

NAR Labs
國家實驗研究院

震損評估模式近期研發成果與應用

葉錦勳

2014「台灣地震損失評估系統」講習會
(2014/10/30)



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

承諾·熱情·創新

www.narlabs.org.tw

NAR Labs

簡報大綱

- ✚ 前言
- ✚ 地震災害潛勢分析
- ✚ 橋梁震損評估模式
- ✚ 橋梁震損評估結果之驗證
- ✚ 海嘯早期預警系統

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

2

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(傷亡評估結果與日期、時間有關)
- ✚ 運用合理的災害潛勢(震動、液化、山崩等)分析和震損(建物、橋梁、設施等)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佈狀況，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
- ✚ 資料庫建置、分析模式與參數校正、整合應用軟體研發

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

3

震災境況模擬的應用時機

- ✚ 地震前
 - 依據可能地震事件，研擬災害防救計畫，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
 - 結合震源機率模型，研發機率式地震風險評估模式，協助研擬地震風險管理對策，如住宅地震保險、橋梁耐震補強排序等
 - 作為地震防災演練之情境設定的參考，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，協助災情研判
 - 快速畫定可能的重災區，推估災害規模和分布，協助救災、消防、醫療、民生物資等資源調派

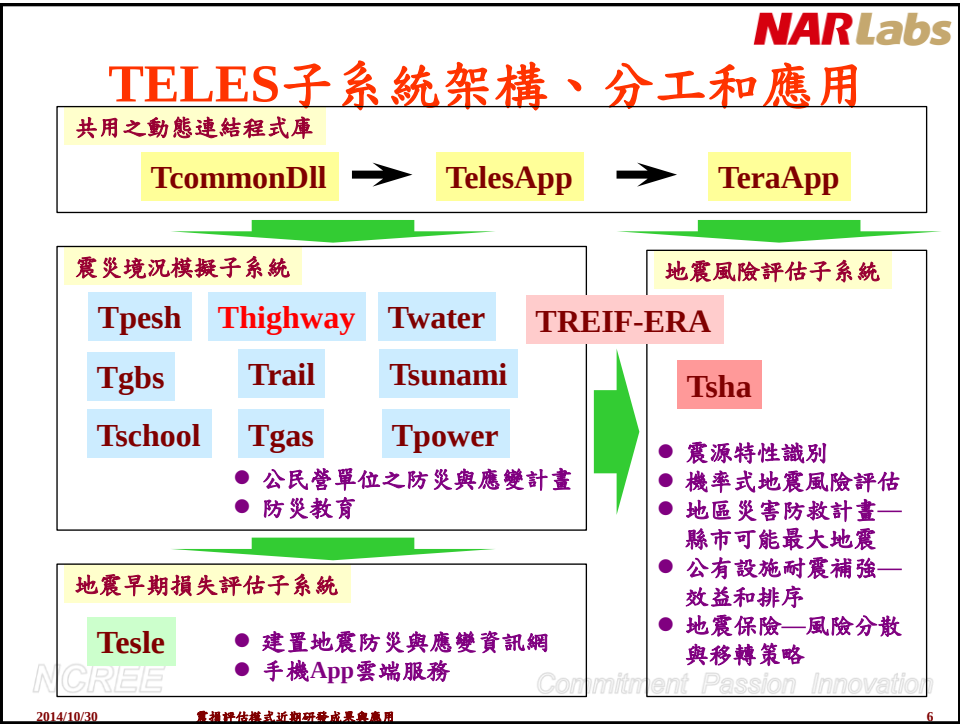
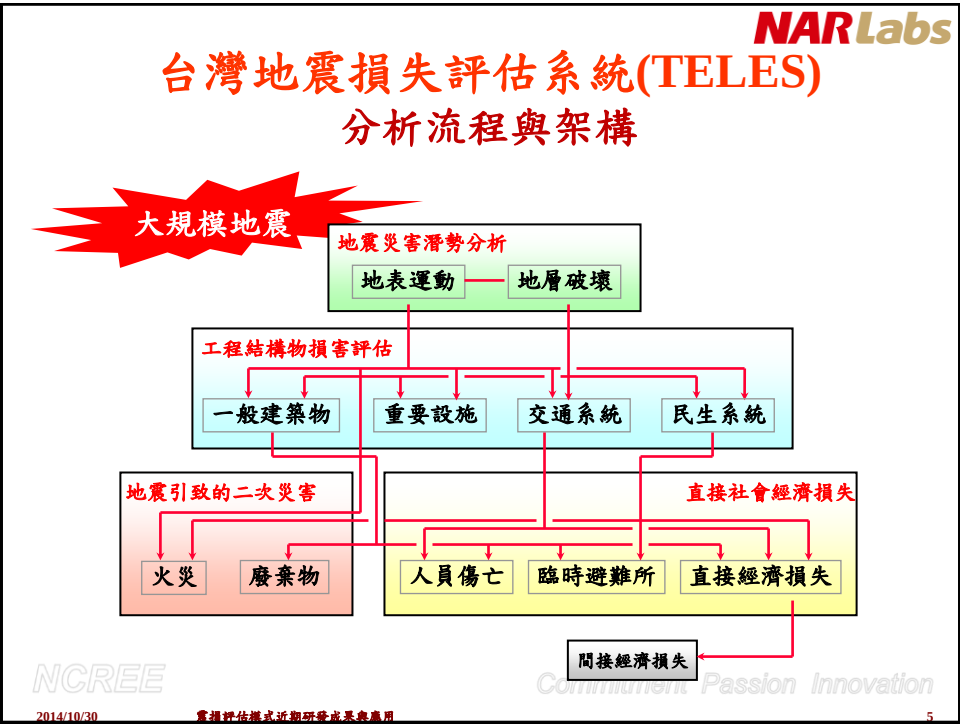
NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

4



震災境況模擬所需資料

✚ 震源分佈與活動特性

- 歷史地震目錄、古地震調查結果
- 活動斷層特性、特徵地震規模、平均再現期

✚ 地震災害潛勢分析

- 強地動預估模式(震動衰減律、場址效應)
- 工程鑽孔資料和強震測站鑽探資料(CWB & NCREE)
- 土壤類別圖、液化敏感類別圖、山崩潛勢圖

✚ 風險暴露資料、結構物震損評估、社會經濟衝擊評估

- 行政區界(縣市、鄉鎮區、村里)
- 一般建築物：房屋稅籍資料、戶籍資料、地址定位資料
- 國中、小學和高中職校舍資料
- 電子地圖、公路與鐵路橋梁之分佈與耐震屬性資料
- 自來水系統：自來水管網與設施
- 瓦斯系統：瓦斯管線與設施

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

7

地震災害潛勢分析

NCREE

Commitment Passion Innovation

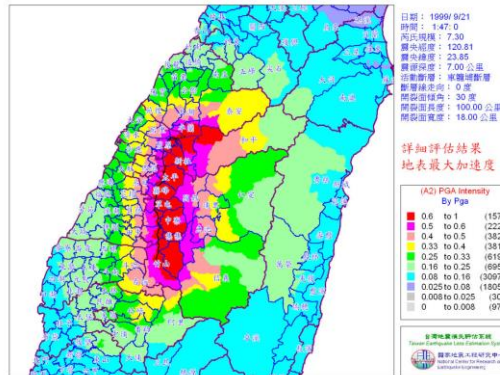
2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

8

構造性地震之震源參數設定

- ✚ 地震規模、震央位置、震源深度
- ✚ 斷層破裂面的幾何參數
 - 長度、寬度、走向、傾角
- ✚ 斷層破裂機制
 - 正斷層
 - 逆斷層
 - 平移斷層



NCREE

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

9

地震引致的致災因子(災害潛勢)

- ✚ 破裂斷層兩側地層滑移，造成基礎不均勻沉降或隆起，結構物因位移而破壞，乃造成橋梁嚴重損害的主因
- ✚ 強烈震動時，因慣性力造成橋柱彎矩或剪力破壞，甚至可能發生落橋現象
- ✚ 飽和鬆軟土層，因反覆震動造成土壤液化現象，結構物因基礎承载力不足而傾倒
- ✚ 山崩、土石滑落，除影響附近結構物，也可能造成堰塞湖而引致二次災害
- ✚ 露出地表之海底斷層錯動，可能造成海嘯

NCREE

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

Commitment Passion Innovation

10

地表震動強度推估模式

✚ 震動衰減律

- 推估PGA、Sa03、Sa10，建構結構彈性反應譜
- 兼採芮氏規模(震動強度)與震矩規模(斷層幾何特性和延時)的優點
- 依斷層面最短距離，兼考量孕震帶頂部之深度，適當反映斷層兩側上盤與下盤的差異

✚ 場址效應修正

- 利用台灣地區實測地震紀錄進行迴歸分析
- 依PGA、Sa03、Sa10，各區域(村里)或特定工址(所在網格)均有獨特的場址效應修正曲線

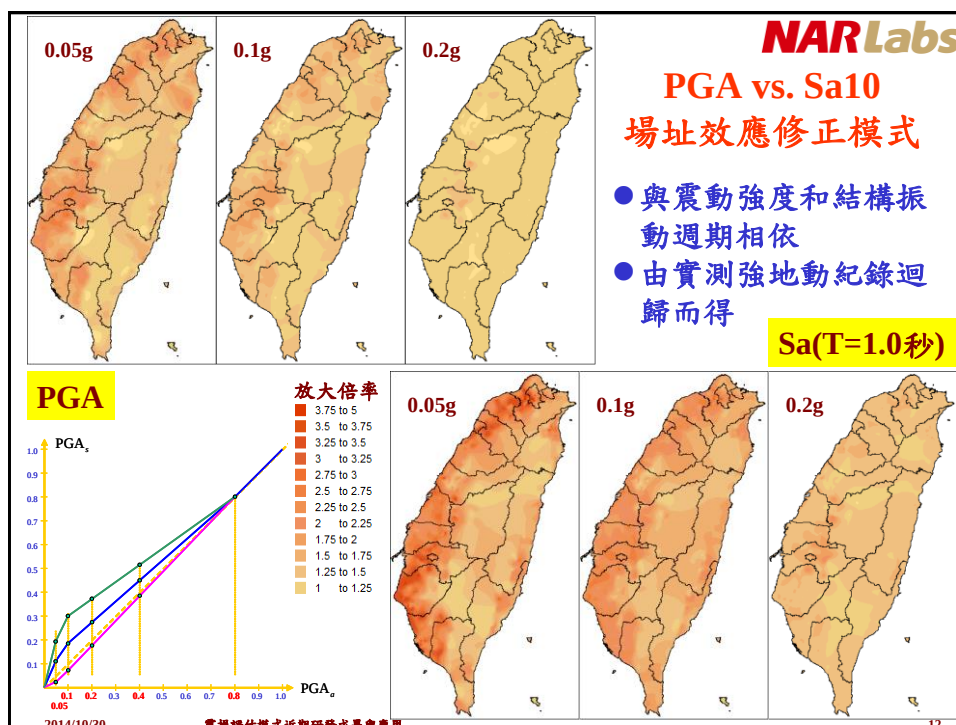
NCREC

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

11



廣義土壤類別與場址效應修正

✚ 根據SPT-N、剪力波速等

- HAZUS將土壤類別概分A、B、C、D、E、F
- 臺灣耐震設計規範之地盤種類概分軟弱、中等、堅實、台北盆地

✚ TELES利用中央氣象局實測地震紀錄，推估500m×500m網格的場址效應修正係數

- 以村里為單元之場址效應修正係數：適用於一般建築物，量多且散布於大範圍區域
- 以網格為單元之場址效應修正係數，並歸納為4508種廣義土壤類別：適用於重要設施，如橋梁、校舍等

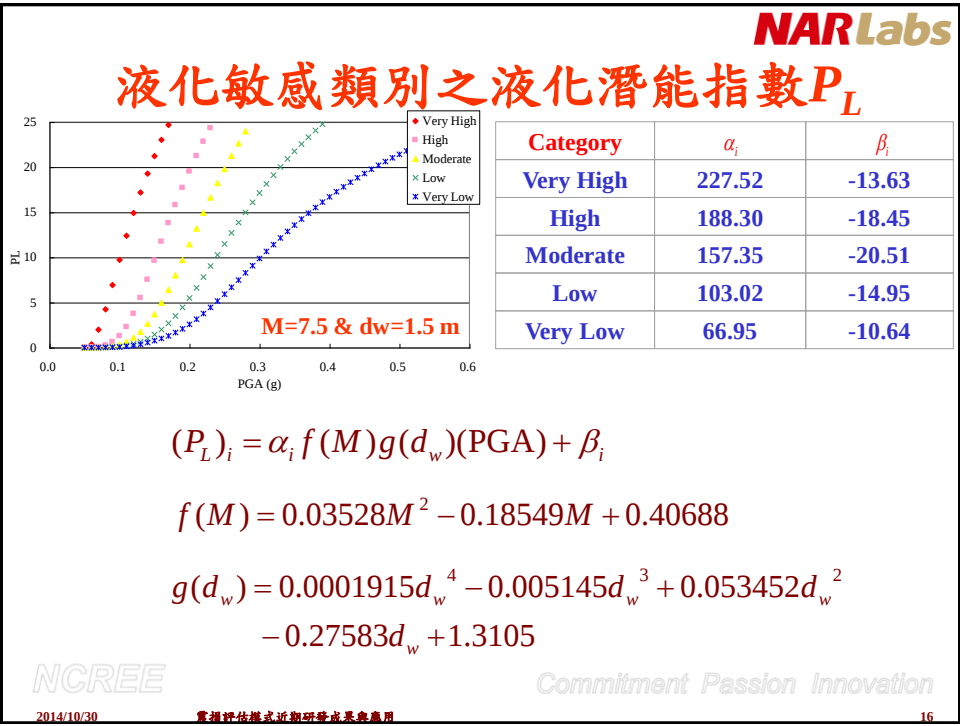
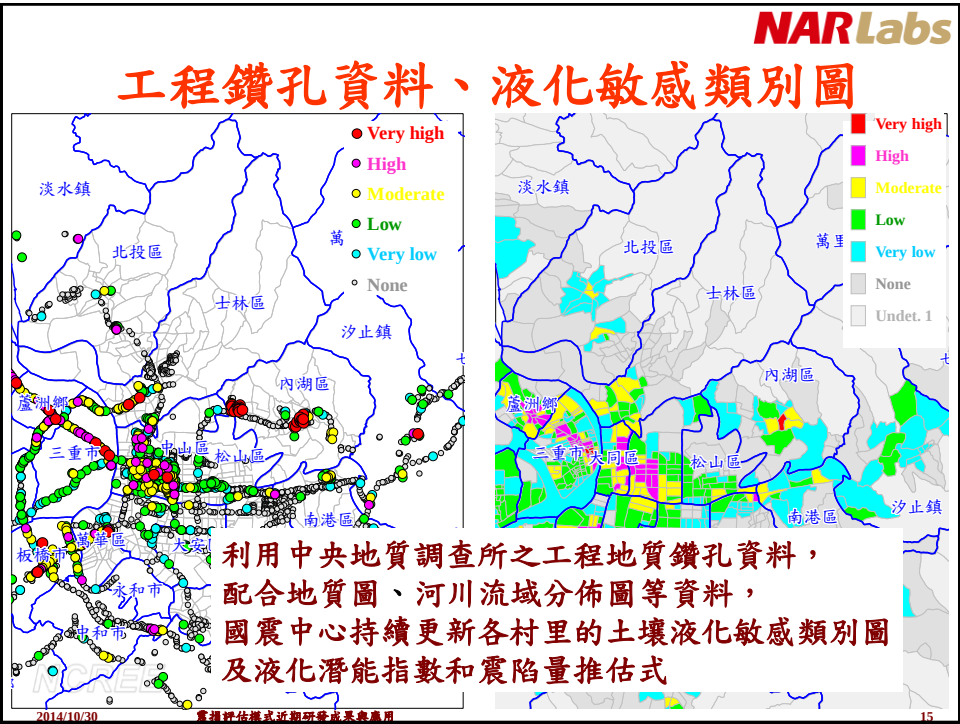
地表永久位移推估模式

✚ 土壤液化

- 土壤特性：液化敏感類別、液化面積比
- 輸入參數：地震規模、PGA、地下水位深度
- 評估結果：液化機率、震陷量

✚ 斷層破裂

- 斷層型態：正斷層、逆斷層、平移斷層
- 輸入參數：地震規模、斷層面最短距離、破裂面的上盤或下盤
- 評估結果：工址可能的錯動量、遭遇機率



NAR Labs

液化敏感類別之震陷量(S)的推估式

$$S = \bar{S}_i \cdot \int_0^A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i x} e^{-\frac{[\ln(x/m_i)]^2}{2\sigma_i^2}} dx$$
$$= \bar{S}_i \cdot \Phi \left[\frac{\ln(A/m_i)}{\sigma_i} \right]$$

$m_i = \mu_i \cdot \bar{f}(M) \cdot \bar{g}(d_w)$ $\sigma_i = \lambda_i \cdot \bar{h}(d_w)$
$$\bar{f}(M) = 0.1231M^2 - 2.2052M + 10.5954$$
$$\bar{g}(d_w) = -0.007188d_w^2 + 0.145195d_w + 0.7919$$
$$\bar{h}(d_w) = 0.003208d_w^2 - 0.042231d_w + 1.0611$$

Category	$\bar{S}_i$ (cm)	μ_i (g)	λ_i
Very High	52.00	0.0872	0.4522
High	50.22	0.1292	0.3657
Moderate	46.21	0.1613	0.3433
Low	35.89	0.1875	0.3430
Very Low	25.66	0.2104	0.3764

NCREE

震損評估模式近期研發成果與應用

2014/10/30

17

NAR Labs

斷層破裂引致地表PGD的推估式

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

d : 場址至斷層破裂面的最短距離(km)
 α : 斷層面傾角(度)
 $d_{sr} = \max(M_L / 2, \quad 1)$ 孕震帶頂部深度(km)
 $f_F = \text{abs}(\alpha) / 180$
 $f_H = 1 - f_F$

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

(單位: m; Wells and Coppersmith, 1994)

NCREE

震損評估模式近期研發成果與應用

2014/10/30

18

震損評估模式近期研發成果與應用

9

地表永久位移之詮釋與應用

✚ 永久位移

- 特定距離內的變形量

✚ 發生機率(遭遇機率)

- 土壤性質的不確定性、地表破裂的不連續性

✚ 微調位移易損性曲線參數或損害狀態機率？

- 起因為土壤液化或斷層破裂，效果有別
- 位移易損性曲線參數反映上部結構之抗變形能力
- 當考量深基礎之抗液化能力時(可減少上部結構的變形量)，應微調震陷量而非易損性曲線參數
- 當考量遭遇機率時，應改變損害狀態機率

橋梁震損評估模式

TELES參與橋梁地震風險評估計畫

- ✚ 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

橋梁震損評估模式演進(1/2)

- ✚ 2002
 - 初步整合震源機率模型，計算個別橋梁於耐震補強前後的年平均損失
 - 典型橋梁分類，依據個別橋梁的幾何特性、歪斜角、地盤種類等調整易損性曲線中值
- ✚ 2005
 - 增加不同年份和震區劃分之等值設計地表加速度的設定
 - 首度提出橋梁基本評估單元的概念，修正橋梁整體的損害狀態機率和阻斷機率等
 - 依據結構系統修復費用微調修復所需時間

橋梁震損評估模式演進(2/2)

2011

- 以九二一地震和歷年颱洪事件引致的鐵路橋梁損害案例，進行各項評估模式的參數校正
- 以主要幹線之車站與車站間的單日營收矩陣為基礎，運用個別橋梁之震損評估結果，計算各車站和車站間的阻斷機率和平均阻斷時間，進而合理推估整條鐵路幹線之營運中斷損失

2013

- 修正斷層破裂引致地表變形推估模式，並考慮橋梁線型與斷層破裂面的幾何關係
- 以九二一地震的公路橋梁損害案例，進行各項評估模式的參數校正
- 針對高速公路特性，以交流道至交流道的區間為單元，推估修復費用、阻斷機率、修復時間和阻斷損失等

橋梁震損評估原理與分類原則

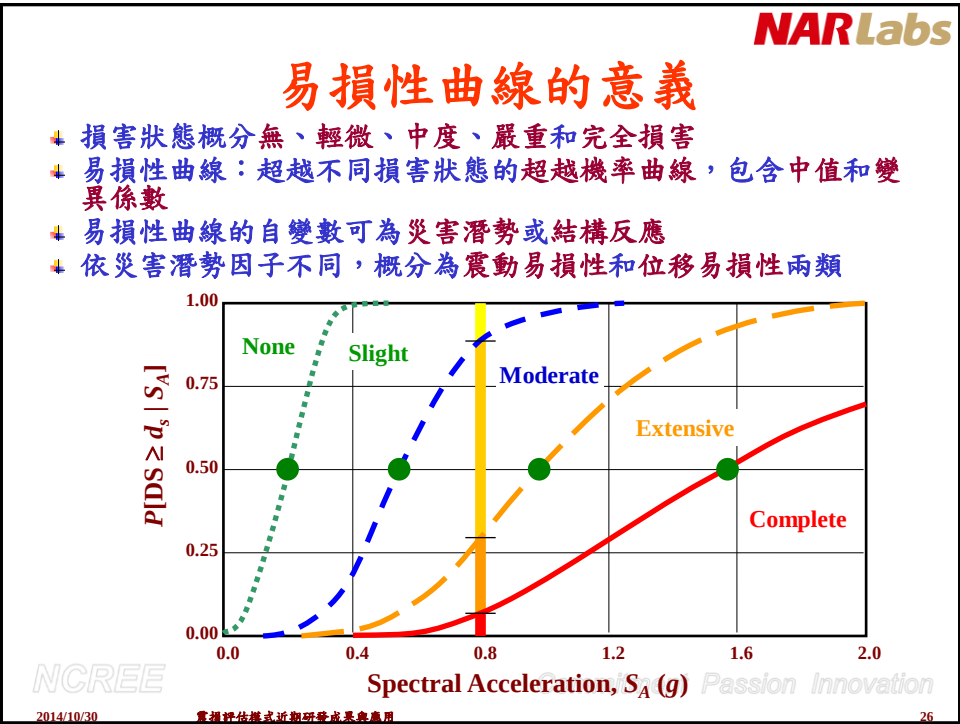
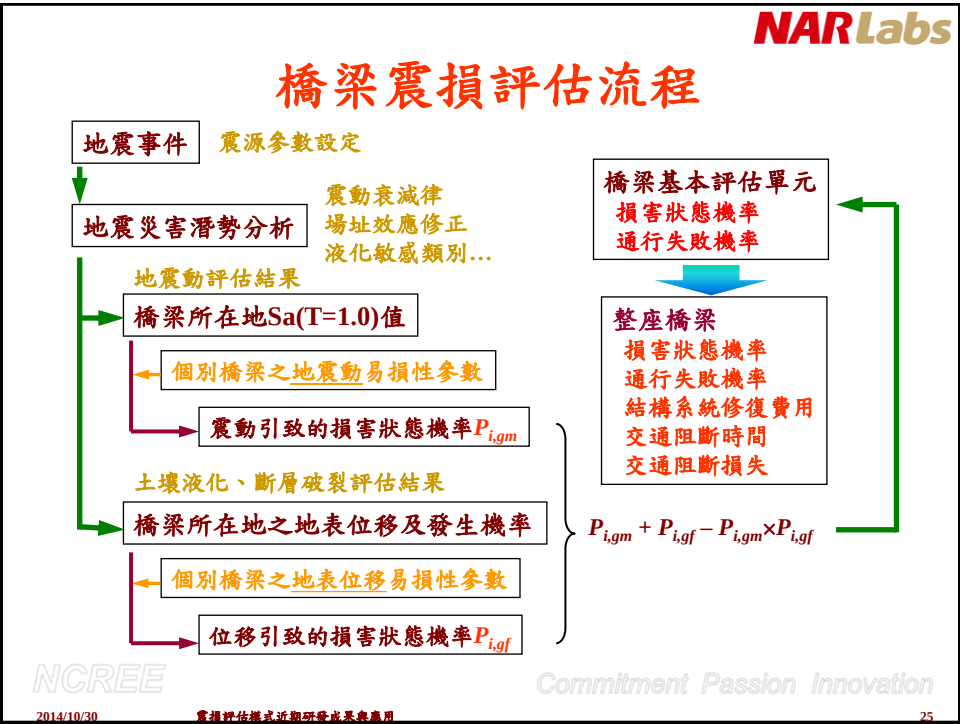
原理

- 多跨橋梁承受之地震力由多點輸入
- 具多種損害模式，如基礎沉陷/側移、橋柱剪力或撓曲破壞、支承破壞、落橋等
- 沒有單一的結構反應參數可具體描述損害狀態
- 以PGA或 S_{a1} 譜加速度作為震動易損性曲線參數，並依個別橋梁之設計年份、震區係數與幾何特性等微調
- 可依公路或軌道系統特性推估營運中斷損失

分類原則

- 依跨數、上部結構連續性和橋柱型式等分類
- 概分8種典型橋梁、三種耐震設計水準(C、S、R)





個別橋梁之震動易損性曲線中值修正

$$m_2 = m_{2n} \times (Z_{dsg} / 0.23) \times K_{soil}$$
$$m_i = m_{in} \times (Z_{dsg} / 0.23) \times K_{soil} \times K_{3D} \times K_{skew} \quad (i = 3, 4, 5)$$

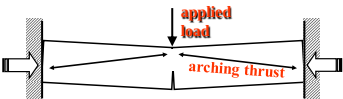
地盤種類的修正係數

$$K_{soil,76} = \begin{cases} 1 & \text{Type 1} \\ 1.167 & \text{Type 2} \\ 1.333 & \text{Type 3} \end{cases} \quad K_{soil,B4} = \begin{cases} 1 & \text{Type 1} \\ 1.25 & \text{Type 2} \\ 1.5 & \text{Type 3} \\ 1.75 & \text{Taipei Basin} \end{cases}$$

橋面版的三維效應修正係數

$$K_{3D} = 1 + \frac{a}{N - b}$$

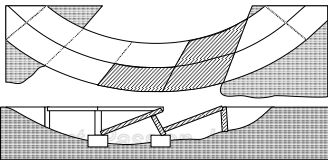
N: 橋梁總跨數



車行方向與橋墩歪斜時的修正係數

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

α : 歪斜角



個別橋梁之位移易損性曲線中值修正

$$m_2 = m_{2n} \times f_1$$
$$m_3 = m_{3n} \times f_1$$
$$m_4 = m_{4n} \times f_1$$
$$m_5 = m_{5n} \times f_2$$

- 參考HAZUS技術手冊，具歪斜角或多跨的梁式橋，其位移易損性曲線中值須作修正
- 遇土壤液化時，深基礎橋梁的變形量較小
- 遇斷層破裂時，深、淺基礎橋梁的變形量相同

$$f_1 = \begin{cases} 1 & I_{pgd} = 1 \text{ 單跨} \\ 2NW \sin \alpha / L & I_{pgd} = 2 \text{ 多跨簡支} \\ 1 & I_{pgd} = 0 \text{ 多跨連續} \end{cases}$$

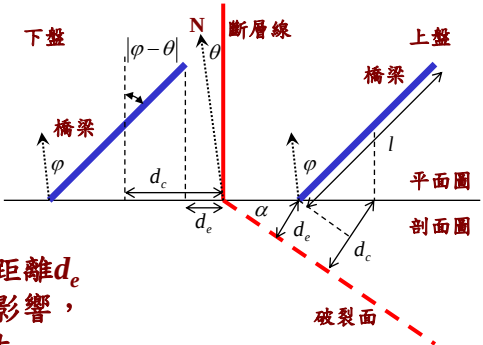
N: 橋梁總跨數
W: 橋寬
L: 橋長
 α : 歪斜角

$$f_2 = \begin{cases} 1 & I_{pgd} = 1 \text{ 單跨} \\ 2NW \sin \alpha / L & I_{pgd} = 2 \text{ 多跨簡支} \\ \sin \alpha & I_{pgd} = 0 \text{ 多跨連續} \end{cases}$$

橋梁兩端距斷層破裂面之最短距離

$$d_e = \begin{cases} \max(0, d_c - 0.5 \cdot l \cdot \sin |\varphi - \theta| \cdot \sin \alpha) & \text{中心點在上盤} \\ \max(0, d_c - 0.5 \cdot l \cdot \sin |\varphi - \theta|) & \text{中心點在下盤} \end{cases}$$

d_c 中心點距破裂面距離
 l 橋梁長度
 $|\varphi - \theta|$ 橋梁主線與斷層走向的夾角
 α 斷層面傾角
 $d_e = 0$ 代表可能跨越斷層



以橋梁距斷層破裂面的最短距離 d_e
推估橋梁受附近土層破裂的影響，
其遭遇(發生)機率以下式推估

$$p = 0.7 \cdot \exp(-d_e / 2)$$

橋梁震損評估結果之驗證

NAR Labs

橋梁勘災與境況模擬結果的比較

✚

921地震時，高速公路局管轄且已通車路段和橋梁多數位於車籠埔斷層下盤，損害較輕微

✚

收集921地震時，有較完整勘災紀錄、損害較嚴重的16座公路總局與10座縣市管轄橋梁

✚

分別比較損害狀態、修復金額、修復時間是否在合理範圍

●

損害狀態之差異在一個級距內

●

推估之修復費用和時間分別在實際修復費用和時間的50%~200%之間

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

31

NAR Labs

公路總局橋梁實際損害與評估比較

橋名	竣工年	結構類別	路線	管轄單位	與斷層關係	震度	損害狀態	評估結果
一江橋	61	4C	129線	二區	跨斷層	6	完全	完全
桶頭橋	69	2C	149線	二區	跨斷層	7	完全	完全
石圍橋	83	2C	台3線	二區	跨斷層	7	完全	完全
名竹大橋	79	2C	台3線	二區	跨斷層	7	完全	完全
延平橋	75	4C	台3線	二區	跨斷層	7	嚴重	完全
東豐橋 ¹	51	2C	台3線	二區	上盤	7	嚴重	嚴重
烏溪橋	50	2C	台3線	二區	跨斷層	7	完全	完全
炎峰橋	73	3C	台14線	二區	上盤	7	嚴重	嚴重
集鹿大橋 ²	91	8S	139線	二區	上盤	7	嚴重	輕微
乾峰橋 ³	75	4C	136線	二區	上盤	7	中度	嚴重
信義橋	70	2C	台21線	二區	上盤	6	中度	中度
磨坑一號橋	87	1S	台16線	二區	上盤	7	輕微	輕微
磨坑二號橋	85	1C	台16線	二區	上盤	7	中度	輕微
貓羅溪橋	88	6S	台3線	二區	下盤	5	輕微	無
光明橋 ⁴	53	8C	台8線	二區	上盤	6	輕微	無
新溪南橋	86	6S	127線	二區	下盤	6	輕微	無

1. 重建後改名東勢大橋

2. 當時施工中

3. 目前已重建

4. 目前未通車

依目前易損性參數設定值，
公路總局管轄橋梁的損害狀態與推估值一致

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

32

震損評估模式近期研發成果與應用

16

NAR Labs

縣市管轄橋梁實際損害與評估比較

橋名	竣工年	結構類別	路線	管轄單位	與斷層關係	震度	損害程度	評估結果
龍門大橋	71	2C	投53線	南投	下盤	7	完全	嚴重
鯉魚大橋	77	2C	投53線	南投	下盤	7	嚴重	中度
廣德橋	66	2C	東山路二段	臺中	上盤	7	完全	中度
北坑橋	48	1C	中129線	臺中	跨斷層	6	嚴重	中度
大峰橋	82	3C	中105線	臺中	下盤	7	輕微	輕微
長庚大橋	76	2C	中44-1線	台中	跨斷層	7	完全	完全
普濟橋	68	4C	投27	南投	上盤	6	輕微	輕微
平林橋	58	2C	投19線	南投	上盤	7	完全	嚴重
埤豐橋	80	2C	中44線后東路	臺中	跨斷層	6	完全	完全
光龍橋	74	2C	129線	臺中	上盤	6	嚴重	中度

依目前易損性參數設定值，縣市管轄橋梁有低估損害的傾向

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

33

NAR Labs

模擬地震事件之活動斷層與震源參數

	斷層名稱	地震規模	震源深度 (km)	破裂長度 (km)	破裂寬度 (km)	斷層走向 (deg)	斷層傾角 (deg)
事件1	車籠埔斷層	7.3	8	110	30	0	30
事件2	大尖山-觸口斷層	7.3	10	90	20	25	50
事件3	新化斷層	6.5	5	6	15	70	90
事件4	梅山斷層	6.8	8	14	15	75	90
事件5	獅潭斷層	7.1	8	11	20	25	-60
事件6	屯子腳斷層	7.1	8	14	15	60	90
事件7	大甲-彰化斷層	7.3	8	69	30	0	30

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

34

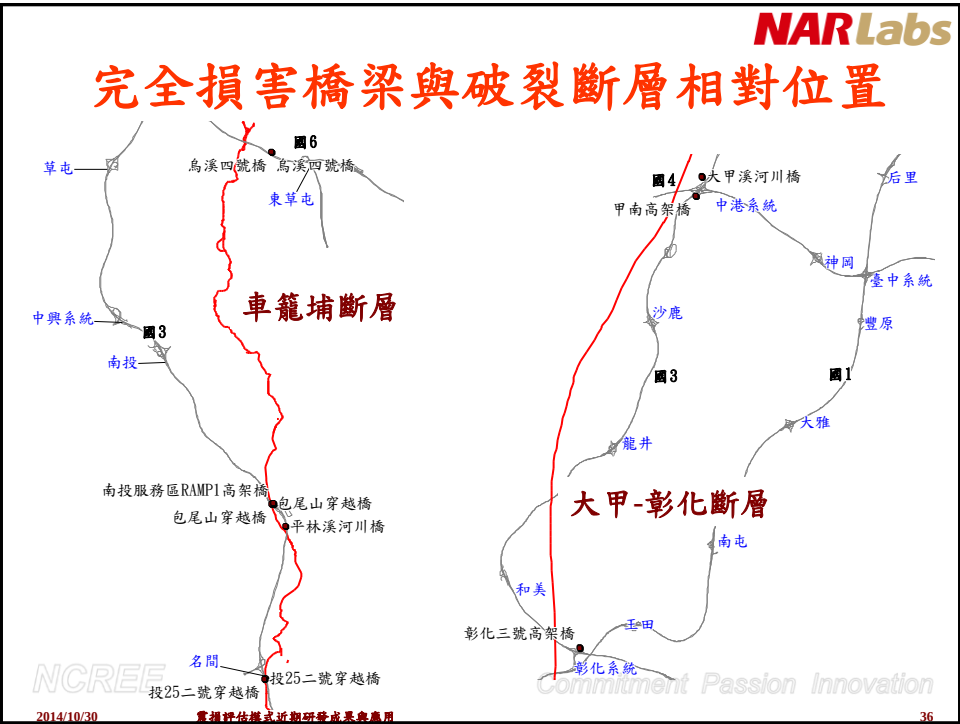
NAR Labs

耐震補強前、後之震損評估結果比較

	斷層名稱	補強前				補強後			
		完全損害	嚴重損害	中度損害	輕微損害	完全損害	嚴重損害	中度損害	輕微損害
事件1	車籠埔斷層	9	4	10	46	9	0	4	18
事件2	大尖山-觸口斷層	2	6	22	177				-
事件3	新化斷層		2	6	36		1	1	-
事件4	梅山斷層		4	9	46				4
事件5	獅潭斷層				-				-
事件6	屯子腳斷層		2	8	32		2	7	25
事件7	大甲-彰化斷層	26	33	44	172	6	2	26	121

	斷層名稱	補強前			補強後		
		直接損失	間接損失	總損失	直接損失	間接損失	總損失
事件1	車籠埔斷層	5,151	6,095	11,246	2,121	3,604	5,725
事件2	大尖山-觸口斷層	9,394	4,446	13,840	588	0	588
事件3	新化斷層	1,086	764	1,850	67	164	231
事件4	梅山斷層	2,652	1,222	3,874	179	5	184
事件5	獅潭斷層	129	0	129	129	0	129
事件6	屯子腳斷層	1,538	1,270	2,808	1,209	1,078	2,287
事件7	大甲-彰化斷層	14,054	20,190	34,244	6,097	8,813	14,910

2014/10/30震損評估模式近期研發成果與應用35



海嘯早期預警系統

計畫執行期限及目標

- ✚ 執行期限：2011/08/01 ~ 2014/07/31 (共三年)
- ✚ 整合GIS，強化海嘯模擬與震災境況模擬技術
 - 收集更完整的基本資料及風險暴露資料(包含行政區界、數值地形、人口分布、一般建築物、重要設施...等)
 - 精進海嘯模擬模式與參數值，提高模擬結果的可信度
 - 建置海嘯模擬系統，提升運算效率
 - 整合TELES軟體架構，研發海嘯影響暨災損推估系統
- ✚ 建置海嘯情境模擬與災損資料庫，研發海嘯災害早期預警系統
 - 結合當前海嘯預警系統(中央氣象局、太平洋海嘯中心)，於中央氣象局發佈海嘯預警資訊時，迅速於資料庫搜尋可能的結果，提升應變效率
 - 即時提供臺灣沿海地區受海嘯影響之機率，可能到達時間、影響範圍、浪高、溢淹深度和災損數量等
- ✚ 協助研擬海嘯災害之防治與應變計畫

NAR Labs

分年研究重點

✚ 第一年

● 初步探討海嘯模擬所需之數值地形資料、COMCOT模擬軟體、海嘯情境設定等，建置海嘯模擬之運算環境

● 整合GIS，研發海嘯模擬結果之展示、查詢與災損推估雛型軟體(TELES for Tsunami)

✚ 第二年

● 結合內政部高解析數值地形資料，整理並校正臺灣地區之海域與陸地數值地形資料

● 根據海嘯模擬結果，更新情境設定原則，探討及建置海嘯引致的災害潛勢模擬資料庫

✚ 第三年

● 加值運用海嘯災害潛勢模擬資料庫

- ▶ 平時：提供各縣市海嘯災害防治所需之海嘯溢淹潛勢圖
- ▶ 應變時：根據海嘯源之地震規模、震央位置等，即時提供沿海鄉鎮區之海嘯到時、溢淹水深、警戒等級等資訊，提升效率

● 研發海嘯情境模擬的速算系統

● 探討海底地滑引致海嘯的情境模擬技術

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30震損評估模式近期研發成果與應用39

NAR Labs

數值地形資料的整合與校正

可使用的數值地形資料

資料簡稱	資料來源	座標系統	資料點間距
ETOPO2	美國國家地球物理資料中心	WGS84經緯度	2弧分
海科海洋	臺灣海洋科技研究中心	TWD97經緯度	0.005度
海科沿岸	臺灣海洋科技研究中心	TWD97經緯度	不均勻
中大海洋	中央大學地球科學系	TWD67經緯度	0.001度
中大陸地	中央大學太空與遙測中心	TWD67二度分帶	40公尺
內政部陸地	內政部地政司衛星測量中心	TWD97二度分帶	5公尺

NCREE

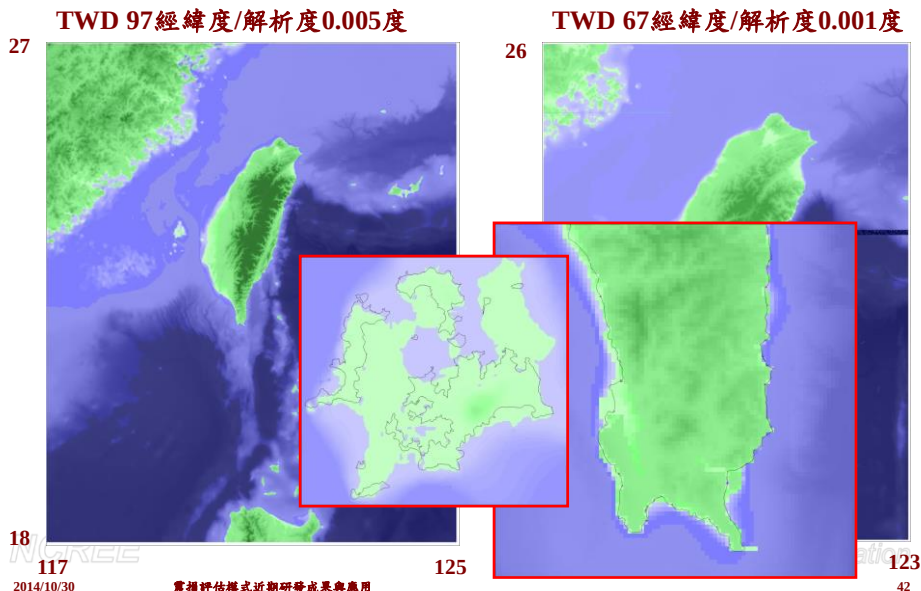
Commitment Passion Innovation

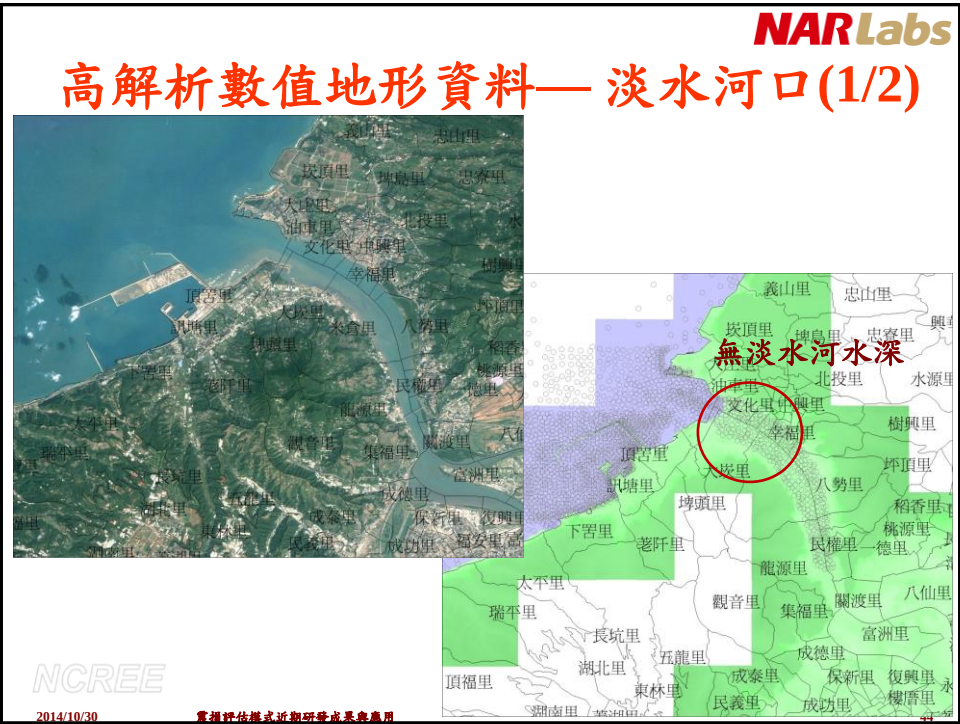
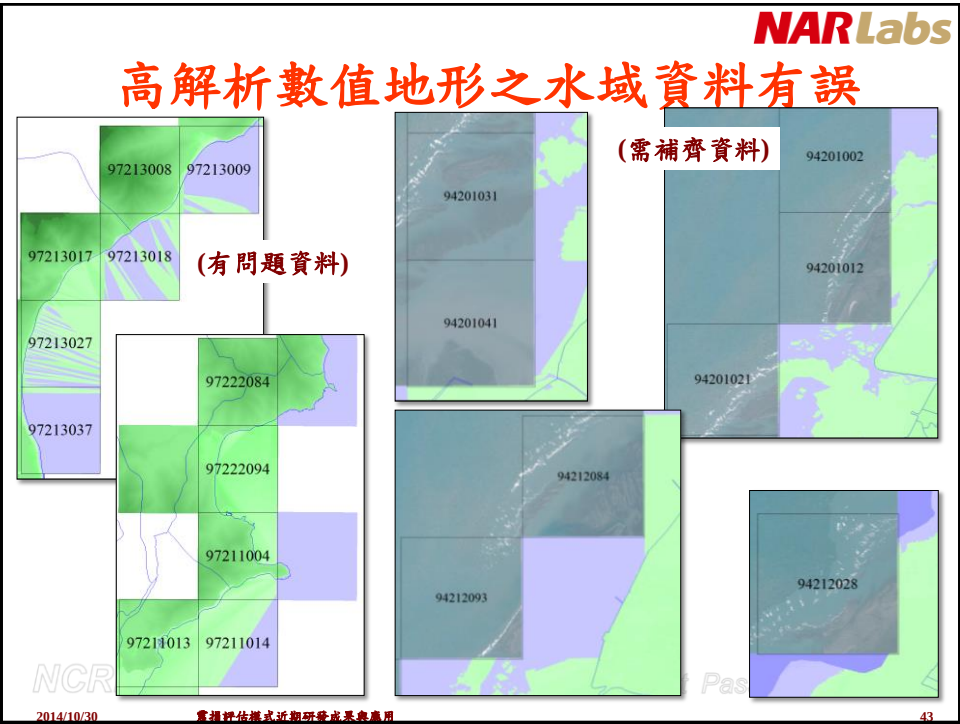
2014/10/30震損評估模式近期研發成果與應用40

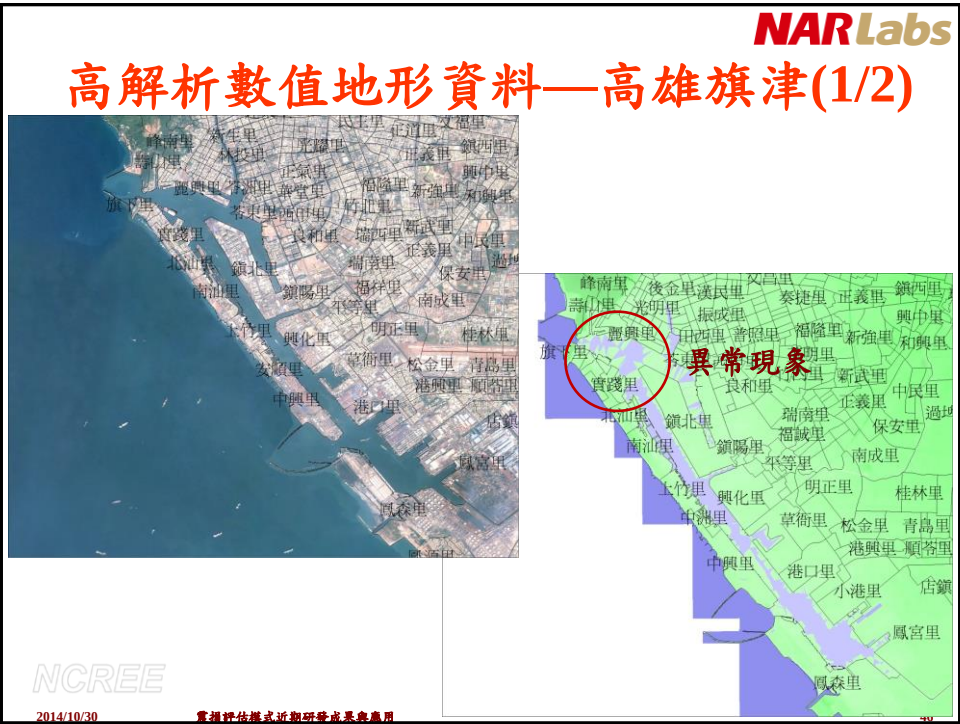
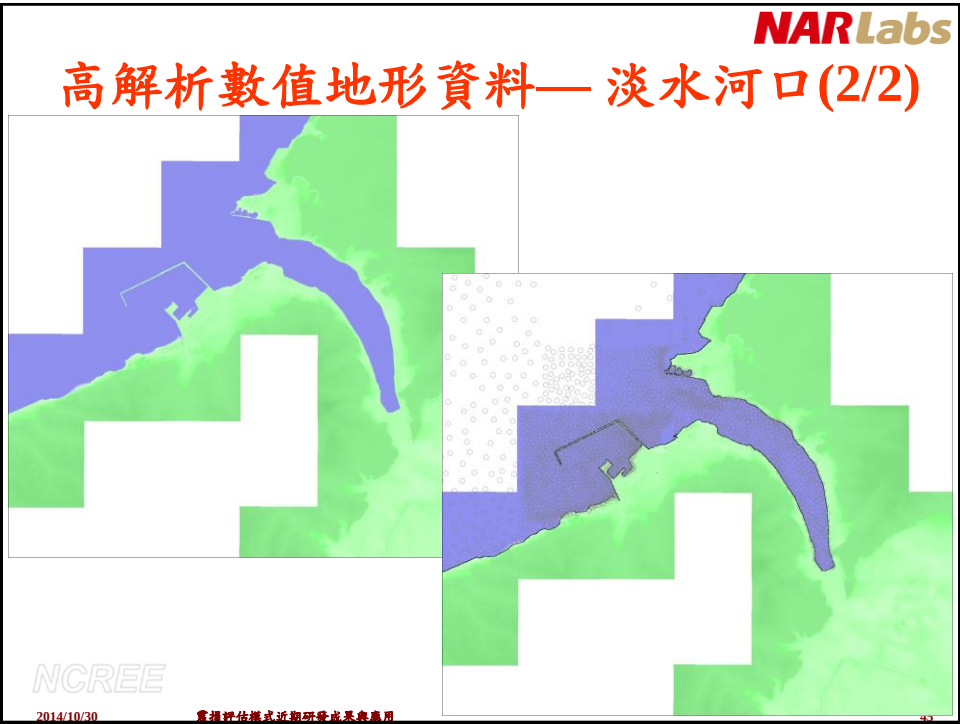
整合數值地形資料須注意事項

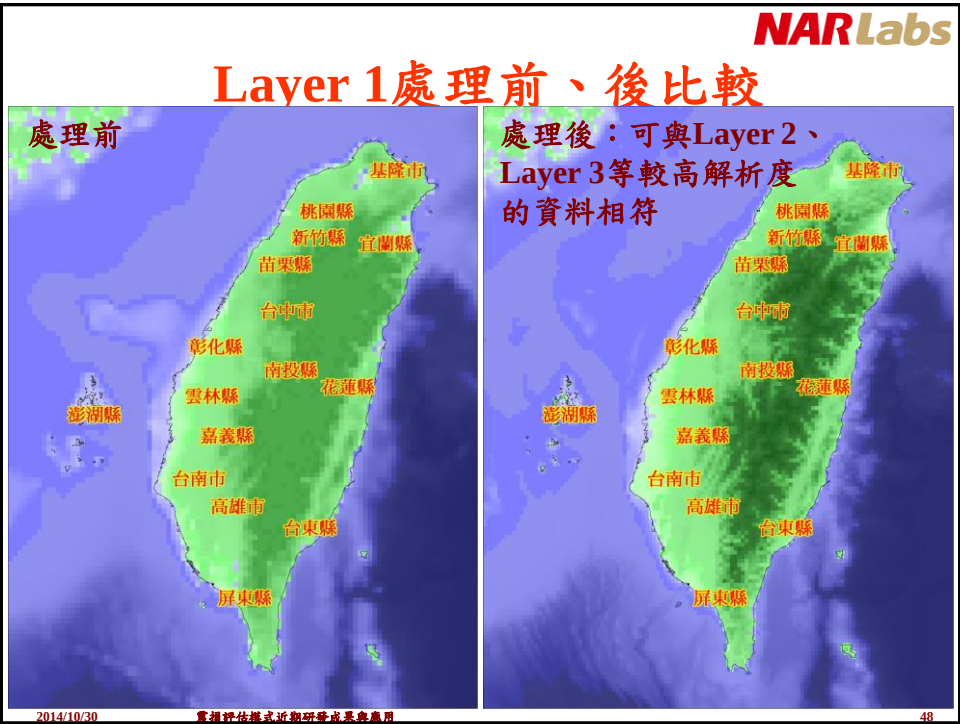
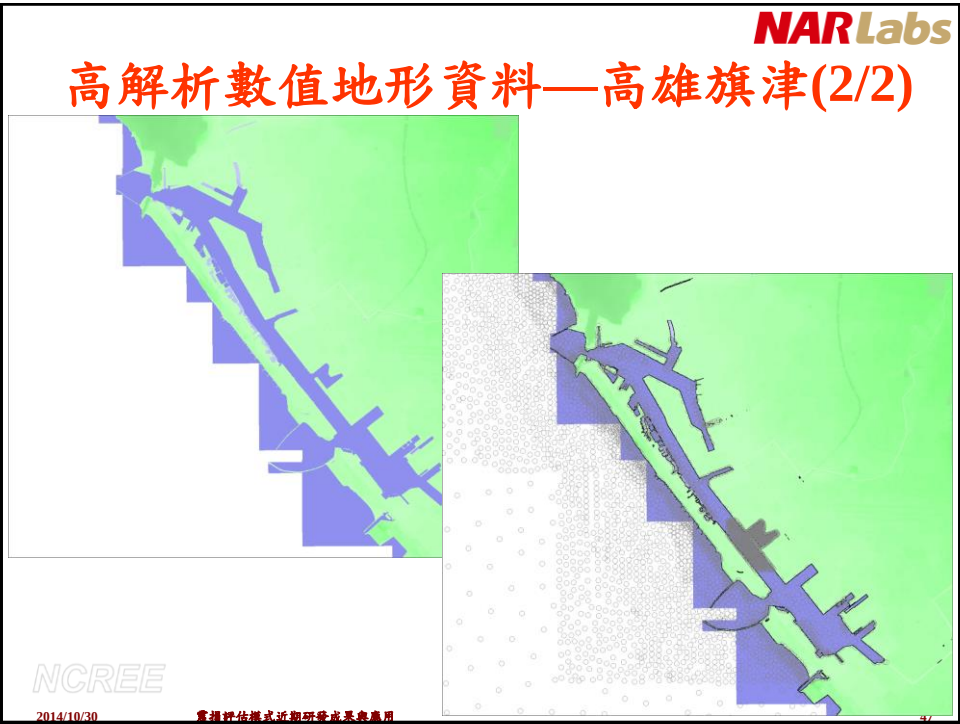
- ✦ 不同來源之數值地形資料的座標系統不一致、解析度不同；需轉換為相同座標系統，且需重新進行高程內插分析，以獲得輸入COMCOT所需的巢狀網格數值地形資料
- ✦ 在相同座標但不同來源之數值地形資料中，資料點的高程不一致；必須以較可信賴的資料去除不合理的資料點
- ✦ 高解析度之數值地形資料的點數極多，進行整合、校正與內插分析等工作時，現有桌上型電腦及免費軟體無法一次處理，須自行開發可批次處理的資料分析與處理程式
- ✦ 進行高程內插分析時，需慎選的演算法，避免衍生不合理的資料點

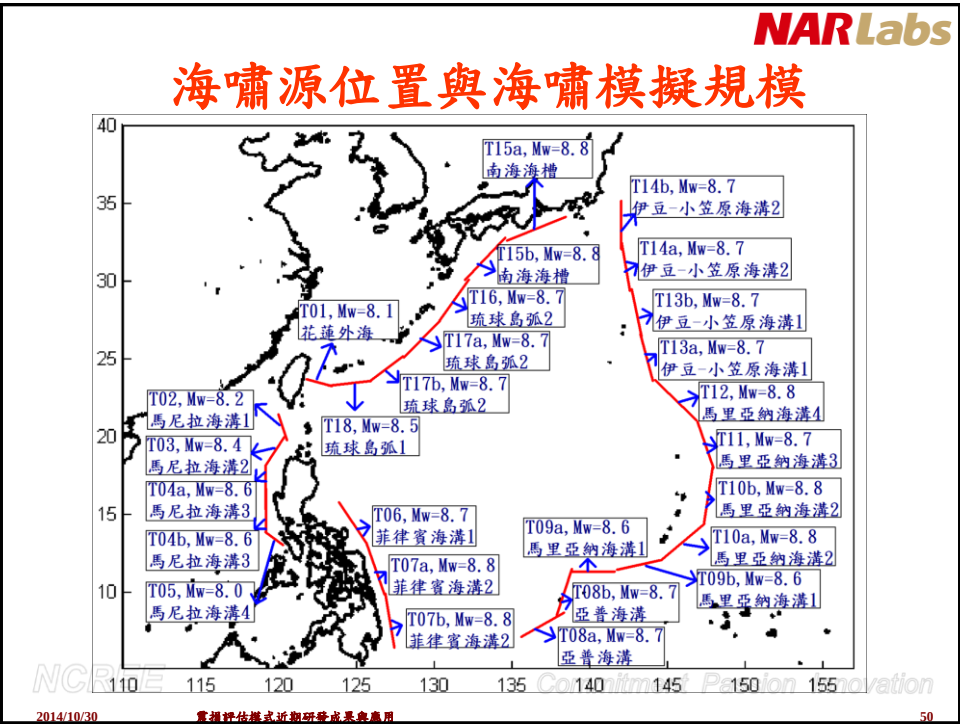
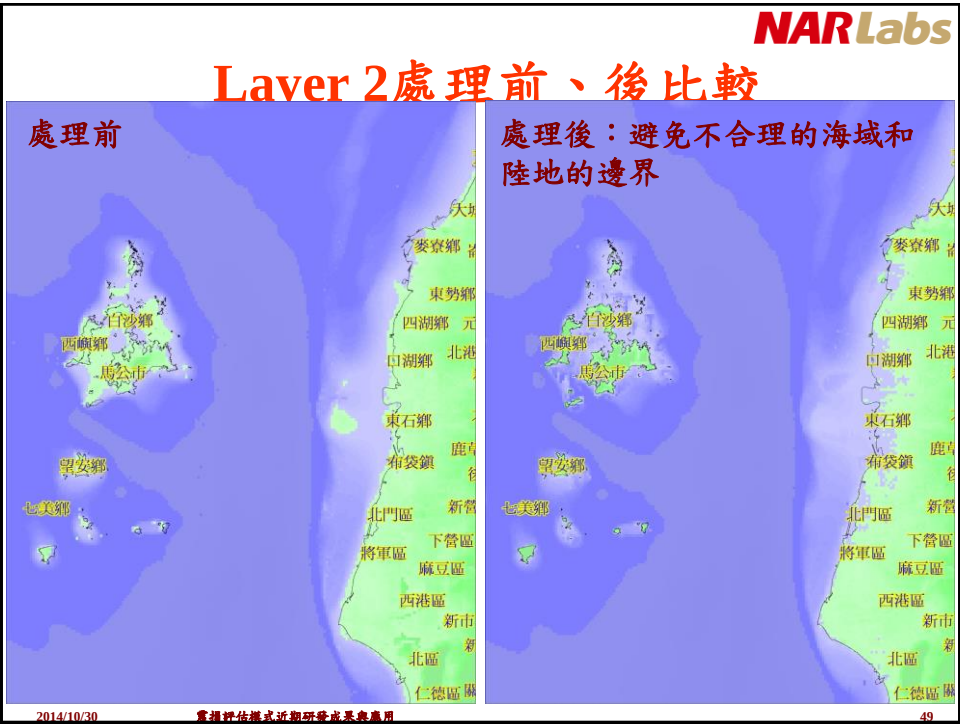
原始海科中心與中大之海洋數值地形











NAR Labs

考慮海嘯情境設定的不確定性

在地震發生後的短時間內，無法確知地震的震源參數，如斷層破裂長度、方向與滑移量等

Case T

長_T=(Yen and Ma,2011)

寬_T= $\frac{\text{錯動面積}}{\text{長}_T}$

錯動量_T：(Yen and Ma,2011)

方位角(Strike)=海溝走向

傾角(Dip)=20

滑移角(Slip)=90

Case S

長_S= $\frac{\text{長}_T}{\sqrt{1.5}}$

寬_S= $\frac{\text{錯動面積}_S}{\text{長}_T}$

錯動量_S=1.5×錯動量_T

方位角(Strike)=海溝走向

傾角(Dip)=20

滑移角(Slip)=90

Case R

極端事件考慮。為了達到海嘯波傳遞可以正對臺灣方向
→改變斷層破裂面走向(strike)

方位角(Strike):
旋轉一角度，使斷層破裂面面向臺灣

長_R=長_S= $\frac{\text{長}_T}{\sqrt{1.5}}$

寬_R=寬_S= $\frac{\text{錯動面積}_S}{\text{長}_T}$

錯動量_R：錯動量_S

傾角(Dip)=20

滑移角(Slip)=90

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

51

NAR Labs

海嘯模擬資料庫之事件列表

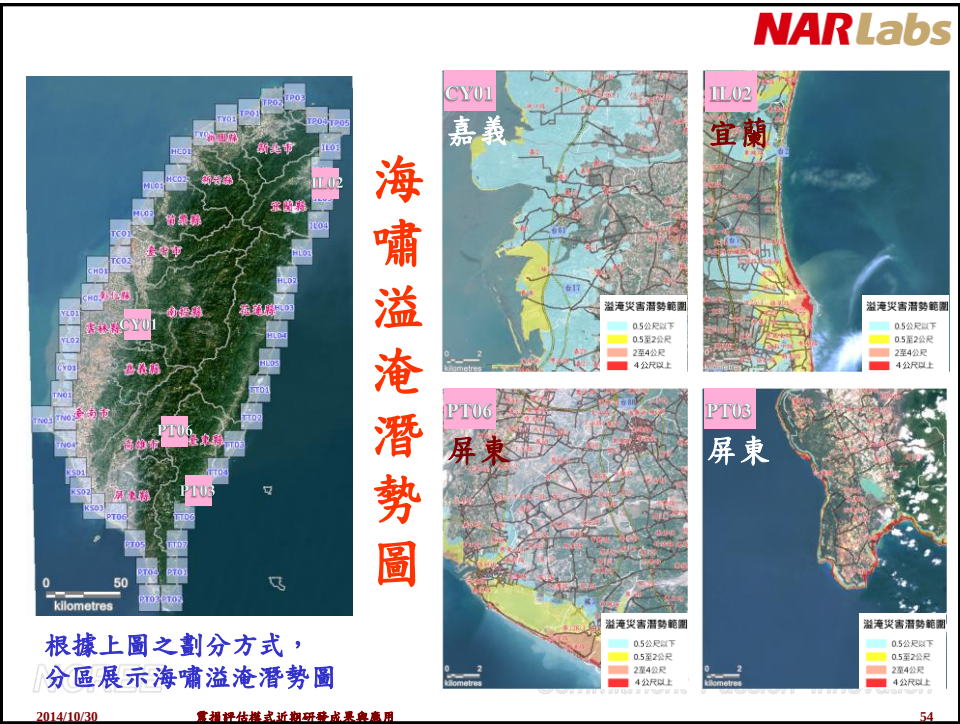
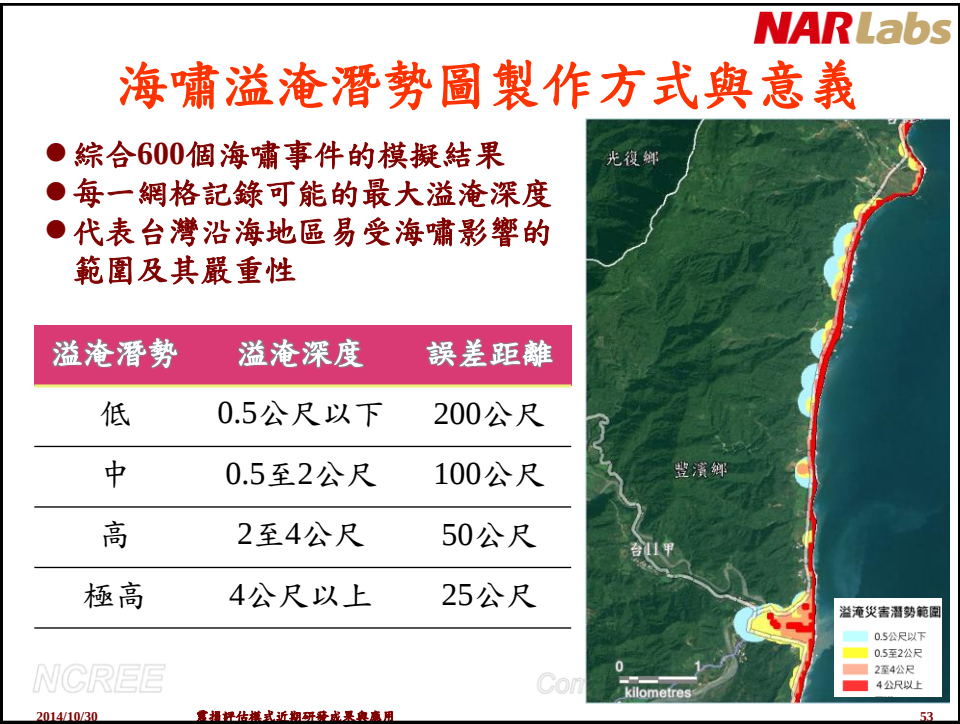
海嘯源	模擬規模	模擬時間總長(hr)	事件數小計
01	8.3-8.1-7.9-7.7	3	4
02	8.5-8.3-8.2-8.1-7.9-7.7	3	6
03	8.7-8.5-8.4-8.3-8.1-7.9-7.7	3	7
04a/04b	8.9-8.7-8.6-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	6	8*2
05	8.3-8.1-8.0-7.9-7.7	6	5
06	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	6	7
07a/07b	9.1-8.9-8.8-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	6	9*2
08a/08b	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	7*2
09a/09b	8.9-8.7-8.6-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	8*2
10a/10b	9.1-8.9-8.8-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	9*2
11	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	7
12	9.1-8.9-8.8-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	9
13a/13b	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	7*2
14a/14b	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	12	7*2
15a/15b	9.1-8.9-8.8-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	6	9*2
16	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	6	7
17a/17b	8.9-8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	3	7*2
18	8.7-8.5-8.3-8.1-7.9-7.7	3	6
總計			200

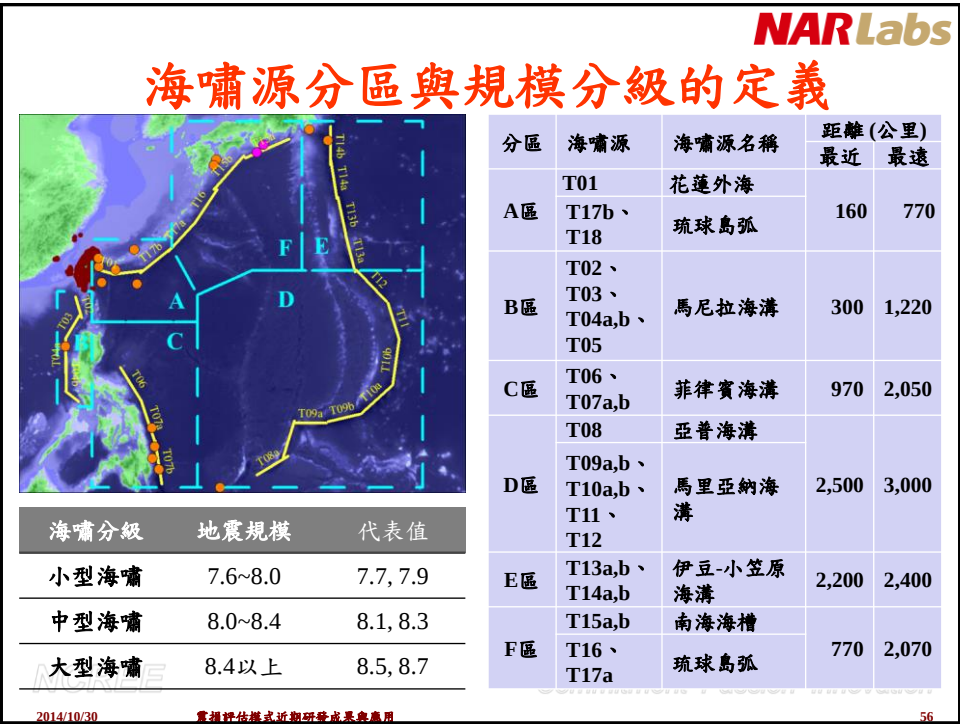
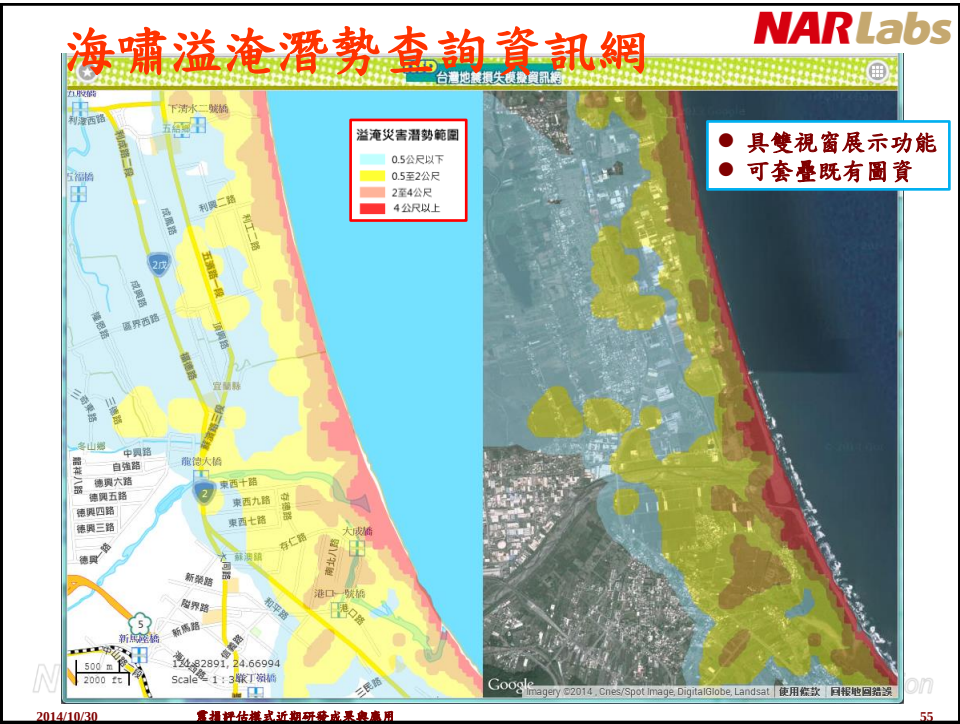
海嘯事件數量T：200；S：200；R：200（紅色斜體數字為學者建議之最大地震規模）

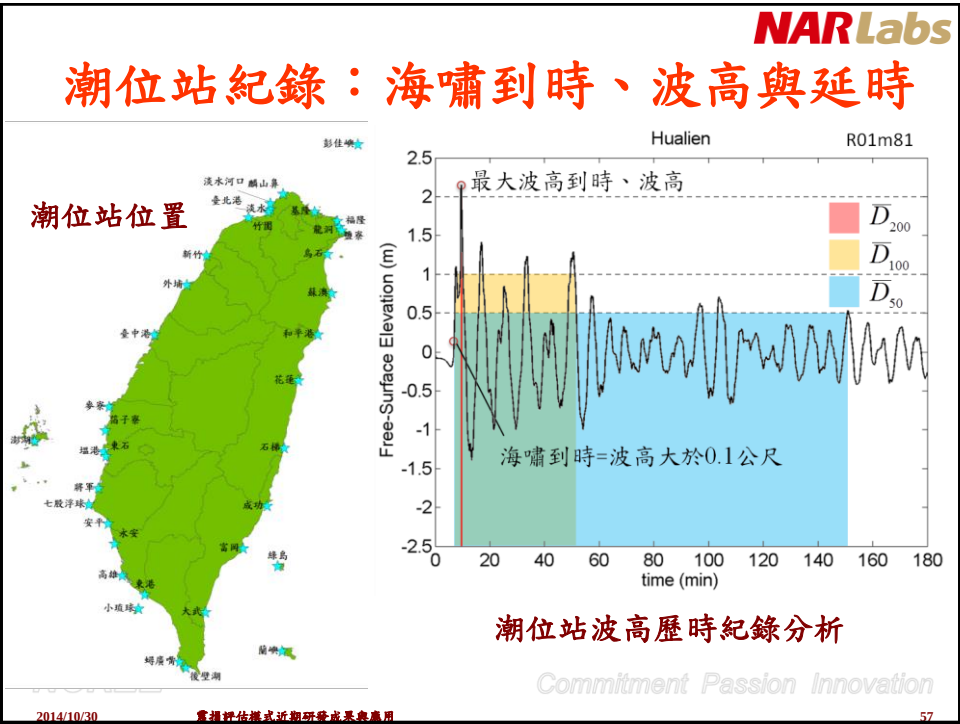
2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

52







潮位站之波高歷時紀錄的分析結果

縣市	潮位站	代碼	$T_{a,min}$	最大波高 (公尺)			T_{min}	最大波高之最短到時 (秒)		
				最小值	平均值	最大值		$\bar{D}_{50}$	$\bar{D}_{100}$	$\bar{D}_{200}$
新北市	臺北港	4	93.23	0.25	0.55	1.07	100.13	21.48	0.23	0.00
新北市	淡水	3	83.27	0.21	0.42	0.67	90.43	4.90	0.00	0.00
新北市	麟山鼻	2	67.13	0.36	0.58	0.85	75.67	26.75	0.00	0.00
基隆市	基隆	1	51.23	0.40	0.84	1.47	60.60	45.86	7.68	0.00
基隆市	彭佳嶼	35	48.90	0.29	0.47	0.70	54.43	2.98	0.00	0.00
新北市	龍洞	22	39.07	0.46	1.20	2.24	45.90	71.04	40.28	0.17
宜蘭縣	烏石	25	36.20	0.55	1.59	3.18	86.63	100.55	70.45	18.87
宜蘭縣	蘇澳	26	19.80	0.85	2.00	3.53	23.17	125.58	74.71	21.04
花蓮縣	和平港	27	13.20	0.29	1.00	1.95	16.23	26.04	1.10	0.00
花蓮縣	花蓮	28	14.37	1.20	2.58	4.98	17.57	147.13	107.14	31.43
花蓮縣	石梯	29	12.27	0.33	1.00	2.14	13.33	62.68	16.46	0.05
臺東縣	成功	30	17.13	0.6	1.00	2.14	13.33	62.68	16.46	0.05
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

海嘯初達波最短到時 (秒)

海嘯源A區發生大型海嘯為例

Commitment Passion Innovation

2014/10/30 震損評估模式近期研發成果與應用 58

NAR Labs

鄉鎮區/村里的海嘯溢淹模擬結果

$A_{f_{min}}$ ：綜合不同情境之溢淹面積的最小值(千平方公尺)

$A_{f_{avg}}$ ：綜合不同情境之溢淹面積的平均值(千平方公尺)

$A_{f_{max}}$ ：綜合不同情境之溢淹面積的最大值(千平方公尺)

$V_{f_{min}}$ ：綜合不同情境之溢淹水量的最小值(千立方公尺)

$V_{f_{avg}}$ ：綜合不同情境之溢淹水量的平均值(千立方公尺)

$V_{f_{max}}$ ：綜合不同情境之溢淹水量的最大值(千立方公尺)

$\bar{D}_f = \frac{V_f}{A_f}$

➡

$\bar{D}_{f_{min}}$ ：平均溢淹深度之最小值(公尺)

$\bar{D}_{f_{avg}}$ ：平均溢淹深度之平均值(公尺)

$\bar{D}_{f_{max}}$ ：平均溢淹深度之最大值(公尺)

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

59

NAR Labs

不同分區與規模之溢淹模擬結果列表

以A區發生大型海嘯為例，沿海鄉鎮(市)區之可能溢淹情形

縣市	鄉鎮(市)區	代碼	$\bar{D}_{f_{min}}$	$\bar{D}_{f_{avg}}$	$\bar{D}_{f_{max}}$	$A_{f_{min}}$	$A_{f_{avg}}$	$A_{f_{max}}$	$V_{f_{min}}$	$V_{f_{avg}}$	$V_{f_{max}}$
宜蘭縣	蘇澳鎮	0203	0.8	1.2	1.5	1,421.5	3,153.0	7,868.4	1,189.8	4,070.7	10,926.8
	頭城鎮	0204	0.9	1.7	2.5	960.3	1,707.3	3,414.5	851.9	3,296.2	8,547.0
	礁溪鄉	0205	0.2	0.2	0.2	338.2	535.1	948.0	58.9	98.9	186.8
	壯圍鄉	0206	0.3	0.7	1.1	585.2	2,728.4	9,364.1	188.4	2,431.4	9,951.2
	冬山鄉	0208	0.0	0.0	0.1	0.0	22.2	176.7	0.0	2.6	22.2
	五結鄉	0209	1.0	1.3	1.8	563.7	3,733.8	14,655.2	555.0	4,536.4	16,540.8
桃園縣	南澳鄉	0212	0.7	1.6	2.8	55.8	65.4	76.8	38.3	111.4	204.5
	蘆竹鄉	0305	0.2	0.6	1.2	30.1	38.3	60.0	5.8	24.5	67.1
	大園鄉	0306	0.2	0.5	1.0	99.2	117.0	160.8	22.9	68.0	151.0
	新屋鄉	0311	0.2	0.4	0.7	548.3	565.1	586.5	89.2	208.1	408.9
新竹縣	觀音鄉	0312	0.2	0.5	0.9	914.9	1,030.8	1,111.3	153.6	466.3	1,022.1
	竹北市	0401	0.1	0.2	0.4	455.9	622.1	694.7	45.7	134.9	282.5
	新豐鄉	0406	0.1	0.2	0.3	736.9	1,077.8	1,236.1	74.1	205.7	428.5
苗栗縣	苑裡鎮	0502	0.1	0.2	0.5	244.3	246.1	252.6	24.4	53.1	116.1
	通霄鎮	0503	0.1	0.2	0.3	261.0	277.5	305.9	26.1	51.2	106.4
	竹南鎮	0504	0.1	0.3	0.5	63.9	68.0	72.5	6.6	18.1	37.1
	後龍鎮	0506	0.1	0.1	0.2	223.0	530.9	955.9	22.3	83.7	210.6
...			...	...	...	...	...	...	...	...	...

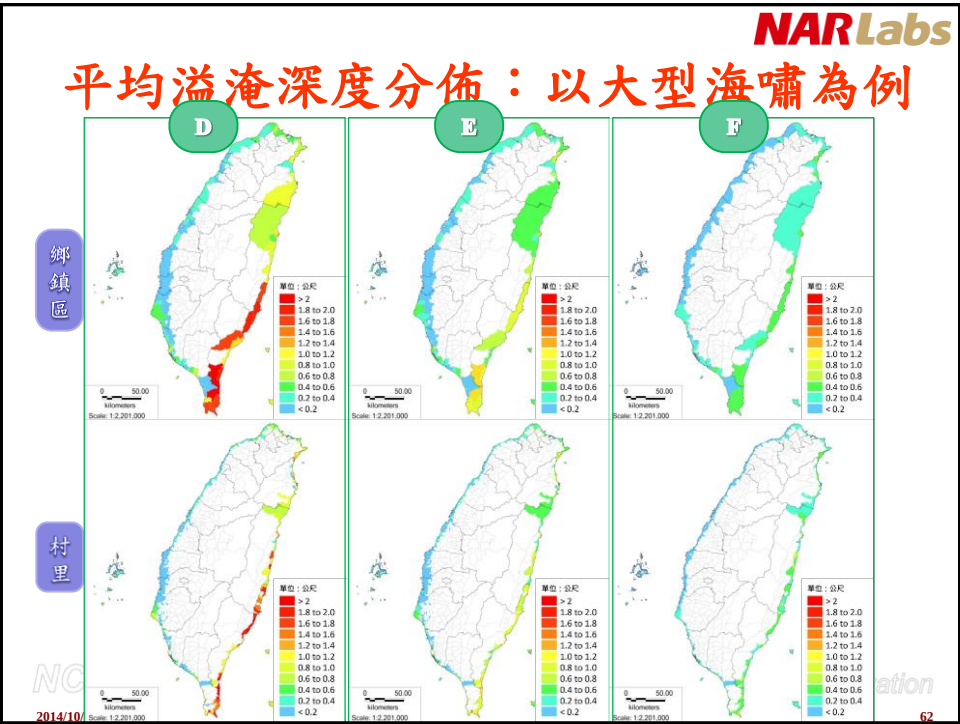
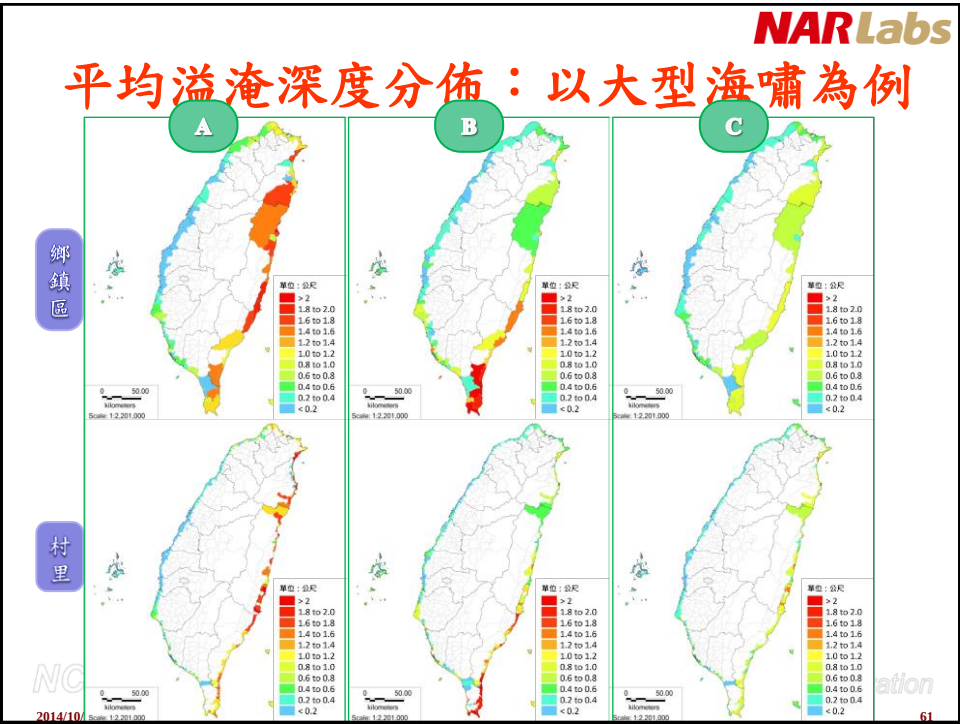
NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30

震損評估模式近期研發成果與應用

60



NAR Labs

鄉鎮區之海嘯溢淹警戒等級的劃設

✚

綜合考慮平均溢淹深度之平均值與最大值，以及溢淹水量之平均值，擬訂鄉鎮區之警戒等級，作為應變階段判識嚴重性和優先順序的參考

! 一級警戒

平均溢淹水量超過 2×10^6 立方公尺 並且
(平均溢淹深度之平均值 ≥ 1 公尺或最大值 ≥ 2 公尺)

! 二級警戒

平均溢淹水量超過 0.5×10^6 立方公尺 並且
(平均溢淹深度之平均值 ≥ 0.5 公尺或最大值 ≥ 1 公尺)

! 三級警戒

平均溢淹水深 >0 公尺

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30 震損評估模式近期研發成果與應用 63

NAR Labs

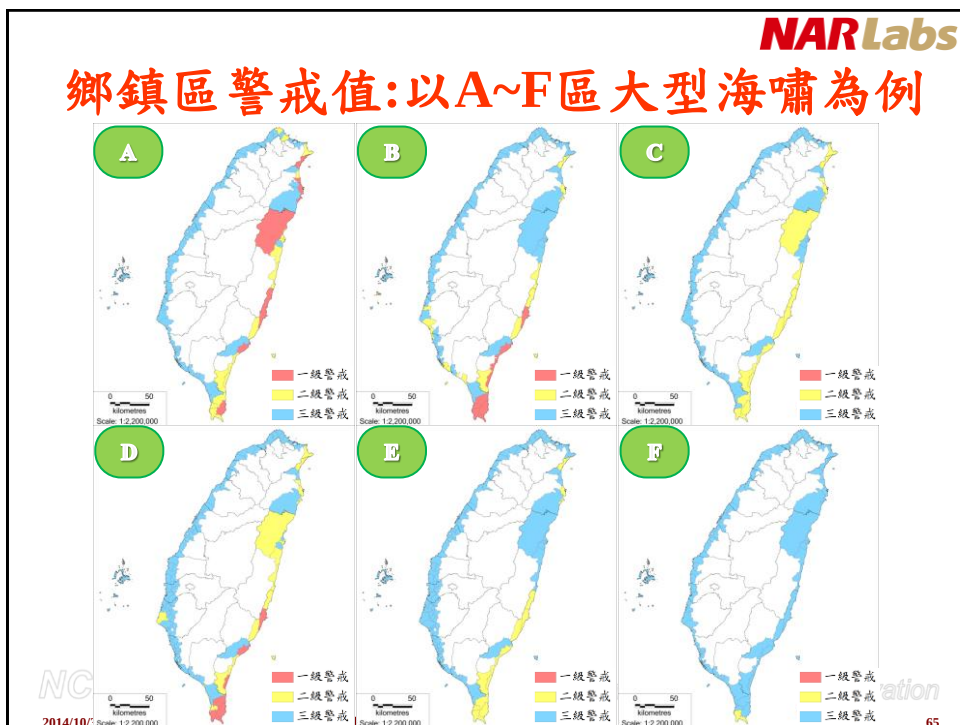
需發布警戒之鄉鎮(市)區列表

警戒等級	縣市：鄉鎮(市)區
一級	宜蘭縣：蘇澳鎮、頭城鎮、五結鄉
	屏東縣：滿州鄉
	台東縣：台東市、成功鎮、長濱鄉
	花蓮縣：秀林鄉
二級	宜蘭縣：壯圍鄉
	屏東縣：恆春鎮、車城鄉、牡丹鄉
	台東縣：東河鄉、太麻里鄉、大武鄉、綠島鄉、達仁鄉、蘭嶼鄉
	花蓮縣：花蓮市、新城鄉、壽豐鄉、豐濱鄉
	新北市：石門區、貢寮區、萬里區
三級	宜蘭縣：礁溪鄉、冬山鄉、南澳鄉
	桃園縣：蘆竹鄉、大園鄉、新屋鄉、觀音鄉
	新竹縣：竹北市、新豐鄉
	苗栗縣：苑裡鎮、通霄鎮、竹南鎮、後龍鎮、造橋鄉
	彰化縣：鹿港鎮、和美鎮、線西鄉、伸港鄉、福興鄉、芳苑鄉、大城鄉
	雲林縣：麥寮鄉、台西鄉、四湖鄉、口湖鄉
	嘉義縣：布袋鎮、東石鄉
	屏東縣：東港鎮、枋寮鄉、新園鄉、林邊鄉、佳冬鄉、琉球鄉、枋山鄉、獅子鄉、卑南鄉、吉安鄉
	...
	...

NCREE

Commitment Passion Innovation

2014/10/30 震損評估模式近期研發成果與應用 64



NAR Labs

小結

- ✦ 運用地理資訊系統，整合並校正內政部高解析陸地數值地形資料和其它海域數值地形資料；藉由可靠的數值地形資料，提升COMCOT海嘯模擬的收斂性和評估結果的可信度
- ✦ 擬訂各種可能侵臺之海嘯事件的震源參數組合，共完成600個海嘯模擬事件的情境分析，並納入地理資訊系統，可與其它既有圖資套疊使用
- ✦ 彙整海嘯模擬結果，以圖表方式展現成果：如海嘯到時、最大波高、延時、平均溢淹深度、溢淹面積和水量等。一旦已知地震規模和震央位置，可即時提供必要參考資訊，並發佈各鄉鎮區的警戒等級
- ✦ 除可供平時海嘯災害防治計畫參考外，亦可作為海嘯早期預警系統的基礎資料庫，藉由提升抗災能力和應變效率，有效降低人員傷亡和財物損失

Commitment Passion Innovation

2014/10/30 震損評估模式近期研發成果與應用 66