

第9期津波評価小委員会（2024年度第3回）

議事録

1. 日 時 : 2025年2月12日（水）13:00～17:00
2. 場 所 : WebEXによるオンライン会議
3. 出席者 : 高橋委員長、蛭澤委員、家島委員、金戸委員、川村委員、菅野委員、後藤委員、サッパシー委員、柴田委員（代理：姫野委員代理）、菅原委員、高川委員、富田委員、平田委員、福谷委員、松山委員、森委員、八木委員、米山委員、川真田常時参加者、重光常時参加者、西坂常時参加者、野瀬常時参加者、野原常時参加者、村上常時参加者
木原幹事長、石島幹事、石原幹事、小川幹事、長田幹事、加藤幹事、木村幹事、栗田幹事、木場幹事、佐藤幹事、志方幹事、芝幹事、鈴木幹事、土屋幹事、鶴留幹事、南部幹事、東幹事、藤井幹事、保坂幹事
4. 議 題 :
 - (1) 2024年度第2回津波評価小委員会議事録の確認 資料-1
 - (2) 津波解析手法の高度化に関する検討 資料-2-1
 - 1) 津波水位の数値解析手法の高度化
 - 2) 津波水位の確率論的評価手法に関する検討
 - ・ 計算ケース数の縮減手法に関する検討
 - ① ガウス過程回帰に関する検討 資料-2-2-1
 - ② 機械学習（ディープラーニング）に関する手法の基礎的な調査 資料-2-2-2
 - (3) 地震を要因とする津波に関する検討
 - 1) 波源モデル策定等に関する検討 資料-3-1
 - ・ 初期水位の計算手法の整理
 - 2) 地震性津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討
 - ・ 津波の再現性指標に関する検討 資料-3-2-1
 - ・ 偶然的不確実さに関する検討 資料-3-2-2
 - (4) 地震以外を要因とする津波に関する検討
 - 1) 初期波形、初期水位の評価方法の高度化に関する検討 資料-4-1
 - ・ 地すべり津波実験の進捗状況について
 - 2) 地すべり津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討 資料-4-2
 - (5) その他

5. 議 事 :

(1) 2024 年度第 2 回津波評価小委員会議事録の確認

資料-1

- 疑義等あれば幹事長および幹事団に連絡のこと。

(2) 津波解析手法の高度化に関する検討

1) 津波水位の数値解析手法の高度化

資料-2-1

Q 3 次元モデルと平面 2 次元モデルとの比較において、砕波の扱いにはどのような違いがあるのか。

A 平面 2 次元モデルでは、砕波モデルを考慮して砕波減衰項により砕波の効果を見ている。

Q それは分散波を考慮した場合の話だと思う。非線形長波の場合には、波が切り立ってくるなどの現象の表現が難しいと思うがいかがか。

A 非線形長波に関しては、砕波を考慮できないという前提で知見としては整理している。

C 検討する必要があるのは、平面 2 次元と 3 次元の接続方法だと思う。3 次元は鉛直分布があるが、2 次元はないため、それをどのようにするかだと思う。やり方としては 2 通りあり、3 次元解析で計算された分布をできるだけ尊重して、カップリングするときに 3 次元分布に似せて入力するというやり方や、平面 2 次元は鉛直に分布がないため、そのまま 3 次元に入力するというやり方がある。どちらが良いということは言えずケースバイケースとなるが、3 次元的な分布を尊重しながらカップリングをしても、極端な分布になり流れが下側だけ速いということがあるので、どのようにすれば良いかが問題となっている。そのようなことを防ぐためにも、できるだけ陸地から離れたところでカップリングするのが良いと苦肉の策で思っている。その辺りをどのように計算したのかということがわかるようにしてもらえれば知見として蓄えられるため、条件をしっかりと整理しながら色々な検討をして欲しい。

Q 3 次元の分布をできるだけ尊重して平面 2 次元に流れを与えるという知見があるということか。

C そうではなく、平面 2 次元は鉛直方向に分布がないため、3 次元は計算しはじめると分布的なものが出てくると思う。その分布を参照しながら、平面 2 次元から 3 次元に流れを入れるときに、その分布で入れてみるということをしている。そうすると上手くいくときもあるが、一度狂いはじめると、水面が速くなることなどもある。鉛直分布があるものとなないものを接続しているため無理があると言えは無理がある。あまり分布がない外の方で接続するということになるが、計算時間がかかるため、その辺りについてもわかりやすく整理して欲しい。

C 非線形長波モデルと非線形分散波モデルのまとめのページにおいて、現状の使い分け・課題の 1 つ目は、言っていることはわかるが、非線形長波モデルにだいぶ影響を受けている波源モデル、我々の使っているツールに依存しすぎているモデルを使って色々話を膨らませているが、すっきりとしない印象がある。

- C 村嶋ほか(2012)の成果を見ると、非線形分散波の方が大きくなるような傾向があるが、 K 、 κ はあまり変わらないという話がある。全ての波源に対して同様のことを言えるのかはわからないが、これだけを見ると非線形長波をベースにして再現モデルを作っていた波源モデルについても、少なくとも非線形分散波の方が物理的には精度が良いという観点では、それ以外の波源モデルについても、非線形分散波で評価するというのがそこまで間違ったことではないと思った。ただ結局は、村嶋ほか(2012)がやられた検討を、色々な海域に対して行って知見を蓄積しないことには分散波の使い方は何とも言えないと感じたがいかがか。
- A まだ十分な検討はできていないが、分散波モデルと非線形長波モデルで最適な波源がどのように変わるのかなどの検討が蓄積されていくことで、実用的になるのではないかと思う。
- C 今回のまとめのように言い切るのではなく、知見の蓄積は必要であるということかと思う。記載していることは間違いではないと思うが、より計算精度を上げていくという意味でも知見の蓄積は必要であると思う。
- C 非線形分散波の手法の整備も発達しているので、活かせる方向で進めていければ良いと思う。

2) 津波水位の確率論的評価手法に関する検討

・ 計算ケース数の縮減手法に関する検討

① ガウス過程回帰に関する検討

資料-2-2-1

- Q ガウス過程回帰の良いところは、補間するデータの範囲が広いところは不確実性が大きくなり、データの多い箇所は不確実性が小さいということが定量的に分かることだと考えている。今回、不確実性の部分はどのように用いられているか。使われていないなら、なぜガウス過程回帰を用いているのか。
- A 今回不確実性の部分は使っていない。ガウス過程回帰を選択した理由について、エミュレーターとしてはいくつか方法が考えられる中で、実績がある手法の一つとしてガウス過程回帰があったため、今回用いている。
- C 教師データを一部減じたりして実験してほしい。歯抜けが小さいところは不確実性が小さくなり、歯抜けが大きいところは不確実性が大きくなる特徴があると考えられる。その情報を積極的に活用した方がいい解析になると思う。
- C ガウス過程回帰を使うなら、単純な補間ではなくガウス過程回帰を使用する意義を考えてほしい。
- Q 研究項目の目的が計算ケース数の縮減で、着眼点が予測精度の確保と計算コストの低減のことであるが、予測精度の確保とは物理的にどのような観点か。予測精度とは不確かさをどのように見ているのかだと認識する。しかしながら、偶然的な不確かさと認識論的不確かさの両方が混ざっているようで、分かりづらい。両方を対象として、平均値の話をしているのであれば、平均値と分布の標準偏差の観点に着目する必要がある。あるいは、認識論的要因

としてデータ数の不足に着目し、ロジックツリーに展開する必要もある。確率論的津波ハザードの場合は、計算ケース数の認識論的不確かさへの影響の程度を検討することが優先事項であり、その後に計算コストを検討するのが常道である。

A 回帰計算の予測精度は、偶然的不確かさや認識論的不確かさの話をしているのではなく、あくまで、計算は差分法を中心にしたもので行うが、それと比較して回帰計算がどの程度精度があるかを確認するものである。

Q 回帰計算がどの程度精度があるかを確認する場合、標準偏差を示すのが常道である。津波シミュレーションケースを確率論的津波ハザードの計算に入れるとした場合には、不確かさの幅が重要になると推測するが、検討の観点に入っていないのか。

A どの程度のバラつきになるかは、広域で確認できており、従来の津波シミュレーションのバラツきの範囲内に入っている。

Q これまで得られた知見として、“ $k=1.47\pm0.03$ はロジックツリーのばらつき分岐の範囲（1.25～1.55）内”とあるが、 $\pm0.03m$ というのは認識論的不確かさと推測する。ロジックツリーに基づき、0.03 だから良い悪いという話ではないと思う。取扱いの位置付けについて、吟味してはどうか。

A 0.03 だからいいではなく、この方法では k の平均値としてこれくらいの数値が出ているから、問題ないということを示した数値である。

C 偶然的な不確かさと認識論的な不確かさを分けて整理することが重要だと認識する。偶然的不確かさが出てきた時にでもご説明いただきたい。確率論の検討の中で精度と言われると理解しがたい。

②機械学習（ディープラーニング）に関する手法の基礎的な調査

資料-2-2-2

Q 断層パラメータはどのような観点から選ばれたのか。

A 断層パラメータのページで示している 7 種になる。

Q パラメータの物理的な意味合いは知っており、これらを計算すればどうなるかということもわかっている。一種のロジックツリーのイメージで書いたのか。

A ロジックツリーのイメージで書いてはいない。グリッドサーチと呼ばれる全探索することをわかりやすくした図になっている。

Q ここの組合せはわかるが、重みはどのような定義をしているのか。

A 重みは、重み付け積算と呼ばれる簡易的な手法の話である。

Q ロジックツリーのイメージであれば、括弧内の数字を確率で与えて、和が 1.0 になると思う。そういう意味合いでもないのか。

A そのような意味合いではない。括弧内の数値は各パラメータの重みであるので、足して 1.0 になるというわけではない。

C 取扱いをどうしたのかということが気になる。将来この結果が、津波 SSHAC など色々な観点に使われるときにその辺りは明確にしておく、この研究成果が良い方向に活用されるのではないかと思う。

Q 後半の例題検討(2)について、20 数データでトレーニングができるのか。

A 今回の場合はトレーニングデータを 28 ケースにして、残りの 27 ケースで再現性を見ている。これで学習したモデルでテストデータの評価を行っている。

Q 活性化関数と損失関数があり、ある意味一般的な形だと思う。ディープラーニングのモデルとしては一般的によく使われているものだと思うが、津波の場合はテストデータが 27 ケースあれば、学習できるのか。

A 今回たまたま上手くいったのかということはクロスバリデーションを見てみないとわからないが、ここからさらに最適化をしていき、どの程度実になっていくのかは見ていこうと考えている。例えば、用意できる数に対して、入力データをどの程度減らしても精度を確保できるのかと言った汎化性能のデータ耐性に対しては、検討するつもりである。

C データ数に応じて精度は変わってくると考えている。データ数がどれぐらいで十分な精度があるということがわかれば、使いやすいと思うため、その辺りについても検討して欲しい。

(3) 地震を要因とする津波に関する検討

1) 波源モデル策定等に関する検討

・ 初期水位の計算手法の整理 資料-3-1

○ 特段の議論なし。

2) 地震性津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討

・ 津波の再現性指標に関する検討 資料-3-2-1

Q 結局、相田の対数正規分布は結構良い線いっていたということだと思う。
また、ラプラス分布のようなものも良い線いっていると思う。先ほど、時系列だと正規分布の方が良くなるかもしれないという話があったが、確認したということか。

A 確認はしていない。この中では痕跡しか調べていない。時間波形に対しては広く使われているので、そのような認識もあるかと思い話をした。機会があれば調べてみる。

C もしかすると時間波形ではラプラス分布の方が良いのかもしれない。そうすると、最小二乗法というフォーミュラ自身に正当性があるのかという話になってくるため、非常に勉強になった。

・ 偶然的不確実さに関する検討 資料-3-2-2

C 関係しているかは分からないが、Wesnousky のグループが横ずれ断層の場合、隣のものが壊れるか壊れないかについて、研究している。認識論的不確実性を客観的に評価したもの

を出している。

- A 活断層やプレート間の連動範囲をどう見て、ハザードにどのように取り込むかは重要な問題だと思う。連動範囲の上限をどこまで見るかについては認識論だが、その範囲で地震ごとに連動区間が異なるときは、偶然的確率論である。参考にしたいと思う。
- C 近年の主な PTHA のレビューとして、ここ 10 年間の文献が掲載されている。これをみると偶然的不確かさ要因と認識論的不確かさ要因それぞれの取扱いの違いが整理されている。この整理の成果を生かすためには、想定される全ての不確かさの要因を示した上で、それぞれの要因に割り振られている必要がある。認識論的要因の根拠を明確にしていると、津波 SSHAC を実施する場合に有益な情報になる。波源パラメータと震源パラメータは共に断層パラメータであることから、地震ハザードの文献も見ておく必要がある。伊方地震 SSHAC において、偶然的不確かさ要因と認識論的不確かさ要因の取扱いが詳細に記載されているので参考になる。今扱っている内容と異なると思われるので吟味のこと。伊方地震 SSHAC では、Coppersmith 氏がアドバイザーとして、各種コメントを行った。断層パラメータの参考文献として、1985 年の Coppersmith 氏のものが挙げられているが、40 年前のものであり、変わっている可能性があるので、吟味のこと。研究成果として公開する場合、地震ハザードと津波ハザードにおける偶然的要因と認識論的要因それぞれの取扱いで、どの要因が違い、どの要因が同じかを説明できるようにしておくことが重要である。
- C 今の議論について、ぜひ検討してほしい。

(4) 地震以外を要因とする津波に関する検討

1) 初期波形、初期水位の評価方法の高度化に関する検討

・ 地すべり津波実験の進捗状況について

資料-4-1

- Q 実施内容について、これまで急勾配をやっていたから緩勾配をやるということなのか。緩勾配に着目した理由を教えて欲しい。
- A 全世界の地形判読されているデータを見ると、 10° 以下が多い。また、今回審査が行われている発電所を見ると、 $2^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 程度までを、基準津波として検討している例が多い。それらを踏まえて、これまで 45° や 30° を実験でやっていたが、もっと小さいものだということである。あと、Grilli and Watts で 15° などをやっているが、式を実際に使っているということもあるため、その式との比較をしておきたいという考えもあるため、緩勾配とした。
- C 引き続き進捗状況を教えて欲しい。特に今のモデルでどのくらい水位が出るのかについては早めに知りたいところであると思うため、よろしくお願いします。

2) 地すべり津波の確率論的評価手法の高度化に関する検討

資料-4-2

- Q (1) ではブロックが非変形で滑り落ちていく再現で、(2) では流動体を取り扱っており、滑り落ちる際に変形することを想定していた。両者が何か関連するのか、あるいは独立して

議論するのか。片や剛体と片や流動体ということで、どのように考えておられるか。

- A 地すべり津波の想定、解析にあたっては、断層による津波ほど定まった方法はない。そのため、解き方が色々あり、どれが正解か分からないため、いわゆる認識論的にどれが正解に近いかわからない。ゆえに、いくつかの解き方を混在させ、その幅に答えがあるという扱いをしている。Watts らの方法と書いているのは、先ほどの実験計画で見たような剛体を滑らせた時の実験および数値解析に基づく単位式である。KLS モデルは、すべり始めた時の形と堆積した形の間の変化で、両方考えているものである。二層流のモデルは、地すべり体自体が流動体として移動するため、段々平べたくなる。また、通常は剛体でそのまま滑った方が、水を押しのける量が大きくなるため、津波が厳しくなるはずだが、経験的にはそうならない。そのため、今のところ何の式が正しいかわからないとして解析する。しかしながら、どういう条件だと3次元モデルに近い値を与えるのかを仕分けできないかということで、数値解析どうして比較、検討するという項目を並行して実施している。

(5) その他

- 津波水位の確率論的評価手法に関する検討のうち、①ガウス過程回帰に関する検討、②機械学習（ディープラーニング）に関する手法の基礎的な調査については、先行的に検討が進んでいるため、本日頂いたコメントを踏まえて、次回海岸工学講演会で発表する予定。
- 津波評価小委員会については、来年度も4回ほど開催することを予定。別途日程調整を行う予定。
- 来年度の発電所の現地見学会開催に向け、現在調整中である。場所、日程等は今後決定するが、出来るだけ多くの方に参加いただきたいため、日程調整等ご協力いただきたい。
- 地すべり津波の実験について、来年度から本実験を開始予定であり、見学会も開催予定。千葉県我孫子市での開催となるが、その際、電中研での実験等も見学できるため、ぜひ参加して欲しい。

以 上