

本資料は2022年2月25日付で技術諮問委員会より提出された報告書を原子力リスク研究センターにて仮訳したものです。正式な報告書は英文版の原文のみとなりますのでご注意ください。

原子力リスク研究センター (NRRC)
一般財団法人 電力中央研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

2022年2月25日

ジョージ・アポストラキス
NRRC所長
一般財団法人 電力中央研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

件名：伊方SSHAC レベル3プロジェクトの結果と日本におけるSSHACベースのPSHA開発計画

アポストラキス博士殿：

このレター報告書は、伊方SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) レベル3プロジェクトの結果および日本におけるSSHACベースの確率論的地震ハザード解析 (PSHA) 開発計画に関する我々のレビューからの見解、結論および提言をまとめたものである。

COVID-19が未だ収束していないこともあり、我々は通常の形式でチームとの会合を行い、その場でこれらのトピックに関するコメントや質問について議論することができなかった。2021年10月上旬、NRRC地震研究チームより、以下の資料を受領した。

- 伊方SSHACレベル3最終報告書およびエグゼクティブサマリー英訳版
- ケビン・カッパースミス博士 (プロジェクト特別顧問) 、マーティン・マッキャン博士 (参加型専門家ピアレビューパネル (PPRP) メンバー) のレビューコメント
- 伊方サイト調査の技術的内容および今後のSSHAC関連活動に関するNRRCの初期計画をまとめたプレゼンテーション資料

これまで会合前に実施してきたように、我々はそれらの資料をレビューし、個別のコメントと質問を準備した。そして、各メンバーによるコメントと質問をいくつか送り、SSHACプロジェクトチームとNRRCスタッフで事前に検討を行うよう求めた。その後、2021年12月に2時間のビデオ会議を開催し、いくつかのコメントと質問について議論を行った。また、口頭での議論の補足資料として、SSHACチームから詳細かつよく考えられた書面回答も受領した会議での議論及びこれらの回答を踏まえ、このレター報告書で示すTACとしての統一見解、結論、提言を作成した。

後述するように、伊方SSHACプロジェクトの完了と日本におけるSSHAC手法の活用に関する諸活動は、「リスク情報を活用した意思決定 (RIDM)」の活用拡大というNRRCのミッションにおける最も重要な取り組みである。このレビューの目的は、伊方SSHAC報告書、他の電力会社によるSSHAC手法の活用に向けたガイダンスを作成するNRRCの計画、地域別SSHAC検討の開発計画、およびサイト応答特性評価に関する具体的研究計画に対して、コメントと見解を提供することであった。

困難な状況が続いたこの2年間にレター報告書で幾度も指摘してきたが、上記のような方法による取り組みを通じて、対面式の会合で積極的に意見を交わすことの重要性が改めて浮き彫りとなった。この点については改めて強調しておきたい。2022年は再び通常の会合形式に戻ることを心から願っている。

結論と提言

1. 四国電力、NRRC、そしてSSHACチーム全体が、複雑ではあるが極めて重要なプロジェクトに取り組み、SSHACガイダンスに則って完遂したことに対して、祝意と賞賛を表す。これは、日本の電力会社による将来的な包括的地震リスク評価、安全性解析、RIDM適用に資する突破口を開くプロジェクトである。
2. 2022年度から2024年度におけるNRRC活動計画の内容は、電力会社の短期的ニーズを支援する上でも時機を得たものである。NRRCに対して、電力会社のPSHA計画をさらに支援するためにその他の焦点を絞った研究・調査がどの程度必要なのか、評価を行うことを推奨する。
3. TACは、NRRCが伊方SSHACの経験に基づき2022年3月に「PSHA実施ガイド」を発行する予定であると理解している。NRRCに対して、早急に本ガイドの対象範囲や技術的内容に関する詳細なブリーフィングを求める。本報告書の「議論」セクションでは、入手可能な概要資料とこれまでの議論を基に、当ガイドに関するいくつかの事前提言を概説している。
4. TACは、NRRCが2022年度から2024年度にかけて「地域別PSHA検討」の策定を計画していると理解している。NRRCに対して、全体的な計画策定が完了した時点で、対象および具体的な技術的活動に関する早急かつ定期的なブリーフィングを求める。
5. NRRC研究チームに対して、SSHACに基づく、軟岩地点の局所的なサイト応答評価ガイダンスおよび適用例を策定することを推奨する。また、それらを地域別PSHA検討活動のひとつとして組み込み、電力会社が最新のサイト固有のPSHAを実施するまでに完成させることを推奨する。

6. TACは、NRRCが地域別検討で得られた情報を用いて、2024年度または2025年度にサイト固有のPSHA検討を開始する予定であると理解している。NRRCに対して、地域別検討との技術的インターフェイスが取れた時点で、サイト固有のPSHA検討の範囲と技術的要素に関するブリーフィングを求める。

背景

SSHACプロセスの基本的な目標は、地震専門家のコミュニティの技術的に説明・弁護できる解釈に基づく中央、分布形、範囲（CBR of TDI）を捉えた確率論的ハザード解析を作成することである。

伊方SSHAC レベル3 ベースのPSHA調査は、四国電力株式会社が出資者となり実施され、NRRCはプロジェクトマネジメントおよび技術支援を行った。プロジェクトのTechnical Integration（TI）チームは、大学や民間企業を含む日本の地震関連技術コミュニティの広く認められた専門家で作成された。また、国際的に著名な米国人専門家のケビン・カッパーミス博士がプロジェクトの特別アドバイザーを務めた。国内専門家と米国のマーティン・マッキャン博士を含むPPRPレビューが行われた。この検討は、米原子力規制委員会（NRC）の最新ガイダンスに従い、SSHACに基づく多くの国際的PSHAプロジェクトで実施されているSSHAC レベル3評価プロセスに準じて実施された。

原子力の安全性における地震問題の重要性や地震リスクに対する国民の認識を考えると、伊方サイトのSSHAC レベル3 プロジェクトが完了したことは大きな成果と言える。本質的に大きな不確かさを含む自然災害の評価において、そうした不確かさを信頼できるかたちで系統的に考察したことを示し、明示的に説明することが重要である。SSHAC手法は、長年にわたり利用されてきた、国際的に認められた手法である。複雑な地震地殻環境に対して、文化や規制が異なる環境にあって、妥当なスケジュールで本プロジェクトを遂行した四国電力とNRRCを評価する。

TACは、2015年1月24日付レター報告書において伊方サイトを対象としたSSHACプロジェクトの実施を提言した。それ以来、我々はほぼすべての会合において、SSHACプロジェクトの進捗状況について説明を受けてきた。2016年11月の会合では、NRRCも伊方SSHACプロジェクトに基づく国内PSHA高度化計画について説明を開始した。こうした活動については、2016年11月27日付レター報告書において提言を行っている。NRRCによるSSHACベースの国内PSHA開発策定計画は、日本の電力会社の賛同を獲得し、日本の地震地殻環境と事業慣習に適した実務方法を創出する上で不可欠である。伊方プロジェクトで得られた教訓は、技術上および計画遂行上の要素に大きく役立つはずである。

議論

伊方SSHACプロジェクトの完了は、非常に重要なマイルストーンである。次なるステップは、他の電力会社へとSSHAC手法の活用を広げ、各サイトにおける地震ハザードの頑健かつ国際的慣行に比肩する解析を提供することである。こうした包括的なハザード解析により、

地震事象によるリスクの評価改善、規制当局による安全性評価、サイト固有の RIDM の適用をより促進することになる。

TACは、レビューに際して受領した概要情報およびNRRCスタッフとの議論から、NRRCのPSHA高度化計画が以下の3つのステップで構成されていると理解している。

ステップ 1: 伊方SSHAC調査に基づく「PSHA実施ガイド」の作成（2022年3月完成予定）

ステップ2：（日本国内の1つ以上の地域に広く適用可能な）「地域別PSHA検討」の準備およびこれに資する技術的評価（2022～2024年度を予定）

ステップ3： 地域別検討の情報に基づき、サイト固有のPSHA評価の実施（2024年度または2025年度開始予定）

我々は、日本の各原子力発電所サイトにおける地震ハザードの包括的な確率論的評価を開発するためのこの進歩的な活動を全面的に支持する。

NRRCスタッフは、伊方サイト調査中に直面したいくつかの課題と、それらが他の電力会社によるSSHAC手法の活用によどのような影響を及ぼすかについて説明した。具体的な2つの課題として、(1) サイト固有の調査に要する予算的・時間的資源に関する課題、(2) 日本の学術・事業環境における専門家の確保という人的資源に関する課題が挙げられた。NRRCの活動案は、こうした課題のいくつかの要素に対応すべく策定されている。

以下のセクションでは、これまでに受領した情報に基づき、NRRC計画の各主要ステップに対するTACの初期見解、コメント、提言をまとめている。

PSHA実施ガイド

この至近の「ガイド」は、伊方SSHAC活動で得られた教訓報告書と捉えることも可能である。NRRCができるだけ早くこうしたガイダンスを発行したい気持ちは理解できる。この画期的検討から得られた知識と経験を、国内すべての電力会社と共有することは、非常に有益である。このガイドを取りまとめるワーキンググループは、対象分野の専門家、TIチームメンバー、PPRPメンバー、そして伊方プロジェクトに参加したNRRCチームのメンバーで構成されていると理解している。SSHACプロジェクトから得られた教訓は、以下、3つのより一般的なカテゴリーに分類することができる。

1. 日本の学術・事業環境ならではの事務上の課題
2. 技術的課題。この課題は、すべてのPSHA解析に共通する一般的な技術課題と、SSHAC手法の適用に関わる個別の課題のいずれかにさらに分類できる。
3. ロジスティクスと実装面の課題

伊方プロジェクトチームが行った適応・調整事例のいくつかは、今後国内のSSHACプロセス実施に係る手続き上の課題やロジスティクスの課題に取り組む上で、貴重な実務経験である。NRRCの技術的アドバイザーという役割を担うTACは、より技術的な課題に焦点を当てるつもりである。

伊方SSHACプロジェクトチームは、日本の電力会社がこれまで実施してきたPSHAとは異なるいくつかのコンセプトについて広範囲にわたる検討を行った。例えば、様々な国際的解析手法やデータの評価、広範な地震動予測式（GMPE）の選択、サイト補正因子の詳細な調査、特定の断層破壊モデルの採用などである。NRRCの研究チームが我々との議論で指摘したように、これらは電力会社が自らのPSHAの最新化に先立って注意すべき重要な問題である。

TACは、PSHA実施ガイドがSSHAC手法とプロセスに関する研修の必要性に応えるものであり、各SSHACプロジェクトの参加者はプロジェクト実施時に個別の研修を受講すると理解している。しかし、このガイドを通じて個々のプロジェクトのニーズに合わせて参照し適応できるような基本研修計画を提供できれば非常に有用であろう。これは伊方プロジェクトで得た経験と教訓を伝える優れた方法であり、新しい専門家が今後地域別検討やサイト毎の解析に向けてSSHACプロセスを実施する際に活用できる、一貫性ある知識基盤となる。

TACは、PSHA実施ガイドがPSHAの結果に関する技術的根拠や限界を理解する上で重要となる、幅広い一般的課題にも対応するよう推奨する。こうした課題の例としては、データ収集に関する洞察、不確かさの原因に関する洞察、支配的な震源の特定、より良い特性評価のために実施し得る追加調査などが挙げられる。こうした対応により、すべてのPSHAに共通するこれらの課題をさらに検討する電力会社共同プログラムへと発展する可能性もある。

体系的かつ透明性を持って不確かさを検討することは、SSHACプロセスの中でも最も重要な要素のひとつである。TACは、伊方サイトでの経験の価値を高め、次の段階への洞察を深めるために、経験した不確かさと課題に関して得た教訓をPSHA実施ガイドにおいてより詳細に論じることを推奨する。また、(1)解析の全ての要素における認識論的・偶然的な不確かさの包括的・統合的評価と、(2)特定の解析手法やモデルを用いた資源集約的かつ詳細な解析の実施の間で、適切かつ技術的に説明・弁護できるバランスを図るためのガイダンスを含めることも推奨する。

サイト固有の地震ハザードを決定することは基本であるが、最終ステップではない。PSHAの結果は、リスク情報を活用した統合的意思決定（IRIDM）に活用されて初めて意味を持つ。例えば、決定論的安全性解析の場合、設計基準地震スペクトルと不確かさを含む確率論的ハザードの比較データは、地震の再現間隔の範囲における地震荷重に対する構造物・系統・機器の頑健性の評価や、設備の改造もしくは操作手順の高度化の必要性を判断するのに使用することができる。PSHAの結果は、リスクの不確かさの明示的な取り扱いを含め、地震災害の全範囲にわたる炉心と使用済燃料の損傷リスク（レベル1）およびその結果生じるサイト外への放出（レベル2）を評価する、統合された確率論的リスク評価（PRA）にも使用される。PRAの結果と洞察は、サイト固有の、また産業界全体のRIDMへの適用において重要な要素である。PSHAは、所望する用途に統合できる結果を創出できるようなかたちで実施す

ることが非常に重要である。そのため、PSHA実施ガイドには、RIDMに使用可能な結果を創出するためにはどのように解析を構成するか、という点に関する情報を記載することを推奨する。

残念ながら、2022年3月の発行予定日までに、PSHA実施ガイド案をレビューしてNRRC研究チームと技術情報やコメント、質問、具体的提言をやり取りすることは現実的に不可能である。NRRCに対して、できるだけ早い機会にガイドの範囲と技術内容に関する詳細なブリーフィングを求める。

地域別PSHA検討

NRRCの地域別PSHA検討の目的は、サイト固有の解析の最終的な実施に役立つ、共通の情報とモデルを開発することである。この手法は、技術的な一貫性と効率性を改善し、完全に独立したサイト固有の検討に伴ういくつかの課題を克服することを意図したものであり、米国やスペインなど、他の国でも実施されている。また、地域別検討を通じて、震源やGMPEなど複数のサイトに適用され得る共通要素について一貫性ある取り扱いが可能となる。事前の議論から、TACは、この検討ではGMPEや地域毎の震源（沈み込み型その他の面状震源）の取り扱いに加え、より汎用的に適用可能な断層破壊モデルの検証などの課題評価も行われると理解している。

TACは、GMPEの使用や関連する不確かさの特性評価に関するSSHAC手法は、日本における現行の手法、すなわち個々の研究者が異なるデータベースを使用して提案したGMPEに主として依拠する手法とは異なると理解している。NRRCは、計画中の地域別検討と並行して、最近のプロジェクトで行われたような標準化データベースを用いたGMPEの取り扱い（例：米国中部および東部）、サイト補正因子の高度化（例：サイト固有のGMPE補正および局所増幅）など、いくつかの特定課題に関する追加検討を実施中である。TACも、これら2つの非常に重要な要素について早急に取り組むべきと考えている。

TACは、統合された手法の要素の中には、追加検討によって便益を得られるものもある（例：断層破壊モデリング）が、2022年～2024年という時間枠に含めることは不可能なものがあると理解している。我々は、NRRCに対して、電力会社のニーズと次回のPSHA更新のスケジュールを考慮し、地震研究計画でこれらの課題を注意深く評価することを提案する。特に重要なのは、不確かさの特性評価に体系的影響をもたらす得る解析要素である。例えば、短期間の観測記録を利用して地震カタログを作成すること、正確な計算を重視した少数のモデルに焦点を当てる代わりに適用可能な代替モデルを組み込むこと、各解析モデルによる不確かさを直接定量化する代わりに標準的な不確かさ分布を使用することなどが挙げられる。これらの課題に関する活動や検討計画の策定には電力会社や外部専門家とのやり取りが必要であり、早急に対話を開始することを推奨する。

地域別PSHA検討および、それに伴う統合されたSSHAC ベースのサイト応答解析に関するガイダンス策定は非常に重要である。TACは、現時点で得ている情報は非常に準備段階のものであり、より包括的な計画作成が進行中であると理解している。我々は、NRRCに対して、地域別検討の詳細な計画、解析の次段階における同検討の活用方法、電力会社関係者への積

極的情報提供とコミュニケーションの結果に関して早期にまた定期的なブリーフィングを求める。

サイト固有のPSHA評価

TACは、地域別検討に基づくサイト固有のPSHA評価が2024年度または2025年度を目途に開始され、その後も継続されると理解している。この検討には、各サイトにおける震源の特性評価、地域別GMPEのサイト補正、サイト増幅、ロジックツリーモデル化等の要素が含まれる予定である。

サイト固有のPSHAにおける3つの重要な要素は以下の通りである。

- (1) 地震源の特性評価
- (2) 地震動の特性評価（各震源から個別サイトの岩盤、あるいは基準岩盤、への振動の伝播）
- (3) 個別サイト応答の特性評価（基準岩盤からサイト構造物基礎への振動の伝播）

個別サイトの状態によって、プラント構造物に伝搬する加速度のスペクトル周波数と大きさに重要な影響が生じる可能性がある。個別サイト応答に関する不確かさは、PSHAの他の要素における不確かさと同様に重要である。さらに、そうした不確かさの評価を一貫して行うとともに、震源とサイトをつなぐ地震動モデルにおける不確かさと注意深く統合しなければならない。例えば、最近のNRC Research Information Letter (RIL 202115) の要旨には、以下のように記されている。

「...SSHACプロセスは15年以上にわたり、重要施設に対して実施される、PSHAの震源特性評価 (SSC) と地震動特性評価 (GMC) に一貫して適用されてきた。しかし、サイト応答解析(SRA)はしばしばSSHACプロセス外で実施されてきたため、構造化された論理的な枠組みの中で行われる代替データ、モデル、手法の体系的評価がもたらす便益を受けてこなかった...この報告書は、これまでSSCとGMC解析に適用されてきたように、SRAにおける認識論的不確かさを体系的に特定し伝えるためにSRAにもSSHACプロセスを適用する、というNRC主催の作業を文書化したものである。このプロセスは2つのサイトで試行され、その結果、両サイトにおけるSRAの要素における認識論的不確かさは、SSCおよびGMCモデルの不確かさと同等あるいはそれ以上に大きいことが判明した。この発見は、SRAの不確かさの把握および文書化においてSSHACのような構造化されたプロセスの必要性を示す根拠となるものである。」

同報告には、SRAの結果を最終的なPSHAハザード計算に組み込む代替手法の効力についても文書化されている。

伊方サイトは硬質岩盤であるため、伊方SSHAC検討においてサイト増幅に関する課題に取り組む必要はなかった。TACは、2016年11月27日付レター報告書において、より柔らかい岩盤サイトでのSSHACプロジェクト実施を検討するようNRRCに提案した。我々は、これが実現不可能であった理由については理解している。また、PSHA 実施ガイドと地域別

PSHA検討の開発を適時に進めることが重要である、という点にも同意する。しかし我々は、**NRRC**に対して、**SSHAC**ベースのサイト応答手法と軟岩サイトに対する不確かさの統合的な取り扱いを実証する検討を、地域別検討と連携して実施することを提言する。また、係る手法、ガイダンスおよび適用例は、電力会社がサイト固有の新たな**PSHA**を実施する前に完了させるよう推奨する。

TACは、地域別検討を基にサイト固有の**PSHA**へと拡大する計画的手法を全面的に支持する。しかし、これをどのように実現するかについてはまだ明確ではない。例えば、**NRRC**がより汎用的手法を実証する事例で検討を実施するつもりなのか、あるいは（電力会社との協力による）特定のサイトに対する完全な**PSHA**評価を含む計画なのか、我々には分からない。**NRRC**に対して、地域別検討との技術的インターフェイスが取れた時点で、個別サイト応答解析の実施方法の策定を含む、サイト固有の**PSHA**検討の範囲と技術的要素に関するブリーフィングを求める。

サイト固有の **SSHAC** ベース**PSHA**を系統的に開発することは、国内各原子力発電所における地震リスクの体型だった理解において極めて重要な要素である。そうした知識は、**RIDM**の広範囲にわたるプロセスを支援する上で不可欠である。**TAC**は、これらのトピックに関する中間計画、ガイダンス案および調査結果を適時にレビューすべく、**NRRC**地震研究チームと引き続きやり取りを続けていくことを楽しみにしている。

敬具

ジョン・W・ステトカー
委員長

REFERENCES

1. Shikoku Electric Power Company, "Ikata SSHAC Level 3 Project Final Report," October 2021, Proprietary.
2. Shikoku Electric Power Company, "Ikata SSHAC Level 3 Project Final Report, Executive Summary" October 2021, Proprietary.
3. Review comments from Dr. Kevin J. Coppersmith, Special Advisor to the Ikata SSHAC Level 3 PSHA Project, various dates, 2016 – 2020, Confidential.
4. Review comments from Dr. Martin W. McCann, Jr., member of Ikata SSHAC Level 3 PSHA Participatory Peer Review Panel, various dates, 2016 – 2018, Confidential.
5. Nuclear Risk Research Center, "Results of Ikata SSHAC Level 3 Project and Plan of SSHAC-Based PSHA Development in Japan," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, October 2021, Proprietary.
6. "Appendix: Outline of Technical Study Contents of the Ikata SSHAC Project," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, October 2021, Proprietary.
7. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on "Ikata SSHAC Level 3 Project Final Report," November 23, 2021, Confidential.
8. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on "Ikata SSHAC Level 3 Project Final Report Executive Summary," November 23, 2021, Confidential.
9. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on "Review of NRRC SSHAC Presentations, Executive Summary, and Final Reports," November 23, 2021, Confidential.
10. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on presentation for "Results of Ikata SSHAC Level 3 Project and Plan of SSHAC-Based PSHA Development in Japan," November 23, 2021, Confidential.
11. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and the Use of Experts," NUREG/CR-6372, April 1997.
12. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies," NUREG-2117, Revision 1, April 2012.
13. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Updated Implementation Guidelines for SSHAC Hazard Studies," NUREG-2213, October 2018.
14. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Seismic Hazard and Fragility Evaluations at Ikata Unit 3," January 24, 2015.

15. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Interim Report on Probabilistic Seismic Hazard Analysis Enhancements in Japan and Fault Displacement Evaluations," November 27, 2016.
16. Goulet, C., Y. Bozorgnia, N. Abrahamson, N. Kuehn, L. Al Atik, R. Youngs, and R. Graves, "Central and Eastern North America Ground-Motion Characterization," PEER report No. 2018/08, Pacific Earthquake Engineering Research Center at the University of California, Berkeley, 2018.
17. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Documentation Report for SSHAC Level 2: Site Response," Research Information Letter (RIL), RIL 2021-15, November 2021.