

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030508

喚醒大日降一甲子的記憶

學校名稱：臺南縣立新化國民中學

作者： 國二 許硯茹 國二 張如君 國二 雷承勳 國二 劉芷芸	指導老師： 何杏娟 許崑泉
---	-----------------------------

關鍵詞：0304 桃源地震、土壤液化、粒徑分析

喚醒大目降一甲子的記憶

摘要

本研究主要是民國 99 年 3 月 4 日 0304 桃源地震(原稱甲仙地震)引起大目降(新化)土壤液化噴砂的奇特景象，其中北勢里與太平里的噴砂點與民國 35 年新化地震相當，可能與新化斷層有關。研究中的五個地點其噴砂顏色皆不盡相同，根據現地採樣及室內實驗，發現噴砂的土壤物理特性在粒徑分佈、淘選度及礦物種類上，與震度、地震延時及水位高低之間都具有規律性存在。另外，在實地量測及參考現地 CPT 及 SPT 試驗，發現本次液化都發生在河流附近的沖積層，其液化深度大多在水位深度以下之 2m~5m 間，預測最大液化深度可達 10m 上下，所以在建物安全設計及工程選址應特別注意，避免可能的災害發生。

關鍵詞：0304 桃源地震、土壤液化、粒徑分析

喚醒大目降一甲子的記憶

一、研究動機

民國 99 年 3 月 4 日的一場桃源地震(原稱甲仙地震)雖然沒有嚴重傷亡,但已喚醒了沉睡已久的大地。隨著時間的消逝,大地的異常變化也將重新進入沉睡的狀態,何時又再甦醒沒人知道。

位在新化(古稱大目降)地區的土壤液化噴砂現象,於新化地震(民國 35 年)後沉睡了 64 年,中間也因白河大地震(民國 53 年)曾經甦醒過,但當時並沒有太多人注意它。本次地震造成的土壤液化是如何發生的?為何只有北勢及太平里規模較大?噴砂是如何造成的?與新化斷層有關嗎?土壤液化條件是什麼?0304 地震震出一連串的問題,因研究的地利之便,於是我們便迫不及待的想去了解個究竟,也許對大目降未來可能的土壤液化災害可以提供一些應變做為,以減少地震災害損失。

二、研究目的

- (一)了解 0304 地震造成的大目降地質變化與災損。
- (二)調查新化地區土壤液化分佈情形。
- (三)了解 0304 地震土壤液化與新化斷層的相關性。
- (四)調查土壤液化噴砂的類型。
- (五)了解液化區地質物理特性。
- (六)鑽探調查噴砂來自何處。
- (七)找出土壤液化的其他重要條件。
- (八)土壤液化與建物安全的預測。

三、研究設備與器材

線上地質圖、google earth 及繪圖軟體、GPS、數位立體顯微鏡、拉鍊袋、採土器、傾斜儀、測距儀、皮尺、各粒徑篩網、電子秤、塑膠盆、搖擺機、觀摩 CPT 試驗、觀摩 SPT 試驗等

四、研究過程與結果

(一)文獻探討：

- 1.土壤液化定義：土壤液化主要是土層受地震力的作用，孔隙水壓上升，有效應力趨近於零，土壤顆粒懸浮於水中的現象。當地震發生時或發生後，超額孔隙水壓大部份往上部地面排出，所以對於上方的土壤產生一種作用力，當向上排出的超額孔隙水壓達臨界水力坡降時，上方土壤的有效應力就會趨近於零，只要流體向上作用力夠大，就會將土壤顆粒帶到地表，而形成噴砂現象。
- 2.土壤液化地質條件：土壤液化主要發生在未膠結的現代沖積層，地層組成粒度均勻，配合地下水位較高的飽和砂土層，遇地震就很容易發生液化。

另外，台灣西部麓山帶主要以沖積扇、古河道沖積層及海砂堆積的新生地區，因其地質多為粉砂或細砂，質地較為疏鬆，如果加上有較高的水位，這些都是土壤液化的高危險區。

3.土壤液化潛能：液化潛能評估主要需考慮三個問題：(1)地層是否具有液化潛能？(2)如果地層具有液化潛能，會不會發生液化？(3)如果發生液化，會不會造成損害？因此根據液化的震害，主要靠土壤性質及地震大小因素配合得當才可能產生土壤液化現象。液化評估的方法有很多，常使用的為簡易法，第一部份為利用地表加速度估計土層受震時所能承受的反覆剪應力比(CSR)；第二部份為估算土層之液化阻抗(SR)，研究可採用現地試驗法，進行之 SPT-N 值、CPT-**qc** 值及震測剪力波速 V_s 等。

(二)0304 地震造成的大目降地質變化與災損

1.土壤液化

99 年 3 月 4 日桃源鄉規模 6.4 地震造成新化地區多處土壤液化，多數在平原地區，山區也有一些小規模液化情形，調查結果如照片 1~10。



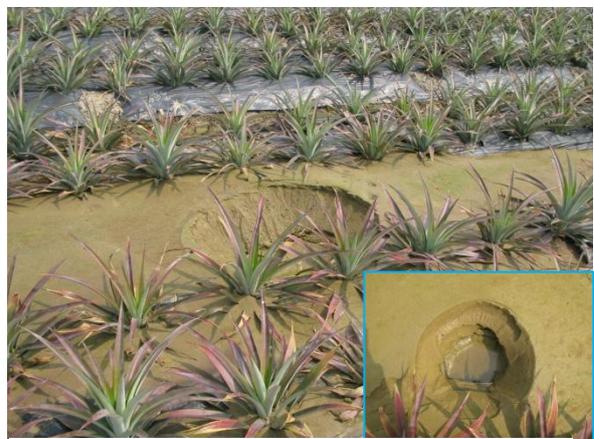
照片 1 新化北勢里 133 號前土壤液化。



照片 2 北勢土壤液化區就在高鐵旁邊。



照片 3 北勢里普賢院前土壤液化成一直線，好像是同一裂縫噴出。



照片 4 新化鎮太平里離仔尾鳳梨田有大量噴砂，噴砂口很像火山口。



照片 5 離仔尾稻田裡的嚴重噴砂，影響稻子生長。



照片 6 新化鎮太平里新永就(烏鬼厝北方)土壤液化噴口與農田裂縫方向一致。



照片 7 虎頭埤後門露營區有小規模土壤液化噴砂。



照片 8 虎頭埤露出的湖底有明顯噴砂。



照片 9 新化鎮山腳里五甲勢倒厝溪旁農田土壤液化噴灰綠色砂。



照片 10 倒厝溪水底也有多處噴砂，目前還在噴發。

2.地層下陷

土壤液化後可能造成地表不均勻下陷，其過程相當快速，土壤一時失去承載力，房屋就很容易倒塌。虎頭埤有一老舊民房，於地震當日瞬間倒下壓住七部轎車，可能就是土壤液化結果，其他地區則沒有明顯類似的災情，但有發現小規模下陷，沒有仔細觀察不容易發現。(如照片 11、12)



照片 11 虎頭埤民宅疑似地層下陷，造成房屋倒塌。



照片 12 北勢里普賢院北方稻田因地層下陷，農民說：一邊水位很深，另一邊水位淹不到。

3.嚴重地裂

0304 地震在新化地區雖未傳出嚴重災損，但多處地表已產生嚴重變化，如山腳里五甲勢的倒厝溪就產生超過一公里的嚴重地裂，是否有盲斷層發生，我們不是很清楚。另外在虎頭埤壩口附近、太平里新永就農田、北勢普賢院大門前等都有明顯地裂，沒有進一步造成災損。(如照片 13、14)



照片 13 五甲勢倒厝溪附近農田地震後有嚴重地裂。



照片 14 新永就農田地震後也有嚴重地裂。

(三)新化地區土壤液化分佈情形。

本次研究先根據新聞報導及訪問附近居民，在指導老師的帶領下進行實地踏查及研究，我們共發現五個明顯液化區，都有噴砂現象，其分佈範圍再利用 Google Earth 及 GPS 衛星定位標出液化區域，結果如表 1。

表 1 0304 桃源地震土壤液化地點分佈一覽表

地點	土壤液化及噴砂範圍	分佈範圍衛星空照圖
1.北勢里 高鐵附近	本區液化範圍最大，噴砂現象也最壯觀，範圍經過計算約有 454000 平方公尺。 【1000m*400m+200m*200m+200m*70m】	
2.太平里 離仔尾附近	位於北勢液化區東北邊，噴砂量很大，範圍位居第二位，約有 82000 平方公尺。 【400m*200m+100m*20m】	
3.太平里 新永就(烏 鬼厝北邊) 附近	位於北勢及離仔尾液化區的東北方，土壤液化噴砂區大多數位在稻田裡，根據農夫描述約有近百處噴砂，我們只能看到旁邊旱田的部份噴，本處範圍位居第三位，約有 39600 平方公尺。 【(240m+200m)×180m÷2】	
4.東榮里 虎頭埤附近	位於虎頭埤後門的露營區及露出的湖底，可見到小量的噴砂，分佈範圍位居第四位，目前因工程進行已不容易找到，面積約有 17700 平方公尺。 【220m×80m + 10m×10m】)	
5.山腳里 五甲勢倒 厝溪附近	倒厝溪液化範圍較小，約 900 平方公尺 (30m×30m)。	

(四)0304 地震土壤液化與新化斷層的相關性。

根據中央地質調查所研究發現：新化斷層有多次古地震事件，除最近的1946年地震之外，前一次約發生於1,200年前至1,900年前之間，而在1,900年前至10,000年前之間至少有另1次古地震事件，保守估計在10,000年內至少有3次古地震事件。

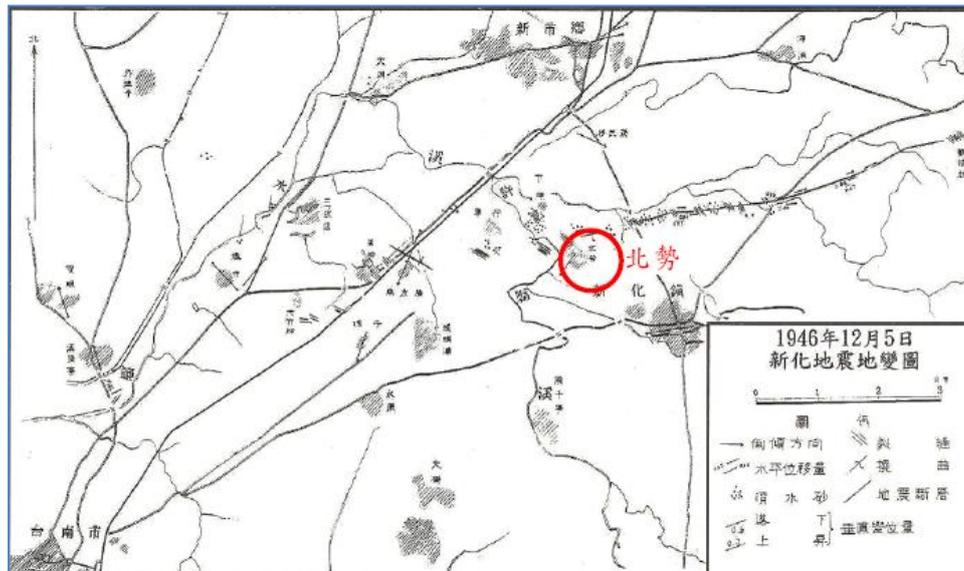
訪問當地老一輩居民的描述，民國35年及53年在北勢里高鐵附近及太平里離仔尾都有很多液化噴砂現象(如照片15、16)，利用GPS、Google Earth及線上地質圖標出0304地震後土壤液化區與新化斷層之關係圖(如圖一、二)，可以發現一些相契合的地方，值得大家注意。



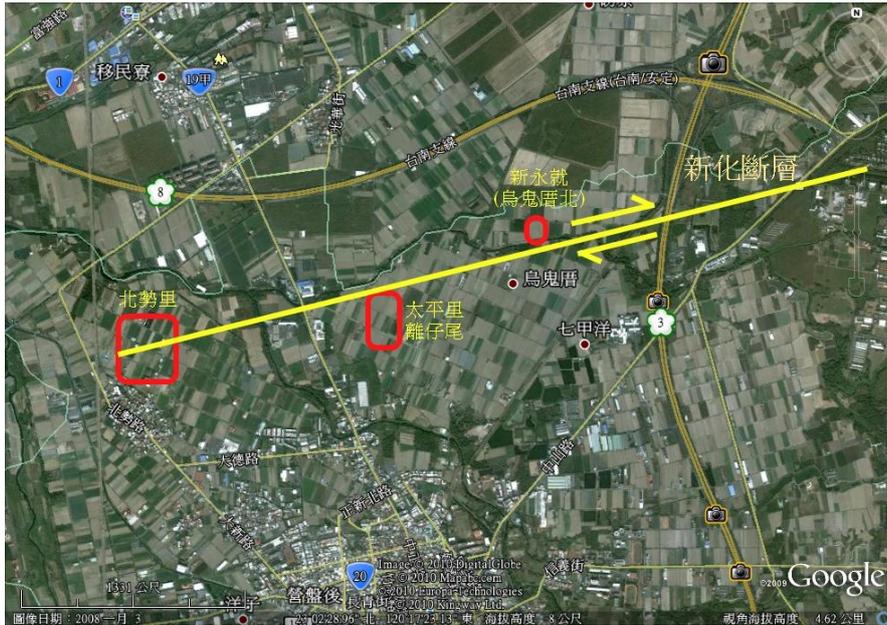
照片 15 沿新化斷層地裂帶及鹽水溪沖積地之軟弱處，均有噴砂現象發生，噴砂孔通常為圓形或橢圓形，直徑約 5 公分，大部分呈現由數個錐體串聯成列。(網站資料)



照片 16 噴砂口與噴出的砂，噴出的砂有二種，一為青灰色，另一為黃灰色，均為帶泥質之細砂，色質正與附近溪岸剖面處所見者一致，可知其來源不深。(網站資料)



圖一 民國 35 年 12 月 5 日新化斷層地震造成地變之噴水砂區域(張麗旭等，1947)



圖二 土壤液化區連線與新化斷層對照圖

結果與討論：

1. 經過我們訪問附近幾位七十多歲農人，他們記憶很深：
新化地區在民國 35 年新化大地震及 53 年白河大地震，於北勢及離仔尾一帶都有類似目前的噴砂，但位置不完全一樣，53 年北勢的土壤液化噴砂多發生在目前高鐵以西，其他位置都差異不大，根據圖二即可知道民國 35 年的噴砂與目前的噴砂在位置上應該與新化斷層有密切關係。
2. 「崩溝溪」名稱的由來即斷層造成的地裂，目前已成爲一條小溪流，北勢、離仔尾及新永就的土壤液化區都在崩溝溪南側附近，是否與新化斷層相關，已有一些蛛絲馬跡可尋。(如圖三)



圖三 新化斷層附近水系與土壤液化區關係圖

(五)調查土壤液化噴砂的類型。

1.噴口形狀有無差異？

地震當時砂土產生液化，夾帶地下水形成許多小沙丘，有些地方則產生大量湧水，但未見噴砂。因為水壓帶出底層的細砂，從中間的噴孔流出，再蔓延開來，依裂縫不同，又有不同形狀的噴砂，詳如照片 17~22。



照片 17 兩孔噴砂，後續的水流形成美麗的圖案，有如一齣陽光舞蹈。



照片 18 兩個噴砂孔產生聯通現象。



照片 19 受到地形影響，形成半圓形的噴砂。



照片 20 沿著裂縫形成大小類似的圓於同一直線上。



照片 21 噴砂口連線形成鋸齒狀排列。

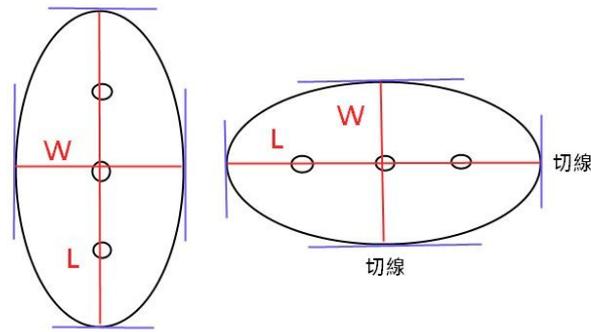


照片 22 由上往下看好像向一座火山口。

2.噴砂的裂縫排列有無方向性？

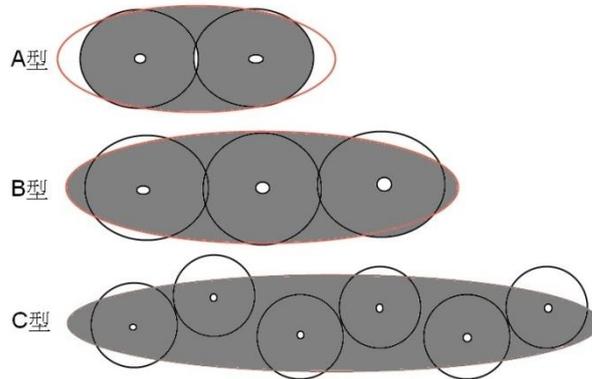
土壤液化形成的噴砂形狀可以大概了解地表的裂縫方向，過程中我們很好奇想要知道這些噴砂是否具有方向性，於是我們利用皮尺及指南針做一些量測(由北而南)，並以幾何圖形分析其裂縫走向，研究結果詳如圖四~五、照片 23~24 及表 2。

土壤液化噴砂大小量測法



圖四 土壤液化噴砂規模(長寬)量測方法

噴砂走向之幾何分析圖



圖五 土壤液化噴砂走向之幾何分析圖



照片 23 北勢普賢院前面農田噴砂共有 18 處。



照片 24 實際量測每一噴砂規模大小。

表 2 普賢院前裂縫與噴砂走向記錄表

編號	經度	緯度	長度 L(cm)	寬度 W(cm)	長寬比 L/W	噴砂 走向
1	E120°17'31.3"	N23°02'59.1"	240	160	1.5	N10°W
2	E120°17'31.4"	N23°02'59.1"	200	160	1.25	N20°W
3	E120°17'31.3"	N23°02'59.0"	160	130	1.23	N20°W
4	E120°17'31.3"	N23°02'58.8"	450	240	1.88	N10°E
5	E120°17'30.8"	N23°02'58.8"	370	360	1.03	N0°W
6	E120°17'30.3"	N23°02'57.4"	670	590	1.14	N46°W
7	E120°17'30.7"	N23°02'57.3"	380	370	1.03	N90°E
8	E120°17'30.6"	N23°02'57.0"	320	140	2.29	N80°W
9	E120°17'30.4"	N23°02'56.9"	210	190	1.11	N60°W
10	E120°17'30.1"	N23°02'57.1"	250	240	1.04	N80°E
11	E120°17'30.4"	N23°02'57.0"	210	170	1.24	N64°W
12	E120°17'30.3"	N23°02'56.9"	240	180	1.33	N58°E
13	E120°17'30.2"	N23°02'56.8"	320	260	1.23	N80°E
14	E120°17'29.9"	N23°02'57.0"	430	270	1.59	N80°E
15	E120°17'30.0"	N23°02'56.9"	370	230	1.61	N80°E
16	E120°17'29.8"	N23°02'56.9"	300	190	1.58	N20°E
17	E120°17'29.8"	N23°02'56.7"	210	160	1.31	N70°E
18	E120°17'29.7"	N23°02'56.7"	260	190	1.37	N72°E

結果與討論：

- (1)量得北勢各區之土壤液化噴砂並無發現明顯方向性，只有群聚的噴砂附近較有一致的方向，可能與地震後的裂縫有關。
- (2)接近高鐵附近噴砂規模較大，其中普賢院西側農田量得兩組噴砂走向為 N45°W 及 N65°W，最近高鐵處附近有三處噴砂走向都在 N20°E 左右，大約與高鐵平行。(如照片 25、26)



照片 25 高鐵旁一處大規模噴砂其走向為 N20°E。



照片 26 普賢院西側一處大規模噴砂其走向為 N45°W。

綜合以上幾處噴砂並沒有發現一致的方向，只有小部份的區域較有方向性，應與附近相似的裂縫有關。

3.噴砂顏色與深度

噴砂的顏色與深度都一樣嗎？答案一定都是否定的。本次研究的五個區在顏色上幾乎都完全不同，當然在深度上也有一些差異，甚至是同一處的噴砂顏色也不一定相同，顯示在同一次地震的傳遞，出現不同的孔隙水壓，攜帶不同深度的泥砂，所以才有不同的顏色。後面的研究將證實此一假設是否正確？(如照片 27、28)



照片 27 北勢普賢寺西側農田有一處不同顏色之噴砂。



照片 28 新永就附近也有相鄰不同顏色的噴砂。

4.噴砂口路徑

土壤液化到底有沒有噴發路徑，很值得我們去探討。根據現場的挖掘並不容易被發現，因多數呈斷續狀態，真正停留在路徑上的並不多。(如照片 29、30)



照片 29 北勢噴砂約略可以看出路徑。



照片 30 倒厝溪噴砂路徑呈不連續，路徑不容易被發現。

(六)了解液化區地質一般物理特性。

本次研究的五個地點，地表噴砂除了有顏色的差異外，到底還有哪些差異？很值得我們再去探討。根據去年的研究方法，我們進行了砂的粒徑分析與礦物分析，希望可以找到一些噴砂的共同特性。(如照片 31、32)



照片 31 各地區噴砂裝盆晾乾後觀察其變化，並進行粒徑分析實驗。



照片 32 利用小型篩網進行各種粒徑之過篩分析。

1.噴砂的液化狀態與粒度分佈：

噴砂的顏色和粒徑分佈都一樣嗎？顏色可以分辨，但粒徑大小用眼睛是很難分辨的。雖然噴砂與地表土壤有很大不同，用手搓揉感覺砂子都很細，但不容易分辨它們之間是否有差異，於是進行過篩分析是有必要的。(研究結果如表 3~表 5、照片 33~38)

乾淨或含少量細粒砂質土壤內聚力在有水份的情況下，放在塑膠盆裡上下拍打幾下，水壓增加成爲超額孔隙水壓，液化現象瞬間就發生了。一般文獻上記載的液化噴砂粒徑大多落在 0.1mm 附近，與本實驗結果相當，不知是否有例外。

表 3 0304 地震新化地區土壤液化地表噴砂之粒徑重量百分比

地點 \ 粒徑 mm	40 目 0.420	50 目 0.297	70 目 0.210	100 目 0.149	150 目 0.104	200 目 0.074	>200 目 <0.074
北勢里高鐵旁	0.34%	0.96%	10.54%	27.32%	27.49%	21.80%	11.55%
離仔尾鳳梨田	0.34%	1.77%	15.95%	31.26%	23.95%	16.83%	9.91%
新永就稻田旁	0.15%	0.31%	1.28%	5.50%	15.16%	44.04%	33.56%
虎頭埤露營區	0.20%	0.10%	0.05%	2.19%	11.00%	48.68%	37.78%
倒厝溪芋頭田	0.17%	0.40%	0.92%	3.98%	8.50%	58.39%	27.61%



照片 33 於北勢里高鐵附近現地挖取土壤液化之噴砂樣本。



照片 34 各深度砂土裝袋後以利觀察其含有水份多寡。



照片 35 各地點地表噴砂裝盆後觀察液化現象，並準備晾乾。



照片 36 噴砂樣本之粒徑分析與記錄。

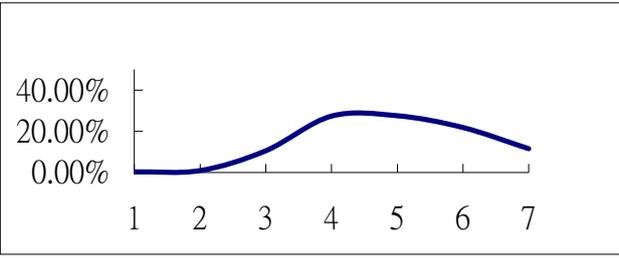
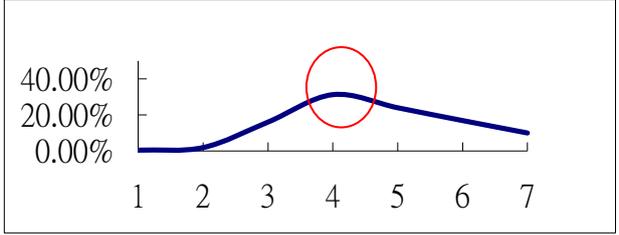
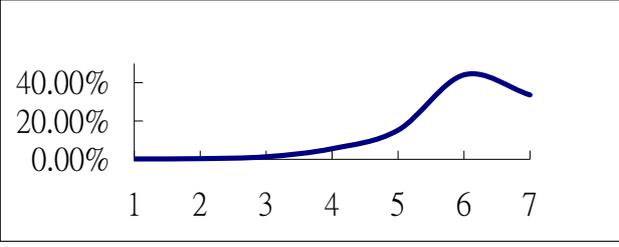
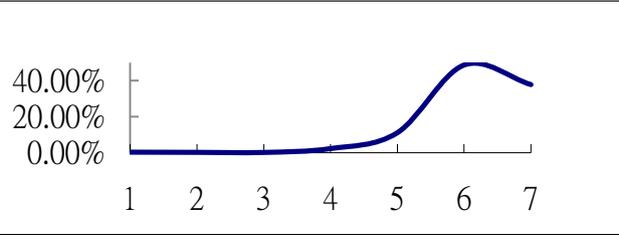
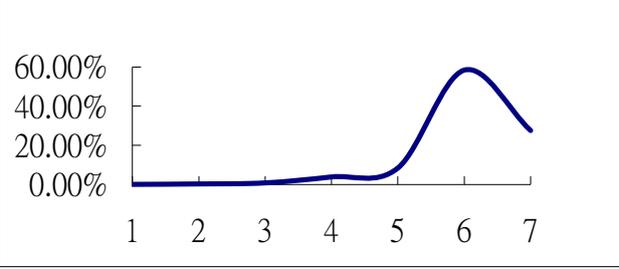


照片 37 離仔尾與倒厝溪的噴砂液化前比較。



照片 38 離仔尾與倒厝溪的噴砂拍打液化後比較。

表 4 0304 地震新化地區土壤液化地表噴砂各粒徑重量百分比

地點	各粒徑百分比
北勢	 <p>A line graph showing the weight percentage of soil particles for the location '北勢'. The y-axis represents weight percentage from 0.00% to 40.00% in increments of 20.00%. The x-axis represents particle size categories from 1 to 7. The curve starts near 0% at category 1, rises to a peak of approximately 30% at category 4, and then gradually declines to about 15% at category 7.</p>
離仔尾	 <p>A line graph showing the weight percentage of soil particles for the location '離仔尾'. The y-axis represents weight percentage from 0.00% to 40.00% in increments of 20.00%. The x-axis represents particle size categories from 1 to 7. The curve rises to a peak of approximately 30% at category 4, which is circled in red, and then declines to about 10% at category 7.</p>
新永就	 <p>A line graph showing the weight percentage of soil particles for the location '新永就'. The y-axis represents weight percentage from 0.00% to 40.00% in increments of 20.00%. The x-axis represents particle size categories from 1 to 7. The curve remains near 0% until category 4, then rises to a peak of approximately 45% at category 6, before slightly declining to about 35% at category 7.</p>
虎頭埤	 <p>A line graph showing the weight percentage of soil particles for the location '虎頭埤'. The y-axis represents weight percentage from 0.00% to 40.00% in increments of 20.00%. The x-axis represents particle size categories from 1 to 7. The curve remains near 0% until category 4, then rises to a peak of approximately 45% at category 6, before slightly declining to about 35% at category 7.</p>
倒厝溪	 <p>A line graph showing the weight percentage of soil particles for the location '倒厝溪'. The y-axis represents weight percentage from 0.00% to 60.00% in increments of 20.00%. The x-axis represents particle size categories from 1 to 7. The curve remains near 0% until category 4, then rises to a peak of approximately 55% at category 6, before declining to about 30% at category 7.</p>

說明：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。

表 5 0304 地震新化地區土壤液化地表噴砂各粒徑累積通過重量百分比

地點	通過重量百分比
北勢	
離仔尾	
新永就	
虎頭埤	
倒厝溪	

說明：1.粒徑在 200 號篩以下受限於「比重計分析」，以圖形修正表示。

2.D₅₀代表平均粒徑。

結果與討論：

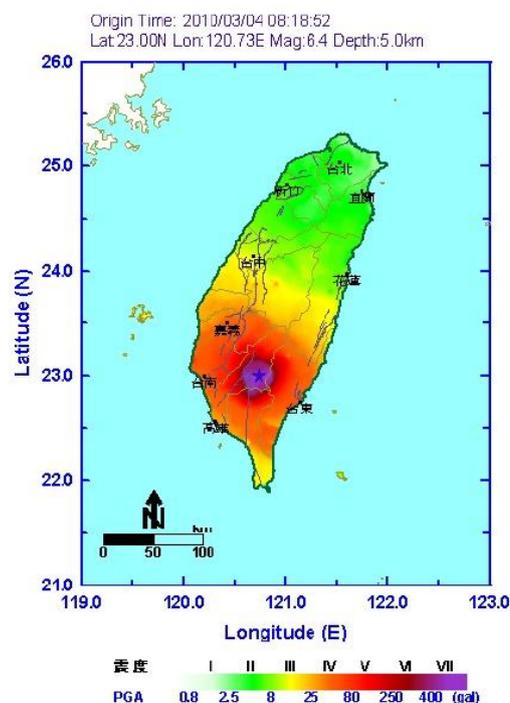
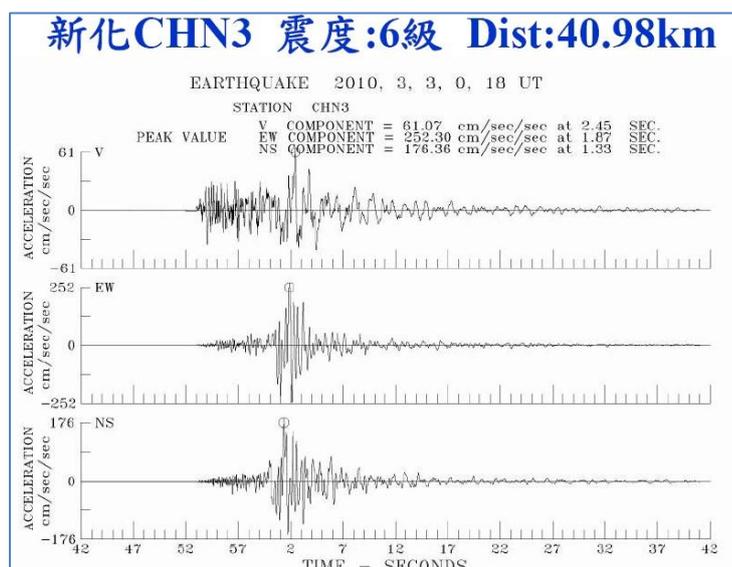
- (1)本研究完成離仔尾粒徑分析後(如表 5)，因平均粒徑(D₅₀)較其他地區大，為求證是否有實驗誤差，特別參考黃富國教授委託日鼎地工實驗室顆粒分析試驗結果(詳如附錄 1，其他資料詳如現場資料)，與我們做的粒徑分析做比對，發現並無差異，顯示離仔尾鳳梨田的噴砂顆粒較其他四區為粗，是比較例外的結果。
- (2)本研究亦發現粒徑落於 0.1mm~0.2mm 的砂土，在含較多水份時特別容易液化，如果黏土(小於 0.074mm)較多時則不容易液化，可能與緊密度有關。

2.震度與噴砂粒徑關係

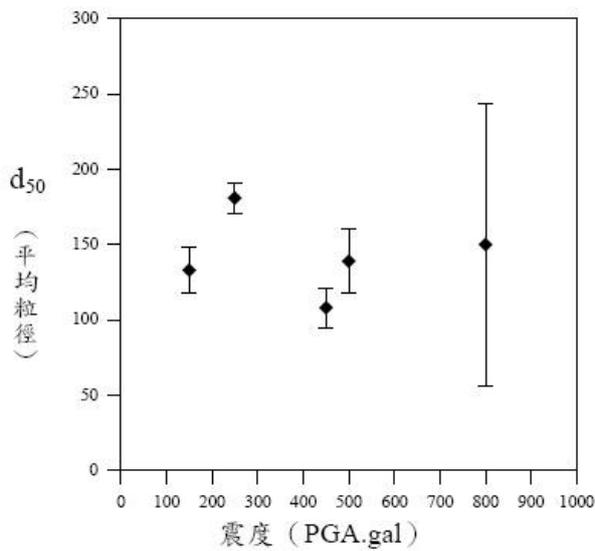
0304 地震在新化地區造成的最大震度達六級，最大加速度達 252gal(=cm/s²)，於是造成了北勢里及太平里一帶的土壤液化噴砂現象。(如圖六)

一般的土壤液化認知都認為容易發生在細砂層，如果震度比較小則發生液化的地層砂土的平均粒徑會越接近 0.15mm；如果震度越大，則砂土的液化範圍就會加大，如圖七所示為根據 921 地震收集的土壤液化之平均粒徑(D₅₀)與當地地震大小的關係圖。另外，粒徑分佈也可以知道發生土壤液化的淘選度((均勻程度=(D₇₅/D₂₅)^{0.5})的範圍與震度之關係(如圖八)，如果震度小會發生液化，則淘選度將會越好。

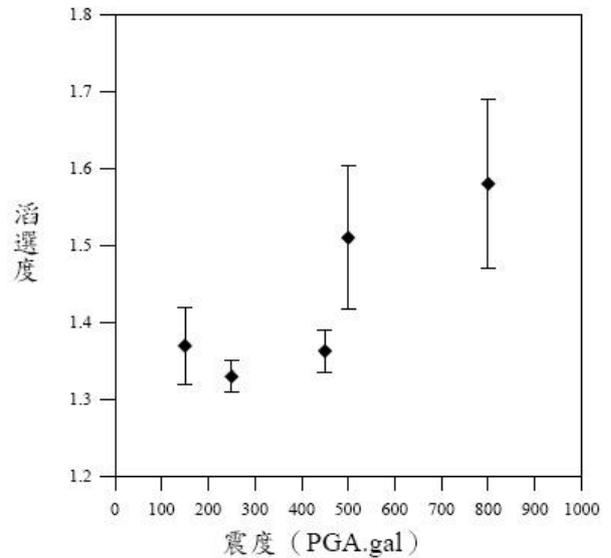
以圖八的平均近似線，大約也可以獲得淘選度與震度之線性關係：
淘選度=1.3+3.75* 10⁻⁴PGA。(溫紹炳等，2001)



圖六 3040304 地震近震源新化地震站即時波形(左) 等震度圖與 PGA 分佈圖(右)



圖七 土壤液化噴砂之平均粒徑與震度關係圖 (溫紹炳等, 2001)

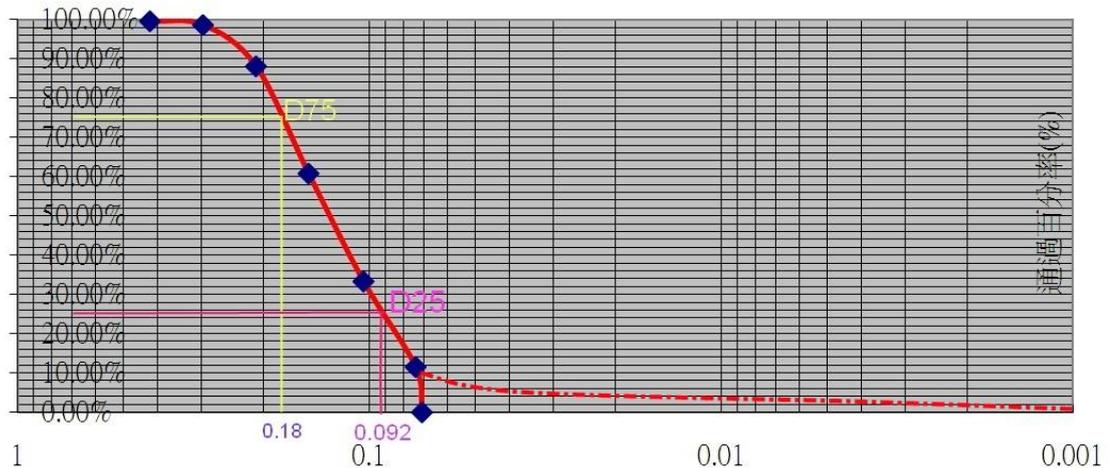


圖八 土壤液化之淘選度與震度關係圖 (溫紹炳等, 2001)

結果與討論：

- (1)本研究的噴砂平均粒徑介於 0.1~0.2mm 之間，與本次地震最大加速度之對應平均粒徑相當，因此圖七可適用在本次研究中。
- (2)以表 4 的北勢里噴砂為例(見圖九)：

$$\text{淘選度}=(D_{75}/D_{25})^{0.5}=(0.18/0.092)^{0.5}=1.399$$
 研究結果亦與圖八相符。



圖九 北勢里 133 號工廠旁噴砂粒徑分佈曲線的 D₇₅ 與 D₂₅ 之粒徑大小

3.噴砂之礦物分析

根據溫紹炳等(2001)的研究發現噴砂的礦物組成都是石英，完全沒有其他礦物的徵候，推測是河川搬運淘洗的結果。本研究結果如照片 39、40 及表 6，透明者為石英砂，其中新永就河邊正好在施工，我們挖了一塊與噴砂顏色類似的砂土

回來做研究，發現河邊的砂土黑色砂較多，是否含有其他礦物未知。

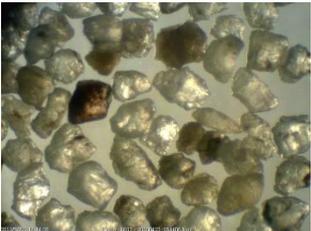
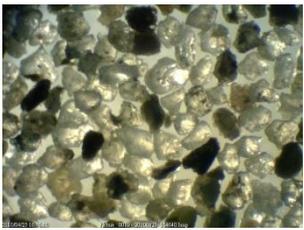
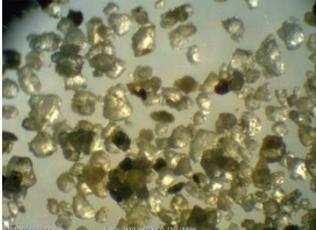
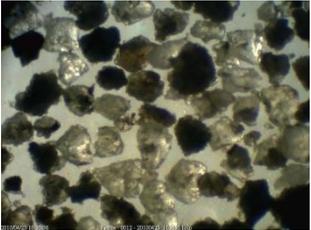


照片 39 數位立體顯微鏡觀察各區 100 目的噴砂。



照片 40 放大的石英砂(放大 45 倍，經電腦再放大的畫面)。

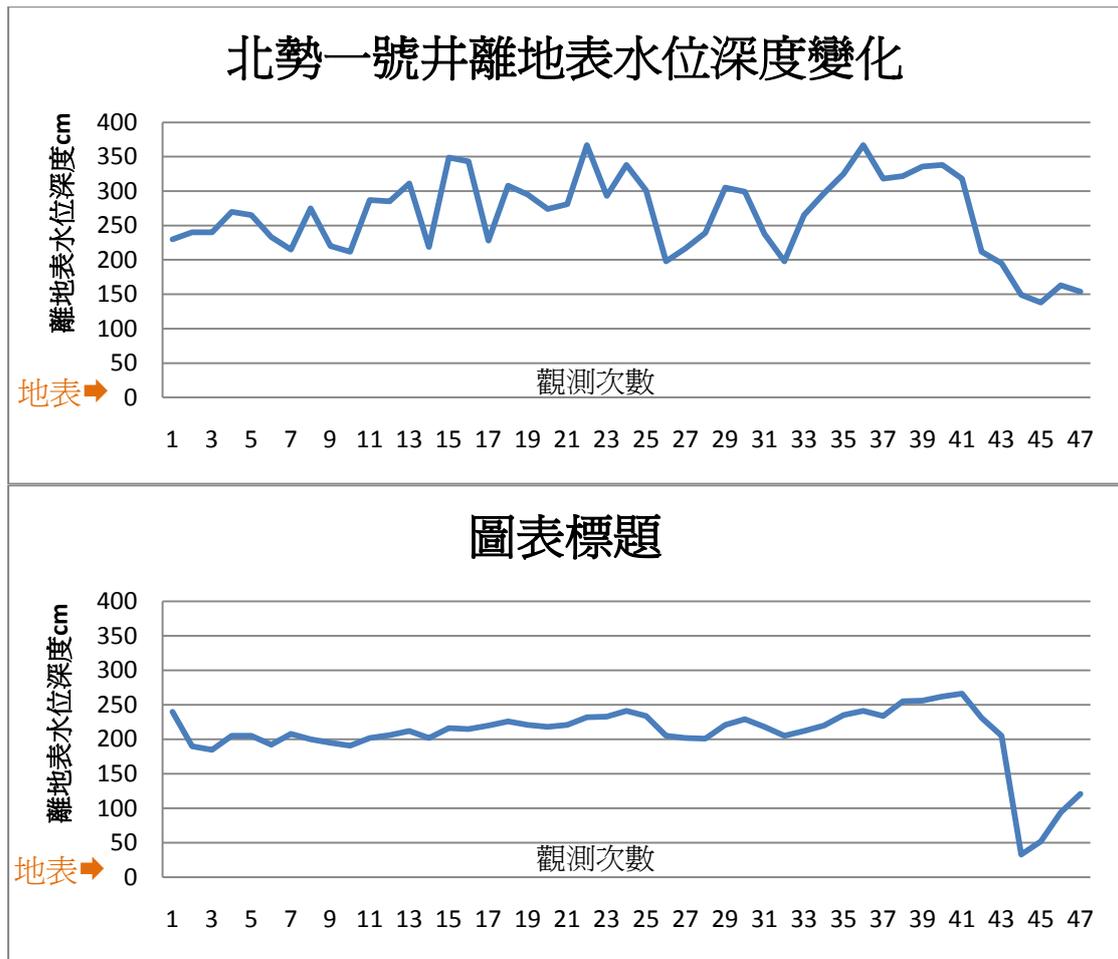
表 6 新化地區五處噴砂之顯微觀察比較表

北勢	離仔尾	新永就
		
虎頭埤	倒厝溪	新永就河邊
		

(七)鑽探調查噴砂來自何處。

1.地下水位與噴砂的關係

根據文獻得知：地下水位以下才有可能發生液化及噴砂。根據北勢#1 及北勢#7 觀測井之連續觀測(47 次)結果，顯示四月前水位都在 2m 以下，所以當時液化產生的噴砂應該都在這個水位之下才有可能發生。(如附錄 2、圖十及照片 41~42)



圖十 99.4~99.6 北勢一號井及七號井水位連續觀測-離地表深度一覽表



照片 41 北勢噴砂區 SPT 試驗後量測水位。



照片 42 SPT 試驗取出的薄管水井可見地下水往西邊流動。

2. 認識 CPT 試驗與 SPT 試驗

本研究與淡大黃富國教授合作，因此我們有可以目睹大地工程常用的 CPT 試驗(如照片 43、44)與 SPT 試驗(如照片 45、46)。其中 CPT 叫做「圓錐貫入試驗」，可以快速粗略知道土壤種類；SPT 叫做「標準貫入試驗」，可以知道地層的堅硬程度及實際取得土樣等。

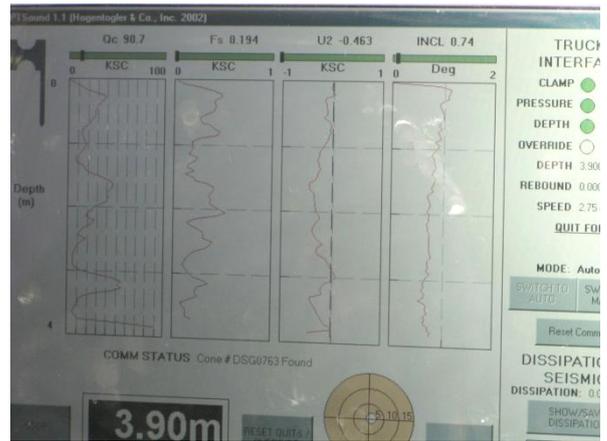
實驗結果知道可能液化的範圍詳如表 7 及附錄 3。

表 7 CPT 試驗預測土壤液化深度範圍一覽表

地點	可能之液化深度
北勢里普賢院前	2-11m
北勢里普賢院斜對面	2.5-11m
太平里離仔尾	2-15m
新永就(烏鬼厝北方)	2.5-13m
虎頭埤露營區	2-8m



照片 43 CPT 車於普賢院前進行試驗。



照片 44 CPT 試驗後電腦馬上收到分析訊息。

3.SPT 試驗的試驗結果整理

本研究獲得黃富國教授提供七個井位之相關 SPT 試驗報表，為有效預測土壤液化潛能，將 SPT 一般物理性質試驗經整理為表 8 之結果，根據土壤分類及 SPT-N 值，可以大概預測液化之深度範圍。(其他試驗結果詳如現場資料)

表 8 SPT 試驗土壤種類及液化深度預測簡表

試驗井編號	離地面水位(m)	本次液化深度概估(m)	液化潛能深度(m)	土壤分類	備註
1	1.9	1.9—5	1.9—13	SP-SM、SM	噴灰色砂
2	1.9	1.9—5	1.9—13	SM、SP-SM	噴灰土色砂
3	2.3	2.3—5	2.3—11.5	SM、ML、SP-SM	噴土黃色砂
4	3.2	3.2—5	3.2—7	ML、CL-ML、SM	噴深青灰色砂
5	3.2	3.2—4	3.2—7	SM、SP-SM	噴灰色砂
6	0.75	0.75—2	0.75—5	SM、ML	噴灰綠砂
7	2.1	2.1—6	2.1—10	ML、SM、SP-SM	噴雙色砂

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)試驗井編號：1-北勢里普賢院北側、2-北勢里普賢院西北側、3-太平里離仔尾、4-太平里新永就、5-東榮里虎頭埤露營區、6-山腳里五甲勢倒厝溪、7-北勢里普賢院西側。

結果與討論：

- (1)離仔尾的現場鑽探水位(3 號井為路面上試驗)與 SPT 試驗當日水位不同，原因為基準點不同造成。
- (2)現地以採土器取樣，鳳梨田水位約 0.5m，與之後 SPT 試驗時差異較大，主要可能為農田灌溉結果，踩在鳳梨田上有如座著一艘船似的，液化得相當嚴重。(如照片 47、48)



照片 45 現場觀摩 SPT 試驗，並聽取施工人員解說。



照片 46 北勢里高鐵旁之噴砂現場，大家通力合作進行土層採樣。



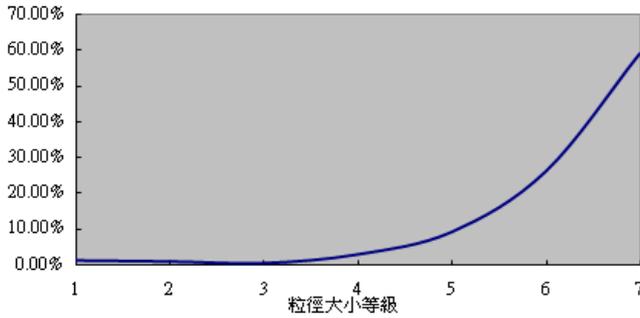
照片 47 離仔尾鳳梨田挖出 0.4m 處的噴砂，已見液化情形。



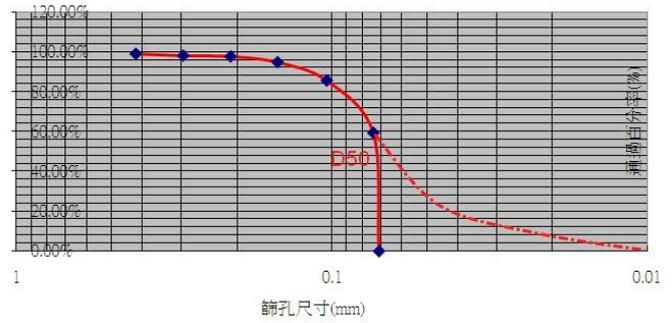
照片 48 離仔尾鳳梨田挖至 1.5m 亦完全液化，無法再往下挖。

4.倒厝溪與新永就的噴砂與河邊挖出類似

倒厝溪與新永就地區在研究當時剛好有工程進行，可以看到河邊挖出的灰色砂土與地表噴砂類似，由新永就河邊灰色砂(約深 5 m)的取樣分析，結果也符合噴砂的地質條件。(如圖十一及圖十二)



圖十一 新永就河邊灰沙粒徑重量分佈



圖十二 新永就河邊灰砂顆粒累積通過分佈

5. 普賢院西側土壤液化噴雙色砂的順序

由現場 SPT 鑽探日報表得知(整理如表 9)：位於較上層的棕黃色粉質細砂顆粒較細，下部的青灰色粉質細砂顆粒與一般噴砂粒徑相當，所以由鑽探的砂土顏色及試驗報表可以清楚知道雙色砂的噴發順序為先噴棕黃色砂(顆粒較細)，再噴灰色砂。

表 9 新化北勢里普賢院西側農田土壤液化噴砂順序表

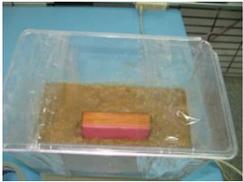
試驗編號	深度(m)	粒徑尺寸				地質情況
		礫石	砂	粉土	黏土	
#7-S1	0.55-1.00	0	16	70	14	棕黃色粉土
#7-S2	1.55-2.00	0	6	70	24	棕黃色粉質細砂夾粉土
#7-S3	2.55-3.00	0	22	63	15	棕黃色粉質細砂夾粉土
#7-S4	3.55-4.00	0	38	51	11	深灰色砂質粉土
#7-S5	4.55-5.00	0	43	51	6	青灰色粉質細砂

(八) 找出土壤液化的其他重要條件。

前面表 8 已將新化液化區之土壤液化做出潛能評估，發現一般在深度 10m 內都是可能液化的範圍。除了地震及地質因素之外，其他還有地下水豐沛、新舊河道附近及地震延時效應，都是發生液化的重要因素。

- 1.0304 地震當日，在北勢高鐵附近民宅雞舍及農田水井，噴水就超過半天，而且流水非常清澈。(如照片 49)
- 2.由圖八就可以看出本次噴砂點都在河道附近，尤其在新永就液化區的鑽探中發現地下 4m 處有舊河道的枯木，可證明土壤液化與溪流的密切關係。(如照片 50)
- 3.表 10 為不同粒徑砂土在延時作用下的液化比較，發現土壤液化與粒徑大小、地震延時等也有密切關係。

表 10 不同粒徑砂土於高低水位之液化情形比較表

砂樣平均粒徑	水位高低	積木液化倒塌時間	液化實驗照片
D ₅₀ =0.15mm (北勢里普賢院前)	高水位	17 秒液化 積木已倒塌	
	低水位	120 秒表面液化 積木未倒塌 (預測：達到一定強度與時間延時將會倒塌)	
D ₅₀ =0.22mm (澄山疏鬆砂岩)	高水位	120 秒表面液化 積木未倒塌	
	低水位	120 秒表面未液化 積木未倒塌	



照片 49 接近高鐵處的民宅養雞場角落，在地震當日噴清水超過半日以上。



照片 50 新永就噴砂點為於舊河道上，施工人員挖出地層裡的枯木。

(九)土壤液化與建物安全的預測。

本次研究發現新化地區非常具有液化潛能，尤其在河流附近更需小心，根據 921 地震的經驗，輕微者產生地裂及土壤液化噴砂，嚴重者產生的剪力、張力及壓力的破壞將產生地層下陷及房屋倒塌等，所以本區住家在房屋地基安全上更應加強耐震及防液化設計，如新蓋房子應考慮增設地下室部份等。

五、討論

詳如研究過程研究之成果與討論。

六、結論

- (一)本次 0304 地震共造成新化五個區的土壤液化，其中以北勢里與太平里的三處噴砂剛好位於新化斷層附近，與民國 35 年新化地震噴砂地點相當。
- (二)噴砂口有如火山口，其外型可測得裂縫走向，除附近噴砂較一致外，並無發現大區域裂縫的規律性。
- (三)本次五處的地表噴砂在顏色上都不太相同，根據鑽探結果也顯示是不同深度的砂層所噴出。
- (四)五處噴砂的土壤物理特性在粒徑分佈(約 0.8~0.15mm)、淘選度及礦物種類等，與震度(大於 150gal)、地震延時及水位高低之間都具有密切關係。
- (五)一般地震造成的液化噴砂在本次研究中主要都是水位(2m)以下造成，根據現地的 CPT 及 SPT 試驗可以大概預測液化的潛能深度，新化五區液化點中除倒厝溪外，最大液化深度大約在 10m 上下。
- (六)本次地震勾起了大目降一甲子的記憶，在建物安全上宜考慮土壤液化設計或工程的安全選址等。

七、參考文獻

- 1.李德河等，1999 集集大地震災害調查研討會論文集~地盤液化沉陷，81-101 頁，1999。
- 2.黃富國、余明山、何政弘，「九二一集集大震土壤液化震害與問題探討」，土木工程技術，第三卷，第三期，47-79 頁，1999。
- 3.溫紹炳、雷大同、黃記嚴，地震誘發土壤液化區之地質條件分析，集集地震土壤液化總評估研究—九十學年度期中研究成果研討會論文集，39-63 頁，2001。
- 4.國中自然與生活科技課本之地球科學單元部份等。

【評語】 030508

優點：

有完整的定義所探討之議題。所使用之研究方法亦是國中生所可進行與達成之。學生有參與所有的實驗。

缺點：

請參看建議改進事項

建議改進事項：

1. 數據都沒有誤差值？只有單一的數據較難討論。
2. 討論有點薄弱，沒有把地震、土壤液化與粒徑分析間的關聯作討論。
3. 沒有討論此研究之失誤有可能從哪來，沒有要驗證之假說。