

投稿類別：自然探究

篇名:

「震」知道了——長虹橋的祕密

作者

林庚永。花崗國中。八年二班

葉以德。花崗國中。八年二班

李昀謙。花崗國中。八年二班

指導老師

黃淑卿老師

陳霽語老師

## 壹、前言

### 一、研究動機

以前的人們為了通過江河，創造出了橋，讓人群貨物流通以便交流，由於臺灣東部地區溪流多，人們歷經多年建造許多座橋。但臺灣東部地區位處板塊交界區，常有地震，例如民國111年0918地震，花蓮縣玉里鎮及富里鄉有高寮大橋、崙天大橋及玉長大橋等因而倒塌。但在震央附近的長虹橋卻完好如初，讓我們不禁想研究長虹橋的構造及建造方式，是如何抵抗地震或颱風豪雨的侵襲，所以我們透過收集文獻來了解橋的種類和建造的原理，也了解到不同地形適合的橋樑建造工法。但是我們在查閱文獻時有很多的疑惑，於是指導老師特別請教學者王錦華教授<sup>1</sup>來為我們解惑，教授跟我們介紹許多關於長虹橋的結構設計及構造。

之後，為了論證理論，我們先做一個由木板及竹條構成的簡易模型，我們在研究期間剛好遇到了9月2日登陸侵台的海葵颱風，花蓮多數溪流暴漲，導致水面淹到了橋上，剛好也讓我們見證了長虹橋如何挺立過颱風過侵擾。

### 二、研究目的

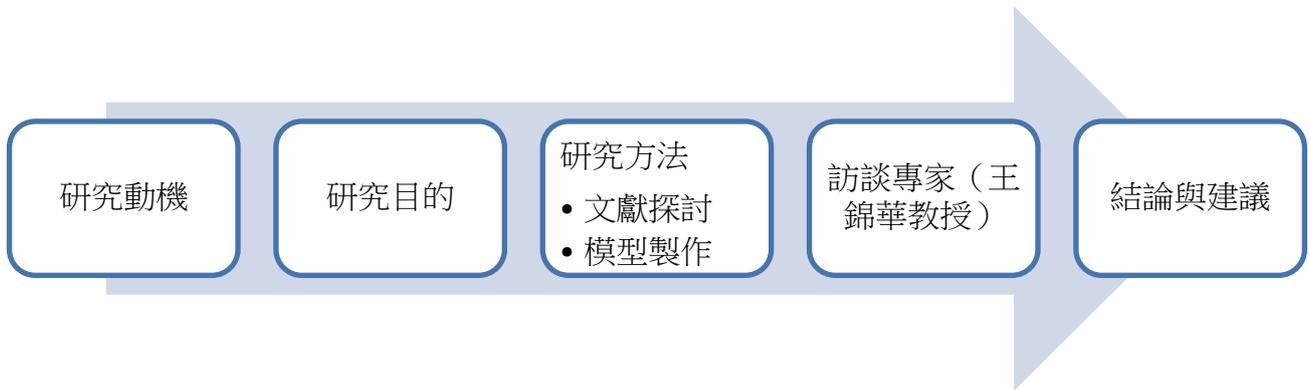
- (一) 認識橋樑之分類及型式
- (二) 探討長虹橋的結構
- (三) 探討過去天災對於橋樑傷害

### 三、研究方法及研究流程

- (一) 本研究透過文獻探討以及專家訪談，以座落花蓮縣豐濱鄉的長虹橋為例，研討花東地區多地震的特性及最適用的橋梁結構，並以錄音及錄影的方式，紀錄與專家學者的對話。呼應研究目的，去了解橋樑的結構，設定遇到地震時的情況，援引學理及實務案做出結論。
- (二) 文獻分析：透過查閱文獻，了解橋梁的種類、受到的力量、支撐橋樑的基礎結構，並將文獻整理，之後從文獻中找出有疑問的地方，寫成專家訪談稿。
- (三) 製作長虹橋模型：我們製作了簡易模型，讓我們更加了解長虹橋的結構，方便未來可以深入探討。
- (四) 專家訪談：訪談問題整理好後，我們拜訪專家學者為我們解惑，並請專家傳授更多關於建造橋樑的知識，讓我們得到更多有關橋樑的知識。
- (五) 研究流程如下：

---

<sup>1</sup> 王錦華教授，國立台灣科技大學土木工程研究所博士，曾任大漢技術學院土木系系主任，專長:鋼結構、橋梁工程、結構學、鋼筋混凝土。



## 貳、正文

### 一、認識橋樑之分類與型式

#### (一)、橋樑建構位置分類

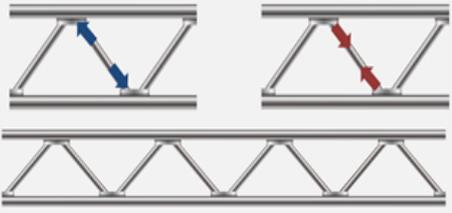
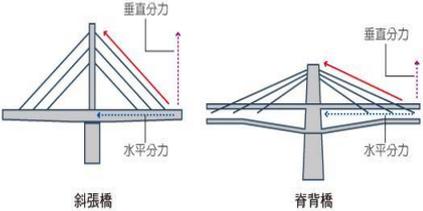
根據訪談，我們橋樑的分類整理表格如下：

1	橋樑之使用場合有四種	(1)橫渡河川時(長虹橋就是屬於此類，跨越秀姑巒溪) (2)跨越兩山時 (3)交流道與道路立體交叉處 (4)高架公路
2	橋樑所在位置分類	(1)陸路橋(含鐵路橋、公路橋) (2)水路橋：純為輸水之用 (3)棧橋
3	依運輸用途分類	(1)鐵路橋 (2)公路橋(長虹橋亦屬公路橋) (3)水路橋 (4)人行橋
4	以橋樑活動型態分類	(1)固定式橋樑 (2)可動式橋樑：通常因為橋下有大型船隻必須通過之航道。 (3)垂直升降式橋 (4)水平旋轉式橋 (5)上下旋轉式橋浮橋
5	依組成材料分類	(1)竹橋 (2)木橋 (3)混凝土橋，含鋼筋與預力混凝土橋。 (4)鋼橋(長虹橋所使用之材料) (5)磚橋 (6)石板橋 (7)鋁橋

(二)、橋的種類：

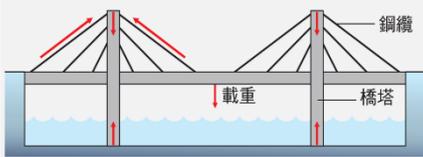
專家會根據不同的地形樣貌，搭配不同的工法，建造不同的橋樑，所以橋有許多種類，根據我們文獻調查以及訪談專家學者，我們發現花蓮最常見的橋樑有五種，我們整理如下圖所示：

種類	圖片	簡介
<p>1. 樑式橋</p>	 <p>圖1、花蓮大橋 (圖源:自由時報)</p>  <p>圖2、龍澗橋 (圖源:康軒文教事業)</p>	<p>(1) 圖1為預力混凝土之樑式橋，是將橋的大梁支承在橋墩上，大樑一般是在空地上，製作完成，再用拖運板車，吊車將大樑吊放在橋墩或橋台上，之後，再澆灌橋面板的混凝土。如果是跨河的橋樑，橋墩承受水流的衝擊力，地震時也會受到地震力的作用。橋面板及大樑則受到車子垂直壓力，並將該垂直壓力傳到橋墩或橋台。橋面上方承受直向壓力，橋面板及大樑會產生彎曲。例如：花蓮大橋便屬於樑式橋。</p> <p>(2) 圖2是鋼製的樑式橋，但在樑的兩端加斜撐，斜撐可以縮短大樑的跨距，因此大樑的高度可以減少，斜撐的作用類似橋墩，只是將它改成斜的，並支承再兩岸的岩石上，讓梁橋的結構更加穩固(專家又稱此中鋼橋為<math>\pi</math>型橋)。</p>
<p>2. 拱橋</p>	 <p>圖3、花蓮縣光復鄉吉利潭 (圖源:康軒文教事業)</p>	<p>(1) 拱橋是指以拱形作為主要承重結構的橋樑，重力會因為拱橋的特殊結構，可以將重力，分成水平力和垂直力，分別由左右兩邊的土地以及地面(簡稱為基礎)給予支撐。圖3為位於花蓮縣光復鄉吉利潭，為人行使用。</p>
<p>3. 桁架橋</p>	 <p>圖4、中部東西橫貫公路長春橋 圖源:太魯閣國家公園官網</p>	<p>圖4是位於太魯閣國家公園長春祠附近之長春橋，為桁架橋。製作桁架橋的主要材料，一般是用鋼材，橋面才用鋼筋混凝土。桁橋的特點(1)使用三角形結構搭配鋼材造出承重結構，各桿件根據所在位置受到張力或壓力。</p> <p>(2) 桁架: 多數是以三角搭接形成的結構體，如圖5所示。</p>

		 <p>圖5：桁架 圖源:康軒文教事業</p>
<p>4.脊背橋</p>	 <p>圖6第二代箭瑛大橋 圖源:中時新聞網</p>	<p>(1)脊背橋外觀近似斜張橋，整體剛度由梁體提供，斜索除對主樑提供垂直分力外，亦提供較大軸壓力，使樑能承受彎矩。</p>  <p>圖7圖源:科學人雜誌</p> <p>(2)有關斜張橋的介紹，補充於後。</p>
<p>5.吊橋</p>	 <p>圖8太魯閣布洛灣吊橋(山月吊橋) 圖源:太魯閣國家公園官網</p>	<p>(1)吊橋承重時，受力狀況恰與拱橋相反，因吊索配置，可承受拉力。橋體本身的靜載量最小，所以可以設計較長的橋樑跨距。</p> <p>(2)又稱為纜索橋。是藉由繩索系統懸吊橋面於河面之上。</p>

很多人可能會和我們一樣以為位於鳳林的新箭瑛大橋就是斜張橋，根據王錦華教授說:新箭瑛大橋是雙塔式的脊背橋，台9縣壽豐鄉溪口村附近跨越壽豐溪的線新豐平大橋為國內首座三塔連續脊背橋。斜張橋與脊背橋不同之處，是脊背橋的橋塔比斜張橋低，因此脊背橋的跨度比斜張橋短。斜張橋是由橋塔以斜索懸吊主梁的橋梁型式，由主梁、主塔和鋼索所構成，適用跨度約在150~900m左右，具地標效果，惟工程造價高、維護難度高、施工技術高；結構分析亦較為困難，纜索受風力及活重影響之變化大，高屏溪斜張橋又稱南二高斜張橋，它們的外觀雖然很相似，但工法其實截然不同，斜張橋的難度和工程費用都高出很多。

斜張橋介紹:

種類	圖片	簡介
斜張橋	 <p>圖9高屏溪斜張橋或稱南二高斜張橋 圖源:陳崗賢</p>	<p>(1)斜張橋透過鋼纜承重，斜拉的鋼纜會產生一個斜向張力，水平分力可以為橋面提供抗彎矩的預力，垂直分力則可向上拉起橋樑的重量。</p> <p>(2)橋墩基礎深入河川岩盤，與橋塔一體成形，使其足以支撐橋面鋼纜的張力。</p>  <p>圖10圖源:康軒文教事業</p>

### (三)、新、舊長虹橋

#### 1. 舊長虹橋

「舊長虹橋」位於秀姑巒溪出海口橫跨秀姑巒溪，長120公尺、寬7.5公尺，是台灣第一座懸臂式箱型單拱預力混凝土橋，因遠望有如長虹跨岸而得名。民國57年完工通車，因超重車輛影響致伸縮縫損壞、預力損失橋面下垂，為交通安全，不宜拓寬。又因地形及地質因素不宜在原橋位建造更寬之橋梁，故於舊長虹橋下游約240公尺處另建乙座新橋。舊長虹橋的其工作原理如圖11(A)、(B)所示，先施築橋墩上柱頭節塊，用以架設懸臂工作車，利用工作車進行鋼筋組立、混凝土澆置及施拉預力，再藉完成節塊推進工作車支撐下一節塊施工，如此循環直至節塊閉合，邊跨並配合施作，再施拉連續鋼鍵等未完成之預力施拉。

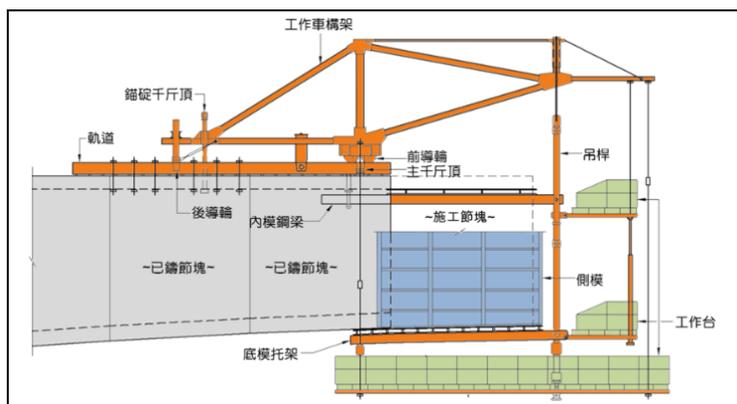


圖11(A) 懸臂式施工法



圖11(B) 懸臂式施工法



圖12、舊長虹橋  
(圖源：自由時報)



圖13、新舊長虹橋  
(圖源：東部海岸國家風景區觀光資訊網)



圖14、新舊長虹橋相關位置  
(圖源：google地圖)

## 2.新長虹橋

舊長虹橋不堪使用後，政府原想將舊長虹橋依原址拓寬，但受地形限制，因而在附近建了一座新橋取名為「新長虹橋」，取有新舊傳承之意，於92年01月竣工。

為配合道路景觀及秀姑巒溪泛舟活動，新長虹橋主橋以單一跨徑中路式繫索鋼拱橋設計，長度二百四十點一四四公尺，寬度二十一點七公尺，總重約五千公噸，基腳至主樑高約十四公尺，主樑至拱圈最高點約二十一公尺；北端引橋則為二跨簡支鋼鈹樑橋，長度五十五公尺，寬度同為二十一點七公尺。

新長虹橋橋樑之結構組成與型式，我們根據王錦華教授介紹，整理如下：

名稱	圖片	特色
外觀	 <p>圖15（圖源：王錦華教授提供）</p>	橋樑外觀色澤經學者專家及地方政府多次會議研商後，決定主橋以「橙紅色」油漆塗裝，以突顯新長虹橋之壯觀及意象。
螺栓、結合鋼板	 <p>圖16（圖源：王錦華教授提供）</p>	(1)承重結構：橋台以及拱圈 (2)螺栓以及結合鋼板：鋼桿件的長度受到運送卡車長度的限制，因此在工地會將各段桿件用結合鋼板及螺栓，將他們連接起來。
橋面結構	 <p>圖17（圖源：王錦華教授提供）</p>	新長虹橋中路式繫索鋼拱橋，橋面的結構傳力方式，是橋面版上混凝土的靜態載重及車子動態載重傳到縱向樑(與車行方向平行)，縱向樑在將載重傳到橫向樑，橫向樑在將載重傳到兩邊的大樑，大樑再利用垂直鋼索將載重傳到拱圈，再利用拱圈將載重傳到兩端的堅硬基礎。橋面的結構同時具有將的震力或風力傳到基礎的功能。
鋼索	 <p>圖18（圖源：王錦華教授提供）</p>	鋼索又稱鋼纜，可應用在漁業、船舶、堤防、營造業、機械設備、滑輪組件、起重機或升降機及吊橋，是一般工程上一種不可或缺的重要器材，因為他的拉力強度比一般鋼材的拉力強度高，所以鋼索的直徑比較小，重量也比較輕，可以接省工程費用，但鋼索只能承受拉力。

<p>伸縮縫</p>	 <p>圖19橋樑伸縮縫（圖源:花蓮 7 級地震省道搶災經驗分享）</p>	<p>伸縮縫的功用是降低氣溫變化時，由於熱脹冷縮，額外產生之拉應力或壓應力。伸縮縫的縫隙可降低桿件因伸長或縮短時額外產生之拉應力或壓應力。長虹橋只有一個跨度，因此僅再兩端橋台處設置伸縮縫。如果橋樑有很多跨度，就會設置較多的伸縮縫，一般橋樑的伸縮縫會設置在橋台及橋墩上。目前新設計的橋樑，為了增加行車的舒適，減少設置伸縮縫，會將伸縮縫的距離加長到120公尺，例如花蓮市的尚志橋，瑞穗的鶴岡大橋。</p>
------------	--	--

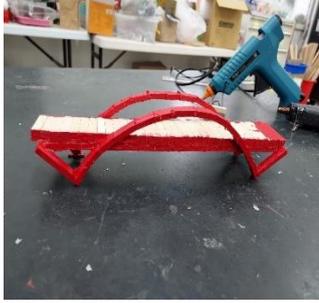
透過專家訪談以及文獻探討我們得知：橋樑的建造時機以及面對當時環境所使用的種類，對於橋樑實用性有很大的關聯，而橋樑內的許多構造也都會決定橋樑是否能承受自然災害所帶來的影響，在認識長虹橋的結構之後，我們也更加了解建造橋樑所要考慮到的因素不勝枚舉，而在和教授訪談時，教授考慮我們對於橋樑知識並沒有太深厚，並用簡單易懂的方式，告訴我們橋樑的施工難度、經費都很可觀，因此建造前就要準確的評估，並選定正確的施工方法。

長虹橋的建築工法大致如下：

首先將鋼橋的結構分組之後電焊，並在工廠進行預組立安裝，然後再將鋼橋分成節塊後送至工地，採取支撐工法，因工地跨越秀姑巒溪河面，吊裝時需設置臨時施工便橋，以作為鋼橋吊裝作業時之場地，分別供應鋼橋節塊堆置、預組立及吊裝機具使用。

因為長虹橋也是一種拱橋，製作模型時，教授建議我們使用熱熔膠槍將模型桿件黏住是一種較方便的方法，於是我們使用熱熔膠槍將各桿件黏接，最終我們製作出了小型的長虹橋模型。

在製作模型的過程中，我們使用長寬皆為1公分的木條，並以2公分為單位拼裝，稍微模擬長虹橋的建築工法，一開始我們原本設定長為52公分，但當我們在用熱熔膠黏合木條時卻發現因為2公分的木條太短，若要組成52公分長的木橋，會遇到容易搖晃、很不穩固的問題，於是我們把設定長度縮短為24公分左右，橋變得更加牢固，也讓我們發現，不同長度的橋，材料的尺寸要配合調整，否則效果便不佳。

長虹橋模型製作過程			
			
<p>裁切</p>	<p>組裝</p>	<p>組裝</p>	<p>成品</p>

(四)、天災對於橋樑的傷害

橋樑挺立在河川之上，要能夠對抗大自然的力量是它必須具備的功能，但所有橋樑都禁得起大自然的考驗嗎？如果不能的話，它們無法通過考驗的原因又會是什麼？因此我們從網路上搜尋了許多有關橋樑與天災的資料，並做出以下整理，想將它們和長虹橋做一個對比，看看為什麼長虹橋可以禁得起重重考驗。

橋名	花蓮玉里玉興橋	花蓮玉里高寮大橋	花蓮富里崙天大橋
橋樑類型	樑式橋	樑式橋	樑式橋
天然災害類型	地震	地震	地震
時間	2022/03/23	2022/09/18	2022/09/18
損壞原因	預力大樑吊放在橋墩上，橋面板尚未完成，且沒有臨時固定措施，因此大樑於的震時掉落到地面折斷。	早期設計之橋樑，規範所規定的地震力較低，橋樑經過池上斷層，且橋墩沒有補強，因此在強烈地震時，橋墩斷裂。	早期設計之橋樑，規範所規定的地震力較低，橋樑經過池上斷層，且橋墩沒有補強，因此在強烈地震時，橋墩斷裂。
圖片	 圖源:自由時報	 圖源:自由時報	 圖源:自由時報
損壞情況	由於發生6.6級地震，預力梁吊梁作業已完成但尚未固定導致強震來襲時斷了28根預力梁吊橋斷掉。	規模6.8級地震導致高寮大橋的橋墩斷裂。大樑及梁面板掉落到橋下。	規模6.8級地震導致崙天大橋的橋墩斷裂。大樑及梁面板掉落到橋下。
橋名	七星潭大橋	花蓮大橋	花蓮大橋
橋樑類型	樑式橋	樑式橋	樑式橋
天然災害類型	地震	地震	颱風豪雨
時間地點	2018/02/06	2018/02/06	2023/09/06
損壞原因	2018年2月6日花蓮發生規模6.2強烈地震	2018年2月6日花蓮發生規模6.2強烈地震	花蓮大橋受到海葵颱風影響，水位漲高到達警戒水位
圖片		 圖源:花蓮最速報	 圖源:花蓮最速報

	圖源:參考資料8	圖源:參考資料8	
損壞情況	七星潭大橋A2橋台側引道路堤 橋面破損嚴重。P1橋墩則 因上構箱梁和橋墩側向止震塊之相互撞擊，側 向止震塊產生剪力破壞，橋墩兩側保護層剝落。	橋台進橋板均因推擠產生路面隆起，橋墩 P3、P6、P13處伸縮縫僅有輕微損傷，橋墩P9、P12伸縮縫則因擠壓而嚴重受損。其餘橋面鉸接板處則有不同程度之裂痕。	受到海葵颱風影響，花蓮溪水位到達紅色警戒，為了確保用路安全，實施預警性封閉。

有鑑於臺灣屬海島型氣候且在板塊交界處，所以地震風(水)災頻繁，橋樑損壞時有所聞，我們應該對於橋樑結構的安全更加重視，上面例子中崙天大橋及高寮大橋的倒塌原因，是早期設計之橋樑，規範所規定的地震力較低，且橋墩沒有補強，因此在強烈地震時，橋墩斷裂。因此老舊橋樑應盡早做耐震補強，以提高橋樑的抗震能力。

#### (五)長虹橋的祕密

相較於上述幾座大橋的悲慘遭遇，長虹橋卻能安然度過許多次的災害，幾乎沒有任何毀損，這是為什麼呢?原來長虹橋的祕密是:因為它是單跨徑中承式繫索鋼拱橋，橋樑重量比較輕，橋墩不是設在河道中，這樣的設計是為了避免湍急的秀姑巒溪沖刷。由於外力透過拱圈傳遞至基礎，且基礎採200cm $\phi$ 場鑄鑽掘式基樁深入岩層，以確保橋體安全。這樣也不怕河道改變、侵蝕。而它的主結構材質採用鋼材比傳統的建材更堅固耐用，但是因為鋼材結構非常巨大，而且施工地點偏僻、施工不易，所以當初是做好後才運到現場組裝，從連接處的螺栓就可見連接痕跡。此外新長虹橋採用鋼結構，減少橋樑自重，也因此降低地震力。最後，新長虹橋的橋面結構可以將地震力及風力傳到兩端的基礎，好讓長虹橋在多次的颱風與地震的天災中能完好無傷。



(圖源：東部海岸國家風景區觀光資訊網)

## 參、結論

經由這次小論文讓我們了解了因應不同地形、氣候所施作的橋樑樣式不盡相同，如果用錯了種類，後果將不堪設想，危及的會是人們的生命財產。蓋一座橋花費的心力和經費非常可觀，但是不是蓋好就結束了，為了讓造價昂貴的橋可以維持久一點，平常的維護可不能少！橋樑需要定期檢查、更新，防範於未然。我們花蓮許多橋樑因為依照早期的規範來設計，因此抗震能力較低，往往導致一場地震就將其毀損，為了確保大家的安全，我們整理出以下建議：

- 一、橋樑的種類有很多種，因此應該針對不同環境去選用不同種類的工法，避免錯誤的工法無法配合所在的環境特型造成橋梁坍塌以及損毀。我們亦建議將橋樑的知識放進教材裡由教師加以介紹，使大家對於橋樑有基本的概念，而對橋樑有興趣的同學可以繼續往土木工程方面發展。
- 二、過去在花蓮許多的橋樑都因為颱風、地震以及河水沖刷導致不幸損毀，因此我們建議橋樑管理單位除了定期檢查、維護，對於老舊橋樑應予補強或重建，這樣才能在遇到自然災害時，能夠確保橋樑以及人車的安全，若橋樑長年失修或是有嚴重災害時，可以將橋暫時封閉。
- 三、長虹橋是有特色橋樑，也是知名的景點及泛舟聖地可以吸引人潮，若有人潮就會帶來經濟，所以以後可以將橋樑建造在觀光景點，用來給遊客欣賞台灣地形的特色，也為當地居民增加工作機會、提升生活品質、帶來經濟效益，讓人們可以親近大自然且可以更了解自己的家園。

## 肆、參考資料

1. 謝敏郎(2006)。省道公路指示標誌系統改善之研討。台灣公路工程
2. 陳文山。海岸山脈地質解說。國立台灣大學地質科學系
3. 王炤烈、蔣啟恆、戚樹人、蘇進國(2016)。公路橋梁耐震評估與補強規範之演進。台灣世曦工程顧問股份有限公司
4. 朱聖浩、黃俊棋(2022)。斜張橋樑鋼纜與連接設計之研究。國立成功大學土木工程研究所碩士論文
5. 朱育正(2004)。台十一線新長虹橋新建工程。台灣公路工程月刊
6. 劉翔名(2021)。橋梁載重實驗探討會論文。大漢土環系碩士論文
7. 交通部公路總局(2019)。花蓮7級地震省道搶災經驗分享。交通部公路總局
8. 宋裕祺、洪曉慧、陳俊仲、蘇進國、李柏翰，江奇融(2018/6)，0206花蓮地震橋梁震損調查與分析，土工技術 No.156/2018.6。
9. 宋裕祺、洪曉慧、陳俊仲（2018）。0206花蓮地震橋梁震損調查與分析。土工技術月刊 No.156
10. 張宇博、劉珊（2013）。國內首座三塔連續脊背橋—台9線新豐平大橋設計及施工介紹。臺灣公路工程第39卷第10期
11. 行政院公共工程委員會（2021）。橋梁工程設計、施工實務。110年公務人員高等考試三級考試暨普通考試土木工程專業類科錄取人員集中實務訓練簡報