

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030502

再度甦醒的大地

學校名稱：臺南市立大灣高級中學(附設國中)

作者： 國二 邱奕洲 國二 許硯淇 國二 蔡敏暄	指導老師： 林佩霈 許崑泉
---	-----------------------------

關鍵詞：0304 地震、0206 地震、土壤液化

得獎感言

是巧合？我們進行 0206 地震研究的一些回顧

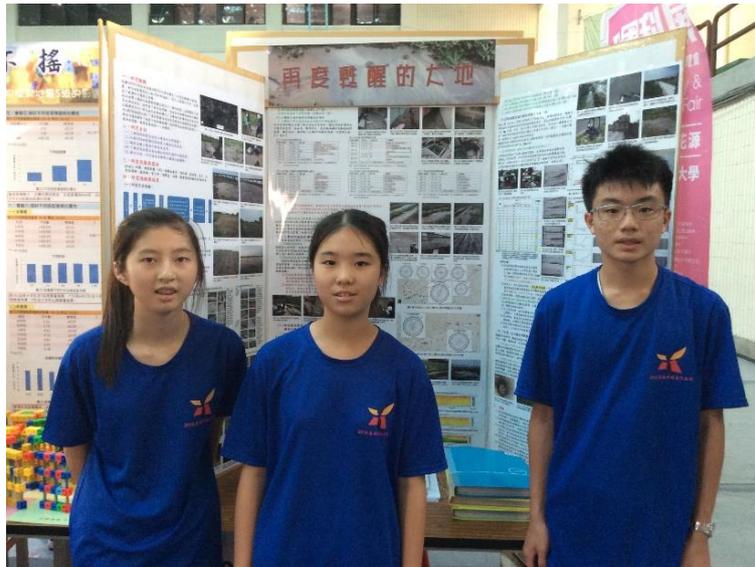
記得去年我們一開始就是要做土壤液化的研究，但過程中也遇到了許多困難，今年一月初還在考慮是不是應該修改研究題目。還有，一開始我們對地科知識尚有許多不足的地方，所以老師帶著我們東奔西跑，也參考了許多資料，曬了不少的太陽，順便補充了許多地科相關知識，但就是一直無法決定研究題目。就在今年二月六號凌晨，一陣天搖地動，造成了許多人員的傷亡，同時也震出了許多土壤液化的問題，我們知道這就是我們的研究主題。

在當天我們立即到了在 99 年曾經有土壤液化的地方來勘查，結果有了初步的收穫。親眼目睹地下水湧出的液化景象，同時也解開了心中存在已久的迷惑。

經過好幾個假日的調查研究後，老師開始指導我們如何做粒徑分析，因樣本數有近 50 個之多，我們一個一個徒手搖篩，既辛苦又無效率。所幸幾天後來了一位小幫手叫搖篩機，讓我們得以準時完成進度，在期限前完成報告，前往市賽的舞台。記得在市賽時，我們真的很緊張，聽到別組報告時還一直想：慘了！慘了！我們會不會沒希望了。還好在報告完畢後評審還給我們一些修改報告的建議，使我們重新燃起了希望，終於在市賽中脫穎而出，代表台南市進到全國參賽。

全國科展果然競爭激烈，整個場地擠滿了來自各縣市的菁英，而在報告時也比市賽多了一組評審，所以我們要報告兩次及回答兩組評審的問題，讓我們倍感緊張。在這次的研究過程中，有許多土壤液化的熱門議題都是我們平時比較少接觸的，所以指導老師也帶領我們前去觀摩大學或研究單位所做的試驗，讓我們大開眼界，知道該如何進行後續的研究及維持團體合作的重要性。實驗過程中難免有些不愉快的經驗，導致一些意見不合的摩擦，加上一些小插曲的擾亂等等，都需要極高的 EQ 和時間才能克服。

名利本乃皆為身外之物，在這次研究過程中讓我們感到收穫最多的就是學到了不少做研究的方法及團體互動中問題的發現及解決方式。最後還要特別感謝指導老師的大力協助與指導，我們才有如此豐碩的成果。雖然過程有挫折，有失敗，但這一切都值得的了！



參加第 56 屆全國科展佈置結束後大家合影留念。



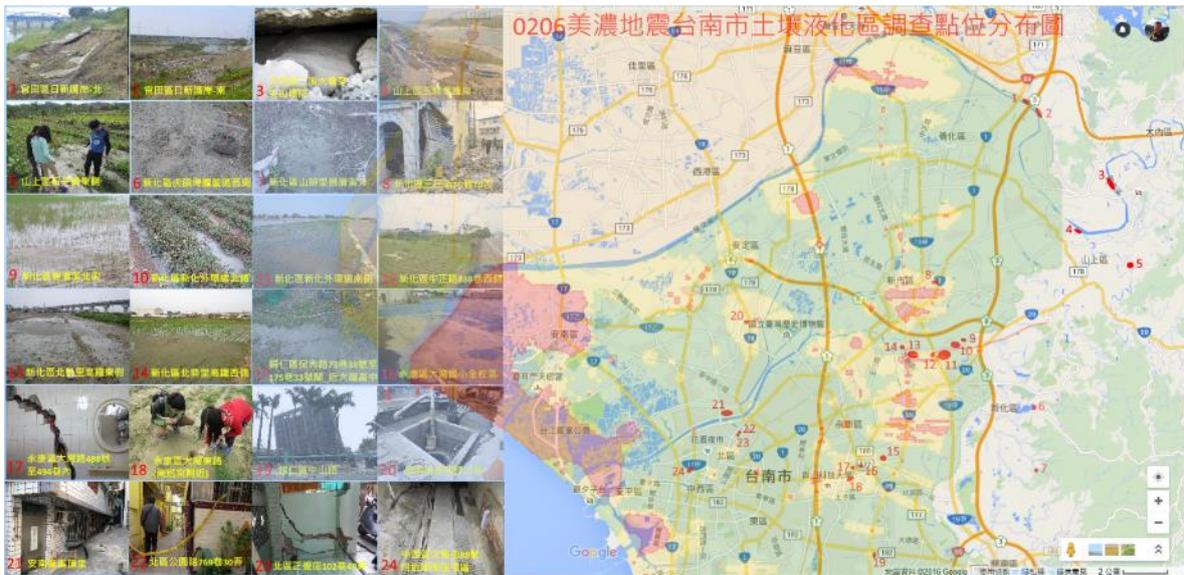
採集的土壤液化土樣帶回實驗室一一進行物理性分析及記錄。



在大太陽底下進行土壤液化的實地調查，備極辛苦。

摘要

本研究以民國 105 年 0206 美濃地震引起的台南市大範圍土壤液化為背景，並與民國 99 年 0304 桃源地震(原稱甲仙地震)做比較，研究發現新化區的土壤液化區重複發生機率高，而且液化區域、噴砂量和噴砂土樣粒徑範圍隨震度變大(新化 PGA=401gal)而增大。研究也發現不同顏色的噴砂是來自不同的地層深度(約 2m~5m)，甚至噴砂的裂縫也略有方向性(NE-SW)，與地震震波傳遞方向近乎垂直。另外，由地震的震測波速圖譜可以知道本次液化深度可達 20 公尺，也與實際噴砂點符合，噴砂的力量(超額孔隙水壓)也可衝破柏油路和填土層。研究也發現液化的土樣平均粒徑(D₅₀)大小與河流、舊河道或水域有關，約在 0.10mm 上下，由這些數據和現地的調查、訪問，或許可以發現一些土壤液化的訊息，也可以和已知的土壤液化潛勢圖資做比對。



一、研究動機

民國 99 年 3 月 4 日的一場地震，震出了大家的記憶，也造成新化部分地區的土壤液化問題。當我們去年還在思考這次是不是再做一次土壤液化主題(姐姐六年前的研究主題)，心裡還在想要如何進行這次的研究，沒想到在民國 105 年 2 月 6 日的清晨 3 時 57 分又再次發生一次芮氏規模 6.6 的強震，新化地區震度達七級(PGA=401gal)，除了人員傷亡之外，也震出了嚴重的土壤液化問題。

本次地震土壤液化區不再限於新化，範圍更擴大到近十個行政區，也影響到了許多住家的安全。我們想了許多的問題，包括本次地震造成的土壤液化範圍有多大？新化液化區域的變化？土壤液化的噴砂成分有何不同(與 0304 地震比較)？噴砂裂縫或走向是否與本次地震特性有關？與古河道的關係？地底下的地層結構？我們學校也在液化區嗎？一連串的問題，都等待著我們一一去探索。

二、研究目的

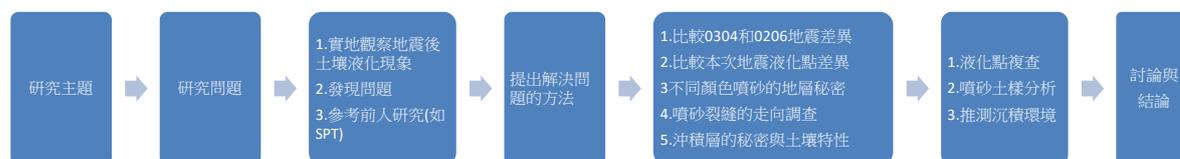
- (一)了解 0206 地震造成的土壤液化分布範圍。
- (二)比較 0304 地震與 0206 地震土壤液化的差異。
- (三)調查各種土壤液化現象及差異。
- (四)了解 0206 地震各液化場址的液化噴砂土樣特性。
- (五)探討河流、古河道或池塘與土壤液化的關係。

三、研究設備與器材

google 地圖、繪圖軟體、GPS、塑膠拉鍊袋、傾斜儀、測距儀、皮尺、各粒徑篩網、搖篩機、電子秤、塑膠盆、相機、觀摩震測試驗及 SPT 操作等。

四、研究過程與結果

(一)研究方法流程：



(二)文獻探討：

1.0304 地震土壤液化區域：

民國 99 年 3 月 4 日(俗稱甲仙地震)在桃源區和茂林區交界附近發生芮氏規模 6.4 地震，新化區震度五級(後來修正為六級)，新化地區地表加速度 252gal(=cm/s²)，造成新化區北勢里、太平里、東榮里及山腳里部分地區的土壤液化(第 50 屆全國科展，2010)。

2.土壤液化和地質條件：

土壤液化一般主要出現在分布深度較淺，充滿水的砂質土壤或粘土，而且地層底部排水比較差(如黏土層)。如果外力反覆震盪(如地震)，只要時間夠長，鬆散的土壤因受到壓縮，內部空隙減小，而擠壓孔隙水，導致空隙內水壓升高，砂粒間的結合力減少或消失。當水壓升高到超過土壤內承受的外部壓力時，加上水分不能從地底排出，就會產生土壤液化(線上維基百科)。

3.0304 地震新化土壤液化場址地質調查結果：

民國 99 年在新化地區共進行了八個 SPT(標準貫入)試驗，發現北勢里高鐵附近和太平里離仔尾(現新化外環道南側)，深度在 14m 至 20m 間有厚層黏土外，其餘地層除表土和薄層黏土外，大部分的土層還是以容易發生液化的無凝聚性粉質砂土為主。當時有設兩個地下水觀測井，平均地下水位深度約在 1.8m 至 2.4m 之間(黃富國，2012)。

(三)0206 地震發生的土壤液化影響範圍更廣

1.0206 地震的土壤液化場址調查

105 年 2 月 6 日震央發生於高雄市美濃地區芮氏規模 6.6 地震，最大震度為臺南市新化 7 級(105 年 3 月修正)，與同樣發生於臺灣南部的 1964 年臺南白河地震和 2010 年高雄甲仙地震的規模類似(2016 年高雄美濃地震，維基百科)。而 99 年只造成新化地區土壤液化，但這次液化範圍卻達十個行政區之多，分別為新化區、山上區、官田區、大內區、新市區、永康區、歸仁區、安南區、北區和中西區等，可能還有未被發現的地方。

因區域太廣，我們只介紹幾處有明顯土壤液化之場址供參考，其他液化細部分布圖及液化所在位置代表點 GPS 座標，因頁數限制，將呈現於展覽現場。

2.幾個比較特別的液化區介紹

(1)山上區石子崎東側土壤液化區

這是本研究作者之一的舅公農地，知道我們在做土壤液化帶我們去調查的私人土地液化噴砂有五處以上，而且靠近菜寮溪，利用 Google Map 測距離約有 138m，我們懷疑它們是位於以前的舊河道上。(如圖 1 和照片 1~4)



圖 1 山上區石子崎東側土壤液化區與菜寮溪測距。



照片 1 山上區石子崎東邊的一處農地發生三塊田的土壤液化。



照片 2 液化噴出的細砂用腳踩踏後又很快發生液化，地下水冒出。



照片 3 較西側的農地也發生土壤液化。



照片 4 液化點附近路面因地震發生斷裂。

(2)新化區北勢里和太平里土壤液化區

本次 0206 地震造成的土壤液化，在新化區北勢里和太平里造成很大面積的土壤液化，液化的噴砂也很壯觀。有整齊排列的，有不規則排列的；噴砂形成類似泥火山造型，有的規模很大，有的規模很小；大部分的排列都具有方向性，只有少數沒有方向性；噴出的細砂或粉砂顏色大部分是土黃色，有一些是灰色砂或青灰色砂。這些土壤液化有一些區域性，與民國 99 年的液化區域比較，整體面積都有擴大的現象。本次地震造成土壤液化的噴砂現象於新化區的比較詳如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 0206 地震新化地區土壤液化形式一覽表

地點	照片	說明
北勢里高 鐵西側		<p>2月6日地震當天北勢里一帶就馬上發生土壤液化，這是第一時間捕捉到的液化景象，很多地下水因地震產生很高的水壓，帶著砂土沿著裂縫紛紛噴到地面，形成這些奇特的地質現象，噴砂的地點都和民國99年的0304地震類似，但噴孔位置有些不太一樣。</p>
北勢里高 鐵東側		<p>北勢里西側是第一次發現跨過高鐵橋墩的液化區，噴砂地點也很集中，大約分布在三塊田內，但大部分已被農夫恢復了。</p>

表 1-2 0206 地震新化地區土壤液化形式一覽表

地點	照片	說明
<p>太平里新化外環道路南側</p>		<p>太平里新化外環道路南側的液化區域比民國 99 年面積還大許多，噴砂量也非常多，從農夫清除的沙子幾乎可以堆出一座小山，就可以知道這次地震的能量應該比六年前的地震還大。</p>
<p>太平里新化外環道路北側</p>		<p>太平里新化外環道路北側的液化區域在民國 99 年並未發現，這次的液化面積也非常大，噴沙的地點包含鳳梨田、稻田和地瓜田等。接近北邊崩溝溪的噴砂顏色多為青灰色；距離較遠者為棕黃色砂。</p>

(3)永康區大灣附近及歸仁區保吉路附近土壤液化區

永康區大灣附近和歸仁區保吉路附近也是土壤液化比較嚴重的地方，影響範圍還包含住宅區，甚至有在校園內發生土壤液化的案例，住宅區影響較嚴重的則發生在大灣路 488 號和 494 巷之間，嚴重的甚至影響到住家的安全，下陷的地基造成房子產生裂縫或傾斜，幾乎可以從一樓看到三樓。

本次地震造成永康區和歸仁區土壤液化的區域包含農地和住宅區，詳細的比較如表 2-1 和表 2-2 所示。

表 2-1 0206 地震永康區大灣東路和歸仁區保吉路北側土壤液化形式一覽表

地點	照片	說明
永康區大灣東路兩側液化區		<p>大灣東路的液化區分布在南巡宮附近。道路南邊為農田，液化區域比較大，而且有許多噴砂現；北側為住宅區，房子有部分下陷、裂縫及傾斜，但不嚴重。分布面積約有 60000m²。</p>
歸仁區保吉路 73 巷 38 號至保吉路 175 巷 33 號之間土壤液化區		<p>保吉路的液化區是大灣東路液化區的東側延伸，分布在保吉路的北邊農田、工廠及住宅區，距大灣高中約只有 200 公尺。居民轉述地震當天田裡湧出許多地下水。</p>

表 2-2 0206 地震永康區大灣國小和大灣路 494 巷土壤液化形式一覽表

地點	照片	說明
永康區大灣國小校內液化區		<p>大灣國小地震當天全校即湧出許多下水，一開始以為水管破裂，看到許多噴砂現象，才確定為土壤液化。本次地震也造成少部分大樓傾斜，但不嚴重。</p>
永康區大灣路 488 號至 494 巷之間液化區		<p>大灣路 494 巷附近都是住宅區，地震造成房屋旁邊噴砂，地下水湧出，並有多戶住宅產生裂縫或下陷傾斜，測得最大傾斜角約有 16 度。</p>

(四)新化地區 0304 地震與 0206 地震土壤液化有什麼差異

民國 99 年 3 月 4 日早上 8 時 18 分在高雄山區發生芮氏規模 6.4 的強震，但土壤液化只發現在新化地區，而 105 年 2 月 6 日的美濃地震在新化地區也發生了大規模液化的現象。比較這兩次地震，經我們現地調查發現如下：

1. 液化區重複發生機率高

查閱文獻資料，我們知道新化區曾於民國 35 年、53 年及 99 年發生過土壤液化，而且重疊性非常高，也就是以前發生過液化的地方，未來也可能再度發生液化。以下將民國 99 年與 105 年的土壤液化區域做比較，繪製地圖如圖 2 和圖 3。



圖 2 99.3.4 與 105.2.6 新化區北勢里土壤液化區域比較圖

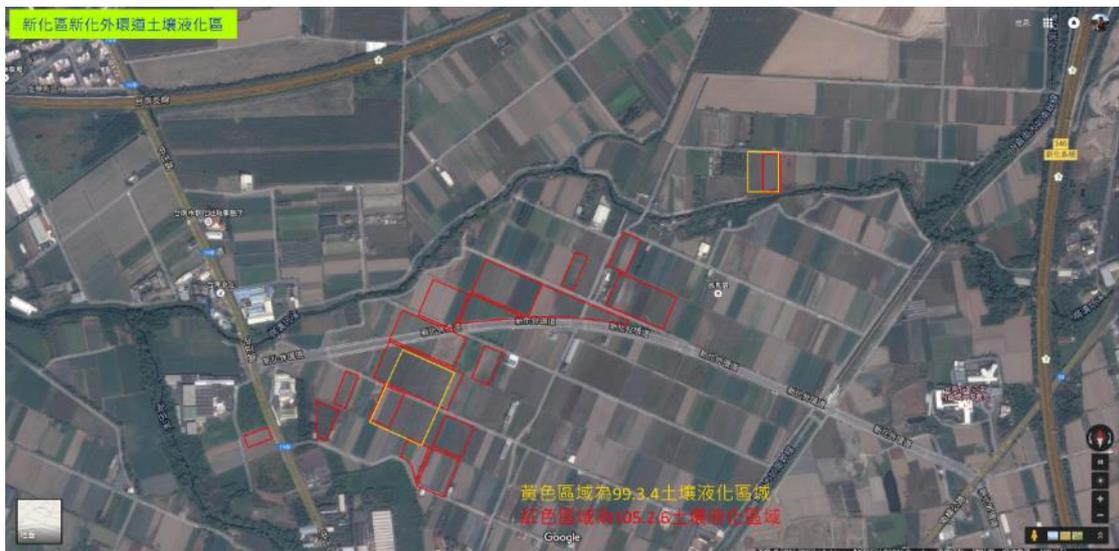


圖 3 99.3.4 與 105.2.6 新化區太平里新化外環道土壤液化區域比較圖

2. 0206 地震比 0304 地震液化範圍大

新化區的土壤液化區主要分布在新化外環道路西段的南北兩側、北勢里的高鐵兩側，液化的區域都比民國 99 年的範圍還大，如跨過新化中正路西側和高鐵西側等。

3. 0206 地震比 0304 地震液化的噴砂量多

北勢里的噴砂範圍大但總噴砂量看起來好像沒有比民國 99 年多，但新化外環道(太平里)南北兩側的噴砂量卻比民國 99 年多出許多，也許還可能堆出一座小山。

民國 99 年與 105 年發生在新化地區的土壤液化現象比較，如照片 5~10。



照片 5 民國 99 年 0304 地震北勢里
高鐵東側土壤液化。



照片 6 民國 105 年 0206 地震北勢里
高鐵東側土壤液化。



照片 7 民國 99 年 0304 地震北勢里
普賢院前土壤液化。



照片 8 民國 105 年 0206 地震北勢里
普賢院前土壤液化。



照片 9 民國 99 年 0206 地震新化外
環道南邊鳳梨田土壤液化。



照片 10 民國 105 年 0206 地震新化
外環道南邊鳳梨田已變成稻田土壤
液化。

(五)各液化區域於本次地震的災害有何差異

1.液化造成農田災損

0206 地震造成的農田災損以新化區太平里新化外環道南北兩側較嚴重，其次為新化區北勢里和永康區大灣東路南側，影響包括稻田、鳳梨田、地瓜田、玉米田和小麥田等，如照片 11~12。



照片 11 新化區太平里農田因地震土壤液化噴砂，造成稻田災損。



照片 12 地震後稻田清理的液化土壤可以堆成好幾座小山。

2.液化造成堤防災損

地震造成土壤液化的災害不止在一般的平地，曾文溪也發生好幾處液化崩堤現象，堤防內也有發現液化噴砂，其中最嚴重的還是護岸或堤防的側崩，幾乎要把曾文溪給堵塞了，而且一連好幾處，如照片 13~16。



照片 13 官田區日新護岸土石因土壤液化發生側崩現象。



照片 14 大內區二溪大橋尖山堤防破裂水泥內的液化噴砂。



照片 15 山上區山上淨水廠後方玉峰堰因土壤液化也發生側崩現象。



照片 16 大內區二溪大橋旁尖山堤防內農田發生液化噴砂。

3.液化造成建物災損

0206 地震的土壤液化造成建物災損最嚴重的是安南區的溪頂里(惠安街至府安路四段之間)、新市區三民街 50 巷 10 弄和歸仁區中山路等，其次為中西區的文和街、北區的正覺街 102 巷 40 弄和公園路 769 巷 30 弄之間、永康區大灣國小和大灣路 494 巷之間等，造成建物下陷、傾斜、房屋龜裂和圍牆倒塌，如照片 17~20。



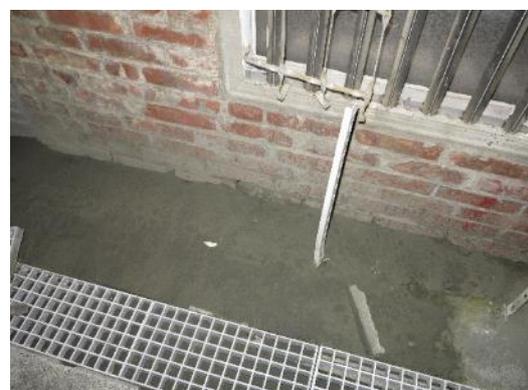
照片 17 安南區府安路四段 176 巷新建透天厝土壤液化房屋傾斜。



照片 18 新市區三民街 50 巷 10 弄透天厝土壤液化噴砂房屋下陷傾斜。



照片 19 北區正覺街 102 巷 40 弄房屋下陷傾斜，牆角出現噴砂。



照片 20 中西區文和街道路兩側房屋下陷傾斜，多處牆角出現噴砂。

4.液化造成地下水管災損

自來水因液化災損的地方比較不容易看到，但在這次的地震也造成了許多地下自來水的災損，這些災害可能部分是土壤液化造成，因為水管也會經過液化區，土壤失去承載力，水管即發生斷裂情形，如照片 21、22。



照片 21 安南區長和路三段土壤液化造成大自來水管自來管脫落漏水。



照片 22 永康區有多處地下水管疑似土壤液化造成破損。

(六)土壤液化為何會有不同顏色的噴砂

1.土壤液化噴至地表的細砂或粉砂有哪些顏色？

在新化區北勢里及太平里於民國 99 年 3 月 4 日地震後，淡江大學黃富國教授曾在這裡做過 SPT 試驗，共五個井位(姐姐六年前的科展研究)。105 年 2 月 6 日這些再度液化的農田地底下到底蘊藏了什麼秘密，激起了我們很大的好奇心。

這次土壤液化噴出的砂子顏色主要以棕黃色砂為主，和六年前的液化比較，今年的噴砂顏色出現了很多灰色或青灰色，接近河流的噴砂也多數是灰色砂，甚至同一個噴砂孔，竟出現兩種不同顏色的砂或單一顏色的砂，地底下的砂層世界到底長得如何，有待我們一探究竟。我們取了五個 SPT 試驗井再做一次整理如表 3-1~表 3-5。

表 3-1 新化區北勢里普賢院北側

試驗井編號	深度(m)	土壤分類	土壤顏色
BH-1-S1	0.55-1.00	CL	棕黃色粉土偶夾粉質黏土
BH-1-S2	1.55-2.00	CL	棕黃色砂質粉土偶夾粉質黏土
BH-1-S3	2.55-3.00	SP-SM	棕青灰色粉質細砂
BH-1-S4	3.55-4.00	SM	棕灰色粉質細砂夾砂質粉土
BH-1-S5	4.55-5.00	SM	同上
BH-1-S13	14.05-14.50	CL (再度出現黏土)	灰色粉質黏土

說明：1.SP 為不良級配的砂、SM 為粉土質的砂、ML 為低塑性的粉土、CL 為低塑性的粘土。

2.S6~S12 為 SM 或 SP-SM。

表 3-2 新化區北勢里普賢院西北側

試驗井編號	深度(m)	土壤分類	土壤顏色
BH-2-S1	0.55-1.00	CL	棕黃色粉土偶夾粉質黏土
BH-2-S2	1.55-2.00	SM	棕黃色粉質細砂
BH-2-S3	2.55-3.00	CL	棕灰色粉質細砂夾砂質粉土偶夾粉質黏土
BH-2-S4	3.55-4.00	CL	同上
BH-2-S5	4.55-5.00	SM	灰色粉質細砂夾薄層棕黃色粉質細砂
BH-2-S13	14.05-14.50	CL (再度出現黏土)	灰色粉質黏土(含貝屑)

說明：1.SP 為不良級配的砂、SM 為粉土質的砂、ML 為低塑性的粉土、CL 為低塑性的粘土。

2.S6~S12 為 SM 或 SP-SM。

表 3-3 新化區太平里離仔尾(腳踏車電鍍工廠旁)

試驗井編號	深度(m)	土壤分類	土壤顏色
BH-3-S1	0.55-1.00	ML	棕黃色粉質細砂
BH-3-S2	1.55-2.00	SM	同上
BH-3-S3	2.55-3.00	CL	棕黃色砂質粉土
BH-3-S4	3.55-4.00	SM	青灰色砂質粉土
BH-3-S5	4.55-5.00	ML	棕黃色砂質粉土
BH-3-S12	12.55-13.00	CL (再度出現黏土)	灰色粉質黏土

說明：1.SP 為不良級配的砂、SM 為粉土質的砂、ML 為低塑性的粉土、CL 為低塑性的粘土。

2.S6~S11 為 SM 或 SP-SM。

表 3-4 新化區太平里新永就(崩溝溪河邊)

試驗井編號	深度(m)	土壤分類	土壤顏色
BH-4-S1	0.55-1.00	CL	棕黃色粉土偶夾粉質黏土
BH-4-S2	1.55-2.00	CL	灰色粉質細砂偶夾粉質黏土
BH-4-S3	2.55-3.00	ML	灰色砂質粉土
BH-4-S4	3.55-4.00	ML	青灰色粉質細砂
BH-4-S5	4.55-5.00	CL-ML	灰色砂質粉土
BH-4-S6	5.55-6.00	SM	青灰色粉質細砂
BH-4-S11	29.55-30.00	CL (再度出現黏土)	灰色粉質黏土

說明：1.SP 為不良級配的砂、SM 為粉土質的砂、ML 為低塑性的粉土、CL 為低塑性的粘土。

2.S6~S10 為 SM 或 SP-SM。

表 3-5 新化區北勢里普賢院西側

試驗井編號	深度(m)	土壤分類	土壤顏色
BH-7-S1	0.55-1.00	CL	棕黃色粉土
BH-7-S2	1.55-2.00	CL	灰色粉質細砂
BH-7-S3	2.55-3.00	CL	灰色砂質粉土
BH-7-S4	3.55-4.00	ML	青灰色粉質細砂
BH-7-S5	4.55-5.00	ML	灰色砂質粉土
BH-7-S11	11.05-11.50	CL (再度出現黏土)	灰色粉質細砂偶夾粉質黏土

說明：1.SP 為不良級配的砂、SM 為粉土質的砂、ML 為低塑性的粉土、CL 為低塑性的粘土。

2.S6~S10 為 SM 或 SP-SM。

結果討論：

- (1)根據 SPT 的試驗資料，發現新化區北勢里的土壤液化區表層(約 2m 內)有部分黏土外，介於 2m 至 14m 之間多為砂質粉土，偶夾粉質黏土。
- (2)地層底下土壤顏色依序為棕黃色、棕灰色或棕青灰色、灰色等。

2.不同顏色的砂子在地底下代表著什麼意義？

- (1)0206 地震在新化區北勢里發生的土壤液化，噴出的粉砂顏色發現有兩種顏色，根據 SPT 的試驗結果，大概可以知道這些噴砂的順序；地震發生時可能先噴淺層的棕黃色粉質細砂，更深層的青灰色或灰色砂再跟著噴至地表，形成有趣的噴砂景觀，如照片 23~26。
- (2)北勢里 0206 地震的噴砂與六年前的地震比較，這次噴砂的顏色除了棕黃色外，噴青灰色砂的面積比 99 年的地震多出許多，表示與這次地震震度比較大有關，液化的深度也更深，如照片 27~28。



照片 23 新化區北勢里普賢院前噴出各種顏色的砂，與砂層的深度有關。



照片 24 普賢院前噴出兩種顏色的砂，棕黃色為淺層砂，青灰色為深層砂。



照片 25 普賢院西北側的地瓜田也有噴兩種或兩種以上顏色的砂。



照片 26 北勢里近高鐵的田裡，也噴了兩種顏色的砂，後面大面積的灰色砂是來自比較深層的砂層。



照片 27 北勢里高鐵附近的青灰色砂比 99 年的棕色砂來自更深層。



照片 28 太平里青灰的砂來自約 4~6m 深的地層，與崩溝坑溪相距約 200m。

(七)土壤液化造成的噴砂或裂縫走向與 0206 地震有何相關

地震造成的噴砂，仔細觀察幾乎都是從撕裂的縫隙噴出，也都有一些方向性，或許與本次地震的特性有關，讓我們一起去尋找答案吧！

1.0206 地震的特性

根據地震測站的加速度反應譜(現場展示)，可以發現這次的地震以新化區的水平加速度最大，最大的東西向 PGA 值達 401gal(= cm/sec^2)，已達巨震(400gal 以上)七級的標準。根據前人的研究，加速度約 150gal 以上(震度五級以上)，地質條件也達液化潛能，即可能發生土壤液化。民國 99 年(東西向 PGA 值達 252gal)和 105 年的兩次地震都已達土壤液化的標準，所以這次的液化範圍在台南地區就已達十一個行政區，影響範圍除了農田，還有許多住宅區。

2.0206 地震各農地噴砂的方向比較

0206 地震造成的土壤液化噴砂在我們野外的調查，可以看出它們幾乎都是從地層的裂縫所噴發，而且似乎都具有一些方向性，甚至我們也和 99 年的地震土壤液化做比較，結果如圖 4 和圖 5，野外調查詳如照片 29~34。

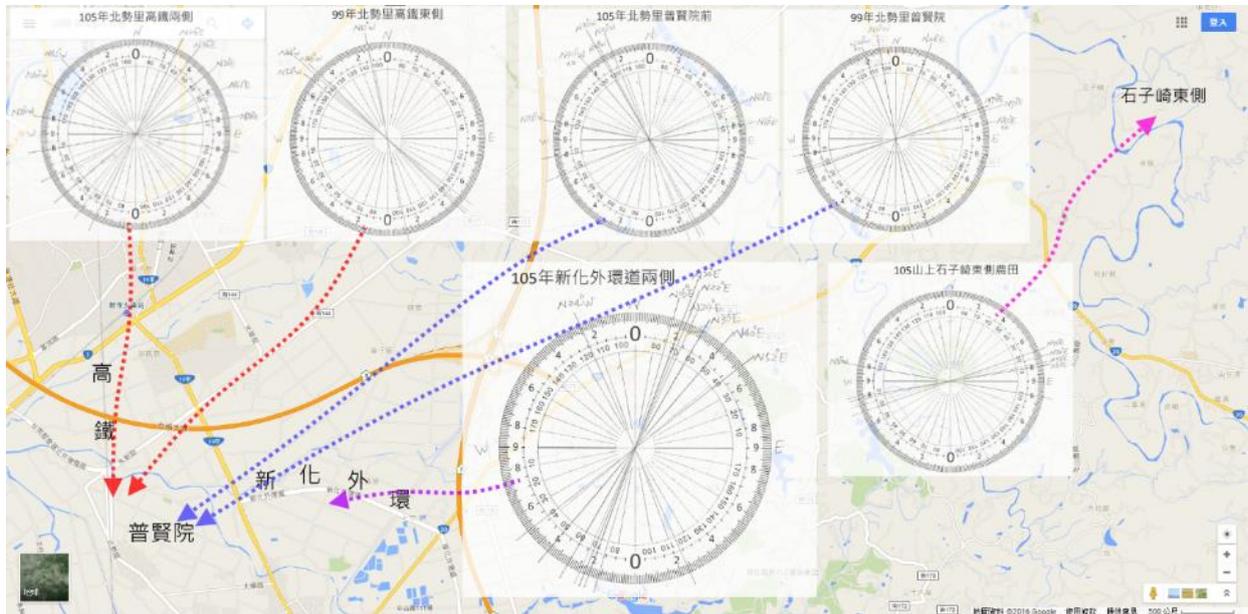


圖 4 新化區及山上區土壤液化噴砂裂縫走向分析圖



圖 5 永康區及歸仁區土壤液化噴砂裂縫走向分析圖

結果討論：

(1)0206 地震裂縫多為 NE-SW 走向，其次為 NW-SE 走向，似乎為美濃

到台南野外土壤液化區的連線垂直方向，或許有一些相關性存在。但民國 99 年新化區北勢里的噴砂裂縫 NE-SW 向和 NW-SE 向約各一半，同一方向比較不明顯。

(2)根據氣象局研判，由於此次地震的斷層在運動方向呈現平移帶點小幅度的逆衝的情況，震波力量是由東往西北方向錯動，與噴砂的多數裂縫方向近乎垂直，是否為垂直擠壓造成，兩者是否相關，我們無法證實。



照片 29 北勢里普賢院前土壤液化噴砂裂縫走向量測。



照片 30 北勢里的一處噴砂裂縫走向為 $N63^{\circ}E$ 。



照片 31 新化外環道南側地瓜田的噴砂量測與記錄。



照片 32 新化外環南側一處噴砂裂縫走向為 $N16^{\circ}E$ 。



照片 33 大灣東路南側農田的一處噴砂裂縫量測為 $N10^{\circ}W$ 。



照片 34 山上區石子崎東側一處農田噴砂裂縫量測為 $N78^{\circ}E$ 。

(八)新化區北勢里一處農田的地下土壤液化變化

1.如何更清楚了解土壤液化層地底下的秘密

雖然 S 波只能藉由固態物質傳播，但地層含水一樣有固態的性質，所以可以用來測量土壤液化。P 波和 S 波運用在土壤液化的研究發現：在液化區域內，S 波速度明顯偏低，P 波速度卻相反偏高。(石瑞銓，2012)

本研究經取得地主姚老師農田試驗的同意，並觀摩中正大學地震研究所石瑞銓教授及研究生在北勢里的震測實驗，田裡的震測結果(測線 A)，S 波波速變化顯示田裡的土壤高度含水，南邊稍少，測線 B 含水量也很高。測線 C 在姚老師西側田裡，南邊地面很硬，北邊鬆軟。

震測試驗地點及結果如圖 6~圖 9，顯示新化區北勢里的農田底下的確有明顯的土壤液化現象。

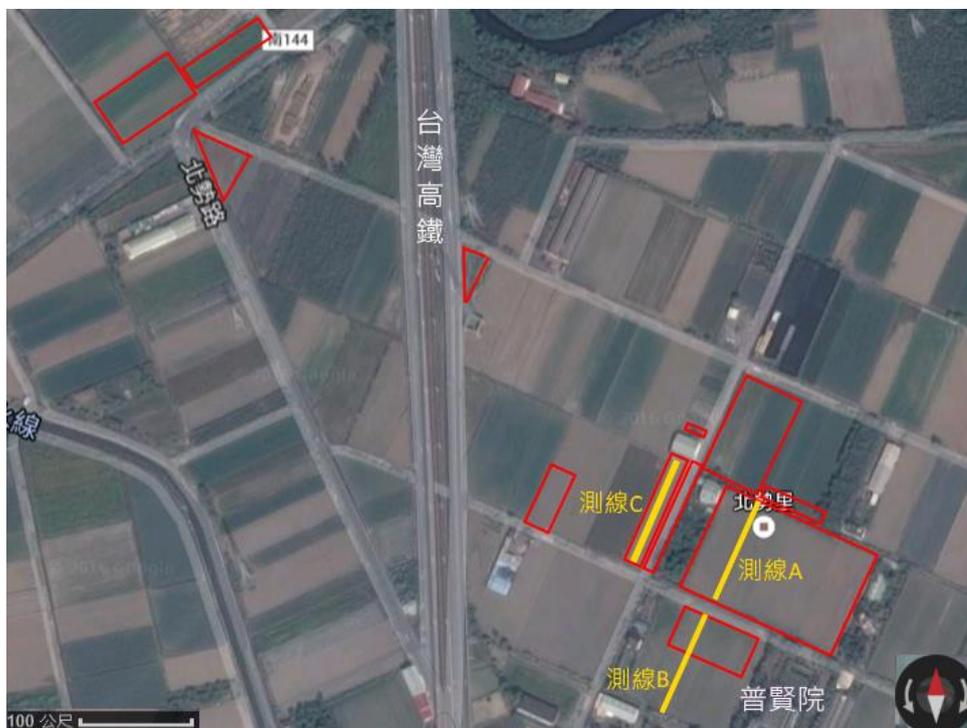


圖 6 新化區北勢里 105.2.22 及 105.3.5 震測測線位置圖

2.0206 地震後第 16 天震測結果

0206 地震後所有液化區域都有大量地下水湧出，甚至有噴砂現象，所以沒辦法進行震測試驗，約等十幾天才可以進行詳細踏查及進行震測。根據 50 屆全國科展的研究調查發現：北勢里附近兩口水井監測，平均水位離地表約深 183cm 和 241cm。可見這裡地下水位相當高，也是造成土壤液化主因之一。

北勢里震測地點的液化現象，以及我們觀摩震測與炸點(震源產生)敲擊體驗的相關活動如照片 35~38。

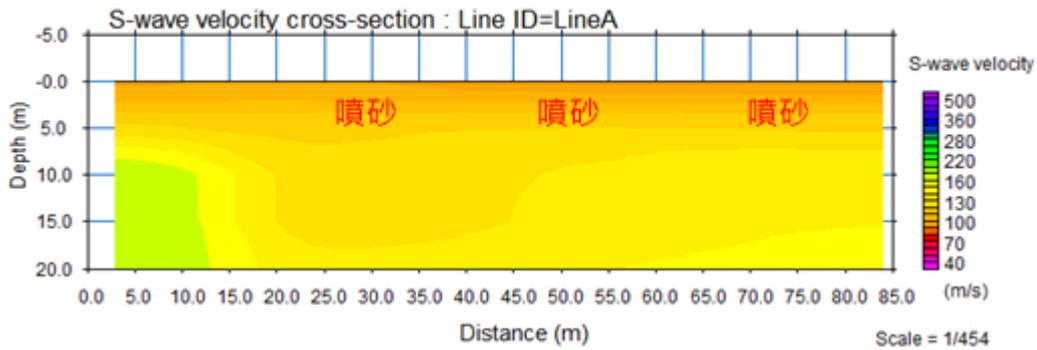


圖 7 新化區北勢里 105.2.22 測線 A 的 S 波速度變化圖譜(石瑞銓, 2016)

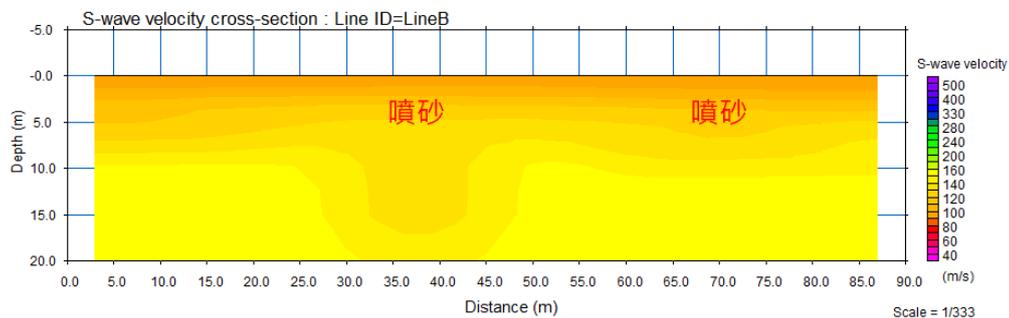


圖 8 新化區北勢里 105.2.22 測線 B 的 S 波速度變化圖譜(石瑞銓, 2016)

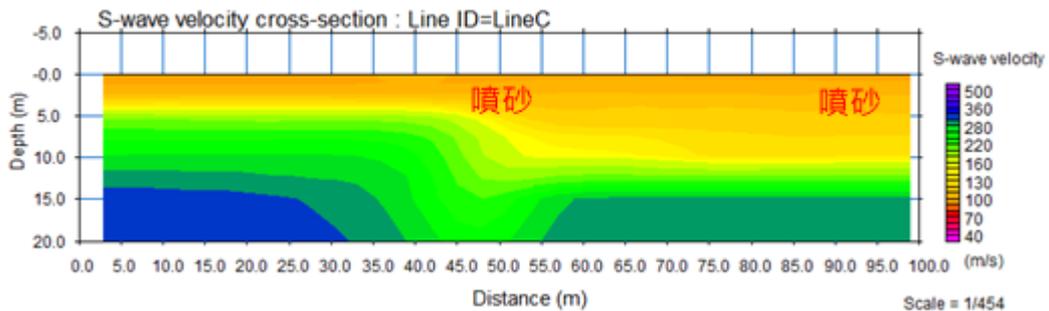


圖 9 新化區北勢里 105.2.22 測線 C 的 S 波速度變化圖譜(石瑞銓, 2016)

結果討論：

- (1)測線 A 的北邊 S 波波速在深度 20 公尺內約 100m/s 至 160m/s 之間，南邊 S 波發生相同波速的深度約在 8 公尺內，顯示這些範圍都是容易液化的區域，當然也要看地質條件(如砂質或粉砂質土壤)。
- (2)測線 B 的效果也很好，整個區域在 20 公尺間 S 波波速也約在 100m/s 至 160m/s 之間。
- (3)測線 C 的北邊 S 波波速在深度 15 公尺內約 100m/s 至 280m/s 之間，偏南邊中間處的 S 波發生相同波速的深度加大超過 20 公尺，與實際噴砂點相當符合。



照片 35 北勢里 0206 地震當天測線 A 中段土壤液化噴砂及地下水湧出。



照片 36 北勢里 0206 地震當天測線 A 北段土壤液化噴砂及地下水湧出。



照片 35 北勢里 0206 地震當天測線 C 北段土壤液化噴砂及地下水湧出。



照片 36 觀摩中正大學研究生於北勢里測線 B 的震測施作情形。



照片 37 我們實際操作震測炸點的敲打所產生的 P 波和 S 波。



照片 38 好重的鐵鎚，敲擊時不能產生彈跳情形，可以體驗震測的辛苦。

(九)土壤液化噴砂力量到底有多大

液化的噴出力量到底有多大？這是很難回答的問題，而且也非常不容易做測試，但是觀察人工填土層、水泥地或柏油路面也是一個不錯的量測方法。在這次地震我們共發現超過四個地方有這種現象，可想而知當時的壓力到底有多大。

從前面表 3-1 到表 3-5 大概可以知道這次地震的液化噴砂大約從地下 3m~5m 的砂層所噴出，但部分砂量比 0304 地震還多，從七級震度來看，液化的深度還會更深，由圖 7~圖 9 也可以看得出來，實際液化深度幾乎可以達到 20m 以上。

1. 新化區北勢里液化噴砂衝破馬路柏油

0206 地震當天北勢里發生土壤液化，地下水及泥砂在 133 號工廠前馬路出現許多處土壤液化，噴砂不只噴至水溝，還衝破 1.5m 的馬路高度，加上地面下的深度應已超過 5m。(如照片 39、40)



照片 39 北勢里 133 號前水溝噴砂與路面噴砂相距約 1.5m。



照片 40 路面青灰色砂的噴發深度約 $5m+1.5m=6.5m$ 。

2. 新化外環道液化噴砂衝破農地填土層

在新化外環道旁邊(南側)有一圍籬圍起來的農地，可以發現這些都是填土層，約比原來農田約高 1m，還有外環道分隔島的公路花園也是填土層，比原來農田約高 1.3m，也都有明顯的土壤液化噴砂，加上地面下的深度也應已超過 5m。



照片 41 新化外環道南側一處填土農田，圍牆內外的噴砂相距約 1m。



照片 42 新化外環道公路花園噴砂，與原來農田高度相距約 1.3m。

另外，0206 地震的噴砂量和噴砂範圍都比 0304 地震多出許多，所以超額孔隙水壓應該也一定比六年前大。(如照片 41、42)

3. 歸仁區保吉路 175 巷 33 號住宅液化噴砂衝破後院填土層

保吉路巷內(近大灣高中)也有一戶住家填土墊高約有 1.2m，住家後庭院有一處噴砂，讓他們驚訝不已，也表示以前都不曾發生過這種現象。根據住家的描述，地震當天兩側農田的確溢出許多地下水，可以確定兩側農田都是液化區。(如照片 43、44)



照片 43 保吉路巷內的一戶住家與原來農田高度相差約 1.2m。



照片 44 保吉路 175 巷 33 號後庭院的一處裂縫與噴砂。

4. 永康區大灣東路農田液化噴砂衝破填土的農田

連接保吉路的西南側是大灣東路，南側的農田也有許多處噴砂，噴砂點位密度最大的是在南巡宮西南邊農田內，稻田的噴砂與填土層的噴砂高度差約有 1.5m。根據當地農夫的描述，這裡的地下水位都比較高，也有幾處較地的沼澤地。(如照片 45、46)



照片 45 大灣東路南側填土的農田與原來稻田高度相差約 1.5m。

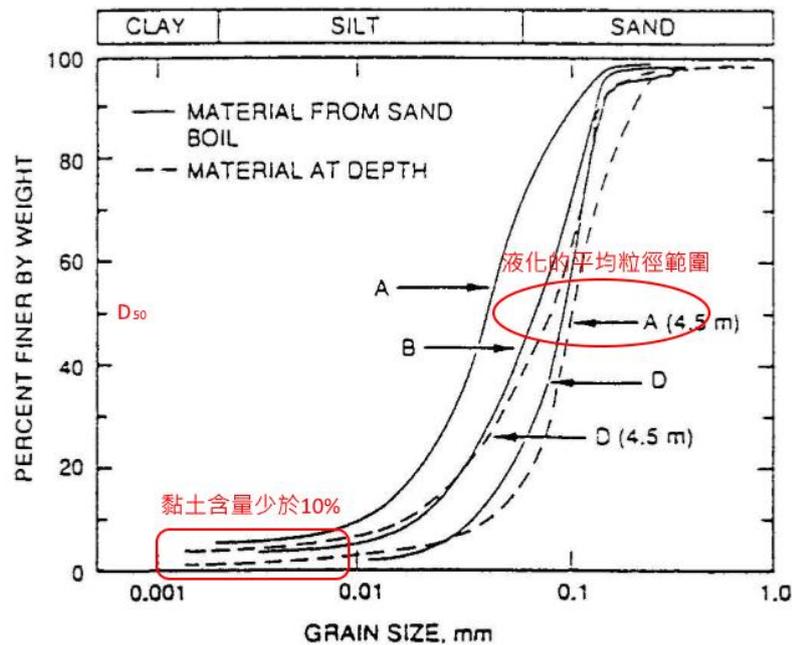


照片 46 南巡宮西南邊填土的麥田出現許多處液化的裂縫及噴砂。

(十)0206 地震各液化場址的液化土樣分析。

Seed 與 Idriss (1976) 研究砂土平均粒徑 D_{50} ，發現淘選良好，顆粒分布較為均勻的細砂或含泥質的細砂最易液化，其 D_{50} 的範圍約介於 $0.08\sim 0.7\text{mm}$ 之間。另外，Tuttle 等人(1990)的研究：液化的土壤顆粒大小是一個非常粉砂略有砂質粉砂與粘土含量小於 10% (圖 10)。這種土壤是一般都存在 1.5m 至 9.0m 之間的深度。

根據第 50 屆全國科展於新化區的土壤液化研究，0304 地震的土壤液化噴砂平均粒徑約在 $0.08\sim 0.15\text{mm}$ 之間。



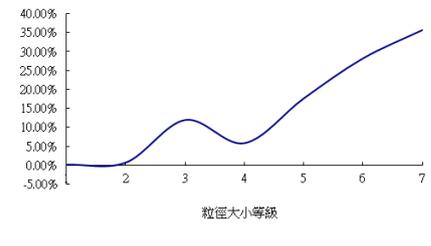
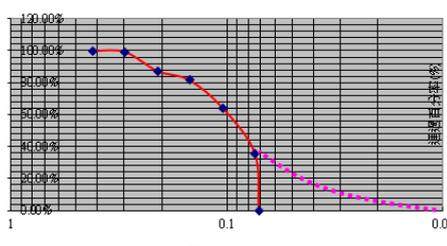
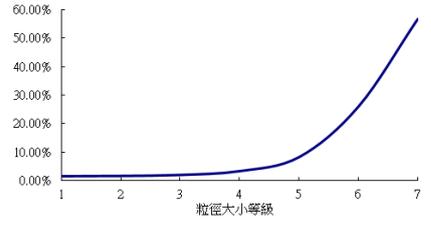
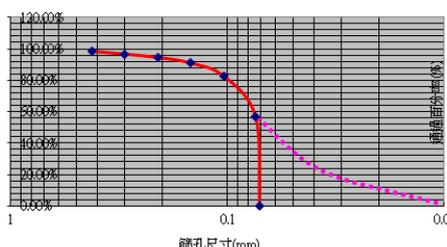
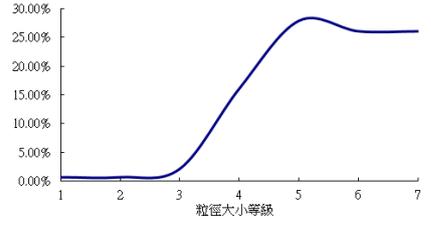
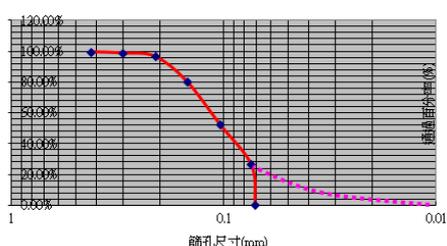
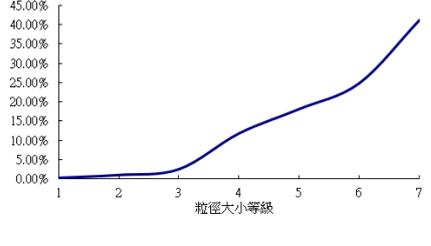
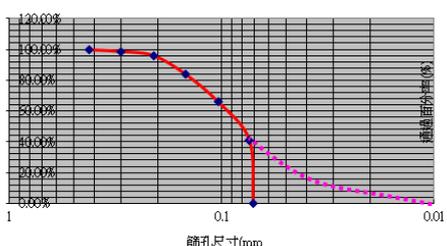
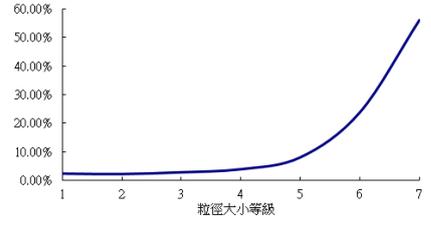
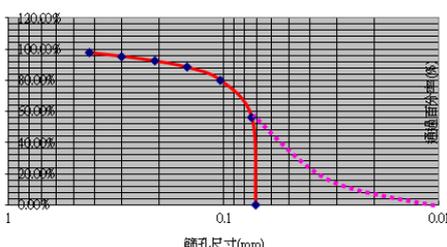
Grain Size Distribution of Soils (after Tuttle et al. 1990)

圖 10 土壤粒徑大小分布及可能液化的粒徑範圍

1.這次 0206 地震土壤液化的沉積物到底有多細小？

本研究我們共取了 45 個土壤液化樣本，如果要全部進行過篩分析恐要花上許多時間，於是我們先從幾個代表性液化點慢慢進行過篩分析，結果如表 4-1、表 4-2 及照片 47~52。過程中我們也參考淡大黃富國教授送驗的土壤物理性質試驗報告做整理，結果如表 5。

表 4-1 0206 地震台南市農田土壤液化噴砂土樣之粒徑曲線分佈一覽表

地點	各粒徑重量百分比	累積通過重量百分比
新化區外環 道路北側鳳 梨田 $D_{50}=0.08$		
山上區石子 崎東側農田 $D_{50}=0.07$		
永康區大灣 東路農田 $D_{50}=0.09$		
歸仁區保吉 路 175 巷農田 $D_{50}=0.08$		
官田區日新 護岸 $D_{50}=0.07$		

說明：(1)橫軸為粒徑大小 1→0.420mm，2→0.297mm，3→0.210mm，4→0.149mm，

5→0.104mm，6→0.074mm，7→<0.074mm。

(2)粒徑在 200 號篩以下受限於「比重計分析」，以圖形修正表示。

表 4-2 0206 地震台南市住宅區土壤液化噴砂土樣之粒徑曲線分佈一覽表

地點	各粒徑重量百分比	累積通過重量百分比
新市區三民街 50 巷 10 弄 $D_{50}=0.14$		
安南區溪頂里惠安街 $D_{50}=0.10$		
北區正覺街 102 巷 40 弄 $D_{50}=0.13$		
中西區文和街 $D_{50}=0.17$		
永康區大灣國小 $D_{50}=0.09$		

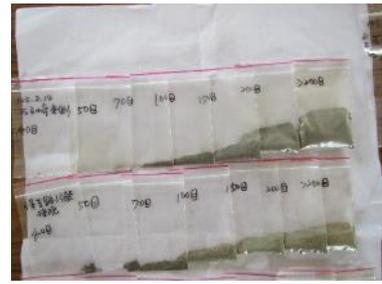
說明：同表 4-1。



照片 47 各液化點的液化土樣粒徑分析。



照片 48 各粒徑秤重及百分比計算。



照片 49 山上區石子崎東側及歸仁保吉路土樣粒徑分布。



照片 50 大灣東路及新化中正路 888 巷土樣粒徑分布。



照片 51 新市區三民街、安南區惠安街及北區正覺街粒徑分布



照片 52 官田區日新護岸及大內區尖山堤防土樣粒徑分布。

表 5 0206 地震台南市土壤液化採樣簡易物理性質一覽表

編號	顆粒大小 Grain Size %				平均粒徑 D ₅₀ (mm)
	礫石 Gravel	砂 Sand	粉土 Silt	黏土 Clay	
1	0	85	13	2	0.189
2	0	86	13	1	0.204
3	0	65	34	1	0.117
4	0	72	27	1	0.109
5	0	82	17	1	0.186
6	0	68	31	1	0.095
7	0	78	21	1	0.161
8	0	75	24	1	0.122
9	0	85	14	1	0.207
10	0	44	53	3	0.066
11	0	52	44	4	0.077
12	0	80	18	2	0.185
13	0	78	19	3	0.173
14	0	61	37	2	0.096
15	0	55	40	5	0.082

編號說明：1.安南區惠安街 161 巷 6 號 2.北區正覺街 102 巷 40 弄 22 號 3.新市區三民街 50 巷 10 弄 23 號
4.新化區北勢里 133 號 5.新化區北勢里 133 號對面 6.新化區北勢里普賢院對面 7.新化區離仔尾田地
大面積液化區旁 8.新化區離仔尾芋田旁 9.新化區離仔尾大面積液化區旁 10.怡東果園(二溪橋尖山
堤防旁) 11.二溪橋堤防內面板破裂處噴砂 12.曾文溪橋頭旁液化 13.日新護岸(流潰液化)
14.日新護岸(隆大高幹 172 左側) 15.二溪尖山堤防內側近溪流(橫向擴散)

結果討論：

- (1) 0304 地震在新化地區造成的土壤液化噴砂的粒徑大小分布約為 0.08 至 0.15mm，0206 地震則為 0.07 至 0.21mm。可以發現震度越大，能產生液化的砂子它們的粒徑大小區間就越大。
- (2) 由表 4-1、表 4-2 及表 5 得知：黃色標示地點，平均粒徑(D_{50})都小於 0.1mm，其中日新護岸、尖山堤防和惠安街都在現今河流旁邊，其他還有新化區虎頭埤露營區和五甲勢的倒厝溪的噴砂平均粒徑也都在 0.08mm 左右。其他小於 0.1mm 的地方我們判斷也可能都是以前的舊河道或埤塘附近，由以下的現場勘查及訪問可以得知。
- (3) 由表 6 得知：0206 地震的液化噴砂，經物理性質試驗，發現的黏土所占比率也都少於 10%，所以完全符合液化的條件。

2.0206 地震各液化區採集的土樣物理性質有何差異？

這次地震造成的土壤液化區域，主要分布在農田、住宅區和河邊(或舊河道)附近，也有古地圖指出住宅區的液化現象，其實就是以前的魚塢、埤潭或內海的區域。

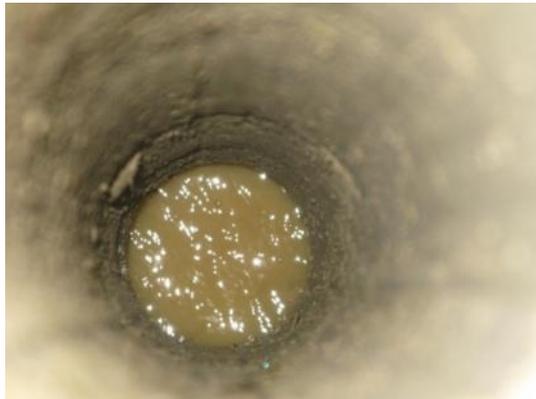
- (1) 住宅區及校園：本次地震發生於住宅區的地點，由北而南分別為新市區三民街和新市國中、安南區溪頂里、北區正覺街和公園路巷內、永康區大灣國小、大灣東路及附近住宅區、歸仁中山路等。液化的土壤粒徑約為 0.09mm 至 0.20mm 之間。
- (2) 農田地區：發生液化的地點由北而南分別為大內區二溪尖山堤防內農田、山上區石子崎東側農田、新化區外環道路南北側和北勢里(高鐵兩側)、永康區大灣東路南側農田。液化的土壤粒徑約為 0.07mm 至 0.21mm 之間。
- (3) 接近河邊(或疑似舊河道附近)：發生液化的地點由北而南分別為官田區日新護岸(國道三號南北兩側)、大內區二溪尖山堤防內側(接近溪流)、山上區石子崎東側菜寮溪邊、新化區虎頭埤旁及五甲勢倒厝溪旁等。液化的土壤粒徑約為 0.07mm 至 0.08mm 之間，平均粒徑偏細。

(十一) 河流、古河道或埤潭與土壤液化的關係

根據過去的研究，發現在現有河道、古(舊)河道、沼澤、新生地及谷地等，極有可能發生液化的潛能。另外，沖積扇、天然土堤、沙丘、沖積平原、河灘、海灘地等，也可能發生土壤液化。所以下面我們選了兩個點，嘗試畫出以前的古河道，也許可以為土壤液化分布解開一些迷惑。

1. 新化區太平里和北勢里的古河道推測

民國 99 年 0304 地震當時在新化北勢里也發生土壤液化，液化範圍和這次 0206 地震有許多重複的地方，當時這裡也做過 CPT(圓錐貫入)、SPT(標準貫入)試驗、取薄管及埋設下水觀測井，也發現當時地下水往西北邊流動 (N42°W)，而且歷經四個月的觀測，地下水位離地表都約在 3m 上下(參閱第 50 屆全國科展作品)。我們根據地下水的流動方向及液化區域的分布，嘗試著畫出以前的古河道，詳如照片 53~54 及圖 11。



照片 53 99 年 SPT 試驗取出的薄管水井可見地下水往西北邊流動。



照片 54 99 年 SPT 試驗及水井觀測點 0206 地震再次發生土壤液化。



圖 11 新化區北勢里舊河道推測圖

2.永康區及歸仁區的古河道推測

在這次土壤液化的踏查中我們遇到一位 78 歲的阿公，家住崑山國小附近，他們家的農地都在大灣東路和保吉路附近，他說小時候就聽父親說古許縣溪的流向(往西南方向)，他也不清楚這次土壤液化的地點，不過這些地方與這次地震後發生土壤液化的地點不謀而合，雖尚缺實際的科學證據，但也是我們這次研究的意外收穫，於是我們也嘗試著畫出以前的古許縣溪舊河道，詳如圖 12。



圖 12 永康區及歸仁區之古許縣溪舊河道推測圖

五、討論

詳如研究過程研究之成果與討論。

六、結論

- (一)本次 0206 地震造成的土壤液化範圍高達十個行政區域(0304 地震只有新化區)，影響範圍大，噴砂的衝力和噴砂量都超乎想像。
- (二)本研究發現液化面積最大的地方是在新化區，液化位置具有重複性，噴砂量也多出許多，但對住家區影響最大的卻在安南區溪頂里附近。
- (三)這次容易液化的地方多數發生在河流附近、古河道、魚塢或地下水豐沛的沖積平原，具有厚層的細砂或粉土層，平均粒徑(D_{50})約在 0.07mm 至 0.21mm，比 0304 地震平均粒徑區間還大。
- (四)不同顏色的液化噴砂與深度有關，棕黃色約在 3m 以內，青灰色約在 3m 至 5m，但不同地區深度也有差異，一般都先噴棕黃色砂，再噴青灰色砂。甚至由震測波速圖譜得知新化北勢里 20 公尺內都是液化層。
- (五)液化的噴砂走向多為 NE-SW 走向，與這次震波的傳遞方向近乎垂直。另發現 99 年和 105 年新化北勢里附近噴砂走向類似。
- (六)本次液化地點很多都疑似在舊河道或埤塘附近，因沉積速度慢，平均粒徑也偏小(0.07~0.11mm)。

七、參考文獻

- 1.石瑞銓等，新化北勢土壤液化區域之近地表剪力波波速變化及其影響深度範圍，中華民國地球物理學會與地質學會 100 年年會暨學術研討會，254 頁，2011。
 - 2.許硯茹等，喚醒大目降一甲子的記憶，中華民國第五十屆中小學科學展覽會作品，1-30 頁(抽印本)，2010。
 - 3.黃富國等，2010 年 3 月 4 日桃源地震土壤液化震害探討，中華民國第十一屆結構工程研討會暨第一屆地震工程研討會論文集，1-10 頁(抽印本)，2012。
- (頁數限制，其他參考文獻略)

【評語】 030502

本研究針對 0206 美濃地震在台南地區發生之土壤液化現象進行調查及分析，討論歷年台灣大地震對台南地區土壤液化之不同程度影響，並從土壤液化特徵說明其可能代表的涵義。研究主題符合台灣地震科學之重要議題，並與社會大眾關心之問題密切結合。科學方法程序完整且論證詳實，表達能力良好。研究能將噴砂顏色與液化影響深度之討論相結合，表現優良。如能對土壤液化與地震波速度關聯性之物理意義有所瞭解，將可對此問題有更進一步之深刻理解。