

國家地震工程研究中心

台灣地震損失評估系統(TELES)講習會

國內土壤液化研究回顧與現況

簡報人: 盧志杰

- 土壤液化基本概念與分析
- 國內土壤液化研究回顧
- 美濃地震液化災害勘查
- 安家固園計畫說明
- 結論與建議

背景介紹

- 土壤液化受到重視之起源
 - 1964 Niigata earthquake
 - 1964 Alaska earthquake
- 典型土壤液化之危害



<https://www.suggest-keywords.com/MTk2NCBuaWlnYXRhIGVhcnRocXVha2U/>



https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_liquefaction



<http://translate-en.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/ekijouka-map/q-and-a.html>

背景介紹

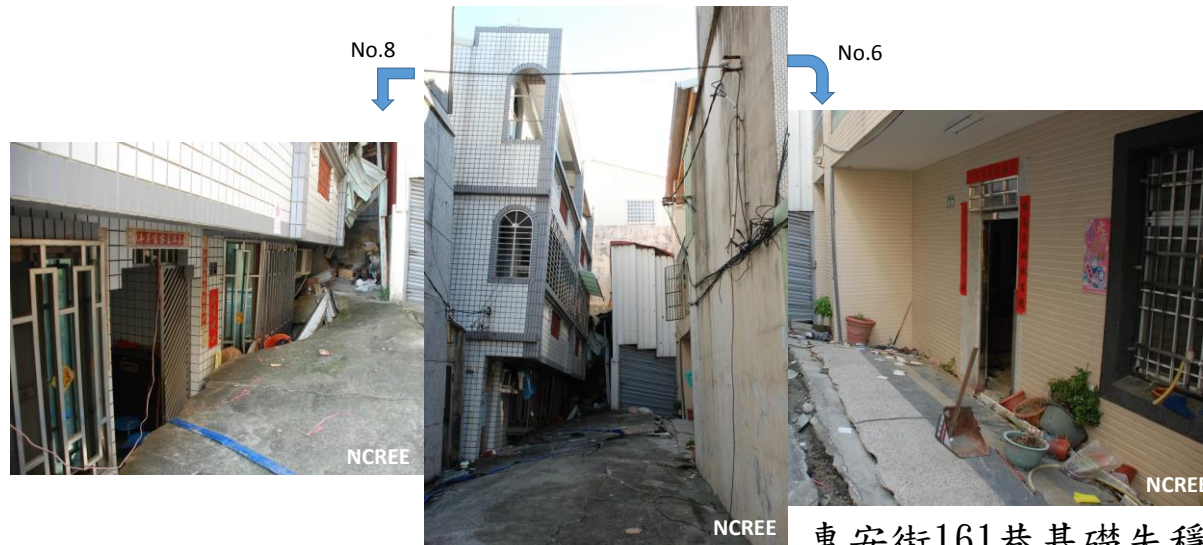
- 台灣對於土壤液化之重視

- 1999集集地震

- ✓ 造成台灣中部地區廣泛液化，本土的液化案例資料大增
 - ✓ 土壤液化問題受各界高度重視

- 2016美濃地震

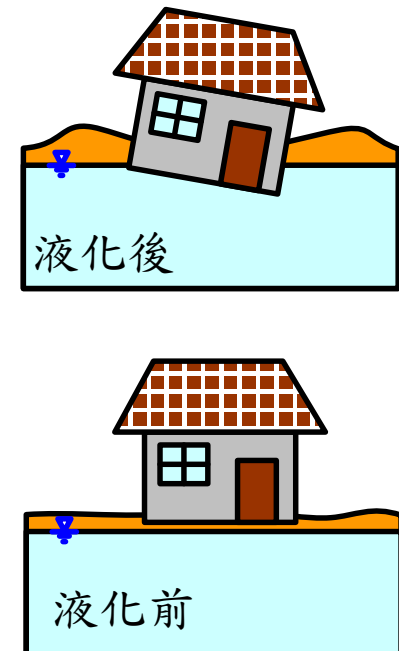
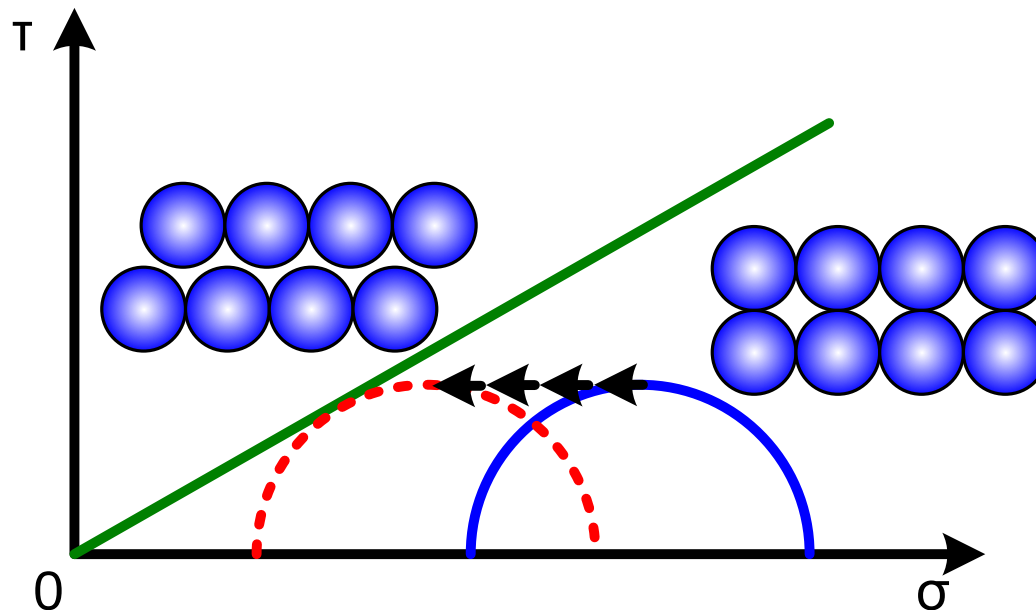
- ✓ 中小地震亦造成液化災情，促使國人正視液化風險



惠安街161巷基礎失穩造成上構沉陷

土壤液化機制

- 在地震作用下，鬆散土壤因受到壓縮而空隙減小擠壓孔隙水，造成空隙內水壓升高，降低砂顆粒間的接觸力，進而發生土壤液化
- 土壤因為液化而短暫失去強度，造成其鄰近結構受損無法發揮功能



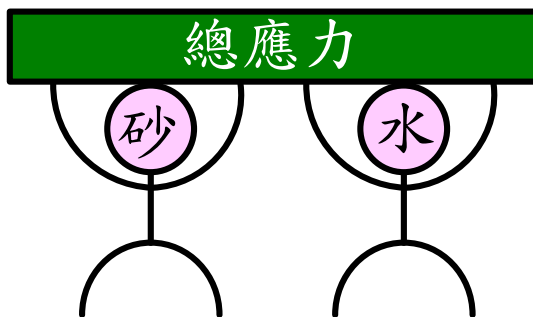
土壤液化機制

- 土壤液化機制
 - 土壤特性
 - ✓ 鬆散砂土
 - ✓ 地下水
 - 外力(地震力)

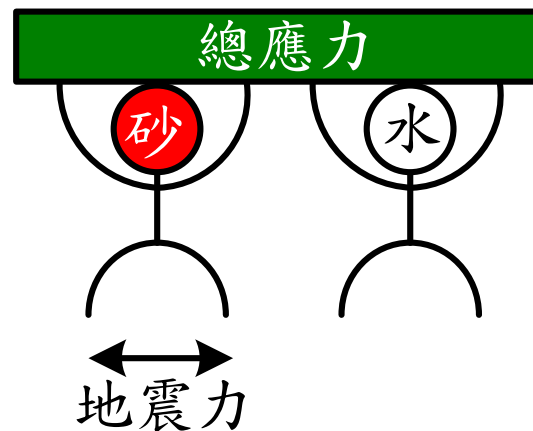


https://en.wikipedia.org/wiki/Sand_boil

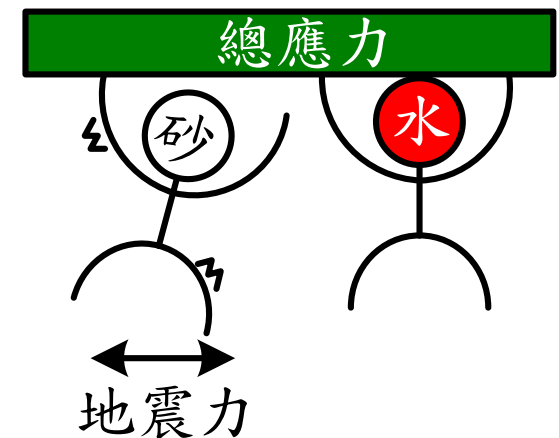
常時



地震時(砂土緊密)



地震時(砂土鬆散)

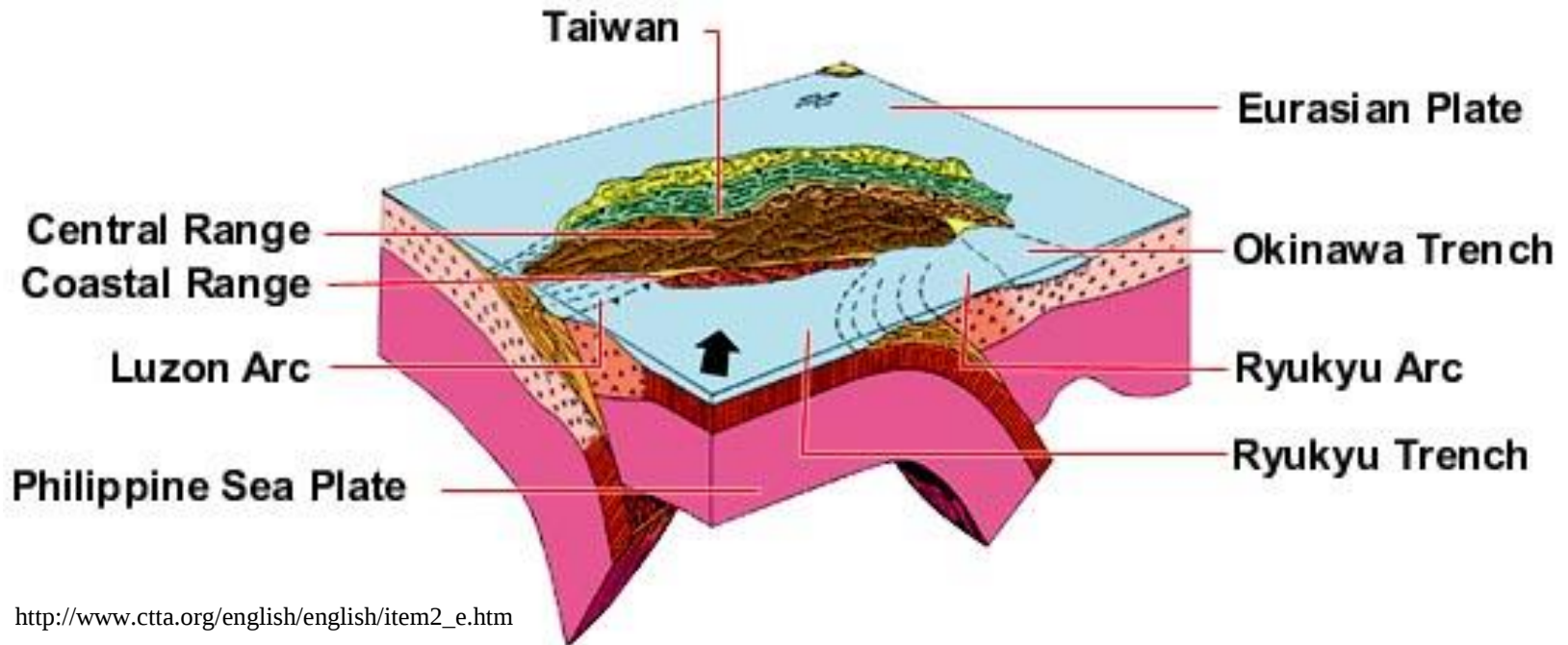


台灣地震液化風險與評估

- 台灣地震特性
- 台灣過往液化案例
- 土壤液化評估
- 土壤液化之影響
- 台灣土壤液化之高風險地區

台灣地震特性

- 台灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界的環太平洋地震帶上，由於菲律賓海板塊長年不斷地擠壓歐亞板塊，因此地震活動頻繁。



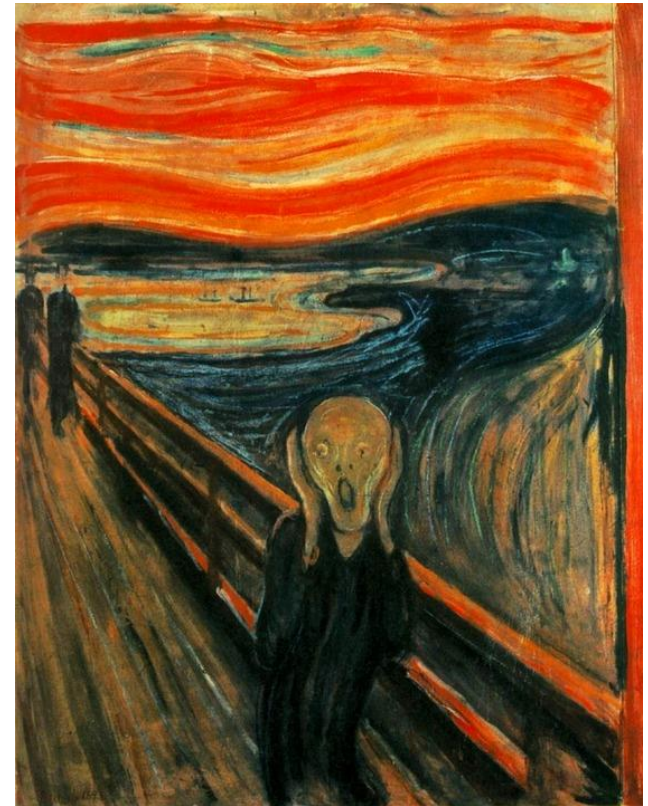
台灣過往液化案例

● 平均每10年就有一次土壤液化災害案例

編號	時間	地震名稱	震央位置		規模 (M_L)
			緯度	經度	
1	1904/11/6	斗六地震	23.575	120.250	6.1
2	1906/3/17	梅山地震	23.550	120.450	7.2
3	1917/11/15	台中-南投地震	24.100	120.875	6.2
4	1927/8/25	新營地震	23.325	120.250	6.2
5	1930/12/08	前大埔地震	23.325	120.200	5.7
	1930/12/22	六重溪地震	23.350	120.425	5.8
6	1935/4/21	新竹-台中地震	24.350	120.817	7.1
7	1941/12/17	中埔地震	23.400	120.475	7.1
8	1946/12/5	新化地震	23.070	120.330	6.1
9	1964/1/18	白河地震	23.267	120.612	6.3
10	1991/3/12	佳里地震	23.246	120.075	5.7
11	1999/9/21	集集地震	23.853	120.816	7.3
12	2016/2/6	美濃地震	22.930	120.540	6.4

小結

- 很不幸地，我們身處在一個地震頻繁，土壤液化很容易發生在我們周邊的地方
- 瞭解自身處境後，更應該思考如何去面對它及處理它



土壤液化評估

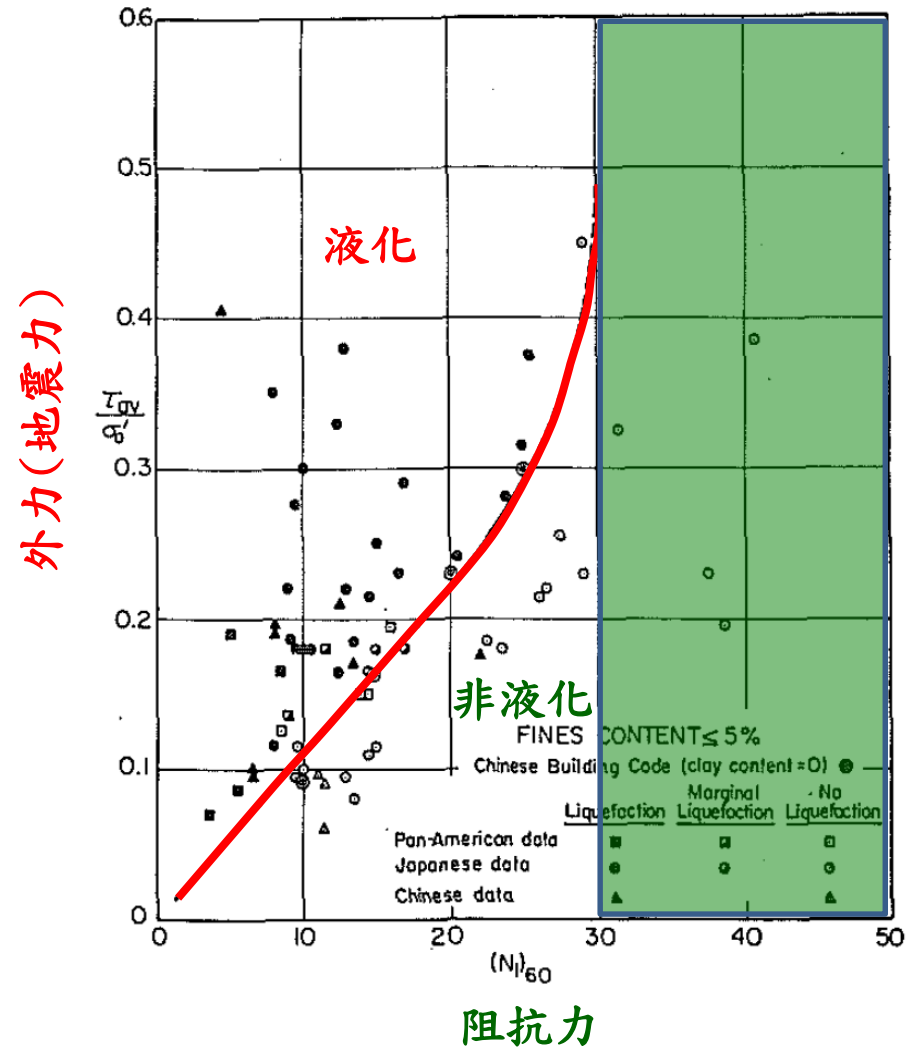
- 土壤液化評估方法

- Seed et al. (1985)



- 抗液化安全係數

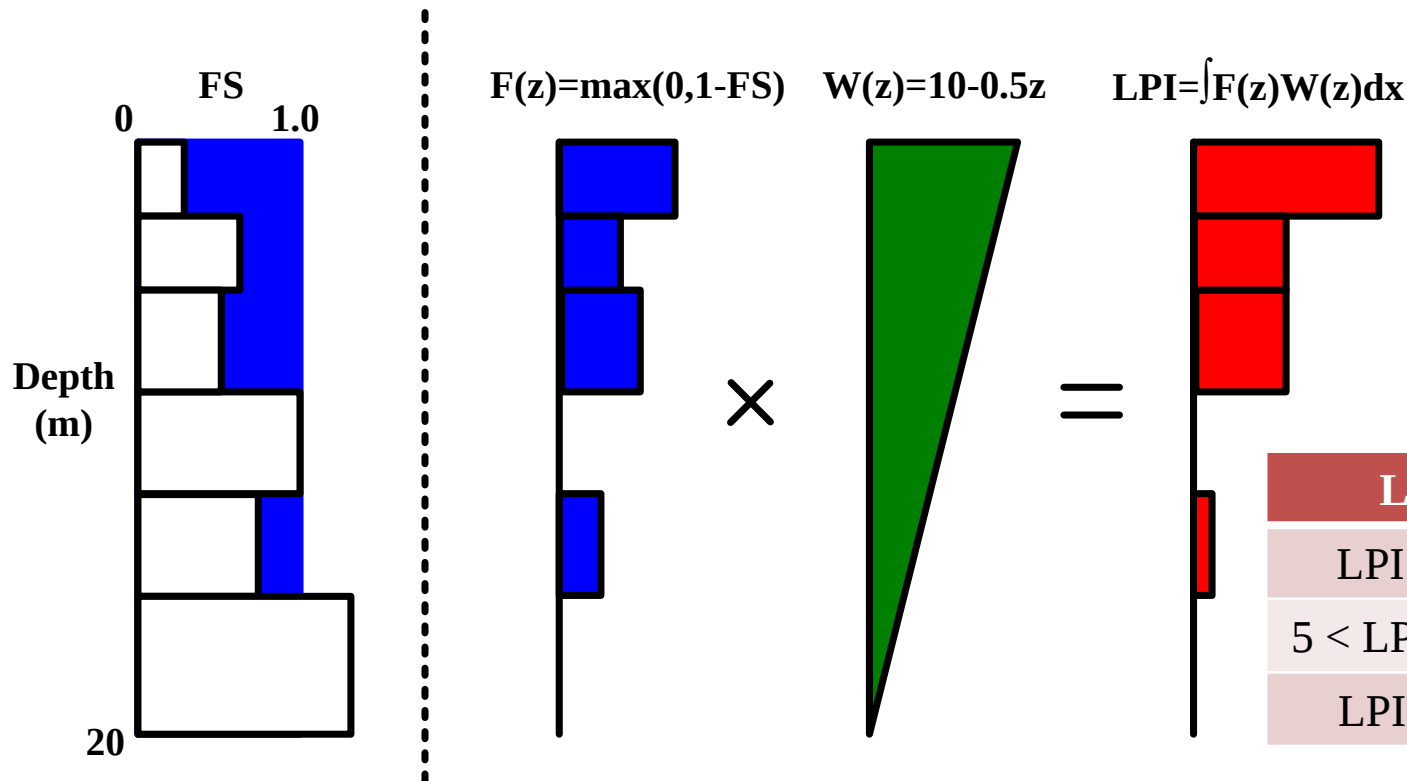
- $FS = \text{抵抗力} / \text{外力}$



土壤液化之影響

- 液化潛能指數(Iwasaki et al., 1982)

$$LPI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz$$



台灣土壤液化之高風險地區

- 土壤液化之高風險地區

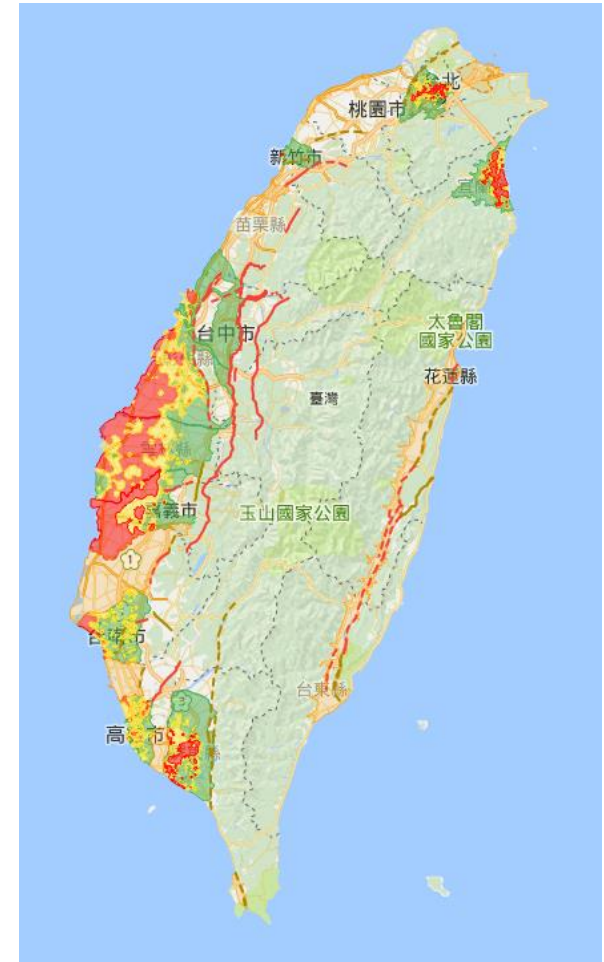
- 地震活動頻繁

- 鬆散飽和砂土地層

- ✓ 容易發生於年代較輕的砂質地層，例如沖積地層、河岸、海岸、舊河道、海埔新生地。

- 中央地質調查所土壤液化潛勢查詢系統

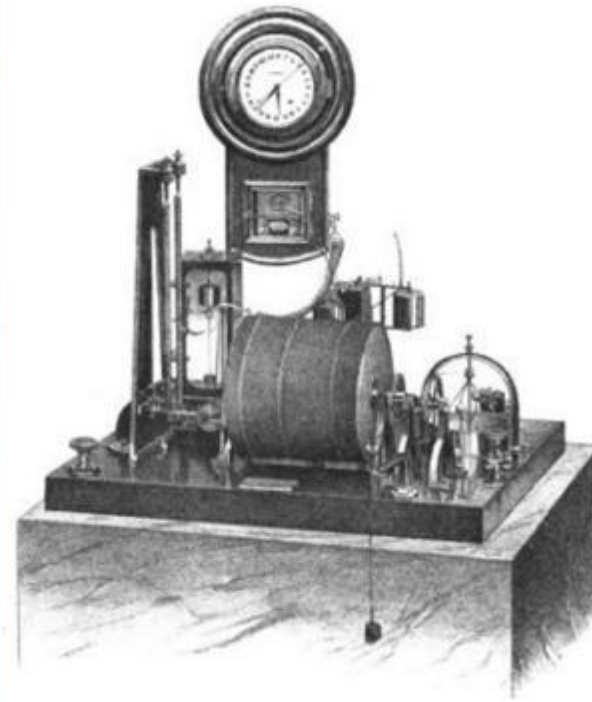
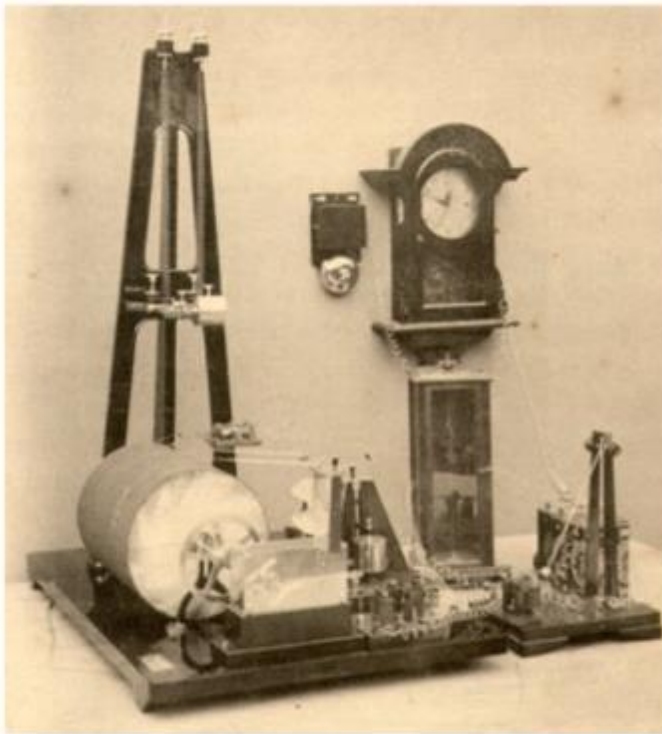
- 台灣北部宜蘭平原、大台北盆地、新竹地區，以及西南平原為具土壤液化風險地區



摘自中央地質調查所

國內土壤液化研究回顧

- 1987年台灣島內第一部地震儀設置於台北測候所，開創了地震工程之研究



格雷—米爾恩型地震儀(Gray-Milne Seismograph)外觀圖

<http://tec.earth.sinica.edu.tw/TEM/hisevent/images/sample/seis001.jpg>

國內土壤液化研究回顧

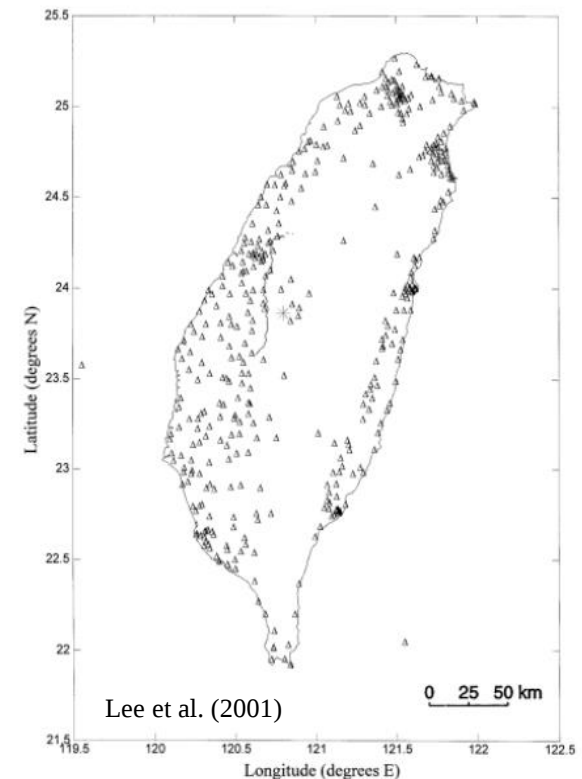
- 1897年至1945年間，日本學者曾經進行大量之地震工程之研究，惟因其後歷經第二次世界大戰及政權轉移，許多資料都逸散不可考。
- 1945年至1990年間，土壤液化知識尚待建立，且台灣島內無較大規模之土壤液化災情，因此土壤液化之研究非當時之顯學。此期間僅有少部分重大公共工程需考量土壤液化之影響：
 - 核能發電廠(1970年代)
 - ✓ 地盤改良、選址
 - 台北捷運(1980年代)
 - ✓ 第一個經詳細土壤液化評估之工程案例

國內土壤液化研究回顧

- 1991年中央氣象局著手進行臺灣強地動觀測計畫，開始在台灣本島廣布地震測站。
- 1999 集集地震時，強烈地震動使得超過400個地震測站測得地震訊號，並造成大量的土壤液化案例

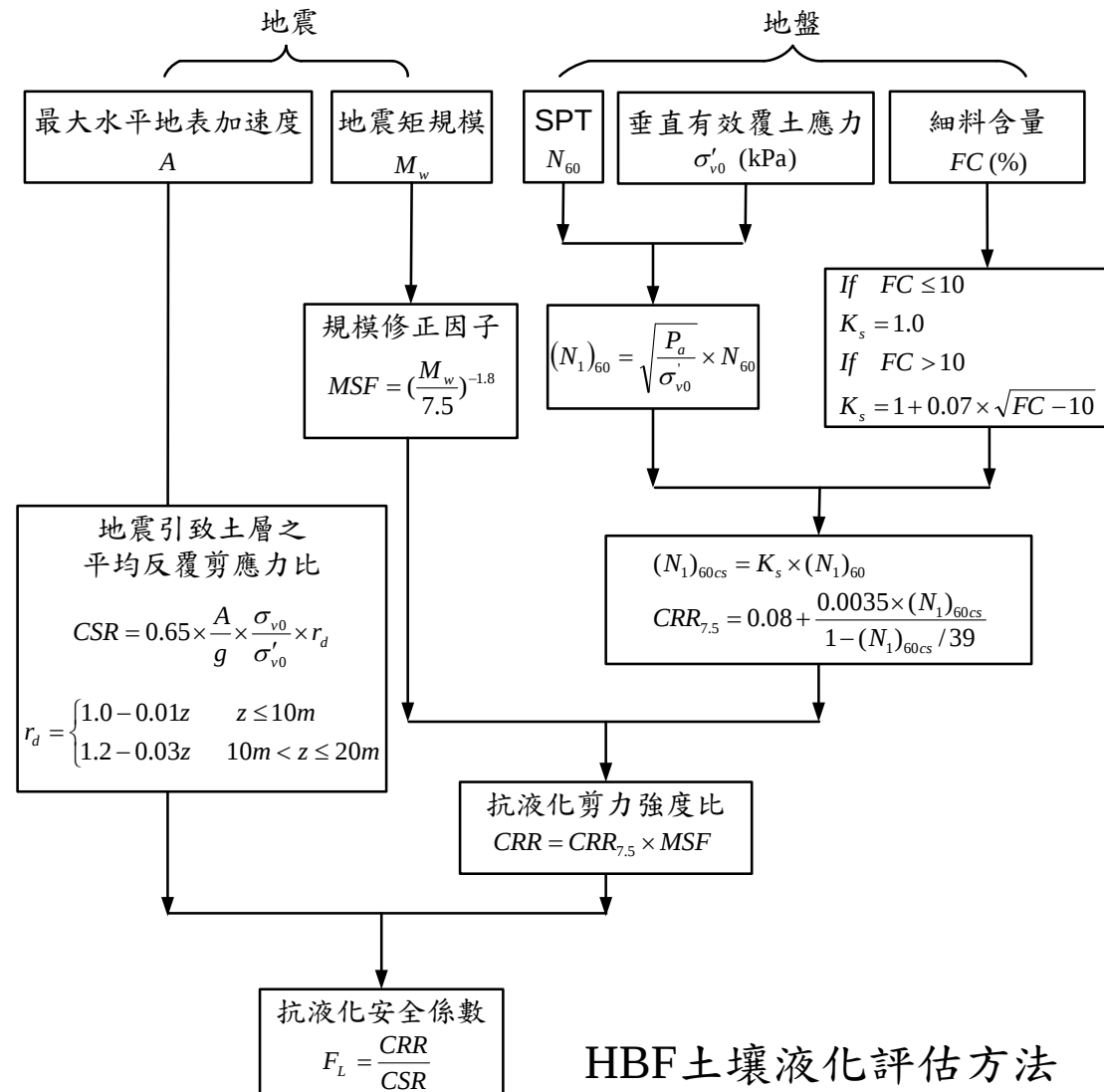


Chen and Chen (2014)



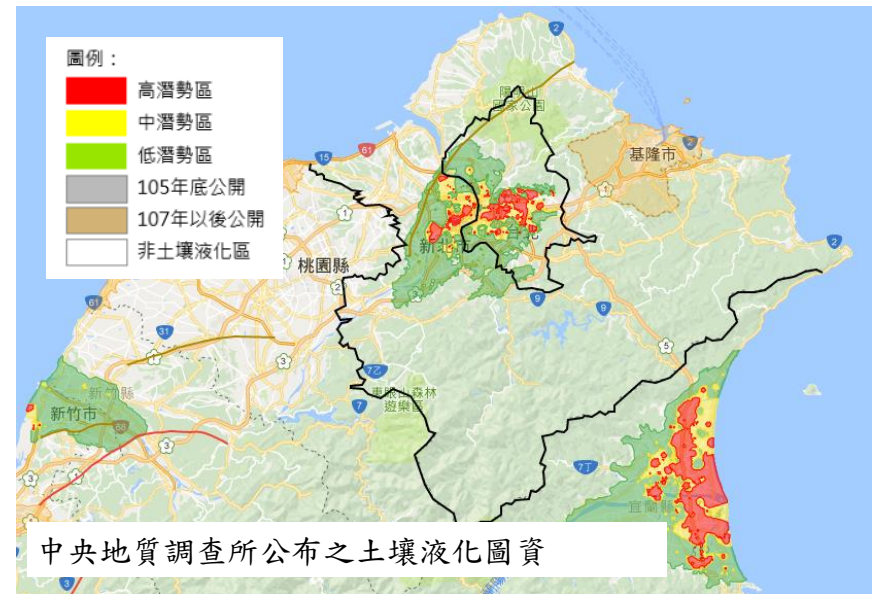
國內土壤液化研究回顧

- 1999 集集地震後，土壤液化成為當時顯學。實貴的土壤液化災損資料亦培養出國家許多優秀的學者
- 發展出預測準確率與世界主流方法相符，但公式相對簡單且符合台灣本土特性之土壤液化評估方法



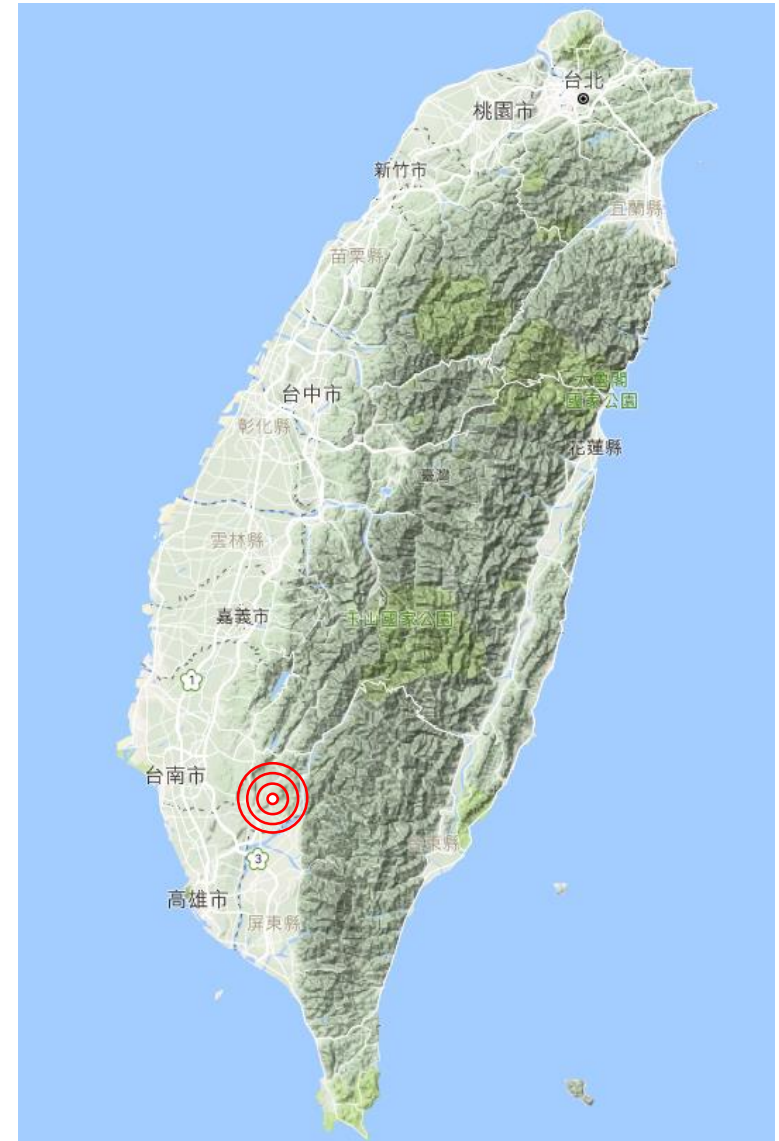
國內土壤液化研究回顧

- 2016年美濃地震後，嚴重的土壤液化災情，使得土壤液化議題再度受到國人重視。
- 中央地質調查所亦在短時間內發布初級土壤液化潛能圖。
- 目前政府正在推動安家固園計畫，將進一步製作中級精度土壤液化潛能圖，使國人瞭解身處環境之液化風險



美濃地震液化災害勘查

- 2016年2月6日上午3時57分
- 震央位於高雄市美濃區，
即屏東縣政府北偏東方27.1
公里處
- 芮氏規模6.6

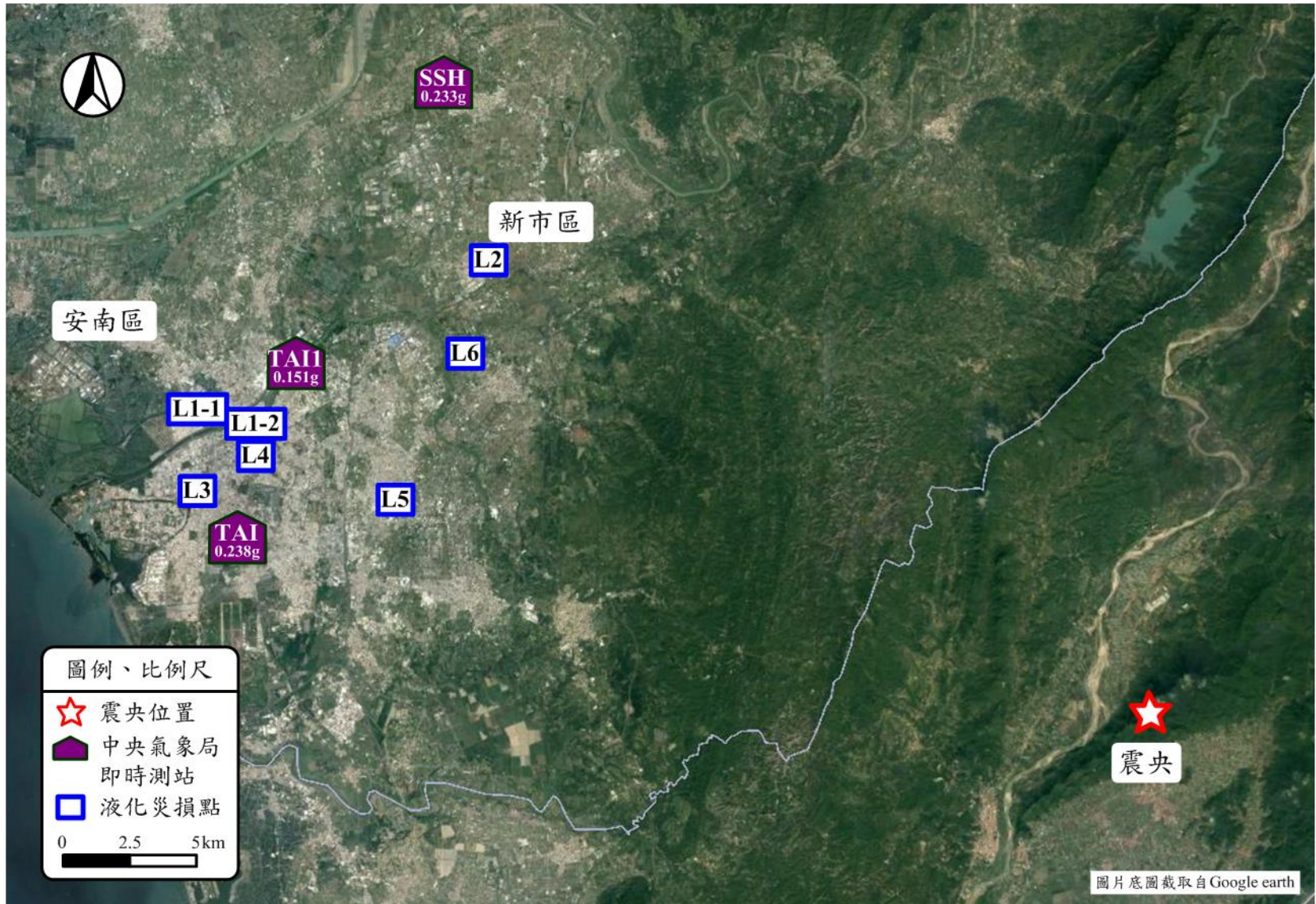


美濃地震背景資料

- 台南永康區維冠金龍大樓倒塌
 - 死亡人數達115人，受傷人數96人
 - 1999年9月21日東星大樓(87人死亡)
- 台南多處地區發生嚴重液化災情
- 新聞媒體過度渲染，引起全國關注
 - 安家固園計畫
 - ✓ 中精度土壤液化潛勢圖



震後液化勘災與調查



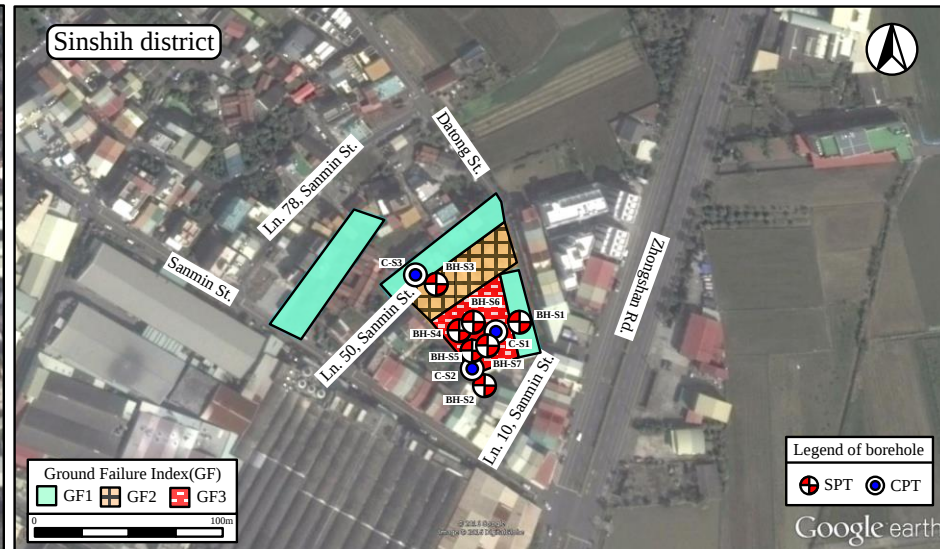
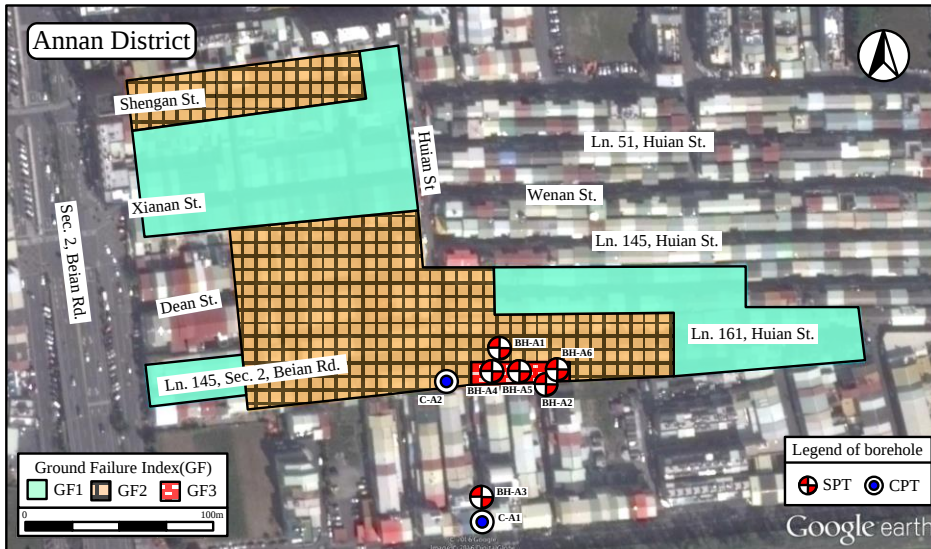
震後液化勘災與調查

- 液化災損程度之量化

- 地盤破壞指數 (Bray and Stewart, 2000)

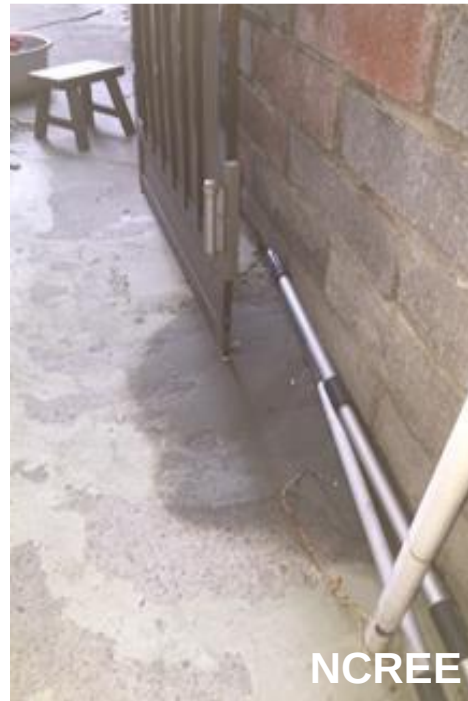
指數	破壞程度	說明
GF0	未發現地盤破壞	無沉陷、傾斜、側向位移及噴砂現象。
GF1	輕微地盤破壞	沉陷量低於10cm，傾斜小於1°，無側向位移現象。
GF2	中度地盤破壞	沉陷10~25cm之間，傾斜1°~3°，有輕微側向位移現象(<10cm)。
GF3	嚴重地盤破壞	沉陷量大於25cm，傾斜超過3°，有側向位移超過25cm。

震後液化勘災與調查



美濃地震後液化災損情況

- 液化噴砂現象



美濃地震後液化災損情況

- 建築物邊界與路面交界的管線受差異沉陷而破裂
 - 圖中水管已修復



美濃地震後液化災損情況



房屋之鐵捲門受差異沉陷造成扭曲變形



噴砂的高度達90cm

美濃地震後液化災損情況

- 建築物邊界與路面交界的管線受差異沉陷而破裂
 - 圖中水管已修復



美濃地震後液化災損情況

- 基礎型式不同，造成液化沉陷明顯不同



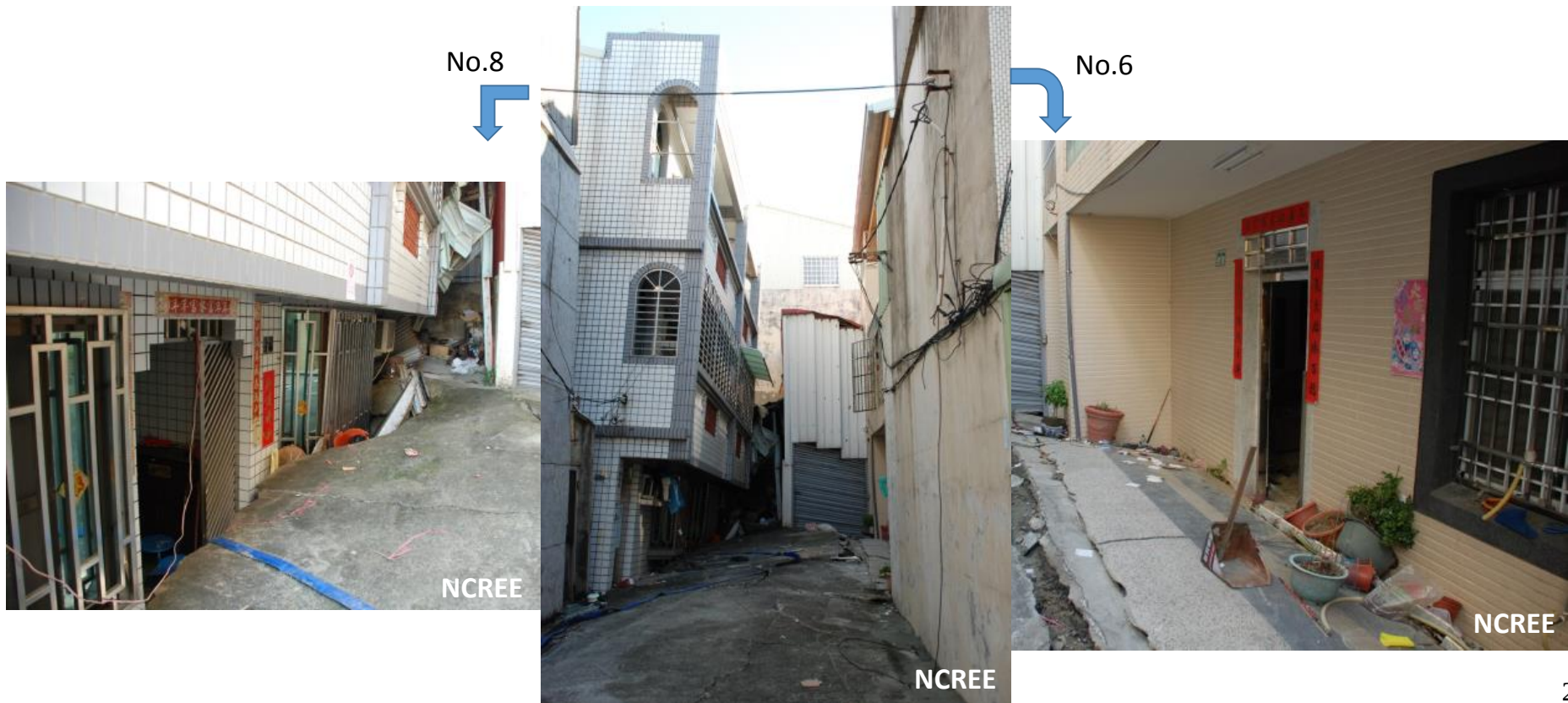
鄰近七層樓大樓(幾乎沒有沉陷)



聖安街68號之沉陷約20cm

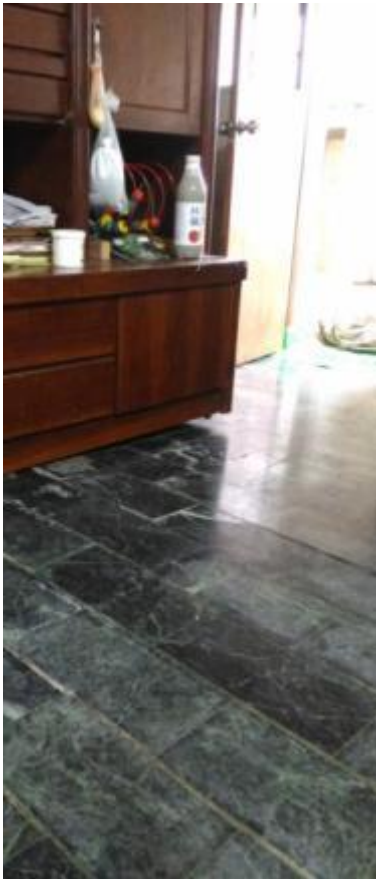
美濃地震後液化災損情況

- 惠安街161巷嚴重破壞之區域
 - 基礎失穩造成上構沉陷



美濃地震後液化災損情況

- 惠安街167號因地基差異沉陷造成建物開裂破壞



安南區地形變化

- 臺灣地形圖(1956)



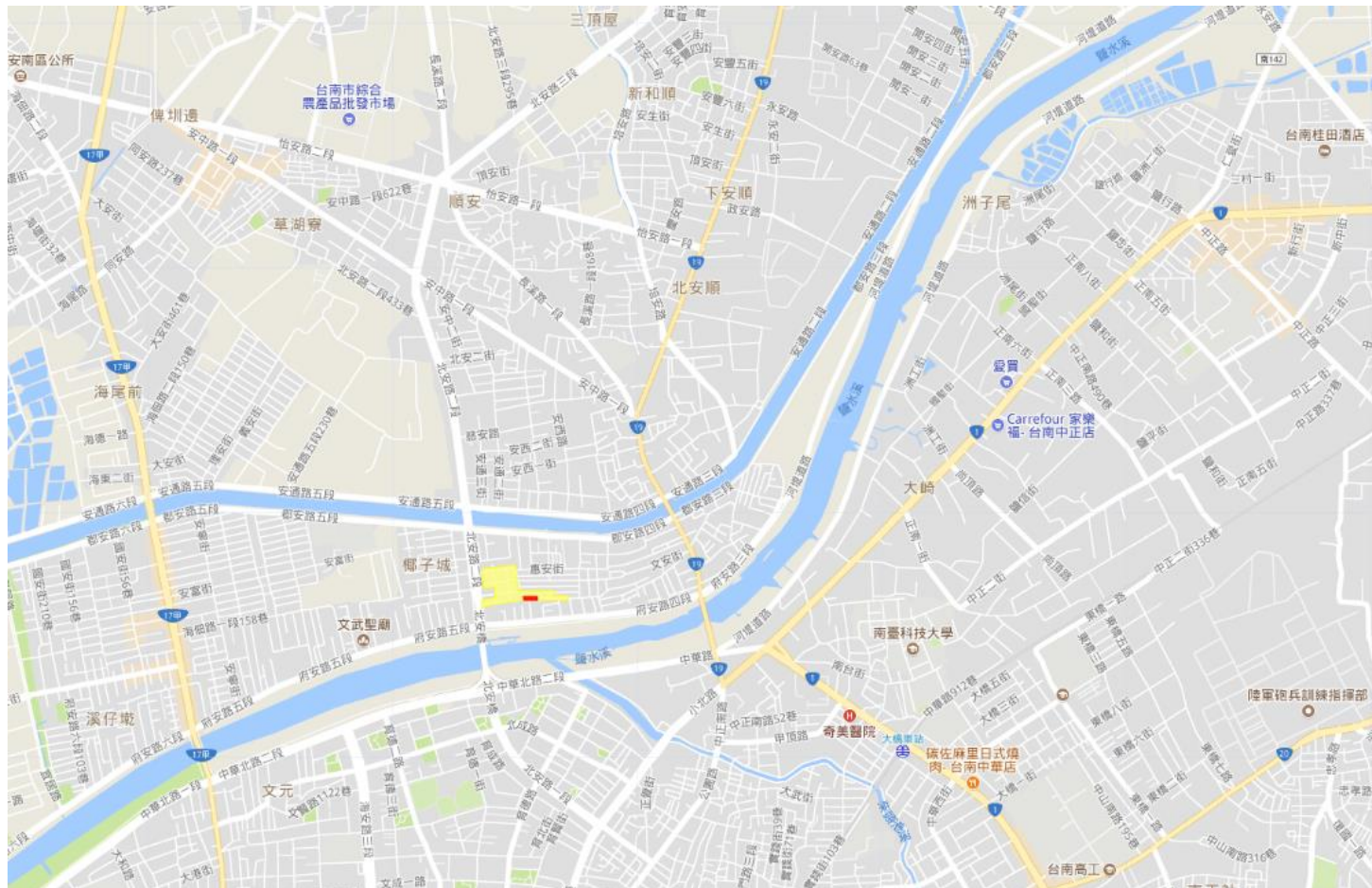
安南區地形變化

- 經建版臺灣地形圖1版(1989)

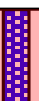


安南區地形變化

● Google地圖



安南區鑽探調查及結果

Depth (m)	Annan District BH-A1			Annan District BH-A2			Annan District C-A2		Annan District BH-A4			Annan District BH-A5			Annan District BH-A6		
	Soil layer	SPT-N	FC	Soil layer	SPT-N	FC	q_c (MPa)	f_s (MPa)	Soil layer	SPT-N	FC	Soil layer	SPT-N	FC	Soil layer	SPT-N	FC
1	 GWT 0.94m	1	75	 GWT 0.80m	0.66	26			 GWT 0.60m	2	43	 GWT 0.55m	3	28	 GWT 0.60m	3	23
2																	
3		2.5	53		1.33	79				0.66	96		4	51		5	16
4										0.66	99		1.5	99		2	97
5		8	97		6	78											
6										8	59		6	28		8	17
7		1.5	33		3	65											
8										5	19		3	96		2	98
9		2.5	97		4.5	86				3	99		3	100		3	98
10																	
11		11	51		3.5	98				6	48		21	37		4	95
12																	
13		10	20		18	20				21	19		23	31		4	99
14																	
15		28	27		19	48				28	18		26	38		12	98
16																	
17		15	25		18	44				22	22		26	24		17	20
18																	
19		24	36		17	38				23	48		20	28		10	95
20																	
21		31	28		42	16				26	20		22	26		30	9
22																	
23		28	23		28	17				27	23		28	27		37	25

震後液化勘災與調查結論

- 此次液化發生之地區多屬於舊埤塘，並於1956~1989年間回填開發之區域，因回填夯實狀況不佳而地層鬆軟。
- 此次地震導致之液化，雖然造成多處民房之沉陷、傾斜與一樓地板破裂、隆起，卻無傳出人員傷亡。
 - 多數民房只因液化而產生沉陷，少數民房因而傾斜，傾斜之民房多為獨棟之建築。
 - 由於結構物之重量較大，使其於液化時與道路產生差異沉陷，因而造成此處之地下管線損毀。
 - 因主承重結構物與附屬結構物因重量不同，導致差異沉陷，使得附屬結構物發生嚴重的龜裂與毀損。
- 幾棟較重(4-6層)之建築物在液化嚴重之區域並未產生沉陷，係因建物採用樁基礎使然。

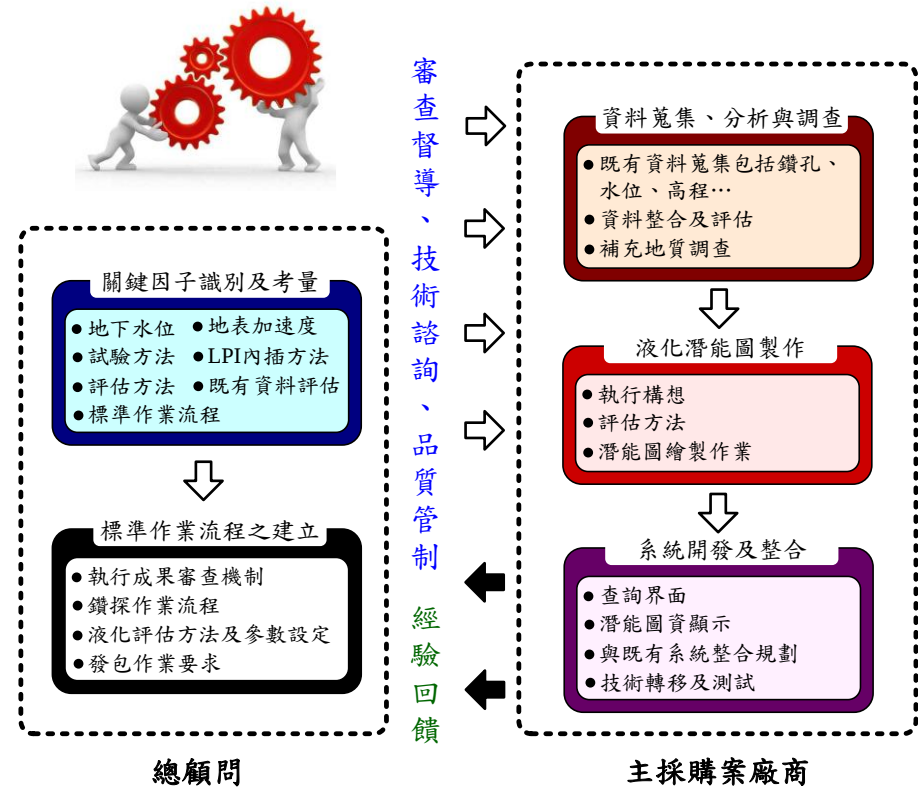
安家固園計畫說明

- 2016/02/06美濃地震造成臺南多處地區發生土壤液化災情，引起社會關注。
- 防治土壤液化可能災害，需仰賴中央、直轄市、縣（市）政府以及建築物所有人三方面之配合，且並非一蹴可及，但仍須及早啟動，持續推動，方有完成整治改善的可能。
- 此外，地震之後民眾對於老舊建築物結構安全亦同時關注，營建署為解除民眾疑慮並協助提升家園安全，具體規劃「老舊建築物耐震評估補強」及「土壤液化潛勢區防治改善」相關推動措施。

安家固園計畫說明

- 行政院105年4月29日核定「安家固園計畫」，指示具液化潛能地區之縣市政府，推動土壤液化潛勢區防治示範計畫。

➤ 體檢全國具沖積地層之土壤液化潛勢，進行土壤液化潛勢圖精度再提升，以因應後續國土防災之用



安家固園計畫說明

- 第一年度執行之縣市

- 台北市、新北市、宜蘭縣、台南市、高雄市、屏東縣
- 各縣市現地補充鑽探工作已多完成
- 淺地層地下水位之量測工作尚需持續進行
- 配合既有鑽孔資料及新增鑽孔，以及相關資料之蒐集，將逐漸完成中級土壤液化潛勢圖之製作

- 第二年度增加執行之縣市

- 台中市、彰化縣、雲林縣

關鍵問題與對策

- 各地方政府之計畫執行標準應進行統一
 - 2016全國土壤液化評估方法研討會
 - ✓ 分析方法(HBF)與程式開發
 - 安家固園計畫土壤液化潛勢圖製作技術座談會
 - ✓ 分析參數考量
 - ✓ 製圖流程

程式功能說明

- 下載網址
 - <http://www.ncree.org/HBF.aspx>
- 分析方法
 - HBF(2012)
- 主要計算內容
 - 反覆剪應力比(CSR)
 - 抗液化強度(CRR)
 - 安全係數(FS)
 - ✓ CRR/CSR
 - 液化潛能指數(LPI)
 - ✓ Iwasaki et al (1982)

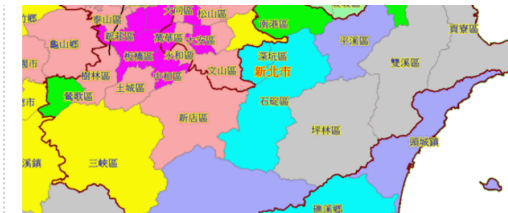


美國密西西比大學工學院院長程宏達教授演講
 邀請日本清水建設磯田和彥上席研究員、北村佳久主演講
 水攔有力—自來水系統的耐震聽診器Twater
 第九屆台日結構與橋梁工程研討會

[\[更多訊息...\]](#)

相關網站

2016 國際訓練班
 2016 抗震盃活動網站
 鋼構建築物專區
 台灣地震損失評估系統
 台灣新型高強度鋼筋混凝土 (New RC) 專區
 街屋耐震資訊網
 安全耐震的家—認識地震工程
 本土 SPT-based HBF 液化評估分析程式
 臺灣規範反應譜查詢介面
 鋼筋混凝土橋梁耐震能力評估系統
 校舍耐震資訊網
 Brace On Demand
 TEASPA 耐震評估方法
 強震測站場址工程地質資料庫



自來水是重要的民生物資，地震後供水一旦中斷，除了會造成災區民眾生活困難外，也會影響到消防、衛生、醫療、產業，甚至對民生經濟造成嚴重衝擊。然而，台灣地處環太平洋地震帶，地震引致的地表震動、斷層破裂、土壤液化、山崩等災害潛勢極高，經濟部中央地質調查所公佈的活動斷層在陸地上有33條，加上許多沖積平原與盆地容易發生土壤液化，都對自來水系統造成莫大威脅。

以今年2月6日發生的高雄美濃地震為例，除造成人員傷亡與建物毀損外，自來水管線亦多處損壞，造成春節期間大台南地區停限水，民眾苦不堪言；台灣自來水公司的人員雖然不眠不休地投入搶修工作，仍有5萬戶停水超過18天。因此，事先做好自來水系統的地震防減災工作，並提升緊急應變效能，實為災害治理的重要課題；否則，未來一旦發生更大規模的地震，後果將不堪設想。

有鑑於此，國家實驗研究院地震工程研究中心（國震中心）近年來與經濟部水利署、台灣自來水公司、臺北自來水事業處等單位密切合作，研發自來水系統「震前整備」與「震時應變」所需要的核心技術。國震中心已成功發展自來水系統地震損失評估專用工具「Twater」，可用於自來水管線的地震風險評估，作為水公司管線耐震補強或汰換的優先順序參考；亦可在地震發生後極短時間內，推估可能的管線損壞區域與數量，協助水公司緊急應變。

程式界面及使用說明

本Excel程式係以SPT液化評估法，針對單一鑽孔內各土層，進行CRR、CSR、FS、LPI之評估。

本程式所編輯之SPT液化評估法為黃俊鴻等人所發展之本土HBF法，程式之理論背景詳見黃俊鴻等(2005)及黃俊鴻等(2012)。

本程式對於地下水位以上，以及屬黏性土壤之土層均不進行計算，該土層之液化安全係數將直接設定為3.0。

本程式無償供各界使用，使用者應自行檢核分析結果之正確性。

程式開發單位/人員：國家地震工程研究中心 盧志杰

顧問指導：陳正興、黃俊鴻

程式驗證人員：徐雅涵、李哲安、葉家宏、曾孝欽、李志剛、賴建名、蕭富元

請輸入所有黃底之儲存格後，點選右側按鈕啟動巨集以更新輸出資料。

更新輸出資料

計畫名稱	國震中心SPT液化評估方法測試案例		
鑽孔編號	TEST-1		
座標(TWD97)	x :	305261.873	y : 2767821.106
分析單位(人員)	國家地震工程研究中心 盧志杰		

	中小地震	設計地震	最大地震
a_{max} (尖峰水平地表加速度) (g)	0.09	0.30	0.40
M_w (地震矩規模)	7.1	7.3	7.5
分析地下水位 (m)			1.00
E_m (鑽桿傳遞貫入能量的效率) (%)			72

統一 土壤分類	單位重 (kN/m^3)	SPT-N試驗範圍 (m)			N值	FC (%)	D_{50} (mm)	D_{10} (mm)	PI	土層深度 (m)	土層厚度 (m)	土層中點 (m)	分析點 (m)	σ_v (kPa)	σ_v' (kPa)
ML	19.5	1.05	-	1.50	8	83			5	2.03	2.03	1.01	1.51	29.52	24.50
CL	18.6	2.55	-	3.00	9	91			20	3.53	1.50	2.78	2.78	53.51	36.10
SM	19.0	4.05	-	4.50	20	14				5.03	1.50	4.28	4.28	81.76	49.63
SM	18.5	5.55	-	6.00	23	12				6.53	1.50	5.78	5.78	109.94	63.10
SM	19.2	7.05	-	7.50	16	15				8.03	1.50	7.28	7.28	138.23	76.67
SM	18.8	8.55	-	9.00	15	13				9.53	1.50	8.78	8.78	166.74	90.47
ML	18.4	10.05	-	10.50	7	52				11.03	1.50	10.28	10.28	194.67	103.68
ML	19.3	11.55	-	12.00	8	54				12.53	1.50	11.78	11.78	222.92	117.22
ML	17.9	13.05	-	13.50	9	57				14.03	1.50	13.28	13.28	250.77	130.35
SM	19.4	14.55	-	15.00	8	45				15.53	1.50	14.78	14.78	278.72	143.59
CL	18.6	16.05	-	16.50	6	97			11	17.03	1.50	16.28	16.28	307.26	157.42
CL	19.0	17.55	-	18.00	6	95			15	18.53	1.50	17.78	17.78	335.52	170.95
CL	18.3	19.05	-	19.50	7	94			13	20.00	1.48	19.26	19.26	363.31	184.16
		20.50	-	23.00											

程式界面及使用說明

設計地震			中小地震(與設計地震重覆計算參數直接參照，不重覆計算)										最大地震(與設計地震重覆計算參數直接參照，不重覆計算)							
N ₆₀	(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	MSF	CRR _{7.5}	CRR	r _d	CSR	FS	Wi	LPI	MSF	CRR	CSR	FS	LPI	MSF	CRR	CSR	FS	LPI
9.6	19.20	30.68	1.05	0.58	0.61	0.98	0.23	2.65	9.24	0.00	1.10	0.64	0.07	3.00	0.00	1.00	0.58	0.31	1.89	0.00
10.8	18.09	29.49	1.05	—	—	0.97	—	3.00	8.61	0.00	1.10	—	—	3.00	0.00	1.00	—	—	3.00	0.00
24.0	34.29	39.09	1.05	—	—	0.96	—	3.00	7.86	0.00	1.10	—	—	3.00	0.00	1.00	—	—	3.00	0.00
27.6	34.98	38.44	1.05	9.42	9.89	0.94	0.32	3.00	7.11	0.00	1.10	10.40	0.09	3.00	0.00	1.00	9.42	0.43	3.00	0.00
19.2	22.07	25.53	1.05	0.34	0.36	0.93	0.33	1.09	6.36	0.00	1.10	0.37	0.09	3.00	0.00	1.00	0.34	0.43	0.78	2.11
18.0	19.05	21.36	1.05	0.25	0.26	0.91	0.33	0.79	5.61	1.81	1.10	0.27	0.09	2.88	0.00	1.00	0.25	0.44	0.56	3.70
8.4	8.30	12.07	1.05	0.14	0.15	0.89	0.33	0.45	4.86	3.98	1.10	0.16	0.09	1.66	0.00	1.00	0.14	0.44	0.32	4.93
9.6	8.93	13.07	1.05	0.15	0.16	0.85	0.31	0.50	4.11	3.10	1.10	0.16	0.09	1.82	0.00	1.00	0.15	0.42	0.36	3.98
10.8	9.52	14.09	1.05	0.16	0.17	0.80	0.30	0.55	3.36	2.28	1.10	0.17	0.09	2.01	0.00	1.00	0.16	0.40	0.39	3.07
9.6	8.06	11.40	1.05	0.14	0.14	0.76	0.29	0.50	2.61	1.96	1.10	0.15	0.08	1.83	0.00	1.00	0.14	0.38	0.36	2.52
7.2	5.78	9.55	1.05	—	—	0.71	—	3.00	1.86	0.00	1.10	—	—	3.00	0.00	1.00	—	—	3.00	0.00
7.2	5.54	9.12	1.05	—	—	0.67	—	3.00	1.11	0.00	1.10	—	—	3.00	0.00	1.00	—	—	3.00	0.00
8.4	6.23	10.23	1.05	—	—	0.62	—	3.00	0.37	0.00	1.10	—	—	3.00	0.00	1.00	—	—	3.00	0.00

參數計算說明：

N_{60} (修正鑽桿傳遞貫入能量效率為60%下之SPT-N) = $N \times E_m / 60$

其中 N 為現地SPT-N值

E_m 為鑽桿傳遞貫入能量的效率

$(N_1)_{60}$ (正規化標準貫入阻抗) = $C_N \times N_{60}$

其中 $C_N = (P_a / \sigma_v')^{0.5} \leq 2.0$ ($P_a = 101.325\text{kPa}$)

$(N_1)_{60cs} = K_s \times (N_1)_{60}$

其中 $K_s = 1$

$= 1 + 0.07 \times \sqrt{(FC - 10)}$

For $FC \leq 10\%$

For $10\% < FC$

$CRR_{7.5}$ (地震規模7.5下之抗液化強度) = $A + [B \times (N_1)_{60cs}] / [1 - (N_1)_{60cs} / C]$

其中 A (土壤抗液化強度最低值 CRR_{min}) = 0.08

B (強度隨 $(N_1)_{60cs}$ 的增加程度) = 0.0035

C (可能發生液化的 $(N_1)_{60cs}$ 上限值) ≈ 39

若土層為黏土層，或是位於地下水位以上， $(N_1)_{60cs}$ 大於39，則判斷為不液化，儲存格顯示"—"

MSF (規模尺度因子) = $(M_w / 7.5)^{-1.8}$ (依據2016土壤液化評估方法研討會結論後修正)

CRR (抗液化強度) = $CRR_{7.5} \times MSF$

若土層為黏土層，或是位於地下水位以上， $(N_1)_{60cs}$ 大於39，則判斷為不液化，儲存格顯示"—"

CSR (反覆剪應力比) = $0.65 \times (a_{max} / g) \times (\sigma_v' / \sigma_v') \times r_d$

其中 r_d (應力折減因子) = $1 - 0.01z$

$= 1.2 - 0.03z$

For $z \leq 10\text{m}$

For $10\text{m} < z < 20\text{m}$

其中 z 為深度 (m)

若土層為黏土層，或是位於地下水位以上， $(N_1)_{60cs}$ 大於39，則判斷為不液化，儲存格顯示"—"

FS (抗液化安全係數) = CRR / CSR

Wi (深度權重因子) = $10 - 0.5z$

LPI (液化潛能指數) = $\sum \max(0, 1 - FS) \times Wi \times \text{土層厚度}$

程式界面及使用說明



程式進版歷程

修正日期	說明
105/06/15	初版程式。
105/06/17	考量三種地震條件、調整輸出格式。
105/06/20	新增規模轉換功能、修正註解、增加輸出形式。
105/06/24	新增Tokimatsu and Seed (1987)建議之沉陷計算。
105/06/29	修正NCEER法及HBF法 $CRR_{7.5}$ 計算、增加 C_N 上限2、修正 N_1 註解。
105/07/01	修正AIJ正規化標準貫入阻抗計算，AIJ之CRR上限取0.55，細料修正上限改為11。
105/07/02	修正JRA有關地震動型式之對應表格參照。
105/07/04	修正AIJ正規化標準貫入阻抗公式說明及細料修正公式。
105/07/06	JRA之計算改由PI值、FC、 D_{50} 、 D_{10} 及地下水位判斷是否計算，NCEER法只要 $(N_1)_{60cs}$ 超過30則FS=3、HBF只要 $(N_1)_{60cs}$ 超過39則FS=3。
105/07/07	修正使用手冊說明及程式中，對於AIJ及Seed法之迴歸公式說明。
105/07/20	新增Tokimatsu and Seed(1987)體應變計算中之 $(N_1)_{60cs}$ 考量上限。修正 r_u 公式說明。調整巨集執行程式碼。
105/07/25	液化評估工作小組確認程式及輸入界面。
105/09/02	依8/29~30日「2016土壤液化評估方法研討會」討論意見，調整HBF法規模修正因子公式，並刪除沉陷、土質參數折減係數及超額孔隙水壓之相關計算功能。僅提供HBF計算方法。
106/02	液化評估排除SC、CH、MH等黏性土壤
106/10	液化評估排除PI值大於7之ML土壤

安家固園計畫土壤液化潛勢圖製作技術座談會

時間	主題	主講人	主持人
10:00~10:10	會議目的說明	黃世建/陳正興	
10:10~10:45	液化潛能圖製作方法與流程	盧志杰	黃俊鴻
10:45~11:00	茶敘休息		
11:00~11:30	鑽孔標準作業流程	陳江淮	黃俊鴻
11:30~13:20	午餐		
13:20~13:40	既有鑽孔資料篩選及新增鑽孔佈孔原則及流程	盧志杰	陳正興
13:40~14:00	分析地下水位與地震參數	黃俊鴻	
14:00~14:30	茶敘休息		
14:30~15:30	綜合討論	所有人	陳正興

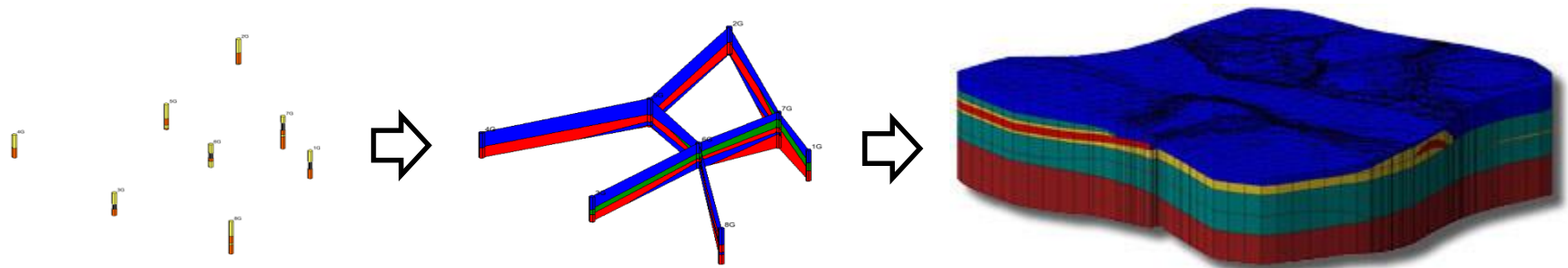
安家固園計畫土壤液化潛勢圖製作技術座談會

- 步驟1：針對各鑽孔進行液化潛能指數計算
- 步驟2：工程地質特性分區
- 步驟3：以Kriging法建立分析域內鑽孔間之液化潛能指數
- 步驟4：套疊微地形等圖資確認產出結果是否合理
- 步驟5：重覆步驟2至步驟4
- 步驟6：建議邀請學者、專家進行審查後修正
- 步驟7：公佈中級精度土壤液化潛勢圖

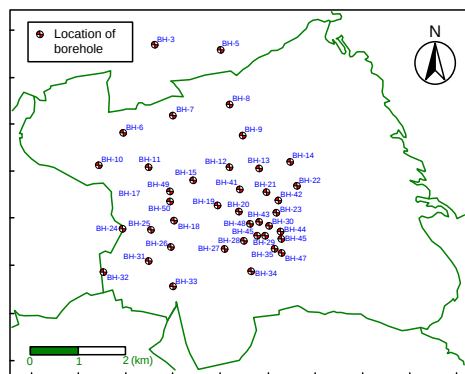


製作中級精度土壤液化潛能圖之方式

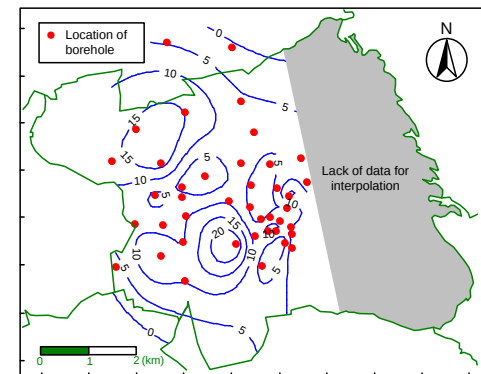
- **方法一**：依鑽孔資料產出3維地質概念模型，再於每個離散點進行LPI計算



- **方法二**：逐孔計算LPI，再進行內插，求得各關注位置之液化潛能

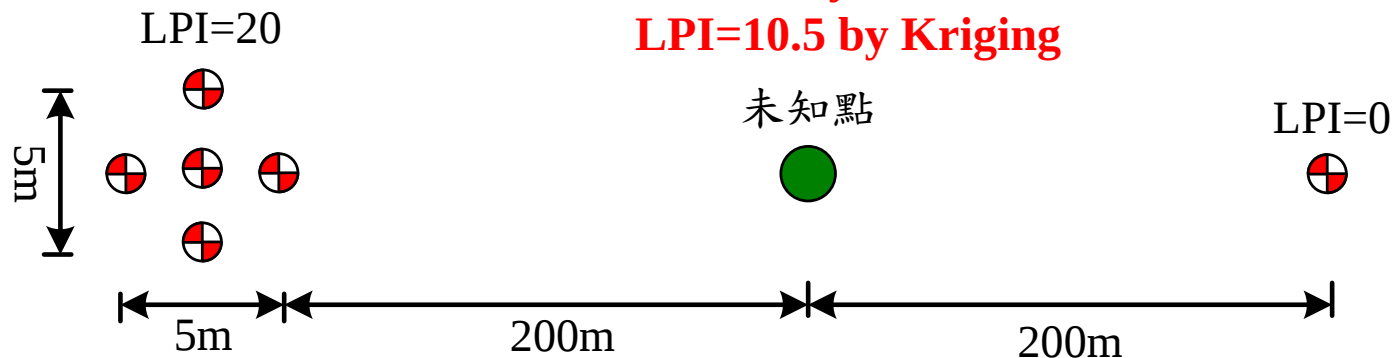
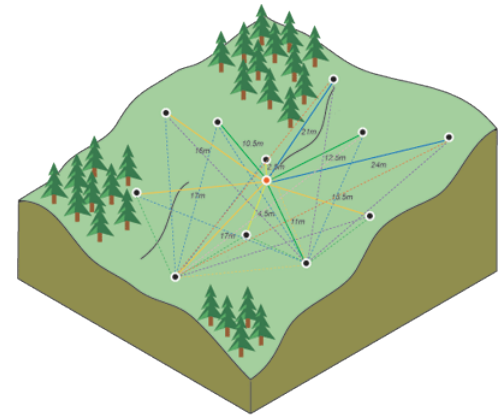


逐孔評估LPI，
分析域內LPI以
內插方式推求



內插方法之選擇

- 實務上鑽孔分布位置多聚集於大型公共工程沿線，以及建案基地範圍內。
 - 資料點於特定地區有密度較高現象
- 距離反比權重法(IDW)
 - 無法合理考量空間上資料點叢集之影響
- 克力金法(Kriging)
 - 以空間統計學為基礎所發展之內插法，可合理考量空間上資料點叢集之影響



LPI=17 by IDW
LPI=10.5 by Kriging

安家固園計畫土壤液化潛勢圖製作技術座談會

● 分析地下水位

- 區域相關單位觀測井之長期自由水位分析
- 安家固園計畫鑽孔時與長期自記式水位分析
- 分析地下水位應有觀測資料至少一個汛期，建議二個汛期以上之汛期水位進行平均分析，並建議待長期觀測後定期更新圖資
- 區域分析地下水位之等深度圖
- 區域所鑽孔資料分析地下水位列表

● 分析地震力

- 採用國震中心最新修訂中之建築物耐震設計規範及解說中設計地震進行分析

結論與建議

- 土壤液化是地震災害事件之一種。截至今日，土壤液化案例多僅造成財產損失，尚無造成人員死亡之案例。相較於其他地震災害，只要做到瞭解它、面對它、處理它，即不用過度擔心
 - 瞭解：認識土壤液化，查詢周圍環境土壤液化風險(初級圖資、中級圖資)
 - 面對：評估場址土壤液化風險(土壤液化評估及液化潛能評估...)
 - 處理：選址、基礎強化、地盤改良...



國家地震工程研究中心

簡報完畢
感謝聆聽