

水流類型對音量與聽覺偏好影響之實驗研究： 玉桂嶺野溪「好聽」溪聲初探

陳晉琪¹ 蕭宇吟² 何立智³

¹華梵大學環境與防災設計學系副教授(通訊作者)

²華梵大學環境與防災設計學系大四生

³華梵大學環境與防災設計學系講師

E-mail: jinnchi@cc.hfu.edu.tw

摘要

本文以新北市石碇區玉桂嶺南勢坑野溪為案例，藉由水槽實驗，分析不同水流類型對音量與聽覺偏好的影響。本文討論之水流型態有三類型：跌水撞擊水面(類型一)、跌水撞擊塊石再流入水面(類型二)及水流流經塊石堆疊斜面(類型三)。首先，利用模型相似原理(滿足幾何相似及動力相似)，決定室內實驗之流量、粒徑及水流落差等條件；其次，藉由實驗量測流量、跌水高與流速等，並以錄音機與噪音機記錄水流的音量與聲音，以探討音量與水流特性之關係。最後，利用問卷調查方式，分析聆聽者對三種水流類型之聽覺偏好，瞭解哪一種水流類型為「好聽」的聲音。研究結果顯示，音量的大小會隨跌水高、流量、水流動量及水流型態等不同而變化。跌水高、流量、水流動量的增加，均會造成音量的增加；在不同水流型態中，以類型二的音量最大，其次為類型三，最小為類型一。問卷調查結果顯示，受試者偏好類型三，也就是較接近自然的水流聲。

關鍵詞：跌水高、塊石、水流型態、音量

一、前言

台灣山區河流坡陡、落差大、河床多塊石，常見河床天然落差形成的水瀑、塊石堆積形成的階狀地形，或由人工興建的攔砂或護床設施(如防砂壩、潛壩、固床工)，這些無論是自然或人工的跌水，均會產生水聲，有些聲音氣勢磅礴，有些吵雜，有些則悅耳。聲音可以視為一種景觀或稱之聲景(Soundscape)(Schafer, 1977)，能反應一個城市的風貌與表情(王, 2001)，會影響人的情緒(張等, 2005; 何等, 2012)，也是水環境設計的考量要項，華梵大學的園林境教景點「好聽溪聲」(華梵大學, 2010)即為一例。「好聽溪聲」位於新北市石碇區華梵後山之玉桂嶺南勢坑野溪畔(見圖 1 位置圖與圖 2 現地照片)，顧名思義為可以清楚聽到溪水流動的聲音，學校創辦人曉雲導師曾以詩讚嘆此地：「好山常幽靜，聽泉心更明；溪水送禪香，聲如曉鐘鳴。」，期待校內師生在此聆聽溪聲時能將人的清淨本性圓滿實現出來。然而自民國 96 年以後，這裡的聲景產生變化，師生們來到這裡的反應是「沒甚麼聲音」(長期未下雨時)、「聲音有點吵」(雨天過後)或「不好聽」等，似乎聽不到「好聽」的溪聲。主要原因來自民國 95 年時，這裡的河段進行工程整治，原有之自然溪流斷面改為制式斷面(Prismatic Channel)，河道斷面的束縮、系列固

床工與砌石護岸的興建(圖 2(b)與(c))，造成流速、水深及流況等水流特性改變(陳等, 2009;陳等, 2010)，進而影響水流聲音的變化。當水流流經不同類型之橫向構造物、不同的河床底質與河床落差、或不同自然堆石型態的跌水或水瀑等，所發出的聲音並不大相同。華梵大學後山的玉桂嶺南勢坑野溪擁有山區常見的自然階潭(Step-pools)，河床也有人工的防砂設施，可清楚聽到不同類型的水聲，如圖 3。何等(2012)曾以玉桂嶺南勢坑野溪整治工程為案例，初步討論聲音對景觀的影響，其結果顯示，溪流整治後的聲景(相較於自然溪流聲景)，可能會因水流速度增加、濱溪植被移除及流況單一化等因素，容易引發聆聽者的負面情緒。本文主要藉由室內水工實驗分析，並配合問卷調查結果，來討論玉桂嶺野溪中各種不同跌水類型對音量與聽覺偏好的影響，藉以瞭解「好聽」溪聲的可能類型與特徵，希望能做為溪流自然聲景的重建或復育之參考。



圖 1 華梵大學的園林境教景點「好聽溪聲」位置圖：「好聽溪聲」位於華梵校區東側邊界最南點



圖 2 華梵大學「好聽溪聲」景點的溪畔景觀變化

二、溪流的聲音與類型

溪流聲音的產生主要來自於水體與空氣的振動，自然的溪流河床高低起伏，河道斷面寬窄不一，水深與流速多變化，所產生之聲音相當多元。Farnell (2010)曾將自然環境中的水聲分為三種基本類型:(1)水流經塊石與塊石交互作用產生的流水聲(Running water)、(2)水自高處落下，撞擊水面或石塊發出的跌水聲(Falling water)，以及(3)在水的運動(如：流水與跌水)中，因挾帶空氣形成的氣泡破裂而發出的氣泡聲(Bubbling water)。在實際的溪流環境中，大部分的溪流聲音應都包涵了上述的三種音，這三種聲音類型組成的不同，造成溪流相當多元之聲音。

以本文探討之玉桂嶺南勢坑野溪為例，該溪河床常見 1-2 m 大塊石，有水流流經塊石產生的流水聲；有自然階潭河床與水工設施，因天然與人工跌水而發出的跌水聲；以及流水與跌水中所挾帶的氣泡聲等。由於流水聲、跌水聲或氣泡聲等，經常是伴隨著出現，不易分開討論。因此，本文依聲音產生方式的差異，將玉桂嶺野溪的聲音分為以下三類型：類型一：水流經混凝土固床工後，直接撞擊下游潭區的聲音（圖 3(a)）；類型二：水流經混凝土固床工後，先撞擊下游塊石再落入水中的聲音（圖 3(b)）；類型三：水流流經塊石堆疊的斜面產生的聲音（圖 3(c)）。上述三類型的水流聲，也是本文主要討論的內容。



圖 3 華梵大學「好聽溪聲」景點附近不同類型之水流型態

三、實驗過程與方法

本文參考玉桂嶺野溪的斷面形狀、河床粒徑與水流特性，依據幾何相似與動力相似來進行模型的相似分析，進而決定實驗的模型尺寸、流量及粒徑大小，再藉由室內水槽實驗，觀測及分析水流之特性，並利用錄音機及噪音機進行聲音記錄。

3-1 相似性分析

本研究考慮跌水高 H_1 (跌水前與跌水後的水位差)、跌水前水深 h_b 、河床質粒徑 D ，滿足幾何相似；水流慣性力與重力滿足福祿數(Froude number)相似。

1. 幾何相似

當 H_1 與 h_b 之比例滿足幾何相似時, $H_{1m}/h_{bm} = H_{1p}/h_{bp}$, 式中, 下標 m 與 p 分別表示模型與原型。若長度比尺 $\lambda = h_{bm}/h_{bp}$ 則

$$H_{1m} = \lambda H_{1p} \quad (1)$$

當粒徑 D 與水深 h_b 之比例滿足幾何相似時 $D_m/h_{bm} = D_p/h_{bp}$, 則

$$D_m = \lambda D_p \quad (2)$$

2. 福祿數相似

福祿數 F_r 定義為慣性力與重力之比值, 表示 $F_r = V/\sqrt{gh_b}$, 式中, V 為速度, g 為重力加速度。由模型與原型之福祿數相似得到 $V_m = \lambda^{1/2}V_p$ 。由於流量為速度乘以通水斷面, 若水面寬與水深都具有相同的長度比尺 λ , 則模型流量與原型流量的關係式表示為

$$Q_m = \lambda^{5/2} Q_p \quad (3)$$

當長度比尺 λ 選定後, 由(1), (2)及(3)式將可分別求出實驗需要的跌水高、粒徑與流量。本文依玉桂嶺南勢坑野溪之現地狀況, 考慮跌水高 $H_{1p} = 150\text{cm} \sim 275\text{cm}$, 粒徑 $D_p = 100\text{cm} \sim 200\text{cm}$, 流量 $Q_p = 0.3 \sim 2 \text{ cms}$, 採用比尺 $\lambda = 1/25$, 決定出實驗範圍為跌水高 6~11cm、粒徑 4~8cm 與流量 96~640 cm^3/s 。

3-2 實驗方法

本實驗水槽長度 200cm, 寬度 20cm, 高度 40cm (如圖 4(a)), 內置可調整上下游之高低落差之水箱, 並於水槽上游放置海綿, 使水流呈均勻流況。另外, 為了減少馬達的震動與聲音對實驗之干擾, 本實驗除了採用靜音馬達以外, 實驗設計上將沉水馬達放置於另一個水槽內, 並於水槽中放置吸音海棉, 再藉由管路與控制閥, 供應實驗主水槽所需之水流流量。實驗進行中會以高速攝影機(CASIO EX F1 可拍攝速度 30-1200 fps, 本實驗採用 300fps)來記錄水流的運動, 並利用錄音機(Zoom H4n 24bit/96kHz PCM)及噪音機(TES1353H)記錄聲音。本實驗採用的噪音機測量範圍為 30-130dB, 錄音機的聲音記錄是由麥克風於距離音源 25cm 處收取聲音, 如圖 4(b)。實驗中將參考玉桂嶺野溪的現地狀況, 佈置不同的水流類型(如圖 5), 控制水流流量、跌水高及流速等水流狀況, 再記錄水流特性與錄製水聲, 進而分析水流特性與音量的關係。

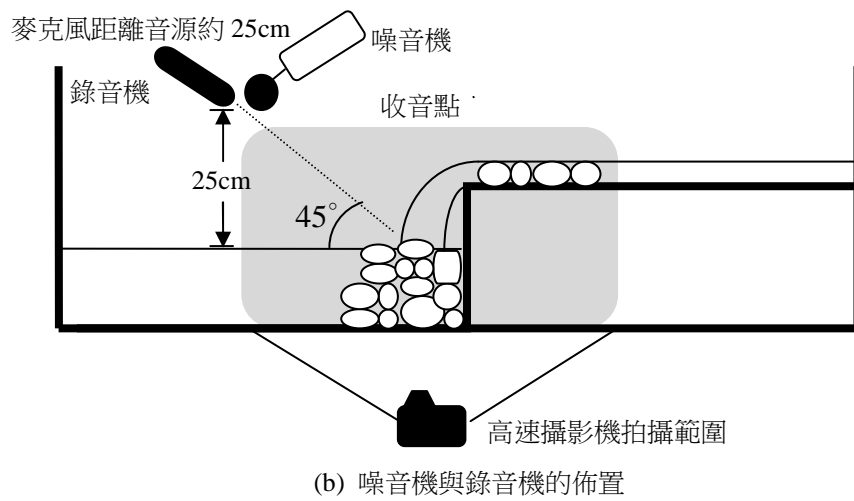
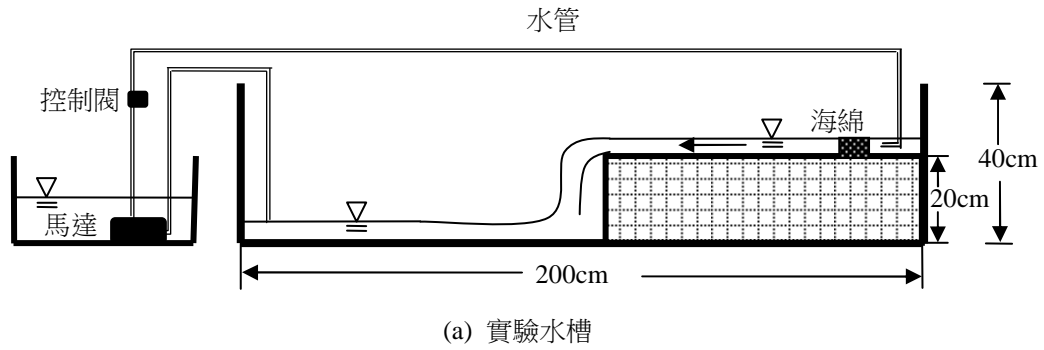
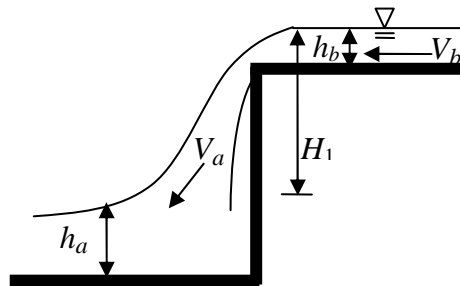


圖 4 實驗設備示意圖



(i)河道現況(橫剖面)



(ii)實驗佈置示意圖(縱剖面)

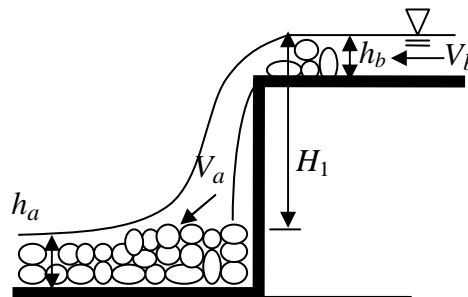


(iii)實驗照片(縱剖面)

(a) 類型一: 跌水直接撞擊水面



(i)河道現況(橫剖面)



(ii)實驗佈置示意圖(縱剖面)

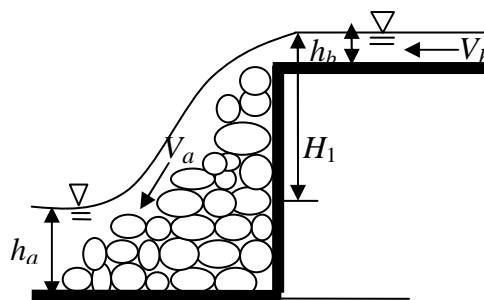


(iii)實驗照片(縱剖面)

(b) 類型二: 跌水先撞擊塊石後再流入水面



(i)河道現況(橫剖面)



(ii)實驗佈置示意圖(縱剖面)



(iii)實驗照片(縱剖面)

(c) 類型三: 水流流經塊石堆疊的斜面(45度)

圖 5 各種水流型態之實驗佈置示意圖與量測之水力參數

(H_1 = 跌水高(跌水前與跌水後水位差); h_a = 跌水後水深; h_b = 跌水前水深; V_a = 跌水後流速; V_b = 跌水前流速)

四、結果分析

4-1 水流特性

1. 流量與跌水前水深之關係

本文記錄兩組不同水面寬度 B 下之流量 Q 與跌水前水深 h_b 的關係(如圖 6)，跌水前水深越大，流量越大。對矩形跌水堰來說，單位寬度流量 $q(=Q/B)$ 與跌水前水深(h_b) 的 1.5 次方成正比，本文實驗結果也顯示此特性，可表示為 $q = 36.8h_b^{1.5}$ 。

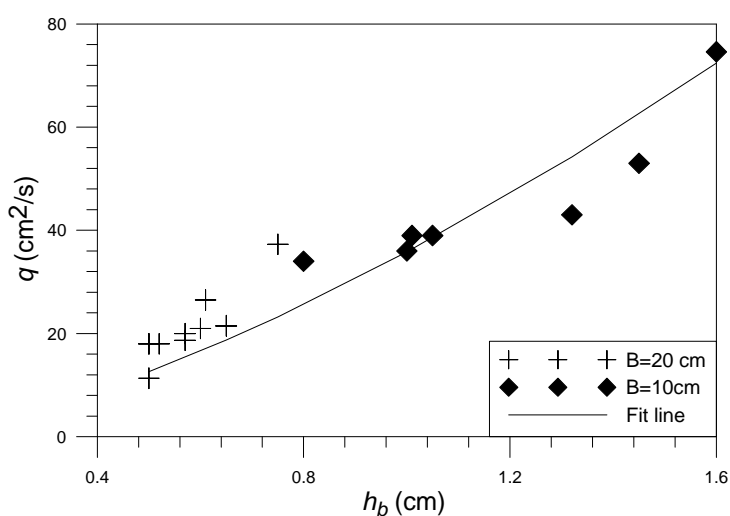


圖 6 流量比(Q/B)與跌水前水深 (h_b)之關係

2. 跌水後流速與跌水高之關係

倘若跌水前的流速為 V_b ，利用柏努力方程式可推導得

$$V_a = \sqrt{V_b^2 + 2gH_1} \quad (4)$$

將實驗所量測的數據代入上式，將可計算平均流速 V_a 。本文也利用高速攝影機拍攝質點(小保麗龍球)在時間 t 所行經的距離 s (於透明水槽貼 5mm*5mm 方格紙)，以求取質點在跌入水面之瞬間表面流速 $V_{as}(=s/t)$ 。圖 7 為跌水之計算平均流速 V_a 與量測表面流速 V_{as} 的關係， V_a 略小於 V_{as} ，可表示為 $V_a = kV_{as}$ ，其中 k 為率定係數，一般介於 0.8~0.95 (Chow, 1973)，本文實驗結果 $k = 0.95$ 與前人研究成果大致符合。由上式可知，跌水後流速與跌水高 H_1 、跌水前水深 h_b 與跌水前流速 V_b 有關，尤其受 H_1 的影響，跌水高度越大，跌水後流速越大。

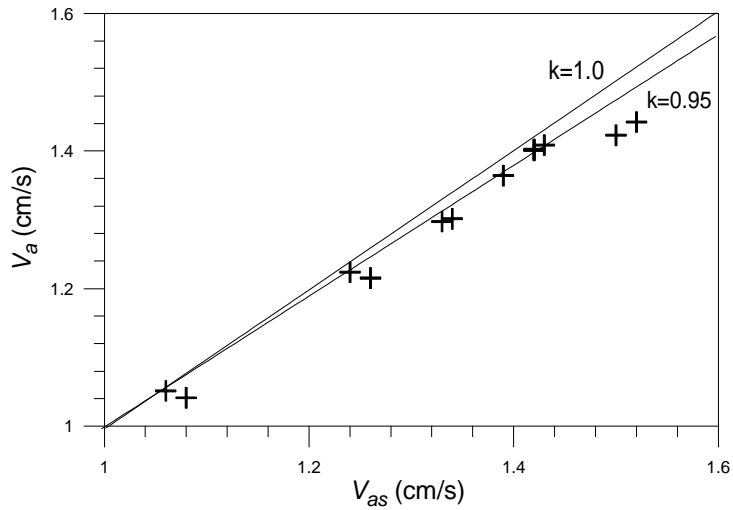


圖 7 跌水之計算平均流速 V_a 與量測表面流速 V_{as} 之關係

4-2 音量與水流特性的關係

1 流水型態、流量及跌水高對音量之影響

音量代表聲音在傳遞過程中音波振幅的大小，常以分貝(dB)來表示。相同的流水型態，在相同跌水高 H_1 下，隨著流量 Q 增加，產生之音量(dB)有逐漸增加的趨勢，如圖 8。在本文所討論之三類型流水型態中，又以類型的音量最大(水流撞擊石頭)、其次為類型三(水流流經塊石疊切的斜面)，而類型一(水流撞擊水面)最小。若進一步比較不同跌水高 H_1 的影響，圖 8 顯示在相同的流量 Q 下，跌水高 H_1 越大，音量會越大。

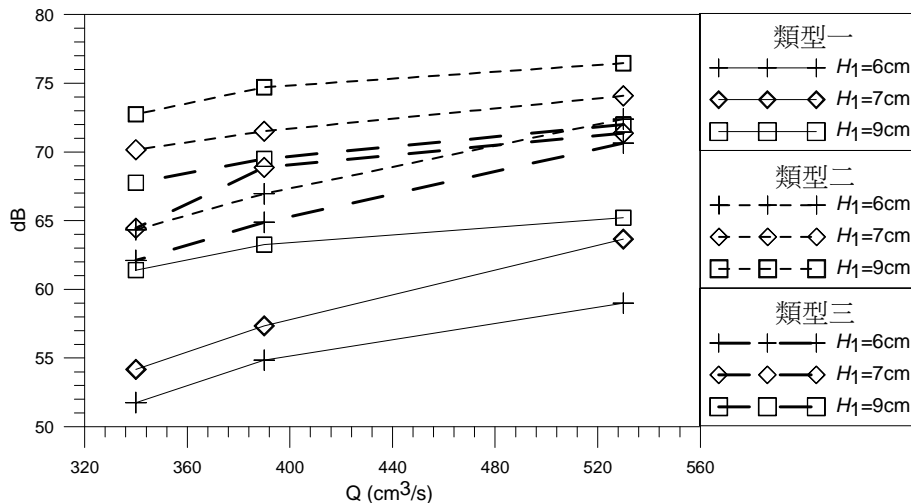


圖 8 不同流水型態下，不同跌水高之音量(dB 值)與流量 Q 的關係

2 音量與水流動量的關係

從圖的結果得知，流量與落差(跌水高)的增加，都會造成音量的增加，但流量愈大時音量的增加有減緩的趨勢。由於音量的大小，不僅反應於流量，也反應於水流跌水後，落入水中的流速。因此，本文

進一步計算水流動量 m 。水流動量 $m = \rho Q V_a$ 其中 ρ 為流體密度。圖 9 顯示音量受水流動量的影響較僅單考慮流量時明顯，隨著水流動量的增加，音量有呈現指數型態增加的趨勢。

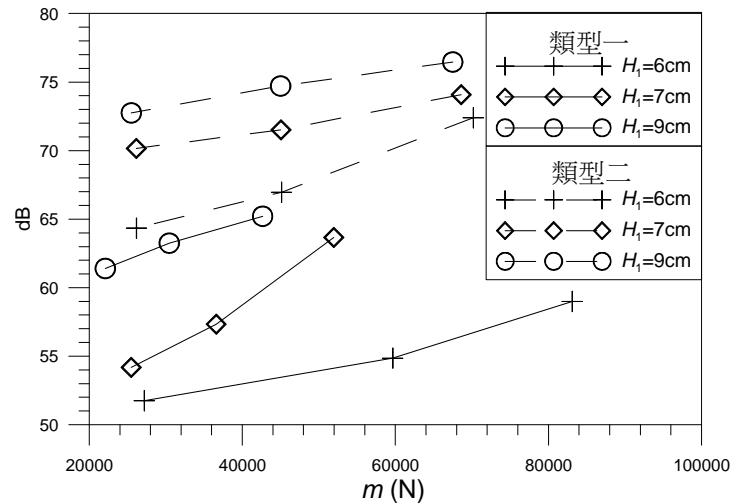
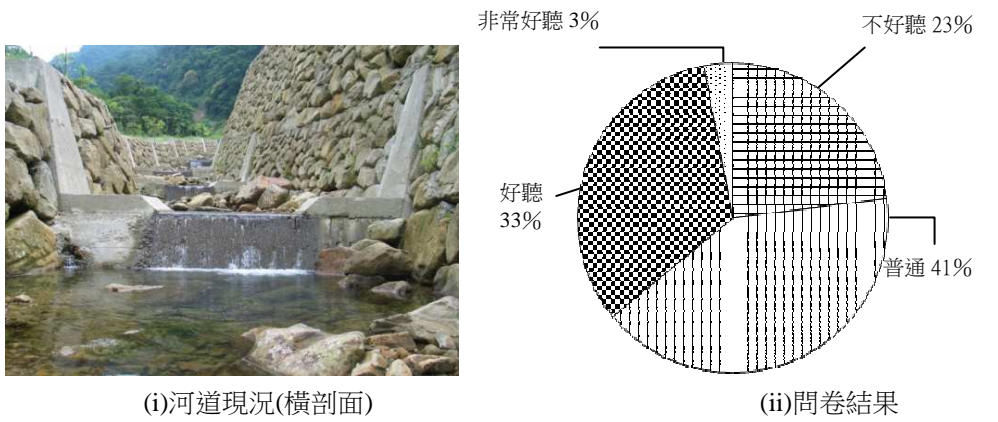


圖 9 不同流水型態下，不同跌水高 H_1 之音量(dB 值)與水流動量 m 的關係

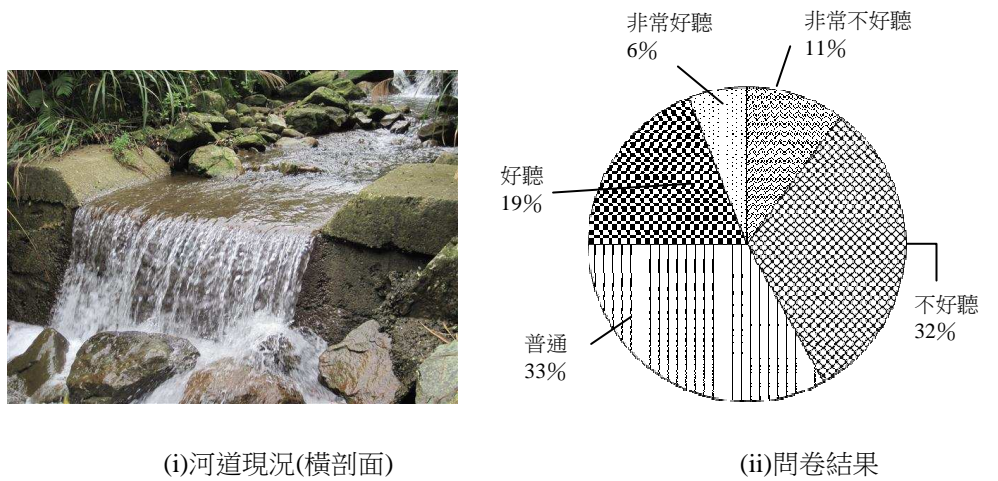
4-3 問卷調查

為了解本文所探討的三種類型溪流聲中，哪一種聲音較為「好聽」或「不好聽」，本文針對年齡 20~25 歲的一般民眾，進行網路問卷。問卷內容是依據本實驗在相同流量 $Q (=530 \text{ cm}^3/\text{s})$ 與跌水高 $H_1 (=9 \text{ cm})$ 下，所記錄之三類型水流聲，受試者聆聽完 30 秒水流聲後，進行聲音偏好度的評分(1~5 分)，1 分為「非常不好聽」，2 分為「不好聽」，3 分「普通」，4 分「好聽」，5 分為「非常好聽」。

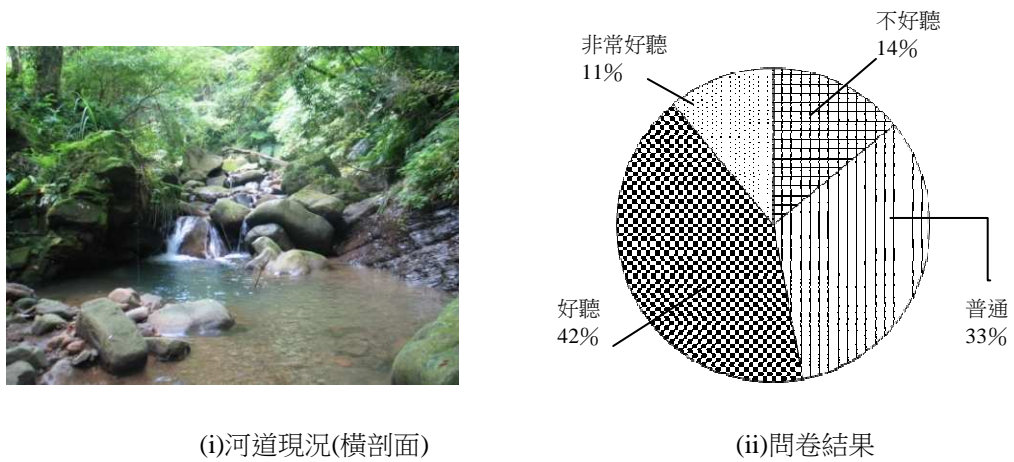
本文統計之有效問卷數 100 份，結果如圖 10，認為「不好聽」與「非常不好聽」的聲音(分數小於 2 分所佔百分比)，以類型二(水流撞擊石頭)佔 43% 最高；其次為類型一(水流撞擊水面)佔 23%；最低為類型三(水流經塊石堆疊斜面)佔 14%。「好聽」與「非常好聽」的聲音(分數大於 4 分所佔百分比)中，類型一佔 36%；類型二佔 25%；類型三超過半數(53%)。亦即，聆聽者較偏好水流經塊石堆疊斜面(接近於自然狀態)的水流聲，一般認為此聲音聽起來較舒適，不會太斥耳。受試者較不喜歡水流撞擊石頭再跌入水中的聲音，可能是此類型的音量較其他兩類型大，一般認為較吵雜斥耳。



(a)水流撞擊水面(類型一)



(b)水流撞擊塊石 (類型二)



(c)水流流經塊石堆疊斜面(類型三)

圖 10 不同水流類型之聽覺偏好調查結果

五、結論與建議

本文以玉桂嶺南勢坑野溪為案例，藉由水槽實驗，分析此區域常見的三種水流型態(跌水撞擊水面、跌水撞擊塊石再流入水面及水流流經塊石堆疊斜面)的音量與水流特性之關係，並初步探討聆聽者對水流型態的聲音偏好。研究結果顯示，音量的大小會隨跌水高、流量、水流動量及水流型態等不同而變化。跌水高、流量、水流動量的增加，均會造成音量的增加，但流量大時，音量受流量的影響並不明顯(音量的增加有減緩的趨勢)。在相同的跌水高與水流動量下，跌水撞擊塊石再流入水中的水流型態，其音量最大；水流流經塊石堆疊斜面的音量其次，跌水撞擊水面的音量最小。水流經塊石堆疊斜面(接近於自然狀態)的水流聲，聽起來較舒適，有超過一半的聽者(53%)認為為「好聽」與「非常好聽」的聲音。水流撞擊塊石再跌入水中的聲音聽起來較為吵雜，有接近半數(43%)認為為「不好聽」與「非常不好聽」的聲音。

在山區溪流中，常見塊石堆疊形成的自然階梯地形，此地形能分散與減緩水流、營造多元流況。本研究結果進一步說明塊石堆疊形成的階段河床，可能有助於營造好聽的溪聲。聲音的組成包含音量、音色與音調，本文目前只針對對音量進行分析，音色及音調與水流特性及聽覺偏好的關係，仍有待後續進一步的研究。

誌謝

本文能順利完成，特別感謝國科會大專生研究計畫提供經費補助，亦感謝林官儀、吳盈蒂及賈佳芸同學協助實驗，特此申謝。

參考文獻

1. Chow, V. T., 1973, *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, Inc., p.109-113.
2. Farnell, A., 2010, "Designing sound," MIT Press.
3. Schafer, R. M., 1977, "The tuning of the world," 1st ed., New York: Knopf.
4. 王俊秀, 2001, 「音景的都市表情雙城記的環境社會學想像」, 國立台灣大學建築與城鄉研究學報, 第十期, 第 89-98 頁。
5. 何立智、陳晉琪、吳文婷、陳嘉安, 2012, 「溪流整治工程對聲音景觀影響之初探」, 2012 景觀論壇:都市再生的景觀機制, 中華民國景觀學會, 輔仁大學景觀設計學系, 2012/12。
6. 華梵大學, 2010, 「覺之教育: 園林境教導覽手冊」, 華梵大學出版。
7. 張家儒、董貞吟, 2005, 「校園音環境教育的介入研究: 國小學童覺知、態度及行為之影響」, 師大學報, 第五十卷, 第二期, 第 159-168 頁。
8. 陳怡婷、林晏州, 2008, 「聲音對民眾環境偏好之影響」, 造園景觀學報, 第十四卷, 第二期, 第 73-97 頁。
9. 陳晉琪、陳欣玫、陳怡良, 2009, 「以 HEC 模式評估溪流整治前後之水理特性與淹水潛勢-以玉桂嶺南勢坑野溪為案例」, 華梵藝術與設計學報, 第五期, 第 41-55 頁。
10. 陳晉琪、陳欣玫、陳怡良, 2010, 「以 FLO-2D 模式評估溪流整治前後之水理特性與淹水潛勢-以玉桂嶺南勢坑野溪為案例」, 華梵藝術與設計學報, 第六期, 第 25-38 頁。

Experimental Study on the Influence of Flow Types on Volume and Preference of Listener: Preliminarily Explore on “Pleasant Sound” in Yu-Kua-Lin gully

Chen, J.-C.¹, Hsiao, Y.-Y.², Ho, L.-C.³

1. Associate Professor, Dept. of Environmental and Hazards-Resistant Design, Huafan university

2. Student, Dept. of Environmental and Hazards-Resistant Design, Huafan university

3. Lecture, Dept. of Environmental and Hazards-Resistant Design, Huafan university

ABSTRACT

The Yu-Kua-Lin gully, located in the eastern side of Huafan university, Shinding district, New Taipei city, was selected as case study to investigate the influence of flow types on volume and preferences of listener. Three flow types, (1) falling water strikes on water surface (Type I), (2) falling water strikes on stones (Type II), and (3) flowing water over stones packed slope (Type III), were studied in this work. Firstly, experimental conditions related to flow characteristics, such as flow discharge, falling height, and the size of stones, in flume were determined by similarity principle. Secondly, the relationship between volume and flow characteristics was analyzed through flume experiment. Finally, preference of listener for the three flow types was conducted by survey questionnaire to realize which flow type is more pleasant or not for a listener. The results showed that volume increases with increasing falling height, flow discharge, or flow momentum. The maximum volume is from flow Type II, and the flow Type III can be regarded as a pleasant sound for most listeners.

Keywords: Stone, Flow type, Preference, Yu-Kua-Lin gully