

捷運木柵延伸(內湖)線之噪音防制探討

¹顏彬任，財團法人中華顧問工程司正工程師

²楊振華，財團法人中華顧問工程司正工程師

台北市光復南路 240 巷 5 號 2 樓，106

電話：02-27731671 轉 267 Fax：02-27814151

E-mail：¹congoyen@ceci.org.tw；²f1209257@ceci.org.tw

摘要

捷運內湖線工程範圍自北安路起，經內湖路、文德路、成功路、康寧路，跨越高速公路及基隆河後沿南港經貿園區二號道路、一號道路銜接至內湖機廠南端止，全長約 10 公里採高架橋結構型式。本文以捷運木柵延伸(內湖)線(以下簡稱內湖線)之噪音防制措施設計為例，概要說明敏感體背景音量調查、減音目標擬定、噪音影響分析、防音材質造型研選及防制效果驗證等之流程及設計過程中所遭遇之問題。希望藉由此一設計經驗之分享，提供未來從事都市高架捷運系統噪音防制設計者之參考。

關鍵字：噪音、CADNA-A、防音牆設計

壹、前言

捷運內湖線工程範圍自北安路起，經內湖路、文德路、成功路、康寧路，跨越高速公路及基隆河後沿南港經貿園區二號道路、一號道路銜接至內湖機廠南端止，全長約 10 公里採高架橋結構型式。捷運局於規劃階段即積極邀請民眾參與並舉辦多場說明會，說明內湖線以高架方式興建，可能對內湖地區環境、景觀、噪音、振動之影響，經由與會議員、專家學者提出多項建議及內湖地區里長、民眾對該工程之期許，使得設計階段得以將大家所關切之噪音影響環境品質及居住安寧之各項因素，落實於噪音控制設計考量中。茲將內湖線之設計考量要素及相關成果概要介紹如后。

貳、設計流程

捷運內湖線之噪音防制措施設計流程大致可分成後述幾個步驟包括：確認所需工程資料、沿線噪音環境及音源資料之補充調查、減音目標、評估模式之確定及影響分析、防制措施規模及造型研選、減音效果檢驗等(參見圖一)。

參、沿線噪音環境之補充調查

音源及防制對象之背景音量是設計過程中最先需要確定的兩個重要參數，為了解內湖線沿線噪音現況及音源參數。設計階段於捷運內湖線沿線選擇代表性地點，量測該地點之噪音背景值並與環境影響差異分析報告之調查成果進行比對，以確定不同路段用以評估影響之背景音量。

根據「台北都會區大眾捷運系統後續發展路網－內湖線環境影響評估報告」之調查內

容，顯示本路段沿線之環境音量現況並不理想，惟前述環境影響評估報告係於民國 82 年完成，為確認環境音量現況，因此設計階段於內湖線沿線選擇 10 處具代表性之敏感受體，進行噪音現況之補充調查，以釐清現況環境噪音品質。

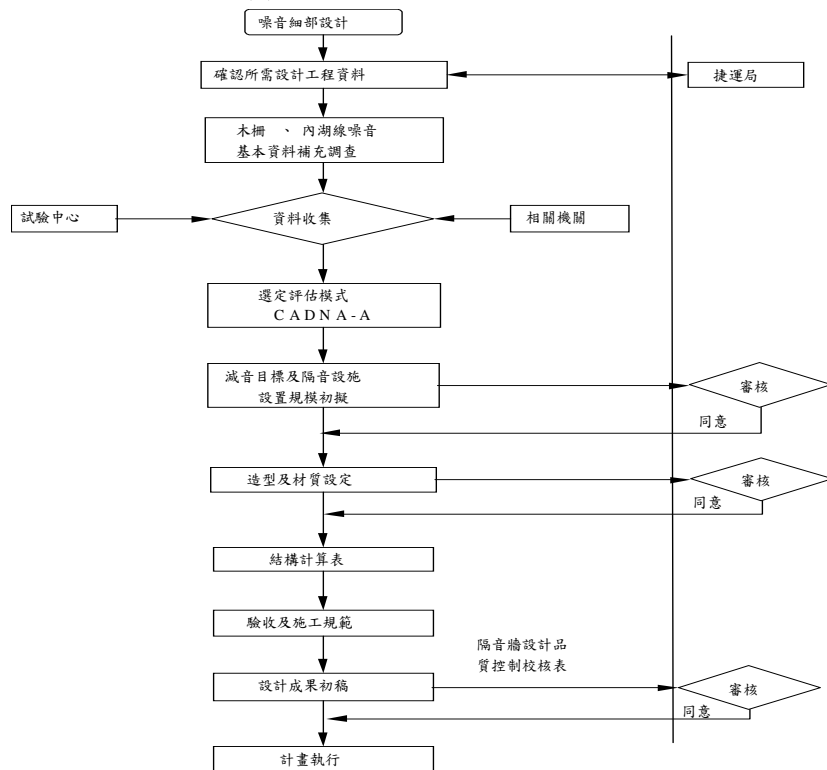
另為獲得內湖線沿線噪音背景值及背景噪音於不同高度樓層之衰減情形，於成功路四段 40 號(1、4、9、14 樓)、成功路五段 458 號(1、4、8、12 樓)、明湖國小及內湖高工四個測點量測噪音背景值。

其中成功路四段 40 號、成功路五段 458 號之不同樓層 24 小時量測結果，背景噪音值依樓層之高度增加而衰減，主要係聲音傳播時因距離漸遠而產生之衰減現象(參考圖二、三)；明湖國小測點量測結果與環境影響評估報告中實測值相比較並無差異，內湖高工測點量測結果則略高於環境影響差異分析報告中實測值(參見表一)；此結果顯示環境影響評估報告及環境影響差異分析報告中之各項背景噪音量測值，仍可作為設計之參考。

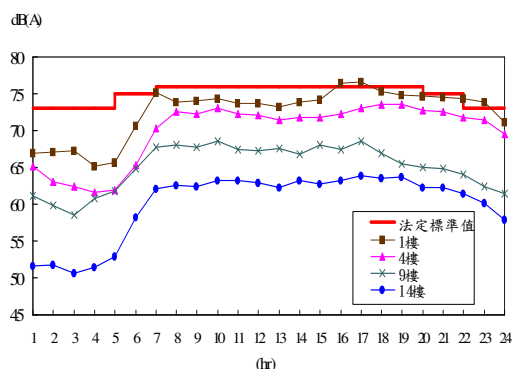
表一、明湖國小及內湖高工日間均能音量之比較

測站	環境噪音管制標準	環評報告實測值(1)	環差分析實測值(2)	細部設計實測值(3)
明湖國小	第三類管制區緊鄰 8 公尺以上道路地區	74.7	-	71.3~75.4
內湖高工	第二類管制區緊鄰 8 公尺以上道路地區	-	70.8~72.3	71.0~77.3

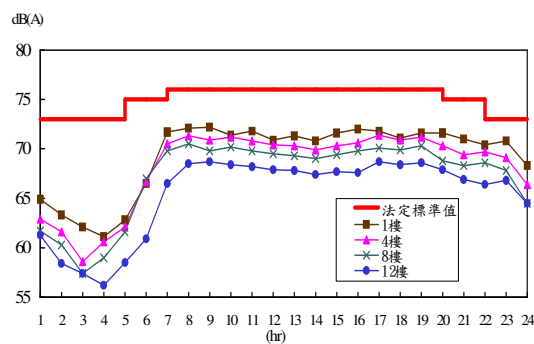
- 註：1.實測值(1)摘自"台北市政府捷運工程局「台北都會區大眾捷運系統後續發展路網環境影響評估內湖線環境影響評估報告書」(82.04)"。
2.實測值(2)摘自"台北市政府捷運工程局「捷運內湖線路線變更環境影響差異分析報告」(90.06)"。
3.明湖國小實測值(3)之監測日期為 90 年 12 月 14 日，內湖高工為 90 年 12 月 18 日。



圖一、設計流程



圖二、背景噪音現況量測值與現行法規標準之比較（成功路4段40號）



圖三、背景噪音現況量測值與現行法規標準之比較（成功路5段458號）

肆、音源調查與模式驗證

確認背景音量參數後，以德國 DataKustik 所發展之 CADNA-A 交通噪音整合模式模式（參見表二），根據捷運系統目標年日間、夜間時段之尖峰小時行駛班次，模擬捷運系統沿線噪音等音量線分布，並計算敏感受音體不同樓層各代表點因捷運行駛噪音加入後所產生之日間及夜間均能音量，並與噪音影響等級評估基準比較確認是否依減音目標值進行設計。惟在此之前仍須確認模之適用性及準確性，因此我們以現有木柵捷運列車營運參數輸入模擬目前木柵捷運之噪音量餅與木柵捷運現況音源及台北市政府捷運工程局於民國 87 年 4 月「木柵線沿線噪音及振動營運前後調查分析與改善規劃」研究報告之噪音實測資料進行比對，其結果顯示木柵捷運現況直線段距軌道 12~15 公尺處列車行駛噪音之小時均能音量約介於 59~65dB(A)；以 CADNA-A 模式，預估距軌道 15 公尺處之小時均能音量則約 64dB(A)，接近於實測值之最大值，顯示 CADNA-A 模式應可適於模擬國內之捷運列車噪音影響預測。

伍、設計原則

由於捷運內湖線沿線經過之道路路幅狹小，噪音之影響將更為直接且易被突顯，高架橋結構噪音對整個捷運噪音之影響，有必要納入檢討。因此於設計階段除就所採之高架結構型式分析結構音場及振動場，再配合現況調查成果及模式驗證後，以德國 DataKustik 所發展之 CADNA-A 交通噪音整合模式，進行隔音牆設計。

另由於捷運路線沿線有地區道路之交通噪音干擾且隔音牆設置高度受橋樑結構承載限制，因此隔音牆將朝下列幾個原則進行：

1. 路線噪音防制設計目標須符合環境音量標準、環境影響評估、環境影響差異分析承諾及 FE-31 要求。
2. 捷運路線之噪音防制措施考慮雙面吸音材質進行設計。
3. 高架橋結構設計預設約 2 公尺高之隔音牆(含胸牆)。
4. 隔音牆設置高度必須 2 公尺以上方能達減音目標之地區，另以加設干涉箱或吸音桶來降低設計高度，或其他可行方案。

陸、設計結果與討論

以 CADNA-A 噪音預測模式模擬「有」、「無」隔音設施(隔音牆及吸音圓筒)情況下，距高架橋路肩約 10~20 公尺之噪音垂直分布(參見表三~五)，結果顯示沿線無任何隔音設施時，捷運交通噪音量分別為日間時段約 50.7~69.5dB(A)，夜間時段約 47.7~66.5 dB(A)，因此屬於第二類噪音管制區捷運邊 4 樓以上之受體，夜間時段噪音量將超出所屬環境音量標準，位於第三類管制區超出標準限值，僅為距橋肩 10 公尺 4 樓以上之受體。經設置 2 公尺高隔音牆後，預估與高架橋同高之樓層減音量約 4.5~5.3dB(A)，沿線 4 樓以下之住戶均可達到防制目標。針對本工程沿線建物 5 樓以上之受體，考量加裝吸音圓筒，將可再降低噪音量 3dB(A)，因此位於第三類噪音管制區之住戶，於第二類噪音管制區內部分樓層仍無法符合所屬環境音量標準。

因應上述成果，捷運內湖線所採用隔音牆型式分為一般路段及須再加強路段 兩種型式，「一般路段」係指高架橋佈設隔音牆高約 2.25 公尺即可符合環境音量管制標準之區域，反之則為「須再加強路段」。

一、一般路段

(一) 隔音牆型式及材質說明:

一般路段隔音牆高約 2.25 公尺，初步由三種材質構成:

1. 下部材質為 U 型預力樑混凝土側牆高約 1.3 公尺
2. 上部材質為穿孔鍍鋅鋼板及透明強化玻璃，高約 0.95 公尺。

內部並無任何吸音材及其他材料，其上部外型型式考慮維修及清潔問題，並配合建築景觀作三種主題造型。

(二) 隔音牆減音效果說明

一般路段依上述採 2.25 公尺高之隔音牆，依初步分析結果，此隔音牆分析僅要求材質單位密度即聲音穿透損失即可，雖然建築景觀會作三種主題造型，但是一般只要達結構之抗風耐震所需求之勁度即可達隔音牆分析所需求聲音穿透損失。

初步分析各不同路幅段減音效果可歸納如下:

1. 沿線 25 公尺寬道路 5 樓以下建物，減音效果約 6dB(A)
2. 沿線 30 公尺寬道路 5 樓以下建物，減音效果約 5dB(A)
3. 沿線 40 公尺寬道路 6 樓以下建物，減音效果約 6dB(A)

二、加強路段

對於不符合環境音量管制標準之區域之須再加強路段，則以下列階段改善措施，逐步改善：

第一階段：採一般路段隔音牆，但於 0.95m 高隔音牆內部加吸音材。

第二階段：除採第一階段方式，另於 1.3m 高 U 型樑之側牆內側加披露吸音材。

第三階段：除採第二階段方式，另於於 0.95m 高隔音牆頂部加吸音筒或干涉箱。

第四階段：抽換一般路段型式隔音牆，改設置倒 L 型、弧形及全罩式之隔音牆，並配合吸音筒(減音效果約 3~5 分貝)及干涉箱(可針對特定之頻率減音)之設置以符合環境音量之管制標準。

由於噪音防制措施將配合內湖線之環境特質作三種主題造型，因此隔音牆型式非目前廠商現有產品，為達噪音的防治目標，須訪查目前防音牆廠商，了解各家廠商製造能力、實驗室之穿透損失與吸音率等兩項基本的音響性能實驗、及如何進行現場驗收、驗證，並納入施工規範。

誌謝

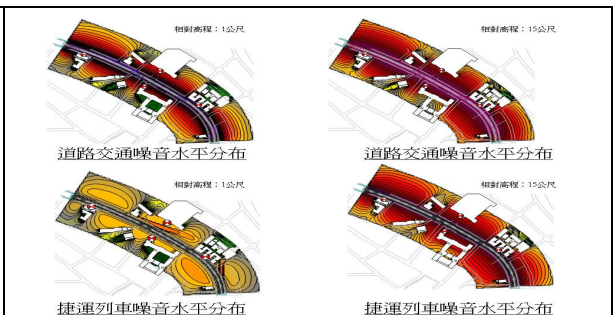
內湖捷運線之噪音防制措施設計期間，承蒙台北市捷運局及中華顧問工程司捷運部提供相關技術支援及協助現場噪音量測工作，特此致謝。

參考文獻

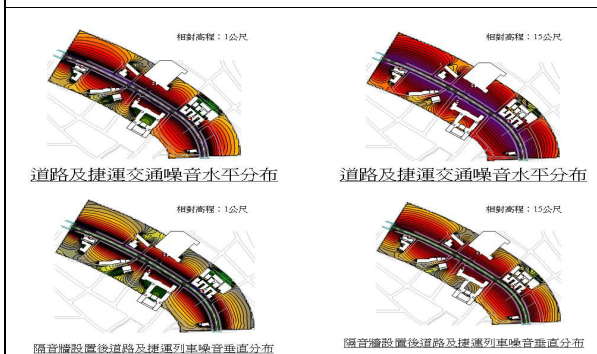
1. 國立交通大學運輸研究所：木柵線沿線噪音及振動營運前後調查分析與改善規劃，台北市捷運工程局，民國 86 年 12 月。
2. General Consultants,American Transit Consultants：Study Report No.FE-31. Transit Noise and Vibration – Prediction Methodology and Design Criteria.，September 1990.
3. Beng Kotzen and Colin English：Environmental Noise Barriers，A Guide to their Acoustic and Visual Design，1999.



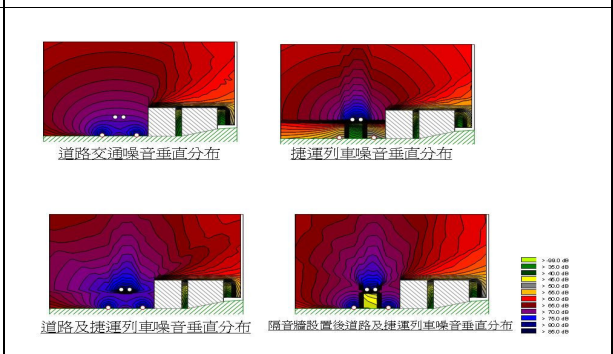
圖四、距捷運線 7.5m 處之高層 0m、2m、4m、6m 噪音量測



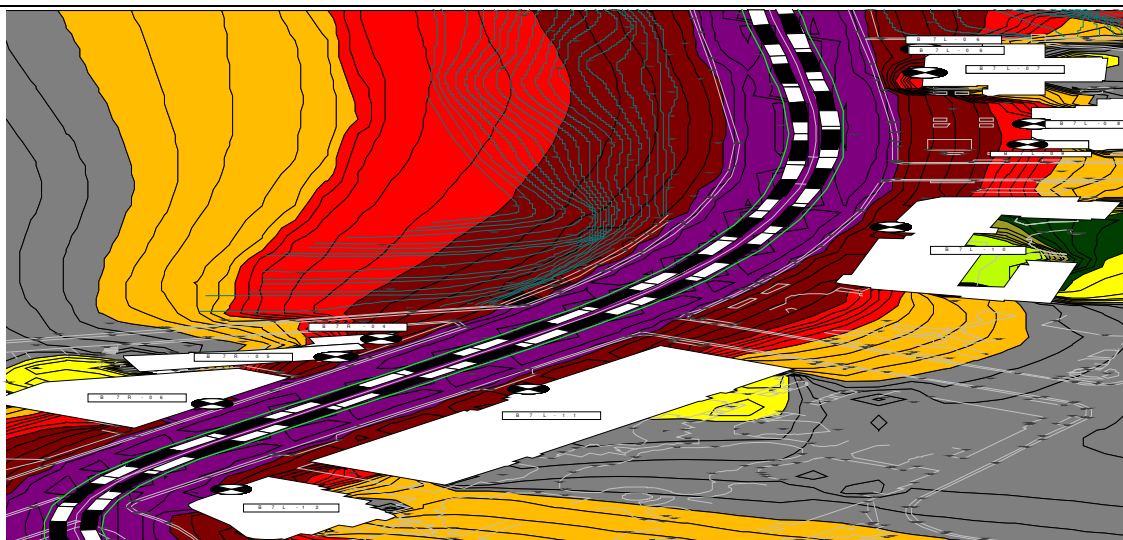
圖五、內湖線道路及捷運噪音水平分布模擬



圖六、內湖線道路及捷運噪音合成後模擬



圖七、內湖線噪音垂直分佈模擬



圖八、捷運內湖線噪音水平分布(B7~B8 站)示意

表二、CADNA-A 交通噪音整合模式之計算及參數

音源計算	傳播計算
$L_{m,E} = 10 \times \lg \left[\sum_r 10^{0.1 \times (51 + D_{Fz} + D_D + D_L + D_V)} \right] + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bc} + D_{Ra}$ <p>式中各音源修正參數表示如下： Lm,,E：距軌道 25 公尺，高 3.5 公尺處之列車噪音參考值 DFz：列車種類 DD：碟式煞車百分比，% DL：列車長度，公尺 DV：車速，公里/小時 DFb：軌道種類 DBr：高架橋或橋梁 DBc：平交道 DRa：軌道曲率</p>	$L_{r,k} = L_{m,E,k} + 19.2 + 10 \times \lg(l_k) + D_{l,k} + D_{s,k} + D_{L,k} + D_{BM,k} + D_{Korr,k} + S$ <p>Lr,k：單一區段至預測點音壓位準, dB(A) Dm,E,K：距軌道 25 公尺高 3.5 公尺處之列車噪音參考值, dB lk：音源單一區段長度 Dl,k：大氣吸收調整 Ds,k：音源至預測點距離之修正參數 DL,k：音源方向調整 DBM,k：地表吸收調整 Dkorr,k：障礙物調整 S：其他調整因子</p>

表三、捷運列車噪音影響(無隔音牆設置)

樓層 \ 距離 ^[1]	日間時段					夜間時段				
	10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)	10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)
1 樓	54.2	50.7	51.2	56.2	53.4	51.2	47.7	48.2	53.2	50.4
2 樓	55.6	55.4	55.1	57.4	55.4	52.6	52.4	52.1	54.4	52.4
3 樓	57.7	58.1	58.3	58.3	58.3	54.7	55.1	55.3	55.3	55.3
4 樓	65.6	64.5	63.6	62.9	62.2	62.6	61.5	60.6	59.9	59.2
5 樓	69.5	68.4	66.3	65.1	65.3	66.5	65.4	63.3	62.1	62.3
6 樓	68.9	68.1	67.4	66.7	66.1	65.9	65.1	64.4	63.7	63.1
7 樓	68.2	67.6	67.0	66.4	65.9	65.2	64.6	64.0	63.4	62.9
8 樓	67.5	67.0	66.5	66.0	65.6	64.5	64.0	63.5	63.0	62.6
9 樓	66.8	66.4	66.0	65.6	65.2	63.8	63.4	63.0	62.6	62.2
10 樓	66.1	65.8	65.5	65.2	64.8	63.1	62.8	62.5	62.2	61.8

11 樓	65.5	65.2	65.0	64.7	64.4	62.5	62.2	62.0	61.7	61.4
12 樓	64.9	64.7	64.5	64.2	64.0	61.9	61.7	61.5	61.2	61.0

註[1]：距離係指與捷運高架橋肩距離；弧括內數字表示捷運系統邊地區鄰近平面道路之路寬。

[2]：數字粗斜體部分表示超出第二類噪音管制區之捷運系統邊環境音量夜間時段標準

60dB(A)；數字粗斜體及雙框部分表示超出第三類噪音管制區之捷運系統邊環境音量夜間時段標準 65dB(A)。

表四、捷運列車噪音影響(設 2 公尺高隔音牆)

樓層	距離 ^[1]	日間時段					夜間時段				
		10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)	10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)
1 樓		47.2	47.9	48.1	48.2	48.2	44.2	44.9	45.1	45.2	45.2
2 樓		49.7	50.0	50.1	50.1	50.0	46.7	47.0	47.1	47.1	47.0
3 樓		53.2	53.3	53.2	53.1	53.0	50.2	50.3	50.2	50.1	50.0
4 樓		59.2	58.5	57.8	57.3	56.7	56.2	55.5	54.8	54.3	53.7
5 樓		68.1	65.2	63.4	61.8	60.7	65.1	62.2	60.4	58.8	57.7
6 樓		69.3	66.9	66.1	65.2	64.1	66.3	63.9	63.1	62.2	61.1
7 樓		68.7	68.1	66.1	65.3	64.7	65.7	65.1	63.1	62.3	61.7
8 樓		67.5	67.0	67.1	65.9	64.6	64.5	64.0	64.1	62.9	61.6
9 樓		66.8	66.4	66.0	65.6	65.8	63.8	63.4	63.0	62.6	62.8
10 樓		66.1	65.8	65.5	65.2	64.8	63.1	62.8	62.5	62.2	61.8
11 樓		65.5	65.2	65.0	64.7	64.4	62.5	62.2	62.0	61.7	61.4
12 樓		64.9	64.7	64.5	64.2	64.0	61.9	61.7	61.5	61.2	61.0

註：說明同表三。

表四、捷運列車噪音影響(設 2 公尺高隔音牆)

樓層	距離 ^[1]	日間時段					夜間時段				
		10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)	10m (25m)	12.5m (30m)	15m (35m)	17.5m (40m)	20m (45m)
1 樓		51.2	47.7	48.2	53.2	50.4	48.2	44.7	45.2	50.2	47.4
2 樓		52.6	52.4	52.1	54.4	52.4	49.6	49.4	49.1	51.4	49.4
3 樓		54.7	55.1	55.3	55.3	55.3	51.7	52.1	52.3	52.3	52.3
4 樓		62.6	61.5	60.6	59.9	59.2	59.6	58.5	57.6	56.9	56.2
5 樓		66.5	65.4	63.3	62.1	62.3	63.5	62.4	60.3	59.1	59.3
6 樓		65.9	65.1	64.4	63.7	63.1	62.9	62.1	61.4	60.7	60.1
7 樓		65.2	64.6	64.0	63.4	62.9	62.2	61.6	61.0	60.4	59.9
8 樓		64.5	64.0	63.5	63.0	62.6	61.5	61.0	60.5	60.0	59.6
9 樓		63.8	63.4	63.0	62.6	62.2	60.8	60.4	60.0	59.6	59.2
10 樓		63.1	62.8	62.5	62.2	61.8	60.1	59.8	59.5	59.2	58.8
11 樓		62.5	62.2	62.0	61.7	61.4	59.5	59.2	59.0	58.7	58.4
12 樓		61.9	61.7	61.5	61.2	61.0	58.9	58.7	58.5	58.2	58.0

註：說明同表三。