

全國土壤液化潛勢調查及推動

紀宗吉

經濟部中央地質調查所

民國108年10月25日

土壤液化潛勢圖調查與公開無主管機關

土壤液化調查相關規範

公路橋梁耐震設計規範(2008，交通部)

鐵路橋梁耐震設計規範(2007，交通部)

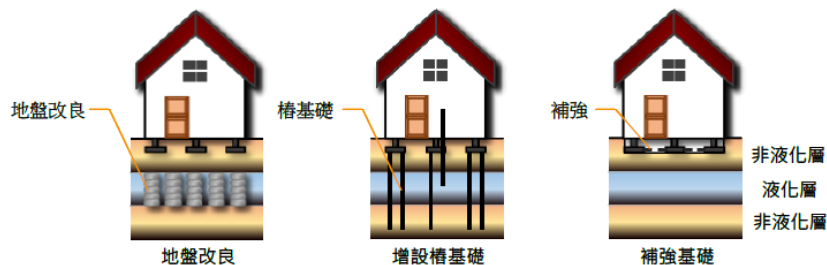
建築物耐震設計規範(2005，內政部)

建築物基礎構造設計規範(2001，內政部)

建築技術規則建築構造編(內政部)

高速鐵路地震及耐震設計準則(1999)

高雄捷運CSDM(2004年)



台南0206地震



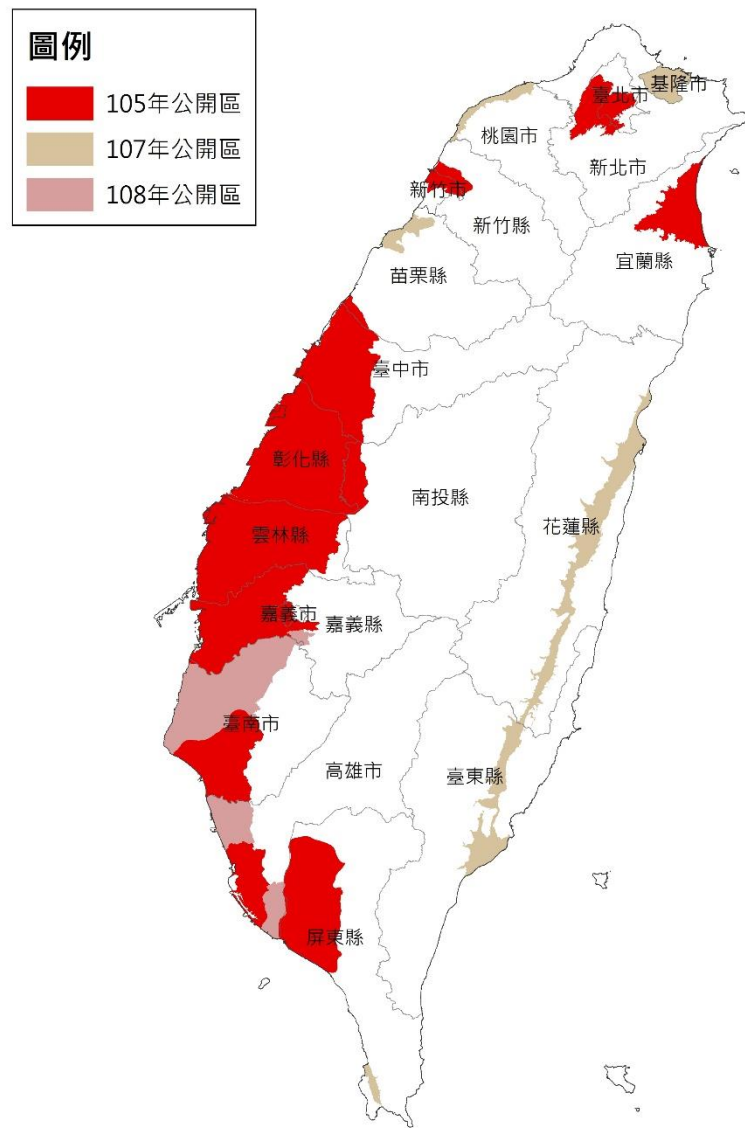
惠安街因土壤液化造成房屋下陷近1公尺

《台南強震 震災效應》誰家土壤液化？

1個月後可上網查 2016年02月12日 04:10 [中國時報](#)

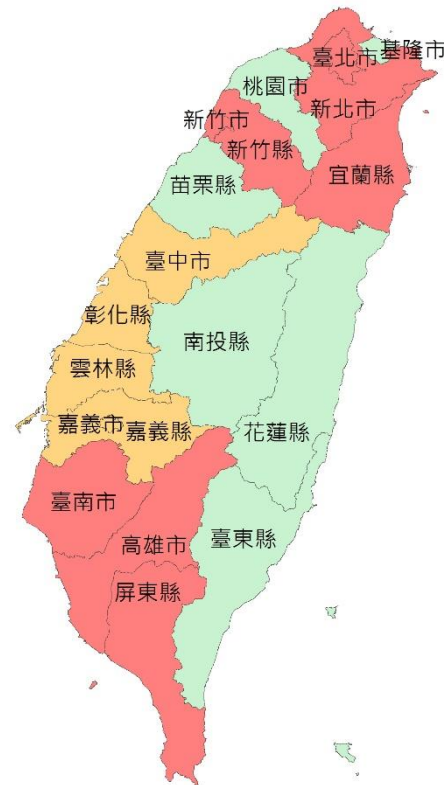
土壤液化潛勢圖資分期公開規劃

時程		公開縣市
105年	3月14日	臺北市、新北市、新竹縣市、臺南市、高雄市、屏東縣、宜蘭縣等8縣市
	12月16日	臺中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣市等5縣市
106年		基隆、桃園、南投、苗栗、花蓮、臺東土壤液化普查及地質鑽探調查
107年		公開基隆、桃園、南投、苗栗、花蓮、臺東等6縣市
108年		公開臺南市、高雄市尚未公開地區



土壤液化潛勢圖資分期調查規劃

土壤液化調查順序評估表(高:3分、中:2分、低:1分)						
年度	範圍	都會人口密集	都會發展潛力	既有鑽井密度	可能液化面積比	評分小計
99	大臺北	3	3	3	3	12
100						
101	高雄	3	3	2	3	11
102						
103	宜蘭	2	3	2	3	10
	新竹	2	3	2	2	9
104	臺南	2	3	1	2	8
	屏東	1	1	2	3	7
105	臺中、彰化	2	2	1	2	7
106	嘉義、雲林	1	1	1	3	6
107	基隆、桃園	1~2	1~2	1	1	4~6
108	南投、苗栗 花蓮、臺東					



圖例

- 105年3月公開
- 106年3月公開
- 107年後逐年公開



潛勢圖資公開之法源依據

- 災害防救法：

- 105年3月25日

立法院於「災害防救法部分條文修正案」三讀通過，將土壤液化首度列入災害項目。

- 105年12月1日

中央災害防救會報告地35次會議核定之「震災(含土壤液化)災害防救業務計畫」，經濟部中央地質調查所應進行活動斷層及土壤液化潛勢區調查，充實所需相關設備，並建置資訊公開平臺。

- 風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法(簡稱本辦法)

第1條規定：「本辦法依災害防救法第二十二條第四項規定訂定之。」第4條第

2款規定：「震災之災害潛勢資料公開項目及公開機關如下：...二、土壤液化潛勢分布圖：經濟部中央地質調查所。」

各政府單位對「土壤液化」之研究

單位	研究
交通部	1. 土壤液化對交通結構物之影響及液化潛能評估方法與災害分析模式之研究：研擬設計程序手冊之基本架構、檢討常用評估方法之本土適用性、建置臺北高雄員林之液化潛能評估地理資訊系統。 2. 港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究：臺中港及安平港的地震及液化監測系統。
經濟部水利署	1. 921地震後完成三年度之九二一地震土壤液化區防災規劃報告及地盤改良、結構減震、基礎設計等技術參考手冊。 2. 地下水調查及管制需要，主要針對臺北盆地進行3年的調查研究，包含評估臺盆地新店溪流流域土壤液化之潛能。
國家地震工程研究中心	1. 台灣地震損失評估系統 - TELES。 2. 區域性的液化潛能評估研究及液化潛能圖繪製與建置：臺北縣、基隆市、宜蘭縣、桃園縣、新竹地區、臺中縣、彰化地區、雲林地區、臺南地區、花蓮、臺東及高雄都會區與臺北盆地地區。
國家災害防救科技中心	1. 活動斷層引致大規模地震衝擊情境分析：大臺北地區之地動與液化自動化衝擊分析

臺北盆地工程災害案例

地質特性：

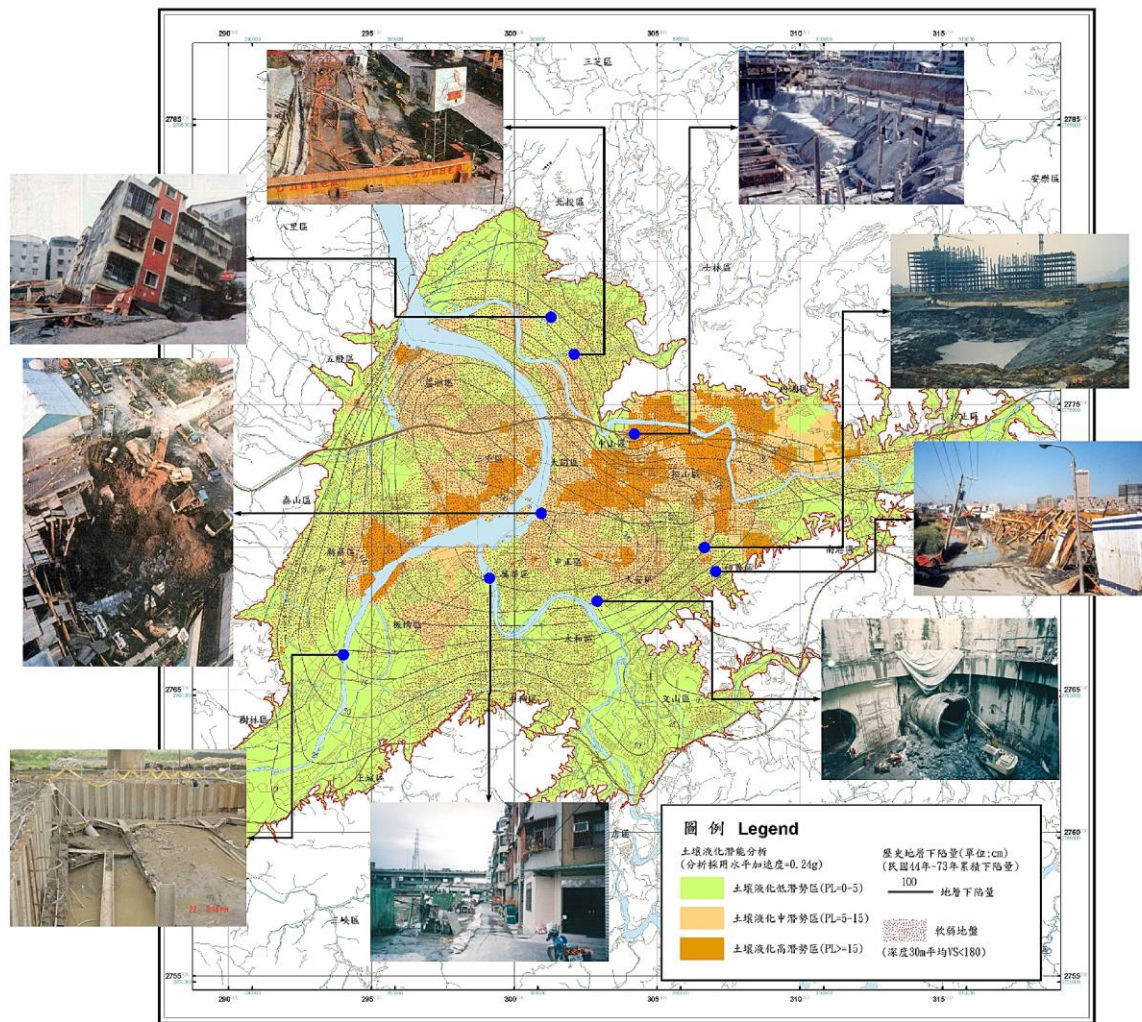
- 淺層為疏鬆砂質土壤
- 地下水位高

發生因素：

- 調查資料不足
- 分析及設計不完善
- 施工不良

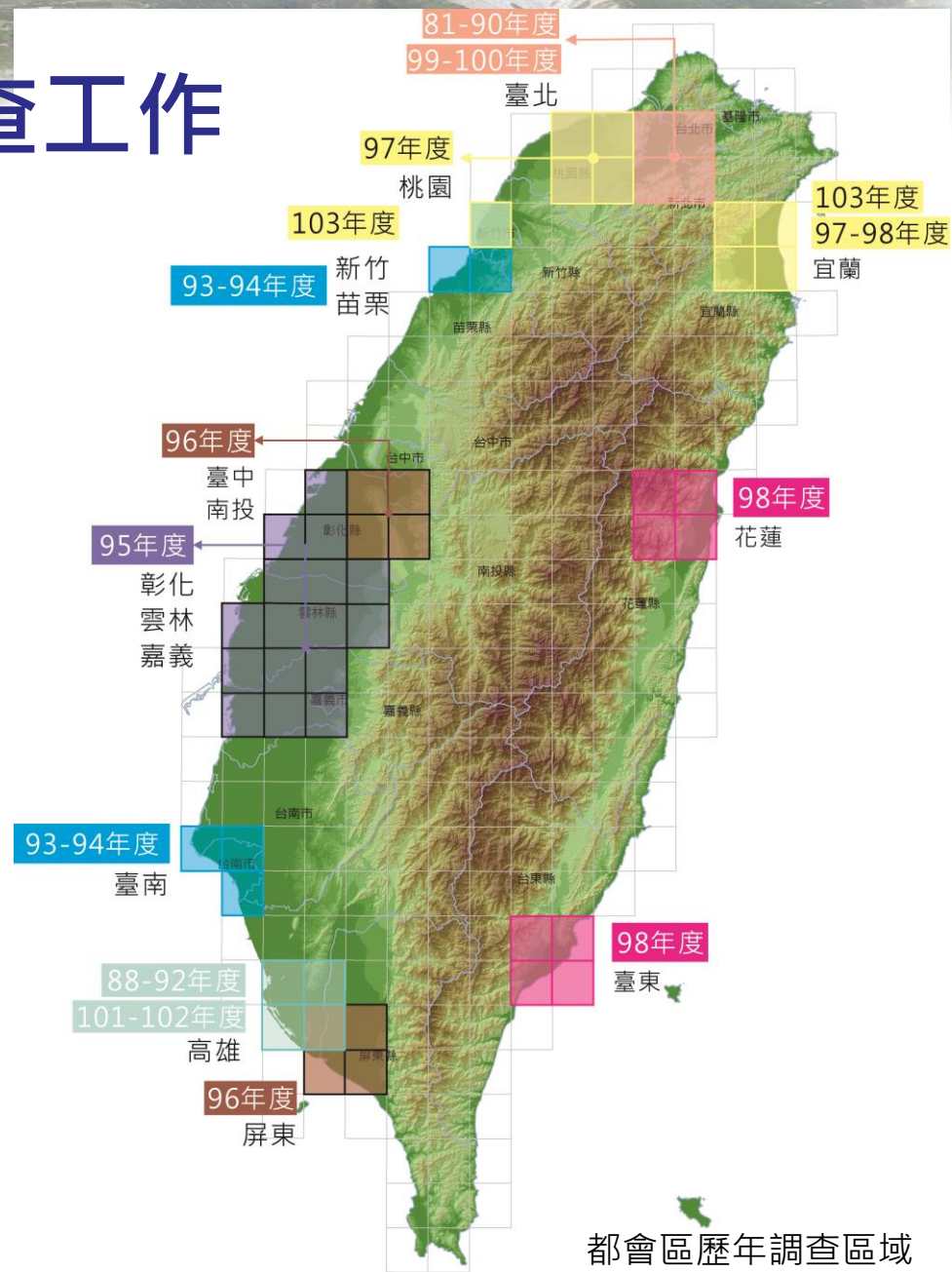
災害類型：

- 砂湧
- 擋土深度不足



地調所歷年都會區調查工作

- 81-98年起「都會區地下地質與工程環境調查研究」計畫，分年分階段調查臺灣各大都會區之工程地質特性。
- 99-102年「都市防災地質圖測勘發展計畫」進行北高三維地下地質架構建立與地質災害分析。
- 103-106年「都市防災地質圖測勘發展計畫-第二期」擴展至其他都會區。
- 107-112年「土壤液化調查與公開」精確評估土壤液化潛勢。



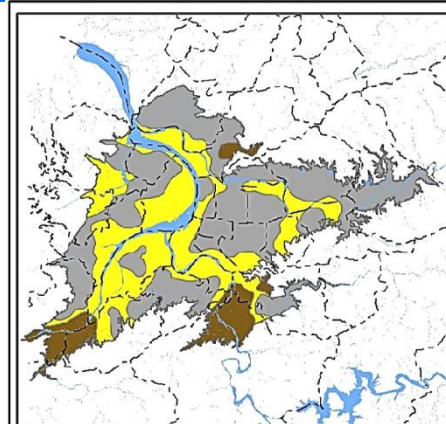
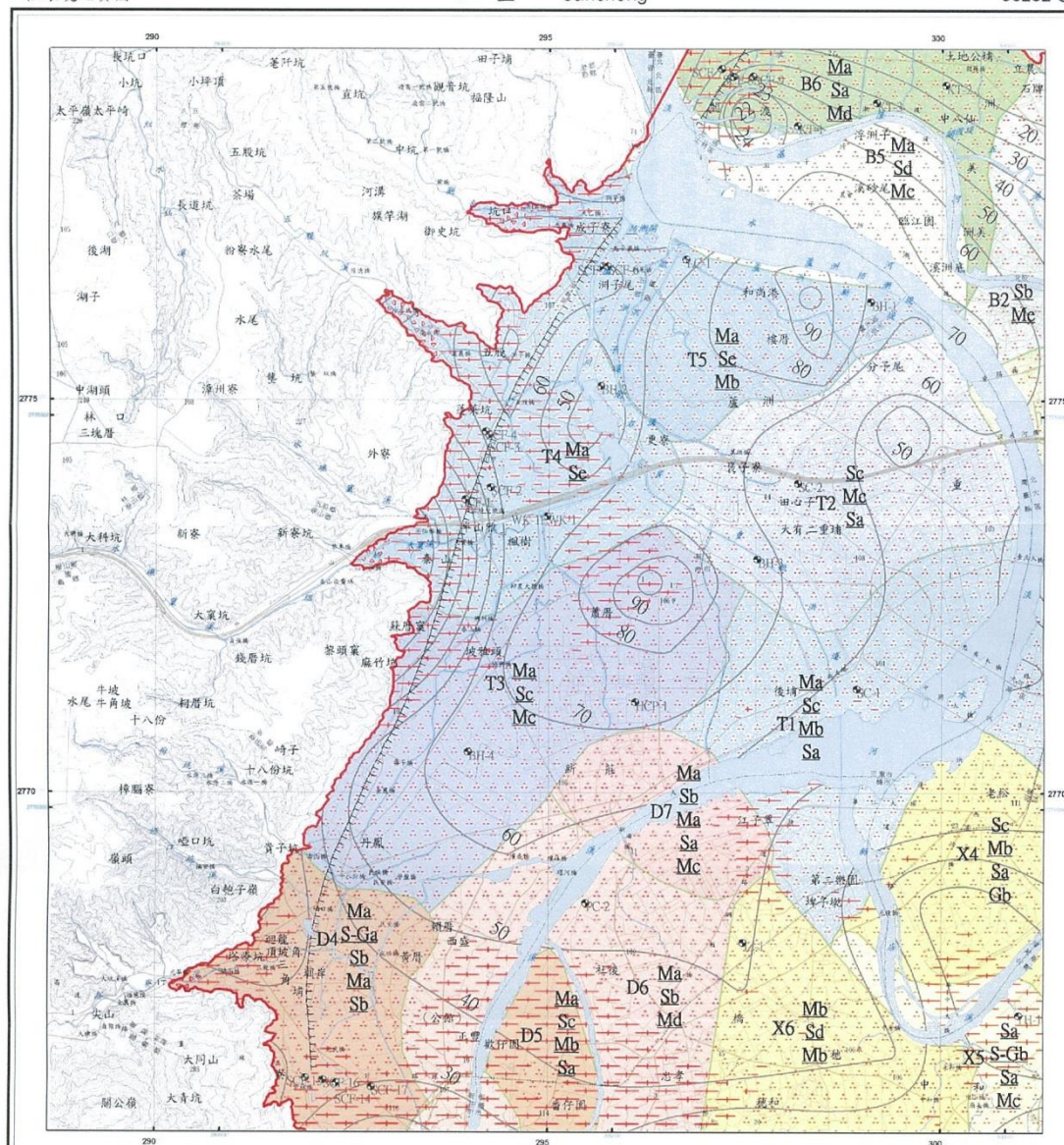


臺北盆地工程環境地質圖

工程環境地質圖

三重 Sanchong

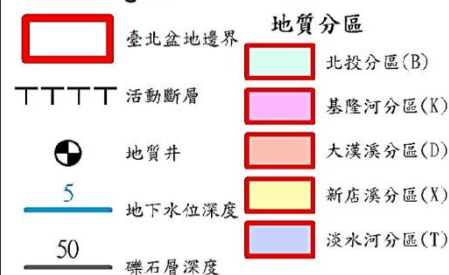
96232-SE



地表5米內主要土層

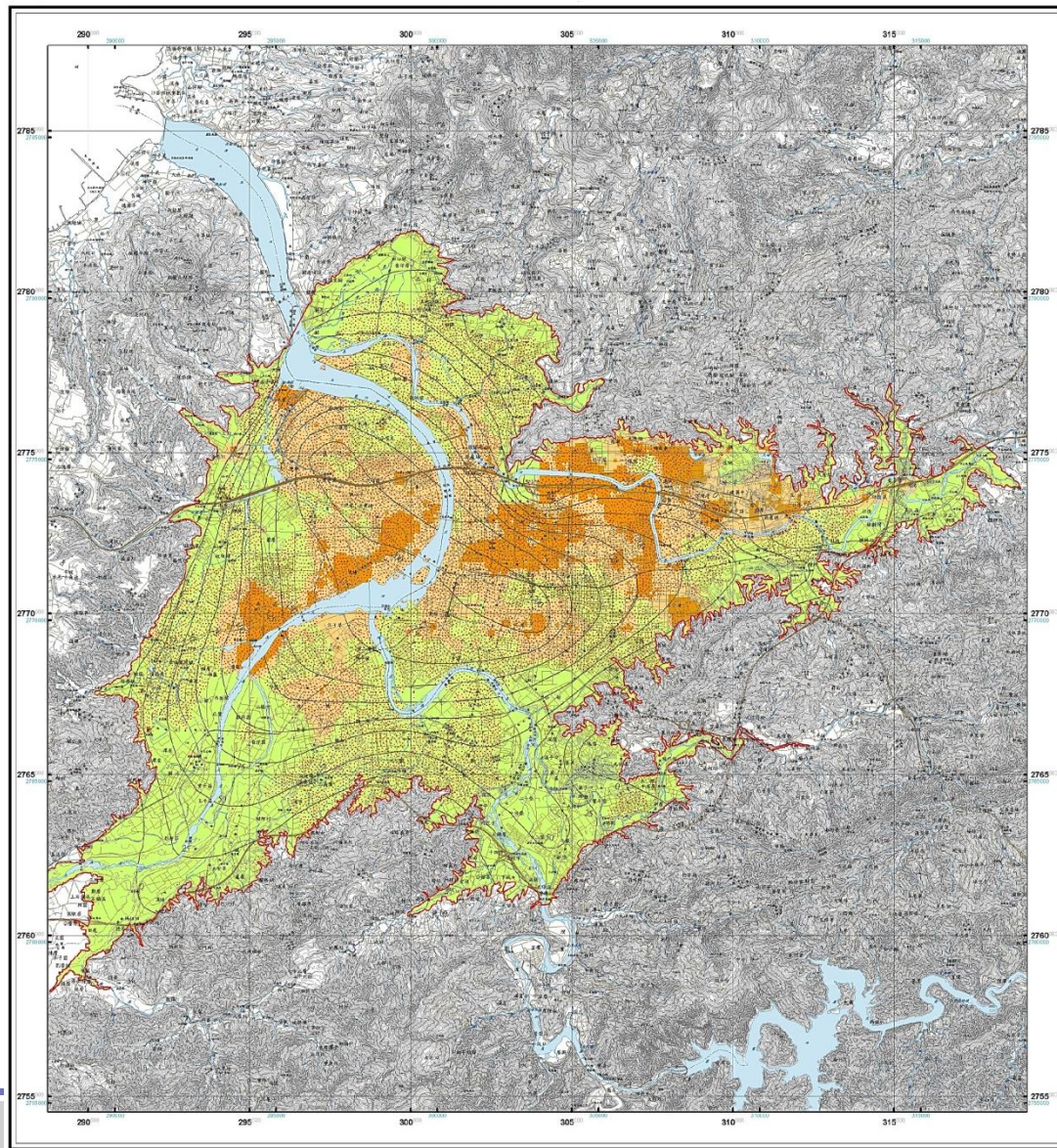
- 泥
- 礫石
- 砂

圖例 Legend



土層種類	土層厚度	範例
泥層(M)	0 - 5 以a表示	地質 30m內
砂層(S)	5 - 10 以b表示	分區 土層分布
砂礫層(S-G)	10 - 15 以c表示	
	15 - 20 以d表示	
	20以上 以e表示	
	(單位:公尺)	
		D6 Ma (泥層0-5m)
		Sb (砂層5-10m)
		Md (泥層15-20m)

臺北盆地地質災害潛勢圖



除局部大漢溪及新店溪上游地區地盤條件較佳外，大部分皆屬於軟弱地盤以及具土壤液化潛勢範圍，並以三重、新莊、中山、大同、松山一帶為主。

圖例 Legend



臺北盆地範圍

TTTT 活動斷層

歷史地層下陷量(單位:cm)
(民國44年-73年累積下陷量)

100

地層下陷量



軟弱地盤

(深度30m平均VS<180)

土壤液化潛能分析
(分析採用水平加速度=0.24g)



土壤液化低潛勢區(PL=0-5)



土壤液化中潛勢區(PL=5-15)



土壤液化高潛勢區(PL>15)



都會區歷年鑽探岩芯數量

「都會區地下地質與工程環境調查研究」

年度		81-87	88-92	93	94	95	96	97	98	99	100	合計
地區		臺北	高雄	臺南	新竹 苗栗	彰雲嘉	中投 屏東	桃園 宜蘭	花東	臺北 西區	臺北 東區	
鑽探孔數(孔)	工程井	83	63	94	24	100	138	89	15	7	3	616
	地質井	17	49	11	11	3	-	2	5	-	-	98
鑽探總深度(m)	工程井	3,316	3,780	2,820	720	3,000	4,140	2,670	450	477	201	21,574
	地質井	5,196	6,367	1,610	785	850	-	1,100	1,386	-	-	17,294

註：地質井為全取樣井，工程井施作SPT及土壤一般物理性質等相關力學試驗。



都會區歷年鑽探岩芯數量

都市防災地質圖測勘發展計畫+土壤液化潛勢調查分析與精畫進計畫

年度		101	102	103	104	105-106	107	108	合計	總計
地區		高雄 北區	高雄 南區	宜蘭 新竹	臺南 屏東	臺中、彰化 雲林、嘉義	臺南、高雄 恆春、花蓮	基隆、桃園 苗栗、南投 臺東		
鑽探 孔數 (孔)	工程井	12	-	11	10	28	49	32	142	864
	地質井	6	1	-	-	1	-	-	8	
鑽探 總深度 (m)	工程井	360	-	330	300	841	1,590	813.6	4,235	43,876
	地質井	372	370	-	-	31	-	-	773	

註：地質井與工程井均為全取樣井，工程井每1.5m施作SPT，並取劈管試樣進行土壤一般物理性質試驗。

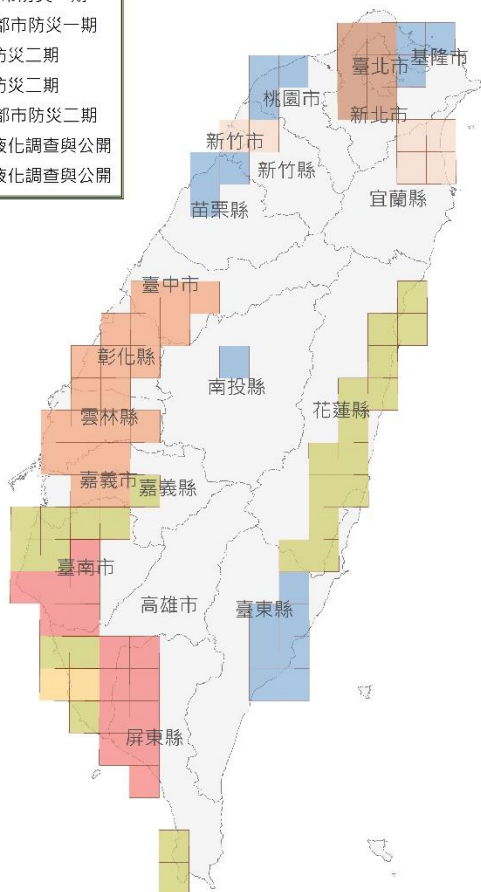
雖然孔數少、密渡低，但分布均勻，具關鍵作用



地調所99-108年 土壤液化調查工作

圖例

- 99-100年 都市防災一期
- 101-102年 都市防災一期
- 103年 都市防災二期
- 104年 都市防災二期
- 105-106年 都市防災二期
- 107年 土壤液化調查與公開
- 108年 土壤液化調查與公開



年度	範圍	蒐集 鑽井	可分析鑽井 (地調所鑽井)	可分析鑽井 密度 (孔/km ²)
99-100	大臺北	5,801	1,816(93)	6.4
101-102	高雄	4,740	1,291(75)	5.1
103	宜蘭	745	391(65)	2.7
	新竹	1,688	500(15)	2.0
104	臺南	2,293	1,273(101)	2.5
	屏東	927	695(57)	0.9
105-106	中彰雲嘉	6,004	1,545(185)	0.4
107	臺南、高雄 恆春、花蓮	3,539	1,595(176)	1.0
108	基隆、桃園 苗栗、南投 臺東	1,616	進行中	進行中

不適合分析鑽孔

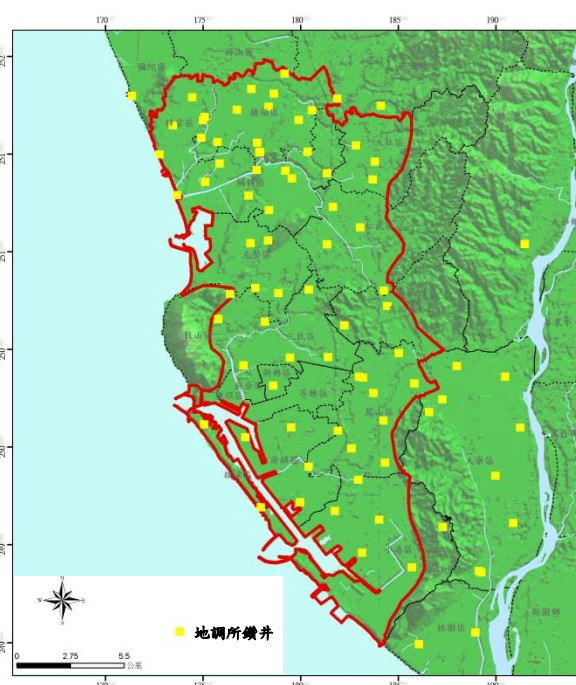
- 資料不完整，未建置N值或土壤物性試驗資料。
- 未取劈管試樣進行土壤物性試驗資料。
- 鑽孔深度不足20公尺。(多為下水道工程鑽孔)

高雄市鑽孔分布說明

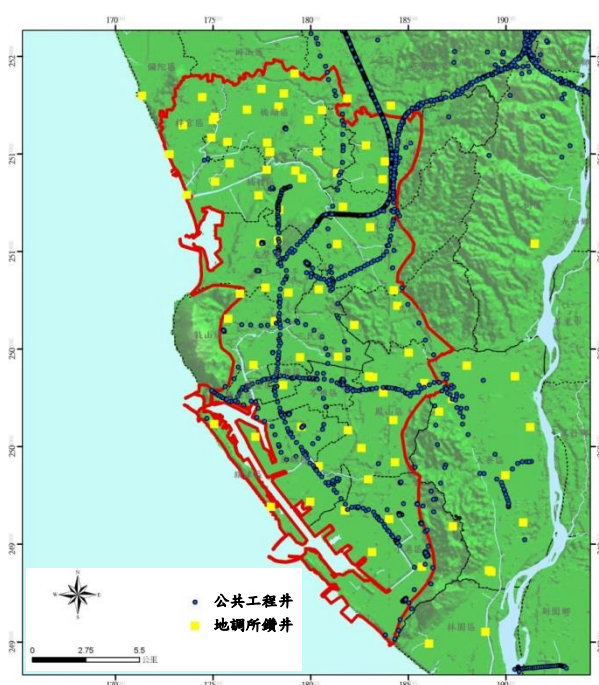
公共工程鑽孔資料多為交通建設工程，鑽井呈線型分布，
地調所都會區地下地質與工程環境調查的鑽井呈均勻的分布。



公共工程鑽井分布



地調所鑽井分布



公共工程與地調所鑽井分布

地調所地質鑽探井

- 一般工程井鑽探是水洗沖積，鑽探過程僅取劈管試樣，不取岩心。
- 地調所鑽探30米全取樣，進行觀察地質材料外，每1.5m進行標準貫入試驗及取劈管試樣。

岩心紀錄

深度 Depth (M)	柱狀圖LOG											岩性描述
	L	C	M	Z	T	F	S	G	C	C	C	
0-1.5m												回填土(礫石夾褐色土、樹根及磚礫)
1.5-4m												綠黃色泥偶夾細砂
4-7.7m												綠黃色細砂，海鹽度良好
7.7-8.3m												灰中砂
8.3-9.4m												灰中砂
9.4-11.5m												灰中砂
11.5-12.8m												灰中砂
12.8-13.6m												灰中砂
13.6-14.4m												灰中砂
14.4-15.6m												灰中砂
15.6-16.8m												灰中砂

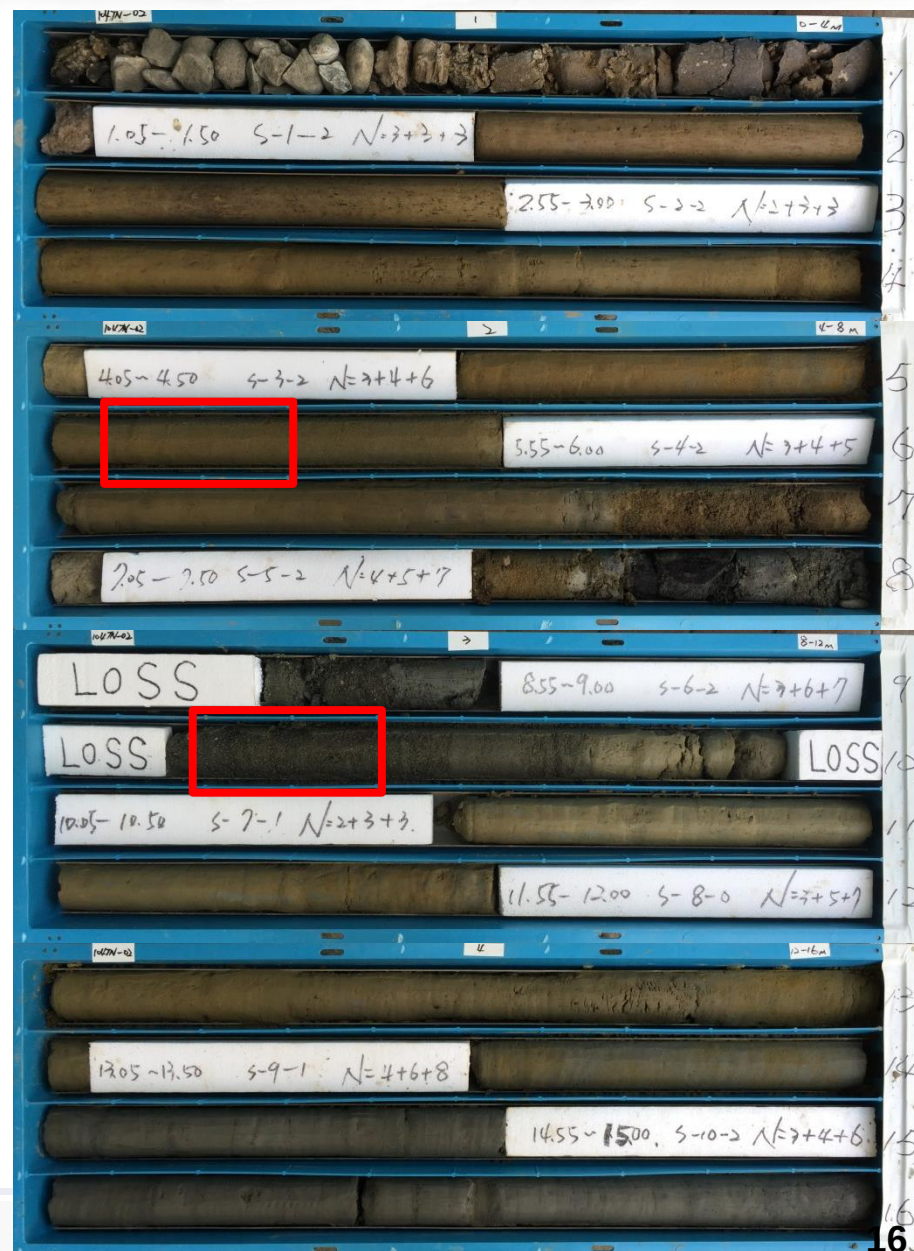
地質材料觀察



9.2~9.4m

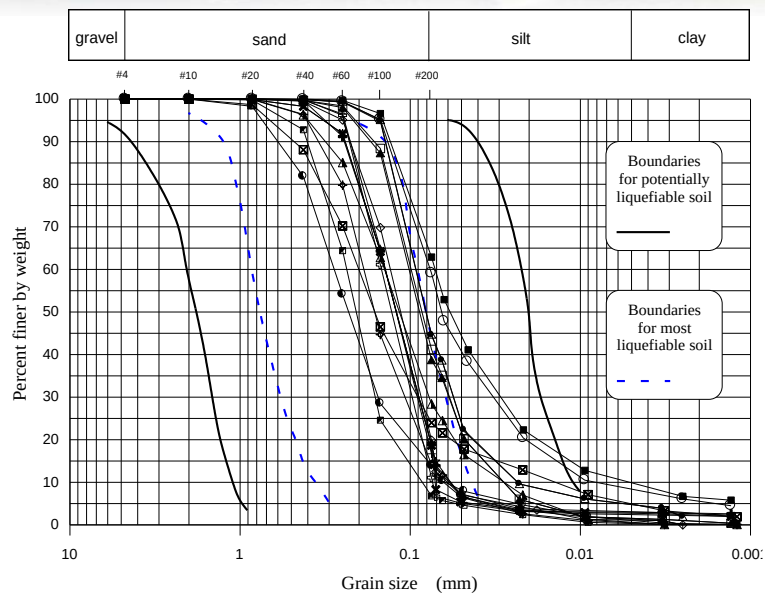


15.6~15.8m

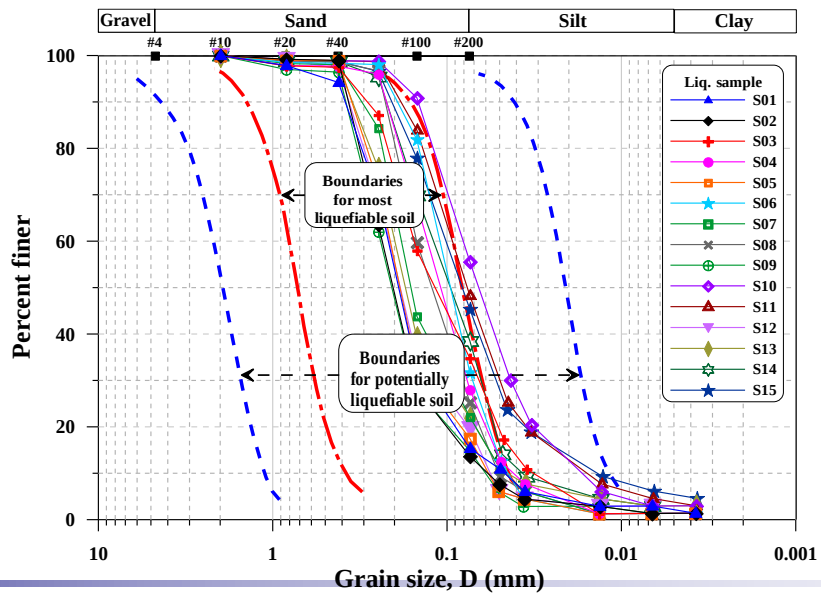


土壤液化樣品與岩心比較

921地震液化噴砂場址土樣之粒徑分布圖

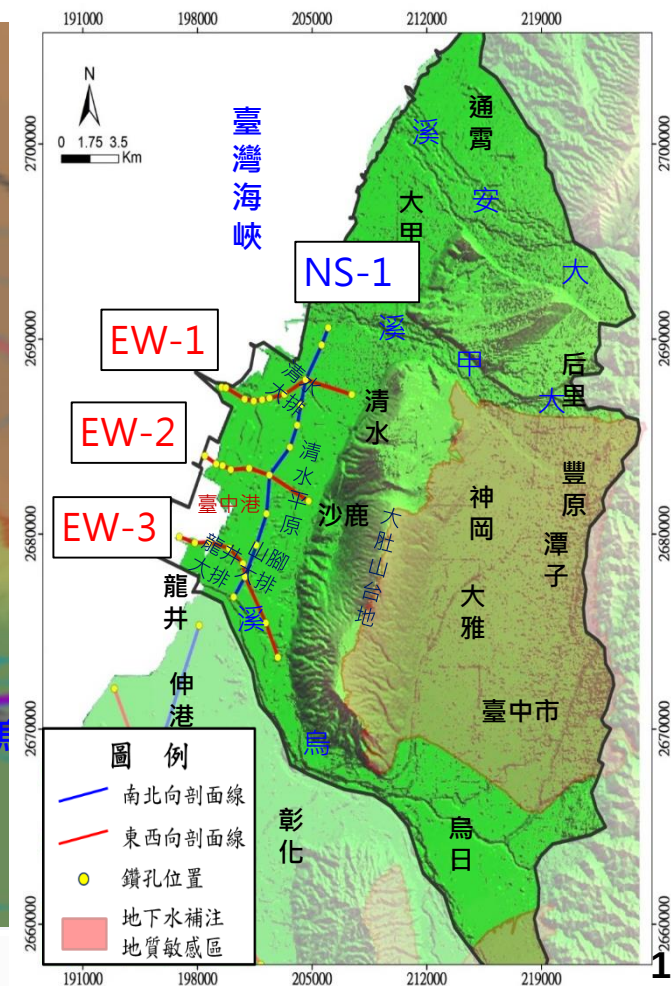


美濃地震液化噴砂場址土樣之粒徑分布圖



粒徑分布圖由黃富國教授提供

臺中都會區的**清水平原**在**最北側**大甲溪南岸至一帶，**表層有礫石層分布**，此礫石層往南及往西逐漸變薄。**沿海一帶及大肚山西側**，地層**以厚砂層為主**。而**清水平原中間**一帶，**泥透鏡體分布較多**，且往南逐漸增厚。



土壤液化潛勢分析

- 透過蒐集大量地質鑽探資料進行岩芯物性試驗後，評估工址**抗液化安全係數(F_L)**，繼而求取**土壤液化潛勢指數(P_L)**，藉以評估可能發生土壤液化的輕重程度。

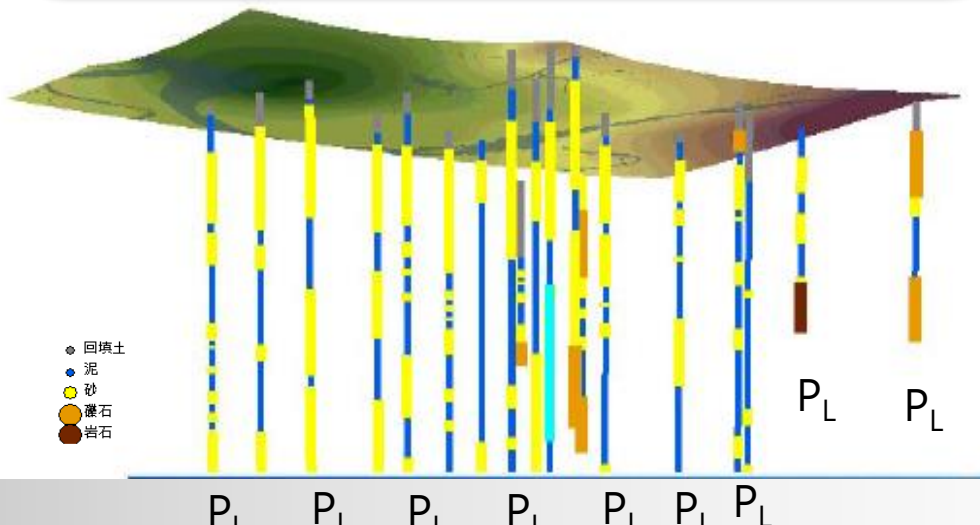
動態剪力強度比(R)

抗液化安全係數 (F_L) = $\frac{\text{地震時，地盤之反覆剪應力比}(L)}{\text{動態剪力強度比}(R)}$

$F_L > 1$ 不會液化係數 $0 < F_L < 1$ 會液化

抗液化係數 $F_z = 1 - F_L$

液化潛勢指數(P_L) = 抗液化係數 (F_z) X 深度權重係數



抗液化
係數($F_z = 1 - F_L$)

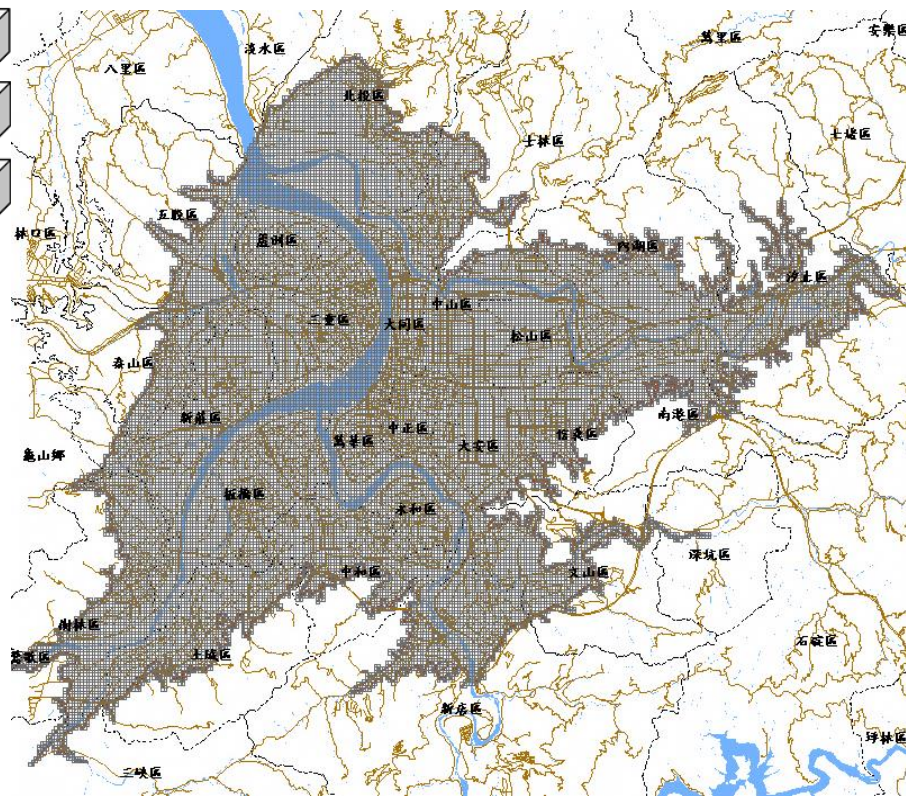
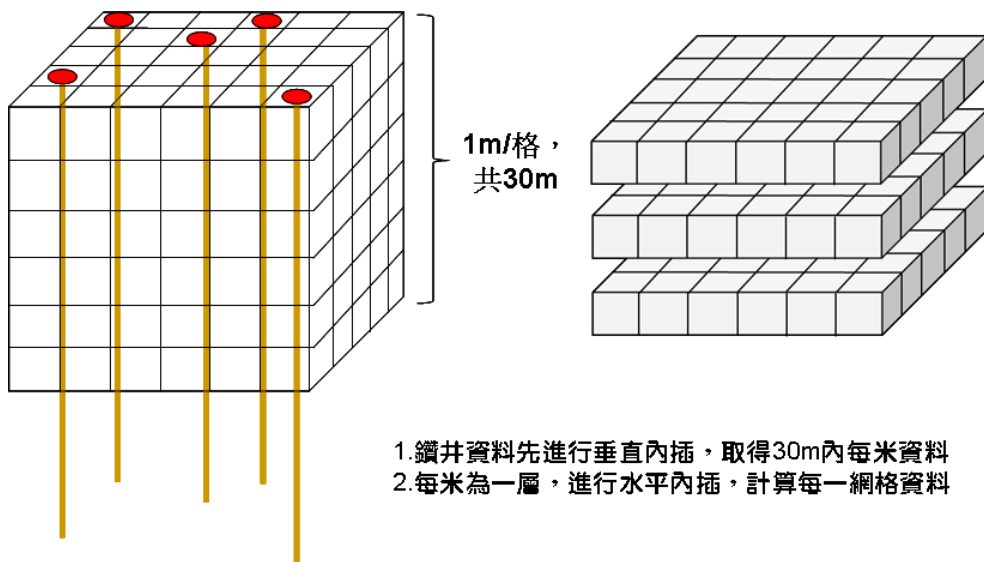
深度權
重係數

$P_L = 22.9$

0	$F_z = 0$	9.5	$P_L = 0$
1	$F_z = 0$	9	$P_L = 0$
2	$F_z = 0.7$	8.5	$P_L = 5.95$
3	$F_z = 0.5$	8	$P_L = 4$
4	$F_z = 0$	7.5	$P_L = 0$
5	$F_z = 0$	7	$P_L = 0$
6	$F_z = 0.4$	6.5	$P_L = 2.6$
7	$F_z = 0.2$	6	$P_L = 1.2$
8	$F_z = 0.3$	5.5	$P_L = 1.65$
9	$F_z = 0$	5	$P_L = 0$
10	$F_z = 0.6$	4.5	$P_L = 2.7$
11	$F_z = 0.5$	4	$P_L = 2$
12	$F_z = 0.4$	3.5	$P_L = 1.4$
13	$F_z = 0$	3	$P_L = 0$
14	$F_z = 0$	2.5	$P_L = 0$
15	$F_z = 0$	2	$P_L = 0$
16	$F_z = 0.6$	1.5	$P_L = 0.9$
17	$F_z = 0.5$	1	$P_L = 0.5$
18	$F_z = 0$	0.5	$P_L = 0$
19	$F_z = 0$	0	$P_L = 0$
20			

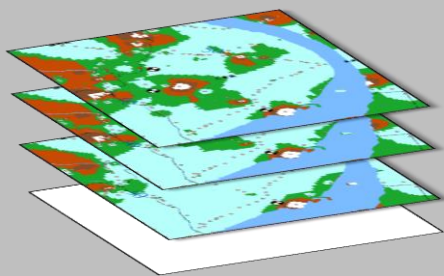
三維網格模式

- 🌐 優點：可快速提供各種主題圖製作、呈現不同深度之變化及三維資料分析、防災地質圖製作應用等。網格離散化計算能避免單一井錄資料對結果造成過大之影響，分析結果較為較為客觀準確。

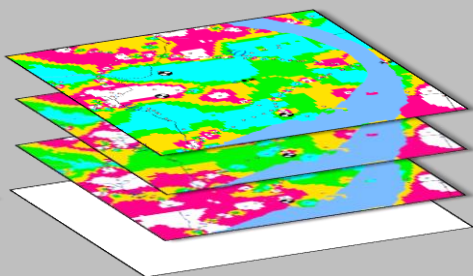


三維網格資料分析

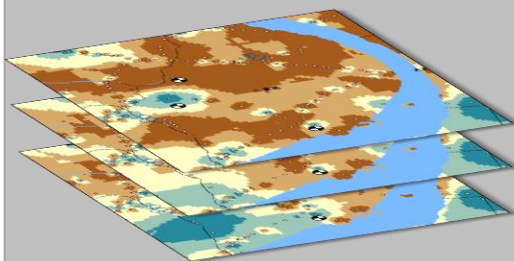
N值



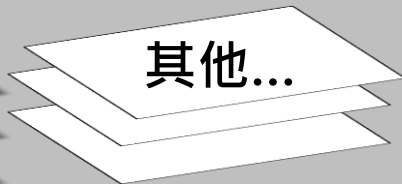
FC值



PI

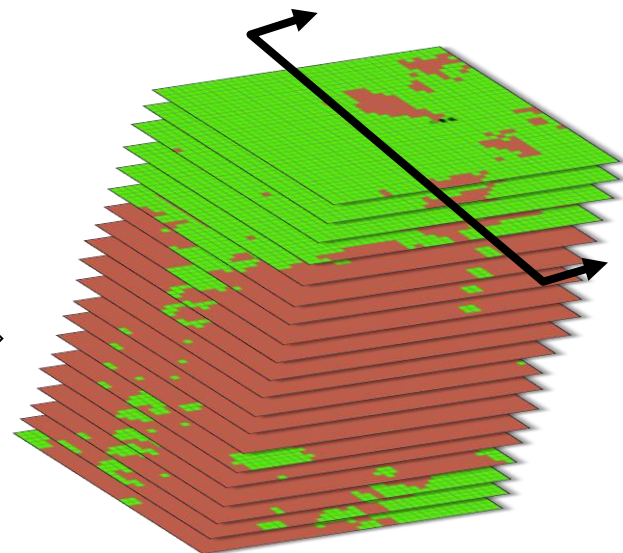
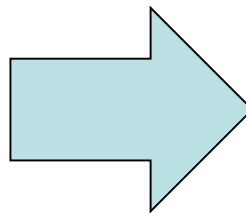


其他...

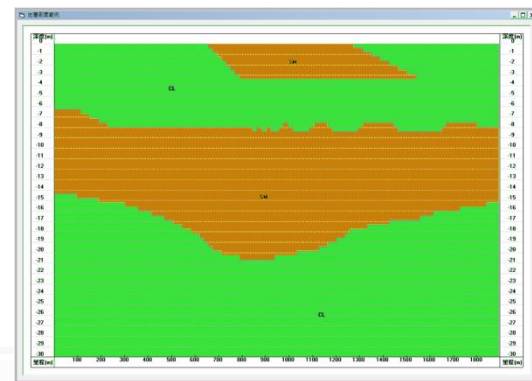
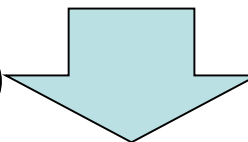


網格基本資料庫

土壤液化
潛能分析

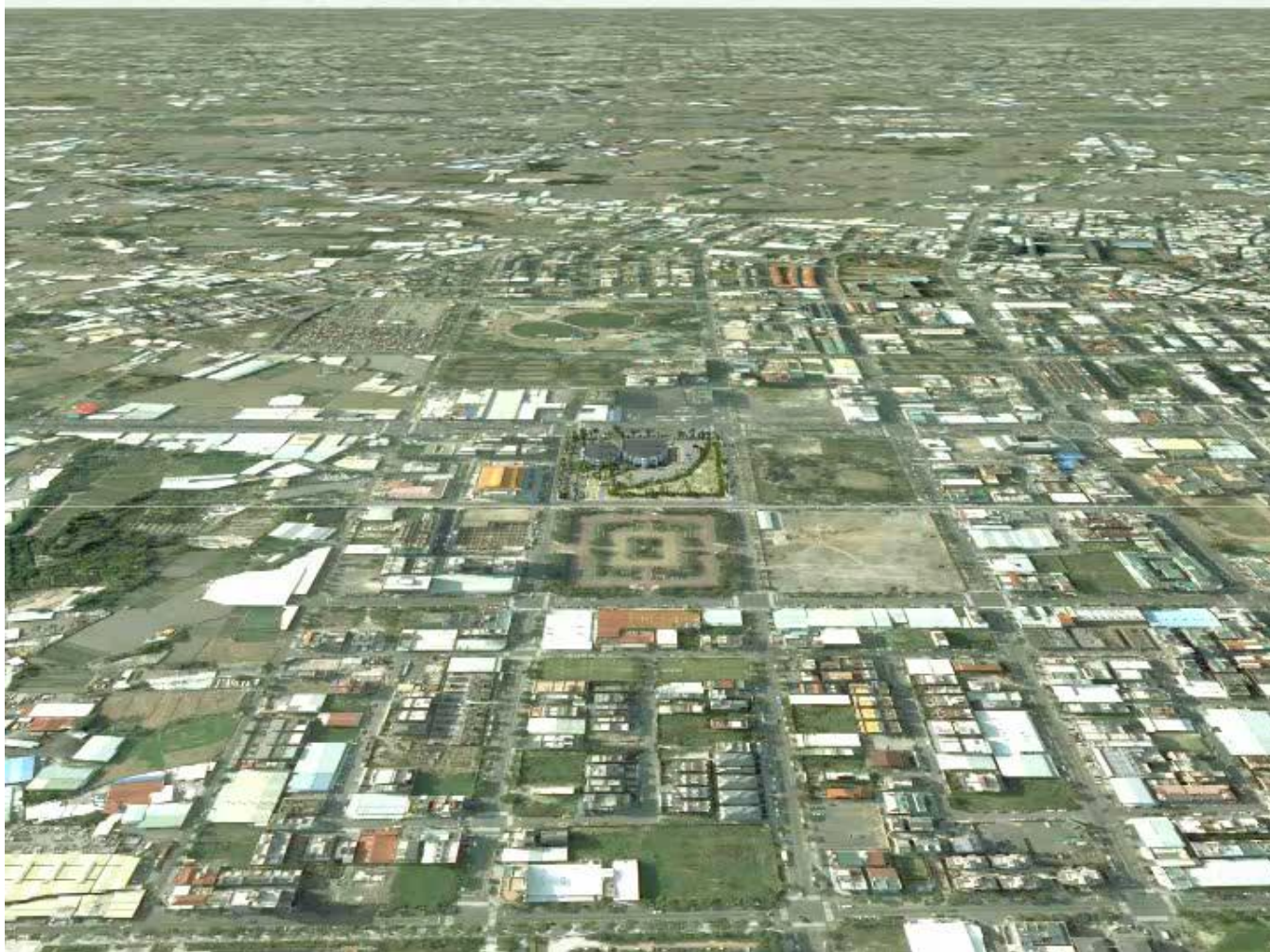


剖面展示(30M)



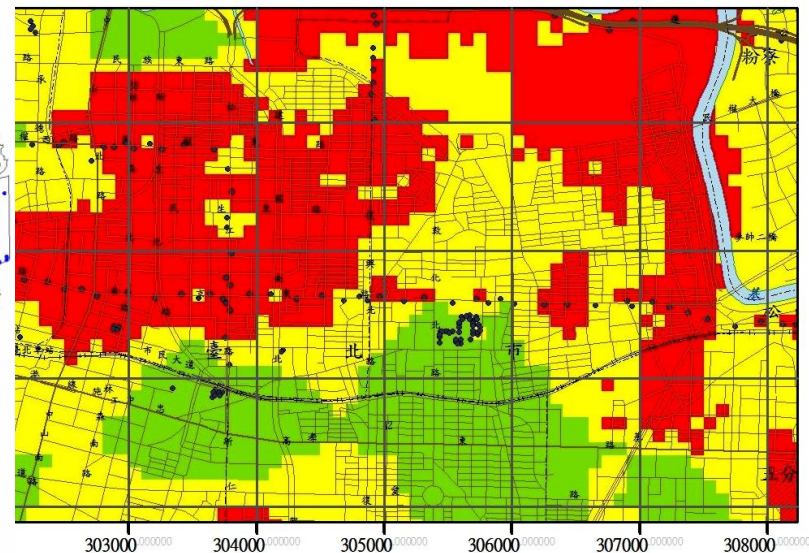
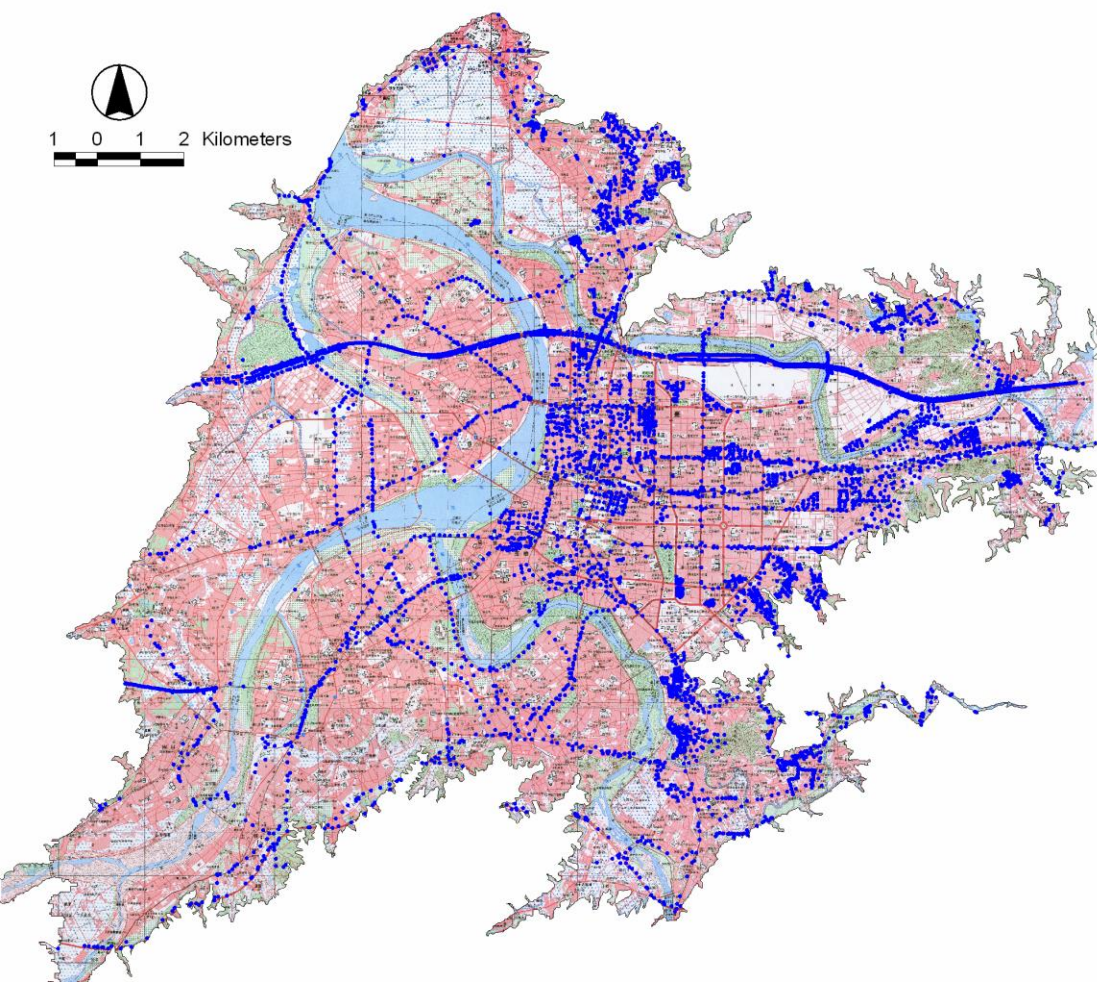


三維網格資料分析動畫說明



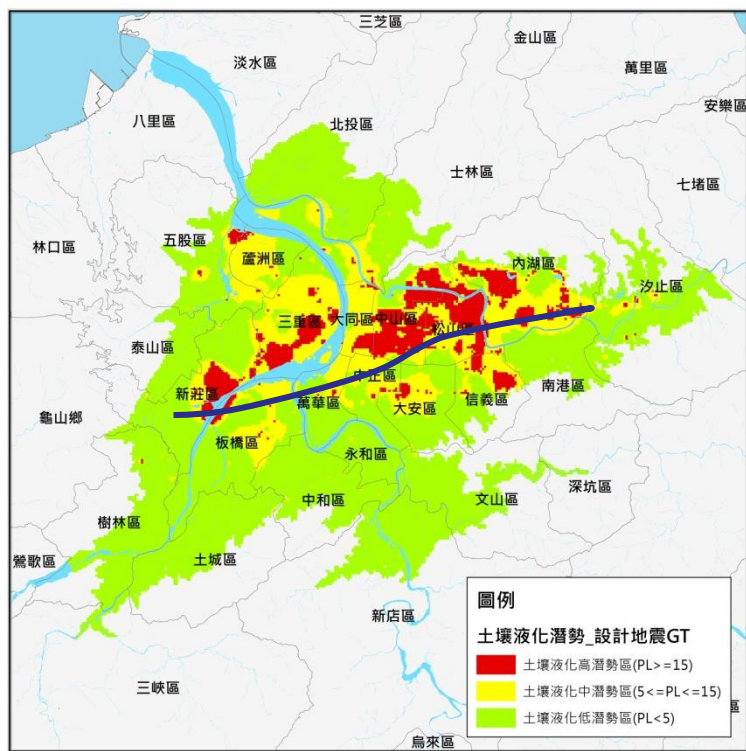
解決鑽井分布不均不足的問題

- 臺北都會區鑽井密度最高，達6.4孔/平方公里，
- 仍有區域在1平方公里範圍沒有鑽井資料。



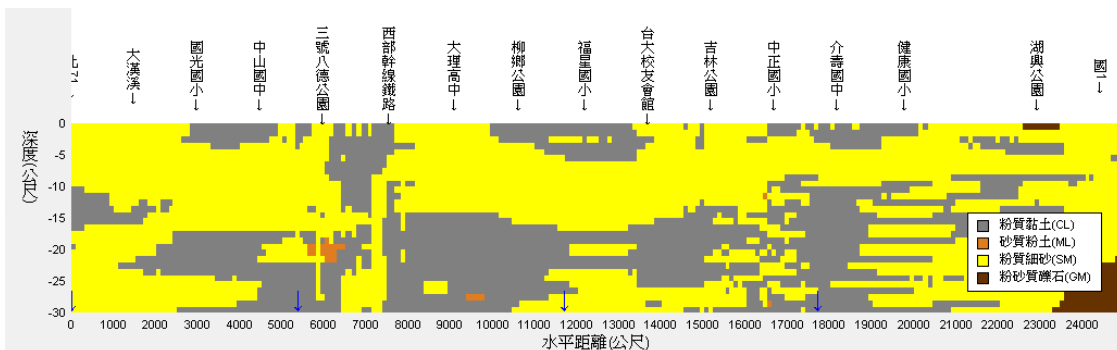
資料庫應用系統功能

- 土壤液化高潛勢地區: 深度20公尺以內，地下水面以下的砂土層中，有液化的高潛勢。

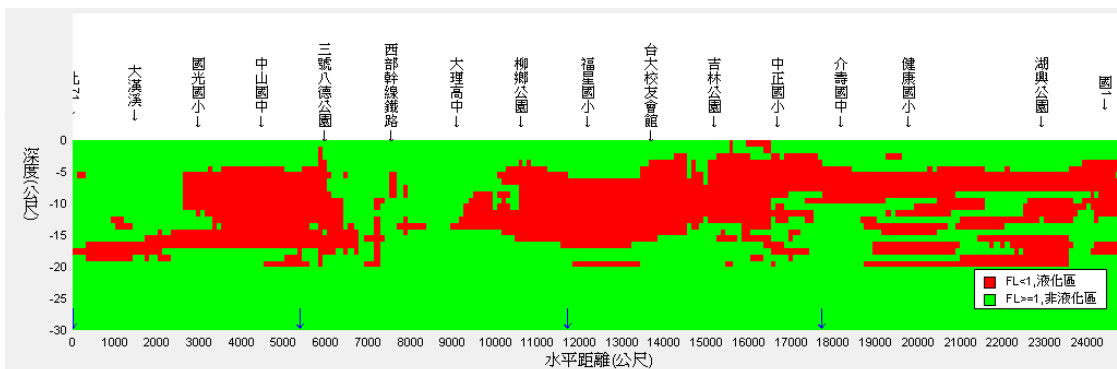


液化潛勢圖幅 (1/25000) 7幅

地層剖面

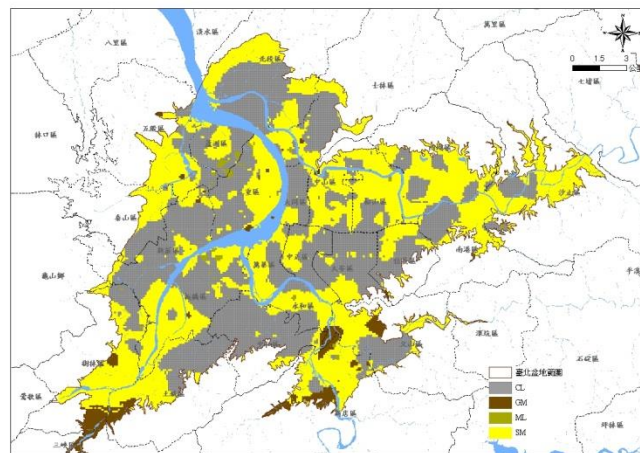


可能液化地層深度剖面

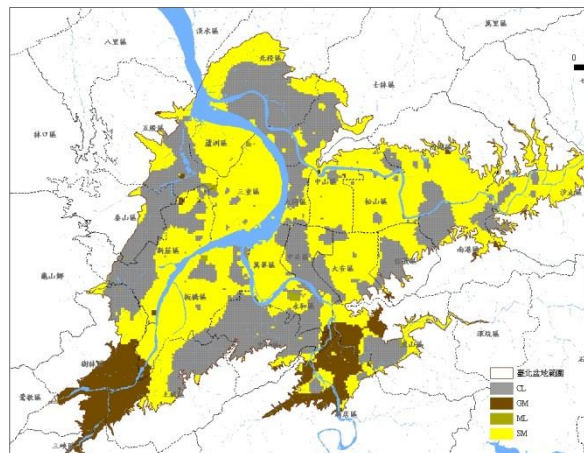


「三維網格資料庫建置」成果

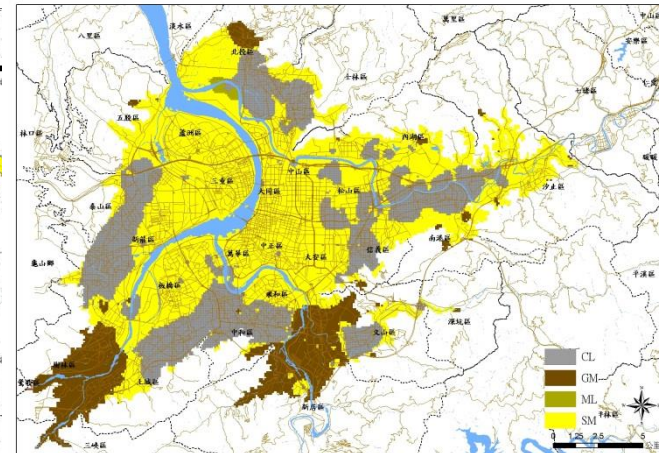
●不同深度切面岩性分佈、主要岩性分佈



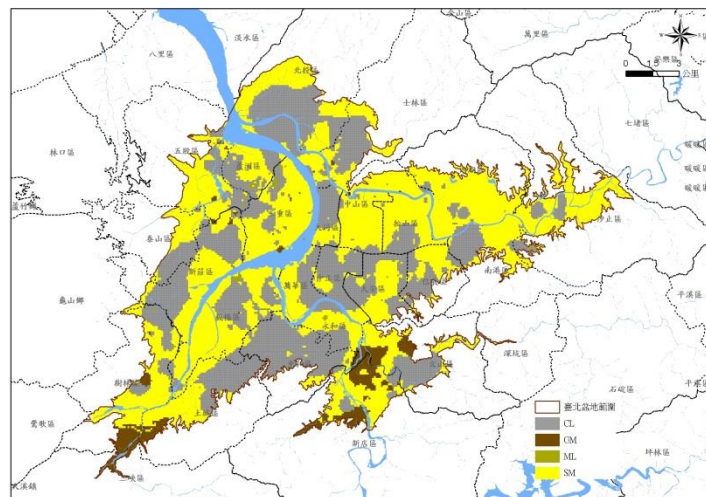
深度3m岩性分佈



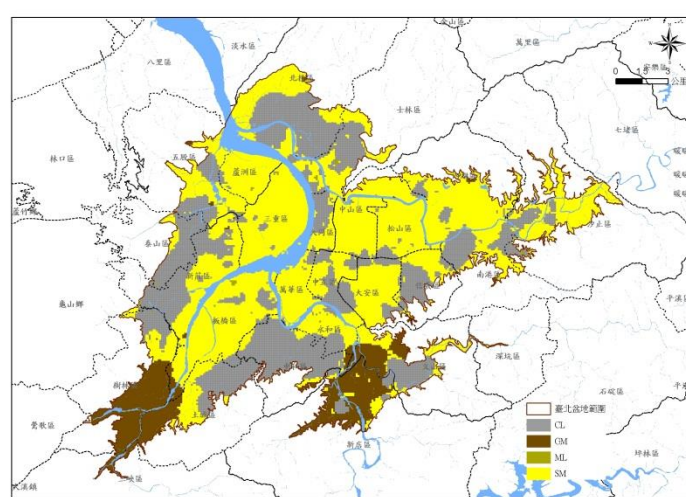
深度5m岩性分佈



深度10m岩性分佈



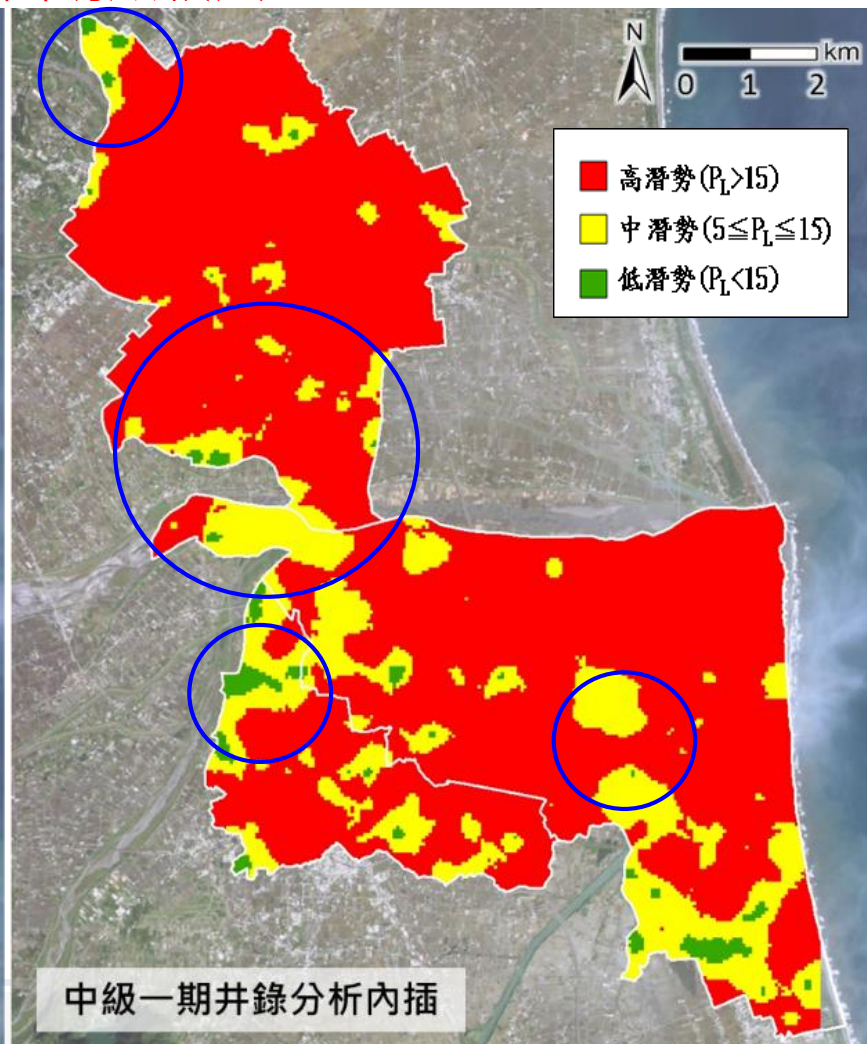
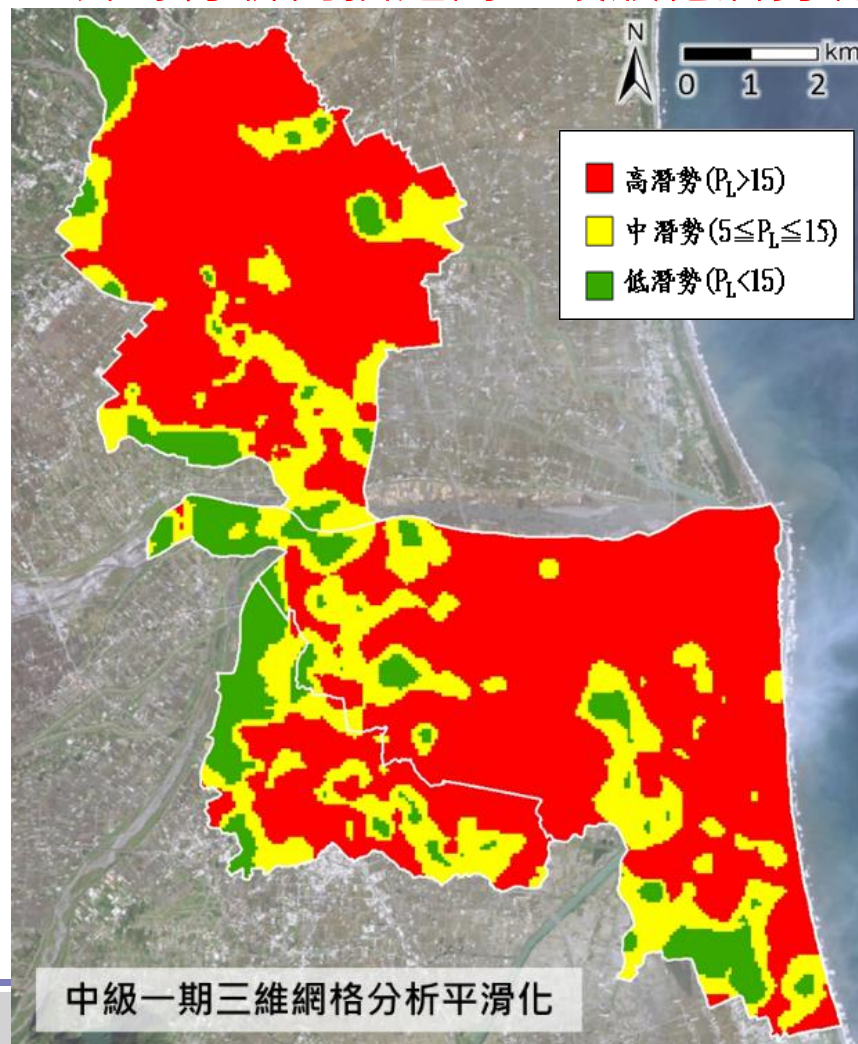
平均深度5m內主要岩性分佈



平均深度10m主要岩性分佈

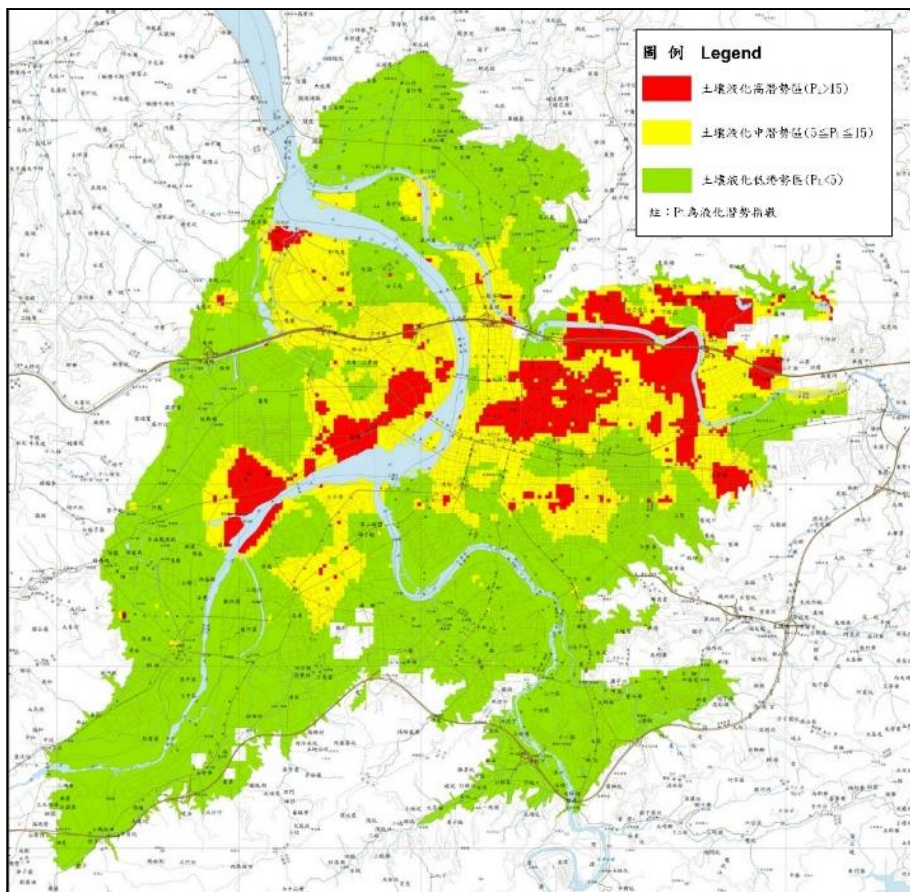
井錄分析與三維網格分析分析比較(宜蘭為例)

- 宜蘭縣安家固園計畫鑽井及相同評估條件，進行分析。
- 井錄分析內插之高土壤液化潛勢範圍明顯較大。

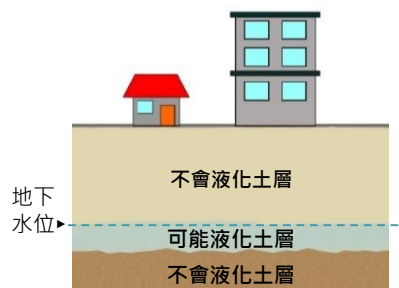


如何判讀土壤液化潛勢圖

公開的土壤液化潛勢圖分為3級，顯示在5、6級地震發生時，土壤液化輕重程度。

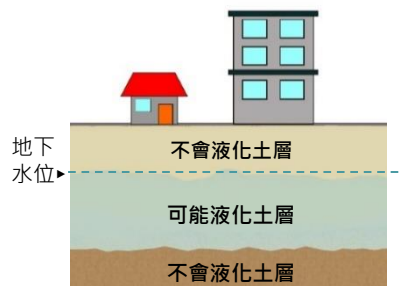


土壤液化潛勢輕重程度之分級示意圖



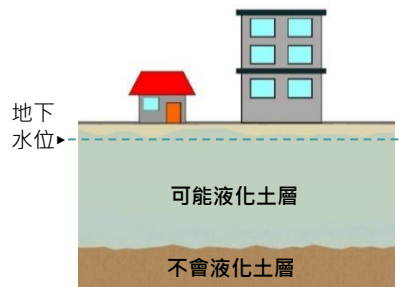
低潛勢 ($0 < P_L < 5$)

強烈地震發生時，地基可能無影響或輕微影響。



中潛勢 ($5 \leq P_L \leq 15$)

強烈地震發生時，地基可能輕微影響至中度影響。

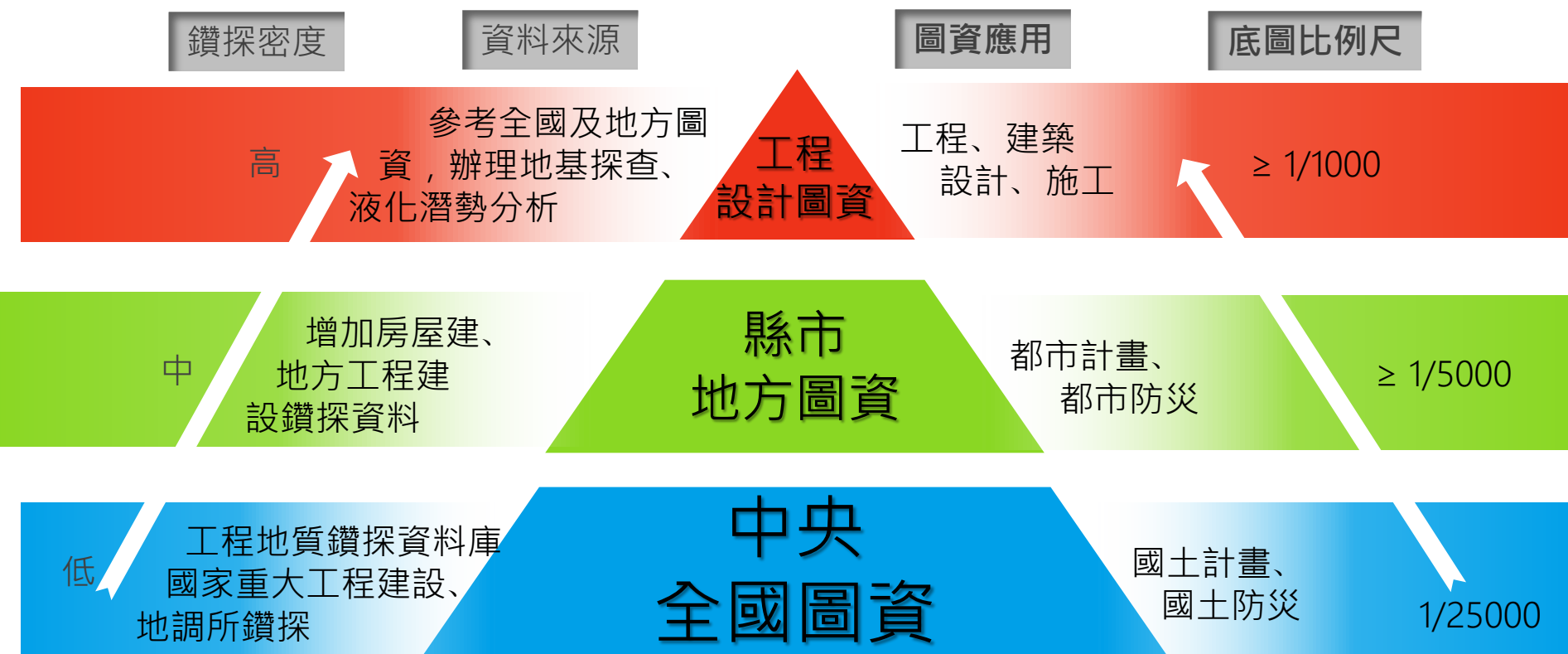


高潛勢 ($P_L > 15$)

強烈地震發生時，地基可能中度至嚴重影響。

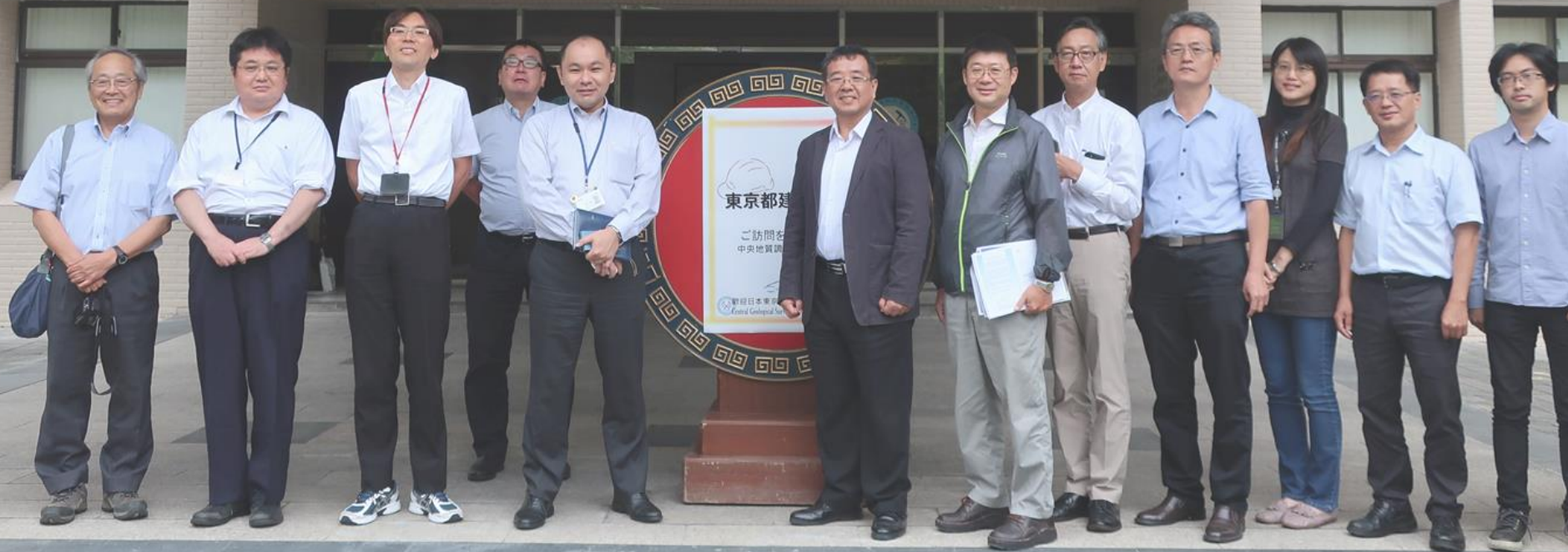
土壤液化潛勢圖資角色定位

- 政府對於土壤液化潛勢可分為三級分別啟動，第1級由中央負責，相關資料將作為國土及防災等規劃的參考，第2級由地方政府負責，作為地方相關工程建設參考，至於第3級則由業界負責，作為個別建案建築基礎設計之依據。





國際交流-日本東京都建設局



Q：建立地盤模型的方法

- 哪些分析軟件用於建立3D網格地盤模型？
- 如何設定每個3D網格的最大地面
- 在沒有鑽孔數據的3D網格中，如何在每個計算深度設定土壤層的N值？

②液状化領域の表現方法

Method of expressing liquefaction area

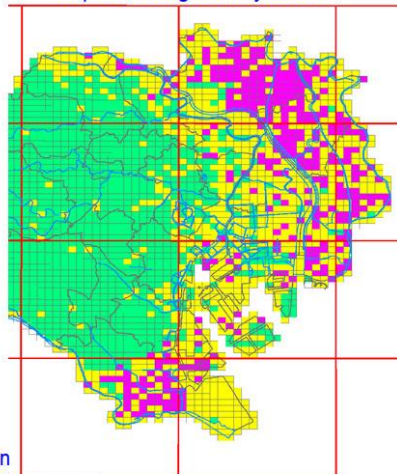
現状：領域判定

Current status: Judgment by Region

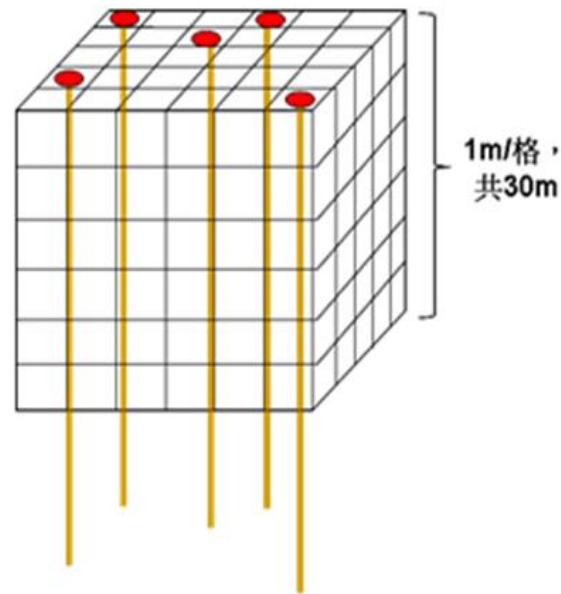


更新：メッシュ判定

Update: Judgment by Mesh



- ：液状化の可能性高 High possibility of liquefaction
- ：液状化の可能性中 Middle possibility of liquefaction
- ：液状化の可能性低 Low possibility of liquefaction



未來展望

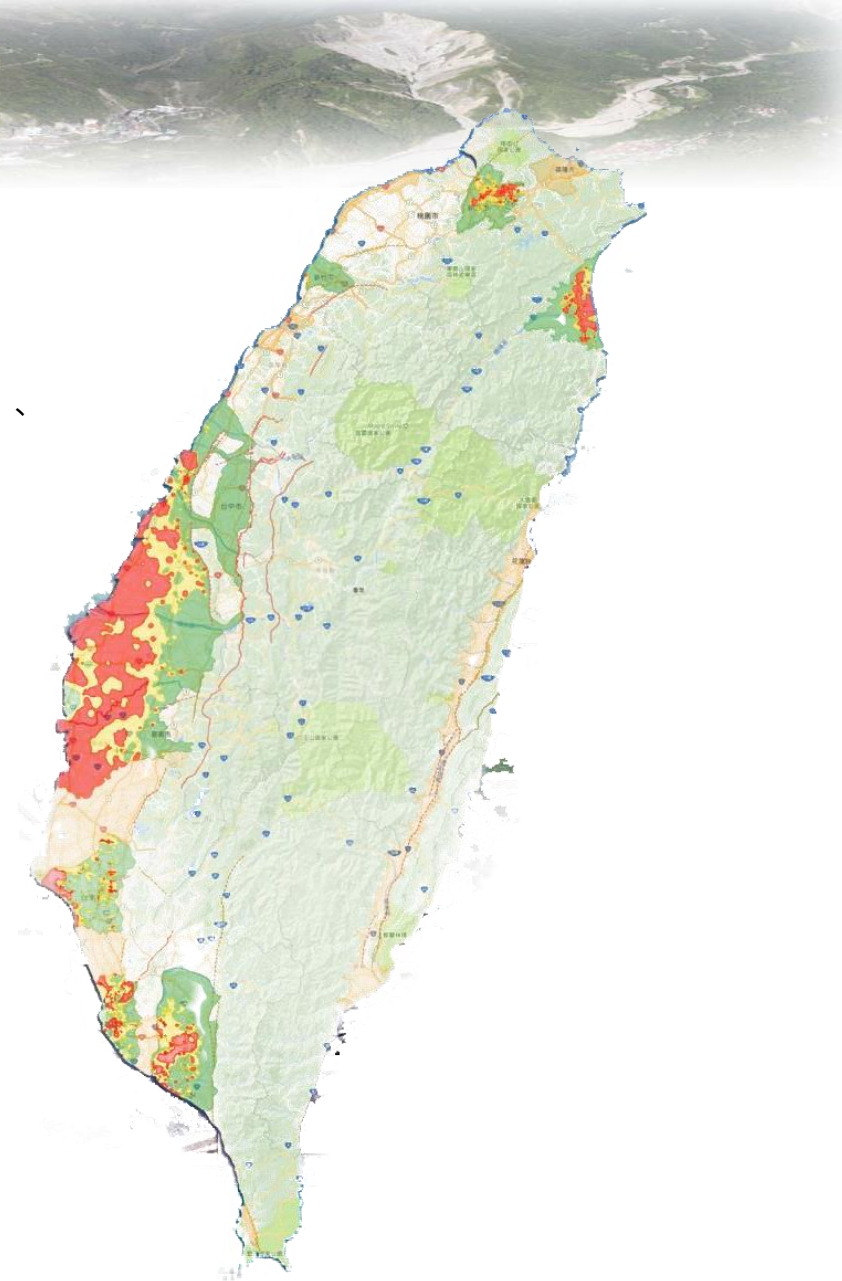
1. 土壤液化潛勢分析方法比較

- 美國國家地震工程研究中心法(NCEER,1997) 、
- 日本建築學會法(T&Y ; AIJ,2009) 、
- 日本道路協會法(JRA,1996) 、
- 雙曲線函數法(HBF,2017)

2. 地下水長時間觀測

3. 機率式土壤液化潛勢圖

4. 不同地震規模下-情境模擬系統





簡報完畢
敬請指正

