発生に係る津波高さが小さいイベントツリーから順に、起因事象発生に係る津波高さと(7)項で求めたイベントツリーの許容津波高さを比較することにより、クリフエッジを特定する。

イベントツリーの許容津波高さが、当該起因事象発生に係る津波高さ未満になる場合には、当該イベントツリーの許容津波高さがクリフエッジとなる。

また、クリフエッジとなる許容津波高さで影響を受ける設備等が屋内に設置されている場合は、当該設備の設置区画への扉からの浸水量等を詳細に評価することで、クリフエッジとして特定した津波高さの妥当性を確認する。

具体的には以下のとおり評価する。

- ① 当該設備等の許容津波高さにおいて、当該設備の設置区画の扉が区画外部から浸水を受ける時間（浸水継続時間）を算出する。
- ② ①で求めた浸水継続時間および扉の仕様をもとに、設置区画への浸水量を算出する。
- ③ ②で求めた浸水量および設置区画の面積から、当該設置区画の浸水高さを算出し、当該設備等の機能への影響を確認する。
- ④ なお、緊急安全対策として実施した扉や建屋貫通部のシール施工等の範囲を超える津波高さに対しては、海水が建屋内に浸入し、主要な機器を機能喪失させるとの保守的な仮定のもと、上記施工範囲を津波高さの上限とする。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価

特定されたクリフェッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止する措置の効果について、多重防護の観点から評価する。

4.2.4 評価条件

2.3 項の評価の進め方に示した最も厳しいプラント状態を評価条件とし、評価にあたっては、以下の事項を考慮する。

- (1) 原子炉およびSFPが同時に影響を受けるものと想定する。また、防護措置の評価にあたっては、合理的な想定により機能回復を期待できる場合を除き、一度失った機能は回復しない、プラント外部からの支援は受けられない等、厳しい状況を仮定する。
- (2) 複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、1、2、3号機が同時に津波の影響を受ける状況を仮定する。
- (3) 津波の影響評価においては、設備等の水没による機能喪失に加え、各設備等の設置状況により、波力により損傷することも考慮する。

4.2.5 炉心にある燃料に対する評価結果

(1) 起回事象の選定結果

a. 内の事象PSA等を考慮した起回事象の検討

安全評価審査指針での想定事象等に基づき、定期安全レビューやアクシデントマネジメント整備有効性評価等でこれまで評価を実施している内の事象PSAにおける起回事象をベースに検討した。

その結果、津波を起因として炉心損傷に至る起回事象として、図4.2.2により、「主給水喪失」、「外部電源喪失」、「過渡事象」、「補機冷却水の喪失」および「炉心損傷直結」の5事象を選定した。

安全評価審査指針での想定事象

内的事象PSAIにおける起因事象
(伊方3号機 P S R報告書より)

津波を起因とした炉心損傷に至る起因事象

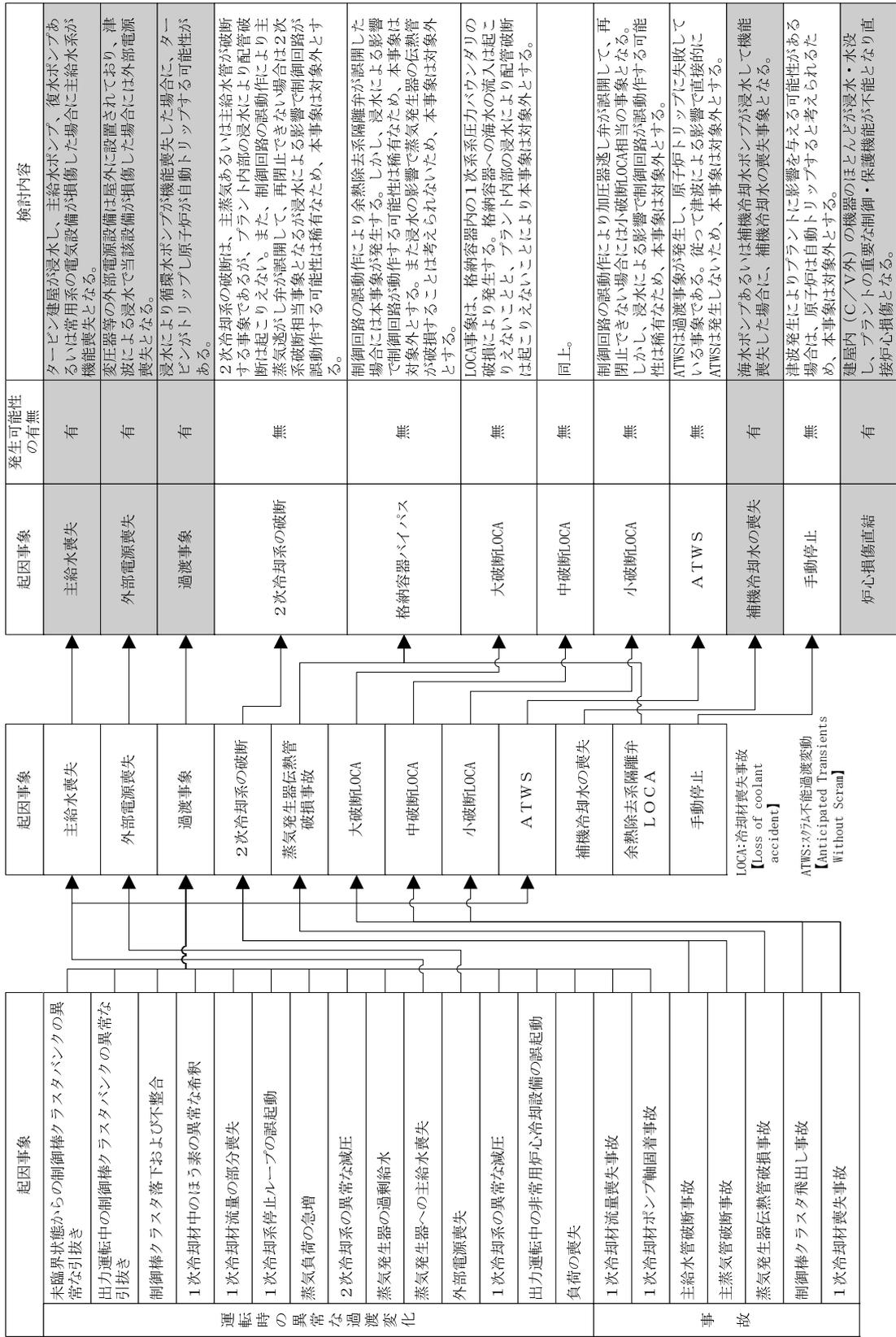


図 4. 2. 2 津波を起因とした炉心損傷に至る起因事象

b. 津波影響を検討する上で固有に考慮すべき起因事象の検討

津波固有のプラントへの影響としては、送電系統への影響や海水取水設備への影響などを考慮する必要があるが、起因事象としては、それぞれ「外部電源喪失」と「補機冷却水の喪失」（以下、「CCW喪失」という。）に包絡することができる。

以上のことから、以下の5事象を、津波の影響により発生を考慮すべき事象として選定した。

- ・ 主給水喪失
- ・ 外部電源喪失
- ・ 過渡事象
- ・ CCW喪失
- ・ 炉心損傷直結

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定結果

上記の各起因事象について、事象の影響緩和に必要な機能を抽出してイベントツリーを作成し、収束シナリオを特定した。

収束シナリオ特定においては、炉心の未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオとし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオとした。

なお、「炉心損傷直結」については、影響緩和機能に期待せず、炉心損傷に至るとみなすことから、イベントツリーは作成していない。

(添付資料－4. 2. 3)

(3) 起因事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出結果

起因事象および影響緩和機能（フロントライン系およびサポート系）に関連する設備等を抽出した。影響緩和機能については、フォールトツリーを作成し、関連する設備を抽出した。

(添付資料－4. 2. 4)

(添付資料－4. 2. 5)

(4) 起因事象、影響緩和機能に関連する設備等の津波影響の評価結果

(3)項にて抽出した設備等の設置場所、設置高さ、損傷モードおよび浸水経路高さから、許容津波高さを評価した。(図4. 2. 3参照)

(添付資料－4. 2. 6)

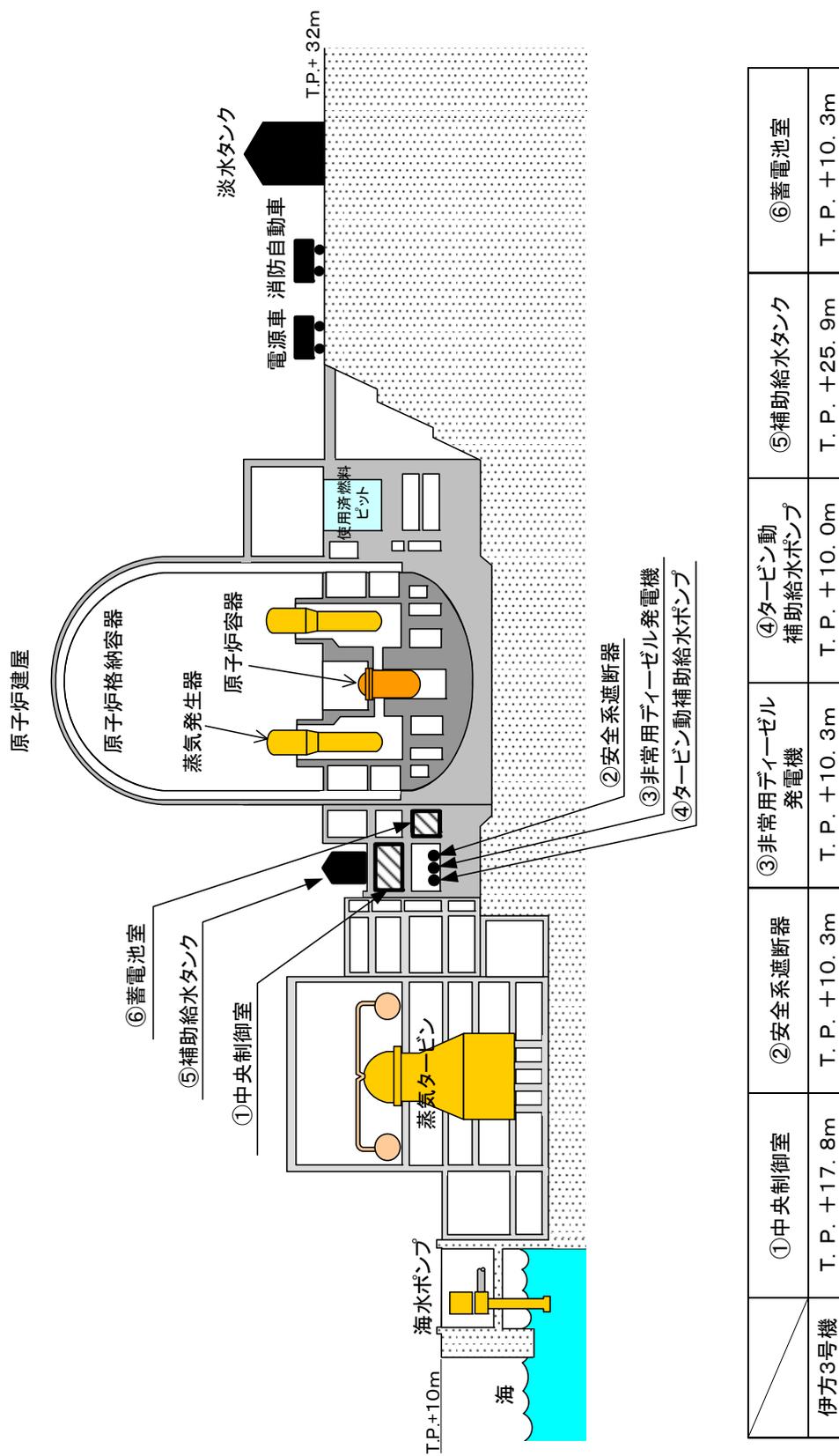


図 4. 2. 3 主要機器設置レベル概念図 (伊方発電所第3号機)

(5) 起因事象発生に係る津波高さの特定結果

各起因事象について、各設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、どの津波高さでどの起因事象が発生するか、表4.2.2および表4.2.3のとおり特定した。

表4.2.2 各起因事象の発生に係る設備の許容津波高さ

起因事象	対象設備 (代表機器)	設置場所 (屋内/屋外)	許容津波高さ (m)	備考
主給水喪失	復水ポンプ	屋内	T.P.+10.3	浸水経路レベル
外部電源喪失	所内変圧器	屋外	T.P.+10.3	設置レベル
CCW喪失	海水ポンプ	屋外	T.P.+10.2	浸水経路レベル
過渡事象	循環水ポンプ	屋外	T.P.+5.5	設置レベル

表4.2.3 津波高さと起因事象

津波高さ (m)	発生する起因事象	備考
T.P.+5.5	—	—
T.P.+5.5~+10.2	過渡事象	—
T.P.+10.2~+10.3	過渡事象 CCW喪失 (主給水喪失)	「CCW喪失」の発生に伴い、制御用空気系が喪失し、制御用空気を必要とする主給水制御弁が閉止(フェイルクローズ)されることで、従属的に「主給水喪失」が発生する。
T.P.+10.3~+14.2	過渡事象 主給水喪失 CCW喪失 外部電源喪失	—
T.P.+14.2~	炉心損傷直結 (過渡事象) (主給水喪失) (CCW喪失) (外部電源喪失)	建屋内(C/V外)の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり炉心損傷直結となる。

起因事象としては、

- ・ まず、津波高さが T.P. +5.5m を超えると、循環水ポンプの機能喪失による「過渡事象」が発生する。
- ・ 次に、津波高さが T.P. +10.2m を超えると、海水ポンプの機能喪失による「CCW喪失」が発生し、従属的に「主給水喪失」も発生する。
- ・ また、津波高さが T.P. +10.3m を超えると、所内変圧器の機能喪失による「外部電源喪失」が発生する。
- ・ さらに、T.P. +14.2m を超えると、「炉心損傷直結」となる。

以上より、津波により発生を考慮すべき起因事象のイベントツリーとしては、以下の3つとなる。

- ①過渡事象 (T.P. +5.5m～+10.2m)
 - ②過渡事象+CCW喪失 (T.P. +10.2m～+10.3m)
 - ③過渡事象+CCW喪失+主給水喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.3m～)
- (添付資料-4. 2. 7)

一方、想定津波を超える引き津波を想定した場合、循環水ポンプおよび海水ポンプの水源が喪失し、これらが損傷する可能性が考えられる。これに対し、運転マニュアルとして、「海水ポンプ海水ピット水位低」警報発信時には、海水ポンプ（全4台のうち、2台運転、2台待機）のうち、待機ポンプのスイッチを「切引」として自動起動を防止し、待機する手順が定められており、これによりプラントの安全性は確保できる。

なお、この操作に失敗した場合を想定したとしても、循環水ポンプおよび海水ポンプの機能喪失のみが発生することを考慮すればよいことから、評価は、以下の通り、寄せ津波による評価に包絡される。

- ・ 引き津波+寄せ津波(津波高さ T.P. 10.3m 以下)の場合
最終ヒートシンク喪失のみが発生することから、本評価における上述の「②過渡事象+CCW喪失 (T.P. +10.2m～+10.3m)」および後述する「4.5 最終的な熱の逃し場(最終ヒートシンク)の喪失」の評価で包絡される。
- ・ 引き津波+寄せ津波(津波高さ T.P. +10.3m 超)の場合
主給水喪失や外部電源喪失が発生することから、本評価における上述の「③過渡事象+CCW喪失+主給水喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.3m～)」に包絡される。

(6) 影響緩和機能の許容津波高さの特定結果

(5) 項で特定した

①過渡事象 (T.P. +5.5m~+10.2m)

②過渡事象 + C C W喪失 (T.P. +10.2m~+10.3m)

③過渡事象 + C C W喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T.P. +10.3m~)

のイベントツリーに係る各影響緩和機能について、フォールトツリーおよび(4)項で求めた各設備等の許容津波高さから、各影響緩和機能の許容津波高さを評価した。(添付資料-4.2.8)

(7) イベントツリーの許容津波高さの特定結果

(6) 項で特定した影響緩和機能の許容津波高さから、各収束シナリオの許容津波高さを特定した後、イベントツリーの許容津波高さを特定した結果、以下の通りとなった。(添付資料-4.2.9)

a. 過渡事象 (T.P. +5.5m~+10.2m) について

- ・ 収束シナリオ①および② (成功パス①および②)

起因事象は、循環水ポンプの機能喪失により、タービンが停止し、原子炉の運転に影響するというものであり、運転中のタービンの故障による過渡事象は、設計上想定している事象であり、原子炉は停止した後、安定的に冷却され、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

(収束シナリオの許容津波高さ : T.P. +10.2m)

以上から、本事象については、イベントツリーの許容津波高さは T.P. +10.2m であると特定された。

b. 過渡事象 + C C W喪失 (T.P. +10.2m~+10.3m) について

- ・ 収束シナリオ① (成功パス①)

起因事象発生の後、原子炉の停止に成功し、外部電源からの給電がなされている状態で、電動補助給水ポンプによる S/G への給水、現場での手動操作による主蒸気逃がし弁の開放を行うことにより、2次系冷却が行われる。また、蓄圧タンクのほう酸水を注入し未臨界性を確保する。その後、中央制御室からの操作により、蓄圧タンク出口弁を閉止する。

このシナリオでは、未臨界性が維持された上で継続的な2次系冷却が行われることとなり、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。(収束シナリオの許容津波高さ : T.P. +10.3m)

以上から、本事象については、イベントツリーの許容津波高さは T.P. +10.3m であると特定された。

c. 過渡事象＋CCW喪失＋主給水喪失＋外部電源喪失（T.P. +10.3m～）
について

・ 収束シナリオ①（成功パス①）

起因事象発生の後、原子炉の停止に成功するが、非常用所内電源が機能喪失し全交流電源喪失となる。この場合、タービン動補助給水ポンプによるS/Gへの給水、現場での手動操作による主蒸気逃がし弁の開放を行うことにより、2次系冷却が行われる。また、蓄圧タンクのほう酸水を注入し未臨界性を確保するとともに、蓄電池の枯渇までに電源車による給電を行うことにより、プラント監視機能等に必要な電源を確保する。その後、中央制御室からの操作により蓄圧タンク出口弁を閉止する。

なお、タービン動補助給水ポンプによるS/Gへの給水については、補助給水タンクの枯渇までに2次系純水タンク、淡水タンク、海水の順に補助給水タンクへ補給を行うことにより、2次系冷却を維持する。

このシナリオでは、未臨界性が維持された上で継続的な2次系冷却が行われることとなり、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。（収束シナリオの許容津波高さ：T.P. +14.2m）

以上から、本事象については、イベントツリーの許容津波高さはT.P. +14.2mであると特定された。

(8) クリフエッジの特定結果

a. 過渡事象（T.P. +5.5m～+10.2m）について

イベントツリーの許容津波高さT.P. +10.2mは、本事象発生に係る津波高さ以上であることから、本事象の進展過程においてクリフエッジは存在しない。

b. 過渡事象＋CCW喪失（T.P. +10.2m～+10.3m）について

イベントツリーの許容津波高さT.P. +10.3mは、本事象発生に係る津波高さ以上であることから、本事象の進展過程においてクリフエッジは存在しない。

c. 過渡事象＋CCW喪失＋主給水喪失＋外部電源喪失（T.P. +10.3m～）
について

イベントツリーの許容津波高さT.P. +14.2mは、本事象発生に係る津波高さの範囲にあること、またT.P. +14.2mを超えると「炉心損傷直結」に至ることから、津波高さT.P. +14.2mがクリフエッジとなる。

以上のことから、津波に対して、炉心にある燃料に対する重大な損傷を防止する観点では、津波高さ T.P. +14.2m がクリフエッジであると特定された。

上記クリフエッジとなる津波高さ T.P. +14.2m を決定している影響緩和機能を構成する設備等は、タービン動補助給水ポンプ等である。

これらの設備等については、原子炉建屋の T.P. +10m 以上に設置され、その許容津波高さは、区画への浸水口高さである T.P. +14.2m としていることから、当該区画について、区画の扉からの浸水量等を算出し、浸水による設備等への影響について評価した。

その結果、許容津波高さ以下では、浸水による設備等への影響はないことから、クリフエッジとしての津波高さは T.P. +14.2m であることが確認された。
(添付資料－4. 2. 10)

よって、炉心にある燃料に対する重大な損傷を防止する観点では津波に係るクリフエッジが存在し、その津波高さは T.P. +14.2m であり、設計津波高さ T.P. +3.49m に対する裕度は、約+10.7m であると評価される。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

前項までの検討において、津波に係るクリフエッジを特定した。この結果は、3章で示した福島第一原子力発電所事故を踏まえて整備を行った緊急安全対策実施後の状態に対して評価を行ったものである。

ここでは、クリフエッジへの対応、事象の過程の進展を防止するための措置ともなる緊急安全対策のクリフエッジへの効果について検討する。

a. 緊急安全対策実施前におけるクリフエッジについて

緊急安全対策のクリフエッジへの効果を検討するために、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーを作成した。(添付資料－4. 2. 11)

このイベントツリーから、緊急安全対策実施前においては、「過渡事象 + CCW喪失(T.P. +10.2m～+10.3m)」において、クリフエッジが存在し、海水ポンプが機能喪失する津波高さ T.P. +10.2m がクリフエッジとなる。

b. 緊急安全対策のクリフエッジへの効果

緊急安全対策実施前後におけるイベントツリーの比較により、

- ・ 緊急安全対策で電源車等を配備し、プラント監視上必要な計器類等の電源を確保したことにより、タービン動補助給水ポンプにより S/G に給水して冷却する収束シナリオが成立する

- ・ 緊急安全対策において、タービン動補助給水ポンプ、蓄電池等の S/G の除熱に必要な安全上重要な機器が設置されているエリアの扉や壁貫通部にシール施工を実施したことにより、タービン動補助給水ポンプ等の許容津波高さが T. P. +10. 3m から T. P. +14. 2m となった
 - ・ この結果、クリフエッジとなる津波高さが T. P. +10. 2m から T. P. +14. 2m に改善した
- といった緊急安全対策による効果が確認できた。

4. 2. 6 S F P にある燃料に対する評価結果

(1) 起回事象の特定結果

a. 内の事象 P S A 等を考慮した起回事象の検討

S F P にある燃料の重大な損傷に至る事象の起回事象としては、燃料の冷却性の喪失が考えられることから、内の事象 P S A における起回事象をベースに検討した結果、津波を起因として S F P にある燃料の重大な損傷に至る起回事象として、「外部電源喪失」、「C C W 喪失」の 2 事象を選定した。

b. 津波影響を検討する上で固有に考慮すべき起回事象の検討

津波固有の燃料の冷却性への影響としては、S F P ポンプへの浸水・故障により S F P の冷却機能が喪失することが考えられる。

以上のことから、以下の 3 事象を、津波の影響により発生を考慮すべき事象として選定した。

- ・ 外部電源喪失
- ・ C C W 喪失
- ・ S F P 冷却機能喪失（ポンプの故障）

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定結果

上記の各起回事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成し、収束シナリオを特定した。

収束シナリオ特定においては、S F P の未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオとし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオとした。

(添付資料－ 4. 2. 1 2)

(3) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出結果

起回事象および影響緩和機能（フロントライン系およびサポート系）に関連する設備等を抽出した。影響緩和機能については、フォールトツリーを作成し、関連する設備を抽出した。（添付資料－4. 2. 13）

（添付資料－4. 2. 14）

(4) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の津波影響の評価結果

(3)項にて抽出した設備等の設置場所、設置高さ、損傷モードおよび浸水経路高さから、許容津波高さを評価した。（添付資料－4. 2. 6）

(5) 起回事象発生に係る許容津波高さの特定結果

各起回事象について、各設備等の許容津波高さの評価結果を用いて、どの津波高さでどの起回事象が発生するか、表4. 2. 4および表4. 2. 5のとおり特定した。

表4. 2. 4 各起回事象の発生に係る設備の許容津波高さ

起回事象	対象設備 (代表機器)	設置場所 (屋内/屋外)	許容津波高さ (m)	備考
外部電源喪失	所内変圧器	屋外	T.P. +10.3	設置レベル
CCW喪失	海水ポンプ	屋外	T.P. +10.2	浸水経路レベル
SFP 冷却機能 喪失	使用済燃料 ピットポンプ	屋内	T.P. +14.2	浸水経路レベル

表 4. 2. 5 津波高さと起回事象

津波高さ (m)	発生する起回事象	備考
～T. P. +10. 2	—	—
T. P. +10. 2～+10. 3	CCW喪失 (SFP 冷却機能喪失)	「CCW喪失」の発生に伴い、使用済燃料ピット冷却器が使用不可となり、従属的に「SFP 冷却機能喪失」が発生する。
T. P. +10. 3～+14. 2	CCW喪失 (SFP 冷却機能喪失) 外部電源喪失	「CCW喪失」の発生に伴い、使用済燃料ピット冷却器が使用不可となり、従属的に「SFP 冷却機能喪失」が発生する。
T. P. +14. 2～	CCW喪失 SFP 冷却機能喪失 外部電源喪失	—

起回事象としては、

- ・ まず、津波高さが T. P. +10. 2m を超えると、海水ポンプの機能喪失による「CCW喪失」が発生し、従属的に「SFP 冷却機能喪失」も発生する。
- ・ 次に、津波高さが T. P. +10. 3m を超えると、所内変圧器の機能喪失による「外部電源喪失」が発生する。
- ・ また、津波高さが T. P. +14. 2m を超えると、使用済燃料ピットポンプの機能喪失による「SFP 冷却機能喪失」が発生する。

以上より、津波により発生を考慮すべき起回事象のイベントツリーとしては、以下の2つとなる。

- ① CCW喪失 (T. P. +10. 2m～+10. 3m)
- ② CCW喪失+外部電源喪失 (T. P. +10. 3m～)

(添付資料－4. 2. 15)

(6) 影響緩和機能の許容津波高さの特定結果

(5)項で特定した

- ① CCW喪失 (T. P. +10. 2m～+10. 3m)
- ② CCW喪失+外部電源喪失 (T. P. +10. 3m～)

のイベントツリーに係る各影響緩和機能について、フォールトツリーおよび(4)項で求めた各設備等の許容津波高さから、各影響緩和機能の許容津波

高さを評価した。

(添付資料－４．２．１６)

(7) イベントツリーの許容津波高さの特定結果

(6)項で特定した影響緩和機能の許容津波高さから、各収束シナリオの許容津波高さを特定した後、イベントツリーの許容津波高さについて評価した結果、以下の通りとなった。(添付資料－４．２．１７)

a. CCW喪失 (T.P. +10.2m～+10.3m) について

・ 収束シナリオ① (成功パス①)

起因事象発生の後、外部電源からの給電がなされている状態で、燃料取替用水タンクポンプを用いて燃料取替用水タンクのほう酸水をSFPに注入することにより、安定、継続的なSFPの冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。(収束シナリオの許容津波高さ：T.P. +10.3m)

・ 収束シナリオ② (成功パス②)

起因事象発生の後、燃料取替用水タンクポンプによる注水に失敗した場合、緊急安全対策として整備した消防自動車等によるSFPへの水の補給手段により、津波高さの影響を受けず、安定、継続的にSFPの冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される(シナリオの許容津波高さとして特定されるものはない)。

以上から、本事象については、収束シナリオ②により、津波高さの影響を受けず、燃料の重大な損傷を回避することができることから、イベントツリーの許容津波高さとして特定されるものはない。

b. CCW喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.3m～) について

・ 収束シナリオ① (成功パス①)

起因事象発生の後、非常用所内電源からの給電ができず全交流電源喪失となる。この場合、緊急安全対策として整備した消防自動車等によるSFPへの水の補給手段により、津波高さの影響を受けず、安定、継続的にSFPの冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される(シナリオの許容津波高さとして特定されるものはない)。

以上から、本事象については、津波高さの影響を受けず、燃料の重大な損傷を回避することができることから、イベントツリーの許容津波高さとして特定されるものはない。

(8) クリフエッジの特定結果

(7)項に示したとおり、「CCW喪失 (T.P. +10.2m～+10.3m)」、「CCW喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.3m～)」とも、緊急安全対策として整備したSFPへの水の補給手段により、津波高さの影響を受けず、継続的にSFPの冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避されることから、クリフエッジとして特定されるものはない。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

前項までの検討結果は、3章で示した福島第一原子力発電所事故を踏まえて整備を行った緊急安全対策実施後の状態に対して評価を行ったものである。

ここでは、クリフエッジへの対応、事象の過程の進展を防止するための措置ともなる緊急安全対策のクリフエッジへの効果について検討する。

a. 緊急安全対策実施前におけるクリフエッジについて

緊急安全対策のクリフエッジへの効果を検討するために、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーを作成した。

(添付資料－4. 2. 18)

このイベントツリーから、緊急安全対策実施前においては、クリフエッジが存在し、外部電源が機能喪失する津波高さ T.P. +10.3m がクリフエッジとなる。

b. 緊急安全対策のクリフエッジへの効果

緊急安全対策実施前後におけるイベントツリーの比較により、

- ・ 緊急安全対策で消防自動車等を津波の影響を受けない高台に配備し、淡水タンクまたは海水を水源とする補給手段を確保したことにより、淡水タンク等からSFPに給水して冷却する収束シナリオが成立する
- ・ この結果、緊急安全対策実施前においては、津波高さ T.P. +10.3m がクリフエッジとなるが、緊急安全対策実施後では、津波高さの影響を受けず、継続的にSFPの冷却が確保され、燃料の重大な損傷に至る事象は回避される

といった緊急安全対策による効果が確認できた。

4.2.7 結論

津波に対するクリフエッジは、炉心にある燃料に対しては、津波高さ T.P. +14.2m であると特定された。

また、SFPにある燃料に対しては、緊急安全対策として整備したSFPへの水の補給手段により、津波高さの影響を受けず、継続的にSFPの冷却が確保され、燃料の重大な損傷に至る事象は回避される。

よって、プラント全体としての津波に対するクリフエッジは、津波高さT.P. +14.2mであると特定された。

津波については、緊急安全対策として実施した扉等のシール施工等による建屋への浸水防止効果を考慮したものであることから、今後もその効果を維持していくため保守点検を確実に実施するとともに、順次水密扉への取替えを行い、さらに信頼性を高めていくこととしている。

また、今後、海水ポンプエリアへの防水対策の強化や消防自動車の追加配備等、多重防護の観点での対策を充実することとしている。

伊方 3 号機 設計想定津波算定根拠説明資料

「伊方発電所 3 号機『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』
の改定に伴う耐震安全性評価結果 報告書 改訂版」
(平成 23 年 3 月) による

【 目 次 】

1.	評価方針	4-2-26
2.	評価方法	4-2-27
3.	津波の想定および数値シミュレーション	4-2-28
3.1	既往津波の文献調査	4-2-28
3.2	プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討	4-2-29
3.2.1	対象津波の選定	4-2-29
3.2.2	数値シミュレーションによる津波高さの検討 ..	4-2-29
3.3	海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討 ..	4-2-32
3.3.1	数値シミュレーションによる津波高さの検討 ..	4-2-32
3.4	数値シミュレーション結果のまとめ	4-2-34
4.	津波に対する安全性の評価	4-2-35
4.1	津波水位の評価	4-2-35
4.2	津波に対する安全性の評価	4-2-35
4.2.1	津波による水位上昇に対する安全性	4-2-35
4.2.2	津波による水位下降に対する安全性	4-2-35
4.2.3	水位変動が取水に及ぼす影響	4-2-36
5.	二次的な影響に対する評価	4-2-37
5.1	砂移動に対する評価	4-2-37
5.1.1	砂移動に関する数値シミュレーション	4-2-37
5.1.2	検討結果	4-2-37
5.2	漂流物に対する評価	4-2-37
5.2.1	船舶に対する評価	4-2-37
5.2.2	流木に対する評価	4-2-38
5.2.3	ゴミに対する評価	4-2-38

6. 評価結果	4-2-39
7. 参考文献	4-2-40

【 表 目 次 】

第 3.1-1(1)表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高①	4-2-42
第 3.1-1(2)表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高②	4-2-43
第 3.1-1(3)表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高③	4-2-44
第 3.2-1表	数値シミュレーションにおける主な計算条件.	4-2-45
第 3.3-1表	数値シミュレーションにおける主な計算条件.	4-2-46
第 3.3-2表	詳細パラメータスタディの各種パラメータ...	4-2-47
第 3.4-1表	数値シミュレーション結果	4-2-48
第 4.2-1表	水位変動の数値シミュレーションの計算条件.	4-2-49
第 5.1-1表	砂移動の数値シミュレーション手法および条件	4-2-50

【 図 目 次 】

第 2-1 図	評価フロー	4-2-51
第 3.1-1 図	南海道および近地において津波を引き起こした地震の震央位置	4-2-52
第 3.2-1(1) 図	計算領域および水深（領域全域・四国周辺）	4-2-53
第 3.2-1(2) 図	計算領域および水深（敷地周辺）	4-2-54
第 3.2-2(1) 図	計算領域の格子分割（領域全域・四国周辺）	4-2-55
第 3.2-2(2) 図	計算領域の格子分割（敷地周辺）	4-2-56
第 3.2-3 図	1946 年昭和南海地震のモデル諸元（相田モデル）	4-2-57
第 3.2-4 図	1946 年昭和南海地震津波の痕跡高さと計算波高との比較	4-3-58
第 3.2-5 図	1946 年昭和南海地震津波による最大水位変化	4-2-59
第 3.2-6 図	1946 年昭和南海地震津波による初期鉛直変位分布および水位の時系列変化	4-2-60
第 3.2-7(1) 図	中央防災会議 想定東南海・南海地震のモデル諸元	4-2-61
第 3.2-7(2) 図	中央防災会議 想定東南海・南海地震のモデル諸元	4-2-62
第 3.2-8 図	中央防災会議 想定東南海・南海地震津波による最大水位変化	4-2-63
第 3.2-9 図	中央防災会議 想定東南海・南海地震津波による初期鉛直変位分布および水位の時系列変化	4-2-64
第 3.3-1 図	計算領域および水深（領域全域・敷地周辺）	4-2-65
第 3.3-2 図	計算領域の格子分割（領域全域・敷地周辺）	4-2-66
第 3.3-3 図	敷地前面海域の断層群による地震の津波波源の断層モデル（基準断層モデル）	4-2-67
第 3.3-4 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の波源の断層モデル（概略パラメータスタディ）	4-2-68
第 3.3-5 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の最大水位変化（概略パラメータスタディ）	4-2-69

第 3.3-6 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の初期鉛直変位分布および水位の時系列変化（最大水位上昇時：概略パラメータスタディ）	4-2-70
第 3.3-7 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の初期鉛直変位分布および水位の時系列変化（最大水位下降時：概略パラメータスタディ）	4-2-71
第 3.3-8 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の最大水位変化（詳細パラメータスタディ結果）	4-2-72
第 3.3-9 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の初期鉛直変位分布および水位の時系列変化（最大水位上昇時：詳細パラメータスタディ）	4-2-73
第 3.3-10 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の初期鉛直変位分布および水位の時系列変化（最大水位下降時：詳細パラメータスタディ）	4-2-74
第 4.2-1 図	取水設備概要図	4-2-75
第 4.2-2 図	水位変動の検討結果(水位上昇時)	4-2-76
第 4.2-3 図	水位変動の検討結果(水位下降時)	4-2-77
第 5.1-1 図	砂移動の数値シミュレーションフロー	4-2-78
第 5.1-2(1) 図	砂移動に伴う地形変化量の分布（藤井ほか(1998), 水位上昇最大ケース）	4-2-79
第 5.1-2(2) 図	砂移動に伴う地形変化量の分布（藤井ほか(1998), 水位下降最大ケース）	4-2-80
第 5.1-2(3) 図	砂移動に伴う地形変化量の分布（高橋ほか(1999), 水位上昇最大ケース）	4-2-81
第 5.1-2(4) 図	砂移動に伴う地形変化量の分布（高橋ほか(1999), 水位下降最大ケース）	4-2-82

1. 評価方針

施設の供用期間中に極めて稀であるが発生する可能性のある津波を想定し，想定した津波による水位変動により原子炉施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

また，津波による二次的な影響についても評価し，原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。

2. 評価方法

津波の評価においては、文献調査^{(1)~(12)}により抽出した、過去に敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波を検討対象とすることを基本とする。さらに、敷地周辺において既往津波の記録は存在しないものの、敷地に影響を及ぼすと考えられる海域の活断層に想定される津波波源を設定し、これらを対象とした数値シミュレーションを行うことで敷地沿岸における津波水位を算定する。

これらの検討結果から評価用の津波水位を求め、津波水位が原子炉施設へ及ぼす影響を評価する。さらに、求めた津波水位に基づいて取水系統の水理特性を考慮した応答計算を行い、取水設備における水位変動が取水へ及ぼす影響も評価する。

また、津波に伴う砂移動等の水位変動以外の事象に対しても評価する。

評価フローを第 2-1 図に示す。

3. 津波の想定および数値シミュレーション

津波の想定は、文献から敷地周辺における既往津波の状況を調査して行うとともに、海域の活断層を考慮して行う。海域の活断層から想定した津波の数値シミュレーションは、土木学会（2002）⁽¹⁾を参考に、波源の断層モデルにおいて不確かさが存在する因子を合理的な範囲で変化させてパラメータスタディを実施する。

3.1 既往津波の文献調査

敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波について、文献調査を行う。

調査の対象とする文献は、渡辺（1985, 1998）⁽²⁾⁽³⁾、宇佐美（2003）⁽⁴⁾、宇津ほか編（2001）⁽⁵⁾、羽鳥（1985, 1988）⁽⁶⁾⁽⁷⁾、村上ほか（1996, 2002）⁽⁸⁾⁽⁹⁾、山本ほか（2001, 2003）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、理科年表（2006）⁽¹²⁾、および気象庁の発表とする。

文献調査の結果、瀬戸内海地域を震源とする地震による津波記録としては、羽鳥（1985）⁽⁶⁾より 1596 年に別府湾における豊後の地震による記録があるものの、当地震での津波の記録は別府湾沿岸のみに限定されており、敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。

一方、太平洋側では南海トラフ沿いのプレート境界において、過去に概ね 100～150 年間隔で M 8 クラスの巨大地震が繰り返し発生している。これらの地震のうち、羽鳥（1988）⁽⁷⁾、村上ほか（1996, 2002）⁽⁸⁾⁽⁹⁾、山本ほか（2001, 2003）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾は、1707 年宝永地震津波、1854 年安政南海地震津波および 1946 年昭和南海地震津波を対象として痕跡高さの評価を実施しているが、これら論文においても瀬戸内海沿岸における津波高さは最大で 3 m 程度であるとされており、さらに羽鳥（1988）⁽⁷⁾は論文中で宝永・安政津波の波高は、西低東高の分布であると評価している。

瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 1707 年宝永地震津波、1854 年安政南海地震津波および 1946 年昭和南海地震津波の痕跡高さを第 3.1-1(1) 表～第 3.1-1(3) 表に示し、南海道および近地において津波を引き起こした地震の震央位置を第 3.1-1 図に示す。

3.2 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討

数値シミュレーションによる津波高さの検討は、文献調査の結果から対象津波を選定し、再現計算により数値シミュレーションモデルの妥当性の確認を行った上で行う。

3.2.1 対象津波の選定

既往津波に関する文献調査の結果、プレート境界付近に想定される地震に伴う津波の検討は南海トラフ沿いのプレート境界で発生する地震に伴う津波を対象津波とする。

南海トラフ沿いのプレート境界で過去に発生した地震津波の波源の断層モデルは、相田(1981)⁽¹³⁾に示される1707年宝永地震津波モデル、1854年安政南海地震津波モデル、1946年昭和南海地震津波モデルがある。

しかしながら本検討では、これらの波源の断層モデルは対象津波として選定せず1707年宝永地震津波や1854年安政南海地震津波等の波高を包絡するように設定された「内閣府中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会(2003)」⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾(以下、「中央防災会議」という。)の「想定東南海・南海地震津波」を対象津波として選定とする。

3.2.2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

(1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションにおける主な計算条件を第3.2-1表に示す。

計算格子分割は、海上保安庁による最新の地形図⁽¹⁶⁾等を用いてモデル化した海底地形に基づき、長谷川ほか(1987)⁽¹⁷⁾の基準に従って水深と津波の周期から推定される津波の波長を基に設定する。

数値シミュレーションに用いた計算領域とその水深を第3.2-1(1)図および第3.2-1(2)図に、計算領域の格子分割を第3.2-2(1)図および第3.2-2(2)図に示す。

(2) 再現性の評価方法

計算手法や海底地形等のモデルの妥当性を確認することを目的として再現計算を実施する。再現計算は、地震発生

時の地形および津波痕跡高の信頼性の面から、1946年昭和南海地震津波を対象として実施する。

再現計算として数値シミュレーションに用いる1946年昭和南海地震津波の波源の断層モデルは、相田(1981)⁽¹³⁾に示されているモデルを用いる。波源の断層モデル諸元を第3.2-3図に示す。

数値シミュレーションによる津波の再現性は、第3.1-1(1)表～第3.1-1(3)表に示した津波痕跡高さのうち村上ほか(1996)⁽⁸⁾に示される1946年昭和南海地震による津波高さを用いて評価を実施する。

再現性の評価の指標としては相田(1977)⁽¹⁸⁾による痕跡高と数値シミュレーションにより計算された津波高さとの比から求める幾何平均値Kおよびバラツキを表す指標 κ を用いる。

以下に、幾何平均値Kおよびバラツキを表す指標 κ の算定式を示す。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log \kappa = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right\}^{1/2}$$

$$K_i = \frac{R_i}{H_i}$$

ここに、 R_i は*i*番目の地点の観測値(痕跡高)であり、 H_i は数値シミュレーションにより計算された津波高である。

なお、幾何平均Kおよびバラツキを表す指標 κ については、土木学会(2002)⁽¹⁾に示されており、「 $0.95 < K < 1.05$ 、 $\kappa < 1.45$ 」が再現性の目安とされている。

(3) 再現性の検討結果

村上ほか(1996)⁽⁸⁾に示される既往津波高と数値シミュレーションによる津波高さの比較を第3.2-4図に示す。

再現性の検討を行った結果、四国地域においては $K = 1.04$ 、 $\kappa = 1.37$ となった。当評価結果のKおよび κ は土木

学会の再現性の目安を満足しており，十分な再現性を確保しているといえる。

(4) 既往津波の予測計算結果

1946年昭和南海地震津波を対象とした再現計算の結果，敷地周辺での最大水位上昇量は約0.1m，補機冷却水取水口での最大水位下降量は約0.1mである。1946年昭和南海地震津波の敷地周辺における最大水位の変化を第3.2-5図に，初期鉛直変位分布および水位の時系列変化を第3.2-6図に示す。

(5) 対象津波の予測計算

再現計算によって計算手法やモデルの妥当性が確認できたことから中央防災会議が設定した「想定東南海・南海地震」の断層モデルを波源に用いた津波シミュレーションを行って敷地周辺における津波予測計算を行う。

主な計算条件を第3.2-1表に示し，中央防災会議が設定した想定東南海・南海地震の波源の断層モデル諸元を第3.2-7(1)図～第3.2-7(2)図に示す。

中央防災会議による想定東南海・南海地震の津波予測計算の結果，敷地周辺における最大水位上昇量は約0.3m，補機冷却水取水口での最大水位下降量は約0.3mである。

中央防災会議による想定東南海・南海地震津波の敷地周辺における最大水位の変化を第3.2-8に，初期鉛直変位分布および水位の時系列変化を第3.2-9図に示す。

3.3 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

敷地に最も近い海域の活断層は、敷地前面海域の断層群である。当断層群は中央構造線断層帯の一部であり、横ずれの断層である。横ずれ断層は、地震に伴って大きな津波を生じる可能性は低いが、仮に横ずれ断層である当断層群のすべり角に、鉛直方向の成分を加味して津波を想定した場合には、敷地との距離から見て当該断層群に想定される地震による津波が敷地に影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。

そこで、海域の活断層については敷地前面海域の断層群の地震による津波を対象津波として選定する。

3.3.1 数値シミュレーションによる津波高さの検討

(1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションにおける主な計算条件を第 3.3-1 表に示す。

計算格子分割は、海上保安庁による最新の地形図⁽¹³⁾等を用いてモデル化した海底地形に基づき、長谷川ほか(1987)⁽¹⁷⁾の基準に従って、水深と津波の周期から推定される津波の波長を基に設定する。

数値シミュレーションに用いた計算領域とその水深を第 3.3-1 図に、計算領域の格子分割を第 3.3-2 図に示す。

(2) 波源の基準断層モデルの設定

波源の基準断層モデルは詳細な地質調査結果より設定した地震動評価で用いたモデルを参考に基準断層モデルを設定する。敷地前面海域の断層群による地震の津波波源の基準断層モデルを第 3.3-3 図に示す。

なお、想定するモーメントマグニチュードについては、土木学会(2002)⁽¹⁾を参考に断層長さより設定する。

(3) 概略パラメータスタディ

設定した基準断層モデルの諸条件のうち、不確かさが存在する因子を合理的と考えられる範囲で変化させて第 3.3-4 図に示すようにパラメータスタディを実施する。

敷地前面海域の断層群の断層長さは、地震動評価における不確かさの考慮を参考に54kmを基本とし、断層両側の引張性ジョグの全長を考慮した69kmも設定する。断層傾斜角は、敷地前面海域の断層群が横ずれ・高角断層であることを踏まえて90°を基本とし、不確かさとして±10°を考慮する。さらに当該断層群が北へ30°から40°傾斜する地質境界断層と一致する可能性も否定できないことから設定した地震動評価における不確かさの考慮を踏まえて、北傾斜30°および40°を断層長さ54kmのケースに考慮する。すべり角は、敷地前面海域の断層群が横ずれ断層であることを踏まえて180°（右横ずれ）を基本とし、不確かさとして±10°を考慮する。

パラメータスタディを行った結果のうち、3号機補機冷却水取水口において、補機冷却海水ポンプの水位上昇側および水位下降側のそれぞれの許容標高に対して最も厳しくなるケースの最大水位変化を第3.3-5図に示す。数値シミュレーションの結果、水位上昇側の最も厳しいケースは断層長さ69km、断層傾斜角北傾斜80°、すべり角170°の場合であり、3号機敷地前面における水位上昇量の最大値は1.38mである。水位下降側の最も厳しいケースは、断層長さ69km、断層傾斜角北傾斜80°、すべり角190°の場合であり、3号機補機冷却水取水口における水位下降量の最大値は0.94mである。

波源の断層モデルと初期鉛直変位分布および水位の時系列変化を第3.3-6図～第3.3-7図に示す。

(4) 詳細パラメータスタディ

概略パラメータスタディの結果のうち、3号機補機冷却水取水口において、補機冷却海水ポンプの水位上昇側および水位下降側のそれぞれの許容標高に対する最も厳しいケースを基本ケースとして詳細パラメータスタディを実施する。

パラメータスタディは断層傾斜角、すべり角ともに基本ケースから±5°変化させて行う。各パラメータを第3.3-2表に示す。

詳細パラメータスタディの結果のうち、3号機補機冷却水取水口において、海水ポンプの水位上昇側および水位下降側のそれぞれの許容標高に対する最も厳しいケースの最大水位

変化を第 3.3-8 図に示す。

評価の結果、敷地前面海域の断層群の地震による津波で水位上昇側の最も厳しいケースは、断層傾斜角北傾斜 75° 、すべり角 165° の場合であり、3号機敷地前面における水位上昇量の最大値は 1.87m である。水位下降側の最も厳しいケースは、断層傾斜角北傾斜 75° 、すべり角 195° の場合であり、3号機補機冷却水取水口における水位下降量の最大値は 1.36m である。

波源の断層モデルと初期鉛直変位分布および水位の時系列変化を第 3.3-9 図～第 3.3-10 図に示す。

3.4 数値シミュレーション結果のまとめ

既往津波および海域の活断層に想定される地震に伴う津波の数値シミュレーションを実施した。それらの検討結果を第 3.4-1 表に示す。

これらの結果より、敷地に最も影響を与える津波は敷地前面海域の断層群の地震による津波であることから、当津波の数値シミュレーションによる水位を安全性評価用の津波水位とする。

4. 津波に対する安全性の評価

安全性評価用の津波水位（水位上昇および水位下降）を想定した場合に，原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。確認にあたっては，取水施設の水利特性による水位変動の影響も考慮する。

なお，基準面は東京湾平均海面（T.P.）を用いる。

4.1 津波水位の評価

数値シミュレーションによる津波水位の検討結果から，安全性評価用の津波水位は，敷地前面海域の断層群の地震による津波であり，3号機敷地前面における水位上昇量の最大値は1.87mである。安全性評価用の水位は，朔望平均満潮位（T.P.+1.62m⁽²²⁾）を初期水位として設定した場合，3号機敷地前面における最高水位はT.P.+3.49mとなる。

また，3号機補機冷却水取水口における水位下降量の最大値は，1.36mである。安全性評価用の水位は，朔望平均干潮位（T.P.-1.69m⁽²²⁾）を初期水位として設定した場合，T.P.-3.05mとなる。

4.2 津波に対する安全性の評価

安全性評価用の津波水位に対する原子炉施設の安全性について，数値シミュレーションの結果を考慮して，以下のとおり評価する。

4.2.1 津波による水位上昇に対する安全性

3号機敷地前面での最高津波水位はT.P.+3.49mであり，これに対しては，第4.2-1図に示すように原子炉建屋等が設置された敷地高さはT.P.+10mであることから，原子炉施設の安全性に対して問題はない。

4.2.2 津波による水位下降に対する安全性

3号機補機冷却水取水口での最低津波水位はT.P.-3.05mである。これに対して，第4.2-1図に示すように3号機補機冷却水取水口の呑口の上端標高はT.P.-5.72mであり，地震による0.19mの地盤上昇を考慮するとその上端標高はT.P.-5.53mとなる。これより安全性評価用の最低水位と比較しても取水口の呑口は十分深く，津波により水位が下降した場合でも原子炉補機

冷却系の海水を取水することが可能である。

4.2.3 水位変動が取水に及ぼす影響

補機冷却水取水口での津波水位の変動に伴って生じる補機冷却海水ポンプ室の水位の変動を，取水施設の水利特性を考慮した数値シミュレーションを行うことによって算定し，水位変動が取水に及ぼす影響を評価する。

(1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは，取水口から取水路を経て補機冷却海水ポンプ室に至る取水系について検討する。

取水設備の概要を第4.2-1図に，数値シミュレーションの計算条件を第4.2-1表に示す。

(2) 評価結果

評価用の津波水位を用いて水位変動の数値シミュレーションを実施した結果，補機冷却海水ポンプ室における最高水位は T.P. +2.85m であり，溢水することはない。また，補機冷却海水ポンプ室における最低水位 T.P. -3.02m は，補機冷却海水ポンプの設計最低水位に地震による地盤上昇を考慮した T.P. -3.39m より上方であることから，原子炉補機冷却系の海水を取水することが可能であり，原子炉施設の安全性に関して問題はない。

取水施設の水位変動の評価結果を第4.2-2図および第4.2-3図に示す。

5. 二次的な影響に対する評価

津波の水位変動以外の事象として、津波に伴う砂移動および漂流物が原子炉補機冷却系の取水に及ぼす影響について確認する。

5.1 砂移動に対する評価

津波水位変動以外の事象に対する評価として、津波に伴う砂移動の影響について数値シミュレーションにより検討し、原子炉補機冷却設備の取水に支障が生じることなく、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認する。

5.1.1 砂移動に関する数値シミュレーション

数値シミュレーションは、藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾および高橋ほか(1999)⁽²⁷⁾の手法に基づき、津波の挙動とそれに伴う砂移動を同時に計算し、その結果変化した地形を用いて次のステップの流れと水位を逐次計算した。評価は安全性評価用の想定津波(上昇側および下降側)を検討の対象とした。

数値シミュレーションのフローを第5.1-1図に、砂移動の数値シミュレーション手法及び条件を第5.1-1表に示す。

5.1.2 検討結果

砂移動の数値シミュレーションを実施した結果、取水口付近における水深変化量は0.00m(0.5mm未満)となり、砂移動により原子炉補機冷却水の取水に支障が生じることはない。

砂移動に伴う地形変量の分布を第5.1-2(1)図～第5.1-2(4)図に示す。

5.2 漂流物に対する評価

津波発生に伴って漂流物になり得る船舶、流木およびゴミが原子炉補機冷却系の取水に支障とならず、原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。

5.2.1 船舶に対する評価

敷地前面に港湾施設はなく、津波の発生時に船舶が原子炉補機冷却水の取水に支障となることはない。

5.2.2 流木に対する評価

敷地周辺には貯木場はなく、津波の発生時に木材の流出・散乱の恐れはないことから、津波の発生時に流木が原子炉補機冷却水の取水に支障になることはない。

5.2.3 ゴミに対する評価

3号機補機冷却水取水口の呑口の標高は T.P.-5.72m～T.P.-7.72m であり、ゴミが混入しにくい構造となっている。また、補機冷却海水ポンプ室前面にはスクリーン等を設置しており、ゴミの流入を防止する構造となっていることから、津波の発生時にゴミが原子炉補機冷却水の取水に支障となることはない。

6. 評価結果

以上より，津波による水位変動により原子炉施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認するとともに，津波による二次的な影響についても評価し，原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認した。

7. 参考文献

- (1) 「原子力発電所の津波評価技術」 土木学会原子力土木委員会津波評価部会，2002
- (2) 「日本被害津波総覧」 渡辺偉夫，東京大学出版会，1985
- (3) 「日本被害津波総覧（第2版）」 渡辺偉夫，東京大学出版会，1998
- (4) 「最新版 日本被害地震総覧 416-2001」 宇佐美龍夫，東京大学出版会，2003
- (5) 「地震の事典[第2版]」 宇津徳治ほか編集，朝倉書店，2001
- (6) 「別府湾沿岸における慶長元年（1596年）豊後地震の津波調査」 羽鳥徳太郎，地震研究所彙報，Vol.60，429-438，1985
- (7) 「瀬戸内海・豊後水道沿岸における宝永（1707）・安政（1854）・昭和（1946）南海道津波の挙動」 羽鳥徳太郎，地震2，41，215-221，1988
- (8) 「四国における歴史津波（1605 慶長・1707 宝永・1854 安政）の津波高の再検討」，村上仁士・島田富美男・伊藤禎彦・山本尚明・石塚淳一，自然災害科学，15-1，39-52，1996
- (9) 「四国沿岸域における歴史津波高評価」 村上仁史・島田富美男・山本尚明・上月康則・佐藤広章，月刊 海洋，号外28，61-72，2002
- (10) 「記録に基づく四国4県の歴史地震津波に関する被害状況」 山本尚明・村上仁史・島田富美男・上月康則・佐藤広章，歴史地震，17，117-126，2001
- (11) 「瀬戸内海の歴史南海地震津波について」 山本尚明，歴史地震，19，153-160，2003
- (12) 「理科年表 平成19年」 国立天文台編，丸善，2006
- (13) 「南海道沖の津波の数値実験」 相田勇，東京大学地震研究所彙報，56，713-730，1981
- (14) 「資料3 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」（第16回）東南海、南海地震の強震動と津波の高さ（案）」 内閣府中央防災会議事務局，2003
- (15) 「資料3 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」（第16回）東南海、南海地震の強震動と津波の高さ（案）図表集」 内閣府中央防災会議事務局，2003
- (16) 「沿岸の海の基本図 海底地形図，6386-5，伊予灘北東部」 海上保安庁，2000，他

- (17) 「津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究」長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫，土木学会論文集，381，111-120，1987
- (18) 「三陸沖の古い津波のシミュレーション」相田勇，東京大学地震研究所彙報，52，71-10，1977
- (19) 「参考資料2 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第16回) 6 津波の計算手法」内閣府中央防災会議事務局，2003
- (20) 「The displacement fields of inclined faults」, Mansinha, L. and Smilie, D.E., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, 5, 1971
- (21) 「GIS を利用した津波遡上計算と被害推定」, 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫，海岸工学論文集，45，356-360，1998
- (22) 「伊方発電所原子炉設置変更許可申請書」, 四国電力株式会社，1984
- (23) 「水理公式集〔平成11年版〕」, 土木学会，713p，1999
- (24) 「火力・原子力発電所土木構造物の設計－補強改訂版－」, 電力土木技術協会，1102p，1995
- (25) 「発電水力演習」, 千秋信一，学献社，423p，1967
- (26) 「津波による海底地形変化に関する研究」藤井直樹・大森政則・高尾誠・金山進・大谷英夫，海岸工学論文集，45，376-380，1998
- (27) 「掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発」高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔，海岸工学論文集，46，606-610，1999
- (28) 「津波による砂移動に関する研究」小林昭男・織田幸伸・東江隆夫・高尾誠・藤井直樹，海岸工学論文集，43，691-695，1996

第 3.1-1(1)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往津波高①

(単位：m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
愛媛県	西条市	西条	1-2 ^{**}		
	西条市	壬生川	1-2 ^{**}		
	松山市	三津浜		1.5 ^{**}	1.2 ^{**}
	松前町	松前		2 ^{**}	
	伊予市	伊予		2.5 ^{**}	
	愛南町	岩水		3.5-4	
	愛南町	満倉		2-3	
	愛南町	深浦		3-4	
	愛南町	久良		4-5	
	愛南町	貝塚		2-3	
	宇和島市	宇和島	5.1	2-3	1.5
	宇和島市	吉田	5	3.7	1.5
	西予市	三瓶			1.2
	八幡浜市	八幡浜			0.9
	伊方町	伊方			1.2
	伊方町	三崎			1.2
	伊方町	内の浦			0.7
香川県	内海町	内海	2 ^{**}		
	直島町	直島		1 ^{**}	
	高松市	高松	1.8 ^{**}	1.5 ^{**}	0.9
	高松市	庵治	1.8 ^{**}		
	高松市	香西		1.3 ^{**}	
	坂出市	木沢浦		1 ^{**}	
	坂出市	浜西		1.5 ^{**}	
	丸亀市	丸亀	2 ^{**}		
徳島県	鳴門市	撫養		1-2	0.9
	徳島	徳島		1-2	1.4
	小松島市	小松島		1.5-2	2
	阿南市	中島		4-5	
	阿南市	橘	3-4	3	4
	阿南市	椿泊			3.7
	美波町	阿部		5.5	
	美波町	由岐	6-7	7-8	4
	美波町	由岐 長円寺		7.2	
	美波町	由岐 八幡神社		7.7	
	美波町	田井 観音		4.3	
	美波町	田井			2
	美波町	木岐	6-7		4.2
	美波町	木岐 延命寺		6.5	
	美波町	木岐 大師庵		6.7	
美波町	日和佐町		2-3	2.5, 3.6	
牟岐町	牟岐	6-7	6-7	4.5	
徳島県	牟岐町	牟岐 杉尾神社	3.6		
	牟岐町	牟岐 石ヶ平	8		
	牟岐町	出羽島		6	3.6
	牟岐町	牟岐 薬師堂		4.7	

※村上ほか(1996, 2002)⁽⁸⁾⁽⁹⁾の津波高さを基本とし、山本ほか(2001, 2003)⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾の津波高さのデータを追記したもの

第 3.1-1(2)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往
津波高②

(単位：m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
徳島県	海陽町	浅川	6-7	6.5-7.2	4.7-5.3
	海陽町	那佐 那佐大師堂		5.5	
	海陽町	那佐			4.2
	海陽町	鞆浦	3	3.5	2
	海陽町	宍喰			3.6
	海陽町	宍喰 願行寺	5.5		
	海陽町	宍喰 鈴ヶ峯桜の本		5.3	
	海陽町	宍喰 宍喰川上流		4.5	
	海陽町	宍喰 八幡		3.6	
	海陽町	宍喰 祇園拝殿		3.2	
	海陽町	宍喰 愛宕山		3.9	
	海陽町	宍喰 古目大師堂		7.9	
	海陽町	宍喰 古目御番所		7.7	
	高知県	東洋町	甲浦	6	3.6
室戸町		佐喜浜	5		2.9
室戸町		椎名			4.8
室戸町		津呂			1.9
室戸町		室津	6-7	3	2
奈半利町		奈半利			3
安田町		安田			2.3
安芸市		伊尾木			3
安芸市		安芸	6-7	5	3
香南市		手結	6-7	5	3.3
香南市		下夜須	9.3		
香南市		岸本	5-6	5	1.5
香南市		赤岡	4-5	4	
香南市		古川	4-5		
南国氏		十市	7-8		
高知市		仁井田	6-7		
高知市		種崎	5-6		1.7
高知市		下田	6-7		
高知市		吸江	6-7		
高知市		一宮	7.7		
高知市		潮江	5-6		1.3
高知市		高知	2-3	3	0.5
高知市		御畳瀬	5-6		1.3
高知市		藻州潟		5	2.2
高知市		浦戸	5-6	4.5-5	1.8
高知市		桂浜	5-6	4.5-5	
春野町		甲殿	5-6	5	4.3-5.1
土佐市	宇佐	8-13	5.8-8.9	4.6	
土佐市	福島	7-8	7-8	4	
須崎市	奥浦	3.1			
須崎市	野見			5.6	
須崎市	押岡		7-8		
須崎市	吾井ノ郷	9	7-8		

第 3.1-1(3)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往
津波高③

(単位 : m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
高知県	須崎市	多ノ郷	8.7	7.1-8.4	3.5
	須崎市	須崎	8	5.5	4.4
	須崎市	安和			5.1
	中土佐町	久礼	7.5-8	5.6-8.3	2.3, 3.7
	中土佐町	上ノ加江		5-6	2.5-3.1
	中土佐町	矢井賀		7.8	
	四万十町	興津		6	4.3
	黒潮町	佐賀			4.7
	黒潮町	伊田		5-6	
	黒潮町	上川口			4.9
	黒潮町	鞭		8.5	4.0
	黒潮町	入野	8.6	6-6.5	
	四万十市	下田		4-5	3.9
	土佐清水市	布			2.5
	土佐清水市	下ノ加江	10	7.2	3.7
	土佐清水市	大岐	8.1	4.9-5.3	
	土佐清水市	以布利	10	4.3-4.7	3.1
	土佐清水市	窪津		4.4	
	土佐清水市	大浜	8.6	5	
	土佐清水市	土佐清水	5	4	2.3
	土佐清水市	下益野		4-5	
	土佐清水市	三崎	7	5-6	3
	土佐清水市	下川口	7-8	4-5	3
	土佐清水市	貝ノ川	8	4	
	土佐清水市	大津	7		
	大月町	古満目		4	3.5
	大月町	柏島		3.3	
	宿毛市	片島			1.8
	宿毛市	ハイタカ神社	9.8	3.2	2.5
	宿毛市	清宝寺	4.5-5.5		
	宿毛市	和田の奥	4.1		
	宿毛市	天神社		3	
	宿毛市	河戸堰		3.5-4	

第 3.2-1 表 数値シミュレーションにおける主な計算条件
 (1946 年昭和南海地震津波)
 (中央防災会議 想定東南海・南海地震津波)

項目	計算条件
計算領域	・ 四国南方海域を中心として東西約 1000km, 南北 700km の領域
格子分割サイズ	・ 沖合いでの最大 1600m から 800, 400, 200, 100, 50, 25 と 1/2 ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・ 0.5 秒
基礎方程式	・ 非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	・ Mansinha and Smylie(1971) ⁽²⁰⁾ の方法により計算
沖側境界条件	・ 自由透過条件。ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・ 25m および 50m 格子領域は, 陸上遡上を考慮 ・ 上記以外の領域は, 陸上に向かう津波に対して完全反射条件 ・ 静水面より下降する津波に対して小谷(1998) ⁽²¹⁾ の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦係数	・ マニングの粗度係数 $n = 0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (中央防災会議(2003) ⁽¹⁹⁾ に準拠)
水平渦動粘性係数	・ $10\text{m}^2/\text{s}$ (土木学会(2002) ⁽¹⁾ より)
計算対象現象時間	・ 発生時間より 24 時間

基礎方程式：非線形長波（浅水理論）の方程式および運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

ここに,

x, y : 水平方向座標, t : 時間, η : 静水面からの水位

M, N : それぞれ x, y 方向の線流量

K_h : 水平渦動粘性係数

D : 全水深 ($D = h + \eta$)

h : 静水位

g : 重力加速度

n : マニングの粗度係数

第 3.3-1 表 数値シミュレーションにおける主な計算条件

(敷地前面海域の断層群の地震津波)

項目	計算条件
計算領域	・東西約 180km, 南北約 160km
格子分割サイズ	・沖合いでの最大 400m から 200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25 と 1/2 ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・0.0625 秒
基礎方程式	・非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	・Mansinha and Smylie(1971) ⁽²⁰⁾ の方法により計算
沖側境界条件	・自由透過条件。ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・伊方発電所敷地周囲は陸上遡上を考慮 ・伊方発電所以外の陸岸は, 静水面より上昇する津波に対して完全反射条件 ・静水面より下降する津波に対して小谷(1998) ⁽²¹⁾ の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦係数	・マニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$
水平渦動粘性係数	・ $10\text{m}^2/\text{s}$ (土木学会(2002) ⁽¹⁾ より)
計算対象現象時間	・発生時間より 90 分間

基礎方程式：非線形長波（浅水理論）の方程式および運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

ここに,

 x, y : 水平方向座標, t : 時間, η : 静水面からの水位 M, N : それぞれ x, y 方向の線流量 K_h : 水平渦動粘性係数 D : 全水深 ($D = h + \eta$) h : 静水位 g : 重力加速度 n : マニングの粗度係数

第 3.3-2 表 詳細パラメータスタディの各種パラメータ

○敷地前面海域の断層群 モーメントマグニチュード Mw 7.48

< 水位上昇側 >

断層長さ (km)	断層傾斜角 (°)	すべり角 (°)	断層幅 (km)	すべり量 (m)
69	75	165	15.5	4.90
	80	170	15.2	4.98
	85	175	15.0	5.03

< 水位下降側 >

断層長さ (km)	断層傾斜角 (°)	すべり角 (°)	断層幅 (km)	すべり量 (m)
69	75	185	15.5	4.90
	80	190	15.2	4.98
	85	195	15.0	5.03

第 3.4-1 表 数値シミュレーション結果

	水位上昇側		水位下降側	
	1・2号機 敷地前面	3号機 敷地前面	1・2号機 取水口	3号機 取水口
1946年昭和南海 地震津波	+0.08m	+0.07m	-0.07m	-0.07m
中央防災会議に よる東南海・南海 地震津波	+0.28m	+0.28m	-0.31m	-0.31m
敷地前面海域の 断層群による地 震津波	+2.63m	+1.87m	-1.13m	-1.36m

第 4.2-1 表 水位変動の数値シミュレーションの計算条件

項目	計算条件
計算領域	3号機側 取水口～取水路～補機冷却海水ポンプ室
計算時間間隔	0.1秒
基礎方程式	非定常管路流の連続式および運動方程式
境界条件	3号機側 : 1.333m ³ /s
取水路の摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 $n = 0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ を採用
局所損失係数	土木学会(1999)等 ^{(23)~(25)} による。
潮位変動条件	水位上昇側：朔望平均満水位 T.P. +1.62m 水位下降側：朔望平均干潮位 T.P. -1.69m
地盤変動条件	地盤変動を考慮
計算時間	地震発生後90分

基礎方程式

(1) 管水路の連続式および運動方程式

・連続式 $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$

・運動方程式
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

ここに、 t ：時間， Q ：流量， v ：管路の流速， A ：流水断面積
 x ：管底に沿った座標， H ：圧力水頭＋位置水頭，
 n ：マンニングの粗度係数， g ：重力加速度， R ：径深
 Δx ：管路の流れ方向の長さ， f ：局所損失係数

(2) 水槽（補機冷却海水ポンプ室）の連続式

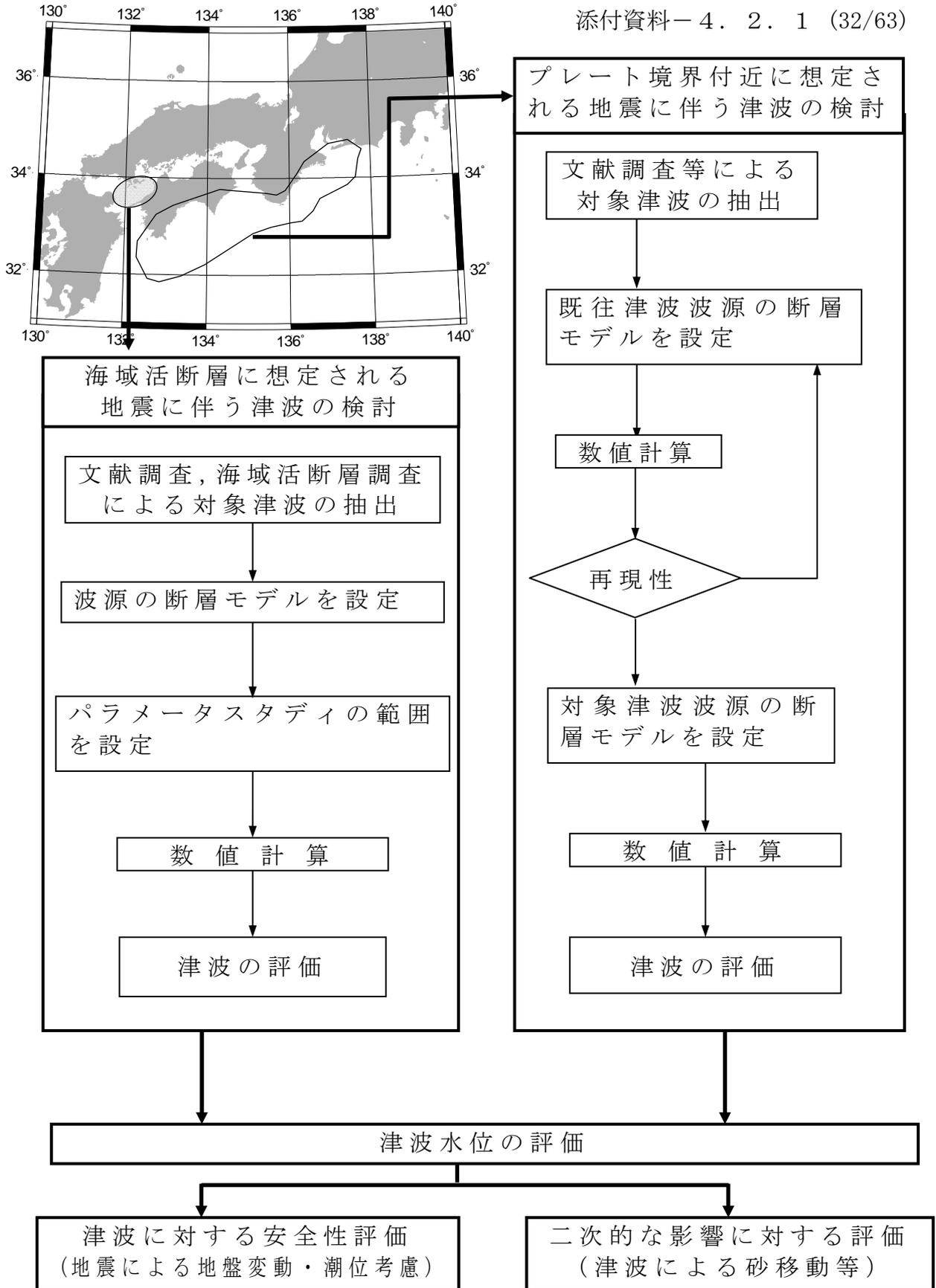
$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q$$

ここに、 H_p ：水槽内の位置水頭
 A_p ：水槽の平面積（水位の関数となる）
 Q ：水槽への流入出量

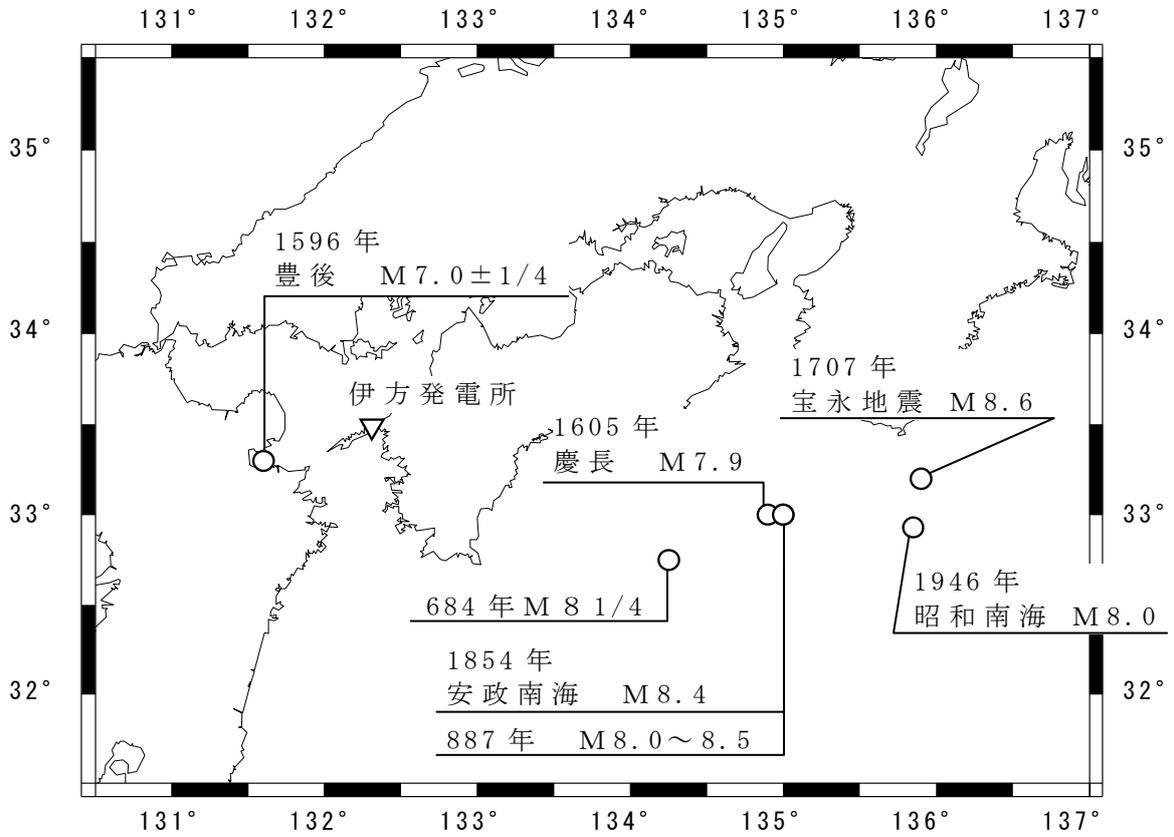
第 5.1-1 表 砂移動の数値シミュレーション手法および条件

	藤井ほか(1998)の手法 ⁽²⁶⁾	高橋ほか(1999)の手法 ⁽²⁷⁾
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
流砂量式	小林ほか(1996) ⁽²⁸⁾ の実験公式 $Q = 80\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999) ⁽²⁷⁾ の実験公式 $Q = 21\tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$	$E = 0.012\tau_*^2 \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake 則を鉛直方向に積分した式より算出	マニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U^2 / D^{1/3}}$

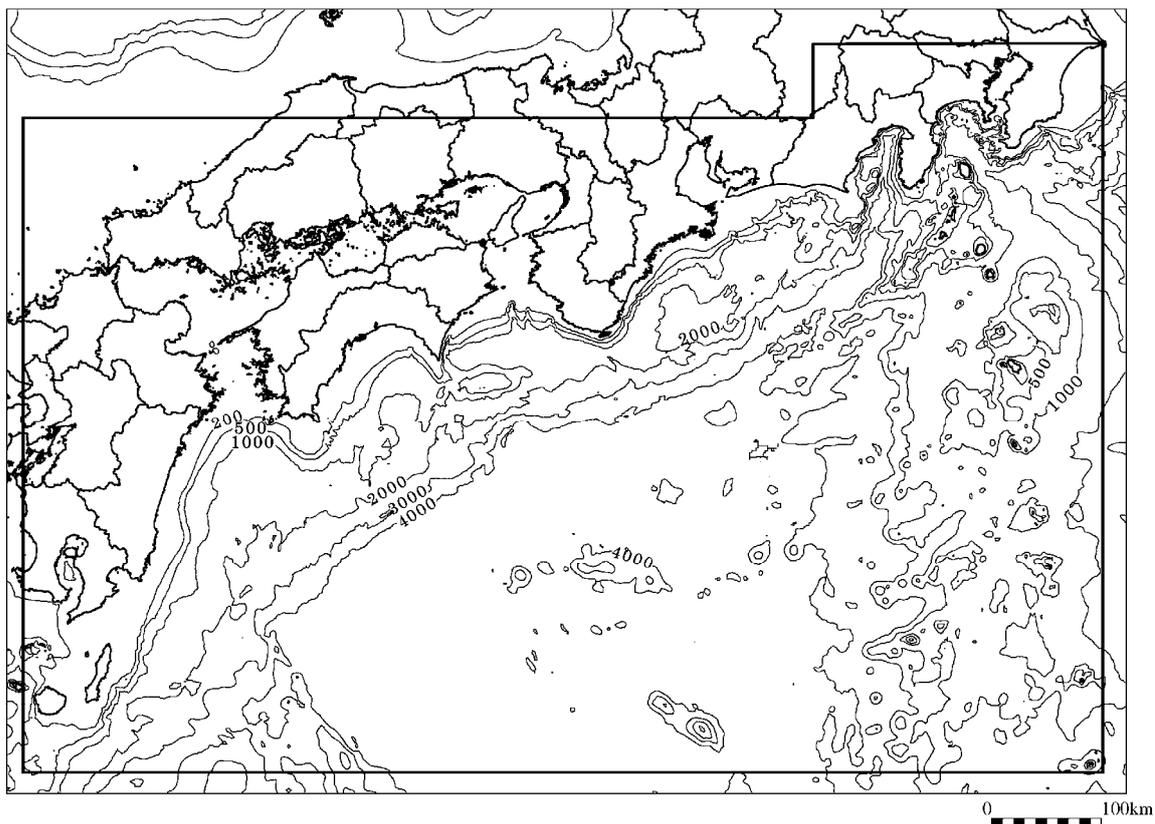
- Z : 水深変化量(m) t : 時間(s) x : 平面座標
 Q : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m³/s/m) τ_* : シールズ数
 σ : 砂の密度 (=2.900kg/m³, 四国電力の調査結果より) ρ : 海水の密度(kg/m³)
 d : 砂の粒径 (=2.7×10⁻⁴m (中央粒径), 四国電力の調査結果より) g : 重力加速度(m/s²)
 λ : 空隙率 (=0.4, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾他より) s : = $\sigma / \rho - 1$
 U : 流速(m/s) D : 全水深(m) M : $U \times D$ (m²/s)
 n : Manningの粗度係数 (=0.03m^{-1/3}s, 土木学会(2002)⁽¹⁾より)
 α : 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率 (=0.1, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾より)
 w : 土粒子の沈降速度 (Rubey式より算出) (m/s) Z_0 : 粗度高さ (=ks/30) (m)
 k_z : 鉛直拡散係数 (=0.2κu_*h, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾より) (m²/s) ks : 相当粗度 (=7.66ng^{1/2})⁶ (m)
 κ : カルマン定数 (=0.4, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾より) h : 水深(m)
 C, C_b : 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出, 浮遊砂体積濃度 1%相当を上限とする) (kg/m³)
 C_s : 浮遊砂体積濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出, 1%を上限とする)
 log-wake 則 : 対数則 $u_*/U = \kappa / \{\ln(h/Z_0) - 1\}$ に wake 関数 (藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾より) を付加した式



第 2-1 図 評価フロー

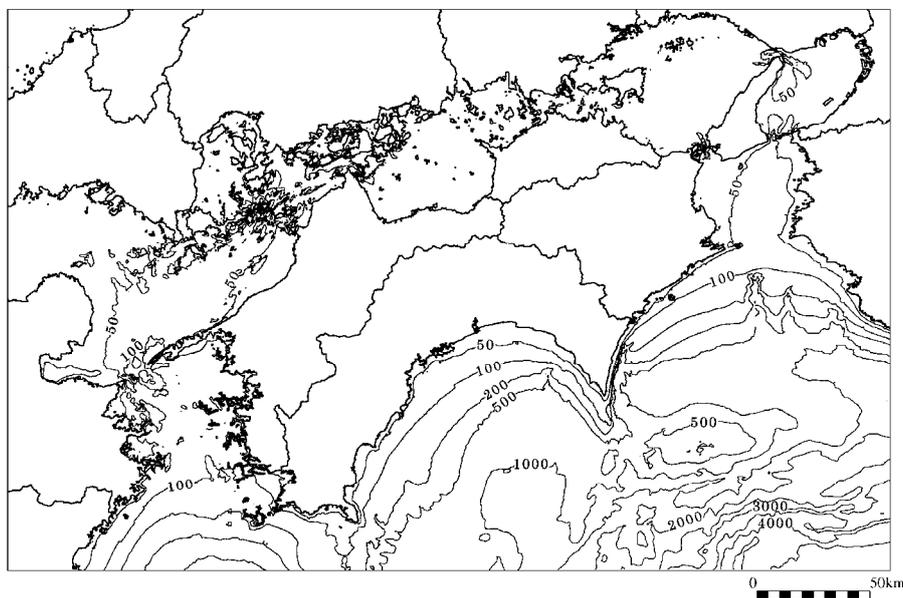


第 3.1-1 図 南海道および近地において津波を引き起こした地震の震央位置



領域全域

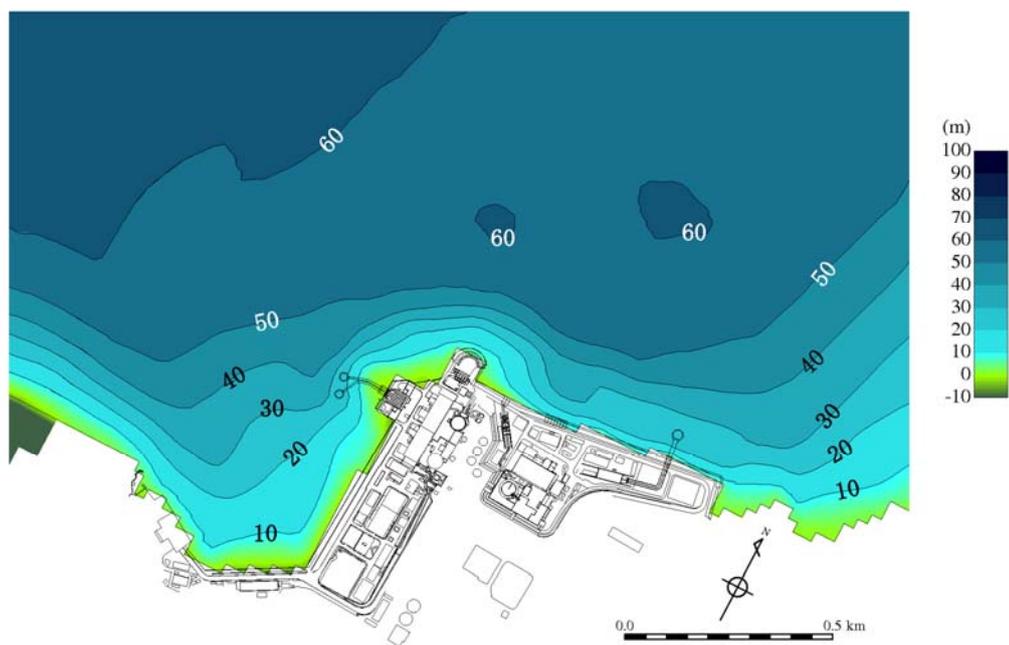
単位：m



四国周辺

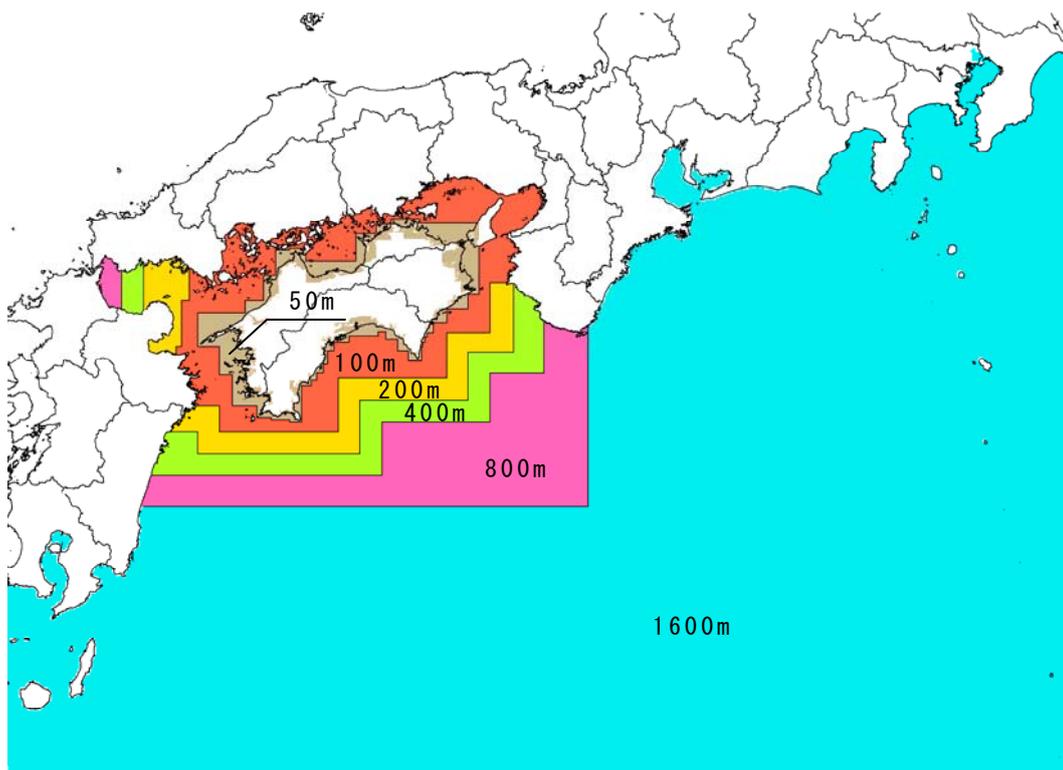
単位：m

第 3. 2-1(1) 図 計算領域および水深（領域全域・四国周辺）

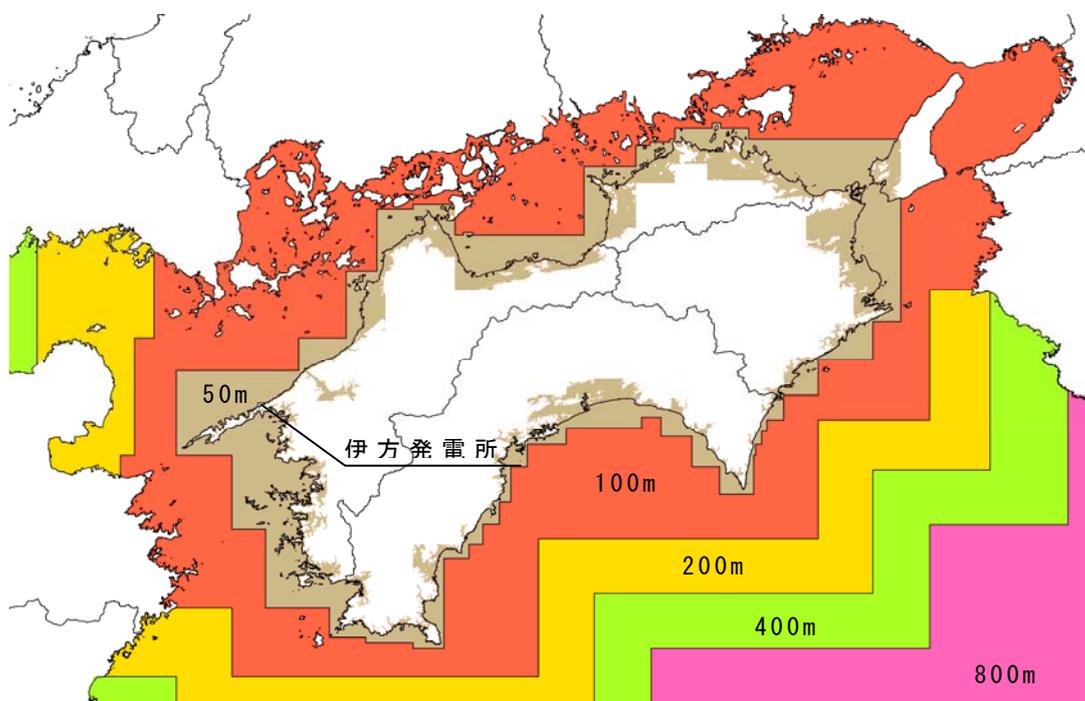


単位：m

第 3.2-1(2) 図 計算領域および水深（敷地周辺）

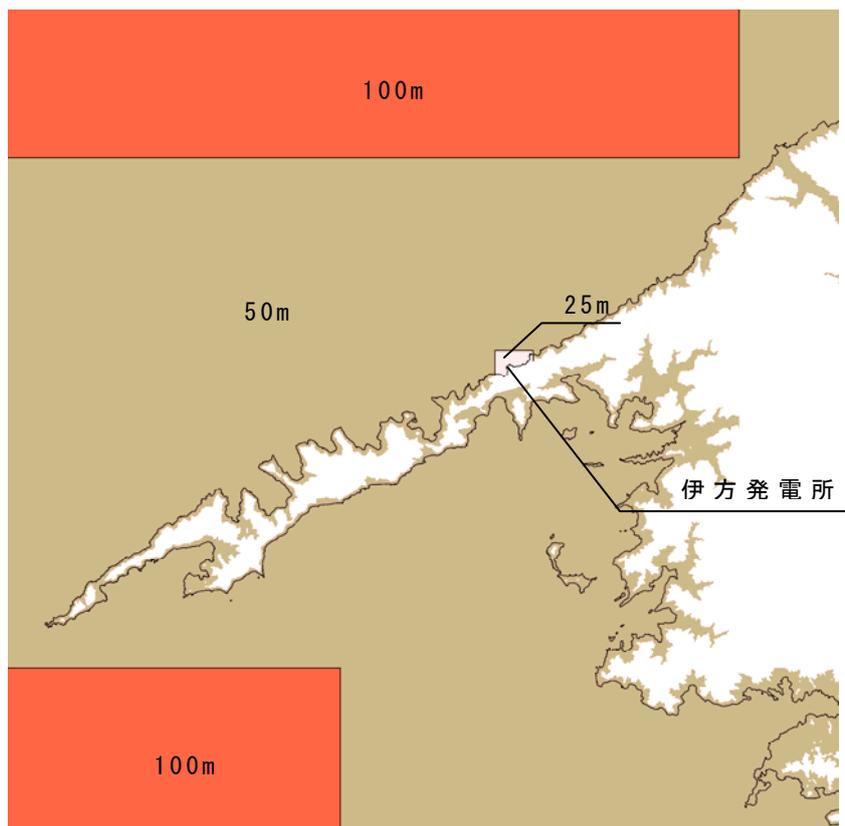


領域全域



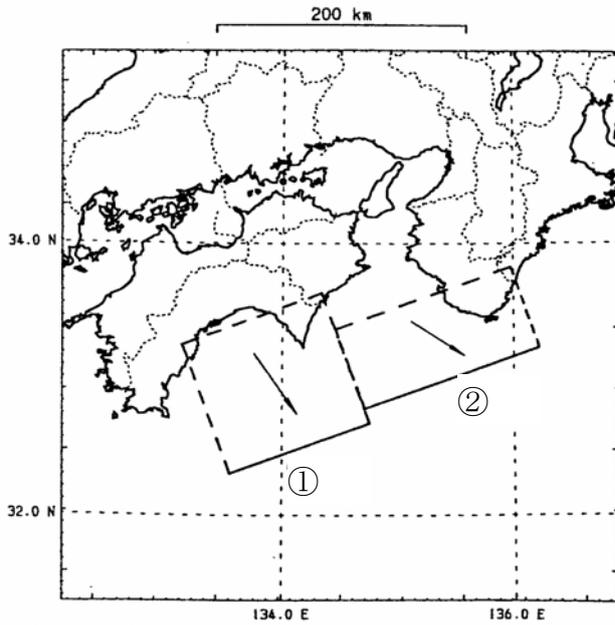
四国周辺

第 3. 2-2(1) 図 計算領域の格子分割 (領域全域・四国周辺)

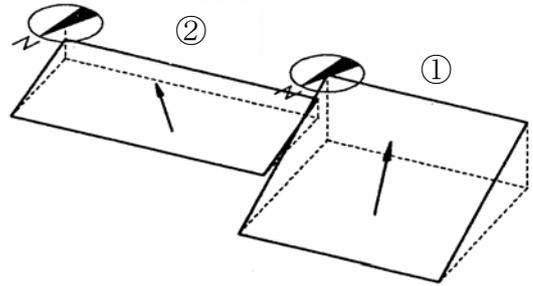


第 3.2-2(2) 図 計算領域の格子分割 (敷地周辺)

・平面図



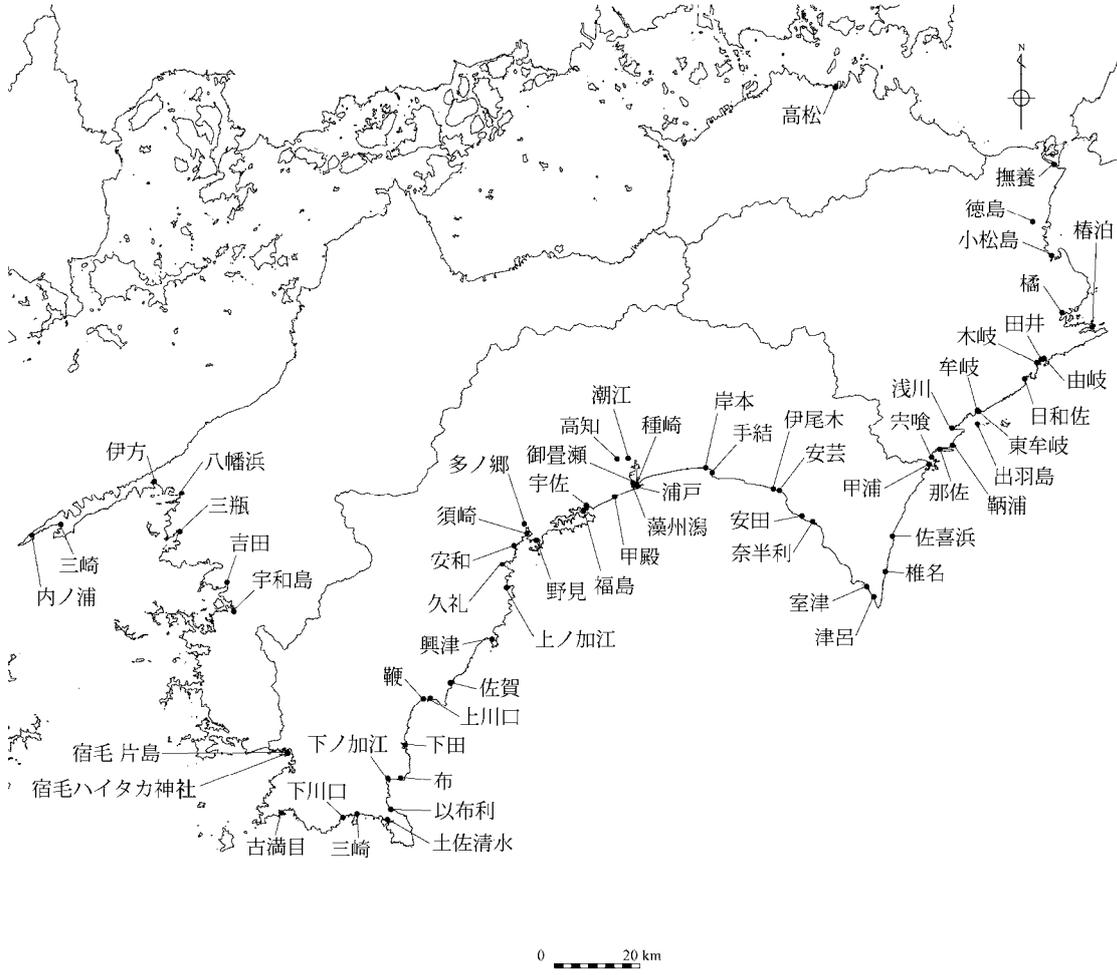
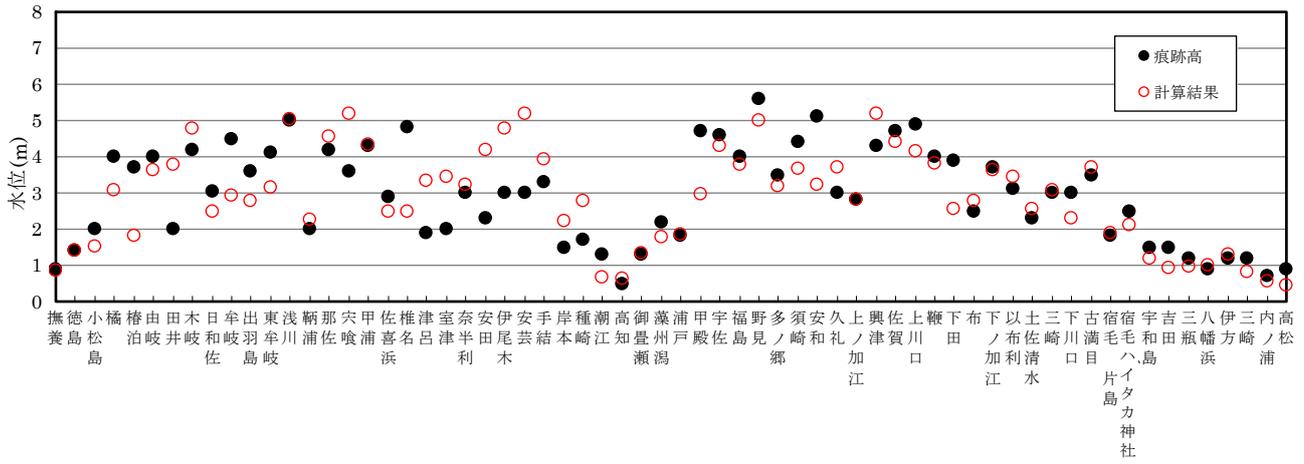
・見取図



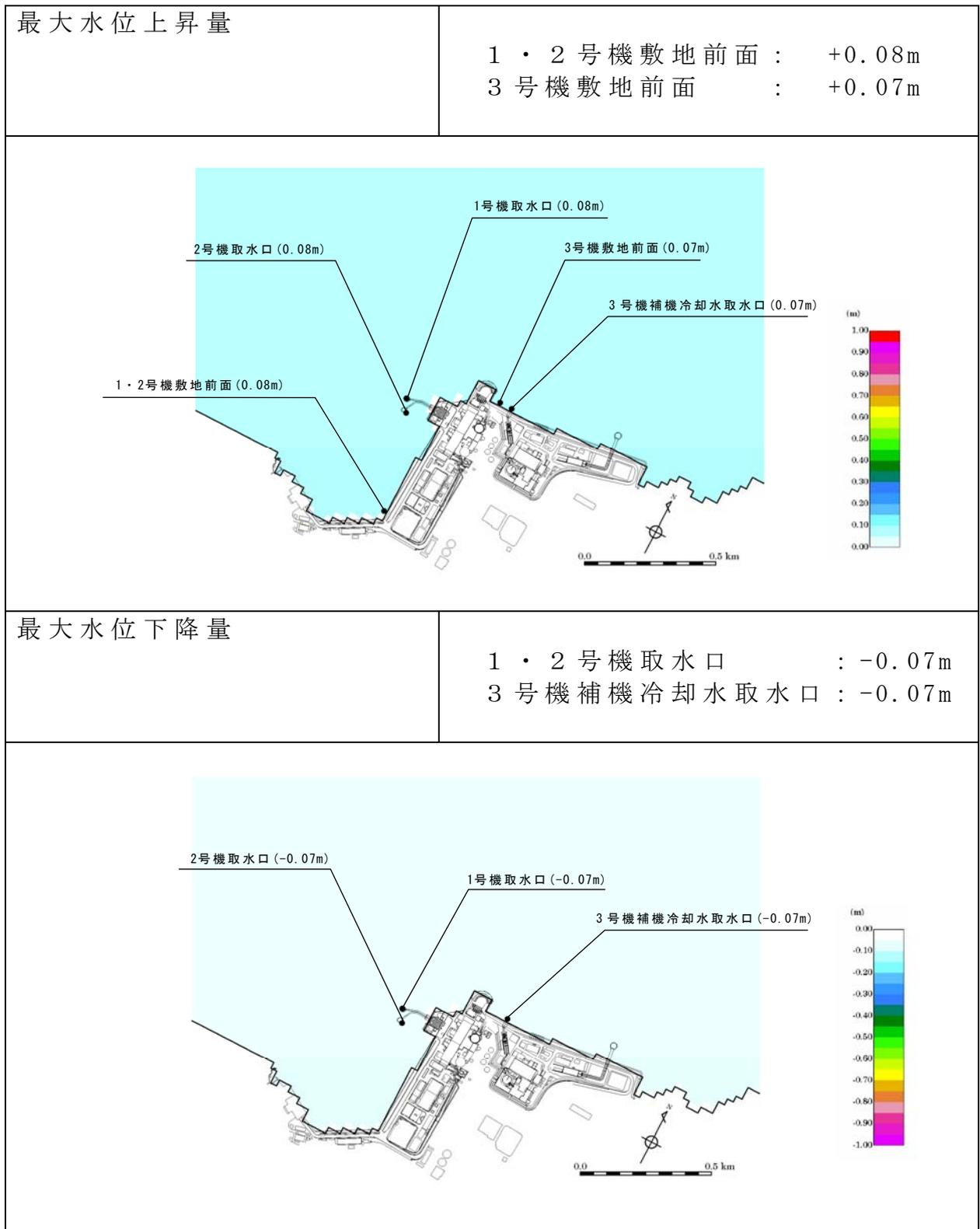
モデル諸元

	断層番号	
	①	②
長さ : L	120km	150km
幅 : W	120km	70km
すべり量 : D	5.0m	4.0m
上縁深さ : d	1km	10km
走向 : θ	250°	250°
断層傾斜角 : δ	20°	10°
すべり角 : λ	104°	127°

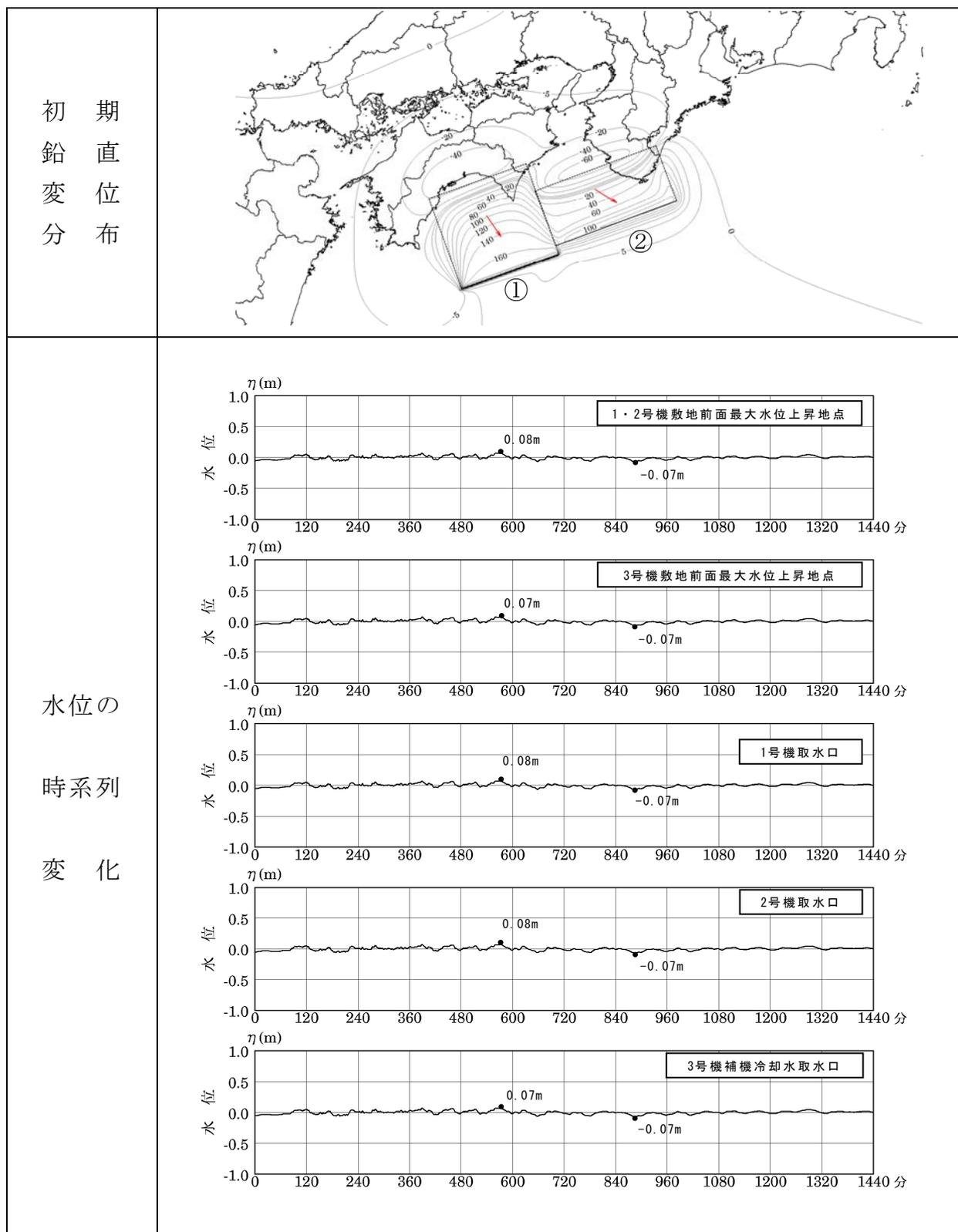
第 3.2-3 図 1946 年昭和南海地震のモデル諸元 (相田モデル)



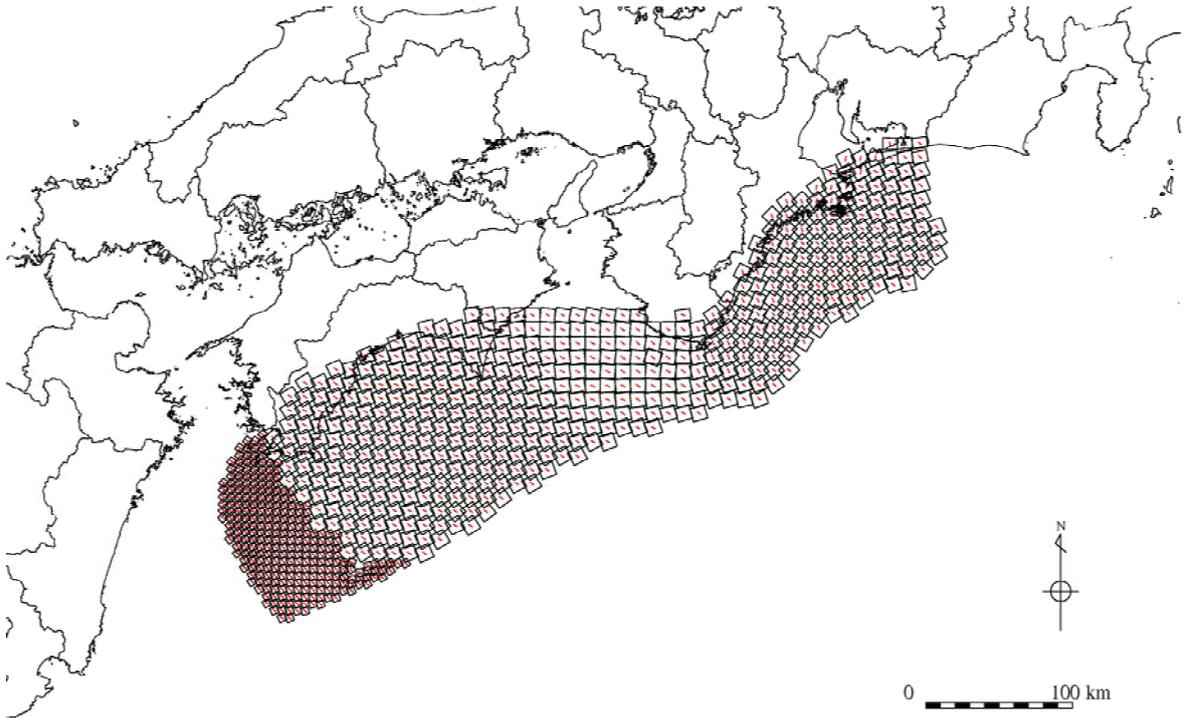
第 3.2-4 図 1946 年昭和南海地震津波の痕跡高さと計算波高との比較



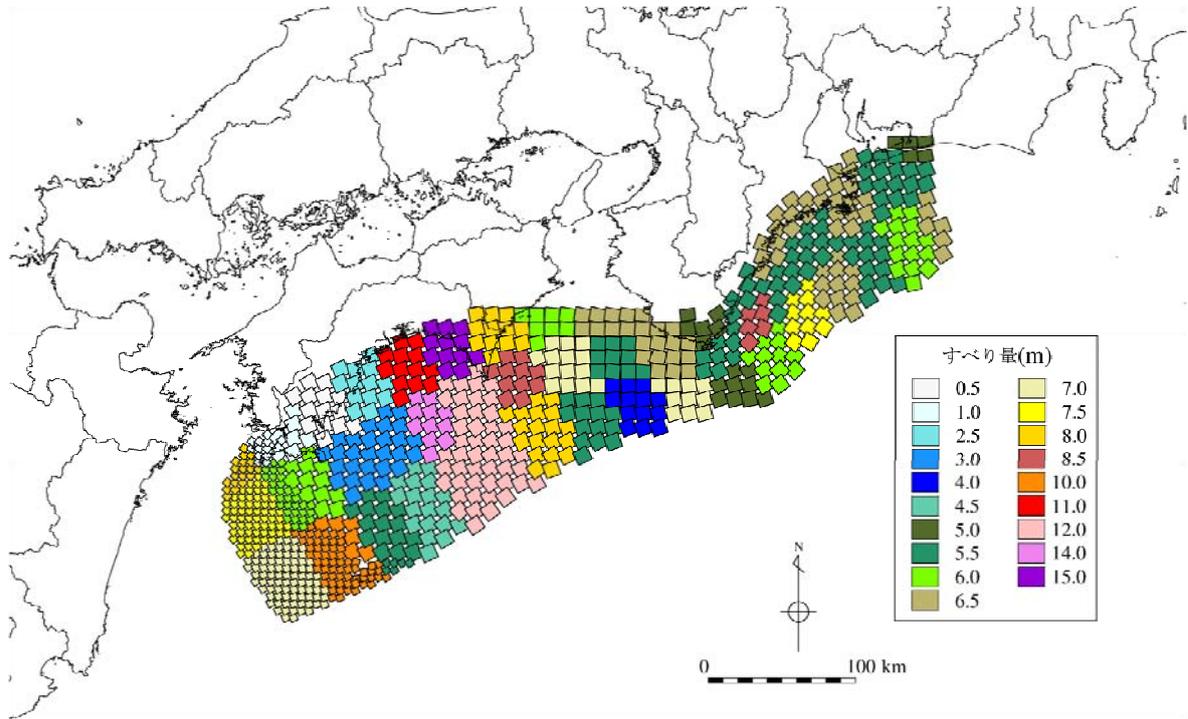
第 3.2-5 図 1946 年昭和南海地震津波による最大水位変化



第 3.2-6 図 1946 年昭和南海地震津波による初期鉛直変位分布および水位の時系列変化

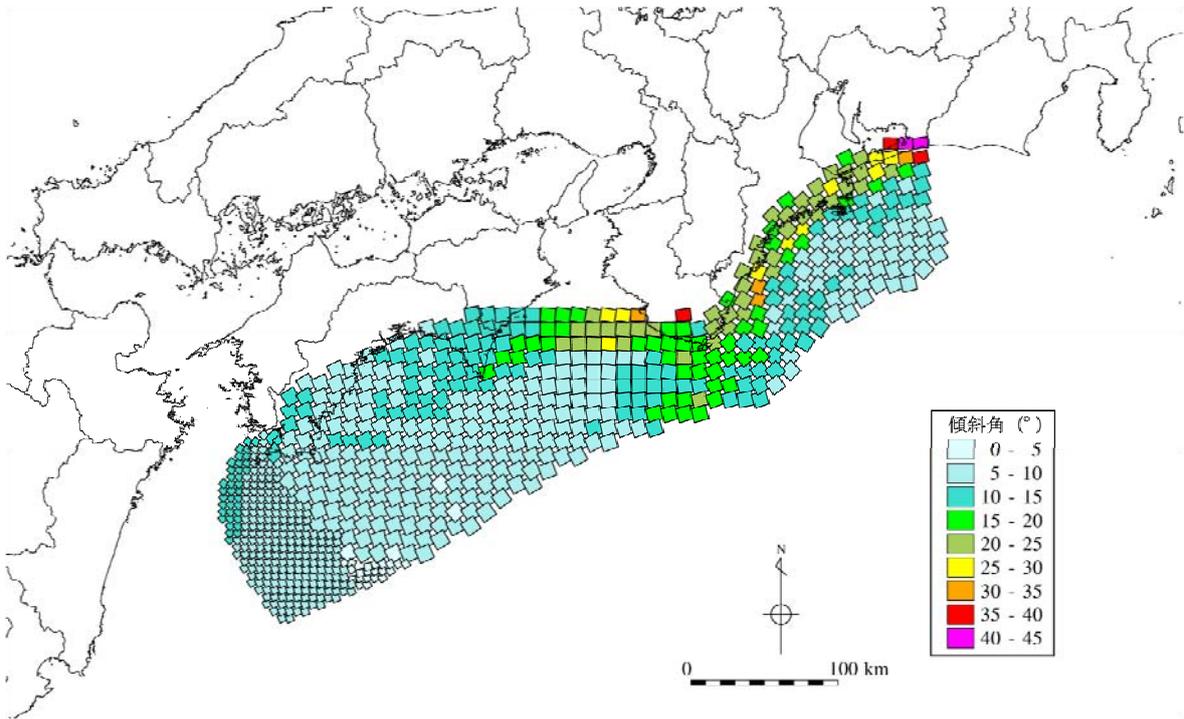


すべり角分布

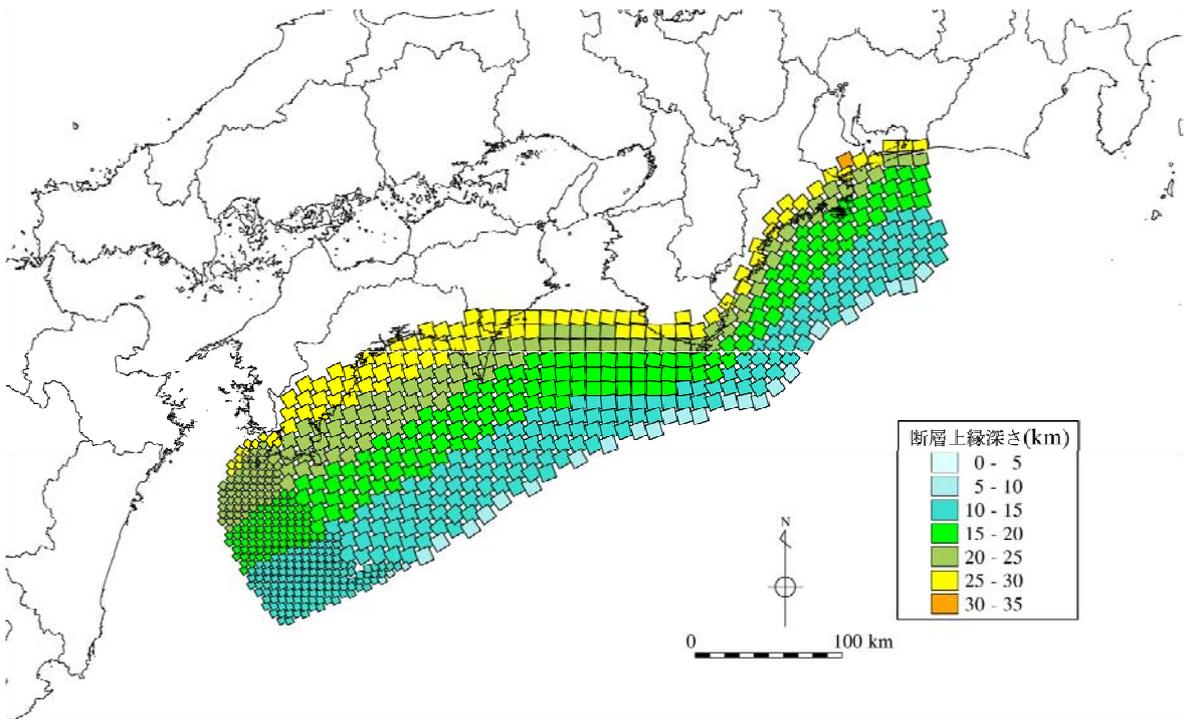


すべり量分布

第 3.2-7(1)図 中央防災会議 想定東南海・南海地震のモデル諸元

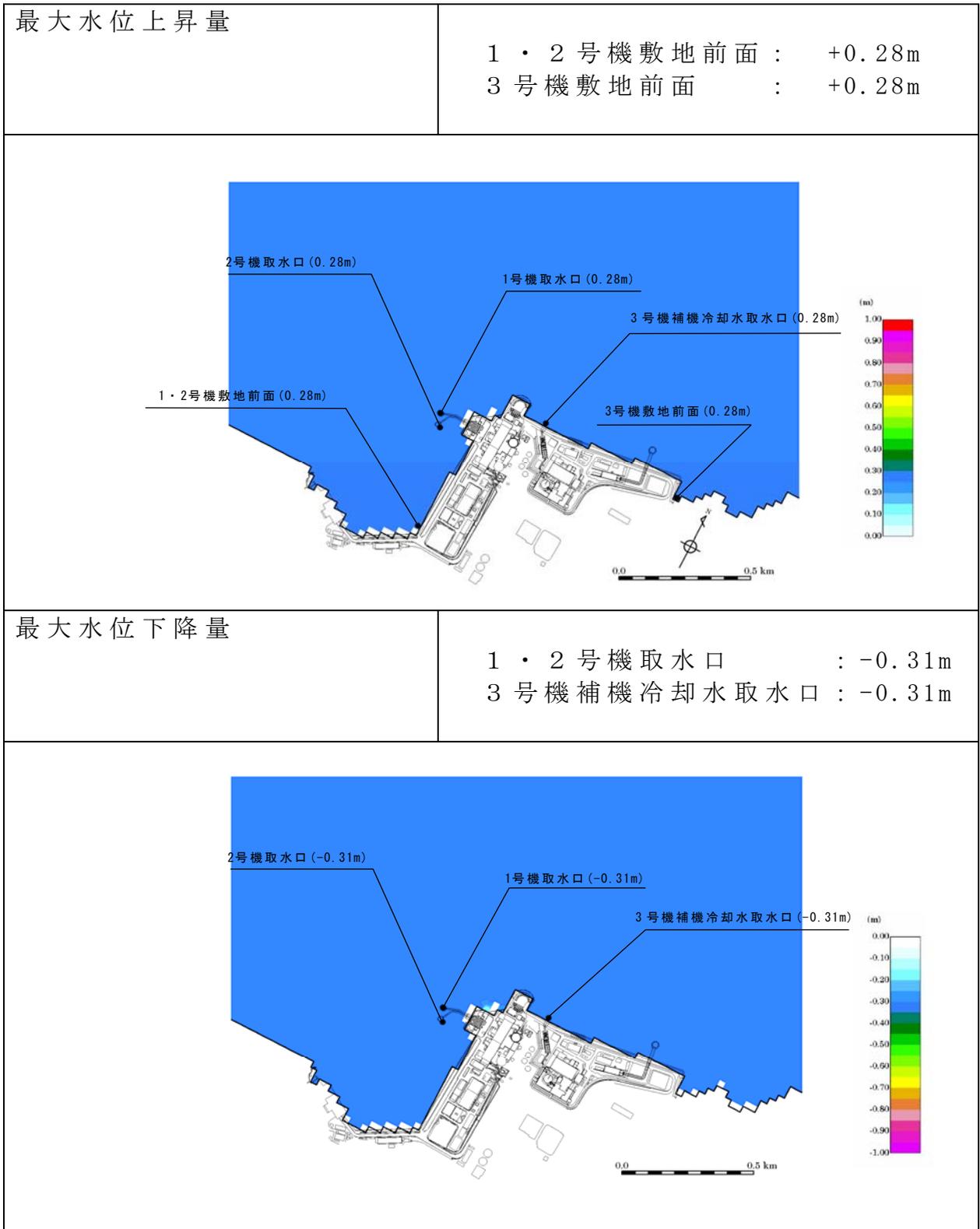


断層傾斜角分布

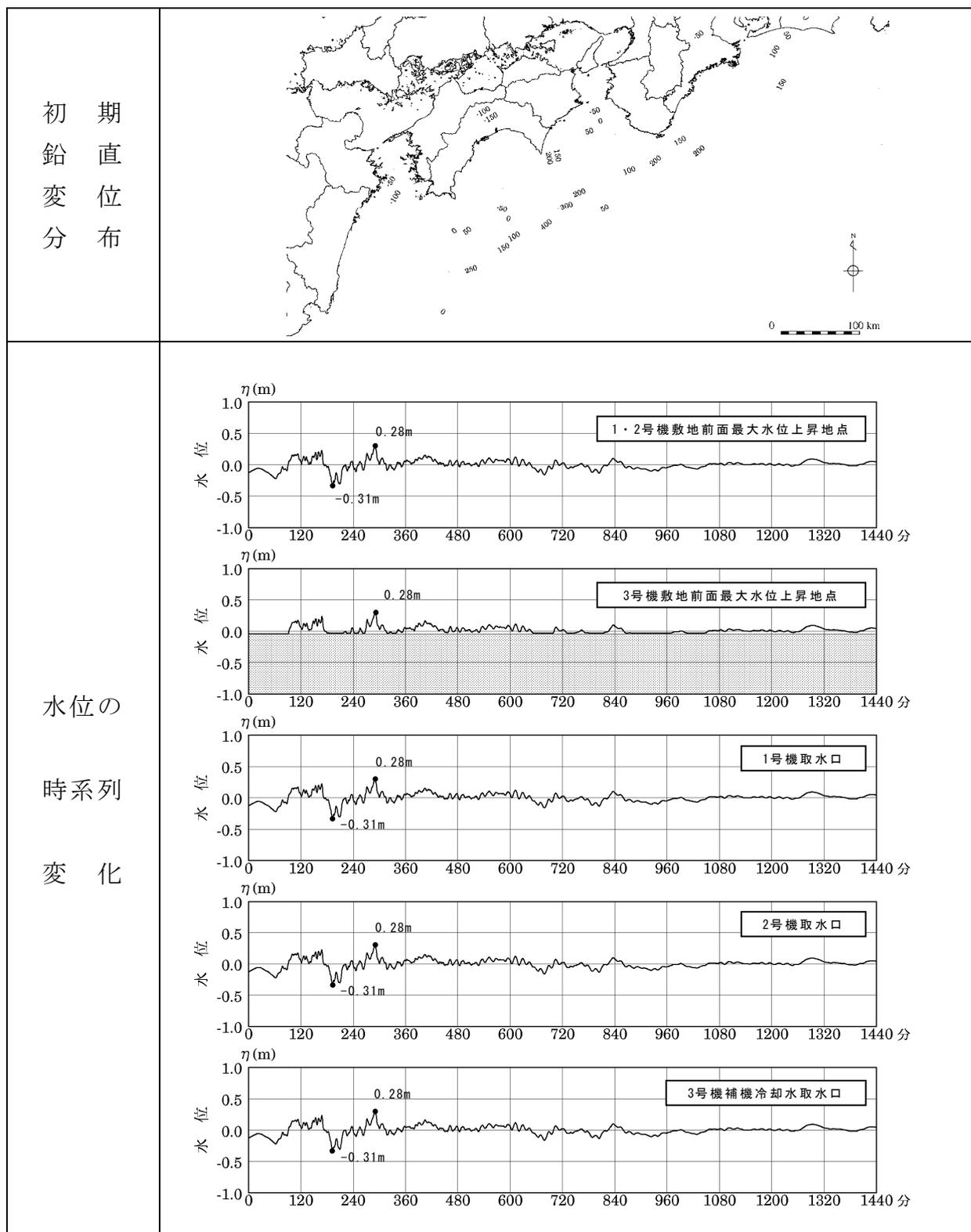


断層上縁深さ分布

第 3.2-7(2) 図 中央防災会議 想定東南海・南海地震のモデル諸元



第 3.2-8 図 中央防災会議 想定東南海・南海地震津波による最大水位変化



第 3.2-9 図 中央防災会議 想定東南海・南海地震津波による初期鉛直変位分布および水位の時系列変化