

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書  
(出國類別：實習)

## 高速鐵路振動噪音防制對策 研習報告

服務機關：交通部高速鐵路工程局

出國人員 職 稱：正工程司兼科長

姓 名：鍾國義

出國地點：日本

出國期間：中華民國九十年七月一日至七月二十一日

報告日期：中華民國九十年十月

系統識別號:C09004321

公務出國報告提要

頁數: 62 含附件: 否

報告名稱:

高速鐵路振動噪音防制對策研習

主辦機關:

交通部高速鐵路工程局

聯絡人/電話:

/

出國人員:

鍾國義 交通部高速鐵路工程局 第六組 正工程司兼科長

出國類別: 實習

出國地區: 日本

出國期間: 民國 90 年 07 月 01 日 - 民國 90 年 07 月 21 日

報告日期: 民國 90 年 10 月 18 日

分類號/目: H4/鐵路 H4/鐵路

關鍵詞: 振動,噪音,軌道

內容摘要: 振動與噪音防制為高鐵建設計畫之重要課題，為推動高鐵建設計畫，特地赴日本研習台灣高鐵所採用系統一新幹線之振動與噪音防制。研習內容主要包括：新幹線振動、噪音之要求、量測方法及防制對策並至現地感受新幹線之振動與噪音。又因日本新幹線已以採用版式軌道為原則，故亦對日本版式軌道之發展應用與施工有所學習。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

# 目 錄

壹、實習目的.....	1
貳、實習過程.....	2
參、實習內容.....	4
一、噪音防制.....	4
二、振動防制.....	8
三、振動噪音實地見習.....	40
四、版式軌道.....	47
肆、心得與建議.....	61
附錄一 關於新幹線鐵道噪音之環境基準.....	63
附錄二	
新幹線鐵道在環境保全上緊急需要之振動對策.....	68
日本新幹線履勘作業有關實施噪音、振動檢測之規定.....	70
環境調查標準規範書.....	76
附錄三 日本版式軌道之發展（英文版）.....	89
附錄四 東北新幹線軌道工事.....	100

## 壹、實習目的

為配合推動南北高速鐵路興建計畫，本局特於九十年出國計畫「高速鐵路振動噪音防制對策研習」項下，派由鍾國義正工程司兼科長與「高鐵機電核心系統製造、組裝、維修與品保之研習」項下派遣之盧協成副工程司、王村竹幫工程司及吳世傳工程員併團，一起赴日本研習。以期建立本局高鐵振動噪音及機電系統相關之技術能力，俾利推動我國高速鐵路建設。本報告係以高鐵振動噪音防制對策為主，「高鐵機電核心系統製造、組裝、維修與品保之研習報告」見盧協成、王村竹、吳世傳等員另案所撰之報告。

## 貳、實習過程

0701 (日) 台北—東京羽田機場

0702 (一) 參觀 JR 東日本仙台總合車輛基地，實地瞭解車輛基地規模、設備及維修運作等。

0703 (二) 赴「東北新幹線八戶—青森間工事現場」見習，包括實地觀摩「東北新幹線軌道工事—混凝土版式軌道敷設」、八甲田隧道坑內鑽炸、田茂木野隧道污水處理及細越隧道段工事等。

0704 (三) 赴青函海底隧道參觀其安全設備及保安措施，其中包括隧道工事概況、斜坑排水措施、配電盤室、隧道安全設備火災檢知裝置等。

0705 (四) 由函館移動至東京

0706 (五) 上午至日本鐵道建設公團，瞭解日本鐵路新幹線之建設概況，下午赴 JR 東海旅客鐵道株式會社研習新幹線的軌道結構和施工、北陸新幹線軌道工事（高崎～長野間）及日本軌道工程之主要工作。

0707 (六) 假日（資料整理）

0708 (日) 假日（資料整理）

0709 (一) 上午赴東京拜訪 JR 東海旅客鐵道株式會社本部，中午由東京搭乘 Dr. Yellow T4 軌道綜合檢測車見習至新大阪，途中參觀車廂內部配備、功能與感受乘坐舒適度。下午至新京都車站實地參觀新站設施。

0710 (二) 至東京 JR 東海旅客鐵道株式會社研習，上午講授有關電

氣設備維護相關講題，下午為振動、噪音相關講題。

- 0711 (三) 至濱松車站實地感受高速列車通過車站時之振動與噪音。並到離新幹線約 50 公尺處之高科技晶圓廠瞭解列車通過時之振動與噪音。下午見習濱松總合車輛基地，瞭解車輛基地概要、車輛檢查等作業。
- 0712 (四) 與本局廖局長等一行會合參觀東海道及山陽新幹線位於東京之運轉總所，下午轉赴大阪。
- 0713 (五) 至兵庫川崎重工一車輛製造工場參觀。
- 0714 (六) 假日 (資料整理)
- 0715 (日) 假日 (資料整理)
- 0716 (一) 上午赴 JR 東京中央指令所見習列車運行計畫，下午至 JR 東海旅客鐵道株式會社研習新幹線車輛相關內容。
- 0717 (二) 上午赴東京第一車輛所見習車輛檢修作業，下午赴東京變電所瞭解大井基地高壓變電所配置及品川信號機械室瞭解號誌段配置情形，濱松町變頻站瞭解 50Hz 電力轉 60Hz 之配置與運作。
- 0718 (三) 至東芝 (府中車輛工場) 見學車輛電機設備組裝、電機部品製造等工程。
- 0719 (四) 上午至鶴見京三製作所見學信號設備製造，下午至日本交通株式會社研討振動、噪音課題。
- 0720 (五) 至上野地下車站見學車站配置與感受列車通過之振動、噪音。
- 0721 (六) 東京羽田機場一台北

## 參、實習內容

### 一、 噪音防制

噪音防制之研習除了搭乘新幹線列車，並至車站月台及新幹線路線旁體會新幹線噪音外，另承蒙 JR 東海旅客鐵道株式會社特別安排專業工程師講授其經驗，再加上與日本交通株式會社工程師研討，茲將研習心得整理，說明如后：

#### (一) 法令沿革

日本第一條新幹線—東海道新幹線於西元 1964 年通車時，並無針對噪音、振動等環保議題而設置防制措施(例如隔音牆)，後因東京至大阪間人口密集，工商業繁榮，環保問題遂愈受重視。日本新幹線鐵道噪音主要相關規定：

- 1972「境保護緊急需要的新幹線鐵路噪音對策(勸告)」(昭和 47.12.20 環大特第 60 號環境廳長官致運輸大臣勸告)：以住宅區之噪音為 80dB(A)以下為目標。
- 1975「關於新幹線鐵道噪音之環境基準」(昭和 50.7.29 環境廳告示第 46 號)詳附錄一。
- 1985「關於新幹線鐵道噪音之暫定基準」(昭和 60.10.24 運輸省通達)：前述噪音基準值以最大值  $L_{max}$  為基準，要於住宅區達到  $L_{max}$  不高於 70dB 目前仍很困難，故於昭和 60 年日本運輸省另頒布「暫定基準」，暫將第 I 類型區域之噪音環境基準訂為 75dB。

表 1-1 關於新幹線鐵道噪音之環境基準及達成目標期間

地域之類型	基準值
I (主要為供用於居住之地域)	70dB 以下
II (供用於工商業地域等，是 I 類型地域以外之地區，需維護日常生活安寧所需地域。)	75dB 以下

新幹線鐵道之沿線區域之區分	達成目標期間		
	關於既設新幹線鐵道之期間	關於施工中新幹線鐵道之期間	關於新設新幹線鐵道之期間
a. 80dB 以上之區域	3 年以內	開業時就需要	開業時就需要
b. 超過 75dB 未滿 80dB 之區域	i	7 年以內	
	ii	10 年以內	
c. 超過 70dB 而於 75dB 以下之區域	10 年以內	開業後 5 年以內	

備註：1. 新幹線鐵道之沿線區域之區分欄之 b 區域中，i 指的是相當於類型 I 的地區且為連續的沿線地區(相當於我國沿線密集住宅區之說法)。ii 就是除 i 以外之地區。

2. 達成目標期間欄中之既設新幹線鐵道，施工中新幹線鐵道及新建新幹線鐵道，各為下述新幹線鐵道謂之。

(1) 既設新幹線鐵道：東京~博多間之新幹線鐵道。

(2) 施工中新幹線鐵道：東京~盛岡間，大宮~新瀉間，東京~成田間之新幹線鐵道。

(3) 新建新幹線鐵道：除(1)及(2)以外之新幹線鐵道。

## (二) 噪音測定

新幹線噪音的測定為以軌道中心線側向 25 公尺高度 1.2 公尺處為噪音測定依準(據其解釋此點位置之噪音最大)：

1. 測定是在新幹線鐵路之上、下行列車合起來，原則上關於對連續通過之 20 次列車，取其各該列車噪音最高值記錄之。
2. 測定原則上在屋外之地上 1.2m 高執行，該測試點則為新幹線鐵道噪音之代表地點，另外尚應選定已成為新幹線鐵道噪音問題之場所。
3. 測試時期應避免有特殊氣象條件時，及認為列車速度較通常為低時不予辦理。



### (三) 噪音源分析

新幹線噪音音源主要為集電系統噪音、車身空氣動力噪音、車輪轉動噪音、及土建結構引發之構造物噪音等四項，詳如圖 1-1。

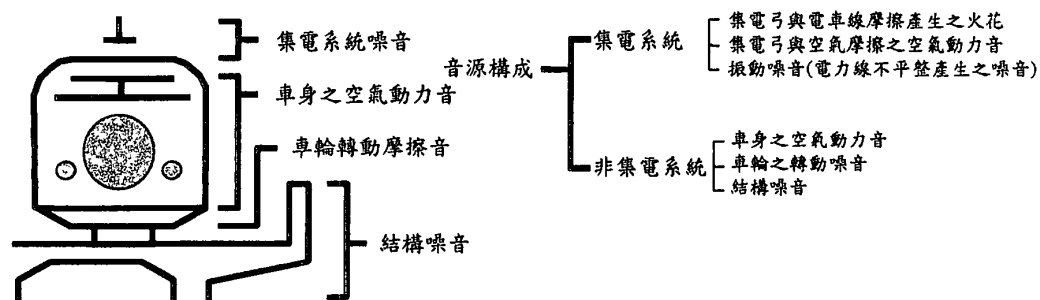


圖 1-1 新幹線噪音發生源發生機構分析

### (四) 噪音改善對策

1. 隔音牆設置：直型、干涉型、逆 L 型隔音牆及吸音材料之裝置，依住宅密集程度分為三區，第 I 區為 200 公尺長 20 戶以上，第 II 區為 200 公尺長 10 戶以上，第 III 區為 200 公尺長 5 戶以上，而其防音牆在 1994 年以前設置約 120 公里，1992~1996 年增設 60 公里，預計在 1998~2002 年間再增設 60 公里。
2. 其他直接改善噪音之策略
  - 每年一次之軌道削正改善
  - 集電弓由全車 8 支減少為 2 支
  - 集電弓保護罩加側壁
  - 改為單臂式集電弓
  - 車箱間之電器連接由原來之凸式改為直接式銜接
  - 車重之輕質化由原 100 系之 925t，300 系之 710t 至 700

系之 708t

表 1-2 新幹線沿線噪音改善過程

年度	1985~1994	1992~1996	1998~2002
對象	第 I 區爲 200 公尺長 20 戶以上	第 II 區爲 200 公尺長 10 戶以上	第 III 區爲 200 公尺長 5 戶以上
規模	120Km	60Km	60Km
對策	防音牆 軌道平滑化	防音牆 軌道平滑化	防音牆 軌道平滑化 集電弓改善

## 二、振動防制

本次研習非常難得承蒙新幹線振動專家吉岡修博士親自講授日本新幹線振動特性及各種防治措施之效果，尤其許多數年來不得其解之問題，在向吉岡修博士請教後得以迎刃而解，深感收穫豐碩。另高鐵完工營運時，為了解高鐵之振動影響勢必量測高鐵之振動量，故特與日本交通株式會社之工程師研討新幹線振動量測方法及量測資料處理之理論等項目，並作成系統性之整理。

### (一) 振動位準(dB)的量測：

量測儀器：必須為符合 JISC1510 之「振動 dB(位準)計」，且定期檢驗校正，並在有效時間內進行量測。

註：每 3 年校正一次。

測定方法：必須符合 JISZ8735 「振動 dB(位準)測定方法」。

評定方式：依據振動源特性進行評定。

註 1：

一般而言可區分為穩定性振動及變動性振動，其中變動性振動可再細分為間歇性振動及不規則性振動，其振動波形詳圖 2-1。

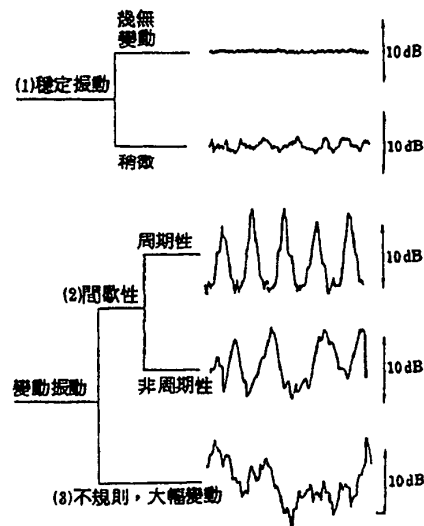


圖 2-1

1. 穩定性振源之評定通常發生在工廠，因此其評定方式以工廠之標準或設備規範進行評定。
2. 間歇性振動以最大值進行評定。
3. 不規則性振動以振動累積曲線  $L_{10}$ 進行評定。

設置感測器之方式：必須固定在平坦地面，需用水平儀進行校正。

$L_{10}$ 係指時間累積率 10 之測值參見圖 2-2。採用振動累積曲線  $L_{10}$  必須標示量測時間隔及量測個數。

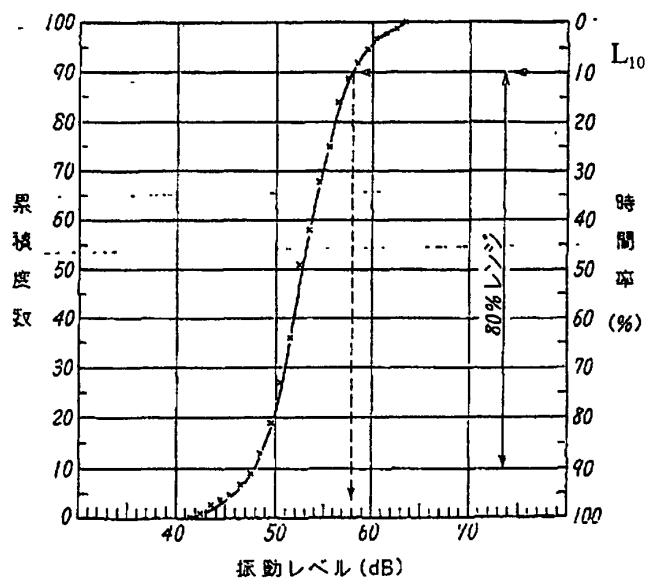


圖 2-2

## (二) 振動量測表示法

於日本使用之環境振動之物理量有二，二者量測頻率範圍均為 1~80Hz（人體所能感受之範圍）及為加速度規。

- 總體振動位準（overall vibration level，VLoa）
- 1/3 倍頻帶之振動位準頻譜（1/3 octave band VL spectrum，VLbp）

(三) 日本常用之環境振動值及其定義：

日本常用之環境振動值之表示法大概可分為四類 (1) 總量 (overall) 振動值位準 (vibration level, VL) (2) 總量 (overall) 振動加速度位準 (vibration acceleration level, VAL)，未經人體振動感覺補正 (3) 分頻 (bandpass) 振動值位準 (vibration level, VL) (4) 分頻 (bandpass) 振動加速度位準 (vibration acceleration level, VAL)，未經人體振動感覺補正。

表 2-1、日本常用之環境振動值及其定義

	Technical term	Definition
overall(allpass)	vibration level	$VL(t) = T_{\log} T_{RMS} T_{HRC} [a(t)]$
	vibration acceleration level	$VAL(t) = T_{\log} T_{RMS} [a(t)]$
bandpass	vibration level	$VL(t, f) = T_{\log} T_{RMS} T_{HRC} T_{BP} [a(t)]$
	vibration acceleration level	$VAL(t, f) = T_{\log} T_{RMS} T_{BP} [a(t)]$

各類振動值之定義如表 2-1，振動量測訊號(加速度，1~80Hz)之處理流程如圖 2-3，上述圖表之詳細說明如后：

擷取時間域 (time domain) 1~80 Hz 範圍內之加速度訊號 (acceleration signal) [若是 1/3 倍頻帶位準頻譜須先以 1/3 倍頻帶濾波處理而成為 1~80 Hz 之 1/3 倍頻帶頻譜 (注意：並非將時間域之訊號以 Fast Fourier Transform 之方式轉換為頻率域)] 繼而將訊號以人體感受補正處理，再以 root-mean-square 處理，再將以  $m/s^2$  為單位之振動量轉換為 dB 詳如圖 2-3 所示。

1.1/3 倍頻之濾波處理：

所謂 1/3 倍頻乃以  $f_{0n}$  為中心頻率， $f_{0n} \times 2^{-1/6}$  及  $f_{0n} \times 2^{+1/6}$  為截取頻率之兩個上、下限值，如圖 2-4 所示。其詳細規定乃參考 Japanese

Industrial Standard JIS C 1513(1983)。

於時間域所量測之加速度振動波(1~80Hz)先經過帶通濾波器 (bandpass filter)以歸納為 20 種不同中心頻率之 1/3 倍頻帶之振動值 (各中心頻率詳見圖 2-4)。表 2-1 之  $T_{BP}$  函數，其主要作用乃為 1/3 倍頻之濾波處理。

## 2.人體振動感覺補正(human response correction)之處理

依照上述方法所歸納之 1/3 倍頻振動值，需經過人體振動感覺補正(human response correction)之處理。由於人體對於各種不同頻率之忍受程度並不相同，日本 JIS C1510(1995)規範中規定對於所量測之振動值必需依照人體振動感覺以補正之。基本上，日本 JIS C1510(1995)乃參考 ISO 2631(1974)及 ISO 8041(1990)規範之規定。其線性濾波之修正方式，詳見圖 2-5。由圖 2-5 可得知，以垂直向加速度振動而言，4~8Hz 為人體較敏感之範圍，故不做折減。對於 4Hz 以下之振動值，大約以每倍頻減少 3dB 之量折減之。而對於 8Hz 以上之振動值，大約以每倍頻減少 6dB 之量折減之。

## 3.RMS(root-mean-square)運算處理

依照人體振動感覺補正之振動值，再經過 RMS(root-mean-square)運算處理，以計算每一中心頻率之振動值。其計算公式如下：

$$T_{RMS} \{s(t)\} = \left\{ \frac{1}{T} \int_{-\infty}^t d\tau \exp\left(\frac{\tau-t}{T}\right) s^2(\tau) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

with a time constant  $T=0.63$  s.

表 2-1 之  $T_{RMS}$  函數，其主要作用乃為 RMS(root-mean-square) 運算處理。

#### 4.轉換為振動 dB 值之運算處理

經過 RMS 運算處理後之振動值，再利用下列公式，計算其振動 dB 值：

$$T_{\log}\{s(t)\}=20\log_{10}\{s(t)/a_0\}$$

表 2-1 之  $T_{\log}$  函數，其主要作用乃為振動 dB 值之轉換。而其中  $a_0$  之參考加速度為  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ，此值與 ISO 採用  $10^{-6}\text{m/s}^2$  之參考加速度有所差異。為避免混淆，日本曾建議修改為與 ISO 之規定一致，但目前仍沿用  $10^{-5}\text{m/s}^2$  為參考加速度，尚未作任何修正。

#### 5.計算總量振動值 (Overall VL, Overall VAL)之方式：

利用各中心頻率之振動 dB 值後，可進一步計算總量振動位準，其計算公式如下：

$$\begin{aligned} VL_{oa} &= 10\log_{10}\{\sum_f 10^{VL_{bp}^{(f)}/10}\} \\ &= 10\log_{10}(10^{0.1 VL_{bp}(f1)} + 10^{0.1 VL_{bp}(f2)} \\ &\quad + \dots + 10^{0.1 VL_{bp}(fn)}) \end{aligned}$$

其中，

$VL_{oa}$  為總量振動位準

$VL_{bp}^{(f)}$  為各中心頻率之振動位準

#### 6.日本之振動值量測計

上述之處理步驟，均以濾波器或製造為電路之方式，於日本之振動值量測計儀器內部作處理，一般利用其儀器即可直接讀取總量振動位準及各中心頻率之振動位準。日本較常採用振動值量測計之儀器內部裝置示意圖，詳見圖 2-6。

# Figure 2-3: Vibration Measurement Signal Processing Flowchart

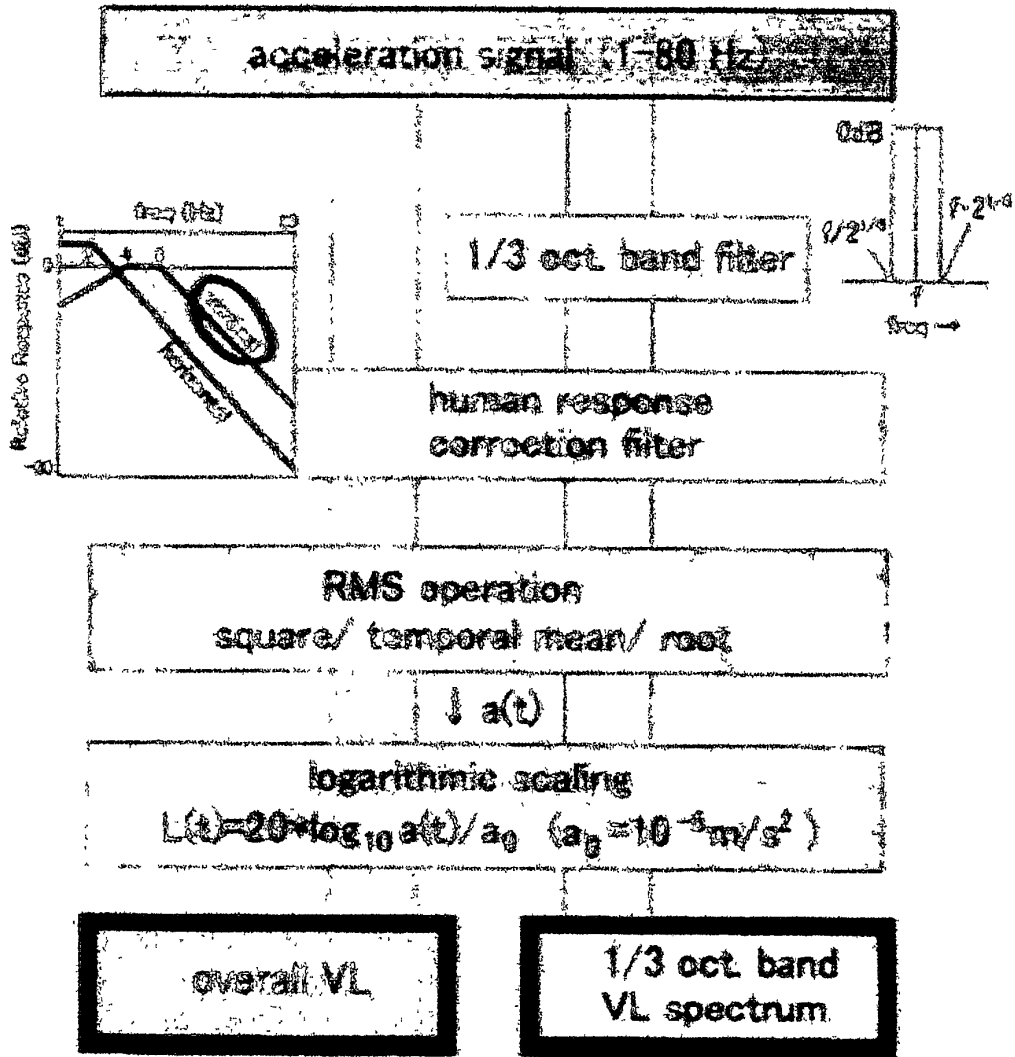


圖 2-3：振動量測訊號處理流程



1/3 倍頻帶濾波器

帶通濾波器的一種

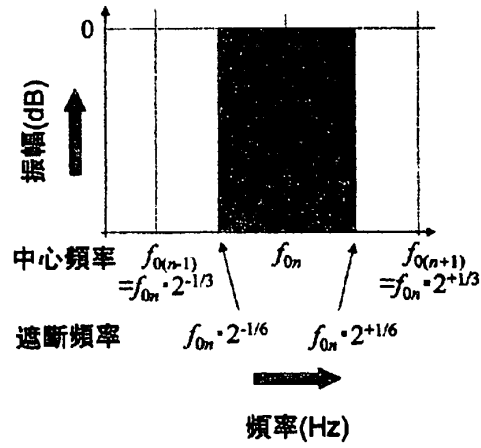


圖 2-4：1/3 倍頻濾波器

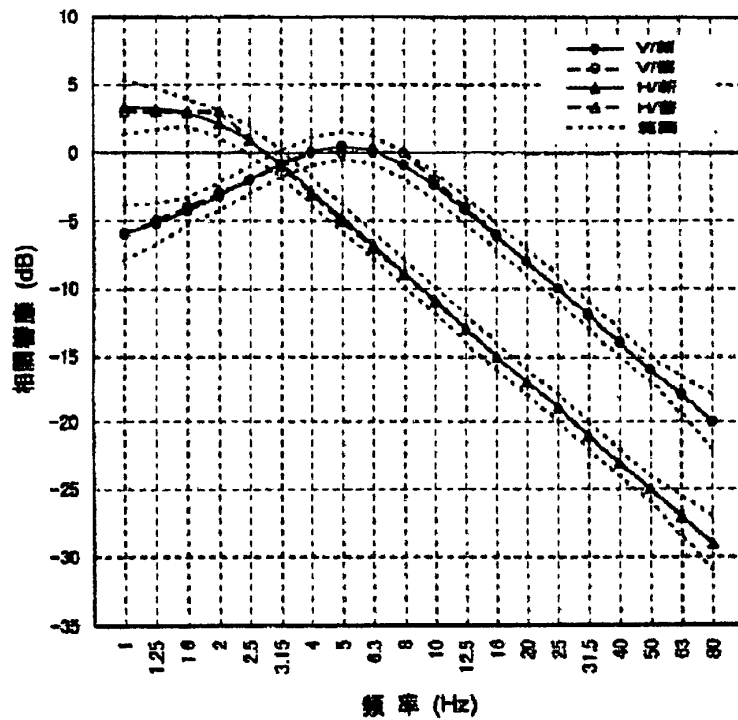


圖 2-5：人體振動感覺補正濾波器(JIS C 1510)

(註：舊版為 1976 年，新版為 1995 年)

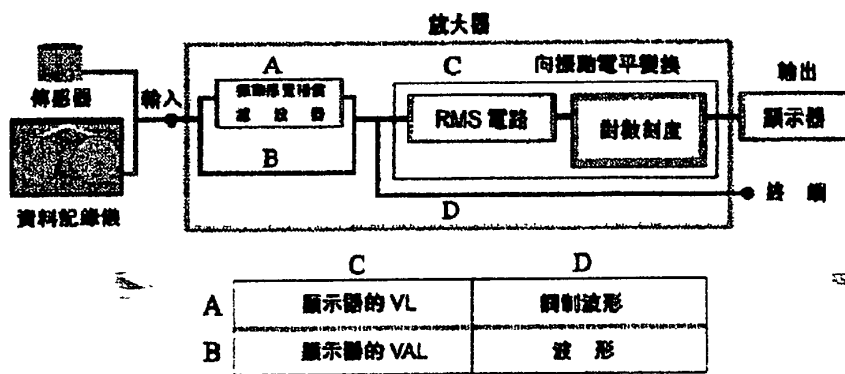


圖 2-6：日本較常採用之振動值量測計

### (三) 新幹線之振動特性

#### 1. 現況說明

從表 2-2 新幹線振動之實測數據，除東海道 (Tokaido) 及山陽 (Sanyo) 新幹線約有 10 % 之振動量超過勸告值 70 dB (西元 1976「境保護緊急需要的新幹線鐵路振動對策(勸告)」) 外，其餘均能符合勸告值之要求，表中東北 (Tohoku) 及上越 (Joetsu) 新幹線為較近期建設之路線，其振動量均低於 70 dB，顯示近幾年日本戮力於各方面減振措施之研究有其成效。

表 2-2：新幹線沿線振動量測值

Line name	Items	Distance from track			Railway structures at measured sites
		12.5 m	25 m	50 m	
Tokaido	Number of measured points	71	73	59	elevated bridge 36, embankment 23, steel girder 6, natural ground 4, cutting 4: sum 73
	Mean VL-oa-z (dB)	63	59	54	
	Number of points exceeding 70 dB	8	3	0	
Sanyo	Number of measured points	48	49	51	elevated bridge 41, embankment 8, cutting 1, tunnel 1: sum 51
	Mean VL-oa-z (dB)	61	56	50	
	Number of points exceeding 70 dB	4	0	0	
Tohoku	Number of measured points	46	50	50	rigid-frame bridge 32, girder bridge 17, others 1: sum 50
	Mean VL-oa-z (dB)	58	54	49	
	Number of points exceeding 70 dB	0	0	0	
Joetsu	Number of measured points	25	25	25	rigid-frame bridge 15, girder bridge 8, others 2: sum 25
	Mean VL-oa-z (dB)	57	53	49	
	Number of points exceeding 70 dB	0	0	0	

另由圖 2-6 知，其振動量 (VLbp-z) 於 6.3Hz、16~20Hz 及 40~50Hz 各有一區間尖峰值，以 16~20Hz 之尖峰值最大。一般而言，新幹線之 VLoa 約 50~70 dB，而 VLbp 於 20Hz 附近之振動量較大。

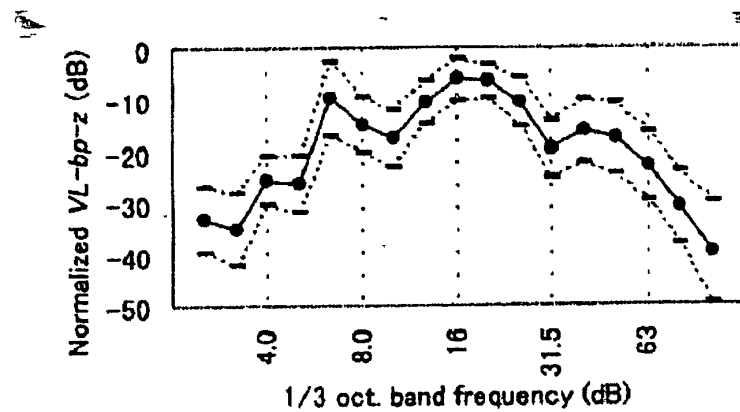


圖 2-6 1/3-oct. band VLz spectrum of Tokaido-shinkansen-induced vibration

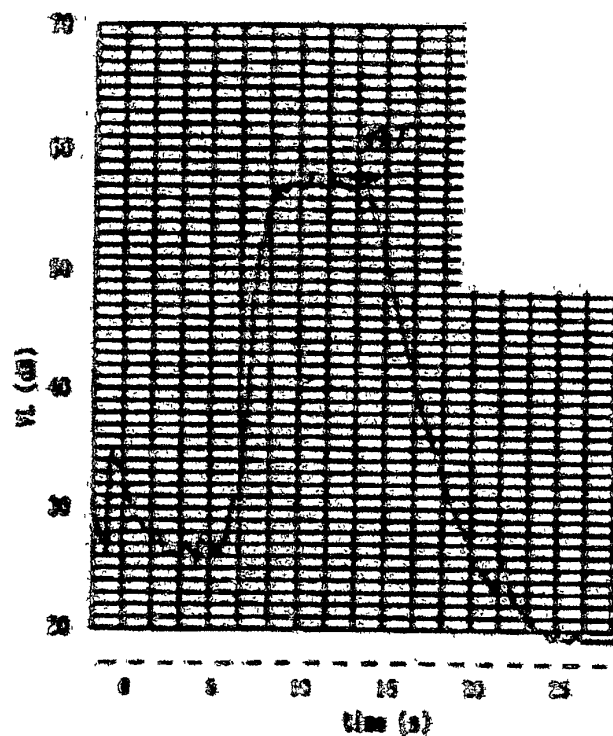
圖 2-7 表示新幹線列車以 200 km/h 之車速通過於隧道上地表所測之振動圖顯示，每台車激起約相同大小之振動，而形成台形狀之振動峰值。

圖 2-8 表示相同車速於從距高架橋柱 0.4 m 至距 8 m 處共 20 個測點，每個測點皆可觀測到 17 個峰值，各峰值皆係由各台車組通過激起，17 個峰值係由 16 個車廂之 17 台車組所激起，詳如圖 2-9。

こんな記録が測定されるか？

### 新幹線鉄道振動の振動レベル記録例

(トンネル上地表点, 鉛直, 200km/h)



- 新幹線に典型的
- トンネル以外でもほぼ同様の記録
- 台形状
- 上辺に小ピーク
- 台車群ごとにほぼ同じ大きさの振動を励起

圖 2-7

この測定が測定されるか??

### 新幹線鉄道振動の観測結果例

(高架区間地表点(No.1=高架柱から0.4m, No.20=8.0m), 鉛直, 200km/h)

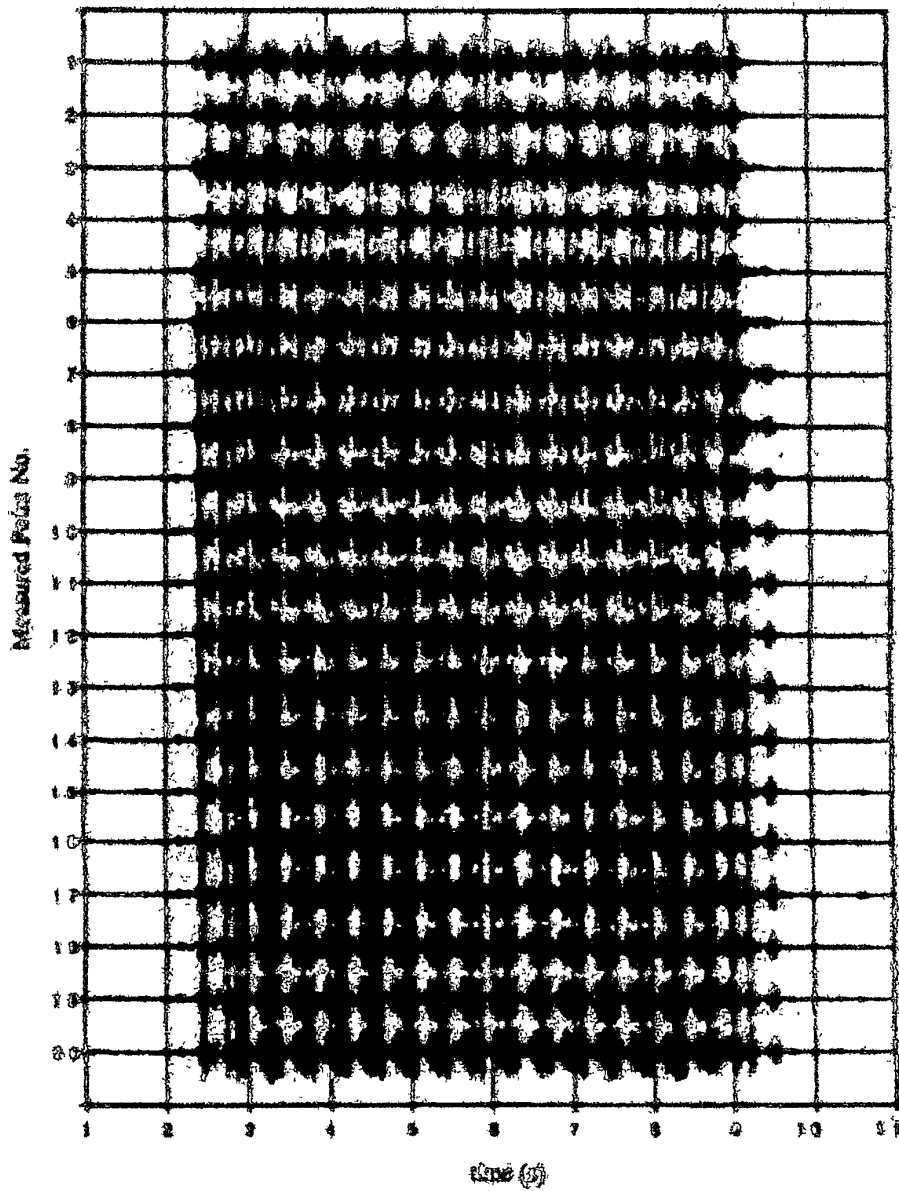


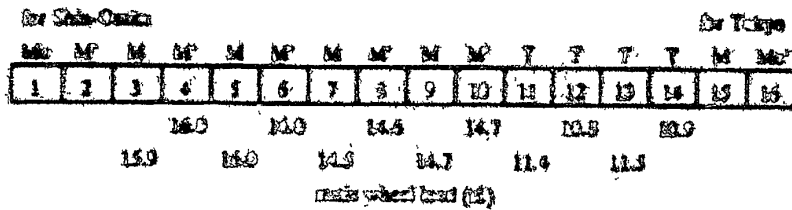
圖 2-8

- ・ 車両対策は全区間に（平均的に）効果が及ぶため対策の基本
- ・ 車両対策に期待するのは本質的な「起振力の低減」（新幹線では車輪フラット等の部分対策は期待できない）

実験結果 1

下図のような試験列車を仕立てて

- ・ 軸重を（4両ずつ）11ton, 14.5ton, 16tonに設定
- ・ 懸置化はバネ上部の懸置化で実行



○ overall VL (鉛直) の (地盤12.5m点)

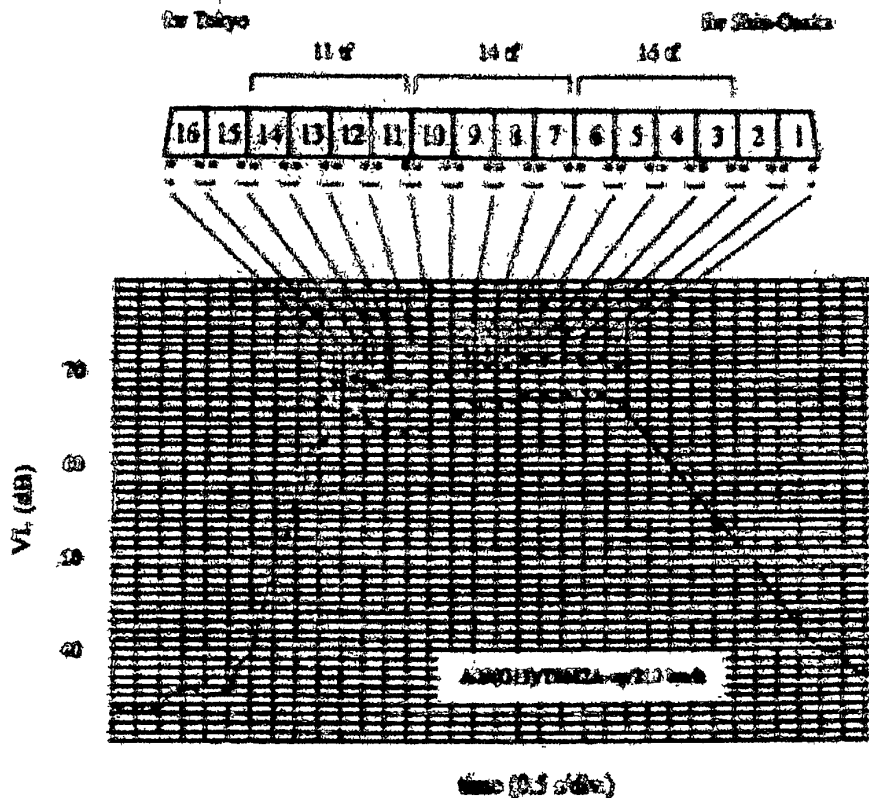
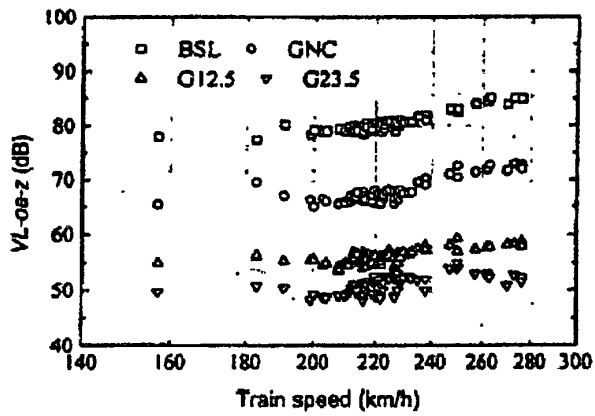


図 2-9

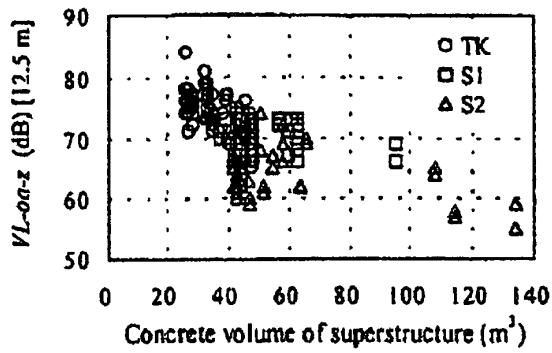
## 2.振動影響因子

新幹線振動影響之因子主要有列車行駛速度、軌道型式、土木結構、地盤地質、距離等，一般而言，振動量隨列車速度之增加有稍增之趨勢（詳圖 2-10）；橋樑之上半部或下半部混凝土體積及列車行進方向樑之抗彎剛性（bending rigidity）越大，振動量越小（詳圖 2-11、2-12）；而不論版式軌道是否有高彈性墊等減振措施，其振動仍較道碴軌道為大（圖 2-13）。

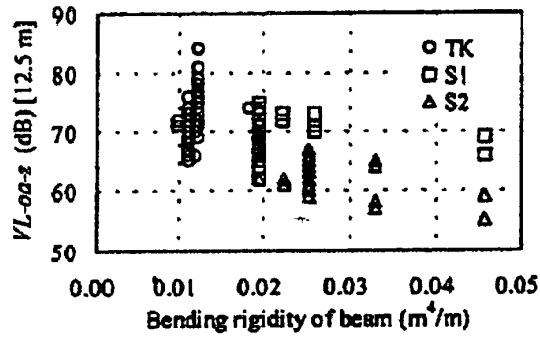




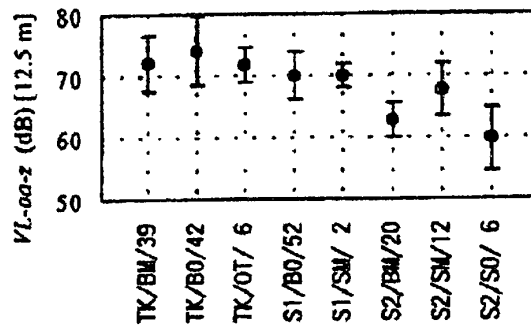
**2-10 Dependence of VL on train speeds**  
 measured in a rigid-frame bridge section ; BSL : bridge slab ,  
 GNC : ground surface near column , G-r : ground surface r m  
 away from bridge center.



**2-11 VL values versus concrete volume of superstructure**  
 The volume is summed in the volumetric range of one span of bridge.



2-12 VL values versus bending rigidity



2-13 VL values versus track structure

"•/•/•"= line/track/data size. TK= Tokaido, S1=Sanyo 1, S2=Sanyo 2, BM/BO=ballast track with/without ballast-mate, SM/SO= slabtrack with/without slab-mate, OT=others.

#### (四) 振動防制對策

目前日本軌道之減振對策工程，大致可分為實施於車輛，軌道及構造物的對策「發生源對策」、地盤減振「傳播介質對策」以及進行沿線建築物的防振工程「受振部對策」，略以表 2-3 說明：

##### 1. 車輛輕量化

日本新幹線最初之列車標準軸重為 16 噸，700 型新幹線列車軸重減為 11.5 噸，經由減輕車輛軸重之現車試驗，其減振效果（ $V_{loa-z}$ ）於列車高速範圍較大，於低頻部份（ $V_{lbp-z}$ ）效果較明顯（圖 2-14），總體而言，新幹線 300 系、350 系及 400 系車輛較 0 系、100 系車輛約低 3dB 之振動量（圖 2-15）。

##### 2. 軌道支撐彈性係數之降低

分別採用道碴墊（圖 2-16）、橡膠包覆之彈性軌枕（道碴軌道）如圖 2-17 及高彈性墊（版式軌道）如圖 2-18 等措施，前二者之減振效果非常類似，三者則隨距離越遠，減振效果越不顯著。減振效果隨頻率增高之變化情形如圖 2-19。圖 2-16、2-17 之說明詳註 2。

表 2-3 振動防制對策一覽

Table 3 Vibration reduction measures

Car	Reducing car weight Changing axle arrangement Changing suspensions of car Wheel-flat control	
Track	Smoothing track surface Softening track support suspension Stiffening track bending rigidity Flooding track	Applying long-rails, Rail grinding, Track irregularities control More-resilient pad, Rubber-coated sleeper, Ballast-mat, Vibration-reducing slab track Switching to heavy rails, roadbed improvement, ladder sleeper
Structure	More massive and rigid structure Vibration isolation devices Passive damper Active/ Hybrid damper Vibration-reducing pattern control	Laminated rubber TMD, TLD, Chain damper Changing foundation shape or arrangement
Ground	Trench Wall-in-ground Wave impeding barrier (WIB) Ground improvement	Hard-material wall, Soft-material wall, Sandwich-type of both
House	Reinforcement  Vibration isolation devices Damper	Increasing foundation slab, Additionally inserting columns and beams

## 註 2：

軌道減振措施防振效果之現地實測：

### (1)量測地點及方法說明(鐵道總研報告，吉岡 修 1999)

日本新幹線為比較道碴墊(ballast-mat)、彈性枕木(rubber-coated tie)、低彈性係數軌道(more-resilient)等三種軌道減振措施之防振效果。於東海道、山陽新幹線等處於上、下行線之其中一線或兩線設置軌道防振措施，並量測施工前及施工後於橋梁旁之地表振動值。其量測地點詳見表 2-4。道碴墊(ballast-mat)之施工地點共有 13 處，彈性枕木(rubber-coated tie) 則有 11 處，而低彈性係數軌道(more-resilient) 有 8 處。量測時列車之車速為 200km/hr。量測之振動值為垂直向之總體振動位準(overall VL)以及 1/3 倍頻之振動位準(1/3 Octave band VL)。所比較之振動值為施工前、後各施工地點之所有量測點之平均振動值。而每一量測點則計算通過 10 班列車之振動平均值。

### (2)corrected 與 no corrected 之說明(鐵道總研報告，吉岡 修 1999)

由於大部份之施工地點僅選擇列車上、下行線之其中一線，做單線之施工，故於未設置軌道減振措施之上行或下行線側，其施工前、後所量測之振動值，依一般常識推斷，應為相同，而實際之量測結果，大部分案例均如此，唯仍有一些案例，於未設置軌道減振措施之上行或下行線側，其施工前、後所量測之振動值並不相同，而其原因並無法確認。故於此類之量測地點，有校正量測結果之必要。對於這些案例，日本所採用之校正方式如下：以未施工側其施工前、後所量測之振動差異值為基準，校正施工側之量測結果。經此步驟校正者，即為表 2-4 之"corrected"，未經此步驟校正者，即為表 2-4 之"no corrected"。若列車上、下行兩線均設置軌道減振措施，或未施工側因時間因素未量測其施工前、後所量測之振動值等案例，均歸類於"no corrected"。

表 2-4 軌道減振措施量測地點

measures	site	line	track	structure	data (no-cor/cor)	
					overall	spectrum
ballast-mat	M01	TK	BT	RB	+/-	+/-
	M02	TK	BT	RB	+/-	+/-
	M03	TK	BT	RB	+/+	+/-
	M04	TK	BT	RB	+/+	+/-
	M05	TK	BT	RB	+/+	+/-
	M06	TK	BT	RB	+/+	+/+
	M07	TK	BT	RB	+/+	+/+
	M08	TK	BT	RB	+/+	+/+
	M09	TK	BT	RB	+/+	+/+
	M10	TK	BT	RB	+/-	+/-
	M11	S1	BT	RB	+/-	+/-
	M12	S1	BT	RB	+/+	+/+
	M13	S1	BT	RB	+/+	+/+
rubber-coated tie	T01	TK	BT	RB	+/+	+/+
	T02	TK	BT	RB	+/+	+/+
	T03	TK	BT	RB	+/+	+/+
	T04	TK	BT	RB	+/+	+/+
	T05	TK	BT	RB	+/-	-/-
	T06	TK	BT	GB	+/-	-/-
	T07	TK	BT	RB	+/+	-/-
	T08	S1	BT	RB	+/+	+/+
	T09	S1	BT	RB	+/-	+/-
	T10	S1	BT	RB	+/-	+/-
	T11	S1	BT	RB	+/-	+/-
more-resilient pad	P01	JO	ST	GB	+/+	+/+
	P02	S2	ST	RB	+/+	+/+
	P03	TH	ST	GB	+/-	-/-
	P04	TH	ST	RB	+/-	-/-
	P05	TH	ST	RB	+/-	-/-
	P06	TH	ST	GB	+/-	-/-
	P07	TH	ST	GB	+/-	-/-
	P08	JO	ST	GB	+/-	-/-

line/ TK=Tokaido, S1=Sanyo (Shin-Osaka to Okayama), S2=Sanyo (Okayama to Hakata), TK=Tohoku, JO=Joetsu; track/ BT=ballasted track, ST=slab track; structure/ RB=rigid frame bridge, GB=girder bridge; data/ no-cor=no corrected, cor=corrected, +=with data, -=without data.

車両の防振対策法への応用

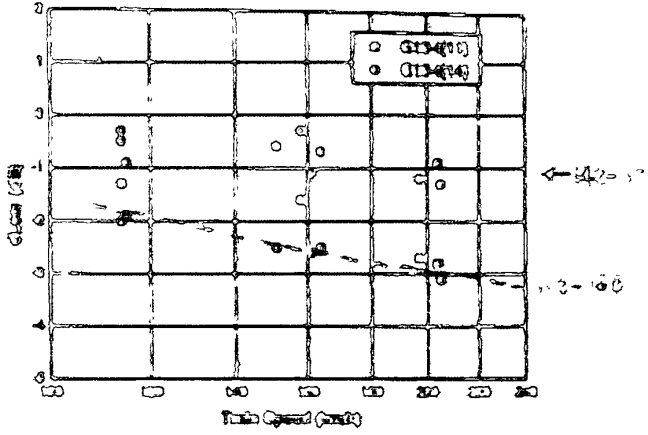
4 応用

実験結果？

○ overall VL (鉛直) の低減量  
 (地盤12.5m点)

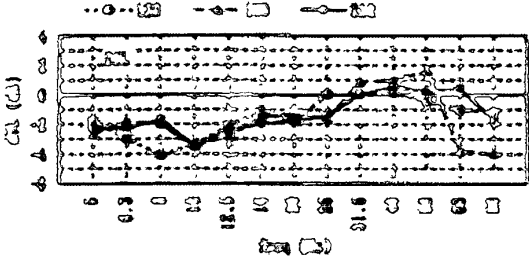


(2000/4 付録)

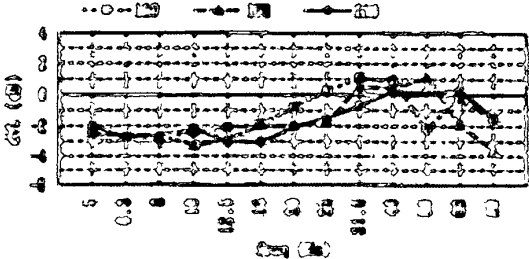


○ 実験結果を [redacted] で見ると...

160kmを基準とした110kmのVL低減量 [redacted]



高架スラブ点



地盤の全点



圖 2-14

## 車内の防振対策法への応用：

## 4. 応用

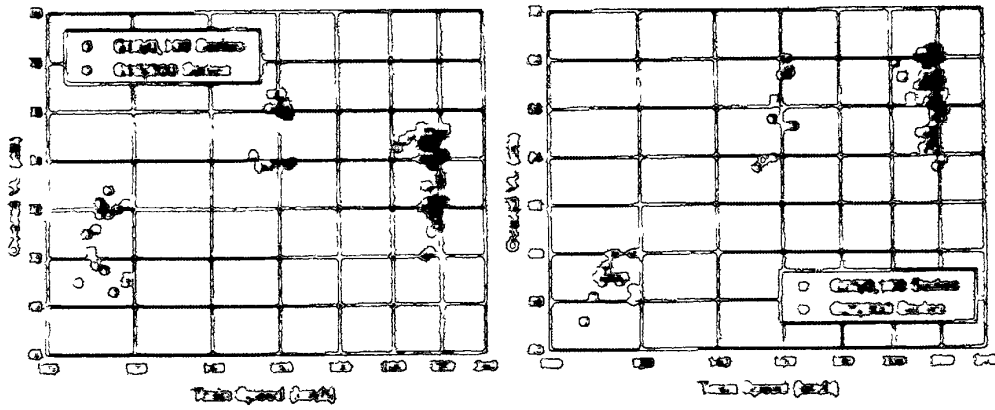
### モデルは実測結果をどう説明するか？

車両軽量化効果のその後

- ・ 上記結果を基に300系車両が開発された
- ・ その後の新生車両はいずれも軽量化車両

○ **■** の例：地盤12.5m、25m点の従来車両(0系、100系)と300系車両のoverall VL (鉛直)比較

- ・ 約3 dB振動低下するはず → 概ね予想通り！



○ **■** でも同様！

圖 2-15



軌道の防振対策への応用

非共振値

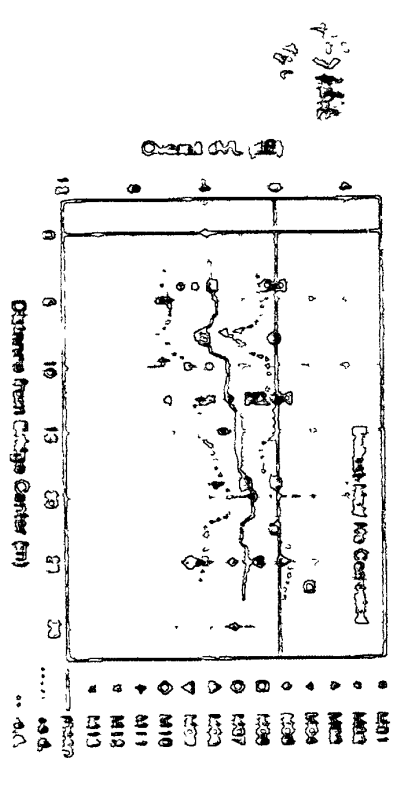


Fig.4.1 Measured Overall Vertical VL Reduction by Balfast-Mol. (on Ground Surface)

共振値

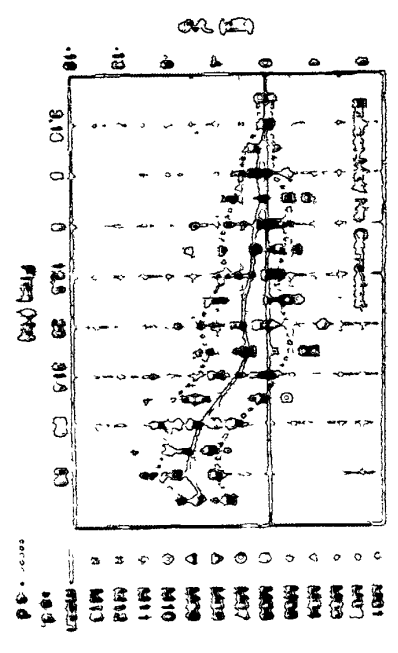


Fig.4.2 Measured 1/3 Oct. Band Vertical VL Reduction by Balfast-Mol. (on Ground Surface)

図 2-16

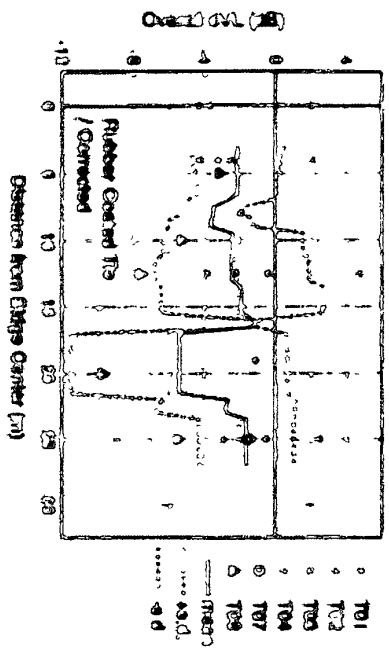
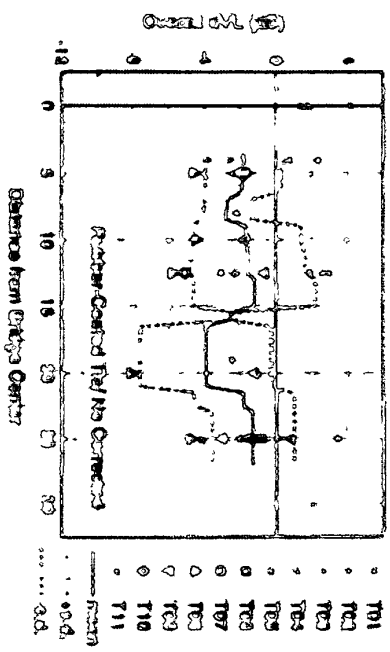


Fig.4.3.3 Measured Overall Vertical VL Reduction by Rubber-Coated Tie. (on Ground Surface)

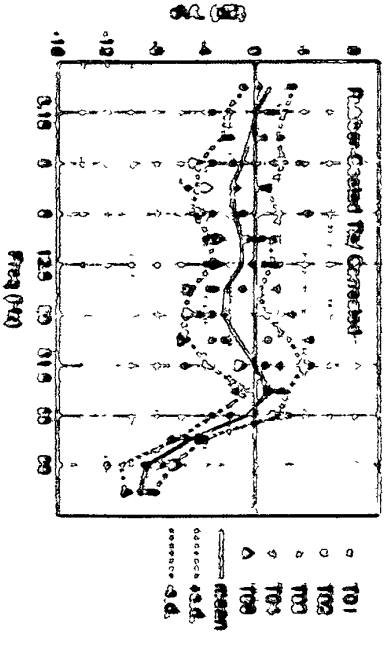
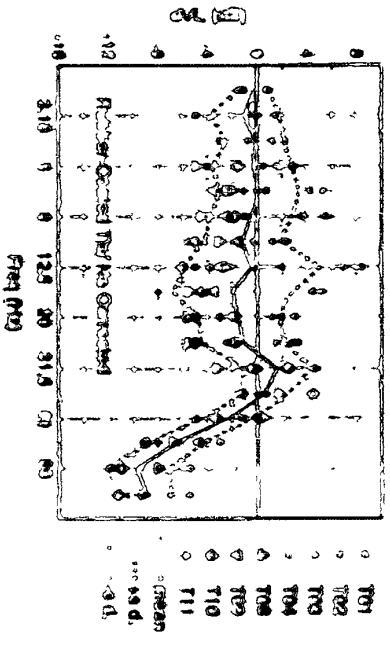


Fig.4.3.4 Measured Overall Vertical VL Reduction by Rubber-Coated Tie. (on Ground Surface)

圖 2-17



overall oVLは無補正  
spectrumは補正有無の平均

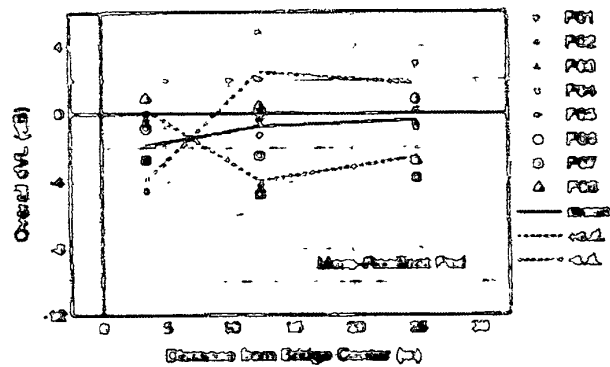


Fig.4.3.5 Measured Overall Vertical VL Reduction by Macro-Resilient Pad. (on Ground Surface)

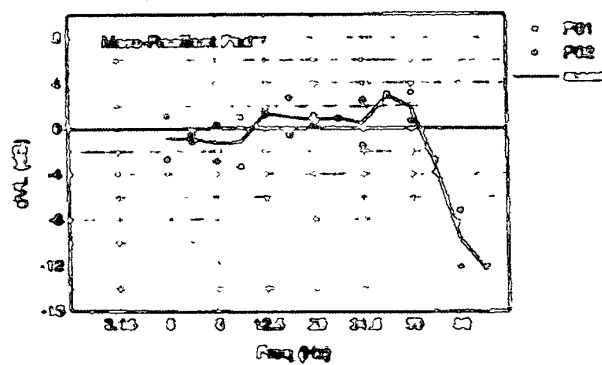
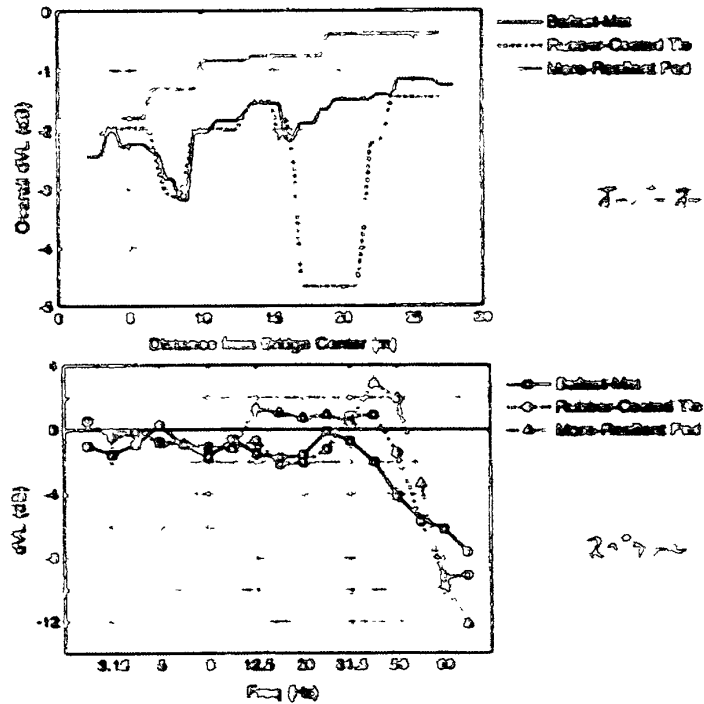


Fig.4.3.6 Measured 1/3 Oct. Band Vertical VL Reduction by Macro-Resilient Pad. (on Ground Surface)



圖 2-18

補正有無の平均値で overall dVL spectrum を見ると・・・



**overall dVL**

- (1) バラストマット、弾性マクラギの効果は類似  
低弾性パッドも共通部分が多い
- (2) いずれも距離と伴に効果が低下

**spectrum**

- (1) バラストマット、弾性マクラギの効果の周波数特性は類似  
低弾性パッドも共通部分が多い
- (2) 共通特性は次の通り

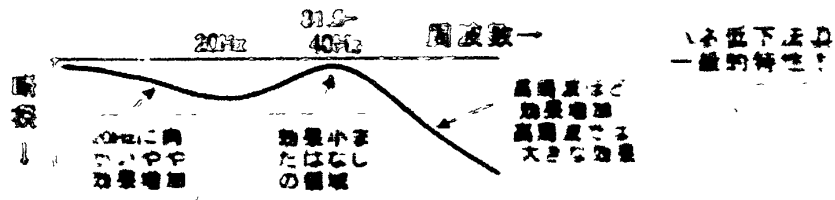


図 2-19

### 3. 軌道剛性化

於較鬆軟之地盤，採用道碴墊、橡膠包覆枕木及高彈性墊等方式之減振效果不大，改以增加列車行進方向之軌道抗彎剛性，其減振成果詳圖 2-20、2-21 所示。

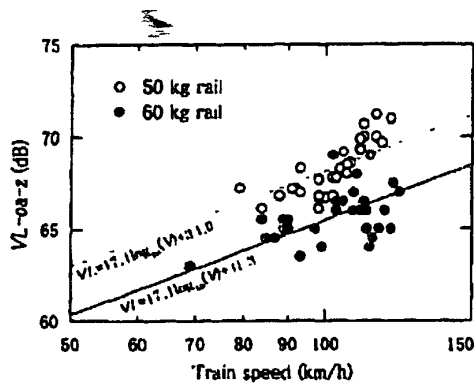


圖 2-20 VL change before & after replacement of 50Kg rail to 60Kg one, 12.5m point from away

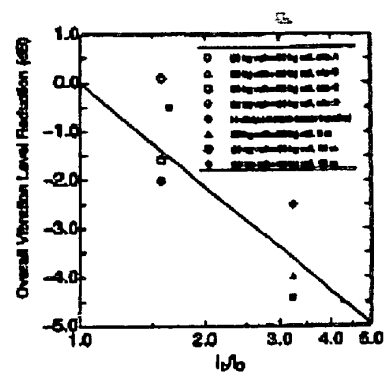


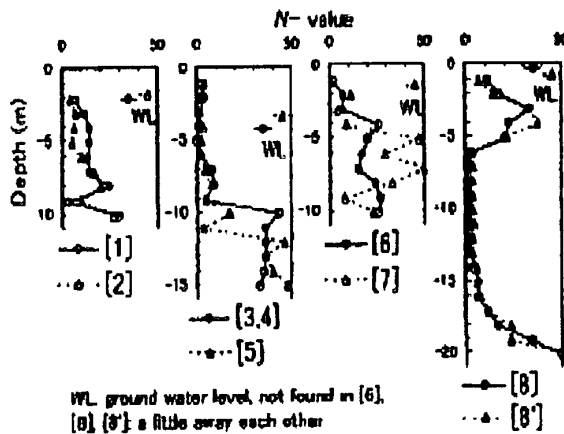
圖 2-21 Empirical tendency between VL reduction & track bending-

### 4. 地盤之減振措施

在日本有部分建築物鄰近鐵路，為減少振動有設置隔振壁案例。於新幹線沿線設置隔振溝及格振壁等試驗，如表 2-5 所述，其深度約在 3-10 公尺，減振效果依型式而不同，詳圖 2-22。

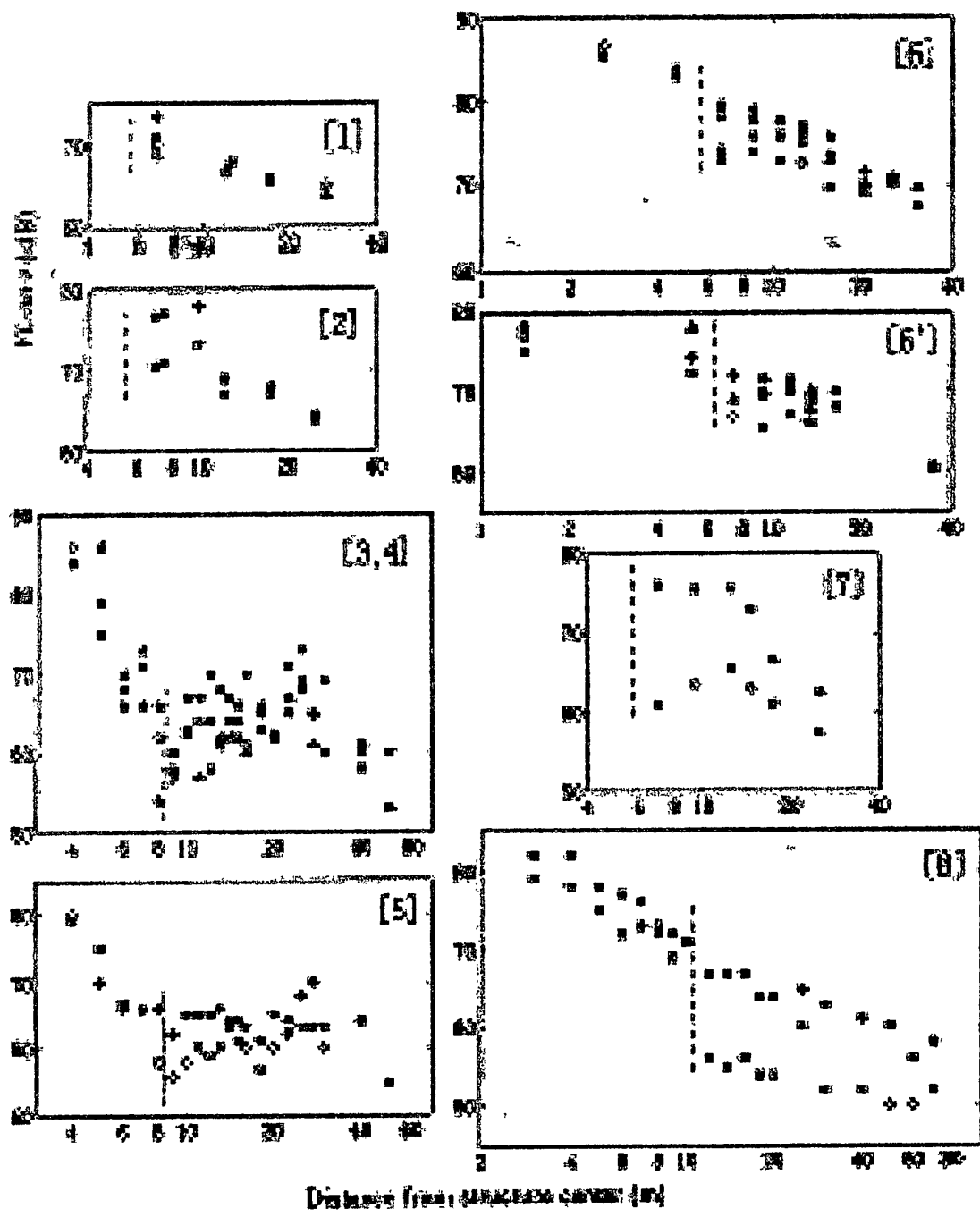
表 2-5 新幹線沿線設置隔振壁之試驗一覽

ID No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Line name	Tokaido	Tokaido	Tohoku	Tohoku	Tohoku	Sanyo Nishi- akashi	Tokaido	Tokaido
Site name	Nagoya	Nagoya	Oyama	Oyama	Oyama	Nishi- akashi	Nagoya	Toyo- hashi
Track with	ballast	ballast	slab	slab	slab	slab	ballast	ballast
Structure	rigid-frame bridge, with pile foundation							
Ground	(See the lower figure)							
Pile length, m	12	8	11	11	11	8	10	20
Speed, km/h	190~200	190~200	~200	~200	~200	>200	>180	~210
Wall								
Position, m	5.6	5.5	8.4	8.4	8.4	5.6	5.7	10.5
Depth, m	3.0	3.0	5.0	5.0	10.0	3.0	4.0	10.0
Thickness, m	0.8	0.8	0.4	0.8	0.4	1.2	0.8	-0.8
Extension, m	39	21	43	43	43	80	34	110
Embedded together with	SP	SP	without	without	without	rails	DP	II-SP



1) "Position" means distance from bridge center, at which the wall is installed. In "embedded ...", SP=sheet-piles, II-SP=II-type sheet-piles, DP=dock-plates.

2) [3,4]: [3] is first installed and then [4] is made by widening thickness of [3]; the two are in the same site. [5]: installed next to [3,4]. [6]: installed in both sides of the upbound line and the downbound; parameters in the down side with longer extension of the wall are listed here. [7]: the actual depth changes from 2.7 m to 5 m, depending on ground properties.



**圖 2-22 設置隔振壁前後 VLoa-z 差異**  
 實點表示設置前，空白點表示設置後，垂直  
 虛線表示隔振壁位置

## (五) 日本高架橋的振動試驗方法

### 1. 日本新幹線高架橋振動試驗之種類及目的

日本新幹線有關高架橋之振動量測大概可分為兩類，簡要說明如下：

#### (1) 量測高架橋結構物之自然頻率：

此量測之主要目的為瞭解高架橋結構物本身之振動特性，以利進一步檢討地震時以及列車行駛時是否有產生共振之可能性。一般而言，於橋梁設計時需考慮地盤特性、列車速度、列車型式等特性以使橋梁結構物於地震時及列車行駛時無共振之虞。至於列車之振動頻率則可由與轉向架及車軸的間距、枕木間距、列車速度等因素，予以推算。

#### (2) 量測高架橋旁之地盤振動：

主要目的乃為藉由量測高鐵振動於地盤之傳遞情況，以掌握列車行駛時對於周邊環境的影響以及檢驗所量測之振動值是否低於環境基準值。

### 2. 測定原理與裝置

日本習慣上以 1 公斤重之懸錘 1~2 公尺長之垂線，懸錘拉平後，將懸錘放下，使懸錘沿 1~2 公尺半徑之弧線擊向橋柱或橋面版 (deck) 之側面 (如圖 2-23)，量測橋樑結構之反應，據以解析橋樑結構之振動模態。

振動之測定原理乃為將測定的物理量(變位、速度、加速度)依其振動量之大小，按照比例藉由轉換器(transducer)轉變為電壓或電流，並視需要利用增幅器以讀取並記錄其經過增幅及未經增幅之物



理量。

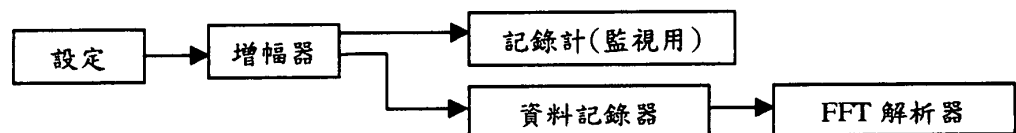
於規劃測定裝置時須按照振動之特性(包括振動之頻率範圍以及振幅大小)，以選擇及設定適合之量測儀器(包括選擇量測儀器之解析度、量測頻率範圍、轉換器之自然頻率)。經過規劃後，於測定時才不致於發生所測定的物理量超過儀表之測定範圍，或所測定的物理量小於儀表容許之測定誤差量等情況。

為監視振動波形之記錄計，可分為監看波形之示波器(oscillo graph)及採用畫筆記錄波形之筆式記錄器(penoscillo graph)兩種。若測定後尚須解析波形，則需要設置資料集錄器(data recorder)。於波形解析方面，若為掌握振動波頻率以及振動傳遞之情況，則需設置 FFT 分析儀(analyzer)。

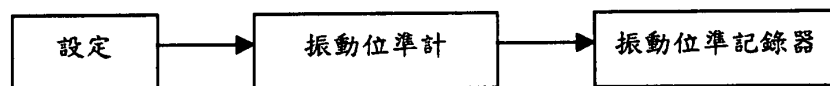
### 3.振動量測儀器測定流程：

振動量測儀器裝置之測定流程如下：

#### (1)量測高架橋結構物之自然頻率：



#### (2)量測高架橋旁之地盤振動：



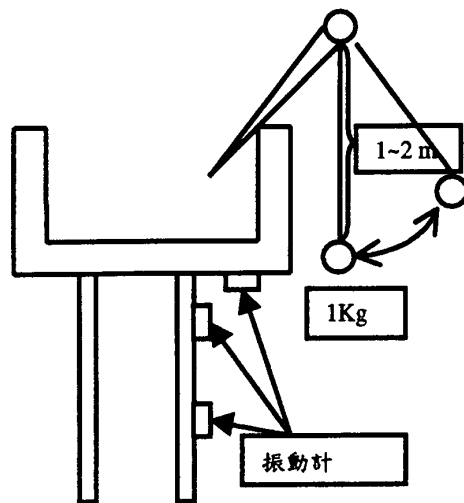


圖 2-23 振動計設置示意圖

(六) 有關日本新幹線振動、噪音相關資料包括「新幹線鐵道在環境保全上緊急需要之振動對策」、「日本新幹線履勘作業有關實施噪音、振動檢測之規定」及「環境調查標準規範書」等後附於附錄二。

### 三、振動噪音實地見習

#### (一) 濱松高架車站

濱松 (Hamamatsu) 車站約位於東京與大阪之中點站，所有的希望號 (Nozomi) 700 型及 500 型列車及部分光號 (Hikari) 300 型列車均不停靠，雖在曲線上設站 (路線曲率半徑為 2200~2500 公尺)，但通過列車時速約達 200 餘 km，在月台上 (圖 3-1) 可非常明顯感受到上下及水平向之振動，而噪音也似乎超過 90 dB。

東海道新幹線與山陽新幹線沿線各站，曲率半徑與是否停車之資料詳表 3-1。據日本交通株式會社 JTC 壺阪佑三先生表示，其中僅東海道新幹線之豐橋與米原係地面設站，其餘皆係高架站，但無地下車站。而高架車站頂面為月台與軌道，其下則為站務、通道及商場等設施。列車通過時基本上噪音約 70 dB，振動約 65 dB。

濱松車站附近，新幹線剛構架式 (rigid frame) 高架結構如圖 3-2，圖中內側為與新幹線平行之在來線，當無論是新幹線列車或在來線列車通過時在橋下皆可感受到非常明顯上下及水平向之振動，但距離橋柱約 10 公尺處即可感受到振動明顯地減小。

至於噪音在橋下與距橋柱 10 米處噪音皆相當大，且無明顯差異之感受。因係在市區附近，故高架橋皆設有隔音牆，如圖 3-2 所示，另較接近民房處，隔音牆上具有隔音箱以增加隔音效果如圖 3-3。

#### (二) 鄰近新幹線之半導體廠

位於濱松附近之 Rohm 半導體廠係對振動非常敏感之工廠，其廠房距新幹線路線之最近處約 30 餘公尺如圖 3-4，據日本交通株式會社 JTC 人員表示因新幹線早已營運，此廠係後來興建，故廠內自行設置隔減振措施以符合其製程要求，而此最早興建之東海道新幹線路線並

未做任何減振措施，也未聞有任何因新幹線振動而引致此半導體廠生產發生問題之事件。雖 JTC 透過數種管道與 Rohm 公司聯繫，該公司仍不同意我們入內參觀，據說該公司瞭解台灣半導體業為期競爭對手，若萬一我們係半導體業者所假扮，則有降低其競爭力之虞。

### （三）上野地下車站

上野車站係由捷運、城際交通（在來線）及新幹線共構之車站，除了車站設施外尚有範圍頗大的商店街，故建物頗為龐大。車站上之跨越廣場如圖 3-5，其中已先預留日後續建商場或辦公大樓之柱位。平面層為城際交通在來線，一樓為捷運線（如山手線、京濱線等）如圖 3-6，而新幹線則位於地下第四層，如圖 3-7。因地下四層只有新幹線之軌道與月台，亦無商場，且因在東京都範圍內，通過新幹線列車之車速也非高速，故地下車站亦無特殊之防振措施，唯仍裝設圖 3-8 之吸音牆，以避免混凝土結構牆面反射噪音，而增加噪音量。

表 3-1：東海道與山陽新幹線沿線各站曲線半徑與停車規定

線名	駅名	曲線半徑	記事
東海道 新幹線	東京	ほぼ直	全列車停車
	信横浜	直	
	小田原	R=3000	
	熱海	R=3500	
	三島	R=5000~8000	
	新富士	直	新駅
	静岡	一部 R=8000	
	掛川	R=3000	新駅
	浜松	R=2200~2500	
	豊橋	直	
	三河安城	直	新駅
	名古屋	一部 R=2000	全列車停車
	岐阜羽島	直	
	米原	R=3000	
	京都	一部 R=1300	全列車停車
新大阪	直	全列車停車	

線名	駅名	曲線半徑	記事
山陽 新幹線	新神戸	R=3000	<del>全列車停車</del>
	西明石	一部 R=4500	
	姫路	直	
	相生	R=3500	
	岡山	一部 R=1000	全列車停車
	新倉敷	R=10000	
	福山	R=3500	
	新尾道	直	新駅
	三原	直	
	東広島	直	新駅
	広島	直	全列車停車
	新岩国	直	
	徳山	R=1600	
	小郡	一部 R=4000	
	厚挟	直	新駅
	新下関	直	
	小倉	R=1200	全列車停車
博多	一部 R=1000	全列車停車	

※除米原、豊橋為地面站，餘皆高架站，無地下站。



圖 3-1：濱松車站月台-新幹線列車高速通過



圖 3-2：早期（東海道）新幹線剛構架式高架結構及隔音牆

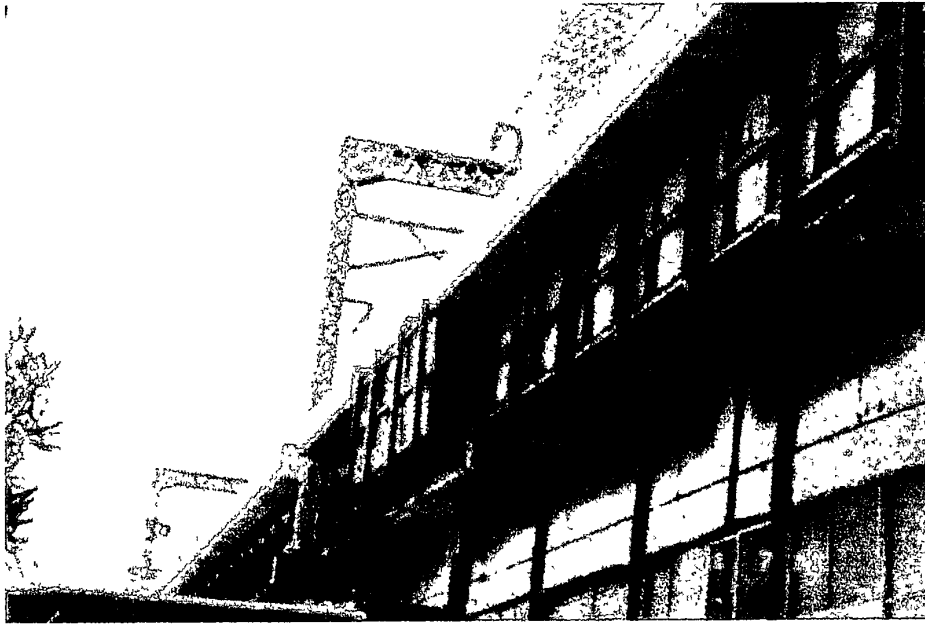


圖 3-3：具隔音箱之隔音牆



圖 3-4：鄰近新幹線之半導體廠



圖 3-5：上野車站上跨越廣場(預留擴建柱位)



圖 3-6：上野車站地面層(在來線)及一樓層(捷運)



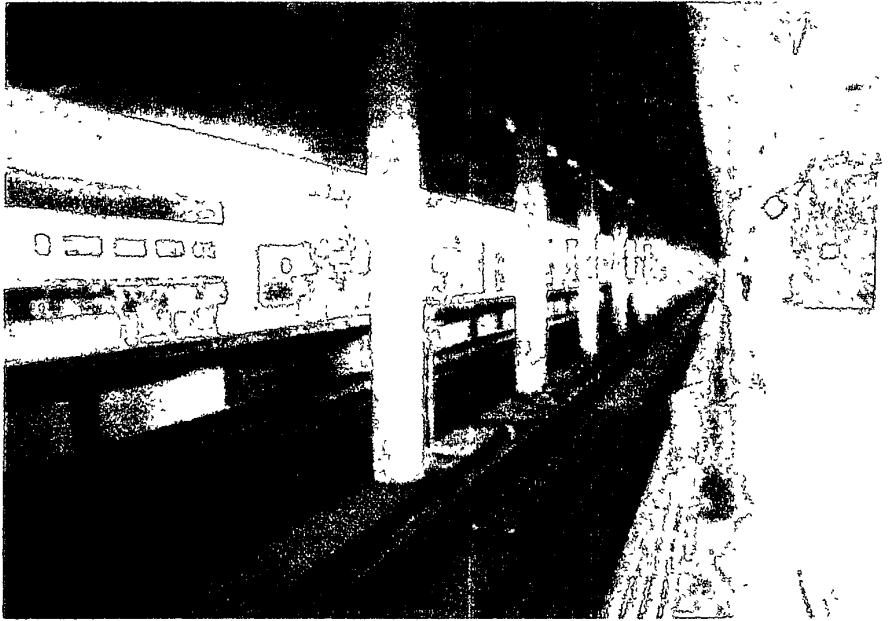


圖 3-7：上野車站新幹線月台(地下四層)

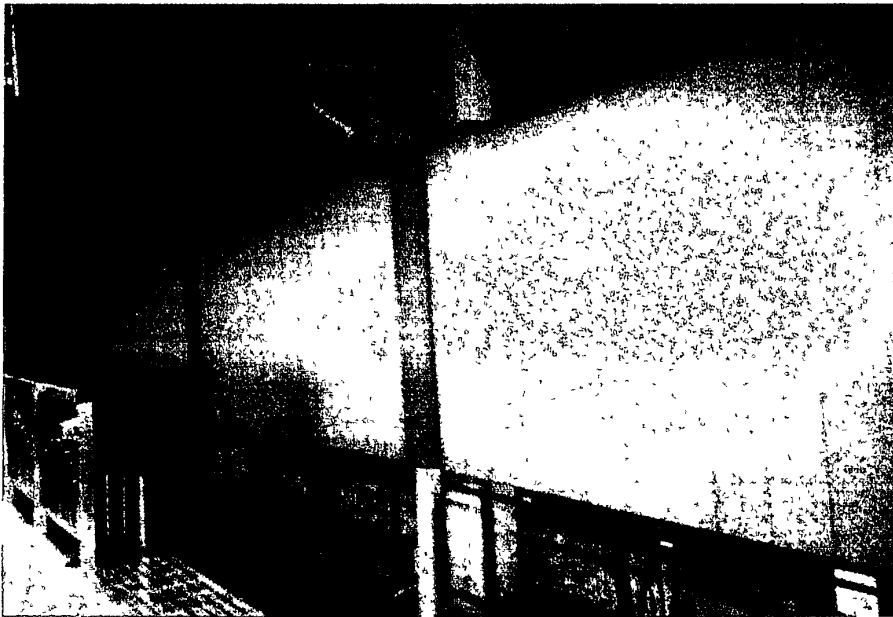


圖 3-8：上野新幹線地下車站之吸音牆

#### 四、版式軌道

自從版式軌道首度由前日本國鐵廣為採用後，至今已約屆 30 年，而新幹線版式軌道之總鋪設長度約為 2200 公里，約為五條新幹線總長度之 55 %，若含窄軌鐵路則日本之版式軌道總長則達 2700 公里。

日本為了東京世運會而興建首條新幹線，即東京—大阪間的東海道新幹線，於 1964 年開業。由於交通密度急遽增加，致使道碴軌道受損之頻率增加，又因經濟成長致使工時減少與勞工短缺以及可供維修軌道時間受限等因素所致，因而有發展低維修需求軌道之必要。因此前日本國鐵自 1965 年開始研究版式軌道，且日後廣泛地用於山陽、東北、上越及 1997 年開業為長野冬季奧運而興建的北陸新幹線，並將為各新幹線延伸線與新的新幹線所採用，使版式軌道之總長度繼續擴增，新幹線各種軌道結構長度詳如表 4-1。

版式軌道係由鋼軌、扣件、道版、CAM (Cement Asphalt Mortar) 層、圓形防動塊 (circular upstand) 及路盤混凝土所構成，如圖 4-1 所示。道版有使軌道荷載均勻分佈的作用；CAM 層則提供軌道彈性；而防動塊則有防止道版往縱向及橫向移動之作用，故亦須抵抗軌道縱向及橫向之力。道版係預鑄鋼筋混凝土 RC (Reinforced Concrete) 版或預力鋼筋混凝土 PRC (Prestressed RC) 版，與 CAM 層結合以取代道碴之承載及彈性之功能，因不具道碴之可移動性，故不似道碴需經常砸道，而有免維修之特性。防動塊與路盤混凝土係相連一體之鋼筋混凝土構造。

以山陽新幹線為例，比較版式軌道與道碴軌道之不整率與經濟性，可發覺版式軌道無論是平面線型 (alignment) 及側向與縱向之軌道不整超出規定值 (線型為 10 米弦不超過 4 mm，軌道不整為 10 米弦不超過 7 mm) 之數目皆低於道碴軌道，故版式軌道能保持較佳的

軌道幾何特性 (track geometry)。至於經濟性，版式軌道之造價雖為道碴之 1.3~1.5 倍，但基於版式軌道之低維修性（道版本體幾乎免維修，但扣件仍須替換，CAM 也有可能部分破損需修補，故稱之為低維修性），在 2~6 年間即可彌補較道碴軌道高出之造價，故以長遠而論，版式軌道之經濟亦較道碴軌道為佳。

原來版式軌道只用於高架橋及隧道路段，但經過數年的研究與發展，日本鐵道建設公團 JRCC (Japan Railway Construction Public Coporation) 於 1993 決定鋪設具有路盤混凝土之版式軌道於北陸新幹線之土工路段，並鋪設了 10.8 公里之長，佔土工路段總長之 1/4，亦佔路線總長之 4 %。此後亦鋪設此型版式軌道於東北新幹線盛岡—八戶間之土工路段，常約 11 公里；並亦將鋪設於九州新幹線新博—西鹿兒島間之土工路段，長約 13 公里。

版式軌道鋪設於土工路段，最主要的考量係 (1) 能將載重有效地傳佈在土工路基上及 (2) 路基累積沈陷的控制。為求符合新幹線之嚴格要求，在決定鋪設於北陸新幹線之前，即先進行包括路堤與路塹路段之完整的靜態與動態現地試驗 (full scale testing)。此現地試驗於 1992 年 4 月及 5 月間，在檻山 (Kashiyama) 之 60 公尺長路段進行，試驗結果除了確認路基之沈陷量極低外，尚顯示路盤混凝土中之彎曲應力及鋼筋之應力甚小。

路堤與橋台過渡處及通過箱涵處因其沈陷大於其他一般路堤路段，且此處前後之軌道支撐條件亦有變化，故為版式軌道最弱之處。其相鄰路基通常以碎石拌合水泥之材料漸進填覆，且路堤上版式軌道之端點亦須鋪在橋台頂上 (詳如圖 4-2)，以避免在橋樑與路堤過渡相接處產生過量之沈陷。

山陽新幹線版式軌道之造價約為道碴軌道之 1.3~1.5 倍，但若亦

考慮高架橋之造價時，版式軌道則優於道渣軌道，但在興建新幹線時，進一步減少造價仍是重要的課題，因此便再開發出框型（frame-shaped）版式軌道（如圖 4-3）。

此式版式軌道首次鋪設於北陸新幹線之隧道路段，共達 130 公里。其造價約比一般版式軌道低 8~14 %，目前興建中盛岡~八戶間之隧道路段及九州新幹線亦皆採此型式之版式軌道，日本版式軌道發展之說明詳如附錄三。另新幹線軌道施工時之容許誤差如表 4-2 所示，營運時軌道容許誤差如表 4-3 所示。

表 4-1：新幹線各種軌道結構長度

(線路長度 km)

線路名稱 區間 開通年、月	東海道	山陽		上越	東北	北陸	東北	合計	(%)
	(東京~新大阪) 1964.10	(新大阪~岡山) 1972.3	(岡山~博多) 1975.3	(大宮~新潟) 1990.11	(東京~盛岡) 1991.6	(高崎~長野) 1997.10	(盛岡~八戶) 建設中		
板式軌道	0	8	273	243	411	105	89	1,129	(54.7)
道渣軌道	516	155	125	15	48	19	2	881	(42.6)
其他軌道	0	0	0	12	42	0	2	56	(2.7)
合計	516	164	398	270	501	124	93	2,066	(100)

※2001 年 7 月資料

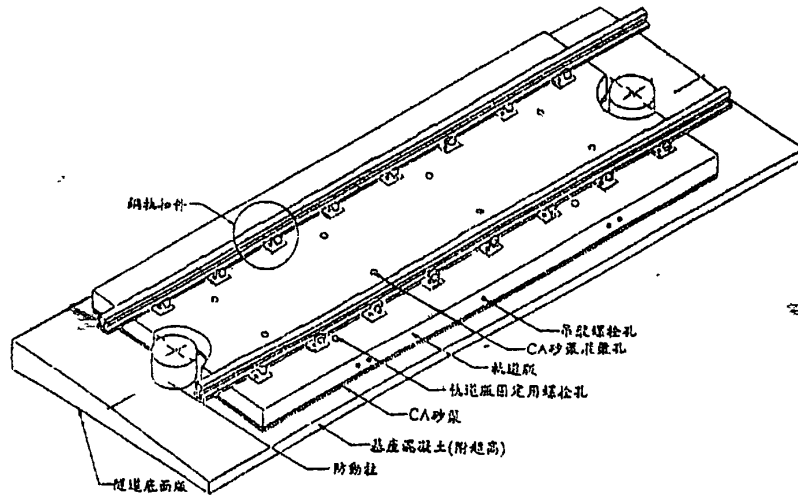


圖 4-1：日本版式軌道示意圖

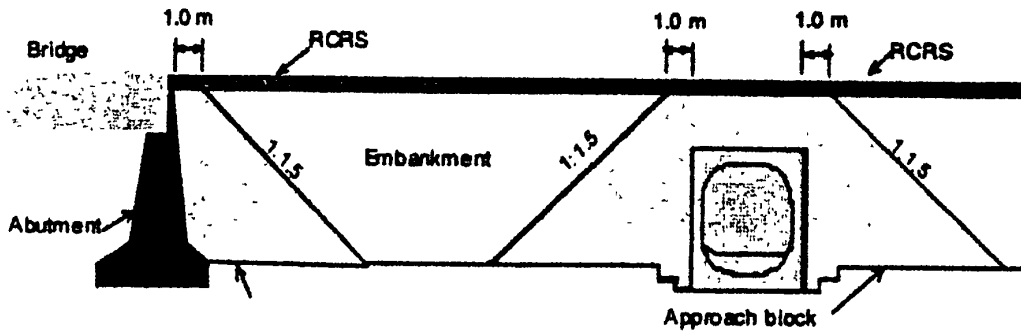


圖 4-2：路堤與橋台相接處及通過箱涵處之路基處理

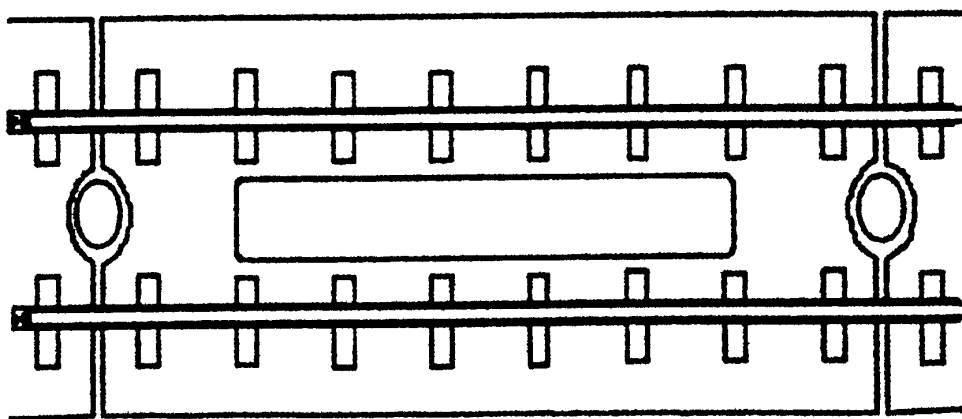


圖 4-3：框型 (frame-shaped) 版式軌道

表 4-2：新幹線軌道施工時之容許誤差表

Sinkansen Instruction for Track Construction

Construction Tolerances

Parameter	Track Structure		
	Ballasted Trackwork	Unit Slab Trackwork	Turnout Trackwork
Gauge(軌距)	+/-2mm	+/-1mm	+/-1mm
Cross level(水平)	+/-2mm	+/-1mm	+/-2mm
Surface(高低)	+/- 3mm/10m	+/- 2mm/10m	+/- 3mm/10m
Alignment(左右) (車軸內距)	+/- 3mm/10m	+/- 2mm/10m	+/- 2mm/10m
Guard Check Gauge	--	--	1,393~1,397mm*
Right-Angle(直角)	+/-20mm	--	+/-20mm
Sleeper(まくらぎ) Space(間隔)	+/-20mm	--	+/-20mm

Notes:

/10m : a chord of 10 meters

\* Rigid Crossing

表 4-3：營運時軌道容許誤差表

Sinkansen Instruction for Track Maintenance

Maintenance Tolerances

Track Category (本線)(副本線)(回送線) (出發/到達存車線)(側線)  
Main, Passing, Deadheading, Departure and Arrival, Siding Line Track

Parameter	The Section of Speed				≥210km/h
	≥180km/h	≥110km/h	≥70km/h	>70km/h	
Gauge(軌距)	+8mm, -4mm				
Cross level(水平)	5mm	6mm	7mm	15(9)mm	
Surface(高低)	7mm/10m	8mm/10m	9mm/10m	15(10)mm/10m	>(10mm/40m and 0.25g)
Alignment(左右)	4mm/10m	5mm/10m	6mm/10m	10(7)mm/10m	>(7mm/40m and 0.20g)
Twist(平面性)	5mm/2.5m	6mm/2.5m	7mm/2.5m	10(8)mm/2.5m	
Dynamic acceleration(振動加速度)					
Lateral vibration(左右)	0.20g				
Vertical vibration(上下)	0.25g				

Notes:

( ) Small radius curve

/10m : a chord of 10 meters

/40m : a chord of 40 meters

一般版式軌道與框型版式軌道之鋪設過程相同，圖 4-4 為框型版式軌道之鋪設工法概要圖。

施工順序：

1. 於路盤混凝土鋪設由工廠焊接長 200 公尺之鋼軌所構成之臨時軌道，並使此臨時軌道之軌距大於道版寬度，以供道版運搬車行走之用。
2. 將於工廠內預鑄並已埋設扣件之道版運搬至現場
3. 道版鋪設
4. 道版水平及上下位置之調整
5. 於道版與路盤混凝土間及道版與防動塊間之沙漿袋內注入 CA Mortar。
6. 將原來當作臨時軌道使用之鋼軌移至扣件位置，進行鋼軌鋪設。

附錄四為東北新幹線(盛岡—八戶間)軌道工事資料，包括路線、軌道構造概要，版式軌道施工順序，版式軌道與道碴軌道之圖等。

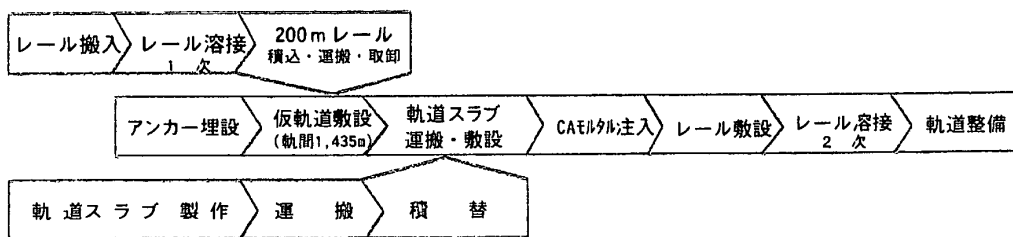
本次研習很難得適逢東北新幹線盛岡—八戶間鋪設框型版式軌道，而得以實地參訪。版式軌道鋪設過程之實況如下列各圖所示，圖 4-5 為鋼軌焊接，圖 4-6 為預鑄軌道版，圖 4-7 軌道版運搬，圖 4-8 軌道版鋪設，圖 4-9 及圖 4-10 為軌道版位置調整，圖 4-11 及圖 4-12 為 CA MORTAR 袋鋪放，圖 4-13 CA MORTAR 灌注，圖 4-14 CA MORTAR 灌注完成，圖 4-15 軌道版及鋼軌鋪設完成。框型版式軌道除鋪設於隧道路段，亦鋪設於隧道間之土工路段上(圖 4-16)。

版式軌道鋪設過程中，最複雜的部分係軌道版位置調整，而其依

據為與路盤混凝土相連之圓形防動塊之位置基準點（圖 4-17），軌道版與防動塊位置基準點之相關位置標示於隧道牆面（圖 4-18），如 W717.5：軌道半徑為 717.5 mm，HR189：鋼軌面高度為 189 mm，HS-10：道版面高度為-10 mm。

軌道版鋪設儘量以機械設備執行，但因精度要求高，且須人力調整，故須不少人力，依鋪設過程分成三組，第一組鋪放道版約 12 人；道版位置調整約 6 人，其中 2 人為資深技術人員在防動塊基準點上量測，4 人在道版兩側調整道版位置，CA MORTAR 灌注含材料車控制約 12 人，三組人力依序前進。

### スラブ軌道施工順序



### 走行レール式(移動プラント車)スラブ軌道敷設法

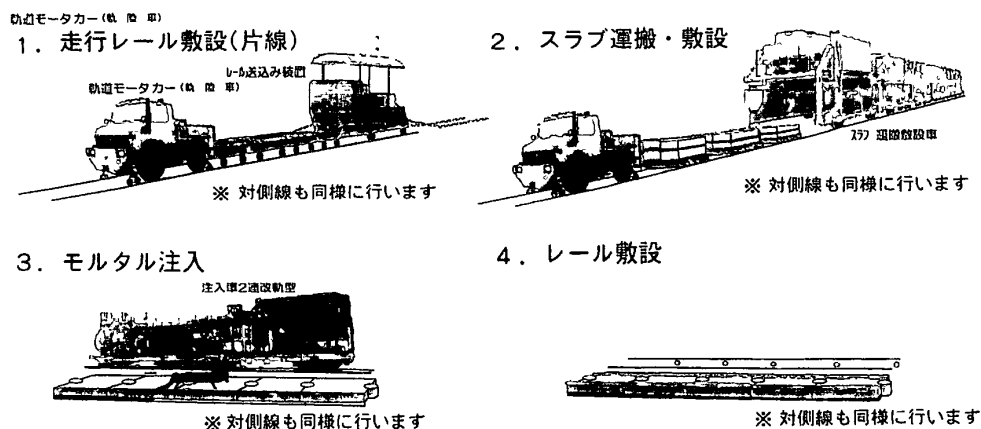


圖 4-4 框型版式軌道之鋪設工法概要圖





圖 4-5：鋼軌焊接



圖 4-6：預鑄軌道版



圖 4-7：軌道版搬運

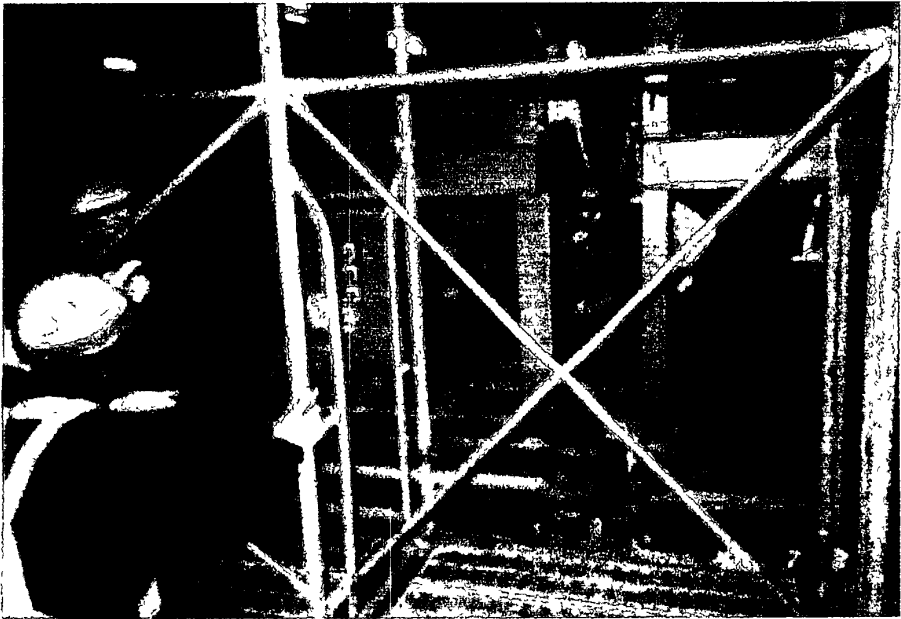


圖 4-8：軌道版鋪放

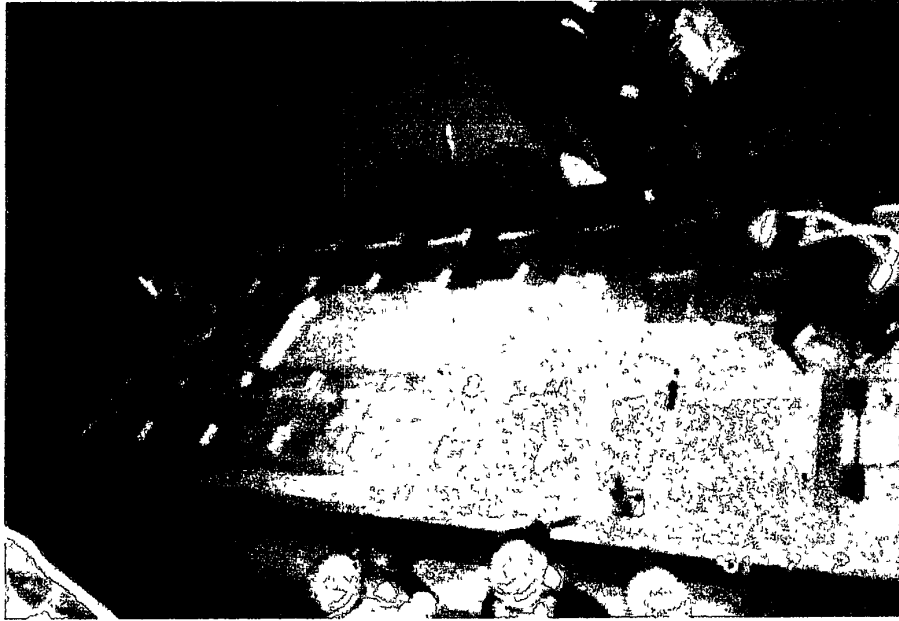


圖 4-9：軌道版位置調整

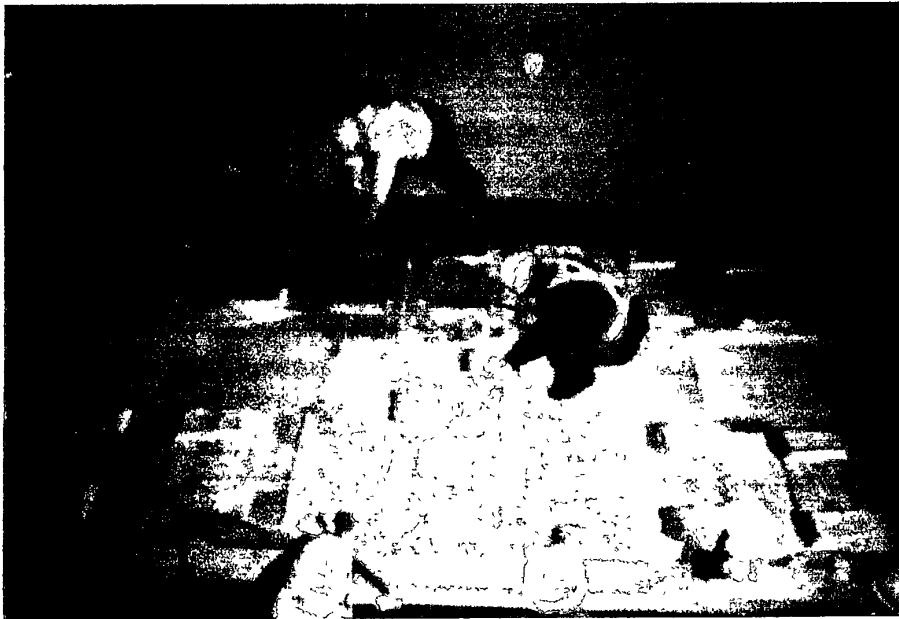


圖 4-10：軌道版位置調整

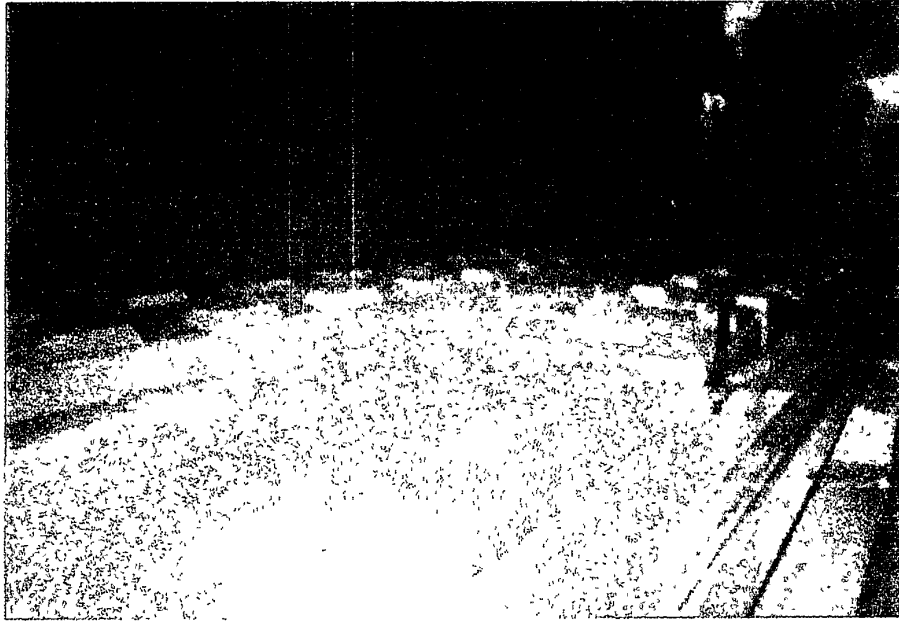


圖 4-11：CA MORTOR 袋鋪放



圖 4-12：防動塊之 CA MORTOR 袋

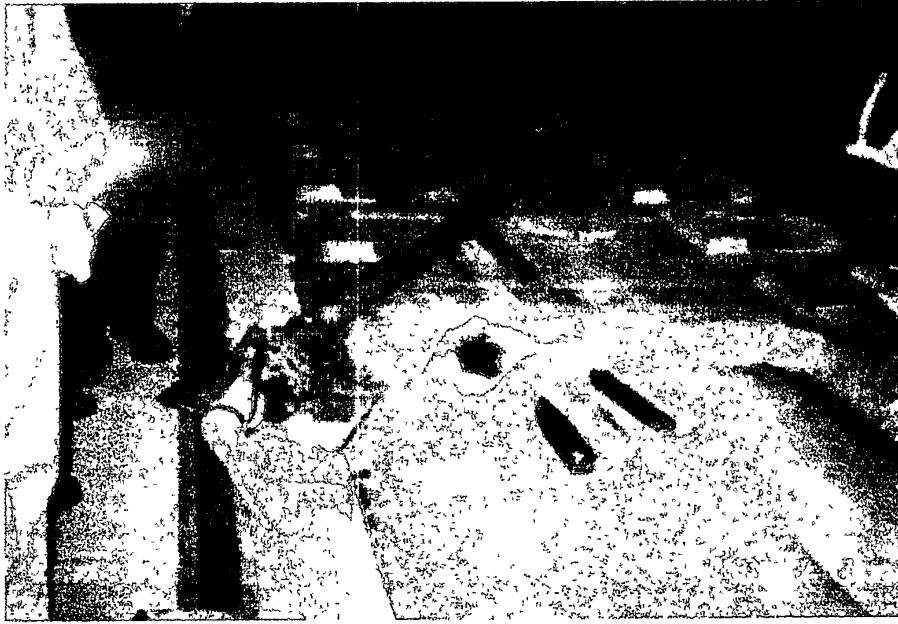


圖 4-13：CA MORTAR 灌注

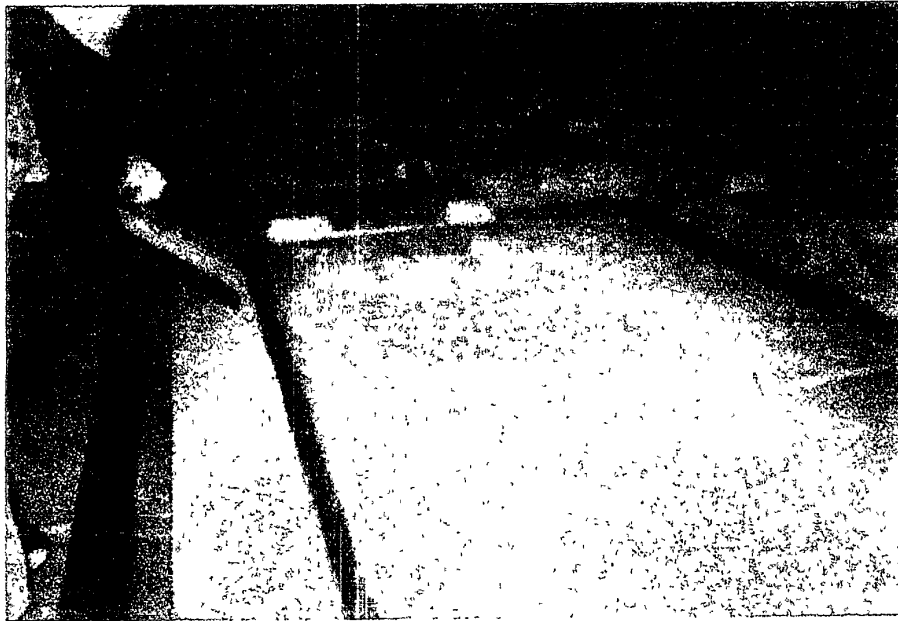


圖 4-14：CA MORTAR 灌注完成

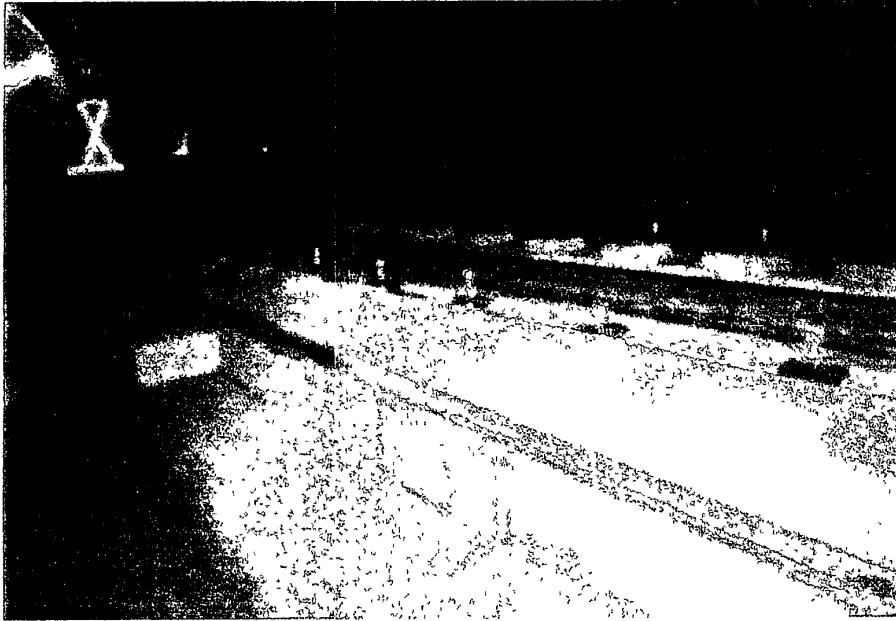


圖 4-15：軌道版及鋼軌鋪設完成



圖 4-16：非隧道土工路段上之框型版式軌道

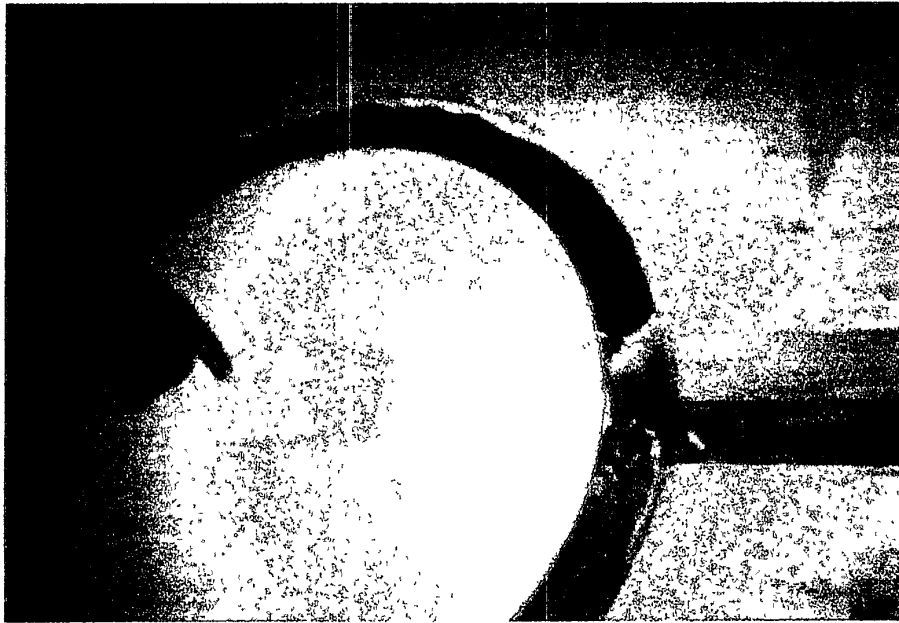


圖 4-17：防動塊之位置基準點

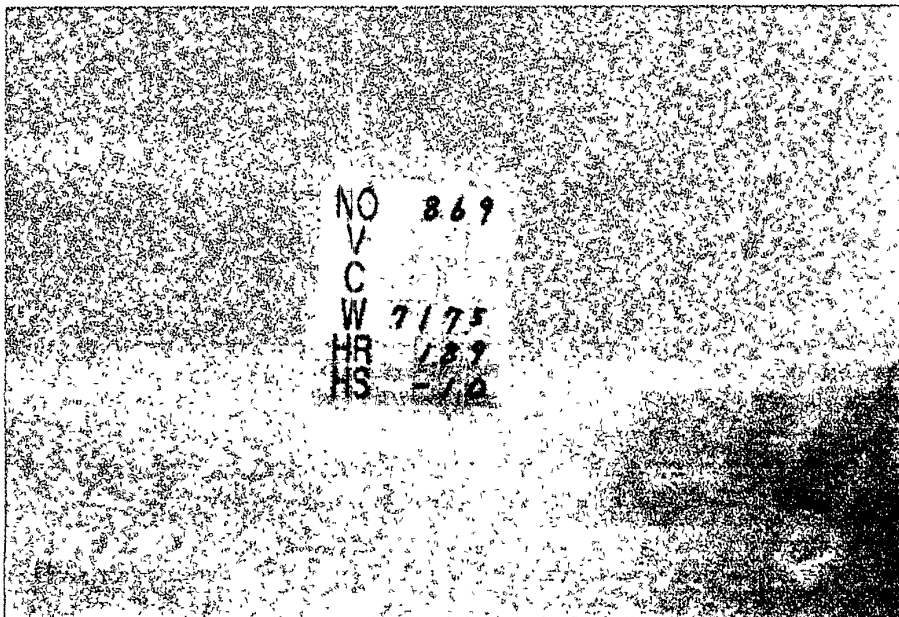


圖 4-18：軌道版位置標示

## 肆、心得與建議

### 一、心得

- (一) 新幹線自 1964 年營運之後，即造成振動之環境干擾問題，但高速鐵路有其工程技術上減振之難處與減振之限度，故日本迄今對新幹線之振動尚無明訂之法規要求標準。但為求對沿線環境品質的保障，環境廳於 1976 年頒佈「新幹線鐵道在環境保全上緊急需要之振動對策」，對新幹線提出 70dB 之指針及採取之勸告對策。雖日本之環境品質要求甚高，但由此仍可見日本環境法規訂定考慮之周延，除了顧及環境保護外，尚詳細慮及工程技術之客觀條件、科技與經濟發展需求、及交通效率提升等國家整考量之因素。而新幹線之開發單位也很積極努力地從車輛、軌道、土木結構上，不斷地研究改進，以提升減振效果，使後續增建之新幹線大都能符合振動指針值。依據實地量測結果顯示，最新完成的北陸新幹線，更是全線皆能符合振動指針值。日本環保主管機關合情合理務實地要求及建設開發單位認真負責的態度，亦是值得我們借鏡之處。
- (二) 技術能力的建立是需要相關經費的投入，高鐵日後若有振動問題，其偵錯技術能力，高鐵公司恐不一定有意願建立，然慮及日後高鐵可能發生振動問題、目前捷運已發生的振動問題及其他軌道系統日後可能發生的振動問題，建立我國軌道系統振動防制之技術能力，應是有其必要性。故建議於本部「推動設置軌道運輸系統研發機構」之計畫中，將軌道系統振動防制技術列入技術項目之一，以建立自主之軌道系統振動防制技術能力。
- (三) 世界各國之高速鐵路大都朝更高速之趨勢發展，1997 年開始於山陽新幹線運轉之 500 型列車，最高營運時速為 300km，而於 1999 年開始運轉之 700 型列車最高營運時速卻降為 285km，除了 500



型列車之開發成本高於 700 型外，尚有噪音之環保問題，故 500 型列車在東海道新幹線之最高營運時速僅達 270km。我國高鐵沿線許多路段人口密集程度並不亞於日本，且部分建築也甚為接近高鐵路線，故高鐵公司對沿線之噪音防制務必審慎處理。

(四) 我國高鐵原係由歐洲系統得標，但後來卻改採日本機電系統，研習期間亦曾與日方人員討論，再經此期間的觀察，個人以為日本得以在臺灣高鐵市場之競逐中反敗為勝，其主因為：

1. 具有三十餘年興建與營運之經驗，並且不斷地解決問題與創新，而建立其深具自信心且紮實的技術能力。
2. 腳踏實地、精益求精的工作態度。
3. 鍥而不捨的精神。

雖我們並非自行開發高鐵系統，但高速鐵路係精度要求甚高科技整合的結果，為求如期如質完工，並得以順利營運，以上所提日本高鐵方面之工作態度與精神，亦值得我們效法。

## 二、建議

目前我國高鐵正值興建階段，興建完成後，即會有振動與噪音之量測問題。因噪音量測環保署已有明文規定，而振動方面則尚無規定，故振動量測及防制即為本次研習重點之一。經聆聽吉岡修博士之解說與研讀相關資料，可感受到此技術能力的建立，端賴專業人員長久以來針對陸續發生的問題，有系統地分析、試驗，踏實地建立完整的技術資料。我國高鐵係採民間投資之 BOT 方式辦理，由台灣高鐵公司辦理興建及日後之營運，因我國高鐵係採用日本新幹線機電系統，為了解日後我國高鐵之振動影響，建議高鐵公司可參考日本新幹線之量測方式，預為規劃。

# 附 錄 一

# 關於新幹線鐵道噪音之環境基準

1975年7月29日，環境廳告示第46號

依據公害對策基本法（1967年法律第132號）第9條規定，關於噪音環境上之條件中，在新幹線鐵道之噪音基準告示如次。

## 關於新幹線鐵道噪音環境基準

依據公害對策基本法第9條，有關環境上之噪音條件，係保全生活環境盼望維持保護人們健康，有關新幹線鐵道噪音基準（以下稱為環境基準）及其達成目標期間等規定如次。

### 第1 環境基準

1. 環境基準為，在地域之每類型依次表基準欄所示，符合各類型地域係由都道府縣長指定之。

地域之類型	基準值
I	70db 以下
II	75db 以下

- (注) 符合 I 類型地域主要為供用於居住之地域，符合 II 類型地域係供用於工商業地域等，是 I 類型地域以外之地區需保全通常生活所需地域。

2. I 類型地域之環境基準之基準值為，依下述方法測試及評價當時之數值。
  - (1) 測試是在新幹線鐵路之上、下行列車合起來，原則上關於對連續通過之 20 次列車，取其各該列車噪音最高值記錄之。
  - (2) 測試原則上在屋外之地上 1.2m 高執行，該測試點則為新幹線鐵道噪音之代表地點，另外尚應選定已成為新幹線鐵道噪音問題之場所。
  - (3) 測試時期應避免有特殊氣象條件時，及認為列車速度較通常

為低時不予辦理。

(4) 評價是(1)之尖峰標準中，標準大小將上位半數者採取其平均辦理之。

(5) 測試儀器應使用合格於計量法第 88 條（1951 年法律第 207 號）條件之噪音計方可。這時聽感補正回路為 A 特性，動特性為緩（Slow）

## 第 2 目標達成期間

環境基準值為，在有關行政機關及地方公共團體之協助下，在新幹線鐵道沿線區域每區分，依次表目標達成期間欄所述期間為目標予以達成或努力維持，在此情況下雖經綜合性設法引進新幹線鐵道噪音之防止對策，惟在該目標達成期間也困難達成之區域，則採取於房屋設隔音工程等以達成環境基準時相同之房屋環境。

新幹線鐵道之沿線區域之區分		達成目標期間			
		關於既設新幹線鐵道之期間	關於施工中新幹線鐵道之期間	關於新建新幹線鐵道之期間	
a	80db 以上之區域	3 年以內	開業時就需要	開業時就需要	
b	超過 75db 未滿 80db 之區域	i	7 年以內		自開業時 3 年以內
		ii	10 年以內		自開業時 3 年以內
c	超過 70db 並 75db 以下之區域	10 年以內	自開業 5 年以內		

### 備註

1. 新幹線鐵道之沿線區域之區分欄之 b 區域中，i 指的是相當於類型 I 的地區且為連續的沿線地區（相當於我國沿線密集住宅區之說法）。ii 就是除 i 以外之地區。
2. 達成目標期間欄中之既設新幹線鐵道，施工中新幹線鐵道及新建新幹線鐵道，各為下述新幹線鐵道謂之。
  - (1) 既設新幹線鐵道：東京~博多間之新幹線鐵道。
  - (2) 施工中新幹線鐵道：東京~盛岡間，大宮~新瀉間，東京~成田間之新幹線鐵道。

(3) 新建新幹線鐵道：除(1)及(2)以外之新幹線鐵道。

3. 達成目標期間欄所述期間中，關於既設新幹線之期間為，自環境基準訂定之日起算之。

### 第3 噪音對策實施方針

1. 關於實施新幹線鐵道之噪音對策時，當該新幹線鐵道沿線區域中應對 a 區域優先實施噪音對策，且予以重點實施。
2. 在既設新幹線鐵道之沿線區域中對 b 及 c 之區域，實施噪音對策時，須考慮該沿線區域中在 a 之區域於音源對策之開發技術及實施狀況，以及實施體制之整備和財源措施等，此外相關連障害防止對策之進行狀況等，均應妥為考量後再逐項研提具體實施方法。

## 附 錄 二

## 新幹線鐵道在環境保全上緊急需要之振動對策

1976年3月12日環大特第32號環境廳長官致運輸部長之勸告，伴隨新幹線鐵道運轉列車發生之振動甚為顯著，於沿線之部份地域業經產生不能看得過去之受害情況，為因應這種現狀，關於新幹線鐵道振動對策之下列敘述，當面指導方針等需要達成之故，研擬需要採取之勸告對策。

關於為達成本指針值等所需採取措施，請於日後每次惠允通告為盼。

### 記 錄

#### 1. 指針

- (1) 關於新幹線鐵道振動之補正加速度水平，超過 70db 地域者，應即緊急採取振動源及障礙防範對策。
- (2) 病院、學校其他特別須保持平靜設施之地域，應特別關照並同時儘早採取措施。

#### 2. 測試方法

##### (1) 測試單位用補正加速度標準（單位 db）

設：補正加速度標準，係以鉛直振動數為  $f$ （單位 Hz）及加速度實效值為  $A$ （單位  $m/sec^2$ ）， $A$  之基準值  $A_0$ （單位  $m/sec^2$ ）對比之常用對數之 20 倍即  $20 \log (A/A_0)$ （單位 db）

這時  $A_0$  值如次

$$\left( \begin{array}{l} 1 \leq f \leq 4 \text{ 時, } A_0 = 2 \times 10^{-5} f^{1/2} \\ 4 \leq f \leq 8 \text{ 時, } A_0 = 10^{-5} \\ 8 \leq f \leq 90 \text{ 時, } A_0 = 0.125 \times 10^{-5} f \end{array} \right)$$

(2) 測試條件如次

- a. 摘取振動設置地點為無緩衝物，且業已充分踏固的較硬地點。
- b. 摘取振動設置地點為無傾斜又無凹凸地點，且充分可確保水平面地點。
- c. 摘取振動設置於不受外圍條件影響地點。
- d. 指示儀器之動特性為置於緩（Slow）

(3) 測試為將上行及下行列車綜合起來，原則上關於連續通過 20 次車，取記錄每通過列車振動之尖峰標準。至於測試時期應避免選定之列車速度係比通常為低速度之列車。

(4) 振動評價為(3)之尖峰標準中標準之大小，在上位半數者計算平均為之。

3. 為達成指針之方法

- (1) 新幹線鐵道振動之振動對策，應考量構造物之低減振動對策措置，至於採取上述措施後也因現今之技術，尚難對於低減振動亦有效，故須儘早謀求構造物防振，和遮斷振動對策等技術開發。
- (2) 為新幹線鐵道振動之障礙防範對策，對既設居住等建物之移轉補償、改建及補強工程之補助等措施，自振動較顯著地域應先予以實施，往後應特別儘早研究房屋防振對策之開發，再考慮補修房屋等謀求減輕振動之影響措施。
- (3) 當實施新幹線鐵道振動對策時，可依據「關於新幹線鐵道噪音環境基準」（1975 年 7 月環境廳告示第 46 號）並與噪音對策等，其他之環境對策做有機性之連繫實施。



## 日本新幹線履勘作業有關實施噪音、振動檢測之規定

### 1. 一般例

在日本，依鐵路事業法第 10 條實施之工程竣工履勘，並不實施檢查新幹線隨著運轉產生之噪音及振動，是否抵觸經公布之環境基準值或勸告值。

在概念上，為了防範噪音、振動所必需構造物、設施等，依鐵路事業法第 8 條，已含在施工許可之工程實施計畫中，故成為履勘對象，惟關於隨著新幹線運轉而產生噪音、振動之測定結果，即為鐵路事業法第 10 條運輸部長實施之履勘之對象外。

（僅噪音、振動之對策工程為對象）

其原因為關於噪音、振動等之環保規定乃環境省管轄領域所致，但「關於新幹線鐵路噪音環境基準」，有關環境省告示（環境廳告示第 46 條，1975 年 7 月 29 日）及基於「關於環境保全上緊急需新幹線鐵路採振動對策」之勸告（環大特第 322 條，環境廳長官→運輸部長，1976 年 3 月 12 日），運輸部長需要設法採行有關新幹線振動所需措施（運輸部長通知→國鐵總裁及鐵道公園總裁，1976 年 4 月 19 日）將其結果通報環境廳長官，爰此運輸省並非不關心，若上述環境基準及勸告事項，於預定達成期間內新幹線未能因應，對該事業者等確實需要予以指導。

又環境廳認為，關於新幹線噪音對各都道府縣長依，「因應新幹線鐵路噪音有關環境基準」（環大特第 100 號，環境廳→都道府縣長，1975 年 10 月 3 日）係因應保全民眾保持建康指定地域類型（地域類型 I 為住宅地，又類型 II 為工商業地）（基於公害對策基本法委任都道府縣事項），又依障害防止對策實施者（國鐵鐵道公園，JR 本州 3 社）測試新幹線鐵路噪音評價時，通知告

示測試方法等並予以協助。

從而現在，新幹線沿線之各都府縣，則每年定期性且依照政府頒訂之測試方法，自主地測試噪音，確認振動測試值是否在所訂規定基準值以內，於報告環境廳同時，亦公開給廣大縣民知照，若超過規定值即通知該鐵路事業者改善。

（為此有關東海道新幹線沿線，於此並有東京都和神奈川縣之測定報告書）至於隨著因新幹線運轉之噪音、振動，經新幹線環境影響評價之制度化，並由國鐵、鐵道公團及 JR 各社之努力執行對策結果年年減少，目前大致上都容納於環境廳所訂之環境基準及振動值以內（一部份超越規定值者即施以遷移房屋，或施工住宅隔音工程），影響大眾之問題已幾乎沒有，於是，做為新幹線建設主體之鐵路公團，及營運主體之 JR 各社雖在履勘對象外，但通車以後（營運以後之「原則上連續有 20 次通過列車」在行駛，且能基於實施測試方法階段即實施測試。至於營運以前之訓練運轉時亦做非正式之測試），及新規範構造物（引進隔音、防振軌道）新設之設備，或引進新型車輛時等鐵路業者就主動測試噪音、振動，俾便遵守環境廳通告，及依其勸告事項同時將其結果必要時通知沿線自治團體查照。

## 2. 北陸新幹線（長野）之事例

### (1) 在鐵道事業體

#### ① 實施環境影響評價

1978 年 10 月：整備新幹線之具體實施計畫（閣議通過）

北陸新幹線係整備新幹線之一，而運輸部長即制定環境影響之評價方針，於國鐵或鐵道建設公團據依此方針，獲關係都道府縣長之協力儘速一齊正式實施境影響評價。

以後鐵道公團即依運輸省訂定之：環境影響評價方針，國鐵、鐵道公團訂定之環境影響評價實施要領，經辦理環境影響評價，公開路線及報告書、說明會、地方自治團體意見書、同意書，容納環境基準以內設計進行施工。

② 實施環保對策

北陸新幹線（長野開業）係最新之新幹線，在構造物、設備及車輛構造等採現在技術水準中，最高且最適合之噪音、振動等防止對策。

主要對策為

構造物重量化，逆 L 型隔音壁，防振軌道版，低簧墊

新型車輛（E<sub>2</sub>）

車輛輕量化，改良車頭形狀，減少集電弓數，設集電弓蓋等

③ 為環保於營運前及營運後施行各種測試與調查

a. 測試噪音

依營運前之第一次測試（約 400m 間隔）做噪音標準分布圖

營運後之第二次測試（第一次測試之每一點）

營運前後之定點測試（自軌道中心 25m）

b. 振動測試

營運前後之定點測試（自軌道中心 12.5m）

c. 其他

(2) 在環境廳，縣自治體

① 環境廳據以告示勸告之噪音、振動規定，對沿線自治體（縣）指示每年定期性辦理調查及測試。

②沿線之縣依照環境廳之指導確定測試地點位置，對測試地點之選定方法為

a. 調查噪音地點

高度：原則上為 1.2m 高

地點：「測試地點係該地點認為新幹線鐵路之噪音代表地點外，係為新幹線噪音問題之地點」(告示之 2(2))

「測試時……又能與其他測試地點可為比較，距離軌道中心線 25m 及 50m 地點併同測試為宜，」  
(環境廳通知之第 2 之 2.)

b. 調查振動場所

「無緩衝物且業已充分實施踏固之較硬地點」

其他

「噪音・為策劃振動對策之有機性連繫」(勸告)

噪音、振動在同一地點辦理測試時較多。

③在營運後沿線之縣，均依環境廳所示測試方法，辦理噪音及振動測試。

④有關測試結果均向環境廳提報，同時對於檢測無法達到環境廳告示、勸告之規定值的沿線居住地等，則必需檢討研擬對應之策。

(3) 北陸新幹線之對策與結果

噪音

於營運後之噪音測試，在沿線房屋等曾發生超過環境基準，故基於居住者之申請，實施必要之隔音對策，有關其費用即在補助限額範圍內由鐵道公團予以補助之。

## 振動

營運後有關振動並無超越環境廳勸告值之居住地。

因依新幹線產生之噪音、振動相關之運輸省，鐵路單位之主要對策如次：

※新幹線鐵路噪音對策要綱—1976年3月閣議通過

※環境保全上緊急需要有關新幹線鐵道振動對策—1976年3月12日之勸告之2「障礙防止對策」

※新幹線鐵道有關振動引起障礙之防範對策—「依1976年12月自國鐵總裁致各自治體主管之「新幹線鐵道噪音，振動防止對策處理要綱」

## 其他

建物、農作物之日照障礙、TV障礙

※討論：如測試結果超越環境廳勸告值時如何因應？

### 1. 新幹線新線時

新建新線時依上述環境影響評價，推想環境影響獲得沿線都道府縣長（沿線住民）之同意方施行故，並無大量超過環境基準，惟因有關噪音和振動須至營運後方能測試，多少會有超過環境基準是難免，屆時即採房屋個別隔音工程等因應之。

為此因噪音及振動等問題影響通車時間或左右列車速度之事例迄未發生過。

### 2. 已營運之新幹線的狀況

在上述告示之有關實施環境基準義務達成時期，在告示視為「達成目標期間做為努力目標，其中有關已營運之東海道、山陽新幹線即依「有關達成新幹線鐵道噪音環境基準」

所示部份照舊迄未達成，(1985年10月21日環境廳→運輸部)

為此在國鐵，JR 各社則於車輛、構造物、建築物以及對房屋全般性，更努力研究防止噪音措施。惟到目前為止，因為須要達成環境基準而降低列車速度等事例迄未發生過。

3. 日本新幹線於測試振動、噪音方法為何？(例如範圍、配置、使用之儀器等) 有無測試標準、測試頻度等為何？

測試噪音方法：在環境廳告示訂為「有關新幹線鐵道噪音環境基準」(環境基準之第1之2所示，為更詳細者以「新幹線鐵道噪音環境基準」(環大特第100號1975年10月3日)所示之。

測試儀器為使用合格於計量法第88條規定條件之噪音錶。

4. 振動測試方法

在「有關環境保全上緊急需要新幹線鐵道振動對策」之勸告(環大特第322條環境廳長官→運輸部長1976年3月12日)之2測試方法所示之。

其他依據上述告示，勸告有關噪音、振動更詳細測試方法，另可參考實際新幹線事業者的JR東所訂定之「環境調查標準規範書」。

本建第 576 號

平成 12 年 2 月

# 環境調査標準規範書

東日本旅客鐵道株式會社

建設工程部

設備部

## 1 適用範圍

1.1 關於鐵路之環境調查，在此規範書之規定外，尚有相關法令及特別規定。

1.2 調查之種類，如次所述。

### (1)新幹線鐵路

a.噪音評定測量

b.振動評定測量

c.隧道微氣壓波測量

### (2)在來線鐵路

a.噪音評定測量

b.振動評定測量

1.3 依據此規範書中之調查種類，若有顯然與該調查無關之事項，勿予刪除。

主要相關法令如次所述：

(1)測量法(平成 4 年法第 51 號)

(2)環境基本法(平成 5 年法第 91 號)

(3)新幹線鐵路構造規則(昭和 39 年運輸省令第 70 號)

(4)普通鐵路構造規則(昭和 62 年運輸省令第 14 號)

(5)新幹線鐵路噪音之環境標準(昭和 50 年 7 月環境廳公告)



(6)環境保全上緊急需要之新幹線鐵路振動對策(昭和 51 年 3 月  
環境廳勸告)

(7)在來鐵路之新設或大規模改良時之噪音對策方針(平成 7 年 12  
月環境廳大氣保全局長)

於特別規定中，主要相關規章如下：

(1)運轉操作須知(昭和 62 年公司規章第 43 號)

(2)軌道整備須知(昭和 62 年公司規章第 56 號)

(3)建築物整備須知(昭和 62 年公司規章第 60 號)

(4)新幹線建築物整備須知(昭和 62 年公司規章第 61 號)

(5)電氣工作物設施須知(昭和 62 年公司規章第 61 號)

(6)軌道構造基準(規章)(昭和 62 年施工規章第 2 號)

(7)設施相關統計報告等基準(規章)(昭和 62 年施工規章第 2 號)

## 2 用語之意義

此規範書內用語之意義如次所述：

- (1)「噪音評定測量」，係指伴隨列車運行時，以普通噪音計所測量及評定其所產生之噪音謂之。
- (2)「振動評定測量」，係指伴隨列車運行時，以振動標準計所測量及評定其所產生之地基振動。
- (3)「隧道微氣壓波測量」，係指新幹線列車於隧道內運行時，以微氣壓波計所測量及評定其所產生之微氣壓波。
- (4)「監督員」，係指接受來自合約負責人監督命令之員工。
- (5)「指示」，係指監督員指示承包商作業上必要之實施事項。
- (6)「承諾」，係指監督員同意承包商申請之事項。
- (7)「呈報」，係指監督員因承包商要求承諾或確認之文件提出申請。
- (8)「特別記載」，係指將特定追加規範依此規範書樣式紀錄之事項。

## 3 呈報及提交

3.1 契約書或在此規範書，規定向契約負責人提出者應經監督員提出之。

3.2 關於前項以外之呈報及設計圖說等，應向監督員提出之。

#### 4 主任技術員及測量管理員

4.1 實施評定測量時，應設主任技術員及測量管理人擔任技術上之管理及指導同時於測量期間，測量人員應常駐於現場。

#### 4.2 主任技術員之任務及資格

(1)主任技術員，係應掌理測量計畫之籌畫、現場調查、撰寫報告書等之總體技術上之管理及指導者。

(2)主任技術員，除需具備精通各相關規章 7 年以上之實務經驗外，亦需具備技術士資格，或測量法施行規則所規定之環境測量士資格，或監督員認定其具有同等程度能力者。

#### 4.3 測量管理員之任務及資格

(1)測量管理員，係指經辦測量作業之現場指導，以及親自擔任測量、撰寫報告書者。

(2)測量管理員，除需具備精通各相關規章 3 年以上之實務經驗外，或需具備公害防止管理人員資格，或監督員認定其有同等程度能力者。

4.4 主任技術員及測量管理員於著手前申報履歷表。

#### 5 調查內容

調查內容為依特記【0501】辦理之。

## 6 調查範圍

調查範圍為依特記【0601】辦理之。

## 7 出借資料

7.1 作業所必要之資料予以貸給，內容依特記【0701】辦理之。

7.2 貸給資料應妥為運用以免遺失、毀損，若遺失、毀損時，由承包商負責製作、修復。

7.3 貸給資料無監督員之承諾不得複製及流用於他處。

7.4 作業結束後，應儘速歸還。

## 8 調查之事前協調

8.1 關於評定測量之順序及方法等，必須預先和監督員進行充分之協調，將疑義解釋清楚。

8.2 依據調查之事前協調應提出調查計畫書。

## 9 現場測量

9.1 為現場測量需進入東日本旅客鐵道株式會社設施或用地內時，需充分與監督員協商，同時需獲得相關主管之許可。

9.2 為現場測量需進入第三者之設施或用地內時，需充分與監督員協商外，同時需獲得相關機關之許可。

9.3 為現場測量需鄰近或進入路線內時，需依營業線工程保安相關標準規範書之規定。

## 10 噪音評定測量

### 10.1 測量機器

- (1) 噪音錶，係指使用符合 JISC1502 規格之普通噪音錶。
- (2) 記錄器，係指使用符合 JISC1512 規格之標準記錄器。
- (3) 周波數分析器，係指使用符合 JISC1513 規格之周波數分析器。

### 10.2 評定單位

- (1) 測量之評定單位以「dB」表示，噪音錶之周波數補充改正回路為「A 特性」，動特性為「SLOW」。
- (2) 標準記錄器之筆動特性為「SLOW」，送紙速度為 3mm/s。

### 10.3 測量要領

- (1) 測量係依據 JISZ8731(環境噪音之表示、測量方法)。
- (2) 列車速度之測量係依據測速槍或碼錶之通過秒數測之。
- (3) 關於測量列車之區分及測量列車次數，需與監督員協商。
- (4) 有連續風速 5m/s 以上之天候時，需與監督員協商。
- (5) 列車通過中，因開端音、汽車噪音、依有緊急煞車音等其他噪音源紀錄時，需將該宗旨予以紀錄之。

(6)於測量產生疑義時，儘速與監督員協商。

#### 10.4 照片攝影

在測量時，需包含麥克風之設置狀態及噪音源，網羅全體攝影之。

#### 10.5 測量結果之解析

(1)噪音評定值為，自標準記錄器讀取各列車之尖峰標準值。

(2)標準記錄器之記錄紙，整理於硬板紙，並紀錄測量年月日、測量位置、列車號碼、列車種別、列車速度外，判定之尖峰標準值(讀取值)。

(3)新幹線之噪音測量為，各每列車之尖峰標準值中，求取上位半數值之加權平均。

(4)關於在來線鐵路之新設或大規模改良之附帶測量結果之解析，需與監督員協商。

(5)有特別指定之情形時，需製作測量結果散佈圖。

(6)有特別指定之情形時，需進行指示列車之周波數分析。

### 11 振動評定測量

#### 11.1 測量機器

(1)振動錶，係指使用符合 JISC1510 規格之振動標準錶。

(2)記錄器，係指使用符合 JISC1512 規格之標準記錄器。

#### 11.2 評定單位

(1)測量之評定單位以「dB」表示，振動錶之特性切換為「VIBRATION LEVEL」。

(2)標準記錄器之筆動特性為「VIBRATION LEVEL」，送紙速度為3mm/s。

### 11.3 測量要領

(1)測量係依據JISZ8735(振動標準測量方法)。

(2)列車速度之測量係依據測速槍或碼錶之通過秒數。

(3)關於測量列車次數，需與監督員協商。

(4)列車通過中，因其他噪音源而有異常值之紀錄時，需將該宗旨予以紀錄之。

(5)測量產生疑義時，儘速與監督員協商。

### 11.4 照片攝影

測量時之攝影照片中，需包含振動pickup之設置狀態及振動源，網羅全體攝影之。

### 11.5 測量結果之解析

(1)振動評定值，自標準記錄器讀取各列車之尖峰標準值。

(2)標準記錄器之記錄紙，整理於硬板紙，並記錄測量年月日、測量位置、列車號碼、列車種別、列車速度外，判定之尖峰標準值(讀取值)。

(3)於各每列車之尖峰標準值中，求取上位半數值之加權平均。

(4)有特別指定情形時，需製作測量結果散佈圖。

## 12 微氣壓波測量

### 12.1 測量機器

微氣壓波錶，係指使用周波數範圍為 0.2~1000Hz 之超低周波音壓標準錶。

### 12.2 評定單位

測量之評定單位以「Pa」表示。

### 12.3 測量要領

(1)列車速度之測量係依據測速槍或碼錶之通過秒數。

(2)關於測量列車之區分及測量列車次數，需與監督員協商。

(3)列車通過中，有異常值之紀錄時，需將該宗旨予以紀錄之。

(4)測量產生疑義時，儘速與監督員協商。

### 12.4 照片攝影

測量時之攝影照片中，需包含微氣壓波錶之設置狀態，網羅全體攝影之。



## 12.5 測量結果之解析

- (1)微氣壓波評定值，自記憶體記錄器之輸出記錄讀取各列車之尖峰標準值。
- (2)記憶體記錄器之輸出記錄，整理於硬板紙，並紀錄測量年月日、測量位置、列車號碼、列車種別、列車速度外，紀錄判定之尖峰標準值。
- (3)有特別指定之情形時，需製作測量結果散佈圖。

## 13 報告書等之製作

### 13.1 進行調查測量後製作測量記錄及藍圖。

- (1)調查位置
  - a.調查位置圖與測量場所合併表示，並每測量地點均製作之。
  - b.比例尺以 1/500 或 1/2500 程度為之。
- (2)測量位置圖
  - a.測量位置圖與測量點之位置合併表示之。
  - b.比例尺以 1/50000 為標準。
- (3)測量評定一覽表(附件說明第 1 號～第 2 號)
- (4)測量記錄(附件說明第 3 號～第 7 號)

測量記錄，依測量項目之測量位置製作。
- (5)使用計器一覽表

(6)使用計器試驗成績表

13.2 相關照片

照片，係現場攝影使用彩色沖洗，並分類整理之。

13.3 記錄紙

記錄紙(圖表紙)，依測量點位置分類整理之。

14 成品

14.1 呈報成品應依據特記【1401】為之。

14.2 關於照片成品中之一部分，需由主任技術員簽名・蓋章。

14.3 關於成品，在完成前亦有可能被要求提出。

14.4 成品之版權，完全歸屬於東日本旅客鐵道株式會社，不得洩漏予  
第三者。

# 附 錄 三

## RECENT DEVELOPMENTS OF SLAB TRACK IN JAPAN

<b>Katsutoshi ANDO, Dr. Eng.</b>	<b>Hifumi AOKI</b>	<b>Osam HAGA</b>
Chief Engineer	Chief Engineer	Assistant Manager
Railway Technical Research Institute	Japan Railway Construction Public Corp.	
2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji-shi	San-no Building 2-14-2 Ngata-cho, Chiyoda-ku	
Tokyo 185-8540 JAPAN	Tokyo 100-0014 JAPAN	
TEL:+81-425-73-7276	TEL:+81-3-3506-1860	TEL:+81-3-3506-1847
FAX:+81-425-73-7432	FAX:+81-3-3506-1891	FAX:+81-3-3506-1851
E-mail:ando48@rtri.or.jp	E-mail:123.aoki@jrcc.go.jp	E-mail:osam.haga@jrcc.go.jp

### Abstract

Thirty years have passed, since slab tracks were widely used for the first time in the world by the former Japanese National Railways. Until now, slab tracks have been laid both on Shinkansen lines and narrow gauge lines for over 2,700 km. The slab tracks are considered indispensable for Shinkansen and have been adopted for about 2,200 km, which account for 55% of the total length of five Shinkansen lines.

In the last decade, the authors experienced a number of valuable improvements of slab tracks. These are concerned with the application of slab tracks to earthwork sections, a reduction of construction costs and measures for environmental problems.

#### (1) Development of slab track on earthworks

The Hokuriku Shinkansen line from Takasaki to Nagano opened for traffic in 1997. Up to recent years, the use of slab track had been limited to viaducts and tunnels to satisfy the severe maintenance standards required for Shinkansen. So, a reinforced concrete roadbed system was developed for slab tracks which can be laid on earthworks instead of ballasted tracks.

#### (2) Reduction of construction costs

The construction costs of slab track was 1.3 to 1.5 times those of ballasted track in the 1980s. However, in planning the Shinkansen network project, further reduction of construction costs was desirable. One of the countermeasures is the development of frame-shaped track slab. This type of slab track was laid for 130 km in tunnels of the Hokuriku Shinkansen line.

#### (3) Development of low-noise track,

In general, noise levels of slab tracks were 5dB (A) higher than ballasted tracks under train running. So, a solid bed with removable resilient ties was developed to reduce construction costs and suppress the noise to levels equivalent to ballasted tracks.

This paper describes the technical and economical effects of slab tracks based on the experience of 30 years.

### Key words:

Slab track, settlement, maintenance, noise, fastening, cement asphalt mortar

## 1. INTRODUCTION

Thirty years have passed, since slab tracks were widely used for the first time in the world by the former Japanese National Railways. Until now, slab tracks have been laid both on Shinkansen lines and narrow gauge lines for over 2,700 km including under-sea tunnels and over-sea bridges where natural environments are sever. The slab tracks are considered indispensable for Shinkansen and have been adopted for about 2,200 km, which account for about 55% of the total length of five Shinkansen lines. The slab tracks have brought about a great change in the maintenance of railway tracks, especially on Shinkansen lines because of its excellent performance to maintain good track geometries and reduction of track maintenance costs. In the last decade, the authors experienced a number of valuable improvements of slab tracks.

This paper describes the present condition of slab tracks, development of a new structure on earthworks, a reduction of its construction costs and development of a noise reducing track <sup>1) 2)</sup>.

## 2. OUTLINE OF SLAB TRACKS

### 2.1 Background and Shinkansen network <sup>3) 4)</sup>

The Tokaido Shinkansen from Tokyo to Osaka was inaugurated in 1964 just in time for the Tokyo Olympics. It ushered a new era of high-speed train services. During the early years of Shinkansen operation, damage frequently occurred to conventional ballasted tracks with the increase of traffic intensity. The growing economy and reduction in working hours, labor shortages and limits on interval time for track maintenance, created the need to introduce a new low maintenance track. As a result, the former Japanese National Railways (JNR) started a study on slab tracks in 1965, and they had been widely used on the Sanyo, Tohoku and Joetsu Shinkansen lines. After that, the Hokuriku Shinkansen line from Takasaki to Nagano was constructed and opened in 1997 to coincide with the Nagano Winter Olympics. Now, several new Shinkansen sections are under construction or in advanced planning stages, and the network of high-speed routes is being expanded.

### 2.2 Slab track structures

Typical types of slab track structure for the Shinkansen are shown in Figure 1(a) for the open sections and Figure 1(b) for the tunnel sections. The slab track consists of rails, fasteners, track slabs and a Cement Asphalt Mortar (CAM) layer.

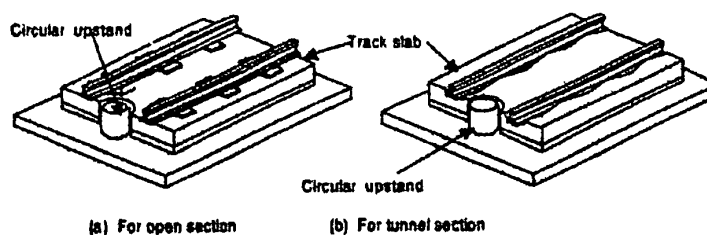


Figure 1 Slab tracks

On the roadbed concrete of a viaduct or in a tunnel, circular upstands, 400 - 520 mm in diameter and 200 mm in height (stopper concrete), are provided at intervals of 5 m. These upstands prevent the track slab from moving in both longitudinal and lateral directions. The track slabs are made of RC (Reinforced Concrete) or PRC (Prestressed Reinforced Concrete) in factories. The

track slab for Shinkansen is 2,220 - 2,340 mm wide, 4,900 - 4,950 mm long and 160 - 200 mm thick. One track slab weighs approximately 5 tons.

**2.3 Present status of slab tracks and economic comparison <sup>3)</sup>**

A change of track irregularities in the Sanyo Shinkansen is shown in Figure 2 <sup>5)</sup>. This means the number of irregular points per km (length) which exceeds the target value for riding comfort of Shinkansen. Thus slab tracks keep the track in better condition than ballasted tracks do.

A comparison of the maintenance costs between slab tracks and ballasted tracks on the Sanyo Shinkansen line is shown Figure 3. The ratio of maintenance costs, the slab tracks versus the ballasted tracks, is about 1:4 for Shinkansen lines. Thus the slab tracks have made a greater contribution to reducing the maintenance costs and workforce. In planning a new railway line, im-

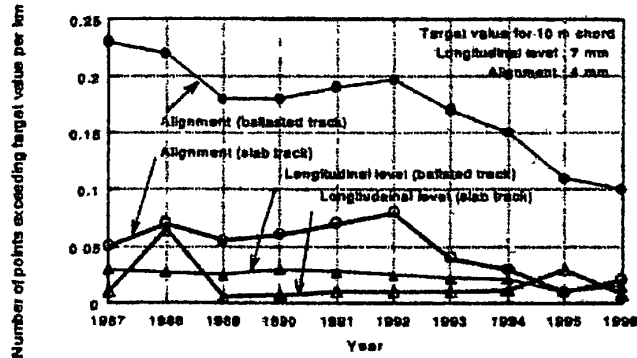


Figure 2 Track Irregularities in the Sanyo Shinkansen <sup>6)</sup>

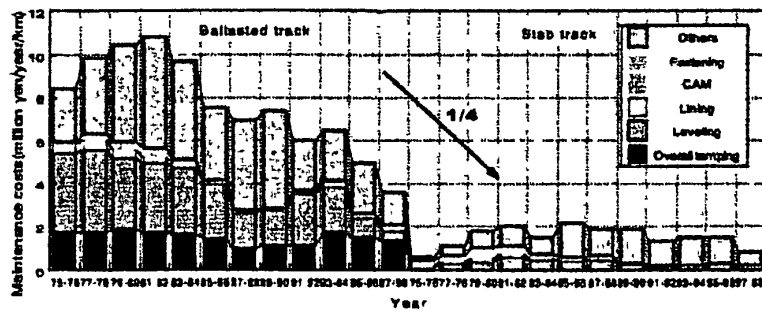


Figure 3 Maintenance costs of tracks on the Sanyo Shinkansen

portant factors when deciding the track structure are economy, durability, environment and construction workability. For example, the construction costs of slab track laid on the Sanyo Shinkansen were 1.3 - 1.5 times those of ballasted track.

It was estimated that the extra investment would be redeemed in about 2 - 6 years of commercial operation. It is therefore in the area of maintenance planning that slab track realizes its full performance over ballasted track.

**3. SOME IMPROVEMENTS ON SLAB TRACKS IN LAST DECADE**

As mentioned above, the slab tracks have the excellent performance to maintain good track geometries and reduce track maintenance costs. However, there were still some points to be improved before the construction of the Hokuriku Shinkansen line including the following.

- The use of slab tracks had been limited on viaducts and in tunnels to satisfy severe maintenance standards required for the Shinkansen.

- Construction costs of slab track are still higher than those of ballasted track.
  - Some of plug collars of fasteners were damaged.
  - The noise level on slab track is higher than that of ballasted track under train running.
- To solve these problems, some improvements on slab tracks had been made based on the experience of the Tohoku and Joetsu Shinkansen lines, as explained below.

### 3.1 Practical application of slab track to earthwork sections <sup>2)4)</sup>

#### 3.1.1 History of Development

JNR organized a committee on the slab tracks in 1965. The Slab track type RA with asphalt pavement on earthworks (RA-slab) was proposed in 1968 (Figure 4). It was experimentally installed at twelve sites in total for about 1.8 km extension as of 1974. However, a further study on the settlement and durability of pavement was demanded to meet the severe maintenance standards required for the Shinkansen. Therefore JNR decided to forgo installing the RA-slab on the Sanyo and Tohoku Shinkansen lines.

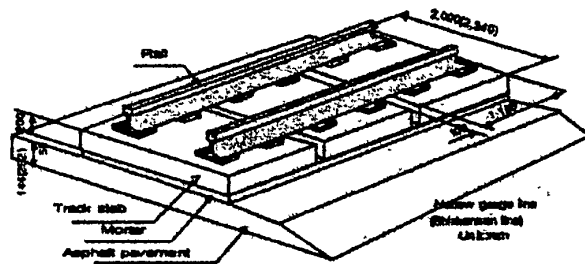


Figure 4 Slab track type RA with asphalt pavement

#### 3.1.2 Proposal of new structure

As for placing slab track on earthworks, the result is the same as that expected for viaducts or in tunnels, provided that the geological and ground conditions are good. The settlement of roadbed has direct influence on whether the track can be maintained at relatively low costs. To achieve a so-called low-maintenance track, it is important to spread imposed loads effectively over earthworks and to control cumulative settlement. So the authors proposed a reinforced concrete roadbed for slab tracks (RCRS) shown in Figure 5. The RCRS is expected to be superior to RA-slab on asphalt pavements in terms of settlement and durability. The ordinary track slab used for viaducts and tunnels can also be used for earthworks.

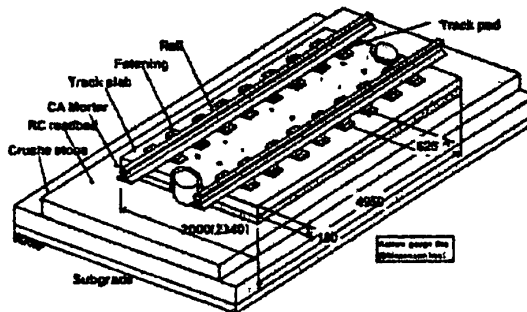


Figure 5 Slab tracks with concrete roadbed on earthworks

#### 3.1.3 Full scale testing

To study whether the RCRS is appropriate as a low-maintenance track for the Hokuriku Shinkansen, a full-size test track was laid on the site known as the Kashiwajima section. A 60 m section including both embankment and cutting was selected as a test site. The construction of embankment was completed in December 1991 and left as it was for three months. Next, a reinforced roadbed was constructed in March 1992. After the track slab was laid, static and dynamic loading tests were carried out in April to May.

The test results confirmed that the fiber stresses and reinforced bar stresses of the roadbed were at low levels from the viewpoint of durability, and that the settlement caused by dynamic loading is extremely small. Figure 6 shows the relation between the embankment height and its settlement at the test section. These tests demonstrated that a consolidation settlement (GA2) was about 4.2 mm after the slab track was laid. The sum of ground settlement (S2) and GA2 was 6.2 mm, which was practically negligible. It is therefore possible to restrict settlement to 10 mm, which is well below the target 30 mm.

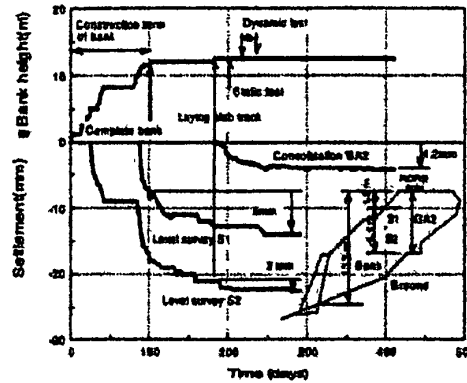


Figure 6 Relation between bank-height and its settlement

### 3.1.4 Transition zone to bridges

Banks approaching bridge abutment or culvert supporting tracks are some of the weakest points of the track, because the settlements of these sections tend to progress faster when compared with those of ordinary sections, and track supporting conditions tend to change before and behind these sections. Approach blocks (Figure 7) were contrived to deal with such problems. They are made of crushed stone bound with cement. In addition, the end part of the RCRS is placed on the crown to prevent excessive deflection at the transition between the RCRS and the bridge.

### 3.1.5 Practical application

Based on the above test results, the Japan Railway Construction Public Corporation (JRCC) decided to apply the RCRS in 1993 and laid it for about 10.8 km on the Hokuriku Shinkansen line, or about 4% of its total length. It corresponds to one fourth of all earthwork sections. Henceforth, JRCC is going to use the RCRS for about 11 km on the Tohoku Shinkansen line from Morioka to Hachinohe and for about 13 km on the Kyushu Shinkansen line from Shin-Yatsushiro to Nishi-Kagoshima. Figure 8 shows the RCRS laid on a cutting along the Hokuriku Shinkansen line.

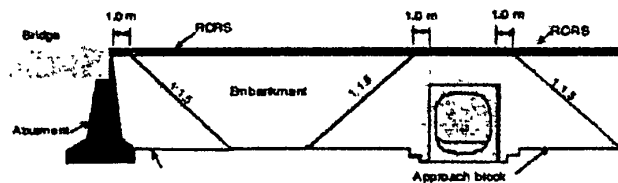


Figure 7 Approach blocks structure



Figure 8 RCRS laid on cutting along the Hokuriku Shinkansen line



### 3.2 Practical use of frame-shaped slab track and other components

#### 3.2.1 Frame-shaped slab track

When JNR started studying of slab tracks in 1965, one of the targets of development was that its construction cost should not exceed twice that of ballasted track. The construction costs of slab track at the Sanyo Shinkansen were 1.3 to 1.5 times those of ballasted track. Thus the target had been achieved sufficiently. In addition, when the construction cost of viaducts is included, the slab track on viaducts is more superior to the ballasted track. However, in planning the recent Shinkansen network project, further reduction of construction costs was required. One of the countermeasures is to use frame-shaped slab tracks as shown in Figure 9. This type was laid for 130 km in tunnels of the Hokuriku Shinkansen line.

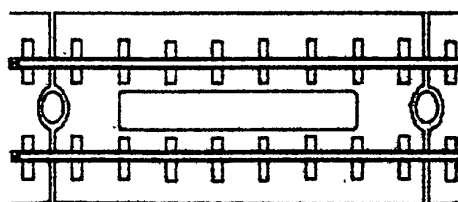


Figure 9 Frame-shaped slab track

Table 1 shows the construction costs of tracks which were adopted for this line. The construction cost of frame-shaped slab track is 8 to 14 per cent lower than that of ordinary slab track. The recent construction costs of slab tracks were 1.1 to 1.6 times those of ordinary ballasted track "A-55M". However, ballast had to be prevented from dispersing by snow-balls falling from vehicles at large number of sections of the Hokuriku Shinkansen line, where the train speed was 160 km/h or over and located in a snow area. So, ballasted track B or the ballasted track D with nets on ballast were fundamentally used. Thus, there are in fact few differences of construction costs between slab tracks and ballasted tracks.

Table 1 Construction costs of tracks at Hokuriku Shinkansen line

Tracks	Construction Cost		Design	low-noise	with nets*	with ballast mat	Note
	0.85	1.12					
Frame shaped Slab track AF-55T	0.92	1.19	RC			-	for tunnel & viaduct
Frame-shaped Slab track AF-57	0.85	1.12	RC			+	for tunnel
Ordinary Slab track A-55M	1.00	1.30	RC			-	for viaduct in warm areas
Slab track A-55C	1.10	1.43	PRC			-	for viaduct in cold areas
Slab track A-55MN	1.16	1.51	RC	+		+	for viaduct in warm areas
Slab track A-55CN	1.26	1.64	PRC	-		-	for viaduct in cold areas
Ballasted track A	0.77	1.00	PC	-		-	
Ballasted track B	1.03	1.34	PC	-	+	+	for V = 160km/h & snow areas
Ballasted track C with resilient ties	0.84	1.10	PC	-		+	
Ballasted track D with resilient ties	1.11	1.44	PC	-	+	+	for V = 160km/h & snow areas

(Note \*)Nets prevent ballast from dispersing by snow-balls falling from vehicles \*

#### 3.2.2 Cement asphalt mortar pouring

In general, the ordinary slab track is laid by the following method.

- Precast track slabs are transported and unloaded on the roadbed concrete.
- After adjusting their positions, they are supported temporarily by slab supporting bars.
- Then forms are installed along the track slab sides for preventing CAM from leakage.
- The gap between the track slab and the roadbed concrete is filled with CAM for stabilizing the track slabs.
- Next, rails are laid on the track slabs.
- Finally, they are adjusted to the correct position by variable pads.

As for the frame slab track, forms must be installed not only along slab sides but also inside the frame. To improve workability and reduce costs for CAM pouring, a long-tube method is adopted for the construction of the Hokuriku Shinkansen line. This method does not require installation of forms. The CAM is injected into the long tubes made of non-woven fabrics (geotextiles) which are laid between the track slab and the roadbed concrete. By using this method, the construction cost of CAM was saved about 10% from that of the ordinary method at the above line.

### 3.2.3 Fastening

The Type-8 Fastening shown in Figure 10 (a) had been widely used for slab track in Japan. This fastening consists of a track pad with stainless steel plate, a variable pad for fine height adjustment, a shoulder equipped tie plate, an insulation plate, insulation plate, bolts and plate springs and so on. In cold areas, some of plug collars were damaged because of inadequate component quality or retightening of plate springs. In addition, an anti-rust protection oil in collars decreased because of cracks of track slab in some cases. To improve this problem, embedded inserts are adopted instead of plug collars as shown in Figure 10 (b). This Improved Type-8 Fastening was widely used at the construction of the Hokuriku Shinkansen line.

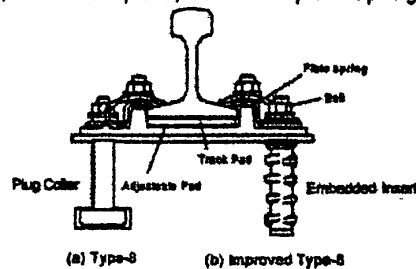


Figure 10 Fastening for slab tracks

## 3.3 Development of noise reducing track

### 3.3.1 Solid-bed track with removable resilient ties <sup>(6)7)</sup>

It has become increasingly important to cope with environmental problems such as noise since the introduction of new higher speed trains. Generally speaking, the noise levels on slab track are about 5 dB (A) higher than those of ballast track. The track to be used in urban railways should have excellent performance not only in reducing maintenance costs, but also in decreasing emission of noise and vibration from the viewpoint of environmental preservation.

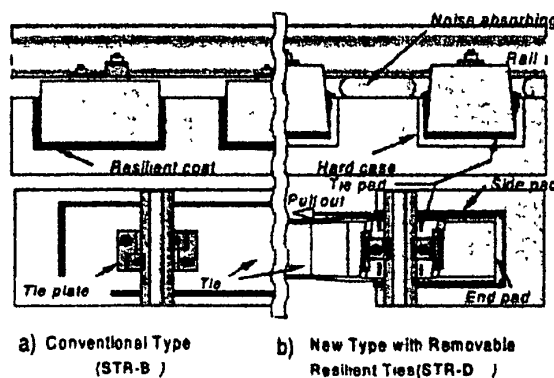


Figure 11 Solid-bed track with removable resilient ties

In general, main countermeasures for noise available on the track structure are as follows:

- (1) Smoothing of rail top surface roughness (to reduce rolling noise);
- (2) Adoption of elastic rail fastener (to reduce structure born noise) ;
- (3) Increasing of middle mass such as slabs or ties, and adoption elastic supporting for it (to reduce structure born noise);
- (4) Adoption of absorbing materials on the track ( to reduce rolling noise).

It is difficult for slab tracks to sufficiently reduce the track spring constant by laying a rubber mat

under the track slab, because the track slab has a rigidity as an intermediate mass. To solve this problem, a solid-bed track with resilient ties (STR-B) was developed in the 1970s<sup>1)</sup>. A test on the Tohoku Shinkansen line proved that the noise level of this track was nearly the same at a position 25 m apart from the viaduct in comparison with a ballasted track with ballast-matt, and was 7 dB (A) lower at a position 30 cm below a floor slab of the viaduct. However, there were still a few points to be improved such as the following.

- A construction cost of the STR-B was 1.3 - 1.4 times higher than that of Vibration Reducing Slab Tracks.
- It was difficult to renew track components such as resilient tie pads and ties, when they were fatigued or damaged.

So, the authors proposed a new solid-bed track with removable resilient ties (STR-D)<sup>2)</sup> as shown in Figure 11. The feature of the STR-D are as follows in comparison with the STR-B.

- (1) It is easy to replace track components without breaking the concrete bed.
- (2) It is easy to adjust the rail level vertically not only by fastenings but also by adjustable pads under ties.
- (3) It resists uplift-force by side-pads and remains secure.

First, a 10 m-long STR-D was laid on a viaduct of the Hino Civil Engineering Test Site of RTRI. This track was offered for fundamental tests such as a static loading test, dynamic loading test and longitudinal loading test. Through the above tests, there would be no problem for laying this track on the operation line.

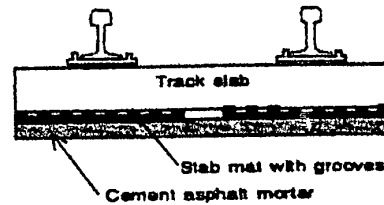


Figure 12 VG-slab track

Next, to confirm the noise reducing effect in comparison with the Vibration Reducing Slab Track of Type G (VG-Slab, see Figure 12), a 88 m-long STR-D was laid along the Osaka Loop Line in 1997 as shown in Figure 13. Figure 14<sup>7)</sup> shows the difference (reduction) of sound pressure levels for both tracks between at rail-side and below viaduct based on the result of frequency analysis. As seen from this Figure, the reduction of noise of the STR-D is 2 - 5 dB (A) larger than that of VG-Slab in most frequency domains.

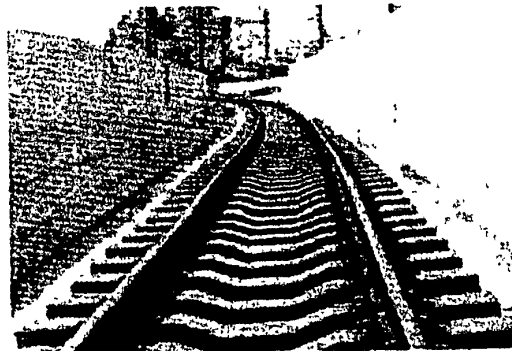


Figure 13 STR-D laid on the Osaka Loop Line

Figure 15 shows the relationship between the difference of noise levels (between at rail-side and below viaduct) and the train velocity for both tracks<sup>7)</sup>. As seen from this Figure, difference of noise level of the STR-D is 25 - 27 dB (A) for 55-90 km/h of velocity, and that of the VG-Slab is 21-22 dB (A).

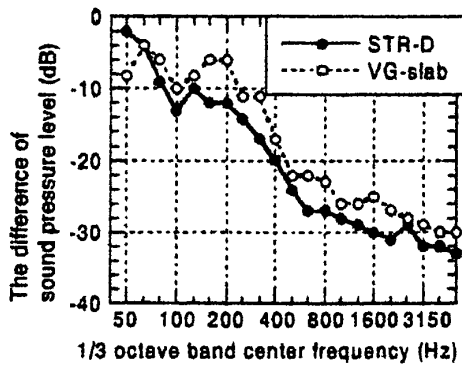


Figure 14 The difference of sound pressure levels

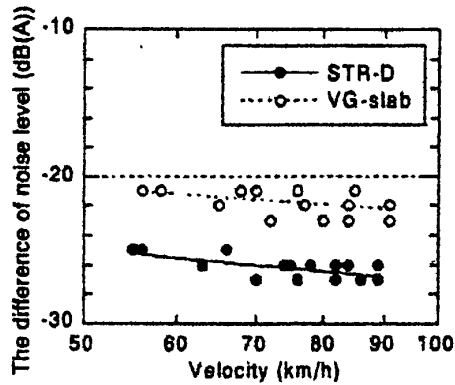


Figure 15 The difference of noise levels between the rail-side and below viaduct<sup>7)</sup>

The authors concluded that the noise reducing effect of STR-D is about 5 dB (A) larger than that of the VG-Slab.

### 3.3.2 Sound Absorbing Material<sup>8)</sup>

As one of the reasons for the noise of slab tracks being higher than that of ballasted tracks, it is considered that concrete surface of slab tracks reflects the rolling noise and rarely absorbs it when compared with ballasted tracks. So the authors proposed to install the Sound Absorbing Recycled Material (SARM) around track. The SARM is a product of crushed glass, ceramics and fine aggregate remained after burning-up of household waste. The measured result about 10 cm-thick SARM using the Method for Measurement of Sound Absorption Coefficient in Reverberation Room is shown in Figure 16. The dominant frequency of noise energy near rail is from 500 - 2000 Hz when A-weighting filter is used. Therefore, it is found that the SARM is much better than ballast for railway tracks as an absorbing material.

A 100 mm-thick SARM was installed on a ballastless track of existing line and the noise level was measured under train running. The results confirmed that noise reducing effect of the SARM was approximately 3 dB (A) near rail (at 2 m

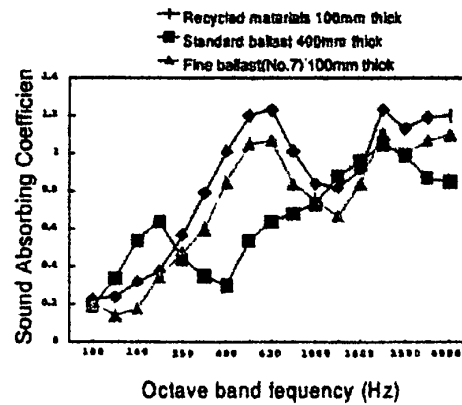


Figure 16 Sound Absorption Coefficient

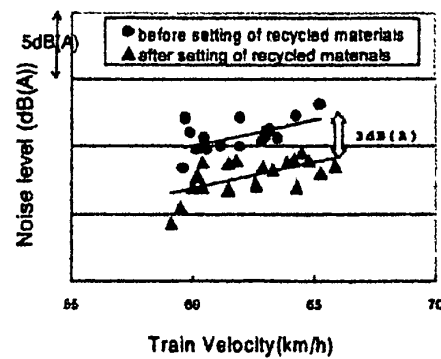


Figure 17 Noise reducing effect at existing line due to SARM

away from the track center) shown in Figure 17<sup>4)</sup>. Thus, it has been made clear that the SARM was effective for reducing the rolling noise on ballastless tracks.

#### 4. CONCLUSION

Thirty years have passed, since slab tracks were widely used for the first time in the world by the former Japanese National Railways. It is confirmed that slab tracks have excellent performance to maintain good track geometries and reduction of the track maintenance costs. However, there were still some points to be improved before the construction of the Hokuriku Shinkansen line. In the last decade, some improvements on slab tracks had been made based on the experience from the Tohoku and Joetsu Shinkansen line. The following conclusions can be drawn.

(1) A concrete roadbed structure has been developed for slab tracks that can be laid on embankments and cuttings. As the test results indicated, there were no problem as a track for high speed railways. Now the application of slab track is being extended to earthworks.

(2) A frame-shaped track slab and a long-tube pouring method for CAM were developed to reduce the construction costs of slab track. In the construction at Hokuriku Shinkansen line located in a snow area, there were few differences in construction costs between slab tracks and ballasted tracks.

(3) A solid bed track with removable resilient ties (STR-D) was developed to reduce noise and construction costs of urban railway tracks. The tests proved that the noise reducing effect of STR-D was higher than that of the Vibration reducing Slab Track of Type G.

Authors' future subjects are to confirm the performance in commercial operation and save further construction costs.

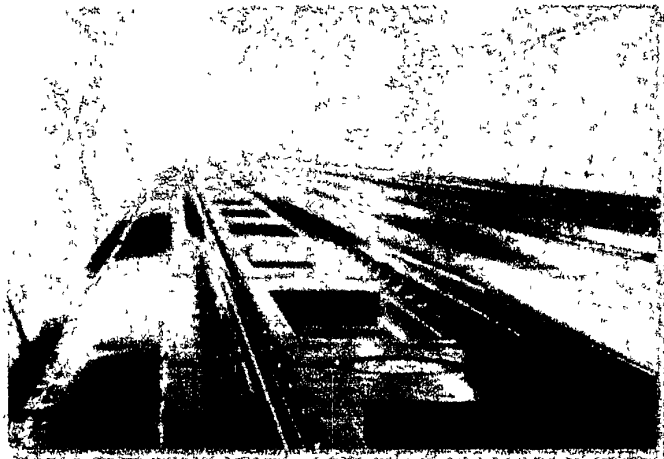
#### BIBLIOGRAPHY

- 1) K. Ando, K. Watanabe, S. Miura: Twenty years Experience on Slab Track, 6th World Conference of Transport Research '92, Lyon, Vol.5, pp. 2845-2856, 1992.7
- 2) K. Ando, J. Okazaki, M. Sunaga et al.: Development and Practical Use of Concrete Roadbed for Slab Track on Earthworks, 8th World Conference of Transport Research '98, Antwerp, 1998.7
- 3) British Cement Association Publication C/32: Lesson From Japan- Cement and Concrete Paving, 1998
- 4) K. Ando, H. Aoki: Dropping Ballast, Concrete Engineering International, August/September, 1999
- 5) N. Azuma, T. Suzuki: Economic Maintenance for Train Operation at 300 km/h in Sanyo Shinkansen Line, WCRR'97 in Firenze, Bol.B, pp. 265-270, Nov. 1997
- 6) Y. Sato, F. Ohishi, G. Hirata, et al.: Development of Danchoku Track of Type B, Quarterly Reports, Vol.23, No.2, 1982
- 7) T. Horiike, K. Takao, Y. Sunaga, K. Ando, Y. Fukui, K. Uchida: Development of Solid Bed Track with Removable Resilient Ties, RTRI Report, Vol.12, No.6, 1998.6, (in Japanese)
- 8) M. Mwa, K. Ando: Noise and Vibration Reducing Concrete Slab Track, Proc. of WCRR'97, Vol-E, Florence, pp. 377-385, 1997
- 9) K. Myouen, K. Ando, M. Hnasaka, T. Konishi: Study on sound absorbing materials for slab track (Part-2), Proceeding of the 50<sup>th</sup> annual conference of the Japan Society of Civil Engineers, 191, pp.418-419,1993.9, (in Japanese)

## 附 錄 四

# 東北新幹線軌道工事

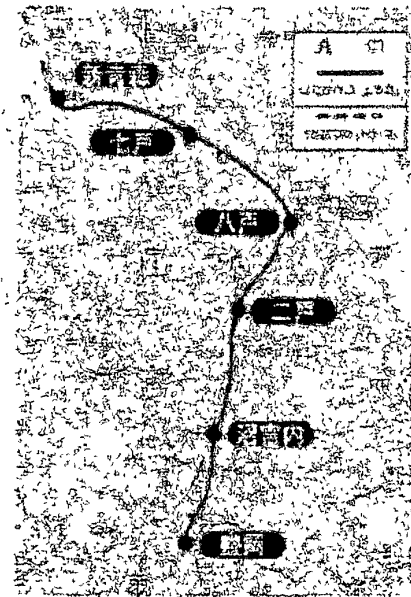
〔盛岡・八戸間〕



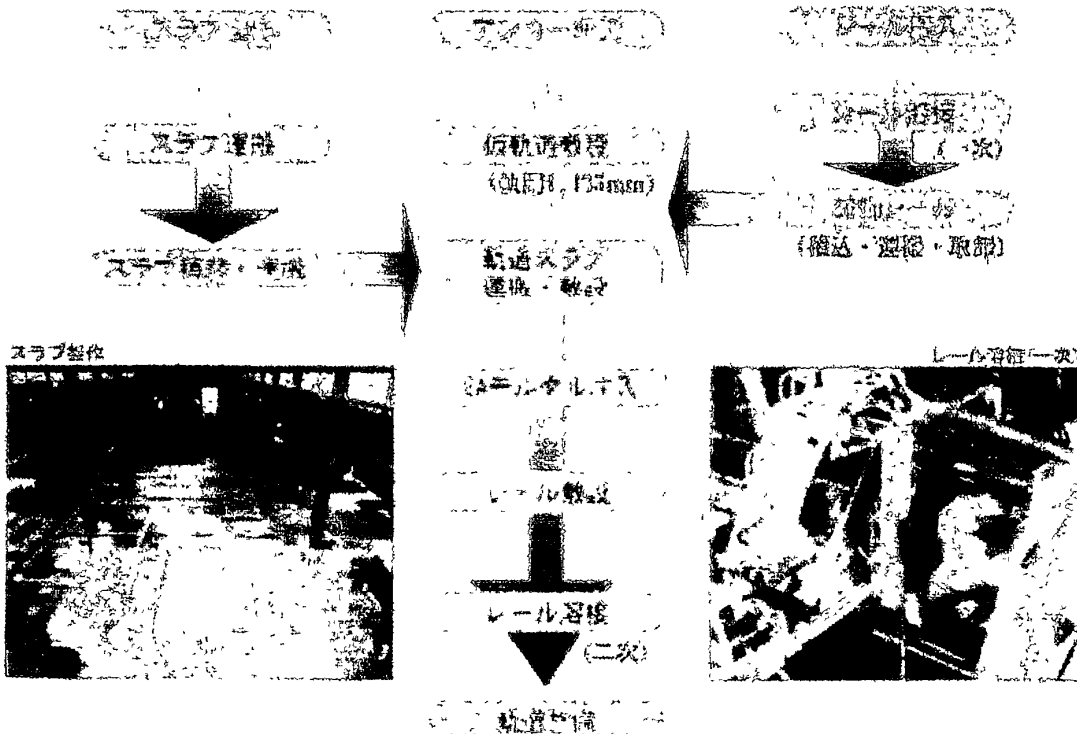
日本鉄道建設公団 盛岡支社

## ●東北新幹線軌道工事(盛岡・八戸間)の概要

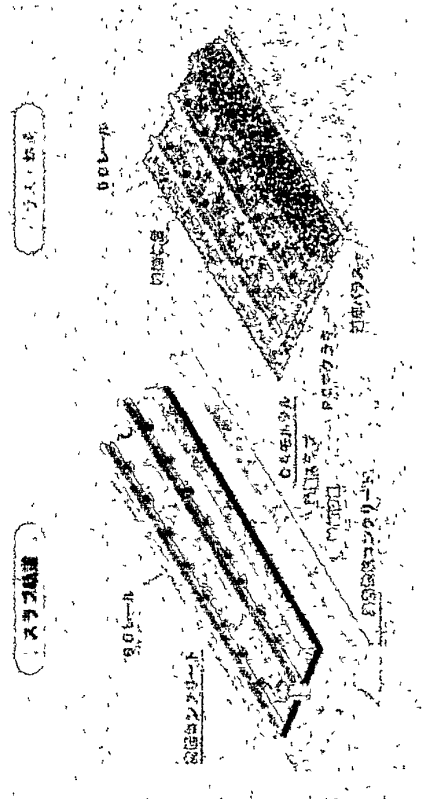
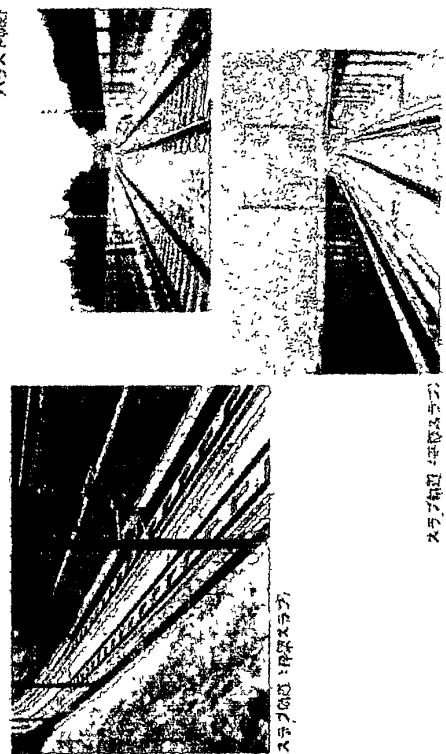
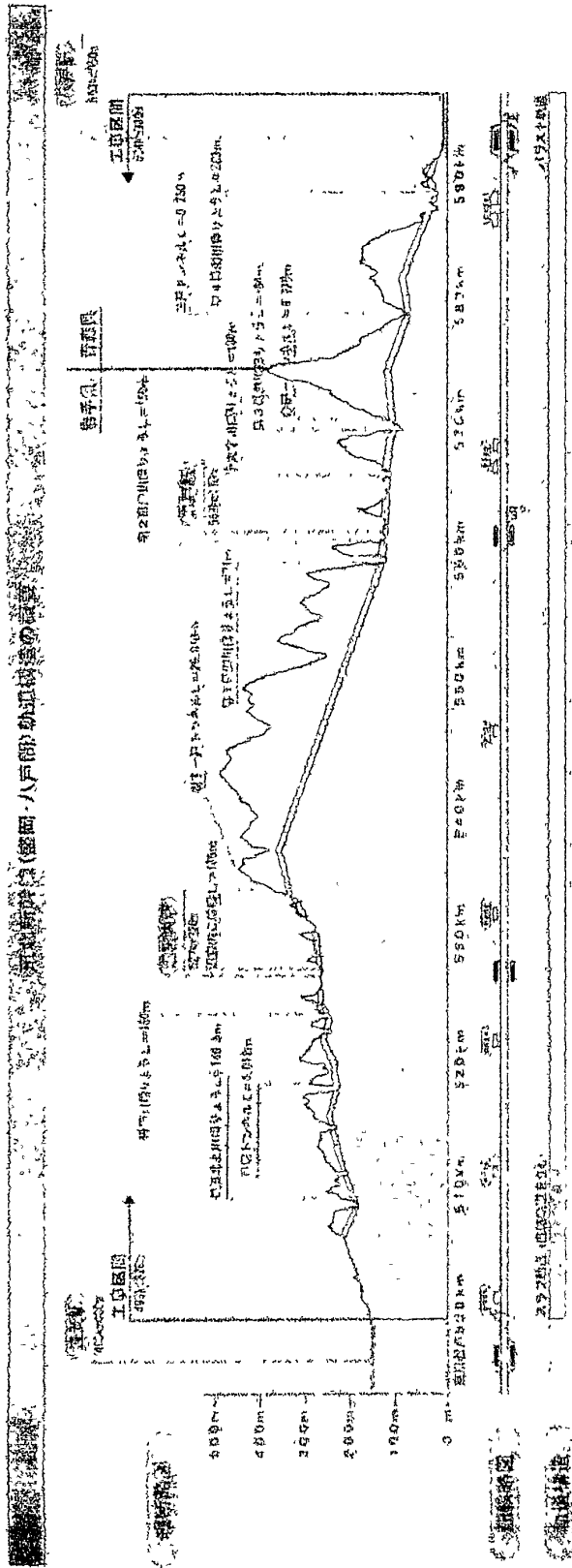
1 経 長	線間延長/96.6 km	工事延長/94.5 km
2 設 置 区 間	盛岡(既設)、滝内、三戸、八戸	
3 軌道標準	設計最高速度	260 km/h
	最小曲半径	4,000 m
	最急勾配	20 ‰
	軌道中心間隔	4.3 m
	電車の電気方式	25,000 V (交流電方式)
4 橋梁延長	切取・盛土	12.4 km (13%)
	橋りょう	2.7 km (3%)
	高架橋	10.0 km (11%)
	トンネル	69.4 km (73%)
5 軌道構造別延長	スラブ軌道	94.4 km (97%)
	(仮軌道を含む)	
	バラスト軌道	2.7 km (3%)
6 主要軌道材料	レール	381,000 m
	軌道スラブ	36,000 枚
	パロマラギ	14,000 本
	分岐器	25 組



## ●スラブ軌道施工順序





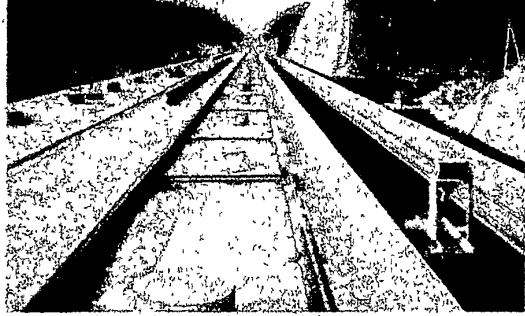


## スラブ軌道施工順序

① 仮軌道敷設



② 仮軌道敷設状況



③ 仮軌道軌間拡大



④ スラブ運搬：スラブ運搬敷設車への積替



⑤ スラブ敷設



⑥ スラブ調整

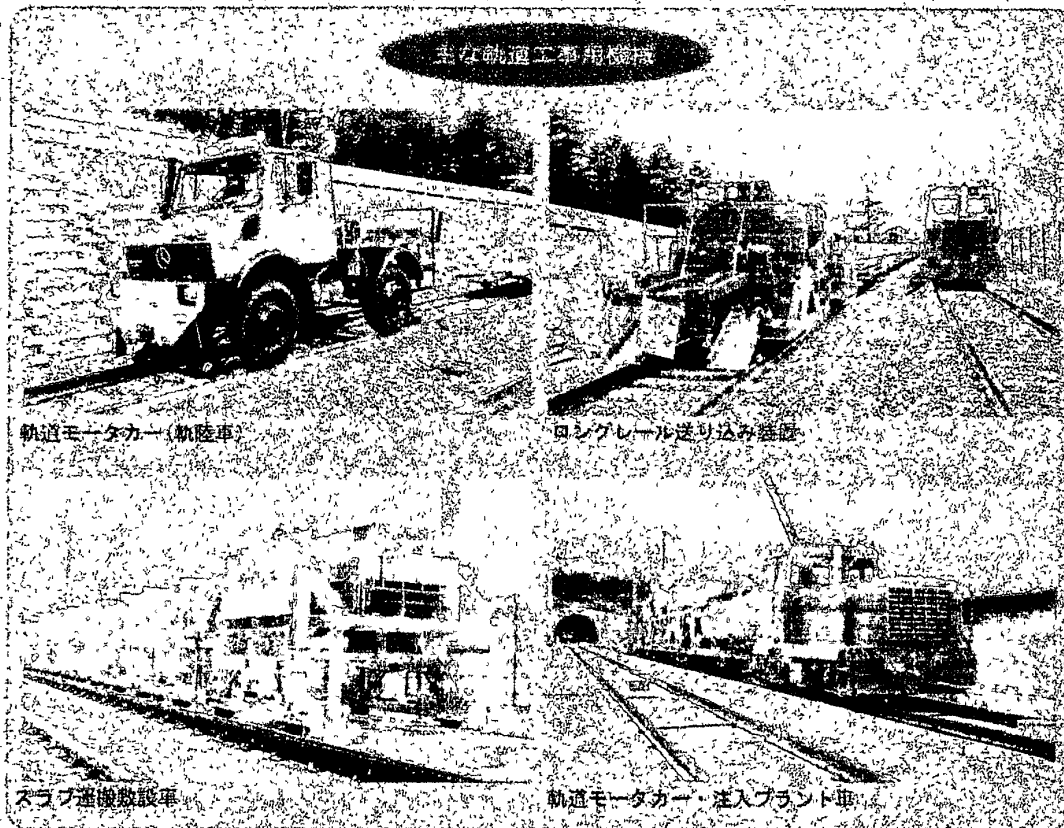


⑦ CAモルタル注入



⑧ レール敷設





軌道モーターカー(軌陸車)

回転レール送り込み装置

スラブ運搬搬送車

軌道モーターカー・注入口プラント車

### 東北新幹線軌道工事

設計監理	日本鉄道公団盛岡支社	〒020-0034	盛岡市盛岡駅前通1番41号 JR盛岡支社ビル Tel. 019-626-9610
	渋民鉄道軌道建設所	〒028-4134	岩手郡玉山村大字下田字船綱37-8 Tel. 019-683-3766
	二戸鉄道軌道建設所	〒028-6103	二戸市石切所字伸道38 Tel. 0195-23-0026
	二戸鉄道軌道建設所八戸出張所	〒039-1102	八戸市1-1-4-1 Tel. 0178-70-7122
施工	仙建工業(株)	〒980-0811	仙台市青葉区一番町2丁目2-13 Tel. 022-225-8511
	第一建設工業(株)	〒950-0909	新潟市八千代1-4-34 Tel. 025-241-8111
	東鉄工業(株)	〒162-0842	東京都新宿区市谷砂土原町2-7 Tel. 03-3268-4211
	北海道軌道施設工業(株)	〒060-0906	札幌市東区北6条東4丁目1-4 Tel. 011-753-8831
	ユニオン建設(株)	〒153-0061	東京都目黒区中目黒2-10-1 Tel. 03-3719-0731