

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

美日核能耐震相關規範/導則新舊差異分析

**Preliminary Comparative Study between US and Japan Seismic
Design Guidelines/Codes of Nuclear Power Plants**

計畫編號：992001INER002

受委託機關(構)：中原大學土木工程系

計畫主持人：劉明怡

核研所聯絡人員：周鼎

聯絡電話：03-265-4211

E-mail address：myliu@cycu.edu.tw

報告日期：中華民國九十九年十二月

目 錄

| | |
|------------------------|-----|
| 中文摘要 | III |
| 英文摘要 | IV |
| 壹、計畫緣起與目的 | 1 |
| 貳、研究方法與過程 | 3 |
| 參、主要發現與結論 | 4 |
| 一、國內引用美國耐震法規之蒐集 | 4 |
| 二、日本舊有與現行耐震導則之比較 | 7 |
| 三、美國舊有與現行耐震導則之比較 | 10 |
| 四、日本與美國耐震導則之比較 | 13 |
| 肆、參考文獻 | 18 |

中文摘要

本研究之目的為執行美日核能電廠耐震設計相關導則新舊差異比較，本年度為第一階段之研究。本文首先蒐集國內核能電廠耐震設計所引用之美國相關法規，接著分別比較日本與美國舊有和現行的核能電廠耐震設計導則，最後將兩國導則進行比較。透過本研究，可充分地瞭解日本與美國核能電廠耐震設計導則改版之緣由和內容，並初步地探討兩國導則的差異性與適用性。研究成果可提供國內核能管制單位參考，並應用於運轉中之核能電廠耐震安全審查，特別是設計地震(安全停機地震和運轉基準地震之訂定與檢討)，以期國內核能電廠均能符合最新耐震導則的要求，以確保其耐震能力和安全性。

關鍵字：核能電廠、耐震設計、安全停機地震、運轉基準地震

Abstract

The objective of this study is to make preliminary comparison between US and Japan seismic design guidelines of nuclear power plants, and this is a multi-year project. The framework of this first-year study includes the collection of US regulations adopted in the current seismic design in Taiwan, the comparison between Japan/US past and current seismic design guidelines, and the comparison between Japan and US seismic design guidelines. In this study, Japan/US past and current seismic design guidelines are thoroughly explored. The difference, feasibility and practical applications of those guidelines are also adequately understood. The results can be provided to the nuclear regulatory authority in Taiwan for the use of seismic safety review of operating nuclear power plants, especially the adequacy of determination of design earthquake (safe shutdown earthquake and operating basis earthquake) so that the design of nuclear power plants in Taiwan can satisfy the requirements of the most current seismic design guidelines for ensuring the seismic safety.

Keywords: Nuclear Power Plant, Seismic Design, Safe Shutdown Earthquake, Operating Basis Earthquake

壹、計畫緣起與目的

2007年7月16日發生於日本之新潟地震造成柏崎刈羽核能電廠七部機組全部停機，由於新潟地震是近年來國際間核能電廠所受到最大震度的地震，核能電廠地震儀器量測到之最大地表加速度達0.69g，此值較該廠地震設計基準高出甚多，加上日本核電機組依據2005年新修定的核能耐震安全指針所作的耐震安全 back check 之新分析結果也顯示日本所有的核能機組目前的設計安全停機地震(Safe Shutdown Earthquake)均要提高，顯示依原先的學理/技術所作的耐震設計以現在標準來看已不夠保守，因此，核能電廠耐震安全性再度受到國際間的高度重視。在此同時，日本原子力安全委員會(Nuclear Safety Commission of Japan, NSC)與美國核能管制委員會(United States Nuclear Regulatory Commission, USNRC)均就核能電廠耐震相關導則進行大幅度之改版，將影響運轉中的核能電廠耐震安全性確保之必要再分析，特別是設計地震的訂定和檢討，以及地震停機之準則與因應。

我國台電公司在去年(2009)進行中的核一廠第三次10年整體安全再評估的地震安全評估章節中也引用我國中央地調所2007年的報告，指出核一、二廠之間的山腳斷層屬於第二類活動斷層，且長度可能會超過之前的認定，此為可能影響核一、二廠發電安全的新事證。另外，我國中央地調所2009年第27號特刊將原來認為是存疑性的恆春斷層歸納為第二類活動斷層的報告衝擊到鄰近的核三廠的地震安全，加上2006年12月26日台灣西南外海發生連續兩次地震的規模已經超過設計時對該區域所推估之最大潛能規模，並造成核三廠二號機手動急停。以上關於新學理及新事證的說明以及美日

兩國的經驗等，已看出對核一、二、三廠的耐震安全再評估工作已刻不容緩。原能會為了推行此工作，並使作業順利進行，特別委請核能研究所針對既有核能電廠地震安全進行研究，期以訂定「核能電廠地震安全評估導則」，以利台電公司即將進行的「核能電廠耐震安全評估精進作業」參考遵行。

中原大學土木系接受核能研究所之委託，本研究首先蒐集/瞭解國內核能電廠耐震設計所引用之美國相關法規以及日本新頒行的耐震指針，接著分別比較日本與美國舊有和現行的核能電廠耐震設計導則，並將兩國導則進行比較。透過本研究，可充分地瞭解日本與美國核能電廠耐震設計導則改版之緣由和內容，並深入地探討兩國導則的差異性與適用性。研究成果可提供國內核能管制單位參考，並應用於運轉中之核能電廠耐震安全性確保的必要再分析，本報告特別針對設計地震(安全停機地震 SSE 和運轉基準地震 OBE)之訂定進行研究與檢討，以期國內核能電廠均能符合最新耐震導則的要求，以確保其耐震能力和安全性。

貳、研究方法與過程

由於本計畫時程甚短，因此，重點在於首先研究國內核能電廠引用美國核能管制委員會之最上游位階最高的核能電廠耐震法規「10 CFR 50 附錄 S」和「10 CFR 100 附錄 A」之條文[1, 2]，接著分別比較日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」1978 年與 2006 年之條文[3, 4]，以及美國核能管制委員會「核能電廠耐震設計導則」各年份之條文[5]，最後將兩國導則進行比較，其架構如圖 1 所示。

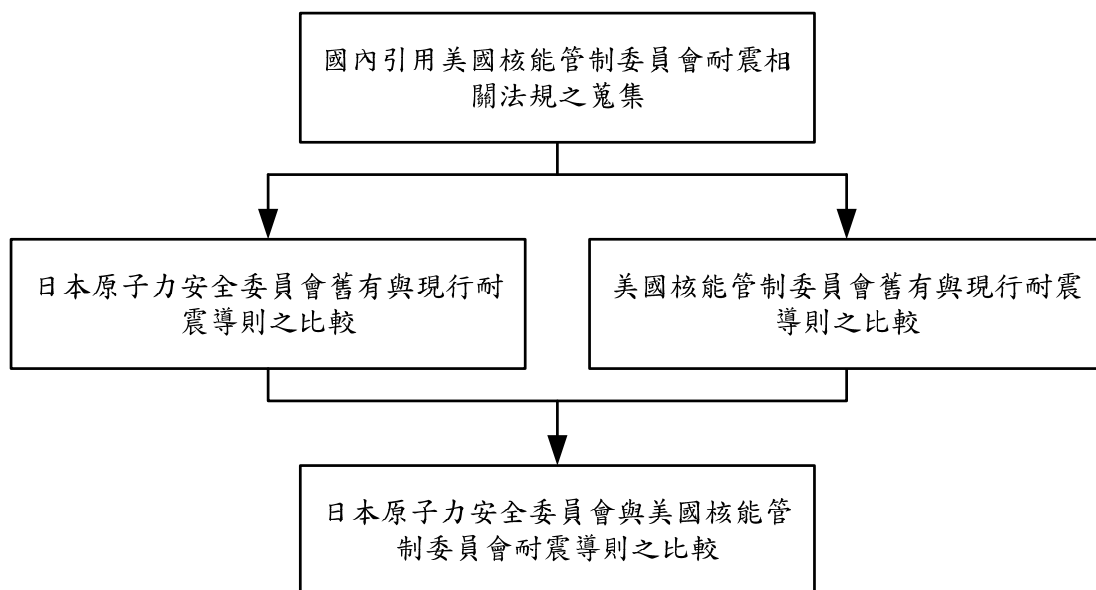


圖 1 研究架構

參、主要發現與結論

本研究之重點在於核能電廠設計地震，亦即安全停機地震與運轉基準地震的訂定，以下分別就圖 1 之國內引用美國核能管制委員會耐震相關法規的蒐集、日本原子力安全委員會舊有和現行耐震導則之比較、美國核能管制委員會舊有與現行耐震導則的比較，以及兩國耐震導則之比較等四部分進行研究。

一、國內引用美國耐震法規之蒐集

本節蒐集國內核能電廠引用美國核能管制委員會之最上游位階最高的核能電廠耐震法規「10 CFR 50 附錄 S」與「10 CFR 100 附錄 A」有關設計地震之條文[1, 2]。

「10 CFR 50 附錄 S」的標題為核能電廠地震工程標準 (Earthquake Engineering Criteria for Nuclear Power Plants)，以下將分別說明此法規和安全停機地震與運轉基準地震相關之條文。

(一) 安全停機地震

1. 定義

考量結構、系統和組件在產生地震動時可持續運轉功能。結構、系統和組件須禁得起安全停機地震或表面變形的影響，須確認的要件有：

- (1) 確保動力用核子反應器冷卻水壓力邊界之完整性。
- (2) 使核子反應器設施停機，並維持在安全停機狀態。
- (3) 防止或減緩事故後廠外輻射劑量超出法規要求。

2. 工程設計應用

- (1) 安全停機地震應由自由地表面地震動反應譜定其特性。由有限的強烈地震引起地震動資料來看，平滑化的設計反應譜通常較適合。在結構基礎高度的自由場安全停機地震水平向分量，反應譜之最大加速度至少 0.1 g。
- (2) 核能電廠當安全停機地震發生時，特定之結構、系統和組件必須設計為仍可維持功能且能在適當的應力、應變及變形範圍內。除了地震負載，同時發生正常運轉、機能和意外引起的負載應考慮於安全相關結構、系統和組件的設計之中。核能電廠設計也應考慮安全停機地震時地面開裂對設施基礎可能的影響，如裂縫、側潰、差異沈陷、液化和山崩。
- (3) 結構、系統和組件必須經由設計、測試或驗證的方法，確保安全停機地震引起相關之地震動期間或之後所須之安全功能。
- (4) 評估時應考慮土壤結構互制影響和預計震動歷時。在安全停機地震及同時作用的負載下，允許某些安全相關結構、系統和組件設計應變超過降伏應變，且所須的安全功能應維持運轉。

(二) 運轉基準地震

1. 定義

考量在不影響大眾健康和安全下，核能電廠可以持續運作的地震動。運轉基準地震僅與核能電廠停機和巡查相關，除非申請人設計時特別選擇作為輸入參數。

2. 工程設計應用

- (1) 運轉基準地震應由反應譜定其特性。運轉基準地震值須依下

列擇一設定：

- A. 小於等於 1/3 安全停機地震設計反應譜。不須申請人執行詳細的反應或設計分析，即可滿足運轉基準地震的要求。
 - B. 大於 1/3 安全停機地震設計反應譜。須分析和設計來證實結合運轉基準地震的要求。設計必須考量土壤結構互制影響和地震歷時。
- (2) 當承受運轉基準地震與正常運轉載重時，所有結構、系統和組件應能持續功能而不影響大眾的健康和安全，且在容許之應力、應變和變形限制內。

「10 CFR 100 附錄A」的標題為核能電廠地震與地質選址標準 (Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants)，以下將分別說明此法規和安全停機地震與運轉基準地震相關之條文。

(一) 安全停機地震

1. 地殼構造曾發生相關的最大地震應予以考慮。除此之外，對於活動斷層所發生最大地震亦應予以考慮。地質調查顯示最大曾發生地震可能大於曾經記錄得的地震。廠址加速度的計算應假設地震震央或最大震度的位置發生在距廠址最近的地殼構造。
2. 若調查指出曾發生之最大地震與地殼構造無關，但此最大地震發生於廠址所在的構造區域，則應假設該地震震央發生在廠址處而決定廠址加速度。
3. 若曾發生之最大地震與地殼構造無關，且廠址並不位於此一構造區域，則應假設該地震震央發生在該地殼區域邊界距廠址最近之處。
4. 除了步驟5的特例外，由步驟1至3所產生的最大廠址震動加速度

即為安全停機地震。安全停機地震的特性應由一個以上的地震紀錄經步驟1至3定義而得，並確保其最大震動加速度應能包含所應有的頻率範圍。若廠址接近斷層，則應考慮近斷層對安全停機地震反應譜的影響。以上步驟1至3應以保守的方式來處理。安全停機地震的最小值即為依步驟2及3廠址地質證據所決定的歷史最大地震強度。廠址各個不同基礎位置的安全停機地震最大加速度應考慮土壤傳遞地震動的特性。安全停機地震應以反應譜定義並包含最大加速度。

5. 在核能電廠結構物基礎的安全停機地震(由前述步驟1至4所決定的值)最大震動加速度值若小於0.1 g，則應假設此值至少為0.1 g。

(二) 運轉基準地震

應考量廠址附近的地震與地質條件後，由核能電廠申請人訂出運轉基準地震。運轉基準地震是作為核能電廠停機的標準，若發生的地震超過運轉基準地震，則核能電廠應執行停機的動作。在重啟運作之前，必須先向委員會證明核能電廠並無功能性的損壞，須證明機具繼續運轉對公眾的健康與安全並無太大的風險。運轉基準地震最大加速度值應至少為安全停機地震最大加速度值的一半。

二、日本舊有與現行耐震導則之比較

本節針對日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」1978年與2006年之條文[3, 4]進行比較，其標題如表1所示。

日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」條文多屬原則性的規定，說明耐震設計的分類、地震力標準、考慮方式，以及

載重組合與容許界限，但並無任何計畫方法或模型可供參考，而是通則式要求納入新技術且適切的考量。

「核能電廠耐震設計導則」於1981年07月20日公佈，2006年09月19日修訂，修訂理由是納入新知識與新技術，使核能電廠耐震信賴度提升。2006年版本包括設施的耐震分類、基準地震動之決定、地震力計算方式、載重之容許值與地震引起的地盤，以及邊坡不穩定與海嘯問題。圖2為1981年與2006年版本的比較，相較於1981年版本，2006年版本內容上有更嚴格的水準、更細緻的調查且更高度的手法。在基本方針的規定上，取消了結構物需要剛構造及岩盤支撐，但增加殘餘風險；基準地震動則改為僅定一個 S_s ，但增加彈性設計使用的 S_d ，並配合修改耐震設計規定；在耐震分類則將 A_s 級與 A 級合成 S 級，另外，增加地震引起的邊坡與海嘯問題。

2006年版本的基準地震動只有一個 S_s ， S_s 考量各特定震源制定的地震動及非特定震源制定的地震動，於廠址的解放基盤表面制定水平方向及垂直方向的地震動，且依導則要求，必須考量地震動評估過程的不確定性。最後階段依導則要求須以地震危害度分析瞭解所對應的機率，這是為達到基本方針的致力排除殘留風險的觀點考量，應參考超越機率而以機率立場掌握。1981年版本依選用的地震類型與設計目的，共有最大設計地震 S_1 與極限設計地震 S_2 。

表 1 日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」[3, 4]

| 項次 | 標題(1978年) | 標題(2006年) |
|----|---|---|
| 1 | 前言 (Introduction) | 前言 (Introduction) |
| 2 | 適用範圍 (Scope of Application) | 適用範圍 (Scope of Application) |
| 3 | 基本方針 (Basic Policy) | 基本方針 (Basic Policy) |
| 4 | 耐震設計重要性分類 (Classification of Importance in Seismic Design) | 耐震設計重要性分類 (Classification of Importance in Seismic Design) |
| 5 | 耐震設計評估 (Evaluation of Seismic Design) | 設計基準地震地動之決定 (Determination of Design Basis Earthquake Ground Motion) |
| 6 | 載重組合與容許極限 (Load Combinations and Allowable Limits) | 耐震設計準則 (Principle of Seismic Design) |
| 7 | | 載重組合與容許極限 (Load Combinations and Allowable Limits) |
| 8 | | 地震伴隨事件之考慮 (Consideration of the Accompanying Events of Earthquake) |

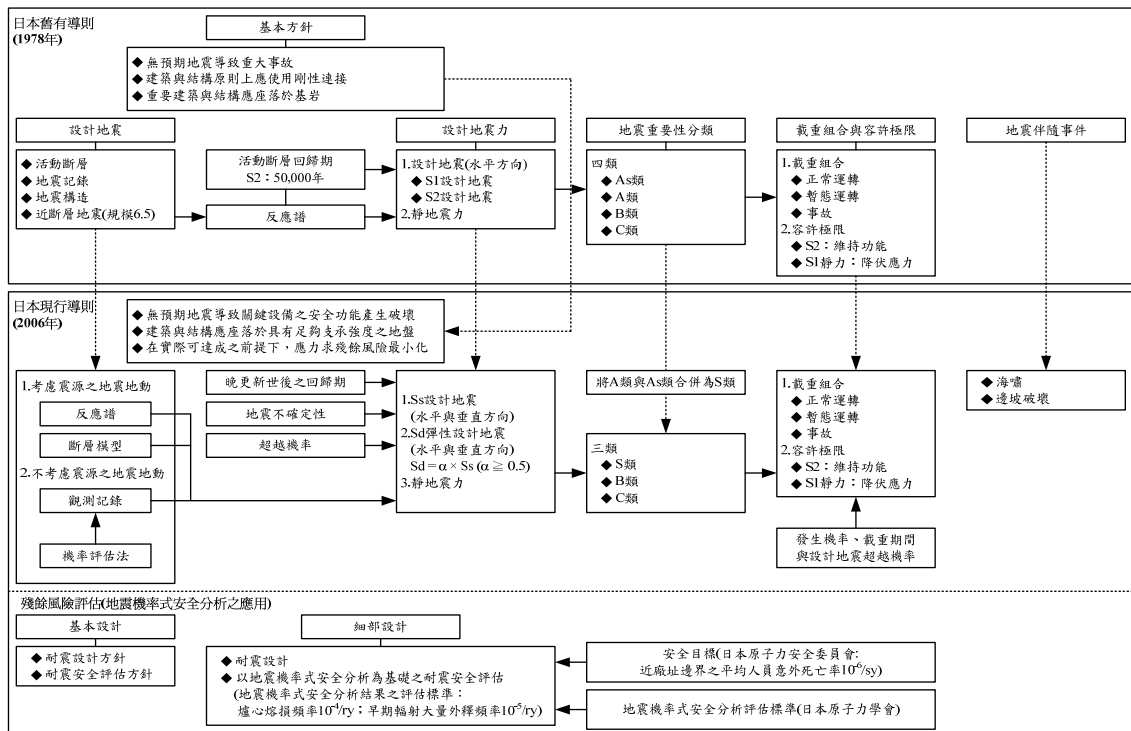


圖 2 日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」1978年與2006年版本之比較

三、美國舊有與現行耐震導則之比較

本節針對美國核能管制委員會「核能電廠耐震設計導則」各年份之條文進行比較[5]，其標題如表 2 所示。本研究主要探討與核能電廠設計地震最直接相關的編號 1.165 和編號 1.208 之條文，並輔以其餘編號的條文。

「核能電廠耐震設計導則」編號1.165與編號1.208標題分別為表 2 所示之「震源辨識與特性描述以及安全停機地震地動之決定」和「以性能設計法定義特定廠址地震地動」，圖3為兩者之比較。目前的法規指引是兩者並存，兩者在最後產生地震動反應譜的標準有所區別，編號1.165只考慮地震危害度的風險，編號1.208則加入結構物行為。

編號1.208提供機率式地震危害度分析與地震動反應譜建立過程，以及完整的震源調查及執行程序細節。內容主要包含廠址地震危害重要的震源、機率式地震危害度分析、廠址地震波傳遞特性，以及性能基準法之廠址地震動等項目的特性說明與設計步驟。編號1.165法規內容除了機率式地震危害度分析步驟，以及決定安全停機地震程序之外，其餘均與編號1.208相似。編號1.165係以機率法決定地震動反應譜，並以特定年發率決定反應譜特性；編號1.208則以性能基準法決定地震動反應譜，並以特定年頻率判定平均均佈危害度反應譜及參數，並進行參數拆解。

由於編號1.165與編號1.208目前同時存在，故可採用前者之機率法或後者之性能基準法決定地震動反應譜的程序。若採用性能基準法，則自由場地表面依設計係數修正，以獲得特定廠址依性能基準

的地震動反應譜，亦即特定廠址的均佈危害度反應譜。此外，兩者在控制地震的參數拆解方法有些差異，編號1.165並未強調廠址地盤反應分析的步驟，因此，控制地震求得後，並無法規指引說明如何應用；編號1.208則可要求業者採用實測地震波作為地盤反應分析的輸入波，且強調特定廠址的地震動反應譜，編號1.165在產生安全停機地震時則須與泛用性反應譜比較，因此，兩者法規指引的屬性有所不同。

表 2 美國核能管制委員會「核能電廠耐震設計導則」[5]

| 編號 | 標題 | 修訂 | 出版年月 | 最後評估年月 |
|-------|---|----|---------|---------|
| 1.12 | 核能電廠地震監測 (Nuclear Power Plant Instrumentation for Earthquakes) | 2 | 03/1997 | 11/2008 |
| | | 1 | 04/1974 | |
| | | -- | 03/1971 | |
| 1.29 | 耐震設計分類 (Seismic Design Classification) | 4 | 03/2007 | 03/2007 |
| | | 3 | 09/1978 | |
| | | 2 | 02/1976 | |
| | | 1 | 08/1973 | |
| | | -- | 06/1972 | |
| 1.60 | 核能電廠耐震設計之設計反應譜 (Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants) | 1 | 12/1973 | 03/2006 |
| | | -- | 10/1973 | |
| 1.61 | 核能電廠耐震設計之阻尼值 (Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants) | 1 | 03/2007 | — |
| | | -- | 10/1973 | |
| 1.92 | 模態反應與地震反應分析空間分量之結合 (Combining Modal Responses and Spatial Components in Seismic Response Analysis) | 2 | 07/2006 | 07/2006 |
| | | 1 | 02/1976 | |
| | | -- | 12/1974 | |
| 1.100 | 核能電廠機電設備之耐震驗證 (Seismic Qualification of Electric and Mechanical Equipment for Nuclear Power Plants) | 3 | 09/2009 | 09/2009 |
| | | 2 | 06/1988 | |
| | | 1 | 08/1977 | |
| | | -- | 03/1976 | |
| 1.122 | 樓板支撐設備或元件耐震設計之樓板設計反應譜建立 (Development of Floor Design Response Spectra for Seismic Design of Floor-Supported Equipment or Components) | 1 | 02/1978 | 07/2007 |
| | | -- | 09/1976 | |

| | | | | |
|-------|--|----|---------|---------|
| 1.165 | 震源辨識與特性描述以及安全停機地震地動之決定 (Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion) | -- | 03/1997 | — |
| 1.166 | 震前計畫與核能電廠運轉員震後行動 (Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Postearthquake Actions) | -- | 03/1997 | 11/2007 |
| 1.167 | 因地震事件停機之核能電廠重新啟動 (Restart of a Nuclear Power Plant Shut Down by a Seismic Event) | -- | 03/1997 | 03/2006 |
| 1.198 | 核能電廠廠址土壤液化評估之流程與標準 (Procedures and Criteria for Assessing Seismic Soil Liquefaction at Nuclear Power Plant Sites) | -- | 11/2003 | — |
| 1.208 | 以性能設計法定義特定廠址地震地動 (A Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion) | -- | 03/2007 | 03/2007 |

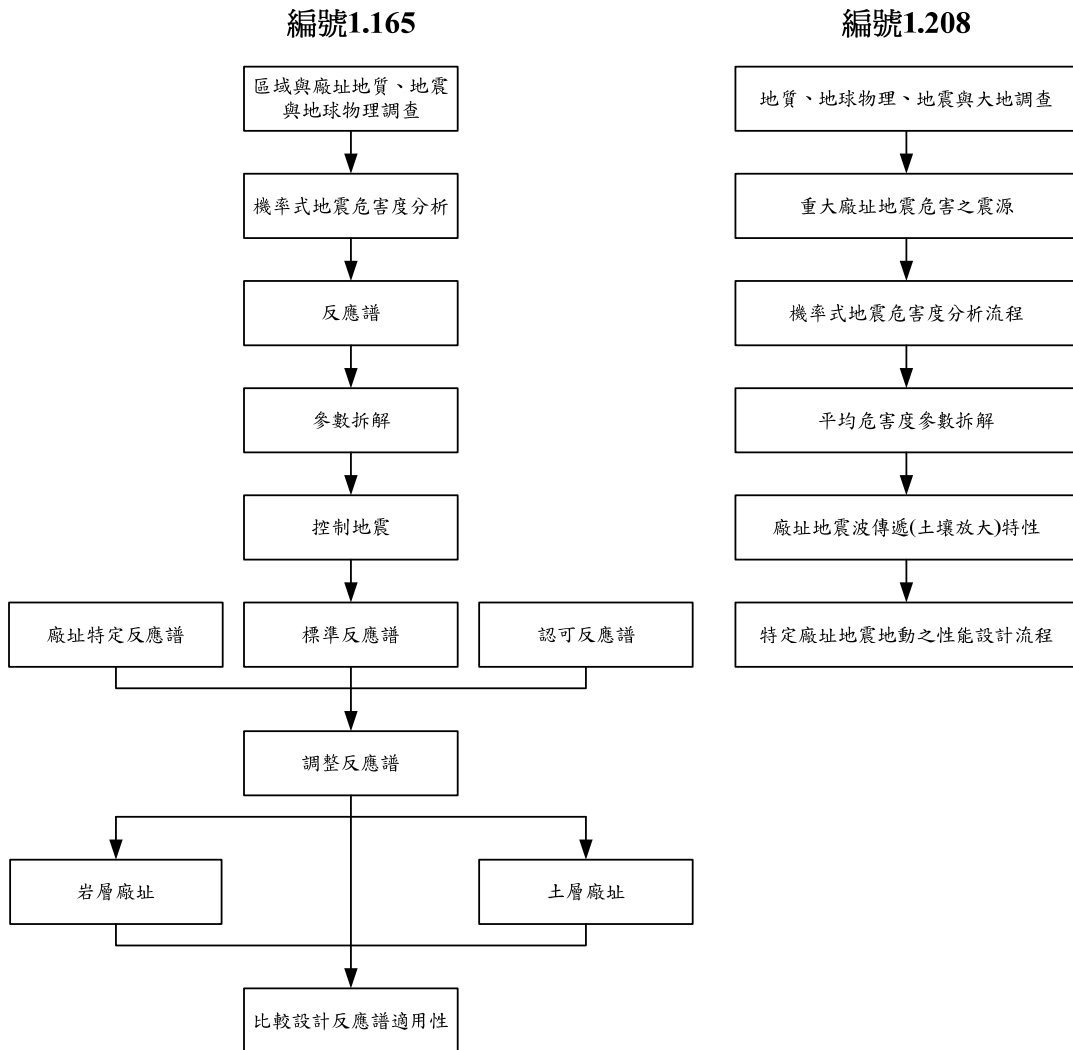


圖 3 美國核能管制委員會「核能電廠耐震設計導則」編號 1.165 與編號 1.208 之比較

四、日本與美國耐震導則之比較

本節針對日本原子力安全委員會「核能電廠耐震設計導則」與美國核能管制委員會「核能電廠耐震設計導則」進行比較，以核能電廠設計地震為核心，分為定義、設計地震年超越機率、震源分類、震源調查、危害度分析、控制地震和廠址地盤反應分析等七部分，探討兩國導則之差異性與適用性。

(一) 定義

設計地震可提供耐震設計使用，美國導則稱為安全停機地震與運轉基準地震，日本導則則稱為基準地震動，美國導則採用兩級設計地震，日本導則1978年版本也是S1與S2兩級，但2006年版本只有Ss。對其設計地震均是指自由場地震動，也就是無結構物影響之土岩地震動，並非廠房內的受震反應。兩國導則均將設計地震訂於地表面，但美國導則所稱的地表面如將表層挖除，則可包括開挖後的露頭；日本導則則訂於剪力波速等於700 m/s之解放基盤表面，亦即延伸的露頭。除地表面的定義之外，為了瞭解土層的波傳特性，兩國導則均有要求基礎面或是底層岩盤面，亦即先產生衰減律所用的岩盤面或更深的地震基盤，再由地盤反應分析或地盤增幅率獲得設計地震。

避免設計地震過小，美國導則訂定水平向最大地表加速度為0.1 g，日本導則則使用非特定廠址地震。美國導則有標準廠的設計認證，地震設計反應譜為認可之設計地震，如與地震動反應譜不同高程，則地震動反應譜可轉成基礎面再比較，此時的比較對象為基礎輸入反應譜，此反應譜仍須為露頭面的反應譜，故僅考慮基礎面以

下的土壤結構互制效應，且基礎輸入反應譜對每個一級結構均須比較。

(二) 設計地震年超越機率

設計地震產生方法分為定值式地震危害度分析與機率式地震危害度分析，美國導則採用機率式地震危害度分析，日本導則則使用定值式地震危害度分析產生設計地震後，再使用機率式地震危害度分析瞭解其發生機率，主要是殘餘風險評估使用。機率式地震危害度分析需要有目標機率值，美國導則編號1.165以機率法為基礎，編號1.208則以性能基準法為基礎，兩者安全停機地震的年超越機率並不相同。

(三) 震源分類

美國導則編號1.165與編號1.208對震源的分類可分為構造震源與孕震區震源，兩者差別在於構造震源會產生地表的構造變形，例如斷層或摺皺，但孕震區震源不會產生地表位移，通常假設均勻的地震發生率。編號1.165說明美國中部和東部大部分區域的地震與構造或地表地質無關，屬於孕震區震源，美國西部則可分為斷層震源、埋藏(盲)震源與隱沒帶震源；編號1.208則依震源幾何特性分為斷層震源、面震源(代表與構造無關但有集中性的歷史地震分佈)、面震源(代表有相似構造歷史、地殼形態及結構特徵的地理區域)與背景震源。

日本導則的廠址特定震源即為構造震源，包括內陸地殼內地震、板塊間地震與海洋板塊內地震。由於日本震源範圍僅考慮30 km，對整個孕震區震源無法完整的考慮，且與核能電廠設計地震較有影響的也是距離較近且淺層的震源，地震如無法歸類於構造震

源，也可能是因為地質調查尚未查出構造。因此，像日本這種板塊交界地震頻繁的國家，強調構造震源是減少爭議及簡化的作法。但為避免調查技術仍無法詳盡，所以，利用廠址非特定地震來考量孕震區震源的結果，以提供核能電廠最小的設計地震。

(四) 震源調查

震源就調查範圍而言，美國導則須考慮320 km的地震與構造，地震目錄最小規模為3；日本導則範圍則為30 km內構造震源與地震資料，包括內陸地殼內地震、板塊間地震與海洋板塊內地震，輔以非廠址特定地震作保守考量。由於構造震源的幾何位置必須確定，這些地質構造是否納入設計地震考慮須視其活動性。因此，兩國導則均要求建立地震與構造之相關性，藉由地震時空分布瞭解，或斷層古地震調查確定，或藉由微型地震觀測辨識。對其再活動可能性的看法，日本導則對活動斷層的定義為第四紀的更新世晚期(12.5萬年)；美國導則規定35,000年至少發生一次地表移動，或是500,000年有再次移動的特性，且依斷層與廠址距離，斷層有最小考量長度，過短的斷層影響小不予考慮。

(五) 危害度分析

日本導則以定值式地震危害度分析為主要方法，美國導則則使用機率式地震危害度分析。日本導則對震源的分類，已依地體構造條件再細分，對於震源特性也有更多的說明。路徑效應即為衰減律，由於兩國導則均要求產生岩盤面的反應譜，故應選用岩盤廠址的衰減律，且應有更多的譜加速度之衰減律。機率式地震危害度分析產生危害度曲線，進而依年超越機率決定反應譜，其精神是希望結合不確定性，對於各種模式或看法能夠納入。早期只要針對參數執行

敏感度分析，在模式不變的情況下，以參數的不確定性說明結果的信賴範圍；目前的發展則是需要納入各種已知模式，建立業界對此問題的看法，因此須有邏輯樹的說明。

(六) 控制地震

控制地震是指產生最大地震動的地震，定值式地震危害度分析很容易判定控制地震，可藉此瞭解地震反應譜重要頻率範圍以及震波特性，以作為地盤反應分析輸入波之用。但對於機率式地震危害度分析而言，由於震源的距離與規模均包含不確定性，不易決定控制地震，因此，發展出參數拆解以決定控制地震，可使用美國導則編號1.165與編號1.208的方法決定對危害度貢獻最高的地震規模與距離，作為後續廠址效應分析選擇地震波的依據，或調整設計反應譜的依據。參數拆解的另一個目的是要瞭解遠距地震的影響，此種地震屬於低頻地震，對廠址放大效應可能影響很大，必要時，必須另行分析此遠距地震。

(七) 廠址地盤反應分析

廠址地盤反應是因應衰減律適用的土岩剪力波速與廠址不同時所須進行的分析，雖然兩國導則的設計地震均是定義在地表面，但日本導則的解放基盤表面剪力波速達到700 m/s已屬岩石，其衰減律則是更深層的地震基盤，其剪力波速達到2,200 m/s，仍須進行此分析；美國導則定義的地表面是廠址的地表面，且直接要求瞭解地盤放大效應，因此，這兩國導則均包含地盤反應分析。所以，在進行機率式地震危害度分析時，應使用岩石廠址的衰減律。美國導則編號1.208並要求美國中部和東部衰減律所稱的岩石剪力波速為2,800 m/s，除非廠址位於超過此波速的地方，否則均要進行地盤反應分析。

綜合前述之比較，可將日本與美國「核能電廠耐震設計導則」之設計地震之訂定進行總結，如表3所示。

表 3 日本與美國「核能電廠耐震設計導則」設計地震之比較

| 項目 | 日本 | 美國 |
|------|---------------------------|--|
| 設計地震 | ◆ 基準地震動反應譜與地震波 | ◆ 安全停機地震反應譜(均佈危害度反應譜)與地震波 ◆ 運轉基準地震反應譜與地震波 |
| 方法 | ◆ 定值式地震危害度分析 | ◆ 機率式地震危害度分析 |
| 位置 | ◆ 廠址基盤表面(剪力波速大於 700 m/s) | ◆ 自由場地表面(含開挖後) ◆ 基礎面自由場須大於 0.1 g |
| 震源 | ◆ 陸域地殼(含斷層) ◆ 隱沒帶介面與內部 | ◆ 斷層震源 ◆ 面震源 |
| 路徑效應 | ◆ 衰減律 ◆ 斷層地震波模擬 | ◆ 衰減律 |
| 控制地震 | ◆ 定值式地震危害度分析 | ◆ 機率式地震危害度分析參數拆解 |
| 廠址效應 | ◆ 反應譜放大倍率統計圖 | ◆ 分析方法考慮不確定性並計算平均反應譜放大函數 ◆ 自由場地表面以下範圍 |

肆、参考文献

1. USNRC (n.d.). “NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, Appendix S to Part 50 – Earthquake Engineering Criteria for Nuclear Power Plants.”, Retrieved Nov. 30, 2010, from <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/part050-apps.html>.
2. USNRC (n.d.). “NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, Appendix A to Part 100 – Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants.”, Retrieved Nov. 30, 2010, from <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part100/part100-appa.html>.
3. NSC (1978). “Regulatory Guide for Reviewing Seismic Design of Nuclear Power Reactor Facilities.” Nuclear Safety Commission of Japan, Tokyo, Japan.
4. NSC (2006). “Regulatory Guide for Reviewing Seismic Design of Nuclear Power Reactor Facilities.” Nuclear Safety Commission of Japan, Tokyo, Japan.
5. USNRC (n.d.). “NRC Regulatory Guides – Power Reactors (Division 1).” United States Nuclear Regulatory Commission, Rockville, Maryland, USA, Retrieved November 30, 2010, from <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/reg-guides/power-reactors/rg/>.