



監察院

REPUBLIC OF
CHINA
(TAIWAN)

THE CONTROL YUAN

114年11月5日財政及經濟委員會、教育及文化委員會聯席會議

我國各核電廠之耐震能力及後續 安全工作等情案

調查委員：田委員秋堃、趙委員永清、蔡委員崇義

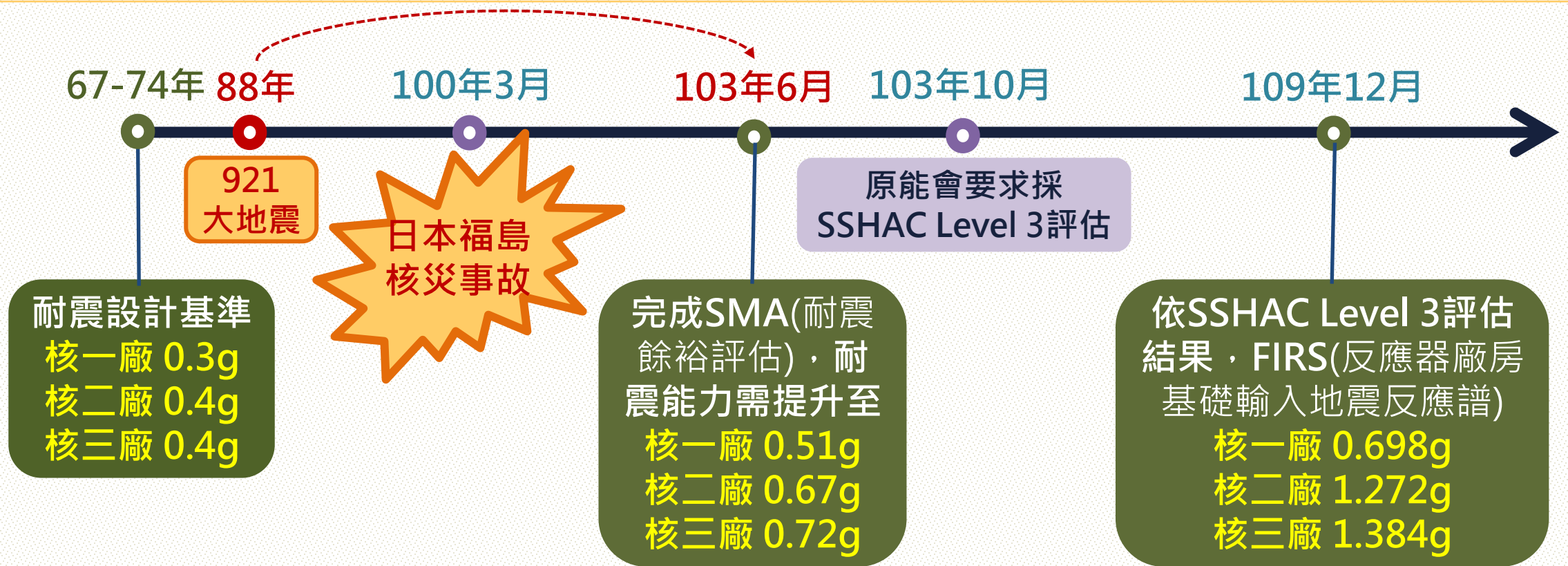
案由

西元2015年行政院原子能委員會(現為核能安全委員會)要求台灣電力股份有限公司針對核電廠進行地震危害再評估，依循美國「地震危害分析資深專家委員會」所訂定第3層級之程序，考量距核一、二、三廠320公里範圍內所有可能震源，進行機率式地震危害評估，歷時超過4年，共花費新臺幣4.98億元，提出核一、二、三廠之地動加速度值分別為0.698g、1.272g、1.384g，遠遠超過建廠當時設計的防震係數0.3g、0.4g、0.4g，疑凸顯三座核能電廠之防震能力堪憂。究各核電廠之耐震能力是否足夠？後續安全工作為何？均有深入調查之必要案。

調查重點

- 一、我國核電廠之耐震能力是否足夠。
- 二、我國核電廠執行地震危害重新評估之後續安全工作。
- 三、核能安全委員會對於上開耐震評估及耐震補強之審查情形。
- 四、斷層帶對我國核電廠之影響評估。
- 五、海嘯對我國核電廠之影響評估。
- 六、其他應調查事項。

核電廠耐能震力(PGA)提升歷程



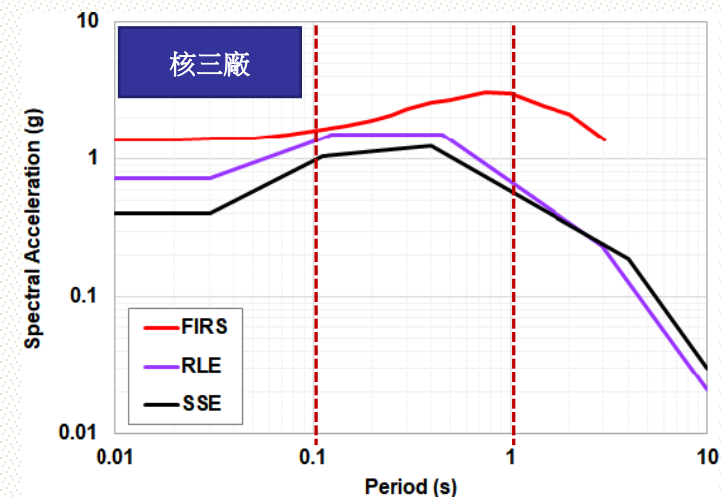
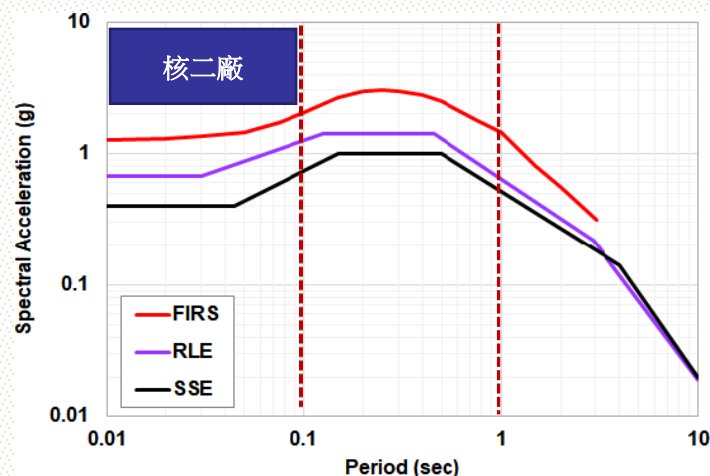
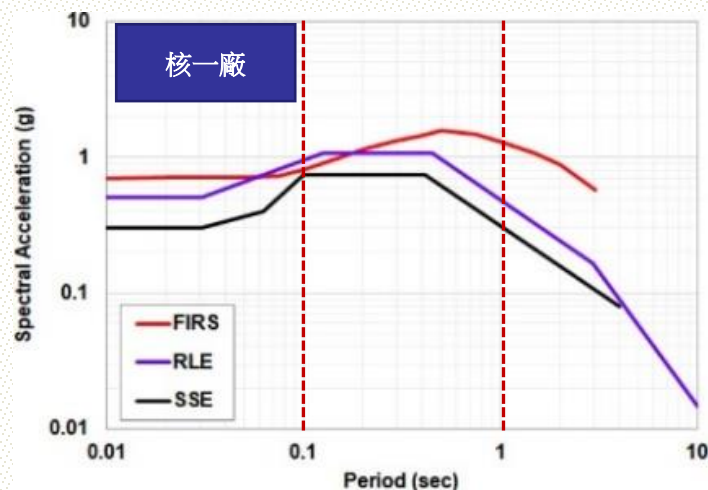
據台電公司說明

耐震提升作業僅**緊急停機**的部分，SMA(耐震餘裕評估)、ESEP(加速耐震評估程序)的補強標的都是**安全停機路徑上的設備組件**

依SPID(地震危害與篩選)報告執行：

- ESEP(加速耐震評估程序)
- 用過燃料池完整性評估
- SPRA(機率式地震安全度評估)

地震危害評估結論



縱軸: 加速度反應譜、橫軸: 週期

- FIRS(反應器廠房基礎輸入地震反應譜)，地盤反應分析結果之輸出控制點位於反應器廠房基礎面輸出反應譜。其PGA，核一廠為0.698g、核二廠為1.272g、核三廠為1.384g。
- RLE(評估基準地震)，為102年執行耐震安全餘裕評估時所採用之審查地震水準。其水平向PGA，核一廠為0.51g、核二廠0.67g、核三廠為0.72g。
- SSE(安全停機地震)，為原始建廠設計基準值。其水平向PGA，核一廠為0.3g、核二廠為0.4g、核三廠為0.4g。

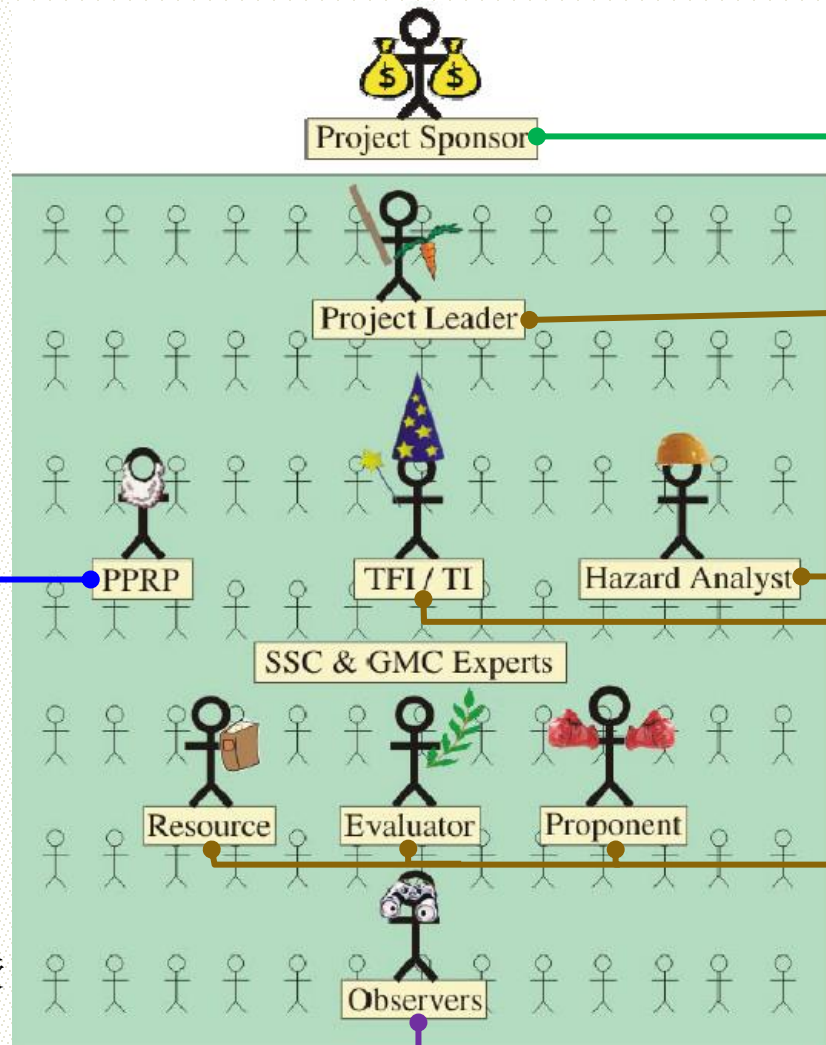
核電廠進行地震危害評估經過

- 100.3.11日本福島事故後，NRC(美國核能管制委員會)組成NTTF(近期專案小組)提出一系列改善建議，要求全美核電廠須依循NTTF建議事項執行作業，包含以SSHAC Level 3 (「地震危害分析資深專家委員會」所訂定第3層級)程序，重新評估廠址的地震危害。
- 103年10月，原行政院原子能委員會(現為核能安全委員會)要求台電公司依循SSHAC Level 3程序，針對國內各核電廠進行機率式地震危害分析。
- 104年4月，台電公司編列近5億元經費，委託國家地震工程研究中心辦理「核能設施地震危害重新評估案」。

SSHAC Level 3簡介-組織成員 (資料來源:台灣電力股份有限公司)

參與式同行審查小組

William Lettis博士
Yousef Bozorgnia教授
茅聲燾教授
馬國鳳教授



計畫贊助者

業主：台電公司

計畫主持人

專案經理與計畫主持人：國震中心張國鎮主任
共同主持人：國家實驗研究院張文彥主秘
執行秘書：吳俊霖博士

危害分析人員

危害度評析團隊：
國震中心、中興工程顧問社、核能研究所

技術整合專家

總技術整合專家：
羅俊雄教授、Norman Abrahamson教授、林正洪教授
SSC模型的技術整合專家：
黃柏壽教授、葉錦勳博士、林殿順教授、鄭錦桐博士、Kevin Clahan專業地質師
GMC模型的技術整合專家：
溫國樑教授、丘士正(Brian Chiou)博士、林柏伸博士、邱宏智博士、黃尹男教授

資源專家(正方)、評估專家 倡議專家(反方)

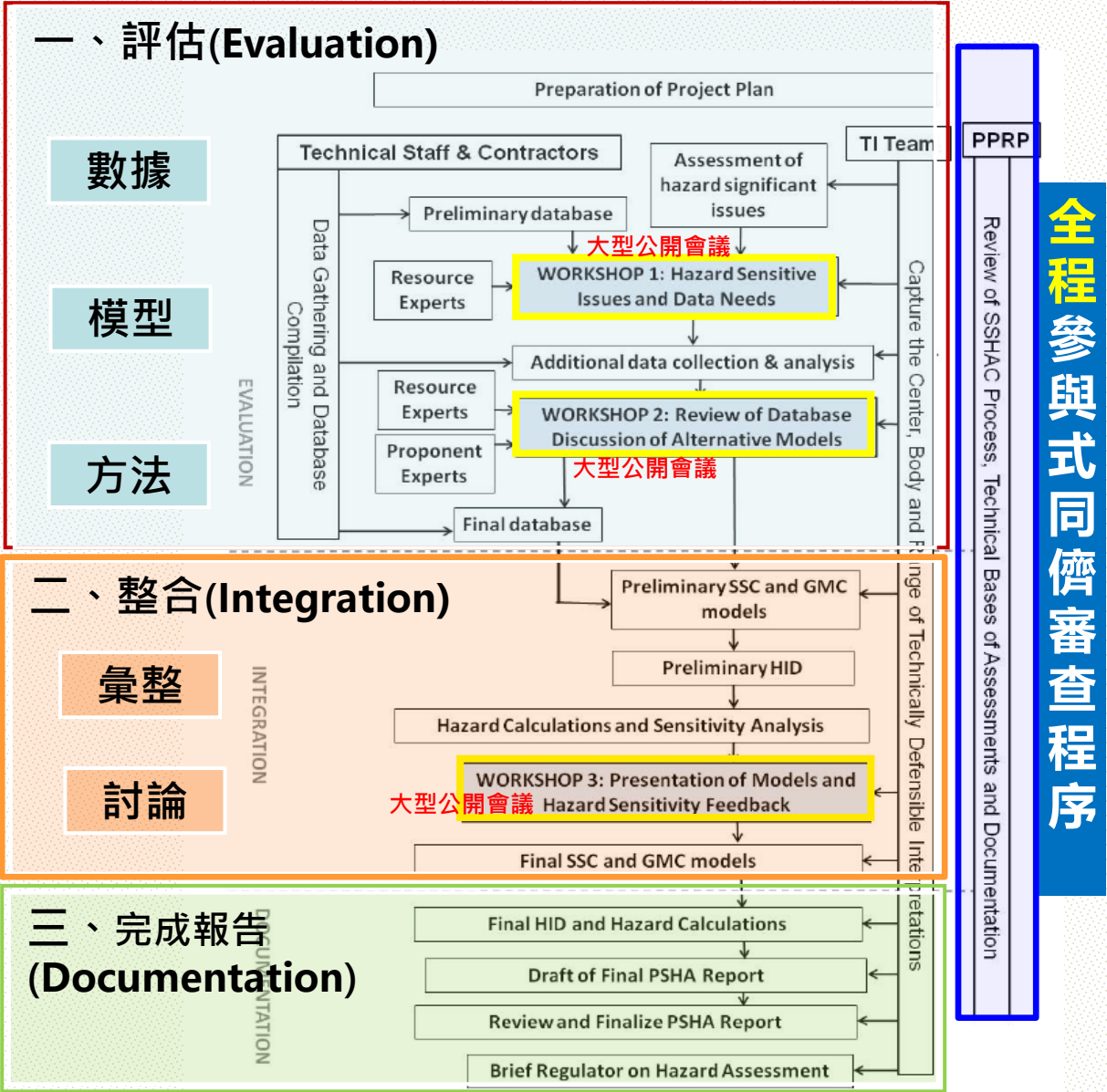
資源專家、倡議專家：
邀請國內外專家出席工作會議與專題討論會議

觀察員 (業主代表、管制單位代表、 社會團體等)

觀察員：
包括台電公司代表、原能會代表、對PSHA研究關心之相關人士

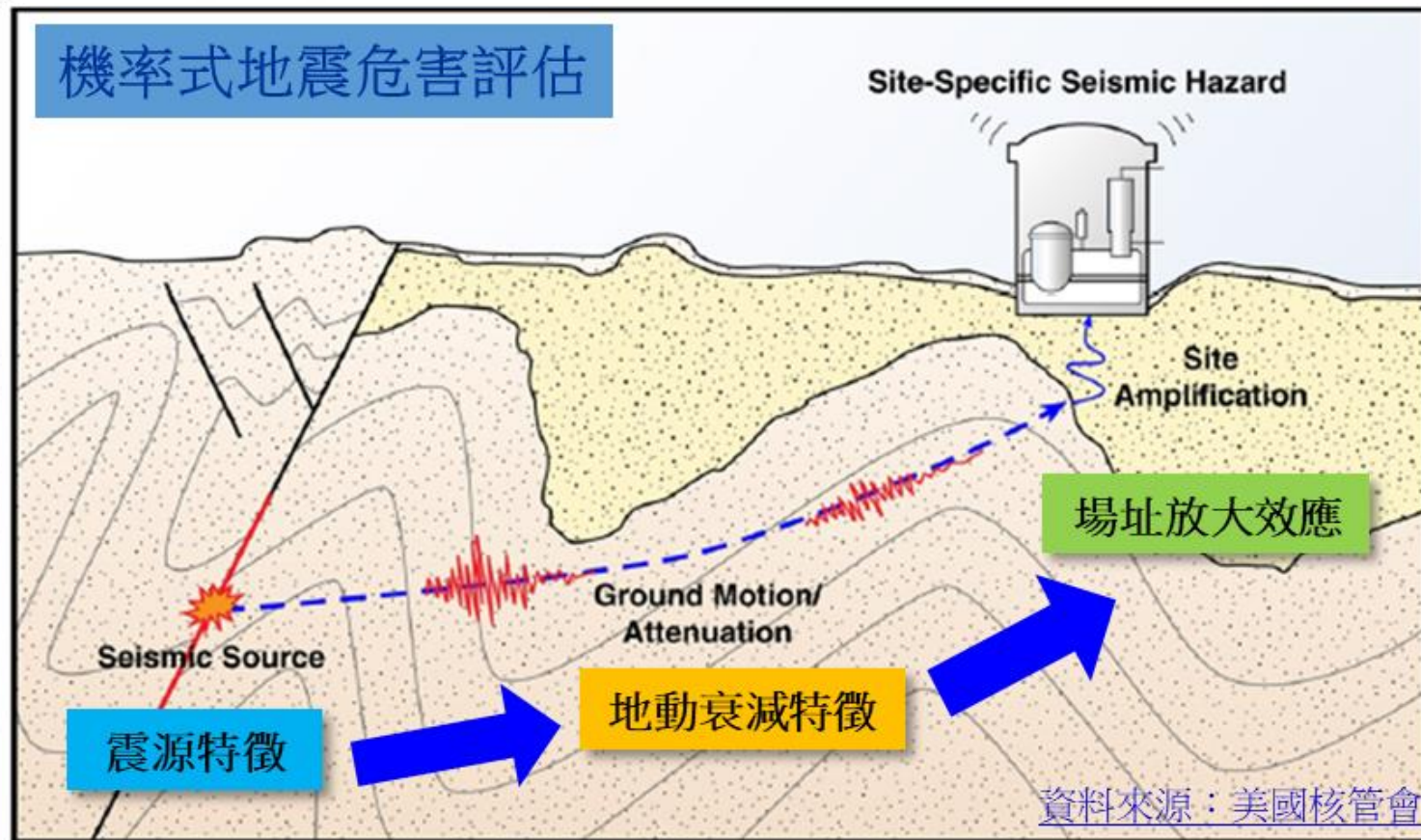
SSHAC Level 3簡介-程序

(資料來源:台灣電力股份有限公司)



SSHAC Level 3簡介-任務

(資料來源:台灣電力股份有限公司)



地震源特徵
(SSC)



地動特徵
(GMC)



建立地震動反應譜
(GMRS)

依SSHAC Level 3程序，執行機率式地震危害評估

- 依SSHAC Level 3程序，執行地震危害重新評估，期能瞭解核電廠地震動潛勢現況，包括：
 - PSHA(機率式地震危害度分析)
 - GMRS(地震動反應譜)建置
- 依EPRI(美國電力研究所)1025287(SPID)導則內容，執行地震危害再評估，考量距廠址320km內震源、地震動衰減特徵、場址放大效應等重點，提交：
 - SPID(地震危害與篩選)報告
 - ESEP(加速耐震評估程序)報告

據台電公司說明

美國法規在2007年修改以前，規定場址8公里內不能有活動斷層。後來陸陸續續新事證出來後，就把8公里內不能有活動斷層那1條拿掉，擴大到320公里內所有的震源通通進來。

110年耐震補強僅確保強震時可安全停機

■ 依SSHAC Level 3程序評估結果：

- 核一廠：不需進行補強作業。(因已實質除役)
- 核二廠：需進行5項控制盤面設備補強作業。
- 核三廠：需進行2項桶槽(冷凝水儲存桶槽、更換燃料儲存水桶槽)補強作業。

■ 110年7月，台電完成耐震補強作業，以確保強震時達成至少一串安全停機及維持圍阻體完整性等功能。

據台電公司說明

所謂的安全停機，也就是安全關斷，一般設計至少要有兩串，核二廠有兩串、核三廠有兩串。

台電的耐震補強作業，係確保強震時達成兩串中至少一串可安全停機。

921大地震PGA超過1g

- 88年921大地震，南投縣魚池鄉日月潭氣象站測得PGA989.22gal、南投縣名間鄉新街國小測站測得PGA983gal，皆已超過1g。

* PGA(最大地動加速度)：1g=980gal，「gal」是加速度的單位，1gal=1cm/sec²

- 94.12.21，內政部修正公布「建築物耐震設計規範及解說」，納入經濟部地質調查及礦業管理中心公布之第一類活動斷層，規定震區水平譜加速度必須考量近斷層效應。

★據經濟部地質調查及礦業管理中心網站說明，臺灣地區的活動斷層分為2類，但分類基礎並非等同地震潛勢或危險度高低，即斷層未來活動風險與斷層的分類並無直接相關。

★114.10.14，經濟部地質調查及礦業管理中心更新「臺灣斷層分布圖」，移除活動斷層分類。

核電廠所在區域未考量近斷層效應 已遠超過建廠時之PGA

- 核電廠鄰近之「山腳斷層」及「恆春斷層」列為第二類活動斷層，「建築物耐震設計規範及解說」尚無考量近斷層效應。
- 其最大考量水平譜加速度係數，核一廠所在之新北市石門區為0.7g、核二廠所在之新北市萬里區為0.8g、核三廠所在之屏東縣恆春鎮為0.7g。已遠超過核電廠建廠時之耐震設計基準 (核一廠0.3g、核二廠0.4g、核三廠0.4g)。

核電廠耐震補強是否足夠？

■ 諮詢委員指出

- 經過SSHAC Level 3程序，現在PGA較SSE(安全停機地震，為原始建廠設計基準值)已經提高超過**3倍**，一般耐震設計提高2成，業主就唉唉叫，3倍要怎麼處理？
- 耐震設計有2個Level，一個叫做**SSE**，能夠安全關機，另一個叫**OBE**(運轉基準地震)，原本設計SSE是0.4g、OBE是0.2g，現在SSE提高了，那OBE是不是也提高？
- 美國加州魔鬼峽谷核電廠或日本女川核電廠在地震時受損，他們為了加強整個廠房，因為還要繼續運作，所以**停機將近2年或是超過2年，就所有的管線、所有東西通過去汰換**。
- 但是，這幾十年來我們從來沒有聽過核一廠、核二廠、核三廠有停機超過1年或2年，台電公司只是年度維修停了一段時間，沒有整個去汰換、去加強，只是針對在緊急事件的時候有關機的機會。
- 其實SSE和OBE都很重要，因為**地震來的時候，如果造成前面的管線脫落或被扯斷，導致安全訊息無法傳遞，也就無法關機了**。

是否考慮系統老化及燃料棒仍在爐心？

■ 諮詢委員指出

- 通常超過40年以上，不管是爐心的緊急冷卻系統，或是燃料棒水池的冷卻系統，都有系統老化的問題。
- 雖然已經停機，用過核燃料還在爐心裡面，大部分用過核燃料也都還在水池裡，所以安全系統的要求就跟運轉一樣。安全系統的老化，會影響到地震時，它的功能可能就不一樣了。
- 冷卻池那個大管子已經40、50年，鋼筋混凝土也會老化。

先期耐震補強，僅針對安全關斷

■ 台電公司說明

- 我國核電廠在建廠設計階段，依據美國聯邦法規以及核能相關規範要求，訂定各核電廠的SSE(安全停機地震)及OBE(運轉基準地震)，分別作為核電廠安全及發電運轉之耐震設計基礎依據。OBE約為SSE的1/2。
- 各核電廠已加裝地震自動急停裝置，於測得地震強度達約OBE時，反應爐就會自動停機。各核電廠運轉以來，地震所造成之廠區地震強度均未有達到OBE情形。
- 耐震提升作業係指緊急停機的部分，SMA(耐震餘裕評估)跟ESEP(加速耐震評估程序)的補強標的都是安全停機路徑上的設備組件。針對安全關斷二串中的一串補強，叫做先期的耐震補強。

調查意見一

日本福島核災後，NRC(美國核能管制委員會)要求全美核電廠須依循SSHAC Level 3 (「地震危害分析資深專家委員會」所訂定第3層級)程序，重新評估廠址的地震危害。

104年4月，台電公司因應我國原行政院原子能委員會要求，依循SSHAC Level 3程序，委託國震中心辦理「核能設施地震危害重新評估案」，針對當時除役之核一廠，及仍運轉之核二廠、核三廠，耗資近新臺幣 5 億元，歷時超過 4 年，評估結果：各核電廠 FIRS (反應器廠房基礎輸入地震反應譜)分別為核一廠0.698g、核二廠1.272g、核三廠1.384g，遠高於3座核電廠SSE(安全停機地震)值0.3g、0.4g、0.4g。

調查意見一

台電公司雖於110年7月完成核二廠5項控制盤面設備、核三廠2項桶槽(冷凝水儲存桶槽、更換燃料儲存水桶槽)等補強作業，但表示，**僅能確保強震時可安全停機、維持圍阻體完整性等功能。**

114年10月，本院提出調查報告時，核一廠、核二廠**用過核子燃料仍在反應爐內未能退出**，而各核電廠「用過燃料池」內用過核子燃料亦需俟乾式貯存設施啟用方可移出，且**預計10年後才可完全移出**，此期間對於安全系統的要求實不亞於運轉狀態。

調查意見一

在地震風險無法預測的情況下，3個核電廠經SSHAC Level 3評估結果，於安全停機地震值大幅提高(約2~3倍)、各廠運轉超過40年之際，台電公司除針對設備組件所為的先期耐震補強作業外，尚乏對於各核電廠結構體耐震及系統老化影響等之評估，顯有安全疑慮，核有未當。

PSHA(機率式地震危害度分析)

■ 台電公司說明

- SSHAC Level 3程序所產出之SSC(地震源特徵)模型，考量各核電廠半徑320公里內之可能的地震源，包含區域震源、活動斷層與隱沒帶震源，並建置地震活動相關參數之邏輯樹與其對應之權重。

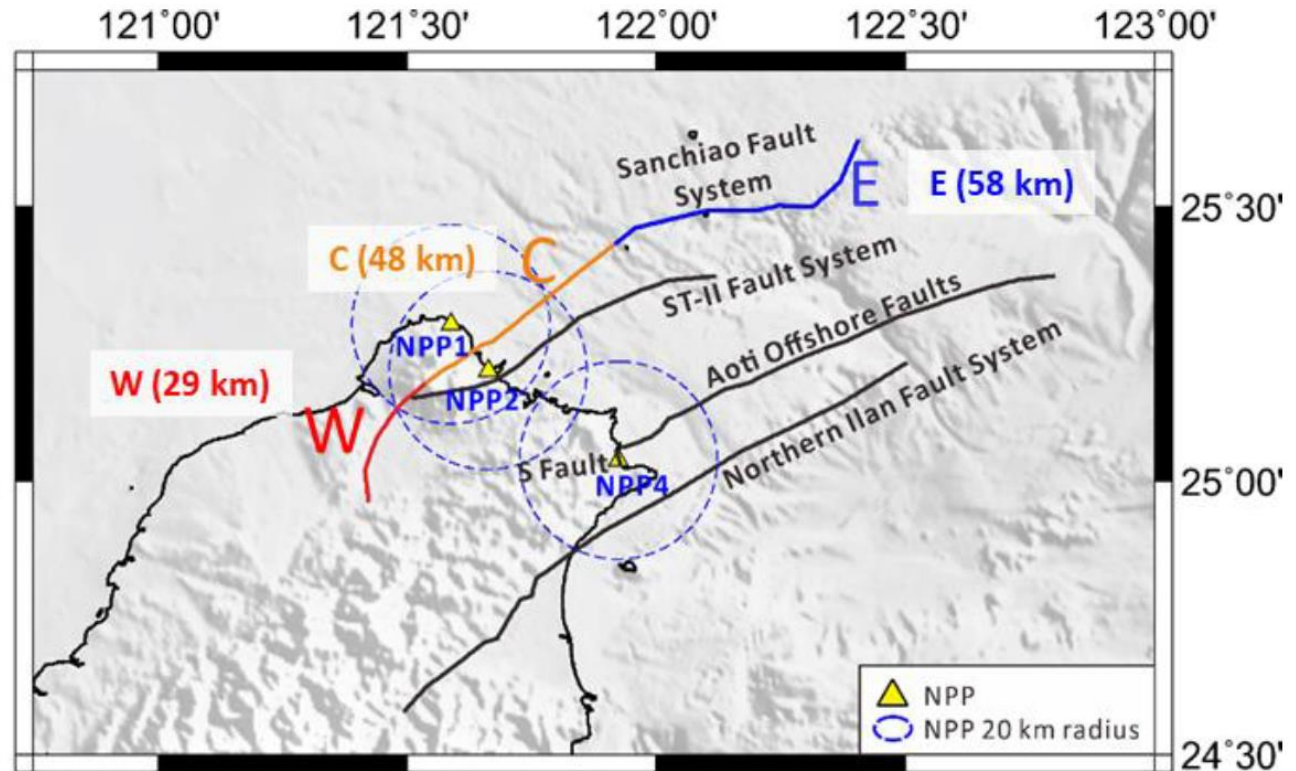
■ 核安會說明

- SSHAC Level 3程序進行核電廠PSHA(機率式地震危害評估)作業，由國內外具有豐富經驗的專家學者組成技術整合評估團隊，針對距離廠址320公里內所有可能斷層，包括山腳斷層及恆春斷層等之斷層幾何、孕震深度、錯動型式等相關資料，進行深入的專業技術討論和評估。

山腳斷層

- 經由SSHAC Level 3程序產出之SSC(地震源特徵)模型，核一廠及核二廠地震危害主要控制震源，以山腳斷層、ST-II斷層、琉球隱沒帶以及淺部區域震源為主。

- 核一廠距離山腳斷層約7公里，位於下盤側。核二廠距離山腳斷層約4.3公里，位於上盤側。
- 山腳斷層由陸域延伸至海域，分成W、C、E三段，長度分別為29、48、58公里，總長約135公里。



資料來源：台電公司「海嘯災害模擬與危害度分析工作報告書」

■ 諮詢委員說明

- 山腳斷層是一條向南南東傾斜的斷層，假定傾斜的角度45度，則山腳斷層的斷層面就在核二廠直下約4.3公里，威脅度較高。核一廠距離山腳斷層約7公里，且位於下盤側，相對的地震威脅較低。

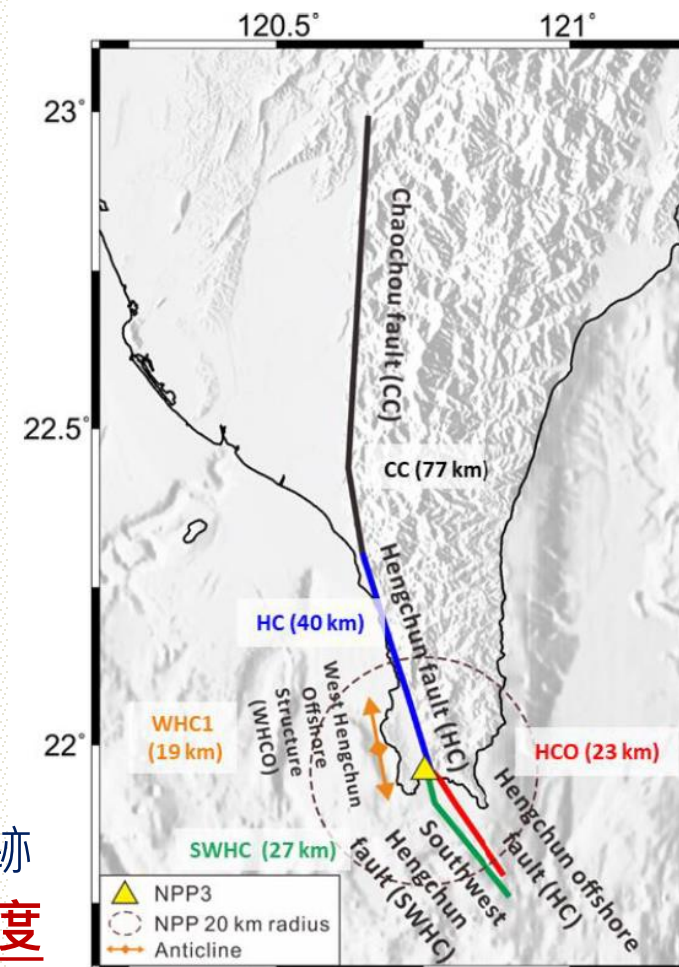
恆春斷層

■ 經由SSHAC Level 3程序產出之SSC(地震源特徵)模型，核三廠地震危害主要控制震源，以恆春斷層系統、西恆春外海構造、馬尼拉隱沒帶以及淺部區域震源為主。

- 核三廠距離恆春斷層系統約0.7公里，屬下盤側。
- 恆春斷層往深部延伸至馬尼拉隱沒帶界面上停止，孕震深度約20公里。
- 恆春斷層系統納入潮州斷層(CC)約77公里、恆春斷層陸上部分(HC)約40公里、恆春斷層海域延伸段(HCO)約23公里、西南部外海延伸段(SWHC)等分段。全長約140公里。

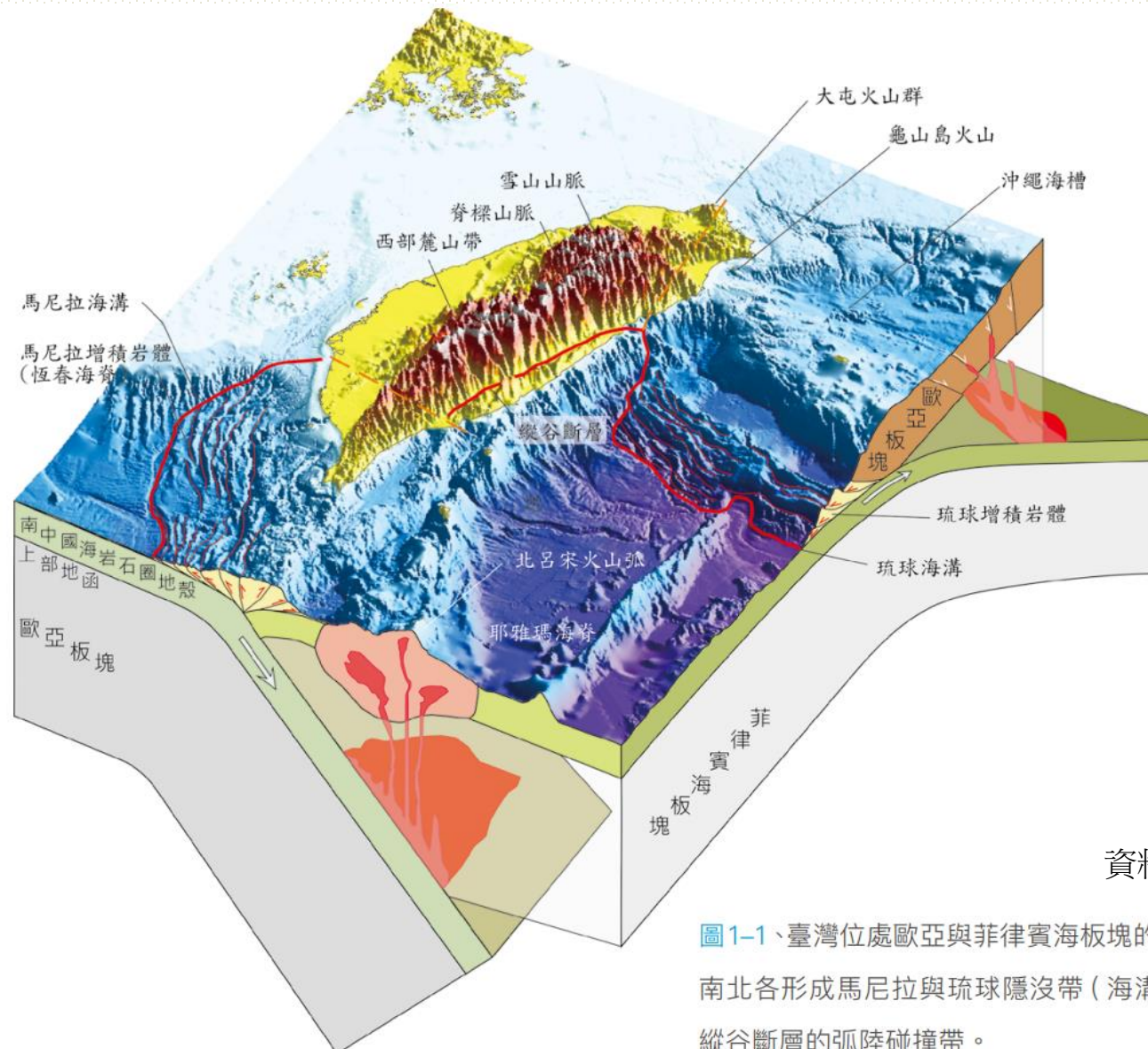
■ 諮詢委員說明

- 核三廠距離恆春斷層的活動線(上一次地震錯移的地表線跡，最可能是下一次地震錯移的位置)僅約0.7公里，威脅程度仍高。



資料來源：台電公司「海嘯災害模擬與危害度分析工作報告書」

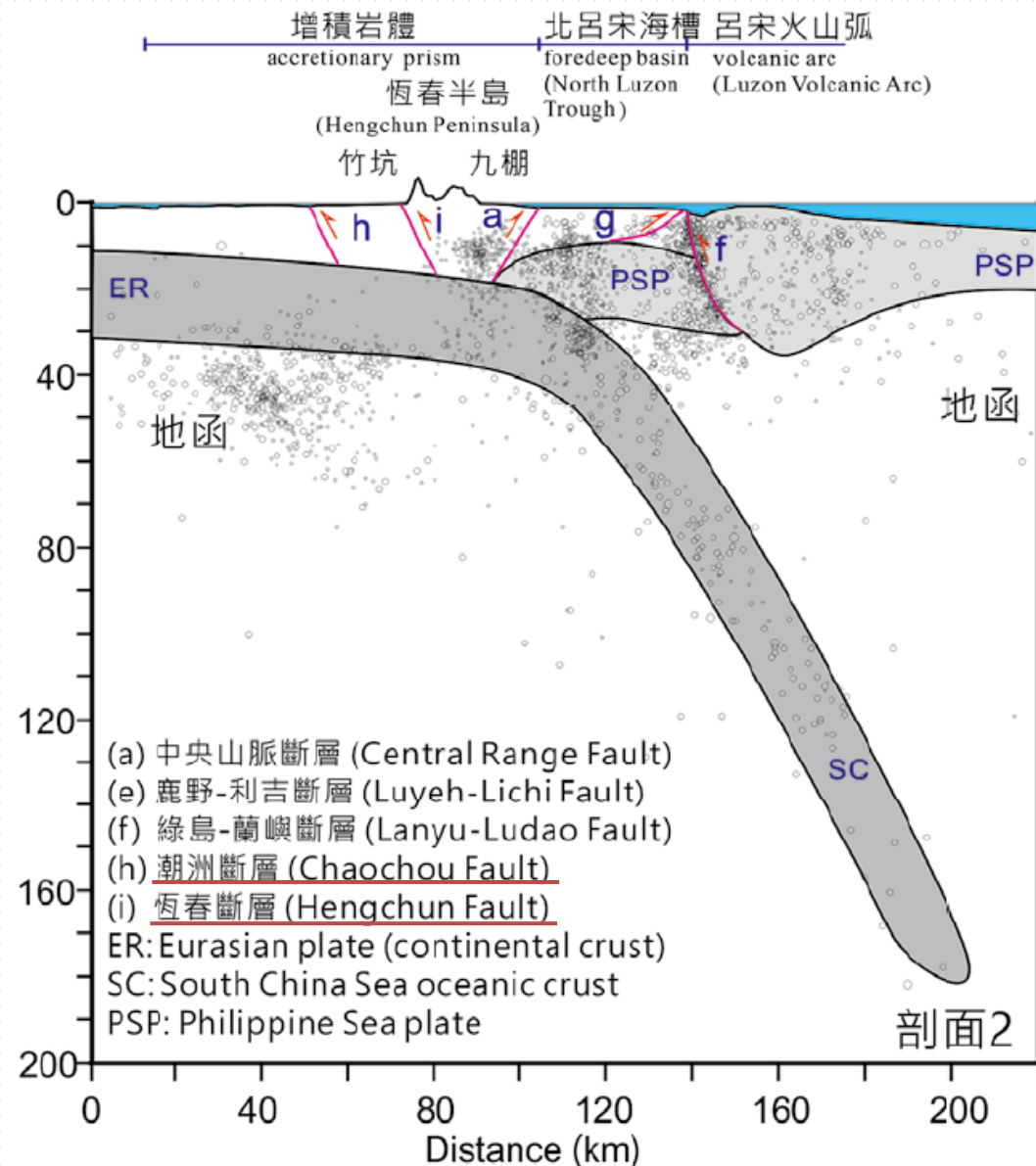
琉球海溝與馬尼拉海溝



資料來源：災防中心「臺灣地震帶」專書

圖 1-1、臺灣位處歐亞與菲律賓海板塊的聚合邊界，南北各形成馬尼拉與琉球隱沒帶（海溝），其間為縱谷斷層的弧陸碰撞帶。

馬尼拉隱沒帶的地體構造



資料來源：災防中心「臺灣地震帶」專書

歷史記載，臺灣曾發生海嘯

■ 依各核電廠地震危害與篩選(SPID)報告

- 琉球海溝長度約2,200公里，距離核一廠約65公里、距離核二廠約55公里。
- 馬尼拉海溝長度約620公里，距離核三廠約13公里。

■ 據報載，交通部中央氣象署表示，日本「地震研究推進本部」預估，**未來30年內**，(南海海槽)**約有80%機率會發生規模8至9的大地震**。如果引發海嘯，臺灣的沿海地區確實需要防範海嘯的影響，特別是**基隆北海岸**，宜蘭沿岸。

■ 交通部中央氣象署有關「臺灣歷史海嘯」資料

- **1867.12.18**，**臺灣北部地震**：基隆地區沿海山傾地裂，全市房屋倒壞，死者數百人，基隆港海水向外海流出，港內海底露出，瞬間巨浪捲進，船隻被沖上市內，釀成重大災害，處處發生地裂；淡水地區也有地裂、海嘯等現象，數百人被淹死，房屋部分倒壞。此紀錄為目前確定為因**臺灣近海地區地震**所引發之災害性海嘯。
- **2006.12.26**，**恆春西南外海地震**：恆春出現0.61公尺波高。

美國地質調查局警告 馬尼拉海溝發生錯動機率很高

■ 諮詢委員指出

- 最清楚的就是西元1867年基隆海嘯。根據歷史記載，核二廠的山側有一處聚落叫八斗仔，標高已經是12-14公尺，這個聚落是被海嘯淹到的。
- 核三廠外海的馬尼拉海溝已被美國地質調查局警告是全世界發生錯動機率很高的一條斷層，海溝型地震一旦發生就會引起大海嘯，最嚴重的就是沿海。
- 會引起海嘯的震源都在海底下，通常是海溝型地震。鄰近臺灣的海溝，一是琉球海溝，由花蓮縣外海向東延伸，再轉向東北與日本的南海海槽連接。另一是馬尼拉海溝，由臺南外海向南延伸，是位在菲律賓西方南海的海溝。
- 海溝以外的海底斷層錯動也會引起海嘯。西元1867年的基隆大海嘯即由山腳斷層在海底的部分錯動引起。不過這種斷層長度不很長，引起的海床錯動距離較小，海嘯的影響範圍也較小。

完整的地震危害度評估 必須進行地震相關地質災害評估

■ 諮詢委員意見

- 一個完整的地震危害度評估除了提供動力分析用的反應譜及加速度歷時外，仍必須進行地震相關地質災害評估，包括：主要斷層錯動及次要斷層位移，地面隆起、傾斜及下陷等地盤變形，山崩及土石流危害，砂土液化或黏性土軟化，及海嘯溯高等。
- 目前完成的SSHAC Level 3，最後輸出的就是基礎面上的反應譜，接續的ESEP(加速耐震評估程序)及SPRA(機率式地震安全度評估)也只用了反應譜做輸入，而未使用地震加速度歷時輸入結構動力分析，也未進行地震相關地質災害的評估(這些隨著地震而來的地質災害也有可能會讓反應爐失控及造成核災)。

調查意見二

臺灣位處板塊交界，又在環太平洋地震帶上，斷層密布、地震頻繁，據SSHAC Level 3程序產出之SSC(地震源特徵)模型，山腳斷層由陸域延伸至海域，全長約134公里(超過車籠埔斷層)，距離核一廠約7公里、距離核二廠約4.3公里；恆春斷層包括外海斷層，全長約140公里，距離核三廠僅0.7公里。

據歷史記載，山腳斷層、恆春斷層臨近之基隆、恆春皆曾有海嘯紀錄。

調查意見二

海溝型地震極易引起海嘯，據查，琉球海溝距離核一廠約65公里、距離核二廠約55公里；馬尼拉海溝距離核三廠約13公里。

馬尼拉海溝被美國地質勘探局警告是全世界發生錯動機率很高的一條斷層，另據日本「地震研究推進本部」預估，與琉球海溝連接的南海海槽，未來30年內，約有80%機率會發生規模8至9的大地震。

因此，大海嘯對核電廠的威脅實不可輕忽，允宜妥為因應，俾周延檢視其整體耐震安全性。

調查意見二

台電公司雖持續執行核二廠、核三廠SPRA(機率式地震安全度評估)併同行審查送核安會審查，惟伴隨地震而來的地質災害(例如山崩及土石流危害、砂土液化或黏性土軟化、海嘯溯上高度等)亦有可能造成核災。

緣是，除SSHAC Level 3程序已評估之各核電廠半徑320公里內可能的地震源外，亦宜妥為評估各核電廠地震相關地質災害。

立法院修正《核子反應器設施管制法》第6條 給予重啟核電廠之法源依據

- 《核子反應器設施管制法》於114年5月23日修正公布第6條，將核電廠運轉期限延長至60年，給予重啟核電廠之法源依據。
- (第2項)前項運轉執照之有效期間最長為40年，期滿須繼續運轉者，經營者得於執照有效期間屆滿前向主管機關申請換發執照。未依規定換發執照者，不得繼續運轉。
- (第3項)運轉執照有效期間屆滿後，須再繼續運轉者，經營者得向主管機關申請，經主管機關確認核子反應器設施無安全顧慮並審核同意換發執照後，始得繼續運轉。
- (第4項)運轉執照之核發及換發，準用前條第1項各款規定；換發之運轉執照，其有效期間自執照生效日起算，最長為20年；其申請應備文件、審核程序及其他應遵行事項之辦法，由主管機關定之。

各核電廠皆已屆期除役 無法延役，只能重啟

■ 核安會說明

- 目前核電廠各部機組運轉執照均已屆期，皆進入除役期間。
- 如果要**重啟**，要把除役的機組狀態先恢復到運轉狀態，如果要繼續再運轉，還要進一步評估未來**延長運轉**期間的安全、老化一些效應，確保延長期間，機組可以安全的運作。
- 據了解，目前美國有3部原進入除役之核能機組申請重啟恢復運轉，美國核管會正進行審查。該等機組停機後重啟所需時程，則視各電力公司辦理各項安全評估、設備安檢與必要的更新、停機機組恢復到運轉期間營運狀態，以及管制機關執行安全審查所需時間而定。

■ 經濟部說明

- 我國3個核電廠，已經沒有所謂的延役，因為它不是在役中，也不是在運轉中，它原來的使用執照、許可執照都已經屆期了，所以未來適用的狀況是重啟。

未來若要重啟，最大的挑戰是「結構」

■ 台電公司說明

- 核一廠因主發電機、氣渦輪發電機、輸電線路等多項關鍵設備已拆除，已不具備延役或重啟之技術條件，為**實質除役**電廠。
- 核二廠及核三廠重啟必須在符合嚴格法規、安全技術標準、環境及健康風險可控之前提下，由主管機關核准，並需經過完整之評估、測試與民眾溝通程序，以確保核電廠能安全穩定運行。
- 後續仍需待主管機關**修訂子法及相關核安檢查要求事項**，方能進行評估相關事宜。
- 耐震提升作業係指緊急停機的部分，SMA(耐震餘裕評估)跟ESEP(加速耐震評估程序)的補強標的都是安全停機路徑上的設備組件。
- 未來如果要重啟，最大的挑戰是在結構，因為所有的設備幾乎都架構在建築的結構上面，結構如果夠強，設備補強很容易，如果最後決定核三廠要重啟，我們還要再做進一步的補強。

調查意見三

《核子反應器設施管制法》雖於114年5月23日修正公布第6條將核電廠運轉期限延長至60年，給予重啟核電廠之法源依據。

目前各核電廠運轉執照均已屆期，皆進入除役期間，已無延役可能性。

倘若有重啟之需要，自應根據SSHAC Level 3程序所完成之評估報告，進行風險溝通，以免引發爭議，並依法向主管機關核安會申請，經該會確認核子反應器設施無安全顧慮並審核同意換發執照後，始得繼續運轉。

處理辦法

- 一、調查意見，函請台灣電力股份有限公司、核能安全委員會確實檢討改進見復。
- 二、調查報告全文經委員會討論通過後公布。
- 三、檢附派查函及相關附件，送請財政及經濟委員會、教育及文化委員會聯席會議處理。