

0206地震 台南土壤液化災區 之地層特性

李德河／國立成功大學土木工程系教授、國家地震工程研究中心南部實驗組組長

蔡百祥／國立成功大學土木工程系博士

吳建宏／國立成功大學土木工程系教授

摘要

0206 地震在台南引發多處大規模土壤液化現象，使災區多數民房傾斜、下陷、屋內屋外噴水、噴砂，並拉斷維生管線造成生活不便。本文乃針對此次地震中嚴重的土壤液化區如安南區惠安街一帶、新市區三民街附近及新化區北勢里等區域，探討受災各區的地層之沉積環境變遷以及地層種類以瞭解發生嚴重液化地區的沉積環境及地層種類的特性，由探討的結果可作為爾後初步判別是否具有區域性土壤液化潛能的參考。

前言

2016 年 2 月 6 日早上 3 時 57 分，在台灣南部發生了芮氏規模 6.6 的地震，雖然震央在高雄市美濃區但卻在美濃西北方的台南市引發各種地震災害，包括在永康區大灣的地上 16 樓，地下 1 樓的維冠金龍大樓的倒塌，造成 115 位居民死亡，也在新化區造成京城銀行 10 層大廈低樓層壓潰，整棟大樓傾斜以及玉井區整排 2 樓店面內部隔間牆的剪裂破損等等結構物的震害。同時地震也在台南市安南區、北區、中西區、新市區及新化區產生嚴重的土壤液化現象，造成安南區惠安街一帶、中西區文和街及新市區三民街一帶整個街廓的房屋不均沉陷、傾斜、屋內屋外噴水、噴砂等災害。

由台南市的統計資料可知受到震害的結構物主要是分佈在東區、仁德區、歸仁區、關廟區、玉井區及永康區，其分佈是在台南府城舊市區的東方及東南方，但土壤液化災區則如圖 1

所示^[1]，是分佈在台南老市區的西北側以及東北側，亦即可用一條連結台南舊市區與新化之東北－西南走向的直線，將此次 0206 地震災區劃分成左上部及右下部，左上部則多發生土壤液化災害，而結構物震損災害則多發生於右下部。

由於近現代的地震中在台南很少發生如此大範圍的土壤液化現象，而且地震專家一直在呼籲未來 20 年在台灣西南部發生規模 6 以上的地震的可能性高達 40% 以上，此次土壤液化區在未來的地震中是否會再度發生液化並引起災害是值得關心，因此本文乃針對此次 0206 地震台南液化災區中較為嚴重的安南區惠安街及新市區三民街附近的地層特性加以探討，藉以瞭解此次地震發生土壤液化地區在地層及自然環境上的特性，並作為爾後進行液化防治工作的參考。

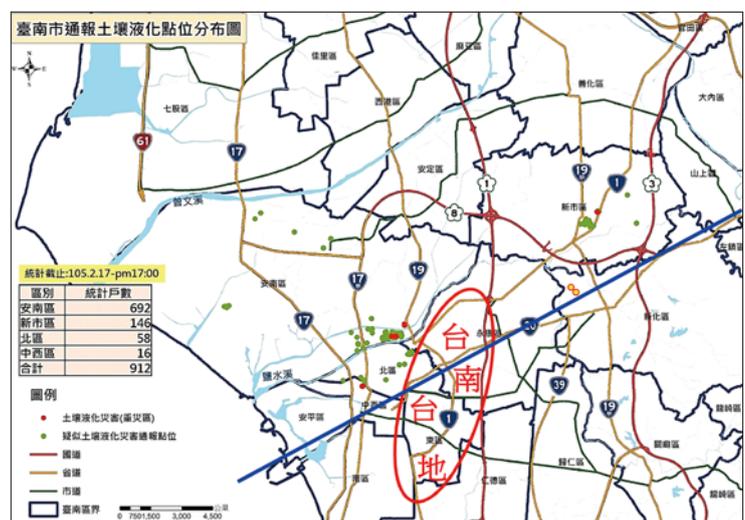


圖 1 土壤液化位置圖（台南市政府）^[1]

台南液化區之沉積環境變遷及沉積土層特性

在前言中提到此次 0206 地震中台南市發生嚴重土壤液化地區，大都位在連結台南舊城區與新化的直線之北方，在此線的南方則幾乎沒有發生嚴重的土壤液化災害，亦即由此次土壤液化災區而觀，液化災害的發生是具有區域性，其乃受到區域內的地層的種類的影響，而地層的種類是受到區域沉積環境及沉積物的特性所左右。由於主要的液化災區正好位於鹽水溪的中下游，此區域地層之形成與鹽水溪有著深厚的關係，所以首先針對鹽水河流域的變遷進行探討。

當今鹽水河流域如圖 2 所示^[2]。其上游有來自南方的許縣溪，由源頭龍崎往關廟、新化後與發源自新化虎頭埤附近的虎頭溪會合後再納入那拔林溪，再與來自新市的大洲排水會流成為鹽水溪，再納入永康排水及由台南台地流入的柴頭港溪後流經安平出海。

雖然鹽水溪現在是一條具有多條支流的中型溪流，但其乃是經過數千年的演化變遷才形成當今的型態。根據林朝棨（1961 年）^[3] 探討台南西南海岸的變遷，提到史前時代台南附近的海岸線向內陸變動，最早可上溯到 6,500 年前 ~ 5,000 年前的「台南期海侵」，如圖 3 褐色線所示^[4]，當時的海岸線入侵到新化丘陵的西麓，約在現今海拔 35 公尺左右處，是由北邊的二重溪經新埤、大內、那拔林、關廟到龜洞一線，此線之西側皆屬海域，其後在 5,000 年前 ~ 4,000 年前，海岸線逐漸向西退，退到現今海拔 5 公尺處，此期為「台南期海退」。到了 4,000 年前 ~ 3,500 年前的「大湖期

海侵」，海岸線又向東移，到達麻豆、佳里、安定、善化、大港、中洲一線，約在當今海拔 7 ~ 10 公尺處，即圖 3 黃色線所示。此時，台南台地是以一砂洲島的形式呈現，稱為「古台南島」，其隔著「古大灣海峽」與東側的新化丘陵、關廟海階地遙遙相望。

將「大湖期海侵」時期的部份海岸線繪在圖 2 鹽水河流域圖上得到圖 4^[4]，由此圖可見現今鹽水溪的支流許縣溪、虎頭溪、那拔林溪皆是獨立溪流，各自流入「古大灣海峽」中，而在「古台南島」上的柴頭港溪則直接向西流入台江內海，由此圖亦可見到此次 0206 地震液化災區安南區惠安街、新化區北勢里尚在陸地外的海域中，而新市區三民街則在海岸邊。

又根據師範大學地理研究所的文獻蒐集及野外調查結果，指出到了 17、18 世紀荷治及清初時期台南的海岸線如圖 5 所示^[4]。其乃是北自山子腳（將軍）、佳里、西港、港口（安南區東北部）、新市、洲仔尾（永康）、鹽埕（南區）、到高雄湖內一線，約在當今海拔高程 5 公尺附近，此時古台南島已與新化丘陵陸連，亦即古大灣海峽已消失成為陸地。將圖 5 的台南台地附近的海岸線與鹽水河流域圖疊加，則得圖 6^[4]，此時新市區三民街及新化區北勢里已在海岸線東側，只有安南區惠安街尚在台江內海中，位在切割台南台地的柴頭港溪的出海口附近。

到了 19 世紀之 1823 年（清道光 3 年）7 月間，因連日豪雨使得山區山崩連連，洪水暴漲，造成原來流經蘇厝甲與棧仔林間再轉北過蕭壠社，由歐旺西流入海的灣裡溪（舊曾文溪）挾帶內山崩落的土石泥沙，在蘇厝甲西邊決堤改道，由營寮向西流入台江內海，淤塞

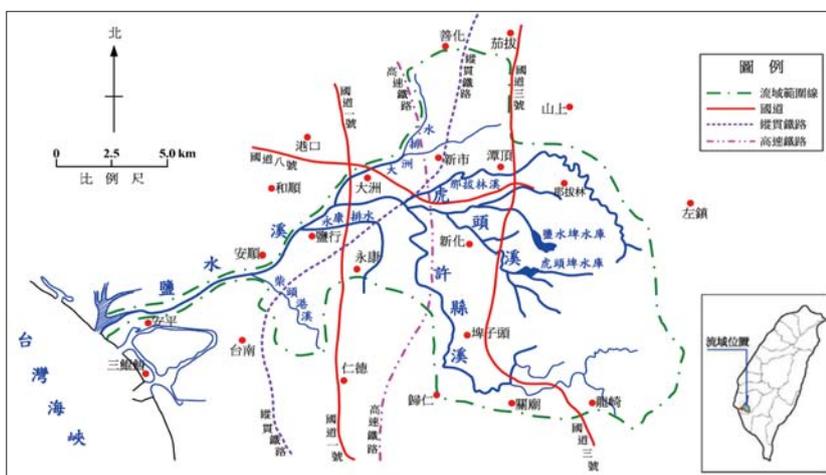


圖 2 鹽水河流域概況圖(改繪自^[2])



圖 3 台南期及大湖期海侵時代之台南附近海岸示意圖(李德河重繪, 2012)^[4]

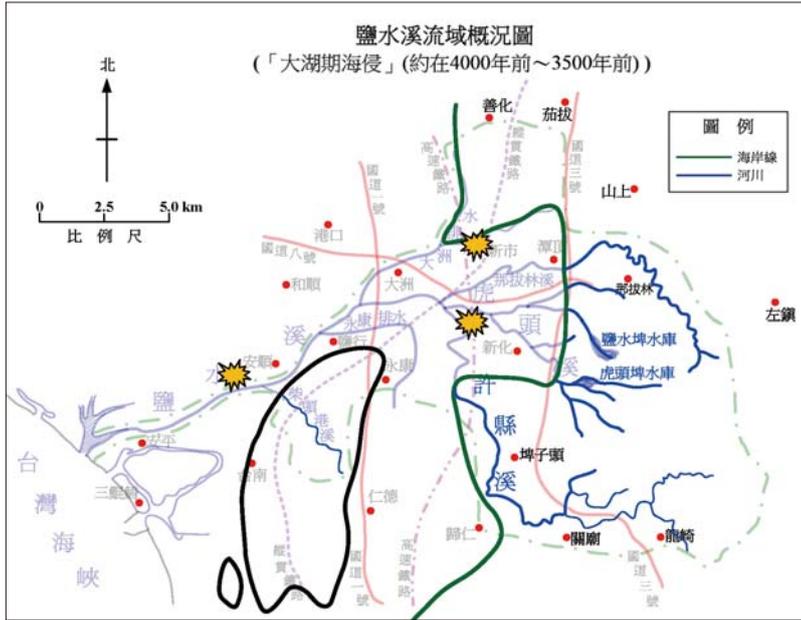


圖 4 「大湖期海侵」時之海岸線及鹽水溪各支流^[4]



圖 5 17、18 世紀臺南海岸圖 (李德河重繪, 2012)^[4]

台江，於是內海變為浮浦，灣裡溪（舊曾文溪）也分流南北，北側的主流由鹿耳門流入台江內海，南側支流在鹿耳門東邊向南，由安平入海，如圖 7 所示^[4]。

將圖 7 與鹽水河流域圖合繪得圖 8^[4]，圖上顯示安南區惠安街則位在灣裡溪（舊曾文溪）南側支流的河道中。又根據文獻記載，曾文溪後來於 1871 年（清同治 10 年）、1903 年（日明治 37 年）及 1910 年（日明治 44 年）均再次改道，日治時期築堤於其兩岸，固定河道，以至於今。

在日治中期，灣裡溪南側支流逐漸萎縮，在河道旁形成一連串的自然壩（自然堤防）(natural levee) 及背後溼地，進而被開墾成為可耕種的河川地及養殖水塘。在新市、安定間的舊河道部份則縮小成為現今的大洲排水、安順排水、鹽水溪排水，而在新市大洲與永康鹽行之間的舊河道有許縣溪與大洲排水及永康排水分別匯流，成為鹽水溪的下游段如圖 9 所示^[5]。再由此圖可見安南區惠安街一帶，在此時是位在鹽水溪北岸，柴頭港溪匯流口邊的河川地與水塘，而新市區三民街一帶，此時的地名稱為港子墘（港邊的意思）。

最後由 1975 年的航照圖圖 10(a)(b)^[6]，可見新市區三民街附近尚有水塘三處，而安南區惠安街一帶街廓並無房舍，只有魚塭片片。



圖 6 17 世紀至 18 世紀時之海岸線及鹽水溪各支流^[4]



圖 7 19 世紀臺灣西南海岸示意圖 (李德河重繪, 2012)^[4]

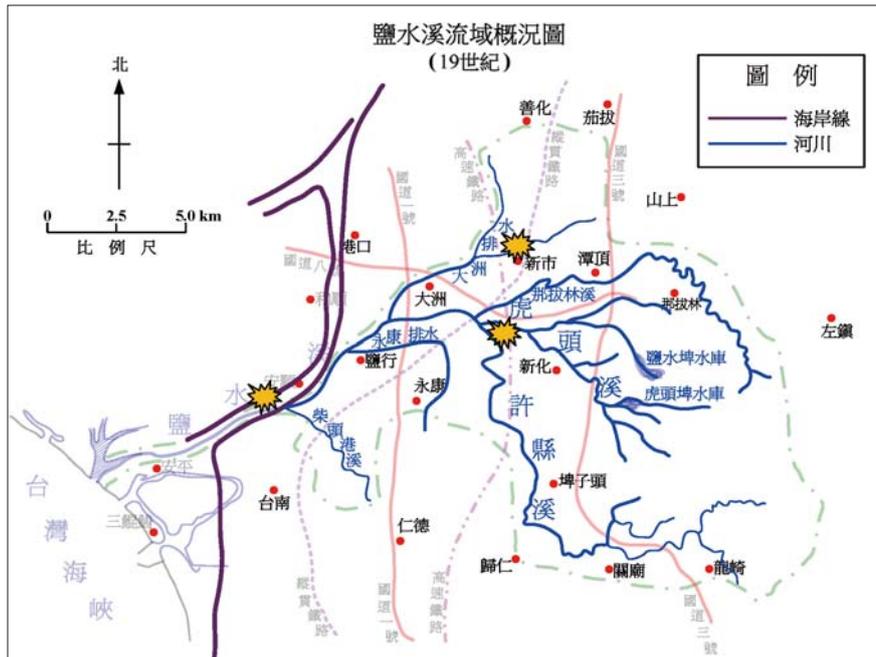


圖 8 19 世紀鹽水溪流域^[4]

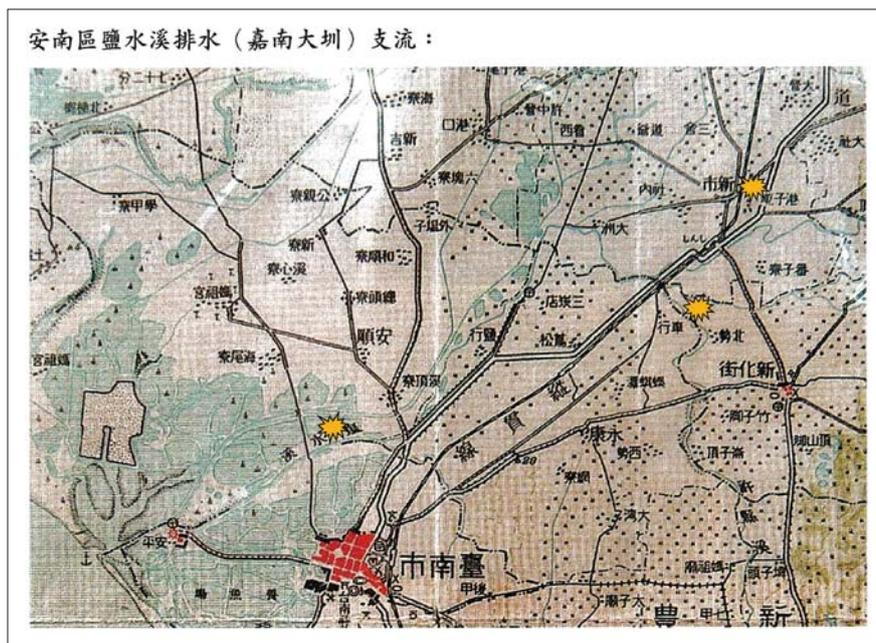


圖 9 日治時期安順庄鹽水溪排水（嘉南大圳）支流圖^[5]

綜合上述可知 0206 地震引發台南發生嚴重液化區都是到了近現代，甚至數十年內才形成陸上溼地，因此可以推定在此種近海、瀉湖及陸地沼澤溼地的沉積環境下，所沉積形成的地層，在地表下附近部份應尚屬軟弱、疏鬆的狀態，而成為易生土工災害的軟弱地盤，此由地質鑽探資料可以概知一、二。

表 1^[7] 所列為在安南區惠安街一帶的東側在嘉南大圳排水與鹽水溪之間，位於鹽水溪堤防邊的鑽探孔資料

表下 11 m 內，除了 5.6 m ~ 7.2 m 屬於軟弱的粉土質黏土層 (CL) (N = 3) 外，其餘大多數屬於軟弱砂土層 (SM 或 ML) (N = 5 ~ 8)，且含黏土量只有 7.2% ~ 15.8%。

最後由表 3^[7] 中位於新市區三民街西南方的新市國小（其位置如圖 11 所示）的鑽探記錄來看可知地表下 18 m 以內都屬軟弱土層，N 值皆在 10 以下，特別是地表下 6 m 以內的土層是含砂土及粉土量在 69.0 ~ 94% 的 ML 或 SM (N 值 = 3 ~ 9)。

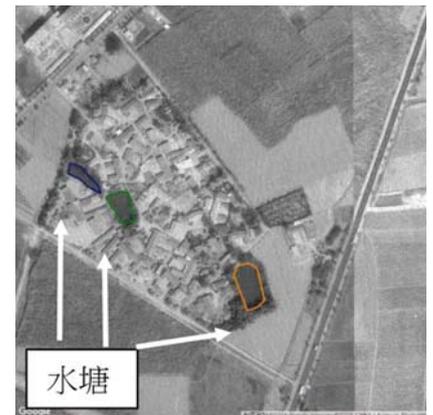


圖 10 (a) 1975 年新市區三民街航照圖^[6]



圖 10 (b) 1975 年安南區北安路 — 德安街航照圖^[6]

(A01)，其位置如圖 11 所示。由表可知在地表下 7 m 以內主要的土層，含砂量約為 70 ~ 90%，粉土含量最多是 17.8%，黏土含量約在 6 ~ 8% 之間，統一土壤分類屬 SM，SP - SM 的土壤，其 N 值在 5 ~ 6，明顯是軟弱的砂土層。

再由表 2^[7] 所列為新化區北勢里北側的鑽探資料，鑽孔位置亦示於圖 11 中，由表 2 可見此鑽探孔位地

台南液化區之災害形成因素

由前節可以瞭解 0206 地震引發嚴重土壤液化區，由其附近的鑽孔資料可知該等區域在地表下數公尺內大都是屬於砂性軟弱土層，而有足夠厚度的軟弱砂土層存在，只是產生土壤液化的先決條件之一。

要引發土壤液化，除了有大量可液化的砂性材料外，尚須要有高的地下水位以使土層處於飽和狀態，同時還須要有足夠的地震能量的供給才能造成大規模的土壤液化災害。

由圖 11 可見，安南區惠安街一帶是夾在嘉南大圳排水及鹽水溪間，其位置原是灣裡溪（舊曾文溪）南側支流在萎縮時的背後溼地、沼澤地，地下水經常受嘉南大排及鹽水溪的供給，平時地下水位就不低。

由圖 11 亦可見到新化區北勢里是位於鹽水溪的上游許縣溪與其支流無名溪的匯流處，地勢較周圍為低，充分的地下水可由許縣溪及無名溪來補注，而新市區三民街附近雖無大溪大川經過，但三民街附近有南市排水線環繞，地下水的供給亦不缺。

最後參考國家地震中心分析 0206 地震時地表最大加



圖 11 鑽探孔位置圖

速度 PGA 的分佈情形如圖 12 所示^[8]，由圖可知在 2 月 6 日 3 時 57 分 27 秒在美濃開始釋放地震能量後，強地動是由美濃向西北方向衝擊而去，首當其衝的是新化區、新市區及安南區，因此地震當時在新化量得的震度有達到 7 級，而安南區、新市區大約為 5 級。因此在區域內除了地表附近之地層軟弱且含砂量多之先天條件外，加上外在有地下水的充分補給，當受到震度 5 ~ 7 的地震能量攻擊時，會產生區域性液化現象，是不足為奇。

表 1 鹽水溪堤防內 (A01 孔) 鑽探結果^[7]

孔號：TN93A01			地點：台南都會區（鹽水溪堤防）				地下水水位：地表下 1.90M				頁號： 2 之 1										
深度 m	樣號 No.	SPT 取樣 深度 m	岩心 取樣 率 %	標準貫入試驗			SPT- N 值	柱 狀 圖	土 層 描 述	粒徑分析 %				統一 土壤 分類	含水量 w %	單位 重量 γ _t t/m ³	液性 限度 IL %	塑性 限度 PL %	塑性 指數 PI %	孔隙 比 e	比重 Gs
				15 cm	15 cm	15 cm				礫石	砂	粉土	黏土								
1									回填礫石及粉土質細砂												
2	S-1	1.50		2	3	4	7		0.80M	0	31.6	55.8	12.6	ML	17.9	1.83	--	--	--	0.75	2.71
3	S-2	3.00		2	3	3	6		棕黃色粉土質細砂 夾砂質粉土	0	80.2	13.3	6.5	SM	26.8	1.96	--	--	--	0.71	2.65
4	S-3	4.50		2	3	3	6		4.50M	0	94.0		6.0	SP-SM	23.5	1.92	--	--	--	0.70	2.64
5									4.90M												
6	T-1	5.70							卵石夾灰色粉土質中細砂												
7	S-4	6.15		1	2	3	5		灰色粉土質細砂夾 黏土薄層	0	73.9	17.8	8.3	SM	20.8	2.05	--	--	--	0.57	2.66
8	S-5	7.50		3	6	9	15		7.50M	0	87.8	5.7	6.5	SM	27.9	1.95	--	--	--	0.74	2.65
9	T-2	8.80							灰色粉土質細砂												
10	S-6	9.25		7	9	9	18			0	91.4	2.3	6.3	SP-SM	27.3	1.95	--	--	--	0.72	2.64
11	T-3	10.60							11.20M												
12	S-7	11.05		9	12	15	27		灰色粉土質黏土	0	47.7	43.6	8.7	ML	23.1	2.03	--	--	--	0.63	2.68
13	S-8	12.00		2	3	5	8		12.10M	0	1.7	47.3	51.0	CL	28.2	1.97	33.9	19.7	14.2	0.78	2.73
14	S-9	13.50		13	15	17	32		灰色粉土質細砂	0	82.6	10.5	6.9	SM	23.1	1.99	--	--	--	0.63	2.64
15	S-10	15.00		11	15	18	33			0	81.2	11.7	7.1	SM	26.5	1.97	--	--	--	0.70	2.64

表 2 新化區北勢里北側 (A09 孔) 鑽探結果^[7]

孔號：TN93A09				地點：台南都會區 (北勢北側)				地下水位：地表下 2.40M				頁號： 2 之 1									
深度 m	樣號 No.	SPT 取樣 深度 m	岩心 取樣 率%	標準貫入試驗			SPT- N 值	柱 狀 圖	土 層 描 述	粒徑分析%				純一 土壤 分類	含水 量 w %	單位 重 γ _v t/m ³	液性 限度 LL %	塑性 限度 PL %	塑性 指數 PI %	孔隙 比 e	比重 Gs
				15 cm	15 cm	15 cm				礫石	砂	粉土	黏土								
1								凹填卵石及棕黃色粉土質細砂													
1	S-1	1.50		1	2	3	5		0.70M	0	50.7	39.9	9.4	SM	27.6	1.97	--	--	--	0.74	2.68
2								棕黃色粉土質細砂													
2									2.40M												
3	S-2	3.00		2	3	3	6			0	36.2	48.0	15.8	ML	21.9	2.00	--	--	--	0.64	2.69
4								灰色粉土質細砂夾 砂質粉土													
4									5.60M												
5	S-3	4.50		3	3	5	8			0	53.6	33.3	13.1	SM	20.9	2.08	--	--	--	0.56	2.68
6								灰色粉土質黏土													
6	T-1	5.90		1	1	2	3			0	2.4	59.4	38.2	CI	32.4	1.91	36.3	20.9	15.4	0.89	2.72
7	S-4	6.35		2	6	8	14			0	65.4	27.4	7.2	SM	20.6	2.07	--	--	--	0.56	2.67
8								灰色粉土質細砂 夾黏土薄層													
8	S-5	7.50		3	3	3	6			0	67.7	24.0	8.3	SM	22.6	2.02	--	--	--	0.61	2.66
9																					
10																					
10	T-2	10.30		3	3	4	7														
11	S-7-0	10.75		5	8	8	16			0	54.6	32.8	12.6	SM	21.9	2.04	--	--	--	0.60	2.68
12	S-8	12.00		2	5	8	13			0	0.7	68.2	31.1	CL	27.8	1.98	25.7	16.5	9.2	0.76	2.72
13								灰色粉土質黏土													
13	S-9	13.50		3	6	7	13			0	43.5	47.1	9.4	ML	22.4	2.05	--	--	--	0.60	2.68
14								灰色砂質粉土夾黏土薄層													
15	S-10	15.00																			

表 3 (1) 新市區新市國小 (E50 孔) 鑽探結果^[7]

孔號：TN93E50				地點：台南都會區 (新市國小)				地下水位：地表下 1.70M				頁號： 2 之 1									
深度 m	樣號 No.	SPT 取樣 深度 m	岩心 取樣 率%	標準貫入試驗			SPT- N 值	柱 狀 圖	土 層 描 述	粒徑分析%				純一 土壤 分類	含水 量 w %	單位 重 γ _v t/m ³	液性 限度 LL %	塑性 限度 PL %	塑性 指數 PI %	孔隙 比 e	比重 Gs
				15 cm	15 cm	15 cm				礫石	砂	粉土	黏土								
1								草皮凹填、磚塊、礫石、 砂土及膠膠													
1	S-1	1.50		2	2	3	5		0.80M	0	45.7	47.3	7.0	ML	22.3	2.02	--	--	--	0.62	2.68
2								灰色砂質粉土													
2									2.30M												
3	S-2	3.00		4	4	5	9			0	45.0	48.6	6.4	ML	23.6	2.02	--	--	--	0.65	2.69
4								棕黃色砂質粉土													
4									3.60M												
5	S-3	4.50		1	2	1	3			0	60.8	8.2	31.0	SM	27.3	1.96	--	--	--	0.73	2.67
6								灰色粉土質細砂夾 黏土薄層													
6									4.80M												
7	T-1	5.80		1	2	2	4			0	73.1	20.8	6.1	SM	24.1	2.00	--	--	--	0.65	2.66
7	S-4	6.25		3	4	5	9			0	5.6	40.5	53.9	CL	23.2	2.06	28.9	20.4	8.5	0.63	2.72
8	S-5	7.50		1	1	1	2			0	1.3	70.5	28.2	ML	28.9	1.97	--	--	--	0.79	2.73
8								棕黃色含少量灰色粉土質黏土 夾砂質粉土薄層及 少量礫石													
8	S-6	9.00		2	2	2	4			0	0.1	55.5	44.4	CL	28.6	1.97	27.4	18.7	8.7	0.78	2.73
9								棕黃色砂質粉土夾 黏土薄層													
9									8.10M												
10								灰色粉土質細砂													
10	T-2	10.30		2	3	4	7			0	7.6	80.7	11.7	ML	25.1	1.99	--	--	--	0.71	2.72
11	S-7	10.75		3	3	4	7			0	59.4	34.1	6.5	SC	24.3	2.01	29.9	16.7	13.2	0.65	2.67
12	S-8	12.00						灰色粉土質細砂夾 砂質粉土薄層 黏土薄層													
13																					
13	S-9	13.50																			
14																					
14	T-3	14.60																			

結語

2016 年 2 月 6 日的地震在台南造成數個區域產生嚴重的土壤液化現象，雖然並未造成人員傷亡，但卻引發大量房屋傾斜、沉陷、維生管線破壞的災害，因此對於何處是可能發生土壤液化的區域以及要如何降低或防止土壤液化可能帶來的災害，就成為地震後的熱門話題，而對土壤液化區的地層特性加以瞭解與分

析，就是處理此項問題的第一步。經由本文對台南土壤液化區的地層形成環境的變遷以及其所形成地層的討論，可以概略知道地層的沉積環境及沉積物的種類會是決定地層是否容易液化的關鍵條件，而長期地下水的充分補注以及高地下水位則是使具有液化潛能的地層產生液化的必要條件，而地震時提供足夠大的地震動能，則是觸發引爆液化火藥庫的那一根火柴。

表 3 (2) 新市區新市國小 (E50 孔) 鑽探結果 [7]

孔號：TN93E50			地點：台南都會區（新市國小）				地下水位：地表下 1.70M				頁號： 2 之 2										
深度 m	樣號 No.	SPT 取樣 深度 m	岩心 取樣 率 %	標準貫入試驗			SPT- N 值	柱 狀 圖	土 層 描 述	組 成 分 析 %				統一 土 壤 分 類	含 水 量 w %	單 位 重 量 γ _t t/m ³	液 性 限 度 LL %	塑 性 限 度 PL %	塑 性 指 數 PI %	孔 隙 比 e	比 重 Gs
				15 cm	15 cm	15 cm				礫石	砂	粉土	黏土								
16	S-10	15.05		3	3	5	8			0	45.2	48.7	6.1	ML	25.8	1.98	--	--	--	0.70	2.67
17	S-11	16.50		3	4	4	8		灰色粉土質細砂夾 砂質粉土薄層 偶夾黏土薄層	0	62.3	29.8	7.9	SM	24.7	2.00	--	--	--	0.66	2.67
18	S-12	18.00		2	4	5	9		18.30M	0	32.4	61.2	6.4	ML	27.5	1.87	--	--	--	0.83	2.69
19	S-13	19.50		3	5	11	16			0	4.6	82.4	13.0	ML	25.4	1.97	--	--	--	0.73	2.72
20																					
21	T-4	20.80		4	7	11	18		灰色砂質粉土夾 細砂薄層	0	1.7	76.5	21.8	ML	24.9	2.02	--	--	--	0.69	2.73
22	S-14	21.25		4	7	11	18			0	2.3	84.7	13.0	ML	23.7	2.04	--	--	--	0.65	2.72
23	S-15	22.50		5	8	9	17		23.30M	0	26.7	67.2	6.1	ML	25.0	1.99	--	--	--	0.69	2.69
24	S-16	24.00		7	9	11	20			0	24.2	69.6	6.2	ML	23.8	1.98	--	--	--	0.68	2.69
25										0	1.0	81.6	17.4	ML	25.1	2.02	--	--	--	0.69	2.73
26	T-5	25.30		6	9	10	19		灰色砂質粉土	0	6.1	79.7	14.2	CL	22.2	2.06	22.2	12.9	9.3	0.61	2.72
27	S-17	25.75		6	9	10	19			0	6.1	79.7	14.2	CL	22.2	2.06	22.2	12.9	9.3	0.61	2.72
28	S-18	27.00		3	4	5	9			0	6.1	79.7	14.2	CL	22.2	2.06	22.2	12.9	9.3	0.61	2.72
29	S-19	28.50		2	4	6	10		28.80M	0	6.1	79.7	14.2	CL	22.2	2.06	22.2	12.9	9.3	0.61	2.72
30	T-6	29.80		7	9	12	21		灰色粉土質細砂	0	56.8	36.7	6.5	SM	23.4	2.01	--	--	--	0.64	2.67
	S-20	30.25		7	9	12	21		30.25M (鑽探終止)	0	56.8	36.7	6.5	SM	23.4	2.01	--	--	--	0.64	2.67

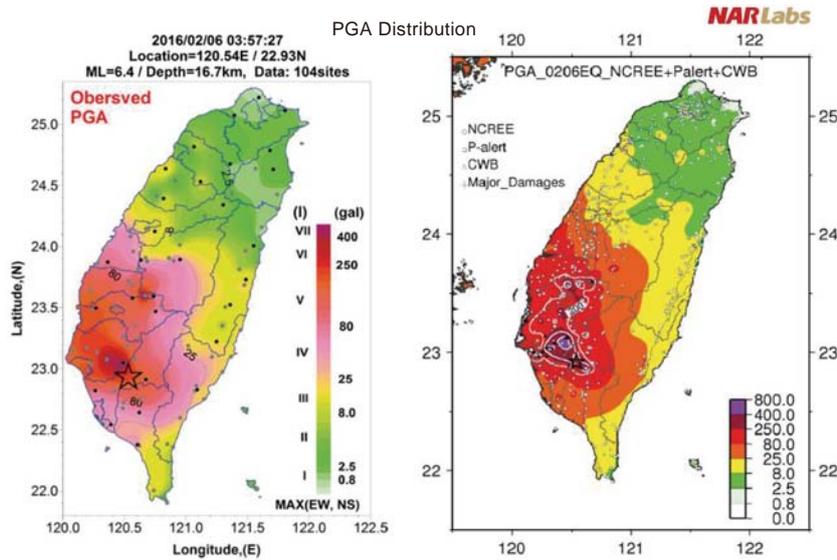


圖 12 0206 地震之 PGA 分佈圖 [8]

要如何防止土壤液化，由於地震是不可預測及阻擋的，只有以適當的方法將土壤液化的關鍵條件以及必要條件一一加以化解，則在強震來襲時將可免除液化災害的威脅。

誌謝

茲感謝黃堂泰昌先生協助取得液化土壤樣品，使得本文在研判討論土壤液化時有更正確的依據，在此重申致謝之意。

參考文獻

1. 台南市政府水利局提供。

- 經濟部水利署網站《轄區水系介紹》(<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=21739&ctNode=5226&comefrom=lp#5226>)。
- 林朝榮 (1961)，「台灣西南部之貝塚與其地史學意義」，考古人類學刊，第 15 期，第 49-94 頁。
- 李德河、李璧玲、王惠貞 (2012)，鹽水溪流地形變遷，鹽溪合水趣府城 — 鹽水溪文化資產特展圖錄，台南市文化資產保護協會、財團法人樹谷文化基金會出版，第 20-31 頁。
- 范勝雄 (2012)，源流與行政區域，鹽溪合水趣府城—鹽水溪文化資產特展圖錄，台南市文化資產保護協會、財團法人樹谷文化基金會出版，第 1-19 頁。
- 台灣百年歷史地圖網站 (<http://gissrv4.sinica.edu.tw/gis/twhgis.aspx>)。
- 李德河等 (2004)，新竹、苗栗與台南都會區地下水質與工程環境調查研究鑽探報告，國立成功大學公共工程研究中心，經濟部中央地質調查所委辦計畫。
- 國家地震中心提供。