

震災境況模擬技術的回顧與展望

葉錦勳

2018台灣地震損失評估系統講習會
2018/12/4

簡報大綱

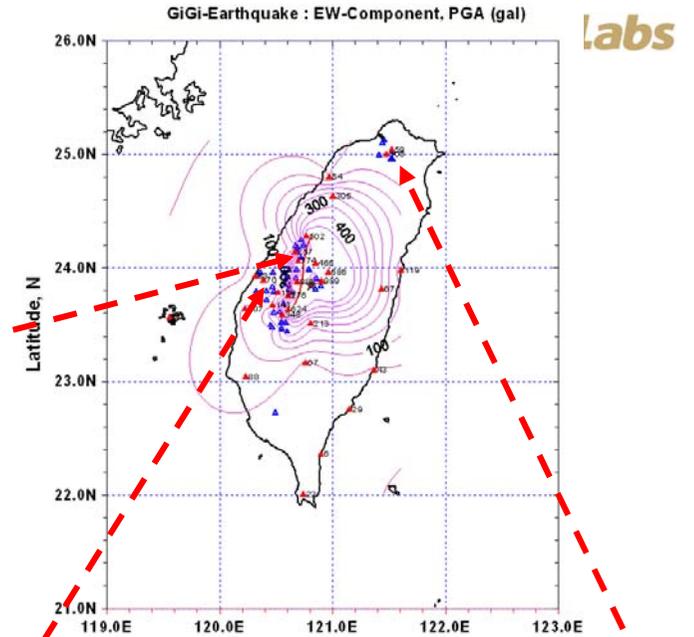
- ✦ 背景介紹
- ✦ 資料整合與加值
 - 土壤液化敏感類別圖
 - 房屋稅籍資料與地址定位
- ✦ 震損評估模式研發與精進
 - 一般建築物震損評估
- ✦ 地震早期損失評估技術
- ✦ 機率式地震風險評估模型
- ✦ 未來展望

背景介紹

九二一集集地震

$M_L=7.3$, Sept. 21, 1999

車籠埔斷層由南投集集向北破裂至台中東勢、石岡



labs





集集線鐵路受擠壓變形

交通系統



台電的中寮開閉所液化現象

民生系統

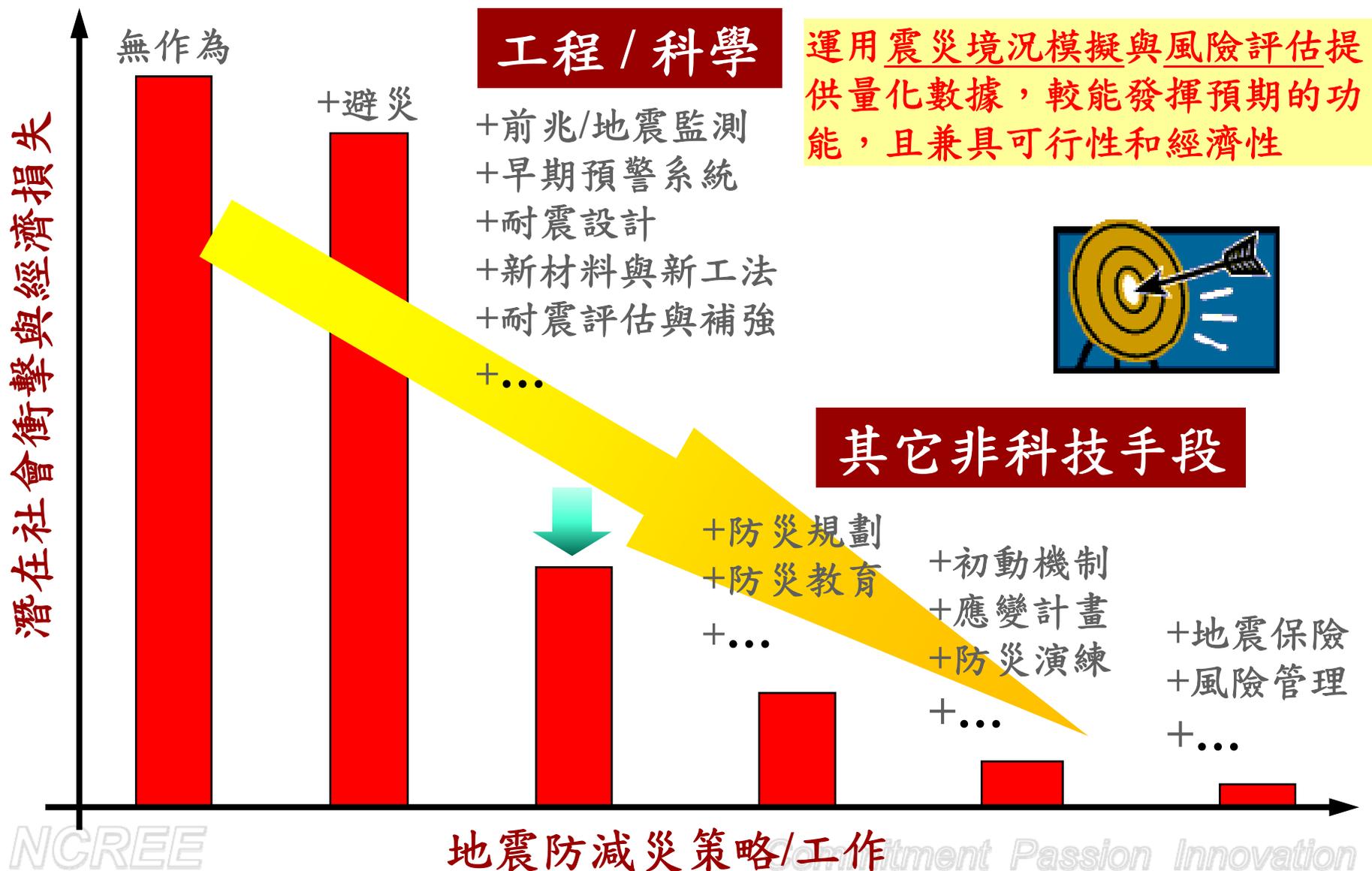


一江橋因擠壓而落橋



石岡水壩壩體抬升9公尺

以震災境況模擬為基礎的風險管理



由地震災害特性談震災境況模擬必要性

- ✦ 台灣位處環太平洋地震帶，平均每隔二、三十年即有死亡超過百人以上的劇災型地震
- ✦ 與颱風、洪水和土石流等天然災害比較，地震發生之時間、地點和規模等均具較大不確定性，且不分地域、高樓或矮房皆遭受地震的威脅
- 以目前科技水準，地震前兆監測仍無法有效預測災害性地震的切確時間和地點
- 當地震發生後，地震早期預警系統僅能提供遠距離之人員或設施數秒至數十秒的有效避難、減災時間
- ✦ 一旦大規模地震發生時，可在短時間內造成大範圍地區的建物損害、人員傷亡與社會經濟衝擊，對搜救、消防、醫療和財務等造成巨大考驗
- ✦ 劇災型地震不常發生，且因時空環境改變，無法單純利用歷史災情作為現在或未來防災規劃與風險管理的依據，尚需仰賴震災境況模擬提供可靠的量化數據

震災境況模擬技術

- ✦ 給定一組震源參數：地震規模、震央位置、震源深度、斷層破裂長度、寬度、走向、傾角等(人員傷亡或受困人數與日期、時間有關)
- ✦ 運用合理的災害潛勢(地震動、土壤液化、破裂斷層帶、山崩等)分析和結構物震損(建築物、橋梁、設施、地下管線、渠道和隧道等)評估模式和參數值，推估地震可能引致的後果
- ✦ 為方便檢視和查詢輸入與輸出資料及其分布狀況，通常需結合地理資訊系統技術，將自然與人文環境資料展示於地圖上，並須具備製作主題圖和統計分析功能

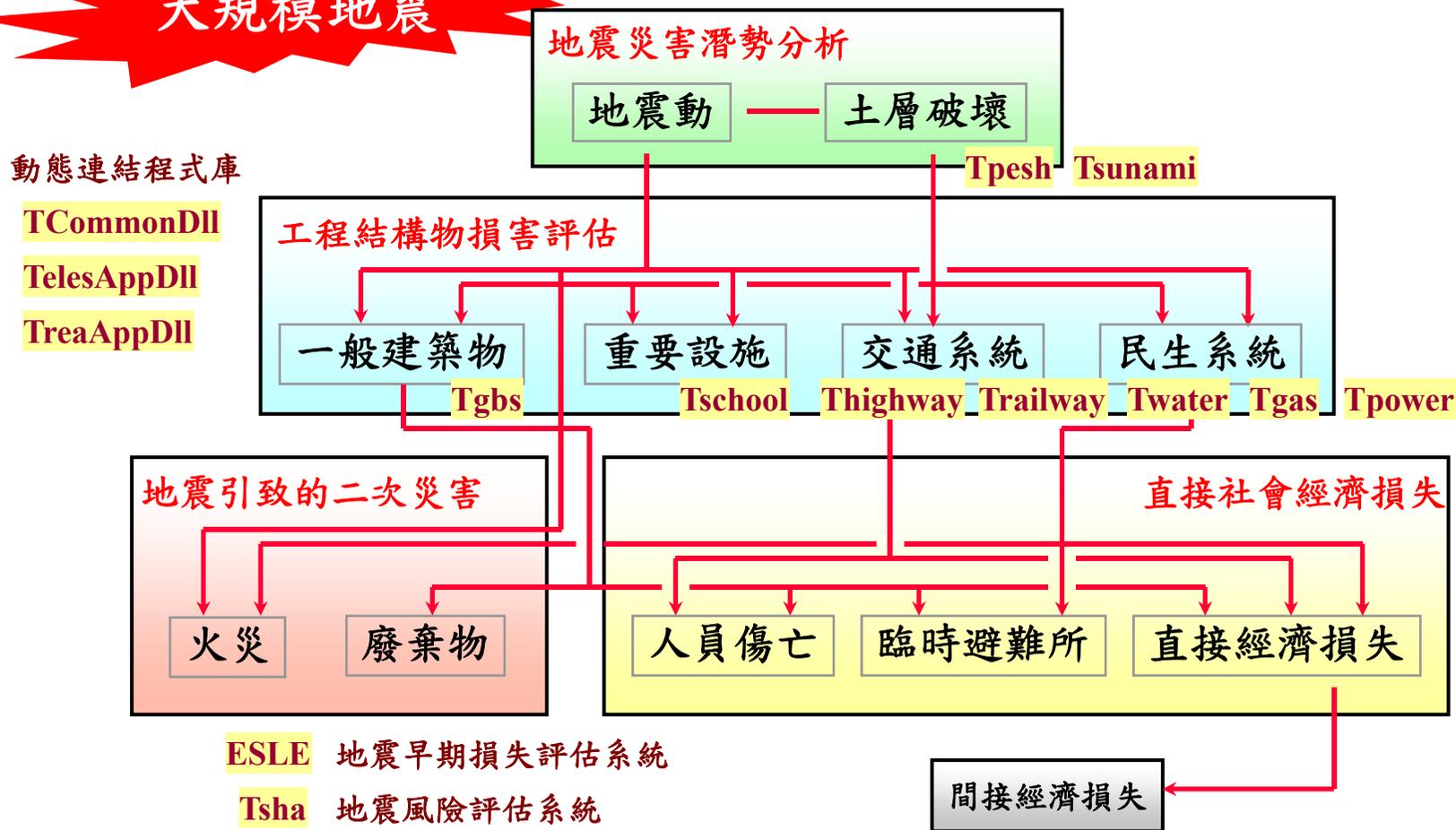
震災境況模擬技術包含三項工作與技術內涵：

- 震源、人文與自然環境、風險暴露等資料庫建置與更新
- 工程結構物與維生線系統之震損評估模式與參數值校正
- 整合地理資訊系統之地震損失評估應用軟體研發

台灣地震損失評估系統(TELES)

- ✦ 民國87年，由國科會(科技部)與經濟部補助經費，引進美國研發的HAZUS 97，稱HAZ-Taiwan計畫
- ✦ 至今已累積多年的研究成果
 - 收集及整合全國性地震防災相關資料
 - 研發本土化震損評估模式，並校正參數值
 - 整合地理資訊系統技術，研發地震損失評估軟體
- ✦ 結合中央氣象局地震速報，研發地震早期損失評估技術
- ✦ 結合震源機率模型，研發地震風險評估模型
- ✦ 已應用於各縣市政府與事業單位的防災規劃與演練、震後緊急應變、住宅地震基本保險與老舊橋梁耐震補強排序等風險評估、分散與管理策略

TELES分析流程與軟體架構



動態連結程式庫
TCommonDll
TelesAppDll
TreaAppDll

ESLE 地震早期損失評估系統
Tsha 地震風險評估系統
TREIF-ERA 住宅地震保險風險評估系統

涵蓋多元的評估對象和研究課題

- ✦ 各項風險暴露資料收集、整理與更新
- ✦ (台灣地區)震源活動特性 → 震源機率模型
- ✦ (最大可能地震之)震源參數設定 → 想定地震事件
- ✦ 地震災害潛勢分析
 - 地震動/土壤液化/地表斷層破裂/山崩
- ✦ 工程結構物震損評估(易損性分析)
 - 建築物/橋梁/地下管線/重要設施/交通系統/民生系統
- ✦ 二次災害評估
 - 震後火災/廢棄物數量
- ✦ 社會經濟衝擊評估
 - 人員傷亡/經濟損失/保險理賠/財務分析
 - 搜救/消防/避難/醫療/水電/民生物資等資源需求推估

結合地理資訊系統，建置資料庫

✦ 震源分布與活動特性

- 歷史地震目錄、古地震調查結果
- 活動斷層分布、地下幾何特性、特徵地震規模、長期滑移率
➔ 震源機率模型(機率式地震風險評估模型)；震源參數設定(防災規劃)

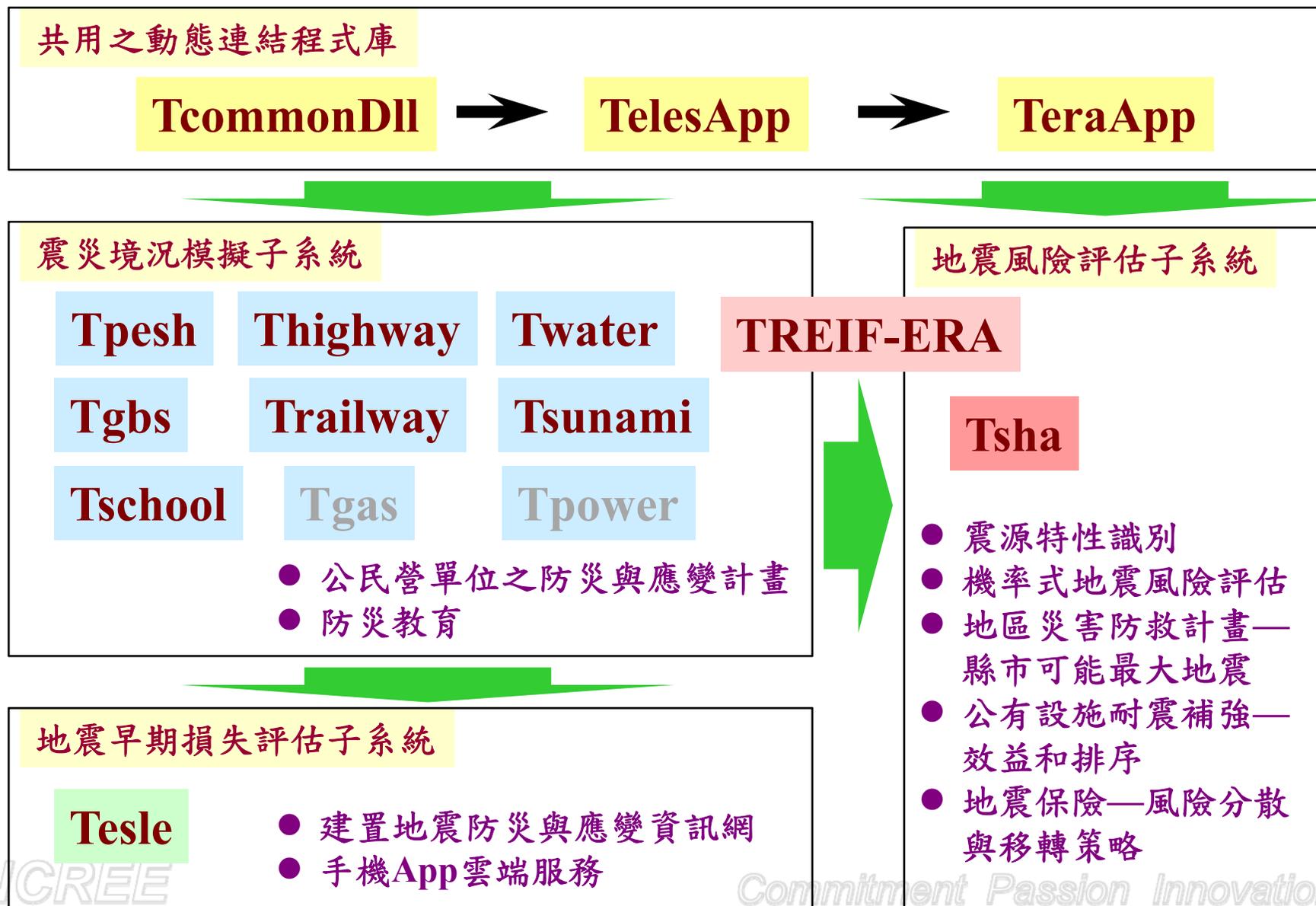
✦ 地震災害潛勢分析

- 地震速報資料、強地動觀測資料、強震測站鑽探資料
➔ 強地動預估模式(地震動衰減律、場址效應)
- 工程鑽孔資料、地質圖、數值地形圖、河川流域分布圖
➔ 土壤液化敏感類別圖；土壤液化災害潛勢圖
- 山崩潛勢圖

✦ 風險暴露資料、震損評估與社會經濟衝擊

- 電子地圖、行政區界圖(縣市、鄉鎮區、村里)
- 房屋稅籍資料、門牌定位資料、戶籍資料、人口動態分布
➔ 一般建築物數量統計；以號為單元之建築物的座標、建造年份和構造類別等
- 國中/小學和高中職校舍資料
- 國/省/縣道公路橋梁與環島鐵路橋梁之分布與耐震屬性暨交通流量資料
- 自來水系統之取水/貯水/導水/淨水/送水/配水設施的分布與耐震屬性暨營運資料
- 電力/瓦斯系統之設施與輸配線路資料

TELES子系統的關聯性和應用

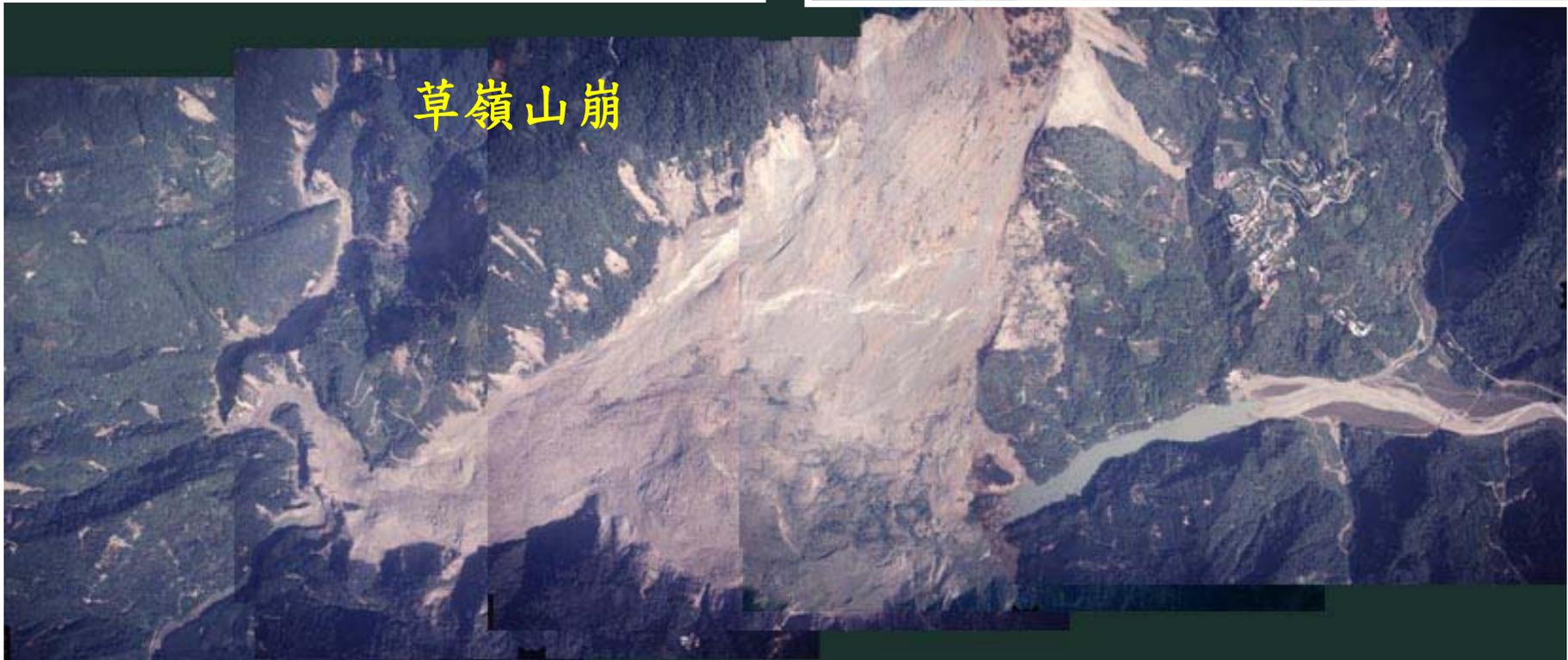


與國內外標竿機構/技術之比較

系統名稱/ 標竿機構	震災境況模擬評估項目	地震早期 損失評估	機率式地震 風險評估
TELES/ 國震中心	建築物、重要設施、交通與 民生系統等	是	是
HAZUS MH/ FEMA, USA	建築物、重要設施、交通與 民生系統等	否	否
MAEviz/ U. of Illinois, USA	建築物、重要設施、交通與 民生系統等	否	否
中央大學	建築物(地震保險)	否	是
RMS, USA	建築物(地震保險)	否	是
REDARS-2/ FHWA, USA	公路系統	是	是
GIRAFFE/ Cornell U., USA	自來水系統	否	否

資料整合與加值

土壤液化敏感類別圖



地震引致的災害潛勢 / 致災因子

- ✦ 斷層破裂引致附近土層或岩石因擠壓或拉伸而變形，造成結構物的基礎不均勻隆起或沉陷，其上部結構也因基礎變形而破壞
- ✦ 強烈地震動時，結構物因慣性造成額外的軸力、剪力或彎矩，局部構件因應力或應變過大而產生挫屈、剪力或彎矩破壞；整體結構系統之贅餘度不足時，可能傾斜或塌陷
- ✦ 發生土壤液化現象時，結構物因基礎下之土壤的承載力不足，可能傾斜或倒塌；其上部結構通常可保持完整，不致造成嚴重傷亡
- ✦ 山崩或土石滑落，除影響附近結構物造成損害外，也可能造成堰塞湖而引致二次災害
- ✦ 海域之逆(正)斷層破裂至地表時，瞬時的海底地形擾動可能造成海嘯；通常地震規模須大於7.5以上方可能引致具殺傷力的海嘯

地震災害潛勢分析

地表永久變形推估模式 → 斷層破裂 + 土壤液化

$$\log D = \begin{cases} 1.03M_w - 7.03 & \text{平移斷層} \\ 0.29M_w - 1.84 & \text{逆斷層} \\ 0.89M_w - 5.90 & \text{正斷層} \\ 0.82M_w - 5.46 & \text{一般斷層} \end{cases}$$

(單位: m; Wells and Coppersmith, 1994)

地表變形量

$$PGD = \begin{cases} D & \text{距破裂面10公尺內} \\ (1/d_{sr}) \cdot f_H \cdot D \cdot \exp[-d / (d_{sr} \cdot f_H)] & \text{上盤10公尺外} \\ (1/d_{sr}) \cdot f_F \cdot D \cdot \exp[-d / (d_{sr} \cdot f_F)] & \text{下盤10公尺外} \end{cases}$$

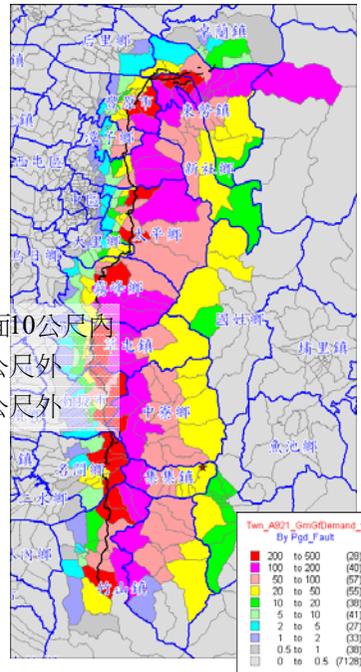
d : 場址至斷層破裂面的最短距離(km)

α : 斷層面傾角(度)

$d_{sr} = \max(M_L / 2, 1)$ 孕震帶頂部深度(km)

$f_F = \text{abs}(\alpha) / 180$

$f_H = 1 - f_F$



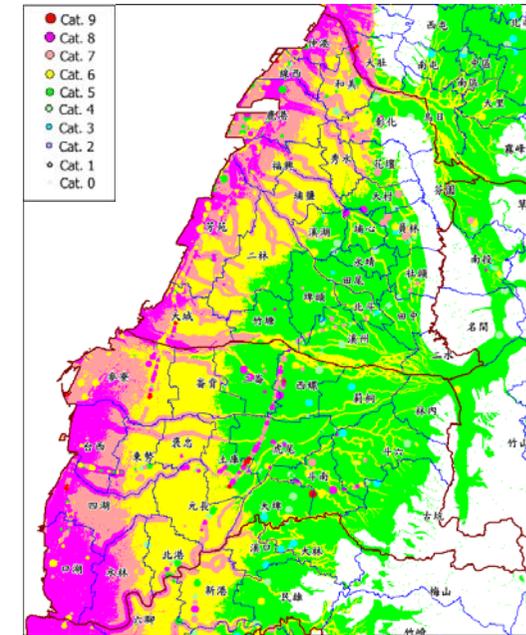
液化潛能指數

$$P_{L,i} = u_{i,PL} \cdot \Phi \left[\frac{\ln(A / m_{i,PL})}{\beta_{i,PL}} \right]$$

震陷量

$$S_i = u_{i,S} \cdot \Phi \left[\frac{\ln(A / m_{i,S})}{\beta_{i,S}} \right]$$

土壤液化機率和震陷量: 與液化敏感類別、PGA、地震規模和地下水位等相關



液化敏感類別圖

地震動強度推估模式

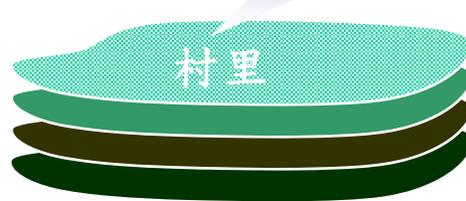
震源參數

- 地震規模
- 震央位置
- 震源深度
- 斷層開裂方向
- 斷層面傾角、長度與寬度

震動強度衰減律

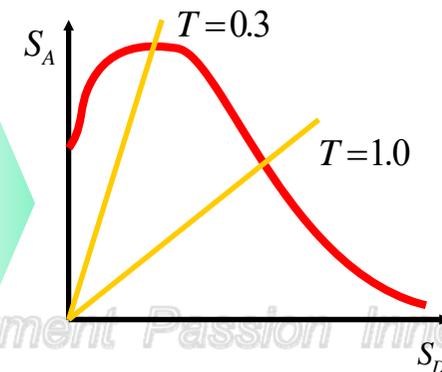


場址效應



區域性土壤狀況

工址相關的PGA、PGV和長、短週期的譜加速度



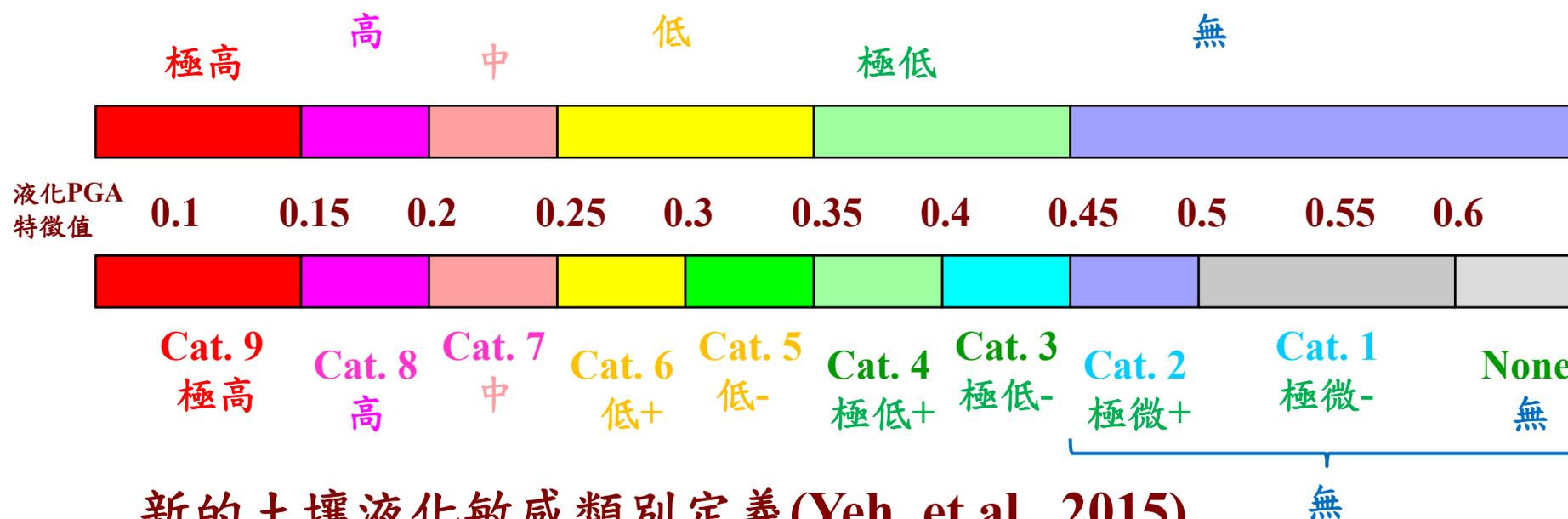
其它國家土壤液化潛勢圖資公開概況

- ✦ 日本、美國均有公開之土壤液化潛勢圖，圖比例尺約為兩萬五千分之一
- ✦ 日本：土壤液化潛勢之設計地震依各地可能地震強度而異，大致依土壤液化潛能指數值區分為高潛勢、中潛勢、低潛勢等三級
- ✦ 美國：主要依據地表覆土層的形成年代、地形、地下水位和土壤特性等，將不同地理單元歸納為極高、高、中、低、極低等五種液化敏感類別，暫不考慮設計地震力

土壤液化敏感類別之可操作式定義

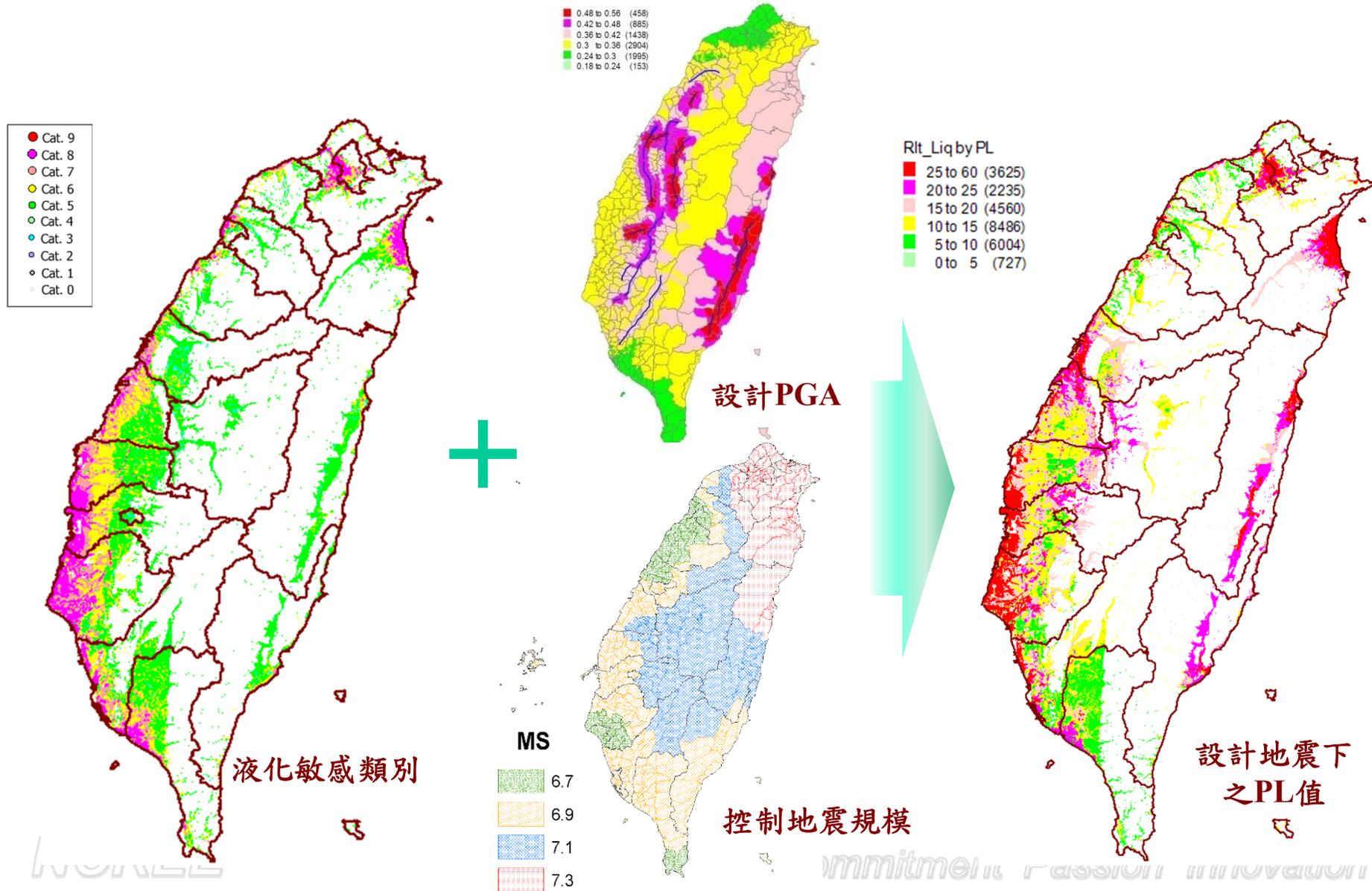
葉錦勳(2002)提出可操作式定義如下

- 在特定條件($M = 7.5$ 、 $d_w = 1.5$ m)下，計算個別鑽孔在不同PGA作用下所對應的 P_L
- 將對應 $P_L=15$ 的PGA命名為液化PGA特徵值
- 依液化PGA特徵值劃分土壤液化敏感類別

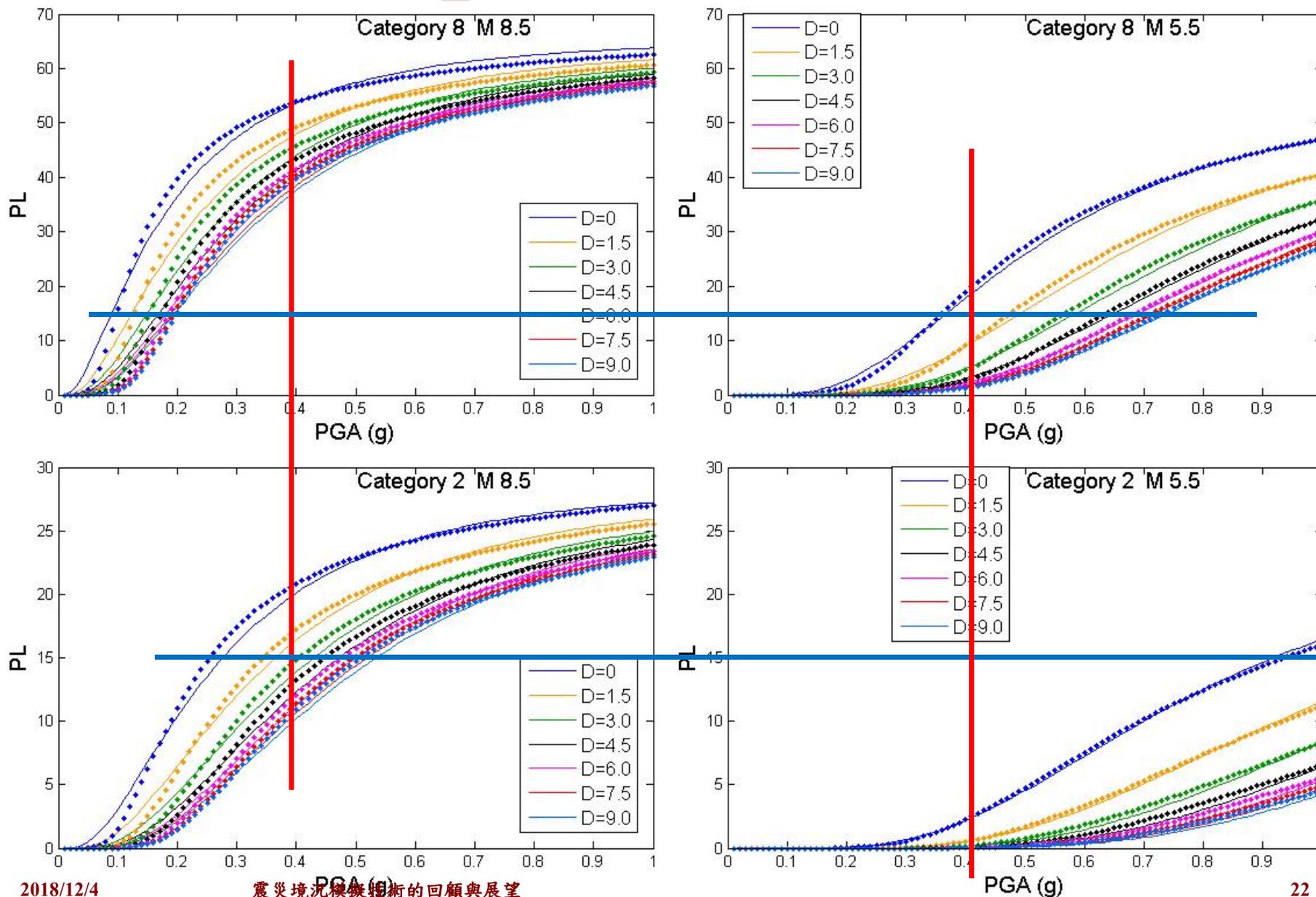


新的土壤液化敏感類別定義(Yeh, et al., 2015)

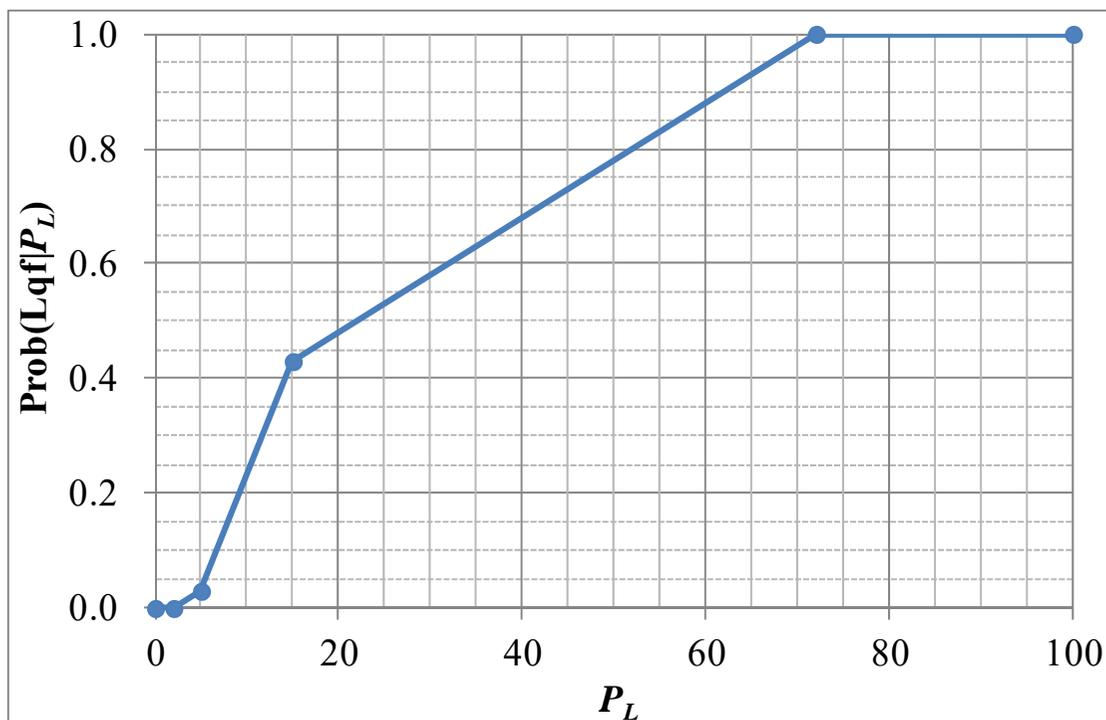
土壤液化敏感類別圖與災害潛勢圖比較



P_L 值的詮釋(1/2)



P_L 值的詮釋(2/2)



Category	P_{ml}
9	0.30
8	0.25
7	0.20
6	0.15
5	0.10
4	0.06
3	0.03
2	0.02
1	0.01

$$P(\text{Lique.} | P_L) = \begin{cases} 0. & \text{when } P_L \leq 2 \\ 0.01 \cdot (P_L - 2) & \text{when } 2 < P_L \leq 5 \\ 0.03 + 0.04 \cdot (P_L - 5) & \text{when } 5 < P_L \leq 15 \\ 0.43 + 0.01 \cdot (P_L - 15) & \text{when } 15 < P_L \leq 72 \\ 1. & \text{when } 72 < P_L \end{cases}$$

Liquefaction potential

- at one point (**left**)
- in a region with finite area (**right**)

資料整合與加值

房屋稅籍資料與地址定位

整合房屋稅籍資料與地址定位

- 取得民國89、94、98、100、103、106年各縣市之房屋稅籍資料，包含課稅主檔和中文主檔
 - 資料筆數龐大，須撰寫自動化程式進行統計分析
- 課稅主檔：以戶為單元，每戶有多筆資料
 - 房屋層次、卡序一、卡序二
 - 構造類別；用途細類別
 - 總層數、房屋樓層高度→樓層數
 - 房屋折舊年數、房屋起課年月→建造年份
 - 營業用、住家用之樓地板面積→樓地板面積
- 中文主檔
 - 房屋座落地址：結合地址定位技術，可得每一戶座標

房屋稅籍資料整理之目標與困難點

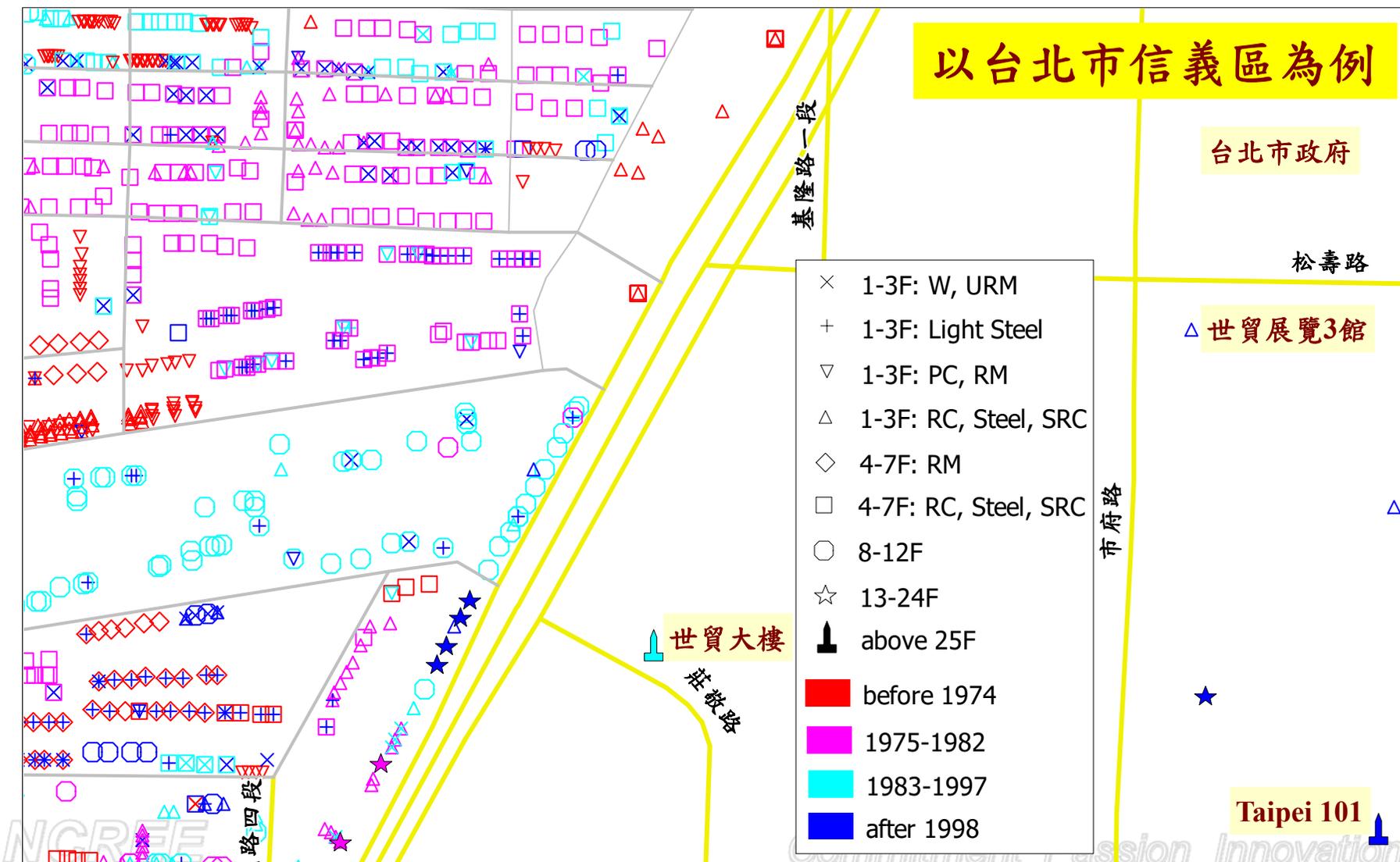
✦ 目標

- 結合地址定位技術，建立以棟(號)為單元之建築物的建造年份、構造類別、樓層數、座標等資料庫

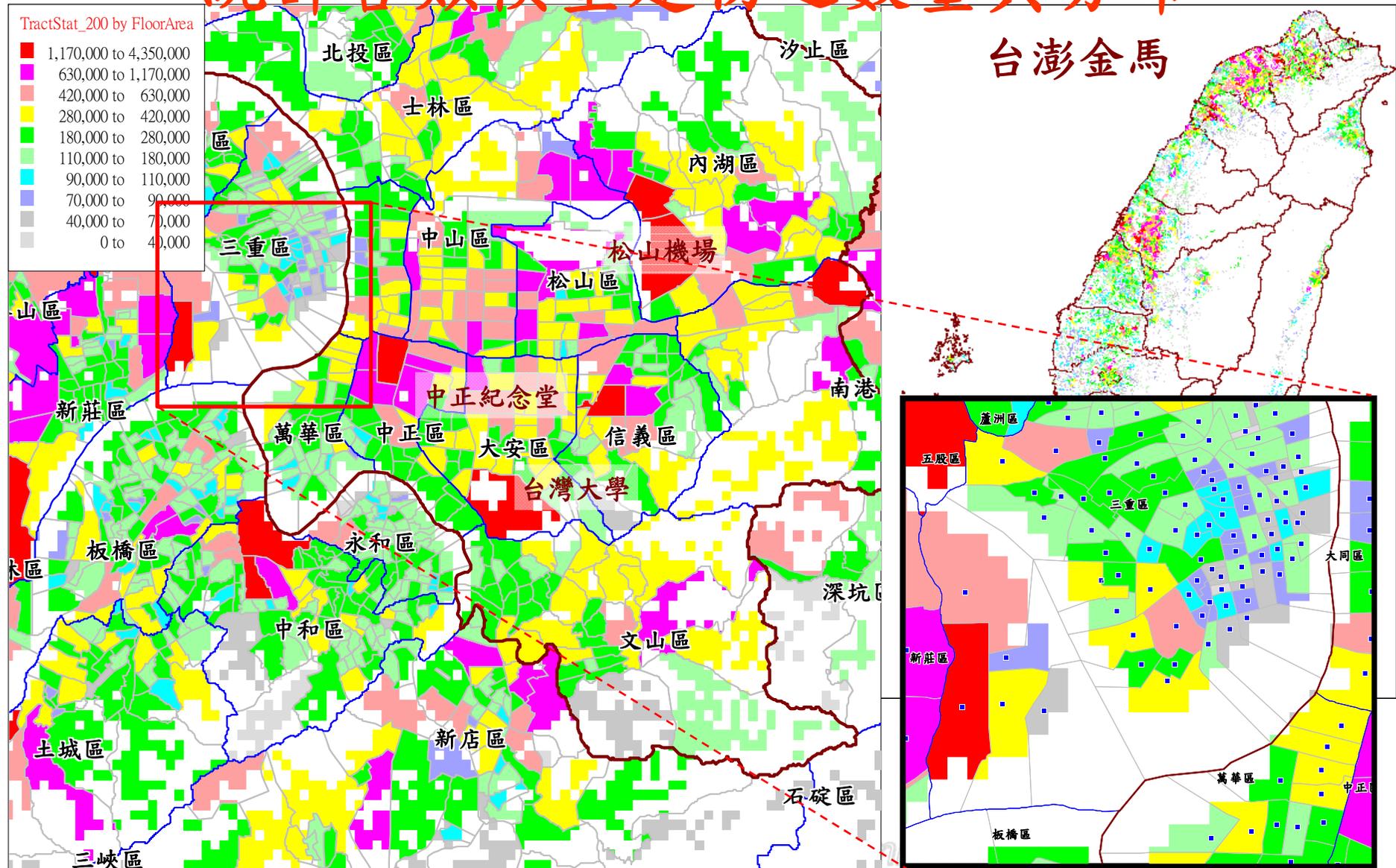
✦ 困難點

- 每一Tax_ID所涵蓋的房屋構造類別不同，部份屬RC、加強磚造、鋼構或其它。譬如在RC建物之屋頂加蓋鐵皮屋
- 每一Tax_ID所涵蓋的樓地板面積並不集中，除主要樓層之樓地板面積外，尚包含地下室、屋頂，甚至包含違章建築之面積
- 每一Tax_ID雖有棟號，但與一般「棟」的定義不同
- 總層數、樓層高度、起課年月等欄位不完整

可識別每一號建築物之 建造年代、構造類別、樓層數



結合村里與網格圖資 統計各類模型建物之數量與分布



住宅地震基本險保戶之地址定位成果

回傳代碼	意義	保戶數	百分比
	地址字串無法辨識	225	0.01%
1	可辨識鄉鎮區	35,773	1.39%
2	可辨識鄉鎮區、村里的資訊，回傳村里的中心點座標	4,278	0.17%
3	可辨識鄉鎮區、村里和鄰，回傳鄰的中心點座標	1,282	0.05%
4	可辨識路段名或地名，回傳路段或地名的中心點座標	144	0.01%
5	1. 可辨識路段和巷，回傳其中心點座標 2. 除巷、弄和號以外，路段和地名可辨識，回傳「鄰近巷號」的建築物座標	7,383	0.29%
6	1. 可辨識路段、巷和弄，回傳其中心點座標 2. 除弄和號以外，路段和地名、巷等可辨識，回傳「鄰近弄號」的建築物座標	29,138	1.13%
7	除號以外，路段和地名、巷、弄等均可辨識，回傳「鄰近號」的建築物座標	97,415	3.78%
8	路段和地名、巷、弄、號等均可完全比對，回傳該建築物座標	2,399,357	93.18%

根據2014/3/31保單資料，總保戶數：2,574,995

以號為單元之建築物資料的應用

- ✦ 以村里、街廓或網格為單元之模型建物或用途分類的數量統計
- ✦ 作為數量龐大之一般建築物動態模擬與視覺化的基本輸入資料
- ✦ 提供規劃中之救援避難道路兩旁的建築物建造年份、構造類別、樓層數等耐震屬性資料

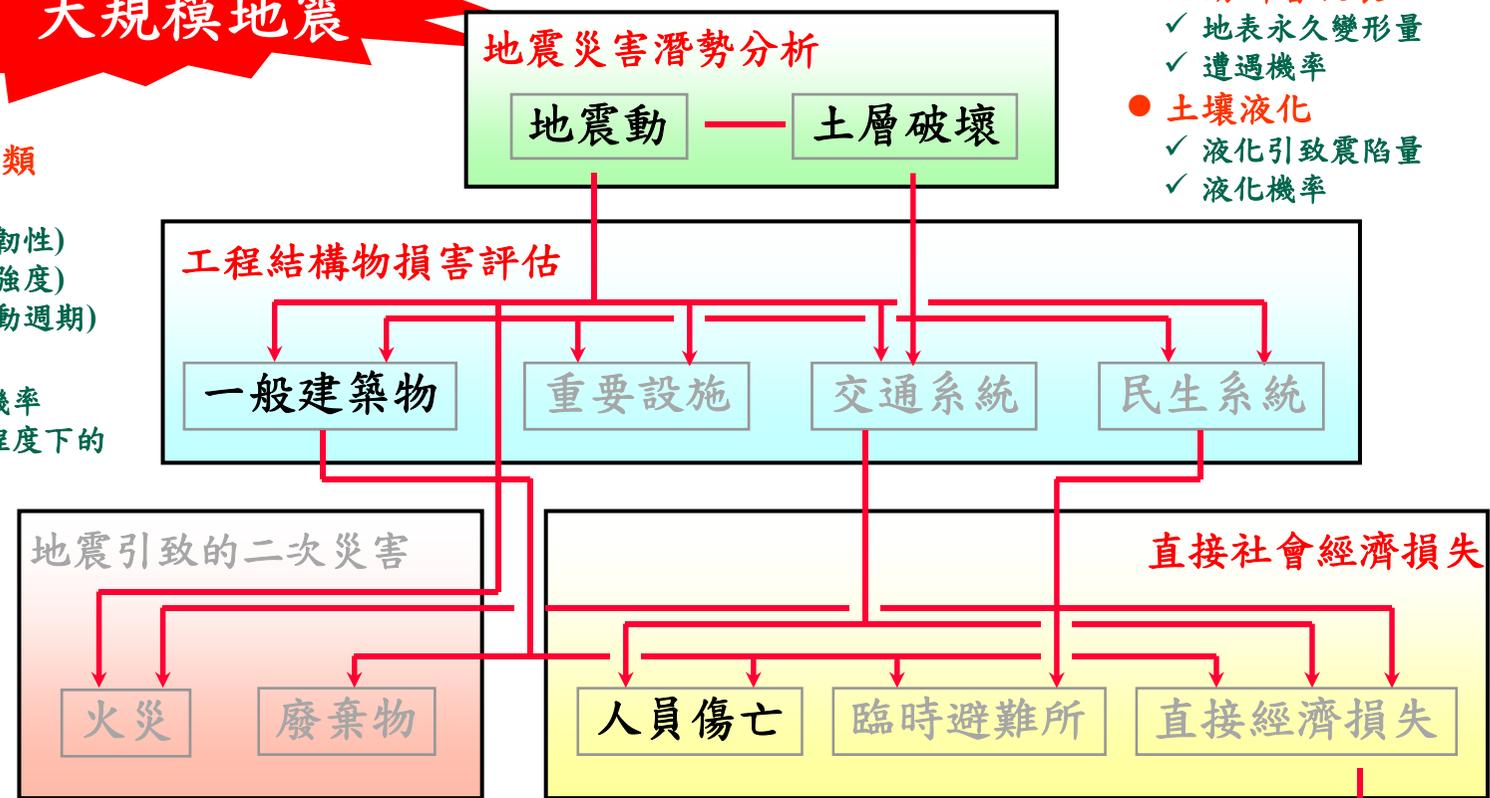
震損評估模式研發與精進

以人員傷亡評估為例說明情境模擬



- 模型建物分類
 - ✓ 構造類別
 - ✓ 建造年份(韌性)
 - ✓ 震區劃分(強度)
 - ✓ 樓層數(振動週期)
- 震損評估
 - ✓ 損害狀態機率
 - ✓ 不同損害程度下的傷亡率

- 地震動強度
 - ✓ 震動衰減律/場址效應
 - ✓ 結構彈性反應譜
 - ✓ 非彈性耐震需求
- 活動斷層破裂
 - ✓ 地表永久變形量
 - ✓ 遭遇機率
- 土壤液化
 - ✓ 液化引致震陷量
 - ✓ 液化機率



- 模型建物組成律
- 建築物內人口數
 - ✓ 地震發生時段
 - ✓ 不同使用分區的人口動態分布

模型建物之分類原則

影響建築結構在地震時之反應和損害狀態的主要因素

● 建築材料特性

- ▶ 鋼筋
- ▶ 混凝土
- ▶ 磚石
- ▶ 木材

● 抗橫力系統

- ▶ 韌性抗彎矩構架
- ▶ (同心、偏心)斜撐
- ▶ 剪力牆

● 振動週期與模態

- ▶ 樓層高度
- ▶ 結構構件之平面與立面配置

+ 依建築材料

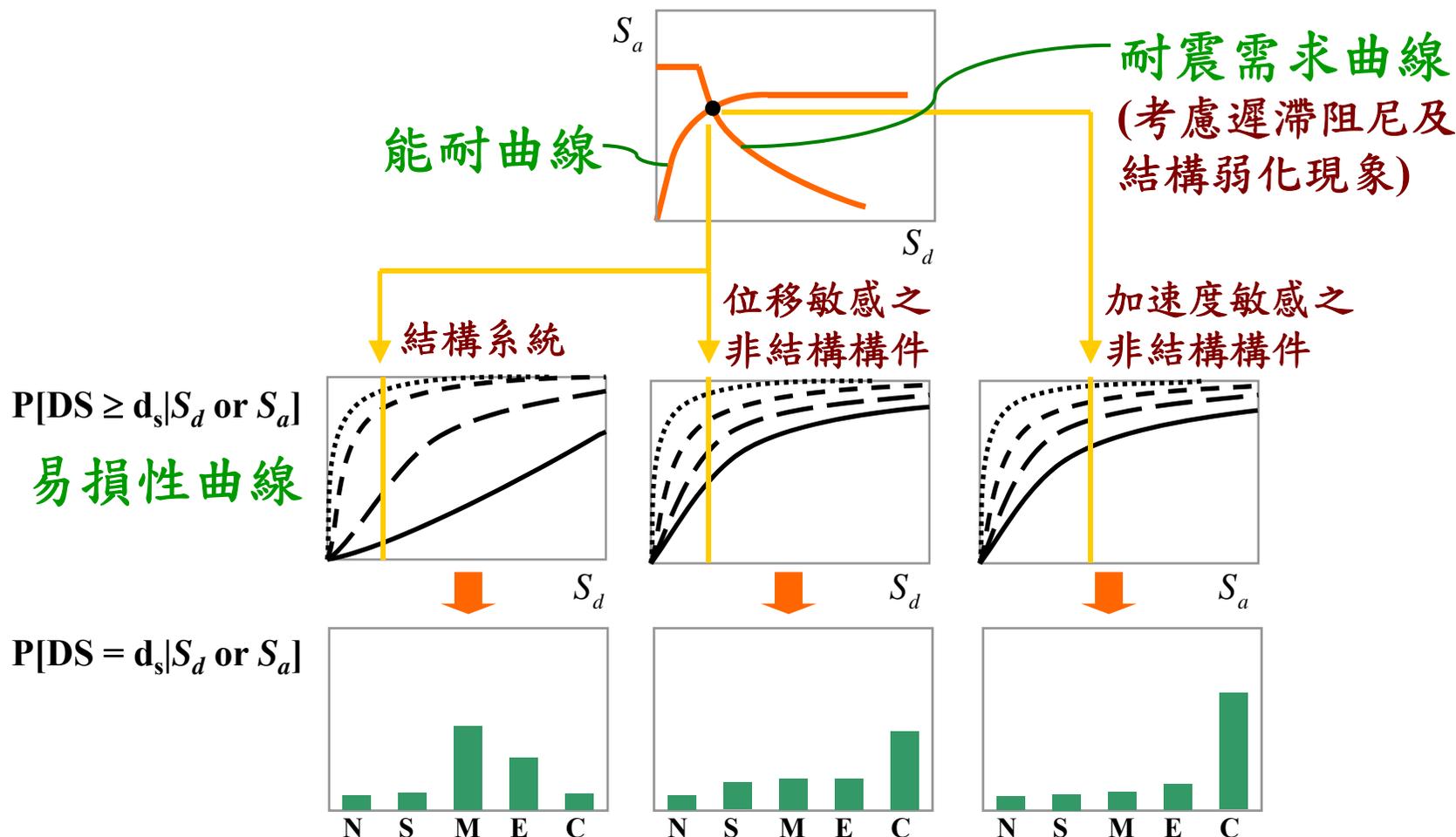
- 鋼構造(S1)、輕鋼構(S3)
- 鋼筋混凝土造(C1)
- 預鑄混凝土造(PC)、加強磚造(RM)
- 鋼骨鋼筋混凝土造(SRC1)
- 木造(W1)、磚石造(URM)

+ 依樓層高度

- 低(L, 1-3層)
- 中(M, 4-7層)
- 高(H, 8-18層)
- 超高(SH, 19層以上)

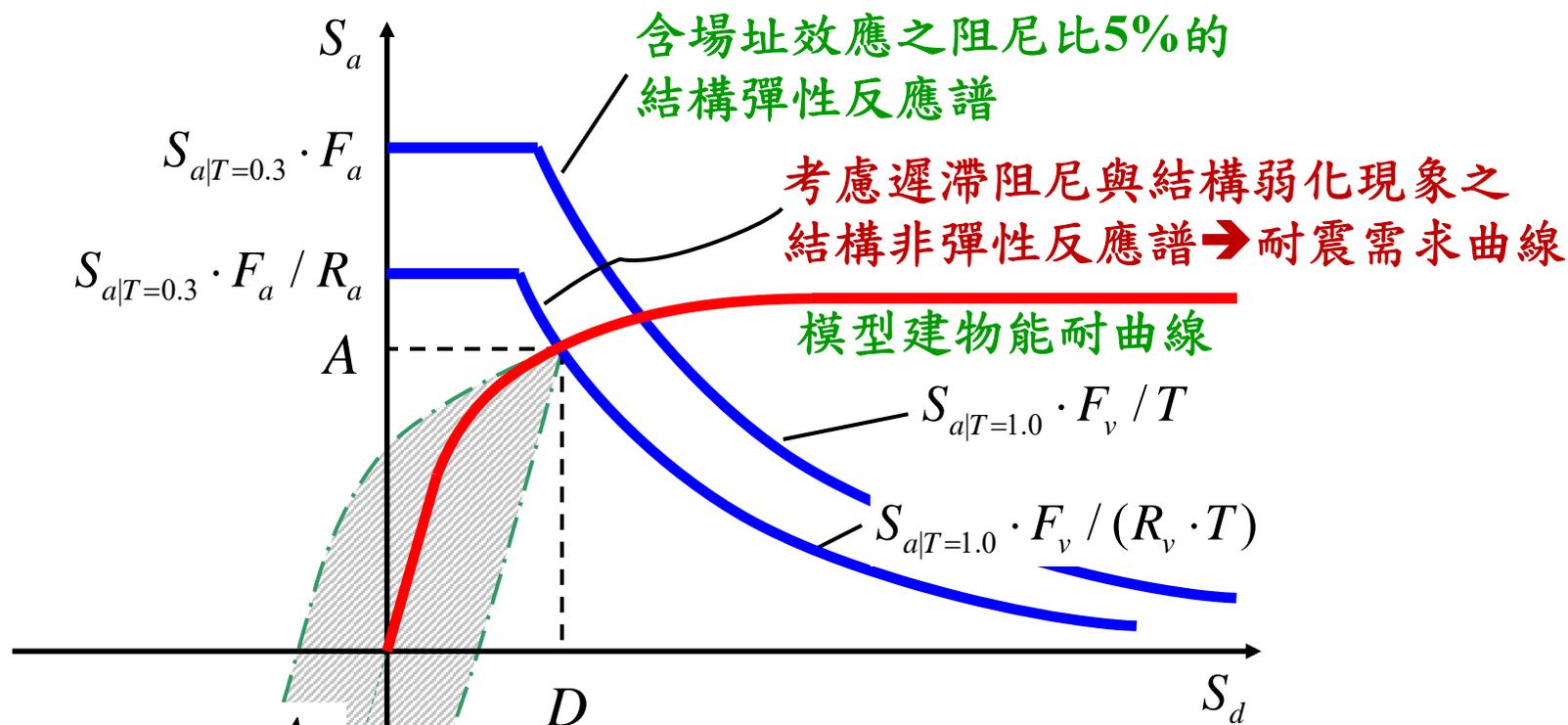
+ 共概分為18類

模型建物之損害評估流程



損害狀態：N(無損害)，S(輕微損害)，M(中度損害)，E(嚴重損害)，C(完全損害)

結構非彈性反應譜 → 耐震需求曲線



- 考慮加載與卸載之非彈性行為，反覆振動所引起之遲滯阻尼和結構弱化現象
- 需以迭代法推估能耐曲線和非彈性耐震需求曲線的交點 → 性能點

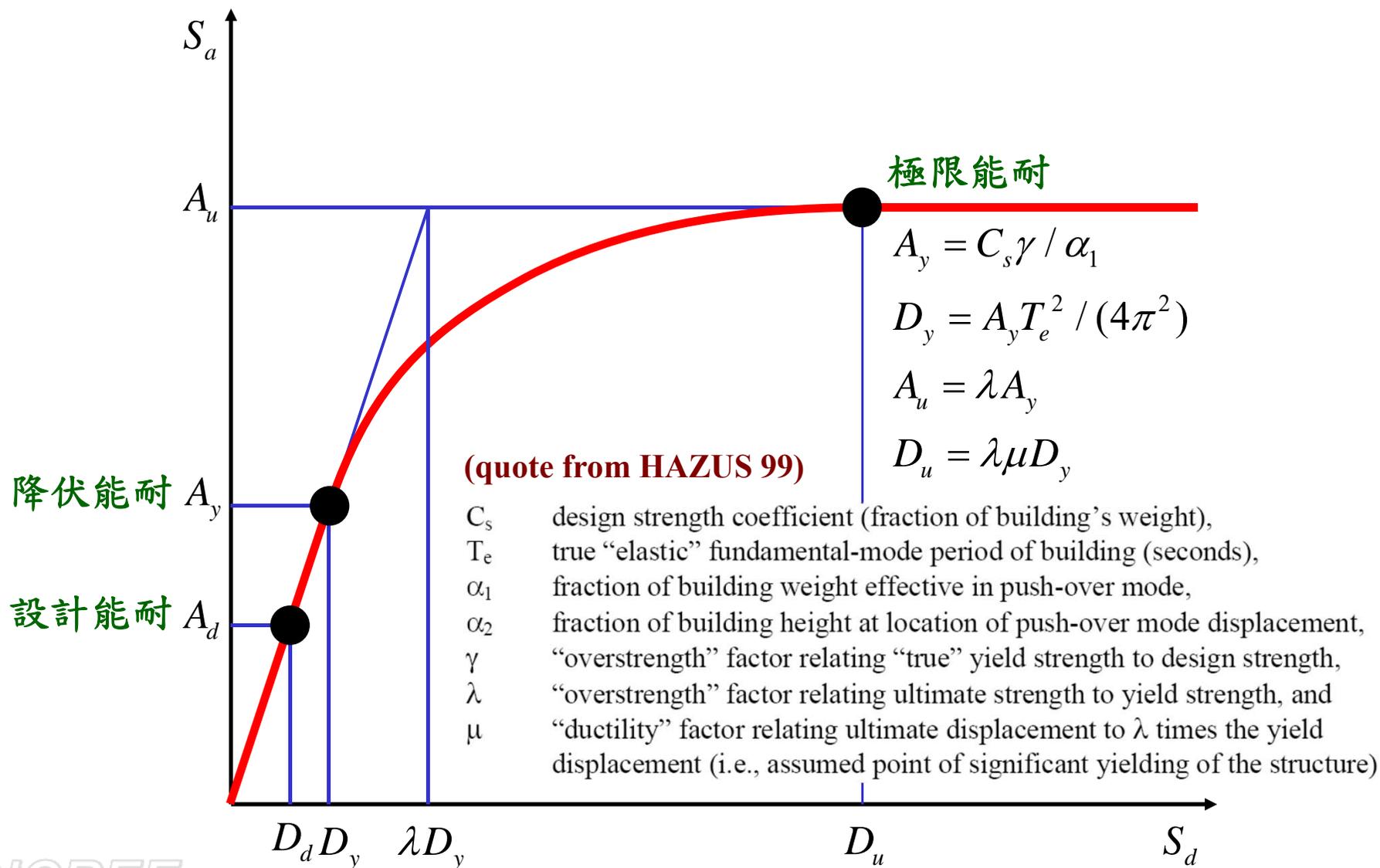
$$R_a = 2.12 / [3.21 - 0.68 \cdot \ln(B_{eff})]$$

$$R_v = 1.65 / [2.31 - 0.41 \cdot \ln(B_{eff})]$$

$$B_{eff} = B_E + B_H$$

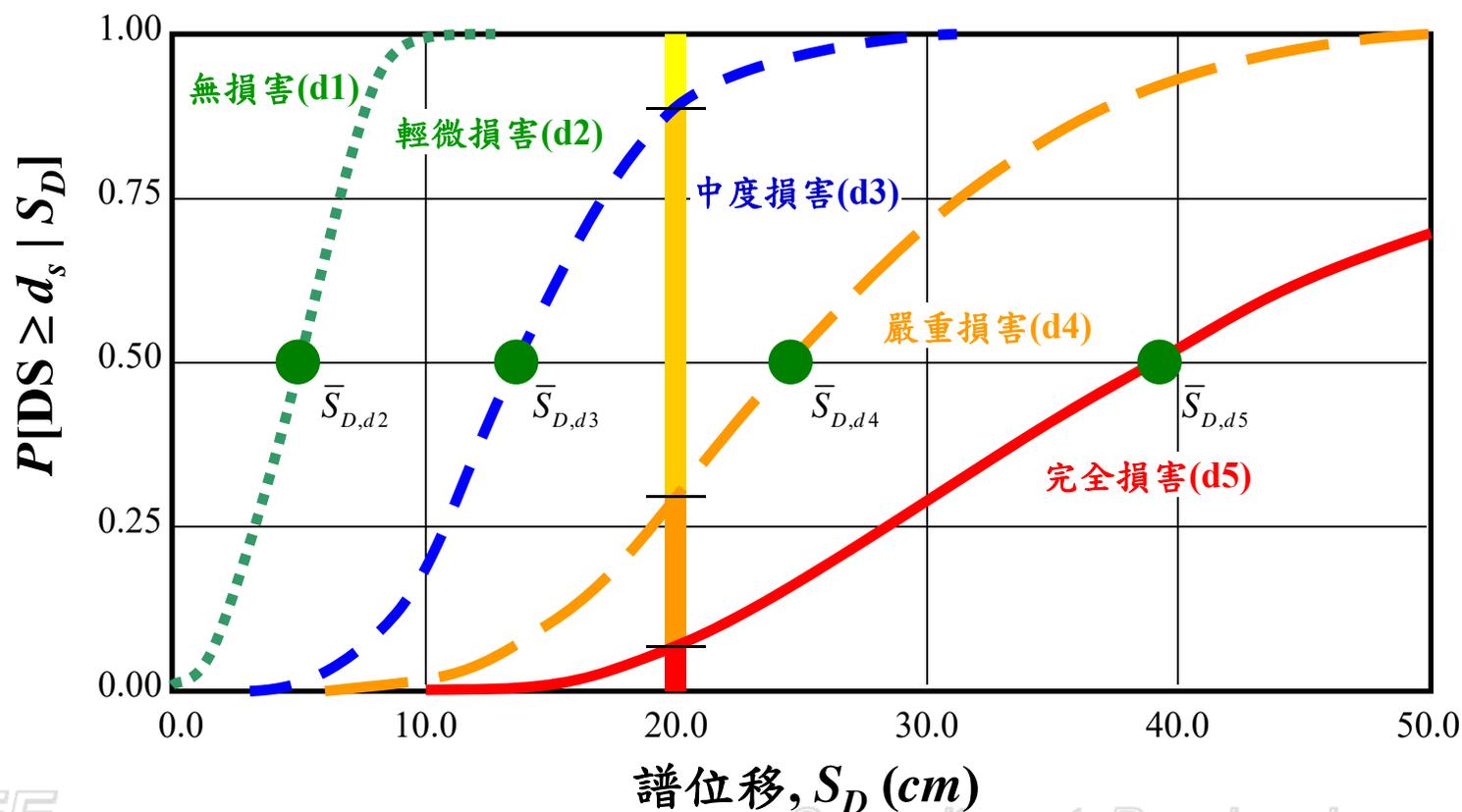
$$= B_E + \kappa \cdot \left(\frac{A_H}{2\pi \cdot D \cdot A} \right)$$

模型建物之能耐曲線(側推曲線)



易損性曲線及其參數的意義

- 超越四種不同損害狀態之機率分布曲線，通常以對數常態分布曲線描述之
- 橫軸可為地震動、地表永久變位或結構反應譜等參數
- 建築物震損評估乃以結構反應的譜位移(或頂層位移率)推測可能的損害狀態
- 超越損害狀態 d_s 之對數常態分布曲線的中值為 \bar{S}_{D,d_s} ，對數標準差為 β_{d_s}



能耐曲線和易損性曲線參數設定

- ✦ 目標：將一般建築物概分數種模型建物，每一種模型建物依其能耐曲線和易損性曲線，合理描述其受震反應(力與位移關係)和損害狀態(變形能力)
- ✦ 各模型建物之基底剪力強度，可依建造時之耐震設計規範、震區劃分、地盤種類和結構系統之基本振動週期(依構造類別、樓層數)等計算，並藉以建立其能耐曲線(含設計能耐、降伏能耐與極限能耐)
- ✦ 各模型建物可承受的變形量稱為「韌性」，隨耐震設計規範落實程度、工程材料品質、施工技術和細節或結構系統的贅餘度多寡等而定；依頂層位移率(或層間位移率)推估值概估損害狀態機率，由易損性曲線描述之

建築物震損評估模式與參數值之精進

- ✦ 增加超高層樓類別，概分18種模型建物
- ✦ 依不同年份耐震設計規範之地震力需求和工程實務經驗，擬訂模型建物之能耐曲線和易損性曲線
- ✦ (模型建物+耐震水準)之分類數量超過百種以上
- ✦ 以能耐曲線反映結構系統抗震強度，以易損性曲線反映結構系統韌性容量
- ✦ 易損性曲線之參數設定綜合震災經驗和試驗數據，以及能耐曲線的降伏假設
- ✦ 考慮建築物用途係數對結構系統強度的影響，譬如供公眾使用建築物的用途係數採1.25

一般建築物之修復費用與財物損失

結構系統修復費用

$$CS_{ds,i} = CI * \left[\sum_{j=1}^{15} FA_{i,j} * PMBTSTR_{ds,j} * RCS_{ds,j} \right]$$

第*i*種特定用途分類之第*j*種模型建物的樓地板

i: 特定用途分類
j: 模型建物分類

加速度敏感型之非結構構件修復費用

$$CNSA_{ds,i} = CI * RCA_{ds,i} \left[\sum_{j=1}^{15} FA_{i,j} * PMBTNSA_{ds,j} \right]$$

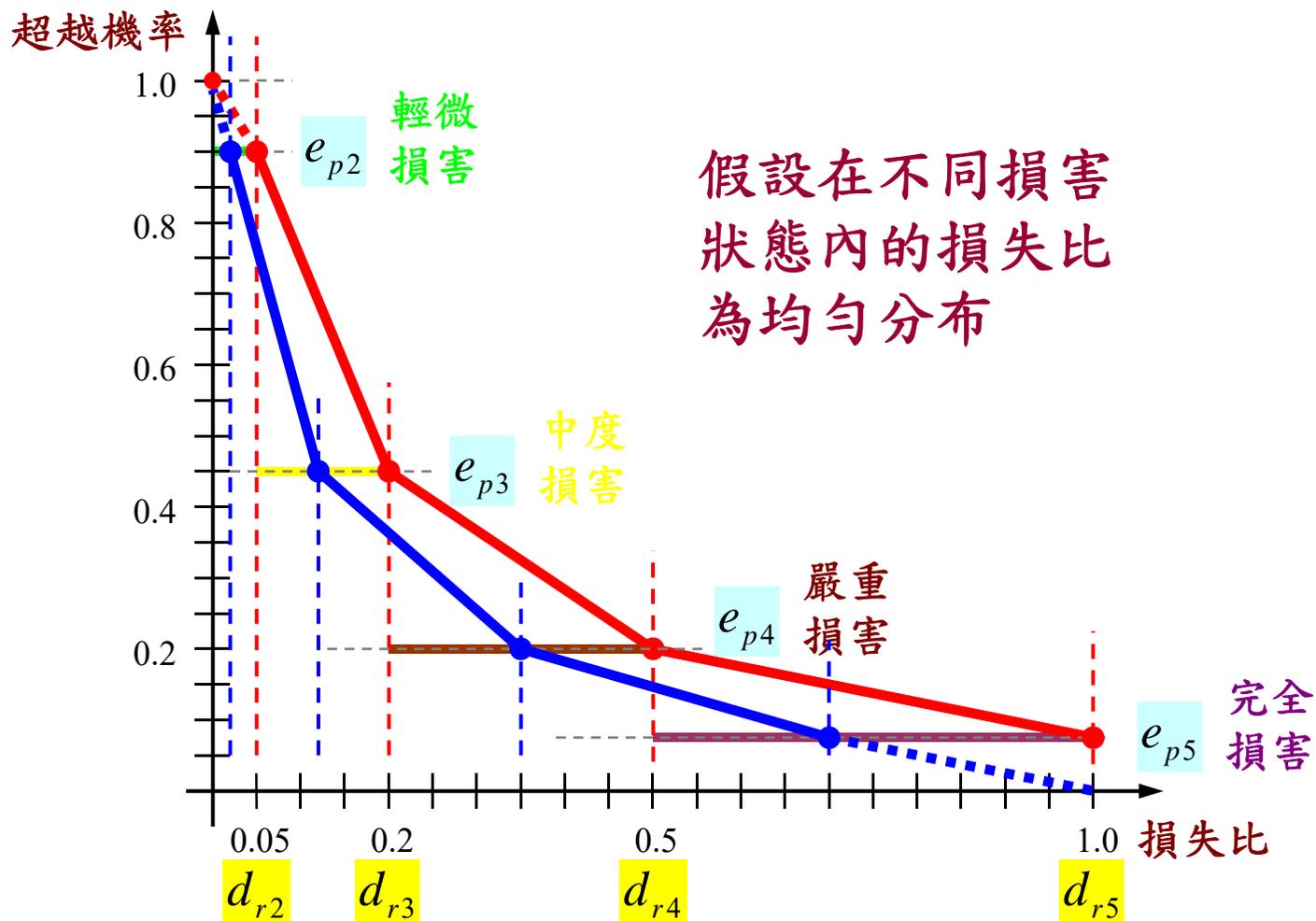
位移敏感型之非結構構件修復費用

$$CNSD_{ds,i} = CI * RCD_{ds,i} \left[\sum_{j=1}^{15} FA_{i,j} * PMBTNSD_{ds,j} \right]$$

內含物與庫存品損失

$$CCNT_{ds,i} = CI * CNV_{ds,i} \left[\sum_{j=1}^{15} FA_{i,j} * PMBTNSA_{ds,j} \right]$$

建築物損害狀態與損失比的轉換



地震早期損失評估

地震早期損失評估的必要性

✦ 地震災害的特性

- 發生的時間、地點和規模不可預測，通常無預警時間和整備階段
- 強震搖晃時間通常不超過兩分鐘，在短時間內可能造成大範圍的財物損失和人命傷亡
- 一旦電力或通訊系統故障，重災區或孤立偏遠地區的災情無法即時獲得

✦ 地震與颱風災害在應變階段的差異

- 颱風應變時，因有較充裕的整備和疏散避難時間，多著重於颱風路徑預報、定量降雨預報等災害潛勢分析
- 地震應變時，因多數災難已成事實，需著重於災情研判，提供多樣化的損害、損失和傷亡等的數量預估

✦ 政府的角色

- 強震後，政府須即時獲得災情研判或回報的資訊，以利研判災情的嚴重性，決定是否成立中央或縣市災害應變中心
- 一旦災害應變中心開設，需進一步研判災情分佈，推估救災、消防、醫療、避難、民生物資等需求，協助資源調度

地震早期損失評估的困難點

✚ 依實測速報站的PGA值內插

- 速報站數量有限，無法精確推估震源附近的強地動分布
- 內插分析結果可能忽略震源特性和場址效應
- 欠缺長、短週期之結構譜加速度值，無法滿足各種結構類型之震損評估模式的需求

✚ 依地震動衰減律和場址效應推估模式

- 合理的推估結果有賴合理的震源參數設定
- 震後短時間內不易獲得斷層走向、傾角和長度等資訊

✚ 須完全自動化，減少人工作業時間，提升應變效率，並以簡訊、電子郵件和APP通報

NCREE之地震早期損失評估技術

- ✦ 震前擬訂未來可能發生之各種離散的模擬地震事件，並建置完善的地震損失模擬資料庫
- ✦ 震後接到中央氣象局之地震速報電子郵件後，自動啟動，並**參考地震定位資訊**和**比對速報站的PGA值**，篩選數個最可能的模擬地震事件
- ✦ 可比喻為將複雜的申論題轉換為單純的選擇題；與其它推估方式比較，妥善使用地震定位資訊和速報站監測資料
- ✦ **具容錯能力**，較可能獲得合理答案

地震早期損失評估結果之可信度驗證

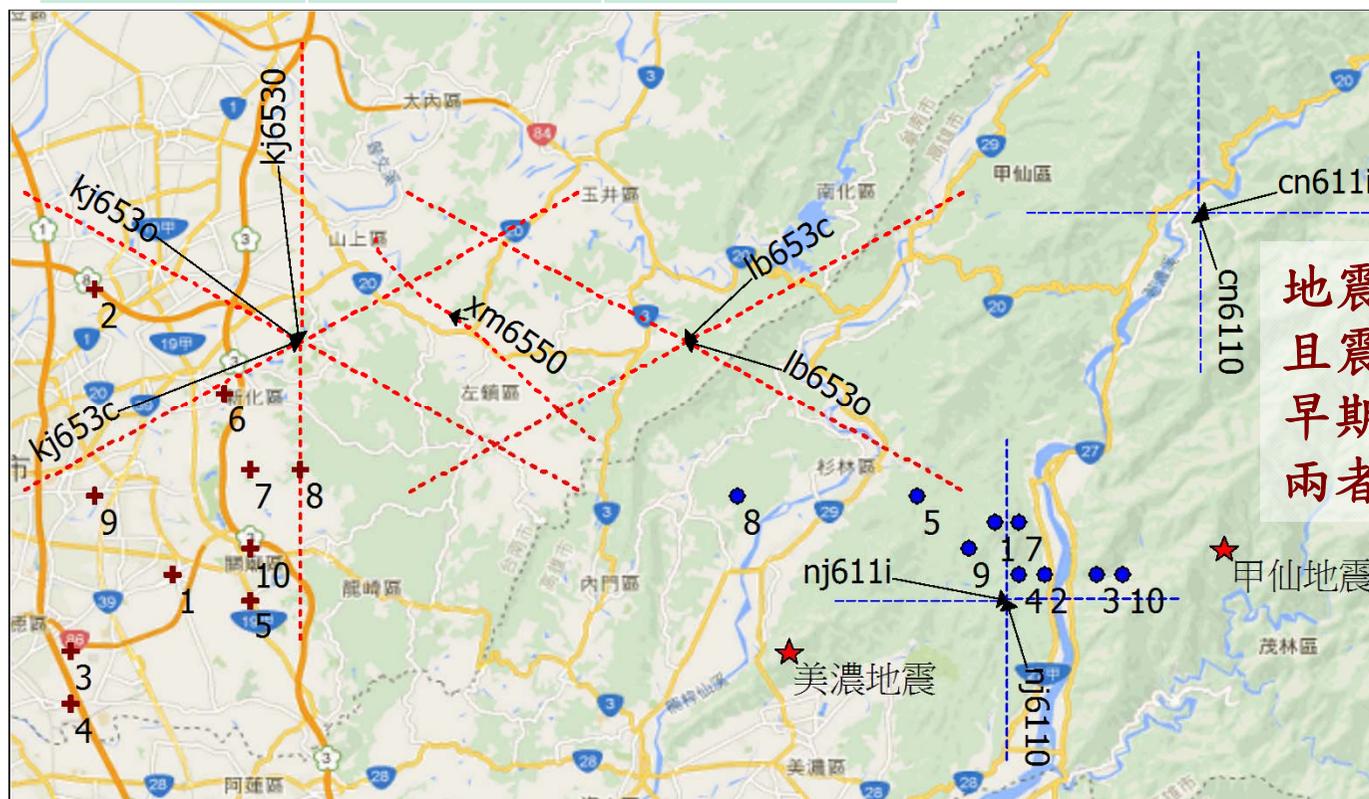
- 收到中央氣象局地震報告電子郵件一分鐘內獲得評估結果
- 近十年地震早期損失評估結果與實際值比較

Date	Time	Epicenter	M _L	Depth (km)	Estimated Casualties	Actual Casualties	Estimated Insurance Claims (million NT\$)	Actual Insurance Claims (million NT\$)
2009/12/19	21:02	花蓮壽豐外海18公里	6.8	46	0 (0-0)	0	3.8 (0.1-15.7)	0
2010/03/04	08:18	高雄縣桃源鄉	6.4	5/23	1 (1-3)	0	2.6 (1.8-4.5)	2.76
2010/11/21	20:31	花蓮壽豐外海17公里	6.1	41	0 (0-0)	0	0.0 (0.0-0.0)	0
2012/02/26	10:35	屏東縣霧台鄉	6.0	20	0 (0-0)	0	0.0 (0.0-0.6)	0
2013/03/27	10:03	南投縣仁愛鄉	6.1	15	0 (0-3)	1	3.5 (0.1-25.0)	0
2013/06/02	13:43	南投縣仁愛鄉	6.3	10	2 (0-3)	5	9.3 (1.3-19.3)	0
2013/10/31	20:02	花蓮縣瑞穗鄉	6.3	19	0 (0-0)	0	0.4 (0.3-0.7)	0
2014/05/21	08:21	花蓮縣鳳林鎮	5.9	18	0 (0-0)	0	0.1 (0.1-0.1)	0
2014/12/11	05:03	台北萬里外海72公里	6.8	280	0 (0-0)	0	0.0 (0.0-0.0)	0
2015/02/14	04:06	台東外海33公里	6.1	18	0 (0-0)	0	0.0 (0.0-4.5)	0
2015/03/23	18:13	花蓮壽豐外海23公里	6.0	26	0 (0-0)	0	0.0 (0.0-0.0)	0
2015/04/20	09:42	宜蘭南澳外海69公里	6.3	18	0 (0-0)	1	0.0 (0.0-0.0)	0
2016/02/06	03:57	高雄市美濃區	6.4/6.6	17	12 (5-30)	2+115	252 (179.2-545.8)	>170
2018-02-06	23:50	花蓮秀林外海10公里	6.0/6.2	10	5 (0-5)	17	89 (6-89)	125.8

甲仙與美濃地震之早期評估結果比較

	甲仙地震	美濃地震
日期	2010/3/4	2016/2/6
時間	8:10 a.m.	3:57 a.m.
地震規模	6.4	6.4 / 6.6
震央	N22.97, E120.71	N22.93, E120.54
震源深度	5 km / 22.6 km	16.7 km

	甲仙地震	美濃地震
USGS斷層面解	(321, 41, 57)	(273, 41, 17)
預估傷亡	1 (1-3) (人)	12 (5-30) (人)
預估保險理賠	2.6 (1.8-4.5) (百萬元)	252 (179.2-545.8) (百萬元)
建物損害	~36 (號)	~357 (號)



地震規模和震源深度相似且震央相距僅18公里；但早期損失評估結果可區分兩者引致後果的嚴重性

Passion Innovation

不同階段之地震早期損失評估與精進

✦ 第一階段(兩分鐘內)

- 兩分鐘內自動比對地震監測資料和損失模擬資料庫，即時發送評估結果的訊息
- 預估災情的嚴重性，協助決定是否須啟動應變機制，爭取黃金救援時間

✦ 第二階段(6小時內)

- 整合地震監測資料、斷層面解、餘震分布的資訊，以人工方式研判可能的震源機制和參數
- 透過精確的災情研判，避免有被忽視的孤立重災區
- 協助各項救災資源與民生物資之需求推估與調派

✦ 第三階段(6小時後)

- 驗證評估模式與參數的適用性，必要時檢討改進，確保防災規劃與風險評估結果的可信度

機率式地震風險評估

地震危害度分析與風險評估之比較

✦ 風險(R)=災害潛勢(H)×易損性(V)×暴露值(E)

- 研究區域附近的震源活動特性與地質條件(H)
- 工程結構物與社會經濟的易損性(V)
- 人口、關鍵設施與維生線系統之分布(E)

✦ PGA或其它災害潛勢的年超越機率≠損失的年超越機率

- 考慮風險暴露的分布，最大地震規模的事件不必然造成最大損失或傷亡
- 有別於損失和傷亡數量的評估結果，個別工址的災害潛勢分析結果(如PGA或 P_L 值)通常無法累加
- 當研究區域幅員廣闊時，個別工址之危害度曲線差異頗大，不易選取代表性的危害度分析結果

以境況模擬為基礎之機率式地震風險評估



地震事件損失資料表

地震事件	震源參數	年發生率	損失期望值	損失標準差	損失上限值
1	$M_1、(E_1, N_1)、d_1、l_1、\theta$	ν_1	L_1	σ_1	U_1
2	$M_2、(E_2, N_2)、d_2、l_2、\theta$	ν_2	L_2	σ_2	U_2
...
k	$M_k、(E_k, N_k)、d_k、l_k、\theta$	ν_k	L_k	σ_k	U_k
...
N	$M_N、(E_N, N_N)、d_N、l_N、\theta_N$	ν_N	L_N	σ_N	U_1

離散之推測地震事件

震源機率模型

震災境況模擬技術

資料與分析模式的不確定性

人員、設施、管線等資料庫

註： M_i 、 E_i 、 N_i 、 d_i 、 l_i 和 θ_i 分別指地震規模、震央經度、緯度、震源深度、斷層開裂長度和走向等

年平均損失與標準差

$$AAL_T = \sum_{i=1}^N (L_i \cdot v_i)$$

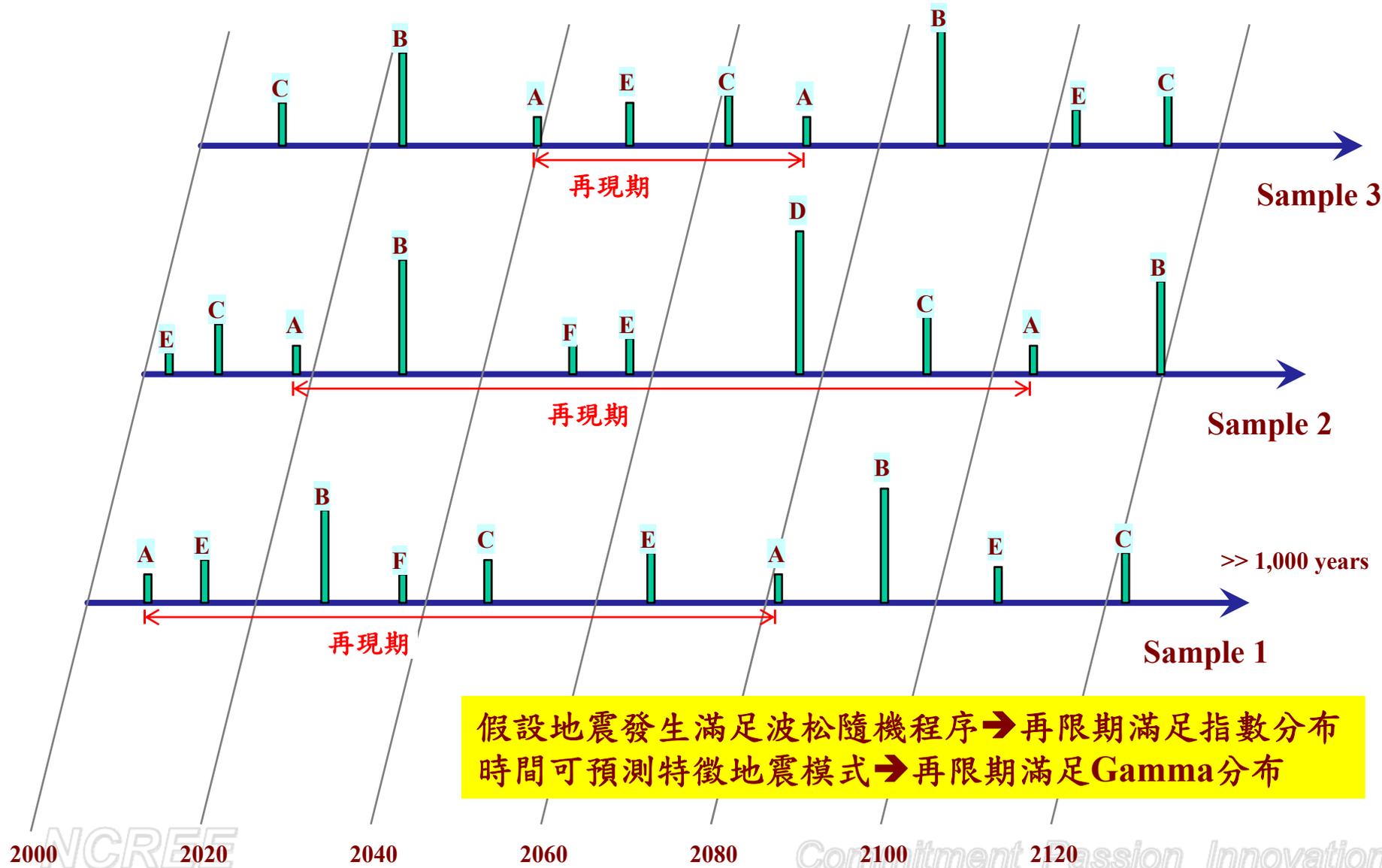
$$STD_T = \sqrt{\sum_{i=1}^N [(L_i^2 + \sigma_i^2) \cdot v_i]}$$

L_i 推測地震事件 i 引致的平均損失

σ_i 推測地震事件 i 引致損失的標準差

v_i 推測地震事件 i 的年發生率

蒙地卡羅數值模擬 → 年損失超越機率



2000 2020

2040

2060

2080

2100

2120

Commitment Passion Innovation

計算損失之年超越機率曲線

- ✦ 假設有 M 個獨立的推測地震事件，每一推測地震事件的發生滿足穩態波松隨機程序
- ✦ 依蒙地卡羅數值模擬，產生 S 個樣本，每一樣本模擬 N 年
- ✦ 每一樣本在任一年內的(總和或發生)損失依遞減排序

$$L_1 \geq L_2 \geq \dots \geq L_K \geq \dots \geq L_N$$

↓
 $1/N$

↓
 $1/N$

↓
 $1/N$

↓
 $1/N$

$$L \geq L_1 \text{ is } \nu_1 (= 1/N)$$

$$L \geq L_2 \text{ is } \nu_2 (= 2/N)$$

.....

$$L \geq L_K \text{ is } \nu_K (= K/N)$$

$$P(L \geq L_1) = 1 - e^{-\nu_1}$$

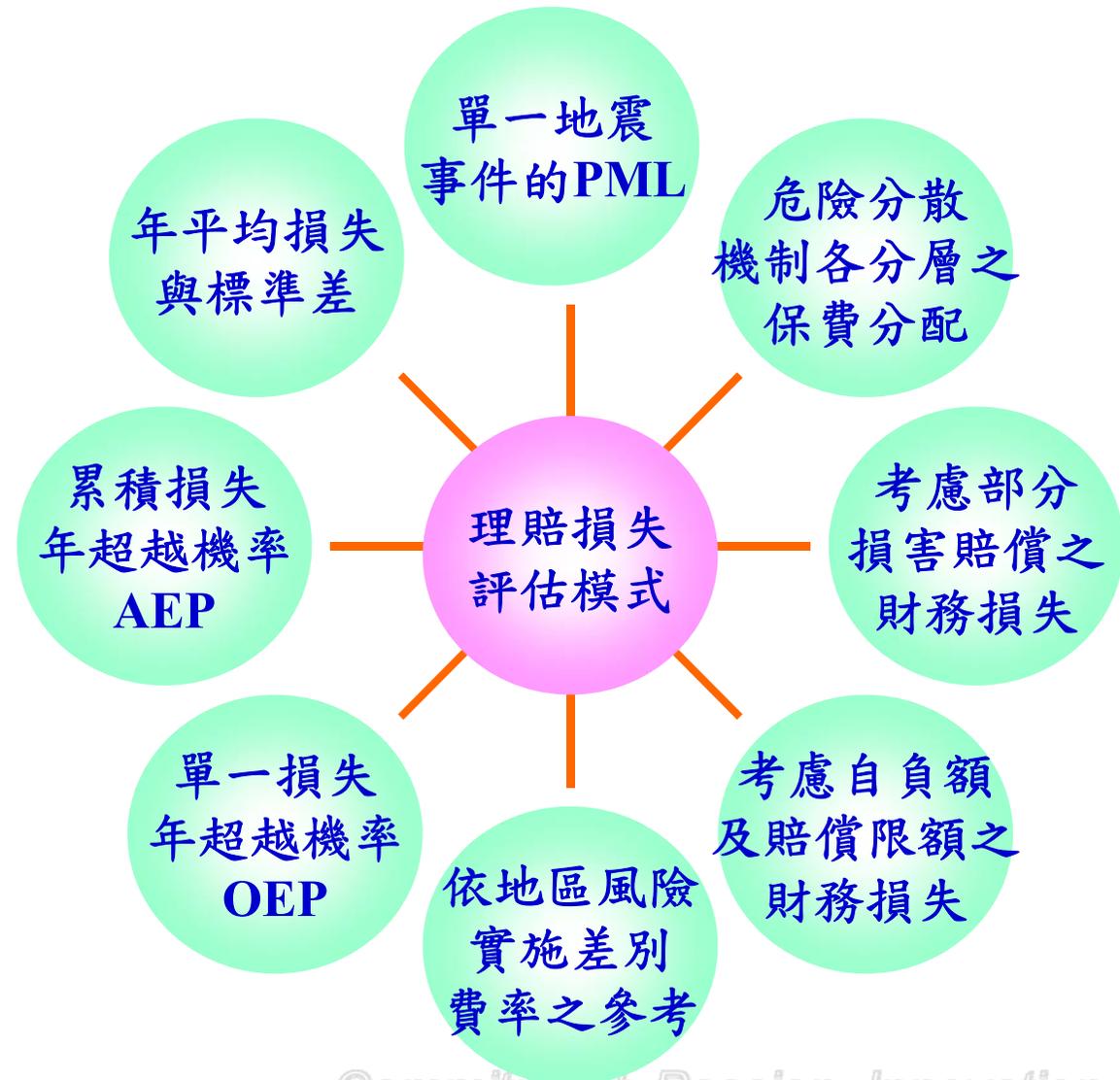
$$P(L \geq L_2) = 1 - e^{-\nu_2}$$

.....

$$P(L \geq L_K) = 1 - e^{-\nu_K}$$

保險理賠風險評估模型之功能與角色

- ✦ 合理評估臺灣住宅地震基本保險之理賠損失風險
- ✦ 提供檢討危險分散機制所需資訊
 - 單戶保險額與危險承擔之上限額擬訂
 - 全損或分損理賠條件之保險費率
 - 危險分散各層之純保費分配
 - 差別費率之可行性
- ✦ 提供再保險費率擬訂時之參考數據
- ✦ 提供動態財務分析所需資訊



鐵/公路橋梁耐震補強排序及效益評估

- ✚ 2002年協助TYLIN執行高速公路局委託計畫
 - 國道通車路段之橋梁的耐震分析與補強的經濟效益評估研究
- ✚ 2005年協助CECI執行公路總局委託計畫
 - 公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究
- ✚ 2011年協助SEC臺鐵局委託計畫
 - 環島鐵路整體系統安全提昇計畫(全線橋梁總檢查及耐震補強延壽規劃)
- ✚ 2013年協助TYLIN執行高速公路局委託計畫
 - 高速公路橋梁耐震補強後續路段評估與研究

未來展望

震災境況模擬之實務應用

✦ 地震前

- 依據可能地震事件和災損推估結果，研擬有效因應對策
 - ▶ 譬如縣市層級之地區災害防救計畫、鄉鎮層級之都市防災空間規劃、公用事業之防災業務計畫等
 - ▶ 識別高災害潛勢區、風險暴露分布和易致災地區，研擬最佳救援/避難道路、物資集結和前進指揮所等
 - ▶ 評估不同減災策略的具體成效，譬如結構耐震補強可降低多少損失或傷亡
- 結合震源機率模型，進行地震風險評估，研擬妥善風險分散和移轉策略，降低財務損失風險
 - ▶ 研發機率式地震保險風險評估模型，進行公有設施(鐵/公路橋梁、自來水送水幹管)之耐震補強可行性、效益與優選排序等
- 作為地震防災演練之情境設定的參考
 - ▶ 譬如國家防災日之地震演練

✦ 地震後

- 結合地震速報系統，開發地震早期損失評估技術
 - ▶ 即時推估可能傷亡與受困人數，適時啟動應變機制，協助災情研判與資源調度
 - ▶ 作為震後決策支援之輔助系統，快速畫定可能的重災區或孤立地區，有效進行搜救/消防/醫療/避難與民生物資等資源調派
- 滿足復原重建所需人力/經費/材料與機具等需求
- 檢討與紀錄地震災情

結語

✦ 知己知彼，百戰百勝

- 收集建置震源分布與活動特性、地震災害潛勢和風險暴露資料
- 探討地震引致各種災害現象的成因和後果
- 研發精進不同地區/人/事/物所面臨之地震風險程度和數量的評估模式

✦ 毋恃敵之不來、正恃吾有以待之

- 提升工程結構物之耐震性能和整體社會的耐災能力
- 強化地震應變機制和復原重建能力
- 進行震災境況模擬，量化地震風險，擬訂避災、減災、自留或分散等風險管理策略

謝謝聆聽
敬請指教