

## 津波評価小委員会(2023年度第1回)議事録 (土砂津波体系化)

1. 日時 : 2023年6月1日(木) 13:30~17:00
2. 場所 : 電中研大手町会議室, WebEXによる対面・Webハイブリッド会議
3. 出席者 : 高橋委員長、安中委員、今村委員、蛭沢委員、家島委員、加藤委員、金戸委員、菅野委員、佐竹委員、嶋原委員、菅原委員、高川委員、富田委員、橋委員、平田委員、福谷委員、松山委員、八木委員、山中委員、米山委員  
奥寺常時参加者、川真田常時参加者、野瀬常時参加者、浜田常時参加者、福本常時参加者、山本氏(徳永常時参加者代理)  
木原幹事長、石島幹事、石原幹事、稲葉幹事、及川幹事、甲斐田幹事、加藤幹事、金子幹事、木村幹事、栗田幹事、木場幹事、佐藤幹事、志方幹事、芝幹事、中田幹事、土屋幹事、永松幹事、藤井幹事、保坂幹事、森幹事、山木幹事
4. 議題 :
  - (1) 事務連絡、その他
  - (2) 土砂を含む津波の波力評価技術の体系化に関する検討
    - 1) 津波評価小委員会(2022年度第4回)議事録案(土砂津波体系化) 資料-2-1
    - 2) 土砂津波実験結果および通常の津波との比較検討 資料-2-2

以上

(1) 事務連絡、その他

- 旅費精算については、土木学会の事務局に必要資料を提出のこと。

(2) 土砂を含む津波の波力評価技術の体系化に関する検討

1) 津波評価小委員会(2022年度第4回)議事録案(土砂津波体系化) 資料-2-1

- 疑義等あれば幹事長および幹事団に連絡のこと。

2) 土砂津波実験結果および通常の津波との比較検討 資料-2-2

- Q p.21 に先端形状をパターン 1 からパターン 3 に整理しており、波力については先端の形状がかなり重要になるが、このパターンがどのように結果に影響するかという考察はどこかに記載しているか。
- A 形状パターンに応じた波力の整理については、まだ分析していない、角度のばらつきについて整理したのが p.21 である。形状パターンに応じた波力を分類するという分析も今後実施したいと思うが、先端角度はそれほどついておらず、そこまで有意な差が見られないのではと予測している。
- Q その場合、今回の実験条件として、真水の場合も砂を含んだ場合もあまり変わらない状況で実験しているためさが見えないということかと思う。差を出すことは本質的でないが、どうい条件で差が生まれるかということが本質的には重要。今の条件だと、あまり変わらないところを一生懸命調べているような気がする。
- A 今回、水路の底面はアクリル素材の 1 パターンでしか実験しておらず、摩擦の影響で水面角度が変わってきたりもすると思う。砂のような移動床条件の場合は、真水や泥水とは違った摩擦となるのに対してこのような結果となっている。そのため、真水に対しての違いということで、今回の実験では水面角度が大きくならなかったが、水面角度 2 は後段のもので、前段の先端部の水面角度についてはよりばらつきがあり、特に粘土泥水の場合は真水よりも大きな角度になったという結果は得られている。ただし、水面角度が大きくても波力には寄与していないという結果になっている。このように今回の実験条件の範囲内では、水面角度が大きいものはあったが波力としては、密度の増加以上には大きくなっていない。
- C 差が無いということは、色々検討する上では良い情報ではあるが、それが色々なケースで言えるかどうかというのはとても重要で、差が生まれるようなケースが出てしまうと、過小評価になるので、そこをどう見極めるかが難しいと思う。
- Q 先端形状は重要だと思う。パターン 1~3 のうちパターン 2 のさらに後ろの角度を測っているが、パターン 1, 3 と比べるとパターン 2 の場合が一番多かったということか。
- A 真水に関してはパターン 1 が多い。泥水になるとパターン 2, 3 が多い。

- Q p.22 は、パターン 2 のタイプだけを選んでいるということか。
- A 全パターン共通で、前面の角度は見ずに、後段の角度を見たのが水面角度 2 というものになる。
- C パターン 1 ~ 3 をすべて含めて、波力に関わってくる、先端よりも少し後方寄りのところを見ているということで理解した。砂の先端角度については、ばらつきも小さいし大小関係が逆かなと思った。
- A 再度実験画像を見ながら、要因を分析する。
- Q OBS で測ったが、ちゃんとした値が取れなかったということか。
- A 電圧値は測定でき、様々な位置でも比較したが、説明しにくい濃度が計測された。
- Q 私も過去の実験で全然測定できなかったのが難しいと思う。その代わりとして採水しているが、どういうタイミングで採水したのか。
- A 下流部に排水層を設け、0.2s 程度の時間、自動的に波の先端部を採水するというシステム。
- Q 密度が 0.9 とか、水の密度 1 より小さい値が出るのはどういう状況か。
- A 波力のばらつきもそれほど大きくなく、実験の再現性はある程度良い状況で、最大波力は水よりも小さくなっている。巻き上げる際に、どうしてもエネルギーロスを起こしており、また縮流でも巻き上げが大きいと顕著に出ると思ったが、段波 30cm でも出ているので、結果の解釈が難しい。
- C 分析は今後されると思うが、引き続きよろしく願います。
- C 平均値で見ると 1 を切るが、最大値で比重並みくらいには増えている。比重を見ておけば追えているデータだと思う。
- Q 通過波の再実験の結果で、入射波の水位の時間波形は、真水でも泥水でも同じとなっているという理解でよいか。
- A 概ね同じだが p.10 に示すくらいの差はある。
- Q 差は少しあるということで、入射波のようなもので無次元化して結果を整理したりはするか。
- A 既往の朝倉式との比較では、波圧を無次元して検討したいとは思っている。
- Q それはそうだが、泥水と真水とでは、入射波が多少違うがそこは良いか。条件が若干違うものをできるだけ除く方がよいと思う。
- A 真水と泥水に関しては、外力としての条件は完全に一致している。砂だけは移動床なので、外力としての条件について、作用壁に到達するまでに砂の巻き上げの影響が入ってくる。
- C 極力は条件を揃えて実験していると理解した。

- C 真水と砂とでは貯水槽にためた水深が同じで、そこに溜まっている水の比重も同じという意味では、ゲートを開けることで同じエネルギーが解放されており、途中で砂は巻き上げによるエネルギーロスがある一方、シルト泥水と粘土泥水は貯水槽で攪拌しているため、水深が同じだが既にエネルギーがやや多いということもあるため、そういう意味で持っているエネルギーが影響すると思っている。
- A 無次元化する検討方法についても考えてみる。
- Q p.25。赤四角の下のは Fr 数 3.34 で、これは特徴的な値だが、左の砂の先端速度は 2.96m/s で、最大浸水深は 0.08m である。浸水深が 6cm から 8cm に変わっているが、8 cm というのはどのくらいのばらつきがあった上でのものか。
- A ほとんどばらつきは無かった。3 回の実験結果を見る限り、いずれもばらつきは小さい。

以 上

## 津波評価小委員会(2023年度第1回)議事録 (津波評価技術体系化)

1. 日時 : 2023年6月1日(木) 13:30~17:00
2. 場所 : 電中研大手町会議室, WebEXによる対面・Webハイブリッド会議
3. 出席者 : 高橋委員長、安中委員、今村委員、蛭沢委員、家島委員、加藤委員、金戸委員、菅野委員、佐竹委員、嶋原委員、菅原委員、高川委員、富田委員、橋委員、平田委員、福谷委員、松山委員、八木委員、山中委員、米山委員  
奥寺常時参加者、川真田常時参加者、野瀬常時参加者、浜田常時参加者、山本氏  
(徳永常時参加者代理)  
木原幹事長、石島幹事、石原幹事、稲葉幹事、及川幹事、甲斐田幹事、加藤幹事、金子幹事、木村幹事、栗田幹事、木場幹事、佐藤幹事、志方幹事、芝幹事、中田幹事、土屋幹事、永松幹事、藤井幹事、保坂幹事、森幹事、山木幹事
4. 議題 :
  - (1) 事務連絡、その他
  - (2) 津波評価技術の体系化に関する検討
    - 1) 津波評価小委員会(2022年度第4回)議事録案(津波評価技術体系化) 資料-3-1
    - 2) 津波解析手法の高度化に関する検討
      - ・ハイブリッド解析手法(実規模の津波に対する適用性検討) 資料-3-2
    - 3) 地震を要因とする津波に関する検討
      - ・1605年慶長地震津波の再現解析(コメント回答) 資料-3-3
    - 4) 地震以外を要因とする津波に関する検討
      - ー地すべり津波の決定論的評価手法に関する検討ー
        - ・2018年クラカタウ津波に関する検討 資料-3-4-1
        - ・1741年渡島大島津波の再現計算 資料-3-4-2
      - ー地すべり津波の確率論的評価手法に関する検討ー
        - ・Watts式のパラメータ設定に関する検討 資料-3-4-3

以上

(1) 事務連絡、その他

- 旅費精算については、土木学会の事務局に必要資料を提出のこと。

(2) 津波評価技術の体系化に関する検討

1) 津波評価小委員会(2022年度第4回)議事録案(津波評価技術体系化) 資料-3-1

- 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

・ハイブリッド解析手法（実規模の津波に対する適用性検討） 資料-3-2

Q ハイブリッド問題について、私も検討しているときは分散波を入れてもすぐに発散してしまう。そういう場合は 3D 領域を広くすることで対応している。あとは砕波も 3D でないと検討できない。ただ 3D を広くすると計算時間が延びる。今日の発表のやり方は面白いが、物理的にはよいか。良ければ参考にしたい。接続は 1 メッシュでやっているか。

A その通り。

Q 佐藤さんの論文の津波解析は 2D-3D ハイブリッドだが、最終的にはこちらの内容を目指すかと思う。知っていることは共有したい。

A 接続に関しては実験室レベルの検討なのでたまたま上手くいっている可能性もある。佐藤さんは水深が浅いところで接続している。同じようにやるとノイズが出そうだがコツはあるか。

C 特殊なことはしていないが、目に見えておかしいノイズが出たということは無かったと思う。

C 今後 2D-3D ハイブリッドは原子力サイトに適用する上で有効だとも思う。3D は複雑な建物に必要なが、2D の接続でどれだけ効率するか。岩瀬の方法は分散項を検討する上で必要だと思うので、岩瀬さんにやり方を伺うと良い。また女川の例はセンセーショナルだが、破壊パターンが転倒や破壊など複雑なので、まずは建物が健全という前提で検証すると良いと思う。そうした事例があるかだが、都市部の痕跡データは参考になると思う。

A 建物周辺の水位や流速などについて幅広く段階を踏んで検証したいと思う。

Q p 21 について、女川 No1 の建物を検討対象にしているが、地震動による杭の損傷や地盤低下、津波とシナリオが複雑だからポツ 1 は困難なのでやらないとしているが、ポツ 1 も踏み込んで実施した方が良いと思う。地震動の杭の分析などについて情報交換はされているか。ポツ 1 も検討するとハイブリッドの適用性検討もより生きてくるのでは。

A 今回は津波に関する知見のみ収集していた。

Q 事象は津波と地震動の相互作用なので、トライすべきだと感じる。両方できるのが原子力

土木委員会なので、チャレンジが重要だと思う。

- C No1 の情報も出来るだけ収集すると良い。
- C 確かに何故こうなっているかという、計算だけだと杭が健全で倒れなかった。そこで不確かな事があるという曖昧な感じで終わっていた。この委員会で解決できると良いと思う。
- C やるだけの情報と力を持っていると思う。ここに地震動の専門家を連れてくれば良い。まずはシナリオをどこまで描けるか。まずはトライしないと。
- Q 2Dと3Dの接続の計算格子の大きさは同じか。
- A その通り。
- Q 3Dを狭くするというネスティングもあるので、1格子で繋ぐことの妥当性は、将来のために検討すると良いと思う。
- A 今のやり方は3次元モデルに入ってからメッシュを細かくするようなやり方をしている。
- C それが良いと思う。

### 3) 地震を要因とする津波に関する検討

#### ・1605年慶長地震津波の再現解析 (コメント回答)

資料-3-3

- C 佐喜浜地点について、13mが6.5mでも、2mが1mでもkには同じ影響を与えるのだが、2mが1mというのと13mが6.5mというのは同じに扱えないという主旨でコメントしたものだと思う。今回の報告を見ると、解析として13mに到達すると社殿が無事であるはずがないと考えられるため、この13m以下というのは扱いが難しいが、8m程度としていることはよいと考える。ただし、今の8m程度というのと、宝永との比較はとても重要。宝永の時は周辺と到達標高に違いがないのに、慶長の時はここだけ大きいというのは、ローカルな影響がある可能性がある。まずは8m程度とする話は記録に基づく判断とし、これを事実とした場合に慶長でここだけ周囲に比べて高くなるローカルな影響については分けて話をした方がよい。
- C 水平変位による鉛直変位について、南海トラフのところは海底勾配が急なこともあり短波長の波が出てくる。それについては、特に深い所だと海面まで影響しない場合もあるので、Kajiura フィルターもあるし Tanioka & Satake(2001)の水平成分を使うのであれば、Kajiura フィルターで水深による短波長への影響を同時に扱った方がよいと考える。
- A 今後 Kajiura フィルターを適用した検討をする。
- C 今後の予定について、ロジックツリーへの展開とらえたが、ロジックツリーは様々に作れてしまうため、反映する方針を明確にした方がよい。伊方の SSHAC のような検討をしないといけない。伊方の SSHAC はレベル1~4があるが、10年前のロジックツリーではレベル1.5程度しかない印象。これでロジックツリーを展開した、不確実さを考慮したと言っても、確率論・ロジックツリーという言葉で逃げているのではないかと思う。確率論は、様々なところからご意見を頂いている現状に対して、これをもって論理的に説明する道具だと思っている。是非確率論・

ロジックツリーの中で自分たちが考える論理を再度整理した方がよい。地震動では伊方 SSHAC という国際的にも認知されているものもあるなかで、津波の分野はアップデートするスピードと認識が弱い。是非確率論に展開するという内容をもう少し具体化したものを今後見せていただきたい。

- A 現状考えているのは、南海トラフや伊豆小笠原のモデルを用いていて、特に伊豆小笠原海溝になると、津波の履歴が残っていない所に履歴が発生するということになるので、そういう所をどのように取り込むか、というところからスタートすることを考えている。
- C ロジックツリーはプロセスであり、各レベルにおいて多くの専門家がいる。この専門家たちの認識論的不確実さについて丁寧に実施する必要があると考える。この点を、事務局の幹事団が作ったものを見せて終わるのではなく、伊方の SSHAC でいうどのレベルで行くのか、パスが足りているか、不確実さの要因はなにかについて丁寧に専門家に聞くことが重要と考える。原子力土木委員会は工学であるので実践に役立てるという意味において、SSHAC のやり方、認識論的不確実さの取り扱いについて、再度幹事団で方針を明確するべきである。10 年間発言してきたが、回答が一度も返ってきていないので、繰り返し発言している。
- A コメントを踏まえて今後検討させていただく。
- C 同一地域での痕跡データの選定について、自分たちの望みうる結果を得るために勝手に主観で代表地点を決めているのではないかと、という疑いを排除することが大切だと思うので、前回の会議で敢えてコメントさせていただいた。観測データを使用する際は、データの科学的な選択基準を明らかにしておくことが肝要、選択基準を設けない場合は何も排除せずに機械的に全て使う、ということがこのような研究を進める上では地道になるが重要だと考える。

#### 4) 地震以外を要因とする津波に関する検討

ー地すべり津波の決定論的評価手法に関する検討ー

・2018年クラカタウ津波に関する検討

資料-3-4-1

- Q 2 点確認したい。火山の初期のタイミングはどのように決めたのか。津波の到達時間が違うが、発生時間を変えれば合うような話で、津波の情報を使ってそれを決めたのか、火山や地震の情報を使ってタイミングを決めたのか。
- A 既往研究で波形が公開されており、その波形に対して潮位の様々な成分を考慮してフィッティングした波形を参考にしている。
- Q 津波の情報を使ってタイミングを決めたということか。
- A そのとおり。到着時間が遅いというのは、既往の研究でいくつか議論されており、どの研究でも遅い結果となる。水深を強制的に深くした検討もあるが、科学的根拠は乏しい。
- Q p.22 の C 領域の  $K$ 、 $k$  が不思議で、 $K$  がかなり大きいのに  $k$  が小さいのはなぜか。
- A 傾向としては、観測値が痕跡地より高いため、ばらつきとしては少なくなっている。
- C  $k$  は痕跡に対する差であるため、全体的に低ければ  $k$  も小さくなるため、確認すること。

- Q p.17 で波形が違うという説明があったが、最後の結論では二層流モデルでも良いという結論になっているが、どういう意味か。
- A 二層流モデルでも良いというのは言い過ぎなところもあるが、沿岸域での痕跡規模に対しては、ある程度の再現性はあると考えている。
- Q それは水位に着目した場合ということ。必ずしも二層流モデルが津波をちゃんと再現しているかという、そうではない可能性もある。例えば今後流体力を考えるときは、これでよいのか。
- A 3次元の地すべり解析など既往でも事例はあるが、初動が合わないということで、3次元の計算や2次元で分散性を考慮した計算であれば合ってくるという話もあるため、局所的な波源域に対しては、前傾化してしまい、流体力の評価には適用できないと思う。伝播域は平面2次元の津波解析で、水位や浸水域に対しての妥当性がある程度保証されているという歴史があるため、今回は3次元で波源域を精緻に解析し、外側を平面2次元で解いたということである。おっしゃるとおり、水位に対しての評価は妥当性がある。圧力や波圧などの流体力の評価に対しては、有光ら（2012）の式で評価する手法もあるが、それだと難しいところもあるため、構造物周りの評価などを詳細に知りたい場合には、3次元解析が必要だと考える。
- C まとめページに、水位などの適切なキーワードが必要。
- Q p.19 の水位時系列波形で、計算方法の確認として、3D と書いてあるのは、非線形長波で計算して比較しているということか。
- A 非線形長波で、外側は解いている。
- Q ネスティングしているわけではなく、3次元の境界部から水位を出力して、それを接続しているということか。
- A 3次元の下側、420秒後の計算結果の水位と線流量を平面2次元に1Wayでそのまま渡している。
- Q 外側の計算では、非線形分散項を入れているか。
- A 現在実施中である。スポンジ境界で計算が発散したが、領域を広くとれば計算がうまくいったため、次回以降結果を報告する。
- C 二層流モデルの方が3次元モデルよりも小さくなっているが、分散項を考慮するとそれがやや下がる可能性があると思い質問した。伝播するとその分波高が下がるため、分散項を入れると、二層流モデルに近づくというよりも観測値に近づくと思う。

- Q 今後の検討として、確かに崩壊体積は大切だが、慶長の発生前後の山体の形状が分かると正確な検討が出来るが、そこが分からないので、その影響を知りたいがどうか。

- A 山体の形状を変えた検討をしてはどうかという提案か。
- Q 山頂の高さなどは変えた検討ができると思うがどうか。
- A そこは効いてくると思うが、どのように検討すると有効な結果が得られるか検討してみる。
- Q 単純にパラスタをすれば良いと思う。ボリュームを一定として山頂の高さを変えるなど。
- A 検討する。
- Q 20年以上前の検討なのであまり覚えてないが、崩壊量と堆積量を別々に検討し、堆積量は海底に堆積しているボリュームから、崩壊量は地形の凹んでいる部分をスムーズに補完した所こうなった。別々に検討したところ良い結果になったと思う。わたしからのコメントは、付録に、二層流に基づいてパラメータを設定したとあるがこちらの結果を教えて欲しい。
- A 二層流に基づいたケースもやったが、非常に小さい結果となったこともあり、佐竹先生の一番合っている設定を使った。
- Q あっていると言っても根拠があるわけではない。二層流と同じ値を使った方が意味のある検討になると思う。
- A 今検討した感じだとかなり小さくなるので、評価の仕方が小さくなるようなものになっているかも知れないので検討する。
- Q 本件は決定論的評価手法の検討で、最終的には成果が審査で使われるように検討していると思うが、パラメータを変えて検討しても p20 の図を見たりするとまだ上手く結果が合っていないこともあり、決定論的評価手法の成果をどのようにまとめるかはしっかりと議論が必要だと思う。審査においては大きな保守性が求められているため、感覚と合わない青天井な評価となり、論理がおかしく、合理的ではないものになることを懸念している。学会としてのここでの検討においても、成果がどのように適用されるのかを議論しながら纏めるべきである。
- A 参考にさせていただく。
- Q フルード数について、p23 の③に関してはフルード数と言えないと思う。波速に対して地すべり速度がどうかという比率というだけなので、形は似ているがフルード数というのは違和感がある。
- A ③は Fritz 式の一部になっているように、これを取り扱う論文の中では③を landslide フルード数といった表現をしている。
- C それならよい。ただ単にフルード数とは言わないで欲しい。流体としてのフルード数だと、1 よりも大きいかどうかといった議論もあるので。
- C 私も同じ感覚である。③については、津波の速度の定義も波速なのか伝播速度なのかもはっきりさせた方がよい。物理的にこれが何なのかはちゃんと考えた方がよい。

- C フルード数を調べると、元々は造波抵抗の検討に戻る。この議論は昔の破壊伝播速度の議論や、ライズタイムの表現の議論とも近い話で、聞く人によっては気になる言葉だと感じる。

－地すべり津波の確率論的評価手法に関する検討－

・Watts 式のパラメータ設定に関する検討

資料-3-4-3

- C 初期加速度を個別に決めるのは難しいと考える。p 34 について、Watts 式が出たのが 2005 年、2009 年に東海岸の海底地すべり津波の確率論的評価を行うときには、スランプをスライドに近い速度条件で設定していた。同様に、資料中の初期加速度等価の条件のみを用いてもよいのではないかと考える。
- A 資料の条件は、初期加速度がスライドと同じになるように割り切って設定している。コメントは、移動量を長さの何倍かで設定するよりは、斜面勾配の関数になっている方が現実的だということと理解した。
- C 提案者の Grilli はそのように設定していたと記憶している。
- C p 40 のスライドについて、今後の確率論への展開について、今後どのように考えているのか。
- A 前のフェーズで例示計算をしながら、不確かさについても確認してきている。この 3 年間検討した結果を踏まえて更新しようと考えている。ロジックツリーはこれしかない、というようなレベルの話ではないと考えている。
- C 課題について、p 20 に杉野（2021）について、規制庁で地すべり津波ハザード曲線を作るための一つのモデルとしてこれを使っている。地すべり津波ハザード曲線を出す場合には、不確かさを偶然的不確かさと認識論的不確かさに分けないといけない。決定論の場合 p 14 のような手法が 5 つありそれぞれパラメータが 10 個ぐらいある。これらが全て不確かさ要因なので、地すべり津波ハザード曲線を出す場合には偶然的不確かさと認識論的不確かさに分けないといけないし恐らく分けていると思う。なのでここで議論する場合には、どのパラメータが偶然的不確かさで、どのパラメータが認識論的不確かさなのかを次回教えてほしい。偶然的不確かさはランダムなのでどういう分布を取るかでよいが、認識論的不確かさの場合にはどのパラメータが効くのかを明確にして、有識者に焦点を絞って意見を求める方が良いと考える。そこまでの情報はあつし、実力もあるはずなので研究の成果の方向性を明確にすべきだと考える。
- A コメントについて異論はない。既に作っているロジックツリーのようなものもあるので、その中に入っているということは認識論ということだと思うので、その内訳を確認できるようにさせていただく。
- C 必ずしも偶然的不確かさと認識論的不確かさはスパッと分けられないので、どちらにするかを専門家に聞くなどして、提供すると実際に使う産業界の方々は分かりやすいと考える。

以上