

國立交通大學

工學院專班營建技術與管理組

碩士論文

日本與德國版式軌道施工探討
-以台灣高鐵為例

A Comparative Study of Constructability for Japanese and German Slab Tracks
-Lessons Learned from Taiwan High Speed Railway Project

研究生：蔡坤憲

指導教授：曾仁杰博士

中華民國九十五年十一月

日本與德國版式軌道施工探討-以台灣高鐵為例

A Comparative Study of Constructability for Japanese and German Slab Tracks
-Lessons Learned from Taiwan High Speed Railway Project

研 究 生：蔡坤憲

Student : Kun-Hsien Tsai

指 導 教 授：曾仁杰

Advisor : Ren-Jey Dzung

國 立 交 通 大 學

工學院專班營建技術與管理組



Master Degree Program of Construction Technology and Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Program of Construction Technology and Management

September 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十五年 十一月

日本與德國版式軌道施工探討-以台灣高鐵為例

研究生：蔡坤憲

指導教授：曾仁杰

國立交通大學工學院碩士在職專班營建技術與管理學程

中文摘要

台灣高速鐵路此次引進世界軌道技術牛耳的日本與德國 Rheda 2000 版式軌道系統，且軌道型式均屬最新發展之版式軌道型式；分別為應用在主線上的日本 AF-55 版式軌道與車站區的德國 Rheda 2000 版式軌道。然而坊間文獻中所介紹有關日本與德國版式軌道除介紹之型式較舊外，大部分是介紹軌道結構型式與施工方法，鮮少進一步探討在軌道施工過程中其他相關問題。因此本論文為針對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道系統作一系列之探討與分析。

本論文之研究方法主要是以專家訪談與資料整理為主，再以表格的方式做兩軌道系統的比較，探討內容包括軌道興建過程中之施工進度、施工品質與施工成本。相關研究成果如下：

- (一) 在施工進度方面，日本 AF-55 版式軌道之預鑄軌道版之預鑄工率低於德國 Rheda2000 版式軌道之預鑄軌枕。日本 AF-55 版式軌道之整體施工速率高於德國 Rheda2000 版式軌道。
- (二) 在施工品質方面，日本 AF-55 版式軌道之預鑄軌道版其預鑄不合格率低於德國 Rheda2000 版式軌道的預鑄軌枕。日本 AF-55 版式軌道施工複雜性與品質管制項目多於德國 Rheda2000 版式軌道。
- (三) 在施工成本方面，日本 AF-55 版式軌道之材料、機具、設備與人力成本均高於德國 Rheda2000 版式軌道。
- (四) 以台灣目前之營造環境下，建議使用日本 AF-55 版式軌道。

關鍵詞：台灣高速鐵路、日本 AF-55 版式軌道、德國 Rheda 2000 版式軌道

A Comparative Study of Constructability for Japanese and German Slab Tracks
-Lessons Learned from Taiwan High Speed Railway Project

Student : Kun Hsien Tsai

Advisor : Ren Jey Dzung

Master Degree Program of Construction Technology and Management
College of Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The track systems adopted by Taiwan High Speed Rail (THSR) are Japanese AF-55 and German Rheda 2000 track systems, which are classified as the top technology of track systems in the world as well as are the newest types of slab tracks. The Japanese AF-55 slab track is used on the main line, while the German Rheda 2000 slab track is used around Station of THSR. It is noticed that the track types were out-of-fashion introduced in most of the published books and studies. They rarely discuss the related issued that may encounter during construction stage but just introduced the types structures and construction methods.

Therefore, this thesis will explore and analyze three aspects of Japanese AF-55 and German Rheda 2000 slab track systems, this is, the construction progress, quality and cost during track construction stage.

The research method of this thesis includes track expert interview, information collection and comparison of the two track systems shown in tables. The performances of the study are as below:

1. In terms of construction progress, German Rheda 2000 is superior to Japanese AF-55 in precast production rate but inferior in field construction rate.
2. In terms of construction quality, Japanese AF-55 precast plate has a lower percentage of non-conformances than German Rheda 2000 precast sleeper in precast plant. Japanese AF-55 slab track has more complicated building factors and more quality control items than German Rheda 2000 slab track.
3. In terms of construction cost: the material, equipment, plant and labour of Japanese AF-55 slab track cost greatly more than German Rheda 2000 slab track.
4. It is suggested that Taiwan adopts Japanese AF-55 slab track based on Taiwan's current construction environment.

Keywords : THSR 、 Japanese AF-55 slab track 、 German Rheda 2000 slab track.

誌 謝

本論文得以順利完成，首先感謝指導教授曾仁杰博士，在研究過程中，不斷提供在研究方向與內容之寶貴意見，謹致上最深謝意。

論文口試期間，承蒙劉福勳教授、潘南飛教授、王維志教授、余文德教授與楊智斌教授、於百忙之中不辭辛勞惠賜寶貴意見，在此一併致上衷心的謝意。

論文撰寫期間，感謝台灣高鐵高級工程師魏早勇、潘德森(John Lee Pattinson)、專業工程師皮特森(Blaine O. Peterson)、張介源、黃志明、副工程師陳文亮、彭麗惠、助理工程師謝俊傑，台灣新幹線軌道工事共同企業體工程師黃旭興、陳鴻偉、何家賢、徐鴻鈞、陳成功、蘇志堯、顏嘉毅、季彼得(Peter Gillard)，森業營造軌道事業處專案經理黃文宗，日商華大林組工程師王明進，展群營造 WB3-2 工程師等提供相當多寶貴經驗與資料，在此也由衷表達感謝之意。

最後感謝我最親愛的家人—父親蔡清順、母親莊金雀、大姊蔡杏華、姐夫陳進興、大哥蔡明樹與大嫂楊淑媛，在我人生成長的每一個階段給予無限的關懷與支持，讓我能夠在每每遭遇失敗與挫折時，有再站起來的勇氣與信心。另外也感謝一路陪伴我的朋友—郭景偉、徐健華、武允昌、黃志宜與荳子，您們默默的支持與陪伴，是我另一個人生成長的支柱。

感謝以上每一個人的支持與鼓勵，坤憲與您們分享完成碩士學業的快樂與喜悅，也祝福大家身體健康、幸福美滿。

坤憲 于民國 95 年 11 月 新竹交大

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究內容與方法.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 高速鐵路之源起.....	4
2.2 版式軌道介紹.....	6
2.2.1 版式軌道的分類.....	7
2.2.2 版式軌道的施工.....	8
2.3 日本版式軌道之發展.....	10
2.3.1 日本版式軌道之結構型式.....	11
2.3.2 日本版式軌道的類型與符號.....	15
2.4 德國 Rheda 版式軌道之發展.....	15
2.4.1 Rheda 型式之發展.....	17
2.4.2 Rheda 版式軌道之施工.....	19
2.5 工法評估文獻.....	21
第三章 台灣高速鐵路軌道系統.....	24
3.1 日本 AF-55 版式軌道系統.....	24
3.1.1 軌道設計理念.....	24
3.1.2 軌道施工流程.....	26
3.2 德國 Rheda 2000 版式軌道系統.....	35
3.2.1 軌道設計理念.....	35
3.2.2 軌道施工流程.....	37
第四章 版式軌道施工管理之探討與比較分析.....	46

4.1	施工進度探討.....	46
4.1.1	軌道施工工率.....	46
4.1.1.1	預鑄工率.....	46
4.1.1.2	現場軌道施工工率.....	50
4.1.2	影響施工進度因素.....	57
4.1.2.1	施工限制.....	57
4.1.2.2	軌道施工相容性.....	66
4.1.2.3	軌道材料運輸性.....	71
4.1.2.4	軌道調整性.....	75
4.2	施工品質管制探討.....	81
4.2.1	預鑄品質管制探討.....	81
4.2.2	場鑄品質管制探討.....	94
4.2.3	軌道構件安裝品質管制探討.....	111
4.3	施工成本探討.....	121
4.3.1	材料成本.....	121
4.3.2	機具成本.....	126
4.3.3	設備成本.....	137
4.3.4	人力成本.....	140
第五章	結論與建議.....	160
5.1	結論.....	160
5.1.1	施工進度.....	160
5.1.2	施工品質.....	160
5.1.3	施工成本.....	161
5.2	建議.....	162
	參考文獻.....	164
	附錄.....	166
	簡歷.....	167



表目錄

表 2-1	世界各國高速鐵路統計表.....	5
表 2-2	版式軌道分類表.....	7
表 2-3	日本版式軌道類型表.....	11
表 2-4	日本版式軌道編號對照表(一).....	15
表 2-5	日本版式軌道編號對照表(二).....	15
表 2-6	德國版式軌道類型表.....	16
表 2-7	工法評估文獻整理表.....	22
表 3-1	日本 AF-55 版式軌道結構組成單元尺寸表.....	24
表 3-2	德國 Rheda 2000 軌道結構組成單元尺寸表.....	35
表 4-1	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄單元資料表.....	47
表 4-2	日本 AF-55 預鑄軌道版預鑄廠資源表.....	47
表 4-3	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版預鑄生產工率與鋪設距離對照表.....	48
表 4-4	德國 Rheda 2000 預鑄軌枕預鑄廠資源表.....	48
表 4-5	德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌道版預鑄生產工率與鋪設距離對照表.....	48
表 4-6	德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表(一).....	49
表 4-7	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表.....	50
表 4-8	德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表(二).....	50
表 4-9	日本 AF-55 版式軌道下部結構施工速率表.....	52
表 4-10	日本 AF-55 版式軌道上部結構軌道單元施工速率表.....	52
表 4-11	德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構施工速率表.....	53
表 4-12	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構軌道單元施工速率表.....	54
表 4-13	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工速率整理表.....	56
表 4-14	氣候施工限制影響說明表.....	57
表 4-15	軌道線形施工限制影響說明表.....	59
表 4-16	土建結構施工限制影響說明表.....	60
表 4-17	施工時間施工限制影響說明表.....	62
表 4-18	材料強度等待時間施工限制影響說明表.....	63
表 4-19	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工限制影響程度表.....	65
表 4-20	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要材料運輸影響說明表.....	71
表 4-21	日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(CA 砂漿)表.....	76
表 4-22	日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(可調整鋼軌墊片)表.....	76
表 4-23	日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(調整鋼板)表.....	77

表 4-24	日本 AF-55 版式軌道水平線型調整單元(基鈹)表.....	77
表 4-25	德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(鋼軌墊片)表.....	77
表 4-26	德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(彈性基板)表.....	78
表 4-27	德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(高度調整鋼板)表.....	78
表 4-28	德國 Rheda 2000 版式軌道水平線型調整單元(角度導板)表.....	79
表 4-29	日本 AF-55 版式軌道調整說明表.....	79
表 4-30	德國 Rheda 2000 版式軌道調整說明表.....	80
表 4-31	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道品質管制探討說明表.....	81
表 4-32	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄單元生產不合格率統計表...	92
表 4-33	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄軌道單元統計表.....	94
表 4-34	日本 AF-55 版式軌道場鑄軌道單元品質不合格報告書(NCR)分析統計表..	95
表 4-35	德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄軌道單元品質不合格報告書(NCR)分析統計表.....	97
表 4-36	日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表.....	99
表 4-37	德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表.....	103
表 4-38	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄與預鑄混凝土數量表.....	110
表 4-39	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道構件安裝施工項目統計表.....	111
表 4-40	日本 AF-55 版式軌道軌道構件安裝不合格報告書(NCR)分析統計表.....	111
表 4-41	德國 Rheda 2000 版式軌道構件安裝不合格報告書(NCR)分析統計表.....	113
表 4-42	日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表.....	115
表 4-43	德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表.....	117
表 4-44	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道鋼筋數量與成本統計表.....	121
表 4-45	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道鋼筋成本比例表.....	122
表 4-46	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板數量與成本統計表.....	122
表 4-47	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板成本比例表.....	123
表 4-48	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道混凝土數量與成本統計表.....	123
表 4-49	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板成本比例表.....	124
表 4-50	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道特殊軌道材料數量與成本統計表	124
表 4-51	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道材料成本統計表.....	125
表 4-52	日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土主要機具統計表.....	126
表 4-53	日本 AF-55 版式軌道臨時軌道安裝主要機具統計表.....	127
表 4-54	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝主要機具統計表.....	128
表 4-55	日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注主要機具統計表.....	129
表 4-56	日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝與整正主要機具統計表.....	130
表 4-57	日本 AF-55 版式軌道可調整鋼軌墊片灌注主要機具統計表.....	131
表 4-58	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段保護層混凝土與冠版主要機具統計表.....	131

表 4-59	德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段整平層層混凝土主要機具統計表.....	132
表 4-60	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段水力結合層主要機具統計表.....	132
表 4-61	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段地樑主要機具統計表.....	133
表 4-62	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段整平層混凝土主要機具統計表.....	133
表 4-63	德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌分配主要機具統計表.....	134
表 4-64	德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕分配主要機具統計表.....	134
表 4-65	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段彈性隔離膜與承載墊片安裝主要機具統計表.....	134
表 4-66	德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕鋪設主要機具統計表.....	135
表 4-67	德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌安裝與軌道整正主要機具統計表.....	135
表 4-68	德國 Rheda 2000 版式軌道道版混凝土主要機具統計表.....	136
表 4-69	德國 Rheda 2000 版式軌道調整主要機具統計表.....	136
表 4-70	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道機具統計表.....	137
表 4-71	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版預鑄廠設備表.....	138
表 4-72	德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕預鑄廠設備表.....	138
表 4-73	日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿材料儲存設備表.....	139
表 4-74	日本 AF-55 版式軌道軌道版預鑄廠人力成本統計表.....	140
表 4-75	日本 AF-55 版式軌道橋樑段場鑄混凝土人力成本統計表.....	141
表 4-76	日本 AF-55 版式軌道路工段場鑄混凝土人力成本統計表.....	142
表 4-77	日本 AF-55 版式軌道隧道段場鑄混凝土人力成本統計表.....	143
表 4-78	日本 AF-55 版式軌道臨時軌道鋪設人力成本統計表.....	144
表 4-79	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝人力成本統計表.....	145
表 4-80	日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注人力成本統計表.....	146
表 4-81	日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝人力成本統計表.....	147
表 4-82	日本 AF-55 版式軌道整正人力成本統計表.....	148
表 4-83	日本 AF-55 版式軌道可調整鋼軌墊片灌注人力成本統計表.....	149
表 4-84	德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕預鑄廠人力成本統計表.....	150
表 4-85	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段保護層與冠版混凝土人力成本統計表....	151
表 4-86	德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段整平層混凝土人力成本統計表.....	152
表 4-87	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段水力結合層人力成本統計表.....	153
表 4-88	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段整平層混凝土人力成本統計表.....	154
表 4-89	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段地樑混凝土人力成本統計表.....	154
表 4-90	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段彈性隔離膜與承載墊片安裝人力成本統計表.....	155
表 4-91	德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕分配人力成本統計表.....	155
表 4-92	德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌分配人力成本統計表.....	156
表 4-93	德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕鋪設人力成本統計表.....	156
表 4-94	德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌安裝與軌道整正人力成本統計表.....	157

表 4-95	德國 Rheda 2000 版式軌道道版混凝土人力成本統計表.....	157
表 4-96	德國 Rheda 2000 版式軌道軌道調整人力成本統計表.....	158
表 4-97	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道人力成本統計表.....	158
表 4-98	日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 施工成本統計表.....	159



圖目錄

圖 2-1	日本 A 型版式軌道示意圖.....	13
圖 2-2	日本 M 型版式軌道示意圖.....	13
圖 2-3	日本 L 型版式軌道示意圖.....	14
圖 2-4	日本 RA 型版式軌道示意圖.....	14
圖 2-5	Rheda 軌道原型剖面圖.....	17
圖 2-6	Rheda 軌道之 Sengeberg 型式剖面圖.....	17
圖 2-7	Rheda 軌道之 Berlin-V1 型式剖面圖.....	17
圖 2-8	Rheda 軌道之 Berlin-V2 型式剖面圖.....	18
圖 2-9	Rheda 軌道之 Berlin-V3 型式剖面圖.....	18
圖 2-10	Rheda 軌道 2000 型式剖面圖.....	18
圖 2-11	門型軌道調整架(一).....	20
圖 2-12	門型軌道調整架(二).....	20
圖 2-13	軌枕水平調整器.....	20
圖 2-14	鋼軌垂直調整器.....	20
圖 3-1	日本 AF-55 版式軌道橋樑段標準斷面圖.....	25
圖 3-2	日本 AF-55 版式軌道路工段標準斷面圖.....	25
圖 3-3	日本 AF-55 版式軌道隧道段標準斷面圖.....	25
圖 3-4	日本 AF-55 軌道系統施工流程圖.....	26
圖 3-5	日本 AF-55 版式軌道下部結構施工細部流程.....	27
圖 3-6	橡膠支承墊組立圖.....	28
圖 3-7	橡膠支承墊灌漿圖.....	28
圖 3-8	橡膠支承墊完成圖.....	28
圖 3-9	橋樑段路盤鋼筋組立圖.....	28
圖 3-10	橋樑段路盤混凝土模板組立圖.....	28
圖 3-11	隧道段路盤混凝土施工圖.....	28
圖 3-12	路工段路盤混凝土施工圖.....	28
圖 3-13	橋樑段路盤混凝土澆置圖.....	28
圖 3-14	隧道段路盤混凝土澆置圖.....	28
圖 3-15	路工段路盤混凝土澆置.....	28
圖 3-16	防動塊與路盤混凝土界面.....	28
圖 3-17	保護層與路盤混凝土界面.....	28
圖 3-18	橋樑段保護層混凝土澆置.....	28
圖 3-19	防動塊混凝土鋼模.....	28
圖 3-20	全圓形防動塊完成圖.....	28
圖 3-21	半圓形防動塊完成圖.....	29
圖 3-22	路工段保護層鋼筋與模板.....	29

圖 3-23	基準器安裝圖.....	29
圖 3-24	基準器完成圖.....	29
圖 3-25	路盤混凝土伸縮縫填縫圖.....	29
圖 3-26	路工段橡膠支承墊完成圖.....	29
圖 3-27	橋樑段下部結構完成圖.....	29
圖 3-28	路工段下部結構完成圖.....	29
圖 3-29	隧道段下部結構完成圖.....	29
圖 3-30	日本 AF-55 版式軌道臨時軌道鋪設流程圖.....	29
圖 3-31	臨時軌道墊片鑽孔.....	30
圖 3-32	臨時軌道墊片與軌距固定桿.....	30
圖 3-33	鋼軌裝載.....	30
圖 3-34	鋼軌運送.....	30
圖 3-35	臨時鋼軌鋪設(一).....	30
圖 3-36	臨時鋼軌鋪設(二).....	30
圖 3-37	臨時鋼軌鋪設(三).....	30
圖 3-38	臨時軌道調整.....	30
圖 3-39	臨時軌道鋪設完成圖.....	30
圖 3-40	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝流程圖.....	30
圖 3-41	臨時軌擴軌與臨時墊塊.....	31
圖 3-42	37kg/m 鋼軌延伸圖.....	31
圖 3-43	預鑄軌道版裝載圖.....	31
圖 3-44	預鑄軌道版運送.....	31
圖 3-45	預鑄軌道版卸載圖.....	31
圖 3-46	軌道版安裝車鋪設軌道版.....	31
圖 3-47	軌道版臨時支撐桿.....	31
圖 3-48	軌道版調整.....	31
圖 3-49	預鑄軌道版鋪設完成圖.....	31
圖 3-50	日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注流程圖.....	31
圖 3-51	CA 砂漿袋放置.....	32
圖 3-52	CA 砂漿灌注(一).....	32
圖 3-53	CA 砂漿灌注(二).....	32
圖 3-54	CA 砂漿注入口封頭.....	32
圖 3-55	CA 砂漿完成圖.....	32
圖 3-56	合成樹脂澆注袋安裝.....	32
圖 3-57	合成樹脂澆注.....	32
圖 3-58	全圓防動塊合成樹脂完成圖.....	32
圖 3-59	半圓防動塊合成樹脂完成圖.....	32

圖 3-60	日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝流程圖.....	32
圖 3-61	鋼軌墊片安裝.....	33
圖 3-62	鋼軌安裝(一).....	33
圖 3-63	鋼軌安裝(二).....	33
圖 3-64	鋼軌安裝(三).....	33
圖 3-65	鋼軌安裝完成圖.....	33
圖 3-66	日本 AF-55 版式軌道軌道整正與可調整鋼軌墊片灌注流程圖.....	33
圖 3-67	軌道整正.....	34
圖 3-68	軌道檢測(Track Master).....	34
圖 3-69	可調整鋼軌墊片灌注(一).....	34
圖 3-70	可調整鋼軌墊片灌注(二).....	34
圖 3-71	可調整鋼軌墊片完成圖.....	34
圖 3-72	日本 AF-55 版式軌道橋樑段完成圖.....	34
圖 3-73	日本 AF-55 版式軌道路工段完成圖.....	34
圖 3-74	日本 AF-55 版式軌道隧道段完成圖.....	34
圖 3-75	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段標準斷面圖.....	36
圖 3-76	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段標準斷面圖.....	36
圖 3-77	德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段標準斷面圖.....	36
圖 3-78	德國 Rheda 2000 版式軌道施工流程圖.....	37
圖 3-79	德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-橋樑段保護層與冠版施工流程圖.....	38
圖 3-80	保護層與冠板鋼筋.....	38
圖 3-81	保護層混凝土澆置.....	38
圖 3-82	保護層混凝土面機械鏟平.....	38
圖 3-83	保護層混凝土養生.....	38
圖 3-84	保護層與冠版界面打毛.....	38
圖 3-85	冠版混凝土澆置.....	38
圖 3-86	冠版混凝土養生.....	38
圖 3-87	保護層與冠版完成圖.....	38
圖 3-88	德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-路工段施工流程圖.....	39
圖 3-89	水力結合層乾拌混凝土卸載.....	39
圖 3-90	乾拌混凝土機械刮平.....	39
圖 3-91	乾拌混凝土人工刮平.....	39
圖 3-92	水力結合層滾壓震動夯實.....	39
圖 3-93	裂縫引導縫切割.....	39
圖 3-94	水力結合層完成圖.....	39
圖 3-95	地樑開挖.....	39
圖 3-96	地樑混凝土澆置.....	39
圖 3-97	地樑完成圖.....	39

圖 3-98	整平層鋼筋.....	40
圖 3-99	整平層混凝土澆置.....	40
圖 3-100	整平層完成圖.....	40
圖 3-101	德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-隧道段施工流程圖.....	40
圖 3-102	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-軌枕分配施工流程圖.....	40
圖 3-103	吊卡車吊至橋面版.....	40
圖 3-104	預鑄軌枕臨時存放橋面版.....	40
圖 3-105	預鑄軌枕分配至安全走道上.....	40
圖 3-106	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-鋼軌分配施工流程圖.....	41
圖 3-107	鋼軌臨時存放場.....	41
圖 3-108	鋼軌以堆高機運輸.....	41
圖 3-109	鋼軌臨時放置於軌道兩側.....	41
圖 3-110	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構橋樑段(彈性隔離膜與承載墊片)施工 流程圖.....	41
圖 3-111	彈性隔離膜焊接.....	42
圖 3-112	彈性承載墊片安裝.....	42
圖 3-113	彈性隔離膜冠版頂部安裝.....	42
圖 3-114	彈性承載墊片膠帶密封.....	42
圖 3-115	彈性隔離膜與成載墊片完成圖.....	42
圖 3-116	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-剪力鋼筋鑽設施工流程圖.....	42
圖 3-117	ㄇ字型錨筋.....	42
圖 3-118	剪力鋼筋(一).....	42
圖 3-119	剪力鋼筋(二).....	42
圖 3-120	德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-道版混凝土施工流程圖.....	43
圖 3-121	橋樑段道版底部鋼筋組立.....	44
圖 3-122	軌枕臨時支撐架.....	44
圖 3-123	軌枕鋪設(門型架).....	44
圖 3-124	軌枕鋪設(吊卡車).....	44
圖 3-125	鋼軌安裝.....	44
圖 3-126	鋼軌抬升起重機.....	44
圖 3-127	軌道初步整正.....	44
圖 3-128	鋼軌支撐架與側撐桿.....	44
圖 3-129	道版上部鋼筋組立.....	44
圖 3-130	扣件鎖固.....	44
圖 3-131	軌道細部整正(一).....	44
圖 3-132	軌道細部整正(二).....	44
圖 3-133	鋼軌扣件包覆.....	44
圖 3-134	道版混凝土澆置.....	44

圖 3-135	道版混凝土澆置後清理.....	44
圖 3-136	道版混凝土養生.....	45
圖 3-137	鋼軌扣件鬆脫.....	45
圖 3-138	鋼軌支撐架移除.....	45
圖 3-139	鋼軌支撐架孔洞灌漿.....	45
圖 3-140	高壓水柱清理道版相關構件.....	45
圖 3-141	鋼軌扣件鎖固.....	45
圖 3-142	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段完成圖.....	45
圖 3-143	德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段完成圖.....	45
圖 3-144	德國 Rheda 2000 版式軌道路工段完成圖.....	45
圖 4-1	日本 AF-55 版式軌道上部結構完成 1 公里施工進度網圖.....	53
圖 4-2	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段上部結構完成 1 公里施工進度網圖.....	55
圖 4-3	德國 Rheda 2000 版式軌道路工與隧道段上部結構完成 1 公里施工進度網	55
圖 4-4	日本 AF-55 版式軌道單元施工順序簡圖.....	66
圖 4-5	日本 AF-55 版式軌道現場施工流程圖.....	67
圖 4-6	德國 Rheda 2000 版式軌道單元施工順序簡圖.....	68
圖 4-7	德國 Rheda 2000 版式軌道現場施工流程圖.....	69
圖 4-8	鋼筋加工.....	82
圖 4-9	鋼筋加工樣本.....	82
圖 4-10	鋼筋籠組立台.....	82
圖 4-11	軌道板鋼筋籠存放.....	82
圖 4-12	鋼筋籠吊裝.....	82
圖 4-13	鋼模清理(一).....	82
圖 4-14	鋼模清理(二).....	82
圖 4-15	預埋件安裝圖.....	83
圖 4-16	鋼筋籠與預埋件.....	83
圖 4-17	鋼筋保護層墊塊.....	83
圖 4-18	混凝土澆置前檢查.....	83
圖 4-19	混凝土澆置.....	83
圖 4-20	鋼模震動機.....	83
圖 4-21	混凝土現場試驗.....	83
圖 4-22	混凝土完成面處理.....	83
圖 4-23	日本 AF-55 版式軌道版蒸氣養生圖.....	84
圖 4-24	鋼模拆模.....	84
圖 4-25	軌道版吊運至檢查區.....	84
圖 4-26	軌道版尺寸檢查.....	84
圖 4-27	預埋螺栓孔位置檢查.....	84
圖 4-28	軌道版平整度檢查.....	84

圖 4-29	預埋螺栓孔拉力試驗.....	84
圖 4-30	軌道版印記標誌(一).....	85
圖 4-31	軌道版印記標誌(二).....	85
圖 4-32	軌道版印記標誌(三).....	85
圖 4-33	軌道版浸水養生(一).....	85
圖 4-34	軌道版浸水養生(二).....	85
圖 4-35	軌道版吊離養生池.....	86
圖 4-36	軌道版搬運板車.....	86
圖 4-37	軌道板搬運.....	86
圖 4-38	軌道板吊放儲存.....	86
圖 4-39	軌道板儲存場.....	86
圖 4-40	高壓空氣清理鋼模.....	87
圖 4-41	脫模劑噴佈.....	87
圖 4-42	預埋件安裝.....	87
圖 4-43	桁架安裝.....	87
圖 4-44	混凝土澆置前檢查.....	87
圖 4-45	混凝土澆置.....	87
圖 4-46	混凝土澆置與震動控制.....	87
圖 4-47	完成面修整.....	87
圖 4-48	鋼模吊放至蒸氣養生棚前.....	88
圖 4-49	鋼模推入蒸氣養生棚.....	88
圖 4-50	鋼模拆模(一).....	88
圖 4-51	鋼模拆模(二).....	88
圖 4-52	德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(一).....	89
圖 4-53	德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(二).....	89
圖 4-54	鋼軌基座處混凝土裂縫檢查.....	89
圖 4-55	德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(三).....	90
圖 4-56	不合格軌枕噴漆標示.....	91
圖 4-57	不合格軌枕標示.....	91
圖 4-58	不合格軌枕區隔存放.....	91
圖 4-59	扣件螺栓孔注入防銹油.....	91
圖 4-60	鋼軌扣件安裝(一).....	91
圖 4-61	鋼軌扣件安裝(二).....	91
圖 4-62	預鑄軌枕標記.....	91
圖 4-63	預鑄年份.....	91
圖 4-64	預鑄軌枕公司名稱.....	91
圖 4-65	預鑄軌枕型號.....	91
圖 4-66	預鑄日期與鋼模編號.....	91

圖 4-67	預鑄軌枕搬運(一).....	92
圖 4-68	預鑄軌枕搬運(二).....	92
圖 4-69	預鑄軌枕搬運(三).....	92
圖 4-70	預鑄軌枕儲存場(一).....	92
圖 4-71	預鑄軌枕儲存場(二).....	92
圖 4-72	日本 AF-55 版式軌道路盤混凝土品質缺失柏拉圖.....	96
圖 4-73	日本 AF-55 版式軌道防動塊混凝土品質缺失柏拉圖.....	96
圖 4-74	日本 AF-55 版式軌道保護層混凝土品質缺失柏拉圖.....	96
圖 4-75	德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段保護層與冠版混凝土品質缺失柏拉圖...	98
圖 4-76	德國 Rheda 2000 版式軌道道版混凝土品質缺失柏拉圖.....	98
圖 4-77	日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝混凝土品質缺失柏拉圖.....	112
圖 4-78	日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注品質缺失柏拉圖.....	112
圖 4-79	德國 Rheda 2000 版式軌道彈性隔離膜與承載墊片安裝品質缺失柏拉圖...	114
圖 4-80	德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕分配與安裝品質缺失柏拉圖.....	114
圖 4-81	德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌分配與安裝品質缺失柏拉圖.....	114



一、緒論

傳統鐵路道碴道床軌道，在使用年限內，因道碴磨耗、枕木受力移位、路基沉陷.....等原因，致使軌道結構惡質化，為保持軌道服務品質，則須經常性養護維修軌道組件。然而軌道零組件料源的減少與材料成本的增加，以及勞工人力成本亦逐年增加，故為降低養護成本，進而發展出無道碴道床軌道系統，施始能符合現代化鐵路運輸的需求。

在現今擁有新式軌道系統的國家日、法、英、義、德等國中，無不進行著改進其系統的工作，期望能擁有更安全、快速、經濟、有效率的鐵路運輸系統。各國均進行研究無道碴軌道的可行性，希望能藉以減低軌道厚度、減少軌道維修工程費，同時提高軌道動態穩定，而版式軌道也就在此背景之下開發出來[1]。

1.1 研究動機

大多數面臨長途運輸飽和的開發國家，都有共同的認知，要解決車多擁擠，就是縮短都會區的時程，才能提高運輸效率。於是一般都傾向於興建高速鐵路作為解決方法，在歐洲及日本高速鐵路已發展的相當完整，歐洲更有全世界最密集的鐵路網，目前世界知名且營運中的高速鐵路系統有法國 TGV(Train a Grande Vitesse)、德國 ICE(Inter City Express)及日本的 SKS(Shinkansen)系統。台灣地狹人稠，南北長途運輸飽和已久，高速鐵路不但能紓解此一運輸窘境減輕其他運輸系統的負擔亦可刺激經濟發展加速南北平衡。高速鐵路具有能耗省、運量大、速度快、污染小、安全性高等諸多優點 [2]。

此次台灣高速鐵路的興建將台灣鐵路運輸帶入另一個新的時代，尤其在軌道工程方面同時引進分居亞洲與歐洲牛耳地位的日本與德國軌道技術，不但可一窺世界級的工業技術水準，同時亦可將台灣軌道工程技術向前推進一大步。台灣軌道技術從清朝台灣巡府劉銘傳第一次引進英國與德國技術，到日據時代的日本技術、光復後的台鐵，以及目前的台北、高雄捷運與台灣高速鐵路，一步一步邁向世界級的軌道技術水準。目前台灣高速鐵路所引進的日本與德國軌道均屬於最新型式之版式軌道，然而坊間文獻中所介紹有關日本與德國版式軌道除其所介紹之型式較舊外，大部分是介紹其軌道結構型式與施工方法，鮮少進一步探討在軌道施工過程中其他相關問題，故除有必要將此兩大軌道技術作一詳細介紹外，對此兩大系統作一番探討與分析是更為重要。因此本論文將針對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道系統作一系列之探討與分析。

1.2 研究目的

在近二十年來由於鐵路列車運行速度不斷提高，目前高速鐵路時速已高達 300 公里以上，且軌道結構型式已不僅有傳統道碴式軌道，還有版式軌道等，總總因素使得鐵路工程問題複雜度增加[2]。而國內高速鐵路的興建已接近完工階段，但仍

有許多問題尚在摸索與研究。

目前世界各國皆朝大眾運輸系統發展，而大眾運輸又以軌道運輸為主；因為軌道運輸是一種相較於其他運輸方式較為環保且節約能源，故未來必成為運輸系統上的一個主流。台灣鐵路分佈密度，現況為每萬平方公里有 308 公里之軌道路線佈設。同樣是海島型國家日本，其鐵路長度每萬平方公里有 536 公里之鐵路長度。另依歷年鐵路服務比率變化，台灣地區每百萬人口，享有之鐵路服務長度僅有 53 公里，亦較日本的每百萬人口可享有之鐵路服務長度 162 公里少得多。因此，未來台灣鐵路系統尚應有很大的發展空間[3]。

世界上之高速鐵路軌道系統乃是以歐洲與日本系統為兩大主流，其中，日本、法國、德國是本身擁有成熟設計、製造生產高鐵能力的國家。台灣高鐵此次同時引進日本與德國兩大高速鐵路軌道系統，分別運用在主線上的日本 AF-55 版式軌道系統與車站段的德國 Rheda 2000 軌道系統。故希望能藉此機會對此兩高鐵軌道系統做一比較分析，使學界與業界能對於日本與德國高鐵軌道系統有更進一步的認識，並可提供未來在大眾運輸系統選擇上一個參考。

1.3 研究範圍

本研究範圍以台灣高速鐵路軌道工程之施工階段為探討對象，其中日本 AF-55 版式軌道系統為台灣高速鐵路 T210 與 T220 標路段，長度約 55 公里；德國 Rheda 2000 版式軌道系統則為台灣高速鐵路 T220 標之桃園車站、新竹車站、苗栗車站、台中車站與苗栗路段之橫渡線等非道岔路段，長度約 8 公里。

1.4 研究內容與方法

本論文之研究內容乃是以台灣高速鐵路土建結構(橋樑、隧道、路工)完成後，就其軌道工程興建過程中所相關之施工管理特性作探討，比較分析日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道系統。

研究方法主要以專家訪談與資料整理為主，之後再以表格方式做兩兩比較，最後再依據所分析之資料結論出兩軌道系統在施工管理特性上何者為優。

訪談之專家包括：

1. 日本籍軌道施工教官。
2. 台灣新幹線軌道聯合承攬承包商(TST JV)之現場工程師與品管工程師。
3. 台灣高鐵公司(THSRC)之外籍軌道工程師與現場資深工程師。

本論文之章節架構分述如下：

第一章：緒論，包括研究動機、研究目的、研究範圍、研究內容與方法。

第二章：文獻回顧，介紹高速鐵路之源起、版式軌道與日本、德國版式軌道之

發展與工法評估相關文獻整理。

第三章：台灣高速鐵路軌道系統，介紹目前台灣高速鐵路軌道工程之設計理念與施工流程。

第四章：版式軌道施工管理之探討與比較分析，區分為施工進度、施工品質管制與施工成本三大類；施工進度方面，探討包括預鑄工率、現場軌道施工工率與影響施工進度因素探討，包括施工限制、施工相容性、材料運輸與軌道調整性等。施工品質管制方面，探討包括預鑄品質、場鑄品質與軌道構件安裝品質管制等。施工成本方面，探討包括材料、機具、設備與人力成本等，分別對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道作探討與比較分析。

第五章：結論與建議；結論部分，依據第四章探討內容對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道在施工進度、施工品質管制與施工成本做結論。建議部分，除對本論文所探討不足之處建議奇相關可再進一步探討分析之項目外，並以目前台灣營造環境下建議適用之版式軌道型式。



二、文獻回顧

2.1 高速鐵路之源起

依據蘇昭旭(2005) [4]所著之『高速鐵路新時代』內容所述，西元 1950 年代，日本從戰後滿目瘡痍中逐漸復甦，經濟正逐漸成長，當時東京至大阪間的東海道線，其運量已經飽和。雖然東海道線在 1956 年完成全線電氣化，一般電車至少要 7 小時 30 分，即使 1958 年最快的特急電車 Kodama，最快也要 6 小時 50 分跑完全程。於是如何改善東海道線，成為當時日本鐵路最迫切的課題。

1957 年 5 月，當時國鐵的鐵道技術研究所舉行聽證會，就東海道線改善方案進行討論，包含東海道線四線化，另建平直的窄軌雙線，另建標準軌雙線三項選擇。在當時的國鐵總裁十河信二的支持下，認為另建標準軌高速新線，全線無平交道，配合交流電氣化，列車時速可望達到時速 250 公里，一定可以將東京至大阪間縮短至 3 小時內，東海道新幹線的新構想就此誕生，於是國鐵便積極進行新幹線的研究與調查工作。

1958 年 12 月國鐵通過東海道新幹線案的計畫，同時又因為配合 1964 年 10 月東京奧運會開幕，新幹線務必要在奧運開幕前通車，以彰顯日本國力而更加意義重大。於是 1959 年 4 月 20 日在熱海市的新丹那隧道東口，舉行東海道新幹線的開工典禮，新幹線便如火如荼進行。

由於新幹線總工程經費高達 3800 億日圓，當時為籌措資金國鐵除發行鐵路公債，並向世銀貸款 8000 萬美元，然而，由於日本尚無鐵路速度超越時速 200 公里紀錄，紀錄締造者皆歐洲國家，更一度遭到世銀拒絕。但是日本國鐵並未放棄，除付出沉重的利息，更花掉當時國鐵一年總營收，日本政府並未出資興建。龐大的本息壓力，造成國鐵財務嚴重惡化，新幹線的美夢成真，背後卻也讓國鐵付出於 1987 年負債 8.2 兆日圓破產，國鐵分割民營化的代價。

1964 年 10 月 1 日，日本東京至大阪間的東海道新幹線終於如願，配合新幹線 0 系的誕生，以最高營運時速 210 公里，成為全球第一個高速鐵路系統。新幹線連接了日本三大主要商業重鎮東京、名古屋、大阪，帶動了它的成長與繁榮，也相對成就了新幹線的業績，新幹線更保持世界高速列車準點、安全之絕佳紀錄。

由於新幹線的成功，其所締造的營運佳績與經驗，更扭轉了 1960 年代全球鐵路運輸走向夕陽產業的命運，同時 SUPER EXPRESS 高速鐵路的新名詞，就此閃亮誕生，尤其日本新幹線營運四十年零肇事紀錄，更為高鐵締造安全陸運工具的好口碑，世界各國相繼效尤。而新幹線營運總長度合計 2671 公里，營運專用路線總長更是全球第一。

西元 1981 年法國完成巴黎至里昂的東南線高速鐵路 TGV，時速達 270 公里，西元 1991 年德國亦推出高鐵 ICE，時速高達 280 公里，這三大高鐵技術國更開始向外輸出。西班牙高鐵 AV 於 1992 年問世，美國於 2000 年 Acela 正式上路，其他如韓國 KTX 與台灣 HSR，也都相繼投入高鐵的建設行列。於是鐵路高速化，成為全球鐵道邁向 21 世紀的科技新趨勢。

1964 年日本東海道新幹線開始以時速 210 公里進行商業運轉，是世界第一個高速鐵路系統。至 2004 年為止，已有日本、法國、德國、西班牙、義大利、瑞典、比利時、美國與韓國等國家加入高速鐵路的行列[5]。下表為目前世界各國之高速鐵路概況整理：

表 2-1 世界各國高速鐵路統計表[5]

國家	路線	營運年期	最高營運時速(公里)	里程(公里)	說明
日本 (SKS)	東京—新大阪(東海道線)	1964	270	553	客運專用
	新大阪—博多(山陽線)	1975	300	622	
	東京—八戶(東北線)	1982	275	632	
	大宮—新潟(上越線)	1982	275	334	
	高崎—長野(長野線)	1997	260	117	
	新八代—鹿兒島中央(九州線)	2004	260	127	
法國 (TGV)	巴黎—華倫斯(東南線)	1981/94	270	532	客運專用
	巴黎—杜爾(大西洋線)	1989/90	300	280	
	巴黎—卡萊(北歐線)	1993	300	333	
	巴黎近郊(TGV 外環聯絡線線)	1994/96	270	102	
	華倫斯—馬賽(地中海線)	2001	300	295	
德國 (ICE)	曼海姆—斯圖加特	1988/91	280	107	客貨運共線
	漢諾威—維爾茨堡	1988/91	280	327	
	漢諾威—柏林	1998	250	264	
西班牙 (AVE)	馬德里—塞維利亞	1992	300	471	客貨運共線
	馬德里—巴塞隆納	興建中	300	605	
	VITORIA—BILBA	計畫中	250	60	

國家	路線	營運年期	最高營運時速(公里)	里程(公里)	說明
義大利 (ETR)	羅馬—佛羅倫斯	1976/92	250	236	客貨運共線
	羅馬—拿波里	興建中	300	220	
	佛羅倫斯—波羅那	興建中	300	77	
	波羅那—米蘭	計畫中	300	199	
	特里諾—威尼斯	計畫中	300	262	
台灣 (THSR)	台北—高雄	興建中 (2006)	300	345	客運專用 最高時速 350 公里 採用日本 SKS 系統
韓國 (KTX)	漢城—釜山	2004	300	410	客運專用 設計時速 350 公里 採用法國 TGV 系統
瑞典	Fleminsberg—Jarna	1995	250	31	
比利時	布魯塞爾—法國境內 (連接 TGV 北歐洲線)	1998	300	71	
美國 (Acela)	波士頓—華盛頓特區	2000	240	736	客運專用
	達拉斯—休士頓	興建中	300	338	
俄羅斯	莫斯科—聖彼得堡	計畫中	250	657	俄羅斯
英國	倫敦—SHELITON (連接英法海峽隧道)	計畫中	290	108	

2.2 版式軌道介紹

由於科技發展，列車重量加重，行車速度增加，列車班次加密，對道碴軌道的破壞力相對增加，致須投入龐大的人力及物力來維修軌道；惟因列車密度高且速度快，以致提供軌道維修之列車空間減少，然而綜合砸道車、篩砸車、軌道穩定車等各類新型養路機械均須利用列車空間佔用軌道才能進行維修作業，在日間無法提供足夠列車空間進行軌道維修作業之情形下，只能在夜間最後一班列車通過到次日第一班列車到達前進行之。但是該等養路機械噪音及振動量相當大，常擾人清夢，而且軌道維修作業工作環境惡劣、危險性高、又為重勞力工作，一般人就業意願不高，尤其現在的 e 世代新興人類更不願從事這類工作。故軌道結構必須予以改善，改用安全、堅固、耐用、投資效益高又可節省維修費用之免維修軌道 (Free Maintenance Track)，又稱省力化軌道[6]。其中版式軌道就符合上述的要求，它不但可以減少軌道的養護，以達到經濟及耐用的目的，更可以增加行車的舒適性與安全性[7]。

世界各軌道先進國家對發展省力化軌道之思考方向不同，基本上係考量將造成軌道不整之道碴以混凝土取代，因此各式無道碴道床軌道（Non-Ballasted track，或 Ballastless Track）在不同軌道系統發展出來。較著名的系統有英國版式軌道（PACT）、德國 RHEDA 軌道、法國雙枕塊低振動軌道（Low Vibrating Track）、日本直結式軌道、日本及義大利版式軌道（Slab Track）以及澳洲與美加地區之直接固定式軌道（Direct Fixation Fastener Non-ballasted Track）[6]。

日本是現今在版式軌道上投入最多心血的國家，德國近年來也急起直追，投入莫大的心力於其上。在現今各國發展新式的軌道結構當中；如美國的 PereMarguette 軌道、奧地利的 Wirth 軌道、荷蘭的 Delft 高架直結軌道、義大利的 Milano 地下鐵和蘇聯等，絕大部份都可見到使用版式軌道的影子，甚至中國大陸也有相當程度的研究與應用；然而因各國國情、地區、經濟及技術各有所異，所以其版式軌道在某些細節部分也因而略有不同。但以日本鐵路（JR）新幹線及青函海底隧道，以及英國國鐵在英海底隧道 PACT 所用的效果均屬非常成功之例[1]。

2.2.1 版式軌道的分類

版式軌道，乃是將載重分配的材料——道碴，以具有穩定狀態的材料如混凝土或瀝青取代之，同時此種材料在一般環境下必須具備塑性變形低的性質，而軌道必要之彈性則以在鋼軌或軌枕底下插入彈性構件來獲得[18]。

版式軌道分類如表 2-2。其中日本 AF-55 版式軌道屬於鋼軌支撐非連續之預鑄混凝土版型，德國 Rheda 2000 屬於鋼軌支撐非連續之軌枕埋置於混凝土型。

表 2-2 版式軌道分類表[19]

鋼軌支撐類型	鋼軌支撐非連續型				鋼軌支撐連續型	
鋼軌支承結構類型	軌枕或基座型		非軌枕型			
鋼軌安裝類型	軌枕或基座埋置於混凝土型	軌枕鋪設於瀝青混凝土道床型	預鑄混凝土版型	整體式場鑄道床型	鋼軌埋入型	鋼軌鉗夾型
版式軌道名稱	Rheda Rheda 2000 Züblin LVT	ATD	Shinkansen Bögl	Paved-in track on civil structure	Paved-in track Light rail Road crossing Deck track	Cocon track ERL Vanguard KES

2.2.2 版式軌道的施工

依據台鐵林文雄(2002) [8] 台鐵資料季刊第 309 期中「無道碴軌道之規劃設計(二)」文章所述，無道碴軌道之施工方式，依道床之型態及適用性可以概分為現場澆置式、預鑄式及複合式三種。其中現場澆置式適用於直接固定式道床；預鑄式適用於軌道版及浮置版式道床；複合式適用於軌枕式道床。以下將介紹幾種施工方法：

1. 現場澆置式：

A. Top-Down 工法

本工法為在模板與鋼筋組立完成後，再以小型門型吊車將事先已安裝(假組立)扣件系統之臨時鋼軌吊起，安放於設計高程及線形位置後，以支撐架加以固定再行灌漿，此種方法簡稱為 Top-Down 工法。其主要工作流程如下：

- I. 道床基座清理與剪力釘埋設
- II. 測量放樣，臨時鋼軌組架設及高程調整
- III. 鋼筋組立與接地系統施作
- IV. 模板組立及鋼軌扣件系統之假組立
- V. 混凝土澆置及養生
- VI. 模板、臨時鋼軌組及扣件假組立之拆除搬運
- VII. 鋼軌及扣件系統之鋪設

B. Bottom-Up 工法

在軌道線形內將模板、鋼筋組立完成後，再以固定架調整預埋螺栓之高程及位置，隨後澆置混凝土道床，待拆模後以研磨混凝土完成面或於鋪設鋼軌時，以加置鋼板墊片之方式或兩者並用，調整完成面高程至設計工差容許範圍內，此種方法簡稱為 Bottom-Up 工法。其施工作業流程與 Top-Down 工法之主要差別在於 Top-Down 工法利用臨時鋼軌組作為鋼軌與扣件定位之用。Bottom-Up 工法則用較簡單之軌距固定之架及樣版，分別作鋼軌與預埋螺栓定位之用。此工法對測量工作較為依賴，且樣板高程與混凝土高程需分別控制。

2. 預鑄式：

預鑄版工法即為日本軌道版施工法。先在道床基底之上澆置底版作為第一次控制高程之用，然後再逐段組裝預鑄版。預鑄版之間於預先澆鑄之防動柱控制，以防止左右及前後位移。預鑄軌道版與底版間則灌注流質之 CA 砂漿，此項灌注工作亦可調整高程。軌道安裝完成後，若軌道低於設計公差，亦可在鋼軌墊板下方插入墊片或利用環氧樹脂再次調整高程。

由於軌道版每塊重達 5~6 公噸，需用特殊的鋪設機具及工法，其施工步驟如下：

- I. 澆築底版
- II. 軌道版鋪設

軌道版鋪設之方法有二

- a. 中線假軌道法

高速鐵路二條軌道之中心距至少 4.7 公尺，因此有充足空間可以在中間鋪設一條施工軌道(也就是中線假軌道)，以供施工機械及裝載軌道版的拖版車行駛，先鋪設兩側的軌道版，調整後再注入 CA 砂漿，CA 砂漿硬化後，始可鋪設鋼軌，最後撤去假軌道。其施工步驟如下：

- 1. 假軌道鋪設
- 2. 軌道版鋪設
- 3. CA 砂漿注入
- 4. 本線鋼軌鋪設
- 5. 假鋼軌撤去

- b. 行車鋼軌法

在軌道位置上設置活動鋼軌及兩側輔助鋼軌，鋪設軌道版，注入 CA 砂漿，再鋪設鋼軌，一側完竣後，再鋪設另一側，如此循環。其施工步驟如下：

- 1. 行車鋼軌鋪設(單線)
- 2. 行車鋼軌鋪設(另一線)
- 3. 軌道版運搬鋪設
- 4. CA 砂漿注入
- 5. 鋼軌鋪設
- 6. 軌道版運搬鋪設(另一線)
- 7. CA 砂漿注入(另一線)
- 8. 鋼軌鋪設(另一線)

軌道版的鋪設，技術性很高，精確度要求很嚴，又要維持 CA 砂漿之最小厚度。安裝時，軌道版可用四點支承，用墊片及調整墊來微調，再灌注 CA 砂漿，日後列車的一切載重，均係由 CA 砂漿來承擔。完成後的軌道版要修補非常的困難，因此對各步驟之精確度，需十分嚴格地執行。

- 3. 複合式：

複合式工法適用於軌枕式道床，以台鐵北迴新線和平至崇德間隧道段之軌枕道床(預力混凝土枕埋入式)為例，說明其施工步驟如下

- I. 路線細部測量

包括控制網之佈設、軌道中心定線及高程等測量。

- II. 區塊位置墨線放樣

用墨線標示區塊之伸縮縫及模版位置。放樣前需用水清洗道床基底。

- III. 材料搬運及先期作業

將鋼軌(先把 25m 鋼軌焊接成 125m 長軌)、PC 枕、PC 枕扣件及防震等材料搬運至施工現場，並進行 PC 枕扣件、防震材料等之安裝等先期作業。

IV. 鋼軌放置與定位

先將臨時支撐架以 6m 為一組放置在 PC 枕預定位位置之間，再把 125m 鋼軌搬移至臨時支撐架上。

V. 鋼軌壓接

將 125m 長鋼軌現場利用瓦斯焊接成長焊鋼軌。

VI. 軌框組立及調整

將先期作業已安裝好之 PC 枕組件依設計間距排放並抬高與鋼軌結合，再作軌框調整。軌框調整包括軌距、軌道中心位置與鋼軌面高程等。

VII. 鋼筋組立

依設計圖組立鋼筋。

VIII. 模版組立

依墨線放樣之模版線組立模版。

IX. 混凝土澆置、表面抹平修飾養生

X. 模版拆除、整理現場環境

2.3 日本版式軌道之發展

日本自 1955 年極力希望在許多長隧道內的軌道與都市內的高架軌道，達成維修省力化之軌道結構的工作，因此開始依據下列之目標進行「新型軌道構造的研究：

- a. 使版式軌道之工程費小於道碴軌道工程費之 200%。
- b. 必須具備至少與道碴軌道同等之彈性與強度。
- c. 每日能夠施工 200 公尺以上。
- d. 易於校正軌道移位變形。

隨後在 1971 年成立了版式軌道研究會，專門從事軌道的研究、試鋪和標準定型工作。多年來，相繼在日本東海道新幹線和山陽新幹線鋪設這種軌道，證實確實發揮了比預期更為明顯的節省維修效果。到 1977 年已有 160 公里將原有路線改鋪版式軌道的經驗。經過一系列的理論分析，試驗線上的試鋪測試，並在既有路線上的大量鋪設；營運之初，雖然發現了一些局部的缺陷，但仍證明了版式軌道在確保高速行車的安全性和舒適性方面比傳統的道碴軌道具有明顯的優越性；在經濟性方面經評估後也是優於道碴軌道；日本在使用版式軌道後，所評估獲得的經濟成效（版式軌道的維修成本約為道碴軌道的 1/10 左右）。在日本，目前新建的鐵路除特殊情形外，均使用版式軌道。新的規章並規定橋樑、隧道均須使用版式軌道。

值得一提的是，日本國鐵(JR)已成功的在隧道、一般路工、路塹及高架橋段上鋪設版式軌道，具代表性的工程包括新幹線青函海底隧道、本四聯絡的瀨戶大

橋等，均達到省工、省時、低保養及經濟、安全、耐用的目的，其效果顯著，且以確保行車安全，保持從未發生事故之零缺點最為突出[1]。

版式軌道對路基之要求較為嚴格，只要有微小沉陷就必須做高程調整，與傳統道碴軌道不同，調整過程複雜且費時，因此版式軌道之路基通常會在處理過的土壤上再鋪設一層混凝土，以防止版式軌道因沈陷所引起之高程改變[2]。

整體而言，日本版式軌道除了具有線形精度高、容易調整由於基礎沈陷所造成的高程差等優點外，由於已在日本廣泛使用，如東北新幹線、北陸新幹線等，故其高速使用經驗較其它型式版式軌道豐富，除了造價昂貴的缺點外，此類軌道可算是完成度相當高之軌道[9]。

2.3.1 日本版式軌道的結構型式

依據王其昌與韓啟孟(2002)[10]編譯之「版式軌道設計與施工」一書中對於日本版式軌道之結構型式有以下之敘述。

表 2-3 日本版式軌道類型表

簡稱	名稱
A 型版式軌道	混凝土基床版式軌道(水泥瀝青砂漿填充型)
M 型版式軌道	混凝土基床版式軌道(墊塊調整型)
L 型版式軌道	混凝土基床版式軌道(長條型)
RA 型版式軌道	土質路基版式軌道(灰漿填充型)

1. A 型版式軌道(水泥瀝青砂漿填充型)

A 型版式軌道是把在工廠高精密製作的預力混凝土軌道版運至鋪設現場，軌道版的方向和高低調整到位後，再把版下約 50mm 的間隙之間注入水泥瀝青砂漿(CA 砂漿)，通過 CA 砂漿層，構成了版下全面支承的結構。

當因地基變形和下沉致使軌道產生不平順時，可用扣件的楔形墊板改變螺栓扭力矩來調正方向，至於高低可用改變可調整片的厚度來調整。如果使用上述方法調整而調整量不夠時，可採用抬起軌道版並經整正後，再在版下與 CA 砂漿層的間隙中填充速凝 CA 砂漿或者與此相當的速凝填充材料，以期恢復軌道的標準狀態[10]。

A 型版式軌道主要由鋼軌(rail)、支承墊(slab mat)、軌道版(track slab)、CA 砂漿(Cement Asphalt Mortar, CA 砂漿)所構成，其中 CA 砂漿及軌道版分別取代道碴及軌枕的功能。軌道版的功用在於固定鋼軌以維持軌距之正確並將鋼軌傳來之荷重傳遞到下層結構，之後由其下之 CA 砂漿承受垂直載重。目前則有採用彈性軌枕取代軌道版以吸收振動、減少噪音之施工法出現。軌道版為預鑄之鋼筋混凝土版或預力混凝土版，每塊長約為 5 公尺，可考慮列車載重行為、運送安裝及曲線易於調整而設定[2]。

軌道版與路基底盤兩者皆是高強度且無彈性的結構體，為使軌道具有較高強度但又有相當的彈性，乃研究發展出水泥瀝青乳劑(CA 砂漿)，簡稱 CA 砂漿。CA 砂漿以乳化瀝青、水泥、細骨材(砂)，及各種添加劑拌合而成，兼具有瀝青的彈性及水泥之剛性兩種特性的半剛性漿料。CA 砂漿係澆灌於軌道版對與路基底盤之間，它與一般道路用的瀝青不同，其強度可高達 18kg/cm^2 ，彈性係數為 125kg/cm^3 。CA 砂漿一方面可使軌道具有彈性，代替道碴的功能，另一方面於鋪設時可方便調整由於軌道施工時所產生之誤差以作為將來維修調整之用[2]。

A 型版式軌道的設計準則

(1) 預鑄軌道版設計

日本國鐵原本是以彈性床之樑的理論做為應力分析的方法，但因為發現有所缺失，現改以有限元素法分析。有限元素法是將結構體分割成理想化的有限元素，以滿足變形的連續與力的均衡，而以電子計算機分析之近似解法。在分析版式軌道時，各扣結裝置視為線形彈簧，版下之支持為單位面積線形彈簧，實際分析時將軌道版分割成三角形元素以函數版是軌道版的相關變位，求各斷面應力[7]。

(2) 防動塊設計

為使軌道軸向力與橫壓力，自軌道版傳達至路基，在軌道版各部分的中央設有半徑 250mm 的缺口。同時於路盤混凝土上設有半徑 200mm 之突起物，以承受軌道的衝力，並傳到基礎上。

防動塊一般為全圓斷面，但是橋樑上因軌道版接頭與梁端必須相符（亦即軌道版不能跨越樑端），故有半圓形斷面。而防動塊係與路盤混凝土分開施工，因此必會產生施工縫，所以不能依靠混凝土來抵抗剪力，而加以鋼筋配置抵抗[7]。

(3) 路盤混凝土版設計

路盤混凝土版設計需考慮路盤版荷重大小與地盤反力係數，並依垂直鋼軌與平行鋼軌兩方向作應力分析與結構設計。

CA 砂漿灌注兩混凝土版間，一方面使軌道具有彈性，代替石碴的功能，但因強度較高，有不易破壞的特性[7]。

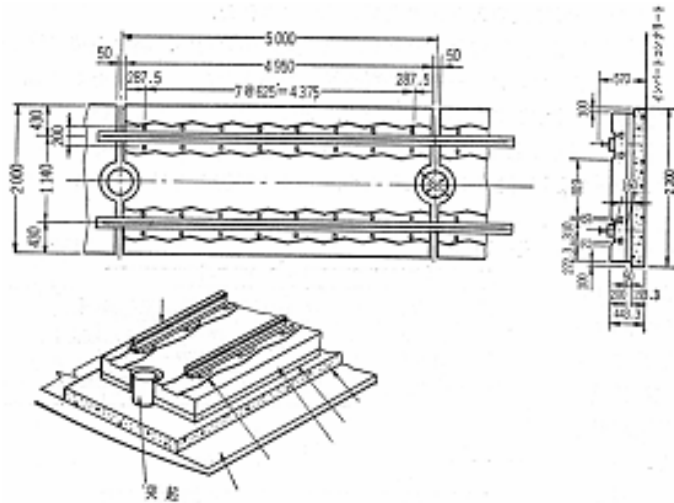


圖 2-1 日本 A 型版式軌道示意圖

2. M 型版式軌道(墊塊調整型)

M 型版式軌道是在間隔 3~5m 的承台上，或者在間隔 8~10m 的各橋墩的上部，設置能承受縱向荷載和橫向荷載的凸形承台(即 H 型承台)，並把直接連結了的預鑄混凝土軌道版，通過 4 點可以上下調整墊片和前後、左右調整墊片支承在其上的一種結構。此外，該結構的著眼點是可以在各橋墩上連續架設預鑄的軌道版而構承 M 型版式軌道[10]。

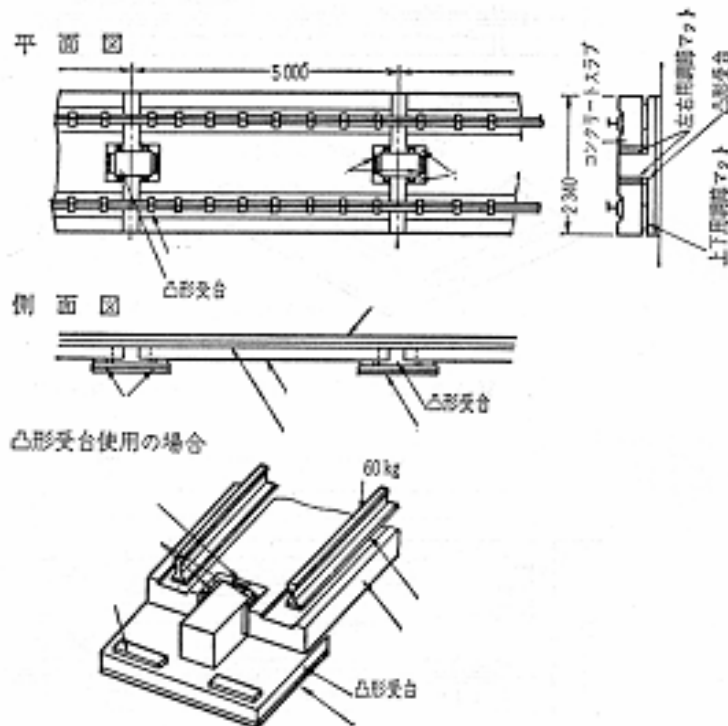


圖 2-2 日本 M 型版式軌道示意圖

3. L 型版式軌道(長條型)

同 A 型版式軌道，它是在鋼軌軸線的軌道版下面放置寬度 150mm、厚度 15mm、長度和軌道版等長的帶狀長墊片，再在其下插入帶狀長條聚乙烯袋，並在袋中流入水泥灰漿，進而構成帶狀連續支承的結構。至於軌道版的縱橫向阻力是靠設在軌道版前後兩端基床版上的凸形擋台來承受。

至於軌道變形或下沉，可用更換墊片或聚乙烯袋來恢復其技術狀態[10]。

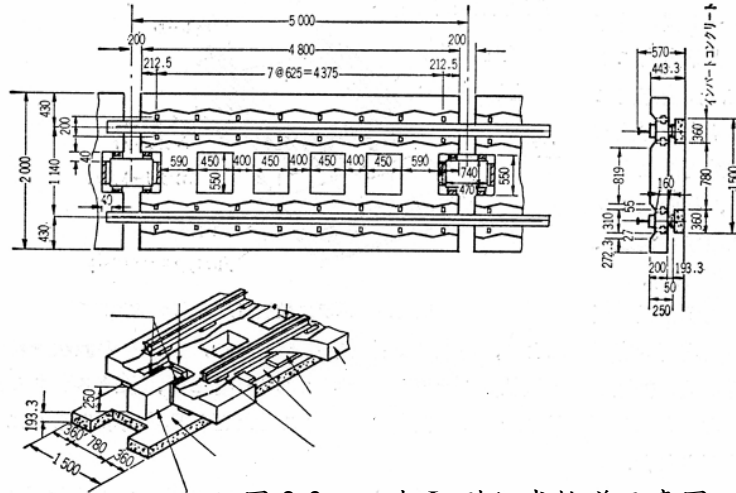


圖 2-3 日本 L 型版式軌道示意圖

4. RA 型版式軌道(灰漿填充型)

前述的軌道型式都是鋪設在混凝土基床上的結構型式，而 RA 型式鋪設在土質路基上的一種版式軌道。路基經輾壓後，按照道路標準鋪設。用門型吊架吊起已與鋼軌直接聯結了的混凝土版(即小尺寸版，每版有兩副扣件)軌排，並在版下和鋪裝層之間填充標準厚約 50mm 的水泥灰漿，以起支承作用。縱橫向阻力是靠填充在版底凹槽中的水泥灰漿的剪切作用來承受[10]。

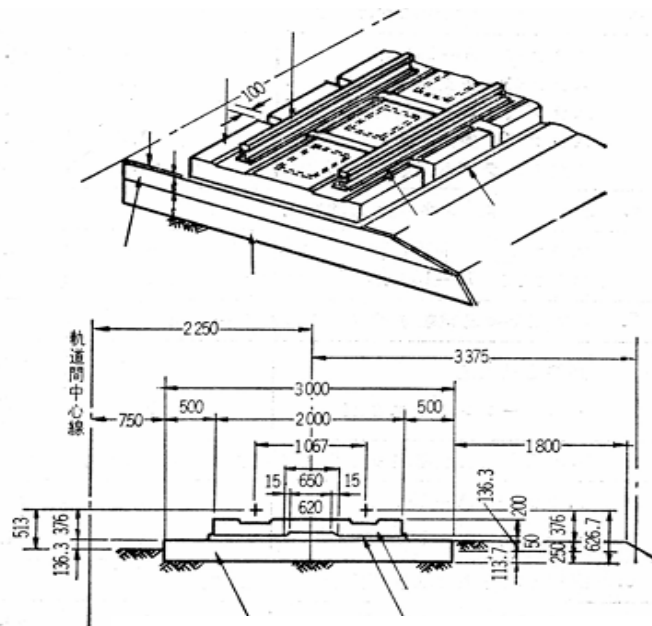


圖 2-4 日本 RA 型版式軌道示意圖

2.3.2. 日本版式軌道的類型與符號[10]

版式軌道結構除按其支承方式分類外，還可按軌道長度、承軌槽式、鐵墊板式等使用目的分類，有以下的名稱與符號：

表 2-4 日本版式軌道編號對照表(一)

符 號	說 明
英文數字	版式軌道結構型式
百位數字	1 表示既有線，無則表示新幹線
十位數字	表示軌道版長度
個位數字	表示軌道版的型式

例如：

A-151：A 表示為 A 型版式軌道，百位數的 1 表示既有線，十位數的 5 表示軌道版長度為 5 公尺，個位數的 1 表示軌道版的型式

A-51：A 表示為 A 型版式軌道，無百位數則表示新幹線，十位數的 5 表示軌道版長度為 5 公尺，個位數的 1 表示軌道版的型式。

另外，版式軌道按其鋪設地區，又區分為溫暖地區使用和寒冷地區使用。溫暖地區與寒冷地區所使用的軌道版與 CA 砂漿材料不同。其符號區分表如下：

表 2-5 日本版式軌道編號對照表(二)

符 號	應 用 區 分
M	溫暖地區用(Mild)
C	寒冷地區用(Cold)
T	隧道地區用(Tunnel)
N	防震版用(Noiseless)
E	伸縮接頭(E.J)

例如：

A-155C：C 即表示寒冷地區用

A-155NC：N 表示防震版，C 表示寒冷地區使用。

2.4 德國 Rheda 版式軌道之發展

德國聯邦鐵路(German Federal Railway)鑑於傳統道碴路基的"floating support"問題嚴重，於 1960 年決定發展版式軌道此種省力之軌道結構物，於 1977 年在 Stuttgart 和 Mannheim 之間興建許多不同型式的試驗版式軌道，其中以 Rheda 軌道系統表現最好。Rheda 型的版式軌道，並曾於一些路段進行試驗，共計有 1.7Km，以與傳統道碴軌道作一比較。

Rheda 型修正後的版式軌道，包括了一凹槽型的混凝土底層，然後在凹槽內放入混凝土軌枕，並以調整螺絲將軌枕調整到適當位置，再把鋼棒依鋼軌方向，

穿過軌道預留的孔洞，將數根軌道串起來，最後將凹槽灌注混凝土，使之固定軌道，並形成一連續的版，在軌道上有一調整底版，其調整範圍，垂直方向為+20mm、-5mm，側向為+5mm、-5mm。

Rheda系統的版式軌道已有實際鋪築於ICE Stuttgart到Manheim和Wurzburg到Hannover的隧道段，其營運速度最大達到280Km/hr，而試驗的最高速度達406Km/hr，由ICE已鋪築版式軌道路段的營運紀錄來看，經過一些成本、效益、技術等的分析之後，認為在地下隧道和橋樑段鋪築版式軌道確實優於道碴軌道，其成效不錯，未來可能更廣泛地被採用[1]。

表 2-6 德國版式軌道類型表[20]

鋼軌支撐型式	鋼軌支承結構型式	鋼軌安裝型式	軌道型式名稱
非連續支撐型 (On supporting point)	軌枕型 (with sleeper)	埋入型(Inserted)	Rheda
			Rheda-Berlin
			Rheda 2000
			Zublin
			Heitkamp
			SBV
	非軌枕型 (without sleeper)	鋪設型(Lain-on)	ATD
			BTD
			Getrac
			Sato
			Walter
			Fram
			Plate
			Lawn Track
			Hochtief
FFC			
BES			
BTE-BWG/WBG			
BET-Hilti			
連續支撐型 (Continuous support)	鋼軌埋入型(Poured-in rail)		Edilon(Infundo)
	鋼軌鉗夾型(Clamped rail)		Ortec
			Saargummi

2.4.1 Rheda 型式的發展：

Rheda 版式軌道型式之發展過程如圖 2-5、2-6、2-7、2-8、2-9 與 2-10 所示：

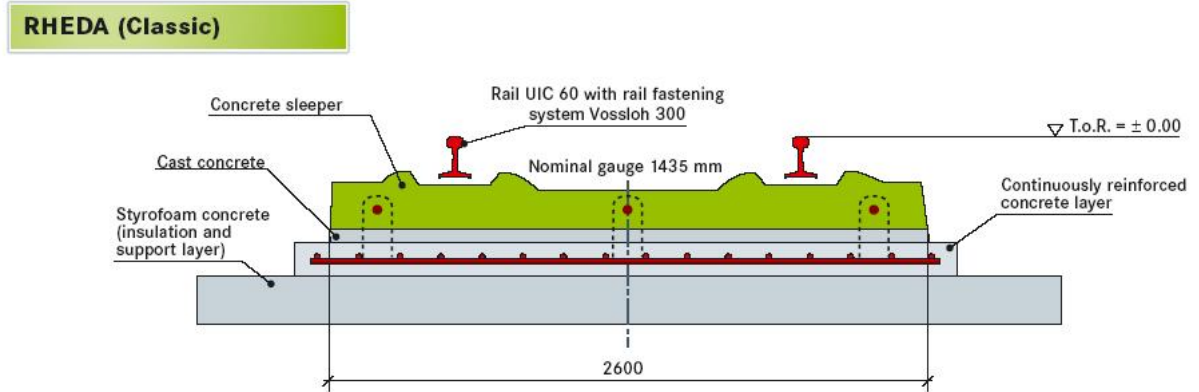


圖 2-5 Rheda 軌道原型剖面圖[20]

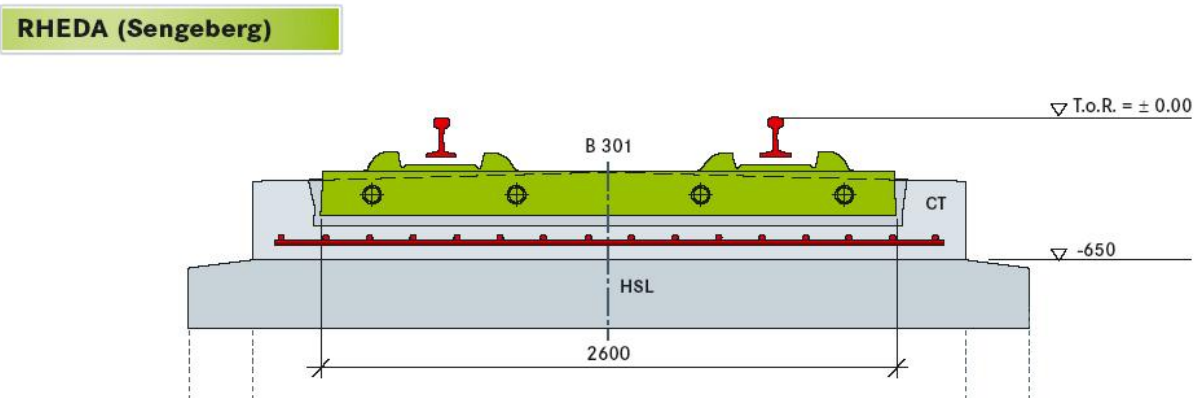


圖 2-6 Rheda 軌道之 Sengeberg 型式剖面圖[20]

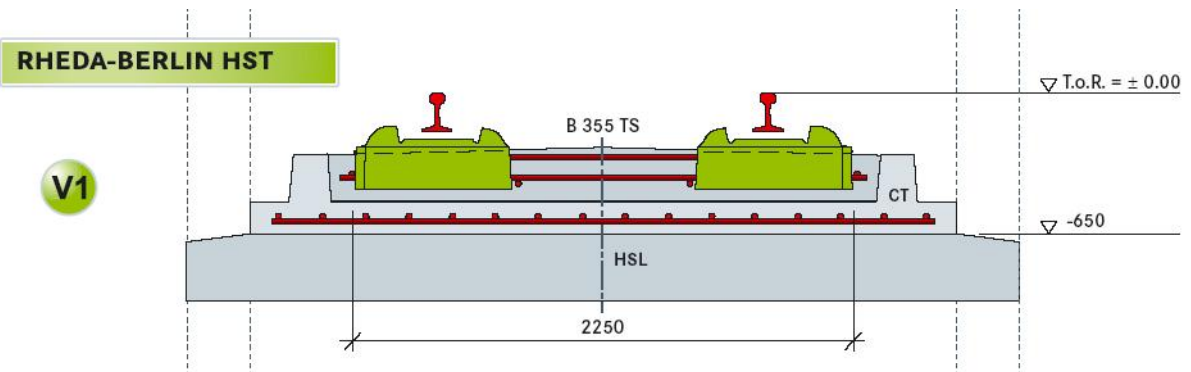


圖 2-7 Rheda 軌道之 Berlin-V1 型式剖面圖[20]

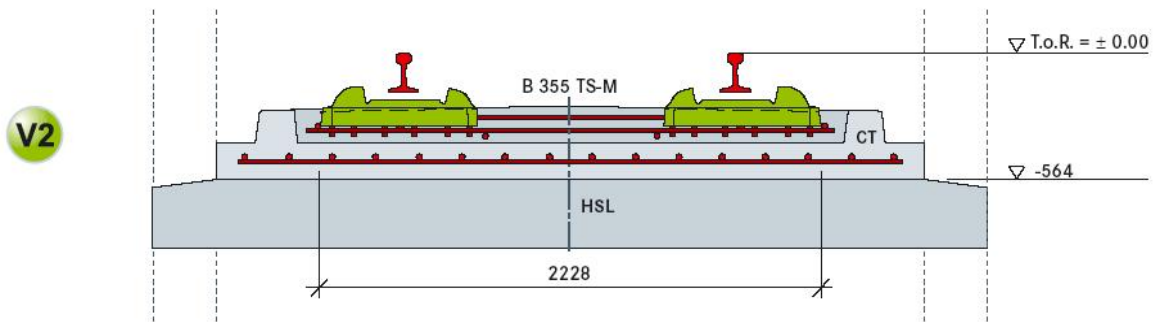


圖 2-8 Rheda 軌道之 Berlin-V2 型式剖面圖[20]

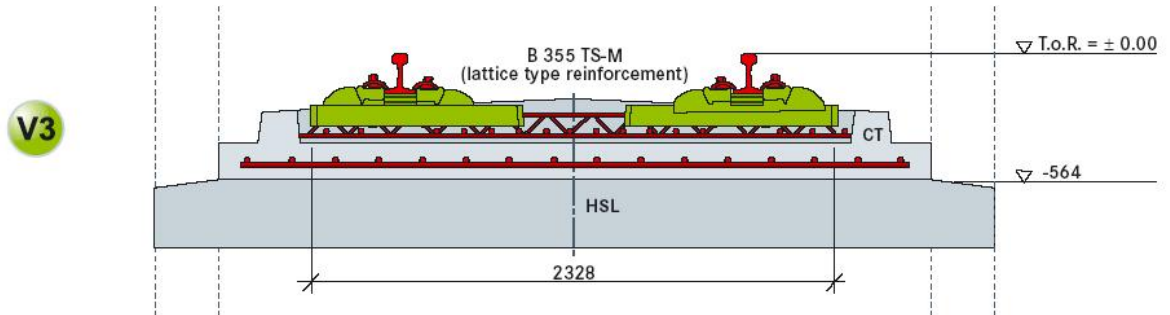


圖 2-9 Rheda 軌道之 Berlin-V3 型式剖面圖[20]

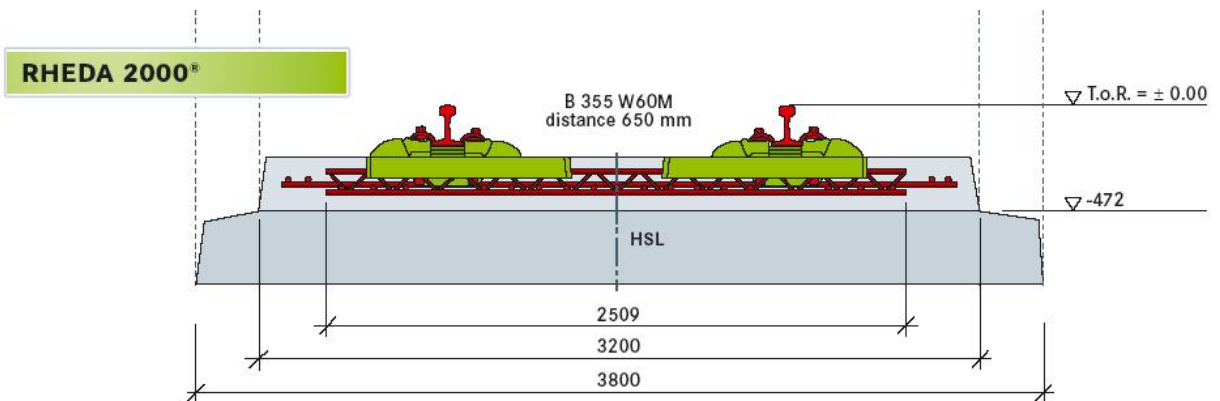


圖 2-10 Rheda 軌道 2000 型式剖面圖[20]

1. Rheda 原型版式軌道

依據 Dr. Bernhard Lichtberger(2005)於其所著之 Track Compendium (Formation、Permanent Way、Maintenance、Economics) [18]所述，版式軌道型式名稱”Rheda”一辭源自於 1972 年德國第一次鋪設版式軌道於 Rheda-Wiedenbruck 車站而得名。由於 Rheda 版式軌道型式的設計並沒有申請專利，因此目前已由許多軌道專業設計廠商以 Rheda 為基礎發展出許多新的型式。

Rheda 版式軌道乃是將 2.6m 長的 Rheda 混凝土軌枕埋置於槽型或混凝土承載層上，並經由垂直與水平的調整以達到其所要求之精度之後，即澆置混凝土予以固定，同時為防止在混凝土硬固期間溫度對軌枕位置的影響，軌枕上的扣件必須與鋼軌鬆脫，以防止鋼軌熱脹冷縮帶動軌枕而改變軌枕之位置。

在軌道調整與維修方面，撇開在實際鐵路運轉上成功的經驗，要維持軌道使用之壽命，必要的維修勢不可少。Rheda 版式軌道在施工完成後無法執行較大的高程

調整，同時由於混凝土軌枕與軌枕間是以縱向鋼筋作加強與連結，所以並無法更換單一個軌枕。另外由於縱向鋼筋的連結，亦無法於軌枕與凹槽間安裝消音材料。由於 Rheda 混凝土軌枕是埋置於混凝土凹槽中，再以填充混凝土填滿兩者間的間隙，然而因此會在填充混凝土與凹槽間產生冷縫，在實際案例上，這些冷縫產生的裂縫已無法防止道床表面水的滲漏，因此會減少軌道的生命週期。

Rheda 版式軌道所衍生的各種型式其高度從軌面到防凍層均在 830mm~961mm 之間。目前在德國 Rheda 型式之版式軌道已鋪設長度約 150 公里。[18]

2. Rheda 2000 版式軌道

Rheda 2000 型式為目前經由 Rheda 原型發展至今之最新改良型式，於 2000 年 7 月第一次鋪設於萊比錫與哈勒間的德國高速鐵路[19]。Rheda 2000 乃是將 Rheda-Berlin 型式中兩個混凝土塊間之連結鋼筋更改為桁行鋼架，同時取消混凝土凹槽之使用[18]。另外 Rheda 2000 型式版式軌道系統之上部結構需要一個無沉陷的基床，因為安裝於道床內的鋼筋其功用乃是對道床混凝土裂縫寬度的控制與側向力的傳導，而非用以提供混凝土道床的勁度[19]。

2.4.2 Rheda 版式軌道之施工[19]

軌道之施工使用 Top-Down 的方式，利用鋼軌的頂面與內側面做為軌道安裝調整之參考點，以達到高精密度的要求。此外，軌道扣件系統之調整限度亦可以因應基床長期的差異沉陷。目前在國外所鋪設之 Rheda 版式軌道，其軌道安裝調整之相關技術敘述如下：

1. 門型調整架(Portal adjustment)

門型調整架可同時進行水平與垂直線形的調整，其施工步驟敘述如下：

- A. 混凝土路盤澆置
- B. 軌道套件(包括鋼軌與軌枕)鋪設於混凝土路盤上
- C. 道版鋼筋組立
- D. 道版模版組立
- E. 門型調整架錨固於混凝土路盤上
- F. 門型調整架上之吊昇裝置將鋼軌(連同軌枕與鋼筋)上提約 9 公分，並由現場施工技術人員將軌道線形調整至設計值誤差 $\pm 0.5\text{mm}$
- G. 再由測量人員指導現場施工技術人員調整每一門型調整架，以調整出設計所需之軌道超高，最後完成軌道線形的調整
- H. 調整完成後，固定所有的門形調整架，之後即可進行道版混凝土澆置作業，並完成軌道鋪設作業



圖 2-11 門型軌道調整架(一) [20]

圖 2-12 門型軌道調整架(二) [20]

2. 水平調整器與 Spreader-bar & Spindle base adjustment

水平調整器與垂直桿調整器係分別使用於軌道水平與垂直線形之調整，其施工步驟敘述如下：

- A. 混凝土路盤澆置
- B. 在混凝土路盤上，於軌枕鋪設位置中心處鑽設水平調整器固定桿
- C. 軌道套件(包括鋼軌與軌枕)鋪設於混凝土路盤上
- D. 道版鋼筋組立
- E. 安裝水平調整桿，調整軌道水平線形
- F. 將垂直桿調整器安裝於軌軌上，調整軌道垂直線形與超高
- G. 調整完成後即可進行道版混凝土澆置作業，並完成軌道鋪設作業



圖 2-13 軌枕水平調整器[20]

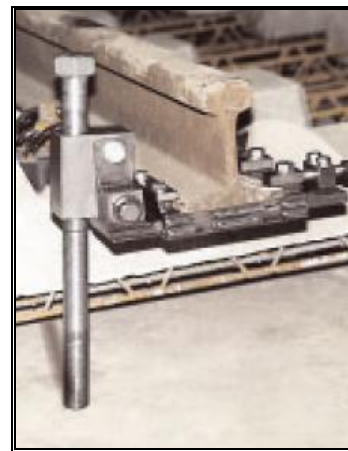


圖 2-14 鋼軌垂直調整器[20]

3. 道版混凝土澆置

在精確的軌道調整完成之後，便可進行道版混凝土澆置作業。混凝土澆置作業之品質攸關整體軌道之品質，尤其在混凝土澆置方向更應加強控管，因為澆置方向需朝同一方向進行，以避免氣泡被困在軌枕底下而影響品質。同時良好的搗實與澆置後完成面的處理，更可保證軌枕與道版良好的結合，已獲得整體道版之品質。

在完成混凝土搗實之後，即可鬆開相關軌道固定裝置，並於澆置完成後 6 小時，便可拆除道版模版。因此在一個流暢且各自獨立的工作流程下，每日可完成之軌道長度可達 500 公尺[19]。

2.5 工法評估文獻

評估與評選一個工法的可以從不同之角度與方法來進行，其中李義彪(2001)無道碴軌道型式決策模式之研究(應用價值工程及多屬性決策理論)；其研究分為二部分，第一部分為依據文獻分析進行專家決策理論的專家訪談，所得的五大層面及十六項評估準則，以(AHP)的方法進行權重分析，並依據價值工程方法進行原型式無道碴軌道的機能提昇及修正，產生四個不同方案，以供專家進行評選。第二部份，以問卷調查及專家訪談，依第一部分所得的決策變數及權重進行評選及比較。

陳禹成(2001) 污水下水道分支管工程興建模式及其評估模式之研究；針對現行污水下水道分支管網工程之執行方式進行比較，並依據新法賦予分支管設計及施工整合之可能性，提出合於法律規定之各種污水下水道分支管網及用戶連接管工程興建模式。此外，應用層級分析法(AHP)由政策面及執行面建立分支管網工程興建方式成效評估模式，據以推估各類興建方式之預期成效。經系統性歸納整理後，共研擬十九種可行之分支管工程興建方式，並透過成效評估模式之建立，以專家問卷之方式調查工程主辦單位、工程顧問公司及營造工程廠商對於各類興建方式之預期成效，並據此進行各類興建方式預期成效之優選排序，作為各縣市政府主辦單位依其人力與經驗選用之參考，以達成政府大力提升污水下水道接管率之政策。

葉叔鑫(2003)台灣地區最適無道碴軌道型式之研究；以經濟之觀點，探討現行台灣鐵路所引進多種無道碴軌道型式所衍生的問題，並針對諸型式進行詳細的調查及建立完整的資料後，應用多準則決策(MCDM)分析的觀念，整合戴爾菲層級分析法(DAHP)、理想解趨近法(TOPSIS)、敏感度分析(SA)等方法，建構一套台灣地區最適無道碴軌道型式之評選模式，並透過實證分析評選出較佳方案。

蔡再傳(2004)生態工法之綜合評估—以道路邊坡工程為例；運用「層級分析法(AHP)」從事專家問卷調查，經統計分析並計算各決策層面及評估準則之權重作為道路邊坡工程生態工法之綜合評估的依據，即在維護道路邊坡安全性之前提下，分別就生態、環境、經濟等三個層面之效益作評估分析。每一層面均有四個評估準則，生態層面之評估準則為：綠化及植生復育、生物多樣性、土壤復育支出、保水性，環境層面之評估準則為：創造環境景觀特色、工程構造物最小化設計、環境調合度、公害防治支出，經濟層面之評估準則為：材料種類及費用(考量施工性)、最少土石方及土石資源處理、營建廢棄物減量、維護與管理成本。另收集山區道路邊坡工程採用生態工法的實際案例，以檢驗本研究所建立綜合評估方法的正確性，提供給決策者進行策略釐定之參考。

黃國展(2005)評估及優選免開挖翻修工法應用於污水下水道；整理相關免開挖翻修工法內容資料並探討影響之因子，再經討論找出影響因子後。利用層級分析法與專家問卷，評估其總體得分，建立選擇工法時可考量之難易程度。

表 2-7 工法評估文獻整理表

作者	出 處	文 獻 名 稱	評 估 準 則
李義彪	國立中央大學，碩士論文，民國 90 年 6 月	無道碴軌道型式決策模式之研究(應用價值工程及多屬性決策理論)	一、鐵路政策層面 1. 系統規劃 2. 使用單位偏好度 3. 整體工業發展 二、安全性層面 1. 技術能量 2. 功能前瞻性 3. 可靠度與耐久性 4. 工址特性融合度 三、舒適性層面 1. 噪音震動防治性能 2. 軌道不整的發生頻率 3. 環境保護 四、施工性層面 1. 施工可行性 2. 施工進度 3. 施工融合度 五、經濟性層面 1. 建造成本 2. 維修養護成本 3. 維修之社會成本
陳禹成	國立中央大學，碩士論文，民國 90 年 6 月	污水下水道分支管工程興建模式及其評估模式之研究 	一、政策層面 1. 建設期程 A. 採購及設計期程 B. 管線遷移期程 C. 地下障礙排除期程 D. 變更設計期程 E. 民眾抗爭期程 2. 預算執行 A. 預算執行率 B. 預算追加減 二、執行層面 1. 執行人力 A. 設計人力 B. 監造人力 C. 採購人力 2. 工程品質 A. 設計品質 B. 施工品質 3. 建設成本 A. 管線單位造價 B. 管線遷移費用 C. 變更設計費用 D. 地下障礙排除費用 4. 界面管理 A. 設計施工整合性 B. 分支管界面整合性 5. 合約管理 A. 合約內容完整性 B. 合約執行之確認 C. 合約爭議之處理

作者	出處	文獻名稱	評估準則
葉叔鑫	國立台北科技大學，碩士論文，民國 93 年 6 月	台灣地區最適無道碴軌道型式之研究	一、經濟層面： <ol style="list-style-type: none"> 1. 營運維護成本 2. 工程建造成本。 二、技術層面： <ol style="list-style-type: none"> 1. 技術取得難易 2. 施工便利性 3. 施工作業時效性 4. 安全可靠度及耐久性。 三、環境層面： <ol style="list-style-type: none"> 1. 施工環境影響 2. 營運環境影響 3. 抗環境腐蝕性。 四、政策層面： <ol style="list-style-type: none"> 1. 本土化適應性 2. 軌道工業發展的配合性 3. 使用單位的偏好。
蔡再傳	國立高雄第一科技大學，碩士論文，民國 93 年 1 月	生態工法之綜合評估－以道路邊坡工程為例 	一、生態層面 <ol style="list-style-type: none"> 1. 綠化及植生復育 2. 生物多樣性 3. 土壤復育支出 4. 保水性 二、環境層面 <ol style="list-style-type: none"> 1. 創造環境景觀特色 2. 工程構造物最小化設計 3. 環境調合度 4. 公害防治支出 三、經濟層層 <ol style="list-style-type: none"> 1. 材料種類與費用（考量施工性） 2. 最少土石及土石資源處理 3. 營建廢棄物減量 4. 維護與管理成本
黃國展	逢甲大學，碩士論文，民國 94 年 6 月	評估及優選免開挖翻修工法應用於污水下水道-	一、施工人員 <ol style="list-style-type: none"> 1. 人員要求素質 2. 施工人員數量 二、施工材料 <ol style="list-style-type: none"> 1. 管材材質 2. 加工方式 三、施工機具 <ol style="list-style-type: none"> 1. 施工空間 2. 操作方式 四、施工速度 <ol style="list-style-type: none"> 1. 施工作業時間 2. 前置作業時間

三、台灣高速鐵路軌道系統

台灣高速鐵路軌道系統除部份路段採用 LVT 低震動軌道(台北部份地下路段)、埋入式軌道(台北車站部份路段)與道碴軌道(維修基地、高鐵尾端約 3 公里)外，主要採用日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 型版式軌道。

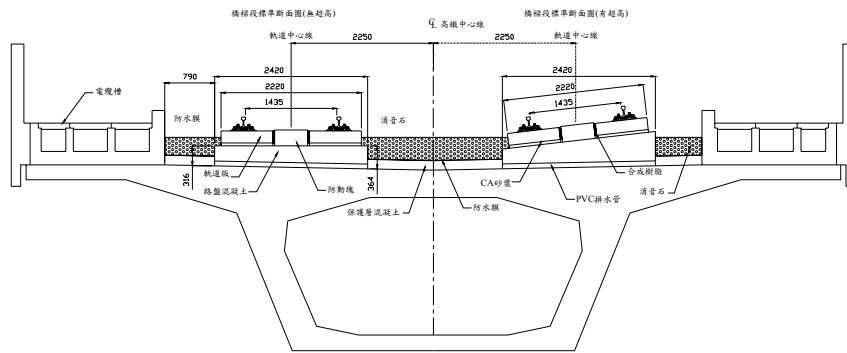
本章節僅就日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 非道岔路段做軌道設計理念與施工流程介紹。其中設計理念部份將就其軌道組成單元相關尺寸與斷面圖做介紹；施工流程部份則以施工流程圖與對應之施工照片做介紹。

3.1 日本 J-Slab 版式軌道系統

3.1.1 軌道設計理念

表 3-1 日本 AF-55 版式軌道結構組成單元尺寸表

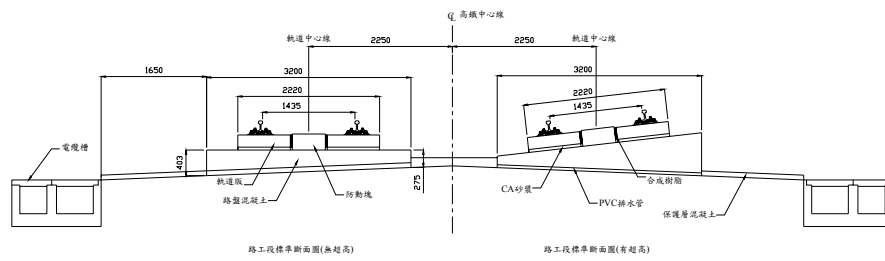
軌道結構名稱			尺寸(mm)
下部結構	路盤混凝土	橋樑	寬=2420*高 1=316*高 2=364mm
		路工	寬=3200，高 1=403，高 2=275
		隧道	寬=2420，高 1=312，高 2=337mm
	防動塊	橋樑	a. 全圓：直徑=520，高=250 b. 半圓：直徑=510/210，高=250
		路工	a. 全圓：直徑=520，高=250 b. 半圓 A：直徑=520/260，半圓 B：直徑=510/210，高=250
		隧道	a. 全圓：隧道口 80m：直徑=520，高=250 b. 全圓：隧道口 80m 以內：直徑=500，高=250 c. 半圓 A：直徑=510/210，半圓 B：直徑=520/260，高=250
	保護層混凝土	橋樑	寬 1=790，寬 2=2080，寬 3=790，高=150
		路工	寬 1=1650，寬 2=1300，寬 3=1650，高=75
		隧道	無設置
上部結構	CA 砂漿層		寬=710，長=4900，高=45mm，2 塊/軌道版
	合成樹脂		半徑 1=260，半徑 2=300，高=180，厚=40mm，2 處/軌道版
	預鑄軌道版		長=4900，寬=2220，高=190mm
	直結式扣件裝置	基鈹墊片	長=410，寬=230，高=7
		調整鋼板	長=410，寬=230
		基版	長=360，寬=180，高=18
		基版螺栓組	六角螺栓
		可調整鋼軌墊片	長=220，寬=160，高=3~13
		鋼軌墊片	長=241，寬=170，高=12
		彈性扣夾	長=90，寬=81，高=57
彈性扣夾螺栓組	T 字頭螺栓		
鋼軌		高=174，頭部寬=65，底部寬=145，60kg/m	



非超高路段

超高路段

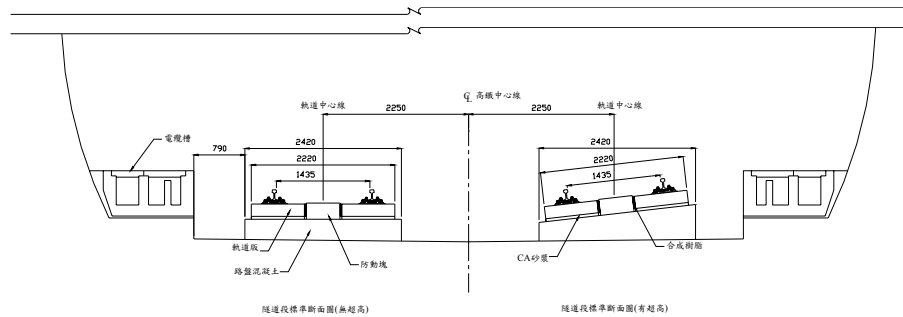
圖 3-1 日本 AF-55 版式軌道橋樑段標準斷面圖



非超高路段

超高路段

圖 3-2 日本 AF-55 版式軌道路工段標準斷面圖



非超高路段

超高路段

圖 3-3 日本 AF-55 版式軌道隧道段標準斷面圖

3.1.2 軌道施工流程

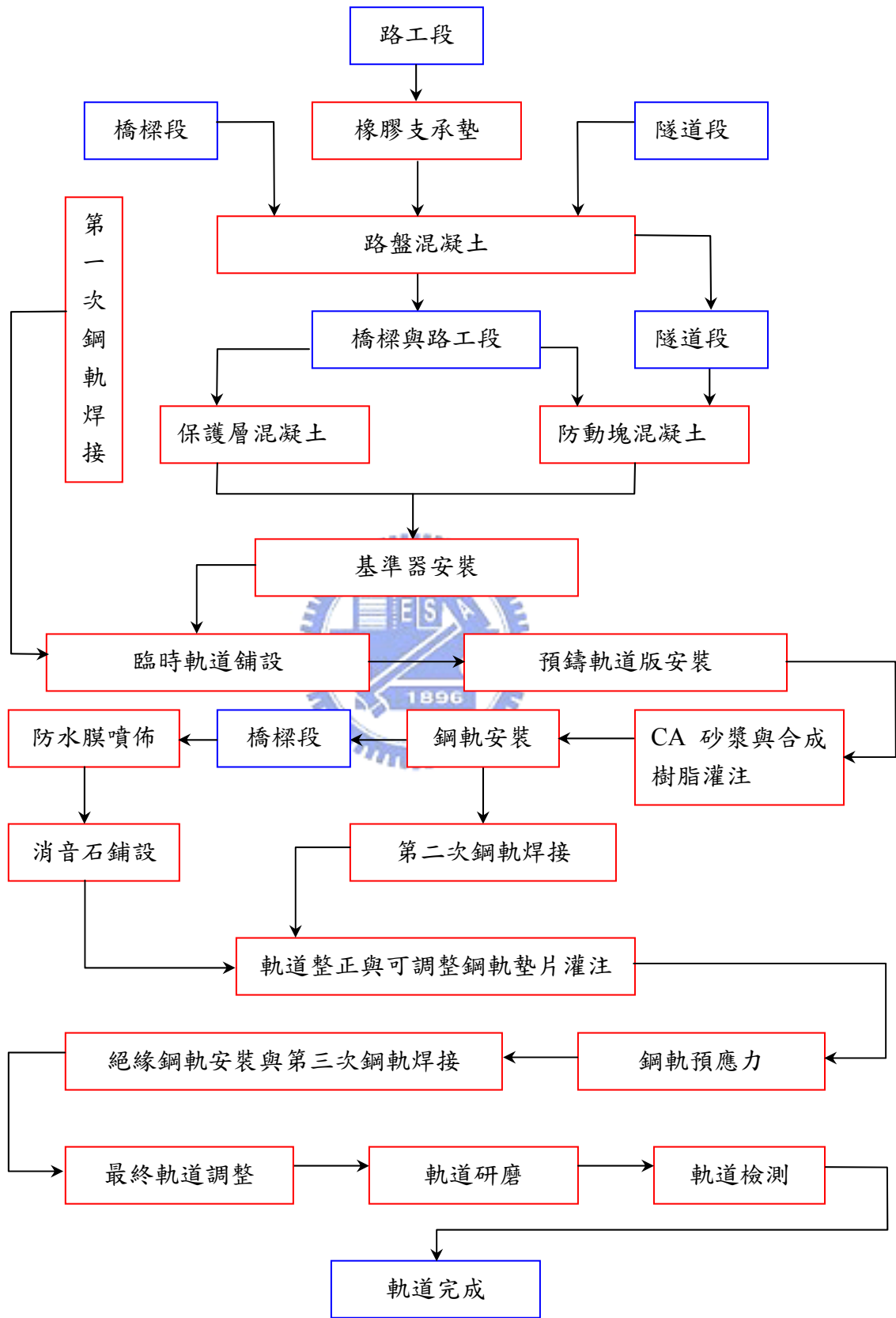


圖 3-4 日本 AF-55 軌道系統施工流程圖

A. 日本 AF-55 版式軌道下部結構施工

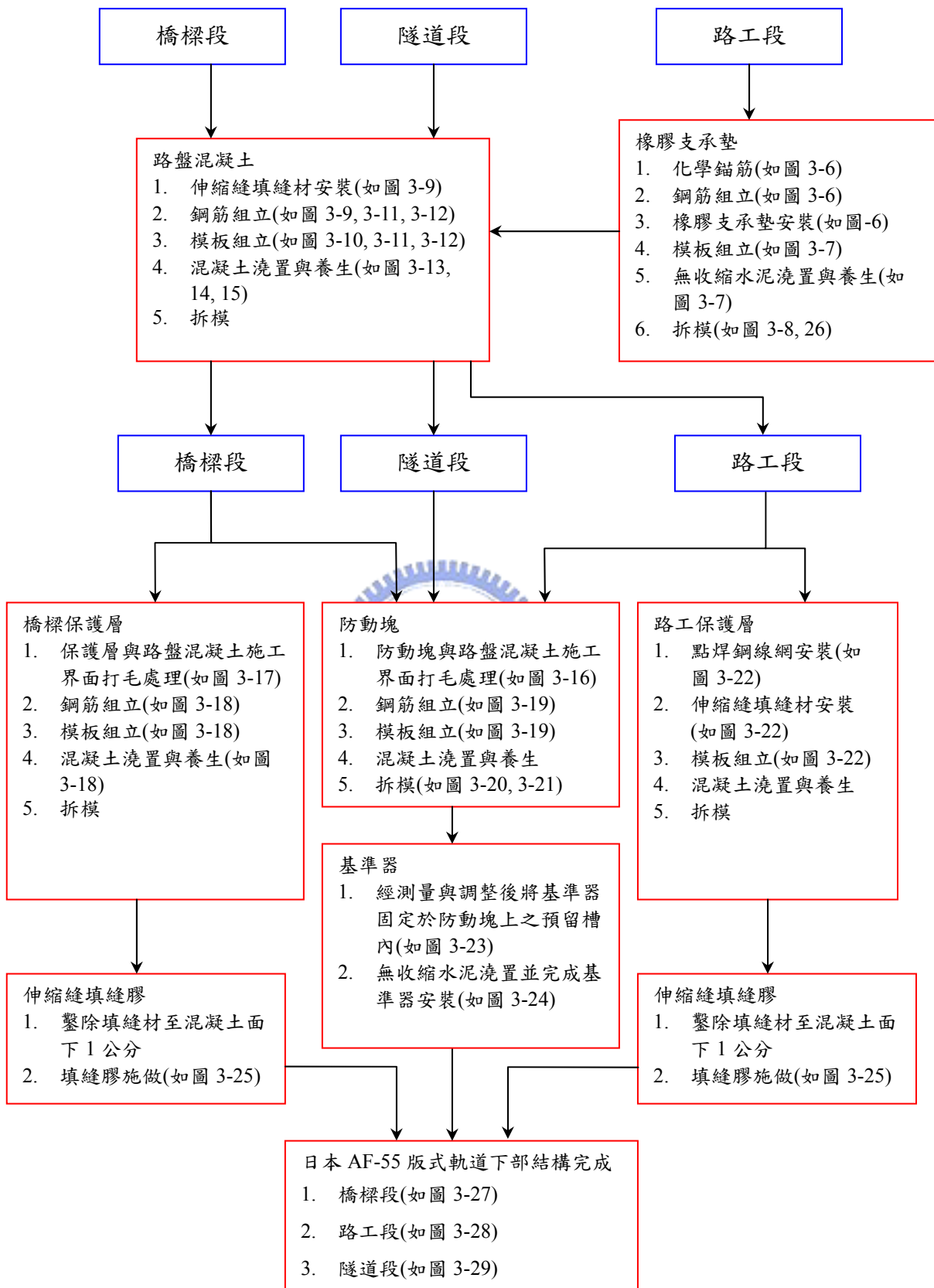


圖 3-5 日本 AF-55 版式軌道下部結構施工細部流程圖



圖 3-6 橡膠支承墊組立圖



圖 3-7 橡膠支承墊灌漿圖



圖 3-8 橡膠支承墊完成圖



圖 3-9 橋樑段路盤鋼筋組立圖



圖 3-10 橋樑段路盤混凝土模板組立



圖 3-11 隧道段路盤混凝土施工



圖 3-12 路工段路盤混凝土施工圖



圖 3-13 橋樑段路盤混凝土澆置圖



圖 3-14 隧道段路盤混凝土澆置圖



圖 3-15 路工段路盤混凝土澆置



圖 3-16 防動塊與路盤混凝土界面



圖 3-17 保護層與路盤混凝土界面



圖 3-18 橋樑段保護層混凝土澆置



圖 3-19 防動塊混凝土鋼模



圖 3-20 全圓形防動塊完成圖



圖 3-21 半圓形防動塊完成圖



圖 3-22 路工段保護層鋼筋與模板



圖 3-23 基準器安裝圖



圖 3-24 基準器完成圖



圖 3-25 路盤混凝土伸縮縫填縫圖



圖 3-26 路工段橡膠支承墊完成圖



圖 3-27 橋樑段下部結構完成圖



圖 3-28 路工段下部結構完成圖



圖 3-29 隧道段下部結構完成圖

B. 臨時軌道鋪設

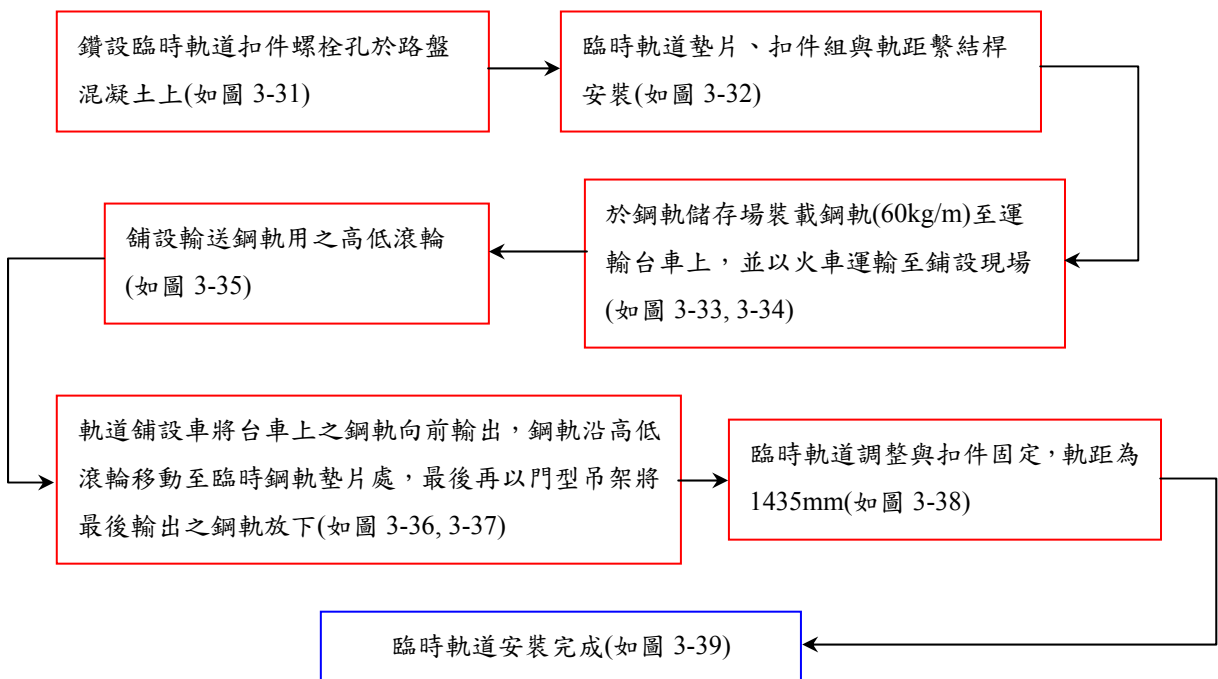


圖 3-30 日本 AF-55 版式軌道臨時軌道鋪設流程圖



圖 3-31 臨時軌道墊片鑽孔



圖 3-32 臨時軌道墊片與軌距固定桿



圖 3-33 鋼軌裝載



圖 3-34 鋼軌運送



圖 3-35 臨時鋼軌鋪設(一)



圖 3-36 臨時鋼軌鋪設(二)



圖 3-37 臨時鋼軌鋪設(三)



圖 3-38 臨時軌道調整



圖 3-39 臨時軌道鋪設完成圖

C. 預鑄軌道版安裝

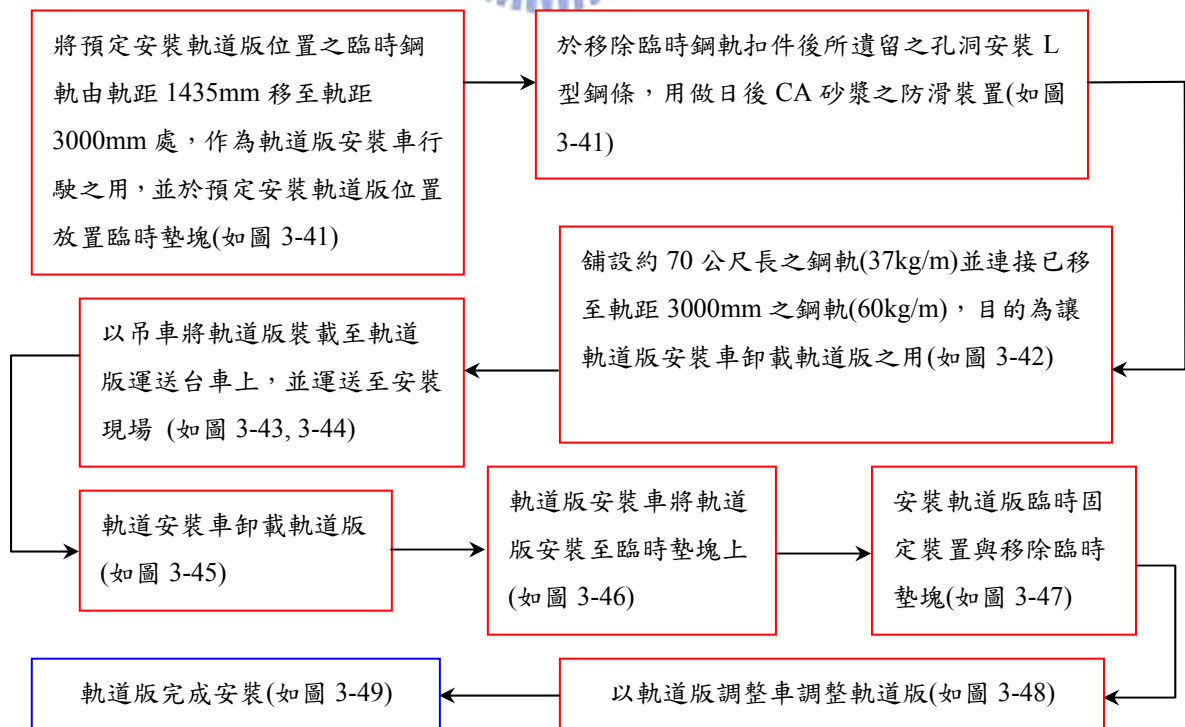


圖 3-40 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝流程圖



圖 3-41 臨時軌擴軌與臨時墊塊



圖 3-42 37kg/m 鋼軌延伸圖



圖 3-43 預鑄軌道版裝載圖



圖 3-44 預鑄軌道版運送



圖 3-45 預鑄軌道版卸載圖



圖 3-46 軌道版安裝車鋪設軌道版



圖 3-47 軌道版臨時支撐桿



圖 3-48 軌道版調整



圖 3-49 預鑄軌道版鋪設完成圖

D. CA 砂漿與合成樹脂灌注

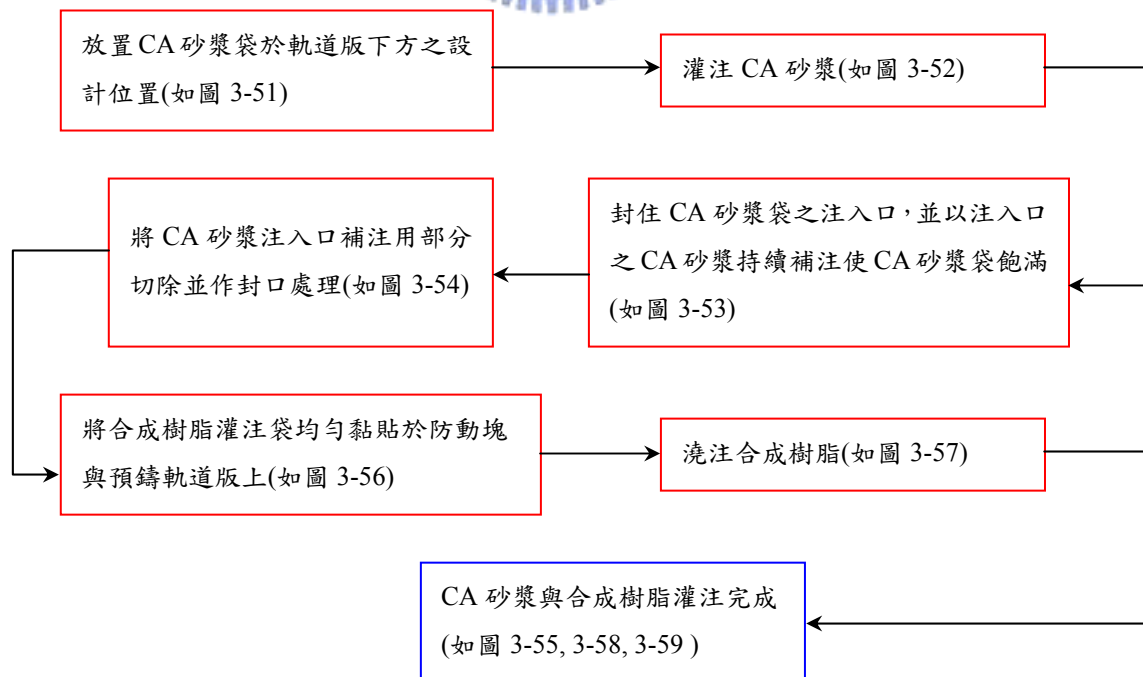


圖 3-50 日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注流程圖



圖 3-51 CA 砂漿袋放置



圖 3-52 CA 砂漿灌注(一)



圖 3-53 CA 砂漿灌注(二)



圖 3-54 CA 砂漿注入口封頭



圖 3-55 CA 砂漿完成圖



圖 3-56 合成樹脂澆注袋安裝



圖 3-57 合成樹脂澆注



圖 3-58 全圓防動塊合成樹脂完成圖



圖 3-59 半圓防動塊合成樹脂完成圖

E. 鋼軌安裝

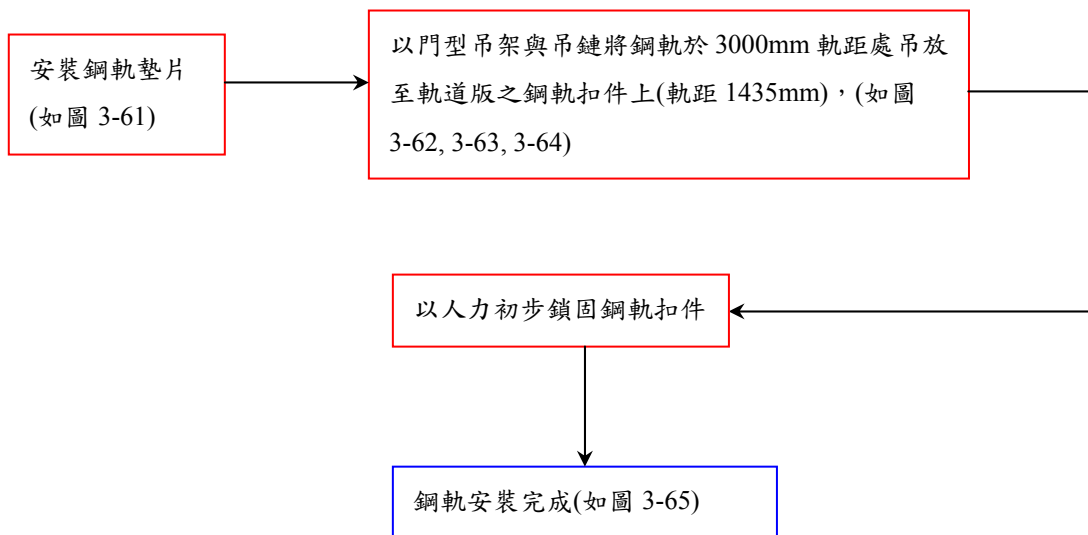


圖 3-60 日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝流程圖



圖 3-61 鋼軌墊片安裝



圖 3-62 鋼軌安裝(一)



圖 3-63 鋼軌安裝(二)



圖 3-64 鋼軌安裝(三)



圖 3-65 鋼軌安裝完成圖

F. 軌道整正與可調整鋼軌墊片灌注



圖 3-66 日本 AF-55 版式軌道軌道整正與可調整鋼軌墊片灌注流程图



圖 3-67 軌道整正



圖 3-68 軌道檢測(Track Master)



圖 3-69 可調整鋼軌墊片灌注(一)



圖 3-70 可調整鋼軌墊片灌注(二)



圖 3-71 可調整鋼軌墊片完成圖

G. 日本 AF-55 版式軌道完成圖



圖 3-72 日本 AF-55 版式軌道橋樑段完成圖



圖 3-73 日本 AF-55 版式軌道路工段完成圖



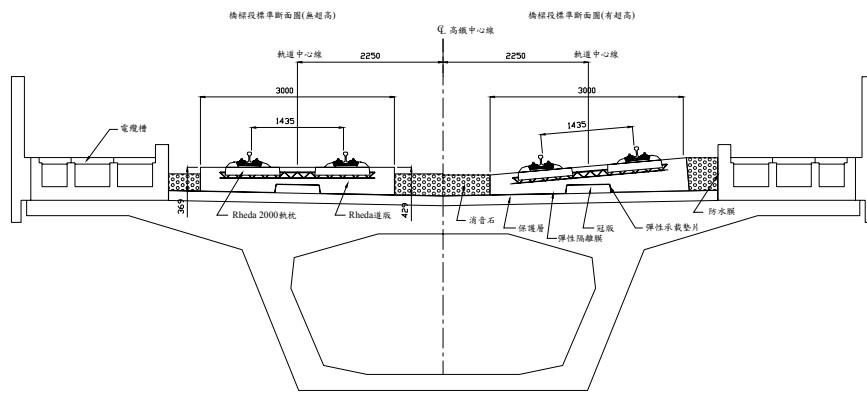
圖 3-74 日本 AF-55 版式軌道隧道段完成圖

3.2 德國 Rheda 2000 版式軌道系統

3.2.1 軌道設計理念

表 3-2 德國 Rheda 2000 軌道結構組成單元尺寸表

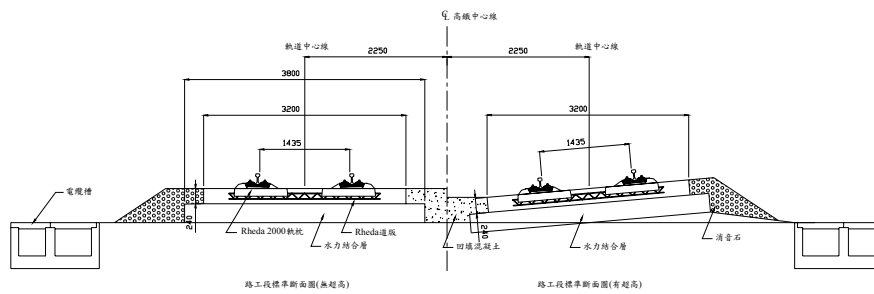
軌道結構名稱			尺寸(mm)	
下部 結構	橋樑	保護層	寬=8500，高=150	
		冠版	頂面長 660，寬 660；底面長 700，寬 700；高 130	
	路工	水力結合層	寬=4100，高=300	
		回填混凝土	寬=1300，高=100	
		保護層	寬=1200，高=75	
		地樑	高=1000，寬 1=1080，寬 2=1654cm，L=3200	
		整平層	寬=7700，高=300	
	隧道	整平層	寬=8500，高 1=273.5，高 2=316	
上部 結構	彈性隔離膜		寬=3000，厚=5	
	彈性承載墊片		5、10 與 15 三種厚度	
	道版混凝土	橋樑	寬=3000，高 1=369，高 2=429	
		路工	寬=3200，高=240	
		隧道	寬=3000，高=240	
	預鑄軌枕		長=2400，寬=286，高=248	
	直結式扣件裝置	高程調整塑膠板		長=210，寬=175
		高度調整鋼板		長=210，寬=175
		彈性基版墊片		長=285，寬=160，厚=12
		基版		長=295，寬=170，厚=16
		鋼軌墊片		長=190，寬=153，厚=2~12
導角版		長=192，寬=115，高=57		
枕木螺栓		長=195mm，直徑=24mm		
彈性扣夾		長=175，寬=120，高=56		
鋼軌		高=174，頭部寬=65，底部寬=145，60kg/m		



非超高路段

超高路段

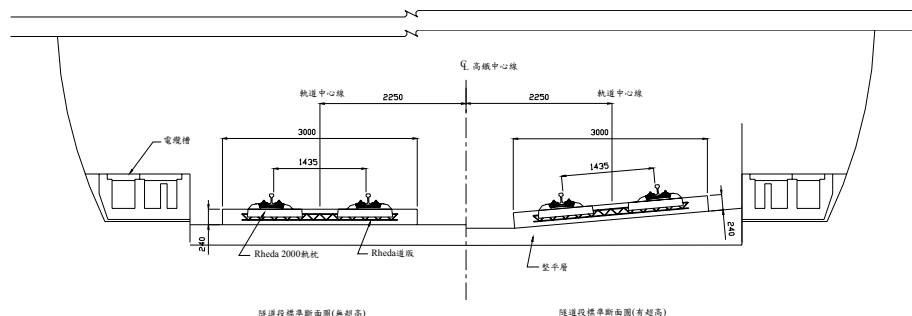
圖 3-75 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段標準斷面圖



非超高路段

超高路段

圖 3-76 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段標準斷面圖



非超高路段

超高路段

圖 3-77 德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段標準斷面圖

3.2.2 德國 Rheda 2000 版式軌道施工流程

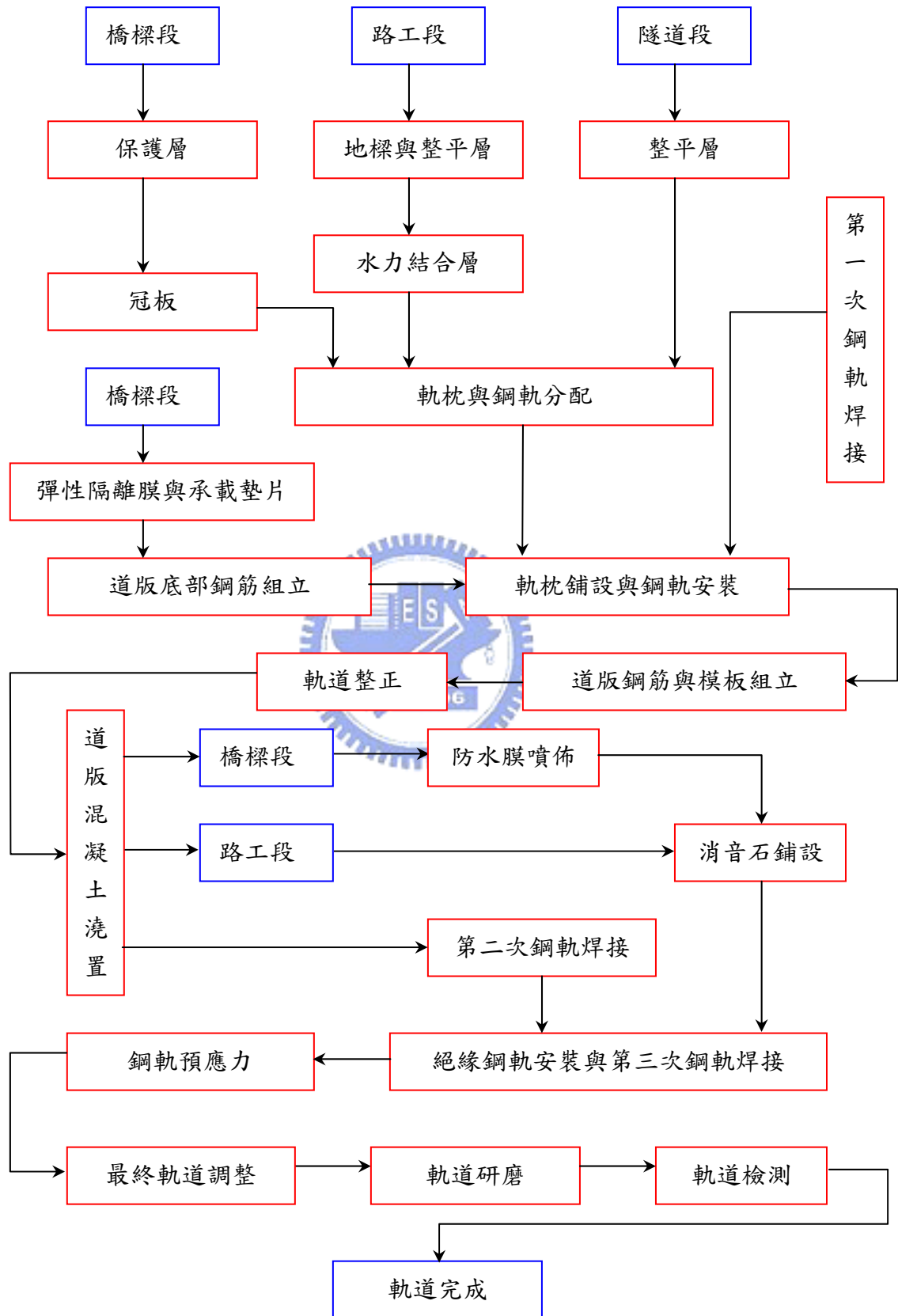


圖 3-78 德國 Rheda 2000 版式軌道施工流程圖

A. 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-橋樑段保護層與冠版施工

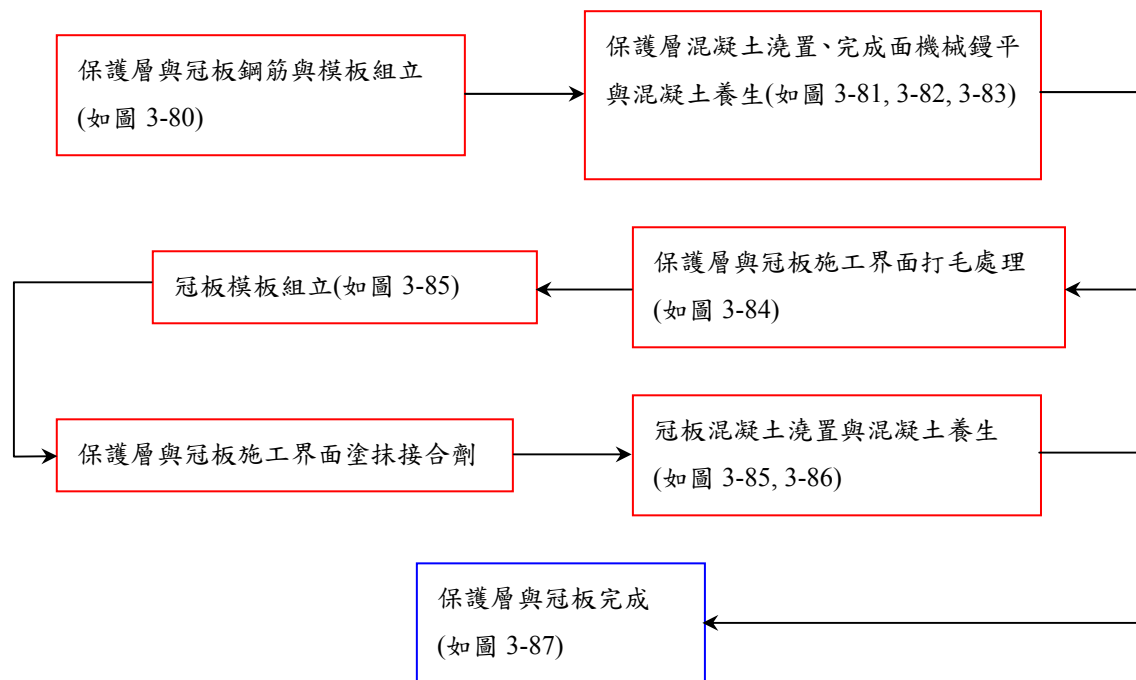


圖 3-79 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-橋樑段保護層與冠版施工流程圖



圖 3-80 保護層與冠板鋼筋



圖 3-81 保護層混凝土澆置



圖 3-82 保護層混凝土面機械鏟平



圖 3-83 保護層混凝土養生



圖 3-84 保護層與冠版界面打毛



圖 3-85 冠版混凝土澆置



圖 3-86 冠版混凝土養生



圖 3-87 保護層與冠版完成圖

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-路工段施工

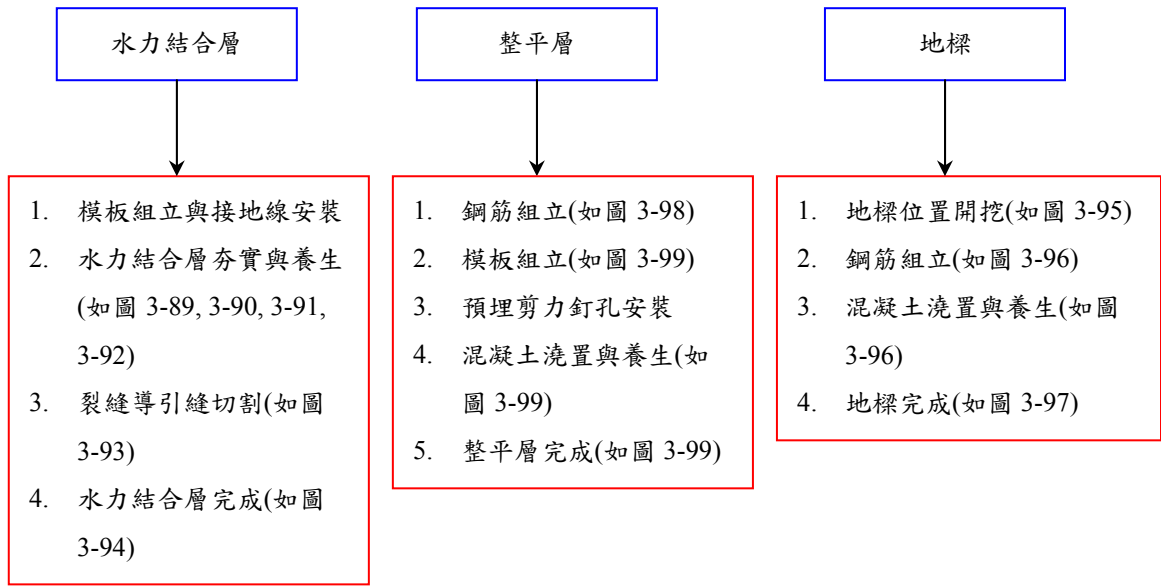


圖 3-88 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-路工段施工流程圖



圖 3-89 水力結合層乾拌混凝土卸載



圖 3-90 乾拌混凝土機械刮平



圖 3-91 乾拌混凝土人工刮平



圖 3-92 水力結合層滾壓震動夯實



圖 3-93 裂縫引導縫切割



圖 3-94 水力結合層完成圖



圖 3-95 地樑開挖



圖 3-96 地樑混凝土澆置



圖 3-97 地樑完成圖



圖 3-98 整平層鋼筋



圖 3-99 整平層混凝土澆置



圖 3-100 整平層完成圖

C. 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-隧道段施工

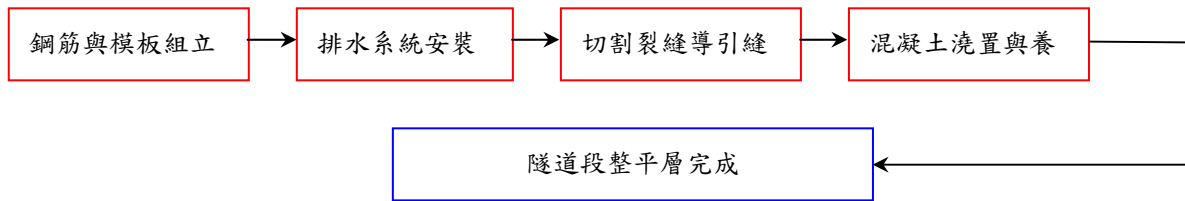


圖 3-101 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構-隧道段施工流程圖

D. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-軌枕分配施工



圖 3-102 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-軌枕分配施工流程圖



圖 3-103 吊卡車吊至橋面版



圖 3-104 預鑄軌枕臨時存放橋面版



圖 3-105 預鑄軌枕分配至安全走道上

E. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-鋼軌分配

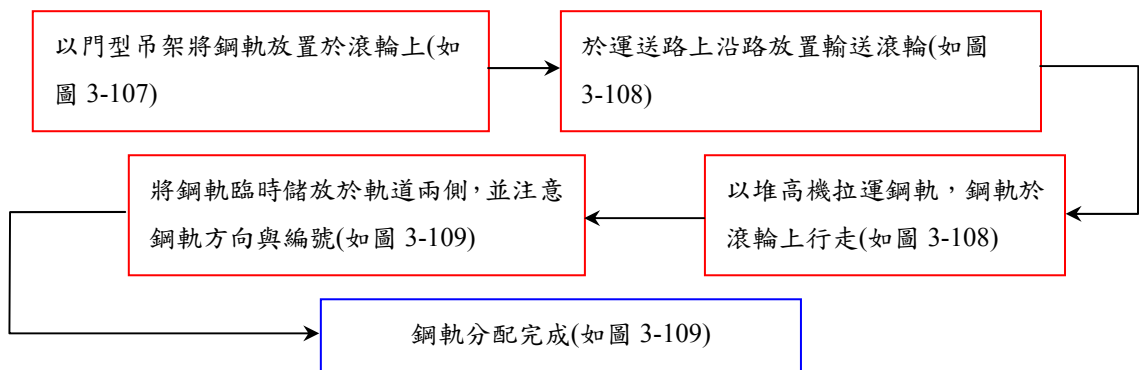


圖 3-106 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-鋼軌分配施工流程圖



圖 3-107 鋼軌臨時存放場



圖 3-108 鋼軌以堆高機運輸



圖 3-109 鋼軌臨時放置於軌道兩側

F. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-橋樑段-彈性隔離膜與承載墊片

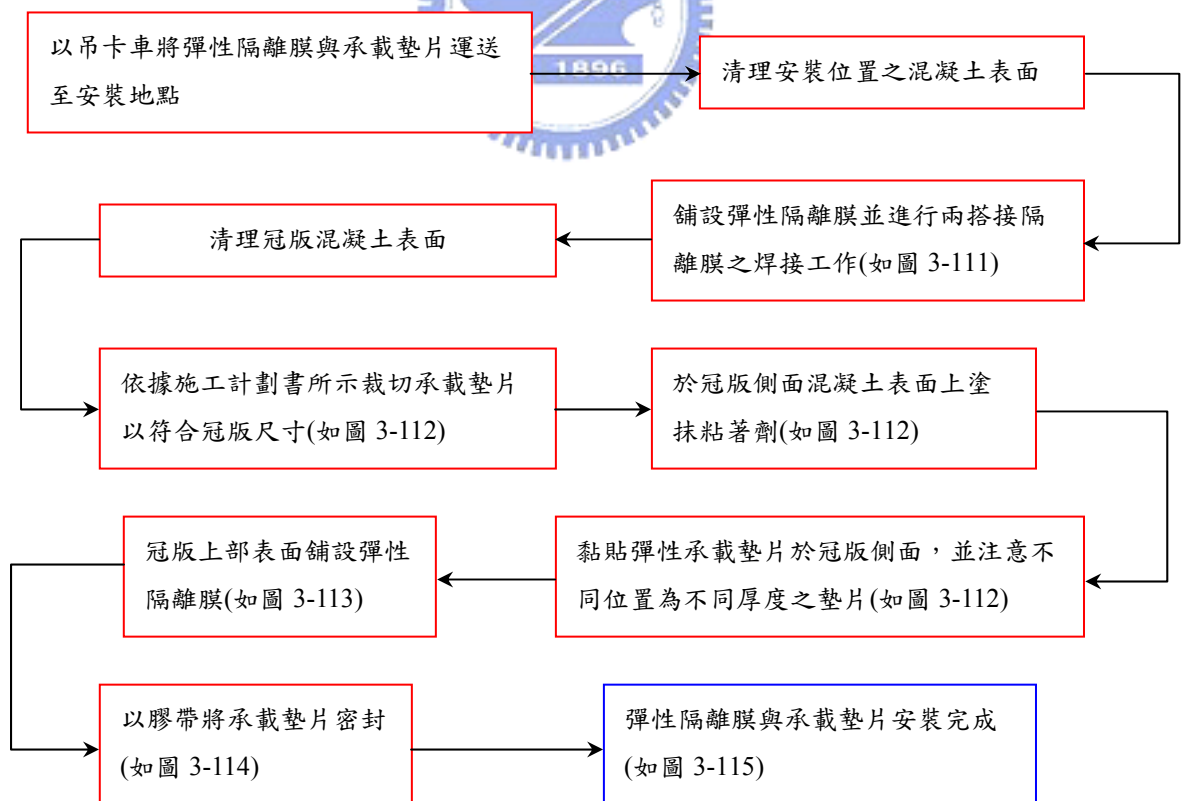


圖 3-110 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構橋樑段(彈性隔離膜與承載墊片)施工流程圖



圖 3-111 彈性隔離膜焊接



圖 3-112 彈性承載墊片安裝



圖 3-113 彈性隔離膜冠版頂部安裝



圖 3-114 彈性承載墊片膠帶密封



圖 3-115 彈性隔離膜與成載墊片完成圖

G. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-錨固鋼筋與剪力鋼筋

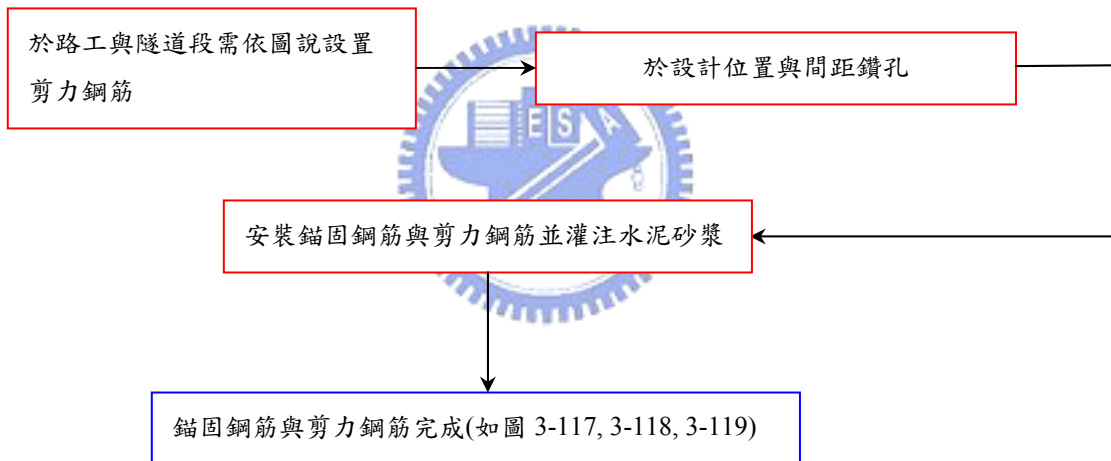


圖 3-116 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-剪力鋼筋鑽設施工流程圖



圖 3-117 ㄇ字型錨筋



圖 3-118 剪力鋼筋(一)



圖 3-119 剪力鋼筋(二)

H. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-道版混凝土



圖 3-120 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構-道版混凝土施工流程圖



圖 3-121 橋樑段道版底部鋼筋組立



圖 3-122 軌枕臨時支撐架



圖 3-123 軌枕鋪設(門型架)



圖 3-124 軌枕鋪設(吊卡車)



圖 3-125 鋼軌安裝



圖 3-126 鋼軌抬升起重機



圖 3-127 軌道初步整正



圖 3-128 鋼軌支撐架與側撐桿



圖 3-129 道版上部鋼筋組立



圖 3-130 扣件鎖固



圖 3-131 軌道細部整正(一)



圖 3-132 軌道細部整正(二)



圖 3-133 鋼軌扣件包覆

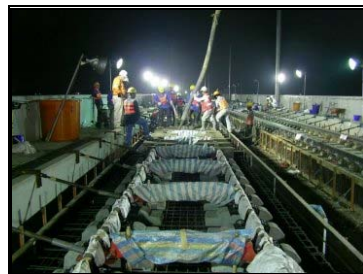


圖 3-134 道版混凝土澆置



圖 3-135 道版混凝土澆置後清理



圖 3-136 道版混凝土養生

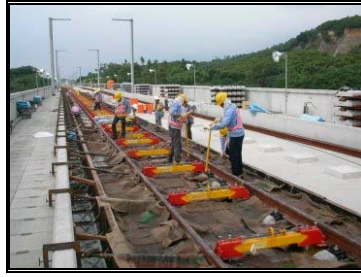


圖 3-137 鋼軌扣件鬆脫



圖 3-138 鋼軌支撐架移除



圖 3-139 鋼軌支撐架孔洞灌漿



圖 3-140 高壓水柱清理道版相關構件



圖 3-141 鋼軌扣件鎖固

I. 德國 Rheda 2000 版式軌道完成圖



圖 3-142 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段完成圖



圖 3-143 德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段完成圖



圖 3-144 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段完成圖

四、版式軌道施工管理之探討與比較分析

工法的評選，在施工管理方面大致可分為進度、成本、品質與安全四個方面；本章節將就版式軌道施工之進度、品質與成本三部份做探討，至於安全部份則留待後人繼續進行研究。

施工進度方面，區分為施工速率分析與影響施工進度之因素探討；在施工速率方面，將針對兩軌道系統中之預鑄與非預鑄單元做施工速率之分析。影響施工進度因素方面，則區分為施工限制、施工相容性、材料運輸與軌道調整性等四方面做探討。

施工品質方面，區分為預鑄與非預鑄單元之品質探討；其中預鑄單元方面，以預鑄流程品質要求與不合格率做為探討之方向。非預鑄單元方面，則以分析不合格報告(NCR)中之品質缺失為主，將不合格報告中之品質缺失分類，並繪製柏拉圖以了解佔 80%的品質缺失類型，之後再經由對這 80%的關鍵品質缺失做缺失改善方法之了解，並探討其改善方法對施工進度與成本之影響。

施工成本方面，主要在計算完工雙向軌道 1 公里所需要之費用，區分為施工材料、機具、設備與人力成本等四方面；施工材料方面，計算主要軌道材料之數量，包括鋼筋、模板、混凝土與兩軌道系統之特殊材料等。施工機具方面，以主要施工項目所使用之主要機具做探討，。施工設備方面，探討預鑄廠相關設備與現場設置之設備。人力成本方面，區分為人力數量與人力技術兩方面，探討主要施工項目所需人力與相關之施工訓練等。以上所得之資料再以公共工程委員會價格資料庫所提供之相關單價或假設之單價計算成本。

本章在每一小節之探討方式與步驟均區分為 2 個部分，分述如下：

1. 第一部份：日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道探討
2. 第二部分：日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道綜合比較與分析。

探討方式除以文字敘述外，主要以表格來做比較說明，以使讀者能夠更清楚了解本章節所探討之內容。

4.1 施工進度探討

4.1.1 軌道施工工率

4.1.1.1 預鑄工率

日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道系統在軌道結構中各有一項預鑄單元，分別為日本 AF-55 版式軌道的軌道版與德國 Rheda 2000 版式軌道的軌枕。

因此，本小節將探討日本 AF-55 之預鑄軌道版與德國 Rheda 2000 之軌枕何者之預鑄工率能提供較長的軌道鋪設距離，以了解何者可以有較佳之預鑄工率。

本研究所引用之資料來源敘述如下：

日本 AF-55 預鑄軌道版：台灣高鐵 T220 標 TST JV 軌道版預鑄廠承包商—日商三井住友建設株式會社(中工機械承造)，於台中龍井所設置之預鑄廠。

德國 Rheda 2000 預鑄軌枕：台灣高鐵 T220 標軌枕預鑄廠承包商—德商 Pfleider(潤弘精密承造)，於桃園楊梅所設置之預鑄廠。

本章節首先要了解兩預鑄廠之生產線數量、工作時數與相關預鑄廠生產設備資訊，再藉由所收集之每日生產報表，分別計算出日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄單元之每日、每週、每月最大與平均生產數量，然後再分析與探討預鑄廠所生產之軌道預鑄單元在相同的比較基準下，何者所生產之預鑄單元數量可以鋪設較長之軌道長度，用以比較日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道在預鑄單元上的施工進度。表 4-1 為日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 預鑄廠所生產之軌道預鑄單元型式之相關資訊。

表 4-1 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄單元資料表

項 目	日本 AF-55	德國 Rheda 2000
軌道預鑄單元型式	AF-55 A 4.9m	B355.3 W JIS60M
	AF-55 B 4.9m	
	AF-55 3.9m、4.3m、4.4m	
尺寸(公尺)	4.9*2.22*0.19 (AF-55 4.9m)	2.4*0.286*0.248
重量(公斤)	5000	164
預埋件數量(項)	42	4
鋼筋重量(公斤)	272	14

A. 日本 AF-55 版式軌道探討

承造廠商為日商三井住友建設株式會社(中工機械承造)，於台中龍井所設置之預鑄廠相關設備與人力資訊敘述如表 4-2

表 4-2 日本 AF-55 預鑄軌道版預鑄廠資源表

項 目	說 明	附 註
生產線數量	3 條生產線	不包括鋼筋籠生產線
鋼模數量	66 個	
預鑄廠面積	11712 平方公尺	不包括軌道版儲存場
每日工作時數	日班	
每日出工人數	115 人	

詳細預鑄場設備與人力配置詳 4.3.3 節設備成本與 4.3.4 節人力成本。預鑄工率以施工期間 260 天、總生產之預鑄軌道板數量 17129 塊。分別計算預鑄軌道版每日最大與平均生產數量、每週最大與平均生產數量、每月最大與平均生產數量，其整理數據與對應之可鋪設軌道距離詳表 4-3。

表 4-3 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版預鑄生產工率與鋪設距離對照表

預鑄工率		可鋪設軌道距離
每日最大生產數量	66 塊 AF-55 4.9A, B	$66*5 = 330$ 公尺
每日平均生產數量	61 塊 AF-55 4.9A, B	$61*5 = 305$ 公尺
每週最大生產數量	392 塊 AF-55 4.9A, B	$392*5 = 1980$ 公尺
每週平均生產數量	357 塊 AF-55 4.9A, B	$357*5 = 1785$ 公尺
每月最大生產數量	1716 塊 AF-55 4.9A, B	$1716*5 = 7715$ 公尺
每月平均生產數量	1543 塊 AF-55 4.9A, B	$1543*5 = 8580$ 公尺

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道探討

承造廠商為德商 Pfeider(潤弘精密承造)，於桃園楊梅所設置之預鑄廠相關設備與人力資訊敘述如表 4-4。

表 4-4 德國 Rheda 2000 預鑄軌枕預鑄廠資源表

項 目	說 明	附 註
生產線數量	1 條生產線	
鋼模數量	65 組	每組可生產 4 個軌枕
預鑄廠面積	600 平方公尺	不包括軌枕儲存場
每日工作時數	日、夜兩班	
每日出工人數	46 人	每班 23 人

詳細預鑄場設備與人力配置詳 4.3.3 節設備成本與 4.3.4 節人力成本。預鑄工率以施工期間 201 天、總生產之預鑄軌道板數量 92127 塊。分別計算預鑄軌道版每日最大與平均生產數量、每週最大與平均生產數量、每月最大與平均生產數量，其整理數據與對應之可鋪設軌道距離詳表 4-5。

表 4-5 德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌道版預鑄生產工率與鋪設距離對照表

Rheda Sleeper 預鑄工率		可鋪設軌道距離(橋樑軌枕間距 0.625m 為例)
每日最大生產數量	520	$520*0.625 = 325$ 公尺
每日平均生產數量	394	$394*0.625 = 246$ 公尺
每週最大生產數量	3093	$3093*0.625 = 1933$ 公尺
每週天平均生產數量	2028	$2028*0.625 = 1267$ 公尺
每月最大生產數量	13320	$13320*0.625 = 8325$ 公尺
每月平均生產數量	9760	$9760*0.625 = 6100$ 公尺

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

日本 AF-55 版式軌道之軌道版預鑄廠共計有 3 條生產線，每條生產線有 22 鋼模，共計 66 個鋼模。德國 Rheda 2000 版式軌道之軌枕預鑄廠共計 1 條生產線，65 組鋼模，每組鋼模可生產 4 個軌枕，共計 260 個。故兩者以約相同數量之鋼模數量 (65~66 個) 生產預鑄軌道構件。日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版每塊以標準型號 AF-55 4.9A & B 來說，每塊可鋪設距離為 5 公尺；德國 Rheda 2000 版式軌道之預鑄軌枕在一般主線(非道岔段)上橋樑段之安裝標準間距為 0.625 公尺。由兩者之生產數量換算其軌道鋪設長度，日本 AF-55 系統皆超過德國 Rheda 2000 系統，但是此比較結果是站在不同基準上所得。因此，在比較兩者之預鑄工率之前，首先需將兩者之生產條件盡量放在同一個基準上以符合比較之合理性。然而因兩者之生產線數量、每日工作時數、預鑄廠使用面積與每日出工人數皆不相同，故將以下列兩種假設條件作為兩者預鑄工率之比較基準。

I. 相同生產線數量、工作時數，不同預鑄場面積、出工人數

日本 AF-55 版式軌道版預鑄廠之 3 條生產線數量固定不變，將德國 Rheda 2000 生產線增加為 3 條，但是將德國生產線之工作時數減半，即將日夜兩班減為只有日班或夜班，而其他條件維持原狀的狀況下進行比較分析：

a. 日本 AF-55 版式軌道

日本 AF-55 版式軌道預鑄廠條件與原狀況相同，故生產預鑄工率如同表 4-3 所示。

b. 德國 Rheda 2000 版式軌道

德國 Rheda 2000 預鑄廠生產線增加為 3 條，但工作時數減半，故預鑄工率將與原狀況之預鑄工率變更為 1.5 倍，其相關生產預鑄工率如表 4-6 所示。

表 4-6 德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表(一)

Rheda Sleeper 預鑄工率		可鋪設軌道距離 (橋樑軌枕間距 0.625m 為例)
每日最大生產數量	780	$780 \times 0.625 = 488$ 公尺
每日平均生產數量	591	$591 \times 0.625 = 369$ 公尺
每週最大生產數量	4640	$4640 \times 0.625 = 2900$ 公尺
每週平均生產數量	3042	$3042 \times 0.625 = 1901$ 公尺
每月最大生產數量	19980	$19980 \times 0.625 = 12488$ 公尺
每月平均生產數量	14640	$14640 \times 0.625 = 9150$ 公尺

II. 相同生產線數量、工作時數，不同預鑄場面積、出工人數

日本 AF-55 版式軌道版預鑄廠之 3 條生產線數量減為 1 條，與德國 Rheda 2000 生產線數量相同，但是日本之工作時數增加為兩倍，即將原本的日班增加為日夜兩班，而其他條件維持原狀的狀況下進行比較分析：

a. 日本 AF-55 版式軌道

日本 AF-55 版式軌道版預鑄廠生產線減為 1 條，工作時數增加為日夜兩班，故其變更後之預鑄工率則為原狀況預鑄工率之 2/3，其相關生產預鑄工率如表 4-7 所示。

表 4-7 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表

	預鑄工率	可鋪設軌道距離
每日最大生產數量	44 塊 AF-55 4.9A, B	44*5 = 220 公尺
每日平均生產數量	41 塊 AF-55 4.9A, B	41*5 = 205 公尺
每週最大生產數量	261 塊 AF-55 4.9A, B	261*5 = 1305 公尺
每週平均生產數量	238 塊 AF-55 4.9A, B	238*5 = 1190 公尺
每月最大生產數量	1144 塊 AF-55 4.9A, B	1144*5 = 5720 公尺
每月平均生產數量	1029 塊 AF-55 4.9A, B	1029*5 = 5145 公尺

b. 德國 Rheda 2000 版式軌道

德國 Rheda 2000 軌枕預鑄場之條件不變，故其預鑄工率與原狀況相同，其相關生產預鑄工率如表 4-8 所示。

表 4-8 德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕在不同生產資源之預鑄生產工率與鋪設距離對照表(二)

	Rheda Sleeper 預鑄工率	可鋪設軌道距離(橋樑軌枕間距 0.625m 為例)
每日最大生產數量	520	520*0.625 = 325 公尺
每日平均生產數量	394	394*0.625 = 246 公尺
每週最大生產數量	3093	3093*0.625 = 1933 公尺
每週天平均生產數量	2028	2028*0.625 = 1267 公尺
每月最大生產數量	13320	13320*0.625 = 8325 公尺
每月平均生產數量	9760	9760*0.625 = 6100 公尺

由上述兩個比較基準所得之比較結果得知，德國 Rheda 2000 軌枕預鑄場相較於日本 AF-55 版式軌道版預鑄場有較佳之預鑄工率。德國 Rheda 2000 預鑄軌枕不論是每日、每週或每月之最大與平均生產數量所相對應之軌道鋪設長度皆優於日本 AF-55 預鑄軌道版。

4.1.1.2 現場軌道施工速率

本章節在探討日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道現場施工之施工工率，區分為軌道單元施工速率與整體施工速率兩種。首先依據兩軌道系統上部與下部結構之軌道單元與主要施工項目，分別計算軌道單元施工速率，之後再依施工順序計算分析整體施工速率。

軌道單元施工速率計算方面，日本 AF-55 版式軌道在下部結構部份區分為路盤混凝土、防動塊與保護層等三部分，分別計算在不同土建結構(橋樑、路工

與隧道)上之施工速率。上部結構部份，則依主要施工項目(臨時軌道鋪設、預鑄軌道版鋪設、CA 砂漿與合成樹脂灌注、鋼軌安裝、軌道調整與可調整鋼軌墊片灌注等 6 項)計算其施工速率。

德國 Rheda 2000 版式軌道在下部結構部份，以不同土建結構區分為橋樑段的保護層與冠版、路工段的水力結合層、地樑與整平層、隧道段的整平層。上部結構部份，依主要施工項目(軌枕分配、鋼軌分配、軌枕鋪設、鋼軌安裝與整正、道版混凝土與軌道調整等 6 項)分別計算其施工速率。

其中在日本 AF-55 版式軌道下部結構部份，因整段軌道分成數段由不同包商施工，因此施工速率之計算方式將以各包商所負責路段之施工速率之平均數求得。

在整體軌道施工速率計算方面，區分為上部結構、下部結構與整體軌道等三部份；由於現場實際之施工常因許多因素導致每一連續之施工項目無法連貫，因此在計算上部結構之整體工率時係以完成 1 公里每一施工項目之施工速率繪製施工網圖來計算之。其中每一施工速率之計算均以完成南北兩向軌道為基準。

所有軌道施工速率之計算其所使用之機具與人力均以本論文第 4.3.2 節機具成本與 4.3.4 節人力成本中所敘述之資源為計算基準。

施工速率之計算資料來源分述如下

1. 日本 AF-55 版式軌道
 - a. 橋樑段：台灣高鐵 T220 標 WB3-2
 - b. 路工段：台灣高鐵 T220 標 WB3-1 與 WB3-2
 - c. 隧道段：台灣高鐵 T220 標 WB3-1 與 WB3-2
2. 德國 Rheda 2000 版式軌道
 - a. 橋樑段：台灣高鐵 T220 標台中車站之非道岔路段
 - b. 路工段：台灣高鐵 T210 與 T220 標兩路工路段之非道岔路段
 - c. 隧道段：台灣高鐵 T210 標桃園車站之非道岔路段。

A. 日本 AF-55 版式軌道探討

A-1. 日本 AF-55 版式軌道下部結構

日本 AF-55 版式軌道下部結構相關組成簡述如下：

- 橋樑：路盤混凝土、保護層混凝土與防動塊
- 路工：路盤混凝土、保護層混凝土與防動塊
- 隧道：路盤混凝土與防動塊

在所引用之台灣高鐵 T220 路段，其中路工與隧道段長度不一，最長之隧道為 3060 公尺、最短之隧道僅 190 公尺，路工段最長為 1535 公尺、最短為 13 公尺。而最長之隧道與路工段又非由同一承商施作，因此在施工速率計算上頗為困難。固為求較實際之施工速率，需將部分路段之不良數據去除，如過短之土建結構長度、過短之承商施作長度、某路段之承商常因不明原因多日不出工、某路段

長時間因氣候不佳無法施作、某路段常因出工人數明顯不足導致施工進度落後等。因此日本 AF-55 軌道單元施工速率將以經過挑選之長路段(超過 500 公尺)、每日出工人數正常與施工期間未因氣候因素導致施工暫停等施工數據計算施工速率，因此各單元之包商數與軌道長度均不相同。

日本 AF-55 版式軌道下部結構施工速率詳表 4-9。

表 4-9 日本 AF-55 版式軌道下部結構施工速率表

項次	土建結構	實際平均進度			每完成 1 公里所需天數(天)	附註
		承包商數量	施工長度(公尺)	平均施工工率(公尺/天)		
1	橋樑	11	10995	24	42	雙向軌
2	路工	10	4447	31	32	雙向軌
3	隧道	6	6083	40	25	雙向軌

A-2. 日本 AF-55 版式軌道上部結構

日本 AF-55 版式軌道上部結構之主要施工項目簡述如下：

1. 臨時軌道鋪設
2. 預鑄軌道版鋪設
3. CA 砂漿與合成樹脂灌注
4. 鋼軌安裝
5. 軌道整正
6. 可調整鋼軌墊片灌注



日本 AF-55 版式軌道上部結構施工工率之計算乃引用台灣高速鐵路工程 T220 標其中兩個區段(WB3-2, WB3-3)，因 WB3-1 工區於施工期間因某些因素導致部份路段無法連續施工，因此相關施工數據較不客觀，故只引用其他兩個區段之數據以為軌道施工工率計算之依據。

日本 AF-55 版式軌道上部結構軌道施工項目施工速率詳表 4-10。

表 4-10 日本 AF-55 版式軌道上部結構軌道施工項目施工速率表

項次	施工項目	實際平均進度			完成 1 公里所需天數(天)	附註
		施工天數(天)	施工長度(公尺)	施工工率(公尺/天)		
1	臨時軌道鋪設	45	32445	721	2	單向軌
2	預鑄軌道版鋪設	90	32445	360	3	單向軌
3	CA 砂漿與合成樹脂灌注	85	32445	382	3	單向軌
4	鋼軌安裝	28	32445	1159	1	單向軌
5	軌道整正	88	32445	369	3	單向軌
6	可調整鋼軌墊片灌注	85	32445	382	3	單向軌

施工項目	日期																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
NB 臨時軌道鋪設	■	■																		
SB 臨時軌道鋪設			■	■	■															
NB-預鑄軌道版安裝					■	■	■	■												
NB-CA 砂漿與合成樹脂灌注						■	■	■	■											
NB-鋼軌安裝										■										
NB-軌道整正														■	■	■				
NB-可調整鋼軌墊片灌注															■	■	■			
SB-預鑄軌道版安裝									■	■	■									
SB-CA 砂漿與合成樹脂灌注											■	■	■							
SB-鋼軌安裝															■					
SB-軌道整正																	■	■	■	
SB-可調整鋼軌墊片灌注																			■	■

圖 4-1 日本 AF-55 版式軌道上部結構完成 1 公里施工進度網圖

由圖 4-1 可知完成 1 公里雙向軌道之日本 AF-55 版式軌道需時 20 天，意即日本 AF-55 版式軌道其上部軌道結構之施工速率為 50 公尺/天。

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道探討

B-1. 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構

德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構在不同土建結構之相關組成簡述如下：

- 橋樑：保護層混凝土、冠板、彈性隔離膜與承載墊片
- 路工：水力結合層、地樑、整平層與界面剪力螺栓
- 隧道：整平層、排水系統與界面剪力螺栓。

其中在路工段方面，因地樑、整平層與界面剪力螺栓之施工進度佔整個路工段下部結構較小部份，因此本論文僅就水力結合層之施工速率代表路工段下部結構之施工速率。相同的，隧道段亦以整平層之施工速率代表隧道段下部結構之施工速率。

德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構之施工速率詳表 4-11。

表 4-11 德國 Rheda 2000 版式軌道下部結構施工速率表

項次	土建結構	實際平均進度			完成 1 公里所需天數(天)	附註
		施工天數(天)	施工長度(公尺)	施工工率(公尺/天)		
1	橋樑	66	4105	62	17	雙向軌
2	路工	12	852	71	14	雙向軌
3	隧道	41	1652	40	25	雙向軌

B-2. 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構

德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構之主要施工項目簡述如下：

1. 軌枕分配
2. 鋼軌分配
3. 彈性隔離膜與承載墊片安裝(橋樑段)
4. 道版底層鋼筋組立(橋樑段)
5. 軌枕鋪設
6. 鋼軌安裝與整正
7. Rheda 道版混凝土
8. Rheda 軌道調整

德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構軌道施工項目施工速率計算詳表 4-12。

表 4-12 德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構軌道施工項目施工速率表

項次	施工項目		實際平均進度			完成 1 公里 所需天數(天)	附註
			施工天數 (天)	施工長度 (公尺)	施工工率 (公尺/天)		
1	軌枕分配		22	3250	150	7	單向軌
2	鋼軌分配		8	3250	400	3	單向軌
3	彈性隔離膜與承載墊片安裝		27	3250	120	9	單向軌
4	道版底部鋼筋組立		54	3250	60	17	單向軌
5	軌枕鋪設		25	2522	100	10	單向軌
6	鋼軌安裝整正		50	2522	50	20	單向軌
7	Rheda 道版 混凝土	橋樑	75	2105	28	36	單向軌
		路工	23	852	37	27	單向軌
		隧道	23	726	32	32	單向軌
8	Rheda 軌道調整		17	3451	203	5	單向軌

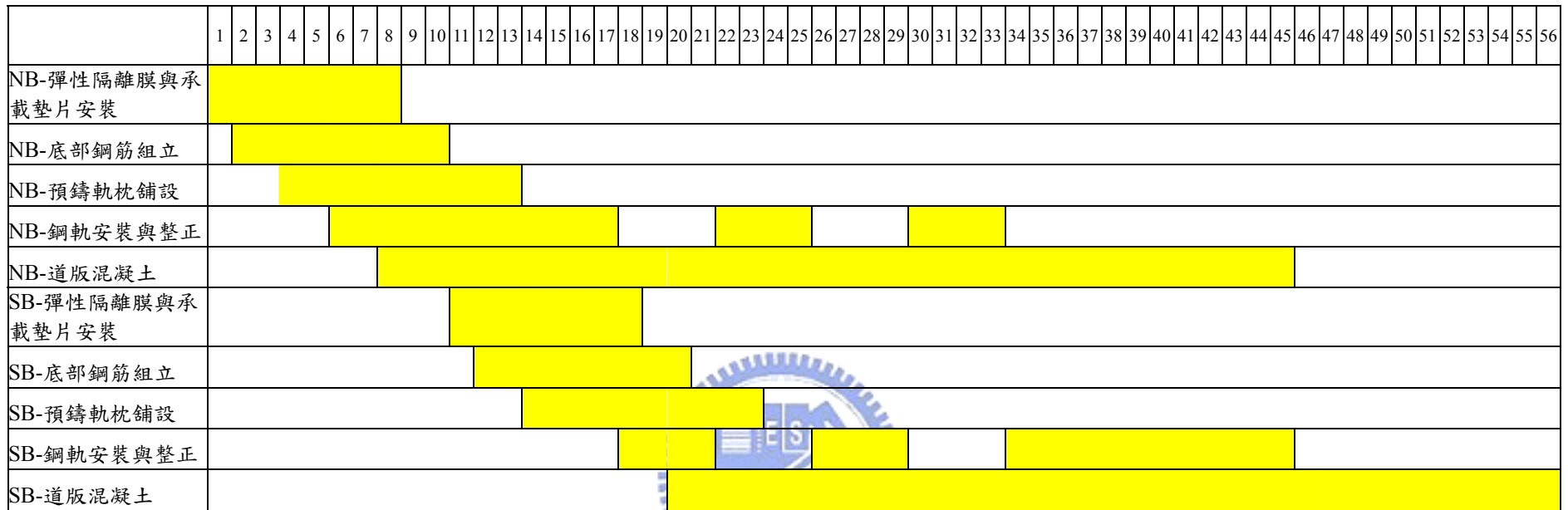


圖 4-2 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段上部結構完成 1 公里施工進度網圖

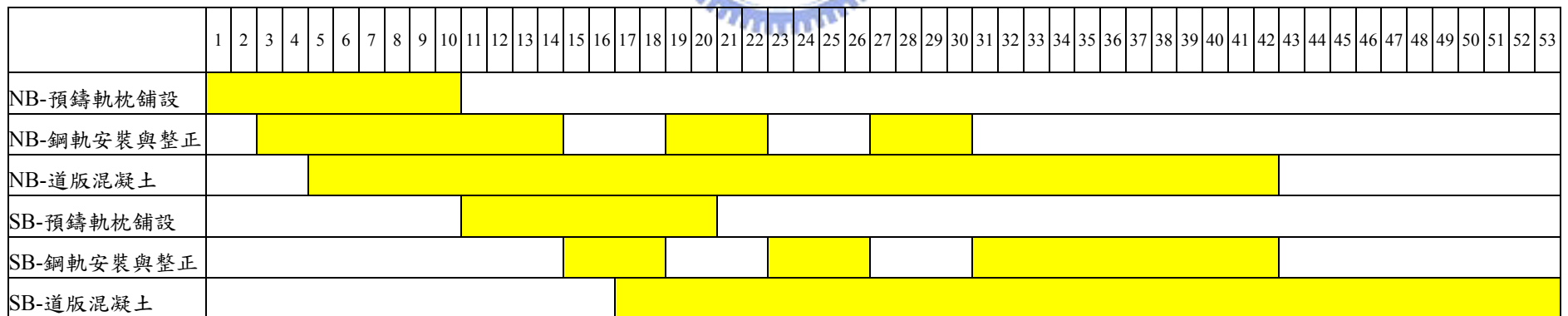


圖 4-3 德國 Rheda 2000 版式軌道路工與隧道段上部結構完成 1 公里施工進度網圖

由圖 4-2 與圖 4-3 可知，德國 Rheda 2000 版式軌道上部結構在橋樑段完成 1 公里需時 56 天，路工與隧道段需時 53 天，因此其軌道上部結構之施工速率在橋樑段為 18 公尺/天，路工與隧道段為 19 公尺/天

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之下部、上部與整體工率整理如表 4-13。

表 4-13 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工速率整理表

土建結構 施工工率	日本 AF-55			德國 Rheda 2000			附註
	橋樑	路工	隧道	橋樑	路工	隧道	
下部結構(公尺/天)	24	31	46	62	71	40	雙向軌
上部結構(公尺/天)	50			16	19	19	雙向軌
整體工率(公尺/天)	16	19	24	13	15	12	雙向軌

由表 4-13 數據發現，在下部結構施工速率方面似乎日本 AF-55 幾乎都比德國 Rheda 2000 來的慢，但實際上主要因素是因為兩軌道系統下部軌道結構之結構組成單元數量、結構尺寸、軌道材料數量與施工複雜性等皆不相同；以橋樑段為例，德國 Rheda 2000 版式軌道之下部結構組成單元比日本的 3 項少 1 項，鋼筋層數比日本的兩層少一層且鋼筋組成複雜度較為單純簡易，施工界面處理面積比日本在每一跨橋(30 公尺為例)少 2.5 平方公尺，因此德國 Rheda 2000 版式軌道之下部結構施工速率在橋樑段優於日本 AF-55 版式軌道。另外在路工段方面，除於土建結構銜接段之整平層較為複雜外，一般路段之水力結合層為無鋼筋之乾拌滾壓混凝土，施工速率相較於需要鋼筋組立的日本 AF-55 版式軌道一定較為迅速。隧道段方面，日本 AF-55 版式軌道其下部結構施工速率之所以會高於德國 Rheda 2000 版式軌道，其原因係日本版式軌道每公里之混凝土量超過德國 Rheda 2000 版式軌道 1000 立方公尺，雖整平層混凝土施作簡單，但是因為混凝土數量多，因此無法加快施工速率。

由上可知兩者在比較基準上較為薄弱不客觀，所以無法單就日本與德國 Rheda 2000 版式軌道之上部或下部結構施工速率做比較。故知只能就整體工率作比較。由表 4-13 可知，日本 AF-55 在橋樑、路工與隧道段之整體軌道施工速率均優於德國 Rheda 2000 版式軌道。

4.1.2 影響施工進度因素探討

本章節主要探討影響施工進度之因素，包括施工限制、施工相容性、軌道材料運輸與軌道調整性等 4 項。

4.1.2.1 施工限制

施工限制之探討範圍包含兩部分，施工現場與預鑄廠。在施工現場部分，將針對氣候、軌道線形、土建結構、施工時間與材料強度等待時間等施工限制對軌道每一個主要施工項目所造成之影響做分析與探討；預鑄廠部分，則針對預鑄廠面積與使用工作人數等限制做比較分析與探討。最後再依據所分析探討之結果，評估兩軌道系統之施工限制對施工進度之影響程度。

A. 施工限制影響探討

A-1. 施工現場

施工限制—氣候對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工項目之影響探討說明詳表 4-14、軌道線形詳表 4-15、土建結構詳表 4-16、施工時間詳表 4-17 與軌道材強度等待時間詳表 4-18。

表 4-14 氣候施工限制影響說明表

施工限制：氣候					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
下部結構 混凝土	雨天	於露天路段無法施作混凝土澆置作業	下部結構 混凝土	雨天	於露天路段無法施作混凝土澆置作業
	溫度	不影響		溫度	不影響
臨時軌道 安裝	雨天	不影響	鋼軌 分配	雨天	不影響
	溫度	1. 臨時軌鋪設時需依當時軌道溫度設置兩連接鋼軌間之空隙 2. 鋪設完成後需每日檢查兩鋼軌間之空隙，以防止因無空隙導致鋼軌挫屈或空隙太大導致工作火車出軌		溫度	不影響
預鑄軌道 版安裝	雨天	不影響	預鑄軌枕 分配	雨天	不影響
	溫度	不影響		溫度	不影響

表 4-14 氣候施工限制影響說明表(續)

施工限制：氣候					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
CA 砂漿灌注	雨天	CA 砂漿灌注時若遇到下雨，需立刻以帆布覆蓋已灌注之 CA 砂漿，同時需以帆布遮蓋材料混合攪拌桶，以防止配比產生變化，。一般來說承包商會視雨勢大小決定是否暫停施工或繼續施工	彈性隔離膜與承載墊片安裝	雨天	雨天無法在橋樑段焊接彈性隔離膜與安裝彈性承載墊片；因雨水會影響焊接品質，而彈性承載墊片是利用強力膠與膠帶固定於冠板，因此在雨天亦無法施作。
	溫度	施做時溫度需介於 5~40°C		溫度	不影響
合成樹脂灌注	雨天	雨天無法施做合成樹脂之灌注作業，因為其材料遇水會膨脹，因此會影響施工品質。所以灌注過程中如遇到下雨，必須立刻將 Caulking 覆蓋保護，避免雨水接觸材料。如果在凝固前接觸雨水，則必須予以敲除重灌	鋼軌與枕安裝與調整	雨天	不影響
	溫度	氣溫需大於 5°C，如果低於 5°C 則需加熱		溫度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高溫(約超過 35°C)會影響軌道整正測量儀器 HERGIE 之精度。因此軌道測量工作均安排在傍晚以後,除冬天或其溫低於 35°C。 2. 若日夜溫差大,於橋樑段可能會導致白天軌枕與模板間之縱向保護層在容許誤差內,但在夜間卻因鋼軌收縮長度大於橋樑混凝土,使得保護層小於容許誤差。
鋼軌安裝與整正	雨天	不影響	Rheda 軌道版混凝土	雨天	不影響
	溫度	不影響		溫度	Rheda 軌道版混凝土澆置作業需在鋼軌熱脹冷縮所造成之鋼軌長度變化小的時候施作，例如在氣溫較低或傍晚以後施作；因為鋼軌長度的變化會影響軌枕之位置，進而使尚未硬化之混凝土產生裂縫。
可調整鋼軌墊片灌注	雨天	在灌注時若遇到下雨需要停止	軌道調整	雨天	不影響
	溫度	不影響		溫度	不影響

表 4-15 軌道線形施工限制影響說明表

施工限制：軌道線形					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
下部結構混凝土	超高路段	1. 混凝土澆置在超高段平均比無超高段多出約 40%的施工時間 2. 較容易發生路盤混凝土完成面不平整與防動塊鋼筋偏移等品質缺失	下部結構混凝土	超高路段	混凝土澆置在超高段平均比無超高段多出約 40%的施工時間
	坡度路段	不影響		坡度路段	不影響
臨時軌道安裝	超高路段	不影響	鋼軌分配	超高路段	不影響
	坡度路段	坡度約為 3.5%時，會影響工作火車運輸之數量或需要連結兩輛火車頭，否則會影響每日安裝進度。		坡度路段	不影響
預鑄軌道安裝	超高路段	軌道版調整時間會增加 40%	預鑄枕分配	超高路段	不影響
	坡度路段	坡度約為 3.5%時，會影響工作火車運輸之數量或需要連結兩輛火車頭，否則會影響每日安裝長度。		坡度路段	不影響
CA 砂漿灌注	超高路段	1. 在較大超高路段(超高>70mm),CA 砂漿之灌注速度需比平面路段緩慢,進度約減少 15%。 2. 超高路段灌注 CA 砂漿較容易因固定灌注袋不良導致灌注失敗	彈性隔離膜與載片安裝	超高路段	不影響
	坡度路段	不影響		坡度路段	不影響
合成樹脂灌注	超高路段	在較大超高路段(超高>70mm),合成樹脂之灌注作業容易有二次薄層澆注而結合不良之狀況	鋼軌與枕安裝與正	超高路段	1. 軌道整正在超高段平均比無超高段多出約 50%的施工時間 2. 在超高段,道版混凝土澆置前,預鑄軌枕與鋼軌之固定與調整較為困難。
	坡度路段	在較大坡度路段(3.5%),合成樹脂之灌注作業容易有二次薄層澆注而結合不良之狀況		坡度路段	不影響

表 4-15 軌道線形施工限制影響說明表(續)

施工限制：軌道線形					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
鋼軌安裝與整正	超高路段	一般超高路段之鋼軌整正會比無超高路段所花費之時間多出 20%	Rheda 道版 混凝土	超高路段	混凝土澆置在超高段平均比無超高段多出約 40%的施工時間
	坡度路段	不影響		坡度路段	不影響
可調整鋼軌墊片灌注	超高路段	不影響	軌道調整	超高路段	不影響
	坡度路段	不影響		坡度路段	不影響

表 4-16 土建結構施工限制影響說明表

施工限制：土建結構					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
下部結構 混凝土	橋樑	<ol style="list-style-type: none"> 橋樑段有 3 種軌道單元-路盤、防動塊與保護層，需分成 2~3 次施工，而且混凝土施工界面打毛處理面積 605m²/km 橋下使用空間有限，混凝土澆置時需要於移動混凝土輸送車或以長接管方式進行，其中長接管易發生塞管而影響施工進度與品質。 場鑄混凝土數量 3255m³/km 	下部結構 混凝土	橋樑	<ol style="list-style-type: none"> 橋樑段有 2 種軌道單元-保護層與冠版，需分成 2 次施工，而且混凝土施工界面打毛處理面積 523m²/km 橋下使用空間有限，混凝土澆置時需要於移動混凝土輸送車或以長接管方式進行，其中長接管易發生塞管而影響施工進度與品質。 場鑄混凝土數量 1320 m³/km
	路工	<ol style="list-style-type: none"> 路工段有 3 種軌道單元-路盤、防動塊與保護層，需分成 2~3 次施工，而且混凝土施工界面打毛處理面積 85m²/km 場鑄混凝土數量 1590 m³/km 		路工	<ol style="list-style-type: none"> 路工段有 5 種軌道單元-水力結合層、整平層、地樑、保護層與回填混凝土，但是其中地樑與整平層僅於兩不同土建結構銜接處施作，因此基本上一般路工段為 3 種軌道單元，需分成 2~3 次施工，無混凝土施工界面打毛處理面積 場鑄混凝土數量 3038 m³/km

表 4-16 土建結構施工限制影響說明表(續)

施工限制：土建結構					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
下部結構混凝土	隧道	1. 隧道段有 2 種軌道單元-路盤與防動塊，分成 2 次施工，而且混凝土施工界面打毛處理面積 80m ² /km 2. 因隧道僅有南北兩個出入口，因此相關之材料運輸會增加較多之時間 3. 場鑄混凝土數量 1590 m ³ /km	下部結構混凝土	隧道	1. 隧道段有 1 種軌道單元-整平層，分成 1 次施工，無混凝土施工界面打毛處理面積 2. 因隧道僅有南北兩個出入口，因此相關之材料運輸會增加較多之時間 3. 場鑄混凝土數量 2510 m ³ /km
臨時軌道安裝	橋樑	不影響	鋼軌分配	橋樑	不影響
	路工	不影響		路工	不影響
	隧道	不影響		隧道	不影響
預鑄軌道版安裝	橋樑	路工與隧道段之預鑄軌道版安裝需要依實際長度鋪設不同尺寸之調整軌道版。因為標準預鑄軌道版鋪設長度為 5 公尺，標準橋樑跨距大部分為 5 的倍數，如 25、30、40 公尺等，對於安裝在橋樑結構上較不需要使用調整用軌道版。但路工與隧道其長度則會因為所經地形而不同。因此需要依實際長度於末端鋪設不同尺寸之調整型軌道版。	預鑄枕分配	橋樑	不影響
	路工			路工	不影響
	隧道			隧道	不影響
CA 砂漿灌注	橋樑	不影響	彈性隔離膜與承載墊片安裝	橋樑	不影響
	路工	不影響		路工	NA
	隧道	不影響		隧道	NA
合成樹脂灌注	橋樑	不影響	鋼軌與枕安裝與正	橋樑	不影響
	路工	不影響		路工	不影響
	隧道	隧道口 80 公尺以內路段(合成樹脂)與 80 公尺以後路段(CA 砂漿)所澆注之材料不同，會影響材料運輸之配置，進而影響施工進度。		隧道	不影響

表 4-16 土建結構施工限制影響說明表(續)

施工限制：土建結構					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
鋼軌安裝與整正	橋樑	不影響	Rheda 道版混凝土	橋樑	1. 鋼筋相較於路工與隧道段複雜許多，為雙層鋼筋外加側面鋼筋 2. 道版厚度比路工與隧道段大，且每跨橋樑內之道版分割成間隔 100mm、長 6~8m 之區塊，增加模板數量。 3. 場鑄混凝土數量 2380 m ³ /km
	路工	不影響		路工	1. 除土建銜接處之整平層與地樑之鋼筋較為複雜外，一般路工段均為單層鋼筋，道版厚度均為 240mm，寬度 3200mm 2. 需鑄設水力結合層與 Rheda 道版間之剪力鋼筋 3. 場鑄混凝土數量 1536 m ³ /km
	隧道	不影響		隧道	1. 單層鋼筋，道版厚度均為 240mm，寬度 3000mm 2. 需鑄設整平層與 Rheda 道版間之剪力鋼筋 3. 場鑄混凝土數量 1440 m ³ /km
可調整鋼軌墊片灌注	橋樑	不影響	軌道調整	橋樑	不影響
	路工	不影響		路工	不影響
	隧道	不影響		隧道	不影響

表 4-17 施工時間施工限制影響說明表

施工限制：施工時間					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
下部結構混凝土	白天	不影響	下部結構混凝土	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響
臨時軌道安裝	白天	不影響	鋼軌分配	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響
預鑄軌道版安裝	白天	不影響	預鑄軌枕分配	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響

表 4-17 施工時間施工限制影響說明表(續)

施工限制：施工時間					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
CA 砂漿 灌注	白天	不影響	彈性隔離 膜與承載 墊片安裝	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響
合成樹脂 灌注	白天	不影響	鋼軌與軌 枕安裝與 整正	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響
鋼軌安裝 與整正	白天	不影響	Rheda 道 版混凝土	白天	Rheda 道版混凝土澆置完成時間受到限制；必須在鋼軌溫度上升產生長度變化與新澆置之混凝土強度能夠承受鋼軌與軌枕重量之前完成，並即時將軌道扣件鬆脫與移除鋼軌支撐。一般來說，新澆置混凝土強度能夠承受鋼軌與軌枕重量，以經驗值判斷約需時 2~3 小時(視當時氣溫與相對溼度而定)，因此若澆置完成時間超過凌晨 5 點，軌道扣件鬆脫與鋼軌支撐移除將無法在鋼軌產生溫度伸張前完成，而使混凝土產生裂縫或鋼軌支撐無法移除的結果。
	晚上	不影響		晚上	
可調整鋼 軌墊片灌 注	白天	不影響	軌道調整	白天	不影響
	晚上	不影響		晚上	不影響

表 4-18 材料強度等待時間施工限制影響說明表

施工限制：材料強度等待時間					
日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
施工項目	施工限制	影響說明	施工項目	施工限制	影響說明
CA 砂漿	材料強度	灌注完成後其強度需達 0.5N/mm ² 方可承受如工作火車之重量，經實際試驗其強度需經 1 天方可達到要求強度			無
合成樹脂	材料強度	其初凝時間為 20 小時，於 48 小時後方可達承受活載重之強度			無
可調整鋼軌墊片	材料強度	在灌注完成後約 1~2 小時，俟樹脂約呈半凝固狀態時方可以將其出入口之突出部分切除。之後再等約 4~5 小時樹脂即可達最終強度，此時方可承受活載重並移除臨時鋼軌調整墊塊與進行鋼軌扣件最終固定			無

A-2. 預鑄廠

A-2-1. 日本 AF-55 軌道版預鑄廠

1. 預鑄廠面積

由於預鑄軌道版體積大，且軌道版內除有 42 個預埋件外，尚有鋼筋籠。故預鑄廠除預鑄軌道版生產線外(預埋件安裝、鋼筋籠吊裝、混凝土澆置與養生、軌道版檢查)，亦需要鋼筋籠生產線，故所需面積相對較大。

以本次資料引用來源之軌道版預鑄廠為例，其相關使用面積敘述如下：

- b. 1 條預鑄軌道版生產線(22 個鋼模+軌道版檢查區+可容納 24 塊軌道版的養生池)所需面積：2230 平方公尺
- c. 鋼筋籠生產線(鋼筋籠加工區+鋼筋籠儲存區)所需面積：1250 平方公尺

合計面積：3480 平方公尺。

2. 使用工作人數

以本次資料引用來源之預鑄廠為例，假設每日工作班別為日班，其工作人數除預鑄軌道版生產線人數不變外，因原預鑄場有 3 條生產線，故 1 條預鑄軌道版生產線其所需配合之鋼筋籠生產線與儲存場人數將只有 3 條生產線的 1/3。其使用人數敘述如下：

- d. 鋼筋場：10 人
- e. 每 1 條預鑄軌道版生產線：25 人
- f. 儲存場：3 人

合計 38 人。

A-2-2. 德國 Rheda 2000 軌枕預鑄廠

1. 預鑄廠面積

由於預鑄軌枕體積小，且每一組鋼模可生產 4 個預鑄軌枕，軌枕內只有 4 個預埋件，桁架又為德國進口(或可直接採購，無須於預鑄場內製作)。預鑄廠只需預鑄軌枕生產線(預埋件安裝、桁架吊裝、混凝土澆置與養生、軌枕檢查與軌道扣件安裝)，故所需面積相對較小。

以本次資料引用來源之軌枕預鑄廠為例，其相關使用面積敘述如下：

- a. 1 條預鑄軌道版生產線(65 組鋼模+混凝土澆置區+蒸氣養生區+拆模區+軌枕檢查區+軌道扣件安裝區)所需面積：

合計面積：600 平方公尺。

2. 使用工作人數

以本次資料引用來源之預鑄廠為例，每日工作班別為日、夜兩班，但為求比較基準之相同，將原日夜兩班變更為日班或夜班。其使用人數敘述如下：

- a. 每 1 條預鑄軌枕生產線：30 人
- b. 儲存場：3 人

合計 33 人。

B. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

依施工限制因素對於施工進度、品質與成本之影響做整理分析；影響程度之判定，如表 4-19 所示。

表 4-19 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工限制影響程度表

■：影響程度大 □：影響程度中等 ○：影響程度小						
施工限制	日本 AF-55 版式軌道			德國 Rheda 2000 版式軌道		
	進度	成本	品質	進度	成本	品質
氣候	■	○	□	■	□	○
軌道線形	□	○	□	□	○	○
土建結構	○	○	○	○	□	○
施工時間	○	○	○	■	■	□
材料強度等待時間	■	○	○	○	○	○
預鑄廠面積	NA	■	NA	NA	○	NA
預鑄廠人力數量	NA	■	NA	NA	○	NA

在氣候影響方面，因日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道結構中均有場鑄單元，但是德國 Rheda 2000 版式軌道所佔比例遠高於日本 AF-55 版式軌道(詳 4.2.2 節)，而進度之影響相同的也進而影響到施工成本，因此在氣候方面，以德國 Rheda 2000 版式軌道影響為大。

在軌道線形方面，在進度方面，坡度主要影響日本 AF-55 版式軌道之臨時軌道與預鑄版軌道版之運輸。超高則會增加大部分施工項目之作業時間，但是以德國版式軌道影響較大，另外超高尚會影響日本版式軌道之路盤混凝土、防動塊與合成樹脂之施工品質。因此在軌道線形方面以日本 AF-55 版式軌道之影響較大

在土建結構方面，因不同土建結構之軌道組成單元不同，以軌道下部結構為例，軌道組成數量、分次施工次數與混凝土施工界面處理面積上，以日本 AF-55 版式軌道所佔數量較多，故會使施工程序較為複雜困難，雖混凝土數量德國版式軌道數量較多(日本：5995m³/km 德國：6868m³/km)但是相差不大。另外不同之土建結構亦會影響日本預鑄軌道版之安裝進度。因此整體而言在土建結構方面對日本 AF-55 版式軌道之影響較大

在施工時間方面，只有德國版式軌道受影響，因此影響德國 Rheda 2000 版式軌

道之影響較大。

在材料強度等待時間方面，只有日本版式軌道受影響，因此影響日本 AF-55 版式軌道之影響較大。

在預鑄廠面積與使用人力方面，對日本 AF-55 版式軌道成本影響較大。

綜上所述，在施工限制方面，對日本版式軌道之影響程度較多。

4.1.2.2 軌道施工相容性

本章節在於探討軌道施工順序對施工進度之影響。探討方式主要以施工流程圖來分析並輔以文字敘述說明之。

簡單來說，日本 AF-55 版式軌道系統是由最下方的軌道構件開始向上逐一施作，最後完成軌道結構，意即其施工方法為軌道施工法中 Bottom-Up 中預鑄式的行車鋼軌法(詳 2.2.2 節)。而德國 Rheda 2000 版式軌道則在軌道下部結構完成之後，在道版混凝土澆置之前先進行軌道最上部—鋼軌與軌枕之整正後，方才進行其下之道版混凝土澆置作業，意即為軌道施工法中現場澆置式 Top-Down 施工法 (詳 2.2.2 節)。

因此本章節除探討日本 AF-55 版式軌道 Bottom-Up 與德國 Rheda 20005 版式軌道 Top-Down 施工法對施工進度之影響，並細部探討實際施工流程與方法對施工進度之影響。

A. 日本 AF-55 版式軌道探討

日本 AF-55 版式軌道之主要施工步驟簡述如下(詳圖 4-4)：

步驟 1：軌道結構基礎—橋樑、路工與隧道結構

步驟 2：道床混凝土—包括路盤混凝土、保護層與防動塊

步驟 3：軌道版—包括預鑄軌道版安裝與調整、CA 砂漿與合成樹脂灌注

步驟 4：鋼軌安裝—包括鋼軌安裝與調整、扣件安裝

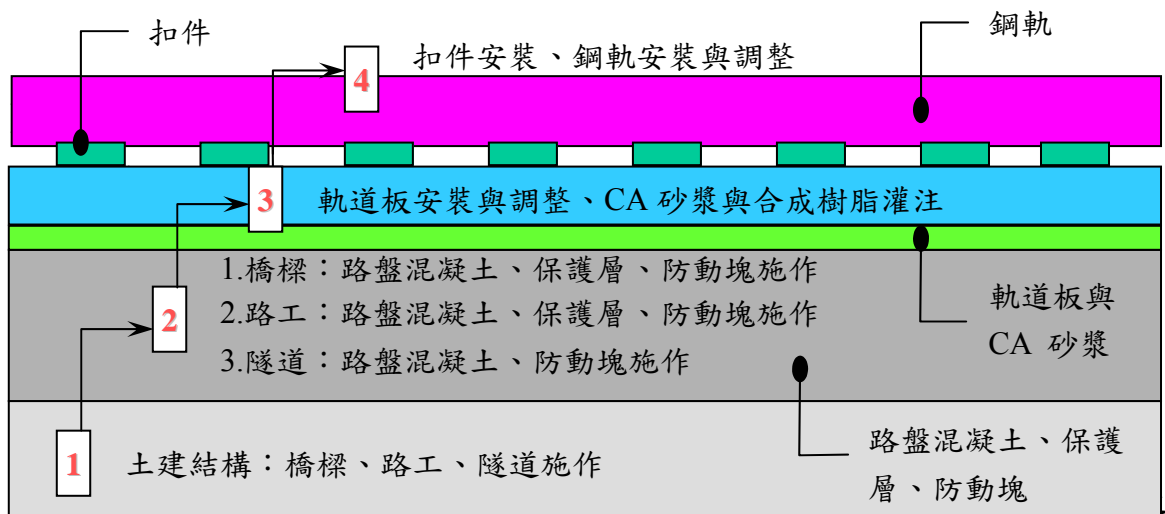


圖 4-4 日本 AF-55 版式軌道單元施工順序簡圖

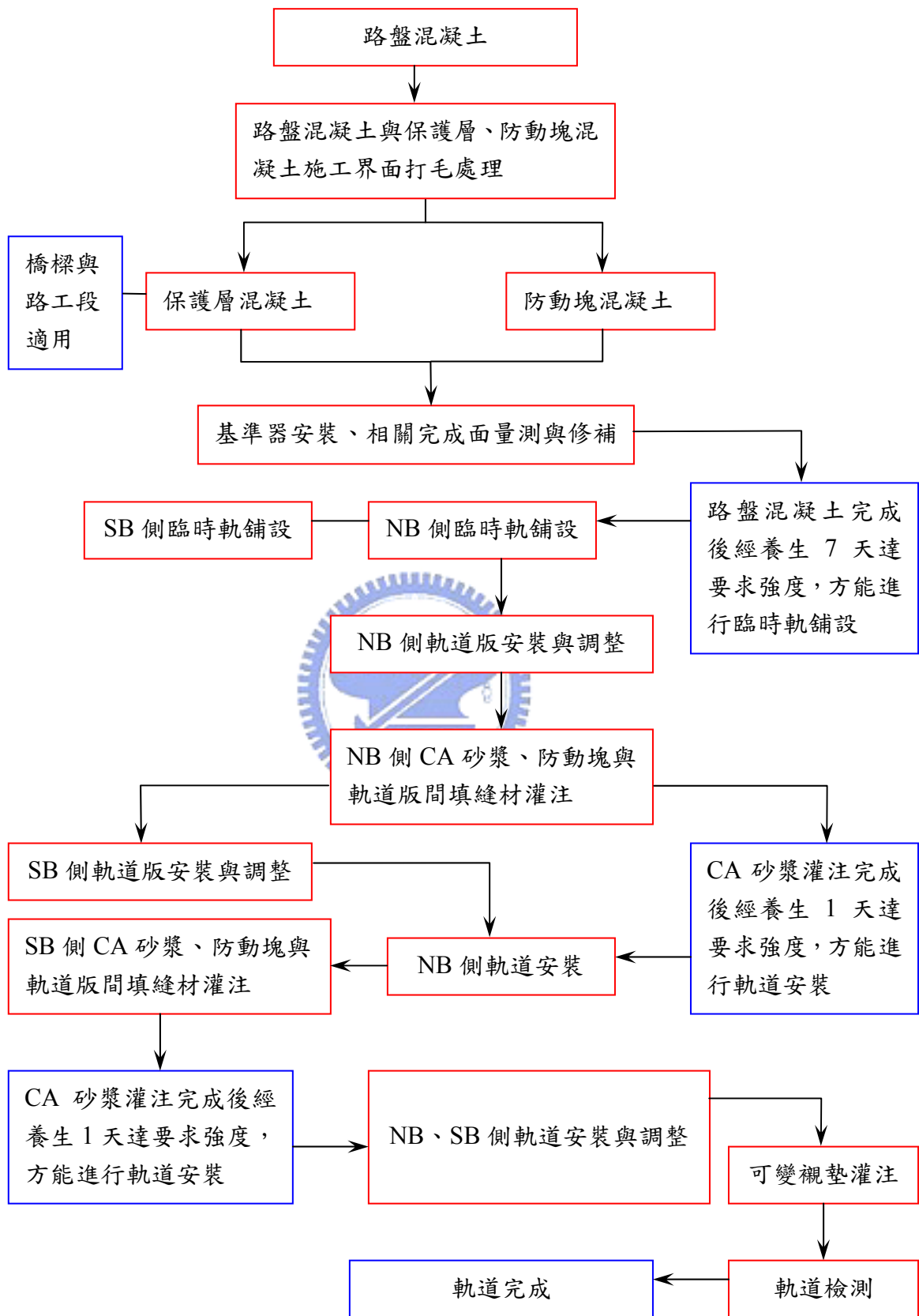


圖 4-5 日本 AF-55 版式軌道現場施工流程圖

日本 AF-55 版式軌道之現場施工順序詳圖 4-5。在日本 AF-55 版式軌道之下部結構方面，路盤混凝土完成之後必須將其與保護層混凝土(橋樑段)、防動塊混凝土之施工界面作打毛處理，方能繼續進行保護層與防動塊之工作。所以其施工順序固定，必須一項完成之後方能進行下一項作業。在路盤混凝土完成後經養生 7 天且達要求強度，即可進行臨時軌道鋪設作業，但一般在正常狀況下，因臨時軌道平均每日可鋪設約 700 公尺，路盤混凝土平均每日可完成約 30 公尺，因此無法與路盤混凝土之施作進度同時進行。以 T220 標 WB3-2 為例，下部結構(路盤混凝土、防動塊與保護層)約完成 8 公里後方才開始進行臨時軌道之鋪設作業。

臨時軌道鋪設順序是今天 NB 側安裝隔天 SB 側安裝，兩向軌道左右輪流逐步進行安裝。但下一項作業—預鑄軌道版安裝，則需要等單側(NB 或 SB)全部完成之後方可進行，因為預鑄軌道版安裝前需將臨時軌道由軌距 1435mm 擴大為 3000mm，以利軌道安裝車之行駛，而另一側之臨時軌道則用為緊急事件處理通道。下一個施工項目—CA 砂漿與合成樹脂灌注，則必須等另一側臨時軌(SB)鋪設完成之後方可進行，因為 CA 砂漿設備車需行駛在 SB 側上之臨時軌道以進行 NB 側之作業。在完成 NB 側 CA 砂漿與合成樹脂之後，即可進行 SB 側之臨時軌道擴軌以進行軌道版安裝與調整，另外 CA 砂漿材料強度達可承載工作載重之要求強度需要 1 天的時間，之後方可進行 NB 側之鋼軌安裝，用以進行 SB 側之 CA 砂漿與合成樹脂之灌注作業。當 SB 側之 CA 砂漿與合成樹脂灌注作業完成之後，即進行 NB 側之軌道調整與可變襯墊灌注作業，而 SB 側之 CA 砂漿經養生 1 天達要求強度之後可進行 SB 側之軌道調整與可變襯墊灌注作業。

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道探討

德國 Rheda 2000 版式軌道之主要施工步驟簡述如下(詳圖 4-6)：

步驟 1：軌道結構基礎—橋樑、路工與隧道結構

步驟 2：路盤混凝土—包括橋樑段的保護層與冠版、路工段的整平層、地樑、水力結合層與隧道段的整平層

步驟 3：鋼軌安裝—包括 Rheda 2000 預鑄軌枕鋪設、鋼軌安裝與整正

步驟 4：Rheda 2000 道版混凝土澆置

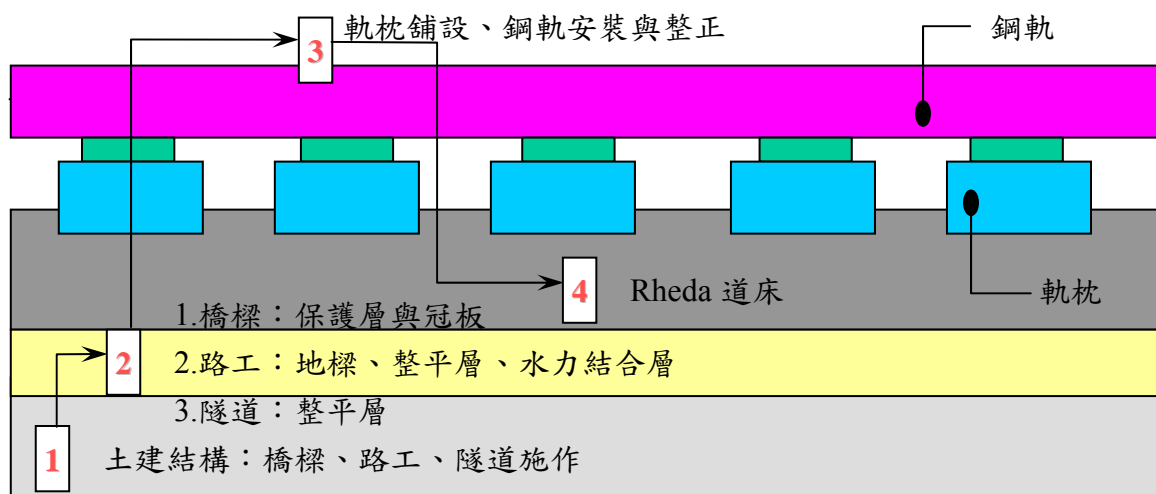


圖 4-6 德國 Rheda 2000 版式軌道單元施工順序簡圖

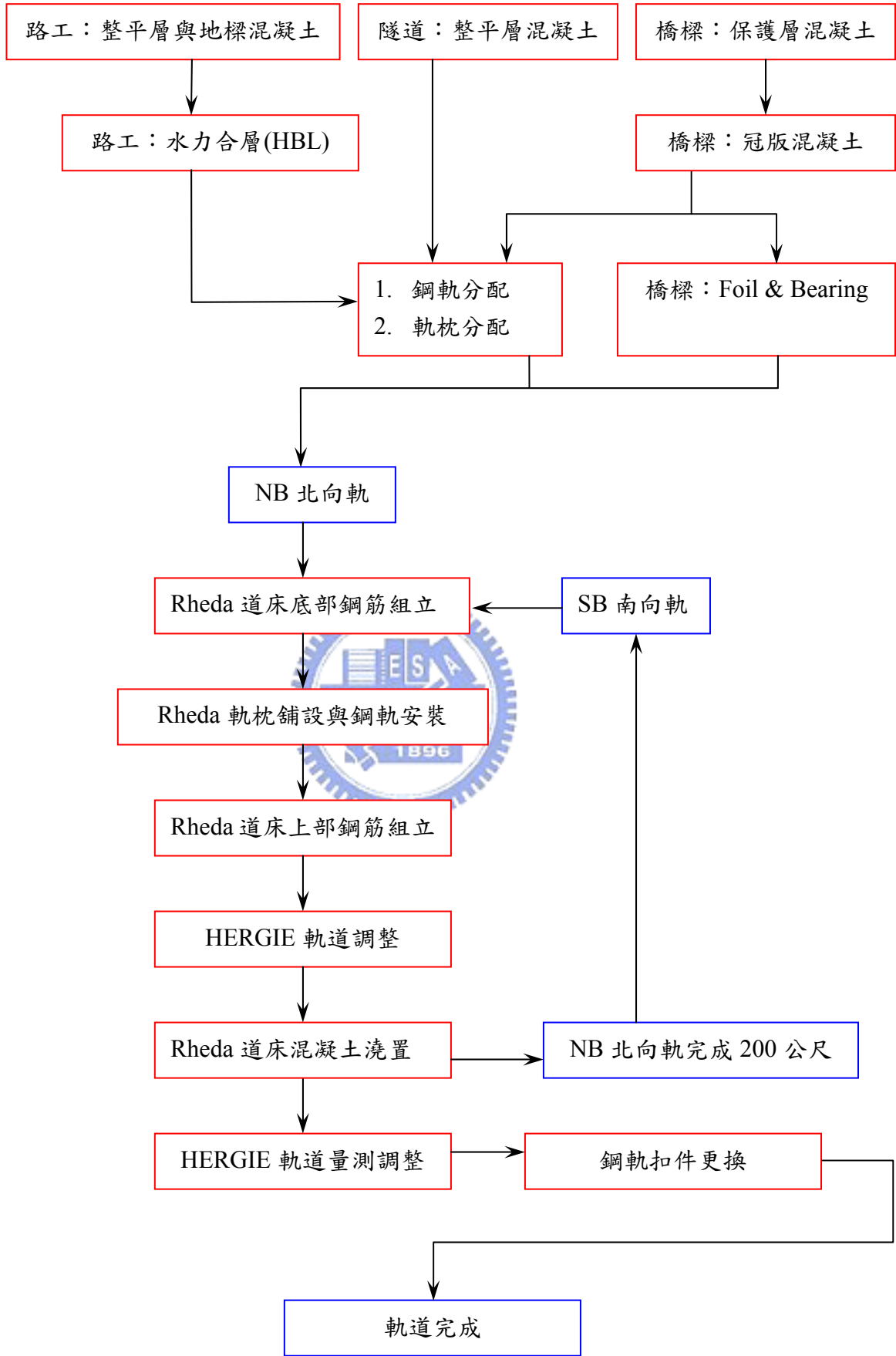


圖 4-7 德國 Rheda 2000 版式軌道現場施工流程圖

德國 Rheda 2000 版式軌道之現場施工順序詳圖 4-7。德國 Rheda 2000 版式軌道系統在下部結構部分於橋樑、路工與隧道之結構組成單元均不相同，因此施工流程也不一樣。在橋樑路段部分，首先施作保護層混凝土，完成之後進行保護層混凝土與冠板混凝土間之施工界面打毛處理，然後再進行冠版混凝土澆置。在路工段部分，首先施作水力結合層，之後在水力結合層外側與中間部分澆置保護層混凝土與回填混凝土，另外在土建結構銜接處施作整平層與地樑。在隧道段部分，只有整平層混凝土一個施工項目。前述項目完成之後除橋樑需繼續鋪設彈性隔離膜與承載墊片外，連同橋樑、路工與隧道即可開始進行鋼軌、軌枕與相關材料之分配作業，待上述作業進行一段距離之後，接下來之作業在橋樑、路工與隧道皆相同為進行 Rheda 道床施工。如同日本 AF-55 版式軌道系統之路盤混凝土，其施作順序固定。但是因為其後續之施工項目(上部結構)其每日可完成之進度與下部結構相近，因此並不需要如同日本 AF-55 版式軌道一樣需要等到下部結構完成約 8 公里之後才能進行。但是因台灣高鐵工程中之德國 Rheda 2000 版式軌道每段所佔長度均不長，故在此無法得知需完成多少距離之下部結構方可同時進行上部結構之施工。

德國 Rheda 2000 版式道版之施工順序為先施作北向軌至少 200 公尺(因第一次鋼軌焊接完成長度為 200 公尺，亦即運送至工地安裝使用之鋼軌長度為 200 公尺)，然後南向軌道再開始施工，並使用已完成之北向軌作為運送相關材料之路線。

一開始進行 Rheda 道床底部鋼筋組立(橋樑段與土建結構銜接處適用)，完成一段距離後即可進行 Rheda 軌枕鋪設作業，待軌枕鋪設 200 公尺以上之後，鋼軌安裝與整正作業即可同時與軌枕鋪設作業進行。軌道整正完成後進行上部鋼筋與模板組立，接著完成 Rheda 道版混凝土澆置。也就是說德國 Rheda 2000 版式軌道系統在完成軌道下部結構之後，其施作順序是可以一直重疊，基本上是相隔 200 公尺。

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析

由以上之探討可以發現，就兩版式軌道之下部軌道結構部分而言，其施工順序均較固定。但是在上部結構部分，日本 AF-55 版式軌道因所有之軌道材料運輸與施工均需仰賴軌道，同時又有等待相關材料強度之時間限制，因此每一施工流程固定，無法有某一項進度超前之狀況發生。

但是相對地，德國 Rheda 2000 版式軌道只要某一項施工單元完成 200 公尺即可開始下一項施工項目之進行，另外雖然德國 Rheda 2000 版式軌道亦需靠已完成之軌道作為運輸相關材料之用，但是基本上因在上部結構施工之前，主要施工材料如預鑄軌枕、鋼軌與鋼筋均可事先放置於預定施作軌道之外側，因此其他施工材料可以其他方式運輸，故沒有其他軌道材料強度(混凝土強度)等待時間之限制。

因此綜上所述，德國 Rheda 2000 版式軌道在施工相容性方面是優於日本

AF-55 版式軌道。但是日本 AF-55 版式軌道可以用較快之施工速率彌補這方面之劣勢。

4.1.2.3 軌道材料運輸

本小節主要探討於軌道施工期間材料運輸對施工進度之影響，此處所指之材料係指主要軌道材料，但探討內容不包括運輸方式相同之鋼筋、模板與混凝土，因此僅以兩者在運輸方式不同之主要軌道材料做探討。

探討內容以分析軌道材料運輸之難易度來評估對施工進度之影響。材料運輸難易度以比較日本與德國 Rheda 2000 版式軌道系統在下列項目中何者為優之方式來判定，其比較項目分述如下：

1. 主要軌道材料運輸所需機具規格
2. 材料運輸是否受土建結構影響
3. 主要軌道材料運輸所需人力數量
4. 主要軌道材料運輸所需時間
5. 主要軌道材料大小尺寸
6. 主要軌道材料每公里數量
7. 運輸機具一次最大可搬運數量

A、軌道材料運輸方式與相關影響探討

日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要軌道構件材料運輸方式與相關影響探討詳表 4-20。

表 4-20 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要材料運輸影響說明表

項次	主要軌道材料名稱	日本 AF-55		德國 Rheda 2000	
		比較項目	說明	比較項目	說明
1	鋼軌	材料運輸方式	軌道運輸	材料運輸方式	車輛運輸
		材料運輸使用機具	軌距 1435mm 之火車頭 (Unimog or Motor Car)+26 節台車+1 節指揮車	材料運輸使用機具	1. 堆高機 2. 滾輪
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	1. 坡度大時(3.5%)需要連結兩台火車頭 Motor Car 或是減少搬運量；正常搬運量為 10 根鋼軌。	材料運輸是否因為土建結構而受影響	不受影響

表 4-20 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要材料運輸影響說明表(續)

項次	日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
	主要軌道材料名稱	比較項目	說明	主要軌道材料名稱	比較項目	說明
1	鋼軌	材料運輸使用人力	1. 工作火車駕駛與指揮 2 人 2. 鋼軌儲存場吊裝人員 9 人	鋼軌	材料運輸使用人力	1. 鋼軌儲存場人員 10 人 2. 堆高機駕駛 1 人 3. 鋼軌運輸人員 20 人
		材料運輸所需時間	1. 行駛速限 20km/hr 2. 每次吊裝 10 根 200 公尺鋼軌上鐵製台車需 1 小時		材料運輸所需時間	依運送距離而定，行駛速限 20km/hr
		材料尺寸	每根鋼軌長度 200 公尺， 60kg/m		材料尺寸	每根鋼軌長度 200 公尺， 60kg/m
		每公里數量	200 公尺長鋼軌 20 根		每公里數量	200 公尺長鋼軌 20 根
		每次可運輸之材料數量	1. 軌道運輸：每次可運送數量 10 根鋼軌 2. 堆高機運輸：每次可運送數量 1 根鋼軌		每次可運輸之材料數量	鋼軌每次運送 1 根
2	預鑄軌道板	材料運輸方式	軌道輸送	預鑄軌枕	材料運輸方式	車輛運輸(從儲存場分配至軌道位置)
		材料運輸使用機具	軌距 1435mm 之火車頭 (Unimog or Motor Car)+26 節台車+1 節指揮車		材料運輸使用機具	20 噸吊卡車
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	坡度大時(3.5%)需要連結兩台火車頭 Motor Car 或是減少一次搬運量為 10 塊；正常一次搬運量為 20 塊軌道版。		材料運輸是否因為土建結構而受影響	不受影響
		材料運輸使用人力	1. 軌道版儲存場 11 人 2. 吊車駕駛 1 人 3. 吊裝指揮 2 人 4. 工作火車駕駛及指揮 2 人		材料運輸使用人力	1. 吊卡車駕駛 1 人 2. 軌枕分送人員 7 人
		材料運輸所需時間	施工區域行駛速限 20km/hr		材料運輸所需時間	施工區域行駛速限 20km/hr
		材料尺寸	長 4900 寬 2220mm 高 190mm/ 軌道版		材料尺寸	長 2400mm 寬 286mm 高 248mm/軌枕
		每公里數量	400 塊		每公里數量	3200 個/公里(軌枕間距 625mm 為例)
		材料運輸數量	每次運送數量 20 塊軌道版		材料運輸數量	一輛吊卡車可載運 60 個軌枕

表 4-20 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要材料運輸影響說明表(續)

項次	日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
	主要軌道材料名稱	比較項目	說明	主要軌道材料名稱	比較項目	說明
3	CA 砂漿與合成樹脂	材料運輸方式	軌道輸送	彈性隔離膜	材料運輸方式	車輛運輸
		材料運輸使用機具	1 台軌距 1435mm 之火車頭 (Unimog or Motor Car)+CA 砂漿設備車+2 節鐵製台車		材料運輸使用機具	20 噸吊卡車
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	無影響		材料運輸是否因為土建結構而受影響	無影響
		材料運輸使用人力	1. 儲存場人員 6 人 2. 吊車駕駛 1 人 3. 吊裝指揮 2 人 4. 堆高機駕駛 1 人		材料運輸使用人力	1. 吊卡車駕駛 1 人 2. 裝卸載人員 2 人
		材料運輸所需時間	1. 施工區域行駛速限 20km/hr 2. 滿載需 2 小時		材料運輸所需時間	施工區域行駛速限 20km/hr
		材料尺寸	1. CA 砂漿相關組成材料儲存於 CA 砂漿設備車內 2. 合成樹脂每桶 200 公升		材料尺寸	每捲寬 1.3m, 可鋪設 20m
		每公里數量	1. CA 砂漿: 125 平方公尺 2. 合成樹脂: 4.6 平方公尺		每公里數量	5882 平方公尺
		材料運輸數量	足供每天預定進度 400 公尺使用量, 即每天達預定進度後即返回基地進行材料補給		材料運輸數量	足供每天預定進度使用量
4	鋼軌扣件	材料運輸方式	鋼軌運輸	彈性承載墊片	材料運輸方式	車輛運輸
		材料運輸使用機具	1 台軌距 1435mm 之火車頭 (Unimog or Motor Car) +2 節鐵製台車		材料運輸使用機具	20 噸吊卡車
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	無影響		材料運輸是否因為土建結構而受影響	無影響
		材料運輸使用人力	1. 吊車駕駛 1 人 2. 吊車指揮 2 人 3. 搬運人員 4 人		材料運輸使用人力	1. 吊卡車駕駛 1 人 2. 裝卸載人員 2 人
		材料運輸所需時間	1. 運完成需 20 分鐘 2. 施工區域行駛速限 20km/hr		材料運輸所需時間	施工區域行駛速限 20km/hr
		材料尺寸	彈性扣夾組、鋼軌墊片(30 片/箱)與螺帽		材料尺寸	彈性承載墊片: 依設計加工裁切好之成品
		每公里數量	6400 組(每塊 5 公尺軌道版安裝 16 組扣件)		每公里數量	4224 平方公尺
		材料運輸數量	足供每天預定進度使用量		材料運輸數量	足供每天預定進度使用量

表 4-20 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道主要材料運輸影響說明表(續)

項次	日本 AF-55			德國 Rheda 2000		
	主要軌道材料名稱	比較項目	說明	主要軌道材料名稱	比較項目	說明
5	可調整鋼軌墊片注入材	材料運輸方式	軌道輸送	預鑄軌枕	材料運輸方式	車輛運輸(從預鑄廠運送至工地)
		材料運輸使用機具	改良式簡易台車		材料運輸使用機具	20 噸版車(以堆高機卸載)
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	無影響		材料運輸是否因為土建結構而受影響	NA
		材料運輸使用人力	搬運工 1 人		材料運輸使用人力	4 人(工地現場之卸載人員)
		材料運輸所需時間	略		材料運輸所需時間	20 分鐘/100 個軌枕(工地現場之卸載時間)
		材料尺寸	略		材料尺寸	長 2400mm 寬 286mm 高 248mm/軌枕
		每公里數量	1 立方公尺		每公里數量	NA
		材料運輸數量	足供每天預定進度使用量，即每天達預定進度後即返回基地進行材料補給		材料運輸數量	每次可運載數量為 100 個，可供鋪設軌道長度(以橋樑段每標準區塊長度 7.5 公尺所需 12 個預鑄軌枕為例)為 $100/12 \div 8 \cdot 8 \cdot 7.5 = 60$ 公尺。
6	預鑄軌道版	材料運輸方式	版車輸送(從預鑄廠運送至工地)	水力結合層材料-乾拌混凝土	材料運輸方式	傾卸車輸送
		材料運輸使用機具	20 噸版車(以吊車卸載)		材料運輸使用機具	10 噸傾卸車
		材料運輸是否因為土建結構而受影響	NA		材料運輸是否因為土建結構而受影響	僅適用於路工段
		材料運輸使用人力	8 人(工地現場之卸載人員)		材料運輸使用人力	傾卸車駕駛 1 人/輛
		材料運輸所需時間	10 分鐘/4 塊軌道版(工地現場之卸載時間)		材料運輸所需時間	依拌和廠與工地距離而定
		材料尺寸	長 4900 寬 2220mm 高 190mm/軌道版		材料尺寸	略
		每公里數量	NA		每公里數量	2280 立方公尺
		材料運輸數量	每台版車僅能載運 4 塊預鑄軌道版，可供鋪設軌道長度為 20 公尺		材料運輸數量	每輛傾卸車可載運 4 立方公尺

B、日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

經由前一小節之探討，可以有以下之結論：

1. 日本 AF-55 版式軌道之材料運輸主要為軌道運輸，德國 Rheda 2000 版式軌道為車輛運輸。
2. 日本 AF-55 版式軌道所需運送之材料種類數量為 6 項，德國為 5 項。
3. 鋼軌運輸方面，日本 AF-55 版式軌道以軌道運輸方式優於德國 Rheda 2000 版式

軌道的滾輪與堆高機運輸。

4. 預鑄單元運輸方面，由預鑄廠運送預鑄軌道單元至工地現場，因德國 Rheda 2000 預鑄軌枕每次可運送之數量與其可鋪設之距離優於日本 AF-55 預鑄軌道版。因此在預鑄廠運送至工地之運輸方式德國 Rheda 2000 優於日本 AF-55。由工地現場運送預鑄軌道單元至鋪設現場，因日本預鑄軌道版是以軌道運輸，其一次可搬運量較車輛運輸為大。因此在現場鋪設時之運輸方式日本 AF-55 優於德國 Rheda 2000 版式軌道。
5. 日本 AF-55 版式軌道鋼軌扣件除基版與基版墊片外，其他鋼軌扣件是在預鑄軌道版安裝完成之後才安裝上去，因此在材料運輸上必須再多花一次運送成本。而德國鋼軌扣件在預鑄廠時就已經安裝完成。因此相較於日本 AF-55 版式軌道系統減少一項材料運輸成本。

整體來說，日本 AF-55 在材料運輸上除鋼軌運輸外其他材料運輸所使用之機具與人力均高於德國 Rheda 2000，且材料尺寸與數量亦大於德國 Rheda 2000，唯有日本 AF-55 版式軌道之材料運輸方式以軌道運輸效率優於德國 Rheda 2000 的車輛運輸外，其餘皆以德國 Rheda 2000 之軌道材料運輸優於日本 AF-55。

4.1.2.4 軌道調整性

本小節在探討軌道需要調整時，其調整時機、調整方法、調整限度與調整之簡易性。了解何者有較大彈性之調整空間，以彌補因部分軌道系統構件之品質問題或其他原因而影響設計線形與高程。

軌道在施工過程中，每一構件之施工品質不可能都符合設計要求，因此軌道調整便是一項不可避免的工作，只在於調整量之多寡而已。然而在營運之後，也可能因為軌道基礎沉陷或其他應力影響，導致軌道之垂直與水平線形產生變化而需要調整，所以軌道之調整性對於軌道在營運前與營運後都是一項相當重要的特性。因次本節特別討論兩軌道系統之調整性，以了解在施工中與施工後其調整方式之便利性與調整限度之大小。

A. 日本 AF-55 版式軌道探討

日本 AF-55 版式軌道系統之組成構件包括路盤、保護層、防動塊、CA 砂漿層、預鑄軌道板、鋼軌扣件以及鋼軌等，在垂直線形調整方面，可利用 CA 砂漿層與鋼軌扣件內的可調整鋼軌墊片來調整，但若其需調整範圍超過 CA 砂漿層之最大厚度與可調整鋼軌墊片之最大灌注厚度時，則可另外在基板墊片與基板間插入調整鋼板；在水平線形調整方面，則是利用基板上固定螺栓孔之長度來作調整，其詳細之相關調整時機、方式、對象與限度分述如下：

1. 垂直線形調整
 - a. CA 砂漿層

CA 砂漿層係位在路盤混凝土與預鑄軌道板之間，其功能除承載軌道板與

作為兩剛性物件之緩衝層外，CA 砂漿之另一項重要功能為調整預鑄軌道板之完成面高程。CA 砂漿層在調整方面之功能係使用在軌道施工過程中，當路盤混凝土之完成面低於設計高程或不平整(在容許平整度範圍內)，可以利用 CA 砂漿之可變厚度，來調整軌道板之完成面高程。其相關整理資訊如表 4-21 所示。

表 4-21 日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(CA 砂漿)表

軌道調整使用項目：CA 砂漿			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
1. 預鑄軌道版安裝時	控制 CA 砂漿之灌注厚度以調整預鑄軌道板之完成面高程與平整度	預鑄軌道板	+60mm (CA 砂漿層之最小厚度 40mm，最大厚度 100mm)
2. 軌道工程完工後，因基底沉陷與其他可調整構件已超出調整限度時	施工步驟： 1. 將鋼軌移除或抬起 2. 將軌道版抬起至要求高程並固定之 3. 移除 CA 砂漿 4. 重新灌注 CA 砂漿 5. 經 CA 砂漿達要求強度時將軌道版放下以避免兩者之間有空隙產生 6. 放下鋼軌，並經由 ARP 將鋼軌調整至要求高程。	預鑄軌道板	+60mm (CA 砂漿層之最小厚度 40mm，最大厚度 100mm)

b. 可調整鋼軌墊片

可調整鋼軌墊片係位在鋼軌墊片與基板之間，利用其可變厚度之特性以調整鋼軌高程。在軌道板鋪設完成之後，其施工精度可能無法達到設計要求，所以可以利用可調整鋼軌墊片將鋼軌之最後完成面高程調整到所需精度之容許誤差內，其相關資訊如表 4-22 所示。

表 4-22 日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(可調整鋼軌墊片)表

軌道調整使用項目：可調整鋼軌墊片(ARP)			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
軌道板鋪設完成後	在基板與鋼軌墊片之間置入可調整鋼軌墊片灌注袋，在鋼軌調整完成後，以樹脂砂漿注入此灌注袋中，填滿鋼軌墊片與基板之間隙	鋼軌	+13mm(ARP 最小厚度 4mm，最大厚度 13mm)

c. 調整鋼板

調整鋼板係位在基板墊片與基板之間，利用不同厚度之調整鋼板以調整鋼軌高程。當軌道調整完成後且達容許誤差範圍內，因其他因素導致軌道高程超出容許誤差範圍時，可以使用調整鋼板將高程調整進入容許誤差範圍內。當調整鋼板超過 30mm 時，需更換較長之基板固定螺栓。其相關資訊如表 4-23 所示。

表 4-23 日本 AF-55 版式軌道垂直線型調整單元(調整鋼板)表

軌道調整使用項目：調整鋼板(Shim)			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
軌道調整完成之後	在基板墊片與基板之間置入調整鋼板，以調整鋼軌之完成面高程	鋼軌	+0.6~+50mm

2. 水平線形調整

a. 基板

基板係位在基板墊片與可調整鋼軌墊片之間，利用移動基板開槽孔(基板固定螺栓穿過處)位置以調整鋼軌水平位置。其相關資訊如表 4-24 所示。

表 4-24 日本 AF-55 版式軌道水平線型調整單元(基板)表

軌道調整使用項目：基板(Base Plate)			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
1. 軌道板鋪設完成後	利用基板上固定螺栓孔之開槽長度移動基板	鋼軌	+5mm/-5mm
2. 營運後	左右位置，以調整鋼軌水平線形		

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道探討

德國 Rheda 2000 版式軌道系統之組成構件除鋼軌扣件外，其他構件在道床(Slab)混凝土澆置完成之後即無法作任何調整。因此不論是垂直或水平線形調整，皆需利用鋼軌扣件。在垂直線形調整方面，調整方式包括更換不同厚度之鋼軌墊片、插入不同厚度之塑膠調整墊片與鋼製調整版，但是當調整高處超過 17mm 時，需更換較長之軌枕螺栓。在水平線形調整方面，則是利用更換不同寬度的 Angled Guide Plate 的方式來調整，其詳細之相關調整時機、方式、對象與限度分述如下：

1. 垂直線形調整

a. 鋼軌墊片 Zw 692

鋼軌墊片為軌道未調整前鋼軌扣件之標準構件之一。正常之鋼軌墊片為 Zw 692-6mm，即厚度為 6mm。當所需調整之高度為減 4mm 至加 6mm 時，則可利用更換鋼軌墊片厚度來作調整，即更換不同型號之鋼軌墊片；例如當鋼軌高度需降低 4mm 時，亦即將標準鋼軌墊片 Zw 692-6mm 更換成 Zw 692-2mm，以此類推。因此在調整範圍在-4~+6mm 之間時，只需更換鋼軌墊片，而不需另外插入其他構件。其相關資訊如表 4-25 所示。

表 4-25 德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(鋼軌墊片)表

軌道調整使用項目：鋼軌墊片 Zw692			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
Rheda 道床混凝土澆置完成之後	置換不同型號(厚度)鋼軌墊片	鋼軌	軌道高度-4~+6mm

b. 彈性基板

彈性基板為軌道需要進行調整之後新增之構件，其厚度只有兩種，為 Ap 20-6mm 與 Ap 20-10mm。當所需調整之軌道高度為增加 7mm 至 26mm 時，除更換鋼軌墊片外，另需插入彈性基板，以滿足需調整之高度；例如當鋼軌高度需增加 7mm 時，首先需將鋼軌墊片 Zw 692-6mm 更換成 Z 寬 692-7mm，之後需再插入彈性基板 Ap 20-6mm，使整體高度達 13mm，以獲得所需調整之高度。詳細之鋼軌墊片與彈性基板更換組合詳表一。

但是當需增加軌道高度達 17mm 時，亦即鋼軌墊片加彈性基板厚度達 23mm 時，需更換原有之軌枕螺栓，使用長度較長之軌枕螺栓。其相關資訊如表 4-26 所示。

表 4-26 德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(彈性基板)表

軌道調整使用項目：彈性基板			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
Rheda 道床混凝土澆置完成之後	除更換鋼軌墊片 Z 寬 692 外，另增加彈性基板 Ap20，同時在調整高度超過 17mm 時需更換較長之軌枕螺栓	鋼軌	軌道高度+7~+26mm

c. 高度調整鋼板

高度調整鋼板為軌道需要進行調整之後新增之構件，其厚度只有一種，為 Ap 20-S(20mm)。當所需調整之軌道高度為增加 27mm 至 56mm 時，除更換鋼軌墊片外，另需插入塑膠調整墊片與鋼製調整板，以滿足需調整之高度；如當鋼軌高度需增加 56mm 時，首先需將鋼軌墊片 Z 寬 692-7mm 更換成 Zw 692-12mm，之後除需插入彈性基板 3 片 Ap 20-10mm，要再插入高度調整鋼板 Ap 20-S (20mm)，使整體高度達 62mm，以獲得所需調整之高度。詳細之鋼軌墊片、彈性基板與高度調整鋼板更換組合詳表一。

相同的當需增加軌道高度達 27mm、37mm 與 47mm 以上時，需更換長度較長之軌枕螺栓。軌枕螺栓長度範圍由標準之 230mm 至最長的 270mm，每種型號相差 10mm。其相關資訊如表 4-27 所示。

表 4-27 德國 Rheda 2000 版式軌道垂直線型調整單元(高度調整鋼板)表

軌道調整使用項目：高度調整鋼板			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
Rheda 道床混凝土澆置完成之後	除原有鋼軌墊片 Zw692 外，增加彈性基板 Ap20 與高度調整鋼板 Ap20-S，另外在調整高度超過 17mm 時需更換較長之軌枕螺栓	鋼軌	鋼軌高度 +27~+56mm

2. 水平線形調整

a. 角度導板(Angled Guide Plate WFP 15a)

角度導板為軌道未調整前鋼軌扣件之標準構件之一。正常之角度導板為

WFP 15a-3mm，即將鋼軌放置於正中間位置。其調整方式為更換不同角度導板之寬度，加減鋼軌兩側之角度導板寬度，以獲得所需之水平位置。但是不同角度導板之型號，其寬度變化為 1mm，亦即只能以 1mm 為單位作變化，無法獲得 0~1mm 之間的調整。其相關資訊如表 4-28 所示。

表 4-28 德國 Rheda 2000 版式軌道水平線型調整單元(角度導板)表

軌道調整使用項目：角度導板(Angled Guide Plate WFP 15a)			
使用時機	調整方式	調整對象	調整限度
Rheda 道床混凝土澆置完成之後	變更角度導板寬度，以獲得所需水平位置。	鋼軌	鋼軌水平位置 +10~-10mm

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析

表 4-29 日本 AF-55 版式軌道調整說明表

項次	可調整之軌道構件	鋼軌調整特性		調整難易度
1	彈性調整層	可調整項目	CA 砂漿	難
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道版安裝時	
		調整限度	0~+60mm	
2	鋼軌扣件	可調整項目	可調整鋼軌墊片	中等
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道施工中	
		調整限度	0~+7mm	
3	鋼軌扣件	可調整項目	調整鋼板 Shim	易
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道施工中與施工後	
		調整限度	0~+50mm	
4	鋼軌扣件	可調整項目	基板	易
		調整線形	水平線形	
		調整時機	軌道施工中與施工後	
		調整限度	+/-5mm	

表 4-30 德國 Rheda 2000 版式軌道調整說明表

項次	可調整之軌道構件	鋼軌調整特性		調整難易度
1	鋼軌扣件	可調整項目	鋼軌墊片	易
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道施工後	
		調整限度	-4 ~ -1、+1 ~ +6mm	
2	鋼軌扣件	可調整項目	塑膠調整墊片	易
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道施工後	
		調整限度	+7、+8、+9.....+26mm	
3	鋼軌扣件	可調整項目	鋼製調整板	易
		調整線形	垂直線形	
		調整時機	軌道施工後	
		調整限度	+27、+28、+29.....+56mm	
4	鋼軌扣件	可調整項目	Angled Guide Plate	易
		調整線形	水平線形	
		調整時機	軌道施工後	
		調整限度	-10、-9.....-1、+1、+2.....+10mm	

日本 AF-55 版式軌道在垂直調整方面有 3 項軌道構件可供調整，合計最高調整上限為 117mm；在水平調整方面只有 1 項軌道構件可供調整，最大調整上限為左右 5mm。德國 Rheda 2000 版式軌道在垂直調整方面有 3 項軌道構件可供調整，合計最高調整上限為 56mm；在水平調整方面只有 1 項軌道構件可供調整，最大調整上限為左右 10mm。因此在調整限度方面，日本 AF-55 版式軌道在垂直調整方面優於德國 Rheda 2000 版式軌道；德國 Rheda 2000 版式軌道在水平調整方面優於日本 AF-55 版式軌道。

依據日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之調整方法得知，在垂直調整方面，日本 AF-55 版式軌道可調整構件中有兩項需要養生時間，尤其 CA 砂漿需要養生至少 1 天，只有調整鋼板可直接達到調整效果，其調整精度可在 0~1mm 之間；而德國 Rheda 2000 版式軌道，所有可調整構件不是只需更換就是再插入新的元件，而且可立即達到調整效果，沒有養生的問題，但是調整精度為 1mm。因此在垂直調整之便利性方面，德國 Rheda 2000 版式軌道優於日本 AF-55 版式軌道，但是在精度方面，日本 AF-55 版式軌道優於德國 Rheda 2000 版式軌道。

在水平調整方面，日本 AF-55 版式軌道是以移動軌道基板來獲得調整效果，故在調整時可同時調整所需調整範圍內之鋼軌，其調整精度可在 0~1mm 之間；德國 Rheda 2000 版式軌道則是更換角度導版，在調整時是逐一更換需調整範圍內的角度導版，調整精度為 1mm；因此在水平調整之精度與便利性上，日本 AF-55 版式軌道優於德國 Rheda 2000 版式軌道。

4.2 施工品質管制探討

本章節係探討在軌道施工過程中之品質管制問題，比較日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道在預鑄、場鑄與相關軌道構件安裝過程中何者可在較少之品質管制要求下即可完成軌道工程。同時比較兩版式軌道結構中預鑄與場鑄比例，因預鑄品質一般來說皆比場鑄容易控制，預鑄可說是在工廠管理下的產品，因此影響品質因素較少，相對於場鑄因其外在影響因素多，所以品質相對較差。因此可比較預鑄與場鑄比例以了解何者可以獲得較佳之混凝土品質。

探討項目區分為三大類，其探討範圍與方法敘述如表 4-31。

表 4-31 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道品質管制探討說明表

探討項目	探討範圍		探討方法
預鑄品質管制	日本 AF-55	1. 預鑄軌道版	1. 預鑄流程品質管制 2. 預鑄生產不合格率
	德國 Rheda2000	1. 預鑄軌枕	
場鑄品質管制	日本 AF-55	1. 路盤混凝土 2. 防動塊 3. 保護層混凝土	1. NCR 不合格項目分類與柏拉圖繪製 2. 關鍵品質缺失解決方法與對進度與成本之影響 3. 專家訪談現場品質管制
	德國 Rheda2000	1. 保護層與冠板混凝土 2. 整平層混凝土 3. 水力結合層 4. Rheda 道版混凝土	
軌道構件安裝品質管制	日本 AF-55	1. 臨時軌道鋪設 2. 預鑄軌道版安裝 3. CA 砂漿灌注 4. 合成樹脂灌注 5. 鋼軌安裝整正與可調整鋼軌墊片灌注	1. NCR 不合格項目分類與柏拉圖繪製 2. 關鍵品質缺失解決方法與對進度與成本之影響 3. 專家訪談現場品質管制
	德國 Rheda2000	1. 軌枕分配與安裝 2. 彈性隔離膜與承載墊片安裝 3. 鋼軌分配與安裝 4. 軌道調整	

4.2.1 預鑄品質管制探討

本小節主要在探討日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道中預鑄單元在預鑄廠製作過程之品質掌控度；包括日本的預鑄軌道版與德國的預鑄軌枕。

探討內容主要區分為三大項，其一敘述在預鑄過程中品質計劃書(ITP)所要求之品質管制項目，包括預鑄過程之施工要求、檢驗項目與不合格判定標準，其二為預鑄完成後，經檢驗判定不合格而廢棄之不合格率，最後進行綜合分析與探討，以了解何者之預鑄品質較容易掌控，能夠在較少的品質管制下完成軌道之預鑄單元。

A. 預鑄流程與品質計劃書之品管要求

A-1. 日本 AF-55 預鑄軌道版預鑄流程與品質管制

步驟 1：鋼筋加工



圖 4-8 鋼筋加工



圖 4-9 鋼筋加工樣本

1. 鋼筋之裁切與彎曲在平均溫度下施作(如圖 4-8)
2. 鋼筋依照軌道板設計圖加工製作(如圖 4-9)

步驟 2：鋼筋籠組立



圖 4-10 鋼筋籠組立台



圖 4-11 軌道板鋼筋籠存放



圖 4-12 鋼筋籠吊裝

1. 鋼筋組裝依組裝台上位置綁紮且固定(如圖 4-10)
2. 鋼筋組裝台每一個月以鋼尺檢查相關尺寸一次
3. 完成後之鋼筋籠必須以四個吊點之方式來移動吊放(如圖 4-12)

步驟 3：鋼模清理



圖 4-13 鋼模清理(一)



圖 4-14 鋼模清理(二)

1. 使用空壓機將貼附於鋼模上之混凝土清除乾淨，包括鋼模之內部、外部，確實將鋼模完整清理(如圖 4-13)
2. 以目視及測試槌檢查所有預埋件之固定孔，是否已清理乾淨且可達到安裝後確實穩固之要求
3. 以乾布將鋼模內部擦拭完成後再用抹布以模板油將鋼模面上擦拭一次(如圖 4-14)

步驟 4：鋼筋籠與預埋件安裝

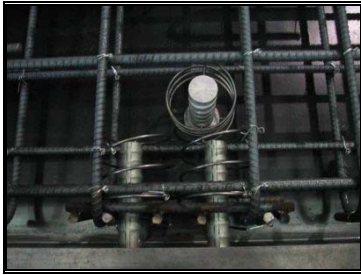


圖 4-15 預埋件安裝圖



圖 4-16 鋼筋籠與預埋件

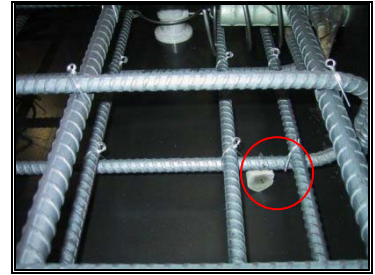


圖 4-17 鋼筋保護層墊塊

1. 檢查鋼模相關尺寸是否在容許誤差內
2. 檢查鋼模是否清理乾淨
3. 檢查預埋件是否固定確實(如圖 4-15)
4. 檢查鋼筋組立是否符合施工圖說(如圖 4-16)
5. 檢查鋼筋保護層間隔墊塊是否固定確實(如圖 4-17)
6. 檢測接地線電阻質是否 $<2\Omega$

步驟 5：混凝土澆置



圖 4-18 混凝土澆置前檢查



圖 4-19 混凝土澆置



圖 4-20 鋼模震動機



圖 4-21 混凝土現場試驗



圖 4-22 混凝土完成面處理

1. 鋼筋、預埋件、鋼模與其他元件必須檢查通過後方能澆置混凝土(如圖 4-18)
2. 混凝土澆置前須以高壓空氣確實將鋼模清理乾淨
3. 每一個鋼模之混凝土澆置必須連續以至完成，不可中斷(如圖 4-19)
4. 混凝土之搗實以外模振動機為之(如圖 4-20)
5. 坍度 8 ± 2.5 公分，混凝土溫度 $\leq 32^{\circ}\text{C}$ ，氯離子含量 $<0.3\text{kg/m}^3$ ，含氣量 $3\pm 1\%$ (如圖 4-21)
6. 混凝土完成面處理必須依照下列指示(如圖 4-23)
 - (1) 在第一次表面處理時以方型鋼板將多餘之混凝土移除
 - (2) 混凝土搗實完成之後，以鋁製標尺將混凝土表面再一次整平

- (3) 之後再以鋼鏟刀將完成面抹平，使其更精準且平順
- (4) 等混凝土初凝硬化後，以掃把整齊平順的將混凝土完成面(即軌道版底面)作毛面處理

步驟 6：蒸氣養生

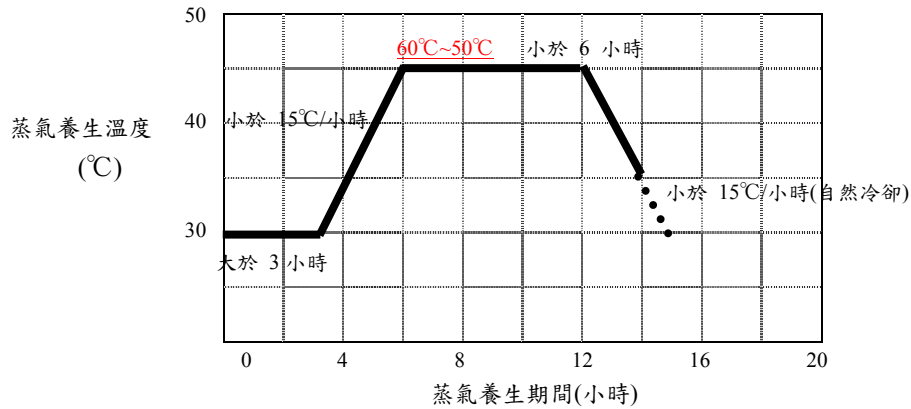


圖 4-23 日本 AF-55 版式軌道版蒸氣養生圖

1. 蒸氣養生於混凝土澆置後 3 小時開始
2. 蒸氣養生溫度之增溫與減溫速率不可超過 15°C/小時
3. 蒸氣養生之最高溫度須在 50~60°C 之間，且時間不可超過 6 小時
4. 蒸氣養生溫度需為自動控制且須自動列表紀錄
5. 蒸氣噴出口不可對著鋼模

步驟 7：拆模及吊放至檢查區



圖 4-24 鋼模拆模



圖 4-25 軌道版吊運至檢查區

1. 每天早上必須將拆模混凝土強度試驗報告傳真給品管經理
2. 拆模前需確認混凝土強度已超過 300kg/cm²

步驟 8：軌道版檢查



圖 4-26 軌道版尺寸檢查



圖 4-27 預埋螺栓孔位置檢查



圖 4-28 軌道版平整度檢查



圖 4-29 預埋螺栓孔拉力試驗

量測項目與頻率：

1. 混凝土外觀尺寸：每塊軌道版(如圖 4-26)
2. 鋼軌扣件螺栓孔間距：每塊軌道版(如圖 4-27)
3. 鋼軌扣件間距：每塊軌道版(如圖 4-27)
4. 混凝土完成面平整度：每塊軌道版(如圖 4-28)
5. 混凝土表面裂縫檢查：每塊軌道版
6. 鋼軌扣件螺栓孔抗拉試驗：每 500 塊施作 1 塊並每一螺栓孔皆需試驗，試驗拉力：5 公噸(如圖 4-29)

步驟 9：印記標註



圖 4-30 軌道版印記標誌(一)



圖 4-31 軌道版印記標誌(二)



圖 4-32 軌道版印記標誌(三)

印記標註內容包括：

1. 製造日期：年-月-日(如圖 4-30, 4-31, 4-32)
2. 軌道版編號(如圖 4-30, 4-31, 4-32)
3. 「檢」字號(如圖 4-30, 4-31, 4-32)
4. 標註完成後再於其上塗抹一層保護膜(如圖 4-32)

步驟 10：浸水養生



圖 4-33 軌道版浸水養生(一)



圖 4-34 軌道版浸水養生(二)

1. 將檢查通過之軌道版浸水養生 3 天(如圖 4-33,4-34)
2. 為避免因溫度明顯變化而造成收縮裂縫，當軌道版混凝土溫度超過正常平均溫度時將暫不予浸水養生
3. 紀錄每一塊軌道版開始與結束浸水養生之日期/小時/分鐘

步驟 11：搬運與儲存



圖 4-35 軌道版吊離養生池



圖 4-36 軌道版搬運板車



圖 4-37 軌道板搬運

1. 搬運實應避免碰撞造成破壞(如圖 4-35)
2. 吊掛點預埋於軌道版中，吊掛前應確實檢查掛件是否鬆動(如圖 4-35)
3. 版車上特殊載具之防撞橡膠，應於裝載前檢查是否破損，避免運輸過程中撞擊造成破壞(如圖 4-36,4-37)

步驟 12：運送至儲存場



圖 4-38 軌道版吊放儲存



圖 4-39 軌道板儲存場

1. 儲存場碎石鋪成之基地需確實夯實，避免軌道版不均勻沉陷。
2. 軌道版堆放前需事先在地面放置兩條軌枕。(如圖 4-38)
3. 吊裝與堆置軌道版需遵守安全操作規則
4. 軌道版之存放需遵照附圖所示放置，並以縱向方向依序堆放(如圖 4-39)
5. 為避免軌道版翻覆，需以金屬板與螺栓將軌道版兩兩固定且鎖固於固定支架上
6. 位在軌道板上之插入孔需以膠帶或塑膠蓋將其密封，以防止灰塵堆積。
7. 在軌道版面上貼上 4 個小橡膠塊，以避免軌道版間之碰撞
8. 軌道版之存放需詳實紀錄，且必須每天追追蹤與更新紀錄，以了解每個位置軌道版之生產日期

A-2. 德國 Rheda 2000 預鑄軌枕

德國 Rheda 2000 預鑄軌枕之施做流程與品質管制：

步驟 1：鋼模清理與脫模劑噴佈



圖 4-40 高壓空氣清理鋼模



圖 4-41 脫模劑噴佈

1. 使用空壓機將貼附於鋼模上之混凝土清除乾淨(如圖 4-40)
2. 以噴油槍將模板油均勻噴佈在鋼模面上(如圖 4-41)

步驟 2：預埋件與桁架安裝



圖 4-42 預埋件安裝



圖 4-43 桁架安裝



圖 4-44 混凝土澆置前檢查

1. 檢查鋼軌扣件螺栓預埋件是否固定確實(如圖 4-42)
2. 檢查桁架是否固定確實(如圖 4-43)
3. 桁架、預埋件、鋼模與其他元件必須檢查通過後方能澆置混凝土(如圖 4-44)

步驟 3：混凝土澆置



圖 4-45 混凝土澆置



圖 4-46 混凝土澆置與震動控制



圖 4-47 完成面修整

1. 每一個鋼模之混凝土澆置必須連續以至完成，不可中斷(如圖 4-45)
2. 混凝土之搗實以外模振動機為之(如圖 4-46)
3. $15^{\circ}\text{C} < \text{混凝土溫度} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ，氣離子含量 $< 0.3\text{kg}/\text{m}^3$ ，含氣量 $\pm 0.7\%$
4. 混凝土完成面處理(如圖 4-47)

步驟 4：蒸氣養生



圖 4-48 鋼模吊放至蒸氣養生棚前



圖 4-49 鋼模推入蒸氣養生棚

1. 完成混凝土澆置之鋼模，以 5 個為一組將鋼模吊放至蒸氣養生棚外等候至少 2 個小時，之後再推入蒸氣養生棚養生。(如圖 4-48, 4-49)
2. 蒸氣養生時間約為 7 個小時，最高溫度為 60 °C，溫度變化速率以不大於 15 °C/小時且任一小時內之溫度變化速率不可超過 10 °C/30 分鐘。蒸氣養生棚內之溫度必須連續監測。每個月必須於一個軌枕內埋設溫差電偶以監控蒸氣養生溫度。所有溫度監控紀錄都必須建檔管理。

步驟 5：拆模



圖 4-50 鋼模拆模(一)



圖 4-51 鋼模拆模(二)

1. 蒸氣養生完成後，將鋼模拖出蒸氣養生棚外並後等候約 30 分鐘至 1 小時，再以拆模機執行拆模動作。(如圖 4-50, 4-51)
2. 拆模前需確認方形混凝土試體強度已超過 350kg/cm²

步驟 6：混凝土完成面修飾與檢查

品管項目

1. 混凝土外露面皆須符合合約規範要求
2. 每班作業需量測指定之 4 個軌枕之相關尺寸，以確保每組鋼模尺寸正確。
3. 軌枕混凝土完成面檢測標準：
 - I. 軌枕與 Rheda 道床混凝土之接觸面檢測(如圖 4-52)：

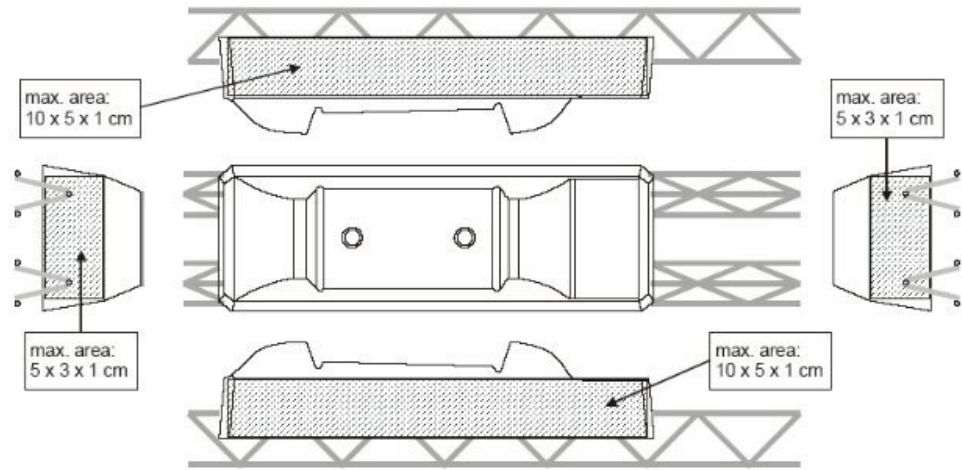


圖 4-52 德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(一)

- a. 混凝土表面需光滑平順
- b. 軌枕混凝土底面無特別要求
- c. 垂直面可容許單獨的氣穴與微小氣孔存在，但若其面積超過 $5 \times 3 \times 1 \text{ cm}$ 則判定為不合格。

II. 鋼軌基座混凝土面檢測(如圖 4-53)

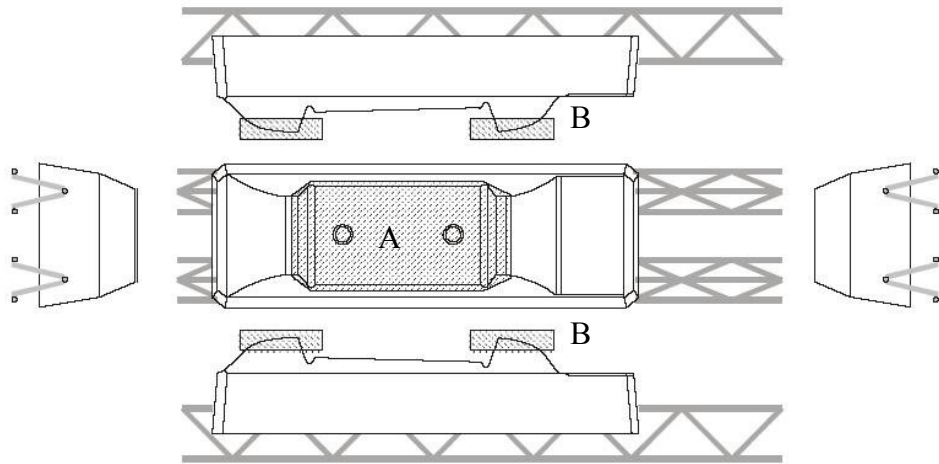


圖 4-53 德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(二)



圖 4-54 鋼軌基座處混凝土裂縫檢查

- a. 混凝土表面需光滑平順
- b. 軌枕之鋼軌基座區域都需使用丙酮檢查是否有裂縫產生(如圖 4-54)
- c. 一般還說在陰影 A 位置之鋼軌基座之混凝土完成面是不允許氣孔存在的，但是單獨的氣穴若其尺寸小於 $2 \times 2 \times 1,0 \text{ cm}$ 則可以核准之修補材修補之。反之則判定為不合格。
- d. 在陰影 B 位置之混凝土完成面之破損或缺角可容許深度為 0.5 公分，反之則判定為不合格。另破損或缺角位置之混凝土面需修飾平順。(如圖 4-53)

III. 除 I、II 項之外的上部表面

- a. 混凝土表面需光滑平順
- b. 一般還說在此區域之混凝土完成面是不允許氣孔存在的；單獨的氣穴發生在垂直面上是可以允許的，但其總合面積需小於 $10 \times 5 \times 1,0 \text{ cm}$ 。另在小面積內有數量大之氣穴則判定為不合格。

IV. 混凝土邊緣檢測(如圖 4-55)

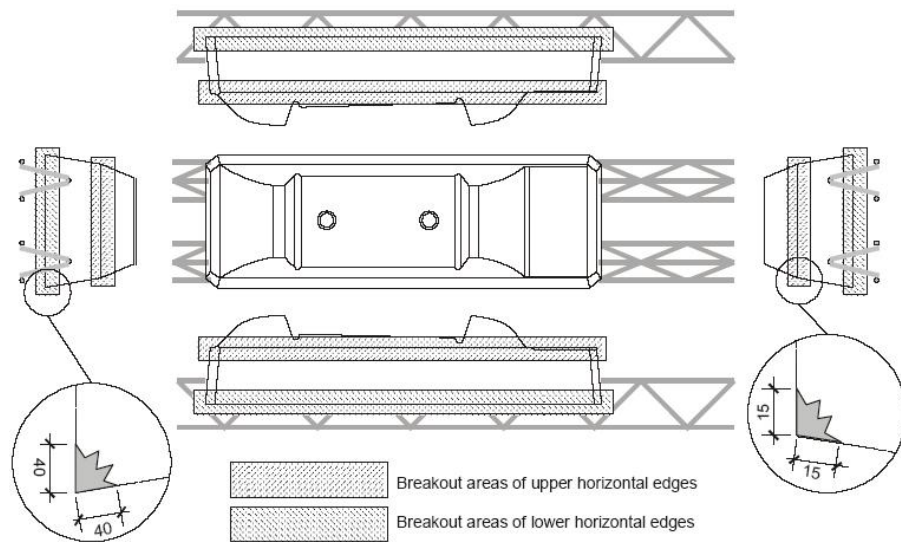


圖 4-55 德國 Rheda 2000 軌枕完成面檢查位置示意圖(三)

- a. 上半部之水平混凝土邊緣其破損或缺角之尺寸若小於 $1,5 \times 1,5 \text{ cm}$ 則可判定為合格且不需修補，反之則判定為不合格。
- b. 下半部之混凝土水平邊緣其破損或缺角之尺寸若小於 $4 \times 4 \text{ cm}$ 則判定為合格且不需修補，反之則判定為不合格。
- c. 混凝土垂直邊緣若其氣穴或氣孔深度小於 1 公分且長度小於 4 公分、破損或缺角尺寸小於 $2 \times 2 \text{ cm}$ 則判定為合格且不需修補，反之則判定為不合格

步驟 7：不合格品之標示與隔離



圖 4-56 不合格軌枕噴漆標示



圖 4-57 不合格軌枕標示



圖 4-58 不合格軌枕區隔存放

1. 於經檢查判定為不合格品之預鑄軌枕上作明顯之記號(如圖 4-56)
2. 合格品與不合格品需分區存放，並做明顯之標示(如圖 4-57, 4-58)
3. 不合格品累積至一定數量時予以敲除丟棄

步驟 8：鋼軌扣件安裝



圖 4-59 扣件螺栓孔注入防銹油



圖 4-60 鋼軌扣件安裝(一)



圖 4-61 鋼軌扣件安裝(二)

1. 安裝扣件前需將螺栓孔注入可壓縮防銹油(如圖 4-59)
2. 扣件需依順序安裝確實，彈性扣夾需置於預安裝位置(如圖 4-60, 4-61)
3. 每年選取 3 組軌枕試驗鋼軌扣件螺栓孔抗拉試驗，要求拉力為 60KN

步驟 9：標記



圖 4-62 預鑄軌枕標記



圖 4-63 預鑄年份



圖 4-64 預鑄軌枕公司名稱



圖 4-65 預鑄軌枕型號



圖 4-66 預鑄日期與鋼模編號

印記標註內容包括：

1. 以人工印記之項目只有預鑄軌枕之製造日期(如圖 4-62, 4-66)
2. 預鑄軌枕上之其他標示均在印刻在鋼模上，包括製造年份(如圖 4-63)、軌枕廠商名稱(如圖 4-64)、軌枕型式(如圖 4-65)與鋼模編號(如圖 4-66)

步驟 10：搬運



圖 4-67 預鑄軌枕搬運(一) 圖 4-68 預鑄軌枕搬運(二) 圖 4-69 預鑄軌枕搬運(三)

1. 搬運前需確認預鑄軌枕已通過檢查(如圖 4-67)
2. 搬運前需將枕木放置確實以避免預鑄軌枕變形(如圖 4-68)
3. 搬運時堆高機之牙叉需置於預鑄軌枕之桁架下方且涵蓋整個預鑄軌枕寬度
4. 堆高機運送數量一次不可超過 5 層之預鑄軌枕(如圖 4-69)

步驟 11：儲存



圖 4-70 預鑄軌枕儲存場(一) 圖 4-71 預鑄軌枕儲存場(二)

1. 儲存場地需平整堅固(如圖 4-70)
2. 堆疊高度需控制在 12 層以下(如圖 4-71)
3. 間隔用枕木尺寸至少需為 10*10*120 公分且每 2 個月檢查一次枕木損壞狀況

B. 不合格率

不合格率之計算僅以實際獲得之資料作分析；在所獲得之總生產數量方面，日本 AF-55 預鑄軌道版有 17129 個，德國 Rheda 2000 預鑄軌枕有 92127 個，因此不合格率之計算上應屬客觀。相關計算敘述如表 4-32。

表 4-32 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄單元生產不合格率統計表

預 鑄 項 目	總生產數量 (個)	生產時間 (天)	不合格數量 (個)	不合格率 (%)
日本 AF-55 預鑄軌道版	17129	260	11	0.064
德國 Rheda 2000 預鑄軌枕	92127	201	1542	1.67

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析

經由對預鑄流程與相關品質管制之了解，可有以下簡單結論：

- a. 日本 AF-55 預鑄軌道版其預鑄流程複雜、預埋件數多，而且成品之檢查程序繁多，包括軌道版尺寸、預埋件相對位置、軌道版平整度與表面裂縫檢查等。因此品質管制項目多，相對地品質掌控會較差。
- b. 德國 Rheda 2000 軌枕之預鑄流程則較為簡單，單就預埋件數量比較德國 Rheda 2000 軌枕為 4 件日本 AF-55 軌道版為 42 件，因預埋件數愈多即表示相關之品質管制項目愈多。另外在成品檢查方面，德國 Rheda 2000 軌枕主要集中在鋼軌基座處之裂縫檢查與未來軌道完成後軌枕外露面之破損檢查，其他位置之檢查標準則相當寬鬆，相較於日本 AF-55 版式軌道版需檢查之數量與標準可說是相對的少與寬鬆。
- c. 由不合格率之統計可以發現，日本 AF-55 軌道版之不合格率遠低於德國 Rheda 2000 軌枕，其造成不合格預鑄品之因素分析探討如下：

c-1. 日本 AF-55 軌道版不合格率低之可能因素分析：

- 1) 日本 AF-55 預鑄軌道版在完成混凝土澆置後即在原地進行蒸氣養生，因此在蒸氣養生完成之前混凝土不會遭受任何擾動
- 2) 蒸氣養生完成之後即進行相關尺寸與預留孔位置檢測，檢測合格之預鑄軌道版繼續施予浸水養生 3 天，因此可以獲得較佳之混凝土品質。

c-2. 德國 Rheda 2000 軌枕不合格率高之可能因素分析：

- 1) 混凝土澆置完成至蒸氣養生前：混凝土澆置完成後鋼模即以門型吊車移動吊放至蒸氣養生棚之入口處等候，俟堆疊累積鋼模數達 5 個之後才推入蒸氣養生棚內進行蒸氣養生。因此在移動吊放時即可能擾動混凝土，另外在堆疊鋼模時新堆疊之鋼模可能因人為疏失撞擊等候之鋼模而擾動混凝土。
- 2) 鋼模推入蒸氣養生棚期間：鋼模在蒸氣養生棚前等候 2 小時之後即推入蒸氣養生棚中進行蒸氣養生。然而因每個鋼模澆置時間約為 12 分鐘，累積 5 個的時間約需 1 小時，因此澆置完成之鋼模在蒸氣養生棚前之等候時間不一致，同時在移動鋼模過程中可能因輸送軌道之不平整而使在移動過程中擾動混凝土。因此會造成混凝土品質上的瑕疵。
- 3) 軌枕之搬運與堆疊儲存若未依規定施作，可能會造成軌枕桁架變形破壞而判定為不合格。

因此德國 Rheda 2000 軌枕在預鑄過程中均可能擾動混凝土而造成混凝土表面產生塑性裂縫或影響混凝土強度，導致在進行拆模時容易產生混凝土角隅破壞與檢查混凝土表面時發現裂縫而判定為不合格。而日本 AF-55 軌道版則因為其施工佈置對新鮮混凝土擾動少而有較低之不合格率。

綜而言之，日本 AF-55 預鑄軌道版之預鑄方式難度高於德國 Rheda 2000 預鑄軌枕，雖表示德國 Rheda 2000 預鑄軌枕之品質管制項目少於日本 AF-55 預鑄軌道版，但是卻因為德國 Rheda 2000 預鑄軌枕之施工佈置而有較高之不合格率。

4.2.2 場鑄品質管制探討

本章節在探討日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道結構中屬於場鑄部分之品質管理問題，內容包括依據台灣高鐵 T210 與 T220 標段之不合格報告，經整理將不合格之品質缺失項目作品質缺失類型分類，再利用柏拉圖 80-20 原理得出品質缺失類型佔 80%之項目，之後利用對關鍵品質缺失改善方式之探討，了解一旦發生關鍵品質缺失時對施工進度與成本之之影響；其中對進度方面之影響以品質缺失之改正是否會影響其他施工項目之進行；在成本方面則以探討因改善關鍵品質缺失所額外增加之施工人力與材料。

日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道結構中之場鑄單元敘述如表 4-33。

表 4-33 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄軌道單元統計表

日本 AF-55		德國 Rheda 2000	
土建結構	場鑄單元	土建結構	場鑄單元
橋 樑	1.路盤混凝土	橋 樑	1.保護層混凝土
	2.防動塊		2.冠板混凝土
	3.保護層混凝土		3.Rheda 道版混凝土
路 堤	1.路盤混凝土	路 堤	1.水力結合層
	2.防動塊		2.整平層混凝土
	3.保護層混凝土		3.地樑
隧 道	1.路盤混凝土	隧 道	4.Rheda 道版混凝土
	2.防動塊		1.整平層混凝土
			2.Rheda 道版混凝土

A. 不合格報告書(NCR)整理

不合格報告書(NCR)之整理步驟如下：

1. 將所有品質缺失依其所發生之場鑄單元(如日本之路盤混凝土、防動塊與保護層混凝土)做區分
2. 依各個場鑄單元之品質缺失歸類出不同之品質缺失類型
3. 於各個場鑄單元之品質缺失類型中篩選出數量佔前 80%之品質缺失項目(如表 4-44, 4-45)
4. 以各個場鑄單元為基準繪製柏拉圖(如圖 4-72, 4-73, 4-74, 4-75, 4-76)，其中每一項品質缺失類型之數量以百分比之方式表示，缺失百分比之計算方式為：

$$\text{單一品質缺失類型之總品質缺失數量} / \text{單一場鑄單元之總品質缺失數量}$$
5. 將佔 80%的關鍵品質缺失類型做探討，探討內容包括：
 - a. 品質缺失改善之方法(如表 4-46, 4-47)
 - b. 因改善品質缺失而影響其他施工項目進行之程度(如表 4-46, 4-47)
 - c. 因改善品質缺失而增加之額外施工成本之程度(如表 4-46, 4-47)

A-1. 日本 AF-55 版式軌道場鑄軌道單元不合格報告書(NCR)整理

表 4-34 日本 AF-55 版式軌道場鑄軌道單元品質不合格報告書(NCR)分析統計表

項次	軌道結構	品質缺失類型	品質缺失類型中佔80%的缺失項目	缺失百分比	累積百分比
1	路盤混凝土	混凝土完成面瑕疵	1. 路盤混凝土表面乾縮裂縫 2. 路盤混凝土蜂窩、漏漿、氣泡	63%	63%
		伸縮縫填縫材安裝不良	1. 路盤混凝土填縫材位移變形 2. 路盤混凝土填縫膠施做厚度不足	11%	74%
		預埋件安裝不良	1. 預埋排水管出入口高程高於保護層 混凝土導致排水不良 2. 排水管因混凝土/砂漿而阻塞 3. 路盤混凝土內接地線安裝不良	8%	82%
		混凝土完成面高程瑕疵	1. 路盤混凝土完成面高程過高 2. 路盤混凝土伸縮縫兩側有高差 3. 填縫材兩側之路盤混凝土有高差	7%	89%
		模板支撐不足	1. 路盤混凝土於橋樑伸縮縫處模板變形 2. 路盤混凝土位置偏移中心線	6%	95%
		鋼筋組立不良	1. 路盤混凝土於保護層混凝土側預留 鋼筋數量與長度不足 2. 路盤鋼筋保護層不足	5%	100%
2	防動塊	混凝土完成面瑕疵	1. 防動塊混凝土漏漿氣泡 2. 防動塊裂縫	54%	54%
		鋼筋組立不良	1. 鋼筋位置偏移與鋼筋保護層不足 2. 防動塊預留突出鋼筋過短	25%	79%
		防動塊偏移設計位置	1. 防動塊位置偏移 2. 防動塊部分懸空	10%	89%
		混凝土缺角破損	1. 防動塊混凝土缺角破損	4%	93%
		混凝土完成面高程瑕疵	1. 防動塊高度不足	3%	96%
		防動塊剪力樺尺寸不符	1. 防動塊剪力樺尺寸不符	2%	98%
		其他	1. 防動塊之預留槽尺寸不符 2. 防動塊直徑不足	2%	100%
3	保護層混凝土	混凝土完成面瑕疵	1. 保護層混凝土蜂窩 2. 保護層混凝土裂縫 3. 橋樑保護層混凝土完成面不平整	95%	95%
		預埋件安裝不良	1. 保護層混凝土預埋電纜管不良	2%	97%
		鋼筋組立不良	1. 橋樑保護層混凝土搭接鋼筋彎曲	2%	99%
		伸縮縫填縫材安裝不良	1. 伸縮縫填縫材變形	1%	100%

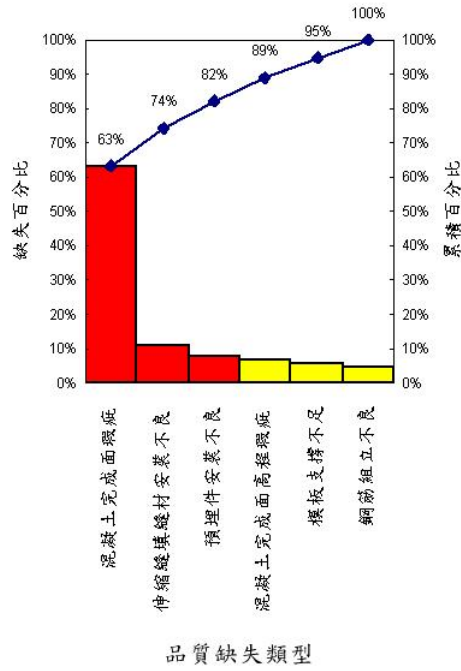


圖 4-72 日本 AF-55 版式軌道
路盤混凝土品質缺失柏拉圖

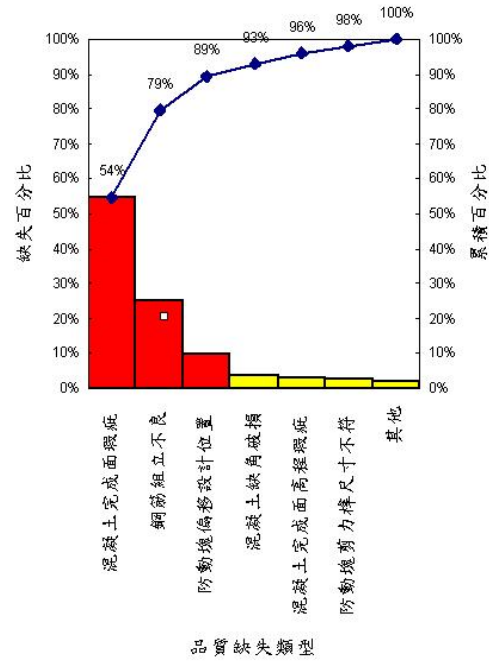


圖 4-73 日本 AF-55 版式軌道
防動塊混凝土品質缺失柏拉圖

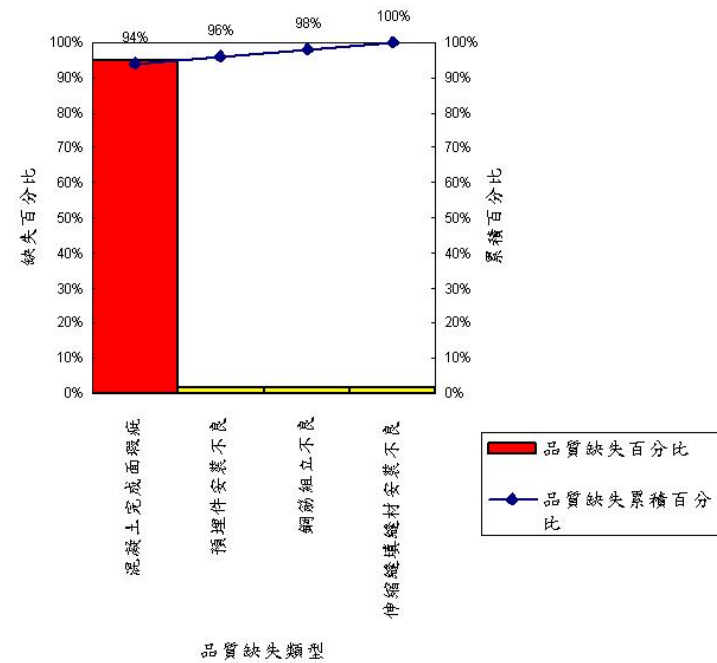


圖 4-74 日本 AF-55 版式軌道
保護層混凝土品質缺失柏拉圖

A-2. 德國Rheda 2000版式軌道場鑄單元不合格報告書(NCR)整理

表4-35 德國Rheda 2000版式軌道場鑄軌道單元品質不合格報告書(NCR)分析統計表

項次	軌道結構	品質缺失類型	內容說明	百分比	累積百分比
1	保護層與冠板混凝土	混凝土完成面瑕疵	1.冠板混凝土側面蜂窩、氣泡 2.保護層混凝土裂縫 3.冠板側面不平整 4.保護層混凝土完成面不平整 5.保護層混凝土蜂窩氣泡	56%	56%
		混凝土完成面破損	1.保護層混凝土破損 2.冠板破損	14%	70%
		混凝土完成面高程瑕疵	1.冠板高度不足 2.橋樑保護層混凝土與冠板完成面高程在橋樑伸縮縫兩側有高差	10%	80%
		冠板位置偏移設計線	1.冠板位置偏移設計線	4%	84%
		預埋管破損	1.預埋管破損	4%	88%
		施工界面處理不良	1.冠板澆置時未依施工計畫書於其周圍安裝泡棉 2.冠板黏著劑不足	4%	92%
		鋼筋組立不良	1.冠板鋼筋因偏移導致鋼筋保護層不足或過大	4%	96%
		預埋件安裝不良	1.排水管被混凝土漿阻塞	2%	98%
		模板支撐不足	1.澆置橋樑保護層時橋樑排水孔模板未固定良好導致方向偏移	2%	100%
2	道床混凝土	混凝土完成面瑕疵	1.道版混凝土裂縫 2.混凝土完成面不平整 3.道版混凝土蜂窩氣泡 4.道版混凝土切角不整	42%	42%
		模板支撐不足	1.道版混凝土模板變形	12%	54%
		混凝土養生不良	1.混凝土養生方式與時間與施工計劃不符	11%	65%
		預埋件安裝不良	1.接地線接頭未與混凝土面切齊或生鏽或損壞或埋於混凝土或焊接不足或固定不確實	10%	74%
		混凝土澆置前後清理不良	1.混凝土澆置後橋樑伸縮縫、鋼軌與扣件清理不良 2.道版混凝土澆置前未清理乾淨導致有外來物埋於混凝土中	9%	83%
		其他	1.混凝土澆置中斷 2.混凝土澆置完成後遇下雨但保護不良 3.鋼筋保護層未依規定於24小時內量測	6%	89%
		鋼軌支撐桿無法拔出	1.鋼軌支撐桿無法拔出	5%	94%
		鋼筋組立不良	1.道版高度超過460mm時未增加鋼筋 2.鋼筋組立未符合圖說	4%	99%
		混凝土澆置前相關構件保護不良	1.橋樑伸縮縫未保護 2.鋼軌與扣件於混凝土澆置前保護不足	1%	100%
3	水力結合層	混凝土完成面瑕疵	混凝土側面蜂窩	100%	100%

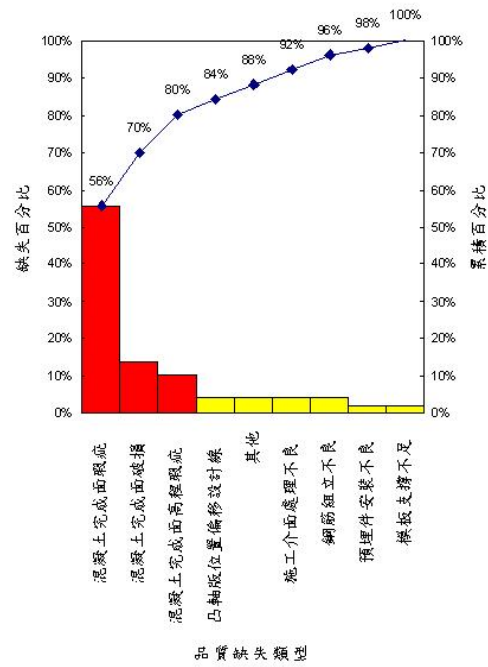


圖 4-75 德國 Rheda 2000 版式軌道
橋樑段保護層與冠版混凝土品質缺失柏拉圖

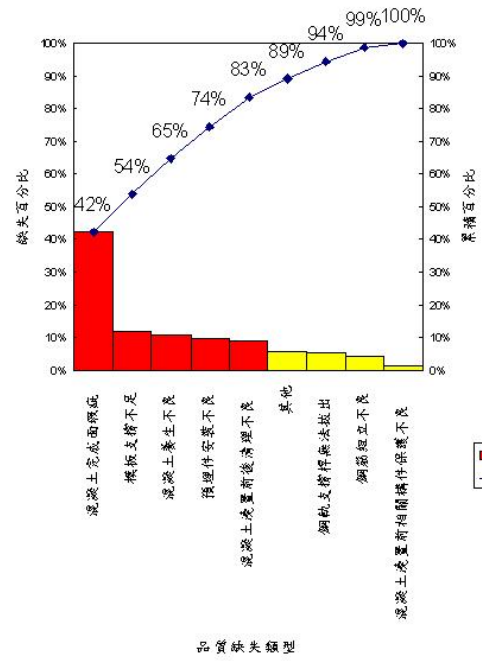


圖 4-76 德國 Rheda 2000 版式軌道
道版混凝土品質缺失柏拉圖

B. 關鍵品質缺失改善方法與影響層面探討

B-1. 日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響層面整理

表 4-36 日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表

項目	佔80%的品質缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
路盤混凝土	混凝土完成面瑕疵	1. 路盤混凝土表面乾縮裂縫	1) 0.25mm ≤ 裂縫寬度 < 2mm：表面清理後注射環氧樹脂 2) 裂縫寬度 w ≥ 2mm：沿裂縫切割成V字型，表面清理後以修補材填補之	1. 大部分裂縫均發生在路盤混凝土上層表面，因此若其位置在軌道版安裝範圍內則會影響軌道版之安裝進度，但基本上較不影響路盤混凝土之下一項施工項目—臨時軌道鋪設 2. 以 Sika 注射材為例，在密封材密封注射筒周圍以及其沿線裂縫後，需靜待約 8 小時後方可進行裂縫注射作業，於注射完成後需再等待 24 小時方可進行注射筒移除與表面磨平作業，因此裂縫修補至少需要花費 2 天進行修補作業	增加成本項目： 1. 每日平均施工人數約 4~6 人 2. 修補機具(切割機具) 3. 裂縫修補材料
		2. 路盤混凝土蜂窩、漏漿與氣泡	A. 淺層蜂窩 1) 鑿除鬆動或不良之混凝土 2) 清理混凝土表面 3) 以水濕潤混凝土表面 4) 塗抹混凝土接合劑 5) 塗抹混凝土修補材 6) 混凝土修補材保護及養生 B. 氣泡 1) 填補混凝土修補材 2) 混凝土修補材保護及養生 C. 深層蜂窩(鋼筋外露) 1) 鑿除鬆動或不良之混凝土且鑿除深度需至鋼筋後 2.5 公分 2) 其餘修補步驟同 A	1. 一般路盤混凝土蜂窩與氣泡之發生大約都在混凝土結構之側面，因此較不會影響下一個施工項目—臨時軌道鋪設作業之進行 2. 從修補作業開始到結束需經過表面處理、修補材填補與保護養生作業等 3 個作業程序，其中養生作業一般需時 3~7 天，因此只要有關混凝土養生之修補作業至少需費時 4 天	增加成本項目： 1. 每日平均施工人數約 4~6 人 2. 修補機具(鑿除機具) 3. 混凝土修補材 4. 混凝土養生時間長會增加修補成本

表4-36日本AF-55版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
路盤混凝土	伸縮縫填縫材安裝不良	1. 路盤混凝土填縫材位移變形	修補步驟： 1)變形處放樣切割後敲除填縫材兩側周圍混凝土 2)將變形之填縫材更換並調整至設計要求線形 3)模板組立 4)填縫材周圍混凝土清理濕潤後澆置混凝土修補材 4)混凝土修補材保護及養生	1.路盤混凝土伸縮縫填縫材之變形常發生於支撐不足、支撐移除過早與填縫材本身材質太軟等因素 2.其發生位置與修補範圍會影響臨時軌道鋪設與預鑄軌道版安裝等候續作業 3.修補加上混凝土養生至少需要4天	增加成本項目： 1.平均每次修補施工人員2~3人 2.修補機具(切割與鑿除機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		2. 路盤混凝土填縫膠施做厚度不足	修補步驟： 1)移除施作不良之填縫膠 2)將填縫材修整至設計深度 3)重新施作填縫膠	1.填縫膠之修補作業較為簡單快速，因此不影響任何施工項目之進度	增加成本項目： 1.平均每次修補施工人員2~3人 2.填縫膠
	預埋件安裝不良	1. 預埋排水管出入口高程高於保護層混凝土導致排水不良	修補步驟： 1)打毛保護層混凝土 2)以水濕潤混凝土表面 3)澆置混凝土修補材使保護層混凝土完成面與排水管入口高程相同 4)混凝土修補材保護及養生	1.此類型之品質缺失其發生時機為於保護層混凝土澆置完成後，因此在修復階段並不影響其他施工項目之進行 2.修補時間至少需費時4~5天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每次修補施工人員2~3人 2.修補機具(打毛機具) 3.混凝土修補材
2. 排水管因混凝土/砂漿而阻塞		將排水管內混凝土或砂漿清除	1.修補時機為在保護層混凝土完成之後，故不影響其他施工項目之進行	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員2~3人	

表4-36日本AF-55版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
路盤混凝土	預埋件安裝不良	3. 路盤混凝土內接地線安裝不良	修補步驟： 1)將接地線接頭周圍不良混凝土鑿除或使接頭外露 2)清理混凝土表面 3)以水濕潤混凝土表面 4)塗抹混凝土接合劑 5)塗抹混凝土修補材並使接頭能充分外露 6)混凝土修補材保護及養生	1.修補時機為在保護層混凝土完成之後，故不影響其他施工項目之進行	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員3~4人 2. 修補機具(鑿除機具) 3. 混凝土修補材
防動塊	混凝土完成面瑕疵	1. 防動塊混凝土蜂窩、漏漿與氣泡	1)淺層蜂窩與氣泡之修補方式同路盤混凝土修補方式 2)深層蜂窩：敲除重做	1.防動塊之修補雖因面積小修補速度快，但其修補位置會影響後續之預鑄軌道版安裝與合成樹脂灌注作業 2.敲除重做之修補方式會增加場鑄單元之整體施工時間，	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		2. 防動塊裂縫	1)裂縫深度>3mm：不需修補 2)裂縫深度>3mm： a. 裂縫寬度<0.15mm：不需修補 b. 0.15mm<裂縫寬度<0.3mm：注射環氧樹脂 c. 裂縫寬度>0.3mm：敲除重做	1.發生於側面之裂縫有較大之比例需要以敲除重做之方式進行修補，而發生於表面之裂縫則大部分為淺層之乾縮裂縫。另於側面產生之裂縫大部分發生於混凝土澆置完成後 1~2 個星期內，因此雖敲除重做但仍可減少對其他施工項目之影響程度。而表面裂縫則在混凝土完成後約 1 個月產生。 2.敲除重做之修補約需時 5 天(含養生 3 天) 3.整體來說會影響其他施工項目之進度	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除機具) 3.裂縫修補材料 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本

表4-36日本AF-55版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
防動塊	鋼筋組立不良	1. 鋼筋位置偏移與鋼筋保護層不足	1) 偏移量小於鋼筋保護層：化學植筋 2) 偏移量大於鋼筋保護層：敲除此防動塊位置之路盤混凝土，重新施作	1. 化學植筋之修補方式從鑽孔至植筋完成，以 HILTI HIT-RE 500 為例，植筋完成至化學植筋材料達其設計強度約需時 12 小時，因此完成化學植筋之修補作業方式至少需時 1 天，於植筋完成後第二天方可進行防動塊混凝土澆置作業，因此會影響後續之施工項目之進度	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 2~3 人 2. 修補機具(鑿除、鑽孔機具) 3. 化學植筋材料 4. 因修補作業而延遲進度所產生之成本
		2. 防動塊預留突出鋼筋過短	1) 半圓防動塊： 增加U型鋼筋補強 2) 全圓防動塊： 化學植筋	1. 以增加 U 型鋼筋之修補方式快速簡易，故不影響進度 2. 化學植筋之修補方式其影響程度如前項所述	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. U 型鋼筋 3. 修補機具(鑽孔機具) 4. 化學植筋材料
保護層混凝土	混凝土完成面瑕疵	1. 保護層混凝土蜂窩、漏漿與氣泡	同路盤混凝土修補方式	1. 大部分發生蜂窩、漏漿與氣泡之位置均在橋樑保護層混凝土之側面，亦即在橋樑伸縮縫處，因此其修補位置與時機均不影響其他施工項目之進行	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 混凝土修補材
		2. 保護層混凝土裂縫	1) 裂縫寬度 $0.25\text{mm} \leq w < 2\text{mm}$ ：表面清理後灌注環氧樹脂 2) 裂縫寬度 $w \geq 2\text{mm}$ ：沿裂縫切割成V字型，表面清理後以修補材填補之	1. 修補時機為在保護層混凝土完成之後，故不影響其他施工項目之進行 2. 修補時間與路盤混凝土之裂縫修補相同至少需要花費 2 天時間	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 修補機具(切割機具) 3. 裂縫修補材料
		3. 橋樑保護層混凝土完成面不平整	修補步驟： 1) 鑿除突出或打毛凹陷區域之混凝土 2) 清理混凝土表面 3) 以水濕潤混凝土表面 4) 塗抹混凝土接合劑 5) 塗抹混凝土修補材 6) 混凝土修補材保護及養生	1. 修補時機為在保護層混凝土完成之後，故不影響其他施工項目之進行 2. 修補時間至少需費時 4~5 天(含養生 3 天)	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 修補機具(打毛機具) 3. 混凝土修補材

B-2. Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響層面整理

表4-37 德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
保護 層與 冠板 混凝土	混凝土完成面 瑕疵	1. 冠板混凝土側面 蜂窩、氣泡	如日本AF-55版式軌道路盤混 凝土蜂窩、漏漿與氣泡之修補 方式	1.冠板側面之修補會影響其下一項施工項 目—彈性承載墊片之安裝作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.混凝土修補材 3.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		2. 保護層混凝土裂 縫	如日本AF-55版式軌道路盤混 凝表面乾縮裂縫之修補方式	1.保護層裂縫之修補會影響其下一項施工 項目—彈性隔離膜之鋪設作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.裂縫修補材料 3.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		3. 冠板側面不平整	如日本AF-55版式軌道橋樑保 護層混凝土完成面不平整之修 補方式	1.冠板側面之修補會影響其下一項施工項 目—彈性承載墊片之安裝作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.修補機具(打毛機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		4. 保護層混凝土完 成面不平整	如日本AF-55版式軌道橋樑保 護層混凝土完成面不平整之修 補方式	1.保護層完成面之修補會影響其下一項施 工項目—彈性隔離膜之鋪設作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.修補機具(打毛機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本

表4-37 德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
保護層與冠板 混凝土	混凝土完成面 瑕疵	5. 保護層混凝土蜂窩氣泡	如日本AF-55版式軌道路盤混凝土蜂窩、漏漿與氣泡之修補方式	1.大部分發生蜂窩與氣泡之位置均在橋樑伸縮縫處，因此發生面積小修補時間亦短，同時其修補位置與時機均不影響其他施工項目之進行 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.混凝土修補材
	混凝土完成面 破損	1. 保護層混凝土破損	如日本AF-55版式軌道路盤混凝土蜂窩、漏漿與氣泡之修補方式	1.保護層混凝土破損之修補會影響其下一項施工項目—彈性隔離膜之鋪設作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.混凝土修補材 3.因修補作業而延遲進度所產生之成本
		2. 冠板破損	如日本AF-55版式軌道路盤混凝土蜂窩、漏漿與氣泡之修補方式	1.冠板混凝土破損之修補會影響其下一項施工項目—彈性承載墊片之安裝作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.混凝土修補材 3.因修補作業而延遲進度所產生之成本
	混凝土完成面 高程瑕疵	1. 冠板高度不足	敲除重做	1.冠板因高度不足而需敲除重做會影響其下一項施工項目—彈性承載墊片之安裝作業 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4人 2.修補機具(鑿除機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之成本

表4-37 德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
道版 混凝土	混凝土完成面 瑕疵	1. 道版混凝土裂縫	1) 0.25mm ≤ 裂縫寬度 < 5mm : 表面清理後灌注環氧樹脂 2) 裂縫寬度 w ≥ 5mm : 沿裂縫切割成V字型, 表面清理後以修補材填補之	1. 道版混凝土之完成為場鑄單元最後一項施工步驟, 其下一施工項目為軌道調整, 而基本上混凝土裂縫之修補作業並不影響軌道調整作業之進行, 只單純影響道版混凝土之完成進度而已。 2. 因此有關道版混凝土相關之品質缺失修補作業均不影響其後之軌道調整作業。	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 修補機具(切割機具) 3. 裂縫修補材料
		2. 混凝土完成面不平整	修補步驟： 1) 以研磨或鑿除方式將不平整之混凝土面作處理 2) 清理混凝土表面 3) 以水濕潤混凝土表面 4) 塗抹混凝土接合劑 5) 塗抹混凝土修補材 6) 混凝土修補材保護及養生	1. 同前項所述	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 修補機具(打毛機具) 3. 混凝土修補材
		3. 道版混凝土蜂窩、漏漿與氣泡	如日本AF-55版式軌道路盤混凝土之修補方式	1. 同前項所述	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 混凝土修補材
		4. 道版混凝土切角不整	1) 切角尺寸大於施工誤差 < 10mm : 以研磨方式修補 2) 切角尺寸大於施工誤差 > 10mm : a. 切角混凝土面打毛 b. 混凝土表面清理 c. 模板組立 d. 混凝土修補材填補 e. 混凝土修補材保護及養生	1. 同前項所述	增加成本項目： 1. 平均每天修補施工人員 3~4 人 2. 修補機具(打毛、研磨機具) 3. 混凝土修補材

表4-37 德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
道版 混凝土	模板支撐不足	道版混凝土模板變形	1)將突出變形之混凝土鑿除 a. 鑿除深度>40mm—需先於鑿除周圍放樣並切割方可進行鑿除工作 b. 鑿除深度<40mm—直接鑿除 2)清理混凝土表面 3)以水濕潤混凝土表面 4)塗抹混凝土接合劑 5)塗抹混凝土修補材 6)混凝土修補材保護及養生	1.同前項所述	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除、切割機具) 3.混凝土修補材
	混凝土養生不良	混凝土養生不良	1)加強工地監督管理 2)加強施工人員教育訓練	1.同前項所述	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人
	預埋件安裝不良	接地線接頭未與混凝土面切齊或生銹或損壞或埋於混凝土或焊接不足或固定不確實	修補步驟： 1)將接地線接頭周圍不良混凝土鑿除或使接頭外露 2)清理混凝土表面 3)以水濕潤混凝土表面 4)塗抹混凝土接合劑 5)塗抹混凝土修補材並使接頭能充分外露 6)混凝土修補材保護及養生	1.同前項所述	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除機具) 3.混凝土修補材
	混凝土澆置前後清理不良	混凝土澆置後-橋樑伸縮縫、鋼軌、鋼軌扣件與軌枕表面未清理乾淨	1)橋樑伸縮縫：以毛刷與清水清理 2)鋼軌：以鋼刷與清水將污染物清理 3)鋼軌扣件與軌枕表面：以毛刷與高壓水柱將污染物清理	1.同前項所述	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 10~15 人 2.高壓清洗機具

表4-37 德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
道版 混凝土	混凝土澆置前 後清理不良	道版混凝土澆置前未 清理乾淨導致有外來 物埋於混凝土中	1)將外露於混凝土面之外來物 四周放樣切割後鑿出 2)依蜂窩修補方式修補之	1.同前項所述	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除、切割機具) 3.混凝土修補材
水力 結合 層	混凝土完成面 瑕疵	混凝土側面蜂窩	修補步驟： 1)鑿除鬆動或不良之混凝土 2)清理混凝土表面 3)以水濕潤混凝土表面 4)以水泥砂漿填補之 5)混凝土修補材保護及養生	1.因修補部位在側面，因此基本上不影響位於上部 表面之道版混凝土之進行 2.修補時間至少需費時 4 天(含養生 3 天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具(鑿除機具) 3.混凝土修補材



C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

將不合格報告(NCR)之品質缺失分類並繪製柏拉圖求得關鍵品質缺失後，分析探討改善關鍵品質缺失對進度與成本之影響，並加入與軌道專家訪談之現場品質管制，得到以下結論：

1. 日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土

a. 路盤混凝土

- a-1. 關鍵品質缺失主要發生在混凝土完成面瑕疵上，雖其修補上並不影響其他施工項目之進行，但是因為一旦發生其發生面積與數量相當多，故基本上對成本影響較大。
- a-2. 至於伸縮縫填縫材變形修補除會影響其他施工項目之進行外，因修補方式需要敲除混凝土與重新澆置故需要相當之人力與修補材料，因此伸縮縫填縫材變形之品質缺失同時影響進度與成本之程度不小。
- a-3. 另外在混凝土完成面高程瑕疵方面，雖其發生比例相對於關鍵品質缺失為少，但其影響程度卻是相當大；如果混凝土完成面高程高於設計高程，則需以研磨機或手持式鑽機將過高之混凝土鑿除，並需檢測鑿除後之保護層厚度是否仍於規範要求內。若高程太低，則需將混凝土打毛後再填補混凝土或砂漿以達設計高程。因為此項缺失會影響日後 CA 砂漿之厚度，因此必須嚴格控制路盤混凝土完成面之設計高程，以避免造成 CA 砂漿厚度不足或超過厚度容許範圍。

b. 防動塊混凝土

- b-1. 基本上發生防動塊混凝土之關鍵品質缺失均會影響其他施工項目之進行，同時若因深層蜂窩或大裂縫而需敲除重做，其所付出之成本相當大。
- b-2. 防動塊鋼筋偏移常發生在超高路段，因此若加強對超高路段之鋼筋做檢測，可以降低相當數量之品質缺失。而其修補方式大都使用化學植筋，而此方式至少會延遲 1 天之施工進度，成本方面修補材料與機具費用亦相當高。
- b-3. 防動塊發生品質缺失時，除混凝土面修補之方法外，其他品質缺失之改善方式均為敲除重做。因此防動塊之品質需嚴格管控，否則影響程度會很大。

c. 保護層混凝土

- c-1. 保護層混凝土所發生之關鍵品質缺失均不影響其他施工項目之進行，只單純增加額外之施工成本。

2. 德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄混凝土

a. 橋樑段之保護層與冠版

- a-1. 基本上一旦發生保護層與冠版之關鍵品質缺失均會影響其下一項施工項目-彈性隔離膜與承載墊片之施工進度。
- a-2. 冠版品質缺失之影響程度大於保護層混凝土，因其缺失之改善方式與日本 AF-55 版式軌道之防動塊相似，部分缺失需以敲除重做來改善。因此冠版之品質需嚴格管控。

b. 路工段之水力結合層

- b-1. 水力結合層之關鍵品質缺失為側面蜂窩，但其發生位置並不影響後續作業之進行，而僅需增加額外成本。
- b-2. 造成水力結合層側面蜂窩之原因除因模板側夯實較為困難外，主要在傾卸車卸料時在模板側容易造成粒料分離的情況，故可於卸料後以人工方式將分離之骨材移除或改變卸料之方式以減少粒料分離之狀況發生而導致側面蜂窩。
- b-3. 水力結合層之品質主要掌控在分層滾壓時層與層之間的結合度與底部之夯實度；水力結合層之最小厚度為 300mm，但現場之實際厚度常會超過 300mm，因此便需要分層滾壓；而分層滾壓若施工動線安排不良或材料運送不及，皆容易延誤第二層之滾壓時間而造成層與層間之結合度變差。另單層夯實，則可能因夯實機具能量不足，而容易導致水力結合層底部夯實不良，而降低其承載強度。

c. 道版混凝土

- c-1. 因道版混凝土完成後除後續細微軌道調整與檢測外，基本上可說是最後一項施工項目，所以不影響其他施工項目之進行
- c-2. 基本上道版混凝土所發生之關鍵品質缺失與日本 AF-55 軌道之路盤混凝土類相似，唯一不同的是混凝土澆置後之清理作業，雖然清理作業看似簡單，但是因為某些部位清理不易，例如鋼軌底部，因此需付出相當多之人力做改善。
- c-3. 道版混凝土品質中一項較無法由混凝土外觀檢查出之品質缺失為軌枕底部之填實度；於混凝土澆置時必須嚴格遵守朝同一方向澆置，並確實檢查俟軌枕底部之氣泡均隨混凝土之流動或震動而釋出後方可進行下一軌枕之澆置，以避免於澆置後軌枕底部產生空洞。因此若在澆置過程中未嚴格掌控澆置流程，這將會是是一項隱藏的品質缺失。
- c-4. 混凝土澆置時另一項需掌控之品質為鋼軌支撐桿鬆脫之時機；因鋼軌支撐桿鬆脫之時機為現場工程師以其經驗來判斷何時可開始鬆脫，但是若判斷錯誤將導致以下兩種情形；(一)鬆脫時間太早，意即道版混凝土

土尚未達到承載軌枕與鋼軌之強度，如此會導致軌枕與鋼軌下沉而使軌道線形偏移設計值。(二)鬆脫時間太晚，容易造成鋼軌支撐桿不易移除，可能需破壞部分道版混凝土以取出支撐桿。

c-5. 道版混凝土之施工品質除前幾項外，在澆置完成後是否即時於鋼軌因溫度產生較大長度變化前鬆脫所有澆置區域內之鋼軌扣件則為道版混凝土最後一項關鍵品質控制；因鋼軌若產生較大之長度變化，而此時鋼軌仍與軌枕以扣件結合在一起時，軌枕則會與鋼軌同時進行位移，而此時通常混凝土之強度僅達約略大於初凝強度而已，因此可能因為軌枕之移動而造成混凝土裂縫或軌枕與道版混凝土間之空隙。因此必須嚴格控制混凝土澆置完成時間，以容許有充分時間完成所有鋼軌扣件之鬆脫。

綜上所述，日本 AF-55 版式軌道與德國 Rheda 2000 版式軌道之場鑄混凝土所發生之關鍵品質缺失大同小異，均為混凝土作業中經常發生之品質缺失，因此關鍵在於發生位置與時機對其他施工項目之影響。基本上日本 AF-55 版式軌道除防動塊影響層面較多外，其他影響均為成本方面，相同的德國 Rheda 2000 之冠版與保護層之影響模式與防動塊雷同外，其他施工項目之關鍵品質缺失之影響程度為日本 AF-55 版式軌道大於德國 Rheda 2000 版式軌道。

若以軌道結構之場鑄與預鑄比例來比較，如表 4-38 所示之場鑄與預鑄之比例，可以明顯發現德國 Rheda 2000 版式軌道之場鑄比例不論在橋樑、路工或隧道路段均大幅度高於日本 AF-55 版式軌道，雖然預鑄廠混凝土品質不見得會優於現場，但是由預鑄廠運交至工地現場之預鑄品基本上已完成成品檢查並已剔除約 90% 的不良品，故預鑄品在施工現場之修補作業是遠低於場鑄混凝土，因此對於其他施工項目之影響相對於場鑄混凝土會非常少。但是因為關鍵品質發生時在德國 Rheda 2000 版式軌道上只有橋樑結構會受影響。因此在影響程度方面日本 AF-55 版式軌道發生場鑄關鍵品質缺失時其影響程度仍會高於德國 Rheda 2000 版式軌道。

而整體之場鑄混凝土品質控制方面，日本 AF-55 版式軌道因場鑄數量低於德國 Rheda 2000 版式軌道而使其相對有較少之管制項目，因此在相同之現場品質管理下，日本 AF-55 版式軌道可以獲得較佳之施工品質。

表 4-38 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道場鑄與預鑄混凝土數量表

土建結構	軌道系統	場鑄混凝土數量 (m ³ /km)	預鑄混凝土數量 (m ³ /km)	場鑄與預鑄之比例
橋樑	日本 AF-55	2215	640	3 : 1
	德國 Rheda 2000	3700	218	17 : 1
路工	日本 AF-55	3255	640	5 : 1
	德國 Rheda 2000	4574	209	22 : 1
隧道	日本 AF-55	1590	640	2 : 1
	德國 Rheda 2000	3950	209	19 : 1

4.2.3 軌道構件安裝品質管制探討

本章節主要探討日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道構件安裝之品質管制，其包含之軌道施工項目如表 4-39 所示。

與前一章節相同，探討內容區分為不合格報告書之整理分析與關鍵品質缺失之改善方法對進度與成本之影響探討。

表 4-39 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道構件安裝施工項目統計表

項次	日本 AF-55	德國 Rheda 2000
1	臨時軌鋪設	鋼軌與軌枕分配
2	預鑄軌道板安裝	彈性隔離膜與承載墊片安裝
3	CA 砂漿與合成樹脂灌注	鋼軌與軌枕安裝
4	鋼軌安裝整正與可調整鋼軌墊片灌注	軌道調整

A. 不合格報告書(NCR)整理

A-1. 日本 AF-55 版式軌道不合格報告書(NCR)整理

表 4-40 日本 AF-55 版式軌道軌道構件安裝不合格報告書(NCR)分析統計表

項次	軌道施工項目	品質缺失類型	內容說明	百分比	累積百分比
1	臨時軌道鋪設	無	無	NO	NO
2	預鑄軌道板安裝	安裝過程撞擊破損	預鑄軌道版於安裝過程因撞擊使防動塊破損	60%	60%
		混凝土完成面破損	預鑄軌道版破損	30%	90%
		混凝土完成面瑕疵	預鑄軌道版表面裂縫	10%	100%
3	CA砂漿與合成樹脂灌注	合成樹脂拌和不良	合成樹脂於防動塊周圍產生氣泡	40%	40%
		CA 砂漿與合成樹脂污染混凝土	CA 砂漿污染預鑄軌道版與路盤混凝土	20%	60%
		CA 砂漿厚度不足	CA 砂漿厚度不足	20%	80%
		合成樹脂粘結不良	合成樹脂粘結不良	20%	100%
4	鋼軌安裝整正與可調整鋼軌墊片灌注	ARP 灌注袋安裝不良	ARP 灌注袋安裝不良	100%	100%

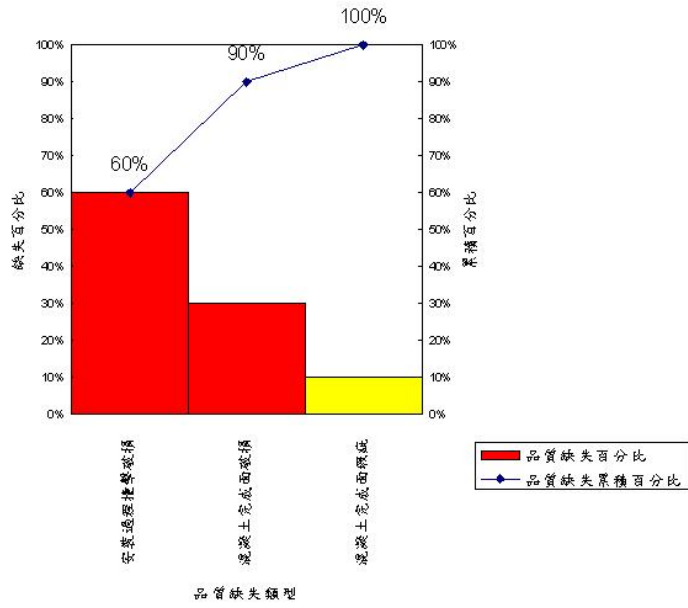


圖 4-77 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝混凝土品質缺失柏拉圖

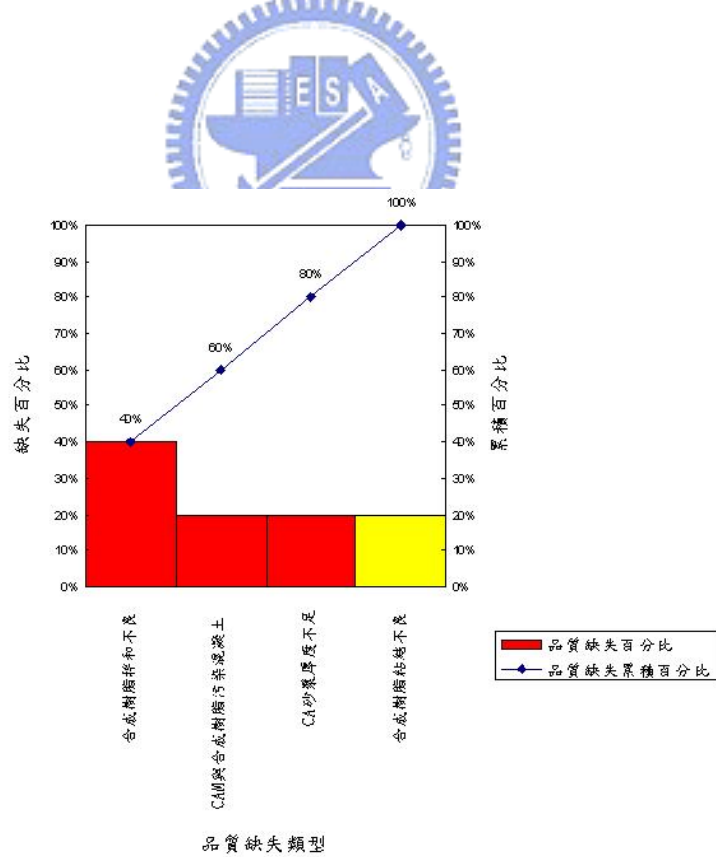


圖 4-78 日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注品質缺失柏拉圖

A-2. 德國Rheda 2000版式軌道不合格報告書(NCR)整理

表4-41 德國Rheda 2000版式軌道構件安裝不合格報告書(NCR)分析統計表

項次	軌道施工項目	品質缺失類型	內容說明	百分比	累積百分比
1	軌枕分配與安裝	軌枕不合格	軌枕不合格-鋼軌基座處裂縫、缺角與桁架破壞	62%	62%
		鋼軌扣件瑕疵	鋼軌扣件或基版生鏽	14%	76%
		軌枕預埋件瑕疵	扣件螺栓無法鎖至設計扭力值	12%	88%
		軌枕安裝不良	1.軌枕間距於橋樑伸縮縫處過大 2.軌枕於混凝土澆置完成後低於設計高程	6%	94%
		軌枕吊運與儲存不良	軌枕吊運或儲存方式未依規定導致軌枕彎曲變形	6%	100%
2	彈性隔離膜與承載墊片安裝	彈性隔離膜與承載墊片破損	彈性隔離膜與承載墊片破損	71%	71%
		彈性隔離膜安裝搭接不良	彈性隔離膜搭接不足	22%	93%
		彈性隔離膜鋪設前清理不良	彈性隔離膜鋪設前未清理保護層混凝土面	7%	100%
3	鋼軌分配與安裝	鋼軌運輸過程造成其他構件損壞	1.於鋼軌分配時導致冠板破損 2.鋼軌運輸時破壞預埋電纜管	62%	62%
		鋼軌安裝不良	鋼軌安裝時未將軌枕之鋼軌墊片清理乾淨導致鋼軌無法與墊片完整平貼	38%	100%
4	軌道調整	無	無	NO	NO

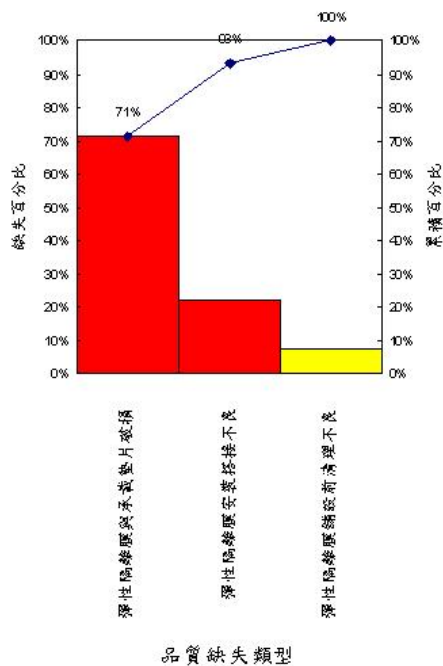


圖 4-79 德國 Rheda 2000 版式軌道
彈性隔離膜與承載墊片安裝品質缺失柏拉圖

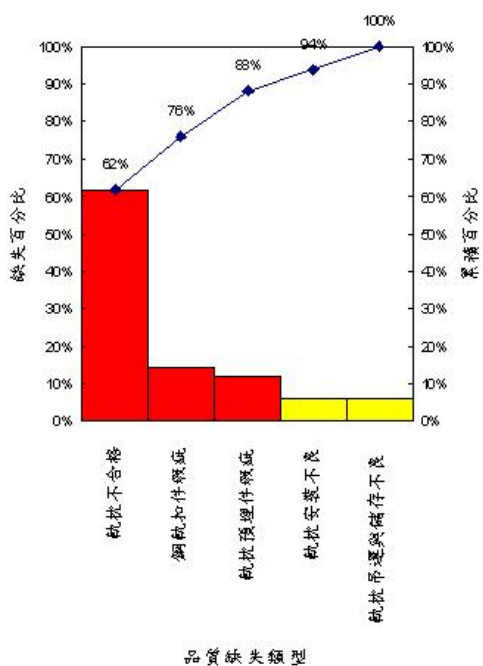


圖 4-80 德國 Rheda 2000 版式軌道
軌枕分配與安裝品質缺失柏拉圖

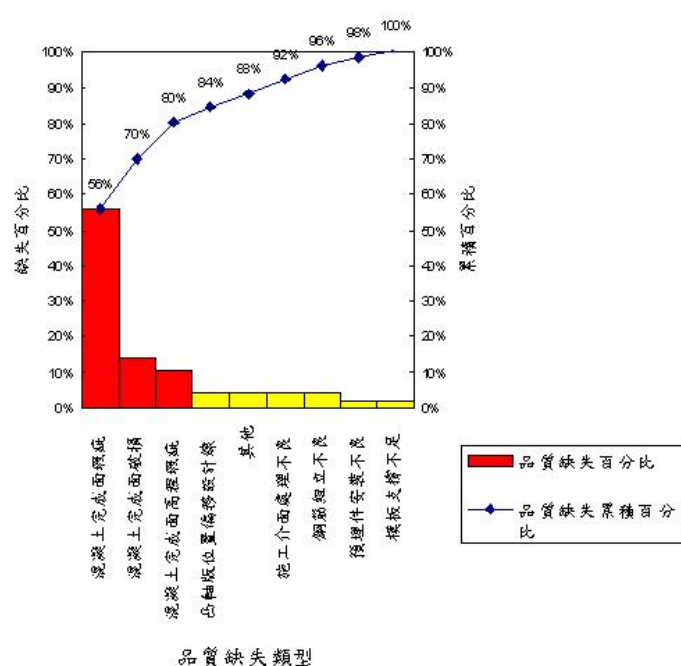


圖 4-81 德國 Rheda 2000 版式軌道
鋼軌分配與安裝品質缺失柏拉圖

B. 關鍵品質缺失改善方法與影響層面探討

B-1. 日本AF-55版式軌道關鍵品質缺失整理

表4-42 日本AF-55版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
預鑄 軌道 板安 裝	安裝過程 撞擊破損	預鑄軌道版於安裝 過程因撞擊使防動 塊破損	修補方式： 1)破損深度低於合成樹脂完成面 a. 將破損處周圍放樣切割後鑿除鬆動與不 良之混凝土 b. 清理並濕潤混凝土表面 c. 塗抹混凝土接合劑 d. 塗抹混凝土修補材 e. 混凝土修補材保護及養生 2)破損深度高於合成樹脂完成面 a. 將破損處鑿除鬆動與不良之混凝土 b. 清理並濕潤混凝土表面 c. 塗抹混凝土防護劑 d. 混凝土防護劑保護及養生	1.因破損型式皆為角隅破損，因此並不影響 其功能，同時破損修補皆可利用其他施工 項目完成後再進行，故不影響其他施工項 目之進行 2.修補時間至少需費時4天(含養生3天)	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4 人 2.修補機具(鑿除、切割機具) 3.混凝土修補材
	混凝土 完成面破損	預鑄軌道版破損	1)安裝階段會以更換新的預鑄軌道版方式進 行立即改善 2)安裝完成後遭其他施工導致破損者其修補 方式則如混凝土破損修補方式進行，惟修補 材料較為不同	1.安裝階段破損之軌道版可於安裝當日立 即更換，因此不影響任何施工項目之進度 2.安裝完成後之破損修補因僅為一般混凝 土破損修補，且修補位置一般均為角隅 處，因此並不影響其他施工項目之進行	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員3~4 人 2.混凝土修補材
CA 砂漿 與合 成樹 脂灌 注	合成樹脂 拌和不良	合成樹脂於防動塊 周圍產生氣泡	1)移除不良之合成樹脂 2)重新灌注合成樹脂至設計高度	1.修補之方式簡易且快速，因此影響程度小	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員2~3 人 2.合成樹脂

表4-42 日本AF-55版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
CA 砂漿 與合 成樹 脂灌 注	CA 砂漿與合 成樹脂污染混 凝土	CA砂漿污染預鑄軌 道版與路盤混凝土	<p>施工前：於可能洩漏區域下方鋪設不織布或 其他相關物品</p> <p>施工後：於污染產生時立刻以碎布清理或於 硬化後以鏟子漿CA砂漿移除</p>	1.CA 砂漿與合成樹脂之污染清理只 會增加當日之施工時間，但並不影 響本身進度或其他施工項目之進度	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人
	CA 砂漿 厚度不足	CA砂漿厚度不足	<p>1)將軌道版移開並移除CA砂漿</p> <p>2)將路盤混凝土鑿至要求高程</p> <p>3)重新安裝軌道版</p> <p>4)重新灌注CA砂漿</p>	1.CA 砂漿厚度不足之修補方式會影 響預鑄軌道版與 CA 砂漿每日施工 之排程，進而影響兩者之施工進度。	增加成本項目： 1.平均每次修補施工人員 6~8 人 2.CA 砂漿 3.因重複施工產生之成本
鋼軌 安裝 整正 與可 調整 鋼軌 墊片 灌注	可調整鋼軌墊 片安裝不良	可調整鋼軌墊片安 裝不良	<p>修補步驟：</p> <p>1)解開失敗處與相鄰的鋼軌扣件</p> <p>2)微微抬起鋼軌並取出安裝失敗的可調整鋼 軌墊片</p> <p>3)放置新的可調整鋼軌墊片灌注袋並放下鋼 軌</p> <p>4)量測與調整鋼軌底部與軌道版之間距</p> <p>5)鎖固鋼軌扣件</p> <p>6)重新灌注可調整鋼軌墊片</p>	<p>1.可調整鋼軌墊片安裝不良係指安裝 位置偏移設計要求，除可能降低原 有功能外亦會在日後脫離原有位置 而失去功能</p> <p>2.可調整鋼軌墊片安裝不良之修補作 業等於是重新再做一次可調整鋼軌 墊片之灌注作業，因此影響程度大</p>	增加成本項目： 1.平均每次修補施工人員 6~8 人 2.可調整鋼軌墊片灌注袋與灌注材 3.因重複施工產生之成本

B-2. 德國Rheda 2000版式軌道關鍵品質缺失整理

表4-43德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
軌枕 分配 與安 裝	軌枕不合格	鋼軌基座處裂縫	判定為不合格品，更換新的軌枕	1.軌枕不合格大部份均發生在安裝前檢查，因此並不影響軌枕安裝進度	增加成本項目： 1.預鑄軌枕
		軌枕缺角	依預鑄階段片定標準予以修補或更換		
		桁架破壞	判定為不合格品，更換新的軌枕		
	鋼軌扣件瑕疵	鋼軌扣件或基版生鏽	依生鏽狀況更換新的扣件、基版或除鏽	1.更換修補作業均開始於道版混凝土完成後，且可與軌道調整作業同時進行，因此並不影響其他施工項目之進行	增加成本項目： 1.扣件 2.基版
	軌枕預埋件瑕疵	扣件螺栓無法鎖至設計扭力值	修補方式： 1)更換螺栓母牙 a.鬆脫彈性扣夾 b.微微抬起鋼軌約2~3公分 c.將其他鋼軌扣件移除 d.以專有器具將損壞之扣件螺栓母牙取出 e.重新旋入扣件螺栓母牙 f.重新安裝鋼軌扣件 g.放下鋼軌並鎖固彈性扣夾	1.更換新的螺栓母牙因方式簡單迅速，故並不影響其他作業之進行	增加成本項目： 1.平均每天修補施工人員 3~4 人 2.修補機具 3.螺栓母牙

表4-43德國Rheda 2000版式軌道場鑄混凝土關鍵品質缺失改善方法與影響說明表(續)

項目	佔80%的品質 缺失類型	缺失內容	缺失改善方法	影響層面與程度	
				進度	成本
彈性 隔離 膜與 承載 墊片 安裝	彈性隔離膜與 承載墊片破損	彈性隔離膜與承 載墊片破損	1)彈性隔離膜： a. 破損面積<1*8mm： 1)破損處四周清理乾淨 2)於破損處貼上具防水功能之膠帶 b. 破損面積>1*8mm： 1)破損處四周清理乾淨 2)裁切一片可覆蓋破損處四周至少4cm之 彈性隔離膜補片 3)於破損處四周以皮帶砂輪機處理至少 超過補片範圍1cm，以利判定在焊接前 已完成表面處理 4)將補片熔接於破損處上 2)承載墊片：更換新的承載墊片	1.一般發生彈性隔離膜之破損其破損面 積均小於1*8mm，因此僅需貼上防水膠 帶即可，故不影響施工進度 2.承載墊片之破損均需更換，但是因發生 機率低，故影響進度之程度低	增加成本項目： 1.防水膠帶 2.承載墊片
	彈性隔離膜 安裝搭接不良	彈性隔離膜安裝 搭接不良	1)裁切可搭接原接縫兩側10公分寬之彈性隔 離膜 2) 於搭接不足處四周清理乾淨 3) 將裁切之彈性隔離膜熔接於搭接不足位置	1.因修補作業所需時間短，故並不影響其 他施工項目之進行	增加成本項目： 1.每日平均修補施工人數約 2~3 人 2.彈性隔離膜
鋼軌 分配 與安 裝	鋼軌運輸過程 造成其他構件 損壞	於鋼軌分配時導 致冠板破損	修補方式如前一章節場鑄混凝土品質探討中 之冠版破損	1.影響程度如冠板破損	增加成本項目： 1.每日平均修補施工人數約 2.修補機具(鑿除機具) 3.混凝土修補材 4.因修補作業而延遲進度所產生之 成本
	鋼軌安裝不良	鋼軌安裝時未將 軌枕之鋼軌墊片 清理乾淨導致鋼 軌無法與墊片完 整平貼	經測量後更換不同厚度之鋼軌墊片	1.此項品質缺失均發生在道版混凝土澆 置完成之後，於軌道調整階段發現鋼軌 高程過高而更換鋼軌墊片時發現鋼軌 墊片上有異物，因此此項缺失會增加鋼 軌調整之施工時間	增加成本項目： 1.鋼軌墊片 2.因修補作業而延遲進度所產生之 成本

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析：

將不合格報告(NCR)之品質缺失分類並繪製柏拉圖求得關鍵品質缺失後，分析探討改善關鍵品質缺失對進度與成本之影響，並加入與軌道專家訪談之現場品質管制，得到以下結論：

1. 日本 AF-55 版式軌道構件安裝

a. 預鑄軌道版安裝

- a-1. 關鍵品質缺失主要為軌道版調整過程中於軌道版與防動塊間將三角楔木擊入時木槌敲擊到防動塊導致防動塊破損，但這些品質缺失已於改變楔木插入方式後改善很多。但此品質缺失之改善作業並不影響其他作業之進行
- a-2. 基本上預鑄軌道版安裝過程中所發生之關鍵品質缺失只會增加成本，其中雖有軌道版因於吊運過程中撞擊破損而廢棄更換，但因發生次數極少，同時防動塊之破損修補亦屬淺層破壞之修補，所以額外增加之成本很低。
- a-3. 預鑄軌道版主要依據防動塊上基準器調整，基準器之數據標示在防撞牆上之測量資料標籤上。因此若數據標示錯誤將會嚴重影響軌道版調整之品質。

b. CA 砂漿與合成樹脂灌注

- b-1. 關鍵品質缺失除發生 CA 砂漿厚度不足所衍生之修補工作與影響較大外，其他之關鍵品質缺失均容易改善且所增加之額外成本亦小。
- b-2. CA 砂漿厚度不足之比例雖高，但實際發生次數卻是極少。因為在 CA 砂漿灌注前承商均會檢測每一塊預鑄軌道版與路盤混凝土間之間隙大小，但是一旦發生影響進度與成本較大。
- b-3. CA 砂漿之拌和品質相當重要，因為若拌和不良會發生灌注後漿液由灌注袋滲露污染路盤混凝土，同時可能發生粒料分離之情形而降低 CA 砂漿之功能與強度。
- b-4. CA 砂漿灌注完成之後需檢查厚度與其跟軌道版之密和度；厚度檢查頻率為每塊軌道版 4 處，密和度為每塊軌道版 8 處。因此 CA 砂漿之品管程序複雜且繁多。
- b-5. CA 砂漿灌時需將灌注袋拉緊以避免灌注袋產生皺摺而影響其與軌道版之密和度，另合成樹脂灌注袋黏貼於防動塊與軌道版時亦須完全貼覆，避免減少軌道版與合成樹脂之接觸面積而造成部份應力集中。
- b-6. 合成樹脂灌注完成後，於大跨距(>50 公尺)或連續樑之兩端容易發生因橋樑伸張量大而使合成樹脂推擠隆起而可能造成破壞或收縮量大而產生與防動塊或軌道版間之間隙大於容許寬度，其發生機制則需視合成樹脂澆注時之溫度而定。

c. 鋼軌安裝整正與可調整鋼軌墊片灌注

- c-1. 關鍵品質缺失主要發生在可調整鋼軌墊片之安裝偏移設計位置，其影響程度大。

- c-2. 可調整鋼軌墊片灌注之壓力與速度均會影響灌注後墊片內氣泡之數量與大小，而灌注後要檢查氣泡大小與數量是否在容許範圍內難度相當高，因此必須嚴格管控灌注過程空氣是否完全排出。

2. 德國 Rheda 2000 版式軌道構件安裝

a. 軌枕分配與安裝

- a-1. 關鍵品質缺失主要發生在軌枕本身之品質，意即發生在進場檢驗之過程中發現軌枕不合格，所以此缺失主要影響在材料成本之增加上。
- a-2. 鋼軌扣件或基版生鏽因最後經材料商判定於合理範圍內，故不需更換。
- a-3. 扣件螺栓無法鎖至設計扭力值之品質缺失因抽換新的螺栓母牙方法簡單迅速且所增加之成本低，故影響進度與成本程度相當低。

b. 彈性隔離膜與承載墊片安裝

- b-1. 關鍵品質缺失主要發生在彈性隔離膜之破損上，而其修補方式簡單迅速且成本低，因此影響進度與成本程度相當低。

c. 鋼軌分配與安裝

- c-1. 鋼軌分配與安裝之關鍵品質缺失發生在鋼軌分配過程中撞擊冠版導致冠版破損，雖破損修補需要至少 4 天(含養生)，但是實際上發生次數相當低，故影響進度與成本之程度亦低。
- c-2. 因安裝鋼軌前未清理鋼軌墊片上雜物導致需更換厚度不同之鋼軌墊片，因其發生率低故影響進度與成本之程度亦低。

綜上所述，日本 AF-55 版式軌道構件安裝之品質管制項目多且一旦發生關鍵品質缺失時影響程度大。而德國 Rheda 2000 版式軌道之品質管制項目較少且發生關鍵品質缺失之改善方式與相對成本均低於日本 AF-55 版式軌道。

針對整體施工品質管制而言，由於日本 AF-55 版式軌道之組成單元數量多，且其施工順序為由下往上逐一堆疊軌道單元而成，因此其每一項施工單元之施工容許誤差均需嚴格管控，以避免造成太多之累積誤差而影響整體軌道施工品質。相對地，德國 Rheda 2000 版式軌道其軌道組成單元少，施工順序為在完成軌道下部結構後由上往下施工，因此關鍵在於道版混凝土澆置前之軌道整正。對於其他軌道施工項目之施工容許誤差相對可以較為寬鬆。

因此整體而言，日本 AF-55 版式軌道施工困難且一旦發生關鍵品質缺失時其對進度與成本之影響程度均高於德國 Rheda 2000 版式軌道。而德國 Rheda 2000 版式軌道大部分之組成單元施工簡易，除橋樑段鋼筋組立較為複雜外，其他只要能夠管控好鋼軌整正之施工品質，基本上發生關鍵品質缺失時之影響程度皆不大。因此德國 Rheda 2000 版式軌道之品質掌控度是優於日本 AF-55 版式軌道。

4.3 施工成本探討

施工成本之探討主要區分為材料、機具、設備與人力成本；其中材料成本包括鋼筋、模板、混凝土與各軌道之特殊材料數量與價格；機具成本部分則以各軌道之主要施工項目中所使用之主要機具數量與價格；設備成本部分為現場設備與預鑄廠設備之數量與價格；人力成本部分則區分為人力技術與數量兩部分，人力技術以相關施工人員所需接受之訓練時數為主，人力數量則為各軌道施工之主要施工項目所需人力數量為主，之後再以施工人員之日薪作為成本之計算。

上述之各項成本所計算出之金額係以完成 1 公里所需之材料、機具、設備與人力為基準。

4.3.1 材料成本

材料成本之探討係以在不同土建結構上非道岔路段中每公里軌道組成之鋼筋、模板、混凝土與各軌道系統之特殊材料數量與價格，但不包括相同單價與單位施作數量之鋼軌。其中鋼筋、模板與混凝土之單價係以公共工程委員會公共工程價格資料庫第一期(93.09.15)所示之中部區域價格為主。

4.3.1.1 鋼筋數量

表 4-44 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道鋼筋數量與成本統計表

項次	土建結構	軌道系統	包含項目	場鑄數量 (ton/km)	預鑄數量 (ton/km)	合計數量 (ton/km)	單價 (元/ton)	總價 (元/km)
1	橋樑	日本 AF-55	1. 路盤混凝土 2. 防動塊 3. 保護層 4. 預鑄軌道版	124	109	233	16,500	3,844,500
		德國 Rheda 2000	1. Rheda 道床 2. 保護層 3. 冠板 4. 預鑄軌枕	390	41	431	16,500	7,111,500
2	路工	日本 AF-55	1. 路盤混凝土 2. 防動塊 3. 保護層 4. 預鑄軌道版	139	109	248	16,500	4,092,000
		德國 Rheda 2000	1. Rheda 道床 2. 整平層 3. 地樑 4. 預鑄軌枕	209	41	250	16,500	4,125,000
3	隧道	日本 AF-55	1. 路盤混凝土 2. 防動塊 3. 預鑄軌道版	42	109	151	16,500	2,491,500
		德國 Rheda 2000	1. Rheda 道床 2. 整平層 3. 預鑄軌枕	198	41	239	16,500	3,943,500

表 4-45 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道鋼筋成本比例表

項次	軌道系統		日本 AF-55 版式軌道	德國 Rheda 2000 版式軌道
	土建結構			
1	橋樑段		1	1.8
2	路工段		1	1
3	隧道段		1	1.6

由表 4-44 與表 4-45 可知，日本 AF-55 版式軌道所使用之鋼筋量只有在路工段與德國 Rheda 2000 軌道相當，其他土建結構(橋樑與隧道段)均遠低於德國 Rheda 2000 版式軌道。因此在鋼筋成本上日本 AF-55 版式軌道優於德國 Rheda 2000 版式軌道。

4.3.1.2 模板數量

表 4-46 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板數量與成本統計表

項次	土建結構	軌道系統	包含項目	數量 (m ² /km)	單價 (元/m ²)	複價 (元/km)	總價 (元/km)
1	橋樑	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	1,360	200*	272,000	1,075,240
			2. 保護層	27	120*	3,240	
			3. 防動塊	400 個	2,000 元/個*(鋼模)	800,000	
		德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版	1596	200*	319,200	1,765,800
			2. 保護層	55	120*	6,600	
			3. 冠板	1,200 個	12,00 元/個*(鋼模)	1,440,000	
2	路工	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	1356	200*	271,200	1,089,200
			2. 保護層	150	120*	18,000	
			3. 防動塊	400 個	2,000 元/個*(鋼模)	800,000	
		德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版	960	200*	192,000	373,800
			2. 整平層	15	120*	1,800	
			3. 地樑	0	0	0	
			4. 水力結合層	1200	150*	180,000	
		3	隧道	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	1298	200*
2. 防動塊	400 個				2,000 元/個*(鋼模)	800,000	
德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版			960	200*	192,000	195,512
	2. 整平層			27	130*	3,510	

註：其中日本之路盤混凝土、德國道版混凝土與水力結合層之模板以側模數量計算之。橋樑段日本保護層與德國保護層混凝土模板數量以每跨橋 40m 長之封頭模計算之。路工段日本保護層混凝土以側模計算之，德國整平層以 5 公尺長計算之。隧道段德國整平層以每次澆置 100 公尺計算封頭模板數量模板成本比較表

表 4-47 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板成本比例表

項次	軌道系統		日本 AF-55 版式軌道	德國 Rheda 2000 版式軌道
	土建結構			
1	橋樑段		1	1.6
2	路工段		1	0.3
3	隧道段		1	0.2

由表 4-46 與表 4-47 可知，日本 AF-55 版式軌道所使用之模板成本因防動塊混凝土皆需使用鋼模，除了橋樑段德國之冠版混凝土鋼模數量之外，其他土建結構(路工與隧道段)均高於德國 Rheda 2000 版式軌道。因此在模板成本上德國 Rheda 2000 版式軌道優於日本 AF-55 版式軌道。

4.3.1.3 混凝土

表 4-48 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道混凝土數量與成本統計表

項次	土建結構	軌道系統	軌道混凝土單元	混凝土強度 (kg/cm ²)	混凝土數量 (m ³ /km)		單價 (元/ m ³)	複價 (元/ m ³)	總價 (元/km)							
					場鑄	預鑄										
1	橋樑	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	350	2215	0	2,000	4,430,000	4,577,200							
			2. 防動塊													
			3. 保護層													
			4. 軌道版							400	0	640	2300*	1,472,000		
1	橋樑	德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版	350	3700	0	2,000	7,400,000	7,988,600							
			2. 保護層													
			3. 冠板													
			4. 軌枕(軌枕間距 625mm)							540	0	218	2700	588,600		
2	路工	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	350	2190	0	2,000	4,380,000	7,353,650							
			2. 防動塊													
			3. 保護層							175	1065	0	1,410	1,501,650		
			4. 軌道版							400	0	640	2300*	1,472,000		
		2	路工	德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版	350	1570	0	2,000	3,140,000	7,751,780					
					2. 整平層											
					3. 地樑											
					4. 水力結合層							150	2280	0	1,300*	2,964,000
					5. 回填混凝土							210	522	0	1,530	798,660
					6. 保護層混凝土							175	202	0	1,410	284,820
3	隧道	日本 AF-55	1. 路盤混凝土	350	1590	0	2,000	3,180,000	4,652,000							
			2. 防動塊													
			3. 軌道版							400	0	640	2300*	1,472,000		
		3	隧道	德國 Rheda 2000	1. Rheda 道版	350	3950	0	2,000	7,900,000	8,464,300					
					2. 整平層											
					3. 軌枕(軌枕間距 650mm)							540	0	209	2700	564,300

表 4-49 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道模板成本比例表

項次	軌道系統		日本 AF-55 版式軌道	德國 Rheda 2000 版式軌道
	土建結構			
1	橋樑段		1	1.7
2	路工段		1	1
3	隧道段		1	1.8

由表 4-48 與表 4-49 可知，日本 AF-55 版式軌道所使用之混凝土數量只有在路工段與德國 Rheda 2000 軌道相當，其他土建結構(橋樑與隧道段)均遠低於德國 Rheda 2000 版式軌道。因此在混凝土成本上日本 AF-55 版式軌道優於德國 Rheda 2000 版式軌道

4.3.1.4 兩軌道系統特殊材料

表 4-50 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道特殊軌道材料數量與成本統計表

軌道系統	項目	規格	(數量/km)	單價	假設複價 (元/km)
日本 AF-55	CA 砂漿灌注袋	長=4900mm，寬=710mm，2 個/軌道版	800 個	2,000 元/個*	1,600,000
	CA 砂漿	長=4900mm，寬=710mm，厚=45mm，2 塊/軌道版	125m ³	7,000 元/m ³ *	87,500
	合成樹脂澆注袋	半徑 1=260mm，半徑 2=300mm，高=180mm，2 個/軌道版	800 個	400 元/個*	320,000
	合成樹脂	半徑 1=260mm，半徑 2=300mm，高=180mm，厚=40mm，2 處/軌道版	4.6 m ³	240,000 元/m ³ *	1,104,000
	可調整鋼軌墊片灌注袋	長=220mm，寬=160mm	6400 個	200 元/個*	1,280,000
	可調整鋼軌墊片灌注樹脂	長=220mm，寬=145mm，厚=5mm	1 m ³	300,000 元/m ³ *	300,000
	鋼軌扣件 (Type 8R)	扣件間距 625mm	6400 組	5000 元/組*	32,000,000
				總計	36,691,500
德國 Rheda 2000	彈性隔離膜	寬=3000mm(橋樑段)	5882 m ²	1,500 元/m ² *	8,823,000
	彈性承載墊片	15mm厚(2面/區塊)(橋樑段)	27m ²	2,000 元/m ² *	54,000
		10mm厚(6面/區塊)(橋樑段)	80m ²	1,500 元/m ² *	120,000
		5mm厚(8面/區塊)(橋樑段)	187m ²	1,200 元/m ² *	224,400
	鋼軌扣件(Vossloh 300-1)	扣件間距 625mm(橋樑段)	6400 組	4,000 元/組*	25,600,000
鋼軌扣件(Vossloh 300-1)	扣件間距 650mm(路工與隧道段)	6154 組	4,000 元/組*	24,616,000	
				橋樑段總計	34,821,400
				路工與隧道段總計	24,616,000

由表 4-50 可知，日本 AF-55 版式軌道所使用之特殊軌道材料成本高於德國版式軌道。

綜合鋼筋、模板、混凝土與特殊軌道材料之成本整理如表 4-51。

表 4-51 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道材料成本統計表

項次	材料名稱	日本 AF-55 版式軌道			德國 Rheda 2000 版式軌道		
		橋樑段 (元/km)	路工段 (元/km)	隧道段 (元/km)	橋樑段 (元/km)	路工段 (元/km)	隧道段 (元/km)
1	鋼筋	3,844,500	4,092,000	2,491,500	7,111,500	4,125,000	3,943,500
2	模板	1,075,240	1,089,200	1,059,600	1,765,800	373,800	195,512
3	混凝土	4,577,200	7,353,650	4,652,000	7,988,600	7,751,780	8,464,300
4	特殊軌道材料	36,691,500	36,691,500	36,691,500	34,821,400	24,616,000	24,616,000
各土建結構小計		46,188,440	49,226,350	44,894,600	51,687,300	36,866,580	37,219,312

由表 4-51 資料可以歸納出以下結論：

1. 鋼筋成本：德國 Rheda 2000 版式軌道不論在橋樑、路工或隧道段皆高於日本 AF-55 版式軌道
2. 模板成本：除橋樑段德國 Rheda 2000 版式軌道高於日本 AF-55 版式軌道外，其餘在路工與隧道段皆較低
3. 混凝土成本：德國 Rheda 2000 版式軌道不論在橋樑、路工或隧道段皆高於日本 AF-55 版式軌道
4. 特殊軌道材料成本：日本 AF-55 版式軌道不論在橋樑、路工或隧道段皆高於德國 Rheda 2000 版式軌道
5. 不同土建結構之整體材料成本：除橋樑段德國 Rheda 2000 版式軌道高於日本 AF-55 版式軌道外，其餘在路工與隧道段皆較低

由以上結論可知，在同一土建結構上雖然日本 AF-55 版式軌道之鋼筋與混凝土成本低於德國 Rheda 2000 版式軌道，但是由於日本 AF-55 版式軌道所使用之特殊軌道材料單價非常高，使得日本 AF-55 版式軌道之整體材料成本除橋樑段低於德國 Rheda 2000 版式軌道外，其餘路工與隧道段皆高於德國 Rheda 2000 版式軌道。

4.3.2 機具成本

機具成本主要探討日本與德國版式軌道在施工期間，依其施工流程中主要施工項目所需要使用之主要機具進行比較，包括機具型式、機具使用目的、每次需使用數量與頻率。其中成本金額之計算以每完成 1 公里所需機具數量為計算基準。除附註星號(*)者為假設單價外，其餘單價係以公共工程委員會公共工程價格資料庫第一期(93.09.15)所示之中部區域價格為主。

1. 日本 AF-55 版式軌道

A. 路盤、保護層與防動塊

表 4-52 日本 AF-55 版式軌道場鑄混凝土主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	60 噸吊車	1. 吊運鋼筋、模板與雜項物品至橋面板 2. 吊運營建廢棄物離開工作地點	1 台/次	相關物料吊運時使用	8 次	21,000 元/天(租)	168,000
2	20 噸吊卡車	分配鋼筋至工作地點	1 台/次	相關物料吊運時使用	8 次	9,000 元/天(租)	72,000
3	揹負式柴油空壓機	清理	2 台/次	1. 每次澆置前使用 2. 清理相關鑽孔	2 台	23,000 元/台*	46,000
4	混凝土壓送車	路盤混凝土澆置	1 台/次	每次澆置時使用	24 次(橋樑段) 16 次(路工段) 16 次(隧道段)	5,000 元/趟，外加 90 元/立方公尺	319,350(橋樑段) 372,950(路工段) 223,100(隧道段)
5	混凝土震動機	搗實混凝土	5 台/次	每次澆置時使用	5 台	11,000 元/台*	55,000
6	固定式空壓機	提供相關氣動機具使用	1 台/次	每次安裝時使用	33 天	2,000 元/天(租)*	66,000
7	氣動式手持小型破碎機	打毛相關混凝土施工界面	4 台/次	每次混凝土澆置完成後 3 天	4 台	10,000 元/台*	40,000
						總價(橋樑段)	766,350
						總價(路工段)	819,950
						總價(隧道段)	670,100

B. 臨時軌道安裝

表 4-53 日本 AF-55 版式軌道臨時軌道安裝主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	80 噸吊車	將陸軌車(Unimog)吊至橋面板	1 輛/次	吊上與吊下橋面各一次	2 次	27,500 元/天(租)	55,000
2	2 噸大型門型吊架與吊鏈	將 200m 鋼軌放置鐵製台車上	16 組/次	每次安裝時使用	16 組	80,000 元/組*	1,280,000*
3	陸軌車(Unimog)	推拉鐵製台車	1 台/次 坡度 3.5%需使用兩輛	每次安裝時使用	1 輛	4,500,000 元*	4,500,000*
4	10 噸鐵製台車	裝載鋼軌至安裝地點	26 台/次	每次安裝時使用	26 台	150,000 元/台*	3,900,000*
5	鋼軌鋪設車	將鋼軌由鐵製台車上輸出安裝	1 輛/次	每次安裝時使用	1 輛	2,000,000 元/輛*	2,000,000*
6	高滾輪	將鋼軌移動至安裝位置	3 具/次	每次安裝時使用	3 具	8,300 元/個*	24,900*
7	低滾輪	將鋼軌移動至安裝位置	40 具/次	每次安裝時使用	40 具	2,700 元/個*	108,000*
8	鐵製撬棒	調整鋼軌位置	4 支/次	每次安裝時使用	4 支	2,500 元/支*	10,000*
9	鋼軌船型導具	保護鋼軌前端	1 個/次	每次安裝時使用	1 個	3,000 元/個*	3,000*
10	小型門型架與 2 噸吊鏈	調整鋼軌於正確位置	13 組/次	每次安裝時使用	13 組	25,000 元/組*	325,000*
11	水泥電鑽	在路盤上於臨時軌安裝位置鑽 設木質基板固定孔	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	15,600 元/台*	31,200*
12	移動式小型發電機	提供鑽孔機使用	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
13	電動扭力扳手	鎖固木質基板固定螺栓與相關 螺栓	4 台/次	每次安裝時使用	4 台	15,000 元/台	60,000*
14	軌距測量儀	調整與量測軌距	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
15	高低測量儀	調整與量測超高	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
16	軌距固定角鐵	維持軌距 1435mm	1 根/5m	鋪設臨時軌使用	400 根	150 元/根*	60,000*
17	改良式輕便台車	載運相關小型機具與物料	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	136,000 元/台*	136,000*
						總價	12,583,100*

C. 預鑄軌道版安裝

表 4-54 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	80 噸吊車	將陸軌車(Unimog)吊至橋面板	1 台/次	吊上橋面與吊下地面各一次	2 次	27,500 元/天(租)	55,000*
2	25 噸板車	將軌道版由預鑄廠運送至儲存場	4 輛/次， 4 塊/台	每次運送時使用	13 次-52 輛	2,000 元/天(租)	104,000*
3	中型門型架與 2 噸 吊鏈	擴軌用；將鋼軌由軌距 1435mm 移到 3000mm。	13 組/次，放 置間距 15~16 公尺一個	每次安裝時使用	13 組	85,000 元/組*	1,105,000*
4	60 噸吊車	將軌道版吊至橋面板	1 輛/次	每次安裝時使用	6 次	13,000 元/天(租)	78,000*
5	陸軌車(Unimog)	推拉鐵製台車	2 輛/次	每次安裝時使用	2 輛	4,500,000 元*	9,000,000*
6	10 噸鐵製台車	裝載軌道版至安裝地點	11 台/次	每次安裝時使用	11 台/次	150,000 元/台*	1,650,000*
7	固定式柴油發電機	放置於軌道板運搬車上以供應相關動力	1 台/次	每次安裝時使用	3 天	4,000 元/天(租)*	12,000*
8	臨時鋼軌 37kg/m	工預鑄軌道版運搬車與鋪設車(軌距 3000mm)使用	80 公尺 2 根	每次安裝時使用	2 根	600 元/kg*	1,200*
9	預鑄軌道板運搬車	拖行軌道版鋪設車	1 輛/次	每次安裝時使用	1 輛	3,000,000 元/輛*	3,000,000*
10	預鑄軌道板鋪設車	將軌道版放置安裝位置	5 輛/次	每次安裝時使用	5 輛	500,000 元/輛*	2,500,000*
11	木質撬棒—美式斧 頭木柄	預鑄軌道板安裝用	4 支/次	每次安裝時使用	4 支	520 元/支*	2,080*
12	軌道板調整車	調整軌道板	1 輛/次	每次安裝時使用	1 輛	200,000 元/輛*	200,000*
13	三點量距儀	調整軌道板	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	30,000 元/台*	60,000*
14	預鑄軌道版支撐螺 栓組	調整軌道版高度用	4 組/軌道版	每次安裝時使用	800 組	900 元/組*	720,000*
15	充電式扭力扳手	鎖固軌道版保持螺絲	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	15,000 元/台*	30,000*
						總價	18,517,280

D. CA 砂漿與合成樹脂灌注

表 4-55 日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	120 噸吊車	1. 將陸軌車(Unimog)吊至橋面板 2. 將 CAM 設備車(重 32.6 公噸, 軌距 1435mm)運送車吊上與吊下橋面板 3. 將 10 噸鐵製台車吊上與吊下橋面板	1 台/次	吊上橋面與吊下地面各一次	2 次	30,000 元/天*(租)	60,000*
2	60 噸吊車	1. 將材料吊至 CA 砂漿設備車上 2. 將廢棄物吊下橋面板	1 台/次	每天工作結束時使用	6 次	21,000 元/天(租)	126,000*
3	陸軌車(Unimog)	推拉鐵製台車	2 輛/次	每次安裝時使用	2 輛	4,500,000 元/輛*	9,000,000*
4	CA 砂漿設備車	運送及灌注 CA 砂漿	1 輛/次	吊上橋面與吊下地面各一次, 或因軌道中斷需一至下一區段時使用。	1 輛	5,000,000 元/輛*	5,000,000*
5	CA 砂漿灌注桶	CA 砂漿設備車將拌合好之材料輸送至 CA 砂漿灌注桶	1 桶/次	每次灌注時使用	1 桶	30,000 元/桶*	30,000*
6	可攜式攪拌器	於現場攪拌合成樹脂材料	2 台/次	每次灌注時使用	2 台	25,000 元/台*	50,000*
7	固定式柴油發電機	放置於 CA 砂漿設備車上以供應相關動力	1 台/次	每次安裝時使用	3 天	4,000 元/天(租)*	12,000*
8	合成樹脂澆注桶	將拌合好之合成樹脂材料裝入桶內以澆注	2 桶/次	每次澆注時使用	2 桶	200 元/桶*	400*
9	10 噸鐵製台車	載運 CA 砂漿與合成樹脂材料	2 台/次	每次灌注時使用	2 台	150,000 元/台*	300,000*
10	CA 砂漿袋阻擋器	於兩軌道版間阻止 CA 砂漿袋突出軌道版	81 台/次	每次安裝時使用	81 台	1,200 元/台*	97,200*
11	CA 砂漿袋固定器	於 CA 砂漿灌注時固定 CA 砂漿袋以防止其移動偏移出軌道版	320 台/次	每次安裝時使用	320 台	1,000 元/台*	320,000*
12	瓦斯及噴槍	CA 砂漿灌注袋封口	4 組/次	每次灌注袋封口時使用	4 組	2,500 元/組*	10,000*
						總價	15,005,600

E. 鋼軌安裝與整正

表 4-56 日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝與整正主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	中型門型架與 2 噸吊 鏈—軌道山越器	將鋼軌由軌距 3000mm 放置於 1435mm 基版上	13 組/次	每次安裝時使用	13 台	85,000 元/組*	1,105,000*
2	小型門型架與 1 噸吊 鏈—軌道山越器	將鋼軌局部吊起以放置 ARP 灌注袋 於基版上	2 組/次	每次安裝時使用	2 台	25,000 元/組*	50,000*
3	軌距測量儀	調整與量測軌距	3 台/次	每次安裝時使用	3 台	30,000 元/台*	90,000*
4	高低測量儀	調整與量測超高	3 台/次	每次安裝時使用	3 台	30,000 元/台*	90,000*
5	壓克力楔木	大部調整鋼軌高程	6 塊/軌道板	每次安裝時使用	1,200 塊	350 元/塊*	420,000*
6	塑膠調整片	細部調整鋼軌高程	依現況	每次安裝時使用	2,400 片	35 元/片*	84,000*
7	扭力扳手	解開與固定基版固定螺栓	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	1,650 元/台*	3,300*
8	緊結器(軌道用電動 扭力扳手)	固定基板固定螺栓	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	300,000 元/台*	600,000*
9	小型發電機	供給緊結器使用	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	30,000 元/台*	60,000*
10	鐵製撬棒	調整鋼軌	2 支/次	每次安裝時使用	2 支	2,500 元/支*	5,000*
11	Track Master	量測軌道線形、軌距、超高資料	1 台/次	每次測量時使用	1 台	200,000 元/台*	200,000*
12	傾斜度測量儀	量測鋼軌傾斜度	1 台/次	每次測量時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
13	改良式輕便台車	載運相關小型機具與物料	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	136,000 元/台*	136,000*
						總價	2,873,300

F. 可調整鋼軌墊片灌注

表 4-57 日本 AF-55 版式軌道可調整鋼軌墊片灌注主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	改良式輕便台車(軌距 1435)	載運材料與 ARP 灌注器	1 台/次, 1 組	每次灌注時使用	1 台	136,000 元/台*	136,000*
2	ARP 灌注器	灌注 ARP	1 台/次, 1 組	每次灌注時使用	1 台	1,500 元/台*	1,500*
3	注入針及控制閥	插入灌注袋以灌注	2 個/次	每次灌注時使用	2 個	250 元/組*	500*
						總價	138,000

2. 德國 Rheda 2000 版式軌道系統

A. 保護層與冠板(橋樑段)

表 4-58 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段保護層混凝土與冠版主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里 平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	60 噸吊車	1. 吊運鋼筋至橋面板或路工 2. 吊運冠版鋼模至橋面板 3. 吊運雜項至橋面板或路工 4. 吊運廢棄物離開工作地點	1 台/次	每次吊運時使用	7 次	21,000 元/天(租)	147,000*
2	摺負式空壓機	清理	2 台/次	每次澆置前使用	2 台	23,000 元/台*	46,000*
3	混凝土壓送車	1. 保護層混凝土澆置 2. 冠版混凝土澆置	1 台/次	每次澆置時使用	7 次	5,000 元/趟, 外加 90 元/立方公尺 (租)	155,000*
4	混凝土震動機	搗實混凝土	3 台/次	每次澆置時使用	3 台	11,000 元/台*	33,000*
5	混凝土鏟平機	機械鏟平橋樑保護層混凝土	1 台/次	每次澆置時使用	6 次	3,000 元/台*(租)	18,000*
6	手持式破碎機	處理保護層與冠版混凝土之施工界面	4 台/次	每次混凝土澆置完成後	4 台	30,000 元/台*	120,000*
7	固定式柴油發電機	提供相關機具電力使用	1 台/次	每天使用	22 天	4,000 元/天(租)*	88,000*
						總價	607,000

B. 整平層 (隧道段)

表 4-59 德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段整平層層混凝土主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	60 噸吊車	將材料吊運至路工或橋樑上，再以吊卡車運送分配材料	1 台/次	每次吊運時使用	5 次	21,000 元(租)	105,000*
2	混凝土壓送車	路盤混凝土澆置	1 台/次	每次澆置前使用	7 次	5,000 元/趟，外加 90 元/立方公尺(租)	250,460*
3	混凝土震動機	搗實混凝土	3 台/次	每次澆置時使用	3 台	11,000 元/台*	33,000*
4	20 噸吊卡車	1. 將材料分配至施工地點 2. 運棄廢棄物離開工作地點	1 台/次	每次運送時使用	5 次	9,000 元/天(租)	45,000*
5	固定式柴油發電機	提供相關機具電力使用	1 台/次	每天使用	25 天	4,000 元/天(租)*	100,000*
6	切割機	切割 Leveling Layer 之裂縫導引縫	1 台/次	每次澆置隔天使用	7 次	5,000 元/天(租)*	35,000*
						總價	568,460

C. 水力結合層(路工段)

表 4-60 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段水力結合層主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	15 噸傾卸車	載運水力結合層材料	10 台/次	每次填築時使用	16 次	7,100 元/天(租)	113,600*
2	12 噸壓路機	滾壓水力結合層	2 台/次	每次填築時使用	16 次	7,900 元(租)	126,400*
3	10 噸刮路機	刮平水力結合層	1 台/次	每次填築時使用	16 次	7,500 元/天(租)*	120,000*
4	跳動震動機	細部夯實水力結合層	2 台/次	每次填築時使用	16 次	3,500 元/天(租)*	56,000*
5	平板震動機	細部夯實水力結合層	1 台/次	每次填築時使用	16 次	2,500 元/天(租)*	40,000*
6	噴灑器	濕潤水力結合層材料與路基	1 台/次	每次填築時使用	1 台	4,500 元/天*	4500*
7	切割機	切割水力結合層之裂縫導引縫	1 台/次	每次填築隔天使用	16 次	5,000 元/天(租)*	80,000*
						總價	540,500

D. 地樑 (路工與橋樑或隧道之接界處)

表 4-61 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段地樑主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用次數	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	小型破碎機	地樑開挖	1 台/次	每次開挖時使用	1 次	5,000 元/天(租)*	5,000*
2	挖土機	地樑開挖	1 台/次	每次開挖時使用	1 次	6,000 元/天(租)	6,000*
3	傾卸車	運棄開挖廢土	1 台/次	每次開挖時使用	1 次	7,100 元/天(租)	7,100*
4	混凝土壓送車	地樑混凝土澆置	1 台/次	每次澆置時使用	1 次	5000 元/趟，外加 90 元/立方公尺 (租)	6,620*
5	混凝土震動機	搗實混凝土	3 台/次	每次澆置時使用	3 台	11,000 元/台*	33,000*
6	移動式柴油發電機	提供相關機具電力使用	1 台/次	每次澆置時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
						總價	87,720

E. 整平層 (路工與橋樑、隧道接界處)

表 4-62 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段整平層混凝土主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用次數	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	混凝土壓送車	混凝土澆置	1 台/次	每次澆置時使用	1 次	5,000 元/趟	5,000*
2	混凝土震動機	搗實混凝土	4 台/次	每次澆置時使用	4 台	11,000 元/台*	44,000*
3	移動式柴油發電機	提供相關機具電力使用	2 台/次	每次澆置時使用	2 台	30,000 元/台*	60,000*
						總價	109,000

F. 鋼軌分配

表 4-63 德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌分配主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	10 噸 Forklift	拖運鋼軌至工作地點	1 台/次	每次鋼軌分配時使用	6 次	3,500 元/天(租)*	21,000*
2	滾輪	運送鋼軌	180 個/次	每次鋼軌分配時使用	180 個	2,700 元/個*	486,000*
3	800kg 門型架與吊鏈	於鋼軌存放區移動鋼軌	16 台/次	每次移動鋼軌時使用	16 台	25,000 元/個*	400,000*
						總價	907,000

G. 軌枕分配

表 4-64 德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕分配主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	45 噸吊車	將軌枕卸載與吊運至橋面板	1 台/次	每次吊運時使用	5 次	12,600 元/天(租)	63,000*
2	80 噸吊車	將分送軌枕之吊卡車吊至橋面板	1 台/次	吊上橋面與吊下 地面各一次	2 次	27,500 元/天(租)	55,000*
3	20 噸吊卡車	分配軌枕至橋面板或路工臨時存放位置	1 台/次	每次安裝時使用	7 次	9,000 元/天(租)	63,000*
						總價	181,000

H. 彈性隔離膜與承載墊片安裝(橋樑段)

表 4-65 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段彈性隔離膜與承載墊片安裝主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	45 噸吊車	吊運材料至橋面板或路工	1 台/次	每次安裝時使用	1 次	12,600 元/天(租)	12,600*
2	焊接器	焊接 Foil	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	45,000 元/台*	45,000*
3	溫度測量儀	量測焊接器輸出溫度	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000*
4	20 噸吊卡車	運送 Foil & Bearing 至工作地點	1 台/次	運送分配時使用	1 次	9,000 元/天(租)	9,000*
						總價	96,600

I 軌枕鋪設

表 4-66 德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕鋪設主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	20 噸吊卡車	將軌枕於臨時存放位置運送並吊放至軌道位置內	1 台/次	每次安裝時使用	20 次	9,000 元/天(租)	180,000*
2	800kg 門型架與吊鏈	將軌枕於臨時存放位置運送並吊放至軌道位置內	1 台/次	每次移動鋼軌時使用	1 台	25,000 元/個*	25,000*
3	鐵製撬棒	調整軌枕位置	4 支/次	每次安裝時使用	4 支	2,500 元/支*	10,000*
						總價	215,000

J. 鋼軌安裝與軌道整正

表 4-67 德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌安裝與軌道整正主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	800kg 門型吊架與吊鏈	將鋼軌吊放至軌枕上	13 台/次·200 公尺	每次安裝時使用	13 台	25,000 元/組*	325,000
2	軌道用柴油扭力扳手	鎖固螺栓	2 台/次	每次安裝時使用	2 台	150,000 元/台*	300,000
3	手搖式千斤頂	抬升鋼軌與軌枕用	2 台/9 個軌枕間距	每次安裝時使用	80 台	15,000 元/台*	1,200,000
4	鋼軌支撐架	支撐鋼軌與調整軌道垂直與水平線形	1 組/3 個軌枕間距	每次安裝時使用	200 組	28000 元/組*	5,600,000
5	鋼軌側撐桿	固定鋼軌位置	1 支/3 個軌枕間距	每次安裝時使用	200 支	3,000 元/支*	600,000
6	軌距測量儀	調整與量測軌距	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000
7	高低測量儀	調整與量測超高	1 台/次	每次安裝時使用	1 台	30,000 元/台*	30,000
						總價	8,085,000

K. Rheda 2000 道版混凝土

表 4-68 德國 Rheda 2000 版式軌道道版混凝土主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	45 噸吊車	1. 吊送鋼筋至橋面板或路工段 2. 吊送模板至橋面板或路工段 3. 吊送雜項至橋面板或路工段 4. 吊運廢棄物離開工作地點	1 台/次	每次吊運時使用	10 次	12,600 元/天(租)	126,000*
2	20 噸吊卡車	分配鋼筋至工作地點	1 台/次	每次安裝時使用	10 次	9,000 元/天(租)	90,000*
3	揹負式柴油空壓機	清理	2 台/次	每次澆置前使用 清理相關鑽孔	2 台	23,000 元/台*	46,000*
4	混凝土壓送車	路盤混凝土澆置	1 台/次	每次安裝時使用	28 次	5,000 元/趟，外加 90 元/立方公尺 (租)	355,460*
5	混凝土震動機	搗實混凝土	3 台/次	每次澆置時使用	3 台	11,000 元/台*	33,000*
6	水泥鑽機	隧道與路工段鑽設剪力螺栓孔	1 台/次	每次鑽孔時使用	1 台	15,600 元/台*	15,600*
7	固定式柴油發電機	提供相關機具電力使用	1 台/次	每天使用	28 天	4,000 元/天(租)*	112,000*
						橋樑段	762,460
						路工段	778,060
						隧道段	778,060

L. Rheda 軌道調整

表 4-69 德國 Rheda 2000 版式軌道調整主要機具統計表

項次	機具形式	使用目的	使用數量	使用頻率	每完成 1 公里平均 使用數量	單價 (元/單位)	複價 (元)
1	軌道型汽油電動扭力扳手	拆解扣件螺栓	2 台/次	每次調整時使用	2 台	150,000 元/台*	300,000*
2	800kg 門型吊架	局部吊起鋼軌以利抽換相關構件	3 台/次	每次調整時使用	3 台	25000 元/組*	75,000*
						總價	375,000

表 4-70 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道機具成本統計表

項次	軌道系統	
	日本 AF-55 版式軌道 (元/km)	德國 Rheda 2000 版式軌道 (元/km)
1	橋樑段	49,883,630
2	路工段	49,937,230
3	隧道段	49,787,380

經由以上之探討可以發現，日本 AF-55 版式軌道因主要機具費用花費在軌道用之大型施工機具上，而德國 Rheda 2000 版式軌道則主要使用在鋼軌支撐架上。因此由表 4-70 可知在不同土建結構上之機具成本，日本 AF-55 版式軌道完成 1 公里軌道約為德國 Rheda 2000 版式軌道的 4 倍。故德國 Rheda 2000 版式軌道在機具成本上優於日本 AF-55 版式軌道。

4.3.3 設備成本

本章節為探討兩者在施工期間所需要使用到的設備數量，包括施工現場設備與預鑄場設備。日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道系統之設備分述如下：

日本 AF-55 版式軌道系統：

1. 儲存 CA 砂漿組成材料之乳化瀝青儲存槽
2. 預鑄軌道版預鑄廠

德國 Rheda 2000 版式軌道系統：

1. 預鑄軌枕預鑄廠

除附註星號(*)者為假設單價外，其餘單價係以公共工程委員會公共工程價格資料庫第一期(93.09.15)所示之中部區域價格為主。

4.3.3.1 預鑄廠設備

由於預鑄廠設備幾乎都原屬於預鑄廠公司所有，因此在比較兩者之預鑄廠設備時僅以所需之預鑄廠使用面積比較之。

A. 日本 AF-55 版式軌道

1. 預鑄廠設備

表 4-71 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版預鑄廠設備表

項目	設備	數量	說明
鋼筋加工場	2.8 噸吊車	2 台	吊運鋼筋
	鋼筋切割機	2 台	裁切鋼筋
	鋼筋彎曲機	2 台	彎曲鋼筋
鋼筋組裝與儲放場	2.8 噸吊車	2 台	移動組裝完成之鋼筋
	鋼筋組裝台	6 個	組裝鋼筋
每一生產線設備	7.5 噸吊車	2 台	1. 移動混凝土吊桶 2. 移動軌道版
	2m ³ 混凝土吊桶	2 個	澆置混凝土
	預鑄鋼模	22 個/生產線	鋼模型式為 AF-55 4.9 A 與 B
		合計 5 個	其他型式
蒸氣養生	22 組	4 個控制站	
A 生產線	浸水養生	1 池	4 個養生池，每個養生池可容納 29 塊軌道版
B、C 生產線		1 池	4 個養生池，每個養生池可容納 24 塊軌道版

2. 使用面積：

預鑄廠面積：長 108 公尺，寬 40 公尺，面積 4,320 平方公尺（包括 1 條生產線、鋼筋加工場與組裝場，但不包括軌道板儲存場）

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道

1. 預鑄廠設備

表 4-72 德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕預鑄廠設備表

項目	設備	數量	說明			
1. 鋼模清理區	油壓抬升設備	7 台	將鋼模抬起成 45 度，以利鋼模清理與相關構件安裝			
2. 桁型鋼架組裝區				空壓機	1 台	清理鋼模
3. 預埋件組裝區				輸送軌道	1 式	移動鋼模
混凝土澆置區	門型吊車	1 台	移動混凝土澆置機			
	混凝土澆置機	1 個	澆置混凝土			
	輸送軌道	1 式	移動鋼模			
	預鑄鋼模	65 個	每個鋼模可生產 4 個預鑄軌枕			
混凝土養生區	蒸氣養生設備	1 套	可容納 25 個鋼模			
	800kg 門型吊車	1 台	堆疊鋼模			
鋼模拆模區	吊車	1 台	移動鋼模翻轉機			
	鋼模翻轉機	1 台	將鋼模翻轉			
	脫模機	1 台	脫模			
	軌道式電動輸送台車	1 台	輸送已脫模之軌枕至檢查區			
軌枕檢查區	輸送軌道	1 式	移動鋼模			
扣件安裝與打印區	輸送軌道	1 式	移動鋼模			
儲存場	12 噸 Forklift	2 台	運送軌枕至儲存區			
	800kg 門型吊車	1 台	堆疊軌枕			

2. 使用面積：

預鑄廠面積：長 45 公尺，寬 15 公尺，面積 675 平方公尺 (包括 1 條生產線與不包括儲存場)

C. 日本與德國版式軌道綜合比較與分析

日本預鑄軌道版所需使用之預鑄廠面積為德國預鑄軌枕的 6.4 倍，因日本版式軌道每塊面積遠大於德國預鑄軌枕，因此相對地需要較大之預鑄空間。故在預鑄廠設備方面德國版式軌道優於日本版式軌道。

4.3.3.2 工地現場設備

A. 日本 AF-55 版式軌道

1. CA 砂漿材料儲存設備

表 4-73 日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿材料儲存設備表

項次	設備形式	使用目的	規格	數量
1	乳化瀝青儲存槽	儲存乳化瀝青	30 噸	2 槽
2	儲水槽 Water Tank	儲存水	10 噸	1 槽
3	乳化瀝青壓送幫浦	將乳化瀝青壓送至橋面板上之 CA 砂漿設備車上		2 台
4	水幫浦	將水壓送至橋面板上之 CA 砂漿設備車上		1 台
5	輸送管	輸送水管與乳化瀝青輸送管	2 英吋與 3 英吋	2 條
6	輸送管支撐架	支撐與固定輸送管於橋墩與橋面板上		1 式
7	廢棄材料儲存槽	儲存廢棄之 CA 砂漿與合成樹脂	長 2.4 公尺 寬 1.8 公尺 高 1.8 公尺	1 槽
8	柴油固定式發電機	提供相關用電	110V	1 台

2. CA 砂漿儲存設備使用面積

設備面積：長 10 公尺，寬 10 公尺，面積：100 平方公尺/處

B. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之綜合比較與分析

由於德國 Rheda 2000 版式軌道於施工期間無須於現場設置任何儲存設備，因此在現場設備方面德國 Rheda 2000 版式軌道優於日本 AF-55 版式軌道。

4.3.4 人力成本

人力成本包括人力技術與數量；在人力技術方面，探討日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道在主要施工項目中施工前或施工中，施工人員所需接受教育訓練之時數，包括職前集訓與職前訓練兩種；職前集訓係指日本 AF-55 版式軌道上部結構於施工前曾集訓數批施工人員作為種子教官，以作為日後可以在現場帶領普通工進行相關軌道單元之施工。職前訓練則為施工前之教育訓練，包括 CRO 安全訓練與施工前訓練。在人力數量方面，則為探討各主要施工項目所需之人數，並區分為技術工與普通工兩種。

人力費用之計算區分為施工訓練費用與施工人力費用兩大類；其中施工訓練費用以各主要施工項目中各工種所接受之訓練時數乘以每日出工人數，之後再乘以各工種之日薪得之；施工人力費用則以各主要施工項目之施工速率換算完成 1 公里雙向軌道所需天(次)數，再乘以相關工種每日(次)出工人數得出完成 1 公里雙向軌道所需之總人數，最後再乘以相關工種日薪得之。

A. 日本 AF-55 版式軌道

a. 軌道板預鑄廠

表 4-74 日本 AF-55 版式軌道軌道版預鑄廠人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量	
		教育訓練內容	訓練時數	技術工 (日薪 3000 元)	普通工 (日薪 2500 元)
1	鋼筋加工場人員	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋籠組立	4 天	25 人/天，共 3 天	5 人/天，共 3 天
2	軌道板生產線人員	1. 鋼模拆模與清理 2. 鋼筋籠吊裝 3. 預埋件安裝	6 天	15 人/天，共 3 天	60 人/天，共 3 天
3	混凝土澆置人員	1. 混凝土澆置 2. 混凝土蒸氣養生 3. 混凝土浸水養生			
4	軌道板檢查與打印人員	1. 軌道板完成面檢查 2. 軌道板打印			
5	軌道板儲存場人員	1. 軌道板搬運 2. 軌道板儲存	3 天	4 人/天，共 3 天	6 人/天，共 3 天
施工前訓練費用			施工階段費用		
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪	3000 元	2500 元	日薪	3000 元	2500 元
每日人員小計	44 人	71 人	完成 1 公里所需人數	132 人	213 人
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	396,000 元	532,500 元
施工訓練費用小計	0	1,601,000 元	施工人力費用總計	928,500 元/公里	
施工訓練費用總計	1,601,000 元				

b. 路盤、保護層與防動塊

表 4-75 日本 AF-55 版式軌道橋樑段場鑄混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立 4. 排水管安裝	8 人/天， 共 30 天	0
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 填縫板安裝 3. 模板搬運	6 人/天， 共 20 天	0
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 路盤混凝土表面刷毛 3. 混凝土養生	10 人/天， 共 24 天	0
4	打毛工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 路盤混凝土與保護層混凝土界面處理 2. 路盤混凝土與防動塊混凝土界面處理	4 人/天， 共 16 天	0
5	雜工	CRO 安全訓練	2 小	1. 工地整理 2. 填縫膠施做 3. 混凝土養生	0	4 人/天， 共 24 天
6	接地線 焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 接地鋼筋安裝 2. 接地鋼筋焊接	2 人/天， 共 16 天	0
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
人員小計	30 人	4 人	完成 1 公里所需人數	696 人	96 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	2,088,000 元	240,000 元	
施工訓練費用小計	0	25,000 元	施工人力費用總計	2,328,000 元/公里		
施工訓練費用總計	25,000 元					

表 4-76 日本 AF-55 版式軌道路工段場鑄混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立 4. 排水管安裝	8 人/天， 共 20 天	0
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 填縫板安裝 3. 模板搬運	6 人/天， 共 18 天	0
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 路盤混凝土表面刷毛 3. 混凝土養生	10 人/天， 共 16 天	0
4	打毛工	CRO 安全訓練	2 小時	路盤混凝土與防動塊混凝土界面處理	4 人/天， 共 10 天	0
5	雜工	CRO 安全訓練	2 小	1. 工地整理 2. 填縫膠施做 3. 混凝土養生	0	4 人/天， 共 22 天
6	接地線 焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 接地鋼筋安裝 2. 接地鋼筋焊接	2 人/天， 共 8 天	0
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
人員小計	30 人	4 人	完成 1 公里所需人數	484 人	88 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	1,452,000 元	220,000 元	
施工訓練費用小計	0	25,000 元	施工人力費用總計	1,672,000 元/公里		
施工訓練費用總計	25,000 元					

表 4-77 日本 AF-55 版式軌道隧道段場鑄混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立 4. 排水管安裝	8 人/天， 共 18 天	0
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 填縫板安裝 3. 模板搬運	6 人/天， 共 16 天	0
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 路盤混凝土表面刷毛 3. 混凝土養生	10 人/天， 共 16 天	0
4	打毛工	CRO 安全訓練	2 小時	路盤混凝土與防動塊混凝土界面處理	4 人/天， 共 10 天	0
5	雜工	CRO 安全訓練	2 小	1. 工地整理 2. 混凝土養生	0	4 人/天， 共 22 天
6	接地線 焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 接地鋼筋安裝 2. 接地鋼筋焊接	2 人/天， 共 8 天	0
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
人員小計	30 人	4 人	完成 1 公里所需人數	456 人	88 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	1,368,000 元	220,000 元	
施工訓練費用小計	0	25,000 元	施工人力費用總計	1,588,000 元/公里		
施工訓練費用總計	25,000 元					

c. 臨時軌道鋪設

表 4-78 日本 AF-55 版式軌道臨時軌道鋪設人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	現場準備人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 木質軌道基版固定螺栓孔鑽設 2. 鋪設木質軌道基版	2 人/天，共 4 天	10 人/天，共 4 天
		臨時軌鋪設訓練	一般工： 1. 職前集訓 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：15 天 2. 職前訓練：1 天			
2	軌道裝載人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 將鋼軌吊運至鐵製台車上 2. 固定鋼軌於鐵製台車上	2 人/天，共 4 天	7 人/天，共 4 天
		臨時軌鋪設訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：15 天 2. 職前訓練：1 天			
3	軌道運輸車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 駕駛工作火車 2. 指揮工作火車駕駛至指定位置	2 人/天，共 4 天	0
		工作火車駕駛訓練	職前集訓：30 天			
4	軌道鋪設車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 操作軌道鋪設車 2. 將鋼軌由鐵製台車向前輸出鋪設	1 人/天，共 4 天	0
		鋪設車駕駛訓練	職前集訓：15 天			
5	軌道鋪設與固定人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋪設滾輪設置 2. 將鋼軌移動至安裝位置並固定之	4 人/天，共 4 天	14 人/天，共 4 天
		臨時軌鋪設訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓 15 天 2. 職前訓練 1 天			
6	軌道調整人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 調整鋼軌軌距、高程與線形	1 人/天，共 4 天	3 人/天，共 4 天
		臨時軌鋪設訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：15 天 2. 職前訓練：1 天			
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類別	技術工	普通工	工種類別	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
每日人員小計	12 人	34 人	完成 1 公里所需人數	48 人	136 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	144,000 元	340,000 元	
施工訓練費用小計	630,000 元	78,500 元	施工人力費用總計	484,000 元/公里		
施工訓練費用總計	708,500 元					

d. 預鑄軌道板安裝

表 4-79 日本 AF-55 版式軌道預鑄軌道版安裝人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	吊車操作手	CRO 安全訓練	2 小時	1. 將預鑄軌道板由預鑄廠之板車上卸載至儲存場 2. 將預鑄軌道版吊運至橋面板上之鐵製台車上	2 人/天，共 6 天	0
2	吊運指揮人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 指揮吊車操作手卸載預鑄軌道板 2. 指揮吊車操作手將預鑄軌道版吊運至橋面板上之鐵製台車上	0	2 人/天，共 6 天
3	儲存場人員	CRO 安全訓練 軌道版搬運訓練	2 小時 一般工： 職前訓練 4 小時 技術工： 職前訓練：1 天	1. 負責卸載與存放預鑄軌道板 2. 負責裝載預鑄軌道板於鐵製台車上 3. 負責將軌道扣件固定於準備安裝之預鑄軌道板上	2 人/天，共 6 天	9 人/天，共 6 天
4	預鑄軌道版安裝與固定人員	CRO 安全訓練 軌道版安裝訓練	2 小時 一般工： 1. 職前訓練 4 小時 技術工： 1. 職前集訓 36 天 2. 職前訓練：1 天	1. 安裝 CA Mortar 錨定螺栓 2. 放置預鑄軌道板鋪設用墊塊 3. 負責卸載鐵製台車上之預鑄軌道板 4. 負責鋪設預鑄軌道板	4 人/天，共 6 天	8 人/天，共 6 天
5	預鑄軌道板鋪設車操作手	CRO 安全訓練 軌道板鋪設車駕駛訓練	2 小時 一般工： 1. 職前訓練 4 小時 技術工： 1. 職前集訓 36 天 2. 職前訓練：1 天	1. 負責操作預鑄軌道板鋪設車	2 人/天，共 6 天	0
6	預鑄軌道版運送車駕駛	CRO 安全訓練 工作火車駕駛訓練	2 小時 職前集訓：30 天	1. 駕駛工作火車往返儲存場與安裝地點	2 人/天，共 6 天	0
7	預鑄軌道版調整人員	CRO 安全訓練 軌道版安裝訓練	2 小時 一般工： 1. 職前訓練 4 小時 技術工： 1. 職前集訓 36 天 2. 職前訓練：1 天	1. 負責將軌道版調整至設計位置 2. 調整項目包括軌道版高程、線形與至防動塊之間距	2 人/天，共 6 天	4 人/天，共 6 天
			施工前訓練費用		施工階段費用	
工種類別		技術工	普通工	工種類別	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		12 人	25 人	完成 1 公里所需人數	72 人	150 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	216,000 元	375,000 元
施工訓練費用小計		864,000 元	79,625 元	施工人力費用總計	591,000 元/公里	
施工訓練費用總計		943,625 元				

e. CA 砂漿與合成樹脂灌注

表 4-80 日本 AF-55 版式軌道 CA 砂漿與合成樹脂灌注人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	準備工作人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 將 CA Mortar 灌注袋攤平放置於預鑄軌道版下放正確位置 2. 將 Caulking 澆注袋黏貼固定於防動塊與預鑄軌道板上	1 人/天，共 6 天	8 人/天，共 6 天
		CA 砂漿灌注袋安裝訓練	職前訓練 4 小時			
2	CA 砂漿灌注人員	CRO 安全訓練	2 小時	灌注 CA Mortar	2 人/天，共 6 天	5 人/天，共 6 天
		CA 砂漿灌注訓練	職前訓練 4 小時			
3	Caulking 灌注人員	CRO 安全訓練	2 小時	澆注合成樹脂	1 人/天，共 6 天	3 人/天，共 6 天
		Caulking 灌注訓練	職前訓練 4 小時			
4	工作火車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	負責駕駛工作火車拖行 CA 砂漿設備車	2 人/天，共 6 天	0
		工作火車駕駛訓練	職前集訓：30 天			
5	CA 砂漿拌合人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責拌合 CA Mortar 2. 負責操作相關現場材料試驗與試體製作	3 人/天，共 6 天	0
		材料拌合訓練	職前訓練 4 小時			
6	Caulking 拌合人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責拌合合成樹脂 2. 負責操作相關現場材料試驗與試體製作	2 人/天，共 6 天	0
		材料拌合訓練	職前訓練 4 小時			
7	吊車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責操作吊車將材料運送至 CA 砂漿設備車上 2. 負責操作吊車將廢棄物從 CA 砂漿設備車吊運至地面	1 人/天，共 6 天	0
8	吊運人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責將材料吊運至 CA 砂漿設備車 2. 負責操作吊車將廢棄物從 CA 砂漿設備車吊運至地面	2 人/天，共 6 天	6 人/天，共 6 天
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
每日人員小計	14 人	22 人	完成 1 公里所需人數	84 人	132 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	252,000 元	330,000 元	
施工訓練費用小計	180,000 元	57,750 元	施工人力費用總計	582,000 元/公里		
施工訓練費用總計	237,750 元					

f. 鋼軌安裝

表 4-81 日本 AF-55 版式軌道鋼軌安裝人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	軌道安裝人員	CRO 安全訓練	2 小時	負責將軌道由軌距 3000mm 放置於軌距 1435mm 軌道基版上	2 人/天，共 2 天	10 人/天，共 2 天
		軌道安裝訓練	一般工： 1. 職前訓練 1 天 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：1 天			
2	扣件安裝人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責於調整前將部分軌道扣件鎖固 2. 負責於調整後將全部軌道扣件鎖固	4 人/天，共 2 天	12 人/天，共 2 天
		扣件安裝訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：4 小時			
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
每日人員小計	6 人	22 人	完成 1 公里所需人數	12 人	44 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	36,000 元	110,000 元	
施工訓練費用小計	648,000 元	61,500 元	施工人力費用總計	146,000 元/公里		
施工訓練費用總計	709,500 元					

g. 軌道整正

表 4-82 日本 AF-55 版式軌道整正人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	軌道調整組 A	CRO 安全訓練	2 小時	1. 依據防動塊上之測量資料調整止動塊位置處之軌道(基準軌或低軌) 2. 調整項目包括鋼軌高程、軌距	2 人/天，共 6 天	4 人/天，共 6 天
		軌道調整訓練	一般工： 1. 職前訓練 1 天 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：1 天			
2	軌道調整組 B	CRO 安全訓練	2 小時	依據軌道調整組 A 所完成部分，調整兩防動塊間之軌道(基準軌或低軌)	4 人/天，共 6 天	6 人/天，共 6 天
		軌道調整訓練	一般工： 1. 職前訓練 1 天 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：1 天			
3	軌道調整組 C	CRO 安全訓練	2 小時	依據完成之基準軌或低軌，調整另一條鋼軌之相對位置(對照軌或高軌)	2 人/天，共 6 天	4 人/天，共 6 天
		軌道調整訓練	一般工： 1. 職前訓練 1 天 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：1 天			
4	軌道測量組	CRO 安全訓練	2 小時	1. 以 Track Master 量測初步調整完成之軌道 2. 以 Track Master 量測最終調整完成之軌道	2 人/天，共 6 天	6 人/天，共 6 天
		軌道測量訓練	一般工： 1. 職前訓練 4 小時 技術工： 1. 職前集訓：36 天 2. 職前訓練：1 天			
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		10 人	20 人	完成 1 公里所需人數	60	120
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	180,000 元	300,000 元
施工訓練費用小計		1,080,000 元	92,500 元	施工人力費用總計	480,000 元/公里	
施工訓練費用總計		1,172,500 元				

h. 可調整鋼軌墊片灌注

表 4-83 日本 AF-55 版式軌道可調整鋼軌墊片灌注人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	可調整墊片安裝與灌注人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 將可調整墊片灌注袋放置於基版上正確位置 2. 灌注可調整墊片 3. 切除灌注袋入口與出口	6 人/天，共 6 天	16 人/天，共 6 天
		ARP 灌注訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：15 天 2. 職前訓練：1 天			
2	材料拌合人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 拌合可調整墊片灌注材料 2. 操作相關現場試驗與試體製作 QC	1 人/天，共 6 天	2 人/天，共 6 天
		材料拌合訓練	一般工： 1. 職前訓練 2 小時 技術工： 1. 職前集訓：15 天 2. 職前訓練：1 天			
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工	
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元	
每日人員小計	7 人	18 人	完成 1 公里所需人數	42 人	108 人	
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	126,000 元	270,000 元	
施工訓練費用小計	315,000 元	48,750 元	施工人力費用總計	396,000 元/公里		
施工訓練費用總計	363,750 元					

B. 德國 Rheda 2000 版式軌道

德國 Rheda 2000 版式軌道並無日本 AF-55 版式軌道在施工前進行軌道施工集訓，僅在每天施工前做施工說明。但是德國 Rheda 2000 版式軌道於橋樑段與路工段有施做施工示範，包括水力結合層與 Rheda 道版混凝土(包括保護層混凝土、冠版、彈性隔離膜與承載墊片安裝、軌枕鋪設、鋼軌安裝與整正、道版混凝土澆置與軌道調整等施工項目)，因此可將此施工示範作為德國 Rheda 2000 版式軌道之職前集訓。

a. Rheda 2000 軌枕預鑄廠

表 4-84 德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕預鑄廠人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量(每班人數)	
		教育訓練內容	訓練時數	技術工	普通工
1	軌枕生產線人員	1. 鋼模清理 2. 預埋件安裝 3. 桁架安裝 4. 拆模	1 天	4 人/天， 共 3 天	10 人/天， 共 3 天
2	混凝土澆置人員	1. 混凝土澆置 2. 混凝土蒸氣養生	1 天		
3	軌枕混凝土澆置完成後作業人員	1. 軌枕完成面檢查 2. 鋼軌扣件安裝 3. 軌枕打印	4 小時	2 人/天， 共 3 天	4 人/天， 共 3 天
4	軌枕儲存場人員	1. 軌枕搬運 2. 軌枕儲存	4 小時	1 人/天， 共 3 天	2 人/天， 共 3 天
施工前訓練費用			施工階段費用		
工種類型	技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪	3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計	7 人	16 人	完成 1 公里所需人數	21 人	48 人
訓練分類	職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	63,000 元	120,000 元
施工訓練費用小計	0	49,000 元	施工人力費用總計	183,000 元	
施工訓練費用總計	49,000 元				

b. 橋樑—保護層與冠板

表 4-85 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑段保護層與冠版混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立	12 人/次， 共 12 次	0
		示範軌道施作訓練	2 天			
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 模板搬運	4 人/次， 共 11 次	0
		示範軌道施作訓練	2 天			
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 保護層混凝土表面機械鏟平 3. 混凝土養生	12 人/次， 共 11 次	0
		示範軌道施作訓練	1 天			
4	打毛工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 保護層混凝土與冠版界面處理	0	6 人/次， 共 6 次
		示範軌道施作訓練	2 天			
5	雜工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 工地整理 2. 負責保護層與冠版界面上於混凝土澆置前塗佈接著劑 3. 混凝土養生	0	3 人/次， 共 18 次
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		28 人	9 人	完成 1 公里所需人數	320 人	90 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	960,000 元	225,000 元
施工訓練費用小計		132,000 元	56,625 元	施工人力費用總計	1,185,000 元	
施工訓練費用總計		188,625 元		元		

c. 隧道—整平層混凝土

表 4-86 德國 Rheda 2000 版式軌道隧道段整平層混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量			
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工	
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立 4. 排水管安裝	12 人/次， 共 12 次	0	
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 模板搬運	6 人/次， 共 10 次	0	
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 混凝土養生	12 人/次， 共 10 次	0	
4	切割工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 每 5 公尺切割裂縫導引縫	2 人/次， 共 10 次	0	
5	雜工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 工地整理 2. 混凝土養生	0	3 人/次，共 17 次	
施工前訓練費用				施工階段費用			
工種類型		技術工	普通工	工種類型		技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪		3,000 元	2,500 元
每日人員小計		32 人	3 人	完成 1 公里所需人數		344 人	51 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計		1,032,000 元	127,500 元
施工訓練費用小計		0	25,875 元	施工人力費用總計		1,159,500 元/公里	
施工訓練費用總計		25,875 元					

d. 路工—水力結合層

表 4-87 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段水力結合層人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責組立與拆除模板	6 人/天， 共 14 天	0
		示範軌道施作訓練	15 天			
2	傾卸車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	2. 負責載運水力結合層材料	12 人/天， 共 14 天	0
3	壓路機駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責滾壓夯實水力結合層材料	2 人/天， 共 14 天	0
		示範軌道施作訓練	15 天			
4	刮路機駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責刮平剛卸載之材料	1 人/天， 共 14 天	0
		示範軌道施作訓練	15 天	2. 負責刮除與處理前一天所完成之尾端		
5	震動機操作人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責夯實水力結合層材料	2 人/天， 共 14 天	4 人/天， 共 14 天
		示範軌道施作訓練	15 天			
6	整平人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責細部刮平水力結合層材料	2 人/天， 共 14 天	4 人/天， 共 14 天
		示範軌道施作訓練	15 天			
7	灑水人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責灑水於路基面上	0	1 人/天， 共 14 天
		示範軌道施作訓練	15 天	2. 負責灑水水力結合層材料上 3. 負責灑水於壓路基滾輪上		
8	接地線焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責焊接埋至於水力結合層內之接地線	1 人/天， 共 14 天	0
9	切割工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責在水力結合層面上每 5 公尺切割混凝土開列導引縫	2 人/天， 共 14 天	0
		示範軌道施作訓練	2 天			
10	養生工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責水力結合層養生工作	0	3 人/天， 共 14 天
		示範軌道施作訓練	2 天			
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		28 人	14 人	完成 1 公里所需人數	392 人	196 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	1,176,000 元	490,000 元
施工訓練費用小計		859,500 元	29,750 元	施工人力費用總計	1,666,000 元/公里	
施工訓練費用總計		889,250 元				

e. 路工段—整平層混凝土(路工段與橋樑或隧道銜接處)

表 4-88 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段整平層混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立	4 人/次， 共 2 次	0
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 模板搬運	2 人/次， 共 1 次	0
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 混凝土養生	6 人/次， 共 1 次	0
4	雜工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 工地整理 2. 混凝土養生	0	2 人/次， 共 1 次
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類別		技術工	普通工	工種類別	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		12 人	2 人	完成 1 公里所需人數	16 人	2 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	48,000 元	5,000 元
施工訓練費用小計		0	10,250 元	施工人力費用總計	53,000 元	
施工訓練費用總計		10,250 元				

f. 路工段—地樑混凝土(路工段與橋樑或隧道銜接處)

表 4-89 德國 Rheda 2000 版式軌道路工段地樑混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立	3 人/次， 共 1 次	0
2	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 混凝土養生	3 人/次， 共 1 次	0
3	雜工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 工地整理 2. 混凝土養生	0	1 人/次， 共 1 次
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類別		技術工	普通工	工種類別	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		6 人	1 人	完成 1 公里所需人數	6 人	1 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	18,000 元	2,500 元
施工訓練費用小計		0	5,125 元	施工人力費用總計	20,500 元	
施工訓練費用總計		5,125 元				

g. 彈性隔離膜與承載墊片安裝

表 4-90 德國 Rheda 2000 版式軌道橋樑彈性隔離膜與承載墊片安裝人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	彈性隔離膜鋪設工	CRO 安全訓練	2 小時	負責於保護層混凝土面上鋪設彈性隔離膜	0	2 人/天，共 18 天
		示範軌道施作訓練	1 天			
2	彈性隔離膜焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	負責焊接相搭接之彈性隔離膜	2 人/天，共 18 天	0
		示範軌道施作訓練	1 天			
3	彈性承載墊片安裝工	CRO 安全訓練	2 小時	負責於冠版側面安裝彈性承載墊片	2 人/天，共 18 天	2 人/天，共 18 天
		示範軌道施作訓練	1 天			
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		4 人	4 人	完成 1 公里所需人數	72 人	72 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	216,000 元	180,000 元
施工訓練費用小計		22,000 元	5,500 元	施工人力費用總計	396,000 元/公里	
施工訓練費用總計		27,500 元				

h. Rheda 2000 預鑄軌枕分配

表 4-91 德國 Rheda 2000 版式軌道預鑄軌枕分配人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
3	吊車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責操作吊車將軌枕卸載於運送板車 2. 負責將吊卡車吊至橋面板上 3. 負責將軌枕吊送至吊卡車上	1 人/天，共 14 天	0
4	儲存場人員	CRO 安全訓練	2 小時	負責卸載軌枕至儲存區	2 人/天，共 14 天	8 人/天，共 14 天
5	軌枕分配工	CRO 安全訓練	2 小時	負責分配軌枕至暫存位置	1 人/天，共 14 天	6 人/天，共 14 天
6	吊卡車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	負責駕駛及操作吊卡車將軌枕放置於暫存位置	1 人/天，共 14 天	0
施工前訓練費用			施工階段費用			
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		5 人	14 人	完成 1 公里所需人數	70 人	196 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	210,000 元	490,000 元
施工訓練費用小計		0	12,500 元	施工人力費用總計	700,000 元	
施工訓練費用總計		12,500 元				

i. 鋼軌分配

表 4-92 德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌分配人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	堆高機駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	負責駕駛 Forklift 分配鋼軌至指定暫存位置	1 人/天，共 5 天	0
2	軌道運送工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責放置滾輪 2. 負責分配鋼軌至指定暫存位置	2 人/天，共 5 天	18 人/天，共 5 天
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		3 人	18 人	完成 1 公里所需人數	15 人	90 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	45,000 元	225,000 元
施工訓練費用小計		0	13,500 元	施工人力費用總計	270,000 元/公里	
施工訓練費用總計		13,500 元				

j. Rheda 2000 預鑄軌枕鋪設

表 4-93 德國 Rheda 2000 版式軌道軌枕鋪設人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	吊卡車駕駛	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責將軌枕吊放於軌道指定位置	1 人/天，共 20 天	0
		示範軌道施作訓練	2 天			
2	軌枕與鋼軌安裝工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責調整軌枕位置至容許誤差 1 公分位置內 2. 負責將鋼軌放置於軌枕上 3. 負責於測量調整完成後將扣件鎖固於正確位置	2 人/天，共 20 天	8 人/天，共 20 天
		示範軌道施作訓練	2 天			
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		3 人	8 人	完成 1 公里所需人數	60 人	160 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	180,000 元	400,000 元
施工訓練費用小計		58,000 元	7,250 元	施工人力費用總計	580,000 元/公里	
施工訓練費用總計		65,250 元				

k. Rheda 鋼軌安裝與軌道整正

表 4-94 德國 Rheda 2000 版式軌道鋼軌安裝與軌道整正人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	軌道測量與調整人員	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責調整軌枕至準確位置 2. 負責將鋼軌調整至設計誤差容許範圍內	1 人/天，共 40 天	4 人/天，共 40 天
		示範軌道施作訓練	2 天			
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		1 人	12 人	完成 1 公里所需人數	40 人	160 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	120,000 元	400,000 元
施工訓練費用小計		26,000 元	3,250 元	施工人力費用總計	520,000 元/公里	
施工訓練費用總計		29,250 元				

l. Rheda 道版混凝土

表 4-95 德國 Rheda 2000 版式軌道道版混凝土人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量		
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工
1	鋼筋工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 鋼筋加工 2. 鋼筋搬運 3. 鋼筋組立	8 人/次，共 28 次	0
		示範軌道施作訓練	3 天			
2	模板工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 模板組立與拆模 2. 填縫板安裝 3. 模板搬運	8 人/次，共 14 次	0
		示範軌道施作訓練	2 天			
3	混凝土工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 混凝土澆置 2. 負責鋼軌及扣件保護措施安裝 3. 混凝土養生	8 人/次，共 28 次	12 人/次，共 28 次
		示範軌道施作訓練	1 天			
4	雜工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責混凝土澆置後鋼軌、扣件及軌枕清理 2. 負責鋼軌支撐移除 3. 負責混凝土初凝後將扣件鬆脫	2 人/次，共 28 次	8 人/次，共 28 次
5	接地線焊接工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 接地鋼筋安裝 2. 接地鋼筋焊接	2 人/次，共 28 次	0
施工前訓練費用				施工階段費用		
工種類型		技術工	普通工	工種類型	技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪	3,000 元	2,500 元
每日人員小計		28 人	20 人	完成 1 公里所需人數	672 人	560 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計	2,016,000 元	1,400,000 元
施工訓練費用小計		174,000 元	33,500 元	施工人力費用總計	3,416,000 元/公里	
施工訓練費用總計		207,500 元				

m. Rheda 軌道調整

表 4-96 德國 Rheda 2000 版式軌道調整人力成本統計表

項次	工種名稱	人力技術		人力數量			
		教育訓練內容	訓練時數	工作內容	技術工	普通工	
1	軌道調整工	CRO 安全訓練	2 小時	1. 負責將需調整範圍內之扣件鬆脫與鎖固 2. 負責依據測量資料置換相關構件	1 人/天， 共 10 天	4 人/天， 共 10 天	
		示範軌道施作訓練	2 天				
2	軌道測量人員	CRO 安全訓練	2 小時	負責量測軌道並將需調整資訊標示於需調整鋼軌之軌枕位置上	1 人/天， 共 10 天	2 人/天， 共 10 天	
		示範軌道施作訓練	2 天				
施工前訓練費用			施工階段費用				
工種類別		技術工	普通工	工種類別		技術工	普通工
日薪		3,000 元	2,500 元	日薪		3,000 元	2,500 元
每日人員小計		2 人	6 人	完成 1 公里所需人數		20 人	60 人
訓練分類		職前集訓	職前訓練	施工人力費用小計		60,000 元	150,000 元
施工訓練費用小計		42,000 元	5,250 元	施工人力費用總計		210,000 元/公里	
施工訓練費用總計		47,250 元					

C. 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道之比較分析與探討

日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道在完成 1 公里雙向軌道所需之人力與費用列表如表 4-97

表 4-97 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道人力成本統計表

軌道系統 土建結構 成本項目	日本 AF-55 版式軌道			德國 Rheda 2000 版式軌道		
	橋樑 (單位/km)	路工 (單位/km)	隧道 (單位/km)	橋樑 (單位/km)	路工 (單位/km)	隧道 (單位/km)
技術工人數	1,146 人	934 人	906 人	1,290 人	1,312 人	1,242 人
普通工人數	911 人	903 人	903 人	837 人	1,473 人	1,325 人
施工人力費	5,935,500 元	5,499,500 元	5,761,625 元	7,460,000 元	7,618,500 元	7,038,500 元
施工訓練費用	5,761,625 元	5,761,625 元	1,811,625 元	640,375 元	1,328,875 元	450,125 元
人力總計費用	11,699,182 元	11,262,962 元	7,575,059 元	8,102,502 元	8,950,160 元	7,491,192 元

由表 4-97 所知，在施工人力費用方面，因德國 Rheda 2000 版式軌道幾乎都是與鋼筋混凝土相關之作業，而日本 AF-55 版式軌道除路盤混凝土外其他作業主要使用大型軌道用機具施工，因此德國 Rheda 2000 版式軌道會相對使用較多之人力。但是在施工訓練費用方面，因日本 AF-55 版式軌道施工技術性較高，許多軌道作業均需要於職前接受相當時數之訓練，因此需要花費較多施工訓練費用。

綜合施工人力與施工訓練兩項費用，在日本版式軌道所花費之人力成本高於德

國版式軌道。但是以長期施工來看，因日本 AF-55 版式軌道所使用之施工人數少於德國 Rheda 2000 版式軌道，因此日本 AF-55 版式軌道之人力成本還是會低於德國 Rheda 2000 版式軌道。

表 4-98 日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工成本統計表

軌道系統 成本項目 土建結構	日本 AF-55 版式軌道			德國 Rheda 2000 版式軌道		
	橋樑 (元/km)	路工 (元/km)	隧道 (元/km)	橋樑 (元/km)	路工 (元/km)	隧道 (元/km)
材料	46,188,440	49,226,350	44,894,600	51,687,300	36,866,580	37,219,312
機具	49,883,630	49,937,230	49,787,380	11,244,660	11,262,680	11,093,920
人力	11,699,182	11,262,962	7,575,059	8,102,502	8,950,160	7,491,192
合計	107,771,252	110,426,542	102,257,039	71,034,462	57,079,420	55,804,424

綜合材料、機具與人力成本(如表 4-98)可以發現，日本 AF-55 版式軌道之施工成本不論在橋樑、路工或隧道段均高於德國 Rheda 2000 版式軌道；其中主要原因係日本 AF-55 版式軌道使用之機具與人員訓練費用高，尤其是機具成本；大型軌道用施工機具成本高。

但是在完成 1 公里軌道後，扣除人力成本中之施工訓練費用與機具購買成本之後可以發現，在橋樑段於完成 6 公里後，日本 AF-55 版式軌道之施工成本開始低於德國 Rheda 2000 版式軌道。但是在其他土建結構(路工與隧道段)上，則因為日本 AF-55 版式軌道之材料成本依然遠高於德國 Rheda 2000 版式軌道，因此日本 AF-55 版式軌道之施工成本還是高於德國 Rheda 2000 版式軌道。

五、結論與建議

5.1 結論

本論文經由專家訪談與資料整理，分別對日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工過程做探討，依探討項目—施工進度、施工品質與施工成本可以歸納出以下幾點結論：

5.1.1 施工進度

1. 在預鑄工率方面，因日本 AF-55 預鑄軌道版相較於德國 Rheda 2000 預鑄軌枕製作程序複雜、預埋件數多與體積大，同時在一個大約相同體積之鋼模，日本 AF-55 版式軌道僅可生產 1 塊軌道版，而德國 Rheda 2000 版式軌道可生產 4 個軌枕，因此預鑄工率以德國 Rheda 2000 預鑄軌枕為優。
2. 現場施工速率方面，下部結構部份因德國 Rheda 2000 版式軌道其下部結構組成相較於日本 AF-55 版式軌道皆較為簡單且容易施作，因此在軌道下部結構之施工速率上以德國 Rheda 2000 版式軌道為優。在上部結構部份，因日本 AF-55 版式軌道上部結構組成之軌道單元施工速率皆很快，同時運用軌道運輸可使每次載運量大進而獲得較快之施工速率。而德國 Rheda 2000 版式軌道其上部結構依然為場鑄之混凝土結構，施工速率相對地會慢很多。因此在上部結構之施工速率以日本 AF-55 版式軌道為優。綜合上部與下部軌道結構施工速率，因軌道之完成主要取決於上部軌道結構之施工，因此德國 Rheda 2000 軌道之下部結構施工速率雖遠高於日本 AF-55 版式軌道，但是卻因上部結構之施工速率而延遲。因此整體軌道之施工速率以日本 AF-55 版式軌道為優。
3. 影響施工進度因素方面，日本 AF-55 版式軌道相較於德國 Rheda 2000 版式軌道其施工限制較多、施工相容性較差、材料運輸難度較高與軌道調整較難。因此影響日本 AF-55 版式軌道施工進度之程度較大，但是其以較佳之施工速率來彌補之。

5.1.2 施工品質

1. 在預鑄品質管制方面，日本 AF-55 預鑄軌道版雖製作流程複雜且相關成品檢查項目繁多，但卻也因為對每一步驟之施工項目嚴格品質管控與預鑄場地佈置得宜而獲得較低之不合格率。相對地，德國 Rheda 2000 預鑄軌枕雖製作容易但卻因為預鑄流程與場地佈置等原因導致有較高之不合格率。
2. 由於日本 AF-55 版式軌道之組成單元數量多且施工技術性高，其每一項施工單元之施工品質如果沒有掌控好，容易造成累積誤差而影響整體軌道施工品質。

相對地，德國 Rheda 2000 版式軌道其軌道組成單元少且技術性低，品質關鍵在於道版混凝土澆置前之軌道整正，因此不會有累積誤差之情形發生。

3. 整體而言，日本 AF-55 版式軌道施工困難且一旦發生關鍵品質缺失時其對進度與成本之影響程度均高於德國 Rheda 2000 版式軌道。而德國 Rheda 2000 版式軌道大部分之組成單元施工簡易，除橋樑段鋼筋組立較為複雜外，其他只要能夠管控好鋼軌整正之施工品質，基本上發生關鍵品質缺失時之影響程度皆不大。因此德國 Rheda 2000 版式軌道之品質掌控度是優於日本 AF-55 版式軌道。

5.1.3 施工成本

1. 施工材料部份，鋼筋、模板與混凝土數量，德國 Rheda 2000 版式軌道之數量幾乎都大於日本 AF-55 版式軌道。但在特殊軌道材料上，因德國 Rheda 2000 版式軌道之特殊軌道材料除鋼軌扣件外只應用在橋樑結構上，而日本 AF-55 版式軌道之特殊軌道材料應用在所有土建結構上，加上其單價相當高。因此除橋樑段外，整體軌道施工材料方面日本 AF-55 均大於德國 Rheda 2000 版式軌道。
2. 施工機具方面，因日本 AF-55 版式軌道主要施工項目均會使用大型之軌道用機具車輛，因此需要花費相當多之機具費用。而德國 Rheda 2000 版式軌道除鋼軌支撐架因購置於國外而導致成本較高外，其餘之施工機具幾乎都與一般鋼筋混凝土工程所使用之機具雷同。因此在施工機具成本上德國 Rheda 2000 版式軌道所花費費用低於日本 AF-55 版式軌道。
3. 施工設備方面，因日本 AF-55 版式軌道之預鑄軌道版體積大，且需製作鋼筋籠，因此相對需要相當之預鑄廠面積。德國 Rheda 2000 版式軌道之預鑄軌枕因體積小且組成零件少，因此僅使用日本 AF-55 版式軌道預鑄廠之約 1/6 的面積。另外因為德國 Rheda 2000 版式軌道於施工現場不需設置材料儲存設備。因此德國 Rheda 2000 版式軌道在設備成本上遠低於日本 AF-55 版式軌道。
4. 施工人力方面，日本 AF-55 版式軌道因施工技術高，故需要相當多時數之職前訓練，但是因為其使用大型機具進行軌道施工，所以施工人數相對可以減少。德國 Rheda 2000 版式軌道因為施工技術性低，多數施工項目為鋼筋混凝土相關作業，所以需要相當多之人力以進行作業。就短期施工而言，日本 AF-55 版式軌對相對於德國 Rheda 2000 版式軌道需要花費較多之人力費用。但是長期而言，因為日本 AF-55 版式軌道之所以人力費用高主要是因為施工前期所花費之職前施工訓練較多，且施工人數少於德國 Rheda 2000 版式軌道。因此在一段施工期間後，日本 AF-55 版式軌道所需人力費用會相對降低很多且低於德國 Rheda 2000 版式軌道。

5. 整體來說，日本 AF-55 版式軌道之初期施工成本相當高(包括大型施工機具與施工人員訓練成本)，雖然能隨著施工期之增長可逐漸攤提機具與人力成本，但是因為材料成本仍高，所以日本 AF-55 版式軌道之施工成本高於德國 Rheda 2000 版式軌道。

綜合施工進度、施工品質與施工成本之結論，日本 AF-55 版式軌道施工成本與施工速率高於德國 Rheda 2000 版式軌道，且一旦發生關鍵品質缺失其對進度與成本影響程度亦大於德國 Rheda 2000 版式軌道。

日本 AF-55 版式軌道可以說是一個施工技術性高但因施工方法與使用大型施工機具而使其施工速率高，但是相對的需要花費相當高之施工成本。而德國 Rheda 2000 版式軌道則是一個施工簡易、技術性低但是因為未使用大型施工機具、場鑄數量與施工時間之限制而使施工速率降低，但也因為沒有大型機具之花費與較低單價之施工材料而降低整體施工成本。

5.2 建議

1. 本次所探討之日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道施工速率，因所引用之資料為台灣高速鐵路工程，其中德國 Rheda 2000 版式軌道因只鋪設在車站區，鋪設長度均很短，尤其德國 Rheda 2000 版式軌道主要都分布在橋樑結構上，在路工段與隧道段之長度相對的非常短。因此在分析其施工速率方面可能有失客觀，故在施工速率部分日後可繼續進行相關之探討與分析。
2. 此次對於施工成本之探討，因主要在於比較日本 AF-55 與德國 Rheda 2000 版式軌道完成 1 公里所需之成本，並未做長期之材料、機具與設備成本攤提等深入單價分析與相關工程專利金、鋼軌與道岔成本，僅以非道岔路段所有施工項目之人、機、料等計算其施工成本。因此日後可對軌道施工成本之研究做更深入之單價分析。
3. 以台灣目前的營造環境所適用之版式軌道型式建議如下：
 - a. 以台灣氣候而言，台灣雨季為 5 月~10 月，其中包含梅雨季與颱風，因此在台灣雨季長達 6 個月的情況下，對於場鑄數量較多的德國 Rheda 2000 版式軌道較為不利，因此以台灣氣候為考量下，日本 AF-55 版式軌道較為適合。
 - b. 以台灣地形而言，台灣中北部多屬於丘陵台地，南部則為平原地形；因此中北部大部分之土建結構為路工與隧道，而南部則使用橋樑。而以在橋樑、路工與隧道之施工速率日本 AF-55 版式軌道均優於德國 Rheda 2000 版式軌道之情形下，較適合日本 AF-55 版式軌道。
 - c. 以台灣人力資源而言，台灣目前公共工程之施工人力匱乏且逐漸被外勞取

代，但是台灣施工人員素質較高，因此對於需要高技術性與施工人力需求較少之日本 AF-55 版式軌道而言較為適合。

- d. 以台灣天然資源與材料而言，台灣鋼材原料主要依賴進口，砂石則受限於水土保持的影響開採量逐年限制，但若以進口方式採購將會提高成本，因此對於鋼筋與混凝土需求數量較少之日本 AF-55 版式軌道而言是較為適合的。
- e. 以台灣營造業者而言，擁有足夠資金或大型機具之營造廠數量並不多，因此要承攬大型工程除非多家營造廠聯合承攬，否則在資金與機具上成本上將是一項很大的門檻。因此對於初期施工成本高且大型機具需求大之日本 AF-55 版式軌道似乎較不適用，而德國 Rheda 2000 版式軌道則因為成本支出平均且大型機具需求少，因此在這方面較適合台灣營造業者。
- f. 整體而言，若以與外商聯合承攬方式克服大型機具成本與初期高資金需求，在台灣的營造與地理環境下，以日本 AF-55 版式軌道較為適合。



參考文獻：

1. 陳凱道，版式軌道之力學分析，國立台北科技大學，碩士論文，民國九十一年
2. 陳志偉，以有限元素法分析軌道結構於輪-軌互制作用下之反應，國立成功大學碩士論文，民國九十一年
3. 廖慶隆，軌道工程在台灣，土木水利半月集，第三集，民國九十年
4. 蘇昭旭著，高速鐵路新時代，人人出版股份有限公司，台北，民國九十四年
5. 台灣高速鐵路股份有限公司，網站 <http://www.thsrc.com.tw/main/hsr/faq>
6. 鍾明華，直接固定式無道碴軌道扣件組件（基鈹）規範最佳化之研究，台北科技大學，碩士論文，民國九十年
7. 朱祐賢，鋼軌挫屈分析與疲勞效應研究，國立中興大學，碩士論文，民國九十年
8. 林文雄，「無道碴軌道之規劃設計（二）」，台鐵資料季刊，第三零九期，民國九十一年。
9. 朱思戎，列車與道碴及版式軌道之動力互制行為，國立台灣大學，博士論文，民國八十九年
10. 王其昌、韓啟孟編譯，板式軌道設計與施工，西南交通大學出版社，成都，民國九十一年
11. 李義彪，無道碴軌道型式決策模式之研究（應用價值工程及多屬性決策理論），國立中央大學，碩士論文，民國九十年
12. 陳禹成，污水下水道分支管工程興建模式及其評估模式之研究，國立中央大學，碩士論文，民國九十年
13. 蔡再傳，生態工法之綜合評估—以道路邊坡工程為例，國立高雄第一科技大學，碩士論文，民國九十三年
14. 葉叔鑫，台灣地區最適無道碴軌道型式之研究，國立台北科技大學，碩士論文，民國九十二年
15. 黃國展，評估及優選免開挖翻修工法應用於污水下水道，逢甲大學，碩士論文，民國九十四年
16. 台灣新幹線軌道工事共同企業體，台灣高速鐵路工程 T220 標軌道施工計劃書與品質計劃書，民國 94 年。
17. 台灣新幹線軌道工事共同企業體，台灣高速鐵路工程 T210 與 T220 標品質不合格報告書(NCR)，民國 94 年。

18. Bernhard Lichtberger , Track Compendium (Formation 、 Permanent Way 、 Maintenance 、 Economics) , UK , 2005
19. Coenraad Esveld , Modern Railway Track , Second Edition , Netherland , 2001
20. RAIL.ONE GmbH , Pfleiderer track systems , Products , Brochures RHEDA 2000
http://www.pfleiderer-track.com/fileadmin/pfleiderer_track_systems/dateien/broschueren_pdf/Englisch/rheda_2000_en.pdf



附錄一：論文審查意見表

一、初審審查意見表

審查委員	審查意見	修正情形
余文德 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 僅是比較兩種工法之特性比較，似乎研究重要性較不足。建議研究內容以 General 之版式工法分析，而以此二種工法之比較為案例研究。 2. 以施工性、經濟性、維修性三個 criteria 方向不錯，但建議可以或增加；Ex：以 LCC(生命週期成本)為比較之 criterion。 3. 上述三個主題之研究文獻回顧不足，應增加 Ex：各 criterion 之分析 model 為何？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 經與指導教授討論結果，將直接進行兩軌道系統之比較 2. 經與指導教授討論結果，僅探討軌道施工進度、品質與成本 3. 已依意見增加工法評估之相關文獻
楊智斌 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 題目不清楚，建議修正。 2. 目前之成果的呈現方式不像一般論文，建議修正。 3. 應說明為何挑選三種特性進行分析。 4. 名詞之使用(施工性、經濟性)應更明確。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已依意見修正 2. 已依意見修正 3. 已依意見補述 4. 已依意見修正
王維志 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究問題應更明確。 2. 所列研究範圍太大，應再明確目的。 3. 利用極少數專家來判斷日本、德國系統之優劣是否恰當，應再思考。 4. 應再思考所欲提供之 knowledge 為何？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已依意見修正 2. 已依意見修正 3. 除專家訪談外，另以資料整理結果來評估 4. 已依意見修正與增加論文內容

二、論文口試委員審查意見表

審查委員	審查意見	修正情形
劉福勳 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 論文封面上照片需移除 2. 引用參考文獻之表示方式需要修正 3. 預鑄品質不一定比場鑄品質為佳，因此在品質方面不可以場鑄與預鑄數量比例判定何者之混凝土品質為佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依意見修正 2. 依意見修正如 P4~23 3. 依意見修正如 P110
潘南飛 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在建議部分可增加在台灣環境下適用之軌道型式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依意見補充如 P162
曾仁杰 老師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參考文獻之排序方式以中英文分開依序呈現 2. 對於第四章預鑄品質不合格率方面，內容敘述之邏輯性需修正 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依意見修正如 P164~165 2. 依意見修正如 P93

簡 歷

姓名：蔡坤憲

籍貫：台灣省台北縣

生日：民國 61 年 2 月 19 日

e-mail：tsaitino@gmail.com

學歷：

民國 83 年 6 月於逢甲大學水利工程學系畢業

民國 95 年 11 月於交通大學工學院碩士在職專班營建技術與管理組畢業

證照：



民國 88 年 5 月工地主任

民國 92 年 2 月 CQT 品質技術師

民國 92 年 3 月公共工程品管人員

民國 92 年 7 月勞工安全管理員乙級技術士

經歷：

民國 85 年 6 月 中華工程股份有限公司 工程師

民國 89 年 4 月 日商熊谷組股份有限公司 工程師

民國 90 年 2 月 台灣高速鐵路股份有限公司 副工程師