



# 軌 道 工 程

朱 旭

2010年3月6日

備註：本資料乃為學術研習所作之初步稿件，謹供學生以PDF學習，以求教學相長



# 課程大綱

## 第三章 規劃設計

### 第一節 基本概念

第二節 規劃參數

第三節 捷運工程定線

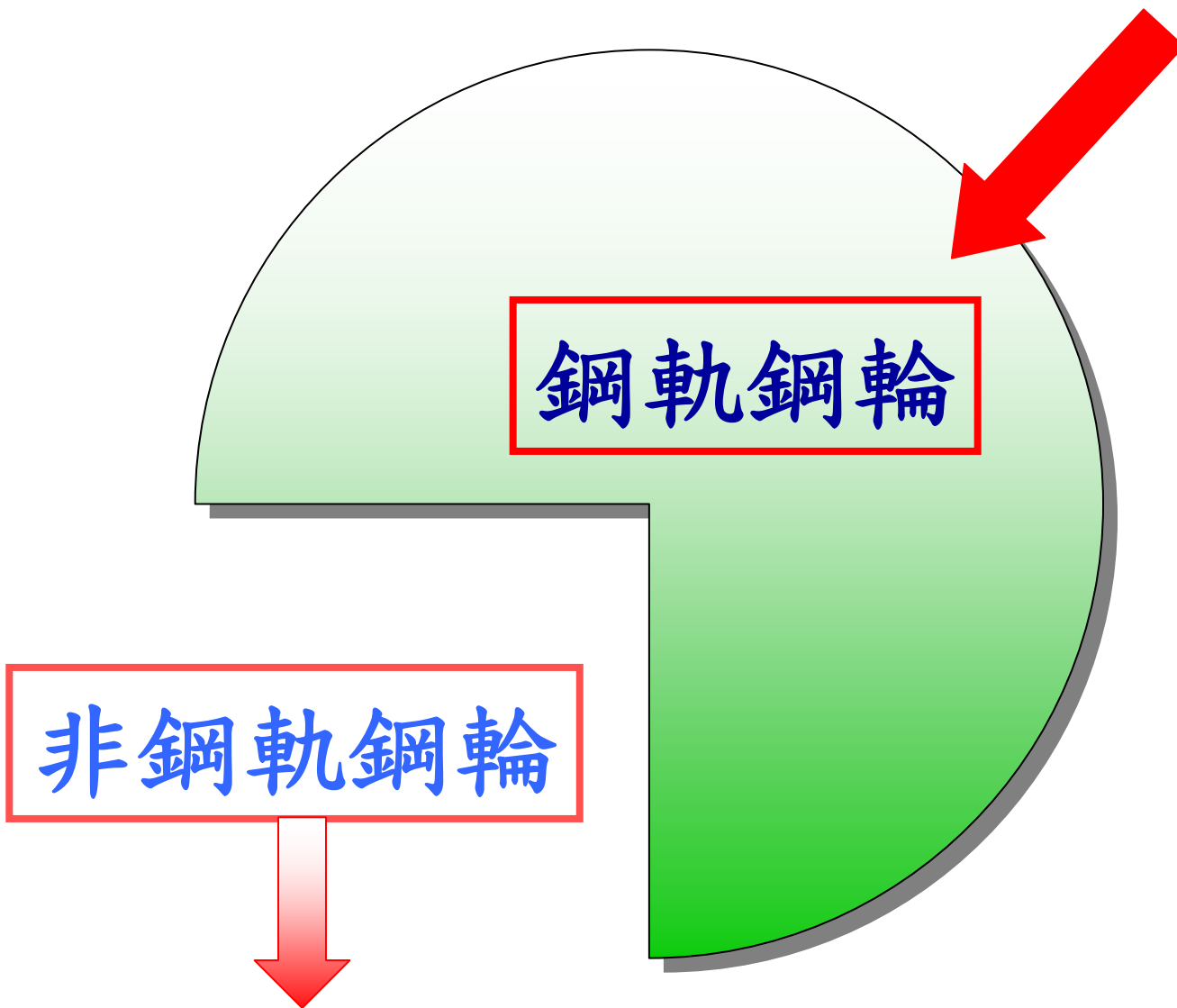
第四節 軌道承托系統

第五節 供電型式

第六節 淨空需求



聚焦收斂



第九章非鋼軌鋼輪系統



# 軌道工程的重要性

- 系統的要徑工程
- 機電系統與土建的溝通橋樑
- 土建一切作為係為建構軌道作準備
- 機電系統需架設在軌道上





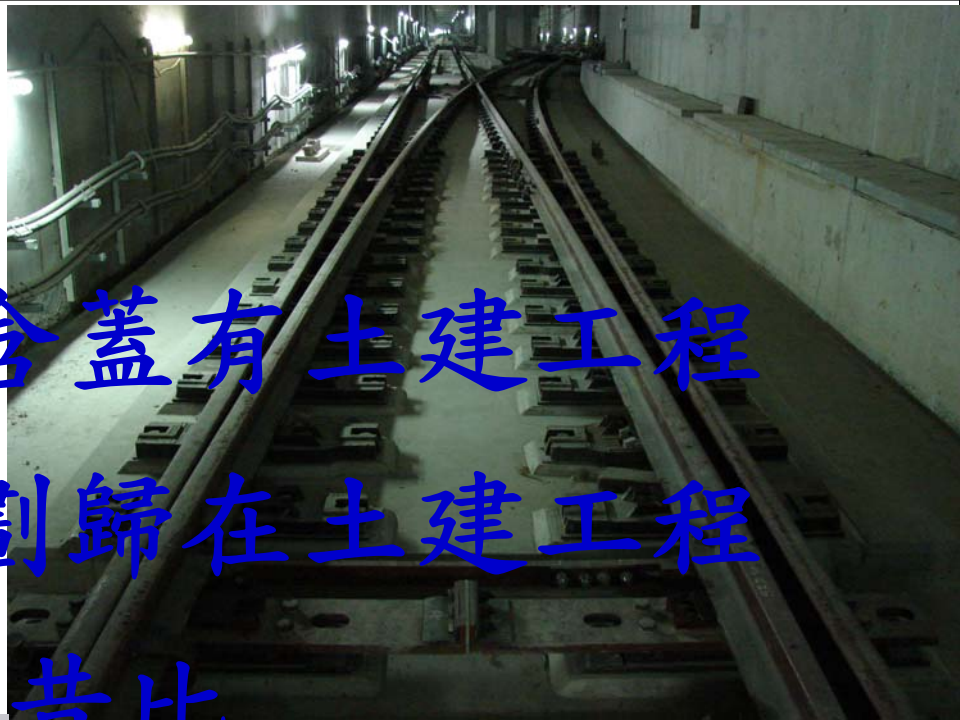
昔日軌道工程含蓋有**土木工程**

今日軌道工程劃歸在**土木工程**

今非昔比

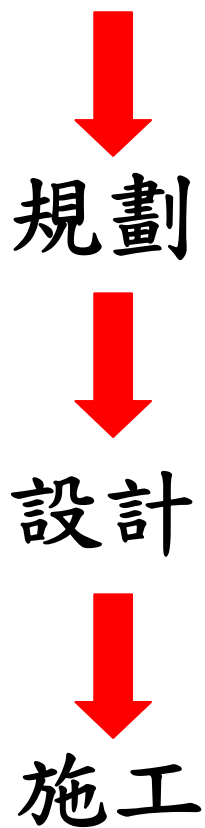
??

建造**成本**

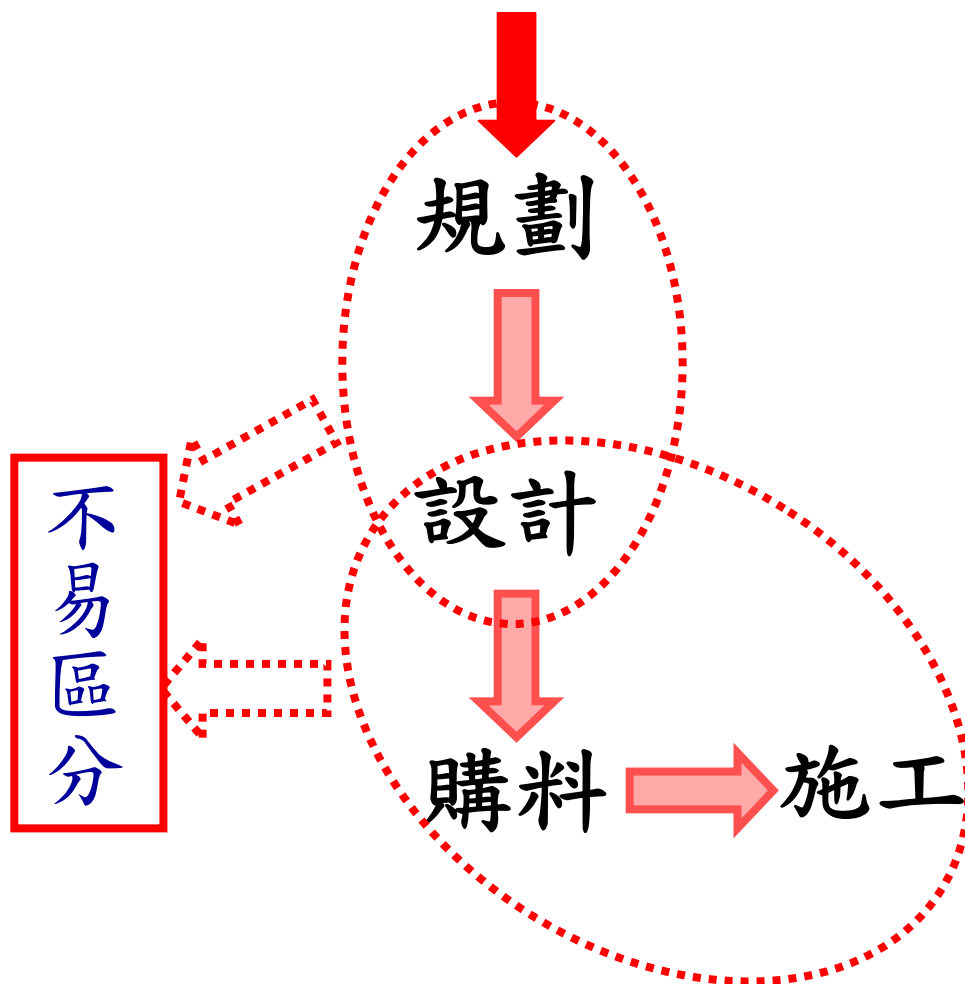




# 土建工程

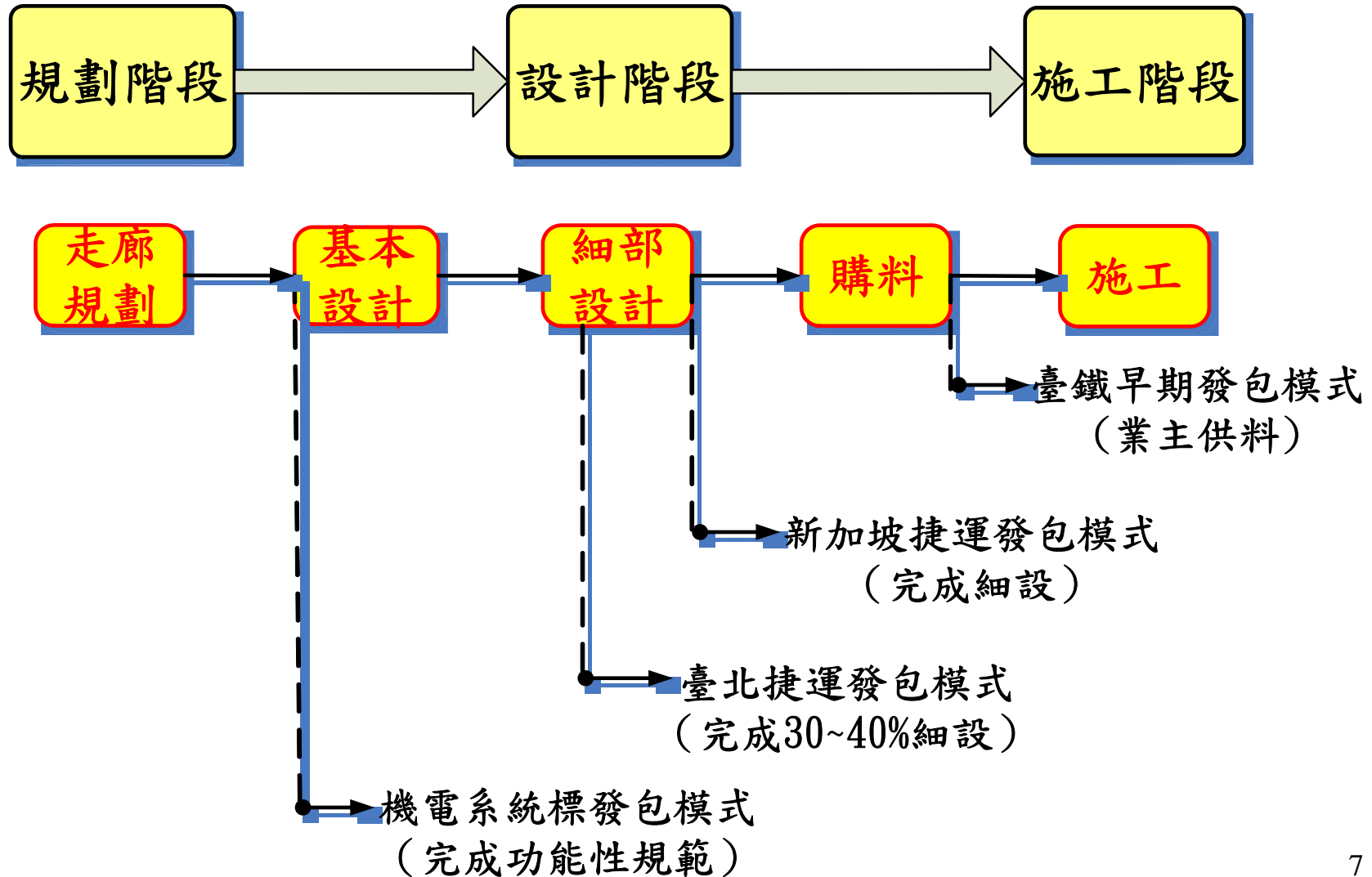


# 軌道工程



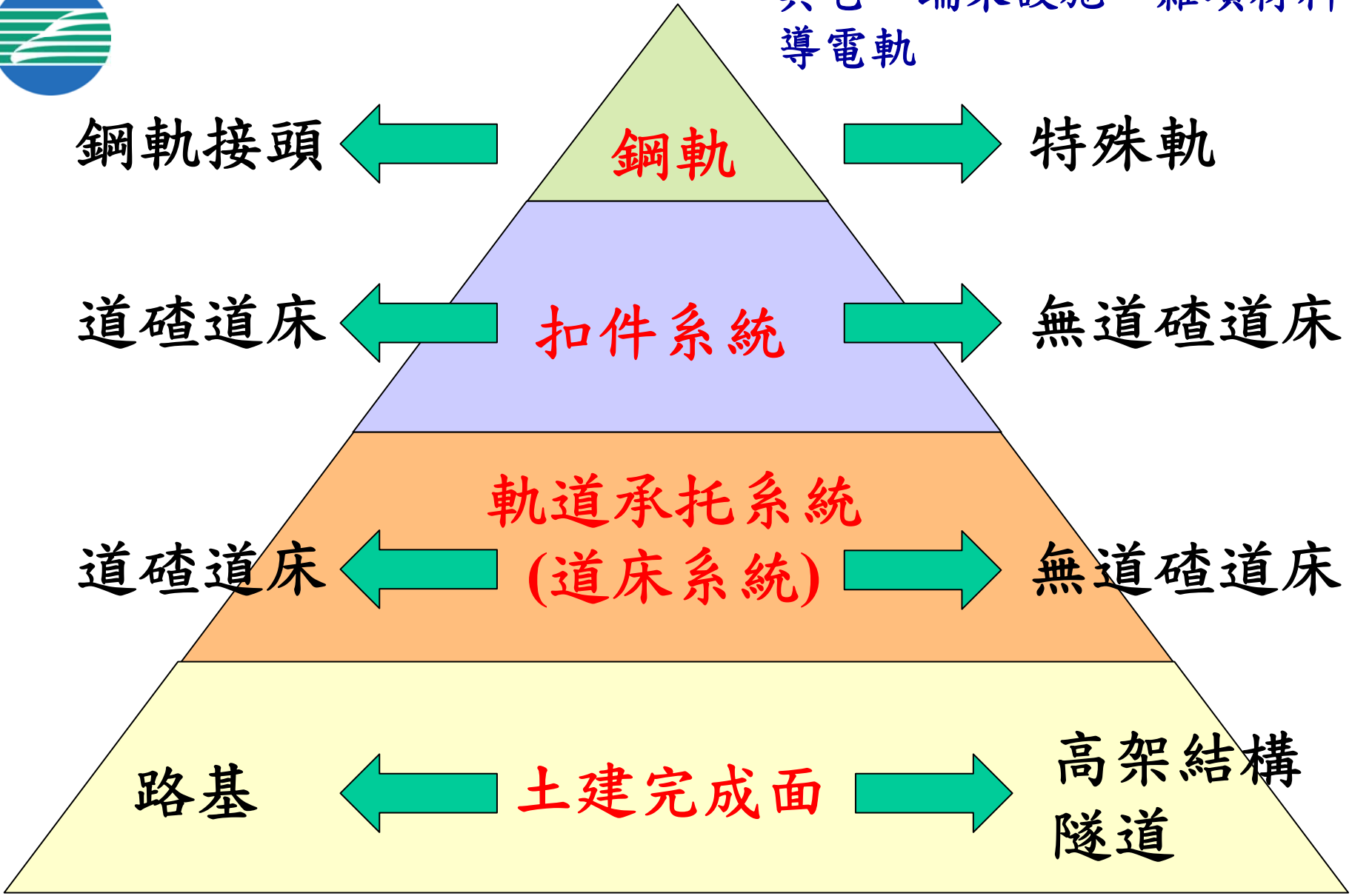


# 軌道施工標發包策略





其它：末端設施、雜項材料  
導電軌



鋼軌接頭

鋼軌

特殊軌

道碴道床

扣件系統

無道碴道床

道碴道床

軌道承托系統  
(道床系統)

無道碴道床

路基

土建完成面

高架結構  
隧道

軌道諸元





安全

舒適

經濟

預期目標

低噪音、低振動

免（低）維修

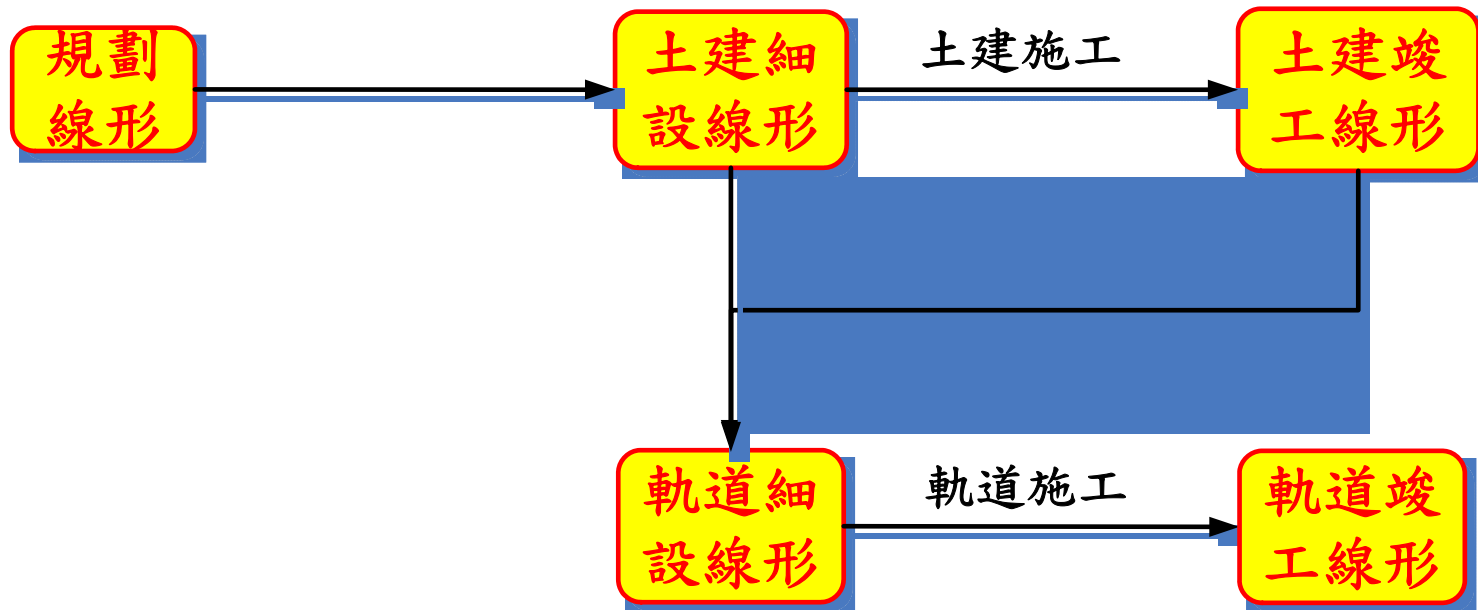
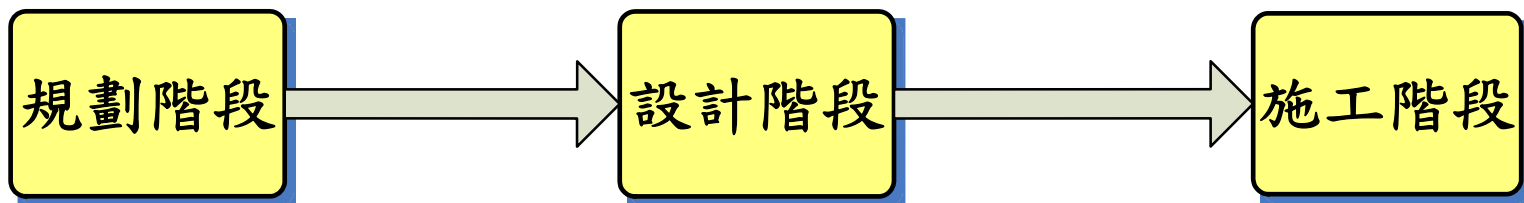


# 規劃階段主要工作

- 路線線形
- 機廠配置
- 隧道尺寸
- 道岔號數
- 基本規範



# 路線線形





用地大小

廠房配置

機廠配置

軌道股數

維修等級



建造成本

車廂大小

供電系統

隧道尺寸

道床型式

逃生路徑



線形佈設靈活  
營運維修複雜  
備品種類龐大  
不符經濟原則

開放

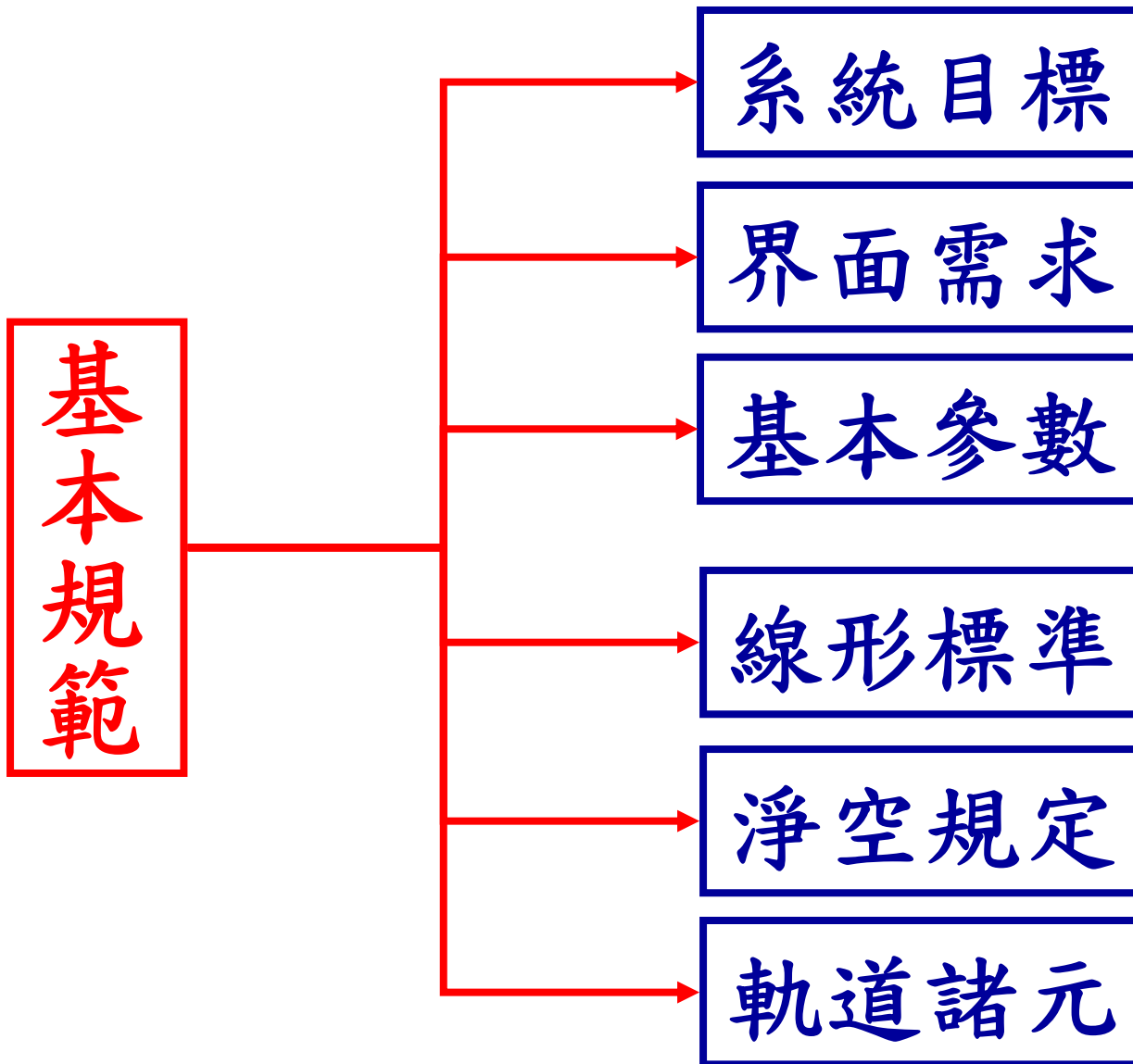
道岔號數

限制

線形佈設受限  
營運維修單純  
備品種類簡化  
符合經濟原則

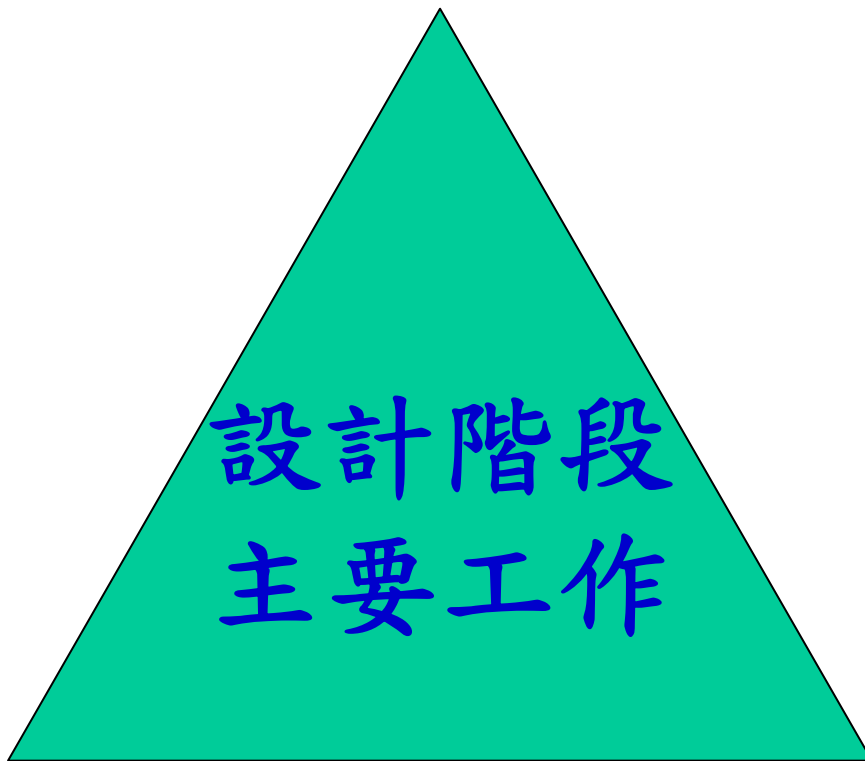
(多)

(少)





設計成果



設計階段  
主要工作

設計評估

設計準則





# 設計階段主要工作 (1/3)

## ■ 設計評估：

- 道床型式
- 土建界面、機電系統界面
- 軌道諸元
- 力學分析
- 導電軌
- 雜散電流
- 噪音及振動
- 養護維修之影響



# 設計階段主要工作 (2/3)

## ■ 設計準則

- 鋼軌
- 特殊軌
- 扣件系統
- 道床系統
- 鋼軌接頭
- 枕木
- 道碴及底碴
- 路基之要求
- 軌床排水系統
- 導電軌系統
- 雜散電流收集系統
- 末端設施
- 平交道
- 界面要求



# 設計階段主要工作 (3/3)

## ■ 設計成果

- 施工技術規範
- 圖說
- 線形資料表
- 預算書



# 課程大綱

## 第三章

### 規劃設計

第一節 基本概念

第二節 規劃參數

第三節 捷運工程定線

第四節 軌道承托系統

第五節 供電型式

第六節 淨空需求



# 前言

- 路線線形為軌道運輸系統的主軸，反應在實體上就是軌道工程。
- 線形包括平面與縱斷面兩部分（有關線形部分將留在本章第三節討論）
- 本節將就軌道工程以兩根平行之鋼軌構成路線線形的相關幾何參數作探討。
- 營運基本參數、機廠配置、軌道議題等，本節亦將作介紹。



# 軌道幾何參數

- 軌距 (Track Gauge or Gauge)
- 鋼軌傾斜度或軌底坡 (Inclination)
- 超高度或超高 (Cant)
- 縱斷面坡度線 (Profile Grade Line , PGL)



## ■ 軌距 (1/2)

- 軌距是指同股軌道之两根鋼軌在頭部內緣（軌距線，Gauge Line）之間的距離。
- 種類：
  - 標準軌距：1435mm。
  - 寬軌：軌距大於1435mm，如俄羅斯1524mm。
  - 窄軌：軌距小於1435mm，如臺鐵之1067mm。



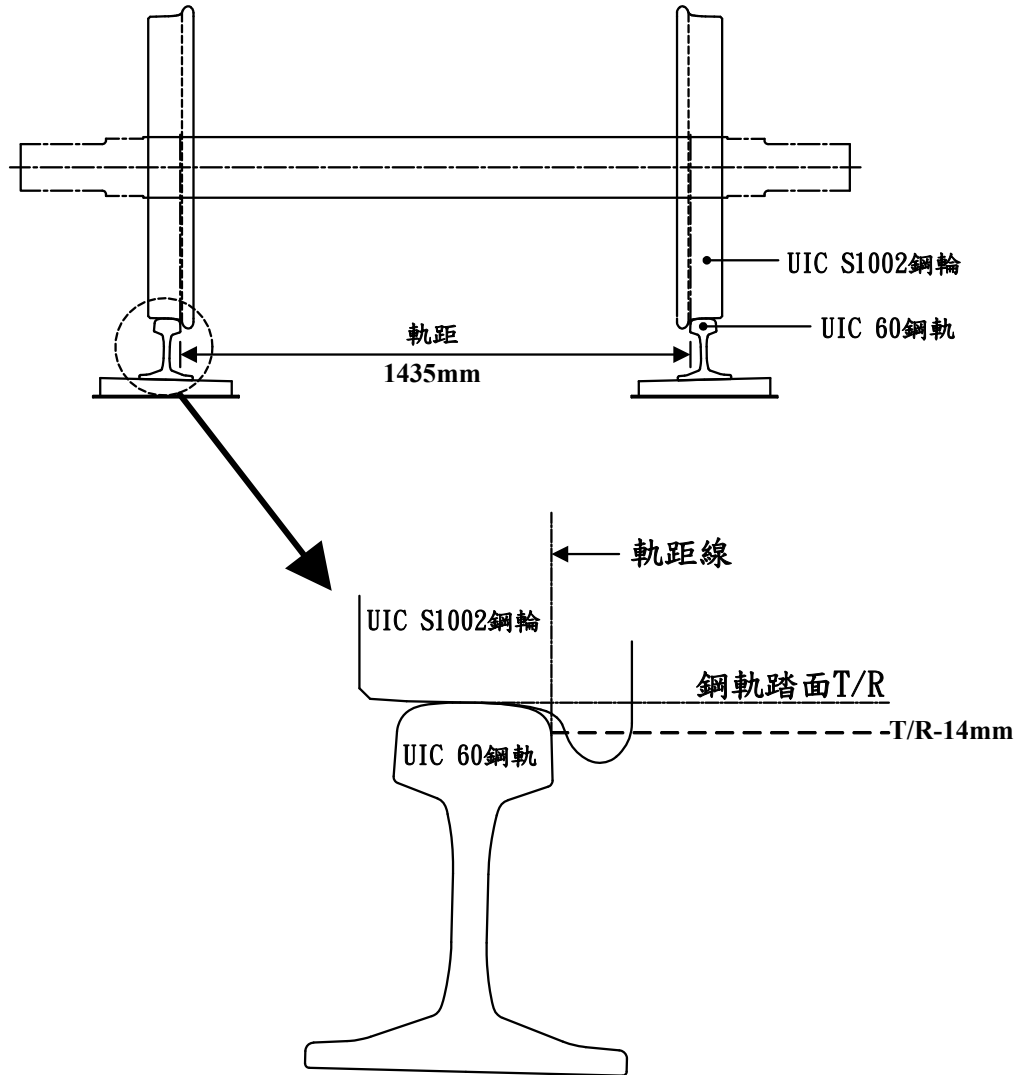
## ■ 軌距 (2/2)

- 鋼軌頭部是由不同圓曲線所組合而成，在長期使用下，鋼軌會有側向磨耗或流潰 (Lipping) 的現象，為使軌距的量測標準一致，系統需指定量測基準點。
  - 鋼軌踏面 (Top of Rail, T/R) 以下 14mm 處 (T/R-14mm)，如臺北捷運。
  - 鋼軌踏面以下 16mm 處 (T/R-16mm)，如臺鐵。





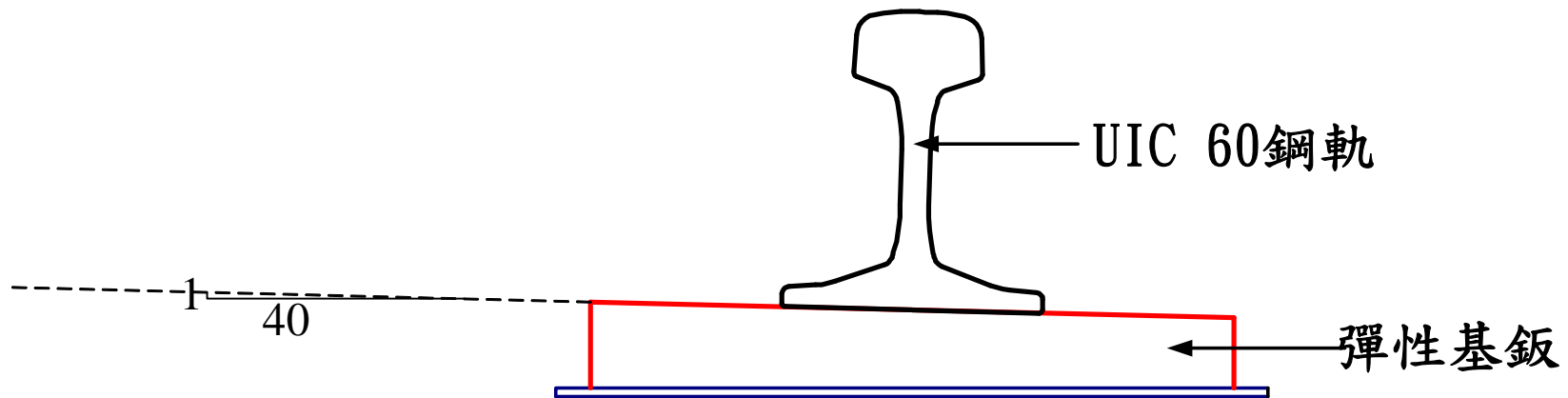
# 標準軌距





## ■ 鋼軌傾斜度 (1/3)

□ 鋼軌傾斜度係指鋼軌向軌道中心傾斜的角度。





## ■ 鋼軌傾斜度 (2/3)

- 鋼軌傾斜度是基於鋼輪與鋼軌在長期運轉磨耗下，所累積的經驗。當鋼軌水平鋪設時，鋼輪與鋼軌長期接觸的結果，鋼軌頭部會被磨合成向軌道中心線傾斜的固定角度，一旦此角度形成後，鋼輪與鋼軌的磨耗將可緩和，基於此一經驗，若鋼軌傾斜鋪設，將可有效降低鋼輪與鋼軌的磨耗。



## ■ 鋼軌傾斜度 (3/3)

- 傾斜角度為多少才是最佳化？各鐵路系統皆有其累積的經驗值，通常為1:40或1:20。
- 臺北捷運在一般軌區是使用1:40。
- 香港捷運或英國鐵路則是使用1:20。
- 至於特殊軌區，大部分系統係採水平方式鋪設。



## ■超高度（1/5）

- 同股軌道係由兩根鋼軌構成，在曲線段（圓曲線或緩和曲線），遠離曲線圓心的鋼軌稱為外軌（高軌）、接近曲線圓心的鋼軌稱為內軌（低軌）。
- 為了平衡電聯車行駛在曲線段之離心力的作用，一般係提高外軌或提高外軌同時降低內軌，使得外軌與內軌存有高程差，此高程差即為**超高度**。



# ■超高度 (2/5)

軌道中心線

車輛中心線

軌距線

軌距線

1435mm

717.5mm

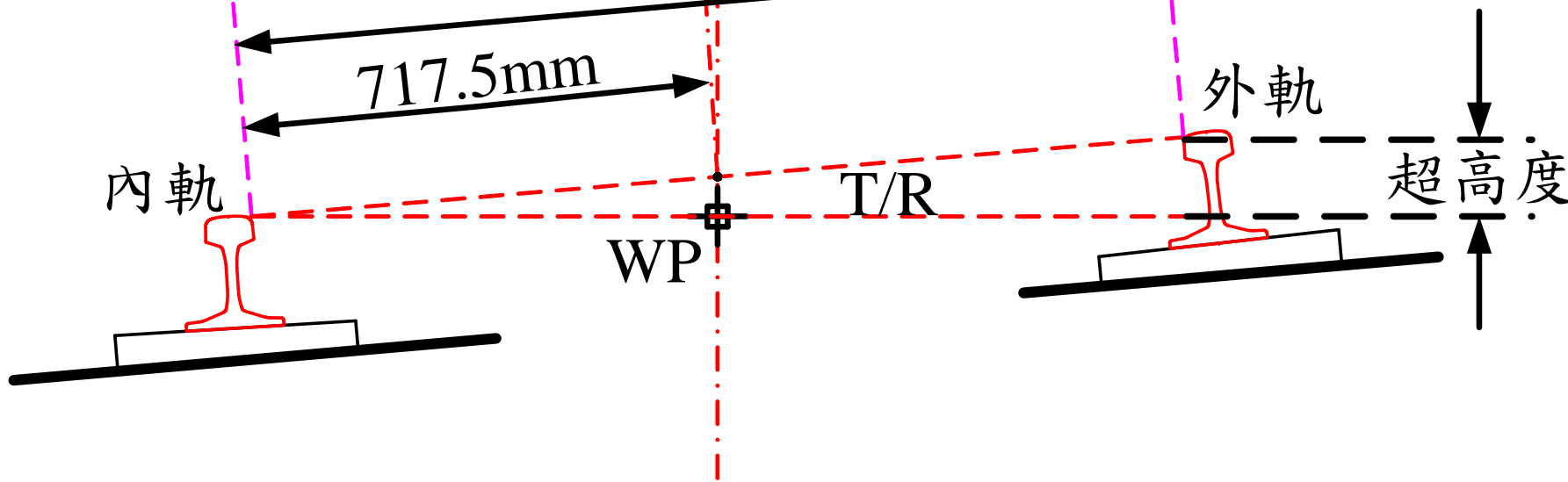
內軌

外軌

超高度

T/R

WP





## ■超高度（3/5）

- 實務上，若要完全平衡電聯車運行在曲線軌道上的超高度（又稱為平衡超高）是有其困難，例如圓曲線半徑350m、最大行車速率80km/hr，則平衡超高為216mm，若超高設計等於平衡超高，一方面施作不易，另一方面當電聯車靜止其上時，重心可能不穩而有傾倒之虞，故而有超高不足量（Cant Deficiency）與負超高。



## ■超高度（4/5）

- 當電聯車在曲線軌道上以最大容許運轉速率運行時，平衡超高度一般會大於實際超高度，兩者之差稱為**超高不足量或不平衡超高**。
- 當電聯車低速或靜止在軌道時，實際超高度將大於平衡超高度，兩者之差稱為**負超高或超高過量**。





## ■ 超高度 (5/5)

- 超高縱坡 (Cant Gradient) : 單位長度之超高變化，一般以1:N表示。
- 超高變率 (Rate of Change of Cant) : 單位時間之超高變化，單位為mm/s。
- 超高不足變率 (Rate of Change of Cant Deficiency) : 單位時間之超高不足變化，單位為mm/s。



## ■ 縱斷面坡度線

- 縱斷面**坡度線**是指軌道豎曲線或縱斷面曲線之**基準線**。
- 直線段：縱斷面坡度線為軌道中心線，高程在鋼軌踏面。
- 曲線段：縱斷面坡度線為軌道中心線，高程在**低軌之鋼軌踏面**。
- 其相當於同股軌道每一個橫斷面的工作點（WP）所連成之曲線。



# 營運基本參數

- 運轉速率 ( Operating Speed )
- 運轉時間 ( Operation Time )
- 交通密度 ( Traffic Density )
- 設計軸重 ( Design Axle Load )
- 電聯車特性 ( Vehicle Characteristics )



# 營運基本參數

## ■ 運轉速率 (1/2)

- 指系統營運之速率。
- 考量號誌速度碼設定，其行駛速率有可能比最高運轉速率多10%，故軌道設計參數係以最大設計速率考量。
- 臺北捷運高運轉速率訂為80km/hr，最大設計速率訂為90km/hr。



# 營運基本參數

## ■ 運轉速率 (2/2)

- 運轉速率因路段而異，有些路段因站間距離短、平面曲線的曲率半徑過小、緩和曲線長度不足、超高度不足、避免擾民等等因素，未必能達到或使用最高運轉速率行駛。



# 營運基本參數

## ■ 運轉時間

□ 指系統營運之時間。

□ 臺北捷運預期尖峰時間之最小班次間隔時間約為**2分鐘**，每天20個小時，一年365天。



# 營運基本參數

## ■ 交通密度

- 指預估路線每年通過的總重量或每天通過的總軸重數。
- 臺北捷運預估在最頻繁處每年為30百萬噸(30MGT/yr)，每天9000個軸重。



# 營運基本參數

## ■ 設計軸重

- 電聯車軸重會隨著負載大小而不同，惟在軌道及土建結構設計上，一般是取最大軸重作為設計軸重。
- 臺北捷運的設計軸重為**162KN**（含衝擊係數）。



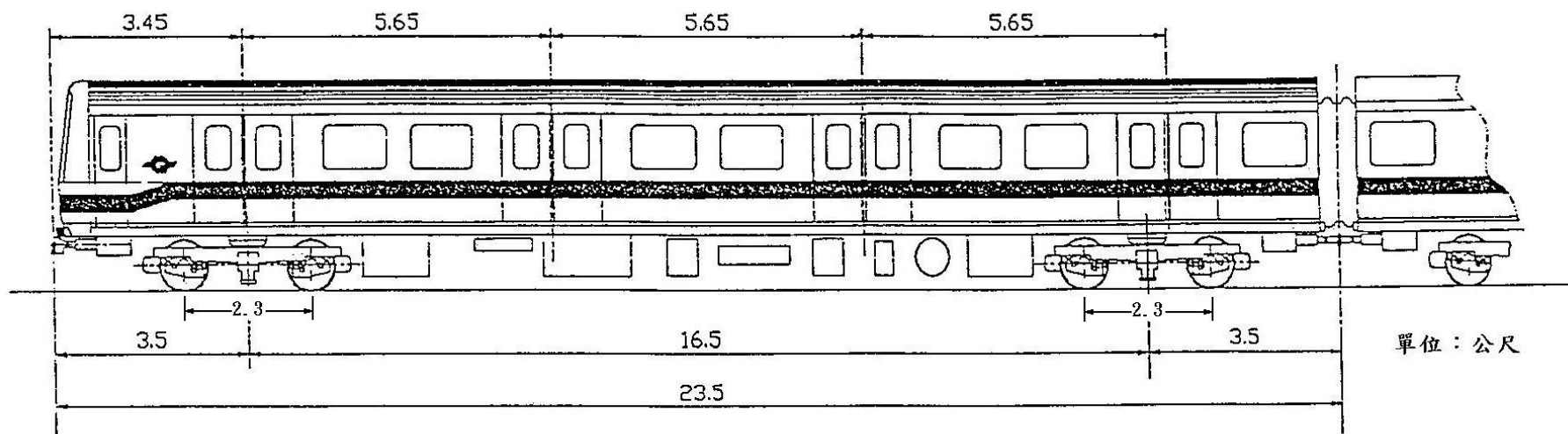


# 營運基本參數

- 電聯車特性（以臺北捷運為例）
  - 四軸式車廂，每組電聯車含有3節車廂，正常採兩組電聯車或六節車廂組合運轉。
  - 車輪為鋼質多層耐磨（Steel Multiple Wear），在全新時之直徑為760公厘至850公厘。
  - 鋼輪剖面為 **UIC S1002 已磨耗輪型**（Worn Wheel Profile）

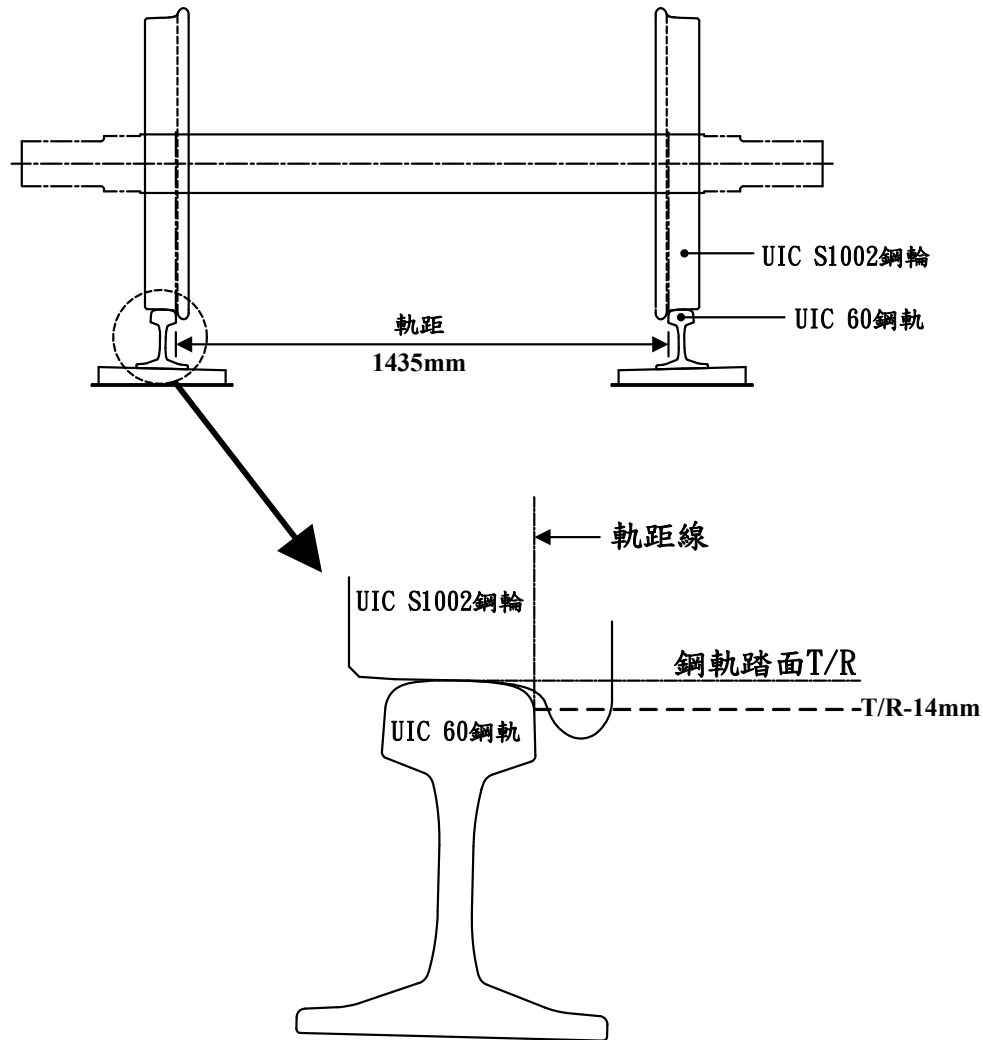


# 車輛外觀尺寸





# 輪軌關係





# 機廠配置 (1/4)

- 機廠主要功能：
  - 駐車 (Stabling)
  - 維修 (Maintenance)
  - 測試 (Testing)



## 機廠配置 (2/4)

- 機廠依維修可分成五個等級：
  - 第一級機廠
  - 第二級機廠
  - 第三級機廠
  - 第四級機廠
  - 第五級機廠



## 機廠配置 (3/4)

- 機廠依軌道可概分成六大區域：
  - 主工廠區 (Main Workshop)
  - 駐車區 (Stabling Area)
  - 洗車區 (Wash Area)
  - 次工廠區 (Secondary Workshop)
  - 扇形區 (Shunting Area)
  - 測試軌 (Test Track)



## 機廠配置 (4/4)

- 正線一般分上、下行線二股平行軌道配置。
- 機廠連絡線係連接正線與機廠之軌道，一般比照正線配置二股軌道，分別為進廠線與離廠線。
- 機廠為連接六大區域，接續機廠連絡線之軌道將呈扇形展開，軌道佈設複雜，惟因機廠行車速率低且無載客，對線形要求較為寬鬆。



# 臺北捷運機廠軌道配置 (1/3)

- 第一級機廠：中和機廠
- 第二級機廠：【無】
- 第三級機廠：新店、南港、新莊機廠
- 第四級機廠：土城、蘆洲機廠
- 第五級機廠：北投機廠





## 臺北捷運機廠軌道配置 (2/3)

■ 整個路網是由四條”L”型路線交叉而成，分別為

□ 紅線：淡水—信義線

□ 綠線：新店—松山線

□ 藍線：南港—板橋—土城線

□ 橘線：中和—新莊—蘆洲線

■ 每條路線有一至三座機廠支援運轉，並可彙集至北投機廠進行大修作業。



# 臺北捷運機廠軌道配置 (3/3)

區域	北投 機廠	中和 機廠	新店 機廠	南港 機廠	土城 機廠	蘆洲 機廠	新莊 機廠
主工廠	14	0	4	5	10	8	5
駐車區	29	6	18	13	18	22	17
洗車線	1	0	1	1	1	1	1
次工廠	11	0	0	0	6	2	1
測試軌	1	0	0	0	0	1	0

1. 除中和機廠外，駐車區其中一股軌道係人工洗車線。
2. 駐車區係以足供停駐一整列車長度為計算單位。



# 新店機廠





# 土城機廠





# 蘆洲機廠





# 課程大綱

## 第三章

### 規劃設計

第一節 基本概念

第二節 規劃參數

第三節 捷運工程定線

第四節 軌道承托系統

第五節 供電型式

第六節 淨空需求



# 規劃階段選線依據

- 服務水準、運量系統
- 社經發展、交通量、運輸需求
- 環境衝擊
- 地形及地質特性
- 成本與期程
- 公聽會民意代表及民眾意見



# 規劃階段定線作業內容

- 資料收集：含規劃範圍之社經發展、運輸系統、環境影響、現場踏勘、交通量等資料及運輸需求預測結果等。
- 初步路線規劃：小比例地形圖上作業。
- 評估篩選可行路線，評估因素至少包括：沿線地形、地物、古蹟遺址、環境衝擊、工程困難度、民意、成本、期程等。





# 設計階段定線作業內容

- 依循規劃階段定案之路線
- 沿線建物、設施資料之調查、彙集
- 完成線形設計：1:500地形圖上作業
  - 平面線形
  - 縱斷面線形



## 線形設計準則 (1/4)

- 定線標準基本上係依據原始規劃系統之功能等級而有不同，常見有「希望選用」(Preferred) 與「絕對需求」(Absolute) 兩種標準。
- 「希望選用」：指在合理的建造成本及施工性下應當遵循之標準
- 「絕對需求」：係在任何限制條件下所不能低於之絕對標準。



# 線形設計準則 (2/4)

項 目	單位	希望選用	絕對需求
1. 平面曲線	—	—	—
(1) 最大曲率半徑	m	3,000	—
(2) 最小曲率半徑	—	—	—
(a) 設計速率 80km/h	m	350	290
(b) 設計速率 65km/h	m	—	200
(c) 車站內	m	直線	1,000
(d) 機廠連接線	m	300	200
(e) 側線及停車線	m	—	140
(3) 介於兩緩和曲線間之曲線或直線段最小長度	m	50	25
(4) 反轉曲線可以不設直線段，但超高之佈設應連續，並有相同縱坡。如需佈設直線時，其長度應依(3)之規定設置。	—	—	—



# 線形設計準則 (3/4)

項 目	單位	希望選用	絕對需求
2. 超高及超高不足			
(1) 主線軌道之最大超高	mm	130	150
(2) 最大負超高 (超高過量)	mm	—	80
(3) 最大超高不足：			
(a) 連續長焊鋼軌	mm	90	110
(b) 有接點之主線軌道	mm	—	90
(c) 有接點之機廠軌道	mm	—	90
(d) 道岔	mm	—	90
(e) 用於車速計算	mm	—	150
(4) 超高最大縱坡	—	—	1 : 440
(5) 超高最大變率	mm/s	—	55
(6) 緩和曲線超高不足之最大變率			
(a) 正常軌道	mm/s	35	55
(b) 道岔曲線	mm/s	—	80



# 線形設計準則 (4/4)

項 目	單位	希望選用	絕對需求
3. 縱坡			
(1) 主線軌道最大縱坡	%	2	3*
(2) 車站，側線及機廠最大縱坡	%	水平	0.3
(3) 主線隧道之最小縱坡	%	—	0.3
(4) 加速或減速縱坡	%	3	—
(5) 車輛停泊之縱坡	%	水平	0.3

項 目	單位	希望選用	絕對需求
4. 豎曲線			
(1) 豎曲線之最小半徑	m	3,000	1,500
(2) 豎曲線之最大長度	m	—	200
(3) 兩曲線間固定縱坡之最小長度	m	50	25

\* 在現場狀況特殊及距離不長之情形下得經捷運局同意後佈設大於 3% 之縱坡，惟仍不得超過 4%。



# 平面線形設計

- 平面線形：路線在水平投影面之走向。
- 前置參數
  - 車輛外觀尺寸
  - 月台長度、月台中心線
  - 上行線與下行線之中心線距離
  - 道岔、橫渡線、中央避車線配置



# 平面線形設計

- 平面線形是由直線、圓曲線、緩和曲線等單元所構成，各單元均有其長度或半徑之限制，且需符合線形設計準則之規定。
  - 直線：最小長度限制
  - 圓曲線：最小半徑、最小長度限制
  - 緩和曲線：最小長度限制



# 平面線形設計

- 單元內及各單元間之點位參數
  - E值 (Easting) 座標
  - N值 (Northing) 座標
  - 方位角 (Azimuth)
  - 里程 (Chainage)





# 平面線形設計

## □ 直線

- 任兩點之連線。
- 考量一節車廂在通過前一曲線之動搖，再進入下一曲線之前，該項動搖得在直線段衰減消失之情況下，直線長度越長越佳。
- 加長直線長度可避免因輪/軌間之側向橫壓作用加大而導致輪軌磨耗加劇，並緩和電聯車行駛噪音等問題。



# 平面線形設計

## □ 直線最小長度（曲線亦適用）

➤ 希望選用：50公尺

➤ 絕對需求：25公尺

➤ 特殊狀況：

-20公尺：轉向架間距+前（後）  
弦長度（16.5+3.5）

-16.5公尺：轉向架間距



# 平面線形設計

## □ 曲線 (1/5)

- 路線直線是理想化，兩直線之間插入曲線，俾緩和曲線之曲率變化，並使線形局限在預設路徑上。
- 種類：
  - 單曲線
  - 複曲線
  - 反向曲線
  - 緩和曲線 (或介曲線)

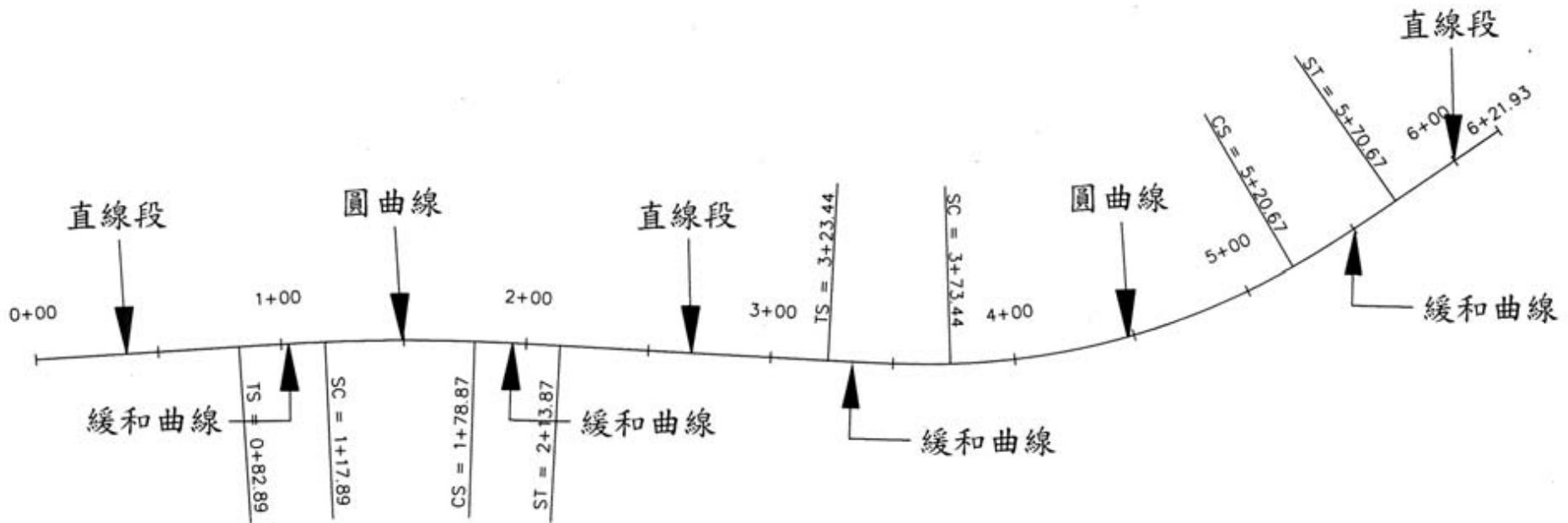


# 平面線形設計

## □ 曲線 (2/5)

### ➤ 各部名稱

- 直線與圓曲線相接 (TC、CT)
- 直線與緩和曲線相接 (TS、ST)
- 曲線與緩和曲線相接 (SC、CS)
- 曲線或緩和曲線自行相接 (CC、SS)
- 曲率半徑 (R)





# 平面線形設計

## □ 曲線 (3/5)

➤ 各參數之間的關係式如下

$$R = \frac{11.82V^2}{(E + D)} \dots\dots\dots (1)$$

$$L = \frac{NE}{1000} \dots\dots\dots (2)$$

$$L = \frac{V}{3.6E'} E \dots\dots\dots (3)$$

$$L = \frac{V}{3.6D'} D \dots\dots\dots (4)$$

**【式2、3、4取大值】**

其中，

R=圓曲線半徑，m；  
D=超高不足量，mm；  
E'=超高變率，mm/s；

V=行車速率，km/hr；  
L=緩和曲線長度，m；  
D'=超高不足變率，mm/s。

E=超高度，mm；  
超高縱坡=1:N；



# 平面線形設計

## □ 曲線 (4/5)

- 以提供路線最高行車速率為原則。
- 圓曲線、緩和曲線與超高度雖是各自獨立之單元，惟在平面線形設計上，具有相互關聯，設計時需同時符合式(1)、(2)、(3)、(4)及線形設計準之規定。
- 圓曲線最小半徑在正線為200公尺、機廠為140公尺。



# 平面線形設計

## □ 曲線 (5/5)

- 曲線最小長度同前揭直線段規定。
- 圓曲線最小半徑在正線為200公尺、機廠為140公尺。
- 最大超高度為130mm。
- 最大超高不足量為90mm。
- 超高縱坡為1:440。
- 最大超高變率或超高不足變率為55mm/s





# 平面線形設計

## □ 其它注意事項 (1/3)

- 車站若佈設於平面曲線上，則列車之中點或兩端與月臺間將產生較大之間隙，為避免前述之大間隙危及上下車旅客安全，因此站區範圍之軌道最小曲率半徑規定不得小於1000 公尺。
- 軌道線形離車站月臺端點至少必需再保持20 公尺以上之直線線形後方可接續平面曲線或是超高（超高度）變化之起始點。



# 平面線形設計

## □ 其它注意事項 (2/3)

- 為使列車由直線段駛入曲線段之路徑間有一漸變之曲率，路線設計時於直線與圓曲線之間應設置緩和曲線。
- 在機廠、機廠聯絡線及側線等行駛速度較低之處，得不設置緩和曲線。
- 曲率半徑超過2110m時無需設置緩和曲線。
- 臺北捷運之緩和曲線採克羅梭曲線（曲率半徑與曲線長度成反比）。



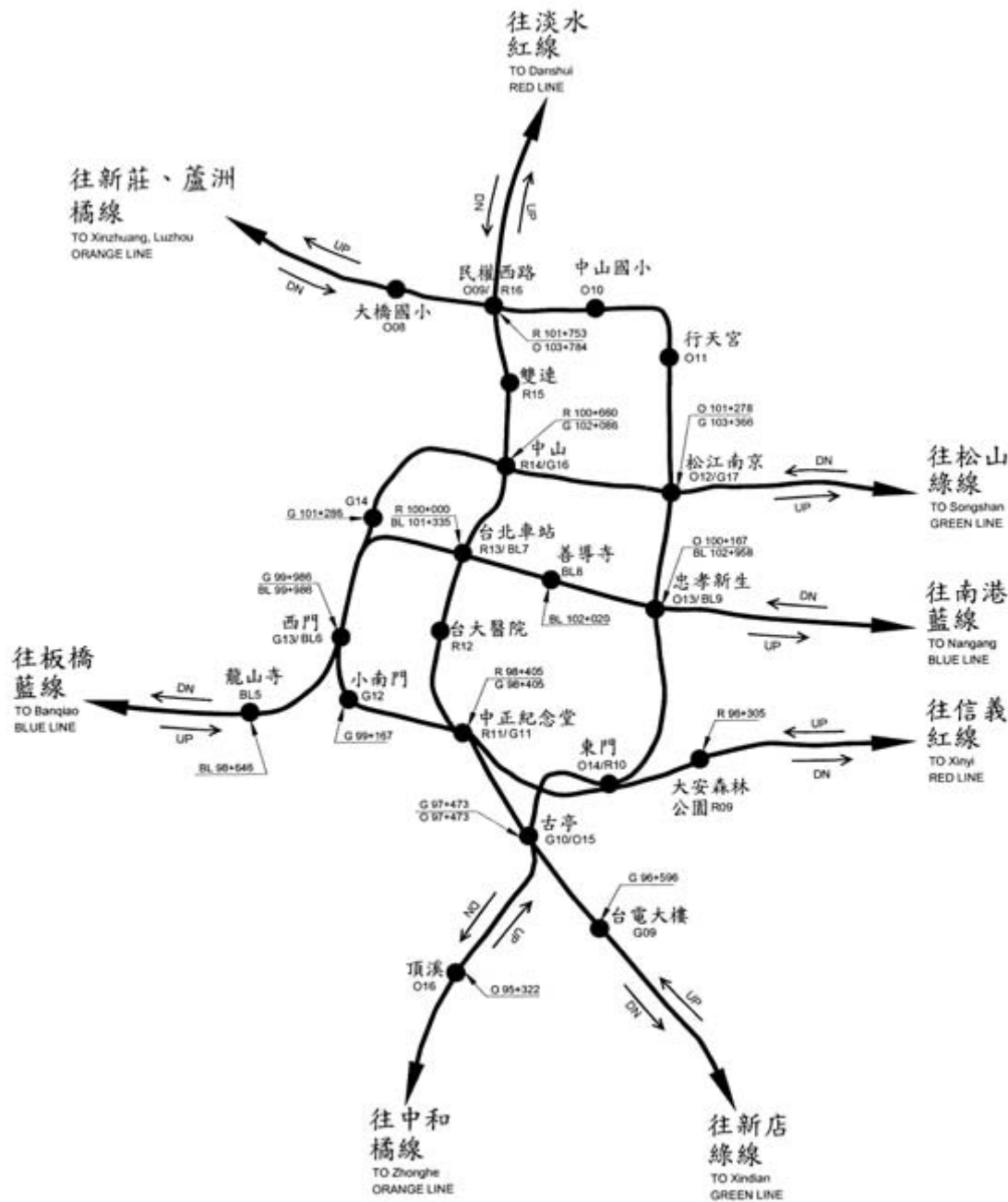
# 平面線形設計

## □ 其它注意事項 (3/3)

- 反向曲線間之緩和曲線可以連續，但超高之漸變應保持一致。
- 當曲線設置超高而無緩和曲線時，超高之設置應均勻分佈於TC（或CT）點前後各25m處。
- 圓曲線長度不足(50m)而無法於TC（或CT）前後25m均勻佈設超高時，得將此超高均勻佈設於TC前（或CT後）25m之直線段。

# 連續里程

■ 臺北捷運連續里程係以紅線臺北車站(R13)月台中心訂為100+000，往北、往東遞增



註：圖示上行線里程僅供參考



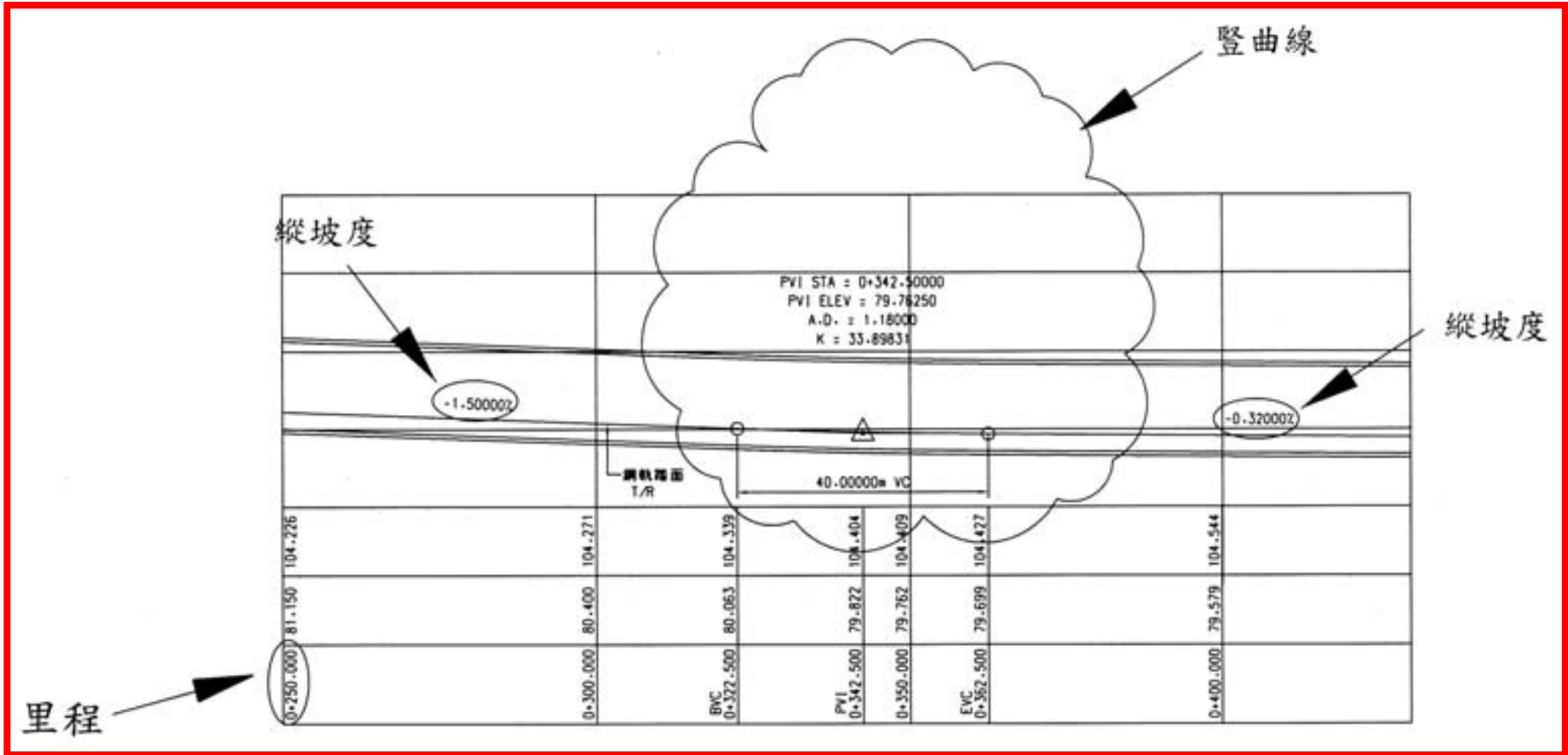
# 縱斷面線形設計

- 縱斷面線形：路線在垂直投影面之走向。
- 前置參數
  - 車輛外觀尺寸
  - 月台區鋼軌踏面高程
  - 上行線與下行線之中心線距離
  - 道岔、橫渡線、中央避車線配置



## 縱斷面線形設計

- 縱斷面線形是由直線（固定坡度）、圓曲線（豎曲線）所構成，各單元均有其長度或半徑之限制，且需符合線形設計準則之規定。由於豎曲線半徑常在1500公尺以上，一般視同拋物線計算。
  - 坡度：最小、最大坡度限制
  - 豎曲線：最小半徑、長度限制





# 縱斷面線形設計

## □ 坡度 (1/3)

- 單位長度之高程變化率。
- 站間最小坡度限制0.3%係考量軌床排水需求。
- 車站、機廠、側線及車輛停泊之縱坡為防止電聯車停止時溜逸以水平為原則，最大不得超過0.3。





# 縱斷面線形設計

## □ 坡度 (2/3)

- 最大縱坡不得超過3%，但在現場狀況特殊及距離不長之情形下得經同意後佈設大於3%之縱坡（但最大不得超過4%）。
- 除了佈設駝峰式線形外，通常縱坡以不超過2%為宜。



# 縱斷面線形設計

## □ 坡度 (3/3)

- 定線採**駝峰式**佈設，將視節能效益是否高於增加之建造成本而定。
- 潛盾隧道比明挖隧道適合佈設駝峰，因為增加之建造成本較少。
- 為了獲得最大節省效益，駝峰線形多採3%之最大允許縱坡，且長度通常在150m至250m之間。



# 縱斷面線形設計

## □ 豎曲線 (1/3)

- 車輛行駛於路線縱坡變化點（含凹形或凸形）時，車輛本身及乘客均可能遭遇障礙（車輪浮起、連結器受損、乘客不適），為避免造成此類情況，縱坡變化點需加設豎曲線使坡度之轉變趨於緩和。



# 縱斷面線形設計

## □ 豎曲線 (2/3)

- 台北捷運豎曲線為二次拋物線，絕對最小半徑為1500m。

$$K = \frac{LVC}{G2 - G1}$$

其中，

$K$  = 豎曲線半徑

$LVC$  = 豎曲線長度

$G1$ 、 $G2$  = 豎曲線前後之坡度



# 縱斷面線形設計

## □ 豎曲線 (3/3)

- 豎曲線間固定縱坡之最小長度 25m。
- 道岔區、菱形岔心範圍內均不設置豎曲線。
- 豎曲線宜儘可能避免與緩和曲線段結合。



## 定線套裝軟體

- 顧問公司自行開發H14A (台灣世曦顧問公司)
- Autodesk Land Desktop (萬鼎／中鼎工程公司)
- Inrail (中興顧問公司)
- Civil/Survey Softdesk (亞新顧問公司)
- AutoCAD Civil 3D (北捷路線規劃)



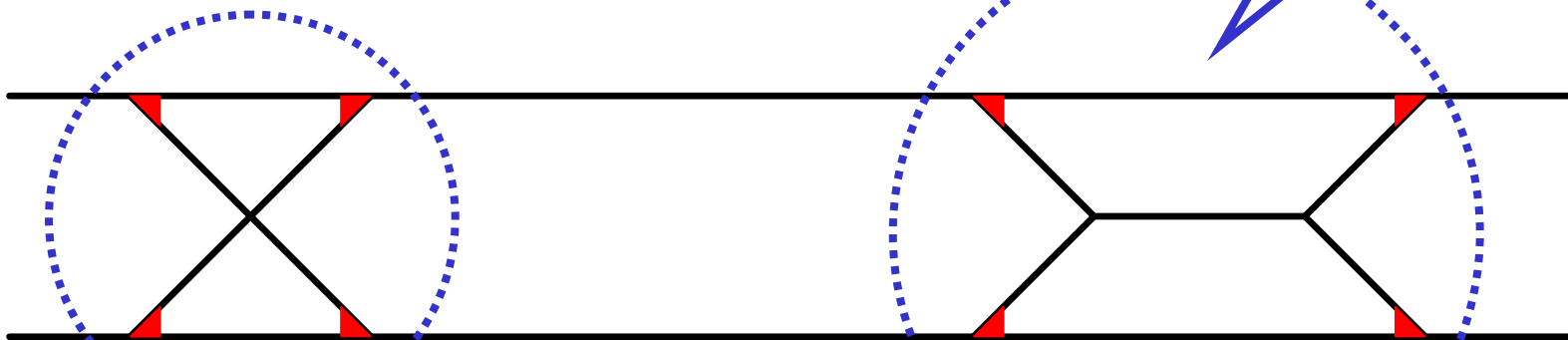
# 特殊軌區

- 定義：軌道運輸系統中提供列車換軌調度、分岔、轉向所需之特殊裝置
- 種類
  - 道岔 (Turnout)
  - 單橫渡線 (Single Crossover)
  - 交叉橫渡線 (Double Crossover)
  - 中央避車線 (Pocket)
  - 其它：如Y型軌等

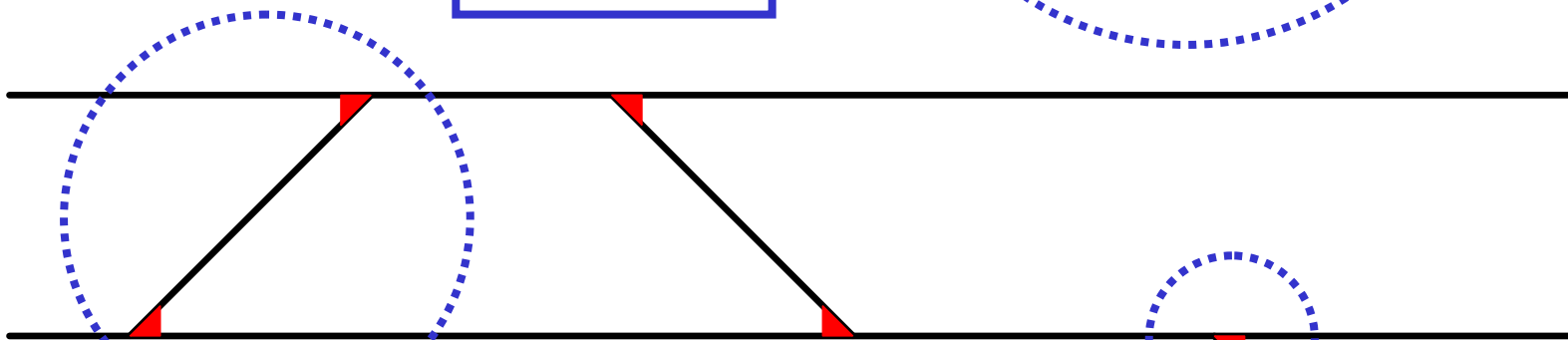


# 特殊軌區示意圖

中央避車線



交叉渡線



單橫渡線

道岔





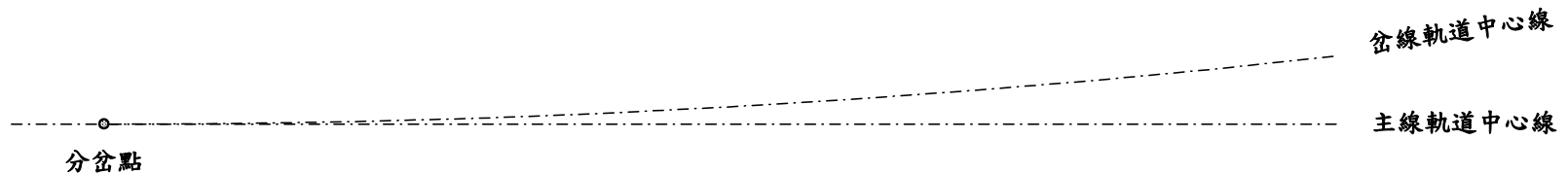
# 道岔 (1/2)

- 提供列車安全無礙由主線進入岔線，或由岔線進入主線之特殊裝置。
- 構成各型式特殊軌區之最基本單元。
- 道岔分類
  - 依形狀：單開標準道岔、雙開特殊道岔、三開道岔、交分道岔等。
  - 依岔出方向：左開道岔、右開道岔。
  - 依岔線的圓曲線終點位置：曲線岔心道岔、直線岔心道岔。
  - 依號數：各系統定義不一。



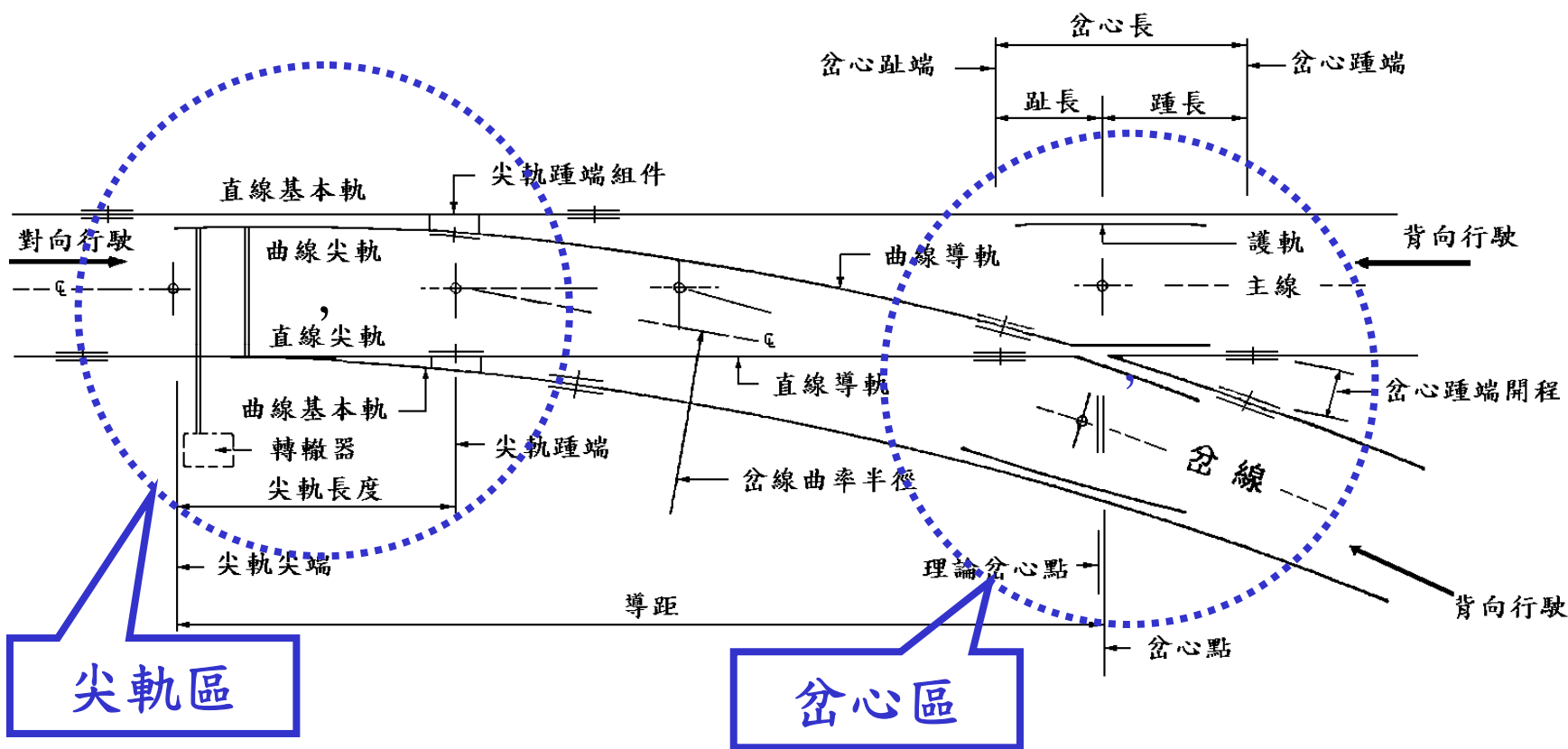
## 道岔 (2/2)

- 一般道岔以佈設單開標準道岔為主。
- 單開標準道岔之主線為直線、岔線為圓曲線。
- 整付道岔可概分成三個區域，分別為尖軌區、導軌區與岔心區，其中以尖軌區及岔心區最為重要





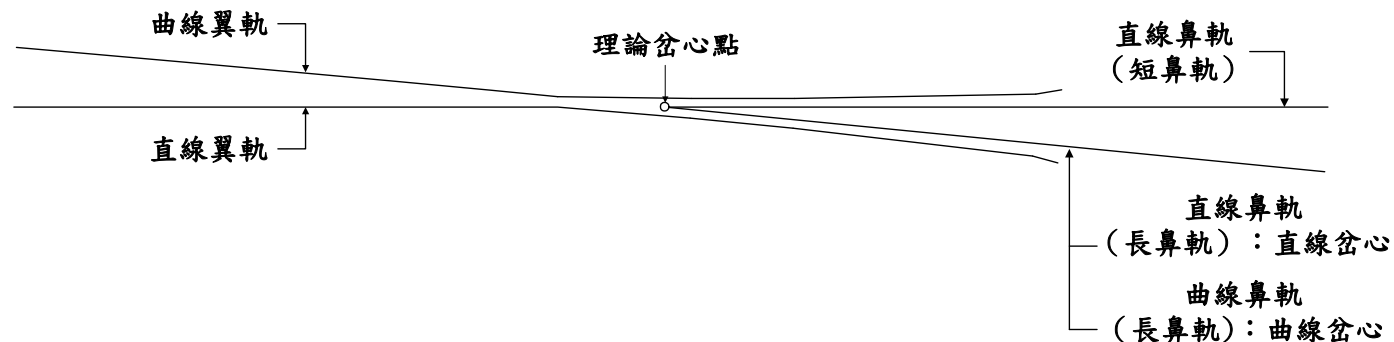
# 道岔構造示意圖





# 道岔號數 (1/3)

- 各系統就道岔號數的定義不完全相同，惟基本上道岔號數與岔心角有關。
- 岔心角：岔心主要是由二根翼軌與二根鼻軌組合而成，其中，曲線翼軌延伸至理論岔心點上的切線與短鼻軌間的夾角稱為岔心角。





## 道岔號數 (2/3)

- 道岔號數依岔心角大小而給予數字編號
  - 道岔號數越大，岔心角越小或岔線的圓曲率半徑越大，列車行駛岔線的容許速率越高。
  - 道岔號數越小，岔心角越大或岔線的圓曲率半徑越小，列車行駛岔線的容許速率越高。

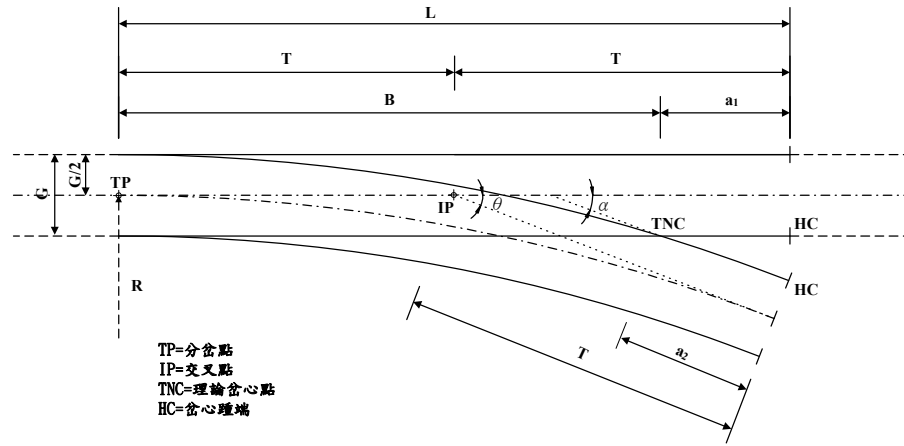


## 道岔號數 (3/3)

- 臺北捷運標準道岔號數分別為#7、#10、#14、#17四種。其相對岔線之曲率半徑分別為140、300、555、840公尺。
- 臺北捷運之道岔號數與幾何形狀是沿襲英國鐵路系統，較接近於UIC，但不同於美國鐵路系統。
- 臺鐵之道岔號數與幾何形狀則是沿襲日本鐵路系統。



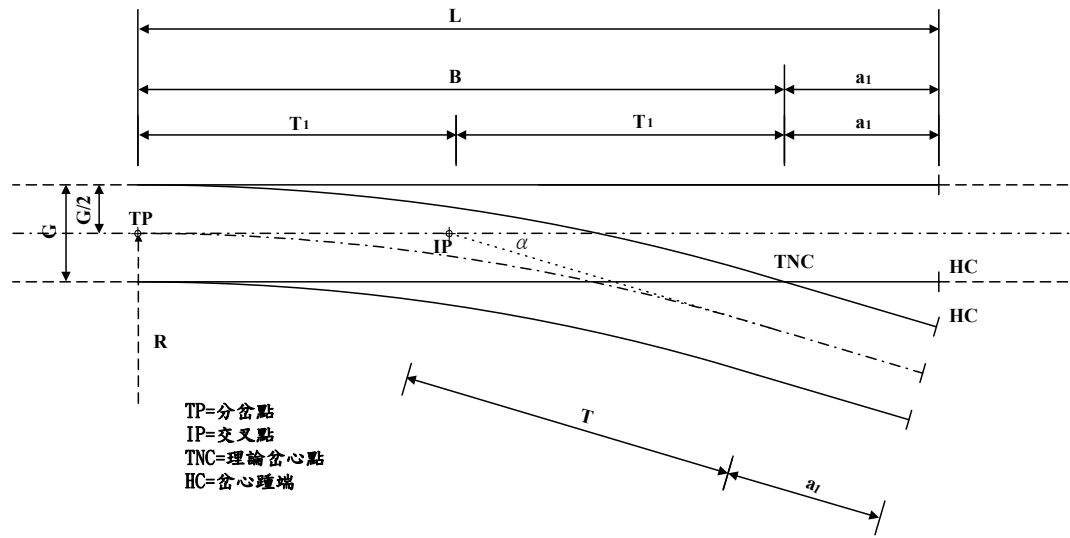
## 臺北高運量捷運系統曲線岔心道岔暨幾何線形參數



縮寫	#7 道岔	#10 道岔	#14 道岔	#17 道岔
R (m)	140	300	555	840
R <sub>0</sub> (m)	140.7175	300.7175	555.7175	840.7175
N <sub>0</sub>	6	9	12.5	15
θ (度)	9.462322208 (9°27'44.36")	6.340191746 (6°20'24.69")	4.573921260 (4°34'26.12")	3.814074834 (3°48'50.67")
α (度)	8.189535800 (8°11'22.33")	5.599601001 (5°35'58.56")	4.118414394 (4°07'06.29")	3.348114719 (3°20'53.21")
N	7	10	14	17
T (m)	11.586754242	16.615541441	22.164593211	27.968957833
B (m)	20.044949489	29.342801502	39.910524928	49.099898167
a <sub>1</sub> (m)	3.128558995	3.888281380	4.418661495	6.838017500
a <sub>2</sub> (m)	3.125942660	3.886998295	4.418006687	6.837167173
L (m)	23.173508484	33.231082882	44.329186423	55.937915666
LTC (m)	23.120814838	33.197166352	44.305642070	55.917257572
V <sub>max</sub> (kph)	33	47	58	67



## 臺北高運量捷運系統直線岔心道岔暨幾何線形參數



縮寫	#7 道岔	#10 道岔	#14 道岔	#17 道岔
R (m)	140	300	555	840
R <sub>0</sub> (m)	140.7175	300.7175	555.7175	840.7175
α (度)	8.189535800 (8° 11' 22.33")	5.599601001 (5° 35' 58.56")	4.118414394 (4° 07' 06.29")	3.348114719 (3° 20' 53.21")
N	7	10	14	17
T1 (m)	10.022474744	14.671400751	19.955262464	24.549949083
B (m)	20.044949489	29.342801502	39.910524928	49.099898167
a <sub>1</sub> (m)	3.128558995	3.888281380	4.418661495	6.838017500
L (m)	23.173508484	33.231082882	44.329186423	55.937915666
LTC1 (m)	20.010810948	29.319442280	39.893339576	49.085925495
V <sub>max</sub> (kph)	33	48	61	70





$R$  = 岔線曲率半徑；

$R_0$  = 外軌半徑， $R_0 = R + G / 2$ ；

$G$  = 軌距， $G = 1.435\text{m}$ ；

$N_0$  = 實際號數或UIC 711R規範所定義之號數；

$\theta$  = 岔線與主線之夾角或岔心踵端的切線角度，

$$\theta = \tan^{-1} (1 / N_0) ;$$

$\alpha$  = 岔心角， $\alpha = \cos^{-1} ( (R - G / 2) / R_0 )$ ；

$N$  = 道岔號數， $N = 1 / \tan (\alpha)$ ；

$T$  = 切線長度， $T = R \times \tan (\theta / 2)$ ；

$B$  = 分岔點至理論岔心點的直線長度， $B = R_0 \times \sin (\alpha)$ ；

$a_1$  = 理論岔心點至岔心踵端的直線長度， $a_1 = 2T - B$ ；

$a_2$  = 理論岔心點至岔心踵端的曲線長度，

$$a_2 = R_0 \times (\theta - \alpha) \times \pi / 180 ;$$

$L$  = 道岔的直線長度， $L = 2T$ ；

$LTC$  = 道岔的曲線長度， $LTC = R \times \theta \times \pi / 180$ ；

$V_{\max}$  = 岔線最大容許速率， $\text{km/hr}$ 或 $\text{kph}$ 。



# 課程大綱

第三章	規劃設計
第一節	基本概念
第二節	規劃參數
第三節	捷運工程定線
<u>第四節</u>	<u>軌道承托系統</u>
第五節	供電型式
第六節	淨空需求



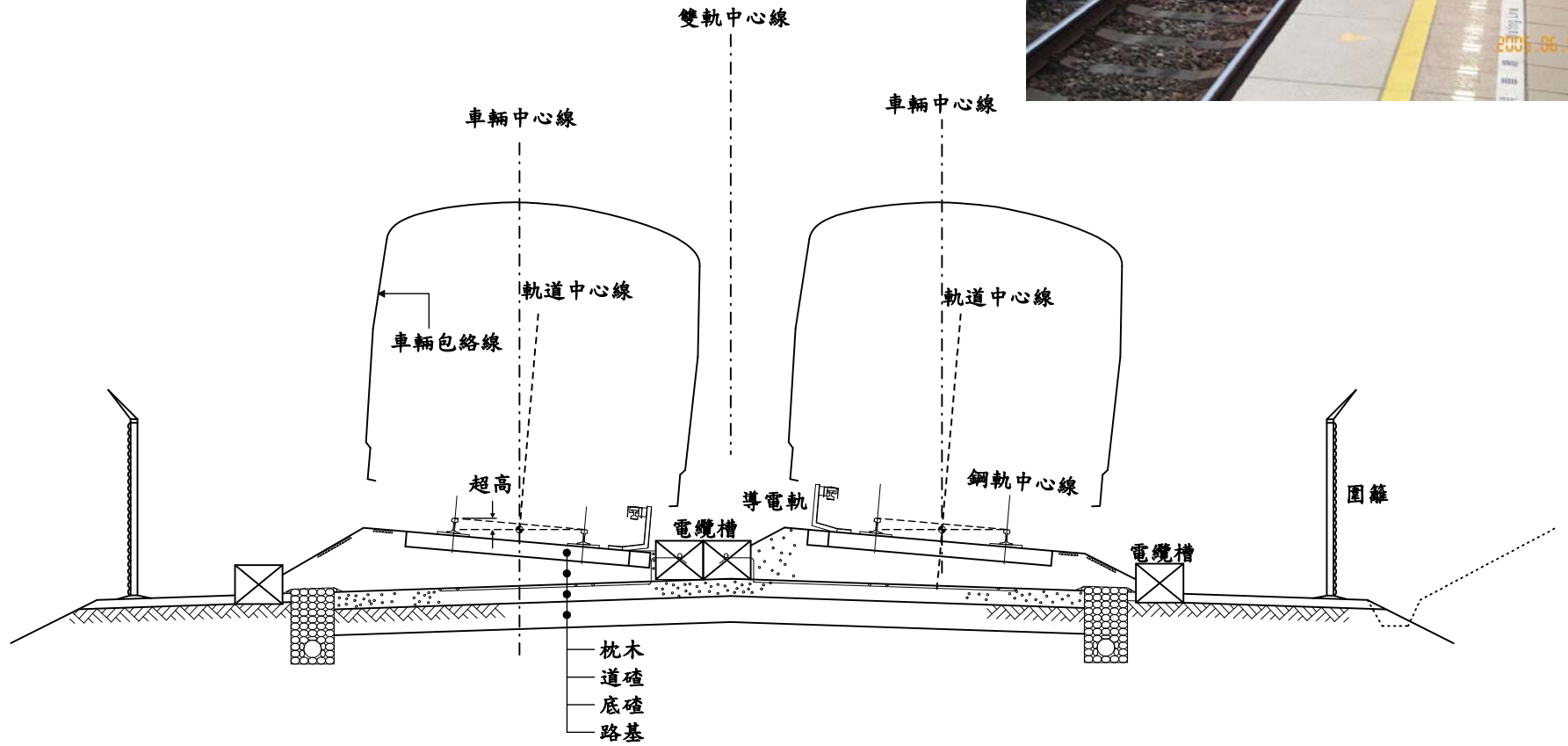
# 前言

- 軌道結構由上而下，概分三大部分：
  - 鋼軌
  - 扣件系統
  - 道床或稱軌床（Trackbed）
- 軌道承托系統主要介紹各型道床。
- 道床與扣件系統的選用有其密切關係。
- 列舉臺北捷運之道床系統為主軸。



# 道碴道床

- 道碴道床軌道（Ballasted Track）為最傳統的軌道型式。
- 道碴道床是由枕木、道碴及（或）底碴組合而成，鋼軌與枕木組成軌框，軌框內填以道碴，軌框與道碴聯合作用使列車負荷得以均勻傳遞至路基。



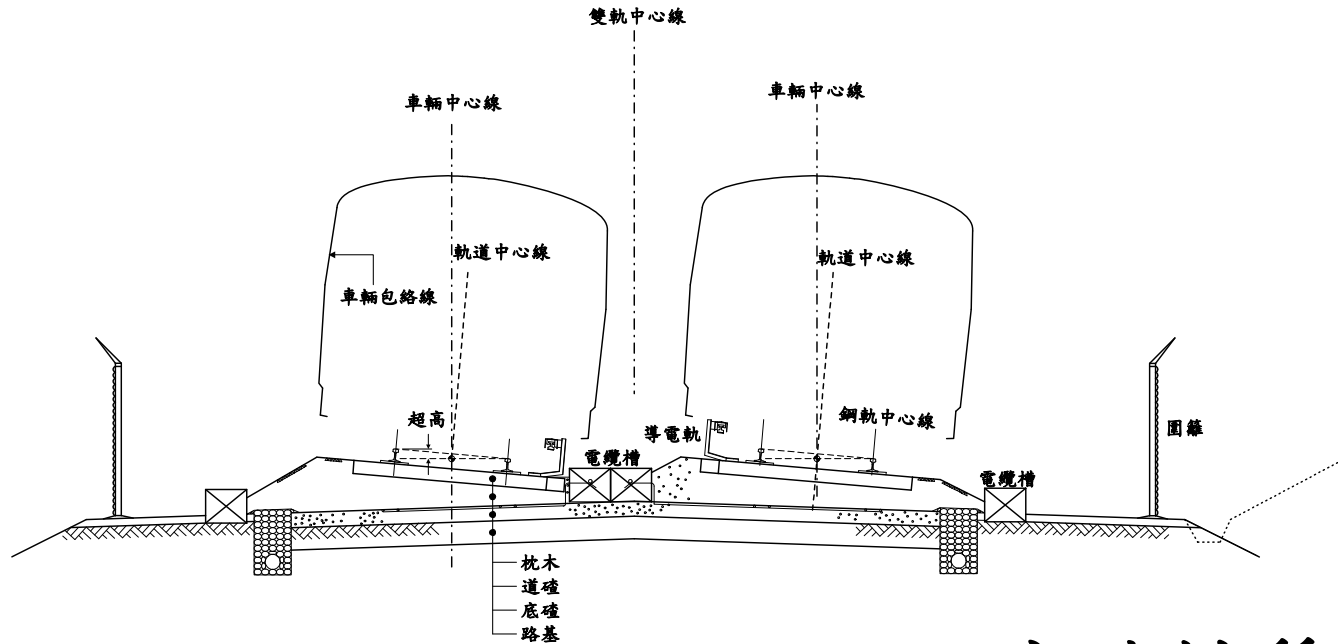


## 道碴道床優點

- 發展初期、材料取得（如木材、石材）容易且充裕
- 施工快速、費用低廉
- 軌道變形維修調整容易
- 道碴兼具吸音減振功能



# 道碴道床重要參數



規範明訂

~~計算分析~~

- 底碴材質、厚度
- 道碴材質、厚度
- 道肩寬度
- 枕木材質、尺寸



## 底渣材質、厚度 (1/2)

篩孔尺寸 (mm)	通過重量百 分比
50	100
25	90 - 100
6.3	50 - 84
2.0	26 - 50
0.425	12 - 30
0.075	0 - 10
通過0.075公厘篩孔之量不得大於通過 0.425公厘篩孔之量的三分之二	

- 級配應符合左表規定
- 粘土及易碎顆粒不得超過0.5%
- 碎岩石之磨損不得大於40%
- 碎岩石吸水率不得大於2%
- 硫酸納健度試驗循環操作五次後，碎岩石重量損失不得超過10%





## 底渣材質、厚度 (2/2)

- 底渣最小厚度200mm、許可差25mm
- 夯實度應達 AASHTO-T180及T224所規定最大密度95%



# 底碴完成面





## 道渣材質、厚度 (1/3)

篩孔尺寸 (mm)	通過重量百 分比
76.2	100
63.5	90 - 100
38.1	25 - 60
19.0	0 - 10
12.7	0 - 5
粒徑長度不得超過85mm	

- 級配應符合左表規定
- 道渣原料應篩除可通過250mm正方形篩孔之石塊
- 道渣之石塊至少應包含兩個壓碎面
- 道渣材料應均勻
- 道渣應為堅硬、強固、有角之顆料，不含有害物質。



## 道渣材質、厚度 (2/3)

- 通過200號篩(0.13mm)之顆粒：最大1.0%
- 粘土塊及易碎粒子：最大0.5%
- 磨損百分比：最大損失25%
- 硫酸鈉健度：最大損失5.0%
- 吸水率：最大3.0%
- 質量：最小1400kg/m<sup>3</sup>
- 抗壓強度：四件樣品之最小平均值為110N/mm<sup>2</sup>
- 片狀粒子：厚度小於0.6標稱尺寸者最多40%
- 細長狀粒子：長度超過1.8標稱尺寸者最多30%



# 道碴材質、厚度 (3/3)

## ■ 道碴厚度

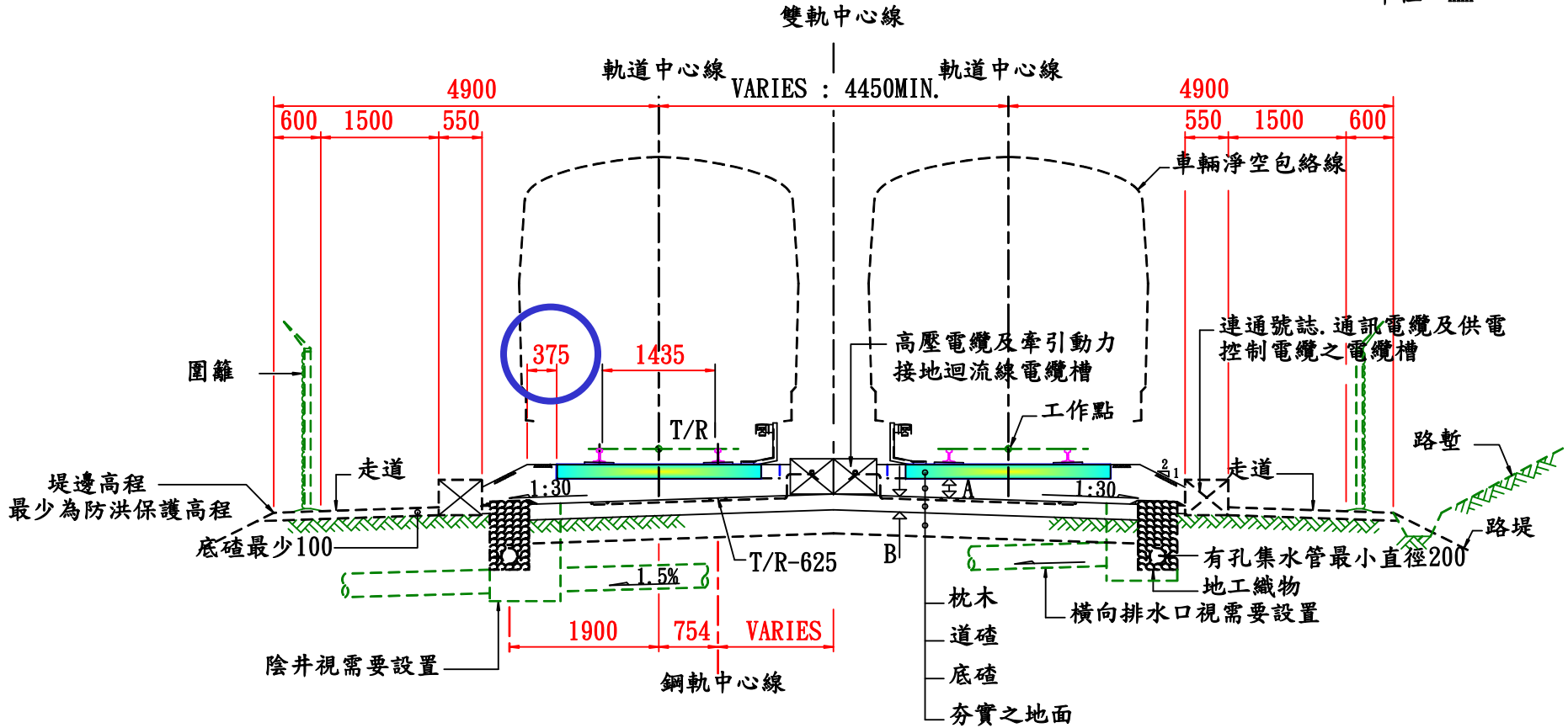
□ 正線最小250mm

□ 機廠最小200mm



# 道肩寬度

單位：mm

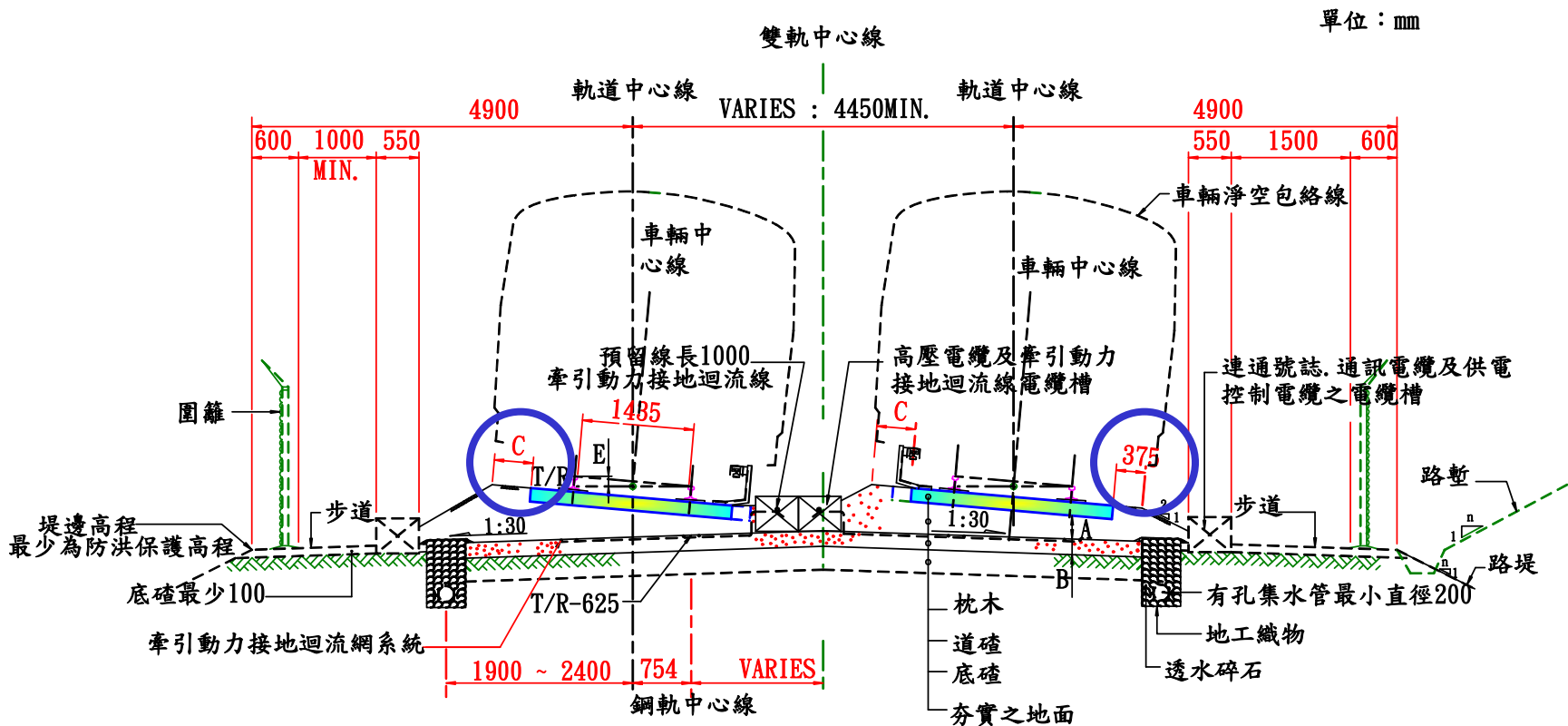


A: 鋼軌中心線處軌枕下之道碴厚度(至少為250)  
B: 軌道結構完成後底碴厚度(至少為200)

## 直線段軌道



# 道肩寬度



## 曲線段軌道

- A: 鋼軌中心線處軌枕下之道碴厚度(至少為250)
- B: 軌道結構完成後底碴厚度(至少為200)
- C: 曲線半徑不小於800M時為450, 曲線半徑小於800M為525
- E: 超高度



# 道碴完成面







# 枕木材質、尺寸

## ■ 材質

□ 木枕

□ 鋼枕

□ 混凝土枕





# 木枕

## ■ 材質

□ 紅檜 ( *Chamaecyparis Formosensis* )

□ 紅喬 ( Red Querbracho )

□ 肯巴斯 ( **Kempas** )

□ 替代木材

➤ 類似系統30年以上之使用實績

➤ 預期運量下使用壽命至少15年



# 木枕

## ■ 尺寸、許可差

### □ 一般木枕：

- 厚度175mm (+20 / - 5mm)
- 寬度225mm (+30 / - 5mm)
- 長度2600mm (+50 / -30mm)

### □ 岔枕：

- 厚度175mm (+20 / - 5mm)
- 寬度225mm (+30 / - 5mm)
- 長度2700~5300mm (+30/-10mm)



# PC枕

## ■ 材質

### □ 混凝土

- 28天圓柱試體抗壓強度  $\geq 49\text{N/mm}^2$   
(7,000psi)

### □ 預力鋼腱

- 每根鋼腱之預力至少  $1050\text{N/mm}^2$
- 級數270、標稱直徑9.5mm之七根一股未塗料解除內應力鋼絞線或標稱直徑5.0mm之低鬆弛度非平滑鋼線。

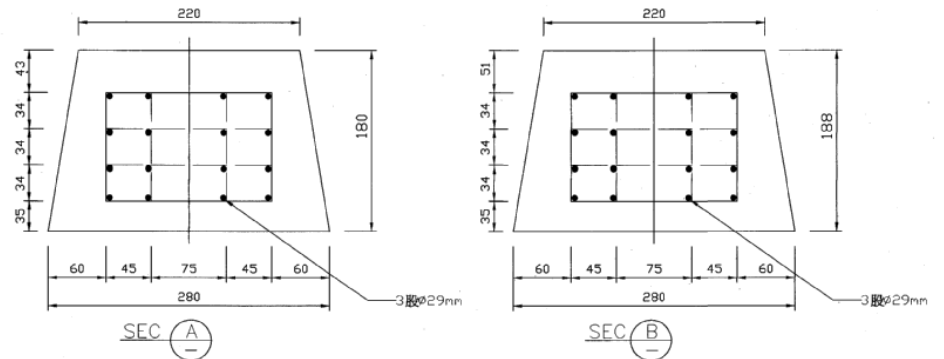
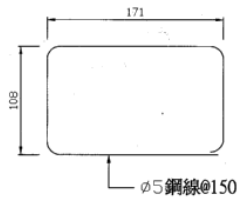
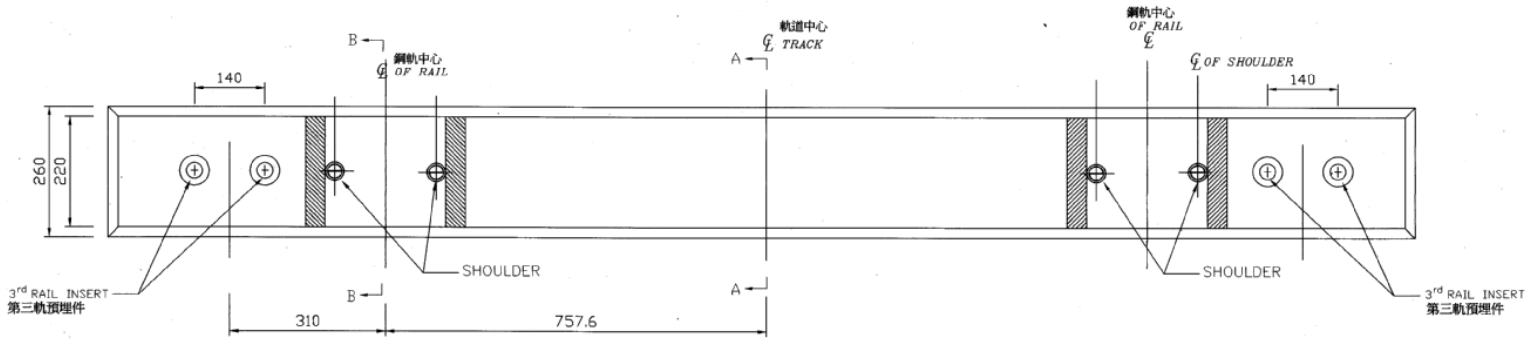
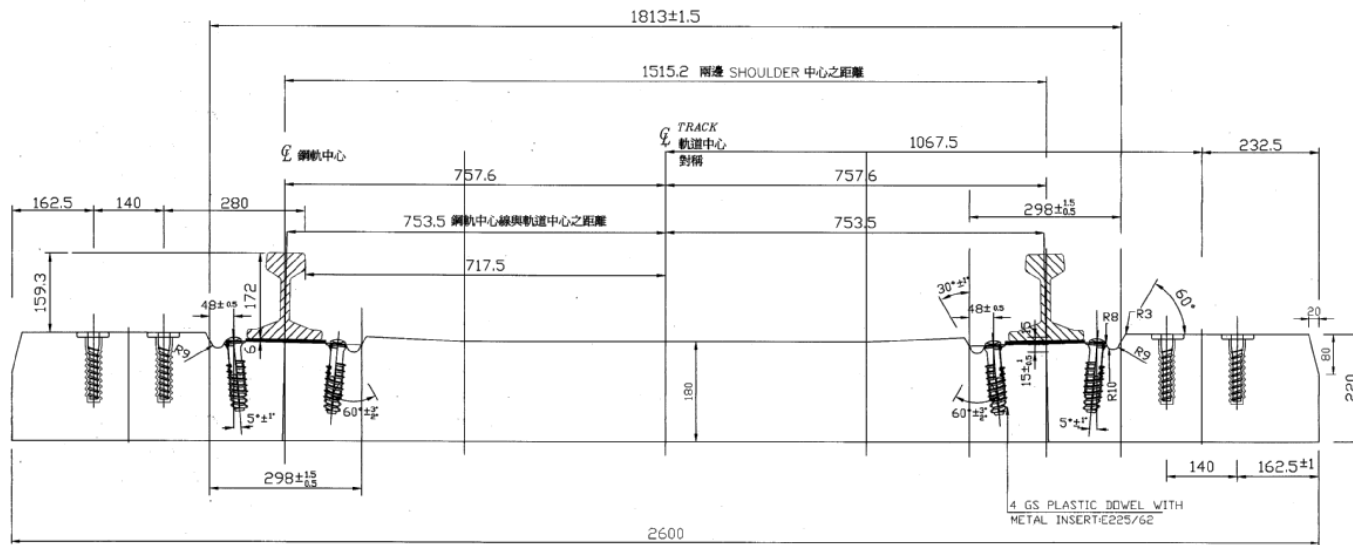


# PC枕

## ■ 尺寸、許可差

- 長度 $2600 \pm 6\text{mm}$
- 斷面尺寸由廠商設計，許可差 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 鋼軌傾斜度 $1:40 \pm 3$
- 鋼軌底座之差異傾斜：沿鋼軌方向，任一鋼軌底座與鄰近鋼軌底座之差異傾斜，在寬 $150\text{mm}$ 內不得超過 $1.5\text{mm}$ 。
- 預力鋼腱位置許可差 $\pm 3\text{mm}$

# PC枕



UIC-60 鋼軌預力混凝土軌枕示意圖



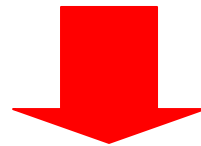
## 道碴道床發展頸瓶（1/2）

- 行車速率提高、承載重量增加、班次密集等加速軌道結構劣化，增加養護維修頻率。
- 軌道養護工作既粗重又需在夜間作業，難吸引勞工參與，造成人力短缺、工資上漲。



## 道碴道床發展頸瓶 (2/2)

- 大型軌道機具雖可降低對人力的依賴，但因作業常在夜間進行，噪音擾人清夢，迭遭抗議，增加軌道養護的困難度。
- 天然資源，如製作木枕之木材、製造道碴之石材等，正逐漸匱乏中。
- 整碴作業對環境污染。



無道碴道床發展





## 無道碴道床 (1/3)

- 突破養護作業仰仗大量人力之頸瓶。
- 都會區軌道常為地下或高架段，傳統道碴道床整碴作業對環境衝擊異常嚴重。
- 營運時間拉長，大幅縮減可供維修之時間，免維修或少維修軌道因應而生。
- 緩和道碴供應逐漸匱乏之窘境。



# 無道碴道床 (2/3)

## ■ 中、英文名辭比較

中文	英文
無道碴道床軌道	<b>Ballastless Track</b>
無碴軌道	<b>Non-ballasted Track</b>
非道碴軌道	<b>Direct Fixation Track</b>
省力化軌道	<b>Slab Track</b>
版式軌道	



# 無道碴道床 (3/3)

## ■ 種類

- 英國鋪裝軌道 (PACT)
- 低振動軌道 (LVT)
- 日本版式軌道 (J-Slab Track)
- 日本防振軌道
- 德國Rheda 2000
- 彈性基鈹軌道



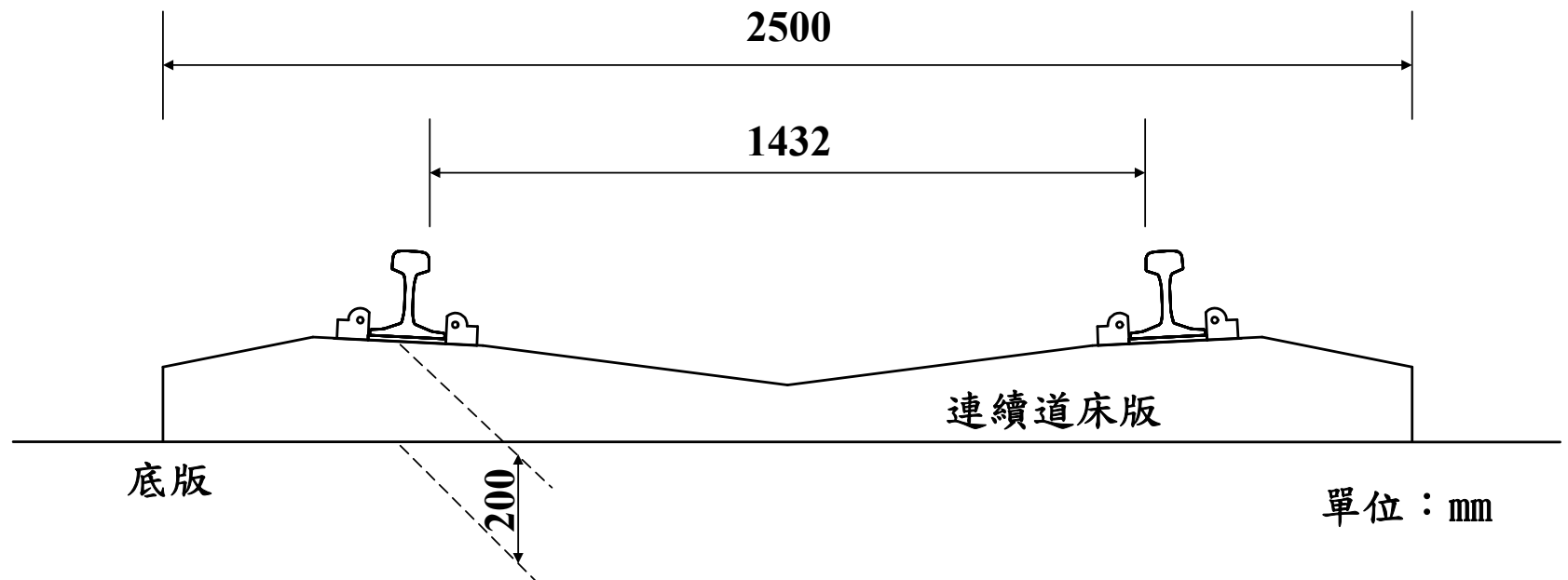
## 英國鋪裝軌道（1/3）

- PACT（Paved Concrete Track）係英國於1960年代開始嘗試鋪設之無道碴軌道。
- 目的在降低施工成本並提高工率。
- PACT係於路基面澆置一鋼筋混凝土版，再以滑模配合混凝土鋪裝機澆置50cm寬x20cm厚之軌道版。
- 混凝土版與軌道版間則以剪力鋼筋連接。



## 英國鋪裝軌道 (2/3)

- 軌道版面向軌道中心採1：9.5、向外採1:20之洩水坡度。
- 鋼軌墊片採10mm厚連續長條狀橡膠墊。

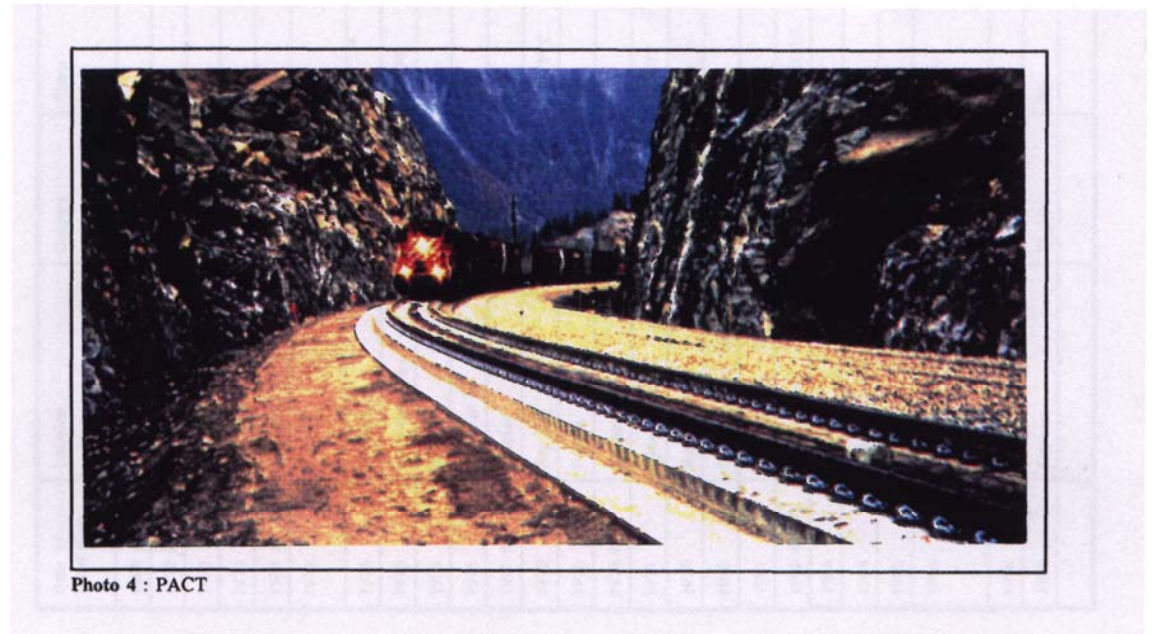




# 英國鋪裝軌道 (3/3)

## ■ 引用國家或地區：

- 英國
- 西班牙
- 紐西蘭
- 加拿大



Round, D. J., British Rail Research, 1993



## 低振動軌道（1/8）

- 考量單體混凝土枕木之中央幾乎不會分配到應力，故將單體混凝土枕木截斷為兩混凝土塊（**Block**），中央以一根金屬拉桿維持軌距，這種軌道系統稱為雙枕塊軌道系統（**Two-Block Ties System**）。
- 雙枕塊軌道系統最早是由法國國鐵工程師 **Roger Sonneville** 於1940年代發展出來。
- 初期係用在道碴道床軌道以取代PC枕木。



## 低振動軌道（2/8）

- Roger Sonneville 於1966年以雙枕塊軌道系統用在瑞士Botzberg隧道，為第一次用在無道碴軌道上，並開啟了低振動軌道（Low Vibration Track, LVT）之先河。
- 早期係將混凝土塊包覆減振套靴後埋入混凝土道床內，變成無道碴道床軌道，惟仍使用金屬拉桿維持軌距。





# 低振動軌道 (3/8)



比利時布魯塞爾雙枕塊軌道系統

比利時布魯塞爾雙枕塊軌道系統



## 低振動軌道（4/8）

### ■ 中央金屬拉桿（Tie Bar）

- 混凝土塊埋入混凝土道床後，軌距即獲得確保，故以中央金屬拉桿確保軌距似乎多慮。
- 拉桿橫在軌道中央，影響維修及逃生動線
- 不利於軌道絕緣。
- 增加噪音。



## 低振動軌道（5/8）

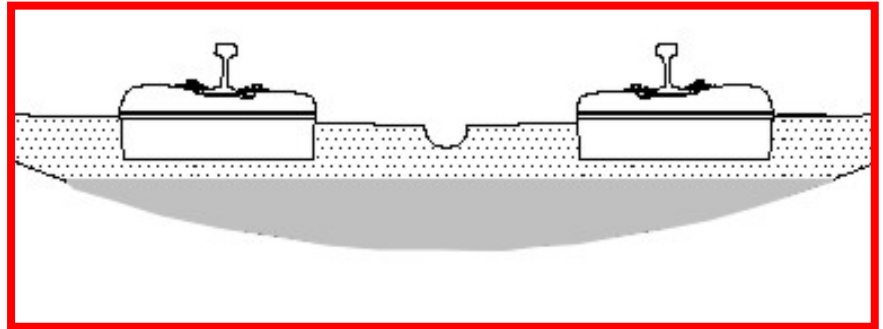
- 低振動軌道系統（LVT）是由Sonneville International Corporation於1991年改良雙枕塊軌道系統，項目包括：
  - 取消中央金屬拉桿
  - 依減振需求彈性調整混凝土塊之質量
  - 依減振需求彈性調整套靴彈性係數



# 低振動軌道 (6/8)



■ LVT已廣泛使用於英法海底隧道、香港機場快線、歐美各捷運系統及幹線鐵路。



香港捷運地下段LVT



## 低振動軌道 (7/8)

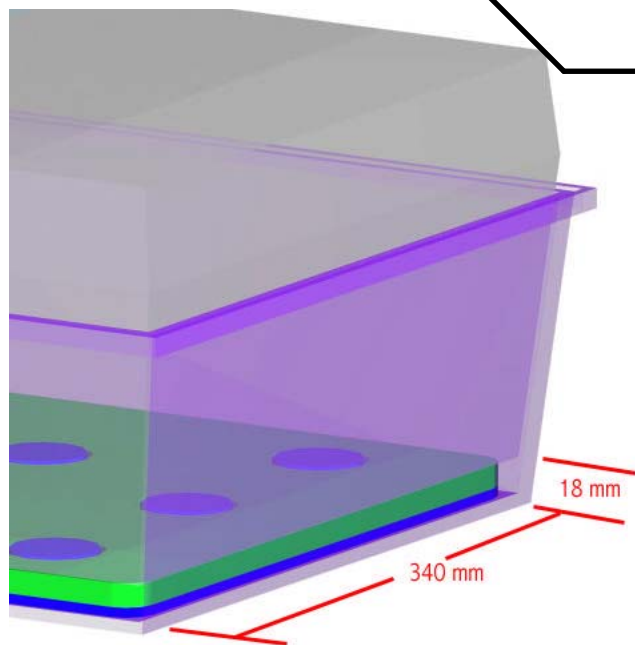
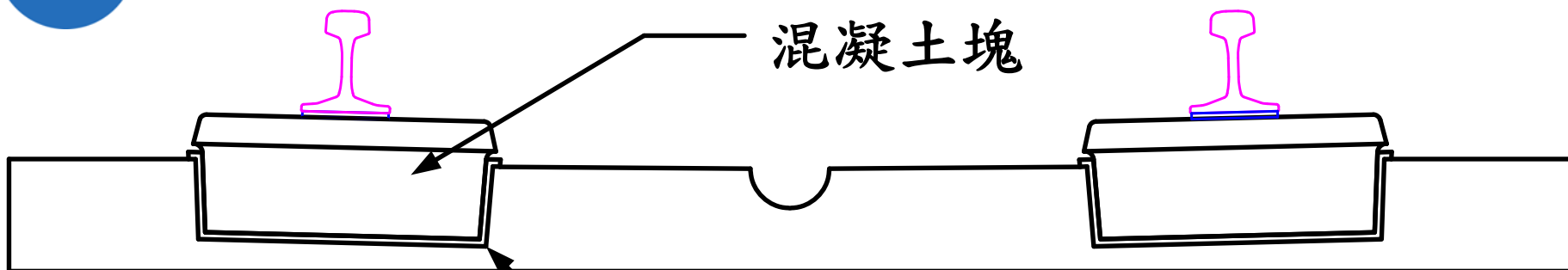


- 臺灣高速鐵路在臺北端地下段亦使用LVT，為國內最早引進LVT之系統。

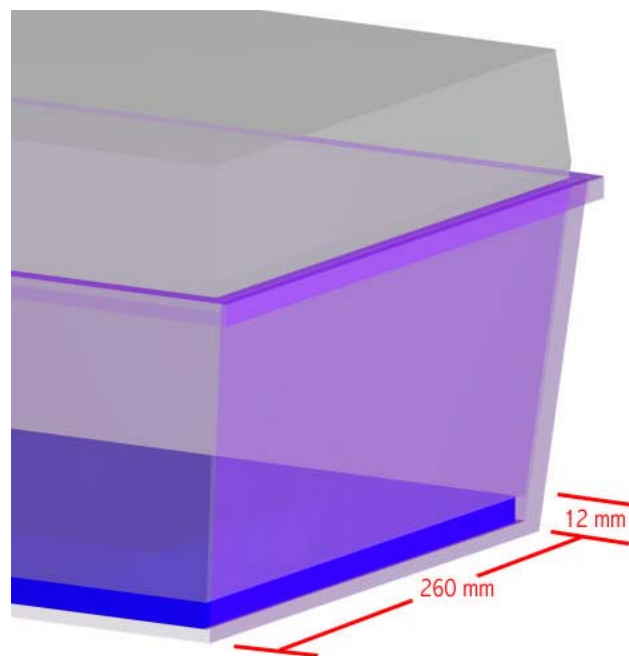


## 低振動軌道（8/8）

- 自1991年迄今已有超過300公里的低振動軌道在世界各國商業運轉中。其中最具代表之業績為英法海底隧道。
- LVT可應用於一般軌道與特殊軌道之地下、高架及平面段。



套靴



## LVT剖面圖

Sonneville International Corporation



系統	Block質量 (kg)	Block質量 (kg/m)	套靴彈性 係數 KN/mm
1990年標準型LVT	100	330	25
			40
目前標準型LVT	100	330	20
			40
高隔振型LVT	130~200	430~660	10

扣件間距取0.6m

Sonneville International Corporation





## 日本版式軌道（1/7）

- 1965年日本開始研究版式軌道。
- 1968年開發的型態為RA型，以瀝青為基盤使用於路基上，後來修改為鋼筋混凝土基盤，其型態改為RCRS型。
- 1990年臺鐵自日本引進A-155型版式軌道在竹南~造橋間南港溪橋上試鋪。
- 臺灣高鐵在樹林以南之高架段除特殊軌區外全面鋪設版式軌道。



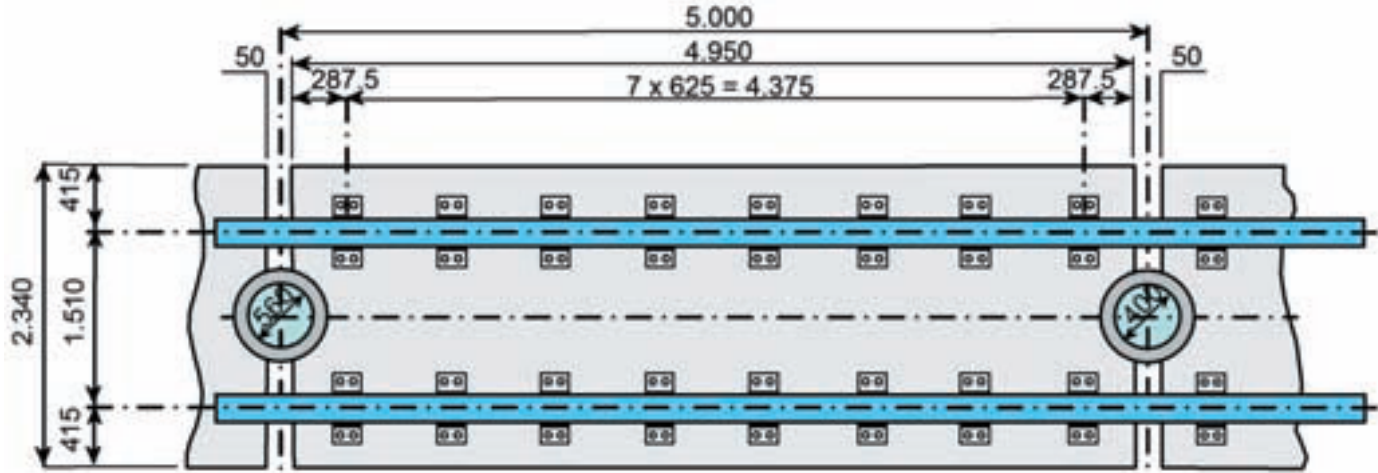
# 日本版式軌道 (2/7)

## ■ 特性

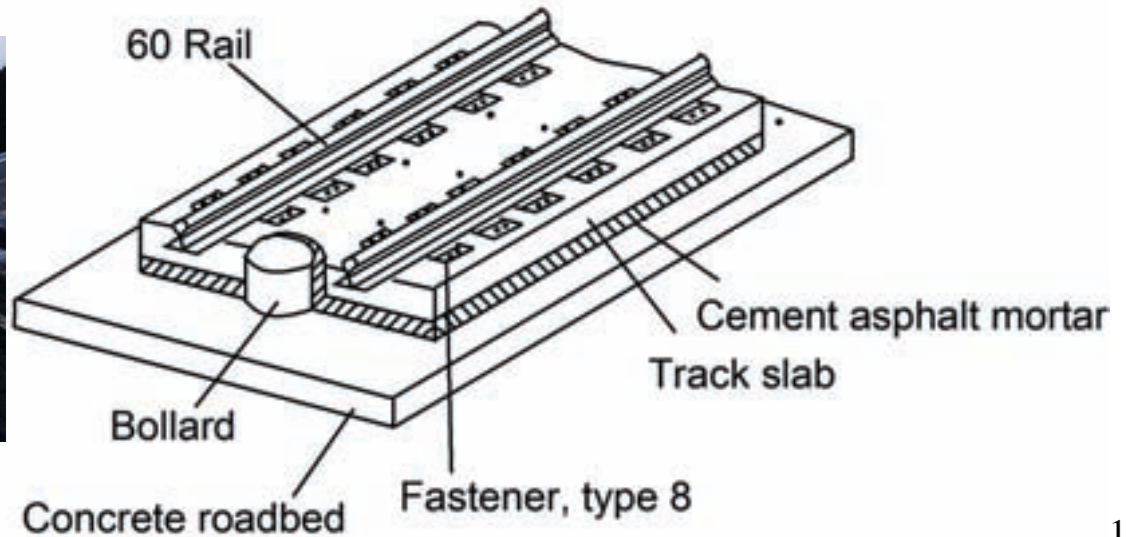
- 提供高速列車運行之軌道
- 提供重軸重列車運行之軌道
- 適用於平面段、高架段與地下段
- 軌床表面簡潔、平整，美觀
- 日本大力推行之軌道



# 日本版式軌道 (3/7)



臺鐵南港溪橋

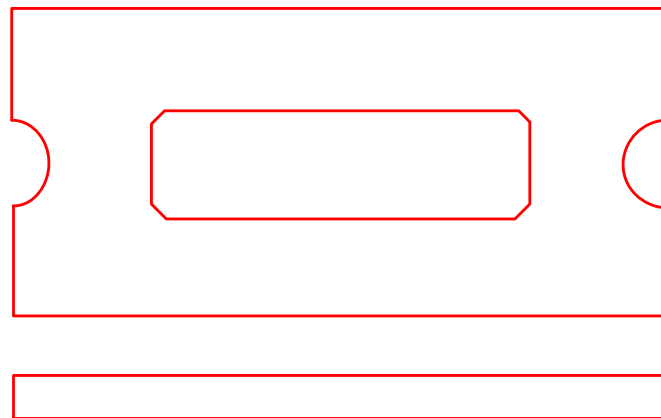




# 日本版式軌道 (4/7)



臺灣高鐵





# 日本版式軌道 (5/7)



臺灣高鐵



## 日本版式軌道（6/7）

- 道版：可在工廠或工地預鑄，依序吊掛安裝在橋面版、隧道底版或仰拱之混凝土基座上，提供鋼軌及扣件安裝之用。
- 防動柱：為阻止道版的縱向與橫向移動，在道版的端部，設有固定於基座混凝土上之鋼筋混凝土結構。



## 日本版式軌道 (7/7)

- CA砂漿：道版與混凝土基座或防動柱之間的填縫材料，全名為瀝青乳劑水泥砂漿(Cement Asphalt Mortar，簡稱CA砂漿)。
- 可調整墊片：鋼軌與墊板之間用來微調軌頂高程之用。其為不織布纖維製成，內可灌入具有適當強度及彈性的環氧樹脂(Epoxy)。



# 日本防振軌道（1/3）

## ■ 振動問題

- 1954年東京都丸之内線池袋~御茶之水間開始營運。
- 1964年東海道新幹線開始營運。



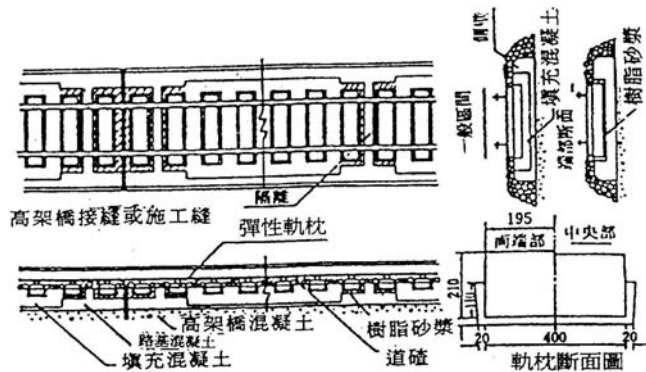


# 日本防振軌道 (2/3)



## ■ 防振改善 (1/2)

- 1974年東京都有樂町線池袋~銀座一丁目間首次將PC軌枕周圍以橡膠被覆後埋入混凝土道床中之**彈性軌枕直結軌道**進行試鋪。





# 日本防振軌道 (3/3)



## ■ 防振改善 (2/2)

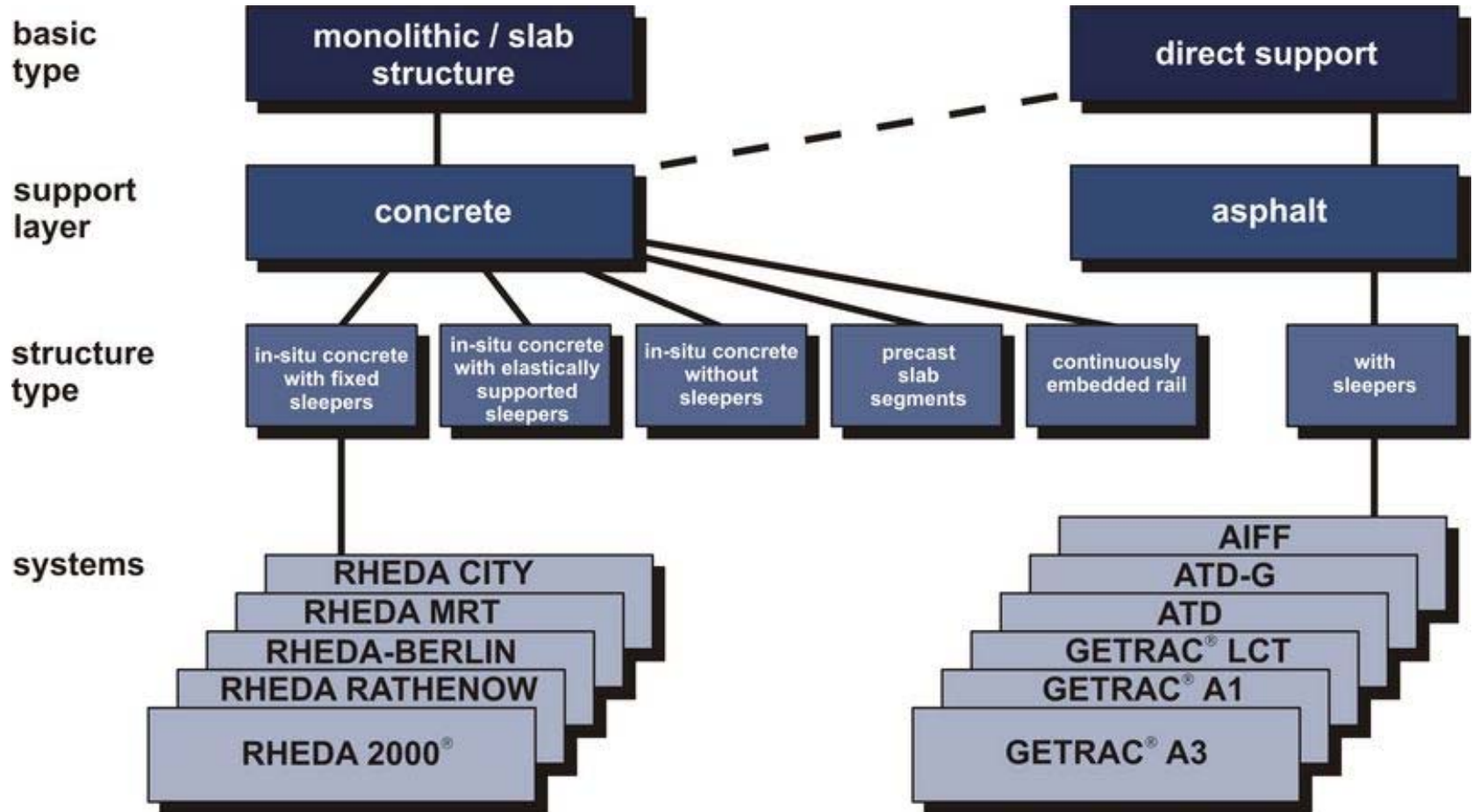
□ 軌枕置於FRP製之防振箱，彼此以合成橡膠製的防振墊片隔離，此為**防振軌枕軌道**。

■ 鐵改局辦理「北迴新線和平至崇德間無道碴防振軌道工程」首次**防振軌枕軌道**引進國內。

北迴新線和平至崇德間防振軌道



# 德國 Rheda 2000 之演進 (1/3)

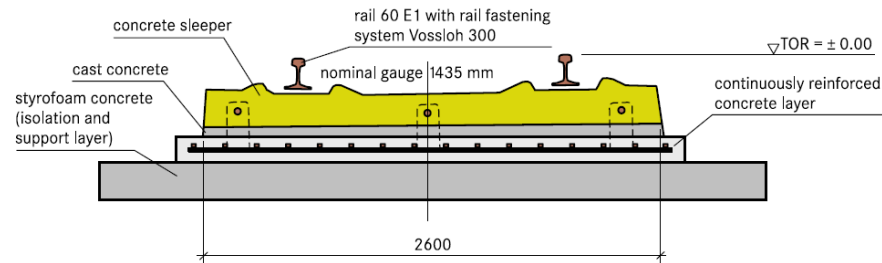




# 德國 Rheda 2000 之演進 (2/3)

## Development stages of the RHEDA design

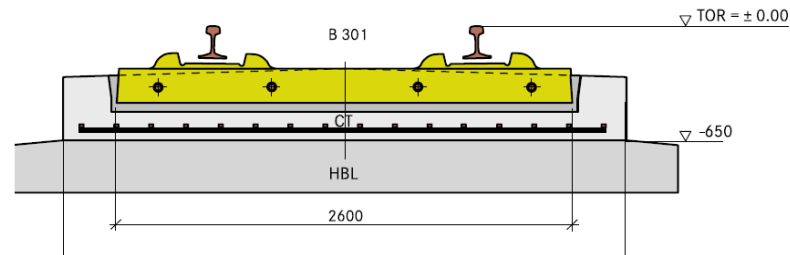
RHEDA (Classic)



>>

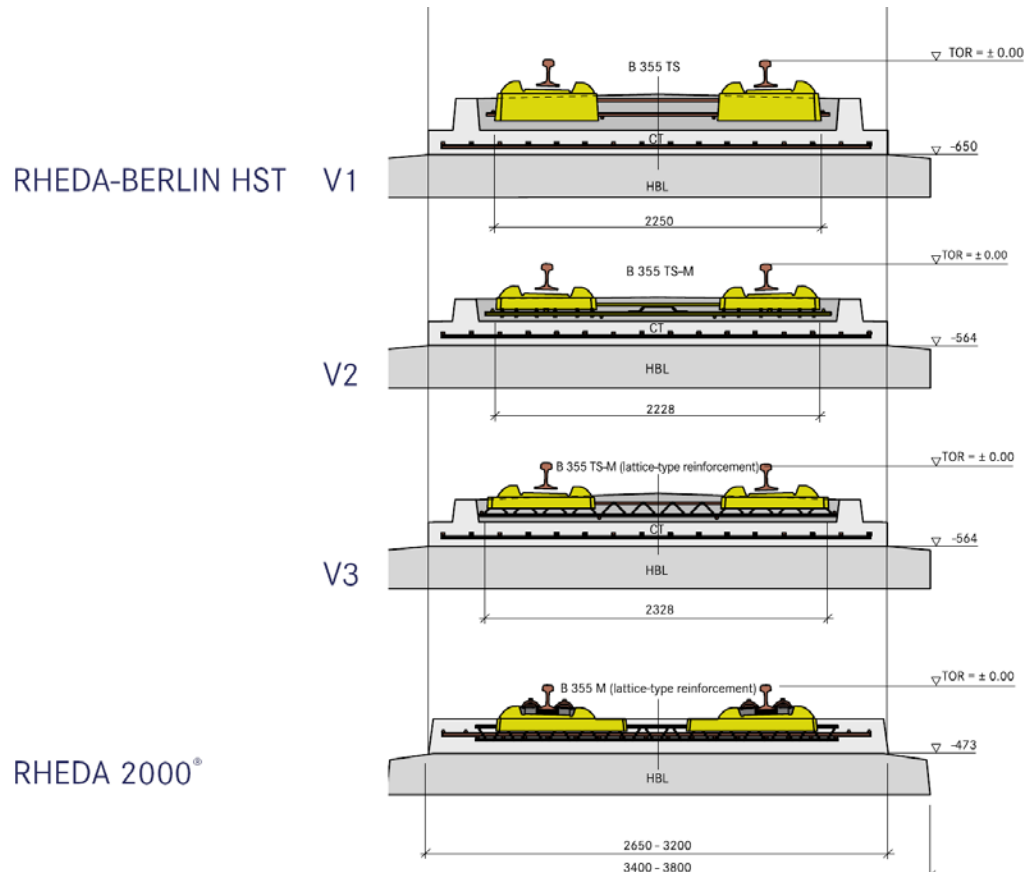
The stages of development of RHEDA technology become evident in comparison of the various track cross-sections.

RHEDA (Sengeberg)



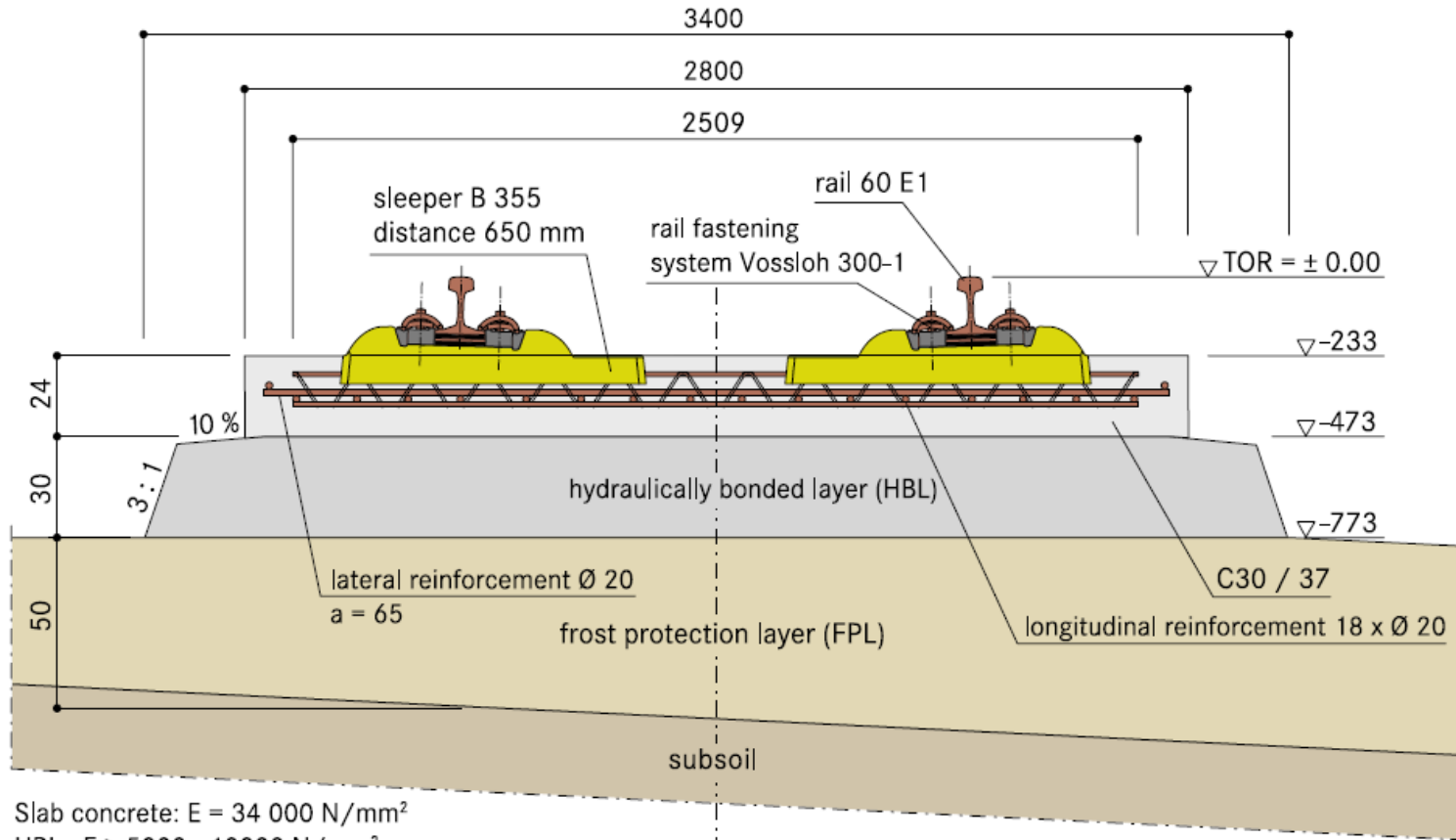


# 德國 Rheda 2000 之演進 (3/3)





# 德國 Rheda 2000 (1/5)



Slab concrete:  $E = 34\,000\text{ N/mm}^2$

HBL:  $E \geq 5000 - 10000\text{ N/mm}^2$

FPL:  $E \geq 120\text{ N/mm}^2$

Subsoil:  $E > 45\text{ N/mm}^2$

Traffic load: UIC 71



## 德國 Rheda 2000 (2/5)

- Rheda 型軌道係於 1972 年試鋪於德國 Bielefeld to Hamm 的一段路線上，以 Rheda 車站命名，即 Rheda City，其後不斷改進而成 Rheda 2000。
- 臺灣高鐵在樹林以北之高架、地下段及全線正線特殊軌區鋪設 Rheda 2000。



# 德國 Rheda 2000 (3/5)

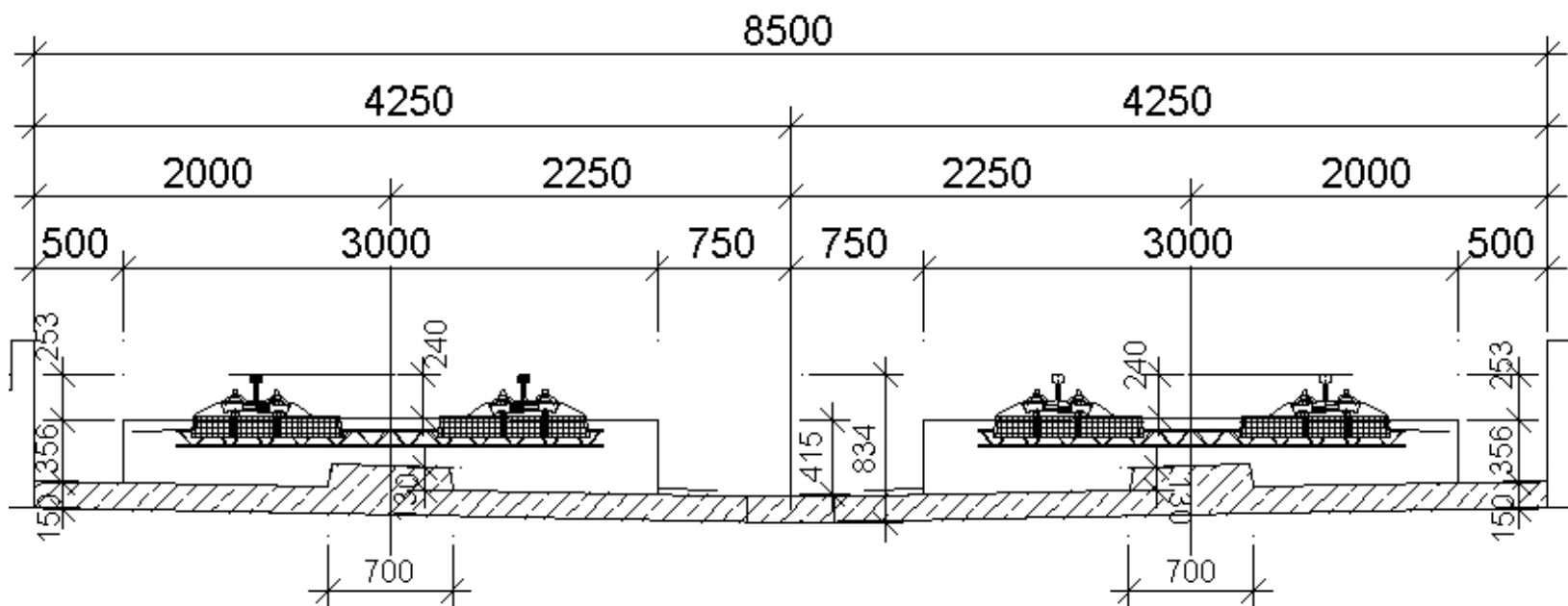
## ■ 特性

- 提供高速列車運行之軌道
- 提供重軸重列車運行之軌道
- 適用於平面段、高架段與地下段
- 軌床表面簡潔、平整，美觀
- 德國大力推行之軌道





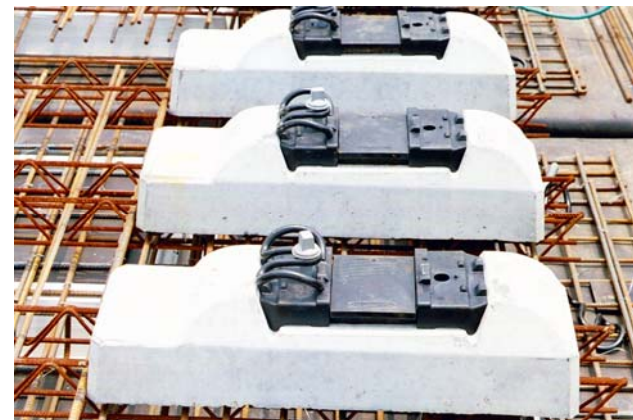
# 德國 Rheda 2000 (4/5)



臺灣高鐵



# 德國 Rheda 2000 (5/5)

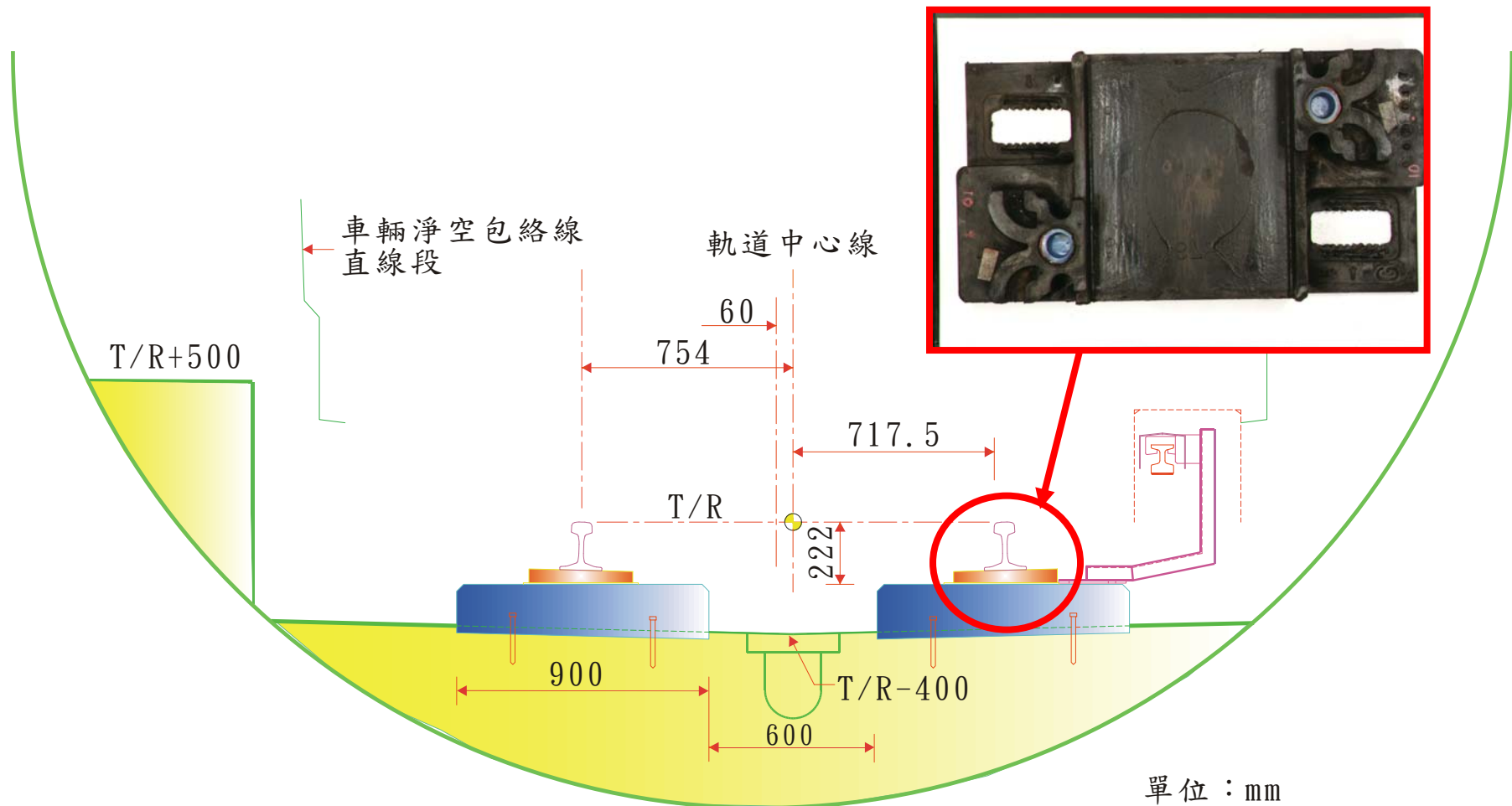


臺灣高鐵 (大漢溪)



# 彈性基鈹軌道

- 北美捷運軌道之主流
- 臺北捷運正線（平面段除外）標準軌道
- 基本構想
  - 枕木與道碴由**混凝土基座**取代
  - 道碴原減振功能由彈性基鈹提供
  - 北美彈性基鈹為粘結式、歐洲常發展非粘結基鈹（第四章討論）
- 不宜用在平面段

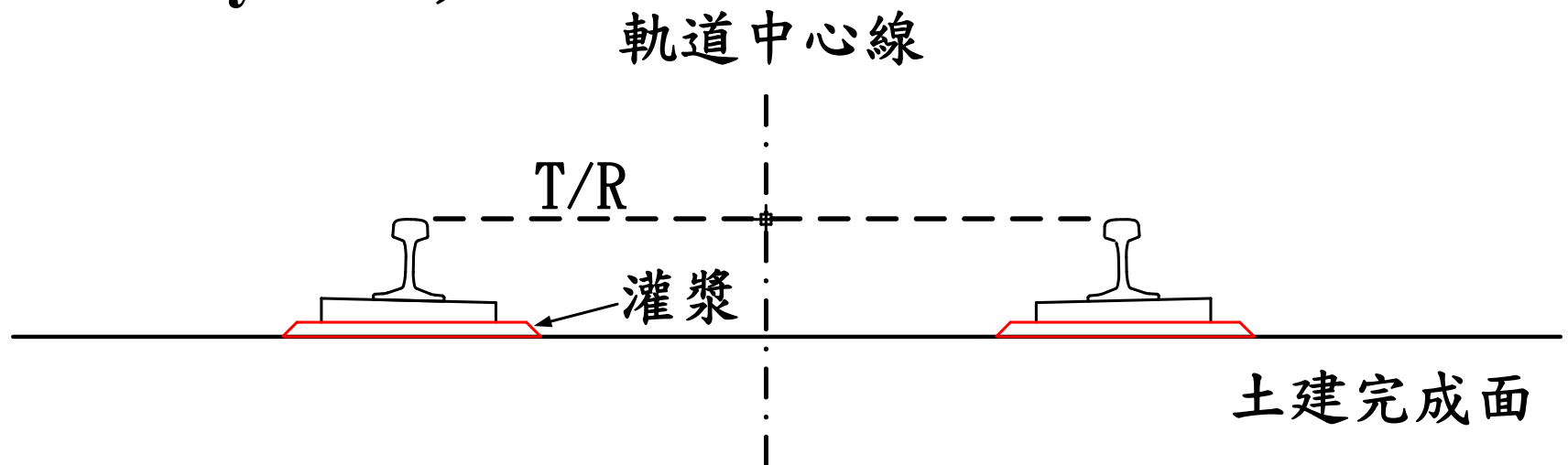


# 彈性基鈹軌道 (DF軌道)



# 混凝土基座型式 (1/4)

## □ 灌漿式基座系統 ( Grout Pad System )

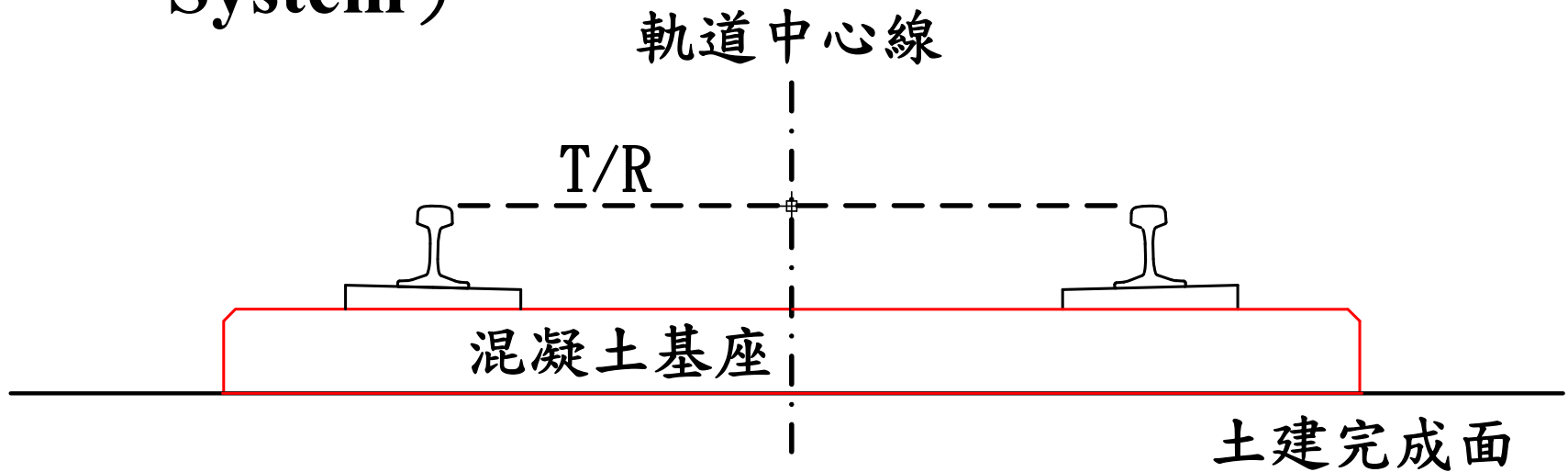


- 1960年代
- 主要用於華盛頓與多倫多捷運系統



## 混凝土基座型式 (2/4)

### □ 整體式道床系統 ( Full Trackbed System )

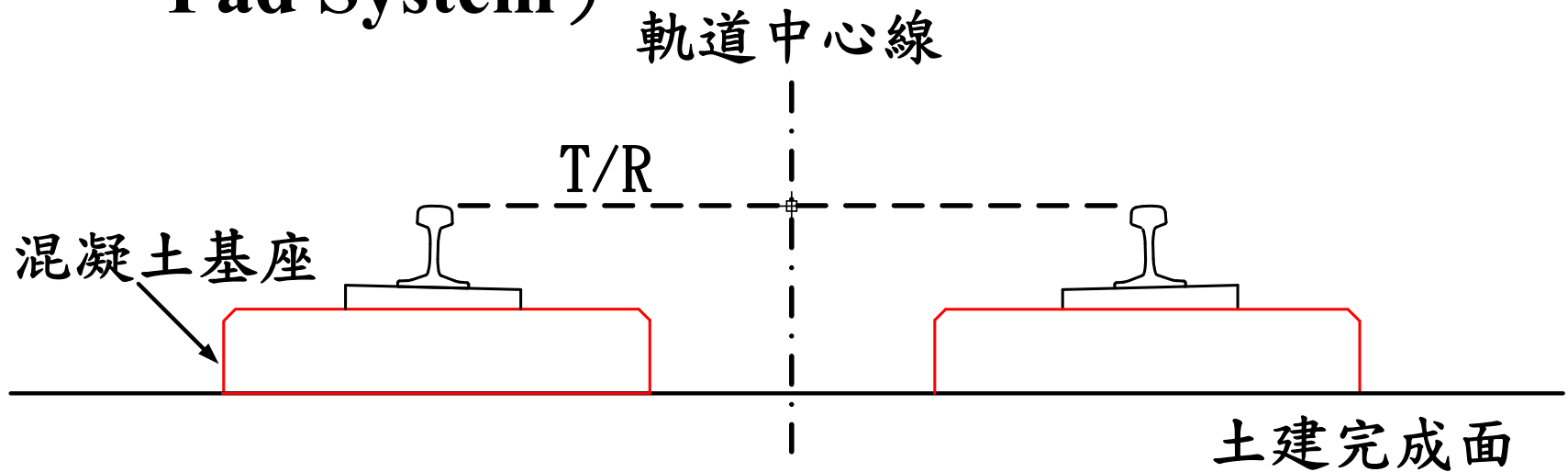


- 大多倫多、鹿特丹等捷運系統曾採用
- BMTA曾建議用於臺北捷運



## 混凝土基座型式 (3/4)

### □ 連續式基座系統 (Continuous Plinth Pad System)

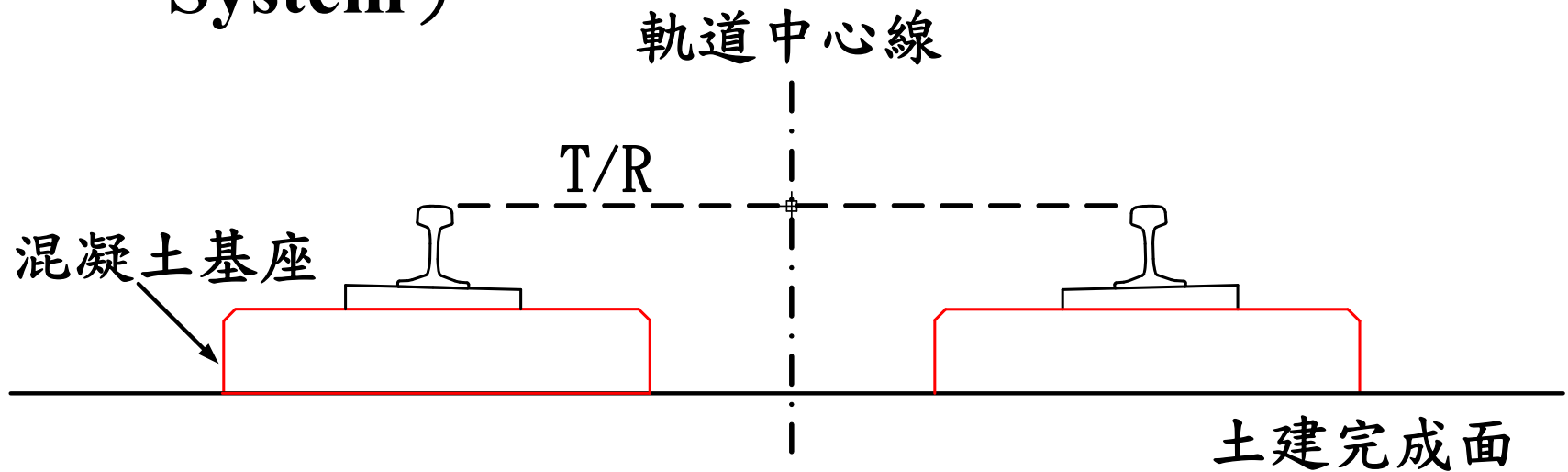


- 美國各大捷運系統如舊金山、華盛頓、亞特蘭大、邁阿密等及香港捷運系統皆被廣泛採用



## 混凝土基座型式 (4/4)

### □ 不連續基座系統 (Discrete Plinth Pad System)

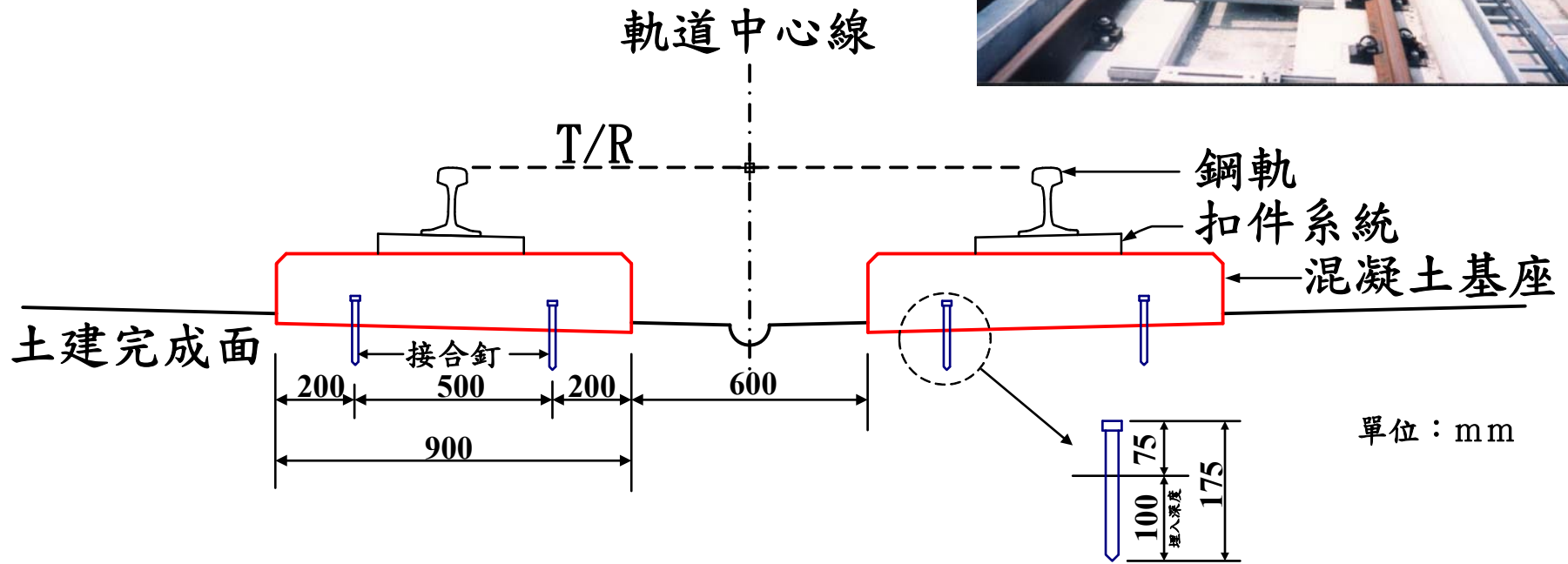


- 基座每間隔約12至15公尺會預留約30公分之間隙，以提供橫向排水或電纜橫向穿越基座之用





# 臺北捷運混凝土基座 (1/5)



- ▶ 土建完成面早期有 T/R-375、T/R-550，目前標準為 T/R-400、洗車線為 T/R-750



# 臺北捷運混凝土基座 (2/5)

## ■ 特性

- 不連續基座系統
- 基座每間隔約12至15公尺或結構伸縮縫處則預留約30公分寬之間隙，俾提供標向排水、管線佈設
- 兩基座間留有約60cm的寬度作為安全走道



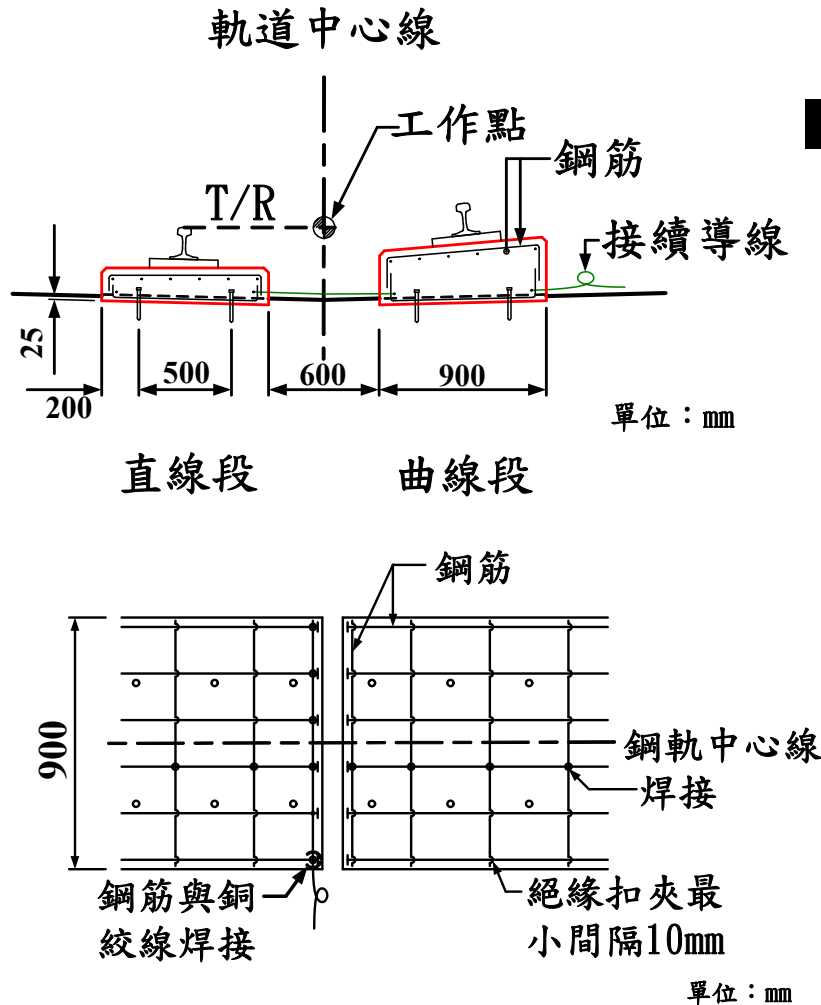
# 臺北捷運混凝土基座 (3/5)

## ■ 特性

- 基座與土建完成面之**楔形**結合 (Key)
- 接合釘 (Steel Dowels) : 土建完成面預留孔位**接合釘**預先經**絕緣處理**後，利用**環氧樹脂**為**粘著劑**，部分**植入**孔內、部分**外露**，以傳遞**負荷**，**減少**施工界面



# 臺北捷運混凝土基座 (4/5)

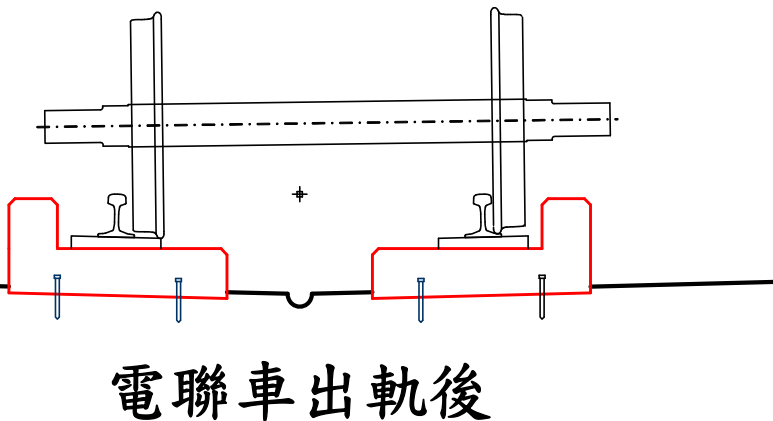
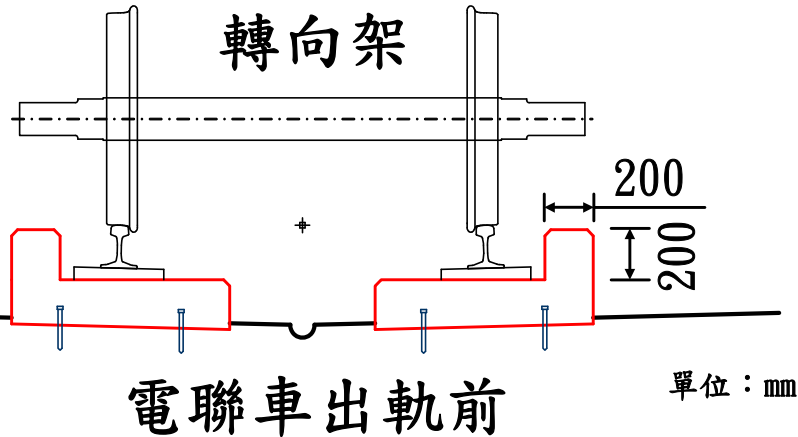


## ■ 特性

□ 軌道基座內之鋼筋以特殊處理連結成截流網作為雜散電流第二道防制措施



# 臺北捷運混凝土基座 (5/5)

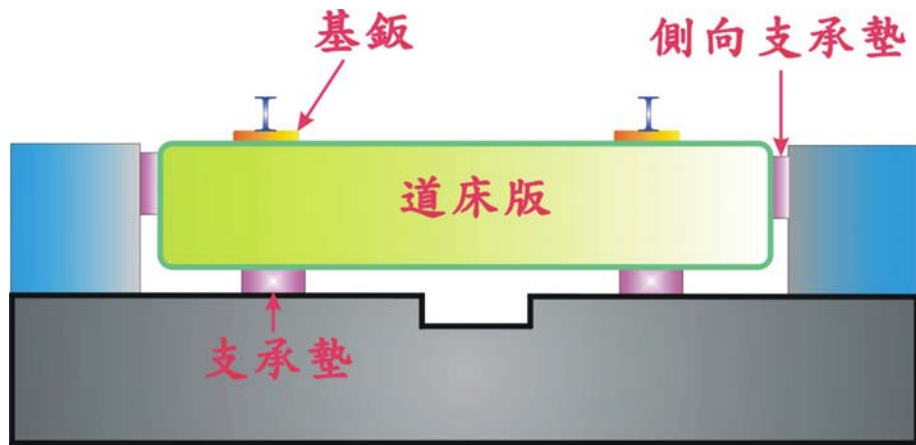


## ■ 特性

- 脫緣石：列車在高架段及地下段有出軌後翻覆之虞者，該處基座外側將另加設高度與厚度各為20公分的緣石 (Curb)，以導引出軌列車



# 浮動式道床



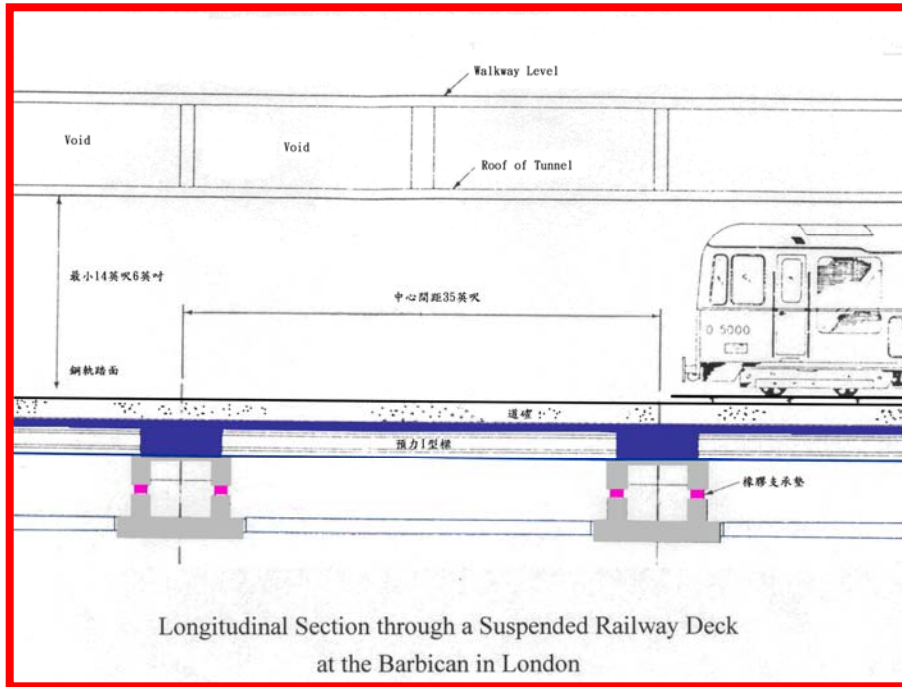
浮動式道床軌道 (Floating Slab Track, FST)

- FST是利用支承墊將道床版與隧道仰拱面或橋面版等土建完成面完全隔離，以阻絕振動之傳遞，其原理是經由加大道床版質量、減小支承墊彈性係數，以降低軌道自然頻率，進而達到隔振、減振功能



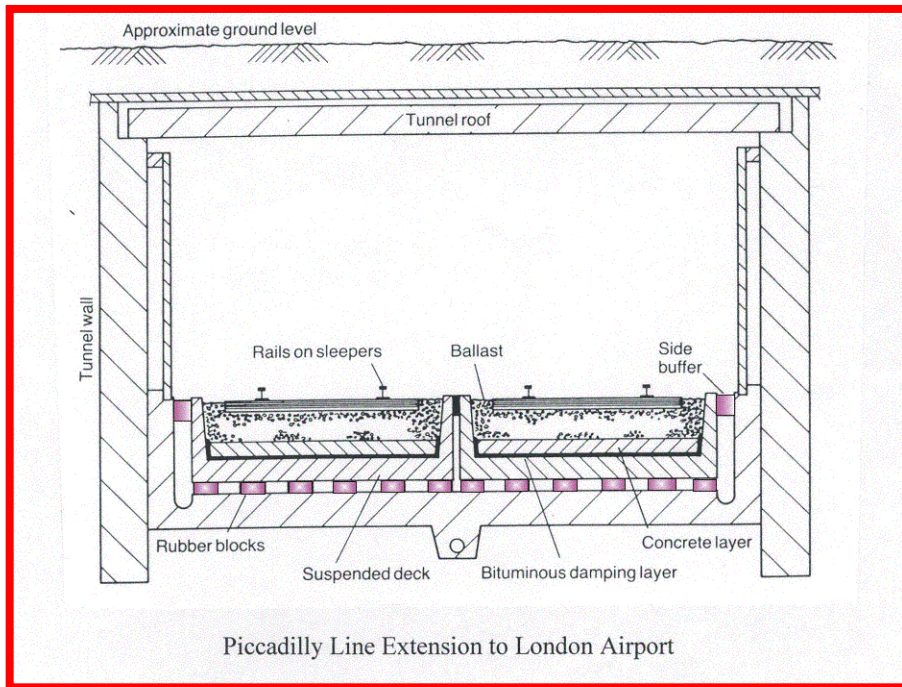
# FST演進 (1/7)

■ 1965 年 英國 The Barbican System , 為FST雛形





# FST演進 (2/7)

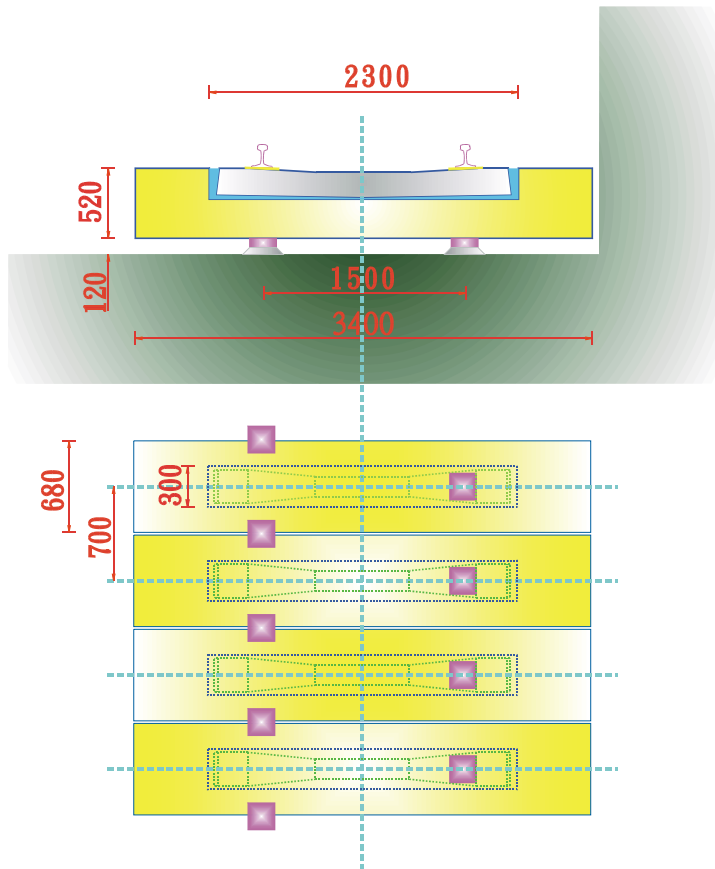


- The Piccadilly Line  
延伸線至倫敦  
Heathrow 機場，因  
局部路段穿越住宅  
區而使用 FST  
(Grootenhuis, 1977)





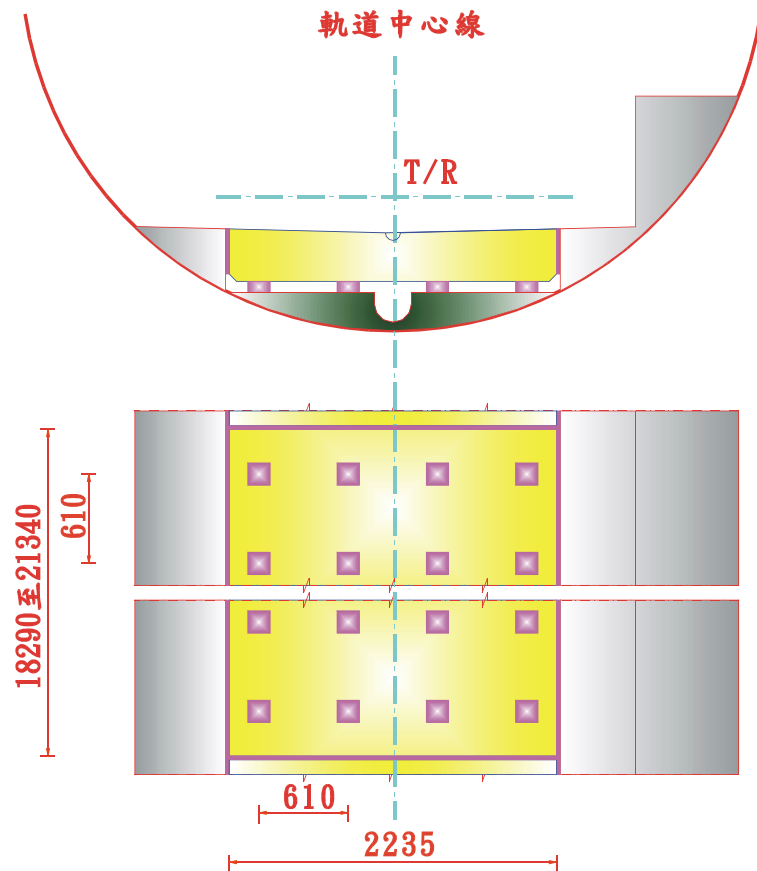
# FST演進 (3/7)



- 1968 至 1970 年間，德國人 J. Eisenmann 為德鐵發展出兩種型式之 FST，並分別用在科隆、慕尼黑以及法蘭克福等城市（Eisenmann，1985）



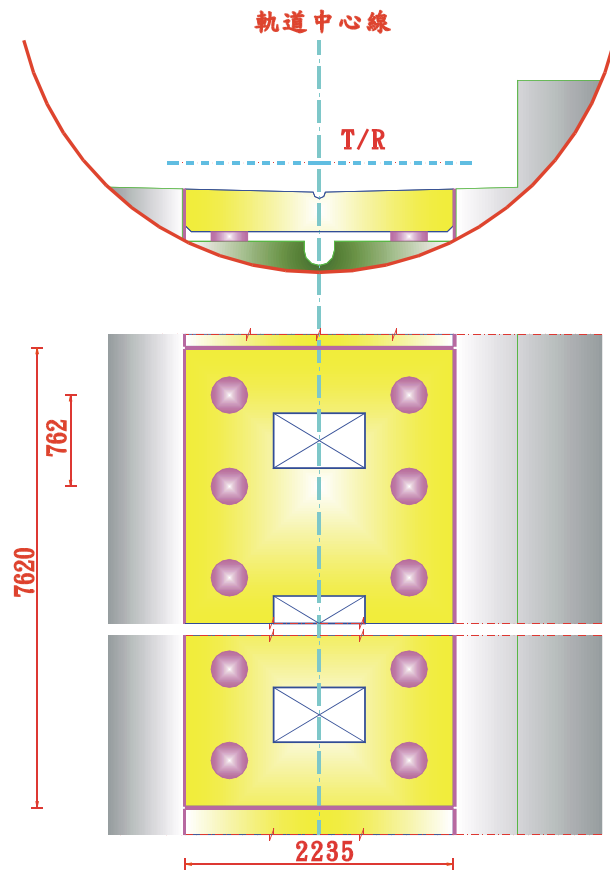
# FST演進 (4/7)



- 1970年代初，華盛頓捷運系統（WMATA）發展連續場鑄混凝土道床版，是美國首先使用FST之捷運系統，稱為第I代FST



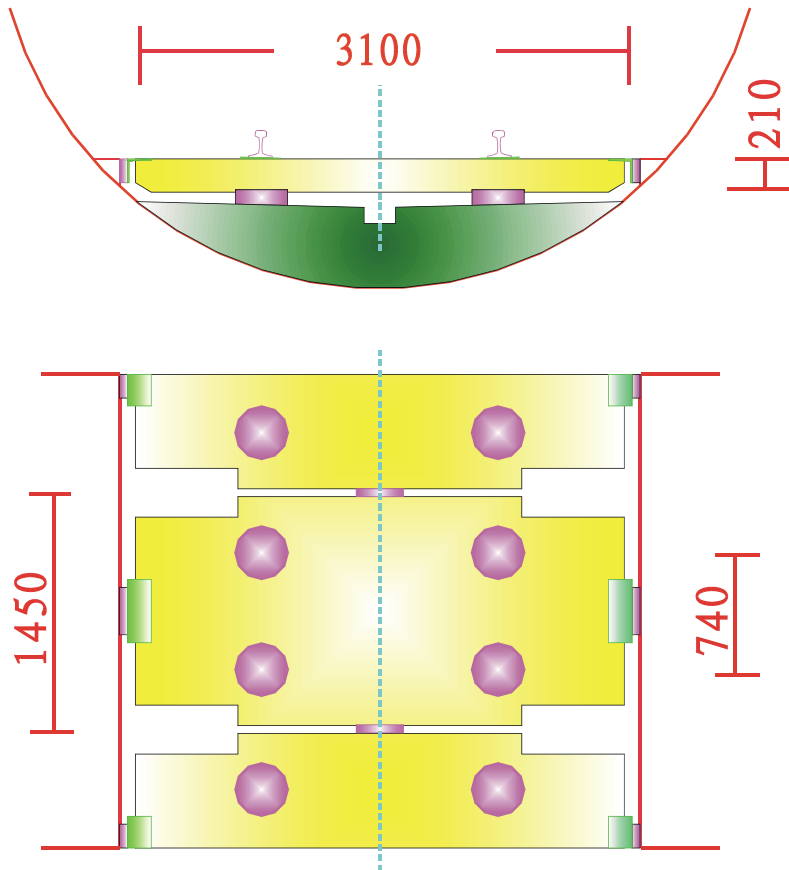
# FST演進 (5/7)



- 1983年經改良後成半連續場鑄混凝土道床版，稱為第Ⅱ代FST



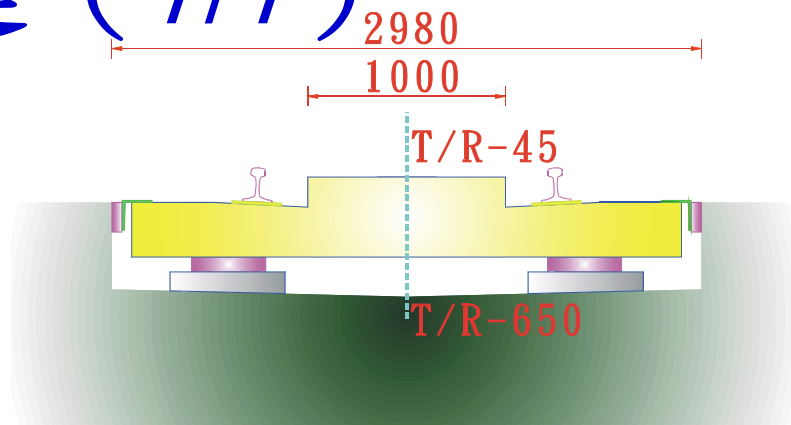
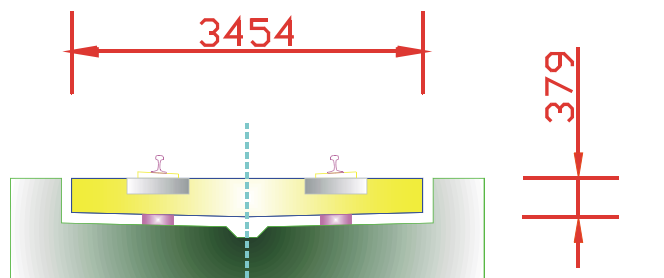
## FST演進 (6/7)



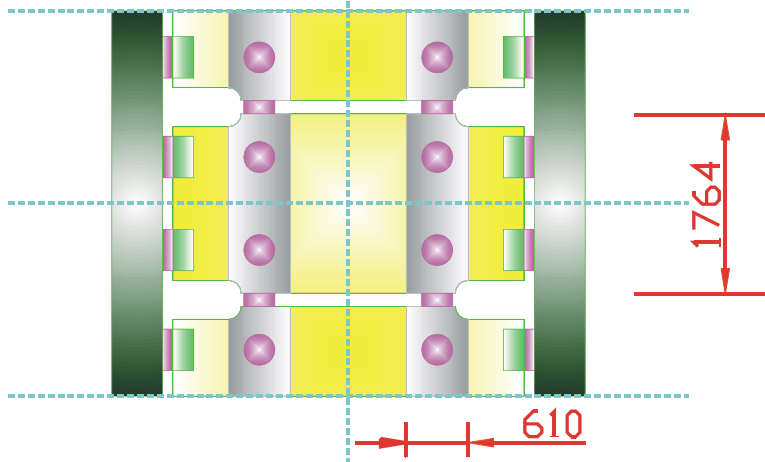
- **Lightweight FST** 之不連續道床版（或稱 Mini道床版）可視為第Ⅲ代FST，為許多捷運系統所採用，包括多倫多、亞特蘭大、洛杉磯、舊金山、香港等，一般皆為預鑄道床版，有時稱為 **Double-Tie System**



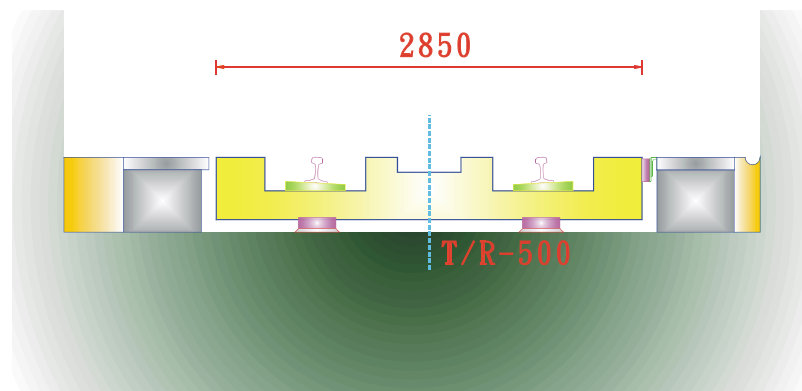
# FST演進 (7/7)



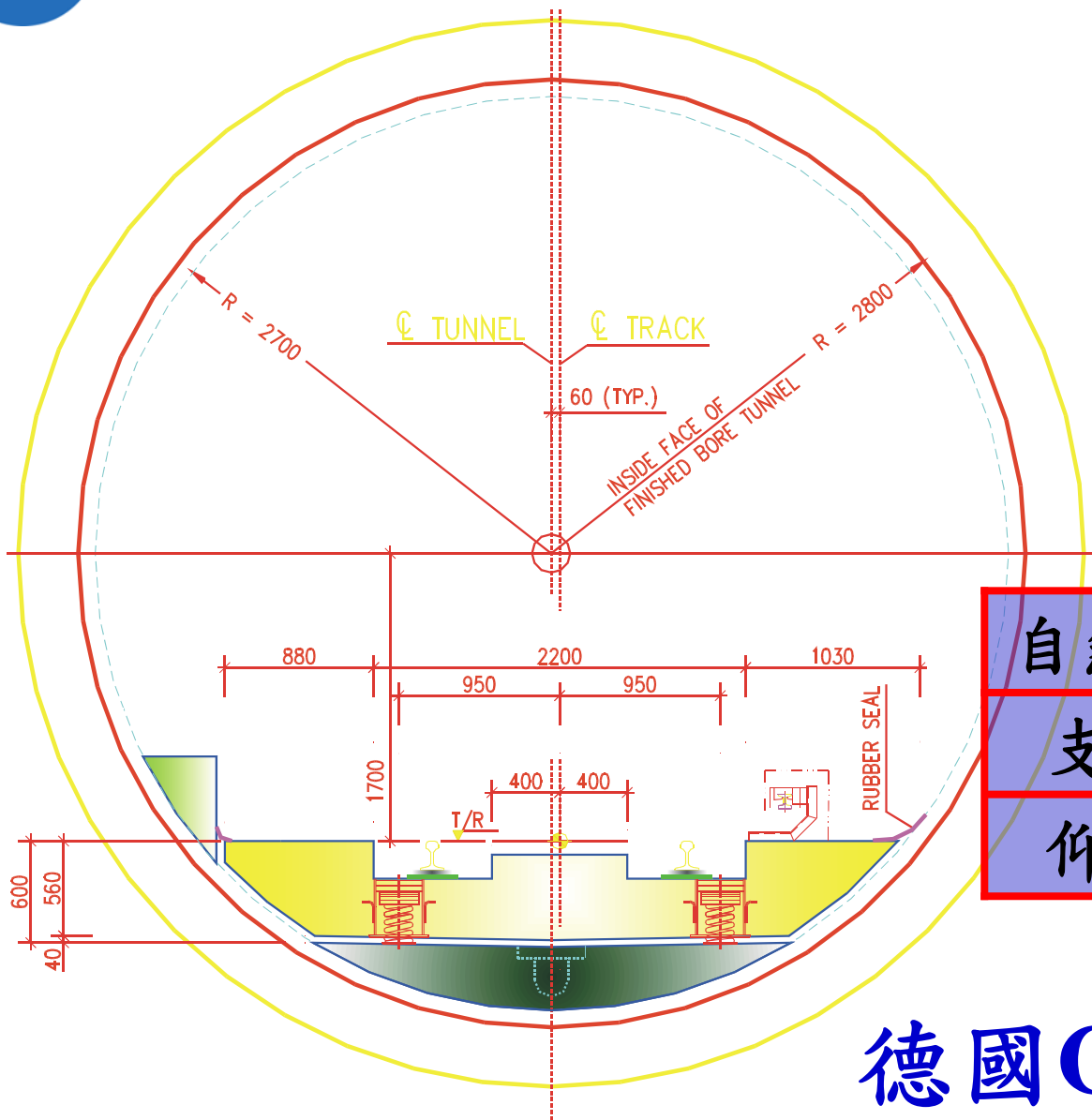
香港荃灣線



舊金山捷運系統FST



香港機場快線



自然頻率	6~8 Hz
支承墊	彈簧
仰拱面	T/R-600

德國 GERB\_FST



# FST定義

將相當質量之道床版，利用離散配置之支承墊與隧道仰拱面或橋面版隔離，以達到大幅降低輪軌振動／噪音之軌道系統。因抽換支承墊將嚴重影響系統營運，故支承墊之材質必須具有高使用壽年，一般常用之材質為橡膠、橡膠混合物、金屬彈簧、玻璃纖維等。



# FST分類 (1/2)

- 有無道碴
  - 道碴式FST
  - 無道碴FST
- 道床版質量
  - Heavyweight之FST
  - Lightweight 之FST





## FST分類 (2/2)

### ■ 道床版長度

- 連續場鑄混凝土道床版
- 半連續場鑄混凝土道床版
- Mini道床版

### ■ 支承墊材質

- 橡膠支承墊之FST
- 非橡膠支承墊之FST



# 各系統FST特性

項目	美國 華盛頓捷運 1973年	美國 華盛頓捷運 1983年	加拿大 多倫多捷運 1978年	香港 荃灣線捷運 1982年	香港 機場快線 1998年	香港 西鐵 施工中	德國 Eisemann 1968年	新加坡 捷運 1987年
潛盾隧道內徑(mm) (含曲線與超高)	5080	5080	4880	5300	無	可能有	無	5080
道版尺寸(mm) (長*寬*厚)	18290*2235* 330	7620*2235* 330	1450*3100* 210	1450*2300* 340 1750*2780* 280	1250*2850* 193	1250*2583* 390	680*3400* 520	690*3500* 480 690*4100* 480
垂向支承墊(mm)	□152*76 □152*51	305 § *76	330 § *75	300 § *75 375 § *75	375 § *75	315 § *75	□200*69	□235*69 □275*69
支承墊間距 (mm)	縱向	610	762	740	750	650	700	700
	橫向	610	1524	1500	1400	1500	1500	1600 ~ 1900
支承墊基座	未處理	未處理	未處理	有	有	未處理	灌漿	灌漿
間隙(mm)	縱向	25	25	40	50	50	20	10
	橫向	25	25	100	100	100	無限制	無限制
縱向/側向隔離材	皆有	皆有	皆有	皆有	皆有	皆有	無	無
垂向自然頻率(Hz)	15 - 18	15 - 18	18 - 22	11 - 15	11 - 15	11 - 15	10 - 12	< 16
垂向 K 值(KN/mm)	0.525 - 0.84	3.5	8.0 - 11.94		8.0	4.7 - 5.8	5.86 - 8.44	5.25 - 7.31
相似系統	—	—	華盛頓	多倫多	香港捷運	香港捷運	—	德國



# 臺北捷運FST

## ■ 背景說明

- 初期路網振動噪音評估無需設置FST
- 通車後民眾對振動噪音之要求遠高於國際標準
- 因應未來振動相關法令
- 新蘆線開始引進FST用在地下穿越段
- 信義、松山線擴及至正線特殊軌區



# 臺北捷運FST

## ■ FST諸元

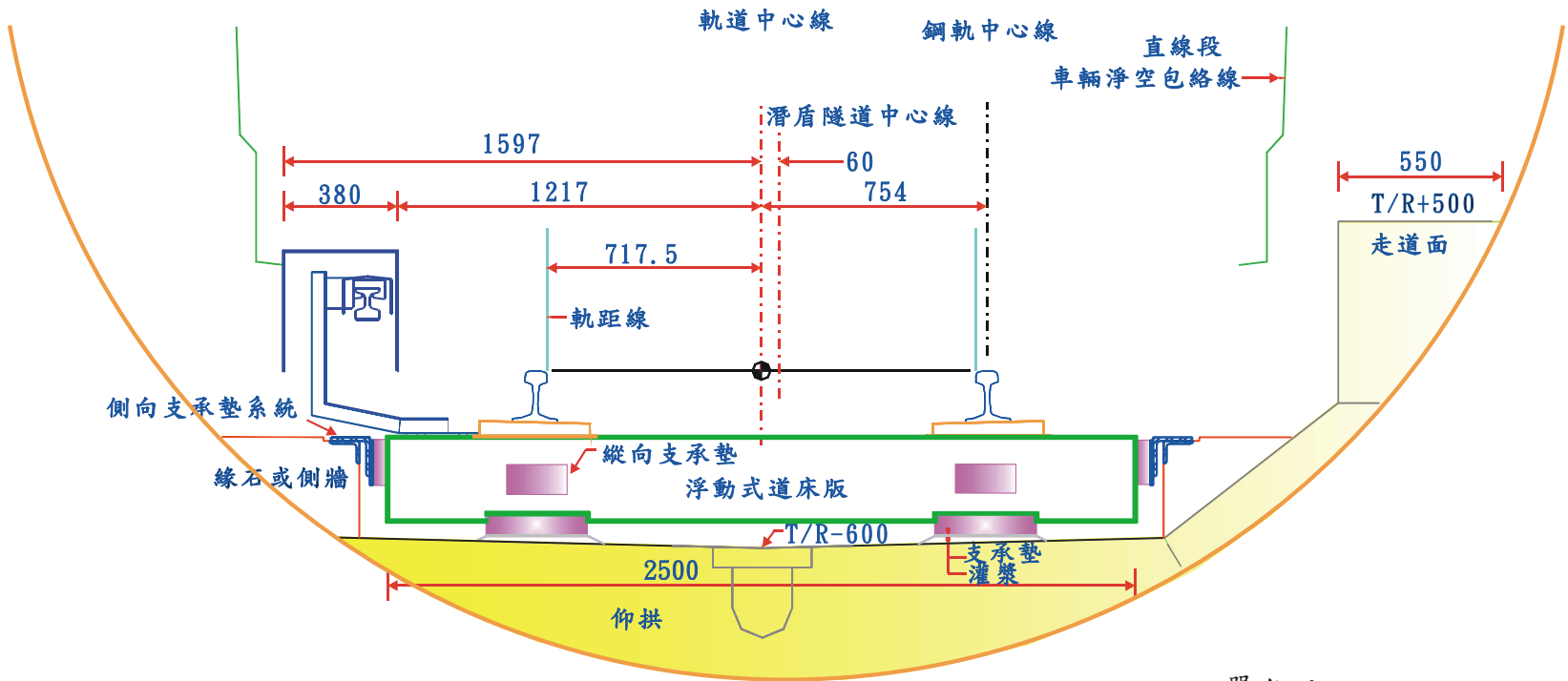
- 道床版：Mini道床版
- 支承墊：採開放，以橡膠材質為主
- 附屬設施：縱向／側向之周邊隔離材、檢視／維修空間或途徑

## ■ 基本參數

- 無負荷下自然頻率不得大於18Hz
- 土建完成面約預至T/R-600~680mm



# 臺北捷運FST



單位：mm



# 傳統FST缺點與改善創新

項 目	原因或改善措施
PU 支承墊在反覆負荷及長時間暴露在環境因子下快速劣化	WMATA 第 I 代 FST 案例，為製造商不當之硫化處理所致
地下水滲入帶入細砂聚集於支承墊四周，致支承墊功能喪失	經灌漿填補縫隙及水柱清洗後，支承墊之功能回復
造價為一般軌道之 3 至 5 倍	大量使用彈性材及費時費工
壽年不易評估	視支承墊之使用年限而定
支承墊維修檢視不易	WMATA 第 I 代 FST 案例，後續 FST 已預留空間或途徑
列車行駛因 Bending Wave，導致低頻隆隆噪音，衍生車廂內與月台上候車之乘客抱怨	WMATA 第 I 代 FST 案例，採用不連續道床版、彈性基鈹、適當側向與縱向材隔離