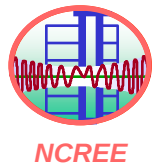


震災境況模擬技術簡介

劉 季 宇

國家地震工程研究中心

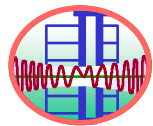
中華民國101年11月30日



簡報大綱

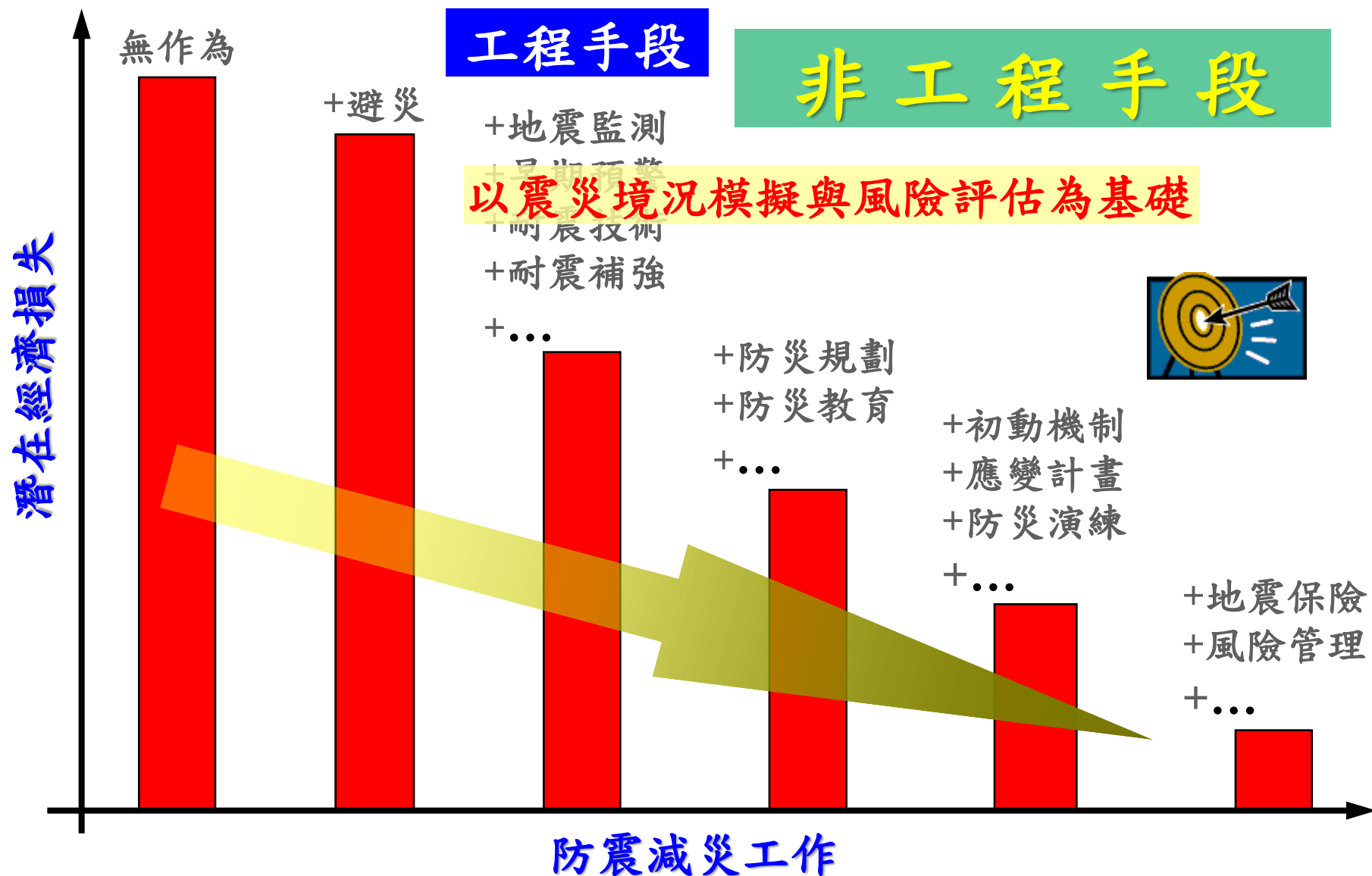
- # 總論
- # 地震災害潛勢分析
- # 公路橋梁震損評估
- # 自來水管線災損推估
- # 結語

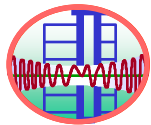
總 論



NCREE

震前減災與風險管理的綜合效率





NCREE

HAZUS

The screenshot shows the FEMA Information Resource Library website. The main content area displays the 'Resource Record Details' for the 'HAZUS-MH MR3 Earthquake Model Technical Manual'. The page includes a description of the model, its purpose, and its application. It also lists the resource type, audience categories, hazard types, and subjects. A 'Media Type' section indicates the file is available online. A 'Resource File' section provides links to view, download, or print the manual. A 'Download Plug-in' section mentions that some links require a plug-in to view them.

Multi-hazard Loss Estimation Methodology

Earthquake Model

HAZUS-MH MR3

Technical Manual

Developed by:

Department of Homeland Security
Emergency Preparedness and Response Directorate
FEMA
Mitigation Division
Washington, D.C.

Under a contract with:

National Institute of Building Sciences
Washington, D.C.

© 2003, Federal Emergency Management Agency
(Secured by Assignment)

HAZUS® is a trademark of the Federal Emergency Management Agency

TELES研發背景

HAZUS 97 → HAZUS 99 → HAZUS MH

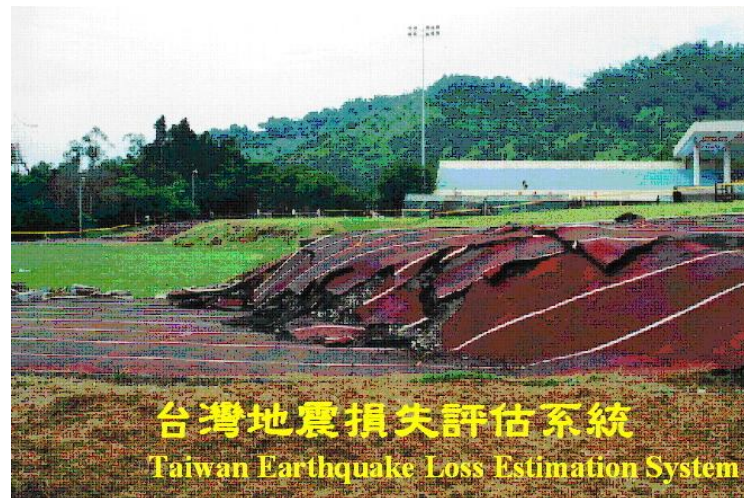
- 美國聯邦緊急處理總署(FEMA, USA)資助
- 整合數種天然災害之損失評估於單一軟體(地震、颶風、洪水等)

HAZUS 97 → HAZ-Taiwan → TELES

- 1998年國科會推動HAZ-Taiwan計畫，由經濟部技術處出資引進HAZUS 97
- NCREE參考HAZUS的分析架構，以本土化的分析模式、參數值和資料庫為基礎，研發TELES
- 專注於地震損失評估，持續更新分析模式，並拓展應用領域於地震早期損失評估暨風險評估

台灣地震損失評估系統(TELES)

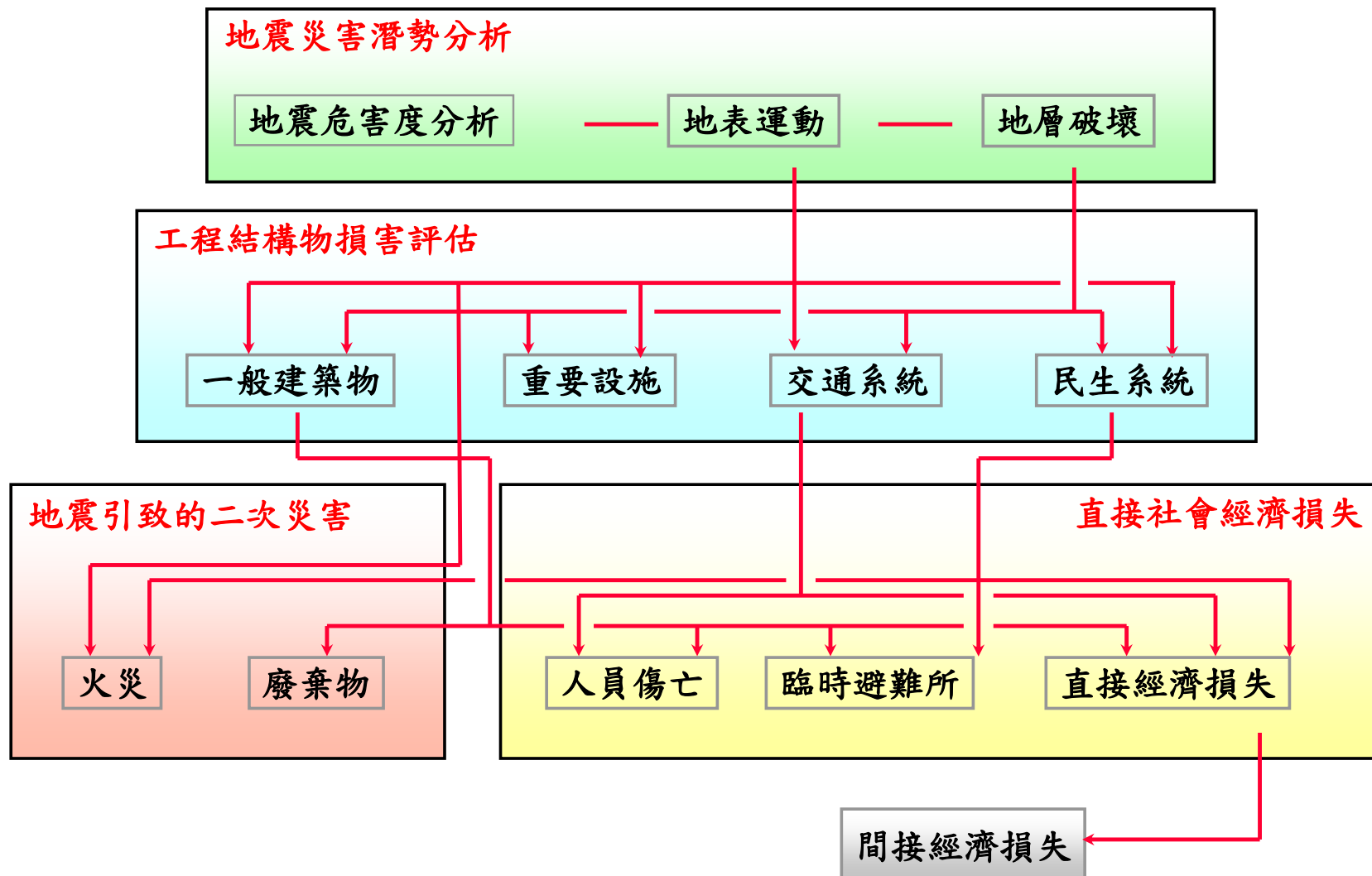
- ✦ 為整合資料庫、分析模式與應用之泛用型GIS震損評估軟體
- ✦ 具模組化、可客製化之特性
- ✦ 免費使用並定期開辦講習課程
- ✦ 已實際應用於地震防災實務
 - 中央災害應變中心(CEOC)
 - 縣市政府地區災害防救計畫、都市防災空間規劃
 - 公路橋梁、鐵路橋梁、瓦斯、自來水、救援避難道路規劃
- ✦ 具備地震風險評估功能
 - 研擬縣市可能最大地震之震源參數
 - 提供住宅地震保險基金各種保險理賠風險評估結果



都市地震防災空間系統規劃與 HAZ-Taiwan
(TELES) 系統應用整合之研究：子計畫二
—新竹市之防災空間系統規劃

內政部建築研究所研究報告

TELES之分析架構

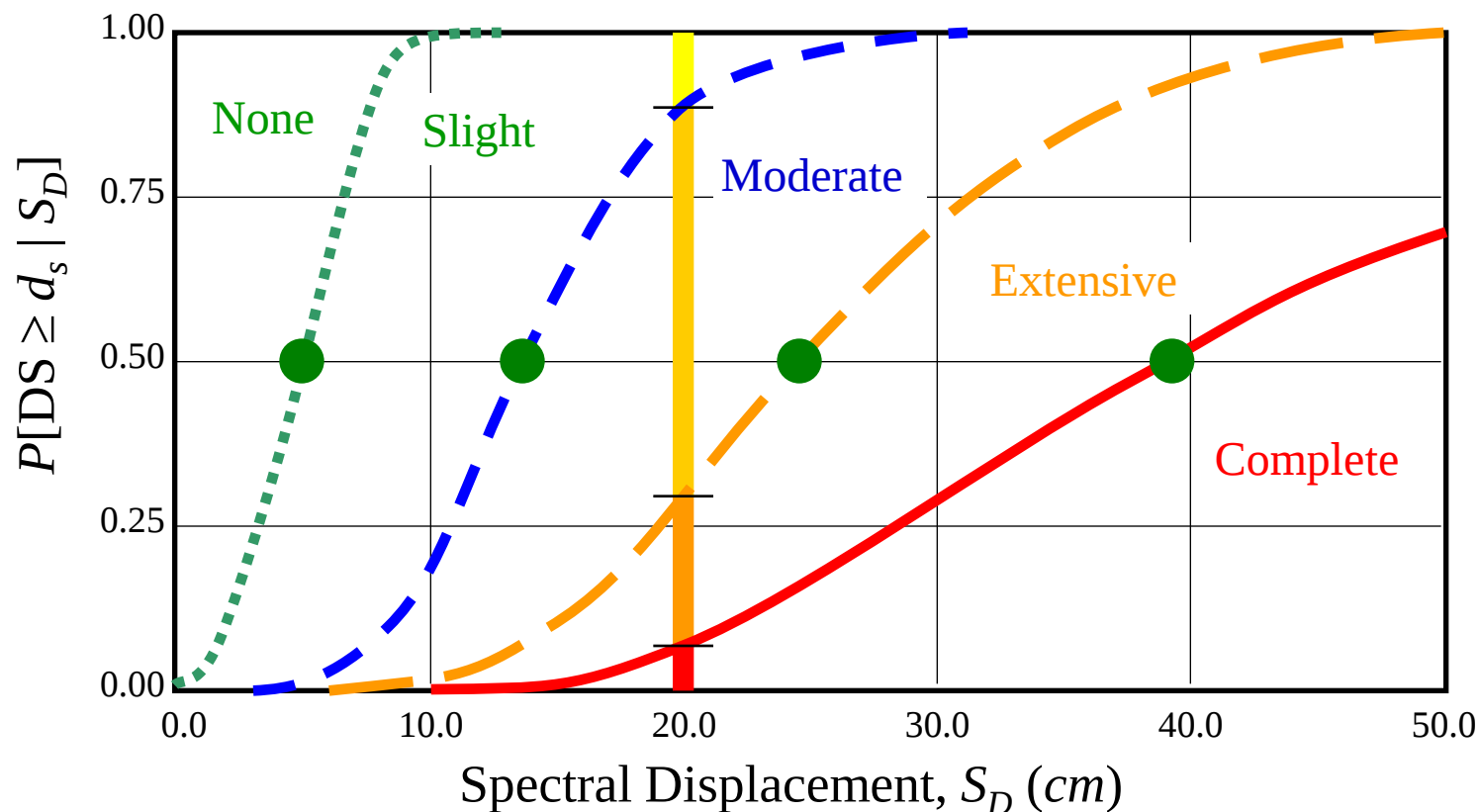


易損性曲線之意義

進入損害狀態 d_s 之譜位移的門檻值 $S_D = \bar{S}_{D,ds} \cdot \varepsilon_{ds}$ ，呈對數常態分佈

$\bar{S}_{D,ds}$ 損害狀態 ds 之譜位移的中值

ε_{ds} 呈對數常態分佈之隨機變數(中值1，對數標準差 β_{ds})



國震中心地震損失評估研究之特色

✦ 整理台灣地區完整的地震防災資料庫

- 與CWB和CGS合作，研擬可靠的震源機率模型
- 完整的地震災害潛勢資料和多種風險曝露資料

✦ 提供完整的震災境況模擬技術

- 整合地震災害潛勢分析與多種結構類型之損害暨損失評估模式，可交互比對
- 與地震早期損失評估結合，隨時驗證震災境況模擬之分析參數的合理性

✦ 研發本土化地震風險評估模型

- 兼顧且平衡本土資料的品質和分析模式的精確度
- 以機率和統計的觀點妥善詮釋震災境況模擬的結果，提高評估結果的實用性和精度

TELES已完成之震災境況模擬模組

+ 地震災害潛勢分析

- 地表震動強度、土壤液化、斷層開裂

+ 一般建築物、國中小學典型校舍

- 損害及損失評估

+ 公路橋梁

- 損害及損失評估、修復時間、費用

+ 自來水、瓦斯等地下管線

- 災損數量、修復時間、人力

+ 人員傷亡、避難需求、廢棄物、震後火災

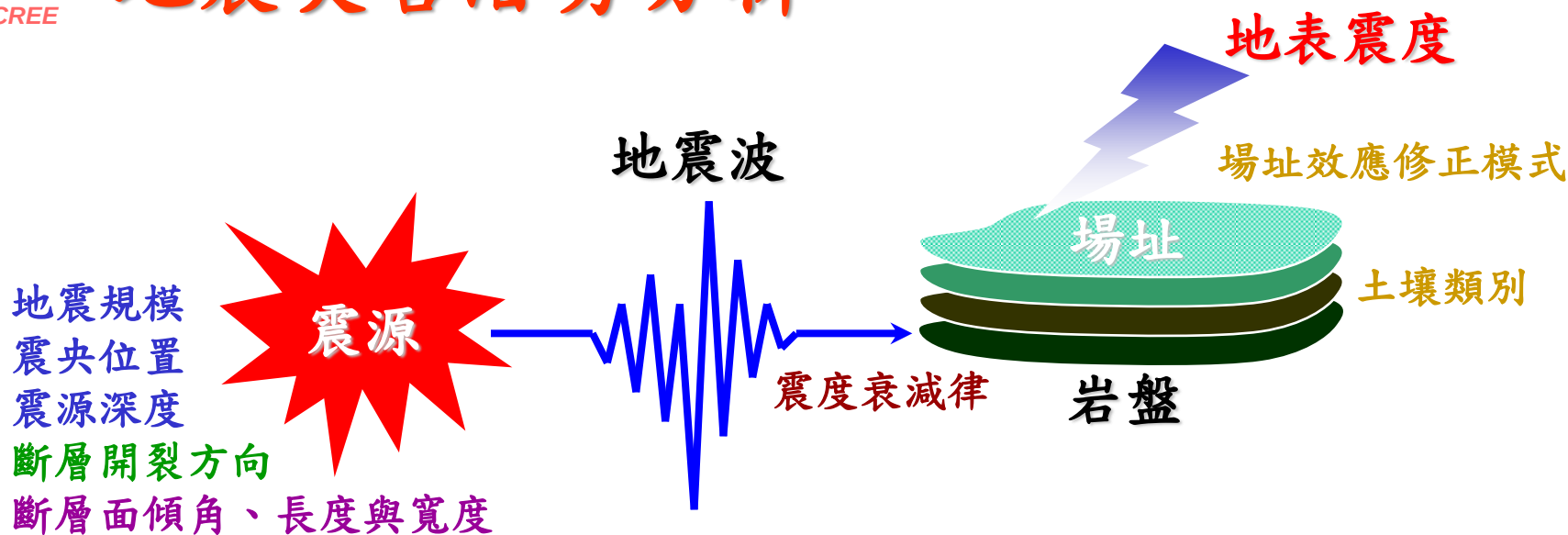
- 救災、消防、醫療、避難、民生物資等資源需求

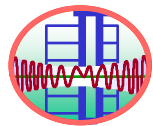
TELES資料庫及其提供者

- ✚ 行政區界圖、人口數量、地址定位資料(內政部)
- ✚ TSMIP強地動紀錄和TREIRS地震速報資料(CWB)
- ✚ 活斷層分佈、工程鑽孔資料、地質圖、數位地形圖(NSC, CGS)
- ✚ 福衛二號衛星影像(NARL)
- ✚ 航照圖(農林航測所)
- ✚ 房屋稅籍資料(財稅資料中心、縣市稅捐單位)
- ✚ 國中、小學和高中職校舍(教育部)
- ✚ 公路路網、國省縣道橋梁(運研所、高公局、公路總局)
- ✚ 自來水管網(北水處、台水公司)
- ✚ 瓦斯管線(大台北瓦斯、欣欣瓦斯)
- ✚ ...

地震災害潛勢分析

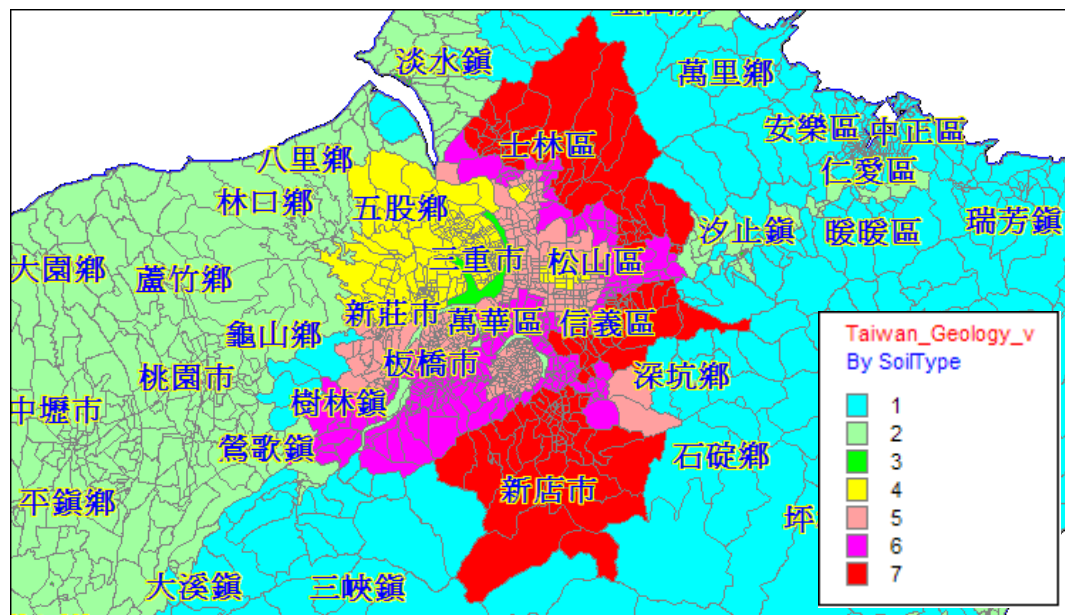
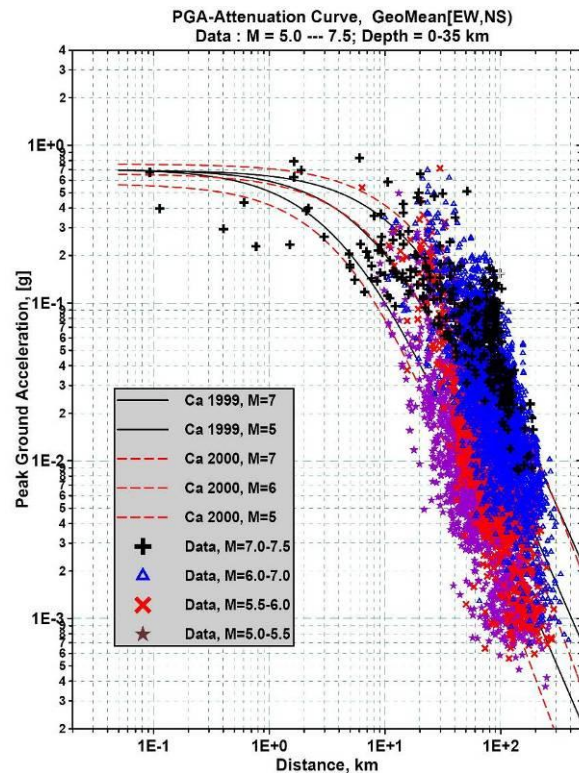
地震災害潛勢分析





NCREE

震度衰減與地盤分類



地震震度

- PGA, PGV, $S_a(T=0.3\text{sec})$, $S_a(T=1.0\text{sec})$, ...

震度衰減律公式

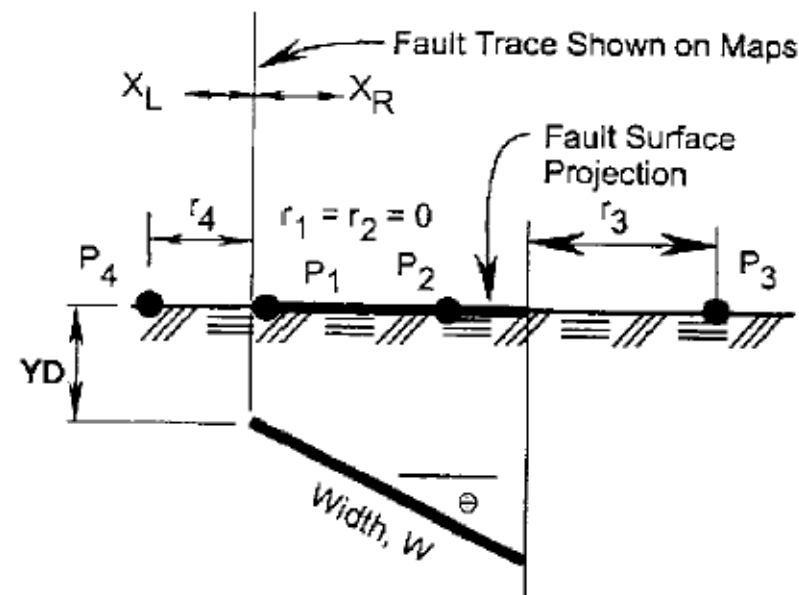
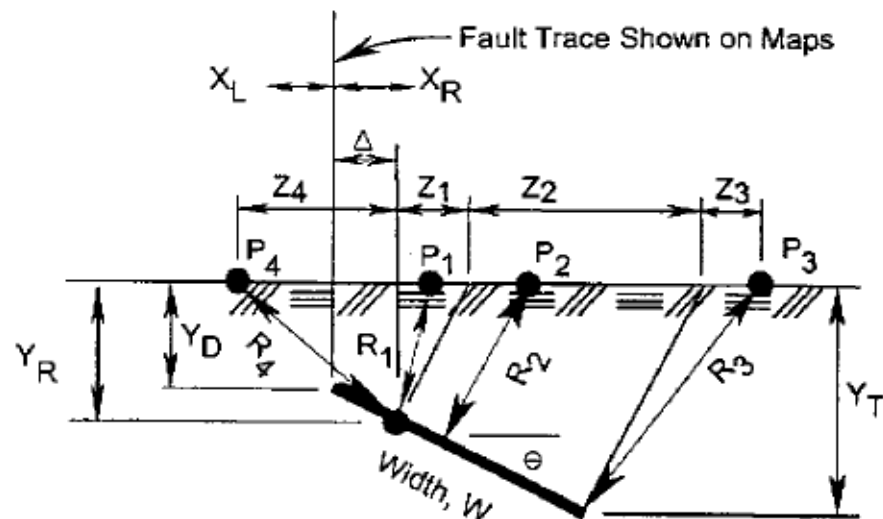
- 地震規模越大，震度越大
- 地震距離越遠，震度越小

地盤分類

- 堅實地盤
- 中等地盤
- 軟弱地盤
- 台北盆地(一區~四區)

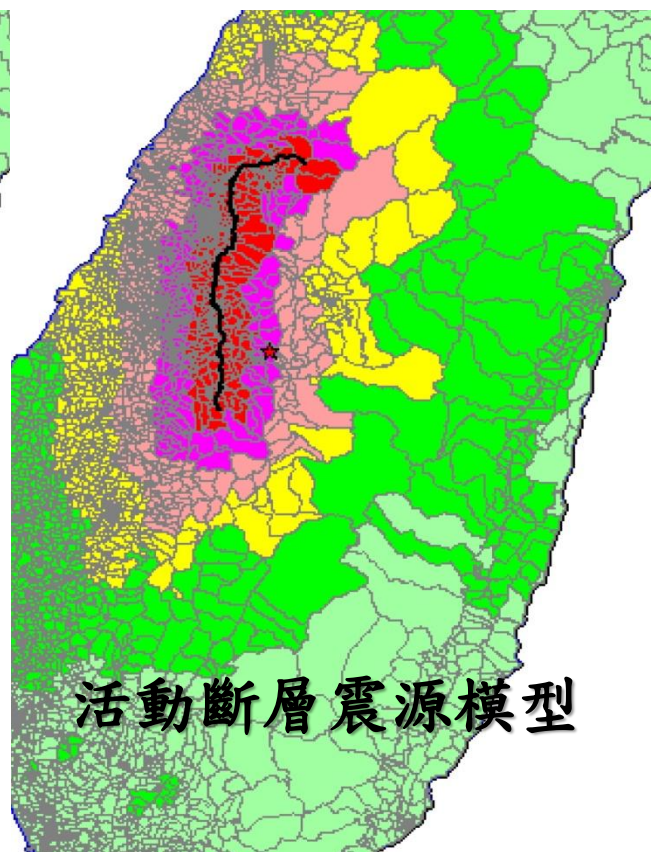
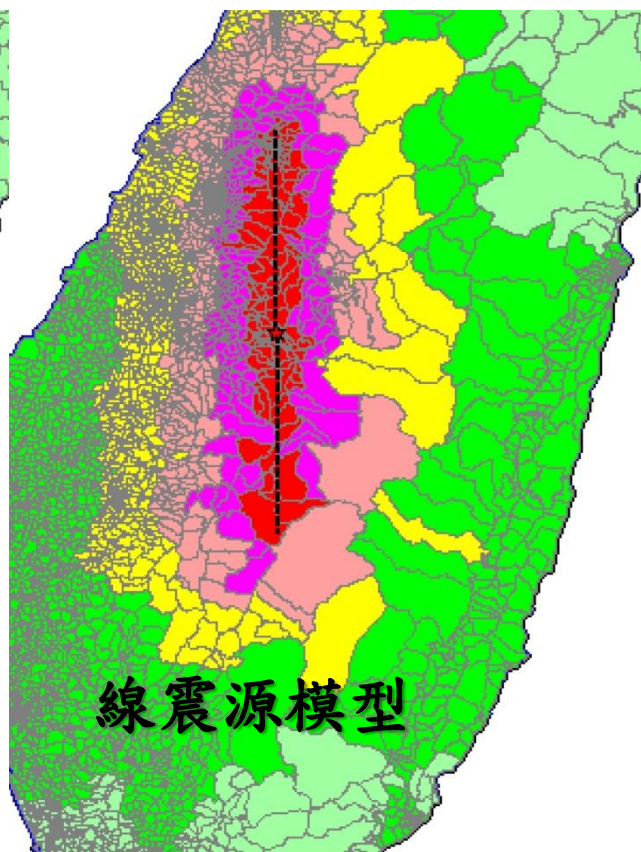
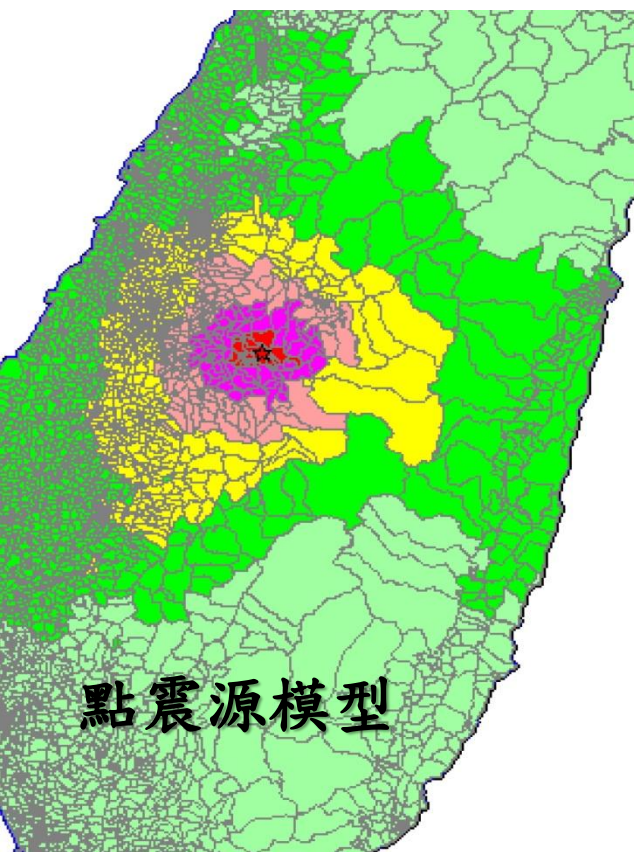
震動衰減律、場址至震源距離

- TELES之震動衰減律和場址效應修正模式，採簡文郁等(2002)的研究成果，完全以**本土資料**為基礎
- 距離參數採**場址至斷層開裂面的最短距離**，可反應斷層上、下盤的震動強度差異
- 考慮孕震帶頂部與斷層開裂面頂部



震源模型比較

921地震PGA震度分布推估

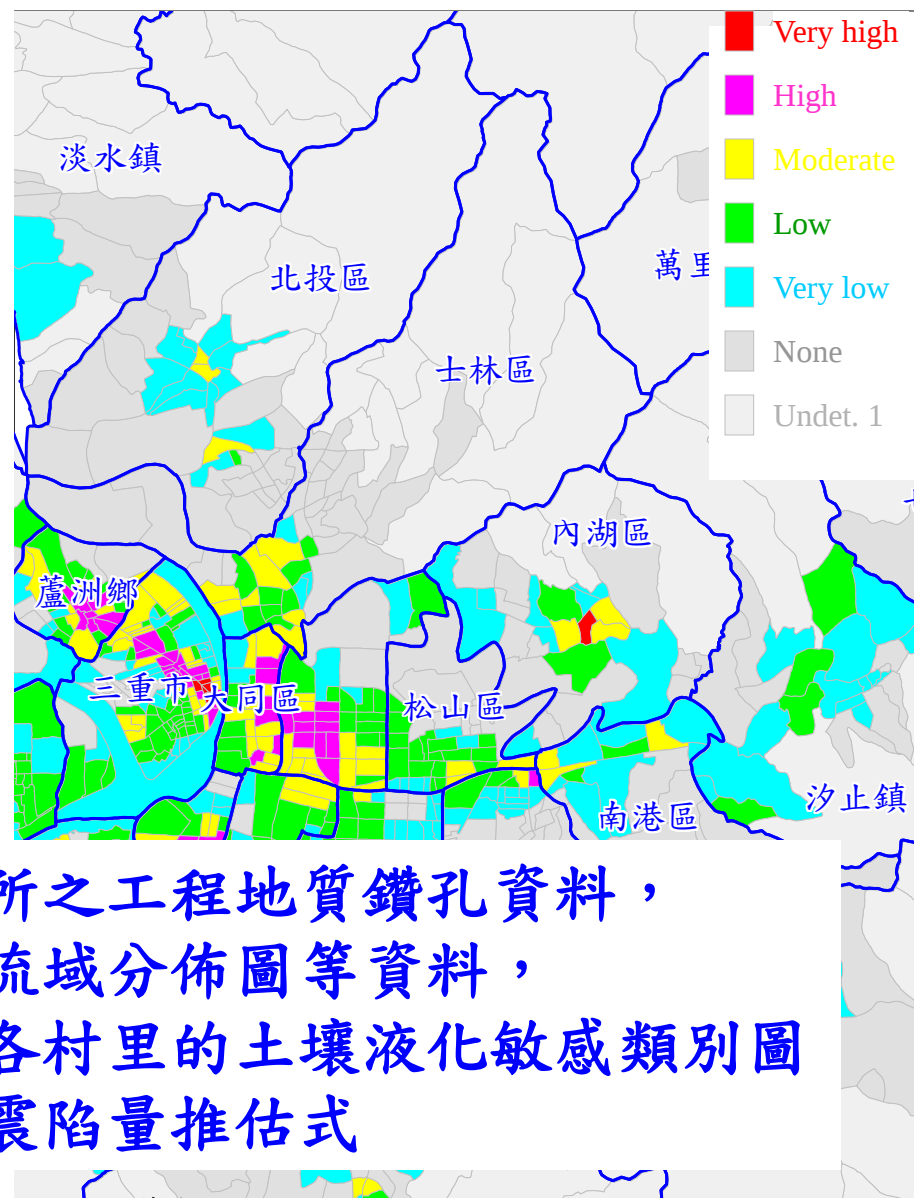
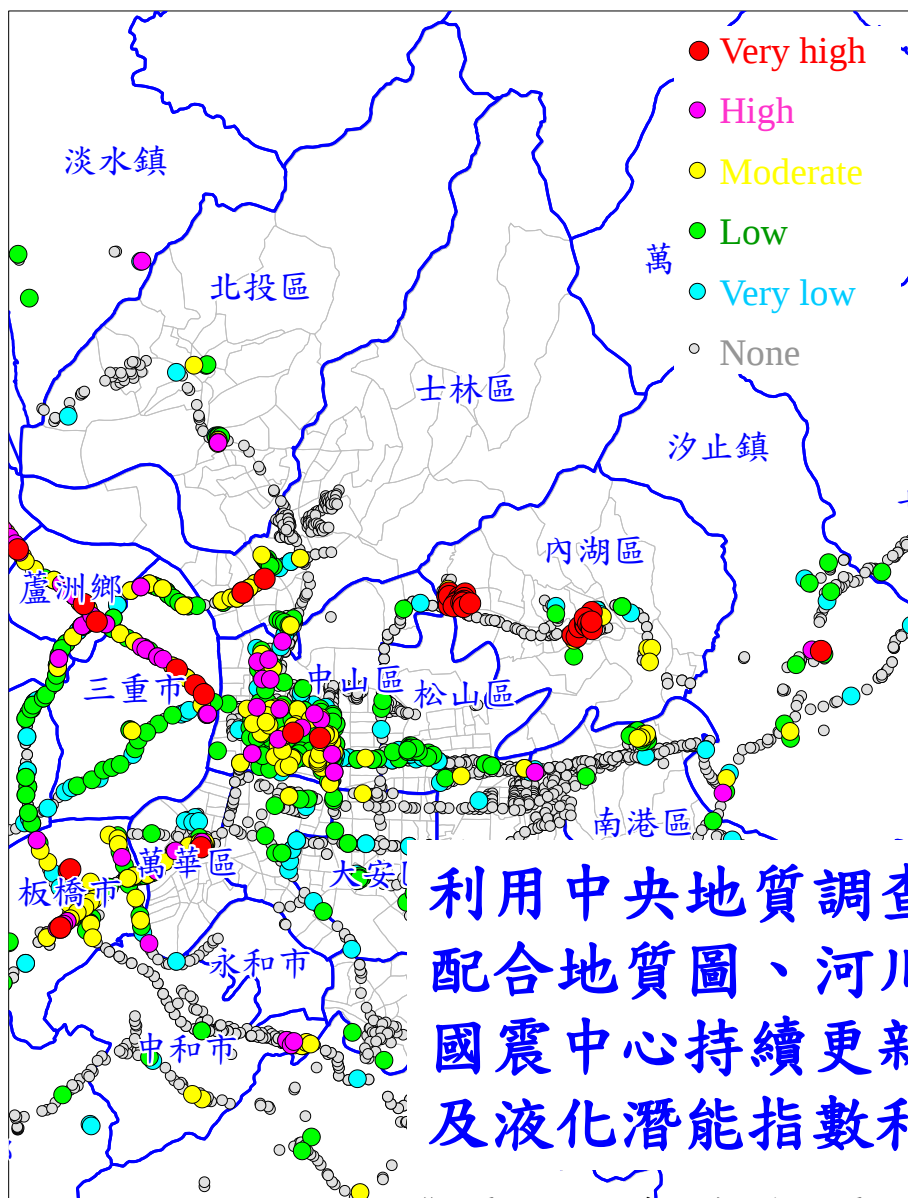


地震規模
震源深度
震央經緯度

+ 開裂長度 + 開裂方向

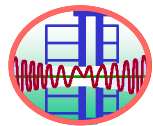
斷層線型、斷層傾角、
開裂寬度...

工程鑽孔資料、液化敏感類別圖



利用中央地質調查所之工程地質鑽孔資料，
配合地質圖、河川流域分佈圖等資料，
國震中心持續更新各村里的土壤液化敏感類別圖
及液化潛能指數和震陷量推估式

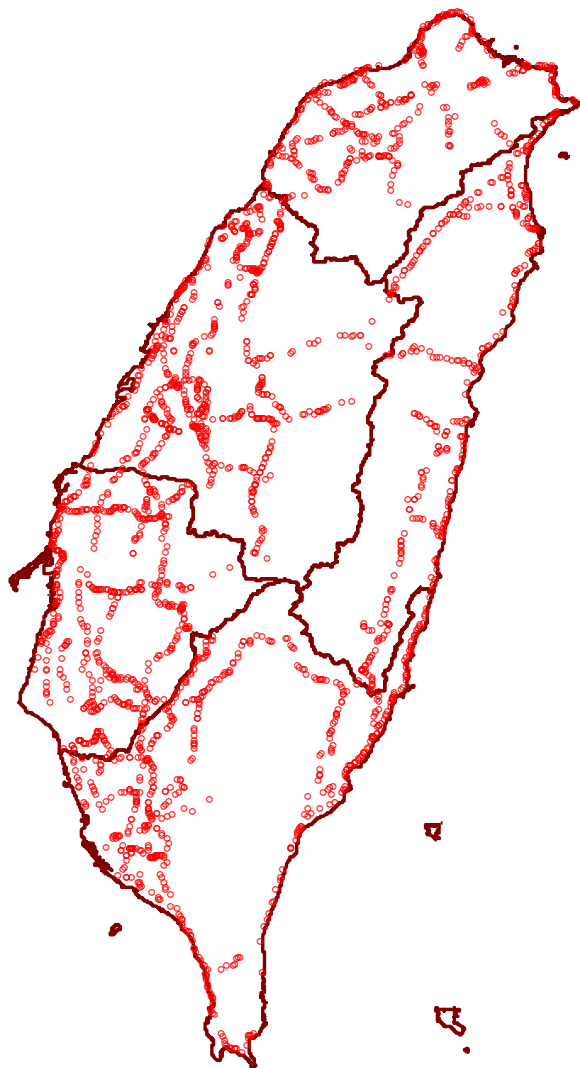
公路橋梁震損評估



NCREE

公路橋梁耐震能力評估及補強工程 可行性研究

- ✚ 公路總局委託台灣世曦公司研究計畫
- ✚ 2,484座省道橋梁
- ✚ 八種典型橋梁
- ✚ 挑選148座具代表性橋梁進行耐震能力詳細評估
 - 以側推分析求取降伏加速度及崩塌加速度
 - 依據耐震設計係數，將降伏加速度及崩塌加速度值予以正規化後再作平均，作為典型橋梁分類之耐震易損性曲線的參數值
- ✚ 賦予其餘2,336座橋梁易損性曲線參數(依設計規範、建造年代、所在地盤種類及耐震補強與否等)



橋梁易損性(1/4) 橋梁分類

跨數	上部結構	橋墩型式
單跨		
多跨	簡支橋	單柱
		構架式
		壁式
	連續橋	單柱
		構架式
		壁式
其他橋梁		

×3

傳統設計

耐震設計

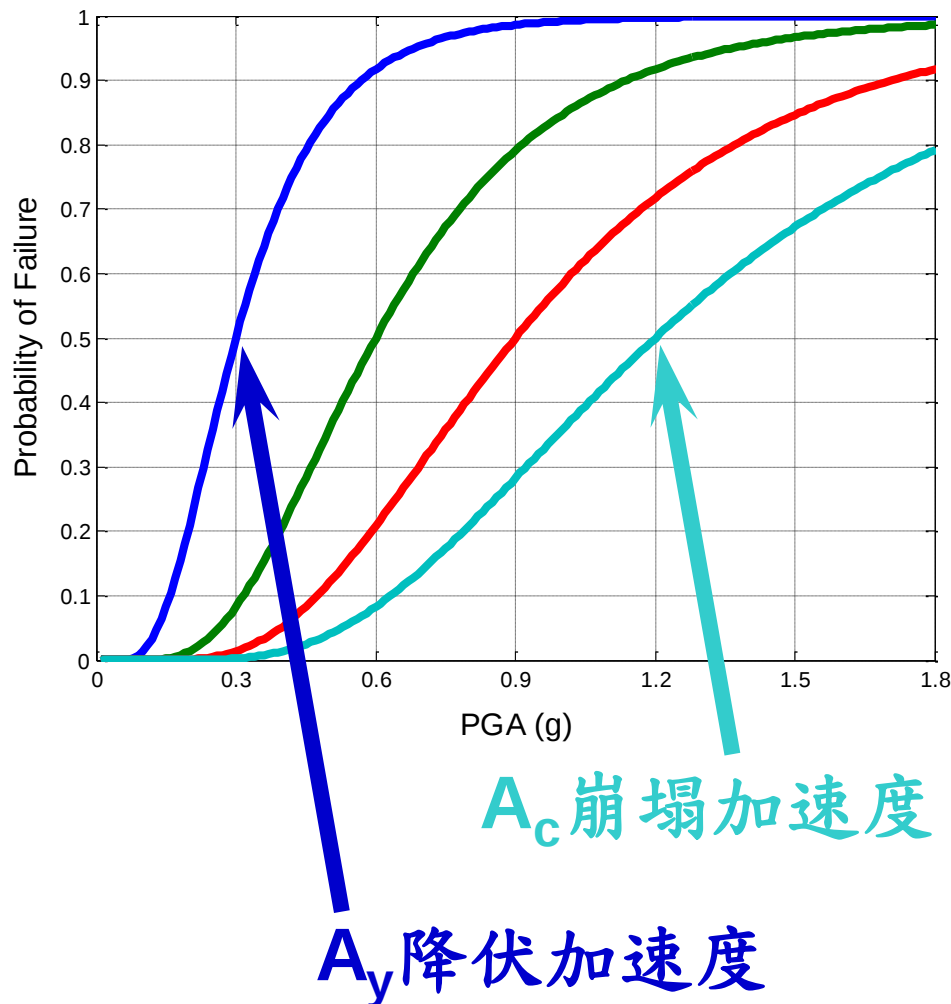
傳統設計但經過耐震補強



橋梁易損性(2/4)

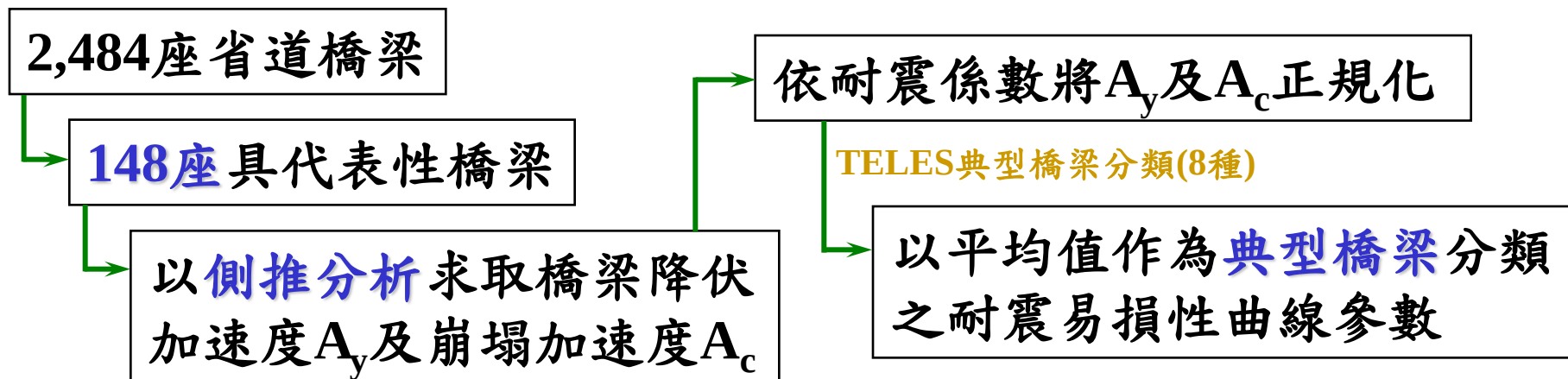
損壞狀態與易損性曲線

損壞狀態	說明
輕微損壞	橋台處產生細微裂縫並發生輕微的混凝土剝落現象，橋台剪力鋼棒及橋面版產生細微裂縫，橋柱有輕微混凝土剝落現象。
中度損壞	橋柱出現中度剪力裂縫及混凝土剝落，橋柱結構仍安全；橋台發生中度之位移(小於5公分)；剪力鋼棒出現嚴重裂縫及混凝土剝落現象；橋台連結鋼筋破壞，失去錨錠作用；剛性支承破壞或發生中度沈陷現象。
嚴重損壞	橋柱因剪力破壞造成強度嚴重下降，橋柱結構屬不安全狀態但尚未崩塌；在交接處產生明顯的移動或發生明顯的沈陷；橋台產生垂直位移；剛性支承破壞或發生中度沈陷。
完全損壞	橋柱傾倒崩塌，連接處失去支承能力，並可能造成橋面版之崩塌；基礎之破壞造成下部結構嚴重傾斜。

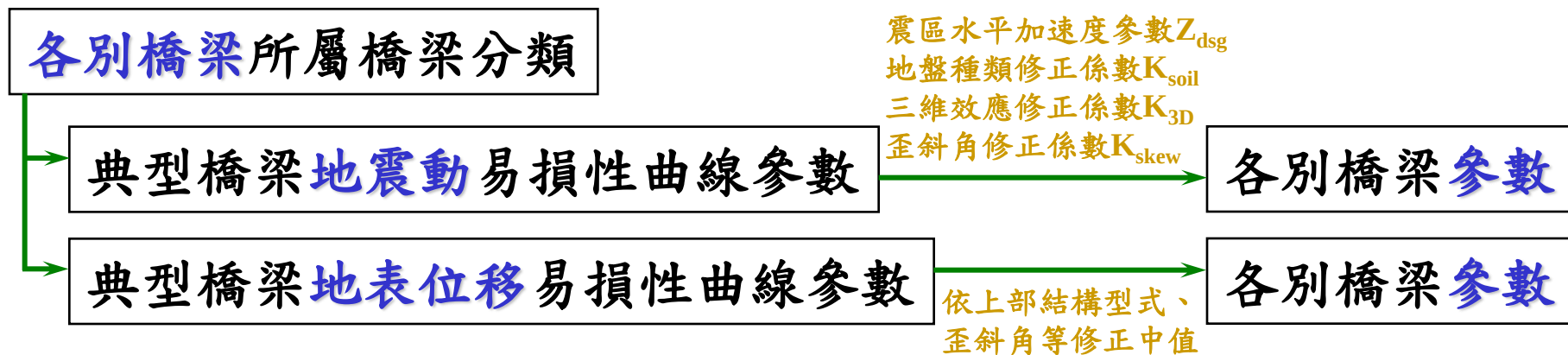


橋梁易損性(3/4) 曲線參數設定流程

典型橋梁耐震易損性曲線參數：



各別橋梁耐震易損性曲線參數：



橋梁易損性(4/4) 中值之修正係數

From HAZUS Earthquake Model Technical Manual

地震動易損性

- $K_{\text{soil}} = 1 \sim 1.75$

地盤種類修正係數

- $K_{\text{skew}} = \text{sqrt}[\cos(90 - \alpha)]$

歪斜角修正係數

- $K_{3D} = 1 + a / (N - b)$

橋面版三維效應修正係數

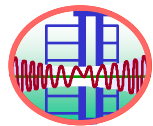
地表位移易損性

- $f_1 = 1$
 $= 2 \times N \times W \times \sin(\alpha) / L$

單跨橋梁、多跨連續橋梁
多跨簡支承橋梁

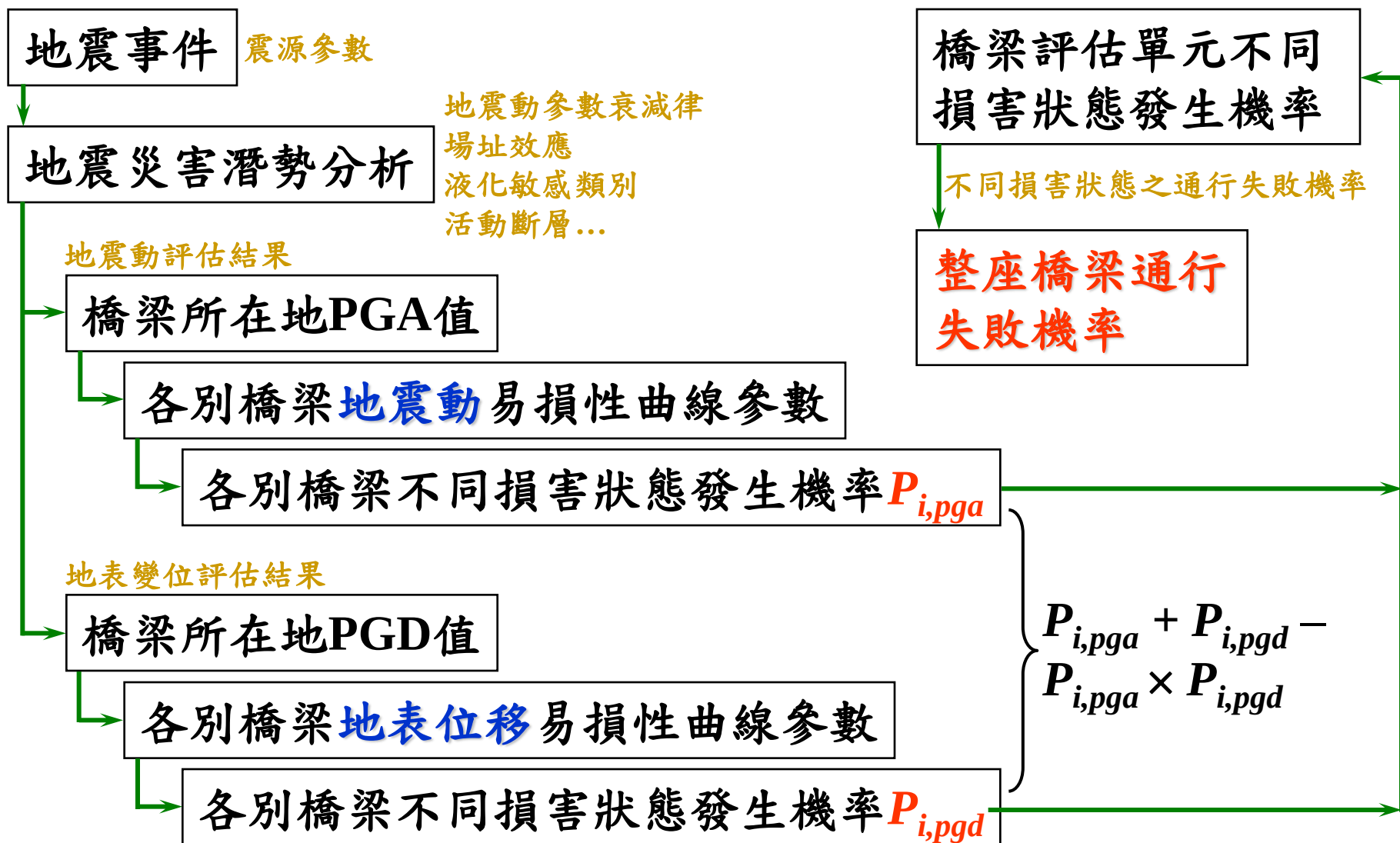
- $f_2 = 1$
 $= 2 \times N \times W \times \sin(\alpha) / L$
 $= \sin(\alpha)$

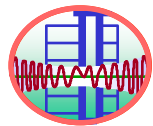
單跨橋梁
多跨簡支承橋梁
多跨連續橋梁



NCREE

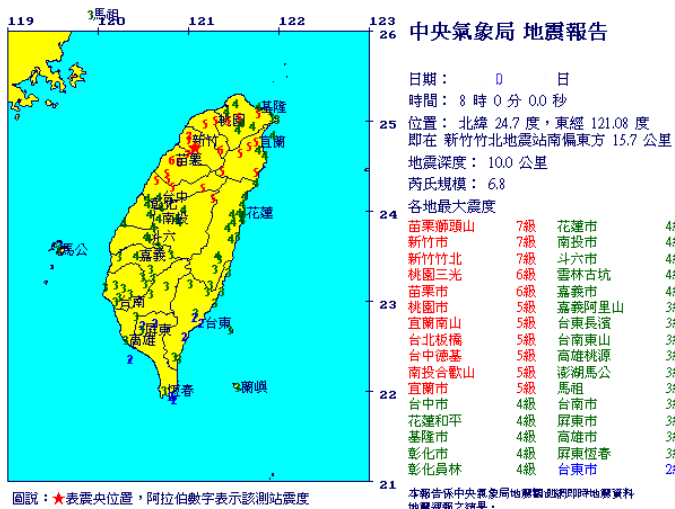
橋梁震災境況模擬及通行失敗機率評估流程



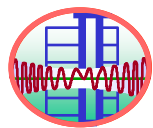


NCREE

新城斷層M6.8模擬地震(1/2)



南華橋	新竹	台3線	完全損壞
頭份林橋	新竹	台3線	完全損壞
峨嵋橋	苗栗	台3線	完全損壞
中隘橋	新竹	台1線	嚴重損壞
關西一號橋	新竹	台3線	嚴重損壞
南港溪橋	苗栗	台1線	嚴重損壞
珊瑚橋	苗栗	台3線	嚴重損壞
中港溪橋	苗栗	台3線	嚴重損壞
湳仔溝一號橋	復興	台7線	中度損壞
長安橋	新竹	台1線	中度損壞
錫隘橋	苗栗	台3線	中度損壞
溪洲大橋(後池堰橋)	復興	台4線	中度損壞
高架橋-10	新竹	台68甲線	中度損壞
新中正橋2	新竹	台68線	中度損壞
竹港大橋	新竹	台15線	中度損壞
竹東大橋	新竹	台3線	中度損壞
S-16A跨越鐵路高架橋	新竹	台61線	中度損壞
S-15高架橋	新竹	台61線	中度損壞
尖山大橋	苗栗	台1線	中度損壞
玄寶大橋	苗栗	台61線	中度損壞
無名橋	苗栗	台3線	中度損壞



新城斷層M6.8模擬地震(2/2)

省道橋梁損壞推估

- 完全損壞 (3)
- 嚴重損壞 (5)
- 中度損壞 (13)
- 輕微損壞 (30)



公路系統災損綜合推估與研判：

- 國道1新竹系統至頭份、國道3關西至新竹系統間，受斷層影響嚴重
- 省道台3線關西至三灣間推估有多處橋梁損壞而道路中斷
- 省道台1縱貫線中隘橋、南港溪橋推估可能阻斷

自來水管線災損推估

自來水管線災損率與修正係數

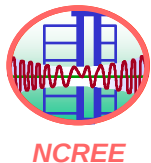
中管徑PVCP管災損率公式：

$$RR_0 = \max(RR_{PGA}, RR_{PGD(Fault)}) + RR_{PGD(Liquefaction)} \cdot p_{Liquefaction}$$

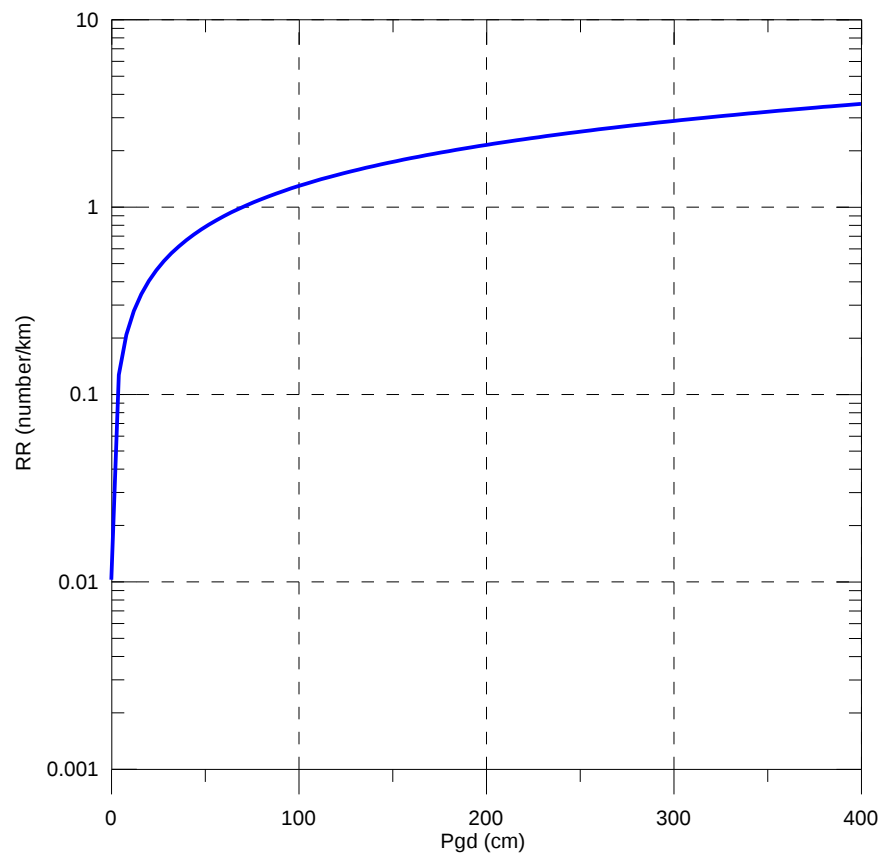
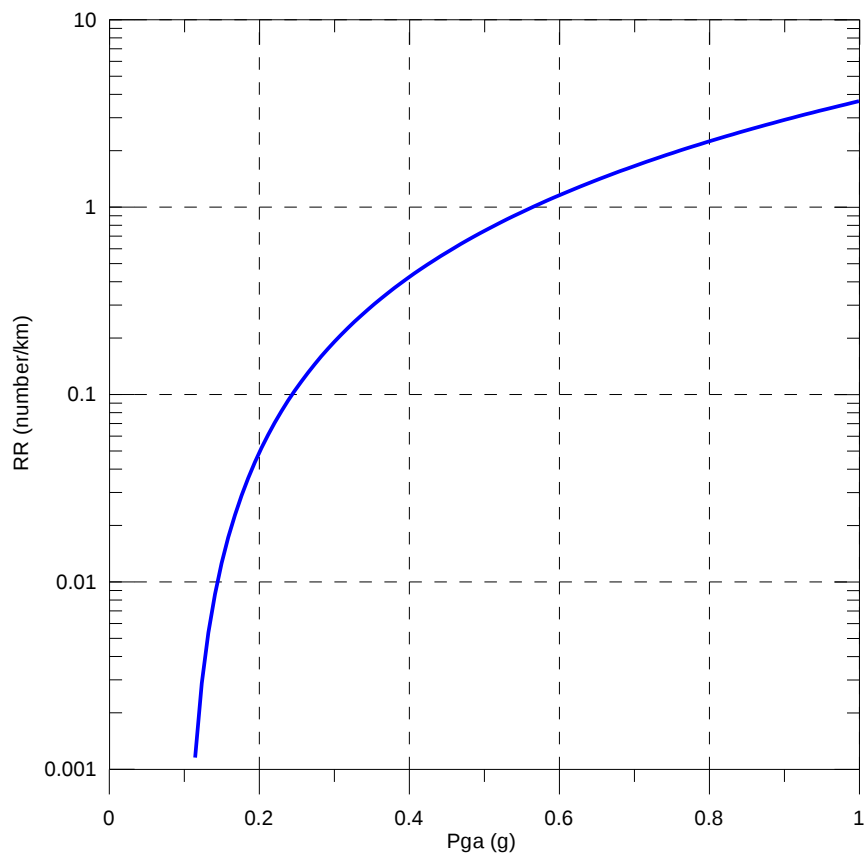
其他管線 $\Rightarrow RR = C \cdot RR_0$

管材、管徑修正係數(Miyajima et al., 2011)：

管材	代表管種	修正係數	管徑	管徑區間	修正係數
T2	DIP(K), SP, SSP, HDPE	0.63	S1	10-80mm	2.86
T3	PVCP(RR), PEP, HIWP	1.00	S2	100-250mm	1.00
T4	DIP(A)	1.25	S3	300-450mm	0.29
T5	CIP, PVCP(TS), MJP, PCCP	3.13	S4	500-800mm	0.14
T6	GIP, RCP, ACP, ABSP, LP, FRP	9.38	S5	900mm以上	0.07



RR_{PGA} 與 RR_{PGD} (中管徑PVC管)



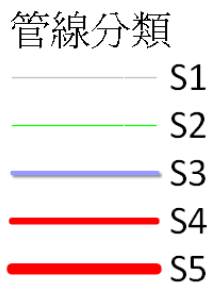
$$RR_{PGA} = 4.501 \cdot (PGA - 0.1)^{1.97}$$

$$RR_{PGD} = 0.04511 \cdot PGD^{0.728}$$

(PGA in g, PGD in cm)

不同管材與管徑之損壞與損失模型

管徑	管徑範圍 (mm)	管材 (耐震性)	地表震動 損壞管線 斷裂機率	土層破壞 損壞管線 斷裂機率	修復所需金額 (單位：千元)		所需修理隊時 (單位：小時)	
					斷裂	滲漏	斷裂	滲漏
S5	900以上	T2	0.20	0.60	360	180	42	21
S5	900以上	T3	0.25	0.65	360	180	42	21
S5	900以上	T4	0.30	0.70	360	180	42	21
S5	900以上	T5	0.35	0.75	360	180	42	21
S5	900以上	T6	0.40	0.80	360	180	42	21
S4	500-800	T2	0.20	0.60	176	88	27	13.5
S4	500-800	T3	0.25	0.65	176	88	27	13.5
S4	500-800	T4	0.30	0.70	176	88	27	13.5
S4	500-800	T5	0.35	0.75	176	88	27	13.5
S4	500-800	T6	0.40	0.80	176	88	27	13.5
S3	300-450	T2	0.10	0.50	90	45	19	9.5
S3	300-450	T3	0.20	0.60	90	45	19	9.5
S3	300-450	T4	0.30	0.70	90	45	19	9.5
S3	300-450	T5	0.35	0.75	90	45	19	9.5
S3	300-450	T6	0.40	0.80	90	45	19	9.5
S2	100-250	T2	0.10	0.50	50	25	11	5.5
S2	100-250	T3	0.20	0.60	50	25	11	5.5
S2	100-250	T4	0.30	0.70	50	25	11	5.5
S2	100-250	T5	0.35	0.75	50	25	11	5.5
S2	100-250	T6	0.40	0.80	50	25	11	5.5
S1	10-80	T2	0.10	0.50	32	16	7	3.5
S1	10-80	T3	0.20	0.60	32	16	7	3.5
S1	10-80	T4	0.30	0.70	32	16	7	3.5
S1	10-80	T5	0.35	0.75	32	16	7	3.5
S1	10-80	T6	0.40	0.80	32	16	7	3.5

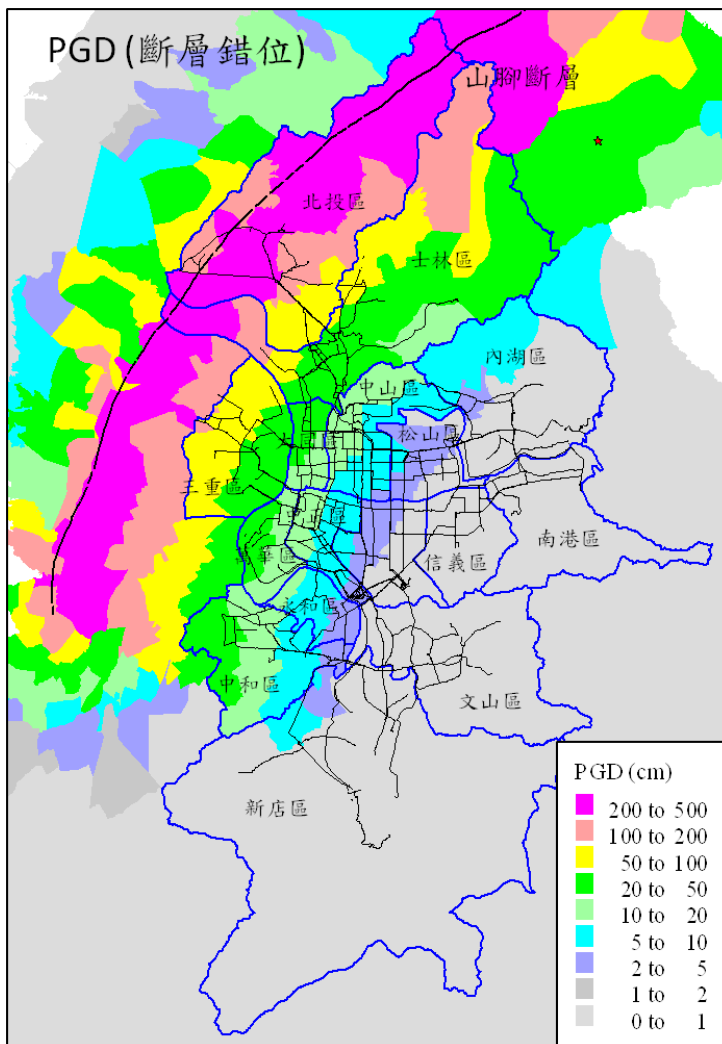
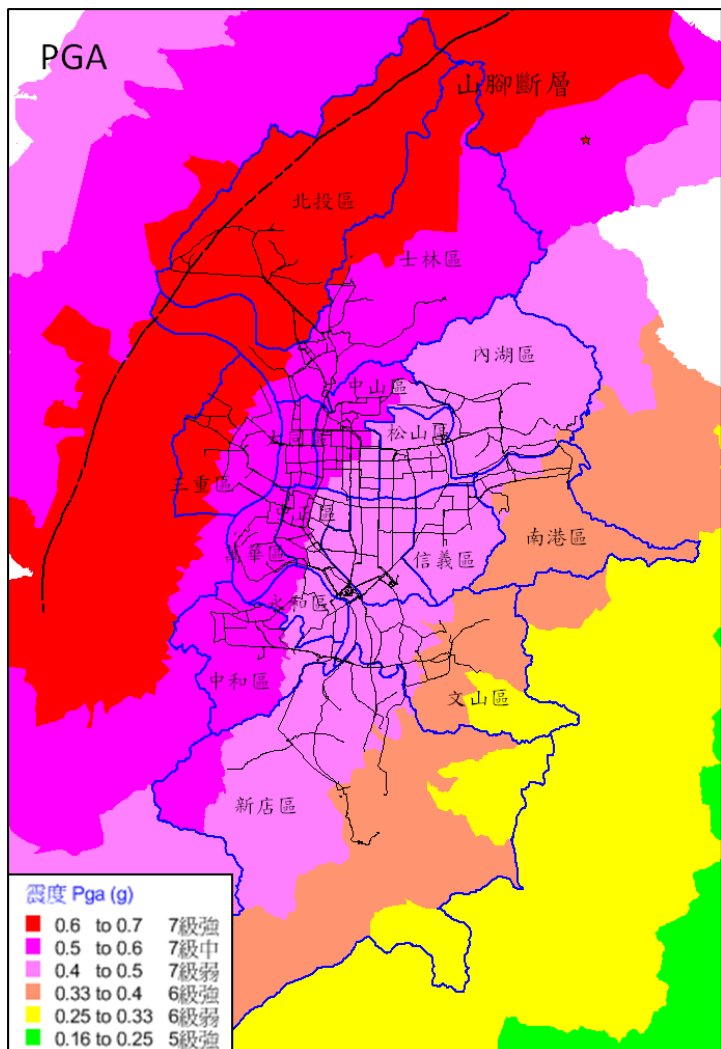


Material	Length (km)
T2	1,470.2
T3	359.8
T4	2,025.9
T5	1,199.6
T6	80.7

Age Group	Number of People
10-80	388.4
100-250	3,257.4
300-450	790.2
500-900	423.5
900以上	276.6

配水管

山腳斷層M7.1地震(深度10km)災害潛勢

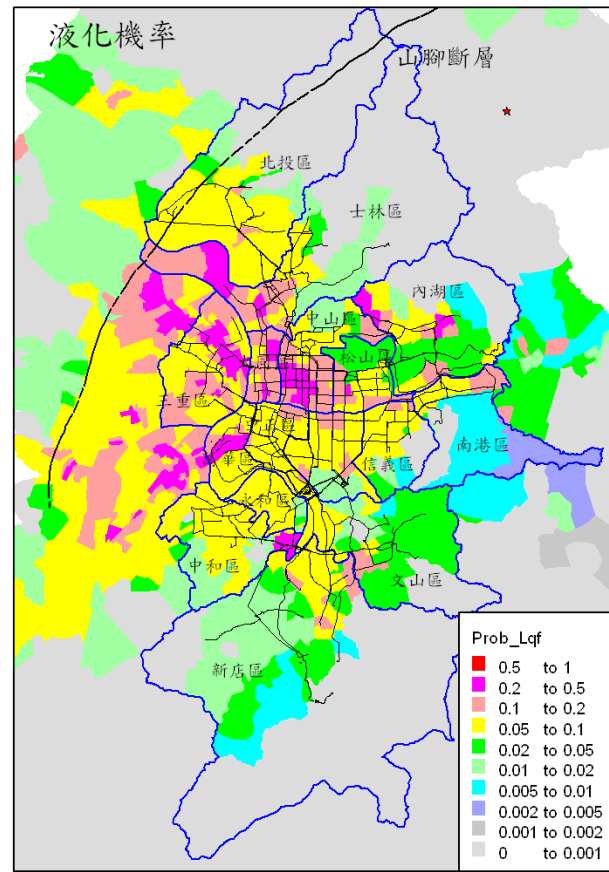
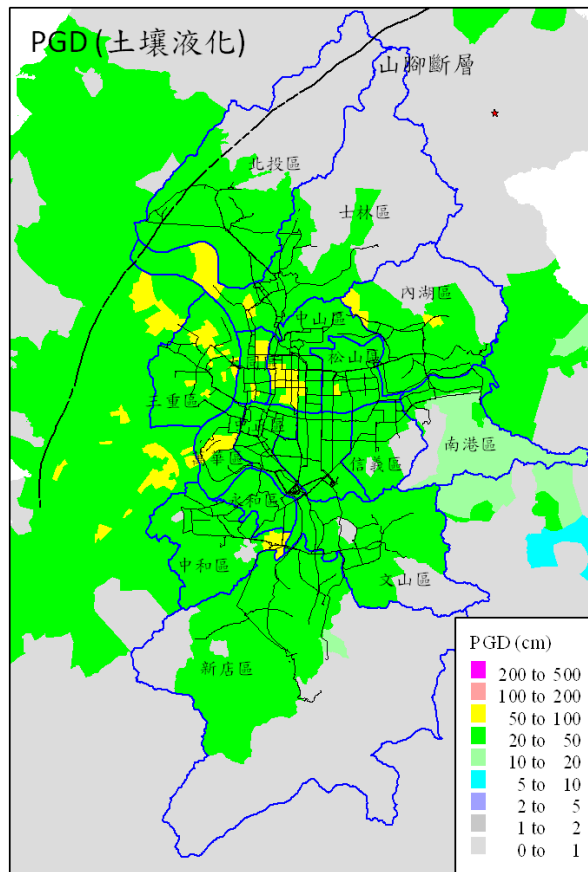
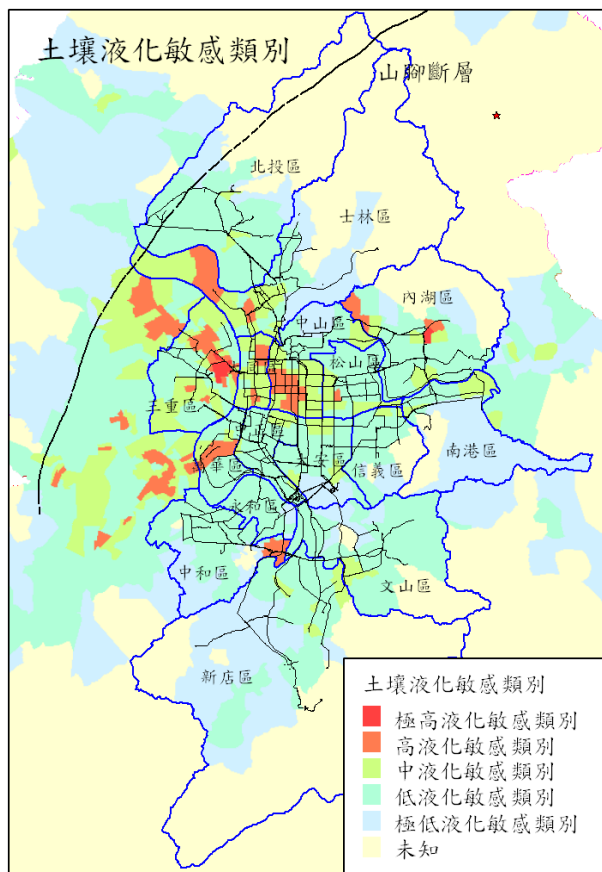


整個台北地區皆處於強震作用下，最大震度達7級(PGA最高660gal)，最小震度5級

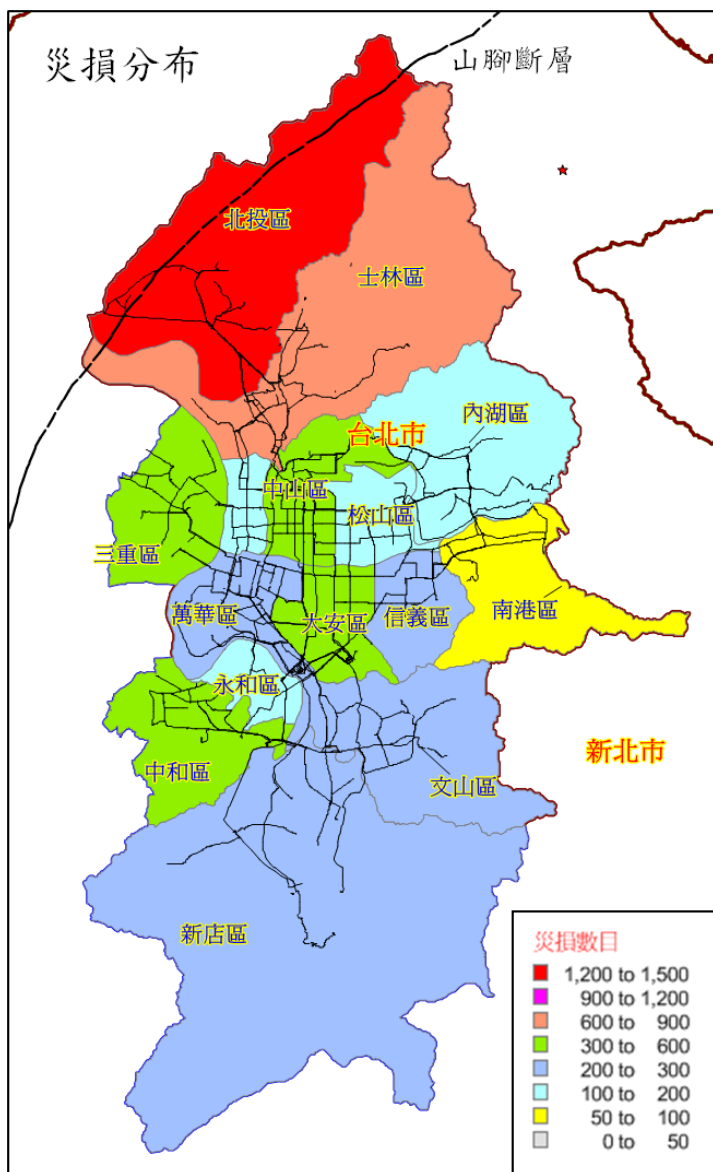
斷層開裂引致地表永久位移，最大達460cm，尤其斷層線附近的北投、士林(西側)與三重區域

山腳斷層M7.1地震(深度10km)液化推估

- 以**液化敏感類別**為基礎，配合地震規模、PGA推估值，分析得到土壤液化引致震陷PGD與土壤液化發生機率
- 最大地表震陷量約為50cm，且各處均有不均勻沉陷



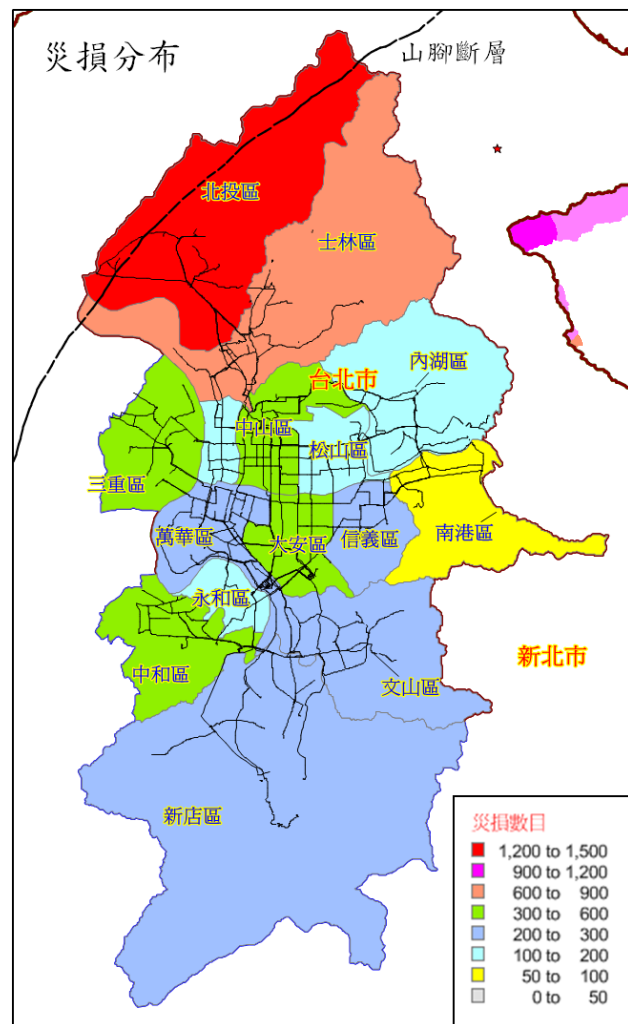
山腳斷層M7.1地震(深度10km)災損推估



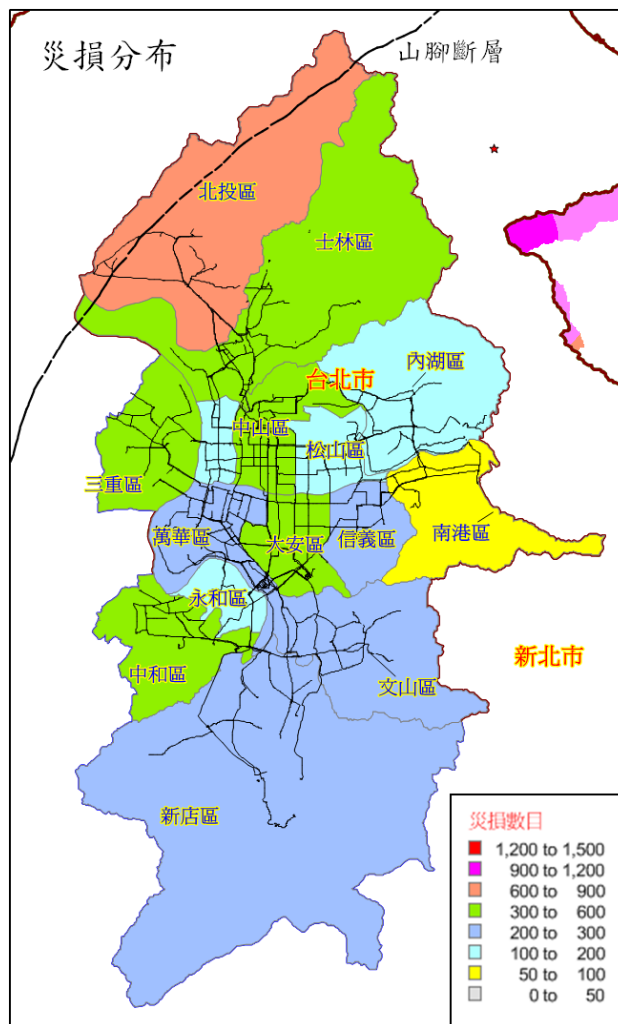
	斷裂數	滲漏數	總災損數	所需修理隊時(小時)	修復所需金額(千元)
北投區	890	452	1,342	11,172	52,512
士林區	224	423	647	4,321	20,972
三重區	141	296	437	3,038	14,696
中和區	125	250	375	2,544	12,395
中山區	100	200	300	2,000	9,752
大安區	80	160	240	1,600	7,885
中正區	60	120	180	1,200	5,063
新店區	40	80	120	800	3,880
萬華區	30	60	90	600	2,849
信義區	20	40	60	400	1,913
文山區	10	20	30	200	965
永和區	10	20	30	200	938
大同區	10	20	30	200	974
內湖區	10	20	30	200	956
松山區	64	127	190	1,282	6,275
南港區	25	59	84	549	2,695
總計	2,299	3,326	5,625	40,168	194,875

✚ 總災損數5,625個
 ✚ 損失金額約2億元
 ✚ 所需修理隊時40,168小時
 ✚ 若以100個搶修小隊、每天工作10小時推算，約需1個多月的時間(40工作天)才能全面復水。

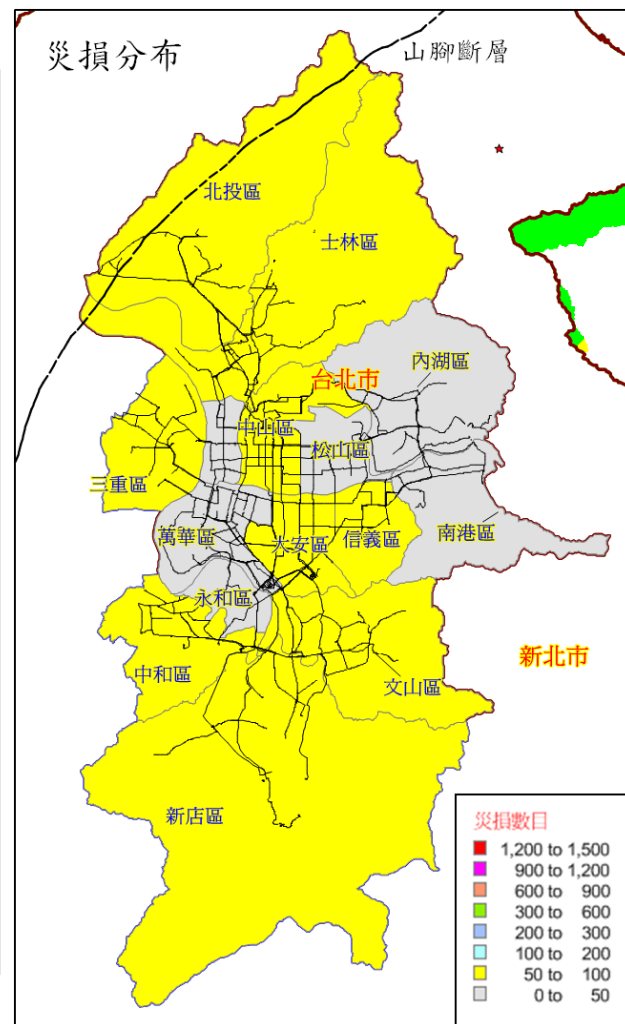
不同震源深度之比較(1/2)



D = 10KM



D = 20KM



D = 40KM

不同震源深度之比較(2/2)

D = 10KM

	斷裂數	滲漏數	總災損數	修理隊時	修復金額
北投區	890	452	1,342	11,172	52,512
士林區	224	423	647	4,321	20,972
三重區	141	296	437	3,038	14,696
中和區	125	278	404	2,541	12,395
中山區	136	261	397	2,773	13,752
大安區	110	218	328	2,283	11,385
總計	2,299	3,326	5,625	40,168	194,875

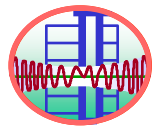
D = 20KM

北投區	212	448	660	4,225	20,526
士林區	164	386	549	3,505	17,137
中和區	121	268	389	2,448	11,941
總計	1,521	3,208	4,728	31,598	155,123

D = 40KM

中山區	34	45	79	594	2,915
大安區	26	47	73	515	2,563
中和區	23	46	68	438	2,140
總計	303	539	841	5,829	28,569

結 語



NCREE

未來展望

- ✦ 持續收集整理、更新維護各項基本資料
- ✦ 與產、官、學等各界合作，研發與更新震災境況模擬暨風險評估模型
 - 強調重要設施、交通與民生系統之震後服務效能分析
 - 探討損害與修復成本、時間、人力、材料、機具等之關係
- ✦ 整合不同領域研發成果，依使用者需求，開發適合的應用軟體

謝謝聆聽
敬請指教

