

美國核能電廠地震危害度再評估現況說明

2014 年 11 月 19 日

一、前言

核能電廠足夠之耐震設計是確保核能電廠安全運轉不可缺少的一環，電廠建廠之前便需詳細收集分析廠址附近之地質及地震歷史紀錄，以便設計足以因應地震可能帶來的危害。隨著分析方法及工具的進步，以及對於地質結構所發現之新事證等因素，除了各電廠建廠初期所採用的分析方法之外，近年來管制單位及工業界也運用新的技術來重複驗證耐震強度。自從日本福島第一核能發電廠(Fukushima Daiichi)發生核子事故之後，美國核管會(NRC)所成立之日本近期專案小組(Near-Term Task Force, NTTF)便積極蒐集資訊提出12項強化核能電廠之建議，做為推動美國核能電廠因應類此天然災害所可能引起之事故。專案小組之第2.1項(或稱NTTF 2.1)建議內容便是有關各電廠需依據核管會最新法規及導則來進行地震危害度再評估(Seismic Hazard Reevaluation)。以下摘要說明美國核能電廠地震危害度再評估之現況。

二、耐震安全分析法規及導則演進

美國核能電廠耐震要求之法規根據為聯邦法10 CFR 50附錄S及10 CFR 100.23節之設計基準，早期是以定值法地震危害度分析(Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)來決定各電廠之安全停機設計地震(Safe Shutdown Earthquake, SSE)。然而近年來美國NRC的法規管制，已逐漸採用風險告知(Risk-Informed)的方式，對於採建廠與營運複合執照(Combined Operating License, COL)之新建電廠的設計，NRC要求業者需以機率法地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)來決定SSE(詳如NRC於2007年3月份出版之法規指引(Regulatory Guide) 1.208)。

根據NRC對核能電廠議題之事實說明指出，其定期性地審視與決定SSE相關的各核能電廠是否有關地震源及地表震動模式之最新資訊，2005年左右根據美國地質調查所(US Geological Survey, USGS)更新版之地震危害模式，顯示在洛磯山脈以東之美國中部及東部(Central and Eastern US, CEUS)之60多個核能電廠廠址中，可能有部分電廠有稍微超出原設計及耐震評估的疑慮，故NRC

於2007年12月成立第199號一般議題(Generic Issue, GI-199)加以管制，到了2010年9月NRC以資訊通告(Information Notice 2010-19)公布評估結果，顯示雖有部分地震危害分析值有增加而需加以進一步評估，但整體而言美國中部及東部(CEUS)的核能電廠之地震風險很低。

三、日本福島核子事故後之耐震安全分析

正當美國NRC研議如何針對GI-199評估結果而需要進一步管制時，2011年3月11日日本福島第一核電廠外海發生規模9.0地震，電廠6部機組在第一時間雖已安全停機，然而後續因地震所引發的海嘯，造成反應爐冷卻所需之水源受損，進而演變成為爐心損毀之嚴重核子事故。美國NRC在第一時間成立之日本近期專案小組，以約4月個的時間完成了12項建議，做為美國核能電廠未來改善的方針，其中第2.1項為耐震安全之再評估，要求電廠持照者應依具NRC最新的法規及導則來評估地震危害再評估。

NRC在福島事件滿一周年時，根據聯邦法50.54(f)的規定，此階段要求現有電廠持照者依新資訊及新技術重新以RG 1.208機率地震危害度分析(PHSA)方法，執行地震危害度分析(Seismic Hazard Analysis, SHA)，並且由分析結果之嚴重程度，來決定是否進一步執行後續之加速地震評估處理(Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)及地震餘裕分析(Seismic Margin Analysis, SMA)或地震安全度評估(Seismic Probabilistic Risk Analysis, SPRA)，此階段依核管會規劃的定位為資料蒐集，時程約為5-7年。

工業界在NRC發出上述要求後，迅速地由電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)發展出耐震評估導則¹，供各電廠持照者進行分析並撰寫報告之用，期間並多次與NRC協商討論此導則，最後得到NRC之認可(endorse)，而美國核電廠須依此導則撰寫地震危害安全分析及篩選報告。

四、核管會現階段資訊收集及初步評估

圖1是NRC地震危害度再評估(NTTF 2.1)審查及管制耐震安全之流程示意圖。NRC目前在收集資料的現階段，將電廠持照者分成美國中部和東部(CEUS)、及美國西部(Western US, WUS)等兩個群組，需要繳交評估報告及時程並不相同，分別為2014年及2015年底。

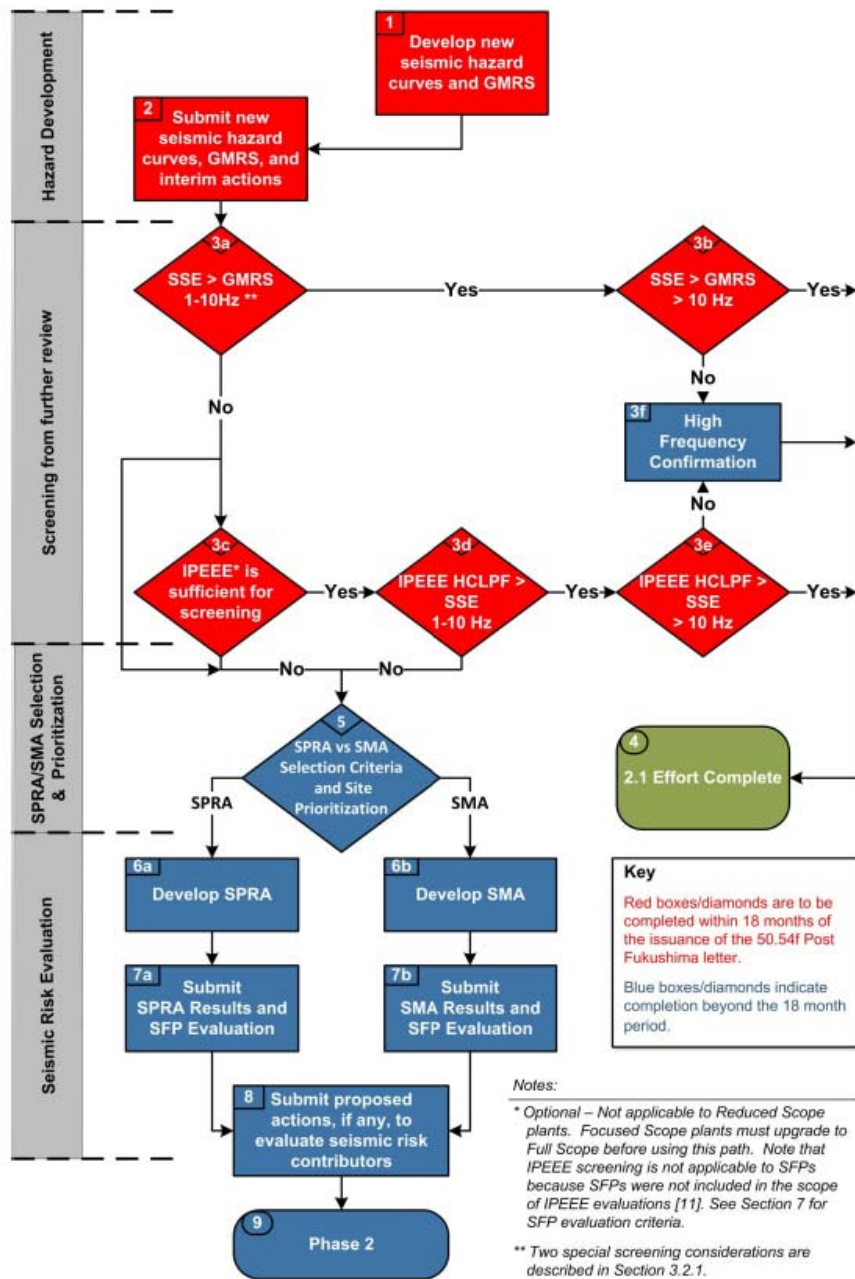


圖 1: NTF 2.1 地震危害度再評估之流程圖¹

依照NRC審查及管制的流程規劃，在電廠持照者繳交報告之後，NRC即進行篩選，以決定那些持照者應執行後續之加速地震評估處理流程(Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)及風險評估(Risk Evaluation)。此篩選的標準，即由各電廠地震危害再評估(PSHA)分析所得之地表震動反應譜(Ground

Motion Response Spectrum, GMRS)，與該廠原始安全停機設計地震(SSE)頻譜相比較，圖2是兩種頻譜比較之示意圖²，若分析結果為第一種產出(outcome 1)，SSE可涵蓋GMRS，耐震安全餘裕已足夠，則不必再進行後續的分析；若為第二種(outcome 2)產出，則僅有高頻區域相關設備(>10Hz)，需要再分析；若為第三種產出(outcome 3)，則因為原始耐震安全強度未能涵蓋新的分析模式及地質新事證，必須進行後續風險評估。

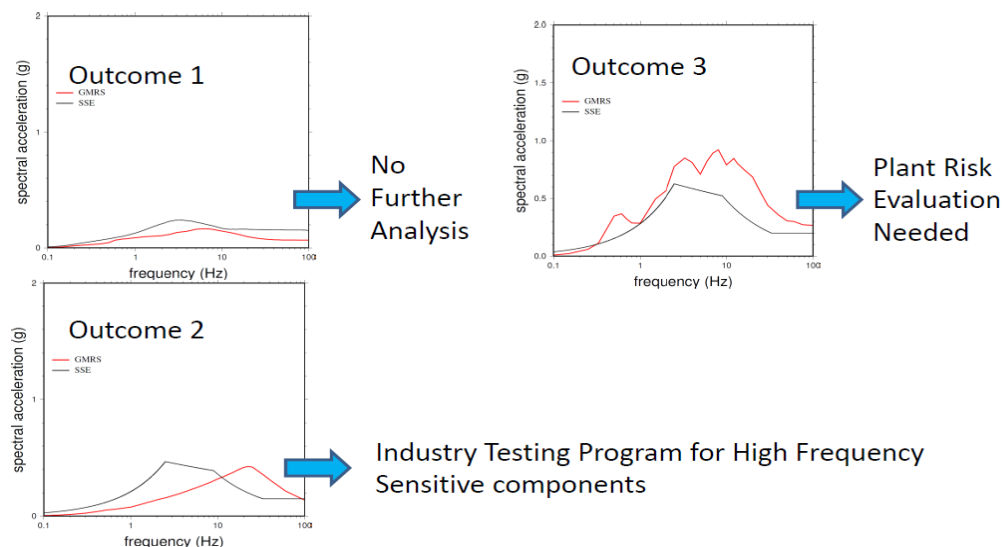


圖 2: 核管會地震危害分析第一階段篩選方法示意圖²

五、未來工作及時程規劃

基於前述有關現階段地震危害度分析的結果，業界針對這些被篩選出來的電廠，將利用工業界發展並由NRC認可之導則來進行評估。這份名為「加速地震評估處理流程」(Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)的主要聚焦於美國各核能電廠在日本福島電廠事故後所添購的各種救援設備，如何在發生超過設計基準之地震時，以及可能導致嚴重核子事故的最初階段，便能發揮維持或恢復反應爐及圍阻體之冷卻功能。此份導則可用以評估各電廠是否因此而增加了耐震分析餘裕，並緩和(mitigate)事故可能造成的後果，進而增加了電廠的安全性。

至於NRC認為採上述之「加速地震評估處理流程」(ESEP)之分析結果，可以讓持照者電廠據以執行適當之設備修改(modification)，以確保反應爐在發生超過設計基準事故時，仍然能夠受安全保護。目前NRC要求CEUS、WUS各電

廠繳交ESEP分析結果的期限分別為2014年及2015年底，並預期各電廠將自2015年起，將陸續開始執行修改作業。此外在此階段被篩選為必須進行風險評估的電廠，須加以驗證是否仍有待進一步改善及加强的部分。有關CEUS各電廠在實施地震危害度分析、現階段進行之「加速地震評估處理流程」(ESEP)、及未來電廠修改的同時，NRC要求風險評估之完成時程自2017年至2020年。

六、綜合結語

綜合以上各節說明，總結如下：

1. 美國核能工業界及管制單位過去持續探討追蹤耐震安全及地震危害度分析的更新，並運用新的分析方法及技術，且法規及導則要求方面亦隨之演進為風險告知為基準之評估。
2. 日本福島第一核電廠發生嚴重核子事故後，美國核管會日本近期專案小組建議之耐震安全之再評估，目前正由各核能電廠持照者積極進行中，且隨時與管制單位檢討執行進度，我國可利用與核管會已建立之聯繫管道，適時交換相關的訊息。
3. 核管會目前正處於收集資料的階段，且已完成美國中部及東部(CEUS)電廠初步之篩選及評估分析，確定有21個廠址將執行下一階段之分析，包括「加速地震評估處理流程」(Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)及風險評估(Risk Evaluation)等，並陸續於2015年起依據評估結果來進行設備修改，以因應超過設計地震所可造成的危害。針對此點我國應繼續蒐集後續資訊，做為強化核能電廠因應地震之參考。

參考資料

1. Electric Power Research Institute, Seismic Evaluation Guidance: Screening, Prioritization and Implementation Details (SPID) for the Resolution of Fukushima Near-Term Task Force Recommendation 2.1: Seismic, March, 2013.
2. Nuclear Regulatory Commission, Certified Minutes for the ACRS Fukushima Subcommittee Meeting, April 10, 2013 – Rockville, Maryland