

花蓮縣第 64 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科別：地球科學科

組別：國小 C 組

作品名稱：橋樑安全小尖兵－探討花蓮南區
橋樑安全和地震斷層與水圳河道之關聯性



編號：

壹、前言

一、 研究動機.....	3
二、 研究目的.....	4
三、 文獻回顧.....	4
貳、研究方法與研究流程	
一、 研究方法.....	8
二、 研究流程.....	9
三、 研究範圍.....	9
參、研究過程.....	10
肆、研究結果.....	14
伍、討論.....	25
陸、結論與建議.....	26
柒、參考文獻資料.....	27
捌、附件.....	28

壹、前言

一、 研究動機：

前年花蓮南區發生六級以上的大地震，造成極大的損壞，包括農田水圳、房屋、道路和橋樑。秀姑巒溪東、西岸間的交通受到廣泛的影響，高寮、玉長、崙天三座大橋橋面崩塌必須重建，玉里大橋也受損嚴重預定分兩期拆除重建，百姓必須繞道遠行並擠在舊玉里大橋的北側橋，南北各一個車道使用危橋通行。



台九線玉里大橋南側橋已拆除重建

花東縱谷多地震和斷層，秀姑巒溪支流和沖積扇皆匯集於縱谷的地塹之中。先民畢路藍縷拓荒開墾，修建水圳、浮圳、水橋並善用沖積土，將河川石礫砂地逐漸開闢成一塊塊肥沃豐饒的稻作區。樂合到德武、源城和客城、長良到崙天、甚至連接到富里、池上、關山和鹿野，成為台灣最大、最優良的稻米產地。各鄉鎮和部落之間隔著許多溪流、水圳，需要許多道路橋樑以交通往來和運輸，當然也包括日常的工作和就業的需要。



花東縱谷(玉里鎮和卓溪鄉附近)

花東居民經常面對大自然颱風、地震的威脅，尤其經歷過前年大地震的洗禮後，同學們經此切身經歷和見證大地震後的災害景像，主動積極學習地球科學和橋樑工程相關的知識，蒐集地震斷層、溪流、橋樑工程、水利設施和抗震補強的各種資訊，經團隊統整建立簡易的橋樑安全檢核表，再實地勘察檢核花蓮南區橋

樑安全和防震補強措施，並對橋樑震災毀損的現場進行拍攝，以作為評估和討論之根據，最後團隊審慎地提出評估或建議。



高寮大橋現況 2024年3月



玉長大橋現況 2024年3月



玉里舊鐵橋現況 2024年3月



玉里舊鐵橋現況 2024年3月

二、研究目的：

經由上述的動機，誘發大家學習地球科學、地震斷層、橋樑工程、水利設施和抗震補強等各方面的知識，並探討它們可能的關聯性，統整成為明瞭清楚的檢核表並實地會勘和拍攝照片，有效地檢視家鄉既有或新建橋樑的防震容量和災後修護狀況，並對家鄉橋樑現況進行討論和提出建議。



玉里大橋北側橋2024年4月6日(使用中)

三、文獻回顧

1. 2022. 09. 18 台東花蓮地震：

前年 2022. 09. 18 下午 2 點，發生台東池上為震央，規模 6.8 級的極淺層地震。前一日晚上九點多，也有規模 6.4 級，以關山為震央的極淺層首震，以及大大小小眾多之餘震。先後造成花蓮南區包括農田水圳、房屋、道路和橋樑等極大的損壞。高寮、玉長、崙天三座大橋坍塌已進行

拆除重建，台九線的玉里大橋也受損嚴重，必須分兩期拆除重建。



2. 研究花蓮區域內斷層，由北向南分別為米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層等。幾乎都是南北向，故縱谷內主要道路橋樑也是南北向，橫跨秀姑巒溪的東西向橋樑有可能橫跨斷層和溪流，通常震災風險和建造成本都比較高。

下圖中可以發現 31. 瑞穗斷層、32. 奇美斷層、34. 池上斷層三條斷層交會在玉里鎮春日里，都在縱谷的東側，33. 為玉里斷層則在縱谷的西側。



(From 經濟部地質調查及礦物管理中心 臺灣的活動斷層網站)

3. 2022. 09. 18 地震後，玉里鎮除橋樑外，也有部份房屋毀損和道路龜裂，農田水圳變形受損，而且電視新聞中，專家已現場證實為向左平移活動斷層。松浦、玉里高中、協天宮、東里國中、長良等地都出現斷層活動，造成開裂、位移或斷層兩側的斷差。



4. 橋樑基本結構和種類：

橋台、橋面、橋墩、引道、防落橋裝置和伸縮縫是橋樑基本結構，但因

為不同建造年代、跨距、橋寬、排洪量和公鐵路橋而使橋樑設計型式有所不同。老舊橋樑可能因早期的墩柱和鋼筋設計(主筋、箍筋、繫筋…等)的防震容量不足，而造成落橋、剪切破壞或傾倒。尤其在 921 大地震後，2002 年完成修法，建築和橋樑防震標準也隨美日標準有所提升。除了一般簡支樑橋外，還有鋼箱型或預力混凝土箱型連續樑、懸臂橋、吊橋、脊背橋、斜張橋... 等各種新式橋樑。



玉長大橋橋墩剪切破壞



新式橋樑之一脊背橋

5. 橋樑附近常有堤防、河道、水圳取水口、閘門、水圳設置或通過，在河川中、下游細砂沉積河段，也可能因地下水位高在強震來襲時可能造成橋樑沉陷、傾斜或倒伏。



玉長大橋第一段橋面斷落和客城水圳取水口



明里大橋橋墩傾斜封橋 2024/04/06

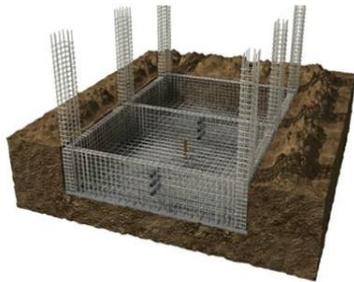
6. 橋樑通過的河床河段砂石和岩盤必須進行地質鑽探取樣分析，避免土壤液化並選擇適當的基礎設計。橋樑建造前的選址和地質鑽探很重要，避開斷層並減少落橋風險，選用適當防洪抗震的設計，提高抗震容量。

另外，土壤液化的三個主要成因為砂質細壤、地下水位高、持續強震。所以在特殊的地質環境下，必須採用特殊的基礎結構或深度，甚至打樁深入地下，以減少土壤液化的疑慮。



工程名稱	無尾潭水庫及石岡壩水源聯合運用地質敏感區基地地質調查及安全評估		
鑽孔編號	DH-06	鑽探地深度	30公尺 岩心深度 20-30公尺
岩心箱數	6	鑽探年度	108年
岩心封條	黎明工程顧問股份有限公司	鑽探廠商	三益探勘有限公司

地質鑽探和樣本標註釋判



淺基礎例子



深基礎例子



橋樑基礎和樁柱鑽挖機械和工具(崙天大橋)

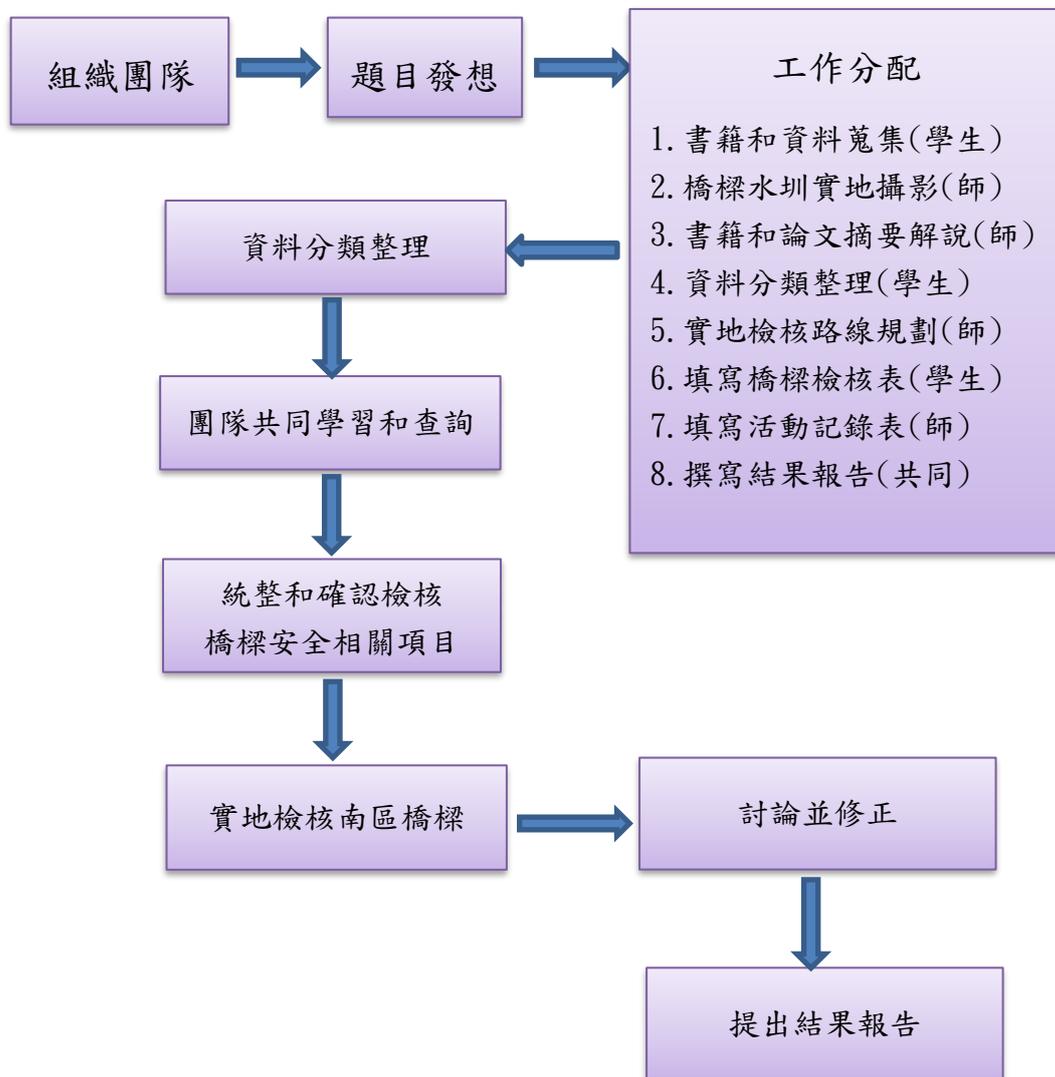
貳、研究方法與研究流程

一、研究方法：

1. 蒐集橋樑結構的相關資料，進行應用力學基礎知識學習。
2. 探討板塊推擠、地震成因和斷層可能對橋樑造成的損害，以及抗震橋樑設計。
3. 蒐集橋樑抗震設計的改善和補救措施。
4. 探討橋樑所在的各種環境因子，如土層、岩盤、河段類別和水圳位置、河道位置和各種水位，以及這些變因可能對橋樑造成的影響。
5. 建立橋樑安全檢核表，並對花蓮南區橋樑進行現場檢查作成紀錄，並拍照存檔。
6. 開會檢視研究結果對有疑義者進行討論和修正。
7. 結論和提出建議。

二、 研究流程：

團隊成員包括：自然科老師和兩位五年級同學



三、 研究範圍：

1. 蒐集橋樑結構的相關資料，學習應用力學基礎知識。
2. 花蓮南區各橋樑結構設計進行比較並討論其優缺點。
3. 地震成因和和花東地區斷層的分佈，並以斷層地圖進行橋樑標註。
4. 採用何種工程設計可避免地震和斷層對橋樑造成損壞和減少落橋風險。
5. 橋樑安全環境因素分析，包括斷層、地質、山體、河道、河段、水位及水圳。
6. 提高抗震容量和維護橋樑的補強措施。



舊玉里大橋樑墩柱防震容量補強(焊接包覆鋼板)

參、研究過程：

一、根據分工和設定的研究範圍各項目進行資料蒐集和書籍借閱。

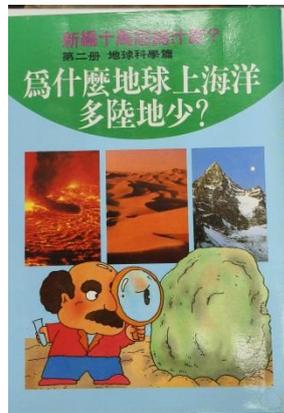
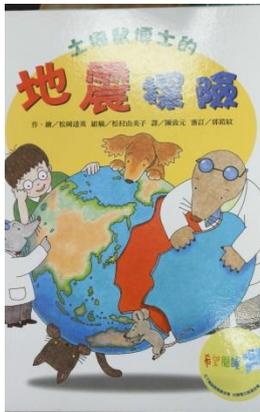
1. 借閱圖書館地球科學書籍：

A. 土撥鼠博士的地震探索

B. 為什麼地球上海洋多陸地少？

(新編十萬個為什麼?第二冊地球科學篇)

C. 營建知訊 478期



二、查找相關網站資料和論文

1. 高速公路局

#國道橋樑工程耐震設計介紹

-以國道6號南投段為例

2. 經濟部地質調查及礦業管理中心

#臺灣活動斷層GIS系統

3. 國家地震工程研究中心

#安全耐震的家—認識地震工程

#921大地震後的防災改善要點

4. 內政部國土管理署

#其他耐震規定

5. TVO 大屯火山觀測站

6. 土壤液化潛勢區查詢系統

7. 建築耐震標章

三、依研究範圍各項目進行資料分類、學習和討論，請老師利用課堂部份時間解說指導。例如橋樑的組成結構、大陸和海洋板塊的運動推擠、地震成因和斷層分佈、鋼筋和混凝土的力學特性、河段和地質鑽探、防落橋裝置介紹、抗震容量補強措施、國道6號耐震設計和跨斷層的工法、花東斷層的分布、新式橋樑的介紹…等主題。



四、請老師假日預先探查花蓮南區(包括台東池上)鐵公路橋樑和水圳目前情況，並拍攝部分災損或重建修護的相片作為學習和參考資料。



池上鐵橋



池上水圳取水口



台九線玉里東側橋台兩種墩柱型式



玉長大橋橋台和水圳

五、討論橋樑安全檢核表應包含那些資料和指標。

1. 橋樑基本資料：

名稱、建造年份、橋面長度、寬度、高度、方向、橋面型式、墩柱型式、引道長度……等。

2. 橋樑環境因素：

所在河段、河床砂石種類、有無斷層通過、有無斷層段差或裂隙、有無人工水圳集中通過



玉長大橋橋台、引道和客城水圳及取水口



玉里大橋下的水圳和取水口



富里明里大橋中央的河道和泥沙或斷層通過可能是墩柱沉陷原因

3. 災後損壞和重建修護情形

花蓮南區橋樑震後有不同程度之損壞，程度嚴重的話，有的多數橋面和橋墩毀損、有的少數橋面和橋墩毀損。程度較輕的可能是伸縮縫毀損或橋面固定物毀損或橋台和引道側壁開裂或毀損，目前是否修護完成或是等候拆除重建。



玉長大橋震後損毀的墩柱和伸縮縫



瑞穗大橋引道路面開裂修補、側坡和堤防補強

六、實地拍攝相片：包括橋台和引道、橋面和墩柱、水圳和取水口、災損相片、修護補強……拍攝各種照片作為紀錄。



高寮大橋災後



舊玉里鐵橋墩柱鋼板包覆焊接

七、討論後確定並製作出橋樑安全檢核表。

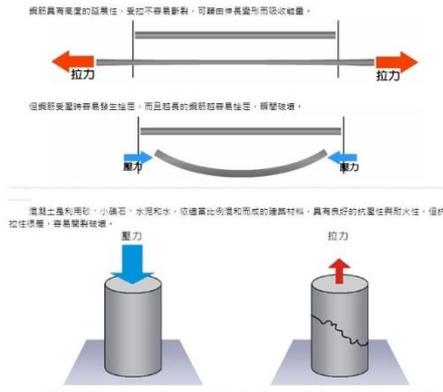
八、團隊經家長同意後於擇二周三下午或周末由老師率隊實地檢核花蓮南區橋樑並完成橋樑安全檢核表。預計由北向南進行現地勘察檢核並進行拍攝和測量。

肆、研究結果：

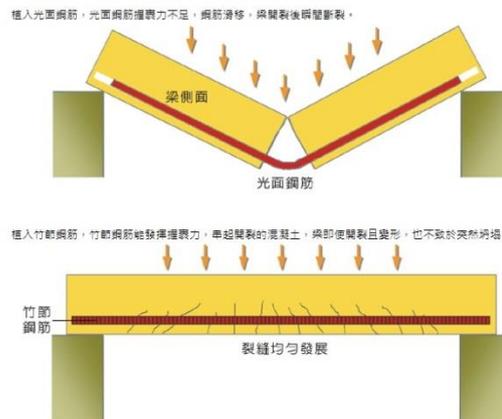
一、 有關橋樑的基礎應用力學知識整理：

1. 混凝土特性：

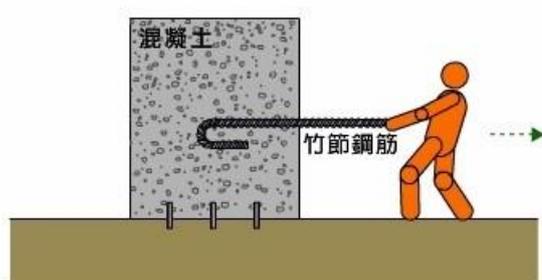
抗壓力但不抗拉力，所以需要抗拉力的竹節鋼筋以及配置主筋、箍筋和繫筋的抗震設計，適當地進行錨定和配筋。右下圖為混凝土抗壓實驗影片課程，比較三種不同混凝土結構的抗壓能力，第一種為水泥加細砂、第二種為第一種再加入碎石，第三種為第二種再加上鋼筋結構。第三種抗壓能力竟可達第一種的百倍以上。



2. 竹節鋼筋和錨定

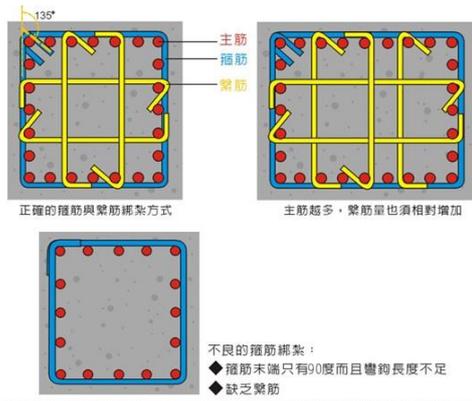


竹節鋼筋有較佳的”握裹力”不易坍塌



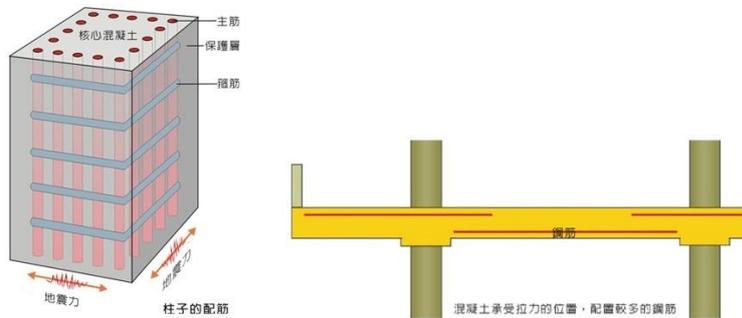
鋼筋彎曲後產生的錨定作用

3. 主筋、箍筋和繫筋(彎折角度 130 度且伸長至少 7.5 公分)



紅色為主筋、藍色為箍筋、黃色為繫筋

4. 柱子的配筋



上圖紅色為承受拉力的位置，需要配置較多的鋼筋



預力混凝土樑預先在兩端以錨具和鋼索加壓
可加強橋樑的防震能力



預力混凝土工型樑的預力孔



兩端有錨具固定的鋼索預力作業
(花蓮市農兵橋新聞相片)

預力混凝土工型樑或箱型樑可以改善橋樑的應力分佈和抗震性，連續樑結構則有更佳應力分佈和抗震性、較少的伸縮縫並可有較大的跨距。此外，搭配鋼拱或橋塔的粗鋼索設計能再提高連續樑的安全係數，減少安全風險。



連續樑結構



鋼拱能提供橋面懸吊或支撐

二、花蓮南區鐵公路橋樑結構和抗震性比較：

類別	橋名	墩柱形狀	車(軌)道數	橋高	抗震性
公路橋	瑞穗大橋	圓形單墩柱	1	12	普通
	秀姑巒溪	圓形單墩柱	1	米	普通
	高寮大橋	圓形單墩柱	2	6 米	差
	秀姑巒溪				已完全損毀
	樂合橋	圓形雙墩柱	2+	6 米	優
	樂合溪				
	玉里舊橋	寬圓單墩柱	2	6 米	較佳
	秀姑巒溪	北橋通行中 圓形單墩柱 南橋已拆除	2	6 米	普通
	玉里新橋	圓形雙墩柱	2+	8 米	優
	秀姑巒溪				新建中
玉長大橋	圓形單墩柱	2	6 米	普通	
樂樂溪				樑柱損毀	
卓富大橋	圓形單墩柱	1	6 米	普通	
秀姑巒溪				伸縮縫損毀	
崙天大橋	圓形單墩柱	1	6 米	差	
秀姑巒溪				已完全損毀	
長富大橋	圓形單墩柱	2	6 米	普通	
秀姑巒溪				橋台引道堅實	
鐵路橋	馬武呂溪橋	寬圓單墩柱	1	6 米	較佳
	舊玉里橋	寬圓單墩柱	1	6 米	較佳
	秀姑巒溪				
	瑞穗陸橋	圓形單墩柱	1	6 米	普通
瑞北					
玉里陸橋	倒三角形圓柱	2	4 米	優	
客城	有兩段鋼拱橋			雙向軌道	

※花蓮南區現有橋樑抗震性大小排序如下：

上鋼拱+雙圓墩柱 > 雙圓柱墩柱 > 倒三角圓墩柱 > 寬圓墩柱 > 單圓墩柱

另外，橋台和橋塔基礎的寬度和厚實度、大型鋼拱或粗鋼索設計、輕量鋼箱結構橋面、擴大墩柱基礎和預力連續樑等等因素或設計都會影響到橋樑的防震能力。



玉里大橋南側橋和圓型單墩柱



玉里大橋北側橋和寬圓型單墩柱



玉里大橋兩種不同橋墩設計，左為圓柱，右為寬圓柱
右側較抗震仍在使用左邊已拆除



雙圓柱結構可有較大橋寬和抗震容量



玉里客城鐵路陸橋的倒三角圓柱和鋼橋段的雙圓柱
鋼拱結構更可以強化大跨距橋面的抗震性

根據營建知訊 478 期“0917 關山地震與 0918 池上地震勘災紀要”專文中的勘察結果知道：

0917 關山地震與 0918 池上地震中，橋柱斷裂倒塌均為南北向，與斷層錯動方向一致，鋼筋暴露的橋梁有 2 座，分別為崙天大橋與高寮大橋。斷裂橋柱可發現主筋稀疏且沿混凝土澆置面切斷，環形箍筋間距太大及錨定不足。代表早期橋梁耐震設計細節的敘述與規定，不若 921 集集地震後的規定嚴謹(2002 年完成修法)。

例如：

1. 崙天大橋與沉箱橋柱斷裂分離，主筋稀疏。橋柱箍筋間距 45 cm。
2. 高寮大橋橋柱剪力斷裂，箍筋間距 20~35 cm，箍筋無彎鉤，箍筋爆開落在地面，核心混凝土圍束力不足。鋼筋同位面斷點過多，握裹不足，抗拉拔力不足。

(以上 1. 和 2. From 營建知訊 478 期專文：

0917 關山地震與 0918 池上地震勘災紀要



高寮大橋的墩柱箍筋圍束力不足(箍筋都斷開)

三、地震成因和花東地區斷層的分佈：

地震可分為「人工地震」與「天然地震」，人工地震源自於人類活動所發生之地震(如：核爆)。今日一般所指的地震多為天然地震，依成因可分為構造地震、火山地震、衝擊地震(如：隕石)等。其中又以構造地震發生頻率最頻繁。構造地震的成因源自於板塊運動，板塊受到張力、壓力、重力及地函對流的作用，不同的板塊之間每年以數公分的相對速度緩慢移動在長期緩慢的作用下，造成地殼的岩層內力不斷上升，當應力超過岩層本身能承受的

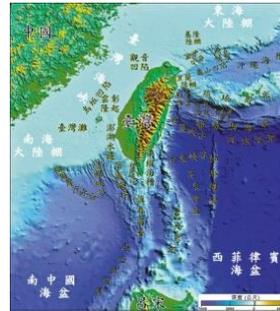
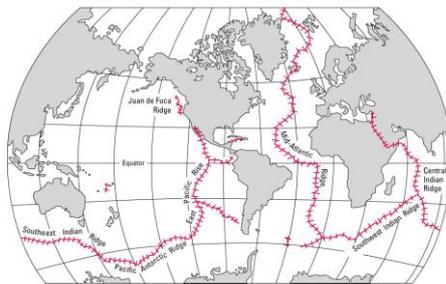
強度時岩層便會發生斷裂錯動，其巨大的能量突然釋放，形成地震。

※地球有許多板塊分為陸地和海洋板塊，板塊運動造成地震和斷層



板塊運動 (圖片來源：地震百問 交通部中央氣象局編印)

花東地震主要源於菲律賓板塊向歐亞大陸板塊推擠，由東南向西北隱沒入歐亞板塊之下沉入地函，最後被地核高熱融化。至於為何海洋板塊在下，主要是因為海洋板塊比重較大，以玄武岩為主，鎂鐵成份較多。而太平洋的洋脊的海底火山和岩漿被海水凝固則是海洋板塊推移的動力來源，如輸送帶般緩慢向陸地板塊推擠並沒入其下。



※海洋下的洋脊(海底火山噴發)造成海洋板塊緩慢推移

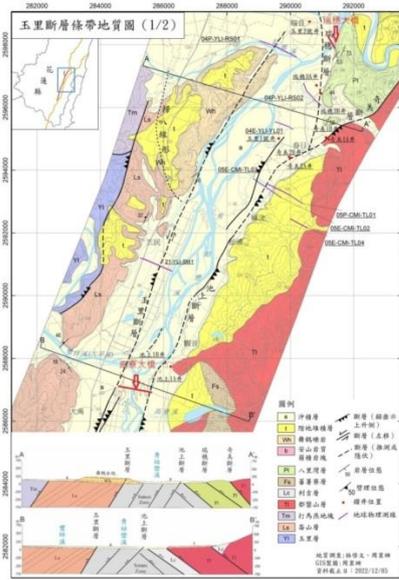
花東縱谷就是板塊斷層間形成的地塹，覆蓋著溪流從山上搬運下來的沖積土。由於斷層錯動會不定期釋放能量，所以有大小不一的地震，雖然帶來一些災害，但也造就溫泉和觀光產業的發展。花蓮區域內斷層，由北向南分別為米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層、利吉斷層等。



奇美斷層、瑞穗斷層和池上斷層三條斷層在春日交會
玉里斷層在池上斷層和瑞穗斷層的西側，從瑞穗的瑞良村一直延伸到玉里鎮的長良里。

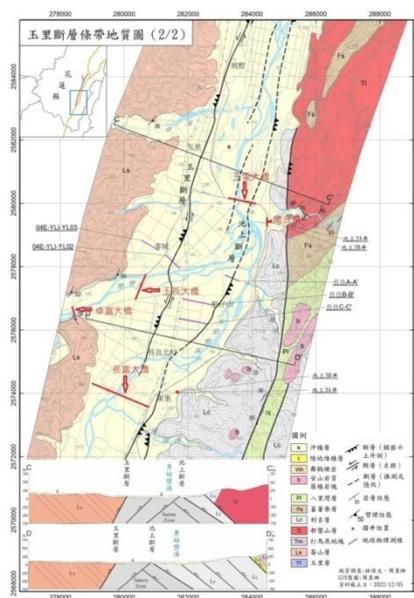
四、根據經濟部地質研究所 GIS 活動斷層查詢系統

1. 查找和標註花蓮南區鐵公路橋樑和斷層位置結果如下：



以經濟部地質調查及礦業管理中心 GIS 查詢活動斷層地圖，同學們以小畫家軟體進行標註高寮大橋和瑞穗大橋位置，發現東西向的高寮大橋很可能有兩條以上的斷層通過，而南北向的瑞穗大橋則在引道附近閃避瑞穗斷層。

向南再以經濟部地質調查及礦業管理中心 GIS 查詢活動斷層地圖進行標註玉里大橋、玉長大橋、卓富大橋和長富大橋等四橋位置，發現玉里大橋跨越兩條斷層。而玉長、卓富和長富三座大橋則避開了玉里斷層，而鐵路在東里富里附近和斷層平行而且很接近池上斷層。所以台鐵東里和富里火車站附近軌道不定期有軌道傾斜等問題發生，必須加強定期巡視軌道和維護以策安全。



2. 根據政府經濟部轄下專責單位公佈

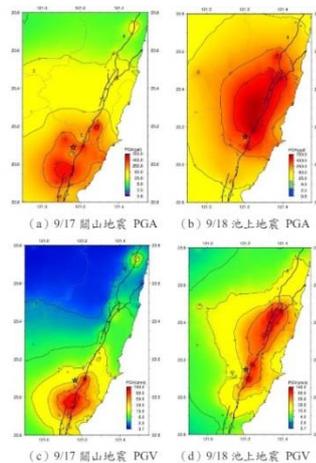
“2022年0917關山地震、0918池上地震地質調查報告”

(以下內容 from 經濟部地質調查和礦業管理中心)

“民國111年9月17日晚上9點41分，在臺東關山發生芮氏規模6.4的地震，震源深度7.3公里，隔天9月18日下午2點44分在臺東縣池上發生芮氏規模6.8的地震，震源深度7公里。一般將917關山地震視為前震，918池上地震為主震，這兩個地震是歐亞板塊與菲律賓海板塊擠壓所引起的。地質調查重點在地表破裂分布範圍與活動斷層的相關性，並評估陸上活動斷層是否為此次地震的發震構造，大地測量的目的在了解地表變動的範圍與程度。調查範圍涵蓋花蓮縣瑞穗鄉、玉里鎮、富里鄉、臺東縣池上鄉、關山鎮與鹿野鄉等破壞較密集分布的區域。由前震、主震及餘震分布的斷層面解等資料，研判917關山地震、918池上地震的發震構造與歐亞板塊、菲律賓海板塊擠壓有關，是由一個呈北北東走向且向西高角度傾斜的左移斷層活動所致。

調查結果顯示：玉里斷層與池上斷層沿線均有地表破裂與噴沙現象。玉里斷層方面，玉里鎮至源城溪之間有集中且連續的地表破裂分布，呈左移運動且西側抬升；玉里鎮以北至大禹里，地表破裂零星分布，並逐漸尖滅；客城至長富大橋之間，地表破裂分為數條，範圍寬約數百公尺至1公里。整體而言，玉里斷層為左移運動兼具向東逆衝性質，地表破裂位置與1951年的地表破裂幾乎一致，但此次更增加長良地區的地表破裂，其左移量最大達1公尺，西側抬升30-100公分。由於本次的地震之震源機制、震源深度及主、餘震分布與玉里斷層性質一致，因此研判918池上地震的發震斷層往北延伸，出露地表的部分為玉里斷層，其餘則可能位於秀姑巒溪而不易發現。”

3. 2022年0917關山地震、0918池上地震之地表最大加速度和最大速度資訊： ※加速度愈大代表地震力度愈大



圖一 關山地震與池上地震近震源區域之PGA及PGV分佈圖。
星形為震央位置，藍色線為活動斷層，三角形為分析所使用之強震站，十字形為主要震損位置。

五、採用何種工程設計可避免地震和斷層對橋樑造成損壞和減少落橋風險，歸納為以下幾個要點：

1. 橋樑選址以不通過斷層帶為最上策，其次採路堤或路塹通過，最後不得已才採橋樑通過。
2. 可加大墩距以通過有斷層的溪流，跨距可達一百米以上(採取懸臂或斜張橋或脊背橋等新式橋樑設計)，並採鋼箱或預力混凝土箱連續樑的結構以改善應力分布和防震能力以減少落橋風險。
3. 補強橋墩或增加防震容量:可補強墩柱、增加止落塊、增加落橋長度、防震承座、包覆鋼板、增加微型樁、增加連樑分散地震力、橋台側壁補強……等。

六、橋樑安全環境因素分析:斷層、地質、山體、河道、河段、水位及水圳堤坊。

橋樑附近或中間有斷層通過是橋樑安全一大隱憂，存在落橋的風險。橋樑若建築在優良的岩盤或山體之上就會有先天優良條件，岩盤可打入成為穩固的地基，而龐大的山體可以吸收地震能量。至於河床的地質常會因河段而有所不同，上游多大石頭，中游多卵石，下游多細砂泥砂。

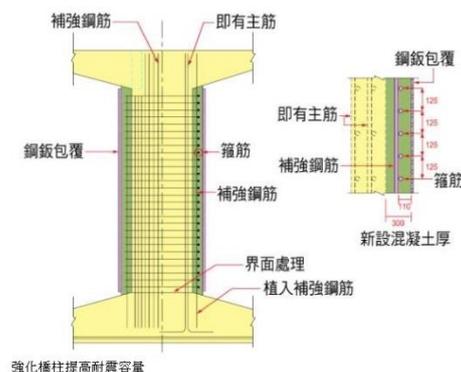
橋樑的橋台和附近橋墩若有水圳和河道通過，也可能提高其地下水位，倘若其基礎不良多泥砂再遇大地震，則很有可能齊備了土壤液化的三條件，造成橋墩陷落、傾倒或移位，增加橋面掉落的風險。



※富里明里大橋的中間橋墩陷落傾斜已封橋

七、固然老舊橋樑建造年代較早，但仍然可趁早採取一些防震補強措施，以提高防震容量，例如加裝止落塊、阻尼器、加長防落長度(鋼架)、補強柱體、增加微型樁、修護伸縮縫、增設連接樑…等工法。

※補強鋼筋和混凝土(擴柱)



※鋼板包覆墩柱和進行焊接以提高耐震容量



鋼板包覆增加耐震容量

※安裝防落鋼架增加防落長度(舊玉里鐵橋)



※增加止落塊(瑞穗大橋) ※增加微型樁強化基座



增加微型樁強化基座

※增加連樑改善結構分散地震力



※修護伸縮縫 (卓富大橋修護伸縮縫)



八、橋樑安全檢核表最後格式(請見附件一)。

九、進行實地勘察和測量，拍攝橋樑現況和毀損修復情形。

1. 橋樑安全檢核路線：（團隊4/6 08:30於學校集合上車）
→玉里大橋→玉里舊鐵橋(玉富自行車道) →玉里客城鐵路陸橋
→太平溪橋(鐵、公路)→高寮大橋→瑞穗大橋→瑞岡橋→北岡橋
→瑞北鐵路陸橋 中午玉里用餐休息至13:30→玉長大橋→卓富大橋
→長富大橋→崙天大橋→明里大橋→石平橋→回玉里(將同學送回家)
2. 攜帶裝備如下:工程帽、水壺、圓形皮尺、2米竹竿、相機。
3. 實地勘察花蓮南區十六座橋樑照片:



1. 玉里大橋



2. 舊玉里鐵橋



3. 玉里客城鐵路陸橋



4. 5. 太平溪橋(公路鐵路)



6. 高寮大橋



7. 瑞穗大橋



8. 瑞岡橋



9. 北岡大橋



10. 瑞北鐵路陸橋



11. 玉長大橋



12. 卓富大橋



13. 長富大橋



14. 崙天大橋



15. 明里大橋



16. 石平橋

伍、討論:

一、評估後決議花蓮南區老舊且損毀嚴重應拆除重建橋樑如下：

橋名	拆除重建理由
高寮大橋	完全損毀
崙天大橋	完全損毀
玉長大橋	橋樑老舊且跨水圳之橋面和墩柱損毀
明里橋	橋樑老舊且有橋面和墩柱沉陷
玉里大橋	橋樑老舊、活動斷層經過、防震和防洪容量不足、台九線省道重要橋樑

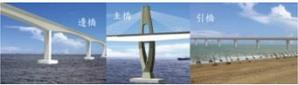
二、目前可通行但必須加強抗震補強措施和橋台引道側坡維護的橋樑如下：

橋名	應補強項目
瑞穗大橋	修護伸縮縫伸縮縫 橋台引道邊坡補強
卓富大橋	修護伸縮縫 橋台引道邊坡補強
石平橋	橋台引道邊坡補強
舊玉里鐵橋(自行車道)	加裝防落橋裝置 防震容量補強(包覆鋼板)

三、加裝橋樑安全設備系統以加強監控和橋頭安全警示功能，應該包括那些方面？

項目
1. 影像監控系統監看橋頭和橋身及橋下水面的即時狀況
2. 水位監控系統和洪水高水位自動封橋警示燈
3. 水位過高和橋面斷落之封橋和安全警示設備

四、除了簡支樑橋外，還有沒有其他橋樑可作為跨越秀姑巒溪和活動斷層(台九線玉里大橋)設計參考？

種類	例子	說明
1. 鋼拱橋		長虹橋二代橋
2. 塔式脊背橋		金門大橋高粱穗塔 主跨外還有邊橋和引橋
3. 大跨距預力連續樑橋		國道六號斗山2號橋

陸、結論與建議

花東縱谷百姓經常面對大自然颱風、地震的威脅，尤其經歷過前年大地震後，同學們經此切身經歷和見證大地震後的災害景像，願意以本作品主題來學習地球科學和橋樑工程相關的知識，蒐集地震斷層、基礎應用力學、橋樑工程、水利設施和抗震補強的各種資訊，經團隊學習和統整後，建立簡易的橋樑安全檢核表，再實地勘察檢核花蓮南區橋樑安全和防震補強措施，並對橋樑震災毀損的現場進行拍攝作為評估和討論之根據，最後團隊共完成花蓮南區橋樑安全檢核並審慎地提出評估和以下建議：

一、老舊且損毀嚴重應拆除重建橋樑如下：

高寮大橋、崙天大橋、明里橋、玉長大橋和玉里大橋

二、必須加強抗震補強措施和橋台引道側坡維護的橋樑如下：

卓富大橋、瑞穗大橋、石平橋和舊玉里鐵橋

三、新建橋樑選址應配合地質鑽探並給予足夠的經費和防洪抗震設計，有岩盤和山體支撐最優，有大石頭的河床次之，泥沙多水緩的河床更次之。如非不得已，避免橋樑通過斷層，採和斷層平行的走向為佳。灌溉水圳的取水口或水道應遠離橋樑並定期檢查水圳是否裂損以迅速維護，最後不應在橋樑附近違法採砂石影響橋樑安全。

四、花東縱谷的橋樑南北走向居多，因為斷層也是南北走向為主。不可避免的必須建造跨斷層的東西向橋樑，必須選擇採用務實的路堤、路塹或大跨距、更能抗震的新式橋樑設計，如鋼箱或預力混凝土箱連續樑橋及懸臂設計以橫越溪流夾雜斷層的複雜條件。將來花蓮南區縱谷新建的快速公路應避開池上斷層，選擇由縱谷平原西側通過由玉里長良經崙天到台東的池上和關山。

五、既有的老舊橋樑必須定期檢查維護和進行防震補強，五十年以上橋樑則爭取經費規劃原地改建或另地新建。例如瑞穗大橋東側橋明年將屆齡五十。



六、興建的新橋應考慮快慢車分道，雙向各有一個快車道和較小的慢車道，供機車、自行車和助行車及行人安全和友善通行。倘若設計 0.5m 路肩是否對慢車和行人太不友善？也不符合人因工學？



七、新建橋樑還必須注意防洪容量和設計高度，避免颱風洪水沖毀橋面，否則未因地震反而可能因洪水水位過高而斷橋。



2023/09/06 瑞穗大橋颱風洪水水位

最後，教育是百年大計，現代國家必須培養優秀工程師並仰賴科學才能興邦，藉由此次科展訓練同學們觀察、蒐集、學習、分類、實地勘察和思考分析及做評估等各方面的能力，嘗試做一位小小工程師。藉由統整地球科學和自然地理及工程力學三領域知識的經驗，瞭解一位工程師必須擁有更好的跨領域視野和人文背景、胸懷，甚至還能精算技術、成本和利潤的經營能力。才能兼顧理想與現實，共存大自然和社會需求，平衡公司、政府與民眾三方利益，設計出符合預算，公司、政府和民眾皆滿意的安全橋樑。

柒、參考文獻資料：

1. 經濟部地質調查及礦業管理中心 臺灣活動斷層
<https://fault.gsmma.gov.tw/About/FaultMore/66f44d794f954a2c81dd8996fb283461>
2. TVO 大屯火山觀測站 <https://tvo.ncree.narl.org.tw/>
3. 土壤液化潛勢區查詢系統：
<https://www.liquid.net.tw/cgs/public/index.html>
4. 國家地震工程研究中心
<https://www.ncree.narl.org.tw/>
5. 國家地震工程研究中心地震資訊
<https://www.ncree.narl.org.tw/news/earthquakeinformation>
6. 營建知訊 478 期專文:0917 關山地震與 0918 池上地震勘災紀要
<https://www.tcrl.org.tw/cnrfiles/cnr478.pdf>
7. 耐震標章認證
<https://www.tabc.org.tw/sab/modules/news/article.php?storyid=7>
8. 內政部國土管理署 其他耐震規定
地震時極軟弱與可能液化地盤之耐震設計：
<https://www.nlma.gov.tw/filesys/file/EMMA/c1130301-8.pdf>
9. 基土壤技術顧問有限公司
<https://chungchi.com.tw/>

10. 交通部高速公路局：
國道橋梁工程防震設計介紹 -以國道 6 號南投段為例
陳國隆 1 羅財怡 2 許文珊 3 詹景堯
<https://www.freeway.gov.tw/Upload/201309/提昇強震區橋梁建造技術1000811.pdf>
11. 國家地震工程研究中心 安全耐震的家—認識地震工程
<https://www.ncree.org/safehome/ncr05/ncr1.htm>
921 大地震災後的防震改善要點：
12. 土撥鼠博士的地震探索(圖書館書名)松岡達英等人
13. 為什麼地球上海洋多陸地少?(圖書館書名)陽銘出版社 張青史
(新編十萬個為什麼?第二冊地球科學篇)
14. 交通部高速公路局 高速公路橋梁耐震補強 地震工程科技
<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=3540&p=20392>

捌、附件

- 一、橋樑安全檢核表。

橋樑安全檢核表

橋名：豐坪溪橋

溪流：豐坪溪

完工年度：民國

年

(照片一)

(照片二)

車道數：1 2 2+ 4

柱型：單圓 寬圓 雙柱

橋長：200 400 600以上

橋高：4米 8米 12米

河段：上游 中游 下游

河床：大石 卵石 砂石

斷層：無 有

橋樑方向：東西向 南北向

防落橋裝置：止震塊 鋼架

水圳和取水口：無 有

防震補強措施

焊接鋼板包覆墩柱

增加耐震容量

橋台引道側坡加強

修護伸縮縫

嚴重損壞部份：

損壞說明：

橋台 引道 墩柱

橋面 伸縮縫

評估：正常 待修補

建議：

拆除重建 另地新建

(照片三)

(照片四)

(照片五)

(照片六)

特別記錄事項:(例如進行測量或其他……)

檢核人:

填寫人:

覆核人: