

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

佳作

051902

台灣南部地區泥火山地形成型因素之研究

學校名稱：國立臺南家齊高級中等學校

作者： 高二 吳宜潔 高二 林子芸 高二 黃榆婷	指導老師： 陳奐中 曾建元
---	-----------------------------

關鍵詞：泥火山

摘要

泥火山依地形學觀點可分作噴泥錐、噴泥盾、噴泥池、噴泥盆、噴泥洞等類型，為瞭解影響泥火山地形成型之因素，本研究量測泥漿之泥水比例、含砂量、密度、黏度等物理性質，並以泥火山模型實驗得出模擬泥火山之形貌參數，研究泥漿物理性質與形貌之間的關係。模型實驗之操縱變因包括代表泥漿上升通道之噴口大小以及泥漿種類，泥漿樣本採自台灣南部鹽水坑、小滾水、月世界、滾水坪、及新養女湖之 2 座不同泥火山，共 6 組泥漿樣本，並用高嶺土配置不同比例之泥漿另作模擬。結果顯示泥火山地形同時受泥漿有效黏度、密度、泥水比例、噴口大小等多種性質同時影響，除本研究探討之泥漿性質外，可能受其他參數影響泥火山地形成型。

壹、研究動機

台灣西南部因有廣大的厚層泥岩分布，加上板塊聚合造山帶形成的擠壓環境利於褶皺及斷層構造的發育，而其所形成的裂隙提供泥層間天然氣及地下水上升的天然通道，而擁有獨特的泥火山地質景觀。我們對於泥火山的認知僅存於課本中的知識及圖片，對於台灣這樣特別的天然地質景觀缺乏實際探索的經驗，為何泥火山有如此多樣的地形？是什麼原因造成如同火山一般的形貌？因此我們希望透過野外實地觀察與設計模擬泥火山的實驗來瞭解大自然鬼斧神工雕塑出的泥火山地形。

貳、研究目的

- 一、以模型實驗模擬泥火山，瞭解泥火山的多樣形貌如何成型。
- 二、瞭解泥漿密度、泥砂比例、泥漿有效黏度、含砂量等物理性質影響泥火山地形成型的程度。


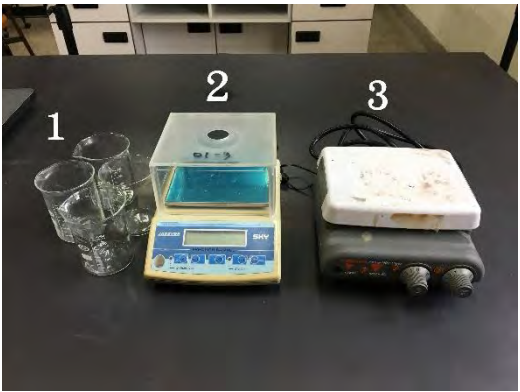
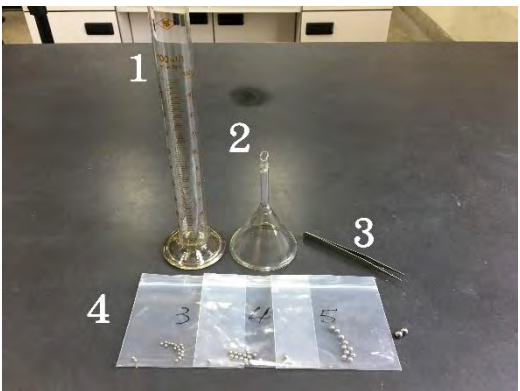
參、研究設備及器材

一、資訊設備

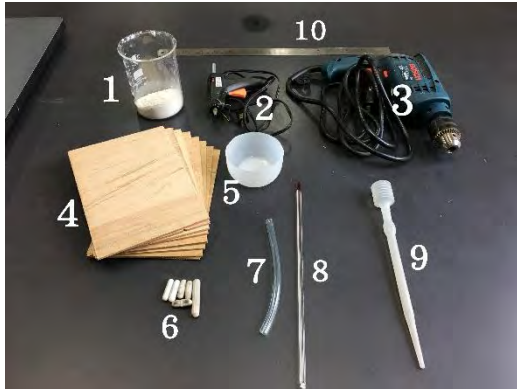
筆記型電腦：查找文獻資料、文書處理（Microsoft Office 2013、Image J）

數位相機：紀錄野外調查及實驗過程

手機：碼表 app、Clinometer 傾斜儀 app、相機功能

<p>二、 野外調查工具</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. 1000 mL 採樣瓶：盛裝泥漿 2. 酒精式溫度計（-10~100°C）：量測泥火山泥漿溫度 3. Clinometer 傾斜儀 app：量測泥火山坡度 4. 捲尺：泥火山形貌量測
<p>三、 泥漿泥水比例實驗器材</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. 250 mL 燒杯：加熱容器 2. Jadever-Sky 600 型電子天平（Max = 600 g, d = 0.01 g）：秤量泥漿重量 3. 攪拌加熱器：加熱燒乾泥漿
<p>四、 泥漿落球黏度實驗器材</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. 100 mL 量筒：盛裝泥漿 2. 漏斗：方便填充泥漿至量筒 3. 鑷子：夾取小鋼球 4. 直徑 3、4、5、6 mm 小鋼球 5. 碼表 app：量測小鋼球落下時間

五、泥火山模型實驗器材



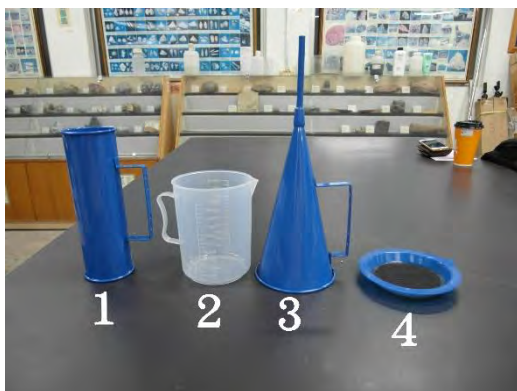
1. 高嶺土：模擬泥漿之材料
2. 熱熔膠：密封容器
3. 電鑽：木板上鑽洞以模擬地層裂隙
4. 木板：提供泥漿溢流之平面
5. 塑膠容器：盛裝泥漿
6. 攪拌磁石：攪拌泥漿避免礦物沉澱
7. PV 軟管：注入氣壓之通道
8. 酒精式溫度計：量測實驗溫度
9. 吸液管：吸取泥漿
10. 直尺：量測噴發出泥漿之長寬高
11. 空壓機：提供壓力

六、泥漿密度實驗器材

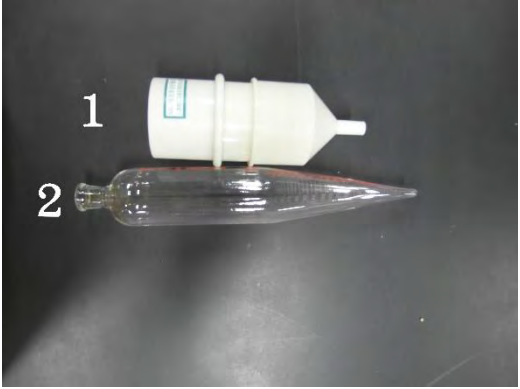


1. 泥漿比重計：利用力矩平衡原理測量泥漿密度

七、泥漿漏斗黏度實驗器材



1. 500 mL 容器：盛接固定體積液體
2. 1000 mL 量杯：盛裝實驗液體
3. 馬氏漏斗（1006 型泥漿黏度計）：漏出液體
4. 16 目濾網：過濾粗顆粒雜質

八、泥漿含砂量實驗器材		1. 200 目濾網漏杯：過濾液體之細砂 2. NA-1.含砂量計：量測液體含砂量
-------------	---	--

▲表一、實驗器材

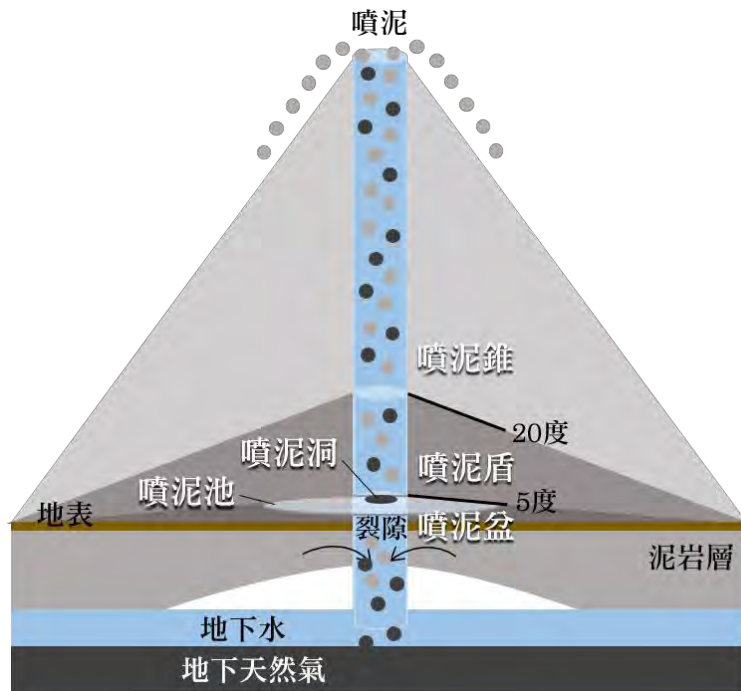
肆、研究過程或方法

一、泥火山背景探討

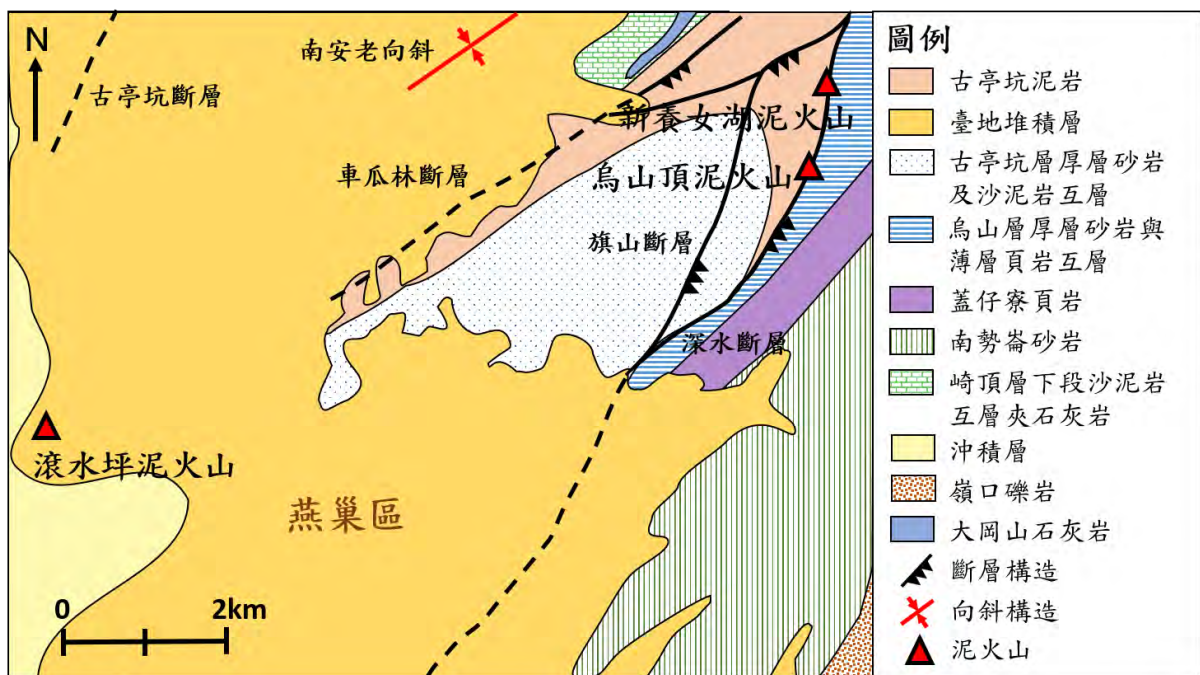
泥火山是地表下的天然氣或火山氣體沿著地下裂縫上湧，沿途混合泥砂與地下水，形成泥漿，並被帶至地表堆積（宋國城、陳力，2006）。石再添（1967）根據泥火山外觀及規模大小，可分為噴泥錐、噴泥盾、噴泥盆、噴泥池、噴泥洞。噴泥錐為較陡的泥火山，坡度大於 20° 、較黏；噴泥盾坡度較緩，大約 $5^\circ\sim 20^\circ$ ；噴泥盆坡度極緩，但仍有微微的坡度，約 5° 以下；噴泥池幾乎沒有坡度，類似池塘；噴泥洞整體較小（圖一）。

泥火山的流體由地底上升時浮力較大(含水、含氣量較多)、上升速度較快，所以同一個泥火山通道的泥漿上升至地表會形成各種形貌的泥火山，例如：烏山頂區域同時存在噴泥錐、噴泥盆、噴泥洞等泥火山地形（宋國城、陳力，2006）。

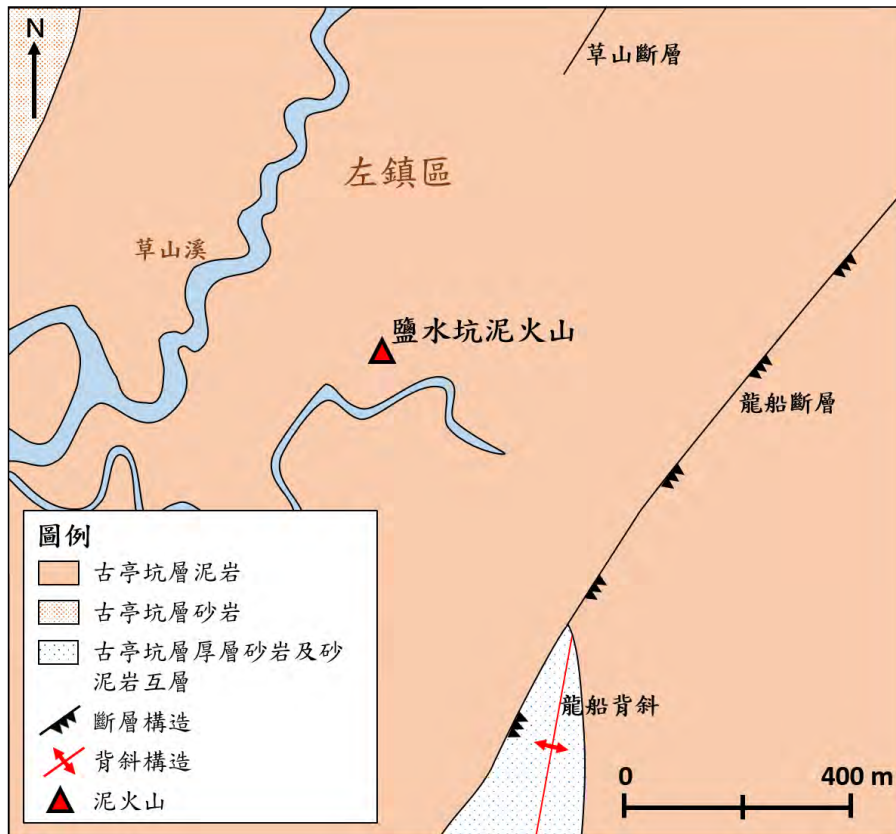
從圖二、圖三、圖四可發現台灣南部泥火山的位置皆位於斷層或背斜構造附近，而泥火山活動區主要分布在聚合的板塊邊界或隱沒帶的皺褶和擠壓環境，受擠壓應力影響，易發展出褶皺及斷層構造，造成地表破裂產生裂隙，提供地下水、氣體上升之通道。



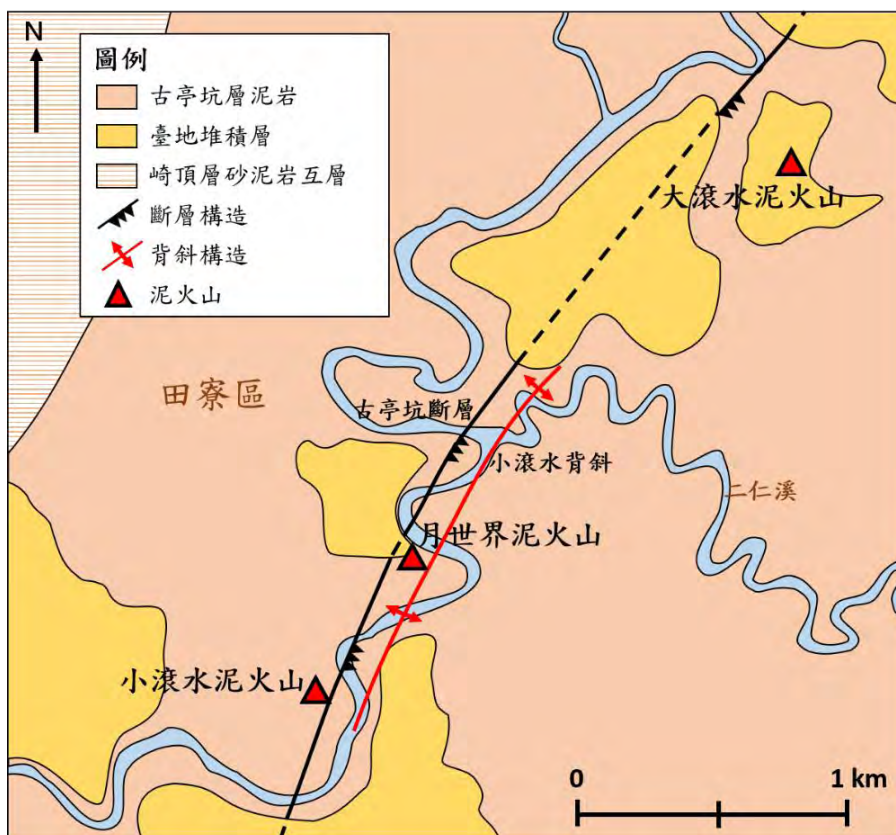
▲圖一、泥火山地形示意圖（修改自高雄市國民中小學戶外教育暨環境教育教材與教學資源整合系統 http://content.ks.edu.tw/33k/002_3st/kiso/003.html）



▲圖二、燕巢區泥火山地質圖（修改自中央地質調查所五萬分之一台灣區域地質圖數值檔）



▲圖三、左鎮區泥火山地質圖（修改自中央地質調查所五萬分之一台灣區域地質圖數值檔）



▲圖四、田寮區泥火山地質圖（修改自中央地質調查所五萬分之一台灣區域地質圖數值檔）

二、野外調查及採集

本研究共採集六座泥火山之泥漿，以鑑別泥漿與泥火山形貌之間的關係，採樣地點分別為台南左鎮區鹽水坑泥火山；高雄田寮區月世界泥火山、小滾水泥火山；及高雄燕巢區滾水坪泥火山、新養女湖其中兩座泥火山。泥漿採集方式為將樣本瓶浸置於泥火山口近中央處，讓經氣體上升攪拌混合的泥漿流入瓶中，並量測泥火山之溫度、噴口直徑、噴口頂部距泥漿液面之高度及噴口外側坡度等外型參數。溫度量測方式為將酒精式溫度計靜置於噴口泥漿中 3 分鐘再讀溫度值；噴口直徑以捲尺量測，直徑過大之泥火山採用固定比例尺（15 cm 筆）推算，量測噴口最大直徑；噴口高度為量測泥火山液面距噴口周圍疊高處之最大距離；坡度以手機 Clinometer 傾斜儀 app 量測 5 組噴口周圍堆泥傾斜角度，再取其平均值。



滾水坪噴泥盾泥火山，周圍有兩火山口已無噴發。



小滾水噴泥盆泥火山，中央泥火山口呈盆狀。



鹽水坑噴泥池泥火山，泥漿稀如水。



新養女湖 B 噴泥池泥火山。



新養女湖 A 噴泥池泥火山，噴出物含黑稠原油，周圍汽油味濃烈。



烏山頂噴泥錐泥火山，錐狀火山形狀保留完整，此火山口已停歇。



月世界噴泥盾泥火山，地形呈盾狀。



大滾水噴泥池泥火山，溢流範圍廣。



新養女湖 C 噴泥錐泥火山，泥漿濃稠氣體噴發劇烈，有黑稠原油浮於液面。



烏山頂噴泥洞泥火山，洞深約 0.3 公尺，泥漿外觀較清澈。

▲表二、泥火山外觀照片及簡述

三、泥漿物理性質探討

(一)泥漿泥水比例實驗

自泥火山採集的泥漿樣本主要由泥、砂等細粒沉積物與水組成，藉由加熱泥漿將水及揮發性物質蒸發後，得到泥砂於泥漿中所佔比例，藉以比對不同泥火山之泥漿黏度，瞭解泥漿泥砂比例與泥火山形貌之關係。計算泥砂比例的公式為：

$$D = \frac{W_d}{W_w}$$

W_d = 泥漿烤乾後含燒杯重量(g) - 燒杯重(g) W_w = 濕泥漿含燒杯重量(g) - 燒杯重(g)

D：泥砂佔泥漿比例(%) W_d ：乾泥重量(g) W_w ：濕泥重量(g)

實驗步驟：

1. 以電子天平測量空燒杯重。
2. 倒入約 10 g 泥漿於電子天平上的燒杯中，測量燒杯與泥漿總重。
3. 以加熱板將泥漿水分烤乾，加熱溫度 70 °C。
4. 測量燒杯與乾泥總重，計算出泥漿中泥砂比例。

(二)泥漿落球黏度實驗

鋼球在垂直玻璃管內液體中自由落下時，受到向上的流體黏滯力 (F_v)、浮力 (F_B)，及向下的重力 (W) 作用，達到終端速度後等速落下，藉由測定落下距離與時間，得到鋼球在液體中的等速落下速率，再利用史托克定律 (Stokes' law) 計算黏度：

$$\text{鋼球重量 } W = \frac{3}{4}\pi r^3 \times d_b \times g \quad \dots\dots\dots(1)$$

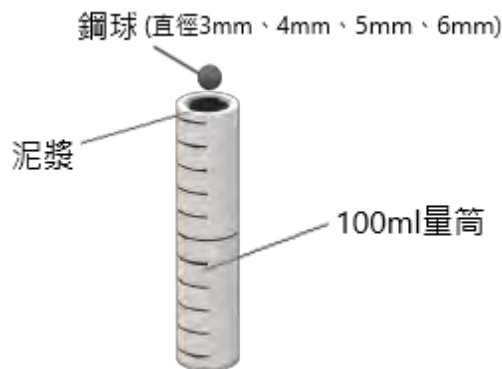
$$\text{鋼球在液體中所受浮力 } F_b = \frac{3}{4}\pi r^3 \times d_l \times g \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{流體黏滯力 } F_v = 6\pi\mu vr \quad \dots\dots\dots(3)$$

將(1)、(2)、(3)式帶入 $W - F_b - F_v = 0$ ，得 $\mu = \frac{2(d_b - d_l)}{9} r^2 g$

r ：鋼球半徑(cm) g ：重力加速度(m/s²) d_b ：鋼球密度(g/cm³)

d_b : 液體密度(g/cm^3) v : 落下終端速度(cm/s) μ : 液體黏度($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)



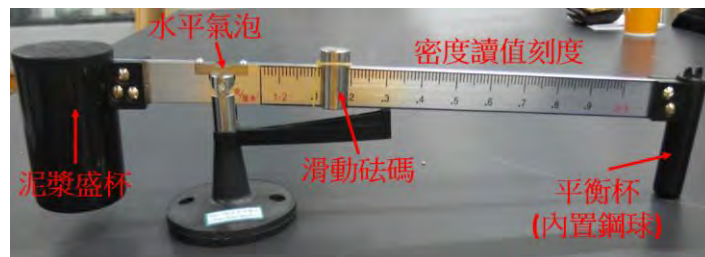
▲圖五、落球實驗示意圖

實驗步驟：

1. 將泥漿倒入量筒中，設定欲測定落下距離，以量筒刻度為標示。
2. 以鑷子夾住鋼球停在液體表面使其自靜止狀態於泥漿中自由落下。
3. 利用碼錶及相機錄影記錄落下時間，因泥漿混濁較難觀察，落下終點設定為量筒底部，以鋼球撞擊量筒底部聲音標示為落下的終點時間。
4. 以史托克定律（Stokes' law）計算泥漿黏度。

(三)泥漿密度實驗

為探討不同泥火山外型與泥漿密度之間的關聯，以 NB-1 型泥漿比重計（圖六）量測泥漿密度，其利用力矩平衡原理，將欲量測之泥漿樣本及鋼球置於槓桿兩端杯中，再移動橫桿上砝碼直到水平氣泡置中。



▲圖六、NB-1 型泥漿比重計

實驗步驟：

1. 以水（密度已知為 1 g/cm^3 ）裝滿泥漿盛杯校準儀器，調校方式為移出或移入平衡杯中鋼球，讓水平氣泡於砝碼移動至刻度 1.00 g/cm^3 時置中。
2. 校準後，將欲量測之樣本裝滿泥漿盛杯，關緊上蓋使多餘的液體溢出盛杯後擦拭乾淨，以定量盛杯中液體體積。
3. 調整橫桿上砝碼直到水平氣泡平衡置中。
4. 平衡後，砝碼所對應之刻度讀值即為樣本之密度，單位： g/cm^3 。

(四)泥漿漏斗黏度實驗

實驗利用 1006 型泥漿黏度計，計量泥漿自漏斗中漏下固定體積之時間。1006 型泥漿黏度計修改自馬氏漏斗（Marsh funnel），為野外現地量測鑽井液體黏度所使用之工程工具，一般使用的黏度單位為秒（s），M.J. Pitt（2000）根據流體運動行為及漏斗尺寸發展出單位轉換公式，將黏度單位由秒轉換為有效黏度（effective viscosity）。

$$e = (t - t_v)$$

$$e : \text{有效黏度 (mPa} \cdot \text{s)} \quad \rho : \text{密度 (g/cm}^3\text{)}$$

$$t : \text{量測樣本之時間 (s)} \quad t_v : \text{量測水之時間 (s)}$$

實驗步驟：

1. 以水（有效黏度於 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 下為 $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ）校準，量測其下漏 500 mL 所需時間。
2. 將 700 mL 泥漿倒入漏斗，倒入時以 16 目篩網過濾較粗顆粒，以免漏口堵塞影響實驗結果。
3. 將 500 mL 容量杯置於漏斗下，以碼表計時自液體開始下漏至容量杯裝滿 500 mL 。
4. 重複實驗以取得更準確之平均值，減少計時不同步造成的誤差。
5. 以液體密度、水的量測時間、樣本量測時間計算出有效黏度。

(五)泥漿含砂量實驗

為瞭解泥漿含砂比例和泥火山地形成型之關聯，以 NA-1 型泥漿含砂量計量測 100 mL 泥

漿樣本含砂體積百分比，含砂量計包含 200 目篩網之濾杯，及底部為尖錐狀之玻璃瓶，瓶身上有含砂量體積百分比之刻度，可直接讀出結果。

實驗步驟：

1. 將泥漿 100 mL 倒入含砂量計玻璃瓶內，加水稀釋至 250 mL，以加速過濾步驟。
2. 將稀釋的泥水以 200 目濾網濾杯過濾粒徑大於 0.08 mm 砂粒。
3. 反覆加水並過濾，避免砂粒殘留於瓶中。
4. 將濾網倒置於砂量計玻璃瓶上，以清水將過濾之砂粒洗入。
5. 待砂粒完全沉澱後讀出瓶上的刻度即為其含砂量體積百分比。

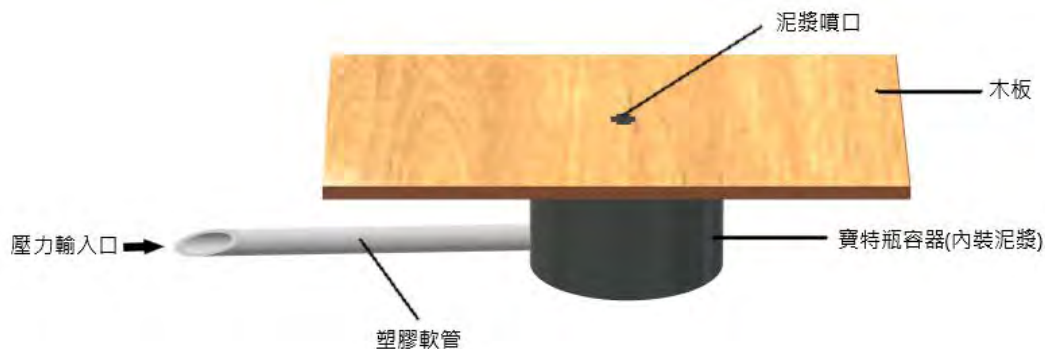
四、泥火山模型實驗

泥火山模型為本研究之主要實驗，目的為在固定條件下觀察量測之泥漿物理性質與泥火山形貌的關係，實驗以泥漿樣本及高嶺土加水配製成不同比例之溶液來模擬泥火山噴發之地形形貌，不同地點之泥漿樣本除已量測的物理性質外，可能尚有其他未考量到的變因影響泥漿有效黏度，如溶於水中之鹽類及氣體、泥漿中黏土礦物種類及其比例等，因此以高嶺土配製的溶液來移除使用泥漿樣本模擬之潛在變因，方便觀察泥漿有效黏度與形貌的關係。實驗前配製多種不同比例之高嶺土溶液，觀察其流動性質，再選用較接近泥火山泥漿樣本黏稠度之比例。實驗所用之泥漿包含 6 種泥火山泥漿樣本、1000 公克水分別混合高嶺土 200 公克、250 公克、300 公克、350 公克，及重量百分比為 20%、25%、30%、35%之高嶺土溶液。

實驗裝置如下圖七所示，底下以寶特瓶切開後盛裝實驗液體（泥漿樣本及高嶺土溶液）上端以熱熔膠固定木板模擬平坦地層基盤，提供泥漿溢流之空間同時密封容器，下端鑽孔接入一 PV 軟管，以空壓機由此輸入氣壓模擬地層壓力。木板中央以電鑽鑽孔模擬泥火山流體上升通道，為探討上升通道之大小影響泥漿成型之關係，我們以不同孔徑的孔洞重複進行實驗，探討泥火山流體通道大小與形貌之關係。

控制變因為泥漿種類及鑽孔直徑，實驗共進行 26 組，分別為 6 種泥火山樣本分別使用直徑 4 mm、8 mm、12 mm 之噴口（18 組），及重量百分比為 20%、25%、30%、35%之高嶺土

溶液、1000 公克水分別混合高嶺土 200 公克、250 公克、300 公克、350 公克形成高嶺土溶液，並使用 8 mm 之噴口（8 組）。



▲圖七、泥火山模型實驗裝置

實驗步驟：

1. 準備如圖七之裝置，容器內填滿泥漿並放置攪拌磁石，置於攪拌加熱器上使磁石攪拌避免泥漿內泥砂沉澱。
2. 空壓機每隔兩小時輸入壓力 6 秒，使泥漿自噴口孔洞噴出，共操作 5 次（經 8 小時）。
3. 每次噴發後記錄泥漿溢流範圍及泥漿溫度，並於 5 次噴發結束後記錄溢出泥漿之堆疊高度及形成之盆狀口直徑。
4. 重複步驟 1-3，改變實驗操縱變因（噴口大小及泥漿種類）。

伍、研究結果

一、野外調查結果

調查結果如下表三所示。泥漿採樣地點為鹽水坑、小滾水、月世界、新養女湖、滾水坪等五地，其中新養女湖包含兩泥火山口樣本，大滾水因泥池中央噴口距陸地遙遠且周圍灌木叢生，採樣困難而無採集樣本；烏山頂為自然保留區，雖此地泥火山有多樣型態，地形景觀豐富，但無法採集。

量測參數	溫度(°C)	噴泥口直徑(m)	噴口高度(m)	坡度
鹽水坑	22.5	0.8	0.0	0°
小滾水	23.0	0.8	0.1	28°

月世界	23.0	1.8	0.1	43°
大滾水	-	-	-	-
新養女湖 A	43.0	1.4	0.0	0°
新養女湖 B	23.5	1.8	0.0	0°
新養女湖 C	30.5	1.2	0.6	-
烏山頂 C	-	0.2	0.2	65°
烏山頂 D	-	0.6	0.3	0°
烏山頂 E	-	0.2	0.0	0°
滾水坪	23.0	1.0	0.1	29°

▲表三、泥火山泥漿溫度、噴口直徑、噴口高、及坡度紀錄

二、泥漿物理性質實驗結果

實驗結果列於表四，泥漿落球黏度實驗因泥漿不透明，無法觀察鋼球落下之過程，亦無法量測其等速運動之速率，因此落球黏度實驗無數據結果。

	新養女湖 C	新養女湖 A	鹽水坑	滾水坪	小滾水	月世界	水
泥砂比例 1(%)	61.3	40.3	33.5	41.8	40.8	51.9	-
泥砂比例 2	60.8	40.5	33.7	44.1	41.1	52.0	-
泥砂比例 3	61.1	41.0	33.6	43.8	42.5	52.4	-
平均	61.07	40.60	33.60	43.23	41.47	52.10	-
含砂量(%)	7.5	3.4	3.6	2.6	4.5	2.6	-
密度(g/cm ³)	1.617	1.355	1.309	1.361	1.355	1.480	1.000
漏斗時間 1(s)	85.17	17.29	14.34	18.39	16.21	23.64	13.74
漏斗時間 2	83.08	16.95	14.15	18.15	16.35	23.52	13.62
漏斗時間 3	82.62	16.94	14.59	18.18	16.06	24.09	13.61
漏斗時間 4	81.82	16.82	13.86	18.45	16.27	24.09	14.26
漏斗時間 5	81.23	16.86	14.41	18.13	16.39	24.14	14.11
平均	82.784	16.972	14.270	18.260	16.256	23.896	13.868
黏度(mPa · s)	113.05	5.56	1.83	7.34	4.59	16.32	1.00

▲表四、泥漿物理性質實驗結果

	200 g	250 g	300 g	350 g
密度(g/cm ³)	1.111	1.139	1.156	1.181
平均漏斗時間(s)	14.812	15.260	15.744	17.034
黏度(mPa · s)	1.049	1.585	2.169	3.739

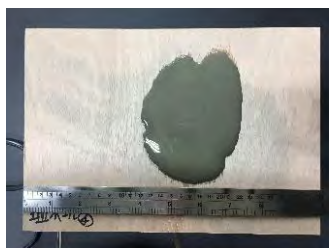
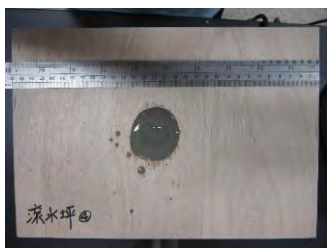

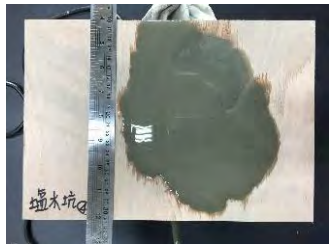
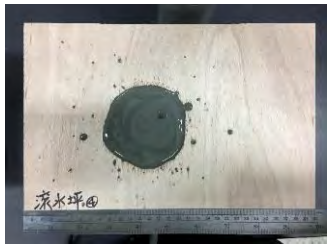
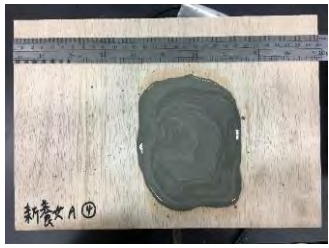
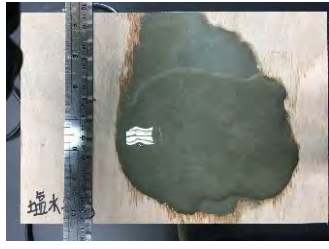
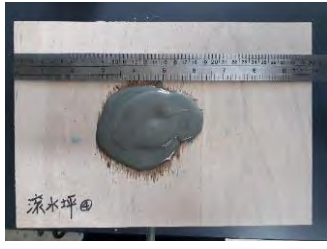
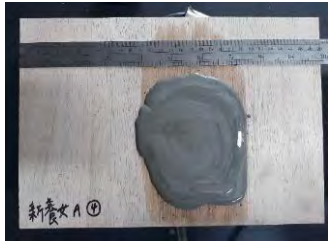
▲表五、高嶺土（固定 1000 g 水）泥漿性質實驗結果

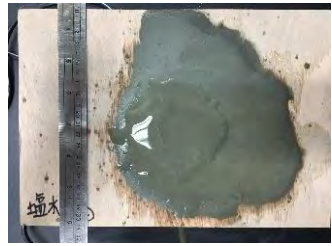
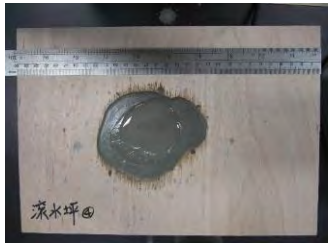

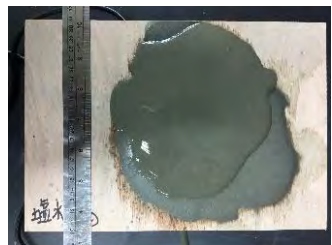
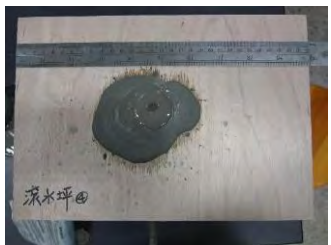
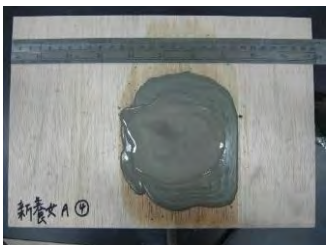
	20 %	25 %	30 %	35 %
密度(g/cm ³)	1.141	1.181	1.220	1.252
平均漏斗時間 (s)	14.33	16.26	19.41	31.63
黏度(mPa · s)	1.67	4.00	7.98	23.49

▲表六、高嶺土（重量百分比）泥漿性質實驗結果

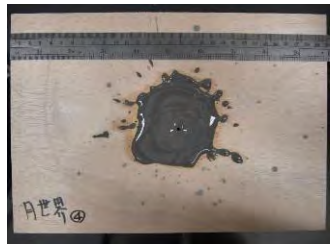

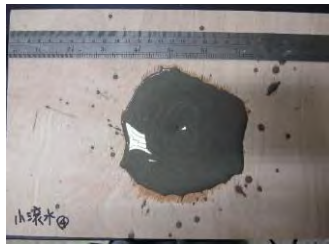
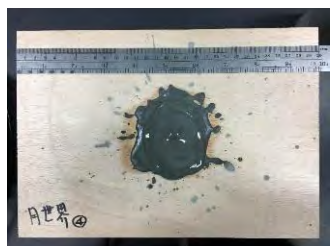

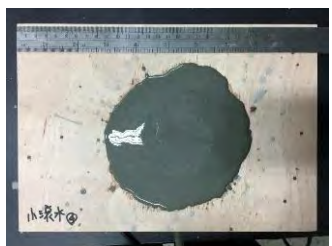






三、泥火山模型實驗結果

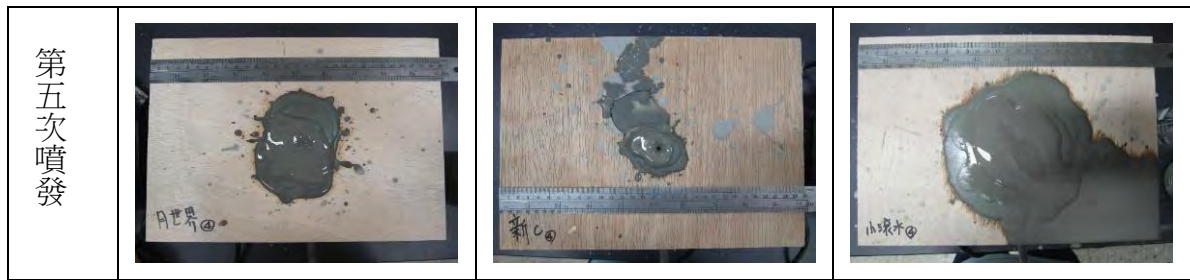
(一)直徑 4 mm 噴口泥漿模型

	鹽水坑	滾水坪	新養女湖 A
第一次噴發			
第二次噴發			
第三次噴發			

第四次噴發	 鹽水坑	 滾水坪	 新養女A
第五次噴發	 鹽水坑	 滾水坪	 新養女A

▲表七、鹽水坑、滾水坪、新養女湖 A 直徑 4 mm 噴口模型實驗結果照片

	月世界	新養女湖 C	小滾水
第一次噴發	 月世界	 新C	 小滾水
第二次噴發	 月世界	 新C	 小滾水
第三次噴發	 月世界	 新C	 小滾水
第四次噴發	 月世界	 新C	 小滾水



▲表八、月世界、新養女湖 C、小滾水直徑 4 mm 噴口模型實驗結果照片

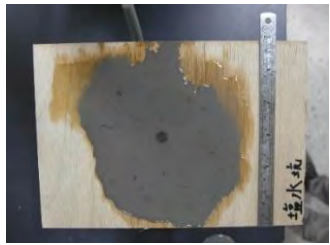

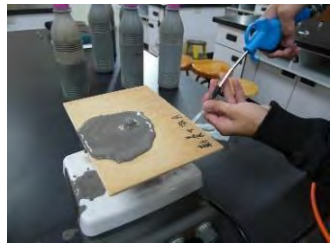
(mm)	新養女湖 C	新養女湖 A	月世界	小滾水	滾水坪	鹽水坑
第 1 次噴發-長	94	72	86	116	51	132
第 1 次噴發-寬	65	70	78	115	46	101
第 2 次噴發-長	101	130	93	148	85	202
第 2 次噴發-寬	80	105	82	147	86	165
第 3 次噴發-長	105	139	99	152	88	201
第 3 次噴發-寬	91	112	82	149	108	180
第 4 次噴發-長	108	140	98	151	88	204
第 4 次噴發-寬	86	116	81	150	109	186
第 5 次噴發-長	136	139	119	154	88	203
第 5 次噴發-寬	86	114	88	150	108	185
最終盆口高度	9.1	4.7	8.7	7.2	5.3	1.0
最終盆口寬度	20	65	31	81	25	-
泥漿溢流面積 (cm ²)	67.45	148.98	94.69	201.68	81.69	305.95


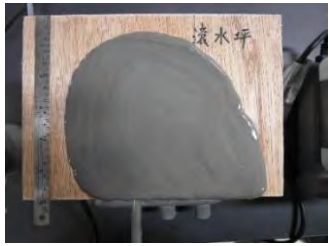
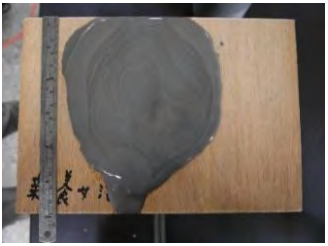
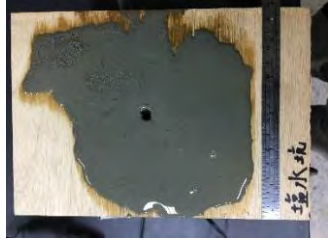
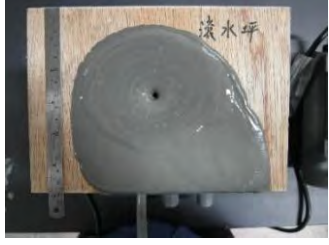
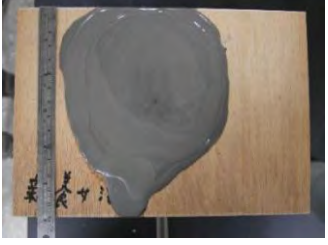



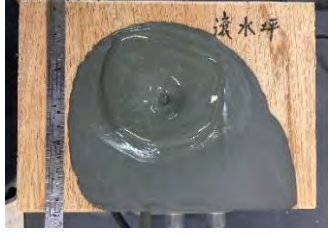

註 1：盆口為泥火山最高處連線形成之盆狀口。

註 2：鹽水坑之模型結果過於平坦，無呈現明顯盆口。


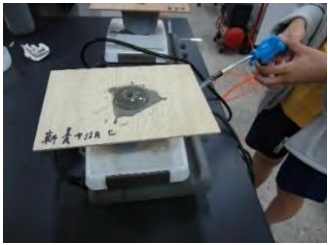


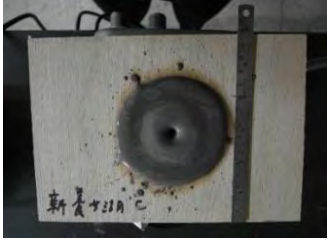
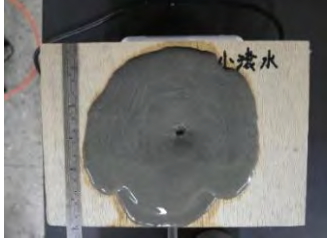
▲表九、直徑 4 mm 噴口泥漿模型之外型數據

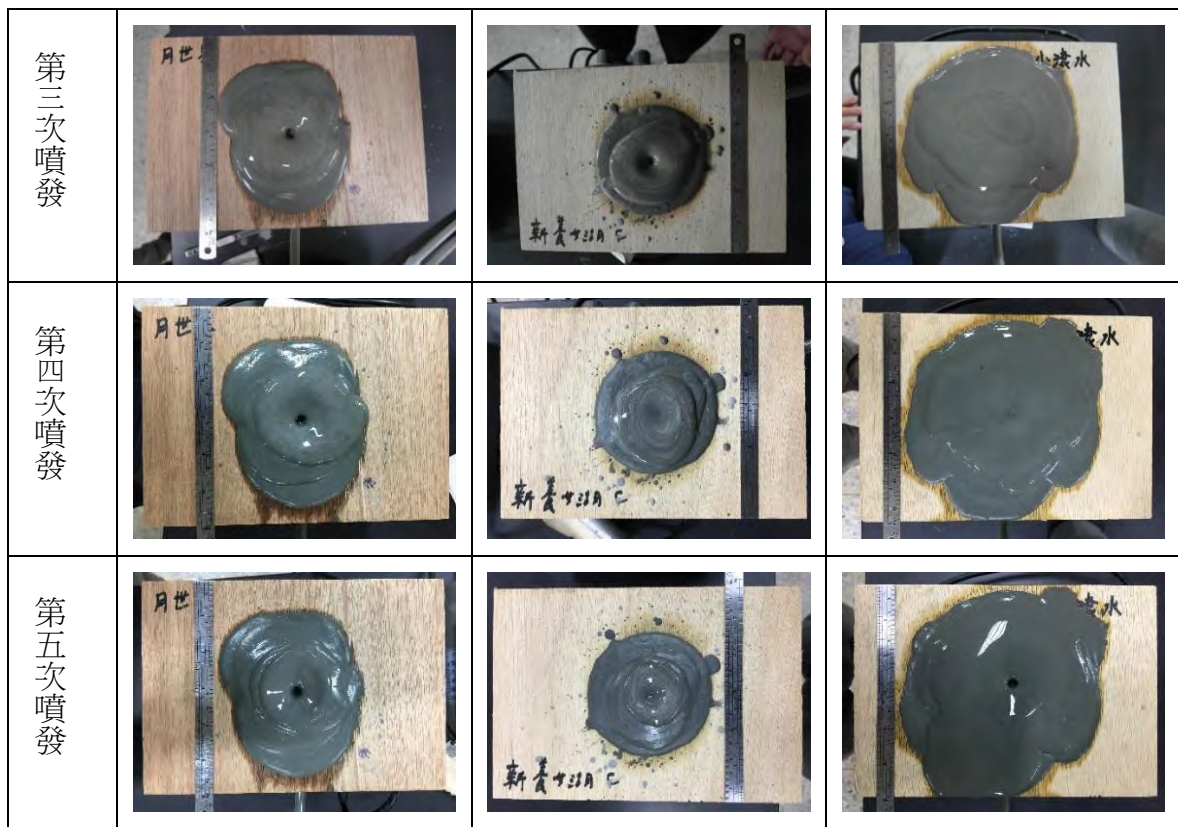
(二)8 mm 噴口泥漿模型

	鹽水坑	滾水坪	新養女湖 A
第一次噴發			

第二次噴發			
第三次噴發			
第四次噴發			
第五次噴發	未紀錄		

▲表十、鹽水坑、滾水坪、新養女湖 A 直徑 8 mm 噴口模型實驗結果

	月世界	新養女湖 C	小滾水
第一次噴發			
第二次噴發			

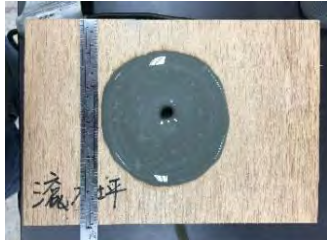



▲表十一、月世界、新養女湖 C、小滾水直徑 8 mm 噴口模型實驗結果

(mm)	新養女湖 C	新養女湖 A	月世界	小滾水	滾水坪	鹽水坑
第 1 次噴發-長	-	-	-	-	-	128
第 1 次噴發-寬	-	-	-	-	-	149
第 2 次噴發-長	88	115	92	147	-	157
第 2 次噴發-寬	87	>149	117	142	-	>149
第 3 次噴發-長	88	118	97	147	101	157
第 3 次噴發-寬	87	>149	117	143	122	>149
第 4 次噴發-長	88	140	100	148	100	158
第 4 次噴發-寬	87	>149	116	140	120	>149
第 5 次噴發-長	88	141	97	>149	106	-
第 5 次噴發-寬	87	>149	116	138	120	-
最終盆口高度	11.7	7.2	12.8	7.0	8.9	1.0
最終盆口寬度	32	73	42	95	72	-
泥漿溢流面積 (cm ²)	59.75	158.75	89.63	174.37	110.51	171.57

▲表十二、直徑 8 mm 噴口泥漿模型之外型數據

(三)12 mm 噴口泥漿模型

	鹽水坑	滾水坪	新養女湖 A
第一次噴發			
第二次噴發			
第三次噴發			
第四次噴發			
第五次噴發			

▲表十三、鹽水坑、滾水坪、新養女湖 A 直徑 12 mm 噴口模型實驗結果



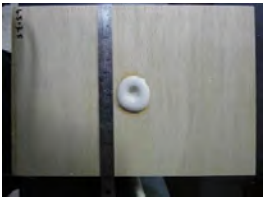
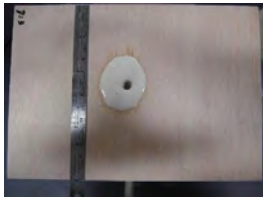
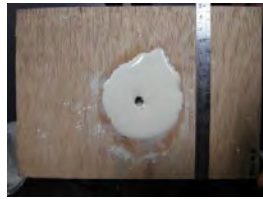
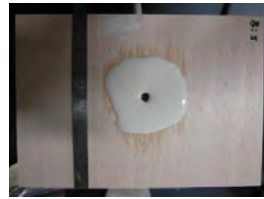




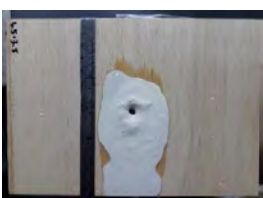
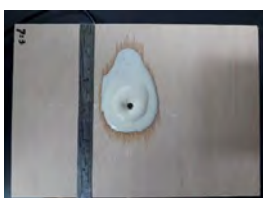
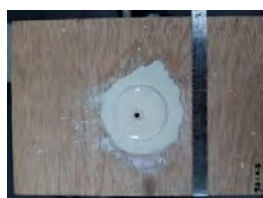

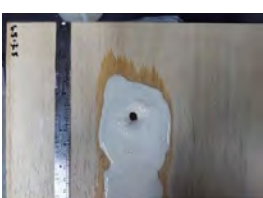



▲表十四、月世界、新養女湖 C、小滾水直徑 12 mm 噴口模型實驗結果

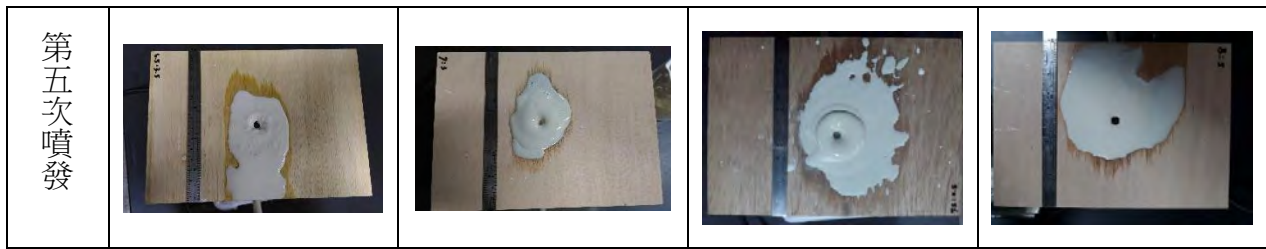
(mm)	新養女湖 C	新養女湖 A	月世界	小滾水	滾水坪	鹽水坑
第 1 次噴發-長	51	93	73	100	99	90
第 1 次噴發-寬	55	92	69	79	91	59
第 2 次噴發-長	52	101	75	104	110	82
第 2 次噴發-寬	56	93	71	81	105	58
第 3 次噴發-長	55	127	73	108	109	101
第 3 次噴發-寬	58	103	71	85	102	63

第 4 次噴發-長	54	133	73	107	108	105
第 4 次噴發-寬	57	102	70	92	102	67
第 5 次噴發-長	55	142	72	120	114	109
第 5 次噴發-寬	57	147	70	120	103	75
最終盆口高度	12.0	5.1	6.6	5.0	8.0	1.0
最終盆口寬度	25	80	32	54	44	-
泥漿溢流面積 (cm ²)	23.48	163.25	40.25	113.51	88.19	64.16

▲表十五、直徑 12 mm 噴口泥漿模型之外型數據

(四)高嶺土泥漿（重量百分比）-8 mm 噴口模型

	35%	30%	25%	20%
第一次噴發				
第二次噴發				
第三次噴發				
第四次噴發				



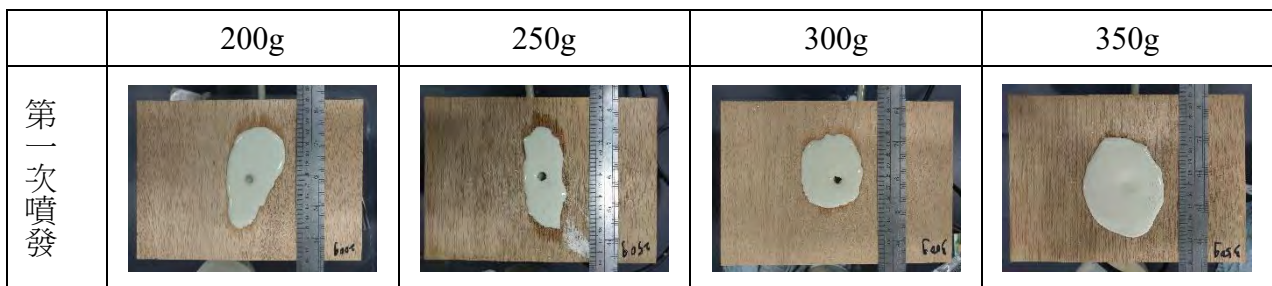
▲表十六、不同比例高嶺土泥漿之模型結果

(mm)	20%	25%	30%	35%
第 1 次噴發-長	68	78	46	30
第 1 次噴發-寬	70	68	39	28
第 2 次噴發-長	78	78	74	83
第 2 次噴發-寬	76	71	49	54
第 3 次噴發-長	78	79	74	107
第 3 次噴發-寬	76	70	49	60
第 4 次噴發-長	99	104	83	107
第 4 次噴發-寬	83	80	56	60
第 5 次噴發-長	137	111	83	106
第 5 次噴發-寬	104	82	60	63
最終盆口高度	1.0	3.9	5.1	5.5
最終盆口寬度	-	38	22	20
泥漿溢流面積 (cm ²)	93.07	80.64	35.12	59.87

註 1：20 %重量百分比之高嶺土泥漿模型結果過於平坦，無明顯盆口。

▲表十七、高嶺土泥漿（重量百分比）每次噴發之外型數據

(五)高嶺土泥漿（固定 1000 g 水）-8mm 噴口模型





▲表十八、200g、250g、300g、350g 高嶺土模型結果

(mm)	200g	250g	300g	350g
第 1 次噴發-長	55	39	57	73
第 1 次噴發-寬	95	92	68	89
第 2 次噴發-長	57	56	65	100
第 2 次噴發-寬	121	150	88	73
第 3 次噴發-長	59	71	83	87
第 3 次噴發-寬	121	150	148	150
第 4 次噴發-長	62	79	124	96
第 4 次噴發-寬	121	150	150	150
第 5 次噴發-長	67	94	134	96
第 5 次噴發-寬	125	150	150	150
最終盆口高度	2.3	2.5	4.0	5.9
泥漿溢流面積 (cm ²)	63.56	120.32	157.85	106.66

▲表十九、高嶺土泥漿（固定 1000 g 水）每次噴發之外型數據

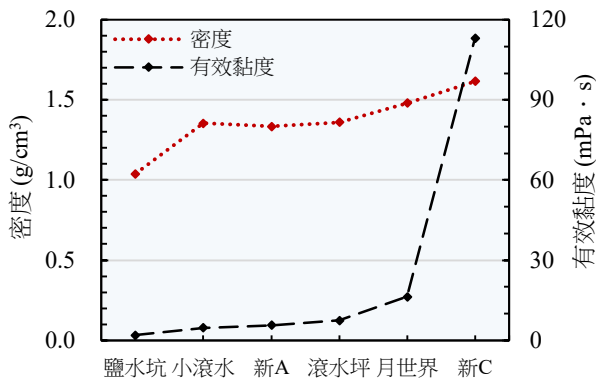
陸、討論

一、泥漿性質與泥火山地形之關係

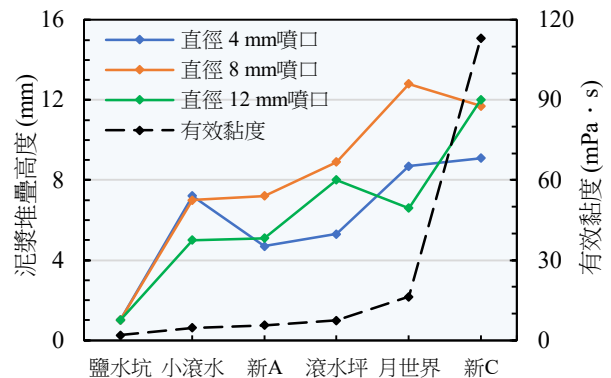
(一)天然泥漿與泥火山地形

泥漿在低黏度下 ($< 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$)，有效黏度越大，密度也越大，兩者間呈正相關 (圖八)。新養女湖 C 的有效黏度比其他泥火山泥漿高出許多，但密度卻無大幅增加，顯示有效黏度非只受密度單一參數影響，尚有其他泥漿之性質差異造成其黏度變化。

隨泥漿有效黏度提高，泥漿模型堆疊的高度呈現不規則的上升趨勢 (圖九)，兩者具關連性但非單純的正相關，可知除有效黏度外，泥漿堆疊高度可能亦受其他因素影響。



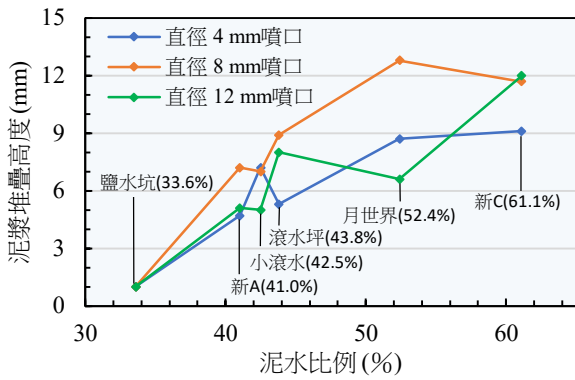
▲圖八、有效黏度與密度關係圖



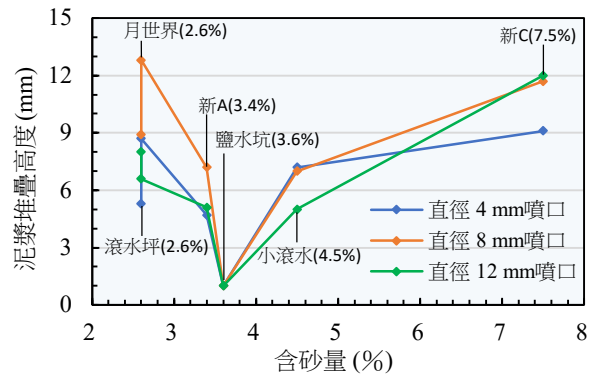
▲圖九、泥漿堆疊高度與有效黏度關係圖

將泥漿堆疊高度與其他泥漿性質比較，泥水比例與泥漿堆疊高度大致呈正相關 (圖十)；而含砂量與泥漿堆疊高度呈現不規則的趨勢 (圖十一)，鹽水坑泥漿含砂量大於月世界及滾水坪，但泥漿堆疊高度卻較低；而新養女湖 C 之泥漿含砂量大於月世界及滾水坪，但高度卻較高，推測泥漿含砂量與堆疊高度較無關。然而石再添 (1967) 的研究卻顯示泥火山坡度與含砂量相關，推測可能因本研究分析之泥漿含砂量皆偏低 ($< 8\%$)，無法呈現其與泥火山地形之關係性。

綜合上述討論，可知泥火山的泥漿堆疊高度受泥漿黏度及泥水比例影響較大，而泥水比例代表泥漿中泥質物的多寡，與其有效黏度及密度有直接的關係。



▲圖十、模型高度與泥水比例之關係

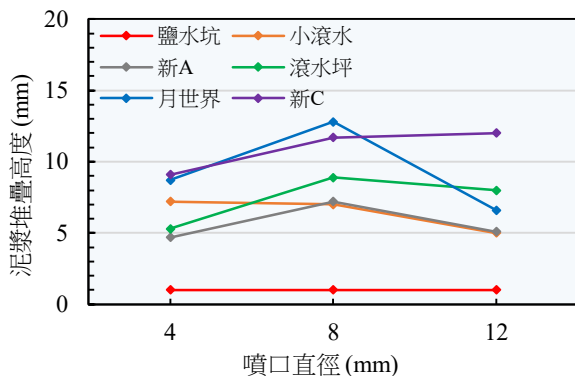


▲圖十一、模型高度與含砂量之關係

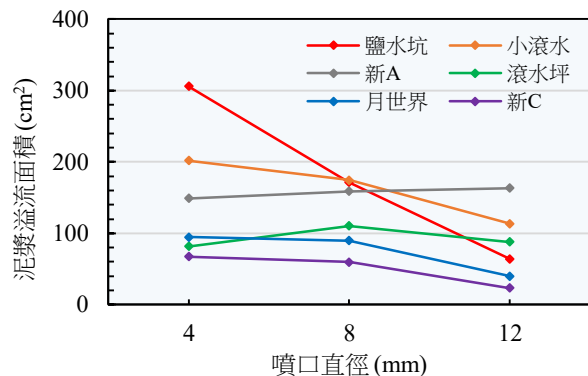
比較不同直徑噴口之泥漿模型高度（圖十二），月世界、滾水坪、及新養女湖 A 模型之泥漿堆疊高度在噴口直徑為 8 mm 時最高；新養女湖 C 模型的泥漿堆疊高度在噴口直徑為 12 mm 時最高；小滾水模型的泥漿堆疊高度則在 4 mm 時最高，顯示噴口直徑與泥漿堆疊高度無明顯關聯性。

根據流體流量公式 $Q=AV$ （ Q ：流量， A ：管體截面積， V ：該截面積流速），固定壓力下輸入流量固定，則改變泥漿噴口截面積會影響流體輸出的速度，在相同輸出時間下，噴口直徑與輸出流量成反比關係。對比噴口直徑與泥漿溢流面積（圖十三），4 組泥漿之模型結果呈現負相關，符合上述方程式之關係，但尚有 2 組泥漿（新養女湖 A、滾水坪）之模型結果並無顯示此趨勢。

根據實驗過程的觀察以及分析圖十二、圖十三，得知噴口直徑影響泥火山之泥漿溢流面積，與泥漿堆疊高度較無關。



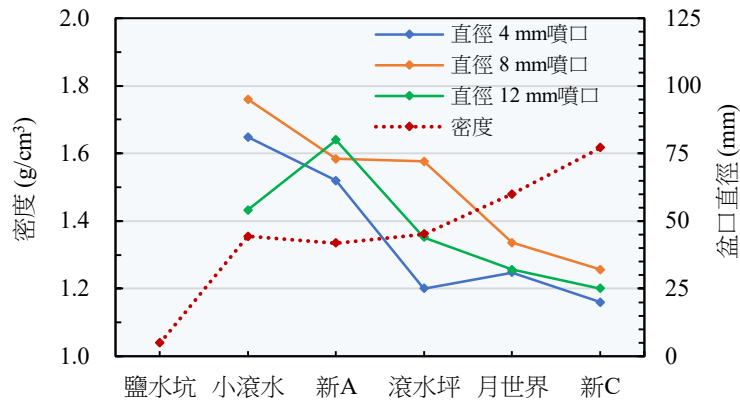
▲圖十二、泥漿堆疊高度與噴口直徑關係圖



▲圖十三、模型噴口與溢流面積關係圖

不同直徑噴口之模型實驗結果顯示，泥漿密度越大時盆口（泥火山最高處連線形成之盆狀口）越小，兩者大致呈負相關，但噴口直徑 12 mm 的模型中，小滾水模型的盆口直徑呈現

相反趨勢（圖十四）。

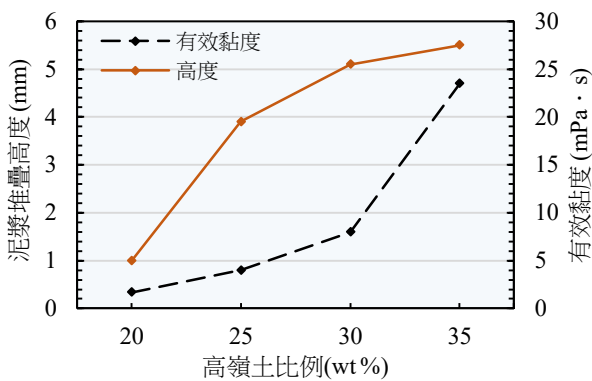


▲圖十四、密度與盆口直徑關係圖

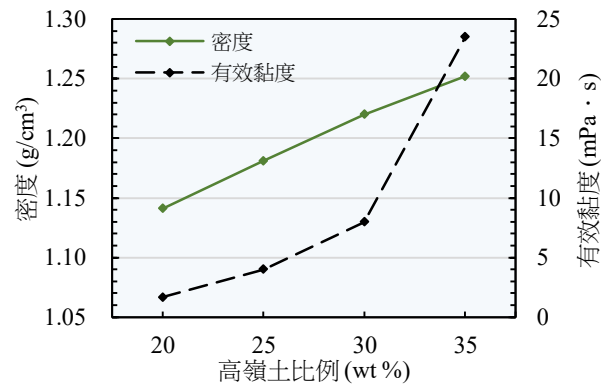
(二)高嶺土泥漿與泥火山地形

以高嶺土配製泥漿操作模型實驗的目的為將泥漿性質單純化，以討論特定泥漿性質與泥火山地形之關係，並移除潛在變因造成的影響。

將高嶺土泥漿的有效黏度與堆疊高度之關係（圖十五）與有效黏度與密度之關係（圖十六），對比圖八及圖九，天然泥漿與高嶺土泥漿的實驗結果顯示類似的相關性，泥漿密度、有效黏度及泥水比例皆會影響泥漿堆疊高度，彼此呈現正相關。



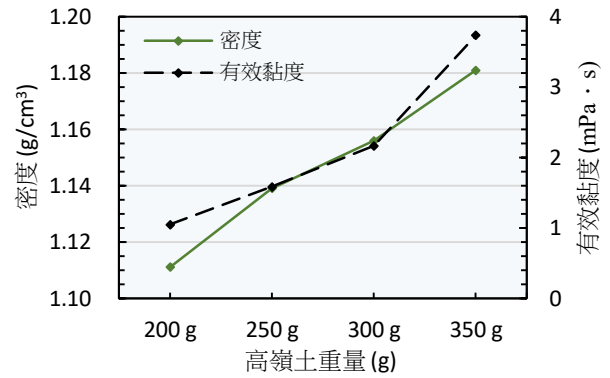
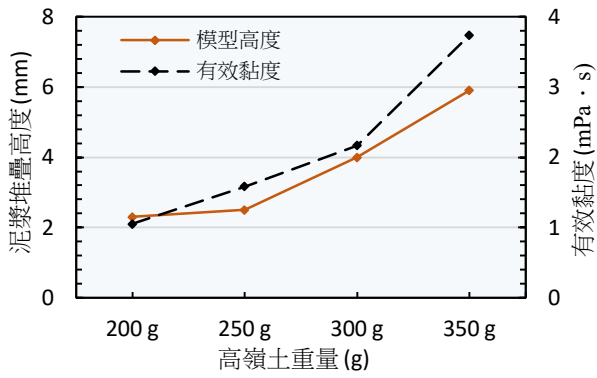
▲圖十五、高嶺土有效黏度與高度之關係



▲圖十六、高嶺土有效黏度與密度之關係

根據圖十七可發現當加入 1000 g 水的高嶺土重量增加，模型堆疊高度也越高，且兩者變化幅度相近呈正相關；由圖十八可知加入 1000 g 水的高嶺土重量增加，高嶺土泥漿密度、有效黏度也增加，以不同方法配製的高嶺土泥漿皆顯示類似結果。

結合天然泥漿的實驗結果，有效黏度低的泥漿所呈現的密度與黏度有較良好關係性。



▲圖十七、高嶺土模型高度與有效黏度之關係

▲圖十八、高嶺土有效黏度與密度之關係

二、實驗設計與天然泥火山之差異

模型實驗之壓力輸入源為手動控制之空壓機，壓力不易穩定控制而可能有些微浮動。另外實驗模型成型的過程僅 8 小時，固定每 2 小時噴發一次，但真實泥火山為不固定噴發或者隨時在噴發，且其成型之時間較長，導致兩者間仍有些微差異（表二十）。

	天然泥火山	實驗模型
環境	附近地表空間廣大且並非平地	較平坦光滑，泥漿溢流範圍受制於木板大小
噴發通道	地層破裂提供地下流體釋放壓力之通道，形狀不固定	圓形孔洞，流體上升通道長度為木板厚度，較短
噴出物質	泥漿(泥、砂、水、鹽類混合物)、天然氣	泥漿模型：泥漿、空氣 高嶺土泥漿模型：高嶺土泥漿、空氣
形成時間	噴發時間無固定間隔、噴發次數多、形成時間長、地形規模較大且完整	兩小時噴發一次、噴發次數少、形成時間短、地形規模小
溫度	因地而異	皆為室溫

▲表二十、實驗模型與天然泥火山之差異

柒、結論

- 一、泥漿有效黏度、密度、泥水比例、噴口大小等多種性質同時影響泥火山地形的成型，以單一泥漿性質討論其與地形的關係較難得出影響程度，根據實驗結果歸納以下結論：
 - (一)泥火山地形之泥漿堆疊高度，受泥漿有效黏度、密度及泥水比例等類似性質影響與其呈正相關，與噴口直徑無明顯關係，泥漿含砂量過低時亦與其無關。
 - (二)泥火山地形之盆口大小，受泥漿有效黏度、密度及泥水比例等性質影響呈負相關。
 - (三)泥火山地形之泥漿溢流範圍，受噴口大小與泥漿有效黏度影響，與其呈負相關。
- 二、實驗數據與地形並非呈現簡單線性關係，可能受實驗設計影響與真實泥火山稍有出入，亦可能除本研究探討之泥漿性質外，受其他參數影響泥火山地形成型。

捌、參考資料及其他

- 一、陳利貞等（2006）•泥火山的奇妙樂章•中央地質調查所•地質•第 25 卷第 2 期• p.18-39。
- 二、宋國城、陳力（2006）•由地形系統觀點探討泥火山的地景敏感度•地理學報•第 44 期 p.39-53。
- 三、葉高華（2003）•由流體地球化學探討台灣泥火山的成因•國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 四、石再添（1967）•臺灣活泥火山的調查及其類型與噴泥性質之關係的研究•台灣石油地質•第 5 號• p. 259~311。
- 五、Pitt, M. J. (2000). The Marsh funnel and drilling fluid viscosity: a new equation for field use. *SPE Drilling & Completion*, 15(01), 3-6.
- 六、中央地質調查所•地質資料整合查詢系統•五萬分之一台灣區域地質圖數值檔-旗山,2013。 <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>
- 七、莊文星•台灣泥火山小地形•國立自然科學博物館•館訊第 268 期。
<http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/99/268/a-5.pdf>
- 八、陳志鵬•高雄市國民中小學戶外教育暨環境教育教材與教學資源整合系統。
http://content.ks.edu.tw/33k/002_3st/kiso/003.html

【評語】 051902

本研究選擇研究泥火山形狀的成因的題目很有趣，這是一個很複雜不容易分析的問題。作者假設坡度主要受泥漿有效黏度、密度及泥水比例影響，雖實驗證明實際情形可能不如預期，但這仍然是一個很好的練習。泥火山形狀是受長期噴發，逐日累積所造成，欲以數次的噴發實驗來代表，可能要再多思考一番。本研究對於泥火山形成機制的主題，尚可增加地質成因探討。

摘要

泥火山有多樣的形貌，依地形學觀點可分作噴泥錐、噴泥盾、噴泥池、噴泥盆、噴泥洞等類型，為瞭解影響泥火山地形形成之因素，以實驗量測泥漿泥水比例、含砂量、密度、有效黏度等物理性質，並以泥火山模型實驗得出模擬泥火山之形貌參數，研究泥漿物理性質與形貌之間的關係。依實驗數據得知，泥漿有效黏度、密度、泥砂比例與泥火山地形高度呈正相關，與泥漿溢流範圍則呈負相關，流體通道大小(噴口)與地形之關係較其他物理性質影響小。

壹·研究動機

台灣西南部因有廣大厚層泥岩分布，加上板塊聚合造山帶形成的擠壓環境利於褶皺及斷層構造發育，其形成的裂隙提供泥層間天然氣及地下水上升的天然通道，而擁有獨特的泥火山地質景觀。我們對泥火山的認知僅存於課本中的知識及圖片，對於台灣這樣特別的天然地質景觀缺乏實際探索的經驗，為何泥火山有如此多樣的地形？是什麼原因造成如同火山一般的形貌？因此我們希望透過野外實地觀察與設計模擬泥火山的實驗來瞭解大自然鬼斧神工雕塑出的泥火山地形。

貳·研究目的

- 一、以模型實驗模擬泥火山，瞭解泥火山的多樣型貌如何成型。
- 二、瞭解泥漿密度、泥砂比例、泥漿黏度、含砂量等物理性質及泥漿輸出壓力影響泥火山地形形成型的程度。

參·實驗方法與過程

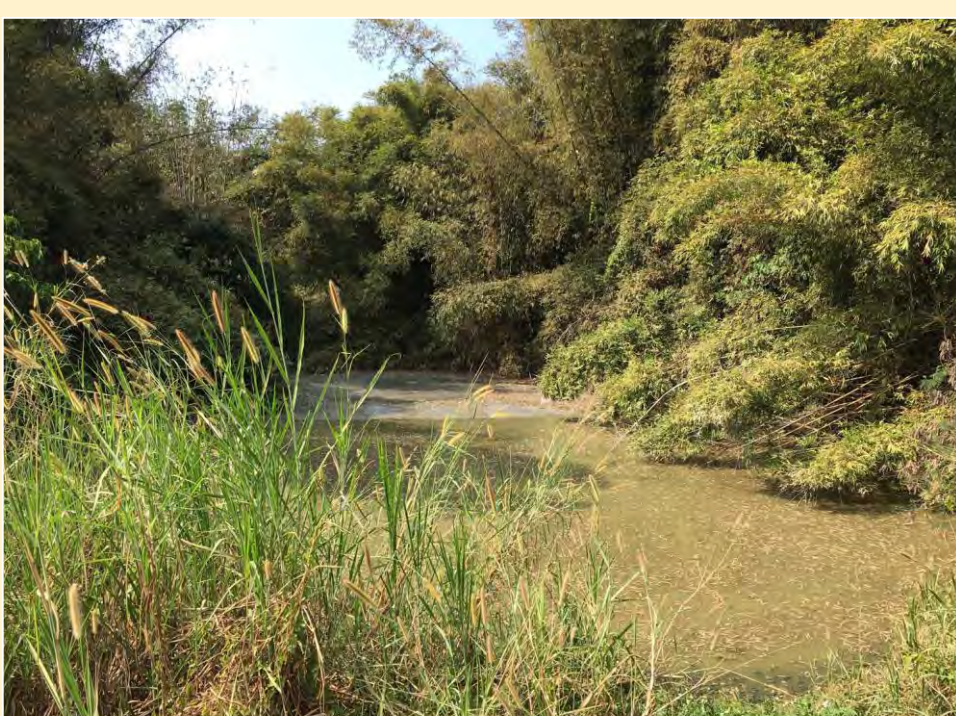
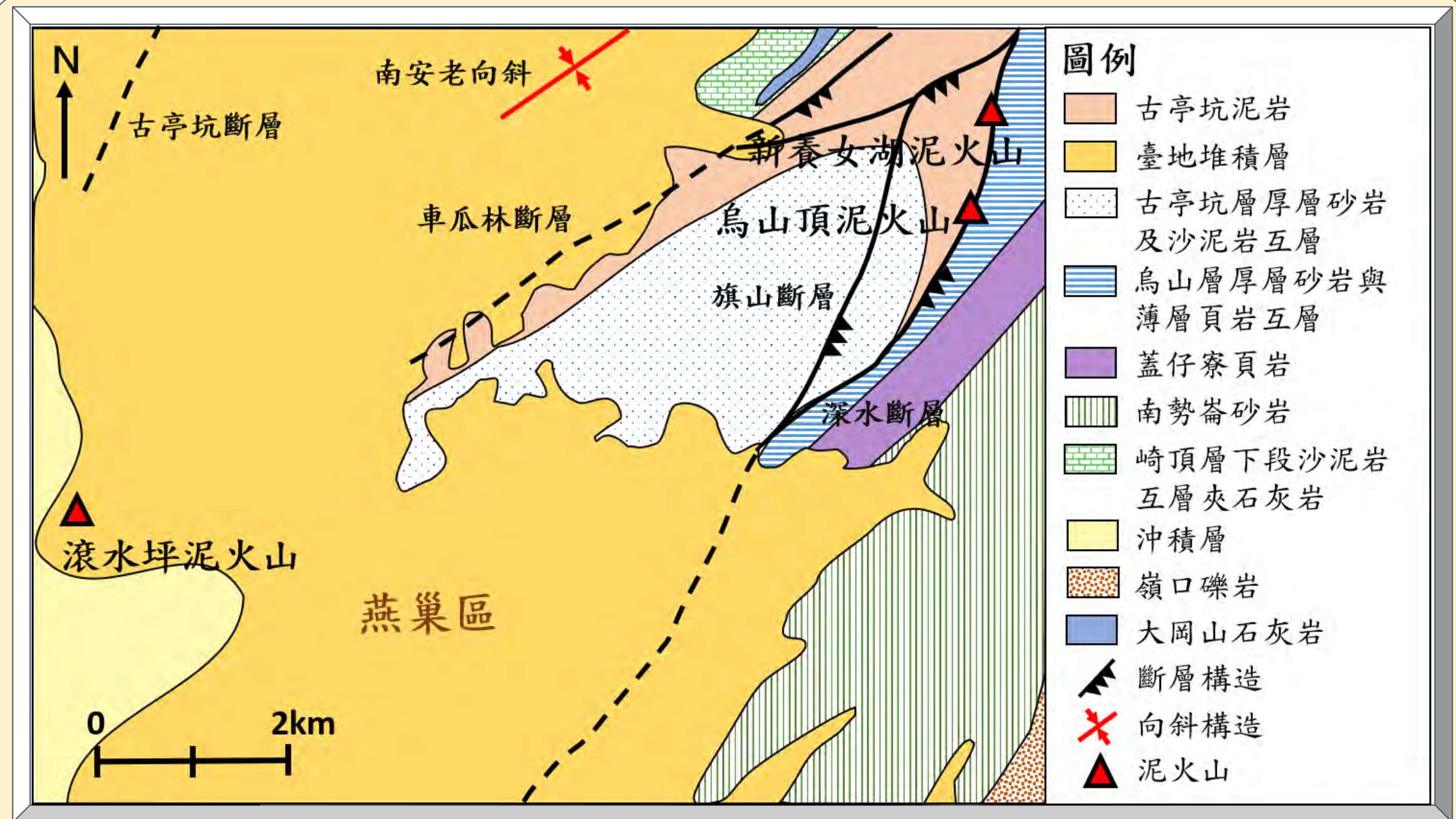
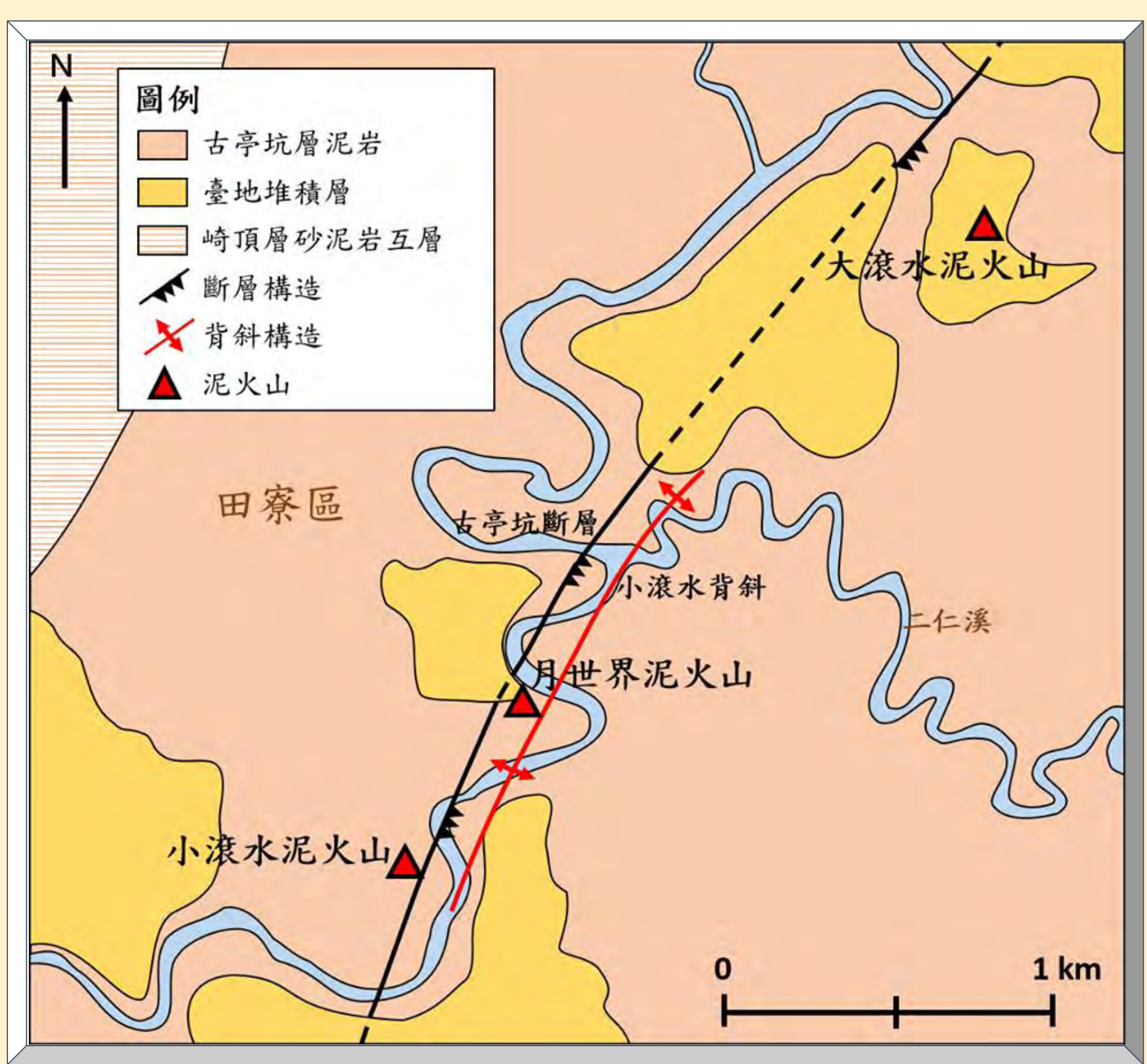
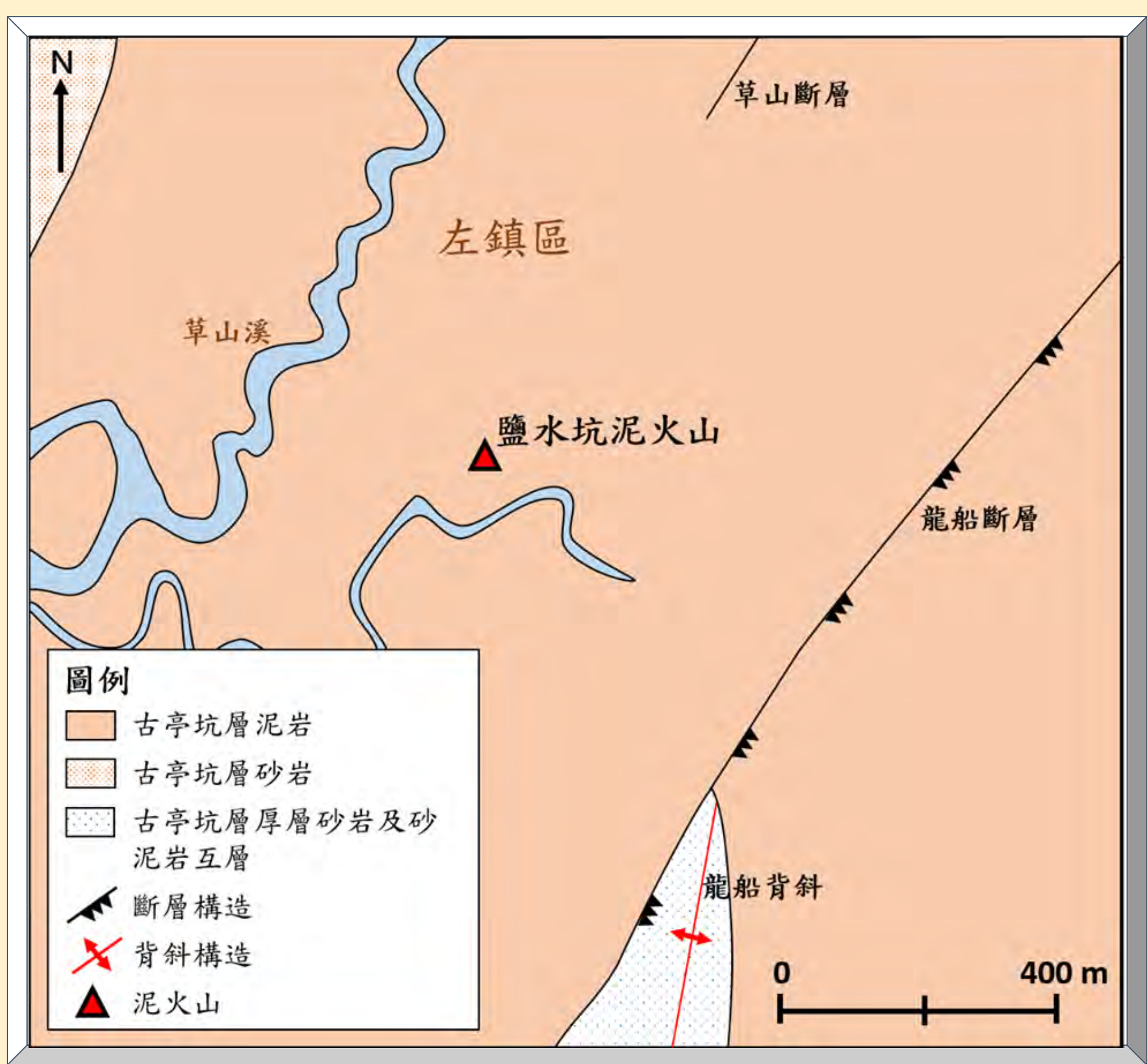
一、地質背景探討

陸上、水中皆有泥火山，陸上包含噴泥錐、噴泥盾、噴泥盆、噴泥池、噴泥洞；水中則為錐狀，且其所形成之地形較陸上大很多。噴泥錐為較陡的泥火山，坡度大於20°、較黏；噴泥盾坡度較緩，大約5°~20°；噴泥盆坡度極緩，但仍有微微的坡度，約5°以下；噴泥池幾乎沒有坡度，類似池塘；噴泥洞整體較小，可在稻田或樹林間發現。

二、野外調查及採集

本研究共採集六座泥火山之泥漿，以鑑別泥漿與泥火山形貌之間的關係，採樣地點分別為台南左鎮區鹽水坑泥火山；高雄田寮區月世界泥火山、小滾水泥火山；及高雄燕巢區滾水坪泥火山、新養女湖兩座泥火山。

泥火山所在地地圖及外觀照片



三、泥漿物理性質探討

(一) 泥漿泥砂比例實驗

自泥火山採集的泥漿樣本主要由泥、砂等細粒沉積物與水組成，藉由加熱泥漿將水及揮發性物質蒸發後，得到泥砂於泥漿中所佔比例，瞭解泥漿泥砂比例與泥火山形貌之關係。

$$D = W_d / W_w$$

D：泥砂佔泥漿比例(%) W_d ：乾泥重量(g) W_w ：濕泥重量(g)

◎實驗步驟：

- 1.以電子天平測量空燒杯重。
- 2.倒入約10 G泥漿於電子天平上的燒杯中，測量燒杯與泥漿總重。
- 3.以加熱板將泥漿水分烤乾，加熱溫度70°C。
- 4.測量燒杯與乾泥總重，計算出泥漿中泥砂比例。

(二) 泥漿落球黏度實驗

由史托克定律 (Stokes' law)：

$$\text{鋼球重量 } W = \frac{4}{3}\pi r^3 \times d_b \times g \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{鋼球在液體中所受浮力 } F_b = \frac{4}{3}\pi r^3 \times d_l \times g \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{流體黏滯力 } F_v = 6\pi\mu vr \dots\dots\dots (3)$$

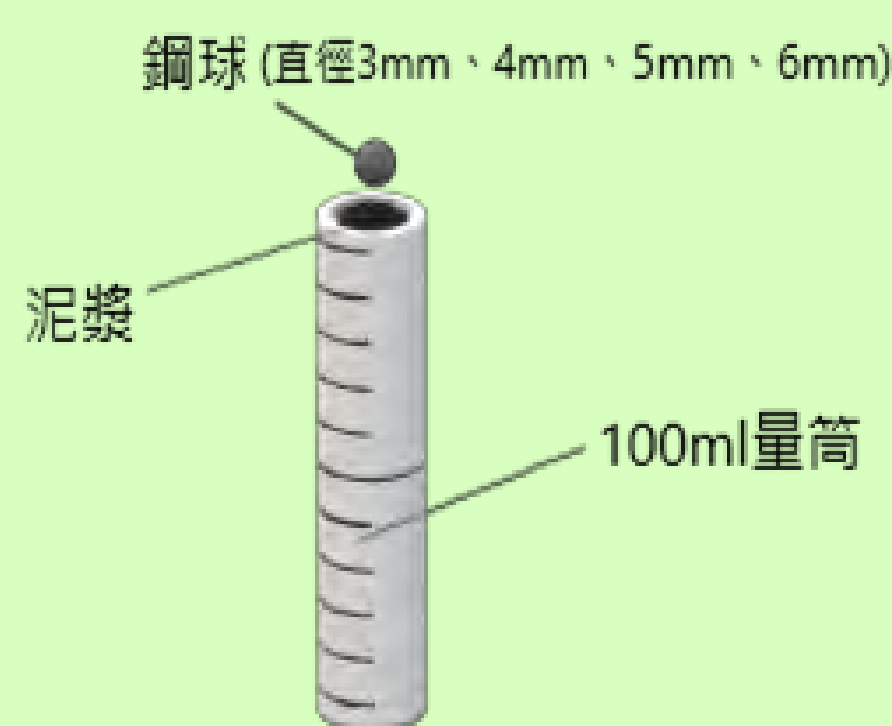
將(1)、(2)、(3)式帶入 $W - F_b - F_v = 0$

$$\rightarrow \mu = \frac{2(d_b - d_l)}{9} \frac{r^2 g}{v}$$

r：鋼球半徑(cm) g：重力加速度(m/s²)

d_b ：鋼球密度(g/cm³) d_l ：液體密度(g/cm³)

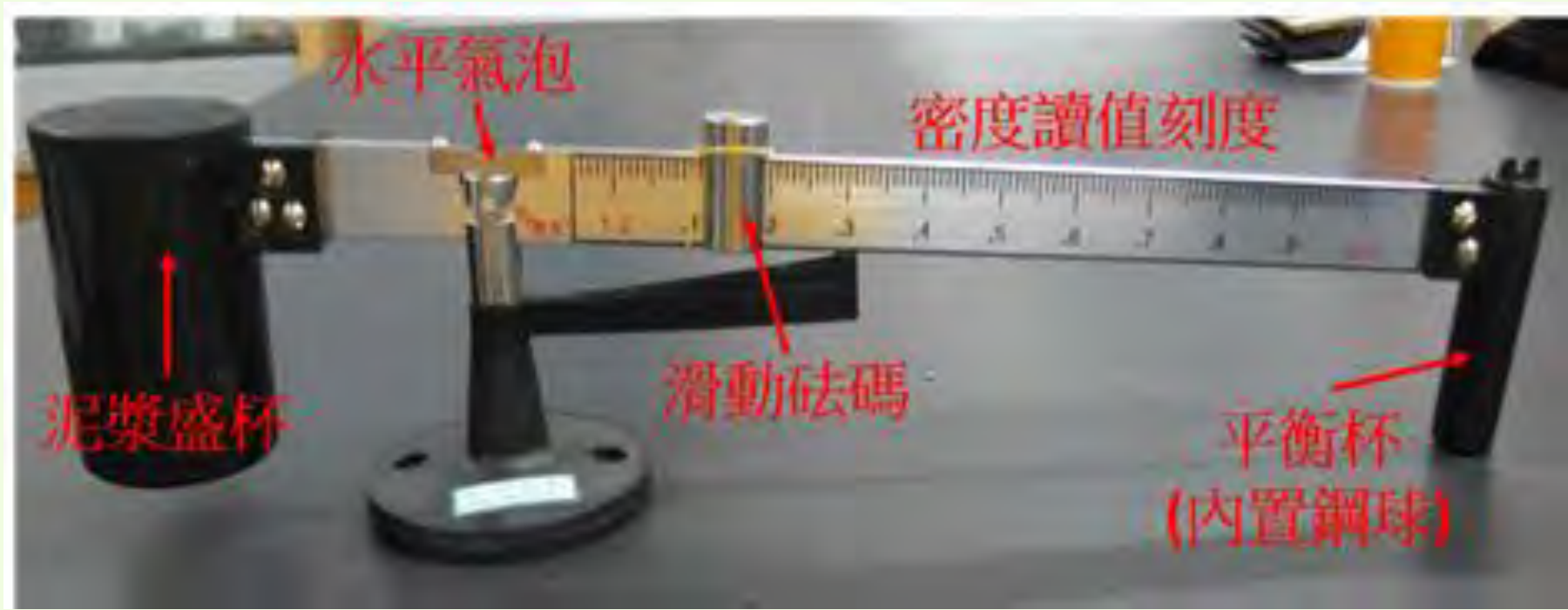
v：落下終端速度(cm/s) μ ：液體黏度(g/cm²·s) 圖十四、落球實驗裝置



伍·研究結果

(三) 泥漿密度實驗

以NB-1型泥漿比重計量測泥漿密度，利用力矩平衡原理，將欲量測之泥漿樣本及鋼球置於槓桿兩端杯中，再移動槓桿上砝碼直到水平氣泡置中。

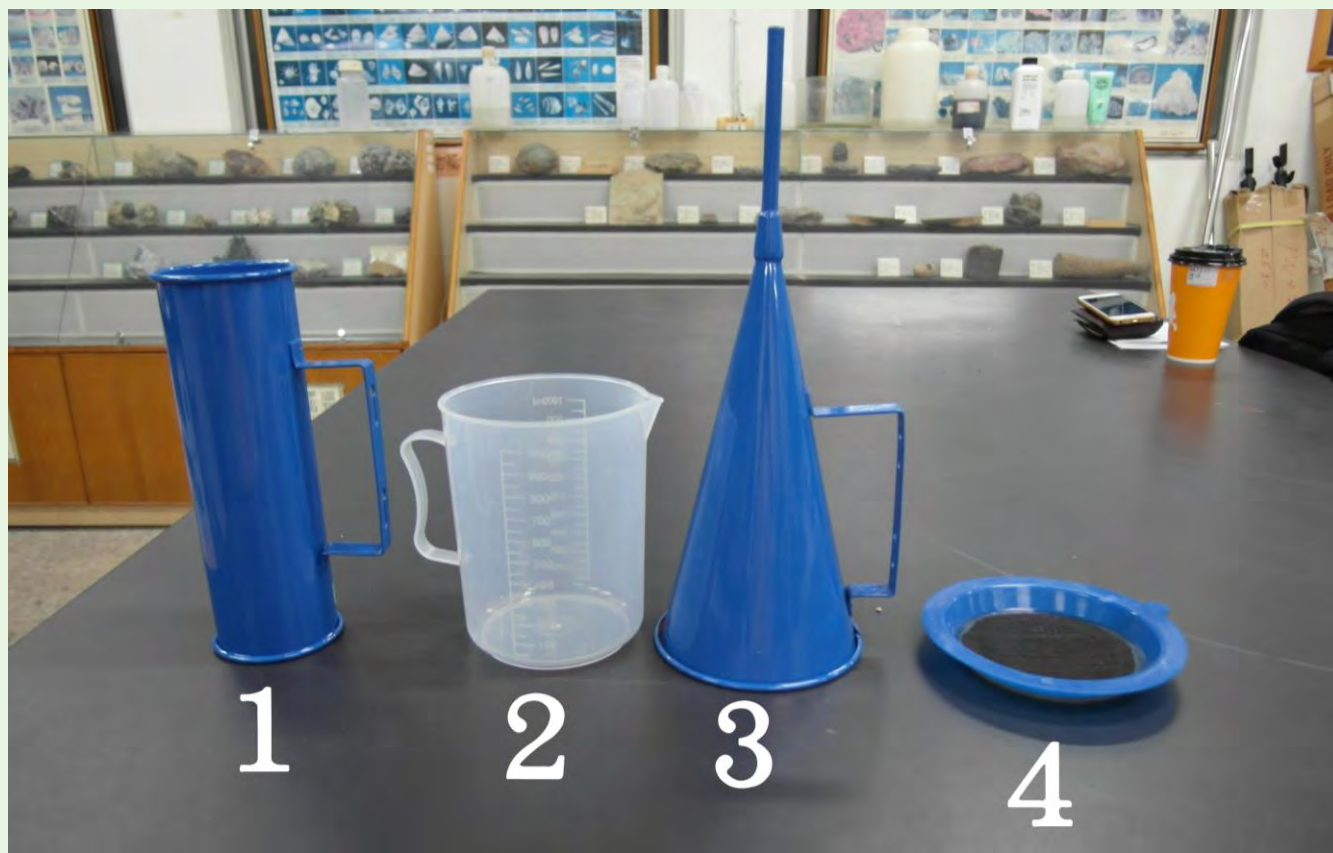


▲圖十五、NB-1型泥漿比重計

◎實驗步驟：

- 1.以水（密度已知為1 g/cm³）裝滿泥漿盛杯校準儀器，調校方式為移出或移入平衡杯中鋼球，讓水平氣泡於砝碼移動至刻度1.00 g/cm³時置中。
- 2.校準後，將欲量測之樣本裝滿泥漿盛杯，關緊上蓋使多餘的液體溢出盛杯後擦拭乾淨，以定量盛裝杯中液體體積。
- 3.調整槓桿上砝碼直到水平氣泡平衡置中。
- 4.平衡後，砝碼所對應之刻度讀值即為樣本之密度，單位：g/cm³。

(四) 泥漿漏斗黏度實驗



$$e = \rho(t - t_v)$$

e：有效黏度 (mPa·s)

ρ：密度 (g/cm³)

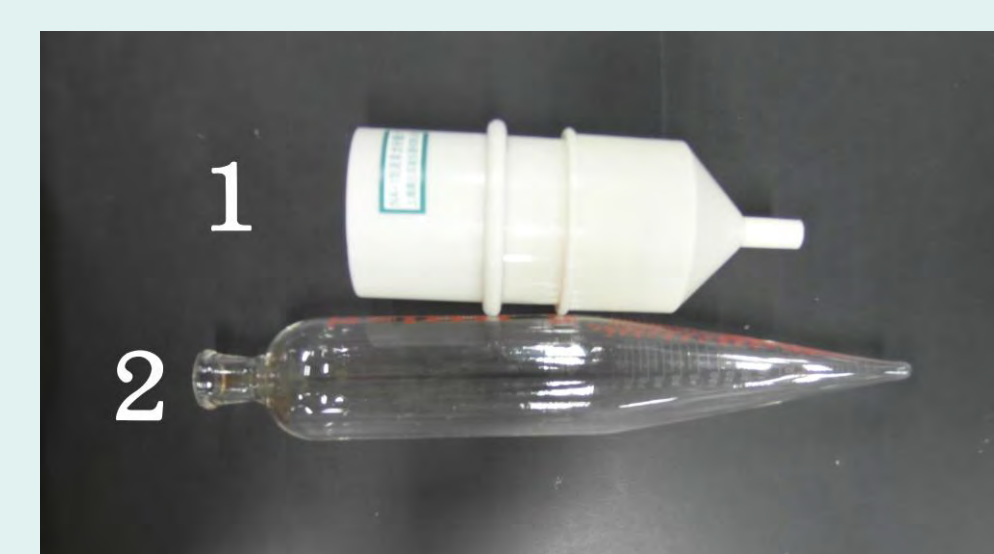
t：量測樣本之時間 (s)

t_v：量測水之時間 (s)

◎實驗步驟：

- 1.以水（黏度於20°C下為1 mPa·s）校準，量測其下漏500 mL所需時間。
- 2.將700 mL泥漿倒入漏斗，倒入時以16目篩網過濾較粗顆粒，以免漏口堵塞影響實驗結果。
- 3.將500 mL容量杯置漏斗下，以碼表計時自液體開始下漏至容量杯裝滿500mL。
- 4.重複實驗以取得更準確之平均值，減少計時不同步造成的誤差。
- 5.以液體密度、水的量測時間、樣本量測時間計算出有效黏度。

(五) 泥漿含砂量實驗



NA-1型泥漿含砂量計

→ 含200目篩網濾杯

→ 椎狀玻璃量瓶

◎實驗步驟：

- 1.將泥漿100 mL倒入含砂量計玻璃瓶內，加水稀釋至250 mL，以加速過濾步驟。
- 2.將稀釋的泥水以200目濾網濾杯過濾粒徑大於0.08 mm砂粒。
- 3.反覆加水並過濾，避免砂粒殘留於瓶中。
- 4.將濾網倒置於砂量計玻璃瓶上，以清水將過濾之砂粒洗入。待砂粒完全沉澱後讀出瓶上的刻度即為其含砂量體積百分比。

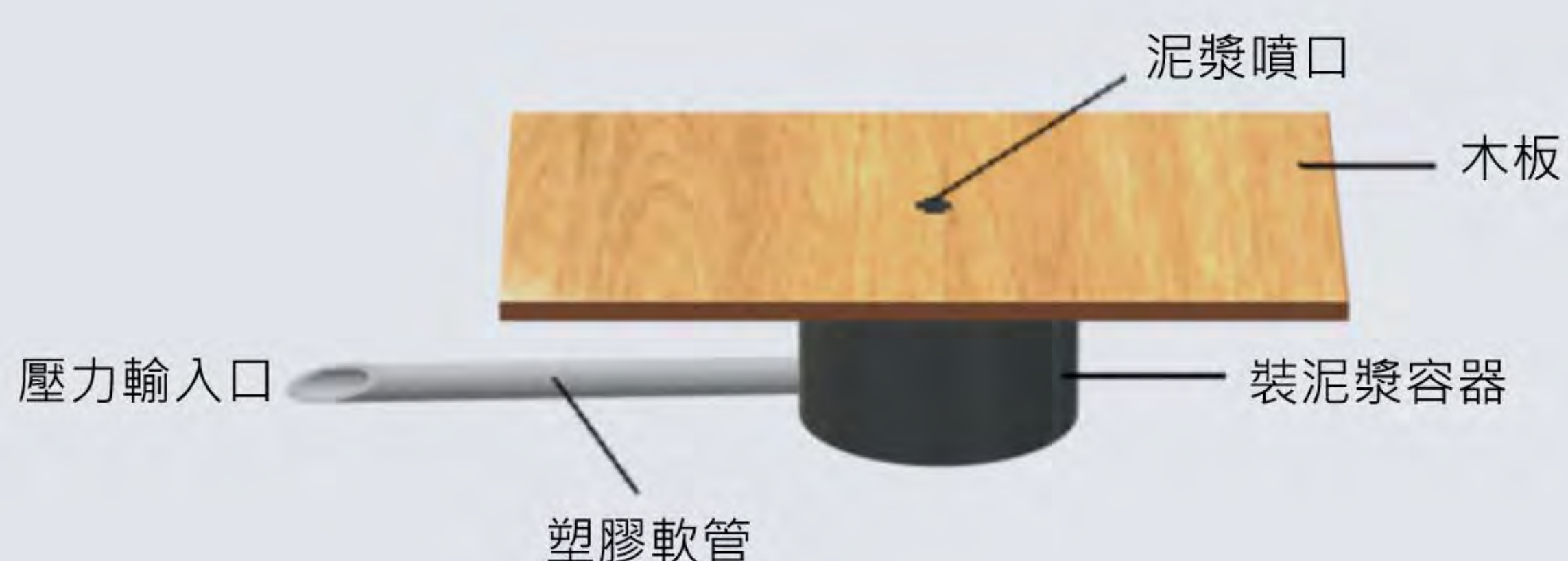
四、泥火山模型實驗

泥火山模型為本研究之主要實驗，目的為在固定條件下觀察泥漿物理性質與泥火山形貌的關係，實驗以泥漿樣本及高嶺土加水配製成不同比例之溶液來模擬泥火山噴發之地形形貌，以及使用高嶺土配製的溶液來移除使用泥漿樣本的潛在變因，方便觀察泥漿有效黏度與形貌的關係。

實驗共進行26組，分別為6種泥火山樣本分別使用直徑4 mm、8 mm、12 mm之噴口（18組），及重量百分比為20%、25%、30%、35%之高嶺土溶液、1000公克水分別混合高嶺土200公克、250公克、300公克、350公克形成高嶺土溶液，並使用8 mm之噴口（8組）。

◎實驗步驟：

- 1.準備圖十四之裝置，容器內填滿泥漿並放置攪拌磁石，置於攪拌加熱器上使磁石攪拌避免泥漿內泥砂沉澱。
- 2.空壓機每隔兩小時輸入壓力6秒，使泥漿自噴口孔洞噴出，重複操作5次。
- 3.每次噴發後記錄泥漿溢流範圍及泥漿溫度，並於5次噴發結束後記錄溢出泥漿之高度及形成之盆狀口直徑。
- 4.重複步驟1-3，改變實驗變因（噴泥口大小、泥漿種類）。



▲圖十六、泥火山模型實驗裝置

一、野外調查結果

調查結果如下表二所示。泥漿採樣地點為鹽水坑、小滾水、月世界、新養女湖、滾水坪等五地，共六座泥火山。

▼泥火山泥漿溫度、噴口直徑、噴口高、及坡度紀錄表

量測參數	溫度(°C)	噴泥口直徑(m)	噴口高度(m)	坡度	量測參數	溫度(°C)	噴泥口直徑(m)	噴口高度(m)	坡度
鹽水坑	22.5	0.8	0	0°	烏山頂A	-	-	-	-
小滾水	23	0.8	0.1	28°	烏山頂B	-	-	-	-
月世界	23	1.8	0.1	43°	烏山頂C	-	0.2	0.2	65°
大滾水	-	-	0	0°	烏山頂D	-	0.6	0.3	0°
新養女湖A	43	1.4	0	0°	烏山頂E	-	0.2	0	0°
新養女湖B	23.5	1.8	0	0°	滾水坪	23	1	0.1	29°
新養女湖C	30.5	1.2	0.6	-					

▼泥漿泥砂比例實驗結果

	新養女湖C	新養女湖A	鹽水坑	滾水坪	小滾水	月世界
泥砂比例平均(%)	61.1	40.6	33.6	43.2	41.5	52.1
含砂量(%)	7.5	3.4	3.6	2.6	4.5	2.6
密度(g/cm ³)	1.617	1.355	1.309	1.361	1.355	1.48
平均漏斗時間(s)	82.78	16.97	14.27	18.26	16.26	23.9
黏度(mPa·s)	113.05	5.56	1.83	7.34	4.59	16.32

二、泥火山模型實驗結果

(一) 噴口直徑4 mm泥漿模型尺寸(單位:cm² / mm)

樣本	鹽水坑	滾水坪	新養女湖A
面積	305.95	81.69	148.98
盆口高	1.0	5.3	4.7
盆口寬	-	25	65
樣本	月世界	新養女湖C	小滾水
面積	94.69	67.45	201.68
盆口高	8.7	9.1	7.2
盆口寬	31	20	81

(二) 噴口直徑8 mm泥漿模型尺寸(單位:cm² / mm)

樣本	鹽水坑	滾水坪	新養女湖A
面積	171.57	173.11	158.75
盆口高	1.0	8.9	7.2
盆口寬	-	72	73
樣本	月世界	新養女湖C	小滾水
面積	89.63	59.75	174.37
盆口高	12.8	11.7	7.0
盆口寬	42	32	95

(三) 噴口直徑12mm泥漿模型 (單位: cm² / mm)

樣本	鹽水坑	滾水坪	新養女湖A
面積	64.16	88.19	163.25
盆口高	-	8.0	5.1
盆口寬	-	44	80
樣本	月世界	新養女湖C	小滾水
面積	40.25	23.48	113.51
盆口高	6.6	12	5.0
盆口寬	32	25	54

(四) 高嶺土泥漿 1-噴口直徑8 mm模型 (單位:cm² / mm)

樣本	35%	30%	25%	20%
面積	59.87	35.12	80.64	93.07
盆口高	1.0	3.9	5.1	5.5
盆口寬	-	39	22	20

(五) 高嶺土泥漿 2-噴口直徑8 mm模型 (單位:cm² / mm)

樣本	200g	250g	300g	350g
面積	63.56	120.32	157.85	106.66
盆口高	2.3	2.5	4.0	5.9

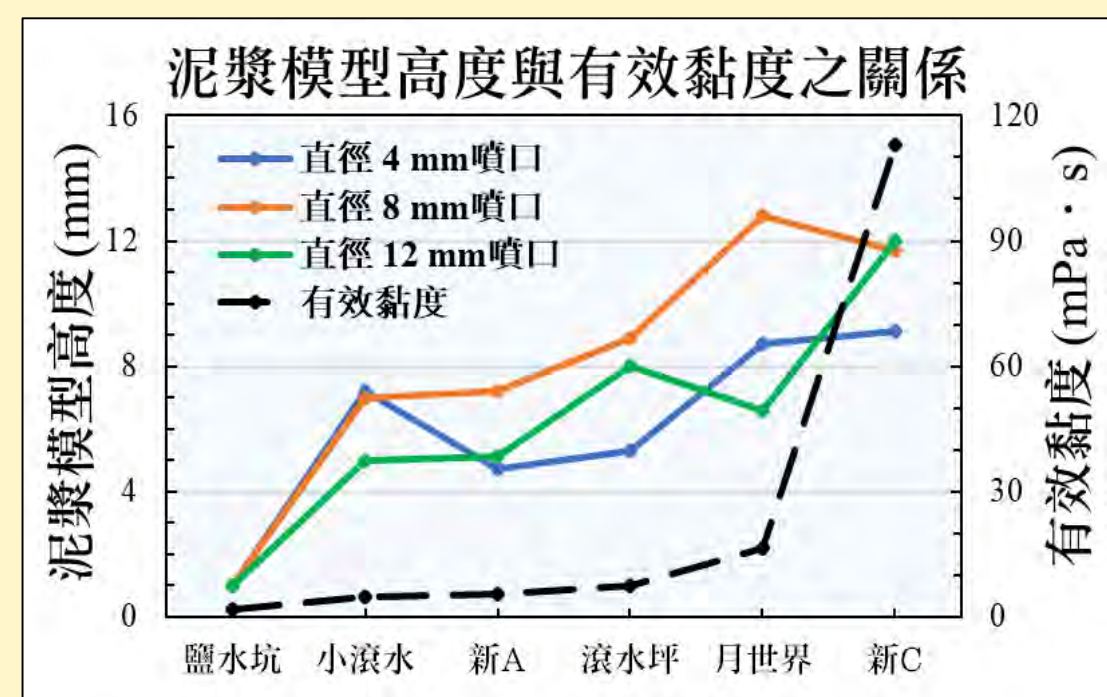
陸·討論

一、實驗模型與泥火山之差別

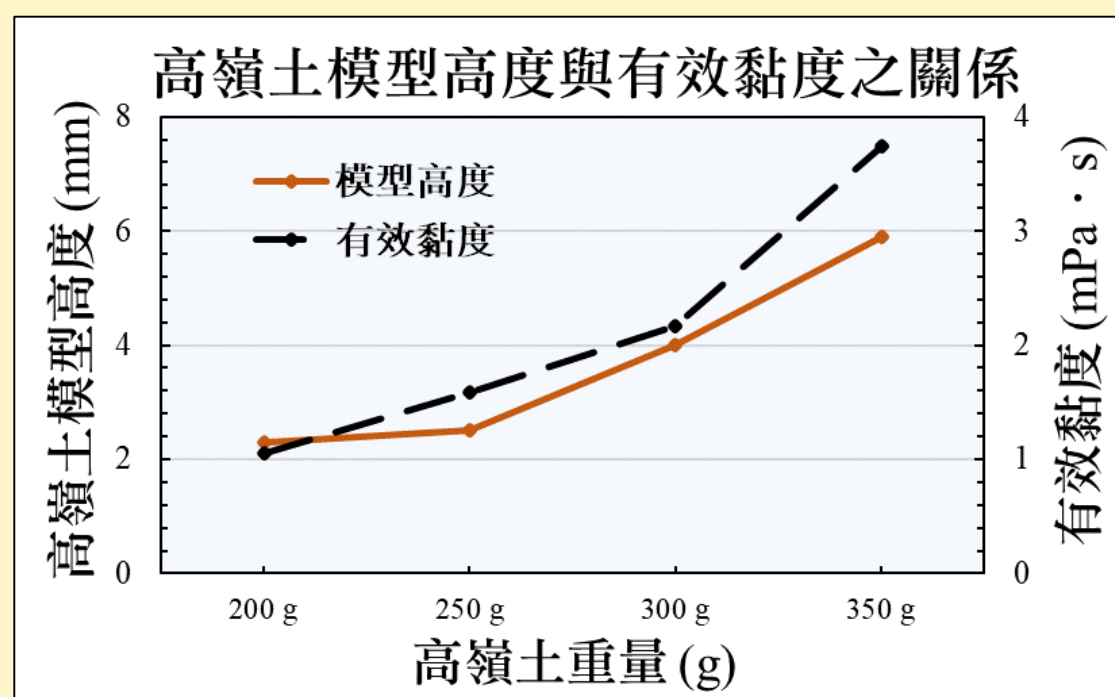
(一) 真實泥火山與實驗模型之差異

	真實泥火山	實驗模型	噴發物質	噴發時間
環境	附近地表空間廣大且並非平地	較平坦光滑，泥漿溢流範圍受制於木板大小	泥漿 (泥、砂、水、鹽類混合物)、天然氣	兩小時噴發一次、噴發次數多、形成時間長、地形規模較大且完整
噴發通道	地層破裂提供地下流體釋放壓力之通道，形狀不固定	圓形孔洞，流體上升通道短		噴發時間無固定間隔、噴發次數少、形成時間短、地形規模小
溫度	因地而異	皆為室溫		

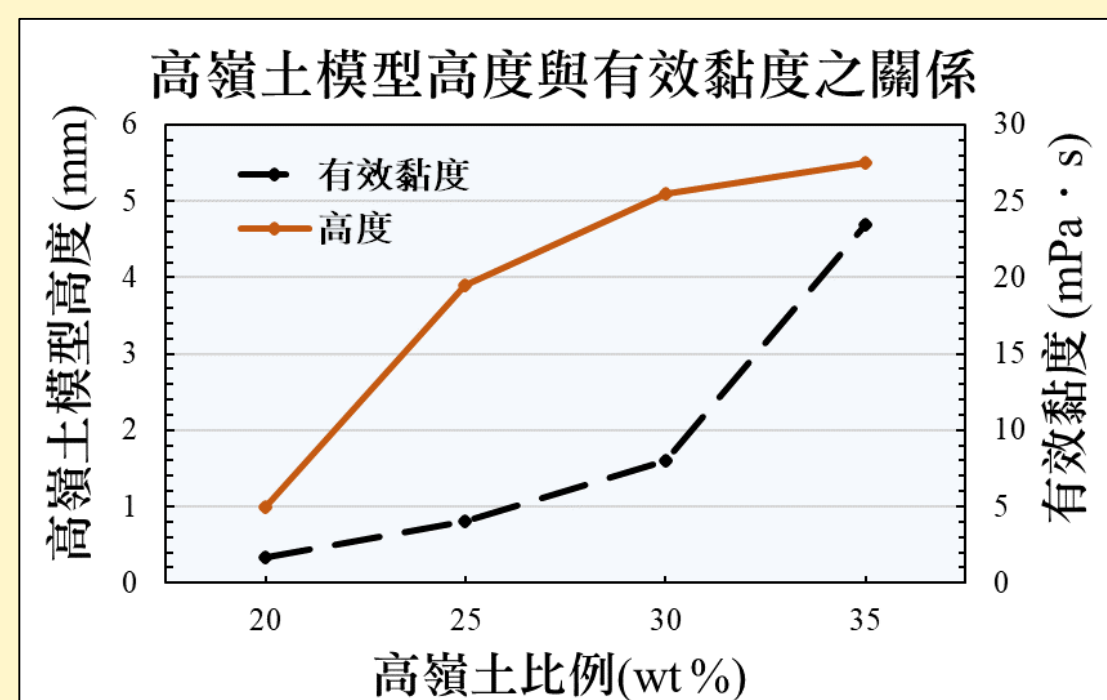
二、各數據與泥火山之關係



▲圖十七

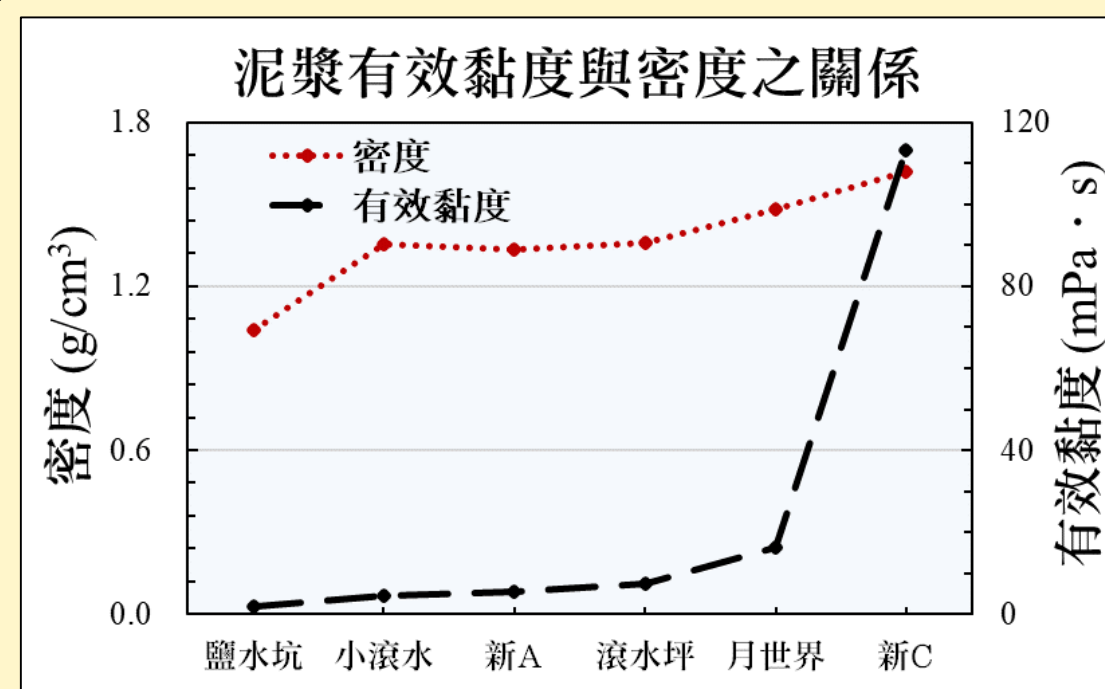


▲圖十八

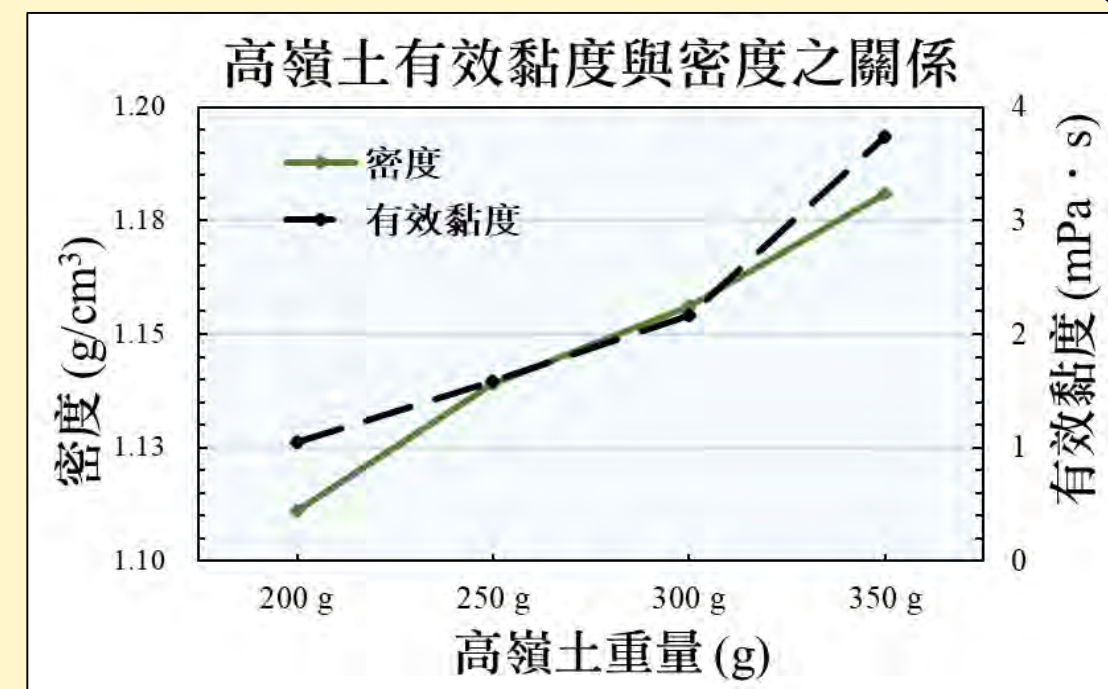


▲圖十九

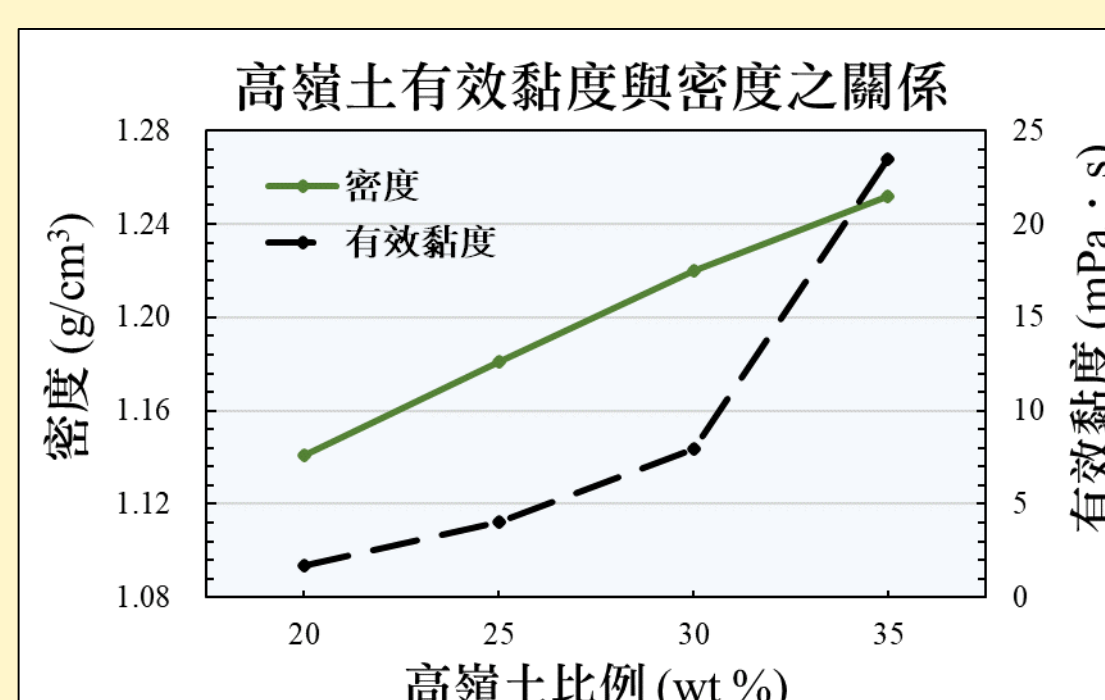
由圖十七與圖十八可知泥漿有效黏度與不同噴口時模型堆疊高度大致呈正相關，但它們並非為單純正相關。但當我們使用成分較純的高嶺土時模型堆疊高度與高嶺土重量變化幅度相近且呈現正相關。由此可推測影響模型高度的因素除了有效黏度之外還有其他參數影響。另外，對比圖十八與圖十九可知當有效黏度越高，模型高度變化的程度變小，對其的影響會越小。



▲圖二十

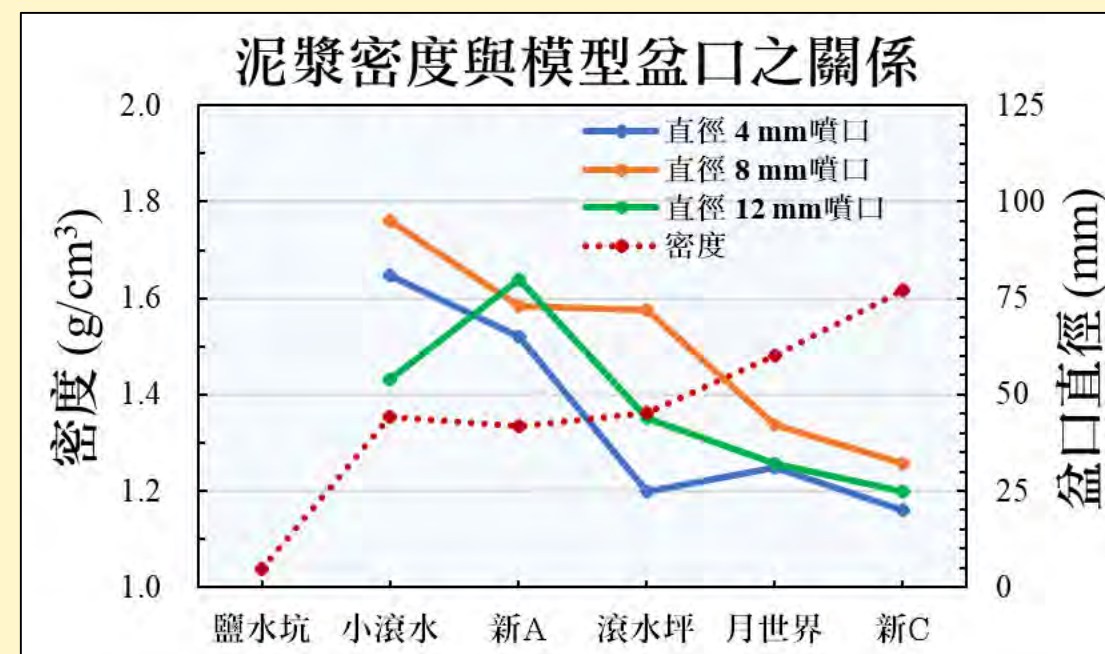


▲圖二十一

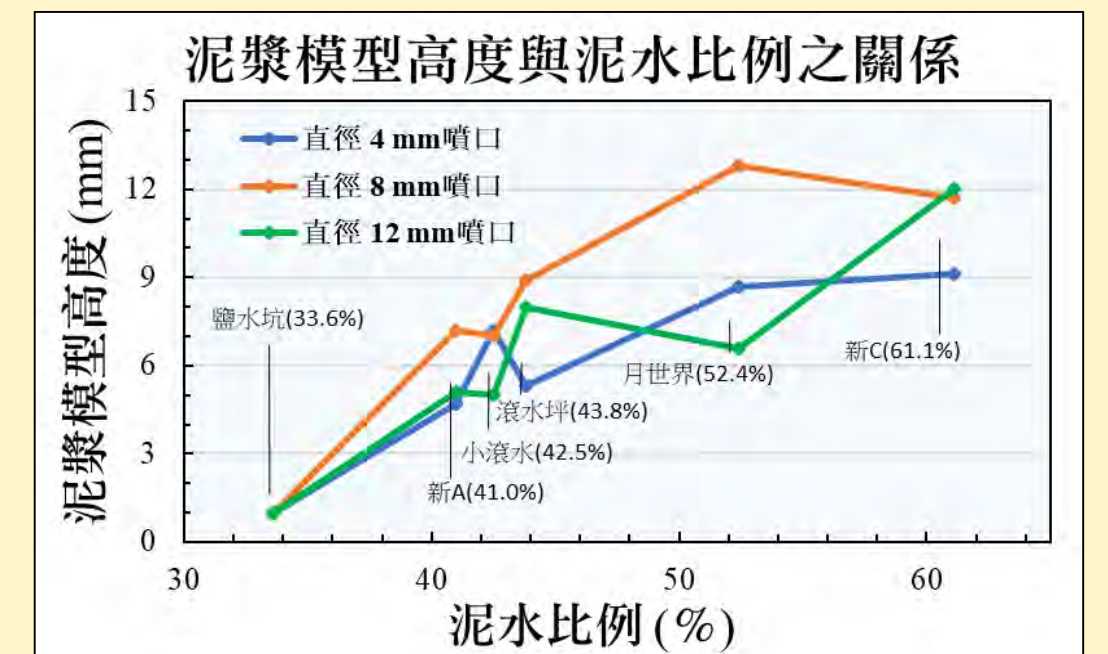


▲圖二十二

由圖二十可知泥漿有效黏度越大密度也越大，兩者呈正相關。圖二十一、二十二顯示出高嶺土有效黏度與密度呈較密切的正相關，但當有效黏度高於某一數值時，對密度的影響漸小。推測新養女湖C的有效黏度比其他泥漿高出許多，但密度卻無大幅增加的原因可能為有效黏度不只與密度有關，還受其他因素影響；或因其有效黏度高而對密度影響小。

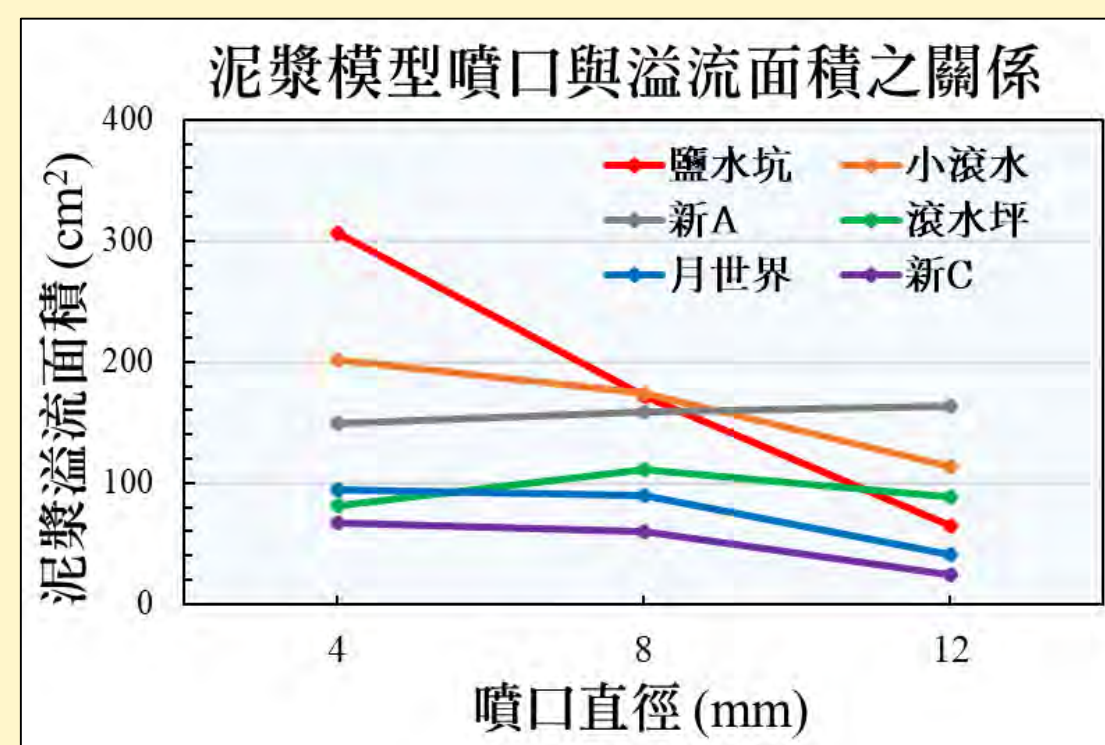


▲圖二十三



▲圖二十四

由圖二十三可知泥漿密度越大不同噴口直徑的盆口越小，兩者大致呈負相關，由圖二十四可知泥水比例與模型堆疊高度大致呈正相關。但圖二十三與圖二十四皆非為單純的線性關係，推測除了密度外有其他影響盆口大小的因素，以及模型高度並不只受泥水比例影響。



▲圖二十五

根據圖十七，從整體看來模型噴口大小與溢流範圍大致上成負相關，但變化不明顯，推論模型噴口大小對溢流面積影響不大，而我們無法觀測到的真實泥火山裂隙可能也與形成型無太大關聯，推測壓力造成的影響可能小於其他因素導致難以從數據中分析噴口大小與高度的關係。

三、誤差所造成的影響

模型實驗中壓力為手動控制，有時失誤造成壓力過大，模型會因此過度噴發使泥漿範圍超出木板；噴口為假設真實泥火山流體上升之通道，但真實泥火山之裂隙無法觀察及測量其真實大小；實驗中所讓模型成型的時間只有大約8小時的時間，為方便實驗記錄，固定每兩小時噴發一次，但真實泥火山為不固定噴發或者隨時在噴發，且其成型之時間較長，導致兩者間仍有些微差異。

柒·結論

- 一. 模型堆疊高度與有效黏度、密度及泥漿泥水比例呈正相關，與盆口大小呈現負相關。可推測真實泥火山會受有效黏度、密度及泥水比例影響其地形形成。
- 二. 實驗中模型堆疊高度與含沙量、噴口大小無較明顯之關係。
- 三. 模型噴口大小與溢流範圍大致上成負相關，但其變化並不明顯，由此推論模型噴口大小對泥漿溢流面積影響不大。
- 四. 當有效黏度、密度及泥漿泥水比例越高，越容易形成地勢較高、頂端較尖的泥火山，像是噴泥錐、噴泥盾；而有效黏度、密度及泥漿泥水比例越低，越容易形成較低矮的泥火山，像是噴泥洞、噴泥盆、噴泥池。
- 五. 實驗中所得之數據並非皆呈線性，推測除我們探討的因素外仍有其他參數影響泥火山地形形成。

捌·參考資料

1. 莊文星·台灣泥火山小地形·科博館館訊第268期
2. 中央地調所 (編印)·泥火山的奇妙樂章·地質 第25卷第2期 p.18-39
3. 國立臺灣大學 (2006)·由地形系統觀點探討泥火山的地景敏感度·地理學報第44期p.39-53
4. 黃合竹·泥火山噴發活動之研究--以烏山頂與新養女湖為例·台南大學碩士論文第二章文獻回顧 p.12-20
5. 葉高華 (2003)·由流體地球化學探討台灣泥火山的成因·國立臺灣大學海洋研究所碩士論文
6. 石再添 (1967)·臺灣活泥火山的調查及其類型與噴泥性質之關係的研究