

出國報告書(出國類別：其他)

督導傾斜式電聯車 136 輛製造並 學習傾斜式列車維修、營運及路線維護

服務機關：臺灣鐵路管理局

姓名職稱：	副處長	陳仲俊
	副段長	陳文德
	副段長	黃鴻陽
	副段長	洪旭明
	專員	張雯慎
	段長	邱國松
	副工程司	辜松德

派赴國家：日本

出國期間：102 年 12 月 3 至 10 日

報告日期：103 年 3 月 3 日

目 錄

壹、出國督導並學習之依據及目的	1
貳、成員及行程	1
參、督導並學習過程	5
一、搭乘中部空港線 μ -Sky2000 型空氣簧式傾斜電車記要	5
二、日車豐川製車所督導並學習記要.....	6
三、名古屋鐵路部門與會記要	13
四、小田急電鐵公司部門與會記要.....	15
五、搭乘 JR 北海道鐵路公司傾斜式列車記要.....	18
六、東京東芝電機公司總部與會記要	20
七、搭乘小田急線 50000 型空氣簧式傾斜電車記要...	22
八、搭乘北越急行線記要	24
九、搭乘成田空港線特快車記要	25
肆、督導並學習心得	26
伍、建議事項	30
陸、102 年 12 月 3~10 日搭乘列車行程表	32
柒、北越急行線-北北線之線路設備及其維護管理.....	35
捌、傾斜電車概論	56
玖、傾斜式電車組行駛在曲線上之超高度相關探討...	80
拾、附件(臺鐵書面提問&日車回覆彙整資料)	89

壹、出國依據及目的

一、出國依據

本督導並學習案依據交通部臺灣鐵路管理局「102 年度派員赴日本督導傾斜式電聯車 136 輛製造進度並學習傾斜式列車維修、營運及路線維護計畫」辦理。

二、督導並學習目的

本局採購傾斜式新自強號(TEMU2000 型)列車共 136 輛，首批於 101 年 10 月 25 日抵達臺灣，經試車完成後，業於 102 年 2 月 6 日正式加入宜蘭線、北迴線營運，且最主要之臺東線也將於明年中正式行駛新自強號 TEMU2000 型，依據採購規定，傾斜列車行經曲線時因車體傾斜可抵銷部分離心力，其速度可較一般列車提昇 20%~40%，當曲線上速度提昇，則車輛對軌道之作用力亦會增加，對於軌道的破壞力也可能相對增大，有關如何訂定軌道養護標準、軌道養護技術、軌道結構加強以及車輛維修等攸關乘坐品質、行車安全措施，在學習是項經驗及規定依循，因此有必要赴日本觀摩見習。

鑑於日本 JR 西日本、小田急電鐵、名古屋鐵路及北海道 JR 鐵路與臺鐵鐵路同屬軌距 1067 公厘之窄軌系統，且傾斜式列車在日本鐵路已行駛多年，累積之經驗、技術、以及養護作業規章堪稱豐富、完備，足可做為本局軌道養護之範例，故乃辦理赴日本「督導傾斜式電聯車 136 輛製造進度並學習傾斜式列車維修、營運及路線維護計畫」。

貳、督導並學習成員及行程

一、督導並學習成員

姓名	單位	職稱
陳仲俊	工務處	副處長
陳文德	宜蘭工務段	副段長
黃鴻陽	嘉義電力段	副段長
洪明旭	花蓮電務段	副段長
張雯慎	運務處	專員
邱國松	臺北機務段	段長
辜松德	機務處	副工程司

二、督導並學習行程

102年12月3日至12月10日督導並學習日本督導傾斜式電聯車136輛製造進度及赴各鐵道公司瞭解傾斜式列車運行路線之營運、維修及路線維護經驗交流行程如下：
表1。

日期		行程及地點	工作內容	備註
第1天	12月3日 (星期二)	桃園中正機場→日本名古屋(中部國際機場)	去程	宿名古屋
第2天	12月4日 (星期三)	日本車輛豐川製造所	督導傾斜式電聯車136輛製造進度。 體驗名鐵2000型傾斜式列車運轉狀態。	宿名古屋
第3天	12月5日 (星期四)	日本車輛豐川製造所 名古屋鐵道公司	督導傾斜式電聯車136輛製造。 赴名古屋鐵道公司瞭解傾斜式列車運行路線之營運、維修及路線維護經驗交流。	宿名古屋
第4天	12月6日 (星期五)	名古屋→東京 小田急鐵道公司	名古屋移動至東京。 赴小田急鐵道公司瞭解傾斜式列車運行路線之營運、維修及路線維護經驗交流。	宿東京
第5天	12月7日 (星期六)	例假日	例假日	宿東京
第6天	12月8日 (星期日)	例假日	例假日	宿東京
第7天	12月9日 (星期一)	東芝公司 東京=箱根(往返)	赴動力控制系統製造公司—東芝公司。 搭乘小田急50000型傾斜式列車運轉狀態及區間各種轉乘運輸系統。	宿東京
第8天	12月10日 (星期二)	日本東京(羽田機場)→桃園中正機場	回程	

三、臺鐵督導並學習人員、各公司與會人員名單及會議地點

日期	臺鐵人員名單	各公司與會人員名單
12/4	<p><u>地點：</u> 日本車輛豐川製造所</p> <p>1.工務處 副處長 陳仲俊 2.宜蘭工務段 副段長 陳文德 3.嘉義電力段 副段長 黃鴻陽 4.花蓮電務段 副段長 洪明旭 5.運務處 專員 張雯慎 6.臺北機務段 段長 邱國松 7.機務處 副工程司 辜松德</p>	<p><u>地點：</u></p> <p>日本車輛豐川製造所會議室 鐵道車輛本部長：佐佐孝光 技術部：石塚部長、新川次長、新村 Group 長 品證部：渥美次長 海外部：青山部長、工藤 Group 長、白川、新田 日車臺灣：伊藤所長、童振疆經理 住友商事：西尾課長</p>
12/5	<p><u>地點：</u> 日車熱田總部</p> <p>1.工務處 副處長 陳仲俊 2.宜蘭工務段 副段長 陳文德 3.嘉義電力段 副段長 黃鴻陽 4.花蓮電務段 副段長 洪明旭 5.運務處 專員 張雯慎 6.臺北機務段 段長 邱國松 7.機務處 副工程司 辜松德</p>	<p><u>地點：</u> 日車熱田總部會議室</p> <p>與名古屋鐵道公司之技術交流會 (日車本社第 1 會議室)</p> <p>名古屋鐵道公司 車輛部：安藤課長 土木部：今枝課長</p> <p>日本車輛 常務董事：永田洋</p> <p>國內業務部：水谷部長 海外部：工藤 Group 長、白川 日車臺灣：童振疆經理</p>
12/6	<p><u>地點：</u> 新宿小田急電鐵總部</p> <p>1.工務處 副處長 陳仲俊 2.宜蘭工務段 副段長 陳文德 3.嘉義電力段 副段長 黃鴻陽 4.花蓮電務段 副段長 洪明旭 5.運務處 專員 張雯慎 6.臺北機務段 段長 邱國松 7.機務處 副工程司 辜松德</p>	<p><u>地點：</u> 新宿小田急總部會議室</p> <p>小田急電鐵公司： 車輛部：吉久課長、鈴木擔當課長、渡邊 工務部：八山、長谷川</p> <p>日車公司： 國內業務部：赤松部長 海外部：工藤 Group 長 日車臺灣：童振疆經理</p>

12/9	<p>地點：<u>東京川崎東芝公司總部</u></p> <p>1.工務處 副處長 陳仲俊 2.宜蘭工務段 副段長 陳文德 3.嘉義電力段 副段長 黃鴻陽 4.花蓮電務段 副段長 洪明旭 5.運務處 專員 張雯慎 6.臺北機務段 段長 邱國松 7.機務處 副工程司 辜松德</p>	<p>地點：<u>東京川崎東芝公司總部</u></p> <p>東芝公司與會人員</p> <p>鐵道系統技師長：石井秀明</p> <p>技術部：白石部長、櫻井參事、宮崎 主幹、平原課長、蔡擔當</p> <p>府中：守屋主查</p> <p>業務：重岡部長、鈴木 Group 長、 西尾主務</p> <p>日車公司與會人員</p> <p>海外部：工藤 Group 長</p> <p>日車臺灣：童振疆 經理</p>
------	---	---

參、督導並學習過程

一、搭乘中部空港線 μ Sky2000 型空氣簧式傾斜電車記要

12/3 日 搭乘中華航空 8:15 分之 CI-154 班次至日本名古屋機場，下機出航站後改乘坐名古屋空港線之 μ Sky 2000 型空氣簧式傾斜電車組至名古屋，沿線感受該型車輛之乘坐舒適度及動搖情形。

中部空港線：為 μ Sky 2000 型空氣簧式傾斜電車組，最高時速 120km/h。



圖 1. 名鐵 μ Sky 2000 型空氣簧式傾斜電車組

實地搭乘體驗

- (1) 名鐵特急 2000 系空氣彈簧傾斜式列車，其車身為日本車輛公司製造，但傾斜機構為「住友金屬」製造，傾斜機構為空氣彈簧傾斜 2 度，傾斜方式為曲線外側升起 2 度，而曲線內側不動（單邊升降），故進入彎道前不需有預升機制，與臺鐵新自強號列車的傾斜結構及作動有部分差異。
- (2) 中部機場至名古屋市 39.3 公里，於 28 分鐘到達，換算平均速度僅 84.2km/h，乘坐感覺平順。
- (3) 2000 系列車於過彎時車身有傾斜動作，也提高速度行駛，但因其最高速度較臺鐵低 10km/hr，曲線限速較臺鐵低 5km/h，故感覺搖晃程度較小。
- (4) 因常滑線高架路段佔很大比例，一般高架軌道之穩定性均較路基軌道為佳，故列車行駛較為平順，高架段亦是因素之一。

二、日車豐川製車所記要

12/4日 搭乘 JR 東海新幹線由名古屋→豐橋，至豐橋後再轉搭名鐵國府線至國府站，再轉搭名鐵豐川稻禾線至諏訪站，由日車工藤課長及其在臺技術經理童振疆陪同至日車豐川製車廠與日車本部長及各部長開會，會議內容主要請日車對新自強號 TEMU2000 型傾斜車輛現有缺失全面儘速改善外，並邀請日車鐵道車輛本部長佐佐孝光先生，務必來臺乘坐太魯閣號鐘擺式及傾斜列車新自強號 TEMU2000 型之空氣簧式傾斜列車，比較此兩種車型之乘坐舒適度及動搖情形。會後至現場確認最後兩組之製造情形及進度。

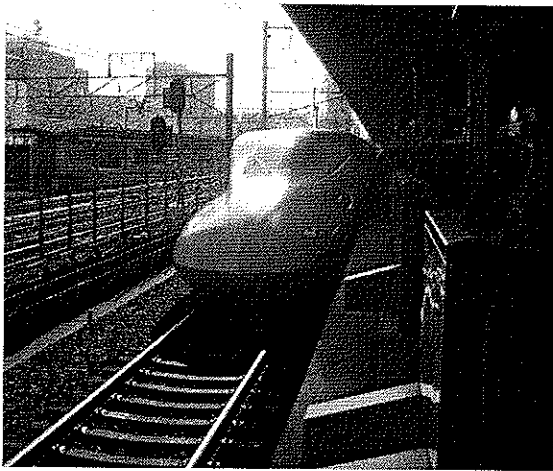


圖 2. 新幹線(回音號)名古屋→豐橋



圖 3. 新幹線(回音號)名古屋→豐橋



圖 4. 豐橋搭名鐵國府線至國府站

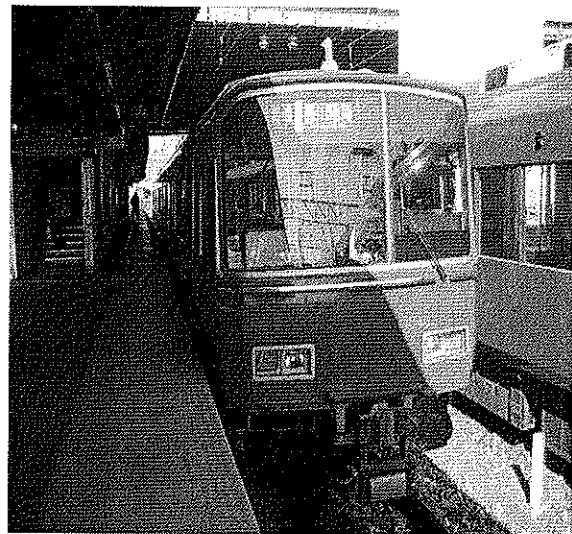


圖 5. 國府站搭名鐵豐川稻禾線至諏訪站

12/4 日 日車公司豐川工廠會議

鐵道車輛本部長：佐佐孝光

技術部：石塚部長、新川次長、新村 Group 長

海外部：青山部長、工藤 Group 長、白川、新田

日車臺灣：伊藤所長、童振疆經理

品證部：渥美次長

住友商事：西尾課長



圖 6. 與日車公司開會情形

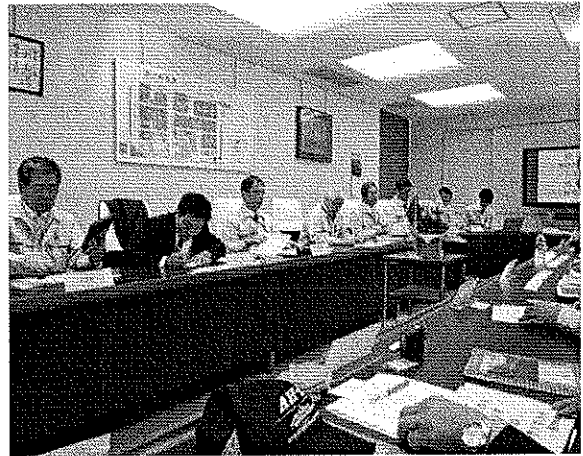


圖 7. 與日車公司開會情形

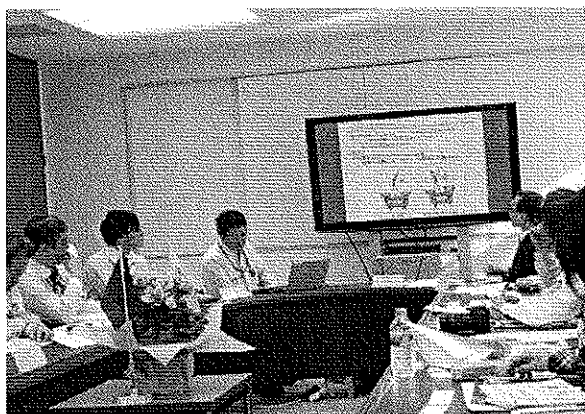


圖 8. 與日車公司開會情形



圖 9. 與日車公司開會情形



圖 10. 日車公司豐川工廠安全宣導

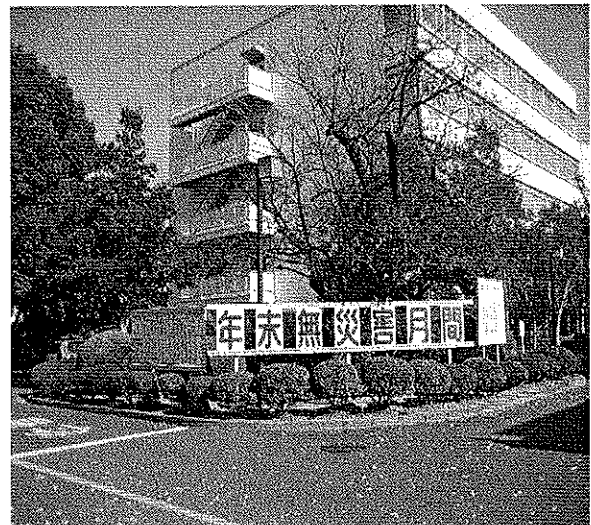


圖 11. 日車公司豐川工廠安全紀錄

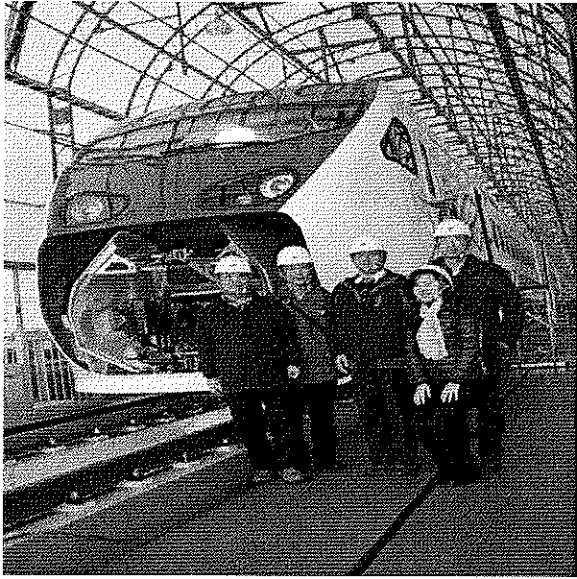


圖 12. 日車公司豐川工廠



圖 13. 日車公司豐川工廠

佐佐本部長致詞：

前幾天與局長在臺灣見面，大家都同意有關乘坐舒適度的改善，除了改善車輛方面的同時，貴局也會在軌道方面進行改善的共同結論；另外也收到了來自副局長的相同通知，日車公司將盡一切努力，提供更好的車輛，期使臺灣的國民滿意開心。

日車公司簡介(DVD)傾斜系統：

- ①空簧傾斜式列車為最新之系統
- ②空簧傾斜式之安全性亦極佳
- ③車輛方面的乘坐舒適度提高效果已有成效
- ④軌道的維護管理也對乘坐舒適度有很大影響

(一) 臺鐵局：

1. 本次赴日目的主要為確認 136 輛新自強號最後進度及瞭解空氣彈簧傾斜式列車在日本之運轉狀況，並特別邀請日車豐川本部長佐佐先生務必到臺灣，乘坐太魯閣號鐘擺式及新自強號空氣簧式傾斜列車往返樹林至花蓮，比較此兩種車型之乘坐舒適度及動搖情形，並提供建議。
2. 在臺灣，太魯閣號列車已營運 6 年，營運後之路線維護保養的人力、機具及投入經費並無顯著改變，路況也維持穩定。新自強號於今年投入營運，其行駛狀況非常不同，與太魯閣號相比，新自強號行駛中搖晃程度更為激烈嚴重，對軌道不整的處所更加敏感，曲線線形的破壞也較加大。故車輛及駕駛單位認為是軌道路況不良所致，而軌道維護單位認為是車輛不好所致，希望能瞭解其原因，以及傾斜列車行駛之路線，軌道管理維護有何需特別注意之處。

(二) 日本車輛：

1. 對於新自強號列車的搖晃情形，日本車輛公司已深入瞭解研究其造成原因，也積極尋求改善對策，目前已有部分對策，例如變更控制軟體，調整升降系統，增加控制命令等，且已有成效。日本車輛仍會持續改善車輛的軟、硬體，以符合臺灣人民的需要。車輛方面將繼續努力改善，軌道方面也希望臺鐵局同時進行改善。

2. 有關新自強號列車行駛對路線、曲線的破壞有加重情形，但如簡報說明，此車型應不致造成太大影響。可能是新自強號列車加入營運致班次增加，又密集試車等造成列車通過班次較以往更多。而列車班次增加，所以維修頻率和維修能量也要相對增加，若已到達一級線（臺鐵之特甲級線）則應投入相對應之維修資源，以確保列車運轉安全。
3. 提高速度縮短行車時間要有許多配合作法，JR 東海的在來線提速，除了車輛採用新型傾斜式列車外，軌道路況也有改善，例如名鐵的常滑線（名古屋中部國際機場→名古屋）搭乘傾斜式列車就很舒適。
4. 新自強號列車是最新型，最先進的傾斜式列車，日本車輛會瞭解原因，也將會持續改善。臺灣鐵路管理局書面提問，日本車輛方面的回覆，詳如下表：

表 2.

NO	臺鐵提問問題	日本車輛公司回覆
A1	日本的傾斜式列車的特別運轉規定	在日本並無政府法規硬性規定，而是由各鐵路業者以其內規制定「運轉操作標準(行車規章)」。在其規章中，僅針對傾斜控制失效時的有關操作有所規定。
A2	傾斜式列車與一般傳統列車在車輛上與路線上之保養週期及須特別檢修相關規定	車輛方面：依據各鐵路業者所自行制定的「車輛構造實施基準規程(車輛構造規章)」，依列車行駛公里或是年月限度中最早到達者，來決定進場時機，與非傾斜式車輛並無差異。 路線方面：多依據資料⑥：國土交通省鐵道局監修之鐵道相關技術基準（土木編）辦理，以通過噸數及軌道變位（不整）來進行維護，傾斜式列車與一般傳統列車並無不同。
A3	輪軌關係，相互攻擊理論	請參見資料①--「在來鐵道 提高運轉速度的技術方策--鐵道總研編輯」中 3.2.2 節「曲線部的列車荷重與軌道強度」
A4	請日車提供速限多少時發生蛇行運動，如何設計計算	請參見資料②--「鐵道車輛動力學 日本機械學會編」--1.5「左右系」一節因裝有抗偏搖油壓減震器，故在模擬與實測中均確認達 500km/h 亦不發生蛇行動。
A5	板式軌道與空氣簧傾斜車輛間之共振發生如何估算，其彼此發生頻率為何	請參見資料②--1.4「上下系」一節
A6	各種傾斜（含逆傾斜）時之理論式及實測值之比較	請參見資料③--「車體傾斜車輛--日車資料 BD130677」之 2.「空氣彈簧傾斜時之行駛安全性」一節
A7	新自強號如何確認確有傾斜到 2 度	因可在定常加速度在 0.08G 以內行駛，故可資證明有傾斜達 2°

A8	進站過轉轍器車輛左右動搖嚴重之解決之道	請參見資料①--3.3「分機器構造」一節
A9	新自強號列車進入曲線時動搖嚴重之解決對策)	請參見資料①--3.4.3「急曲線部的軌道管理」
A10	為何尾車較車頭更搖	因通過軌道變位(不整)特大之區間造成的影響、透過車間連結剛性傳遞到編組後方、因此在最後端的駕駛台可能最搖晃
A11	最高速度110km/h與140km/h的軌道,電車線有何不同要求?有無日本國內標準?	請參見資料①--3.2.1「高速化與軌道構造」、同資料 2.「電車線」一節
A12	日本針對傾斜式列車有無路線上或是中性區間之特別規定? 裝設於曲線路段之中性區間設備,是否有特別規定要求?	請參見資料①--P.120「分機器構造」
A13	日本的傾斜式列車的司機員與一般列車的司機員,在教育訓練上有何不同?	以各鐵路業者內規「運轉操作標準(行車規章)」,依此對司機員進行教育
B1	新自強號(傾斜式列車)行駛區間,電車線設備宜加強注意維修之要項有哪些?	在資料①--P.83→P.102、2.「電車線」一節有詳述應注意之要點
B2	新自強號(傾斜式列車)集電弓之傾斜是隨車廂或轉向架傾斜?兩者有何差異?對於中性區間設備(Neutral Section)有何影響?尤其是裝設於曲線路段之中性區間設備,應如何因應傾斜式列車之行駛?	新自強號集電弓設計以傾斜2°為極限、因係固定在車體之構造,故構造簡潔為優點、只將集電舟部份略加大。
B3	新自強號(傾斜式列車)有無700型電聯車之再生能源功能?若有,則對變電站之供電有無不良影響?防範對策為何?	有再生軛機設計,不會對變電站有不良影響。牽引主迴路設計符合IEC61287,IEC60146規範。 此外,不會有不良影響一事已透過IEC61000,IEC62236規定確認過。
B4	新自強號(傾斜式列車)行駛路線,軌道中心至電桿面之最小距離限制為多少?	資料⑥--P.226:依據普通鐵道構造規則規定以建築限界直線區間條件,以及不同曲線半徑條件計算距離限制,不論有無傾斜均永遠收在車輛限界內、故與傳統列車之距離限制並無不同
B5	集電弓之集電舟有兩軌式及單軌式,各有何優缺點?依貴公司之經驗,兩軌式及單軌式集電舟適合之時速範圍為何?對中性區間設備有何影響?	兩軌式集電舟為傳統以來的設計,在日本則針對新幹線需要為減少空力噪音而開發有單軌式的集電弓。單軌式集電弓為防止舟體前後方向傾斜,故設有防傾斜機構。如電車線條件相同時,則雙軌式的追隨性

		比單軌式為佳。集電性能（含對中性區間之影響）兩者則無差異。																																			
C1	傾斜式列車，傾斜 5 度（太魯閣號）與傾斜 2 度（新自強號）之傾斜原理？	請參見日本車輛 BD130677 簡報說明																																			
C2	傾斜 5 度與傾斜 2 度，對軌道結構的影響程度如何？	詳簡報說明：外軌輪重增加（包括因而造成的橫壓增加）是以鐘擺式傾斜 5° 較空簧傾斜 2° 大 10%。																																			
C3	為何傾斜 2 度之新自強號，搖晃程度比傾斜 5 度之太魯閣號大？	也有人說新自強號比較不搖，搖晃感覺因人而異，無法一概而論說那一種比較好。																																			
C4	日本目前與新自強號同一類型之傾斜式列車，行駛區間之軌道條件： （一）道碴厚度 （二）鋼軌重量 （三）道岔結構 （四）曲線長軌化最小曲線半徑 （五）最大超高 （六）最大容許超高不足量 1. 傳統列車 2. 傾斜式列車	依資料① （二）P.111：採用 50N 或 60kg 鋼軌 （四）P.116：長焊鋼軌區間最小曲線半徑為 R300 （五）最大超高為 105mm （六）P.118：非傾斜=70mm、傾斜=110mm 依資料⑥ （一）P.335：150→250mm （三）P.120：採彈性岔化+道岔內鋼軌接頭焊接																																			
C5	行駛傾斜式列車之路線，軌道構造是否需要強化？	有必要。在資料⑤：為提高曲線通過速度所需的軌道管理（古川敦）有詳細解說。																																			
C6	日本目前與新自強號同一類型之傾斜式列車行駛速度如何？ （一）直線 （二）曲線半徑 300 公尺→800 公尺	JR 北海道的キハ 261 與名鐵 2000 系為同型設計同傾斜角，速度如下： <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>本則</th> <th>JR 北海道</th> <th>名鐵</th> <th>TRA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>直線</td> <td></td> <td>130</td> <td>130</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>R300</td> <td>65</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>R400</td> <td>75</td> <td>95</td> <td>95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>R500</td> <td>80</td> <td>105</td> <td>105</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>R600</td> <td>90</td> <td>115</td> <td>115</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>R800</td> <td>100</td> <td>125</td> <td>120</td> <td>135</td> </tr> </tbody> </table>		本則	JR 北海道	名鐵	TRA	直線		130	130	140	R300	65	80	80	85	R400	75	95	95	100	R500	80	105	105	110	R600	90	115	115	120	R800	100	125	120	135
	本則	JR 北海道	名鐵	TRA																																	
直線		130	130	140																																	
R300	65	80	80	85																																	
R400	75	95	95	100																																	
R500	80	105	105	110																																	
R600	90	115	115	120																																	
R800	100	125	120	135																																	
C7	曲線條件是否有限制？ （一）緩和曲線（介曲線）最小長度？ （二）反向曲線間之直線段最小長度？	（一）資料⑥：依鐵道相關技術基準 P.134，緩和曲線長 $L = 300 \cdot C_m$ （實超高） （二）依資料⑥P.167：插入直線長 $L = 0.4 \cdot V$ （速度）+ L_0 （第 1 軸→第 4 軸間之距離）																																			
C8	在行經連續或左右變換之彎路段（reverse or transition curves）時，車體傾搖機構會快速變換，從完全左傾至完全右傾所需時間？	因傾斜速度為 2°/sec、自完全左 2° 傾斜到右 2° 傾斜所花的時間，在定置傾斜狀態下為 2 秒、但實際上因軌道變位（不整）將造成若干變動、但因有 BOS（增速風泵裝置）故可得到安定且十足的傾斜速度																																			
C9	半徑 300 公尺及 600 公尺曲線上，新自強號列車速度為 85km/h 及	請參見資料③： 2. 「空氣彈簧傾斜時的行駛安全性」 理																																			

	120km/h，完全傾斜時之橫向壓力，各為多少？與無傾斜型列車橫向壓力相比，其增加量為何？	論上傾斜與非傾斜時的橫壓差異在 3%以內，但實測上未發現有差異。
C10	軌道方向、水平不整值達多少時會造成傾斜列車之危險？	請參見資料①： P.126：3.4「軌道管理」，概略值是 10m 弦正矢為 6mm、20m 弦正矢為 10mm 以內。
C11	新自強號的脫軌係數？	依據已提送之資料 DAR-TEMU-TR-T120RevB、依 PQ 測定結果已驗證脫軌係數 Q/P 在 1.06 以下。此外 1.06 為 NADAL 式所計算的 Q/P 限度值
C12	新自強號列車在曲線上從何處開始作車體傾斜動作？何時終止傾斜動作？	新自強號列車為在圓曲線入口，出口間達最大傾斜角之梯形動作模式、故傾斜動作開始位置及終了位置將依速度及緩和曲線長度而不同。
C13	軌道上有複曲線，對傾斜式列車會有何影響？	依 DAR-TEMU-TBOG-0007E「傾斜系統概要」第 2 章「傾斜時機」說明，並非依據該曲線屬單一或複合曲線，緩和曲線的通過時間經確認在臺鐵所有路線都在 1 秒以上、故比 2° 傾斜所要之 1 秒為長、故對傾斜式列車無影響。
C14	同一曲線，其圓曲線兩端之介曲線長度不一樣，傾斜式列車會如何？	傾斜式列車係以在圓曲線入口與出口間維持最大傾斜為前提，再對前後展開之傾斜模式。
C15	傾斜式列車防脫護軌的鋪設條件（脫線防止的敷設條件）？	在資料⑥之 P.311(4)有說明防脫軌護軌的設置條件、在日本係以所謂「推定脫軌係數比」之數值來判斷是否需鋪設護軌。
C16	以宜蘭線 K13+233~319 間西正線（侯硐站內北端）之 IW24 及 IW25 之連續反向曲線為例： 1. 編號 IW24 曲線：半徑 R=1000m，介曲線 L=30m，右向曲線 2. 編號 IW25 曲線：半徑 R=1000m，介曲線 L=30m，左向曲線 3. 兩曲線間之直線段僅有 2.60m。 4. 一般列車限速為 85km/hr，傾斜式列車之速度增加 25，為 110km/hr，換算車速每秒 30.6m。 5. 傾斜式列車通過時以車體傾斜方式提速運轉，從直線路段（0 度）至圓曲線段（傾斜完成），必須於介曲線 30m 長度中完成，換算需於 1 秒內完成傾斜動作。 6. 傾斜式列車通過 IW24 曲線，至 IW25 曲線時，因兩曲線間直線緩衝段僅有 2.6m，通過時間僅 0.08 秒。 7. 從 IW24 圓曲線（右傾）至 IW25 圓曲線（左傾），距離為：IW24 介曲	宜蘭線 IW24、25 之 2 曲線的超高不足量小，故不在傾斜動作的對象內。該區間除非有軌道變位（不整）較大問題，否則新自強號無行駛限制之必要。

	<p>線 30m+直線段 2.6m+1W25 介曲線 30m=62.6m。換算傾斜式列車速度，僅有 2.05 秒的時間，必需完成從右傾轉為左傾。</p> <p>8. 此一路段因傾斜式列車快速搖晃，乘客易感學不適，新自強號列車行駛是否有限制？</p>	
--	--	--

三、名古屋鐵路部門記要

12/5 日 至名古屋熱田之日車總部，就經營所使用之 μ Sky 2000 型空氣簧式傾斜電車組，在營運上、電車線、路線及車輛保養維修之實務經驗，做為本局日後新自強號 TEMU2000 型在營運、電車線、路線及車輛使用上運作參考。

與名古屋鐵道公司之技術交流會（日車本社第 1 會議室）

車輛部：安藤課長

土木部：今枝課長

日本車輛

常務董事：永田洋

國內業務部：水谷部長

海外部：工藤 Group 長、白川

日車臺灣：童振疆技術經理

永田常務董事致詞：

日車公司鐵道車輛本部以本部長為首，榮獲貴局真摯的指導，日車本部將團結一致來解決問題。很榮幸這次有機會來承接臺灣所有國民高度期待的案件，將不會辜負此一期待。



圖 14. 名古屋熱田之日車總部永田常務董事會晤情形



圖 15. 於日車總部與名鐵公司技術交流

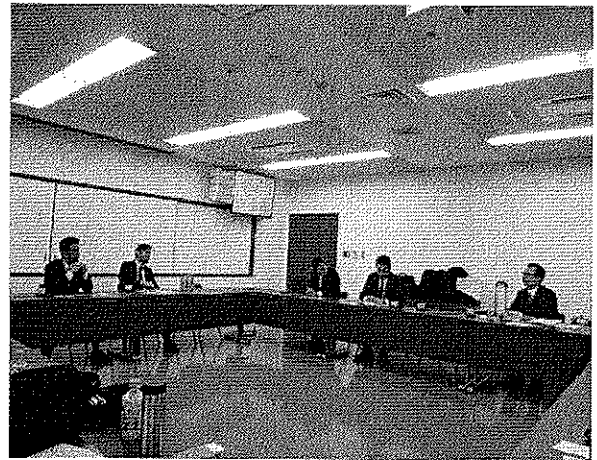


圖 16. 於日車總部與名鐵公司技術交流

名鐵公司：因中部國際機場啓用時，至名古屋站之交通時間要求在 30 分以內，故有提高曲線通過速度的必要性，因而引進傾斜式車輛。但單只引進傾斜式車輛無法安全地提高速度。故也進行了使路線曲線半徑加大等軌道改良。常滑線有相當歷史，爲加大曲線半徑故收購了土地等。

臺鐵局：臺鐵在 R300 曲線傾斜車輛必須以 +20km/h 後的 85km/h 運轉。請問名鐵的標準爲何。

名鐵公司：在遵守國家標準的前題下，曲線通過速度是依據超高、緩和曲線、由鐵路事業者考慮舒適性、行車時間及確保安全性之基礎上來決定。

臺鐵局：綜合礮道機的使用週期爲何。

名鐵公司：名鐵擁有 2 台綜合礮道機，是訂定年度計畫，每條路線一年約 2~3 次。投入傾斜式列車的路段並未有軌道損壞較快的情形。所有的路線都是採用相同的軌道維修方式。名鐵除了綜合礮道機的維修作業外，另針對一級線每年進行 4 次的列車動搖檢查，如測得異常數值時，立即進行軌道修護作業，修護後當然乘坐舒適度也獲得改善。

名古屋鐵路常滑線現況

(一) 常滑線之舊線改善

1. 常滑線鐵路爲具有相當歷史之舊線，半徑小，平交道多，路況甚爲不良。名古屋中部國際機場新建時，名鐵公司配合輸送機場旅客，設定由機場至名古屋市之行車時間應在 30 分鐘以內，要縮短行車時間，可分爲新購車廂及路線改善兩方面。
2. 路線做了許多改善，包括曲線半徑加大及高架化等工程。經過與居民溝通及徵收土地、截彎取直，改線後從名古屋市至名古屋機場之里程爲 39.3 公里。

- 3.另外也採購新型列車，向日本車輛購買 2000 系空氣彈簧傾斜式列車，提高速度行駛，可於 28 分鐘到達。

(二) 常滑線路況

- 1.常滑線目前最小半徑為 250 公尺，名鐵公司在曲線密集之路段是採通盤考量的，是將曲線線形、超高、介曲線長等各種關係，作綜合思考，由鐵路事業者考慮舒適性、行車時間及確保安全性之基礎上，決定該路段之行駛速度，並不單獨考量個別曲線之可行駛速度，故較無劇烈震動之情形。
- 2.行車速度最高為直線段 120km/hr，曲線限速則依據 JR 東海所訂限速行駛。
- 3.有關兩曲線間之直線路段小於 20 公尺，車輛如何傾斜通過的問題，在常滑線因已作軌道改良及截彎取直工程，兩曲線間之直線緩衝段過短（少於 20 公尺，約 1 車廂長度）情形極少，若有小於 20 公尺者，應採降速因應。
- 4.常滑線之維修，名鐵公司採用一級線（對比臺鐵為特甲級線），軌道檢查每年 4 次，視檢查結果排定維修工作，並不特別針對空氣彈簧傾斜式列車作調整。
- 5.常滑線年通過噸數約 1,500 萬噸，正線上的鋼軌，50kg/N 型及 UIC60kg 型都有，正線道岔均採樹脂枕木，軌道大部分為 PC 枕石碴軌道，僅有少量無道碴軌道。

四、小田急電鐵公司部門記要

12/6 日 搭乘 JR 東海新幹線由名古屋→東京，至東京再轉搭 JR 中央本線至新宿，由日車工藤課長及其在臺技術經理童振疆陪同拜會小田急電鐵，就小田急線所使用之 50000 型空氣簧式傾斜電車組，營運上、電車線、路線及車輛保養維修之經驗交流，做為本局日後新自強號 TEMU2000 型在營運、電車線、路線及車輛使用上運作參考。會後，再新宿搭 JR 中央本線至東京。

東京搭 J R 東日本新幹線至新青森。

搭 J R 東日本在來奧羽本線由 新青森→青森

102 年 12 月 6 日 小田急電鐵公司技術交流會（小田急公司新宿本社）

小田急電鐵公司：

車輛部：吉久課長、鈴木擔當課長、渡邊 工務部：八山、長谷川

日車公司：

國內業務部：赤松部長 海外部：工藤 Group 長 日車臺灣：童振疆經理

小田急電鐵鈴木擔當課長說明：

50000 系是於 2005 年投入營運。目標是追求最高等級的乘坐舒適度。

臺鐵局：引進乘坐舒適度高的車輛應該花費不少費用。請問貴公司為何選擇引進傾斜式車輛。是否在營運後有收到旅客抱怨不舒適？

小田急：沒有收到抱怨。小田急的軌道已經非常良好，所以我們另外在車輛方面做更進一步的追求。然而，「乘坐舒適度是在於軌道」來決定。如軌道不整則無論何種車輛走到那個地點都會發生振動。

小田急：在車輛方面，車輪踏面如有擦傷則儘快削正，另引進傾斜機構、連結式轉向架等裝置，以努力改善旅客乘坐舒適性。

小田急：軌道每週 1 次、全線以目視步巡確認。另定期以檢測車、鋼軌探傷車、鋼軌研削車、石碴車、綜合砸道機等進行維護。

小田急：小田急電鐵營業里程為 120.5km、車站數 70、平交道 250 處。

小田急：臺鐵局如何保養檢查路線？

臺鐵局：以列車隨乘方式每天進行軌道確認、徒步巡線每週 1 次。但因是 100 年前所敷設的軌道故沒有巡線用的步道空間，爲了防止觸撞事故在執行步巡上感到有所困難之處。

臺鐵局：臺鐵在 R300 曲線傾斜車輛必須以+20 後的 85km/h 運轉。請問小田急的標準為何？

小田急：在遵守國家標準的前題下，曲線通過速度是依據超高、緩和曲線等條件，由鐵路事業者決定。提速時另向國家申請許可。

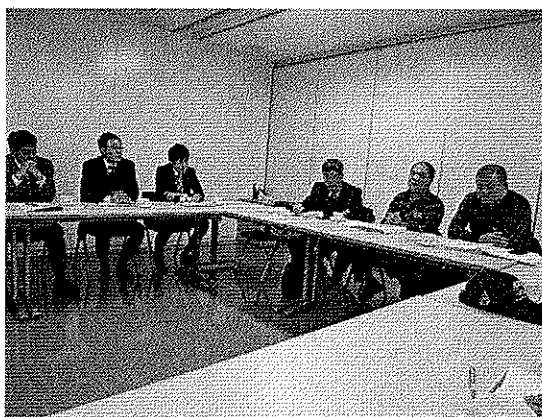


圖 17. 與小田急電鐵公司交流會議

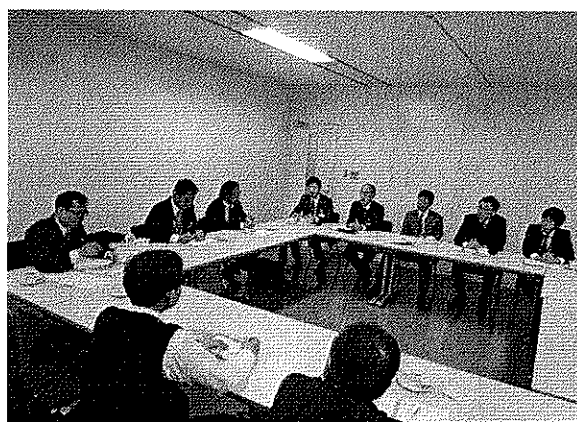


圖 18. 與小田急電鐵公司交流會議

日本小田急鐵路公司現況

(一) 小田急鐵路公司路線狀況

1. 專營東京至小由園（箱根）之在來線鐵路，營業里程 120.5 公里，沿途有 70 個車站，250 個平交道，因平交道密集，每週有 2 次平交道的人工檢查。
2. 現有正式員工 150 人，另路線維修養護方面則由協力廠商（外包商）執行，公司僅有道岔砸道車、綜合砸道車各 1 部作爲急用。

3. 正線上的鋼軌，50kg/ N 型及 UIC60kg 型都有，正線道岔均採樹脂枕木，軌道大部分為 PC 枕石碴軌道，僅有少量無道碴軌道。
4. 行車速度最高為 110km/hr，曲線通過速度是在遵守國家標準的前提下，依據超高、緩和曲線等的條件決定，一般都是以 JR 東海鐵道所訂限速之下，若要提高限速，則需向國家申請許可。

(二) 小田急公司引進傾斜式列車經過

1. 小田急公司於 2005 年間，自日本車輛公司引進「50000」型空氣彈簧傾斜式列車共計 2 列，其傾斜機構與臺鐵新自強號列車相同。
2. 小田急的軌道已經非常良好，所以另外在車輛方面做更進一步的追求，當時引進傾斜式列車的目的是提升旅客乘坐的舒適度，所以並未提高速度運轉，仍以一般列車速度行駛，其車體的傾斜作用僅為消除車內旅客的離心力，故乘客能感到更為舒適。
3. 傾斜式列車未提速的原因，主要為小田急線列車班次非常密集，也有少量的貨物列車，若純以傾斜式列車提速運轉，則前方先行列車將有頻繁的避讓行為，會影響一般列車乘客之權益，而小田急公司重視所有列車乘客之權益，並不能單獨只考量傾斜式列車旅客。
4. 另一個未提速原因為小田急線平交道非常密集，提速恐影響行車安全。
5. 目前小田急線 50000 型列車每天只有 3 個往返班次，因所佔班次比例甚少，雖有傾斜動作，但未提速運轉，故投入營運後對軌道並無顯著影響。

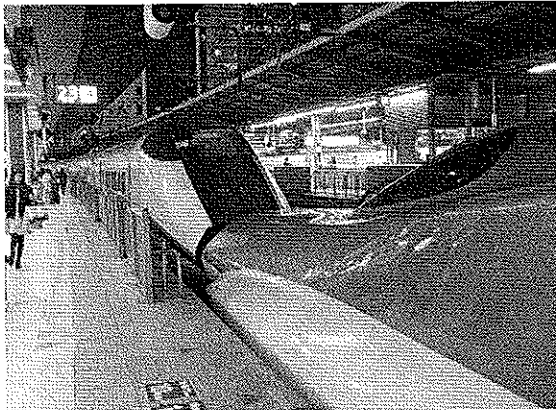


圖 19. JR 東日本新幹線 東京→新青森 圖 20. JR 在來奧羽本線 新青森→青森

五、搭乘 JR 北海道鐵路公司傾斜式列車記要

日本在來線（傳統 1067mm 軌距）鐵路，目前以傾斜式列車運轉之車種，除名古屋鐵路 μ Sky 2000 型空氣彈簧式傾斜電車組，小田急鐵路 50000 型空氣彈簧式傾斜電車組之外，另有 JR 北海道鐵路公司之北斗 281 型鐘擺式柴油傾斜列車及宗谷 261 型空氣彈簧式柴油傾斜列車、JR 九州鐵路公司海鷗號 885 型鐘擺式電車組等。本次督導並學習是

針對空氣彈簧傾斜式列車的營運情況，故專程前往北海道，實際乘坐北斗 281 型及宗谷 261 型列車，體驗搖晃程度及路線設施。

(一). 北斗 281 型鐘擺式傾斜列車

12 月 7 日於函館車站搭乘 JR 北海道特急北斗 281 型柴油振子列車前往札幌，12 月 8 日於札幌車站再次搭乘 JR 北海道特急北斗 281 型柴油振子列車前往函館。

北斗 281 型車行駛於函館～札幌間，里程 319 公里，為線性軸承鐘擺式傾斜列車，傾斜 5 度，與本局太魯閣鐘擺式傾斜電車組相近，但為柴油動力。此車設計最高時速 145km/h，投入營運時行駛最高時速為 130km/h，但於 102 年 11 月 1 日起，其行駛最高時速降為 120km/h。

此型車乘坐舒適感良好，也可能受 JR 北海道鐵路降速影響，最高速度較臺鐵減少 10km/h，又曲線提速也較臺鐵減少 5km/h，感覺過彎較為平順。

(二). 宗谷 261 型空氣彈簧式傾斜列車

12 月 7 日於札幌車站搭乘 JR 北海道特急宗谷 261 型柴油傾斜列車前往稚內，12 月 8 日於稚內車站再次搭乘 JR 北海道特急宗谷 261 型柴油傾斜列車前往札幌。

宗谷 261 型車行駛於札幌～稚內間，里程 396 公里，為空氣彈簧傾斜式列車，與本局新自強號空氣簧式傾斜電車組相近。此車型傾斜系統一般 2 度，最高 3 度，為單側傾斜且無預昇機制。從札幌北上至名寄站間有傾斜動作，從名寄站北上至稚內站間則不使用傾斜裝置且速度限制在 95km/h 以下，與本局新自強號最大傾斜 2 度且全程使用須傾斜裝置之方式有所不同。

261 型車原設計最高速度 140km/h，營運最高速度為 130km/h。雖然最高速度較臺鐵減少 10km/h，又曲線提速也較臺鐵減少 5km/h，但乘坐感覺於彎道及直線路段均較為搖晃，且札幌至稚內間，列車班次較不密集，非長焊鋼軌之路段甚長，雖速度不快但乘坐感覺不平穩。

1. 青森站→函館(JR 北海道特急白鳥 789 型)

早上下雪甚大，由青森站搭乘 JR 北海道特急白鳥 789 型 11 號列車 10:30 分開往函館，2002 年開始營運，6 輛編組 3M3T，每一馬達車 4 具馬達，每一馬達 230 馬力，使用 20KV_50Hz，設計最高時速 145km/h，其最高行駛時速為 140 km/h，但只於海底隧道才行駛 140km/h，其他路線仍只行駛 100km/h，一早坐在車內因使用

暖氣，讓不適應暖氣者極不舒服。

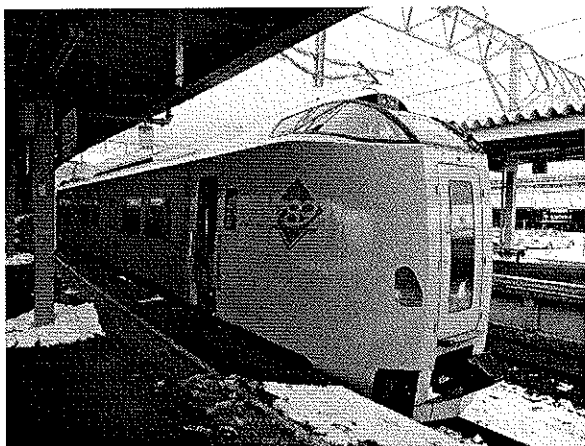


圖 21. JR 北海道 特急白鳥 789 型



圖 22. JR 北海道 特急北斗 281 型

於未至津輕海底隧道之前的蟹田站司機員交接，途經津輕海底，此由隧道本州側之“今別町濱名”至北海道側“知內町湯之里”，全長 53.85km，路基離海平面 240m 列車進入隧道後耳鳴嚴重。尤其通道門開啓時，刺耳聲更嚴重，若不睡覺在車內易暈車，出津輕海底隧道之各個隧道連結路線抖動稍大，木古內站停車後沿路晃動嚴重，暈車嚴重，於泉澤站有太陽出現，沿路沿津輕海峽海岸前行至函館晃動大，於 12:22 到達函館。

2. 函館→札幌(JR 北海道特急北斗 281)

隨即搭乘 JR 北海道特急北斗 281 型 9 號線性軸承鐘擺式傾斜柴油列車(與本局太魯閣鐘擺式傾斜電車組同，傾斜 5 度)，每一車安裝 2 具 355 馬力引擎，設計最高時速 145km/h，其行駛最高時速為 130km/h，但於 102 年 11 月 1 日起其行駛最高時速為 110km/h。特急北斗 9 號列車由函館 12:30 分出發先行駛“函館”本線至長萬部站，在大沼站之進站彎道前，路線搖晃較大，之後即較順。因之前在大沼站 2 股線南下出發開出至於 1 股道叉處發生貨物列車出軌，在全力維修該站前後路線，至長萬部站後行駛“室蘭”本線至沼之端站，沼之端站起則行使“千歲線”至白石，白石之後又接回“函館”本線至札幌站，於 15:58 分抵達札幌站。

3. 札幌→稚內(JR 北海道特急宗谷 261)



圖 23. JR 北海道 特急宗谷 261

隨即搭乘 JR 北海道特急宗谷 261 型 3 號空氣簧式傾斜柴油列車(與本局新自強號 TEMU2000 型空氣簧式傾斜電車組作用方式同，但其傾斜一般 2 度，最高 3 度，北上至“名寄站”起則不用傾斜裝置且速度限制在“95km/h”以下，而本局新自強號 TEMU2000 型傾斜 2 度，全程使用傾斜裝置)，每車各有兩具 460 馬力引擎，起動加速度 2.2k/h/s，設計最高時速 140km/h，其行駛最高時速為 130km/h，但於 102 年 11 月 1 日起其行駛最高時速降為 110km/h，由特急北斗 9 號列車札幌站 17：49 分出發先行駛“函館”本線至旭川，在通過妹背牛站後北邊彎道處。甩大，直線處多處晃動大，由旭川起則行駛“宗谷”本線至稚內。但至永山站起路線由雙線變為單線，單線多為短軌，跑起來沿路抖動，行經美深站後路線又變好，於 22：47 分抵達稚內站。

12/8 日 回程

稚內→札幌 (JR 北海道特急宗谷 261)，札幌→函館 (JR 北海道特急北斗 281)

函館→新青森站 (JR 北海道特急白鳥 789 型)

新青森搭 J R 東日本新幹線至東京，東京搭 JR 中央本線至 新宿。



圖 24. JR 東日本新幹線 新青森→東京

六、東京東芝電機公司總部與會記要

12/9 日 由日車工藤課長及其在臺技術經理童振疆陪同拜會位於東京川崎之東芝電機公司。下午由日車工藤課長及其在臺技術經理童振疆陪同乘坐小田急線所使用之

50000 型空氣簧式傾斜電車組由東京至箱根來回。

拜會 東芝 川崎本社 東芝公司與會人員

鐵道系統技師長：石井秀明

技術部：白石部長、櫻井參事、宮崎主幹、平原課長、蔡擔當

府中：守屋主查

業務：重岡部長、鈴木 Group 長、西尾主務

日車公司與會人員

海外部：工藤 Group 長

日車臺灣：童振疆技術經理

日車：

該公司了解傾斜購案是臺鐵局交通改善的第 1 優先案件。目前為止發生許多缺失，今後將更進一步、更迅速確實對應處理。(日車)

臺鐵局：

目前為止東芝的回應速度太慢，請加速改善。並請東芝公司每天派員與臺鐵局檢討。問題如下：

- ①TCMS 與各車載設備間的傳輸不良問題
- ②直流成份過高問題
- ③C/I 散熱鰭片問題
- ④TEMU2000 通過時導致附近的 EMU500 的 SIV 故障的問題

東芝：

今後將特別留心上述問題之改善溝通，確實地對應解決。並請繼續賜予鞭策指導。



圖 25. 新宿東芝電機公司簡報情形

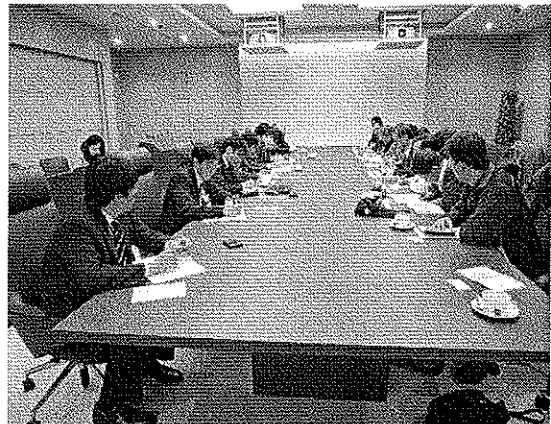


圖 26. 與東芝電機公司開會情形



圖 27. 與東芝電機公司開會情形

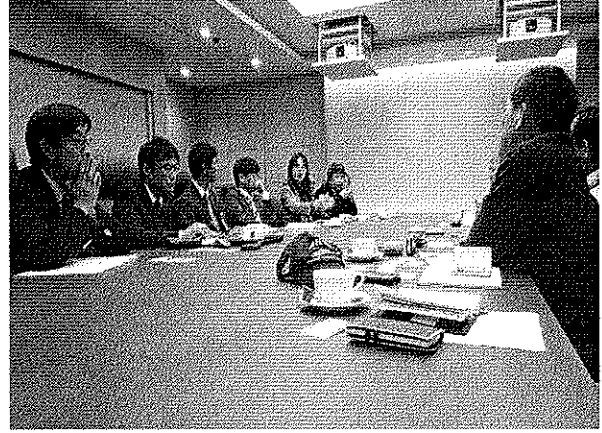


圖 28. 與東芝電機公司開會情形



圖 29. 東京川崎之東芝電機總部



圖 30. 東京川崎之東芝電機總部

七、搭乘小田急線 50000 型空氣簧式傾斜電車記要

體驗結果：

12/9 日 下午由日車工藤課長及其在臺技術經理童振疆陪同乘坐小田急線所使用之 50000 型空氣簧式傾斜電車組由東京至箱根來回。

- (一) 小田急公司 50000 型列車，其車身與傾斜機構均為日本車輛公司製造，傾斜機構為空氣彈簧傾斜 2 度，傾斜方式為曲線外側升起同時曲線內側降低，進入彎道前有預升機制，與臺鐵新自強號列車的傾斜結構及作動相同。
- (二) 50000 型列車於過彎時車身有傾斜動作，但不提高速度行駛，與臺鐵新自強號經過彎道提速運轉有極大差異，經實際乘坐，於過彎時因離心力被傾斜動作消除，乘坐感覺非常舒適，彎道之離心力並不明顯。
- (三) 小田急鐵路之路況非常好，因平交道數量龐大，採用大量跨接式平交道版，以減少整修人力，另於重要路段採用框式無道碴軌道，增加軌道穩定並減少維修頻率。
- (四) 東京至箱根湯本之小田急本線為在來線（軌距 1067mm），但箱根湯本車站與箱根登山鐵道（軌距 1435mm）之路線及月台共用，站內軌道及道岔均設有兩種軌距之軌道，而且銜接運作良好，是臺鐵將來有軌距共用需求時可仿效之處。

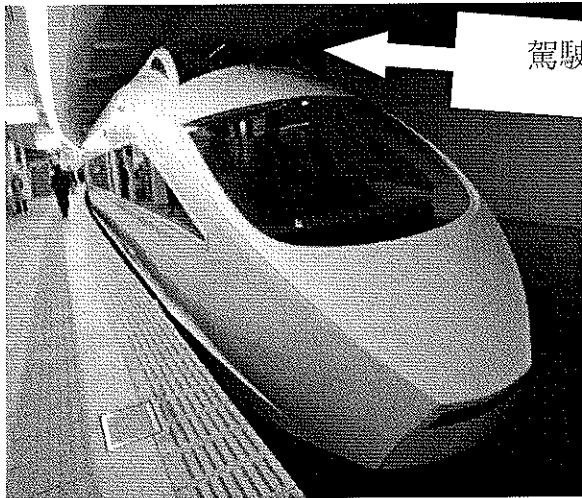


圖 31. 小田急傾斜式電車組羅曼史號



圖 32. 小田急傾斜式電車組羅曼史號

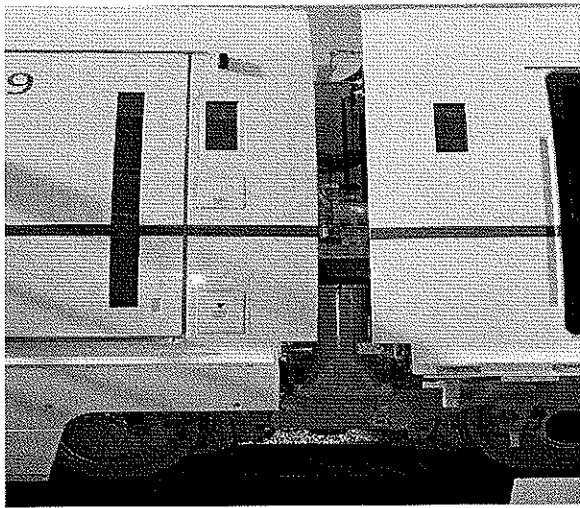


圖 33. 小田急羅曼史號兩車間共用一轉向架



圖 34. 小田急線東京→箱根間之坡度標

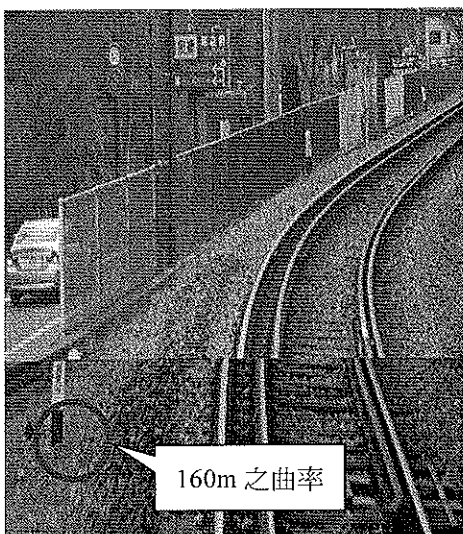


圖 35. 小田急本線東京→箱根間

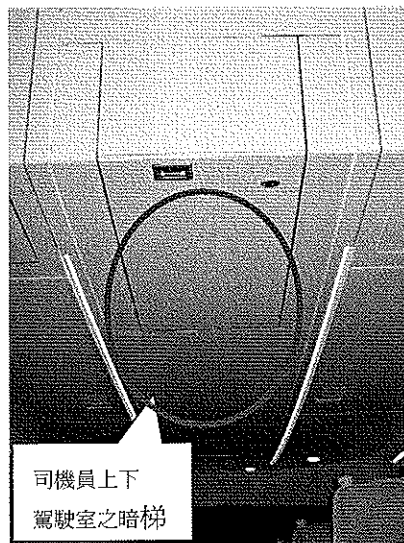


圖 36. 羅曼史號駕駛室上下處

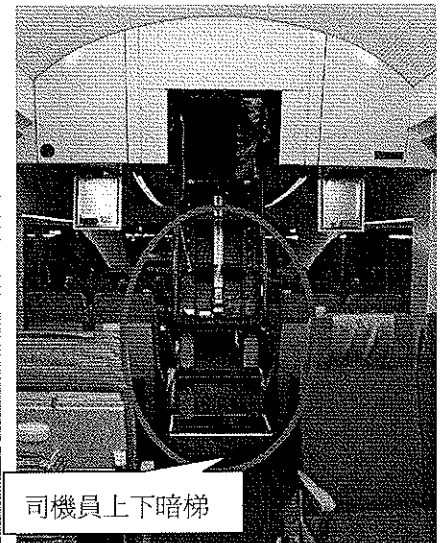


圖 37. 羅曼史號駕駛室上下處

八、搭乘北越急行線記要

12/10日 早上搭乘新宿→(中央線快速)→東京(7:00)→(JR東日本新幹線 Max 朱鷺號)→(8:11)越後湯澤(8:20)→(北越急行白鷹號)→直江津(9:05)，直江津(10:06)→(北越急行白鷹號)→(10:51)越後湯澤(11:11)→(JR東日本新幹線 Max 朱鷺號)→(12:22)東京→(中央線快速)→新宿。

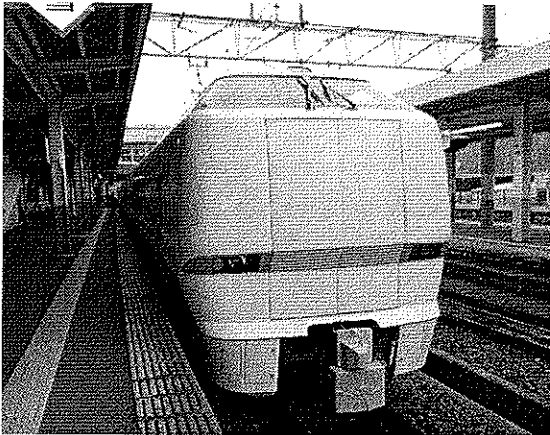


圖 38.北越急行白鷹號車頭形式

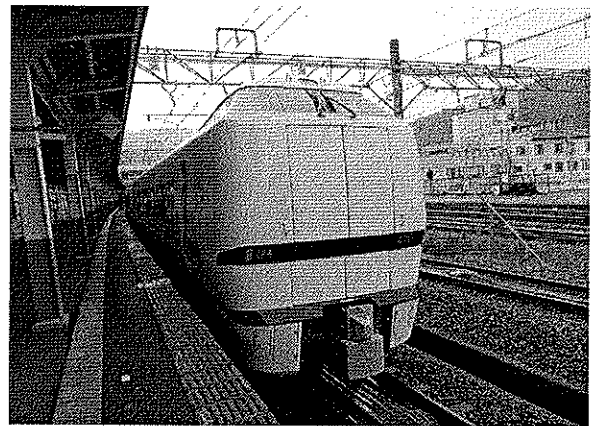


圖 39.北越急行白鷹號車頭形式

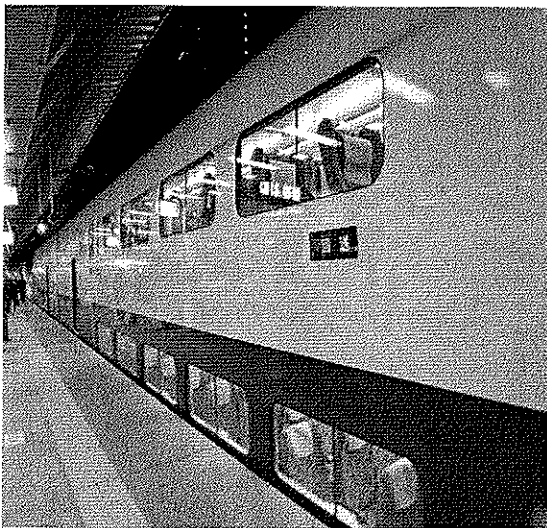


圖 40.JR 東日本新幹線 Max 朱鷺號



圖 41.直江津車站

北越急行線：白鷹號無傾斜裝置，其行駛之最高時速為 160km/h，僅行駛在越後湯澤→直江津路段，該線路全線幾乎為大半徑及直線路段，且維護良好。因此，白鷹號才能以 160km/h 之高速行駛。

九、搭乘成田空港線特快車記要

下午由新宿(15:10)→(成田特快車)→東京成田機場，搭乘中華航空 18:30 之 CI - 18 班次至臺灣桃園機場。

成田空港線：成田特快車無傾斜裝置，其速度如同 TEMU2000 型新自強號，沿路最高時速 130km/h，但沿路搖晃嚴重，打電腦易暈眩，乘坐很不舒服。



圖 42. 成田空港線特快車

肆、督導並學習心得

一、搭乘在來線傾斜式列車

(一) 空氣彈簧傾斜式列車

1. 名古屋鐵道公司 2000 型機場特快電聯車，行駛於名古屋機場→名古屋間之常滑線（空港線），此車型最高時速 120kp/h，最大傾斜 2 度，傾斜時採單側傾斜，故無進彎道前之預升機制，與臺鐵新自強號（一側升一側降及進彎前預升機制）略有不同。此車車體為「日本車輛公司」製造，但傾斜系統為「住友金屬」製造，又其曲線限速較臺鐵之限速降低 5 公里，最高速度約 120km/r，其行駛狀況與新自強號列車有部分差異。



圖 43. 名鐵 μ _Sky2000 型傾斜式電車組 圖 44. 名鐵 μ _Sky2000 型傾斜式電車組

2. 小田急鐵路公司 50000 型電聯車，行駛於東京→箱根間之小田急線，車廂及傾斜機構均由日本車輛公司製造，最大傾斜 2 度，採兩側同時升降方式以縮短車體傾斜動作時間，也採用彎道前預昇機制，與新自強號列車最相似。最高速度 120km/h，惟通過彎道時僅作傾斜動作以消除離心力，並未提高速度運轉。

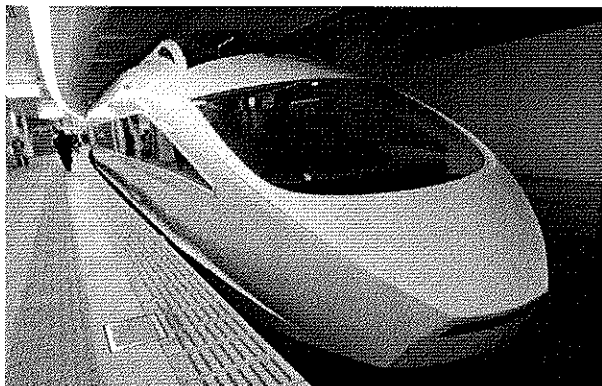


圖 45. 小田急 50000 型空氣彈簧傾斜式列車 圖 46. 小田急 50000 型空氣彈簧傾斜式列車

3. JR 北海道鐵路公司宗谷號 261 型柴油客車，行駛於札幌→稚內間，傾斜 2 度，採單邊傾斜方式。

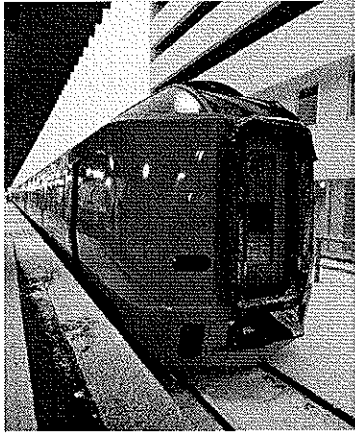


圖 47. JR 北海道宗谷號 261 型傾斜式柴油客車 圖 48. JR 北海道宗谷號 261 型傾斜式柴油客車

4. JR 新幹線 E5 型高速鐵路列車，僅傾斜 1 度，可提高列車通過彎道時之舒適度。

(二) 鐘擺式傾斜列車

1. JR 北海道鐵路公司北斗號 281 型柴油客車，行駛於函館→札幌間，傾斜 5 度，依地上感應子提供路線數據，至曲線時作主動傾斜動作。

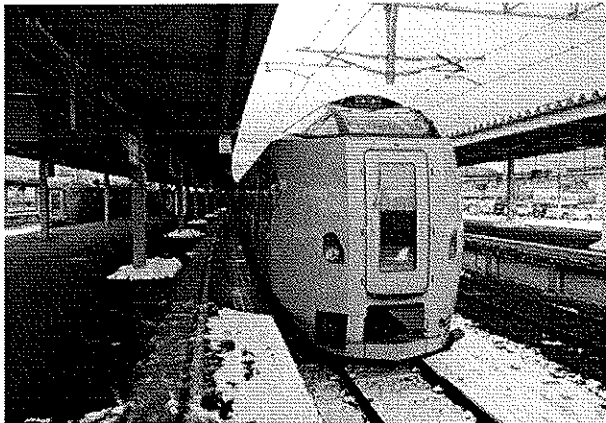


圖 49. 北斗號 281 型鐘擺式傾斜柴油客車



圖 50. 北斗號 281 型鐘擺式傾斜柴油客車

2. JR 九州鐵路 885 型海鷗號傾斜式電聯車傾斜 5 度，與臺鐵太魯閣號完全相同，運轉速度也相似。

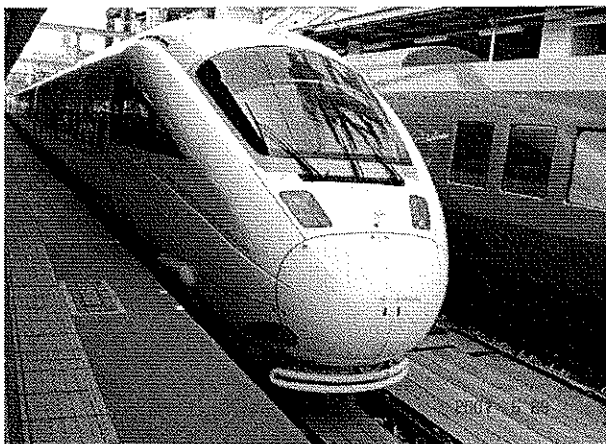


圖 51. JR 九州海鷗號 885 型鐘擺式傾斜電車

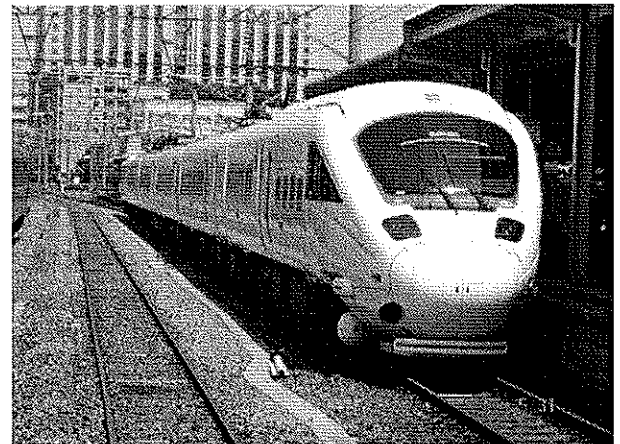


圖 52. JR 九州海鷗號 885 型鐘擺式傾斜電車

二、與臺鐵現有傾斜式列車比較

日本之傾斜式列車，除 JR 九州鐵路公司之 885 型列車與臺鐵太魯閣號完全相同，其餘車種均與臺鐵有部分差異。故太魯閣號延用日本九州鐵路之限速及規章尚無問題，但不一定適用於新自強號列車。與臺鐵現有傾斜式列車比較表：

表 3.

所屬公司	車型	行駛區間	傾斜系統	動力	最高速度	製造廠	與臺鐵比較
小田急	50000	小田急線 新宿~箱根 120km	空氣彈簧 傾斜 2 度 一升一降	20KV	120	日本車輛	與新自強號構造相同，但未提速
名鐵	2000	中部機場~ 名古屋 39km	空氣彈簧 傾斜 2 度 單邊升降	25KV	130	車廂：日本車輛 傾斜：住友金屬	與新自強號相似，曲線限速-5
JR 北海道	宗谷 261	札幌~稚內 396km	空氣彈簧 傾斜 2 度 單邊升降	柴油	120	川崎重工	與新自強號相似，曲線限速-5
JR 北海道	北斗 281	函館~札幌 319km	鐘擺式 傾斜 5 度	柴油	120	富士重工	與太魯閣號相似，曲線限速-5
JR 九州	海鷗 885 型	鹿兒島線 長崎線 日豐線 1315km	鐘擺式 傾斜 5 度	25KV	130	日立重工	與太魯閣號相同，曲線限速相同

三、日本空氣彈簧傾斜式列車之曲線限速（在來線）

JR 北海道的宗谷號 261 型，與名古屋鐵路 2000 型為同型設計，同傾斜角，與臺鐵比較，營運最高行駛速度比臺鐵減少 10km/h，曲線限速比比臺鐵減少 5km/h。

有關傾斜式列車曲線限速詳如下表：

表 4.

曲線	本則	傾斜式列車限速		
		JR 北海道	名古屋鐵路	臺鐵
直線		120	120	130
R300	65	80	80	85
R400	75	95	95	100
R500	80	105	105	110
R600	90	115	115	120
R800	100	120	120	130

JR 北海道公司在其路線之各曲率半徑上加速規定如下：

半徑 600 以上 + 25 km/h

半徑 400-600 + 20 km/h

半徑 220-400 + 15 km/h

- 四、依書面提問 C8：日本車輛公司說明其傾斜系統，可於 1 秒內完成從 0 度至傾斜 2 度之動作，但書面提問 C16 之侯桐站內曲線，於 2 秒內從右傾 2 度轉為左傾 2 度，除搖晃激烈外，在通過兩曲線間之中間直線段時（僅 2.6m），會有車頭與車尾傾斜方向不同之狀況，若傾斜動作設定不夠精準，傾斜遲滯現象會很明顯，就算機械結構能完成動作，亦會造成乘客暈眩。
- 五、名鐵與小田急公司均表示若兩曲線間之直線段少於 20 公尺（1 車長度），均採降速作法。另在曲線密集區段，其限速是依據整個區段內的曲線狀況，統一考量設定該區段的行駛速度，不會因中間夾雜少量直線或較大半徑曲線，而有不同限速造成短暫提速等激烈操控情況，因短暫提、減速之效益不大，也可避免左、右快速傾斜的動作過於頻繁。
- 六、JR 北海道鐵路公司於 102 年 11 月 1 日起，全面降低北海道地區鐵路速限，主要原因是考慮行車安全，次要考慮是降低列車及路線的維護成本。採用減速方式，可達到營運上之行車安全、車輛維修、路線養護及人力資源配置等均衡需求，以取得最佳經營效率。臺鐵宜蘭線為舊線，路況受地形限制，許多情況與 JR 北海道相似，故追求高速並不一定符合營運效益，
- 七、於名古屋車站，有名鐵養路人員徒步巡查路線，2 人一組，一人執旗瞭望，另一人巡查登記，兼顧專業及安全性。
- 八、在日本名古屋、東京、新宿等大站，站內並未設置飲水機可旅客飲用，但車站內自動販賣機十分密集，亦有許多便利商店，於月台上設有販賣部及餐飲部（無座位）。另於各型列車上亦不供應開水，但均設有自動販賣機，車上販賣人員亦經常巡迴販賣。
- 九、軌道路線是鐵路運輸最重要的基礎設施
從名古屋鐵路公司為提高行車速度，路線做了許多改善，包括曲線半徑加大及高架化等工程。經過與居民溝通及徵收土地，截彎取直，改善後縮短了行車時間。
小田急公司，原先就把軌道維修的很好，為了提升旅客乘坐的舒適度，才引進傾斜式列車，而並未將行車速度提高，結果傾斜式列車在曲線處發揮了效果，讓旅客能感受到更為舒適。所以把軌道路線整備好，是乘坐舒適及行車安全的基礎。
- 十、平交道是鐵路運輸的脆弱點
小田急鐵路公司經營的在來線鐵路，營運里程約 120 公里，就有 250 個平交道，

也認為那是鐵路公司較脆弱的設施，為避免發生平交道事故，每週有 2 次的平交道人工檢查，臺鐵局有 460 多個平交道，亦須加強檢查，以利功能正常。

伍、建議事項

- 一、日本在來線傾斜式列車曲線限速，與臺鐵傾斜式列車相比，最高速度減少 10km/h，曲線限速減少 5km/h。反觀臺鐵樹林至花蓮間路線條件並未優於日本，若考量維持一定之乘坐舒適性，臺鐵無比日本提高 5km/h 速度之條件，應參酌日本國鐵之曲線限速，並投入相對較高之維修成本為宜。
- 二、日本鐵路公司均視軌道噴泥為嚴重影響行車安全之處所，因其支撐力減少會形成弱點，應立即改善，因此日本鐵路噴泥路段甚少。近年來臺鐵局太魯閣號/新自強號、700/800 型電聯車陸續加入營運，形成列車密度提高，速度全力提升，造成軌道加速變形(含路基、軌道等)，由此可知，尤以宜蘭、北迴線常遭颱風侵襲及強降雨等天災，另又受東砂西運影響，路線常遭載運砂石泥土之貨物列車污染，噴泥情況嚴重，每年均投入大量經費作噴泥改善工作，但噴泥路段仍不斷產生，維修成本與速度之提升成正比增加。
- 三、轄區內兩曲線間之直線段不足 1 車長度(20m)處所，依日本鐵路公司之建議，應採降速或不提速之方式，以維行車安全，臺鐵局宜蘭工務段統計其轄區內(宜蘭線及北迴線)兩曲線間直線段不足 20 公尺之處所共計 13 處，建請重新檢討通過速度，以維行車安全並可減低旅客暈眩問題。
- 四、JR 北海道鐵路公司於 102 年 11 月全面降低北海道地區鐵路速限，達到營運上之行車安全、車輛維修、路線養護及人力資源配置等均衡需求，以取得最佳經營效率。故追求高速並不一定符合營運效益，在受限於地形路段如八堵至頭城間，適宜調整速度對本局營運上應有助益，至少能減緩路線維護之壓力。
- 五、受太魯閣及新自強號等傾斜式列車之提速行駛，樹林至花蓮間路況惡化情況日趨嚴重，且班次密集增加，但道班養護維修等人力編制並未相對增加，若養路機械如大型砸道車及材料如新鋼軌等未能及時供給支援，維修養路之支撐恐有超出負荷之情況。應採增加人力、機械及材料等作法，或適度檢討速限等方法，以維持行車安全。
- 六、搭乘傾斜式列車時，於列車啟動前應播音告知旅客，內容如下：「本次列車為傾斜式列車，於過彎到時會自動傾斜，請旅客在走動時，應握住椅背上之握手把，以策安全，謝謝您的合作。」
- 七、新進人員教育訓練要專業化，花東電氣化工程即將完工通車，這些新進人員的訓

練除了鐵路行車規章之基本訓練，也要進行電力工作之專業訓練，以現今臺鐵局員訓中心之設備，訓練內容大部份是課堂講授，實作部份的實務課程較少，必須經過現場的歷練，才能慢慢成長進步，有關訓練部分希望能向日本 JR 或名古屋、小田急等鐵路公司作一個學習交流。

八、對於車輛高速進入隧道所產生之爆裂音及一般路線上之噪音可仿倣 JR 東海鐵路噪音防治方式。車輛高速進入隧道時，隨著急劇上升的壓力，空氣壓縮波會向出口方向散播，造成出口側的爆裂音。爲了抑制這種急劇上升的壓力，需在入口處設置比隧道大一點之同形狀建築物，這就是隧道緩衝工程。一般來說，隧道出入口周邊之施工條件原則上都不太好，而且必須在線路上空施工，所以隧道緩衝工程的建築費用會比較高，但是現在已經開發出比原來施工技術更便宜之新型緩衝結構。

(一)附有的隧道緩衝工程

加上煙囪狀之導管型(ダクト)隧道可以使緩衝工程不用做得那麼長，以降低工程費用。

(二)輕量板型隧道緩衝工程

這種新發明旨在降低隧道緩衝工程費用。由於在屋簷部分使用高耐久度且輕量之大型板做爲膜材料，以減少主要建築材料之數量，即可降低費用。



圖 53. 附有導管型的隧道緩衝工程

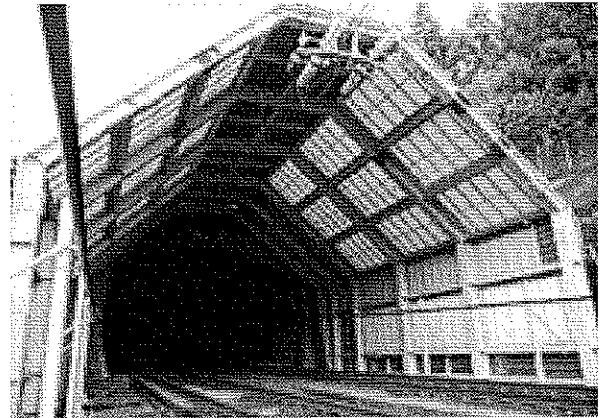


圖 54. 輕量板型(パネル)隧道緩衝工程

(三)新幹線用降低噪音裝置「NIDES」

隨著車輛行駛速度上升，有些地點會出現只以隔音牆也不容易壓低噪音的現象。對於這些地方，可在現有的隔音牆上方裝設以降低噪音之新幹線用降噪裝置「NIDES」，降噪裝置「NIDES」已經開發出來。本裝置可遮斷噪音，並干擾音波反射，可提升抑制噪音的效果。



圖 55. 新幹線用降低噪音裝置「NIDES」

*JR 鐵路用電源：

在來線 20KV/50Hz，高鐵 東京以北 25KV/50Hz，東京以南 25KV/50Hz

陸、102 年 12 月 3~10 日搭乘列車日期、區間及車型行程表

搭乘日期	區間	去/回程	所屬公司	里程數	車/機型	傾斜裝置	車/班次	行駛路線	開車時間	到達時間	動力源	備註
12/3	臺灣→名古屋	去程	中華航空		波音 737-800		154		08:15	11:45		飛機(2小時30分)
	中部國際空港→名古屋	去程	名鐵	39.3	μ_Sky 2000 型	空氣簧式		名鐵空港線	11:37	13:05	25KV/60Hz	
12/4	名古屋→豐橋	去程	JR 東海	68	回音號	無		新幹線			25KV/60Hz	高鐵列車
	豐橋→國府		名鐵	9.6		無		名鐵在來線			25KV/60Hz	
	國府→諏訪			5.5	83.1km							
12/5	名古屋→金城埠港		名古屋臨海高速鐵路	15.2		無					25KV/60Hz	
	金城埠港→名古屋		名古屋臨海高速鐵路	15.2	30.4km	無					25KV/60Hz	
12/6	名古屋→東京	去程	JR 東海	366	JR 東海	無		新幹線			25KV/60Hz	高鐵列車
	東京→新宿	去程		10.3	JR	無		中央特急			25KV/50Hz	拜會小田急
	新宿→東京			10.3	JR	無		中央特急			25KV/50Hz	
	東京→新青森	去程	JR 東日本	713.7	E5	無	43	新幹線	16:56	20:30	25KV/50Hz	高鐵列車
12/7	新青森→青森	去程	JR(1104.2)	3.9	奧羽本線	無			20:47	20:53	20KV/50Hz	一般電車
	青森→函館	去程	JR 北海道	164.3	特急白鳥 789 型	無	11		10:30	12:22	20KV/50Hz	一般電車
	函館→札幌	去程	JR 北海道	318.7	特急北斗 281 型	線性軸承 鐘擺式	9	函館本線 室蘭本線 千歲線	12:30	15:58	20KV/50Hz	柴油列車
	札幌→稚內	去程	JR 北海道	396	特急宗谷	空氣簧式	3	函館本線	17:49	22:47	柴油	柴油列車

柒、北越急行線-北北線之線路設備及其維護管理

(本篇資料取翻自北越急行株式會社網站)



圖 56. 在嚴冬中通過松代站的 683 系列特快車「白鷹」

一、北北線的乘坐感覺

北越急行北北線的特快車「白鷹」創下日本窄軌最高速度的時速 160km/h，普通列車也有 110km/h，但大多數乘客乘坐的感覺卻很舒適，甚至有人稍微誇張地形容「像滑行一樣地奔馳」。

其實北北線也搖晃，不過有一件事可以斷言，不論特快車或區間車，最起碼的要求是必須提供乘坐感覺舒適的列車，這是十分重要的價值觀。

該營運公司的歷史還很淺，和其他歷史悠久的鐵路公司比起來，員工的經驗年數也淺，技術上的知能是在 JR 的派遣人員和前輩們的指導之下一點一點地累積起來。

決定列車乘坐感覺的要素在於軌道(線路設備)和車輛這兩個方面，但技術人員注入其中的熱情和愛心，也和開頭所提到的乘客對該公司的評價有所關聯。

至於如何才能確保、維持列車的舒適乘坐感覺，鐵路營運者須在乘客看不到的地方多花點心力，那麼在深夜、冰點以下依然奮鬥不懈的員工也會更加努力吧！

二、北北線的線路設備及其維護管理

左右列車的乘坐感覺的要素，無庸置疑的，可大致分為線路和車輛這兩方面。線路不扭曲、沒有朝上下左右歪斜，乘坐感覺當然會很好。最初在鋪設線路時，當然是以毫米為單位使其不會歪斜扭曲，不過，在列車反覆行駛通過後，不可避免地，會產生異常(軌道不整)。數十公噸的車輛，好幾節連在一起，以高速在上頭行駛，光這一點就可以想見，車輛施加在軌道上的衝擊力有多大吧！因此，線路設備也必須進行適切的管理和維護，使其一直保持在平直不歪扭的狀態。

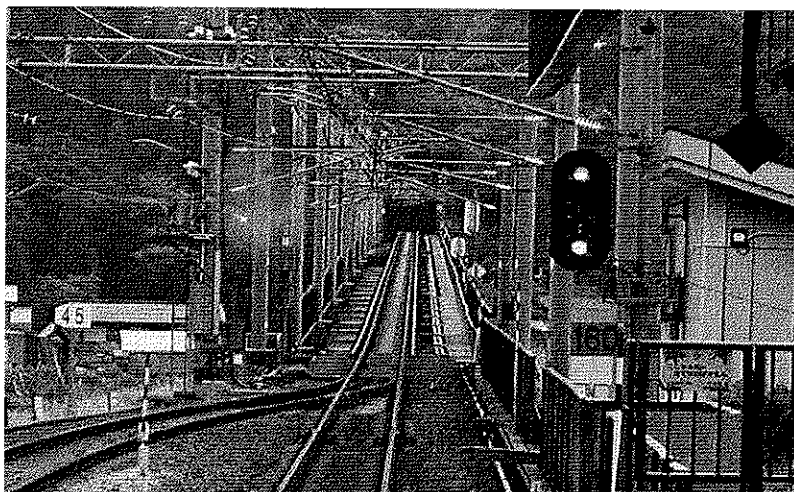
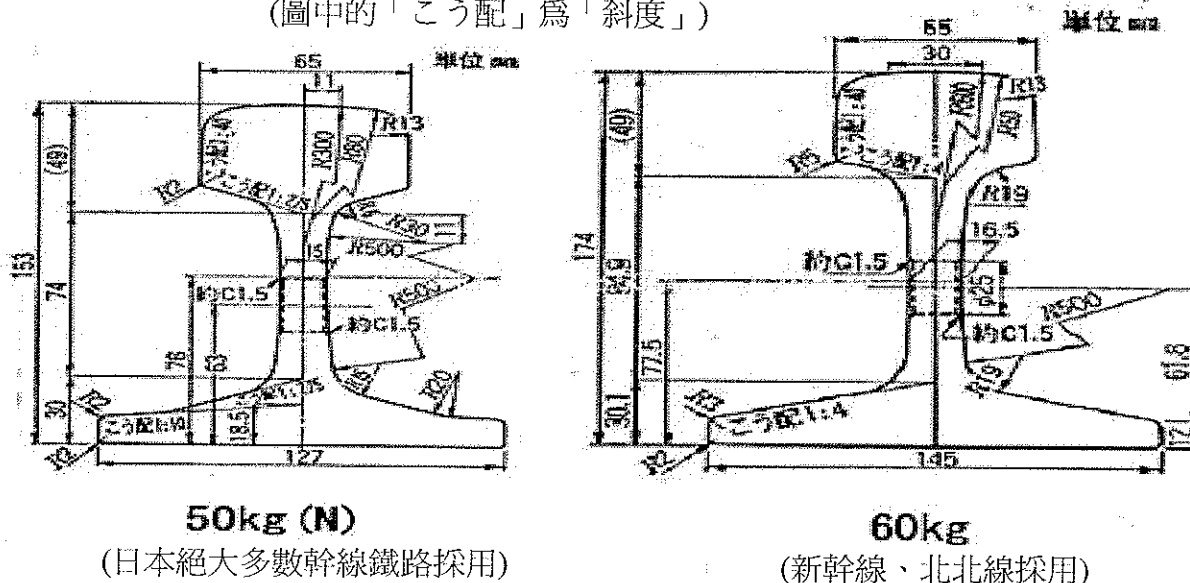


圖 57. 線路平直是列車順暢行駛的絕對條件 蟲川大杉站內

原本，北北線的線路是以 160Km/h 的速度行駛為前提而建造的，所以雖然是窄軌，但鋪設得十分結實。也就是說，它具有高規格的軌道構造。它的構造是採用和新幹線一樣的 60Kg(每 1m 的重量)長軌，而且在許多區間，支撐鋼軌的枕木是牢牢地固定於混凝土路盤上，而即使是採用碎石道床的區間，也特地增加混凝土枕木的支數，使其能夠耐受高速行駛的衝擊。如果想要比較 60Kg 和 50Kg 的鋼軌，請參考下圖。

50Kg 和 60Kg 鋼軌的比較圖
(圖中的「こう配」為「斜度」)



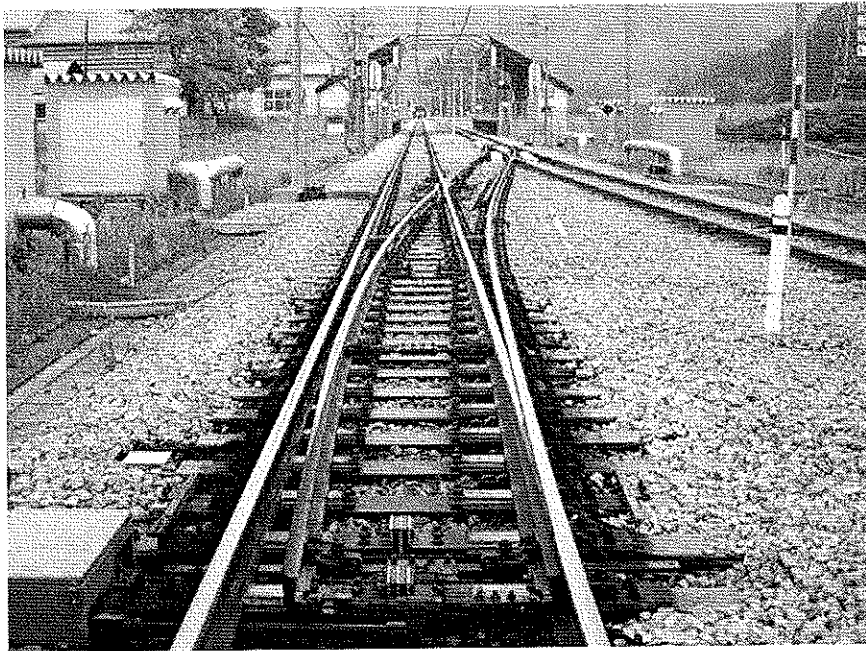
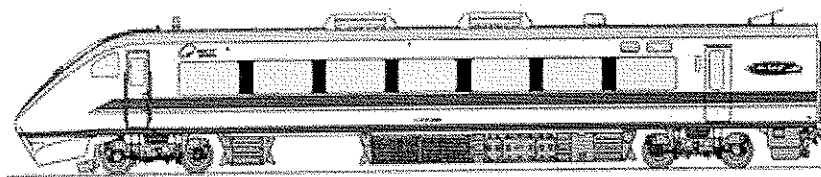
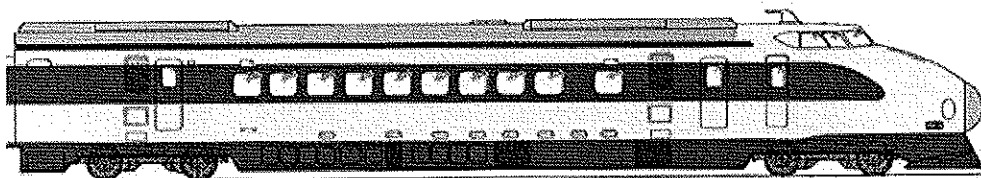


圖 58. 確保平直沒有歪扭的軌道是重要的因素 松代站內碎石軌道區間



北北線每軸的重量限制為 12 公噸



新幹線每軸的重量限制為 16 公噸

三、軌道的管理技術

軌道是鐵路的重要構造物，不僅要像大型巴士和卡車所行駛的道路一樣地支撐列車車輛的巨大重量，同時還要負責引導列車行駛的方向。鐵路開通時鋪設得十分平滑的軌道，在列車反覆通過後，不可避免地一定會產生異常。結果，就產生或加大了鋼軌的凹凸不平等狀況，導致乘坐感覺惡化，並且產生噪音增大、振動增大等各種問題。或許有人會認為，「北北線」鋪設的線路，是和新幹線相同的線路，新幹線的車輛比他在來線(傳統鐵路)更大更重，而實際上在北北線行駛的列車卻是輕型的車輛，所以線路的問題應該沒有那麼嚴重，不過，雖說是「和新幹線相同規格的線路」，但也非一切完全相同。而且，該公司的線路一整年通過的公噸數也達到 410 萬公噸，再加上其中有一些列車是高速行駛，所以軌道的異常也是在所難免。因此，為了持續維持列車的乘坐

感覺，並且能夠高速行駛，必須有效率地監視軌道的「基本體力」，並調整軌道的「身體狀態」。在這其中，就需要維護線路的技術人員投入無比的熱愛。

鐵路公司實際上如何進行軌道的管理？以下就以北越急行為例解說。

(一)監視軌道的狀態

想要確實知道軌道的狀態究竟如何，最簡單的方法就是負責的技術人員實際搭乘列車以確認線路狀態。

該公司的做法是每 3 天由職員坐在普通列車的駕駛室，藉由目視和體感，檢查有沒有晃動等等的軌道狀態。普通列車的最高速度為 110km/h，而行駛速度更快的特快列車也不能發生在高速下才會出現的異常，所以也會每隔一段時間就坐在「白鷹」的駕駛室進行監視。

藉由這種陪同檢查，能夠相當地掌握線路的狀況，只要發現任何一點異常，立即鎖定那個地方，研擬修補作業。不過，在進行以毫米為單位的管理上，只靠人的感覺有其極限，因此無論如何，也必須對軌道狀態實施正確而有效的測量作業。

該公司是借用 JR 東日本擁有的在來線電氣・軌道綜合試驗車(East i-E 型式 E491 系列)，一年實施 4 次全線的精密測定。

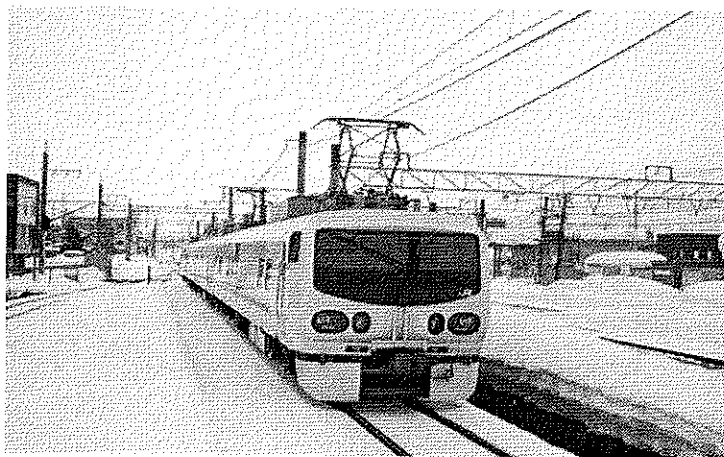


圖 59. 北北線用來測定電氣・軌道的 E491 系列（六日町站內）

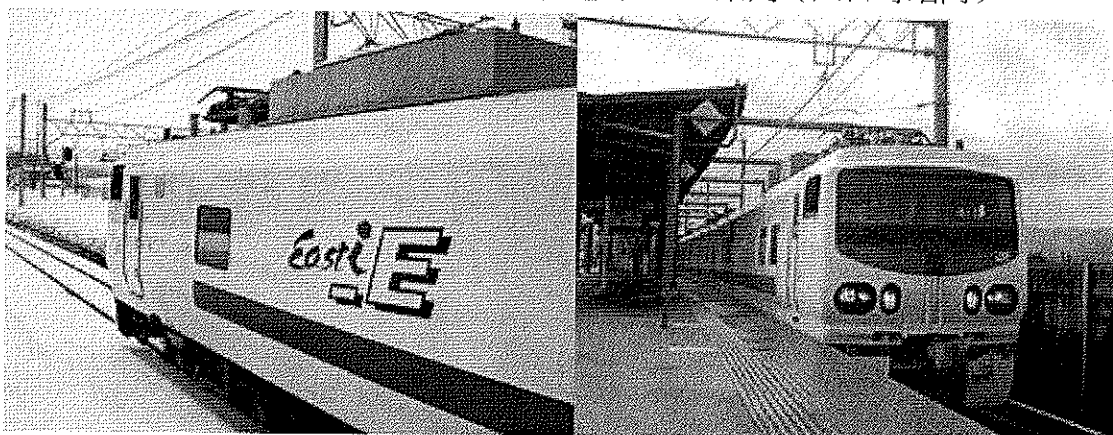


圖 60. East i 的標誌

圖 61. 停在北北線十日町站的 E491 系列

(二) 軌道管理是以多麼嚴謹的態度在執行

軌道異常之處理，該公司設定有軌道管理的整備目標值。在這裡，要釐清一點，所謂的整備目標值，徹徹底底是指讓列車能夠順暢行駛的容許上限值，而不是指安全上的數值。也就是，簡而言之，這個整備目標值是不能讓乘客的乘坐感覺有所減損，離安全上的界限還有一大段距離。反過來說，如果真的產生了會威脅到安全的鋼軌變位，那麼就一定會變成讓乘客難以忍耐的乘坐感覺。因此，在產生這麼大的鋼軌變形之前，老早就著手處理，即使再微小的問題也必須將它回復正確的狀態。技術人員始終守護著鋼軌的狀態，在達到整備目標值之前，就秉持著熱愛進行維護，讓列車能夠一直走在平順的線路上。

線路是鋼鐵製造的堅固耐用的東西，但它的管理是以毫米為單位在進行。它的具體的整備目標值如下表所示。

當然，在該公司線路開通之前，日本的鐵路史上未曾有過對應於以 160Km/h 的高速在窄軌（軌距 1,067mm）上行駛的管理目標值的先例。因此，在開業前，委託鐵道總合技術研究所進行種種的試驗，再依據從中得到的數據，設定北北線的下列各個軌道整備的目標值。如果到達這個值的前後，列車就會出現晃動等現象，就會加以處理。這些目標值，各鐵路公司應該會考量線路區間的各種條件而設定，不過，該公司所設定的值遠比其他在來幹線鐵路的值更為嚴格。

表 5.

項目	單位	整備目標值
高低不整（上下的歪扭）	軌道每 10m (mm)	8
方向不整（左右的歪扭）	軌道每 10m (mm)	4
列車晃動（上下動）	g	0.25
列車晃動（左右動）	g	0.25

經進行處理後，能將線路修正到什麼程度呢？以北北線為例，它的修整基準值如下表所示。

表 6.

	一般(碎石道床)區間	混凝土道床區間
軌距不整（鋼軌的寬度）	± 2 (mm)	± 1 (mm)
高低不整（上下的歪扭）	± 4 (mm)	± 3 (mm)
方向不整（左右的歪扭）	± 3 (mm)	± 2 (mm)

北北線的鋼軌絕大多數採用沒有接縫的長軌，但即使是在碎石道床區間，也做到了將任何一個地方取出 10m 的長度，其高低差都是控制在上下 4 mm 以內；這簡直就是一場跟毫

米在搏鬥的奮戰。更何況，該公司路線大多採用平版軌道(混凝土道床)，其管理必定更加嚴格，這一點想必可以推想而知。

爲了實施這樣的維護作業，當然必須非常詳細地掌握全線的軌道狀態。而這一點，光憑人力是應付不來的，所以才必須動用到前面所提的檢測車。

(三)檢測車的運轉與數據的採取

JR 東日本所擁有的電氣軌道綜合檢測車 East I-E 是能夠行駛交流・直流區間的交直流電車，型式爲 E491 系列。最高速度爲 130Km/h，無法達到該公司路線的特快車的行駛速度 160Km/h，但對於設備的檢測沒有妨礙。

以 2011 年的情況來說，原本預定 4 月 11 日、7 月 30 日、10 月 21 日、2012 年 1 月 23 日共實施 4 次，但因東北大震災及新潟・福島豪雨的影響，到了 8 月 8 日才實施第一次。在那之後，則都有按照計畫實施。

試驗行駛的路線每次都相同，依照下圖所示的計畫實施。順帶一提，這輛電車由北越急行的司機負責駕駛。

電氣軌道綜合試驗車的運用

運用編號	運用番號	直江津	六日町	編組・型式
試驗 A 4947		10:15 ○	11:30 ▲	E491 系列系 (2M1T)
		13:32 ▲ 以下略	12:02 ○	ATS=P EB 附付
試驗 9893M 直江津運輸區、集電弓上升爲出區 60 分鐘前 直江津運輸區長安排				

E491 系列是利用高度的測定裝置，一邊高速行駛，一邊連續檢測架線及軌道的狀態，並利用車上搭載的電腦，立即將數據進行解析，記錄於圖表紙上如下圖（記憶記錄裝置）。

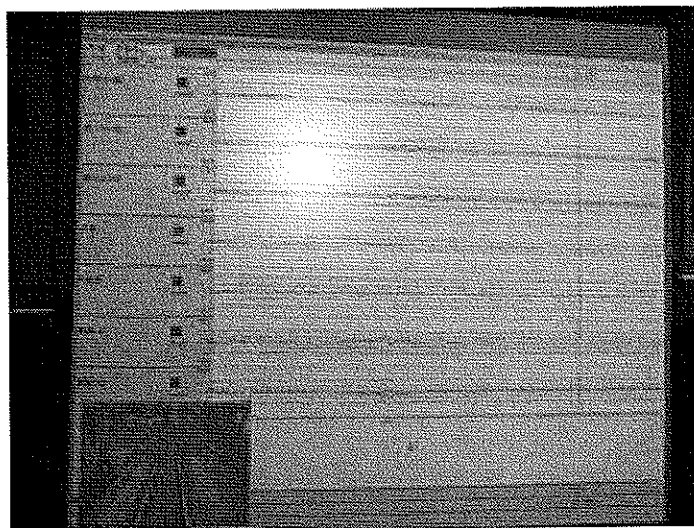


圖 62. 記錄圖表紙

檢測到的各種數據以連線方式顯示於車上的投影機圖表(projector chart)上，而且全線的數據都連續記錄於長條型圖表紙上。

爲了把全線的數據連續性地記錄下來，所以把圖表紙做成長長的一捲。不過，如果把實際的圖表切取一段區間(約 1Km500m)來看，則如下圖所示。如同圖表中的記載，最下段是以里程數標示測定地點，以 mm 單位記錄軌道的上下左右的歪扭。

測定項目之中，10m 弦是指「每 10m 的歪扭」這個必要的數據，但是，以該公司來說，對於嚴重影響列車乘坐感覺的長波長軌道異常，也堅持必須加以管理，所以也取得 20m 弦的數據，把它用在軌道異常的管理上。因此，把 10m 弦路徑(上下)依行進方向的左右分別做記錄。

此外，圖表中的紅字或紅線，是爲了幫助了解而額外添加上去的。不過，從這些添加的標記也可以看出，北北線的線路歪扭遠遠小於需要進行整備的值。換言之，由此可以證明它是一條平順的線路。

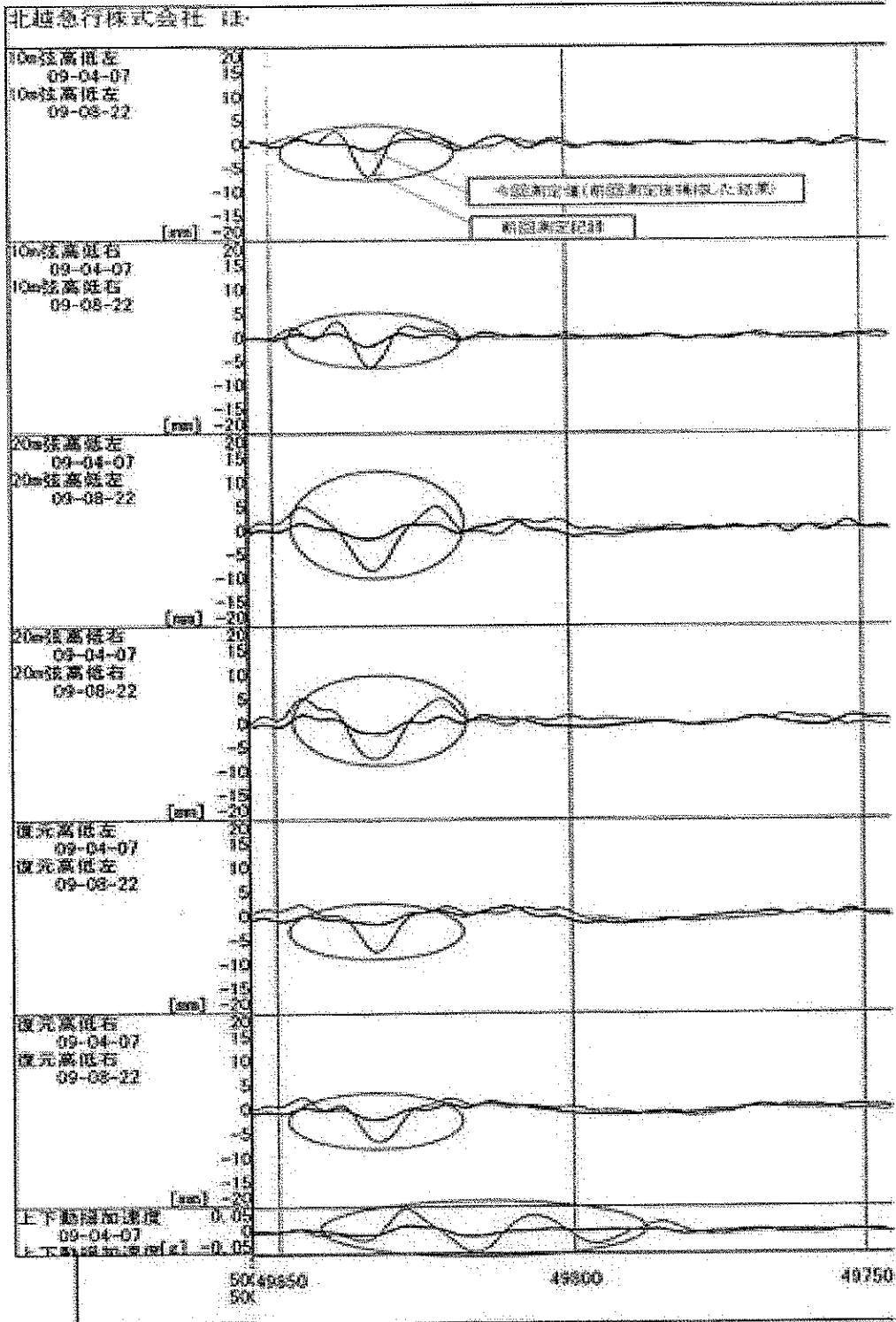
E491 系列檢測到的數據 (LABOCS 圖表) 10Km600~12Km000 處

除此之外，爲了充分運用 East-i 的機能進行有效率的維護，也會取得「重疊 LABOCS 圖表」的紀錄。

這是把前一次測定取得的紀錄，和這次測定取得的紀錄疊合在一起，而繪成圖表。以下舉一個實際的例子。以這個例子來說，前次的測定行駛是在 2009 年 4 月 7 日實施，把當時的紀錄和這次 (2009 年 8 月 22 日) 的紀錄疊在一起繪成圖表。從這個圖表應該可以確認，上次歪扭較大的地方在經過維護修整後已經變小了。

北北線軌道檢測 重疊 LABOCS 圖表例子

LABOCS Ver. 3 印刷日：2009/08/24 16:12:



(四)線路的維護

軌道技術人員依據利用這種機制所取得的全線軌道詳細數據，進行極為細緻的處理，把歪扭的線路修復成平滑的軌道。以前曾經使用鶴嘴鋤把碎石不平的地方整平，現在幾乎都是機械化。其中具有代表性的，是綜合砸道機(multiple tie tamper)這種大型機械。下方相片

為其一個例子。這種機械相當大型，把像蜈蚣一樣的許多鐵臂插入碎石中，藉由巨大的振動將碎石整平搗固。許多在來線的軌道都是使用這種型式的綜合砸道機。事實上，該公司在開業時，也曾經向 JR 買稍微舊型的中古機械，但後來因為機械本身的維護相當耗費工夫和經費而廢棄了。這是因為北北線的碎石軌道區間很少，與其自己擁有大型的綜合砸道機，還不如每次在需要機動性更好一點的機械時，向軌道工程外包廠商租借，來得更有效率。

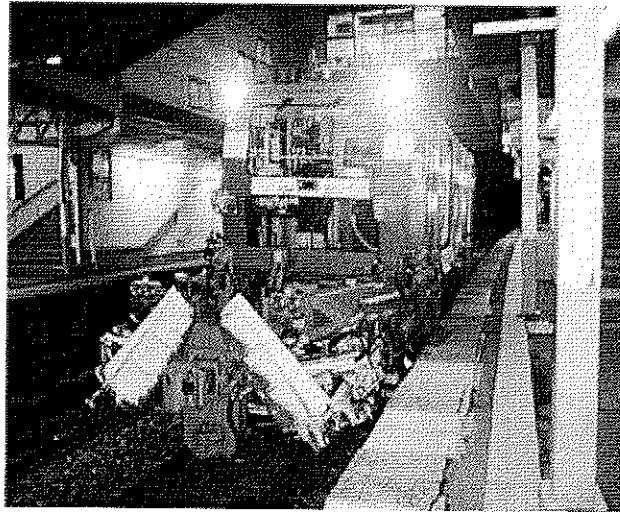


圖 63. 大型綜合砸道機（攝於 JR 上越線）

現在，北北線用來搗實碎石的機械是四頭式砸道機，它的相片如下所示。這種機械備有挖土機和鐵路車輪，先利用大型卡車搬移到施工地點，然後放在軌道上進行施工，在運用上相當具有機動性。不過，如果使用大型綜合砸道機，它的優點是，只要輸入檢測數據，便可自動感知地點和搗實量，而進行施工。而四頭式砸道機還沒有具備這樣的機能，因此必須以人工方式確認圖表所顯示的地點，並進行碎石的搗實之後，由軌道技術人員手持長計測器，確認上下左右是否尚殘留著歪扭。也就是說，不是依靠機械，而是由員工親自接觸軌道，進行修整。



圖 64. 北北線使用的四頭式砸道機

北北線的碎石道床區間很少，而堅固的混凝土平版道床較多，在這種情況下，原則上不至於發生嚴重的歪扭。但即便如此，也有可能發生細微的異常。通常是在線路和混凝土平版之間插入樹脂，藉此調整高低，即可回復平滑的軌道。但是，該公司路線的平版路盤本身有沈陷的現象。其他公司路線的平版軌道區間鮮有發生這樣的現象。因此，首先必須阻止這種下陷的現象。

該公司請專業公司協助，在混凝土製的平版基盤上挖洞，使用內視鏡伸入內部去確認狀態，結果發現，在隧道內的排水溝中流動的水，由於不明原因而滲入軌道中央部位，將基盤底部掏空了。於是採行特殊的工法，把平版本體挖了許多個洞，灌入特殊樹脂填補空隙以阻止下陷，同時，在鋼軌下方加上調整用墊片，並插入比一般更厚的鋼板，將凹凸補平，解決了這個問題。

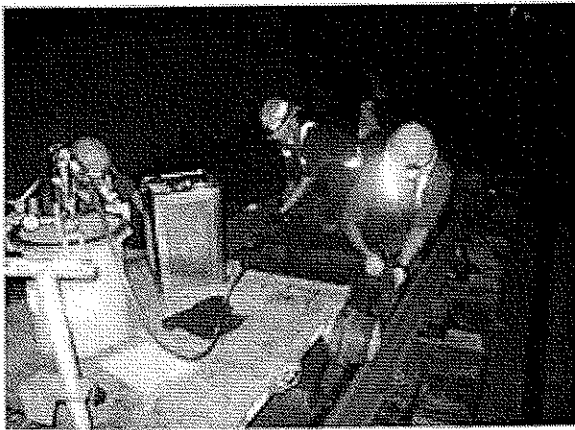


圖 65. 平版軌道的沉陷處理工程

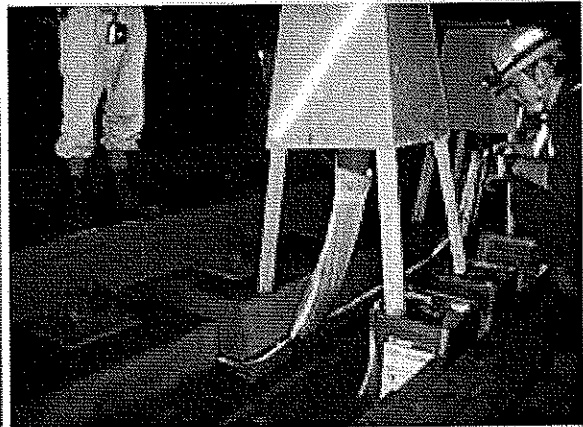


圖 66. 樹脂的灌注作業

北北線基本上是鋪設長鋼軌，但有時候必須毅然地把它切斷，把一部分更換成新的鋼軌，然後再度把接合的地方熔接起來，回復成原來的長鋼軌。

鋼軌是用硬度很高的鋼材製成的東西，但偶爾其內部會發生傷痕。這個傷痕當然是在外觀上看不出來的，但若不加以處理，可能會釀成鋼軌折損之類的嚴重事故。因此，每隔數年必須使用鋼軌探傷車(RFD, rail flaw detection vehicle)進行一次全線的檢查。如果發現鋼軌內部有傷痕，並不是把整條長鋼軌換掉，而是只切除有問題的部分加以更換。這項修繕作業在重新熔接等方面需要極為高超的技術，但最近越來越普遍。

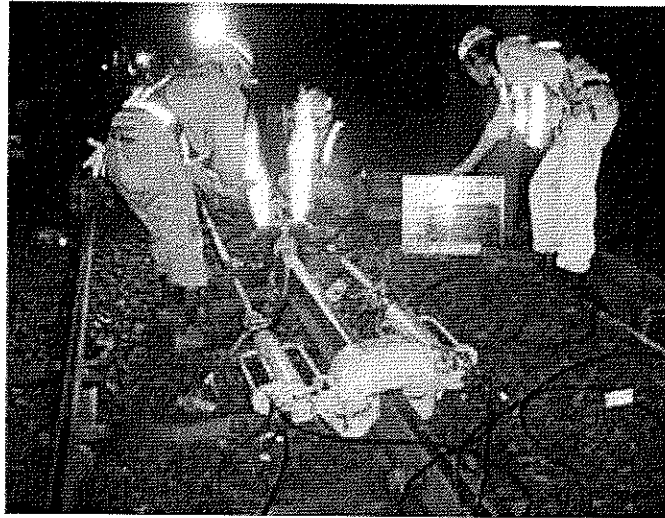


圖 67. 長鋼軌的部分更換作業

由此可知，北北線的線路採取非常慎重的維護方法，只要有稍微一點點歪扭，就要把它消除掉。平常也會做徒步巡邏等等，只要發現一點點異常，當然就會立刻把它修復，以保持線路的平滑。每位軌道技術人員都秉持著無比的熱情，全心全力在維持著線路的基本體力和管理它的身體狀態，藉此確保列車的行駛安全性，並提升乘坐的舒適感。

除此之外，鼻軌可動道岔(movable nose crossing)等等其他鐵路並不常見的特殊裝置，也會因應需要做分解檢查。諸如此類，為了確保線路的完好，軌道技術人員必須執行非常繁多的工作。再加上，在北北線的列車行駛時段中，因為有行駛速度高達 160Km/h 的特快列車在奔馳，所以幾乎不可能進行任何維護作業，所以不可避免的，徒步巡邏及各項維護作業都只能在深夜進行。藉由這些種種的努力，一步一步地邁向「平順行駛的列車」的目標。

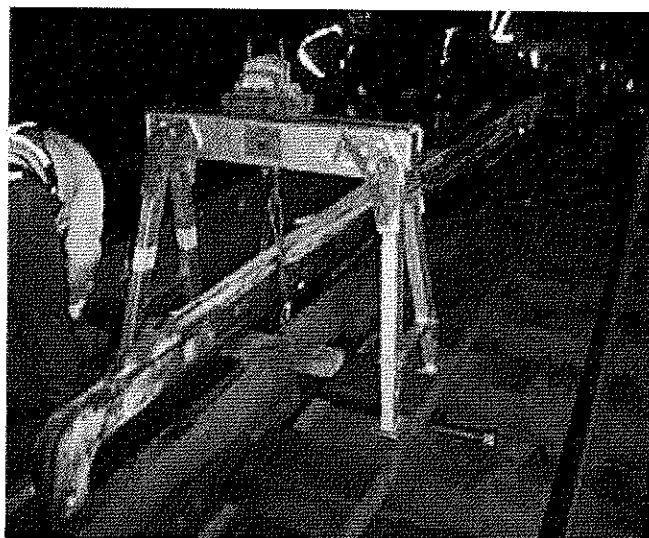


圖 68. 高速用分歧器（鼻軌可動道岔）的解體精密檢查

(五)鋼軌的研磨(Speno 磨軌車的引進)

在北北線的軌道維護上，特別值得一提的，是引進了 Speno 磨軌車。鋼軌在長時間使用後，由於高速通過的列車的重量等因素，它的頭面和側面會出現細微的傷痕。這些傷痕也可說是鋼軌的身體狀態已經衰敗的證據，如果置之不理，鋼軌表面會出現孔洞，嚴重者甚至會發生剝離。具體而言，在有些情況下，會出現下方的相片所示的狀態。

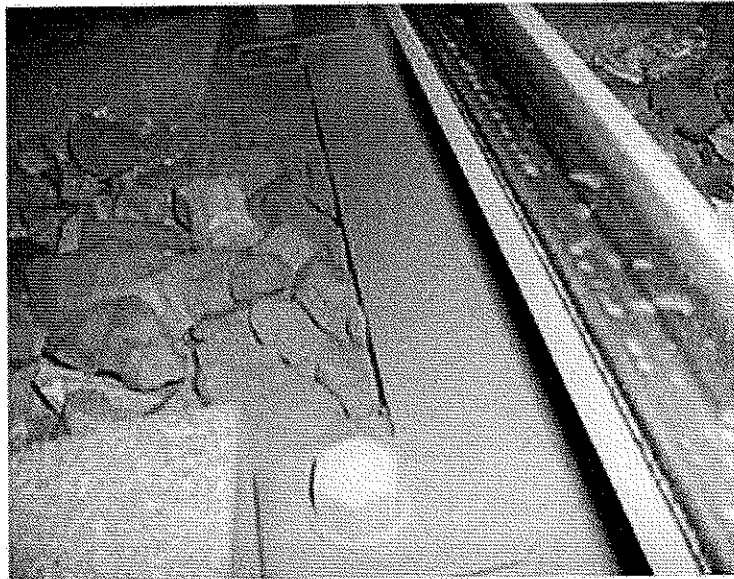


圖 69. 鋼軌表面產生的細微傷痕

這樣的現象，當然會對列車的乘坐感覺產生不良的影響，而且對鋼軌本身來說，也是身體狀態變化的徵兆。因此，在鋼軌表面還沒有變得太嚴重之前，就要研磨表面，使它回復嶄新的面貌。而且這樣做，對於保持鋼軌的壽命也是非常重要的一環。

也就是說，清理鋼軌表面，使其保持新軌的剖面形狀，有助於延長鋼軌的使用壽命。

這個方法在新幹線已經普遍採用，但是在來線有實施這個方法的並不多。

由於北北線是高速行駛，必須藉由平滑的鋼軌來提升乘坐感覺及防止噪音。而且因為是國家、地方公共團體、民間企業共同出資設立的所謂三方公司，具有盡可能延長鋼軌壽命的價值觀，所以全線各個特定區間都會實施研磨的作業。這項作業委託專業的日本 Speno 公司負責處理。Speno 是瑞士一家專業公司的名字，但在日本，提到 Speno 則多半是在指稱這種磨軌車。磨軌車在執行作業時，把 3 輛裝置連結在一起，陣仗相當龐大。實際的樣貌如下方相片所示。

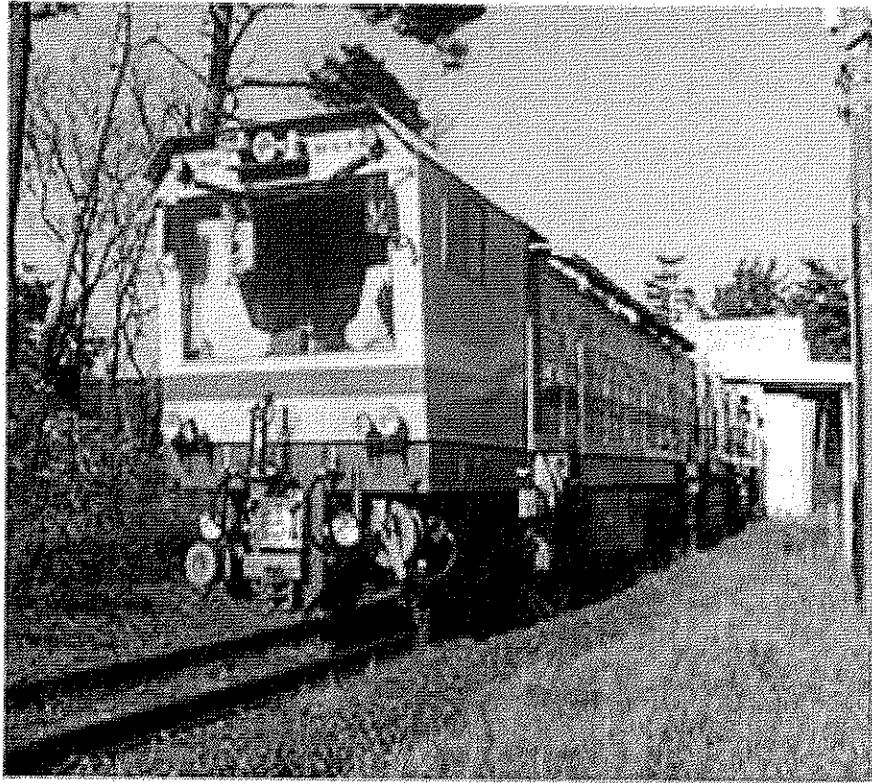


圖 70. Speno (磨軌車 16 頭式) 全景 (長度約 32m)

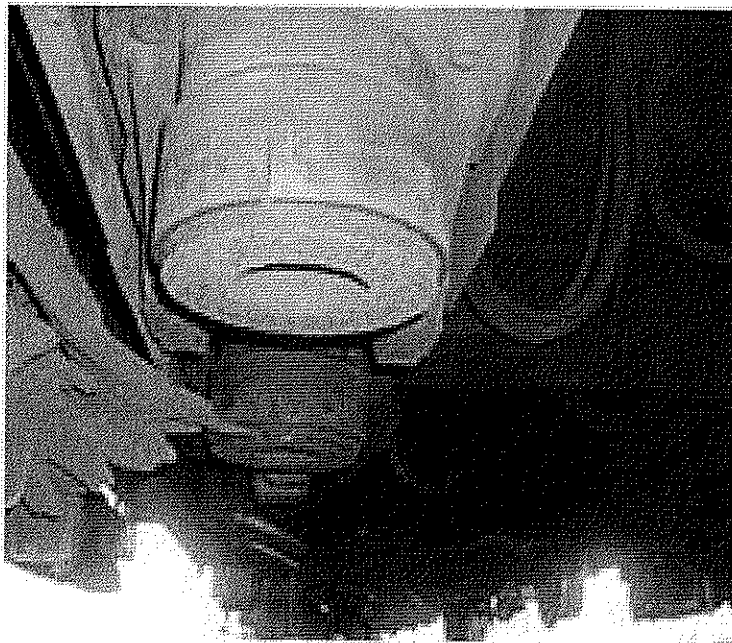


圖 71. 左右各有 8 個磨石，每分鐘旋轉 3,600 次進行研磨

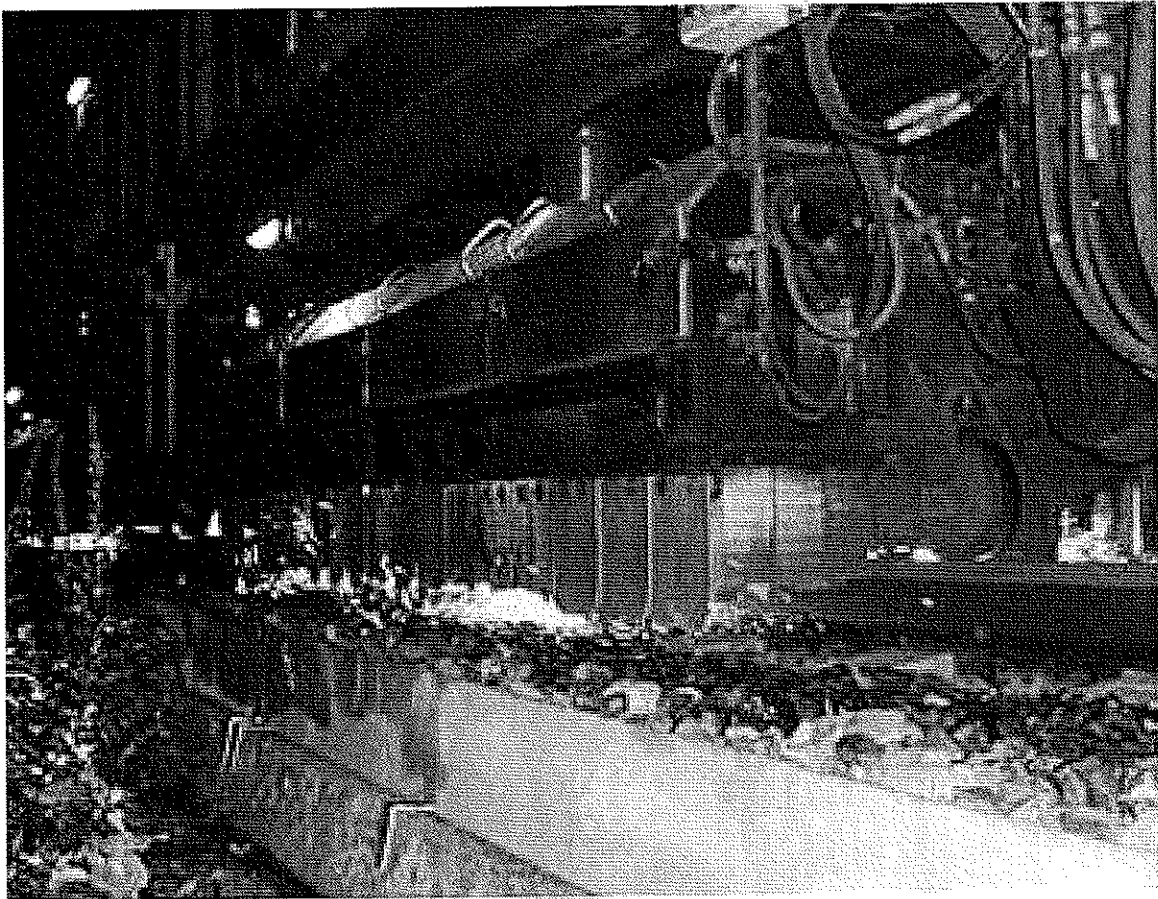


圖 72. Speno 正在研磨該公司路線的鋼軌的作業狀況（因摩擦熱而冒出激烈的火花）

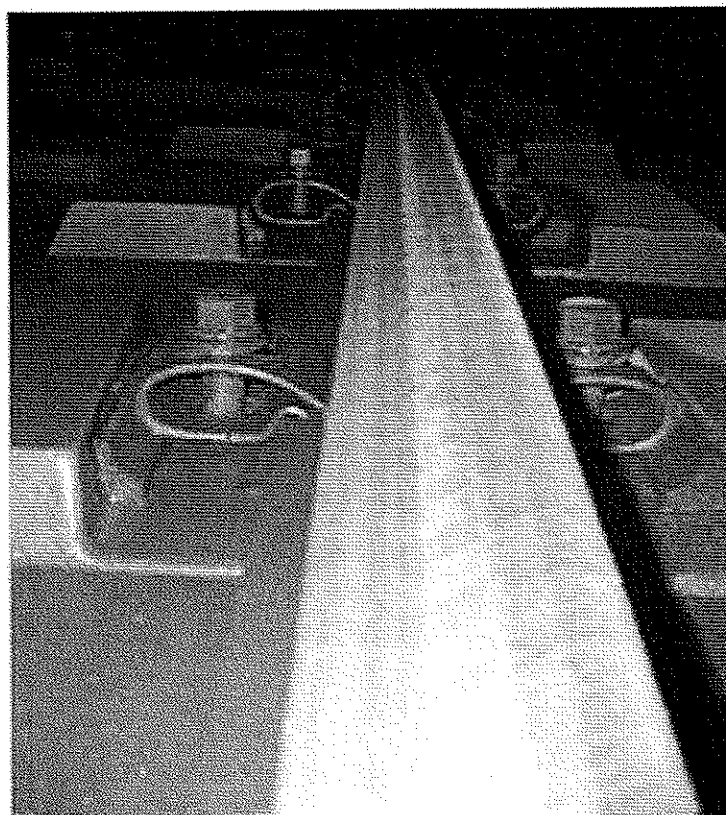


圖 73. 研磨完成的鋼軌（成為和新軌相同的表面）

像這樣，由於北越急行的員工和外包廠商的線路技術人員同心協力，投入熱情與愛心，將線路整備妥當，現在北北線的電車在軌道上頭奔馳時，才能讓乘客感受到無比的舒適。

支撐北北線高速行駛的設備

(1) 行駛設備

北北線是以讓列車在窄軌鐵路上高速行駛為目的，因此配備了比一般鐵路更高規格的行駛設備。其主要內容如下所述。

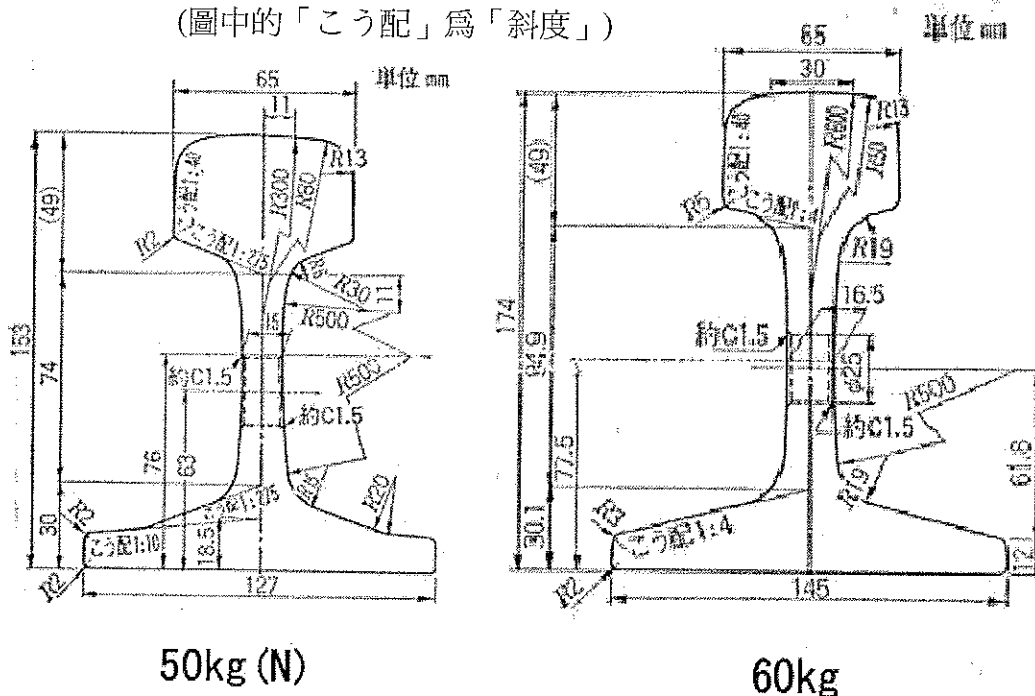
A·軌道(rail)

北北線的特快列車是以高達 160km/h 的日本別無他例的速度，在北北線內(六日町～犀潟間)行駛，因此，鋪設的鋼軌比一般在來線(傳統鐵路)更加堅固耐用。

具體而言，就是採用了與新幹線相同的規格，每 1m 長度的重量為 60kg。

(其他鐵路為 50kg 以下，請參照下圖)

50kg 與 60kg 鋼軌的比較圖
(圖中的「こう配」為「斜度」)



B·枕木

大致上，該公司路線採用把鋼軌直接連結在混凝土基盤上的平版(slab)軌道。這種方式也和新幹線相同。比起碎石道床，平版軌道的好處是強度及維護方面較優異，但缺點是列車行駛的噪音較大。因此，在鄰近住宅區的部分區間，改採碎石道床方式和混凝土枕木的組合。此外，道岔(point)等也採用彈性枕木這種特殊枕木。

C·道岔

一般鐵路所使用的道岔(point)，當列車通過其上方時，絕大多數有速度的限制。設置道岔的目的是為了讓車輪能夠順暢地度過鋼軌的接縫，由於其強度上的問題，必須把衝擊力壓低到一定的限度之下。但是，北北線採用特殊的岔心可動道岔(movable nose point)，讓特快列車在通過道岔的直線側時，可以不受速度限制而繼續高速行駛。這種道岔在新幹線是很普通

的構造，但只有北北線是以在來線的規格卻全面安裝。(參照下圖)

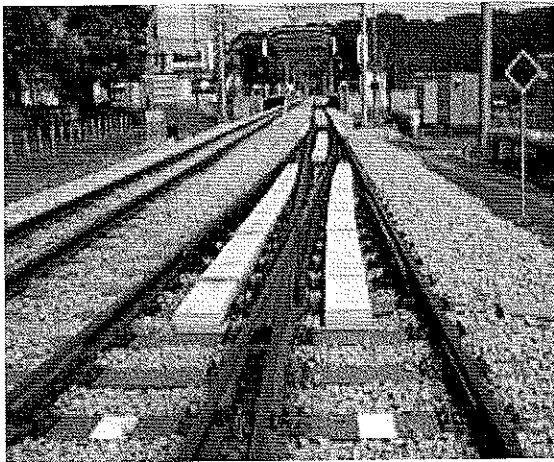


圖 74. 一般的道岔的岔心部分
(無法避開鋼軌的接縫)

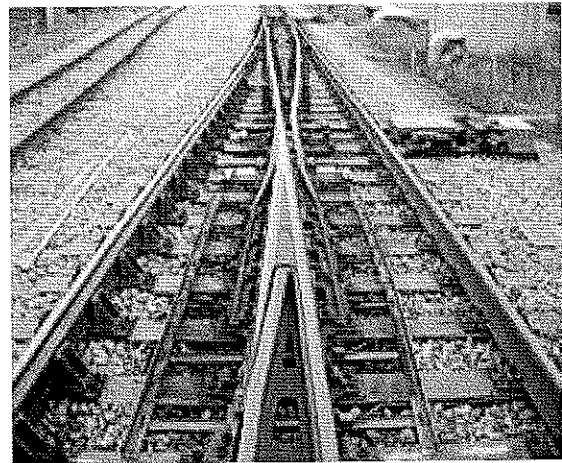
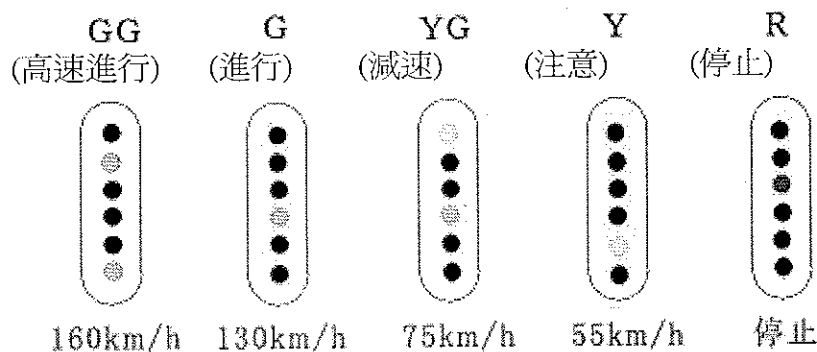


圖 75. 岔心可動道岔
(沒有鋼軌的接縫)

D·號誌機

一般來說，鐵路號誌機的設計，爲了讓列車能夠在抵達停止號誌之前就確實停止。但因幾百公噸重的列車無法一施制煞車即立刻停住，因此，如果突然顯示停止號誌，列車並無法立刻停車，結果有可能會越過了該號誌機，而導致發生碰撞事故的危險。因此，爲了避免這種危險性，必須把號誌設計成，讓列車在還沒到達停止號誌之前就開始降低速度，而在抵達停止號誌時已經完全停住。

北北線設置 6 燈式號誌機，顯示 5 種號誌。日本的在來線鐵路，一般的最高速度爲 130km/h 以下，但本線路的特快列車是以超過這個速度的 160km/h 在行駛，所以設置了更高檔的 GG (高速進行號誌)。(參照下圖)



E·行駛保安設備·無線設備等

北北線設置了 JR 的主要幹線所使用的 ATS-P 型自動列車停止裝置。而與北北線連線的 JR 信越線、上越線、北陸線則採用 ATS-SN 型，所以北北線的車輛搭載了兩種安全裝置。

此外，無線電設備設置了 JR 的重要幹線所使用的 B 型列車無線電裝置，並且全線鋪設 LCX(漏洩同軸電纜)，在全線的任何一處都可與行車控制中心通話。再者，由於 JR 線使用 C

型乘務員無線電裝置，所以北北線的車輛同時設置了 B 型和 C 型兩種方式。

F·列車控制

列車的控制由位於六日叮的行車控制中心負責。採用程式化進路控制系統(PRC, programmed route control)附CTC(集中列車控制裝置)的設備。

這項設備是把排定的列車運行圖(train diagram)預先輸入電腦，即可自動執行分岐器的控制。但是，若因天候變化或發生自然災害等意外事故，造成班表異常、變更行程等等狀況，則由六日叮行車控制中心的管制人員以手動方式介入。

G·下雪對策設備

北北線全線有將近 70% 為隧道，而其餘的 30%(約 20km)為露天區間，因此冬季下雪的影響有時候會相當嚴重。

因此，必須配備各種對付下雪的設備。下雪時的除雪工作，基本上使用除雪車(Russell train)進行「機械除雪」。3 輛旋轉式除雪機車(motor car rotary car)在深夜全力開動，清除線路上的積雪。但是，最近由於住宅區逐漸擴大，不能讓除雪車把積雪剷起來四處飛濺的地區也越來越多，所以北北線在這些區域的線路兩側設置了融雪面板式加熱器，利用不凍液的循環使側面的積雪不至於堆高。

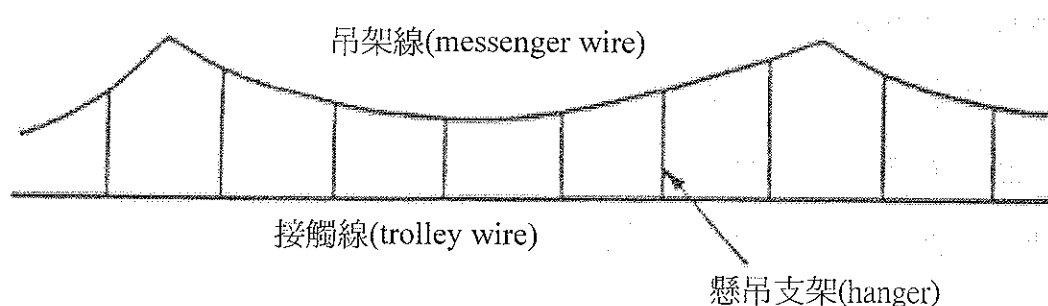
此外，對於分岐器無法轉換的對策，是撒布地下水。在難以確保這種地下水的地方，則設置暖風加熱器，將雪融化。但是，即使如此，列車帶入的雪花仍然有可能堆積在分岐器，使其無法轉換，所以全部分岐器都配備了「溫水噴射流噴射裝置」，噴出溫水將分岐器加溫。這些下雪對策設備全部由六日叮的行車控制中心利用遙控方式進行操控。

H·電車線設備(架線)

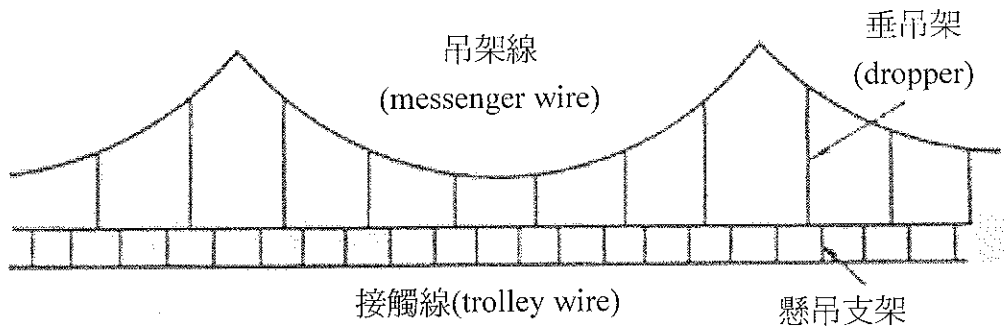
為了能夠因應高速行駛，基本上設置了複合懸垂式架線(compound catenary)。

但是，昭和 43 年 (1968 年)動工的北北線的建設工程，當初並不是以電車的行駛為前提，而是以柴油車的行駛為前提，因此所挖掘的隧道的剖面太小，所以在隧道內是採用雙重單純懸垂式架線(double simple catenary)的特殊方式，從頂上懸垂下來。(參照下圖)

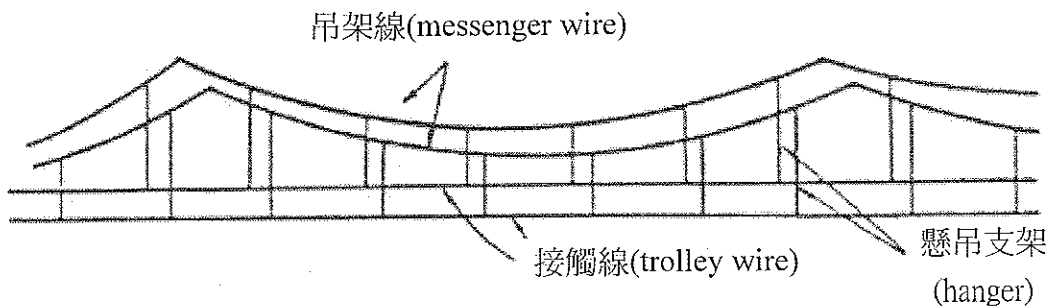
一般的電車線方式(單純懸垂式)



高速行駛用電車線方式(北北線的露天區間採用)(複合懸垂式)



高速行駛用電車線方式(北北線的隧道內採用)〈雙重單純懸垂式〉



(2) 隧道與線路配線等

北北線為單線，但在六日町、十日町、松代、蟲川大杉、頸城等 5 個站，以及赤倉、藥師峠、鍋立山等 3 個長隧道內，都設置了號誌場，全線共有 8 個地方配置了列車錯車設備。

本路線的特徵是隧道很多，一共有 14 個。而且，大多是長隧道，隧道總長度達到路線總長度(全線)的 3 分之 2。

北北線所有隧道的長度如下表所示。

此外，北北線的隧道在入口、出口都設置了防止雪崩的掩蔽物(shelter)和防雪廊(snowshed)。除此之外，還有一些連續的隧道是以防雪廊連結起來。此外，也有幾個地方一併設置了應付微氣壓的緩衝工程。在這其中，在工程完成之際，由鐵路建設公團(當時)整理而列為隧道本體的部分，也包含在隧道長度裡。

表 7.

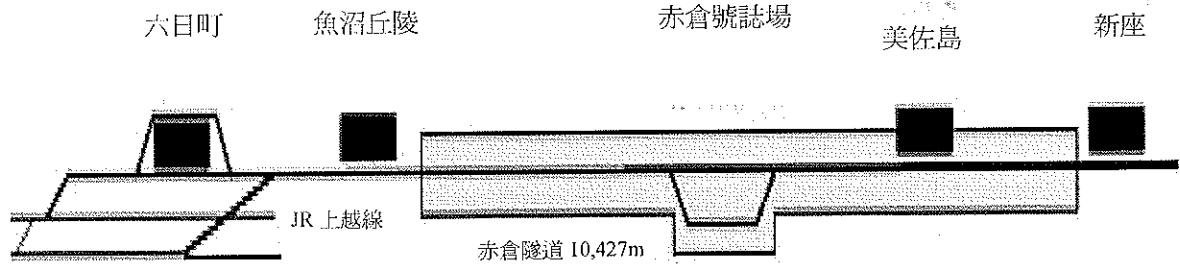
隧道名稱	隧道長度(m)	四捨五入(m)	包含在隧道長度之內的附屬構造物(m)	備註
赤倉	10,471.50	10,472		日本最長(JR 除外)
十日町	1,695.10	1,695		
藥師峠	6,199.17	6,199		

犬伏	667.30	667		
第一田澤	125.00	125		
第二田澤	1,934.00	1,934		
松代	295.00	295	掩蔽物 20m	
鍋立山	9,129.50	9,130	防雪廊 13m	
深澤	1,585.40	1,585	防雪廊 3m	
霧岳	3,732.98	3,733	防雪廊 6m	
有島	697.50	698		
第一飯室	3,287.00	3,287		
第二飯室	272.50	273		
中島	250.00	250		

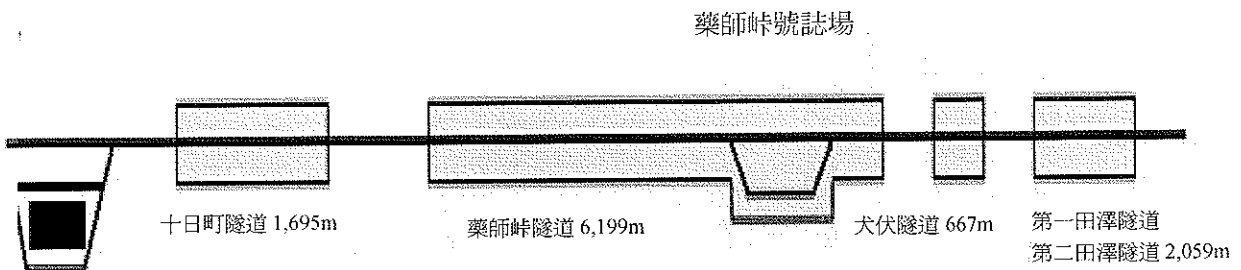


圖 76. 設置於鍋立山隧道大島口的防雪廊
(設於北北線大島站月台)

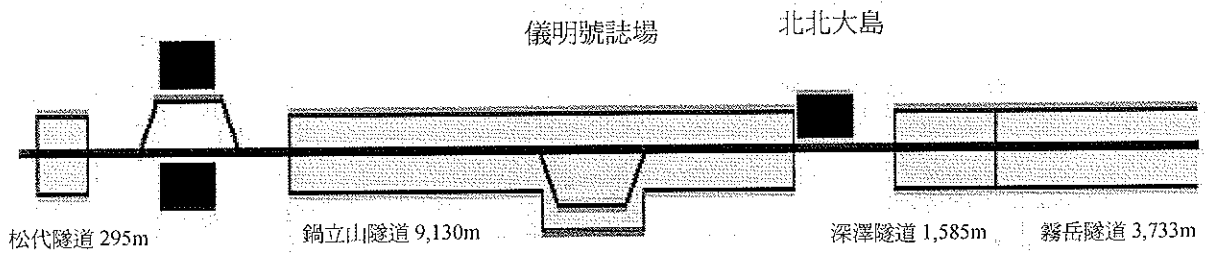
北越急行北北線線路圖



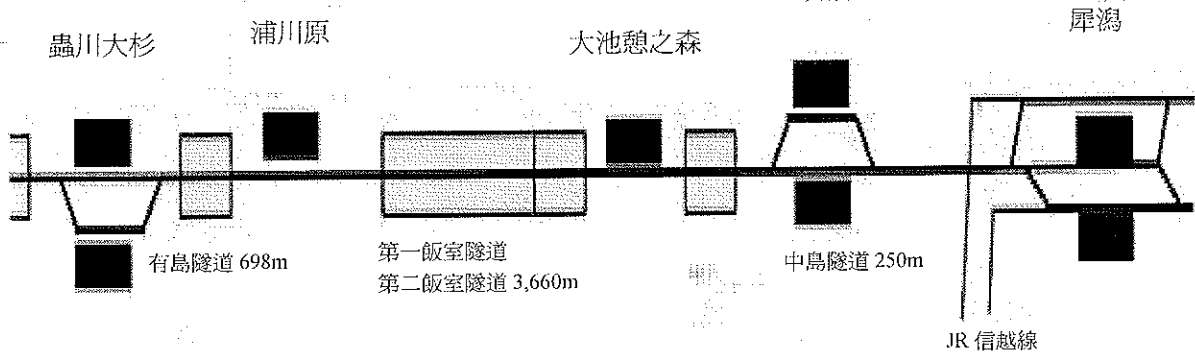
十日町



松代



上



頁三

捌、傾斜電車概論

一、前言

日本車體之傾斜是在 1961 年由小田急電鐵與住友金屬工業共同研究中，最初開發的產品為使用空氣簧式自然搖擺系統的 FS30X 型試驗用連接轉向架。其後的 1960 年代，小田急電鐵與三菱電機共同，利用轉向架左右空簧壓力差的原理進行相當於上述空氣簧行程式的車體傾斜裝置的實用化試驗，但是當時的控制技術尚不成熟，無法達到期待的性能，也因此無法實用化。與其同等的系統，在小田急開始實驗經過 1/4 個世紀以上後，終於在 1996 年製作的 JR 北海道キハ 201 系氣動車上實用化。

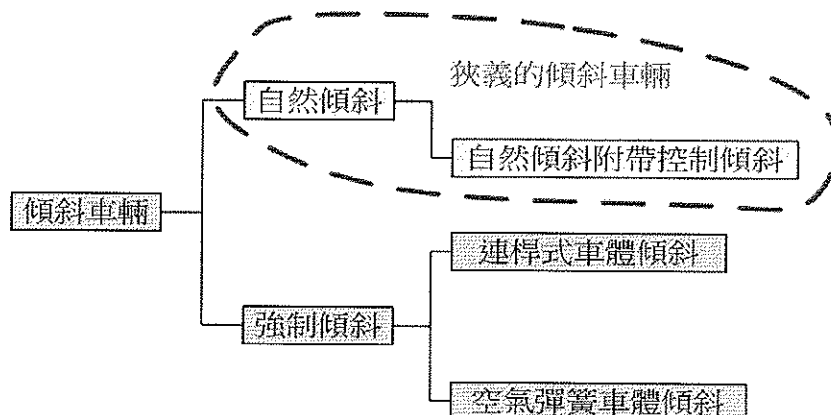
當時的國鐵也在 1968 年將 T 連結式自然搖擺系統使用在裝有 TR96 形轉向架的トキ 15000 形貨車上試驗，但是由於連結處的摩擦抵抗造成動作遲緩與動作不良。之後在 1969 年，採用了比連結式更能確實動作的滾柱軸承原理的自然搖擺式 591 系試驗電車問世，以此為基底的特急行車輛 381 系電車也被量，隨著中央西線、紀勢本縣、伯備線先後電氣化的同時一併投入。

民營化之後，JR 四國與鐵道總合技術研究所一同將世界最原始的，有控制裝置的自然傾斜式氣動車實用化後普及化。

速度提升方面，在半徑 600m(基準速度 90km/h)曲線的狀況下，有自然搖擺控制裝置者為基準速度+25km/h~35km/h，初期的自然搖擺式以及車體傾斜式為基準速度+20km/h~25km/h，若僅有做降低重心的話，則為基準速度+10km/h~25km/h。速度提升會因為曲率半徑、差高量以及行走路線的規格等條件而有所不同。其結果落在設計時目標值以下的車輛也是有的。有關本空氣彈簧傾斜系統，茲將其概要說明如下。

二、傾斜式車輛種類

傾斜的方式計有自然及強制傾斜兩種，而自然傾斜又區分完全自然傾斜及自然傾斜附帶控制傾斜兩種，但狹義的傾斜則指完全自然傾斜；至於強制傾斜亦區分為連桿式車體傾斜及空氣彈簧車體傾斜兩種。今以下表說明其分類：



2-1、自然傾斜

優點：無須外力支援即可由離心力形成自然車體傾斜

缺點：滾軸摩擦、擺盪遲緩、突然搖晃。且無法由超高度來抵消離心力。

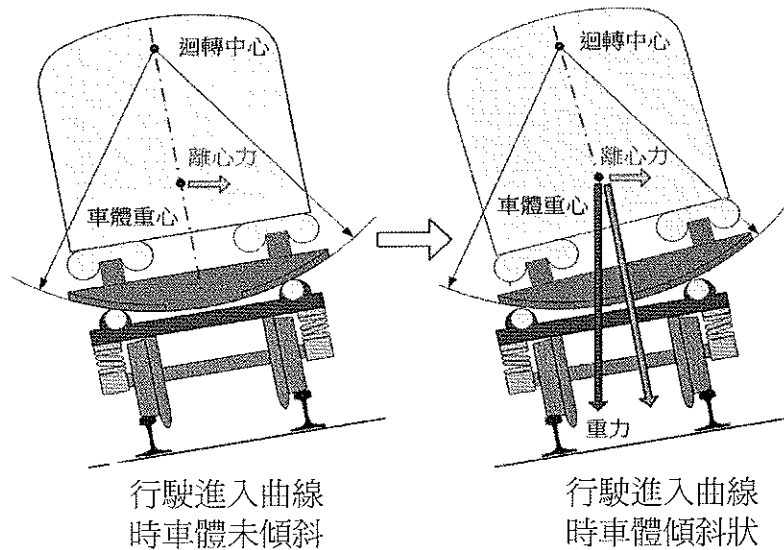


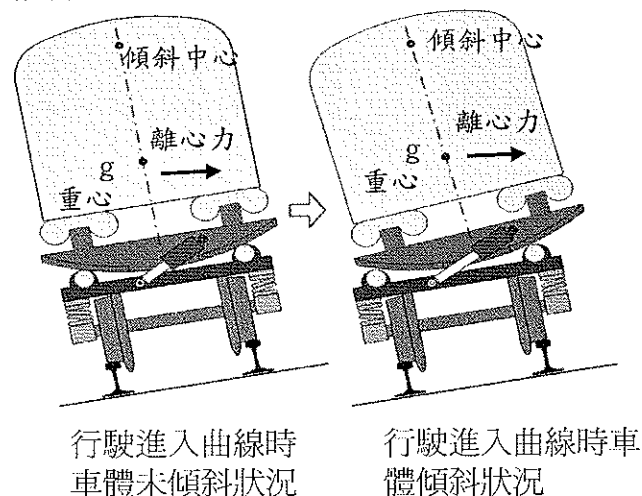
圖 77. 列車行駛圖例

2-2、自然傾斜附帶控制傾斜

必須有曲線開始、終了位置檢知裝置並藉由氣缸輔助來使車體傾斜。

優點：滾子摩擦可使振動延持、無突然搖擺。且無法控制傾斜時可自動轉成自然搖擺（無逆方向搖擺）。

缺點：須正確知道曲線始末位置，因此須有。曲線開始、終了位置檢知，並藉氣缸輔助車體傾斜。



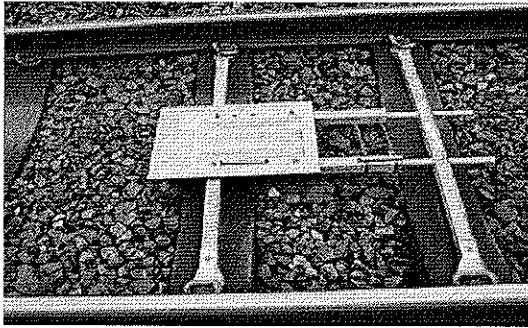


圖 78. 地點檢知的方法

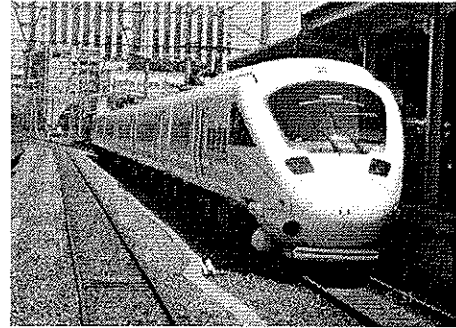
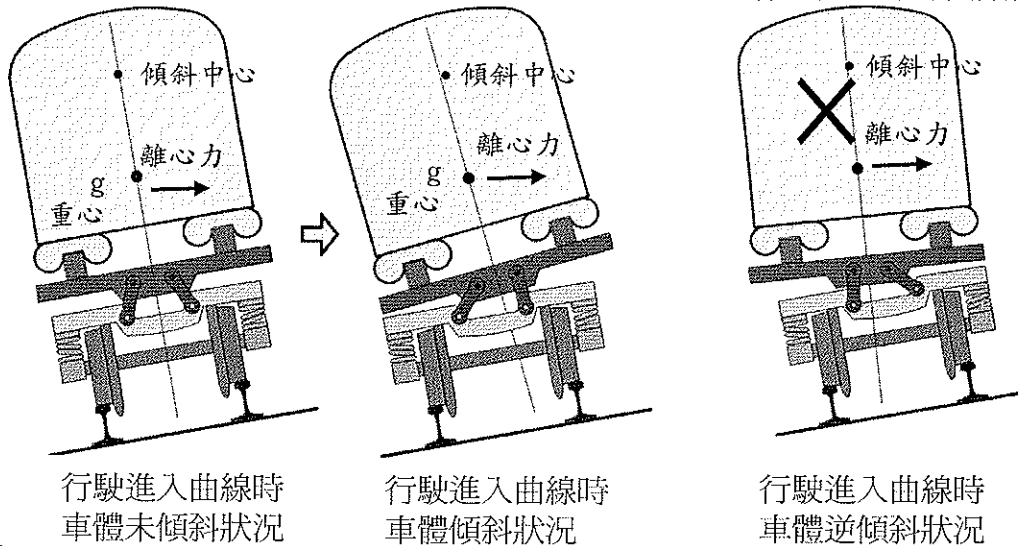


圖 79. JR 九州 EMU885 系

2-3、連桿式車體傾斜

優點：離心力可以依靠車體傾斜呈現出來

缺點：曲線開始位置的提供及感測必須正確，故障時存在逆方向傾斜的可能，車體不靠離心力造成傾斜者，必須正確了解其是否在曲線上開始點即開始傾斜。



車輛舉例

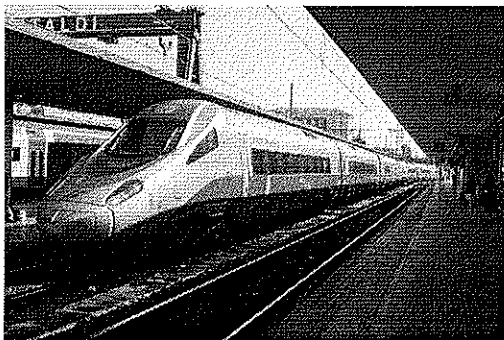


圖 80. 義大利 Italy ETR600(圖來自維基百科)

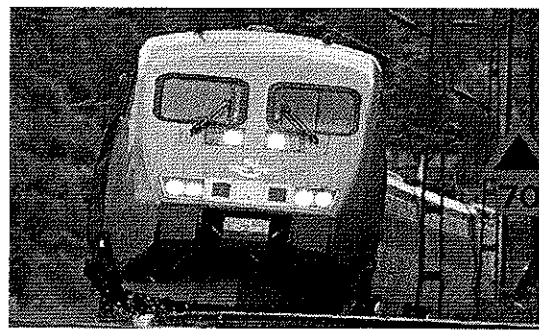
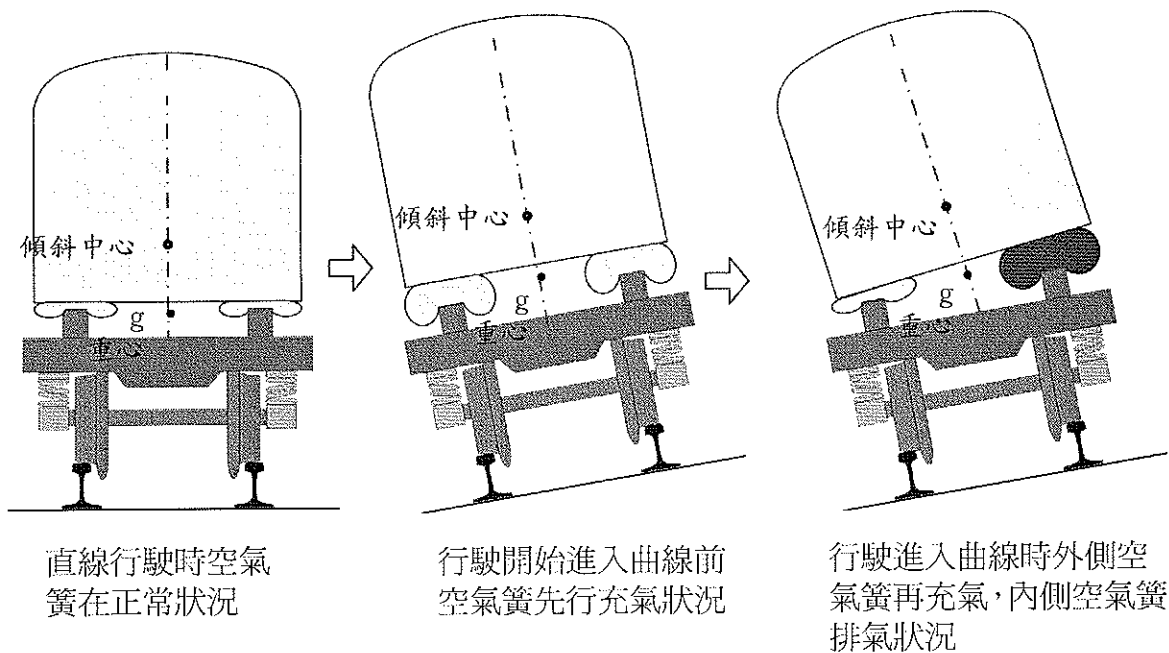


圖 81. 瑞典 Sweden X2000

2-4、空氣彈簧車體傾斜

優點：機構簡單（無鐘擺樑，連桿等機構）。

缺點：必須提供正確的曲線開始位置及其靈敏的感測。空氣儲存桶大。最大傾斜度只有 2 度。



車輛舉例

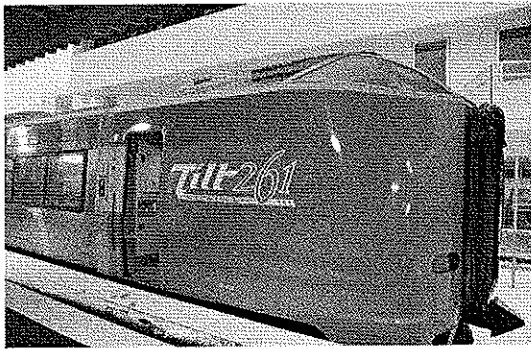


圖 82. JR 北海道 261 型

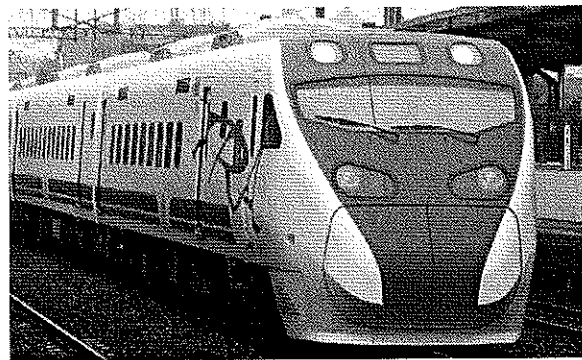


圖 83. 臺鐵 TEMU 2000 型

三、有關鐵道車輛的速度提高

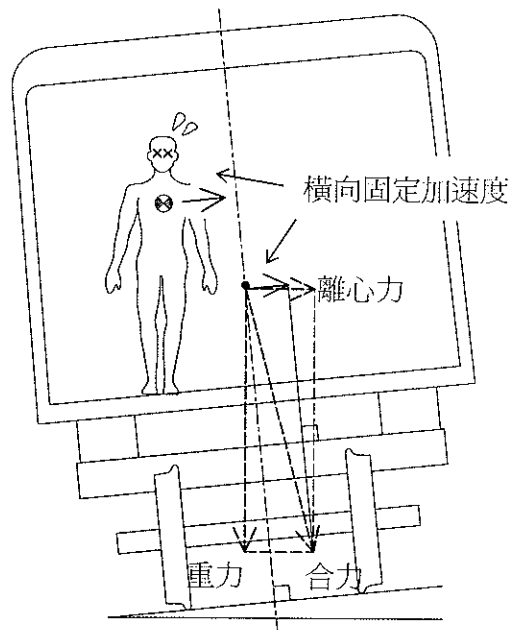
3-1、有關提升曲線通過速度

鐵路的曲線，是依據其曲率及超高量來設定其速度限制。並非在此速限後就會立即造成出軌事故，而是有更大的比例是在於維持良好的乘坐舒適度。

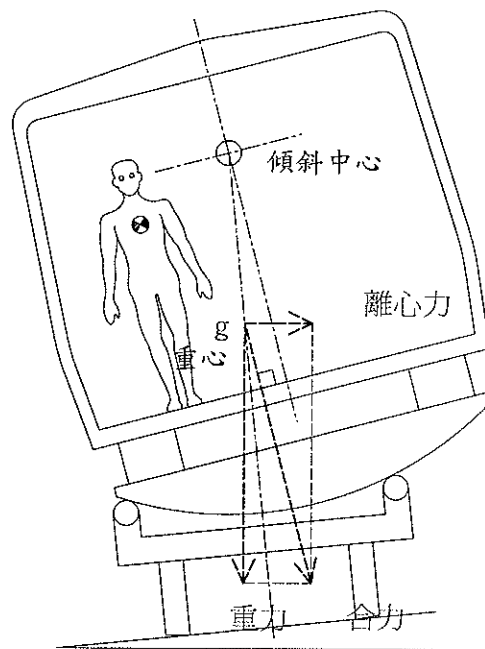
在「曲線的限速」和「車輛不脫軌的極限速度」之間是存在有一定的裕度在內，因此，即使是未裝設傾斜機構的車輛也可能與“傾斜式車輛”以相同的營運速度來行駛。

不過，提高曲線通過速度時，則施加在車體的離心力也隨之增加。非傾斜式車輛如以傾斜式車輛速限通過曲線時，則車內的乘客將受此一較大之離心力影響，身體將左右搖晃較大，其結果將導致乘坐品質惡化。

目前，在太魯閣號所使用的鐘擺控制式傾斜車輛，在車體傾斜後，重力與離心力的合力將與車廂地板面成垂直方向，因此可緩和乘客往左右方向拉動的力量，以防止乘坐品質惡化。



在此要再度強調的是，非傾斜車輛與傾斜式車輛如以相同速度行駛，則其所受到的離心力都相同，「車輛不脫軌的極限速度」也是相同的，只是旅客的乘坐品質有異而已。



鐘擺式車輛之車體傾斜可達 5 度，故與非傾斜式車輛相比，最大可提速 + 30km/h 左右（但亦必須與曲線半徑大小的要素相配合），因此這對提高通過曲線速度的車輛十分有效。

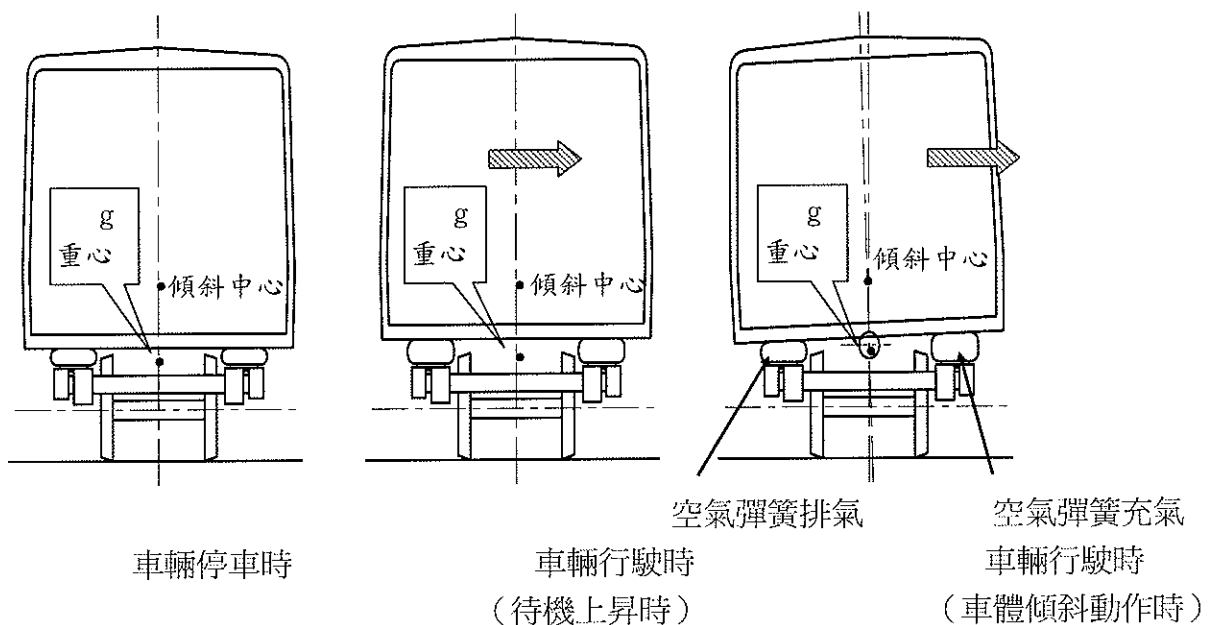
它同時具有

- (1) 隨著速度之提高，施於軌道及路基的破壞也成比例提高，因此為維持軌道狀態正常，且所採取的養護作業也增加。特別是在路基脆弱的路段，要達成上述提速效果也較困難。
- (2) 鐘擺機構除其本身之外，因其傾斜角相當大，因此其集電弓為防止脫離電車線，故必須採用使集電弓位置保持中立的機構等等，機構上較複雜，且其初期購置成本以及日後維護成本都將增加。

等以上問題。也就是說雖然採用鐘擺式車輛，也充分發揮其能力，只是在維護上也需用更多心力，故為了解決這些缺點來保養鐘擺裝置，近年來所出現新設計就是空氣彈簧傾斜方式車輛。

3-2、有關於空氣彈簧傾斜系統

本空氣簧傾斜裝置是利用控制支持車體轉向架左右兩側之空氣簧，以充排氣內壓來改變高度使車體傾斜之傾斜系統，車體最大傾斜角是 2 度。此一方式不需像鐘擺機構等大型裝置，可視為是將採用原本之空氣簧式轉向架車輛，再加裝車體傾斜控制相關的設備後而成為傾斜式車輛，因此傾斜式車輛包括維護成本在內的運用成本（Running Cost）是較具成本效益的車輛。



J 現正於 JR 北海道公司所運用中，具空氣彈簧傾斜系統的 261 系列特快柴聯車，基於上述思維，相較於非傾斜式車輛其速度提高如下表所示。

表 8 JR 北海道公司 261 系列特快柴聯車的曲線通過速度

曲線半徑 (m)	300	350	400	450	500	600	700	800	900
261 系列行駛速度	非傾斜車輛 +15km/h		非傾斜車輛 +20km/h			非傾斜車輛 +25km/h			
本局傾斜車輛速度限速規範	非傾斜車輛 +15km/h		非傾斜車輛 +20km/h				非傾斜車輛 +15km/h		

【261 系列特快柴聯車】

2000 年投入營運，是接續在 281、283 系列鐘擺式特快柴聯車的運用實績之後，採用 201

系列普通柴聯車（1996年登場）的空氣彈簧傾斜系統的2°傾斜，兼顧運用成本降低，兼具充分高性能的次世代特快柴聯車。



圖 84. 261 系列特快柴聯車

本局非傾斜車輛的運用形態與 JR 北海道公司不同，故表 8 的 261 系速度提高實績並無法直接套用在本局，但如上述說明，空氣簧傾斜系統是具有在曲線上提速的能力。

四、鐘擺式傾斜車輛及空氣彈簧傾斜車輛之差異

4-1 有關於乘坐舒適度

感受乘坐舒適度不良的原因之一，是因低頻搖動所導致的「車船暈眩」現象。在鐘擺式車輛，因傾斜角高達 5 度，再加上曲線部的超高傾斜角，故在極短時間內對乘客作用最大達 10.6 度的滾轉變位。（超高 105mm 的曲線上，則超高傾角為 $\theta = 105\text{mm}/1067\text{mm} \times \pi / 180 = 5.6$ 度。加上車體傾斜角則為 $5.6 + 5 = 10.6$ 度。）也就是說在鐘擺車的情形，如假定以 2.5 秒通過緩和曲線部的話，則乘客將受到約 0.2Hz 的低頻率及 10.6 度的大角度滾轉變化，因而也會造成旅客暈車。

此外，在鐘擺傾斜車輛，乘客所看到的窗外景色是因 5 度傾斜而有大幅的上下變動，但乘客身體所感受到的卻是滾轉所致的轉動加速度，此種不一致也會誘發暈車。

在空氣簧傾斜車輛裡，因傾斜角為 2 度，故在相同低頻下其滾轉變位較小，因此可改善並減少大角度傾斜角為 5~8 度之「暈車」情形發生。但須有完善的線路下才可不搖晃。

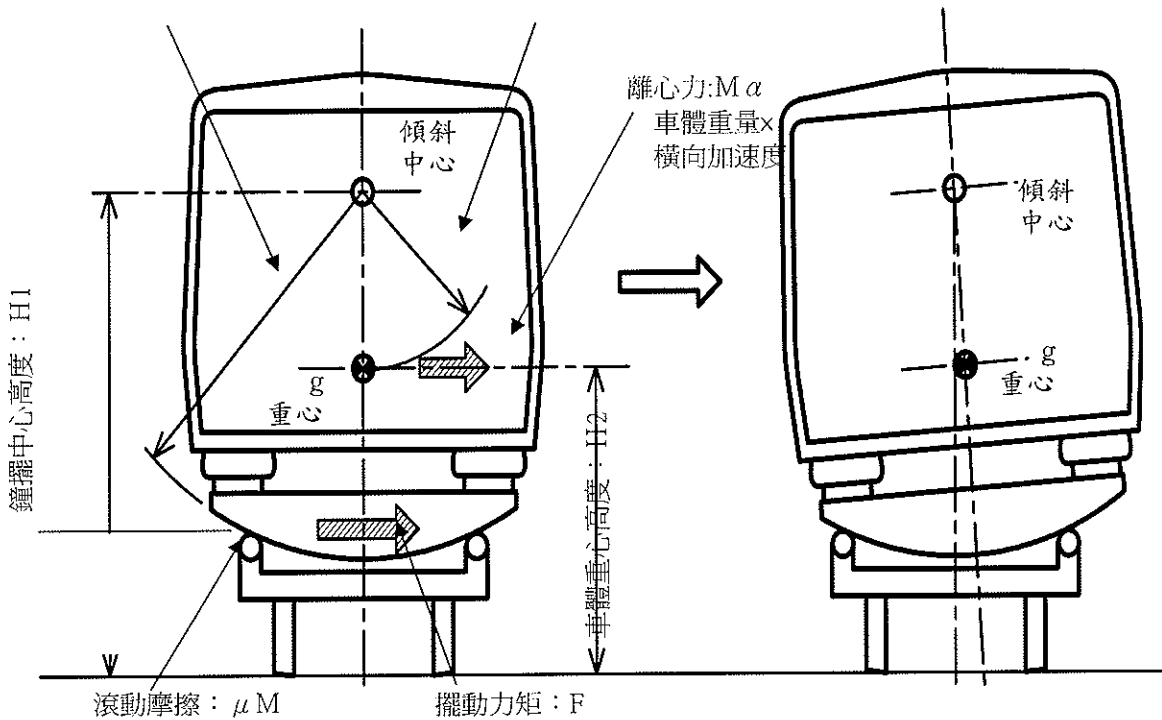
4-2 有關車體重心位置

在鐘擺式車輛方面，因構造需要必須儘可能降低車體重心位置。鐘擺式車輛如下圖所

示，是利用施於車體重心的左右離心力，以擺動中心為支點將車體傾斜。

力臂：L2

力臂：L1 (= H1 - H2)



使車輛產生擺動動作的力矩 F(相對於擺動中心)為：

= $M\alpha \times L1$ (離心力所造成的力矩) - $\mu M \times L2$ (滾子裝置轉動摩擦所產生的力矩)。

因此，為使擺動容易，必須將車體重心盡量降低以加大 L1，故而必須採用規格特殊的車輪（直徑 810mm）。

另外，車體重心也必須盡量靠近車體中心線(以防止左右方向擺動有不平均)，相對於此，空氣簧傾斜方式是以將車體從下方舉起的方式做傾斜動作，故車體重心高度與傾斜難易度較無關連性。因此，車體重心的垂直/橫向位置與一般的非傾斜車輛相同也沒有問題。

4-3 轉向架構造

如前項所述，相對於鐘擺傾斜式車輛轉向架具有龐大的鐘擺機構，空氣簧傾斜式車輛用轉向架的構造與非傾斜式車輛的一般無搖枕式轉向架並無不同。(請參考下圖 1A 是鐘擺傾斜式轉向架、圖 1B 則是空氣彈簧傾斜式轉向架的示例) 這也是空氣彈簧傾斜車輛用轉向架比鐘擺式車輛用轉向架，運用成本 (Running Cost) 降低的主要原因。

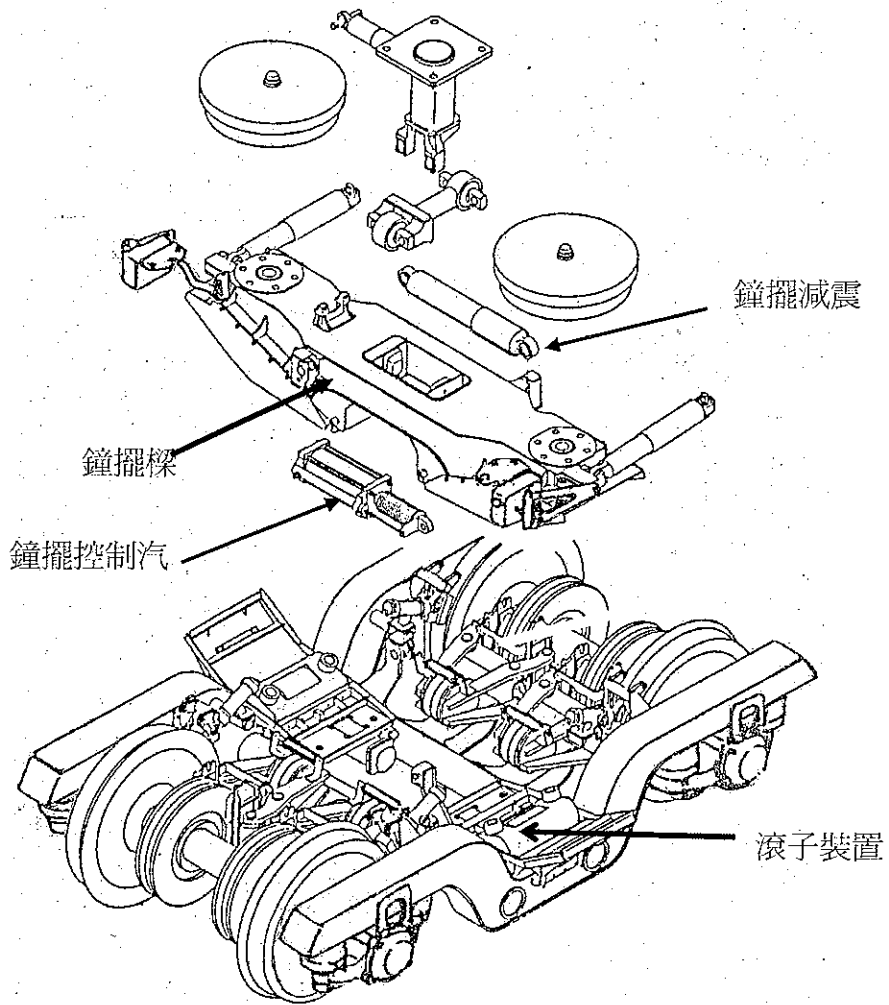


圖 1A 鐘擺式轉向架(滾子式)例子 (T 轉向架)
 僅標示鐘擺車用轉向架特有的零組件名稱。

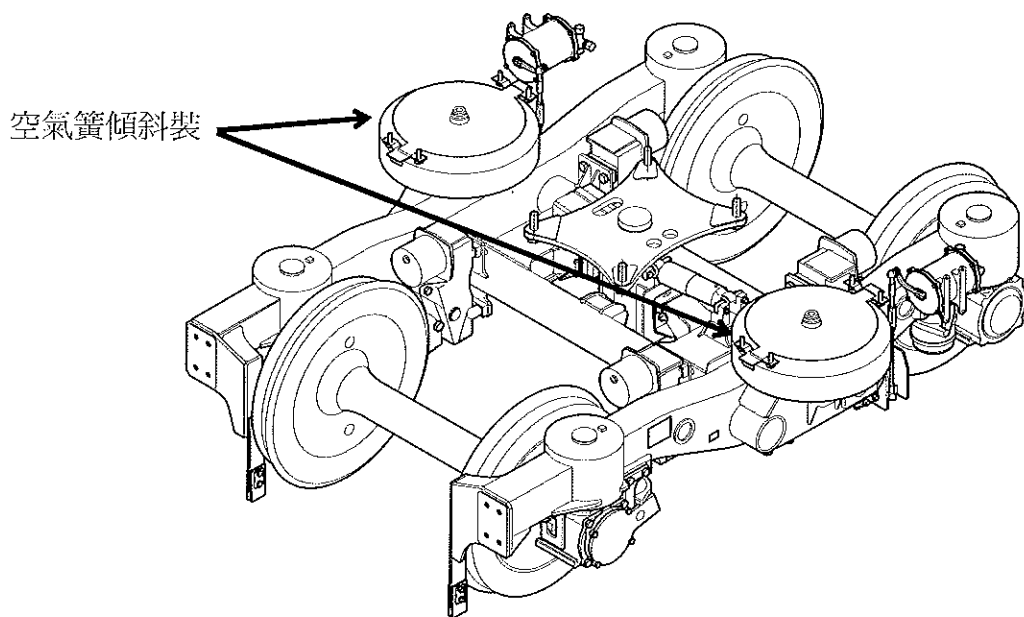


圖 1B 空氣彈簧傾斜式轉向架例子 (T 轉向架)

轉向架之基礎軋機裝置為碟式煞車。轉向架加裝有一次簧減震器、偏搖減震器等。與上圖略有不同

4-4 車體橫截面形狀

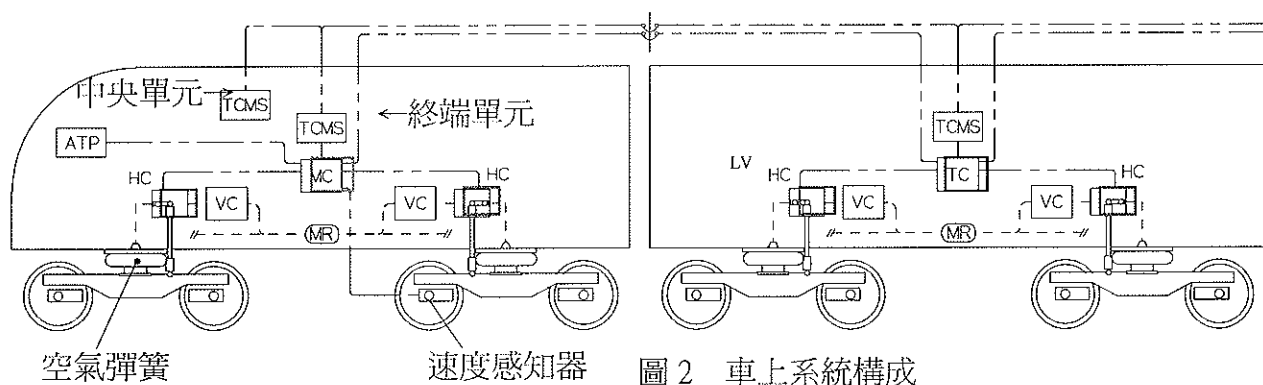
鐘擺傾斜與空氣彈簧傾斜車輛的車體橫截面形狀差異 ⇒ 參見附件資料。

4-5 集電弓

空氣彈簧傾斜車輛的集電弓說明 ⇒ 參見附件資料。

五、空氣彈簧傾斜系統概要

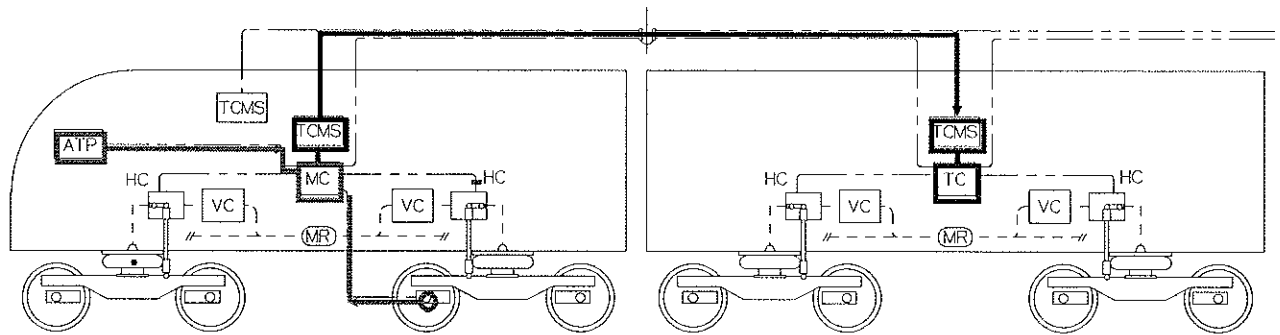
本系統為日本車輛獨自開發的“鐵道車輛用水平閥(以下簡稱「LV」)”式空氣彈簧傾斜系統，主要以車高控制裝置、車體傾斜裝置所構成。各裝置的角色功能如下所示。



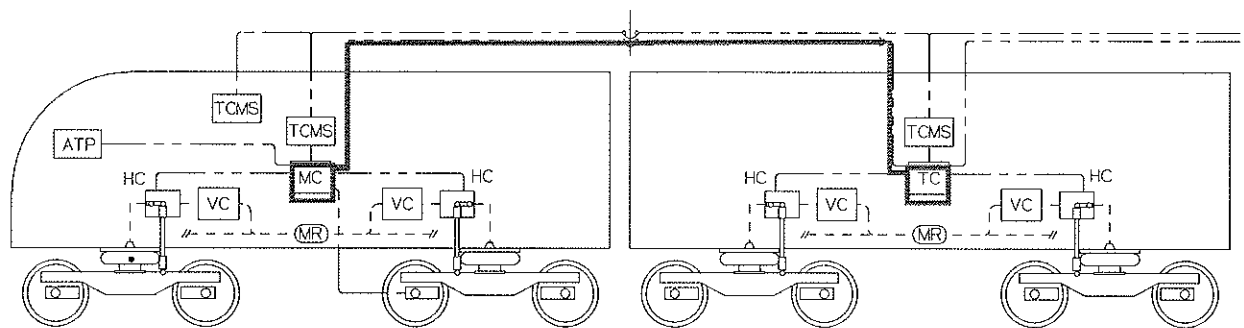
- ✓ HC (Height Changer) = 為保持空氣彈簧高度一定，與 LV (Levelling Valve) 相連結成 HCLV，對 LV 的高度資訊提供模擬變位，使空氣彈簧的高度調整到指定數值的裝置。每車安裝 4 台。上圖紅色部份。
- ✓ TC (Tilting Controller) = 判斷所需的傾斜角及傾斜時機，對 HCLV 輸出命令，傾斜指令計算之裝置。每車安裝 1 台。上圖藍色部份。
此外，車頭(TED 車)的 TC 另具有依據軸端速度感知器資訊，以及來自地上子之絕對位置資訊，判斷出現車所在位置的「地點偵測功能」。(因此，TED 車的 TC 稱之為 MC: Master Controller。上圖綠色部份。) 此外，每一台 TC 裝置內，海側與山側空氣彈簧傾斜各有一套系統，以各別獨立的 2 張電子卡來控制。

傾斜流程：

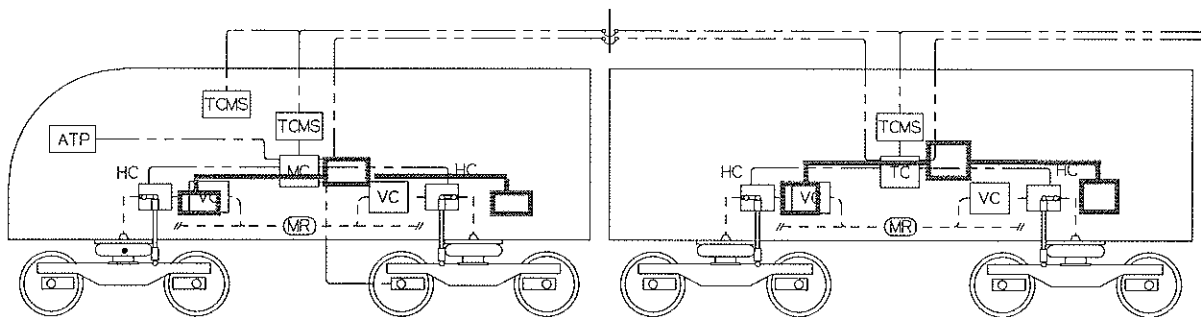
- 第 1 階段 依據從地上子所收到的絕對位置資訊，以及速度感知器的速度資訊為基礎，由 MC 計算出現車所在地點(下圖紅線)。該資訊透過 TCMS 終端單元傳送到其他車輛的 TC(下圖藍線)。



第 2 階段 MC 及各車的 TC 之間，是透過繼電器來進行車輛間的同步動作，以校正 TCMS 所造成的延遲時間。(下圖綠線)而各 TC 是藉由所收到的 TCMS 資訊以及校正來計算出自車的所在地點位置。



第 3 階段 各 MC、TC 基於自車所在地點位置計算結果，對 HC 發出傾斜指令。
(下圖粉紅色線)



六、關於空氣彈簧傾斜系統之備援設計

本「HCLV（高度調節水平閥）式空氣彈簧傾斜系統」，是使用大量用在非傾斜車輛上的水平閥及空氣彈簧來進行傾斜作用，是非常簡潔又可靠度甚高的傾斜系統。不過，無論是可靠度多麼高的系統，系統故障或是誤動作是不可能到 0%，在本系統也不例外。

在日本國內，當空氣彈簧傾斜車輛的傾斜系統發生故障時，一般做法是停止傾斜運作，將其做為非傾斜車輛來運用。不過，TEMU2000 型車輛則考量到此種情形，隨故障的程度不同，備有多重的備援機構。

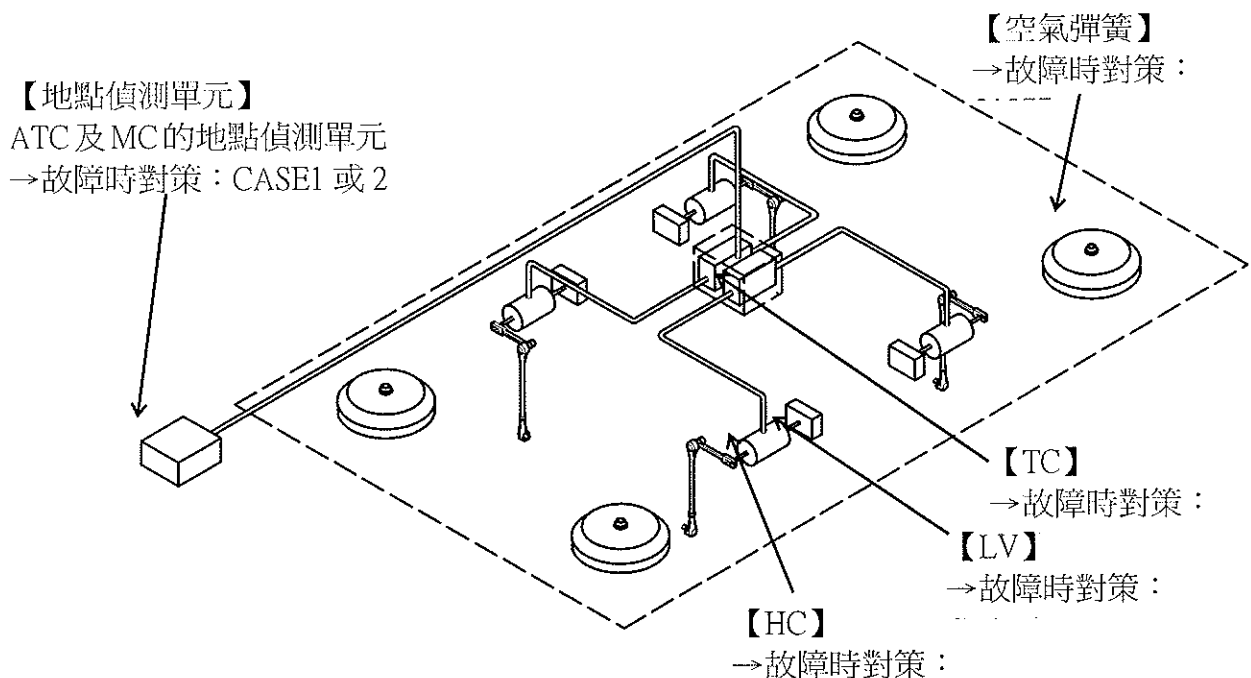


圖 3 傾斜裝置模式圖

表 9 故障案例與其對策一覽

現象	CASE		對策	相關車輛	控制鐘擺傾斜車輛的情形（參考）
信號故障	1	地點偵測錯誤	自然鐘擺模式	大編組內所有車輛	改採自然鐘擺模式
設備故障	2	MC 的地點偵測單元故障	自然鐘擺模式	大編組內所有車輛	(相當於擺動控制裝置故障)改採自然鐘擺模式
	3	HC 故障	單側驅動傾斜模式	只限故障車輛※1	✓控制汽缸故障 = 只有故障車輛為自然鐘擺，但擺動角度有減少可能性。
	4	TC 故障、或 MC 的傾斜指令部故障	單側驅動傾斜模式	只限故障車輛	✓擺動抑制汽缸故障 = 非傾斜運轉。
設備故障 事故等級 ※2	5	單一轉向架兩側的 HC 同時故障、TC 內兩套電子卡同時故障等一個以上設備同時故障	非傾斜模式	只限故障車輛	✓滾子裝置卡死 = 有無法自傾斜狀態復原，被迫必須以側傾一邊狀態繼續行駛的可能性。
	6	LV 故障 (事故等級)	單一車輛內之所有空氣彈簧排氣。之後依據 TRA 相關規定運轉。	只限故障車輛	同左
	7	空氣彈簧消氣 (事故等級)			

* 地點偵測錯誤及 TC/MC 故障為控制系統故障、HC 故障屬於機構系統故障。因此，本系統在控制系統、機構系統故障時都有備援設計之要求。

- ※1 只限故障車輛 發出傾斜指令的 TC 是各自獨立設置在各車廂，以控制該車廂的傾斜。因此，如單一車廂發生傾斜設備故障時，也完全不會影響到其他車廂，可繼續運轉。
- ※2 有關事故等級 …CASE5 = 例如車輛與公路車輛相撞等，假定之一個以上設備的同時故障。

此外，CASE6、7 的發生頻率，是與非傾斜車輛的 LV 故障及空氣彈簧消氣故障等同的發生率。以下說明發生問題時的各種對策模式。

【自然鐘擺模式】

當發生地點偵測錯誤時，在下個地點偵測成功前，將採「自然鐘擺模式」行駛。此模式是利用設置在各車廂上的加速度計，偵測進入曲線後產生的離心加速度，判斷曲線狀態來實施傾斜動作。(下圖 4)

因在測知離心加速度後才進行傾斜，故將比通常的「傾斜模式」有若干的傾斜遲滯，這是跟「控制鐘擺車輛」的地點偵測錯誤時所備援的自然鐘擺運轉的擺動遲滯是類似的情況。

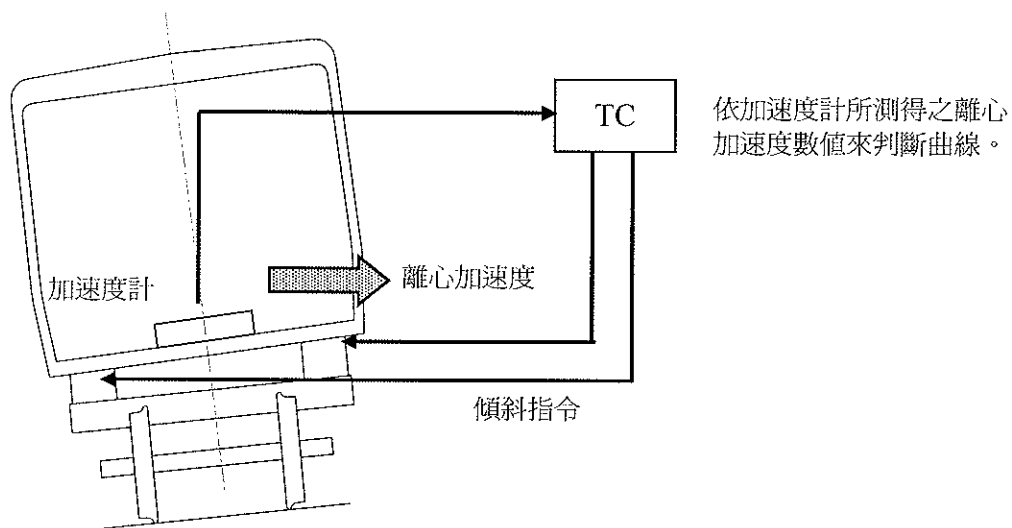


圖 4 自然鐘擺模式下的傾斜模式圖

【單側驅動傾斜模式】

本傾斜系統所使用的各種設備，都具有與水平閥 (LV) 同程度的高度可靠度。然而水平閥是不具備備援的單重系統，故在本車輛傾斜系統，在設備發生故障時，則以下列備援方式來維持傾斜動作。

2) -1 HC 故障

在 1 個轉向架上裝備 2 台的 HC 中，如 1 台受損無法進行傾斜動作時，將以另一邊的空氣彈簧來做傾斜動作，以「單側驅動傾斜模式」維持車輛運行。

在此情形下，因只靠單邊空氣彈簧來實施傾斜，故最大傾斜角為 1 度。(已取得專利)

此外，故障 HC 一邊的空氣彈簧，因對該 HC 停止供電，故以通常的空氣彈簧 + 水平

閥來作用。(不會造成卡死或是洩氣狀態)

2) -2 TC 故障

TC 內的其中一套傾斜系統故障時，仍可由另一套正常的傾斜系統維持單邊的空气彈簧傾斜動作，以「單側驅動傾斜模式」實施運轉。之後則與 2) -1 項相同。(已取得專利)

【非傾斜模式】

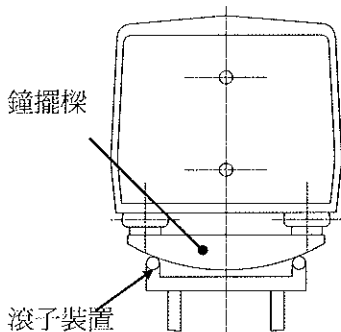
如系統中一個以上設備同時故障，則可說是達「事故」等級的故障。

在此情形下，該車的 TC 電源切斷，停止對傾斜設備通電，亦即將水平閥與空气彈簧與傾斜系統間的連結切斷，成為「非傾斜模式」狀態。之後則就跟一般車輛成為一樣的構造，可繼續運轉。鐘擺式車輛如發生鐘擺機構卡死等重大故障時，要自傾斜狀態恢復十分困難，故要以一般列車速度行駛也有困難，故以上構造與其相較之下具有相當大的優點。

七、日本國內的傾斜式車輛

日本國內現在運用中的傾斜式車輛，其傾斜方式、製造輛數、製造廠商等資訊如下頁起之列表說明。此外，傾斜方式大致分為以下 4 種。

- ✓ 方式 1 … 自然鐘擺方式
- ✓ 方式 2 … 控制鐘擺方式（滾子方式）



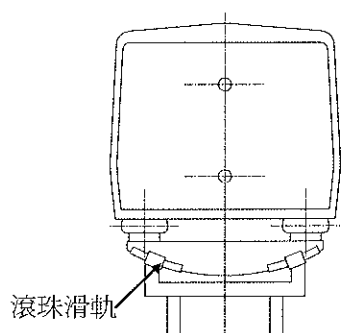
是將方式 1 追加以汽缸做控制的功能而成。

目前的太魯閣號採用本方式。

方式 2 在日本國內是 1990 年代初期～中期所採用的主流方式。

左圖 方式 1、及方式 2 的模式圖

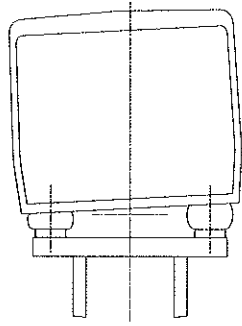
- ✓ 方式 3 … 控制鐘擺方式（線性滑軌方式）



是將方式 2 的滾子改用圓弧狀的導軌及滾珠之線性滑軌方式，可減少擺動阻力並減少零組件數量。本方式是鐵道綜合研究所與日本車輛共同開發的方式。自 1990 年代中期～後期陸續投入營運。

左圖 方式 3 的模式圖

✓ 方式4...空氣彈簧傾斜方式



為本次提案之傾斜方式。不需要方式1~3 那樣的鐘擺梁及滾子裝置、線性滑軌等特殊裝置，是利用調整車體左右的空氣彈簧內壓、改變空氣彈簧高度使車體傾斜的方式。自2000年以後成為主流的方式。

左圖 方式4 的模式圖

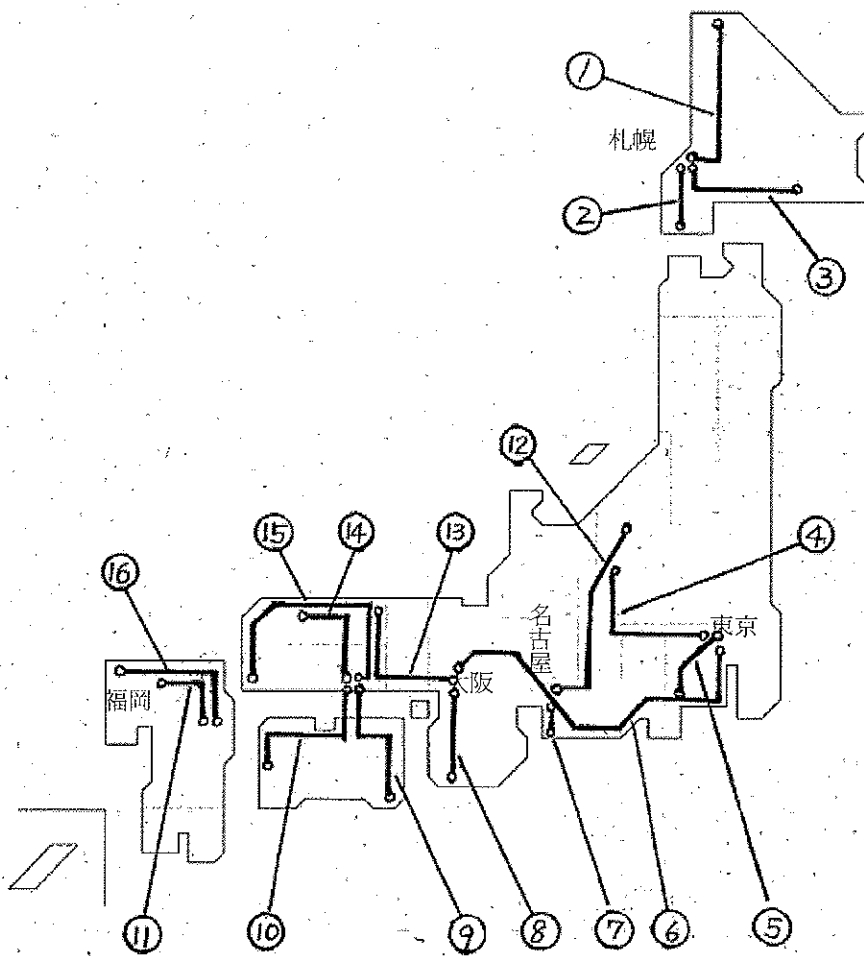


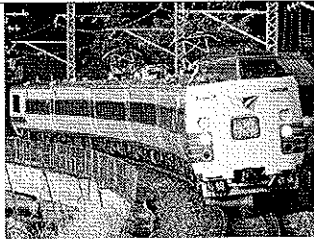
圖5 日本的鐘擺式/空氣彈簧傾斜車輛的代表性行駛路線

⇒ 2000年以後，從N700系新幹線開始，以空氣彈簧傾斜方式為主流。

預定自2011年3月起開始營運的JR東日本E5/E6系新幹線也採用空氣彈簧傾斜方式。如上所述，在日本國內鐵路車輛有許多鐘擺傾斜式、空氣彈簧傾斜式車輛。製造廠商及其車輛製作實績數量等詳細資訊請參見附錄1。

附錄 1

表 10 自然鐘擺傾斜方式車輛

傾斜方式	行駛路線	車種	營運開始年份		製造輛數	製造廠商	備註
			1990 年代	2000 年代			
自然鐘擺	⑧ ⑫ ⑭	 JR 東海/西日本 381 系列 EMU			277 輛	日本車輛 川崎重工 日立製作所 近畿車輛	1973 年 營運開始 特快車

※ 因車輛有報廢，故現在運用中的數量為 189 輛。經更新工程後目前仍運用中。

表 11 控制鐘擺方式（滾子方式）

傾斜方式	行駛路線	車種	營運開始年份		製造輛數	製造廠商	備註
			1990 年代	2000 年代			
控制鐘擺 滾子方式	⑨	 JR 四國 2000 系列 DMU			50 輛	富士重工	特快車
	⑩	 JR 四國 8000 系列 EMU			53 輛	日本車輛 日立製作所	"
	④	 JR 東日本 351 系列 EMU			62 輛	日本車輛 日立製作所	"
	⑬	 智頭急行 HOT7000 系列 DMU			34 輛	富士重工	"

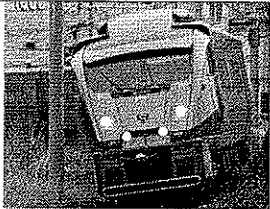
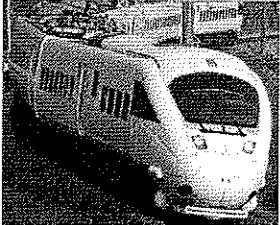
	⑪	 JR九州 883 系列 EMU					56 輛	日立製作所	〃
	⑫	 JR九州 885 系列 EMU					69 輛	日立製作所	〃

表 12 控制鐘擺方式（線性滑軌方式）

傾斜方式	行駛路線	車種	營運開始年份		製造輛數	製造廠商	備註
			1990 年代	2000 年代			
控制鐘擺 線性滑軌方式	⑬	 JR北海道 281 系列 DMU			27 輛	日本車輛 富士重工	特快車
	⑭	 JR東海 383 系列 EMU			76 輛	【車體】 日本車輛 川崎重工 日立製作所 【轉向架】 上述廠商 再加上 住友金屬	〃
	⑮	 JR西日本 283 系列 EMU			18 輛	【車體】 川崎、日立 近畿車輛 【轉向架】 上述廠商 再加上 日本車輛 住友金屬	〃

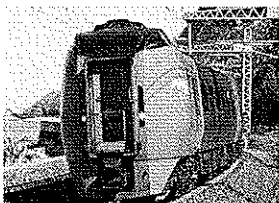
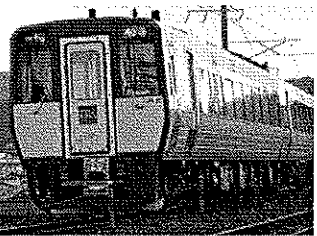
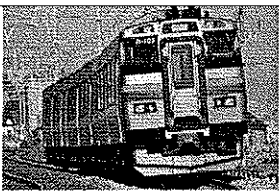
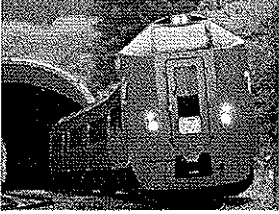

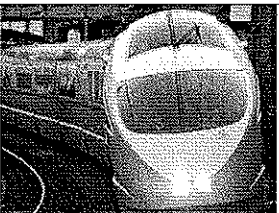
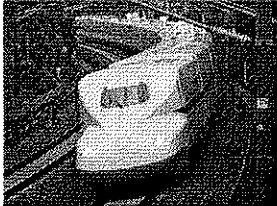
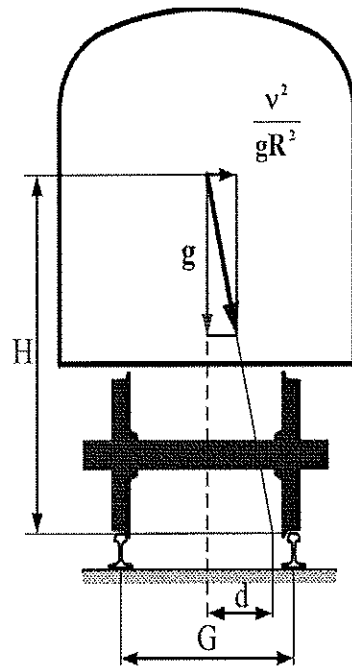
③	 JR 北海道 283 系列 DMU				62 輛	富士重工	〃
⑮	 JR 西日本 187 系列 DMU				26 輛	日本車輛 新潟 Transys (原新潟鐵 工所)	〃

表 13 空氣彈簧傾斜方式

傾斜 方式	行駛 路線	車種	營運開始年份		製造 輛數	製造 廠商	備註
			1990 年代	2000 年代			
空氣彈簧傾斜方式	②	 JR 北海道 201 系列 DMU			12 輛	富士重工	區間車
	①	 JR 北海道 261 系列 DMU			14 輛	富士重工	特快車
	⑦	 名古屋鐵道 2000 系列 EMU			48 輛	【車體】 日本車輛 【轉向架】 住友金屬	〃
	⑤	 小田急 50000 系列 EMU			20 輛	日本車輛	〃

	⑥	 <p>JR 東海/西日本 N700 系新 幹線</p>				1024 輛 以上	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">日本車輛</div> 川崎重工 日立製作 所 近畿車輛	新幹線 (高鐵)
--	---	---	--	--	--	-----------------	--	-------------

八、傾斜式列車車輪與輪軌間關係(日本鐵道綜合技術研究所古川敦教授)
 基本原則 1



$$\text{公式： } V = \sqrt{\frac{127GR}{2aH}}$$

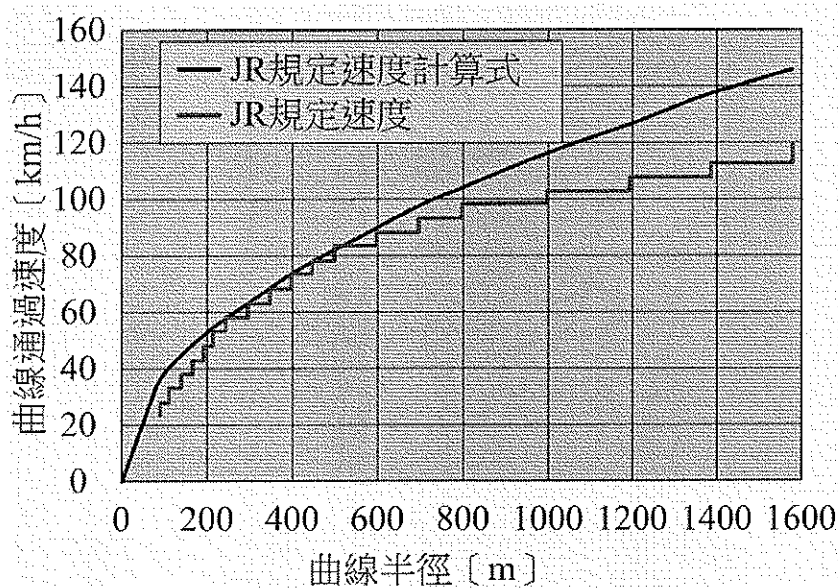
其中 **a** : 安全係數

在高性能車輛→3.0， 在一般車輛→3.5， 在轉轍器→5.5

基本原則 2

計算速度與規定速度差異

表 14.



* 超過離心加速度

超過離心力之比例增加，無法由超高度來抵消離心力時，超過離心加速度

因 最大離心力 = $\frac{v^2}{R}$ 超高度 = $\frac{C}{G}g$

而超過離心加速度部分為 $\bar{\alpha} = \frac{v^2}{R} - \frac{C}{G}g$

$$\frac{\bar{\alpha}}{g} \times = \frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \Rightarrow$$

$$\frac{\bar{G}}{g} \times = \frac{Gv^2}{gR} - C$$

因此，超高不足量 $C_d = \bar{\alpha} \times \frac{G}{g} = \frac{Gv^2}{gR} - C$

其中 理論 高量 $C_{max} = \frac{Gv^2}{gR}$

C : 實際路線超高量

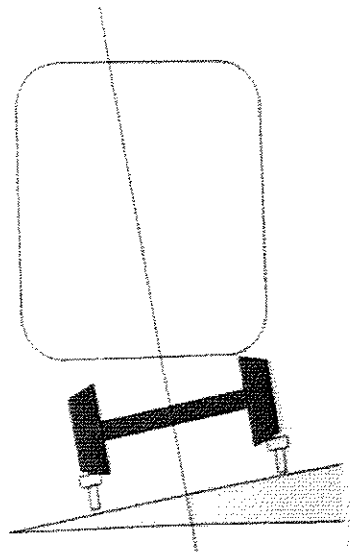
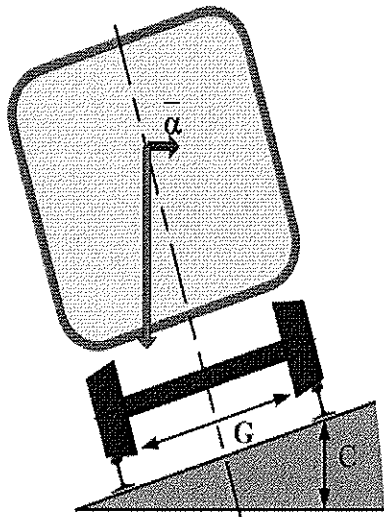
* 車體傾斜係數

車體傾斜係數

$$\alpha = \left(\frac{v^2}{R} - \frac{C}{G}g \right) (1+a)$$

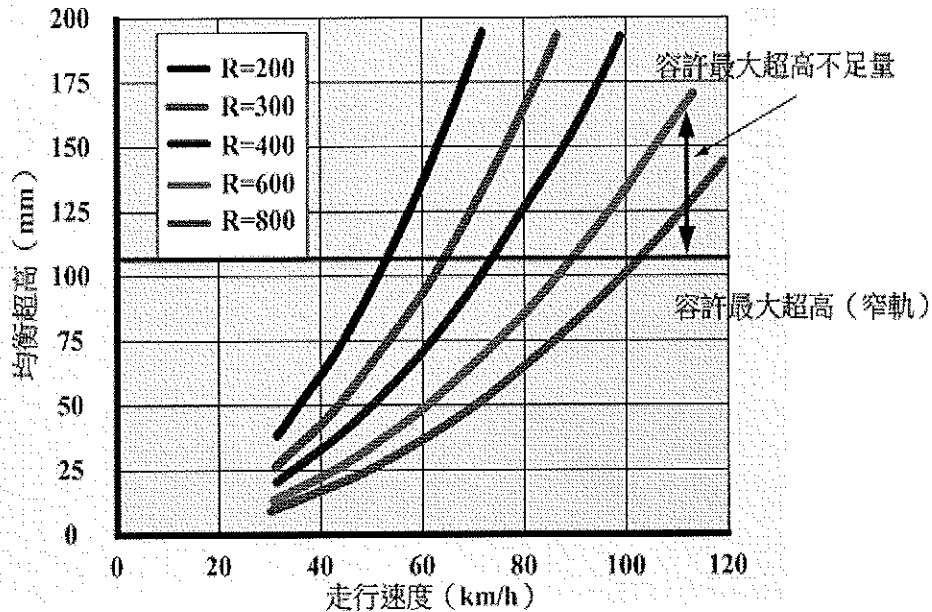
超過離心力的增加比率

$$\alpha = \left(\frac{v^2}{R} - \frac{C}{G}g \right) (1+a) \leq 0.08g \quad \rightarrow \quad \text{為窄軌線容許超高不足量為 70mm。}$$



均衡超高、曲線半徑、走行速度的關係

表 15.



九、速度提升測試

9-1 曲線速度提升測試之檢驗項目 1

目的：確認車輛性能中的其中一個項目、曲線通過性能代表在曲線上的脫軌係數等等來檢查驗證“行走安全性”。

判定值案例 表 16.

項目	判定值
脫線係數	1.08 (須連續作用時間 15ms 以上)
輪重減少率	動態值 80%，靜態值 60%
最大輪重	190kN (JIS 6 號枕)
最大橫壓	60kN (JIS 9 型締結裝置)

提昇速度之測試項目

(1) 不同最高運轉速度提升速度時之應測項目

表 17.

分類	確認項目	最高速度	100km/h 以下		120km/h 以下		120km/h 超
		速度向上	10km/h 以下	超過 10km/h	5km/h 以下	超過 5km/h	—
車輛	走行安全性	脫軌係數	—	A	—	A	A
		輪重減少率	—	A	—	A	A
		輪重・橫壓(最大值)	—	A	—	A	A
		上下動・左右動	A	C	A	C	C

A 級：此乃爲了確認“安全”須實施的項目，對此項目須做必要測試，以判斷可否提升速度。

B 級：此乃爲了確認“性能”須實施的項目，對此項目須做必要測試，以判斷可否提升速度。

C 級：此乃爲了確認“性能”所實施的項目，對所需進行的項目作測試，以作爲技術上的參考。

提昇速度之測試項目

(2) 提昇通過曲線速度之測試項目

表 18. 車輛裝有傾斜裝置情形

分類		確認項目	區分
車輛	走行安全性	脫軌係數	A
		輪重減少率	A
		輪重・橫壓（著大值）	A
		上下動・左右動	C

表 19. 車輛無傾斜裝置情形

分類	確認項目	超高不足量	50mm 以下		60mm 以下		超過 60mm
		速度向上幅	10km/h 以下	1 超過 0km/h	5km/h 以下	超過 5km/h	—
車輛	走行安全性	脫軌係數	—	A	—	A	A
		輪重減少率	—	A	—	A	A
		輪重・橫壓（著大值）	—	A	—	A	A
		上下動・左右動	A	C	A	C	C

提昇速度之測試項目

(3)、通過轉轍器的速度

表 20.

分類		確認項目	速度	
			標準速度 以下	超過標準速 度的場合
車輛	走行 安全 性	脫軌係數	—	A
		輪重減少率	—	A
		輪重・橫壓（大值）	—	A
		上下動・左右動	A	C

通過轉轍器的速度 分別以 $V_1 = 7.97 \frac{\sqrt{G \cdot R}}{\sqrt{a \cdot H}}$ 與 $V_2 = 11.3 \frac{\sqrt{C_d \cdot R}}{\sqrt{G}}$ 計算

但需在 V_1 與 V_2 中選擇一較小的速度來採用。

提昇速度之測試項目

(4)、通過轉轍器的速度路線上測定項目

表 21.

分類	確認項目	速度	
		區分	
部材 強度 分 歧 器	護軌背面橫壓	120km/h 超	B
		120km/h 以下	C
	尖軌斷面應力	C	
	關節部螺栓應力	C	
	尖軌先端開口量	C	

玖、傾斜式電車組行駛在曲線上之超高度相關探討

1、外軌超高之計算方式 (H_C)

由離心力公式知：

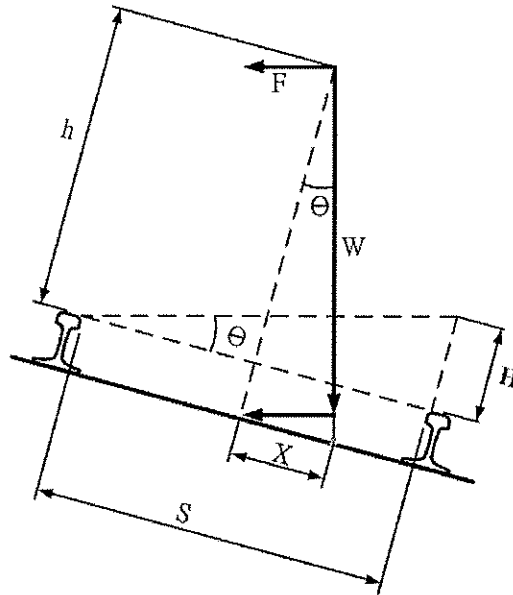
$$F=ma=\frac{W}{g} \times \frac{V^2}{R}$$

F：離心力 (kg)

W：車重 (ton)

V：車速 (km/hr)

R：彎道半徑 (m)



由圖 1 知 $\tan \theta = \frac{H_c}{S} = \frac{F}{W}$

H_c ：超高度 (mm)

S：軌距 (mm)

h_G ：車輛重心高度 (mm)

$$\therefore H = \frac{W * S * V^2}{W * g * R * 3.6^2} \quad \Rightarrow \text{代入本路相關數據 (S=1067 mm 不計軌頭寬)}$$

$$= 8.4 \times \frac{V^2}{R} \quad (\text{mm}) \quad \text{----- (A)}$$

車輛重心(G)坐落在軌距方向之 X 距離

由圖 1 知 $\tan \theta = \frac{X}{h_G} = \frac{H_c}{S}$

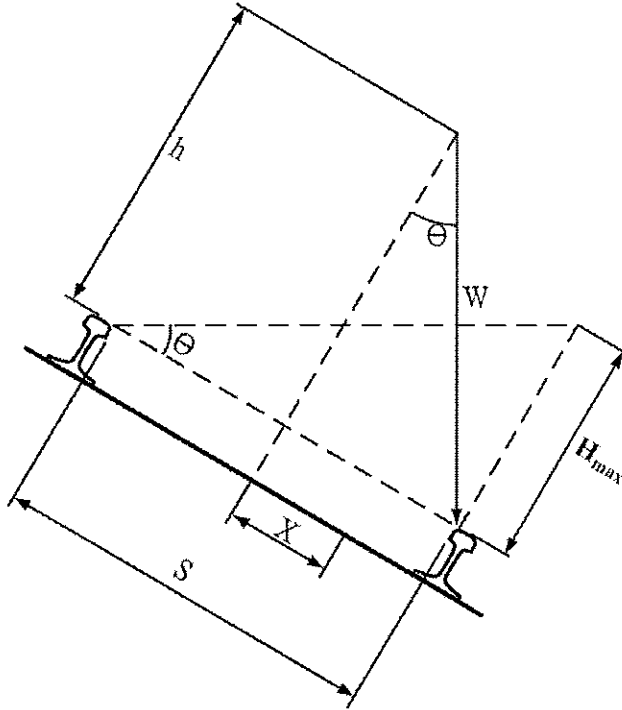
$$\therefore X = \frac{H_c}{S} \times h_G \quad \text{或} \quad H_c = \frac{X}{h_G} \times S \quad \text{----- (B)}$$

2、理論最大超高度 (H_{Cmax}) 之計算方式

由圖 2 知 當為 H_{Cmax} 時, $X_{Cmax} = \frac{S}{2}$

$$\tan \theta = \frac{H_{Cmax}}{S} = \frac{X_{Cmax}}{h_G} = \frac{S/2}{h_G} = \frac{S}{2h_G}$$

$$\frac{H_{Cmax}}{S} = \frac{S}{2h_G}$$



$$\therefore H_{Cmax} = \frac{S^2}{2h_G} \text{----- (C)}$$

3、在超高度曲線及平面路線上不使車輛傾倒之安全係數 (f) 之推算

3-1、在超高度曲線不使車輛傾倒之安全係數 (f) 之推算

一般車輛在設有超高度曲線路段上停止時之理論傾倒條件(如圖 3)為

$$X_G > \frac{S}{2}$$

$$X_G > \frac{1067}{2} = 533.5\text{mm}$$

亦即重心之落點落在內軌外方時。

然理論最大超高度 (H_{Cmax}) 之計算並未考慮到路線基礎強度、路線線形、車輛走行結構性能狀況、路線與車輛間之相對運動影響、颱風及風速大小、地震與豪大雨等等，均嚴重影響車輛傾倒，因此需加上此等影響造成車輛行駛在設有最大超高度曲線路段上傾倒之安全係數 (f)：

$$f = \frac{\text{理論最大超高度}(H_{C_{\max}})}{\text{實設超高度}(H_C)} \dots\dots\dots (D)$$

(本路靜態 f 取 3；動態 f 取 4)

綜合 (B)、(C) 與 (D) 式

$$f = \frac{\frac{SS}{XS}}{h_G} = \frac{S}{2X}$$

或 $X = \frac{S}{2f} \dots\dots\dots (E)$

=> 當 f 取 4，S=1067mm 時

$$\text{此時重心方向 } X = \frac{S}{2f} = \frac{1067}{2 \times 4} = 133.375 \text{ mm}$$

3-2、在平面路線上不使車輛傾倒之安全係數 (f) 之推算

車輛重心高度與翻車或脫軌之關係

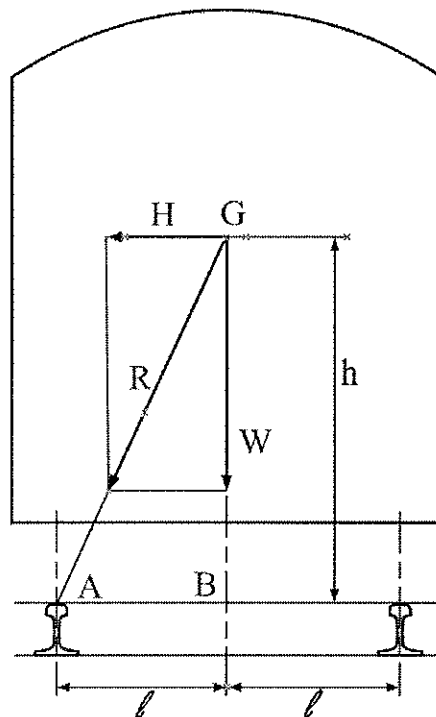


圖 2-1

車輛重心高度與翻車或脫軌有密切關係。按照一般理論而言，車輛重心過高，易引起翻車，而重心過低，則將增加對於鋼軌之橫向壓力，由圖 2-1，設 G 為車輛重心，h=由軌面測起之重心高度，W=車輛重量， $2l$ =兩車輪與鋼軌接觸面中心距離，則圖內 R 之延長線，恰好通過車輪踏面與鋼軌之接觸面中心點 B 時，為車輛將要翻倒之界限，因 $\triangle GWR$ 與 $\triangle GAB$ 為相似

形，故 $\frac{\overline{WR}}{\overline{GW}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{GA}}$ ，又 \overline{GW} ，係表示 W 重量， \overline{WR} 及 \overline{GH} 係表示橫向力 H，

$$\text{故 } \frac{H}{W} = \frac{\ell}{h}$$

$$\therefore H \times h = \ell \times W$$

即不至翻車之條件為：

$$H \times h \leq \ell \times W$$

上式中，如 ℓ 與 W 均為一定數值，C 為超高度，則橫向力 H 及重心高度 h 之數值越大，越增加翻車可能性。車輪在通過彎道時，可能翻車之最高速度，可依照前述曲線上之安全列車速度之計算式改列如下：

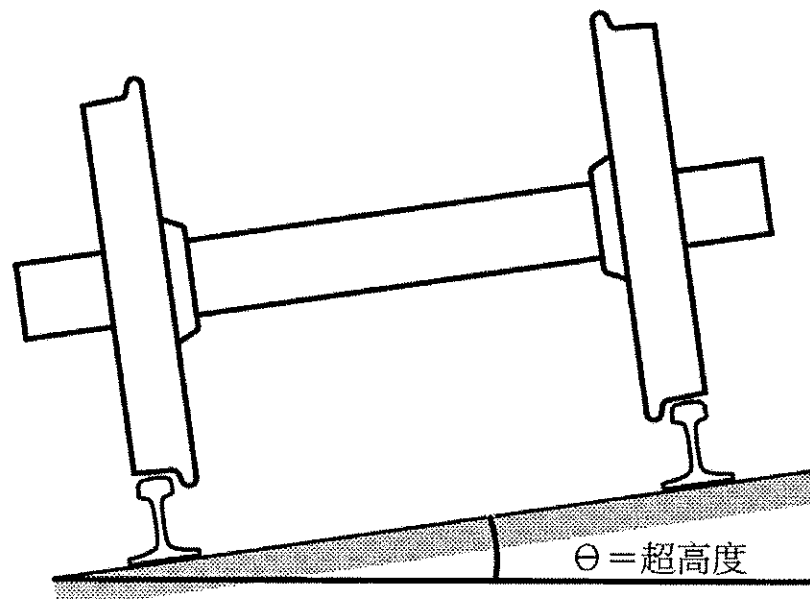
$$\text{翻車速度之一般式} \text{-----} V = 3.6 \sqrt{Rg \left(\frac{C}{G} + \frac{G}{2h} \right)} \text{.....(E-1)}$$

4、在曲線不平衡之超高度與加速度

4-1、離心力 = 向心力

當列車實際運行速度 (V_a) 等於設計平均速度 (V_0) 時，即 $V = V_0$ ，此時列車因曲線所受的離心力與該路線所設置超高後所提供的向心力相等。

離心力 = 向心力



$$\text{離心加速度}(a) = \text{向心力加速度}(a') \quad \text{即 } a = a'$$

$$m \times a = f$$

$$\frac{WV^2}{gR} = W \times \tan \alpha \quad \rightarrow \quad m \times \frac{V^2}{R} = m \times g \frac{H_c}{S}$$

$$\frac{V^2}{R} = g \frac{H_c}{S} \quad \rightarrow \quad V^2 = \frac{gRH_c}{S}$$

$$V = \sqrt{gRH/S} \quad \text{----- (F)}$$

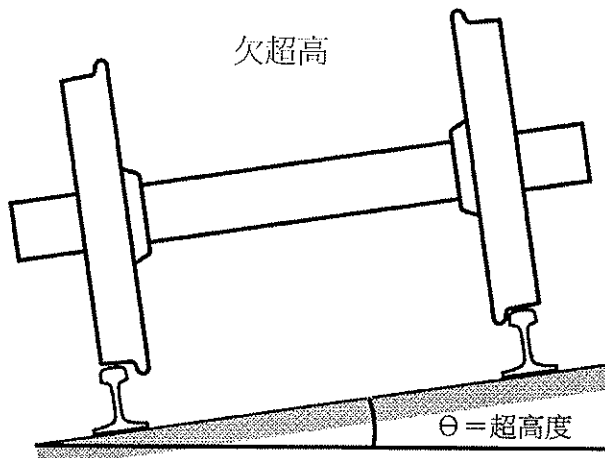
此 V，為在 R(曲率半徑)、S(軌距)與 H_c(超高度)已知時所求得之速度，需約略與列車實際運行速度 (V_a) 相等時，其內外軌承受相同之載荷，旅客也沒有不舒適感。

4-2、欠超高 (C_d)

當列車實際運行速度 (V) 大於設計平均速度 (V₀) 時，即 V > V₀，此時列車因曲線所受的離心力大於設置超高後所提供的向心力。

$$\text{即 } \frac{V^2}{R} > g \frac{H}{S} \quad ; \text{ 即 } a > a'$$

此時為超高不足(欠超高)，致行經該曲線路段時的列車速度較高時，將使車輪組因增加之離心力而向外軌擠壓，會使外軌內側承受橫向偏載，容易產生鋼軌側磨並使旅客感到不適。



4-2-1、欠超高度值(超高不足量)之計算 (C_d)

$$C_d = H_v - H \quad \text{----- (G)}$$

H_v：以最高車速 V 時所計算得之最大超高度 (mm)。

H：以最高車速 V₀ 時所計算得之超高度 (mm)。

式 (A) 之 $8.4 \times \frac{V^2}{R}$ (mm) 代入 (G) 式

$$\therefore C_d = 8.4 \times \frac{(V^2 - V_0^2)}{R}$$

此時因超高不足所產生之車輛重心於軌道中心位置之偏移量為 X (mm)

由 (A) 知 $X = \frac{C_d * h_G}{S}$; 另由 (E) 知 $X \leq \frac{S}{8}$

(A) 式代入 (E) 式

$$\frac{C_d}{S} * h_G \leq \frac{S}{8}$$

$$\therefore C_d \leq \frac{S^2}{8h_G} \text{------(H)}$$

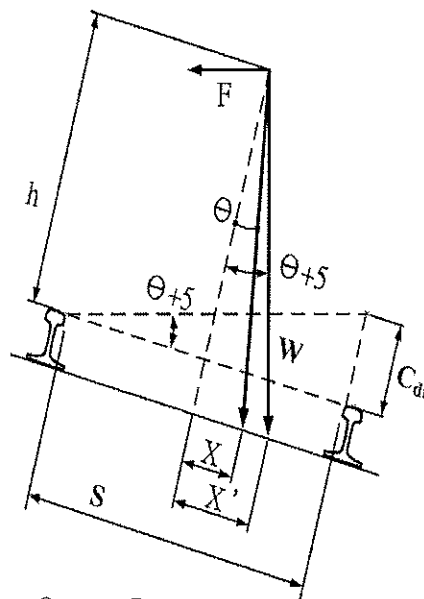
(代入本路車輛重心高度 $h_G = 1700$ mm, $S = 1067$ mm)

$$\therefore C_d \leq \frac{S^2}{8h_G} = \frac{1067^2}{8 * 1700} = 84 \text{ mm}$$

為考慮運轉中存有橫向風力及車輛彈簧所生不穩定之影響，且又顧及旅客乘坐舒適度，故本路一般列車之最大超高不足量取 50 mm (不平衡橫向加速度取 0.45 m/s^2)；動力車組則取 60 mm (未被平衡橫向加速度取 0.55 m/s^2)。

4-2-2、本路 TEMU1000 型動車組允許之最大超高不足量值 (C_{dt}) 之計算

已知 TEMU1000 型之車輛重心高度 (h_G) 約為 1777 mm；其運轉中之最大車輛傾斜角為 5° 。



$$\text{由 } \tan(\theta + 5^\circ) = \frac{\tan\theta + \tan 5^\circ}{1 - \tan\theta * \tan 5^\circ}$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{X}{h_c} = \frac{133.375}{1777} \approx 0.075 \quad \text{及} \quad \tan 5^\circ \approx 0.0875$$

代入上式得

$$\tan(\theta + 5^\circ) = \frac{\tan \theta + \tan 5^\circ}{1 - \tan \theta * \tan 5^\circ} = \frac{0.075 + 0.0875}{1 - 0.075 * 0.0875} = 0.1636$$

$$\therefore \tan(\theta + 5^\circ) = 0.1636$$

由圖 3 知 $X' = h_c \times \tan(\theta + 5^\circ) = 17770 \times 0.1636$

$$\approx 290 \text{ mm}$$

由 (B) 知 $X' = \frac{C_{dt}}{S} * h \leq 290$

$$C_{dt} \leq \frac{S}{h} * 290 = \frac{1067}{1777} * 290$$

$$\therefore C_{dt} \leq 174 \text{ mm}$$

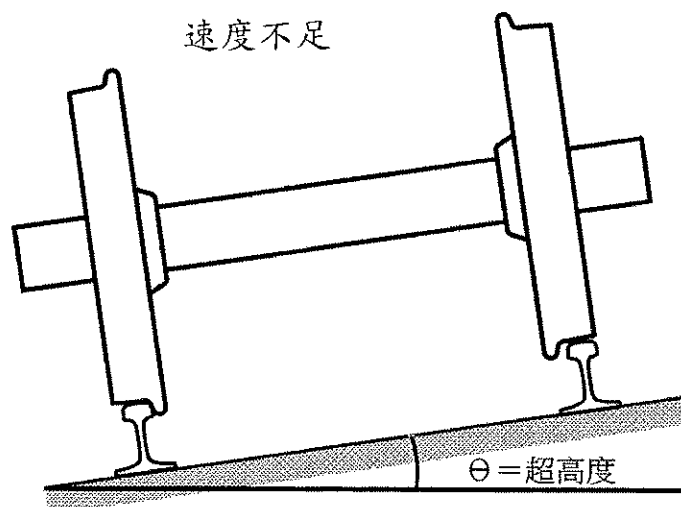
此為 TEMU1000 型動車組所允許之最大超高不足量值，但因本路所取之最大不平衡橫向加速度值為 1.0 m/s^2

$$\text{故得 } C_{dt} \leq 110 \text{ mm}$$

為行車安全及前述之理由，本路 TEMU1000 型動車組規定之最大超高不足量值取 110 mm。

4-3、過超高(C_0)

當列車實際運行速度 (V_a) 小於設計平均速度 (V_0) 時，即 $V_a < V_0$ ，此時列車因曲線所受的離心力小於設置超高後所提供的向心力。



即 $a < a'$

$$\frac{V_a^2}{R} < g \frac{C_o}{S} \quad ;$$

$$V_a < \sqrt{gRC_o}$$

此時為超高過大（過超高），會使車輪往內軌擠壓，內軌承受橫垂直磨耗，鋼軌容易產生飛邊和壓潰並使旅客感到不適。

【欠超高與過超高統稱為不平衡超高】

4-4、不平衡橫向加速度（以欠超高為例）之計算

V_0 ：設計平均車速（m/s）

V_{\max} ：最高運行車速（m/s）

$$C_d = H - H_v$$

$$= \frac{SV_0^2}{gR} - \frac{SV_{\max}^2}{gR} = \frac{S}{g} \left(\frac{V_0^2}{R} - \frac{V_{\max}^2}{R} \right)$$

$$= \frac{S}{g} (-\Delta a) \quad \text{代入 } S=1067$$

$$\cong 110 (-\Delta a)$$

【負號表示欠超高；正號表示過超高； Δa 為未被平衡橫向加速度（ m/s^2 ）】

$$\text{故} \quad \Delta a \cong \frac{C_d}{110} \quad (\text{m/s}^2)$$

【當本路未被平衡超高度每增加 11mm 時，會有 0.1m/s^2 未被平衡橫向加速度產生；一般未被平衡橫向加速度值為 $0.4-0.6 \text{m/s}^2$ 之間】

5 通過緩和曲線與輪重之損失

1、緩和曲線與超高遞減率

為了消除車輛承受之離心力在曲線部分設置超高度，一定超高的圓弧曲線與平坦的直線之間設置緩和曲線。緩和曲線有助於對翻覆安全性及乘坐舒適性，軌道的扭轉由轉向架的彈簧變形的差來吸收之故而產生輪重的變動。緩和曲線的超高遞減率是被限制於一定值以下。

2、在緩和曲線時輪重通過緩和曲線時會產生遠心力或過度震動所引起的動態輪重變動，與軌道的扭轉所導致的靜態輪重變動，但在裝置空氣彈簧的車輛以低速行駛時，對軌

道扭轉所引起的輪重變動較容易變大。特別是在緩和曲線出口側前軸外軌側的輪重會減少，但轉向橫壓也大之故，有容易脫軌的趨勢。

3、在緩和曲線上的空氣彈簧內壓變動

4點支撐方式的空氣彈簧車輛是，長時間在超高遞減率大（扭轉幅度較大）的緩和曲線上時，容易產生較大的內壓變動。這是4個空氣彈簧雖承受由軌道的扭轉產生的強制性變位，但仍個別的LV獨自嘗試保持一定的高度而繼續進行進排氣控制之故(圖4)。這時差壓閥會動作的結果，內壓變動是會被抑制於一定值以內，為了避免產生大的輪重變動之故，亦想將內壓變動抑制於較小的趨勢，差壓閥的設定降低的話容易產生的「負超高」現象。所以防止「負超高」與減低內壓變動的妥協點在於差壓閥的設定壓的選擇為設計的重要課題。

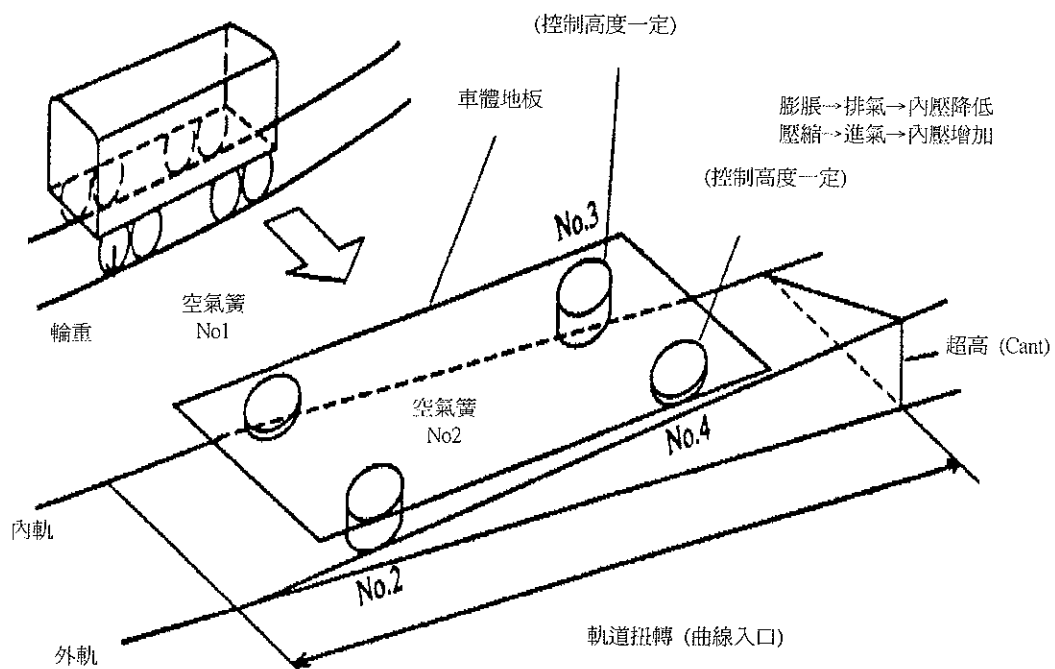


圖 4 緩和曲線之通過與輪重遺失

拾、附件(臺鐵書面提問&日車回覆彙整資料)

