

地震風險評估模型對保險之應用

—分析保險損失回歸期、預期損失、費率及累積暴險之關係

葉錦勳

2024/4/18

前言

- 近期國震中心與住宅地震保險基金合作，更新TREIF-ERA

- 台灣地震保險風險評估系統

Taiwan Earthquake Risk Assessment for Insurance (TERA-ins)

- 以境況模擬為基礎之
機率式
地震保險風險評估模型

→ 結合震災境況模擬技術：

- (1) 涵蓋多種災害潛勢(地震動、液化...);
- (2) 考慮災害潛勢→損害→損失的因果關係；
- (3) 依理賠條件，量化保險損失

→ 考慮震源活動與引致損失的不確定性：

- (1) 研擬地震之時間、空間與規模的機率模型
- (2) 概估推測地震引致損失的標準差、上限值

地震保險風險評估模型須具備的功能

- 綜合考慮下列各項因素，擬訂合理的保險費率
 - 保單組合：保單數量、保險金額/額外給付費用、建築結構耐震能力
 - 承保項目：財產損失(建築本體/裝潢/動產)、營業中斷損失、工程損失
 - 理賠條件：全損理賠、分級理賠、實損理賠
 - 推估：年平均損失(AAL)、損失標準差(STD)
- 協助依財務狀況，檢討巨災風險之自留、移轉或分散策略
 - 住宅地震基本險之危險分散機制、總危險承擔限額
 - 危險分散機制各層損失風險、起賠機率、耗竭機率...
 - 損失年超越機率曲線(AEP、OEP)
 - 單一事件可能最大損失(PML)
- 探討其它議題：強制納保、差別費率...

TERA-ins之分析流程

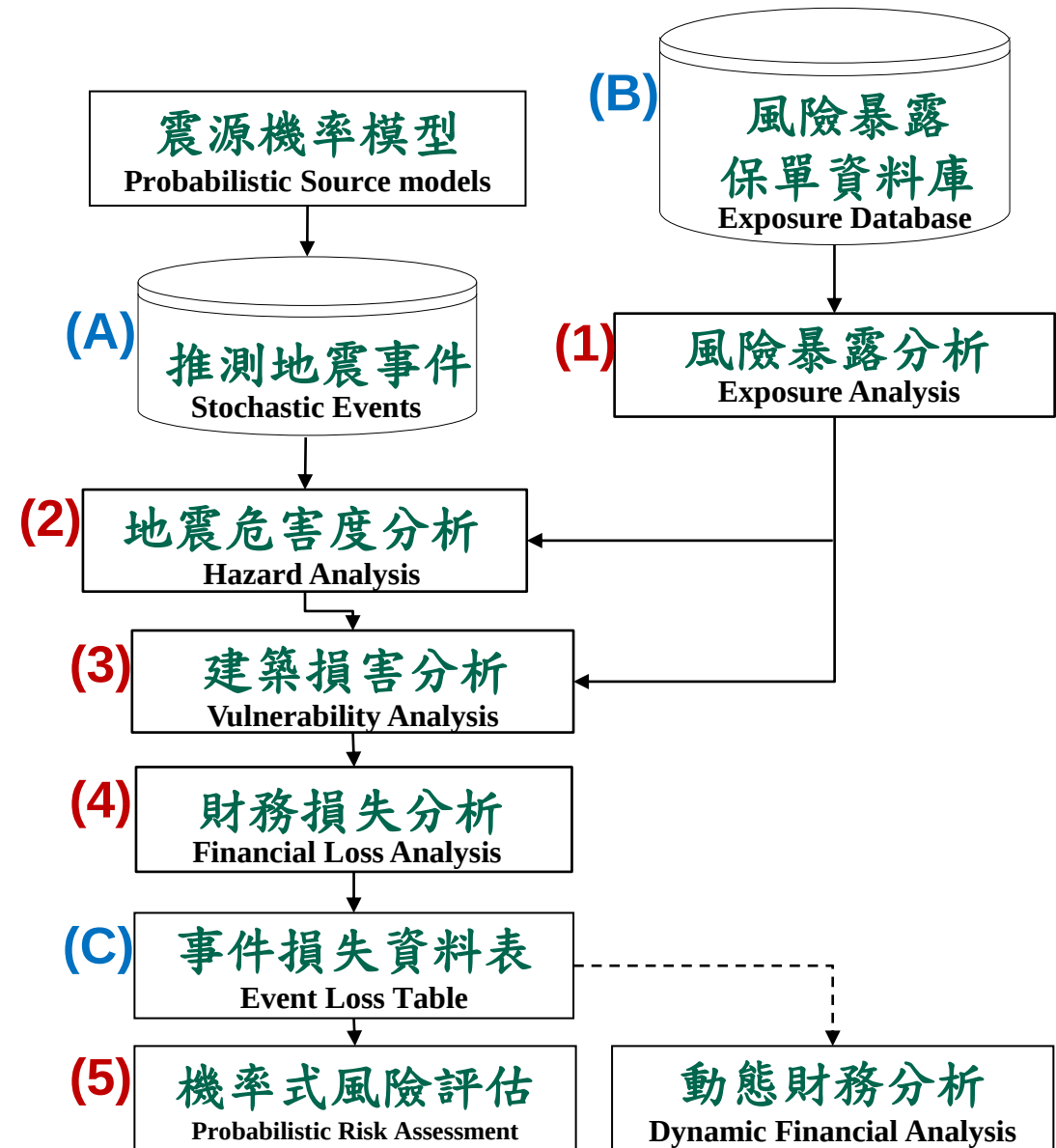
(Taiwan Earthquake Risk Assessment for Insurance)

■ 3個資料庫

- (A) 內建的推測地震事件資料庫
- (B) 原始保單暨轉換後保單資料庫
- (C) 輸出地震事件損失資料表

■ 5個分析模組

- (1) 利用地址定位技術、轉換原始保單資料...
- (2) 推估地震動強度、土壤液化機率與震陷量...
- (3) 推估建築本體、非結構、動產之損害與損失
- (4) 依理賠條件推估保險損失與理賠處理費用
- (5) 依危險分散機制，計算整層與分層之AAL、STD、AEP、OEP、PML...



震源機率模型與推測地震事件

■ 震源機率模型

- 描述地震之時/空和地震規模的機率分布

■ 斷層震源之推測地震事件

- 參考地礦中心和台灣地震模型(TEM)

- 地表斷層跡線、傾角、破裂機制和深度
- 特徵地震規模、長期滑移率

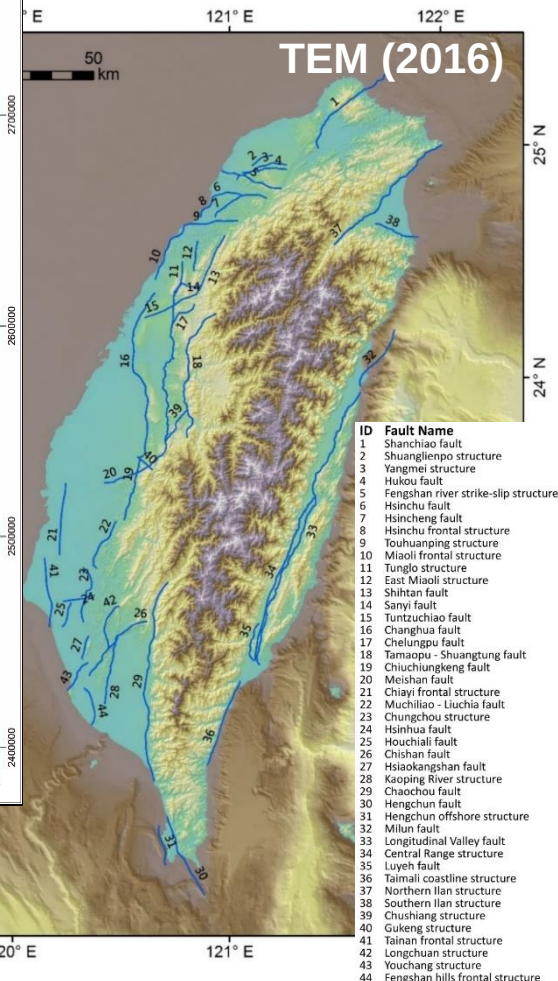
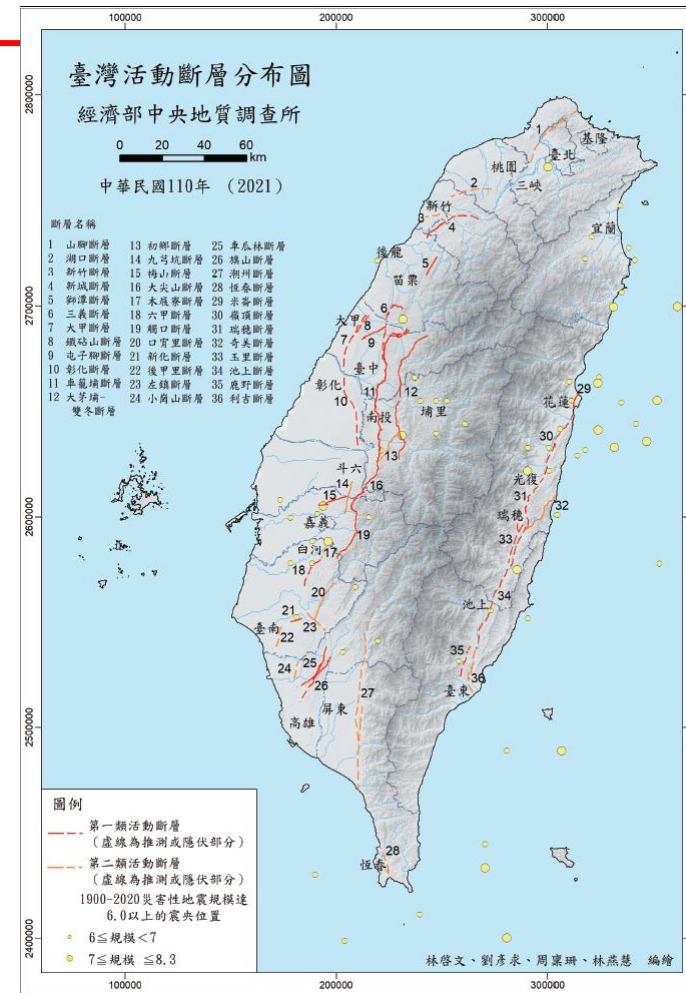
- 依特徵地震模式及近期事件擬訂年發生率

■ 區域震源之推測地震事件

- 整理歷史地震目錄

- 劃分淺震源、深震源和隱沒帶震源之震源分區
- 推估各震源分區之G-R關係式、上限規模、震源深度分布

- 依截切指數模式擬訂年發生率



地址定位技術與應用

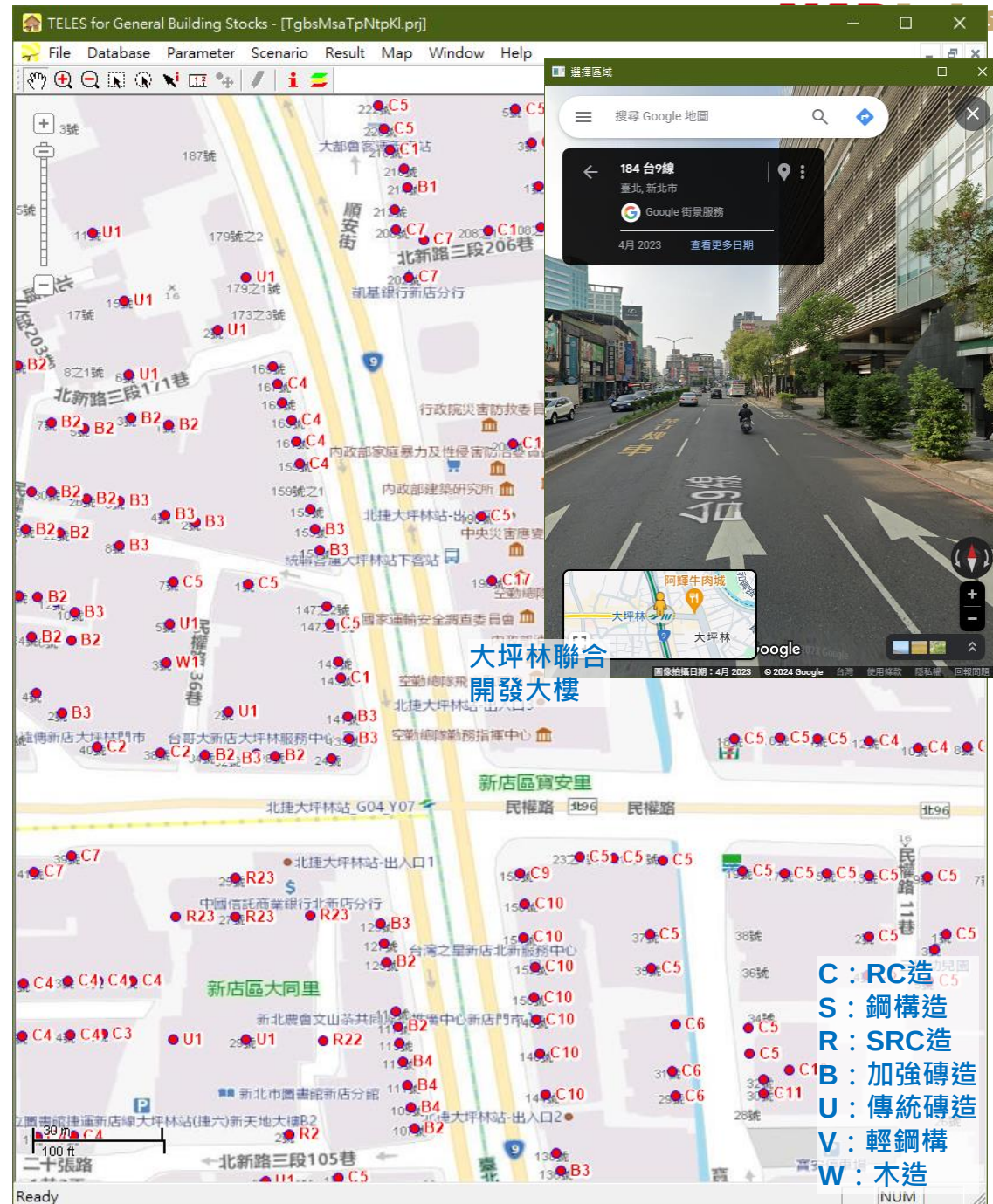
■ 地址定位技術

- 剖析地址字串，將地址資訊轉換為地理座標
- 涵蓋全台22縣市；回傳代碼可概估定位精度
- 有別於TGOS、Google Maps；毋須上網，無查詢費用

■ 實務應用

- 整理全台各縣市房屋稅籍資料，建置棟號單元的建築耐震屬性資料庫(參見右圖)
- 住宅地震基本險可依保單地址作為定位依據
- 以往案例：總保戶數3,286,309，30分鐘內完成定位，至少98.26%符合村里精度需求

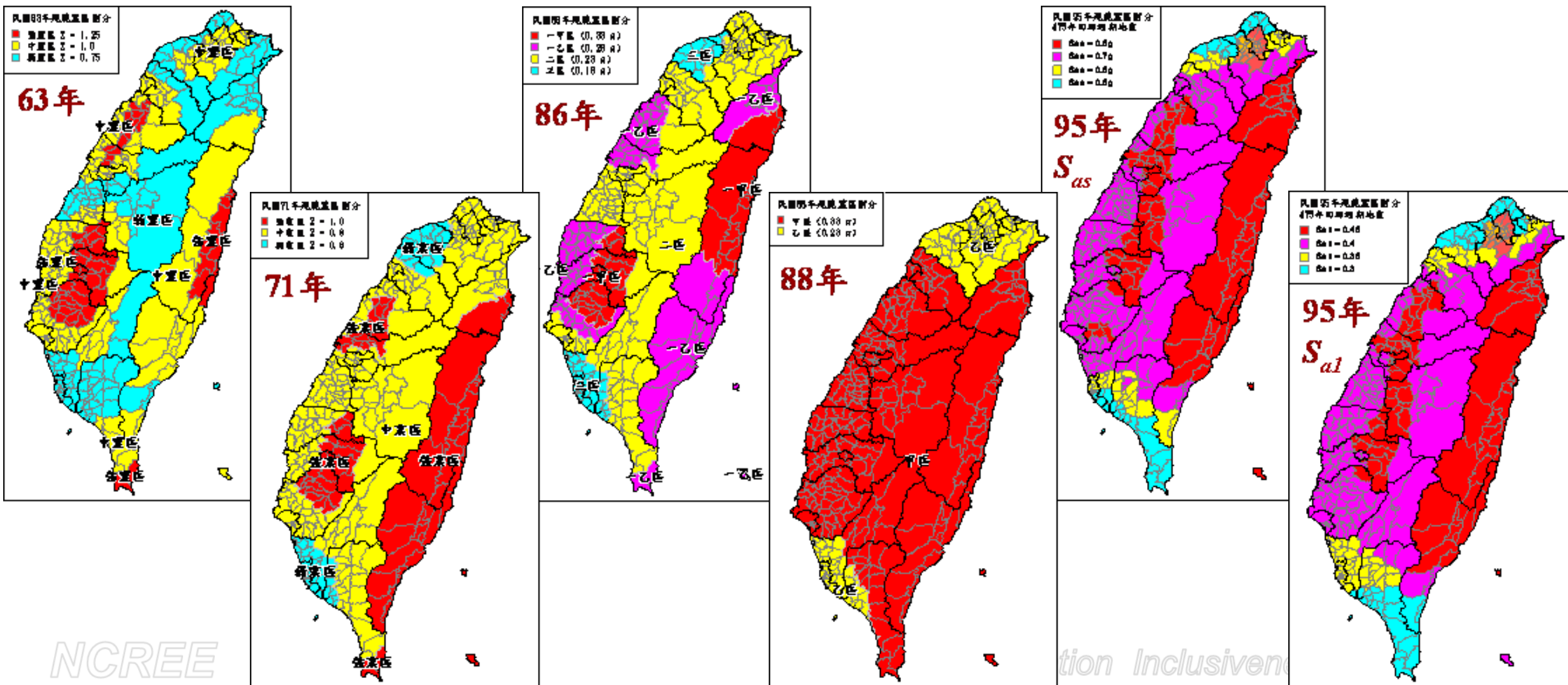
NCREE



建築耐震設計規範沿革

Code Period	P	A	B	C	D	E	F	G
Design Level	P	L	M		K	H		
頒布年月		63年2月	71年7月	78年5月	86年6月	88年12月	94年6月	100年
震區劃分		震區係數Z 強震區=1.25 中震區=1.0 弱震區=0.75	震區係數Z 強震區=1.0 中震區=0.8 弱震區=0.6		震區水平加速度Z 一甲區=0.33 一乙區=0.28 二區=0.23 三區=0.18	震區水平加速度Z 甲區=0.33 乙區=0.23	短週期震區設計譜加速度： 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 一秒週期震區設計譜加速度：0.3, 0.35, 0.4, 0.45	
最小設計水平總橫力		$V = Z \cdot K \cdot C \cdot W$	$V = Z \cdot K \cdot C \cdot I \cdot W$		$V = \frac{Z \cdot I \cdot W}{1.4 \cdot \alpha_y} \cdot \left(\frac{C}{F_u} \right)_m$		$V = \frac{I \cdot W}{1.4 \cdot \alpha_y} \cdot \left(\frac{S_{ad}}{F_u} \right)_m$	
主要改變		●地震危害度 ●組構係數K=韌性立體剛構0.67/0.8/一般1.0/剪力牆1.33 ●震力係數C=0.1 ●超過30公尺$C = \frac{0.1}{\sqrt[3]{T}} \leq 0.1$	●用途係數I=住家1.0/學校1.25/醫院1.5 ●震力係數$0.0625 \leq C = \frac{0.1}{8\sqrt{T}} \leq 0.15$	●台北盆地特殊規定 ●台北盆地震力係數$C = \frac{0.248}{T} \leq 0.15$	●C正規化反應譜 ●α_y起始降伏地震力放大倍數 ●F_u地震力折減係數 ●T_G堅實、中等、軟弱地盤和台北盆地		●S_{ad}均布危害度 ●V_{s30}地盤分類 ●工址放大係數 ●近斷層調整因子 ●設計地震、最大考量地震 ●台北盆地劃分為四個微分區	台北盆地劃分為三個微分區
大事紀			75 年花蓮外海地震，台北縣中和市華陽市場倒塌		88年921地震			

不同年分之耐震設計規範的震區劃分與震區係數示意圖



模型建物分類：18種

耐震等級：數百種

■ 構造類別

- 鋼筋混凝土造：C1L、C1M、C1H、C1SH
- 鋼構造：S1L、S1M、S1H、S1SH、S3
- 鋼骨鋼筋混凝土造：SRC1L、SRC1M、SRC1H、SRC1SH
- 預鑄混凝土造：PCL
- 加強磚造：RML、RMM
- 傳統磚造：URML
- 木造：W1

■ 樓層數

- 概分1-3層(L)、4-7層(M)、8-18層(H)和19層以上(SH)
- 典型模型建物以2、5、12和24層樓為代表

■ 耐震強度

- 結構可承受的地震力(加速度)
- 依建造時之耐震設計規範：包含震區劃分、震區係數、結構振動週期、容許韌性容量、地震力折減係數、用途係數、最小設計水平總橫力...等
- 參考構件之試驗數據

■ 韌性水準

- 結構可承受的變形量(頂層位移率)
- 參考耐震設計之結構系統的韌性容量
- 考量施工細節和品質，應與構造類別和建造年分有密切關係

Innovation Inclusiveness Sustainability

保單/風險暴露分析模組

■ 匯入原始保單

- 指由保險公司維護之保單資料
- 含保險金額、額外給付費用、理賠條件...等

■ 轉換後個別保單

- 利用地址定位功能，獲得地理座標
- 依建造年分、構造類別、樓層數...等新增模型建物類別、耐震等級
- 如保單數量龐大，不適合依個別保單逕行評估

■ 村里分類保單

- 住宅地震基本險保單數量龐大
- 以村里為單元，將相同模型建物、耐震等級和理賠條件的保單合併，提升運算效率

	原始保單欄位	轉換後個別保單新增欄位
保單識別	保單號碼	
建築物基本資料與耐震屬性	構造類別	模型建物
	樓層數	
	建造年份	韌性水準 耐震強度 耐震等級
	建物用途	
	住址	經緯度座標 村里代碼
	郵遞區號	
保險金額資料	建物價值	基本造價 非結構比率
	建築物保險金額	
	動產保險金額	動產價值
	額外給付費用 (含臨時住宿費等)	

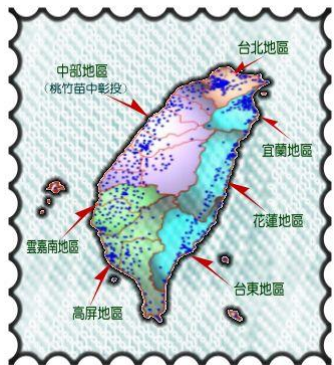
innovation inclusiveness sustainability

財務損失分析模組

- 推估保險標的**總損失**、**保險損失**和**理賠處理費用**等
- 保險責任額為下列三項的組合
 - **建築本體**、**裝潢**：設定保險金額，採分級或實損理賠，有推定全損
 - **動產**：設定動產保險金額，均採實損理賠，無推定全損
 - **額外給付費用**：如現行住宅地震基本險的臨時住宿費，採分級理賠
- 保險理賠條件概分為
 - **全損或分級理賠**：依實際損失比理賠固定比率的保險金額
 - **實損理賠**：依**保險金額**與**重置成本**的比率理賠震後**實際損失**，須扣除自負額

地震早期損失評估、 單一地震境況模擬

地震速報電子郵件



This is Informal Information for Rapid Dissemination, the Official Report will be Broadcasted by CWB, Taiwan, R.O.C., at <http://www.cwb.gov.tw/> Magnitude, ML=5.7 Origin Time: 2/ 7/18 15:21:31.7 (UT) Get Result Time ==> 15:26:36 Location: 24.11N 121.79E, Depth: 10.0 KM

Sta.	Lat.	Lon.	Inten	PGA[gal]	RPGA	EpDIs	P_Arr(sec)	S_Arr(sec)
ETL	24.16N	121.62E	4	66.9	86.7	17.6		
TWD	24.08N	121.60E	4	31.2	76.8	19.2		
EHP	24.31N	121.75E	4	53.4	63.9	21.7		
HWA	23.98N	121.61E	4	26.7	55.9	23.7	36.3	
FGA	23.97N	121.56E	3	11.9	43.0	27.9	36.7	40.7
EYL	23.90N	121.60E	4	26.6	37.8	30.2	38.2	43.4
ETM	23.97N	121.49E	3	20.6	30.3	34.4	37.2	42.0
ENA	24.43N	121.75E	4	25.8	30.0	34.7	38.6	44.4
ESF	23.87N	121.51E	3		24.0	39.5		
ESL	23.81N	121.44E	3	8.7	16.6	48.8	40.5	48.1

地震定位資訊

- 地震規模
- 震央位置
- 震源深度

速報站監測數據

- 震度
- PGA、PGV、EpDist

緊急應變作業



地震早期損失 評估雲端服務

2分鐘內

- 客製化手機簡訊
- 電子郵件
- Web-GIS資訊網站
- 行動通訊App服務

自動啟動

地震早期損失 評估系統

地震定位資訊
地動強度分布

篩選地震事件 震損評估結果

地震損失模擬 資料庫

地震早期損失評估與實際值之比較

地震事件	規模 M_L	深度 (km)	實際 死亡數	早期評估 死亡數	實際 保險損失	早期評估 保險損失
2010/3/4甲仙地震	6.4	5/23	0	1(1-3)	2.76	2.4(0.3-9.1)
2016/2/6美濃地震	6.4/6.6	17	117	12(5-30)	169.6	189.3(94-367)
2018/2/6花蓮地震	6.0/6.2	10	17	5(0-5)	100.3	30.2(8.7-40.7)
2022/9/18池上地震	6.8	7	1	7(4-20)	1.72	6.3(3.2-6.3)
2024/4/3花蓮地震	7.2	15.5	?	134(84-134)	?	710.9(465.4-710.9)

(Tgbs模擬結果)

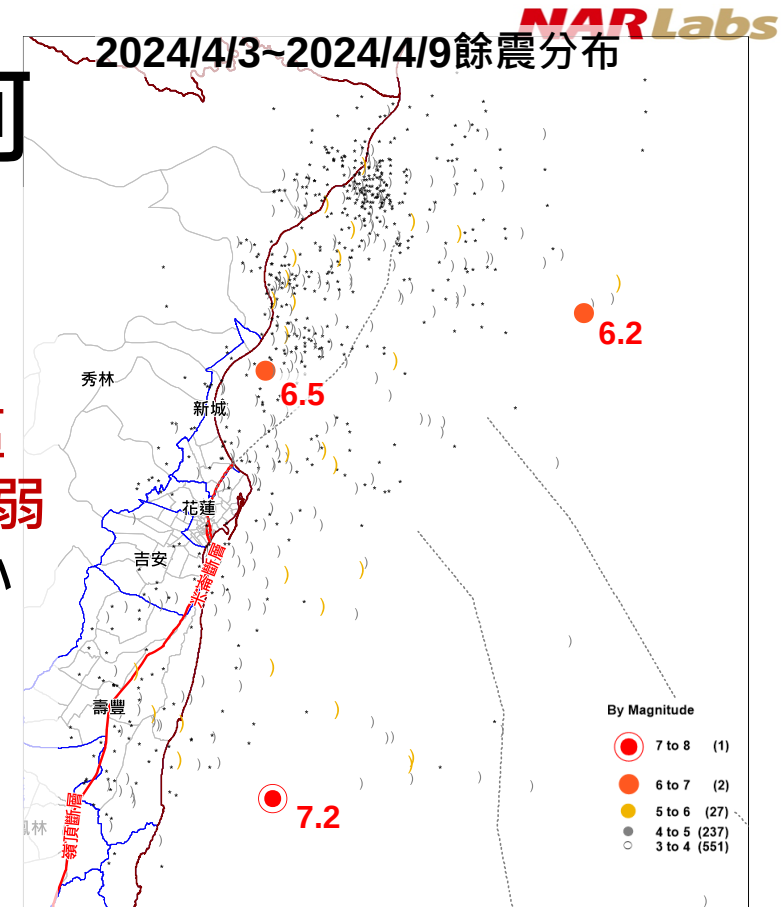
(單位：百萬元)

- 同時參考中央氣象署(CWA)之**地震定位**和**速報站觀測值**，可具容誤能力
- 採用GMPE，各地之地震動強度預估值僅與規模和距離密切相關；
無法與實測地震動強度完全吻合
- 震後短時間無法獲得可靠的斷層破裂**位置**、**深度**、**尺度**與**幾何型態**
- 2020/1/1起，CWA採用**新制震度**並沿用 M_L ；TERA採用 M_w 、GMPE
➤ $M_L \rightarrow M_w$ ；**三向合成PGA** ➤ **水平向PGA**

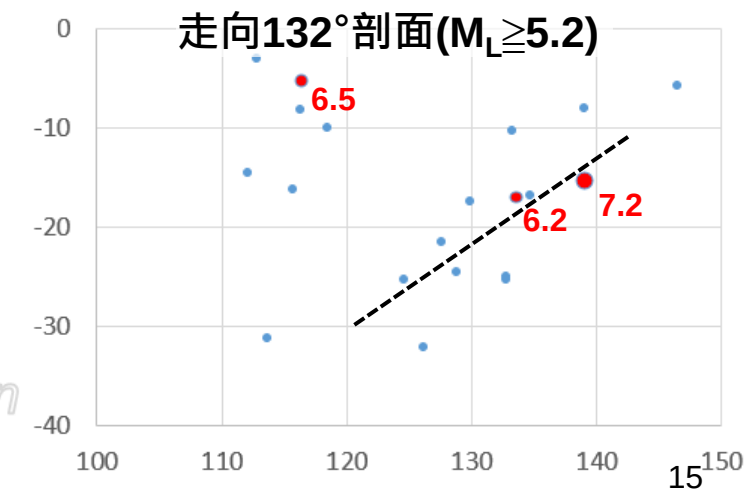
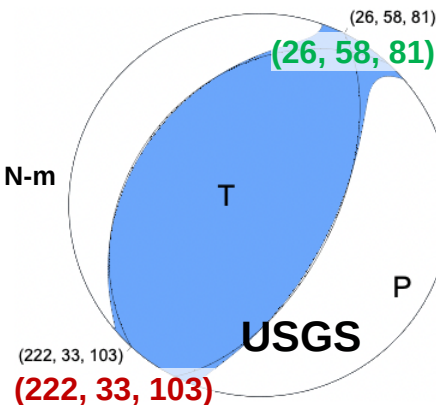
Innovation Inclusiveness Sustainability

震後即時研判斷層破裂面位置與幾何

- 2024/4/3 7:58 a.m. 花蓮外海 $M_L 7.2$ 地震，逆斷層
- 中央氣象署公布之震度分布，震度5弱以上多集中於中部以北地區
- 地震規模與921地震相當，但震度6弱以上區域遠小於921地震，災損較小
- USGS斷層面解：斷層破裂面可能向東南或向西北傾斜
- 一週內餘震分布(右下)可概分兩群
- 研判主斷層破裂面向西北傾斜，並誘發米崙斷層外海段



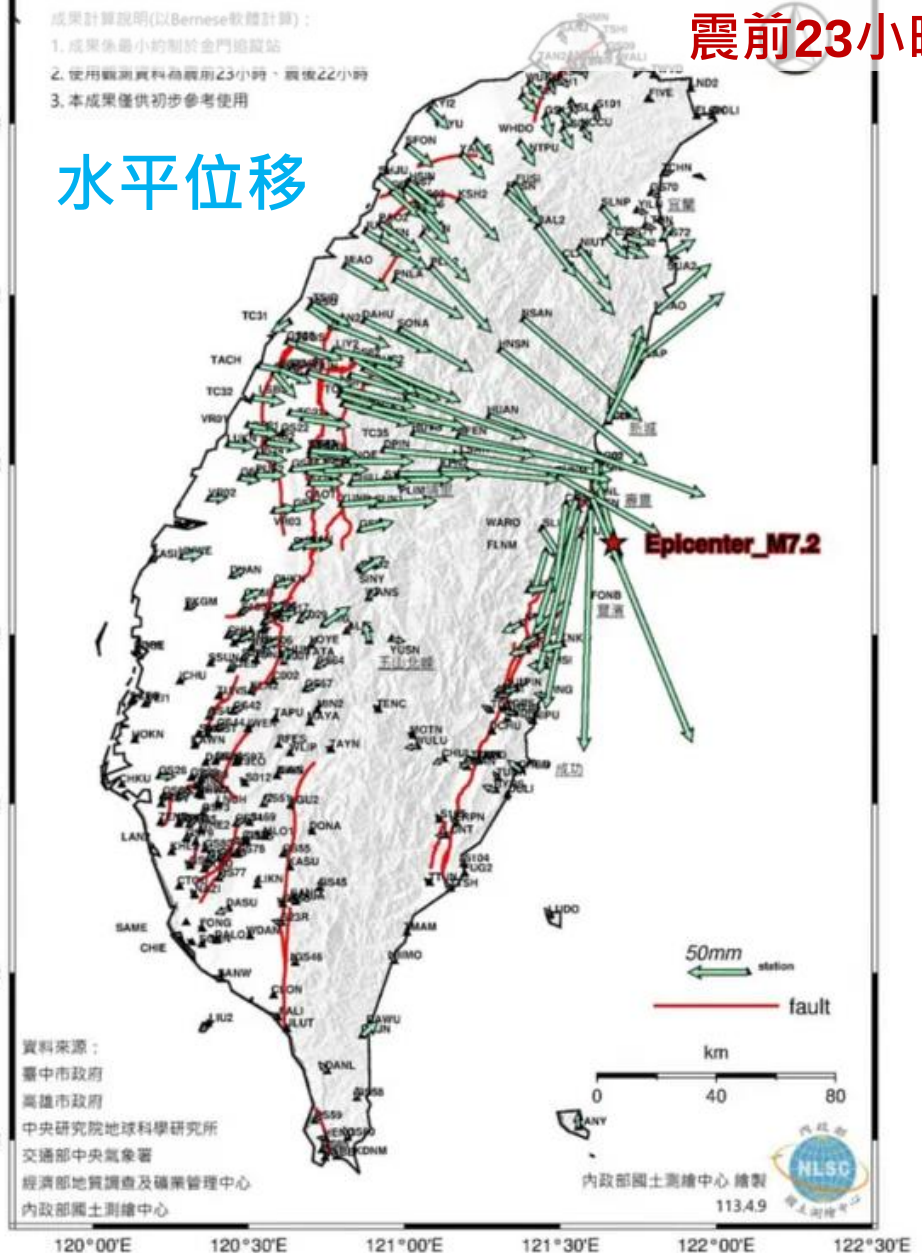
magnitude = 7.37
depth = 23.5 km
moment = $1.444e+20$ N-m



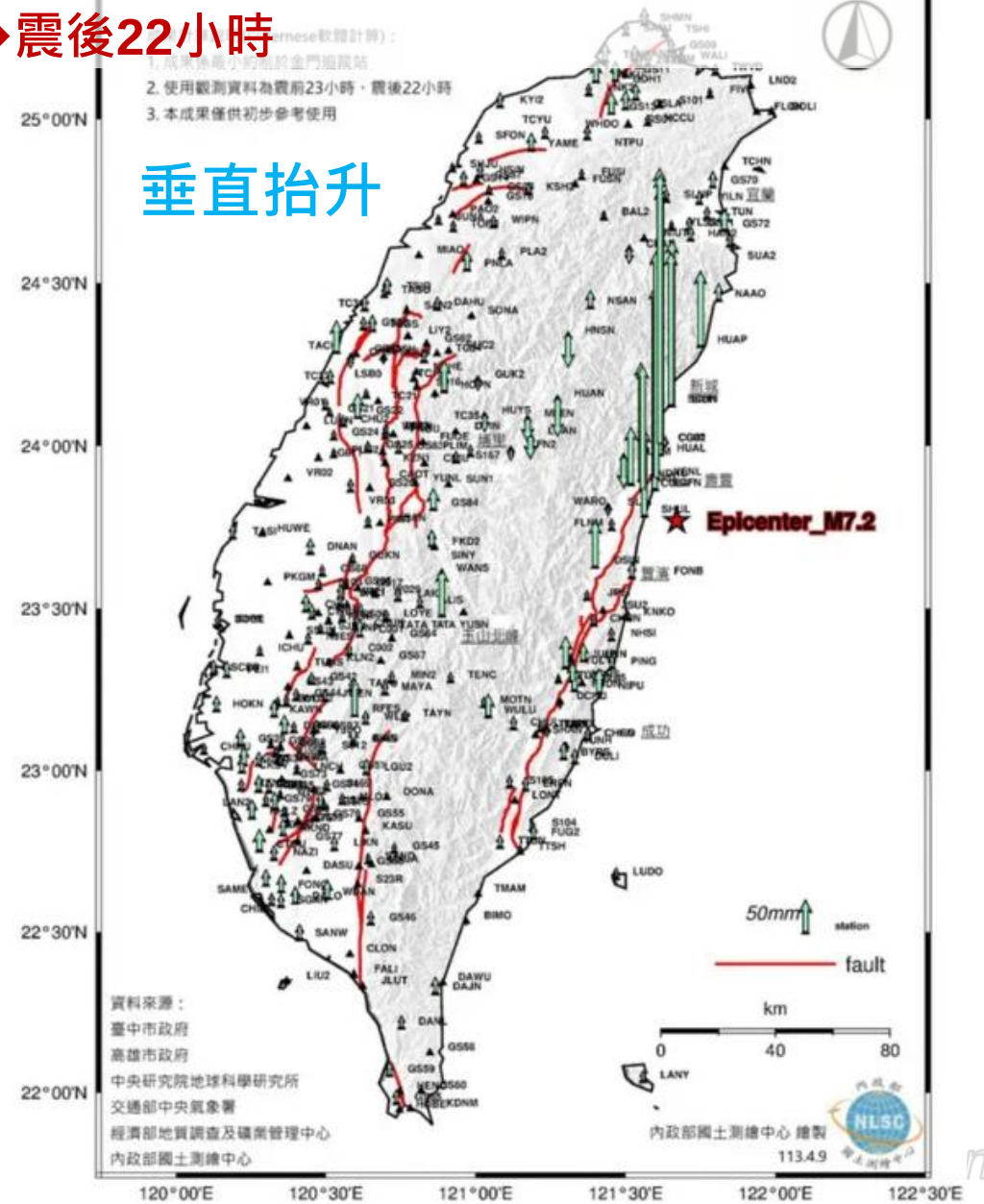
內政部國土測繪中心繪製之0403花蓮地震地表位移

震前23小時→震後22小時

水平位移

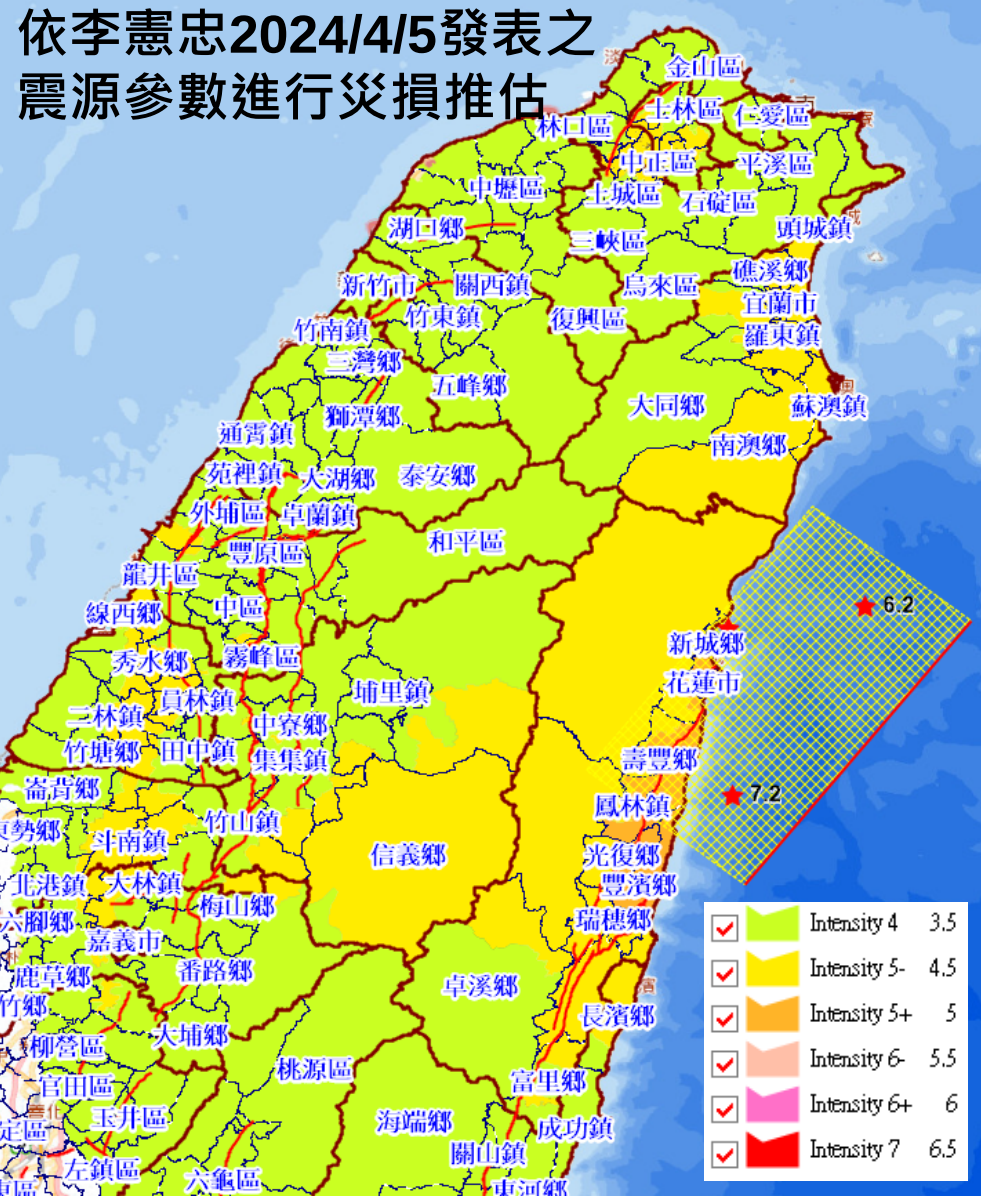


垂直抬升



震後驗證災損評估模型與參數值之合理性

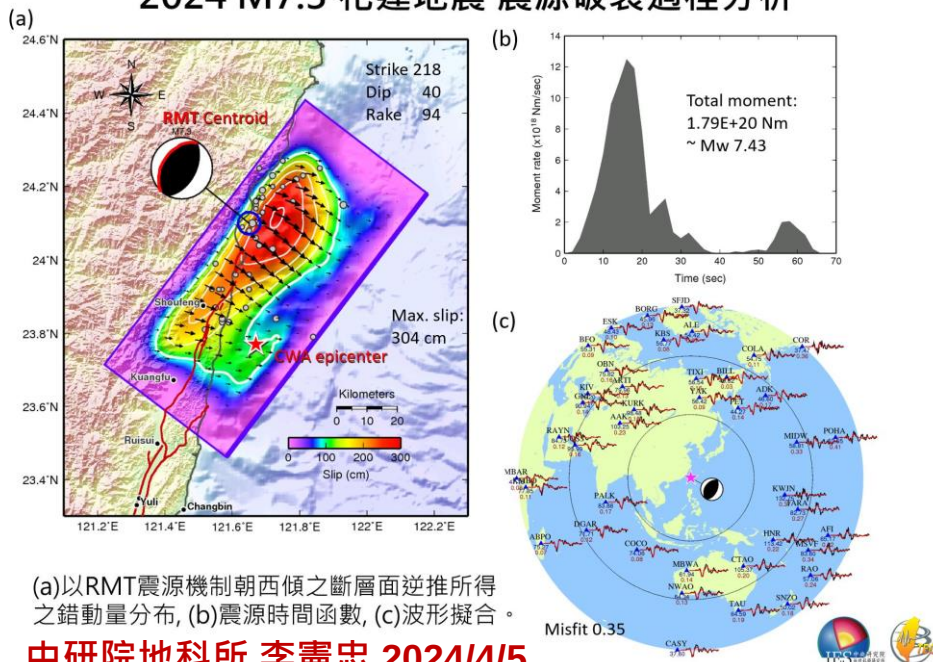
依李憲忠2024/4/5發表之
震源參數進行災損推估



GMPE	住宅地震基本險保險損失 (含理賠處理費，百萬元)	Tgbs模擬結果	
		建築損害(棟)	傷亡和(人)
隱沒帶	57.2	52	5
逆斷層	106.2	96	12

- 截至2024/4/15：住宅地震基本險達理賠標準**21**戶
- 截至2024/4/14：商業/住宅建築物紅單：**56**；黃單：**108**

2024 M7.3 花蓮地震 震源破裂過程分析



(a)以RMT震源機制朝西傾之斷層面逆推所得之錯動量分布, (b)震源時間函數, (c)波形擬合。

中研院地科所 李憲忠 2024/4/5

機率式地震風險評估結果

地震事件損失資料表

- 事件年發生率
 - 時變性之等值波松隨機程序的年發生率
- 事件損失期望值
 - 個別保單之損失期望值總和
- 事件損失標準差
 - 個別保單的損失比越小，變異係數越大
 - 考量保單組合的損失多樣性，推估事件損失的標準差
- 事件損失上限值
 - 依損失期望值和標準差擬訂，且不大於保險責任額

影響範圍內的保險
損失和損失標準差
保單種類數量
與損失分布
震災境況模擬
結果
考慮時變性
震源機率模型
離散獨立之
推測地震事件

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	$M_1、(E_1, N_1)、d_1、l_1、\theta_1$	ν_1	L_1	σ_1	U_1
2	$M_2、(E_2, N_2)、d_2、l_2、\theta_2$	ν_2	L_2	σ_2	U_2
...	...	...	...	...	...
k	$M_k、(E_k, N_k)、d_k、l_k、\theta_k$	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

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

是計算各項風險指標，擬訂保險費率，或進行動態財務分析的基礎資料

年平均損失(AAL)與損失標準差(STD)

無總危險承擔限額時，可依下式計算

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

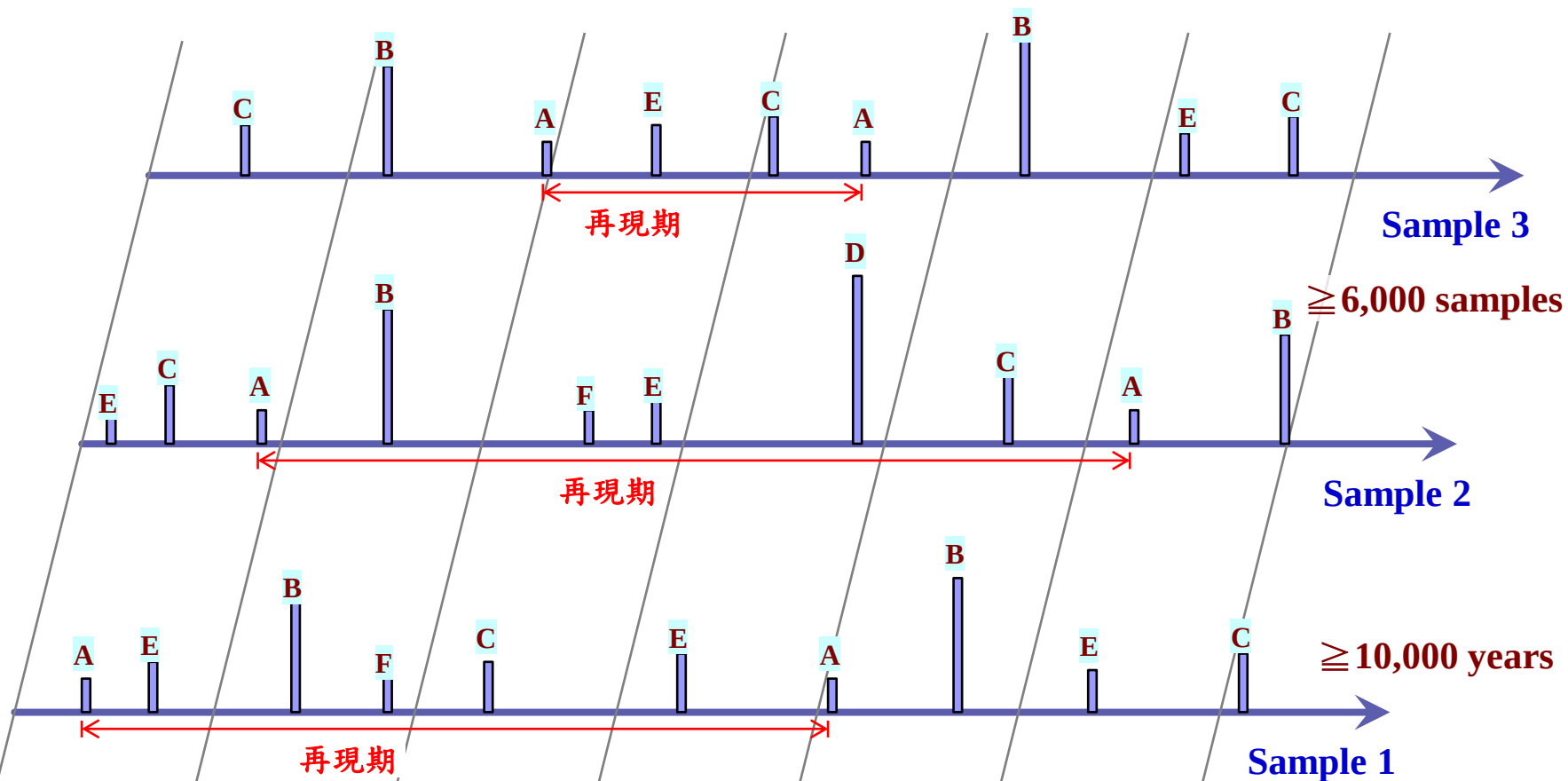
$$STD = \sqrt{\sum_{i=1}^N [(L_i^2 + \sigma_i^2) \cdot v_i]}$$

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 引致的損失標準差

v_i 推測地震事件 i 的年發生率

蒙地卡羅數值模擬示意圖



A、B、C、D、E、F...各代表一個推測地震事件

- 穩態波松隨機程序 → 再現期為指數分布的隨機變數
- 引致損失為beta機率分布

2000

3000

4000

5000

6000

7000

8000

OEP(最大/發生年損失)、AEP(總和/累積年損失)

每一Sample之損失由大至小排序 $L_1 \geq L_2 \geq \dots \geq L_K \geq \dots \geq L_N$

損失 $\geq L_i$ 的年發生率 $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 $1/N$ $2/N$ k/N 1

N : 每一Sample之總模擬年數

綜合計算所有Samples的損失平均值

$L \geq L_1$ 的年發生率 $\nu_1 (= 1/N)$

$L \geq L_2$ 的年發生率 $\nu_2 (= 2/N)$

.....

$L \geq L_K$ 的年發生率 $\nu_K (= K/N)$

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

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

.....

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

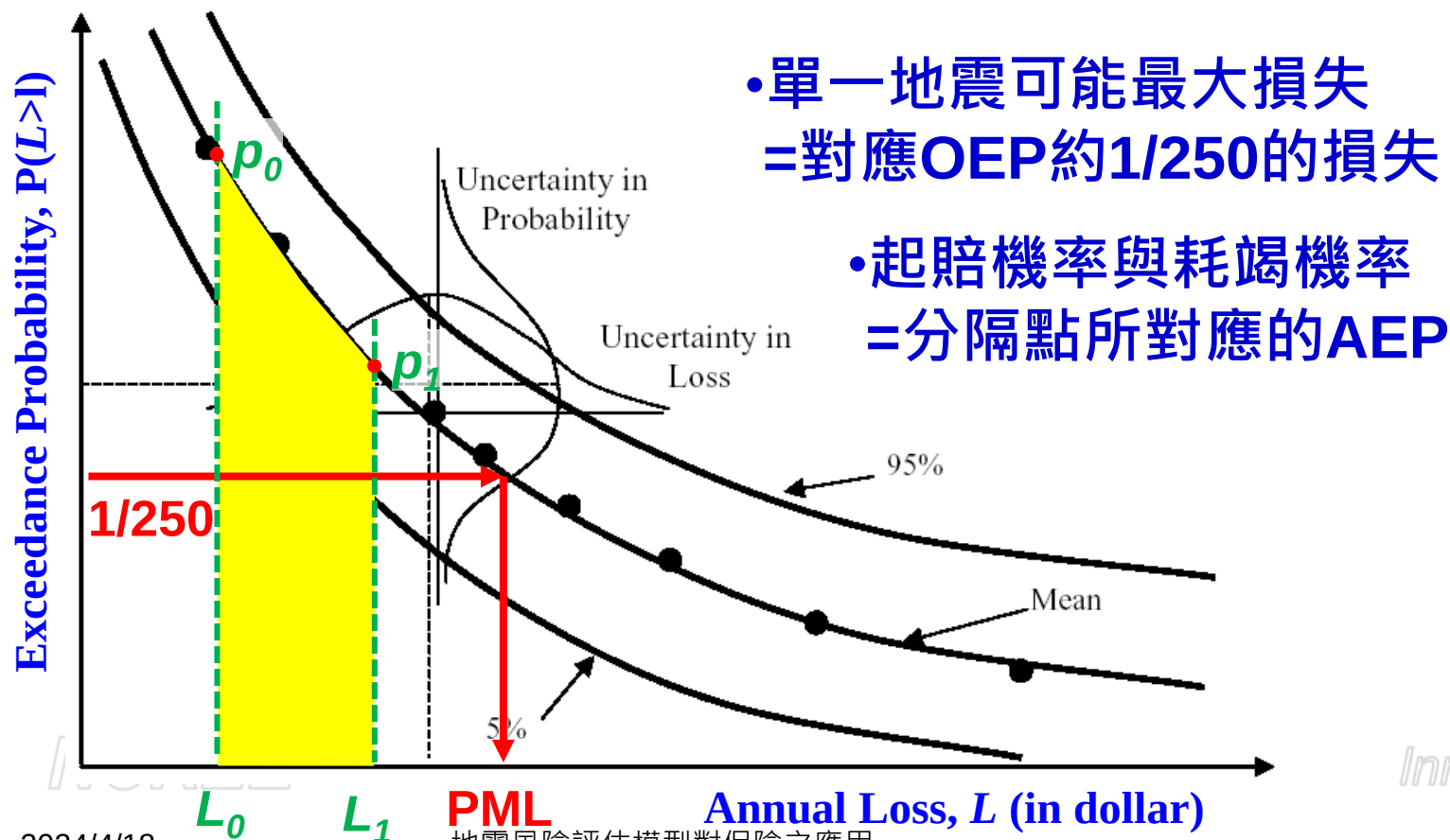
NCREE

Innovation Inclusiveness Sustainability

- 每個sample可產生一條年損失超越機率曲線，故S個sample可產生S條年損失超越機率曲線
- 固定超越機率，可計算年損失的分布
- 固定年損失，可計算超越機率的分布

$$E[L] = \int_0^{\infty} (1 - F(x)) dx$$

- 年平均損失
=AEP曲線下面積



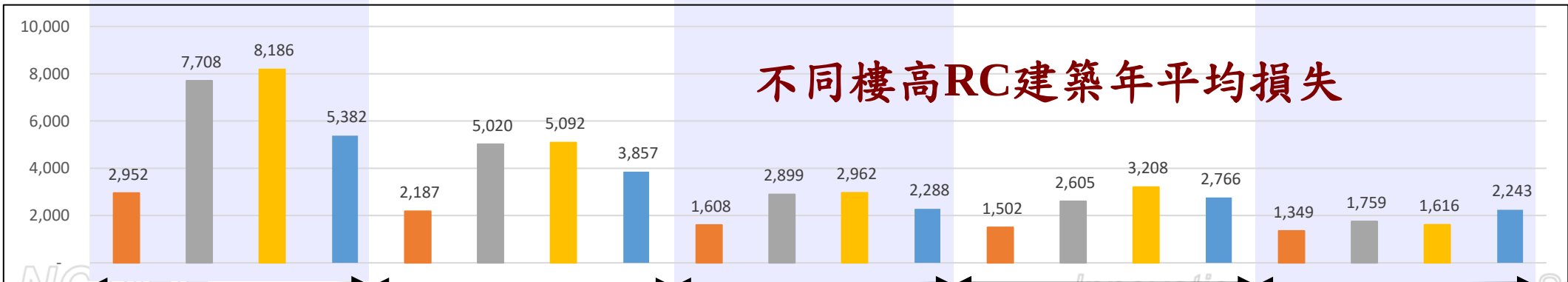
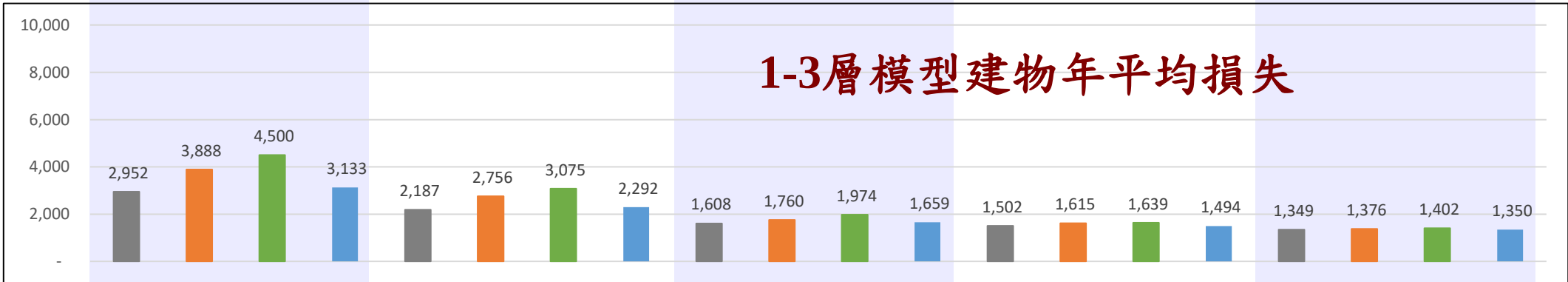
$$E[L^*] = \int_{L_0}^{L_1} (1 - F(x)) dx$$

$$L^* = \min[(L - L_0), (L_1 - L_0)]$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{if } L \leq L_0 \\ L - L_0 & \text{if } L_0 < L \leq L_1 \\ L_1 - L_0 & \text{if } L_1 < L \end{cases}$$

•各層之年平均損失
=AEP曲線下各區間面積

同質性保單之地震風險評估測試



P: ~ 1974

A: 1974 - 1982

B: 1983 - 1989

D: 1997 - 1999

F: 2005 ~

地震風險評估模型對保險之應用

不同時期之住宅地震基本險的風險評估

保單年份	保險總金額	臨時住宿費	總保險責任額	總戶數	保額增加率
2014/03/31	3,718 bn	515 bn	4,233 bn	2,574,995	基準
2019/12/31	4,501 bn	620 bn	5,122 bn	3,102,381	21.1%
2023/12/31	5,160 bn	701 bn	5,861 bn	3,504,007	38.8%

➤ 理賠條件採推定全損；保險金額上限150萬元，臨時住宿費20萬元

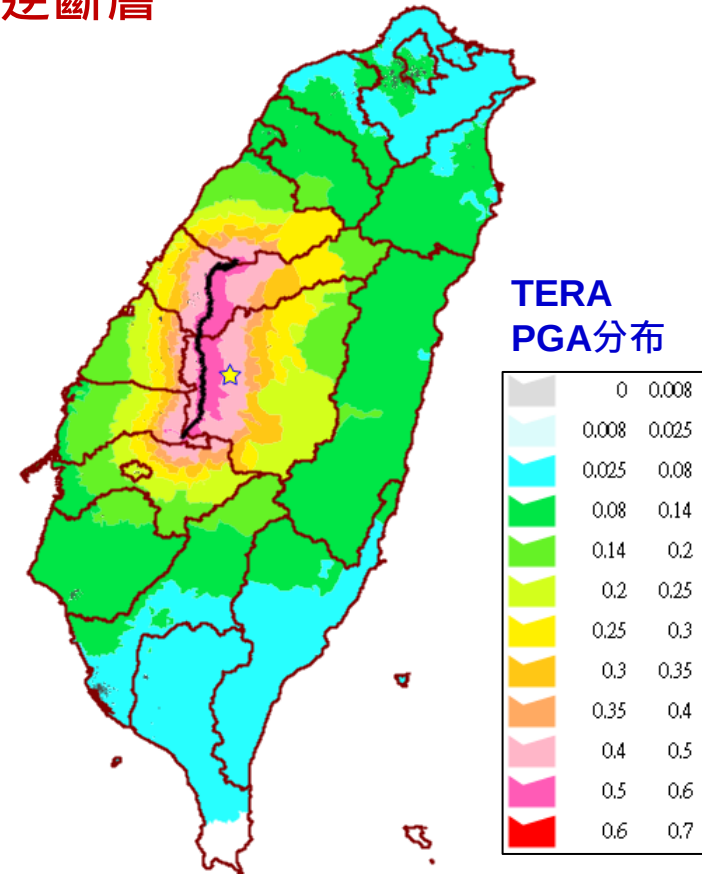
		2014/03/31		2019/12/31		2023/12/31	
Return Period (Years)	Exceedance Probability (%)	AEP	OEP	AEP	OEP	AEP	OEP
500	0.20%	106.1 bn	104.8 bn	130.3 bn	128.6 bn	151.7 bn	149.8 bn
250	0.40%	69.6 bn	68.5 bn	86.3 bn	84.9 bn	101.1 bn	99.6 bn
100	1.00%	34.0 bn	33.3 bn	42.4 bn	41.5 bn	49.8 bn	48.8 bn
50	2.00%	16.7 bn	16.2 bn	20.7 bn	20.1 bn	24.2 bn	23.5 bn
集集地震保險損失		19.1 bn (回歸期約54年)		22.7 bn (回歸期約53年)		25.7 bn (回歸期約52年)	

➤ 其它風險評估模型之集集地震保險損失評估結果：介於13 bn~60 bn；回歸期介於40~180年

車籠埔斷層地震損失評估結果的觀察

- 根據陳文山教授推估：
車籠埔斷層破裂引致地震的再現期約**350年**
- 車籠埔斷層地震(M_w 7.6)引致的保險損失
 - TERA-ins : **25 bn**
回歸期：**50年**
 - 其它風險評估模型：**13 bn~60 bn**
回歸期：**40~180年**
- 觀察重點：
 - 1999年集集地震至今年9月已滿**25週年**
 - 地震引致巨災一定會發生，但無法預測下次發生在哪裡
 - 因鄰近都會區，北部山腳斷層、中部大甲-彰化斷層、南部中洲構造...等長斷層都是潛在引致巨災的震源

震矩規模7.6 (M_L 7.3)
震源深度8 km
破裂長度115 km
逆斷層



保險定價

- 保險費 = 純保險費(85%) + 附加費用(15%)
- 純保險費 = 年平均損失 + 風險附加費
- 風險附加費
 - 風險係數法 = 風險係數[如15%] × 損失標準差
 - 邊際資本法 = 需額外準備資本[如TVaR (99.5%)] × 預期利率
× 本投資占全部業務之集中係數

保險費率估算 (風險係數法)

純保險費 $\hat{P}_{Total} = L_{Total} + \alpha \cdot \sigma_{Total}$

風險係數

危險承擔限額下的 年平均損失 與 標準差

總保險費 $P = \frac{L_{Total} + \alpha \cdot \sigma_{Total}}{1 - \varepsilon}$

附加費率

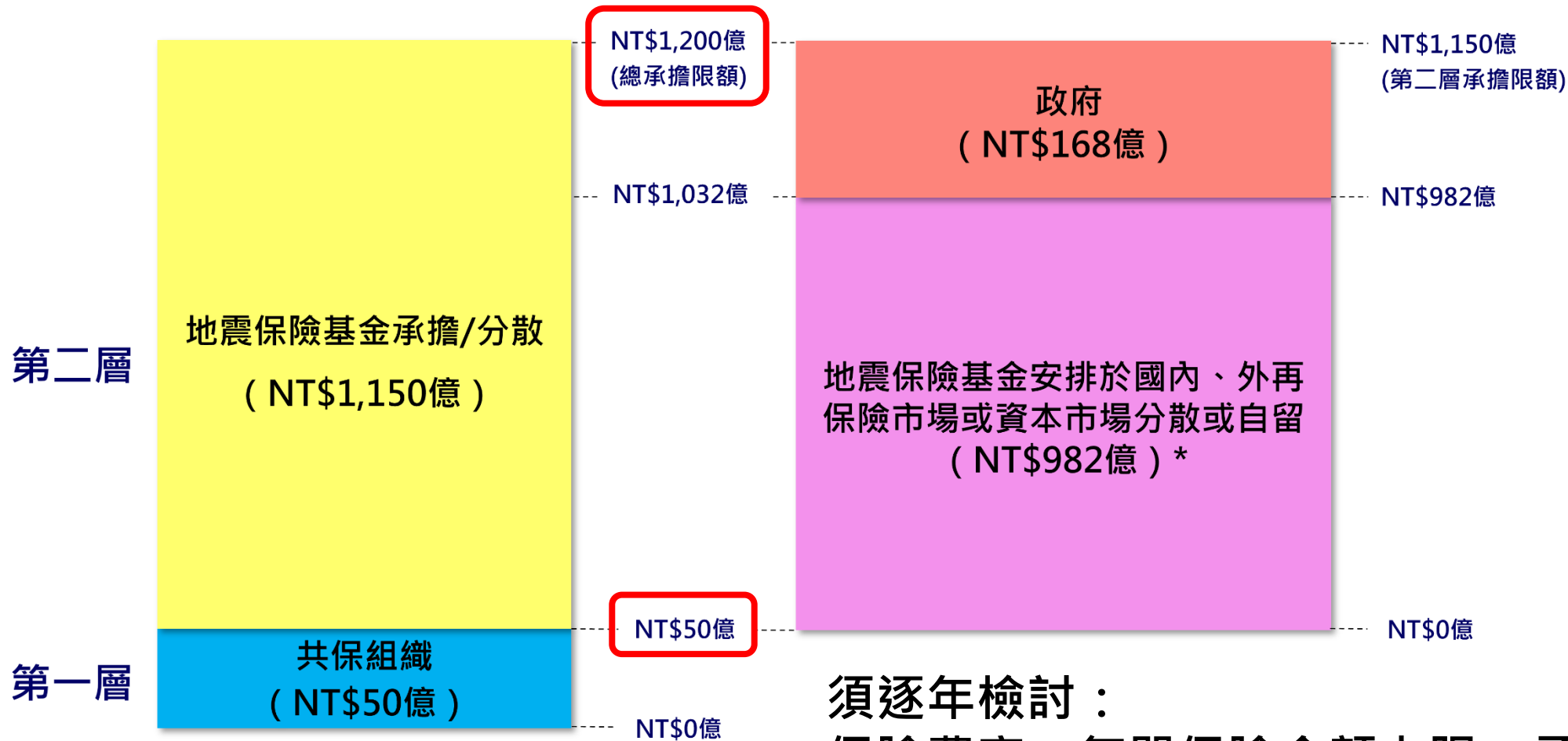
每戶保險費 $P_i = \frac{P}{I} \cdot C_i$

每戶保險金額

總保險金額

現行住宅地震基本險的危險分散機制

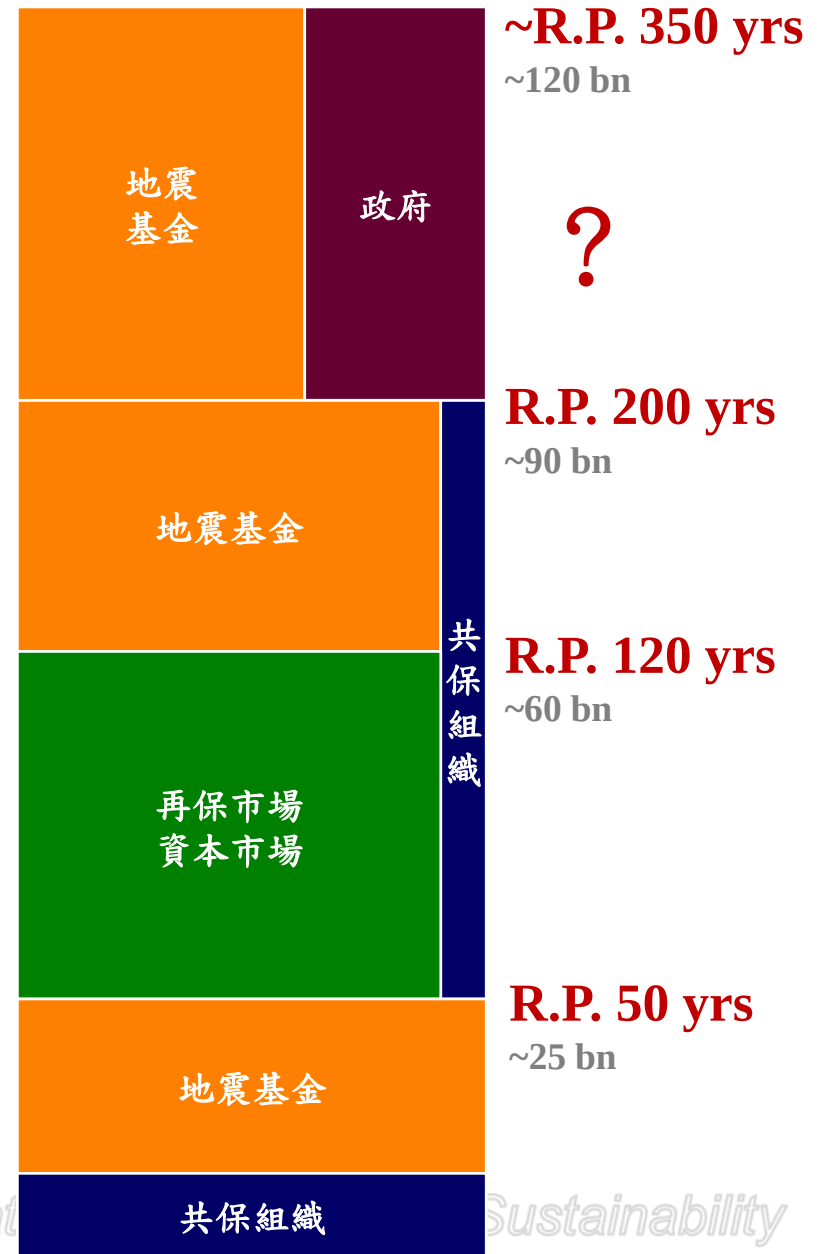
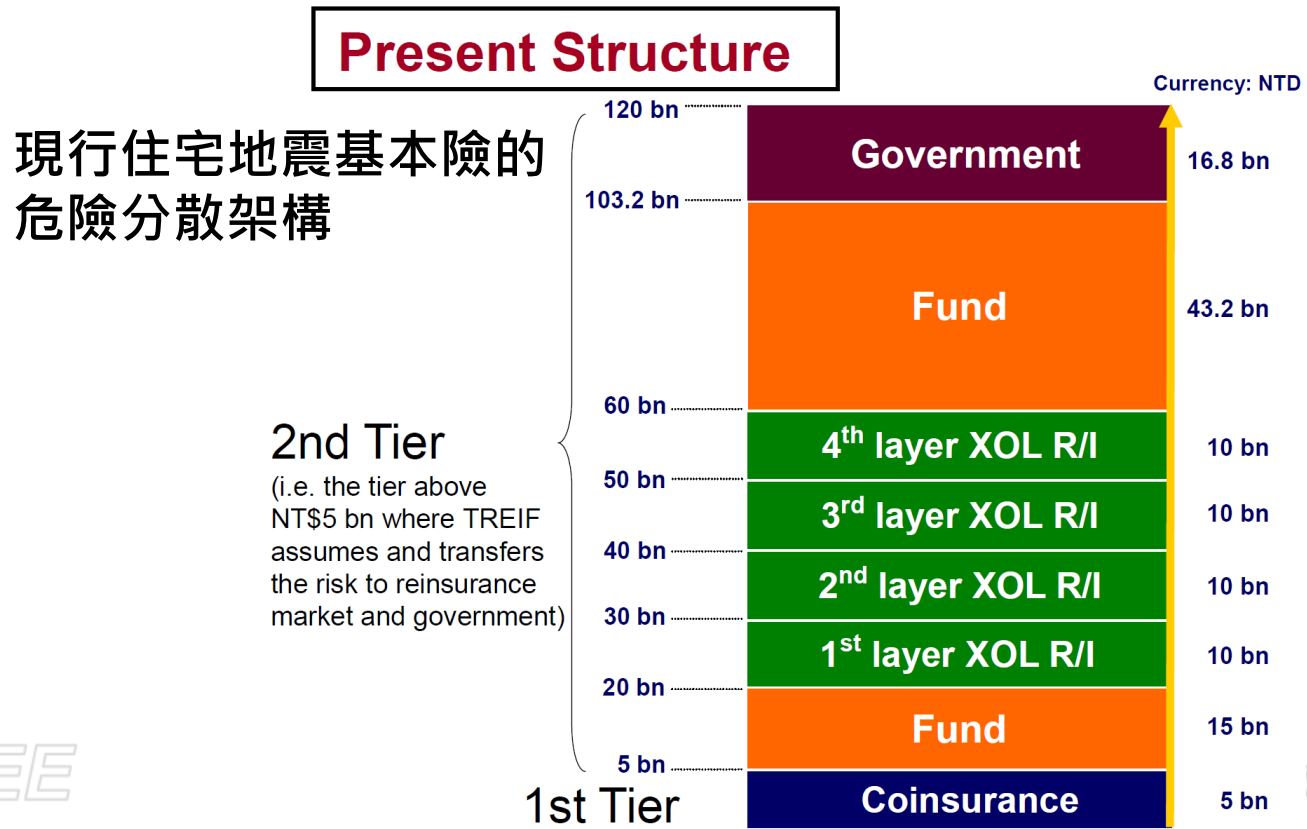
單位：新臺幣元



須逐年檢討：
保險費率、每單保險金額上限、承保範圍、
理賠條件、總承擔限額、純保費分配...

協助探討風險自留與移轉策略

- 參考特定回歸期之保險損失，擬訂自留與再保額度
- 考量地震基金已累積的準備金，及國內共保組織之承保能量
- 政府與地震基金可共同承擔最上層



小結—應用與檢討

■ 以境況模擬為基礎之機率式地震保險風險評估模型

- 不同風險評估模型具相似的分析流程與架構，但因採用不同的資料和分析模式，評估結果有顯著差異
- 需妥善處理及量化震源活動與引致損失的不確定性
- 可協助擬訂保險費率，檢討危險分散機制與總承擔限額

■ 大規模災害性地震後

- 藉由餘震分布、斷層面解...等，探討斷層破裂位置、尺度和幾何型態
- 比較保險損失之評估值與實際值，檢討各項震損評估模式的合理性
- 未來可參考新制震度所提供資訊，改進地震早期損失評估演算法

謝謝聆聽 敬請指教