

投稿類別：自然探究類

篇名:

探討地震所帶來之影響及孔隙水壓力即時監控系統於地震預測的應用

作者：

錡常瑞。新北市立崇林國民中學。八年 02 班

周弈綸。新北市立崇林國民中學。八年 02 班

陳威誠。新北市立崇林國民中學。八年 10 班

指導老師：

羅陽青老師

目 錄

壹、前言-----	1
一、研究背景與動機-----	2
二、研究目的與問題-----	3
三、研究流程與架構-----	3
貳、文獻探討-----	4
一、臺灣有哪些重大地震-----	3
二、孔隙水即時監控系統於地震之應用-----	4
三、孔隙水壓力感測器之應用實例-----	4
四、預測的原理－地震如何改變水壓-----	5
參、研究方法-----	7
一、實驗研究與設計-----	7
二、實驗材料-----	7
三、實驗步驟-----	7
肆、研究分析與結果-----	7
一、研究分析-----	7
二、研究結果-----	7
伍、研究結論與建議(限制)-----	8
一、研究結論-----	8
二、研究建議-----	8
陸、參考文獻-----	9

壹、前言

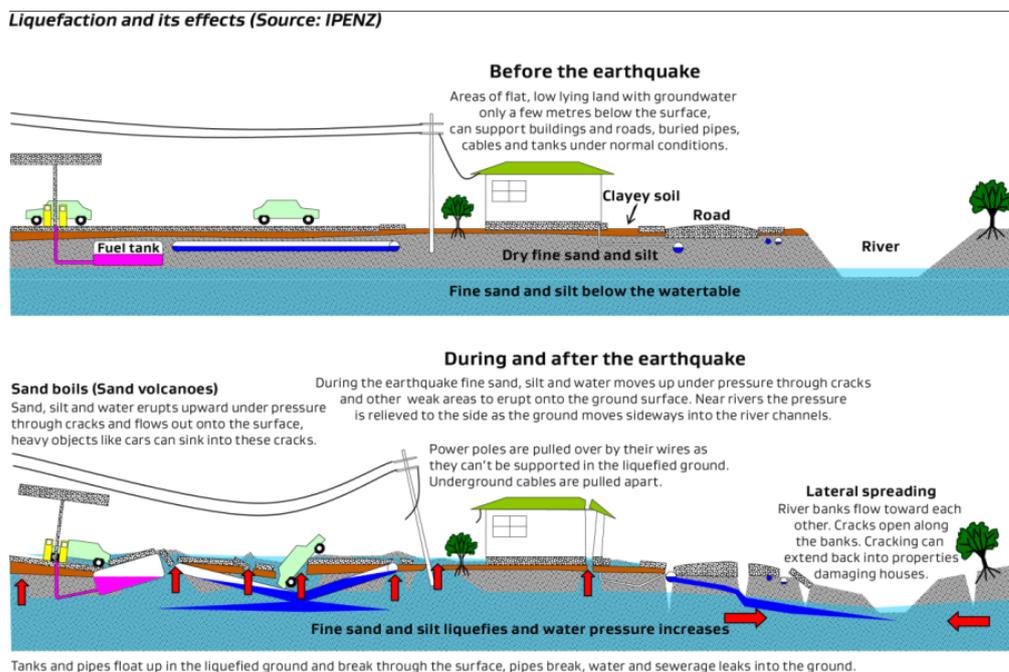
在 2024 年 4 月 3 日這天早晨，我們在操場集合開朝會，突然間，地面開始劇烈搖晃，四周傳來了轟隆轟隆的聲響。整個場景頓時變得混亂起來，空氣中彷彿充滿了震動的力量。慢慢地，隨著震動逐漸減弱，我們開始意識到必須立刻檢查周圍的人和環境，師長們確保大家的安全。這不禁讓我回想起，過去總是聽著長輩們描述在我還未出生的年代，發生了梅山大地震、921 大地震…等，對臺灣帶來了持久和深遠的影響，其慘痛的災難也造成了許多重大損失，例如：人員傷亡和財物損失、對生態環境造成嚴重的毀損、社會支持系統的破壞等。如此突如其來的自然災害，提醒了我們在自然力量面前的脆弱，其災難突顯了自然環境的不可預測性，也彰顯了人類在面對大自然威脅時的無奈與挑戰。

所以，地震同時教會了我們珍惜生命、重視防災，並且在災後重建過程中學習到更多關於社會韌性和合作的重要性，重建工作艱鉅而漫長，不僅需要財政資源，還需要社會各界的共同努力，使臺灣人民對災後恢復和應對措施有了更加深刻的認識。經過此次 403 地震的洗禮，引發我們對地震各種現象的好奇與想進一步的探究，地震雖是一種自然現象，對人類生活和環境有著深遠的影響，但是否可事先防範即可做好那些準備。因此，對於平時對地震的了解與研究，將有助於我們更好地理解地震的成因、預測地震的發生以及減少地震帶來的損害。此為身為中學生的我們感到好奇，且想要進一步探究的原因。

一、研究背景與動機

臺灣位於全球活躍地震帶，特別是花蓮，由於板塊交界活躍，地震頻繁。近年來，花蓮的地震次數增加，雖大部分規模不大，但大地震的潛在威脅依然存在，對建築、基礎設施及人民生活構成風險。因此，提前發現及有效的監測地震成為重要課題。

孔隙水壓力感測技術有可能是解決方案之一，能監控地下水壓隨地殼應力的變化，提供地震前兆信息。當地殼因板塊運動產生壓力，孔隙水壓力可能發生異常，這些數據有助於預測地震或提供液化現象的預警。雖然現今科技尚無法精確預測地震，但孔隙水壓力感測器在地震監測中可能成為輔助工具，提供提前準備的機會，減少災害損失。



圖一

資料來源：Bay of Plenty Regional Council. (n.d.). "Liquefaction." Retrieved from <https://www.boprc.govt.nz/living-in-the-bay/natural-hazards/liquefaction/>

由(圖一)可得知，在液化作用對建築環境的影響中，地面失去支撐力，導致電線杆被拉倒等等。管道可能會浮上來並突破地面，並破裂導致污水滲入地面。重物如汽車可能會下沉，建築物則可能出現裂縫，甚至變得不安全。這些影響都與地震引發的液化現象有關，強調了監控孔隙水壓力的重要性，因為它能提早發現地水的異常，幫助減少民眾傷亡。因此我們希望透過研究，探討孔隙水壓力感測器在花蓮這個地震多發區的應用，並深入理解它如何幫助我們更準確地評估和預測地震。

二、研究目的與問題

根據上述的研究動機，我們主要研究目的為下列幾項：

- (一) 了解孔隙水壓力即時監控系統是否能幫助提早發現地震：地震是自然界中的災害，發生時會對我們的生活造成很大的影響。如果我們可以提前知道地震快要來了，就可以有更多時間做好準備，保護自己和家人。
- (二) 孔隙水即時監控系統是一種包含孔隙水壓力感測器，可以測量地震時發生的土壤液化等因素所改變的地下水壓來提早短時間預測地震。當孔隙壓力累積到某個程度時，有可能會引發地震。所以我們想研究壓力感測器能不能幫助我們提前發現這些變化，來預測地震的發生。
- (三) 在這篇研究中，我們會先了解孔隙水壓力即時監控系統的基本原理，然後看看其他國家有沒有使用壓力感測器成功預測地震的案例。最後，期望我們在未來能不能更好地使用這項技術來預測地震，讓大家的生活更安全。

三、研究流程與架構



貳、文獻探討

一、臺灣有哪些重大的地震

臺灣位在菲律賓海板塊和歐亞板塊交界的環太平洋火山帶上，造成臺灣地震頻繁。主要有三個地震帶：西部地震帶、東部地震帶及東北部地震帶。歷年來發生大地震均有地裂、山崩、斷層等地殼變動之狀況，如1906年3月17日嘉義大地震，產生梅山斷層，長達13公里，水平變位最大為240公分，垂直變位最大為180公分，並有顯著之地裂及噴泥等現象。有關臺灣較重大之地震如下表：

表一、臺灣較為重大地震名稱、罹難人數及地震深度一覽表

排名	名稱	日期	地點	罹難人數	規模	深度	備註
1	1935年新竹-臺中地震	1935年4月21日	苗栗縣關刀山附近	3,276	7.1	5km	獅潭斷層、屯子腳斷層
2	921大地震（集集大地震）	1999年9月21日	日月潭西方9公里	2,415	7.3	8km	車籠埔斷層、大茅埔-雙冬斷層
3	1862年台南地震	1862年6月7日	台南官田	1,700	6.6	15km	六甲斷層
4	1906年梅山地震	1906年3月17日	嘉義縣民雄	1,258	7.1	6km	梅山斷層、陳厝寮斷層
5	1848年彰化地震	1848年12月3日	台中-彰化	1,030	7.0	5km	彰化斷層
6	2024年花蓮地震	2024年4月3日	花蓮縣壽豐鄉	13	7.2	22.5KM	花蓮壽豐鄉斷層

資料來源:2024年9月9日維基百科(網址: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%88%97%E8%A1%A8>)

二、孔隙水即時監控系統於地震之應用

(一)何謂孔隙水即時監控系統

孔隙水監測系統是一種專門設計用來實時監測和分析土壤或岩石中孔隙水的物理和化學特性的系統。目前學者正在研究「孔隙水壓力感測」技術，這些感測器能監測地下水壓隨地殼應力的變化。當地震活動擠壓或拉伸地下岩石，孔隙水壓力會變化，成為潛在的地震預警信號。孔隙水壓與地殼應力變動密切相關，特別是在地震前後，這些變化可通過感測器捕捉，未來有協助預測地震的可能性。

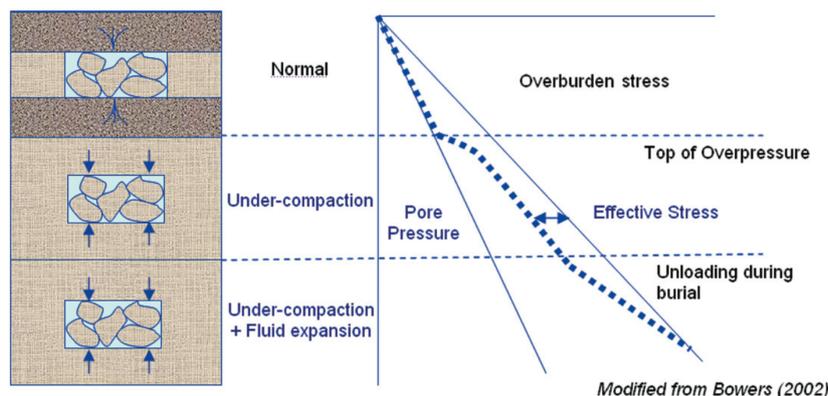


Figure 1. Effect of vertical effective stress to different subsurface conditions.

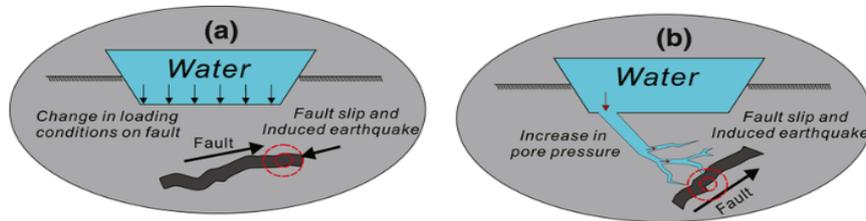
圖二

資料來源：Li, Y., McLain, B., & Purves, P. (2008). Velocity determination for pore pressure prediction. *CSEG Recorder*. Retrieved from <https://csegrecorder.com/articles/view/velocity-determination-for-pore-pressure-prediction>

由(圖二)中的斜線代表了地層中隨著深度增加的應力變化，其中實線表示有效應力，虛線代表孔隙壓力。圖中也顯示了孔隙壓力預測中的速度決定過程，強調了孔隙壓力與地層壓實狀態之間的關係。圖表展示了正常壓實、欠壓實和流體膨脹在孔隙壓力中的表現。在地層被壓實或卸載過程中，孔隙壓力受到上覆負荷和有效應力的影響。有效應力線與孔隙壓力線之間的距離反映了地層壓力狀況，這有助於識別潛在的過壓層或地殼變動風險

三、 孔隙水壓力感測器之應用實例

- (一) 日本和臺灣的地震監測：這兩個國家地震頻繁，孔隙水壓力即時監測系統已經被安裝在許多斷層帶周圍的地下深處，用來長期監測地下水壓的變化。這些數據有助於理解地震前後斷層附近的壓力狀況，進一步研究地震預測的可能性。
- (二) 實驗性項目：全球還有一些實驗性項目，科學家將孔隙水壓力感測器安裝在地殼較深處的鑽孔中，以測量大範圍的地殼壓力變化，並嘗試建立一個預測模型，通過水壓變化來提前識別地震風險。



(a-b) Schematic diagrams of two mechanisms of reservoir-induced earthquakes, indicating the effects of load and pore pressure, respectively. Modified from Ellsworth (2013).

圖三

資料來源：Dong, S., Li, L., Zhao, L., Shen, X., Wang, W., Huang, H., Peng, B., Xu, X., & Gao, R. (2022). Seismic evidence for fluid-driven pore pressure increase and its links with induced seismicity in the Xinfengjiang Reservoir, South China. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(6), 2021JB023548.

由(圖三)顯示水庫誘發地震 (Reservoir-Induced Seismicity, RIS) 的發生與孔隙水壓力變化密切相關，這一現象也在地震預測中具有應用潛力。當水庫蓄水時，水滲透到地下，導致孔隙水壓力增大，這種壓力改變會對斷層和周圍的地質結構施加影響，從而可能引發地震。孔隙水壓力變化在地震預測中的應用可有效幫助科學家了解水庫和斷層之間的相互作用，特別是在水庫誘發地震的風險評估中。如果能夠及時監測並預測孔隙壓力的變化，則有望提高對地震的預測準確性，減少風險。水庫誘發地震在全球其他地區確實有被證實的案例，如中國的龍羊峽水庫和印度的科伊納大壩，這些地區的地震學研究明確指出水庫的蓄水對地殼壓力產生了影響，誘發了地震。檢視歷史紀錄，臺灣重大的水庫興建與地震時間關聯包括：

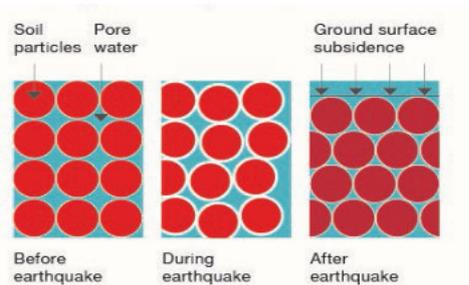
水庫名稱	興建年份	地震日期	地震規模	地震地點
虎頭埤水庫	1846	1848年12月3日	7.1	台南、彰化、嘉義
烏山頭水庫	1920	1923年5月4日	5.7	台南烏山頭
武界水庫、日月潭土壩	1927	1935年4月21日	7.1	台中、新竹
內埔子水庫	1940	1941年12月17日	7.1	嘉義中埔
阿公店水庫	1942	1946年12月5日	6.1	新化
白河水庫	1961-1965	1964年1月18日	6.1	白河
南化水庫	1985-1994	1991年3月12日	5.9	台南佳里
集集攔河堰	1991-1999	1999年9月21日	7.3	集集

資料來源:張助馨(2016), 地震真相與防災之道：觀測地震雲能推估時、地而早作防範，並由研究者自行繪製

綜合上述分析，這些水庫的興建與地震的時間點相近，存在誘發地震的可能性，但這些地震的發生更多是因為臺灣本身位於地震活躍帶上。但科學上來說，將水庫建設作為唯一原因來解釋地震發生並不完全準確，仍需更詳細的地震學和地質學來深入研究。

四、 預測的原理－地震如何改變水壓

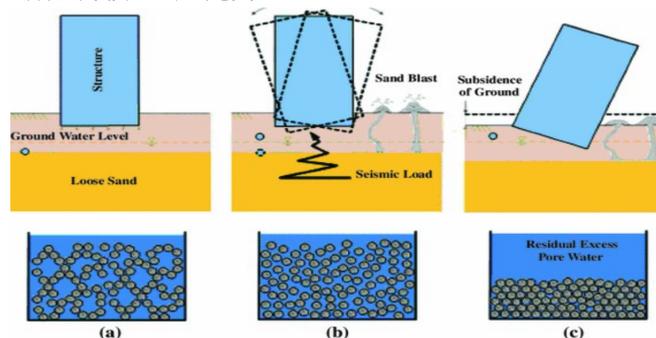
- (一)地殼應力積累與釋放:地震發生時，地殼板塊之間長期積累的應力被突然釋放，並改變周圍土壤和岩石的結構。這種改變會影響土壤孔隙中的水壓。例如，當地殼中的應力導致土壤壓縮時，孔隙中的水壓力會增加；相反，當土壤被拉伸時，孔隙壓力可能會減少。
- (二)震動波對水壓力的影響:當地震波（如 P 波和 S 波）通過土壤時，它們會引起土壤內部的顆粒振動，這也會改變孔隙中的水壓力。震動的振動會壓縮或膨脹土壤中的孔隙空間，導致水壓力的瞬時變化。這些變化通常發生在震動期間和震後短時間內。
- (三)液化現象：在某些情況下，地震的震動還會導致土壤液化。



圖四

資料來源：Bay of Plenty Regional Council. (n.d.). "Liquefaction." Retrieved from <https://www.boprc.govt.nz/living-in-the-bay/natural-hazards/liquefaction/>

圖四展示了液化過程，發生於地震期間，當地下水壓力增加導致土壤失去強度，變得像液體般。此現象多見於地下水位以下，特別是含砂或粉土的區域，且地下水位上升會加劇土壤液化，可能引發地表沉降。

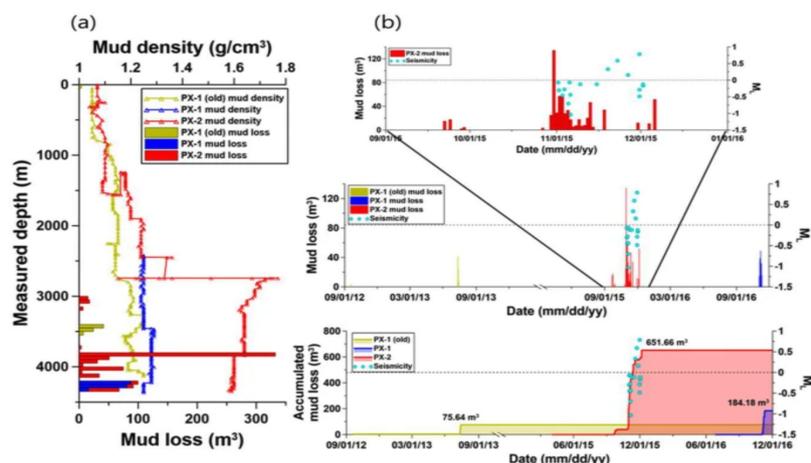


圖五

資料來源：Geotech. (n.d.). Soil liquefaction. *Geotech*. Retrieved from(<https://www.geotech.hr/en/soil-liquefaction/>)

圖五中的現象主要發生在飽和的鬆散砂土中，當震動引起孔隙水壓力迅速上升，土壤顆粒之間的連結被破壞，從而使土壤變得像液體一樣失去強度。這時，孔隙水壓力會大幅度變化，導致水位上升或下降。

- (四)地下水系統的反應



(a) Volume of mud loss and mud density of the PX-1 (old), PX-1, and PX-2 wells at specific depths during the drilling periods and (b) the temporal distribution of accumulated mud loss and seismicity.

圖六

資料來源：Kang, S., Kim, S., Jeon, J., Lee, H., & Chae, J. (2021). "Real-time monitoring of hydraulic stimulation and its induced seismicity in Pohang, South Korea." *Scientific Reports*, 11, Article 92937. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92937->

∩

- (a) 圖左側顯示 PX-1 (舊井)、PX-1 和 PX-2 井在不同深度的泥漿密度和泥漿損失體積。
 (b) 圖右側顯示泥漿損失與時間的關係，以及泥漿損失累積量與地震事件的時序分佈。從圖中可以看出，泥漿損失與地震活動之間可能存在相關性，特別是在 2015 年期間泥漿損失大幅增加，伴隨著多次地震。

孔隙水即時監控系統在地震預測中的應用有一定關聯性。圖六中展示的泥漿損失和地震活動之間的關聯，反映了地層中流體壓力變化（如孔隙水壓力）可能在地震發生前後有異常波動。即時監控孔隙水壓力的變化能提供類似的資訊，有助於提前識別地震活動的潛在徵兆，從而加強預測和減災能力。

參、研究方法

一、 實驗研究與設計

本次實驗模擬不同顆粒大小的沙子（粗沙、中沙、細沙）在震動和注水過程中的孔隙水壓力變化，並模擬不同震動強度。每次實驗中，我們會記錄孔隙水壓力變化與水柱高度的變化。

二、 實驗材料

透明塑膠管, 粗沙、中沙、細沙, 注水裝置, 震動（手動+碼錶）, 記錄表格。



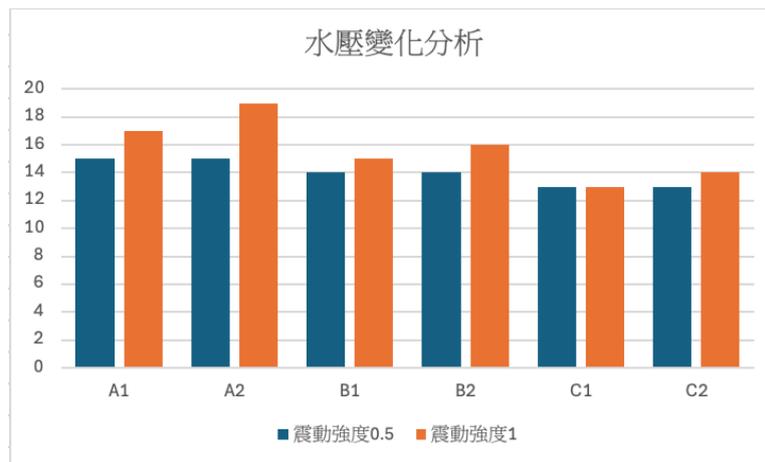
圖七

三、 實驗步驟

- (一) 將透明塑膠管分別填充不同顆粒大小的沙子。
- (二) 將水注入沙中，施加不同頻率的震動進行測試，並記錄水柱高度。
- (三) 記錄水壓變化，並將數據進行分析。

肆、研究分析與結果

一、研究分析

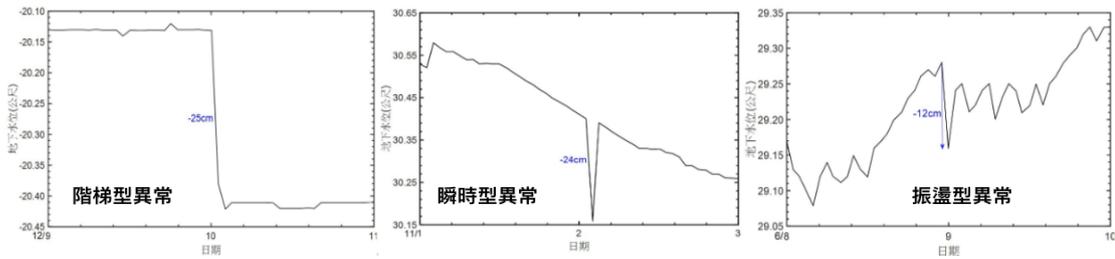


表一、3次實驗的平均數據

標示	沙子類型	震動強度 (Hz)	初始水柱高度 (cm)	震動後水柱高度 (cm)	水壓變化 (mH ₂ O)
A1	粗沙	0.5	15	17	0.02
A2	粗沙	1	15	19	0.04
B1	中沙	0.5	14	15	0.01
B2	中沙	1	14	16	0.02
C1	細沙	0.5	13	13	0
C2	細沙	1	13	14	0.01

表二、震動前後的水柱高度差轉換成米一覽表

註：(壓力單位/米水柱 (mH₂O)：將震動前後的水柱高度差轉換成米。)



圖八

資料來源：水利署電子報. (2023). 地震與地下水位的關聯性：花東縱谷與嘉南平原的觀測水井強化. 取得自 https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=6960&n=30177

1. 階梯型異常的定義：此異常表現為地下水位的持續升高或降低，通常與地殼應力的累積有關。在地殼應力增加的情況下，孔隙水壓力也會隨著地殼的壓縮而上升，當地殼應力釋放時，孔隙水壓力會隨著下跌。
2. 實驗數據：從表格可以看出，震動後水柱的高度逐步上升，並且隨著震動強度增加，水壓變化也更加明顯。尤其在粗沙中，當震動強度從 0.5 Hz 提升到 1.0 Hz，水壓變化從 0.05 mH₂O 增加到 0.07 mH₂O，這種水壓的累積變化符合階梯型異常的描述

二、研究結果：

本實驗模擬的水壓變化與階梯型異常相似，展示了震動引起的孔隙水壓力逐漸累積的現象，直到應力釋放後才恢復平衡。實驗數據顯示，粗沙在高震動強度下水壓變化最大（0.07 mH₂O），顯示較大顆粒的沙子對震動敏感，水壓變化顯著；相對而言，中沙和細沙的水壓變化較小。

伍、研究結論與建議

一、研究結論：

本研究探討了地震與孔隙水壓力感測器的關係及其在地震預測中的作用。實驗顯示，不同顆粒大小的沙子在震動下水壓明顯變化，地震會顯著提升地下水壓，這些變化可由孔隙水壓力感測器監測。儘管目前技術無法精確預測地震，感測器能在水壓異常區域提供預警訊號，結合更多實地數據將進一步提升準確性。

二、研究建議：

- (一)增加實驗地點：在不同地區進行實驗，以了解各類土壤中的水壓變化。
- (二)延長觀測時間：延長震動觀測時間，可能發現更多的水壓變化模式，增強預測準確性。
- (三)使用實地感測器：利用真實的孔隙水壓力感測器進行測試，能提供更準確的數據。
- (四)對於研究內容的建議：
 1. 提升實驗設計的精確度:未來的實驗設計可以進一步考慮更多樣化的實驗條件，如不同的土壤類型（黏土、砂質壤土等）和不同的水文條件（地下水位高低），這將有助於提升實驗結果的廣泛適用性。
 2. 數據分析的多樣化:現有的數據分析主要集中在水壓變化，可以進一步引入更多的數據指標，如水壓變化的速率、震動頻率對水壓變化的影響等。這能幫助更全面地理解孔隙水壓力與地震活動之間的關聯。
 3. 實地應用驗證:目前研究的實驗模擬是在模擬裝置中進行的，可以考慮將實驗材料改變成真實環境的土壤，通過驗證來測試在真實的土壤中孔隙水壓是否會因為震動而產生變化。

(五) 對於未來展望的建議：

1. 擴大監測範圍：未來可以考慮在更多地方進行地震相關的觀察，特別是在地震經常發生的地區。這樣可以收集更多資料，幫助我們更準確地了解地震。
2. 技術整合與創新：將孔隙水壓力監控系統與其他地震監測技術（如 GPS、地震儀等）整合，形成多元化的監測網絡，以提升預測的準確性和及時性。此外，人工智能和機器學習技術的引入也可以提高監控系統的數據處理和分析能力。
3. 防災教育與應用：可以把這些研究成果放進防災教育中，讓大家了解如何提前知道地震的到來，並教導社區在收到警報後如何安全應對，這樣可以減少地震造成的傷害。
這些建議可為未來研究提供方向，提升孔隙水壓力感測器在地震預測中的應用效益。

陸、參考文獻

一、期刊與論文

- 賴岳廷(2007)。地震引致地下水變化之研究——以集集地震為例。國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
- 宋海呈(2013)。飽和砂土中孔隙水壓力之傳遞試驗。國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
- 賴均銘(2010)。地震引致地下水變化之分析——以嘉南平原為例。國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
- 洪鴻智(2007)。自然災害後政府重建資源分配之決策 因素分析：以 921 地震為例。民 96 年 6 月 頁 95-124 國立政治大學公共行政學系。公共行政學報(23)
- Bay of Plenty Regional Council. (n.d.). "Liquefaction." Retrieved from <https://www.boprc.govt.nz/living-in-the-bay/natural-hazards/liquefaction/>
- Li, Y., McLain, B., & Purves, P. (2008). Velocity determination for pore pressure prediction. CSEG Recorder. <https://csegrecorder.com/articles/view/velocity-determination-for-pore-pressure-prediction>
- Geotech. (n.d.). Soil liquefaction. Geotech. Retrieved from <https://www.geotech.hr/en/soil-liquefaction/>
- Kang, S., Kim, S., Jeon, J., Lee, H., & Chae, J. (2021). "Real-time monitoring of hydraulic stimulation and its induced seismicity in Pohang, South Korea." Scientific Reports, 11, Article 92937. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92937-y>

二、書籍

- 張助馨(2016)。地震真相與防災之道。元氣齋出版社。
- 潘昌志、陳彥伶(2020)。地震 100 問 最強圖解 X 超酷實驗破解一百個不可思議的地科祕密。親子天下。
- 林書帆(2019)。地震：火環帶上的臺灣：記九二一地震二十週年。春山出版

三、網路資源：

(一)電子報

- 黃偉宸(2024)。臺灣大規模地震風險與挑戰。前瞻策略與管理。
<https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=e3e10977-6545-4063-8858-26e7a582b993>

(二)網站：

- 2024 年 9 月 9 日。臺灣重大地震。維基百科(網址：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%88%97%E8%A1%A8>)
80. 地震預測研究的概況如何？ - 中央氣象署地震測報中心 <https://scweb.cwa.gov.tw/zh-TW/Guidance/FAQdetail/94>
- 國家級警報地震多大才會發？國家級警報沒收到是怎麼回事？
<https://tw.news.yahoo.com/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%9C%>
- 地下水位與地震前後的淵源 https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=6960&n=30177
- 水利署電子報。(2023)。地震與地下水位的關聯性：花東縱谷與嘉南平原的觀測水井強化。取自 https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=6960&n=30177