

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

作品說明書



科 別：地球科學

組 別：國中組

作品名稱：地質條件與橋樑安全的研究

關 鍵 詞：來吉大橋、侵蝕、搬運

編 號：

地質條件與橋樑安全的研究

摘要

本研究認為，若從地質條件來檢視新來吉大橋的安全性，我們持正向看法；目前政府相關部門和水土保持局等單位的作法值得肯定。此外另有發現：

- 一、來吉附近的地質屬南莊層砂頁岩互層結構，而此地出露的岩層裸露面節理發達、風化嚴重，這些地質現象與過去舊來吉大橋的毀損是有關係的。
- 二、不同的水量和河道砂石搬運量有關係，未來豪大雨來臨時應該做好警戒措施。此地聚落周邊山崖交錯，阿里山溪流經此地時，遭逢許多支流；主流和支流交匯，河水水量倍增，因此其搬運量也比較大，衝擊能量也不小，不能輕忽。但是河道中的橋墩型態、數量和砂石的搬運量關係不大。
- 三、防砂壩的整治與砂石搬運量絕對有關係；研究區域內，來吉大橋附近阿里山溪支流河道上已建置 4 座防砂壩，且壩體均已填滿幾乎呈階梯狀，對消除河水衝擊能量，必定會產生一定的效果。

壹、研究動機

來吉大橋是阿里山鄉來吉村交通上重要的門戶，莫拉克颱風中原來的來吉大橋毀損了，所以又蓋了一座新的來吉大橋。

至於舊的來吉大橋的損壞，根據水土保持局的調查報告，舊來吉大橋的位置剛好在阿里山溪主流與支流的匯流處下方，支流與主流匯聚形成強大的水流，使得舊來吉大橋的橋墩下方遭到侵蝕、淘空，讓舊來吉大橋變得非常危險。根據我們的野外調查，我們心裡有個疑問：難道新的來吉大橋就不會跟舊的來吉大橋一樣？所以我們決定以實驗的方式去證明到底新的來吉大橋會不會跟舊的來吉大橋一樣被侵蝕、淘空。所以我們到當地去作調查，發現在阿里山溪支流上的防砂壩都已經被填滿，有的壩體被石頭撞擊而破損。目前阿里山溪支流上的石頭很多是大鵝卵石，而且在河道中間，小的石頭都堆積在兩側；還發現阿里山溪支流上有一處斷層。

地質條件是否會影響橋樑安全？為了解答這個問題，於是我們以來吉大橋為例，開始規劃設計實驗、製作河道模型，並用木頭做了粗和細的橋墩，模擬阿里山溪的主流、支流的交匯情形，開始我們的研究。本研究與課程的關係：自然領域南一版國中三上第 5 冊第 5 單元我們身邊的大地。

貳、研究目的

受限於我們的能力和設備，在「地質條件是否會影響橋樑安全」研究上，我們將範圍縮小在「地質條件」，並以「新的來吉大橋」為例，驗證與橋墩基礎被侵蝕、河流搬運等相關地質因素，因此我們擬定了下面幾個問題進行研究。

- 一、來吉附近的野外地質調查；這些地質現象與來吉大橋的毀損有關係嗎？
- 二、不同的水量和河道砂石搬運量與橋樑的毀損有關係嗎？
- 三、不同型態的河道與砂石搬運量有關係嗎？會造成危害橋樑嗎？

四、不同型態的橋墩與數量是否和砂石的搬運量及危害橋樑有關係？

五、不同河川的整治方法與砂石搬運量對危害橋樑有關係嗎？

叁、研究設備及器材

傾斜儀、地質錘、模擬河道模型、流水台、500ml 燒杯、1000cm³ 壓克力盒

			
沖蝕實驗流水台	模擬河道	防砂壩模型	模擬橋墩

肆、研究過程及結果

一、文獻探討

(一) 嘉義縣阿鄉里山鄉來吉村，過去即發生過土石災害，如桃芝颱風與莫拉克颱風時來吉大橋就曾分別遭土石流沖毀。縣道 149 甲線於莫拉克颱風時路基、來吉大橋橋墩就曾發生淘空。阿里山溪溪水暴漲沖毀來吉大橋上游兩側砌石護岸。阿里山溪主流與支流匯流處土石堵塞束縮河道。



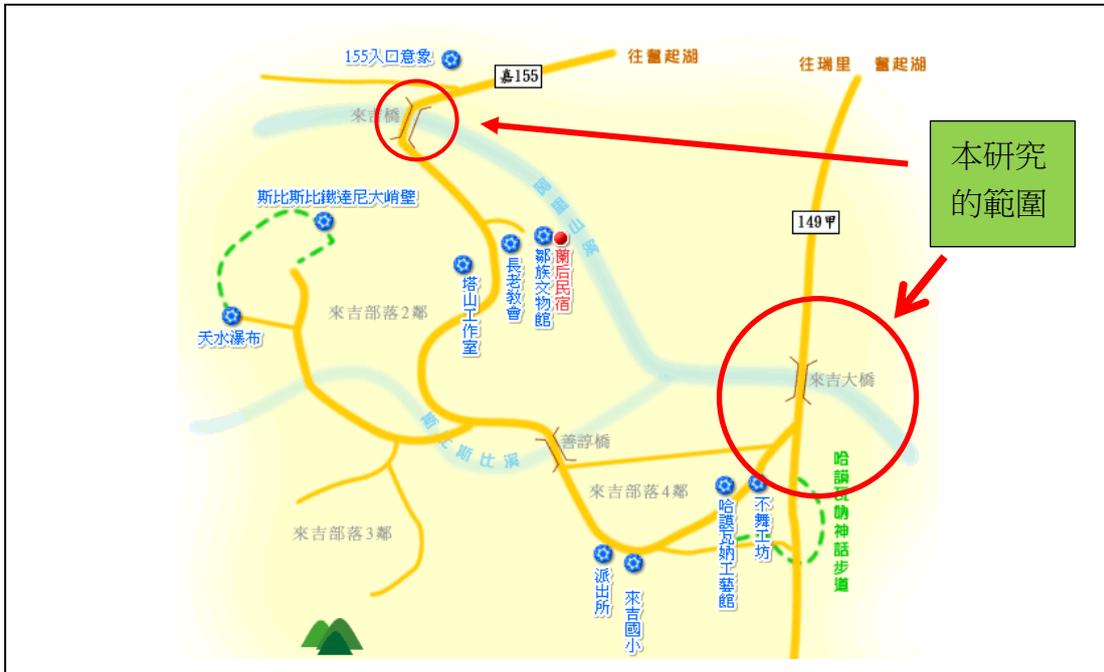
(二) 來吉部落鄰近出露地層屬於中新世晚期以砂頁岩互層為主之南莊層。部落分為內來吉、外來吉，分別位於阿里山溪東側之河灘地及河階地，地勢大致由東向西降低。

地層走向約為北偏西 10 度、向西傾斜 70 度，部落東側之邊坡屬順向坡，部落西南側約 0.5 公里鄰近來吉大橋。來吉部落主要受到阿里山溪上游大規模面積崩塌，挾帶大量砂石堆積河道，以至於河床與階地無高差。造成內、外來吉的交通受阻，橋梁的衝毀致使來吉與其他部落的交通困難。



來吉村附近阿里山溪主流和支流匯流處的航照圖（資料來源：原民處 2009 年來吉村災害報告）

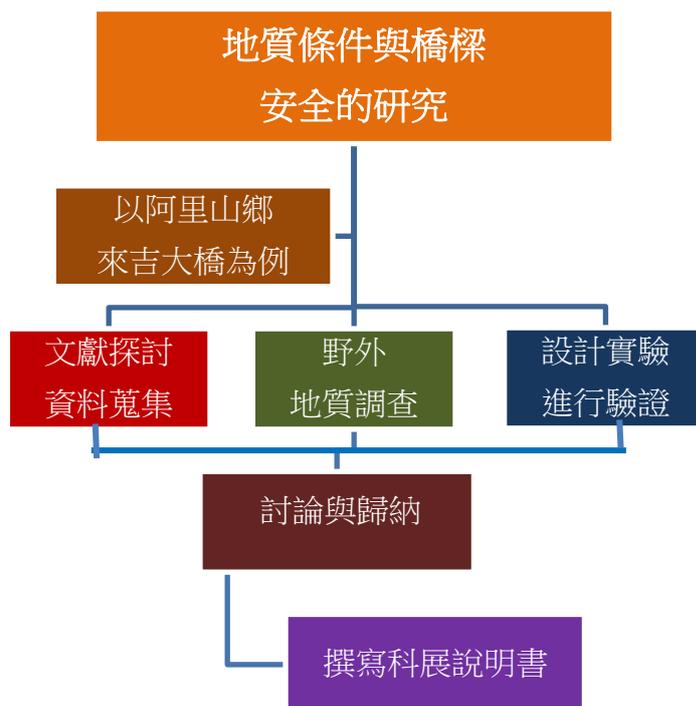
（三）嘉義縣來吉村交通路線示意圖



資料來源：嘉義縣政府觀光處（2019）

（四）來吉村是台灣阿里山鄉的原住民鄒族部落之一，面積 428 平方公里。該社本為原住民獵者（Denohiu）狩獵轉折棲息點，後來因為氣候宜人，河階台地密布，而漸漸成一聚落。另外，該村地形特點為阿里山溪切割造成的陡降河床。部落附近最有名的地質景點是「鐵達尼岩」，是一超巨型的塊狀砂岩，其傾斜角度超過 25 度，外型有如鐵達尼號的船首，遠眺近觀皆壯觀，很受遊客喜愛（資料來源：維基百科 2019）。

二、研究架構圖



三、研究設計及過程

(一) 不同的水量和河道砂石搬運量與橋樑的毀損有關係嗎？

1. 實驗設計：

我們把砂放在河道，模型模擬阿里山溪，來看看不同水量搬運的情形。

2. 實驗變因：

- (1) 操縱的變因：不同的水量
- (2) 保持不變的變因：1000cm³的砂、模擬河道的坡度5度、操作方法
- (3) 應變的變因：搬運的體積

3. 實驗方法：

- (1) 在模擬河道上倒入 1000cm³的砂。
- (2) 使用燒杯裝 500ml 的水倒在砂堆上，手的高度、傾倒的角度和速度盡量保持相同。
- (3) 改變水量，分別是 500ml、1000ml、1500ml、2000ml，觀察流水的搬運量
- (4) 將搬運流下來的水和砂集中，裝在 1000cm³的壓克力盒子，等砂子沉澱後，測量砂子的體積。



(二) 不同型態的河道與砂石搬運量有關係嗎？會造成危害橋樑嗎？

1. 實驗設計：

我們模型模擬阿里山溪主河道與支流交匯的情形，來看看河床上堆積物被搬運的情況是否有差異。

2. 實驗變因：

- (1) 操縱的變因：不同型態的河道（1 個是主河道、另 1 個是主河道和支流）
- (2) 保持不變的變因：1000cm³ 的砂、水量 500ml、河道坡度 5 度
- (3) 應變的變因：搬運的體積

3. 實驗方法：

- (1) 在模擬主河道上倒入 1000cm³ 的砂。
- (2) 使用燒杯裝 500ml 的水倒在砂堆上，手的高度、傾倒的角度和速度盡量保持相同，觀察流水的搬運量。
- (3) 改變模擬降水的方式，分別由主河道與支流同時注水，其餘相同。
- (4) 將搬運流下來的水和砂集中，裝在 1000cm³ 的壓克力盒子，等砂子沉澱後，測量砂子的體積，比較兩者的差異。

4. 實驗過程：

			
主河道設計	製作單橋墩	模擬來吉大橋	河流搬運作用
			
河流搬運作用後，橋墩附近被侵蝕的情形。			
			
設計主河道+支流	模擬同時降水實驗	同時降水實驗	雙水流搬運與橋墩

(三) 不同型態的橋墩與數量是否和砂石的搬運量及危害橋樑有關係？

1. 實驗設計：

我們把模擬橋墩放在河道上，模型模擬阿里山溪來吉大橋，來看看河流上堆積物被搬運的情形。

2. 實驗變因：

- (1) 操縱的變因：不同型態（粗、細）的橋墩及數量
- (2) 保持不變的變因：1000cm³ 的砂、水量 500ml、河道坡度 5 度
- (3) 應變的變因：搬運的體積

3.實驗方法：

- (1) 在模擬河道上倒入 1000cm^3 的砂。
- (2) 使用燒杯裝 500ml 的水倒在砂堆上，手的高度、傾倒的角度和速度盡量保持相同。
- (3) 改變橋墩粗細及數量，觀察流水的搬運量
- (4) 將搬運流下來的水和砂集中，裝在 1000cm^3 的壓克力盒子，等砂子沉澱後，測量砂子的體積。

4.實驗過程：

甲：1 個橋墩、細的橋墩

				
第一次我們發現橋墩下的砂石已經被水侵蝕掉了	第二次我們發現橋墩下的砂已經全部被侵蝕了。	第三次，上面的砂把橋墩填滿一部份。	第四次，橋墩的右邊是完全被掏空的。	第五次，橋墩的左邊有被侵蝕的痕跡。

乙：1 個橋墩、粗的橋墩

				
第一次我們發現橋墩下的砂石已經被水侵蝕掉了	第二次我們發現橋墩下的砂已經全部被侵蝕了。	第三次，上面的砂把橋墩填滿一部份。	第四次，橋墩的右邊是完全被掏空的。	第五次，橋墩的左邊有被侵蝕的痕跡。

丙：2 個橋墩、細的橋墩

				
第一次我們發現左邊的河道有被侵蝕。	第二次我們發現橋墩前面形成了砂洲。	第三次，右邊的橋墩有被侵蝕，非常明顯。	第四次，兩邊的橋墩都有被侵蝕的痕跡。	第五次，橋墩被後面的砂石填滿，不是很多。

丁：2 個橋墩、粗的橋墩

				
第一次，橋墩下的砂沒有明顯的變化。	第二次我們發現橋墩前都堆滿砂石。	第三次我們發現橋墩前的砂石有被侵蝕的痕跡。	第四次，左邊的橋墩前已經被侵蝕得很明顯。	第五次，橋墩的左邊有一部份已經被侵蝕

(四) 不同河川的整治方法與砂石搬運量及對危害橋樑有關係嗎？

1. 實驗設計：

我們模型模擬阿里山溪支流防砂壩整治的情形，來看看河流上堆積物被搬運的情況是否有差異。

2. 實驗變因：

- (1) 操縱的變因：不同型態的整治方法—防砂壩、梳子壩
- (2) 保持不變的變因：1000cm³的砂、水量 500ml、河道坡度 5 度
- (3) 應變的變因：搬運的體積

3. 實驗方法：

- (1) 在模擬主河道上倒入 1000cm³ 的砂。
- (2) 使用燒杯裝 500ml 的水倒之流的砂堆上，手的高度、傾倒的角度和速度盡量保持相同，觀察流水的搬運量。
- (3) 改變防砂壩的設置形態及數量，分別由主河道與支流同時注水，其餘操作方法相同。
- (4) 將搬運流下來的水和砂集中，裝在 1000cm³ 的壓克力盒子，等砂子沉澱後，測量砂子的體積，比較兩者的差異。

4. 實驗過程：



設計 1 組梳子壩，觀察與紀錄砂石搬運的情形



設計 2 組梳子壩，觀察與紀錄砂石搬運的情形



設計 3 組梳子壩，觀察與紀錄砂石搬運的情形

四、研究結果

以下是我們這一組的研究結果，分別以研究一野外地質調查的紀錄，研究二到研究五，進行設計實驗的驗證工作，經由獲得的數據釐清並藉以支持我們的想法，現在分別敘述如下：

研究一 來吉大橋和來吉村附近的野外地質調查

(一) 露頭一 來吉大橋



照片上方的橋是莫拉克颱風過後，新建的大橋，目前是進出來吉的門戶。我們站的位置是在舊橋上，已少有人使用。

此地經過的溪流為阿里山溪，但近年來主河道受到支流的壓迫，水流侵蝕到居民居住的河階台地。



舊來吉大橋的橋墩受到多次颱風帶來的豪大雨侵襲，使其遭到破壞，影響往來行車的安全。



舊來吉大橋的橋墩基座四周被強勁的河水侵蝕，基座周圍的砂石不見了；由於橋墩基礎裸露出來，造成危險。



舊橋橋墩的修補部分遭到破壞，表示當時的衝擊力非常強大。



新橋橋墩底部也遭到侵蝕和淘空，表示仍然需要警惕，設法降低沖蝕。



這是阿里山溪一部份的流域，右邊是主流，左邊是支流。

(二) 露頭二 阿里山溪主河道與支流現況



左側為阿里山溪的主河道，在來吉大橋附近轉向北流；右側為支流，坡度陡，兩岸岩層裸露、風化嚴重。豪大雨時會將河床邊的堆積物沖入主河道



此一支流位於來吉大橋的南側，離大橋只有 100 多公尺。莫拉克颱風後，新建了四道的防砂壩，壩體高度約 3~5 公尺，目前都已淤滿。



河岸上的岩塊破裂成石塊，堆積成崖錐，屬於剛崩落不久。河床坡度陡，約 20~25 度，河床上的石塊明顯受到衝擊，所以讓石頭沒有稜角。



這些主河道旁的河階台地，大多被闢為農田，種植農作物，例如豌豆、高麗菜等。聚落在河階的北側，離陡峭的山壁，還有一段距離。



河床很寬，枯水期水量不多，我們正好利用這個機會仔細調查，發現箭頭所指的地方有明顯侵蝕的痕跡。此地正好因坡度下降，河床落差的關係，會將河床邊崩落的堆積物，向下搬運到不遠處的主河道和橋墩，對橋墩會有衝擊的可能。



支流的河道寬約 60 公尺，沿著支流河道東側進行調查，基部岩層裸露，小崖錐遍地都是。目前防砂壩已經被砂石覆蓋，堆滿呈水平狀，顯然它已經完成任務，未來在整治的這一段支流河道，降雨時河水就不會像溜滑梯一樣，破壞力會降低。圈中人就是我們

(三) 露頭三 阿里山溪來吉部落附近水土保持措施

	
<p>支流這端設置了四道的防砂壩</p>	<p>崩塌從稜線下開始，是砂頁岩崩落。</p>
	
<p>此地阿里山溪的支流有嚴重崩塌的坡地，現在崩塌仍無停止的跡象。</p>	<p>河階台地上的村子，在豪大雨發生河流暴漲時，台地邊的護岸易被侵蝕。</p>
	
<p>大石塊堆積的駁坎在防砂壩的前後方，和防砂壩的壩頂高度相當，由此可以保護河道的邊坡免受降水侵蝕。</p>	<p>防砂壩的前方有許多砂石堆積，他們的高度幾乎和溢水口一樣高，可見防砂壩已經能發揮到最大效用。</p>

(四) 露頭四 阿里山溪支流河岸的侵蝕情形

	
<p>在河床邊的石頭，露出表面的砂棒化石，石頭上的稜角很尖銳。我們推測這些石頭應該是上方露頭墜落下來。從石頭層面上的生痕化石看來，可以證明過去這裡曾經是海底。</p>	<p>河床上有許多各式各樣的石頭，大小的石頭都堆積在中間，石頭邊緣圓滑沒有稜角，應該是已經被搬運有點距離，所以發生時間，應該不是現在最近發生的。</p>
	
<p>這顆龜裂掉落於河岸邊的石頭，幾乎都是新鮮面，可見崩落時間不久。</p>	<p>河床邊低窪處，因為水流關係，導致河岸堆積的位置被侵蝕且被掏空。</p>
	
<p>河床旁的岩層節理發達，受擠壓的影響，幾乎是楔型狀，它的面積非常大，其中稜角磨蝕的痕跡很明顯。</p>	<p>河床裡較細的砂石被侵蝕、沖刷到遠處。此地仍有些砂石堆積在旁邊右側處，侵蝕證據確鑿。</p>

(五) 露頭五 來吉橋附近的河床

	
<p>河床裡的一顆大石塊，裡面有著許多的小石子，是包裹定律的例子。</p>	<p>石頭裡的小石子較老年代較久，而包裹著小石子的外層，則較年輕。</p>
	
<p>外層原是泥巴，石子掉落到泥巴內，泥巴變成石頭之後，石子被包裹在內，也是包裹定律的例子。</p>	<p>支流內發現很多有這種符合包裹定律的例子；我們可以依這些證據推測，可能是早期河口泥灘地的地形。</p>
	
<p>位於來吉橋東邊河道正好成轉彎狀，屬攻擊面，河川非常湍急，砂石衝擊力量大，因此建了一道很長的護堤。</p>	<p>照片裡的大橋是來吉橋，這邊的地形雖然平坦，但是上方兩側岩壁崩塌嚴重；箭頭所指的是東邊。</p>

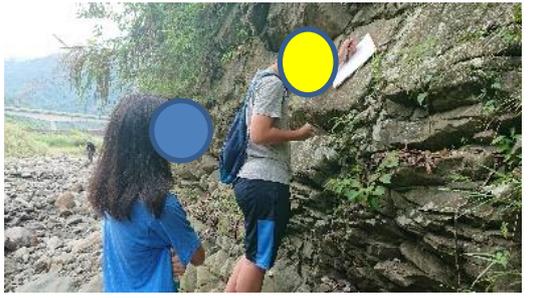
(六) 露頭六 來吉橋附近的石頭

	
<p>我們在河川附近的石頭上發現有波痕化石，雖然不是很明顯，但仍可分辨。波痕通常發生在海邊或海底，也可證明隆起前這裡曾經是海的地區。</p>	<p>這顆石頭上的波痕，峰到峰的距離非常大，推測是海底水流較弱時形成的，可惜是被搬運來的，不然就更有意義。石頭氧化，變成褐黃色。</p>
	
<p>含有波紋的石頭已經沒有稜角，搬運的距離和時間應該是很久以前發生。</p>	<p>這顆石頭上的波紋非常細，石頭裂開這一面很新鮮，稜角還在。</p>
	
<p>我們在此地發現了生痕化石—砂棒。看樣子應該是上面邊坡崩塌下來的。</p>	<p>我們發現許多細碎的砂棒，邊緣的稜角很銳利，是剛崩塌下來的。</p>

(七) 露頭七 來吉橋東邊兩岸的露頭

	
<p>我們在此地用地質儀測量出此地的地層為：北偏東 19 度，向西傾斜 71 度。層面是砂岩，露頭結構為砂頁岩互層，差異侵蝕明顯。另外圓滑的表層，也說明水蝕的過去。</p>	<p>垂直的砂頁岩互層的岩層現在已經變成阿里山溪的護岸，垂直的層面告訴我們，這裡曾經有過劇烈的變動。非常多鵝卵石堆積在基部，是較強的流水搬運到此地。</p>
	
<p>河道的南側有一片裸露的砂頁岩地層，崩塌嚴重，可以看到崖錐。</p>	<p>我們在此地發現了斷層的構造，而我們判斷此斷層為逆斷層。</p>
	
<p>此地屬於砂頁岩互層，且地層樣貌豐富。其中砂岩層較厚，層面接近垂直，位置就在河道旁邊。露頭前方堆積了很多大石塊和小砂石，說明曾有強大流水把這些堆積物帶來</p>	<p>從遠處觀察逆斷層往上衝，此地也有崩塌過的痕跡，已經長有植被。這是我們的野外調查中所見到的一處斷層。這些現象正好提供我們一個訊息：過去這裡曾經有過大變動</p>

(八) 露頭八 節理發達的岩層

	
<p>我們用地質儀測量野溪東側地層，測量結果為北偏東 26 度，向西傾斜 68 度。岩層結構是砂頁岩互層。</p>	<p>此地地層節理發達，這些楔型構造可以明顯提供證據，目前這個樣子是過去曾經發生過來自上方的擠壓。</p>
	
<p>在來吉橋的河岸附近有大面積的層面，上面還留有一些波痕。</p>	<p>這是在阿里山溪來吉橋的附近發現的地層層面，接近垂直，節理很發達。</p>
	
<p>此為砂頁岩互層的層面，矗立在河邊，非常容易破裂。</p>	<p>這是很發達的節理，它的面積非常大，看起來過去的變動很激烈。</p>

(九) 總結：野外地質調查發現：

依據我們的研究目的，我們想了解的就是此地歷年來的颱風、豪大雨，加上本地特有的地質構造形成的災難；例如此處過去即發生過土石災害，如 2001 年的桃芝颱風時，來吉大橋就曾遭土石流沖毀。2009 年的莫拉克颱風災害，阿里山溪上游，二萬坪等大規模面積崩塌，挾帶大量砂石堆積河道，以至於河床與河階地幾乎沒有高差。沖毀橋梁，致使來吉與其他部落的交通困難，甚至連來吉部落本身的內、外來吉的交通都受阻。上邊坡土石流的襲擊與河階地被阿里山溪河

流侵蝕的雙重打擊，使來吉部落暴露在危險之中。雖然這些地質災難經過有關學者專家與水土保持局、林務局等單位的整治，獲得平靜的現況功不可沒，但是來吉大橋這樣就安全嗎？綜合文獻資料及野外的地質調查，加以整理歸納，我們發現，目前來吉的地質有以下幾個特點：

- (一) 此地地質構造為南莊層，砂岩頁岩互層。由於岩層節理發達，岩層破裂面多且雜亂無一定形狀，加上風化的結果，容易崩塌；在河岸邊或邊坡處可以明顯看到崖錐堆積，這些都是流水沖蝕、搬運的材料。
- (二) 部落大致上主要分為兩大群，為內來吉、外來吉，但是都是鄰近阿里山溪旁之河灘地及河階地，地勢大致由東向西降低。在莫拉克颱風之前，部落聚落所處的河階台地與阿里山溪有一段高差，且距離不短，安全性高；但是莫拉克颱風過後，河水侵蝕、搬運與堆積作用後，部分聚落的河階只略高於河堤，且距離變近，令人擔憂。
- (三) 來吉村附近地層走向約為北偏西 10 度、向西傾斜 70 度，形成地層構造陡峭，可見在古老的地質年代裡，變動非常劇烈。此地露頭到處可見差異侵蝕，部分還有地下水滲出，容易加速岩層風化、崩落。部落東側之邊坡屬於順向坡，對岩層大規模崩落的可能性來說，機率很高。
- (四) 部落西南側約 0.5 公里處鄰近來吉大橋，雖然已建新橋，對當地居民的進出提供了很大的保障。但是野外調查時，發現有一根新橋墩基座附近被水沖擊裸露，是否會步舊來吉大橋被溪水淘空的後塵，目前仍無法預測。不過原來阿里山溪南側支流，已經完成防砂壩整治工程，對橋梁的安全而言，是一大喜訊。

研究二 不同的水量和河道砂石搬運量與橋樑的毀損有關係嗎？

一、實驗結果：

我們把砂放在河道模型模擬阿里山溪，並且用不同的水量，分別是 500cc、1000cc、1500cc、2000cc，來看看不同水量搬運的情形。實驗結果紀錄如下，其平均為 8.67、18.74、25.55、32.01 立方公分。

二、實驗照片：

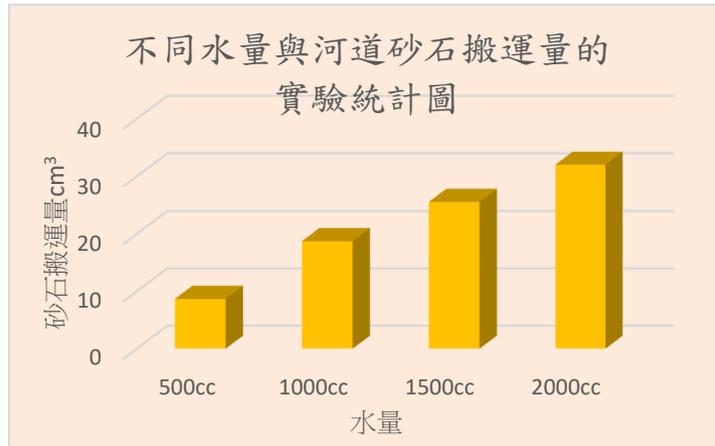


三、實驗記錄：

表一 不同水量與河道砂石搬運量的實驗紀錄表

單位：cm³

次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
500cc	9.7	6.8	4.7	10	12.5	11	5.5	9.8	7.9	8.8	8.67
1000cc	21.4	18.6	15.2	18.3	20.5	19.8	16.8	17.9	20.8	18.1	18.74
1500cc	23.6	28.2	25.3	23.8	25.9	26.1	23.5	24.8	26.9	27.4	25.55
2000cc	28.7	32.1	29.7	31.5	33.6	34.2	29.8	31.8	35.2	33.5	32.01



圖一 不同水量與河道砂石搬運量的實驗統計圖

四、實驗發現：

- (一) 經由實驗記錄看來，我們發現在模擬河道上，傾倒 500cc 水量時，水流搬運砂石的量才 8.67 cm^3 ，以後水量增加的時候，砂石搬運量逐次加大。
- (二) 砂石搬運量較為嚴重的次序分別是 $500\text{cc} > 1000\text{cc} > 1500\text{cc} > 2000\text{cc}$ 。
- (三) 從實驗中得知，搬運的砂石體積與河道中流水的水量有關係，水量愈大，河水的搬運量就越多，其對橋墩的沖擊越大，危害橋樑越嚴重。

研究三 不同型態的河道與砂石搬運量有關係嗎？會造成危害橋樑嗎？

一、實驗結果：

我們把砂放在河道模型來模擬阿里山溪，並且分別用較細、較粗的橋墩，以及兩個橋墩，來看看相同水量，但是不同型態的河道，河水搬運的情形是否有差別。

二、實驗情形照片：

(一) 1 個橋墩、細的橋墩、1 個河道



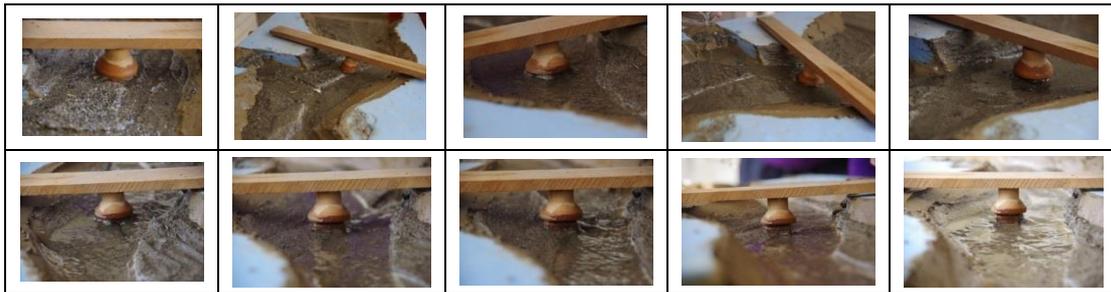
(二) 1 個橋墩、細的橋墩、2 個河道



(三) 1 個橋墩、粗的橋墩、1 個河道



(四) 1 個橋墩、粗的橋墩、2 個河道

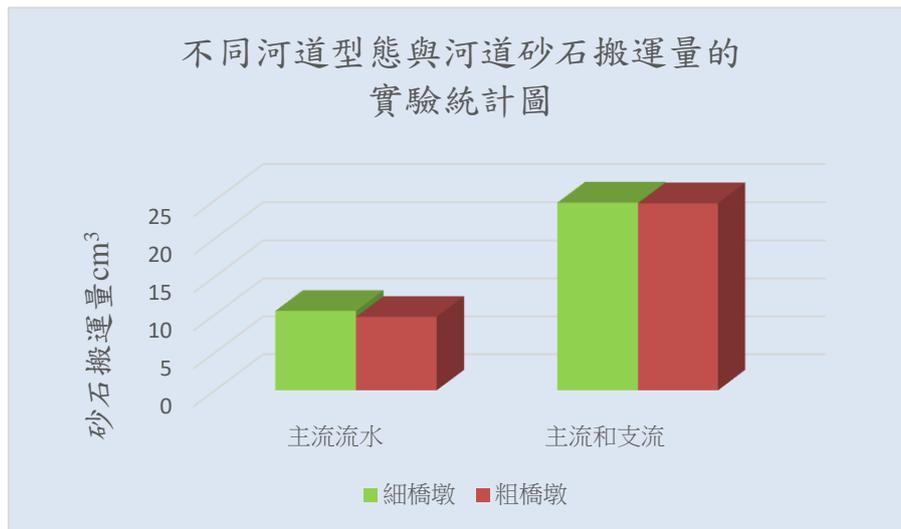


三、實驗記錄

表三 不同型態的河道與砂石搬運量關係之實驗紀錄表

單位：cm³

次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1 河道(細)	11.7	10.9	9.6	9.0	10.5	11.2	11.5	9.8	9.9	10.8	10.5
2 河道(細)	24.3	28.6	25.4	28.1	23.5	26.8	21.8	22.9	21.8	23.8	24.7
1 河道(粗)	10.9	9.5	10.2	10.1	9.5	11.6	9.3	10.1	10.6	9.7	10.2
2 河道(粗)	23.2	26.7	26.1	25.8	24.6	27.5	23.6	20.7	22.5	25.2	24.6



圖二 不同河道型態與砂石搬運量的實驗統計圖

四、實驗發現：

- (一) 河道只有主流流水時，500cc 的流量，細的橋墩和粗的橋墩其搬運量分別是 10.5 cm^3 和 10.2 cm^3 ，河水在細橋墩的搬運量大於粗橋墩的搬運量。
- (二) 假如河道上主流和支流兩條河水一起流出時，同一時間的流水搬運量，細的橋墩和粗的橋墩其搬運量分別是 24.7 cm^3 和 24.6 cm^3 ，河水在細橋墩的搬運量大於粗橋墩的搬運量。
- (三) 雖然不管河道上只有主流流水或主流和支流兩條河水一起流出，河水在細橋墩的搬運量都大於粗橋墩的搬運量；不過，差距很小，甚至可以忽略。
- (四) 從實驗中發現，河道中的橋墩數量多寡與河水的搬運量是沒有甚麼差別；影響最大的應該是主流和支流兩條河水一起流出來，其降水量為原來加倍，因此其搬運量越大，其對橋墩的沖擊越大，危害橋樑越嚴重。

研究四、不同型態的橋墩與數量是否和砂石的搬運量及危害橋樑是否有關係？

一、實驗結果：

我們把砂放在河道模型，模擬阿里山溪主河道，並且分別用細、粗的橋墩，和 1 個橋墩和 2 個橋墩，來看看相同水量搬運的情形是否有差別。

二、實驗情形照片：

(一) 1 個橋墩、細的橋墩、1 個河道



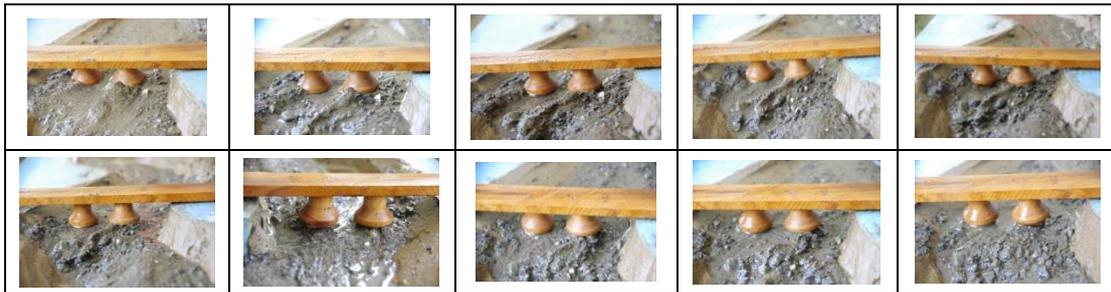
(二) 1 個橋墩、粗的橋墩、1 個河道



(三) 2 個橋墩、細的橋墩、1 個河道



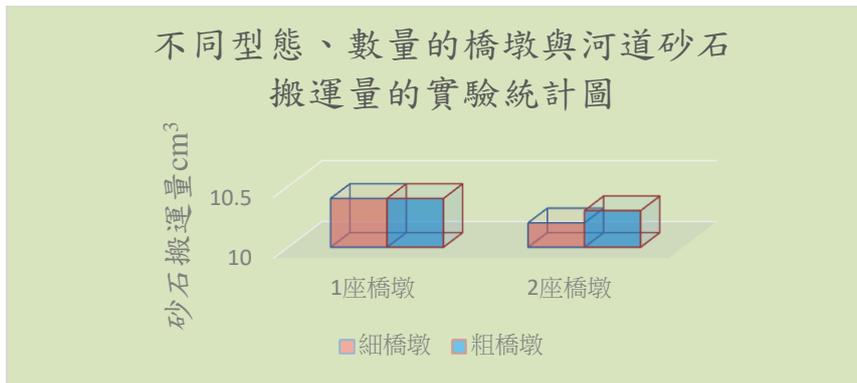
(四) 2 個橋墩、粗的橋墩、1 個河道



三、實驗記錄：

表四 不同型態的橋墩與數量和砂石搬運量關係的實驗紀錄表 單位：cm³

次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1 細橋墩	11.1	9.2	9.9	10.8	10.2	11.8	9.8	9.7	11.3	10.4	10.4
1 粗橋墩	9.8	10.4	10.9	11.2	9.4	10.6	10.5	10.9	10.7	11.1	10.4
2 細橋墩	9.7	11.9	9.8	10.6	9.5	10.3	10.8	10.2	9.4	9.5	10.2
2 粗橋墩	10.6	9.8	10.1	9.7	11.5	9.6	9.7	9.4	10.2	10.1	10.3



圖三 不同型態的橋墩與數量和砂石搬運量關係的實驗統計圖

四、實驗發現：

- (一) 河道只有主流流水時，500cc 的流量，1 座橋墩時，細橋墩和粗橋墩的配置，其河水搬運量都別是 10.4 cm^3 ，河水在細橋墩的搬運量等於粗橋墩的搬運量，表示橋墩的粗細對河水搬運量而言，是沒有差異。
- (二) 假如河水流過 2 座橋墩時，細橋墩和粗橋墩的河水搬運量分別是 10.2 cm^3 和 10.3 cm^3 ，在同一時間的流水搬運量，細的橋墩和粗的橋墩其搬運量雖然有差異，相差的量卻很小，幾乎可以忽略。
- (三) 從實驗中發現，河道中的橋墩數量多寡，與橋墩的粗細，河水的搬運量是沒有甚麼差別，因此不影響對橋墩的衝擊，其危害因素是不存在。

研究五 不同河川的整治方法與砂石搬運量及對危害橋樑有關係嗎？

一、實驗結果：

我們把砂放在河道模型模擬阿里山溪，並且分別用沒有防砂壩、防砂壩(1~3 座)、梳子壩(1~3 座)，來看看相同水量模擬河川搬運的情形。

二、實驗情形照片：

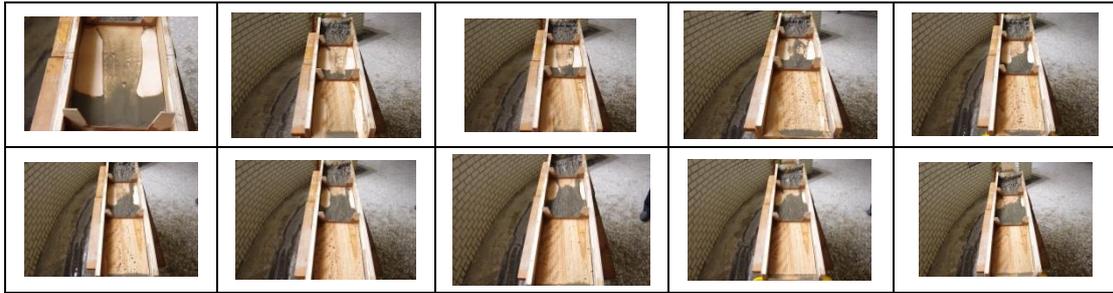
(一) 沒有防砂壩



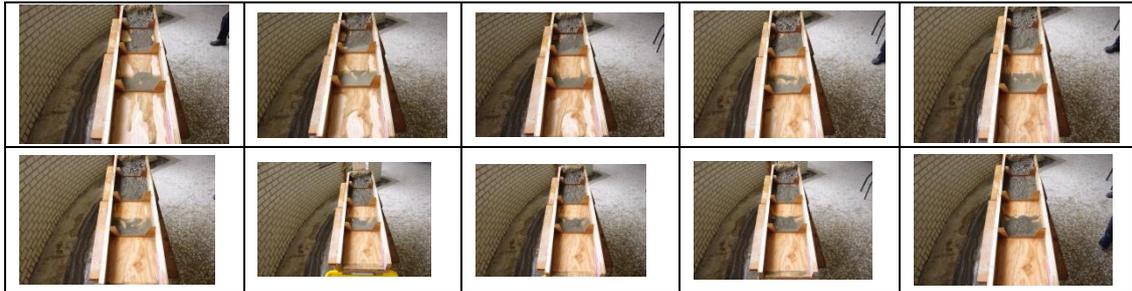
(二) 一座防砂壩



(三) 兩座防砂壩



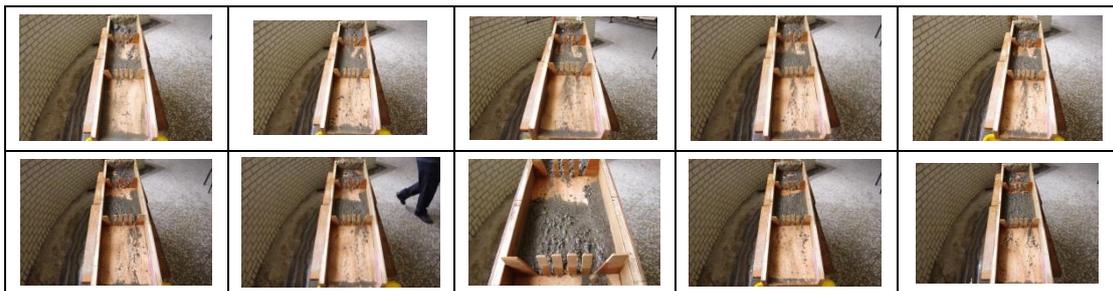
(四) 三座防砂壩



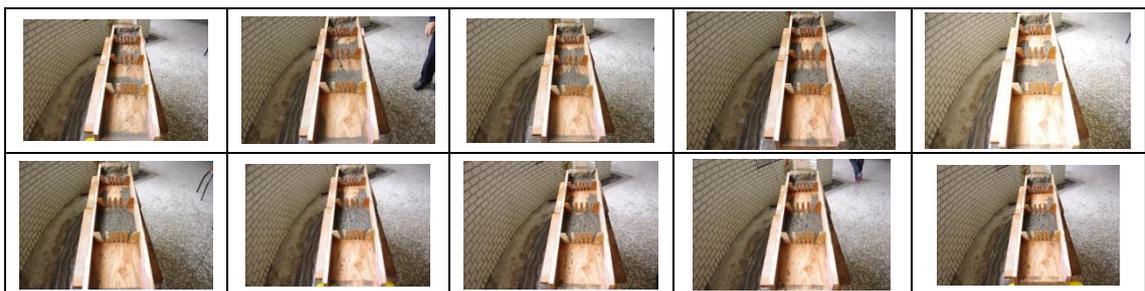
(五) 一座梳子壩



(六) 兩座梳子壩



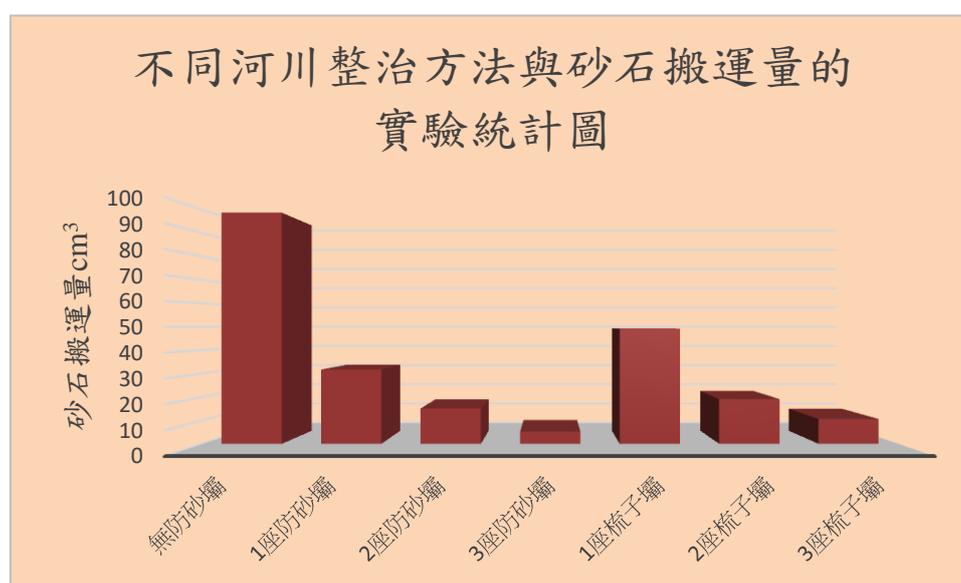
(七) 三座梳子壩



三、實驗記錄：

表五 不同的河川整治與砂石搬運量關係的實驗紀錄表 單位：cm³

次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
無防砂壩	91.8	91.2	89.9	90.8	102.2	111.5	96.8	97.4	113.6	101.5	98.7
1座防砂壩	29.7	30.1	30.6	31.5	29.7	30.3	32.2	40.1	31.3	31.5	31.7
2座防砂壩	19.5	11.1	13.3	10.8	16.9	10.2	15.6	14.2	19.8	19.1	15.1
3座防砂壩	5.1	4.3	6.4	5.2	6.2	7.1	5.6	4.8	3.3	4.1	5.21
1座梳子壩	39.1	50.7	52.6	41.9	49.2	56.4	51.7	46.8	41.2	62.3	49.2
2座梳子壩	19.6	18.8	19.2	20.1	18.8	17.4	18.3	19.8	19.1	19.9	19.1
3座梳子壩	11.5	9.9	10.4	9.7	11.9	9.4	12.1	9.8	10.9	10.5	10.6



圖四 不同河川整治方法和砂石搬運量關係的實驗統計圖

四、實驗發現：

- (一) 自然型態、無防砂壩處置的河川，其河水搬運量很高；運動中的水體及砂石產生衝擊破壞力，影響橋墩的結構，因此是危及橋樑安全的因素。
- (二) 河川整治常用的防砂壩，從實驗中發現，可以減緩水流的沖擊，產生消能作用；當防砂壩的壩體數量增加，其攔截砂石的效能越好；換句話說因此和水搬運的砂石體積越少，危害減低越顯著。
- (三) 不過，為了自然生態，也為兼顧上游崩落的砂石，在不影響河流流域周遭居民生命、財產安全的前提下，本研究建議使用「梳子壩」的型態來整治河川；也就是利用梳子壩限制並適度讓河水把部分砂石往中下游帶走，甚至到達海邊，使它成為補注砂灘的砂源，共同維護美好的環境。

伍、討論

- (一) 此地地質構造為南莊層，砂岩頁岩互層。由於岩層節理發達，岩層破裂面多且雜亂無一定形狀，加上風化的結果，容易崩塌；在河岸邊或邊坡處可以明顯看到崖錐堆積，這些都是流水沖蝕、搬運的材料。
- (二) 部落大致上主要分為兩大群，為內來吉、外來吉，但是都是鄰近阿里山溪旁之河灘地及河階地，地勢大致由東向西降低。在莫拉克颱風之前，部落聚落所處的河階台地，與阿里山溪有一段高差，且距離不短，安全性高；但是莫拉克颱風過後，河水侵蝕、搬運與堆積作用後，部分聚落的河階只略高於河堤，且距離變近，令人擔憂。
- (三) 來吉村附近地層走向約為北偏西 10 度、向西傾斜 70 度，形成地層構造陡峭，可見在古老的地質年代裡，變動非常劇烈。此地露頭到處可見差異侵蝕，部分還有地下水滲出，容易加速岩層風化、崩落。部落東側之邊坡屬於順向坡，對岩層大規模崩落的可能性來說，機率很高。
- (四) 部落西南側約 0.5 公里處鄰近來吉大橋，雖然已建新橋，對當地居民的進出提供了很大的保障。但是野外調查時，發現有一根新橋墩基座附近被水沖擊裸露，是否會步舊來吉大橋被溪水淘空的後塵，目前仍無法預測。不過原來阿里山溪南側支流，已經完成防砂壩整治工程，對橋梁的安全而言，是一大喜訊。
- (五) 不同的水量和河道砂石搬運量有關係嗎？經由實驗記錄看來，在模擬河道上，砂石搬運量體積的多寡與河道中流水的水量有關係，水量愈大，河水的搬運量就越多，水量少，搬動的砂石體積就變得比較小。至於橋墩是粗的或細的，差距都很小。此外，河道中的橋墩數量多寡，對河水的搬運量來說是沒有甚麼差別。
- (六) 經由實驗發現，不同河川的整治方法與砂石搬運量有關係；原來的河川若依其原來的型態不予處理，也就是任由河流自然侵蝕，那麼河流的下切、側蝕和向源侵蝕，就會自行演化。雖然自然的崩塌、河流侵蝕、搬運、堆積本來就會發生，但是這些改變若產生在山區聚落附近，甚至危害到生命、財產、道路、橋樑，影響交通，那就是令人擔心的。因此，本研究傾向在不影響生態環境的情況下，河川需要整治。其整治的方法就是在河川適當的地方建置防砂壩或梳子壩。

陸、結論

- 一、來吉附近的野外地質調查結果分析，此地南莊層砂頁岩互層結構和露頭岩層裸露面節理發達、風化嚴重等情形看來，這些地質現象與來吉大橋的毀損是有關係的。
- 二、不同的水量和河道砂石搬運量有關係嗎？經由實驗記錄看來，我們發現在模擬河道上，砂石搬運量體積的多寡與河道中流水的水量有關係，水量愈大，河水的搬運量就越多。
- 三、不同型態的河道與砂石搬運量有關係；主流和支流兩條河水一起流出來，其降水量為原來的兩倍，因此其搬運量也比較大，但是它跟河道中的橋墩數

量多寡無關。而橋墩的型態與數量也和砂石的搬運量關係不大。

四、防砂壩的整治與砂石搬運量絕對有關係；目前來吉大橋附近阿里山溪支流河道上已建置 4 座防砂壩，且壩體均已填滿幾乎呈階梯狀，對消除河水衝擊能量，必定會產生一定的效果。若從地質條件來檢視新來吉大橋的安全性，本研究認為對目前相關政府部門和水土保持局等單位的作法，值得肯定。

柒、參考資料

- 一、行政院農業署水土保持局（2012）。101 年 0610 豪雨嘉義縣阿里山鄉來吉村災情調查報告，編號 001。
- 二、行政院原住民族委員會（2009）。98 年度莫拉克颱風災害部落居住地新勘及複勘作業暨安全評估報告書計畫複勘報告書。
- 三、蔣東坤、蔡啟漳、王朝義、葉慶祥（1998），嘉義縣境內石棹經光華、大湖至番路間沿線地質、化石之探討暨戶外教學路頭之調查。嘉義市：嘉義市立蘭潭國民中學。
- 四、何春蓀（1990）。普通地質學。台北：五南圖書出版有限公司。
- 五、夏元瑜（1986）。河流的運動。嘉義：明統圖書公司
- 六、高源清（1989）。少年地理百科。台北：牛頓出版股份有限公司。
- 七、馬路灣（2005）。雲嘉南都會圈地圖王。台北：戶外生活圖書公司。