

我國PSHA工具軟體之驗證

謝寶珊¹、林柏伸¹、鄭錦桐¹、吳元傑²、張志偉²
財團法人中興工程顧問社
行政院原子能委員會核能研究所

摘要

過去三十年來，對於重要設施的強地動評估，由傳統的定率法(deterministic method)慢慢演變成機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)。美國的第一個核廢料儲存庫：尤卡山(Yucca Mountain)，即是一個典型的例子，美國政府在尤卡山進行了全面性的地震危害度分析，計算強地動影響和斷層錯動產生的危害。另外美國地質調查所(USGS)是負責國家地震危害度圖(National Seismic Hazard Maps)的分析及發佈單位，該危害度圖是採用機率式地震危害度分析方法來進行，並且是擬定建築規範所參考的基礎圖資之一。由此可知，機率式地震危害度分析已然成為美國評估地震災害的主要工具，也獲得全球其他國家的廣泛使用。

儘管PSHA已在國際上被廣泛使用，但在某種程度上來說，使用PSHA的研究人員相對來說比例還是算較少的，故雖然已有許多專業之PSHA計算軟體被開發出來，但只有少數幾個程式碼有公開受檢驗。由於PSHA在耐震設計中的重要性，美國太平洋地震工程研究中心(PEER)在他們的生命線計畫(Lifelines Program)中，著手進行關於PSHA程式驗證的子計畫，該計畫贊助了一個工作團隊，協助其驗證許多PSHA程式及數值方法。這是有史以來第一個全面性、有組織、有結構的以驗證PSHA程式為目的之計畫(Verification of Probabilistic Seismic Hazard Analysis Computer Programs, 2010, PEER 2010/106)。該計畫目標係開發出一套可用於目前和未來PSHA程式的驗證標準，使得開發人員可以此標準驗證他們的程式碼。

在台灣，核能研究所於2011年引進美國PG&E Haz 43程式，並委託中興工程顧問社辦理PSHA程式中文化介面撰寫，命名為INER-Sino PSHA。本研究即依照美國PSHA程式開發慣例，參照PEER 2010/106號報告進程式驗證，驗證結果良好，各題庫結果顯示此INER-Sino PSHA程式具有相當之準確性與可信度。

2013台灣地球科學聯合學術研討會

PSHA工具軟體之驗證



What Economic Consequences could Taipei Suffer Due to Catastrophic Earthquake?

繁榮的背後潛藏多少不為人知的風險？

透過災害潛勢分析與境況模擬，進行災害風險管理與防災規劃 >

謝寶珊、林柏伸、鄭錦桐

財團法人中興工程顧問社

吳元傑、張志偉

行政院原子能委員會核能研究所

2013/5/14

PSHA

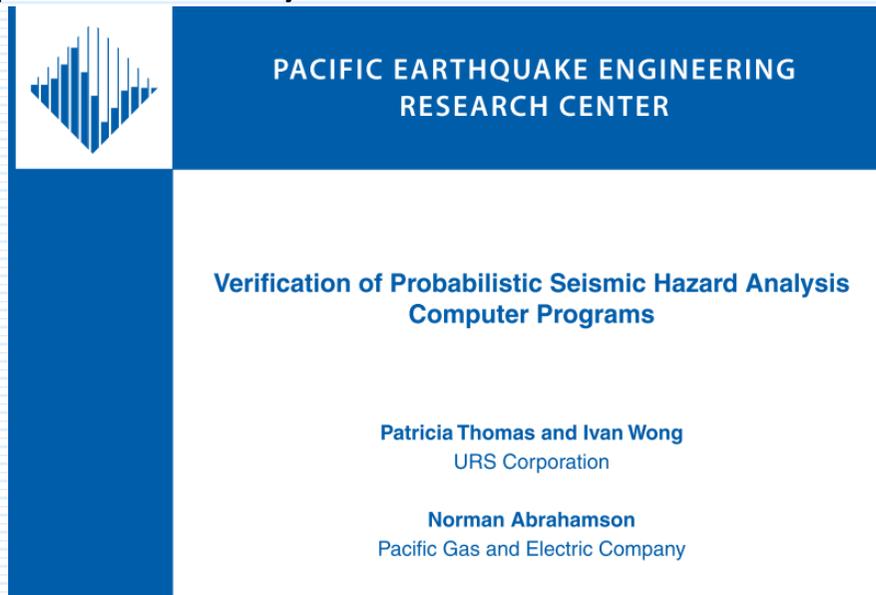
- * 地震危害度分析(Seismic Hazard Analysis)
 - + 定值法(Deterministic)
 - ♥ 特定震源特定規模(通常為最大地震)之地震發生時評估工址的危害度
 - + 機率法(Probabilistic)
 - ♥ 考慮可能地震及其發生機率，震源可能位置及震度衰減特性
- * 計算不同地表加速度下的超越機率
- * 計算特定周期內，場址強地動值 Z 超越 z 的**年發生率(次/yr)**

前言

- * 過去三十年來，對於重要設施的強地動評估，由傳統的定率法(deterministic method)慢慢演變成機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)
 - + 美國的第一個核廢料儲存庫：尤卡山(Yucca Mountain)
 - + 美國地質調查所(USGS)：國家地震危害度圖(National Seismic Hazard Maps)
 - ♥ 係建築規範所參考的基礎圖資之一
- * 在美國，PSHA的成果為以下重要規範項目之基礎
 - + 特定結構之地動設計的規範和標準(如橋樑)
 - + 重要/關鍵設施的特定場址設計，如美國能源部所有能源設施的具體設計(例如national laboratories和Yucca Mountain)
 - + 核電廠和臨時核廢料儲存地點的特定場址設計
 - + 重要/關鍵設施的安全評估分析，如美國農墾局的大壩
 - + 保險費率的損失評估建立，和許多其他用途。

PEER Report 2010/106

- * 美國太平洋地震工程研究中心(PEER)
 - + 生命線計畫(Lifelines Program)
 - ♥ Verification of Probabilistic Seismic Hazard Analysis Computer Programs (2010)
 - + 開發可用於目前和未來 PSHA 程式的驗證標準
 - + 確保日後合作單位(包括顧問)，皆是使用驗證過之軟體進行工作



Norman Abrahamson

Civil and Environmental Engineering

University of California, Berkeley

Search

[Home](#)

[About CEE](#)

[Programs](#)

[People](#)

[Faculty](#)

[By Program](#)

[Faculty Emeriti](#)

[Phone List](#)

[Staff](#)

[Advisory Council](#)

[Visiting Scholars](#)

[Admissions](#)

[Graduate](#)

[Undergraduate](#)

[Research](#)

[Alumni](#)

[Department Resources](#)

Summary

[Biography](#)

[CV](#)

[Publications](#)

[Awards](#)

[Research](#)

[Teaching](#)

[Students](#)

Norman Abrahamson



Adjunct Professor

abrahamson@berkeley.edu

447 Davis Hall

Program:

Geoengineering

Research Summary:

Earthquake ground motions, spectral attenuation relations

Office Hours:

No scheduled office hours this semester

INER-Sino PSHA

* Haz 31

+ SINO-PSHA V1.0

中興工程顧問社(2009)·台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動衰減模式建立·SEC/R-GT-09-01。

* Haz 43

+ INER-Sino PSHA (SINO-PSHA V2.0)

由核研所引進PG&E Haz 43程式，委託中興工程顧問社辦理程式參數本土化及中文化輸入介面撰寫，命名為INER-Sino PSHA。依照美國PSHA程式開發慣例，需參照PEER 2010/106號報告進程式驗證，建立驗證成果報告說明程式之準確性。

* 本土化重點項目

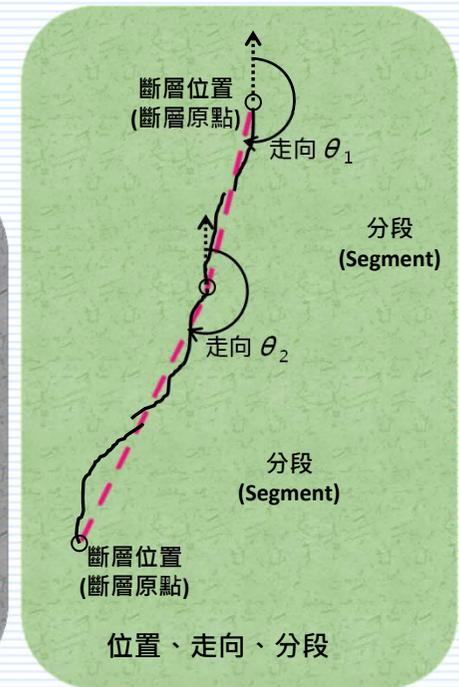
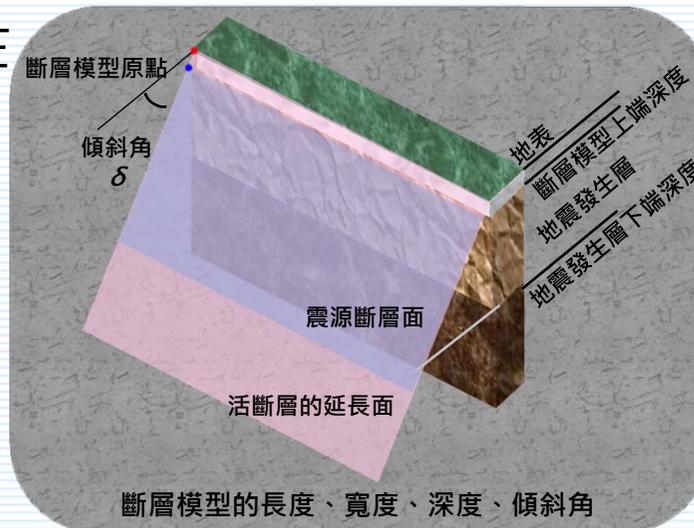
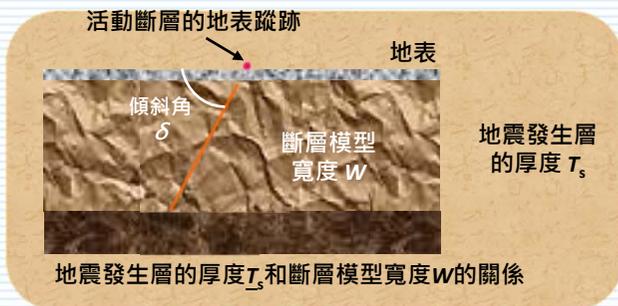
+ 地震目錄之前處理

+ 震源分區與分類彙整

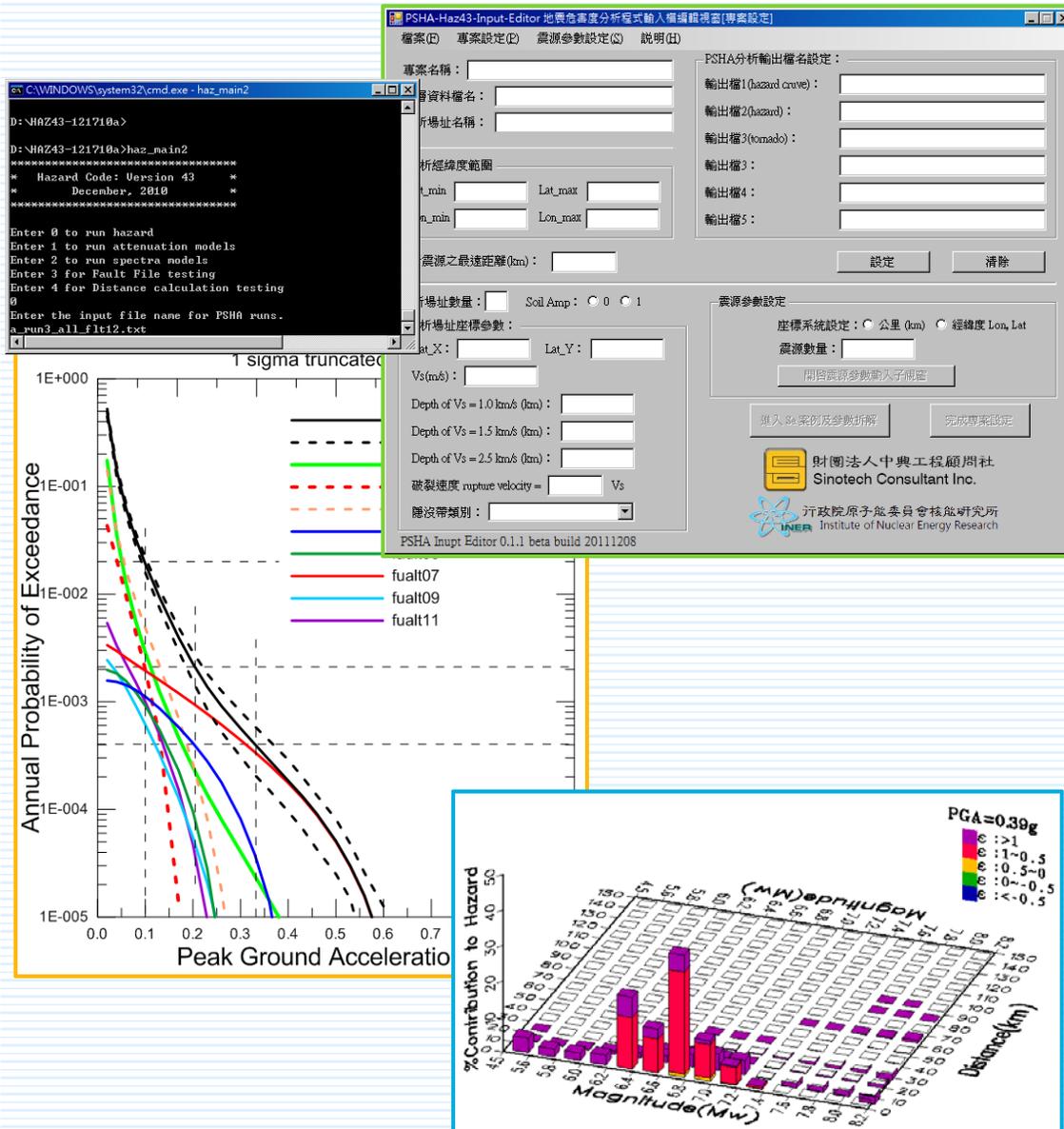
+ 強地動衰減式改進

程式特色

- * 考慮斷層活動度與斷層三維幾何形貌
- * 考慮地震發生率與深度
- * 考慮震源發生率特性差異
- * 考慮參數不確定性
- * 可批次分析地震危害度
- * 均布危害度反應譜製作
- * 參數解構圖製作



程式架構



PSHA 輸入檔案視窗化介面

PSHA-Haz43-Input-Editor 地震危害度分析程式輸入檔編輯視窗[專案設定] - NPP1.inp

檔案(E) 專案設定(P) 震源參數設定(S) 說明(H)

專案名稱: NPP_run1

斷層資料檔名: NPP1.SRC

分析場址名稱: TNGA Atten

分析場址座標範圍

Lat_min: 120.0 Lat_max: 123.0

Lon_min: 21.0 Lon_max: 26.0

震源之最遠距離(km): 200

PSHA分析輸出檔名設定:

輸出檔1(hazard cruve): NPP1.out1

輸出檔2(hazard): NPP1.out2

輸出檔3(tornado): NPP1_tornado.out

輸出檔3: NPP1.out3

輸出檔4: NPP1.out4

輸出檔5: NPP1.out5

震源參數設定

座標系統設定: 公里 (km) 經緯度 Lon, Lat

震源數量: 7

開啟震源參數輸入子視窗

進入 Sa 案例及參數拆解

完成專案設定

財團法人中興工程顧問社
Sinotech Consultant Inc.

行政院原子能委員會核能研究所
INER Institute of Nuclear Energy Research

PSHA Inupt Editor 0.1.1 beta build 20111208

2013/5/14

驗證方法

* PIs(Principal Investigator, 首席研究員，又可稱項目負責人)

+ 美國 URS 公司 Seismic Hazards Group

♥ Ivan Wong 和 Patricia Thomas

* 協助

+ Norm Abrahamson

PEER PSHA驗證計畫參與成員及軟體

Member	Affiliation	Program
Tianqing Cao	California Geological Survey	haz02
Ned Field	U.S. Geological Survey	OpenSHA
Steve Harmsen	U.S. Geological Survey	hazFX v.3f, hazgridX v 3.f, fltrate.peer.f
Roland LaForge	U.S. Bureau of Reclamation	faultsource_20, mrs 3.1
Robin McGuire	Risk Engineering	EZ-FRISK
Andres Mendez	Impact Forecasting	EQ-Elements
Badie Rowshandel	California Geological Survey	HAZDIR
Jean Savy	Lawrence Livermore National Laboratory	ALEAS
Mark Stirling	New Zealand Institute of Geological and Nuclear Sciences	NEWHAZ
Phalkun Tan	GeoPentech	GP-Haz
Gabriel Toro	Risk Engineering	FRISK88M Version 2.05
Bob Youngs	Geomatrix Consultants	XCD52, HAZ50, TREE50

驗證重點

- * 針對程式碼的數值驗證、分析和各種功能比較，驗證的題目從簡單到複雜，設計的案例主要是測試程式碼如何進行
 - + 斷層、面震源和複雜的斷層幾何建立
 - + 地震復發模型和發生率的建立
 - + 衰減模型及其不確定性的建立
- * 團隊間的成果主要差別
 - + 程式中數值計算方法的不同
 - ♥ 斷層破裂模式的建立方法
 - 若發生一地震規模小於整個斷層破裂所引致的規模大小事件發生時，程式中如何定義斷層的破裂
 - 破裂區域如何沿著斷層之長度和寬度的移動
 - 一些開發人員允許破裂面積超出斷層，一些卻不允許
 - ♥ 案例中有些地方未定義清楚，也造成較大的差異(例如，人為設定標準差為零，而不是SIGMA未truncate)
 - ♥ Abrahamson and Silva(1997)衰減式中的上盤/下盤因子
 - ♥ 隨著深度變化的斷層幾何模式建立
 - ♥ 危害因子的下限值(例如 M_{MIN} ，最小地震規模)
 - ♥ 還有測試過程中規模間隔大小的設定也影響了PSHA的結果

Setting

- * 危害度(超越機率)的18個水平尖峰加速度值 (PGA)

- + 0.001、0.01、0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5、0.55、0.6、0.7、0.8、0.9和1.0g

- * 驗證案例的結果見附錄A

- + 手動計算的Case如下：1、2、4、5、6、7

- + Case 3則是工作團隊計算而得的平均結果

Instructions to the Working Group Members

- * 地震矩公式($\log M_0 = 16.05 + 1.5M$)中使用16.05(而不是16.1)
- * 楊氏係數使用 3×10^{11} dyne/cm²
- * 使用適當且較小的迭代間隔規模 (step) , 以配合指定的規模密度函數。在做規模積分時, 定義bin的大小時應讓 M_{\min} 是bin的下邊界值, 而不是在中心(意即如果規模間隔取0.01, 則bin應該是從M 5.0至5.01)
- * 在做規模密度函數積分時, 應從零開始(不是 M_{\min})
- * 斷層沿傾角往下(downdip)和沿著走向(along strike)方向積分時間隔應選擇適當且較小的值, 以產生均勻的破裂位置, 不要讓破裂的面積超過斷層面的邊界
- * 維持斷層破裂的寬高比比例(aspect ratio), 直到達到最大寬度, 再增加長度(保持面積不超過)
- * 衰減式 $\sigma=0$ 係表示 σ 是人為設定為零, 而不是被截斷(truncate)的關係
- * 斷層破裂維度關係式:
 - + $\text{Log}(A) = M - 4, \sigma_A = 0.25$
 - + $\text{Log}(W) = 0.5 M - 2.15, \sigma_W = 0.15$
 - + $\text{Log}(L) = 0.5 M - 1.85, \sigma_L = 0.20$
 - + 長寬比 = 2
 - + 註: 除了Case 3, 所有的斷層破裂維度關係式的Sigma皆設定為零。
- * 對於所有的斷層, 滑動速率為2 mm/yr, b值 = 0.9
- * 對於面震源, 在規模 M_{\min} (及 $M \geq 5$)的年發生次數為0.0395(即 $N(m_0)$), b值 = 0.9, $M_{\max} = 6\frac{1}{2}$

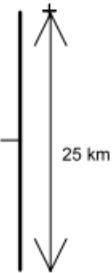
FAULT AND SITE GEOMETRY FOR TEST CASE SET # 1

FAULT 1



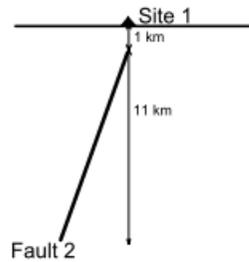
Fault Type: Strike Slip
Dip: 90 degrees
Fault Plane Depths: 0 - 12 km

FAULT 2



Fault Type: Reverse
Dip: 60 degrees west
Fault Plane Depths: 1 - 12 km

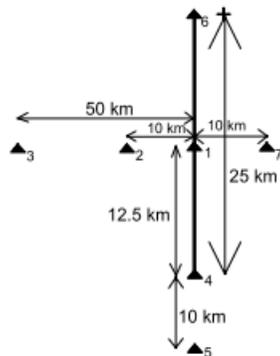
Cross-sectional view of Fault 2



Coordinates for 25 km fault for Test Set 1, Cases 1 through 9

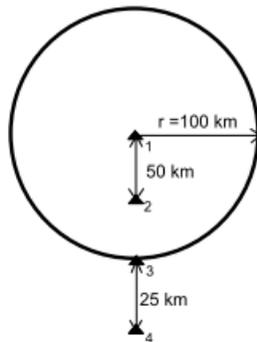
Longitude	Latitude	Comment
-122	38	South end of fault
-122	38.2248	North end of fault

SITES FOR FAULTS 1 & 2



Site 1: On fault, at midpoint along strike
Site 2: 10 km west of fault, at midpoint along strike
Site 3: 50 km west of fault, at midpoint along strike
Site 4: On fault, at southern end
Site 5: 10 km south of fault along strike
Site 6: On fault, northern end
Site 7: 10 km east of fault, at midpoint along strike

AREA 1 WITH SITES



Site 1: At center of area
Site 2: 50 km from center (radially)
Site 3: On area boundary
Site 4: 25 km from boundary



Site	Longitude	Latitude	Comment
1	-122.000	38.113	On Fault Midpoint along Strike
2	-122.114	38.113	10km West of fault, at midpoint
3	-122.570	38.111	50km West of fault, at midpoint
4	-122.000	38.000	South end of fault
5	-122.000	37.910	10km south of fault along strike
6	-122.000	38.225	North end of fault
7	-121.886	38.113	10km East of fault, at midpoint

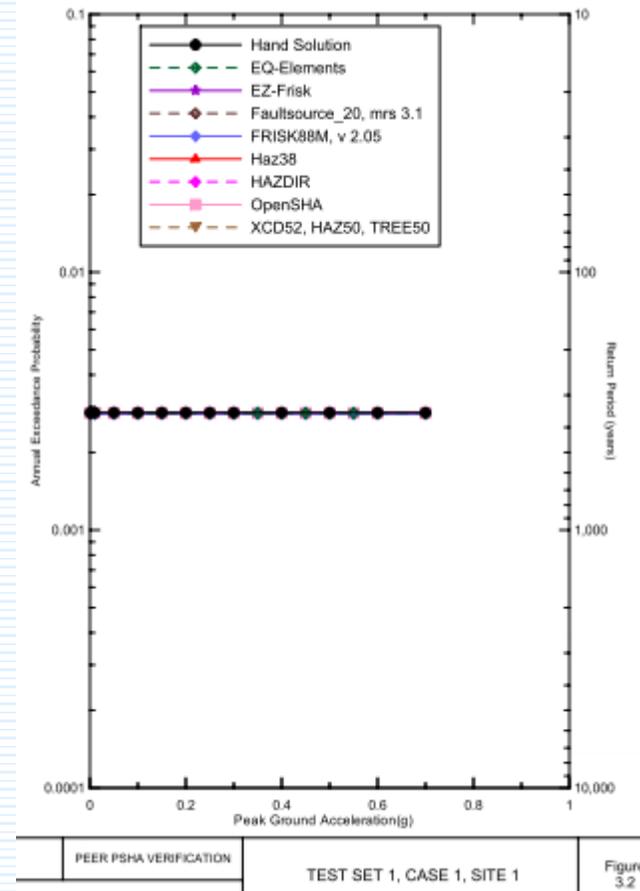
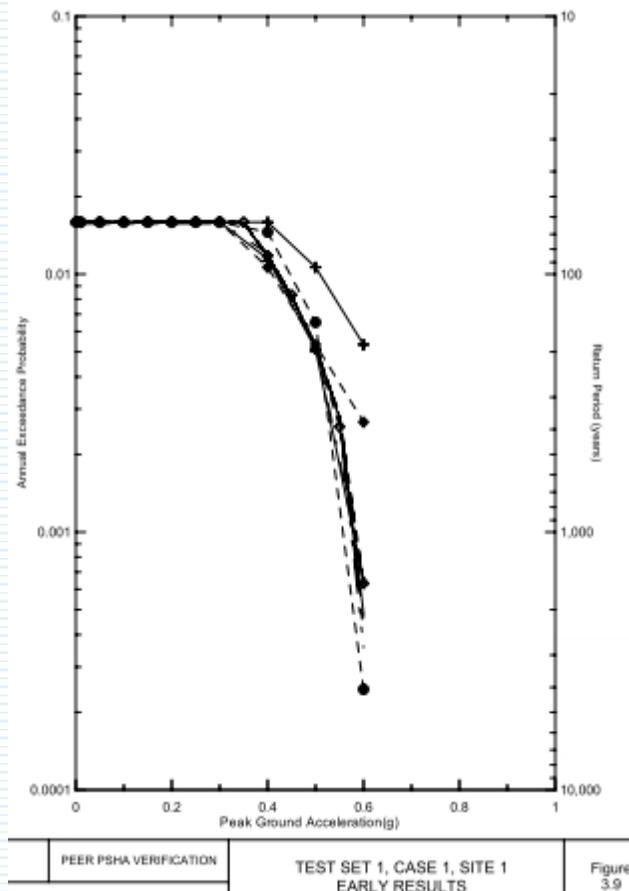
Set 1 Case 1~7

Name	Description	Source	Magnitude-Density Function ^{1,2}	Attenuation Relation	Rupture Dimension Relationships ^{3,4,5,6}
Set 1 Case 1	Single rupture of entire fault plane. Tests distance, rate, and attenuation calculations.	Fault 1 (vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.5	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 2	Single rupture smaller than fault plane. Tests uniform slip and edge effects.	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 3	Single rupture smaller than fault plane, including variation of rupture plane dimensions. Tests uniform slip and edge effects, variability of rupture areas.	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0.25$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0.15$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0.20$
Set 1 Case 4	Single rupture smaller than fault plane on dipping fault.	Fault 2(reverse 60°) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 5	Truncated exponential model.	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Truncated exponential model, $M_{max} = 6.5$ $M_{min}=5$	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 6	Truncated normal model.	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Truncated normal model, $M_{char} = 6.2$, $M_{max} = 6.5$, $\sigma = .25$ $M_{min}=5$	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 7	Characteristic model (Youngs & Coppersmith 1985)	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Characteristic model, $M_{char} = 6.2$, $M_{max} = 6.45$ $M_{min}=5$	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$

Set 1 Case 8~11

Name	Description	Source	Magnitude-Density Function ^{1,2}	Attenuation Relation	Rupture Dimension Relationships ^{3,4,5,6}
Set 1 Case 8a	Single rupture smaller than fault plane. (Repeat of case 2 with gm variability untruncated).	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock Do not truncate sigma	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 8b	Single rupture smaller than fault plane. (Repeat of case 2 with gm variability truncated at 2 std. dev.).	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock Truncate sigma at 2 std.dev.	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 8c	Single rupture smaller than fault plane. (Repeat of case 2 with gm variability truncated at 3 std.dev.)	Fault 1(vertical SS) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al. (1997), rock Truncate sigma at 3 std.dev.	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 9a	Single rupture smaller than fault plane on dipping fault with gm truncated at 3 std. dev.	Fault 2(reverse 60°) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Sadigh et al.(1997), rock Truncate sigma at 3 std.dev.	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 9b	Single rupture smaller than fault plane on dipping fault using AS 97 gm, no gm variability.	Fault 2(reverse 60°) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Abrahamson & Silva (1997), rock $\sigma = 0$	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 9c	Single rupture smaller than fault plane on dipping fault using Campbell 1997 and gm truncated at 3 std. dev.	Fault 2(reverse 60°) b-value=0.9 slip rate=2mm/yr	Delta Function at M 6.0	Campbell (1997), soft rock, depth to basement rock = 2km, depth to seismogenic zone=3km Truncate sigma at 3 std.dev., use amplitude dependent sigma	Log (A)=M-4; $\sigma_A = 0$ Log (W)=0.5*M-2.15; $\sigma_W = 0$ Log (L)=0.5*M-1.85; $\sigma_L = 0$
Set 1 Case 10	Area Source with fixed depth of 5 km.	Area 1 $M_w \geq 0.0395$ b-value=0.9	Truncated Exponential, $M_{max}=6.5$ $M_{min}=5$	Sadigh et al. (1997), rock $\sigma = 0$	Use 1 km grid spacing of point sources or small faults to simulate uniform distribution.
Set 1 Case 11	Volume Source with depth of 5 km to 10 km.	Area 1 $M_w \geq 0.0395$ b-value=0.9	Truncated Exponential, $M_{max}=6.5$ $M_{min}=5$	Sadigh et al.(1997), rock $\sigma = 0$	Use 1 km grid spacing of point sources or small faults to simulate uniform distribution.

Case 1 Early Results



Case 1 驗證結果

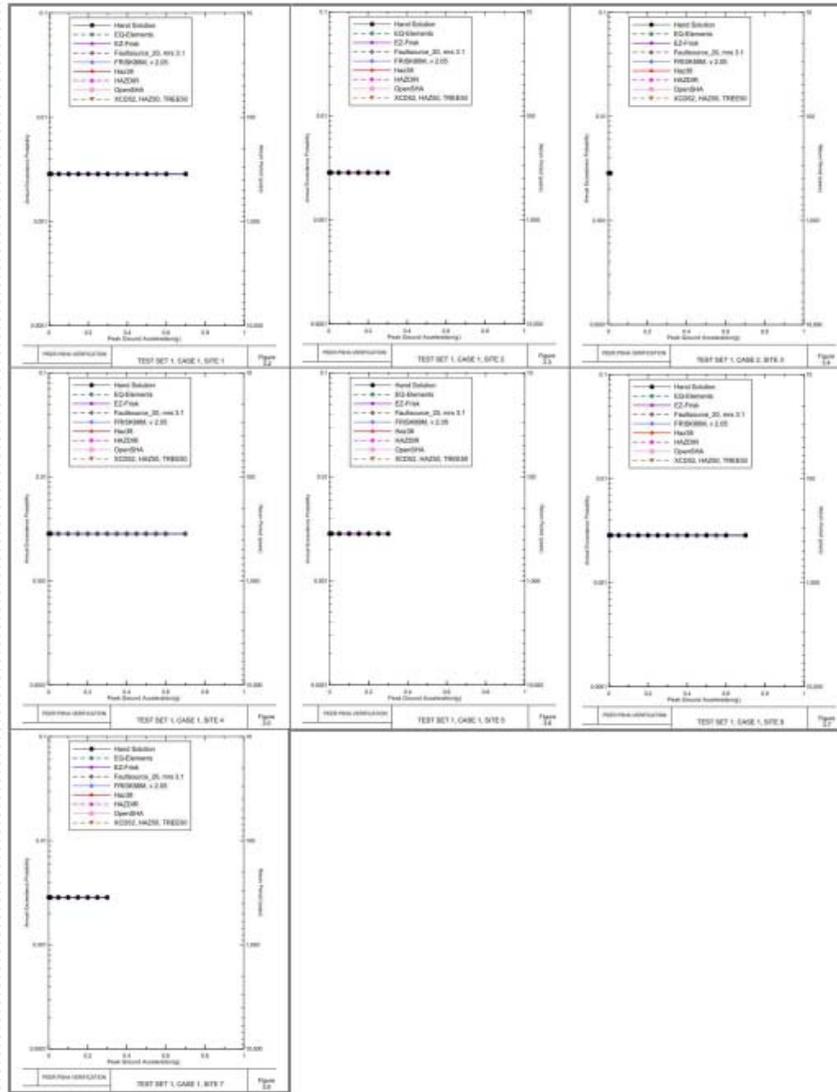


圖 3-11 PEER 驗證報告 Case 1 危害度分析結果

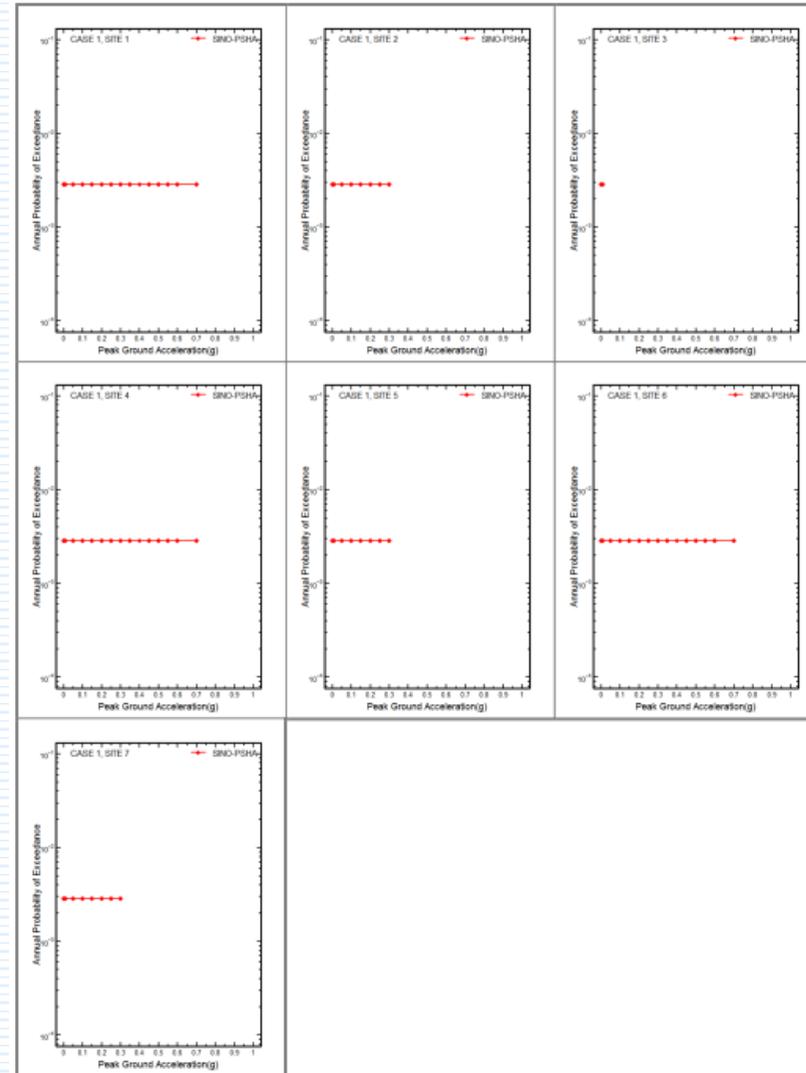


圖 3-10 本計畫 Case 1 例題 1~7 的危害度分析結果

2013/5/14

Case 2 驗證結果

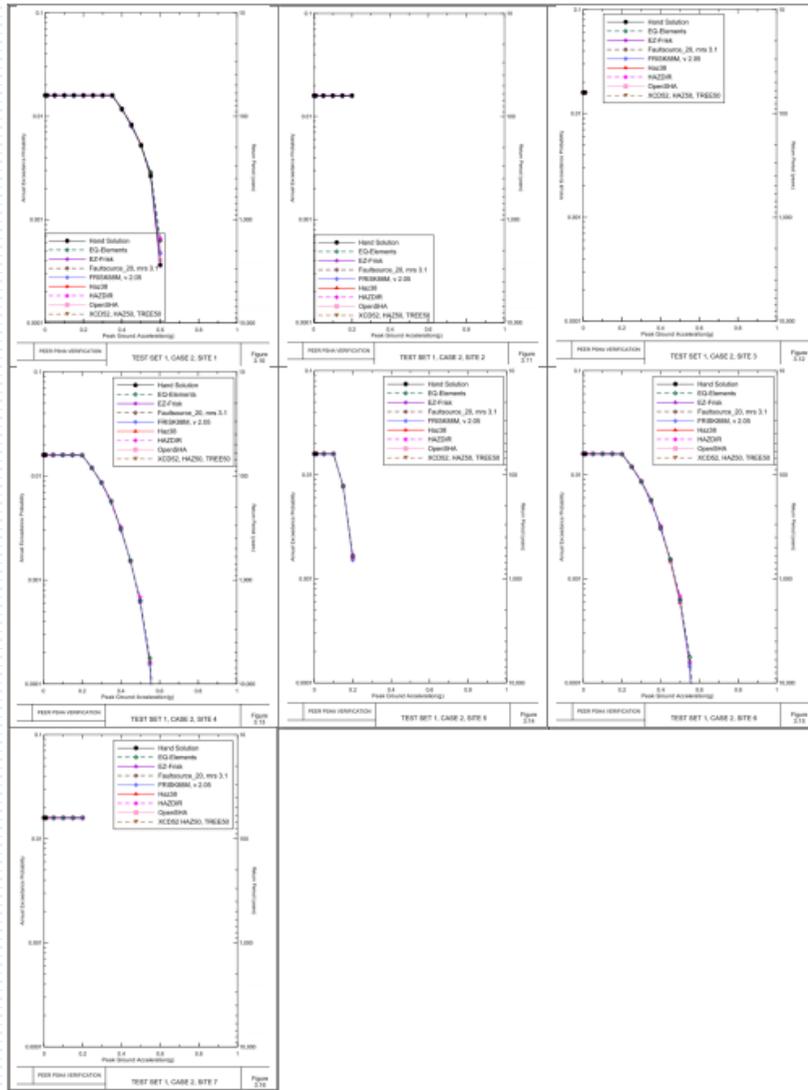


圖 17 Case 2 危害度分析結果

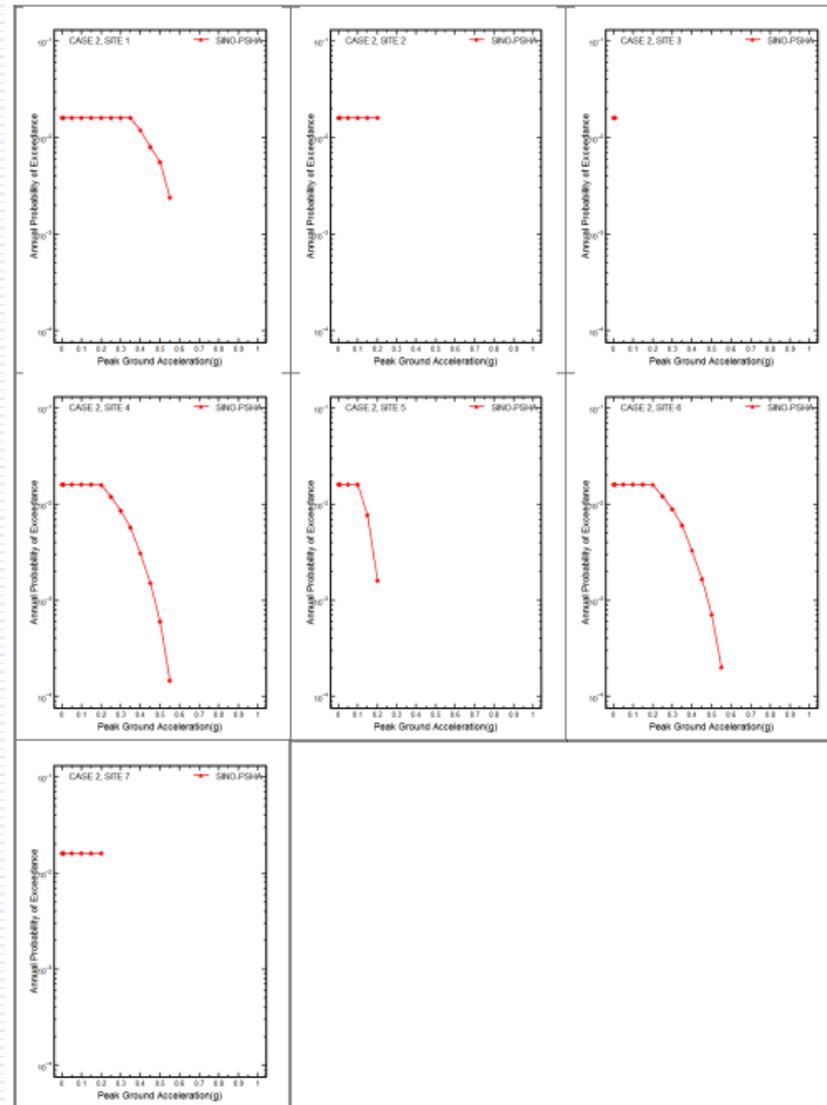


圖 2 Case 2 危害度分析結果

Case 3 驗證結果

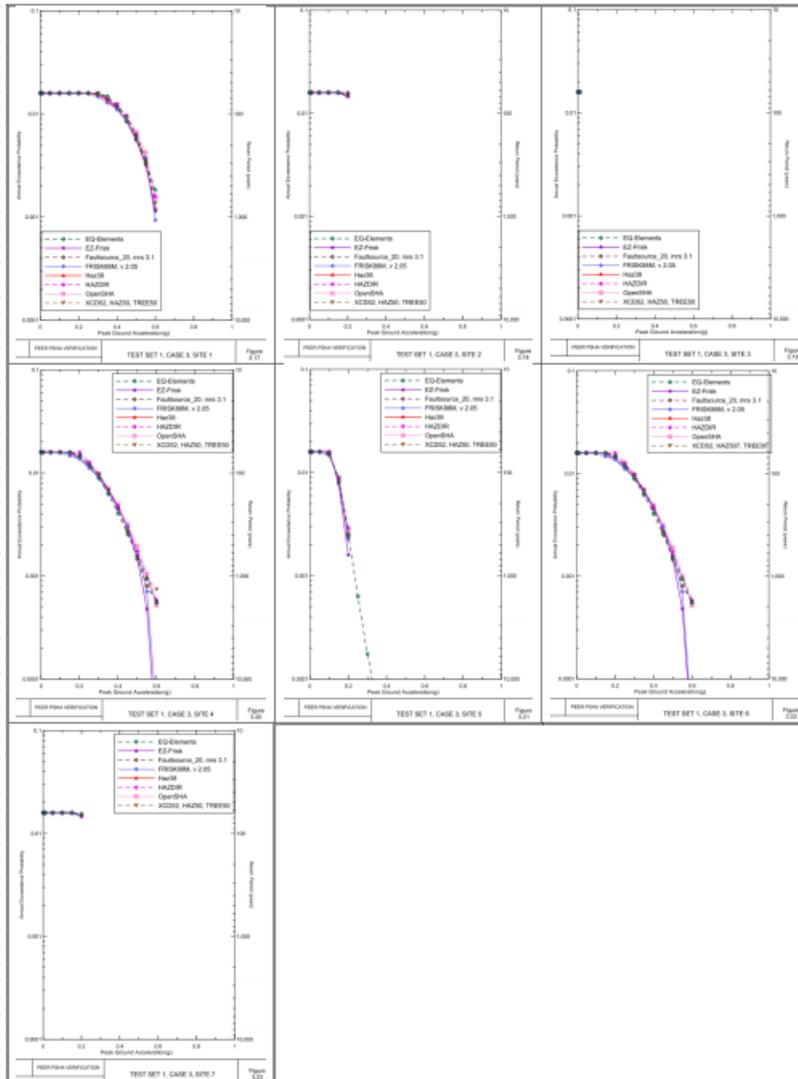


圖 18 Case 3 危害度分析結果

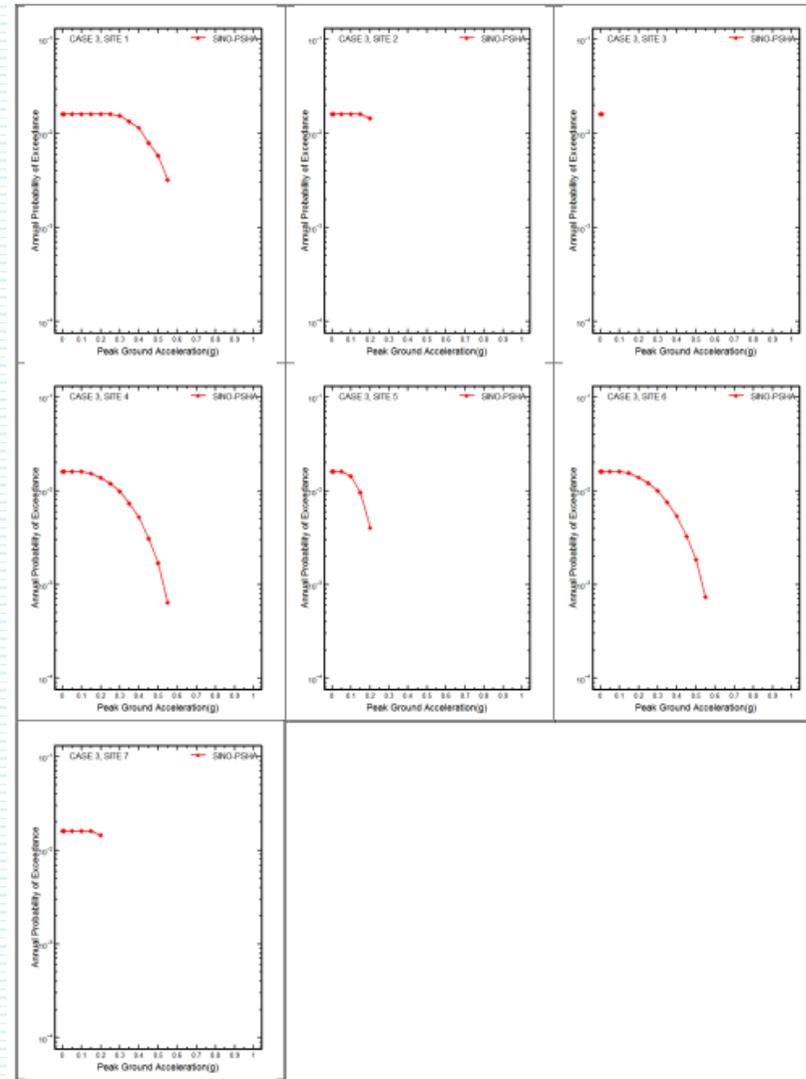


圖 3 Case 3 危害度分析結果

Case 4 驗證結果

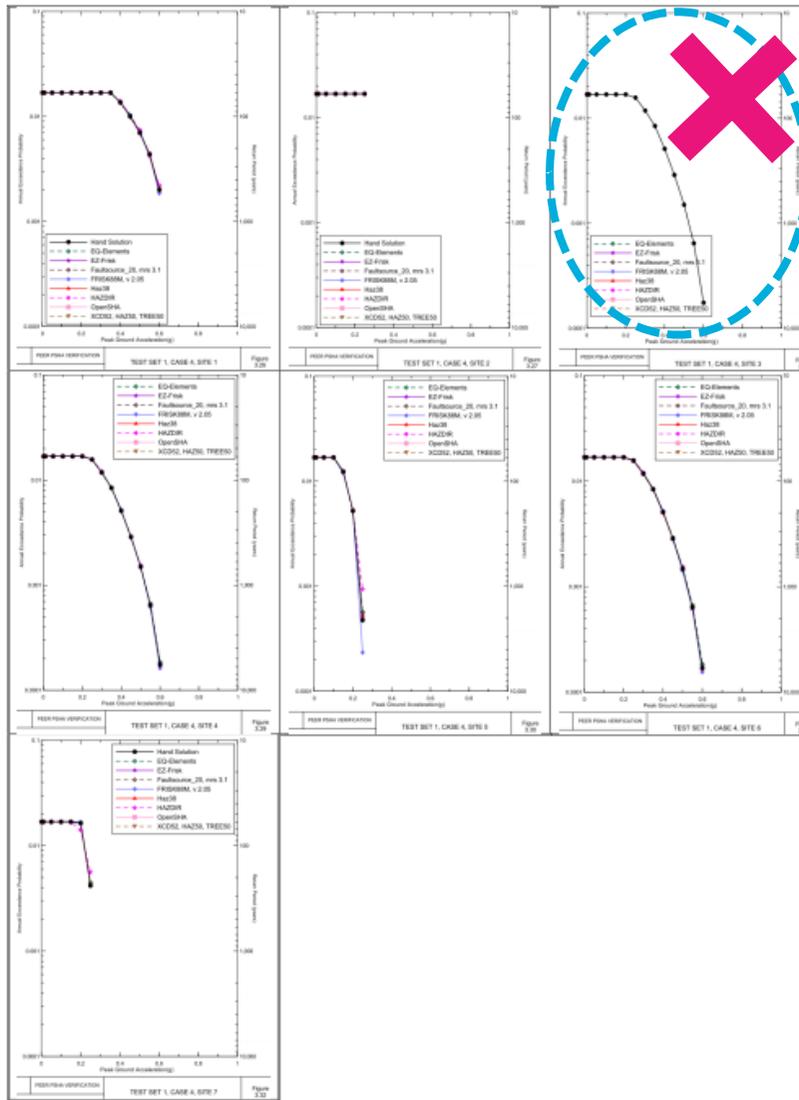


圖 19 Case 4 危害度分析結果

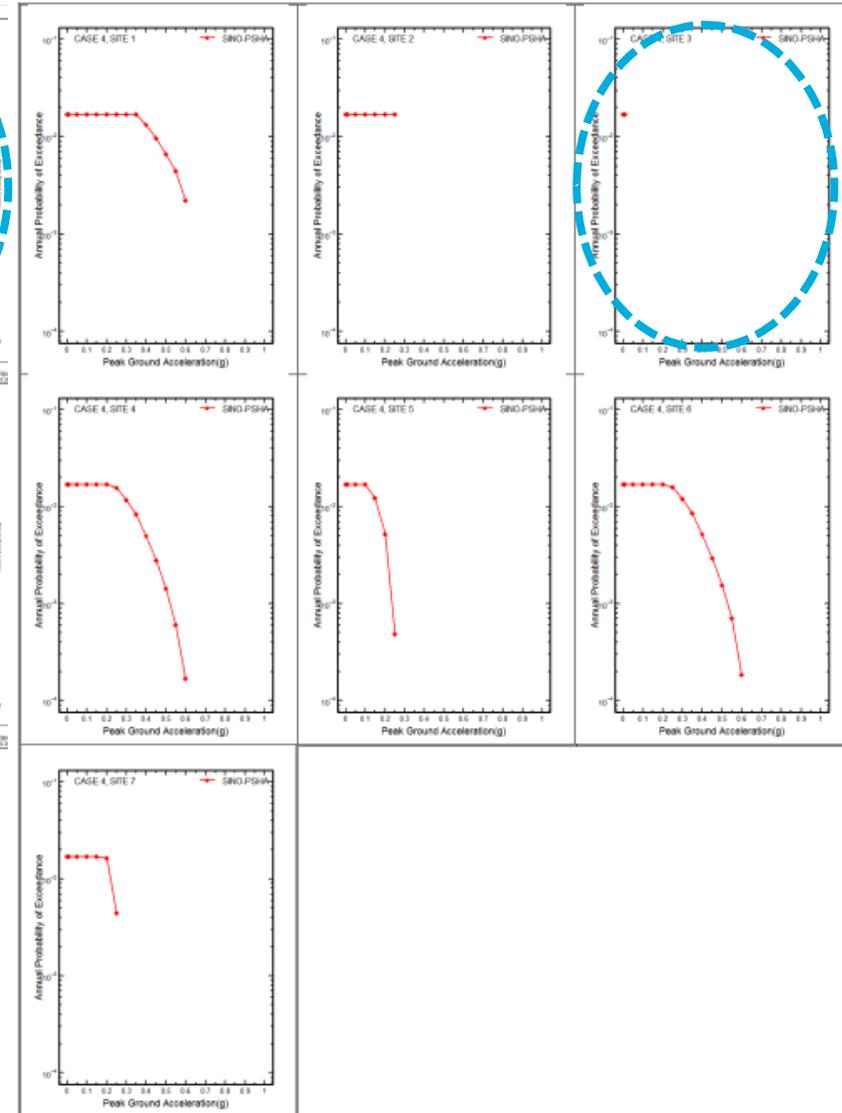


圖 4 Case 4 危害度分析結果

Case 5 驗證結果

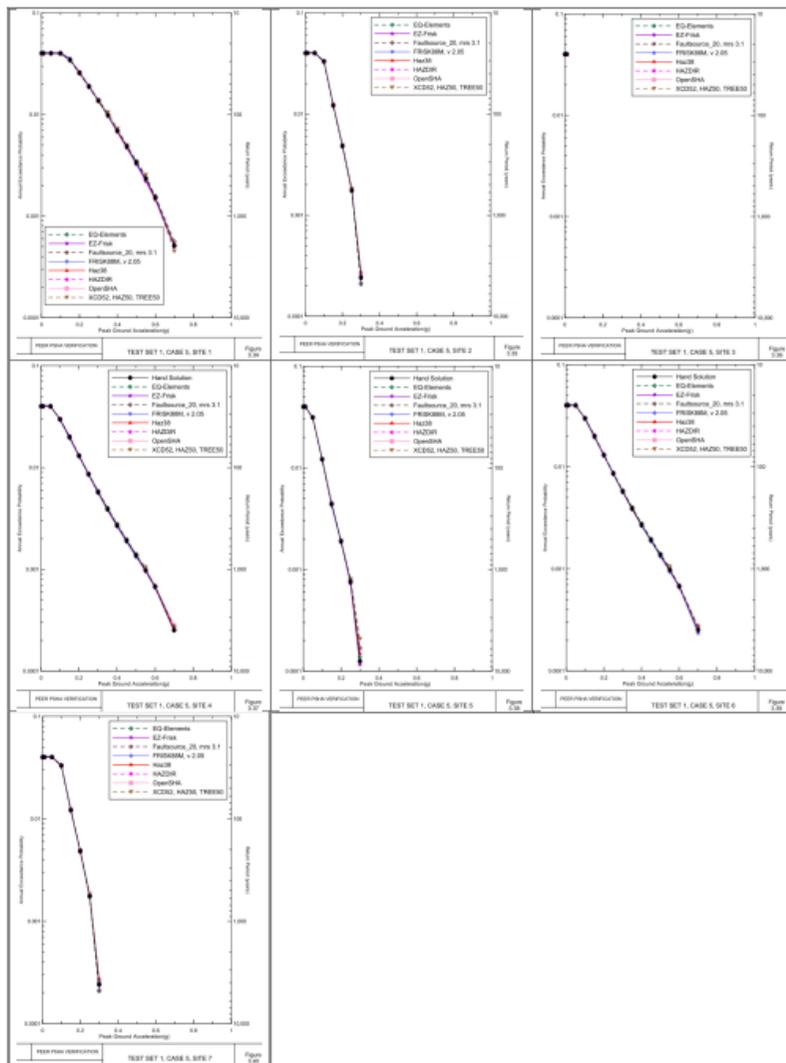


圖 20 Case 5 危害度分析結果

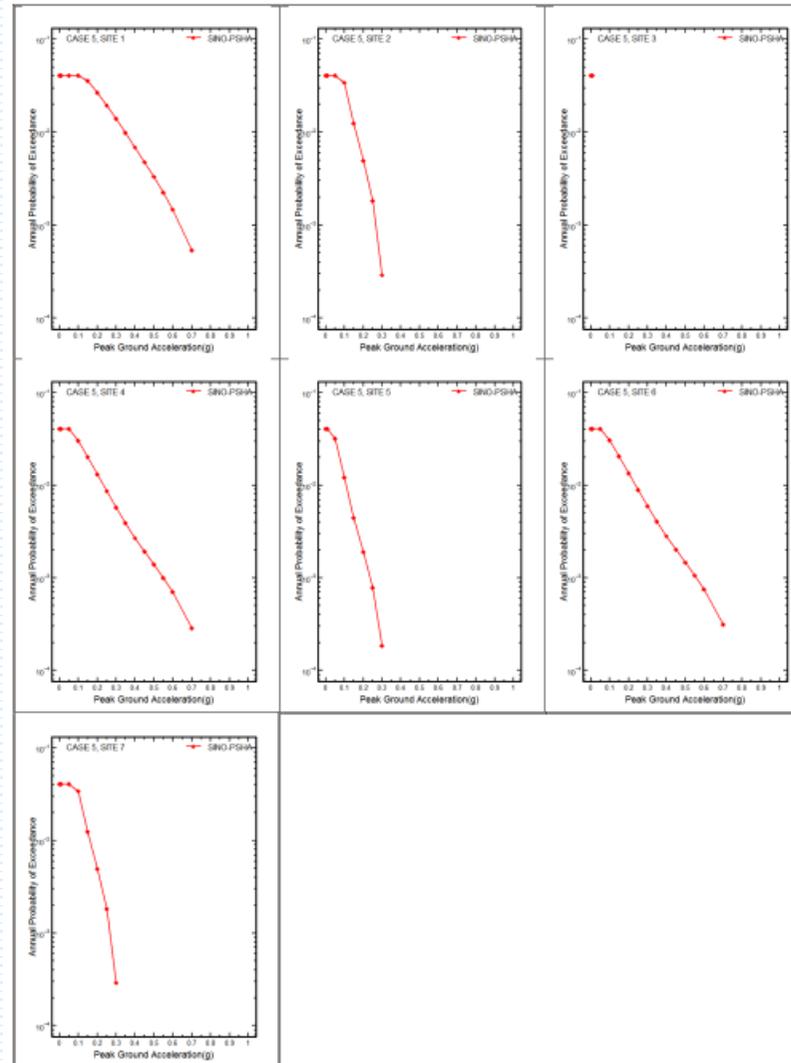


圖 5 Case 5 危害度分析結果

Case 6 驗證結果

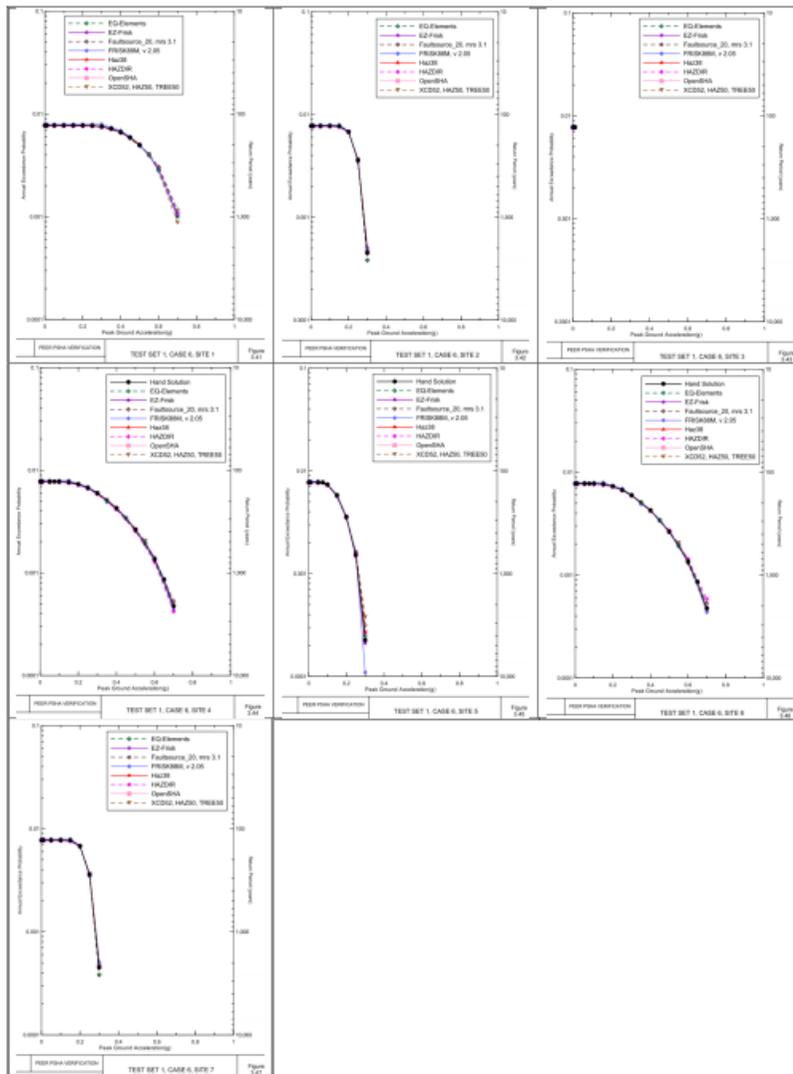


圖 21 Case 6 危害度分析結果

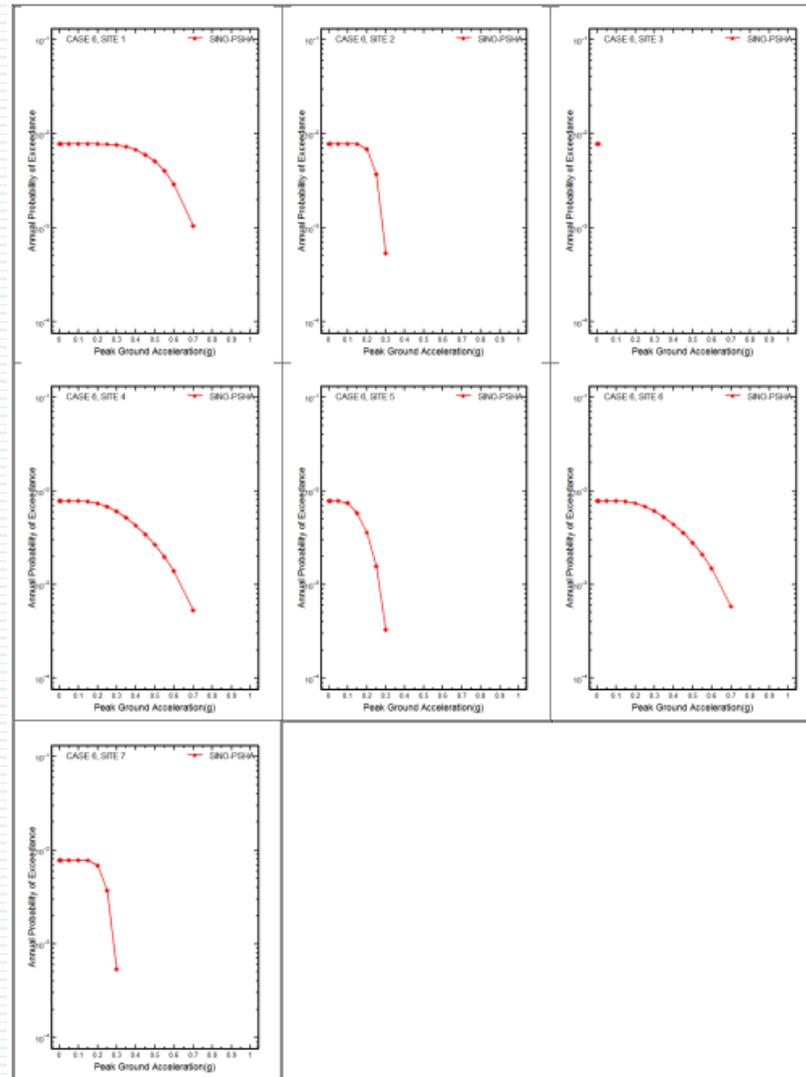


圖 6 Case 6 危害度分析結果

Case 7 驗證結果

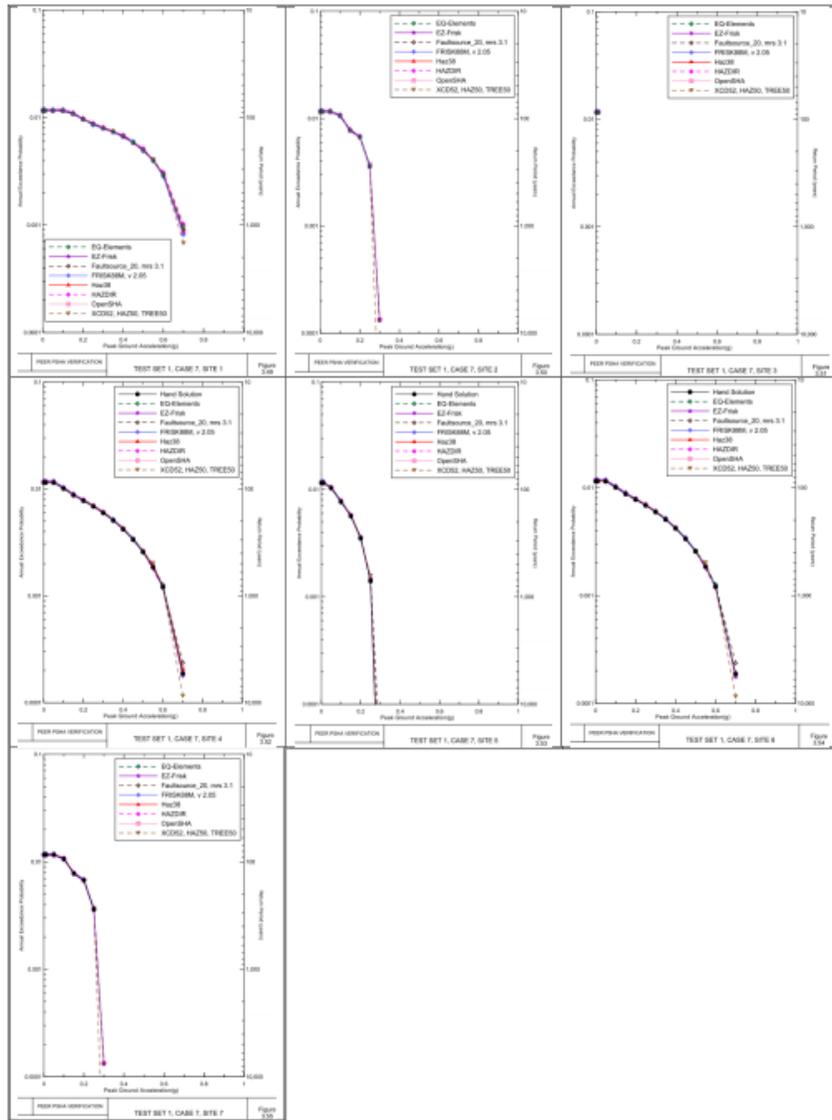


圖 22 Case 7 危害度分析結果

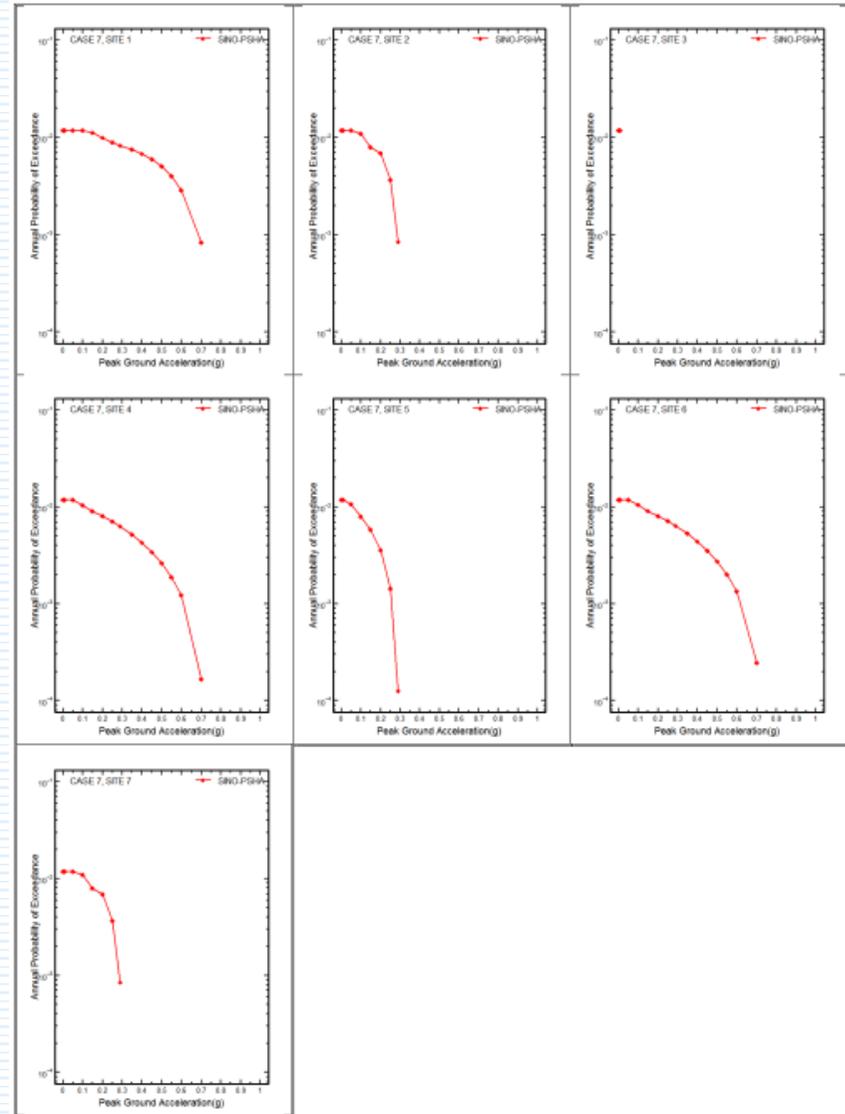


圖 7 Case 7 危害度分析結果

ZU15/5/14

Case 8a 驗證結果

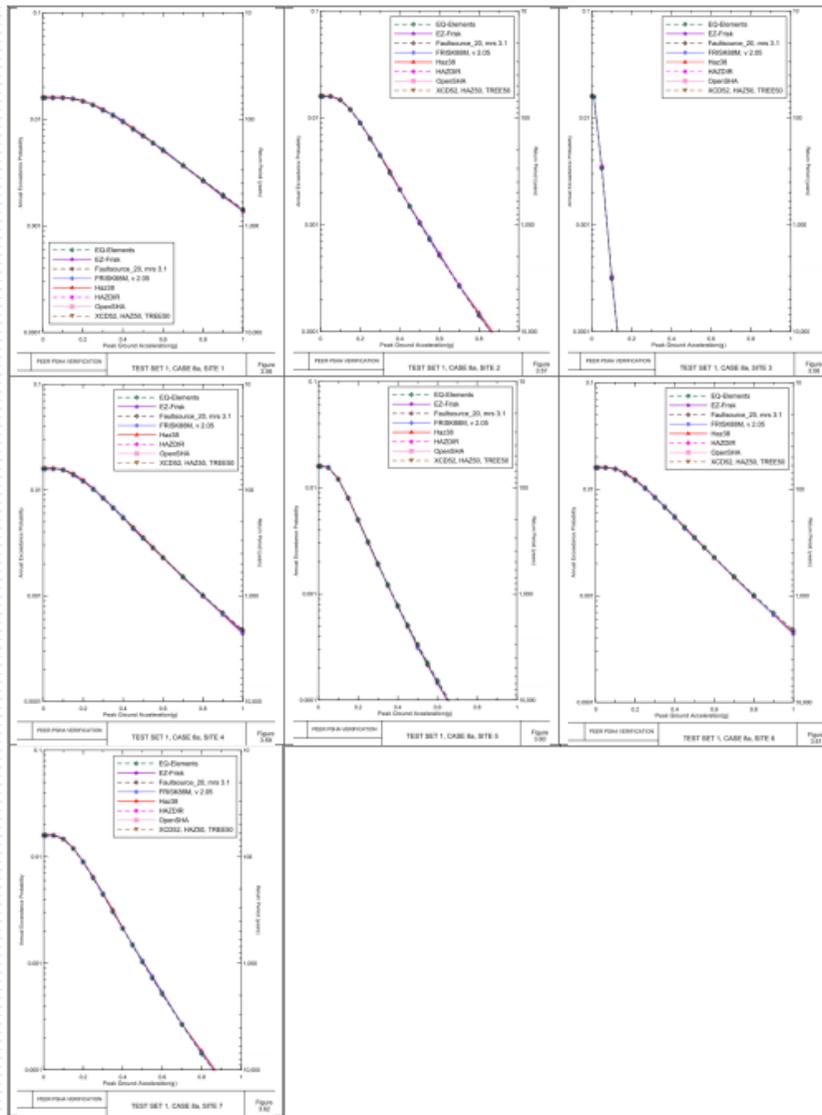


圖 23 Case 8a 危害度分析結果

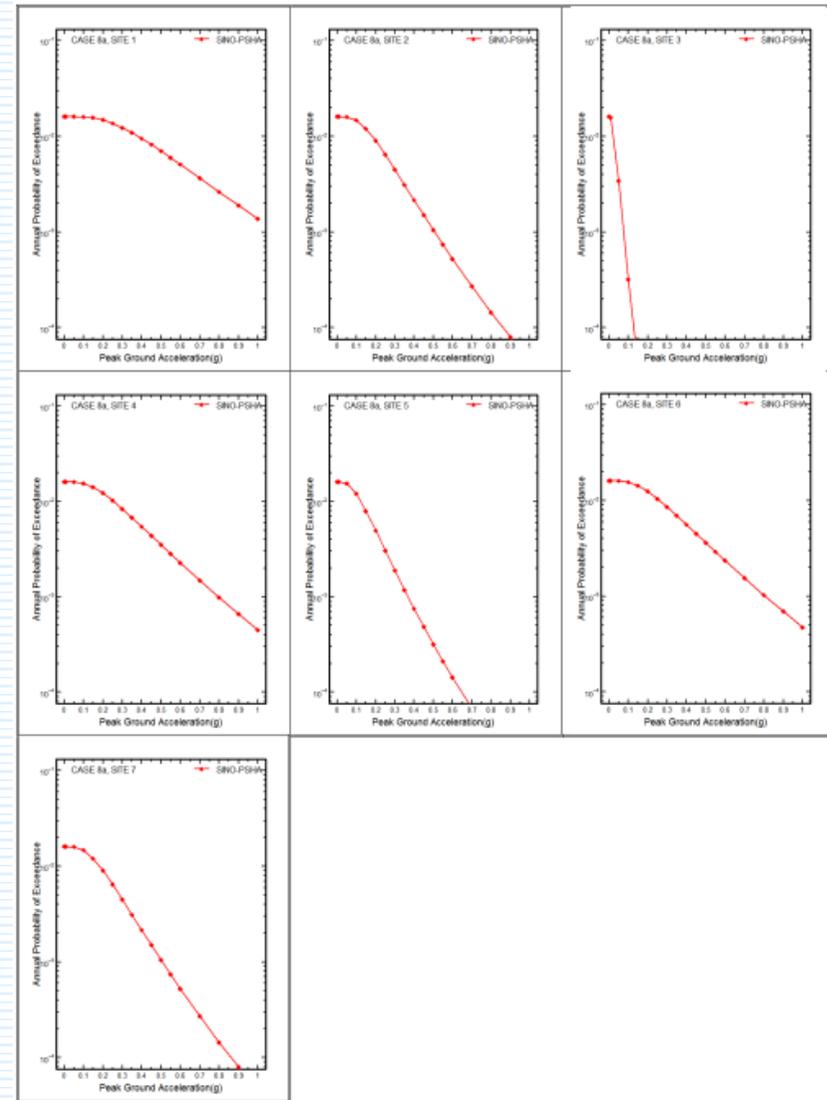


圖 8 Case 8a 危害度分析結果

ZU13/5/14

Case 8b 驗證結果

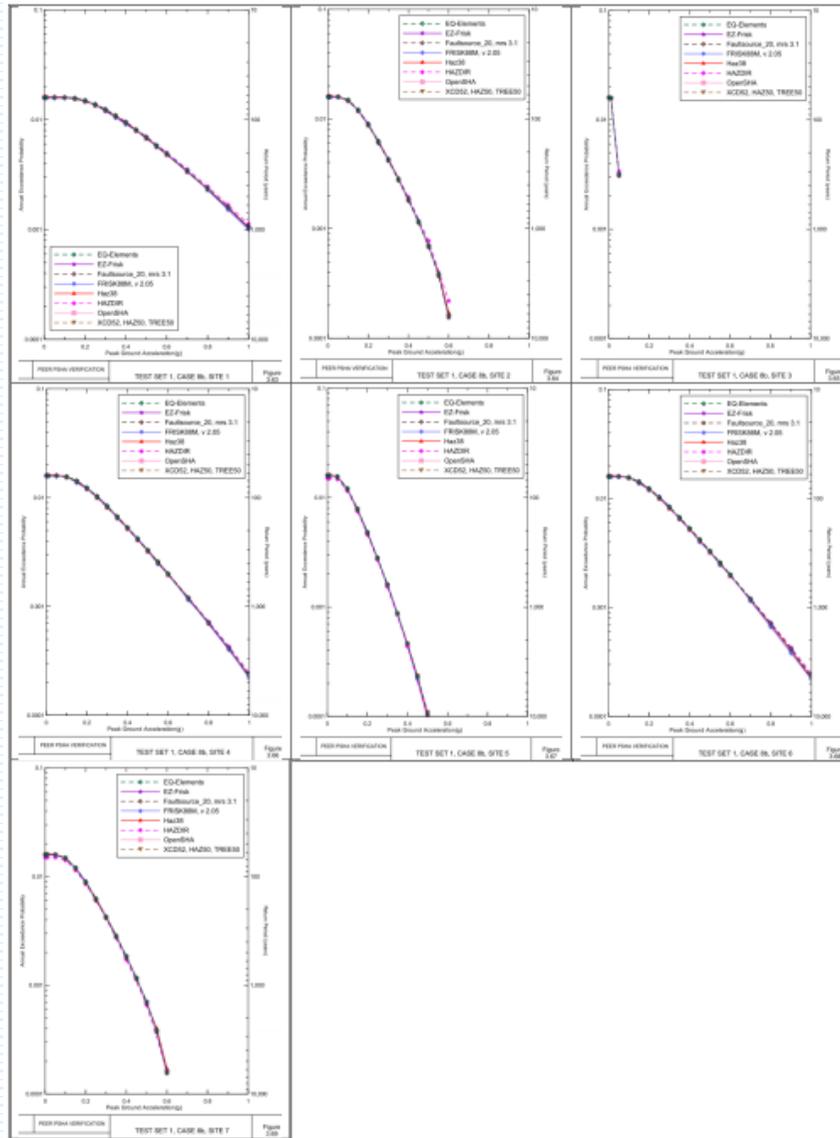


圖 24 Case 8b 危害度分析結果

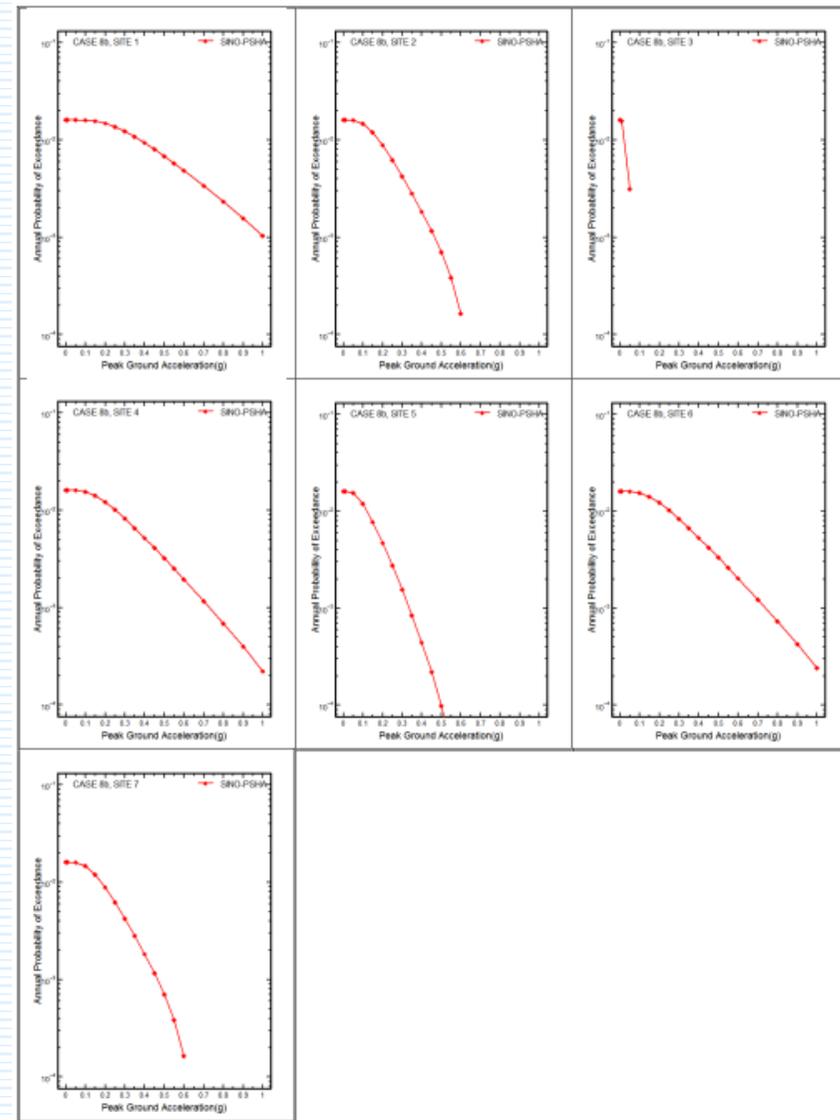


圖 9 Case 8b 危害度分析結果

Case 8c 驗證結果

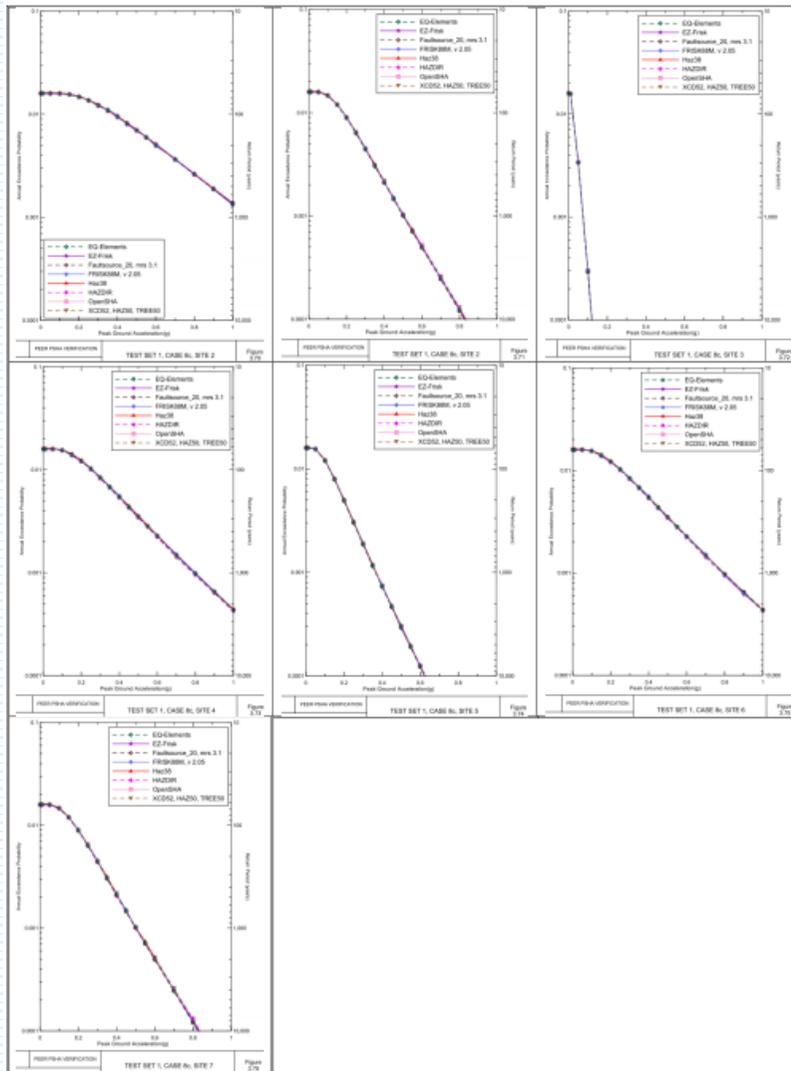


圖 25 Case 8c 危害度分析結果

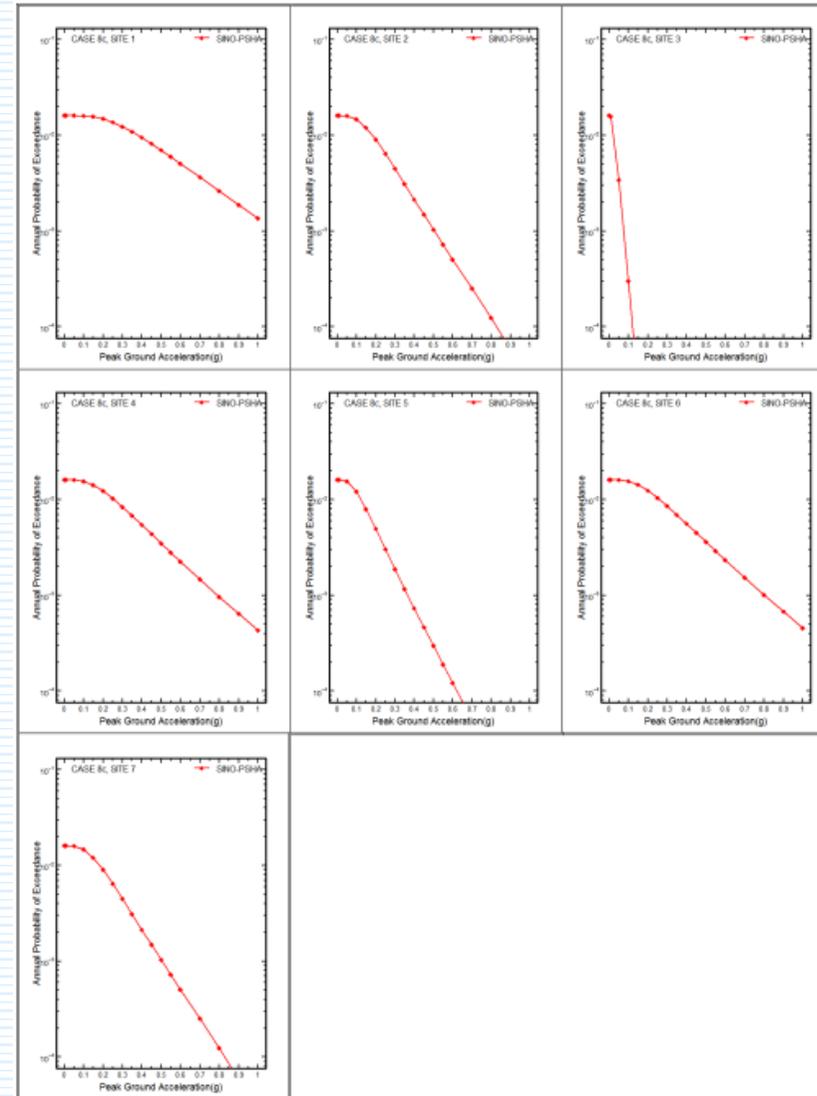


圖 10 Case 8c 危害度分析結果

Case 9a 驗證結果

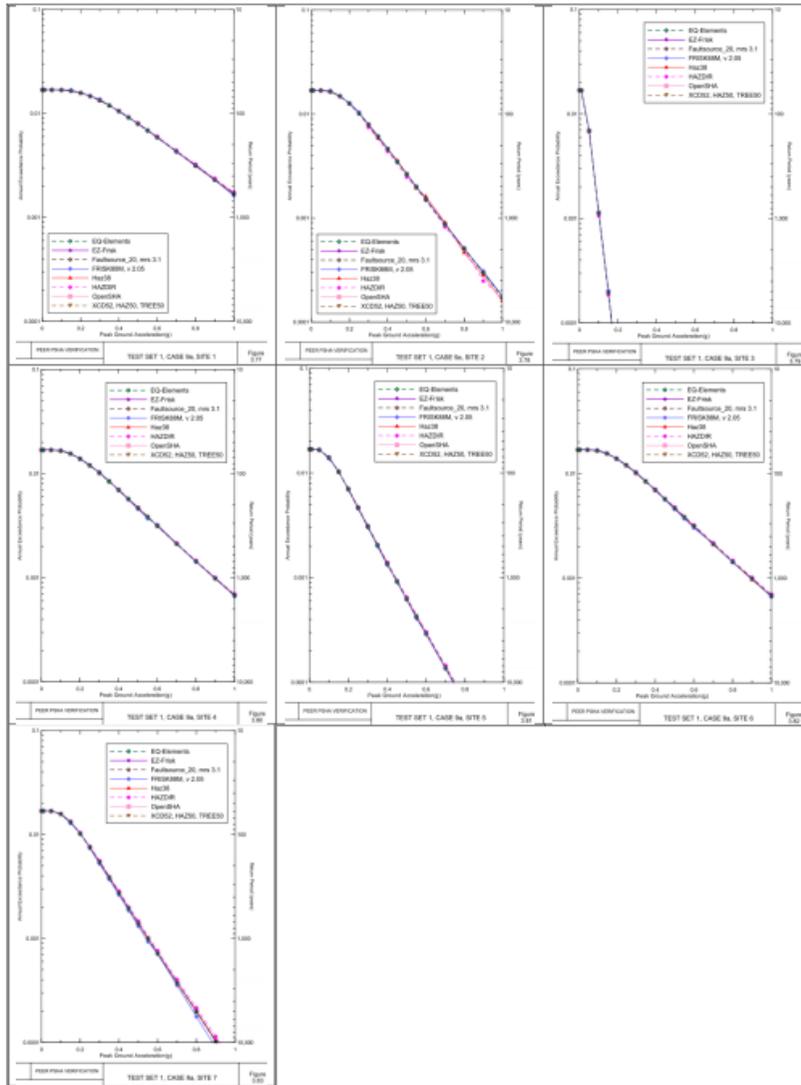


圖 26 Case 9a 危害度分析結果

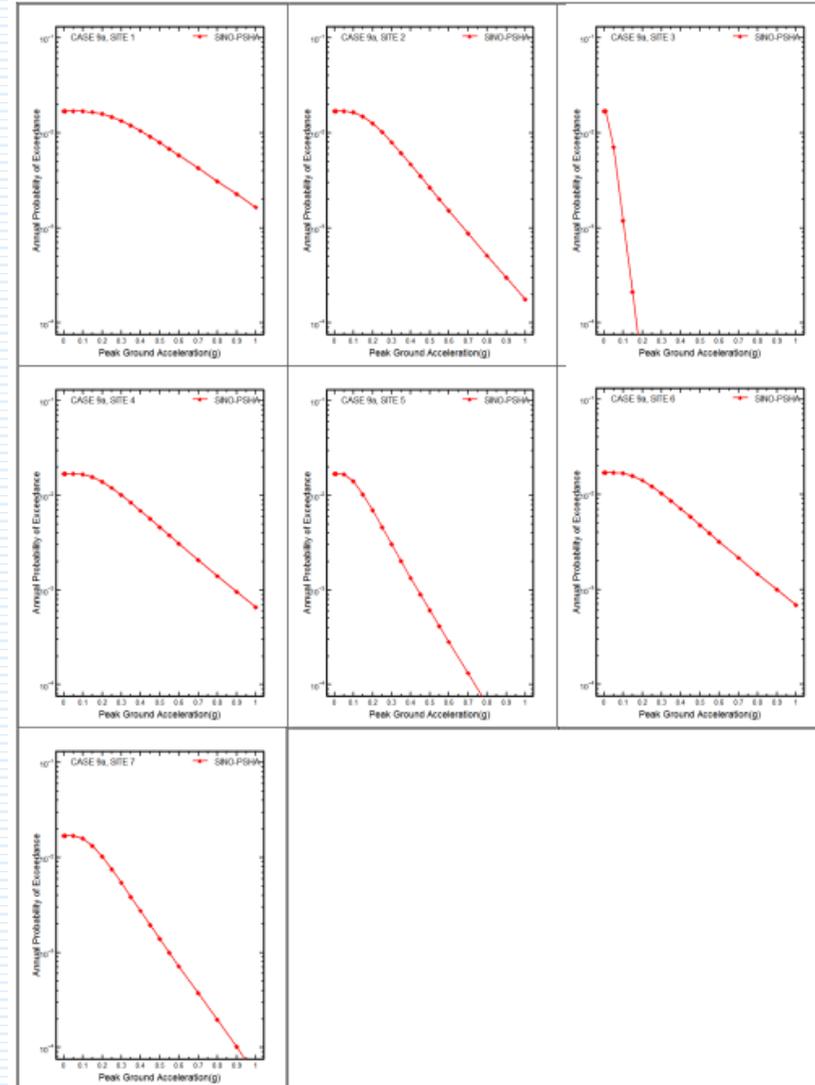


圖 11 Case 9a 危害度分析結果

Case 9b 驗證結果

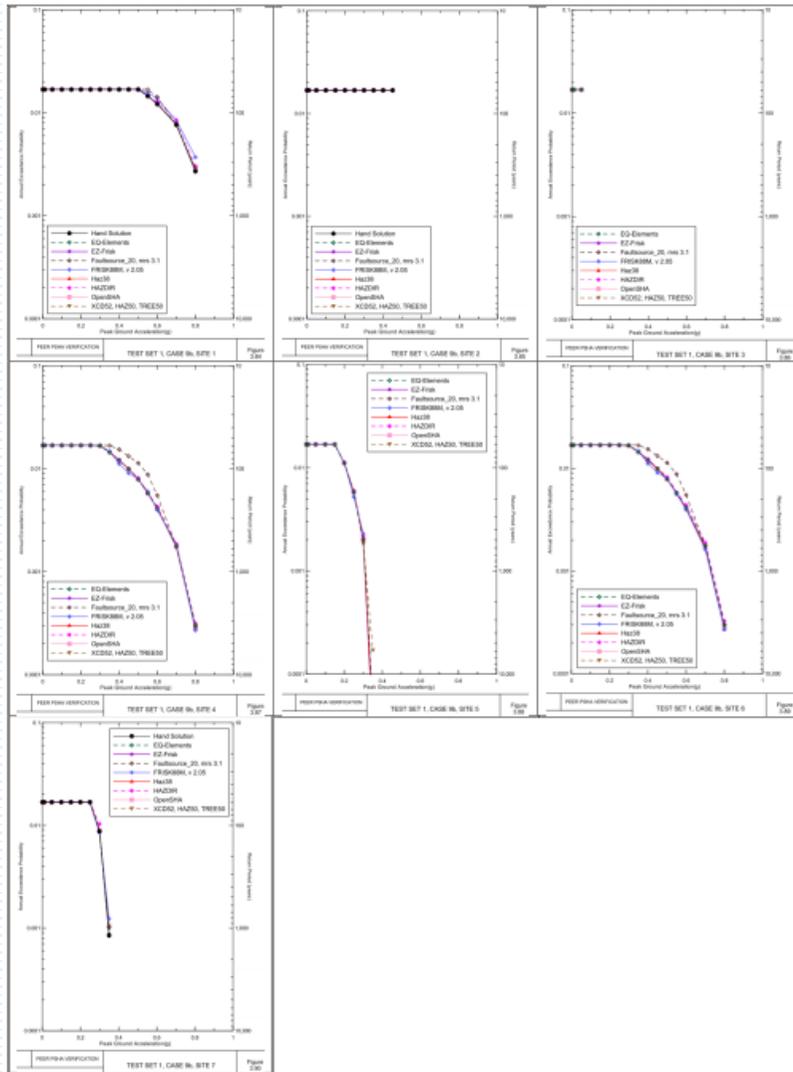


圖 27 Case 9b 危害度分析結果

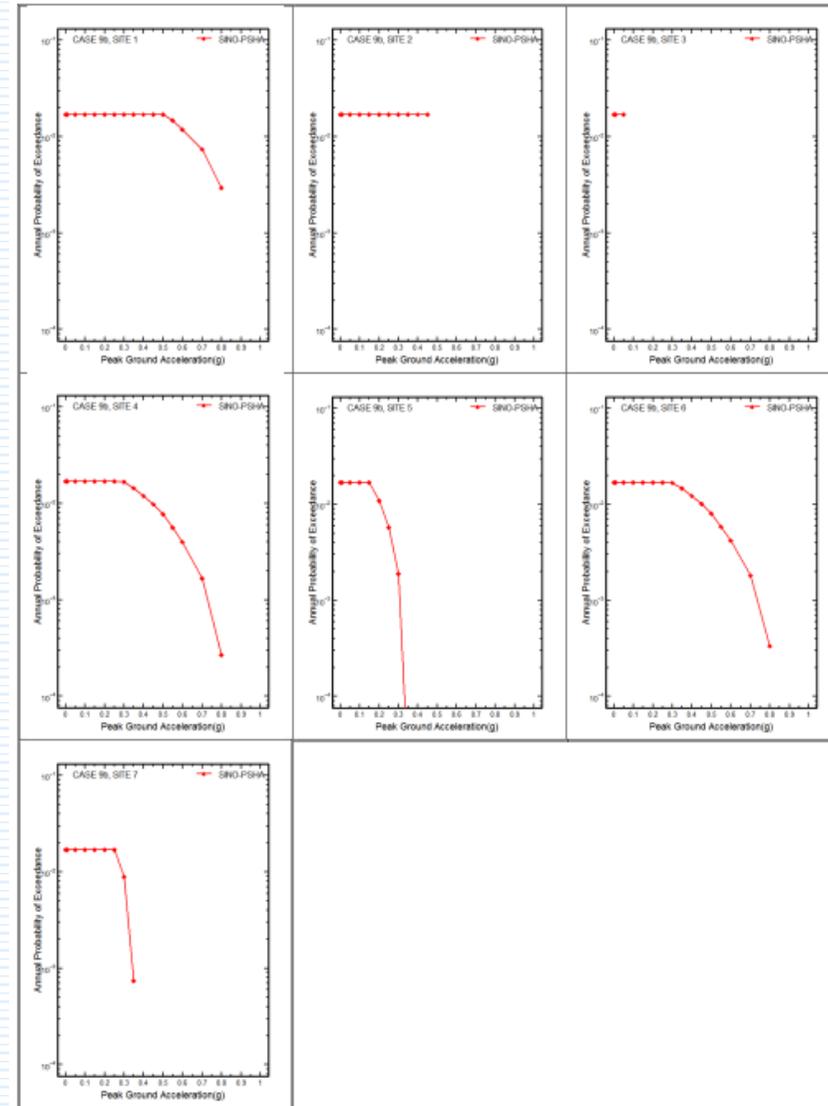


圖 12 Case 9b 危害度分析結果

2013/5/14

Case 9c 驗證結果

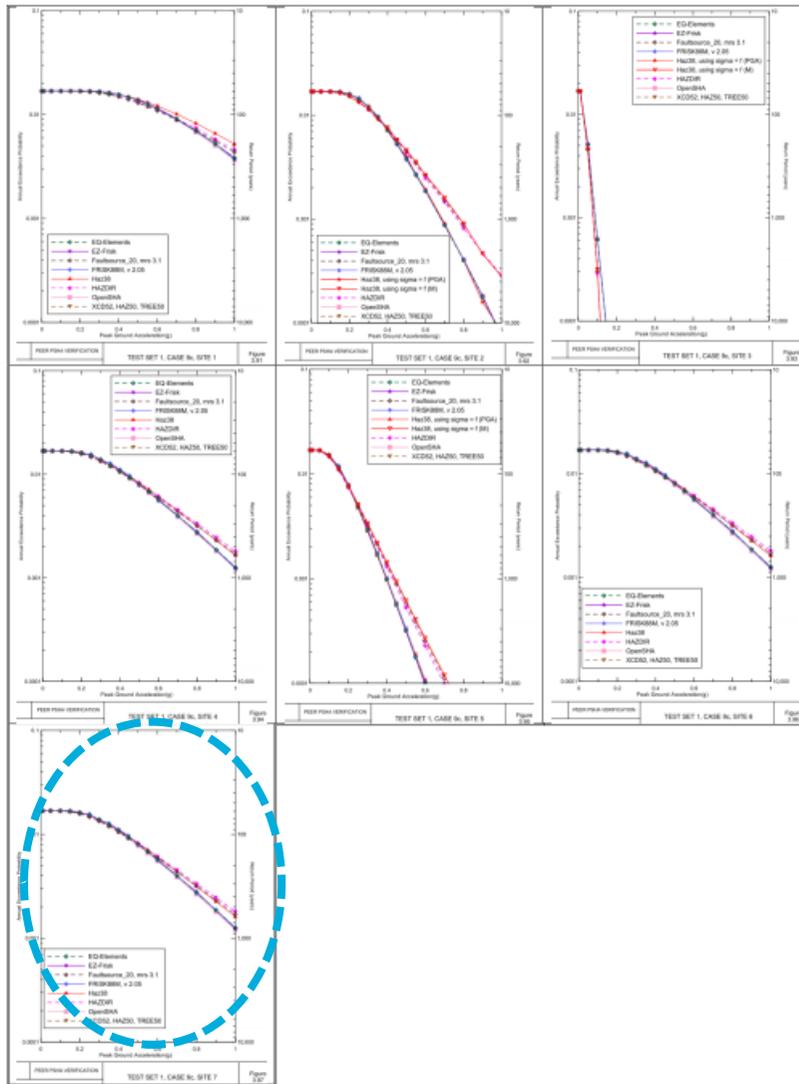


圖 28 Case 9c 危害度分析結果

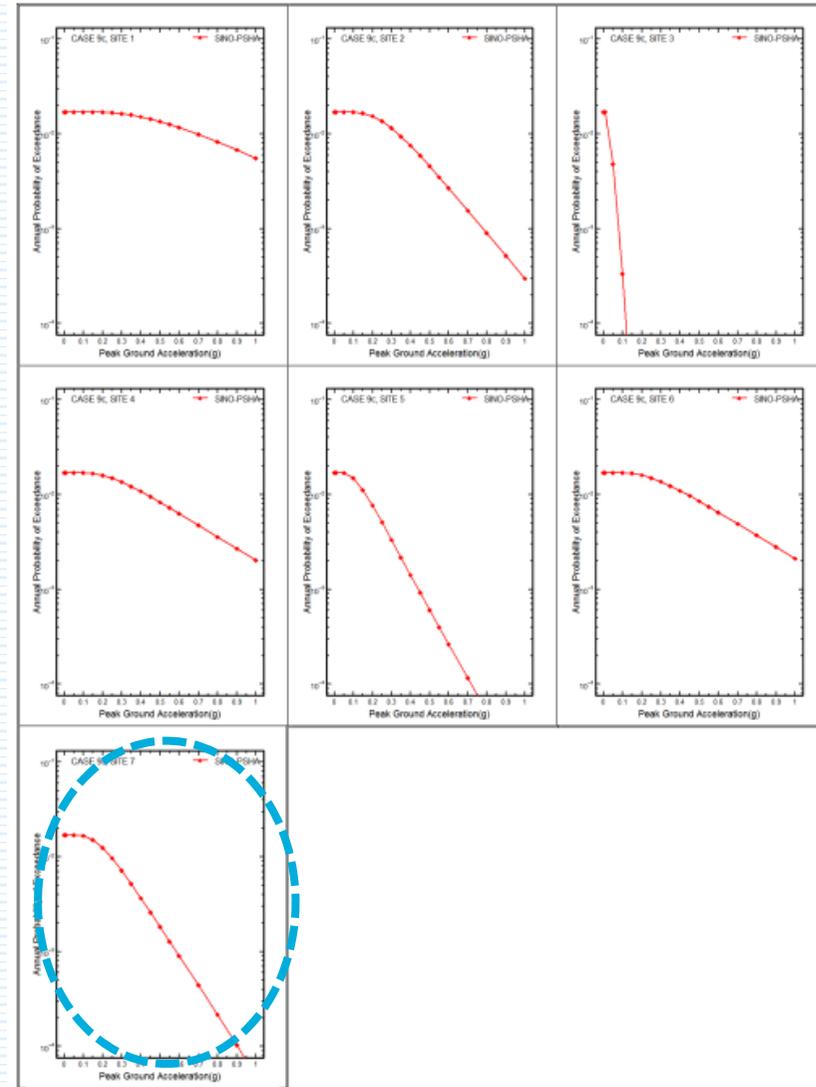


圖 13 Case 9c 危害度分析結果

Case 10 驗證結果

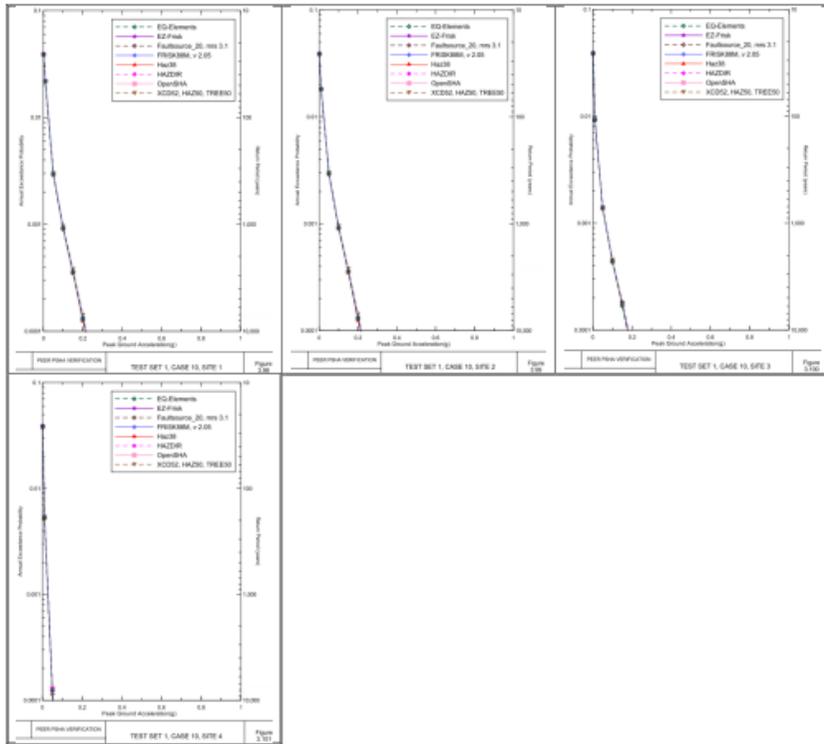


圖 29 Case 10 危害度分析結果

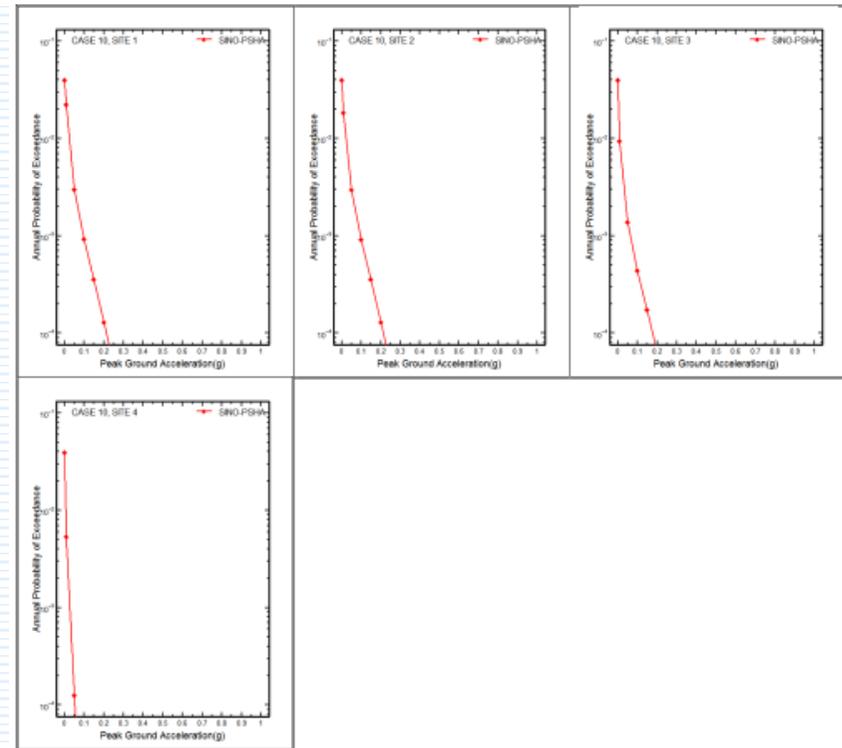


圖 14 Case 10 危害度分析結果

Case 1 | 驗證結果

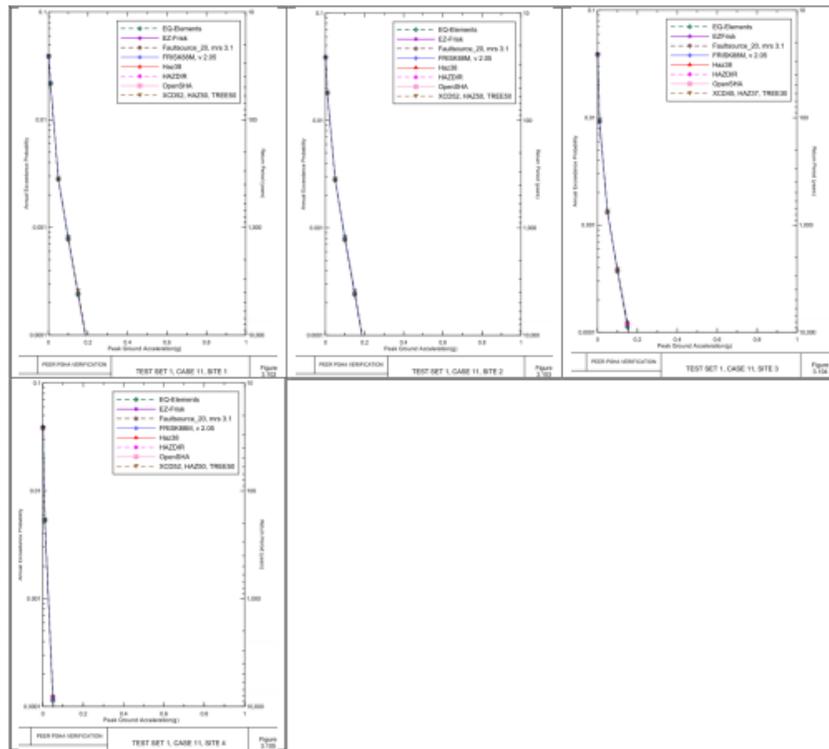


圖 30 Case 11 危害度分析結果

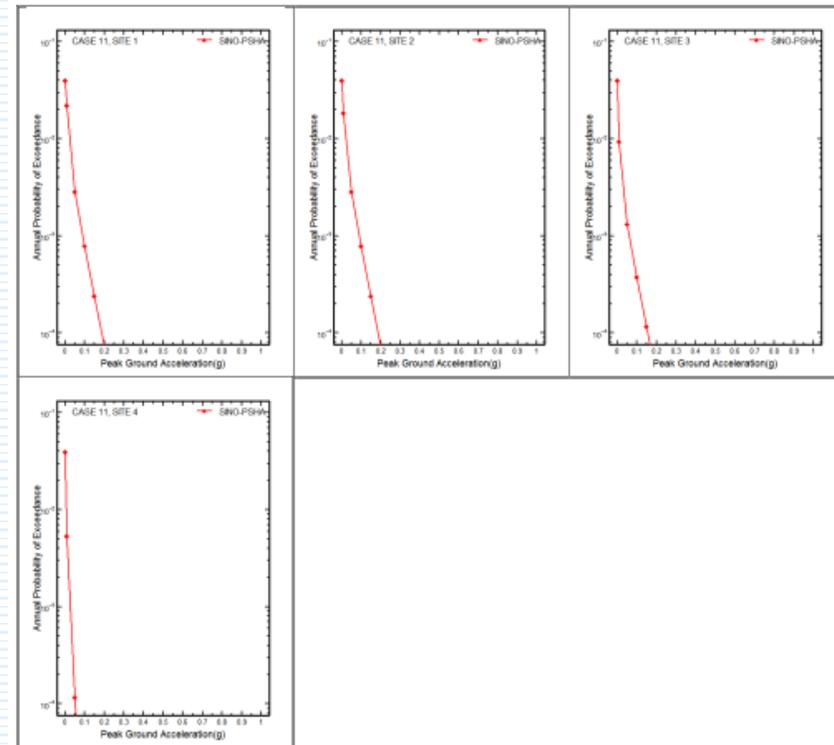
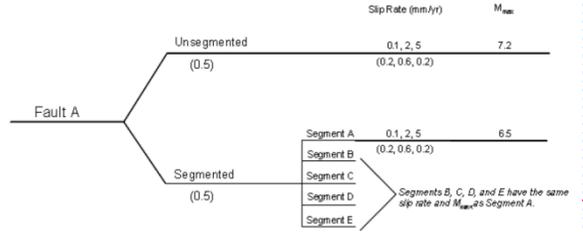
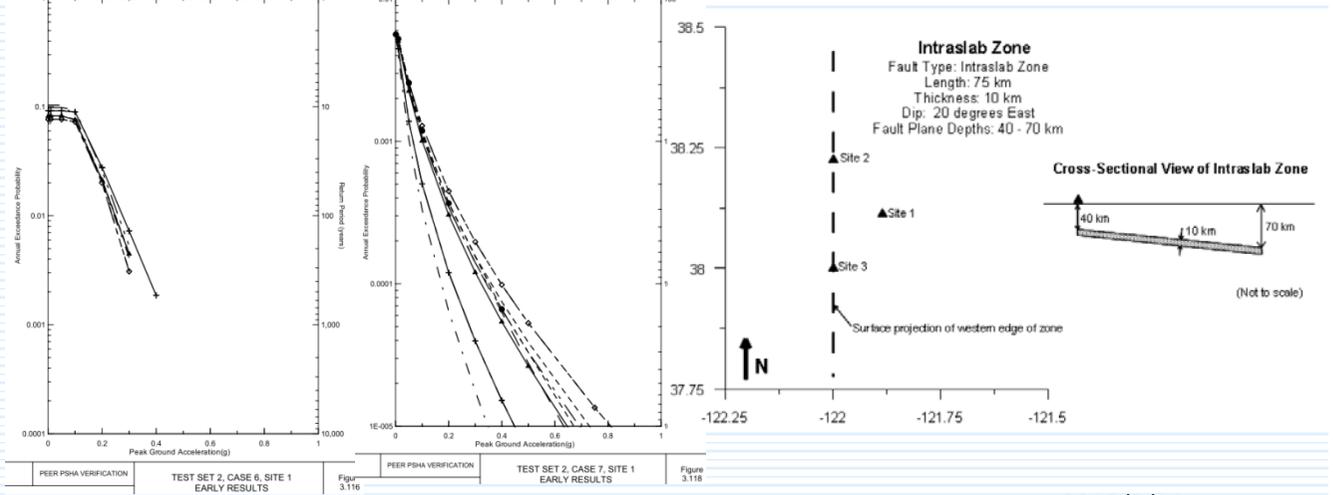
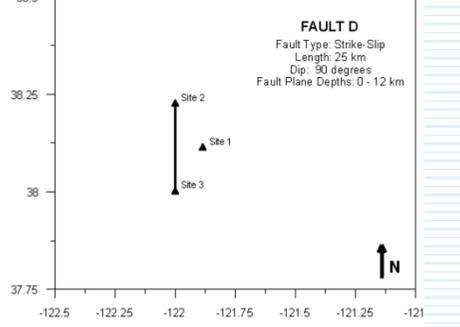
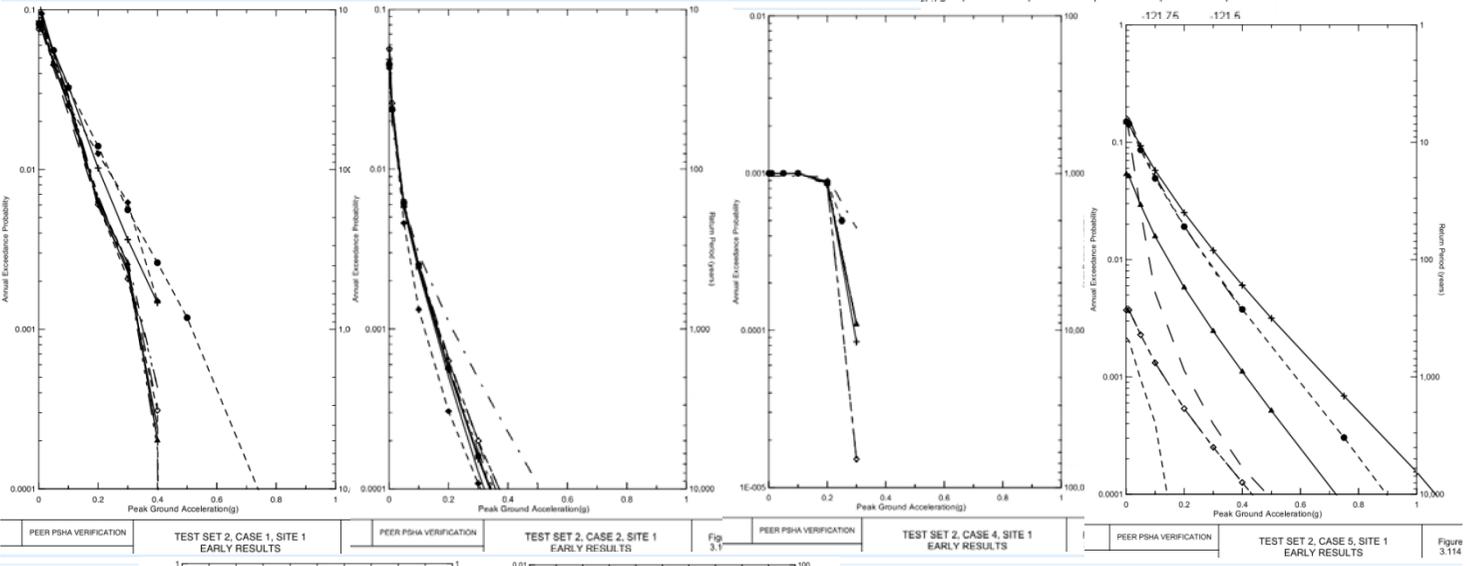
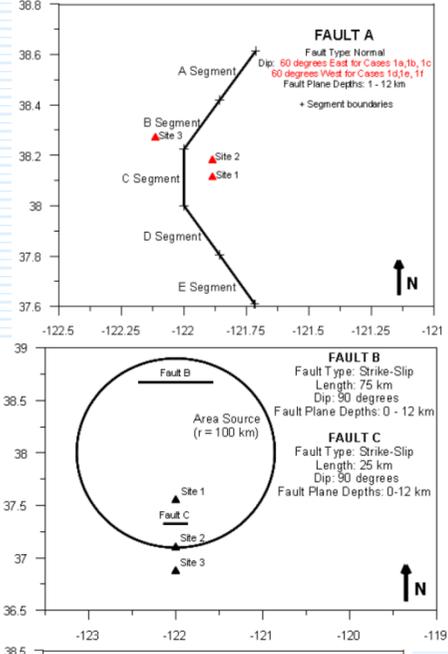
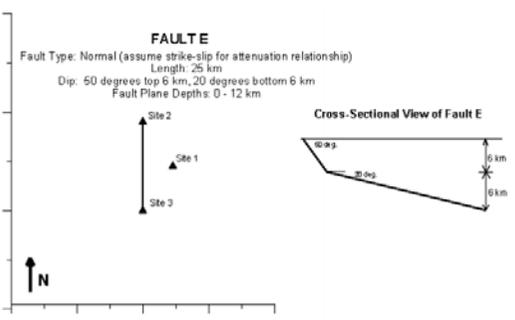


圖 15 Case 11 危害度分析結果

Set 2 Case 1~7



2013/5/14

本研究驗證結果

- * PEER驗證報告描述了各個PSHA案例的數值方法測試過程，每個研究成員對其負責之PSHA程式經過多次修改、測試，建立分析結果，使結果獲得一致性，是十分寶貴的經驗。
- * 本計畫INER-Sino PSHA程式計算結果經與PEER報告結果相比，已通過此PEER驗證測試，程式的可信度也大大提高。
- * 未來如果PEER驗證計畫中的Set 2題庫被完成後，亦可將INER-Sino PSHA程式再進行另一階段的驗證工作。

報告完畢 敬請指教



中興工程顧問社 防災科技研究中心 副研究員 謝寶珊 (02)2758-0568 #283

PSHA 理論式

回歸期 Return Period = $1 / v(z)$

$v(z)$ 為場址強地動值 z 超越 z 的年發生率 (次/yr)

$$v(z) = \sum_{n=1}^N \sum_{m_i=m_0}^{m_i=m_u} \lambda_n(m_i) \cdot \left[\sum_{r_j=0}^{r_j=r_{max}} P_n(R=r_j | m_i) \cdot P(Z > z | m_i, r_j) \right]$$

- * 共有 N 個震源 $n=1 \sim N$
- * $\lambda_n(m_i)$ 是第 n 個震源在 m_i 規模區間的地震年發生率
- * 規模的範圍從最小規模 m_0 至最大震源規模 m_u
- * $P_n(R=r_j | m_i)$ 是第 n 個震源在規模 m_i 時，離場址距離 r_j 時的距離密度函數
- * $P_n(Z > z | m_i, r_j)$ 是在規模 m_i 以及距離 r_j 時強地動值 z 超越 z 的機率

PSHA 理論式

- * 假設發生強地動值 z 超越 z 的地震事件符合卜桑模式：

$$P(k, t) = \frac{e^{-v(z)t} (v(z)t)^k}{k!}$$

- * $P(k, t)$ 為在 t 時間內，發生 k 次強地動 z 超越 z 值的地震機率
- * $v(z)$ 為造成場址強地動值 z 超越 z 的地震平均年發生率；

至少一次 z 超越 z 的機率

$$P = 1 - e^{-v(z)t} \approx v(z)t$$

假設在 $t=50$ 年的結構物使用年限
使強地動值 z 超越 z 的機率 $P=10\%$ 的條件下
 $v(z) = 1/475$ (次/yr)，即回歸期 475 年

$$10\% = 1 - e^{-v(z)50}$$
$$v(z) = 1/475$$

各驗證之PSHA程式碼介紹

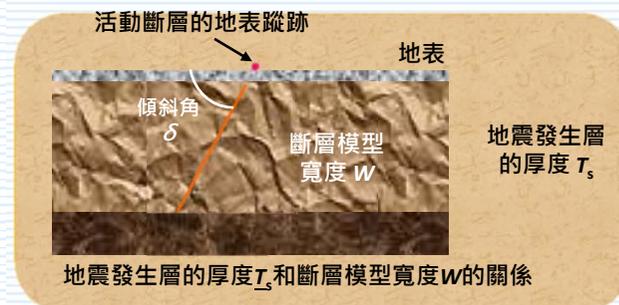
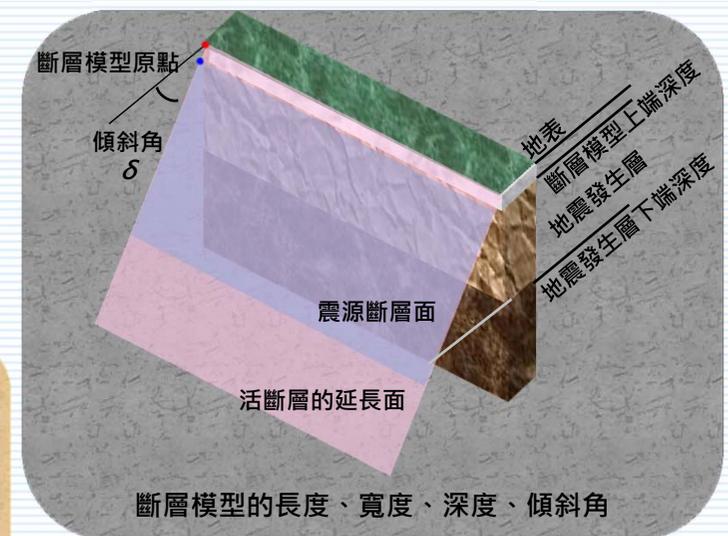
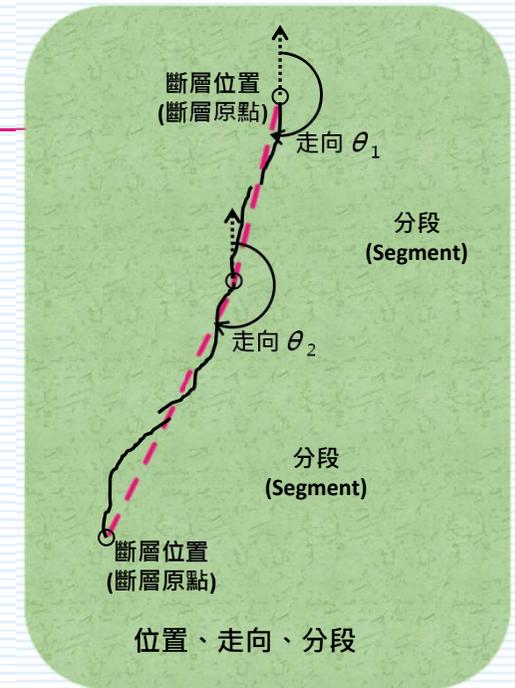
Code	Numerical Model	Truncation Of Ground Motion	Rupture Plane Modeling	Rupture Length & Width Modeling
FRISK88M Version 2.0 G. Toro	Polynomial (26.2.17 of Abramowitz & Stegun)	# Standard Deviations Max. Ground Motion	Horizontal location & hypocentral depth is uniformly distributed. Rupture confined to fault plane.	User inputs Log L = a+bM and std. dev. User-specified std dev Width = ratio * length User specified ratio Length & width not to exceed fault plane
EZ-FRISK R. McGuire	Polynomial (26.2.17 of Abramowitz & Stegun)	# Standard Deviations Max. Ground Motion	Horizontal location & hypocentral depth is uniformly distributed. Rupture confined to fault plane.	User inputs Log L = a+bM and std. dev. User-specified std. dev. Width = ratio * length. User specified ratio. Length & width not to exceed fault plane.
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Code	Magnitude Density Functions	Area Source Modeling
FRISK88M Version 2.0 G. Toro	AREAS: Truncated exponential, modified exponential (Youngs et al. 1987). FAULTS: Truncated exponential, modified exponential (Youngs et al. 1987), characteristic (user-specified width and ratio between exponential and characteristic portion; rate is specified as total recurrence rate or slip rate). Can model boxcar distribution as a special case of characteristic or exponential distributions.	Point source is default. Hypocenter depth fixed or random, with user-specified distribution; can also include effect of rupture width on depth distribution. Effect of rupture length for modeled background sources can be by randomizing rupture orientation or calculating distance to rupture or using analytical approximation.
EZ-FRISK R. McGuire	AREAS: Truncated exponential, modified AREAS: Truncated exponential, modified exponential (Youngs et al. 1987). FAULTS: Truncated exponential, modified exponential (Youngs et al. 1987), characteristic (user-specified width and ratio between exponential and characteristic portion; rate is specified as total recurrence rate or slip rate). Can model boxcar distribution as a special case of characteristic or exponential distributions.	Point source is default. Hypocenter depth fixed or random, with user-specified distribution; can also include effect of rupture width on depth distribution. Effect of rupture length for modeled background sources can be by randomizing rupture orientation or calculating distance to rupture or using analytical approximation.
⋮	⋮	⋮

2013/5/14

PSHA 參數建立

- * 座標(公里、經緯度)
- * 斷層數量
- * 斷層名稱
- * 斷層活動度
- * 斷層分段模型、權重
- * 斷層分段數量、名稱
- * 震源型態、衰減類型、取樣間隔、有無方向性、有無同步破裂
- * 斷層傾角、破裂頂部至地表深度
- * 傾角不確定性、權重
- * B-values、權重
- * 活動率
- * 滑移速率、權重
- * 地震復發間隔、權重
- * Moment rate、權重
- * 回復模型、權重
- * 斷層寬度、權重
- * 深度機率模型、權重
- * 最大可能規模計算方法、斷層破裂長度、面積、權重
- * 最小規模、各參數計算間隔、
- * 斷層機制
- * 斷層型態



Case 1

- * 目的：測試程式計算距離、斷層活動度及強地動衰減式($\sigma=0$)的功能。
 - + 若Fault 1完全破裂，單一地震規模($M=6.5$)。使用Sadigh et al. (1997) 衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)，計算七個場址之危害度。
- * 結果
 - + 測試案例1的目的是對於一個給定的規模和距離，測試程式計算斷層距離、斷層活動速率、強地動預測的結果。假設Fault 1完全破裂產生單一規模($M=6.5$)的地震，斷層滑移速率(2mm/yr)、破裂面積(300 km^2)，則斷層活動度 0.002853 很容易計算而得。由於不考慮強地動值的不確定性以及斷層破裂面至場址距離，產生的危害度曲線就是一條等於斷層活動度的水平線。

Case 2

* 目的：測試破裂面的均勻滑動和邊緣效應。

+ Fault 1發生單一規模地震(M 6.0)，利用破裂面積(RA)、破裂寬度(RW)、破裂長度(RL)關係式($\sigma_{RA} = \sigma_{RL} = \sigma_{RW} = 0$)和/或寬高比定義出一破裂面(小於斷層總面積)。以Sadigh et al. (1997)衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)計算七個場址的危害度。

* 結果

+ Case 2的目的是測試程式在斷層破裂面積、滑移分布和破裂距離的計算能力。為簡化案例，RA的大小和強地動值的不確定性被設定為零。在PEER驗證過程中，初步結果有顯著的差異，某些程式在Fault 1兩個端點的場址4和6得到不同的結果。經過團隊間的檢查和討論，發現不同的程式開發人員在定義破裂面在斷層上的模型(特別是近斷層邊緣)有所差異，導致簡單的測試案例卻使危害度顯著不同。工作團隊決定採用共同的方法建立法破裂模型，使破裂面從某一邊緣向另一端沿斷層走向和傾角移動時是一均勻分布，且不允許破裂到斷層的邊緣外，移動間隔(step)的大小在斷層的兩端附近是較敏感的。經改進方法後，被測試的程式則可計算出相近的解析解。

Case 3

- * 目的：測試破裂面的均勻滑動和邊緣效應以及斷層破裂關係式的不確定性。
 - + Fault 1發生單一規模地震(M 6.0)，利用破裂面積(RA)、破裂寬度(RW)、破裂長度(RL)關係式($\sigma_{RA}=0.25$, $\sigma_{RL}=0.2$, $\sigma_{RW}=0.15$)和/或寬高比定義出一破裂面(小於斷層總面積)。以Sadigh et al. (1997)衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)計算七個場址的危害度。
- * 結果
 - + Case 3其實就是Case 2的變化。唯一的差異就是考慮了破裂關係式的不確定性。會選擇案例中的破裂關係式，即是設計使破裂長度和寬度對計算方式不敏感。有些程式計算破裂面積時主要是先以規模為基礎，而後考慮維持高寬比；其他程式則先計算破裂面積和寬度再回推破裂長度。然而，不同的計算方法和破裂關係式的選擇，產生的不確定性會得到不同的危害結果，此危害度的變化也提供我們在做參數敏感性分析上的一個參考。但請注意，在一般PSHA中，通常沒有考慮破裂關係式的不確定性。

Case 4

- * 目的：測試斷層有傾角之距離計算。
 - + 與Case 2相同，僅改變斷層傾角(即Fault 1改為Fault 2)。Fault 2發生單一規模地震(M 6.0)，利用破裂面積(RA)、破裂寬度(RW)、破裂長度(RL)關係式($\sigma_{RA} = \sigma_{RL} = \sigma_{RW} = 0$)和/或寬高比定義出一破裂面(小於斷層總面積)。以Sadigh et al. (1997)衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)計算七個場址的危害度。
- * 結果
 - + Case 4是為了進一步測試斷層的幾何模型建立方法。在此案例，Fault 2未破裂至地表且傾角為 60° ，發生一單一規模地震(規模小於斷層完全破裂尺寸)。其中強地動及斷層破裂面大小之不確定性皆設置為零，危害度僅由斷層活動度(以規模、滑移速率和破裂面積而得)和破裂的距離函數影響。PEER驗證過程中，與Case 2相比，由於在斷層面上的破裂面分布的方法不同，使得初步分析結果大不相同，尤其是靠近斷層面邊緣時，將斷層邊緣的滑移模型修改後，所有的結果與手算的結果表現一致。

Case 5

* 目的：測試截切指數模型。

+ 計算Fault 1對七個場址造成的危害度。使用截切指數模型($M_{\max} = 6.5$ 、 $M_{\min} = 5.0$)、Sadigh et al. (1997) 衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)，而破裂面大小使用RA、RW和RL的關係式 ($\sigma_{RA} = \sigma_{RL} = \sigma_{RW} = 0$) 來定義。

* 結果

+ Case 5的目的是測試一個規模頻率分布，特別是截切指數模型。該模型被廣泛應用於實際的風險分析。在PEER初步結果中指出，使用截切指數規模分布模型計算斷層活動度時，初始的危害度結果可分為兩個群組，主要是由於積分時是選擇由最小規模還是規模零開始。最後研究團隊被要求修改自己的程式從零開始積分，使所有程式的危害結果是一致的。

Case 6

- * 目的：測試截切常態模型。
 - + 計算Fault 1對七個場址造成的危害度。使用截切常態模型($M_{char} = 6.2$ 、 $M_{max} = 6.5$ 、 $\text{Sigma} = 0.25$ 、 $M_{min} = 5.0$)、Sadigh et al. (1997)衰減式(堅硬場址、 $\sigma = 0$)，而破裂面大小使用RA、RW和RL的關係式 ($\sigma_{RA} = \sigma_{RL} = \sigma_{RW} = 0$) 來定義。
- * 結果
 - + 案例6的目的是測試截切常態規模分布模型。

Case 7

* 目的：測試特徵地震模型。

+ 計算Fault 1對七個場址造成的危害度。使用特徵地震模型(Youngs and Coppersmith(1985) , $M_{char} = 6.2$ 、 $M_{max} = 6.45$ 、 $M_{min} = 5.0$)、Sadigh et al. (1997)衰減式(堅硬場址、 $\sigma=0$)，而破裂面大小使用RA、RW和RL的關係式 ($\sigma_{RA} = \sigma_{RL} = \sigma_{RW} = 0$) 來定義。

* 結果

+ Case 7的目的是測試現代PSHAs廣泛使用的特徵規模頻率分布。與Case 5的指數模型類似，初步計算斷層活動度的結果都差異滿大的，要注意強地動值非常低時的危害度分布。最終的結果表示所有程式的結果皆相當一致。