

陸上運輸系統（高架道路橋面下聲音）噪音管制方式及改善措施之研究

行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處

摘要

本研究透過現地噪音實測及模式模擬來瞭解高架道路橋面下反射音之影響程度，而考量之因素包括如高架道路橋下吸音率、高架道路橋下（橋邊）交通量與車速、高架道路寬度、兩側距高架道路不同距離民宅或橋面下行人影響程度。在透過調查、監測、模擬與分析後，再提出我國高架道路橋面下降低噪音之建議及改善措施。本研究內容包含調查與探討我國高架道路橋面下之噪音情形及研析我國高架道路橋面下之噪音情形及改善措施。實驗結果顯示，不同高架道路高度、不同高架道路材質（鋼橋及 RC 橋）、不同道路結構（音源與高架垂直）及不同道路結構（音源與高架平行）之反射音對周圍民宅之影響會隨樓層高度變化而有所降低。在經過裝設吸音裝置以吸音率 0.85 減音量效果佳，但音源與高架橋面下成平行時，對不同樓層之影響性依舊超過我國建議之標準值。

關鍵詞：高架道路、反射音、改善措施

一、前言及研究目的

國內近年來高、快速公路之建設，多數路段採高架工程，加上高架道路下方有平面道路，高架道路完工後，下方平面道路所產生之交通噪音遇到高架道路底部橋面板時，造成聲音多次反射，而使音量增加，所產生之反射音影響了兩側之住戶，此現象多半為民眾所反應之環境噪音問題。本研究希望透過模擬以瞭解噪音影響程度，而考量之因素包括高速道路橋下吸音率、高速道路橋下（橋邊）交通量與車速、高速道路寬度、兩側距高架道路不同距離民宅或橋面下行人影響程度，在透過調查、監測、模擬或分析後，再提出我國高架道路橋面下降低噪音之建議或改善措施。本研究之主要目的包括：

1. 蒐集國內外有關高架道路橋面下聲音噪音特性及改善措施；
2. 調查與探討我國高架道路橋面下之噪音情形；
3. 研析我國高架道路橋面下之噪音情形及改善措施；及
4. 協助公路管理機關討論高架道路橋面下聲音改善措施。

二、文獻回顧

2.1 高架段之橋面板底部反射音之影響

近年國內已有陸上運輸系統因採高架化後，沿線民眾噪音陳情反應橋下反射音問題，此種干擾情形亦常見於日本高架道路。高架橋—地面複合型道路的交通噪音與普通交通噪音的最大區別在於前者是高架橋橋上道路和橋下道路都行駛車輛，故可以認為是兩條線音源在垂直方向上疊加後所形成的特殊音場，且由於這種立體式結構會形成特殊音影區和音反射效應，所以較普通道路交通的噪音音場會更為複雜[1]。

圖 1 為一般在高架橋下方種植有草坪、灌木，不用於車輛通行，高架橋下兩側有左、右兩條車道，

設 01 為高架橋下左側道路中心點、02 為高架橋下右側道路中心點、03 為高架橋橋上道路的中心點，在高架橋右側有高層建築物。對於高架橋來說，在橋的兩側均設置有一定高度的胸牆（護欄），這種胸牆（護欄）從噪音學的角度看可以視為一種隔音牆，若音波從各道路中心點傳出，則高架橋的立體結構會對音波傳遞形成一定的影響。高架橋下橋面也會對橋下兩側行駛車輛產生的噪音造成反射而使噪音增強，如音波反射作用示意圖 2 所示。通過實地測量，這種反射作用一般會使橋下噪音增加 1.0 dB(A)~1.5 dB(A)或更高，且對高架橋附近較低處範圍的影響較為顯著。

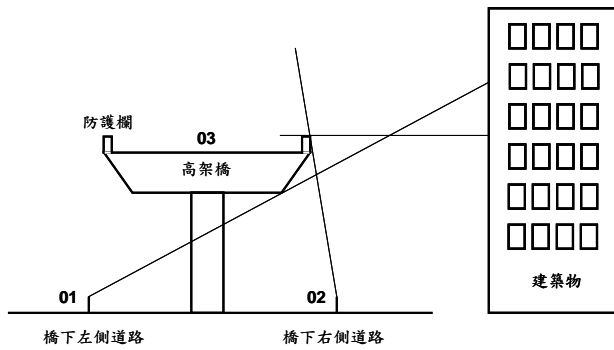


圖 1 高架橋—地面複合型道路結構音影區示意圖[1]

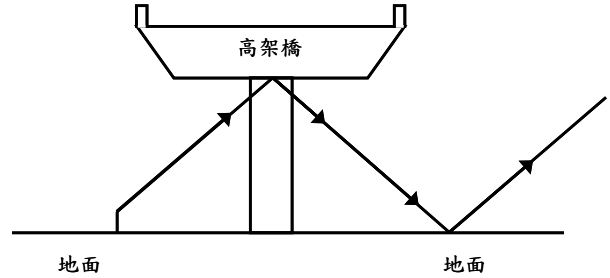


圖 2 高架橋下橋面對音波的反射作用[1]

2.2 美國橋面下反射音研究案例

2.2.1 華盛頓州運輸部(Washington State Department of Transportation) [2]及美國聯邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA) [3]。

州際公路 I-5 船渠橋(I-5 Ship Canal bridge)建造於 1950 年代末期，為一雙層道路（圖 3），當初工程師對於高速公路反射音所知甚少，亦不知快車道的反射音會對橋下住宅及公司行號的日常生活造成影響。1992 年 WSDOT 一項研究中發現，雙層道路（如 I-5 船渠橋）除交通噪音所造成之直接音外，較低層高架快車道的噪音傳遞到上層高架底部造成反射音，因而影響道路下方沿線居民安寧。華盛頓州運輸部 WSDOT(Washington State Department of Transportation)藉由實際測量並配合公路交通噪音模式(Highway Traffic Noise Model, TNM)模擬，評估後續改善措施之成效，做為改善規劃之參考。

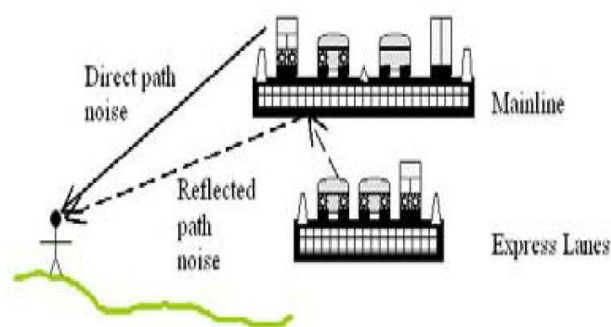


圖 3 華盛頓州 I-5 船渠橋直接音與反射音傳播示意圖

2.2.2 俄亥俄州運輸部(Ohio Department of Transportation) [4]及美國國家標準國家標準 ANSI S12.8 (American National Standards Institute S12.8) [5]。

州際公路 I-675 穿越俄亥俄州 Dayton 當地街道 Alexandervill-Bellbrook，於洲際公路上形成一涵洞造成反射音，影響當地居民居住安寧。俄亥俄州運輸部為瞭解反射音之影響及在涵洞兩側設置吸音材後之效率，藉由實際測量並配合公路地下道模式(Highway Underpass Model, HUM)模擬直接音及反射音對附近區域之貢獻度、不同受體位置之音量及反射音到達的位置，並模擬吸音材料設置前後之音量 [4]。配合此計畫使用多種測量方法評估反射音之影響，評估方法包括中心線測量(centerline measurements)、路權道(路肩)測量(right-of-way measurements)、固定音源測試(constant level source tests)及衝擊音測試(impulse tests)。量測流程主要依據美國國家標準 ANSI S12.8 (American National Standards Institute S12.8)進行 A 加權之量測。

2.3 高架段之橋面板底部反射音之防制方法

2.3.1 一般方式

一般有高架道路時，考慮的防音方式或改善措施，包括高架道路橋面上隔音牆、高架道路橋面下道路中央隔音牆、高架道路橋面下道路二側隔音牆、高架道路橋面下吸音板、綠帶等措施。相關改善措施如圖 4 所示。

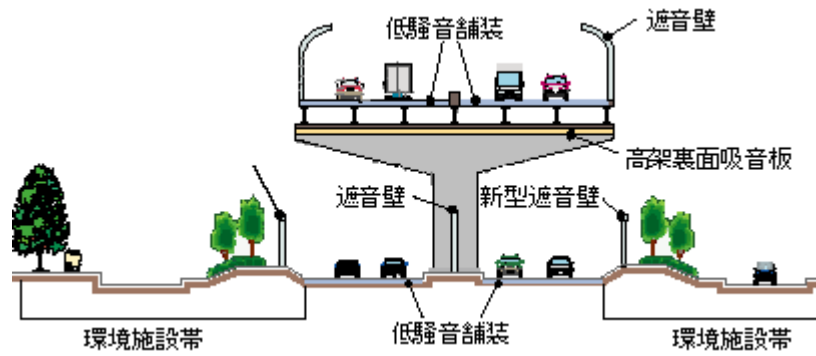


圖 4 一般高架道路噪音防制方式或改善措施示意圖

2.3.2 綠化方式

在高架橋的設計中，可充分考慮自身的綠化（植栽）來降低噪音問題，可因地制宜地在橋下種植灌木，灌木下種草。橋上兩側的檔欄要隔段設置能栽種下垂植物的永久性構築物，種植一些能抗旱、耐寒、抗廢氣污染的往下生長性植物及橋梁上爬蔓藤類植物。

降低（高架橋—路面）複合型道路交通噪音對周圍環境影響的主要措施是隔音牆及於橋面板底部安裝吸音材料。美國華盛頓州運輸部(WSDOT)研究指出，在上層高架底部鋪設類似玻璃纖維的吸音材質(acoustic material)或於上層高架底部邊緣垂吊吸音材質[6]，可顯著的吸收並降低來自橋面板底部的噪音。WSDOT 估計，此方法可降低 10 分貝之噪音。在 1992 年東湖未來(Eastlake Tomorrow)優先工作事項中，亦將減少快車道日以繼夜車流做為另一降低反射音之方法。最重要的措施之一，即是 WSDOT 在 1997 年 11 月 3 日起，開始在晚間 11 點到凌晨 5 點關閉車道[7]。美國俄亥俄州運輸部(ODOT)曾藉由實際測量並配合公路地下道模式(Highway Underpass Model, HUM)模擬涵洞中直接音及反射音對附近區域之貢獻度，並模擬吸音材料設置前後之音量。雖然 ODOT 在涵洞擋土牆上設置吸音材料，但模式模擬結果顯示，在上方高架橋面板底部裝設吸音材質較在擋土牆設置吸音材質，更可有效降低噪音量。研究中亦建議，使用低噪音鋪面亦可有效降低反射音[4]。

三、研究方法

3.1 量測方法

本研究量測方法參考環保署噪音測量方法（民國 100 年 11 月 15 日環署檢字第 1000099693 號公告，自中華民國 101 年 1 月 15 日生效，NIEA P201.94C）、環境音量標準、陸上運輸系統噪音管制系統、美國國家標準 ANSI S12.8 [5]、美國聯邦公路管理局[3]等五種測量方法，各種測量方法之比較如下表 1 所示。由表可知此 5 種測量方法皆差異不大，除我國環境音量標準對於一般道路需測量日晝夜均能音量外，其餘方法在約 5 分鐘至 1 小時之時間內，皆可取得代表性之交通噪音均能音量。

3.2 調查項目

本計畫調查項目如下所示：

- (1) 噪音：包含 $L_{Aeq(1h)}$ 或 $L_{事件}$ 、 $L_{秒}$ 量測紀錄及結果分析。
- (2) 交通量：大型車（包括大客車、大貨車、聯結車）及小型車、車速（架設攝影機記錄車流量、車種及車速等參數）。
- (3) 氣象：風速、風向、相對溼度、氣溫及最近降雨日期。
- (4) 高速公路指標：上下班 $L_{Aeq(1h)}$ 量測紀錄及結果分析。
- (5) 平面道路指標： $L_{事件}$ 、 $L_{秒}$ 量測紀錄及結果分析。

3.3 量測設備

本研究測量所需使用之設備如下：

- (1) 量測設備：噪音計(NL-32)。
- (2) 設定：NL-32：頻率權衡：FLAT 特性(20 Hz~20k Hz)；位準範圍：適當範圍(例如：30 dB~120 dB)。
- (3) 分析方法：將已錄音之記憶卡插入電腦以 DA-20PA1 波形處理軟體分析，DA-20PA1 軟體分析時可分割檔案，可設定僅分析車輛通過之時段，分析時再設定分析條件。
- (4) 分析條件：A 加權，時間權衡 Fast。
- (5) 量測方法：每個測站配置麥克風及噪音計(NL-32)。

3.4 佈點位置

本道路音源側（距離周圍建築物牆面線約 1 m~2 m 處，離地面或樓板延伸線約 1.5 m 及 4.5 m）或現場適當位置設點，如圖 5 所示。

3.5 佈點方式

3.5.1 佈點規劃參考

1. 華盛頓州運輸部[2]及美國聯邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA) [3]。該計畫之測量主要根據[3]之測量方法，測量 15 分鐘內之均能音量，若音量變化不大，可減少測量時間。現場測量結果顯示，15 分鐘及 1 小時之均能音量並無顯著差異。該測量方法中亦提及，若需考慮不同高度的敏感點，則除 1.5 m 基本高度外，亦可設置 4.5m 及 7.5m 高度之測量點；若需瞭解噪音之衰減，則可自最近車道的中心線起，進行 7.5 m、15 m 及 30 m 不同距離之佈點。

2. 俄亥俄州運輸部(Ohio Department of Transportation) [4]及美國國家標準國家標準 ANSI S12.8 [5]。由於每支噪音計所接受的交通噪音皆相同，因此若涵洞內音量較高，則表示有反射音之存在。測量結果顯示，反射音是造成公路涵洞附近噪音升高之主因，反射音會導致噪音量增加至少 5 dB 以上。該計畫之測量主要根據 ANSI S12.8 之測量方法，若 2 分鐘內噪音值變動未超過 10 dB，至少測量 5 分鐘內均能音量；若 2 分鐘內噪音值變動超過 10 dB，至少測量 15 分鐘均能音量。

表 1 測量方法之比較

測量參數 方法	加權	動特性	頻帶	噪音計高度	測量項目	備註
環境噪音測量方法	A	Fast	-	1.2-1.5 m	-	-
環境音量標準	A	Fast	-	1.2-1.5 m	Leq, 日 晚夜	-
陸上運輸系統 噪音管制標準	A	Fast	-	1.2-1.5 m	Leq, 1h	-
ANSI S12.8	A	Fast	1/3 八音階 頻帶或 其他	1.5 m	Leq, 5-15 min	若 2 分鐘內噪音值變動未超過 10 dB，至少測量 5 分鐘內均能音量；若 2 分鐘內噪音值變動超過 10 dB，至少測量 15 分鐘均能音量
FHWA	A	Fast	1/3 八音階 頻帶	1.5 m	Leq, 2-30 min	若為穩定性噪音，測量 2 分鐘內均能音量；若 2 分鐘內噪音值變動未超過 10 dB，測量 5 分鐘內均能音量；若 2 分鐘內噪音值變動介於 10-30 dB，測量 15 分鐘均能音量；若 2 分鐘內噪音值變動大於 30 dB，測量 30 分鐘均能音量

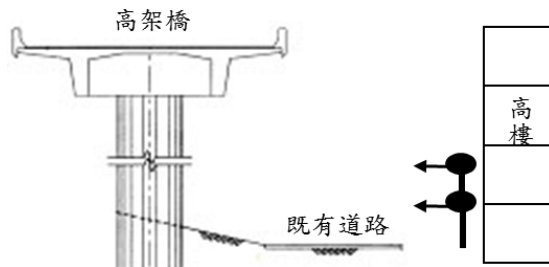


圖 5 測點設置示意剖面圖

3.5.2 佈點規劃

依華盛頓州之案例而言，在 1 公里內道路單側佈設 5 個測量點，對該區域之噪音分布狀況即有相當代表性。本團隊現勘結果顯示，考量叉路有無及地物之阻擋，各處適合測量反射音之路段長度約 200m 左右，因此現場佈設 1 個~4 個測量點應足以反映該區域噪音狀況。另為瞭解不同高度之噪音情形，亦參考 FHWA (1996) 之測量方法規劃設置不同高度之測量點(1.5 m 及 4.5 m)。另為瞭解反射音隨距離衰減之情形，則參考俄亥俄州案例及 ANSI (1998) 方法，於反射音產生地點佈設不同距離之測量點。

本研究選點主要優先考量因素包含:(1)選擇量測地點越簡單越好及(2)依照不同高架道路高度、不同橋面板底部材質及道路結構，進行佈點位置及點次規劃。因此，本計畫規劃六處地點進行量測點。依實地現勘之案例地點，包括不同橋面材質（鋼橋及 RC 橋）、不同橋面高度（高度低或高度高）、不

同道路結構（音源及高架垂直）、不同道路結構（音源與高架平行），建置三維音場模型，模擬出量測點之小時均音量，並依法所設計模擬值與實測值須介於 ± 3 dB (A)內，顯示所建立之音場模型可應用在針對高架橋面下增設吸音裝置評估之用途。

3.6 音場模型校估

本計畫所使用之數據分析及改善評估軟體係由德國 DataKustik 公司所發展之「CadnaA version 4.2.140」進行噪音預測與分析，特點為可同時或分別考慮點源、線源及面源等不同形式噪音源及其合成之音量，在輸入地形高程、敏感點、建築物、音源及其他資料後，可依不同模擬情境建構模型並配合周邊設備輸出圖表，提供預測結果及改善成效。詳細校估流程如圖 6 所示。

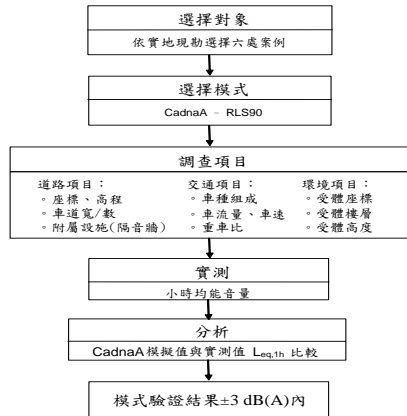


圖 6 音場模型校估流程圖

四、結果與討論

降低橋面下反射音對高架道路附近較低處範圍民宅之影響，一般可優先從(1)源頭進行管制；或(2)傳播途徑改善之方式，進行噪音改善，以達「有效降低噪音擾寧情形，改善民眾生活品質」之願景。為有效釐清音源端或傳播途徑改善後，橋面下反射音對各敏感點之相關影響情形，本研究將分析(1)不同橋面材質；(2)不同橋面高度；(3)不同道路結構（音源與高架垂直）；及(4)不同道路結構（音源與高架平行）等環境，在不同車速、交通量、運具組成（重車比）、高架道路車道數（橋面寬）、橋面下防制措施吸音率...等不同條件下，當因子改變時，比較且系統性的說明對敏感點之模擬噪音量及降噪成效。

4.1 不同橋面材質（鋼橋及 RC 橋）反射音分析及改善功能評估

A 沿線社區，位於國道 1 號主線南下約(28k + 500) m 處，此路段汐五高架係為鋼橋及 RC 橋之交界處。道路高度相同，結構相同，橋面材質不同。A 沿線社區，位於國道 1 號主線南下約(28k + 500) m 處，此路段汐五高架係為鋼橋及 RC 橋之交界處。道路高度相同，結構相同，橋面材質不同。依實際環境現況，於(1)鋼橋；及(2)RC 橋，佈設二處受音點，各處受音點相距約 100 m，離橋面邊緣約 5 m，模擬高度 1F~5F（假設每層樓高度約 3m，噪音計離樓板或其延伸線約 1.5 m），藉以瞭解在橋面底部材質不同之基礎下，反射音在不同樓層高度之變化影響情形。在加裝吸音設備後，分別以 0.36（粗糙面）、0.85（高度吸音型）之吸音率作為改善措施後測量。造成反射因之因子包含(1)交通營運管理及(2)高架道路寬度。改善成效評估方面分為吸音率 0.36（粗糙面）若於橋面下方噴塗吸音之粗糙物，減音效果較為有限，就現況而言，1 F ~ 5 F 減音量約 0.3 dB (A) ~ 1.5 dB (A)不等，各樓層仍可能超過

第三類管制區標準（如表 2）。圖 7 為不同吸音率反射音變化圖，由模擬值呈現當橋下吸音率在 0.36（粗糙面）及 0.6（吸音型）時，1F~5F 之反射音減量約 0.3 dB(A)~1.5 dB(A)不等，效果差異不大；比較 0.36（粗糙面）及 0.85（高度吸音型）時，則有約 0.5 dB(A)~3.8 dB(A)不等，效果較為明顯。樓層越低（4F 以下高度），減噪效果越佳。

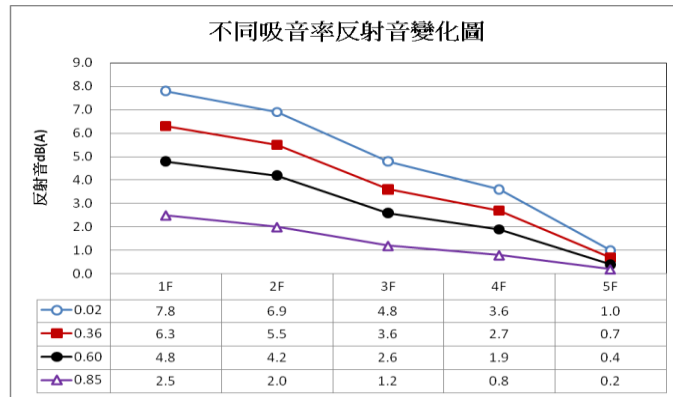


圖 7 不同吸音率反射音變化圖(以 A 沿線社區為例)

4.2 不同橋面高度(高度高及高度低)反射音分析及改善功能評估

本研究監測點於 B 社區附近，位於國道 1 號主線南下約(14 k + 756) m，此路段汐五高架為 RC 橋。橋面高度高之測點（約 16.9m），相較另一橋面高度低之測點（約 9.6 m），二者道路結構相同，橋面材質相同，高架高度不同（同一條高架道路，2 處）。依實際環境現況，於(1)橋面高度高；及(2)橋面高度低，佈設二處受音點，各處受音點相距約 250 m，離橋緣約 5 m，模擬高度 1 F~ 5 F（假設每層樓高度約 3m，噪音計離樓板或其延伸線約 1.5 m），藉以瞭解在不同高架道路高度之基礎下，反射音在不同樓層高度之變化影響情形。圖 8 為不同橋面高度反射音變化圖。實驗結果顯示，當橋面高度較低時，其反射音量較大，且隨樓層高度變化而有所減少，在加設吸音設備後，以吸音率 0.85 可減音量約 0 dB (A) ~ 2.1 dB (A)，經改善後大部分的均能音量未超過國內建議之標準值，僅橋面高度高對 5F 樓層之均能音量在經改善後超過標準值（如表 3）。造成反射音之因子依橋面高度不同而有不同程度之影響，承如前述，若受音點高於橋面板底部，當橋面寬度縮減 1 車道時，推測因反射面積縮小，將有更多直接音入射，故產生噪音增量；反之，橋面寬度增加 1 車道時，造成反射音減量。惟未來高架橋規劃之設計上，仍需考量橋面下既有道路之現況（如路寬、交通量、運具組成、車速…等）、既有防制措施、敏感點與道路之間的空間幾何關係等不同狀況，加以評估反射音之可能影響程度及範圍，藉以進一步規劃符號合成本效益、結構安全、景觀及環保等面向之橋梁工程設計。

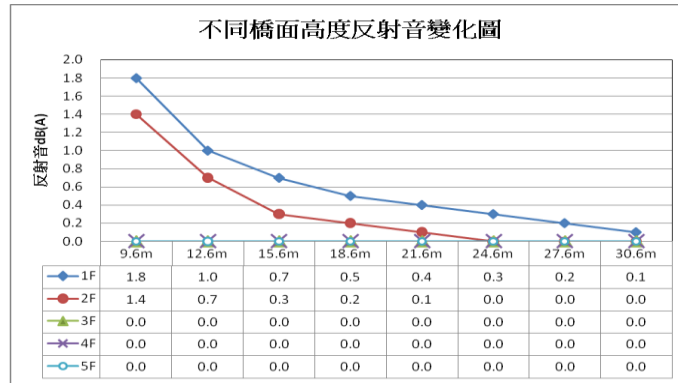


圖 8 不同橋面高度反射音變化圖 (以 B 社區附近為例)

4.3 不同道路結構 (音源與高架垂直) 反射音分析及改善功能評估

本監測為置於 C 社區附近，位於國道 1 號北上約(175k+240) m，此路段高架橋為 RC 橋。在不同吸音裝置之吸音率及各種情境下，不同距離之分析結果顯示 (圖 9 所示)。各距離點位應可符合標準 (如表 4)。由模擬值呈現反射音約 0.9 dB(A)~5.4 dB(A)不等，從 15 m~30 m 減量 2.6 dB(A)；30 m~45 m 減量 0.9 dB(A)；45 m~60 m 減量 0.5 dB(A)；60 m~75 m 減量 0.5 dB(A)，可發現距離橋緣 30 m 外受反射音之影響程度已減弱許多，因道路結構屬音源與高架垂直，故反射音只影響跨越橋與國道 1 號交接兩側之局部範圍 (局部性)。造成反射因之因子包含(1)交通營運管理及(2)高架道路寬度。改善成效評估方面加設吸音設備為吸音率 0.36、0.85 之減音量分別為 0.2 dB (A)~1.1 dB (A)及 0.6 dB (A)~3.6 dB (A)。

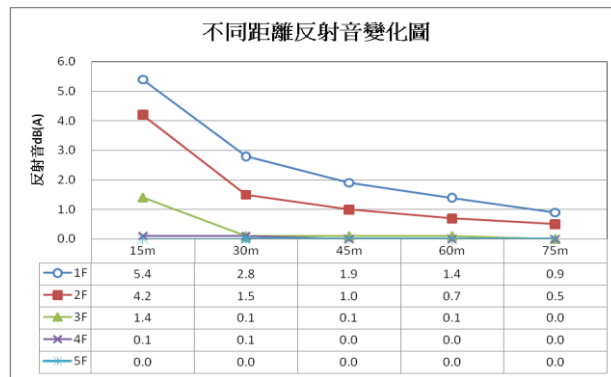


圖 9 不同距離反射音變化圖

4.4 不同道路結構 (音源及高架平行) 反射音分析及改善功能評估

本研究監測點於 D 處平行路段，此路段高架橋為鋼橋。在不同吸音裝置之吸音率及各種情境下，沿線路段及不同高度點位之分析結果如下。各點位應無法符合標準，扣除反射音後仍皆超標，故就此案例而言，反射音應非導致超標之主要成因 (應以平面道路汽機車直接音為主要)。由模擬值呈現反射音約 3.7 dB(A)~5.3 dB(A)不等，因道路結構屬音源與高架平行，故反射音將影響高架橋與平面道路交接兩側之區域範圍 (區域性)，因此可發現測點 1 與測點 2 之反射音相當。測點 1、測點 2 在未裝設吸音設備前，對 1F、2F、3F 之實際反射音量分別為 4.9、4.2、3.7、5.3、4.4、3.8dB，反射音量會隨

著樓層變化降低，在裝設吸音設備後，分別在吸音率 0.36、0.85 下測量，反射音有明顯減少，尤其在吸音率 0.85 下，反射音減少量為最高，但改善後小時均能音量在裝設吸音設備後，依舊超過國內所建議之標準值（如表 5）。

4.5 我國高架道路橋面下避免噪音產生的方法

4.5.1 隔音牆（控制傳播途徑）

於路肩處設置隔音牆（或加高）以縮小與橋面板底部之距離，藉此避免漏音現象，並可採用頂端改良型的隔音牆，其比單純直立型隔音牆加高更有優勢，因其性價比更高，減音量更佳。噪音可以減少 2 dB ~ 3 dB。惟若要設置有效阻隔反射音之隔音牆高度，需考量結構荷重、風壓、駕乘人壓迫、經費成本、現場施工難易度、施工封路擾民之問題。亦可考量橋緣下外掛隔音牆之作法。

4.5.2 橋下加裝吸音材料（控制傳播途徑）

高架橋板面底部反射音對附近較低處的影響較為嚴重，而抑制這種反射音的最好方法就是在高架橋板面底部加裝吸音材料。惟考量橋面板下裝設吸音材料，在國內於公（道）路尚無相關實績，可能須經專案研究試辦階段，須考量減音成效並瞭解經濟與施工之可行性，且多數公（道）路完工已久，非屬新工道路，加上我國位處地震帶，常需檢核橋梁結構安全，故亦須審慎考量。

4.5.3 搭配不同方式混合使用（噪音源減少+控制傳播途徑）

鋪 PAC 低噪音路面(噪音源減少): 輪胎噪音是交通噪音中不可忽視的噪音源，當車速大於 50 km/h ~60 km/h 時它起到舉足輕重的作用，又因輪胎噪音的頻率較高，夜間它是干擾人們睡眠的主要成因。依據國內外之研究文獻，一般減音量可達 3 分貝~8 分貝，視鋪面種類（如：孔隙率、厚度...等）而定。惟我國因落塵量高，低噪音路面減音效果會隨時間的長久而孔隙變小或遭到擠壓，導致減音效果及排水性變差。且維護保養較困難，使用年限較短需定期用高壓水柱清洗路面之孔隙，國內需先試辦後才可以瞭解成效。表 6 為橋面下道路噪音改善方法之建議。

表 2 不同橋面材質綜合評估比較彙整表

單位：dB(A)

橋面材質		鋼橋		RC橋	
模擬結果	樓層	L _{eq,1h}	反射音	L _{eq,1h}	反射音
現況下各樓層 噪音量	1F	78.2	7.7	78.2	7.8
	2F	80.9	6.9	80.8	6.9
	3F	82.7	4.3	83.1	4.8
	4F	84.8	3.5	84.6	3.6
	5F	84.5	1.1	84.1	1.0
現況橋面下 安裝吸音材 反射音減量	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	吸音率0.36	吸音率0.85
	1F	-1.5	-5.3	-1.5	-5.3
	2F	-1.5	-4.9	-1.4	-4.9
	3F	-1.1	-3.3	-1.2	-3.6
	4F	-0.9	-2.8	-0.9	-2.8
改善後 小時均能音量 (灰階表超標)	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	吸音率0.36	吸音率0.85
	1F	76.7	72.9	76.7	72.9
	2F	79.4	76.0	79.4	75.9
	3F	81.6	79.4	81.9	79.5
	4F	83.9	82.0	83.7	81.8
5F	84.1	83.6	83.8	83.3	

註：第 3 類管制區日間時段標準 76 分貝。

表 3 不同橋面高度綜合評估比較彙整表

單位：dB(A)

橋面高度		高度高		高度低	
模擬結果	樓層	L _{eq,1h}	反射音	L _{eq,1h}	反射音
現況下各樓層 噪音量	1F	66.1	1.1	66.7	1.8
	2F	68.6	0.8	69.3	1.4
	3F	71.7	0.5	71.7	-0.1
	4F	74.8	-0.1	75.4	-0.2
	5F	76.3	-0.3	69.2	-8.0
現況橋面下 安裝吸音材 反射音減量	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	吸音率0.36	吸音率0.85
	1F	-0.7	-1.8	-0.8	-2.1
	2F	-0.5	-1.3	-0.6	-1.6
	3F	-0.3	-0.8	0	-0.1
	4F	-0.1	-0.2	0	0
改善後 小時均能音量 (灰階表超標)	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	吸音率0.36	吸音率0.85
	1F	65.4	64.3	65.9	64.6
	2F	68.1	67.3	68.7	67.7
	3F	71.4	70.9	71.7	71.6
	4F	74.7	74.6	75.4	75.4
5F	76.3	76.3	69.2	69.2	

註：第 3 類管制區日間時段標準 76 分貝。

表 4 音源與高架垂直結構綜合評估比較彙整表

單位：dB(A)

現況下各距離 噪音量	距離	L _{eq,1h}	反射音
	15m	70.2	5.4
30m	69.0	2.8	
45m	68.0	1.9	
60m	67.5	1.4	
75m	67.4	0.9	
現況橋面下 安裝吸音材 反射音減量	距離	吸音率0.36	吸音率0.85
	15m	-1.1	-3.6
	30m	-0.7	-1.9
	45m	-0.5	-1.3
	60m	-0.4	-1.0
改善後 小時均能音量 (灰階表超標)	距離	吸音率0.36	吸音率0.85
	15m	69.1	66.6
	30m	68.3	67.1
	45m	67.5	66.7
	60m	67.1	66.5
75m	67.2	66.8	

註：第 3 類管制區日間時段標準 76 分貝。

表 5 音源與高架平行結構綜合評估比較彙整表

單位：dB(A)

現況下各測點 噪音量	樓層	L _{eq,1h}	反射音	
	測點 1	1F	81.7	4.9
2F		81.1	4.2	
3F		80.5	3.7	
測點 2	1F	82.6	5.3	
	2F	81.2	4.4	
	3F	80.2	3.8	
現況橋面下 安裝吸音材 反射音減量	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	
	測點 1	1F	-0.5	-2.2
		2F	-0.4	-1.9
		3F	-0.4	-1.8
	測點 2	1F	-0.5	-2.3
2F		-0.5	-2.1	
3F		-0.4	-1.8	
改善後 小時均能音量 (灰階表超標)	樓層	吸音率0.36	吸音率0.85	
	測點 1	1F	81.2	79.5
		2F	80.7	79.2
		3F	80.1	78.7
	測點 2	1F	82.1	80.3
2F		80.7	79.1	
3F		79.8	78.4	

註：日間時段環境音量標準 74 分貝。

表 6 現有高架道路橋面下聲音可行之改善措施及未來高架道路橋面下避免噪音之建議

期程	改善方法	屬性	優點	缺點	需注意事項
既有道路	噴塗吸音之粗糙物	控制傳播途徑	1.技術上應可行，較無結構安全荷重之問題。 ⁴⁾ 2.施工期較短，工法較簡易。 ⁴⁾ 3.費用相較橋下吸音裝置(如：吸音板)便宜許多。 ⁴⁾	1.雖技術上可行，惟我國每遇強震後，需進行目視檢核橋梁結構安全。 2.一般減音量較低，約 2 分貝以內。	考量橋面板下噴塗吸音材料或裝設吸音裝置，須經專業研究試辦階段，須考量減音成效並瞭解經濟與施工之可行性，加上我國位於地震帶，常需檢核橋梁結構安全，故須審慎考量。
新工道路	橋下吸音設施		1.一般減音量可達 2~3 分貝，為解決都會區各類高架橋下反射音最有效之方法。 2.日本行之有年，且該工法列為政府核定的公共工程施工方式。 3.使用年限約可達 20 年，結構技術成熟，施工期較短。 4.可依橋面變化裝設吸音材料外表造型。 ⁴⁾ 5.吸音設施不需要另外規劃如其他隔音牆所需之固定基礎底座。	1.國內於公(道)路尚無相關實績，相關實例為「臺北市捷運西湖站橋面下及側向包圍吸音板」。 ⁴⁾ 2.我國每遇強震後，需進行目視檢核橋梁結構安全，故技術上於高架橋橋面板底部加裝吸音板(吸音設施)較不易 3.需要考量橋梁荷重，事前須經結構技師計算核可。 4.費用較其它工法為高。 5.若為「複合型道路結構」，需整合不同管理單位共同規劃設計。 6.針對噪音影響較為嚴重路段，因減音效果有限，仍無法使各樓層皆達到標準。	
既有道路(或新工)	路肩隔音牆(或頂端改良型、或據線外掛)	控制傳播途徑	1.一般減音量可達 5~10 分貝。 2.使用年限約可達 20 年。 3.結構技術成熟，施工期較短。 4.國內已有相關豐富實績，為目前公(道)路及其他交通噪音防制最普遍之作法。 5.頂端改良型比單純直立型隔音牆加高更有優勢，因其性價比更高，減音量更佳。	1.除非與上方高架橋底密接，否則減音量仍有限，無法有效阻隔反射音。 2.設置高度有限，需考量結構荷重、住家景觀、風壓、駕駛人壓迫、經費成本...等因素。 3.維護保養不易。	若要設置有效阻隔反射音之隔音牆高度，需考量結構荷重、風壓、駕駛人壓迫、經費成本、現場施工難易度、施工封路擾民之問題，加上每 2 年或地震過後需進行橋梁安全檢查，隔音牆是否能有效「密接」上方高架橋底...等因素，故須審慎考量。
既有道路(或新工)	鋪低噪音路面(PAC 鋪面)	噪音源減少	1.一般減音量可達 3~8 分貝，視鋪面種類(如：孔隙率、厚度...等)而定。 2.結構技術成熟，施工期較短。 ⁴⁾ 3.國內目前已有相關實績，並逐步試鋪實驗中(如：國道 6 號多孔隙瀝青混凝土鋪面成效評估(陳建旭，2011))。 4.平坦道路最適宜使用，透水性、抗凍性、防鏽...等性能佳，增加用路人之安全。 5.適用於高速道路，車速快效果愈佳。 ⁴⁾	1.維護保養較困難，使用年限較短。 2.我國因落差量高，低噪音路面減音效果會隨時間的長久而孔隙變小或遭到擠壓，導致減音效果及排水性變差。 3.用高壓水槍清洗路面之孔隙，國內需先試辦後才可以瞭解成效。 4.費用較高。	需經實際檢驗 PAC 測試後，瞭解其成效及相關界面處理，並可確保行車安全情形下，方可將 PAC 用於改善路段降低噪音之方案。
既有道路	隔音窗	受音端	1.一般減音量可達 20 分貝以上。 2.技術成熟。 3.效果佳。	費用高。	若無法設置隔音牆時，民眾反映陳情後，環保局再監測，未符合噪音標準時，須依「噪音管制法」第 14 條第 1 項及「噪音管制法施行細則」第 8 條相關規定辦理，訂定補助計畫。

五、結論

5.1 不同橋面材質(鋼橋及 RC 橋)反射音分析及改善功能評估

(1)反射音強度

鋼橋或 RC 橋於未採取改善措施前，隨著道路音源端強度增增強，反射音亦有增加之趨勢，於 1F ~ 2F 最為明顯，而當橋面寬度增加或減少時，會因車輛提供之反射面積所小，反射音隨之減少，其影響程度依序為(1)交通量增減 25 %；(2)重車比增減 5 %；(3)速限增減 10 km/hr。

(2)減噪有效性

在結構安全、荷重等因素無虞之前提下，如於高架橋面下設計或安裝(噴)吸音率材料，吸音率愈高，則減噪效果愈好。

(3)改善後噪音影響程度

1. 不論是鋼橋或 RC 橋，橋下反射音，改善後各樓層音量相近。
2. 於高架橋面下設計或安裝(噴)吸音率材料，吸音率愈高，各樓層減噪效果差異較大，低樓層橋下反射音減噪效果最好。
3. 以 A 社區沿線為例，由於背景音量高，不論採取何種吸音材質，針對反射音做改善後，雖有一定

成效，就此個案，單採取橋面下吸音裝置其成果仍有限，仍無法各樓層皆達到標準。

(4) 模擬值及實測值說明

1. 不同橋面材質之同一高度

由模擬值及實測值知，鋼橋處之測點其音量稍高於 RC 橋，惟差值有限（即差異不大），測值亦接近 80 分貝左右，已達干擾談話甚至工作效率降低之等級，故高架橋邊民宅受到相當程度之噪音衝擊。

2. 相同橋面材質之不同高度

就同一處測點而言，噪音計 4.5m 高（約 2F 受音點）之 $L_{eq,1h}$ 測值及模擬值皆大於噪音計 1.5m 高（約 1F 受音點），各樓層隨高度不同，分別受到音源可能包含反射音、隔音牆頂繞射音及直接音等不同程度影響，故整體音量有隨樓層升高而增加之趨勢。

5.2 不同橋面高度（高度高及高度低）反射音分析及改善功能評估

(1) 反射音強度

1. 依橋面高度之空間特性不同，同樣高度測點將有顯著之差別。
2. 高架橋面高所造成之反射音音量較高架橋面低所造成之反射音音量為低，故在規劃設計上，如是考量高架橋面高低對反射音之影響，則建議考量規劃設計高架橋面高些。
3. 不論是高架橋面高或高架橋面低，當橋面寬度縮減或增加時，反射音強度將減弱或增加，因可供車輛直接音產生反射之面積縮小，故反射音增量將減弱；反之將增加。若受音點高於橋面板底部，當橋面寬度縮減 1 車道時，推測因反射面積縮小，將有更多直接音入射，故產生噪音增量；反之，橋面寬度增加 1 車道時，造成反射音減量。
4. 不論高架橋面高或高架橋面低，在未採取改善措施前，隨著道路音源端強度增強，反射音有略為增加之趨勢，一般於 1F~2F 較為明顯。

(2) 減噪有效性

1. 依橋面高度之空間特性不同，部分測點無減噪效果，因橋面高度低之 1F~2F 反射音較強，故採取橋面下如設計或安裝有吸音裝置後之減音量亦較大。
2. 如需有效減噪，須於高架橋面下設計或安裝較高吸音率材料，才能有減噪效果，採取吸音率 0.85 已可有效改善反射音之問題。
3. 在結構安全、荷重等因素無虞之前提下，如於高架橋面下設計或安裝（噴）吸音率材料，吸音率愈高，則減噪效果愈好。

(3) 改善後噪音影響程度

1. 於現況之下，各樓層多可符合標準。不論高架橋面之高低，再採取 2 種吸音材質並針對反射音做改善後，已有一定成效。
2. 於高架橋面下設計或安裝（噴）吸音率材料，吸音率愈高，各樓層減噪效果差異較大，低樓層橋下反射音減噪效果最好。

(4) 模擬值及實測值說明

在不同橋面高度將噪音計放置相同高度下進行測試，其橋面高度低者之噪音量大於橋面高度高者，此表示不同橋面高度對於反射音具有相當程度的影響。

5.3 不同道路結構（音源與高架垂直）反射音分析及改善功能評估

(1) 反射音強度

受到空間結構特性之影響，以道路音源端強度及橋面寬度之改變作分析，以交通營運管理對於反射音之增減量較具影響程度；高架橋結構體位於兩側平面道路之間；離受體點亦較遠，故將影響反射音強度。影響程度依序為(1)交通量增減 25%；(2)重車比增減 10%；(3)速限增減 10 km/h，惟對於各樓層反射音影響差異不大（約 1 分貝以內）。

(2) 減噪有效性

1. 距離橋緣越遠，越不受跨越橋結構體影響，減噪效果也依序遞減。
2. 在結構安全、荷重等因素無虞之前提下，如於高架橋面下設計或安裝（噴）吸音率材料，吸音率愈高，則減噪效果愈好；敏感點愈近，則減噪效果愈好。

(3) 改善後噪音影響程度

於現況之下，各樓層應可符合標準。不論距離之遠近，再採取 2 種吸音材質並針對反射音做改善後，已有一定成效。

(4) 模擬值及實測值說明

1. 距橋面邊緣不同距離之同一高度

由模擬值及實測值知，距橋面邊緣 30m 之測點，較不受跨越橋結構體之影響，故反射音減小，其音量小於 15m 處之測點。

2. 距橋面邊緣相同距離之不同高度

就同一處測點而言，噪音計 4.5m 高（約 2F 受音點）之 $L_{eq,1h}$ 測值及模擬值皆大於噪音計 1.5m 高（約 1F 受音點），各樓層隨高度不同，分別受到音源可能包含反射音、隔音牆頂繞射音及直接音等不同程度影響，故整體音量有隨樓層升高而增加之趨勢。

5.4 不同道路結構（音源與高架平行）反射音分析及改善功能評估

(1) 反射音強度

受到空間結構特性之影響，以道路音源端強度及橋面寬度之改變作分析，以交通營運管理對於反射音之增減量較具影響程度；高架橋結構體位於兩側平面道路之間；離受體點亦較遠，故將影響反射音強度。

(2) 減噪有效性

因受道路配置之幾何結構影響，不論採取何種程度吸音材，雖有改善效果，但減噪效果較為有效。

(3) 改善後噪音影響程度

1. 針對沿線路段之橋下反射音，改善後相同高度之音量相近。
2. 於高架橋面下設計或安裝（噴）吸音率材料，吸音率愈高，各樓層減噪效果差異較大，低樓層橋下反射音減噪效果最好。

(4) 模擬值及實測值說明

在相同距離之橋面邊緣，以噪音計放置不同高度進行測定，平面道路不限於此，故不同樓層高度也不受隔音牆之屏障影響，距離地表越近時，受汽機車影響越大。

六、建議

一般營運條件的變化對於反射音影響程度應不大，因而橋下反射音應與空間結構特性及敏感點之幾何位置較具關聯性（即噪音傳播途徑），依據不同之空間幾何特性，而有不同程度之噪音影響。故降低（高架橋—路面）複合型道路交通噪音對周圍環境影響的主要措施為改變音場空間分布特性，方法主要有四類，簡述如下：

1. 隔音牆（控制傳播途徑）：於路肩處設置隔音牆（或加高）以縮小與橋面板底部之距離，藉此避免漏音現象，並可採用頂端改良型的隔音牆，其比單純直立型隔音牆加高更有優勢，因其性價比更高，減音量更佳。
2. 橋下加裝吸音材料：高架橋下方道路上的交通噪音在通過板面底部反射時，被覆蓋在橋面板底上的吸音結構消耗掉大部分音能，從而使反射音減弱；同時高架橋上方的交通噪音在透射途中經過吸音結構時，也被吸收掉部分音能。
3. 搭配不同方式混合使用（噪音源減少+控制傳播途徑）：鋪 PAC 低噪音路面（噪音源減少）：輪胎噪音是交通噪音中不可忽視的噪音源，當車速大於 50 km/h ~60 km/h 時它起到舉足輕重的作用，又因輪胎噪音的頻率較高，夜間它是干擾人們睡眠的主要成因。
4. 其他--源頭控制（如表）：

吸音頻率	輕型車輛之輪胎路面噪音峰值頻率介於 800Hz 至 1200Hz 之間，故可選擇吸音係數峰值較高且吸音範圍在此類頻寬內之路面厚度以減輕行車噪音。
源頭噪音削減措施	目前車輛傳動系統噪音限值至少有緊縮 3~4 dB(A)的空間，可由相關單位（業者、研究機構...）、目的事業主管機關...，從車輛之噪音源削減這裡做起。
吸音頻率	因輕型車輛之輪胎路面噪音峰值頻率介於 800Hz 至 1200Hz 之間，故可選擇吸音係數峰值較高且吸音範圍在此類頻寬內之路面厚度以減輕行車噪音。
行車速率	當車速愈高則噪音愈大，每減少 10km/h 之車速，噪音約減少 3dB(A)。因此在噪音較敏感之地區（都會區）限制行車速率，可達到減噪之功效。
輪胎噪音	可選擇輪徑較小、胎面較窄、扁平比較高之輪胎、胎塊使用較軟之橡膠及環帶結構剛性較高之輪胎，以達到減噪效果。
車輛數目	相同時間內通過的車數目愈少，所產生的噪音分貝值也有明顯的降低，因此可在噪音較敏感之地區，設製匝道管制，控制單位時間內之車流量，以達到減輕行車噪音之功效。
車型要求	當接收點超過一定高度時，隔音牆已無減噪效果，因此在都會區中先以限制重型車輛之車速來降低整體交通噪音，會比僅增設隔音牆之方案有效。
土地使用	對土地使用分區改變的相關法令與「環境音量標準」及「陸上運輸系統噪音管制標準」間之因果關係應訂出規範，以便修訂都市化土地使用分區之參考依據，依據不同噪音管制區檢討現有土地使用及開發計畫。
吸音材料	委託專業單位進行隔（吸）音材料之研發，或修法採購符合高速公路交通噪音特性之特殊材料。
影響範圍	普查目前高速公路兩側未發展地區，依設計車流量評估噪音影響範圍劃定綠帶，劃定路權線外禁限建距離。

在針對高架道路橋面下聲音影響程度分析及改善功能評估上，須同時考量敏感區位、問題特性、噪音成因、改善目的、減音成效、改善策略、改善方法、改善範圍及經濟效益等，藉由問題背景狀況的瞭解及道路交通噪音評估模式，釐清問題之性並確立改善目標及對象，如此方可對問題做出正確之判斷與防制，進而提出經濟可行並且有效的改善措施，以提高工程效益。

參考文獻

- [1] 袁九毅，“高架橋—地面複合型道路交通噪音的分析”，甘肅環境研究與監測，2003 年 12 月，第 16 卷，第 4 期，297-306，中華人民共和國。
- [2] WSDOT (Washington State Department of Transportation), I-5 Ship Canal Bridge Noise Study, 2005.
- [3] FHWA(Federal Highway Administration), Measurement of Highway-Related Noise, US Department of Transportation, 1996.
- [4] Herman, L.A., Seshadri, S.R., Pinckney, E. Placement of sound-absorbing materials to control traffic noise reflections at a highway underpass. Transportation Research Record, 1670, 69-75, 1999.
- [5] ANSI (American National Standards Institute), ANSI S12.8- Methods for Determination of Insertion Loss of Outdoor Noise Barriers, 1998.
- [6] WSDOT (Washington state Department Transportation), <http://www.wsdot.wa.gov/Projects/I5/ShipCanalBridge/default.htm>, 2012.
- [7] Eastlake Neighborhood Plan, City of Seattle, <http://www.seattle.gov/neighborhoods/mpi/plans/elake/>, 1999.