

「原子力発電所の津波評価技術」改訂版に対するご意見とその対応について

2016年3月

原子力土木委員会 津波評価小委員会

第2章 津波評価の概要	
ご意見の概要	考え方
<p>【深層防護・危機耐性について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 深層防護や危機耐性を導いた被害分析、被害の連鎖を明確にしたほうが良い。津波被害を軽減する方法や回避する方法との関係を提示したほうが良い。また、津波の作用と危機耐性の関連性およびその効果の定量的評価はどのように考えて実行するのか。 ● IAEAの深層防護については、以下の文献も引用すべきである。 IAEA: Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, 1996 <p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 図 2.5-1 は、以下の文献の内容に類似しているため、必要に応じて参考文献に追加してはかがか。 IAEA: A Framework for an integrated Risk Informed Decision Making Process, INSAG-25, 2011 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「2.2 本書の目的と背景」において、「原子力発電所全体の安全性向上の具体的な考え方と詳細な評価の流れは新規制基準や学協会（～（略）～）からも示されているが、それらは議論が継続しており、今後も更新されていく可能性がある。よって、本書の目的は、最新知見の反映により今後も更新されていく安全性向上の考え方と詳細な評価の考え方が構築されたときに、必要と考えられる津波の決定論的評価、確率論的評価、および津波による浸水、波力・波圧などの作用の評価、これらに必要な要素技術を取りまとめることとする。」と述べております。 ● ご提示いただいた文献を参考文献として引用いたします。 ● ご提示いただいた文献を参考文献として引用いたします。

第2章 津波評価の概要	
ご意見の概要	考え方
<p>【その他】</p> <p>●2.1において、「最大遡上高は約40m」は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの調査結果を引用しているものと考えられるが、同調査において、津波高が30m以上の記録も存在する中で、「津波高5m以上」と記載した理由は何か。</p>	<p>●ご指摘の箇所については、「津波高が5m以上となった海岸線の沿岸距離が500km以上となる」といった内容を意図して記載したものであるため、この文意がより明確となるよう記載を修正いたします。</p>

第3章 津波評価に必要な調査	
ご意見の概要	考え方
<p>【記載の適正化】</p> <p>●「3.2 津波の伝播経路に関する調査」について、「津波の伝播経路」とすると、津波がどのように伝播するか調査する項目のように受け止められるため、「海域および陸域の地形調査」が適切ではないか。</p>	<p>●ご指摘の内容については、本文を一読いただければ誤解は生じないと考えております。</p>

第4章 決定論的津波評価手法	
ご意見の概要	考え方
<p>【日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源の設定】</p> <p>●本報告書 19 頁の記述は検証されていないプレート運動モデルに基づいていると考えられる。しかしながら、万寿3年（西暦1026年）の島根県益田を襲った津波を考えれば、日本海どこでも同程度の津波（例えば、1993年北海道西南沖地震が励起した程度）或いはそれ以上の津波が想定されうる。これらの津波を基準とし、より高い安全性を担保すべきと考える。</p>	<p>●ご指摘の通り、日本海東縁部のひずみ集中帯における地震・津波については、最新の知見に基づき北海道西方沖～新潟県西方沖が対象になると考えています。ただし、日本海側で発生する地震・津波として日本海東縁部のみを対象としているわけではなく、4.2.1.4において日本周辺海域における海域活断層による津波についても検討用津波の対象としています。</p> <p>また、波源設定につきましては、最新の地震学的・地球物理学的知見に加え、ご指摘のありました北海道南西沖地震による津波や万寿3年の地震による津波等の既往津波に関する知見も活用して設定することとしております。</p> <p>なお、万寿3年の津波については、波源や規模について種々の見解があることから、今後、さらなる最新知見の収集に努めます。</p>

第5章 確率論的評価

ご意見の概要

考え方

【ロジックツリーについて】

● 確率論的津波評価手法として、ロジックツリーを取り上げているが、他にも方法は存在する。現在の記述だとロジックツリーが唯一の方法で、その通りにやっておけば確率論的評価が十二分に行えるとの誤解を与える。いくつかある方法の一つとしてロジックツリーを位置付けたほうがよい。もしくは、何故ロジックツリーを採用する必要があるのかを明確に記載したほうがよい。

● 本書においては、ロジックツリーを「認識論的な不確かさ」を評価する上で種々の不確定性を定量的に評価する手法として位置付けております。もちろん、ロジックツリー以外に不確定性を評価する手法が構築されれば、それを否定するものではありません。

上記を踏まえ、本書においてロジックツリーを採用した考え方を記載いたします。

(補足)

ロジックツリー手法は、波源モデルのすべり量の不均一性の設定方法等、専門家の間でも複数の見解が存在する個別の問題について、現時点における見解ごとの確からしさを定量的に評価に反映できるため、地震や津波ハザードの確率論的評価において一般的に用いられています。そのため、本書ではロジックツリー手法を用いることを前提としていますが、認識論的不確定性を定量的に取り扱うことが可能な他の手法があれば、代替的な手法となり得ます。

【確率論的評価手法 全般】

● 確率論を導入するにも、頻度主義のようにサンプル数が多くない。また、ベイズ主義的アプローチもあるが、その議論を明確にする必要がある。

● 本書に取りまとめた確率論的津波評価手法は土木学会（2011）に基づくものです。この手法は、自然現象（地震・津波等）はそもそも発生頻度が低いことを前提として、これらを確率論的に取り扱うために考案されたものと認識しております。

第5章 確率論的評価

ご意見の概要

【確率論的評価手法 全般】

- 決定論アプローチと確率論アプローチの位置付けが不明確である。両論併記はよくない。
- 確率論を地震のようなハザード曲線として扱えるのかは明確でない。なぜなら、例えば、津波はソリトン分裂や河川遡上のように、地震のスケール則に従わない現象があるからである。
- スケールが津波では十分に成立しているとは言えないので、ハザード曲線を作成するのに無理がある。

地震では弾性波速度が大きい地盤が均一とするので断層モデルが適用でき、大規模な地震もその断層を細片に分ける等スケール則を満たす要因が大きい。津波で波速が弾性波より小さく、断層モデルの海岸よりが線源になるので、小さな津波では円周状、大きな津波では長形状にサイトへの来襲津波になる。このため、地震のようにスケール則を満たさない。これは、小さい津波では津波のマグニチュードが地震のマグニチュードに対応しないことでも明らかである。また、鉛直変動を与えるにも、地盤を均質としていることにも問題がある。

考え方

- 本書のコンセプトは要素技術を取りまとめた技術参考書であることから、決定論的津波評価手法と確率論的津波評価手法の関係性および両者の位置付けを示すことはいたしません。
- 確率論的津波評価では、確率論的地震評価手法で採用している耐専スペクトルのような経験的手法ではなく、波源となる断層モデルを地震のスケール則等を用いて設定し、海底地形を詳細にモデル化したうえで津波伝播解析を行うこととしております。
- 本書で示した津波評価手法においては、波源モデルを地震のスケール則等を用いて設定し、海底地形等の海域ごとの特徴を踏まえた津波伝播解析を行うこととしております。また、初期水位として地盤の鉛直変動を与えることに関しては、この手法により既往津波の再現が可能であることから、一定の妥当性を確保することができていると考えられます。

なお、不均質地盤を対象とした三次元地盤変動解析手法の適用性を確認した文献については、既往研究を付属編に引用いたします。

第5章 確率論的評価

ご意見の概要

【確率論的津波評価手法 全般】

- 「第1章 まえがき」にあるように、前著である「原子力発電所の津波評価技術」（2002年2月発行）は「原子力発電所発電所において設計津波を設定するための標準的な方法を取りまとめている」ものである。本編ドラフト版は、確率論的津波ハザード評価解析（PTHA）を新たに追加しているが、PTHAを用いて何をやるものなのか具体的な記載がないことから、前著同様に PHTA が設計津波を設定するための標準的な手法であるように見える。

例えば、「確率論的津波ハザード解析の方法」（平成23年9月）では、PTHA は沿岸に立地する重要構造物の津波に対するリスクの定量的評価や、設計津波の超過確率を把握するために有用としている。また、「確率論的手法に基づく基準津波策定手引き」（平成26年2月）では、決定論的によるベンチマーク保証と、設計津波を超える領域で残余のリスクが十分小さいことの保証により、システム全体の安全性を確保する体系を構成することとしている。

これらの科学的知見を踏まえ、決定論的津波ハザード評価解析（DTHA）と PTHA の使い分けを明確にし、その旨明記すべきである。

考え方

- 本書は「原子力施設における津波評価の標準的な手法」を取りまとめたものですが、ここでいう「標準的な方法」とは、それぞれの設計外力等の評価手法として標準的であることを指しており、津波評価の枠組みとして標準的なことを示す意図はありません。

また、本書のコンセプトは、ご提示いただいたような科学的知見等に当たって津波評価を行う際のツールとしての要素技術を取りまとめることです。このコンセプトがより明瞭になるよう記載を修正いたします。

第5章 確率論的評価	
ご意見の概要	考え方
<p>【確率論的津波評価手法 全般】</p> <p>●第1章にあるように、前著である「原子力発電所の津波評価技術」（2002年2月）は「防災実務の現場で活用できるように具体的な解析方法を詳細に説明してあるため、一般防災においても広く活用されてきた」ものである。改訂版には、確率論的津波ハザード評価解析（PTHA）を新たに追加しているが PTHA を用いて何をするものなのか具体的な記載がないことから、前著同様に PTHA が一般防災においても広く活用できるものに見える。このため、本編ドラフト版において、「原子力発電所の津波評価」と「一般防災」の適用範囲が異なることを明確にする項目を第2章に追加するべきである。</p> <p>また、第1章に既に一般防災で用いられている津波評価方法として、海岸関係省庁課長通知「設計津波の水位の設定方法等について」（2011年7月）、及びその検討報告書（2011年11月）があること、それらの中で、決定論的方法に生起頻度の考え方を取り入れる手段として、地域海岸毎に一定の頻度（数十年から百数十年に一度程度）で到達すると想定される津波の集合を設計津波の水位設定のための対象津波群として選定する方法を示しており、海岸堤防の設計に広く用いられている旨を加筆すべきである。</p> <p>海岸堤防の設計津波の水位の設定方法等について、関係する下記 URL 及び「津波浸水想定の設定の手引き」（2012年10月）を【参考文献】に記載すべきである。</p>	<p>●ご指摘の通り、本書は、一般防災に活用することも可能ではあるものの、あくまでも原子力発電所を対象に用いることを念頭に取りまとめたものです。この考え方がより明瞭になるよう、第1章の記載を修正いたします。</p>

第5章 確率論的評価	
ご意見の概要	考え方
<p>【確率論的津波評価手法 全般】</p> <p>●一般防災では、住民の被災経験や過去の記録とも照らし合わせたわかりやすさ・納得感、一般防災計画で検討している想定津波との整合も重要であることから、決定論的方法に生起頻度を考慮する海岸関係省庁課長通知「設計津波の水位の設定方法等について」（2011年7月）の方法を用いている。原子力発電所近辺に住んでいる住民にとっては、本編ドラフト版に記載された PTHA に基づいて算出された数十年～百数十年に一度の津波の水位と海岸堤防の計画・設計に既に広く用いられている設計津波の水位は整合しているべきものである。</p> <p>2.5において、「PTHA を採用して一定の超過確率（頻度）の水位を設計水位とする考え方も可能である」とあるが、PTHA によって算定された超過確率の数値についての妥当性・信頼性を確認・評価する手順・方法が示されていない現時点では、設計津波の水位の設定に PTHA だけを用いることができる段階にはないと考えるべきである。このため設計津波の水位の設定時に PTHA が DTHA の代替となるような表現を用いるのは時期尚早ではないか。</p> <p>また、第5章において、設計津波の水位の設定に PTHA を用いる場合に現時点で十分考慮できていない事項や今後の課題について明記すべきである。</p>	<p>●ご指摘の部分は「ある一定の基準・考え方を設定すれば技術的には可能である」ことを意図して記載しております。ただ、わが国ではそのような基準等が現時点で明確に示されていないことから、ご意見の趣旨を踏まえ、当該箇所の記載を修正いたします。</p>

第5章 確率論的評価	
ご意見の概要	考え方
<p>【確率論的津波評価手法 全般】</p> <p>● 5.3において、潮位の設定方法については複数の方法を示し、目的に応じて使い分けられるようにするべきである。少なくとも防潮壁高・防潮堤高の設計水位の設定に PTHA を用いる場合は、潮位確率は見るべきではなく、朔望平均満潮位とすべきである（一般防災との整合性とするため）。</p>	<p>●ご指摘の趣旨を踏まえ、当該箇所の記載を修正いたします。</p>

第6章 数値計算手法	
ご意見の概要	考え方
<p>【波力評価について】</p> <p>●「6.5 波力評価」において、「津波の作用条件（分裂の有無等）や、設置位置（海中・陸上）に応じて、適切な評価式を用いる」としたうえで、具体的な評価式が示されている。ここで、原子力発電所の耐津波設計において「適切な評価式」を選定するにあたり、次のような情報や解説が参考になると考えられるため、本書の目的を超えない範囲で加筆等を検討していただきたい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本書では“動波圧”、“持続波圧”、“重複衝突波圧”等、波圧の種類が挙げられており、各々の評価式が紹介されているが、どのような条件下においてどの種類の波圧が支配的になるのか等、設計の観点からの各波圧の特徴に関わる情報 ・耐津波設計において、波力を考慮すべきケース、波圧を考慮すべきケース等、津波外力の取り扱いについての留意点や代表的な構造物に作用する津波波力（あるいは波圧）の考え方 	<p>●波圧の特徴に関わる情報については現状でも記載されておりますが、ご提示いただいた観点を踏まえ、より容易に理解いただけるように文章構成を整理することといたします。なお、耐津波設計からの観点につきましては、本書のコンセプトを超えるものであることから、記載することはいたしません。</p>
<p>【洗掘評価について】</p> <p>●津波により防潮堤等の基部が洗掘されないかということも安全性評価の論点になっている。定量的な評価が困難な問題だと認識しているが、せめて東北地方太平洋沖地震ほかでの洗掘の事例や、表面被覆が有効であった事例等を紹介するのが良い。</p>	<p>●東北地方太平洋沖地震津波も含めた既往津波による洗掘事例および洗掘現象の解析事例について、付属編にて取りまとめることといたします。</p>

第6章 数値計算手法	
ご意見の概要	考え方
<p>【津波インバージョンについて】</p> <p>●本書 103 ページに、東北地方太平洋沖地震の津波インバージョン（海底地すべりを含まない波源モデル）を引用しているが、海底地すべりが第2波源であったと論ずる論文もあることからそれらも引用すべきである。</p> <p>併せて、海底地すべりの可能性を今後の津波予測にどのように反映すべきかといった議論も必要である。</p>	<p>●ご指摘の箇所は津波インバージョンの計算手法について述べているものであり、東北地方太平洋沖地震の波源に関する詳細な分析を意図しているものではありません。</p> <p>また、海底地すべりによる津波については、4.2.2 に決定論的津波評価手法の枠組みを、6.2 に現時点で提案されている海底地すべりによる津波の評価手法について取りまとめております。</p>

その他・全般	
ご意見の概要	考え方
<p>【本書全般について】</p> <p>●新規制基準においては、安全性向上評価書の提出も義務付けられ、その枠組みで津波 PRA やストレステストも実施される予定だと思う。本書の内容もその中で活用されるものと想像するため、この点も明記してはどうか。</p> <p>また、日本原子力学会の「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」等も引用されたほうが望ましい。</p> <p>●本書に掲載された津波評価技術は、すべて固有地震説に基づいている。しかし、近年の地震学の進歩は著しく、かつての固有地震説は、種々の文献に指摘される通り、否定されている。したがって、本報告書に掲載された評価技術の適格性にも大きな疑義が生じる。仮に、報告書作成者が下記文献の議論が全て間違っており、固有地震説が正しいとするのであれば、その科学的根拠を本文に掲載し、学問的に考察を加えるべきである。</p>	<p>●「第2章 津波評価の概要」にて新規制基準についても触れておりますので、その中で安全性向上評価書について記載することを検討いたします。</p> <p>また、日本原子力学会の「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011」は「第5章 確率論的津波評価手法」にて引用しておりますが、第1章においても引用いたします。</p> <p>●本書では、既往地震から得られた知見に加え、地球物理学的知見等の最新の知見を踏まえて波源モデルを設定することとしており、すべて固有地震説に則っているわけではありません。また、確率論的津波評価手法では地震・津波の発生頻度を過去の発生履歴から設定することとしておりますが、地震発生形態や規模をすべて固有地震として扱っているわけではありません。さらに、確率論的津波評価において、G-R モデルに基づく発生頻度設定の考え方を導入しております。</p>

その他・全般	
ご意見の概要	考え方
<p>【本書全般について】</p> <p>●2004 年スマトラ地震後、2011 年 3 月 11 日前において、東北地方にマグニチュード 9 の地震が有り得ると指摘した論文がいくつも発表されているにもかかわらず、“想定”するチャンスを見逃した。同様の轍を踏まないために、本報告書においては、適切な文献を引用し、議論することを提案する。あわせて、3.11 前に、何故日本の研究者が、2007 年と 2008 年の文献を無視したのか、その原因も分析すべきであろう。</p> <p>●地震調査研究推進本部（以下、推本）は、政府機関としてハザード予測を公表しているが、これは科学的に検証されたものではない。学会組織としての JSCE 委員会はいくまで科学的根拠に基づいて報告書を作成すべきであり、(政府関連の) 推本公表資料だからという理由だけで、科学的根拠を精査することなく依拠することは避けなければならない。</p>	<p>●本書は地震規模やその発生位置等を適切に想定するためのものではなく、地震規模等を本書の使用者が自らの責任において想定することを前提としています。本書は、想定された地震（＝波源）によってどのような津波が励起され、その結果として原子力発電所での津波水位がどの程度になるかを評価するためのものとして作成しております。</p> <p>●本書では波源設定において参考となる知見や考え方を述べているものの、地震規模や発生頻度は使用者が自らの責任において設定するものであると考えております。そして、設定した波源を前提条件として、どのように津波評価を行うのか、その際の具体的な手法にはどのようなものがあるか、を取りまとめています。</p> <p>また、地震調査研究推進本部の知見はあくまでも「参考にすることができる知見」との位置付けであり、それのみに依拠するものとはしておりません。</p> <p>これらの考え方が明瞭になるよう、当該箇所の記載を修正いたします。</p>

その他・全般	
ご意見の概要	考え方
<p>【地殻変動量について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●設計津波の水位を設定する際に、地震による地殻変動量（隆起・沈降）を考慮に入れることを明確に規定すべきである（一般防災との整合性をとるため）。 <p>【津波水位について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●設計津波の水位が初期水面からの高さであるか、T.P.からの高さであるかを明確に記載すべきである。 <p>【参考文献について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●詳細についてはここでは論じないが、報告書に掲載された文献の大部分が古く、近年の地震学の最新研究成果が十分に反映されていない。全面的に改訂すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> ●「4.3 想定津波の選定」に、断層運動による地盤の鉛直変位の考慮についてすでに記載しております。 ●「2.6 用語の定義」等への追記を検討いたします。 ●波源設定の際に参考とすることができる地震学的知見や地球物理学的知見等に関しては、地震学の近年の知見も含めて付属編に取りまとめる予定です。

以上