

高速鐵路噪音振動之管制標準研究

王偉輝⁽¹⁾ 劉德源⁽¹⁾ 盧威宇⁽¹⁾

呂鴻光⁽²⁾ 謝燕儒⁽²⁾ 莊訓城⁽²⁾ 周禮中⁽²⁾

(1)國立台灣海洋大學系統工程暨造船學系

(2)行政院環境保護署

摘要

台灣高速鐵路即將完工通車，由於其行車速度達每小時三百公里，對環境噪音及振動之衝擊，有需要進行研究，以便及時訂定管制標準。歐美及日本在過去二十年間亦曾做過此類研究。本文即在分析比較國外的管制做法，針對高鐵噪音振動之物理特性，利用人體工學資料，找出適合國內情況之評估指標與環境影響量表，以作為進一步訂定管制標準之參考依據。

一、前言

台灣高鐵即將於民國 94 年 10 月完工通車，其行車速度預計達 300km/hr，比傳統軌道列車速度快很多。因列車所產生之噪音強度會隨車速之提高而上升，例如德國的 ICE 噪音峰值位準為 85-93dB(A)；法國的 TGV 噪音峰值位準達 97 dB(A)；日本新幹線於車速 200km/hr 之噪音峰值位準則為 85-90 dB(A)。將上述三個世界上之主要高鐵系統的噪音強度與車速之關係，經整理列如表 1。

表 1 世界主要高速鐵路系統的噪音強度

| 高鐵噪音 單位：dB(A) | 速度(km/hr) | | | |
|------------------|-----------|-----|--------|-----|
| | 200 | 250 | 270 | 300 |
| 日本新幹線 | 85-90 | | | |
| 德國 ICE | 85 | 89 | | 93 |
| 法國 TGV/A | | | 95-105 | |

註：量測點距軌道中心線 25m，未設置防音牆之情況。

不同國家於不同發展階段的高速鐵路，在噪音位準和控制技術上有很大差異。尤其是鐵路噪音所受的影響因素頗多，在產生和傳播過程中，不同的鐵道結構、橋樑結構、不同的建築群類型和佈局以及不同的動力車組等均對噪音噪音的大小及範圍有很大影響。因此，確定噪音的控制標準是一項比較複雜的任務。

由表 1 可見：法國 TGV 的噪音位準最高，日本和德國噪音位準基本相當。這是由於法國車南線高速鐵路沿線多數都人煙稀少，噪音控制問題顯得不十分迫切，故其噪音位準較高。而日本新幹線沿線人口稠密，噪音干擾問題十分突出，對噪音控制相對地就十分重視，其成的聲音位準也就相對較低。

因此在我國控制噪音將是高速鐵路環保的首要任務。由國外測試資料顯示：輪軌噪音與集電系統噪音是高速鐵路主要的噪音源。同時降低輪軌噪音及集電系統噪音是控制高速鐵路噪音污染之關鍵所在。

再者，高速鐵路列車運行亦會對鐵路兩側環境產生振動污染，主要顯現在對周圍居民睡眠的干擾；其次是對居民心裡的影響；以及對學習與工作的干擾。因此，控制高鐵振動對環境的污染亦是另一項重要任務。

高速鐵路列車運行產生的環境振動屬於間歇性衝擊振動，根據日本對新幹線振動的實際量測結果，受振點的振動位準變化很大，距線路 20m 處，列車速度大於 160km/hr 時之振動位準為 70-95dB。高速鐵路引起的環境振動受許多因素影響，其中主要為受振點距離、地質條件、列車速度、高架橋結構與軌床結構等。

在歐美及日本等先進國家，於 1976 年至 1997 年之二十餘年期間，分別訂有相關之環境噪音及振動量測與管制法規，如「新幹線鐵路

噪音相關環境基準」[1]、「ISO 2631/1,2,3 : Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration」[2-3]，東京都環境保全局 1997 年的「噪音及振動基準集」[4]，及美國運輸部聯邦鐵路局之「高速地面運具之噪音振動衝擊評估」年報[1998]等，用來評估、管制及改善環境之噪音與振動問題。

本文宗旨在比較評估國外做法，針對高鐵噪音振動之物理特性，利用人體反應資料，找出適合國內採用之評估指標與環境影響量表，以作為研訂管制標準之參考。

二、高鐵噪音評估指標及影響量表

2.1 各國高鐵噪音量測參數比較

經蒐集整理德國、法國、北歐及日本等國，對於評估高鐵噪音所使用之量測參數計有：車輛通過等值加權聲壓位準，1 小時等值 A 加權聲壓位準，平均 A 加權聲壓位準最大值及聲壓曝露位準等四種，將這四種參數比較說明如表 2。

表 2 各國高速鐵路噪音量測參數

| 量測參數 | 國家 | 符號 | 說明 |
|------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 車輛通過之等值 A 加權聲壓位準 | 德國 法國 北歐 | $L_{\text{req},p}$ 或 $L_{p,p}$ $L_{\text{max}}(\text{mean})$ | 等值 A 加權聲壓位準(車長通過時間之聲音能量平均) |
| 1 小時等值 A 加權聲壓位準 | 德國 法國 | $L_{\text{req},1h}$ 或 L_{1h} | 等值聲壓位準(1 小時之聲音能量平均) |
| 平均 A 加權聲壓位準最大值 | 日本 | L_{Amax} | 動特性取 slow，連續 20 車次的列車的最大值 $L_{\text{max},s}$ 能量平均。 |
| 聲音曝露位準 | 日本 | L_{AE} | 取樣時間 5/3 秒， L_{Amax} 降 10dB 後之聲音曝露之平均能量。 |

除高鐵噪音外，通常用量測各種參數所代表的意義及其適於評估之噪音種類，則比較列如表 3 加以說明比較。

表 3 噪音種類與評估使用之量測參數比較說明

| 噪音種類 | 量測參數 | 說明 |
|------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 穩定噪音 | L_{Aeq} | 振幅變化不大穩定的噪音。 |
| 變動噪音 | L_{Aeq}, L_n | 振幅不規則且連續在相當大範圍變化的噪音，採用等值 A 加權聲壓位準與統計音量位準(fast)。 |
| 間歇噪音 | L_{max} | 通常取 fast，依情況可取多次的最大值做能量平均。 |
| 衝擊噪音 | L_{max} | 通常取 fast 動特性。 |
| 脈衝噪音 | L_{imp} | 槍砲之聲音，均方根聲壓 p_{rms} 計算時之持續時間 $T=1\text{ms} \sim 1\text{s}$ 。 |

表 2 中用來評估高鐵噪音之各種量測參數，其所代表的意義則分別加以分析說明如下：

1. 車輛通過之 A 加權平均最大聲壓位準 $L_{\text{max}}(\text{mean})$

最大噪音位準 L_{max} 通常可細分為 fast, slow 與 impulse 三種動特性時間加權之最大噪音位準。其中以 impulse 的測量值最高。至於 A 加權平均最大聲壓位準 $L_{\text{max}}(\text{mean})$ 則是取多班次列車通過的最大聲壓位準做能量平均而得。日本新幹線是取 20 班次列車；但 4 小時內未滿 20 班次列車時，或可取為 4 小時通過之列車班次；若噪音峰值一定時，也可減少為 10 班次之平均。

2. 噪音曝露位準(SEL, Sound Exposure Level)(L_{AE})

SEL (L_{AE}) 與 L_{max} (mean) 之區別，可以舉例加以說明：

SEL 同時考慮噪音事件之時程與能量大小，再將事件發生時間轉換壓縮到 1 秒而維持相等聲能所對應之噪音值。

其應用可舉例說明：圖 1 及圖 2 係兩種典型之高鐵列車 TGV 及 Eurostar 以不同車速通過時，所量得之 A 加權聲壓紀錄，其峰值 L_{max} 相差 4dB(A)，但若轉換成 SEL 來考量，則兩者之噪音曝露位準相等，均為 93.8 dB(A)，如圖 3 所示。

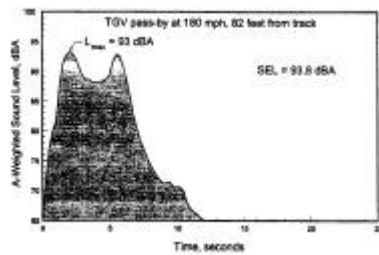


圖 1 TGV 列車以 180 哩/小時速度通過時之噪音位準紀錄[5]

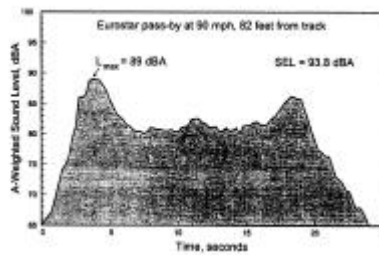


圖 2 Eurostar 列車以 90 哩/小時速度通過時之噪音位準紀錄[5]

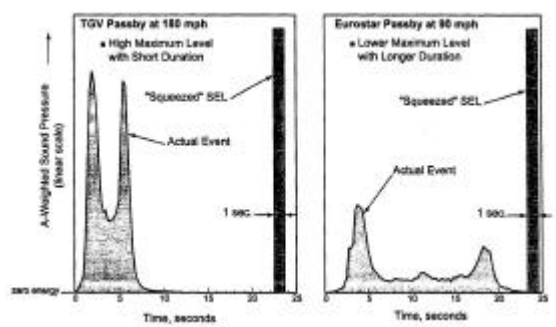


圖 3 以聲能觀點作噪音事件之等價轉換[5]

3. 等值均能音量 L_{Aeq}

在聲場中的一些位置上，將某一段時間內間歇暴露的 A 加權噪音，就其能量作時間平均所得的音量。其算式為：

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^2 dt \quad (1)$$

其中 L_{Aeq} ：T 時間內 A 加權之均能音量 (dB(A))；

- T：測定時間，單位為秒；
- P_t ：測定音壓，單位為 Pa；
- P_0 ：基準音壓，取為 20 μ Pa；

4. 統計百分比音量 L_x

從某時刻起，每隔一段時間或連續讀取噪音量至足夠次數。再從讀取的音量直依統計方法排序方法，求出某音量值以上之次數(或時間)佔總讀出個數(或總時間)之百分比，若此百分比值為 $x\%$ ，則其對應之音量稱為統計百分比音量 L_x 。例如：

- L_5 ，在時段內有 5% 的時間，超過此值。
- L_{10} ，在時段內有 10% 的時間，超過此值。
- L_{50} ，在時段內有 50% 的時間，超過此值。
- L_{90} ，在時段內有 90% 的時間，超過此值。

其中 L_{10} 為認定『平均尖峰』噪音之有效指標； L_{90} 為認定『背景噪音』之有效指標。

2.2 噪音對人體影響評量

評量噪音對人體的影響，應包括音量對生理之影響，音量對人體容許暴露時間之影響，及噪音量對人們談話及睡眠之影響等三方面。

表 4 是特殊頻域之聲壓位準對人體之生理影響評量表；表 5 是總和噪音量對人體生理影響之評量表。表 6 是噪音對人們容許暴露時間之關值。表 7 係噪音對室內環境之談話與睡眠影響關值之評量表。

表 4 特殊頻域之聲壓位準對人體之生理影響量表

| SPL (dB) | 頻率 (Hz) | 時間 | 影響 |
|----------|-------------|-------|-------------------|
| 175 | 低頻 | 瞬間 | 耳膜破裂 |
| 167 | 2000 | 5 分鐘 | 致命 |
| 161 | 2000 | 45 分鐘 | 致命 |
| 160 | 3 | | 耳痛 |
| 155 | 2000 | 連續 | 耳膜破裂 |
| 150 | 1~100 | 2 分鐘 | 視鏡度降低、胸壁震動、呼吸律動改變 |
| 120~150 | | | 身體感到震動 |
| 120~150 | 1.6~4.4 | 連續 | 眩暈、有嘔吐感 |
| 135 | 20~2000 | | 耳痛 |
| 120 | | | 容易發怒疲勞 |
| 120 | 300~9600 | 2 秒 | 耳朵不舒服 |
| 110 | 20000~31500 | | 聽力閾值上升 |
| 106 | 4000 | 4 分鐘 | 聽力閾值上升 10dB |
| 100 | 4000 | 7 分鐘 | 聽力閾值上升 10dB |
| 94 | 4000 | 15 分鐘 | 聽力閾值上升 10dB |
| 75 | 8000~16000 | | 聽力閾值上升 |
| 65 | 寬頻 | 60 天 | 聽力閾值上升 |

摘自 NASA,1989

表 5 總和噪音量對人體之生理影響評量表

| dB | 聲源環境 | 影響 |
|-----|------------------------|---------------------------------|
| 140 | | 鼓膜會破 |
| 130 | 噴射機起發(100M) | 耳朵會痛 |
| 120 | 修馬路 | |
| 110 | 叫聲(30CM)、警笛 Karaoke | 肌電圖改變 |
| 100 | 地下鐵、柴油特快 高架橋下 | |
| 90 | 中興號 | 心電圖改變,內分泌 改變,影響自律神 經、錯誤增加 |
| 85 | | 重聽 |
| 80 | 復興號、馬路上 | |
| 70 | 國光號、莒光號、 TV、收音機 | 血管收縮,血流量減 少,高血壓,注意力 減少 |
| 60 | 普通會話 | 計算能力降低 |
| 50 | 安靜之辦公室 | 腦波會改變 |
| 40 | | |
| 30 | 郊外晚上 | |
| 20 | 樹葉聲、耳語 | |

表 6 噪音對人體容許暴露時間之關值

| 暴露時間(小時) | 噪音位準(dBA) |
|----------|-----------|
| 8 | 90 |
| 6 | 92 |
| 4 | 95 |
| 3 | 97 |
| 2 | 100 |
| 1.5 | 102 |
| 1 | 105 |
| 0.5 | 110 |
| 0.25 | 115 |

表 7 噪音對室內環境談話及睡眠之不影響關值

| 噪音關值 | 白天(不影響會話) | 夜晚(不影響睡眠) |
|---------|-----------|-----------|
| 一般地區 | 45dB 以下 | 35dB 以下 |
| 面向道路的区域 | 45dB 以下 | 40dB 以下 |

2.3 各國高鐵噪音管制法規之比較

1. 日本新幹線鐵路噪音相關基準

日本新幹線鐵路噪音係採用 L_{max} (mean) 作為量測參數，其測量方法及基準則如表 8 及表 9 所列。然而當初日本新幹線鐵路沿線區域噪音之改善，達成目標所訂之期限係按表 10 之規定進行。

表 8 新幹線鐵路噪音測量方法

| 對象 | 環境噪音 | |
|---------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 名稱 | 新幹線鐵路噪音的相關環境基準 | |
| 適用地區 | 除了車站用地等以外，距離東海新幹線鐵路及東北新幹線之軌道中心 200 公尺以內的地區。 | |
| 噪音的測量方法 | 評估值 | 尖峰值測得之前半數的能量平均 |
| | 測量場所 | 代表該地區噪音的地點或容易發生噪音問題的地點，為了進行比較，最好合併量測 25m 及 50m 地點。 |
| | 時間 | 可以掌握平均狀況之時期 新幹線 道路噪音、延遲等時，減少為 10 列車次。 |
| | 測量次數 | 連續 20 車次的列車；但 4 小時內未滿 20 列車次時，或可取為 4 小時通過之列車次數，若尖峰值一定時，也可以減少為 10 車次。 |
| | 量測儀器 | 噪音計(普通噪音計或精密噪音計) |
| | 測量方法 | 在看到路線的場所，背景噪音比尖峰值低 10dB 的地點之尖峰值原則上為地上 1.2 公尺，距離牆壁 1 公尺 若高層住宅等也有問題時，最好能以其高度進行測量。 |
| 動特性 | SLOW | |

表 9 新幹線鐵路噪音相關的環境基準

(1975.7.29 環告第 46 號)

| 地區類型 | 符合地區 | 基準值(分貝) |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|---------|
| | 附表所示的區域中，第一種低層住宅專用地區、第二種低層住宅專用地區、第一種中高層住宅專用地區、第二種中高層住宅專用地區、第一種住宅區、第二種住宅區、及準住宅區 | 70 以下 |
| | 在附表所式的區域中，鄰近商業地區、準工業區、及工業區 | 75 以下 |

表 10 新幹線鐵路沿線區域噪音改善達成目標期間

| 新幹線鐵路之沿線區域的區分 | | 達成目標期間 | | |
|---------------|---------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | 既設新幹線鐵路相關期間 | 工程中新幹線鐵路相關期間 | 新設新幹線鐵路相關期間 |
| A | 80 分貝以上的區域 | 3 年以內 | 開業時 | 開業時 |
| B | 超過 75 分貝未達 80 分貝的區域 | a 7 年以內 | 開業時起 3 年以內 | |
| | b 10 年以內 | | | |
| C | 超過 70 分貝未達 75 分貝的區域 | 10 年以內 | 開業時起 5 年以內 | |

備註

1. 新幹線鐵路沿線區域之區分，欄 B 中的 a 為和地區類型 I 地區相連接的沿線區域，b 則是 a 以外的區域。
2. 達成目標期間欄內的既設新幹線鐵路、工程中新幹線鐵路、新設新幹線鐵路為下列各款所示的新幹線鐵路。
 - (1) 既設新幹線鐵路—東京及博多間的新幹線鐵路
 - (2) 工程中新幹線鐵路—東京及盛岡間、大宮及新潟間、及東京及成田間的新幹線鐵路。
 - (3) 新設新幹線鐵路—(1)及(2)以外的新幹線鐵路
3. 達成目標期間欄內所示期間中和既設新幹線鐵路相關期間，自環境基準規定日開始起算。

2. 國內法規

行政院環保署 85 年 1 月 31 日公告之「噪音法規」「環境音量標準」訂有：

第八條：高速鐵路交通噪音超過下列標準者，由主管機關會同各該主管機關採取適當防治措施。

| 時段 管制區 | 小時均能音量 | | |
|-------------|--------|----|----|
| | 早、晚 | 日間 | 夜間 |
| 第一類或第二類管制區內 | 60 | 65 | 55 |
| 第三類或第四類管制區內 | 70 | 75 | 65 |

註：測點應距外側軌軌中心線二十五公尺外。但高速鐵路邊有建築物者，應距離最靠近之建築物牆面線向外一公尺以上。

及第九條：前條高速鐵路交通噪音經改善後，應符合下列標準：

| 時段 管制區 | 小時均能音量 | | |
|-------------|--------|----|----|
| | 早、晚 | 日間 | 夜間 |
| 第一類或第二類管制區內 | 55 | 60 | 50 |
| 第三類或第四類管制區內 | 65 | 70 | 60 |

註

(1) 管制區分類

- 第一類：指環境極需安寧之地區。
- 第二類：指供住宅使用為主且需要安寧之地區。
- 第三類：指供工業、商業及住宅使用且須維護其住宅安寧之地區。
- 第四類：指供工業使用為主且需防止嚴重噪音影響附近住宅安寧之地區。

(2)時段區分

早：指上午五時至上午七時

晚：指晚上八時至晚上十時

日間：指上午七時至晚上八時

夜間：指晚上十時至翌日上午五時

3. 歐洲各國對鐵公路所訂之噪音標準

歐洲各國對鐵公路所訂之噪音標準或建議整理比較如表 11。至於法國及德國對高鐵噪音之管制標準則列表 12 及表 13。

表 11 歐洲各國對鐵公路沿線之噪音標準比較

| 國家 | 法規標準指引 | 道路 | 鐵路 | 時間 | 備註 |
|----|--------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 丹麥 | 指引(G) | 58(F) | 63(F) 88L _{Annex} | 24 h 24h | |
| 挪威 | 法規(R) | -- | 60(F) | 24h | |
| 瑞典 | 標準(S) | -- | 63(F) 30(客廳) 50L _{Annex} (房間) | 24h 24h 2200-0600 | |
| 法國 | 法規(R) | 60(F) | 65-70(F) | 0800-2000 | 1 |
| 德國 | 標準(S) | 59(FF) 49(FF) | 59-64(FF) 49-54(FF) | 0600-2200 2200-0600 | 1 |
| 荷蘭 | 標準(S) | 50(FF) 45(FF) 40(FF) | 60(FF) 55(FF) 50(FF) | 0700-1900 1900-2300 2300-0700 | 1,2 1,2 1,2 |
| 瑞士 | 標準(S) | 55 45 | 60(FF) 50(FF) | 0600-2200 2200-0600 | 1 1 |
| 英國 | 道路標準(S) 鐵路標準(S) | 68 L _{A10,18} | 68(F) 63(F) | 0600-2400 0000-0600 | 1 1 |

註：表中音量為註明者係採 L_{aeq}；註明 F 表示臨道路面(Facade)；FF：表示自由聲場(Free Field)。備註欄中 1 表示當音量超過規定須提供適當的阻隔改善；2 表示自 2000 年月 1 日起鐵路音量限制減為 57,52,47dB(A)。

表 12 法國高鐵環境噪音標準

| 噪音種類 | 速度 V(km/hr) | 限值 dB(A) | 備註 |
|--------------|-------------|----------|--------------------|
| 列車行進噪音 | 300 | 96 | 於距軌道中心線 25m 處測得 |
| | 250 | 93 | |
| 車廂內噪音 | 300 | 65 | 區間運行時 |
| | 250 | 70 | 隧道運行時 |
| | 0 | 55 | 停站空調裝置 |
| 車廂通過月臺 噪音 | 0 | 60 | 停站時 |
| | 300 | 80 | 門廊 |
| | 300 | 82 | 通道 |

表 13 德國高鐵噪音管制標準

| 高鐵沿線區域區分 | 日間(6 A.M.~10 P.M.) | 夜間(10P.M.~6A.M.) |
|-------------------|--------------------|------------------|
| 鄰近醫院、學校、 醫療院地區 | 57 dB(A) | 47 dB(A) |
| 住宅區 | 59 dB(A) | 49 dB(A) |
| 市中心混合區及鄉 村地區 | 64 dB(A) | 54 dB(A) |
| 商業區及工業區 | 69 dB(A) | 59 dB(A) |

三、高鐵振動評估指標及影響量表

高鐵列車行駛對環境振動造成的衝擊，與其它任何種類的鐵路車輛一樣，均會造成沿線地盤或鄰近建築振動，此種振動強制侵入建物而被建築內之居民感受得到，以致對人造成影響。其次，此種振動還會引起窗戶、櫥櫃內物品及掛在牆上之畫像等嘎嘎作響。另外亦會由建築壁面之振動而輻射出聲音，此種聲音一般稱之為地盤傳音(Ground-borne noise)，通常是屬於一種聽得見但低頻而低沈的隆隆聲，稱為低頻音。

因此欲評估高鐵振動對環境之影響，其應採用之指標為地盤振動量及建築物之振動量。地盤與建築物之振動量會隨與軌道中線之距離增加而衰減。圖 4 表示一典型的高鐵列車以 250 公里/小時行駛時之地盤振動速度均方根值與軌道中線距離之關係曲線。通常在距離高鐵軌道中線 5 公尺內之地盤振動量會超過 90dB，而在 100 公尺以外會降至 70dB 以下。

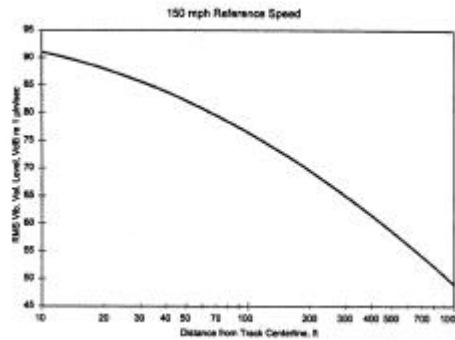


圖 4 一般性之高鐵引起的地盤振動曲線[5]

3.1 新幹線鐵路振動的相關準則

日本環境保全之「緊急新幹線鐵路振動對策(報告)」(1976.3.12)[1]指出，新幹線鐵路的列車行駛時，發生明顯振動的沿線部份地區，因產生無法忽視的受害，為了處理這種現狀，而必須達成下列高速鐵路振動對策相關準則等，進行勸告採取必要的措施。

1. 目的

- (1) 高鐵振動的補正加速度位準超過 70dB 的地區，應緊急採取振動源及公害防止對策等。
- (2) 醫院學校及其他擁有特別需要保存安靜的地區，除了應有特別的考量還要儘速處理。

2. 測量方法

(1) 測量單位採用垂向加權加速度位準(單位 dB)。

(註)加權加速度位準是垂向振動的頻率為 $f(\text{Hz})$ 及加速度實效值為 $A(\text{m/s}^2)$ 時，以對加速度基準值 $A_0(\text{m/s}^2)$ 比之常用對數的 20 倍，亦即 $20\log(A/A_0)$ (單位 dB) 來表示。此時 A_0 為下列數值。

1Hz f 4Hz 時， $A_0=2 \times 10^{-5} f^{1/2} (\text{m/s}^2)$

4Hz f 8Hz 時， $A_0=10^{-5} (\text{m/s}^2)$

8Hz f 90Hz 時， $A_0=0.125 \times 10^{-5} f (\text{m/s}^2)$

(2) 量測點條件如下所示

- A. 量測振動的場所應為無緩衝物且地面十分踏實的位置。
- B. 量測振動的場所為沒有傾斜或凹凸、且水平的位置。
- C. 量測振動的場所應為不受外界條件影響的位置。
- D. 噪音計的動特性應為 slow。

(3) 量測時，應配合上行及下行列車，原則上應針對連續通過之 20 班列車所量測之振動峰值。

(4) 對振動的評估，應以(3)所量測之 20 班列車振動峰值中，其前面半數來計算出算數平均數。

3. 達成目標之策略

(1) 新幹線鐵路振動之振動源，應採取降低構造物之振動對策等措施。縱使上述措施，但以現在的技術仍難以降低振動時，應儘快進行構造物的防振措施及隔振對策等技術之開發。

(2) 新幹線鐵路振動之公害防治對策上，應對振動較明顯的地區優先實施；對於既存之住宅建物的移轉補償、改善及補強工程輔助等措施，

應特別進行住宅防振措施技術之開發及採取利用住宅修補等方式來降低振動之影響。

- (3) 新幹線鐵路之振動對策實施上，應同時合併實施以『新幹線鐵路噪音相關環境基準(1975年7月)環境廳告示第46號』為基礎之噪音對策、其他環境對策。

3.2 振動量對人體及建築物之影響評估

有關振動對人體或建築物之影響評估，目前較為工程界引用之標準分別是 DIN 4150 (德國標準,1986)及 ISO 2631 (國際標準化組織 1985)。

3.2.1 DIN4150 對建築物所在區域之許可振動量標準

DIN 4150 是根據振動的特性如振源型式、強度、頻率分佈、作用時間、驚異度、及居民生理和心理健康狀況與居家環境等因素，所建立之一套相當嚴謹的振動評估規範，其建議之振動值如表 14 及表 15 所列。

表 14 執行都市振動時之最大許可振動範圍建議(DIN4150)

| 連續振動 | 頻率 (Hz) | 區域振幅(吋) | | |
|------|---------|---------|--------|--------|
| | | 住宅 | 商業 | 工業 |
| | 10 及以下 | 0.0005 | 0.0010 | 0.0022 |
| | 10~20 | 0.0004 | 0.0008 | 0.0016 |
| | 20~30 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0010 |
| | 30~40 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0006 |
| | 40~50 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0005 |
| | 50~60 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0004 |
| | 60 以上 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0004 |
| 衝擊振動 | 頻率 (Hz) | 區域振幅(吋) | | |
| | | 住宅 | 商業 | 工業 |
| | 10 及以下 | 0.0010 | 0.0020 | 0.0044 |
| | 10~20 | 0.0008 | 0.0016 | 0.0032 |
| | 20~30 | 0.0006 | 0.0010 | 0.0020 |
| | 30~40 | 0.0004 | 0.0008 | 0.0012 |
| | 40~50 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0010 |
| | 50~60 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0008 |
| | 60 以上 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0008 |

表 15 DIN4150 Part2 容許振動參考值

| 項目 | 作用地點 | 白天 | | | 夜晚 | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|----|------|------|------|------|
| | | Au | Ao | Ar | Au | Ao | Ar |
| 1 | 作用地點附近只有工商業設施，其間有時例外夾雜著企業所有人和幹部住宅以及工廠管理人員和員工宿舍(請參閱 BauNVO 第 9 條關於工業區的規定) | 0.4 | 6 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.15 |
| 2 | 作用地點附近以工商業設施為主(請參閱 BauNVO 第 8 條關於工商綜合區的規定) | 0.3 | 6 | 0.15 | 0.2 | 0.4 | 0.1 |
| 3 | 作用地點附近即不是以工商業設施為主，也不是以住宅為主(請參閱 BauNVO 第 7 條關於工商核心區，第 6 條關於混合區，和第 5 條關於鄉村區的規定) | 0.2 | 5 | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.07 |
| 4 | 作用地點附近只有住宅，或者以住宅為主(請參閱 BauNVO 第 3 條關於純住宅區，第 4 條關於一般住宅區，和第 2 條關於小型住宅區的規定) | 0.15 | 3 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.05 |
| 5 | 需特別保護的作用地點，例如醫院，或療養院，但以各該建築物座落於相關特區者為限，例如醫療特區、療養特區等等。 | 0.1 | 3 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.05 |
| 括號裏列舉的是建築使用條例 BauNVO 規定的區域，這些區域大致上都和第 1 到第 4 的區域特性相符，但二者並非完全一樣，因為第 1 項到第 4 項的區域特性完全是以防範振動侵入的安全防護作為歸類的出發點，但建築使用條例的區域還必須考慮其他規劃要求。 | | | | | | | |

3.2.2 ISO2631 建議之人體許可振動量表

ISO2631 係考慮振動對人體健康、舒適度、感受度及暈眩度幾個層面來訂定振動標準，其中之內涵經整理分析得出以下要點：

1. 人體對振動之敏感頻率範圍

人體受(0.1~0.5)Hz 之振動頻率對人體暈眩敏感，而(0.5~80)Hz 之振動頻率則對人體之健康、舒適度及感受度敏感。

2. 振動位準之定義

加速度位準(L_a)係按下式計算：

$$L_a = 10 \log \left(\frac{a^2}{a_{ref}^2} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

式中 a 為測得之振動加速度， a_{ref} 為參考加速度取為 10^{-5}m/sec^2 。

速度位準(L_v)則係按下式計算：

$$L_v = 10 \log \left(\frac{v^2}{v_{ref}^2} \right) \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

式中 v 為測得之振動速度， v_{ref} 為參考速度取為 10^{-6}in/sec 。

3. 適用範圍

- ISO 2631-1 規範周期性、隨機性及瞬時性等的人體振動之量測方法。
- 所考量之頻率範圍：
 - 針對健康、舒適度與其感受度：(0.5 ~ 80) Hz
 - 針對暈車：(0.1 ~ 0.5) Hz
- 不包含意外事故造成重大撞擊之振動。
- ISO 2631-1 於振動傳遞至整個身體之相關應用包括人體站姿之足部及臀部；坐姿之背脊及足部；臥姿者之支撐部位。以上振動，大部分發生於交通工具，機械，建物及工作場所中的機械附近。

4. 應用加權均方根(RMS)加速度之振動基本評估方法

- ISO 2631-1 之振動評估方法，採用加權均方根(RMS)加速度值。
- 加權均方根(RMS)加速度值，由以下公式計算：

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$a_w(t)$ ：時間函數之加權均方根加速度值(包括移動加速度及轉動加速度)。加速度值的單位為 m/s^2 ，轉動加速度值的單位為 rad/s^2 。

T：量測時間長度，單位為秒(s)。

5. 基本評估方法之應用

- 波峰係數(crest factor)之定義

$$\text{波峰係數} = \frac{\text{最大瞬時頻率加權加速度峰值}}{\text{頻率加權加速度均方根值}} \quad (5)$$

式中之峰值係指量測時間 T 內之峰值。

- 針對高波峰係數之基本評估方法的應用
若振動之波峰係數 ≥ 9 時，一般而言採用基本評估方法便足夠。若基本評估方法不足以採用時，則採用額外評估方法。

6. 額外評估方法

- 基本評估方法，對於高波峰係數，臨時發生的振動，瞬間振動的影響，可能會低估，此時可採用額外評估方法。額外評估方法包括：
 - 連續均方根法(Running r.m.s method)
 - 1/4 冪次方振動劑量法(Fourth power vibration dose method)

7.連續均方根法

連續均方根評估方法考慮短時間內之暫態衝擊及瞬間振動。振動量定義為最大瞬間振動值 [maximum transient vibration value (MTVV)]，並由下式計算。

$$a_w(t_0) = \left[\frac{1}{t} \int_{t_0-t}^{t_0} a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

式中 $a_w(t)$ 為瞬間頻率加權加速度， t 為連續平均之積分時間， t_0 為瞬時

- 最大瞬間振動值(MTVV)定義

$$MTVV = \max[a_w(t_0)] \tag{7}$$

亦即量測期間 T 內，所讀出之最大值即為 MTVV。量測時建議採用 $t = 1\text{sec}$ 。

8. 1/4 幕次方振動劑量法

本法對尖峰值(peaks)的敏感度較平方法強。(1/4 幕次方振動劑量) (VDV)的單位為 $\text{m/s}^{1.75}$ 或 $\text{rad/s}^{1.75}$ ，其算式為：

$$VDV = \left[\int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \tag{8}$$

式中 $a_w(t)$ 為瞬時間頻率加權加速度，T 為量測時間

- 兩個或兩個以上週期之 VDV 值相加，按以下方法計算方法如下：

$$VDV_{total} = \left[\sum_i VDV_i^4 \right]^{\frac{1}{4}} \tag{9}$$

9.基本評估法與額外評估法之評估指標

根據經驗，當額外評估方法算得之值，超過以下相關值時，對於人體之舒適度，會有重大影響。

$$\frac{MTVV}{a_w} = 1.5, \quad \frac{VDV}{a_w T^{\frac{1}{4}}} = 1.75 \tag{10}$$

10. 頻率加權參數

振動對健康，舒適度，感受度及暈眩度的影響程度，隨著不同振動頻率的含量及不同座標方向之振動，而有不同頻率加權係數。表 16 及表 17 為 ISO2631 中各類頻率基本加權與額外加權參數所應用之對象。

表 16 頻率加權參數之應用指引 - 基本加權

| 頻率權重 | 健康 | 舒適度 | 感受度 | 暈眩度 |
|-------|------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| W_k | x 軸, 坐位椅面 | z 軸, 坐位椅面 z 軸, 站姿 站姿倚靠(頭除外) x 軸、y 軸、z 軸, 足部(坐著) | z 軸, 坐位椅面 z 軸, 站著 站姿倚靠(頭除外) | - |
| W_d | y 軸, 坐位椅面 z 軸, 坐位椅面 | x 軸, 坐位椅面 y 軸, 坐位椅面 x 軸、y 軸, 站姿 水平躺姿 y 軸、z 軸, 靠背 | x 軸, 坐位椅面 y 軸, 坐位椅面 x 軸、y 軸, 站姿 水平躺姿 | - |
| W_f | - | - | - | 垂直 |

表 17 頻率加權參數之應用指引 - 額外加權

| 頻率權重 | 健康 | 舒適度 | 感受度 | 暈眩度 |
|-------|---------|---------------------------------|---------------------------------|-----|
| W_c | x 軸, 靠背 | x 軸, 靠背 | x 軸, 靠背 | - |
| W_e | - | r_x 軸、 r_y 軸、 r_z 軸, 坐位椅面 | r_x 軸、 r_y 軸、 r_z 軸, 坐位椅面 | - |
| W_i | - | 直立靠著(頭部) | 直立靠著(頭部) | - |

表 18 及表 19 為以上相關頻率加權參數之值，其對應之頻率加權參數曲線則示如圖 5 及圖 6，以資對照。

表 18 ISO2631 振動基本加權參數值(1/3 倍頻帶)

| 頻帶 編號 x | 頻率 f Hz | W_k | | W_d | | W_f | |
|-----------------|-----------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | factor $\times 1000$ | dB | factor $\times 1000$ | dB | factor $\times 1000$ | dB |
| -17 | 0.02 | | | | | 24.2 | -32.33 |
| -16 | 0.025 | | | | | 37.7 | -28.48 |
| -15 | 0.0315 | | | | | 59.7 | -24.47 |
| -14 | 0.04 | | | | | 97.1 | -20.25 |
| -13 | 0.05 | | | | | 157 | -16.1 |
| -12 | 0.063 | | | | | 267 | -11.49 |
| -11 | 0.08 | | | | | 461 | -6.73 |
| -10 | 0.1 | 31.2 | -30.11 | 62.4 | -24.09 | 695 | -3.16 |
| -9 | 0.125 | 48.6 | -26.26 | 97.3 | -20.24 | 895 | -0.96 |
| -8 | 0.16 | 79 | -22.05 | 158 | -16.01 | 1006 | 0.05 |
| -7 | 0.2 | 121 | -18.33 | 243 | -12.28 | 992 | -0.07 |
| -6 | 0.25 | 182 | -14.81 | 365 | -8.75 | 854 | -1.37 |
| -5 | 0.315 | 263 | -11.6 | 530 | -5.52 | 619 | -4.17 |
| -4 | 0.4 | 352 | -9.07 | 713 | -2.94 | 384 | -8.31 |
| -3 | 0.5 | 418 | -7.57 | 853 | -1.38 | 224 | -13 |
| -2 | 0.63 | 459 | -6.77 | 944 | -0.5 | 116 | -18.69 |
| -1 | 0.8 | 477 | -6.43 | 992 | -0.07 | 53 | -25.51 |
| 0 | | 482 | -6.33 | 1011 | 0.1 | 23.5 | -32.57 |
| 1 | 1.25 | 484 | -6.29 | 1008 | 0.07 | 9.98 | -40.02 |
| 2 | 1.6 | 494 | -6.12 | 968 | -0.28 | 3.77 | -48.47 |
| 3 | 2 | 531 | -5.49 | 890 | -1.01 | 1.55 | -56.19 |
| 4 | 2.5 | 631 | -4.01 | 776 | -2.2 | 0.64 | -63.93 |
| 5 | 3.15 | 804 | -1.9 | 642 | -3.85 | 0.25 | -71.96 |
| 6 | 4 | 967 | -0.29 | 512 | -5.82 | 0.097 | -80.26 |
| 7 | 5 | 1039 | 0.33 | 409 | -7.76 | | |
| 8 | 6.3 | 1054 | 0.46 | 323 | -9.81 | | |
| 9 | 8 | 1036 | 0.31 | 253 | -11.93 | | |
| 10 | 10 | 988 | -0.1 | 212 | -13.91 | | |
| 11 | 12.5 | 902 | -0.89 | 161 | -15.87 | | |
| 12 | 16 | 768 | -2.28 | 125 | -18.03 | | |
| 13 | 20 | 636 | -3.93 | 100 | -19.99 | | |
| 14 | 25 | 513 | -5.8 | 80 | -21.94 | | |
| 15 | 31.5 | 405 | -7.86 | 63.2 | -23.98 | | |
| 16 | 40 | 314 | 10.05 | 49.4 | -26.13 | | |
| 17 | 5 | 246 | -12.19 | 38.8 | -28.22 | | |
| 18 | 63 | 186 | -14.61 | 29.5 | -30.6 | | |
| 19 | 80 | 132 | -17.56 | 21.1 | -33.53 | | |
| 20 | 100 | 88.7 | -21.04 | 14.1 | -36.99 | | |
| 21 | 125 | 54 | -25.35 | 8.63 | -41.28 | | |
| 22 | 160 | 28.5 | -30.91 | 4.55 | -46.84 | | |
| 23 | 200 | 15.2 | -36.38 | 2.43 | -52.30 | | |
| 24 | 250 | 7.9 | -42.04 | 1.26 | -57.97 | | |
| 25 | 315 | 3.98 | -18 | 0.64 | -63.92 | | |
| 26 | 400 | 1.95 | -54.2 | 0.31 | -70.12 | | |

表 19 ISO2631 振動額外加權參數值(1/3 倍頻帶)

| 頻帶 編號 x | 頻率 f Hz | W_k | | W_d | | W_f | |
|---------------|---------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| | | factor x1000 | dB | factor x1000 | dB | factor x1000 | dB |
| -17 | 0.02 | | | | | 24.2 | -32.33 |
| -16 | 0.025 | | | | | 37.7 | -28.48 |
| -15 | 0.0315 | | | | | 59.7 | -24.47 |
| -14 | 0.04 | | | | | 97.1 | -20.25 |
| -13 | 0.05 | | | | | 157 | -16.1 |
| -12 | 0.063 | | | | | 267 | -11.49 |
| -11 | 0.08 | | | | | 461 | -6.73 |
| -10 | 0.1 | 31.2 | -30.11 | 62.4 | | 695 | -3.16 |
| -9 | 0.125 | 48.6 | -26.26 | 97.3 | | 895 | -0.96 |
| -8 | 0.16 | 79 | -22.05 | 158 | | 1006 | 0.05 |
| -7 | 0.2 | 121 | -18.33 | 243 | | 992 | -0.07 |
| -6 | 0.25 | 182 | -14.81 | 365 | -8.75 | 854 | -1.37 |
| -5 | 0.315 | 263 | -11.6 | 530 | -5.52 | 619 | -4.17 |
| -4 | 0.4 | 352 | -9.07 | 713 | -2.94 | 384 | -8.31 |
| -3 | 0.5 | 418 | -7.57 | 853 | -1.38 | 224 | -13 |
| -2 | 0.63 | 459 | -6.77 | 944 | -0.5 | 116 | -18.69 |
| -1 | 0.8 | 477 | -6.43 | 992 | -0.07 | 53 | -25.51 |
| 0 | 1 | 482 | -6.33 | 1011 | 0.1 | 23.5 | -32.57 |
| 1 | 1.25 | 484 | -6.29 | 1008 | 0.07 | 9.98 | -40.02 |
| 2 | 1.6 | 494 | -6.12 | 968 | -0.28 | 3.77 | -48.47 |
| 3 | 2 | 531 | -5.49 | 890 | -1.01 | 1.55 | -56.19 |
| 4 | 2.5 | 631 | -4.01 | 776 | -2.2 | 0.64 | -63.93 |
| 5 | 3.15 | 804 | -1.9 | 642 | -3.85 | 0.25 | -71.96 |
| 6 | 4 | 967 | -0.29 | 512 | -5.82 | 0.097 | -80.26 |
| 7 | 5 | 1039 | 0.33 | 409 | -7.76 | | |
| 8 | 6.3 | 1054 | 0.46 | 323 | -9.81 | | |
| 9 | 8 | 1036 | 0.31 | 253 | -11.93 | | |
| 10 | 10 | 988 | -0.1 | 212 | -13.91 | | |
| 11 | 12.5 | 902 | -0.89 | 161 | -15.87 | | |
| 12 | 16 | 768 | -2.28 | 125 | -18.03 | | |
| 13 | 20 | 636 | -3.93 | 100 | -19.99 | | |
| 14 | 25 | 513 | -5.8 | 80 | -21.94 | | |
| 15 | 31.5 | 405 | -7.86 | 63.2 | -23.98 | | |
| 16 | 40 | 314 | -10.05 | 49.4 | -26.13 | | |
| 17 | 50 | 246 | -12.19 | 38.8 | -28.22 | | |
| 18 | 63 | 186 | -14.61 | 29.5 | -30.6 | | |
| 19 | 80 | 132 | -17.56 | 21.1 | -33.53 | | |
| 20 | 100 | 88.7 | -21.04 | 14.1 | -36.99 | | |
| 21 | 125 | 54 | -25.35 | 8.63 | -41.28 | | |
| 22 | 160 | 28.5 | -30.91 | 4.55 | -46.84 | | |
| 23 | 200 | 15.2 | -36.38 | 2.43 | -52.30 | | |
| 24 | 250 | 7.9 | -42.04 | 1.26 | -57.97 | | |
| 25 | 315 | 3.98 | -48 | 0.64 | -63.92 | | |
| 26 | 400 | 1.95 | -54.2 | 0.31 | -70.12 | | |

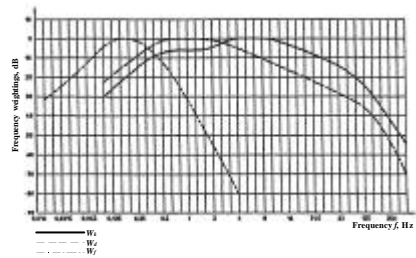


圖 5 ISO2631 基本頻率加權參數曲線

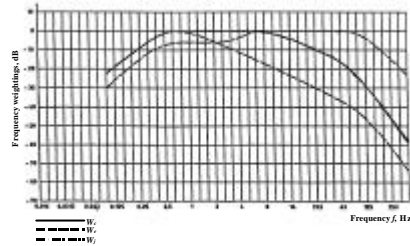


圖 6 ISO2631 額外頻率加權參數曲線

11. 加速度頻譜之頻率加權計算

1/3 倍頻帶之轉換加權係數，採用表 18 及表 19 之值。所有加權加速度須按以下公式計算：

$$a_w = \left[\sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

a_w 為頻率加權加速度； W_i 為相關加權係數值； a_i 為第 i 個 1/3 倍頻帶加速度之均方根值

12. 多方向振動之總合振動量(a_v)

加權均方根加速度之總振動量，按式(12)由正交座標方向之振動分量計算。總振動量之值 a_v 可用作振動對人體影響之評估指標。

$$a_v = \left(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} 分別為正交座標 x , y , z 方向之加權均方根加速度

k_x , k_y , k_z 為相乘係數，其值因 a_v 用作健康評估、舒適度評估或感受度評估之不同而異。

- 若應用於健康評估， k 值為
 - X-軸, W_d , $k=1.4$
 - Y-軸, W_d , $k=1.4$
 - Z-軸, W_k , $k=1.0$
- 其它應用於舒適度及感受度評估之 k 值則列如表 21。

13. 人體對振動感受度之評估

若總振動加速值達 0.015 m/sec^2 時，大約有 50% 之正常人能夠感受到有振動。這個振動加速度值可用來訂定建築物之振動標準。建築物對地震之反應指標可列如表 20 之說明，其可作為簡單的評估指標。而人體對振動之各種反應評估指標則彙整於表 21。

表 20 建築物對地震之簡單反應評估指標

| 震度 | 名稱 | 最大振動 加速度 (cm/s ²) | 受害損傷的狀況 | 震動位準 (換算值) |
|------|----|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|
| 震度 0 | 無感 | 0.8 以下 | 人體沒有感覺，地震計有記錄 | 55dB |
| 震度 1 | 微振 | 0.8~2.5 | 靜止的人或對地震特別注意的人會感覺到 | 55~65 |
| 震度 2 | 輕震 | 2.5~8 | 大部份的人都可以感覺到、紙門會輕微振動 | 65~75 |
| 震度 3 | 弱震 | 8~25 | 住宅會搖動、紙門會發出振動的聲音、電燈會晃動、可以從容器內的水面看出震動情形 | 75~85 |
| 震度 4 | 中震 | 25~80 | 住宅搖動激烈、未擺好的花瓶會傾倒、行進中的人也可以感覺到震動、許多人會跑到戶外 | 85~95 |
| 震度 5 | 強震 | 80~250 | 牆壁龜裂、墓碑及石獅會傾倒、煙囪及石籬笆會破損 | 95~105 |
| 震度 6 | 烈震 | 250~400 | 住宅傾倒在 30% 以下、發生山崩地裂、大部份的人無法站立 | 105~110 |
| 震度 7 | 激震 | 400 以上 | 住宅傾倒在 30% 以上、發生山崩地裂及斷層等 | 110 以上 |

表 21 ISO-2631 之振動對人體健康、舒適度、感受度、暈眩度之評估指標

| | 健康 | 舒適度 | 感受度 | 暈眩度 |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 頻率範圍 | 0.5Hz 至 80 Hz | 0.5Hz 至 80 Hz | 0.5Hz 至 80 Hz | 0.1 至 0.5Hz |
| 振動量計算式 | $a_{we} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2}$ $a_{we} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/4}$ | $a_{we} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2}$ 或 $a_{we} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/4}$ | - | $MSDV_z = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right\}^{1/2}$ $MSDV_z = a_w T_0^{1/2}$ |
| K 值 | x 軸: $W_d k=1.4$ y 軸: $W_d k=1.4$ z 軸: $W_d k=1$ 靠背 x 軸: $W_c, k=0.8$ | 坐著的人: x 軸 (支撐座位表面): $W_d k=1$ y 軸 (支撐座位表面): $W_d k=1$ z 軸 (支撐座位表面): $W_d k=1$ 在支撐座位表面的 r_x 軸: $W_d k=0.63m/rad$ 在支撐座位表面的 r_y 軸: $W_c k=0.4m/rad$ 在支撐座位表面的 r_z 軸: $W_c k=0.2m/rad$ 背部的 x 軸: $W_c k=0.8$ 背部的 y 軸: $W_d k=0.5$ 背部的 z 軸: $W_d k=0.4$ 腳部的 x 軸: $W_k k=0.25$ 腳部的 y 軸: $W_k k=0.25$ 腳部的 z 軸: $W_k k=0.4$ 站著的人: x 軸(地板振動): $W_d k=1$ y 軸(地板振動): $W_d k=1$ z 軸(地板振動): $W_k k=1$ 平躺的人: 水平軸: $W_d k=1$ 垂直軸: $W_k k=1$ | 坐著的人: 支撐座位表面 x 軸、y 軸、z 軸: $k=1$ 站著的人: 地板下 x 軸、y 軸、z 軸: $k=1$ 平躺的人: 支撐表面 x 軸、y 軸、z 軸 (頭部): $k=1$ | Z 軸 W_d |
| 評估指標 av | | 小於 0.315m/s ² - 不會有不舒適感覺 0.315m/s ² 至 0.63m/s ² - 一點點不舒適感覺 0.5m/s ² 至 1m/s ² - 有些微不舒適感覺 0.8m/s ² 至 1.6m/s ² - 有不舒適感覺 1.25m/s ² 至 2.5m/s ² - 有很不舒適感覺 大於 2.5m/s ² - 有非常不舒適感覺 | 中間值: 0.015 m/s ² 分布範圍: 0.01m/s ² 至 0.02 m/s ² | 百分之 70 的暈車感會持續 20 分鐘至 6 個小時。 大於 0.5m/s ² ，會嘔吐。 |

3.3 振動影響量表

日本都會地區密集的建築物，四通八達的大眾運輸系統路網，以及四處可見的營建工程施工作業，環境振動陳情事件發生得相當早，所以在解決此一公害問題有很先進的技術，一般而言，日本民眾提出振動對其影響的陳情內容可概分為：

1. 物的方面：門、窗戶、天花板有搖動現象；門、窗戶、天花板發生喀啦喀啦響聲。
2. 心理方面：睡眠受到妨害、影響思考及讀書、周遭氣氛有壓迫感。
3. 生理方面：頭痛或頭重感覺、耳鳴、耳朵有壓迫感、胸部或腹部有壓迫感、喉嚨有振動感覺或感覺乾燥、鼻子癢癢的、吸氣苦苦的或咳嗽、呼吸不順暢、腸胃不適、血壓升高。

根據日本研究文獻指出，在機械設備運轉時，往往同時有振動加速度及低頻振動的影響。圖 7 表示 50 ~ 60dB 的振動量，約有 50 % 的居民會感受到；65dB 時有 30 % 的居民有壓迫感；至 75dB 時會有 50 % 的居民感受到壓迫感。表 22 是振動對睡眠的影響。當地表面振動達 55 分貝（振動台床上振動達 60 分貝）時，睡眠即開始被影響；至地表面振動達 74 分貝（振動台床上振動達 79 分貝）時，連 3 度睡眠狀態有較強的影響。

表 22 振動對睡眠的影響

| 垂直振動位準 (dB) | | 睡眠及其影響 |
|-------------|--------|---------------------------------|
| 地表面 | 振動台的床上 | |
| 55 | 60(5) | 開始產生影響 |
| 60 | 65(10) | 1 度睡眠被打擾； 2 度睡眠有半數被打擾 |
| 64 | 69(14) | 1 度睡眠被打擾， 2 度睡眠以上略有影響 |
| 69 | 74(19) | 1 度睡眠及 2 度睡眠被打擾， 3 度睡眠略有影響 |
| 74 | 79(24) | 1 度睡眠及 2 度睡眠均會被打擾， 3 度睡眠影響增強 |

說明：振動的增量為地表面的 5 分貝換算，睡眠時間以 8 小時計。

環保署於七十九年委託調查過關於振動方面的騷擾程度，包含對房屋及家具的影響、對心理的影響、對生病者的干擾、對閱讀及思考事情的影響、對睡眠的影響等六項。以嘉義客運車站周圍地區振動測點附近之住民為問卷對象，如房屋與道路垂直時，選離道路第 1 戶到第 6 戶，即離道路約 0 ~ 30 公尺。如房屋與道路平行時，選道路兩邊的第一排房屋為問卷調查對象。

調查內容為男女別、年齡、住在該地的期間、職業，關於振動方面分成騷擾程度、對房屋及家具的影響、對心理的影響、對生病者的干擾、對閱讀及思考事情的影響、對睡眠的影響等六項，每項分成 5 種程度。該次問卷調查受訪問者男 125 名，女性 198 名，計 323 名，住該地期間 3 年以下 119 名與 10 年以上 147 名，佔總人數約 83%，職業則以學生 181 名與商人 88 名較多，佔總人數的 84%，年齡分佈以 16 ~ 40 歲為主，計 284 名，佔總人數 89%。

調查結果發現振動量須至 VL(垂直振動量)55dB(JIS)起，才會有感覺。此與日本以 55dB 為振動干擾評估標準結果相同。此外，振動以 L_{eq} 值表示時其值偏低，較無法反應其環境公害之意義，而所謂「公害」乃指影響人們之生活環境或健康之環境污染因子，由此一調查也發現台灣的民眾對 55dB 以下之振動並無感覺。表 23 是不同振動量對人與建築物產生的影響，事實上，人們對振動的感受會因生活習性、性別、年齡及生理及心理狀況而異，甚至不同國籍文化的人民對振動敏感程度，也會有所差異。年紀大的人可能較為敏感，振動承受的能力較差。所以振動影響量表僅能供參考，在處陳情案件時仍應以陳情人實際感受及訪談為主。

表 23 我國民眾之振動影響量表

| 音量(dB) | 影響結果 |
|--------|----------------|
| 90 | 房屋劇烈搖動、有倒塌的可能 |
| 80 | 房屋搖動、門窗? 啦? 啦響 |
| 70 | 人的感覺很明顯, 門窗會動 |
| 60 | 人在靜止狀態有感覺 |
| 50 | 人體感覺不到的程度 |

國際標準組織針對振動規定的基準值係以八度倍頻, 按 x、y、z 軸分別訂定不同曲線值。而日本環境省訂定發布之振動管制標準則以垂直 (z 軸) 為主之振動管制標準值, 如所訂頒之「特定工事等振動管制標準」。即是為提高執行可行性, 及簡化稽查量測作業, 日本採取各頻率加權總量而得振動位準 (L_{veq})。

四、討論及結論

就本研究之探討, 為合理有效管制高速鐵路之噪音振動對環境造成之衝擊, 避免沿線民眾之抱怨陳情, 應採用之評估指標在噪音管制上為車輛通過之 A 加權平均最大音量 L_{max} (mean), 在振動管制上總合頻率加權振動加速度 a_v 為宜。綜合考量國人之感受度, 施工合約中之驗收標準等因素。既然採用了日本新幹線系統, 管制標準不應訂得比日本低才屬合理。

參考文獻

- [1] 日本環境廳, 新幹線鐵路振動的噪音相關環境指針, 環境保全上緊急新幹線鐵路振動對策(勸告), 1976。
- [2] ISO 2631-1, 1997(E), Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration—Part 1: General Requirements, 1997.
- [3] ISO 2631-2, Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration—Part 2: Continuous and Shock-Induced Vibration in Buildings (1 to 80Hz). 1989.
- [4] 東京都環境保全局, 噪音及振動基準集, 1997。
- [5] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment, Office of Railroad Development, 1998.