

# 出國報告(出國類別：考察)

## 邊坡監測預警系統及 東京、岡山車站

服務機關：交通部臺灣鐵路管理局

姓名職稱：總工程司 高明鑿

副處長 古正育

科長 謝曜宇

科長 王立德

幫工程司 蔡伊榕

工務員 許逢家

派赴國家/地區：日本/東京、四國

出國期間：108年11月4日至108年11月9日

報告日期：109年2月4日

# 摘要

本次出國考察為依據交通部臺灣鐵路管理局 108 年度派員出國計畫辦理，由本局高總工程司明鑿率營運安全處謝科長曜宇、工務處古副處長正育及相關同仁一同進行為期 6 日之日本考察行程。本次考察參訪計畫以日本東京及四國地區為主要考察地點，除拜會 JR 鐵道總合技術研究所，了解目前該所研究無人機應用於邊坡及橋梁之成果與鐵道邊坡預警之設備，並介紹該研究所各項創新研究計畫；及拜訪四國旅客鐵道株式會社，參訪該公司之降雨監測系統與落石警報裝置，並現地參觀該公司鐵路邊坡土石流改善工程；另考察東京車站之古蹟維護及岡山車站相關旅運轉乘設施，使本次參訪對於鐵路邊坡之改善、預警及相關應變作為有更廣泛的了解，以及推動車站設計觀念及新思維。

# 目錄

	頁次
摘要.....	2
目錄.....	I
表目錄.....	II
圖目錄.....	III
壹、目的.....	1
貳、考察行程.....	2
參、考察過程.....	4
一、日本鐵道總合技術研究所 (RAILWAY TECHNICAL RESEARCHINSTITUTE) .....	4
二、JR 四國旅客鐵道株式會社.....	13
三、東京車站 .....	26
四、岡山車站 .....	28
肆、心得與建議.....	32

# 表目錄

頁次

表 2-1 考察行程表 .....	2
-------------------	---

# 圖目錄

	頁次
圖 2-1 考察行程區位示意圖 .....	3
圖 3-1 日本鐵道總合技術研究所 .....	4
圖 3-11 光達振動檢測法 .....	9
圖 3-12 利用 DEM 進行落石位置預測流程 .....	10
圖 3-13 落石預測位置現地驗證結果 .....	10
圖 3-14 落石落下路徑分析 .....	11
圖 3-15 落石落下路徑準確率分析 .....	11
圖 3-16 落石風險評估分析流程 .....	12
圖 3-17 大廳所內各種設施模型介紹 .....	12
圖 3-18 開發階段各時期磁浮列車 .....	13
圖 3-19 JR 四國代表取締役社長親自接見及雙方人員合影 .....	14
圖 3-20 四國 CTC 系統之降雨監測系統 .....	15
圖 3-21(a) 予讚線財田川橋 P4 橋墩基礎遭淘空 .....	16
圖 3-21(b) 予讚線財田川橋 P4 橋墩重建完成 .....	16
圖 3-22 予贊線海岸寺詫間間護岸胸牆遭海浪沖毀 .....	17
圖 3-23 予贊線海岸寺詫間間護岸以塊石填築便道施工 .....	17
圖 3-24 予贊線海岸寺詫間間護岸補強改善施工情況 .....	18
圖 3-25 工務部長 高瀨-直輝負責解說參訪工程內容 .....	18
圖 3-26 瀨戶大橋位置及橫斷面示意圖 .....	19
圖 3-27 瀨戶大橋橋梁組成說明示意圖 .....	19
圖 3-28 瀨戶大橋現地參訪 .....	20
圖 3-29 瀨戶大橋主塔塔頂參訪合照 .....	20
圖 3-30 瀨戶大橋基礎施作首創海底無線爆破技術 .....	21
圖 3-31 瀨戶大橋橋梁首創調整梁的緩衝裝置 .....	21
圖 3-32 瀨戶大橋耐風及耐震設計 .....	22
圖 3-33 瀨戶大橋防蝕設計 .....	22
圖 3-34 予讚線下宇和立間間路堤災害情況 .....	23
圖 3-35 土石流告警系統 .....	23
圖 3-36 土石流告警系統偵測說明 .....	24
圖 3-37 土石流告警系統告警流程說明 .....	25
圖 3-38 格子梁護坡工程 .....	25
圖 3-39 東京車站相關照片 .....	26

圖 3-40 東京車站修復簡介 .....	27
圖 3-41 岡山車站及桃太郎照片 .....	28
圖 3-42 跨站式站房的中央剪票口及新幹線剪票口 .....	29
圖 3-43 岡山車站的在來線運行系統 .....	29
圖 3-44 岡山車站轉乘資訊 .....	30
圖 3-45 岡山車站轉乘資訊及詢問台 .....	30
圖 3-46 觸碰資訊版 .....	30
圖 3-47 車站之商業空間 .....	31
圖 3-48 伴手禮販賣處.....	31

# 壹、目的

交通部臺灣鐵路管理局(以下簡稱本局)肩負臺灣鐵路運輸產業營運與各項設施維護之任務，為確保鐵路行車之安全，就其現有基礎設施，因應社會成長與環境變遷，加強安全防護與防災措施，並期提升綠色運具運輸效能。然而，鐵路路線所經過路基及其邊坡設施，由於極端氣候之威脅，在颱風、豪雨或地震來臨之際，常面臨邊坡落石、土石滑落，造成軌道掩埋、路基流失及路線變形等，危及行車安全。面對此天災難測隨時可能之侵襲，亟需建構一套全面性與持續性的邊坡維護管理系統與制度，並就工程全生命週期從源頭管理之概念，進行檢查、評估、處置及記錄等系列之操作，以及維護管理資訊平台之建置。

本局鐵路邊坡預警及維護管理系統與建置尚處於制度規劃建立及基本資料調查建檔階段，為有效提升邊坡全生命週期維護管理效能，運用數位科技掌握資訊蒐集分析功能，除吸取國內已建置系統之鐵公路單位經驗外，更需藉由參研國外鐵路營運機構之系統建置現況及運作機制，以期建立之防災與維護管理系統能更臻完善，達到預警防災預防維修之目標，爰安排本次日本參訪考察行程。

本次考察主要內容，參訪鐵道總合技術研究所(Railway Technical Research Institute, RTRI)了解目前該所研究主題及成果，該所並分享其鐵道邊坡預警之設備及災害應變機制；及赴四國旅客鐵道株式會社(JR 四國)了解該公司之降雨監測系統與落石警報裝置，與參訪四國地區數次重大鐵路土石流現場改善工程，介紹災害應變措施及工程強化作法；另考察東京車站之古蹟維護及岡山車站相關旅運轉乘設施，以作為本局車站設計觀念、空間利用、動線規劃之借鏡。

本局為加強安全防護與防災措施，目前正規劃建置「預警及管理系統」，除針對鐵路沿線邊坡進行調查建檔分級，以利系統化、資訊化有效管理，更利用數位科技以智慧化偵測災害及告警，藉由本次參訪考察，瞭解目前日本對於邊坡預警之設備及災害應變機制、降雨監測系統、落石報警裝置等成果，做為本局規劃建置「預警及管理系統」之參考，此為本次參訪考察最主要之目的。

## 貳、考察行程

本次考察行程自 108 年 11 月 4 日至 108 年 11 月 9 日，共計 6 日，此行除拜會鐵道總合技術研究所及四國旅客鐵道株式會社，並聽取安排相關簡報及配合香川縣與愛媛縣之現地行程外，行程中另安排考察東京車站與岡山車站。考察行程如表 2-1 所示，考察行程區位示意圖如圖 2-1 所示。

表 2-1 考察行程表

日期	行程摘要
108 年 11 月 4 日 (星期一)	上午：搭機赴日本東京 下午：東京車站考察 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 古蹟車站之保存與維護</li> <li>➤ 古蹟車站與現代科技之配置與融合</li> <li>➤ 無障礙設備之設計與設置</li> </ul>
108 年 11 月 5 日 (星期二)	拜會鐵道總合技術研究所之鐵路邊坡系統研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 聽取目前研究計畫及成果報告之簡報</li> <li>➤ 參觀研究所大廳展示試驗場</li> </ul>
108 年 11 月 6 日 (星期三)	上午：東京→岡山 (移動) 下午：參觀岡山車站 岡山→高松 (移動)
108 年 11 月 7 日 (星期四)	拜會四國旅客鐵道株式會社及勘察高松地區災害現場 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 降雨監測系統及落石警報裝置等意見交流</li> <li>➤ 本四備讚線北備讚瀨戶大橋塔頂參訪</li> <li>➤ 予讚線海岸寺詫間護岸及觀音寺間財田川橋梁災害現場參</li> </ul>
108 年 11 月 8 日 (星期五)	四國旅客鐵道株式會社之松山地區災害現地勘查 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 予讚線下宇和立間間土石流現場視察</li> </ul>
108 年 11 月 9 日 (星期六)	回程



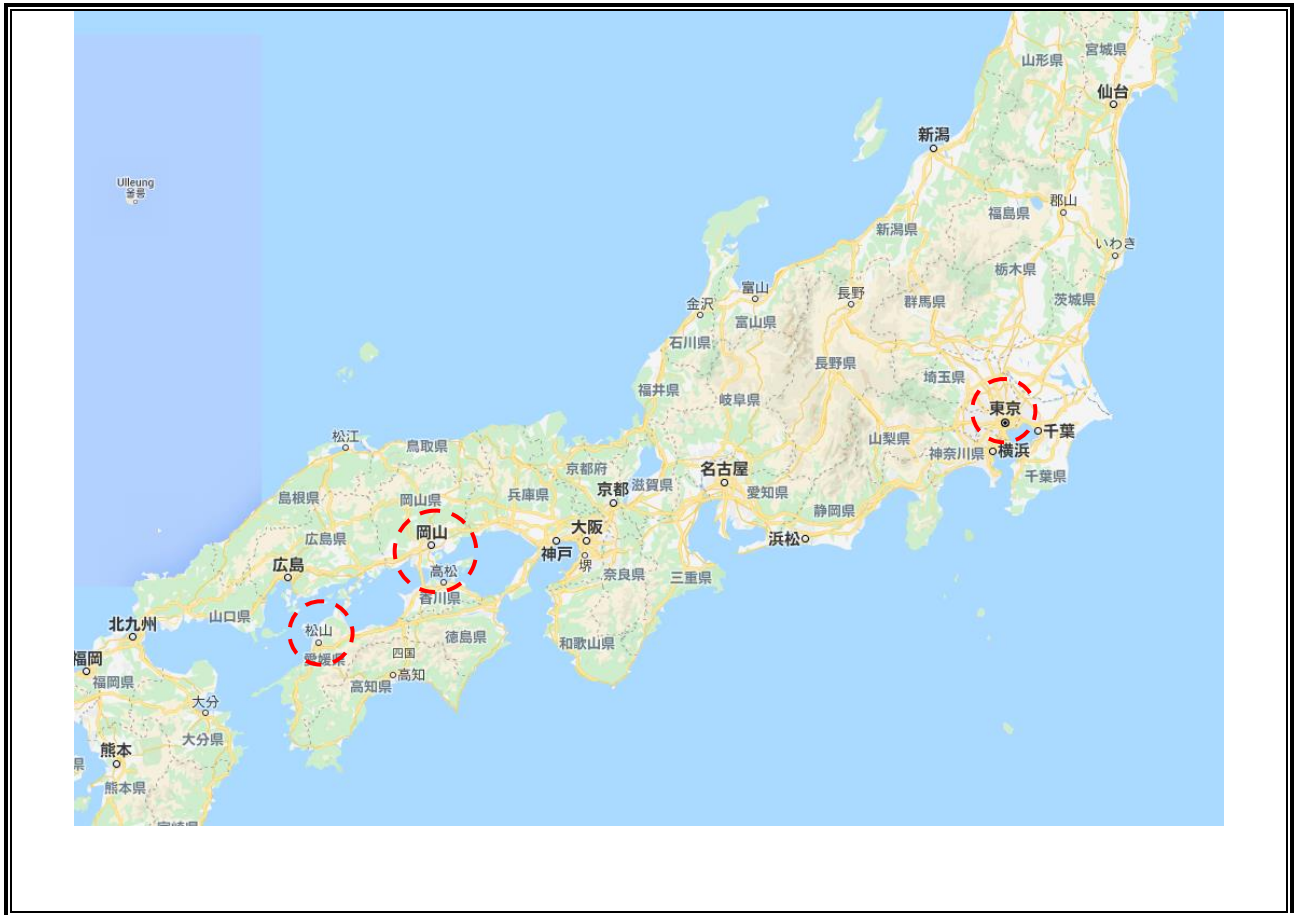


圖 2-1 考察行程區位示意圖

(資料來源：google map 網路圖資)

## 參、考察過程

### 一、日本鐵道總合技術研究所(Railway Technical Research Institute)

日本鐵道總合技術研究所(RTRI)(圖 3-1)，為日本從事鐵路技術研究的機構，由日本國有鐵道(日本國鐵)於 1986 年 12 月 10 日創立，1987 年 4 月 1 日，國鐵分割民營化後正式運作，並承接原本日本國鐵內的技術開發部門、鐵道技術研究所和鐵道勞動科學研究所等機構的業務，成為 JR 集團的一個財團法人。

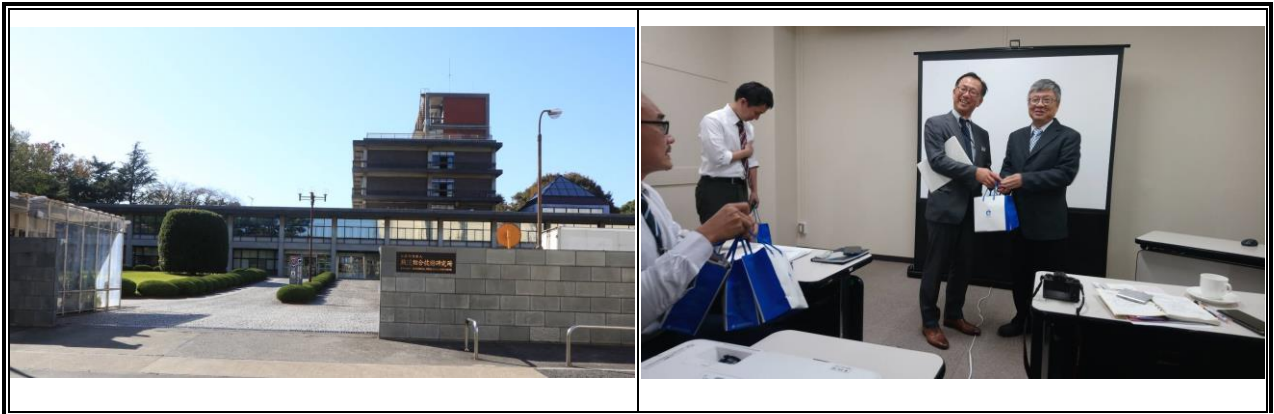


圖 3-1 日本鐵道總合技術研究所

本次參訪由國際業務部國際展開課長宮內-瞳岬先生(圖 3-1)負責接待，並安排鐵道力學研究部部長上半-文昭針對”Drones Used for Inspections of Bridges ,Hill,etc”(無人機應用於橋梁及邊坡檢測)主題，及防災技術研究部地質研究室主任研究員 長谷川-淳針對”Way of Making of a Rock Fall Hazard Map Using a Digital Elevation Model”(利用數值高程建模預測落石風險)主題，分別進行研究報告簡報，並參觀該所之磁浮列車演進史之展場及大型振動機與列車測試設備之實驗室。

在無人機應用於橋梁及邊坡檢測簡報中，該所為防止鐵道沿線的岩盤斜坡發生落石事故，開發可在人員無法輕易接近的高處或是遙遠地點，藉由光學量測評估岩塊落石危險度的方法，在此方式中採用兩個光學量測手法，一是雷射多普勒測量法 (U-Doppler)，二是立體攝影機。透過雷射遠距測量岩塊的微小震動，同時搭載空拍機進行立體測量岩塊震動

數與形狀，藉由測量所得的岩塊固有震動數，若岩塊背面龜裂現象加劇，演變為不穩定的狀態，該岩塊的固有震動數就會降低，系統就會以此變化來評估落石危險度。實驗步驟為(如圖 3-2)，先用雷射進行震動測量，測量出不穩定岩塊的長時間微動等數據，藉此調查出岩塊的固有震動數，接著，再以空拍機測量岩塊形狀，利用 FEM 分析用的數值分析模型，根據岩塊的 3D 形狀數據以及內部自動排列立方體要素，挑選出較不穩定岩塊的部分，來製作岩塊的數值分析模型再用此模型進行模擬，調查岩塊的自然頻率會因岩塊背面龜裂的位置或龜裂狀況有何種變化，以及龜裂到發生落石時之應力，將兩者進行整合分析出彼此影響關係，與上述經由實際測量所得出的自然頻率進行對比，就可以評估出目前狀態的落石危險度。

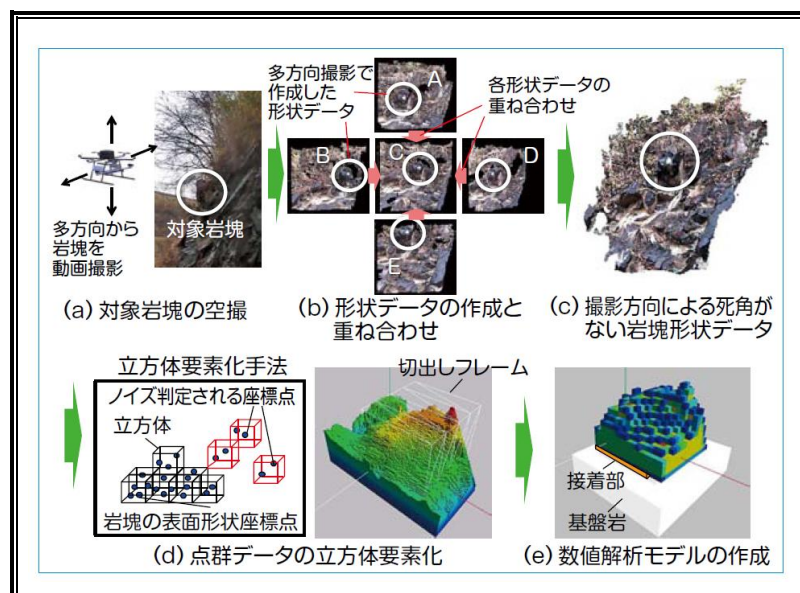


圖 3-2 岩塊空拍測量與數值解析之模型化

有關落石危險度評估系統的測量、分析機制的確認，以及為確認評估的妥當性之模擬模型實驗結果。

圖 3-3 為模型實驗的狀況。在堅固的反力牆上設置 4 塊模擬岩塊，然後進行非接觸震動計畫以及空拍。模擬岩塊是採用花崗岩的岩塊，然後在背面切割出裂痕來模擬岩塊的背面龜裂，4 塊模擬岩塊在切割時留下的長度，此稱「附著長度」，分別為 20mm、30mm、40mm 與 100mm，附著長度越短落石危險度越高。附著長度最短只有 20mm 的模擬岩塊處於極度不穩定的狀態，在設置反力牆時為防止其損壞而使用了固定帶，在將固定帶調鬆的

時候岩塊就因為本身重量而向前傾時就會掉落。因此實驗時，還是使用固定帶把該岩塊固定住來進行實驗。

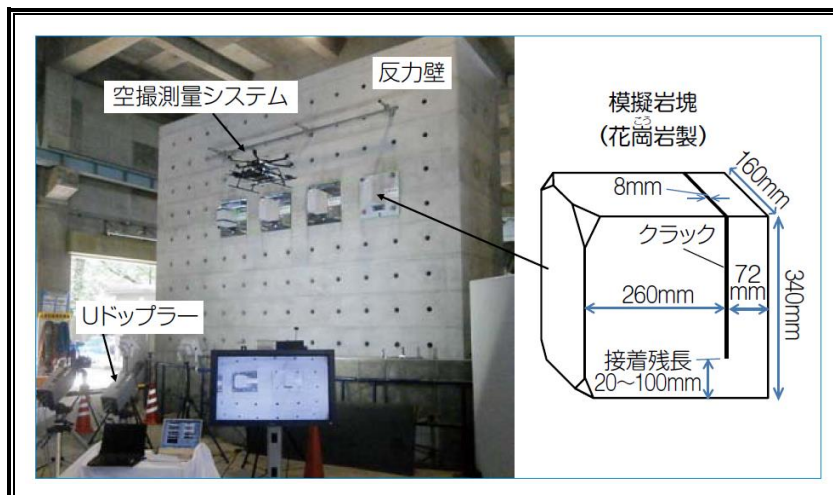


圖 3-3 岩塊空拍測量與數值解析之模型化

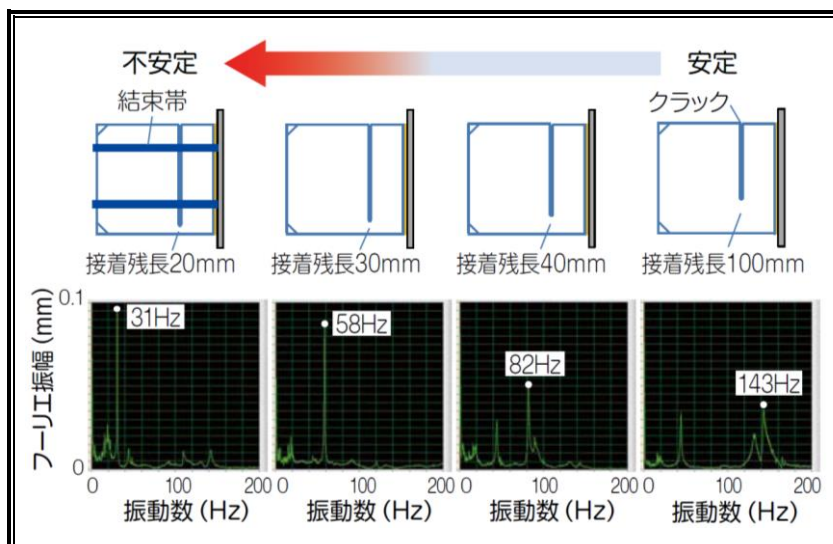


圖 3-4 雷射振動模擬岩塊的固有振動數推定結果

圖 3-4 為用多普勒在模擬岩塊斜下方約 10m 處進行震動測量後，各模擬岩塊的震動的傅立葉頻譜與自然頻率的推測結果。由此可確定隨著附著長度的減少，自然頻率會有下降的傾向。

圖 3-5 為根據空拍立體影像算出的模擬岩塊 3D 形狀數據，與數值分析模型。雖有部分誤差，但已成功取得足夠的形狀資訊，可供製作數值分析模型。模型的材質物性，使用同樣花崗岩室內材質為試驗。

圖 3-6 為已製作完成的數值分析模型，來進行模擬，岩塊以附著部分為中心向傾倒方

向震動，並確定附著部上面周圍的拉應力較強。

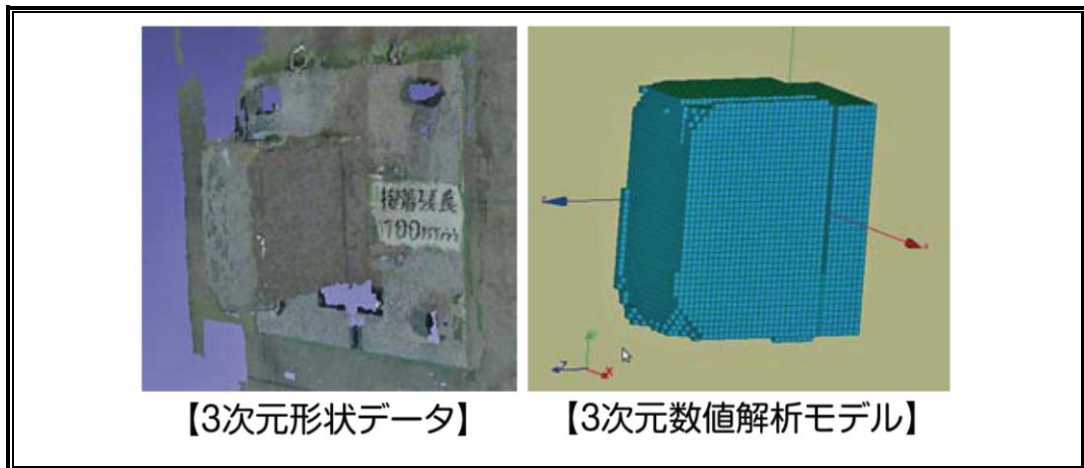


圖 3-5 模擬岩塊 3D 數值解析模型

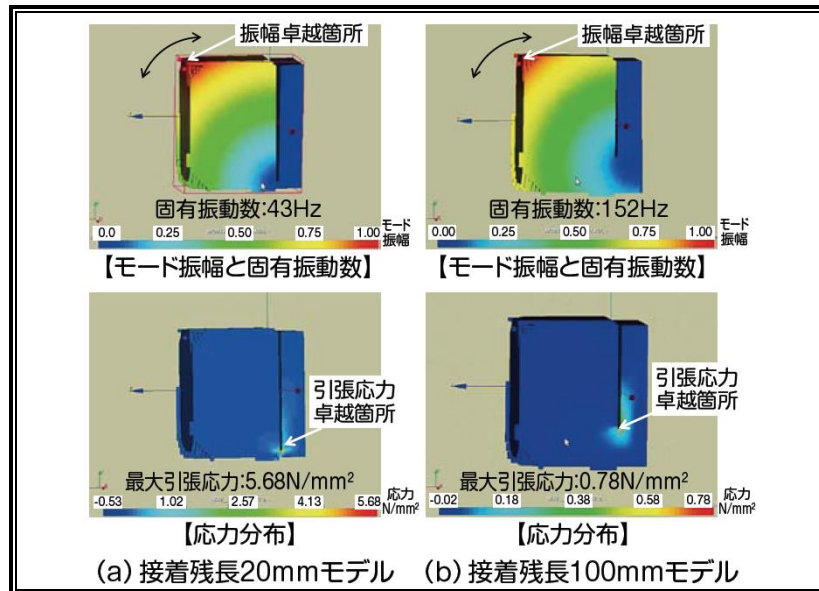


圖 3-6 數值解析模型的振動模式支應力分布

圖 3-7 為模擬岩塊的附著長度與自然頻率的關係的分析值與實測值。數值分析成功分析出自然頻率隨著附著長度減少而向下傾斜，假設模擬岩塊的附著長度不明，使用分析結果與實測自然頻率來推測附著長度，則會得出 16mm、30mm、43mm 與 94mm 的結果，表示從非接觸性測量結果，來大致推算岩塊背面龜裂的進展狀況是可行的。

圖 3-8 為將以數值分析求得的岩塊自然頻率與發生在附著部分的最大拉應力的關係圖，與各模擬岩塊的實測自然頻率相比較所得的圖，顯示只有附著長度 20mm 的模擬岩塊產生了比岩石的拉力強度大的應力，應證與實際狀態相符合的結果。

此簡報介紹遠距非接觸的方式進行振動與形狀測量藉此評估岩盤斜坡上的不穩定岩

塊的落石危險度，該所爾後將於現場實測與數據累積來增進本案之實用性與評估精準度。

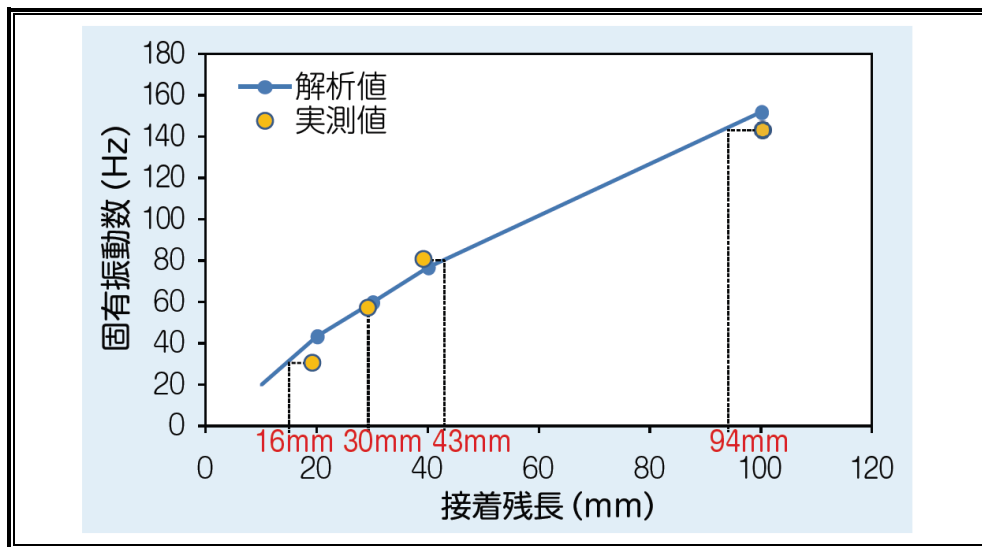


圖 3-7 附著長度與岩石固有振動數之關係

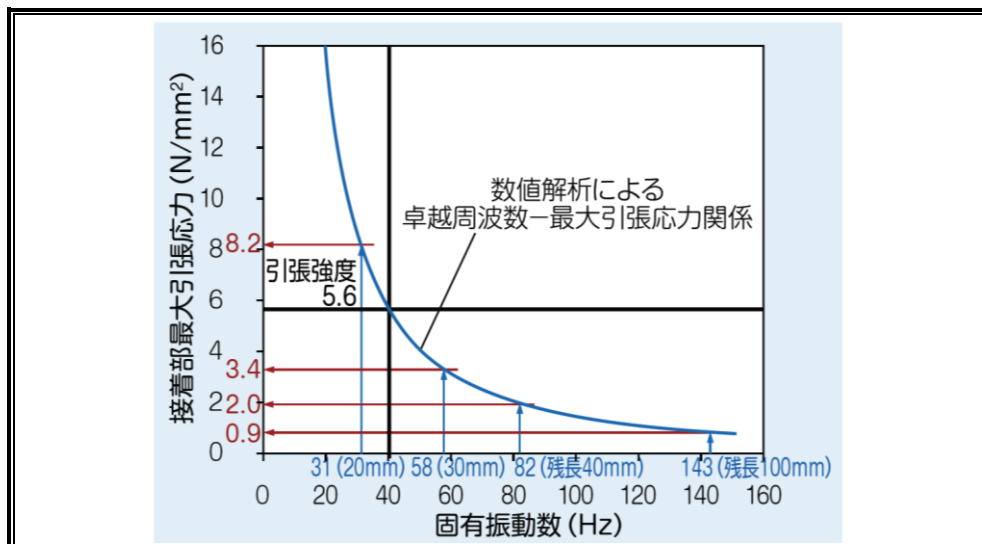


圖 3-8 落石危險度之評估結果

另外，目前應用無人機進行橋梁檢測，因受限於無人機設備，無法於梁底進行檢測，在鐵道力學研究部部長 上半-文昭先生簡報中已經將無人機攝影機鏡頭角度調整可朝正上方，並加裝軌道以利無人機能緊貼梁底駐留攝影進行掃瞄檢測(圖 3-9)，並在無人機上加裝衝擊錘，進行敲擊試驗，運用聲波比對分析，數位技術大大增加檢測範圍及精確度。

另介紹利用橋梁的振動特性，利用光學雷達(LIDAR)儀器設備進行振動檢測的非接觸性橋梁檢測(圖 3-10)。利用光學雷達儀器設備進行振動檢測，可利用無人機搭載光學雷達儀器進行橋梁檢測，亦可將儀器設備架設於地面上進行檢測，偵測距離從 0~100 公尺(圖

3-11)。



圖 3-9 無人機橋梁檢測

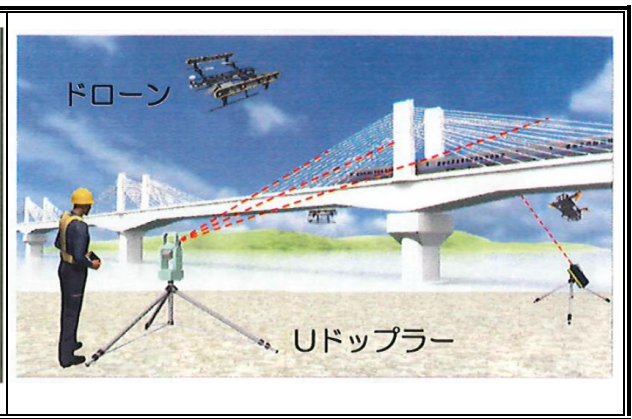


圖 3-10 非接觸性橋梁檢測

- 寸法 : 102mm×146mm×350mm(突起部含む)
- 重量 : センサ部:3.9kg、バッテリー:2.7kg
- 電源 : 専用バッテリー駆動(DC12V、約10時間)
- レーザ : He-Neレーザ、波長633nm(クラス2)
- 測定速度レンジ: 0.2μm/s~500mm/s(3レンジ切り替え)
- 応答周波数帯域: DC~22kHz(補正センサ:DC~1kHz)
- 出力信号 : デジタル出力
- データ通信方法: 有線(USBシリアル)、無線(Wi-Fi)
- 測定距離 : 0.1m~100m(測定対象の表面状態による)
- 特長 : 自己振動補正機能付き

圖 3-11 光達振動檢測法

而在防災技術研究部地質研究室主任研究員 長谷川-淳先生「利用數值高程建模預測落石風險」簡報中，主要介紹利用無人機進行邊坡空拍測量，將測量結果進行 3D 數值地形建模，包含 DEM 及 DSM，利用 1m 精度的 DEM 進行落石分析研判。由分析結果可知，在邊坡坡度大於 50 度以上，且為凸型地形，容易有落石(圖 3-12)，並進行分析結果的現地驗證(圖 3-13)。

# 露岩抽出手順

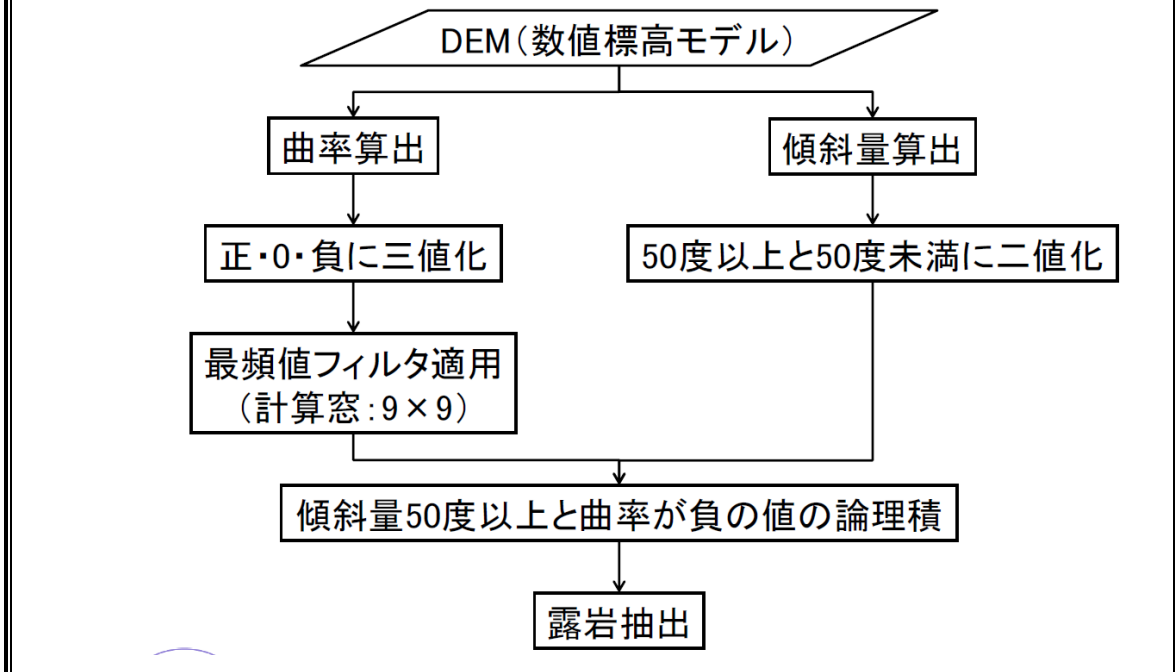


圖 3-12 利用 DEM 進行落石位置予測流程

# 抽出結果の検証①

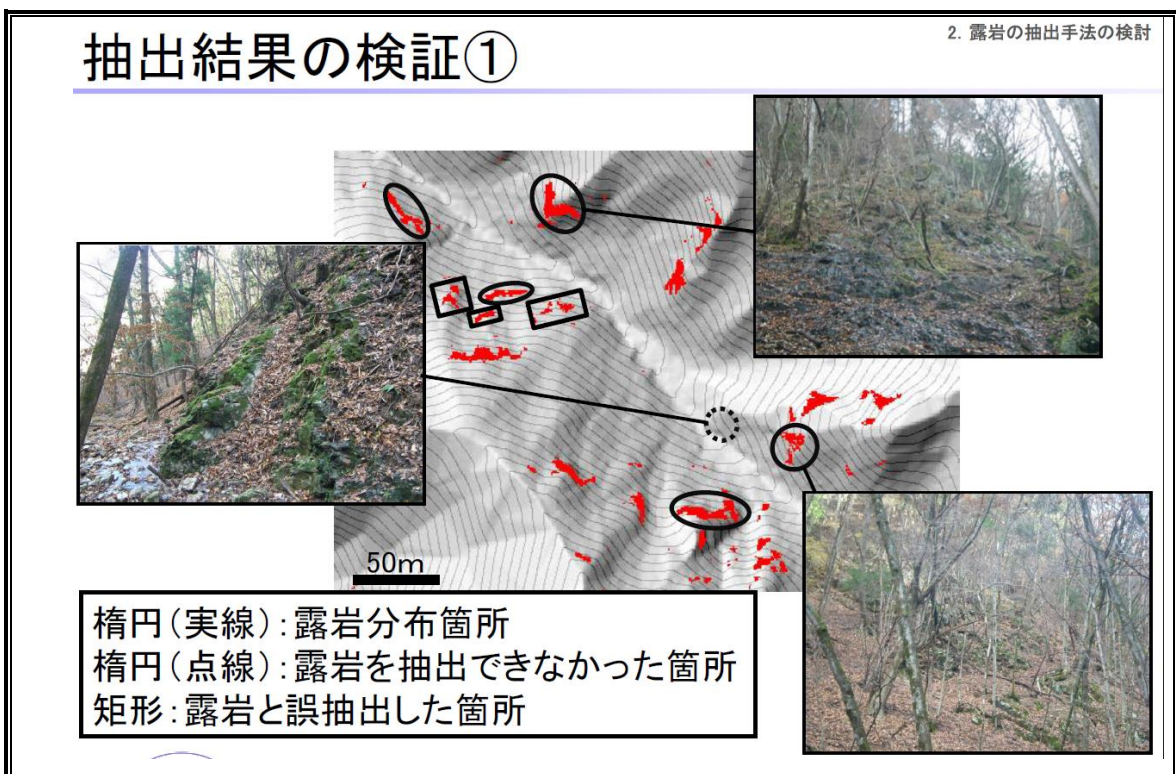


圖 3-13 落石予測位置現地検証結果



在落石落下路徑分析則是以落石會沿最陡坡的方向前進的概念進行分析，利用 DEM 的數值高程方格，取鄰近高程最低之方格為落石路徑進行方向，依此預測落石落下路徑(圖 3-14)。最後以落石落下路徑數值地形橫斷面進行落石模擬以驗證落石路徑預測準確率(圖 3-15)。落石位置及落下路徑預測分析流程詳圖 3-16。

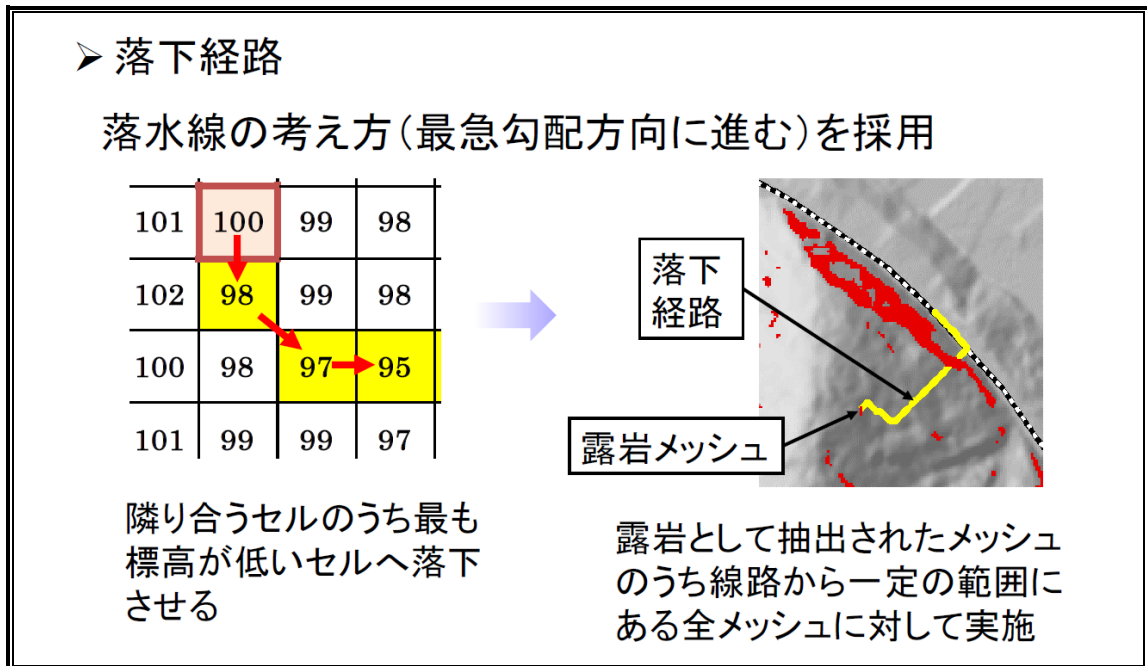


圖 3-14 落石落下路徑分析

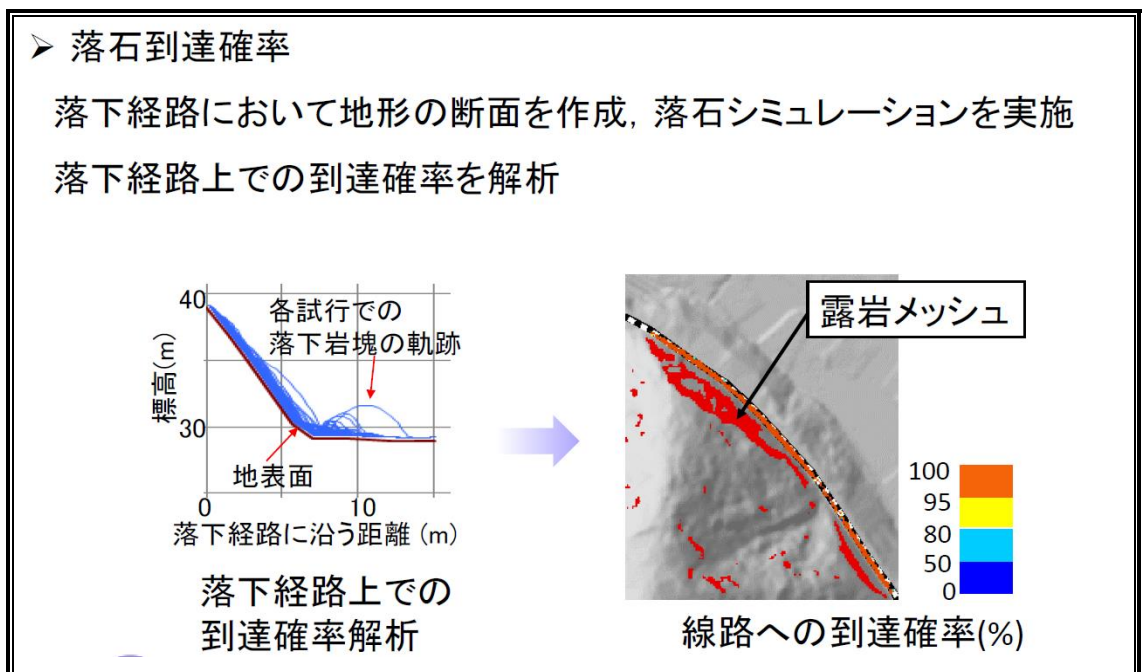


圖 3-15 落石落下路徑準確率分析

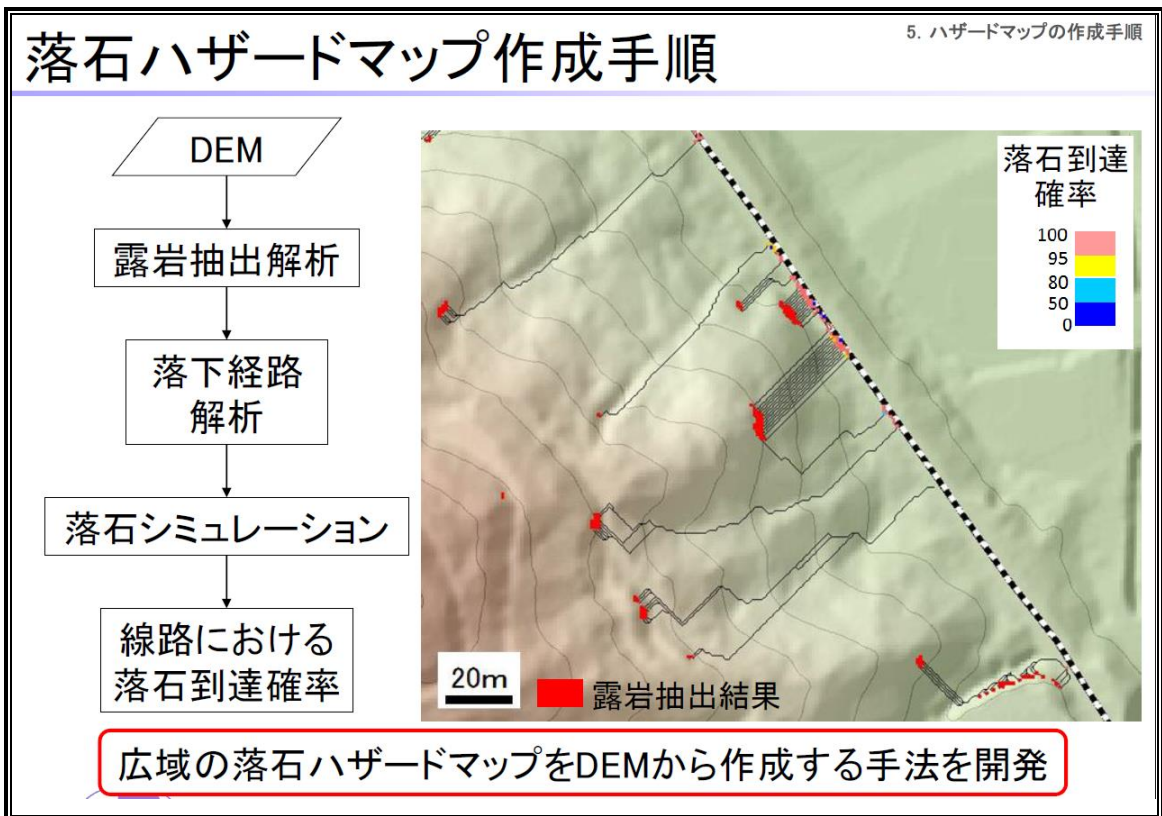


圖 3-16 落石風險評估分析流程

除了上述簡報說明外，國際業務部國際担当 木元-絵里子小姐引導本局同仁參觀日本鐵道總合技術研究所內設施，包含川堂大廳內的一些展示品(圖 3-17)及開發階段各時期的磁浮列車原型車(圖 3-18)、模擬地震對行車安全影響的大型震動平臺實驗室，可提供窄軌 1067mm 軌距至標準軌 1435mm 軌距各式軌道系統車輛之測試，及提升列車行駛時穩定度與舒適度研究的列車車輛測試廠。因實驗室設備禁止拍攝，故無法提供相關照片。



圖 3-17 大廳所內各種設施模型介紹



圖 3-18 開發階段各時期磁浮列車

## 二、JR 四國旅客鐵道株式會社

JR 四國旅客鐵道株式會社為日本 7 間 JR 鐵道公司之一，成立於 1987 年，是由政府經營的日本國有鐵道中分拆及私營化。目前營運路線包含幹線有：予讚線、高德線、本四備暫線及土讚線等 4 條路線；地方交通線有：內子線、予土線、鳴門線、德島線及牟岐線等 5 條路線。

本次參訪 JR 四國旅客鐵道代表取締役社長 半井-真司親自接見(圖 3-19)，並安排由營業部担当部長 岡崎-孫俊陪同兩天的參訪行程，另外工務部第一天由工務部長 高瀨-直輝及工務部工事課副長 菊池-佳譽負責解說參訪工程內容，第二天則由工務部工事課長 入江-光広及工務部工事課 角野-拓真負責解說。兩天參訪行程包含：JR 四國 CTC (Centralized Traffic Control) 系統、予讚線財田川橋橋墩基礎遭淘空災害現場視察、予讚線海岸寺詫間護岸損壞現場視察、本四備讚線瀨戶大橋參訪及予讚線下宇和~立間間路堤沖毀現場視察等。



圖 3-19 JR 四國代表取締役社長親自接見及雙方人員合影

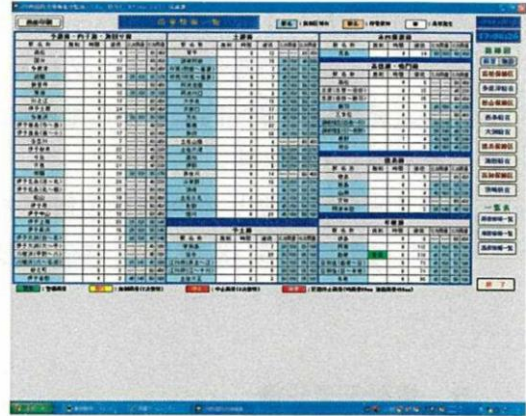
### 1.CTC（Centralized Traffic Control）系統

這次安排參訪 CTC 系統主要是想瞭解 JR 四國如何將降雨監測資料納入系統中，工務部工事課課長 入江-光広詳細說明降雨監測系統納入 CTC 系統中，當降雨量到達預警值時，監控面板螢幕會自動顯示紅色，並由監控人員通知列車停駛。除了降雨監測外，另外風速、地震等亦設有監測系統，也同時可以在 CTC 系統中顯示，以利監控人員對於列車行車安全之掌控與調度。

### 雨量計

各箇所に設置されている雨量計のデータは施設指令に送られ、リアルタイムに表示されます。規制値を超えると、運転規制等の手配を行います。

なお、四国管内の全線区が規制の対象となっています。

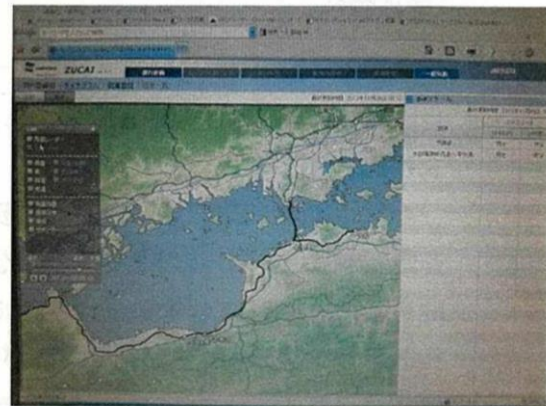


### 風速予測

強風リスクに伴う路線毎の輸送影響が事前にMAPにて確認でき、規制基準に沿ったスケール判定により、規制の開始、解除時間を把握しダイヤの乱れを最小限にすることが出来ます。(株ウェザーニューズと契約)

#### 【対象区間】

- 瀬戸大橋線 児島～宇多津駅間
- 予讃線 伊予寒川～伊予土居駅間



運行計画サービスシステム【ZUCAI】

圖 3-20 四國 CTC 系統之降雨監測系統

## 2. 予讃線財田川橋橋墩基礎遭淘空災害現場視察

予讃線是一條由四國旅客鐵道（JR 四國）營運的鐵道路線。予讃線自香川縣高松市高松車站開始，經愛媛縣松山市松山車站，連接愛媛縣宇和島市宇和島車站，貫通瀨戶內海與宇和海沿岸地區。在日本國有鐵道（日本國鐵）時代，此線被稱為予讃本線。國鐵分割民營化後，接手經營的 JR 四國於 1988 年將路線更名為現稱。路線名稱的意思是路線貫通的兩個日本古代令制國：伊予國和讚岐國。其中高松—宇多津一段，與瀨戶大橋、西日本旅客鐵道（JR 西日本）的本四備讚線（茶屋町—兒島）和宇野線岡山—茶屋町一段合組成另一個運行系統（岡山—高松），又稱為瀨戶大橋線。財田橋全長 137.16m，橋型式為 7 跨鋼箱梁橋，明治 42 年(1909 年)建造，橋齡已達 110 年，2018 年豪大雨造成河川水位高漲，位於深槽區的 P4 墩柱因基礎遭淘刷，造成墩柱輕斜，鋼箱梁位移 0.7m，軌道亦變形位移(圖 3-21(a))，列車無法通行。災後

復舊，先於 P4 墩柱前後架設臨時性墩柱及前後端鋼箱梁以連接版連接，另於鋼箱梁裝設應力應變計，再維修車進行運行測試，並量測變位情形，以確認鋼箱梁結構安全無虞。隨後即進行 P4 墩柱拆除及復舊，新建橋墩基礎增設樁基礎，並在新的墩柱完成後，前後端鋼箱梁連接版拆除復舊，完成復舊工程恢復通車(圖 3-21(b))。



圖 3-21(a) 予讚線財田川橋 P4 橋墩基礎遭淘空

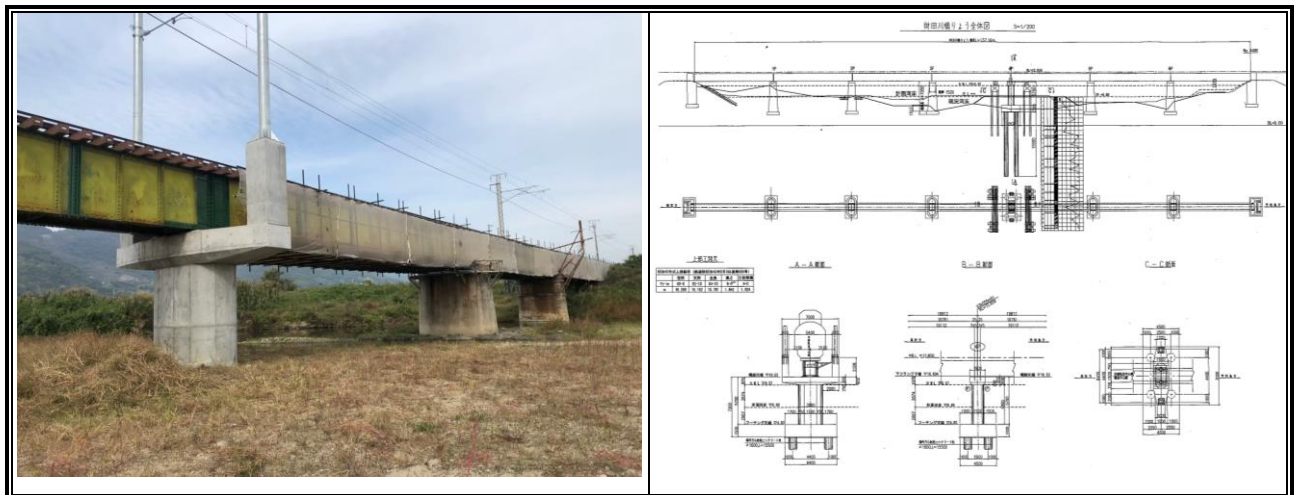


圖 3-21(b) 予讚線財田川橋 P4 橋墩重建完成

### 3. 予讚線海岸寺~詫間間護岸損壞現場視察

予讚線全線長 327 公里，全線貫通瀨戶內海與宇和海沿岸地區，因此有多處路段緊臨瀨戶內海及宇和海海岸，2017 年颱風豪雨，造成海岸寺詫間間護岸胸牆遭海浪沖毀，毀壞 2 路段總計長約 790 公尺(圖 3-22)。因遭沖毀路線緊臨海岸線，施工動線不佳，因此規劃填築便道以利重型機具施工(圖 3-23)，另以打設鋼版樁圍水以利護岸基礎施作，新設護岸胸牆高度比既有胸牆高出 53 公分，提高軌道保護強度以維護鐵路行車安全(圖 3-24)，本案現場參訪為工務部長 高瀨-直輝負責解說改善工程內容(圖 3-25)。

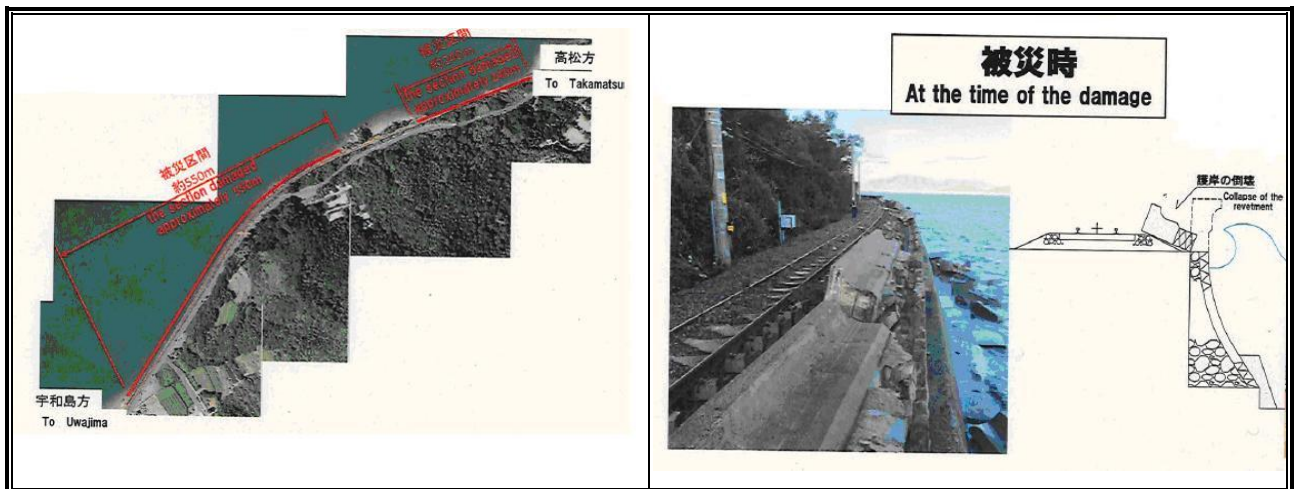


圖 3-22 予贊線海岸寺詫間護岸胸牆遭海浪沖毀



圖 3-23 予贊線海岸寺詫間護岸以塊石填築便道施工

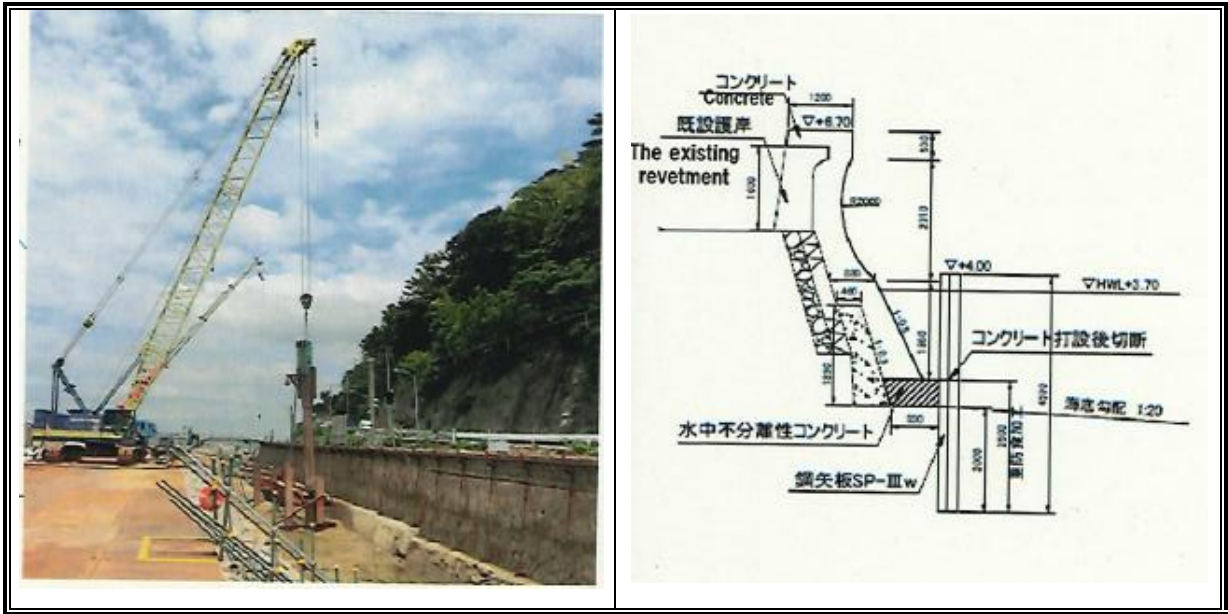


圖 3-24 予贊線海岸寺詫間護岸補強改善施工情況



圖 3-25 工務部長 高瀬-直輝負責解說參訪工程內容

#### 4. 本四備讚線瀨戶大橋參訪

本四備讚線是一條由西日本旅客鐵道(JR 西日本)及四國旅客鐵道(JR 四國)管理的鐵道路線，由岡山縣倉敷市的茶屋町站經瀨戶大橋連接至香川縣綾歌郡宇多津町的宇多津站為止，其中瀨戶大橋是橫跨日本本州（岡山縣倉敷市）到四國（香川縣坂出市）間之瀨戶內海上的一座公路鐵路共用的橋梁，全長 13.1 公里，是世界最長的鐵公路兩橋用(圖 3-26)。

瀨戶大橋自 1978 年開始施工，修建耗時 9 年 6 個月，在 1988 年 4 月 10 日開始通車，總建設費約 1 兆 1,330 億日元。瀨戶大橋上層的部分是 4 車道的瀨戶中央自動車道，



下層是 JR 四國本四備讚線（暱稱瀨戶大橋線），是一座兩層的公路鐵路兩用橋。瀨戶大橋由鹽飽群島五個島嶼之間的六座橋樑和連接這些橋樑的高架橋構成，包括懸索橋、斜拉橋、桁架橋三種橋樑型式。六座橋梁由北而南分別為：下津井瀨戶大橋、櫃石島橋、岩黑島橋、與島橋、北備讚瀨戶大橋及南備讚瀨戶大橋（圖 3-27）。北備讚瀨戶大橋是瀨戶大橋自南側起的第二座大橋，橋下是備讚瀨戶航路，也是瀨戶大橋中船舶往來最頻繁的地區，因此橋下高度較高，以便於船舶度過。南備讚瀨戶大橋是瀨戶大橋最南端的大橋，全長 1,723 米，是瀨戶大橋中最長的跨海大橋，主塔高度達 194 米，橋下層鐵路部份屬於 JR 四國管理，因此安排參訪位於最南端橋長最長的北備讚瀨戶大橋，沿管理維修通道行進至主塔並登上塔頂，沿途瞭解懸索橋例行的巡檢及維護保養工作內容（圖 3-28）。本局瀨戶大橋主塔塔頂參訪合照（圖 3-29）。

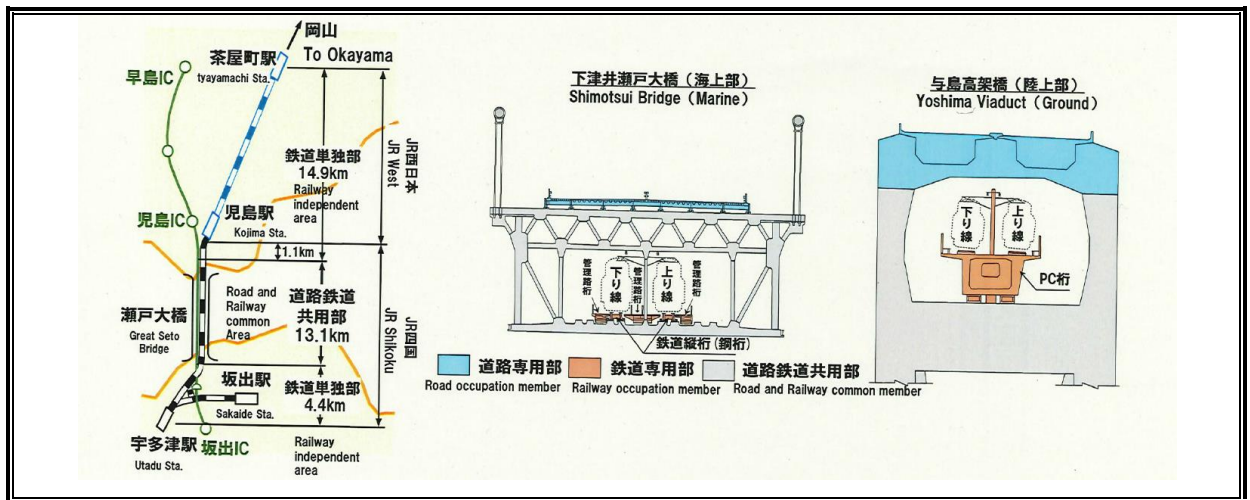


圖 3-26 瀨戶大橋位置及橫斷面示意圖

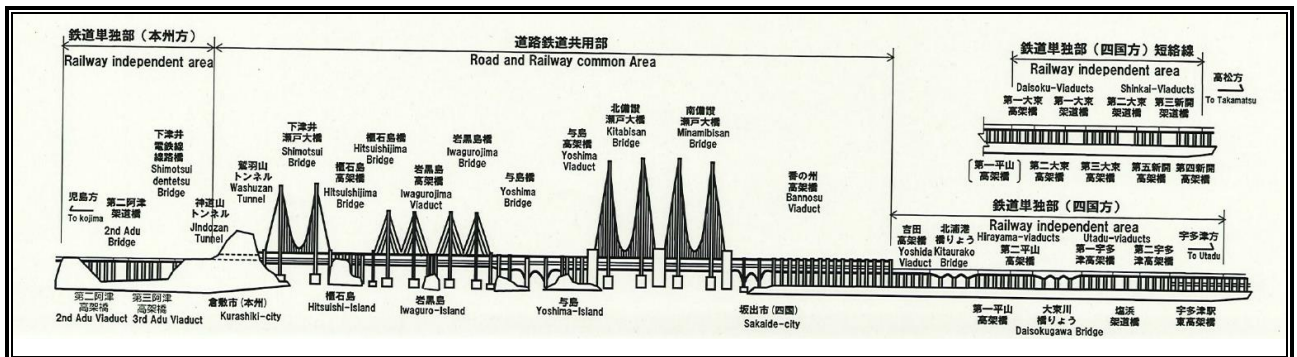


圖 3-27 瀨戶大橋橋梁組成說明示意圖



瀨戶大橋例行性巡檢

橋梁維護保養解說

圖 3-28 瀨戶大橋現地參訪



圖 3-29 瀨戶大橋主塔塔頂參訪合照

瀨戶大橋在施工時使用了海底無線爆破等當時世界首次應用的技術(圖 3-30)，並且也是世界首個在容易因氣象條件和負重而變形的大型懸索橋修建鐵路的橋樑。為使鐵軌免受橋樑變形的影響，日本鐵路部門專門研究緩衝裝置以吸收鐵軌變形的影響(3-31)。瀨戶大橋設計除考慮耐風及耐震設計外(圖 3-32)，因橋梁跨越瀨戶內海，對於橋梁的防蝕設計及日後的維護也特別注重，採用 20 年以上高持久性塗裝，並在懸索橋纜索防蝕採用將乾燥空氣灌入套管中，藉由維持套管內乾燥降低纜索腐蝕的機率(圖 3-33)。瀨戶大橋自 1978 年開工至 1988 年完工通車，歷時 9 年，有多項的設計理念及施工工法在當時為世界首創，因此特別在完工後設立瀨戶大橋紀念館，館內設有展示室，展示相關的設計及施工資料。瀨戶大橋在建造當時的環境背景可謂是一件極巨大的工程，規劃設計更需注重縝密規劃，包含未來的維修維護管理與鐵路路線擴增等，因此在鐵路路線已預留新增兩軌道空間給新幹線使用。



圖 3-30 瀨戶大橋基礎施作首創海底無線爆破技術

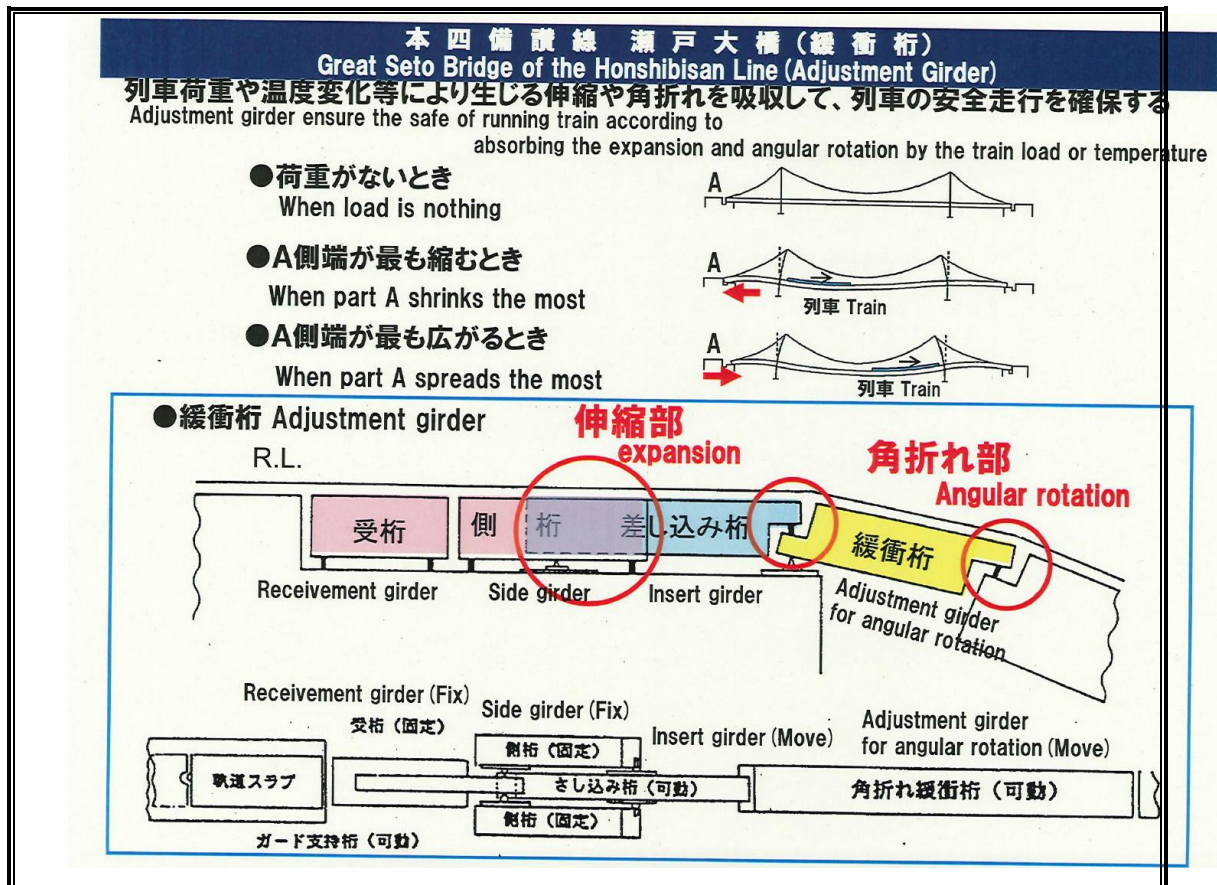


圖 3-31 瀨戶大橋橋梁首創調整梁的緩衝裝置



圖 3-32 瀬戸大橋耐風及耐震設計



圖 3-33 瀬戸大橋防蝕設計

### 5. 予讃線下宇和~立間間路堤沖毀現場視察

予讃線自香川縣高松市高松車站開始，經愛媛縣松山市松山車站，連接愛媛縣宇和島市宇和島車站，貫通瀬戸內海與宇和海沿岸地區。2018 年豪大雨造成予讃線下宇和立間間總計有 26 處的邊坡崩塌及路堤沖毀的災害事件。該視察為第二天行程是由工

務部工事課長 入江-光広及工務部工事課 角野-拓真負責解說災情及復舊工法。  
 災害店點位於下宇和與立間間里程 K284+380 附近路堤，因豪大雨造成路堤遭沖毀，  
 路基流失約 40 公尺，軌道懸空列車無法行駛。主要致災原因係因土石流阻塞排水系  
 統，水流直接沖刷路堤基礎，造成路基流失。改善措施：施作 L 型擋土牆做為路堤基  
 礎，加大原有排水系統尺寸(圖 3-34)，並於 L 型擋土牆牆頂裝設土石流告警系統(圖  
 3-35)，當土石流發生時，碰觸感測器能發送告警訊通知列車。



圖 3-34 予讚線下宇和立間間路堤災害情況



圖 3-35 土石流告警系統

土石流告警系統主要是由裝設於防落石網上的感測器啟動告警訊號通知列車，當土石流碰觸到防落石網，使得防落石網產生位移，而觸動網上的感測器，進而啟動告警功能。本告警系統所用感測器告警啟動方式為電線感應方式，在土石流未發生前，裝設於防落石網橫桿上之感測器經不銹鋼線與啟動器連接，當土石流發生後撞擊防落石網，造成位移拉伸的感測器的不銹鋼線，當拉伸的長度超過設定的警戒值時，不銹鋼線拉伸的動作啟動告警功能，告警訊號經由光纖及無線傳輸方式傳送至 CTC 系統，及同時傳送至離設置點前後約 1 公里處的列車，CTC 系統及列車可同時收到告警訊號。列車在接到告警訊號後，需停車等候 CTC 室內調度人員指示，並依調度人員指示處理。如果列車在接到告警訊號後等待三分鐘，仍未接到調度人員指示，列車人員必需以無線電話主動與調度室調度人員聯絡。有關 JR 四國此處的土石流告警系統偵測說明詳圖 3-36 所示，告警啟動後列車及 CTC 室調度人員處理流程詳圖 3-37 所示。

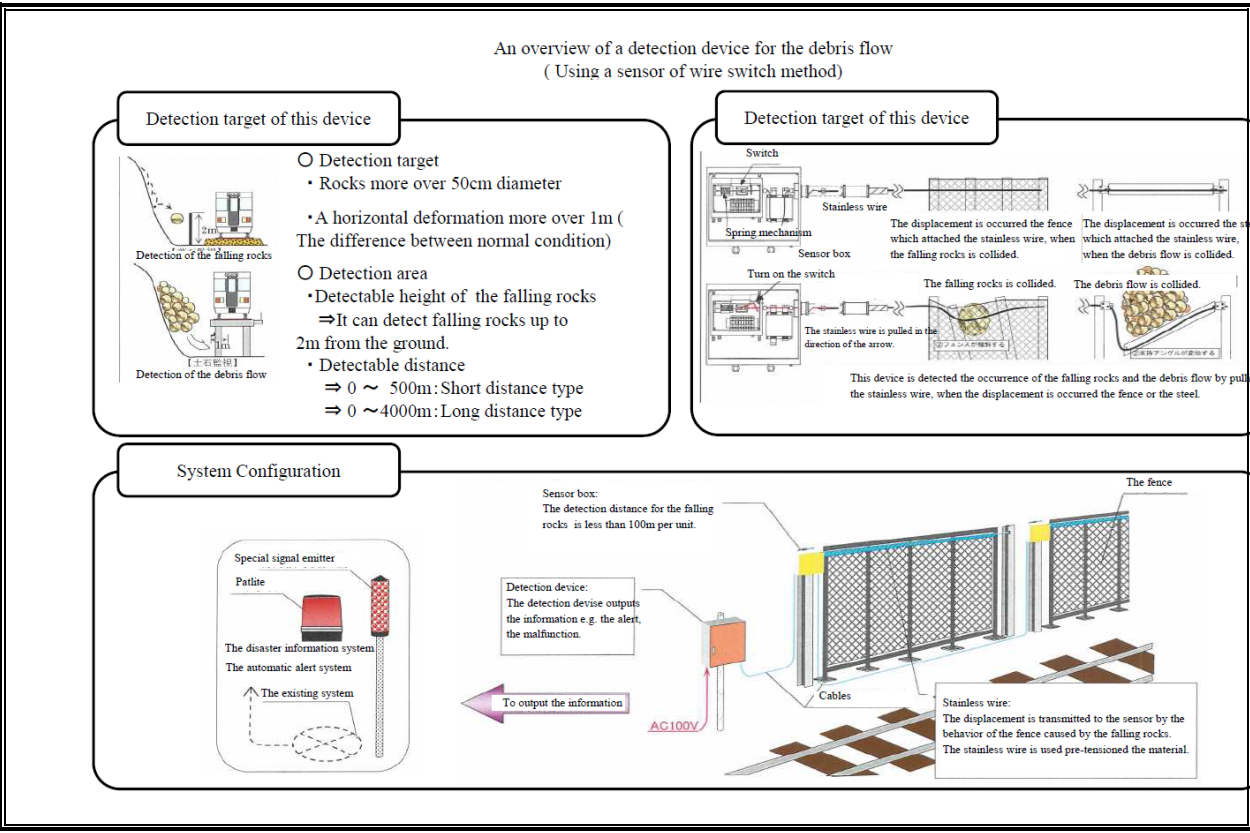


圖 3-36 土石流告警系統偵測說明

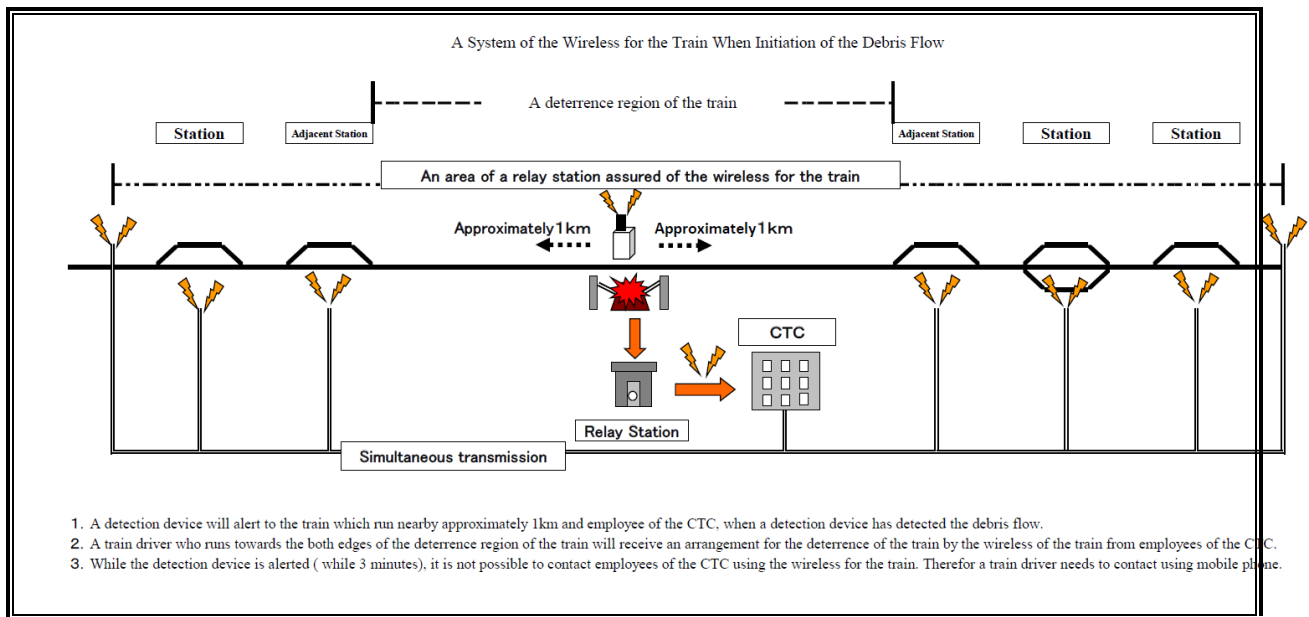


圖 3-37 土石流告警系統告警流程說明

距離土石流災區附近另有二處上邊坡沖刷崩塌邊坡，改善工法採用格子梁護坡(圖 3-38)。



圖 3-38 格子梁護坡工程

### 三、東京車站

東京車站位於日本東京都千代田區丸之內一丁目，為東日本旅客鐵道（JR 東日本）、東海旅客鐵道（JR 東海）、東京地下鐵的鐵路車站。東京車站自 1914 年完工啟用，2003 年獲日本政府登錄為重要文化財。東京車站也是關東車站百選入選站之一，被譽為東京的「表玄關」，具有首都中央車站的地位，所以東京車站不僅是日本全國新幹線路網（九州新幹線除外）最重要的列車始發站，同時也是東海道本線、中央本線、東北本線等日本主要在來線（傳統鐵路）幹線的起點站，可不轉乘直達 32 都道府縣，每日發出約 3,000 班車次，是日本最具代表性的鐵路總站之一。

東京車站的地上主體建築，大致分為站區西側的丸之內側站房，與站區東側的八重洲側站房，JR 的高架軌道與月台區即位於兩座主體建築間的廣大腹地，約略呈南北向並排分布。丸之內側站房為辰野式「赤煉瓦」紅磚造建築，為三層樓高之建物。在第二次世界大戰末期遭轟炸毀損後復建為兩層樓高，南、北兩側的八角狀屋頂，以及中央部份加上三角梯形屋頂則維持為三層樓高，至 2012 年修復工程竣工後恢復舊貌。現已拆除的八重洲側車站大樓，則為地上十二層、地下兩層的高樓建築(圖 3-39)。

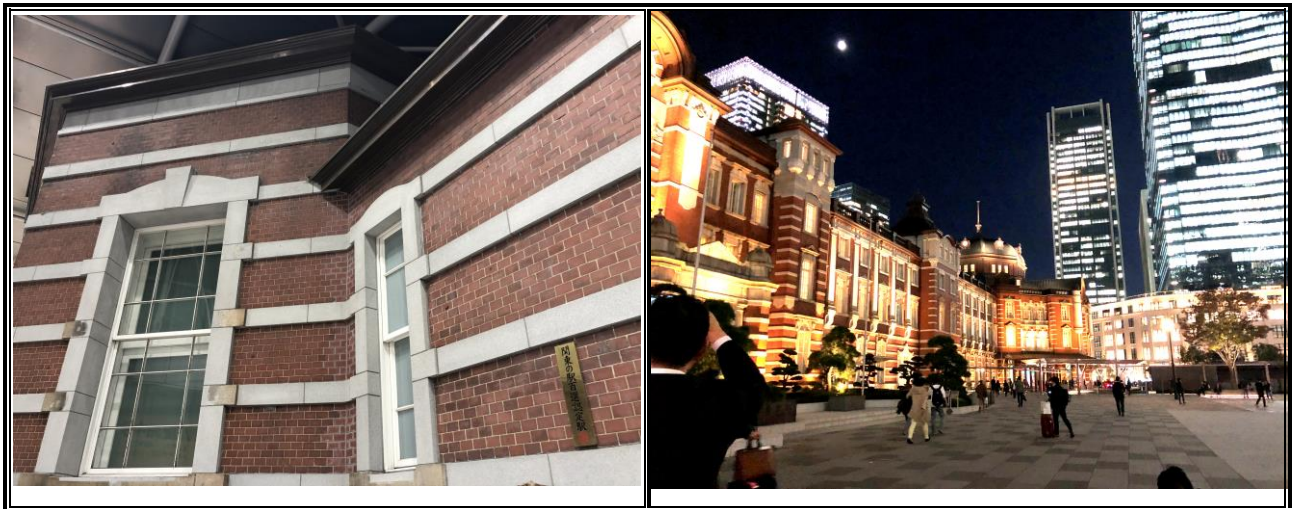


圖 3-39 東京車站相關照片



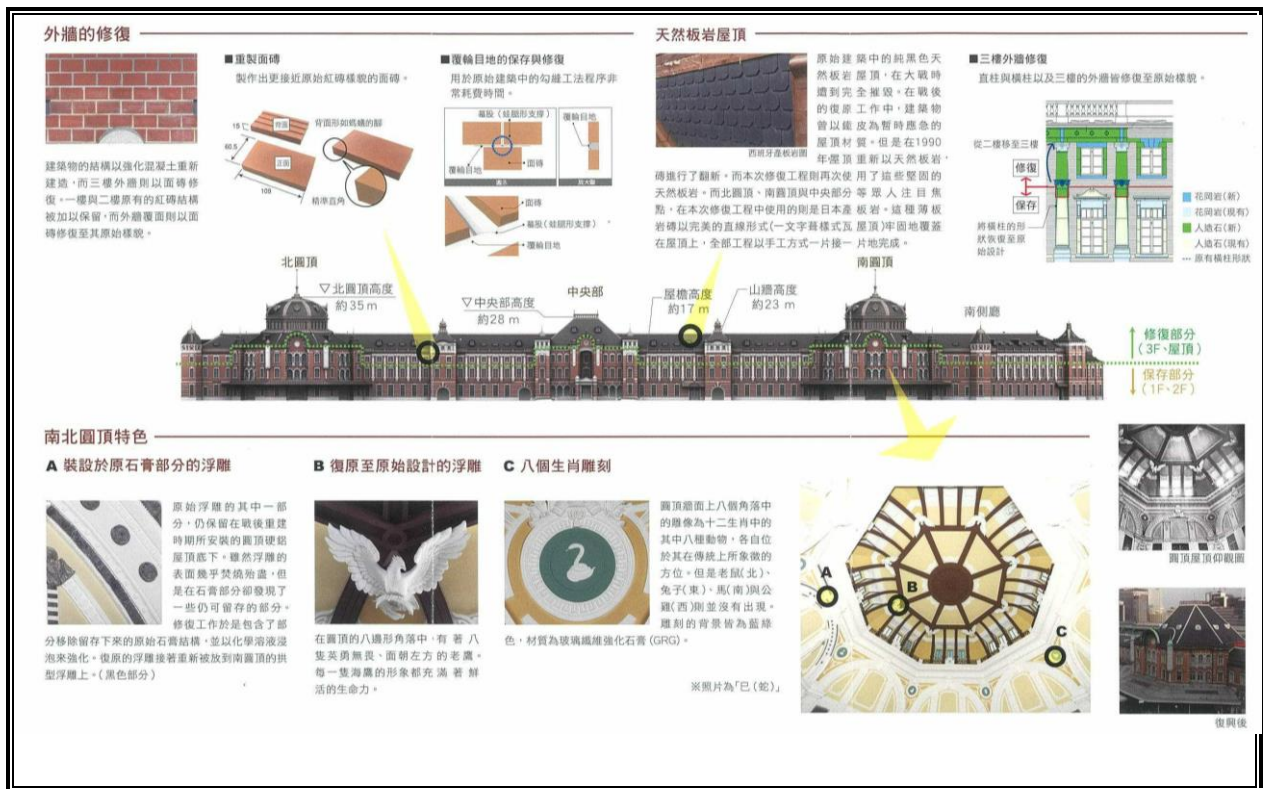


圖 3-40 東京車站修復簡介

東京站啟用之初，於東京站乘車、下車的旅客數量平均一天僅約 9,500 人次(1914 年)，站區周圍的其他交通設施（像是當時作為都市運輸主力之一的路面電車）也尚未設置完備。不過，隨著中央線、東北本線的服務範圍延伸至東京站，以及京濱線（後來的京濱東北線）、山手線區間營運型態的確立，利用東京站的旅客數量快速增加；原本人煙稀少的丸之內，也逐漸成為眾多商業大樓的興建據點。戰後，日本經濟的高度發展，使得人流與物流更加頻繁。1960 年代以後，新幹線的開通與列車直達，以及區域性在來線的延伸、相互直通與新建，擴張了東京站的列車服務區域範圍。為了因應車站設施擴增與列車班次增加的需求，東京站在空間使用上也朝向地下化、再高架化等“立體化”方式發展；此外也不斷進行站內結構、設施的改良或調整。

## 四、岡山車站

岡山車站(日語：岡山駅／おかやまえき)是位於日本岡山縣岡山市北區站元町 1-1，由西日本旅客鐵道營運的鐵路車站。岡山車站是以桃太郎與後樂園聞名的岡山市中心車站，相傳岡山就是桃太郎的家，也是桃太郎組成打鬼隊伍出發的地方，絕大部分的遊客第一次接觸岡山，就是以岡山車站當作起點，而走出車站第一眼看到的，就是這座象徵著桃太郎即將出征的威武雕像，看到這個雕像，就知道岡山到了(圖 3-41)。

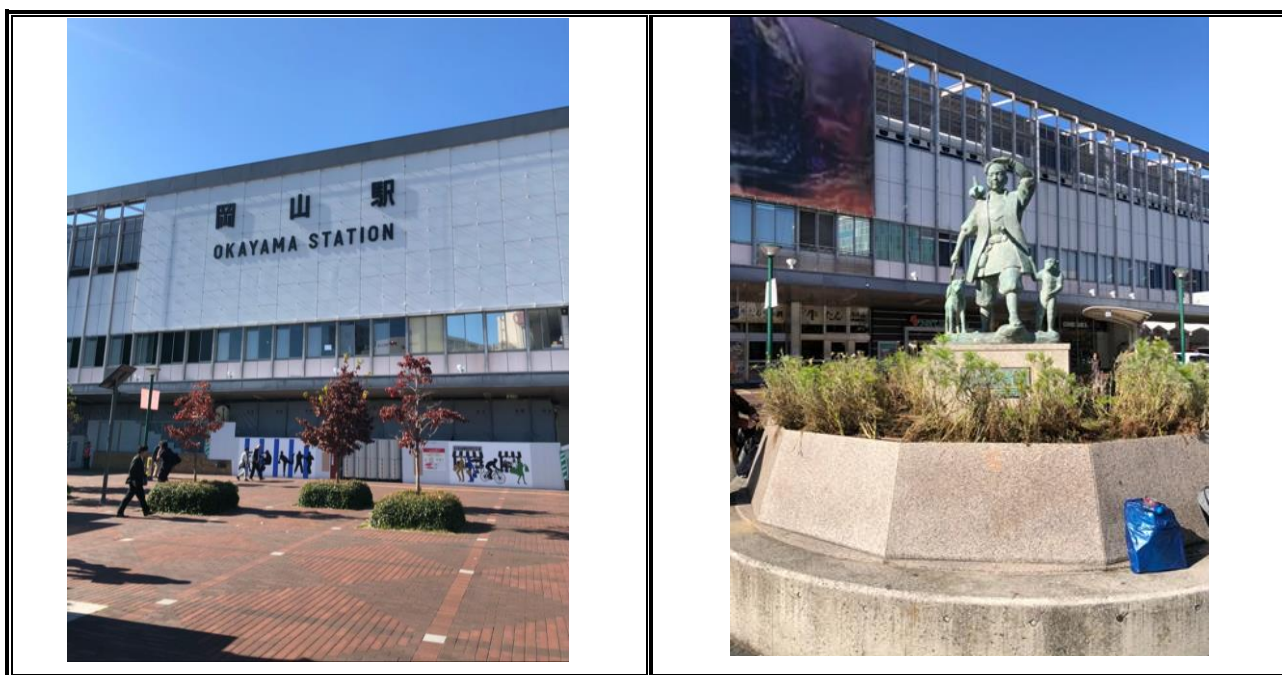


圖 3-41 岡山車站及桃太郎照片

岡山車站可以搭乘的路線分為 2 種，一是山陽新幹線，為島式 2 面 4 線、位於 3 樓的高架月台，二是在來線(包括山陽本線、伯備線、瀨戶大橋線、津山線...等)，為 4 面 12 線的平面月台，是少數以新幹線剪票口為站房正面口的車站之一。2006 年(平成 18 年)10 月改建為跨站式站房(圖 3-42)，新幹線連絡等主要機能集中在 2 樓。隨著東西連絡道路的開通廢除西口站房，剪票口多集中至二樓與地下(圖 3-42)。1891 年(明治 24 年)，當時的私鐵山陽鐵道在此設站。中國鐵道亦在站旁鋪設路線，之後鐵道國有化後以岡山車站為中心打造放射狀路網。山陽新幹線通車後，本站成為新幹線與在來線的轉乘站，開設了往九州等地的特急列車，故現在岡山車站的特急列車以山陰與四國為主(圖 3-43)。

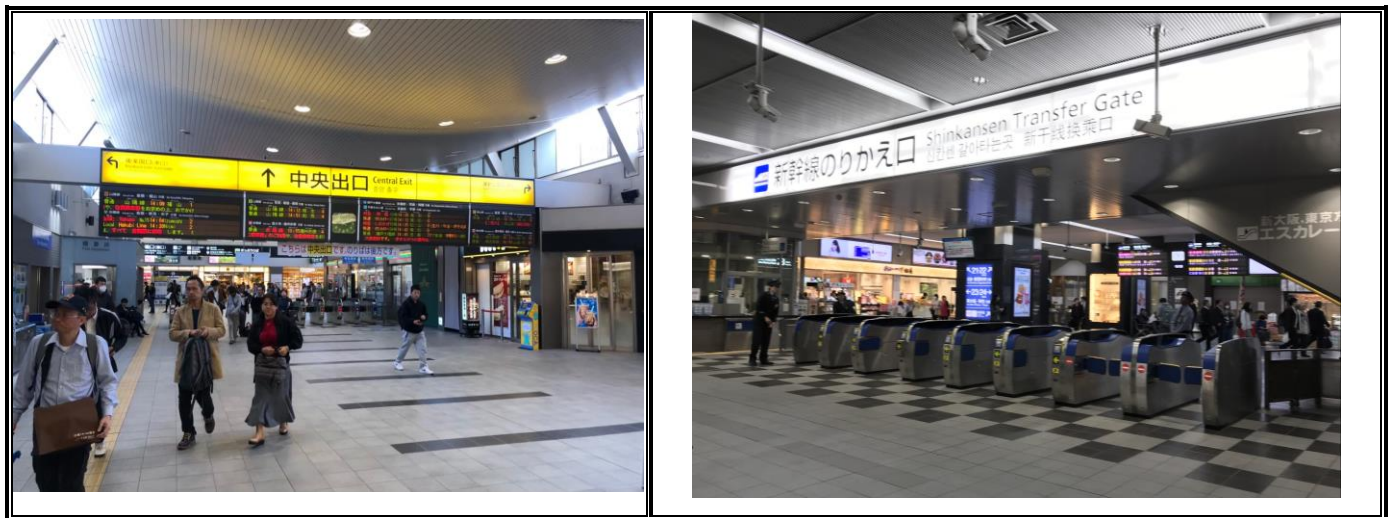


圖 3-42 跨站式站房的中央剪票口及新幹線剪票口

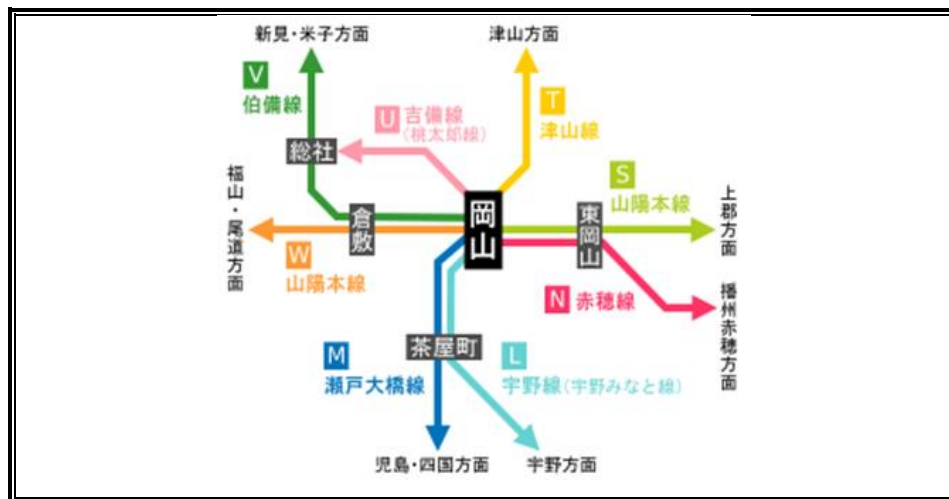


圖 3-43 岡山車站的在來線運行系統

而岡山車站的轉乘資訊也是設計得非常完善，「JR 岡山站」與「新幹線車站」就在同一棟，一出閘口就可以看到各種轉乘交通之資訊，對旅客而言非常清楚及方便（如圖 3-44 及 3-45），也有針對視障朋友的轉乘資訊，更全方位的提供各種旅客的需求（如圖 3-46）。

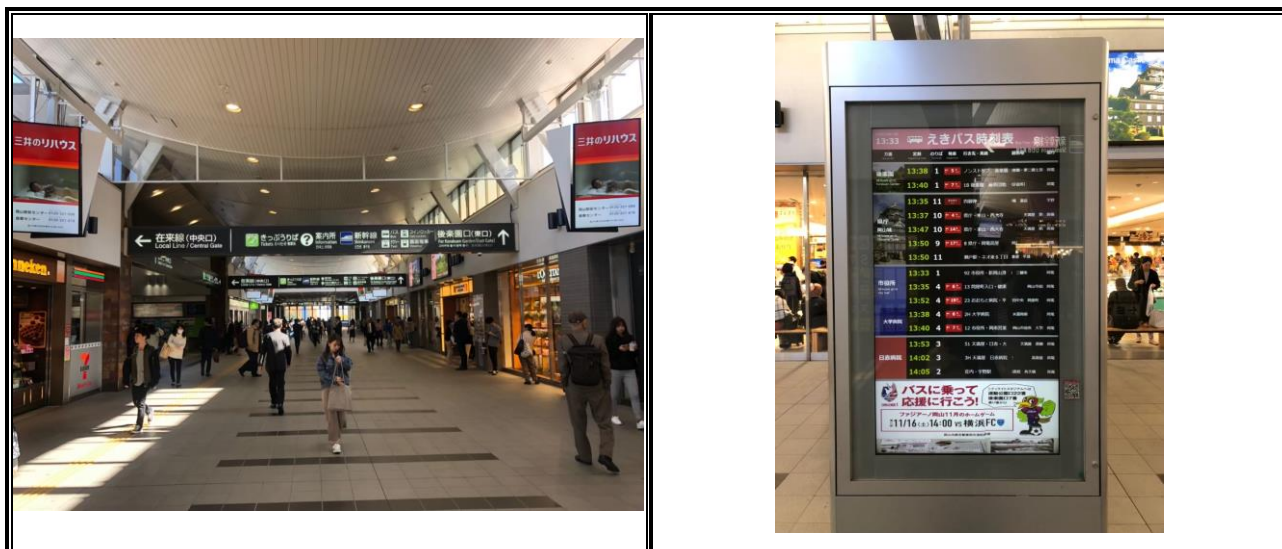


圖 3-44 岡山車站轉乘資訊

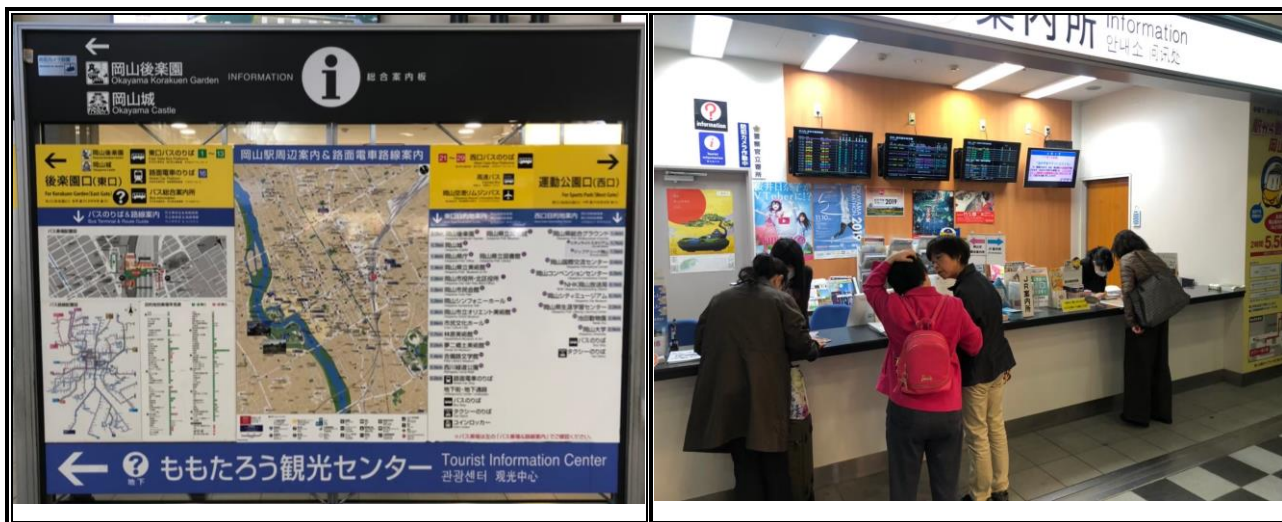


圖 3-45 岡山車站轉乘資訊及詢問台



圖 3-46 觸碰資訊版

車站出入口就是百貨公司及伴手禮的商店街，方便來往的旅客逛街與選購，同時利用車站之商業空間，以增加車站收入（如圖 3-47 及 3-48）。

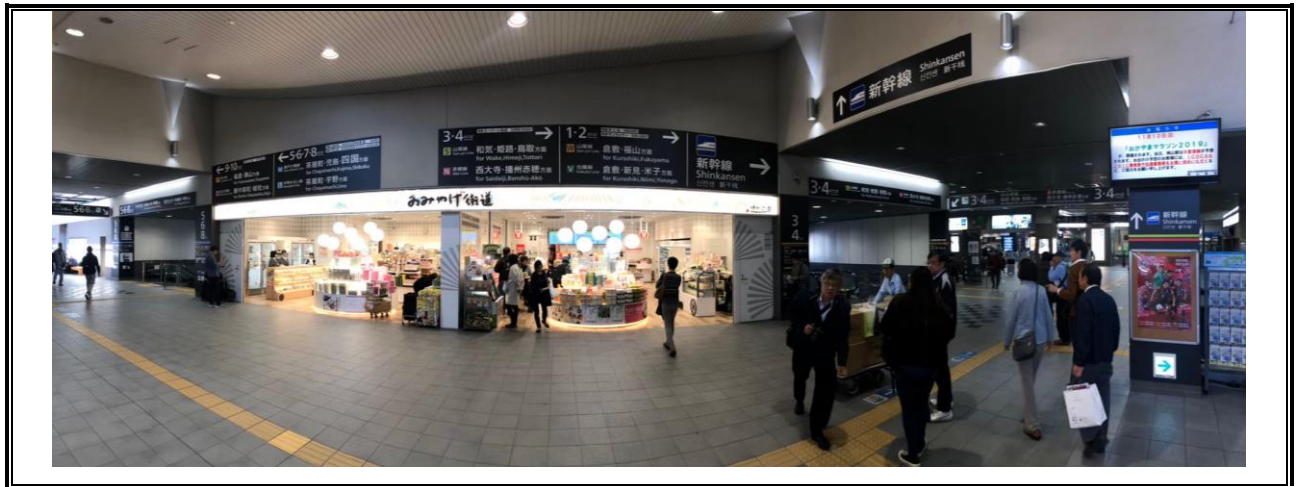


圖 3-47 車站之商業空間

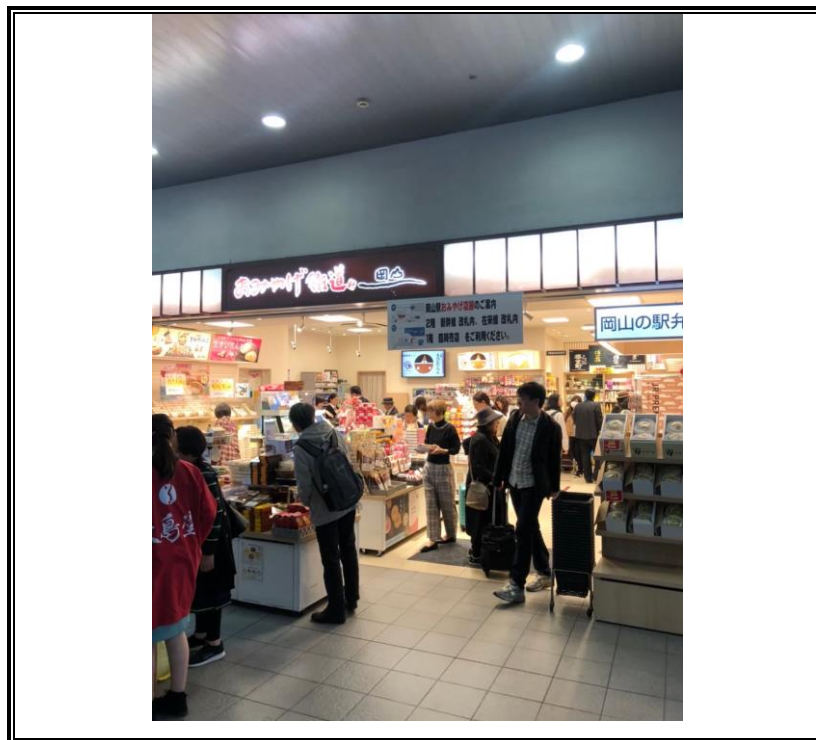


圖 3-48 伴手禮販賣處

## 肆、心得與建議

一、心得：本次考察參訪拜會單位包含鐵道綜合技術研究所及四國旅客鐵道株式會社，行程中另安排考察東京車站、岡山車站等，實地考察車站服務設施、指標、出入動線規劃及轉乘等設施。鐵道綜合技術研究所不僅使用無人機來檢測邊坡橋梁之狀況，更將無人機改造成可更貼近橋梁梁底部及加裝衝擊錘進行敲擊試驗，以減少人力及成本。另在安排行程的過程中，因參考了日本的鐵路雜誌發現四國地區常發生落石及土石流災害，故特定安排前往拜會四國旅客鐵道株式會社，也非常感謝該株式會社熱情的安排，讓本局有不同的視野與思維。

二、建議：將針對考察內容提出下列幾點

### (一) 古蹟車站修復、強化車站指標更貼近使用者

古蹟車站是本局目前面臨的問題，要如何有效保留與修復，而不是一味地拆除改建，參觀東京車站外牆的修復後，日本政府將車站列為國家重要文化資產，耗費鉅資進行修復，日本對於歷史文物的重視，以致於文物古蹟的保存，讓後人有可以追溯及擁有共同的回憶。參觀岡山車站指標部分有關公車轉乘或者轉成其他交通工具或觀光資訊之引導，都是很清楚明瞭的，也考量到視障朋友也有相關指引標示，實在值得本局學習與跟進。

### (二) 全面檢視老舊橋樑基礎型式，以維行車安全

JR 四國予讚線財田川橋橋齡已 110 年，因早期橋梁建造時，墩柱基礎未打設基樁，且因氣候變遷，河川沖淤深度較以往為遽，因此沖刷深度造成墩柱的傾倒，危及橋梁安全。國內橋梁亦有此情形，建議應檢視老舊橋梁基礎型式，位於河川深槽區之墩柱基礎，如未有打設樁基礎，應進行補強改建，以維橋梁結構安全。

### (三) 橋梁設計時併考量完工後維護保養之設計理念

在發生南方澳大橋斷橋事件後，關於橋梁的維護檢測工作應更加重視與確實執行，瀨戶大橋由六座橋梁組成，橋梁型式包括懸索橋、斜拉橋、桁架橋三

種，其所在位置與南方澳大橋一樣同位於高鹽害的海邊，且同樣為懸索橋，因此瀨戶大橋維護管理工作的作為可供國內橋梁管理參考。瀨戶大橋橋梁高度高且跨距長，可算是巨型橋梁，因此在建造之初，除規劃設計需縝密規劃結構安全外，對於未來使用中的維修維護管理更應事先考量，例如首創在懸索橋纜索防蝕採用將乾燥空氣灌入套管中，藉由維持套管內乾燥降低纜索腐蝕的機率、延長纜索壽年，因此設計時就需考慮如何將乾燥空氣灌入套管中，送風機及輸送管線都需納入設計中。另外包含鋼套管等鋼構件的防蝕塗裝，也因應位於海邊高鹽害而進行防蝕防鹽害塗料的研發，目前使用之耐久性防蝕塗料，20 年塗裝一次即可。瀨戶大橋整個橋梁規劃設計時，即把完工後使用中之維護保養納入設計考量的理念，值得國內橋梁設計參考。

#### **(四) 引入無人機新功能，強化橋樑邊坡預防檢測效率**

依據鐵道總合技術研究所(以下簡稱 RTRI)簡報，目前無人機應用於橋梁檢測，已經能客製化調整搭載攝影機鏡頭角度調整可朝正上方，讓無人機飛行於梁底時能正視拍攝，讓拍攝照片能清楚辨識，並經由比對的結果確認裂縫寬度。另外亦可於無人機加裝軌道及滾輪，以利無人機能緊貼梁底進行掃瞄檢測，讓無人機能緊貼梁底，進行敲打梁底的檢測工作，大大增加檢測範圍及精確度。RTRI 這兩項研究成果能有效的解決目前無人機應用於橋梁檢測的缺失，建議可以持續關注此研究成果的後續推廣，可為國內橋梁檢測參考與應用。

#### **(五) 擴充光學雷達技術增加測量範圍系統多元化**

利用光學雷達(LIDAR)儀器設備進行振動檢測的非接觸性橋梁檢測，可利用無人機搭載光學雷達儀器進行橋梁檢測，目前國內已有利用光學雷達進行邊坡檢測，惟尚無進行橋梁檢測的案例，建議可以持續關注研究成果，亦可為國內橋梁檢測參考與應用。

#### **(六) 運用數位化資訊分析系統，精進防災功能**

邊坡落石風險評估方面，利用無人機空拍測量邊坡，將測量結果進行 3D 數

值地形建模，包含 DEM 及 DSM，利用 1m 精度的 DEM 進行落石風險評估及落下路徑預測。目前國內對於落石路徑預測亦是利用 3D 數值地形進行分析，或是利用分析軟體，建議可以將分析成果與 RTRI 的分析方式成果進行比對驗證，提升落石預測準確度。

#### **(七) 強化 CTC 監測應變機制，提升營運安全性**

JR 四國目前已經把各種的監測值納入 CTC 系統，包含雨量、地震及風速等監測系統的監測數據，可以直接於 CTC 系統的螢幕上呈現，並以燈號或不同顏色顯示方式，呈現各種監測風險程度，以利 CTC 室調度人員進行列車調度掌控。目前本局正在建置『預警及管理系統』將會納入參考。

#### **(八) 監測告警系統、CTC 系統與列車系統之結合**

JR 四國予讚線下宇和與立間站間，土石流災害區裝設土石流監測告警系統，當監測系統偵測到土石流發生時，監測系統將告警訊號同時傳送至 CTC 系統及距災害區域 1 公里內列車，CTC 指揮室調查人員及列車皆能同時收到告警訊息，列車收到土石流告警訊息應即時停車等候 CTC 指揮室調度人員指示。藉由土石流監測告警系統降低土石流災害造成列車出軌的情形。目前本局正在建置落石告警系統，針對落石及土石流進行監測告警，採用告警方式與 JR 四國土石流監測告警系統相似，後續將會再針對告警方式與 JR 四國就告警偵測方式及訊號傳送方法的細節進一步進行交流，以提升告警系統準確率及功能性能更加精進，有效降低災害發生的損失。