



台灣電力公司

地震危害與篩選報告
金山核能發電廠

(公開版)

中華民國 111 年 10 月

依政府資訊公開法第 18 條第 1 項第 3 款，因內容為內部單位之準備作業，故不予公開。

目 錄

目 錄	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
1.0 總論.....	1
2.0 地震危害重新評估	3
2.1 場址地質說明	4
2.1.1 地層	4
2.1.2 顯著震源構造	5
2.2 機率式地震危害度分析	6
2.2.1 機率式地震危害度評估成果	6
2.2.2 參考岩盤地震危害度均值曲線	7
2.3 地盤反應分析	16
2.3.1 輸出控制點定義	16
2.3.2 地層性質概述	16
2.3.3 廠址波速剖面與土層材料參數	19
2.3.4 地盤反應分析之邏輯樹架構	45
2.3.5 廠址波速剖面隨機設定	46
2.3.6 輸入地震反應譜	49
2.3.7 方法論	57
2.3.8 kappa2 調修	59
2.3.9 廠址放大函數	63
2.3.10 控制點地震危害度曲線	64
2.3.11 控制點地震反應譜	69
3.0 設計與評估基準地震	72
3.1 安全停機地震(SSE).....	72
3.1.1 反應譜型	72

3.1.2 尖峰地表加速度設計值	72
3.1.3 控制點	72
3.2 評估基準地震(RLE)	73
3.2.1 反應譜型	73
3.2.2 尖峰地表加速度設計值	73
3.2.3 控制點	73
4.0 地震危害成果總檢	76
4.1 風險評估作業檢核(0.1 至 1 秒週期)	76
4.2 高頻段檢核(小於 0.1 秒週期).....	76
4.3 用過燃料池評估作業檢核(0.1 至 1 秒週期)	76
5.0 短期應對措施	77
5.1 營運中核能一廠耐震安全餘裕評估計畫(2011-2013).....	77
5.2 因應地震風險再評估之核一廠地震安全度評估模式建立(2012-2022).....	78
5.3 核一廠一號機、二號機 NTTF 2.3 地震履勘(2012-2016).....	78
5.4 核能一廠加速耐震評估程序(2020-2022)	79
6.0 結論.....	80
參考文獻.....	81

圖目錄

圖 1 核一廠周遭區域地質及斷層圖.....	3
圖 2 核一廠 0.01 秒週期之參考岩盤均值地震危害度曲線.....	9
圖 3 核一廠 2.0 秒週期之參考岩盤均值地震危害度曲線.....	10
圖 4 核一廠 0.01 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度主要貢獻震源百分比.....	11
圖 5 核一廠 2.0 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度主要貢獻震源百分比.....	11
圖 6 核一廠 0.01 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度主要貢獻震源百分比.....	12
圖 7 核一廠 2.0 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度主要貢獻震源百分比.....	12
圖 8 核一廠 0.01 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度參數拆解.....	13
圖 9 核一廠 2.0 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度參數拆解.....	13
圖 10 核一廠 0.01 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度參數拆解.....	14
圖 11 核一廠 2.0 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤均值地震危害度參數拆解.....	14
圖 12 核一廠 7 個週期之參考岩盤均值譜加速度地震危害度曲線.....	15
圖 13 核一廠核島區地質剖面位置圖.....	18
圖 14 核一廠核島區淺層地質剖面.....	18
圖 15 核一廠速度井測鑽孔位置圖.....	20
圖 16 核一廠速度井測波速剖面.....	20
圖 17 核一廠表面波譜分析(SASW)試驗測線佈設位置圖.....	21
圖 18 依據表面波譜分析(SASW)與可用 P-S Logging 資料所建立之核一廠最佳估值(BE)基準波速剖面.....	21
圖 19 核一廠大(綠圈)、小(黃圈)陣列量測配置(中興公司, 2015).....	22
圖 20 核一廠 MAM 頻散曲線(三角標號)以及 SASW 與可用 P-S Logging 資料估算之頻散曲線(紅實心圓).....	22
圖 21 核一廠 SASW、MAM 與 3 組淺部剪力波速基準剖面之頻散曲線.....	23
圖 22 由頻散曲線估算之核一廠最佳估值(BE)淺部剪力波速基準剖面.....	23

圖 23 核一廠 3 組淺部剪力波速基準剖面.....	24
圖 24 台灣通用岩盤(TWGR)剪力波速剖面	25
圖 25 核一廠 3 組整體波速基準剖面.....	28
圖 26 核一廠淺部上值(UB)與最佳估值(BE)基準剖面之 G1 現地岩土非線性曲線	34
圖 27 核一廠淺部下值(LB)基準剖面之 G2 現地岩土非線性曲線.....	35
圖 28 核一廠土層 ii (Layer-ii)過渡區之非線性曲線.....	36
圖 29 核一廠土層 iii (Layer-iii)過渡區之非線性曲線.....	37
圖 30 岩石材料(TWGR 剖面)之剪力模數折減曲線	38
圖 31 岩石材料(TWGR 剖面)之阻尼比曲線	38
圖 32 核一廠地盤反應分析之參數邏輯樹.....	46
圖 33 邏輯樹分支 VSBGUV1K1 之整體波速基準剖面 200 個隨機變異	47
圖 34 輸入地震建立方式示意圖.....	50
圖 35 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比參考岩盤均佈危害度反應譜 (UHRS _{ref}).....	51
圖 36 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA _{input}).....	51
圖 37 核一廠 5%阻尼比參考岩盤均佈危害度反應譜(UHRS _{ref})與根據輸入地震分 析得 TWGR 地表處反應譜(SA _{ref})之擬合比較	52
圖 38 兩次地盤反應分析求得廠址放大函數示意圖.....	58
圖 39 核一廠控制點 GM01 至 GM06 危害水準之經 kappa2 修正中值傅氏譜	60
圖 40 核一廠控制點 GM07 至 GM11 危害水準之經 kappa2 修正中值傅氏譜	61
圖 41 核一廠控制點之經 kappa2 修正中值反應譜.....	62
圖 42 核一廠控制點 11 個危害水準之權重後中值放大係數.....	63
圖 43 核一廠控制點 0.01 秒週期地震危害度曲線.....	65
圖 44 核一廠控制點 0.2 秒週期地震危害度曲線.....	66
圖 45 核一廠控制點 2.0 秒週期地震危害度曲線.....	67
圖 46 核一廠控制點 11 個危害水準之均佈危害度反應譜.....	71
圖 47 核一廠反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)	71
圖 48 核一廠 5%阻尼比安全停機地震(SSE)反應譜.....	75
圖 49 核一廠 5%阻尼比評估基準地震(RLE)反應譜	75
圖 50 核一廠 FIRS 與 SSE 及 RLE 反應譜比較(5%阻尼比).....	76

表目錄

表 1 核一廠年超越頻率 1E-04 危害水準之控制震源參數表.....	8
表 2 核一廠 7 個週期參考岩盤均值譜加速度地震危害度曲線數值表.....	8
表 3 核一廠廠址代表性地層參數.....	17
表 4 核一廠速度井測鑽孔資料表.....	19
表 5 台灣通用岩盤(TWGR)剪力波速剖面參數表	26
表 6 核一廠整體上值(UB)波速基準剖面參數表	29
表 7 核一廠整體最佳估值(BE)波速基準剖面參數表	30
表 8 核一廠整體下值(LB)波速基準剖面參數表	31
表 9 核一廠淺部上值(UB)與最佳估值(BE)基準剖面之 G1 現地岩土非線性曲線 參數表.....	39
表 10 核一廠淺部下值(LB)基準剖面之 G2 現地岩土非線性曲線參數表	40
表 11 核一廠土層 ii (Layer-ii)之 V1 及 V2 過渡區非線性曲線參數表	41
表 12 核一廠土層 iii (Layer-iii)之 V1 及 V2 過渡區非線性曲線參數表.....	42
表 13 岩石材料剪力模數折減曲線參數表.....	43
表 14 岩石材料阻尼比曲線參數表.....	44
表 15 核一廠地盤反應分析所用 54 條邏輯樹分支對應參數表.....	48
表 16 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比均值參考岩盤均佈危害度反應譜 (UHRS _{ref})數值表	53
表 17 核一廠 11 個危害水準之輸入地震點震源模型參數表.....	54
表 18 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA _{input})數值表	55
表 19 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA _{input})數值表(續) ..	56
表 20 核一廠控制點 11 個危害水準下 kappa2 修正前之 18 條邏輯樹分支對應 kappa 值	59
表 21 核一廠控制點 11 個危害水準之權重後中值放大係數.....	63
表 22 核一廠控制點 0.01 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表.....	68
表 23 核一廠控制點 0.2 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表.....	68
表 24 核一廠控制點 2.0 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表.....	69
表 25 核一廠控制點 11 個危害水準之均佈危害度反應譜數值表.....	70
表 26 核一廠反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)數值表	70
表 27 核一廠 5%阻尼比安全停機地震(SSE)反應譜值.....	74

表 28 核一廠 5%阻尼比評估基準地震(RLE)反應譜值	74
-------------------------------------	----

1.0 總論

2011 年 3 月 11 日，日本發生地震矩規模(M_w) 9.0 的東北地方太平洋近海地震並引發大海嘯後，東京電力公司所屬的福島第一核能電廠隨後發生嚴重核子事故。對此，美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)組成近期專案小組(Near-Term Task Force, NTTF)，對美國 NRC 核管程序與法規進行系統性檢討，以確認目前的監管體制是否須作改進。NTTF 提出一系列改善建議，主意對防範天然災害的核管體系進行澄清及強化。隨後，美國 NRC 發布「50.54(f) Letter」，要求全美核電廠須依循 NTTF 所提建議事項執行作業並提供訊息，包含重新評估廠址的地震危害。經比較地震危害重評估結果與原核電廠設計基準後，其結果對應的後續措施即為無需進一步評估、抑或必須執行地震風險評析，後者處理方式有機率式地震安全度評估(Seismic Probabilistic Risk Assessment, SPRA)或耐震餘裕評估(Seismic Margin Assessment, SMA)。基於以上情資，美國 NRC 將判斷是否有執行進一步管制行動的必要性。

台灣電力公司因應我國核能管制機關－行政院原子能委員會(Atomic Energy Council, AEC)之要求，對我國核能設施執行「NTTF 2.1: Seismic」地震危害重新評估(Seismic Hazard Reevaluation)部分，包括機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)以及地震動反應譜(Ground Motion Response Spectrum, GMRS)建置，期能瞭解金山核能發電廠(以下簡稱核一廠)地震動潛勢現況。

PSHA 部分，係根據「核能設施地震危害重新評估」專案之「台灣地區地震危害高階模型建置計畫」經由「SSHAC Level 3」程序產出之地震源特徵(Seismic Source Characterization, SSC)模型、地震動特徵(Ground Motion Characterization, GMC)模型與地震危害分析輸入文件(Hazard Input Document, HID)成果，取得參考岩盤均佈危害度反應譜(Uniform Hazard Response Spectrum for Reference Rock Condition, UHRS_{ref})。GMRS 部分，基本參考美國 NRC 核能法規 RG 1.208 要求程序與美國加州 Diablo Canyon 核電廠(簡稱 DCP)過去執行「NTTF

2.1: Seismic」之地盤受震反應評估方式(PG&E, 2015)，是以執行兩次地盤反應分析求得核一廠反應器廠房(Reactor Building)之地盤放大函數，以能反映強地動引致的非線性效應以及 $UHRS_{ref}$ (經由 GMC 模型)建立內涵，求得定義地表面之 GMRS。

根據「金山核能發電廠除役停機過渡階段前期安全分析報告(CSNPS-PDSAR)」第 2.5 節與第 3.7 節內容(Taiwan Power Company, 2019)所述，核一廠耐震一級(Seismic Category I, SC-I)結構之設計基準地震，稱安全停機地震(Safe Shutdown Earthquake, SSE)，其水平向尖峰地表加速度(Peak Ground Acceleration, PGA)值為 0.3 g，控制高程位置於 CSNPS-PDSAR 未明確定義，惟 CSNPS-PDSAR 中結構分析數值模型之反應器廠房基礎面輸入地震為 SSE，故推定 SSE 控制點位在反應器廠房基礎面，水平向反應譜型取自 CSNPS-PDSAR 圖 3.7-40。因此，本報告地盤反應分析結果輸出反應譜之控制點設於反應器廠房基礎面，稱基礎輸入地震反應譜(Foundation Input Response Spectrum, FIRS)，以能在相同控制高程條件下檢視 SSE。

總結核一廠地震危害重新評估結果，根據「SPID Guidance (EPRI 1025287)」(EPRI, 2013)檢核準則，經由 3 組整體波速基準剖面、數組岩土材料非線性曲線以及 3 組高頻衰減參數修正值所組合之 54 條邏輯樹分支的地盤反應分析，所得 FIRS 在全部週期點皆高於 SSE，意即 FIRS 在 0.1 至 1 秒以及小於 0.1 秒的檢核週期範圍超過 SSE，惟因目前核一廠為除役狀態，機率式地震風險評估(Seismic Probabilistic Risk Assessment, SPRA)、高頻設備耐震評估(High Frequency Confirmation)與用過燃料池耐震評估(Spent Fuel Pool Evaluation)、以及針對短期應對措施之加速耐震評估程序(E Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)，將視核一廠相關核管案件或除役計畫重要管制事項之承諾事項辦理。

2.0 地震危害重新評估

核一廠位於新北市石門區，地處台灣島最北端，距離台北市東北方約 28 公里處。核一廠址為一背山面海之海岸地區，位處大屯火山群北麓低緩台地，地勢由南向北緩降入海。核一廠周圍區域地質與斷層分布如圖 1 所示。

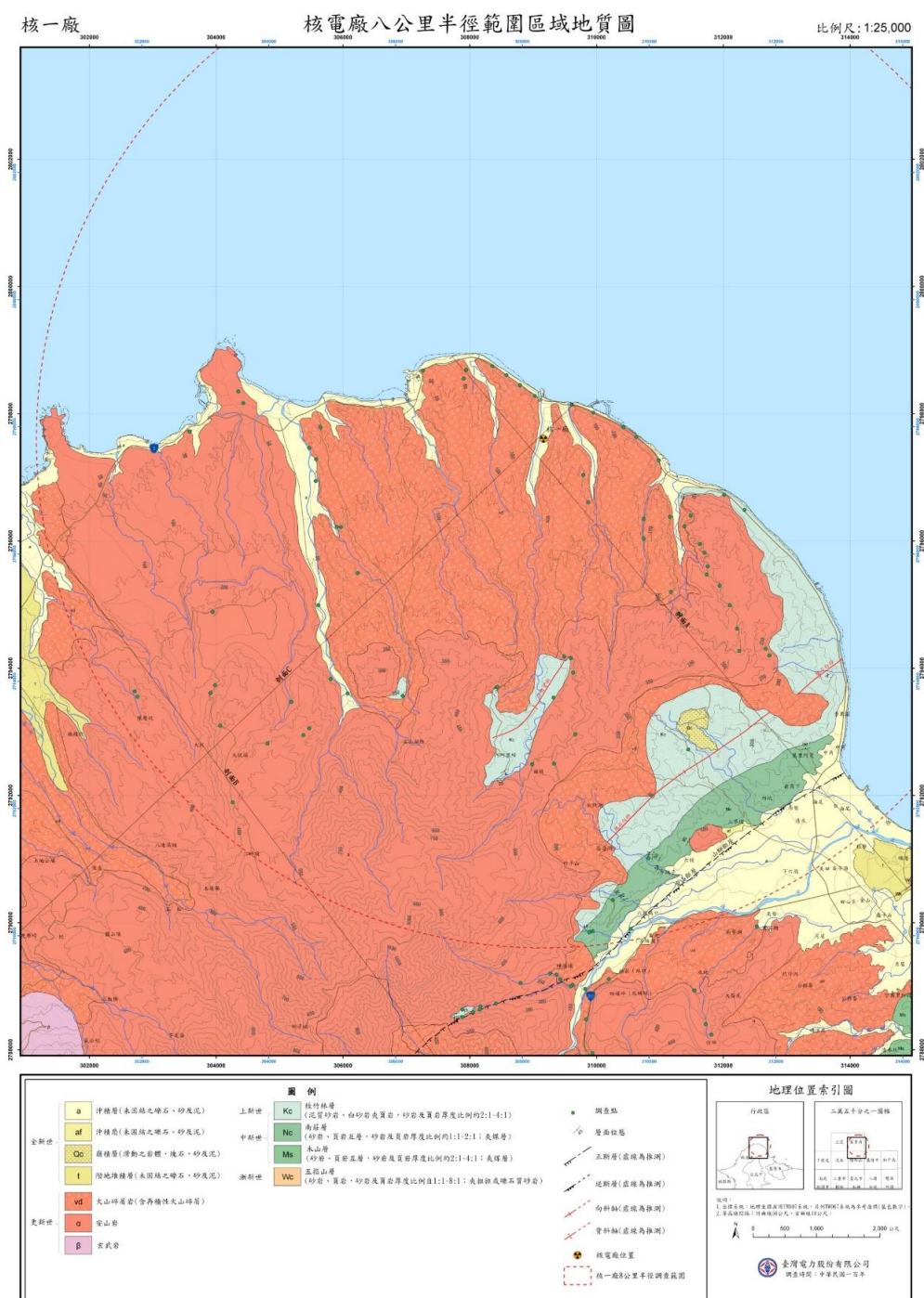


圖 1 核一廠周遭區域地質及斷層圖

核一廠於近菲律賓海板塊向西北隱沒至歐亞大陸板塊下方之西界，同時為近琉球島弧西緣處，主要活躍構造為琉球班尼奧夫帶，距離核一廠約 65 公里。菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之聚合變形速度，無顯著連帶於核一廠周遭構造(如山腳斷層、ST-II 斷層)的活動量。

根據歷史地震紀錄顯示，核一廠附近區域曾發生中、大規模地震，最大地震規模事件為 1909 年發生深度 72 公里、震矩規模 7.4 之台北地震(約距離核一廠 24 公里)。廠址最大觀測尖峰地表加速度(PGA)值約為 0.0315g 源於 1999 年芮氏規模 7.3 之集集地震，該震動值明顯低於核一廠安全停機地震及評估基準地震：

1. 安全停機地震(SSE)：水平向 PGA 值為 0.3g，為原始建廠設計基準值。
2. 評估基準地震(Review Level Earthquake, RLE)：水平向 PGA 為 0.51g，為 2013 年執行耐震安全餘裕評估(Seismic Margin Assessment, SMA)時所採用之審查地震水準(原能會，2014)。

2.1 場址地質說明

核一廠廠區基岩(Bedrock)包含新生代火山岩及沉積岩，耐震一級結構基礎主要座落於泥質砂岩為主的桂竹林層大埔段。

2.1.1 地層

核一廠鄰近區域出露地層，包括新生代漸新世、中新世、上新世之沉積岩與更新世之火山岩。沉積岩層包括五指山層、木山層、南莊層及桂竹林層，其中五指山層為漸新世至中新世地層，木山層及南莊層為中新世地層。為核一廠區基岩的桂竹林層，屬西部麓山帶之中新世至上新世地層，依時代可細分為大埔段與二鬮段。大埔段為中新世晚期地層，岩性以厚層或塊狀之灰白色中至粗粒純淨砂岩或青灰色細粒泥質砂岩為主，間夾青灰色至暗灰色頁岩或砂、頁岩互層。二鬮段為上新世早期地層，岩性以青灰色厚層中至粗粒泥質砂岩為主，夾薄層砂質頁岩或砂、頁岩薄互層。

核一廠區地表廣泛覆蓋之火山碎屑岩，為更新世大屯山群活動時

期之噴發產物，厚度由 5 至 10 公尺不等，本層係由原生或再積之安山岩之角礫及圓礫夾大量之火山灰構成，層次不明顯，呈初度固結至未固結之狀態，地表常見經風化而成之紅土。

所在的乾華溪狹窄谷地，位於台灣北海岸大屯火山群北緣，除砂及粗礫堆積外，地表廣泛地被火山碎屑岩及火山物質風化而成之紅土所覆蓋。

2.1.2 顯著震源構造

根據「核能設施地震危害重新評估」專案之「台灣地區地震危害高階模型建置計畫」經由「SSHAC Level 3」程序產出之地震源特徵(Seismic Source Characterization, SSC)模型，核一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，其年超越機率 $1E-04$ 危害水準之 0.01 秒與 2.0 秒週期控制震源參數表如表 1 所示。

2.1.2.1 山腳斷層

山腳斷層位於台北盆地西側與林口台地交接處，由樹林朝東北延伸經關渡、北投大屯山後，至金山平原北側入海，續往東北延伸過彭佳嶼至北緯約 25.4 度，全長約 134 公里。山腳斷層為高角度正斷層帶左移，破裂面朝東南向傾斜，探入地下深處後遂漸轉平並連接到基底滑移面，孕震深度約 15 公里。核一廠距離山腳斷層約 7 公里，位於下盤側。滑移速率方面，綜整過去調查成果，垂直滑移速率約在 0.2 至 4.4 公厘/年。

2.1.2.2 ST-II 斷層

ST-II 斷層海域段由萬里美崙朝東北至棉花峽谷西側，約 51 公里，走向概與山腳斷層海域段平行(間距約 6 至 7 公里)；陸域段由萬里美崙往西偏南至北投大屯山，約 17 公里。ST-II 斷層為高角度正斷層帶左移，破裂面朝東南向傾斜，探入地下深處後遂漸轉平並連接到基底滑移面，孕震深度約 15 公里。核一廠距離 ST-II 斷層約 15 公里，位於下盤側。滑移速率方面。綜整過去調查成果，垂直滑移速率約在 0.2

至 3.0 公厘/年。

2.1.2.3 琉球隱沒帶

琉球隱沒帶位於菲律賓海板塊往西北沒入歐亞大陸板塊下方之聚合交界處，海溝長度達約 2,200 公里，分有板塊介面(Interface)震源與板塊內部(Intraslab)震源。板塊介面型構造由滑脫面(Décollement)與巨型斷層(Mega-thrust)組成，距離核一廠約 65 公里。琉球隱沒帶界面為逆衝斷層型態，破裂深度可達約 35 公里，滑移速率約在 15 至 40 公厘/年；板塊內部型地震帶即班尼奧夫帶，最深可達 300 公里。

2.1.2.4 淺部區域震源

淺部區域震源根據 3 組震源分區模型以及其子分區位置，其深度設定為 0 至 20、35 或 50 公里，以能涵蓋地殼型斷層、隱沒帶介面型斷層以外的未知構造活動特性。核一廠所在淺部區域震源子分區之最大地震規模，3 組模型設定範圍為 6.5 至 7.5。

2.2 機率式地震危害度分析

2.2.1 機率式地震危害度評估成果

核一廠 PSHA 依「NTTF 2.1: Seismic」相關要求執行，SSC 與 GMC 之輸入模型，皆按照 NUREG/CR-6372 (1997)與 NUREG-2117 (2012)所述「SSHAC Level 3」程序進行開發，模型結果具穩定性、可靠性與合理詮釋性。SSC 模型可反映核一廠未來地震潛勢特徵(地震規模、位置、活動度等)，GMC 模型可表示核一廠周遭各式震源機制、距離、規模、參考岩盤等之地震動分布。

SSC 模型已考慮超過以核一廠反應器廠房為中心之半徑 320 公里範圍之區域震源、斷層震源與隱沒帶震源。核一廠主要控制震源為山腳斷層、ST-II 斷層、琉球隱沒帶以及淺部區域震源，對其地震規模、破裂模型、破裂分段模式、活動度、錯動機制之可能性皆詳加考慮隨機性與模型不確定性。GMC 模型以台灣地震動重新調整後之國外地震動預估模式(Ground Motion Prediction Equation, GMPE)與本土化模型為基礎，藉以賽門圖像(Sammom's Map)技巧，個別對地殼震源

與隱沒帶震源發展參考岩盤 V_{s30} 為 760m/sec 條件之 17 組基本模式 (Common Form, CF)，並提供單站標準差模型 (Single Station Sigma, SigmaSS)。

PSHA 輸入模型之完整內容與說明，請詳參「台灣地區地震危害高階模型建置計畫」之 SSC 技術報告(台電公司與國震中心，2019)、GMC 技術報告(台電公司與國震中心，2019)以及 HID(台電公司與國震中心，2019)。

2.2.2 參考岩盤地震危害度均值曲線

參考岩盤定義指 V_{s30} 為 760m/sec 之地盤條件。PSHA 設定上，以核一廠反應器廠房為中心之半徑 320 公里內全數震源納入計算，使用 17 組基本模式(CF)及其權重值，截切標準差個數取為 4。圖 2 與圖 3 分別為 0.01 秒及 2.0 秒週期之各類震源及所有震源之參考岩盤均值地震危害度曲線。圖 4 至圖 7 分別為 0.01 秒及 2.0 秒週期在 1E-04 與 1E-05 年超越頻率水準之重要震源危害貢獻百分比。圖 8 至圖 11 分別為 0.01 秒及 2.0 秒週期在 1E-04 與 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤地震危害參數拆解結果。表 2 與圖 12 為 0.01 秒、0.05 秒、0.1 秒、0.2 秒、0.4 秒、1.0 秒及 2.0 秒週期之地震動 S_a 值之參考岩盤均值地震危害度。

表 1 核一廠年超越頻率 1E-04 危害水準之控制震源參數表

震源名稱	0.01 秒週期		2.0 秒週期	
	控制距離 (km)	控制規模 (M _w)	控制距離 (km)	控制規模 (M _w)
山腳斷層系統	9.49	7.29	9.98	7.30
ST-II 斷層系統	14.40	7.19	14.40	7.22
琉球隱沒帶介面型震源	83.21	8.72	96.34	8.90
琉球隱沒帶內部型震源	127.58	7.45	150.19	7.64
淺部區域震源	34.18	6.64	63.21	7.25

表 2 核一廠 7 個週期參考岩盤均值譜加速度地震危害度曲線數值表

Sa (g)	Annual Exceedance Frequency						
	T=0.01s	T=0.05s	T=0.1s	T=0.2s	T=0.4s	T=1.0s	T=2.0s
0.01	1.24E+00	2.04E+00	3.11E+00	3.84E+00	3.48E+00	1.04E+00	2.05E-01
0.03	2.29E-01	4.48E-01	8.14E-01	1.03E+00	8.32E-01	2.13E-01	3.02E-02
0.08	3.66E-02	7.51E-02	1.55E-01	2.08E-01	1.53E-01	3.31E-02	3.48E-03
0.15	9.51E-03	2.00E-02	4.47E-02	6.21E-02	4.19E-02	7.75E-03	7.20E-04
0.2	4.85E-03	1.04E-02	2.42E-02	3.41E-02	2.20E-02	3.75E-03	3.29E-04
0.3	1.74E-03	3.90E-03	9.82E-03	1.39E-02	8.37E-03	1.25E-03	1.02E-04
0.4	7.91E-04	1.85E-03	5.00E-03	7.10E-03	4.05E-03	5.42E-04	4.20E-05
0.5	4.14E-04	9.97E-04	2.89E-03	4.11E-03	2.25E-03	2.74E-04	2.05E-05
0.8	9.56E-05	2.46E-04	8.35E-04	1.20E-03	5.98E-04	5.92E-05	4.15E-06
1.0	4.55E-05	1.20E-04	4.42E-04	6.36E-04	3.04E-04	2.74E-05	1.86E-06
1.2	2.42E-05	6.57E-05	2.57E-04	3.71E-04	1.71E-04	1.43E-05	9.48E-07
1.6	8.59E-06	2.43E-05	1.04E-04	1.52E-04	6.66E-05	4.90E-06	3.14E-07
1.9	4.50E-06	1.31E-05	5.94E-05	8.70E-05	3.70E-05	2.52E-06	1.58E-07
2.3	2.14E-06	6.41E-06	3.11E-05	4.58E-05	1.88E-05	1.17E-06	7.11E-08
3.0	7.22E-07	2.28E-06	1.22E-05	1.81E-05	7.10E-06	3.86E-07	2.23E-08
5.0	7.21E-08	2.60E-07	1.78E-06	2.68E-06	9.47E-07	3.71E-08	1.95E-09
10.0	1.44E-09	7.15E-09	9.01E-08	1.41E-07	4.12E-08	7.71E-10	2.59E-11

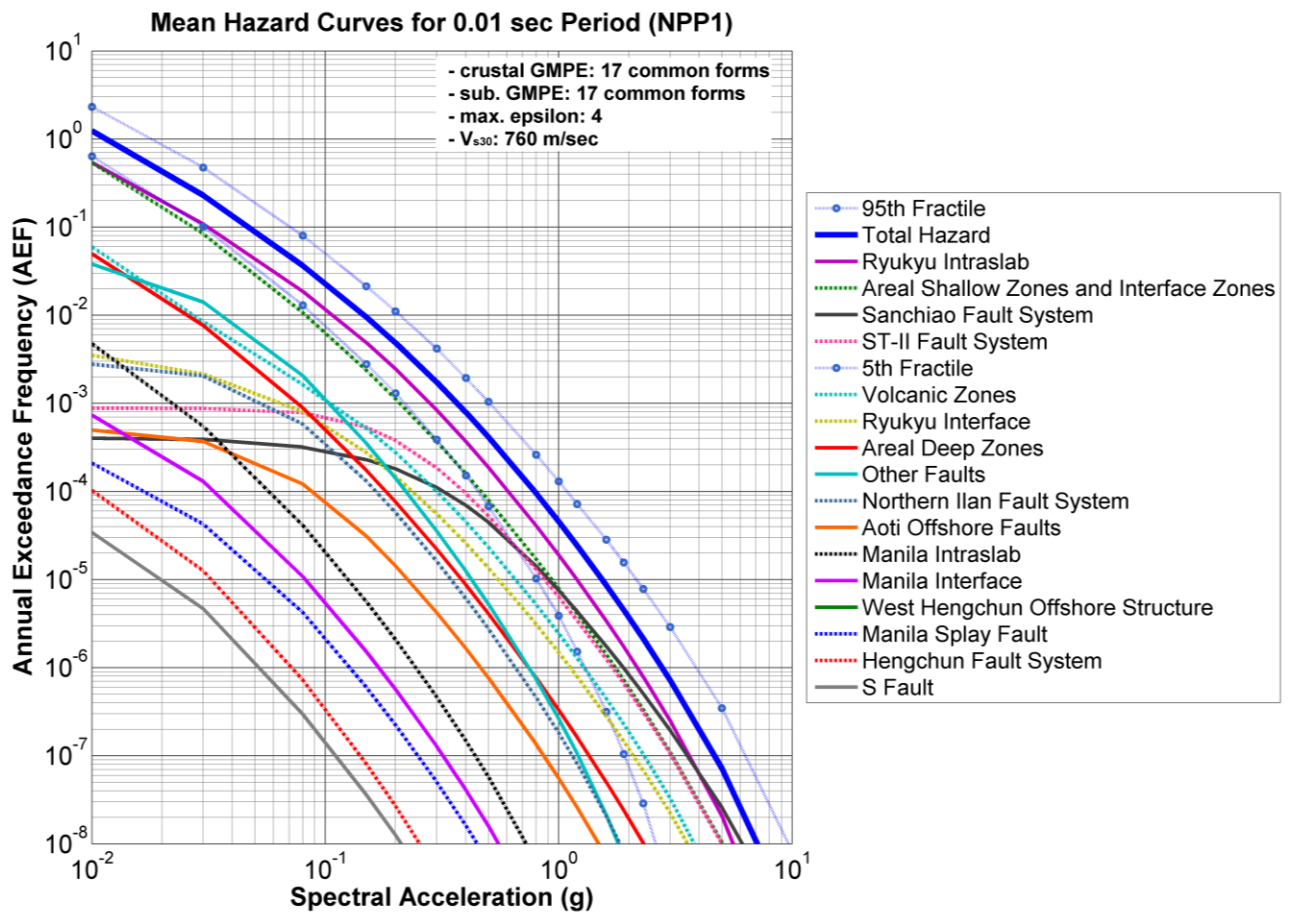


圖 2 核一廠 0.01 秒週期之參考岩盤均值地震危害度曲線

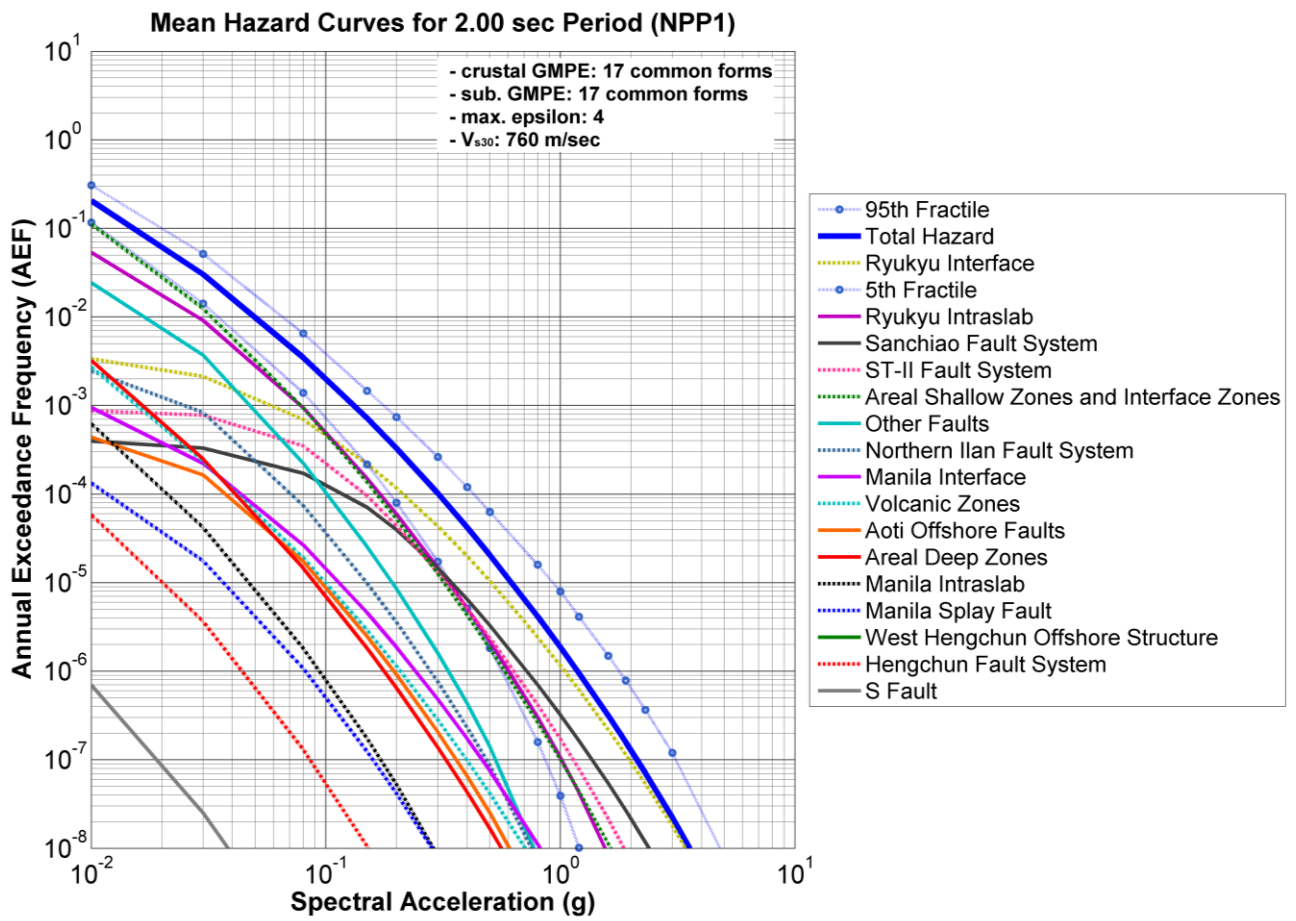


圖 3 核一廠 2.0 秒週期之參考岩盤均值地震危害度曲線

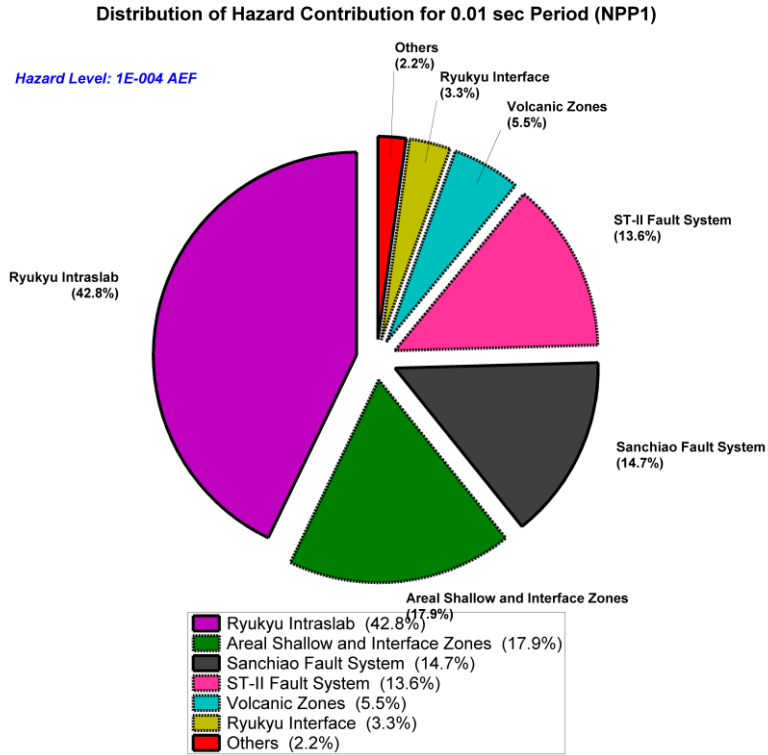


圖 4 核一廠 0.01 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度主要貢獻震源百分比

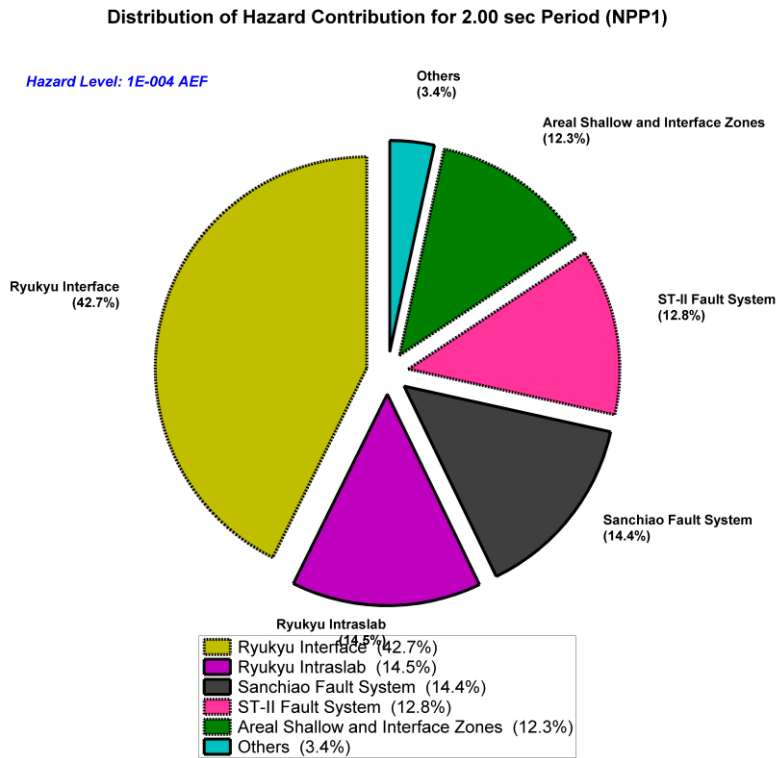


圖 5 核一廠 2.0 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度主要貢獻震源百分比

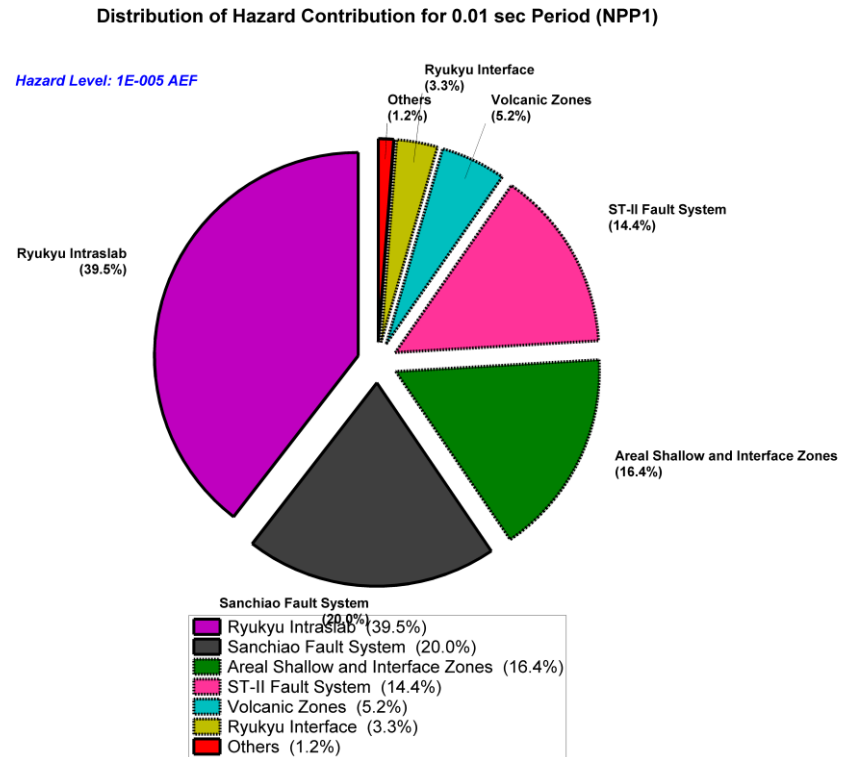


圖 6 核一廠 0.01 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度主要貢獻震源百分比

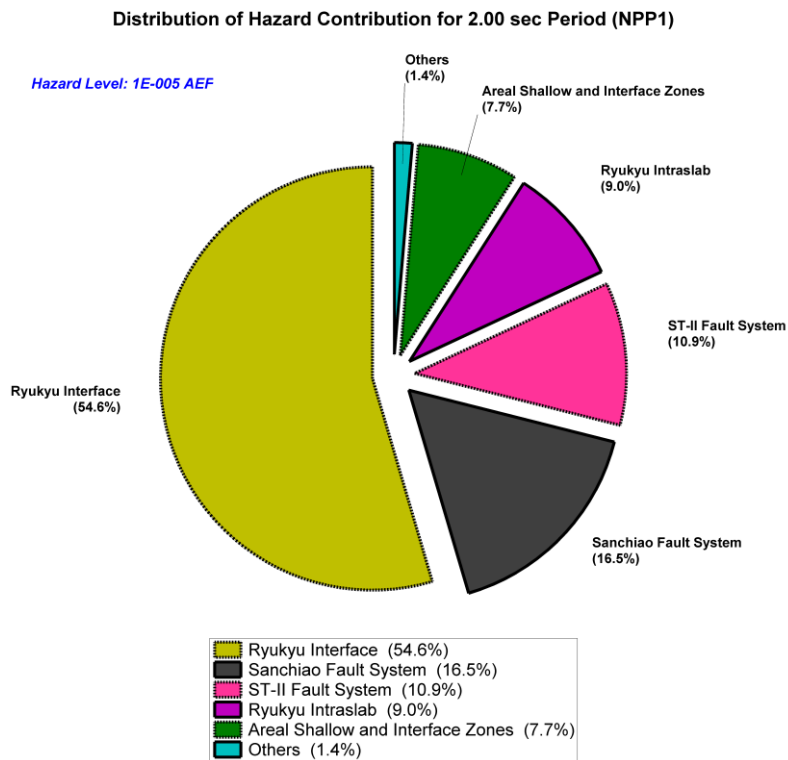


圖 7 核一廠 2.0 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度主要貢獻震源百分比

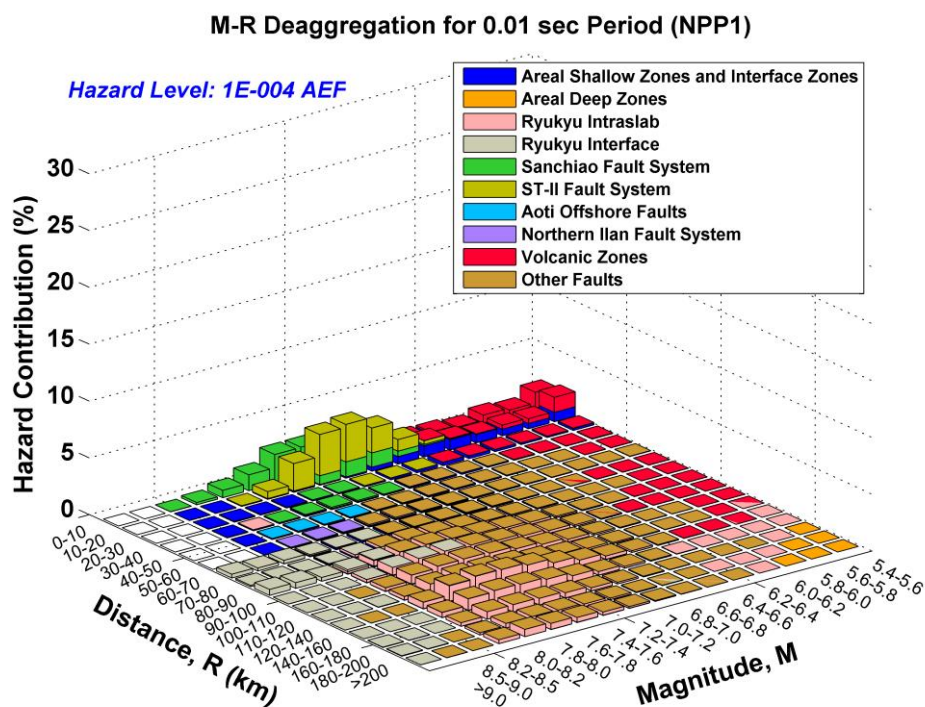


圖 8 核一廠 0.01 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度參數拆解

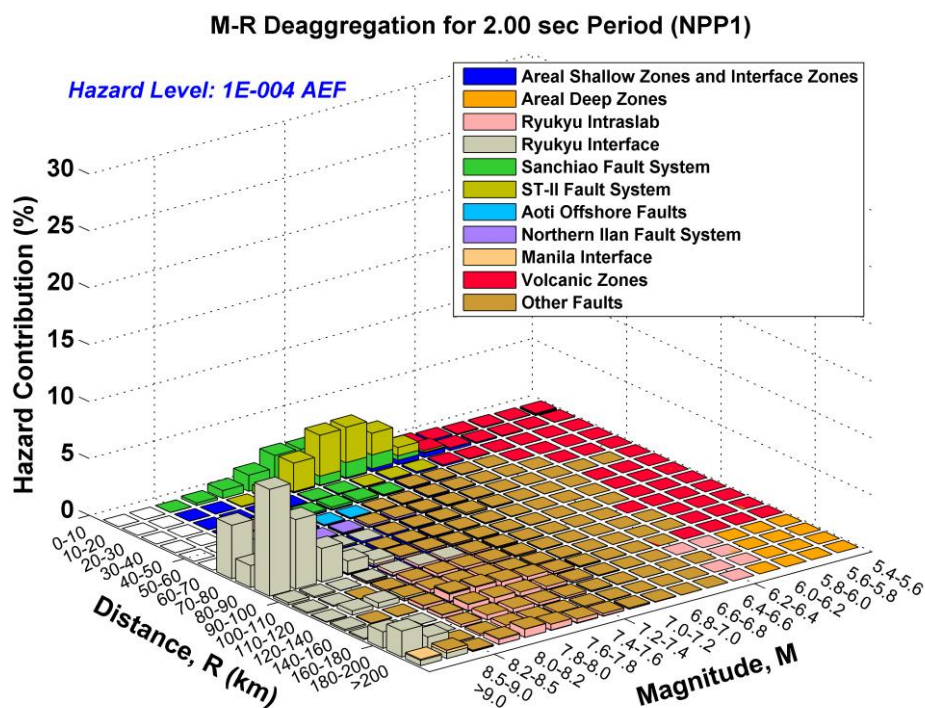


圖 9 核一廠 2.0 秒週期在 1E-04 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度參數拆解

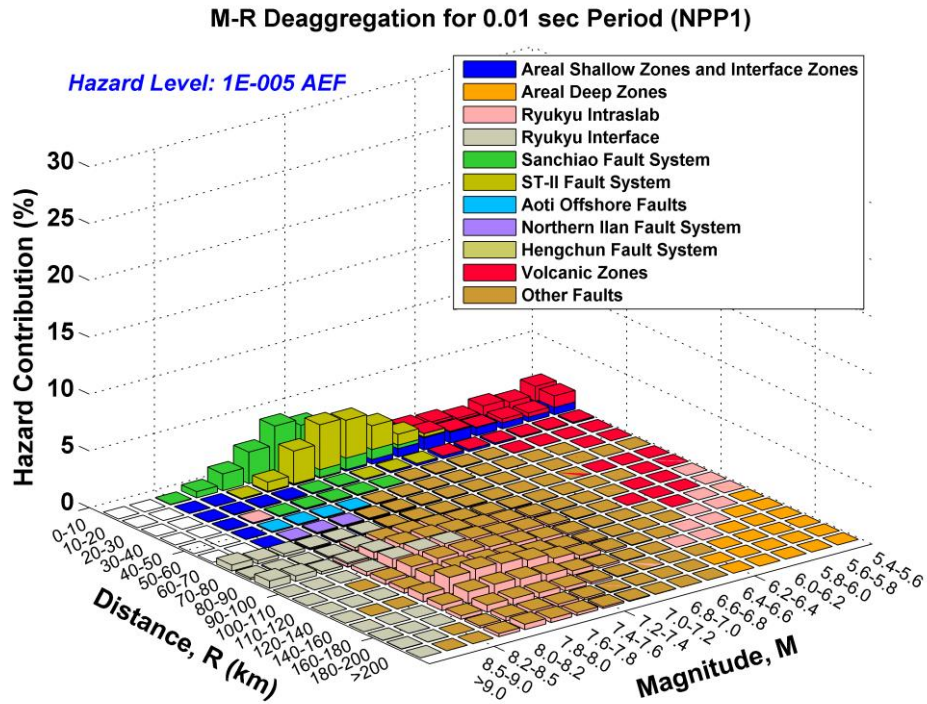


圖 10 核一廠 0.01 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度參數拆解

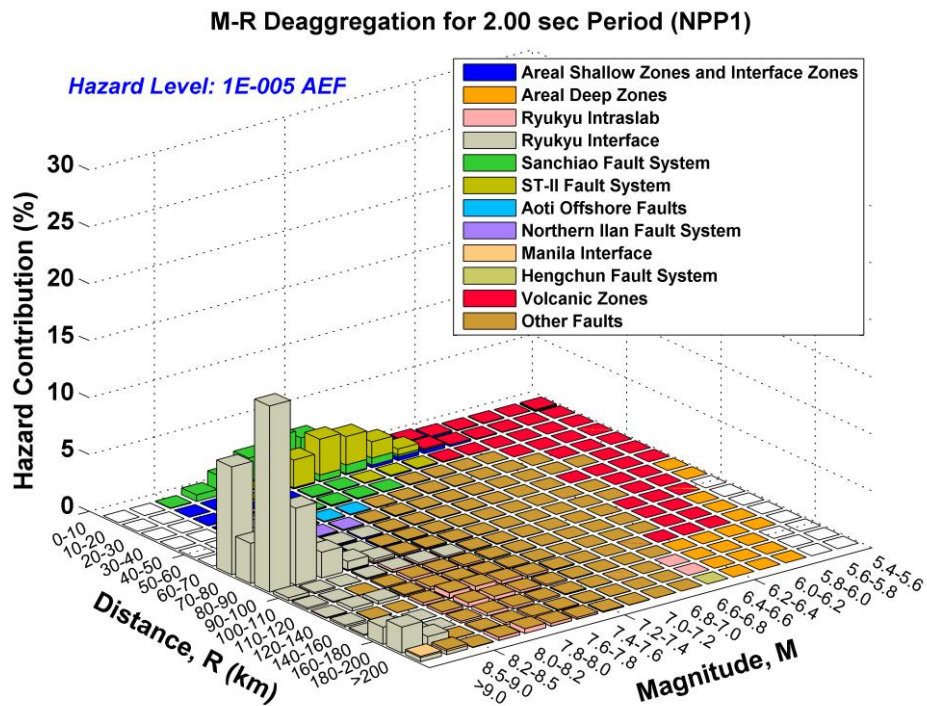


圖 11 核一廠 2.0 秒週期在 1E-05 年超越頻率水準之參考岩盤
均值地震危害度參數拆解

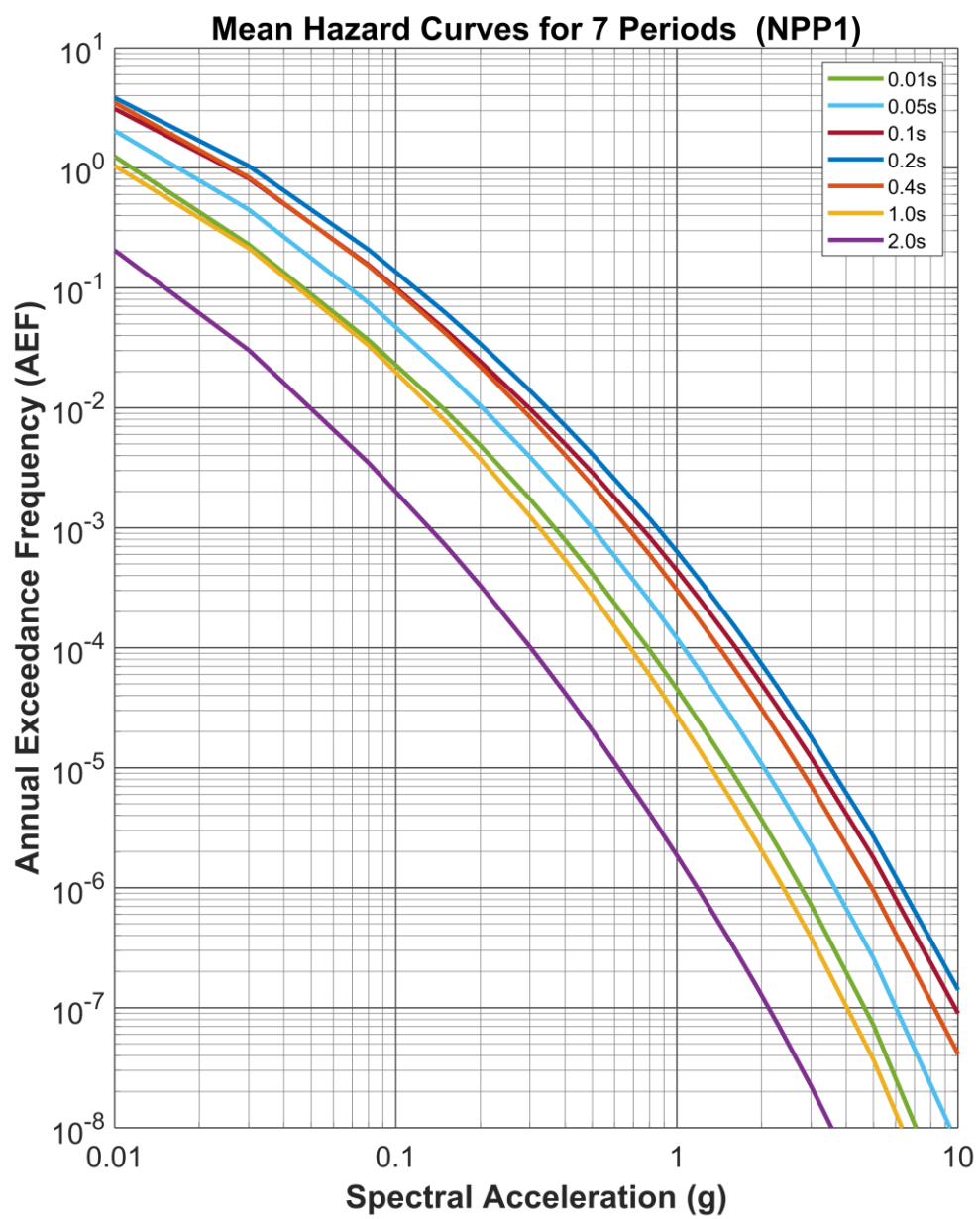


圖 12 核一廠 7 個週期之參考岩盤均值譜加速度地震危害度曲線

2.3 地盤反應分析

核一廠耐震一級結構並非座落於剪力波速 2,800 m/sec 條件之岩盤，按「SPID Guidance」(EPRI, 2013)所述，須對核一廠執行地盤反應分析。在此採用美國 DCPD 執行「NTTF 2.1: Seismic」所用場址放大反應評估方法(PG&E, 2015)，稱基於 GMPE 剖面修正之地盤反應分析法(Site Response Analysis Approach via GMPE Profile Correction)。

2.3.1 輸出控制點定義

核一廠地盤反應分析結果之輸出控制點位於反應器廠房基礎面，輸出反應譜稱為基礎輸入地震反應譜(FIRS)，該高程同於安全停機地震(SSE)之控制點位。核一廠反應器廠房地表面及基礎面之對應高程分別約+11.99 公尺與-2.69 公尺，兩者高程差約 14.7 公尺。以上參數係參考自 CSNPS-PDSAR (2019)。

2.3.2 地層性質概述

依據 CSNPS-PDSAR (2019)、營運中核能電廠補充地質調查工作報告(中興公司，2012)、增設井下地震觀測系統改善案(萬大公司等，2015)、營運中核能電廠擴大地質調查工作成果總結報告(中興公司，2016)、核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作報告(中興公司，2017)、振盪震源車震測試驗報告(國立成功大學，2020)、以及廠區高信度地盤模型建置試驗成果報告(國立成功大學，2021)等參考資料，核一廠地表以下為約 8.9 至 23.55 公尺厚之未固結沈積物，未固結沈積物以下為局部出現之火山角礫岩，其下為砂岩層。各地層特性說明如下：

1. 未固結沈積物：厚度約在 2 至 12 公尺之間，以回填砂及火山碎屑岩塊及乾華溪谷的現代沖積層之卵礫石為主。
2. 火山角礫岩層：厚度變化甚大，在 2 至 14.7 公尺之間，可能為火山活動期產生或其後經由搬運、堆積作用重新沈積(再積)於乾華溪谷地；由大小不等之火山角礫或圓礫組成，礫石之間以中至細砂或黏土充填。

3. 沉積岩層：沈積岩層屬桂竹林層，主要岩性為砂岩，局部夾少量頁岩或砂、頁岩互層，部分砂岩漸變為粉砂岩，砂、頁岩之層界有時並不明確。

表 3 為核一廠廠址主要地層材料之地質概述與土層厚度等相關資訊。根據營運中核能電廠補充地質調查工作報告(中興公司，2012)資料，核島區淺層地質剖面如圖 14 所示。

表 3 核一廠廠址代表性地層參數

地層	未固結沉積物			沉積岩層	
調查資料	CSNPS-PDSAR (2019)		補充地質調查 (2012) 井下地震觀測 (2015) 擴大地質調查 (2016) 火山調查 (2017) 廠區高信度 (2021)	CSNPS-PDSAR (2019)	補充地質調查 (2012) 井下地震觀測 (2015) 擴大地質調查 (2016) 火山調查 (2017)
材料描述	礫石 (未飽和)	礫石 (飽和)	岩塊、細砂、 粉土質砂及黏土	大埔層(Tapu Formation)主要岩性為砂岩、少量頁岩或砂、頁岩互層，部分砂岩漸變為粉砂岩	砂岩偶夾頁岩、粗至中粒疏鬆砂岩、薄層頁岩、砂頁岩薄互層
厚度 (m)	8.9 ~ 23.55		2.0 ~ 29.0	--	--
單位重 (tf/m ³)	--	--	1.46 ~ 2.32	--	1.69 ~ 2.23
V _s (m/sec)	210 (700 ft/s)	210 (700 ft/s)	170 ~ 919	555 (1,850 ft/s)	312 ~ 1,369
V _p (m/sec)	630 (2,100 ft/s)	1,500 (5,000 ft/s)	519 ~ 4,631	1,200 (4,000~5,000 ft/s)	758 ~ 2,864

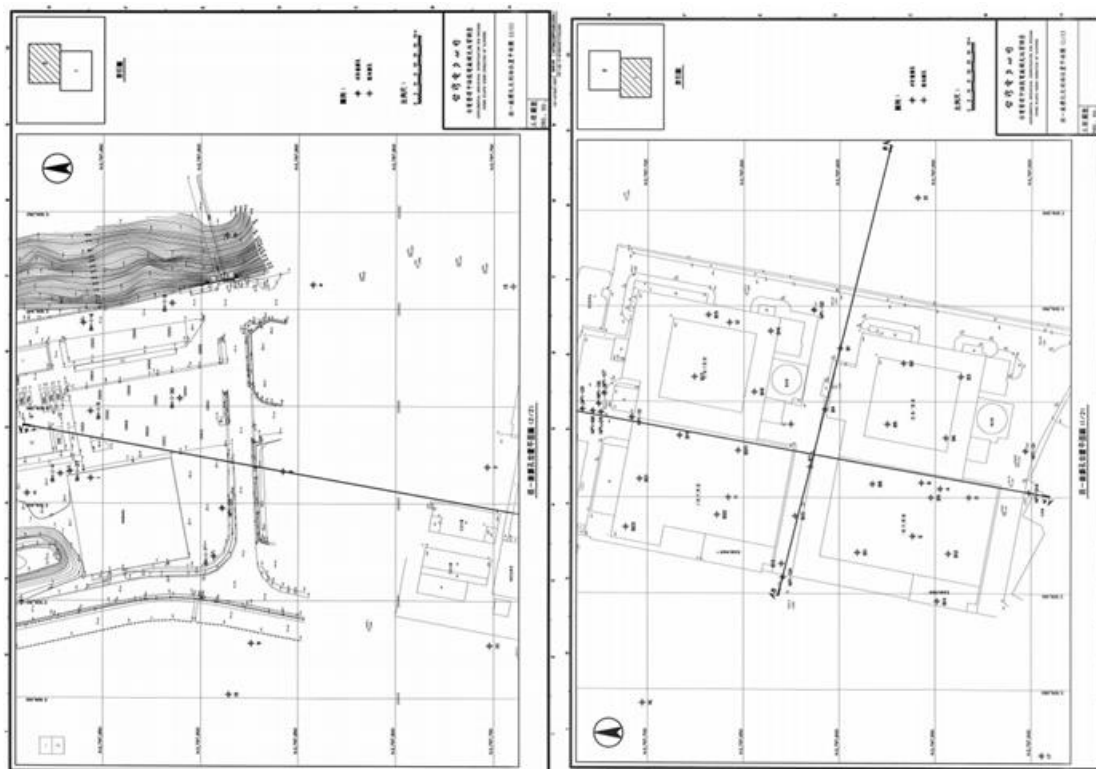


圖 13 核一廠核島區地質剖面位置圖

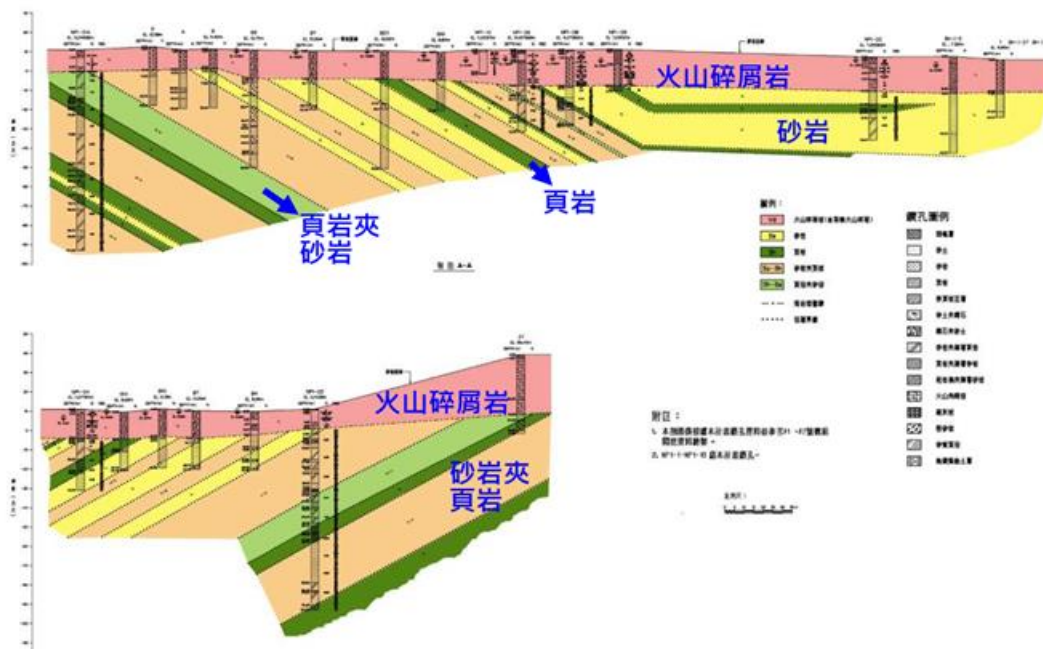


圖 14 核一廠核島區淺層地質剖面

2.3.3 廠址波速剖面與土層材料參數

2.3.3.1 淺部波速剖面

核一廠淺部波速剖面係依據廠區現地量測試驗成果而建。廠區淺部土層波速資料主要蒐集自懸垂式速度井測(P-S Logging)試驗(中興公司, 2012、2016、2017)、井下速度量測試驗(萬大公司等, 2015)、表面波譜分析(Spectral- Analysis of Surface Waves, SASW)試驗(國立成功大學, 2020)以及微地動陣列量測(Microtremor Array Measurement, MAM)試驗(中興公司, 2015)。懸垂式速度井測試驗之相關基本資訊料如表 4 所示, 各鑽孔位置分佈以及波速剖面分別如圖 15 與圖 16 所示。SASW 各測線佈設位置以及波速剖面分別如圖 17 與圖 18 所示。MAM 試驗佈設位置以及頻散曲線(dispersion curve)分別如圖 19 與圖 20 所示。

整合廠區既有與增補現地試驗之頻散曲線分析成果如圖 21, 經評估後針對核一廠廠區設定 3 組淺部波速基準剖面, 分別稱最佳估值(Best- Estimated, BE)基準剖面、上值基準(Upper Base, UB)剖面以及下值基準(Lower Base, LB)剖面, 如圖 22 與圖 23 所示。

表 4 核一廠速度井測鑽孔資料表

鑽孔代碼	時間	鑽孔深度(m)	地表高程(m)	覆土深度(m)	專案名稱
NP1-1A	2012	102	11.05	11.55	補充地質調查
NP1-2	2012	102	11.14	8.85	補充地質調查
NP1-3	2012	42	7.29	17.73	補充地質調查
NP1-4	2012	42	11.07	15.10	補充地質調查
NP1-5	2012	42	10.98	18.60	補充地質調查
N1SB1	2016	356	12.83	9.70	擴大地質調查
BH1	2017	35	11.18	29.00	火山調查
BH2	2017	35	9.29	14.20	火山調查
BH3	2017	35	21.99	8.50	火山調查
DHA	2015	146	16.00	3.30	井下地震觀測系統
DHB	2015	149	9.00	11.50	井下地震觀測系統

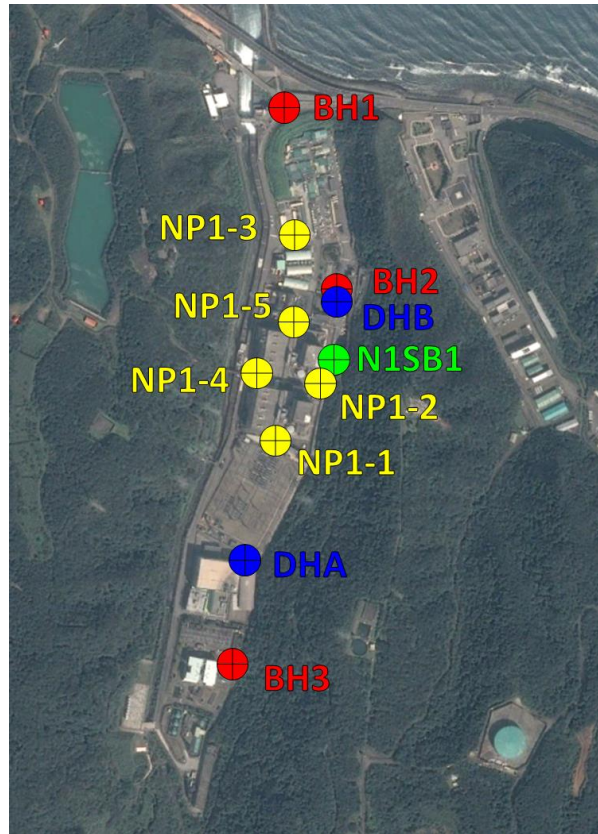


圖 15 核一廠速度井測鑽孔位置圖

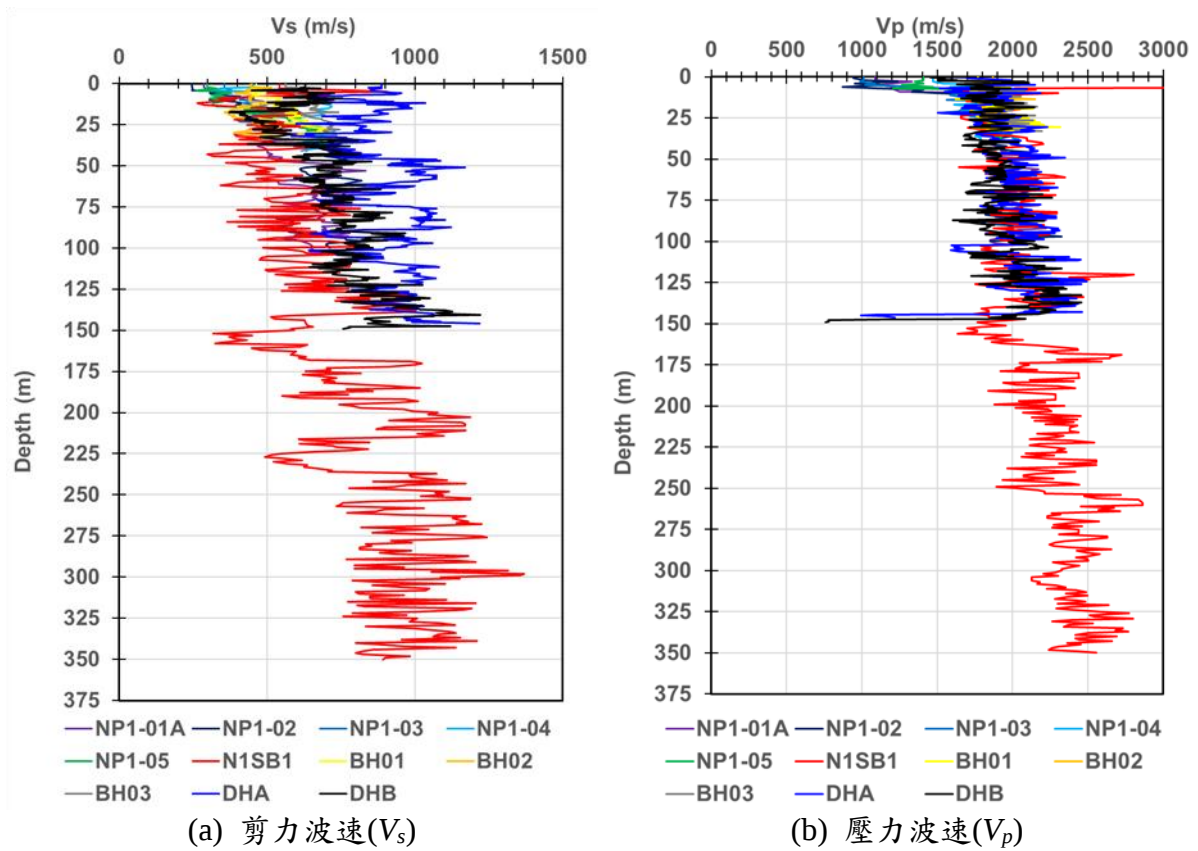


圖 16 核一廠速度井測波速剖面

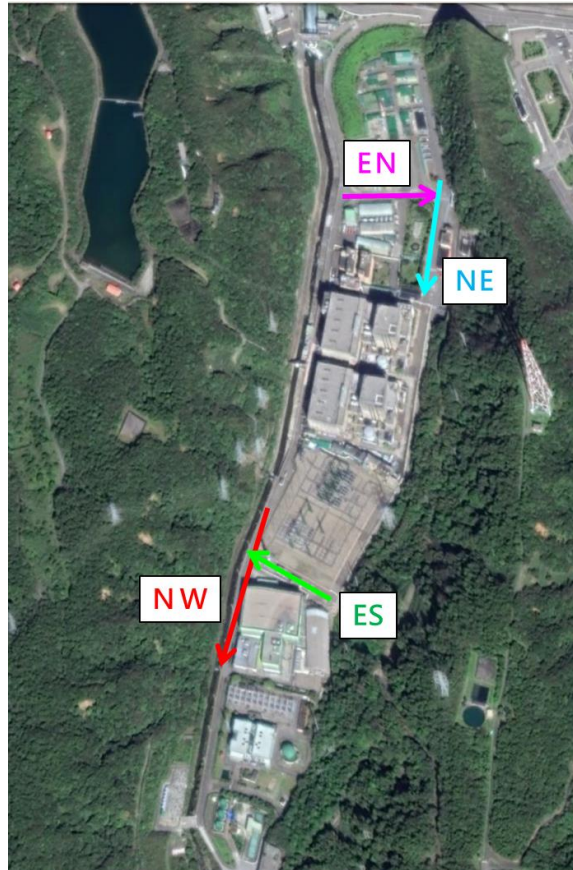


圖 17 核一廠表面波譜分析(SASW)試驗測線佈設位置圖

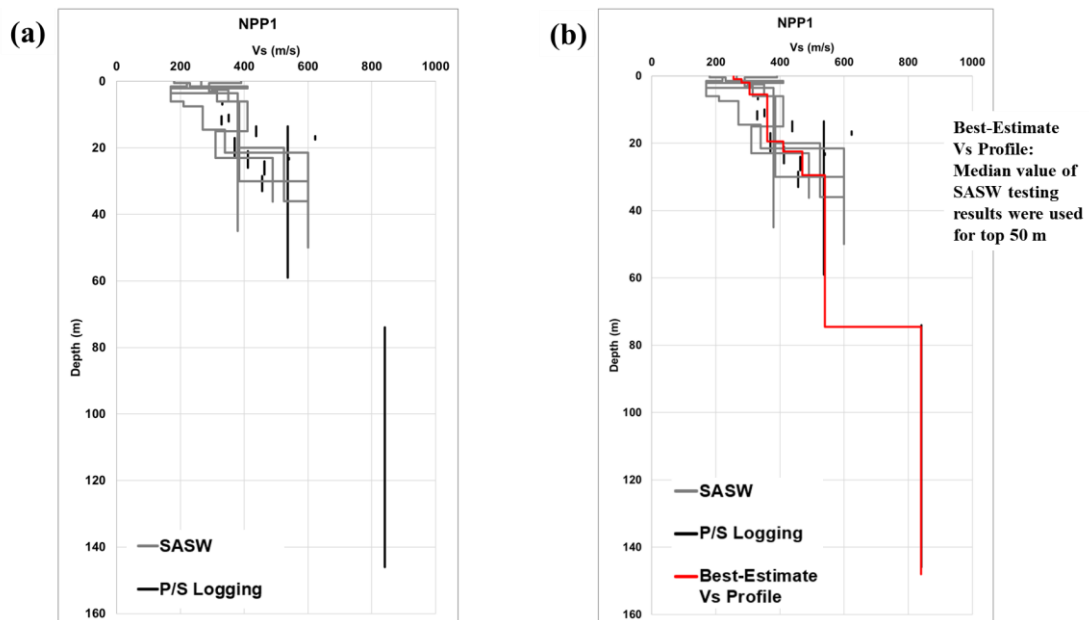


圖 18 依據表面波譜分析(SASW)與可用 P-S Logging 資料所建立之核一廠最佳估值(BE)基準波速剖面

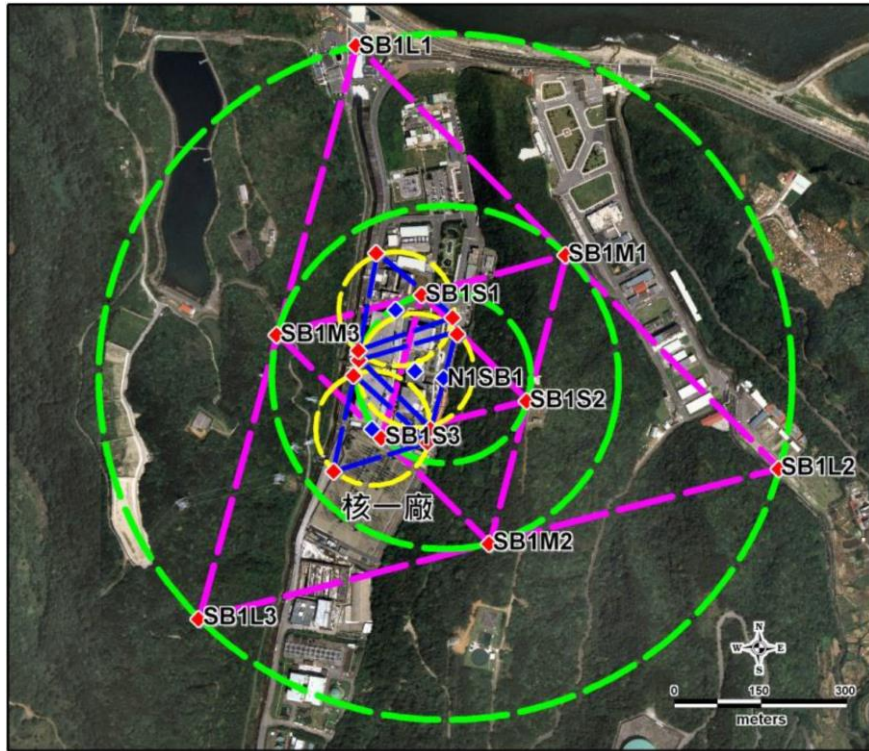


圖 19 核一廠大(綠圈)、小(黃圈)陣列量測配置(中興公司，2015)

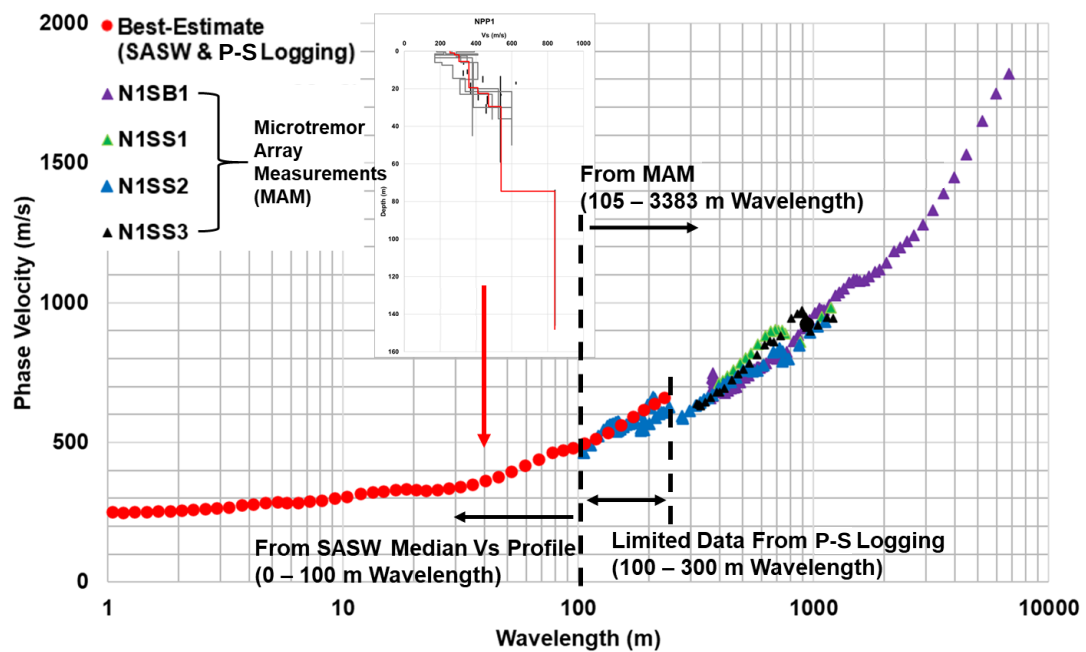


圖 20 核一廠 MAM 頻散曲線(三角標號)以及 SASW 與可用 P-S Logging 資料估算之頻散曲線(紅實心圓)

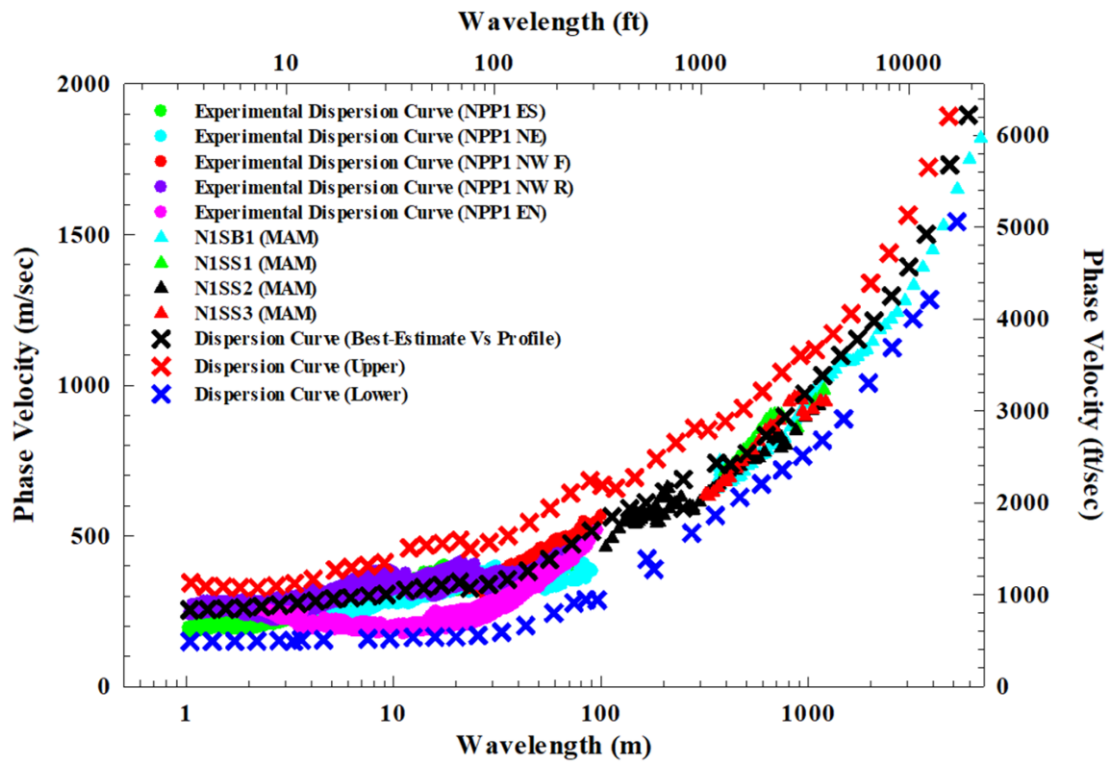


圖 21 核一廠 SASW、MAM 與 3 組淺部剪力波速基準剖面之頻散曲線

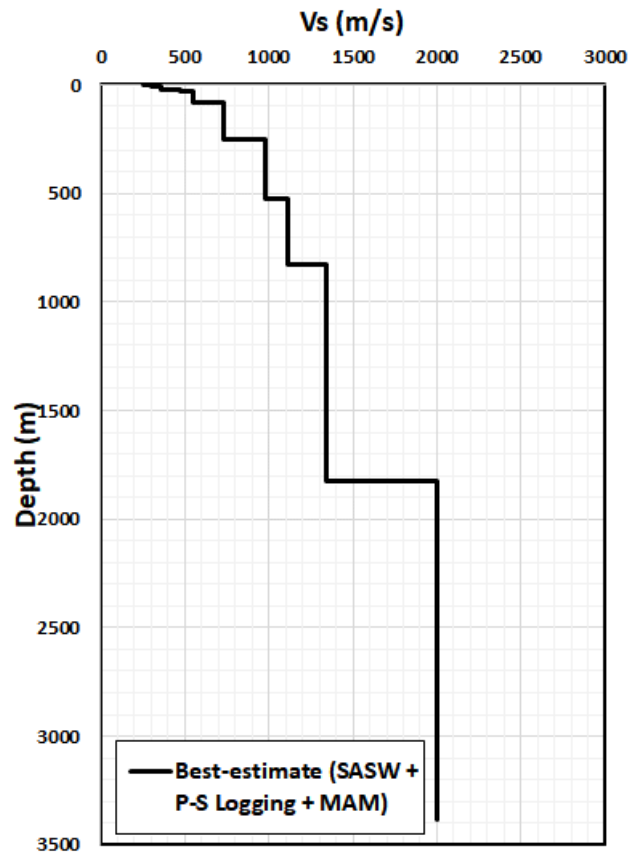


圖 22 由頻散曲線估算之核一廠最佳估值(BE)淺部剪力波速基準剖面

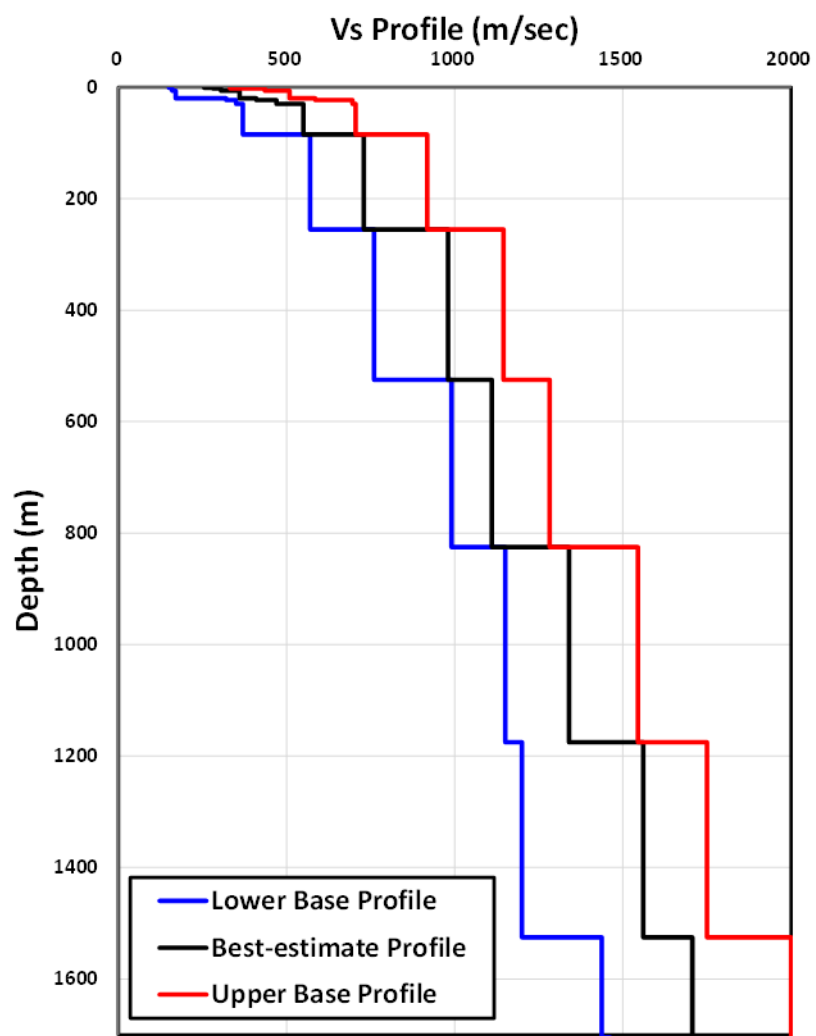


圖 23 核一廠 3 組淺部剪力波速基準剖面

2.3.3.2 深部波速剖面

核一廠深部波速剖面係採用郭俊翔(2020)建構之台灣通用岩盤 (Taiwan Generic Rock, TWGR)波速剖面，共使用 37 個 V_{s30} 介於 630 m/s 到 910 m/s 之井測波速剖面以建立極淺層的平均速度剖面，另收集各種地球物理方法(如微地動陣列、接收函數法、表面波頻散逆推、環境噪訊逆推、地震層析成像等)之研究結果以建構其他深度區間的速度剖面，最後綜整得到一深度達 16 公里的 V_s 剖面。深度 5 公里內之 TWGR 波速剖面如圖 24 所示，其數值詳列於表 5。TWGR 剖面 V_{s30} 值約 754.1 m/s，接近 760 m/s 之參考岩盤條件值。

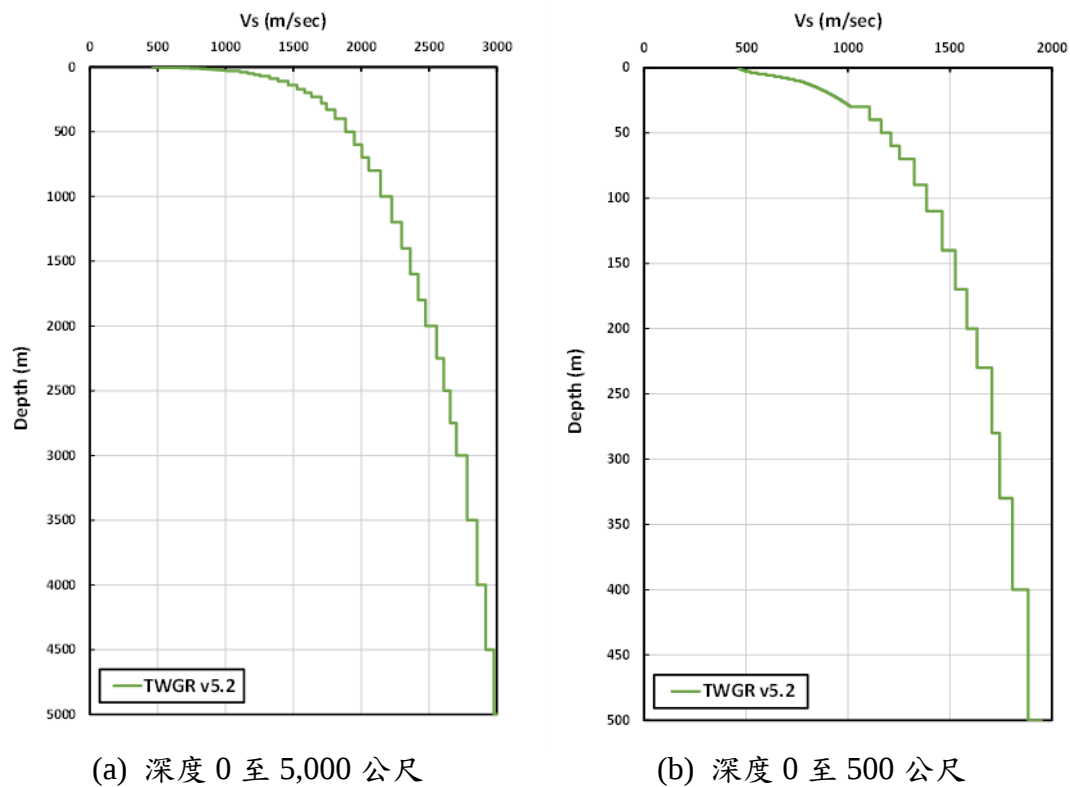


圖 24 台灣通用岩盤(TWGR)剪力波速剖面

表 5 台灣通用岩盤(TWGR)剪力波速剖面參數表

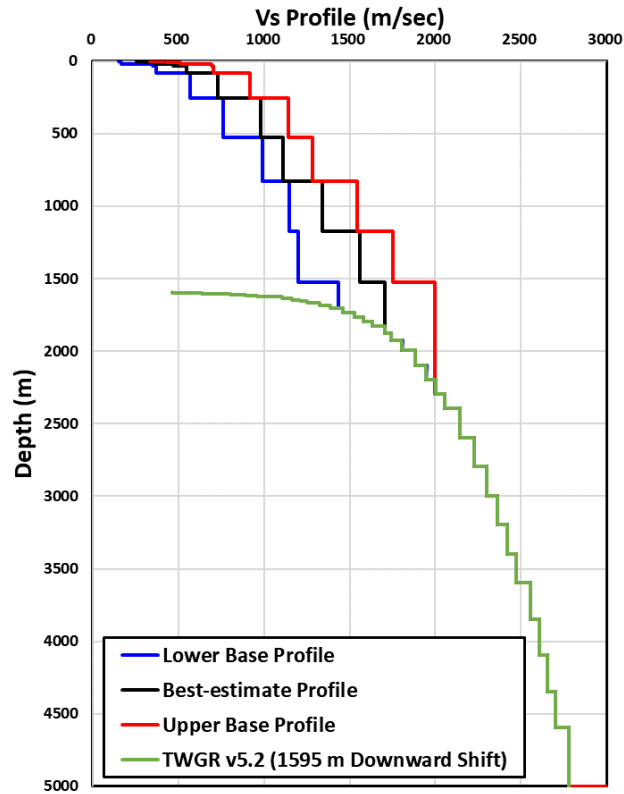
Depth (m)	V_s (m/s)	Depth (m)	V_s (m/s)
0	465	40	1106
1	465	50	1163
2	476	60	1211
3	494	70	1253
4	521	90	1325
5	556	110	1386
6	600	140	1462
7	639	170	1527
8	674	200	1583
9	707	230	1633
10	738	280	1706
11	768	330	1744
12	787	400	1807
13	804	500	1884
14	820	600	1948
15	836	700	2005
16	851	800	2055
17	865	1000	2142
18	879	1200	2225
19	892	1400	2298
20	904	1600	2362
21	916	1800	2420
22	928	2000	2474
23	939	2250	2556
24	950	2500	2608
25	961	2750	2656
26	971	3000	2701
27	981	3500	2781
28	991	4000	2853
29	1001	4500	2918
30	1010	5000	2978

2.3.3.3 整體波速剖面

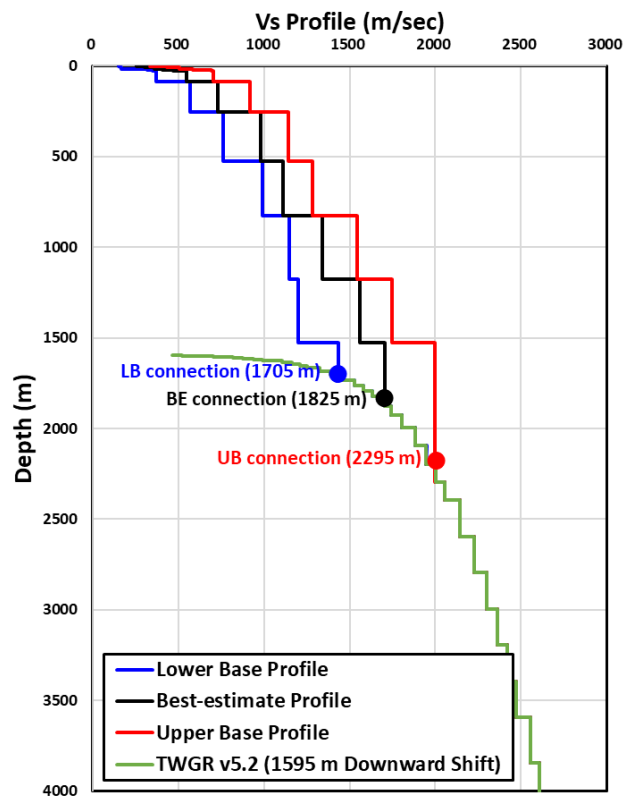
為求得地震波自地層深處傳波至地表之地盤反應，須接合淺部及深部兩者波速剖面以建構整體波速基準剖面，其接合原則如下：

1. 淺層範圍使用淺部波速基準剖面，深層範圍則利用於 TWGR 波速剖面來接續；因地表波速各地有異，TWGR 剖面可依深度進行上或下調整，以利與淺部剖面連接。
2. 淺部剖面與 TWGR 剖面在連接點的波速梯度儘量接近。
3. 深度 5 公里處的剪力波速值近於 3,000 m/s，以能與 TWGR 剖面對應。
4. 因最佳估值(BE)整體波速基準剖面的信心度較高，上值(UB)與下值(LB)整體波速基準剖面依 BE 剖面為核心進行建立。

核一廠 3 組整體波速基準剖面如圖 25 所示，其上值(UB)、最佳估值(BE)及下值(LB)基準剖面相關參數(厚度、密度、剪力波速之上、下界)分別詳列於表 6 至表 8。表中與波速剖面隨機變化相關之變異係數(Coefficient of Variation, COV)、最大波速以及最小波速，其不確定性參數設定說明請見第 2.3.5 節內容。



(a) 深度至 5000 公尺範圍



(b) 深度至 4000 公尺範圍

圖 25 核一廠 3 組整體波速基準剖面

表 6 核一廠整體上值(UB)波速基準剖面參數表

No. of layer	Depth to top of layer (m)	Layer thickness (m)	Density (kN/m ³)	V _s (m/s)	COV	Max. V _s (m/s)	Min. V _s (m/s)
1	0	1	19.0	344	0.15	464	255
2	1	1	19.0	332	0.15	448	246
3	2	4	19.0	435	0.15	587	322
4	6	14	19.0	509	0.15	687	377
5	20	3	19.0	585	0.15	790	433
6	23	7	19.0	696	0.15	940	516
7	30	55	19.0	705	0.15	952	522
8	85	170	20.0	918	0.15	1239	680
9	255	270	21.0	1145	0.15	1546	848
10	525	300	21.0	1282	0.15	1731	950
11	825	350	22.0	1545	0.15	2086	1145
12	1175	350	22.5	1750	0.1	2137	1433
13	1525	770	23.0	2000	0.1	2443	1637
14	2295	100	23.0	2055	0.1	2510	1682
15	2395	200	23.0	2142	0.1	2616	1754
16	2595	200	23.0	2225	0.1	2718	1822
17	2795	200	23.0	2298	0.1	2807	1881
18	2995	200	23.0	2362	0.1	2885	1934
19	3195	200	23.0	2420	0.1	2956	1981
20	3395	200	24.0	2474	0.1	3022	2026
21	3595	250	24.0	2556	0.1	3122	2093
22	3845	250	24.0	2608	0.1	3185	2135
23	4095	250	24.0	2656	0.1	3244	2175
24	4345	250	24.0	2701	0.1	3299	2211
25	4595	405	24.0	2781	0.1	3397	2277
26	5000	-	25.0	3058	0	3058	3058

表 7 核一廠整體最佳估值(BE)波速基準剖面參數表

No. of layer	Depth to top of layer (m)	Layer thickness (m)	Density (kN/m ³)	V _s (m/s)	COV	Max. V _s (m/s)	Min. V _s (m/s)
1	0	1	18.0	255	0.15	344	189
2	1	1	18.0	280	0.15	378	207
3	2	4	19.0	305	0.15	412	226
4	6	14	19.0	360	0.15	486	267
5	20	3	19.0	410	0.15	553	304
6	23	7	19.0	470	0.15	634	348
7	30	55	19.0	550	0.15	742	407
8	85	170	19.0	730	0.15	985	541
9	255	270	20.0	980	0.15	1323	726
10	525	300	21.0	1110	0.15	1498	822
11	825	350	21.0	1340	0.15	1809	993
12	1175	350	22.0	1560	0.1	1905	1277
13	1525	300	22.5	1706	0.1	2084	1397
14	1825	50	22.5	1706	0.1	2084	1397
15	1875	50	22.5	1744	0.1	2130	1428
16	1925	70	22.5	1807	0.1	2207	1479
17	1995	100	22.5	1884	0.1	2301	1542
18	2095	100	22.5	1948	0.1	2379	1595
19	2195	100	23.0	2005	0.1	2449	1642
20	2295	100	23.0	2055	0.1	2510	1682
21	2395	200	23.0	2142	0.1	2616	1754
22	2595	200	23.0	2225	0.1	2718	1822
23	2795	200	23.0	2298	0.1	2807	1881
24	2995	200	23.0	2362	0.1	2885	1934
25	3195	200	23.0	2420	0.1	2956	1981
26	3395	200	24.0	2474	0.1	3022	2026
27	3595	250	24.0	2556	0.1	3122	2093
28	3845	250	24.0	2608	0.1	3185	2135
29	4095	250	24.0	2656	0.1	3244	2175
30	4345	250	24.0	2701	0.1	3299	2211
31	4595	405	24.0	2781	0.1	3397	2277
32	5000	-	25.0	3058	0	3058	3058

表 8 核一廠整體下值(LB)波速基準剖面參數表

No. of layer	Depth to top of layer (m)	Layer thickness (m)	Density (kN/m ³)	V _s (m/s)	COV	Max. V _s (m/s)	Min. V _s (m/s)
1	0	1	18.0	150	0.15	202	111
2	1	1	18.0	155	0.15	209	115
3	2	4	18.0	160	0.15	216	119
4	6	14	18.0	320	0.15	432	237
5	20	3	19.0	320	0.15	432	237
6	23	7	19.0	350	0.15	472	259
7	30	55	19.0	370	0.15	499	274
8	85	170	19.0	570	0.15	769	422
9	255	270	20.0	760	0.15	1026	563
10	525	300	20.0	990	0.15	1336	733
11	825	350	21.0	1150	0.15	1552	852
12	1175	350	21.0	1200	0.1	1466	982
13	1525	180	22.0	1437	0.1	1755	1177
14	1705	30	22.0	1462	0.1	1786	1197
15	1735	30	22.0	1527	0.1	1865	1250
16	1765	30	22.0	1583	0.1	1933	1296
17	1795	30	22.0	1633	0.1	1995	1337
18	1825	50	22.5	1706	0.1	2084	1397
19	1875	50	22.5	1744	0.1	2130	1428
20	1925	70	22.5	1807	0.1	2207	1479
21	1995	100	22.5	1884	0.1	2301	1542
22	2095	100	22.5	1948	0.1	2379	1595
23	2195	100	23.0	2005	0.1	2449	1642
24	2295	100	23.0	2055	0.1	2510	1682
25	2395	200	23.0	2142	0.1	2616	1754
26	2595	200	23.0	2225	0.1	2718	1822
27	2795	200	23.0	2298	0.1	2807	1881
28	2995	200	23.0	2362	0.1	2885	1934
29	3195	200	23.0	2420	0.1	2956	1981
30	3395	200	24	2474	0.1	3022	2026
31	3595	250	24	2556	0.1	3122	2093
32	3845	250	24	2608	0.1	3185	2135
33	4095	250	24	2656	0.1	3244	2175
34	4345	250	24	2701	0.1	3299	2211
35	4595	405	24	2781	0.1	3397	2277
36	5000	-	25	3058	0	3058	3058

2.3.3.4 剪力模數及阻尼比性質曲線

核一廠共設有 4 組非線性材料參數曲線，包含剪力模數(Shear Modulus Reduction Curve)及阻尼比曲線(Damping Curve)，以評估地盤反應分析於淺部基準剖面以及深部 TWGR 剖面之非線性行為潛勢。非線性材料參數曲線模型之建置，納有近期「廠區高信度地盤模型建置試驗成果報告」(國立成功大學，2021)實際鑽孔資料之材料試驗結果做為參考。

2.3.3.4.1 現地岩土非線性曲線

經檢視評估廠區現地地質調查資料與室內岩土材料動態試驗結果以及專家判識，對於深度 30 公尺範圍內之廠址現地岩土，稱為土層 i (Layer-i)，提出 2 組非線性材料參數曲線(NCREE, 2021)，稱 G1 與 G2，G1 對應至淺部上值(UB)、最佳估值(BE)波速基準剖面，則 G2 對應下值(LB)波速基準剖面。

廠址現地岩土非線性材料參數曲線之不確定度，係對參考應變值(Reference Strain)採用 1.2、1.0 及 1/1.2 之 3 組倍值進行考量，其中 1.2 為 1 倍標準偏差範圍之對應因子值(Darendeli, 2001)，其能涵蓋單一廠址全岩土材料之 5%至 95%特性。

核一廠現地岩土之 G1 與 G2 剪力模數折減曲線及阻尼比曲線，分別圖 26 和圖 27 所示以及表 9 和表 10 所列。

2.3.3.4.2 岩土過渡區非線性曲線

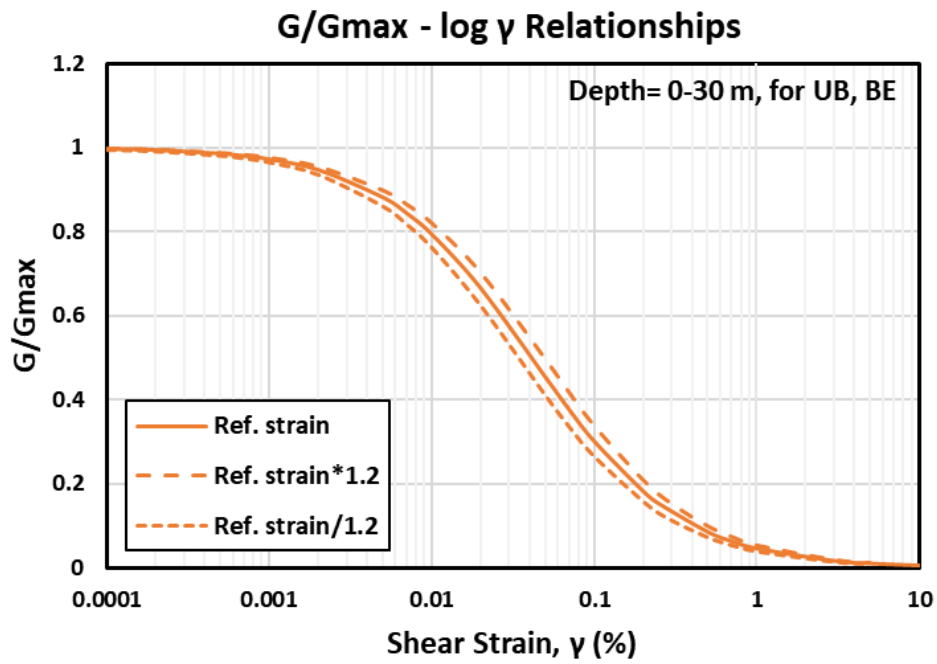
針對類土壤(Soil-like)行為到岩石行為的中間過程，提出過渡區(Transition Zone)非線性材料參數曲線(NCREE, 2021)，其定義於深度 30 至 255 公尺範圍內，並分別定義子分區土層 ii (Layer-ii) 30 至 85 公尺與土層 iii (Layer-iii) 85 至 255 公尺兩個分區，該剪力模數折減曲線及阻尼比曲線於圖 28 和圖 29 所示及表 11 和表 12 所列。

過渡區非線性材料參數曲線之不確定度，設有較高及較低兩組剪力模數折減曲線進行掌握，稱 V1 與 V2；前者為對應於類土壤剪力波速之代表，後者為對應於類岩石(Rock-like)剪力波速之代表。

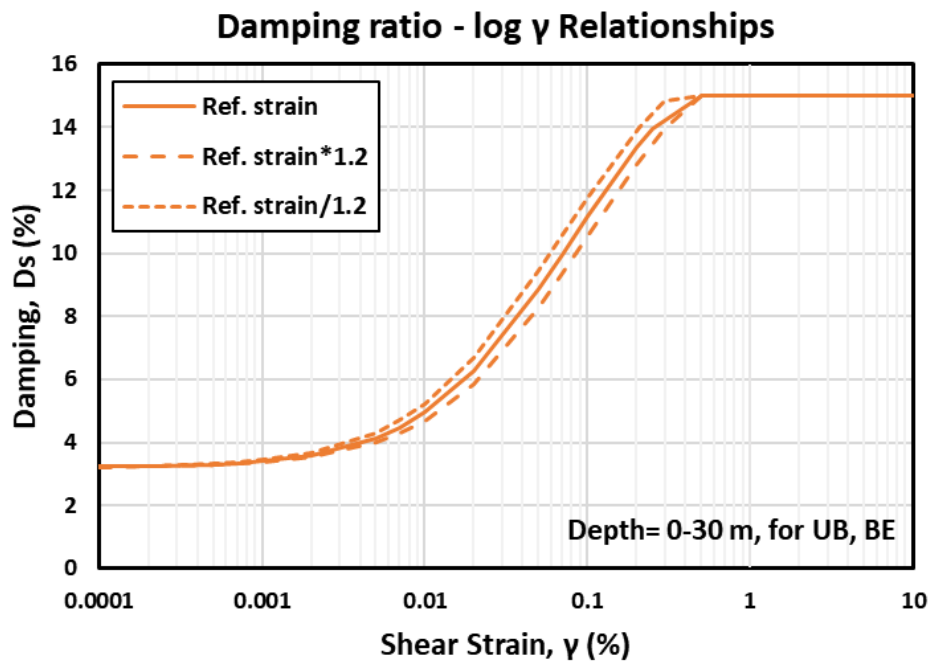
2.3.3.4.3 岩石非線性曲線

核一廠岩石材料定義為深度大於 255 公尺者。通用岩盤採用之岩石材料非線性曲線，係依據國際核能相關場址之岩石共振柱(Resonant Column Test, RCT)試驗成果，並考量岩石具線性、非線性及破裂不同階段特性協助建立(NCREE, 2021)。由於岩石動態特性量測不易，國際上(包括國內)岩石材料動態特性試驗資料稀少，因此需同時參考國際上(包括國內)岩石相關材料動力試驗結果，再依據岩石特性等之經驗而建立(Stokoe and Kim, 2020)。適用於 TWGR 剪力波速之 4 組岩石材料剪力模數折減曲線，稱 Group A、Group B、Group C 與 Group D，各組分別對應適用於剪力波速範圍 2,500 m/s 至 3,000 m/s、2,000 m/s 至 2,500 m/s、1,500 m/s 至 2,000 m/s、及 1,000 m/s 至 1,500 m/s，如圖 30 所示及表 13 所列。

4 組岩石材料阻尼比曲線如圖 31 所示及表 14 所列，其依據前述所提岩石剪力模數折減曲線而得，而各組小應變範圍(彈性階段)之最小阻尼比($D_{\min}$)設定，係根據實測地震紀錄之高頻衰減參數所得。

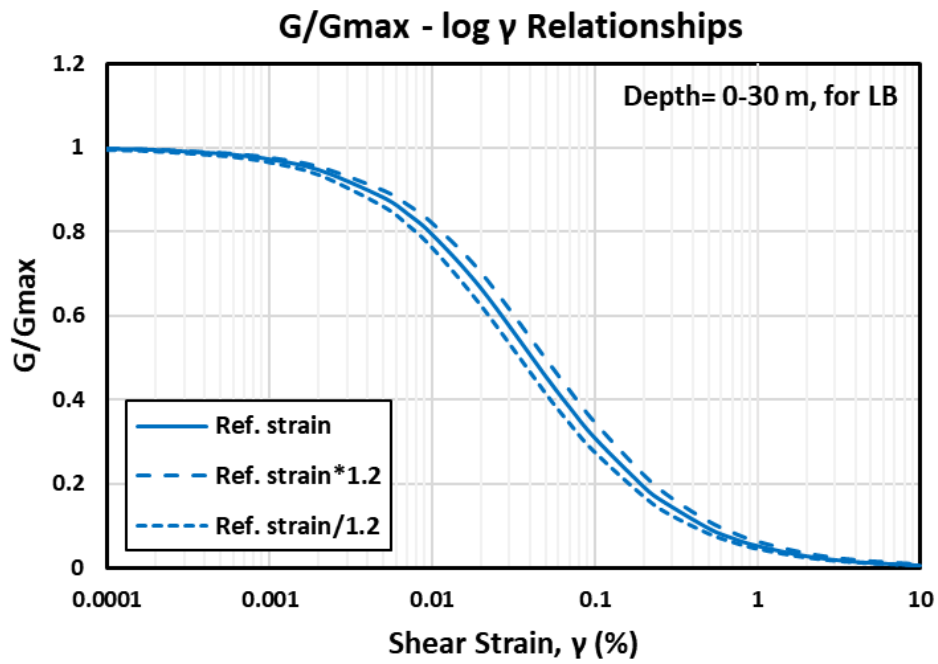


(a) 剪力模數折減曲線

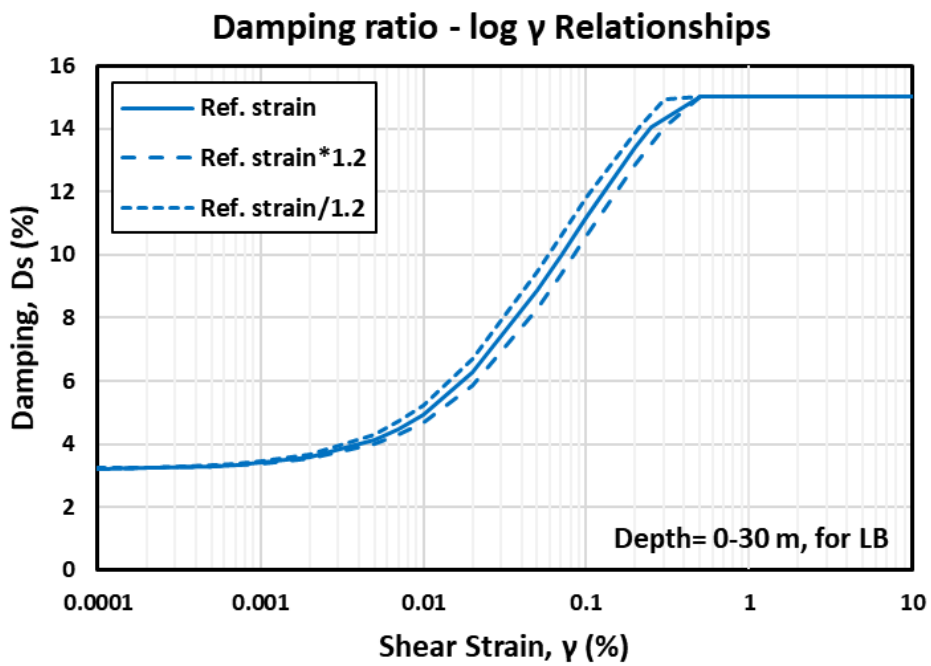


(b) 阻尼比曲線

圖 26 核一廠淺部上值(UB)與最佳估值(BE)基準剖面之 G1 現地岩土
非線性曲線

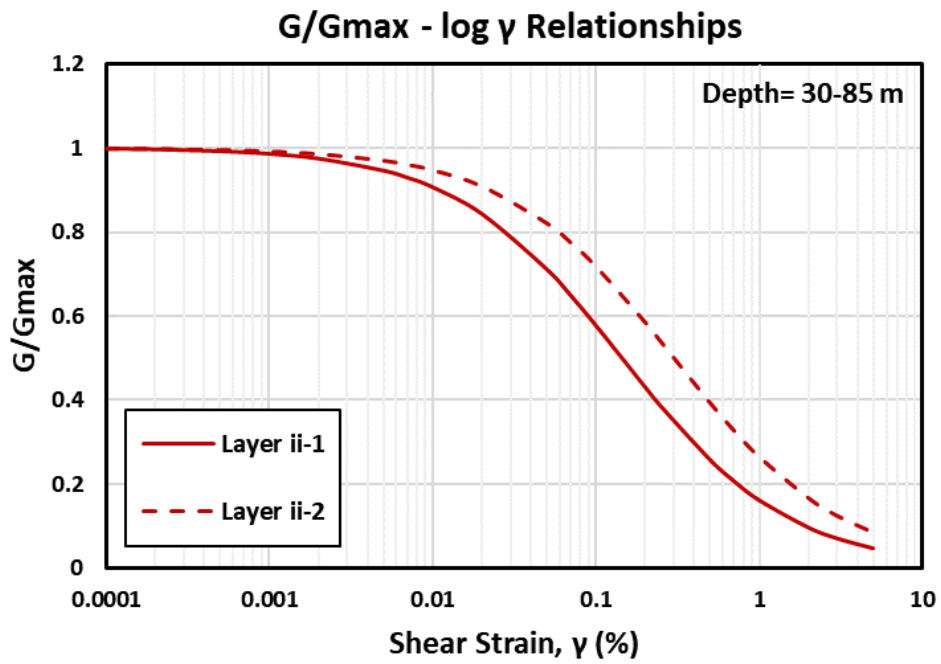


(a) 剪力模數折減曲線

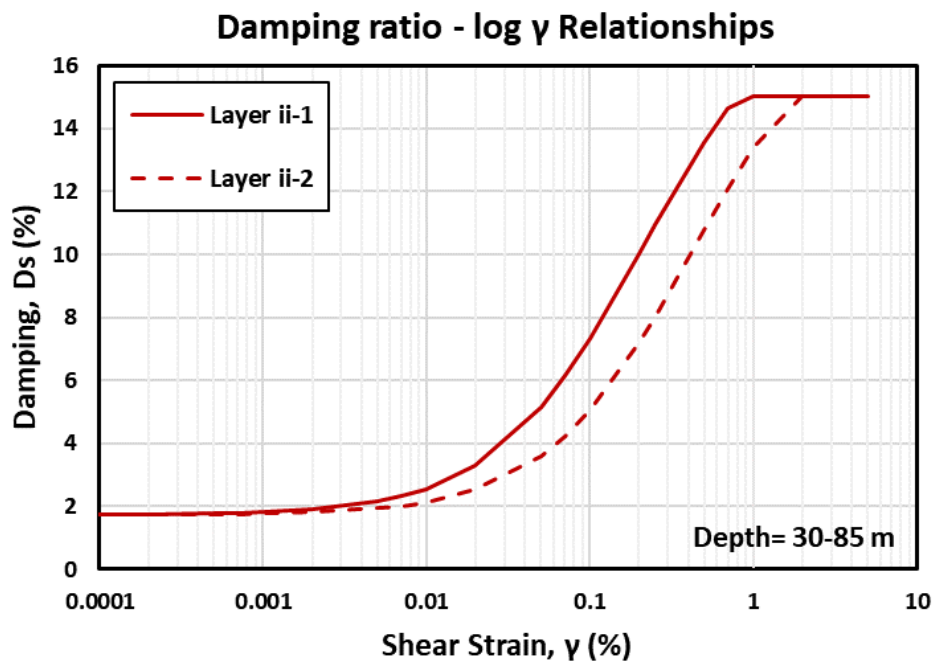


(b) 阻尼比曲線

圖 27 核一廠淺部下值(LB)基準剖面之 G2 現地岩土非線性曲線

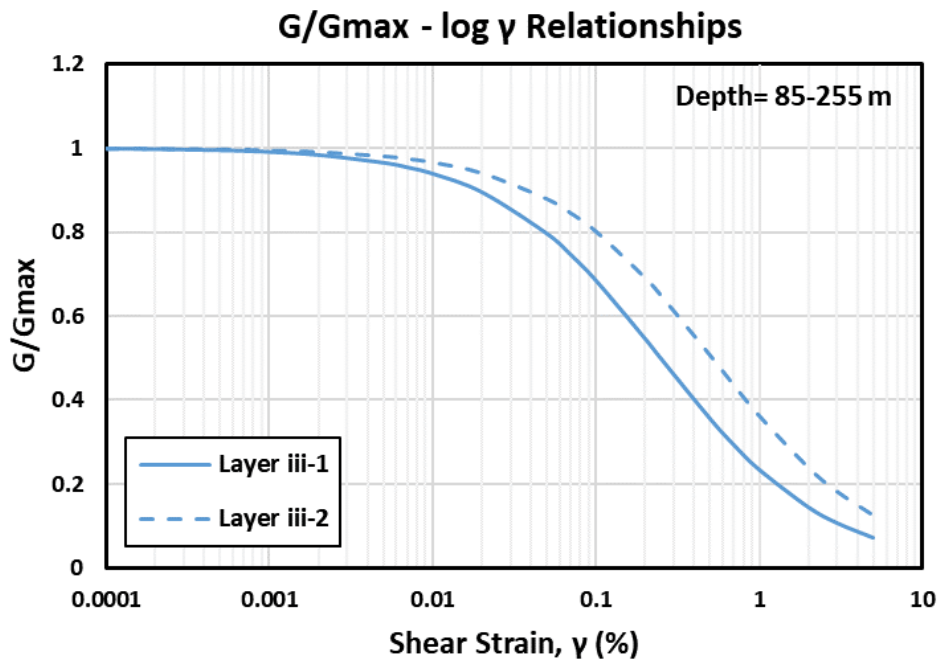


(a) 剪力模數折減曲線

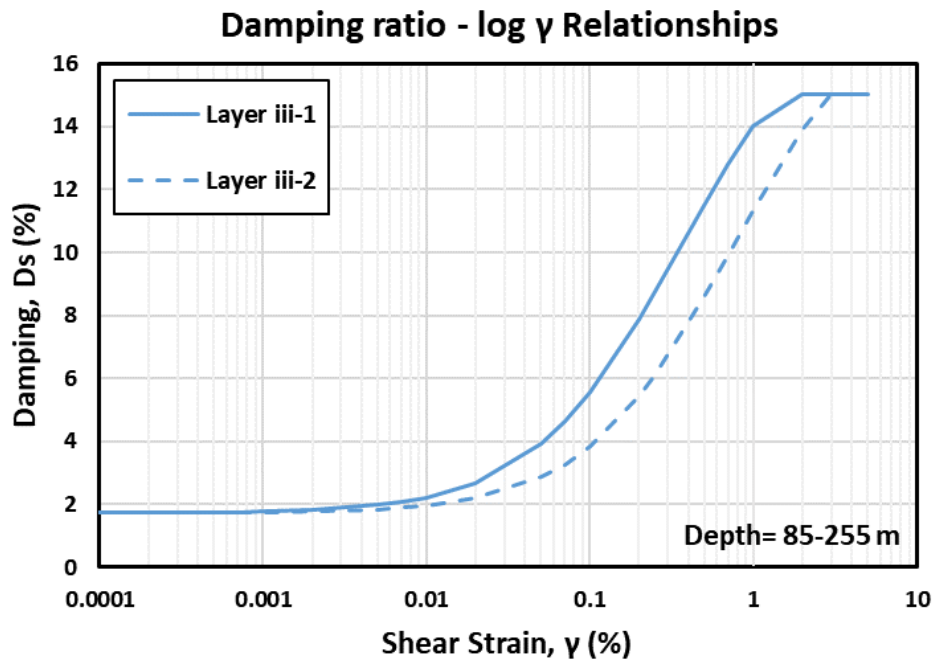


(b) 阻尼比曲線

圖 28 核一廠土層 ii (Layer-ii)過渡區之非線性曲線



(a) 剪力模數折減曲線



(b) 阻尼比曲線

圖 29 核一廠土層 iii (Layer-iii)過渡區之非線性曲線

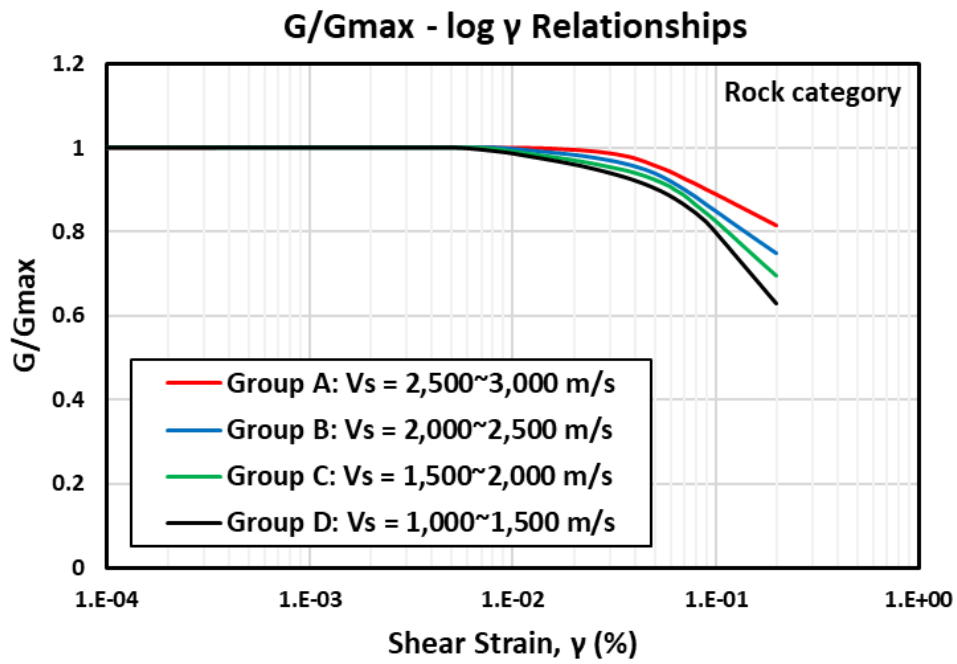


圖 30 岩石材料(TWGR 剖面)之剪力模數折減曲線

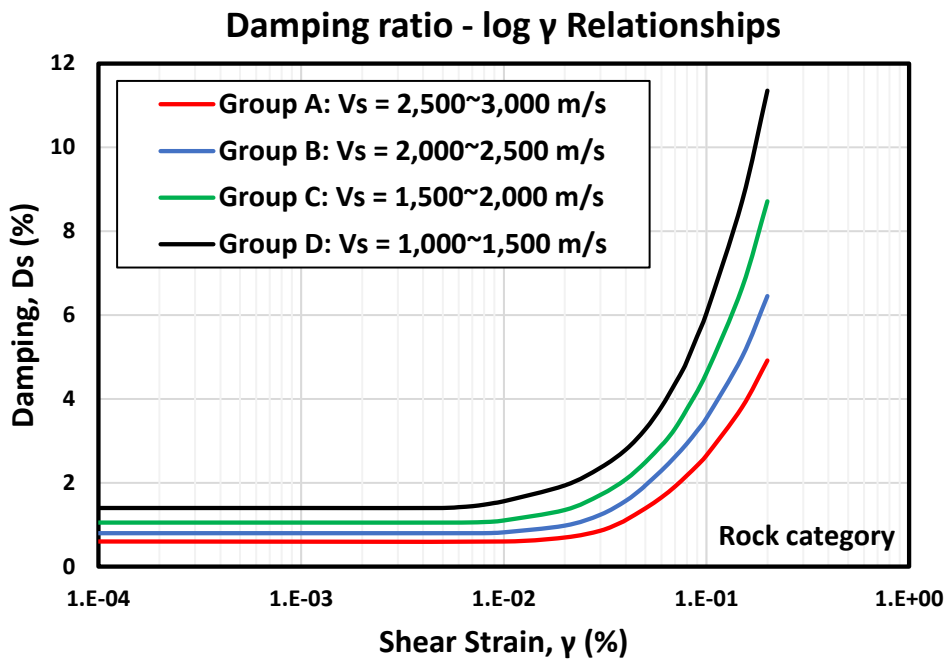


圖 31 岩石材料(TWGR 剖面)之阻尼比曲線

表 9 核一廠淺部上值(UB)與最佳估值(BE)基準剖面之 G1 現地岩土
非線性曲線參數表

Shear Strain, γ (%)	Ref. Strain		Ref. Strain*1.2		Ref. Strain/1.2	
	$G/G_{\max}$	Damping (%)	$G/G_{\max}$	Damping (%)	$G/G_{\max}$	Damping (%)
0.0001	0.997	3.226	0.997	3.222	0.996	3.230
0.0002	0.994	3.246	0.995	3.239	0.992	3.254
0.0005	0.985	3.306	0.987	3.289	0.982	3.326
0.0007	0.980	3.346	0.983	3.323	0.976	3.374
0.001	0.971	3.405	0.976	3.372	0.966	3.444
0.002	0.946	3.598	0.954	3.535	0.937	3.674
0.005	0.881	4.142	0.898	3.996	0.861	4.313
0.007	0.843	4.478	0.864	4.285	0.818	4.702
0.01	0.793	4.947	0.820	4.691	0.763	5.238
0.02	0.664	6.264	0.702	5.861	0.625	6.707
0.05	0.453	8.859	0.496	8.278	0.411	9.460
0.07	0.376	9.977	0.417	9.366	0.336	10.594
0.1	0.300	11.182	0.338	10.568	0.265	11.786
0.2	0.182	13.357	0.209	12.822	0.151	13.984
0.25	0.152	13.963	0.152	13.963	0.113	14.823
0.5	0.085	15.000	0.100	15.000	0.072	15.000
0.7	0.063	15.000	0.074	15.000	0.054	15.000
1	0.046	15.000	0.054	15.000	0.039	15.000
3	0.017	15.000	0.020	15.000	0.014	15.000
5	0.010	15.000	0.012	15.000	0.009	15.000
10	0.005	15.000				

表 10 核一廠淺部下值(LB)基準剖面之 G2 現地岩土非線性曲線參數表

Shear Strain, γ (%)	Ref. Strain		Ref. Strain*1.2		Ref. Strain/1.2	
	G/G _{max}	Damping (%)	G/G _{max}	Damping (%)	G/G _{max}	Damping (%)
0.0001	0.997	3.226	0.997	3.222	0.996	3.230
0.0002	0.994	3.246	0.995	3.239	0.992	3.254
0.0005	0.985	3.306	0.987	3.289	0.982	3.326
0.0007	0.980	3.346	0.983	3.323	0.976	3.374
0.001	0.971	3.405	0.976	3.372	0.966	3.444
0.002	0.946	3.598	0.954	3.535	0.937	3.674
0.005	0.881	4.142	0.898	3.996	0.861	4.313
0.007	0.843	4.478	0.864	4.285	0.818	4.702
0.01	0.793	4.947	0.820	4.691	0.763	5.238
0.02	0.664	6.264	0.702	5.861	0.625	6.707
0.05	0.455	8.862	0.496	8.279	0.415	9.467
0.07	0.382	9.989	0.421	9.372	0.344	10.612
0.1	0.310	11.207	0.346	10.585	0.276	11.819
0.2	0.194	13.423	0.221	12.875	0.163	14.067
0.25	0.164	14.046	0.164	14.046	0.124	14.934
0.5	0.095	15.000	0.110	15.000	0.082	15.000
0.7	0.072	15.000	0.084	15.000	0.062	15.000
1	0.053	15.000	0.062	15.000	0.046	15.000
2	0.029	15.000	0.034	15.000	0.025	15.000
4	0.016	15.000	0.019	15.000	0.014	15.000
10	0.007	15.000	0.008	15.000	0.006	15.000

表 11 核一廠土層 ii (Layer-ii)之 V1 及 V2 過渡區非線性曲線參數表

Shear Stain, γ (%)	V1		V2	
	$G/G_{\max}$	Damping (%)	$G/G_{\max}$	Damping (%)
0.0001	0.998	1.732	0.999	1.727
0.0002	0.996	1.741	0.998	1.731
0.0005	0.992	1.767	0.996	1.744
0.0007	0.989	1.785	0.994	1.753
0.001	0.986	1.811	0.992	1.765
0.002	0.974	1.899	0.986	1.808
0.005	0.946	2.155	0.970	1.933
0.007	0.929	2.320	0.961	2.016
0.01	0.906	2.562	0.947	2.138
0.02	0.843	3.311	0.909	2.530
0.05	0.711	5.158	0.821	3.590
0.07	0.649	6.139	0.775	4.214
0.1	0.577	7.349	0.718	5.050
0.2	0.431	10.031	0.585	7.203
0.25	0.385	10.923	0.539	8.023
0.5	0.258	13.535	0.393	10.760
0.7	0.207	14.646	0.327	12.079
1	0.161	15.000	0.264	13.392
2	0.097	15.000	0.166	15.000
3	0.070	15.000	0.124	15.000
5	0.047	15.000	0.084	15.000

表 12 核一廠土層 iii (Layer-iii)之 V1 及 V2 過渡區非線性曲線參數表

Shear Strain, γ (%)	V1		V2	
	$G/G_{\max}$	Damping (%)	$G/G_{\max}$	Damping (%)
0.0001	0.999	1.728	0.999	1.725
0.0002	0.998	1.733	0.999	1.728
0.0005	0.995	1.749	0.997	1.735
0.0007	0.993	1.759	0.996	1.740
0.001	0.991	1.774	0.995	1.747
0.002	0.984	1.825	0.991	1.772
0.005	0.965	1.976	0.981	1.845
0.007	0.954	2.074	0.975	1.894
0.01	0.939	2.220	0.966	1.966
0.02	0.895	2.684	0.941	2.200
0.05	0.797	3.916	0.880	2.861
0.07	0.746	4.626	0.846	3.270
0.1	0.685	5.560	0.802	3.840
0.2	0.547	7.882	0.692	5.443
0.25	0.499	8.738	0.650	6.110
0.5	0.356	11.495	0.508	8.579
0.7	0.294	12.776	0.437	9.912
1	0.235	14.029	0.364	11.334
2	0.145	15.000	0.241	13.892
3	0.108	15.000	0.184	15.000
5	0.072	15.000	0.127	15.000

表 13 岩石材料剪力模數折減曲線參數表

Group A		Group B		Group C		Group D	
V_s (m/s) = 2,500~3,000		V_s (m/s) = 2,000~2,500		V_s (m/s) = 1,500~2,000		V_s (m/s) = 1,000~1,500	
Strain (%)	$G/G_{\max}$	Strain (%)	$G/G_{\max}$	Strain (%)	$G/G_{\max}$	Strain (%)	$G/G_{\max}$
0.0001	1.000	0.0001	1.000	0.0001	1.000	0.0001	1.000
0.010	1.000	0.001	1.000	0.001	1.000	0.001	1.000
0.020	0.995	0.008	1.000	0.006	1.000	0.005	1.000
0.030	0.987	0.010	0.997	0.008	0.997	0.006	0.998
0.040	0.975	0.020	0.983	0.009	0.994	0.007	0.995
0.050	0.958	0.030	0.970	0.010	0.991	0.008	0.992
0.060	0.943	0.040	0.956	0.020	0.970	0.009	0.989
0.070	0.927	0.050	0.940	0.030	0.954	0.010	0.986
0.080	0.914	0.060	0.921	0.040	0.940	0.020	0.960
0.090	0.901	0.070	0.902	0.050	0.924	0.030	0.940
0.100	0.890	0.080	0.884	0.060	0.907	0.040	0.922
0.200	0.815	0.090	0.866	0.063	0.900	0.050	0.904
		0.100	0.851	0.070	0.887	0.060	0.885
		0.150	0.792	0.080	0.864	0.070	0.865
		0.200	0.751	0.100	0.826	0.080	0.845
				0.150	0.749	0.090	0.824
				0.200	0.695	0.100	0.800
						0.200	0.630

表 14 岩石材料阻尼比曲線參數表

Group A		Group B		Group C		Group D	
V_s (m/s) = 2,500~3,000		V_s (m/s) = 2,000~2,500		V_s (m/s) = 1,500~2,000		V_s (m/s) = 1,000~1,500	
Strain (%)	Damping (%)	Strain (%)	Damping (%)	Strain (%)	Damping (%)	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	0.600	0.0001	0.800	0.0001	1.050	0.0001	1.400
0.01	0.600	0.001	0.800	0.001	1.050	0.001	1.400
0.02	0.695	0.0079	0.800	0.0062	1.050	0.005	1.400
0.03	0.857	0.009	0.807	0.008	1.063	0.006	1.420
0.038	1.054	0.01	0.820	0.009	1.075	0.007	1.443
0.04	1.110	0.02	0.980	0.01	1.100	0.008	1.479
0.05	1.390	0.03	1.240	0.02	1.350	0.009	1.520
0.06	1.650	0.04	1.570	0.03	1.710	0.01	1.560
0.07	1.910	0.048	1.860	0.04	2.080	0.02	1.938
0.08	2.170	0.05	1.940	0.05	2.490	0.03	2.360
0.09	2.410	0.06	2.290	0.06	2.890	0.04	2.790
0.1	2.650	0.07	2.620	0.063	3.000	0.05	3.280
0.15	3.800	0.08	2.930	0.07	3.290	0.06	3.810
0.2	4.915	0.09	3.240	0.08	3.751	0.07	4.360
		0.1	3.540	0.1	4.612	0.077	4.715
		0.15	5.000	0.15	6.650	0.08	4.890
		0.2	6.450	0.2	8.715	0.09	5.490
						0.1	6.040
						0.15	8.710
						0.2	11.350

2.3.3.5 高頻衰減參數(kappa)

高頻衰減參數或稱 kappa 值，表示傅氏譜(Fourier Amplitude Spectrum, FAS)在高頻段的降減程度。從地震紀錄求得之 kappa 值可反映場址效應特徵，故地震動評估模型(GMPE)中之場址放大函數項隱含了 kappa 值資訊。在小應變阻尼比條件下進行線性分析，TWGR 波速剖面深度 5,000 公尺處之 kappa 值評估結果為 0.012 秒。由於 GMPE 所得地震動應與場址 kappa 值一致，故額外之 kappa 值須由震源調整。

為解決等值線性(Equivalent Linear, EQL)方法在計算高應變地盤反應分析過程中，高頻訊號因過阻尼(Overdamping)現象導致高頻衰減過高(即 kappa 值過大)，故有對此高頻訊號過度衰減狀況進行修正之需要，而半對數座標傅氏譜在高頻段之斜率在此稱「kappa2」。參考美國 NGA-West2 及台灣 TNGA 的地震資料庫中，由大規模、近距離且屬於軟弱地盤條件的實際紀錄所呈現高頻段衰減特徵與非線性模擬分析結果比較，選定 kappa2 門檻值為 0.065，而 FAS 修正之起始頻率點以頻譜最大值倍率方式進行選定，其倍值設為 0.17、0.11 及 0.05 代表模型不確定性範圍。

2.3.4 地盤反應分析之邏輯樹架構

根據前述建立之整體波速基準剖面及非線性材料參數曲線，核一廠地盤反應分析之參數邏輯樹(Logic Tree)架構如圖 32 所示。邏輯樹中對於基準波速剖面、非線性材料參數曲線以及 kappa2 調修的分支權重值設定，係由計畫技術專家群憑據經驗資料進行專業檢視、評估與判識而得。對於類土壤(V1)與類岩石(V2)過渡區之非線性材料參數曲線，權重值各設為 0.7 與 0.3，V1 權重較高之原因為過渡區剪力波速值偏接近於類土壤剪力波速。對於基準波速剖面、非線性材料參數對應參考應變之曲線以及 kappa2 調修，有 0.2、0.6 與 0.2 的三個權重值設定，此三個權重值約對應於常態分佈的 5%、50%與 95%分位數。

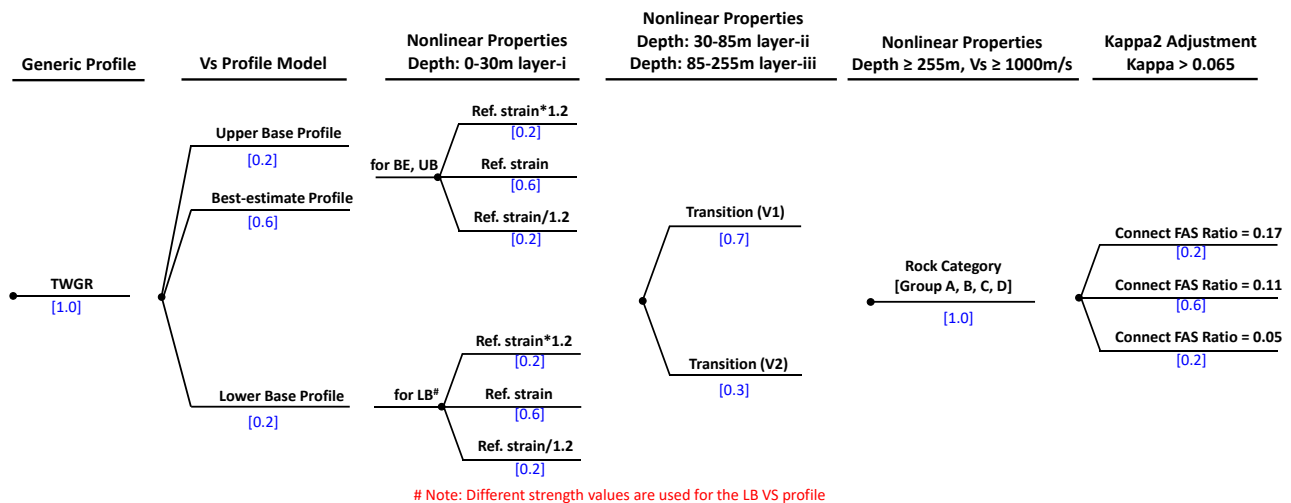


圖 32 核一廠地盤反應分析之參數邏輯樹

2.3.5 廠址波速剖面隨機設定

為考慮廠址土層材料性質的隨機特性，執行地盤反應分析時利用 STRATA 程式(Kottke and Rathje, 2008)對基準土層波速剖面進行相關參數隨機變異(Site Profile Variation)。核一廠 3 組波速基準剖面隨機變異採用蒙地卡羅(Monte Carlo)理論模擬，設定變異係數(Coefficient of Variation, COV)在深度 0 至 1 公里與大於 1 公里分別為 0.15 與 0.1，波速變異性假設為對數常態分布(Log-normal Distribution)型態且上、下限範圍設定為 $\pm 2\sigma$ ；另，採用層間相關性模型(Toro, 1995)來考慮各波速基準剖面與所對應模擬的 200 個隨機波速剖面之相關性，使得模擬出來 200 個隨機剖面之波速中值剖面與波速基準剖面具有相近的波速梯度，呈現地層剪力波速隨著深度增加的趨勢，但又不至於產生每個隨機剖面波速變化梯度與基準剖面完全一致(相關性為 1 之完全正相關)的情況，亦或不至於產生出隨機剖面各層波速變化太劇烈，各隨機波速剖面與波速基準剖面呈現完全無相關或相關性極低，而造成無法反映核電廠廠址地層波速統計特性的模擬結果。

根據前述 3 組整體波速基準剖面、數組岩土材料非線性參數曲線以及 3 組 kappa2 調修倍值，核一廠地盤反應分析共有 54 條邏輯樹分支(Branch)，如表 15 所列。邏輯樹分支之整體波速基準剖面將產生 200 個隨機剖面進行地盤反應分析，以分支代碼 VSBGUV1K1 為示範，其波速剖面隨機結果如圖 33 所示。分支代碼說明如下：

1. VSX：波速基準剖面；VSB 對應最佳估值(BE)、VSU 對應上值(UB)、VUL 對應下值(LB)。
2. GX：現地土壤非線性參數模型；GB 對應最佳估值(BE)、GU 對應上值(UB)、GL 對應下值(LB)。
3. VX：岩土過渡區非線性參數模型；V1 對應類土壤、V2 對應類岩石。
4. KX：kappa2 調修之起點頻率振幅與頻譜最大振幅之比值；K1 對應 0.17、K2 對應 0.11、K3 對應 0.05。

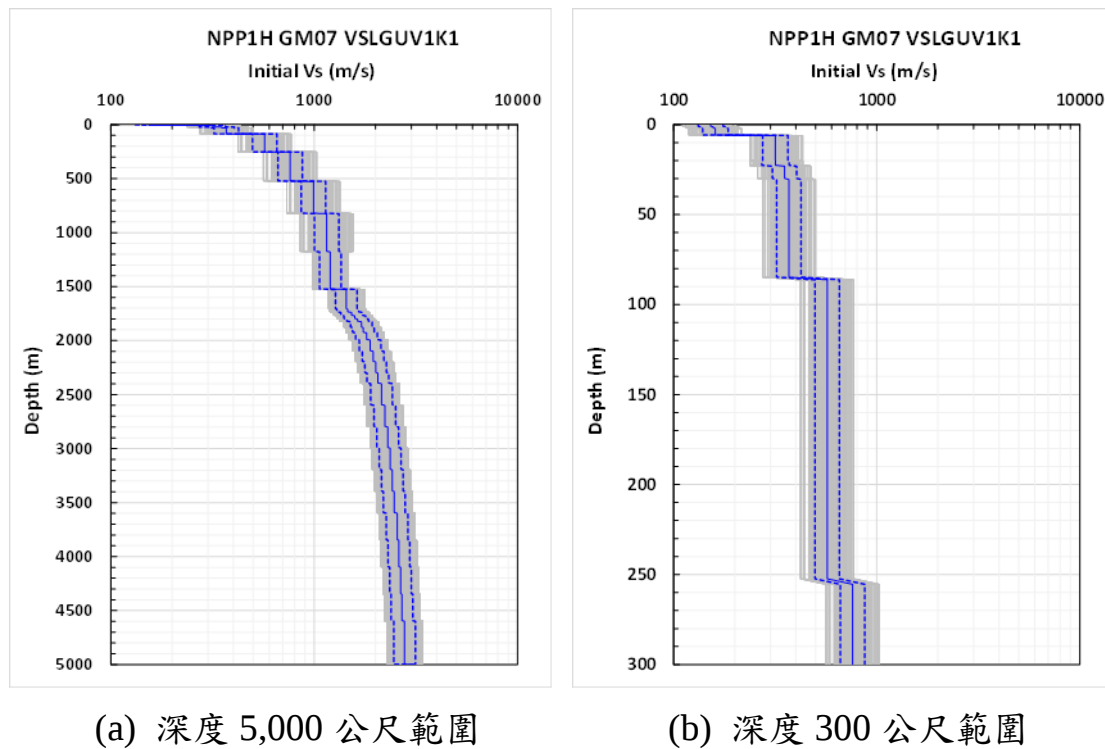


圖 33 邏輯樹分支 VSBGUV1K1 之整體波速基準剖面 200 個隨機變異

表 15 核一廠地盤反應分析所用 54 條邏輯樹分支對應參數表

No. of branch	V _s base profile			Nonlinear properties for site-specific material					Kappa2 adjustment			Weight for branch	Code of branch
				Layer-i (0~30 m)			Layer-ii (30~85m) & Layer-iii (85~255m)						
	Upper base [0.2]	Best- estimate [0.6]	Lower base [0.2]	Ref. Strain*1.2 [0.2]	Ref. Strain [0.6]	Ref. Strain/1.2 [0.2]	V1 [0.7]	V2 [0.3]	Ratio = 0.17 [0.2]	Ratio = 0.11 [0.6]	Ratio = 0.05 [0.2]		
1	✓			✓			✓		✓			0.0056	VSUGUV1K1
2	✓			✓			✓			✓		0.0168	VSUGUV1K2
3	✓			✓			✓				✓	0.0056	VSUGUV1K3
4	✓			✓				✓	✓			0.0024	VSUGUV2K1
5	✓			✓				✓		✓		0.0072	VSUGUV2K2
6	✓			✓				✓			✓	0.0024	VSUGUV2K3
7	✓				✓		✓		✓			0.0168	VSUGBV1K1
8	✓				✓		✓			✓		0.0504	VSUGBV1K2
9	✓				✓		✓				✓	0.0168	VSUGBV1K3
10	✓				✓			✓	✓			0.0072	VSUGBV2K1
11	✓				✓			✓		✓		0.0216	VSUGBV2K2
12	✓				✓			✓			✓	0.0072	VSUGBV2K3
13	✓					✓	✓		✓			0.0056	VSUGLV1K1
14	✓					✓	✓			✓		0.0168	VSUGLV1K2
15	✓					✓	✓				✓	0.0056	VSUGLV1K3
16	✓					✓		✓	✓			0.0024	VSUGLV2K1
17	✓					✓		✓		✓		0.0072	VSUGLV2K2
18	✓					✓		✓			✓	0.0024	VSUGLV2K3
19		✓		✓			✓		✓			0.0168	VSBGUV1K1
20		✓		✓			✓			✓		0.0504	VSBGUV1K2
21		✓		✓			✓				✓	0.0168	VSBGUV1K3
22		✓		✓				✓	✓			0.0072	VSBGUV2K1
23		✓		✓				✓		✓		0.0216	VSBGUV2K2
24		✓		✓				✓			✓	0.0072	VSBGUV2K3
25		✓			✓		✓		✓			0.0504	VSGBV1K1
26		✓			✓		✓			✓		0.1512	VSGBV1K2
27		✓			✓		✓				✓	0.0504	VSGBV1K3
28		✓			✓			✓	✓			0.0216	VSGBV2K1
29		✓			✓			✓		✓		0.0648	VSGBV2K2
30		✓			✓			✓			✓	0.0216	VSGBV2K3
31		✓				✓	✓		✓			0.0168	VSGLV1K1
32		✓				✓	✓			✓		0.0504	VSGLV1K2
33		✓				✓	✓				✓	0.0168	VSGLV1K3
34		✓				✓		✓	✓			0.0072	VSGLV2K1
35		✓				✓		✓		✓		0.0216	VSGLV2K2
36		✓				✓		✓			✓	0.0072	VSGLV2K3
37			✓	✓			✓		✓			0.0056	VSLGUV1K1
38			✓	✓			✓			✓		0.0168	VSLGUV1K2
39			✓	✓			✓				✓	0.0056	VSLGUV1K3
40			✓	✓				✓	✓			0.0024	VSLGUV2K1
41			✓	✓				✓		✓		0.0072	VSLGUV2K2
42			✓	✓				✓			✓	0.0024	VSLGUV2K3
43			✓		✓		✓		✓			0.0168	VSLGBV1K1
44			✓		✓		✓			✓		0.0504	VSLGBV1K2
45			✓		✓		✓				✓	0.0168	VSLGBV1K3
46			✓		✓			✓	✓			0.0072	VSLGBV2K1
47			✓		✓			✓		✓		0.0216	VSLGBV2K2
48			✓		✓			✓			✓	0.0072	VSLGBV2K3
49			✓			✓	✓		✓			0.0056	VSLGLV1K1
50			✓			✓	✓			✓		0.0168	VSLGLV1K2
51			✓			✓	✓				✓	0.0056	VSLGLV1K3
52			✓			✓		✓	✓			0.0024	VSLGLV2K1
53			✓			✓		✓		✓		0.0072	VSLGLV2K2
54			✓			✓		✓			✓	0.0024	VSLGLV2K3

Note: the number in bracket is represented as the weighted value for a node.

2.3.6 輸入地震反應譜

執行核一廠地盤反應分析使用之輸入地震(SA_{input})，設定在 TWGR 波速剖面深度 5 公里處並配合小應變阻尼，其經由線性分析後在 TWGR 波速剖面地表處可得與參考岩盤均佈危害度反應譜($UHRS_{ref}$)型相符之地震反應譜；同時，由線性分析所得地表處傅氏譜(Fourier Amplitude Spectra, FAS)之 κ 值與 TWGR 波速剖面地表對應之 0.044 秒 κ 值相近。輸入地震建置流程如圖 34 所示，為結合點震源模型與線性反卷積分析(Deconvolution)之結果。

基於「台灣地區地震危害高階模型建置計畫」經「SSHAC Level 3」程序產出之 SSC 模型與 GMC 模型，進行地震危害度分析可得核一廠參考岩盤($V_{s30}=760\text{m/s}$)地震危害度均值曲線，如前 2.2.2 節內容所述。核一廠在 11 個年超越頻率 $1E-01$ 、 $3E-02$ 、 $1E-02$ 、 $3E-03$ 、 $1E-03$ 、 $3E-04$ 、 $1E-04$ 、 $3E-05$ 、 $1E-05$ 、 $3E-06$ 以及 $1E-06$ 之 $UHRS_{ref}$ 如圖 35 所示，數值如表 16 所列，經參數拆解(Deaggregation)後，可得在不同年超越頻率危害水準之下，最具危害潛勢之控制地震(規模、距離)，依此為建立點震源參數設定參考，相關參數如表 17 所列。

核一廠 SA_{input} 為 FAS 型式，在高頻段(大於接合頻率)為點震源模型(Single-corner Source Model)所產出 FAS；在低頻段(小於接合頻率)為 $UHRS_{ref}$ 經由線性反捲積由地表至深度 5 公里岩盤之 FAS。接合兩者傅氏譜時需對點震源 FAS 進行調整，係因 $UHRS_{ref}$ 屬於複合式震源的危害貢獻結果，單一點震源模型與線性反捲積兩者的 FAS 之間存在差異，故取 8 至 15Hz 範圍內兩者平均 FAS 的比值，作為點震源 FAS 的調整倍率；不同危害水準輸入地震採用之兩者 FAS 接合頻率點及點震源 FAS 調整倍率，如表 17 所列。完成結合高、低頻段 FAS 後即為輸入地震(SA_{input})，11 個年超越頻率之 SA_{input} 如圖 36 所示，數值分別列於表 18 與表 19。

核一廠在年超越頻率 $1E-04$ 及 $1E-05$ 危害水準下之 $UHRS_{ref}$ 及其依 SA_{input} 執行線性地盤反應分析後所得 TWGR 剖面地表處地震反應譜(SA_{ref})之比較結果如圖 37 所示，顯示所用輸入地震具代表性。

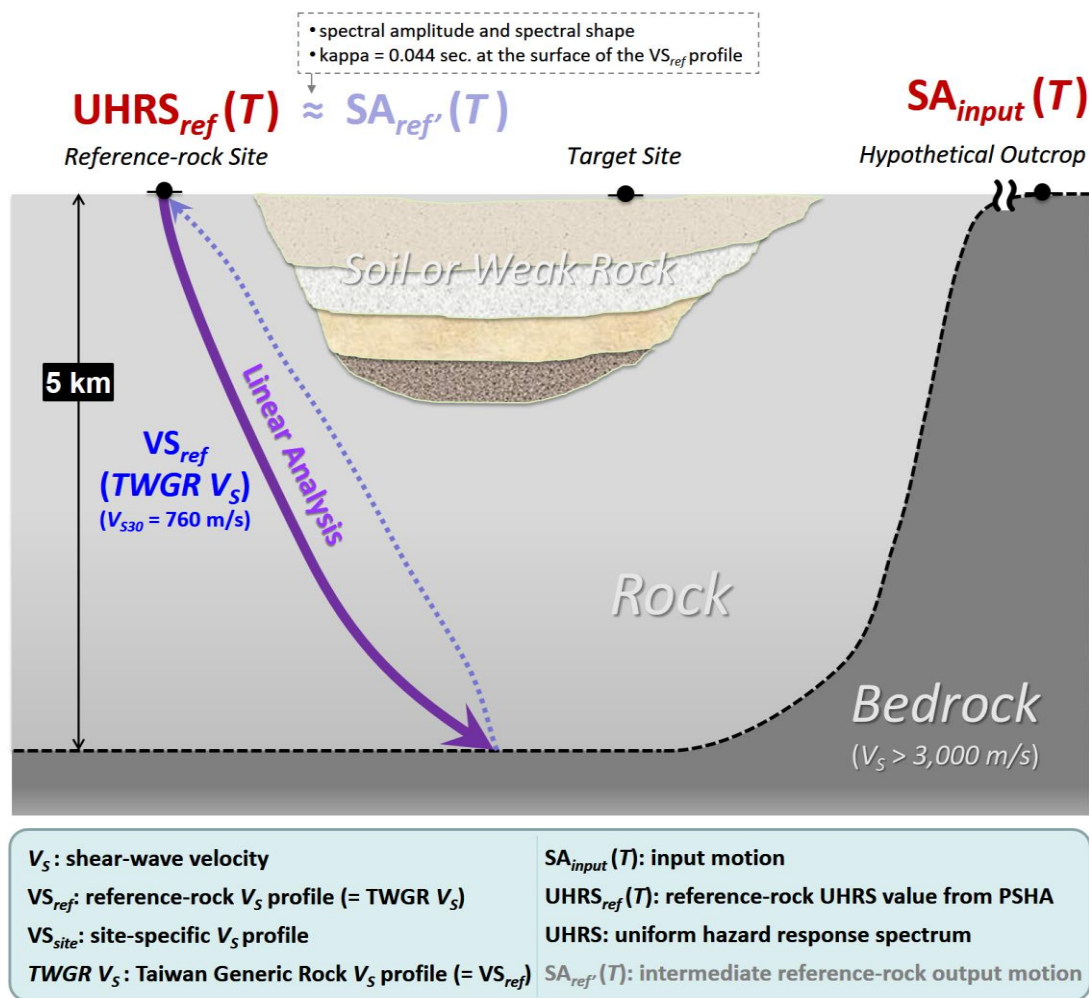


圖 34 輸入地震建立方式示意圖

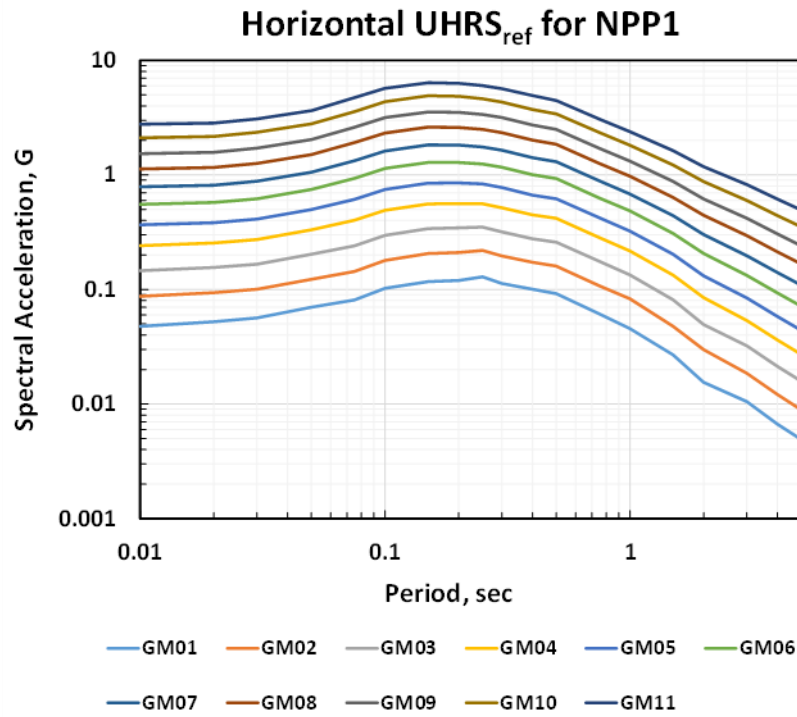


圖 35 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比參考岩盤均佈危害度反應譜(UHRS_{ref})

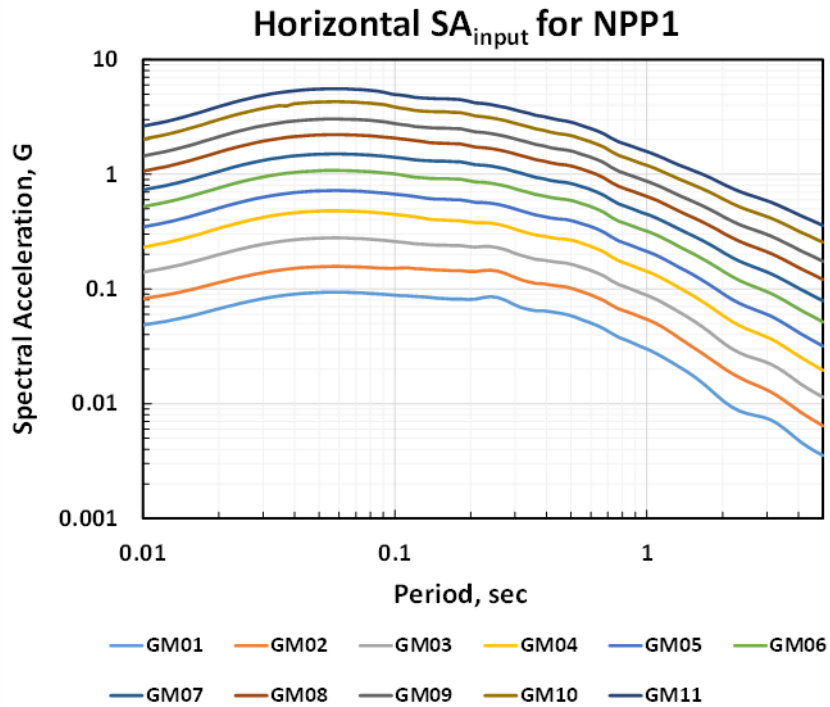
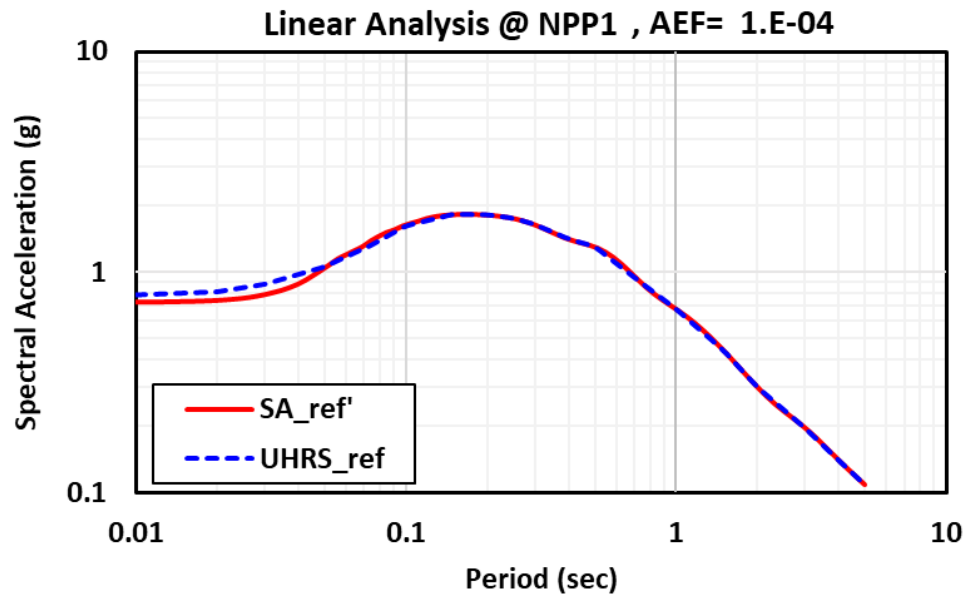
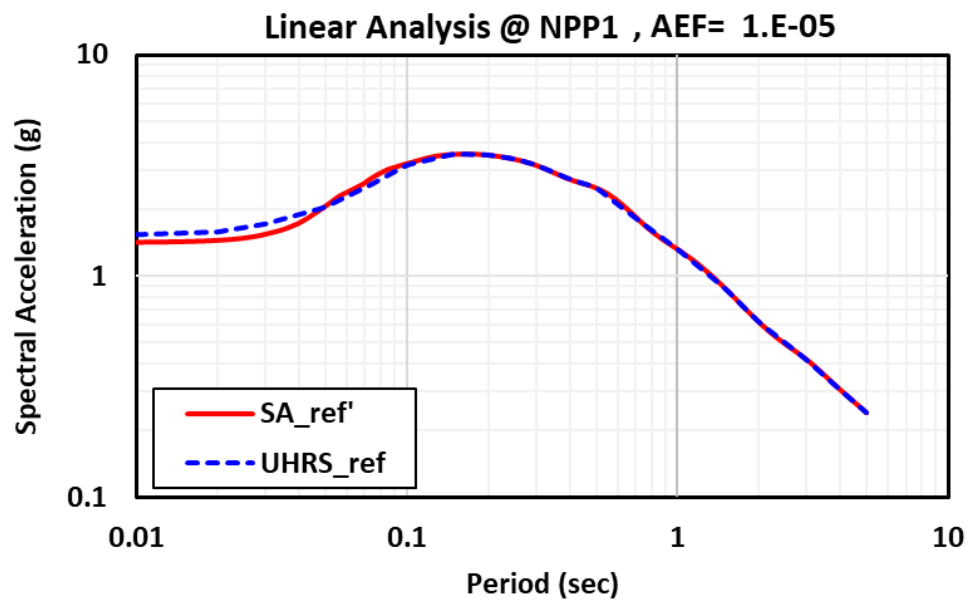


圖 36 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA_{input})



(a) 年超越頻率 1E-04



(b) 年超越頻率 1E-05

圖 37 核一廠 5%阻尼比參考岩盤均佈危害度反應譜($UHRS_{ref}$)與根據輸入地震分析得 TWGR 地表處反應譜($SA_{ref'}$)之擬合比較

表 16 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比均值參考岩盤均佈危害度
反應譜(UHRS_{ref})數值表

Period (sec)	Spectral Acceleration (g)										
	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
	1E-01	3E-02	1E-02	3E-03	1E-03	3E-04	1E-04	3E-05	1E-05	3E-06	1E-06
0.010	0.047	0.088	0.147	0.242	0.367	0.554	0.789	1.128	1.534	2.109	2.770
0.020	0.051	0.095	0.156	0.255	0.383	0.574	0.815	1.162	1.578	2.164	2.839
0.030	0.055	0.101	0.167	0.273	0.413	0.620	0.881	1.259	1.713	2.354	3.092
0.050	0.068	0.124	0.203	0.332	0.499	0.748	1.057	1.505	2.041	2.795	3.641
0.075	0.078	0.145	0.241	0.404	0.611	0.935	1.330	1.913	2.605	3.576	4.729
0.100	0.100	0.181	0.298	0.492	0.747	1.139	1.620	2.325	3.165	4.354	5.717
0.150	0.114	0.208	0.340	0.559	0.850	1.287	1.829	2.615	3.549	4.908	6.385
0.200	0.117	0.212	0.346	0.564	0.852	1.285	1.820	2.597	3.517	4.852	6.307
0.250	0.126	0.221	0.351	0.560	0.835	1.248	1.757	2.496	3.372	4.627	6.023
0.300	0.110	0.198	0.319	0.517	0.775	1.166	1.645	2.342	3.169	4.334	5.665
0.400	0.098	0.174	0.278	0.448	0.667	1.005	1.414	2.016	2.733	3.733	4.931
0.500	0.090	0.161	0.259	0.419	0.620	0.930	1.305	1.853	2.503	3.408	4.460
0.750	0.060	0.109	0.177	0.284	0.423	0.629	0.888	1.262	1.711	2.345	3.075
1.000	0.045	0.083	0.134	0.217	0.324	0.485	0.681	0.974	1.320	1.816	2.389
1.500	0.026	0.048	0.082	0.134	0.203	0.309	0.442	0.637	0.878	1.223	1.630
2.000	0.015	0.030	0.050	0.085	0.132	0.207	0.302	0.444	0.618	0.876	1.183
3.000	0.010	0.019	0.032	0.053	0.084	0.133	0.197	0.295	0.418	0.598	0.822
4.000	0.007	0.012	0.021	0.036	0.058	0.093	0.141	0.213	0.305	0.442	0.614
5.000	0.005	0.009	0.016	0.027	0.044	0.071	0.109	0.167	0.241	0.352	0.493

表 17 核一廠 11 個危害水準之輸入地震點震源模型參數表

Code	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
AEF for hazard level	1E-01	3E-02	1E-02	3E-03	1E-03	3E-04	1E-04	3E-05	1E-05	3E-06	1E-06
Magnitude (M_w)	5.7	5.8	5.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.4	7.4	7.4
Epicentral distance (km)	22.4	16	12.5	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Depth (km)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Stress drop, $\Delta\sigma$ (bars)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Geometric attenuation coefficient	0.0436	0.0597	0.0743	0.1174	0.1174	0.1174	0.1174	0.1174	0.1174	0.1174	0.1174
Path duration coefficient	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Path attenuation $Q(f)=af^b$	coefficient, a	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	power, b	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Shear velocity, V_s (km/sec)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Density, ρ (g/cc)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Site attenuation, κ_0	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
Duration (sec)	8.7	9.1	9.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	18.9	18.9	18.9
Connection frequency (Hz) for combining the point-source spectrum and deconvoluted spectrum	9.0	11.0	9.0	7.5	7.5	9.0	9.0	7.5	10.0	10.0	11.0
Scale factor used for point-source spectrum	1.00	1.00	1.25	0.40	0.60	0.90	1.25	1.85	1.90	2.70	3.50

表 18 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA_{input})數值表

Period (sec)	Spectral Acceleration (g)										
	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
0.010	0.048	0.082	0.140	0.231	0.347	0.520	0.728	1.062	1.439	2.015	2.620
0.011	0.050	0.084	0.144	0.238	0.358	0.537	0.752	1.097	1.487	2.084	2.708
0.011	0.051	0.086	0.148	0.245	0.368	0.552	0.773	1.129	1.530	2.145	2.788
0.012	0.052	0.089	0.152	0.253	0.379	0.569	0.796	1.164	1.579	2.215	2.878
0.013	0.054	0.091	0.157	0.261	0.392	0.589	0.823	1.204	1.634	2.295	2.981
0.014	0.055	0.094	0.162	0.271	0.407	0.611	0.854	1.251	1.698	2.387	3.100
0.015	0.057	0.097	0.169	0.283	0.424	0.636	0.889	1.303	1.770	2.489	3.233
0.016	0.060	0.101	0.175	0.295	0.443	0.664	0.928	1.360	1.849	2.603	3.379
0.017	0.062	0.105	0.183	0.308	0.463	0.694	0.969	1.422	1.934	2.725	3.537
0.019	0.064	0.109	0.191	0.322	0.484	0.726	1.013	1.487	2.024	2.854	3.705
0.020	0.067	0.113	0.199	0.337	0.506	0.759	1.058	1.555	2.118	2.988	3.878
0.021	0.070	0.118	0.207	0.352	0.528	0.792	1.105	1.624	2.213	3.124	4.055
0.023	0.073	0.122	0.215	0.367	0.551	0.826	1.151	1.693	2.309	3.260	4.231
0.025	0.075	0.127	0.224	0.382	0.573	0.859	1.197	1.761	2.403	3.394	4.404
0.026	0.078	0.131	0.232	0.396	0.594	0.891	1.241	1.827	2.493	3.523	4.572
0.028	0.080	0.135	0.239	0.409	0.614	0.921	1.283	1.889	2.579	3.646	4.731
0.030	0.083	0.139	0.246	0.422	0.633	0.950	1.323	1.948	2.660	3.761	4.879
0.032	0.085	0.143	0.253	0.433	0.650	0.976	1.359	2.001	2.734	3.866	5.015
0.035	0.087	0.146	0.259	0.444	0.666	0.999	1.391	2.049	2.800	3.960	5.138
0.037	0.088	0.149	0.264	0.453	0.680	1.019	1.420	2.092	2.858	3.933	5.245
0.040	0.090	0.151	0.268	0.461	0.691	1.037	1.444	2.128	2.908	4.114	5.337
0.043	0.091	0.153	0.272	0.467	0.701	1.051	1.464	2.157	2.949	4.172	5.413
0.046	0.092	0.155	0.275	0.472	0.709	1.063	1.480	2.181	2.982	4.218	5.472
0.049	0.093	0.156	0.277	0.476	0.714	1.071	1.492	2.198	3.006	4.252	5.516
0.052	0.093	0.157	0.278	0.478	0.718	1.077	1.499	2.209	3.021	4.273	5.543
0.056	0.094	0.157	0.278	0.479	0.719	1.079	1.503	2.214	3.028	4.283	5.555
0.060	0.094	0.157	0.278	0.479	0.719	1.078	1.502	2.213	3.027	4.281	5.552
0.065	0.093	0.157	0.277	0.478	0.717	1.075	1.498	2.207	3.018	4.268	5.535
0.069	0.093	0.156	0.276	0.475	0.713	1.070	1.490	2.195	3.002	4.244	5.503
0.074	0.092	0.155	0.274	0.472	0.708	1.062	1.480	2.179	2.979	4.210	5.457
0.079	0.092	0.154	0.271	0.467	0.701	1.052	1.466	2.159	2.950	4.166	5.395
0.085	0.091	0.152	0.268	0.462	0.693	1.040	1.450	2.134	2.913	4.110	5.308
0.091	0.090	0.151	0.265	0.456	0.684	1.026	1.431	2.106	2.865	4.035	5.160
0.098	0.088	0.151	0.261	0.449	0.674	1.010	1.410	2.075	2.790	3.905	4.975
0.105	0.087	0.152	0.257	0.442	0.663	0.992	1.388	2.041	2.725	3.775	4.893
0.112	0.087	0.153	0.252	0.434	0.652	0.966	1.362	2.004	2.675	3.696	4.813
0.120	0.086	0.150	0.248	0.425	0.639	0.942	1.334	1.966	2.603	3.596	4.682
0.129	0.085	0.149	0.245	0.415	0.626	0.930	1.320	1.924	2.569	3.551	4.619
0.138	0.084	0.147	0.243	0.404	0.612	0.921	1.308	1.884	2.543	3.518	4.575
0.148	0.083	0.146	0.241	0.399	0.606	0.916	1.300	1.866	2.527	3.498	4.549
0.158	0.082	0.145	0.240	0.398	0.605	0.915	1.300	1.863	2.526	3.497	4.547
0.170	0.082	0.144	0.239	0.395	0.600	0.909	1.290	1.848	2.505	3.467	4.508
0.182	0.082	0.144	0.239	0.394	0.599	0.905	1.285	1.839	2.492	3.447	4.481
0.195	0.081	0.142	0.234	0.385	0.583	0.880	1.247	1.783	2.415	3.336	4.336
0.209	0.082	0.142	0.232	0.377	0.569	0.856	1.211	1.728	2.339	3.226	4.193
0.224	0.084	0.145	0.234	0.378	0.567	0.850	1.199	1.708	2.309	3.180	4.134
0.240	0.086	0.146	0.234	0.375	0.560	0.837	1.179	1.677	2.266	3.113	4.050

表 19 核一廠 11 個危害水準之 5%阻尼比輸入地震反應譜(SA_{input})數值表(續)

Period (sec)	Spectral Acceleration (g)										
	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
0.257	0.084	0.143	0.228	0.366	0.546	0.815	1.147	1.631	2.203	3.022	3.935
0.275	0.080	0.136	0.220	0.353	0.528	0.790	1.113	1.583	2.139	2.931	3.821
0.295	0.074	0.128	0.207	0.336	0.504	0.756	1.067	1.519	2.055	2.812	3.673
0.316	0.069	0.121	0.196	0.320	0.481	0.724	1.022	1.458	1.974	2.700	3.535
0.338	0.066	0.116	0.188	0.307	0.460	0.694	0.980	1.398	1.895	2.591	3.404
0.363	0.065	0.112	0.181	0.294	0.440	0.664	0.937	1.338	1.813	2.479	3.268
0.389	0.064	0.111	0.179	0.288	0.430	0.648	0.913	1.303	1.766	2.413	3.188
0.416	0.063	0.108	0.174	0.280	0.416	0.626	0.881	1.256	1.701	2.324	3.069
0.446	0.062	0.106	0.171	0.275	0.407	0.612	0.860	1.225	1.658	2.262	2.979
0.478	0.060	0.104	0.168	0.271	0.402	0.603	0.847	1.204	1.627	2.218	2.910
0.512	0.058	0.100	0.162	0.263	0.390	0.584	0.820	1.166	1.574	2.143	2.802
0.549	0.054	0.095	0.155	0.251	0.372	0.557	0.782	1.111	1.499	2.041	2.663
0.588	0.051	0.090	0.147	0.239	0.355	0.530	0.746	1.058	1.429	1.947	2.538
0.630	0.048	0.085	0.139	0.226	0.335	0.500	0.704	0.999	1.349	1.842	2.402
0.675	0.045	0.079	0.130	0.210	0.313	0.465	0.656	0.932	1.261	1.724	2.253
0.723	0.041	0.072	0.118	0.191	0.284	0.423	0.597	0.849	1.149	1.575	2.063
0.775	0.038	0.067	0.109	0.176	0.262	0.389	0.550	0.782	1.061	1.456	1.911
0.830	0.036	0.063	0.103	0.166	0.248	0.369	0.520	0.742	1.006	1.382	1.817
0.890	0.033	0.060	0.097	0.157	0.234	0.349	0.492	0.702	0.952	1.310	1.724
0.953	0.031	0.057	0.092	0.148	0.221	0.331	0.465	0.665	0.901	1.240	1.632
1.021	0.029	0.053	0.086	0.140	0.209	0.314	0.440	0.630	0.855	1.177	1.549
1.095	0.027	0.050	0.081	0.131	0.196	0.295	0.414	0.593	0.806	1.110	1.463
1.173	0.025	0.045	0.075	0.121	0.182	0.274	0.385	0.553	0.752	1.038	1.370
1.257	0.023	0.041	0.068	0.111	0.168	0.253	0.357	0.512	0.700	0.968	1.280
1.346	0.021	0.037	0.063	0.102	0.154	0.234	0.331	0.476	0.652	0.904	1.200
1.443	0.019	0.034	0.057	0.094	0.142	0.216	0.308	0.443	0.610	0.849	1.130
1.546	0.017	0.030	0.052	0.086	0.131	0.200	0.286	0.414	0.571	0.798	1.066
1.656	0.015	0.028	0.047	0.078	0.120	0.184	0.266	0.385	0.534	0.749	1.004
1.775	0.013	0.025	0.042	0.071	0.109	0.169	0.245	0.357	0.495	0.698	0.939
1.902	0.012	0.022	0.037	0.064	0.098	0.154	0.224	0.329	0.457	0.646	0.872
2.038	0.010	0.020	0.033	0.057	0.089	0.140	0.205	0.302	0.420	0.597	0.808
2.183	0.009	0.018	0.030	0.052	0.081	0.128	0.188	0.279	0.389	0.554	0.752
2.339	0.009	0.017	0.028	0.048	0.075	0.118	0.174	0.259	0.363	0.518	0.705
2.507	0.008	0.016	0.026	0.044	0.070	0.110	0.163	0.244	0.342	0.489	0.668
2.686	0.008	0.015	0.025	0.042	0.066	0.104	0.154	0.230	0.325	0.464	0.636
2.878	0.008	0.014	0.024	0.039	0.062	0.098	0.146	0.218	0.308	0.441	0.606
3.084	0.007	0.013	0.022	0.037	0.058	0.092	0.137	0.205	0.291	0.417	0.575
3.304	0.007	0.012	0.021	0.034	0.054	0.085	0.127	0.191	0.272	0.391	0.540
3.540	0.006	0.011	0.019	0.031	0.049	0.078	0.118	0.177	0.253	0.364	0.504
3.793	0.005	0.009	0.017	0.028	0.045	0.072	0.108	0.164	0.234	0.338	0.469
4.064	0.005	0.008	0.015	0.025	0.041	0.066	0.100	0.151	0.217	0.314	0.437
4.355	0.004	0.008	0.014	0.023	0.037	0.061	0.092	0.140	0.201	0.293	0.409
4.666	0.004	0.007	0.012	0.021	0.034	0.056	0.085	0.130	0.188	0.274	0.383
5.000	0.004	0.006	0.011	0.020	0.032	0.052	0.079	0.121	0.174	0.255	0.358

2.3.7 方法論

核一廠地盤反應以一維空間、基於隨機振動理論(RVT)之等值線性(Equivalent Linear, EQL)分析方法執行，需建立輸入模型包括剪力波速基準剖面、土壤單位重、非線性剪力模數折減曲線與阻尼比曲線，並給定輸入地震經由土層模型進行波傳繁衍計算，據此求得地盤放大函數(Site Amplification)。過程中使用 kappa2 調修以處理 EQL 方法因過阻尼(Overdamping)現象而低估高頻段反應，以及使用蒙地卡羅(Monte Carlo)理論以充分考慮廠址波速變異性，兩者方法說明請分別詳見第 2.3.3.5 節與第 2.3.5 節。相較於執行非線性歷時分析，等值線性分析可更有效地計算在各式波速基準剖面、非線性材料參數曲線模型、隨機波速剖面以及地震危害水準等組合下的大量地盤反應分析案例結果，並亦符合美國 NRC 核能法規 RG 1.208 與「SPID Guidance (EPRI 1025287)」要求。

「台灣地區地震危害高階模型建置計畫」經「SSHAC Level 3」程序產出之 SSC 模型與 GMC 模型中，地震動評估模型(GMPE)的開發乃基於參考岩盤 V_{s30} 為 760m/s 的地盤條件所發展，包括規模、距離、震源機制等函數項，而其隱含的地盤放大效應實為對應一個 V_{s30} 為 760 m/s 的完整參考岩盤剪力波速剖面，且屬線性放大行為。因此，為反映參考岩盤均佈危害度反應譜(UHRS_{ref})建立內涵並有效評估廠區土層的非線性效應，有別於傳統分析程序，是以同一輸入地震置於半無限域之實質基岩位置，進行兩次地盤反應分析求得控制點地盤放大函數，以能有效考慮到在大震度輸入運動下完整的岩土材料非線性效應。該分析流程已實務應用在美國加州 DCPD 核電廠執行「NTTF 2.1: Seismic」之 GMRS 建置程序(PG&E, 2015)。根據美中及美東地區(RG 1.208, 2007)以及美西 DCPD 核電廠(PG&E, 2015)定義的實質基岩位置，概為剪力波速近 3,000 m/s，該值對應 TWGR 波速剖面的深度位置約在 5 公里左右，據此廠址整體土層模型建立至 5 公里深度。

在此採用修正波速剖面的地盤反應分析程序，需執行兩次地盤反應分析，程序如圖 38 所示，包括一次線性分析與一次非線性分析。

參考岩盤剖面線性放大效應以及特定廠址波速剖面非線性放大效應之間頻譜比值，即為控制點位的廠址地盤放大函數。圖 38 中，第一步驟為對 TWGR 波速剖面執行線性分析求得 TWGR 波速剖面(深度至 5,000 公尺)地表之地盤反應($SA_{ref'}(T)$)；第二步驟為對核一廠整體波速基準剖面執行非線性分析，完整考慮核一廠岩土材料非線性特性，求得地表之地盤反應($SA_{site'}(T)$)。

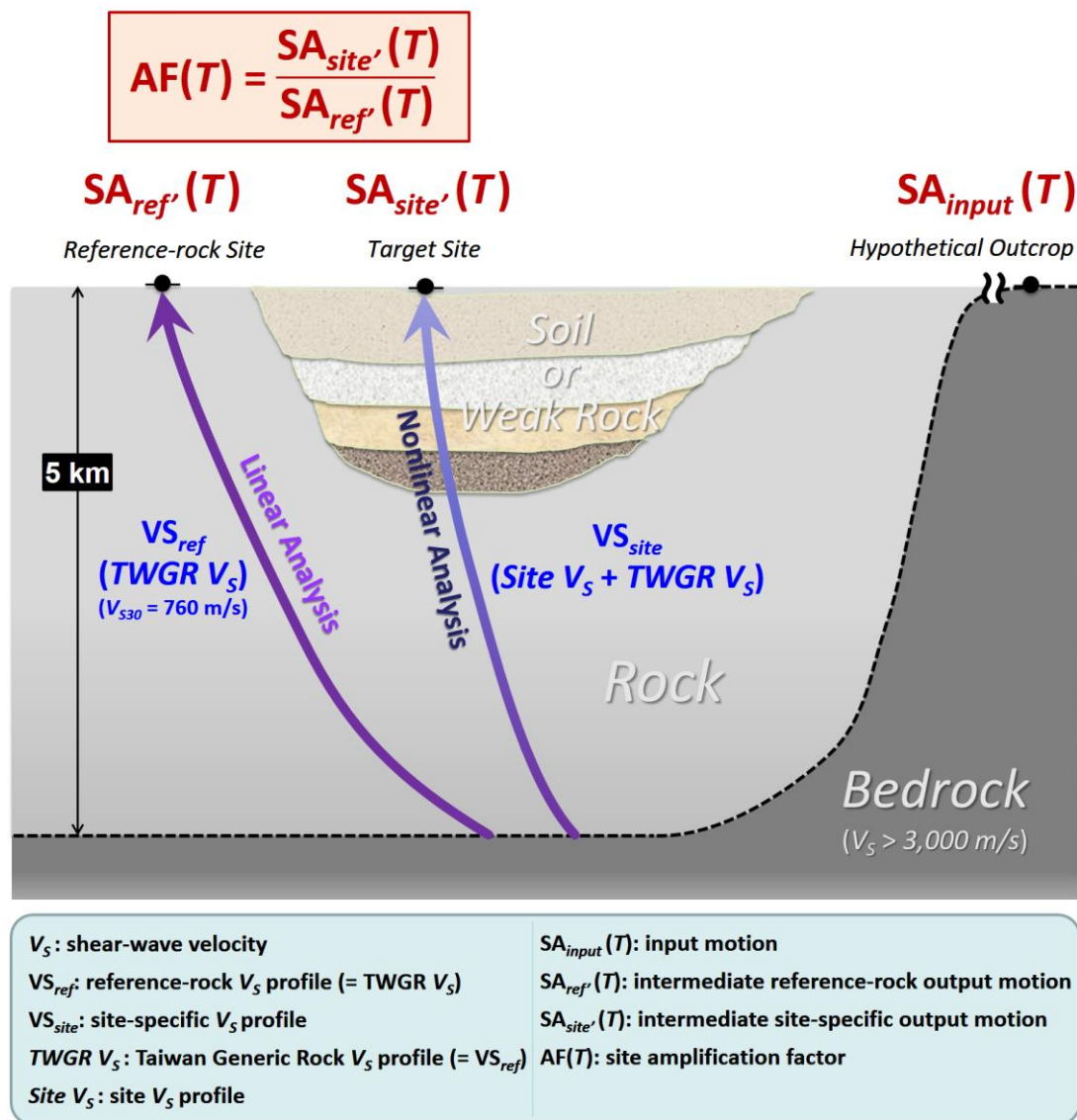


圖 38 兩次地盤反應分析求得廠址放大函數示意圖

2.3.8 kappa2 調修

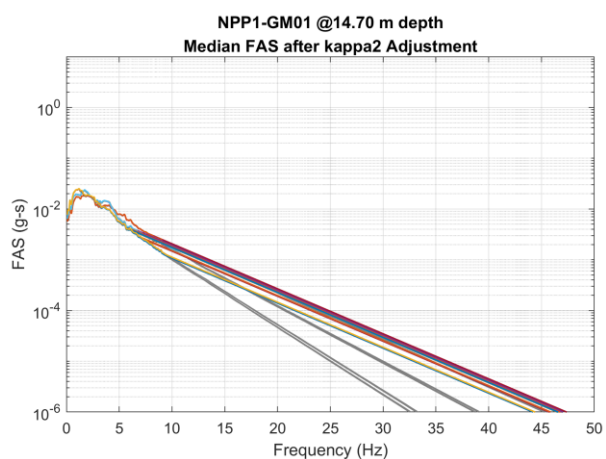
圖 39 與圖 40 為控制點 11 個危害水準下 54 條邏輯樹分支的中值 (Median) FAS，其中灰線為未經 kappa2 修正之 FAS，彩色線為經 kappa2 修正之 FAS。表 20 為控制點 11 個危害水準下 kappa2 修正前之 18 條邏輯樹分支對應的 kappa 值。圖 41 為控制點於 1E-04 及 1E-05 危害水準下完成 kappa2 修正之 54 條邏輯樹分支的中值反應譜。以上所述中值為對數常態分布中值。

表 20 核一廠控制點 11 個危害水準下 kappa2 修正前之 18 條邏輯樹分支對應 kappa 值

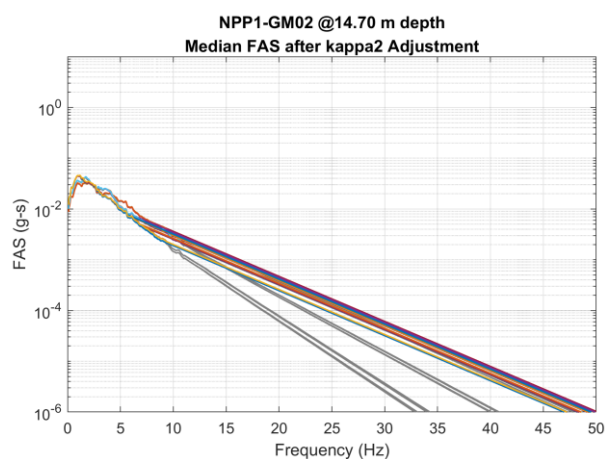
Hazard level Branch code	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
VSUGUV1	0.068	0.068	0.07	0.072	0.076	0.083	0.093	0.111	0.134	0.172	0.222
VSUGBV1	0.068	0.069	0.07	0.072	0.076	0.084	0.095	0.113	0.138	0.179	0.233
VSUGLV1	0.068	0.069	0.07	0.072	0.077	0.085	0.097	0.117	0.144	0.188	0.242
VSUGUV2	0.067	0.068	0.068	0.07	0.073	0.079	0.088	0.103	0.123	0.159	0.206
VSUGBV2	0.067	0.068	0.069	0.07	0.073	0.08	0.089	0.106	0.128	0.166	0.217
VSUGLV2	0.068	0.068	0.069	0.07	0.074	0.081	0.091	0.11	0.135	0.175	0.225
VSBGUV1	0.081	0.083	0.086	0.09	0.099	0.115	0.138	0.176	0.222	0.295	0.383
VSGBV1	0.081	0.083	0.086	0.091	0.101	0.118	0.144	0.187	0.239	0.321	0.417
VSGLV1	0.082	0.083	0.087	0.092	0.103	0.123	0.153	0.199	0.25	0.326	0.412
VSBGUV2	0.08	0.081	0.083	0.087	0.094	0.107	0.127	0.162	0.203	0.268	0.347
VSGBV2	0.081	0.082	0.084	0.088	0.096	0.111	0.134	0.172	0.219	0.293	0.382
VSGLV2	0.081	0.082	0.084	0.089	0.098	0.116	0.143	0.184	0.23	0.299	0.377
VSLGUV1	0.097	0.101	0.108	0.119	0.137	0.167	0.208	0.274	0.357	0.489	0.636
VSLGBV1	0.097	0.101	0.109	0.12	0.14	0.172	0.215	0.288	0.376	0.511	0.653
VSLGLV1	0.098	0.102	0.11	0.122	0.144	0.178	0.225	0.305	0.399	0.533	0.67
VSLGUV2	0.095	0.097	0.103	0.111	0.125	0.149	0.183	0.238	0.309	0.421	0.543
VSLGBV2	0.095	0.098	0.104	0.112	0.128	0.154	0.191	0.252	0.328	0.444	0.564
VSLGLV2	0.096	0.099	0.105	0.115	0.132	0.161	0.201	0.269	0.351	0.468	0.584

Note 1: The gray-background part indicates the kappa2 adjustment will be executed.

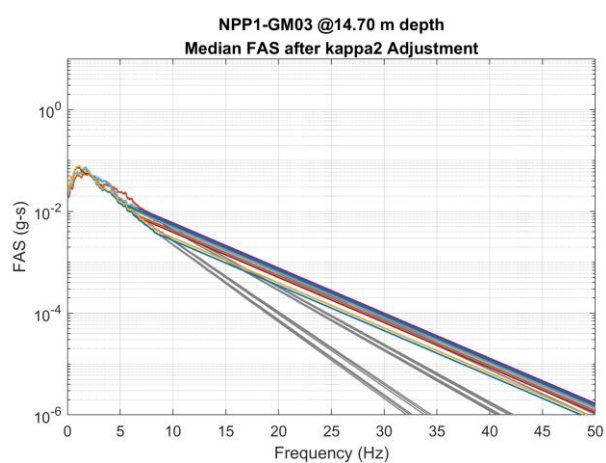
Note 2: The level for kappa2 adjustment: 0.065 (frequency range of kappa calculation: 10 - 40 Hz).



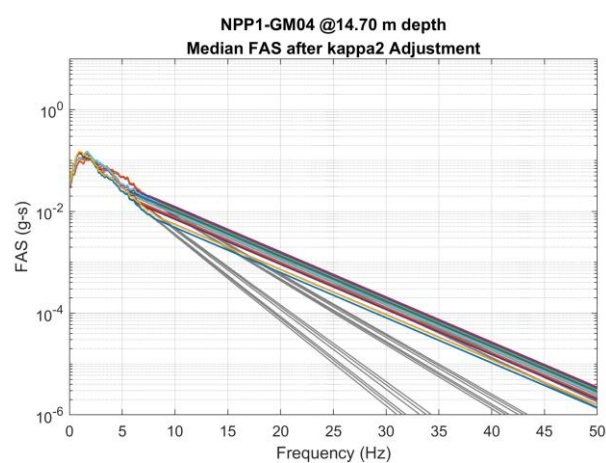
(a) GM01 (1E-01)



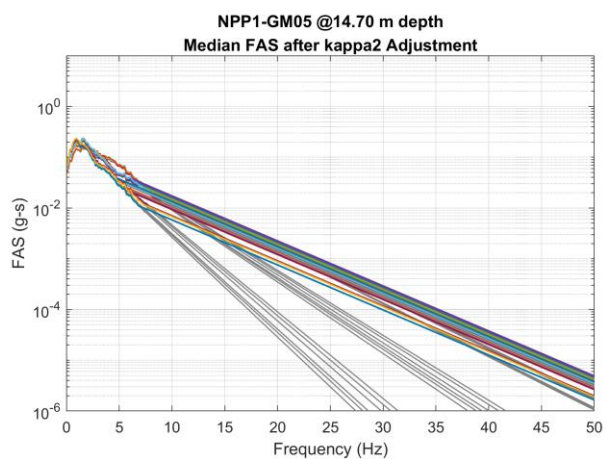
(b) GM02 (3E-02)



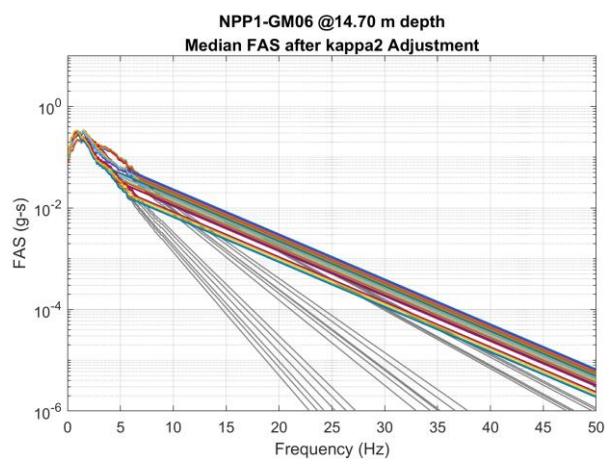
(c) GM03 (1E-02)



(d) GM04 (3E-03)

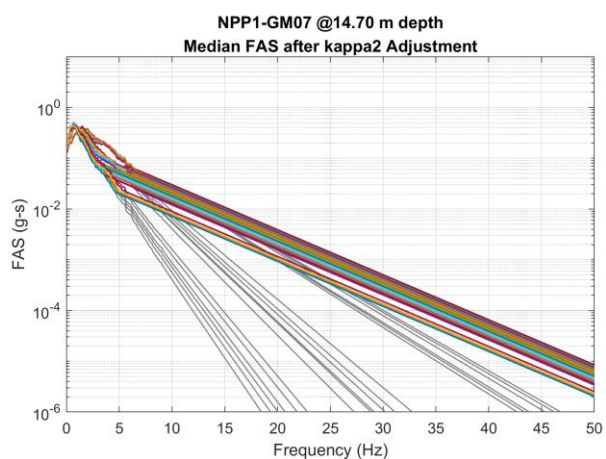


(e) GM05 (1E-03)

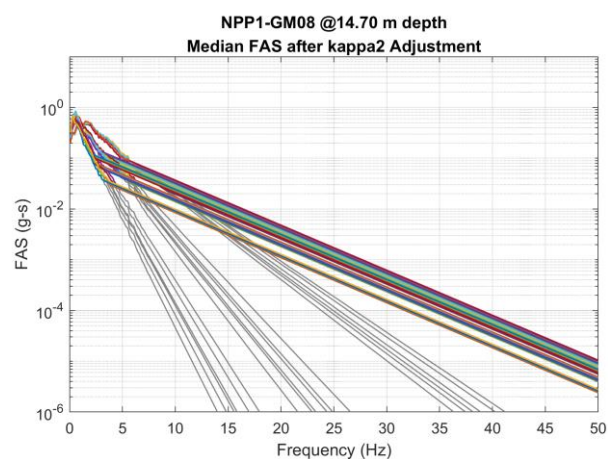


(f) GM06 (3E-04)

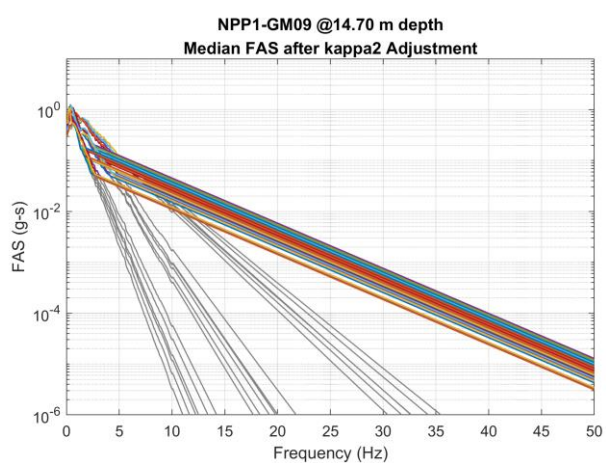
圖 39 核一廠控制點 GM01 至 GM06 危害水準之經 kappa2 修正
中值傅氏譜



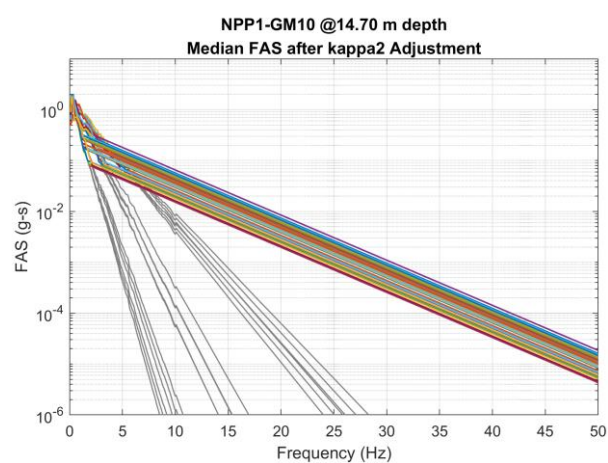
(g) GM07 (1E-04)



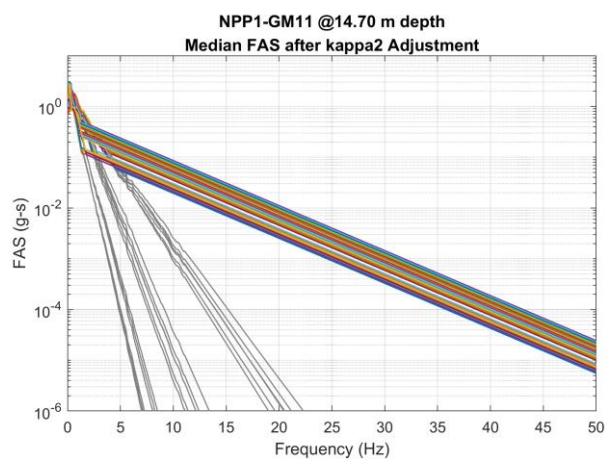
(h) GM08 (3E-05)



(i) GM09 (1E-05)

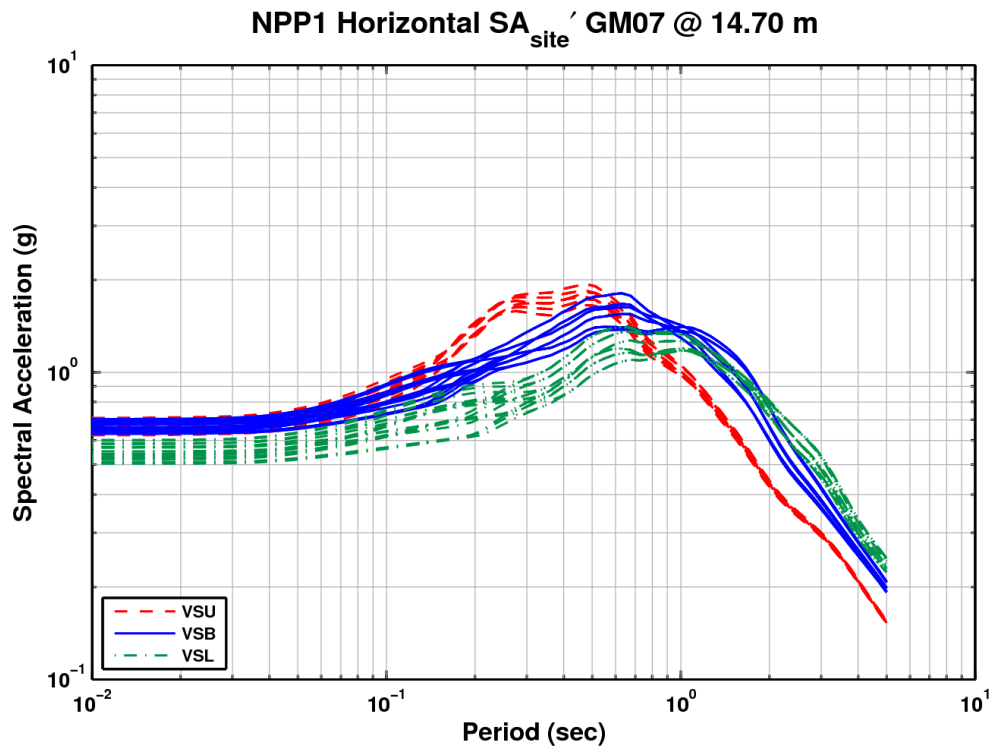


(j) GM10 (3E-06)

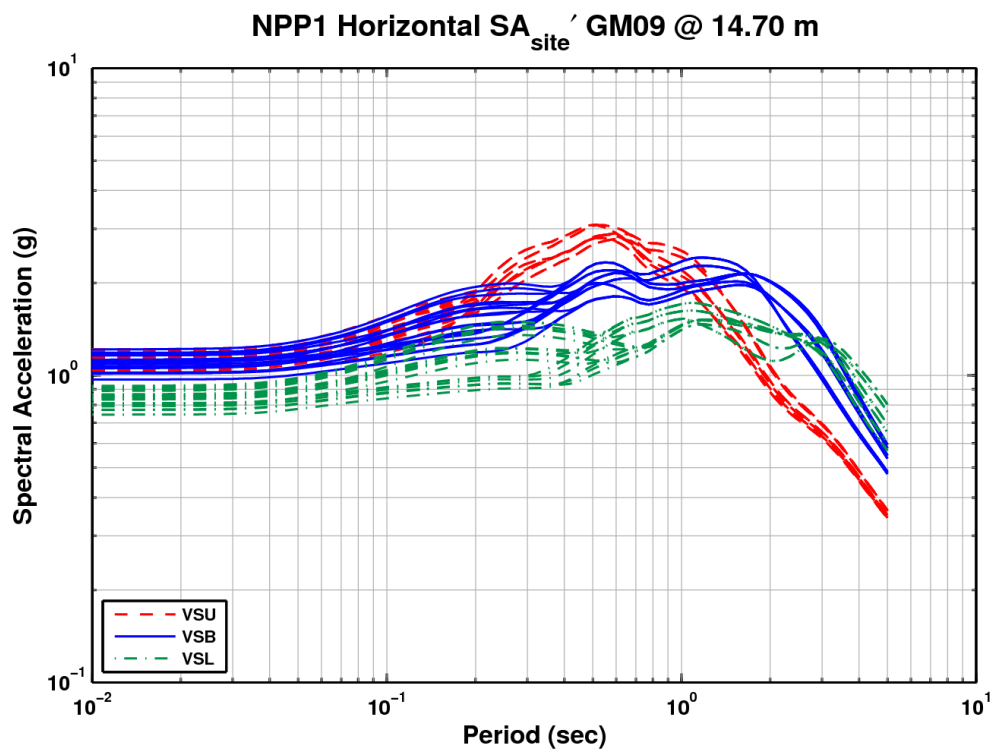


(k) GM11 (1E-06)

圖 40 核一廠控制點 GM07 至 GM11 危害水準之經 kappa2 修正
中值傅氏譜



(a) 年超越頻率 1E-04



(b) 年超越頻率 1E-05

圖 41 核一廠控制點之經 kappa2 修正中值反應譜

2.3.9 廠址放大函數

依前述之核一廠 54 條邏輯樹分支，在 11 個危害水準下，核一廠控制點經由地盤反應分析及 kappa2 修正後之權重後中值廠址放大函數(SA_{site}/SA_{ref})如圖 42 所示，數值如表 21 所列。

表 21 核一廠控制點 11 個危害水準之權重後中值放大係數

Period (sec)	GM01	GM02	GM03	GM04	GM05	GM06	GM07	GM08	GM09	GM10	GM11
0.010	1.044	1.054	1.038	1.003	0.985	0.947	0.869	0.788	0.722	0.683	0.660
0.014	1.040	1.050	1.033	0.999	0.980	0.943	0.865	0.784	0.718	0.679	0.657
0.020	1.030	1.040	1.023	0.988	0.969	0.932	0.855	0.774	0.709	0.671	0.649
0.028	0.996	1.007	0.986	0.950	0.932	0.895	0.822	0.743	0.680	0.643	0.622
0.040	0.917	0.929	0.900	0.857	0.839	0.805	0.739	0.666	0.608	0.572	0.554
0.056	0.771	0.787	0.744	0.691	0.674	0.644	0.592	0.529	0.479	0.448	0.436
0.079	0.690	0.706	0.659	0.605	0.585	0.554	0.506	0.447	0.403	0.376	0.367
0.112	0.671	0.664	0.649	0.596	0.568	0.534	0.477	0.416	0.379	0.361	0.350
0.158	0.772	0.760	0.739	0.696	0.650	0.584	0.501	0.438	0.389	0.368	0.357
0.224	0.975	0.959	0.928	0.873	0.805	0.716	0.605	0.500	0.433	0.406	0.392
0.316	1.181	1.185	1.174	1.142	1.069	0.933	0.763	0.622	0.526	0.481	0.450
0.446	1.318	1.339	1.359	1.373	1.363	1.261	1.036	0.839	0.708	0.602	0.540
0.630	1.486	1.510	1.540	1.583	1.631	1.603	1.362	1.116	0.951	0.828	0.715
0.890	1.579	1.601	1.629	1.671	1.732	1.823	1.751	1.520	1.289	1.153	1.049
1.257	1.645	1.663	1.688	1.717	1.776	1.886	2.003	1.989	1.751	1.540	1.429
1.775	1.720	1.741	1.768	1.806	1.861	1.974	2.179	2.431	2.387	2.175	2.009
2.507	1.689	1.704	1.725	1.762	1.798	1.875	2.036	2.375	2.666	2.743	2.647
3.540	1.661	1.675	1.691	1.725	1.754	1.808	1.910	2.171	2.521	2.919	3.133
5.000	1.661	1.669	1.680	1.693	1.717	1.755	1.819	1.981	2.218	2.559	2.867

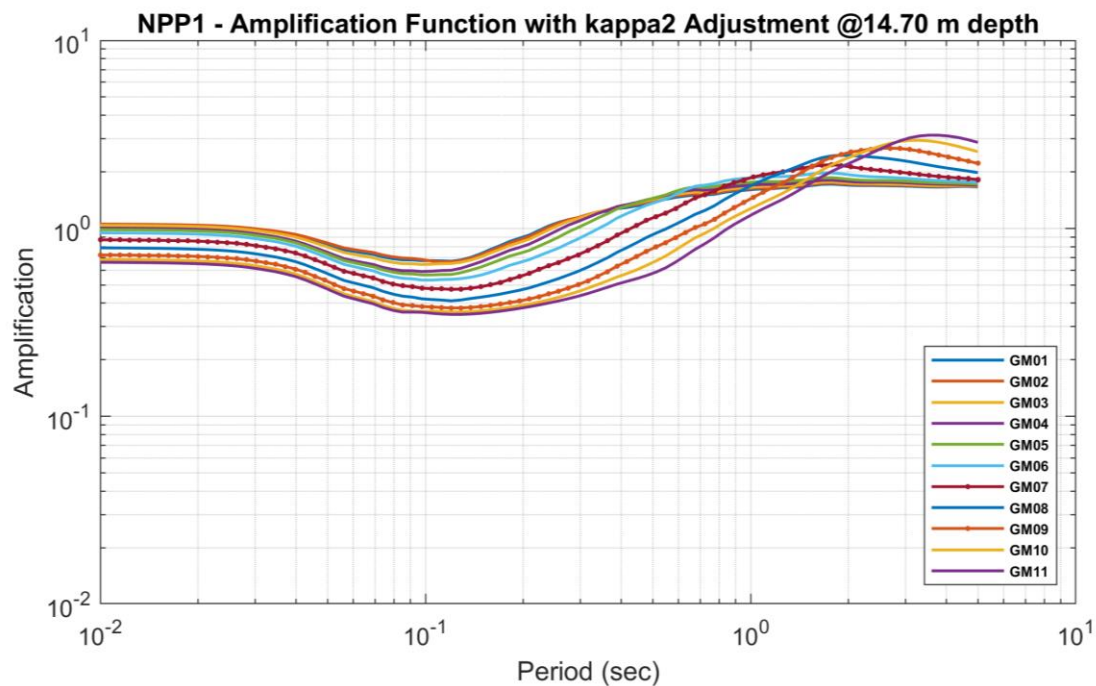


圖 42 核一廠控制點 11 個危害水準之權重後中值放大係數

2.3.10 控制點地震危害度曲線

計算控制點高程之平均地震危害度曲線係依據 NUREG/CR-6728 (McGuire et al., 2001)所提 Approach 3 方式執行。Approach 3 程序係參考岩盤之地震危害度曲線，考慮土層之地盤放大因子後，以機率程序計算控制點地震危害度曲線，以能得到特定年超越頻率包括 $1E-04$ 及 $1E-05$ 之下對應的均佈危害度反應譜，進而依 RG 1.208 (NRC, 2007) 所提方式計算反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)。

輸入地震依據之參考岩盤均值地震危害度曲線週期點可涵蓋 0.01 秒至 3.0 秒範圍，詳第 2.2.2 節；地盤反應分析結果係透由 3 組整體波速基準剖面、數組非線性材料參數曲線(包含剪力模數折減曲線與阻尼比曲線)以及 3 組 κ_2 調修倍值而得，詳第 2.3.3.3 節、第 2.3.3.4 節及第 2.3.3.5 節。根據 54 條邏輯樹分支(如表 15)以及輸入地震(詳第 2.3.6 節)的地盤反應分析結果，採 Approach 3 方式可得各週期點之均值(Mean)及 5 個分位點(5%、16%、50%、84%與 95%)之控制點地震危害度曲線。

核一廠 3 個週期 0.01 秒、0.2 秒及 2.0 秒之控制點危害度均值曲線如圖 43 至圖 45 所示，以及表 22 至表 24 所列。

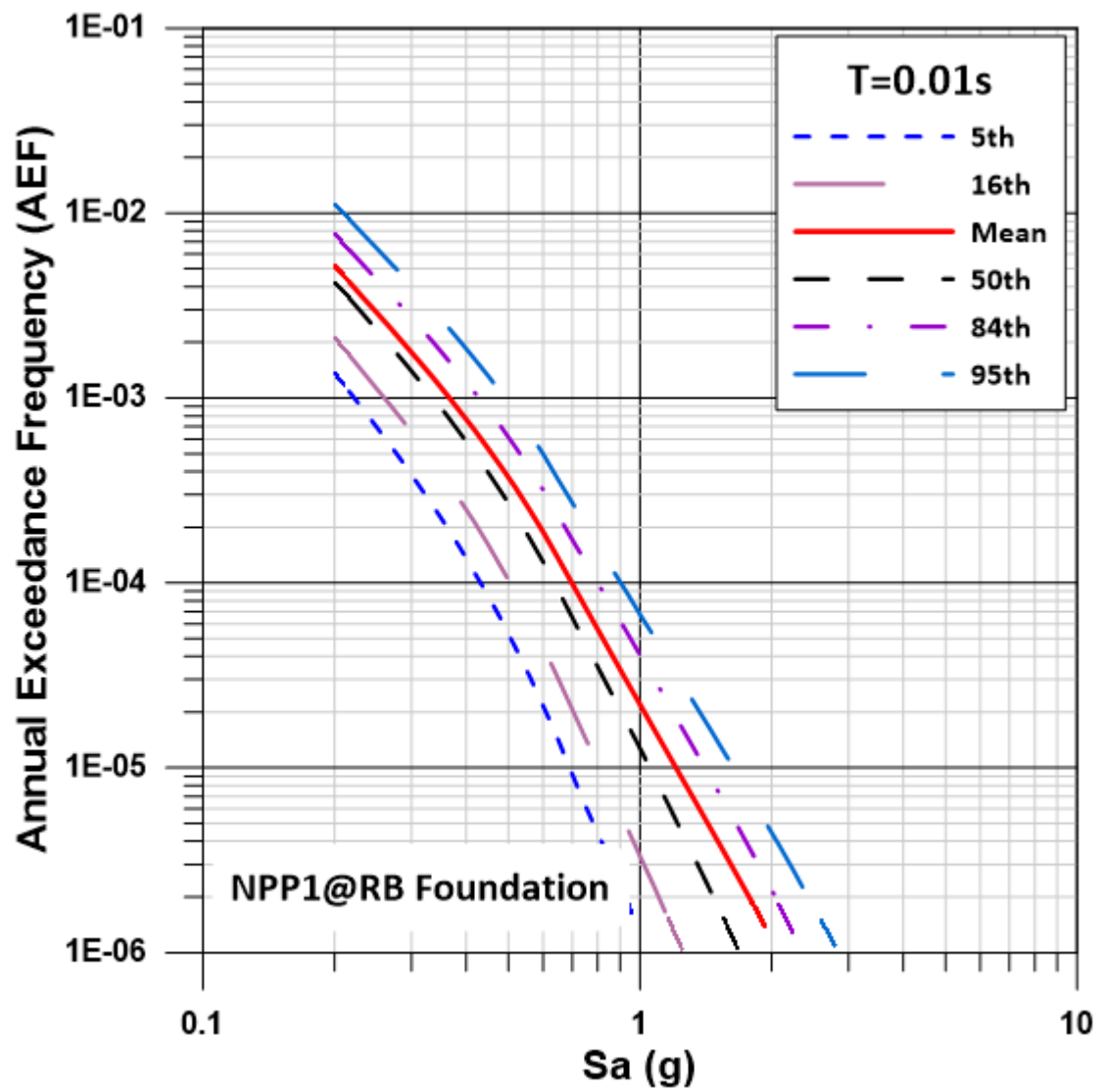


圖 43 核一廠控制點 0.01 秒週期地震危害度曲線

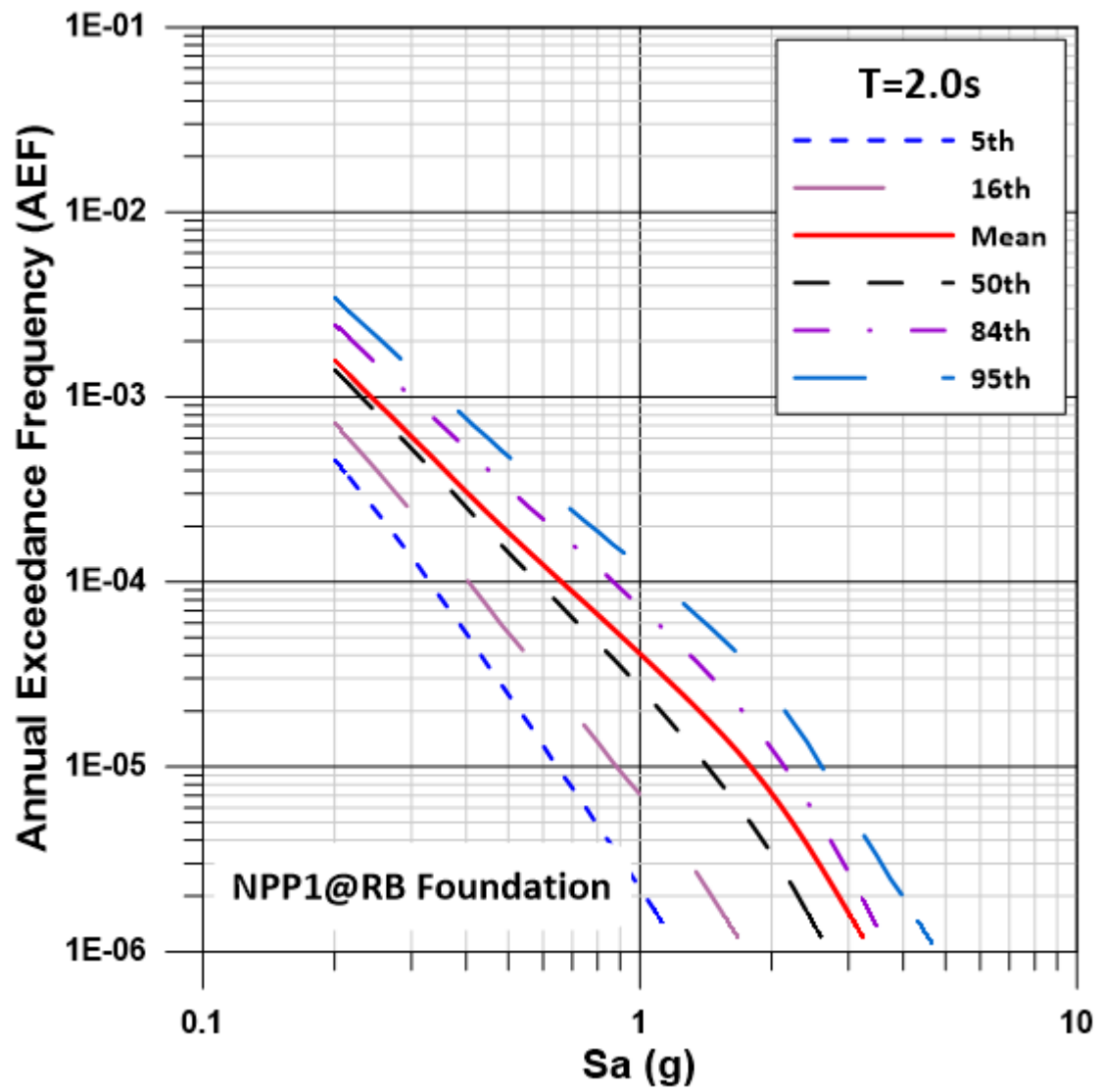


圖 44 核一廠控制點 0.2 秒週期地震危害度曲線

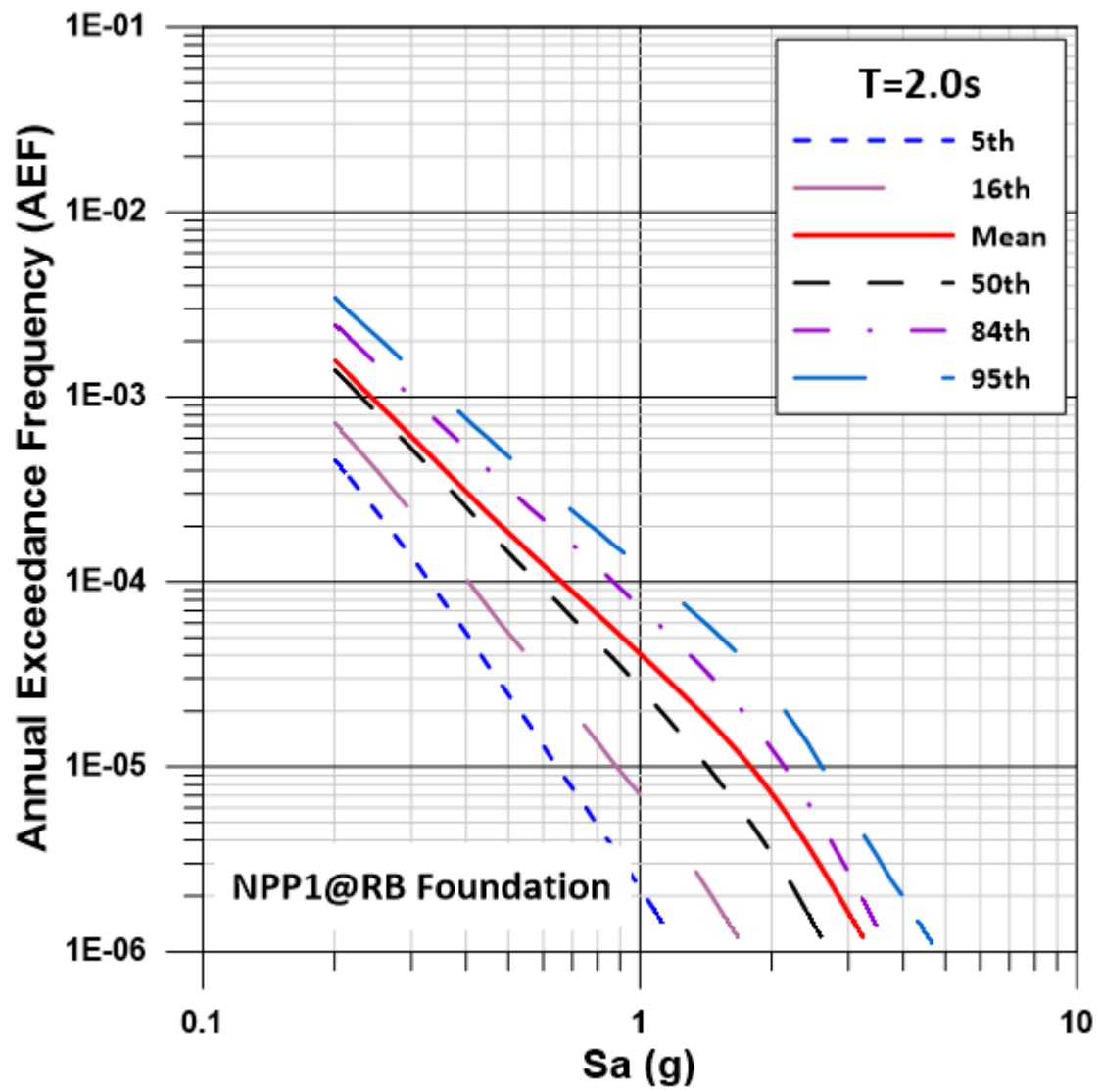


圖 45 核一廠控制點 2.0 秒週期地震危害度曲線

表 22 核一廠控制點 0.01 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表

0.01 sec PSA (g)	Mean	5 th Fractile	16 th Fractile	50 th Fractile	84 th Fractile	95 th Fractile
0.2	5.19E-03	1.37E-03	2.12E-03	4.27E-03	7.69E-03	1.12E-02
0.3	1.76E-03	3.85E-04	6.55E-04	1.40E-03	2.72E-03	4.05E-03
0.4	7.68E-04	1.36E-04	2.49E-04	5.82E-04	1.22E-03	1.85E-03
0.5	3.72E-04	5.29E-05	1.04E-04	2.69E-04	6.13E-04	9.40E-04
0.8	5.60E-05	4.44E-06	1.04E-05	3.52E-05	9.99E-05	1.59E-04
1	2.20E-05	1.28E-06	3.32E-06	1.27E-05	4.07E-05	6.74E-05
1.2	1.03E-05	4.50E-07	1.28E-06	5.37E-06	1.93E-05	3.34E-05
1.6	3.11E-06	7.32E-08	2.63E-07	1.32E-06	5.81E-06	1.09E-05
2	1.19E-06	1.48E-08	6.42E-08	4.03E-07	2.19E-06	4.45E-06
3	1.94E-07	2.42E-10	2.40E-09	3.35E-08	3.13E-07	7.98E-07
5	1.60E-08	6.72E-14	3.25E-12	4.21E-10	1.56E-08	6.79E-08

表 23 核一廠控制點 0.2 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表

0.2 sec PSA (g)	Mean	5 th Fractile	16 th Fractile	50 th Fractile	84 th Fractile	95 th Fractile
0.2	2.53E-02	7.17E-03	1.06E-02	2.20E-02	4.25E-02	6.15E-02
0.3	9.35E-03	2.51E-03	3.92E-03	8.20E-03	1.65E-02	2.36E-02
0.4	4.21E-03	1.03E-03	1.66E-03	3.62E-03	7.69E-03	1.12E-02
0.5	2.15E-03	4.36E-04	7.64E-04	1.79E-03	3.99E-03	6.09E-03
0.8	4.46E-04	4.45E-05	1.05E-04	3.20E-04	8.49E-04	1.45E-03
1	1.79E-04	1.23E-05	3.30E-05	1.15E-04	3.41E-04	6.51E-04
1.2	7.79E-05	4.00E-06	1.14E-05	4.44E-05	1.48E-04	3.12E-04
1.6	1.91E-05	6.25E-07	2.01E-06	9.77E-06	3.75E-05	8.18E-05
2	6.32E-06	1.33E-07	5.19E-07	3.01E-06	1.28E-05	2.65E-05
3	8.89E-07	3.46E-09	2.67E-08	2.43E-07	1.42E-06	3.57E-06
5	6.02E-08	7.66E-13	6.01E-11	2.41E-09	3.32E-08	1.19E-07

表 24 核一廠控制點 2.0 秒週期之譜加速度地震危害度曲線數值表

2.0 sec PSA (g)	Mean	5 th Fractile	16 th Fractile	50 th Fractile	84 th Fractile	95 th Fractile
0.2	1.59E-03	4.55E-04	7.24E-04	1.41E-03	2.48E-03	3.45E-03
0.3	6.10E-04	1.36E-04	2.40E-04	5.26E-04	9.98E-04	1.42E-03
0.4	3.08E-04	5.28E-05	1.04E-04	2.54E-04	5.26E-04	7.66E-04
0.5	1.85E-04	2.45E-05	5.29E-05	1.44E-04	3.21E-04	4.77E-04
0.8	6.66E-05	4.80E-06	1.36E-05	4.68E-05	1.21E-04	1.88E-04
1	4.08E-05	2.20E-06	7.10E-06	2.69E-05	7.33E-05	1.20E-04
1.2	2.71E-05	1.13E-06	3.88E-06	1.64E-05	4.85E-05	8.41E-05
1.6	1.36E-05	3.88E-07	1.42E-06	7.09E-06	2.41E-05	4.53E-05
2	7.18E-06	1.55E-07	6.11E-07	3.39E-06	1.25E-05	2.50E-05
3	1.62E-06	2.00E-08	8.96E-08	5.95E-07	2.68E-06	5.87E-06
5	2.63E-07	2.80E-10	2.12E-09	3.37E-08	2.77E-07	9.14E-07

2.3.11 控制點地震反應譜

RG 1.208 (NRC, 2007)主要定義性能導向廠址地震反應譜，是以 NUREG/CR-6728 (McGuire et al., 2001)之 Approach 3 程序所得之危害水準為 1E-04 與 1E-05 年超越頻率的近地表均佈危害度反應譜作為依據。

依據 Approach 3 程序所產地震危害度曲線，核一廠控制點 11 個危害水準之均佈危害度反應譜如圖 46 所示及表 25 所列；依據 RG 1.208 所提計算方式，核一廠控制點之反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)如圖 47 所示及表 26 所列。

表 25 核一廠控制點 11 個危害水準之均佈危害度反應譜數值表

Period (sec)	Spectral Acceleration (g)										
	1E-01 UHR	3E-02 UHR	1E-02 UHR	3E-03 UHR	1E-03 UHR	3E-04 UHR	1E-04 UHR	3E-05 UHR	1E-05 UHR	3E-06 UHR	1E-06 UHR
0.01	0.052	0.093	0.153	0.246	0.366	0.531	0.698	0.928	1.208	1.613	2.082
0.02	0.057	0.099	0.160	0.255	0.376	0.541	0.708	0.938	1.220	1.627	2.096
0.03	0.058	0.102	0.163	0.259	0.382	0.550	0.721	0.958	1.247	1.664	2.146
0.05	0.061	0.105	0.165	0.256	0.374	0.540	0.709	0.930	1.197	1.578	2.021
0.075	0.059	0.105	0.166	0.258	0.378	0.552	0.731	0.955	1.224	1.603	2.050
0.1	0.072	0.123	0.193	0.298	0.433	0.623	0.817	1.070	1.371	1.807	2.319
0.15	0.089	0.151	0.241	0.377	0.539	0.756	0.978	1.272	1.617	2.110	2.680
0.2	0.111	0.185	0.292	0.448	0.636	0.885	1.138	1.461	1.823	2.330	2.928
0.25	0.137	0.226	0.348	0.523	0.717	0.974	1.251	1.619	2.024	2.560	3.166
0.3	0.133	0.227	0.362	0.568	0.787	1.049	1.331	1.735	2.200	2.810	3.472
0.4	0.133	0.227	0.367	0.592	0.856	1.164	1.463	1.896	2.406	3.075	3.794
0.5	0.129	0.224	0.367	0.603	0.890	1.248	1.588	2.061	2.615	3.344	4.120
0.752	0.098	0.169	0.279	0.463	0.718	1.103	1.496	1.956	2.452	3.159	4.018
1	0.076	0.134	0.222	0.369	0.572	0.906	1.297	1.765	2.263	2.970	3.834
1.493	0.046	0.081	0.139	0.236	0.370	0.599	0.937	1.472	2.084	2.829	3.632
2	0.027	0.051	0.087	0.153	0.243	0.404	0.662	1.148	1.792	2.566	3.385
3.03	0.018	0.032	0.056	0.095	0.152	0.248	0.395	0.701	1.199	2.034	2.987

表 26 核一廠反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)數值表

Period (sec)	Spectral Acceleration (g)			
	1E-04 UHR	1E-05 UHR	Design Factor (DF)	FIRS
0.01	0.698	1.208	1.000	0.698
0.02	0.708	1.220	1.000	0.708
0.03	0.721	1.247	1.000	0.721
0.05	0.709	1.197	1.000	0.709
0.075	0.731	1.224	1.000	0.731
0.1	0.817	1.371	1.000	0.817
0.15	0.978	1.617	1.000	0.978
0.2	1.138	1.823	1.000	1.138
0.25	1.251	2.024	1.000	1.251
0.3	1.331	2.200	1.000	1.331
0.4	1.463	2.406	1.000	1.463
0.5	1.588	2.615	1.000	1.588
0.752	1.496	2.452	1.000	1.496
1	1.297	2.263	1.000	1.297
1.493	0.937	2.084	1.138	1.066
2	0.662	1.792	1.331	0.881
3.03	0.395	1.199	1.459	0.576

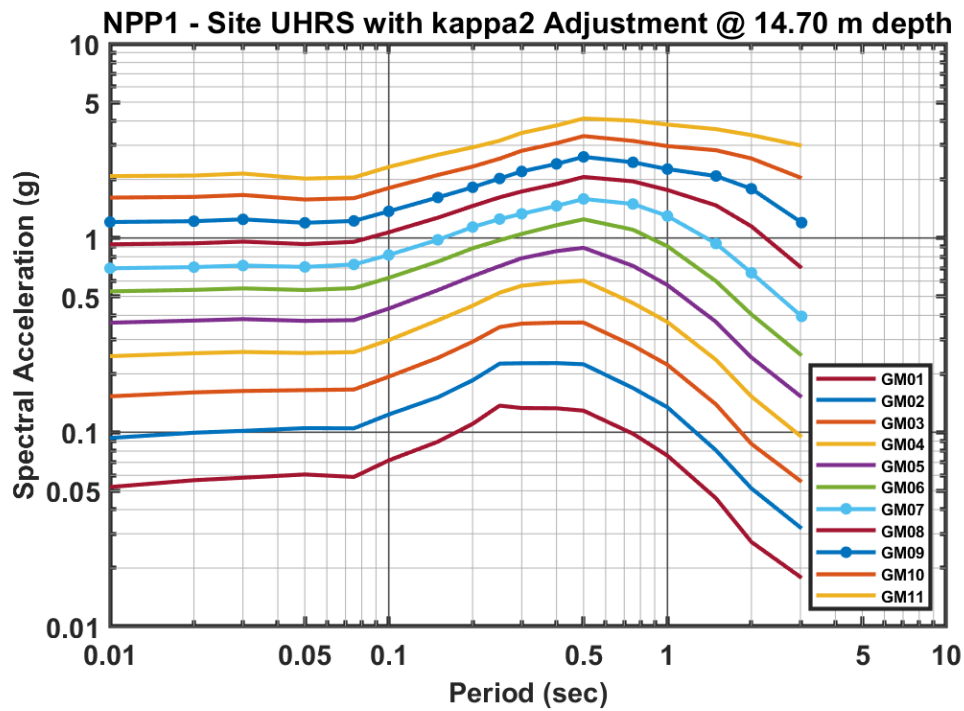


圖 46 核一廠控制點 11 個危害水準之均佈危害度反應譜

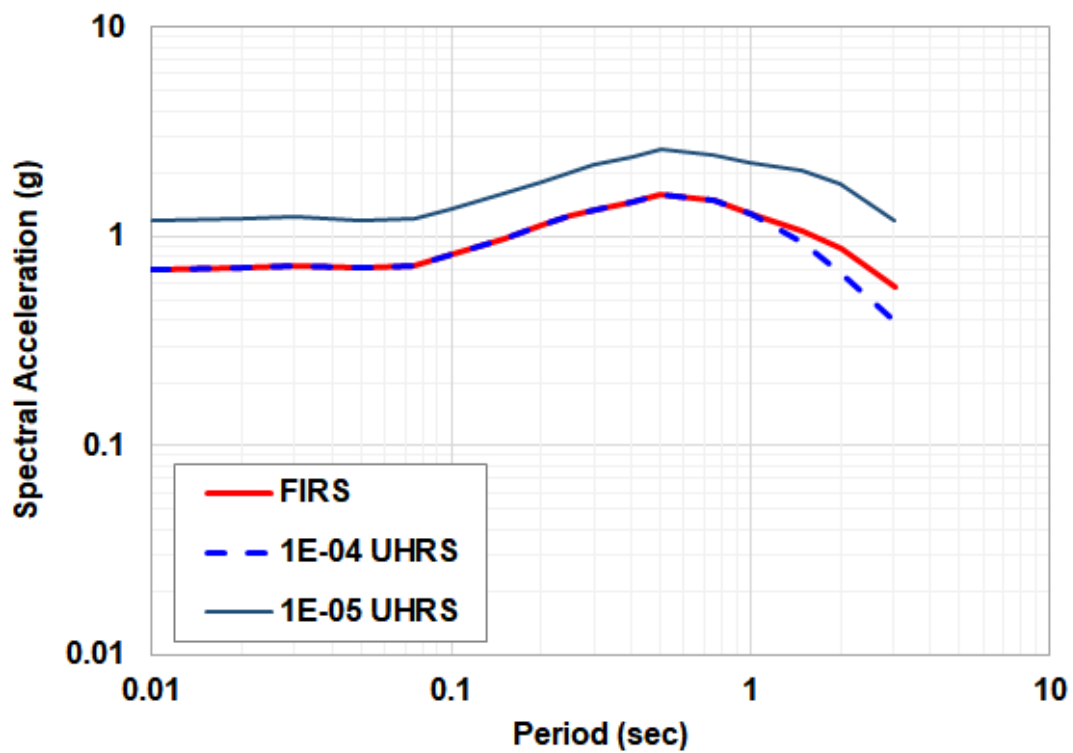


圖 47 核一廠反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)

3.0 設計與評估基準地震

核一廠設計基準地震源於 CSNPS-PDSAR 第 2.5 節與第 3.7 節內容，評估基準地震源於「營運中核能一、二及三廠耐震餘裕評估計畫」（原能會，2014），詳如後節說明。

3.1 安全停機地震(SSE)

核一廠執照基準地震於 CSNPS-PDSAR 稱安全停機地震(SSE)，如圖 48 所示，數值如表 27 所列。SSE 之反應譜型、PGA 值及控制點如後說明。

3.1.1 反應譜型

依 CSNPS-PDSAR 第 3.7.1.1 節所述，SSE 係統計震央距離廠址約 5 至 10 英哩(約 8 至 16 公里)範圍內且屬斷層震源之地震，並基於尖峰地表加速度(PGA)、尖峰地表速度(Peak Ground Velocity, PGV)與地震延時(Duration)三項地震動參數的評估結果所建立之平滑反應譜，同時參考以下研究成果制定之：

1. 由實測地震紀錄計算之反應譜(Arias and Husid, 1962; Garcia and Roesset, 1970)。
2. 採用數值(Numerical)與解析(Analytical)隨機模型之地震歷時(Housner and Jennings, 1964; Hou, 1968)。
3. 學術發表之設計反應譜(Newmark and Hall, 1978; Garcia and Roesset, 1970)。

3.1.2 尖峰地表加速度設計值

依 CSNPS-PDSAR 第 3.7.1.1 節所述，水平向 SSE 的 PGA 設計值訂為 0.3g，係假設 1909 年發生在板橋規模 7.3 的地震，震源位在新莊斷層，且與核一廠最近距離約 8 公里之境況，強地動經衰減後，推定 PGA 設計值為 0.3g。

3.1.3 控制點

SSE 控制點位於 CSNPS-PDSAR 未明確定義，惟 CSNPS-PDSAR

分析模型之 SSE 設置在反應器廠房基礎面，故推定 SSE 控制點設定在反應器廠房基礎面(Base of the Foundation)。

3.2 評估基準地震(RLE)

鑒於中央地質調查所將山腳斷層與恆春斷層列為第二類活動斷層，與 2007 年日本柏崎刈羽核電廠因強震停機事件之經驗回饋，台電公司執行「核能電廠耐震安全再評估精進作業」以積極應對，其中為因應「核電廠各安全相關結構、系統及組件(Structures, Systems, and Components, SSCs)耐震餘裕檢討及適當補強作為」乙項，訂定一評估基準地震(RLE)，如圖 49 所示，數值如表 28 所列。RLE 之反應譜型、PGA 值及控制點如後說明。

3.2.1 反應譜型

根據美國 NRC 文件 NUREG-1407 (Chen et al., 1991)評估基準地震的選定建議，RLE 地表反應譜型採用 NUREG/CR-0098 (Newmark and Hall, 1978)岩石條件中值反應譜型，同時採用 1.67 倍 SSE 以及山腳斷層新事證定值法地震危害度分析結果加保守度(核能研究所，2014)之兩者取大值原則訂定(原能會，2014)。

3.2.2 尖峰地表加速度設計值

依據評估基準地震 PGA 值應至少兼採 1.67 倍安全停機地震與山腳斷層新事證定值法地震危害度分析結果加保守度之兩者取大值原則，PGA 訂定為 0.51g (原能會，2014)。

3.2.3 控制點

RLE 控制點同 SSE 位置，為反應器廠房基礎面。

表 27 核一廠 5%阻尼比安全停機地震(SSE)反應譜值

Period (sec)	Sa (g)
0.010	0.3
0.0303	0.3
0.0625	0.4
0.1	0.74
0.4167	0.74
4.0	0.08

表 28 核一廠 5%阻尼比評估基準地震(RLE)反應譜值

Period (sec)	Sa (g)
0.010	0.51
0.0303	0.51
0.125	1.0812
0.456	1.0812
2.9586	0.16626
10.0	0.01479

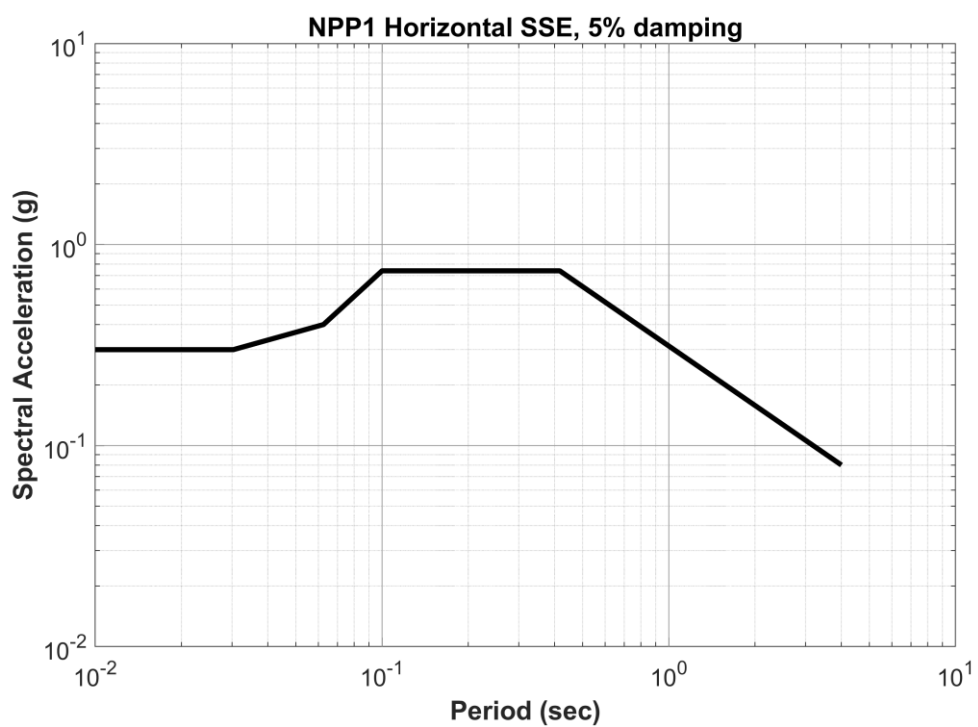


圖 48 核一廠 5%阻尼比安全停機地震(SSE)反應譜

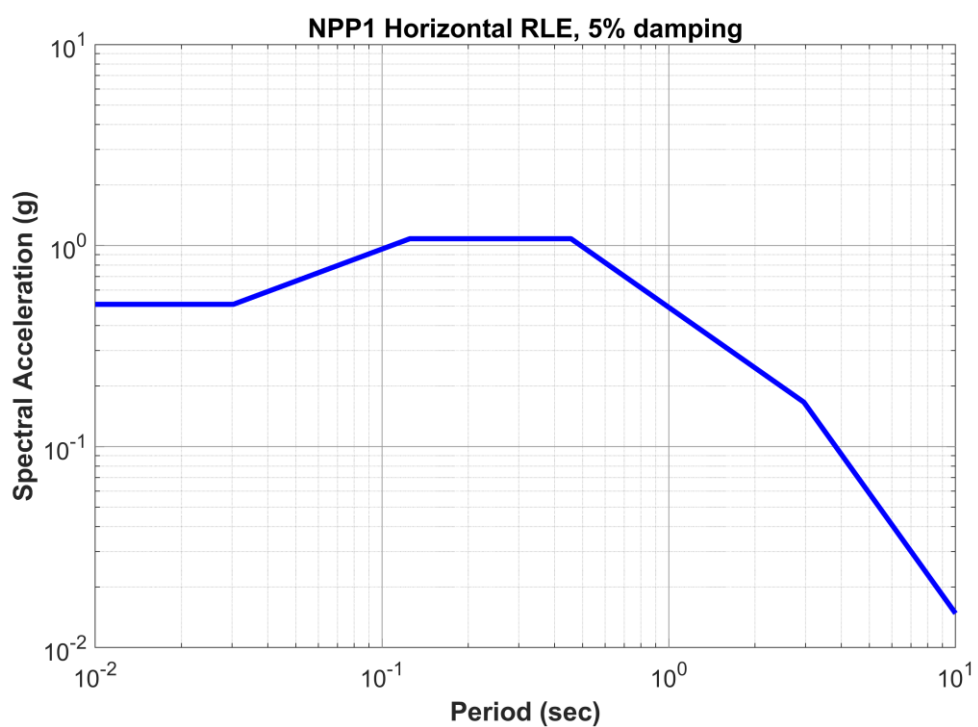


圖 49 核一廠 5%阻尼比評估基準地震(RLE)反應譜

4.0 地震危害成果總檢

核一廠 SSE、RLE 與 FIRS 比較如圖 50 所示。根據「SPID Guidance (EPRI 1025287)」相關規定，比較 SSE 與 FIRS，核一廠風險評估、高頻段及用過燃料池評估三部分的檢核結果如下小節說明。

4.1 風險評估作業檢核(0.1 至 1 秒週期)

在 0.1 至 1 秒週期段，54 條邏輯樹分支地盤反應分析所得 FIRS 有超過 SSE，經檢核後核一廠需執行耐震風險評估作業。

4.2 高頻段檢核(小於 0.1 秒週期)

在小於 0.1 秒週期段，54 條邏輯樹分支地盤反應分析所得 FIRS 有超過 SSE，經檢核後核一廠需執行高頻設備耐震評估作業。

4.3 用過燃料池評估作業檢核(0.1 至 1 秒週期)

在 0.1 至 1 秒週期段，54 條邏輯樹分支地盤反應分析所得 FIRS 有超過 SSE，經檢核後核一廠需執行用過燃料池評估作業。

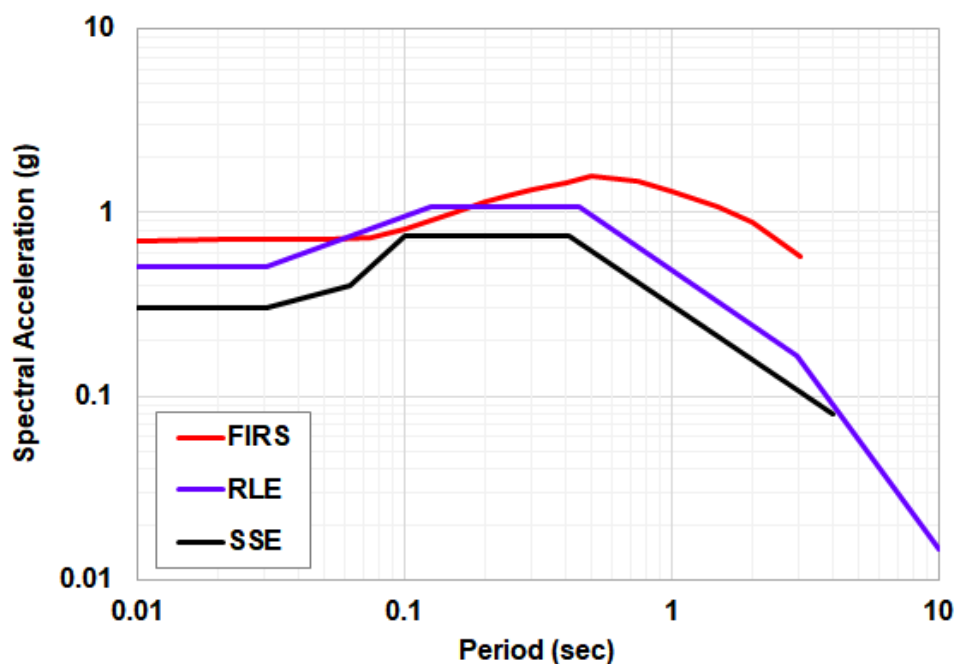


圖 50 核一廠 FIRS 與 SSE 及 RLE 反應譜比較(5%阻尼比)

5.0 短期應對措施

根據「4.0 地震危害成果總檢」所示，FIRS 在 0.1 至 1 秒以及小於 0.1 秒的檢核週期範圍超過 SSE，核一廠以依據「EPRI Guidance (EPRI 3002000704)」執行加速耐震評估程序(ESEP)應對。

以下各節說明過去及近期核一廠執行之耐震安全相關評估作業。

5.1 營運中核能一廠耐震安全餘裕評估計畫(2011-2013)

原能會鑒於經濟部中央地質調查所將山腳斷層與恆春斷層列為第二類活動斷層，與 2007 年日本柏崎刈羽核電廠因強震停機事件之經驗回饋，要求台電公司執行「核能電廠耐震安全再評估精進作業」，其中「核電廠各安全相關結構、系統及組件(SSCs)耐震餘裕檢討及適當補強作為」乙項，台電公司於 2013 年 12 月完成營運中核一廠耐震安全餘裕評估(SMA)，並於隔年 6 月 25 日提報成果報告至原能會。

「營運中核能一廠耐震安全餘裕評估」係台電公司於 2011 年 7 月委託益鼎工程公司參照美國 NRC 文件 NUREG-1407 (Chen et al., 1991)以及技術導則 NP-6041-SL (EPRI, 1991)等規範進行核一廠之耐震餘裕能力評估工作，其評估基準地震(RLE)亦參考台電公司委託核能研究所於 2014 年在「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫」完成之定值法地震危害度分析結果，最終的評估基準地震(RLE)請見第 3.2 節內容。

核一廠 SMA 針對選定兩串成功路徑內設備/組件進行評估，評估結果所有設備/組件之高信心度且低失效機率(High Confidence Low Probability Failure, HCLPF)值均列於最終報告，評估結果顯示核能一廠每部機組分別各有 13 項機電設備(包括磚牆及控制室天花板)以及 14 項電驛振顫等須進行補強，並陸續於 2014 年 4 至 6 月期間完成補強作業。經改善後，所有成功路徑元件之 HCLPF 值皆大於 RLE，HCLPF 值最低元件為聯合結構廠房冷卻水系統之熱交換器(CSCW Heat Exchangers)，其對應之 HCLPF 值為 0.54g。經補強後，在發生評估基準地震(PGA 為 0.51g)等級之地震下，核一廠仍能維持兩串安全

停機成功路徑確保電廠安全停機，原能會於 2017 年 6 月 5 日以會核字第 1060007087 號書函復報告內容准予備查。

5.2 因應地震風險再評估之核一廠地震安全度評估模式建立(2012-2022)

因應 2011 年 3 月 11 日福島核電廠事故，原能會以核能管制案件 CS-JLD-10101 要求台電公司須參照美國核管會所提 NTTF 建議事項 2.1 執行地震風險再評估，台電公司於 2012 年 7 月委託核能研究所，依據近廠斷層地震危害分析結果並參照技術導則 SPID Guidance (EPRI 1025287, 2013)及美國機械工程師學會(American Society of Mechanical Engineers, ASME)所發展的核能電廠地震安全度評估標準 (ASME/ANS RA-Sa-2009)，執行運轉中核能電廠地震安全度評估(簡稱第一階段 SPRA)，建立地震安全度評估模式，包括地震危害(Seismic Hazard)評估、耐震能力(Fragility)評估以及事故序列(Accident Sequence)分析等三個部分。所完成之地震安全度評估模式，委託國內外專家依據 ASME 所制定的核能電廠安全度評估標準進行同行審查，評估報告已於 2016 年 8 月底陳報原能會。

原能會針對第一階段 SPRA 報告進行相關審查：其中相關補充報告及附錄報告，如「核一、二、三廠兩機組地震風險差異分析報告」及各廠「耐震度評估報告」分別於 2019 年 5 月、12 月准予備查，各廠「地震風險再評估報告」則於 2019 年 5 月要求後續 SPRA 報告須依歷次審查意見要求辦理，先行結案。基於目前核一廠在除役過渡階段，反應器爐槽仍有用過燃料，有關地震耐震及風險評估作業，將視核一廠相關核管案件或除役計畫重要管制事項之承諾事項辦理。

5.3 核一廠一號機、二號機 NTTF 2.3 地震履勘(2012-2016)

鑑於 2011 年 3 月 11 日福島核電廠事故，原能會提出核能管制案件 CS-JLD-10105 之「NTTF 建議事項 2.3—地震、水災及其他廠外危害防護的現場履勘」，要求所有核能電廠必須執行地震巡查以驗證電廠現有組態在其現行持照耐震基準內，並指出地震巡查所發現的結構、系統及組件(SSCs)所有老化、不符合或無法檢視的狀況。

台電公司於 2012 年 7 月起執行核一廠設備耐震履勘與評估，2013 年 2 月 6 日至 2013 年 2 月 7 日執行現場履勘，並於 2016 年 3 月 15 日完成「核一廠一號機、二號機 NTTF 2.3 地震履勘報告」。核一廠一號機與二號機的 SSCs 總計選取 110 件作為地震巡查的基準清單 (SWEL1+SWEL2; Seismic Walkdown Equipment List, SWEL)，其中各有 9 件與 10 件屬用過燃料池相關。依設備所在區域，填寫 27 件與 22 件區域巡視檢查表 (Area Walk-by Checklist, AWC)。於履勘當日地震巡查與區域巡查無法檢查之項目，於事後改善且通過審查單位認可，所有項目皆已檢查完畢，原能會於 2016 年 6 月 15 日以會核字第 1050003740 號函復報告內容准予備查。

5.4 核能一廠加速耐震評估程序(2020-2022)

因應原能會要求執行「NTTF 2.1: Seismic」，台電公司委託國家地震工程研究中心執行核能電廠地震危害重新評估之機率式地震危害度分析與控制點地震反應譜建置後，隨即執行加速耐震評估程序 (ESEP)，以確保短期內核能電廠之耐震安全。依據技術導則 EPRI Guidance (EPRI 3002000704)所述，ESEP 包含加速耐震評估設備清單 (Expedited Seismic Equipment List, ESEL)建立、評估基準地震動 (Review Level Ground Motion, RLGM)決定、設備現場履勘 (Seismic Walkdown)、設備耐震容量值 (HCLPF 值)評估及設備改善時程規劃。

台電公司於 2019 年 8 月 30 日提送核一廠 ESEP 時程規劃，後於同年 9 月 16 日獲原能會以會核字第 1080010410 號函准予同意。核一廠 ESEP 採用之評估基準地震動 (RLGM)，係根據「台灣地區核能電廠地震動反應譜建置計畫」最終成果，即由參與式同儕評鑑專家小組 (Participatory Peer Review Panel, PPRP)於 2021 年 2 月 9 日技術審查同意之反應器廠房基礎輸入地震反應譜 (FIRS)，同本報告之控制點地震反應譜，其 PGA 值為 0.698g。核一廠之 RLGM 於 2021 年 6 月 30 日提報至原能會。

核一廠 ESEL 之建立，係基於在電廠延時性喪失交流電源 (Extended Loss of Alternating Current Power, ELAP)事件期間執行彈性

且多樣化處理策略(Flexible and Diverse Coping Strategies, FLEX)，來達成技術指引 NEI 12-06 (NEI, 2016)所要求之爐心冷卻與餘熱移除、反應爐冷卻水系統存量控制、維持長期次臨界以及圍阻體之功能。核一廠 ESEL 由電廠具備合格核工專業運轉人員(如電廠維護部門及運轉部門)組成 ESEP 專案小組所建立，同 RLGM 於 2021 年 6 月 30 日提報至原能會。

核一廠 ESEL 設備之耐震餘裕評估程序係依據技術文件 EPRI NP-6041-SL (EPRI, 1991)執行，於 2020 年 12 月 15 日以及 2021 年 5 月 10、11 日進行現場履勘作業，經篩選評估後，核一廠 ESEL 包含 28 項設備組件，有 26 項設備組件需進一步進行設備耐震容量值(HCLPF 值)評估，以確認 ESEL 設備之錨定、結構完整性或功能性之耐震容量。評估結果顯示核一廠 ESEL 設備 HCLPF 值皆高於 RLGM，不需進行改善作業。本案預計於 2022 年執行完畢並提送核一廠 ESEP 報告至原能會執行審查作業。

6.0 結論

總結核一廠地震危害重新評估結果，根據「SPID Guidance (EPRI 1025287)」檢核準則，採用 3 組整體波速基準剖面、數組岩土材料非線性參數曲線以及 3 組 kappa2 調修倍值之 54 條邏輯樹分支地盤反應分析所得之反應器廠房基礎輸入地震反應譜(FIRS)，其在全部週期點皆高於 SSE，意即 FIRS 在 0.1 至 1 秒以及小於 0.1 秒的檢核週期範圍超過 SSE。基於目前核一廠在除役過渡階段，反應器爐槽仍有用過燃料，有關地震耐震及風險評估作業，將視核一廠相關核管案件或除役計畫重要管制事項之承諾事項辦理。

參考文獻

- 10 CFR 50.54(f) (2013). “Conditions of Licenses,” *U.S. Code of Federal Regulations*, Title 10, Energy, Part 50, Section 50.54, Paragraph (f), pp. 861.
- 10 CFR 50.54(f) Letter (2012). “Request for Information Pursuant to Title 10 of the Code of Federal Regulations 50.54(f) Regarding Recommendations 2.1, 2.3, and 9.3, of the Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-ichi Accident,” *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, Washington, DC, March 12.
- Arias, A. and R. Husid (1962). “Influence of Damping on the Response of Structures Subjected to Earthquake Motion,” *Revista del IDIEM*, Vol. 1, No. 3, Santiago, Chile, pp. 219-228.
- 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 Use of Experts,” NUREG/CR-6372, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), sponsored by U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. Department of Energy, and Electric Power Research Institute. April 1997.
- Chen, J. T., N. C. Chokshi, R. M. Kenneally, G. B. Kelly, W. D. Beckner, C. McCracken, A. J. Murphy, L. Reiter, and D. Jeng (1991). “Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities,” Final Report, NUREG-1407, *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, Washington DC.
- Darendeli, M. B. (2001). “Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves,” Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 362 pp.
- Electric Power Research Institute (1991). “A Methodology for Assessment

- of Nuclear Power Plant Seismic Margin (Revision 1),” EPRI Technical Report, RP2722-23, NP-6041-SL.
- Electric Power Research Institute (2013). “Seismic Evaluation Guidance — Augmented Approach for the Resolution of Fukushima Near-Term Task Force Recommendation 2.1: Seismic,” EPRI Technical Report: 3002000704, May 2013.
- Electric Power Research Institute (2013). “Seismic Evaluation Guidance — Screening Prioritization and Implementation Details (SPID) for the Resolution of Fukushima Near-Term Task Force Recommendation 2.1: Seismic,” EPRI Technical Report: 1025287, Feb. 2013.
- Garcia, F. and Roesset, J. M. (1970). “Influence of Damping on Response Spectra,” Research Report R70-4, *Department of Civil Engineering, Inter American Program, Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, Cambridge, Massachusetts.
- Hou, S. (1968). “Earthquake Simulation Models and Their Applications,” Research Report R68-17, *Department of Civil Engineering, Inter American Program, Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, Cambridge, Massachusetts.
- Housner, G. W., and Jennings, P. C. (1964). “Generation of Artificial Earthquakes,” *Proceedings of the American Society of Civil Engineers (ASCE), Journal of the Engineering Mechanics Division*, 90(1), 113-152.
- Kammerer, A.M., Ake, J.P., and Rivera-Lugo, R. (2012). “Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies,” NUREG-2117, Rev. 1, *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, Washington D.C., February.
- Kottke, A.R. and Rathje, E.M. (2008). “Technical Manual for Strata,” PEER Report 2008/10, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California at Berkeley, February, 84 pp.

- Kuo, C.H. (2020). “Development of Taiwan Generic Rock Model and Evaluation of Site Amplifications,” presentation at Workshop #3b, Taiwan GMRS Development Project.
- McGuire, R.K., Silva, W.J., and Costantino, C.J. (2001). “Technical Basis for Revision of Regulatory Guidance on Design Ground Motions: Hazard- and Risk-Consistent Ground Motion Spectra Guidelines,” NUREG/CR-6728, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington DC.
- Miller, Allen C, III and Rice, Thomas R. (1983). “Discrete Approximations of Probability Distributions,” *Management Science*, Vol. 29, No. 3, pp. 352-362.
- National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE), (2021). “Summary of the Methodology and Results for GMRS and FIRS for Taiwan Nuclear Power Plants,” Version 1.0, Taiwan GMRS Development Project.
- Newmark, N. M. and Hall, W. J. (1978). “Development of Criteria for Seismic Review of Selected Nuclear Power Plants,” NUREG/CR-0098, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, May 1, 1978.
- Nuclear Energy Institute (2016). “Diverse and Flexible Coping Strategies (FLEX) Implementation Guide,” NEI 12-06, Revision 4, Dec. 2016.
- PG&E Company (2015). “Response to NRC Request for Additional Information dated October 1, 2015, and November 13, 2015, Regarding Recommendation 2.1 of the Near-Term Task Force Seismic Hazard and Screening Report,” PG&E Letter DCL-15-154.
- PG&E Company (2017). “Updated DCPG GMRS Using the Analytical and Empirical Site Term Approaches,” Revision 3, Calc No. GEO.DCPG.15.02, p.110.
- Regulatory Guide 1.208 (2007). “A Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion,” U.S. Nuclear

Regulatory Commission, Washington DC.

Stokoe, II, K. H., and Kim, G.(2020). “Development of Reference G/G_{max} – $\log \gamma$ and $D - \log \gamma$ Relationships for Each Rock Category,” presentation at Working Meeting #7, Taiwan GMRS Development Project.

Taiwan Power Company (2019). “Pre-Defueled Safety Analysis Report, Chinshan Nuclear Power Station Unit 1 & 2,” Amendment No. 1, CSNPS-PDSAR.

Toro, G. R. (1995) “Probabilistic Models of Site Velocity Profiles for Generic and Site-Specific Ground-Motion Amplification Studies,” Technical Rep. No.779574, Brookhaven National Laboratory, Upton, N.Y.

中興工程顧問股份有限公司，(2012)。營運中核能電廠補充地質調查工作—地質調查成果總結報告。台灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 649 頁。

中興工程顧問股份有限公司，(2012)。營運中核能電廠補充地質調查工作—地表地質調查紀實成果報告。台灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 638 頁。

中興工程顧問股份有限公司 (2015)。營運中核能電廠擴大地質調查工作—核電廠廠區微地動量測紀實成果報告。台灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 176 頁。

中興工程顧問股份有限公司，(2016)。營運中核能電廠擴大地質調查工作—成果總結報告。台灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 295 頁。

中興工程顧問股份有限公司，(2017)。營運中核能電廠再詳細地質調查工作—第三階段工作成果報告(初稿)。台灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 546 頁。

中興工程顧問股份有限公司，(2017)。核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作—第一階段工作成果報告(定稿)。台

灣電力股份有限公司委託研究計畫，共 410 頁。

台灣電力股份有限公司、國家地震工程研究中心，(2018)。台灣地區地震危害高階模型建置－專案計劃書。中文第 1.2 版，共 36 頁。

台灣電力股份有限公司、國家地震工程研究中心，(2019)。台灣地區地震危害高階模型建置－地震源特徵模型技術報告。英文版初稿，研究計畫編號：027040000101。

台灣電力股份有限公司、國家地震工程研究中心，(2019)。台灣地區地震危害高階模型建置－地震動特徵模型技術報告。英文版初稿，研究計畫編號：027040000101。

台灣電力股份有限公司、國家地震工程研究中心，(2019)。台灣地區地震危害高階模型建置－地震危害度分析輸入資料報告。英文版初稿，研究計畫編號：027040000101。

行政院原子能委員會核能研究所，(2014)。營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度再評估計畫一定值法評估成果說明。台灣電力股份有限公司委託計畫。

行政院原子能委員會核能管制處，(2014)。核能一廠耐震安全餘裕評估計畫成果總結報告－原能會安全評估報告。報告編號：NRD-SER-103-10，共 114 頁。

國立成功大學，(2020)。振盪震源車震測試驗報告(核一廠)。定稿 0 版，研究計畫編號：027040000101，共 84 頁。

國立成功大學，(2021)。廠區高信度地盤模型建置試驗成果報告(核一廠)。審查 D 版，研究計畫編號：027040000101，共 124 頁。

萬大土壤技術顧問有限公司、香港商基高程序服務股份有限公司台灣分公司、國立中央大學，(2015)。第一核能發電廠增設井下地震觀測系統改善案鑽井取樣試驗及液化分析－核一廠井下速度量測。台灣電力股份有限公司第一核能發電廠委託工作計畫，共 39 頁。