

三鶯線捷運統包工程 噪音防制規設精進作為

Advancing Noise Control Planning and Design for San-Ying Line Rapid Transit System Design Build Project

關鍵字(Key Words)：統包工程 (Turnkey Project)、捷運噪音防制 (Prevention of Noise from MRT)、減振降噪 (Vibration and Noise Reduction)

新北市政府捷運工程局／局長／李政安 (Lee, Cheng-An) ❶

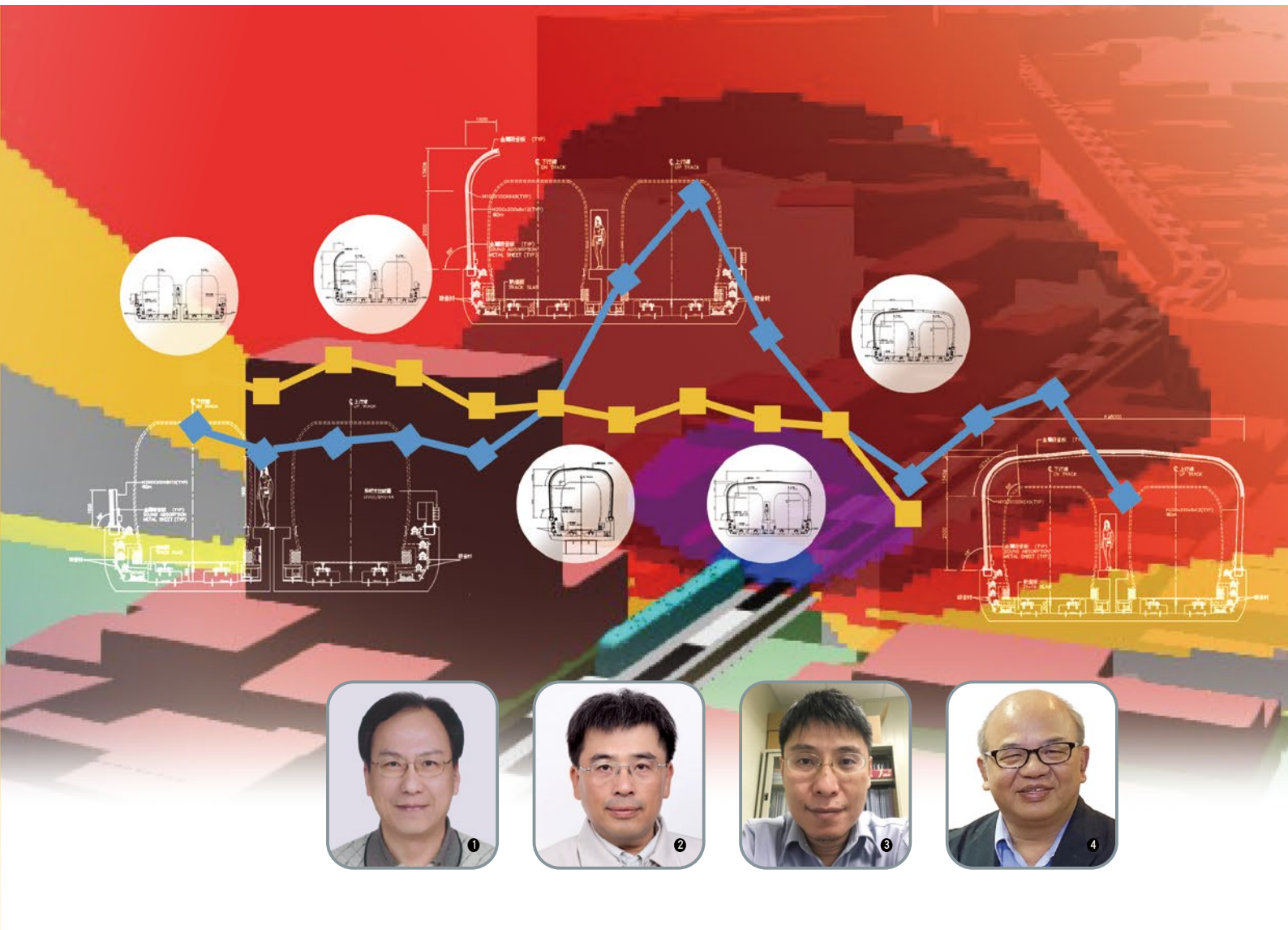
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫經理／謝國楠 (Hsieh, Kuo-Nan) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／盧建志 (Lu, Chien-Chih) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／主任工程師／王聰貴 (Wang, Tsung-Kuei) ❹

摘要

本文首先指出高架捷運系統噪音組成及特性，其次說明基設階段噪音影響評估及噪音防制規劃內容，以及統包工程契約需求書系統機電、軌道及土建噪音振動防制設計要求，最後述及統包商現階段土建隔吸音設施、轉彎段減振降噪設施及高架段橋下吸音板等設計成果。



Abstract

This paper firstly points out the noise composition and characteristics of the elevated MRT system, and then describes the noise impact assessment and noise prevention planning content in the basic design stage, as well as the design requirements for the mechanical and electrical, track and civil noise and vibration control of the system in the contract requirements of the turnkey project, and finally discusses the system that contractor's current design achievements of the civil construction sound insulation and sound absorption facilities, the vibration reduction and noise reduction facilities in the turning section, and the sound absorption panels under the viaduct.

壹、前言

三鶯線捷運系統計畫（以下簡稱三鶯線）路線全長 14.29 公里，從土城頂埔站開始，經土城、三峽、鶯歌到福德一路上的終點站止，設置 12 座高架車站及 1 座機廠。為提高捷運系統服務之可及性，三鶯線高架橋沿既有道路佈設，兩側為三鶯地區人口密集之住宅區，其間也有學校、醫療院所分布，皆為屬於捷運噪音影響之主要敏感受體。近年民眾環境保護意識抬頭與居住品質需求之提升，使得交通建設通車後常遭受沿線居民之陳情與抗爭，以往捷運系統試營運階段即有民眾反應影響生活安寧，捷運噪音防制已儼然成為不可忽視且為現今民眾相當關注的議題。為減輕沿線噪音振動影響，落實環評承諾及符合所屬管制標準，三鶯線於基設階段即整理分析國內高架捷運系統噪音主要成因及改善經驗，並進行沿線環境敏感受體及背景音量調查、噪音影響預測評估、減振降噪設施需求規劃等工作，據以整合訂定系統機電、軌道及土建之噪音振動防制設計內容後，納入三鶯線統包工程相關需求書。本文將就高架捷運系統噪音組成及特性分析、基設階段噪音防制規劃、統包工程契約噪音防制需求之落實與精進，以及目前統包商設計成果提出說明，供各界參考。

貳、高架捷運系統噪音組成及特性分析

自民國 85 年第一條木柵線啟用後，歷年來陸續通車之高架捷運系統有台北捷運淡水線圓山站至淡水站、高雄捷運橋頭火車站至世運站、台北捷運文湖線、機場捷運、台中捷運及台北捷運環狀線第一階段路線等，在試車及營運階段均有民眾因噪音影響提出陳情，涵蓋路線、車站、機廠及變電站等場域，主要成因綜合分析如下：

一、捷運交通噪音（參見圖 1）

捷運路線噪音對敏感受體之影響，依傳遞路徑可區分為直接音及間接音：

- (一) 直接音：主要電聯車下方車輪滾動與鋼軌摩擦所產生之輪軌音，動力機電設備產生之機電音、車頂上之空調系統產生之空調音；以及電聯車行經轉彎段鋼箱梁，輪軌摩擦振動經由基鈹傳至橋梁主體，進而引發橋梁各部位的振動，並輻射至橋體外部之結構音。
- (二) 間接音：主要有輪軌音、機電音等直接音衍生之軌道區反射音、因隔音牆阻隔後之繞射音、道路交通噪音因高架橋結構衍生之橋下反射音。

路線噪音對於鄰近捷運系統之大樓影響，主要以直接音及其衍生之軌道區反射音傳至受體端，而為避免長距離全罩式隔音牆影響消防逃生安全，高架橋一般採直立式、雙弧型隔音牆設置；低樓層及中間樓層可藉隔音牆阻隔而產生「聲音音影區」的減音效果，高樓層受體除所受隔音牆遮蔽效果小且輪軌音之反射音未妥為處理時將加劇高樓層受體之噪音外，高樓層受體原不易受地面交通或人為噪音所影響，卻因背景音量較低而致捷運行駛新增噪音可明顯察覺，進而造成民眾較難感受隔音牆的成效。

依據現有營運中之高架捷運系統噪音量測結果顯示，電聯車行駛轉彎段時，因輪軌間的摩擦音及車輪滾動黏滑運動易產生擾人的尖銳噪音（Squeal Noise），尤其小轉彎半徑更為嚴重，其主要頻率及噪音增量與車速、轉彎半徑有關；結構音量與橋梁振動情形有關，振動量愈大，則結構音量愈高，振動的大小及頻率則與車速有關。

橋下反射音因捷運高架結構（含車站）建置於既有道路上方，與鄰近兩側建物形成近似密閉空間，其下方汽機車引擎和排氣管產生的噪音，會在道路、高架橋和建物不吸音之表面間來回反射，不易消散，進而影響道路兩側之敏感受體。

二、車站營運噪音

主要噪音來自水環設備(包含冰水主機、冷

卻水塔、進排風機等)、電聯車進出站、廣播設備、電扶梯等運轉噪音以及站體之反射音（參見圖2）。

三、機廠及變電站運轉噪音

機廠主要噪音來自維修工廠作業噪音、電聯車進出廠區之交通噪音，其中小轉彎進出廠線半徑路段之輪軌摩擦噪音最大；變電站則以變壓器低頻噪音影響為主。

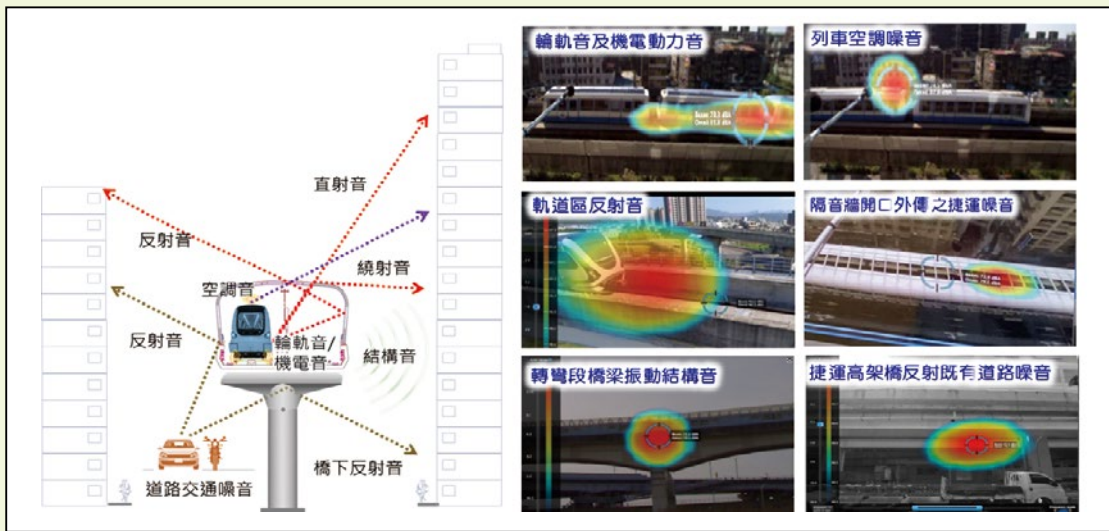


圖1 高架捷運系統營運路線主要噪音來源

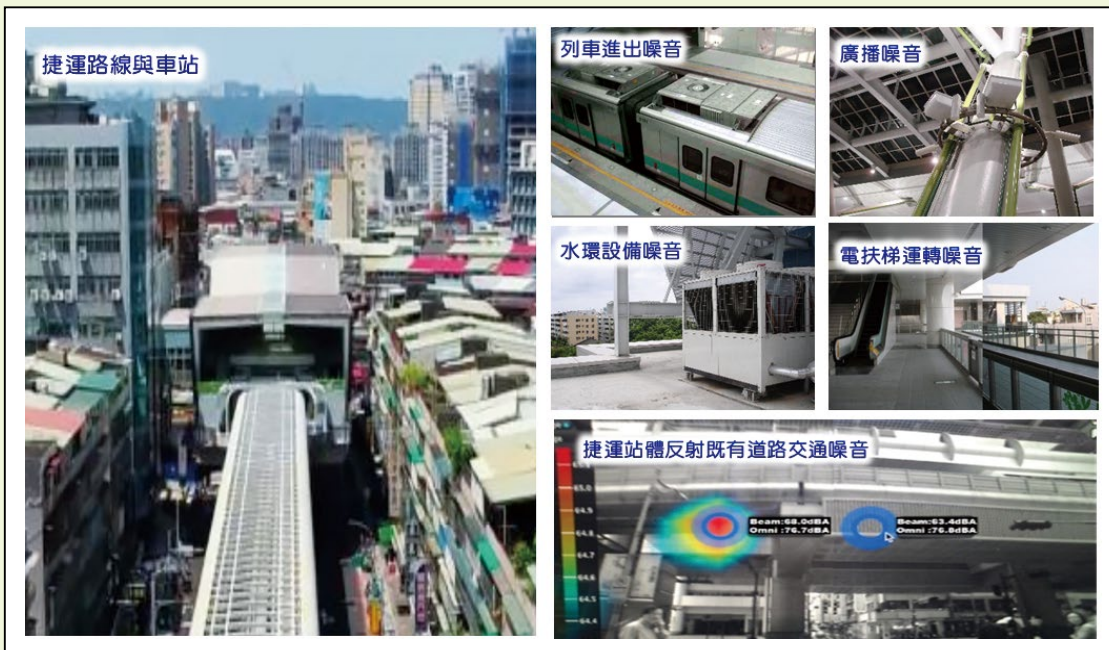


圖2 高架捷運系統車站營運噪音來源

參、基設階段噪音防治規劃

一、法規標準及減噪設計期望值

三鶯線兩側鄰近之敏感受體以第三類噪音管制區居多，參照「噪音管制法」、「陸上運輸系統噪音管制標準」以及環評書件防音承諾，三鶯線捷運交通噪音量須符合『陸上運輸系統管制標準』第八條規定(參見表1)，在第三、四類噪音管制區大眾捷運系統交通噪音管制標準，“小時均能音量”(Leq,1h)於『早』、『晚』時段70dB(A)，『日間』時段75dB(A)，『夜間』時段65dB(A)；“平均最大音量”(Lmax,mean,1h) 85dB(A)。

考量以往類似高架捷運系統完工通車後，民眾噪音陳情訴求、現場噪音量測數據，以及三鶯線未來沿線社經發展、設備系統老化與營運階段改善施工不易等因素，本規劃減噪設計期望值“小時均能音量”及“平均最大音量”均由第三類管制區標準再加嚴5dB，即“小時均能音

量”『早』、『晚』時段不超出65dB(A)，『日間』時段不超出70dB(A)，『夜間』時段不超出60dB(A)，“平均最大音量”不超出80dB(A)。

二、三鶯線捷運噪音影響來源及預測 [1]

三鶯線捷運交通噪音影響評估方法採用環保署認可之德國Schall103軌道交通噪音計算指引，模擬軟體為CadnaA，以機電系統車輛外部音量驗收條件下之最大音量作為預測模式音源輸入，並依各路段地形數值圖、軌道型式、線形、營運班次、車速及土建等設計成果，建置路線兩側150公尺以內含預測點之三維聲場模型(參見表2及圖3)。針對三鶯線站間敏感受體分布，選擇其中具代表性之76幢不同高度之建物(1F~25F，以集合式公寓、住宅大樓為主)，設置共513處樓層預測點，計算以捷運通車後各時段“小時均能音量”約介於44.1~73.0 dB(A)，與「陸上運輸系統噪音管制標準」比較，初估超出減噪設計期望值(第二類管制區標準)共213樓

表1 大眾捷運系統交通噪音管制標準

音量單位：dB(A)

管制區	時段	小時均能音量(Leq,1h)			平均最大音量(Lmax,mean,1h)
		早晚	日間	夜間	
第一類或第二類管制區內		65	70	60	80
第三類或第四類管制區內		70	75	65	85

資料來源：行政院環保署99.1.21環署空字第0990003459D號令之陸上運輸系統噪音管制標準。

表2 噪音預測模式輸入參數摘要

輸入參數	說明
路線	路線平縱圖、軌道及橋梁結構設計圖
電聯車長度	45 m/2節
最大車速	直線段：70公里/小時；道岔段：40公里/小時 轉彎段：R≤300m 30公里/小時 300m<R≤500m 45公里/小時
捷運系統外部音量	電聯車以70km/h行駛於版式軌道直線段橋梁(有側牆及中央步道) 距軌道中心線水平7.5公尺軌道面上1.5公尺處之最大音量78 dB(A)
單向班次	『日間』時段30班次/小時、『夜間』時段15班次/小時
軌道形式	版式軌道，音量 +5.0 dB
結構形式	高架段，音量 +3.0 dB
特殊軌段	曲率半徑300~500m，音量 +5.0 dB
	曲率半徑小於300m，音量 +8.0 dB
	道岔段音量 +5.0 dB
環境物件	地形數值圖(含建物、鐵路、街廓、等高線、高程點等圖層)

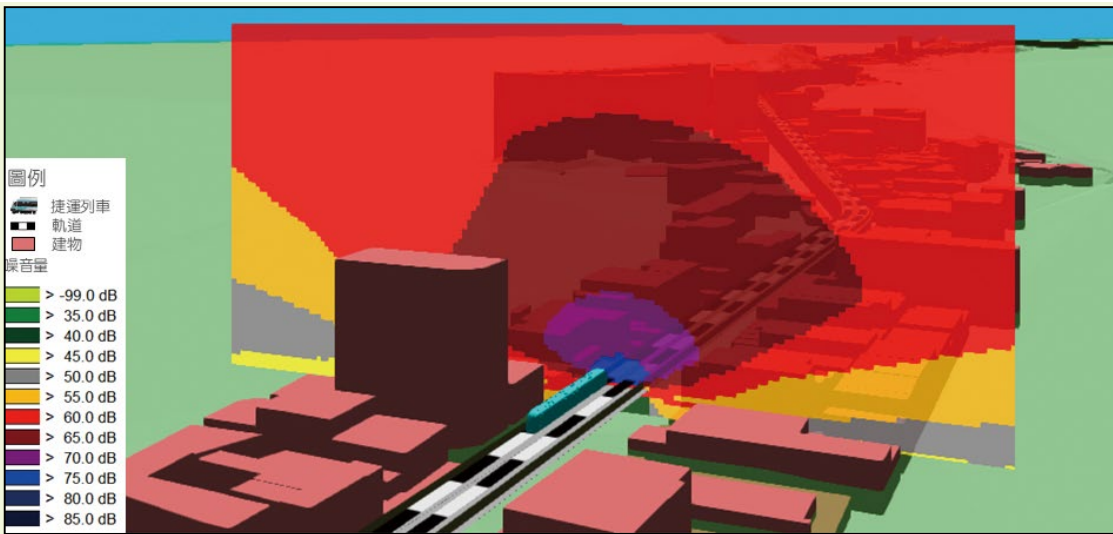


圖3 三鶯線捷運噪音預測三維聲場模型

層，佔比約為42%，超出第三類管制區標準共83樓層，佔比約為16% (參見表3)。

除捷運電聯車行駛噪音影響外，當電聯車進行慢速行駛(如進出站、轉彎段等)時，於「聲音明亮區」的高樓層可能感受到車頂上空調噪音，尤其夜間時段背景音量較低時 (參見圖4)，也會有比較大的差異感受。

三鶯線部分路段高架橋下鄰近兩側平行建築物，捷運高架完成與建物間形成近似封閉之空間，在站體或橋下方之道路車輛行駛之交通噪音，在空間下不吸音的橋梁結構表面來回多次反射，將提高臨街整體音量，且低頻音在此空間有迴盪、不易消散、殘響時間延長、語言清晰度降低等現象，對於兩側臨街居民有較明顯之生活干擾，先前國內外高架運輸系統有類似陳情噪音改善案發生 (參見圖4)。

表3 三鶯線捷運交通噪音預測結果統計

站間	敏感受體預測點			超標樓層數(百分比)		
	距離(m)	樓高	樓層數	小時均能音量dB(A)[1]	減噪設計期望值>60dB(A) [2]	第三類管制區法規值65dB(A) [2]
LB01~LB02	5~35	1~16	87	48.7~72.4	45(52%)	25(29%)
LB02~LB03	5~21	1~12	36	47.7~69.0	14(39%)	9(25%)
LB03~LB04	11~32	1~12	22	50.8~70.9	9(41%)	2(9%)
LB04~LB05	28~91	1~2	3	53.0~55.3	0(0%)	0(0%)
LB05~LB06	16~145	1~14	34	50.7~68.5	12(35%)	7(21%)
LB06~LB07	22~59	1~20	95	51.3~66.6	57(60%)	4(4%)
LB07~LB08	12~75	1~25	78	50.6~70.4	47(60%)	22(28%)
LB08~LB09	7~55	1~12	28	44.1~67.8	6(21%)	4(14%)
LB09~LB10	20~42	1~7	17	49.2~65.8	2(12%)	0(0%)
LB10~LB11	7~46	1~12	51	46.8~63.9	4(8%)	0(0%)
LB11~LB12	6~58	1~8	62	46.9~72.9	17(27%)	10(16%)
LB12~終點	12~58	1~6	19	49.8~73.0	5(26%)	4(21%)
合計	5~145	1~25	513	44.1~73.0	213(42%)	83(16%)

註[1]: 表中數值為『夜間』時段小時均能音量，為評定三鶯線捷運交通噪音傳至沿線敏感受體是否符合法規標準及減噪設計期望值之關鍵。

[2]: 超出法規標準或減噪設計期望值之樓層數，括號內為超標樓層數佔站間樓層數之百分比。

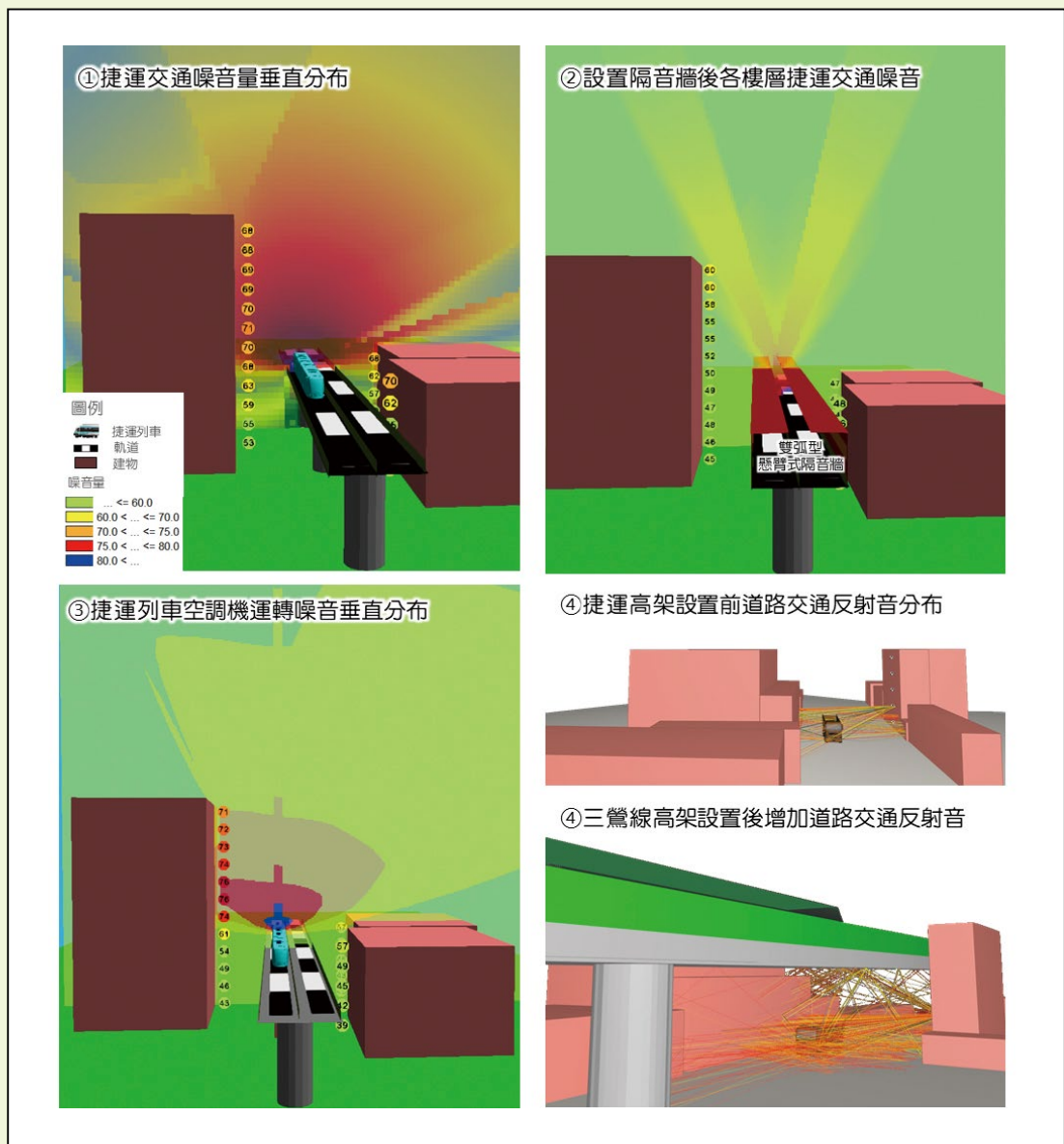


圖4 三鶯線捷運噪音影響來源及預測

三、土建隔吸音設施需求分析

(一) 捷運系統隔吸音設施種類

捷運系統土建減噪設施包括隔音牆及軌道區吸音材等，隔音牆為由隔音材或其與吸音材組成之結構，用來遮斷直接音，增加繞射音之傳播路徑。當捷運音源與敏感受體之間有不同高度隔音牆設置時，會使用聲音傳播路徑加大，插入損失IL (Insertion Loss) 愈高，隔音牆

之減音效果也會愈好。因此，隔音牆成為最普遍採行之減噪措施，惟隔音牆減音功效有其極限，太高或全罩式之隔音牆亦影響都市景觀、同時考量乘客舒適性及消防安全，近年來在軌道區胸牆，側牆及道床側鋪設軌道區吸音材也逐漸被應用。

捷運用隔音牆依板材材質大致可分為吸音型和反射型(非吸音)兩種，吸音型以插入礦物棉等吸音材之沖孔金屬製板材最具代表；反射型

則以壓克板、聚碳酸酯板等單純構造透明板材為代表，為避免影響車廂內乘客視覺，在電聯車車窗可看出去之視域範圍，部分採用上述透明材質外，其他部分則大多採吸音材之沖孔金屬製板材配置。

依隔音牆設置型式可分不同高度直立式隔音牆（約 $\leq 3m$ ）、懸臂式隔音牆、具有不同開口寬度之雙弧型隔音牆、懸臂式隔音牆頂上加吸音圓筒等種類（參見圖5）。

（二）各型式隔吸音設施減噪成效評估

依三鶯線捷運噪音影響預測結果及減噪目標值，土建之減噪設施包括隔音牆、軌道吸音材（胸牆、月台及步道之側牆）及橋下之吸音材等。以關鍵時段之“夜間”尖峰小時均能音量，評估九種不同高度及型式之隔音牆設置前後是否符合所屬管制標準及設計期望值，預估設置後減音成效評估參見表4。

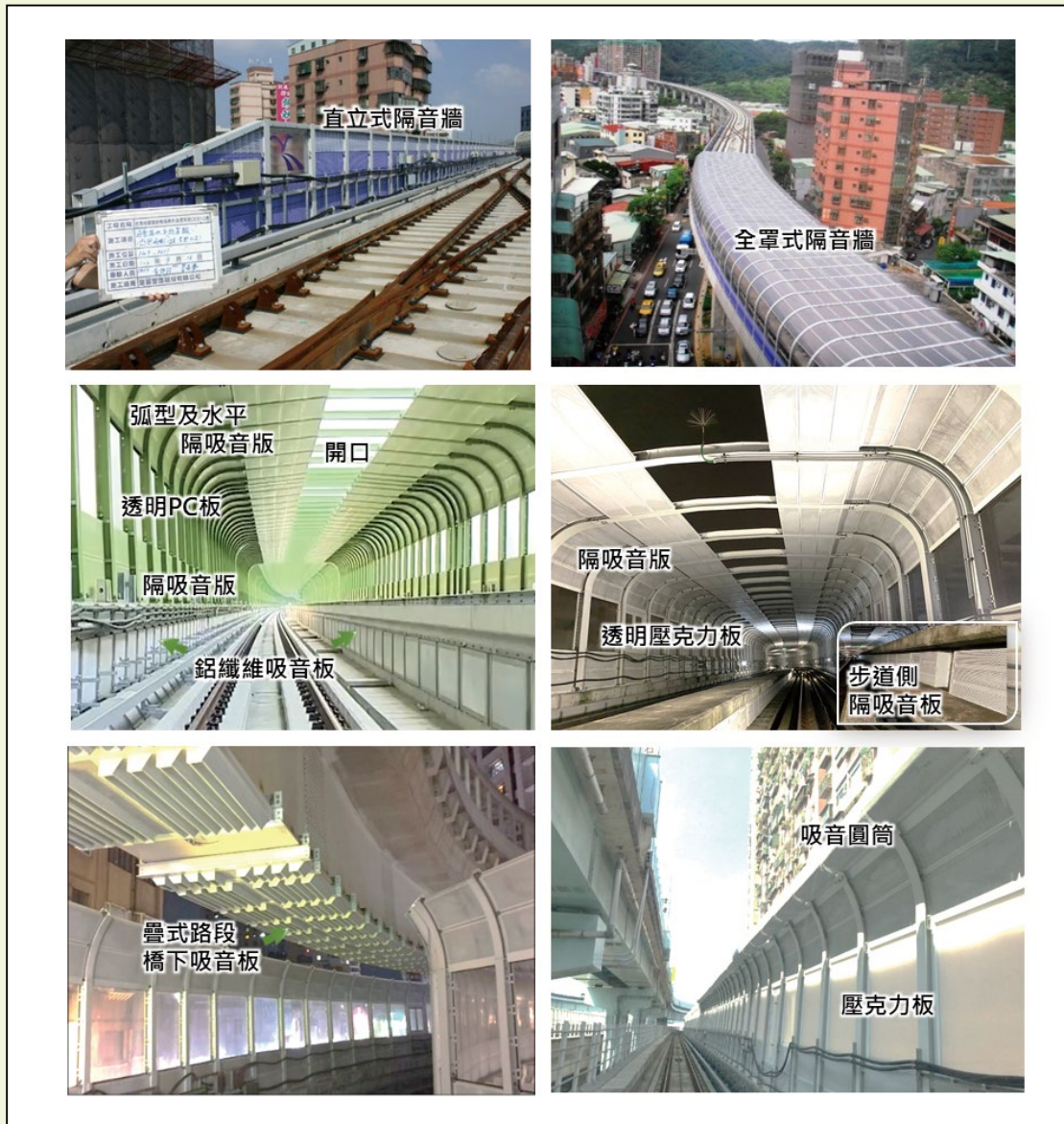


圖5 高架捷運系統隔吸音設施種類及型式

表4 各型式隔吸音設施減噪成效評估

站間	設1m高直立式隔音牆			設2m高直立式隔音牆			設2.5m高直立式隔音牆		
	小時均能音量 [1]	設計期望值 >60dB(A) [2]	法規限值 >65dB(A) [2]	小時均能音量	設計期望值 >60dB(A)	法規限值 >65dB(A)	小時均能音量	設計期望值 >60dB(A)	法規限值 >65dB(A)
LB01~LB02	47.1~72.0	33(38%)	17(20%)	45.7~67.8	26(30%)	11(13%)	44.7~67.3	24(28%)	7(8%)
LB02~LB03	45.9~68.3	11(31%)	5(14%)	44.6~67.8	8(22%)	4(11%)	44.0~67.3	7(19%)	1(3%)
LB03~LB04	48.5~67.3	4(18%)	1(5%)	46.7~64.0	2(9%)	0(0%)	45.9~62.0	2(9%)	0(0%)
LB04~LB05	49.8~50.8	0(0%)	0(0%)	47.0~48.0	0(0%)	0(0%)	45.9~47.2	0(0%)	0(0%)
LB05~LB06	47.0~67.9	10(29%)	6(18%)	44.2~66.7	8(24%)	2(6%)	43.1~66.0	8(24%)	0(0%)
LB06~LB07	47.6~66.1	45(47%)	0(0%)	45.1~65.3	29(31%)	0(0%)	44.1~64.2	22(23%)	0(0%)
LB07~LB08	47.7~70.1	40(51%)	15(19%)	45.5~69.0	34(44%)	14(18%)	44.6~68.5	31(40%)	11(14%)
LB08~LB09	42.9~67.2	5(18%)	2(7%)	41.9~65.1	4(14%)	0(0%)	41.5~64.7	4(14%)	0(0%)
LB09~LB10	46.1~61.6	1(6%)	0(0%)	44.3~56.0	0(0%)	0(0%)	43.5~54.5	0(0%)	0(0%)
LB10~LB11	44.6~62.2	1(2%)	0(0%)	43.3~59.9	0(0%)	0(0%)	42.7~58.5	0(0%)	0(0%)
LB11~LB12	44.2~66.4	6(14%)	0(0%)	42.5~62.0	1(2%)	0(0%)	41.9~59.1	0(0%)	0(0%)
LB12~終點	46.5~69.9	4(21%)	2(11%)	44.2~66.4	2(11%)	0(0%)	43.2~65.1	1(5%)	0(0%)
合計	42.9~72	160(31%)	48(9%)	41.9~69.0	114(22%)	31(6%)	41.5~68.5	99(19%)	19(4%)
站間	設單側懸臂2m隔音牆或雙弧隔音牆頂上開口6m			設單側懸臂3m隔音牆或雙弧隔音牆頂上開口4m			設單側懸臂4m隔音牆或雙弧隔音牆頂上開口2m		
	小時均能音量	設計期望值 >60dB(A)	法規限值 >65dB(A)	小時均能音量	設計期望值 >60dB(A)	法規限值 >65dB(A)	小時均能音量	設計期望值 >60dB(A)	法規限值 >65dB(A)
LB01~LB02	42.1~64.3	9(10%)	0(0%)	41.3~62.8	4(5%)	0(0%)	40.8~58.6	0(0%)	0(0%)
LB02~LB03	42.2~64.3	1(3%)	0(0%)	41.7~59.0	0(0%)	0(0%)	41.3~55.2	0(0%)	0(0%)
LB03~LB04	43.0~54.5	0(0%)	0(0%)	42.2~52.2	0(0%)	0(0%)	41.6~51.1	0(0%)	0(0%)
LB04~LB05	42.4~44.9	0(0%)	0(0%)	41.4~44.3	0(0%)	0(0%)	40.7~44.0	0(0%)	0(0%)
LB05~LB06	39.6~63.9	6(18%)	0(0%)	38.6~63.3	5(15%)	0(0%)	37.9~62.6	4(12%)	0(0%)
LB06~LB07	41.3~62.2	4(4%)	0(0%)	40.6~58.2	0(0%)	0(0%)	40.1~55.0	0(0%)	0(0%)
LB07~LB08	42.1~65.8	15(19%)	0(0%)	41.3~64.7	6(8%)	0(0%)	40.7~62.3	3(4%)	0(0%)
LB08~LB09	39.9~63.3	2(7%)	0(0%)	39.4~63.0	2(7%)	0(0%)	39.0~62.8	1(4%)	0(0%)
LB09~LB10	41.5~50.5	0(0%)	0(0%)	41.0~49.6	0(0%)	0(0%)	40.7~48.9	0(0%)	0(0%)
LB10~LB11	40.9~52.6	0(0%)	0(0%)	40.4~50.9	0(0%)	0(0%)	40.1~49.9	0(0%)	0(0%)
LB11~LB12	39.7~54.1	0(0%)	0(0%)	39.0~53.2	0(0%)	0(0%)	38.4~52.6	0(0%)	0(0%)
LB12~終點	40.3~56.4	0(0%)	0(0%)	39.6~54.4	0(0%)	0(0%)	39.0~53.1	0(0%)	0(0%)
合計	39.6~65.8	37(7%)	0(0%)	38.6~64.7	17(3%)	0(0%)	37.9~62.8	8(2%)	0(0%)

註[1]: 表中數值為『夜間』時段小時均能音量, 為評定三鶯線捷運交通噪音傳至沿線敏感受體是否符合法規標準及減噪設計期望值之關鍵。

[2]: 超出法規標準或減噪設計期望值之樓層數, 括號內為超標樓層數佔站間樓層數之百分比。

肆、噪音防制需求之契約落實與精進

三鶯線噪音防制契約要求，分列於業主需求書(一) [2] 6.軌道工程需求、10.2環境保護，以及系統機電(電聯車)規範[3]2.5噪音及其他相關規定。

三鶯線為統包工程，有別於土建機電分包方式，對於捷運系統噪音振動防制，統包商應整合機電(含車輛系統)、軌道及土建之減振降噪設計至能符合需求書要求為止，整理其中精進作為說明如下：

一、噪音振動之設計、審查及驗收

(一) 噪音振動防制之設計、審查

統包商所提供之捷運系統，包括車輛、軌道、車站、機廠、變電站及其他相關設施之設計，均應考慮有關捷運系統於營運期間所產生之噪音與振動防制，應遵照減振降噪要求以及『環評書件』噪音與振動防制承諾事項，並參照基設成果、業主指示及民眾陳情，對相關影響區段進行背景音量與振動量量測，影響預測評估及降噪減振設計，並提送「整體噪音及振動防制計畫書」核可後，再據以進行細部設計。

(二) 噪音防制成果完工驗收

為確認三鶯線完工通車後是否符合需求書規定之噪音防制標準，統包商須提送「整體噪音及振動防制設施驗收計畫書」，於審核同意後進行現地噪音量測，沿線敏感受體音量驗收位置，噪音計須設於臨軌道之建築物，且在軌道踏面上方，不為胸牆或其他結構物阻隔視線之最近樓層牆面線向外1公尺，高於樓板延伸線1.5公尺處。沿捷運路線以上下行線，間隔約100公尺軌道進行米選定1處量測點，上行線與

下行線之量測點以錯開50公尺為原則。

隔音牆及高架橋梁下掛附吸音材設置路段，為確保其吸音材料及施作方式在裝設完成後具有減音功效且符合噪音防制標準，在施工前須進行材料取樣及送實驗室檢測外，並於進場組裝完成後另需進行現地聲學性能檢測驗收，以確保裝置之成效。

二、顧及民意及環保需求，加嚴設計標準

(一) 一般路段

依所屬管制區各時段之“小時均能音量”及“平均最大音量”下修加嚴5dB，作為影響評估減振降噪設施之設計及驗收標準（詳見參、一、節說明）。鑒於捷運系統屬於三鶯地區新增噪音源，為降低噪音增量之影響，統包契約規定捷運系統營運噪音均能音量，與背景音量能量相加之合成音量不得大於背景音量5dB。

(二) 特殊敏感路段

電聯車通過醫療院所、學校及其他特殊敏感路段(如教育研究院、美術館、藝術村等)之“平均最大音量”不超出75dB(A)。

三、先於音源端進行減量，次於傳遞路徑進行防音

契約要求統包商減振降噪設計，優先於系統機電(車輛)及軌道工程進行源頭噪音減量，後輔以土建隔(吸)音結構於傳遞路徑進行吸音阻隔。

(一) 車輛減噪設計要求

電聯車為捷運系統營運噪音之主要來源，從源頭減量降低沿線污染，本工程業主需求書分別規定電聯車在靜止時，與在AW0載重下之

表5 捷運車輛噪音限值比較

路線		三鶯線	環狀線	台中捷運綠線	桃園機場捷運
車輛外部噪音標準	行進	車長=40m 78 [1] 108.2 [1] (LAmax,V=70 ,L7.5H=1.5,3.8) [2]	車長= 68m 75 117.8 [76.8] (LAmax,V=70,L=15,H=0)	車長=44m 75 114.2 (LAmax,V=75 ,L=15,H=1.5)	車長：直達102m,普通車81m 83 122.5 (無邊牆無隔音牆) (LAmax,V=90,L=15,H=1.5)
	靜止	68 (LAeq,V=0,L7.5,H=1.5,3.8)	70 (V=0,L=5,H=0)	70 (V=0,L=5,H=1.5)	69 (V=0,L=15,H=1.5)
車輛內部噪音標準	行進	75 (LAeq,V=70,L=0,H=1.5)	76(83) (V=70,L=0,H=1.4)	74 (V=70)	74(80) (V=90,L=0,H=1.5)
	靜止	67 (LAeq,V=0,L=0,H=1.5)	71(72) (V=0,L=0,H=1.4)	71 (V=0)	72(73) (V=0,L=0,H=1.5)
沿線敏感受體噪音設計標準		<ul style="list-style-type: none"> 不超出第二類標準（沿線第一排建物現況多屬第三類標準） 特殊路段 Lmax,mean<75 增量< 5 	<ul style="list-style-type: none"> 符合第三類標準 增量<5 or 10 	<ul style="list-style-type: none"> 符合第二類標準 增量<5 or 10 	<ul style="list-style-type: none"> 符合第二，三類標準 Lmax,mean<75 or <80 增量<5 or 10
<p>註：1. 在車輛內外部於行進及靜止所列之數值係指在註2所述車速及檢測位置之音壓位準，方框內數值為聲功率。 2. V=車速(km/hr)、L=距軌道中心線水平距離(m)、H=距軌道踏面高度(m)、V=車速(km/hr)、“() ”表示為隧道內，[] 依機電承商提出營運速度80km/hr之電聯車音量76.8dB(A)為隔音牆設計之音源音量。 3. 第二類標準：小時均能音量(L_{eq},1h) 『早』時段、『晚』時段 65dB(A)、 『日間』時段 70dB(A)、 『夜間』時段 60dB(A)，平均最大音量(L_{max, mean},1h) 80dB(A)；第三類標準：為第二類之各時段小時均能音量及平均最大音量加 5dB。 4. 三鶯線車輛噪音標準係依業主需求書(二)機電系統功能規範第 2 章2.5節。 5. 三鶯線沿線敏感受體噪音設計標準係依業主需求書(一)第10.2.1 (1)項。</p>					

電聯車、電聯車所有輔助系統(包含空調設備)穩定運轉下行駛時(速度70km/hr)，需進行車內噪音與車外噪音之測試(參見表5)。

彙整國內高架捷運系統車輛車外噪音限值及量測條件(參見表5)，就聲功率比較而言，可見三鶯線行駛時車外噪音限值明顯低於其他捷運系統。檢驗方式，於車外噪音量測位置除離車輛中心線水平距離7.5m軌面踏面上方1.5 m設置檢測點外，另新增3.8m高量測位置之檢測點，用以規範車頂空調系統的噪音量，確保降低電聯車怠速或車站停止時對鄰近受體之影響。

三鶯線沿線曲率半徑小於300m轉彎段，共計30處(含機廠進出線1處)，為減低電聯車行經此處所產生之尖銳噪音(Squeal noise)，在業主需求書已要求車輪之設計應具備減低噪音量功能之減噪輪。

(二) 軌道減振降噪要求

於工程契約要求軌道主線之道岔採用可動岔心，針對小轉彎半徑路段在營運期間之車內噪音可能過大問題須提出評估分析，並依分析結果將相關吸音設施納入細部設計中採用。

(三) 土建結構隔(吸)音設施設置需求

在車輛及軌道已符合業主需求書規定，沿線仍有敏感受體位於超出標準路段，統包商須提出隔音牆及軌道區(如胸牆、步道側牆及車站月台下方牆面)吸音材設置評估報告，包括設置里程、長度及型式，經核可後據以進行細部設計。

評估結果未超標或無敏感受體之路段，為因應未來交通成長及都市發展而衍生可能設置隔音牆之需要，全線皆預留設置雙弧型隔音牆(含胸牆)所需之預埋螺栓，以為後續增設隔音牆之預備需求。

表6 高架捷運系統減噪設施種類、驗收項目及標準比較

路線	三鶯線	環狀線	台中捷運綠線	桃園機場捷運
減噪設施	<ul style="list-style-type: none"> • 隔吸音板 • 軌道區吸音板 • 橋下吸音板 	<ul style="list-style-type: none"> • 壓克力隔音板 • 金屬隔吸音板 	<ul style="list-style-type: none"> • PC隔音板 • 金屬隔吸音板 • 軌道區吸音板 	<ul style="list-style-type: none"> • PC隔音板 • 金屬隔吸音板
驗收項目及標準	<ul style="list-style-type: none"> • 材料功能 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 無吸音隔音板 隔音量STC>30dB ◆ 金屬隔吸音板 隔音量STC>35dB 吸音係數NRC>0.85 ◆ 橋下吸音板 吸音係數>0.85 • 樣品牆檢測 • 現場隔吸音檢測 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 無吸音隔音板 DL_{s1}值>25dB ◆ 金屬隔吸音板 DL_{s1}值>35dB 吸音係數>0.85 • 檢測點量測 符合設計標準 	<ul style="list-style-type: none"> • 材料功能 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 壓克力板 隔音量STC>30dB ◆ 金屬隔吸音板 隔音量STC>35dB 吸音係數NRC>0.85 • 檢測點量測 符合法規標準 	<ul style="list-style-type: none"> • 材料功能 <ul style="list-style-type: none"> ◆ PC隔音板 隔音量STC>25dB ◆ 金屬隔吸音板 隔音量STC>35dB 吸音係數NRC>0.85 • 樣品牆檢測 • 現場隔吸音檢測 (S.I. index, dB) <ul style="list-style-type: none"> - 315Hz >18 - 400-500Hz >21 - 630-4kHz >25 	<ul style="list-style-type: none"> • 材料功能 <ul style="list-style-type: none"> ◆ PC隔音板 隔音量STC>25dB ◆ 金屬隔吸音板 隔音量STC>35dB 吸音係數NRC>0.85 • 現場隔吸音量檢測 (S.I. index, dB) <ul style="list-style-type: none"> - 315Hz >18 - 400-500Hz >21 - 630-4kHz >25

三鶯線隔(吸)音設施種類、驗收項目及標準，以及與其他高架捷運系統之比較如表6。

四、捷運高架橋下反射音處理需求

三鶯線高架橋大多沿既有道路佈設，兩側多為三鶯地區人口密集之住宅區，因此業主需求書相關規定中，已要求統包商針對路線高架段及車站設置後增加之反射音問題及因應對策，需蒐集國內外類似案例處理經驗，並於分析捷運設施結構體佈設於平面道路時，針對各型車輛（大客車、大貨車、小客車及機車）行經高架橋下所產生反射音影響及減音設計，提出「三鶯線捷運高架橋梁下結構附掛吸音材評估報告」，經審核同意後據以進行細部設計。

伍、統包商現階段執行與設計成果

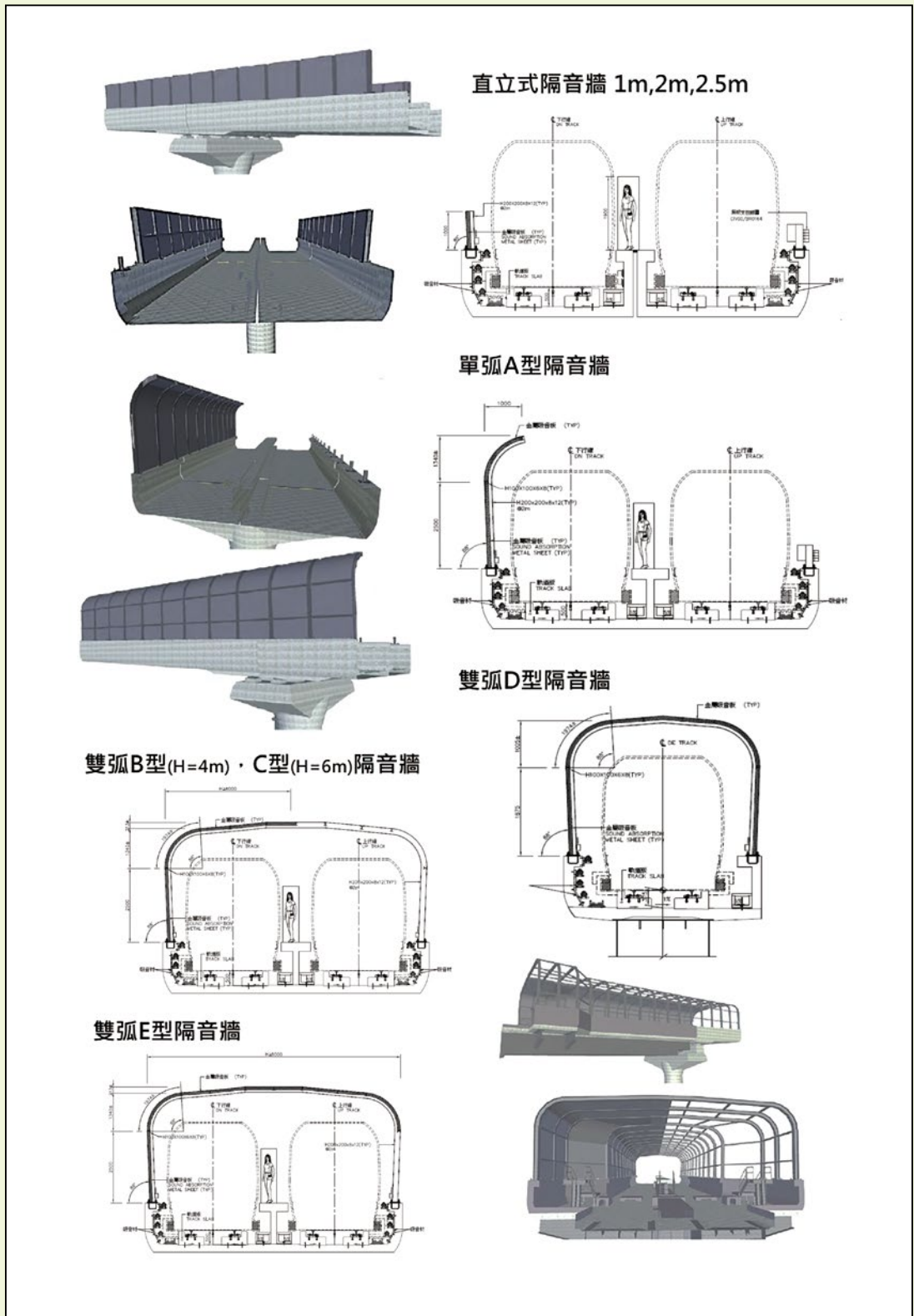
在實際執行面，本統包工程減振降噪設計工作分為設計階段前期“預測評估”及“設計評

估”兩階段。設計階段前期“預測評估”，就三鶯線營運可能產生影響之區段進行噪音模擬分析及減音設施規劃，作成評估報告提送審核後，再進入“設計評估”階段，針對超標路段完成減振降噪設施設計圖說，資料包括相關材料規格、驗收計畫、施工規範、營運及維修需求等，並再次檢核設計成果是否滿足需求書要求，若有不足部分，仍須修正至符合標準為止。

為確認統包商之設計與施工是否符合契約之要求，統包商依據業主需求書，詳列查核表追蹤管控，並與統包商內部各子系統單位進行討論，確認各項目由所屬何單位辦理及提出辦理情形，每月至少召開1次噪音及振動協調會議，由專管顧問邀請捷運局、IV&V、監造單位及統包商與會進行檢討，並由統包商說明設計成果及進度。

一、土建結構隔吸音設施設計

參照「三鶯線捷運系統計畫統包工程沿線



資料來源：參考文獻[4]、[5]

圖6 三鶯線隔吸音設施型式

隔音牆及軌道區吸音材評估報告」[4]、[5]，針對未能符合業主需求書要求之路段進行隔吸音設施（隔音牆及軌道區（胸牆及步道側牆）貼附吸音材）設計，隔音牆設置型式包括直立式隔音牆（1m、2m、2.5m）、單弧懸臂式隔音牆A型，以及雙弧懸臂式隔音牆之B型、C型、D型、E型（參見圖6）等。

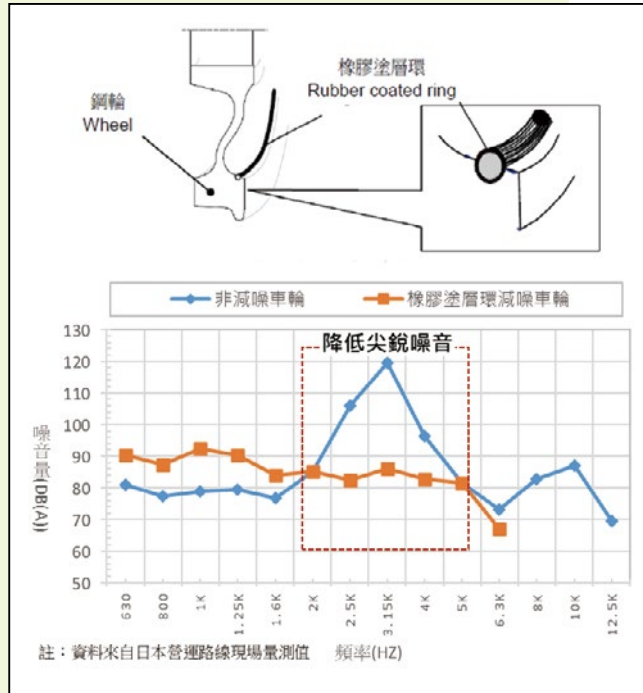
二、轉彎段減振降噪設計

為降低電聯車行駛於轉彎段之尖銳噪音影響，目前統包商在車輛、土建結構噪音防制設施說明如下：

（一）減振降噪車輪 [6]

電聯車採用橡膠塗層環的實心減噪輪，於輪輞(rim)與輪腹(web)鄰接區域輪輞兩側加裝的阻尼環，用以減緩列車通過轉彎段時，輪輞橫向振動所產生之高頻尖銳噪音。在日本營運路線部分車輛已安裝橡膠塗層環減噪車輪，且與其他車輛的非減噪車輪，在曲率半徑160m軌道距內軌水平1.2m高0.5m所測得噪音量，在1/3倍頻2500~4000Hz頻帶減音量較為顯著，減音量約介於14~33.3dB（參見圖7）。

依據「車輪減噪功能測試報告」於實驗室檢測結果，顯示三鶯線車輪無減振環與附減振環之「有效感知噪音位準」（Effective Perceived



資料來源：參考文獻[6]

圖7 三鶯線環式減噪輪營運路線減音成效

Noise Level, EPNL) 減音量達17.9dB，符合需求書至少5dB要求（參見表7及圖8）。

（二）輪緣潤滑器 [7]

三鶯線車輛選用固態輪緣潤滑裝置，當列車行經小轉彎半徑路段時，列車作動潤滑裝置以固態潤滑劑塗抹於鋼輪，可抑制轉彎段外側車輪輪緣與鋼軌摩擦而產生輪緣噪音（Flanging noise），依據設計文件，可有效降低800~6000Hz 頻帶之輪軌音量（參見圖9）。

表7 三鶯線減噪輪有效感知噪音位準(EPNL)測試結果

量測角度	無減噪環		有減噪環		有無減噪環減音量
	量測值	平均值	量測值	平均值	
0	117.1	116.8	98.8	99.0	17.9
90	117.0		98.8		
180	117.4		99.1		
270	115.7		99.1		

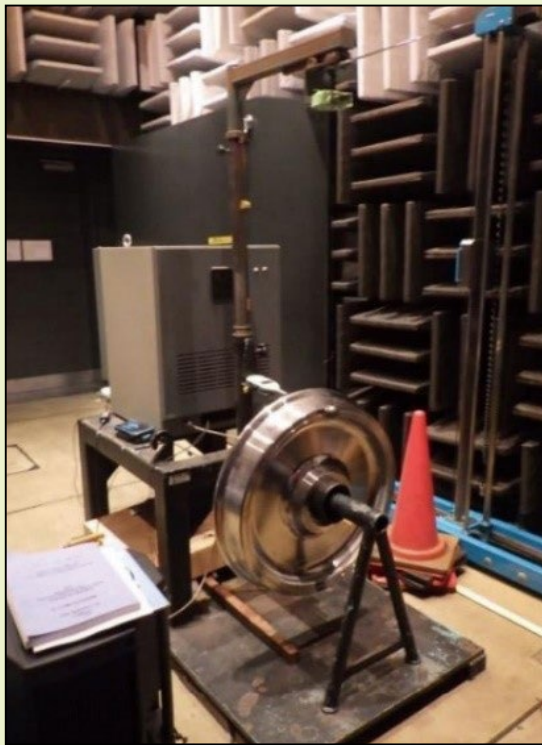


圖8 車輪減噪音功能測試

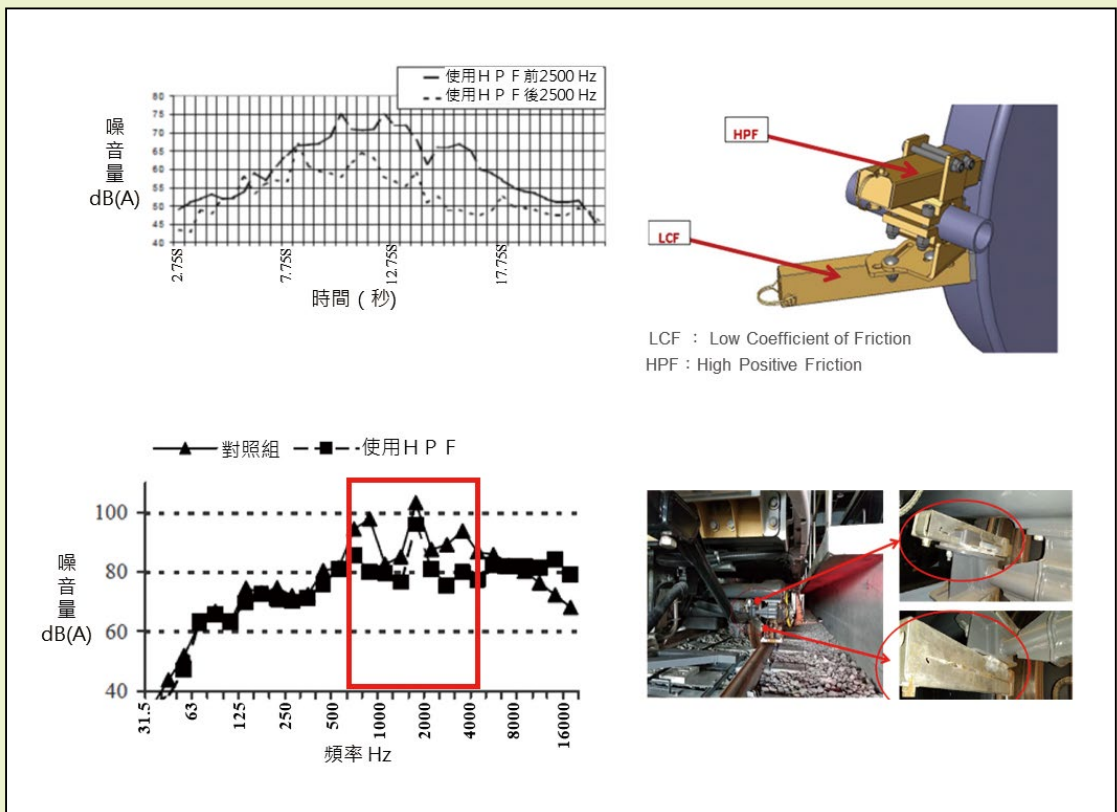
(三) 鋼箱橋底板制振混凝土 [8]

依統包商「捷運三鶯線機電與軌道減振設施(含圖說及減振評估)」報告[4]評估與分析結果，為降低鋼箱梁結構噪音，在箱型梁施作15公分厚制振混凝土，以降低板塊振動及降低結構噪音(參見圖10)。

(四) 土建隔音設施 [4] [5]

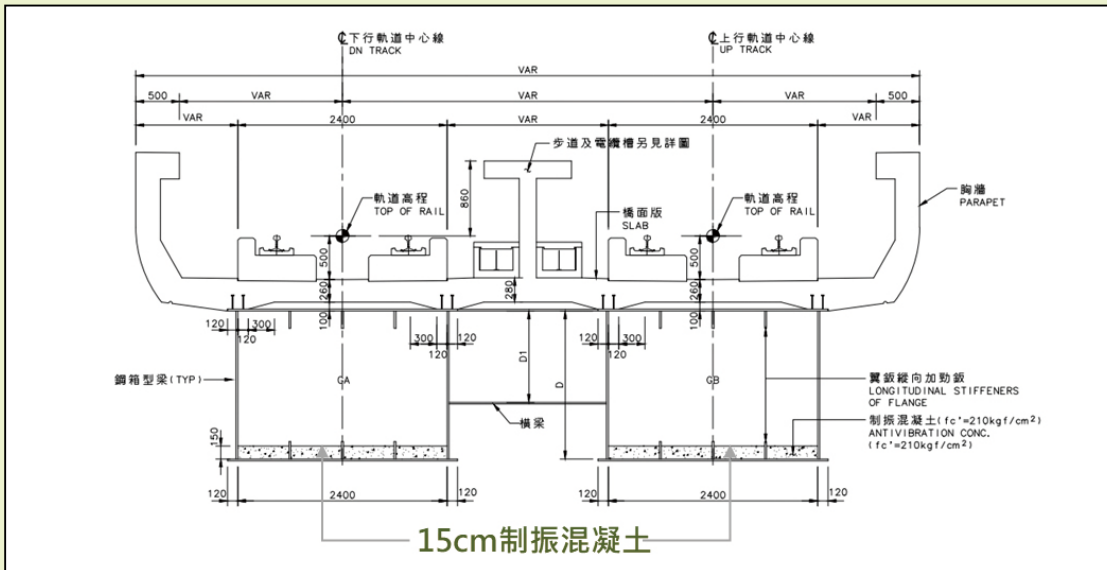
鄰近敏感受體之轉彎段多處採用延伸單弧或雙弧懸臂式隔音牆，並於軌道區貼附(胸牆及步道側牆)吸音材(參見表8)，以有效阻隔及吸收列車行經轉彎段車輪與鋼軌摩擦所產生之空氣噪音向外輻射。

列車行經所產生之鋼軌振動引發橋梁各部位的振動，也會讓隔音牆振動而產生輻射噪



資料來源：參考文獻[7]

圖9 固態輪緣潤滑裝置減音成效



資料來源：參考文獻[8]

圖 10 鋼箱橋底板施作制振混凝土

表8 轉彎段土建隔吸音設施型式及規模

編號	路段里程/敏感受體	曲率半徑(m)	橋梁型式	隔音牆型式/長度	軌道區吸音材
1	LB01_0K+37.8-0K+160 頂埔派出所	270	連續鋼箱型梁	上行：2.5mH(122.2m)	上行貼附
2	LB01_0K+600-0K+800 頂埔國小	105	簡支鋼箱型梁	上行：單弧A型(210m) 下行：1mH(200m)	上行貼附 下行貼附
3	LB05_0K+590-0K+760 北大隆恩	50	連續鋼箱型梁	上行：單弧A型(170m)	上行貼附
4	LB5_0K+760-0K+900 北大隆恩	56.5	連續鋼箱型梁	上行：雙弧C型(140m)	上行貼附
5	LB06_0K+030-0K+280 康橋水花園社區、太子國際村	170	場鑄U型梁	上行：雙弧C型(250m)	上行貼附
6	LB06_0+346-0+475 大英博物館社區	190	連續鋼箱型梁	上行：雙弧B型(170m)	上行貼附
7	LB06_0+813~0+915 台北大學學生宿舍	85	連續鋼箱型梁	上行：單弧A型(117m)	上行貼附
8	LB07_0K+390-0K+560 恩主公醫院	134	連續鋼箱型梁	上行：雙弧E型(130m)	上行貼附
9	LB10_0K+100-0K+200 歡喜就好大樓	100	預鑄U型梁	下行：1mH(100m)	無
10	LB11_0K+220-0K+320	160	場鑄U型梁	上行：2mH(100m)	無
11	LB11_0K+820-0K+918	60	連續鋼箱型梁	上行：2mH(98m)	無
12	LB12_0K+022-0K+140	265	簡支鋼箱型梁	上行：2mH(118m)	無
13	機廠進出線	54	簡支鋼箱型梁	下行：雙弧D型(170m) 上行：雙弧D型(150m)	上行貼附 下行貼附

資料來源：參考文獻[4]、[5]

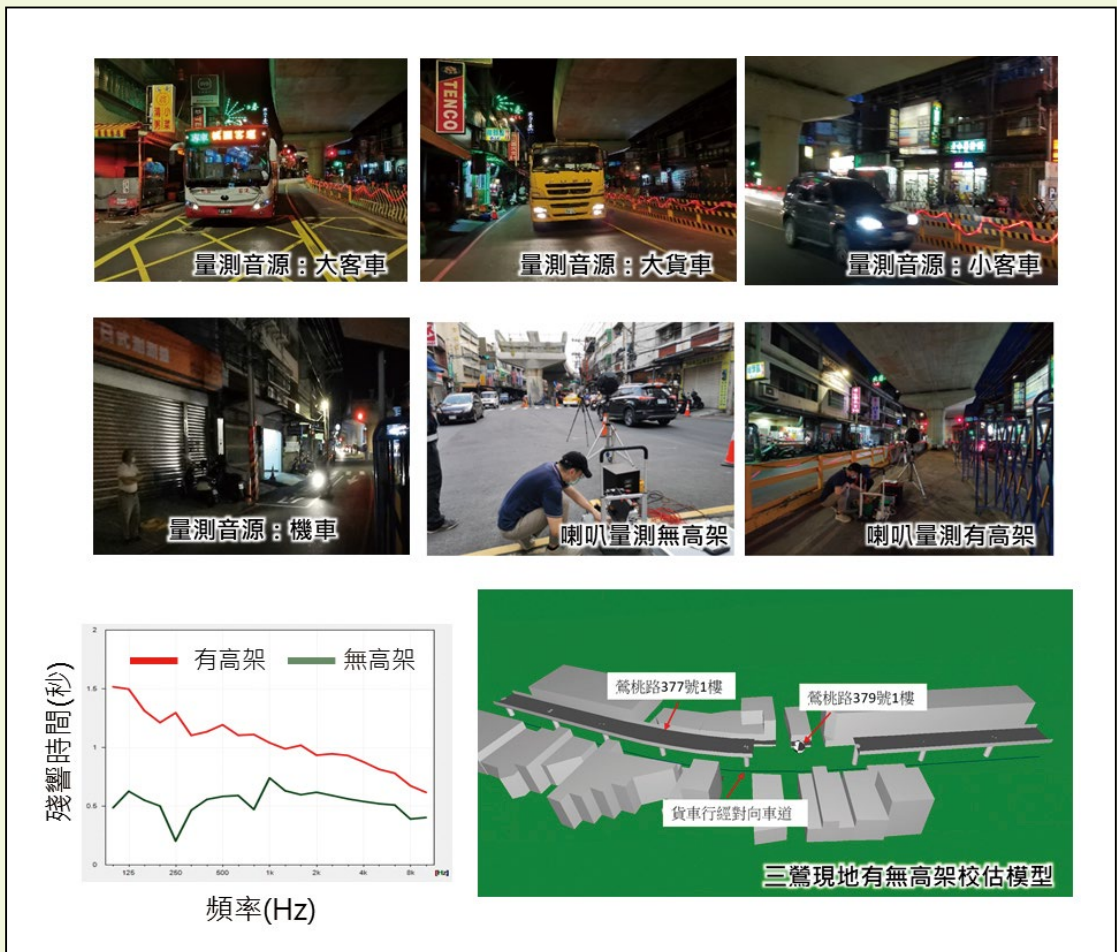
音，在進行動態分析與結構振動輻射噪音分析，結構噪音與空氣噪音疊加後，發現橋梁及隔音牆結構振動輻射噪音較大處，與空氣噪音疊加有超標之虞，需降低結構噪音時，先進行檢視地傳振動，如無31.5Hz 以下之主要振動頻譜值者，則可採用高隔振無道碴道床軌道(Non-ballast Track with High Isolation, 簡稱NBHI)；如有31.5Hz 以上之主振動，則可採用標準軌道，以及從隔音牆結構改變著手或採用軌面摩擦調整設施以降低車輪滾動噪音。

三、高架橋梁下結構附掛吸音材設計[9][10]

依據統包商目前設計成果，高架橋下反射音量測及吸音材之設計評估程序，包括蒐集、整

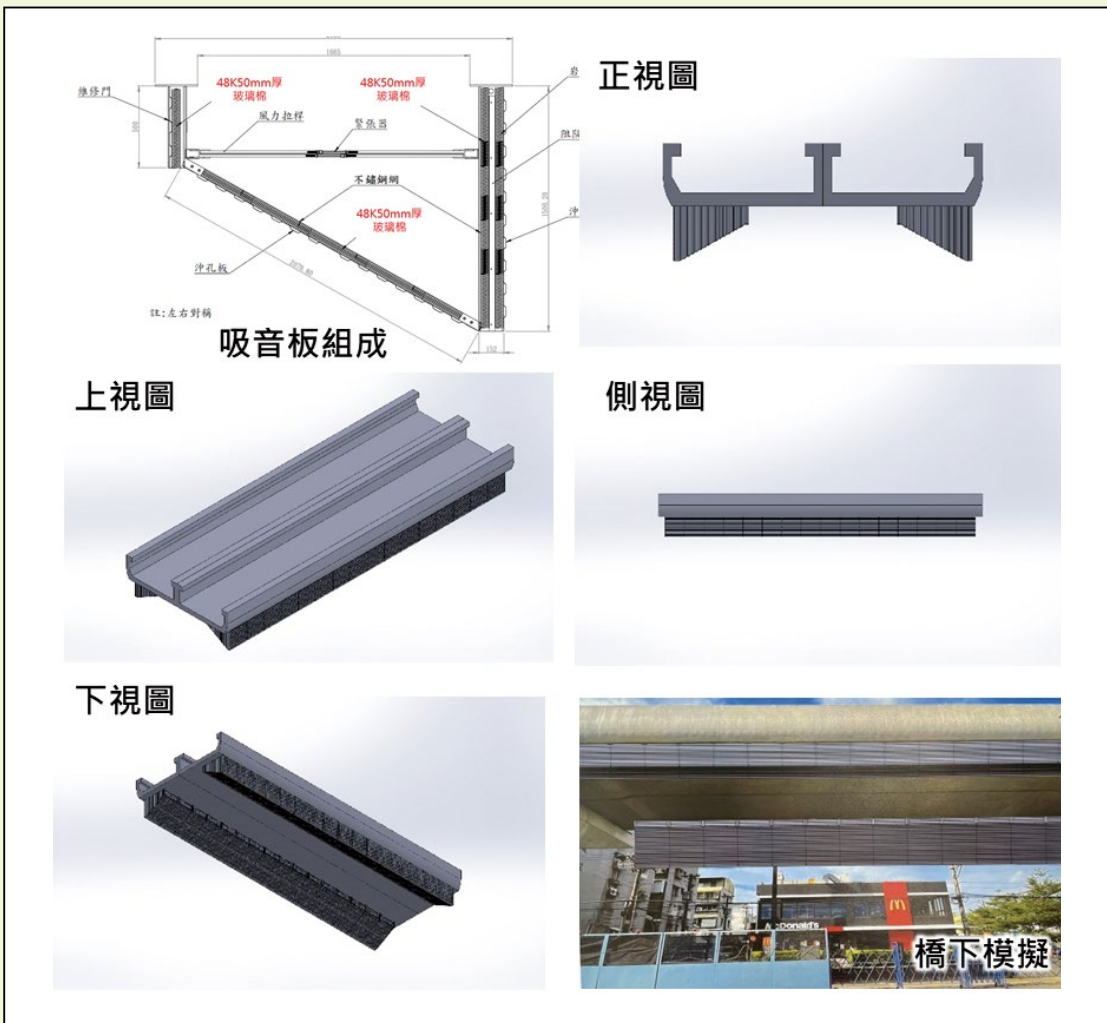
理及分析國內外類似案例成因及改善方法、於三鶯施工現場選擇有高架橋和無高架橋路段(LB11-0K+280-0K+350，參見圖11)進行現場校正量測、利用量測所得數據調校估預測模式輸入參數(道路音源聲功率、各材質吸音率等)至可接受之準確度，據以模擬分析捷運全線高架路段，確認高架橋下反射音造成車輛影響之增量程度，超標路段設置橋下吸音材後能符合評估標準及具改善成效，最後再依模擬預測結果並依據高架橋之柱位、高度、地形及場勘結果，訂定高架橋下吸音材型式、位置以及長度。

目前統包商提供之橋下吸音板設置型式如圖12所示。



資料來源：參考文獻[9]

圖11 三鶯工地有無高架橋車輛音源量測及模式校估



資料來源：參考文獻[10]

圖12 三鶯線橋下吸音板組成及型式

結論與建議

三鶯線捷運系統統包工程噪音防制規設之精進作為，綜整歸納為需求分析、契約要求及實際執行三部份，結論說明如后。

一、需求分析

為減輕噪音影響，落實環評承諾及符合所屬管制標準，基設階段即整理分析國內高架捷運系統噪音主要成因及改善經驗，進行沿線敏感受體背景音量、環境振動調查、影響預測以及減振降噪措施研擬，作為統包工程振動防制

設計的要求。

二、契約要求

三鶯線為統包工程，有別於土建機電分包方式，對於捷運系統噪音防制，統包商整合機電(含車輛系統)、軌道及土建等各系統介面進行減振降噪設計至能符合需求書要求為止。整理其中精進作為說明如下：

(一) 噪音振動防制之設計、審查及驗收：為確認三鶯線完工通車後是否符合需求書規定之噪音防制標準，統包商須提送「整體噪音

及振動防制設施驗收計畫書」及「整體噪音及振動防制設施驗收計畫書」核可後，再分別進行細部設計，以及沿線敏感受體音量驗收工作。

(二) 顧及民意及環保需求，加嚴設計標準：一般路段，以所屬管制區各時段之“小時均能音量”及“平均最大音量”下修加嚴5dB，作為影響評估，減振降噪設施之設計及驗收標準；為降低沿線噪音增量之影響，契約規定捷運系統營運噪音與背景音量能量相加之合成音量不大於背景音量5dB；對於沿線醫療院所、學校及其他噪音特殊敏感路段(如教育研究院、美術館、藝術村等)，電聯車所產生之“平均最大音量”不超出75dB(A)。

(三) 先於音源端進行減量，次於傳遞路徑進行防音：統包契約要求廠商進行減噪設計，優先以機電、軌道之減振降噪設施，先於音源端（車輛、軌道）進行減量，後輔以土建隔(吸)音結構於傳遞路徑進行防音。

1. 車輛減噪設計要求：為從源頭減量，降低沿線污染，三鶯線車輛行駛時車外噪音限值明顯低於其他捷運線，車外噪音量測位置除離車輛中心線水平距離7.5m軌面踏面上方1.5m外，新增3.8m高量測位置，用以規範車頂空調系統噪音量。

為減低電聯車進入轉彎段尖銳噪音，在需求書要求車輪之設計應具備減低噪音量功能之減噪輪。

2. 軌道減振降噪要求：在軌道契約要求主線之道岔採用可動岔心，小半徑曲線噪音影響提出評估分析及相關吸音設施設計。

3. 土建結構隔(吸)音設施設置需求：在車輛及軌道已符合所屬需求，沿線仍有超出標準路段，統包商須提出隔音牆及軌道區(如胸牆、步道側牆及車站月台下方牆面)吸音材設置評估及設計。

為因應未來交通成長及都市發展而衍生可能設置隔音牆之需要，高架路段全線須預留設置雙弧型隔音牆(含胸牆)之搭接預埋件及加載。

4. 捷運高架橋下反射音處理需求：高架段及車站設置後增加之反射音量處理，應蒐集國內外類似案例處理經驗。分析平面道路時各型車輛行經高架橋下所產生反射音影響及減音設計。

三、實際執行

(一) 三鶯線減振降噪設計工作分為設計階段前期“預測評估”及“設計評估”兩階段，為確認統包商之設計與施工是否符合契約及業主需求書之要求，統包商依據業主需求書，詳列查核表追蹤管控，每月至少召開1次噪音及振動協調會議，由專管顧問邀請捷運局、IV&V、監造及統包商與會，要求統包商出席說明處理進度。

(二) 針對未符合需求書要求之路段進行隔吸音設施設計(包括隔音牆及軌道區(胸牆及步道側牆)貼附吸音材)設計，隔音牆設置型式包括直立式隔音牆、單弧及雙弧之懸臂式隔音牆。

(三) 為使電聯車行駛於彎軌路段時減低高頻影響，目前統包商在車輛、土建結構之噪音防制設施，包括車輛採用減振降噪車輪及固態輪緣潤滑裝置，鋼箱型梁橋底板施作15公分厚制振混凝土，以及多處採用延伸

單弧或雙弧懸臂式隔音牆，並於軌道區貼附吸音材，以有效阻隔及吸收空氣噪音向外輻射。

(四) 針對路線高架段及車站設置後增加之反射音處理，統包商依需求書規定分析蒐集國內外類似案例成因及改善方法，並於三鶯施工現地選擇有高架橋和無高架橋路段進行現場校正量測、校估預測模式輸入參數，據以確認橋下反射音超標路段，並配合現勘訂定符合標準之吸音材型式、佈設位置以及長度。

三鶯線通車後新建案之噪音陳情處理，基於先來後到之社會公平原則，對於三鶯線完工後沿線鄰近捷運之計畫新蓋建築物，建議相關主管機關核發建照前先要求建商考量捷運經過產生噪音之既存事實，將噪音影響納入評估考量，並設置適當之隔音設施，以期減少或消彌未來噪音陳情狀況。

參考文獻

1. 新北市政府捷運工程處，「三鶯線捷運系統計畫基本設計及專案管理顧問委託技術服務案基本設計期末報告」，2015年4月。
2. 新北市政府捷運工程局，「三鶯線捷運系統計畫統包工程業主需求書(一) 整體服務需求及規定」，2016年。
3. 新北市政府捷運工程局，「三鶯線捷運系統計畫統包工程業主需求書(二) 整體服務需求及規定」，2016年。
4. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程沿線隔音牆及軌道區吸音材評估報告」H版，2021年9月。
5. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程隔音牆與胸牆吸音材評估與設計成果」簡報，2020年11月11日。
6. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程車輪減噪功能測試報告」，2020年6月。
7. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「三鶯線捷運系統計畫基本設計及專案管理顧問委託技術服務案三鶯線輪軌減噪研討案」簡報，2020年3月9日。
8. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程捷運三鶯線機電與軌道減振設施(含圖說及減振評估)」，2020年5月。
9. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程三鶯線橋下反射音-校正量測資料分析」簡報，2022年1月8日。
10. 義商安薩爾多交通號誌系統公司，榮工工程股份有限公司，株式會社日立等，「三鶯線捷運系統計畫統包工程第29次噪音振動設計及專業技術協調會議」簡報，2021年10月22日。