

「伊方 SSHAC プロジェクト」の意義

2020 年 11 月 30 日

伊方 SSHAC プロジェクト PTI

亀田弘行

1. はじめに

「伊方 SSHAC プロジェクト」は、伊方発電所における地震ハザード評価 (Seismic Hazard Assessment) を行うこと、その際に行われる科学的・技術的討議の手順として、「SSHAC レベル 3 ガイドライン」の枠組みに忠実に従って実行することを目的としている。

同プロジェクトにおける PTI (Project Technical Integrator) としての筆者の主要な役割は、プロジェクトの遂行が SSHAC レベル 3 ガイドラインの要求事項を忠実に満たすよう、プロジェクトメンバーの討議が的確に進む環境を確保することにある。SSHAC レベル 3 ガイドラインを討議の枠組みに据えることにより、「伊方 SSHAC プロジェクト」の意義を学術的に正当なものとすることが、PTI に課せられた重要な責任と考えている。

2. 原子力発電所に対する地震動評価の概要

原子力発電所の地震安全のための地震動評価は、①「シナリオ型地震動評価」と②「地震ハザード評価」の 2 種類に大別される。①「シナリオ型地震動評価」では、過去の地震記録や活断層の分布等を参考に、将来発生しうる地震の特性を想定し、それに基づき地震動予測を行う。一方、②「地震ハザード評価」では、将来における地震の発生や地震動の予測に介在する種々の不確定性を確率論的手法を用いて定量的に評価し、その結果はある地震動強さを超える確率として表現される。

なお、①「シナリオ型地震動評価」においても、将来発生する地震動の不確定性を無視することができないのは当然であるが、専門家の経験や直感力により安全余裕の線引きを行っており、②「地震ハザード評価」が不確定要因を系統的に積み上げて総合性と論理性を確保しようとする立場と基本的に異なる。

伊方 SSHAC プロジェクトは、②「地震ハザード評価」を扱うものである。原子力発電所のような工学システムの地震対策は、将来発生する地震に対処するものであるが、将来の地震は不確定である。その不確定性は、種々の地震学的、地

震工学的要因により支配されている。それら不確定要因を体系的に分析することが「地震ハザード評価」の目的であり、そのために確率論を用いて数値計算を行う手順を「確率論的地震ハザード解析（Probabilistic Seismic Hazard Analysis: PSHA）」と呼ぶ。

3. 不確定性の扱い

地震ハザード評価において考慮すべき不確定性には、以下の2種類がある。

1 つ目は自然現象の不均一性に起因する「偶然的ばらつき」（Aleatory variability）である。これは、地殻・地盤の物性の不均一性、地下の震源断層の断層面の不均一性、地殻応力の不均一性などに由来する地震動のばらつきを表しており、蓄積された観測データに基づき、確率分布モデルで表現できるものを指す。

2 つ目は地震発生や地震動につき、専門家により解釈・見解が異なることに由来する「認識論的不確実さ」（Epistemic uncertainty）で、統計データでは処理できないものである。認識論的不確実さを、震源域の形状、震源断層の形状、最大規模地震など、専門家により意見が分かれる項目ごとに「分岐」を設けるロジックツリーとして表現する。

ロジックツリーの各分岐に対して、合計すると1となる数値で分岐先の「重み」を与える。地震データが豊富なわが国では、かつてはあまり重視されなかったものの、特に阪神・淡路大震災以降、データが集積されるほど認識論的不確実さが広がることすらある状況を踏まえると、確率論的地震ハザード解析における認識論的不確実さをロジックツリーにより考慮することは不可欠と考えられるようになってきている。

以上のような不確定性があることを踏まえ、それらを適切に表現する統合的なロジックツリーを構築することが地震ハザード評価の中核的な作業となる。

4. SSHAC ガイドラインの意義

ロジックツリーにより認識論的不確実さを処理する手法は、1980年代から米国の原子力施設の地震リスク評価に用いられるようになったが、当初は大きな問題もあった。すなわち、同じ地点を対象とする地震ハザード評価であるにも関わらず、実施した機関が異なると結果に大きな差が生じたことなどである。それで、その要因を明らかにし、妥当な方策を提示するために、米国原子力規制委員会（United States Nuclear Regulatory Commission: U.S.NRC）によって「SSHAC（Senior Seismic Hazard Analysis Committee）」という委員会が設置された。こ

の委員会の活動の結果、地震ハザード評価に大きな差異を生じさせる要因は、主として認識論的不確実さを評価するための規範が不備であることが問題とされ、その解決策が提示された。すなわち、結果に関する「説明性」・「質」・「透明性」を備えた安定的なロジックツリーに導くため、討議チームの構成、討議の進め方と手順、各メンバーの役割と責任範囲などが厳格に規定され、「SSHAC ガイドライン」として 1997 年に公表された。その後、討議の入念さや客観性等に関して更なるルール化が進められ、現在は、2012 年に刊行され 2018 年に改定された「SSHAC レベル 3 ガイドライン」が標準となっている。現在、米国をはじめ諸外国（スイス、南アフリカ、スペイン、台湾等）の原子力発電所において、規制の枠組みとして SSHAC レベル 3 ガイドラインを適用した地震ハザード評価が広く実施されている。

SSHAC レベル 3 ガイドラインで最も重要視されているのが、「CBR of TDI」という概念である。「CBR (Center, Body, Range)」は、入念な直接討議により、学術界・技術界における意見の全体像に対して、中央(Center)・分布(Body)・範囲(Range)を偏りなく明らかにすること、「TDI (Technically Defensible Interpretation)」は、科学的・技術的な批判に十分耐える見解が示されることを要求している。さらに、SSHAC レベル 3 ガイドラインでは、プロジェクトの途上で外部の関連専門家をできるだけ多く招いて広い視野で討議する「オープン・ワークショップ」(原則 3 回)を開催し、プロジェクトの進捗を開示するとともに、外部の専門家の意見を最大限に吸収してモデル構築に反映することが要求されている。外部の専門家は、関連データについて独自のまとめを提供する「RE (Resource Expert)」と特定のモデルや手法を主張する「PE (Proponent Expert)」からなり、激論を厭わず討議を尽くすことが意図されている。最後のとりまとめは T I リード(後述 6 参照)が行い、PTI は討議の環境の整備に努める。

以上に説明した SSHAC ガイドラインは、討議の枠組みを定めたものであり、これをわが国に適用するに際しては、わが国の地震発生や地震動伝播の特徴を適切に反映するモデルの構築を目指すべきことは言うまでもない。

SSHAC レベル 3 ガイドラインの最大の価値は、入念な実施手順に基づき、「CBR」により「説明性」を、「TDI」により「質」を、「オープン・ワークショップ」により「透明性」を担保するという洗練された規範にあり、学術的・技術的に普遍性のあるモデルを構築しようとする志の高さにある。伊方 SSHAC プロジェクトは、この討議の枠組みへの尊敬の念をもって、SSHAC レベル 3 ガイドラインに忠実に従い実施した。

5. 日本における SSHAC プロジェクト実施の意義

わが国の原子力規制の場では、地震ハザードに関する不確定性を体系的・定量的に取り扱うために、事業者が実施した地震ハザード評価の結果を用いて、シナリオ型地震動の評価結果の妥当性を確認している。ただし、それらの活動では、SSHAC レベル 3 ガイドラインが要求する「オープン・ワークショップ」は開催されていない。

この状況下で、「伊方 SSHAC プロジェクト」により、発電所の運営に携わる電力事業者が、地震ハザード評価に基づくリスク評価技術に関して「説明性」・「質」・「透明性」を高めることは、わが国における原子力の将来について冷静かつ合理的な討議を進めるうえで極めて重要な取り組みであると考える。

従って、伊方発電所を対象に、わが国で初めて SSHAC レベル 3 ガイドラインの手順を忠実に実践する「伊方 SSHAC プロジェクト」は、事業者の自主努力として規制の現実とは離れた次元で、地震ハザード評価に関する科学的・技術的評価方法を錬磨しようとするものであり、その意義は大きいと理解している。

6. 伊方 SSHAC プロジェクトにおける討議の体制

伊方 SSHAC プロジェクトにおける科学的討議の中核として、「震源特性チーム」と「地震動特性チーム」なる 2 つの討議チーム（TI チーム）を設けた。構成は、各 TI チームを率いる 2 名のリーダー（TI リード）を含め、各チームに属するそれぞれ 7 名（合計 14 名）の専門分野の研究者からなる。TI チームにおいて科学的・技術的討議を重ね、ロジックツリーを構築した。両 TI チームにおける討議の全体的方向づけを統括する PTI の役割を筆者が担った。

討議が SSHAC レベル 3 ガイドラインに則って進行しているかを検証するグループ（PPRP: Participatory Peer Review Panel）を設置した。

また、わが国で SSHAC レベル 3 の実施実績がないことを踏まえ、米国の SSHAC プロジェクト経験者をアドバイザーとして加えた。

さらに、プロジェクト遂行のための全ての段取りを整えるため、電力中央研究所原子力リスク研究センターを中心とするマネジメントチームを設置した。

なお、本プロジェクトにおいて、四国電力は SSHAC レベル 3 ガイドラインに則り「スポンサー」の立場であるが、討議チームは、科学的・技術的な観点からモデルを構築することが求められており、スポンサーの特定の意向に左右されないことをすべての参加者の了解事項として進んだ。

オープン・ワークショップには、国内外の 40 名以上に及ぶ外部専門家を「RE」あるいは「PE」として招聘し、各種の不確定性を討議した。特に、伊方発電所の

北方を中央構造線断層帯が通過するため、その不確定性について特に慎重に討議し、プロジェクトの途中で地震本部による中央構造線断層帯(金剛山地東縁ー由布院)の長期評価(第二版)が公表されたため、これも重要なデータの一つとしてモデル構築に取り込んだ。こうした広範な外部専門家との討議や網羅的に収集したデータを踏まえながら入念に討議した。ロジックツリーにおいて、多くの場合、意見の中心に最も大きな重みを与えることとなった。さらに、入念な討議により、シナリオ型地震動評価では考慮されることのない少数の意見に対応する分岐を設定することで、「CBR of TDI」を実現することに努めた。

こうした取り組みの結果として、本プロジェクトでは、国内における他プロジェクトでは例をみないくらい時間をかけて入念な討議を行った。構築したロジックツリーの分岐の組合せは国内で過去に例のないほど膨大なものとなり、論理的に考えうる組み合わせを網羅したと考えている。

本プロジェクトは米国原子力規制委員会(U.S.NRC)の記録においても、SSHAC レベル 3 ガイドラインに準拠する活動として認知されている。

7. おわりに

本プロジェクトは、事業者の自主努力として規制とは離れた次元で実施されたものではあるが、SSHAC レベル 3 ガイドラインを適用した地震ハザード評価を将来的に規制の枠組みとして位置づけるに相応しいものとなるように質を高めていく中で、非常に有意義な取り組みであったと考えている。

参考文献

- Budnitz, R. J., Apostolakis, G., Boore, D. M., Cluff, L.S., Coppersmith, K. J., Cornell, C. A. and Morris, P. A., 1997, Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: guidance on uncertainty and the use of experts. NUREG/CR-6372, two volumes, The United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (Y-0001)
- The United States Nuclear Regulatory Commission, 2012, Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies. The United States Nuclear Regulatory Commission NUREG-2117, Rev. 1. (Y-0002)
- The United States Nuclear Regulatory Commission, 2018, Updated Implementation Guidelines for SSHAC Hazard Studies. The United States Nuclear Regulatory Commission NUREG-2213. (Y-1269)