

130806 幹/130803/130731r2/130624/130612 (作成 亀田)

耐津波工学委員会で明確にすべき論点

* 要点

- ・原子力施設の地震・津波対策上重要な技術項目について、問題点の共通認識を得ること
- ・一律の解釈ではなく、内容は多様であってよい
- ・学術的観点(論理性、整合性、etc.)から整理することを重視
- ・コラムとして、それぞれ本文と形として独立に位置づける。
- ・**コラム執筆要領(案):起草担当の委員を決める/1ページ以内で執筆/委員会の場で討議しコンセンサスを得る/執筆者名を掲げるか(方法を含め)要検討**

* 検討項目 (独立のコラムとして配置)

- ・技術ガバナンス(第1章) (亀田)
- ・深層防護と共通原因故障の関係・課題/深層防護ベースとシナリオベースの議論のギャップを埋める(第2章) (宮野)
- ・事故シナリオ/事実・論理性・想像力(第3章) (中村)
- ・ドライサイトの定義(第4章) (今村)
- ・リスク論の位置づけ・使い方/設計とPRAのフィードバック関係/設計点・設計裕度・残余のリスク(第5章、1, 4) (高田)
- ・多様性・多重性・独立性(第4章、3) (成宮)
- ・作用、外力、外力作用/影響、被害(第6章、他の章すべてにわたる) (香月)
- ・形を決めること (設計)、それが許されるか (照査)、リスクを求める (リスクの評価)、それが許されるか (リスクの照査) (香月)

* 第1回委員会

- ・各章の連関図
- ・回復力:オペレーターの判断/人材育成/ヒューマンファクター
- ・深層防護/共通原因故障/
- ・マルチユニット/マルチハザード
- ・時間軸を入れたPRA
- ・リスク論/リスク情報を活用した意思決定
- ・PBR、BWR、APWR、ABWR で、シャットダウン後の崩壊熱でどのように事象が進展するか:前提として知識を共有

- ・福島第二の見学

* 第2回委員会

+ 東電報告

- ・水位計自体は壊れていなくても、温度が高くなると正しい水位を示さない。耐津波設計は炉心の冠水を保持するために必要な設備を守るということに尽きる
- ・福島第一と第二を比較すれば、どの設備が津波で壊れれば事故に至るか理解できる
- ・津波情報の遅延を考慮に入れた対策
- ・防潮堤は波力を防ぐことはできるが、取水路・放水路からの流入は防げないことを想定し建屋にも対策
- ・資料 3 : 非常用復水器の有無の影響、弁の開閉の問題を理解する上で役立つ。
- ・PWR についても同様に議論すべき
- ・福島の非常用復水器は常用系の設計。ECCS として期待されるものと AM 対策として期待されるものの明確なロジック必要。
- ・水密化と排水の全体のコンビネーションを考えて信頼性を上げていく

+ 各章の骨子

「第1章」

- ・津波ハザードの定義を明確に。フラジリティに影響

「第2章」: 対象施設(その後の委員会で変更)

「第3章」

- ・対象は現在のところ BWR (3章)
- ・地殻沈下だけでなく隆起もありうる
- ・除塩、除染の問題

「第4章」

- ・新設炉も既存炉も両方同じウェイトで重要
- ・定期安全性評価: 4. 4節で議論。

「第5章」

- ・津波のリスク評価は5. 7に入れる
- ・津波設計のための許容値: 津波に対する構造設計は十分にされていない状況の問題
- ・リスクの評価とリスクの許容値を決めることを並行: これ抜きで各論に入ってしまうことの問題
- ・リスク論についての考えは人により異なるので用語集が必要?

「第6章」

- ・作用という用語: 構造物が機能喪失に至る直接のパラメータ/作用力という言葉が気になる。力だけで壊れるわけではない。

- ・「津波の外力作用」？「津波の作用」？
 - ・「構造物等」ではなく「SSC(構造物、システム、機器)」
 - ・漂流物の扱い
- 「第7章」
- ・多重防御の部分、共通要因故障(コモンコースフェイリュア)をキーワードに
 - ・ハザードマップのような中長期的観点／警報の活用は3章とも重なる
- 「第8章」
- ・現地でのデータ収集(ウォークダウン)
 - ・取水系からの浸水
 - ・電源・冷却施設に信号施設を加えるべき／電源および電気施設がよい
- 「第9章」
- 「第10章」
- ・洗掘はまだ計算できていないが、1年以内には可能？
 - ・引き波の力は非常に強い。洗掘だけでなく漂流物など
 - ・計算例は事業者の例も参考にできるだろう
 - ・地盤の変形:地盤の変形も粒子法で扱うモデル／
 - ・メタクラに粘土を詰めていることの例
- 「第11章」
- ・津波のような長時間の事象では、人のマネジメントの話は3章以降にも必要
 - ・法の話
 - ・アラスカ地震(1964年)の資料(石油施設の被害例)
 - ・津波の現地調査を原子力施設に関わらず行う提案(幹事会で検討)

* 第3回委員会

+ 東北電力報告

- ・原子炉が自動停止せず、運転中に津波が来襲した場合:遠地津波／情報が予め得られるため、津波到達前に対応
- ・サイト内に水が浸入した場合、その中での作業員の行動
- ・外部の送電線の安全性は、非常に重要
- ・津波による石油タンク等の発火による火災の伝播の問題も重要
- ・地震の揺れによって破損し難い碍子に交換済／重油タンクの倒壊の際、オイルフェンスを張って外に流れないように対策／泡消火剤の配備
- ・女川では、3.11 の前に予め様々な対策を行っていた。(地震対策のため法面を強化、事務棟の免震化など)。なぜ事前にこういう対策を進めることが可能だったのか、その意志決定のプロセス／意志決定のプロセス各社とも同じでは／技術陣と経営陣との情報の共有がよく取れている点は、東北電力の風土であることが伺える

- ・本委員会では、耐津波工学の個別の要素だけでなく、工学の仕組みについても議論／意志決定のプロセスは重要であり、技術ガバナンスの課題(第1章)
 - ・敷地内外を含めた地殻に関する測量の情報
 - ・一般に電源車などの対策はされるが、その接続部分などの耐震クラス
 - ・津波の進入経路については、写真を交えた説明が重要(報告書に反映)
- ＋「第2章 地震津波工学に求められる原子力安全(仮)」
- ・タイトル:「原子力安全のための耐津波工学」という方が適切
 - ・保安院は事業者が一義的責任を負うとしていたが、両者は原子力安全のための両輪であり、規制も責任を負うべき
 - ・深層防護の第4層は、炉心損傷の前と後を書くべき／3層で燃料に損傷があることを想定
 - ・津波・地震の検知をどうするか、基準地震動をオーバーすることがシビアアクシデントなのかは、重要と考えている
 - ・レベル1～4までは発電所内の対応、敷地外まで影響するレベル5の場合を「防災」と言っている(「原子力防災」のほうがよい)
 - ・全体のキーワードとして抜けているのが、マルチハザード・マルチユニット
 - ・シビアアクシデントの対策のまとめ方を、外的事象の想定を中心にすべき
 - ・防災の取り扱いは外的事象と内的事象で異なる
 - ・地震・津波では、共通要因故障が問題となる。深層防護の入り口の段階で議論して頂きたい
 - ・ここで政府とは何を指しているか→行政機関のこと

* 第4回委員会

- ＋ 中部電力報告(浜岡原子力発電所の概要／地震・津波対策／水理模型実験／津波対策工事／津波監視の取組／シビアアクシデント対策)
- ・既存の水源タンクと今回増設する地下水槽等を合わせて、3～5号機に14日間淡水供給／足りない場合は川や海からも取水
 - ・越流のケースについても実験／実際の防波壁設計は、内閣府の最大クラス巨大津波の南海トラフ巨大地震の想定津波高を超えないこと
 - ・実験で、福島第一原子力発電所で見られた明瞭なスプラッシュは見られなかった。
 - ・制基準では完全に敷地内に水を浸入させない意味のドライサイトになってしまった。取水塔から海底トンネルでつながる取水槽の津波時水位を計算(時間考慮)し、ドライサイト対応できるよう設計。
 - ・周期や波形については、内閣府で検討されている津波をそのまま与えるのではなく、孤立波を与えている。砂丘堤防が無い方がダイレクトに波が走り、スプラッシュに近い水位上昇現象が見られるが、波圧計測結果から算定した、壁全体に作用する波

力は砂丘堤防の有無に関わらず大きく変わらない。

- スプラッシュや力の評価は今後の課題／シミュレーションの結果を真とすることは是非も議論が必要／現状は 2 次元シミュレーションなので、スプラッシュは再現できず、過小評価していることは考えられる。
 - 外部電源(浜岡の例)について、2系統が交差している東名高速の近くの斜面で、片方の鉄塔が倒壊すると、両回線が切断する可能性のある地点の議論
 - (委員長総括) 実験とシミュレーション、条件設定については6章、7章に書いていただきたい／ドライサイトをどうするかという点については、規制庁と IAEA で考え方が異なる状況で、本委員会ではどう示すか。一つの考えに固定して示すより、バリエーションを持って4章で示す／浜岡の場合、強烈な地震動が想定され、地震工学的対策が重要であるが、設計論的な耐震性と設計細目で耐震性を確保すること(設計術)の両者を重視すべき／対症療法的でなく、リスク論を念頭に置いた合理性ある対策を、現実に即して議論する
 - 検討されている津波監視技術の組み合わせに大変期待。
 - 緊急対策の各設備をつなぐケーブル・ダクト類を強くすることが問題になる。設計や重要度分類といったコンセプトが重要／電源ケーブルはダクト中に固定するのではなく、なるべくフレキシブルな構造にする。
 - 予期しない箇所からの浸水／敷地のウォークダウンを行い、外部からの浸入経路を徹底的にチェックは／万一入った場合でも、建屋内外の水密構造によって重要な機器を守る
 - 設計思想としてはケーブル類もガスタービンと同程度の重要度で考えている
 - 浸入経路を特定しない水がどの程度入ってくるかは不確実を伴うが、排水対策などの論理をしっかりと行うことが重要
 - 津波の高さを遠方で測定した情報を基にした対策の内容＝未だ決めていない／原子炉建屋の大物搬入口強化扉は人力でも数分間で閉めることが可能／原子炉建屋の水密性を確保するため、今回設置した強化扉と水密扉を同時に開いた状態にしないよう、操作手順を定めている
- +「第3章 原子力発電所の地震・津波事故シナリオ」
3. 1はじめに(蛭沢幹事)
 3. 2東日本大震災における原子力発電所の挙動(中村幹事)
 3. 3津波を起因として想定される事故シナリオ(中村幹事)
 3. 4津波に起因して事故の発生・進展に大きな影響を与える事項(蛭沢幹事)
 3. 5他章との関連等(蛭沢幹事)
 3. 6事故シナリオに係る課題とロードマップ(蛭沢幹事)
 3. 7まとめ(蛭沢幹事)
- 接続部を考えることの重要性: 中越沖地震ではケーブルが損傷／1F 事故では炉心

溶融物が貫通してトレンチにつながっていると推定

- ・深層防護の観点から水密扉の扱いを考えるべき
- ・漂流物や火災の話も参照すべき(ストレステストの議論)
- ・アクシデントマネジメントのヒューマンアクションも重要な課題(審査の対象となる)
- ・ヒューマンアクションをどの章で取り扱うかは今後の相談が必要
- ・地震起因の内部溢水についてもシナリオを考える必要
- ・7章でアンケートをとっているので、連携する
- ・設備の性能に触れるのであれば、4章と重なる
- ・報告書で、重複をどう扱うかは議論が必要。次回幹事会で。
- ・最初から扱うところを決めてしまうと抜けが出る恐れがあるので、最初は重複を許し、最後に確認する
- ・保全学会資料でマルチユニットの考え方はない／本委員会では議論しなければならない
- ・具体的な対策に踏み込んでいたが、3章は想定しているシナリオを示すのであって、答えまで示す必要はない／内容を、他章でどう扱うのかを明確にするため、あえて発表／例えば、廃炉のことまで考えるという方向性は必要／一般の廃炉と福島のような特殊な廃炉とは区別する必要
- ・各章の関わりは、次の幹事会(7/1)で議論
- ・リスクという言葉を使うと確率論の関係／リスク論は確率論を凌駕する概念であるが、リスクの定量評価には確率論が不可欠という関係／この議論は、5章で十分に扱う

* 第5回委員会

+ 関西電力報告(緊急安全対策、ストレステスト、取り組み、対策の具体例)

- ・水源の容量と供給可能時間はどのように決まっているのか
- ・ポンプ類が原子炉周辺建屋の地下にあるのはもともとの設計／浸水対策を施している
- ・緊急安全対策前後で、クリフェッジの対象機器が海水ポンプから補助給水ポンプに変わっているが、海水ポンプには対策？／防護柵を設け海水ポンプへの浸水を防ぐようにしている／対策はシナリオを想定して海水ポンプに対策するが、期待できない場合でも代替手段で対応するクリフェッジを考えている。(成宮幹事)
- ・完全に外部からの冷却が停止、1次系の安全弁が吹いてアイスコンデンサを使用した場合、どれくらい維持が可能で、その後どのようなようになるか？／進展としてはアイスコンデンサの氷が溶けて再循環モードでまわすことになるが、正確な容量は調べる。
- ・可搬式のポンプ類は数年後にはサビが生じ、常に使用できる状態を維持するのは難しい／基本は恒久施設で対応し、やむを得ない部分のみ可搬式のもので対策をするという考えがよい／4章で議論する内容。
- ・火災・竜巻・内部溢水などが新規制基準に含まれているが、想定する事象が明確でない

という問題がある。リスクの概念を取り入れる等、工夫が必要

- ・規制委員会のガイドの整合性・論理性の問題は早急に処置しなければならない
- ・(「委員長コメント」委員会の立場としては、現在の規制を前提とする議論に限定すべきではない。学術的に、論理性と整合性を考え、議論する。答えは必ずしも一つである必要はなく、幾つかのオプションが出るのであれば、それらを網羅する議論をする。
- ・耐震裕度の算出に建屋の床柔軟性を考慮しているか
- ・独立性の確保についてはどう考えているか／独立という言葉の定義は必要
- ・美浜発電所見学について、1) 3連動を考えているか、2) 蒸気発生器の細管の複数本破断を考慮しているか、3) 敷地が狭いが事故対応時のスペースの確保に問題がないか／4) 職員の数が少ないため、緊急対策の対応や、平時の訓練の負担が心配

＋各章の概要及び担当委員確認

- ・東北電力の一般の火力発電所が津波でやられている情報を付録に載せる提案
- ・その時のビデオを本委員会で上映する提案／津波の進入のビデオでは進入の経路だけでなく漂流物の挙動が見られる／東北電力対応可

＋「第 4 章 原子力施設の地震・津波安全に関する性能」

- ・「荷重」や「外力」ではなく、津波の「作用」という言葉を使う／Consequence を「影響」というか「被害」というかは幹事会で議論
 - ・電気品も重要な対象物であり、それを含めて作用という言葉が使える
 - ・海底砂の移動というと陸上の洗掘が含まれないように聞こえるが、陸上は含まないのか。防潮堤を越える場合というのは、洗掘がおきて、防潮堤が壊れるということまでを考えるのか／設計を超える津波が来る場合の状況は、サイトによって異なる。その場合、設計基準津波も変わってくると考えられるため、そういったものを考える必要がある。
- 設計基準事象とは、起こりえない事象を、起こったと想定して安全系を設計するための事象のこと。例えば、防潮堤が全て壊れることを設計基準事象とするということは、一つの考え方である。もしくは、設計の段階で非常に厳しい津波を考えるかという考え方もあり、これから議論が必要／設計基準事象をもって、安全性を確認する枠組みは内的事象に関しては確立されているが、津波という不確定性の高い事象についてこれ考えることは難しく、リスク論とうまく結びつくように考える必要／デザインベースのようなイメージを作るのかリスクで評価すべきか、相談する／7月1日に議論
- ・地震工学という言葉があったが、原則として地震・津波工学とする／地震起因の津波だから両方とも考えることが重要であるというのが我々の立場／設計する上で地震も考えることを前提として考えるから耐津波工学という新しい体系を作ったという／既存の例を示すときは、地震・津波工学、我々がこれから考えるものは耐津波工学とする
 - ・漂流物については外の漂流物を考えてしまうが発電所の中でどう防ぐかも問題
 - ・Real time の津波報知とプラントのレスポンスの問題も議論すべき
 - ・学術的にドライサイトのどの定義が現実的なのか考えることが重要

- ・ 4 章では要求性能を実現する方策を書く？／例えば、津波 PRA を実施するときに要求する性能があるが、その時に何をチェックするのかを示すのが 4 章ではないか
 - ・ 何々をしないように、というところまでが性能であると認識／4. 3 が必要なのかという問題なので、幹事会で議論
 - ・ RTSS のような問題を 7 章で扱うと言っていたが、7 章と 4 章は担当委員が違うので注意のこと
 - ・ 原子力と一般構造物の違いは、炉心に大量の核分裂生成物が含まれること／津波によって、敷地がぬれるかどうか、建屋内がぬれるかどうか、機器がぬれるかどうかは、炉心の溶融、その後の放射能の放出に関わる場所をピックアップして、そこを守るという観点で 4 章は書けばよい
- 特に津波の場合は、フロント系だけでなく、サポート系までも守られているかどうか重要。深層防護という概念はそういうところまで捉えられているの健翔が重要
- 津波ではある高さで共倒れになったのが福島のと時の問題。この共倒れが、深層防護の観点では問題になった。設計でやられているのは第 3 層までの防護であり、第 4 層 (AM) の防護を津波の観点から考えなければならない
- 第 3 層、第 4 層という考え方によって、むしろ無視されてきた部分の補強が再優先課題となってきた。それが今、深層防護という概念とどう関わっているか、整理が必要
- ・ 第 3 層の設計において、津波に対する高さの考えが抜けになっていた。つまり防潮堤を越えた場合、超えない場合というのが一つ区切りになる／つまり、深層防護と係わりをもつ対策を、もっと幅を広げて考えなければならない (亀田委員長)
 - ・ 定期安全評価 (PSR) をどこかで議論する必要がある
 - ・ 章によって、原子力発電所のみを対象にしたり、原子力施設全般を扱ったりしたのでは、混乱するので統一すべき／基本的には原子力発電所を中心にして、他の施設を付記するという形／2.3 節でどこまで扱うか明記