

土木学会原子力土木委員会 第8期津波評価小委員会 (2022年度第1回)
議事録 (津波評価技術体系化)

1. 日時 : 2022年6月3日 (金) 14:00~17:30
2. 場所 : WebEXによるオンライン会議
3. 出席者 : 高橋委員長、安中委員、今村委員、蛭沢委員、小田氏 (家島委員代理)、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、徳永常時参加者、西坂常時参加者、野瀬常時参加者、浜田常時参加者
木原幹事長、石島幹事、石原幹事、稲葉幹事、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、平井幹事、藤井幹事、保坂幹事、森幹事、山木幹事、吉井幹事

4. 議題 :

(1) 事務連絡、その他

- | | |
|---------------------------|--------|
| 1) 原子力土木委員会の構成の見直し(案)について | 資料-1-1 |
| 2) 津波漂流物衝突評価WG検討内容について | 資料-1-2 |

(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3回)議事録案(津波評価技術体系化) | 資料-3-1 |
| 2) 地震を要因とする津波に関する検討 | |
| ・波源の不確かさが水位に与える影響の検討 | 資料-3-2 |
| 3) 地震以外を要因とする津波に関する検討 | |
| ・2018年クラカウ津波に関する検討 | 資料-3-3-1 |
| ・2018年スラウエシ津波に関する検討 | 資料-3-3-2 |
| ・1741年渡島大島津波の痕跡・諸元等に関する整理 | 資料-3-3-3 |
| ・地すべり発生の解析手法 | 資料-3-3-4 |
| ・地すべり挙動に関する検討 | 資料-3-3-5 |

議 事

(1) 事務連絡、その他

1) 原子力土木委員会の構成の見直し(案)について 資料-1-1

- C 本小委員会で作るものは技術資料になり、修正作業は我々の方で行い、内容は親委員会のタスクで審議するという形になる。どういった形で審議するのか、小委で議論した成果をタスクで審議できるのかということもあるが、実情・状況に合わせてチューニングが必要だと思う。我々のほうでも確認して随時報告する。

2) 津波漂流物衝突評価WG 検討内容について 資料-1-2

- Q FRP 船舶について、19GT を選定した理由はなにか。
- A 小型船舶の定義が 19GT 以下であり、原子力発電所では漂流物として小型船舶を対象に検討されることが多いことから採用している。
- Q P19 の結論として、合理的な評価結果、とあるがどこから得られる結論なのか。
- A P19 に発生応力を掲載しているが、静的 2 次元解析に対して、3 次元動的解析が小さくなっている。要因は様々あると思うが、3 次元の方がより合理的な評価になっていると考えている。
- Q 発生荷重の真値はわからないのでは。
- A 発生荷重の真値はわからないが、3 次元解析に近いと考えている。
- Q 解析結果を見ると 2 次元解析が保守的な値になっているのはすぐに分かる。真値がわかっていて 3 次元解析の方が真値に近いということであれば合理的な評価結果とするのも理解できるのだが、真値には 3 次元の方が近いだろうという予想ということか。
- A 今回の真値はわからないのでその点は課題だが、2 次元解析では奥行き方向への荷重の分散は考慮できないが、3 次元解析では考慮することが出来ることから、3 次元の方が真値に近いと考えている。
- C 解析から得られた数値を見て合理的としているのではなく、2 次元解析と違って 3 次元解析ではパラメータなどで実際に近いと考えられる設定をしているという点から、合理的と評価しているということと理解した。
- Q 頭の整理をしたい、P18 で 3 次元と 2 次元を比較しているが、流れの場合は同じとして、荷重に差異が出た要因は、3 次元では奥行き方向の効果を考慮している一方で 2 次元では断面なのでその効果が考慮できないことが効いているのか、FEMA で算定した荷重が作用しているという仮定なのでその算定式自体による違いなのか。
- A 両方の効果だと考えている。解析モデルについては、コメントのとおり奥行き方向が考慮されているということがある。荷重は、算定方法ということもあるし、衝突速度の設定もあると考えられる。2 次元でよく使われる方法として、衝突高さや衝突速度の関係から、実際には衝突高さが最大の時に衝突速度が最大というわけではないが、両者の最大を重ねるような検討がされ

ている。今回の設定では衝突高さが最大の時の流速を用いて計算している。具体的には資料中の7mと15mの違いである。

- Q 2次元を使うのか3次元を使うのかといった指標を示すことが今後必要になるではないか。いきなり3次元しなければならないということではないのではないか。
- A 今回の検討によって、2次元には多分に保守性があるということが分かったと考えているので、保守的な検討とするなら2次元解析を行い、条件設定についてはまだまだ検討の余地があるが、実現象に近いものを検討するという点では3次元解析を用いるということかと考えている。
- C 補足だが、P18について、船が衝突するのは点であり3次元では横の方向にもエネルギーが吸収されるということ、2次元解析では衝突した点の部分を断面的に切り出してそのまま評価しているので、3次元解析ではあるいみ横方向の緩和のような効果を考慮していることになるので、3次元解析が合理的と表現している。つまり3次元で評価することで3次元による効果を取り入れて評価することが出来るので、その結果として現在使われているような手法の保守性を明らかにしたと考えている。
- C 3次元は重要だと考えている。この実験だと対象壁に垂直に当たるが、実際には漂流物は斜めに衝突することもあるので、そういうことを踏まえると2次元だと保守的すぎるとも考えられるので、そういう意味でも本成果は重要だと思う。
- C 富田先生からの補足内容は重要なので資料中に反映した方がよい。特に衝突の際の奥行き方向の緩和効果など、重要なキーワードを加えれば、3次元解析が合理的になっているということが理解しやすくなる。

(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3回)議事録案(津波評価技術体系化) 資料-3-1

- 修正等あれば幹事会社、幹事長まで連絡のこと。

2) 地震を要因とする津波に関する検討

・波源の不確かさが水位に与える影響の検討 資料-3-2

- Q p.13のアスペリティの制約で、すべり集中度というのがあるが、断層全体の累積モーメントとこの部分の累積モーメントとの比か。それとも変位量の比か。
- A 変位量の比である。
- Q p.12は面白い検討であると感じる。すべり分布は離散化している影響で、実際のx-y座標上では分布に周期性が表れるとのことだが、走向方向は問題として目立たないが、傾斜方向は問題があるとまとめられているか。
- A 周期性に関しては両方問題になると考えている。
- Q 例えば左下のようなすべり分布は、地震学者としてはあまり目にしないような、起こるのが難

しいパターンである。大きくすべるのは中央部分だというパターンが多い。また左上のようなパターンはコーナー部分に大きなすべりがあると、反対の上端右上に大きいものが現れるということだが、東北地震の事例を考えると、最も浅い部分が大きく滑って、そういったときに60kmといった深いところでは染み出しで大きいものが現れているということは無い。テーピングの高度化で解決できると思うが、左上のような分布をランダムフェーズで作ると乱されるし、ハザード評価で使用するには問題があると思う。

A そのとおりだと思ったので、浅い部分に制約するようにしている。

Q これは手動で削っているのか。

A そのとおり。作成したもから手動で削った。

C そうすると恣意性が入るという問題が残る。数学に基づいてランダムに検討するという思想からすると、現実的に起こりえないパターンを削除する際に客観的性を担保する方法があると良いと思う。

A 今後検討する。

Q p.11 で最大すべり量の制限をつける必要があるとのことだが、どういうことか。

A 正規分布で検討しているので、確率は低い非常に大きいものが出る可能性がある。

Q そこは先ほどの数学的という話に関連するが、それらの発生確率は低いのでハザードカーブを作る際には問題にならないと思う。数学的という思想からすると制限は不要では。

A そういう考え方もあると思う。

Q この方法は波源の不確かさを使って計算したときに、水位にどのような影響があるか確認するとあるが、最終的にはハザード曲線も作成するのか。

A そのとおり。従来の特性化モデルを使用したハザード曲線と比較するつもり。

C それぞれのメリット・デメリットがあると思うのでぜひ検討をお願いします。

Q テーピングは、今回 1 格子、3 格子、5 格子で検討しているが、逆フーリエ変換で元に戻したときにどのような違いが出るのか。

A 今後検討する。

C こういったものも、不確定性の一つになると思う。もう一つは、土木学会で同じような検討をしたときには、断層の深い領域で大すべり域が形成されないという知見が推本でもまとめられていることから、ランダムで作成したモデルのうち深部に大すべりが発生したものを除去するといったアルゴリズムで検討した。土木学会で検討したときは、ハザードカーブまで作成するとそのあたりの影響は大きく出なかった。

3) 地震以外を要因とする津波に関する検討

・2018年クラカタウ津波に関する検討

資料-3-3-1

- 特段の議論なし。

・2018年スラウエシ津波に関する検討

資料-3-3-2

- Q スラウエシ津波とクラカタウ津波とでは、個人的にはスラウエシ津波の方が再現解析の難易度が高いと思っている。スラウエシ津波では、地すべりが同時多発的に起こっており、更に海底地すべりや陸上からの供給などもあり、現象が複雑化している。p.17で紹介があったが、この文献の検討では、地震と地すべりは同時発生で、おそらく地すべりも全て同時発生していると思うが、その地すべりの時間差が効いてくると思われる。一方、航空画像や動画から津波発生高さなどを評価した文献があったが、こういったものから、地すべりの発生時間の差が分かるかと考えたが、そういったことを考慮した研究成果はあるか。また、今回調査した中で、地すべりの発生時間の差を検討したような知見はあるか。
- A 目撃証言や映像から、地すべりの時間差を分析した知見は見つかっていない。シミュレーションで想定した地すべりが、これくらいずれると検潮記録と一致するという研究事例はあったが、実態がどうであったかという確度が高いものはない。あとは地震動の継続時間が比較的短く、そこまで時間差があったかどうかということも考慮しながら、時間差を設定してシミュレーションで評価していくことを考えている。
- C 佐竹先生から関係する論文の提供があったため、幹事長から各委員へ共有すること。

・1741年渡島大島津波の痕跡・諸元等に関する整理

資料-3-3-3

- 特段の議論なし。

・地すべり発生の解析手法

資料-3-3-4

- C 色々なプログラムを試されているが、基本的に BM01 は基本的には円弧すべりを対象としているため、平行すべりを扱うのは物理的な現象として少し異なり、同じ土俵で比較すると不利になる。ただし、平行すべりの方法と円弧すべりの結果が良好だった Scoops3D の場合で、円弧すべりなのか平行すべりなのかで使い分けるという意味では、このあたりの方法が妥当なのかと感じた。
- A ご指摘のとおり、BM01 は円弧すべりが理論解に近いので、それに鳴原先生が検討されたモデルを持っていくこと自体が適切ではないと思う。p.28 の Scoops3D は Slump を対象とし、鳴原・Horrillo(2014)や極限平衡法に基づく無限斜面の方法は Slide を対象としているため、両方を残したうえでパラスタを実施したい。最終的には使い分けのが良いのか、あるいは津波水位の観点で薄いすべりがどのくらい効いてくるのかを吟味したうえで検討したい。ただし、Watts の式だと、厚さだけでなく長さも効いてくる。一般的には厚さ・長さとを合

わせた断面積や体積が津波高に効いてくるので、表層すべりが薄く、長くすべる場合には津波が高くなる可能性はある。ご指摘のとおり、地質条件により適用の方法を変える可能性はある。

・地すべり挙動に関する検討

資料-3-3-5

- 特段の議論なし。

以 上

土木学会原子力土木委員会 第8期津波評価小委員会（2022年度第1回）
議事録（土砂を含む津波の波力評価技術体系化）

1. 日時：2022年6月3日（金）14:00～17:30
2. 場所：WebEXによるオンライン会議
3. 出席者：高橋委員長、安中委員、今村委員、蛭沢委員、小田氏（家島委員代理）、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、徳永常時参加者、西坂常時参加者、野瀬常時参加者、浜田常時参加者、米津常時参加者
木原幹事長、石島幹事、石原幹事、稲葉幹事、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、平井幹事、藤井幹事、保坂幹事、森幹事、山木幹事、吉井幹事
4. 議題：
 - (1) 事務連絡、その他
 - 1) 原子力土木委員会の構成の見直し(案)について 資料-1-1
 - 2) 津波漂流物衝突評価WG検討内容について 資料-1-2
 - (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3回)議事録案(土砂津波体系化) 資料-2-1
 - 2) 土砂津波実験状況 資料-2-2

議 事

(1) 事務連絡、その他

1) 原子力土木委員会の構成の見直し(案)について 資料-1-1

- C 本小委員会で作るものは技術資料になり、修正作業は我々の方で行い、内容は親委員会のタスクで審議するという形になる。どういった形で審議するのか、小委で議論した成果をタスクで審議できるのかということもあるが、実情・状況に合わせてチューニングが必要だと思う。我々のほうでも確認して随時報告する。

2) 津波漂流物衝突評価WG 検討内容について 資料-1-2

- Q FRP 船舶について、19GT を選定した理由はなにか。
- A 小型船舶の定義が 19GT 以下であり、原子力発電所では漂流物として小型船舶を対象に検討されることが多いことから採用している。
- Q P19 の結論として、合理的な評価結果、とあるがどこから得られる結論なのか。
- A P19 に発生応力を掲載しているが、静的 2 次元解析に対して、3 次元動的解析が小さくなっている。要因は様々あると思うが、3 次元の方がより合理的な評価になっていると考えている。
- Q 発生荷重の真値はわからないのでは。
- A 発生荷重の真値はわからないが、3 次元解析に近いと考えている。
- Q 解析結果を見ると 2 次元解析が保守的な値になっているのはすぐに分かる。真値がわかっていて 3 次元解析の方が真値に近いということであれば合理的な評価結果とするのも理解できるのだが、真値には 3 次元の方が近いだろうという予想ということか。
- A 今回の真値はわからないのでその点は課題だが、2 次元解析では奥行き方向への荷重の分散は考慮できないが、3 次元解析では考慮することが出来ることから、3 次元の方が真値に近いと考えている。
- C 解析から得られた数値を見て合理的としているのではなく、2 次元解析と違って 3 次元解析ではパラメータなどで実際に近いと考えられる設定をしているという点から、合理的と評価しているということと理解した。
- Q 頭の整理をしたい、P18 で 3 次元と 2 次元を比較しているが、流れの場合は同じとして、荷重に差異が出た要因は、3 次元では奥行き方向の効果を考慮している一方で 2 次元では断面なのでその効果が考慮できないことが効いているのか、FEMA で算定した荷重が作用しているという仮定なのでその算定式自体による違いなのか。
- A 両方の効果だと考えている。解析モデルについては、コメントのとおり奥行き方向が考慮されているということがある。荷重は、算定方法ということもあるし、衝突速度の設定もあると考えられる。2 次元でよく使われる方法として、衝突高さや衝突速度の関係から、実際には衝突高さが最大の時に衝突速度が最大というわけではないが、両者の最大を重ねるような検討がされ

ている。今回の設定では衝突高さが最大の時の流速を用いて計算している。具体的には資料中の7mと15mの違いである。

- Q 2次元を使うのか3次元を使うのかといった指標を示すことが今後必要になるではないか。いきなり3次元しなければならないということではないのではないか。
- A 今回の検討によって、2次元には多分に保守性があるということが分かったと考えているので、保守的な検討とするなら2次元解析を行い、条件設定についてはまだまだ検討の余地があるが、実現象に近いものを検討するという点では3次元解析を用いるということかと考えている。
- C 補足だが、P18について、船が衝突するのは点であり3次元では横の方向にもエネルギーが吸収されるということ、2次元解析では衝突した点の部分を断面的に切り出してそのまま評価しているので、3次元解析ではあるいみ横方向の緩和のような効果を考慮していることになるので、3次元解析が合理的と表現している。つまり3次元で評価することで3次元による効果を取り入れて評価することが出来るので、その結果として現在使われているような手法の保守性を明らかにしたと考えている。
- C 3次元は重要だと考えている。この実験だと対象壁に垂直に当たるが、実際には漂流物は斜めに衝突することもあるので、そういうことを踏まえると2次元だと保守的すぎるとも考えられるので、そういう意味でも本成果は重要だと思う。
- C 富田先生からの補足内容は重要なので資料中に反映した方がよい。特に衝突の際の奥行き方向の緩和効果など、重要なキーワードを加えれば、3次元解析が合理的になっているということが理解しやすくなる。

(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3回)議事録案(土砂津波体系化) 資料-2-1

- 修正等あれば幹事会社、幹事長まで連絡のこと。

2) 土砂津波実験状況 資料-2-2

- Q 採水装置の大きさはどの程度か。
- A 20cm×20cm×20cmのアクリル升を、3つ連結させたものである。
- C 皆さんご承知かと思うが、今回説明された再現性というのは、実現象を再現するときの再現性ではなくて、複数回同じ実験を実施した場合のデータばらつきが小さいという意味の再現性である。
- Q p.16の平均濃度は、1回の実験の値か。
- A そのとおり。
- Q 複数回測定は行ったか。

- A 縮流ゲートありの②では、まだ実施していない。
- Q 縮流ゲートありの①を複数回実施した場合に、どの程度ばらつくのか。
- A ①では複数回実験は実施したが、まだ結果の整理ができていない。
- Q 洗堀防止対策を行うと流れが安定するのかなと思うが、本実験でも洗堀防止を施すのか。再現計算をしたいので教えてほしい。
- A 結論としては、洗堀防止工は使わないこととなった。波形が流れの後半で乱れたため、局所洗堀の影響かと考え洗堀防止を施したが、波形がそれほど収まらないにもかかわらず砂の巻き上げが減ってしまった。流れの初期の波形が乱れる前（10 秒ほど）の、砂が良く巻き上がる場所の条件（縮流ゲートあり①）にしようということになった。
- Q 着目しているのは後ろの方ということか。
- A 最初に洗堀されているところだが、この実験自体は洗堀を再現するものではない。波形が後半で乱れることがあったため、それを防止するための試みであるが、それほど効果がなく、最初の 10 秒くらいの流れは波形が乱れていなかったため、そこに着目することとなった。
- C 見学会をぜひ開催してほしい。
- C 早めに日程調整してほしい。
- Q 土砂の濃度や流速、水位の目標値はあるのか。今の縮流ゲート有りの実験で、どこまで計測できているのか。
- A 粘土については、体積濃度 1～10%の間で、3 ケース選定することを考えている。砂については、巻き上げ量が前年度の実験の結果かなり少なかったため、ある程度大きな巻き上げを狙ってみたところ、先端で 2%ほどの濃度が出るようになった。実験装置を考えると、貯水深が最大で 50cm なのでこれ以上外力を上げられないため、砂は最大で先端で 2%程度であるため、これが上限と考えている。
- C 対象とする現象を再現するものではないとのことだが、どのくらい近い状況を再現できているかという、目安の情報を加えた方がよい。
- Q 研究成果が揃ってくると論文化するという話もあるが、方向性として、英文化して世界に発信することは考えているか。
- A 研究成果がある程度まとまった段階でセンター共研として論文化は検討する。現時点では、国内の海岸工学論文集などの発表を考えている。英文化については幹事団の中で検討していきたい。
- C 日本の技術力・科学力が低下している中、国際的に貢献していくことが大切。基本的には

英文化することで、途中のレビューのプロセスの中でより客観性・信頼性が高くなるし、学術的成果の積み重ねは重要である。

- C 英文ジャーナルへの投稿はこれまでやっていないため、必要と思う。昔は海岸工学論文集に和文で投稿し、+αの内容を加えて英文化してもそれほど目くじらは立てられなかったが、最近チェックが厳しいため注意が必要。いずれにしても、最終的には英語で我々の成果を皆さんに見てもらふ必要があるのは間違いない。津波評価技術にもいずれこういった知見はアップデートするし、それも英文化して世界の関係者にも伝わるようにしていきたい。

以上