

安全審查報告

送審單位	台灣電力公司
報告名稱	核一廠機率式斷層位移危害 度分析總結報告

核能安全委員會核安管制組

中華民國 113 年 11 月

摘 要

台電公司因應核能安全委員會(組改前為行政院原子能委員會，以下簡稱本會)核安總體檢第二階段核能管制要求，針對山腳斷層的影響進行機率式斷層位移危害度分析與評估。在本會專案審查小組針對該報告之內容進行檢視與嚴格執行安全審查後，確認符合要求。

有鑑於福島事故之經驗，以及本會邀請經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)獨立專家小組進行同行審查辦理結果，本會要求台電公司就山腳斷層對核一廠廠區之影響進行機率式斷層位移危害度分析，並利用分析結果判斷山腳斷層對核一廠廠區的潛在影響。

台電公司依本會福島管制案要求提交「核一、二廠機率式斷層位移危害度分析總結報告(核一廠部分)」，經本會專案審查小組進行審查後確認：(1)地震法分析中，核一廠核島區與緊要海水泵室範圍內，地震再現周期 10,000 年與 100,000 年下之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響；(2)精進地震法分析中，核一廠核島區與緊要海水泵室範圍內，地震再現周期 10,000 年與 100,000 年下之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響。

總結台電公司「核一、二廠機率式斷層位移危害度分析總結報告(核一廠部分)」之審查結果，審查小組認為可以接受。

目 錄

第一章 前言	1
第二章 地震法機率式斷層位移危害度分析	3
第三章 位移法機率式斷層位移危害度分析	10
第四章 精進地震法機率式斷層位移危害度分析	17
第五章 審查總結	30
參考文獻	31

第一章 前言

一、本案緣起

有鑑於 2011 年日本 311 福島事故經驗教訓，本會邀請經濟合作暨發展組織核能署 (Organization for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, OECD/NEA)獨立專家小組針對我國核能電廠壓力測試結果之國家報告進行同行審查工作，該審查工作已於 102 年 3 月 15 日完成，並提出審查之技術觀察與建議。

OECD/NEA 同行審查報告第 2.3.3 節：「當斷層非常接近核能電廠結構物時，除了震動性地動(藉由機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)計算)相關危害外，地震危害分析亦須包含斷層位移危害分析，以評估錯動造成的地表位移對核能電廠結構、系統與組件(Structures, Systems, and Components, SSCs)安全性的潛在影響。美國核能管制委員會 10 CFR 100 附錄 A 與國際原子能總署安全導則 SSG-9 明確提出此議題。就位移危害而言，北部的山腳斷層及南部的恆春斷層是位於可能影響核電廠的距離內，由台電公司提出的調查顯示，台電公司對斷層需調查的特性以及達到目的之方式均有良好的瞭解，然而，對斷層特性瞭解之預期僅限於納入 PSHA 之結果，且目前並未有個別的斷層位移危害分析」，並提出技術觀察，應該執行斷層位移危害分析，隨後本會將其列為核安總體檢第二階段核能管制項目之一。

綜上，為確保核能電廠在斷層位移可能引發的各種情況下仍可安全營運，本會要求台電公司針對山腳斷層對核一、二廠廠區之影響進行機率式斷層位移危害度分析，利用分析結果判斷山腳斷層對核一、二廠廠區的危害性。本機率式斷層位移危害度分析 (Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis, PFDHA)分兩階段進行，第一階段為地震法(Earthquake Approach)，採用現有文獻資料以及現地勘查成果，進行場址之斷層位移分析；第二階段為位移法(Displacement Approach)，針對

欲了解之斷層場址進行古地震調查，以獲得斷層相關參數來進行場址之斷層位移分析。然因核一廠廠址區域無斷層構造存在，且建廠時期已將可供分析之古地震事件材料移除，無法獲得可靠之近期活動參數，故經評估後選擇於山腳斷層之二子坪場址(TRSC-1)、磺溪頭場址(TRSC-2)及ST-II 線型之二坪尾場址(TRNP2-1)進行古地震調查，且不進行位移法分析，而改採更新第一階段地震法分析參數後，再次以地震法分析核島區之斷層位移危害度，稱為精進地震法。

二、審查過程

台電公司提出「核一、二廠機率式斷層位移危害度分析總結報告」，因核一、二廠分別坐落山腳斷層的下盤和上盤以及山腳斷層之間距離差異，且核二廠機率式斷層位移危害度分析之位移法尚待補充地質調查釐清，本會要求將機率式斷層位移危害度分析報告依各核電廠分別提送，台電公司遂提交「核一、二廠機率式斷層位移危害度分析總結報告(核一廠部分)」，經本會完成程序審查之後，即邀請國內相關領域專家組成專案審查小組，進行專業審查作業。本會共計召開「核一廠機率式斷層位移危害度分析總結報告」二次審查會議及辦理二次書面審查，共提出 52 項審查意見。台電公司完成審查意見答覆並提出修訂版報告，經本會審查小組審查後，確認已無後續審查意見。

經完成上述審查過程後，本會提出台電公司「核一、二廠機率式斷層位移危害度分析總結報告(核一廠部分)」之安全審查報告。本安全審查報告分為五章，第一章為前言，第二章為地震法機率式斷層位移危害度分析，第三章為位移法機率式斷層位移危害度分析，第四章為精進地震法機率式斷層位移危害度分析，最後第五章說明審查總結。

第二章 地震法機率式斷層位移危害度分析

一、概述

本章說明台電公司核一廠評估報告中地震法機率式斷層位移危害度分析之審查內容。地震法分析之基本理論與分析程序，與 Cornell(1968)提出之機率法地震危害度分析程序相同，依據 Cornell 理論以及 Youngs 等人之研究成果(Youngs et al., 2003)，場址特定時間範圍內因斷層造成特定位移量之機率，與斷層之地震發生次數、地震規模分布、斷層破裂至場址最短距離、場址是否因地震造成位移之機率等因素有密切關係。因此地震法分析，首先需決定分析所需使用之參數與模式，參數與模式可由文獻回顧以及現地勘查之成果決定；其次決定分析所採用之邏輯樹，由於資料數量以及現今科學對斷層與地震認知無法涵蓋所有資訊，因此採用邏輯樹方式考慮其不確定性與評估各種可能性；最後進行斷層位移危害度分析。

地震法之分析震源，採用台電公司「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」中所定義山腳斷層全段(含海域段)、山腳斷層北段(含海域段)，及山腳斷層南段。前述計畫針對山腳斷層相關震源參數已進行詳細的討論，且地震法分析時並無斷層參數之新事證，故採用該計畫之相關震源參數與模式進行位斷層移危害度分析。

地震法分析範圍涵蓋核一廠整個核島區與緊要海水泵室，分析以核一廠 1、2 號機反應器廠房連線中點為中心，採用 100m×100m 區塊將核島區分為數個區塊，危害度分析針對反應器廠房連線中點、每一區塊角隅點以及緊要海水泵室角隅點進行。分析所得之位移量為因斷層錯動所造成之地表破裂處，破裂兩邊之相對位移量。分析結果包含(1)反應器廠房連線中點之位移危害度曲線，可提供不同再現周期下之位移量；(2)核島區各分析點之位移量；(3)緊要海水泵室之位移量。依 RG 1.208 之內容，機率式地震危害度分析(PSHA)有關 SSE(Safe Shutdown

Earthquake)，提供年超越頻率(Annual Frequency of Exceedance)為 0.0001(再現周期 10,000 年)以及 0.00001(再現周期 100,000 年)之分析結果。本案機率式斷層位移危害度分析，同樣提供再現周期 10,000 年與再現周期 100,000 年之分析結果。

二、審查情形

台電公司評估報告的地震法分析方法與成果，主要是描述地震法機率式斷層位移危害度分析的分析方法、分析參數、分析邏輯樹、各項機率函數以及分析結果。針對地震法內容，審查小組審查情形彙整如下：

有關地震法分析方法等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 3-01-3 頁之年平均發生次數 $v(d)$ 公式，未給 m_i 規模之下限， m_i 之上限數學符號全文應一致。(2)由於歷史地震記錄的不完整，可能無法回溯久遠前發生的大地震，或者最大地震尚未發生。 m_u (震源可能發生之最大地震規模)及 $N_n(m_0)$ -震源 n 大於規模 m_0 之年地震平均發生率，這二個參數如何決定，如何影響結果，請用比較淺顯易懂文句說明。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)年平均發生次數 $v(d)$ 公式修正為 $v(d) = \sum_{n=1}^N \sum_{m_i=m_0}^{m_{\max}} \lambda_n(m_i) \sum_{r_j=0}^{r_j^{\max}} P_n(R=r_j|m_i) P_n(\text{Slip}|m_i, r_j) P_n(D>d|m_i, r_j, \text{Slip})$ ，並一併修正報告相關內容。(2)本計畫中最大地震規模係由斷層幾何(長度、面積)與地震規模之經驗公式計算；地震之年平均發生率 $N_n(m_0)$ 則由斷層活動時之地震矩除以每年規模 m_0 (危害度分析所考量之地震規模下限，一般選取為 4.5)以上地震之總地震矩得到。兩者皆影響最後分析所得之年超越率，當最大規模愈大，場址發生地表破裂且位移量超過特定值之機率愈大；地震年平均發生率愈大，即地震發生之數量愈多，則累積之超越機率愈大。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法震源參數等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 3-02-3 頁之地震規模分布機率密度函數圖，應標明特徵地震平台下限。(2)說明報告第 3-02-2 頁之一般區域震源和斷層震源的差異以及為何採用

不同的分布模式。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)已修改如地震規模分布機率密度函數圖。(2)當地震發生與已知斷層或孕震構造相關，則可劃為斷層震源；而若地震無法與區域內已知之斷層或構造連結，則劃為區域震源。採用不同的分布模式為依據觀測之統計分析結果。傳統上，依據 Gutenberg & Richter (1956)之研究，任一地區地震規模與發生數量之關係為指數分布。因斷層或孕震構造之地震規模有上限，G-R 分布需設定終止之規模以反映此現象，乃有其後修正為截切指數分布。最早提出之文獻為 Cornell, C. A, & Van Marke, E. H. (1969)。Youngs & Coppersmith (1985)之研究則發現，對於特定斷層除了會發生頻次符合 G-R 分布之地震外，亦會重複發生在某個地震規模範圍之地震，其頻次高於 G-R 分布之預測值之相近規模之地震，即特徵地震模式。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法分析參數等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 3-02-4 頁中第 9 項之說明「一般假設斷層破裂至場址最短距離機率密度函數為平均分布」有誤，請修正。(2)報告第 2-03-22 頁所述山腳斷層南段精密水準測量的變動速率為-11.2~-25.9 mm/yr，和其它資料求得的速率(< 2 mm/yr)差異甚大。文中解釋下陷量可能與未固結沉積物之壓密作用、高密度人為活動或斷層活動有關。請附上參考文獻說明這些因子對下陷速率的影響。此區有詳細的地質調查，應說明未固結沉積物最厚的地方是否和下陷量大的地方吻合。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)已修改本段文字為「一般假設於沿斷層面各點破裂之機率相同，其機率密度函數為均勻分布」。(2)此變動速率說明係摘自經濟部中央地質調查所淡水至士林測線與五股至臺北測線水準測量成果，該報告說明該區域位於基隆河與淡水河的匯流處，屬於河流下游沙洲的一部分，此明顯變化應與該區域因地表未固結岩體之壓密與固結岩體之排水結合高度人為活動，以及部分斷層活動而產生的

地表沉陷有關。重新檢視上述可能造成下陷速率之因子，從地質鑽探岩心、觀測井之地下水位記錄、永久散射體差分干涉法(Persistent Scatterers InSAR, PSInSAR)、水準測量以及全球衛星定位系統等，比對不同時期之沉陷量變化，顯示此沉降量之成因可能來自於超抽地下水所致。此外，比對此區沉降位置與臺北盆地基盤深度最深的位置相互對應。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法邏輯樹分析等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 3-03-2 頁中，下列這段文字的描述宜再說明：“本階段在無新調查事證之情況下，地震法分析所需參數與機率式地震危害度分析相同部分，仍採用「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」中提供之參數”，並說明「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」是何時完成的報告，以及和本報告工作項目的差異，但如果所有的參數都由前面的計畫提供，本報告和前面計畫的結果有何不同？(2)報告第 3-03-3 頁之發震滑移速率(seismogenic slip rate)定義不明，地震發生時斷層破裂到地表可能產生地表位移量，報告中所指的發震滑移速率是指同震斷層滑移量除以地震再現周期嗎？如果是請加註說明。另外，模型只考慮和斷層走向垂直的分量，山腳斷層完全沒有走滑分量嗎？

台電公司第 1 次答覆說明：(1)「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」總結報告完成於民國 102 年 4 月，係台電公司應本會要求執行之「核能電廠耐震安全再評估精進作業」之一部份工作，其中之機率式地震危害度分析(PSHA)中已針對震源模型進行調查研究並定出參數。由於機率式斷層位移危害度分析(PFDHA)中之地震法(Earthquake magnitude approach)源自 PSHA，差別為 PSHA 考慮的是地動之超越機率，而 PFDHA 則考慮位移之超越機率，因此本計畫於民國 103 年底開始時，第一階段之地震法機率式斷層位移分析所需之震源參數部份，即引用前述計畫之成果。(2)報告中所稱「發震滑移速率」係專指斷層活動時與地震同時產生之滑移之速率，其估算的確為斷層滑移量除以

地震再現周期，將於報告中補充說明。本計畫考量山腳斷層具走向滑移分量之正斷層，垂直滑移速率將配合斷層傾角(dip)及滑移角(rake)計算總滑移速率。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法位移量計算公式等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 3-04-3 頁中利用 Petersen et al. (2011)既有尺寸進行尺寸更動之公式轉換，請繪圖顯示 $(Pn)_{200 \times 200} / (Pn)_{100 \times 100}$ 和 $(Pn)_{25 \times 25} / (Pn)_{100 \times 100}$ 與震源距離之關係，以觀察設定倍數之合理性。(2)報告第 3-04-3 頁中提到「推估尺寸 500m×500m 之標準偏差約為尺寸 100m×100m 之 1.1 倍」，請說明其合理性。(3)報告第 3-04-3 頁繪圖顯示 Petersen et al. (2011)的標準偏差與尺寸 25m、100m、200m 之關係，以及外插至 500m 之點，以觀察 1.1 倍之合理性。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)將近斷層(1~10km)場址不同網格尺寸之次要位移機率比作圖顯示，其中 200×200m 網格與 100×100m 之發生機率比由 1km 處之 2 漸降至 10km 處之 1.44；25×25m 網格與 100×100m 之發生機率比由 1km 處之 0.25 漸降至 10km 處之 0.18，顯示本計畫將 100×100m 網格之發生機率訂為 500×500m 網格之 0.2 倍應尚合理。(2)報告已修正為「推估尺寸 100m×100m 之標準偏差約為尺寸 500m×500m 之 1.1 倍」。本計畫假設 Youngs et al.(2003)公式於網格尺寸減小時，其對於場址次要位移發生機率改變之趨勢與 Petersen et al.(2011)公式一致。將 Petersen et al.(2011)公式內不同網格尺寸之標準偏差值對網格尺寸進行迴歸並外插至 500×500m 網格。取 Petersen et al.(2011)公式 100×100m 網格與 500×500m 網格之標準偏差值倍率(約 1.1)，作為計算 Youngs et al.(2003)公式 100×100m 網格標準偏差值之依據。(3)由 100×100m 網格標準偏差值與外插至 500m×500m 網格之標準偏差值之比。以 100×100m 網格標準偏差值(約 1.09)除以 500m×500m 網格之標準偏差值(約 0.93)所得之比值(約 1.17)，顯示本計畫採 1.1 倍應尚合理。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法次要位移發生機率等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明報告第 3-04-4 和 3-04-5 頁中，Youngs et al. (2003)次要位移發生機率比較圖和不同公式相同尺寸(100m×100m)機率比較圖之規模為何？(2)說明報告第 3-04-6 頁中，次要位移之斷層位移預測公式(Fault Displacement Prediction Equation, FDPE)的機率分佈模式為何？(3)說明報告第 3-04-6 頁中，PFDHA 是否考慮最大位移量與平均位移量預測公式的不確定性？(4)報告第 3-04-6 頁中最大位移量與平均位移量預測公式的 AD/MD 與規模有關，但 Wesnousky (2008)之 $AD/MD = 0.41$ (報告採用值)，兩者不一致，請說明。(5)說明報告第 3-04-1~6 頁中，邏輯樹中各項分支的權重是否有客觀的方法決定？並補充說明決定權重的大原則為何？本案為 PFDHA，邏輯樹應有獨立檢視與判斷的過程，不能僅說明和其它報告的值一致。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)所述 Youngs et al. (2003)次要位移發生機率比較圖和不同公式相同尺寸(100m×100m)機率比較圖之規模為 $M_w 7$ ，已於報告中補述。(2) Petersen et al. (2011)公式中 $\ln(d)$ ，及本計畫修正後 Youngs et al. (2003)公式內 $\ln(d/MD)$ 與 $\ln(d/AD)$ 均為常態分布。(3)因於計算地震規模時已考量規模之不確定性，為免重複考量造成過於保守之結果，故此處不再考慮不確定性。當地震規模接近上限時，若考慮主要破裂之最大位移量(MD)或主要破裂之平均位移量(AD)預測公式不確定性，將造成推算之 MD 或 AD 過於保守，超過實際可能發生者。(4) Wesnousky (2008)之 AD/MD 僅用於調整 Youngs et al.(2003)公式之係數 $C1$ ，使其可用於計算 d/AD ，實際計算 AD 時仍採用 Wells and Coppersmith (1994)之公式。將本計畫第一、二階段各特徵地震規模下之 AD/MD 整理計算，其平均值約為 0.75。故以 Wells and Coppersmith (1994)公式計算之 AD 用於本計畫修改後之 d/AD 公式，其計算出之位移量較大，相對較為保守。(5)有關本計畫權重決定方式有幾種：對於斷層寬度、滑移速率、最大規模等參數，係由其各自值之分布範圍取累積機率分布

10%、50%及 90%值，各給予權重 0.3、0.4 及 0.3；對於地震規模分布模型、場址發生位移機率及場址位移預測公式等，係依據模型適用性，給予不同之權重；其他如滑移速率分配模型等，則給予等權重。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震法位移危害度分析等議題，審查小組提出審查意見：報告第 3-05-2 頁中核一廠危害度分析範圍劃分示意圖，緊要海水泵室之區塊尺寸為何？

台電公司第 1 次答覆說明：緊要海水泵室之區塊(基礎版)尺寸為 134' x45' (即約 40.8m×13.7m)，精進地震法分析時採 50m×50m 網格進行分析，應屬合宜。經審查答覆內容後，可以接受。

三、審查小結

綜合審查小組對本章審查後，確認台電公司評估報告地震法之分析方法、分析參數、機率函數與公式，對核一廠整個核島區與緊要海水泵室進行地震法斷層位移危害度分析，在地震再現周期 10,000 年與 100,000 年下之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響。

綜合審查小組對本章審查結果，核一廠機率式斷層位移危害度分析之地震法分析結果，經審查可以接受。

第三章 位移法機率式斷層位移危害度分析

一、概述

本章說明台電公司核一廠評估報告中位移法機率式斷層位移危害度分析之審查內容。台電公司辦理核一廠機率式斷層位移危害度分析，在位移法機率式斷層位移危害度分析，針對欲了解之斷層場址進行古地震調查，以獲得斷層相關參數來進行場址之斷層位移分析。經評估地表地質、既有地質調查成果與建廠前調查等相關資料，核一廠廠址區域並無斷層構造存在。此外，核一廠建廠時於核島區進行之整地工作，已將可供準確分析與定年古地震事件之材料移除(地層年代小於五萬年)，若於此條件下進行核島區之槽溝開挖，仍無法獲得可靠之近期活動參數，故經評估後選擇 3 處(山腳斷層 2 處、核二廠周圍 1 處)進行槽溝開挖調查，分別為 TRSC-1 二子坪場址、TRSC-2 礮溪頭場址和 TRNP2-1 二坪尾場址。

另依據 Youngs et al. (2003)提出之位移法機率式斷層位移危害度分析之分析程序，核島區位移法機率式斷層位移危害度分析，須利用核島區之古地震調查成果取得分析參數。由於古地震調查場址並不位於核島區，因此古地震調查成果無法提供核島區進行位移法機率式斷層位移危害度分析使用，僅能就山腳斷層之 TRSC-1、TRSC-2 場址與 ST-II 線型之 TRNP2-1 場址進行位移法分析。

由於核島區屬於斷層錯動造成之次要位移區域，而山腳斷層或 ST-II 線型為斷層錯動之主要位移區域，故核島區之斷層位移危害度，如直接引用山腳斷層或 ST-II 線型之位移法分析成果，將導致核島區之斷層位移危害度過度保守；再者，若將核島區之斷層位移危害度，利用山腳斷層或 ST-II 線型主要位移區域之位移分析成果，配合地震法分析之次要位移預測公式進行推估，由於目前並無任何此種混合分析方法之實際案例，因此不採用此分析方法。經討論後，本階段不進行核島區位移法

機率式斷層位移危害度分析，而是以古地震調查成果更新第一階段地震法分析參數後，再次以地震法分析核島區之斷層位移危害度分析，採用更新參數之地震法分析稱為精進地震法分析，精進地震法分析參數與成果於下一章節說明。

二、審查情形

針對位移法斷層位移危害度分析，審查小組審查情形彙整如下：

有關古地震探查項目等議題，審查小組提出審查意見：報告第 4-04-1 頁中，槽溝開挖可調查古地震，但 TRSC-2 開挖深度為 2 m，在此開挖的意義為何？

台電公司第 1 次答覆說明：斷層不同位置具有之不同位移量，其隨斷層前端最大位移區域(公尺級)向兩側遞減至末端最小位移量(公分至數十公分級)。而此槽溝位置則位於山腳斷層北段南側末端最小位移量區域，雖然僅兩公尺深之開挖，應可記錄到公分級或數十公分級位移量之多次古地震事件。山腳斷層北段既有鑽探資料結果顯示，斷層沿線之斷距有由南向北增加的趨勢，顯示山腳斷層北段位移量由北向南遞減，南端位移量相對較小。本計畫古地震調查獲得之資訊包括斷層活動性、事件發生時間與間隔、事件滑移量、斷層傾角、滑移角及滑移速率等，其中可用於後續分析者為斷層傾角、滑移角及滑移速率等 3 參數。此 3 參數中，斷層傾角、滑移角由槽溝開挖相關調查中得到，滑移速率則由地質鑽孔資料、大地量測及全球定位系統(Global Positioning System, GPS)資料，及本計畫針對火山熔岩流與海底地形重建獲得之滑移量及年代資訊推估而得。

針對台電公司第 1 次答覆說明，審查小組提出第 2 次審查意見：指出槽溝開挖是否可記錄多次古地震事件取決於開挖的深度和先前古地震事件的滑移量。另外，斷層錯動時不一定每次的滑移量在斷層上的空間分佈皆相同，有時最大錯動量在斷層的末端(e.g. 車籠埔斷層)，有

關山腳斷層的描述“前端最大位移區域(公尺級)向兩側遞減至末端最小位移量(公分至數十公分級)”，需要更多證據。如同答復“惟因可能存在未於開挖槽溝內留下跡證或未被觀察到之事件及部份事件年代資料不足”，對於山腳斷層每次破裂的滑移行為應無法做出明確結論。

台電公司第 2 次答覆說明：斷層錯動時確實不一定每次滑移量在斷層上空間分布均相同，以本計畫調查標的山腳斷層而言，其北段陸域部分最大錯動量位於北端(金山平原之錯動量依據台電公司 2012 調查成果可知，受剪切作用的南港層深度相差逾 500 公尺)，往南漸減，而本計畫槽溝開挖位置位於山腳斷層北段之南末端、接近山腳斷層分段點，因此研判該位置屬於山腳斷層北段滑移量最小區域，並輔以現地調查，顯示槽溝開挖處線型清晰可辨而緊鄰第四紀沉積物，故綜合山腳斷層特性及現調結果研判槽溝開挖位置應可獲得數次之活動事件。此外，槽溝實際開挖成果顯示，TRSC-1 與 TRSC-2 場址均獲得良好之地質資料，許多地震造成之地表破裂事件可在槽溝之地層剖面分析求得，兩場址分別可分辨出 4 次地震事件。經審查答覆內容後，可以接受。

有關槽溝場址調查成果等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明報告第 5-02-23 及 5-03-21 頁中，數值地形模型資料來源為何？為何不採用解析度更高的、5 光學雷達(Light Detection And Ranging, LiDAR)資料？利用全測站經緯儀之測量資訊和區域地形調查的結果如何結合？(2)說明古地震調查估計的斷層滑動速率和其它調查結果的差異，如果在分析斷層位移危害時沒有採用，請說明不採用的原因。如果認為槽溝開挖的數值不確定性高，請說明原因以及為何模型中可以不考慮此結果。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)本計畫之數值地形模型，的確係採用空載光達產製之點雲資料經篩濾及演算所得，區域地形判釋即使用光達資料進行判釋，並挑選構造線型通過位置作為候選調查場址。場址地形測量則利用全測站經緯儀產製之點雲資料，該點雲資料經篩濾及內插後，建置本場址解析度較高之地形圖，作為槽溝開挖前、後地形變化之

對比，後續將於報告內文補充說明。(2)依據本計畫文獻回顧，山腳斷層陸域長期滑移速率南段約為 0.71~1.82 mm/yr，北段為約 0.68~1.28 mm/yr。本計畫古地震調查中，TRSC-1 槽溝計算長期滑移速率為 0.38~7.33 mm/yr、TRSC-2 為 0.50~7.05 mm/yr。因槽溝調查結果之變異甚大，故本計畫改採台北盆地與金山中角地區鑽孔資料、大地測量與 GPS 速率、以及火山熔岩流與海底地形平台的地貌的微重建，得到山腳斷層滑移速率建議值為 1~3 mm/yr，理想值為 2 mm/yr。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(1)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(2)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：指出槽溝調查結果之變異雖大，但卻是唯一可以追溯古地震事件的最佳方法，有可能這些結果反應斷層滑移在空間上的不均勻性，建議不應完全忽略槽溝調查結果。

台電公司第 2 次答覆說明：本計畫 TRSC-1 及 TRSC-2 槽溝開挖成果所獲致之長期滑移速率最大值與最小值之變異雖大，惟其區間仍與文獻回顧之 0.71~1.82 mm/yr 有若干重疊，並可能反應斷層滑移在空間上的不均勻性，已將槽溝調查結果增補至「(五)古地震調查取得之相關參數成果」相關文字敘述中。經審查答覆內容後，可以接受。

有關古地震調查取得之相關參數成果等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明報告第 5-05-2 頁中，在很多關於山腳斷層再現週期的推測，由百年至千年尺度，模型最後採用的範圍為何？(2)說明報告依經驗法則認定 65 度為較理想傾角值之理由。(3)說明報告第 5-05-6 頁中這段文字“其成果顯示 ST-II 線型的滑移率估計值介於 0.3~3.5 mm/yr 之間，而在陸域部分以 0.8 mm/yr 為較理想之數值，海域部分則是以 1.2 mm/yr 為較理想之數值”，如何決定理想值？(4)報告第 8-00-3 頁，古地震的調查在陸地上相對海域容易。琉球隱沒帶南段過去在 1771 年有發生規模 8 的海嘯型地震，目前此報告中沒有考慮隱沒帶斷層或分支斷層滑動的效應，應加註說明。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)依據本計畫槽溝開挖及古地震研究之目的，為透過山腳斷層及 ST-II 線型活動之滑移量與活動週期，用以推估其滑移速率。由調查研究結果可知，在過去 500 年內槽溝記錄到 1~2 次地震事件；惟因可能存在未於開挖槽溝內留下跡證或未被觀察到之事件及部份事件年代資料不足，因此對於山腳斷層活動之周期無法作出明確結論。因應此結果，本計畫山腳斷層滑移速率最後由地質鑽孔資料、大地量測及 GPS 資料，及本計畫針對火山熔岩流與海底地形重建獲得之滑移量及年代資訊推估而得。(2)由於 ST-II 之傾角係利用海域反射震測測線 MCS-N-3 剖面，以震波波速 1,500 和 2,000 m/s 轉換為深度，再換算成 ST-II 線型之傾角，介於 45~75 度傾向東南。然 ST-II 屬半地塹盆地之正斷層構造，一般此類型之正斷層傾角應大於 60 度以上，故本計畫以經驗法則推估 65 度可能為較理想之傾角值。(3)以 ST-II 陸域部份之滑移速率為例說明，其係利用溶岩流原始地形重建，推算其垂直向位移量，再依據傾角、滑移角及溶岩流之形成時間計算出總滑移速率。由於垂直向位移量、傾角、滑移角及形成時間均含有不確定性，其值均有高、低值及中值。此處所謂理想值為取各參數之中值計算之結果。(4)由於斷層活動時於場址發生次要位移之機率隨場址與斷層之距離急遽減小，因此所述隱沒帶斷層或分支斷層活動對於場址地表位移的效應可忽略。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(2)~(4)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(1)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：要求列表把地質鑽孔資料、大地量測及 GPS 資料，及槽溝開挖計算的滑移速率及相關文獻列出，並加註說明不採用的原因，如果被採用的滑移速率何種權重較重？判斷依據為何？

台電公司第 2 次答覆說明：考量前述既有地質鑽孔資料、大地量測及 GPS 資料之出處文獻均已由原作者估算出山腳斷層北段滑移速率，並已表列於本報告山腳斷層長期滑移速率及短期變形速率整理表，因此

針對此部分，本報告係直接參考歸納其估算成果(介於 1~3 mm/yr)，非爰引各文獻原始地質資料而自行重新評估。已於報告內修改山腳斷層長期滑移速率及短期變形速率整理表，將各文獻之評估內容摘述於表內。經審查答覆內容後，可以接受。

有關位移法分析方法等議題，審查小組提出審查意見：(1)報告第 xvi 頁中編號 12 之說明不精確，編號 13 之名詞或說明有誤，請修正。(2)報告第 6-01-2 頁所述「配合 Benjamin and Cornell(1970)所提出之隨機不確定性公式計算 $\sigma_{ss}(\log_{10} \text{ 單位})$ 」，而報告未列出。(3)報告第 6-01-2 頁中， $P_n(D>d|Slip)$ 公式有誤，且推估平均位移量(AD)時，需要標準偏差 $\sigma_{\log(d)}$ 嗎？(4)說明報告第 6-01-2 頁中，整體不確定性標準偏差值之 σ_{AD} 和 σ_{AS} 各為何值？

台電公司第 1 次答覆說明：(1)編號 12 之說明將修改為「指長期而言，造成場址特定地表位移量之事件次數之年平均值」；編號 13 危害度曲線之說明將修改為「將年平均發生次數對場址地動值或位移值作圖，即得到該工址之地動或位移危害度曲線(hazard curve)，由此曲線上可對應設計所需之場址地動值或位移值」。(2)已修正隨機不確定性公式。其中 $\sigma_{ss}(\log_{10} \text{ 單位})$ 係指隨機不確定性，在以 $\log_{10}$ 為單位下之標準偏差值。本節為有關位移法方法之敘述，本計畫目前未使用位移法進行場址斷層位移危害度分析。(3)已修正為 $P_n(D>d|Slip)$ 公式。該段文字首句敘述有誤，將修正為「計算標準偏差數(SD)時，…」。(4) σ_{AD} 可採 Wells and Coppersmith (1994) 平均位移量預測公式之標準偏差 0.36； σ_{AS} 則為實際沿斷層面各點量得之位移量之標準偏差。已於報告中加強說明。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(2)、(3)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(1)、(4)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：(1)編號 13 危害度曲線之說明宜修改為「將場址地動值或位移值的年超越機率對場址地動值或位移值作圖，即得到該場址之地動或位移危害度曲線(Hazard Curve)，由此曲線可依年超越機率或回歸期反推

設計所需之場址地動值或位移值。」。(4)要求補附 σ_{AS} 數值。

台電公司第 2 次答覆說明：(1)將修改編號 13 危害度曲線之說明為「將場址地動值或位移值的年超越率對場址地動值或位移值作圖，即得到該場址之地動或位移危害度曲線(Hazard Curve)，由此曲線可依年超越機率或回歸期反推設計所需之場址地動值或位移值。」。(4) σ_{AS} 為實際沿斷層面各點量得之位移量之標準偏差，依據 Hemphill-Haley and Weldon (1999)， σ_{AS} 為 0.27。經審查答覆內容後，可以接受。

三、審查小結

綜合審查小組對本章審查結果，由於古地震調查場址並不位於核島區，因此古地震調查成果無法提供核島區進行位移法機率式斷層位移危害度分析使用，本階段不進行核島區位移法機率式斷層位移危害度分析，經審查可以接受。

第四章 精進地震法機率式斷層位移危害度分析

一、概述

本案機率式斷層位移危害度分析不進行核島區位移法機率式斷層位移危害度分析，而是以古地震調查所得斷層之位移量、滑移速率等資料，配合地震法之分析方法，更新第一階段地震法分析參數後，再次以地震法分析核島區之斷層位移危害度分析，採用更新參數之地震法分析稱為精進地震法分析。

在精進地震法中，分析震源為山腳斷層與 ST-II 線型，共 5 個震源分段，經過各震源分段組合後，最後採用 7 組震源組合進行分析，並參考既有相關文獻(含進行中之 SSHAC Level 3 研究)與引用古地震調查成果(TRSC-1、TRSC-2 與 TRNP2-1 場址)更新震源參數與模式後進行斷層位移危害度分析。

古地震調查工作之槽溝開挖調查，遴選出 3 處場址進行開挖，其中 TRNP2-1 係針對 ST-II 線型陸上延伸，TRSC-1、TRSC-2 則係針對山腳斷層，以求得各斷層相關之分析參數，作為後續地震評估參考。TRNP2-1 槽溝剖面分層與分析成果顯示，發現至少有四次變動事件發生，而變動事件常可能受到構造或山崩等地質因素形成。此外，從不同地層與年代成果顯示，槽溝內地層之間具有兩次明顯地層不連續，即不整合面的存在，其一之不整合面位於底岩與沖積層之間；其二則位於沖積層與現生堆積層之間，兩者之年代缺失分別約為 5,000~10,000 年前以及 7,500~10,000 年前。也因此，可能有其他地震或斷層活動並未被保留下來。TRSC-1 槽溝剖面分層與分析成果顯示四次事件之地震序列。TRSC-2 槽溝之地層分析可推測出四次良好的地震序列，並提供最佳適合於可獲得地層資料，惟額外可能產生的地震，可能並未被保存在地層或地形紀錄之中。

精進地震法分析範圍涵蓋核一廠核島區與緊要海水泵室，分析以廠

內 1、2 號機反應器廠房連線中點為中心，採用 50m × 50m 區塊將核島區分為數十個區塊，危害度分析針對反應器廠房連線中點、每一區塊角隅點以及緊要海水泵室角隅點進行。分析結果將包含核島區與緊要海水泵室之位移危害度曲線及不同再現周期下之位移量。

二、審查情形

台電公司評估報告的精進地震法分析方法與成果，主要是描述分析架構邏輯樹、滑移速率分析、分析參數、機率函數以及分析結果。針對精進地震法機率式斷層位移危害度分析，審查小組審查情形彙整如下：

有關分析架構邏輯樹等議題，審查小組提出審查意見：說明報告中，分析震源特性邏輯樹圖之滑移速率分支各為山腳斷層和 ST-II 那一段的滑移速率？

台電公司第 1 次答覆說明：各為山腳斷層和 ST-II 整體之滑移速率。

針對台電公司第 1 次答覆說明，審查小組提出第 2 次審查意見：指出分析震源特性邏輯樹圖確認是整體之滑移速率嗎？

台電公司第 2 次答覆說明：經檢討，修正說明如下：分析震源特性邏輯樹圖內所示為 ST-II 整體(含 L1 線型及 L2 線型)之滑移速率；山腳斷層部份則為 C 分段滑移速率。因山腳斷層 E、C、W 各分段中，場址僅包含於 C 分段之破裂垂直範圍內，依據機率式位移危害分析方法，分析時僅需考慮 C 段單獨及其可能之延伸(E+C、C+W 及 E+C+W)對場址之影響，故僅需考慮 C 段滑移速率之分布。

針對台電公司第 2 次答覆說明，審查小組提出第 3 次審查意見：請於報告第 7-01-3 頁第二段再補入說明。此外，報告第 7-01-3 頁第二段之「滑行速率」應為「滑移速率」之誤。

台電公司第 3 次答覆說明：已於報告第 7-01-3 頁補充將說明內容納入；另報告第 7-01-3 頁第二段內「滑行速率」已修正為「滑移速率」。

經審查答覆內容後，可以接受。

有關震源幾何模型及震源變形模式等議題，審查小組提出審查意見：(1)於震源變形模式章節(七、(二)、2)補充山腳斷層及 ST-II 的滑移速率累積機率曲線。曲線擬合(Curve fitting)所示山腳斷層的滑移速率累積機率曲線只有在 50%時較符合，在 30%以下、90%以上，則偏不保守，請評估其影響。(2)報告第 7-02-2 頁中滑移速率之權重 0.3、0.4、0.3 分別對應於累積機率 10%、50%、90%。而報告第 3-04-1 頁的位移量計算公式與發生機率模式邏輯樹圖和報告第 3-04-5 頁，場址發生位移機率之權重 0.248、0.504、0.248 分別對應於累積機率 8.5%、50%、91.5%。選擇不同累積機率和對應權重的依據為何？(3)說明報告第 7-02-3 頁中係基於何種理由將滑移速率分配至各分析震源？而非各分析震源滑移速率一致，但賦予不同權重？請提供不同分配模式的敏感度分析。(4)說明報告第 7-02-3 頁中，ST-II 線型各分析震源滑移速率分配表的百分比總和為何不是 1？

台電公司第 1 次答覆說明：(1)報告中已補充山腳斷層及 ST-II 滑移速率累積機率曲線圖。山腳斷層滑移速率累積機率曲線擬合結果，於累積機率較小時低估滑移速率，累積機率較大時則為高估滑移速率；於本分析採用之上、下界(累積機率 90%及 10%)處之滑移速率則與取樣值接近，由此推測上述差異尚不致影響分析結果。(2)權重 0.248、0.504、0.248 分別對應於累積機率 8.5%、50%、91.5%係依據 Miller and Rice (1983)之三點近似方法；權重 0.3、0.4、0.3 對應於累積機率 10%、50%、90%則係依據 Keefer and Bodily(1983)。相較於 Miller and Rice (1983)，Keefer and Bodily(1983)近似法於分布之頭尾部位採樣較多(0.3 vs. 0.248)，因此其考量之分布範圍較大。故本計畫對於滑移速率等之重要參數採用 Keefer and Bodily(1983)。由於累積機率分布顯示本計畫滑移速率分布範圍不大，取不同百分位對上下限值較不敏感，故僅考慮 10%、50%、90%之百分位值。假設場址位於山腳斷層上盤、距離 5 公里、截切指數分布

模式，最大地震規模採高值，其餘參數同報告，滑移速率分別採不同值之 3 點近似(10%-50%-90%、5%-50%-95%)所計算之危害度曲線。由危害度曲線圖可觀察到，上下界取較大範圍，其年超越率較大，隨位移量增加，其年超越率差異亦會增加，惟差異甚微。(3)將滑移速率分配至各分析震源為目前機率式危害度分析採用之方法，SSHAC Level 3 亦採用此方式。假設場址位於山腳斷層上盤、距離 5 公里、截切指數分布模式，最大地震規模採高值，其餘參數同報告，本計畫所採 3 種滑移速率分配模式[分配模式 1 分配之百分比分別為(E+C+W)10%、(E+C)30%、(C+W)20%及(C)40%；分配模式 2 分配至所有分段震源之百分比均為 25%；分配模式 3 分配之百分比則分別為(E+C+W)50%、(E+C)20%、(C+W)20%及(C)10%]之分析結果場址未加權危害度曲線。由危害度曲線圖可觀察到分配模式對於危害度並不敏感。(4)由於核一、二廠之位置幾近垂直 ST-II 構造 L1 及 L2 之分段位置，而 PDFHA 不考慮位於震源斷層線外之場址，故分析時僅需考量 L1 或 L2 之一，故實際分配給 L1 及 L2 均為 80%之半。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(1)、(3)、(4)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(2)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：要求在答復說明中，補述 5%-50%-95%之權重。

台電公司第 2 次答覆說明：補充修改如下：權重 0.248、0.504、0.248 分別對應於累積機率 8.5%、50%、91.5%係依據 Miller and Rice (1983)之三點近似方法；權重 0.3、0.4、0.3 對應於累積機率 10%、50%、90%則係依據 Keefer and Bodily(1983)。相較於 Miller and Rice (1983)，Keefer and Bodily(1983)近似法於分布之頭尾部位採樣較多(0.3 vs. 0.248)，因此其考量之分布範圍較大。故本計畫對於滑移速率等之重要參數採用 Keefer and Bodily(1983)。由於累積機率分布顯示本計畫滑移速率分布範圍不大，取不同百分位對上下限值較不敏感，故僅考慮 10%、50%、90%之百分位值。假設場址位於山腳斷層上盤、距離 5 公里、截切指數分布

模式，最大地震規模採高值，其餘參數同報告，滑移速率分別採不同值之 3 點近似(10%-50%-90%、5%-50%-95%)所計算之危害度曲線。其中 5%-50%-95%三點近似分布範圍較前述 8.5%-50%-91.5%更大，亦出自 Keefe and Bodily(1983)，其對應的權重分別為 0.185、0.63、0.185。由危害度曲線圖可觀察到，上下界取較大範圍，其年超越率較大，隨位移量增加，其年超越率差異亦會增加，惟差異甚微。經審查答覆內容後，可以接受。

有關地震再現模式等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明報告第 7-02-4 頁之「由各經驗式計算之地震規模均再加 0.25 作為 M_{max} 」，其中 0.25 的依據為何？ M_{char} 和 M_{max} 的計算是否與台電的 SSHAC 3 PSHA 相同？(2)說明報告第 7-02-4 頁中，山腳斷層分析震源之最大地震規模表和 ST-II 線型分析震源之最大地震規模表有幾組斷層長度、斷層面積可以估算規模，再估計不同累積機率之規模？(3)說明報告第 7-02-5 頁中，截切指數分佈之 b 值訂為 1.0 的依據為何？特徵地震平台的中心規模是否為 M_{max} ？(4)說明報告第 7-02-5 頁中，場址發生位移機率密度函數表，區塊 50m×50m 之尺度調整因子為何還是 0.2？

台電公司第 1 次答覆說明：(1) Well and Coppersmith(1984)經驗公式係依據正斷層紀錄之資料庫作成，Yen and Ma(2011)公式之依據資料庫中則含有正、逆及斜移(oblique)，為考量與本計畫中山腳斷層及 ST-II 構造帶有橫移分量之正斷層活動之差異，故加 0.25 以包含可能之誤差。本計畫依據斷層長度或面積估計的地震規模加上 0.25 得到最大地震規模 M_{max} ；特徵地震規模 M_{char} 則由最大地震規模減 0.25 而得。(2)對每一個分析震源而言，有 1 組斷層長度配合 1 組長度-規模關係式及 3 組斷層寬度配合 2 組面積-規模關係式，總計共有 7 個規模值。將 7 個規模值由小至大排列，配合其累積機率(權重)，即可得到離散機率累積分布。再以一連續分布函數(CDF)近似此機率累積分布後，即可於此函數上取對應累積機率 10%、50%、90%之規模值。(3)因並無山腳斷層及 ST-II 構

造相關之地震紀錄可供分析 b 值，故本計畫採用一般值 1.0，與過去相關研究中台灣地區 b 值約 1.0 相符。本計畫中，精進地震法所採特徵地震平台的中心規模為 $M_{\text{char}}=M_{\text{max}}-0.25$ 。(4)該數字係誤植，應為 0.1，已修正並於報告內補充說明。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(3)、(4)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(1)、(2)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：(1)指出答復說明需修正，並要求補附斷層位移危害度曲線對不同最大地震規模及特徵地震規模的敏感度分析。(2)要求補圖比較 7 個規模值離散機率累積分佈與連續分佈累積曲線。

台電公司第 2 次答覆說明：(1) Well and Coppersmith(1984)經驗公式係依據正斷層紀錄之資料庫作成，Yen and Ma(2011)公式之依據資料庫中則含有正、逆及斜移(oblique)，為考量與本計畫中山腳斷層及 ST-II 構造帶有橫移分量之正斷層活動之差異，故加 0.25 以包含可能之誤差。本計畫依據斷層長度或面積估計的地震規模加上 0.25 得到最大地震規模 M_{max} ；特徵地震規模 M_{char} 則由最大地震規模減 0.25 而得。(2)以前述 7 個規模樣本之平均值及標準差，求取對數常態分布；再藉由調整標準差，計算出不同 CDF，以各 CDF 所估計之規模值與 7 個樣本規模值之差值平方和為目標函數，找到上下界與原樣本規模值接近且目標函數值最低之組合，即 CDF。以山腳斷層 E+C+W 分析震源為例，繪製最大地震規模離散機率累積分佈及連續分布函數曲線(CDF)。由 CDF 所得之最大地震規模分布中，對應累積機率 10%及 90%之規模值接近樣本值，對應累積機率 50%之規模值則略低於樣本值。惟由意見回覆所示，於本計畫關心之小位移量部份，較小的最大地震規模將得到較保守結果。經審查答覆內容後，可以接受。

有關斷層位移預測公式等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明場址發生位移機率密度函數的機率公式及其標準差已依網格尺寸修正(500m×500m 修正成 50m×50m)。(2) (a)請列表說明本案地震法之山腳、

ST-I 與 ST-II 等各主要斷層位移震源之分段長度、地震規模等邏輯樹分支權重的考慮，並與核管案 JLD-10101 SSHAC Level 3 PSHA 相關 SSC 的邏輯樹分支權重，兩者的差異進行比較說明，並補充說明差別考量的具體原因。(b)有鑑於 SSHAC Level 3 PSHA 已告完成，請台電公司召開專家會議，檢視現有邏輯樹模型是否已充分考量知識不確定性，進一步評估本案參採 SSHAC Level 3 SSC 邏輯樹模型或相關參數之必要性，並依該會議結論視需要修訂本案報告。

台電公司第 1 次答覆說明：(1)場址發生位移機率密度函數表內，Wells and Coppersmith (1993)係計算主要破裂發生機率，與網格尺寸無關；Petersen et al.(2011)公式則已考慮 25m×25m~200m×200m 不同大小網格，有不同係數；僅 Youngs et al.(2003)公式為對應 500m×500m 網格，故因應不同網格尺寸需修正係數。修正之方式於報告第三章已有敘述，並於場址發生位移機率密度函數表備註欄中補充說明及更正調整因子為 0.1。(2)(a)已製作本計畫與 SSHAC Level 3 計畫之震源參數比較表。本計畫第一階段地震法完成時，SSHAC Level 3 計畫尚在初始階段，並無具體震源模型可供比較；第一階段地震法引用之核研所「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」之相關資料則為 SSHAC Level 3 計畫參考資料來源之一。其後本計畫第二階段精進地震法分析時則將本計畫之調查成果提供 SSHAC Level 3 計畫，並已參採 SSHAC Level 3 計畫同時期之成果；惟因本計畫第二階段完成於 SSHAC Level 3 計畫震源模型定稿以前，故二者仍有少部份參數略有差異。(b)第一階段地震法之震源邏輯樹及權重均引自核研所「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」；第二階段精進地震法之邏輯樹及各分支權重，係由國外專家 LCI 公司初步提出後列於報告中，再經由中興公司及台電公司所聘請專家學者召開會議進行討論及審閱，過程中除針對分析方法外亦對於邏輯樹及權重進行探討。另，由於本計畫第二階段進行之期間與 SSHAC Level 3 計畫部份重疊，且本計畫團隊部份成員亦為該計

畫主要成員，故有關山腳斷層及 ST-II 構造之震源模型(SSC)兩計畫一致程度甚高。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(1)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(2)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：(a)對照表項目 8「地震發生模型」：同樣採取 Poisson 模型時，地震年平均發生率是否相同？(b)對照表項目 10「地震規模分布模式」：在說明中「由於均布分布模式考慮之地震規模較大，其每次地震平均震矩較特徵地震模式或截切指數分布模式高，造成每年地震平均次數較低，導致累積之年超越率亦將較小。」並不完全正確，年平均發生率較低的大地震危害度可能高或低，請比較本計畫精進地震法的特徵地震分布模式和截切指數分布模式兩條危害度曲線來說明。(c)有關對照表項次 10「地震規模分布模式」，請補充說明由“均布分布模式考慮之地震規模較大，其每次地震平均震矩較特徵地震模式或截切指數分布模式高，為何造成每年地震平均次數 $N(m_0)$ 較低，導致累積之年超越率亦將較小？”對較大地震而言，是否為較不保守？

台電公司第 2 次答覆說明：(a)在其他條件相同下，同樣採用 Poisson 模型，其地震年平均發生率應相同。就本計畫與 SSHAC Level 3 計畫比較而言，因 SSHAC Level 3 計畫除 Poisson 模型(權重 0.2)外，另考慮時間相關模型(權重 0.8)，且山腳斷層時間相關模型之 EPR 均遠小於 1.0，其地震發生機率將較不考慮時間相關模型者低；ST-II 部份，雖 EPR 高值大於 1.0，然其權重僅 0.2。綜合言之，核一、二廠 PFDHA 計畫於地震發生模型之考量較保守。實際依據 SSHAC Level 3 計畫內山腳斷層及 ST-II 設定之時間相關模型邏輯樹，包括其 EPR 值及權重，計算之核一廠位移總危害度曲線。相較於本計畫，若考慮時間相關模型，山腳斷層造成之場址位移危害度大幅下降，ST-II 則微幅上昇，最終總危害度則有明顯下降，顯示本計畫之模型考量較為保守。(b)以本計畫精進地震法之參數以簡化分析結果比較截切指數分布模式及均布分布模式之分析

結果，由兩分析結果可觀察到，於小位移量時，截切指數分布模式之危害度高於均布分布模式，在最大地震規模大時尤其明顯；在大位移量時，兩模式之危害度接近，甚至在最大地震規模較小時，均布分布模式之危害度反而有高於截切指數分布模式趨勢。對於此現象之解釋如下。對於小位移量而言，較小規模地震造成超越此位移量之機率仍不低，故截切指數分布模式下之較高地震發生率將造成危害度大於均布分布模式之低地震發生率搭配較大之位移超越機率。對於較大位移量而言，因小規模地震造成大位移之超越機率極低，其高地震發生率對危害度產生之效益並不明顯，故有可能其危害度低於均布分布模式偏向大規模地震之危害度。在最大地震規模較小時，由於兩種模式之地震發生率差異不大，此種現象較容易發生。然就本計畫關心之年超越率範圍(10^{-4} ~ 10^{-5} 以上)而言，均布分布模式造成之危害度是較小的，亦即本計畫採用之特徵地震模式/截切指數分布模式較為保守。(c)因每年地震發生次數(即地震發生率) $N(m_0)$ 係由每年斷層錯動造成之地震矩($M_0 = \mu AS$)與每次地震平均地震矩($\text{Mean}[M_0/\text{eqk}]$)相除而得，故若每次地震平均地震矩增高時，每年地震發生次數會下降。而某一特定位移量之年超越率係由地震發生率、位移發生機率及發生位移時之該位移量之超越機率相乘而得，故地震發生率下降可導致年超越率下降。對於大位移量而言，均布分布模式造成之危害度的確可能會較特徵地震模式或截切指數分布模式大，惟其將發生於年超越率極小之範圍；就本計畫關心之年超越率範圍(10^{-4} ~ 10^{-5} 以上)而言，均布分布模式造成之危害度是較小的，亦即本計畫採用之特徵地震模式/截切指數分布模式較為保守。經審查答覆內容後，可以接受。

有關斷層位移危害度分析等議題，審查小組提出審查意見：(1)說明選取 50m×50m 為 PFDHA 分析網格之合理性。(2)說明核一廠位移危害度曲線的形狀於位移逐漸變小時趨近於一定值(而非越來越大)的合理性。並要求試算位移量約小於多少 cm，年超越率即會為此一定值。(3)

說明核一廠廠房連線中點不同百分位數之危害度曲線圖的位移危害度各百分位數(percentile)曲線如何產生?並補充說明此 6804 條邏輯分支數之組成。(4)說明本 PFDHA 各斷層系統之定義及其地震危害度相關參數與 SSHAC Level 3 的一致性，並補充參數比較表之各項說明欄。(5)說明報告第 7-02-3 頁中分配模式 1 和 3 之指定百分比基於何種考量？

台電公司第 1 次答覆說明：(1)本計畫原規劃之分析網格為 100m×100m，第一階段地震法即依此網格大小分析。其後於第二階段進行時，參考參考美國核管會(U.S.NRC)研究資訊文件(Research Information Letter, RIL) 12-01 內容，並配合反應器廠房尺寸(43m×33.2m)，分析網格尺寸採用 50m×50m 區塊進行分析。(2)年超越率為地震年發生率、主要破裂發生機率、次要破裂發生機率及位移量之超越機率之乘積。其中地震年發生率、主要破裂發生機率隨地震規模增加而降低；在固定距離下，次要破裂發生機率及位移量之超越機率則隨地震規模增加而升高，在分析位移量小至某一範圍時，此 4 參數之乘積趨向一定值。經計算，本計畫核一廠在位移量<0.01cm 之後趨向定值。(3)經計算，精進地震法分析邏輯樹分支計有 2 個震源、3 個斷層寬度、3 個滑移速率、7 個分析震源、3 個最大地震規模、3 個滑移速率分配模型、2 個次要破裂發生機率公式及 3 個位移預測公式，總計分支數為 6804。危害度分析邏輯樹各分支末端均可得到一條危害度曲線及相應之權重，故總計有 6804 條危害度曲線。將所有分支末端所得之危害度曲線對應特定位移量之各年超越率(Annual Frequency of Exceedance)值採加權平均，即為場址於該特定位移量之加權平均年超越率，稱之為總年超越率；將所有位移量之對應總年超越率連線，即為場址之總危害度曲線。若將不計權重之各危害度曲線上同一位移量對應之年超越率由小至大排序，取特定百分位值，再將同一百分位值相連，即得到該百分位之危害度曲線。(4)由於本計畫第二階段進行之期間與 SSHAC Level 3 計畫部份重疊，且本計畫團隊部份成員亦為該計畫主要成員，故有關山腳

斷層及 ST-II 構造之震源模型(SSC)兩計畫一致程度甚高。本計畫與 SSHAC Level 3 計畫之震源參數比較顯示，兩計畫斷層長度及分段、分析震源模型、斷層傾角及深度等均完全一致；本計畫垂直向斷層滑移速率亦完全依據 SSHAC Level 3 計畫。兩計畫其他方面之比較，SSHAC Level 3 計畫考慮地震發生時間相關模型及考慮山腳斷層有部份滑移量為無震滑移，此二項在本計畫未考慮；SSHAC Level 3 計畫中各分析震源之滑移速率之分配方法與本計畫相同，惟分配比例不同；另滑移速率之低、中、高值之權重，SSHAC Level 3 計畫賦予中值權重 0.6，高低值權重各為 0.2，本計畫則中值權重 0.4，高低值權重各 0.3。綜合比較顯示，本計畫仍與 SSHAC Level 3 計畫採用之參數一致性甚高；參數差異之部份本計畫多較為保守。(5)分配模式 1 給予愈短之分析震源分配愈大之滑移速率；分配模式 2 給予所有分析震源相同之比例；分配模式 3 則與分配模式 1 相反，給予愈長之分析震源分配愈大之滑移速率。

針對台電公司第 1 次答覆說明，第(1)、(3)、(4)、(5)項審查意見答覆部分已無後續意見；第(2)項審查意見答覆部分，審查小組提出第 2 次審查意見：要求所述“……在分析位移量小至某一範圍時，此 4 參數之乘積趨向一定值。經計算，本計畫核一廠位移危害度在位移量 $<0.01\text{cm}$ 之後趨向定值”，請以實際數字說明此 4 參數之乘積會趨向於一個定值(constant)。

台電公司第 2 次答覆說明：(2)茲以案例說明。假設場址位於山腳斷層 E+C+W 分析震源上盤、距離 5 公里、截切指數分布模式，最大地震規模採高值(7.92)，其餘主要破裂發生機率、次要破裂發生機率及位移預測公式等參數同報告。地震年發生率隨規模增加而下降；主要破裂發生機率及次要破裂發生機率均隨規模增加而增大；位移超越機率隨規模增加而增加，且不論位移量大小，隨規模增加，其超越機率將會彼此趨近；年超越率為地震年發生率、主要破裂發生機率、次要破裂發生機率及位移量之超越機率之乘積，其對應不同位移量之年超越率亦隨規模增

加而增大且互相趨近，且在分析位移量小至某一範圍時，此年超越率趨向一定值(位移量小於 $1 \times 10^{-4} \text{m}$ 諸線已幾乎重疊)。經檢視試算表，就本案例而言，不同之規模於位移量小於 $4 \times 10^{-6} \text{m}$ 時年超越率已無改變。經審查答覆內容後，可以接受。

有關廠房結構、系統或組件容許位移量等議題，審查小組提出審查意見：(1)針對廠房各安全相關結構、系統及組件(SSCs)容許位移量分析，僅在總結報告第八章結論提到“依據「核一廠廠房外關鍵管線容許位移量分析評估總結報告」，於改善完成後，在 2cm 位移量條件下，關鍵管線應力分析結果應力均在容許範圍內”，以及“1 號機 RCIC/HPCI 系統 6” -RCIC 及 16” -HPCI 管線發生 2cm 位移之發生率為 $7.82 \times 10^{-7}/\text{年}$ ”，審查委員要求說明該 $7.82 \times 10^{-7}/\text{年}$ 之值是否係依管線長度經過修正後之結果。(2)附錄五之「核一廠廠房外關鍵管線容許位移量分析評估總結報告」提及相關管線之法蘭螺栓(Flange Bolt)須由 class I 提升至 class II，是否為筆誤？

台電公司第 1 次答覆說明：(1)取關鍵管線 1 號機 RCIC/HPCI 系統 6” -RCIC 及 16” -HPCI 管線位置之分析點(編號 34 及 35)之分析結果繪得最大危害度曲線圖，其位移 2 cm 之年發生率為 7.82×10^{-7} 。此值為未修正前結果，因前述管線長度(11m 及 14m)小於分析網格尺寸(50m)，故可預期修正後值將更低。已於報告中增補危害度曲線圖及文字說明。(2)「核一廠廠房外關鍵管線容許位移量分析評估總結報告」提及相關管線之之法蘭螺栓(Flange Bolt)須由 class I 提升至 class II，確為筆誤。上述報告分析之管段 16” -HPCI-1 及 6” -RCIC-1 係屬 ASME III Class 2，SEISMIC Class I，Bolt Material Specification 為 A193 Gr. B8，故法蘭螺栓材質無須變更。經審查答覆內容後，可以接受。

三、審查小結

綜合審查小組對本章審查後，確認台電公司評估報告精進地震法之

分析架構邏輯樹、分析參數、機率函數與公式，對核一廠進行精進地震法斷層位移危害度分析，核一廠於再現周期 10,000 年以及再現周期 100,000 年之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響。

綜合審查小組對本章審查結果，核一廠機率式斷層位移危害度分析之精進地震法分析結果，經審查可以接受。

第五章 審查總結

綜合審查小組已針對台電公司所提交的「核一廠機率式斷層位移危害度分析」報告內容與結果進行全面性檢視與審查，審查結論總結如下：

(一)地震法分析中，分析震源採用台電公司「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」中所定義山腳斷層全段(含海域段)、山腳斷層北段(含海域段)，及山腳斷層南段。地震法分析範圍涵蓋核一廠核島區及緊要海水泵室，地震再現周期 10,000 年與 100,000 年下之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響。

(二)位移法機率式斷層位移危害度分析，因核一廠廠址區域無斷層構造存在，評估後選擇於山腳斷層(TRSC-1 及 TRSC-2 場址)與 ST-II 線型陸上延伸(TRNP2-1 場址)進行古地震調查，且不進行位移法分析，而以古地震調查成果更新第一階段地震法分析參數後，再次以地震法分析核島區之機率式斷層位移危害度(精進地震法分析)。

(三)精進地震法分析中，分析震源為山腳斷層與 ST-II 線型(共 5 個震源分段)，經過各震源分段組合後，最後採用 7 組震源組合進行分析。精進地震法分析範圍涵蓋核一廠核島區及緊要海水泵室，地震再現周期 10,000 年與 100,000 年下之各分析點位移量，均未超過容許位移量，並不會對建築物與設備造成影響。

參考文獻

1. Cornell, C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 58, no. 5, pp.1583-1606.
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission, (2012). Research Information Letter 12-01, Confirmatory Analysis of Seismic Hazard at the Diablo Canyon Power Plant from the Shoreline Fault Zone.
3. Youngs, R.R., Arabasz, W.J., Anderson, R.E., Ramelli, A.R., Ake, J.P., Slemmons, D.B., McCalpin, J.P., Doser, D.I., Fridrich, C.J., Swan, F.H. III, Rogers, A.M., Yount, J.C., Anderson, L.W., Smith, K.D., Bruhn, R.L., Knuepfer, L.K., Smith, R.B., dePolo, C.M., O'Leary, K.W., Coppersmith, K.J., Pezzopane, S.K., Schwartz, D.P., Whitney, J.W., Olig, S.S., & Toro, G.R. (2003). A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA). Earthquake Spectra 2003; vol. 19, no. 1, pp.191-219.
4. 台灣電力公司，(2012)，營運中核能電廠補充地質調查工作。
5. 台灣電力公司，(2015)，營運中核能電廠擴大地質調查工作。
6. 內政部營建署，(2001)，建築物基礎構造設計規範。
7. 台灣電力公司，(2021)，核一廠機率式斷層位移危害度分析報告(定稿版)。