

出國報告（出國類別：進修）

「應用鐵道事故調查（Applied Rail
Accident Investigation）」課程

服務機關：國家運輸安全調查委員會
姓名職務：林彥亨/鐵道調查組次席調查官
 陳建州/鐵道調查組調查官
 謝昀霖/鐵道調查組副調查官
派赴國家/地區：英國克蘭菲爾德大學
出國期間：民國 112 年 7 月 10 日至 7 月 28 日
報告日期：民國 112 年 10 月 27 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：「應用鐵道事故調查（Applied Rail Accident Investigation）」課程
頁數：34 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會
聯絡人：郭芷桢
電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：林彥亨、陳建州、謝昀霖
服務機關：國家運輸安全調查委員會
單位：鐵路調查組
職稱：次席調查官、調查官、副調查官
電話：(02) 8912-7388

出國類別： 考察 進修 研究 實習 視察 訪問 開會 談判 其他
出國期間：民國 112 年 7 月 10 日至 7 月 28 日
出國地區：英國克蘭菲爾德大學

報告日期：民國 112 年 10 月 27 日
分類號/目
關鍵詞：鐵道、事故調查、出軌、調查方法

內容摘要：

國家運輸安全調查委員會派員至英國克蘭菲爾德大學，參加應用鐵道事故調查（Applied Rail Accident Investigation）課程，學習鐵道事故調查專業技術及知識。學員來自愛爾蘭、紐西蘭、美國、卡達及新加坡等調查單位及營運機構。課程分三大主題，鐵道事故調查技巧、列車出軌及運轉事故調查及事故調查模擬，包含事故調查方法、人為因素、事故調查拍攝技術、事故現場管理、分析方法應用、調查安全管理系統、報告撰寫及改善建議、車輪轉向性基礎理論、輪軌介面、軌道幾何量測、車體適撞性及生還因素、運轉管理調查、輕軌及無人駕駛系統調查、軟體失效，及事故調查模擬與報告撰寫等。

目錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、課程摘要與心得	6
肆、建議.....	31

壹、目的

我國於 107 年發生普悠瑪列車出軌事故造成嚴重傷亡，因此政府決議由飛航安全調查委員會改制成立「國家運輸安全調查委員會（以下簡稱本會）」，調查範圍從航空擴大至水路、鐵道與公路重大事故，並於 108 年 8 月 1 日起開始運作。配合機關改制增加聘用人員，本會延續飛航安全調查委員會時期之基礎，派員參加英國克蘭菲爾德大學所舉辦鐵道事故調查（Applied Rail Accident Investigation）。

本課程目的

- 能將事故嚴重性、危害、地點、時間限制及其他需求納入現場調查計畫
- 能辨識、收集、檢視及分析自不同來源收集到的資訊及證據，如證物、文件及訪談資訊
- 能調查乘客安全及生還因素
- 能撰寫事故報告及提出適切的安全改善建議
- 能管理事故調查之進行

期藉由跨國學習，瞭解國際調查機構現有技術及思維，拓展鐵道調查組同仁視野，並使實務及理論緊密結合，以提升本會的調查能量。

貳、過程

參加人員

本次應用鐵道事故調查訓練課程（Applied Rail Accident Investigation）由班導師 Janos Rozsa 帶領全班 11 名學員進行為期三週之訓練，學員以來自鐵道事故調查機關、監理機關及營運機構。除了本會外，尚有愛爾蘭鐵道事故調查單位（Rail Accident Investigation Unit in Ireland, RAIU）、紐西蘭運輸事故調查委員會（Transport Accident Investigation Commission, TAIC）、美國運輸部下轄的聯邦鐵路局（US Department of Transportation, DOT / Federal Railroad Administration, FRA）、卡達鐵路公司（Qatar Rail）事故調查單位，及新加坡地鐵公司（Smart Trains）等。期間，亦有塞爾維亞運輸事故調查中心（Center for Investigation of Accidents in Transport of the Republic of Serbia）及拉脫維亞事故調查局（Transport Accident and Incident Investigation Bureau Republic of Latvia）派員參與部分課程。課程中有歐盟鐵路局（European Union Agency for Railways）、英國鐵路調查機構（Rail Accident Investigation Branch, RAIB）及英國鐵路網公司（Network Rail）等專家參與課程及實作教學。學員合照如圖 1 至圖 3。



圖 1 學員合影-車輛殘骸檢視課程



圖 2 學員合影-出軌事故調查課程

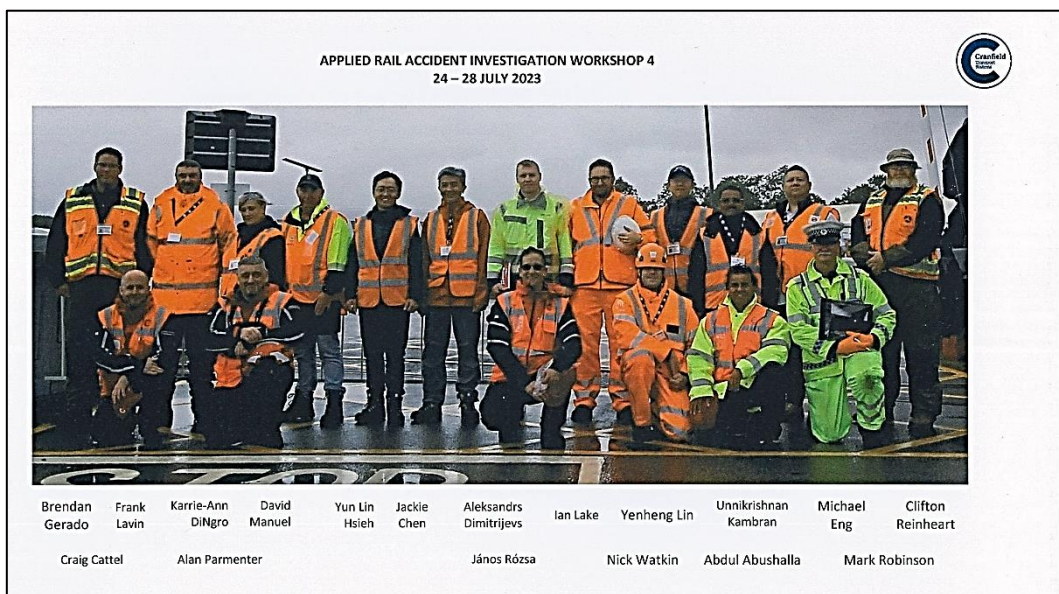


圖 3 學員合影-列車出軌事故模擬課程

課程簡介

應用鐵道調查訓練課程為期三週，包含鐵道事故調查技巧、列車出軌及運轉事故調查、事故調查模擬等三大主題，內容有事故調查方法、人為因素、事故調查拍攝技術、事故現場管理、分析方法應用、調查安全管理系統、報告撰寫及改善建議、車輪轉向性基礎理論、輪軌介面、軌道幾何量測、車體適撞性及生還因素、運轉管

理調查、輕軌及無人駕駛系統調查、軟體失效，及事故調查模擬與報告撰寫。課程表如圖 4 至圖 6。

Applied Rail Accident Investigation Workshop Series				
Workshop 1 – Essential Rail Accident Investigation Skills 10 – 14 July 2023				
Mon 10 July	Tues 11 July *	Wed 12 July	Thurs 13 July	Fri 14 July
0900 Introductions <i>Janos Rozsa</i>	0900 Site investigation phase – management, H&S and evidence <i>Ian Capewell</i>	0900 Interviewing Techniques: the basics (recap) and practical exercises <i>Mark Robinson</i>	0900 Applied Analysis Methods <i>Janos Rozsa</i>	0900 Applied Analysis Methods workshop <i>János Rózsa</i>
1000 Break	Break as required	Break(s) as required	1000 Break	1000 Break
1015 Accident investigation approach <i>János Rózsa</i>			1015 Continues	1015 Continues
1115 Break	1115 Break		1115 Break	1115 Break
1130 Accident investigation workshop <i>János Rózsa</i>	1130 Accident site management and evidence collection exercise <i>Ian Capewell</i> <i>Janos Rozsa</i> <i>John Smith</i> <i>Abdul Abushalla</i>	1230 Lunch	1130 Continues	1130 Continues
1230 Lunch			1230 Lunch	1230 Lunch
1330 Human factors in railway accidents <i>János Rózsa</i>	1230 Lunch & group photo	1330 Managing information and practical exercises <i>Mark Robinson</i>	1330 Investigating Safety Management Systems <i>Fabrizio Cantinelli</i>	1330 Report writing & formulating safety recommendations
1430 Break	1330 Continues	Break(s) as required	Break(s) as required	1430 Break
1445 Continues	Break(s) as required			1445 Continues
1545 Break	1545 Break			1545 Workshop ends
1600 Photography techniques for accident investigation <i>John Smith</i>	1600 Exercise and photography debrief (all)		Workshop debriefing	
1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	

• Sessions will take place at the Accident Investigation Lab, Cranfield University

圖 4 第一週課程表

Applied Rail Accident Investigation Workshop Series				
Workshop 2 – Investigating Derailment Accidents 17 – 19 July 2023				
Workshop 3 – Investigating Railway Operations Accidents 19 – 21 July 2023				
Mon 17 July	Tues 18 July *	Wed 19 July	Thurs 20 July	Fri 21 July
0845 Introduction	0800 Bus to Northampton – Lamport Railway departs from Mitchell Hall	0845 Introduction to Workshop 3 attendees		
0900 Fundamental theory of vehicle steering <i>Mark Burstow</i> <i>(Network Rail)</i>	0930 Track Geometry Measurement – Practical Exercise <i>Network Rail</i>	0900 Investigating Crashworthiness and Survivability <i>Dominique Louis</i>	0900 Railway Operations Investigations – Part I <i>János Rózsa</i>	0900 Investigating Light Rail (Tram) Systems <i>Carl Wilson</i>
1000 Break	Break(s) as required	Break(s) as required	Break(s) as required	1015 Break
1015 Investigating derailment – approach and case studies <i>Nigel Shaw</i>				1030 Driverless Metro Systems <i>Carl Wilson</i>
Break(s) as required				1145 Break
1230 Lunch		1230 Lunch	1230 Lunch	1200 Investigating software failures <i>Richard Brown</i>
1330 Continues	1330 Lunch	1330 Investigating Human Factors in Railway Operations <i>Becky Charles</i>	1330 Railway Operations Investigations – Part II (Workshops) <i>Janos Rozsa</i>	1300 Workshop ends Lunch
1430 Break	1430 Data processing, modelling and analysis <i>Network Rail</i>	Break(s) as required	Break(s) as required	1400 <i>For Workshop 3 attendees only:</i> Accident Investigation Simulation Briefing and Team Planning <i>Janos Rozsa</i> <i>Alan Parmenter</i>
1445 Wheel-rail interface <i>Mark Burstow</i>	Break(s) as required			1500 Ends
1545 Break				
1600 Continues				
1700 Session ends	1700 Session ends Bus to Martell House, Cranfield University	1700 Workshop/Session ends	1700 Session ends	

• Sessions will take place at and around Northampton & Lamport Railway (NN6 8BA)

圖 5 第二週課程表

Applied Rail Accident Investigation Workshop Series				
Workshop 4 – Accident Investigation Simulation Exercise 24 – 28 July 2023				
Mon 24 July*	Tues 25 July	Wed 26 July	Thurs 27 July	Fri 28 July
0800	0900	0900	0900	0900
Accident Investigation Simulation Exercise Field phase (Separate timetable)	Accident Investigation Simulation Exercise	Accident Investigation Simulation Exercise	Accident Investigation Simulation Exercise	Accident Investigation Simulation Exercise
Alan Parmenter Nick Watkin Janos Rozsa John Curran Marcus Taylor	Formal interviews	Analysis/Report Writing Phase – Day 1	Analysis/Report Writing Phase – Day 2	Analysis/Report Writing Phase – Day 3
	Press conferences			
	Analysis/Further Evidence Collection			
	(Separate timetable)	Lunch provided 12.30-13.30	Lunch provided 12.30-13.30	1200 Submission of team accident report Discussion – Safety Recommendations
	MARK ROBISON			1230 Lunch Workshop ends
	Media debrief John Curran			
	1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	
	1900 Dinner – CMDC			

* Sessions will take place at Northampton & Lamport Railway (NN6 8BA)

圖 6 第三週課程表

參、課程摘要與心得

一、第一週（7月10日至7月14日）

本週課程主題為事故調查作業、現場拍攝技巧、人為失誤、訪談及分析方法等。

（一）介紹事故調查

1. 確認與調查案有關之利害關係人（Stakeholders）

- (1) 政府機關：如政治團體、安全調查機構、立法機構、警察機構
- (2) 營運單位、基礎設施提供者
- (3) 製造商
- (4) 維護單位
- (5) 訓練單位
- (6) 其他營運或安全調查單位
- (7) 保險業者
- (8) 新聞媒體
- (9) 緊急醫療提供者
- (10) 相關旅客及大眾
- (11) 第三方團體
- (12) 親人家屬

2. 事故調查思路

講師說明事故調查可從人為失誤及系統失效兩個方向去思考，並分享國際民航組織（ICAO）專家 Dan Maurino 一段話「Human error is symptom of system failure, not the cause.」，表示人為失誤都是系統失效的表徵，而非原因。

3. 由證物引導調查

如果沒有證物，調查報告之內容就僅是假設或個人意見，所有調查的工作均立基於所蒐集的證物，由證物引導調查（Investigation must be evidence led）。

4. 一位優秀調查員所具備的特質

- (1) 開放心胸：保持開放心胸，能接受各種觀點及意見。
- (2) 好奇心：存有一顆好奇心，對相關事跡想進一步瞭解

- (3) 主動尋求協助：遇不瞭解或不清楚的人事物，主動尋求相關協助。
- (4) 社交能力：調查案所遇到的單位相關廣泛，需要良好社交能力與之協調溝通。
- (5) 團隊合作：調查報告內容涉獵甚廣，需要每一位調查員齊心協力方能共同完成。

5. 調查可能遇到的陷阱或偏誤

- (1) 結果偏誤 (Outcome Bias)：基於結果造成的認知偏誤，而忽略調查過程的事件發展，又稱成敗論英雄。例如調查員可能因為結果偏誤，而迫使某人去驗證其他證人提供之類似資料。
- (2) 確認偏誤 (Confirmation Bias)：例如調查員傾向尋找某一項證物來符合某一項觀點，而選擇性忽略其他證物可能與該項觀點矛盾。
- (3) 集群錯覺 (Clustering Illusion)：集群錯覺是一種認知偏誤，係指調查員從各項事跡或案例中，發現某一種的樣態或規則，即使事實上根本不存在。這種錯覺主要是因為人類會傾向從一群資料中，嘗試找某種規則或意義。
- (4) 可利用性捷思法 (Availability Heuristic)：調查員應避免直接使用手邊的資訊或記憶，來判斷某一種情境。例如對大白鯊電影印象深刻，之後聽到該電影的配樂，就下意識認為大白鯊要來了。
- (5) 刻板印象 (Stereotyping)：調查員應避免對特定的人事物，或者它們表現的行為，有預先特定的印象。
- (6) 盲點 (Blind-spot)：調查員可能因為專業或經驗，認為自己沒有偏誤 (Fallacy)，而忽略自己可能陷入上述情境。

6. 模擬演練

講師於課堂上設置一列車正線出軌的模型，如圖 7，由學員分組討論，制定現場調查計畫，並說明重點如下：

- (1) 初步瞭解現場事故狀況
- (2) 人力設備：檢視調查單位現有人力及所需設備（如個人防護設備 Personal Protective Equipment, PPE）。
- (3) 現場規劃

- a. 劃出現場圖，利用天然地理屏障劃分調查區域，並分配合適之調查人力與資源。
 - b. 評估各項資源(如吊車或其他載運車輛)進入事故現場的路徑。
 - c. 評估證物可能分布的區域。
 - d. 規劃證物暫存區、檢傷區、遺體暫放區、人員訪談區及家屬休息區等。
 - e. 規劃媒體專用區，避免影響救援及調查等作業。
- (4) 危害識別及風險分析：確保調查同仁在安全的環境下進行調查。
- (5) 證物蒐集：證物蒐集的順序，如易流失之證據應優先蒐集。



圖 7、事故模擬及現場討論

另於課後請教 RAIB 講師，英國政府面臨重大運輸事故時，RAIB 如何與其他單位協調？講師表示英國政府依法成立跨部會層級指揮救災，區分為金（Gold）、銀（Silver）及銅（Bronze）三個層級，分屬中央、區域及地方（我國政府亦有類似分級規劃）。RAIB 會事先提供現場調查計畫供 Gold 級指揮官參考，以利指揮官決策。所有參與機關單位均使用 JESIP（Joint Emergency Service Interoperability Programme）應用程式，來確保彼此溝通及協調順利，減少干擾，並分享事故現場資訊。

(二) 現場拍攝技巧

現場拍攝是調查作業非常重要的關鍵，照片不僅用於調查報告的呈現，更可藉由照片與相關人員進行交流溝通，俾利於後續分析結論。

1. 拍照目的

- (1) 保存 (Preservation)：用照片記錄現場看過的所有事物，且照片可能是唯一永存的紀錄。
- (2) 重建 (Reconstruction)：因為照片可能被其他單位檢視，所以拍攝的照片應該要具備可被信賴、清楚、明確不含糊之特質。
- (3) 紀錄 (Documentation)：每張照片拍攝的同時，應有相關註記（手寫或電子等方式）。

2. 基本原則

- (1) 真實性 (Veracity)：It is a true and accurate record. 照片是否能表達出所要傳達的內容？
- (2) 出處 (Provenance)：I can demonstrate it. 照片是否能追溯何時、何地及何人拍攝？

3. 建立標準拍攝流程 (SOPs)

基於真實性及出處兩項基本原則，調查單位應該建立一套標準拍攝流程因應各種調查情形。

- (1) 確保每張照片都有正確的拍攝日期與時間。
- (2) 於每張照片以手寫或電子方式標註重要訊息。
- (3) 繪設現場示意圖，用以輔助說明拍攝位置與角度等。
- (4) 建立數位檔案及合適的檔案架構。
- (5) 確保自己照片與紀錄能夠相符。

4. 事故現場拍攝實習

施訓單位安排一事故列車車廂，提供學員實作練習，如圖 8。講師於實作前，要求每位學員務必穿戴安全帽、反光背心、防穿刺高筒靴等安全設備，方可進入車廂拍攝。實作結束由學員上傳照片，並由講師及學員們共同檢視，互相分享其拍攝經驗。摘述如下：

- (1) 先拍攝全景，再逐步限縮至特寫。
- (2) 注意照片中的反光，尤其是紅色設施，在部分狀況下可能會被誤為

血跡。

- (3) 注意照片的曝光、光源是否充足，避免因過暗的照片致遺漏重點。
- (4) 車頂上有多處血跡，要將對照方向及參考物一併拍入，方才容易區分各處位置。
- (5) 善用標記版，區分欲拍攝主體及對應其比例。
- (6) 車廂內拍照，如有座位編號可一併拍入。
- (7) 注意現場遺留物，可能會有相關人名等資訊。
- (8) 逃生裝置（如破窗槌）是否仍還在原來位置。



圖 8 事故現場拍攝實習

(三) 人為失誤之通用模型系統（GEMS）

英國心理學家 James Reason 針對人為失誤導致不安全的行為（Unsafe Acts）提出通用模型系統（Generic Error Model System, GEMS），區分為無意識及有意識行為，如圖 9，分類如下：

- 1. 無意識行為（Unintended Action）：通常係指當事人針對熟悉的工作，因為注意力不集中或記憶缺失，做出非預料中的行為。
 - (1) 疏忽（Slip）：針對簡單、常做的工作，因注意力不集中發生錯誤的實體行為。如調車工實施調車作業時，誤將軔管接至主風缸。
 - (2) 失誤（Lapse）：短期的記憶缺失，以致於遺漏必要的行為。如維修人

員遺漏將螺栓鎖固。

2. 有意識行為 (Intended Action) :

(1) 錯誤 (Mistake) : 係指決策錯誤所致，尤其是當事人認為自己的錯誤行為是正確的。

a. 基於規則發生的錯誤 (Rule-Based Mistake) : 如當事人基於假警報的歷史經驗，而忽略了真實警報。

b. 基於知識發生的錯誤 (Knowledge-Based Mistake) : 如當事人在過期的地圖上規劃不熟悉的路徑。

(2) 違規 (Violation) : 係指蓄意違背相關法規及程序。

a. 習慣下的違規 (Routine) : 司機員習慣離開列車駕駛室時，未啟動停留軔機。

b. 環境下的違規 (Situational) : 因為維修零件新品尚未即時到貨，維修人員僅能使用次級零件進行維修。

c. 特殊狀況下的違規 (Exceptional) : 司機員為了準點而選擇超速。

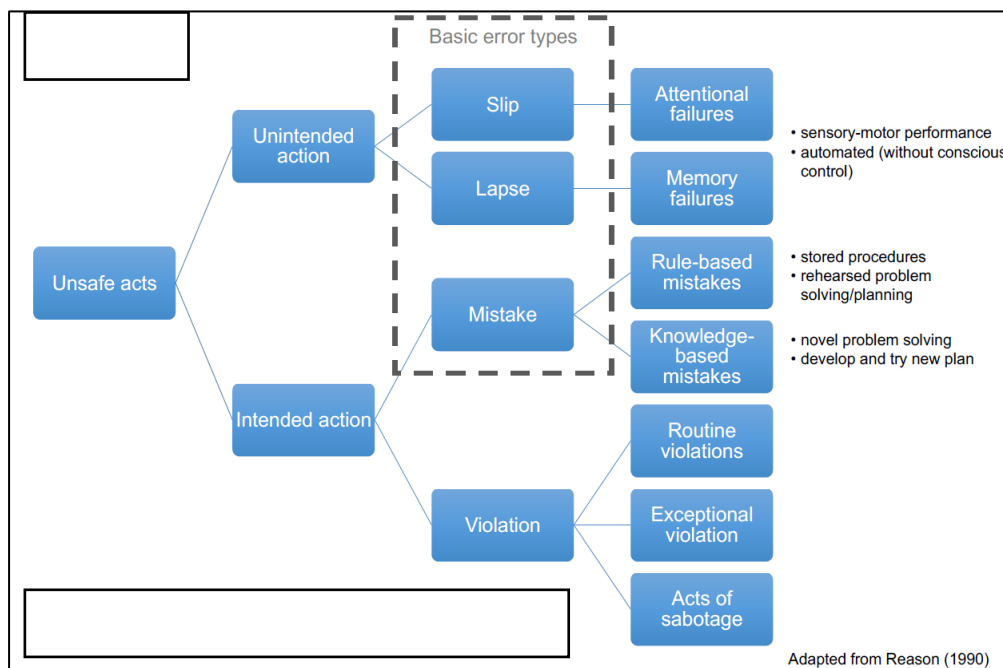


圖 9 人為失誤之通用模型系統 (GEMS)

課堂上講師提供實作練習，由學員區分鐵道營運可能發生的各種人為失誤狀況，並思考可能發生原因及對應策略。然而事實上，使用 GEMS 來辨識

人為失誤的種類，會發現多數人為失誤往往是複合種類甚至難以區分。

(四) 訪談方法

本次訪談方法由 RAIB 資深教師分享該單位常用的方法，主要有 GEMAC (Greeting, Explanation, Mutual Activity, Close) 及 SE3R (Survey, Extract, Read, Review, Respond)，其中 SE3R 不僅可用於訪談，亦可用於報告撰寫與紀錄，說明如下。

1. GEMAC 方法

- (1) 歡迎 Greeting：開場先介紹訪談者的姓名，建立與受訪者之間的關係，例如受訪者進來訪談室後，訪談者站起來與對方握手，重點在於給受訪者的第一印象是要正面積極的。
- (2) 說明 Explaining：說明訪談者的角色身分、組織目標及調查目的，例如避免類此事故再發生，不以處分或追究責任為目的。
- (3) 互動 Mutual Activity：以 Open-ended 問題訪問受訪者，嘗試引出更多問題，且勿打斷受訪者回應。例如 “Tell me what happened?” “Tell me absolutely everything you can remember, even if you think it is travel or irrelevant, if you think, say it.”
 - a. 訪談廣度：訪談者可用告訴、說明或描述 (Tell Explain Describe, TED) 事故經過來作為訪談開頭。
 - b. 訪談深度：接著可用 TED 及 5W1H (What, Why, When, Who, Where, How)，來使訪談更深入。例如 “Tell me more about it.”
 - c. 聚焦特定問題：繼續使用 5W1H 針對某一問題進行更深入的訪問。例如 “What happened next?”。
 - d. 結束特定問題：訪談者可用簡短回應，向受訪者確認是否理解正確。例如 “If I am not correct, please let me know.”
 - e. 總結：訪談者將訪談內容摘要總結。例如 “I just want to bring together what you have told me, to make sure I fully understand.”
- (4) 結束 Closure：感謝受訪者接受訪問並詢問是否還有疑問，重點是留給受訪者是一個正向開放的心態，維持雙方良好的關係。

2. SE3R 方法：是一種分析工具，透過心理、語言來捕獲事故發生的全部細節，內容包含如下。

- (1) Survey：首先針對所掌握的資料進行全面快速閱讀，再分成背景細節（Background detail），如相關當事人、組織、地點環境等，及事件描述細節（Narrative detail）去思考想像，以瞭解全貌。
- (2) Extract：利用閱讀、聆聽觀察等方式將未處理過的細節，記錄於 SE3R sheet。
- (3) Read：仔細閱讀 SE3R sheet，並確認其中細節的準確性。
- (4) Review：分析 SE3R sheet 並規劃行動方案（如訪談計畫 Interview plan 或需求分析 Wants analysis）。
- (5) Respond：視職責所在，如擔任訪談者或報告撰寫者，將上開行動方案付諸實行。
- (6) 如何使用 SE3R sheet

SE3R sheet 格式如圖 10，中間為事件軸（Event Line），下方有 Knowledge Bin，主要是記錄相關人等的基本資料及發生的行為，並將發生行為記錄在事件軸。每個事件需標明時間及地點，並針對每個事件間的空檔，分析是否有不合理或遺漏之處（Unknown point of occurrence）。

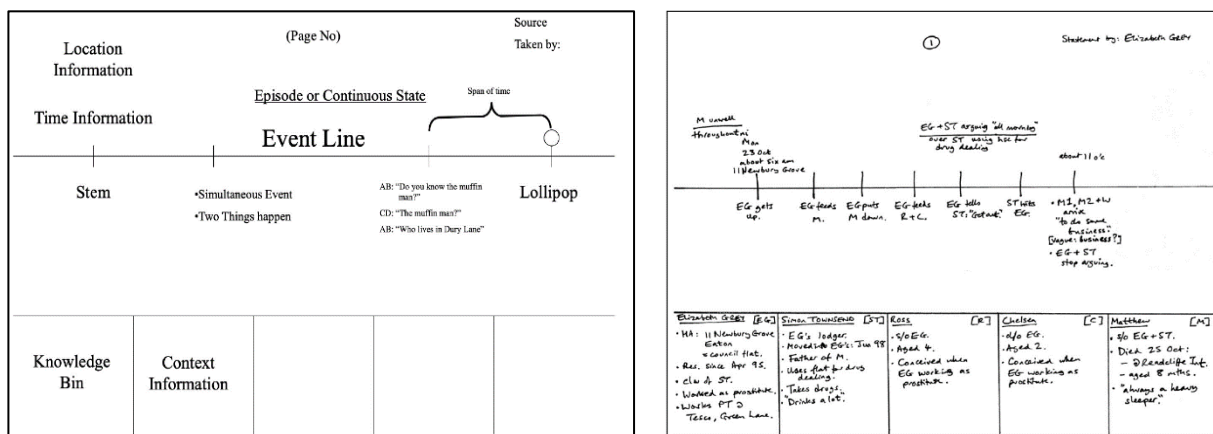


圖 10 SE3R sheet 實作

另於課後再詢問講師，RAIB 公布的調查報告多數相當簡潔，僅為重點分析並提出改善建議。那為何講師說明使用 SE3R sheet 時，還特別要將完全不相關（Irrelevant）的事件也放進來呢？講師說明，SE3R 方法是全面地瞭解細節，不遺漏所掌握的資料，而不會事先假設與事故不相關的事件而未放入，

之後再依調查人員的經驗專業從中去蕪存菁，找出 root cause 據以提出改善建議，方於最後的調查報告呈現。

3. 錯誤記憶

除上開 GEMAC 及 SE3R 方法可用於訪談技巧外，RAIB 講師另提供一份美國心理學家 Elizabeth F. Loftus 的研究資料，主要是說明人類存在的記憶有可能是錯誤，人類無法區分真實或錯誤的記憶。如果當有受訪者自信地述說某件事情，並帶有情感描述事故的發生，同時包含很多細節，此時要額外注意，這不代表受訪者說的全都屬於事實，必須由調查人員來證實，而調查人員需體認到人類的記憶是非常脆弱的。

(五) 分析方法

分析是為瞭解事故原因的本質，而目前的分析分法相當多樣，主要可分為三類。

1. 序列式分析 (Sequential)

係假設事故的發生如同排列好的骨牌，被推倒後一個接一個傾倒，具有一定的線性關係。相關分析方法有魚骨圖、Bow Tie、故障樹及 STEP (Sequentially Timed Event Plotting) 分析法等。

2. 流行性病學式分析 (Epidemiological)

係假設事故的發生就像傳染性疾病，事故發生的原因可能是不安全行為 (Unsafe Acts) 與潛在的風險環境 (Latent Conditions) 共同造成，所以該分析會特別著重人因工程。相關分析方法有瑞士起司理論、HFACS (Human Feature Analysis and Classification System) 及澳洲運輸安全局 (Australian Transport Safety Bureau, ATSB) 使用的 ATSB model 等。

3. 系統式分析 (Systemic)

係假設事故的發生源於系統本質或各系統間的互動所致。相關的分析方法有 STAMP (Systems Theoretic Accident Model and Process) 及 FRAM (Functional Resonance Analysis Method) 等。

4. 複合式分析 (Combined)

另挪威事故調查委員會 (Accident Investigation Board Norway) 亦有綜合上開分析概念所提出之複合式分析方法。

課堂上講師除介紹說明分析方法外，另以 STEP 方法針對 RAIB 曾調查過的平交道事故進行課堂演練，並要求學員區分何者為安全課題（Safety Problem）、何處是弱點（Weaknesses），何處可設置防範措施（Barrier）進行討論，如圖 11 所示。

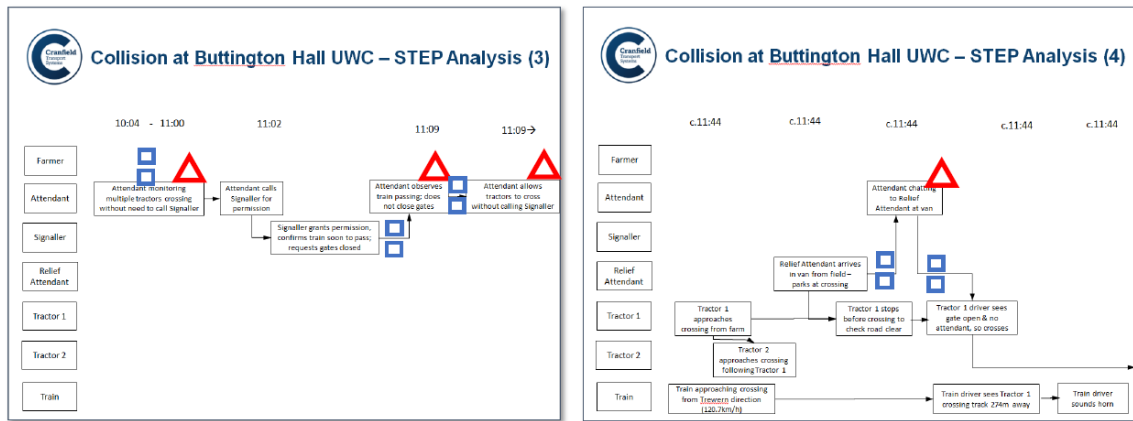


圖 11、STEP 分析實作

二、第二週（7月17日至7月19日）

本週課程主題為列車出軌事故、鐵道運轉事故之案例分享及事故現場調查及量測方式說明。

（一）車輛動態基礎理論

列車出軌的可能組成因素：包含了列車在曲線段運行時，輪軌介面產生較高的橫向作用力，及車輪與鋼軌的急遽磨耗。軌道幾何特徵及軌道不整的特性亦造成了列車在運行過程靜態及動態的不穩定性。

1. 車輛自由度：包含 3 個座標軸向（X, Y, Z）及 3 個轉動方向（Yaw, Roll, Pitch），如圖 12。

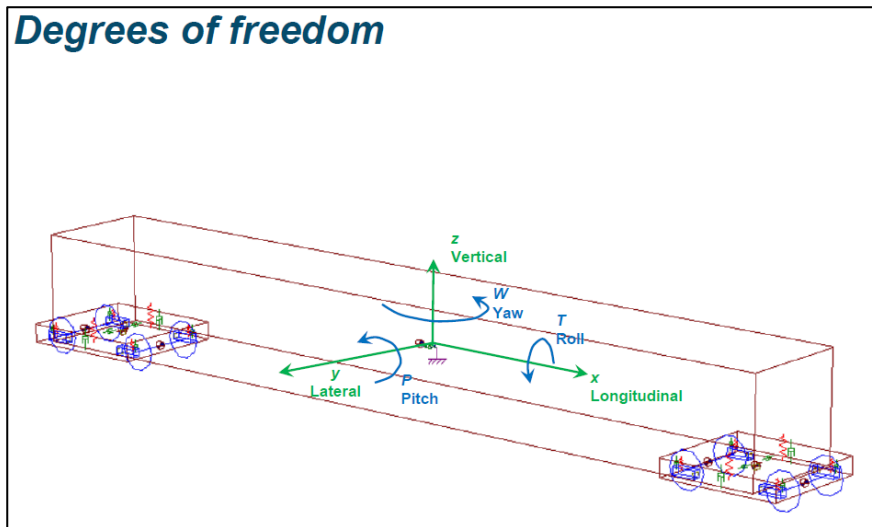


圖 12 車輛自由度

車體動態行為會有上下跳動 (Bounce)、前後起伏 (Pitch) 及滾轉 (Roll) 現象，其中上下跳動及前後起伏常發生在鋼軌接合接頭及焊接處，可藉由目視檢查鋼軌是否有下沉情形進行判斷。

2. 車輛蛇行 (Hunting)：造成列車出軌的可能影響因素包含車輪磨損、低速運行。

(二) 列車出軌調查重點

列車出軌調查可分為現場初步評估、證據保存、測試及檢查、資料處理計算及收集、特別測試、初步訪談、調查報告，及提出改善建議。現場調查主要任務為確認出軌點、識別出軌之車輪組，及還原列車出軌之運行軌跡。

1. 證據收集之建議

應考量現場易流失項目之證據保存性，可利用初步取得之事故資訊及瞭解現場狀態，以掌握應優先保存那些證據及調查人員應確認重點，優先保存受時間影響之證據，舉例如下，

- (1) 因煞車故障造成之車輪溫度或軸溫、煞車壓力
- (2) 出軌處之鋼軌斷裂截面，釐清有無腐蝕因素造成鋼軌持續承受載重造成快速斷裂。
- (3) 目擊者或當事者之記憶，利用初步訪談盡量保存事故發生經過。

(4) 紀錄器資料之取得，利用影像紀錄還原事故前所遭遇之狀態，如車速、環境條件、車輛是否存有故障或告警資訊等。

(5) 應考量如何避免因人員踩踏或移動車輛，造成列車出軌後留在軌道上之證據消失，證據包含鋼軌及道碴上之磨痕、軌道幾何線形、軌道損壞情形、列車最後停止位置，及聯結器、緩衝器等。

2. 檢視證據

由證物顯示的狀態，以實際發生的現象提供調查人員瞭解並支持調查報告分析造成安全危害的論點。

3. 先遣調查前的準備工作

建議可先行調閱並瞭解事故位置之路線特性及現場環境資料，如現場回傳之影像或照片，車輛及軌道損壞情形，及事故發生至今的相關資訊。

4. 現場證據資料

調查人員應以有效率的方式執行現場記錄，詳細記錄軌道的相關證據，包含現場軌道特徵及目視檢查、拍照、軌枕間距、軌道不整、軌距、線形及曲率半徑、出軌列車車輪外觀、懸吊及負載情形等項目。

5. 出軌點的識別

即車輪開始爬上鋼軌踏面的位置。現場調查時標示在鋼軌上的記號，提供調查人員快速識別，如圖 13，在車輪在鋼軌踏面上所產生之磨痕上放置小顆石子，協助調查人員觀察列車出軌時車輪的偏移情形。英國鐵路營運單位有車輪斷面及輪背距離 1：1 治具，如圖 14，調查人員以此進行列車出軌點及車輛出軌路徑之分析及比對。



圖 13 以石頭標示鋼軌上的記號



圖 14 使用治具模擬車輪路徑

此一治具使用方式，未來可評估納入鐵道事故調查作業使用，並可考量國內不同軌距之車輪尺寸，採用伸縮套管及增加固定支架，增加現場作業實用性及調整為不須人員站立拿取，設計概念如圖 15。

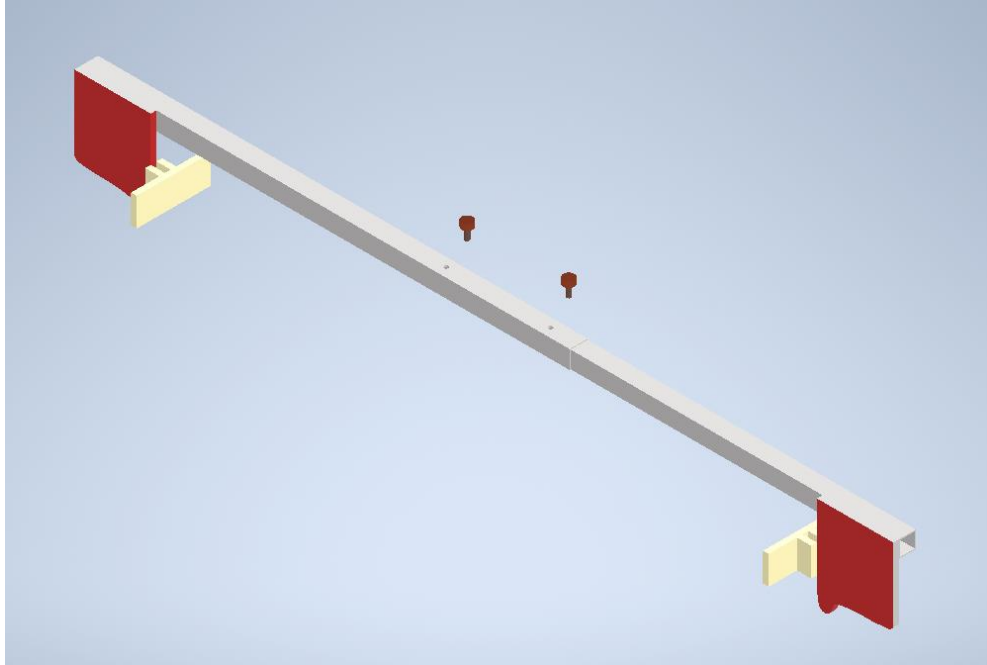


圖 15 輪背距離可變治具概念圖

6. 軌道幾何量測數據

除使用自動化設備如軌道幾何檢測儀，建議再以人工量測一定長度之軌道，以檢核自動化儀器之量測結果。在實際經驗上有發生設備設定正負值與實際軌道相反之現象，故仍需藉由人工量測以驗證其數據之正確性，如圖 16。

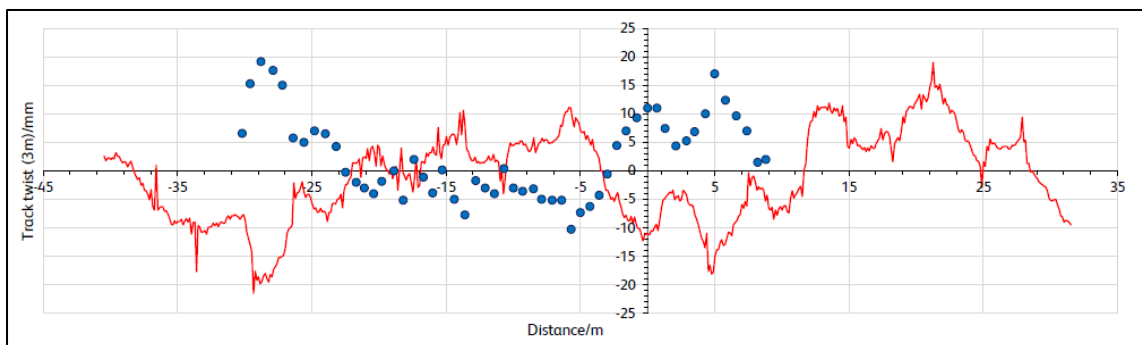


圖 16 人工與儀器量測數據正負值相反

7. 軌道扭曲 (Track Twist)

藉由記錄列車出軌區域每一根枕木軌距及水平數據，以轉向架兩組車輪之軸距作為間隔基準，計算出轉向架在運行在軌道線形不整條件下造成轉向架前後軸之高低變化及單軸水平不一致之情形，進行列車出軌的趨勢分析，如圖 17。亦可以軌道動態沉陷計量測動態沉陷量，如圖 18。

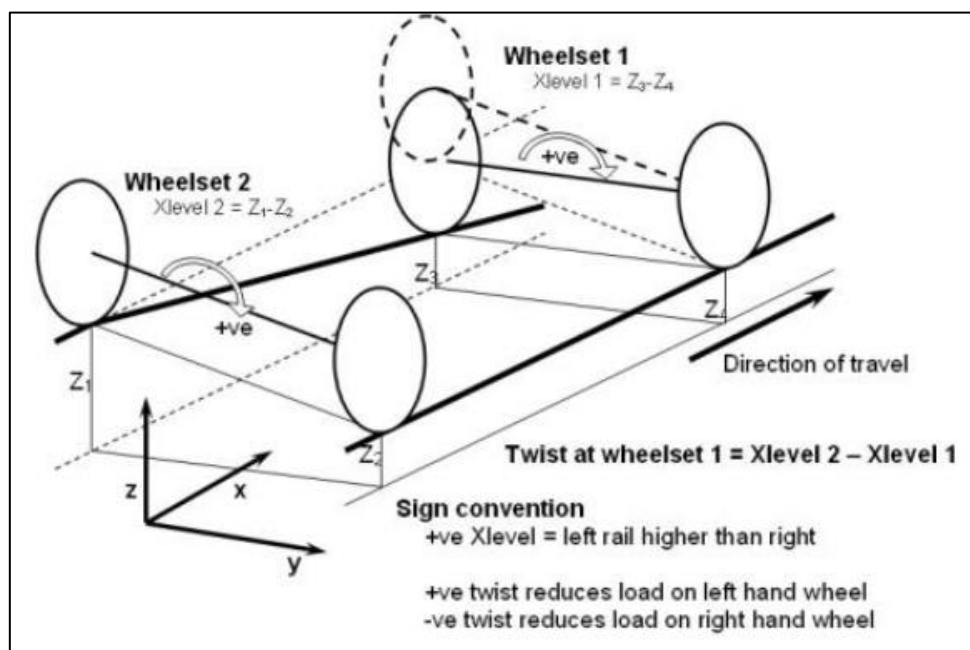


圖 17 軌道扭曲計算



圖 18 軌道動態沉陷計安裝

範例說明：

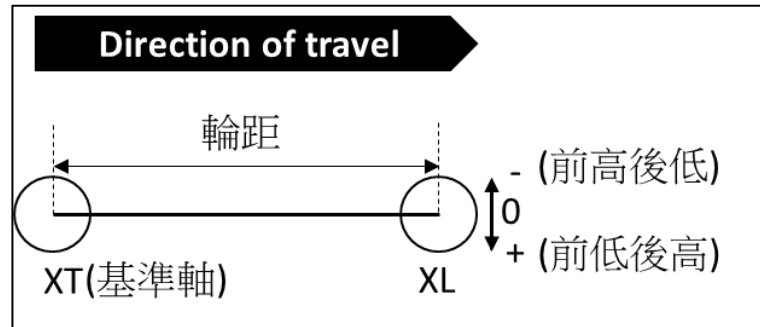


圖 19 車輪組間高低差示意

$V=XT-XL$ (後車輪組-前車輪組): 轉向架兩車輪組間之高低差, 如圖 19。

$XT=-11\text{mm}$, 表示轉向架後車輪組左軌較右軌高 11mm, $XL=-29\text{mm}$, 表示前車輪組左軌較右軌高 29mm。

$V=-11-(-29)=-18\text{mm}$, 表示車行方向轉向架前車輪組較後車輪組低 18mm (前低後高)。

軌道狀態分析：轉向架前車輪組左軌輪緣抬升，造成與軌面接觸力小，形成車輪爬軌後列車出軌。

8. 車輪外觀損壞識別

由檢視輪緣及輪背磨損痕跡，以瞭解列車於事故發生時車輪如何脫軌及偏移，協助分析轉向架之受力情形，如圖 20。

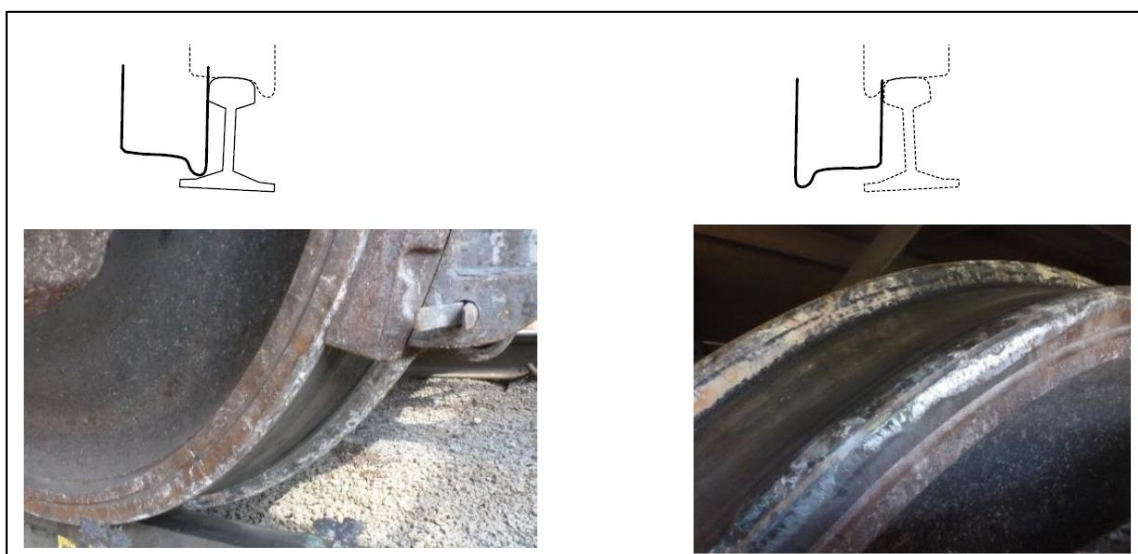


圖 20 車輪損傷與脫軌樣態對照

9. 車輪輪緣量測

現場調查時採用接觸式量測儀器，如圖 21，針對事故列車車輪進行精確量測，利用套裝軟體進行尺寸比對，確認車輪使用上是否有磨損異常及超出標準值之情形，必要時亦將量測結果提供列車運行動態模擬軟體使用。

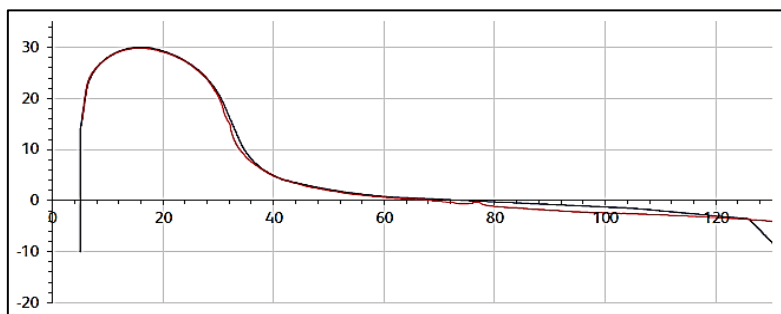


圖 21 車輪輪緣量測結果

(三) 列車出軌事故之調查項目建議：

可區分為軌道及車輛

1. 軌道：出軌點、決定應記錄之軌枕範圍及數量、軌道損壞情形、人工及自動化量測軌距、水平及曲率半徑，鋼軌外形。
2. 車輛：車廂中最先發生出軌的位置及車輪組識別、車輪外形檢查及量測、車輛外觀、懸吊及負載損害情形。

(四) 出軌事故調查之類型分析

以英國鐵道事故調查單位 RAIB 整理之列車出軌事故類型，包含爬軌、車輪抬起、軌距擴大、鋼軌損壞、道岔區問題、車輪組或懸吊系統失效，及超速等。

其中，針對爬軌因素主要參考 Nadal's criteria，探討橫壓（Y）與輪重（Q）的關係，並區分為橫壓力升高、低輪重力及不良的輪軌介面接觸情況，可能發生的條件如下。

1. 橫壓力升高：曲線段、超高變化、橫向的軌道不整、車輛轉向架的偏搖、偏搖剛性過高，及車輛內部結構減震不良等。
2. 低輪重力：軌道扭轉、車體框架扭轉、懸吊負載及緩衝器回彈性不佳等。

3. 輪軌介面接觸：接觸面摩擦力、車輪踏面及輪緣角與軌頭之接觸面影響。

爬軌出軌之成因，有如超出車廂有效負載、軌道扭轉及養護問題等車輛結構問題。車輪抬升出軌之成因，有異物入侵軌道、土建工程施工不當及軌道沉陷等。路線道岔區及橫渡線造成列車出軌的直接因素為道岔區尖軌、車輪爬軌或斷軌導致，非直接因素有路線設定錯誤或列車運行中變更道岔方向。

有關車輛損壞或缺陷最後造成出軌之案例介紹，有煞車失效、車軸斷裂及過彎超速所導致列車出軌。

(五) 與列車出軌有關之現場調查指引

在軌道上所發現的軌枕刮痕或損傷，及車輪在鋼軌上的磨痕，可以協助調查人員判別列車出軌點及列車移動的趨勢，如圖 22。另有幾種情況可能會造成鋼軌上沒有車輪產生的標記，如車輪抬升、軌距擴大、車輪組損壞或鋼軌損壞等。



圖 22 列車出軌現場狀態

(六) 事故後分析

為釐清事故當時輪軌介面之交互作用是否為列車出軌之因素，會使用車輛動態模擬軟體及實際量測車廂輪重以分析爬軌或車輛行駛跳動趨勢。在英國，約有 20% 的鐵道列車出軌事故須研究列車動態。在列車出軌分享案例中，有可納入日後事故調查方向的參考，如在路線出軌點前之軌道扭曲性、軌道橫向不整、實際超高值、低速跳動、車廂負載分布不均、摩擦力，及輪軌介面外型尺寸之配合（磨損的車輪搭配更換新的鋼軌）等。

在實際量測車廂負載上，採用如鋼軌安裝應變規，及量測車軸或車輪處之油壓頂升器，以取得事故列車轉向架各車輪組之軸重數據。

(七) 平交道事故調查

英國鐵路平交道，一般區分為主動式及被動式兩種系統模式，主動式具備告警系統，當列車接近平交道時，會有告警燈或告警聲響及柵欄等設施，如圖 23，提醒或阻止行人及汽車駕駛通過平交道；被動式則無告警系統，一般由列車接近按喇叭提醒，由行人及汽車駕駛自行決定目前平交道是否安全及可否通過。在事故現場調查項目，建議應包含該處平交道現場配置、柵欄、停止線、號誌設備及告警距離、平交道風險評估，及檢查紀錄等，以協助釐清事故發生原因。



圖 23 英國鐵路平交道設備（照片來源：Network Rail）

依英國鐵路網公司網站資料，英國現約有 6,000 處平交道。自 2009 年起，已關閉超過 1,300 處平交道以避免鐵路平交道事故的發生，另投資 2 億英鎊進行平交道軟硬體改善。

(八) 輕軌系統事故調查

英國輕軌電車系統具備自動列車保護裝置，使用電力驅動之城市鐵路運輸系統。「輕軌」是指使用較輕型設備、低速，及在較為簡化的法規下進行營運。因考量須與行人及汽車等共用道路，平均車速約在 70 公里/時。一般會將鋼軌嵌入道路，以利與汽車共用行駛，及無設置超高。

在事故調查上，針對輪軌介面，應考量是否有異物掉落鋼軌內造成車輪抬起及爬軌、曲線軌距過窄造成摩擦力升高，及道岔區變換列車方向及轉轍器異常致列車出軌等面向。在駕駛室內，應檢視與列車動力及煞車系統相關的操作功能，如電力系統控制器、煞車段位、車輛告警狀態及緊急煞車按鈕等情形調查及記錄。

其中，煞車系統可進一步對紀錄器資訊分析，包含事件告警及撞擊點、煞車段位、煞車距離及人員操作反應時間、煞車有效性、駕駛行為評估、事故後煞車性能測試。

駕駛操作行為上，可考量駕駛酒精及毒物檢測、疲勞度、對車輛系統的操作熟練度、對號誌系統的判斷與實際操作結果、號誌運轉紀錄、駕駛路線目視範圍及號誌燈號顯示狀態等，以進一步還原事故運轉經過及釐清可能影響的因素。

與道路汽車發生衝撞的事故上，除前述因素外，可再考量汽車當時行駛位置、氣候及可見度、道路照明條件、標誌、撞擊後碎片分布位置、電車損壞情形、電車煞車性能及喇叭功能、乘車受傷分布情形、行車及車站影像紀錄、汽車駕駛資訊，及對目擊者進行訪談等。

此外，英國鐵路事故調查單位針對與行人發生衝撞事故，亦列入事故調查案件並提出改善建議，提升行人安全。

(九) 事故調查現場作業模擬演練

本次課程介紹英國鐵道事故調查單位之現場調查量測作業方式，及安排學員進行列車出軌案例現場調查演練，包含出軌點的判定及標示（如圖 24）、出軌點前後標示軌枕編號（如圖 25）、現場軌道配置簡圖繪製、道岔區曲率半徑量測及簡易計算、軌距及水平量測等，以建立列車出軌事故現場量測數據之完整性，及軌道扭曲數據圖形化（如圖 26）。

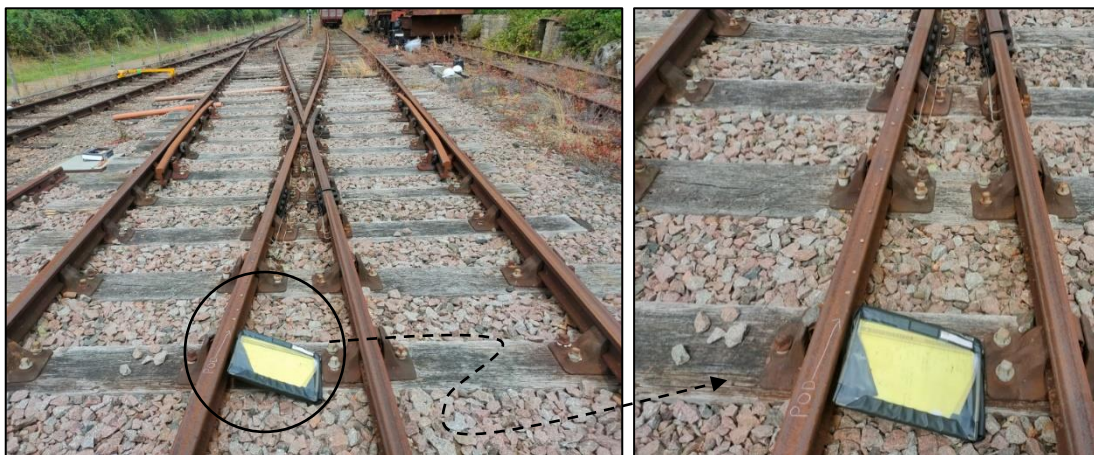


圖 24 出軌點的判定及標示

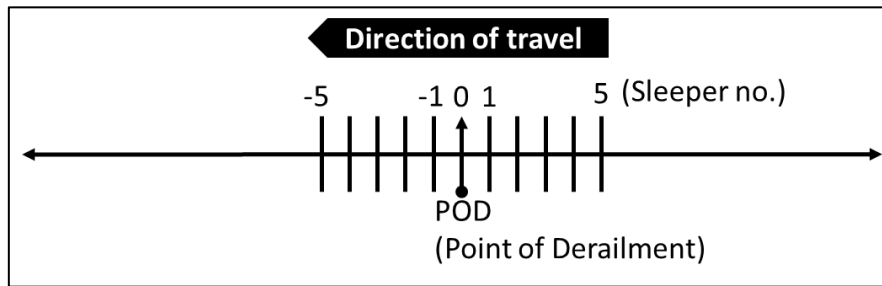


圖 25 出軌點前後軌枕編號

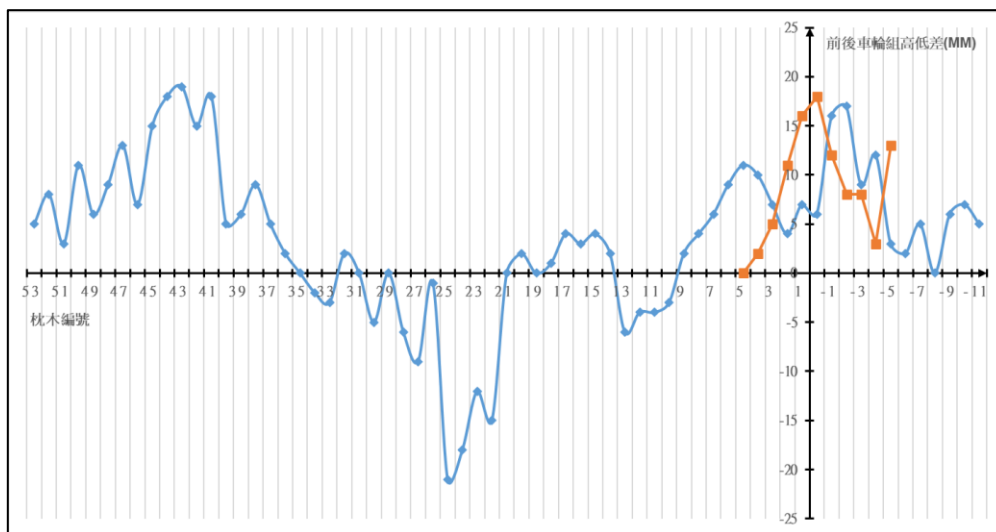


圖 26 軌道扭曲數據圖形化

此現場調查方式，未來可作為國內鐵道調查之參考，如因應路線不同特性建立簡易表格範本，便利調查人員於平板電腦或紙本進行標註及說明，縮短繪圖時間。另可對軌道靜態及動態沉陷量對輪緣深度不足，致影響列車於曲線段運行時可能出軌的議題進行探討，釐清軌道扭曲對列車出軌是否造成影響。

三、 第三週（7月24日至7月28日）

課程的第三週是事故調查模擬，施訓單位在郊區的鐵路機構租場地，布置成事故現場，如圖 27。全體學員分為兩組，各指定 1 名 IIC（Investigator in Charge，主任調查官），進行證據蒐集、人員訪談、分析證據與事故原因及發展改善建議，在第 5 天完成事故調查報告。



圖 27 模擬事故現場

(一) 角色設定：英國國家調查局調查員

任務：以調查小組為單位進行事故調查

1. 蒐集證據
2. 分析證據
3. 決定事故發現
4. 決定可能原因
5. 發展適切的安全改善建議

(二) 時程

1. D1 蒐集證據（現場及文件資料）
正式及非正式現場訪談
2. D2 正式訪談
調查小組時間及初步分析
3. D3-D5 證據分析
決定事故發現及可能原因
發展適切的安全改善建議
撰寫報告

(三) 預期學習成果

1. 說明鐵道事故調查程序
2. 完成有效的鐵道事故調查
3. 能與調查團隊合作
4. 能在事故地點安全地進行調查
5. 能辨識及管理風險
6. 能辨識及安全地蒐集證據
7. 能對目擊者進行訪談
8. 能進行證據分析
9. 發展適切的安全改善建議
10. 產出事證明確的鐵道事故報告
11. 依事故特性評估使用不同調查策略

(四) 現場工作安全

施訓單位非常注重事故現場工作安全，除早在課程報名時即提醒學員要攜帶適當的安全靴，在課堂討論如何進行現場危害辨識，更在事故調查模擬前說明會中強調現場工作應注意事項

1. 穿著反光背心、安全靴及安全帽
2. 辨識及管理風險
3. 謹慎行事
4. 相互幫助
5. 安全第一

學員到現場開始調查前，由 IIC 召開調查小組會議，分配工作及告知現場危害及風險，才正式開始現場調查。

(五) 訪談

訪談是事故調查重要的步驟，施訓單位依模擬事故安排如列車駕駛、號誌員、非事故汽車駕駛、現場目擊者等讓學員進行訪談，如果調查小組有額外角色的訪談需求，施訓單位儘可能配合，另行安排受訪者。為接近事故調查訪談會遇到的情境，部份受訪者是專業演員，依事故角色設定，在訪談過程中表現出悲傷、恐懼及憤怒等該角色可能會有的情緒，讓學員感受並學習面對。在每場訪談結束，講師立即對他的觀察進行說明，讓學員瞭解剛才訪談的可取及可調整之處。

(六) 媒體對應

重大事故發生後，必然有媒體到現場採訪，調查人員在面對媒體時該拿捏發言內容。課程安排由在事故現場接受採訪開始。施訓單位請來真實記者及攝影師，在事故現場對每一位學員提問並拍攝，模擬媒體採訪的過程，並在事後解說學員在受訪過程的優缺點。

第二天進行模擬記者會，會場架設燈光、攝影機、發言桌及多支麥克風（如圖 28），由第一天的記者及多名講師扮演各媒體記者，對兩組的主任調查官和調查官提問，整個過程和現場氣氛儼然真實記者會。在模擬記者會結束後，講師回顧學員在事故現場受訪及記者會影片。



圖 28 模擬記者會會場

(七) 事故分析及報告撰寫

現場調查及訪談結束後，各調查小組依蒐集到的事證進行事故原因分析。如有任何資料如號誌紀錄等的需求，各別向導師提出。換句話說，導師備有和事故相關資料但不主動提供，待各調查小組依事故分析發展提出資料需求時，導師才將調查小組指定之資料交給調查小組。

事故調查模擬第 3 天至第 5 天，調查小組繼續事故原因分析及報告撰寫，工作分配及進度由 IIC 掌控，講師會依調查小組的討論內容及調查方向，提供諮詢與提點，刺激調查小組對事故調查有更深更廣的思考。

雖然是事故調查模擬，為讓模擬貼近現實，施訓單位在硬體（如事故現場佈置等）或軟體（如人員訪談等）皆有充分的準備，使事故調查模擬過程貼近實務。如果這主題單純以課堂講授進行，學員一樣能學習到如何進事故調查及報告撰寫，但會失去從眾多資料中梳理出事故發生脈絡的過程中，自主思考與判斷的機會。

肆、建議

「應用鐵道事故調查 (Applied Rail Accident Investigation)」課程

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：鐵道調查組次席調查官、調查官及副調查官

姓 名：林彥亨、陳建州、謝昀霖

出 國 地 區：英國克蘭菲爾德大學

出 國 期 間：民國 112 年 7 月 10 日至 7 月 28 日

報 告 日 期：民國 112 年 10 月 27 日

	建議事項	處理
1	規劃並建立列車出軌事故現場調查輔助工具，協助調查人員依車輪與軌道及道床摩擦痕，判別列車出軌過程。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	規劃並採購軌道動態沉陷規及曲率半徑量測工具，建立本會事故調查時，對軌道動態沉陷量及軌道線形曲率半徑之數據收及能量。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行