



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別： 考察 )

九十一年度中日技術合作計畫  
「高速鐵路振動管制及防制措施」研修報告

服務機關：行政院環保署 新竹縣環保局 桃園縣環保局 高雄市環保局

出國人 職 稱：荐任技士 課長 稽查員 技佐  
姓 名：林慧華 陳麗珠 李憶雯 劉正文

出國地點：日本

出國期間：民國九十一年十一月十八日至十二月七日

報告日期：民國九十二年三月五日

行政院研考會/省(市)研考會  
編號欄

614/  
CO9200951

系統識別號:C09200951

公務出國報告提要

頁數: 40 含附件: 是

報告名稱:

研修高速鐵路振動管制政策及防制措施

主辦機關:

行政院環境保護署

聯絡人/電話:

李秋燕/23117722#2721

出國人員:

林慧華 行政院環境保護署 空保處 荐任技士  
陳麗珠 新竹縣環境保護局 課長  
李憶雯 桃園縣環境保護局 稽查員  
劉正文 高雄市政府環境保護局 技佐

出國類別: 考察

出國地區: 日本

出國期間: 民國 91 年 11 月 18 日 - 民國 91 年 12 月 07 日

報告日期: 民國 92 年 03 月 05 日

分類號/目: G14/環境工程 G14/環境工程

關鍵詞: 高速鐵路振動管制, 高速鐵路振動防制技術及環境對策

內容摘要: 台灣地區高速鐵路預定於2005年完工通車，沿線經過諸多市鎮聚集、人口稠密區域，因此可以預期高速鐵路所引致之振動公害問題，即將成為環境公害新焦點。日本地狹人稠之特性與台灣地區狀況相近，且已累積多年高速鐵路有關之建設及營運相關經驗，因此瞭解日本如何訂定新幹線振動標準值、執行新幹線沿線振動量測及管制、新幹線沿線民眾因列車通過所引致振動陳情狀況、日本政府及新幹線營運單位如何處理陳情案件及其採取防振措施等情形，將有助於我國未來制定振動相關管制措施及政策之參考，以達到環境保護之目的。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

## 目錄

壹、研修目的-----	1
貳、行程簡介-----	1
參、行程內容-----	2
肆、研修心得-----	40
伍、誌謝-----	40

附件一 ~ 附件十三

## 九十一年度中日技術合作計畫「高速鐵路振動管制及防制措施」研修報告

### 壹、研修目的

台灣地區高速鐵路預定於 2005 年完工通車，沿線經過諸多市鎮聚集、人口稠密區域，因此可以預期高速鐵路所引致之振動公害問題，即將成為環境公害新焦點。日本地狹人稠之特性與台灣地區狀況相近，且已累積多年高速鐵路有關之建設及營運相關經驗，因此瞭解日本如何訂定新幹線振動標準值、執行新幹線沿線振動量測及管制、新幹線沿線民眾因列車通過所引致振動陳情狀況、日本政府及新幹線營運單位如何處理陳情案件及其採取防振措施等情形，將有助於我國未來制定振動相關管制措施及政策之參考，以達到環境保護之目的。

### 貳、行程簡介

#### 一、成員：

行政院環境保護署空氣品質及噪音管制處林慧華技士  
新竹縣環保局陳麗珠課長  
桃園縣環保局李憶雯稽查員  
高雄市環保局劉正文技佐

#### 二、研習地點：

日本國，包括東京都、滋賀縣、大阪市、神戶市、青森縣、岩手縣及橫濱市。

#### 三、研習時間

民國九十一年十一月十八日至十二月七日

(研習日程表如附件一)

## 參、行程內容

### 一、行程概述

本次赴日研習之課題為「高速鐵路振動管制及防制措施」，相關行程及研習內容由日本財團法人海外鐵道技術協力協會安排，包含日本現行高速鐵路（新幹線）振動管制法規及其訂定過程、管制標準、量測方法、防制及改善措施，與各級政府環保部門、目的事業主管機關、新幹線營運單位於執行振動管制之責任分工等。

實際參訪單位有：國土交通省鐵道局、財團法人日本鐵道建設公園、財團法人鐵道總合技術研究所及該研究所位於滋賀縣阪田郡米原之大型風洞實驗室、JR 東海旅客鐵道株式會社、JR 西日本旅客鐵道株式會社、日本鐵道建設公園盛岡支社、小野測器株式會社等單位，同時於研習過程搭乘新幹線電器軌道總合試驗車 Dr.Yellow 實地瞭解新幹線於行駛過程之各項檢測作業、至川崎重工業株式會社位於神戶市兵庫之工廠實地參觀新幹線及其他等級電車車廂製作生產流程，並瞭解新幹線車廂於噪音及振動之防制對策及改進措施等、JR 西日本海旅客鐵道株式會社、搭乘東北新幹線 2002 年 12 月 1 日新開通之盛岡至八戶段，體驗以最新噪音、振動防制措施興建完成之新幹線乘坐舒適感、參觀東北新幹線連接八戶至青森現正開鑿之八甲田隧道工程現場及盛岡至八戶段之噪音振動防制工程、車站等。

### 二、行程內容

第一天（十一月十八日）

啟程，搭飛機抵達日本。

## 第二天（十一月十九日）

至財團法人海外鐵道技術協力協會（JARTS）拜會，由該協會常務理事本部長佐藤久史、顧問上樂隆先生及派遣研修部平沼康子小姐負責接待，並介紹本次研習內容概要及相關行程安排事宜，並徵詢本次研修人員之意見與建議，以供進行調整。

隨後由平沼康子小姐陪同，至交通博物館參觀。交通博物館收集有陸、海、空所有運輸工具的實物或模型，種類多樣有趣，其前身是1921年成立於東京站北側的鐵道博物館，1936年遷移到現址（JR山手線秋葉原站附近），並於第二次世界大戰後，成為交通博物館。博物館內，按照各個展示部門，分別陳列鐵路、汽車、船舶和飛機等方面的重要資料、實物及模型等，可使參觀者了解其發展過程和功能。大部分陳列品都可由參觀者實地操作啟動，簡單易懂且可享受臨場感覺。此外，博物館於大海紀念日、航空紀念日、鐵路紀念日、兒童節及暑假等重要節日及假期，舉辦許多慶祝活動。

## 第三天（十一月二十日）

### 課程研習——日本新幹線鐵路振動管制法規制定過程

【國土交通省鐵道局楠元先生】

#### ■ 新幹線鐵路振動基準制定過程

##### （一）背景

日本新幹線鐵路振動基準於1976年制定，當時除工廠及建築工程之外，新幹線鐵路振動亦已成為環境問題。1974年日本環境廳統計該年陳情案件4,090件數中，工廠陳情案件佔50%，而新幹線鐵路振動陳情案件約有270件（約佔7%），居民對於新幹線鐵路振動陳情內容大多為因振動影響日常生活及睡眠、人體感覺不舒服等生理部分，及屋內物

品產生振動、振動造成房屋牆壁產生裂痕、房門因為振動產生位移無法打開等生活居家部分。1974年日本環境廳於是著手進行新幹線振動調查及制定新幹線鐵路振動基準相關作業，而後各地方自治單位再依據該基準（指針）並針對民眾陳情內容制訂相關條例，以執行一原化政策管制原則。

## （二）制定原則

制定新幹線振動管制基準之原則，主要係考量振動發生型態（頻率、持續時間等因素）之特性，再配合各地區區域特性及管制時間帶（白天及夜晚時間）等因素加以制定。基於上述原則，制定過程必須針對振動對人體產生影響之實際調查研究、國際基準相關資料為基礎加以檢討，再加上參考各種振動相關實態調查結果、振防制技術現況、振動預測相關資料、各地方政府制訂之條例基準等，才能使制定結果較符合實際情況而達到管制、改善成效。上述制定過程相關考量因素詳述如下：

1. 振動對人體產生影響之實際調查研究：包含生理上的、心理上的影響、睡眠影響等相關研究資料，及居民對新幹線鐵路振動的反應調查結果等資料。
  - （1）依據研究瞭解，人體全身受到振動時，明顯受影響之生理系統為循環系統、自律神經系統及內分泌系統，當振動加速度為  $0.3\text{m/s}^2$ （屋內 90dB（地表值約為 85dB））程度以上時，對人體的心跳、血壓、末梢血管、呼吸等將會開始造成負面影響。
  - （2）有關振動對睡眠的影響，當振動加速度為 60dB（地表值約為 55dB）時對睡眠幾乎沒有影響，大約從 65 dB

(地表值約為 60dB) -69 dB (地表值約為 64dB) 之間非熟睡時，會有些影響，因此得知夜間基準值的上限值，應以地表 65dB 左右較為適當。人體開始感覺振動閾值為 60dB (地表值約為 55dB)，而氣象廳之震度○級 (無感覺) 的上限值為 0.8gal (55dB)，故夜間基準的下限值，地表數值應訂為 55dB 左右。

(3) 有關全身振動對心理影響之調查研究，則依據全身受到振動產生之吵雜感、不舒服感及對日常生活之影響之研究結果為參考。

(4) 日本環境廳曾於 1973 年、1974 年進行居民對工廠振動、新幹線鐵路振動及公路交通振動反應之問卷調查，依據調查結果判斷，居民反應中的陳訴率和補正加速度值的關係，可做為設定基準值的基礎資料之一。本項研究結果顯示，補正加速度值在 50dB-70dB 範圍內時，居民將振動視為「不愉快」的陳訴率與對振動「感覺得很清楚」的陳訴率一致。故依據居民反應調查中對振動感覺與補正加速度之間的關係，以 60dB-65dB 為基礎，設定居住地區的白天基準值。

## 2. 國際基準相關資料：

參考 ISO2631 之基準值，人體於產業工作場所中暴露八小時條件下，其舒適感減退境界為 80dB (地表值約為 75dB)。

## 3. 管制時間帶管制原則：

白天：不因振動而妨害健康、並且對日常生活造成障礙。

夜晚：不因振動產生妨害睡眠等影響。

## 4. 各種振動相關實態調查結果：



依據「木造房屋的建材板間與地表振動關係」及「木造房屋及鋼筋水泥造房屋的振動增幅量」研究結果，房屋的振動增幅量大致比地表高出 5dB（木造房屋屋內比屋外之地表振動高出-1~8 dB）。另根據研究案例報告，在振動加速度為  $0.2\text{m/s}^2$ （57dB（地表值約為 52dB））時，幾乎不會有居家內振動的情形，故振動基準值為 50dB 時，應為合理數值。

■ 新幹線鐵路振動指針值

（一）指針值：

考量工廠振動、公路振動之限度值、居民反應調查結果，新幹線鐵路振動指針值訂為振動加速度 70dB，係屬勸告值，若超過 70dB，則必須採取緊急改善措施。因新幹線車速很快（200-275km/hr），沿線通過之區域無法再細分甲種（極須保持靜謐及供居住的地區）和乙種（配合居住且供作商業、工業等用途）管制區，故其勸告值均規定振動加速度必須在 70dB（A）以下，若超過 70dB（A），則必須採取緊急防制措施（1976 年日本環境廳新幹線鐵路振動勸告值公告文件詳如附件二）。

單位：dB

工廠	甲種	乙種
白天	60-65	65-70
夜晚	55-60	60-65

公路	甲種	乙種
白天	65	70
夜晚	60	65

建設作業：75dB 以下。

(二) 量測方法：

係於距鐵道中心 12.5 公尺、25 公尺處，量測上下行列車 20 班次(每日應有上下行 300 班次之規模)之振動加速度，取其過半數最大值之平均值，量測地點須為堅固地點、充分保持水平，且量測點附近須無反射物。

(三) 目前新幹線鐵路振動管制執行現況：由環境省訂定新幹線鐵路振動管制指針，國土交通省依指針值指導各 JR 公司採取防制對策。目前國土交通省已採取做法為：

1. 對於既設鐵道：由國土交通省下通達至各鐵道事業單位，希望各單位達到標準，若其沿線無法達到勸告值標準，一般是採取房屋遷移補償。另關於新幹線噪音問題，目前因為某些沿線路段環境背景噪音值已經很高，因此很容易超過噪音管制基準值，故必須降低列車速度(東京至橫濱速度僅有 100km/hr)，以減低噪音。
2. 對於新設及規劃鐵道：由國土交通省下通達至各地方政府，於都市計畫規劃時，對於預定路線沿線之土地利用規劃，儘量不要有住家存在，同時由 JR 公司或日本鐵道建設公團於規劃設計時選擇改善對策，以改善振動問題，目前係以車廂輕量化及軌道高剛性化所得改善效果較佳。

課程研習——日本新幹線噪音及振動防制環境對策及執行概況

【財團法人日本鐵道建設公團計畫部國際業務室輔佐三好省三先生、設計技術室調查役平岡慎雄先生】

■ 財團法人日本鐵道建設公團簡介

日本鐵道建設公團成立於昭和三十九年(1964 年)，至昭和五十四年(1979 年)，公團編列之鐵道建設年度經費已達 4,000

億日圓，員工人數達 3,465 人，自平成三年起，開始著手興建新幹線支線。近年來因人事精簡，於平成十四年（2002 年），員工人數減為 1,767 人，但編列之建設費用仍高達 5,208 億日圓。2002 年公團執行之新幹線建設工程費為 2,000 億日圓、民間鐵路建設工程費 660 億日圓、都市鐵道建設工程費為 2,306 億日圓。

平成十四年公團所屬之相關組織單位計有：1. 本社；2. 東京、大阪、北陸、九州、名古屋等新幹線建設局（該建設局均於興建完工後解散）；3. 盛岡、東京、關東、大阪等支社（支社為公團於當地之常駐單位）4. 札幌工事事務所。

公團執行鐵道建設作業流程如下：1. 進行建設前之相關調查作業；2. 擬定建設計畫並經國土交通省核准；3. 籌措建設資金；4. 施工；5. 竣工後租賃或轉讓給鐵路事業單位經營（目前最新興建完工之長野新幹線、九州新幹線亦由公團興建竣工後交由事業單位經營）；6. 租賃或轉讓所得費用用於回收有償資金；7. 償還政府預先墊借之相關建設經費（一般而言，新幹線經建經費三分之二由中央政府負擔，三分之一由地方政府負擔）。

公團之施工過程作業流程如下：1. 舉辦施工當地說明會；2. 測量；3. 設計協調；4. 確定建界（民有地以收購方式執行）；5. 用地取得；6. 發包；7. 舉辦工事說明會；8. 進行相關施工管理；9. 完工。

目前各地新幹線營運及興建情形介紹：

1. 營運路線：

- a. 東京經大阪至博多新幹線係於國鐵時期建造完成，現分屬 JR 東海旅客鐵道株式會社及 JR 西日本旅客鐵道株式會社。

- b. 東京至新瀉之上越新幹線已轉讓給 JR 東日本旅客鐵道株式會社經營、東京至長野新幹線已租給 JR 東日本旅客鐵道株式會社經營。
- c. 東京至八戶之東北新幹線現由 JR 東日本旅客鐵道株式會社經營，另盛岡至八戶段於 2002 年 12 月 1 日開始營運。

## 2. 興建路線：

- a. 北海道整備新幹線已向國土交通省提出計畫申請(相關資料包括計畫平面圖、斷面圖、環境影響評估資料)。
- b. 東北新幹線八戶至青森段長達 26 公里之八甲田隧道現正施工中。另青森至函館隧道工程已規劃完成，目前青函隧道係鋪設 1067mm 窄軌，供普通列車行駛，未來將改採 1435mm 寬軌，供新幹線載客及貨運列車使用
- c. 長野至大阪新幹線，部分路線已完工(附件三，第六頁，圖一)
- d. 博多經新八代至西鹿兒島新幹線現正施工中，博多至長崎新幹線計畫擬定中，目前尚未提出申請。

公園除規劃、興建新幹線外，亦接受事業單位委託興建都市鐵道，例如臨海副都心線自天王洲延伸至大崎、名古屋至中部國際機場聯絡線。

## ■ 新幹線振動、噪音環境對策介紹

### (一) 北陸新幹線振動噪音防制對策(相關資料詳見附件四)

高崎至長野距離 117 公里之北陸新幹線，自平成三年起施工，至平成十二年完工，歷時十年，隧道工程佔全線 51%，高架橋工程佔全線 25%，其軌道鋪設採用較少接縫之長軌，並於沿線行經敏感點處裝設防振設施及 2 至 3 公尺高之隔音牆，以減少行駛過程所產生之振動和噪音。另針

對隧道出口微氣壓波產生音爆造成之噪音振動問題，亦採取緩衝工（設施形狀有矩形、馬蹄形、方形等）以減輕影響。

經實地量測結果，於該路線 45Km 處、列車速度 131-200Km/h、距高架橋 12.5 公尺處量測所得地盤振動為 53dB；於路線 50Km 處、列車速度 186-230Km/h、行經 1.2 公尺高的土堤所產生之地盤振動為 67-68dB；於路線 53Km 處、列車速度 149-242Km/h、行經低於地表 3.6 公尺軌道所產生之地盤振動為 62-65dB，均低於勸告值 70dB。

關於隧道緩衝工，一般係設於須防制對象的另一端，於緩衝工上方或旁邊開口，以降低列車於隧道內高速行駛造成之微氣壓波，目前所規定之管制值係於離隧道出口 20 公尺處不得大於 50Pa，且於民宅前不得大於 20Pa。

為減少新幹線噪音，鐵路事業單位必須進行磨軌作業，依據經驗，列車以較低速度行經未磨軌軌道產生之噪音，大於列車高速行駛於已磨軌軌道產生之噪音，故最新通車之東北新幹線盛岡至八戶段，均已於通車前磨軌完成，一般而言，通車初期噪音較大，行駛一段時間後軌道較為平整時，噪音即降低。另外，進行集電弓上方包覆、簡化集電弓形狀及車箱間連接處之防音設施，均可降低新幹線噪音。

## （二）隔音牆設計概要及地盤振動對策（相關資料詳見附件五）

新幹線沿線設置隔音牆主要係為防制軌道與車輪間噪音，一般而言，隔音牆高度若超過 2 公尺，即可產生顯著的防制效果，另其材質密度必須大於 20Kgf/m<sup>2</sup>。隔音牆施作過程，可於施工現場直接打設混凝土牆，如上越及東北

新幹線；或於現場架設 H 型鋼後，再將預製混凝土塊堆疊上去，如長野新幹線；東北地區於冬季常因積雪、融雪影響施工進度，故採取隔音牆下方於現場直接打設混凝土牆，上方再以混凝土塊堆疊方式施工，如盛岡至八戶之東北新幹線。若隔音牆高度已達 2 公尺後仍須再增加高度以降低噪音，為不影響視線，其材質則以壓克力為主。有時若因隔音牆造成聲音反射而使噪音提高，則必須於隔音牆內側加裝吸音材料，另外，倒 L 型隔音牆（易積雪地區不適用）、或利用相位差降低噪音的鹿角型、三角型隔音牆，亦被使用於新幹線沿線噪音防制。

新幹線引致之地盤振動問題，與其構造物型式、地盤特性、列車速度、構造物重量等因素有關，自新幹線通車後造成之地盤振動問題，係以名古屋附近較為顯著，因該地區附近地盤較軟弱，且早期興建之高架橋結構重量較輕，近年來興建之新幹線，均已將高架橋結構重量化（橋墩、地樁加粗、地樁施打時深至岩盤等）以改善地盤振動問題。另多年來研究之壕溝隔振，至今仍未實用化，據研究，加重地上物以主動隔振方式防制地盤振動效果優於壕溝隔振。

### （三）微氣壓波防制對策（相關資料詳見附件六）

設置緩衝工以降低微氣壓波之原理，係增長列車離開隧道之延時，以緩衝壓力，並於緩衝工開挖大小適合之開口，以減低壓力，現在並以改良後較流線型之車頭行駛，可有效降低微氣壓波壓力。

緩衝工之設置基準，係於 1. 離隧道出口 20 公尺處微氣壓波大於 50Pa（音爆產生之臨界值）時；2. 於隧道口附近

民宅前微氣壓波大於 20Pa (住家內有感微振動之臨界值) 時；3. 隧道口附近之學校、醫院等特別需要保持安靜、無振動場所。

早期興建之新幹線因採用道渣軌，隧道內氣壓分散容易，近年來為通車後易於維護作業之考量，多處採用板軌，同時因列車行駛速度提高，故隧道出口產生音爆問題。以東海道新幹線為例，其軌道係道渣軌，通車初期並未產生微氣壓波問題，後因車速加快，仍須加設緩衝工以防制音爆。

有關降低微氣壓波之對策除隧道口緩衝工外，尚可利用橫坑及連續隧道間加覆連結鋼板，以減緩壓力。但若列車速度過快，橫坑無法消滅微氣壓波，則無法達到預期效果。

有關台灣高速鐵路之微氣壓波問題，因台灣高速鐵路經過之隧道斷面大於日本之隧道斷面約 30%，應較不會產生音爆問題。

#### (四) 新幹線噪音振動防制對策概要 (相關資料詳見附件七)

新幹線振動管制勸告值於 1976 年由日本環境廳公告後，內閣隨即通過在新幹線興建後再遷入居住之沿線居民，未來若發生振動陳情且經量測超過勸告值，仍非為改善或補助對象，其判定原則係依據當地航照圖決定。目前日本鐵道建設公團在興建完成通車後一年內，負責處理噪音振動陳情案件，通車後一年陳情案件一般均能獲得妥善改善。針對新幹線沿線噪音陳情問題，公團必須逐戶量測以劃定受影響區域之等音量線圖，並據此確認受影響範圍、程度及戶數，做為進行補償或改善之依據。

第四天（十一月二十一日）

課程研習——日本新幹線噪音及振動防制技術研究

【財團法人鐵道總合技術研究防災技術研究部地質副主任研究員  
橫山秀史先生】

■ 目前新幹線採取振動防制措施現況：（相關資料詳見附件八）

1. 車輛部份：採取車身輕量化、車軸配置變更、車輛彈簧系統變更及車輪管理維護，以減輕振動。本項措施之減振效果最好。
2. 軌道部分：
  - a. 維持行駛路徑平滑化：用磨軌機磨平軌道表面、軌道不整（彎曲）調整（為維護新幹線安全性，軌道不整之調整係屬日常管理項目）。
  - b. 軌道無縫化：將軌道焊接成長軌，原軌道為 25m/段，改善為 1000m/段。
  - c. 軌道底部結構加裝軟墊片，或於軌道枕木下鋪設彈性墊片，或於道渣板下加彈性物，以增加軌道彈性，減少地盤振動。但於地盤軟弱處效果不佳。
  - d. 軌道高剛性化：可於地盤較軟弱處改善振動情形。
  - e. 懸浮軌道：在地面與板軌之板塊間鋪裝一層彈性物。
3. 結構物部分：新建結構物均已加強其重量，及採取以避振材質建造、加設吸振結構或改變基礎形狀以增加避振效果。
4. 地盤部分：採取方式有防振溝、防振壁、振動遮斷及地盤改良。
  - a. 防振溝：理論研究結果顯示有防振效果，但實際執行時須有一定深度且影響結構物安全，無法實際應用。
  - b. 防振壁：以硬質材質如鋼板樁、混凝土牆或軟材質如保麗



龍為牆，以降低振動，因其防制成本過高，目前日本新幹線沒有以防振壁減振之實際工程案例，但津輕海峽附近的一般鐵路有一實例，即採用地下打入鋼板牆方式來遮斷地盤振動。

c. 振動遮斷及地盤改良：一般採取在地盤下灌入混凝土以強化地質。

一般而言，每段新幹線全長為 500-600Km，因成本考量，無法全線採取防制措施，故進行車輛部份的改良以降低振動噪音之做法，可達到比較良好的效果。

#### ■ 新幹線沿線地盤振動調查資料

表中新幹線之建設時間依序為東海道、山陽、東北、上越新幹線，由實測結果得知，新幹線沿線之地盤振動因防振技術之改良，而有明顯改善。

線區	調查項目	監測點與新幹線之距離		
		12.5 公尺	25 公尺	50 公尺
東海道	調查點數	71	73	59
	平均振動值 (dB)	63	59	54
	指針值超過之點數	8	3	0
山陽	調查點數	48	49	51
	平均振動值 (dB)	61	56	50
	指針值超過之點數	4	0	0
東北	調查點數	46	50	50
	平均振動值 (dB)	58	54	49
	指針值超過之點數	0	0	0
上越	調查點數	25	25	25
	平均振動值 (dB)	57	53	49
	指針值超過之點數	0	0	0

第五天（十一月二十二日）

課程研習——日本新幹線噪音及振動防制技術研究——大型風洞模  
型實驗研究（相關資料詳見附件九）

【財團法人鐵道總合技術研究風洞技術研究所所長進藤善彥先生】

（一）本風洞實驗室之設立目的及特色

財團法人鐵道總合技術研究所於滋賀縣阪田郡米原町設立一大型風洞實驗室，本實驗室係由鐵道總合技術研究所與三菱重工業公司合力開發，其目的係因早期新幹線行駛最高速度僅為 220-240km/h 左右，現已提高為 270-300km/h，為改善列車高速行駛產生之噪音、振動問題，及研究開發降低噪音、振動之設備，必須藉由低噪音風洞實驗室進行模擬研究。一般風洞實驗室的大型螺旋槳送風機所產生噪音很大，不符合本實驗室供做鐵路噪音、振動研究之環境要求，故建造此低噪音風洞實驗室。經由風洞模擬，可以驗證得知駕駛室門縫、車窗玻璃、集電弓及乘客上車處遮雨蓬，於行駛過程是列車產生較大噪音之處，另舊式車頭較新式車頭噪音大。

（二）風洞噪音之防制措施

風洞產生之噪音來自螺旋槳送風機及氣體噴流噪音，低噪音風洞須克服此二噪音。為降低螺旋槳送風機噪音，於整個送風通路內全面加裝吸音材並裝設消音器，另為降低氣體以 100m/s 速度進入無響室時之氣體噴流噪音，於進氣噴嘴兩側加裝消音器，同時於消音器兩側自外界送入 20m/s 之空氣，造成該二處氣體相對速度為 80m/s，改變噴嘴附近因氣體黏滯性產生之渦流形狀，以減少噴嘴附近氣體渦流噪音。無響室之進氣噴嘴及受風處均使用毛布包覆，做為噪音緩衝材。

經上述相關設備降低風洞噪音後，本實驗室於風速達 300km/h 時，背景噪音僅有 75dB (A)，較優於德國、荷蘭合力開發之 A300 型風洞之背景噪音 83dB (A)。

### (三) 模擬列車行駛風洞實驗之重要設備

為模擬列車高速行駛情形，本實驗室備有大型高速地面移動裝置 (長 6.0 公尺、寬 2.7 公尺、地面移動最高速度 60m/s) 及邊界層吸氣系統 (Boundary Layer Suction System)，當模擬列車行駛時，二者可破壞列車底部氣體之邊界層效應，使模擬過程車頂與車底之風速均為 300km/h，接近實際狀況，提高實驗結果之精確度。

### (四) 其他相關設備

本實驗室風扇直徑 5 公尺，風扇功率 7000kw，係為避免直徑過大之風扇產生之低頻噪音影響實驗品質。另送風循環通路因循環氣體溫度逐漸增高，必須裝置空氣冷卻裝置。

本實驗室多年來研究結果已實際應用於改善集電弓形狀、車頭及車身形狀。日本新幹線之技術及安全性高居各國高速鐵路系統之首，其相關技術之開發及研究必須有設備一流之實驗室加以配合，本實驗室即為其中之一。

第六天 (十一月二十三日)、第七天 (十一月二十四日)

資料整理。

第八天（十一月二十五日）

參訪行程---日本新幹線電氣、軌道總合試驗車 Dr. Yellow 各項檢測作業（相關資料詳如附件十）

【JR 東海旅客鐵道株式會社總合企劃本部國際部吉澤正克先生、新幹線鐵道事業本部設施部保線課窪野代男先生、電氣部電力課試驗車係長平田剛之先生】

（一）電氣、軌道總合試驗車設立目的係為確保新幹線之行車安全及穩定運輸功能，其特色為：

1. 試驗車之各項車輛條件與營業車相近，可確實瞭解新幹線平日行駛狀況。
2. 由車上儀器設備檢查地面之軌道、電氣設備。
3. 於行駛過程中同時檢查車輪與地面設備是否異常。

（二）電氣、軌道總合試驗車發展沿革

試驗車於新幹線通車初期，係以在來線之蒸氣火車頭拖曳檢查設備進行新幹線之軌道檢查，之後隨著新幹線○系、100系、300系、700系列車開發完成，試驗車亦配合相關檢測需求，設計開發 T2、T3 及 T4 等四車型。

T2 型試驗車係於 1974 年製造，採○系列車設計，速度為 210km/h，經使用多年後設備已老舊，同時因○系列車引退，零件供應困難，遂於 2001 年停止使用。自 1992 年起營業車車速已達 270km/h，而 T3 型試驗車車速僅為 210km/h，故必須在晚上執行檢測，方不致於影響新幹線正常營運。為解決上述情形，必須開發新型試驗車，目前試驗車型為 T4 型，自 1998 年開始製造，至 2001 年 9 月完成後開始執行檢測作業，其為 700 型列車，檢測車速達 270km/h，與營業車車速相同，故可於白天執行檢測，而不致影響正常營運，同

時因與營業車零件具共通性，維修零件來源無虞。

時期	電氣	設施	備註
1964年	T1型	由蒸氣火車頭拖曳 軌道試驗車(921 型)	檢測車速 160 Km/h
1974年	T1型及軌道試驗車(921型)停止使用		
1974年11月	T2型開始使用		檢測車速 210 Km/h
1979年11月	T3型開始使用		檢測車速 210 Km/h
1987年4月	T2型：屬 JR 東海公司 T3型：屬 JR 西日本公司		國鐵轉型為民營化
2001年	T2型試驗車停止使用		
2001年9月	T4型開始使用		檢測車速 270Km/h, 可 配合營業車高速度、 高密度之運輸條件。

### (三) 試驗車執行檢測週期

試驗車每年往返東京與博多之間 40 次，其中 36 次係採用 T4 型試驗車；4 次採用 T3 型試驗車。試驗車配合營業車之種類（希望號及回聲號）進行檢測之時間及相關路程安排如下：

作業時間	列車種類	電氣檢測	軌道檢測	試驗車種類	檢測時間/次
日間測定	希望號	1個月3次	1個月3次	T4型	往返需二天
日、夜間測定	回聲號	3個月1次	6個月1次	T3型	往返需三天, 停靠沿 線每一車站。

### (四) 試驗車車廂功能組成介紹

T4 型試驗車裝配檢測儀器僅需七節車輛，與營業車運載乘客需十六節車廂不同。以列車行駛方向為第 1 號車廂依序編排，其設施如下：

1 號車廂：備有變電、電車線、信號、通信測定、等電氣設施測定機器。

- 2 號車廂：備有高壓室及電氣關係測定機器，車頂有二架集電弓供測試用，可於列車行使過程先檢測得知列車供電線路最初狀況。高壓室可將來自集電弓 3 萬伏特之電壓降為 80 伏特。
- 3 號車廂：備有觀測窗（觀看集電弓使用情形）、電氣倉庫及電力整理室。
- 4 號車廂：備有軌道檢測室、設施整理室及倉庫。為不受列車上行、下行條件影響，故將軌道檢測室設於列車中間車廂。
- 5 號車廂：備有觀測窗及休息室。
- 6 號車廂：備有高壓室及電氣關係測定機器，車頂有二架集電弓供接收電力用途，測試條件受 2 號車集電弓影響，較不準確。為減少風切噪音，2、6 號車集電弓均有外殼包覆。本車廂同時備有救災器材用品，另為便於意外事故發生時救援人力進出，車門之尺寸較其他車廂大。
- 7 號車廂：備有乘客乘坐室及電氣、施設測定機器。

#### （五）電氣測定項目簡介

1. 電車線路測定設備：測定列車各項線路是否正常運作。T3 型集電弓高度是採用機械式量測，T4 型集電弓採用雷射光反射測距方法量測（非接觸性計測）。測定用之集電弓形狀與營業車相同，但材質不同，測定用集電弓係用鋁金屬製成，並裝有光纖感應器以執行測定功能。
2. 饋電迴路測定設備：測定變電所所送電流是否正確送達供列車使用。
3. 信號測定設備：新幹線行駛速度係由地上訊號設備傳輸控

制，故必須進行相關檢測作業。其中 ATC 軌道迴路信號電流測定係採用高密度檢測作業，T2 型為每 20 公尺定點檢測，T4 型為每 5 公尺定點檢測，以確保信號正確性。

4. 列車無線通訊測定設備：測定列車使用之無線通訊設備是否可正常接收來控制站之各項資訊。

#### (六) 軌道測定項目簡介

軌道測定項目包括軌道平整度、軌道橫向軌距、左右軌寬度、列車上下左右搖晃程度等。

1. 軌道平整度設備：以雷射光照射軌道，並以反射量計算軌道平整度。早期因車身較重，無須雷射測定裝置，現因車身輕量化，軌道平整度對於舒適感及安全性影響相對提高，故需進行測定。
2. 列車搖晃程度測定：新幹線列車乘坐舒適度與列車速度造成之搖晃程度有關，早期列車速度 200km/h 時，以 20 公尺搖晃波長進行測定及計算列車晃動程度，後因列車速度提高為 270km/h，則改採 40 公尺之波長。新幹線列車每一車廂長 25 公尺，T4 配備之新型測定設備，係於車輪下方定點設有偵測器，偵測器內裝有鐵軌變位計，適合現行長波長之測定作業。
3. 軌道設施之管理系統係由網際網路構成，於東京和大阪各有一電腦分析裝置，於列車檢測過程先將資料貯存後，再傳回東京和大阪進行資料分析，所得結果將傳送給鐵路事業單位，供作業指導之參考。目前 T4 型檢測所得之異常值由鐵軌旁光纜系統將訊號傳回東京中央指令中心後，經研判後隨即交付處理，以確保行車安全。
4. 第 1、7 號車廂裝有高解析度影像閉路電視，可代替鐵路巡邏工作。

第九天（十一月二十六日）

參訪行程——川崎重工業株式會社神戶市兵庫工廠

【川崎重工業股份有限公司台灣高速鐵路工程事務所技術總監石塚 理先生、車輛生產本部工作部長宮崎 勇先生、車輛營業本部西山 賢先生】

■ 目前新幹線車輛之要求事項—鐵路高速化後沿線環境及車廂內乘坐環境之考量（相關資料詳見附件十一）

目前新幹線列車車體設計開發及改良，係由各 JR 公司個別研發，如於研發過程需進行相關實驗，則委由鐵道總合技術研究所進行；另各車體製造廠商亦進行獨立技術研發，再提案交由各 JR 公司採用，或配合各 JR 公司研發。現有三家 JR 新幹線營運公司，未來加上九州新幹線完成後成立之營運公司，四家公司若能共同研發低振動噪音之車體，將增加其車體共同性。

（一）列車高速行駛，為確保安全必須達到下述改善要求：

1. 穩定行駛：若高速行駛時產生蛇行現象，將使列車脫軌，故台車之設計開發很重要。
2. 車身輕量化：為高速行駛必須增加馬力，機械設備亦隨之加重，但為減輕振動噪音，必須設法兼顧減輕車身重量。
3. 提高車身氣密度：避免通過隧道時之壓力損傷車身。
4. 車頭形狀加長：以減輕通過隧道之微氣壓波壓力，300 系、500 系、700 系列車車頭長度分別為 6 公尺、15 公尺、9.2 公尺。
5. 減輕空氣力學噪音：噪音和速度 6-8 次方成正比，故必須進行集電弓及連結集電弓高壓線裝置之噪音改善，同時加強車身之平滑化。



6. 其他問題：減少高速行駛時之阻抗、避免列車零件因風壓或空氣壓力振動產生脫落現象、提高車身強度以排除行駛過程之障礙物（鳥類或軌道上之障礙物）。

(二) 前項之改善對策，詳述如下：

1. 車身輕量化：日本新幹線早期 200 系列車每一軸重 17 公噸，而目前 500 系列車為 11.4 公噸，軸重減輕時，高速行駛造成之地盤振動亦將減輕。相較之下，歐洲高速鐵路列車系統軸重為 16-17 公噸，其產生之振動情形應大於日本新幹線。除軸重外，車身採鋁合金材質、減輕台車重量、電氣設備採用交流式馬達以減輕重量等，均可達到車身輕量化之目的。
2. 微氣壓波減低對策：改變車頭形狀設計及設置緩衝工，均可降低微氣壓波壓力。台灣高速鐵路因隧道斷面設計值較日本大（約 30%），若列車車頭形狀設計得宜，應較不會產生微氣壓波產之問題，亦無需再設置緩衝工。
3. 列車噪音源改善：
  - a. 車輪於軌道滾動產生之噪音（與速度平方成正比）及車廂下方機器設備之噪音：以隔音牆防制，即可達到良好效果。
  - b. 車頭噪音、列車車窗段差噪音、車廂連接處噪音、集電弓與集電弓罩噪音，其中以集電弓噪音最大，且較不易改善。集電弓噪音防制方法除改善集電弓形狀外，集電弓罩改採圓弧狀使氣流流動順暢，亦可降低噪音。700 系列車以高壓線連接集電弓，改善電波障礙，以減少集電弓產生之火花噪音。

(三) 車廂內振動噪音防制對策

1. 振動防制對策：可於台車內裝置阻尼 (damping) 減少車廂振動，使乘客不易察覺。目前 700 系列車於鋁合金車身內側加裝吸振材料，減低車廂內振動，並於車身下方加裝橡膠墊吸收車身振動。
2. 噪音防制對策：車輪滾動、車廂下方機器設備產生之噪音、空氣音、台車振動產生之噪音等，因傳播路徑複雜，很難有效防制。
  - a. 針對車廂下方機器設備之噪音，係直接傳入車廂內，因此於車廂地板與機器設備間加裝一層鋼板及隔音材料，以隔絕噪音。
  - b. 另對於自不同路徑傳入車廂內之車身振動噪音，可於車廂內側加裝吸音材料，減少聲音反射，降低車廂內噪音。
  - c. 採用 IGBT (Insulated Gate Bi-polar Transistor) 技術，以人耳感受力較低之高頻電流(波形較為平緩)及低噪音馬達，可有效降低車廂內噪音。

■ 台灣高速鐵路列車設計概述 (相關資料詳見附件十二)

台灣高速鐵路車身係參考東海道及山陽新幹線車體設計，日本現行新幹線預定最高車速 500 系者為 300km/h、700 系者為 285km/h，未來台灣高速鐵路預定最高車速為 300km/h，故其車輛速度控制相關設備及振動噪防制設施設計必須同時參考 500 系與 700 系列車車體。其相關設計原則概述如下：

- (一)台灣高速鐵路列車設計原則係採用 EMU(Electric Multiple Unite) Train，以製造低振動噪音環境之車廂，其特色為馬達分散在各車廂，雨天時列車不會滑出軌道，及機器設備分散在各車廂 (以四個車廂為一單位，計十二節車廂)，

使車身輕量化。另參考新幹線 700 型之設計考量，以期達到下列目標：

1. 改善乘坐舒適度。
2. 車身輕量化，可減少振動和噪音。
3. 節省能源消耗，符合保護環境需求。
4. 降低微氣壓波壓力，減少音爆情形發生。
5. 提供吸引人之外觀及舒適的內部裝潢。
6. 易於維修及運轉。
7. 性能佳且價格經濟。

台灣高速鐵路之列車車身共計十二節車廂，九節車廂備有馬達，一列車可容納 930 人以上。

(二) 新幹線車身頭部之設計原則將明顯影響車速，故設計時需考慮：

1. 通過隧道時之微氣壓波。
2. 車頭產生之噪音
3. 依空氣力學考慮行駛之空氣阻礙。
4. 行駛時之穩定性。
5. 列車雙向行駛時，需考量尾端空氣力學問題。
6. 列車行駛時之橫向壓力。
7. 駕駛室前向視野。
8. 駕駛室有足夠的空間，易於操作。
9. 故障時與其他列車之連結問題。

台灣高速鐵路之車頭為考慮微氣壓波問題，二邊採圓形設計，車頭斷面積圓滑，車頭形狀為理想曲線之流線型，可改善隧道出口之衝擊波，降低音爆。

(三) 車身採雙層鋁合金打造，無須骨架支撐，雙層間置入吸振

材料，可使車身輕量化且降低振動噪音。列車共十二節車箱，其中一節為特等車廂（特等車廂一排左右各二個座位，普通車廂一排左右共有五個車位）、每隔一節車廂即備有一間廁所，全車有三台自動販賣機，列車尾端設有大型行李車廂。車廂內亦有到站資訊系統。

(四) 電氣系統係採用電車方式（動力分散方式），每一節車廂有四個馬達，全車有九節車廂均裝有馬達。車頂設有二架集電弓，並由三台變壓器處理轉換電流。台灣高速鐵路採用 IGBT 技術，以人耳感受力較低之高頻電流及低噪音馬達，可有效降低車廂內振動、噪音，另採用 R-generating Brake，於煞車時可將電流送回變電裝置，此電流回生裝置不但減少電力消費，亦可使煞車片較不亦磨損。

(五) 集電弓因受風壓的影響產生巨大噪音，依據空氣學原理，噪音與速度的 6-8 次方成正比，集電弓產生之噪音是新幹線最大噪音來源，因此開發低噪音集電弓是高速鐵路環境對策中一項重要的課題。採用新幹線 700 型列車單臂式集電弓，集電部分設計簡化，並於集電弓兩翼尾端打洞，破壞氣體漩渦以降低噪音，同時包覆集電弓兩側，以減少風切產生之噪音。

(六) 台車部份之設計盡量以簡單化、輕量化設計，以確保乘坐之舒適及穩定性。因台灣高速鐵路預定最高車速為 300km/h，故採用新幹線 500 型列車之台車系統，一個車廂備有二架台車，而台車與車廂間以空氣彈簧連結。裝置於車廂下方之機械設備為便於維修，設有一維修門，同時此機械設備可由駕駛室監控畫面瞭解其運作情形。

台灣高速鐵路車廂預定於 2003 年下半年開始製造，第一輛

列車可於 2004 年抵達台灣，預定於 2004 年 8 月於台灣高雄以 300km/h 進行試車。有關台灣高速鐵路通車後值得注意事項如下：

1. 關於噪音管制標準規定之量測方法，日本係採最大值（peak 值），台灣係採用 Leq 值，未來台灣高速鐵路通車後，必須控制列車班次，否則可能會超出噪音管制標準。
2. 日本新幹線沿線之高架橋均為土木結構，而台灣高速鐵路部分採用鐵橋，鐵橋產生之共振、噪音可能會較土木結構橋身大，且台灣地盤軟弱程度和日本不盡相同，故必須實際試車後，才能真正瞭解台灣未來因高速鐵路通車造成環境振動、噪音問題之嚴重性。

第十天（十一月二十七日）

參訪行程——JR 西日本旅客鐵道株式會社

【總合企劃本部課長中西 豐先生、熊川登志弘先生】

（一）JR 西日本旅客鐵道株式會社業務簡介

JR 西日本旅客鐵道株式會社營業範圍為本州西半部，除了新幹線鐵路業務外，還有另外二大項業務：

1. 新幹線鐵路業務：與 JR 東海旅客鐵道株式會社共同聯營新大阪至博多新幹線（山陽新幹線）。山陽新幹線沿線經過區域人口較不集中、隧道較多，故 JR 西日本旅客鐵道株式會社針對西日本新幹線路線特色，設計 500 型列車，最高車速達 300km/h。另與 JR 東海旅客鐵道株式會社共同開發 700 型列車，因東海道新幹線沿線轉彎處較多、直線較少，且其軌道以道渣床為主，故無法加速至 300km/h，因此 700 型列車設計時並非以提高車速為原則，而係以車身輕量化為主，其最高速度為 285km/h。

2. 一般鐵路業務：包括大阪、京都、神戶（關西圈）通勤電車業務，及大阪、京都、神戶至廣島綜合鐵路連接業務。

（二）JR 西、JR 東海日本旅客鐵道株式會社聯合參與台灣高速鐵路建設，台灣雖可將日本新幹線各方面經驗作為借鏡，但仍需配合國情如相關環保法規及都市規劃狀況等，予以調整。日本與台灣二國之高速鐵路系統差異處如下：

1. 台灣高速鐵路系統係為日本與歐洲系統之綜合體，日本新幹線沿線經過許多大城市、人口密集區，而歐洲高速鐵路經過處大多為郊區，因此二者噪音與低頻振動管制標準不同，台灣在未來必須制定適合國情之管制政策和標準，才能有效管制高速鐵路噪音和振動。

2. 台灣高速鐵路管制標準是否參考日本訂定之標準，仍須審慎評估。台灣高速鐵路列車係參考 500 型列車台車構造及 700 型列車車身設計，且台灣之都市化程度亦與日本相似，由此應可預期日本新幹線列車之製造經驗，對於台灣高速鐵路未來之環境振動、噪音問題具備一定程度之控制效果，但台灣亦同時引進歐洲技術參與建設，其軌道材質、隧道形狀與日本均不相同，故台灣未來制定相關管制標準時之嚴格程度，應予審慎評估。

3. 高速鐵路營運成功要素為快速、準時及班次密集，惟速度提高時，振動、噪音問題亦隨之增加，因此管制政策必須兼顧環境保護與列車速度、班次密集度之需求，若管制標準過於嚴苛，速度無法提升、班次減少，而無法滿足乘客需求，其營運狀況必定受到影響。

（三）關於新幹線之垃圾處理問題：東京至博多之新幹線，垃圾都集中在岡山或博多等南方車站，早期係採垃圾焚化，現今於

岡山設立一固體燃料設施，將垃圾製成固體燃料，以減少有害廢氣排放問題，同時節省水、電費之開支。

(四) 大阪、京都、神戶（關西圈）通勤電車環境對策介紹：JR 西日本旅客鐵道株式會社擁有全國速度最快的通勤電車，其速度高達 130km/h，沿線振動噪音問題亦必須嚴格控制，除此之外，通勤電車產生之環境問題尚有：

1. 通勤電車沿線均為人口集中地區，不同於新幹線，因此車站大量的垃圾及其後續處理、垃圾減量等，成為另一個環境問題，其處理費用，對於鐵路公司而言亦是一大負擔。有關垃圾處理問題、垃圾焚化廠距離、垃圾卡車停靠空間等，建議台灣進行高速鐵路沿線周邊之都市規劃時一併考量，日本目前都市鐵路因沒有足夠的空間，造成諸多問題。
2. 通勤電車係連結大城市之鐵路，白天班次密集，相關的維修、施工必須於晚上進行，因鐵路靠近住宅區，故必須嚴格遵守規定之施工時間與日期。
3. 廢棄車票與月票之再利用，成為垃圾減量之重要課題之一，預定於 2003 年引進 IC 卡系統，使紙張垃圾減量。

(五) 連結大城市之普通鐵路環境對策介紹：

鐵路距離長，沿線樹木維護時為考量環境問題，不採用除草劑以避免河川污染，但亦無法以人工方式割剪，早期國鐵時代曾以馴養羊群吃草，目前開發以特殊塑膠布罩覆，使雜草生長速度趨緩。

(六) 陳情案件處理原則：

至目前為止針對陳情案件性質統計，多數係與站務員之服務態度不佳有關。若有振動噪音陳情案件，新建之新幹線一年內係由鐵道建設公團進行相關防制措施，營運後則由 JR 公

司負責。處理陳情案件除進行相關防制措施外，降低班次密集度以減低振動噪音，亦為另一考量之處理方式。

第十一天（十一月二十八日）

參訪行程---岡山至新大阪新幹線列車現場體驗

【JR 西日本旅客鐵道株式會社總合企劃本部熊川登志弘先生】

本日由 JR 西日本海旅客鐵道株式會社人員陪同解說，乘坐新幹線 500 型列車自岡山至新大阪，並至駕駛室現場參觀駕駛員監控及操作程序，並體驗車速達 300km/h 之高速及乘坐舒適感。

第十二天（十一月二十九日）

參訪行程---JR 東海旅客鐵道株式會社指令總合所

【JR 東海旅客鐵道株式會社總合企劃本部國際部吉澤正克先生】

（一）JR 東海旅客鐵道株式會社營運情形介紹：

JR 東海旅客鐵道株式會社營運之東海道新幹線總長為 552.6 公里、在來線為 1425.2 公里，每日載客量為 32 萬 6 千人，新幹線之營業距離佔總長之 28%，但其營業收入佔總收入之 84.8%，顯示新幹線營運效率很高。目前依列車種類及沿線停站規劃分成三種營業路線：

1. 希望號（Nozomi）：時速 270km/h，1 班次/小時，東京至新大阪需 2.5 小時，俟 2003 年品川車站通車後，可增加為 2 班次/小時。
2. 光號（Hikari）：時速 220km/h，7 班次/小時。
3. 回聲號（Kodama）：時速 220km/h，3 班次/小時。

目前營業之車輛種類說明：

1. ○系列車：已引退不再行駛。



2. 100 系列車：於 2003 年品川車站通車後將停駛。
3. 300 系列車：自 1992 年引進使用，目前雖繼續使用，但已不再製造新列車。
4. 700 系列車：結合 300 系與 500 系列車優點，車頭較長可減少空氣噪音，集電弓上部較小可降低空氣噪音，係兼顧環境考量之列車。

(二) 東海道新幹線特色：

1. 安全：自 1964 年營業以來，即以維護安全為營運之首要要求，至今均未發生事故使人傷亡。各項維護安全之作業說明如下：
  - a. 人員操作部份：係指相關人員之合作與遵守法律規定。
  - b. 設備部分：經由 ATC 行車系統維護列車停靠之安全性，前後班次列車軌道迴路用三、四段迴路控制，若前後二班列車距離太近，ATC 煞車系統可使列車減速，避免列車追撞。目前正在研發新型 ATC 系統，台灣高速鐵路未來亦將引進使用。另亦於沿線設置測震計、風速計、雨量計及其他維護安全的設備。
  - c. 法令規定：日本已明文規定不可丟擲物品至新幹線軌道，亦不可破壞沿線物品，否則將予以處罰。
  - d. 人員訓練：新幹線脫軌搶救及復舊訓練。
  - e. 平日維護、檢查與汰換工作。
2. 準時：東海道新幹線列車平均延遲時間僅為 0.3 分鐘。
3. 高速行駛：目前行駛速度為 270km/h，因東海道新幹線直線軌道僅佔 59%，若欲再提高速度，必須使路線直線軌道比例提高，但為考慮成本，目前維持此速度營運。
4. 高運輸量：東京車站每小時有 11 班列車發車，每日有 287

班次，每日運輸量達 32 萬 6 千人。

5. 適合環境之運輸系統：700 系列車改良車頭長度設計、集電弓採單臂式形狀及車身輕量化等，均使氣爆音及空氣噪音降低。
6. 節省能源：採用回生煞車系統，減少 80% 電力浪費，使電力消費降低 16%。
7. 營運成本低：減少列車種類，降低備用列車數，與其他 JR 公司開發共同零件，均使成本降低。

(三) JR 東海旅客鐵道株式會社指令總合所介紹：

本指令所所在建築物內除係東海道新幹線指令所所在地外，尚設有山陽新幹線、東北新幹線、上越新幹線及長野新幹線指令中心。指令中心監控相關資訊以隨時掌握列車行駛情況，其中氣象部分包括：

1. 與氣象中心連線，即時取得氣象資訊，作為營運作業參考。
2. 監控沿線雨量：目前東海道新幹線沿線每隔 5 公里設置一雨量計，全線共計設置 59 隻，24 小時連續紀錄雨量。降雨量若超過 50mm/h，列車必須停駛；降雨量若略低於 50mm/h，必須檢查後再繼續行駛，以維護安全。目前之列車設備在大於 50mm/h 之雨量中行駛仍屬安全範圍，但仍須要求列車停駛以確保安全。

3. 監控沿線風速：目前東海道新幹線沿線共設有 49 個固定風速監測站，若風速超過 30m/s，列車必須暫時停駛。

颱風過境時，因氣流呈漩渦狀前進，且其雨量前緣使降雨量大增，故當颱風接近時，即須召開對策會議，研擬因應對策。

(四) 日本新幹線環境對策早期係實際通車後，陸續發現對環境產生之振動、噪音影響後才開始執行，台灣高速鐵路應事先針

對環境問題加以規劃調查，做好相關防制對策。

第十三天（十一月三十日）、第十四天（十二月一日）

資料整理。

第十五天（十二月二日）

參訪行程——盛岡至八戶新開通東北新幹線列車乘坐舒適感體驗、  
八甲田隧道工程參觀

【日本鐵道建設公團盛岡支社計畫部環境對策課補佐新山純一先生】

東北新幹線盛岡至八戶段於 2002 年 12 月 1 日通車營運，目前行駛最高車速為 260km/h，本段新幹線係以日本最新之振動、噪音防制措施興建完成之新幹線，軌道係以板軌鋪設，雖然道渣軌對於振動、噪音之防制效果較好，但東北地區冬天經常下雪，為利於維護作業，故採板軌設施，惟八戶車站附近區域岩盤位於地下 45 公尺，地盤較為軟弱，故採道渣軌設施，以避免於地盤下陷時，無法調整軌道水平；另為遮斷地盤振動，該車站建造為日本第一個拱形車站。為改善地盤振動問題，八戶車站於施工過程將水泥將灌入地下 10 公尺處，針對地盤軟弱處進行地盤改良。

本段新幹線係日本鐵道建設公團委託 JR 東日本公司旅客鐵道株式會社施工興建，但仍屬於公團財產，目前由公團委託該會社營運。公團所屬盛岡支社計畫部環境對策課於本段新幹線通車後，必須處理振動、噪音陳情問題，及評估新幹線高架橋等建物遮蔽日照情形，以進行農地補償，同時亦須處理因新幹線電線造成之電波干擾問題。

東北新幹線八戶至青森段預定於 2012 年完工，目前正在挖鑿

之八甲田隧道工程，長度為 26.455 公里，是世界最長的陸上隧道，其工程施作情形介紹如下：

1. 工程分為梨木工區、築木工區、折紙工區、大坪工區、屋形工區及市渡工區等六個扇形工區，本次參觀之八甲田隧道屬於大坪工區。
2. 八甲田隧道施工方法係以炸藥炸開山壁後（每日白天、晚上各 2 次），以開鑽機、挖土機進行挖掘，並將石塊裝入破碎機後，以輸送帶運出隧道。隧道內以輸送帶取代大型卡車運送石塊，可避免隧道內累積卡車排放之廢氣，提供工作人員較好工作環境。開挖後之隧道表面露出之石塊，須先將石塊磨平後噴上混凝土漿，再打入岩層錨栓。有關開炸山壁產生之噪音、振動問題，最初於洞口時必須進行防爆設施，以減低爆炸噪音，俟深入隧道後，噪音影響自然減輕；振動部分因鄰近住家距離工地 10 公里以上，經評估後應無影響。
3. 本隧道工程以集塵器及抽風機於隧道前端進行抽風（抽風量  $1200\text{m}^3/\text{min}$ ）和排氣，使隧道內粉塵小於  $3\text{mg}/\text{m}^3$ 。
4. 目前隧道內湧水為 120 噸/小時，係由斜坑抽水後經沉澱處理再放流。目前施工最困難處係距隧道入口 700 公尺處，附近有一河流通過，隧道距地表僅 40 公尺，因此產生大量湧水現象，施工時必須避免隧道因此坍塌，故現正進行地質鑽探以深入調查，同時施工單位亦隨時監控湧水、河川及地下水水質，以研判湧水來源，及河水是否已經滲入湧水中等問題。

第十六天（十二月三日）

參訪行程——新幹線二戶、沼宮內車站參觀、八戶至盛岡沿線新幹線設施現場參觀（相關資料詳見附件十三）

【日本鐵道建設公團盛岡支社計畫部環境對策課補佐新山純一先生】

（一）參觀新幹線二戶、沼宮內車站：

1. 新幹線二戶車站因冬天嚴寒、下雪，故車站月台加蓋屋頂，成為密閉式月台，新幹線列車通過時，為減輕風壓，遂於牆面裝設百葉窗，產生類似消音百葉之效果，此時若以直接開口方式減壓，其產生之噪音較大。本站之設計理念係以配合鄰近山形、地形為基礎，並利用透明玻璃為建材，增加遠眺之視覺效果。本站採用板軌設施，施工過程預製 3-5 公尺長之混凝土塊，軌道與板塊間加裝橡膠墊片，以減低行新幹線列車駛產生之振動。
2. 新幹線沼宮內車站亦為密閉式月台，為減輕列車通過產生之風壓，本站於自屋頂處裝設透氣開孔。本站之採用之石塊、木材均為當地建材，且岩手町本為雕刻之城，本站設計理念即以彰顯當地藝術為基礎。

（二）新幹線振動、噪音防制設施現場參觀：

有關盛岡至八戶段新幹線通車後之振動、噪音情形，公團已於 2002 年 9 月 6 日至 11 月底試車時，每 1.5 公里設置一監測點以進行實地量測，並依此結果繪製 70dB (A)、75dB (A) 之等音量線圖，以進行沿線各住戶改善對策參考。目前本段新幹線行駛最高速度為 260km/h，二年後預計提高至原預定最高值 300km/h，未來至新青森、北海道段開通後，預定最高速度為 350km/h 或 400km/h，現雖由公團執行相關

環境對策，屆時若為營運考量而改變行車速度，將車速提高至原預定最高車速以上時，相關環境問題則由營運之 JR 公司負責執行。

未來新幹線將考慮繼續提高車速行駛，若能使 1. 車身更窄化；2. 車身表面沒有凹痕；3. 車體更直、車頭更尖；4. 集電弓改為非接觸型式，以降低空氣噪音；5 車身更輕，則依據實驗結果，車速可達 550km/h。

1. 馬淵川拱形橋隔音牆：橋上軌道採用板軌，隔音牆高度 3 公尺，其中 2 公尺為 PC 板，上方 1 公尺為透明壓克力板，以免阻擋乘客自車窗向外眺望之視界。隔音牆設置時，必須依據當地實際狀況，如新幹線與住家距離、新幹線路線為高架或平面、受體房屋結構及過去實測值等條件，進行統計分析與模式模擬後，決定隔音牆高度。目前新幹線於設計規劃階段，均已將隔音牆設計納入。

2. 瀧澤隧道出口緩衝工：

a. 通常緩衝工係設置於產生微氣壓波問題之隧道另一端，使列車一進入隧道後，即可減低壓力，列車離開隧道時降低音爆。緩衝工長度一般為 14 公尺，但仍須考量隧道長度來決定。緩衝工斷面依據微氣壓波相關實驗得知約為隧道斷面之 1.4 倍左右，而緩衝工開口位置應設置於第一波與第二波風壓高峯點，其開口數量視緩衝工長度決定。

b. 日本法規規定距隧道口 20 公尺處，微氣壓波壓力必須小於 50Pa（依據實驗瞭解，50Pa 係是否發生音爆之臨界點，故以此為管制值）；於民宅前必須低於 20Pa（民宅前 20Pa 時，住家內即可感覺振動）。本隧道出口 20

公尺處符合 50Pa 管制標準，但附近民宅屋內測值為 27Pa，因此必須調整隧道另一端緩衝工開口大小，瀧澤隧道緩衝工開口因加裝一道可調整之木門，因此經減小開口面積約 16% 後，為氣壓波壓力自 27Pa 降低為 16Pa，符合管制標準。

- c. 若因沿線附近房屋老舊，住宅前微氣壓波僅為 10Pa 亦可能產生振動，故雖管制值為 20Pa，公園亦將進行逐戶視察，以決定環境對策。
- d. 瀧澤隧道附近民宅與隧道口很接近，微氣壓波產生之氣爆與列車行駛之軌道噪音，造成隧道口附近 50 公尺範圍內區域噪音未能符合管制標準，經實地量測、分析頻率，結果得知噪音頻率以 1000Hz 佔多數。為解決噪音問題，擬於新幹線路線旁 3-4 公尺處設置隔音牆。

### (三) 陳情案件處理情形

新幹線之環境振動、噪音問題係以處理至沒有陳情案件為原則，公園自 2002 年 6 月至 9 月陸續針對縣政府、當地居民召開說明會，使居民充分瞭解新幹線之環境對策，盛岡至八戶段新幹線環境對策費用佔總工程經費 60 億日圓之 3%，由中央和地方政府共同負擔，故新幹線之環境對策係由政府負責與執行。

#### 1. 噪音陳情案件：

- a. 盛岡至八戶段新幹線，估計約有 1500 家民宅須進行噪音實地量測，其中約 1000 家必須執行屋內噪音防制對策。針對老舊房屋，係以房屋密閉化為主要處理原則，將房屋縫隙填滿以阻隔噪音。隔音設備包含雙層鋁門窗、隔音抽風機、冷氣等，裝置空調費用以一家三人、

三部冷氣估算，約需補助 250 萬日圓，但使用空調之電費、維護費用則由個人負擔。

b. 有一陳情案例，經實地量測後噪音值並未超過管制標準，但由頻率分析得知該民宅鄰近之道路交通噪音大於新幹線列車行駛噪音，而合成噪音仍使居民不堪噪音干擾而陳情，故公團除於民宅附近加設隔音牆外，亦將鄰近之道路路面重新鋪設為低噪音鋪面（透水性鋪面），以減低整體環境噪音。

2. 振動陳情案件：至目前為止，陳情案件經量測後得知均未超過 70dB，於地盤較軟弱處約為 65dB，但公團仍將依陳情狀況執行改善。

3. 高架橋及建物日照遮蔽補償：

a. 視農作物減少收成之情形予以補償，補償認定原則由公團委託農業試驗所研究調查後模式化，於郊區者一次付清 20 年補償費用，於都市計畫劃定之都市調整區，因考量都市變化較大，則其補償費用以 10 年計算。

b. 日照遮蔽補償除針對農作物補償外，亦進行住戶補償，因新幹線造成之日照遮蔽，使屋內溫暖度不足，必須使用暖氣設備，造成電力消耗；曝曬衣物不易乾燥，必須使用電器烘乾；屋內明亮度不足，必須使用照明設備，故以新幹線建物遮蔽 4 小時（4 小時內以 4 小時計算）為一補償費用計算單位，一次付清補償費用。國土交通省與環境省現正進行協商，未來將細分本項補償費用之分類依據。盛岡至八戶段新幹線採現行標準，未來八戶至新青森新幹線段可望採用新標準。

4. 電波阻礙處理：新幹線列車集電弓與高壓電線接觸造成火



花，致產生電波影響，目前採用有線電視或以集中式天線方式進行改善，前者較受當地居民歡迎，後者為山區內必須採行之處理方式。盛岡至八戶段沿線集中式天線已於一年前完工。完工後必須實際檢查影響程度降低情形。

第十七天（十二月四日）

自盛岡返東京

第十八天（十二月五日）

課程研習——振動量測技術研習

【小野測器株式會社營業本部海外部部長代理多多良勇雄先生】

日本相關的環境振動種類有 1. 工廠振動：工廠使用機器設備產生之振動；2. 建設作業：建築施工之機器振動；3. 道路交通振動：公共汽車、卡車行駛發生之振動；4. 鐵道交通振動：高速鐵路高速行駛產生之振動；5. 低周波空氣振動：高速鐵路經過隧道時，於出口發生之微氣壓波振動，故為管制環境振動公害問題，遂制定振動規制法，但該法中並未包含低周波空氣振動部分。

目前日本針對量測振動、噪音之儀器設備規格（振動計 JIS C1510-1995、紀錄器 JIS C1512、分析儀 JIS C1513）及量測過程所採用的方法（JIS-Z8735），均已訂定相關規範，測試時必須採用符合規範之儀器及量測方法，否則即為無效數據。依據 JIS-Z8735 之方法規定，量測相關條件如下：

1. 測定點選定：於發生振動問題之地點量測。
2. 振動檢出器設置方法：應設置於地面堅硬處（一般是置於柏油路），如係置於泥土表面者，必須確認地面堅固後再放置檢出器。
3. 測定結果內容：包含測試日期、時間、天氣、振動源種類、計測

儀器種類、製造業者等資料。

4. 背景振動之修正：新幹線於有無列車行駛時，其振動值相差 10dB 以上時，則不須考慮背景振動。
5. 振動感覺補正迴路之使用方法：選擇適當之頻率及補正迴路量測，以量測人耳感覺之相對振動值。

目前日本振動測定計畫執行程序包含：居民陳情、預備調查（受害者之狀況、振動之性質及發生情形）、測試器之量測（振動儀器實際量測、振動測定及頻率分析）、防制方法之選定、改善效果測定之實施、結果之確認等。若測試值大於管制值，必須裝設防制設備。因防制設備之防振效果係針對不同頻率域設計，故進行振動陳情案測量時，必須同時進行振動頻率分析，以採取適合之防制措施，降低振動。由防制設備之效果確認得知防振設備無法使振動降低至管制標準時，則必須重新再執行前述程序。

目前小野測器株式會社製造之振動計（VR-6100）符合 JIS 標準規定，並取得認證，該振動計可同時量測三軸振動（X 軸、Y 軸、Z 軸），其頻率範圍依據 JIS 規定為 1-90Hz，若於雨天進行量測時，可利用 100 公尺長電纜，將置於路邊之檢測計訊息傳輸至室內之計測器。VR-6100 記憶體內已具備頻率分析功能，無須再外接頻率分析器，另亦可選擇三軸或單軸測定。

第十九天（十二月六日）

結業式、核發修業證書。

第二十天（十二月七日）

返程，搭飛機回國。

#### 肆、研修心得

日本新幹線自一九六四年東海道新幹線營運以來，至今全國新幹線營運長度已達 2100 公里，政府部門之管制制度、法規、及陳情案件處理原則、居民補償原則等均已訂定完善，另建設及營運部門之新型低振動、噪音之新幹線列車、軌道系統、電器系統等研發改良、各種防制振動、噪音設備及工法之研究、實作，多年來已累積相當多經驗。

我國高速鐵路系統現尚於興建階段，為使未來通車後產生之環境問題能於通車後儘速獲得解決，相關部門（政府及營運單位）應參考日本多年之執行經驗，預先針對環境問題進行評估，並檢視目前各政府單位所訂相關法令規章之適用性，及進行未來陳情案件處理程序、補償原則之規劃研擬，使高速鐵路通車後不僅為人民帶來交通便捷與舒適性，同時亦將高速鐵路對環境之衝擊降至最低。

#### 伍、誌謝

本次日本研習，首先感謝中日技術交流協會及日本財團法人海外鐵道技術協力協會全部行程之聯繫、安排，及中華民國駐日經濟文化辦事處之協助，同時感謝各參訪單位之竭誠接待，使得此行得以順利圓滿，學員收穫甚多。我國與日本國情較為接近，兩國應加強官方與民間之交流，使我國高速鐵路系統未來通車營運後產生之環境問題，可以日本多年累積的經驗為借鏡，獲得良好解決。

附件一

## 研 修 行 程

日程	研修内容等	受講先	研修場所	宿泊地
① 11/18	月 来日 (台北>東京)			東京
② 11/19	火 午前：利イン-ション 午後：交通博物館	JARTS	JARTS	東京
③ 11/20	水 午前：国土交通省:高速鉄道の振動対策について 午後：鉄道建設公団の振動対策について	MLIT JRCC	JRCC	東京
4 11/21	木 鉄道総研 環境対策：振動、騒音 午後：移動 (東京>>米原)	鉄道総研	鉄道総研 (国立)	米原
⑤ 11/22	金 鉄道総研 風洞実験施設見学 (米原) 午後移動 (米原>>東京)	鉄道総研	鉄道総研 米原	東京
⑥ 11/23	土 休日			東京
⑦ 11/24	日 休日			東京
8 11/25	月 JR 東海会社訪問 概況説明 Dy.Yellow 添乗(東京>>大阪)	JRC	JRC	大阪
9 11/26	火 川崎重工業 (株) 訪問 車両の防音等	川崎重工	兵庫工場	大阪
10 11/27	水 JR 西日本会社訪問 概況説明	JRW	JRW	大阪
⑪ 11/28	木 " 現場視察 午後:移動 (大阪>>東京)	JRW	JRW	東京
⑫ 11/29	金 JR 東海新幹線総合指令所見学	JRC	JRC	東京
⑬ 11/30	土 休日			東京
⑭ 12/01	日 休日			東京
15 12/02	月 八戸新幹線 (東京>>八戸)	JRCC	JRCC	八戸
16 12/03	火 八戸現場見学	JRCC	JRCC	盛岡
⑰ 12/04	水 移動 (盛岡>>東京)	JARTS		東京
⑱ 12/05	木 小野測器訪問 振動測定の手法等	小野測器	小野測器	東京
⑲ 12/06	金 研修最終質疑応答	JARTS・ 関係者	JARTS	東京
20 12/07	土 帰国 (東京>>台北)			

附件二

有關環境保護上具緊急性之新幹線鐵路振動對策

1. 指針

- (1) 針對新幹線鐵路振動之補正加速度值(level)超過 70dB 以上的地區，緊急採取振動源及障礙防止對策等。
- (2) 針對醫院、學校及其他特別需要保持靜謐設施的地區，除給予特別考量之外，並採取迅速及時的措施。

2. 計測方法等

- (1) 計測單位:採用補正加速度值(level)(單位:dB)

(注)補正加速度值(level)是以垂直振動的振動數為 f(單位:赫茲)和加速度實效值為 A(單位:公尺/每秒平方)時，與 A 的基準值 A0(單位:公尺/每秒平方)之比的常用對數的 20 倍，即  $20\log(A/A_0)$  (單位:dB)加以表示的數值。

在此條件下，A0 的數值如下。

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 < f < 4 \text{ 時、} & A_0 = 2 \text{ 乘 } 10^{-5} f^{-1/2} \\ = & = \\ 4 < f < 8 \text{ 時、} & A_0 = 10^{-5} \\ = & = \\ 8 < f < 90 \text{ 時、} & A_0 = 0.125 \text{ 乘 } 10^{-5} f \end{array} \right.$$

$$\left[ \begin{array}{l} 1 \leq f \leq 4 \text{ の場合、} A_0 = 2 \times 10^{-5} f^{-1/2} \\ 4 \leq f \leq 8 \text{ の場合、} A_0 = 10^{-5} \\ 8 \leq f \leq 90 \text{ の場合、} A_0 = 0.125 \times 10^{-5} f \end{array} \right]$$

(2) 計測條件如下。

- A 振動計測儀器設置地點為，無緩衝物，且經充分碾軋後的堅固地點。
- B 振動計測儀器設置地點為，無傾斜、凹凸的地點，且能充分確保水平的地點。
- C 振動計測儀器須設置在不受外圍條件影響的地點。
- D 指示計測儀之動特性設為緩(slow)。測針

√(3) 計測方式為包括上行及下行列車在內，原則上針對連續通過的 20 班列車，讀取每列該當通過列車之振動高峯值(peak level)。

另外，測定時期的選定，要避免列車速度比平常時期低的時期。

√(4) 振動的評價方式為，取(3)項高峯值中超過半數之數值大的數字，加以平均計算。

### 3. 達成指針的方策

(1) 做為新幹線鐵路振動之振動源對策，採取結構物減輕振動對策等措施。

雖然採取上述措施，但發生目前之防止技術對減低振動發生困難時，應儘早推動結構物防振對策、振動遮斷對策等的技術研究開發。

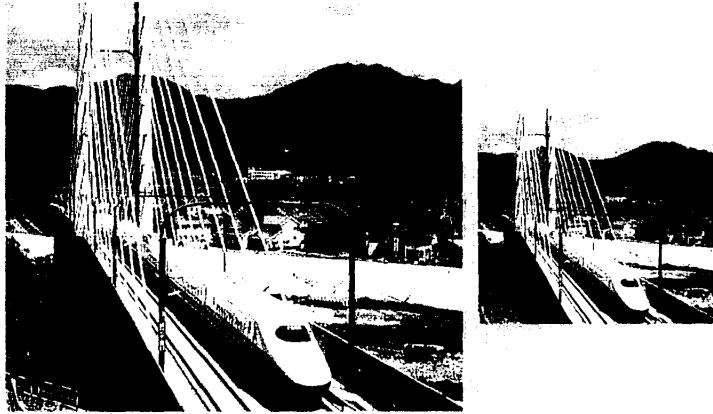
(2) 做為新幹線鐵路振動之障礙防止對策，先從振動顯著的地區實施對既有住家等建築物的移轉補償、改建、及補強工程等補助措施。特別是今後應儘早開發房屋防振對策技術，採取透過房屋補修等以減輕振動影響之措施。

(3) 在實施新幹線鐵路振動對策時，根據「新幹線鐵路噪音相關環境基準」(1975年7月環境廳公告第46號)，使噪音對策與其他環境對策有機性的連動實施。

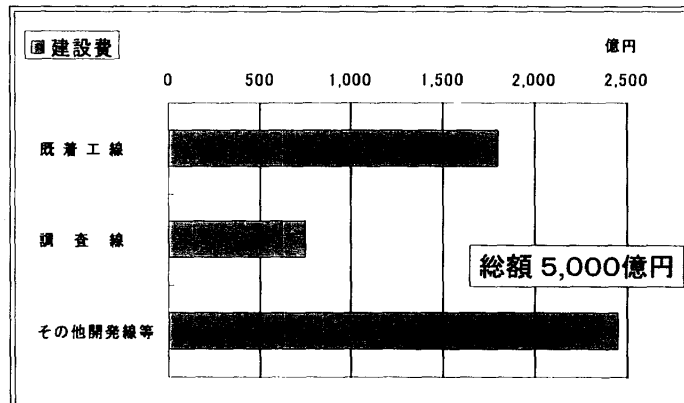


附件三

## 日本鉄道建設公団の概要

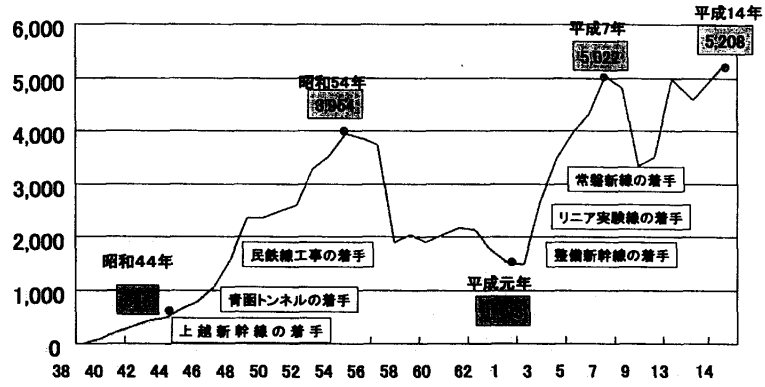


### 新線建設10カ年計画の規模 (昭和38年度以降)



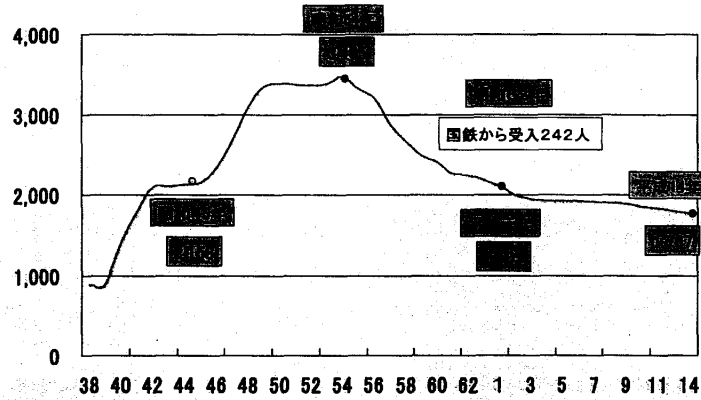
## 建設費の推移

単位:億円

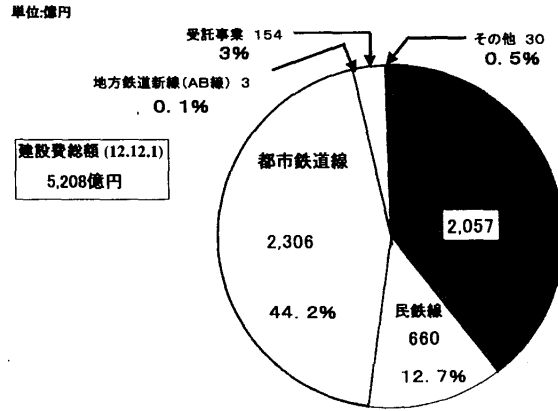


## 要員の推移(定員)

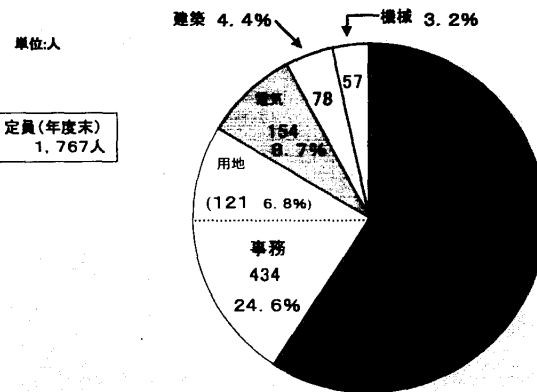
単位:人

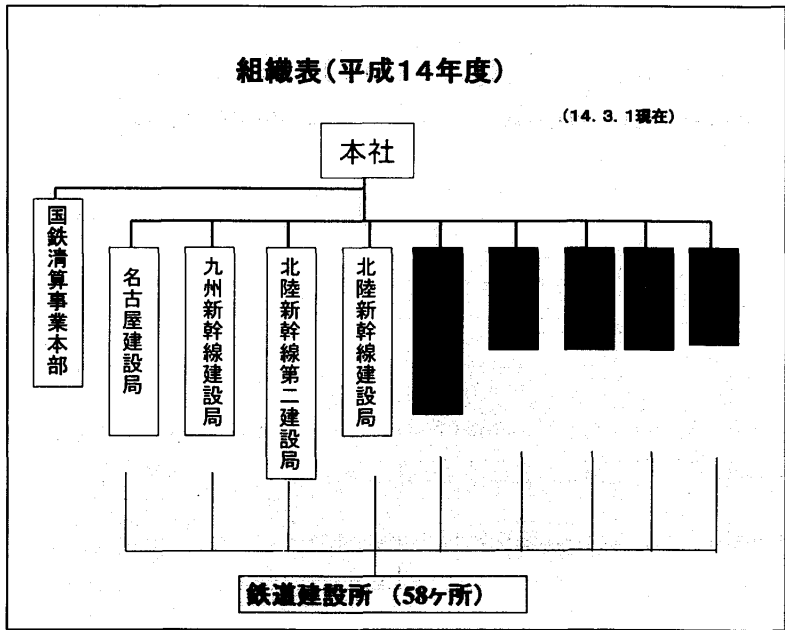
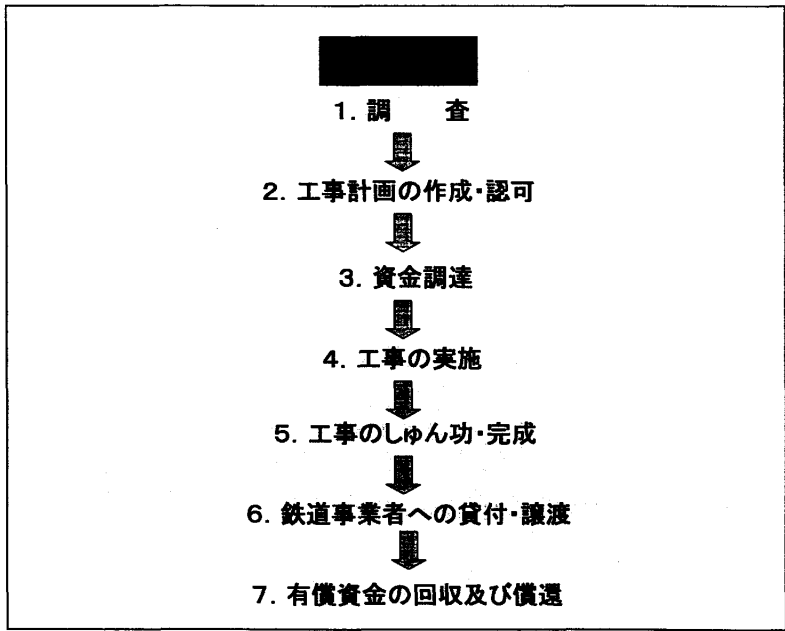


## 平成14年度建設費内訳



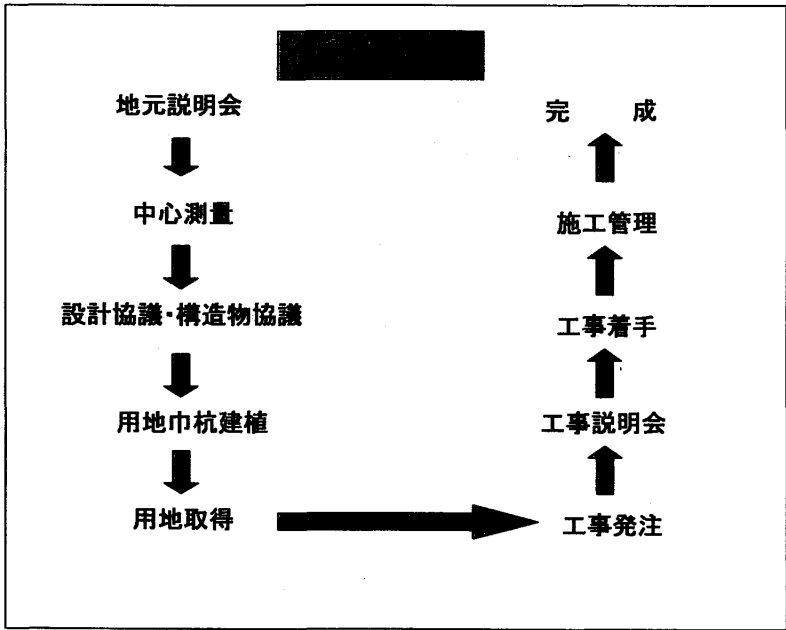
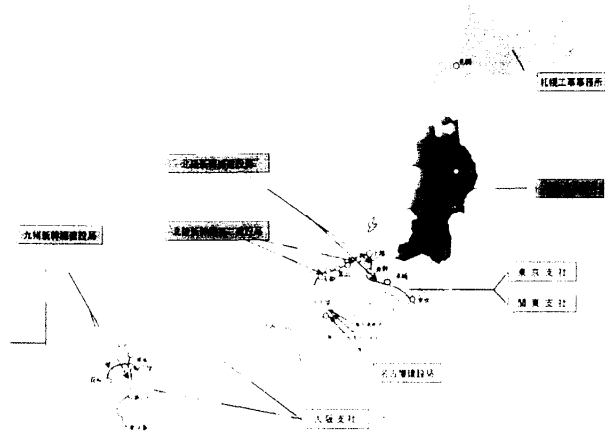
## 平成14年度要員内訳

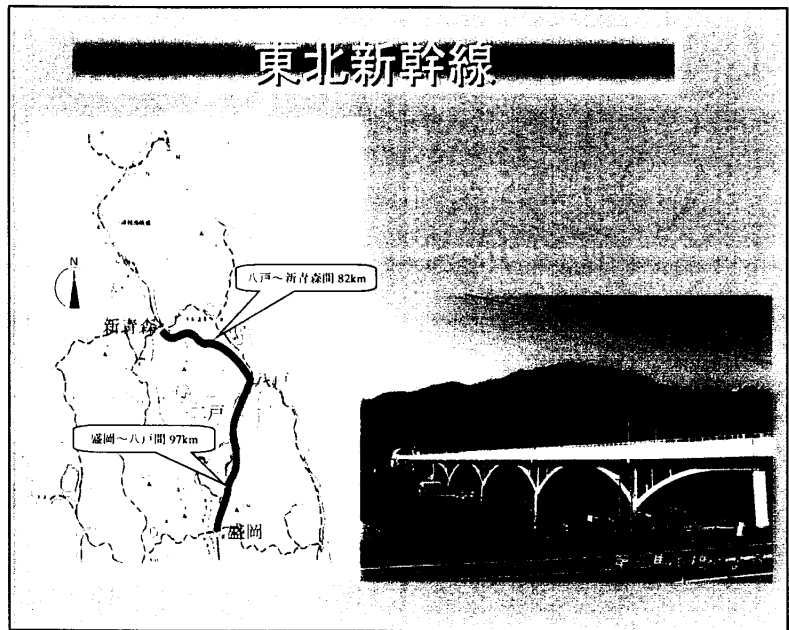
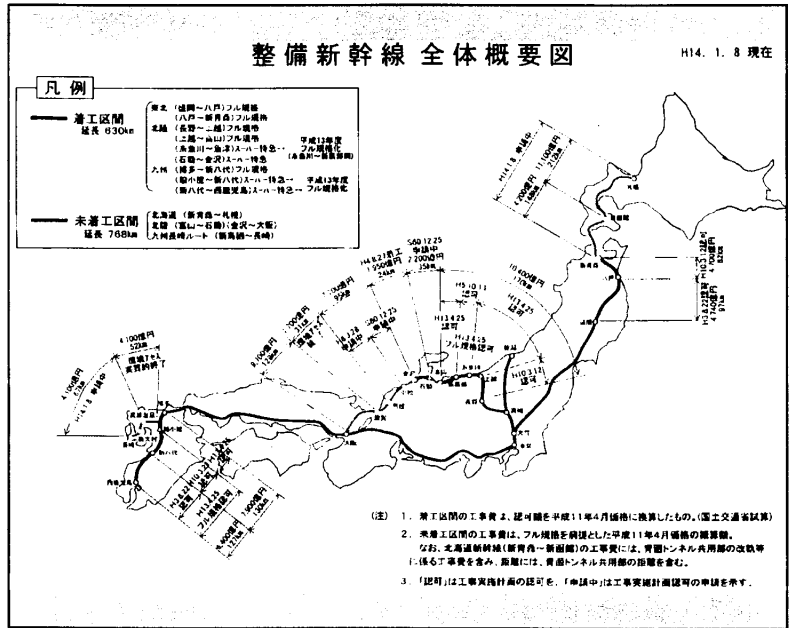


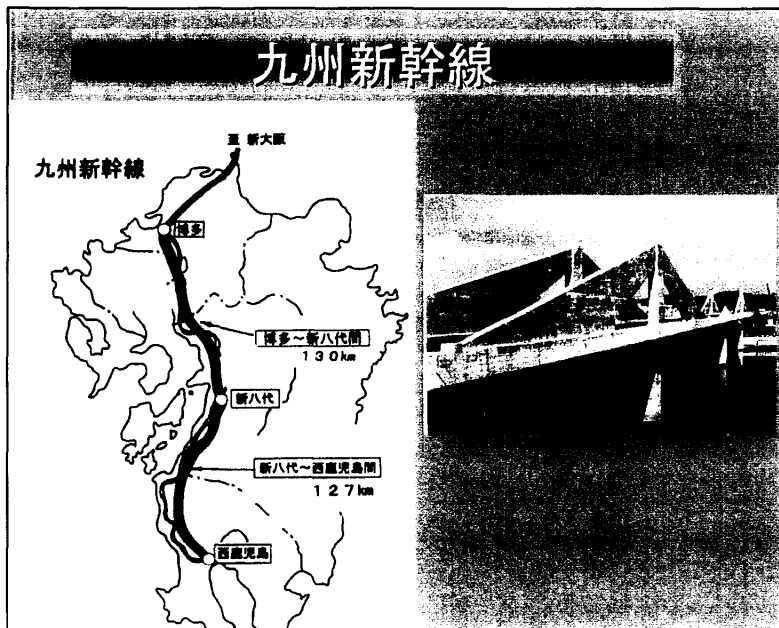
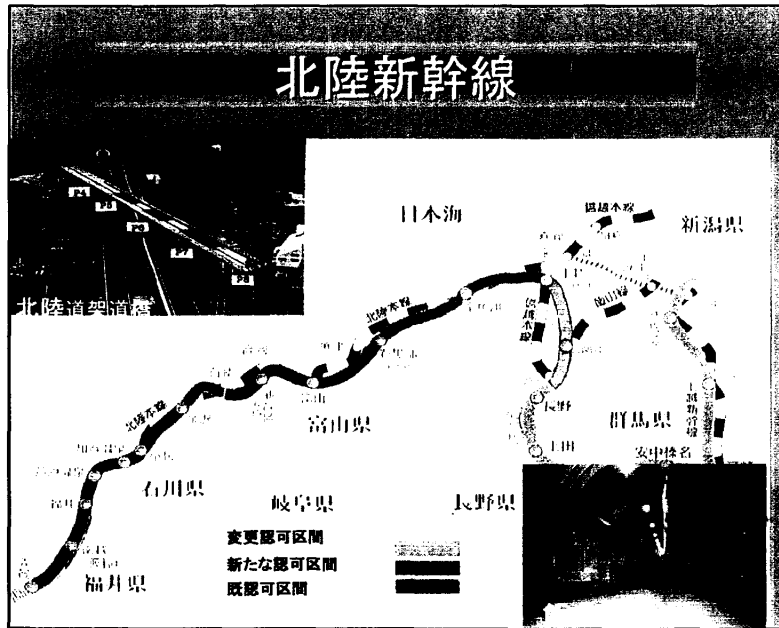


# 地方機関の所管区域図

平成13年4月25日現在

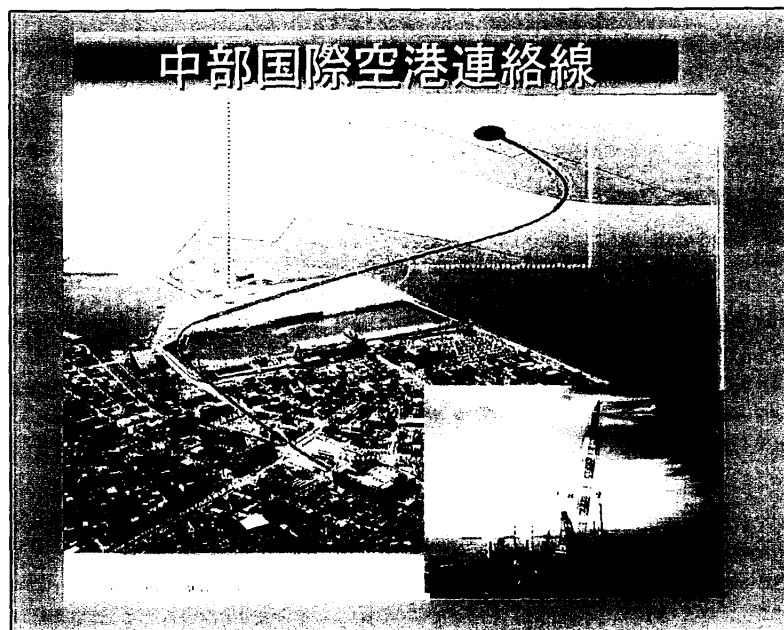
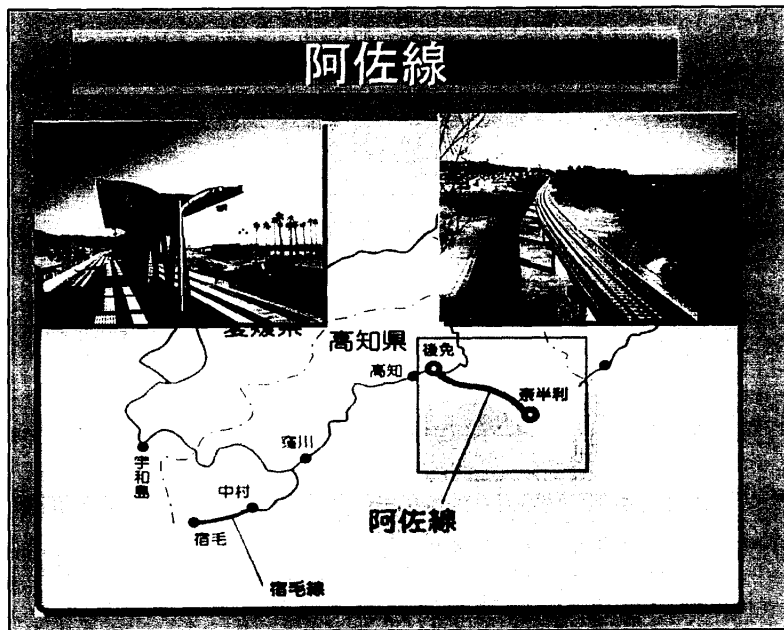






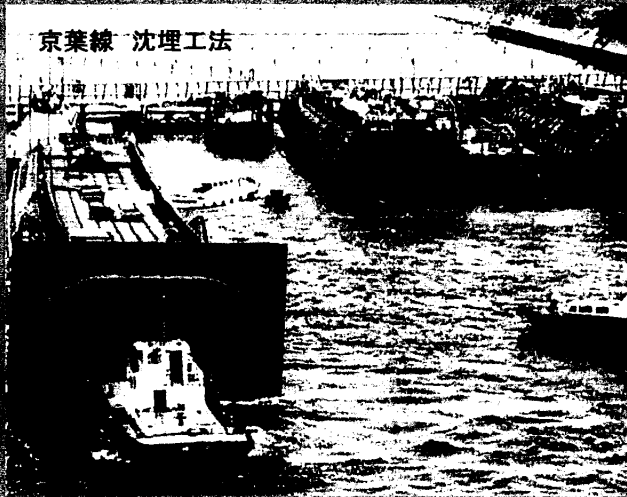




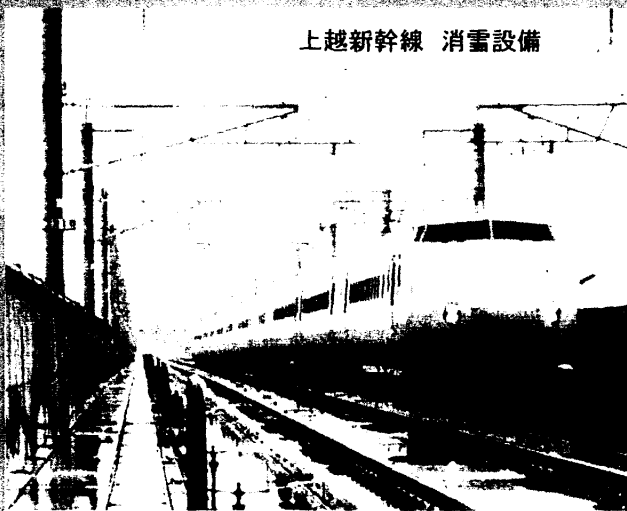


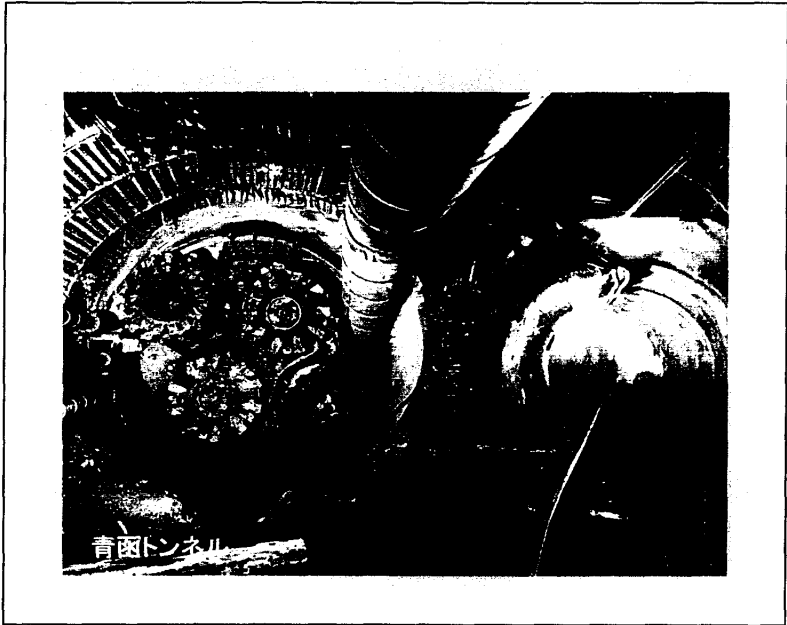
# 公団技術の紹介

京葉線 沈埋工法



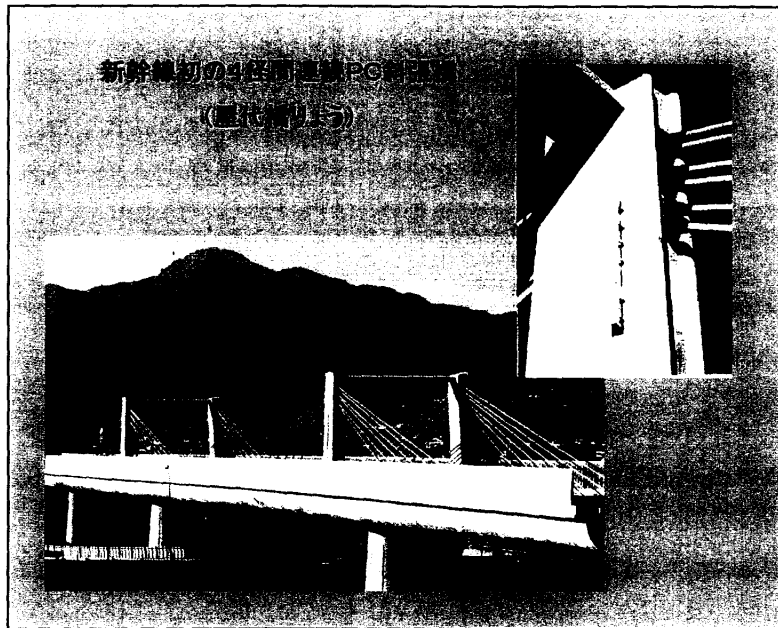
上越新幹線 消雷設備

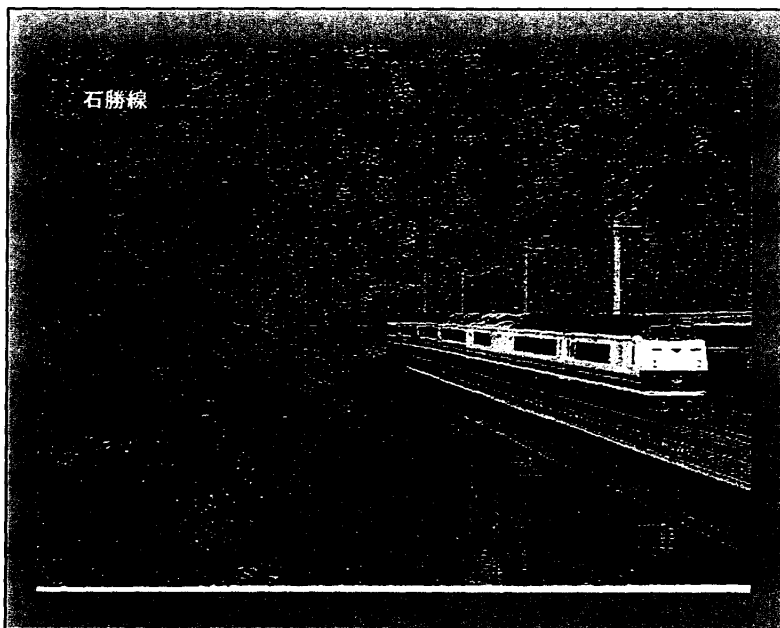
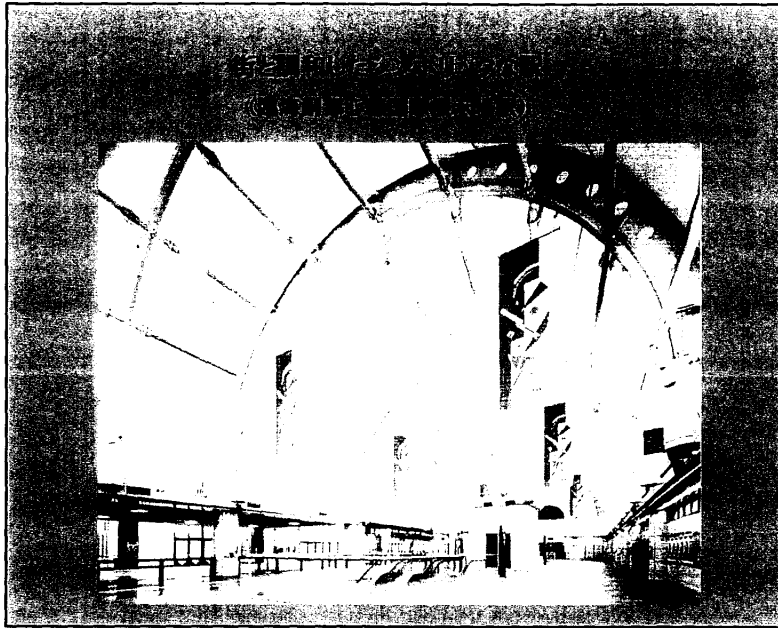


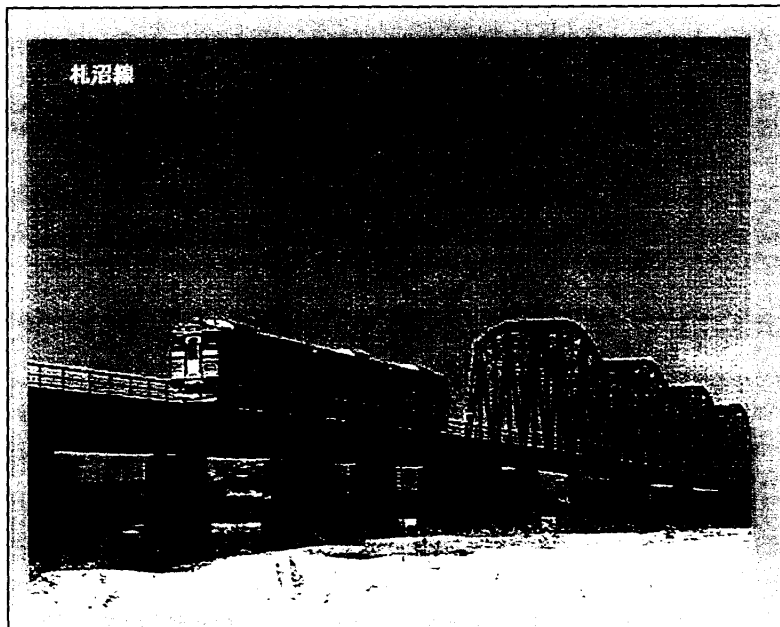
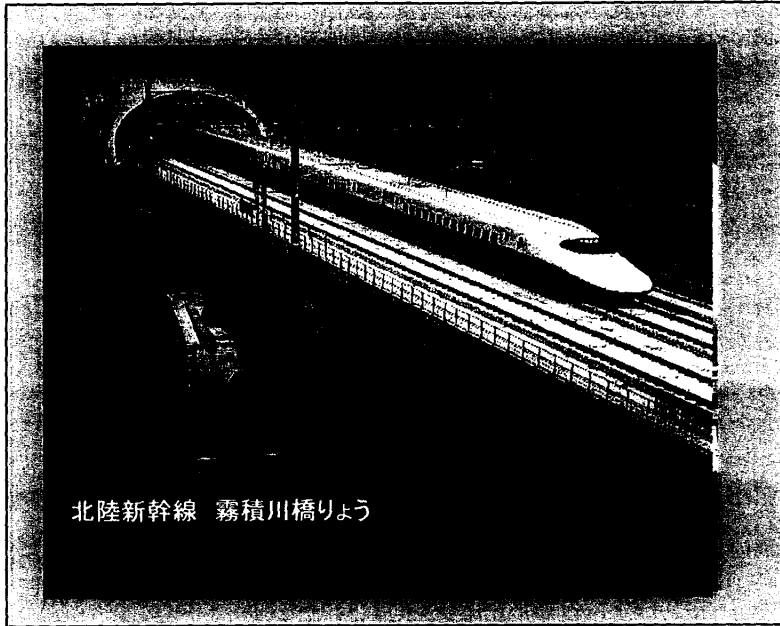


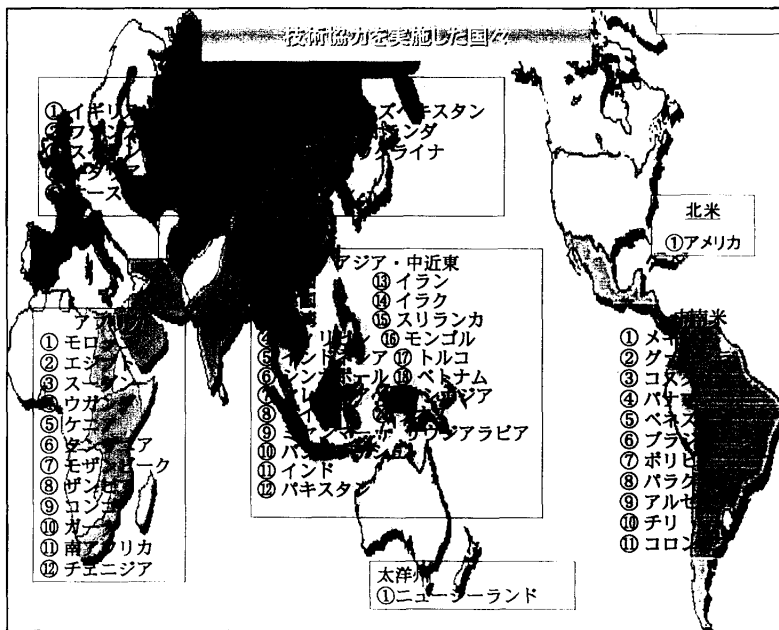
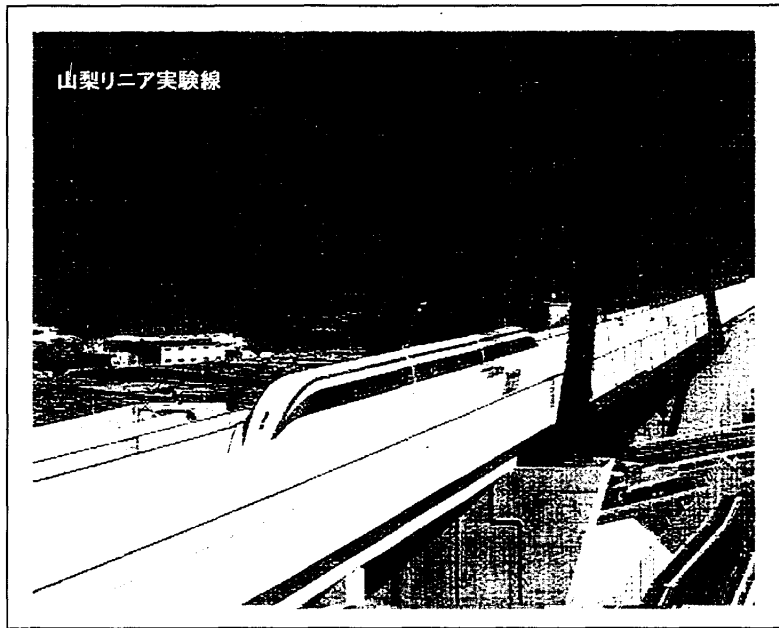
大型マシンによるトンネル掘削  
(五里ヶ峰トンネル)



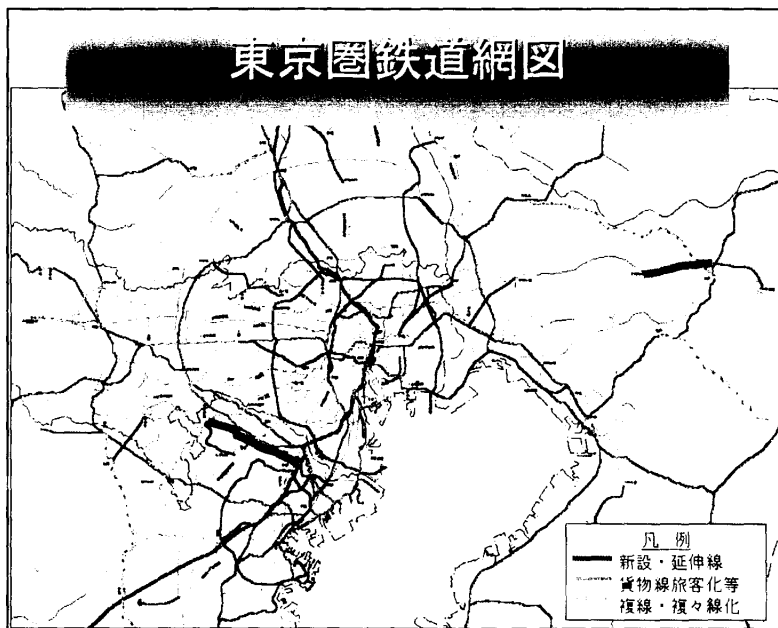
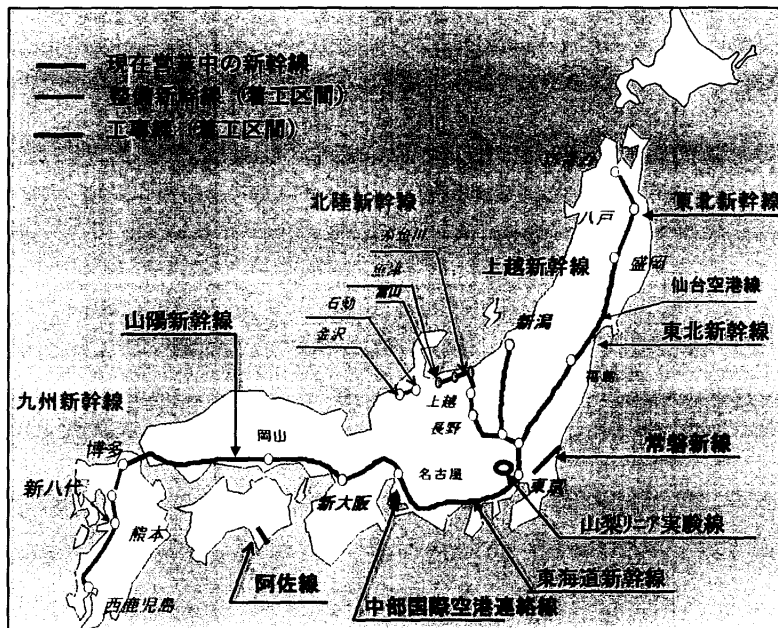




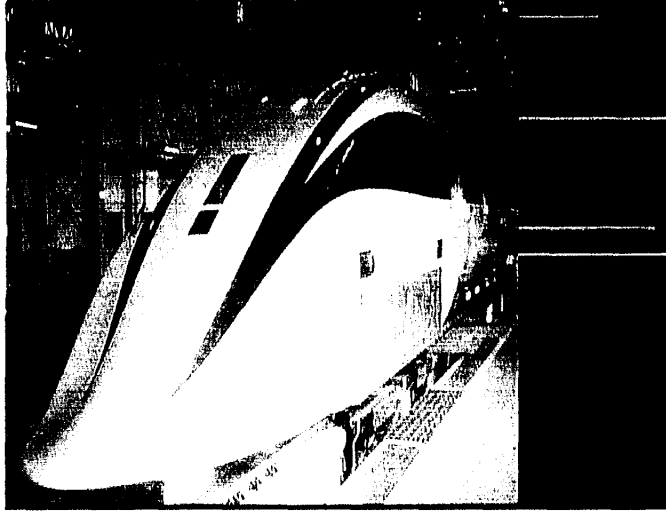








リニア実験線



フリーゲージトレイン



## 日本鉄道建設公団の概要



お わ り

## 附件四

参考資料一

北陸新幹線における騒音・振動

2002年11月20日

日本鉄道建設公団

## 6. 北陸新幹線における騒音・振動の現状

(1) 新幹線の概要 (6.1.1) (新幹線線路図、図 6.1-1.2)

○ 北陸新幹線 (高崎・長野間) の工事延長 : 125.7km

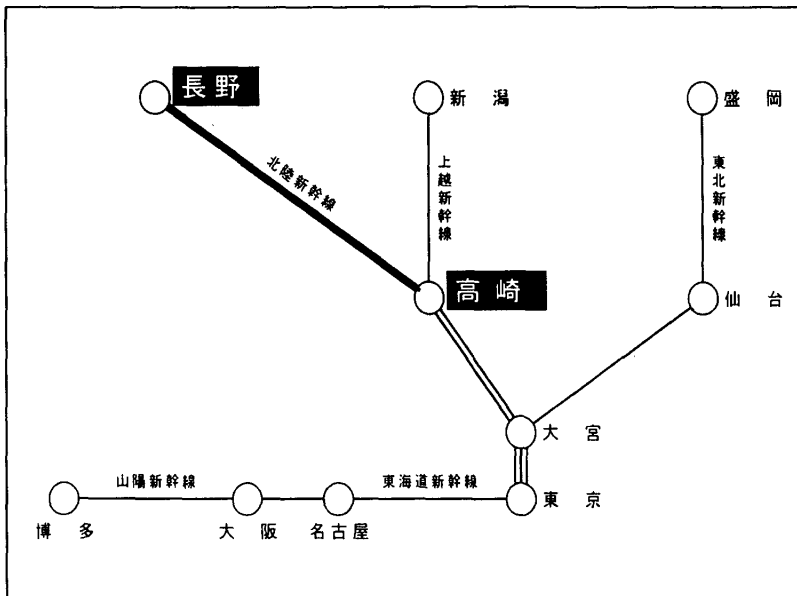
○ 設計条件

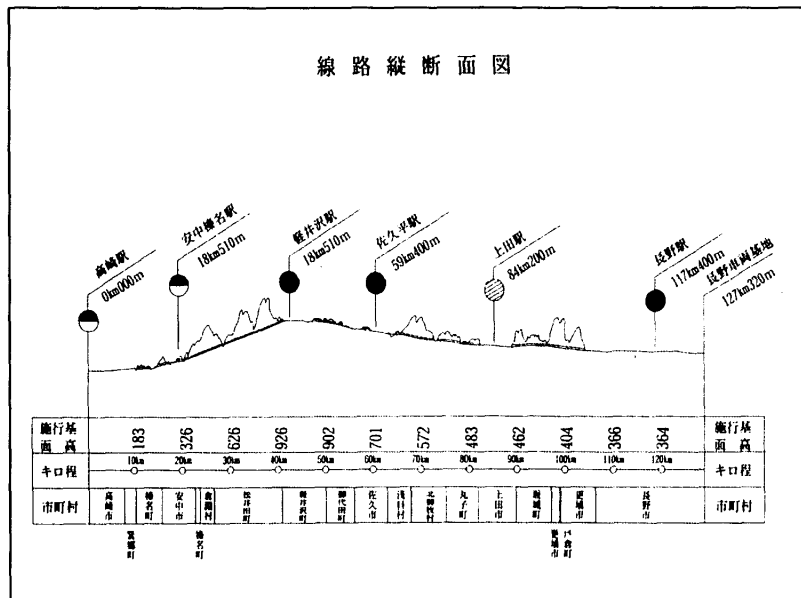
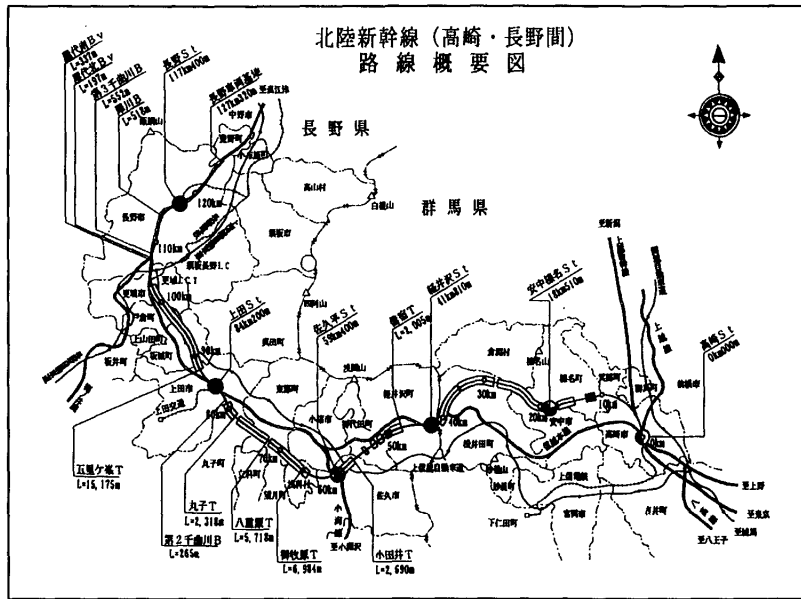
- ・ 最高速度 : 260km/h
- ・ 最小曲線半径 : 4,000m (基本)
- ・ 軌道中心間隔 : 4.3m (一部 4.2m)
- ・ 最急勾配 : 30 パーミリ (新幹線で初めての採用)
- ・ 電車線の電気方式 : 25,000V (交流)

○ 構造種別

- ・ 路盤 : 19.1km (15%)
- ・ トンネル : 63.4km (51%)
- ・ 橋りょう : 11.4km (9%)
- ・ 高架橋 : 31.8km (25%)

○ 新幹線の到達時間 : 東京・長野間 (約 222km) 約 1 時間半





(3) 施工例及び測定結果 (6.3)

構造物別断面及び測定結果 (図 6.3-1~10)

盛土区間 (1箇所)

切取区間 (2箇所)

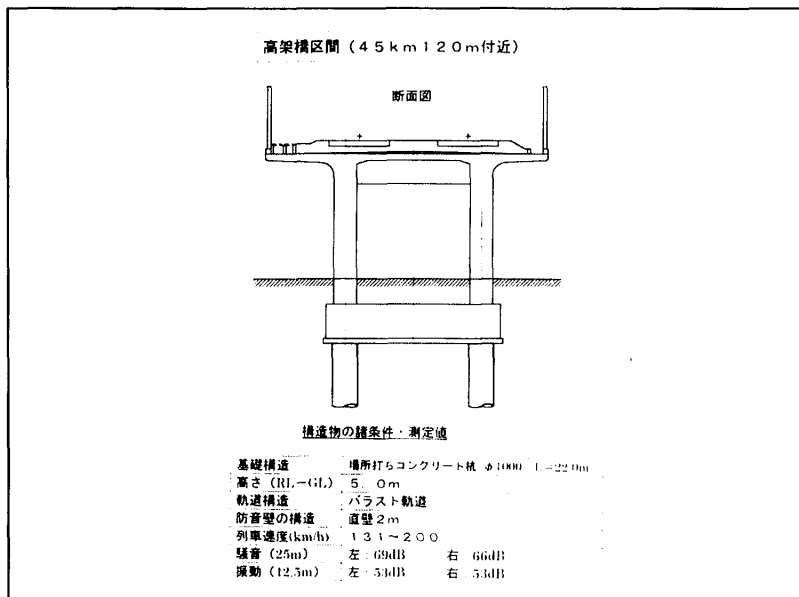
高架区間 (7箇所)

橋梁区間 (図 6.3-13)

① 第二千曲川橋梁 (斜張橋) 断面図 (81km390m 付近)

② 屋代南・北橋梁 (斜張橋) 断面図 (105km 付近)

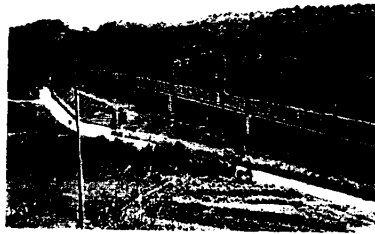
③ 第三千曲川橋梁 (トラス) 断面図 (105km900m 付近)





盛土区間 (50km300m付近)

断面図

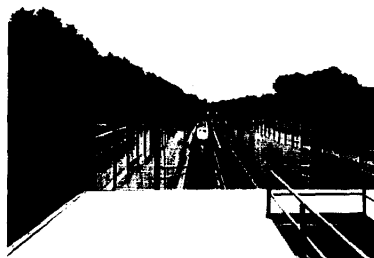


構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L.)	1.2m
軌道構造	ハラスト軌道
防音壁の構造	直壁 3m
列車速度(km/h)	186~230
騒音 (25m)	左: 75dB 右: 76dB
振動 (12.5m)	左: 67dB 右: 68dB

切取区間 (53km400m付近)

断面図

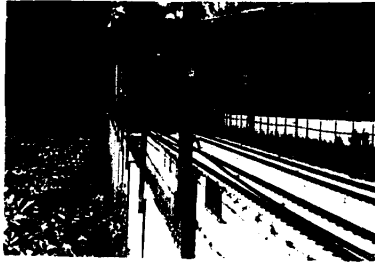
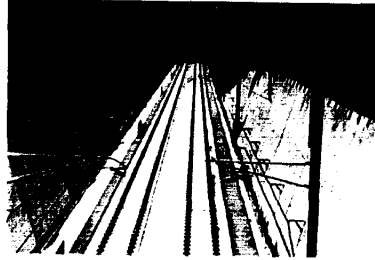


構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L.)	3.6m
軌道構造	ハラスト軌道
防音壁の構造	直壁 2m
列車速度(km/h)	149~242
騒音 (25m)	左: 68dB 右: 64dB
振動 (12.5m)	左: 62dB 右: 65dB

切取区間 (56km200m付近)

断面図

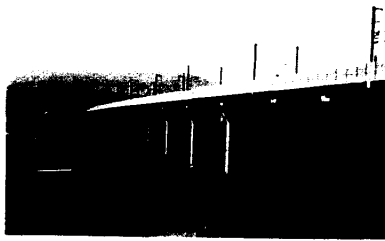
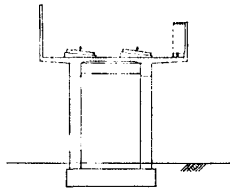


構造物の種条件・測定値

高さ (RL-G.L.)	-0.6m
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直2m
列車速度(km/h)	145~248
騒音 (25m)	右: 75dB
振動 (12.5m)	右: 68dB

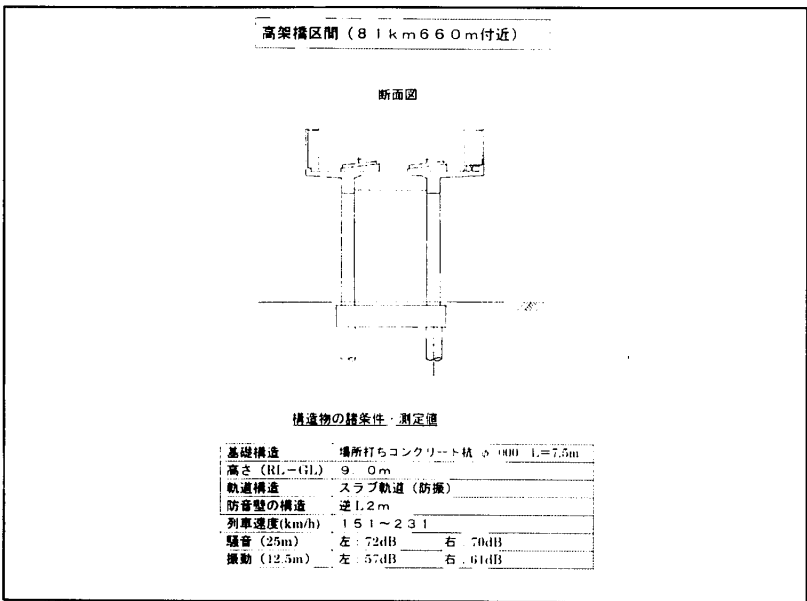
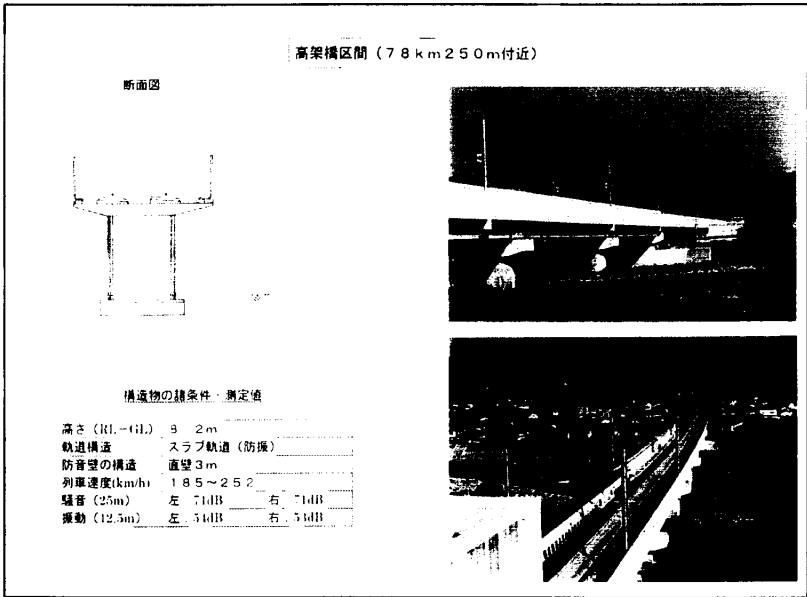
高架橋区間 (63km260m付近)

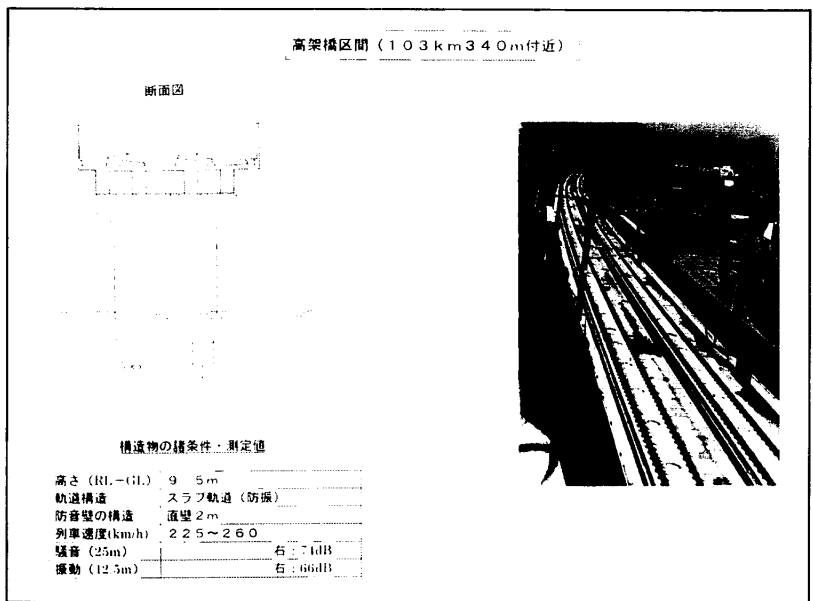
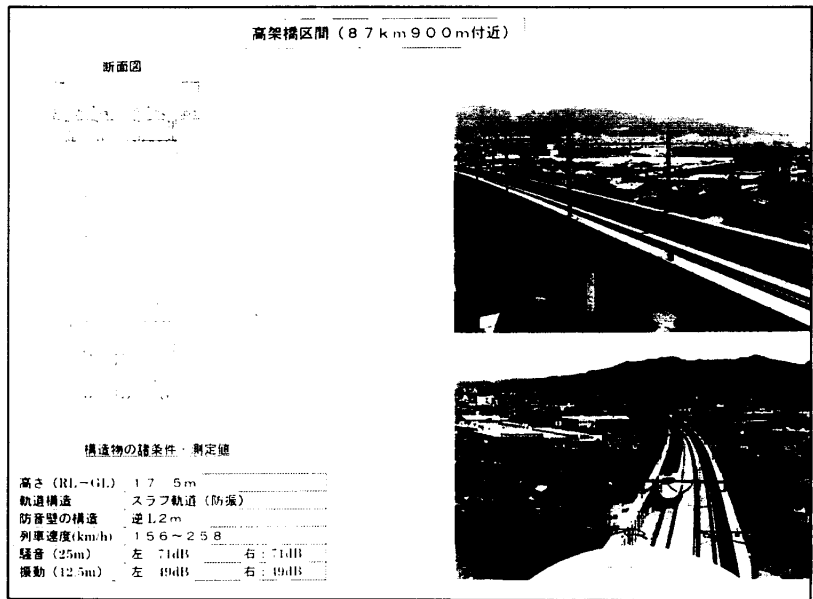
断面図



構造物の種条件・測定値

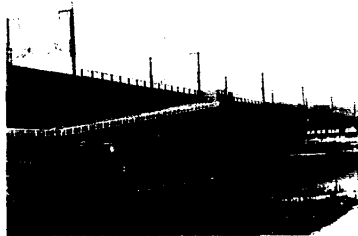
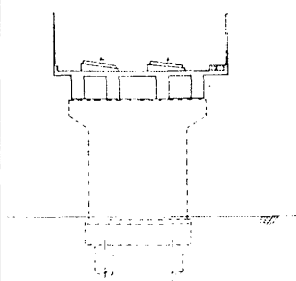
高さ (RL-G.L.)	12.2m
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直壁3m
列車速度(km/h)	207~250
騒音 (25m)	左: 70dB
振動 (12.5m)	左: 65dB





高架橋区間 (103km870m付近)

断面図



構造物の諸条件・測定値

高さ (RL-G.L.)	9.0m
軌道構造	スラブ軌道 (防振)
防音壁の構造	直壁 3m
列車速度(km/h)	216~260
騒音 (25m)	左 73dB
振動 (12.5m)	左 61dB

橋梁区間 (81km390m付近)

第三千曲川橋梁

構造種別	2径間連続 PC 斜張橋
スパン	135m × 2
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直壁 2m

断面図



橋梁区間 (105 km付近)

断面図

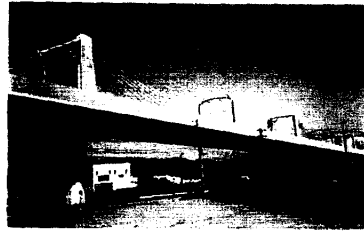
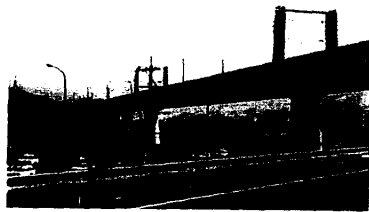


滝代南橋梁

構造種別	4径間連続PC斜張橋
スパン	65m × 105m × 105m × 65m
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直壁2m (フレキャスト)

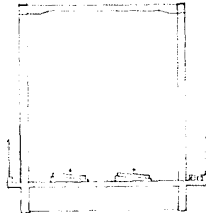
滝代北橋梁

構造種別	3径間連続PC斜張橋
スパン	55m × 90m × 55m
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直壁2m (フレキャスト)



橋梁区間 (105 km900m付近)

断面図



第三千曲川橋梁

構造種別	3径間連続下路鋼トラス桁2連
スパン	3 × 82.7m + 3 × 103m
軌道構造	スラブ軌道
防音壁の構造	直壁2m



○ トンネル上部の振動測定値

① 振動の予測及び実測値 (表 6.3-1)

土被り (m)	約 8 m
軌道構造	スラブ軌道
列車速度 (km/h)	204
○ 予測値 (12.5m 地点)	左 65.6dB 右 65.6dB
○ 実測値 (12.5m 地点)	左 63dB 右 64dB

② 向原トンネル上部 (52km380 m 付近)

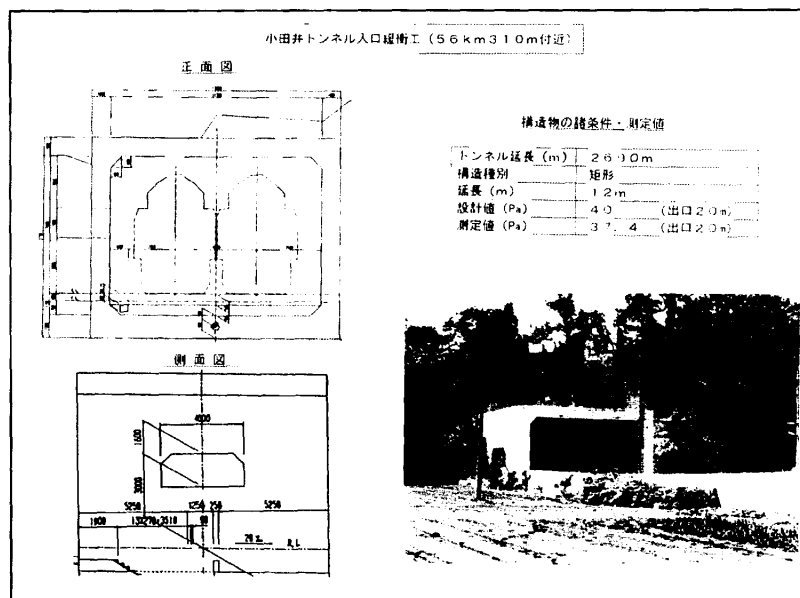
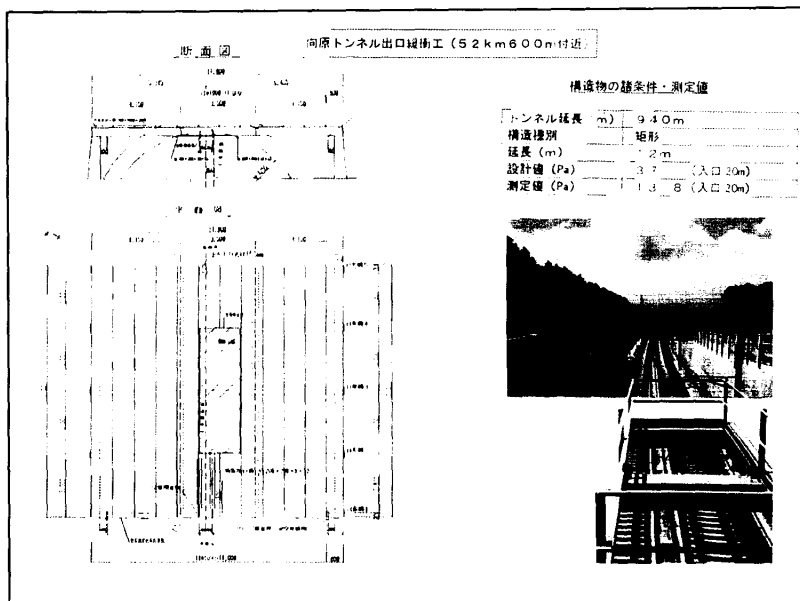
土被り (m)	2.5 m
軌道構造	スラブ軌道 (防振)
列車速度 (km/h)	159~230
振動 (12.5m 地点)	左 61dB 右 61dB

○ 代表的な緩衝工の施工例と測定値 (図 6.3-14~20)

設計値及び測定値は、緩衝工設置位置の反対側 20m 地点の微気圧波 (Pa) を示す。

○ 定点測定の結果 (県の測定) (表 6.3-2)

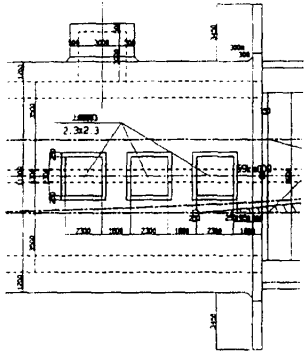
国及び県は、環境基準の達成を確認するため、新幹線沿線に 24 個所の定点を設置し、25m 地点の騒音レベルを測定している。





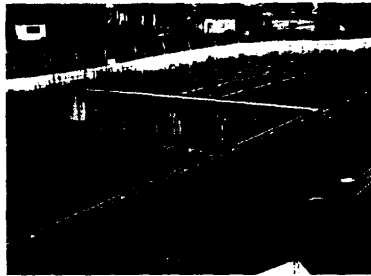
小田井トンネル出口緩衝工 (5.9km0.00m付近)

平面図



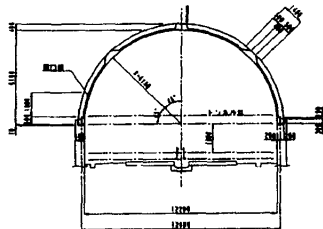
構造物の諸条件・測定値

トンネル延長 (m)	2690m
構造種別	矩形
延長 (m)	トンネル併用
設計値 (Pa)	32 (入口20m)
測定値 (Pa)	24.5 (入口20m)



浅科トンネル入口緩衝工 (6.3km8.80m付近)

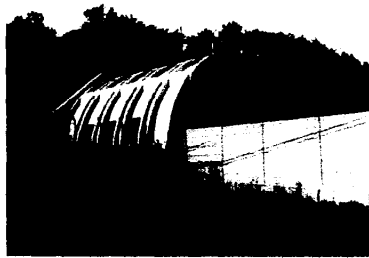
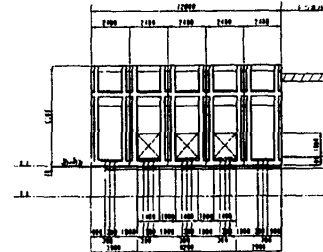
断面図

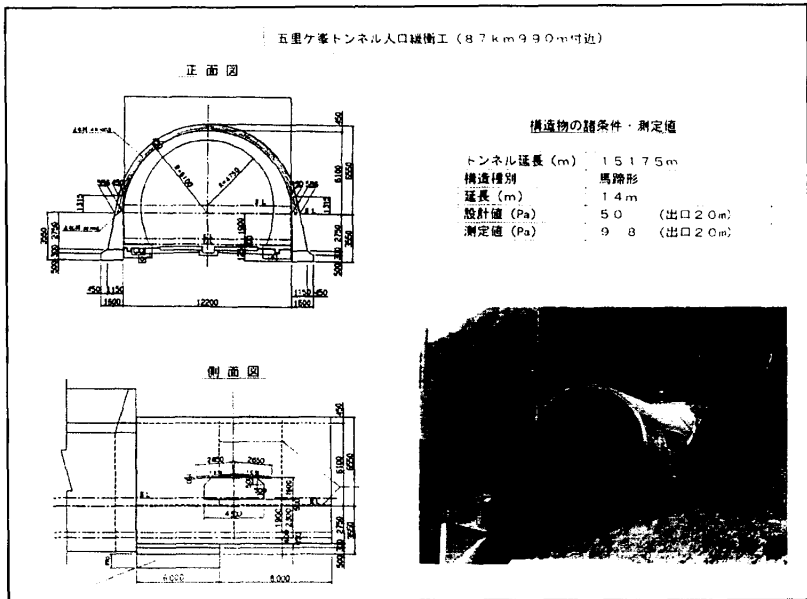
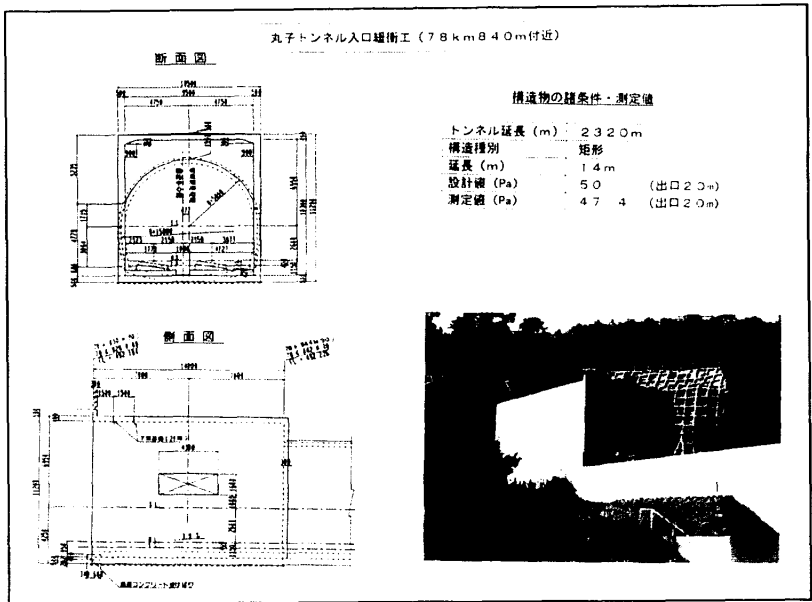


構造物の諸条件・測定値

トンネル延長 (m)	1072m
構造種別	馬蹄形 (フレキヤスト)
延長 (m)	12m
設計値 (Pa)	49 (出口20m)
測定値 (Pa)	37.2 (出口20m)

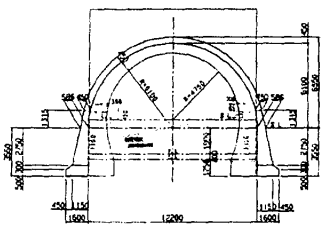
側面図





五里ヶ峯トンネル出口緩衝工 (103km170m付近)

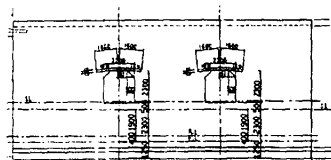
正面図

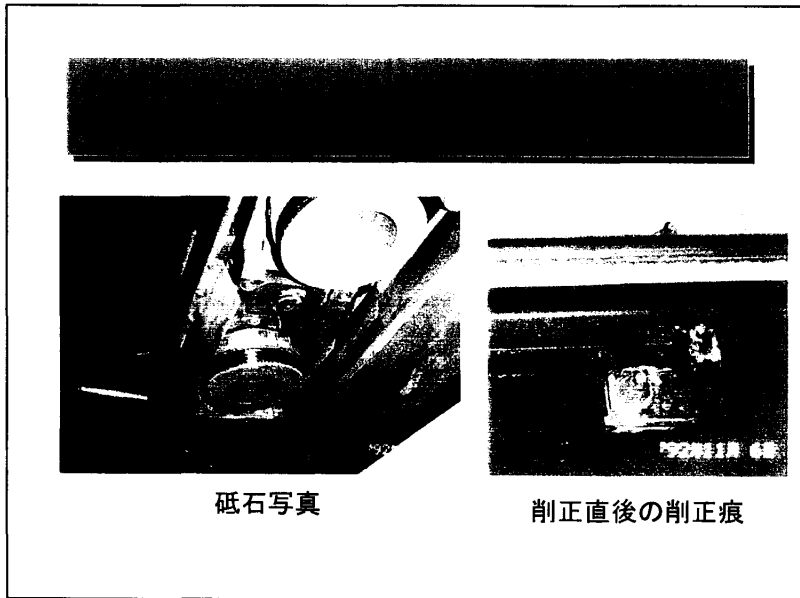
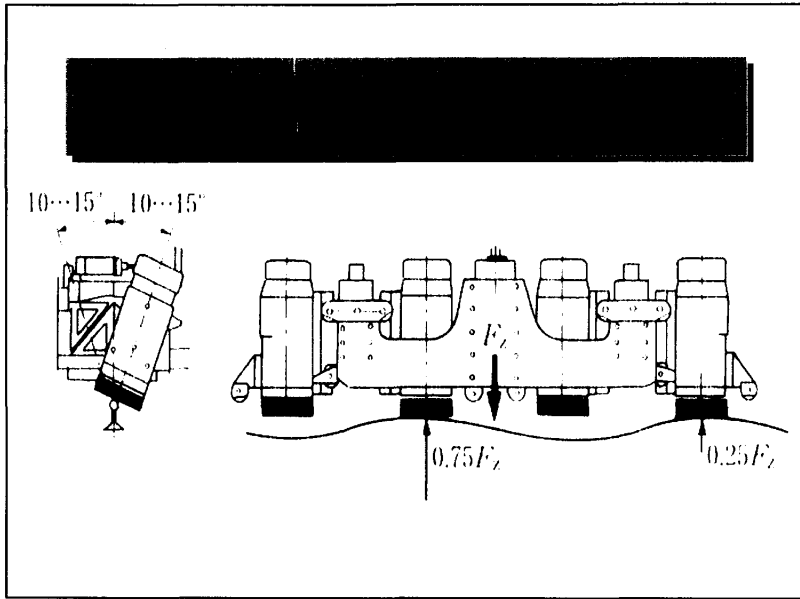


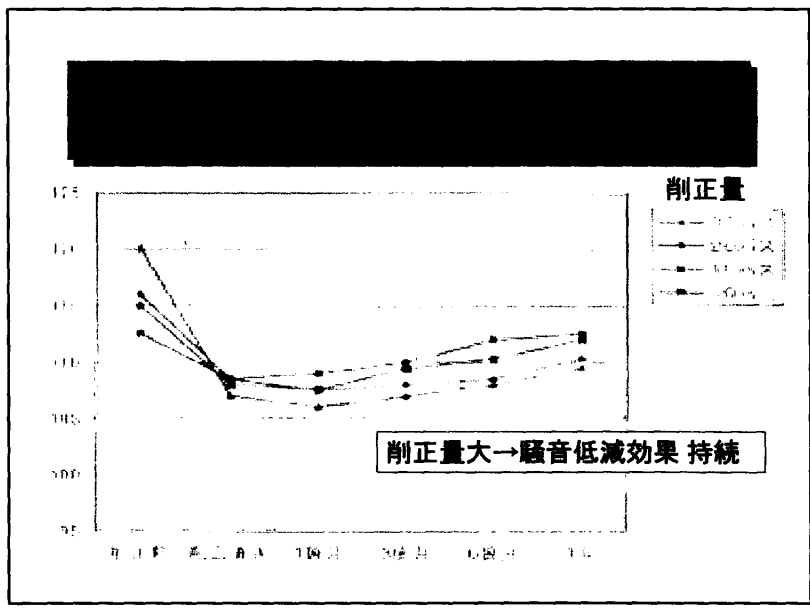
構造物の諸条件・測定値

トンネル延長 (m)	15175m
構造種別	馬蹄形
延長 (m)	21m
設計値 (Pa)	50 (入口20m)
測定値 (Pa)	16.1 (入口20m)

断面図







## 附件五

参考資料－2

防音壁の設計概要

2002年11月20日

日本鉄道建設公団

## 5. 1 防音壁

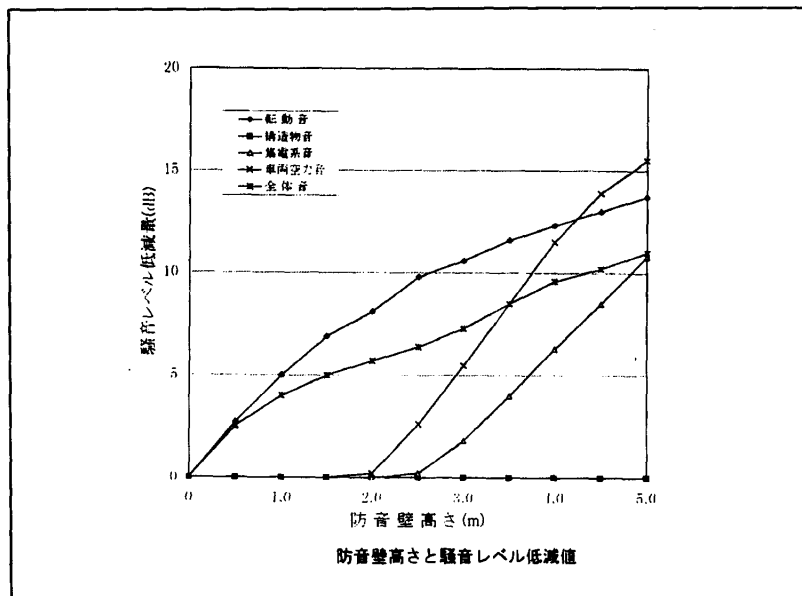
防音壁の効果 (5.1.1) (図5.1-1.2)

防音壁設置：音の回折減衰効果により、列車走行に伴う騒音を低減させる目的

回折減衰量：防音壁による音の伝播経路行路差  $\delta$  により求める。

各音源別及び全体音の騒音の低減値（高架橋 H=7m、列車速度 260km/h）

- 1 車両下部騒音に対する低減効果が最も大きく寄与
- 2 全体音では防音壁無の場合より6 dB程度小さくなる
- 3 防音壁が高くなると、空力音及び集電系音に対する低減効果は大きくなる



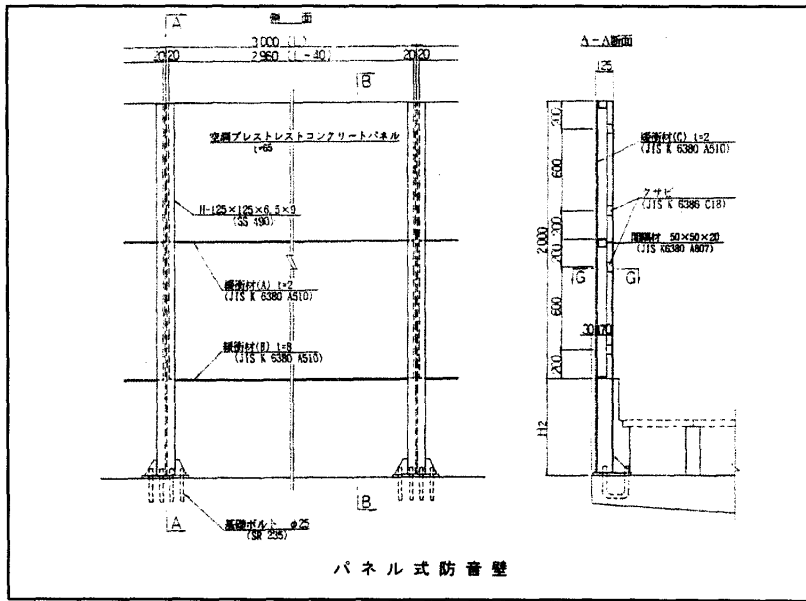
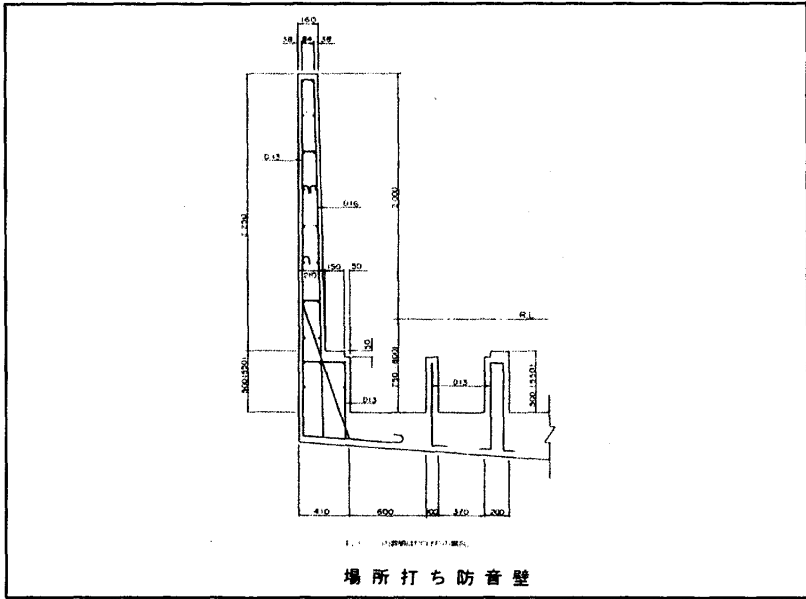


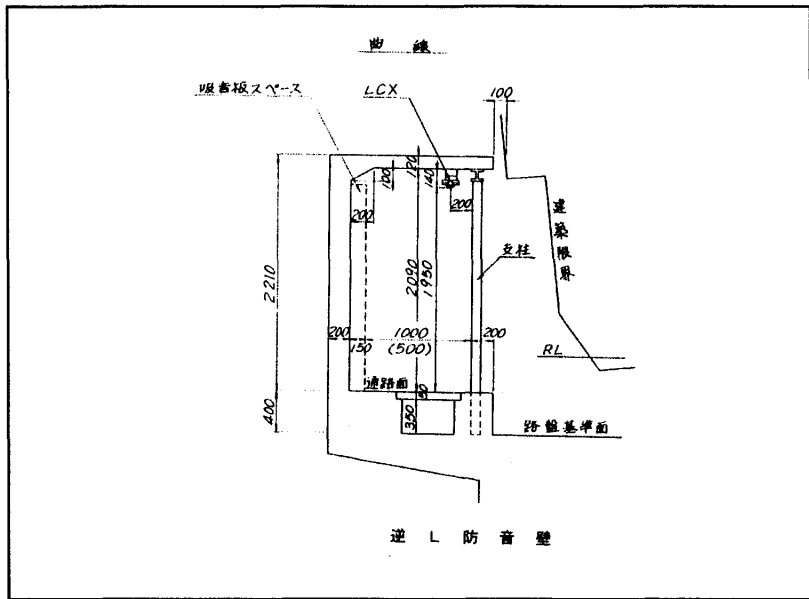
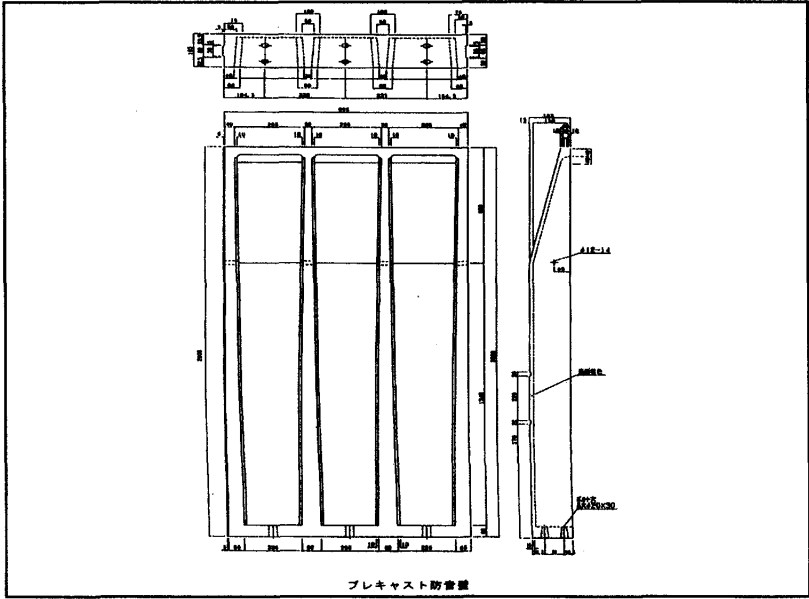
### ◎ 防音壁の設計 (5.1.2)

- 防音壁材料に求められる条件
  - ① 列車走行音に対する透過損失が十分にあること。
  - ② 外力に対する耐力を有することである。
- 必要となる透過損失は面密度が $20\text{kgf/m}^2$ 程度以上
  - ① コンクリートを用いた場合は $1\text{cm}$ 以上の厚さ
  - ② 一般には外力に対する安全性で防音壁材料の厚さが決定される。
- 防音壁に作用する外力
  - ① 死荷重、② 風荷重、③ 列車風圧、④ 飛雪荷重など
- 風荷重及び列車風圧として以下の荷重を考慮している
  - ① 常時風圧  $150\text{kgf/m}^2$  (風速 $37\text{m/s}$ 相当)
  - ② 異常時風圧  $300\text{kgf/m}^2$  (風速 $52\text{m/s}$ 相当)
  - ③ 列車風圧  $\pm 100\text{kgf/m}^2$  (新幹線の場合に考慮する)
  - ④ 積雪地で貯雪式構造を採用：降雪時の列車の排雪走行により防音壁に作用する飛雪荷重として $450\text{kgf/m}^2$ を考慮

### ◎ 防音壁の構造 (5.1.3) (図5.1-3~6)

- 新幹線において設置されている防音壁は、以下のとおり分類される。
  - ① 材料による分類
    - ・ 場所打ち防音壁、パネル式防音壁、プレキャスト防音壁
  - ② 形式による分類
    - ・ 直壁防音壁、逆L型防音壁
- パネル式防音壁  
橋りょう・高架橋の盤上死荷重の軽減が図られる
- プレキャスト防音壁  
壁と支柱が一体となった自立式の部材、材料はモルタルに高強度のビニロン等の繊維を補強材としている。プレキャスト防音壁はパネル式防音壁と比較して重量が軽い。
- 逆L防音壁
  - ① 逆Lは直壁と比べ車体と防音壁天端との隙間が少ない
  - ② 主として車両下部騒音に対する低減効果がある。
  - ③ 直壁を高くするより日照障害に有利及び車中の視界を妨げ無い。





#### 防音壁吸音材 (5.1.4)

- 防音壁吸音材は車体と防音壁間の音の多重反射を抑制
- 車両下部騒音の低減を目的
- 吸音材の設置による車両下部騒音の低減は2 dB程度、全体音としては1~2 dB程度低減
- 吸音材の材質は、グラスウール、アルミ繊維、ポリエステル繊維、セラミック等がある。
- 北陸新幹線においては吸音性能のほか耐候性、吸排水性、重量及び施工性等を勘案してポリエステル繊維吸音材を採用している。
- 防音壁への取付けにあたっては、吸音性能を向上させるため適切な背面空気層を保持するよう設置することが必要である。

### 吸音材の一般的な特徴

材 質	長 所	短 所
グラスウール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚さにより吸音率を調整可能</li> <li>・形状が自由</li> <li>・軽量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・充填の仕方では性能がばらつく</li> <li>・含水後の性能保持が困難</li> <li>・経年により変形し性能が低下</li> </ul>
アルミ繊維	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量</li> <li>・曲げ加工、打抜き加工が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高価</li> <li>・耐腐食性が多少低い</li> <li>・表面にほこりがたまりやすい</li> <li>・背面空気層が必要</li> </ul>
ポリエステル繊維	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量</li> <li>・現場での成形が可能</li> <li>・撥水処理により吸水率小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・やや高価</li> </ul>
セラミック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不燃材料</li> <li>・外観が良い</li> <li>・絶対吸水量が小さい</li> <li>・水洗可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高価</li> <li>・重い</li> <li>・背面空気層が必要</li> </ul>

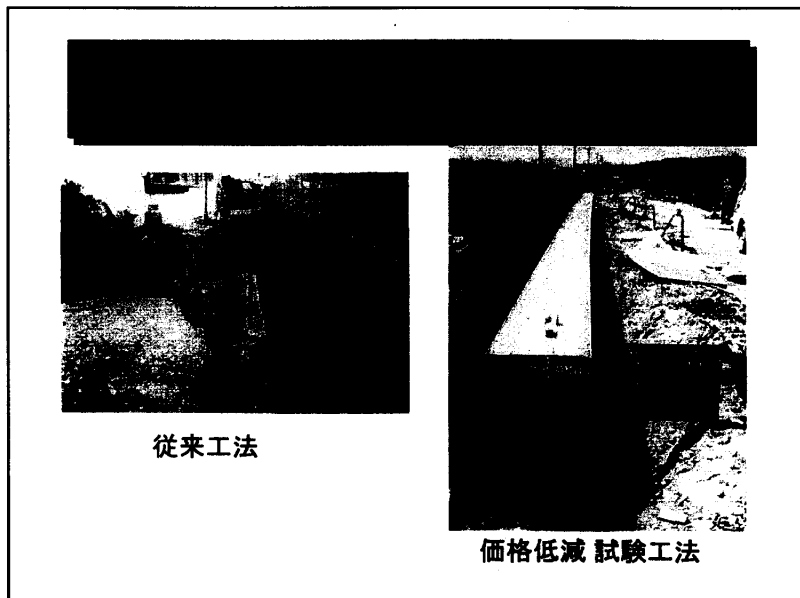
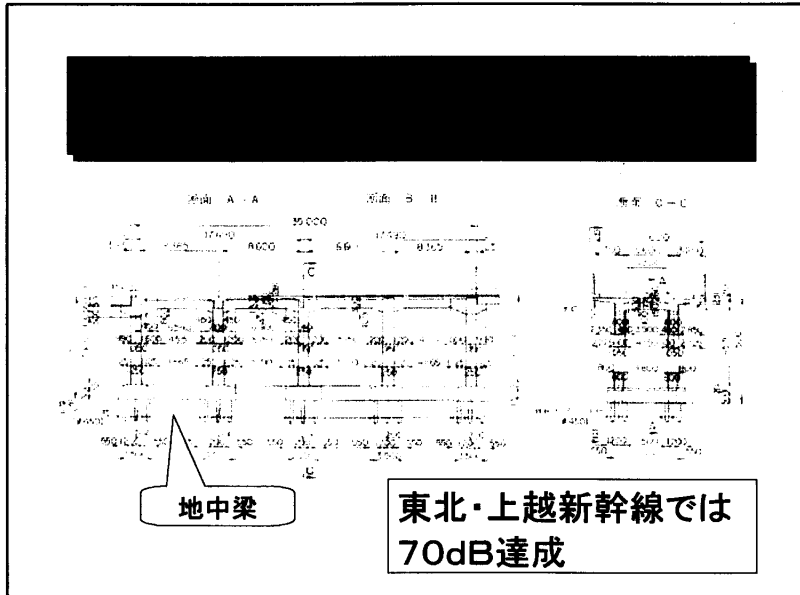
## 5. 4 地盤振動対策

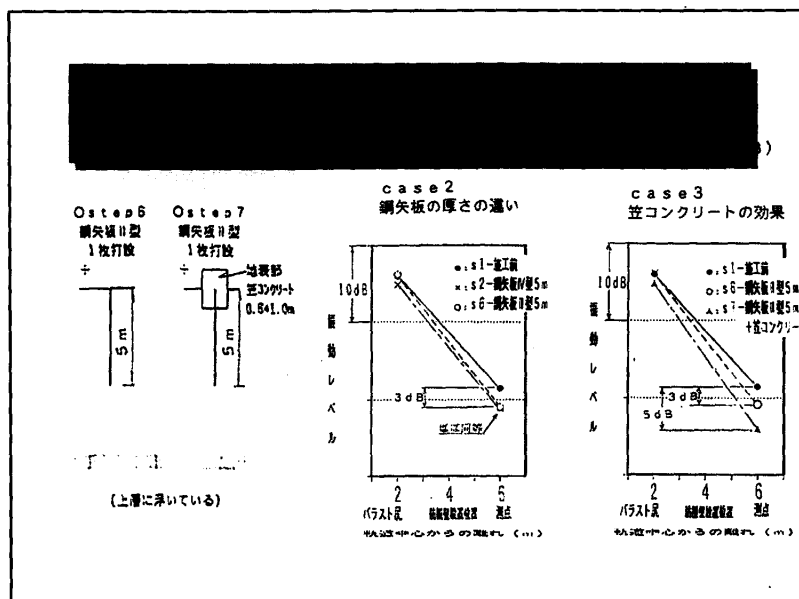
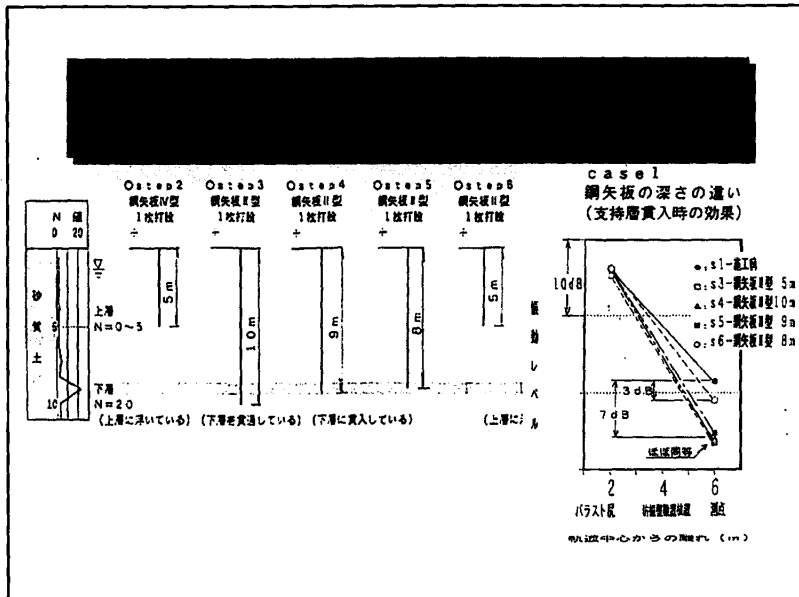
### ○ 新設線における地盤振動対策 (5.4.1)

○ 新幹線の列車走行に伴い沿線に生じる地盤振動は、構造物の形式、地盤の性状、振動源となる列車の速度・軸重等さまざまな要因に依存している。新幹線の建設にあたっては、開業後の地盤振動や速度向上を実施した場合の振動の増加等を事前に把握し、周辺環境に対し適切な構造物の選定、振動対策を施していく必要がある。

○ 新設線における主な地盤振動対策としては以下の方法があげられる。

構造物等	対策工
高架橋・橋りょう	重量・剛度の増加（部材寸法の増加）
トンネル	トンネルの重量化（部材厚の増加）
	振動遮断壁
	地盤改良
軌道	レール重量化
	防振スラブ
	低バネパット
	弾性（防振）まくら木
	バラストマット







- 堅固な地層まで貫入させる
- 上端をコンクリート[混凝土]で固定する



## 附件六

参考資料－3

トンネル微気圧波対策

2002年11月20日

日本鉄道建設公団

## トンネル微気圧波対策

### 1 緩衝工の設置基準

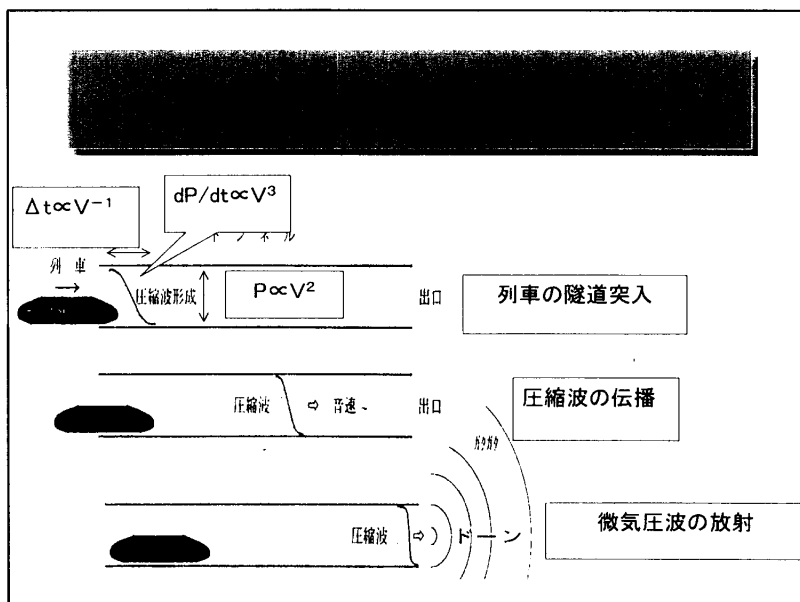
### 2 トンネル緩衝工の設計

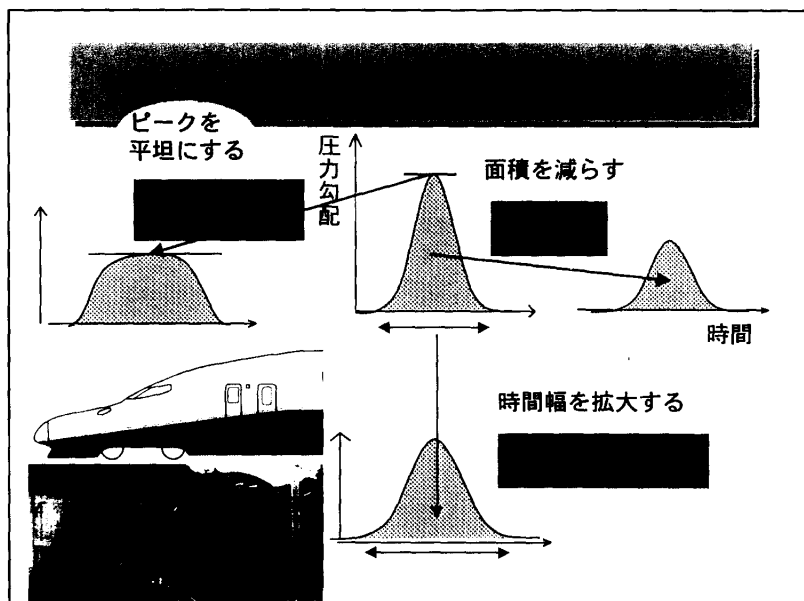
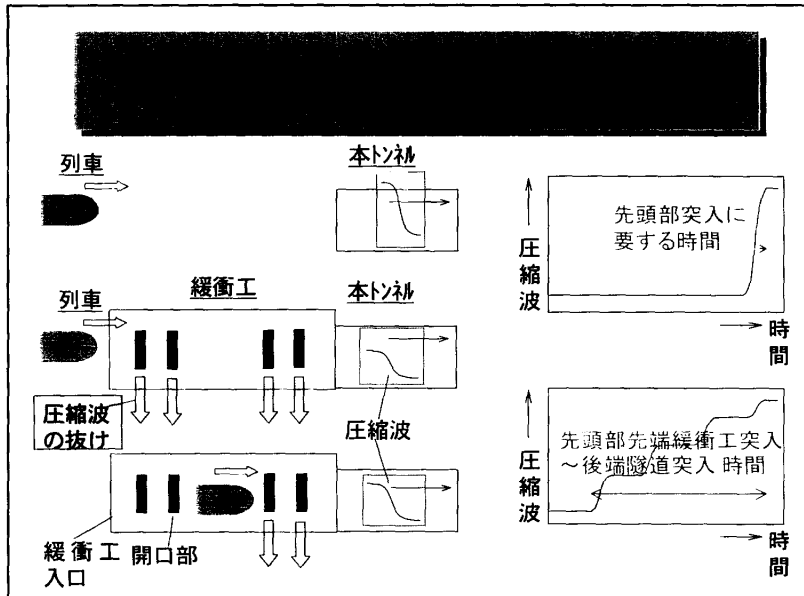
- ・ 全トンネルの対策一覧表 (表 6.2-1)
- ・ 特殊なトンネル (トンネル中間部の開口部・断面が大きいトンネル・出口付近拡大断面等) については、模型実験等により個別な検討を加えた。

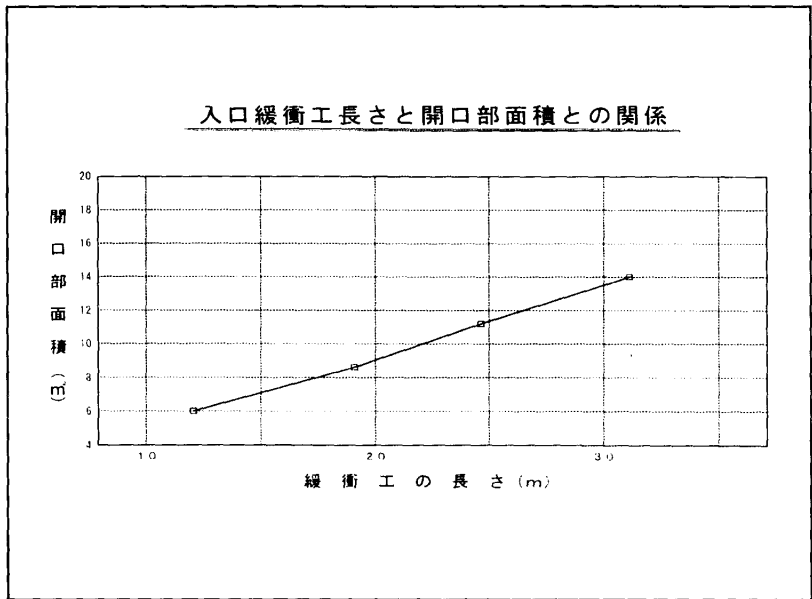
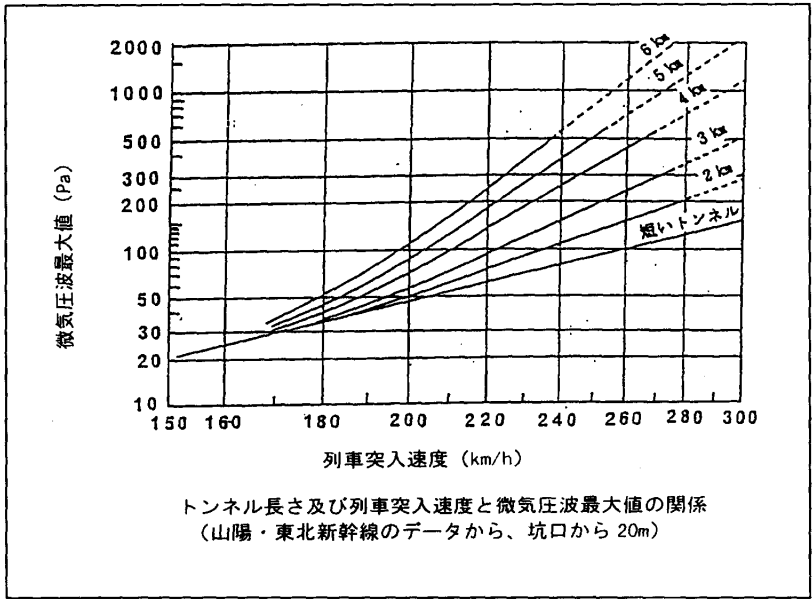
### 3 緩衝工の計算例 (資料 6-3)

### 4 緩衝工長さとの開口部面積との関係 (資料 6.2-7.8)

∴ 「8. 微気圧波対策」を参照されたい。

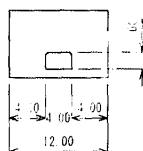




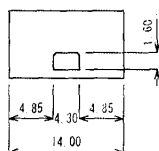


### 北陸新幹線の緩衝工長さ・開口部形状

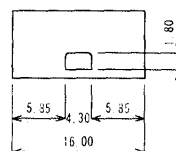
緩衝工長さ 12.0m



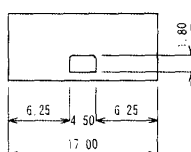
緩衝工長さ 14.0m



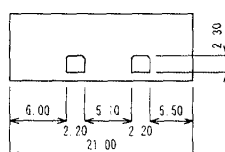
緩衝工長さ 16.0m



緩衝工長さ 17.0m



緩衝工長さ 21.0m



注1: トンネルの形状が、ぼてい形・矩形でも同じである  
 注2: ハンチの大きさは、0.5m x 0.5mとする。



○実用化済み

- ・隧道緩衝工
- ・枝坑
- ・SHELTER

○研究中

- ・ACTIVE NOISE CONTROL[有効制御]
- ・吸音材、BALLAST散布
- ・隧道内PIPE配置(枝坑と同等の機能)



- 圧縮波の一部を回り込ませ  
逃げ道を作り緩和させる

- 低減効果の理論式

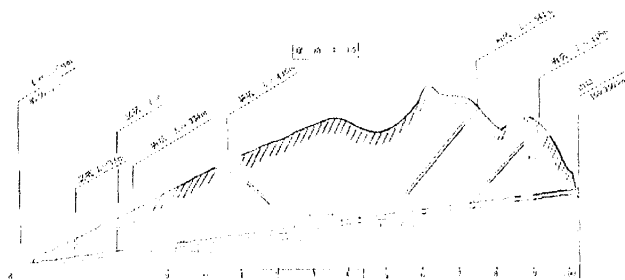
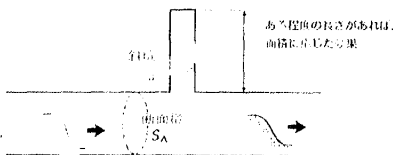
$$\beta = 2 / \{2 + (S_B / S_A)\}$$

$\beta$ : 低減率

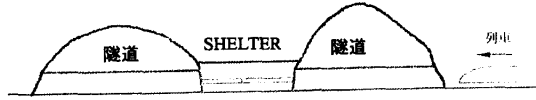
$S_B$ : 枝坑の断面積  $S_A$ : 本坑の断面積

- 圧縮波の波面が通過する時間に分岐した波が反射して  
戻ってこないだけの長さ(30m程度)が必要

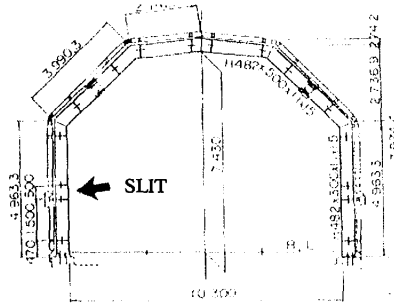
- 枝坑が大きいと、枝坑通過時に微気圧波が発生するの  
で、注意が必要



SLAB軌道、15km隧道の例



降雪区間、隧道隣接箇所：  
防雪SHELTERを設置  
→SLIT状の開口部を設け、  
圧縮波の逃げ道を作り、微  
気圧波を緩和させる





附件七

参考資料－４

新幹線の障害防止対策の概要

2002年11月20日

日本鉄道建設公団

## 7. 新幹線の障害防止対策（北陸新幹線の事例）

### （1）障害防止対策の主旨（7.2）

- 障害防止対策は、音源対策を講じても沿線家屋に対して環境基準等が達成できない場合に実施
- 沿線に所在する住宅及び地域の施設者等が、列車走行によって生ずる障害を防止し、または軽減するため必要な工事を行う。
- 対策にあたっては、その費用の全部又は一部を助成する。

### （2）関係法令等（7.3）（資料7-1～4）

- 新幹線鉄道騒音に係る環境基準について（環境庁告示）（7.3.2）
  - ① 環境基準

地域の類型	基準値
I	70デシベル以下
II	75デシベル以下

（注）Iをあたはめる地域は主として住居の用に供される地域  
IIをあたはめる地域は商工業の用に供される地域等I以外の地域であって、通常の生活を保全する必要がある地域

#### ② 測定方法等

測定は、20本の列車の騒音ピークレベルの上位半数をパワー平均測定位置は、野外において原則として地上1.2mの高さで行なう。

#### ③ 達成目標期間

新設新幹線鉄道にかかる期間は、開業時に直ちに達成する。

○ 新幹線鉄道騒音対策要綱(7.3.3) (資料7-2)

① 音源対策

音源対策が新幹線鉄道の騒音の防止又は軽減が最も基本的な施策技術開発を総合的かつ計画的に推進し、その成果を効果的に活用

② 障害防止対策

住宅及び施設の所有者が、新幹線鉄道の騒音により生ずる障害を防止し、または軽減するための必要な工事(以下「防音工事」)を行なうときは、その者に対し、その費用の全部又は一部を助成する。

③ 沿線地域の土地利用対策等

鉄道事業者は、沿線地域の土地利用等、空間の配慮に十分配慮する。国は、新幹線鉄道とその沿線地域の土地利用との調和を図る。なお、地方公共団体においても国と同様の配慮する。

○ 環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(7.3.4) (環境庁勧告) (資料7-3)

① 指針

新幹線鉄道振動の補正加速度レベルが、70デシベルを超える地域について緊急に振動源及び障害防止対策等を講ずること。

② 測定方法等

測定単位は、補正加速度レベル(単位デシベル)を用いること。測定は、20本の列車の騒音ピークレベルの上位半数を算術平均

③ 指針達成のための方針

新幹線鉄道振動の振動源対策として、構造物の振動低減対策の措置を講ずること。なお、以上の措置を講じても現在の防止技術では振動を低減することが困難な場合もあるので、早急に構造物の防振対策などの技術開発を図る。

○ 類型指定（県知事の告示）（7.3.5）

地域の類型	基準値	該当地域（主たるもの）
I	70 デシベル以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第1種低層住居専用地域</li> <li>・第2種低層住居専用地域</li> <li>・第1種中高層住居専用地域</li> <li>・第2種中高層住居専用地域</li> <li>・第1種住居地域</li> <li>・準住居地域</li> </ul>
II	75 デシベル以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・近隣商業地域</li> <li>・商業地域</li> <li>・準工業地域</li> <li>・工業地域</li> </ul>

指定する沿線の区域は、軌道中心から左右両側に「300m」以内の区域

○ 実施要領等の概要（主たる内容）（7.3.6）

（実施要領は、鉄道公団が制定）

① 新幹線鉄道騒音・振動障害防止対策処理要綱

- ・障害防止対策の対象及び実施
- ・測定・評価
- ・助成の対象となる費用及び助成額
- ・家族数に対する対象室数の居室又は寝室に対する限度

家族数	対象室
1人	1室まで
2人	2室まで
3人	3室まで
4人	4室まで

② 新幹線鉄道騒音・振動障害防止対策処理取扱要領  
・ 工事種別

対象建物	騒音レベル	工事種別
住宅	80 デシベルを超えるもの	1 級工法
	75 デシベルを超え 80 デシベル以下	2 級工法
	70 デシベルを超え 75 デシベル以下	3 級工法

対象建物	騒音レベル	工事種別
学校・病院 等	80 デシベルを超えるもの	A 級工法
	75 デシベルを超え 80 デシベル以下	B 級工法
	70 デシベルを超え 75 デシベル以下	C 級工法

③新幹線鉄道騒音・振動評価測定標準示方書（資料7-4）

・ 測定機器 ・ 測定方法 ・ 測定記録の整理

(3) 防音工事の進め方(7.4)

○ 防音工事の手順(7.4.1)

- ① 1次測定 → ○ 目的：試験列車で概ねの騒音レベルを把握  
(予備測定)
- ② 自治体説明 → ○ 各自治体及び地元関係者に開業後の測定の説明
- ③ 航空測量 → ○ 新幹線の開業日に沿線家屋の状況を測定
- ④ 2次測定 → ○ 実施時期：開業後（騒音・振動）  
(本測定) ○ 目的：沿線家屋に対する環境基準達成の確認
- ⑤ 防音工事対象 → ○ 助成対象者への通知（非対象への通知含む）  
家屋の決定 ○ 防音工事の内容及び手続きの具体的な説明
- ⑥ 助成工事の申出 → ○ 助成対象者の申出により契約手続き  
受理及び審査 ○ 助成対象者の工事見積内容の審査
- ⑦ 助成契約 → ○ 対象者と公団で契約（※住民との合意）
- ⑧ 助成工事 → ○ 助成対象者が工事を行なう。公団は見届検査
- ⑨ 助成全の支払 → ○ 銀行振込

#### (4) 施行体制 (7.4.2) (資料7-6)

##### ○ 公団の体制

① 公団の業務体制は、環境対策課、工事課、機械課、建築課及び関係建設所がそれぞれ業務分担をし効率的に実施した。

② 環境保全対策委員会の設置

##### ○ 測定コンサルの業務

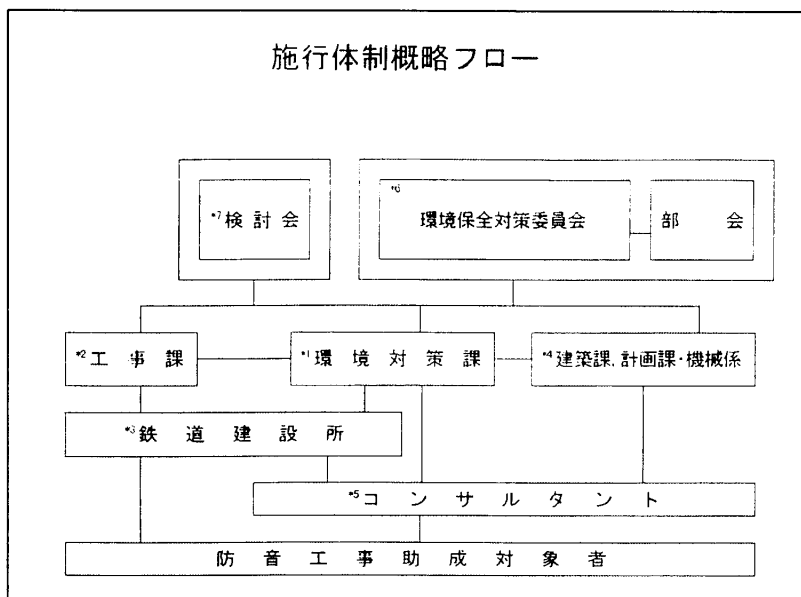
① 騒音・振動測定（1次測定、2次測定、定点測定）

② 微気圧波測定

##### ○ 助成コンサルの業務

① 各家屋の測定位置確認、測定後の通知

② 助成対象者に対する防音工事の説明から工事完了までの事務手続き。



(5) 環境測定 (7.4.3)

○ 1次測定 (予備測定) (資料7-7, 8)

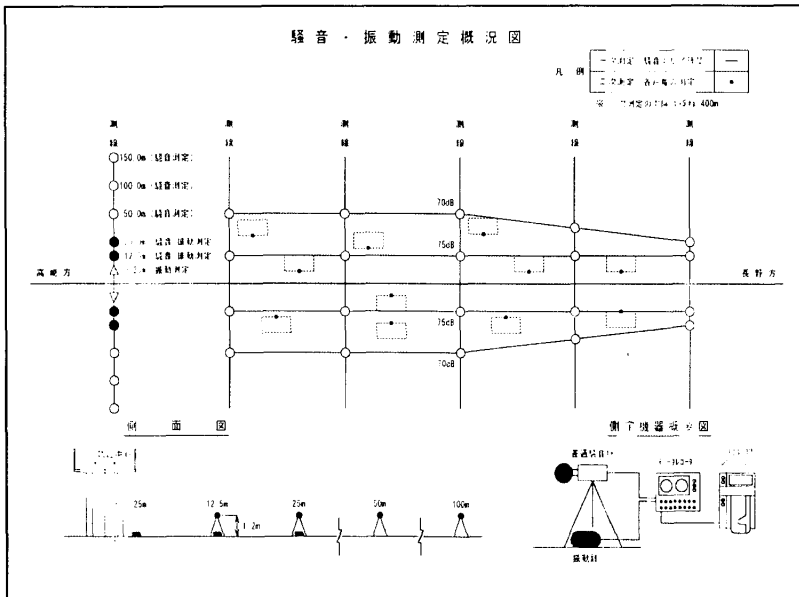
- ① 1次測定は、開業前に騒音エリア確認のための騒音・振動測定を実施し、騒音レベル分布図作成が目的である。
- ② 振動測定については、各側線における6.25m、12.5m、25m地点の振動レベルを確認した。(分布図は作成しない。)
- ③ 1次測定は、概ね「400m」の間隔で測定。
- ④ 測定時期は、総合監査・検査時の速度向上試験(260km/h走行時)及び訓練運転等のE2系車両で行った。

○ 2次測定 (本測定) (資料7-9, 10)

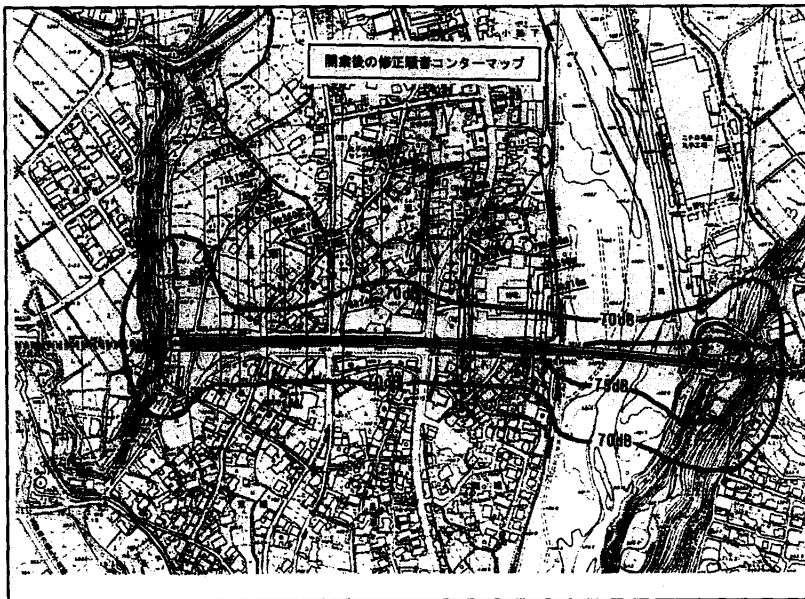
- ① 2次測定は、開業後に各家屋毎の騒音レベル及び振動レベルを測定し、環境保全目標の達成を確認するものである。
- ② 振動については、1次測定の結果、指針値の70デシベルを超えないことが確認された。

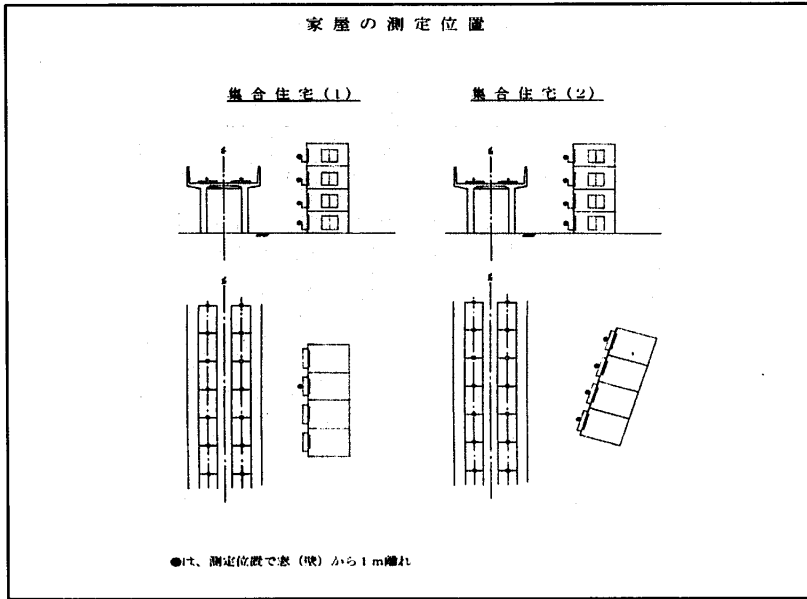
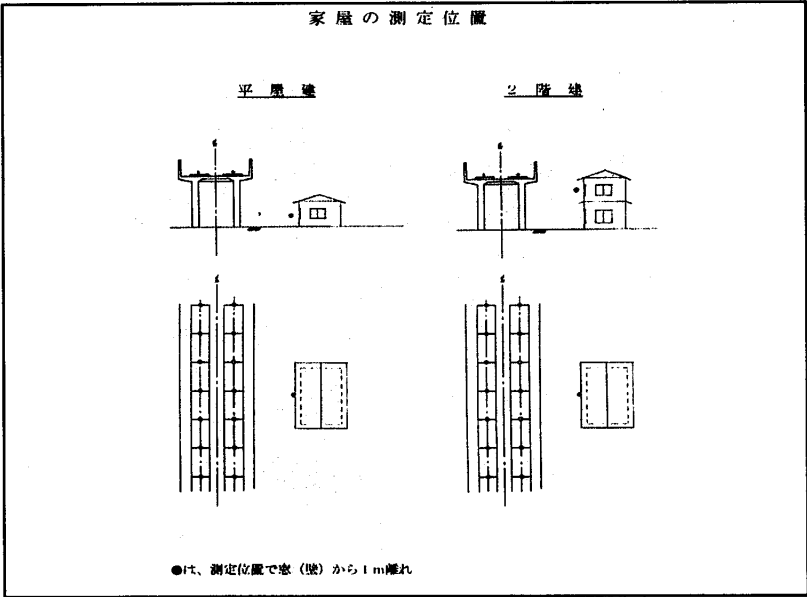
○ 微気圧波測定 (資料7-11)

- ① 新幹線の微気圧波測定は、24トンネルで行い、概ね設計どおりの測定結果であった。









附件八

## 鉄道沿線の地盤振動

吉岡 修

A Review of Studies on Ground Vibrations Induced by a Running Train

Osamu YOSHIOKA

Train-induced ground vibrations sometimes cause vibration nuisance problems along the right of way. It has been studied how to clarify basic characteristics of the vibrations and how to obtain practical methods for assessing and reducing them. This review presents the current status of studies about the vibration problem mainly taking the case of Shinkansen. It also summarizes some difficulties encountered in the studies. At present a few practical methods are available for predicting and reducing the vibrations. However, our practical knowledge is still poor because of considerable complexities of the generation and propagation mechanism. To solve the practical aspect of the problem, the basic aspect has to be further studied.

キーワード：環境振動，鉄道振動，振動評価，振動予測，防振対策

### 1 はじめに

近年では、事業に伴って発生する騒音や振動等から周辺環境を保全するため、適切な配慮が求められるようになってきている。鉄道も例外ではなく、このような問題にも十分目を向ける必要がある。振動の問題では、今まで主に新幹線を対象に基本特性の把握や予測・防振手法等が検討されてきたが、問題発生が比較的新しいことに加え、発生・伝播機構が極めて複雑であるため、まだ断片的な知識の段階にある。ここでは、このような実状を踏まえて基本特性や予測・対策手法の研究を振り返るとともに、今後の検討方向も考えることとする。

### 2 環境振動の規制と評価量

環境上の立場で問題とされる地盤振動は、最近では「環境振動」と総称されている。工場、事業場、建設作業、道路交通、鉄道から発生する地盤振動等はこの例である。これらはしばしば鉄道振動等のように略称される。これらの一部は我が国では振動規制法（1976）の対象である。鉄道振動は同法の適用外であるが、新幹線の鉄道振動については環境庁から勧告「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について」（1976）が出され、振動レベルで70 dBという指針値が示されている。なお、在来線の鉄道振動については今のところ公的な規制や勧告等はない。

環境振動の評価にあたっては、一般に次のような見方が必要とされる。

① 主に心理的・感覚的な意味で問題視されるため、人

体の振動感覚を考慮する必要がある。これには二つの側面がある。一つは人体は振動の大きさを対数的に感ずるとされること、もう一つは周波数ごとに振動感覚が異なるとされることである。

② 人工振源から発生するため、地盤振動としては地震動等と比べて相当に高周波である。したがって、何らかの平均をして評価しないと複雑に過ぎる。

③ 環境振動も振動には違いないため、大きさと周波数の両方の見方が必要である。

そこで、環境振動の評価量には、振動加速度波形をベースにして、図1のようにこれらが勘案された量が使われる。図の変換は通常は専用のアナログ電気回路を組み込んだ機器類により自動的に行われる。また、この機器類はJIS規格化されている。なお、最近の計量法の改正に伴い、振動レベルを振動加速度レベルと呼ぶ場合がある。しかし、振動加速度レベルの用語は図1の意味で既に広く流布しているため、用語の使用には十分な注意が必要である。本論の用語は従来の慣例に従った。

### 3 新幹線鉄道振動の基本特性

#### 3.1 振幅と周波数

まず、新幹線沿線の地盤振動を大きさ（振幅）と周波数から概観する。

表1はその大きさを振動レベル（鉛直成分）で示した例である<sup>1)</sup>。表の指針値超過個数数は、調査点の中で、上記の環境庁勧告の指針値（振動レベルで70dB）を超過した測点数である。これによると、沿線振動は大半の地区では指針値を下回るが、一部の地区で指針値を超過

特集：鉄道と環境

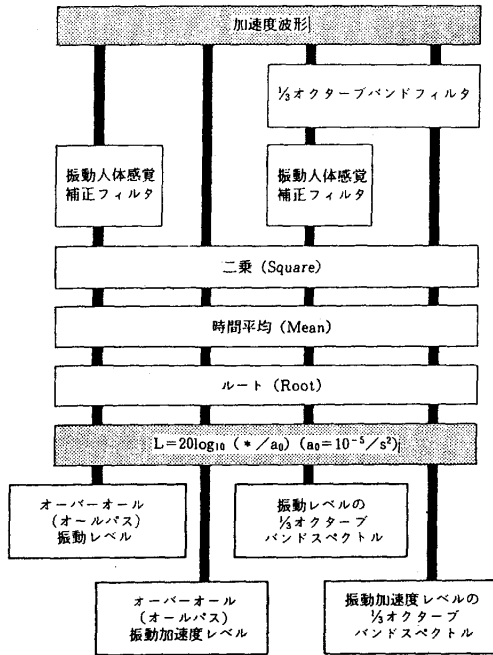


図1 振動加速度波形と環境振動評価量の関係

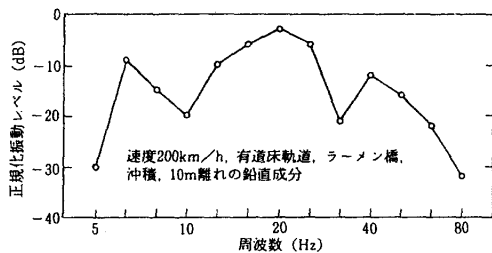


図2 振動レベルの1/3オクターブバンドスペクトルの例  
オーバーオール値を0dBに正規化し複数調査地で平均したもの。

している。また、平均値を線区別に見ると、大きい順に東海道、山陽、東北・上越の順となっており、建設年代の新しい線区ほど低振動の傾向が認められる。

次に、図2は振動レベルの1/3オクターブバンドスペクトルの平均形状を例示したものである。これによると6.3 Hz前後(低域)、20Hz前後(中域)、40-63Hz(高域)の三つの帯域に優勢な成分があり、中でも中域が最も卓越することが分かる。これは同図に偶然見られる傾向ではなく、200km/h前後で走行する新幹線の沿線振動にほぼ共通する基本的な特徴であることが分かっている。この特徴は列車の軸配置等に由来すると解釈されている。したがって、振動予測や防振手法の考察にあたっては、この優勢な成分を中心に論ずる必要がある。

表1 新幹線沿線の地盤振動レベル(環境庁)

線区	調査項目	線路からの距離		
		12.5m	25m	50m
東海道	調査点数	71	73	59
	平均振動レベル (dB)	63	59	54
	指針値超過点数	8	3	0
山陽	調査点数	48	49	51
	平均振動レベル (dB)	61	56	50
	指針値超過点数	4	0	0
東北	調査点数	46	50	50
	平均振動レベル (dB)	58	54	49
	指針値超過点数	0	0	0
上越	調査点数	25	25	25
	平均振動レベル (dB)	57	53	49
	指針値超過点数	0	0	0

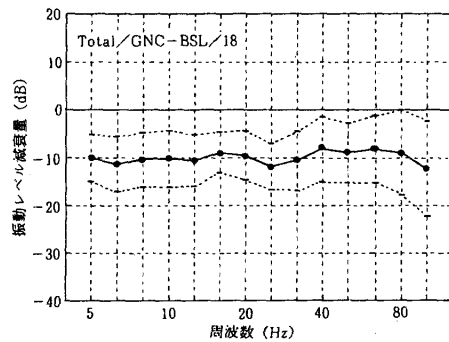


図3 高架橋スラブ面 (BSL) から柱近傍盤 (GNC) までの振動レベル減衰例  
新幹線の実測値(鉛直成分)。図左上のTotalは線区を区別しないの意味、GNC-BSLは対象測点、18の数字はデータ数を示す。実線は平均値、点線は標準偏差幅。

3.2 伝播経路中のスペクトル変化

振動が伝播する間に振動性状がどのように変化するかの実態と解釈は、振動予測や防振対策手法を考える基礎になるものである。ここでは、新幹線の高架橋区間の実測値から平均的な例をいくつか示す。

図3は高架橋スラブ面から柱近傍地盤までの振動減衰を周波数別に示したものである。かなりデータ変動を伴うが、平均的にはほぼ周波数に依らず10dB程度の減衰を生じている。最近この様子を近似的に説明するFEMモデルを考えた。線路に直交する2次元断面モデルを考え、柱やフーチングのように線路方向に材質が飛んでいる部分については質量や剛性を適当に低下して計算すると、図3のデータを概ね説明するようであった。このような2次元断面モデルが近似的にせよ妥当であれば、後述の等価起振法(4章)等に直接応用できる他、防振対策の検討等にも有効に利用できるため、この方向で議論を深める必要があると考えている。

次に、図4は柱近傍の地表から12.5m離れの地表までの振動減衰である。10-20Hz付近の周波数域で減衰が

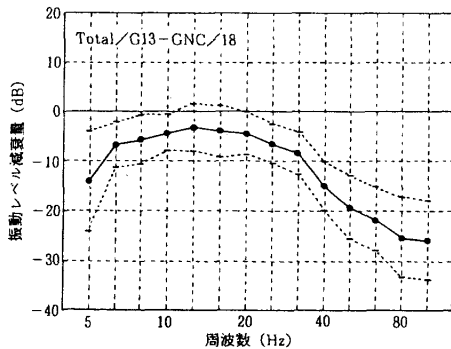


図4 高架橋の柱近傍地盤 (GNC) から12.5m離れたの地表点 (G13) までの振動レベル減衰例  
新幹線の実測値 (鉛直成分)。図の表示法は図3に同じ。距離は構造中心からの距離。

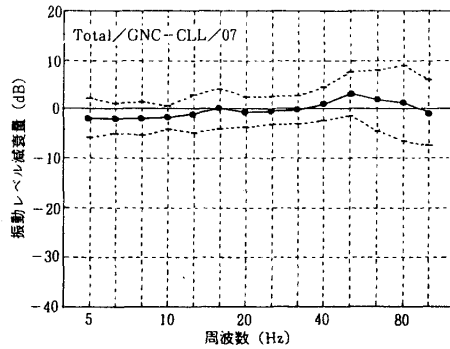


図6 高架橋の柱下部 (CLL) から柱近傍地盤 (GNC) までの振動レベル減衰例  
新幹線の実測値 (鉛直成分)。図の表示法は図5に同じ。

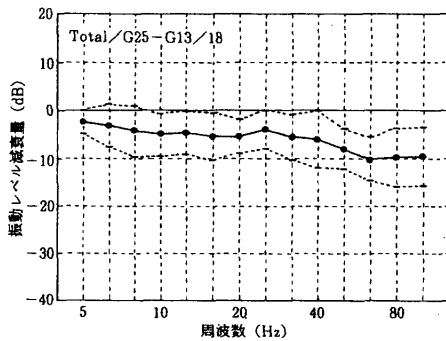
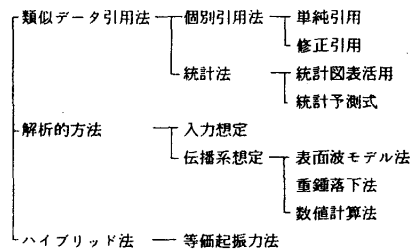


図5 高架橋の12.5m離れたの地表点 (G13) から25m離れたの地表点 (G25) までの振動レベル減衰例  
新幹線の実測値 (鉛直成分)。図の表示法は図4に同じ

小さく、それから高周波数および低周波数になるほど振動減衰が大きい。また、図5は離れ12.5mの地表から25mの地表までの減衰である。図4と異なり、高周波数になるほど減衰が大きくなるだけで低周波数側の減衰は現れない。さらに、全体的に図4より減衰が小さい。このような一般的な特徴を正確に解釈することは、複雑に変動する現地の生データから有用な情報を引き出すためにも、地盤振動の伝播機構をモデル化するためにも、避けて通れない事項である。図4は単なる地盤の共振等によるものとは考えにくい。筆者はこれを、高周波数ほど減衰が大きい傾向と、低周波数ほど減衰が大きい傾向の二つが重なったものとする。前者は地盤振動等で一般に見られる特徴で、地盤の粘性効果 (非弾性効果) である。問題は後者であるが、筆者は振源近傍で振動が急激に減衰する性質<sup>2)</sup>に起因するものとする。この性質は振源近傍だけに現れるため、図5にはそれが現れず、

表2 各種の振動予測手法



単なる地盤の粘性効果だけが見えるのであろう。さらに理解を深めるため、今後この方向の定量的な検討が必要である。

最後に図6は高架橋の柱下部から柱近傍地盤までの減衰を表す。ここはコンクリート構造物と地盤の接点に当たり、振動値が連続的には変化しないと指摘されたこともあった。このような現象が存在すると議論が著しく複雑になる恐れがあるが、現実には図のように振動値は全周波数でほぼ連続しており、複雑な境界条件を考慮する必要はないようである。

#### 4 振動予測手法

鉄道の新線建設時や大規模な条件変更時には、供用後の振動を計画段階で予測・評価する必要が生ずる。振動予測手法はこれに対応する技術である。振動予測手法の研究では、振動と各種変動要因との関係を明確にし、その知識を総合化することが必要であり、これが王道でもある。しかしこれが難物であるため、さしあたりの予測手法も同時に検討する必要がある。既往の予測手法は表2のように整理できよう。ここではこれに沿って概要を述べた後、最近検討した等価起振力法を簡単に紹介する。

特集：鉄道と環境

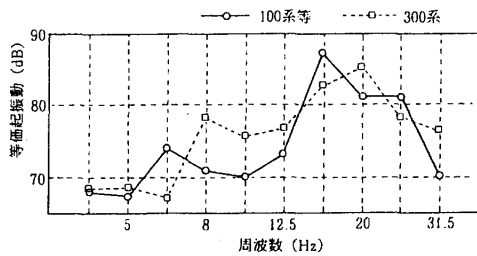


図7 A地の等価起振力  
軸重や速度が異なるため、車種（100系等と300系）ごとに示す。

表2の「類似データ引用法」は、予測したい場所と条件が類似するデータを引用する手法の総称である。「個別引用法」は、予測地に各条件が類似する営業線の場所（類似地）を捜し、類似地の振動測定値をそのまままたは適当に修正して予測値とする手法である。これに類似の手法は従来からかなり使われてきた。一見簡単そうであるが、実際に納得できる予測とするには細部の論理構成に相応の技術的センスを要する他、類似条件を追求するほど類似地の選定作業が困難になる欠点がある。「統計法」は、多数の既往実測データを統計的に分類・整理して用意しておく、それを利用するものである。従来も適当な統計図表類は適宜活用されてきたが、現状で使える統計図表は極めて限られており、むしろデータがないケースの方が多い。今後一層のデータ蓄積と整理が必要である。「統計予測式」の形にしておけばより便利であるが、質の良いデータをどれだけ万遍なく用意できるかが鍵となる。今のところ試行的な統計予測式が作られているが、まだ妥当性が十分検証されていないため、修正の可否を含めて今後十分追跡していく必要がある。

一方「解析的方法」は基礎的情報を組み立てて予測するもので、入力と伝播系を共に予測する必要がある。既往の方法は、表面波モデル法にしる重錘落下法にしる、伝播系の想定に資するものである。これらも従来実務的に利用されている。これらの方法によると予測地の振動伝播系が実測データから考察できる利点があるが、入力については別途考えなければならない。

この点、「等価起振力法」は、個別引用法の性格もつが類似条件の追求が厳しくなく、解析的方法の性格もつが入力の想定法が定まっている点で、いずれの方法よりも改良されている。FEM解析を利用するため比較的細部の条件を考慮しやすい点が利点であるが、反面、解析作業面でやや面倒となる。したがって、応用上は、ラフには統計法等で、詳細には等価起振力法でと、他の手法との使い分けを要しよう。なお、今のところ、等価起振力法の適用は線路方向に構造物が一樣に続く場合に限定される。したがって、例えば高架橋のように線路方

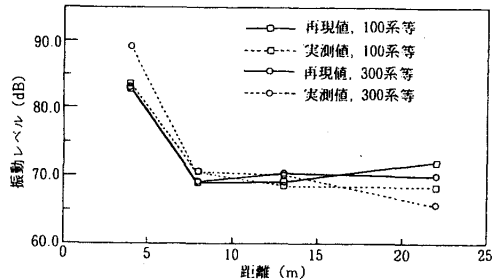
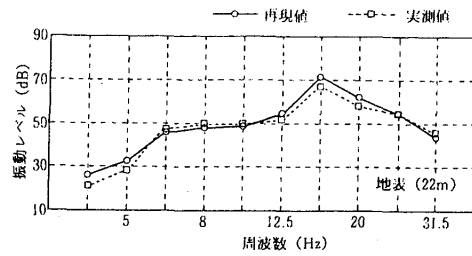


図8 A地の等価起振力から再現される振動と実測振動の比較例  
上図は振動レベルスペクトル、下図はオーバーオール振動レベルの比較。

向に柱だけで飛び飛びに地盤と接する構造区間は適用外である。この制約は3章の高架橋断面モデルが妥当であれば解消されることになる。

以下、等価起振力法の概略の手順と事例を紹介する。予測地（以下B地という）には鉄道も構造物もまだなく、建設計画だけがあるものとする。このとき、B地の鉄道開業後にどんな振動が生ずるかをなるべく合理的に予測したいという問題を考える。

等価起振力法の概略の手順は以下のようになる。

- (1) まず、車両・走行速度・軌道条件がB地となるべく類似する営業線の場所を捜し、そこをA地（類似地）とする。構造物条件は大分類が同じならばよいとする。すなわち、B地の計画構造物が盛土ならA地も盛土区間の中から選ぶが、それ以上の詳細は問わないものとする。また、地盤の類似性は原則として問わないものとする。
- (2) 次に、A地で鉄道振動を多数点について測定し、スペクトルデータを求める。そして、A地のFEMモデルを作成し、そのモデルがA地のスペクトルデータを最もよく説明するように、A地の等価起振力と称する一種の解析用起振力を求める。
- (3) 上記の等価起振力は起振力であるため、近似的にはB地にもそのまま適用できると考えられる。そこで、改めてB地のFEMモデルを作り、(2)で求めたA地の等価起振力でB地のモデルを起振すれば、B地のスペクトルが予測計算できることになる。オーバー

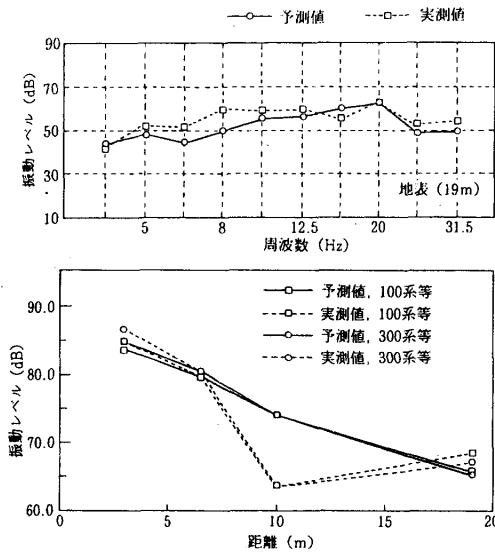


図9 地盤振動の予測計算値と実測値の比較例  
上図は振動レベルスペクトル、下図はオーバーオール振動レベルの比較。

オール値はスペクトル値のパワー和から計算できる。この手法を実際の新幹線鉄道振動でケーススタディしてみた。B地(予測地)は予測結果を照合するため営業新幹線の盛土区間とした。まず、A地(類似地)は同線のある切取区間とした[上記(1)]。軌道以上の部位はB地と十分類似するが、構造物や地盤は相当異なる。実際の応用では構造物の大分類は合わせた方がよいが、そうしなかったのは単に研究の都合である。次に、A地で列車走行時の地盤振動を数点測定して振動レベルスペクトルを求め、このデータとA地用に作成したFEMモデルとから等価起振力を逆算した[上記(2)]。求まった等価起振力を図7に示す。なお、縦軸単位等の詳細は文献3)を参照頂きたい。この等価起振力からA地の実測値を再現した例の一部が図8である。実測値をよく説明するため、等価起振力が概ね良好に決められたことが分かる。最後に、B地をFEMでモデル化し、このモデルの軌道直下相当部を等価起振力で起振して各部の応答を計算した[上記(3)]。図9に、振動レベルスペクトルとオーバーオール振動レベルの予測計算結果を、実測値と比較して例示する。これらによると、スペクトルについては、一部の特殊な測点を除き、少なくとも卓越周波数域で予測値と実測値が概ね一致した。したがって、オーバーオール値もこれを反映し、同測点を除いて概ね良好な振動予測ができたといえる。結局、このケーススタディによると、この手法の作業上特段の支障はなかったし、予測解析の結果も概ね良好であった。したがって、細部の問題は残っているが、本手法はこのままでも一応の応

表3 各種の防振対策手法

車両	軽量化	
	軸配置変更	
	バネ系変更	
	車輪フラット管理	
軌道	走行路平滑化	— ロングレール、レール削正、軌道狂い管理
	バネ低下	— 低バネパッド、弾性(防振)マクラギ、バラストマット、スラブマット、弾性直結軌道
	高剛性化	— 重軌条化、梁増設等、ラダー型マクラギ、路盤強化
	フローティング軌道	
構造物	リジット・マッピング化	
	免振装置利用	
	Passive Damper	— TMD等、Chain damper
	Active/Hybrid Damper	
	指向性利用	— 基礎形状(配置)変更
地盤	防振溝	
	防振壁	— 硬材壁、軟材壁、サンドイッチ型
	WIB	
	地盤改良	
家屋等	家屋防振工	— 基礎増打、束・梁増設
	免振装置利用	
	Damper類	

用ができ、一つの有力な予測手法になるものと考えている。今後は実績を積み必要があろう。

### 5 防振対策

防振対策手法については表3のようなものが考えられ、一部は既に実用に供している。ここでは、これに沿って既往の研究状況を振り返り、併せて今後の検討事項を考えることとする。

#### 5.1 車両の対策

考察の振動は車両が軌道に与える起振力によって発生するが、車両は移動していくため、車両で防振対策が取れば走行区間全体に効果がおよび、長大な地上設備の対策に比べ大いに有効である。防振の立場から車両に期待するのは起振力自体の低減であろう。その場合、起振力の具体的中身はいろいろ考えられるため、沿線振動に重要な起振力を見極め、しかる後それが低減可能か否かを考える必要がある。詳細は割愛するが、筆者等は沿線振動には車両の全重量が重要な因子であると考えている。

このような考えをもとに、新幹線の実物車両と営業線を使い、車両軽量化の地盤振動に与える影響が調査された。その結果、車両軽量化により沿線振動は確かに低減



特集：鉄道と環境

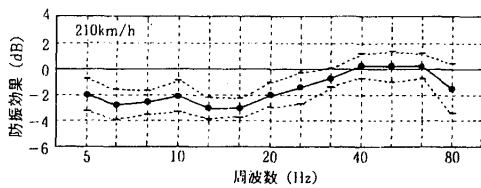


図10 車両軽量化による周波数ごとの防振効果例  
新幹線の実測値（鉛直成分）で、縦軸は軸重11.3 t車から16t車の振動を引いた値。地盤測点の平均（実線）、標準偏差幅（点線）で表示。

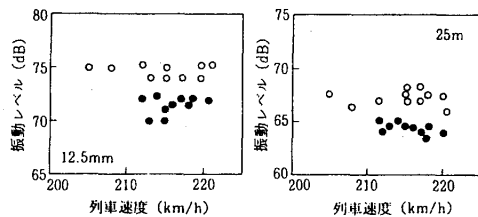


図11 300系車両(●)と通常車両(○)の振動レベル比較例  
新幹線の実測値（鉛直成分）。

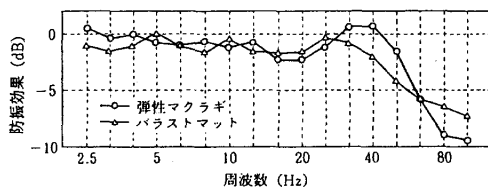


図12 弾性マクラギ、バラストマットの周波数別防振効果の例  
新幹線高架橋区間の弾性マクラギ11箇所、バラストマット13箇所の平均値（鉛直成分）。各箇所で地盤測点を平均。

すること、またその程度は概ね次のように整理できることが分かった。すなわち、軸重  $W_0(t)$  の車両を基準とした  $W_t(t)$  の車両の沿線振動レベル（オーバーオール値）の低減量  $\Delta L$  (dB) は、両者同じ速度で比べて、およそ  $\Delta L = 20 \log_{10} (W_t / W_0)$  である。これは沿線振動の加速度振幅がほぼ車両重量に比例することを意味している。なお、この結果は、車両のバネ下部ではなく、車体部の軽量化による軸重軽減から得られたものである。また、図10はこの調査で得られた周波数ごとの防振効果を例示したものである。これによると、約30Hz以下の帯域で、ほぼ周波数に依らない様な振動低減が生じていることが分かる。低周波数側の振動低減は、線路から離れてもオーバーオール防振効果が減る恐れが少ないことを意味するため、防振上非常に好ましい特徴である。これらの結果はその後登場した軽軸重車についても調査

され、基本的には妥当なことが確認されている。図11は300系とそれ以外の通常車両で振動レベルを比較した例であるが、概ね上記の防振効果が生じていることが分かる。これらの成果は300系の車両設計の基本となった他、その後の新幹線車両にも生かされ、広く応用されている。ただし、関連データの中にはまだ解釈が付かないものもある。正確なデータ整理と解釈が今後も必要であると考えている。

なお、一般に軽量化以外の車両で取りうる防振研究の事例は極めて少なく、今後の検討が待たれている。

## 5.2 軌道の対策

### (1) バネ低下法

軌道対策では軌道支持バネを軟化する方法（バネ低下法）が考えられ、一部は実用に供されている。

有道床軌道のバネ低下法については、新幹線の営業線における試験結果等から、およその防振性能が評価できるようになってきた。図12は弾性マクラギとバラストマットの周波数別防振効果を示したものである<sup>9)</sup>。同図によると、防振効果は周波数に大きく依存するが、その依存性は両者でよく似ており、バネ低下法の防振特性に共通した特徴を表すものと考えられる。また、低周波数側から20Hz付近までは周波数の増加とともに効果が増加し、20Hz付近で約2dBの効果を示す。40Hz前後に効果の小さい帯域があるが、約50Hz以上の帯域で急に大きな効果（5-10dB）を示す。したがって、振動レベルスペクトルで50Hz以上が卓越する場所では、バネ低下法により大きな効果が期待できることになる。既往経験によれば、在来線の土被りの浅いトンネル区間の地表はこの条件が満たされている可能性が高く、新幹線のトンネル区間もその可能性が少なくない。しかし、新幹線の明かり区間の卓越周波数は16-20Hzのことが多く、オールパス振動レベルの低減は（平均的には）2-3dBになる。ただし、分かっていることはほんの一部である。日常的な保線作業の中にも振動に関する要素があるかも知れないが、一々データがないのが実状である。今後一つ一つデータ蓄積が必要である。

次にスラブ軌道の場合であるが、新幹線の高架橋区間で低バネ係数軌道パッドの防振効果が調査されたことがある（バネ定数は事前の約1/2）。これによると、高架橋の近傍では5dB前後の大きな防振効果が見られたが、10m程度離れると効果が見られなかった。しかし、その後の類似試験結果もあるため、さらに検討が必要である。図13は、土被りの浅い米線トンネルのスラブ軌道区間において、レール締結装置を直結4型（60MN/m）からせん断型（5MN/m）に交換した事例である。地上の振動レベルでかなりの効果が認められるが、締結装置に保守上の課題があるとされている。図14は、普

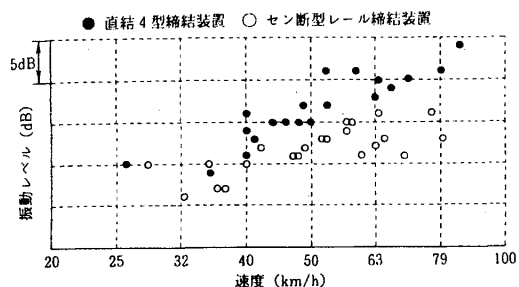


図13 セン断型レール締結装置への取替前後の振動レベル比較例  
在来線トンネル区間、実測値（鉛直成分）。〔安・藤・長藤・小林（1994）〕

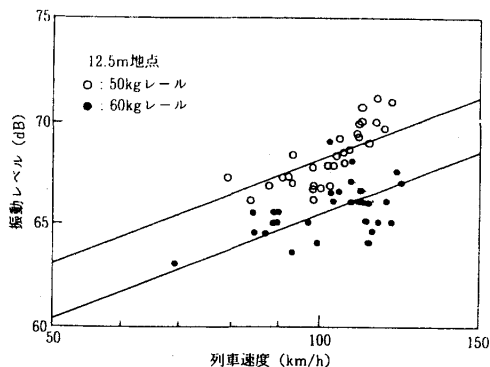


図15 50kgレールと60kgレールの振動レベル比較例  
在来線素地区間、実測値（鉛直成分）。図中実線は各々の平均線。

スラブ軌道の各部ばね定数

	軌道バットばね	スラブ支持ばね
普通スラブ軌道	60MN/m	1.25GN/m
防振A型スラブ	60	0.24
防振G型スラブ	60	0.10
2重タイプレート	20	0.24

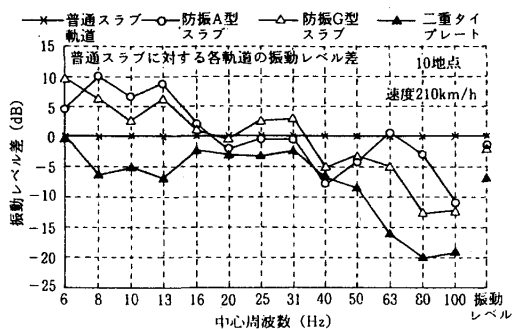


図14 普通スラブ軌道を基準とした各種の防振スラブ軌道の周波数別防振効果  
新幹線高架橋区間の実測値（鉛直成分）。異なる区間の併設軌道を比較。上表は比較軌道のバネ定数。下図は各軌道区間の測定値から普通スラブ区間のそれを引いた値。〔安藤・長藤・小林（1994）〕

普通スラブ軌道を基準に、各種の防振スラブ軌道の防振効果を周波数別に示した例である。安藤等は、防振A型スラブでは80Hz以上、防振G型スラブおよび二重タイプレートでは40Hz以上の領域で一定の低減効果が認められると評価した<sup>6)</sup>。スラブ軌道のバネ低下を実現させる方法として、弾性マクラギやセン断型レール締結装置の弾性支持部を軌道スラブに埋め込む方法、タイプレー

ト中に弾性層を設けた圧縮型のレール締結装置等の開発が、軌道グループを中心に進められており<sup>9)</sup>、成果が期待される。

(2) 高剛性化法

軌道のバネ低下法は、軟らかい材料を軌道に挿入し、事前状態に比べて軌道の支持バネを軟化させるものである。したがって、事前状態が既に一定程度以上に軟らかい場合には、この方法の実効が上らない恐れがある。例えば土路盤区間等ではこの恐れが高いと推察される。そこで、別の原理による防振方法も検討されるべきである。筆者は、その一つに線路方向の軌道の総合曲げ剛性を増加させる方法（高剛性化法）があると考えている。

モデル計算によると、高剛性化法は地盤振動低減に一定の効果がありそうなことや、路盤が軟らかい方が効果が大きくなる等の結果が得られている<sup>7)</sup>。後者はバネ低下法と逆傾向であるため、バネ低下法の短所を補うものになる可能性がある。高剛性化法の端的な実現方法はルーアのグレードアップ（重軌条化）である。図15は在来線の50kgレールと60kgレールを比較したものである。データはかなり変動しているが、一定の振動低減効果が認められる。マクラギに類似機能があるものとして、構造グループで開発が進められているラダー型マクラギが注目される。これは当初から防振を目指したわけではないが、結果的に振動低減にも有利になると考えられ営業線での評価が待たれる。また、在来線の軟弱地盤区間で、軌道直下の路盤を立体補強材（ジオセル）で強化した方法<sup>8)</sup>の防振効果が調査され、一定の効果を得られた事例がある。これも高剛性化法の一つと考えられる。軟弱な土路盤区間の振動対策の一つの方向を示す可能性があり、さらなる調査・データ蓄積が期待される。

(3) その他

この他、走行路の平滑化が考えられるが、一部を除き基本的な部分がまだよく分かっていない。今後データを

特集：鉄道と環境

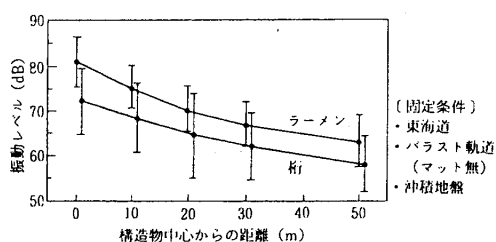


図16 ラーメン橋区間と桁橋区間の振動レベル比較例  
新幹線の実測値（鉛直成分）。図中実線は各々平均線。

蓄積していく必要がある。

5.3 構造物の対策

新幹線の既往データの統計から低振動構造物の条件が調べられたことがある。それによると、概ねマッシュでリジッドな構造物ほど低振動の傾向が認められる。例えば、ラーメン橋区間と桁橋区間を比べると、平均的には桁橋区間の方が低振動である（図16）。これは、桁橋では桁と橋脚間で構造が切れている他、現実の構造物では桁橋の方がマッシュでリジッドなためと考えられている。また、江島は、ラーメン橋区間の実測データによる統計解析から、地盤振動と比較的相関の高い要因に、梁剛度、柱剛度、コンクリート量、フーチング底面積、フーチング形式、基礎形式等を挙げ、これらがマッシュないしリジッドなほど地盤振動が小さいとした<sup>9)</sup>。これらは構造物の新設時には考慮することもできる。ただし、統計的なデータ整理はまだ一部が行われたに過ぎず、今後さらに整備していく必要がある。また、統計データだけを鵜呑みにすると危険であり、他のデータやモデル計算等でクロスチェックをする必要もあろう。

既設構造物にも応用できそうな防振手法に、各種の動吸振装置が考えられている<sup>10)</sup>。原理は古くからあるが、構造物等の防振に応用されるようになったのは最近である。passive型とactive型に2分され、passive型はその駆動に外部エネルギーを要しないもの、active型は外部エネルギーを要するものをいう。利用側からは、前者は一度作れば勝手に作動し初期投資のみで済むもの、後者は作った上に装置の運転経費もかかるものということになる。したがって、当然ながら前者で済むに越したことはない。passive型の代表はTMD（Tuned Mass Damper）である。構造物本体の振動を、本体に取り付けたTMDを代わりに振動させて、制振しようとするものである。最近になり、斜張橋のタワー部、煙突、高層ビル等の風による共振防止等に使われ出している。道路交通振動ではこの応用が研究されているが種々難しいようで、地盤振動の低減には至っていないようである。鉄道の試験例もあるが結果は必ずしも良好ではなかった。

active型は学会レベルでは現在研究が盛んであるが、現実の適用にはまだ距離がありそうである。いずれにしても動吸振装置の交通振動への応用は今後の課題である。我々もまずTMDから改めて実験を始める計画をしている。

5.4 地盤の対策

地盤の対策には、振源と防振対象間の地盤に溝や地中壁を設けて伝わる地盤振動を遮断しようとする方法が考えられ、各々「防振溝」、「防振壁」等と呼ばれている。ともにその後方（振源と反対側）で防振を期待するものである。これを利用するにはその防振設計ができなければならない。防振溝については、模型実験等から設計に必要な知識がある程度は得られているが、軌道への影響や溝自体の保守等の問題で利用しにくい。防振壁の方が検討組上に登ることが多い。しかし、防振壁の効果は非常に複雑であるため、確実な防振設計法はまだ示せない段階である。そこでここでは、今までの検討をもとに筆者の推察を交えた考え方を述べ、今後の検討方向も考えることとする。なお、防振壁材には地盤より硬い材料と軟らかい材料がありうるが、どちらが防振に有効かまだ十分明確でないため、ここでは土木材料として一般的な硬い材料の場合で考えることにする。

防振設計法を考えるには、対策原理（設計方針）をはっきりさせ、それに基づいて具体的設計法を詰めていく必要がある。後者については上記のように今後の課題のため、ここでは前者を考える。筆者はその基本を次のように考えている。

- (1) 壁下端からの回折波の影響を極力小さくする。
- (2) 壁の延長で遠からの振動の影響を極力小さくする。
- (3) 壁自体を振動しにくくする。

これを順にブレイクダウンしてみる。まず、(1)は次のように言い換えられよう。

(1) 振動の主たる伝播経路を遮断する位置に施工する。このためには振動の主たる伝播経路を把握しなければならない。それは振源の形状と地盤構造に依存するが、簡単な条件であれば（条件が分かっているとして）視察からある程度推察が可能である。複雑な条件の場合は数値計算等から地中の振動伝播状況を調べる必要がある（図17参照）。次に(3)は次のように言い換えられよう。

- 01 壁下端を固定する。
- 02 壁上端を固定する。
- 03 壁を曲がりにくくする。

このうち01については、壁下端は地中にあり複雑な施工はコスト増を招くため、筆者は下位の硬い地層に壁下端を根入れする施工方針を推奨している。下位の硬い地層は一般に振動が殆ど伝播しない。ゆえに、そこに根入れすれば壁先端が自然に固定されると考えられる。図

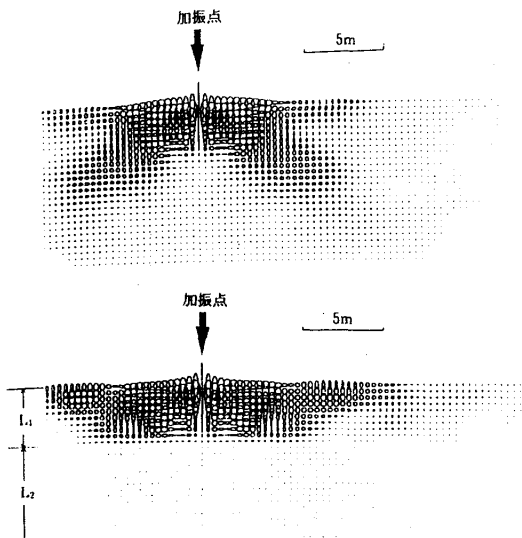


図17 振動の主たる伝播経路の表示例 (FEM計算)  
20Hz鉛直加振時の地盤内の振動伝播状況 (振幅分布) を表す。色の濃い部分は振動が大きい。上図は一様地盤、下図は2層地盤 (表層L<sub>1</sub>は上図と同じ物性、下層L<sub>2</sub>はより硬い)。上図では斜め下方に優勢なエネルギーが伝播することが、下図では水平方向に伝播することが分かる。

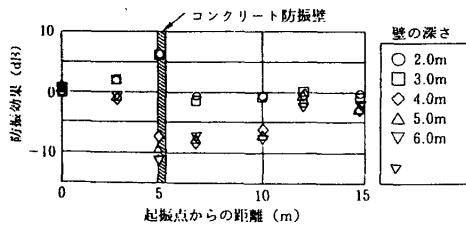


図18 防振壁下端の下層への根入れ効果の例 (FEM計算)  
地表鉛直加振時の20Hzバンド応答。地盤は層厚4mの軟弱層下に硬い層のある2層構造。壁が下層に達すると急に大きな振動低下が生じている。

18はこの状況を表す数値計算例である。次にB2については、特に壁上端の壁直交方向の水平振動抑止が重要なようである。これを複雑な施工を伴わず近似的に実現する方法として、筆者は次の施工方針が有効と考えている。すなわち、ある厚さ以上のコンクリート壁のように壁の線路方向の曲げ剛性が十分期待できる壁の場合は、特段の追加施工はしないものとする。一方、鋼矢板の連続打設のように同曲げ剛性が不足する場合は、壁上端に腹起こし工等を付け、線路方向 (壁延長方向) に壁の一体化を図る。ただし、この施工方針でB3が実現できるか否かは2次元の数値計算に乗らない問題のため、まだ検討が

表4 防振壁の設計方針と課題

対策原理	対策原理 (細目)	具体的方法 (案)	検討事項・問題点
壁下端からの回折波を小さくする	振動伝播経路を考慮して施工位置を決定	簡単な場合は視察、複雑な場合は数値計算	判定事例作成。
壁の延長以遠からの振動を小さくする	施工延長で調整	現地の振動距離減衰から検討	具体的手続き。
壁自体を振動しにくくする	壁下端を固定	下位の硬い地層に壁下端を根入れ	
	壁上端の水平振動を抑制	壁延長方向の剛性不足の場合、腹起こし工等を剛性増加	方針の妥協性検討 剛性定量化
	壁の曲げ変形抑制	深さ方向の剛性不足の場合、蒸え板や矢板増し打ち等	剛性定量化 (余り問題とならないか?) 等

不十分である。また、この施工が妥当としても、具体的な設計時には曲げ剛性がどのくらいあれば良いかの定量的基準がほしいが、まだ未検討である。さらに、B3が問題となるのは鋼矢板のような比較的剛性の小さな素材の場合と考えられる。やはり曲げ剛性がどのくらいあれば良いかの定量的基準がほしいが、まだ未検討である。

最後に(2)は施工延長に関係する。これについては現地ですみ振動減衰状況を調査し、施工端以遠の振動が十分小さくなるように施工延長を決めることを考えている。ただし、その具体的手順は検討中である。

表4は以上の考え方や検討事項をまとめたものである。これによると、設計方針の枠組みはある程度イメージされてきたと言えるが、具体的設計法に必要な個別の未検討ないし検討不十分な事項がいくつか残されている。これらを詰めていけば、上記の枠組みでより具体的な防振壁の設計法が得られ、同時に適用条件も明確化するものと考えている。また、ほぼ以上の考え方で実施された最近の貴重な現地施行例もあるため、詳細に検討しこの枠組みの妥当性も検証していく必要がある。

防振壁の他に WIB (Wave Impeding Block) という方法が提案されている<sup>11)</sup>。振源または受振体直下 (近傍) の地盤のある深さに周囲地盤より剛性の高い平板ブロック (WIB) を設置するもので、ある周波数より低周波数側で防振効果が期待できるとされる。

## 6 おわりに

以上、鉄道沿線振動の基本特性、予測、対策方法について概要を述べたが、実用的な成果となると必ずしも豊富といえないことは筆者も十分認識している。この話題は優れて境界領域の問題である。なるべく広く見渡すよう心がけているつもりだが、各専門家からは、自分ならそうは考えない、重要事項が落ちている等といった御指摘も出てきそうに思える。その際は是非お声をかけて頂きたい。また、本文でも所々に指摘したが、殆どデータも考察の足がかりもないという事項も多い。現場の問題、営業線のデータは何といっても生きた教科書である。各

特集：鉄道と環境

JRの方々には今後とも御理解と御支援をお願いしたい。

文献

- 1) 細野高弘 (1989) : 鉄道騒音振動, 騒音制御, 13(3), 135-138 (13-16).
- 2) 斎藤正徳 (1993) : Lambの問題に対する分岐線積分の寄与, 物理探査, 46(5), 372-380.
- 3) 吉岡修 (1996) : 等価起振力法による列車走行に伴う地盤振動の予測解析, 物理探査, 49(2), 136-146.
- 4) 吉岡修・芦谷公稔 (1989) : 軸重・軸配置が地盤振動に与える影響, 鉄道総研報告, 3(8), 33-40.
- 5) 吉岡修・芦谷公稔 (1991) : 軌道の支持ばね係数低下が地盤振動低減に与える効果, 鉄道総研報告, 5(9), 31-37.
- 6) 安藤勝敏・長藤敬晴・小林哲久 (1994) : 新幹線高速化のための軌道における騒音・振動低減技術(2)-各種防振軌道の現状と今後の展望-, JREA, 37(6), 13-15.
- 7) 吉岡修 (1993) : 軌道の高剛性化による振動防止効果, 鉄道総研報告, 7(4), 57-64.
- 8) 関根悦夫・村木勝巳 (1995) : 立体補強材 (ジオセル) を用いた路盤の強化, JREA, 38(2), 33-36.
- 9) 江島淳 (1981) : 新幹線鉄道の桁式高架橋における地盤振動低減対策のための基礎的研究, 鉄道技術研究報告, No.1192 (学位論文).
- 10) 土木学会構造工学(委)振動制御小(委)編 (1995) : 構造物の振動制御(3), 第3回振動制御コロキウム.
- 11) 竹宮宏和・西村昭彦・成瀬龍一郎・細谷多慶・橋本光則 (1996) : 埋設波動遮断ブロック (WIB) による新しい地盤振動対策工法の実験的評価, 土と基礎, 44(9), 21-23.

吉岡 修

所属職名：技術開発事業本部 環境防災技術開発推進部 主幹  
 電話：NTT 0425-73-7298 JR 053-7298  
 専門分野：地盤振動 物理探査

### 3.6 測定・分析方法

#### 3.6.1 振動レベル

振動の基本量には、変位、速度および加速度がある。振動レベルとは、加速度に人体の感覚特性の周波数補正を行い実効値変換した量と基準の加速度の比の対数を20倍した量であり、次式で定義される量で単位はデシベル、単位記号はdBである。

$$L_V = 20 \log_{10} \frac{a}{a_0} \quad (3.6.1)$$

$L_V$ ：振動レベル

$a_0$ ：基準の加速度 ( $10^{-5} \text{ m/s}^2$ )

$a$ ：周波数補正された加速度の実効値で次式で表される。

$$a = \left( \sum a_n^2 \cdot 10^{c_n/10} \right)^{1/2} \quad (3.6.2)$$

$c_n$ ：周波数  $n$  (Hz) における補正值

JIS C 1510 に定義される鉛直および水平方向の周波数補正特性を表 3.6.1 および図 3.6.1 に示す。

表 3.6.1 JIS C 1510 の基準レスポンスと許容差

周波数 (Hz)	基準レスポンス (dB)			許容差 (dB)
	鉛直特性	水平特性	平坦特性	
1	-5.9	+3.3	0	±2
1.25	-5.2	+3.2	0	±1.5
1.6	-4.3	+2.9	0	±1
2	-3.2	+2.1	0	±1
2.5	-2.0	+0.9	0	±1
3.15	-0.8	-0.8	0	±1
4	+0.1	-2.8	0	±1
5	+0.5	-4.8	0	±1
6.3	+0.2	-6.8	0	±1
8	-0.9	-8.9	0	±1
10	-2.4	-10.9	0	±1
12.5	-4.2	-13.0	0	±1
16	-6.1	-15.0	0	±1
20	-8.0	-17.0	0	±1
25	-10.0	-19.0	0	±1
31.5	-12.0	-21.0	0	±1
40	-14.0	-23.0	0	±1
50	-16.0	-25.0	0	±1
63	-18.0	-27.0	0	±1.5
80	-20.0	-29.0	0	±2

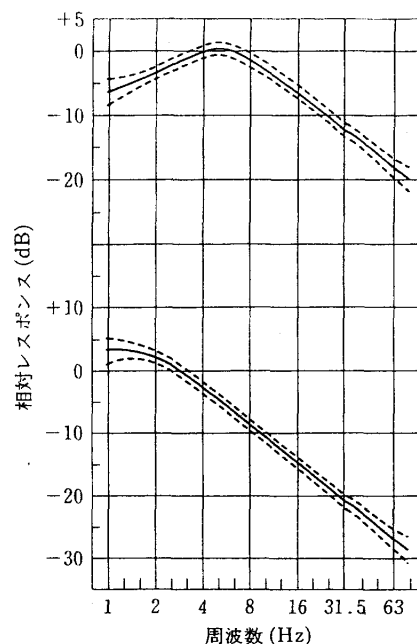


図 3.6.1 JIS C 1510-1995 の基準レスポンスと許容差

#### 3.6.2 振動ピックアップの設置方法

##### (1) 設置共振の影響低減

振動を測定するためのピックアップには、圧電型に代表されるような接触型の振動ピックアップやレーザードップラー計に代表されるような非接触型の振動計がある。環境振動を測定するために用いられるピックアップは、前者の接触型が大半である。接触型のピックアップを用いた振動測定原理は、サイズモ系と呼ばれる振動系で構成されているものである。このサイズモ系では、振動ピックアップの筐体が振動体と強固に設置されているときに振動体の揺れが筐体の中に組み込まれている受感部の動きに反映されて、その動きを電気的あるいは機械的に取り出す仕組みになっている。受感部の動きが振動体の振動量の何に比例するかによって、振動ピックアップは変位型、速度型あるいは加速度型に分類されている。このうち、環境振動の測定に多く用いられている振動ピックアップは加速度型である。いずれの振動ピックアップを

# 第 11 章

## 国際動向・各国の規格

### 11.1 国内規格と国際規格の比較

公害振動は今日では振動規制法によってその大きさが振動レベルで規制されているが、1976年以前では地方自治体の条例により主に工場振動を対象に振動が規制されていた。多くの自治体は振動量として速度の計測を行っていたが、2、3の自治体ではすでに振動レベルを計測しているところもあった。振動レベルが公害振動の評価に取り入れられた理由は、振動が物的影響よりも人体へ感覚的影響を与える度合いが大きいと考えられたためである。このために、感覚補正特性として三輪の実験結果を参考にした国際規格 ISO 2631/1974 の振動暴露限界の周波数補正曲線の逆特性が採用された。国内では、この周波数特性を基準とする振動評価を行うために、計量法における振動レベルの定義や測定器の使用を規定する工業規格 JIS C 1510 が振動規制法と時を前後して整備された。また、1987年には振動レベルの測定法に関する規格 JIS Z 8735 も出されている。表 11.1.1 に国際規格および国内における規格、法律の概要を示す。国内での人体に関わる振動の規格や法律は国際規格 ISO 2631 と深く関わっているものの、相違していることも多い。以下、その概要について述べる。

#### 11.1.1 振動測定点

振動規制法によると振動の測定は、地表面上で行うこととなっている。また、日本工業規格 JIS Z 8735 も主として地表面上での振動測定を対象としている。しかし、国際規格 ISO 2631 では、人体が接している部位での振動測定を規定しており、他の地点で振動を測定した場合にはその地点から人

表 11.1.1 全身振動に関わる規格・法律

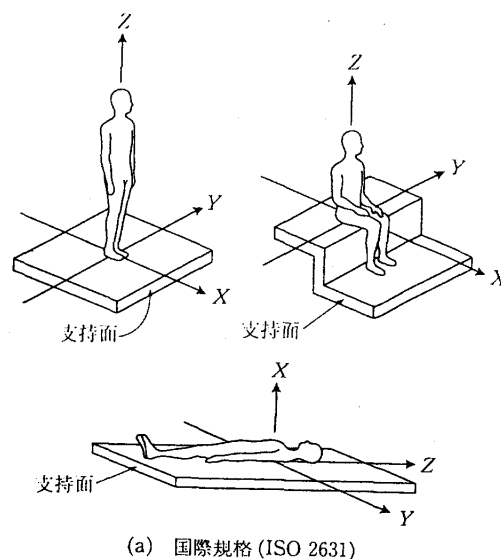
年	規格・法律	内容
1974	ISO 2631	全身振動の計測・評価の規格 振動の暴露限界のための周波数補正特性を規定
1975	計量法	鉛直方向の振動レベルの定義
1976	JIS C 1510	振動レベル計の規格 鉛直、水平方向の振動レベル
1976	振動規制法	6月公布・制定、12月施行 鉛直方向振動の規制
1981	JIS Z 8735	振動レベルの測定方法の規格
1985	ISO 2631-1	ISO 2631 が Part 1 となる 1974年の規格とほぼ同じ内容
1989	ISO 2631-2	建物内での振動の計測・評価のための規格 複合曲線を定義
1990	ISO 8041	全身振動の測定器の規格
1992	計量法	ISO 8041 との整合のための改定
1995	JIS C 1510	計量法および ISO 8041 との整合のための改定
1997	ISO 2631-1	全身振動の計測・評価に関わる一般事項を規定 周波数補正特性が変更される
1999	ISO 2631-2	改定作業中
1999	ISO 8041	改定作業中

体が接している点までの振動の伝達特性を明らかにしておくことになっている。人体に対する振動影響を正確に知るためには、確かに人体にどのような振動が入力されているかを知ることは重要と考えられるが、公害振動等の環境振動では測定上の困難も予想される。国際規格による測定方法は、重機のオペレータ等の振動機械に直接に接して作業する人や被験者実験での振動測定には適している。1985年には、ISO 2631 が第一部から第四部までの構成とされて1974年に出された規格は全

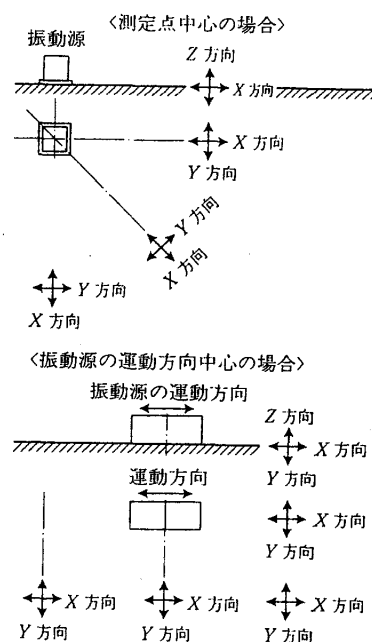
身振動評価の基本的事項を規定する規格として第一部のISO 2631-1となった。第二部ISO 2631-2は、1989年に出された建物内における振動測定および評価を行うための規格である。この規格でも、測定点は人体との接触位置となっているが、建物を中心とした測定方法に改定される動きがある。しかし、この規格においても実際に人間が生活している場所での直接的な振動測定である。これに対して、振動規制法では、境界での振動規制という立場から地表面での測定となっており、総合的な環境振動の把握はできやすいものの家屋内での個別の問題については対処が難しい方法となっている。

### 11.1.2 振動の方向軸

日本工業規格「振動レベル計」もしくは「振動レベル測定方法」で定義されている振動軸は、鉛直方向とそれに直角な水平方向である。振動規制法は、このうち鉛直方向振動を規制の対象としている。ISO 2631に定義される振動軸は、人体を中心と考えられた軸であり、日本の鉛直方向は国際規格のZ軸に対応し、水平方向はX軸もしくはY軸に対応している。図11.1.1に、国際規格と国内規格の振動軸の違いを示す。振動感覚補正のための周波数特性は、もともと国際規格に定義される人体を中心とした軸方向に振動を暴露して得られたものである。したがって、我が国で用いられている鉛直方向の周波数補正特性は、座っているか立っている人に対して鉛直方向に暴露される振動を評価するための特性といえる。この周波数補正特性は、寝ている人に対しては背中から胸の方向に暴露される振動の評価になる。1989年に出されたISO 2631-2は建物内での振動の測定・評価手法について規格したものである。この規格は、建物内では人間の姿勢特定が困難なこと、つまり振動軸が特定できない場合には、人体にあらゆる方向から振動が暴露されることを想定した評価方法を示している。このように、国際規格では人体軸を中心とした振動測定を第一に考えているが、日本では人間の姿勢を特定した条件で振動軸が定義されているのも相違点の一つである。



(a) 国際規格 (ISO 2631)



(b) 国内規格 (JIS Z 8735)

図 11.1.1 国際規格と国内規格の振動軸の相違

### 11.1.3 振動評価法

環境振動評価のための振動量として我が国ではデシベル変換した振動レベルが使用されている。国際規格では基本的には絶対値が用いられるが、加速度を基準値としてデシベル化する場合には、我が国の基準  $10^{-5} \text{ m/s}^2$  に対して国際規格では



$10^{-6} \text{ m/s}^2$  であり 20 dB 大きな値となる。振動レベルの読み方は、3.6.5 すでに述べたように、振動レベルが時間的にどのように変動するかを分類したうえで3つの方法が採用されている。これに対して、国際規格では周波数補正を行った加速度の実効値を基本的な評価量としているが、波効率（クレストファクター）が9よりも大きい振動については実効値による評価に加えて次に示す2つの方法のうちいずれかを用いることとしている。

#### ①移動実効値法 (running r.m.s. method)

間欠的な衝撃や過渡的な振動評価に対して適用されるもので、特に不快感に対して、実効値評価では過小評価すると考えられるときに適用することになっており、次式で与えられる振動量の最大値が用いられる。

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{1/2} \quad (11.1.1)$$

ここに、 $a_w(t)$ ：周波数補正加速度

$\tau$ ：移動平均の積分時間

$t$ ：時間（積分変数）

$t_0$ ：観察時間（瞬間的な時間）

であり、この式は次の指数積分で近似される。

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 \exp \left[ \frac{t-t_0}{\tau} \right] dt \right\}^{1/2} \quad (11.1.2)$$

この式を対数変換すると、実は振動レベルの瞬時値と同じであるが、 $\tau = 1 \text{ s}$ （日本の振動レベル計では  $\tau = 0.63 \text{ s}$ ）が推奨されている点が異なる。評価量は振動の計測時間中に検出される  $a_w(t_0)$  の最大値であり、我が国で用いられている周期的もしくは間欠的に変動する振動レベルの評価法とはほぼ類似している。

#### ②4乗則暴露法

(fourth power vibration dose method)

この方法は、クレストファクターが大きい振動の波形の最大値（ピーク値）を基本評価量である実効値以上に大きく評価することを目的と考えられた評価指標であり、次式で定義される。

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{1/4} \quad (11.1.3)$$

ここで、 $a_w(t)$ ：周波数補正加速度

$T$ ：測定時間

である。この式では、計測時間中の平均は行われていない。

以上のように、振動評価手法については日本の評価手法と類似している点もあるが、VDVについては全く新しい方法である。国際規格では、時間率レベルによる評価がないことも大きな相違点である。

#### 11.1.4 周波数補正特性

振動レベルの周波数特性についてはすでに述べたように、ISO 2631/1974の振動暴露限界を基に決められたものである。しかし、1997年のISO 2631-1の改定では、従来Z軸振動に対して最も敏感とされていた周波数範囲4~8 Hzが、4~12.5 Hzとされた。また、XあるいはY軸方向の1~2 HzとZ軸方向の4~8 HzではZ軸方向で1.4倍（3 dB）小さく感じるとされていたものが、感覚的な影響に対しては感度差がないとされた。したがって、4 Hz以上の周波数で卓越する鉛直方向の振動を評価する場合には、国際規格の周波数補正特性の方が最大4 dBほど大きくなる。参考のために、図11.1.2に、JIS C 1510の鉛直方向、ISO 2631-1のZ軸方向およびISO 2631-2の複合特性の各周波数補正特性を示す。

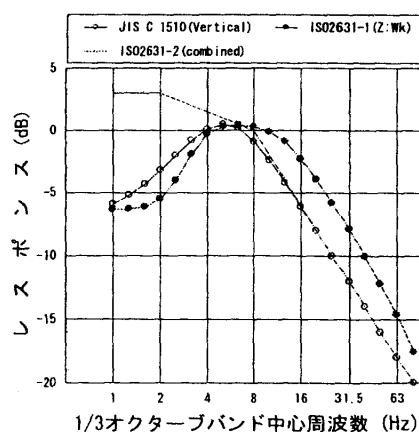


図 11.1.2 各種規格の周波数補正特性

#### 11.1.5 測定器の規格

公害振動あるいは人体に関わる振動の測定器に関する規格を出したのは日本が最初であるが、1989年には全身振動の測定器に関する規格 ISO 8041 が出版された。この規格では、環境振動に関しては1997年に改定される以前の ISO 2631-1 および ISO 2631-2 の複合特性の周波数補正特性を用いる測定器が規定されている。JIS C 1510 は周波数補正特性を直線的な形状で与えていたが、ISO 8041 は電気回路で実現可能な伝達関数で与えており、

したがって曲線的な形状の周波数補正特性となっている。ISO 8041 が出版された当時、国内規格の国際規格への整合が行われていた時期であり、1995年に JIS C 1510 の周波数補正特性も ISO 8041 に整合された。ただし、時定数の動特性や振動加速度の基準値は従来そのままとされている。しかし、ISO 2631-1 の周波数特性が改定されたことに伴い、ISO 8041 の改定についても検討が進められており、近い将来、測定器についても国際規格との乖離が生じる可能性がある。

# 第9章

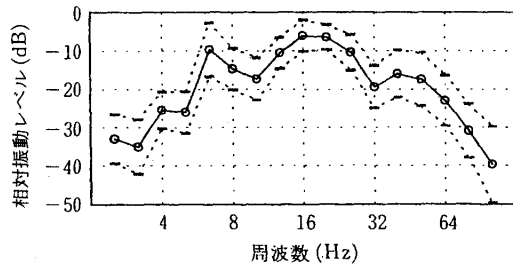
## 振動対策の事例

### 9.1 交通振動

#### 9.1.1 在来鉄道および新幹線

##### (1) 鉄道振動の特徴と対策手法の種類

振動対策を検討するうえで、対象とする振動の特性を把握しておくことが重要である。図9.1.1は、新幹線高架橋区間の構造中心から約10m離れた地表点における1/3オクターブバンドスペクトルの平均形状の例である。これによると、6.3Hz付近(低域)、16~20Hz(中域)および40~50Hz(高域)の3つの帯域にピークをもち、なかでも16~20Hz帯が最も卓越している。これは、列車速度200km/h前後の新幹線沿線の振動に共通しており、軌道や構造物・地盤条件にはあまり依存しない特徴である。低域および中域の周波数は列車速度とともに高周波数側に移動するが、高域の周波数は列車速度にはあまり依存しないことがわかってきている。また、現時点では、この特徴は車両の軸配置と列車速度の関係で説明できると考



東海道新幹線、有道床軌道、ラーメン高架橋、沖積地盤の条件の約100か所における高架橋から約10m離れた場所での実測値。列車速度は約200km/h。各実測値のオールパス振動レベルを0dBに規格化した相対スペクトルの平均値(○)と標準偏差(-)を表示。

図9.1.1 新幹線沿線振動の周波数特性<sup>1)</sup>

えられている。このように鉄道振動は走行する列車の車両条件や速度等によって特徴的なスペクトル特性を有している。よって、その対策には、周波数特性を事前に把握し、卓越する周波数帯で一定の効果が発揮される対策を選定することが重要となる。

鉄道における振動対策として、今まで図9.1.2に示すような手法が考えられてきた。車両における対策は、その走行区間全体に効果が及ぶため、全線にわたって平均的に振動低減を図る必要がある場合は非常に有効である。一方、ある特定の箇所や区間のみをスポット的に対策したいという場合には、対策箇所の状況に応じて適切な地上対策を選定することになる。図9.1.2に示した各種手法は、すでに実用化しているものから基礎検討の段

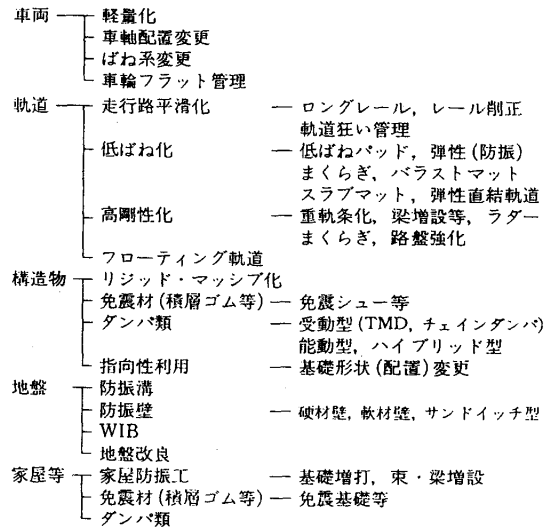


図9.1.2 各種の振動対策手法<sup>1),2)</sup>

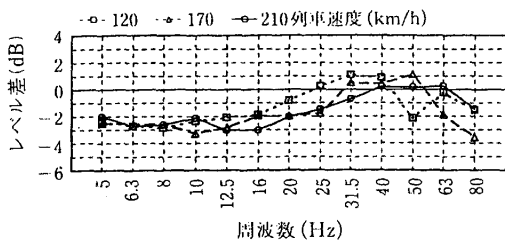
階のものまでであるが、以下の項では、その主なものについて、旧国鉄やJR各社で実施された対策事例を紹介する。

(2) 対策事例

a. 車両の対策

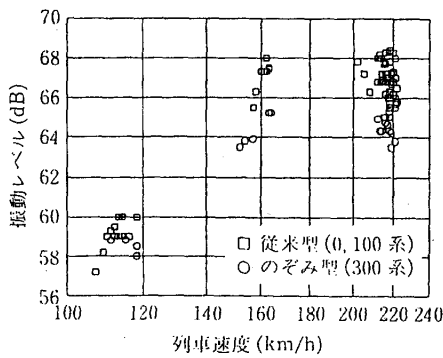
① 車両軽量化

車両の軽量化と地盤振動の関係については以前から各種の研究が行われてきたが、20 Hz前後が卓越する鉄道振動に対しては、車両の全重量が重要な因子であることが明らかとなってきた。図9.1.3は、通常軸重16 tの新幹線車両の車体部を改造して軸重11 tに軽量化した試験車で走行実験を行い、軽量車と通常車の1/3オクターブスペクトルのレベル差（軽量化の効果スペクトル）を求めたものである。列車速度210 km/hでは約30 Hz以下の周波数帯ではほぼ一様に振動が低減している。図9.1.4は、のぞみ型新幹線車両（300系、軸重約11 t）と従来型車両（軸重約16 t）の営業車の振



縦軸は軸重16 t車両に対する11 t車両の1/3オクターブスペクトルのレベル差。沿線地表点の平均値。

図9.1.3 車両軽量化の防振効果<sup>1)</sup>



高架橋区間の構造中心から25 m離れた地表での実測例。

図9.1.4 のぞみ型(300系)と従来型新幹線車両の振動レベルの比較<sup>1)</sup>

動レベルを比較した例であるが、のぞみ型車両の方が約3 dB低振動であることがわかる。こうした現地測定やモデル計算（詳細は後述する）などから、現時点では、軸重 $W_0$ の車両を基準とした軸重 $W_1$ の車両の軽量化の効果 $\Delta L_V$ （振動レベル差、単位dB）は、

$$\Delta L_V = 20 \log_{10}(W_1/W_0) \quad (9.1.1)$$

で近似できると考えられている。

② 車軸配置変更

はじめに述べたように、新幹線沿線の地盤振動の特徴的なスペクトル形状は、列車走行に伴う車軸の規則的な繰返し加振の影響が主たる要因であると考えられている。逆にいえば、この車軸配置を変えることによってスペクトル形状は変化することになり、適切な車軸配置を選定すればオールパスの振動レベルも低減できる可能性がある。この考え方に基づいて、モデル計算で車軸配置と地盤振動の関係が検討されている。その結果によると、車両長 $A = 20 \sim 25$  m（現行25 m）、軸距 $a = 1.5 \sim 3.5$  m（現行2.5 m）、台車間距離 $b = 11 \sim 19$  m（現行17.5 m）の範囲で振動レベルを計算すると、 $(A, a, b) = (22.1, 18.1, 2.1)$ の車軸配置の場合が最適で、現行配置に比べて3.0～3.5 dB低振動になると推定されている（図9.1.5参照）。実際には振動対策の観点から車軸配置を変更した事例はないが、関連する事例として次のような例がある。山形新幹線の開通前に実施された

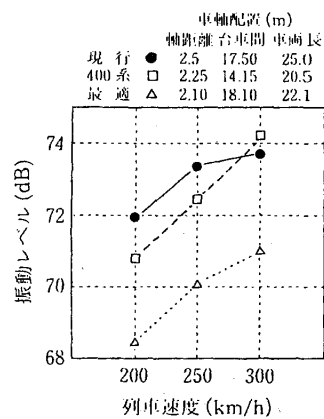
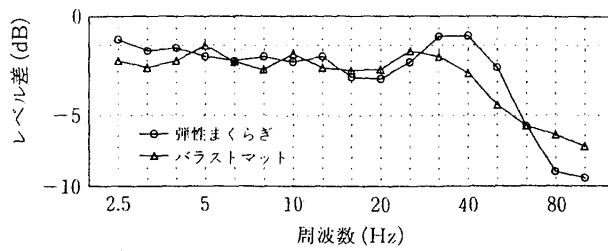


図9.1.5 車軸配置変更による振動レベルのモデル計算例<sup>2)</sup>



縦軸は施工前後の1/3オクターブスペクトルのレベル差(事後-事前)、新幹線の高架橋区間の地表における平均値、列車速度は約200 km/h.

図 9.1.6 バラストマットと弾性まくらぎの防振効果<sup>3)</sup>

つばさ型車両(400系、他の新幹線車両と車軸配置が異なる)の走行試験において、つばさ型車両は車両軽量化から想定される効果よりも大きな振動低減効果が得られた。当時この原因は明らかにはされなかったが、車軸配置変更の効果を加味すれば説明できると考えられる(図9.1.5参照)。このように、車軸配置と地盤振動との関係は、新たな低振動車両の開発を行う場合には貴重な知見となる。

#### b. 軌道の対策

##### ①低ばね化法

軌道の対策の1つとして軌道支持ばねを軟化する方法(低ばね化法と略称する)がある。有道床軌道の低ばね化には、バラストマットや弾性まくらぎが用いられている。新幹線の高架橋区間における対策効果の調査例(ともに10数か所の実施例がある)によると、振動レベルの低減量は、バラストマット、弾性まくらぎともに高架中心から5~10 m離れた地点で平均2.5 dB、20~25 m離れた地点で1.5 dB程度である。図9.1.6は、こうしたデータから求められた効果スペクトルの平均値である。これによると、両対策工の効果スペクトルは類似しており、低周波側から20 Hz付近まで周波数とともに効果は微増し、20 Hz付近で約2 dBの効果を示す。30~40 Hz付近では効果がなくなるか、もしくは逆効果を示すが、50 Hz以上では周波数とともに効果が增大することがわかる。

スラブ軌道の低ばね化には低ばね係数軌道パッド(ばね定数が通常の約1/2)への取替えが考えられ、新幹線の高架橋区間でその防振効果が調査

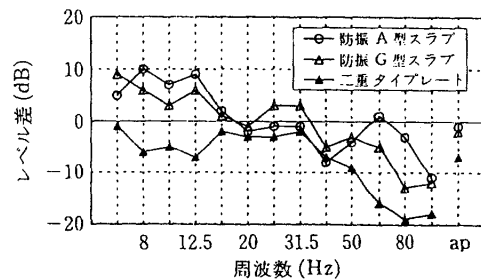
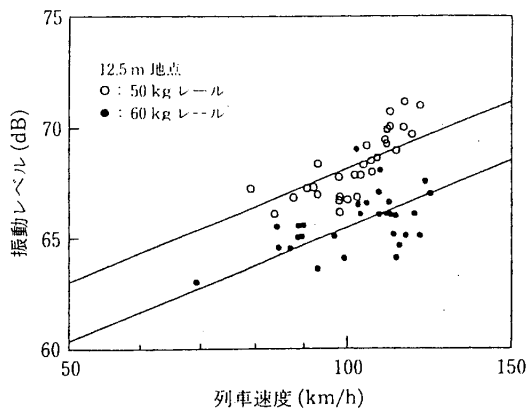


図 9.1.7 普通スラブ軌道区間に対する防振スラブ軌道区間の1/3オクターブバンドのレベル差<sup>4)</sup>

されている<sup>3)</sup>。その結果によると、高架中心から5~10 m離れた地点での防振効果は1.5 dB程度と些少である。図9.1.7は、普通スラブ軌道を基準にした各種防振スラブの防振効果スペクトルの調査例である。防振A型スラブでは80 Hz以上、防振G型スラブおよび二重タイプレートでは40 Hz以上の帯域で一定の防振効果があると考えられている。その他、スラブ軌道の低ばね化を実現させる新形式の軌道構造の研究も行われている<sup>5)</sup>。

##### ②高剛性化

軌道の低ばね化は、軟らかい材料を軌道構造の一部に挿入することで軌道全体の支持ばねを対策前よりも低下させるものである。よって、対策前の軌道の支持ばねがすでに相当程度軟らかい場合は対策の効果があがらないことになる。例えば、素地区間では軌道の低ばね化の効果は些少であろうと想定される。そこで、別の概念の軌道対策の検討が望まれるが、その一つに軌道の線路方向の剛性を向上させる方法がある。モデル計算によると、軌道の高剛性化は振動低減に一定の効果があ



12.5 m 地点  
○ : 50 kg レール  
● : 60 kg レール

在来線の素地区間の線路から 12.5 m 離れた地表での実測値。

図 9.1.8 50 kg レールから 60 kg レールへの交換前後の振動レベルの比較例<sup>6)</sup>

り、路盤が軟らかいほど効果が大きくなると推定されている。軌道の剛性を高める端的な方法はレールのグレードアップである。図 9.1.8 は、在来線において 50 kg レールを 60 kg レールに交換する前後の振動調査例である。データの変動はあるものの、一定の振動低減効果が認められる。

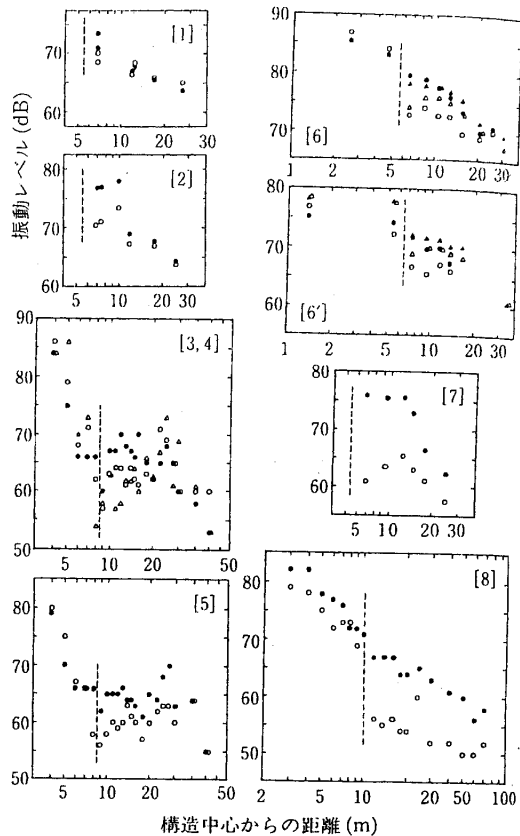
### c. 構造物の対策

鉄道沿線の地盤振動の統計解析から、地盤振動と構造物の各諸元との相関が調べられている。その結果からは概ね構造物の重量や剛性が大きいほど低振動であることが認められている。こうした統計は、主に振動の予測に活用されているが、構造物を新設する場合にはその振動対策の検討にも活用できるため、今後ともさらにその質・量の向上が望まれる。

既設の構造物に対する対策として各種の動吸振装置が考えられる。駆動に外部エネルギーを必要としない受動型と必要とする能動型の 2 つに大別される。鉄道振動においては、受動型について若干の試験例がある程度で、まだ検討段階の域を出ていない。

### d. 地盤の対策

地盤での対策として溝や地中壁を設けて振動を遮断する方法が考えられ、その防振効果に関する研究は古くから行われている。鉄道においても各種の模型実験や現地試験等が実施されてきた。こ



図中の数字は表 9.1.1 のケース番号に相当。各図とも縦軸は振動レベル、横軸は構造中心からの距離を表す。黒塗り、白抜き記号が各々事前、事後を示す。縦破線は地中壁の位置。ケース [3,4] は○がケース [3]、△がケース [4]、ケース [6], [6'] は同一箇所の各々下り、上り線側に施工 (○と△は測定断面が異なる)。

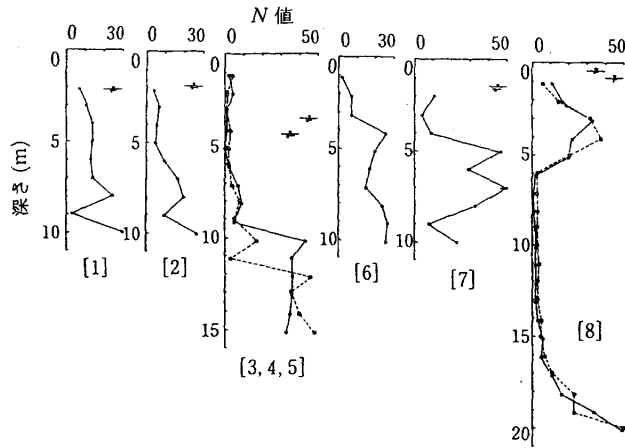
図 9.1.9 新幹線高架橋区間におけるコンクリート地中壁の施工前後の振動レベルの比較例<sup>12)</sup>

のうち空溝は軌道に与える影響や施工後の維持管理の面で課題があるため、主に地中壁タイプが検討されてきた。地中壁の材質としては、コンクリートや鋼矢板など地盤に対して硬い (波動インピーダンスが高い) ものと、発泡スチロールや発泡ウレタンなどの軟らかい (波動インピーダンスが低い) ものが考えられるが、やはり施工や施工後の維持等の容易さから硬い材質を対象とした検討例が多い。図 9.1.9 は、新幹線沿線で試験施工されたコンクリート地中壁の施工前後の振動レベルの調査例である。調査箇所の条件および対策工の諸元を表 9.1.1 に、また、調査箇所の地盤条件を図 9.1.10 に

表 9.1.1 コンクリート地中壁の試験施工の試験条件<sup>12)</sup>

ID No.	線区・試験地	軌道	構造物	地盤	杭長 (m)	列車速度 (km/h)	防振壁諸元				
							位置 (m)	深さ (m)	厚さ (m)	延長 (m)	土留め矢板有無
[1]	東海・名古屋	有道床	ラーメン橋	ド	12	190~200	5.6	3.0	0.8	39	簡易矢板埋殺し
[2]					8		5.5			21	
[3]	東北・小山	スラブ	杭基礎	参照	11	219 付近	8.4	5.0	0.4	43	矢板なし
[4]									0.8		
[5]									10.0		
[6]	山陽・西明石	有道床			8	200 以上	5.6	3.0	1.2	80	占レール埋殺し
[7]	東海・名古屋				10	180 以上	5.7	4.0	0.8	34	簡易矢板埋殺し
[8]	東海・豊橋				20	210 付近	10.5	10.0	約 0.8	110	II 型矢板埋殺し

注 1) [3,4] : [3] をまず施工し次にそれを拡幅し [4] としたため全く同位置。[5] : [3,4] のすぐ隣に施工。[6] : 上下線両側に施工。表数値は延長の長い下り線側を記載。[7] : 実際の壁深さは延長中 2.7~5 m と変化。  
 注 2) 防音壁諸元の位置は構造中心から防振壁外面までの距離。



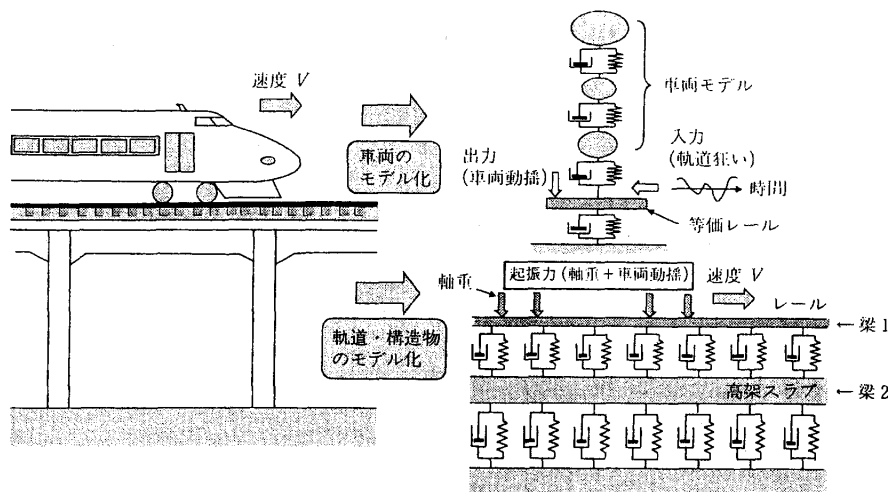
図中の数字は表 9.1.1 のケース番号に相当。ケース [3,4,5] の [3,4] は実線、[5] は点線に近い。ケース [6] は地下水は認められていない。

図 9.1.10 コンクリート地中壁の施工箇所の地盤条件<sup>12)</sup>

示している。これによると、ほぼどのケースも施工後に、壁前方（振源側）でやや振動が増加し、後方で振動が低下している。振動低減効果は壁の直後では大きく、壁から離れるほど小さくなる。この特徴はコンクリート地中壁に共通するものである。しかし、効果の程度は各ケースでかなりばらついており、必ずしも規模の大きな地中壁ほど効果が大きいとはいえない。例えばケース 7 は地中壁の規模のわりにかなり大きな効果が得られており、効果が大きくなる条件があるようである。各ケースの条件を比較検討すると、定性的にはあるが、効果を大きくする条件は、地中壁の深さに対して地盤の表層が薄く、地中壁が下位の硬い地盤

に根入れされていること（ケース 7 および 8 が相当する）であると見ることもできる。ただし、これが物理的に何を意味しているのかは現時点では明確ではない。

図 9.1.11 は、比較的大きな効果が得られたケース 7 および 8 の効果スペクトルを示したものである。これを見ると防振効果の周波数依存性は非常に複雑で、単に高周波ほど効果が大きくなるわけではなく、効果が極大になる周波数帯があるようである。コンクリート地中壁の振動低減効果のメカニズムを解明するうえで、こうした効果スペクトルの定量的な解釈は不可欠であり、今後さらなる検討が必要である。



車両の1/4を3質点のばね・マスでモデル化し、軌道狂いで励起された車両動揺が反作用としてレールに作用すると考える。軌道・構造物は弾性床上の二重梁でモデル化する。梁1およびその支持ばねはレールおよび軌道支持ばね、梁2は高架橋のスラブを想定している。車両1軸がレールに作用する荷重(↓)は軸重と車両動揺の反作用の和とし、車軸配置に応じた荷重列が列車速度Vで移動する。

図 9.1.12 新幹線沿線振動の発生モデル<sup>1),2)</sup>

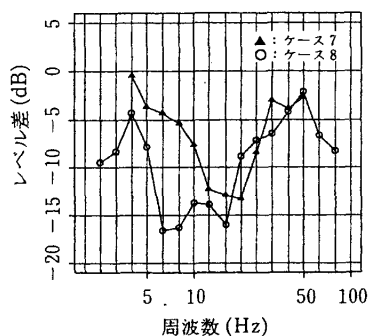


表 9.1.1 のケース7および8の施工前後の1/3オクターブスペクトルの振動のレベル差(事後-事前)。壁から5m範囲の測定点の平均値。

図 9.1.11 コンクリート地中壁の防振効果<sup>13)</sup>

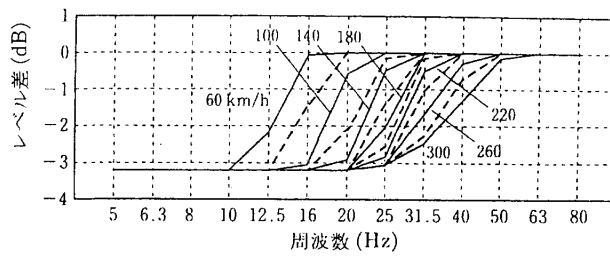
地盤での対策として軌道下の路盤の改良や補強が振動低減をもたらすという考え方もある。この対策は前述の軌道の高剛性化に属する対策であるとも見ることできる。鉄道においては、在来線の軟弱地盤区間において軌道直下の路盤を立体補強材で強化した場合の防振効果を調査した例があり、一定の効果が得られたと報告されている。

### (3) 対策効果の評価方法

振動対策を計画・設計する場合、個々の対策手法の効果を定量的に評価する必要がある。既存の対策事例から統計的に効果の予測手法を導き出すという立場もあるが、実測データには限りがある。そこで、振動の発生・伝搬現象を再現できる物理モデルを構築し、そのモデル計算から各種対策の効果を定量的に評価することが試みられている。数値解析によるシミュレーションもその1つであり、最近のコンピュータ技術の進展とともに身近な手法となってきた。しかし、実務面からはまだ簡易な手法とは言い難い。そこで、振動現象を近似的にでも模擬できる簡易な物理モデルが構築できれば有用である。図 9.1.12 はこうしたモデルの1つとして考案された鉄道振動の発生・伝搬モデルである。図 9.1.13 と図 9.1.14 は、このモデルで計算した車両軽量化および軌道の低ばね化による効果スペクトルを示したものである。前述した実測スペクトル(図 9.1.3, 図 9.1.6 参照)の特徴をよく再現していることがわかる。この他の対策も含め、このモデルは車両や軌道における対策の効果の評価に有効であると考えられている。

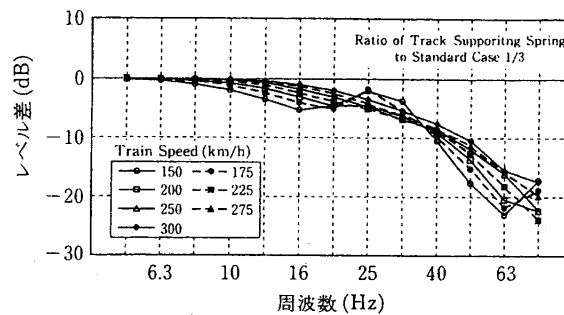
一方、構造物や地盤など振動伝搬系での対策に





縦軸は軸重 16 t 車両に対する 11 t 車両の周波数ごとの振動のレベル差。図中の数字は列車速度を表す。

図 9.1.13 車両軽量化の防振効果スペクトルのモデル計算例<sup>1)</sup>



縦軸は軌道支持ばねを標準値の 1/3 にした場合の標準値の場合に対する周波数ごとの振動のレベル差。

図 9.1.14 軌道低ばね化の防振効果スペクトルのモデル計算例<sup>2)</sup>

については、効果の現れ方が前述したとおり事例ごとに複雑であり、これらを統一的に説明できる簡易な物理モデルはまだ確立されていない。この方面の精力的な研究が望まれる。

文献 (9.1.1)

- 1) 吉岡 修・芦谷公稔：軸重・軸配置が地盤振動に与える影響，鉄道総研報告，3 巻 8 号 (1989)，pp.33-40.
- 2) 吉岡 修：新幹線鉄道振動の発生・伝播モデルとその防振対策法への応用，鉄道総研報告，特別第 30 号 (学位論文) (1999)，p.267.
- 3) 吉岡 修・芦谷公稔：軌道の支持ばね低下が地盤振動に与える効果，鉄道総研報告，5 巻 9 号 (1991)，pp.31-37.
- 4) 安藤勝敏・長藤敬晴・小林哲久：新幹線高速化のための軌道における騒音・振動低減技術 (2) —各種防振軌道の現状と今後の展望—，鉄道技術協会誌，37 巻 6 号 (1994)，pp.13-15.
- 5) 堀池高広・高尾賢一・須永陽一・安藤勝敏・福井義弘・内田一男：着脱式弾性まくらぎ直結軌道 (D 型弾直軌道) の開発，鉄道総研報告，12 巻 6 号 (1998)，pp.25-30.

- 6) 吉岡 修：軌道の高剛性化による振動防止効果，鉄道総研報告，7 巻 4 号 (1993)，pp.57-64.
- 7) 江島 淳：新幹線鉄道の桁式高架橋における地盤振動低減対策のための基礎的研究，鉄道技術研究報告，No.1192 (学位論文) (1981)，p.292.
- 8) 吉岡 修：環境振動予測手法を用いた適用事例—新幹線振動—，日本騒音制御工学会・研究部会，技術レポート第 20 号 (1997)，pp.16-19.
- 9) 土木学会構造工学委員会振動制御小委員会編：構造物の振動制御 (3)，第 3 回振動制御コロキウム (1995)，p.265.
- 10) 早川 清：地盤振動の伝搬過程における防止対策の背景と動向，日本音響学会誌，55 巻 6 号 (1999)，pp.449-454.
- 11) 吉岡 修・熊谷兼雄：振動遮断工による低減効果の目安値算定方法について，鉄道技術研究報告，No.1205 (1982)，p.77.
- 12) 吉岡 修・芦谷公稔：コンクリート振動遮断工の防振効果，鉄道総研報告，5 巻 11 号 (1991)，pp.37-46.
- 13) 関根悦夫・村本勝巳：立体補強材 (ジオセル) を用いた路盤の強化，鉄道技術協会誌，38 巻 2 号 (1995)，pp.33-36.

である。これは②に述べた JR データの相対的低振動のためである。

- ④ 距離減衰：12.5~25 m の VL 減衰は線区やデータ取得年代に余り依らずにはほぼ 4~6 dB である。  
(b) 線路構造物（記号は Table 1.5.1 参照）ごとに VL 値を比較すると、ほぼ次の関係を示す：

$$\begin{aligned} VL(EM) &\equiv VL(GB) < VL(CT) < VL(RB) \quad (\text{東海道, JR データ}), \\ VL(TN) &\equiv VL(EM) \equiv VL(GB) < VL(CT) \equiv VL(RB) \quad (\text{東海道, JNR データ}), \\ VL(TN) &< VL(GB) < VL(RB) \quad (\text{山陽 1}), \\ VL(GB) &< VL(RB) < VL(EM) \quad (\text{山陽 2, JR データ}), \\ VL(GB) &\equiv VL(TN) < VL(RB) \quad (\text{山陽 2, JNR データ}), \\ VL(GB) &< VL(RB) \quad (\text{東北, 上越}). \end{aligned}$$

すなわち、

- ① 高架橋では桁橋の方がラーメン橋より低振動である、
- ② 土構造物では盛土の方が切取より概ね低振動である、
- ③ トンネルは一般には低振動で、データ変動の大きい傾向がある。

特に①は、端的な統計にも係わらずどの場合にも成立つ安定した傾向といえる。

(c) 12.5~25 m の振動減衰を線路構造物との関係で見ると、概ね次の傾向が認められる。

① トンネル以外では（上越のラーメン橋を除き）概ね 4~6 dB の減衰を示す。なお、上越のラーメン橋は、Fig.2.1.6(20)（付属資料）の特異な分布形からデータ数不足の恐れがある。

② トンネルは他の構造物より減衰が小さく 0~3 dB の減衰を示す。切取も、データは少ないが、他の構造物より小さな減衰（3 dB 前後）を示す。これは、振源が測点（地表）より低位置にあるため、振動の主要波面が他の場合に比べ相対的に地表と平行に近くなり、見かけの距離減衰を低下させるためであろう。

なお、続くいくつかの章で、データの都合等から、JNR データだけで統計を取る場合がある。その際、データの大半を占める東海道の VL 値に上記(a)②の性質が認められることや、上記の「速度補正」の所で述べた補正によるデータ変形に伴い、VL 値は最近の測定値に比べ大きめに表現される。従って、本論のデータを本論の趣旨と異なって利用するときは十分注意されたい。

### 2. 1. 3 単相関データによる高架橋区間における振動レベルの傾向

前節のデータを高架橋区間の JNR データに限れば、地表の VL 値と周囲条件との関係をより詳しく調べ得る。ここではそうした関係のいくつかを示す。なお、JR データはこの目的には有用でない。それらは各種の目的で測定されたデータの寄せ集めで、周囲条件の記載を必ずしも伴っていないからである。

JNR データの多くは、多数の地質調査会社が測定した新幹線鉄道振動の調査報告書類からなる（測定経緯等は江島(1981)参照）。この報告書類のデータは江島(1979, 1981)により既に利用されているが、本論の JNR データは報告書類の記載内容の読み取りや解釈を新たに行ったため、江島のデータとは異なる。特に異なるのは次の点である。

- i) この報告書類は条件記載の統一性を欠いている（橋のコンクリート量の定義が各報告書間で

**Table 1.5.1 Codes Used for Conditions of Line, Track, Structure and Ground.**

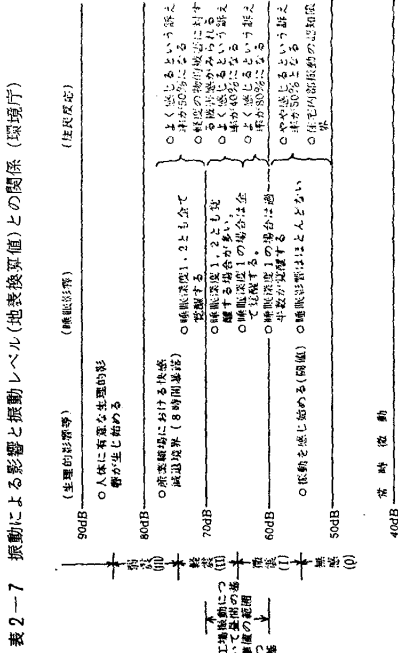
item	code	meanings	
line	TK	Tokaido (Tokyo to Shin-Osaka)	
	SN	S1	Sanyo 1 (Shin-Osaka to Okayama)
		S2	Sanyo 2 (Okayama to Hakata)
	TH	Tohoku (Tokyo to Morioka)	
	JO	Joetsu (Omiya to Niigata)	
track	BT	B0	ballasted track without ballast-mats
		BM	ballasted track with ballast-mats
	ST	S0	slab track without slab-mats
		SM	slab track with slab-mats
structure	RB	rigid frame bridge	
	GB	girder bridge	
	EM	embankment	
	CT	cutting	
	TN	tunnel	
ground	AG	alluvial ground	
	DG	diluvial ground	
	TG	Tertiary or older ground	

**Table 1.5.2 Codes Used for Measured Points.**

code	measured point
RLB	on rail flange (rail base)
SLP	on tie (sleeper)
TSL	on track slab
BSL	on bridge slab
BML	on longitudinal beam of bridge
BMT	on transverse beam of bridge
CLU	on upper part of bridge column
CLL	on lower part of bridge column
GNC	on ground surface near bridge column
Gr	on ground surface $r$ m away from bridge center line (G12.5 is often represented by G13.)

たものであり、公害振動の基準値はこれより小さく設定されている。(第3章参照)

以上、いまままで述べてきた振動による生理的影響、睡眠影響、住民反応、知覚限界等の検討結果を地表の振動レベルで整理したものが表2-7である。



### 2-4 建物に対する振動の影響

地盤上に建物があると、伝わってきた地盤の振動はそれがなかった時と異なったものになる。これは建物や建物内の人や設備に対する振動の影響を考えると無視できない事柄である。つまり、建物があると地盤だけでは本来存在しない共振の現象が生じ、そのことが建物の被害と関係していることが多いからである。建物に対する振動障害としては、基礎コンクリートや壁の亀裂、上塗りの剥落、建付の狂い、瓦のずれなどの直接的な被害のほか、振動によって引き起こされる地盤の変形や破壊による構造物基礎の不同沈下等の間接的被害があげられる。

建物に被害を生ずる振動の限界については、80~130 galで天井にひびが入り、屋根のスレートのゆるんだという例がある一方、1g以上でも何の被害も生じなかった例もありまだ十分にわかっているとはいえない。このような現状を反映し

### 地盤振動と対策

れた。この規格は周波数範囲 1~80 Hz の全身に伝えられる振動に対する人体の暴露許容基準についての推奨案で、鉛直、水平方向の正弦、ランダム振動等に適用されるものである。図2-15および図2-16は正弦振動に対するもので、座位、立位に適用でき、図中の折れ線レベルを越すと、疲労や作業能率が減退することを示し、耐久限界は図より 6dB 高いところとし、快感減退境界(振動が気になりはじめるレベル)は、図より 10dB 低いレベルとされている。鉛直振動、水平振動に対する基準は形が異なっており、鉛直振動では 4~8 Hz で一定であり、4 Hz 以下および 8 Hz 以上で感度が鈍くなるのに対し、水平振動では 2 Hz 以下で一定であり、それ以上でやはり感度が鈍くなるっている。

また、3 Hz 付近までは水平振動の方を感じやすいが、3 Hz 以上になると水平振動に対する基準の方が常に高いため、振動公害で問題になることの多いこの周波数領域では、鉛直振動の方をよく感じることを示している。

なお、振動レベルに用いられている人体感覚補正は、この ISO の暴露基準に基づいたものである。

### 2-3 振動レベルと人体感覚

いまままで述べてきたように、全身に振動を受ける場合の影響としては、循環器系、自律神経系、内分泌系などに及ぼす生理的影響、わずらわしさ、不快感などの心理的影響および睡眠、仕事などの日常生活に及ぼす影響が考えられる。このうち生理的影響に関しては、心拍数、末梢血管、呼吸数等への影響を中心として実験が行われているが、人体に有意な影響がおこると認められているのは振動加速度で 0.3 m/sec<sup>2</sup> (90 dB、家庭で 5 dB の増幅を考えると地表の値で概ね 85 dB) 程度以上である。

また、心理的影響については、全身の振動感覚の周波数特性、車両の乗り心地、耐久限界を中心に従来から実験研究が進められている。しかし、一般の公害振動はこれら生理的、心理的影響に関する実験から得られる値より、かなり低いレベルで生じている。

先に引用した ISO の基準によれば、快感減退境界は 80 dB (地表の値で概ね 75 dB) であるとされているが、この値は産業職場における 8 時間暴露に対応し

資料 環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)

移転補償に必要な制度等の整備を急いで四十八年度以降騒音の著しい箇所から着手する。

3 病院、学校等について

特に静穏の保持のため音源対策及び障害防止対策において特段の配慮を行なう。

4 その他

地上施設及び車両について今後なお技術開発を行なうほか、騒音対策上効果の認められる東海道新幹線の重軌条化低圧配電回路の整備等を積極的に推進し、また振動及び風圧についても、その防止に努める。

環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)

(昭和五十一・三・一一 環大特三三) 運輸大臣宛 環境庁長官勧告

新幹線鉄道の列車の走行に伴い発生する振動は著しく、沿線の一部の地域においては、看過しがたい被害を生じている。このような現状に対処するため、新幹線鉄道振動対策に係る左記の当面の指針等を達成する必要があるため、所要の措置を講ずるよう勧告する。

おいて、本指針等を達成するために講じた措置については、その都度報告するようお願いする。

1 指針

(1) 新幹線鉄道振動の補正加速度レベルが、七〇デシベルを超える地域について緊急に振動源及び障害防止対策等を講ずること。

(2) 病院、学校その他特に静穏の保持を要する施設の存する地域については、特段の配慮をするとともに、可及的速やかに措置すること。

2 測定方法等

(1) 測定単位は、補正加速度レベル(単位デシベル)を用いること。

(注) 補正加速度レベルとは、鉛直振動の振動数をf(単位ヘルツ)及び加速度実効値をA(単位メートル毎秒毎秒)とするとき、Aの基準値A<sub>0</sub>(単位メートル毎秒毎秒)に対する比の常用対数の二〇倍すなわち20log(A/A<sub>0</sub>)(単位デシベル)で表わしたものを言う。

この場合、A<sub>0</sub>は次の値とする。  
1 ≤ f ≤ 4 の場合、A<sub>0</sub> = 2 × 10<sup>-5</sup> f<sup>-1</sup>  
4 ≤ f ≤ 8 の場合、A<sub>0</sub> = 10<sup>-5</sup>  
8 ≤ f ≤ 500 の場合、A<sub>0</sub> = 0.125 × 10<sup>-5</sup> f

(2) 測定条件は、次のとおりとする。

- ア 振動ピックアップの設置場所は、緩衝物がなく、かつ、十分踏固め等の行われている堅い場所とすること。
- イ 振動ピックアップの設置場所は、傾斜又は凹凸のない場所とし、水平面を十分確保できる場所とすること。
- ウ 振動ピックアップは、外周条件の影響を受けない場所に設置すること。
- エ 指示計器の動特性は緩(0.05s)とすること。

(3) 測定は、上り及び下りの列車を合わせて、原則として連続して通過する二〇本の列車について、当該通過列車ごとの振動のピークレベルを読み取って行うものとする。

なお、測定時期は、列車速度が通常時より低いと認められる時期を避けて選定するものとする。

(4) 振動の評価は、(3)のピークレベルのうちレベルの大きさが上位半数のものを算術平均して行うものとする。

3 指針達成のための方策

(1) 新幹線鉄道振動の振動源対策として、構造物の振動低減対策等の措置を講ずるものとする。

なお、以上の措置を講じても現在の防止技術では振動を低減することが困難な場合もあるので、早急に構造物の防振対策、振動遮断対策などの技術開発を図るものとする。

(2) 新幹線鉄道振動の障害防止対策として、既設の住居等に對する建物の移転補償、改築及び補強工事の助成等の措置を振動が著しい地域から実施するものとする。特に、今後早急に家屋の防振対策技術の開発を図り、家屋補修等により振動の影響を軽減する措置を講ずるものとする。

(3) 新幹線鉄道振動対策の実施に当たっては、「新幹線鉄道騒音に係る環境基準(昭和五十年七月環境庁告示第四十六号)」に基づく騒音対策その他の環境対策と有機的に連携して実施するものとする。

【参考】

環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について

(昭和五十一・四・一九 鉄施二三の二) 環境庁長官宛 運輸大臣報告

昭和五十一年三月十二日付け環大特第三三号「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)」に基づき別紙のとおり措置を講じたので報告する。

【別紙】

環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について

(昭和五十一・四・一九 鉄施二三) 日本国有鉄道総裁・日本鉄道建設公団宛 運輸大臣通告

標記について、昭和五十一年三月十二日環境庁長官から別紙のとおり勧告を受けた。

新幹線鉄道の振動対策については、その社会的重要性にかん

## 附件九

# 大型低騒音風洞

RTRI's Large-Scale Low-Noise Wind Tunnel



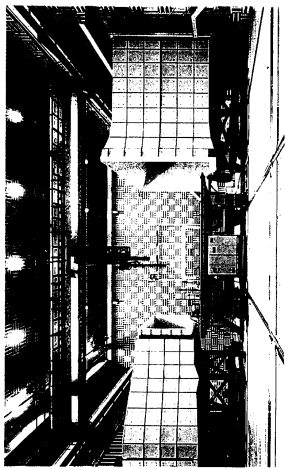
財団法人 鉄道総合技術研究所  
Railway Technical Research Institute

財団法人鉄道総合技術研究所は、新幹線をはじめとする高速鉄道の空力騒音・空気力学的諸課題の研究開発に対応するために、滋賀県坂田郡米原町に大型低騒音風洞を建設しました。

本風洞は、鉄道用風洞として世界トップクラスの精緻な性能を持ち、次の点に最大の特長があります。

- 世界に類のない低騒音性能を有し、精度の高い空力騒音の計測が可能です。それによって、高速鉄道の空力騒音の低減のための技術開発に対応することができます。
- 大型で高速の移動地面板を持ち、地面近くの流れを正確に模擬することができます。それによって、列車の空気抵抗の低減、空力特性の改善のための技術開発に対応することができます。

The RTRI's Large-Scale Low-Noise Wind Tunnel at Maihara-cho at Shiga prefecture is a unique railway wind tunnel built for the purposes of studying aeroacoustic and aerodynamic phenomena for high-speed trains. This wind tunnel has two excellent features. One is an extremely low background noise level which makes it possible to measure the aerodynamic noise generated from a model with remarkable accuracy. This must be useful for studies for reducing the aerodynamic noise from high-speed trains. The other is a large and high-speed moving belt ground plane which enables to simulate a flow between the model and the ground with considerable reality. This must be helpful for researches for decreasing the aerodynamic drag and improving aerodynamic characteristics of high-speed trains. This wind tunnel can be used for not only railways but also automobiles and others.



閉鎖部  
View of closed test section

### 1. 世界に類をみない低騒音性能

Low noise efficiency unassailed in the world.  
(騒音値レベル 75dB-300K(m/h)  
(Background noise level: 75dB at 300km/h))

### 2. 国内の大型低騒音風洞では最高の風速性能

Highest wind velocity performance for the large-scale low noise wind tunnel ever built in Japan.  
Equipped with a high-speed moving belt ground plane in attitude of flow between a model and the ground with considerable reality.  
(大型(幅記:7m×長さ6.0m)かつ高速(~60m/s))  
(Dimensions: 7.0m×6.0m, and speed ~60m/s)

### 測定部(無騒室)

Test Section (Anechoic Room)  
測定部は、密閉型または開放型に切り換えることができます。  
The test section can be changed for open type or closed type.

### 冷却器

Heat Exchanger

### 計測棟

Control and Data Acquisition Section

送風機

Fan

消音器

Silencer

### 管理棟

Office Building

準備棟

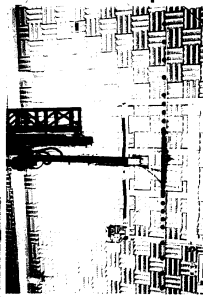
Preparation Section

計測制御室

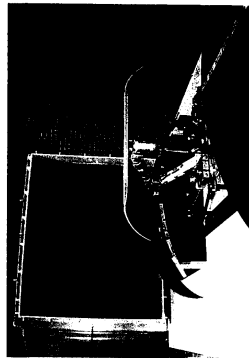
View of control and data acquisition section



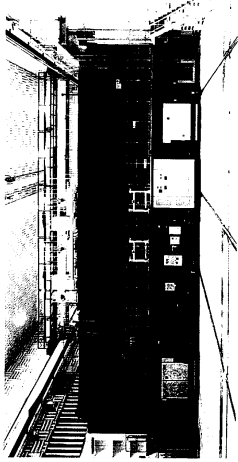
制御室トランスレーサーと  
アレイ式指向性  
マイクログホン  
Linear array microphone  
with XYZ traversing gear



制御室トランスレーサーと  
アレイ式指向性  
マイクログホン  
Linear array microphone  
with XYZ traversing gear



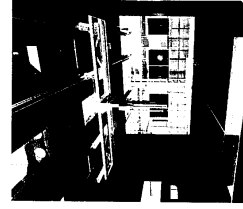
実物大バンタングラフ騒音試験  
Aeroacoustic test with pantograph



閉鎖部  
View of closed test section  
閉鎖部測定部には、空気力学的諸物理量に対応する6成分方向移動地面板の備わっています。  
The closed test section is equipped with a high-speed moving belt ground plane and 6-component balance available for a trainset and an automobile.



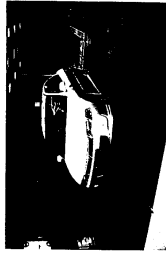
煙による流れの可視化  
Flow visualization by smoke generator



密閉部トランスレーサー  
XYZ traversing gear in closed test section



吊線式6成分天秤で支持された列車模型  
Automobile suspended on 6-component wire balance

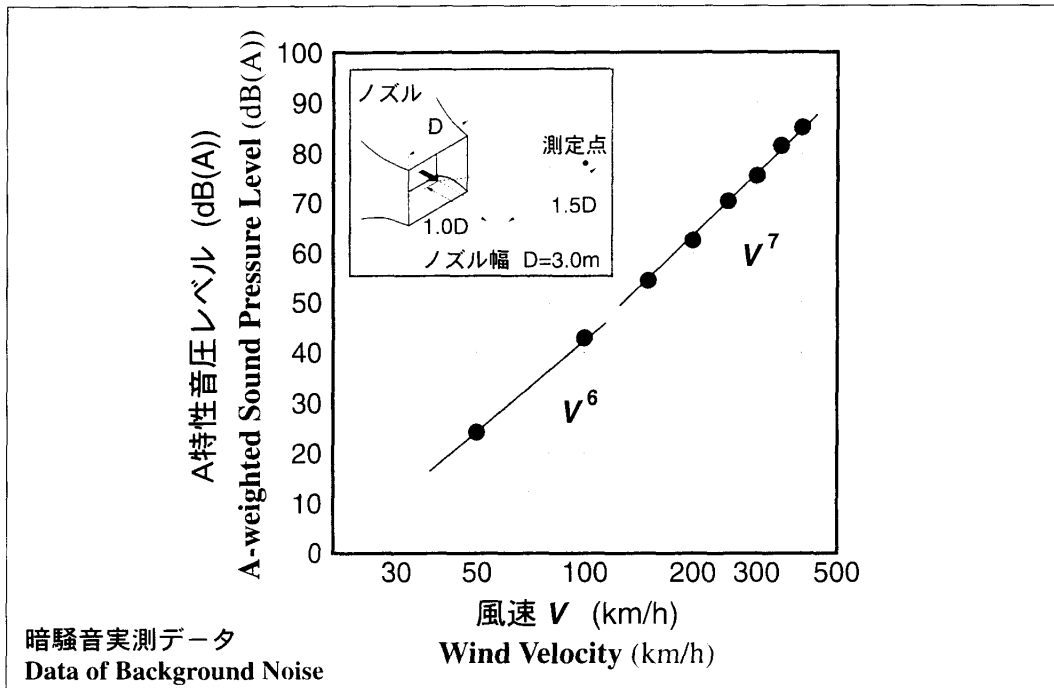


ターンテーブル付6成分天秤上の自動車(実車)  
Automobile set on 6-component balance with turntable

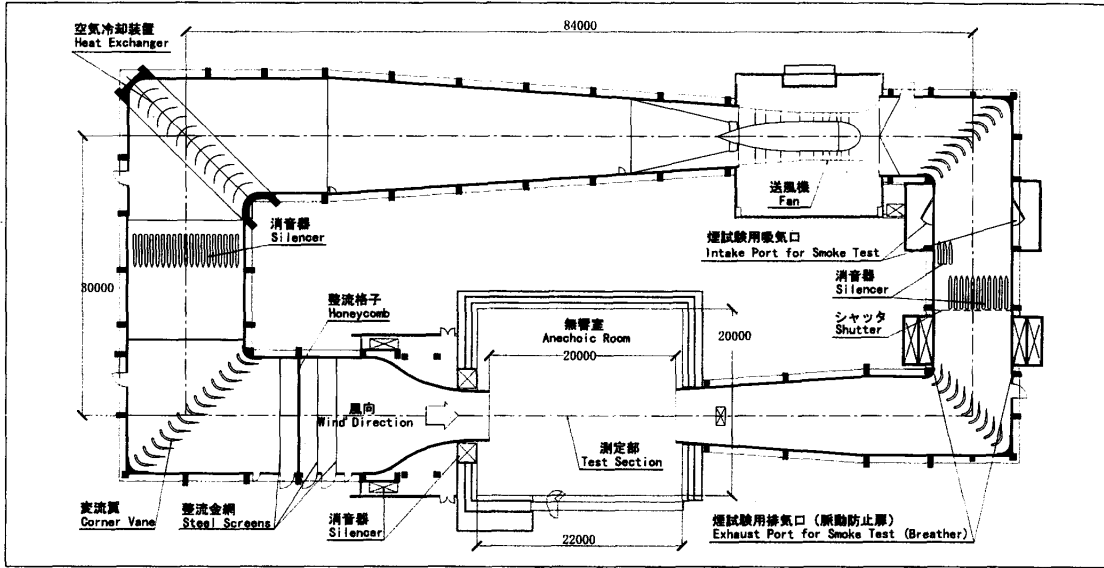


移動地面板上に  
支持された自動車(実車)  
Automobile suspended  
above  
ground plane

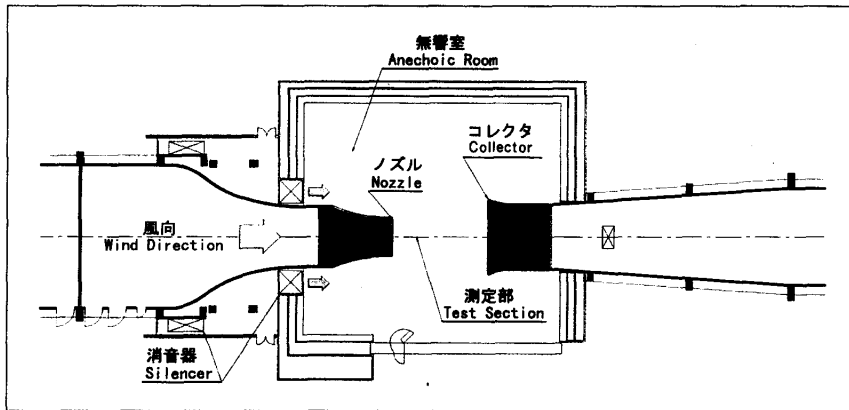




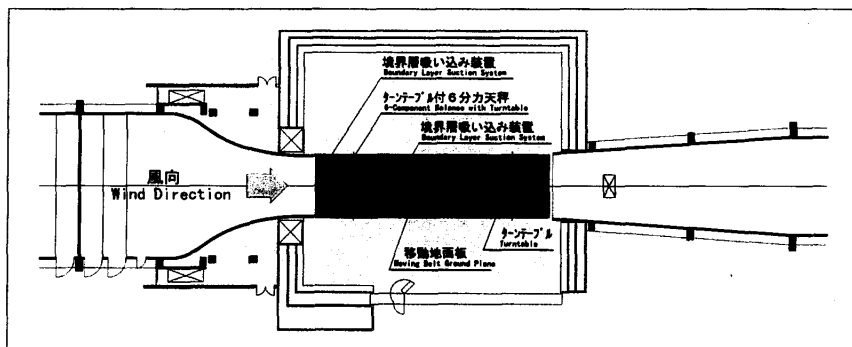
項目 ITEM	形式および性能 SPECIFICATIONS	
風洞形式 TUNNEL	ゲッチンゲン型水平単帰還方式 GÖTTINGEN TYPE SINGLE RETURN WIND TUNNEL	
測定部形式 TEST SECTIONS	開放型 OPEN TYPE	密閉型 CLOSED TYPE
測定部寸法 WIDTH & HEIGHT	幅3.0m×高さ2.5m 3.0mW×2.5mH	幅5.0m×高さ3.0m 5.0mW×3.0mH
測定部長さ LENGTH	8m	20m
最高風速 MAXIMUM WIND VELOCITY	400km/h	300km/h
縮流比 CONTRACTION RATIO	16 : 1	8 : 1
風速分布 UNIFORMITY of WIND VELOCITY	±0.7%以下 : 324km/h (90m/s)時 Under ±0.7% at 324km/h (90m/s)	±0.4%以下 : 288km/h (80m/s)時 Under ±0.4% at 288km/h (80m/s)
乱れ度 TURBULENCE INTENSITY	0.2%以下 : 360km/h (100m/s)時 Under 0.2% at 360km/h (100m/s)	0.2%以下 : 198km/h (55m/s)時 Under 0.2% at 198km/h (55m/s)
暗騒音レベル BACKGROUND NOISE LEVEL	75dB(A) : 300km/h (83.3m/s)時 75dB(A) at 300km/h (83.3m/s)	-----
主な計測装置 MAIN INSTRUMENTS	音響計測用マイクロホン Sound Level Meter アレイ式指向性マイクロホン Linear Array Microphone パラボラ型指向性マイクロホン Parabola Microphone Apparatus	ターンテーブル付6分力天秤 6-Component Balance with Turntable 吊線式6分力天秤 6-Component Wire Balance 多点圧力計 Pressure Scanning System
主な付帯設備 MAIN ACCESSORIES	無響室(幅20m×長さ22m×高さ13m) Anechoic Room (20mW×22mL×13mH) 無響室トラバーサ XYZ Traversing Gears in Anechoic Room ターンテーブル付模型支持台車 Support Table with Turntable	移動地面板(幅2.7m×長さ6.0m、~60m/s) Moving Belt Ground Plane (2.7mW×6.0mL、~60m/s) 境界層吸い込み装置 Boundary Layer Suction System 密閉胴トラバーサ XYZ Traversing Gear in Closed Test Section
	流れの可視化装置(煙発生装置、照明装置、観測用ビデオ装置) Flow Visualization System (Smoke Generator, Lighting System, Video Monitoring System)	
全体寸法 OVERALL DIMENSIONS	全長 : 94m、全幅 : 42m、全高 : 10m、風路長 : 288m Length : 94m, Width : 42m, Height : 10m, Total Path Length : 288m	
主送風機 FAN	直径5m、羽枚数 : 動翼 : 12枚、静翼 : 17枚、回転数 : 590rpm(最大)、主電動機 : 7MW、三相誘導電動機 Diameter : 5m, Blades : Moving Blades 12, Stator Blades 17, Rotation : 590rpm (maximum), Traction Motor : 7MW, Three Phase Induction Motor	



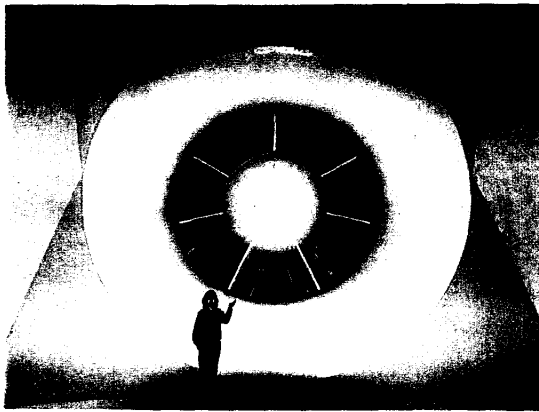
平面図  
Wind Tunnel Circuit



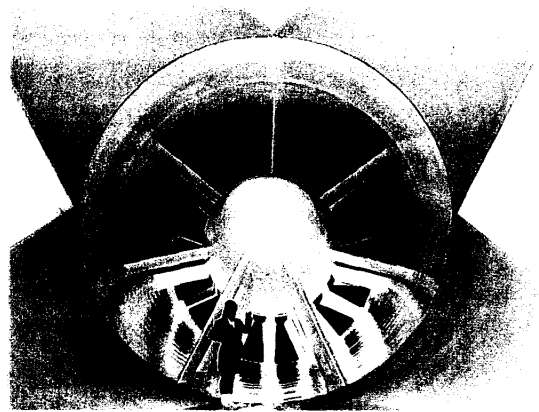
開放型(空力騒音計測)  
Open Test Section  
(Measurement of Aerodynamic Noise)



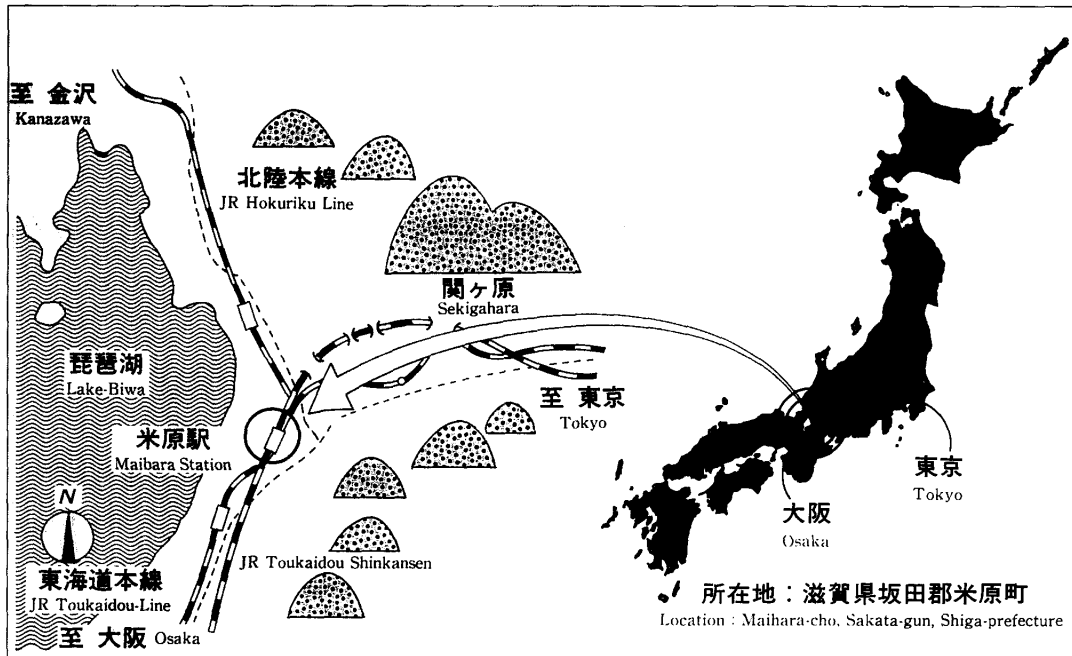
密閉型(空力特性計測)  
Closed Test Section  
(Measurement of Aerodynamic Drag)



送風機(上流側)  
Fan(Upstream)



送風機(下流側)  
Fan(Downstream)



## 財団法人 鉄道総合技術研究所 風洞技術センター

Railway Technical Research Institute Wind Tunnel Technical Center

〒521-0013 滋賀県坂田郡米原町梅ヶ原

Maihara-cho, Sakata-gun, Shiga-prefecture 521-0013 Japan

Tel.0749-52-2300 Fax.0749-52-2302

JRTel.078-7151 JRFax.078-7152

Int.Tel +81-749-52-2300 Int.Fax.+81-749-52-2302

インターネットホームページ [http://www.rtri.or.jp/rd/maibara-wt/wind-tunnel\\_J.html](http://www.rtri.or.jp/rd/maibara-wt/wind-tunnel_J.html)  
e-mail address : maibara-wt@rtri.or.jp

〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38

Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo 185-8540 Japan

Tel.042-573-7238 Fax.042-573-7355

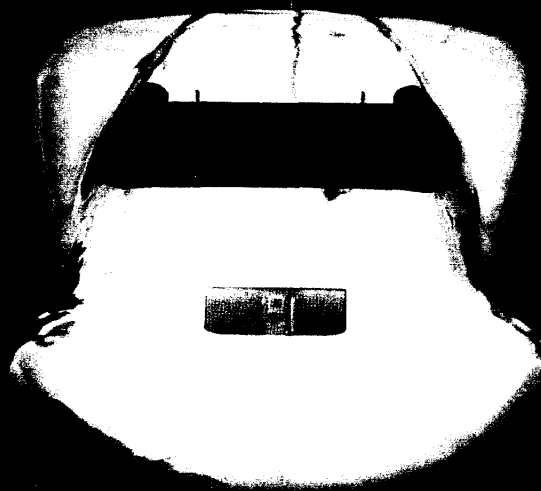
JRTel.053-7238 JRFax.053-7355

Int.Tel +81-42-573-7238 Int.Fax.+81-42-573-7355

附件十

# 新幹線電気・軌道総合試験車

MULTIPLE INSPECTION TRAIN for SHINKANSEN

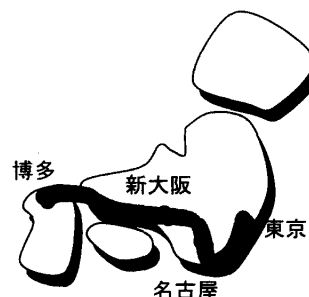


JR  
JR東海

## □ 新幹線開業時の状況

東海道新幹線では、1964年の開業以来、電気設備や軌道設備等の地上設備の状態確認に、電気・軌道総合試験車と呼ばれる新幹線を10日に1回（東京～博多間1往復）走行させています。

開業当初は、電気試験車（T1編成）とディーゼル機関車で牽引された軌道検測車で別々に検測していましたが、1974年より0系をベースとしたT2編成が210km/hでの検測を開始しました。さらに博多まで新幹線が開業した後の1979年からは、同タイプのT3編成（現在JR西日本所屬）も導入され、この2編成により東京～博多間（片道約1,100km）を相互運用で検測していました。



## □ 新幹線と新幹線総合試験車の関係

地上設備の状態確認を行なう上で、営業列車と同条件で検測を行なうことは、とても重要なことです。その営業列車は、開業後、初の大幅最高速度アップとなった1992年以後、270km/h運転可能な列車の増備が継続され、2003年には全列車が270km/h運転可能な列車に取り換えられる予定です。また開業当初からの0系は、1999年に東海道区間より姿を消しました。一方、T2編成の最高速度は210km/hであり、その速度差は年々顕著になりつつあります。

- ・ 車体の老朽化（走行開始から既に25年以上が経過）
- ・ 検測装置の陳腐化
- ・ 予備品の確保が困難（0系がないため）
- ・ 営業列車との速度差が顕著（60km/hの差）

これらを背景として、1998年6月より新型電気・軌道総合試験車（T4編成）の製作を着手し、2001年9月より本運用を開始しました。

## □ 電気・軌道総合試験車の経緯

時期	電気	施設	記事
1964年	T1編成（試作車を改造）による検測	ディーゼル機関車牽引による軌道試験車（921型） 160km/h	
1974年	T1編成及び921型軌道試験車の廃車		
1974年11月	T2編成の運用開始（昼間運行）		T1編成及び921型の経験をもとに製作
1979年11月	T3編成の増備		T2編成の全般検査のため
1987年4月	T2編成：JR東海所有 T3編成：JR西日本所有		国鉄の分割民営化
2001年	T2編成の廃車		
2001年9月	T4編成の運用開始 （1998年6月開発開始）		・ 270km/hでの動的検測 ・ 高速、高密度運転への対応



1998年 6月 新型電気・軌道総合試験車製作開始

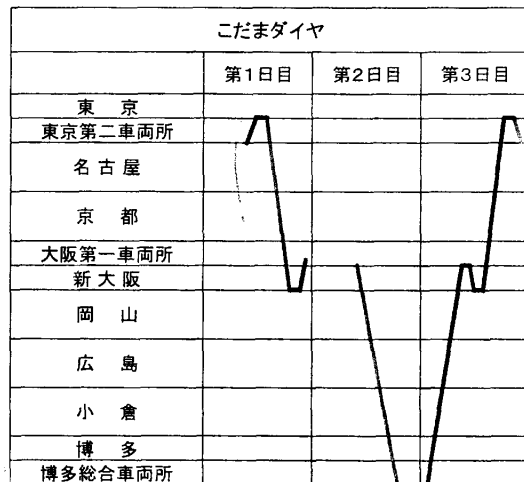
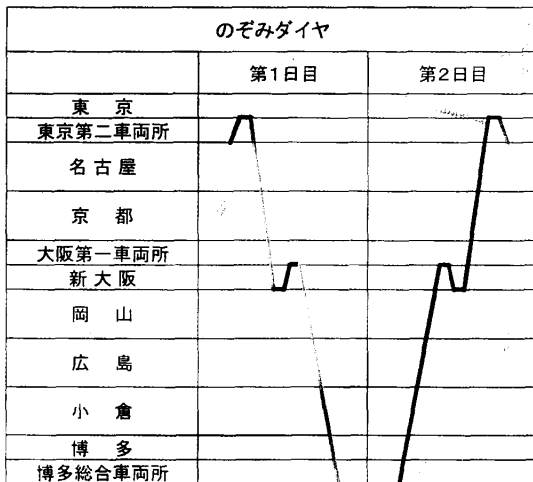
2000年 10月 車両完成

11月 車両走行安定試験開始(名古屋～米原間:夜間)  
軌道検測装置調整開始

2001年 2月 東海道区間昼間走行試験開始(東京～新大阪)  
山陽区間(小郡～新下関:夜間)での走行試験実施  
軌道検測装置の性能見極め



	設定ダイヤ	電気検測	軌道検測
昼間測定	のぞみダイヤ	1箇月に3回	1箇月に3回
昼夜間測定	こだまダイヤ	3箇月に1回	6箇月に1回

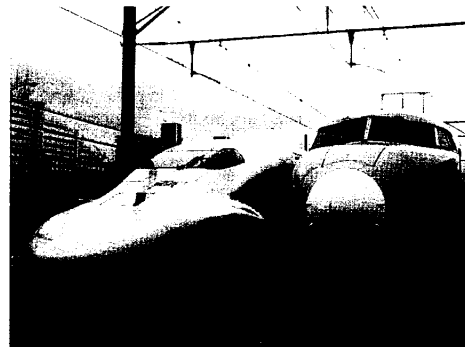


■ 主要寸法

項目		T4	700系	T2	
編成	電動車率	6M1T(7両編成)	12M4T(16両編成)	6M1T(7両編成)	
	ユニット構成	4両1ユニット	同左	2両1ユニット	
性能	最高速度	270km/h	同左	210km/h	
	起動加速度	1.6km/h/s(東海道)	同左	1.0km/h/s	
		2.0km/h/s(山陽)			
	編成出力	6,050kW	13,200kW	4,400kW	
主要寸法	最大長さ(mm)	先頭車: 27,350	同左	25,150	
		中間車: 25,000		25,000	
	最大幅(mm)	3,380		17,500(軌道検測車)	
	屋根高さ(mm)	3,650		同左	
	床面高さ(mm)	1,300		1,300	同左
	最小天上高さ(mm)	1,420(4号車)		2,200(普通車) 2,180(グリーン車)	1,800
車体	車体構造	アルミニウム合金製中空押出形材+大型押出形材	同左	鋼製	
	観測ドーム	3,5号車	—	2,3,5号車	
設備	PHS	1,4号車	なし	なし	
	台車	台車方式	空気バネ車体直結ホルス外入方式	同左	空気バネ車体直結式 コイルバネ車体直結式
セアティブ制振装置		1,7号車	1,5,8,9,10,12,16号車	なし	
検測台車		2台車方式	なし	3台車方式	
パンタ	搭載数	集電用2台 測定用2台	2台(5,12号車)	集電用2台 測定用1台	
	アーム方式	シングルアーム	同左	菱形	

■ 検測業務の効率化

東京～博多間(往復)の検測は、これまで3日間かけて行っていましたが、270km/h下での検測によって、2日間に短縮されました。また、1年間あたり40走行ある検測業務のうち、36走行をT4編成が担うこととなります。





■ 新幹線・能登総合列車の編成



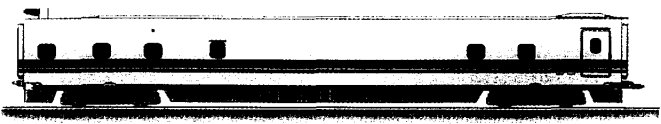
1号車  
変電・電車線・信号・通信測定台  
電気・施設測定機器



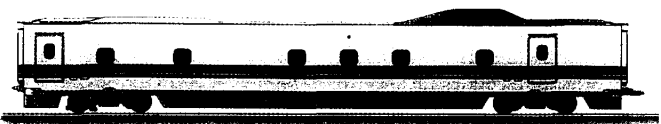
2号車  
高圧室  
電気関係測定機器



3号車  
観測ドーム、電気倉庫  
電力ドーム整理室



4号車  
軌道検測室、施設ドーム整理室  
施設倉庫



5号車  
観測ドーム  
休憩室

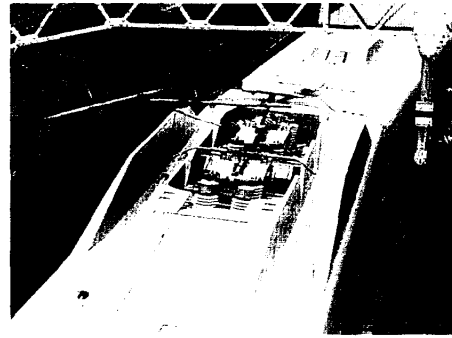


6号車  
ミーティングルーム、高圧室  
電気関係測定機器



7号車  
添乗室  
電気・施設測定機器

電車線測定項目	変電測定項目
1 トロリ線摩耗	1 切替無電圧時間
2 トロリ線偏位	2 切替総合時間
3 トロリ線高さ	3 電車線電圧
4 支障物検知	4 電車電流
5 離線	5 高調波測定
6 硬点	
7 パンタ衝撃	
8 わたり線	
9 電柱位置	
10 CPU電柱	
11 キロ程	



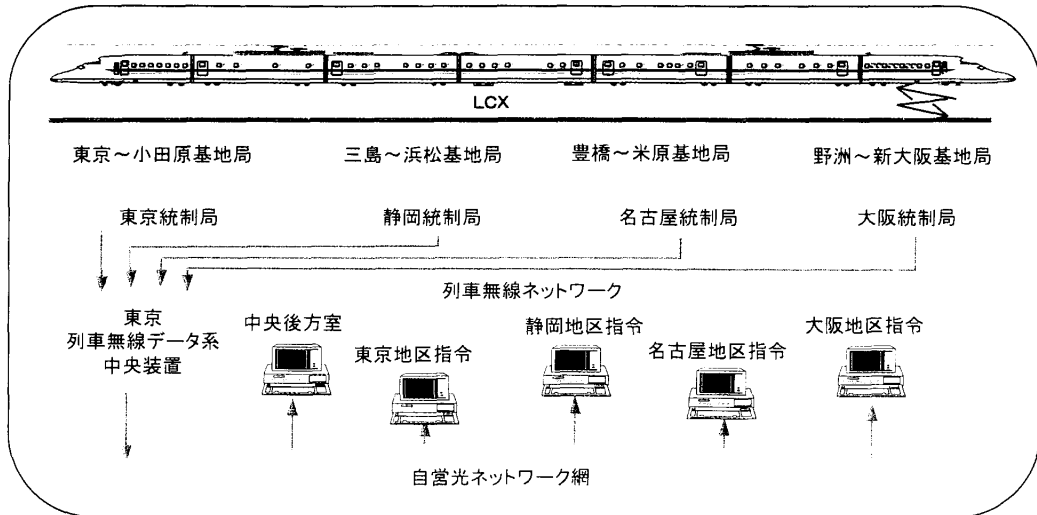
信号設備測定項目	通信設備測定項目
1 ATC軌道回路信号電流レベル	1 基地局電界強度
2 ATC軌道回路信号波レベル	2 信号レベル
3 ATC軌道回路O3信号レベル	3 雑音レベル
4 ATC軌道回路後部電流レベル	4 移動局電界強度
5 ATC軌道回路添線レベル	5 パイロットレベル
6 無絶縁軌道回路信号レベル	6 基地局送信周波数
7 電車電流	7 基地局変調度
8 列車検知軌道回路信号電流レベル	8 データ系番登録状況
9 信号現示	9 データ系フレーム同期信号
10 ATC軌道回路周波数	10 データ系基地局バースト誤り発生状況
11 無絶縁軌道回路周波数	11 接続動作通話試験
12 地点検知	12 防護無線妨害波測定(任意)
13 列車番号	13 構内無線受信電界強度測定(任意)
14 トランスポンダ	14 アンテナ切替操作
	15 アンテナゾーン切替動作

**□ 施設関係測定項目**

軌道測定項目	記 事
1 高低(左)	偏心矢
2 高低(右)	偏心矢
3 通り(左)	偏心矢
4 通り(右)	偏心矢
5 軌間	
6 水準	
7 平面性	
8 上下動	
9 左右動	
10 10m弦高低(左)	偏心矢⇒10m弦
11 10m弦高低(右)	偏心矢⇒10m弦
12 10m弦通り(左)	偏心矢⇒10m弦
13 10m弦通り(右)	偏心矢⇒10m弦
14 40m弦高低(左)	偏心矢⇒40m弦
15 40m弦高低(右)	偏心矢⇒40m弦
16 40m弦通り(左)	偏心矢⇒40m弦
17 40m弦通り(右)	偏心矢⇒40m弦
18 原波形高低(左)	偏心矢⇒原波形
19 原波形高低(右)	偏心矢⇒原波形
20 原波形通り(左)	偏心矢⇒原波形
21 原波形通り(右)	偏心矢⇒原波形
22 床下騒音	
23 長波長高低(左)	
24 長波長高低(右)	
25 軸箱振動加速度(上下)	4号車(海)

軌道測定項目	記 事
26 軸箱振動加速度(上下)	4号車(山)
27 軸箱振動加速度(左右)	4号車(海)
28 軸箱振動加速度(左右)	4号車(山)
29 台車振動加速度(上下)	両先頭車(山)
30 台車振動加速度(上下)	両先頭車(海)
31 台車振動加速度(左右)	両先頭車(山)
32 台車振動加速度(左右)	両先頭車(海)
33 軸箱振動加速度(上下)	両先頭車(山)
34 軸箱振動加速度(上下)	両先頭車(海)
35 軸箱振動加速度(左右)	両先頭車(山)
36 軸箱振動加速度(左右)	両先頭車(海)
37 車体振動加速度(上下)	両先頭車
38 車体振動加速度(左右)	両先頭車
39 対向列車情報	両先頭車
40 前方監視画像	

従来、限界値を超えた測定データを取得した場合、測定員が該当地区指令に電話・FAXで連絡していましたが、T4編成では、3号車のデータ処理装置で処理され、沿線に布設されているLCXを介して列車無線ネットワークにより該当する地区指令に自動的に伝送されるようになりました。



トバリ線摩耗量測定装置は、トバリ線の摩耗量と偏位を測定しています。今回のT4編成は、以下の機能を向上させました。

・回転ミラーの高速化

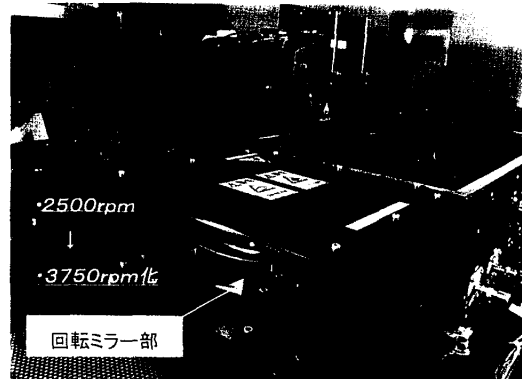
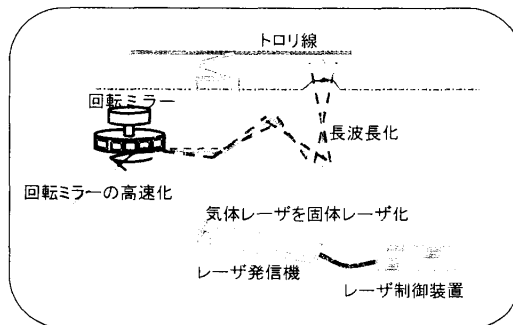
T2編成では、2,500rpmで回転させデータを取得していました。最高速度が210km/hの時は、58mm間隔でデータを取得していました。このままの回転速度で最高速度が270km/hで走行すると75mmの間隔でデータを取得することになります。これでは、データ取得精度が落ちますので、3,750rpmに回転速度を上げることにより、50mmの間隔でデータ取得が可能になりました。

・長波長化

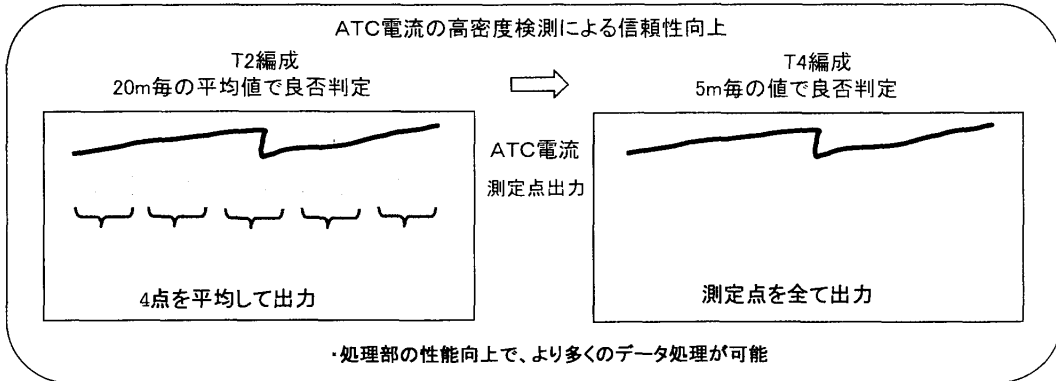
太陽光線には、波長500nmの成分が多く含まれています。従来のレーザー光の波長が太陽成分に近い514.5nmであったため、太陽光の影響で測定精度が低下することがありました。T4では半導体レーザーを使用することにより1,064nmの波長を可能とし測定データの信頼度が向上しました。

・気体レーザーを固体レーザー化

気体レーザーでは、冷却の必要がありメンテナンスに労力を要していましたが、固体レーザーではほとんど冷却の必要がなくメンテナンスの省力化が図られました。



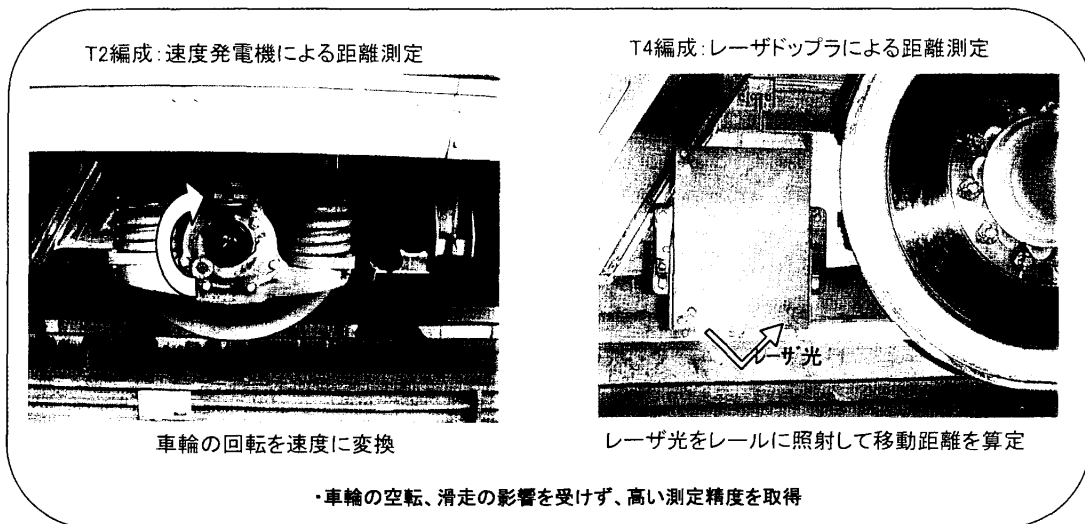
ATC電流は、新幹線の安全安定輸送のためには必要不可欠な測定データです。この測定データの良否判定については、従来、20m毎の平均値で良否を判定していましたが、T4編成では、5m毎のデータで良否を判定することになり信頼性が特段に向上しました。

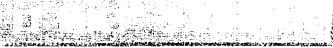


電気・軌道総合試験車の距離測定方法は、速度発電機により車輪の回転に応じた距離パルスが発生させ、その数をカウントすることにより移動距離を積算するものでした。この方式では、悪天候において車輪の空転、滑走による誤差が生じる場合があることや、車輪の減り具合により車輪径が変化した分の補正を行う必要がありました。

T4編成では、レーザ光線を移動物体に照射したときのドップラ効果を利用し、レール面に非接触で試験車の速度と移動距離を測定する方式を採用しました。

この方式の採用により、車輪の空転、滑走の影響を受けずに高い測定精度が得られ、車輪径の変化による補正も必要なくなりました。

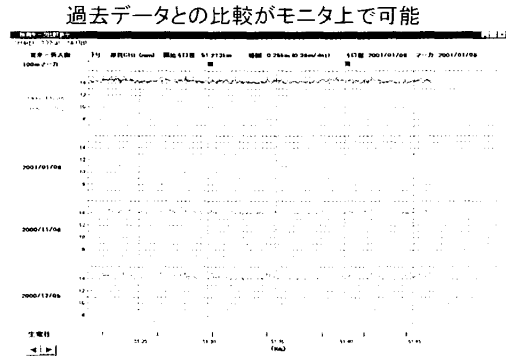
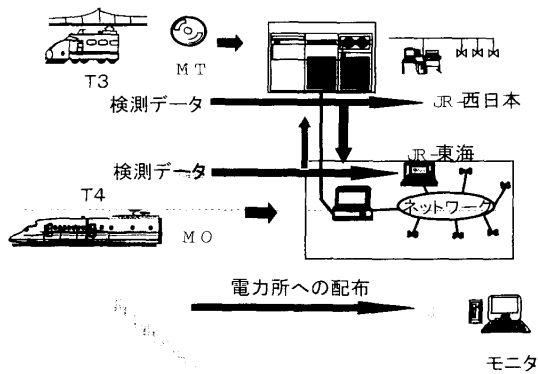




T4編成で取得されたデータには、スミス管理(※)用のデータと波形データがあります。両方のデータともMOに収録されます。スミス管理用のデータを収録したMOは、処理され各電力所にネットワークで配信されます。波形データ(摩耗、編位、高さ等)を収録したMOは、各電力所に配布されます。この配布されたMOを波形処理装置に登録することにより、過去3回のデータと比較することができ、保全に活かされています。

従来、この波形データは、チャートによる紙で出力されていましたが、MOに出力されることになり出力方法の効率化を図りました。

※スミス: 新幹線情報管理システムの略称で、新幹線を運営する業務を一つのシステムに総合化し、必要な情報を必要な時期に必要な形で提供するシステムです。



T4編成で取得された電気関係の測定データは、1号車の測定台のモニタに表示されます。パンタグラフの挙動や沿線環境などの映像をDVDに収録することもできます。

測定台については、長時間測定を行うことから車内を明るくし、測定台に丸みをつけ測定環境に配慮するとともに車内環境の向上を図りました。



電力測定台

DVDによる映像収録装置

信号通信測定台

測定結果が表示されるモニター

明るい車内



## □ 270km/h検測の実現

T2編成の軌道検測車では特殊な3台車方式を採用していました。しかし270km/h検測を実現するために、T4編成では2台車方式が採用され、車体長も量産車と同じ25m(T2編成は17.5m)となりました。

また検測方法については、差分法(※)を用いていることに違いはありませんが、T2編成では任意の長さの弦の midpoint の相対変位を測定(正矢法)していたのに対し、T4編成では、不等間隔の点の相対変位を測定(偏心矢法)する手法が採用されています。

※差分法: 任意の2点間に弦を張り、その弦を基準線として、任意の位置の相対変位を測定する方法です。張った弦の midpoint の相対変位を取る方法が、正矢法と呼ばれます。

## □ 軌道検測の高精度化

T2編成での最高速度210km/hから一気に60km/hアップし、270km/hでの検測を実施するT4編成ですが、精度を落とさずミリ単位での検測することはもちろん、従来31.25cm毎に得ていた検測データを25cm毎に得ることにし、よりきめ細やかな軌道管理を可能としました。

## □ 光式レール変位センサ

線路の横方向のゆがみ(軌間、通り狂い)の測定には、レール側面にレーザービームを照射し、その反射光の大きさによって、センサとレールとの距離を演算する光式レール変位センサが用いられています。このレーザーは1秒間に1000回照射されます。

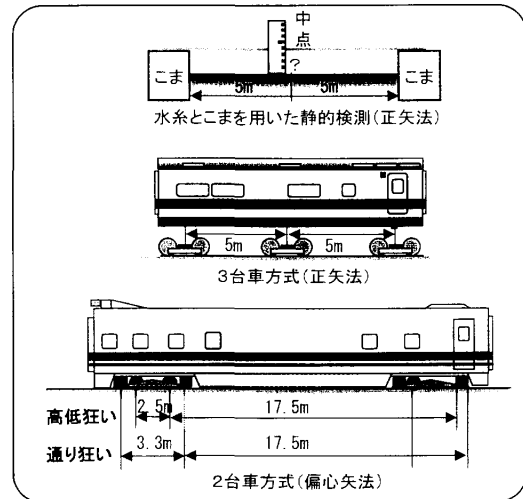
光式レール変位センサは、“測定枠”と呼ばれる専用の取付座を介して台車と接合されています。270km/h走行時には、非常に大きな上下動が発生し、光式レール変位センサ自身が動く恐れがあります。センサ自身が動いては、測定精度が確保できないため、それを支える測定枠には振動によってたわまない高い剛性と、走行安定性を確保するための軽量化等、さまざまな技術が盛り込まれています。

## □ レーザ基準線

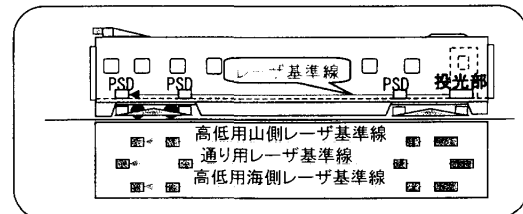
T2編成では測定の基準線を車体自身にとっていました。これは、硬い鋼製であったこと、短い短車体を使用していたためです。一方アルミ合金製のT4編成は、走行中の車体のたわみが鋼製に比べて大きくなると考えられます。そこで測定の基準線を車体床下を通るレーザービームとしています。車体のたわみは、PSD(※)により把握されます。

## □ 前方監視装置

T4編成両先頭車前照灯下部には、前方監視用カメラが設置されています。このカメラと前照灯に搭載された専用照明(HIDバルブ)により、トンネル内や夜間においても線路の状態が確認できるようになっています。ズームアップや上下左右の首振りも可能な上、任意の場所で任意の動きをプログラミングにより行なうことができます。

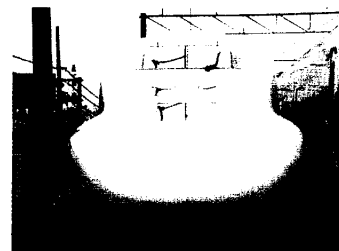


検測方法比較



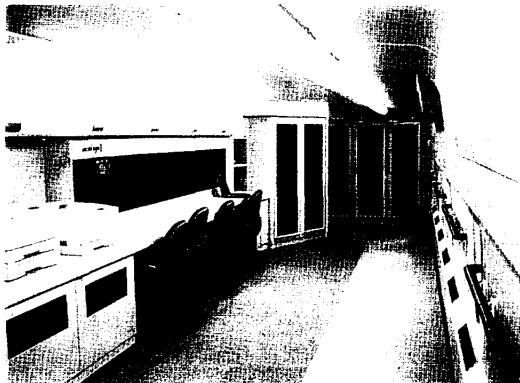
※PSD: Position Sensitive Device(位置検出素子)  
光を電流に変換する半導体の1つで、その電流の大きさにより光の当たっている位置を求めることが可能。

レーザー基準線

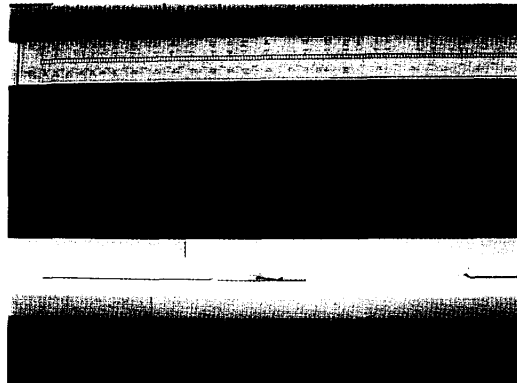


前方監視カメラ

## □ 軌道検測室



軌道検測室



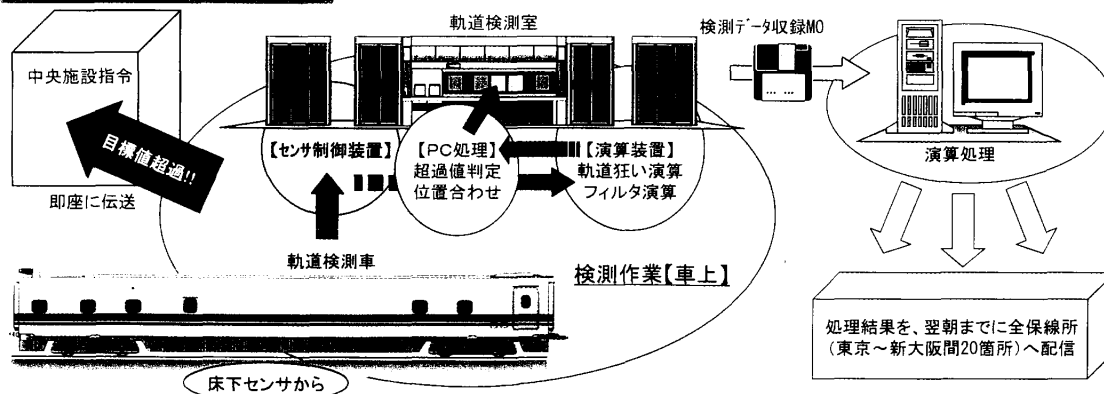
波形表示ディスプレイ

### 人間工学的要素を取入れ、設計された軌道検測室

編成中央にあたる4号車には軌道検測室が設けられています。主に床下の測定装置で測定された測定結果は、検測室内のデータ処理装置にて瞬時に演算され、MOIに保存されると共に、波形表示ディスプレイにリアルタイムで表示されます。測定結果及び前方面像等施設関係のデータは、この検測室にすべて集約されます。

この検測室の設計には、人間工学的要素がふんだんに盛り込まれました。例えば波形表示ディスプレイが設置されている測定台の周りには、各検測装置や測定用電源の制御部が扇形に設置されています。さらに各制御部はすべてオンラインでつながっているため、各検測装置の動作状態確認、各種測定条件設定、検測の開始から終了までの全ての動作を、測定台にいながらして、無駄な動作をせずに行なうことができます。

## □ 軌道データ処理の流れ



車上での検測中、線路を管理する目標値を超える値が検測された場合には、車上のシステムから、沿線に布設されているLCXを經由して、東京にある中央施設指令に即座に伝送されます。同時に当該箇所を管理する保線所にも必要な情報が連絡されます。

検測されたデータは全てMO(磁気ディスク)に保存されます。検測終了後のMOは、走行日中に全て必要なデータに演算処理され、翌朝には東京～大阪間の全保線所の施設管理システムに配信されます。そのため各保線所では走行日翌朝から、検測結果をもとに軌道保守計画を策定することができます。



東海旅客鉄道株式会社

編集・発行／技術本部／2002年  
印刷 JR東海印刷センター



附件十一

最近の新幹線車両への要求事項(I)

－高速化と沿線環境への配慮－

1. 高速走行性能の確保
  - ① 安定走行…高速軽量台車の開発  
→蛇行動開始速度の向上
  - ② 出力増強  
100系 (220km/h)…11040kW/編成  
300系 (270km/h)…12000kW/編成  
500系 (300km/h)…18240kW/編成  
700系 (285km/h)…13200kW/編成
2. 軽量化…騒音低減、振動低減、走行抵抗低減
  - ① 構体の軽量化→アルミ構体化
  - ② 電気システムの軽量化  
→インバータ制御
  - ③ 台車の軽量化→ボルスタレス台車
3. トンネル通過時の圧力変動増大対策
  - ① 車体気密強度の向上 (速度の2乗に比例)
  - ② 既存対向列車への影響低減  
→車体断面積の縮小
4. トンネル微気圧波の低減…先頭形状の先鋭化  
300系 : 6m (270km/h)  
500系 : 15m (300km/h)  
700系 : 9.2m (285km/h)

最近の新幹線車両への要求事項(I)

－高速化と沿線環境への配慮－

5. 空力騒音の低減…速度の6乗以上に比例
  - ① パンタグラフ
    - ・ パンタグラフ数の削減
    - ・ パンタグラフカバーの改良
    - ・ 低騒音パンタグラフの開発
  - ② 高圧引通し装置
    - ・ 高圧ジョイントによる連結
  - ③ 車体の平滑化
    - ・ 窓段差の縮小、扉の平滑化
    - ・ 床下カバーの設置
    - ・ 先頭形状の改良
6. その他の問題点…高速走行時特有の問題
  - ① 走行抵抗の増加
    - ・ 車体の平滑化 (特に床下)
    - ・ 先頭形状の先鋭化
  - ② 風圧、空力自励振動対応
    - ・ 車外部品対応、固有振動数向上
  - ③ 鳥、線路上の障害物との衝突
    - ・ 車体強度向上
    - ・ 非障性能向上

## 車両の軽量化

軸重軽減により沿線振動悪化を防ぐ

東海道、山陽新幹線

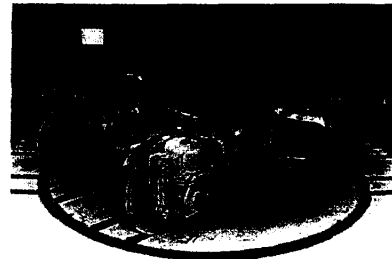
0系	: 最大重軸	16トン
100系	: 最大重軸	16トン
300系	: 最大重軸	11.4トン (隣接4軸平均)
500系	: 最大重軸	11.4トン (隣接4軸平均)

東北、上越新幹線

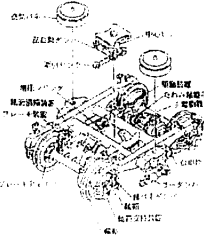
200系	: 最大重軸	17トン
E 2系	: 最大重軸	13トン

車両の軽量化対策

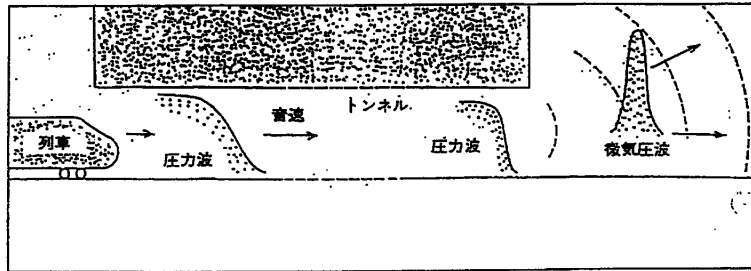
- ① 構体の軽量化
  - FEM解析による軽量化 (100系)
  - アルミ構体の採用 (200系、300系)
  - FEMブリージング解析による強度解析制度向上 (300系)
- ② 高速ボルスタレス台車の採用 (300系)  
1本リング式動力伝達機構
- ③ インバータ制御方式の採用 (300系)  
直流直巻モーター→交流誘導モーター化  
回生ブレーキの採用 (ブレーキ抵抗器の廃止)



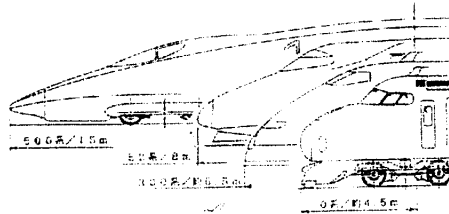
5 車体の軽量化  
4 軸重軽減による沿線振動悪化を防ぐ



### トンネル微気圧波の原理



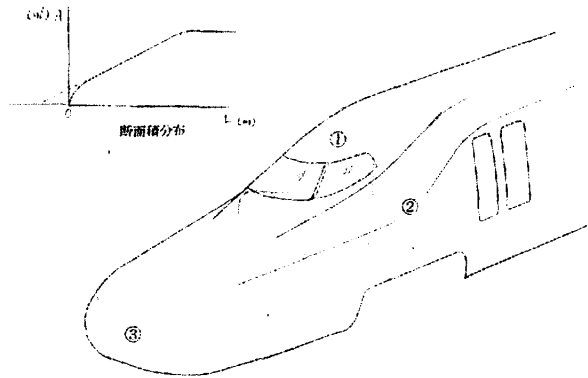
新幹線電車の先頭形長比較



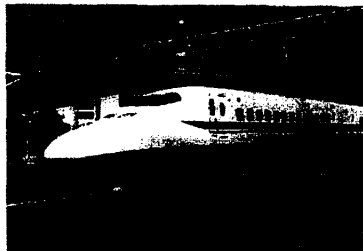
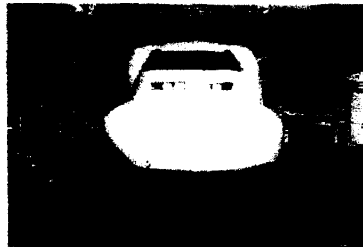
各新幹線電車の先頭部長さ比較



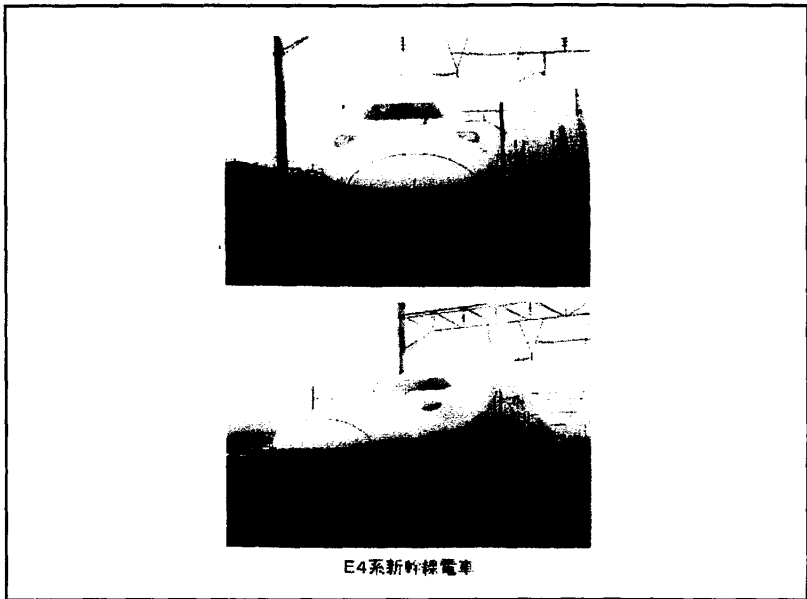
極力短い先頭部長さとする方法



- ① 飛び出した運転席
- ② えぐられた側面部
- ③ 幅の広い先端部



700系新幹線電車



E4系新幹線電車

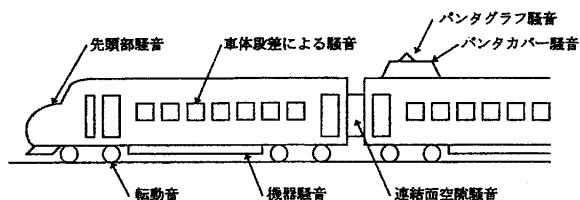
### 地上側の微気圧波低減対策

- トンネル緩衝工の設置（山陽新幹線、東北新幹線）
- トンネル内面を圧力吸収材料化。（東海道区間はバラスト軌道のため、微気圧波問題がない。）



トンネル緩衝工の例

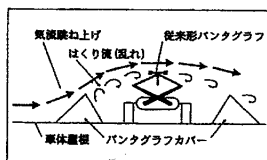
## 新幹線車両の騒音源



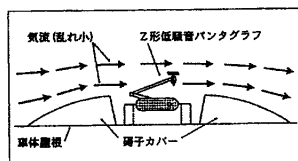
### 車両騒音と速度との関係

1. 車輪の転動音 : 速度の2乗に比例
2. 機器騒音 : 一定または速度に比例
3. 空力騒音 : 速度の6乗に比例

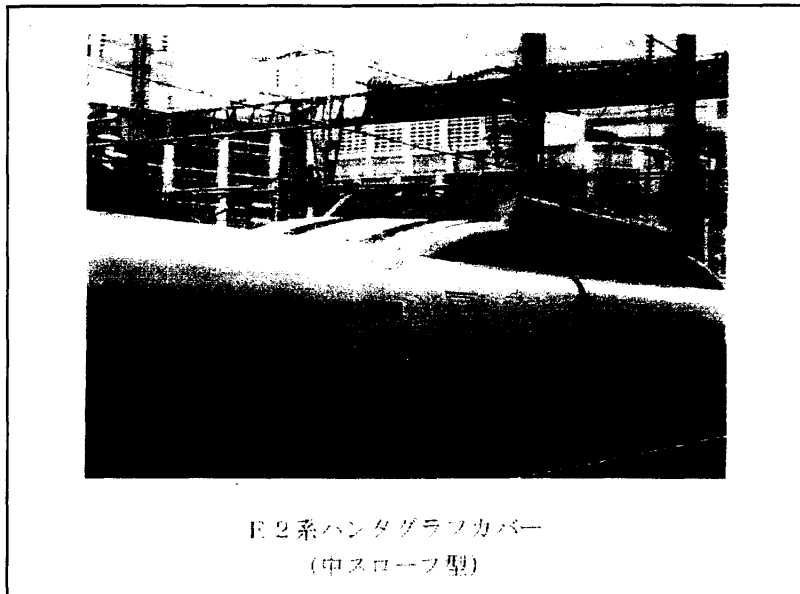
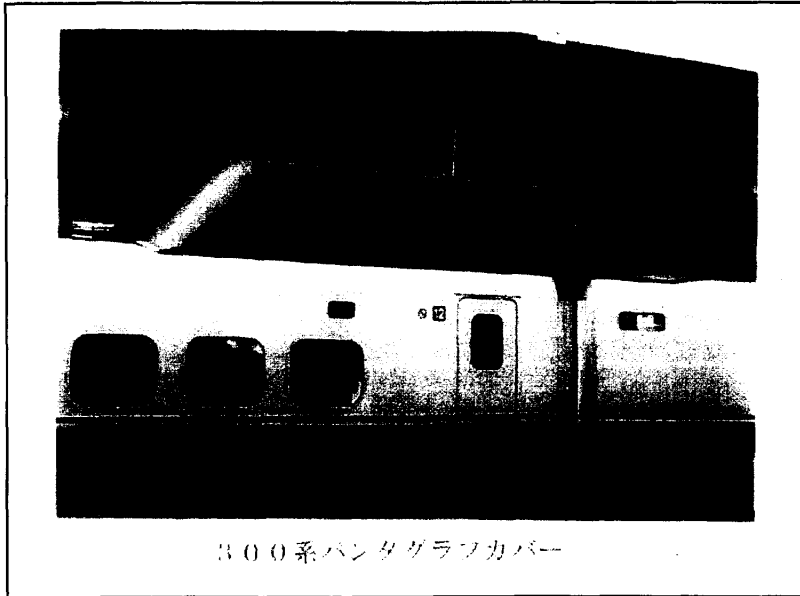
## パンタグラフ騒音の低減



跳ね上げ型パンタグラフカバー

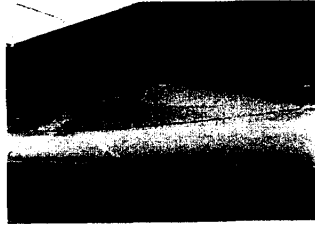


低騒音パンタグラフと磚子カバー





500系のパンタグラフ



500系標準型パンタ

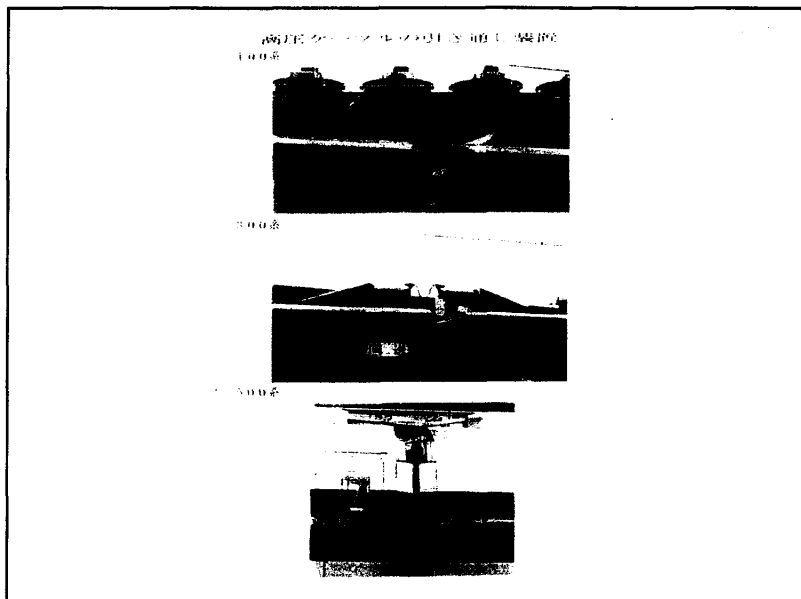


500系最新型パンタグラフ

E3系のパンタグラフ



シングルアーム型パンタグラフ

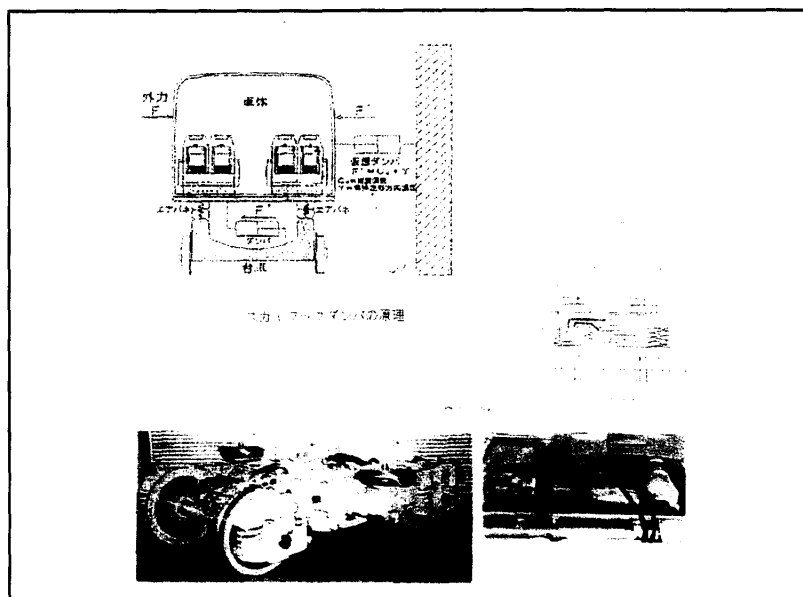


最近の新幹線車両への要求事項(Ⅱ)  
 -乗客へのサービス向上-

1. 乗り心地の向上
  - ① セミアクティブ振動制御装置
  - ② 車両間ヨーダンパー
  - ③ 先頭形状の適性化  
→後尾車特性を考慮した形状
2. 騒音の低減・・・騒音源と伝達経路特定による適切な対策
  - ① 振動源、騒音源の改善  
→ IGBT制御方式の採用
  - ② 遮音性能向上  
→ダブルスキン構体、鉄板床の使用
  - ③ 振動制御 →制振材の付加、浮床構造
  - ④ 吸音性能向上 → 穴開き吸音パネル
3. 車内設備の向上
  - ① 女性専用トイレ (JR東日本)
  - ② ベビーベッド
  - ③ 電話室
  - ④ 自動販売機
  - ⑤ 間接照明

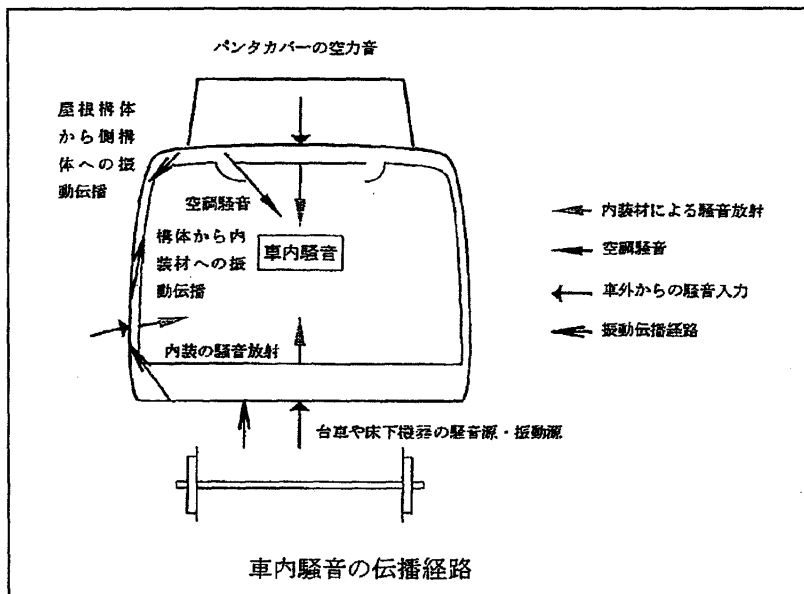
## セミアクティブ振動制御装置

- 車体の左右動をセンサーで検知し、台車と車体をつなぐ左右動ダンパの定数を制御して、振動を制御する。
- セミアクティブ制御システムは動力源が不要。装置が小型で低コスト、保守も容易。

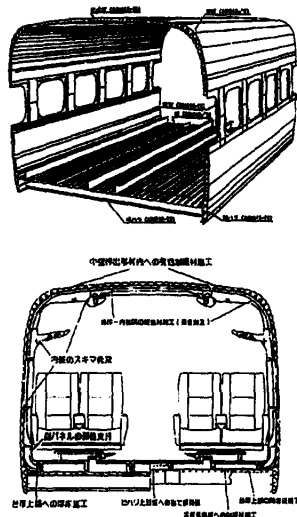


## 車内騒音の低減

1. 騒音源の特定  
転動音、空力加振音、台車振動による車体の振動、機器騒音、  
機器振動による車体の振動等。
2. 騒音伝播経路の特定  
固体伝播音と空気伝播音の分離。
3. 適切な騒音対策の施工  
振動伝播経路の防振支持。  
振動伝播経路への制振材の採用。  
空気伝播経路の二重構造化、  
透過損失の大きな材料の採用。



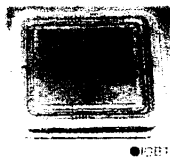
700系ダブルスキン構体



## IGBT素子を使用した制御装置

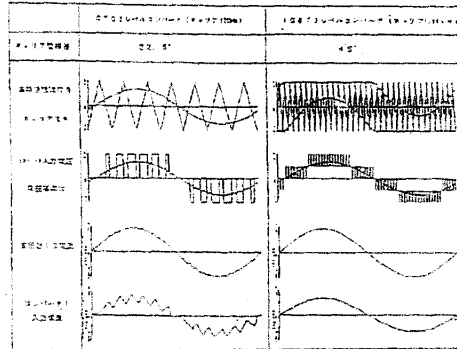
・新型半導体素子 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の採用により、スイッチング周波数を従来の GTO 素子の場合の 400~500Hz を 1000~2000Hz に向上、電圧電流波形をなめらかにして機器音の低減を図る。

・IGBT化により、軽量化、低コスト化が実現。



300系：GTO 2レベルコンバータ  
 キャリア周波数：420 Hz

700系：IGBT 3レベルコンバータ  
 キャリア周波数：1500 Hz



電車方式と機関車方式との比較

項目	機関車方式 (動力集中方式)	電車方式 (動力分散方式)	記事
加減速度	低い (特に雨天時、先頭軸はスリップしやすい)	△ 高い (列車本数を増やしやすい)	◎
最大軸重	機関車を重くしないと牽引できない (軌道強化必要)	△ 軽い (軌道保守上、および沿線振動対策上有利)	◎
編成長	機関車分長	△ 編成全体に寄与	◎
製造コスト	動力機器数が少なく安くできる	◎ 機器数が多く若干高価になりがち	△*1 (○) *2 ユニット構成による
故障時の冗長性	冗長性は低い	△ 冗長性は高い	◎
保守	主回路機器数が少ない	◎ 主回路機器数が多い	○*2 *2 ACモーターでは保守容易
客室騒音、振動	モーター等が静かにしやすい	◎ モーター等の騒音・振動対策必要	△*3 (○) *3 IGBT化により大幅改善
ブレーキ	機械ブレーキ中心(ブレーキの磨耗多)	△ 電気ブレーキ中心(ブレーキ磨耗少)	◎*4 *4 高回生効率
エネルギー消費量	回生ブレーキ率が低く、重量も重いためエネルギー消費量が多い	△ 回生ブレーキの使用率が高く重量も軽いためエネルギー消費量は少ない	◎
実例	TGV、ICE	新幹線	

附件十二

# The Rolling Stock for Taiwan High Speed Rail

14 September, 2002

Taiwan Shinkansen Corporation

## Taiwan High Speed Rail Project

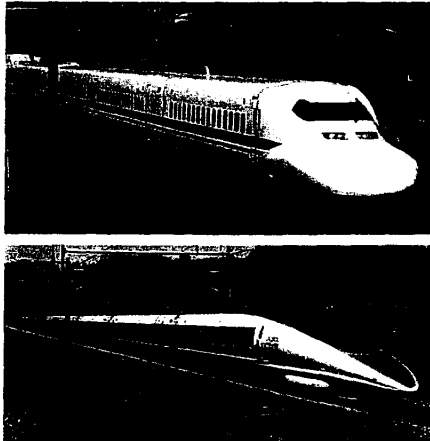




## Reference System

- Tokaido and Sanyo Shinkansen  
Between Tokyo and Hakata.
- Series 700 Shinkansen  
With the technologies developed for Series 500 Shinkansen.

## Reference System



## Shinkansen System Basic Design Concept (1)

- Adoption of Electric Multiple Unit Train
  - (1) Stable Acceleration/Deceleration
  - (2) Lighter Axle Load

## Shinkansen System Basic Design Concept (2)

- Environmentally Friendly High Speed Train
  - (1) Low Noise Emission.
  - (2) Low Vibration.

Necessary to operate in the densely populated residential area.

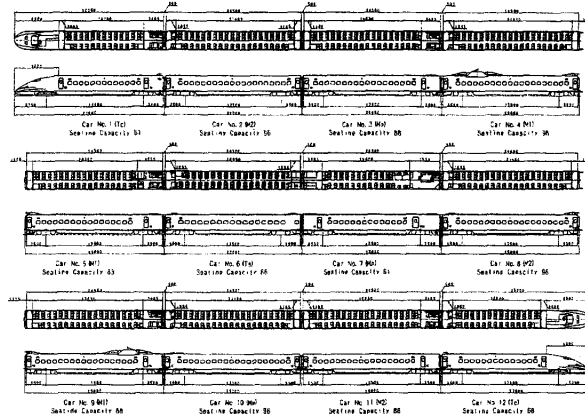
## Series 700 Shinkansen Design Concept (1)

- Tenderness for People
  - (1) Improved Ride Quality
  - (2) Further Weight Reduction
    - to reduce the ground vibration
  - (3) Reduction of Energy Consumption
  - (4) Low Noise Emission
  - (5) Low Micro Pressure Wave Emission

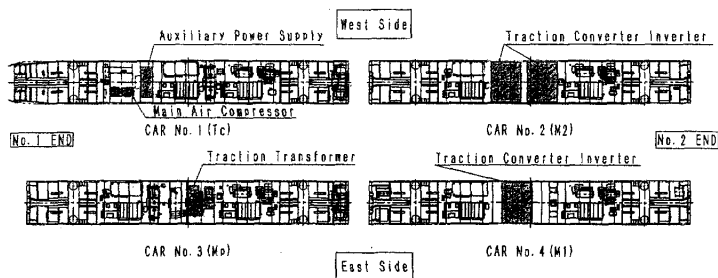
## Series 700 Shinkansen Design Concept (2)

- Tenderness for People
  - (6) Attractive Appearance and Comfortable Accommodation
  - (7) Easy Maintenance and Operation
  - (8) Good Cost Performance

# General Arrangement of THSR Rolling Stock



# Unit Composition



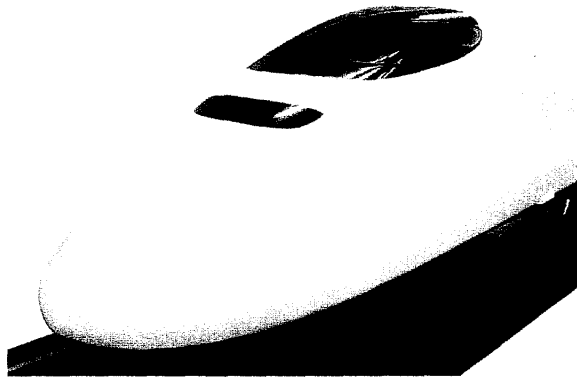
## Front Nose Shape

- Conditions to be Considered for High Speed Train
  - (1) Micro Pressure Wave
  - (2) Noise Emission
  - (3) Aerodynamic Running Resistance
  - (4) Running Stability
  - (5) Aerodynamic Effect on the Trailing End

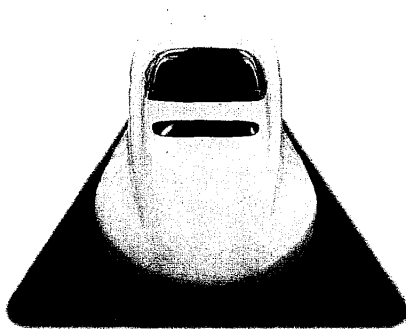
## Front Nose Shape

- Conditions to be Considered for High Speed Train
  - (6) Pressure Effects on Passing Train
  - (7) Driving Visibility
  - (8) Operability of Cab Equipment
  - (9) Coupling to Other Train

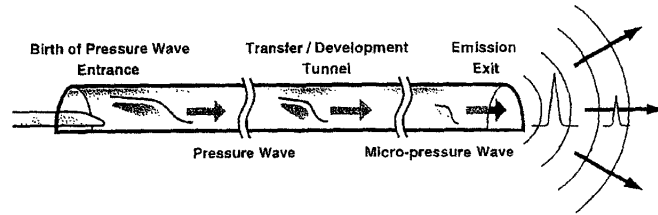
Front Nose Shape



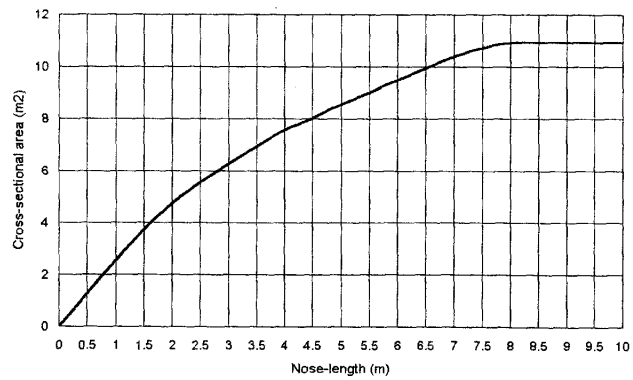
Front Nose Shape



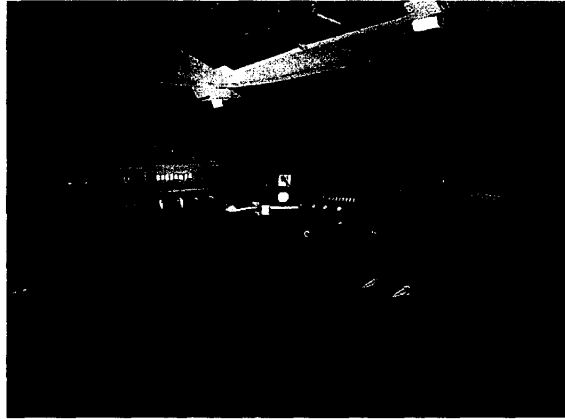
## Micro Pressure Wave



## Cross Sectional Area Distribution of THSR Train Nose



## Cab Interior

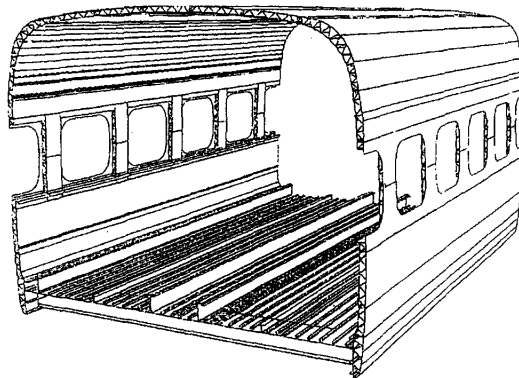


## Car Body Shell

- Made of Frame-less Double Skin Aluminum Extrusion
  - (1) Good External Appearance
  - (2) Good Inherent Acoustic Insulation
  - (3) Lower Manufacturing Cost



## Car Body Shell



## Interior Design and Accommodation

- General Features
  - (1) One Business Class Car and Eleven Standard Class Cars.
  - (2) Toilets on every other cars.
  - (3) Telephone Booth on every other cars.
  - (4) Three Vending Machines
  - (5) Luggage Racks at each end of the car.
  - (6) Passenger Information System

## Interior Design and Accommodation

- Business Class
  - (1) 2 + 2 Passenger Seats abreast.
  - (2) Reading Light.
  - (3) Foot Rest.
  - (4) Food or Drink Service.

## Interior Design and Accommodation



## Interior Design and Accommodation



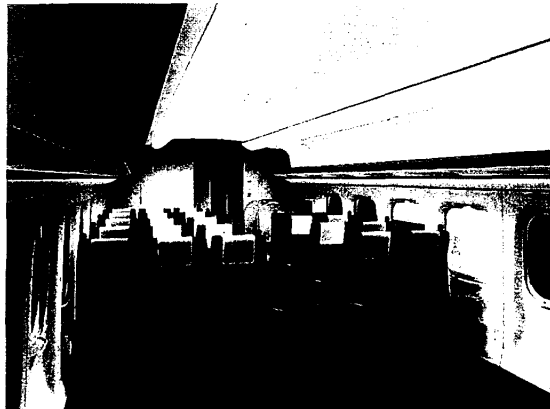
## Interior Design and Accommodation



## Interior Design and Accommodation

- Standard Class
  - (1) 2 + 3 Passenger Seats abreast.
  - (2) Disabled Passengers Facilities.
  - (3) Trolley Service. (Food & Drinks)

## Interior Design and Accommodation



## Interior Design and Accommodation



## Interior Design and Accommodation



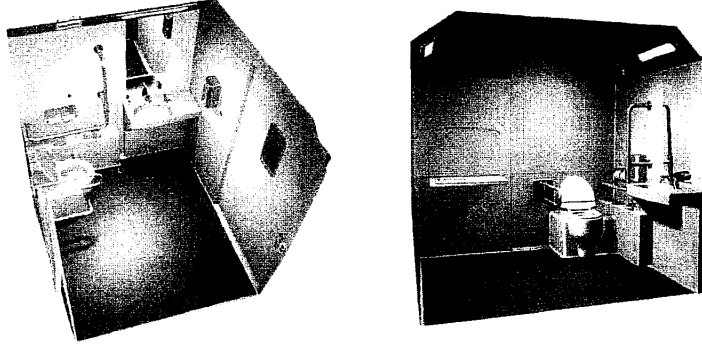
## Interior Design and Accommodation



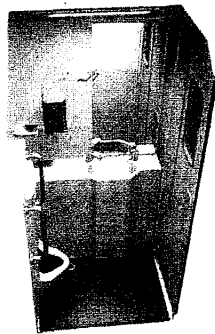
## Western Style Toilet



## Disabled Passenger's Toilet



## Male Urinal Toilet



## Electrical and Braking System

- Multiple Unit System
  - 9 motor-cars and 3 trailer-cars
  - 2 Pantographs
  - 3 Main Transformers
  - 9 Traction Control Units → High Redundancy
  - 36 Traction Motors

## Electrical System

- 25kV 60Hz Power Supply
- Use of State-of-the-art Technology
  - Insulated Gate Bi-polar Transistor (IGBT)
    - Noise Reduction.
- High Usage of Re-Generating Brake
  - Low Energy Consumption
  - Reduction of Brake Pad Wear

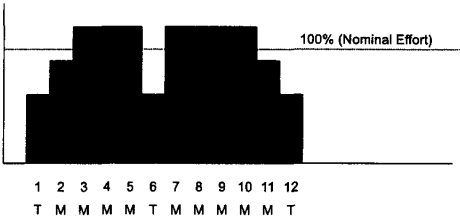


# Braking System

- Re-Generating Brake
- Eddy Current Brake on Trailer Cars
- ➡ Reduction of Brake Pad Wear

# Brake Effort Allocation

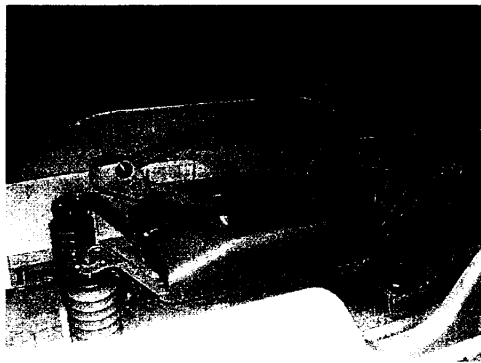
- Reduction of Brake Pad Wear
- Maximum Re-Generation Brake
- Minimization of Wheel Skid on Leading Car



## Pantograph

- Aerodynamic Noise increases in proportion to  $10^6$ .
  - Pantograph is the maximum noise source for high speed train.
- ➡ Development of Low Noise Pantograph

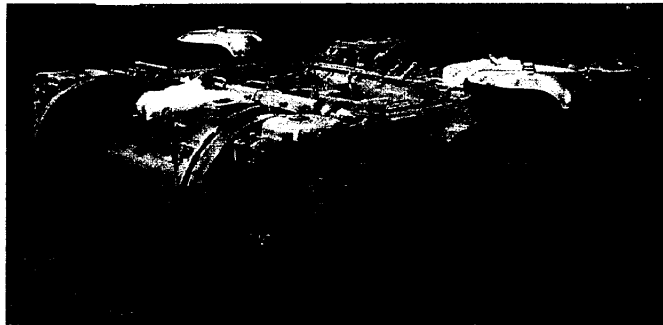
## Pantograph Developed for Series 700 Shinkansen



## Bogie

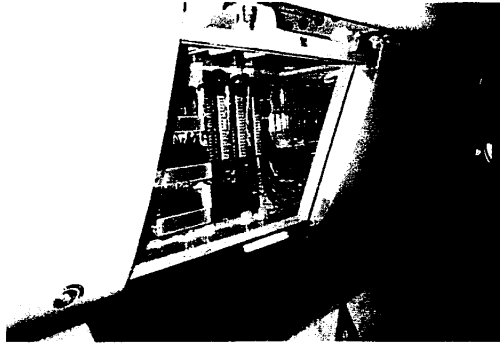
- Simple and Lightweight Construction
  - Good Ride Quality and Running Stability at 300km/h
  - High Adhesion Control in Rainy Condition
  - Less Maintenance
- ➡ Adoption of the Bogie for Series 500 Shinkansen

## Motorized Bogie of Series 500 Shinkansen



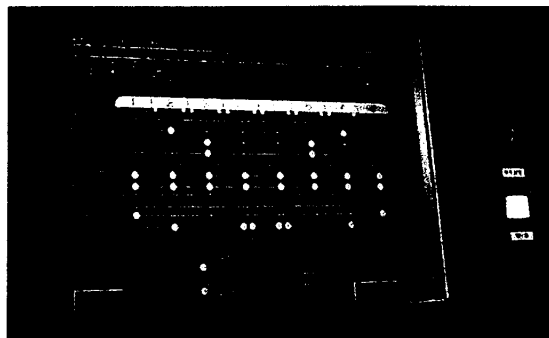
## Reduction of Maintenance Work

- Underfloor Equipment Inspection



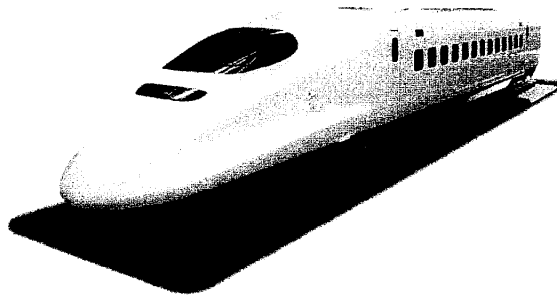
## Reduction of Maintenance Work

- On - board Monitoring System



## Conclusion

- The Rolling Stock for THSR  
Proven Technology of Series 700 & 500  
Shinkansen + Operation Conditions and  
Requirements in Taiwan.
- Expected to debut in Taiwan in early 2004



謝謝。

附件十三

# 建設計画・ルートの概要

## — 新技術の採用と工期の短縮 —

日本鉄道建設公団 盛岡支社 計画部計画課 補佐 井上秀一

東北新幹線は、青森市付近、八戸市付近、盛岡市付近を經由して東京と青森間を結ぶ延長670 kmの新幹線鉄道で、東京と東北地方を結ぶ大動脈として、高速交通体系の基幹をなし、地域の発展に大きく寄与する重要な路線である。

東北新幹線盛岡・八戸間の開業は、大宮・盛岡間が20年前（1982年）に暫定開業して以来のことである。

東北新幹線盛岡・八戸間は、平成3年に沼宮内・八戸間が、平成7年に盛岡・沼宮内間が標準軌新幹線（フル規格新幹線）で認可され工事を行った。

工事延長は94.5 kmで、この区間にいわて沼宮内、二戸、八戸の3駅が東北本線現駅と併設して

いる。

ルートは、東北新幹線盛岡駅より、在来東北本線西側を高架橋で並行し、車窓より岩手山、姫神山を望みながらトンネルに入り、大小のトンネル群で東側の北上山地、西側の奥羽脊染山地の丘陵地を抜け北上し、いわて沼宮内駅へ至る。

その後、高架橋、大小トンネル群で岩手町御堂地区へ抜け、陸上トンネルとしては、世界最長となる岩手一戸トンネルで広大な一戸町を縦貫し二戸駅へ至る。二戸駅より在来線に並行して進み、二戸トンネルを出て、鉄道・馬淵川・国道を第3馬淵川橋梁で跨ぎ、金田一トンネルで県境を越えて青森県に入り三戸トンネルを通り、水田地帯を通過し再び在来線と並行して八戸駅に至る。八戸駅より青森方約1kmに電車留置線が設置されている。

今まで、東京・八戸間は新幹線の東京・盛岡間、

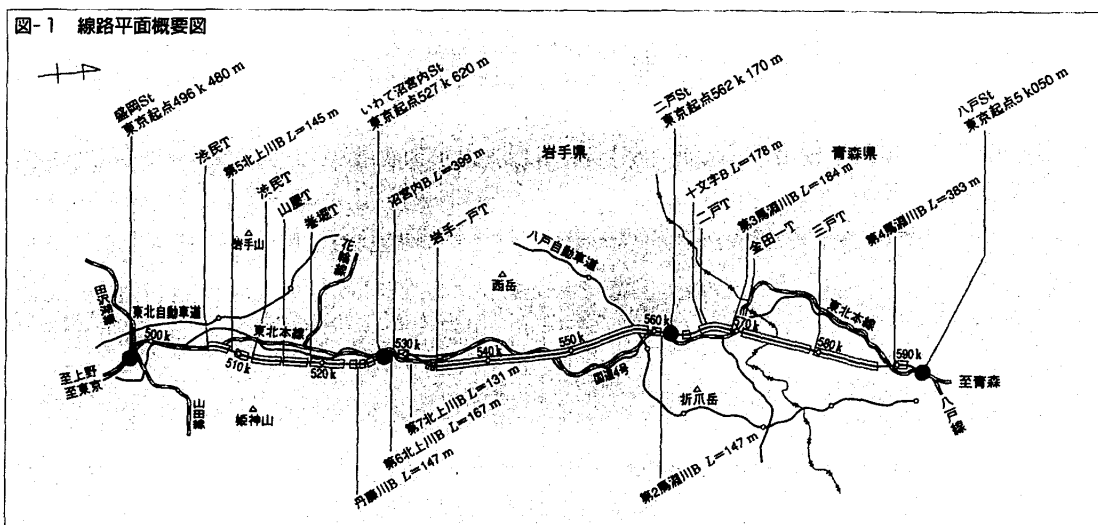
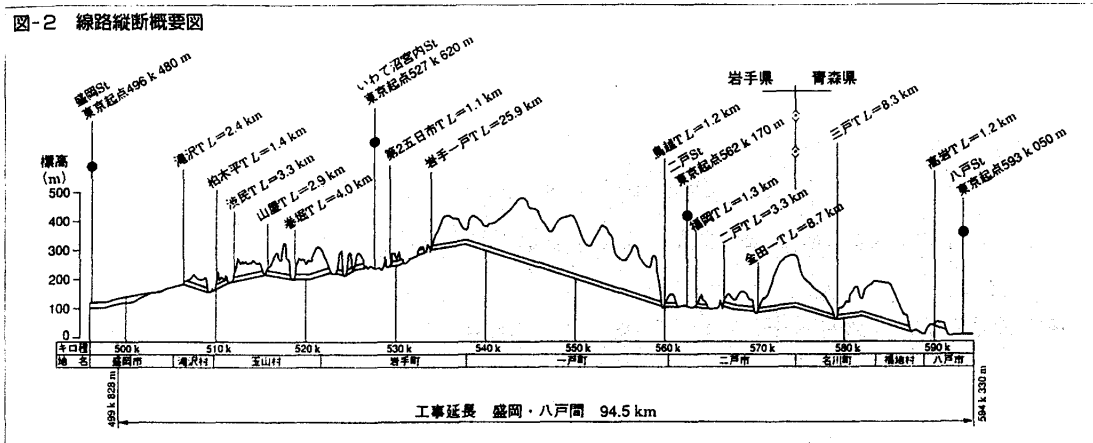
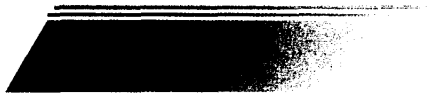


図-2 線路縦断概要図



在来線の盛岡・八戸間の乗り継ぎで最短3時間33分で連絡されていたが、盛岡・八戸間の新幹線の完成によって、東京・八戸間が新幹線「はやて」により最速で2時間56分で結ばれることとなり、大幅な時間短縮となる（図-1、2、表-1）。



東北新幹線は、厳しい財政事情の中での建設であることから、建設費の低減が重要な課題であると同時に、工期短縮による早期開業を目指していた。

計画・施工面で、できるだけ新しい技術を導入して建設費の低減に努めた。上路盤、橋梁、トンネル、軌道、電気における主な新技術を以下に述べる。

土構造物の新技术

土構造物の新技术としては、新構造切取土留壁とコラムネット工法を用いた軟弱地盤上盛土の採用が挙げられる。

切取土留壁の新幹線構造物への適用にあたっては、従来の土留壁では長期安定性、耐震性、耐降雨性および凍上対策の問題があり、これらを克服する必要があった。盛岡市郊外の路盤工事で、地質に対応した構造形式による凍上試験等を行い、新しい切取土留壁を開発し切取区間に採用した（写真-1、次ページ）。

軟弱地盤上盛土は、沈下抑制のため地盤の攪拌

表-1 東北新幹線（盛岡・八戸間）の概要

路線の概要	●区間	いわて沼宮内駅（併設：岩手町）
	●駅の位置	二戸駅（併設：二戸市） 八戸駅（併設：八戸市）
工事方法の概要	●路線延長	96.6 km
	●工事延長	94.5 km 路盤 13.6 km (14%) 橋梁 3.3 km (4%) 高架橋 8.4 km (9%) トンネル 69.2 km (73%)
工事方法の概要	●主なトンネル	浅良トンネル 約3.3km 巻堀トンネル 約4.0 km 岩手一戸トンネル 約25.8 km 二戸トンネル 約3.3km 金田一トンネル 約8.7 km 三戸トンネル 約8.3km
	●主な橋梁	第5北上川橋梁 約145 m 丹藤川橋梁 約147 m 沼宮内線路橋 約399 m 第3馬淵川橋梁 約184 m 第4馬淵川橋梁 約383 m
工事方法の概要	●主要な線路規格	設計最高速度 260 km/h 最小曲線半径 基本4 000 m 軌道中心間隔 4.3 m 最急勾配 20 ‰ 電留線の電気方式 交流 25 000 V (ATき電方式)

混合杭とジオテキスタイルを併用し、その上に盛土を行う構造である。八戸電留線路盤工区では、試験盛土による載荷試験実施しジオテキスタイルを2層配置とすることで、混合杭の本数を減らし建設費の低減を図った。

2. トンネルにおける新技术

岩手一戸トンネルは、延長25.8 kmの世界最長





写真-1 盛岡市郊外の切取区間

の陸上トンネルである。工事は限られた工期の中で建設しなければならないことから工区を7つに分割し、一連の作業を一台の機械で効率的に行える、ゼネラルジャンボ(総合大型作業用機械)を開発した。また国内有数の地山膨圧区間では、膨圧に適応した高強度吹付けコンクリートの開発およびスチールファイバーコンクリートを二次覆工に採用している。工事着手からトンネル貫通まで8年7か月を要する難工事であった。

また、高岩トンネルは土被りがうすいため、切羽の安定対策と地表面の沈下抑制を目的とした。切羽前方にプレランニングを先行構築しながら掘削するPASS工法を採用した。

#### 電気における新技術

第3馬淵川橋梁は、二戸トンネルと金田一トンネルに挟まれた比較的開けた谷間にある延長184mの橋梁である。東北本線・馬淵川・国道4号の上に架かる橋梁で、小規模スパン鉄筋コンクリート連続アーチ橋の景観性、施工性および経済性を生かした新幹線構造物としては、国内初の5系間連続バランスドアーチ(開腹式)橋である。

第5北上川橋梁は、盛岡市に建設された四十四

田ダムの貯水区域内である、一級河川北上川に架かる延長145mの下路トラス橋である。同橋梁の鉄筋コンクリート床版は、自重の軽減を図るため人工軽量骨材および気象条件を考慮し、耐久性向上を目的とした鋼繊維を使用した鋼繊維補強軽量コンクリートを用いている。

このほか、いわて沼宮内駅の盛岡方に位置する延長385mの第4乙茂内高架橋は、移動式鋼製型枠吊支保工の採用により工期の短縮を図った。

#### 電気における新技術

軌道では、保守の軽減化および乗り心地向上のためロングレール化を進めている。今回も、

極力伸縮継目等を挿入しないスーパーロングレール化を図り、レールの軸力等を検討し、北陸新幹線佐久平駅付近で採用されたバラスト用ロングレール対応分岐器の敷設状況を踏まえて検討した結果、二戸駅付近に設置する分岐器にロングレール対応の採用が可能となった(写真-2)。

その結果、沼宮内駅付近～第4馬淵川橋梁までの約60.4kmのスーパーロングレールとなった。

電気では、従来のATC(自動列車制御装置)システムは、速度信号により段階的にブレーキ制御を行っているため、乗り心地等の問題があった。

新ATCシステムは、列車の位置情報に基づくスムーズな一段ブレーキ制御により、乗り心地の向上のみならず、運転時分の短縮も可能となった。

盛岡・八戸間は、平成3年夏に工事が開始された。

用地は、岩手町・一戸町の一部地権者により用地取得が難航したが、平成12年6月に本線用地が全線にわたって確保された。

土木工事は、ほぼ10年で防護設備、付替え道路などの付帯設備を除いて、橋梁トンネル等の本

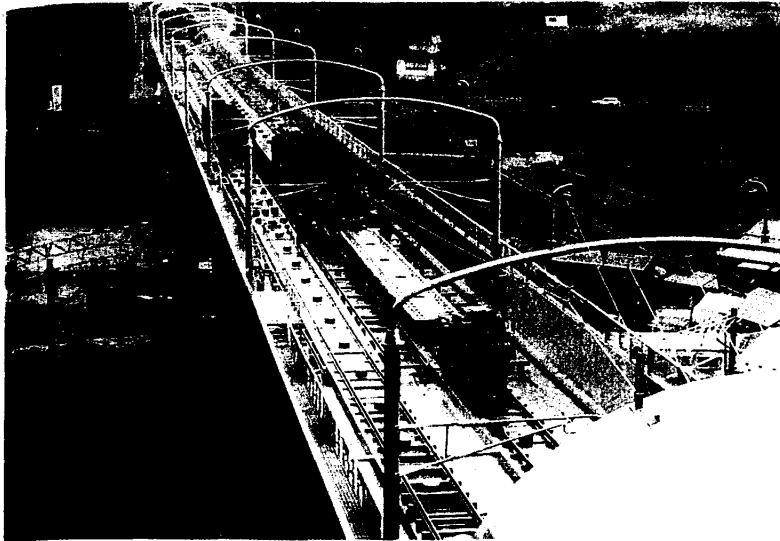


写真-2 橋梁における軌道敷設（第3馬淵川橋梁）

写真-3 八戸駅付近



体工事が完成した。

トンネルは、三戸トンネルが平成8年に最初のトンネルとして貫通し、平成10年から11年にかけては、渡民トンネル、山屋トンネル、第2五日市トンネルなどの中小のトンネルが相次いで貫通、平成12年には長大トンネルの金田一トンネル、巻堀トンネルそして、陸上トンネルとしては世界最長となる岩手一戸トンネルが、難工事を克服し最後のトンネルとして貫通した。

また、明り区間についても平成11年春には全線の工事が開始され、橋梁、高架橋、切取り、盛土工事が平成13年夏にはほぼ本体工事が完成となった。

軌道工事は、平成11年から軌道スラブの製作に取りかかった。平成12年2月には青森県福地村で最初のレール発進式を行い、土木工事が完成した区間より順次レールの敷設を行った。工事は順調に進捗し、平成13年12月に二戸駅構内でレール締結式が行われた。

電気工事も軌道工事と競合しながらも、着々と工事が進められ、完成を迎えることとなった。

建築工事は、いわて沼宮内、二戸、八戸駅の3駅のうち、八戸駅の工事はJR東日本に委託して実施した。

工事は、平成12年春に開始され、土木・軌道・電気工事と競合しながら平成13年8月には本体が完成した（写真-3）。