

土木学会 原子力土木委員会 平成 25 年度第 3 回津波評価小委員会 議事録（案）

日 時 平成 25 年 12 月 25 日（水）9:30～12:50

場 所 電力中央研究所大手町本部第 1 会議室

出席者 磯部主査、有光委員、安中委員、小松田氏（大坪委員代理）、後藤委員、榊山委員、佐竹委員、清水委員、中村氏（中嶋委員代理）、天野氏（田中委員代理）、谷委員、富田委員、平田委員、平田委員、藤間委員、松崎委員、若松委員、木原オブザーバー、栗田オブザーバー、佐藤（広）オブザーバー、佐藤（嘉）オブザーバー、志方オブザーバー、鈴木オブザーバー、土屋オブザーバー、文屋オブザーバー、吉井オブザーバー、松山幹事長、池野幹事、稲垣幹事、内野幹事、木場幹事、殿最幹事、藤井幹事、藤田幹事、山木幹事

次 第

- (1) 前回議事録について
- (2) 東北地方太平洋沖地震を踏まえた検討
 - 1) すべり量の不均質性を考慮した波源モデルの構築及び検証～南海トラフ沿い海域～
 - 2) 決定論的評価の枠組み
 - a. 原子力発電所の津波防護における外力の考え方について
 - b. 決定論的評価の方針について
 - 3) 津波ハザード評価手法に関する検討
 - a. エルゴード性の評価手法の検討
 - b. 局所空間の津波計算水位のばらつき評価
- (3) 敷地浸水時の津波挙動に関する検討 ～津波評価手法に関する検討～
- (4) 津波堆積物に関する検討

議 事

（主査挨拶）

今回も技術的に興味のある話題を提供されているため、積極的な意見交換をお願いしたい。

- (1) 前回議事録について

資料-1

特記事項なし

- (2) 東北地方太平洋沖地震を踏まえた検討

- 1) すべり量の不均質性を考慮した波源モデルの構築及び検証
～南海トラフ沿い海域～

資料-2-1

Q：モーメントマグニチュードが大きくなっているのは地震モーメントが 2 倍になっているということになるが、要因は何か。背景領域でも 10m を超えているが、土木学会 2009 の再現モデルではアスペリティで 10m を超える程度である。全体的に底上げされているイメー

ジであり、それが地震モーメントを大きくしているようだ。今回モデルと土木学会 2009 モデルでの津波の計算高さの比較はしたのか。

A：紀伊半島での計算結果が大きくなっている。また、四国は痕跡が大きくなっているので四国付近におけるすべり量も大きくなっている。

C：四国付近だけではなく、全体的に大きくなっている印象があるが、津波高の比較が無いため良く分らない。

Q：評価関数の重みをどのように決めているのか。

A：全地点で均等な重みとしている。ただし、下田など 1 地点で複数の痕跡がある地点は複数地点を 1 地点として扱っている。

Q：ということは、地域的には平均化されているが、計算高としては本来小さい地点は意味がないはずなのに、対数で見ているために当該地点が意味を持つことで引っ張られていることは無いか。相田先生の手法なので一定の妥当性はあると思うのだが、これが影響していることは無いか。たとえば、全地点の計算値の平均と痕跡値との平均を比較したら計算値の方が大きくなってはいないか。

C：1m が 2m になると、10m が 20m になるのを同じとして見ているが、それが妥当なのかということ。

C：ただ、前回インバージョンと同じ手法で評価しているので、前回の比較としては相田の手法を用いることでよいのではないか。

C：今の議論の内容としては、非常な大きな問題ではあるが、相田先生の研究業績に引っ張られすぎていいのか、ということである。佐竹委員の意見の通り、我々の直感的なイメージと異なってしまう。10m が 20m になると 1m が 2m になるということが同じ意味を持つ中でどのように考えるかということ。

C：痕跡値はあるが計算上遡上しないようなところでは、 $\text{Log}0$ となり ∞ の誤差を持つことになってしまう。この問題は大きな課題なので、この場で議論するのは難しいが、課題として認識しておく必要がある。佐竹委員の指摘としては、このような点の影響で地震規模が大きくなっていないのか、ということである。

C：ただ、波源領域が大きくなっている影響も無視できないと考えている。

Q：地震規模・すべり量が小さい場合は、痕跡値があるのにもかかわらず、遡上しないため誤差が大きくなってしまふ、ということはないのか。

A：実際の痕跡値の地点まで計算が届かない場合には、痕跡値の地点に最も近傍の津波高を採用しているのだが、それが妥当なのかも考える必要がある。

Q：今回の再現モデルでは考慮されていないが、実際の設計では海溝軸付近の浅部領域を考慮せざるを得ないと思われるが、どのように考えているのか。

A：まだ幹事団でも十分に議論はできていない。

C : 今回は無視しているが、波源モデルの検証として浅部領域を考慮しないが良いのか。今回の波源モデルを実務に用いる場合には、浅部を考慮する必要がある。このときに、浅部は津波高に対して影響が大きい問題とならないのか。どうすれば良いかのアイデアは無いが、課題として認識しておくべきである。

Q : 信頼度が痕跡に与えられているが、この信頼度とは別にして数値計算は 50m 格子実施している。このとき、痕跡値がこの 50m 格子での数値計算に適したものなのか、という観点も重要である。この観点から痕跡に重みを付けるなどはできないか。

A : 痕跡 DB は浸水深と浸水高は含まれるが、浸水深は地盤高を考慮しなければならず、今回はそこまでの検討は実施していない。このような、痕跡 DB を用いる際の考え方の整理ができていない。

C : 解析は 50m でも良いが、この地点は再現したい、この地点は再現できなくても良い、などの選択に関する判断があっても良いと思う。

C : 今回モデルの地震規模が大きくなったのは、河川の奥などの再現をするために河口付近での津波高を大きくせざるを得なかったことが要因かもしれない。たとえば、延岡などの陸上の奥まで遡上しているような地点は遡上計算の計算精度が大きく影響してしまうのではないかと考えている。

C : サイトの立地を考えると、サイト周辺を合わせるのは絶対条件として必要である。ただし、サイトだけのローカルな再現できても意味がなく、サイト周辺沿岸、日本近海全体でも概ね再現できている必要がある。これを前提にしてサイト周辺の近傍を合わせ込んでいく、といった方法が必要かもしれない。

2) 決定論的評価の枠組み (質疑は、a,b まとめて行う)

a.原子力発電所の津波防護における外力の考え方について

資料-2-2-1

b.決定論的評価の方針について

資料-2-2-2

Q : Murotani (2013) に $Da=2.2D$ という記載があったか？これは 1.5 倍よりも大きな部分をアスペリティとした場合の倍率だと思うが。

A : 文献を確認する。

C : 言葉の定義の問題だが、アスペリティの位置を動的・静的のどちらに整理するのか。そもそも動的・静的を整理する必要があるのかを検討した方が良い。

C : 決定論と確率論は、そもそも両評価手法同士でそのルールがリンクしている必要がある。決定論的評価を微調整すれば確率論的評価になる、ということであれば意味があるが、実際に評価を実施して両者の結果が乖離していた場合には意味がなくなり無駄な作業となりかねないので、ルール自体を構築し直す必要が出てくる。

C : ご指摘のとおり、少なくともシナリオについては両者の整合性が取れている必要性はあると考えている。

Q：整合しないというのは、決定論的評価での水位を確率論的評価で参照すると極端に低い出現頻度を考慮している、といったイメージで良いか。

A：決定論的な評価での水位に対して、決定論的評価のルールを守ろうとすると確率論的評価でリスクを小さくできないとか、逆に確率論的評価でのリスクを小さくすると、決定的論評価がうまくできないということ。

C：その通りである。両手法の出発点は同じで、少なくとも、ロジックツリーまでは両者が同一である必要がある。決定論的評価でロジックツリーを作って、このロジックツリーのどこまでを確率論的評価の全体的な枠組みで扱うのかということを検討し、整合を図ることが決定論的評価において重要である。

C：その方法で説明上は整合が取れるのだと思う。ただし、実際に両者が並行して作業しているときには、結果として整合が取れなくなる可能性がある。たとえば、決定論的評価で堤防の高さを 15m としたとき、確率論的評価でその条件を満足しようとする、高所からの越流を考えることになり逆にリスクが上がってしまうことになりかねない。かといって、堤防の高さを 12m として確率論的評価でのリスクを低下させようとしても、それでは決定論的評価を無視することになってしまう。このようなことは論理的にはあり得るのではないかということ。

C：ご指摘の点は可能性としてはあり得る。トータルとして、フラジリティを考慮すれば確率論的評価ではこうなる、ただし決定論的評価を実施すると、そこに違いが出てくる、といったことはある。

C：この指摘は、シビアアクシデントを避けるための検討をするような場合において、基準津波のレベルがかなり安全側で高くなっているとき、むしろ確率論的評価で危険になった、という場合にはもう一度決定論的評価に立ち返って設計するという。今のところはそう考えざるを得ない。

Q：基準津波・設計外力・設計津波、というのはサイトで一つなのか、複数設定するのか。たとえば同じ施設でも津波の襲来方向が変わって、影響度が異なるのであれば複数の基準津波等を決めることを念頭に置いているか。

A：基本的にはそのスタンスだが、あまりに数を増やすと収拾がつかなくなる可能性もある。

Q：決定論的評価と確率論的評価の整合を取るためには、両者を横目に見ながら決めていくということか。一方、藤間委員の話は一つ決定論で決めてしまうと、確率論では別の津波に対して弱くなってしまう。だが、設計外力を複数作るのも、より厳しい津波で設計できるということか。

A：基本的にはその内容の通り。

Q：決定論的には結果として、過去の最大を上回っているし、確率論でも出現頻度が低い。だから設計条件としては十分だ、と言えるということか。この点を明らかにしないと、いくらユーザーが決めると言っても、その判断の基準くらいはこの委員会で議論していくべきではないか。

- A：少なくとも 2002 年の手法では、既往最大の津波をベースとして水位上昇側で最も危険なものを選択してきたのが実情である。この既往最大津波が新たな知見で大きくなっていくということ。加えて、3/11 の発生で現状の既往最大のワンランク上を考える必要がある、という観点は整理できていると認識している。
- C：そこをわかりやすく言い切るということをこの先 1 年半かけてやっていく、ということだと思う。まずはスケーリング側で断層モデルの規模を決められるようにし、加えてアスペリティや浅部のすべり量などの考え方を決めれば、波源モデルのバリエーションが幾つか作成できる。そうすると、決定論的にはあるサイトにとってふさわしい基準津波が策定でき、数はともかく設計用の津波も策定できる。これが一段階。そして、この設計津波が適正な出現頻度になっているかを確率論的評価の結果を参照する。このような流れを具体的な形でまとめていきたい。その後、超過津波を決定していくのだが、私はこれこそ決定論的評価によるのだと考えている。ある施設において最大として考えるべき津波をメカニズムとしてあり得る最大として設定し、それに備えておくべきである。これを確率論的評価に基づいてしまうと、ある確率で設定したが、また想定を超える、ということが発生しかねない。科学的に考え得る最大クラスの津波を考慮しても、最終的には大事故に繋がらない、という説明をしないと超過津波の検討をしても意味が無いと考える。
- C：趣旨は理解できるが、一定の上限は必要だと考える。
- C：しかし、確率論的評価で一桁確率を下げたところで、津波高はそこまで変わらないという認識である。そして、例えば一桁確率を下げた津波の高さを遥かに超えるような高台に電源を確保するなどの対策をしなければならないと考えている。
- C：最終的には費用対効果の問題にはなるのではないか。
- Q：とは言え、超過津波をギリギリで守っている、というのは問題ではないか。
- A：超過津波を考える場合には、施設を作る場合には決定論的評価だが、それを決めるための道具として参照として確率論的評価を用いる。ただし、どこまで考えているのか、ということの説明できるようにしておくことが重要である。加えて、安中委員のご指摘の通り、ロジックツリーの中のどこを不確かさとして決定論に見込んでいるか、という整理ができれば、いいのかなと思う。
- C：超過津波はいわゆる残余のリスク、それを超えるということは確率論的評価で良い。そもそも基準津波を決定論的評価で決められるのか、ということが最大の疑問。認識論的な不確かさを決定論的に決められるのか、ということ。
- C：指摘の通り、それは誰も決められないこと。
- C：認識論的な不確かさというのは、決定論的評価のパラメータのばらつきでは考慮しきれない。とすると確率論的な手法でしか評価できないと考えている。
- Q：実態としては、基準津波を決めるフェーズでも両者を見ていかなければならないのではないか。決定論的評価による決め打ちではなくて、超過津波も言い方は確率論的評価でもよい。その場合、ある超過津波で 10m となった時にそれをある程度上回り、十分余裕をもつ

たシビアアクシデント対策を講じる、などの解説が必要となる。

A：設計を考えると、最後にはどこかで決定論的評価を行うことが必要だと考える。

C：確率論的評価では、水深 10m の地点に 20m の津波という評価があり得るが、物理的・理論的にあり得ないことである。超過津波ではこのような観点でも検討を行わなければならない。このため、基準津波の年超過確率が 10^{-4} 、超過津波が 10^{-6} だから基準津波・超過津波として適正だということにはならない。

C：この議論は今後のベースとなるため、非常に重要だが、事業者からの意見はないか。

C：例えば、確率論的評価により基準津波の発生頻度を 10^{-4} 、超過津波を 10^{-6} として策定して、その超過津波で水密扉の設計をしなくてはならない。このため、基準津波ではドライサイトを満足させる必要があるものの、結局のところ設計では超過津波を使わなければならない。また、そもそも超過津波の設定方法も手探りでやっている状態であって、確率論的評価で決定した超過津波を発生させるような波源を決定論的に扱う、ということを実務ではやっている。具体的には、基準津波のすべり量を係数倍して津波高を大きくしている。このような超過津波の設定に係る考え方、具体的な手法についても、有識者が参加されているこのような場で議論が進むと良い。

C：特に太平洋側のプレート境界で発生するような既往津波の発生頻度は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ である一方、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ の世界というのは 2~3 オーダー高く、ばらつきの影響が大きすぎて現実的でない高さになることが、実際に基準津波を策定する実務上の悩みである。例えば、確率論的評価に対応するような波源が作れなくなることもある。逆に、内陸地殻内地震のように $10^{-3} \sim 10^{-4}$ といった低い発生頻度の地震については、確率論評価に対応するような波源を設定できる。

Q： κ などで上げたハザードの結果を基準津波の中央値として考えるということか。

A：参照の仕方によると思うが、例えば、発生頻度が 10^{-6} や 10^{-7} になってくると難しい。

Q：ばらつきの中で入っていれば波源は作れるはずでは？

A：ただ、そのばらつきが 10~60m というような広い範囲であると、参照すると言ってもどのように参照するかが難しい。このようなばらつきが大きいときに、その中に含まれるから安全だとはなかなか言えない。機械の損傷確率のように多数のデータがあればいいが、自然現象に対しては非常に困難である。

C：この場で答えを出すには難しいところだが、最終的にはこのような観点も踏まえていくことが必要である。

Q：資料 2-2-1 の図は 2007 年の図と異なる。少なくとも津波は偶発荷重としているし、図は精査して正しく引用すること。

A：拝承。

Q：資料 2-2-2 の解析条件の中で、「平均潮位を基本とする」とあるが、これは必須となるのか。

A：この表現は検討しなければならないと考えている。理想的には満潮・干潮の計算を行うことであるが、平均潮位の計算をしてその後に潮位を考慮する、といった方法もある。後者の方法は非線形性があるものの、実務での計算回数を減らすために提案している。

C：とはいっても非線形性が強い現象なので、朔望平均満潮位・干潮位の計算をせざるを得ないと考える。

3) 津波ハザード評価手法に関する検討

a.エルゴード性の評価手法の検討

資料-2-3-1

Q：時間的なばらつきの要因が不明なため、すべり量を変動させた、ということだと思うが、今後、わからないものをどう評価しようかというアイディアはあるか。

A：分らないものをどう考えるか、という点について、今回はすべり量を対象としたがその他に渦動粘性係数などもある。また、すべり量は近くで影響が大きく、遠くでは影響が小さい、といったパラメータごとの性質までは評価できていない。今後、わからないものを評価するにはそれぞれの要素を分解することはできないので、それを分析する方法を考えていきたい。

Q：津波は体験する場合にはその1個しかないが、エルゴード性は何回も同じ津波が起きた場合に津波高が変わるかどうかなを見なければならない。確率的な事象としてのばらつきの幅を今回はすべり量で与えたわけだが、すべり量として与えた場合に、今回の検討における20%が妥当かどうか、というのはどのようにしたら最終的に評価できるのか。

A：まだ考えがまとまっていない。

C：この検討では無理なことを行っていると思われる。我々がよくわからない津波のイベントとして、どの程度のばらつきの幅を持っているかがわからないから、それを翻訳することができないのではないかと思うのだが。

C：ただ、分からないなりに、分らないことを前提に考えたのが今回の結果である。

C：検討結果を最終的にイベントのばらつきに結びつけることが困難であり、この検討は無理なのではないかといった印象を持っている。

Q：今回の結果は、すべり量のばらつかせ方が5%か20%で変わってきてしまう。今回のすべり量のばらつかせ方の妥当性を議論していくための筋道はあるのか。

A：以前に行った検討から、再現計算で得られる κ はモデルのバイアス、という印象があったため、本来の κ は非常に小さいということが念頭にあった。

C：目指すところは理解できたので、継続的に検討していく。

b.局所空間の津波計算水位のばらつき評価

資料-2-3-2

C：検討の趣旨は理解できるが、 K が1から乖離することを無視して良い理由はないため、この問題を解決する必要がある。 K が概ね1程度になるのであれば、この検討結果を用いることは良いと思われる。

C : そのためには、対象となるサイトで計算水位が過小評価になっていないことを予め確認する必要があると考えている。

C : 指摘の通りで、広域評価の際に κ に含まれていたばらつきが局所評価では K の空間的な変動となっている。ただ、確率論的津波ハザード解析は局所的な地点で評価するため、広域のばらつきを用いるよりも局所的なばらつきを用いた方が良いとの考え方もありうるということがあるので区間長を狭くして検討を実施した。

C : K の問題のため中央値のバイアスをどうするか、ということであるが、今回検討では分離して考えてみたということ。ただ、バイアスをどうするかという点については検討していく必要がある。

Q : $K \cdot \kappa$ を計算する区間幅について、小領域に分割する際の区間長によって K と κ は変化すると思うが、設定する領域長の依存性についてももっと調査すべきである。

A : その結果を調べてはいるが、すべての海岸線に対して実施はしていない。代表的な地点のみである。

Q : 領域長が小さいほど、 κ が小さくなっているということか。

A : その通りである。

(3) 敷地浸水時の津波挙動に関する検討 ～津波波力評価手法に関する検討～

資料-3

Q : 回り込みが再現できないケースについて、引き波のときに水深が非常に小さくになったら水深を強制的にゼロとしていたため、結果として逐次計算で水深が上昇しなかったという経験をしたことがあるが、本検討ではどうなっているか。

A : 2D解析では、水深の最小値を $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$ としている。3D解析における水深の最小値がどうなっているかを確認する。

Q : 正面の跳ね上がりには影響がないか？

A : 水の量によっては影響があるかもしれない。

Q : 水位が上昇している際に、少ない水が上昇する現象を計算上スムーズに表現できているのか。

A : 計算のアニメーションでは特に異常な現象にはなっていない。

Q : 正面の構造物に跳ね上がる際の水塊の厚さは適正なものになっているか？

A : アニメーションからは複数メッシュある。

C : ならば問題はないかと思う。

C : 圧力分布から見ると、水が高くなるが加速度があるため静水圧ほど圧力が大きくならない結果となっているか。3D結果はほぼ静水圧になっているのか。構造物上部は傾きが大きくなっているため、鉛直加速度が大きいということだと思われる。

C : 計算でかなり上方まで水位が達する場合には、鉛直加速度も大きくなっているため、結局上方の圧力が下がる。結果として、水位の上昇程度ほど圧力は上昇しないという現象にな

っているのではないか。

(4) 津波堆積物に関する検討

資料-4

Q : 実験では、木枠で砂の量を計測しているが、計算でも、ある範囲内における浮遊と堆積のすべてを考慮しているか。

A : 考慮している。ただ、津波が最高到達点に達しているときは汀線付近の流れがすでに沖向きになっている。そのため、計測時間によって砂量が変わり、その影響もあって再現ができていない可能性も考えられる。

Q : 分散波で碎波を考慮することは仕方がないが、経験上、そこまで波形は崩れないと思っているので、精査した方が良いのではないか。

A : 複数のパラメータを変えた検討をしている。水深が非常に浅いところで急激に碎波させなければならないと考えた。

Q : 碎波はどのようなモデルで考慮しているか。

A : 碎波点は流速・波速比が1として判定し、波の減衰は拡散タイプにしている。岩瀬らの人為的増幅項は考慮していない。

C : 碎波する前の過程で、計算結果の方が実験結果よりも周期が長い印象がある。

C : 指摘の点については確かに再現できていない。周期を再現すると津波高のピークが再現できない結果であった。

Q : 周期が長いこと、碎波モデルを工夫した方が良いのではないか。津波先端で乱れが起きて減衰するという現象が起きている。遡上域でも波の先端での乱れが影響しているのではないのか。漂砂量式では浮遊砂による影響が考慮されているのか。津波の先端で生じる乱れによってピックアップされた砂が影響しているのではないのか。また、グラフについて、Xの定義がある図がないので定義を示しておくこと。

A : 先端の乱れで巻き上げる、という現象は考慮していない。それが影響しているのではないかと考えている。

C : 移流・拡散モデルに先端部の乱れによる巻き上げを考慮するような工夫をお願いしたい。

C : 本検討ではそこまでやるのが目的ではないと考えていたので、どこまで踏み込むのかという点も併せて検討させていただきたい。

以 上