出國報告（出國類別：考察）

數位平台之隧道工程建設維護新技術及研討檢測、評估，適時予以維護、延壽考察報告

服務機關：交通部鐵路改建工程局

姓名職稱：局本部總工程司 蔡崇義

東部工程處玉里工程段段長 薛文城

派赴國家：日本

出國期間：106 年 10 月 16 日至 106 年 10 月 20 日

報告日期：106 年 12 月 19 日

系統識別號 C10604550

行政院及所屬各機關公務出國報告提要

頁數:64頁 含附件: ■是□否

報告名稱：數位平台之隧道工程建設維護新技術及研討檢測、評估，適時予以維護、延壽

主辦機關：交通部鐵路改建工程局東部工程處

聯絡人/電話：薛文城/03-8875129#301

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

蔡崇義/交通部鐵路改建工程局/總工程司(02-89691805)

薛文城/交通部鐵路改建工程局/ 東部工程處/段長(03-8875129)

出國類別：考察

出國期間：106 年 10 月 16 日至 106 年 10 月 20 日

出國地區：日本

報告日期：106 年 12 月 19 日

分類號目：H1/交通建設

關鍵字：隧道、安全檢測、維護管理、維修補強

摘要

臺灣山岳隧道由於岩土壓力長期作用、地下水經年流蝕侵損、襯砌結構年久老化、或地震侵襲造成襯砌龜裂，甚至結構損害不堪使用，如何針對營運中隧道的安全穩定加以有效的檢測、評估，適時予以維護、延壽乃為重要之課題，現今國內營運中隧道安全穩定的檢測、評估、維護、延壽，並未有具體的規範或準則可供參考，故汲取先進的隧道工程案例及作業原則，作為日後規劃、施工、為護管理及延長壽命之參考實有必要。

目前國內各隧道維護管理單位尚缺乏「長期監測」之觀念，往往必須俟隧道已產生明顯異狀或即將進行電氣化(或雙軌化)才委託專業顧問公司進行檢測與評估作業，實應參酌日本隧道維護管理「長期監測」觀念，於隧道內具有疑慮之區段安裝監測儀器，並採用無線回傳至行控中心或列車方式達到預警之功效。

目　錄

表目錄

圖目錄

照片目錄

壹、出國考察依據及目的

一、依據

依據行政院 105 年 8 月 1 日院臺交字第 1050023327 號函及交通部 105 年 8 月 3 日交人字第 1050024701 號函核定出國計畫案。

二、目的

目前南迴鐵路係屬山岳隧道就地施工為能有效將網路工程建設之應用，基於隧道岩土壓力長期作用、地下水經年流蝕侵損、襯砌結構年久老化、或地震侵襲造成襯砌龜裂，甚至結構損害不堪使用，為將數位平台導引至隧道藉以提升永續經營之目標，如何針對營運中隧道的安全穩定加以有效的檢測、評估，適時予以維護、延壽乃為重要之課題。

有關現今國內營運中隧道安全穩定的檢測、評估、維護、延壽，並未有具體的規範或準則可供參考，為能增進現今南迴鐵路工程遭遇老舊隧道維護技術及延長結構壽命，以及增進東部鐵路諸多隧道未來之維護及整修經驗，汲取先進的隧道工程案例及作業原則，作為日後規劃、施工、為護管理及延長壽命之參考實有必要，並能提升隧道結構安全管理與檢測作業能系統化與知識化。

貳、考察行程

本考察行程經多方面聯繫，並透過日本京都大學　朝倉俊弘名譽教授引薦及協助，特別安排拜訪日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)，並與該研究所及東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)，同時舉行研討會(Workshop)，並考察新/舊橫吹第二隧道、六十里越隧道等，考察行程如表 2-1 所示。

表 2.1 考察行程

時間	起訖地點	考察行程紀要
106/10/16 星期一	桃園-東京	上午由桃園搭乘 08:50 長榮航空 BR-198 次班機飛日本，13:15 抵達日本東京成田國際機場後，轉搭乘成田 Express 特急列車至東京都新宿 Hotel Gracery Shinjuku 飯店，及研讀參訪相關資料。
106/10/17 星期二	東京	上午拜訪日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)，下午於該研究所演講廳與日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)、東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)及本局參訪成員舉行研討會(Workshop)並交換意見與交流。
106/10/18 星期三	東京-山梨縣甲府市-新潟縣魚沼市	上午考察山梨縣甲府市橫吹第二隧道，下午移動至新潟縣魚沼市。
106/10/19 星期四	新潟縣魚沼市-東京	全日考察福島縣與新潟縣間 JR 只見線六十里越隧道。
106/10/20 星期五	大阪	搭乘成田 Express 特急列車東京至成田國際機場，再搭乘 20:40 長榮航空 BR-195 次班機 23:20 返抵桃園，結束此次日本考察行程。

叁、參訪過程

一、日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)參訪

日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)成立於 1986 年(照片 3-1)，目前有 13 個研究部門(圖 3-1)，目前員額數有 527 位，其主要目的為進行鐵道相關技術之研究、試驗與開發；而接待本次參訪主接待者嶋本敬介(Keisuke Shimamoto)博士則隸屬於構造物技術研究部之隧道研究室，該部門由 5 個研究室組成，分別為：(1)混凝土結構；(2)鋼/複合結構；(3)基礎/土結構；(4)隧道；(5)建築，主要從事結構和設計、維護管理、抗震等研究與開發。

RTRI 除前述 13 個研究部門專屬之研究中心與試驗室外，尚有風洞技術中心與超導磁懸浮技術中心(照片 3-2)，本次參訪主要參觀構造物技術研究部隧道研究室之「大型隧道襯砌模型實驗裝置」，目前該裝置剛完成「聚脲樹脂防止隧道襯砌剝落試驗」(圖 3-2)，由該試驗結果顯示：當拱頂位移達到 30 mm 時，襯砌肩部周圍出現彎曲壓縮裂縫，由於聚脲覆蓋了剝落混凝土，襯砌未發生剝落。因此，模型試驗證實了聚脲樹脂應用於剝落的有效性。

照片 3-1 參訪成員於日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)前合影

(a)

(b)

(c)

(d)

照片 3-2 日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)接待人員介紹超導磁懸浮技術研發

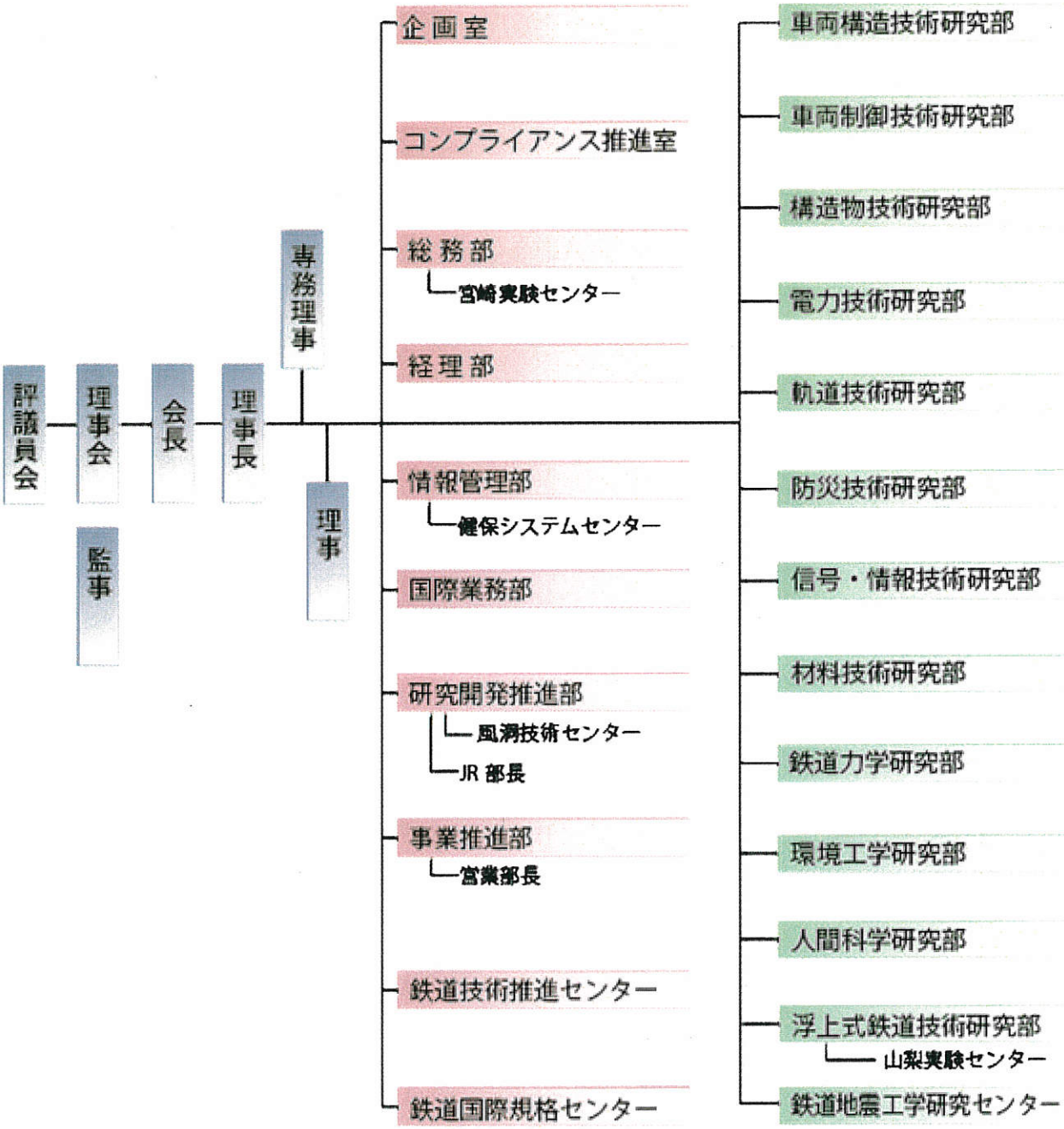
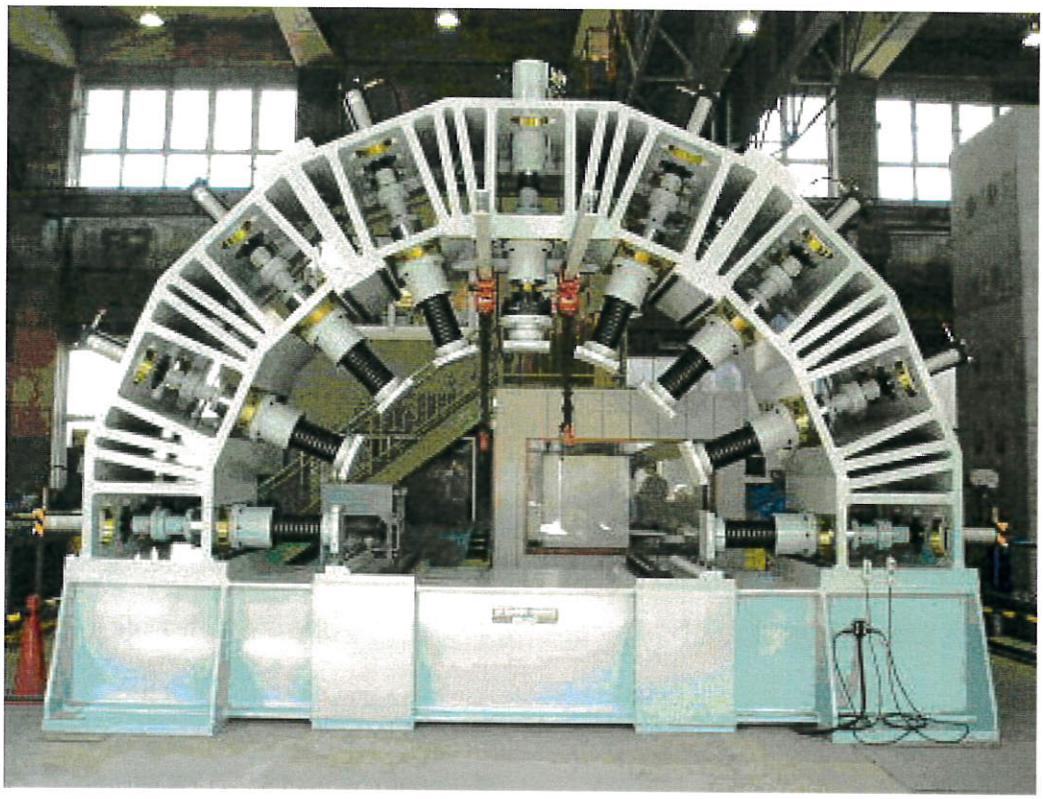
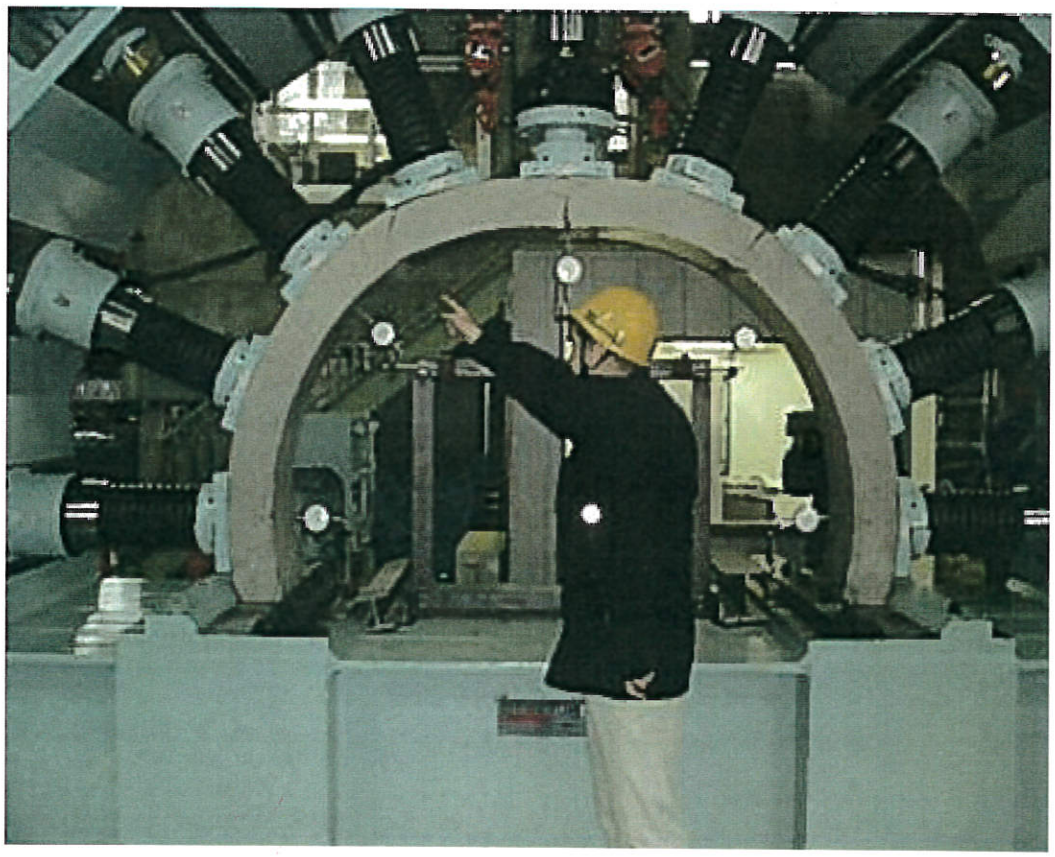


圖 3-1 日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)組織架構圖(RTRI 網頁資料)



(a)



(b)

圖 3-2 RTRI 大型隧道襯砌模型實驗裝置(RTRI 網頁資料)

二、研討會

本次研討會(Workshop)於 106 年 10 月 17 日(星期二)下午於日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)舉行，分別由 RTRI 嶋本敬介(Keisuke Shimamoto)博士發表「Maintenance Technologies of Railway Tunnels in Japan」(照片 3-3)、李佳翰博士代表本次參訪發表「Railway Tunnel Maintenance in Taiwan (台灣鐵路隧道維護管理)」(照片 3-4)、東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)本田諭課長發表「Maintenance of Railway Structures (Tunnel) in JR East」(照片 3-5)。研討會中本次參訪成員並與日方相關人員，就隧道維護管理、檢測、監測與維修補強等議題展開熱烈討論及技術交流，結束後並致贈紀念禮品予日方相關人員(照片 3-6、3-7)。

照片 3-3 RTRI 嶋本敬介(Keisuke Shimamoto)博士發表

「Maintenance Technologies of Railway Tunnels in Japan」

照片 3-4 李佳翰博士發表「Railway Tunnel Maintenance in Taiwan (台灣鐵路隧道維護管理)」

照片 3-5 東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)本田諭課長發表「Maintenance of Railway Structures (Tunnel) in JR East」

照片 3-6 蔡總工程司代表致贈日本京都大學　朝倉俊弘名譽教授紀念禮品

照片 3-7 蔡總工程司代表致贈嶋本敬介(Keisuke Shimamoto)博士紀念禮品

(一) Maintenance Technologies of Railway Tunnels in Japan

根據日本鐵道綜合技術研究所(RTRI) 嶋本敬介博士團隊統計 3800 個隧道資料(圖 3-3)顯示，有產生異狀之隧道比例高達 39%，其中 13%為襯砌劣化、12%為凍害、8%為地壓作用之變形、6%為內淨空斷面不足，因此，既有隧道維護管理所需之檢測、監測與維修補強為該研究室之發展重點。目前該研究室之研究開發課題有：(1)隧道設計法；(2)隧道維持管理法；(3)健全度診斷技術；(4)地壓造成隧道變形之預測方法;(5)隧道耐震性評價與預測方法;(6)FRP 帶板接著工法;(7) 採用無線傳感器的隧道變形監測：(8)使用導電塗料/光纖的隧道變形監測；(9)營運中隧道特殊施工評價方法及對策；(10)軌道下橫向結構設計與施工方法。

由於 1999 年日本陸續發生三次隧道襯砌剝落事件影響列車營運與乘客安全，因此，於 2000 年新增「打擊聽音」檢測項目於隧道健全度評估流程內(圖 3-4(a))；根據數個隧道變形長期監測資料分析，建立地壓造成隧道變形之數值分析(預測)方法(圖 3-4(b))；調查分析隧道受震之破壞型態(圖 3-4(c))，並採用模型試驗進一步研究，發展隧道耐震性評價與補強分析方法；利用導電塗料之導電與否以及光纖材料之高應變感應特性，開發使用導電塗料/光纖的隧道變形監測技術(圖 3-4(d))；以上之隧道維護管理新觀念、新分析方法、新監測技術等，均十分值得國內借鏡與參考。

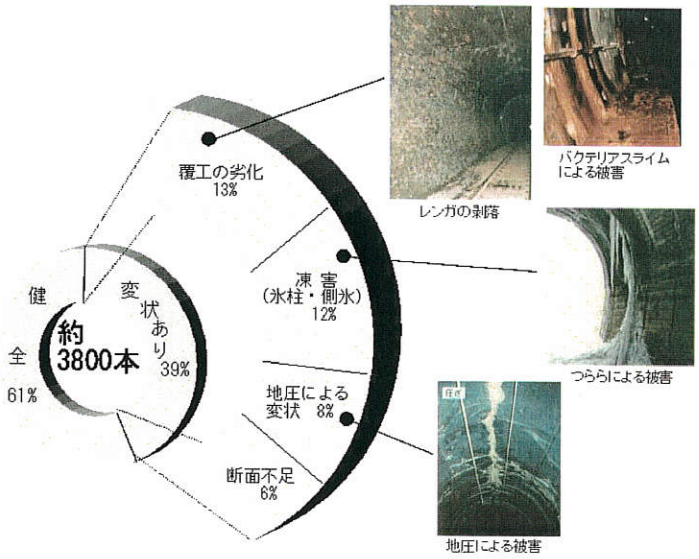
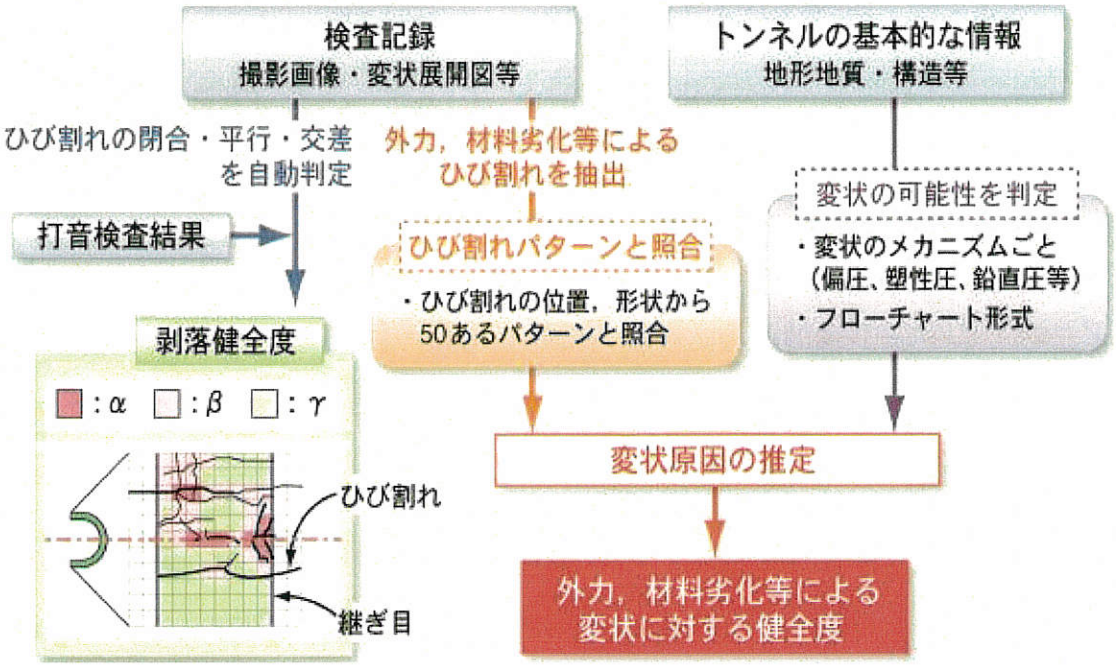
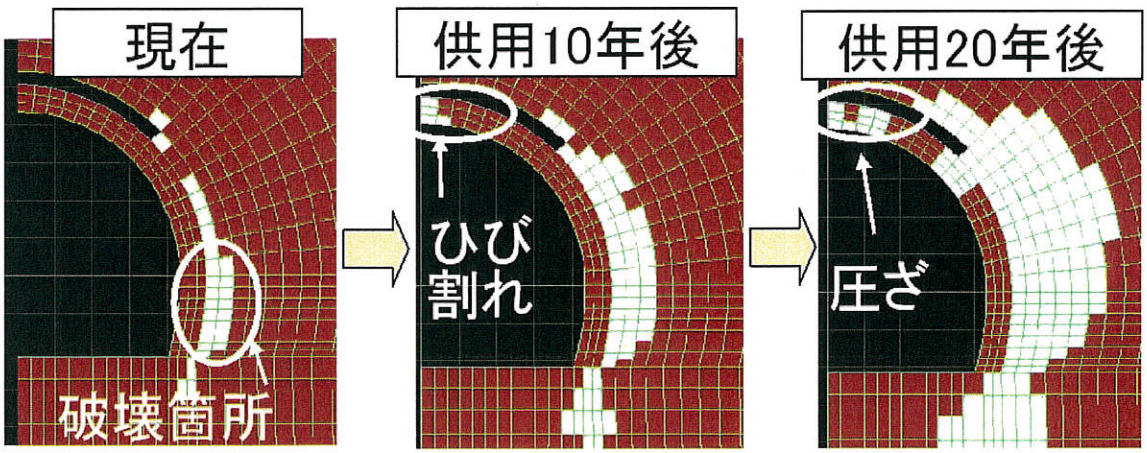


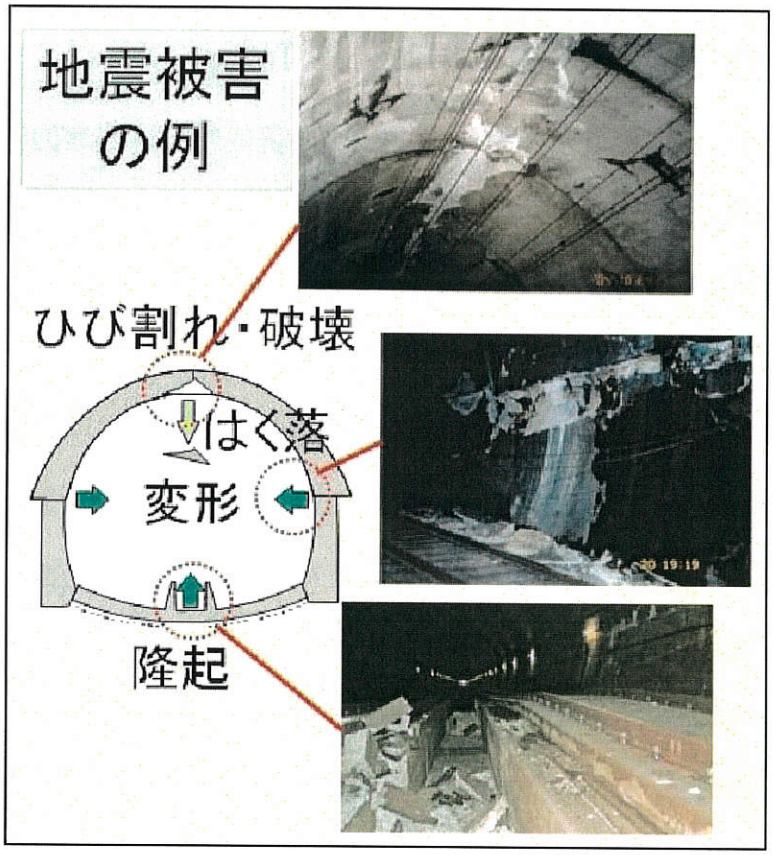
圖 3-3 日本鐵路隧道異狀資料統計圖(RTRI 網頁資料)


検査記録
撮影画像・変状展開図等
トンネルの基本的な情報
地形地質・構造等
ひび割れの閉合・平行・交差
を自動判定
外力，材料劣化等による
ひび割れを抽出
変状の可能性を判定
打音検査結果
ひび割れパターンと照合
・ひび割れの位置，形状から
50あるパターンと照合
・変状のメカニズムごと
（偏圧、塑性圧、鉛直圧等）
・フローチャート形式
剥落健全度
：α ：β ：γ
ひび割れ
継ぎ目
変状原因の推定
外力，材料劣化等による
変状に対する健全度

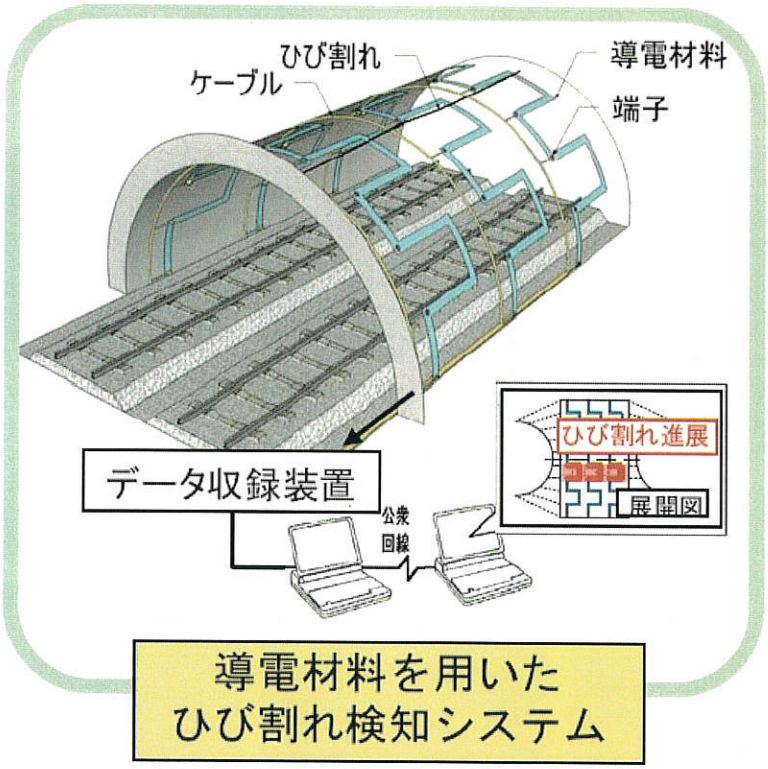
(a)


現在
供用10年後
供用20年後
ひび
割れ
圧ざ
破壊箇所

(b)



(c)



(d)

圖 3-4 RTRI 構造物技術研究部隧道研究室開發技術(RTRI 網頁資料)

(二) Railway Tunnel Maintenance in Taiwan

李佳翰博士首先說明臺灣鐵道建設經緯，接著依序闡述臺灣鐵路隧道異狀種類(圖 3-5)、維護管理準則、檢(監)測技術與近年開發之新技術，最後介紹目前南迴線鐵路電氣化建設計畫之隧道工程，進行技術交流與熱烈討論。

臺灣鐵道建設始於 1887 年，於 1991 年南迴線建設完工後完成環島鐵路網；1997 年由於北迴線電氣化之需求而引進德國先進之隧道襯砌影像掃描技術(TS 360)，2008 年則由交通部鐵路改建工程局東部工程處委託臺灣大學土木研究所與臺北科技大學資源工程研究所所組成之研究團隊，陸續開發一些隧道檢(監)測技術(圖 3-6)：隧道襯砌影像嵌接技術、隧道異狀肇因診斷、隧道襯砌微變監測技術、隧道仰拱異狀診斷等。

南迴線鐵路電氣化建設計畫之隧道工程(圖 3-7)全長約 40.75 公里(含 36 座隧道)，除多良一號隧道將採改線方式新建 2 座橋樑與 1 座隧道外，其餘隧道均採加固補強方式改善以供電氣化工程使用，其對策工法(圖 3-8)有：降道、裂縫止水(補強)灌漿、導排水措施、電力設備保護板、局部剝落填補、碳纖維貼片補強、岩栓補強、回填灌漿、鋼筋外露對策、底版補強等。

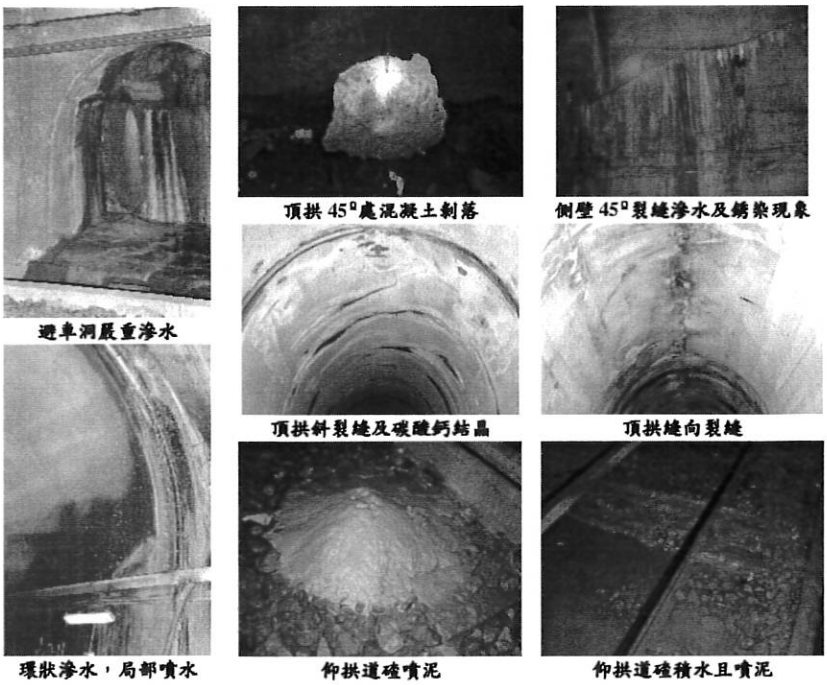
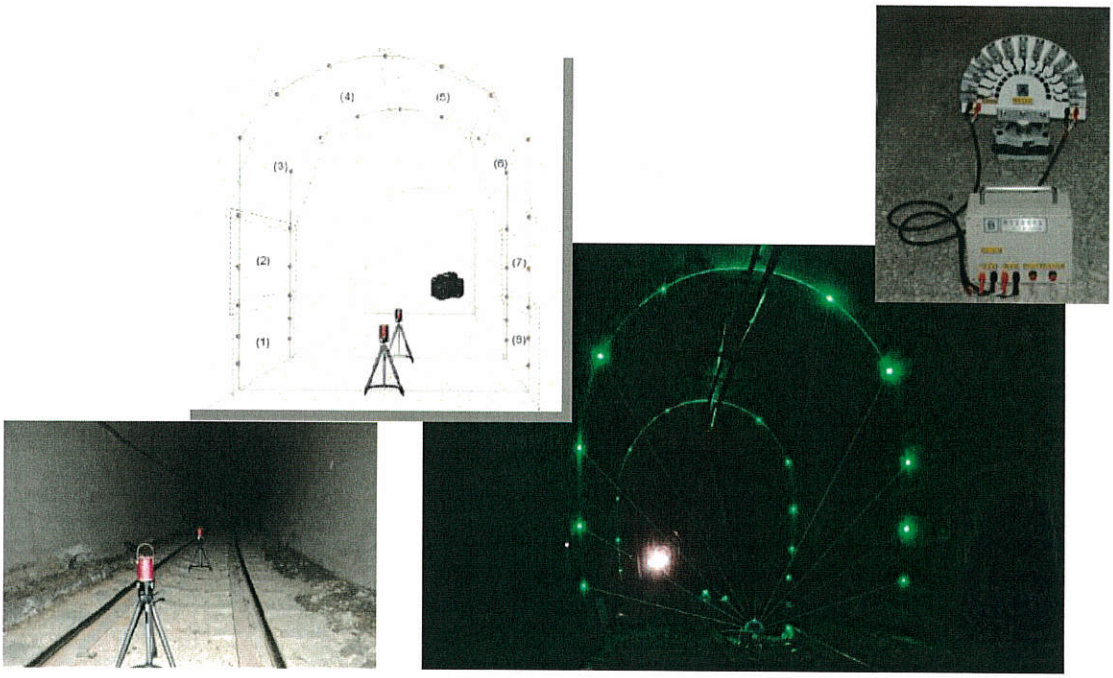
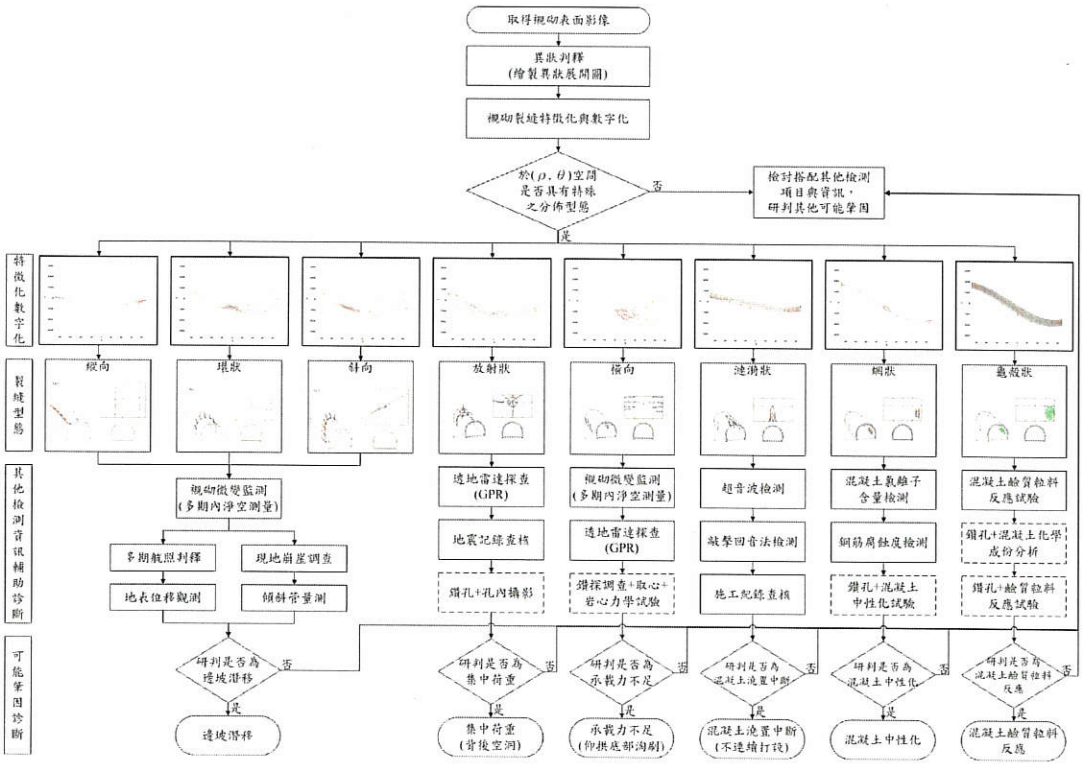


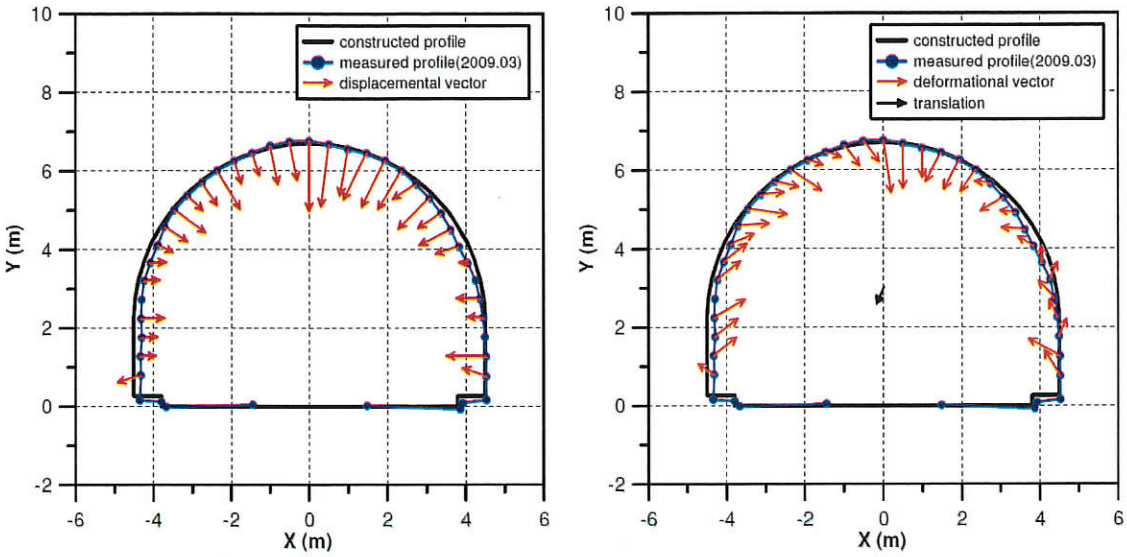
圖 3-5 臺灣鐵路隧道異狀種類


(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
(7)
(9)

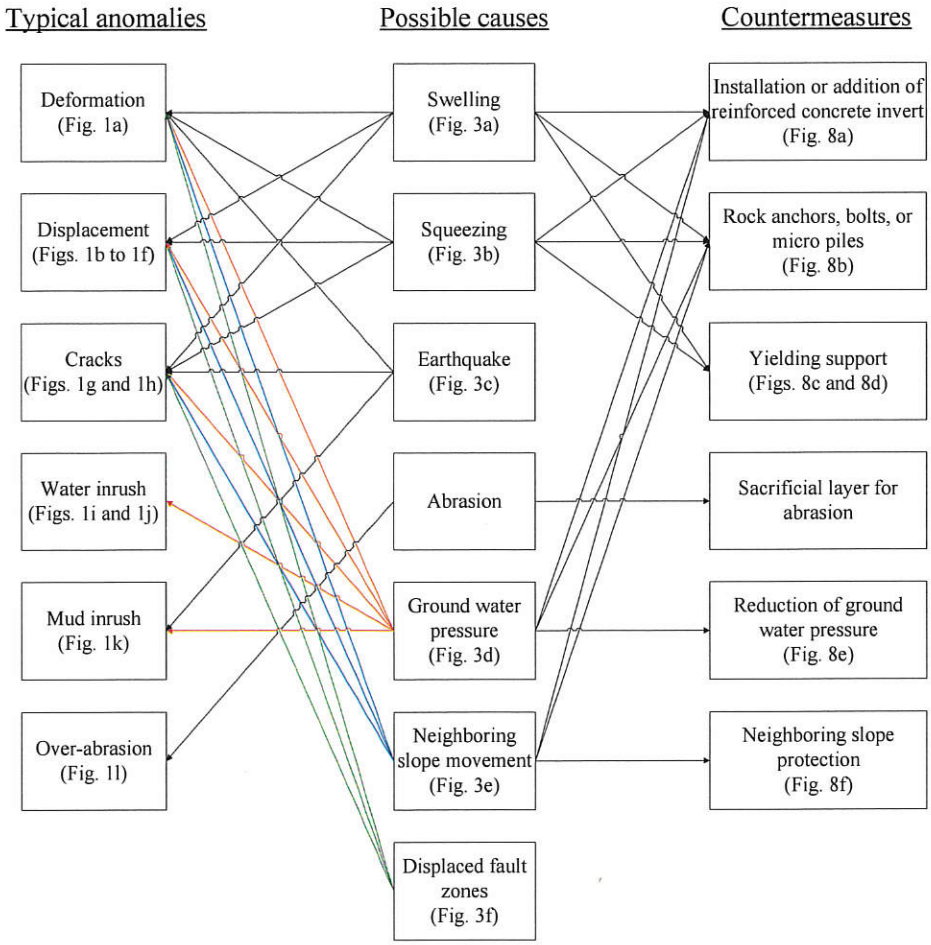
(a)


取得襯砌表面影像
異狀判釋
(繪製異狀展開圖)
襯砌裂縫特徵化與數字化
於(ρ, θ)空間
是否具有特殊
之分佈型態
否
檢討搭配其他檢測
項目與資訊，
研判其他可能肇因
是
特徵化數字化
裂縫型態
縱向
環狀
斜向
放射狀
橫向
連續狀
網狀
龜裂狀
其他檢測資訊輔助診斷
襯砌微變監測
(多期內淨空測量)
多期航照判釋
現地崩崖調查
地表位移觀測
傾斜管量測
透地雷達探查
(GPR)
地震記錄查核
鑽孔+孔內攝影
襯砌微變監測
(多期內淨空測量)
透地雷達探查
(GPR)
鑽探調查+取心+
岩心力學試驗
超音波檢測
敲擊回音法檢測
施工紀錄查核
混凝土氯離子
含量檢測
鋼筋腐蝕度檢測
鑽孔+混凝土
中性化試驗
混凝土鹼質粒料
反應試驗
鑽孔+混凝土化學
成份分析
鑽孔+鹼質粒料
反應試驗
可能肇因診斷
研判是否為
邊坡滑移
是
邊坡滑移
研判是否為
集中荷重
是
集中荷重
(背後空洞)
研判是否為
承載力不足
是
承載力不足
(仰拱底部淘刷)
研判是否為
混凝土澆置中斷
是
混凝土澆置中斷
(不連續打設)
研判是否為
混凝土中性化
是
混凝土中性化
研判是否為
混凝土鹼質粒料
反應
是
混凝土鹼質粒料
反應

(b)



(c)



(d)

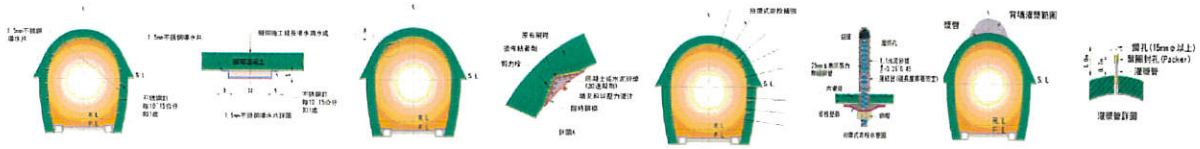
圖 3-6 臺灣近年開發之隧道檢(監)測技術

圖 3-7 南迴線鐵路電氣化建設計畫示意圖

南迴線工程內容

◆隧道改善工程

異狀			可選用對策工法
功能	Type A	淨空不足	降道
	Type B	滲漏水	裂縫止水灌漿(B1)、導排水措施(B2~B4)、電力設備保護板(B5)
結構	Type C	剝落	局部剝落填補(C1~C2)、碳纖維貼片補強(C3)
	Type D	裂縫	裂縫補強灌漿(D1)、岩栓補強(D3)
	Type E	其他	回填灌漿(E1)、鋼筋外露對策(E2)、底版補強(E3)



TYPE B4
導水版導水

TYPE C1
局部剝落填補(起拱線以上)

TYPE D3
岩栓補強

TYPE E1
回填灌漿

圖 3-8 隧道加固補強對策工法示意圖

(三) Maintenance of Railway Structures (Tunnel) in JR East

本田諭課長首先介紹東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)負責營運之路線有69條(累計長度約7,458公里)、1,665座車站、1,237座隧道(累計長度約964公里)，其中新幹線累計長度約1,190公里(含新幹線隧道206座、440公里)、鐵路線累計長度約6,270公里(含鐵路隧道1,031座、524公里)，目前員工人數有57,580人。

JR-EAST之隧道維護管理準則如表3-1所示，於每座隧道使用前進行「初次檢測(查)」，之後每2年進行「定期檢測(查)」、每10年進行「特別檢測(查)」。JR-EAST早期之隧道檢測(查)係採用人工目視巡查並手繪襯砌異狀展開圖，而自2000年起已改採用「隧道襯砌攝影車(TuLIS)」(圖 3-9)掃描以取得襯砌表面狀態，並搭配「隧道襯砌檢查車(CLIC)」(圖 3-10)以探查襯砌背後狀態，最後則針對有異狀疑慮區域採用「打擊聽音」方式確認，其檢測(查)後之綜合成果則如圖3-11所示。

前述「隧道襯砌攝影車(TuLIS)」掃描速度可達8.5 km/h，可辨識最小裂縫寬度為0.5 mm；而「隧道襯砌檢查車(CLIC)」之原理則係將透地雷達16對發射與接收天線整合於同1天線盒內，並搭配機械手臂可同時探查3條測線(3個天線盒)，由於其採用多頻率天線、多頻道發射與接收透地雷達，故可呈現襯砌背後3D狀態之成果圖，十分值得國內考量開發或引進。

表3-1 JR隧道維護管理準則表(JR-EAST簡報資料)

Inspection Categories (構造物検査の種類)

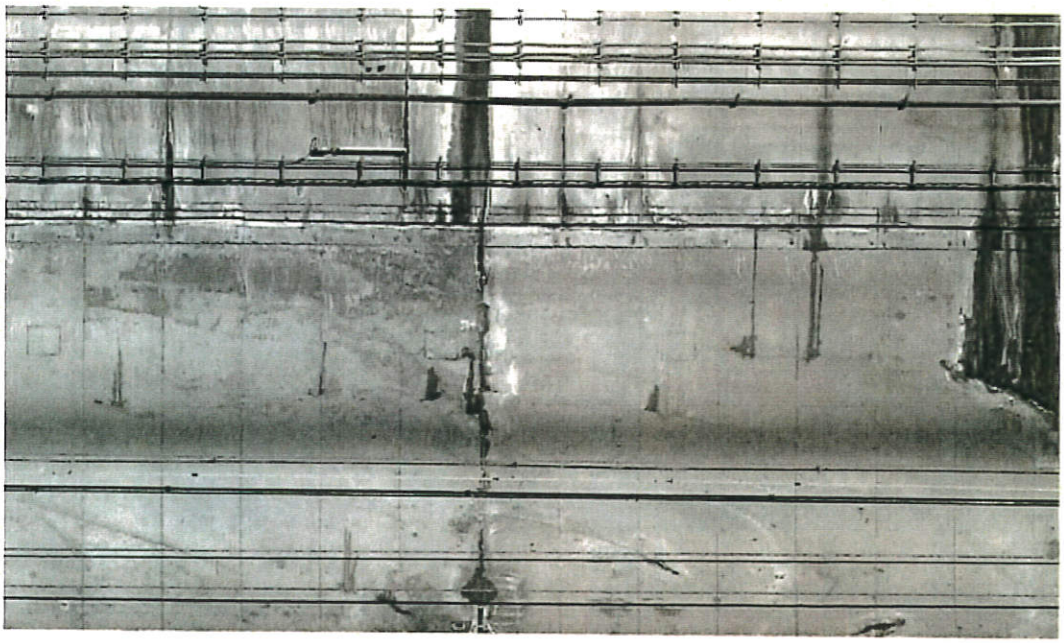
Inspection type		Cycle	Methods	target
Initial inspection		Before service	Careful visual inspection Hammer tests Instrument	All Concrete structure Steel/composite structure Foundations/retaining structures Earth structure Tunnels
General inspection	Regular general inspection	2 years	Visual inspections	
	Special general inspection	10 years※	Careful visual inspection Hammer tests Instrument	
Individual inspection		Each time needed	Visual inspection Detailed survey	A-rank
Extraordinary inspection		Each time needed	Sight	After earthquake, rain Change of environment

※ Tunnel of Existing line:20 years

Scanning situation by TuLIS in double truck tunnel

(a)

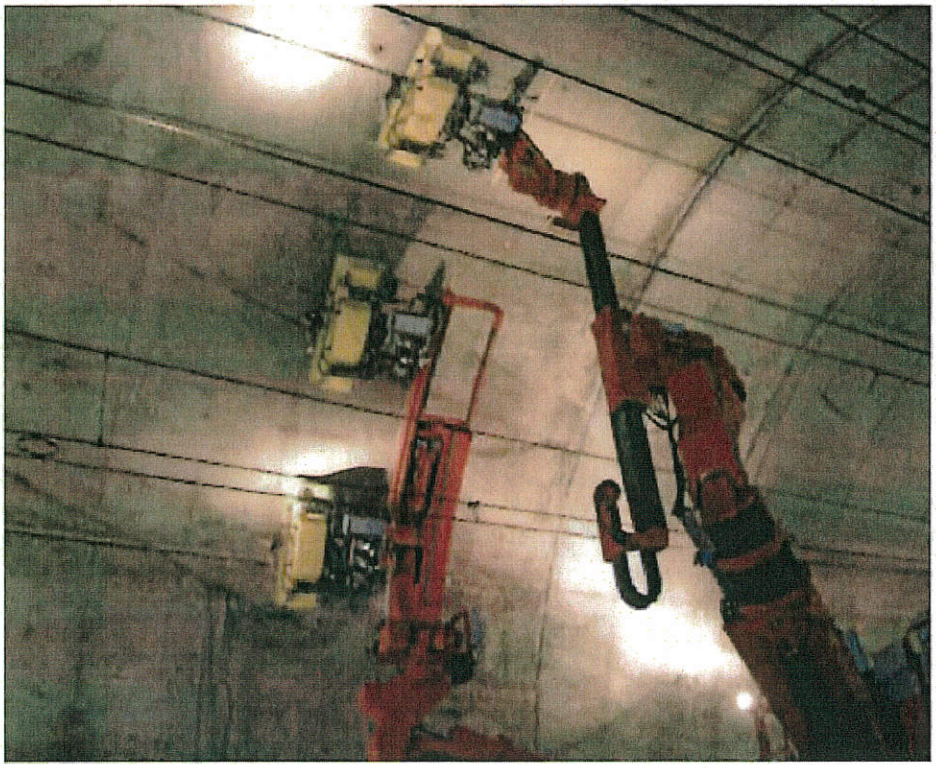
TuLIS image sample



(b)

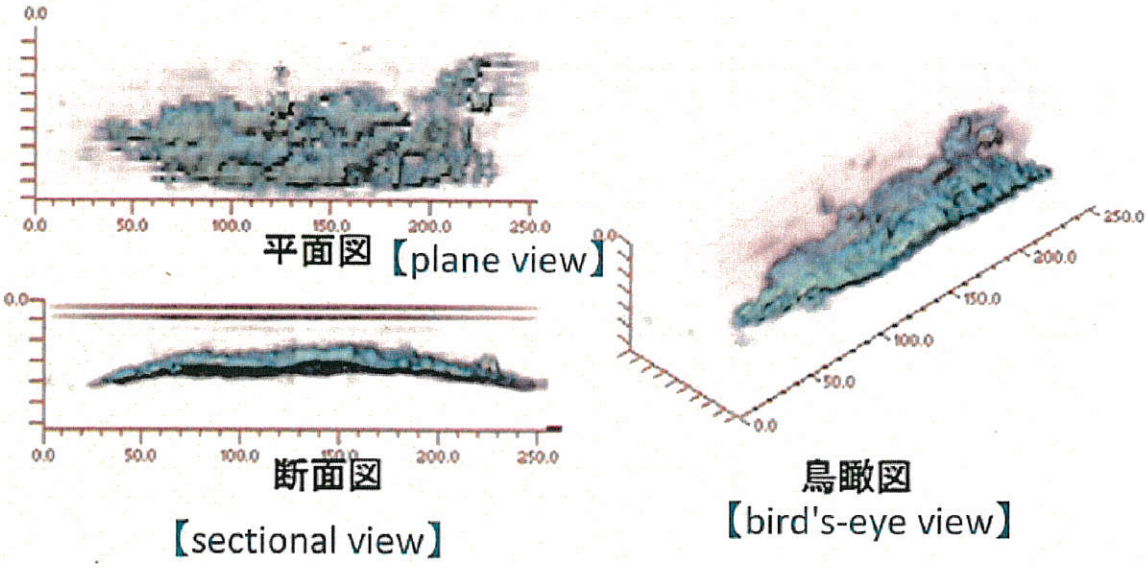
圖 3-9 JR-EAST 隧道襯砌攝影車(TuLIS) (JR-EAST 簡報資料)

Situation of inspecting the internal condition of tunnel lining



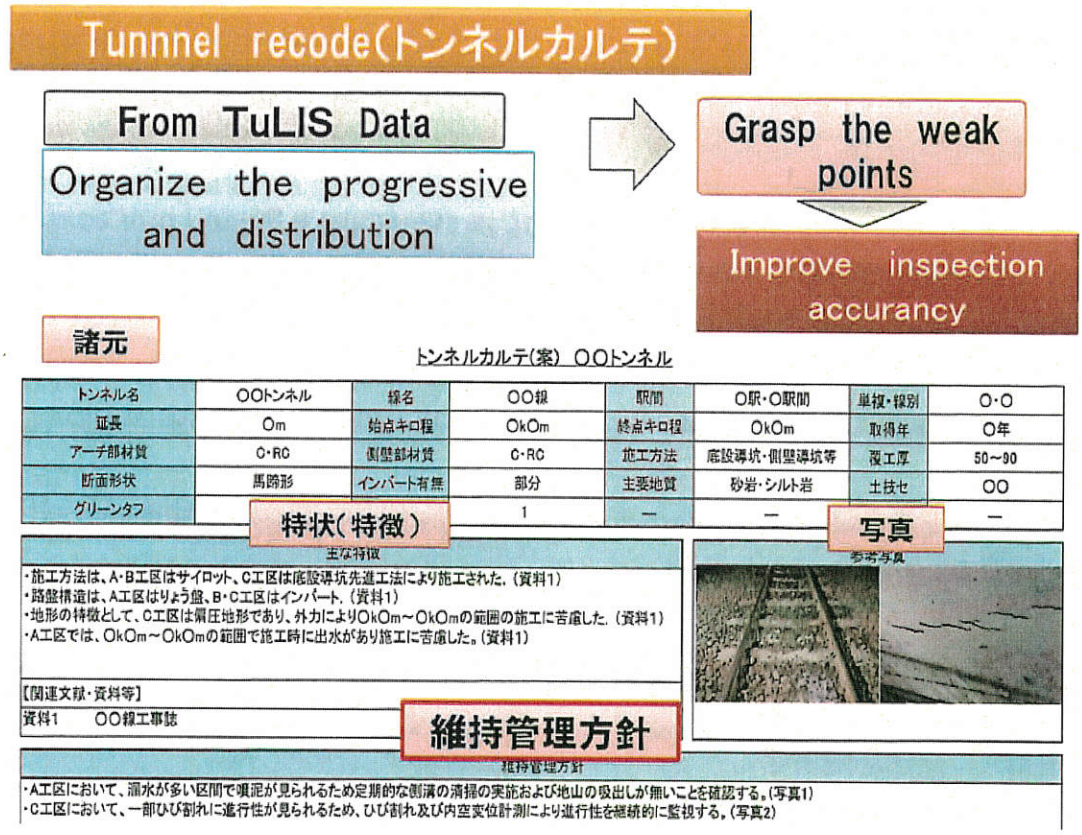
(a)

CLIC three-dimensional data

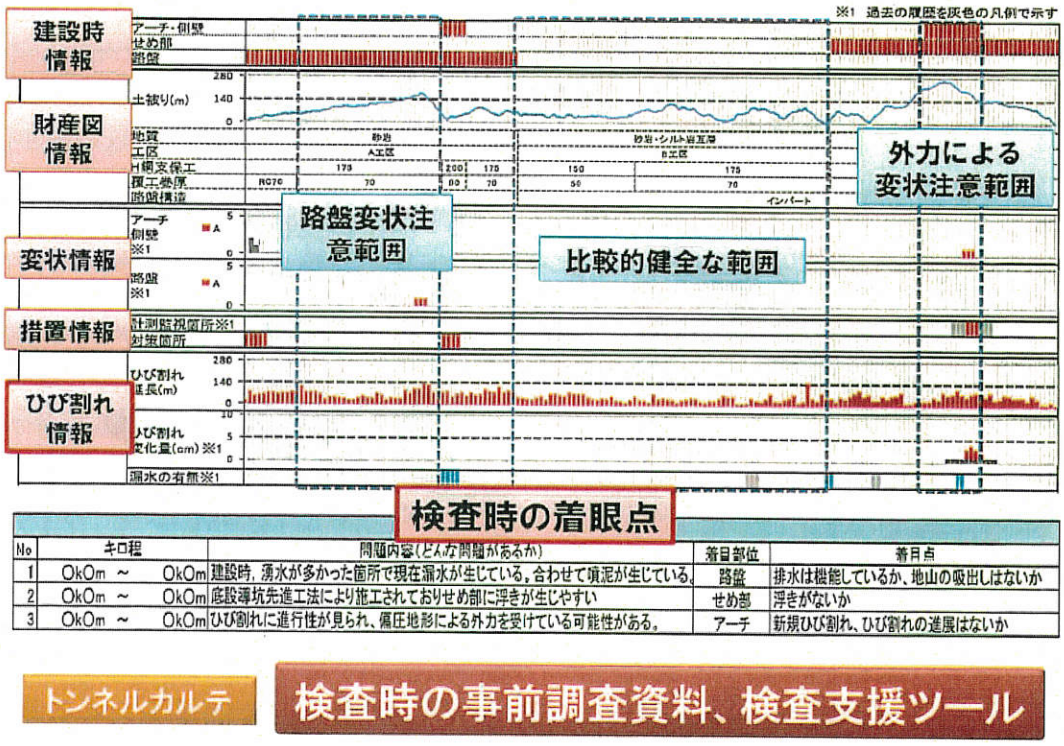


(b)

圖 3-10 JR-EAST 隧道襯砌檢查車(CLIC) (JR-EAST 簡報資料)



(a)



(b)

圖 3-11 JR-EAST 隧道檢測(查)綜合成果示意圖(JR-EAST 簡報資料)

三、隧道考察

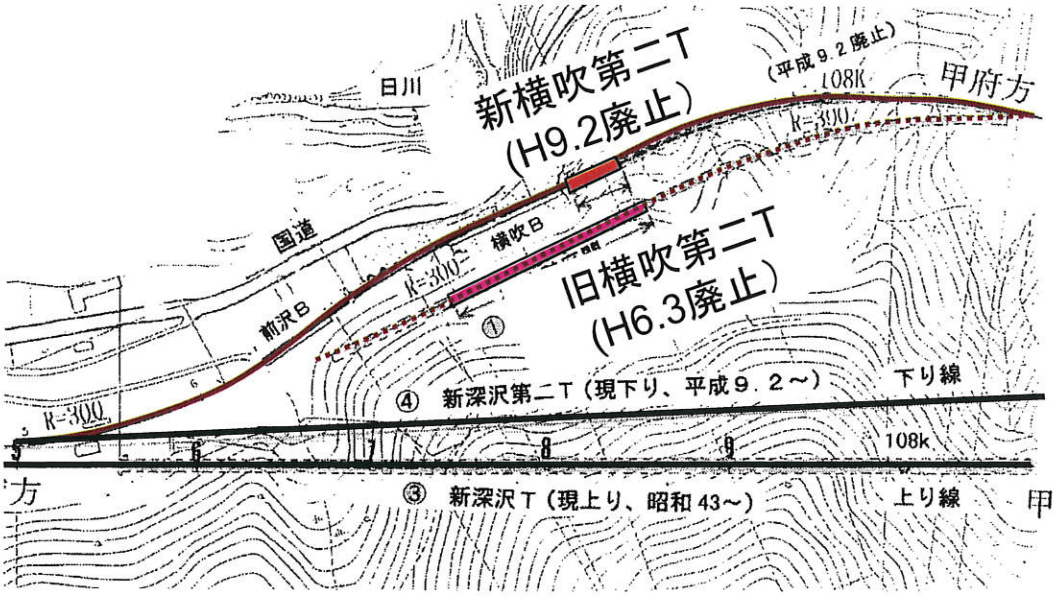
本次考察行程主要有山梨縣甲府市之新/舊橫吹第二隧道、福島縣與新潟縣間JR只見線的六十里越隧道，考察過程說明如后。

(一) 橫吹第二隧道

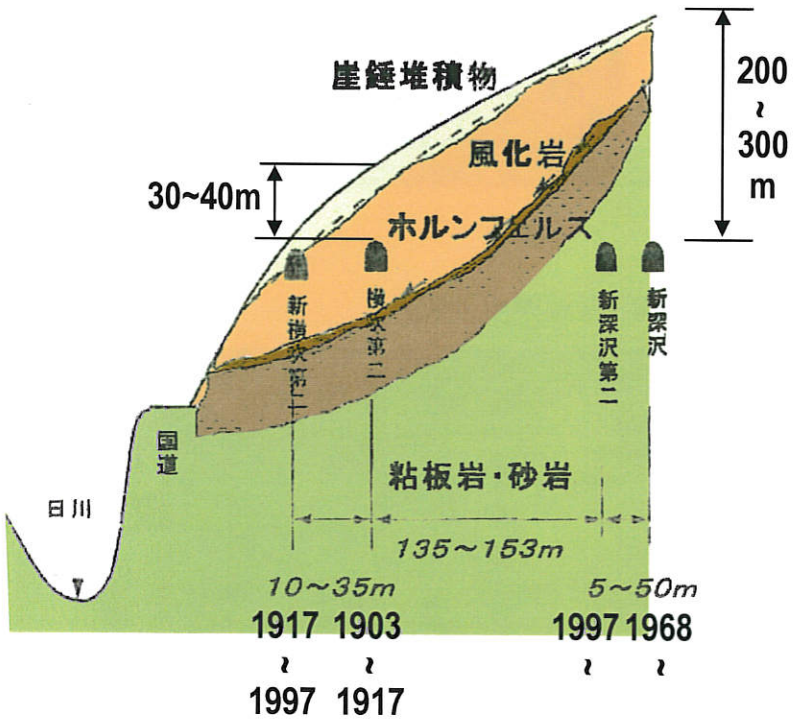
建設經緯(圖 3-12)：1903 年「舊橫吹第二隧道」通車；1917 年因「舊橫吹第二隧道」發生變形，而變更路線至溪(谷)側並新建橋樑與「新橫吹第二隧道」(當初變更路線至溪(谷)側的理由係為避免變更路線至山側的建設費較高所致)；1969 年基於雙線的需要，而在山側的穩定地盤內新建「新深沢隧道」；1996 年因「新橫吹第二隧道」的持續變形問題，第二次變更路線往山側新建「新深沢第二隧道」。

「舊橫吹第二隧道」原位於山梨縣甲府市 JR 中央本線上，為單線馬蹄形隧道(磚造襯砌)，隧道長度 428 公尺(變形區間 220 公尺)，最大覆蓋厚度約為 30 公尺，地質屬於中生界白亞系砂岩起源的角頁岩，調查顯示邊坡已風化至深層，以致隧道位於風化層中。該隧道建設後，受到來自山側的強大偏壓，14 年後因變更路線至溪(谷)側而廢止。其後仍繼續變形，1952 年在距隧道口 90～190 公尺間構築隔牆(圖 3-13)加以補強隧道整體結構，以確保邊坡之長期穩定與安全。其變形形態係來自山側的偏壓，而使隧道垂直軸線朝向河川側大幅傾斜；絕對變位量在 1973 年為 300 ㎜，在 1996 年為 465 ㎜。

「新橫吹第二隧道」亦為單線馬蹄形隧道(磚造襯砌)，隧道長度 254 公尺；隧道入口至 40 公尺區間發生 4 條錯位引起的橫切方向的裂縫(寬 20 ㎜，錯位 30 ㎜)，並確認朝溪(谷)側斜向移動，此種情形在 1989 年以前，年年均觀察到顯著的進行性。因該隧道過於靠近邊坡，偏壓現象比「舊橫吹第二隧道」還嚴重，由於變形量過大恐影響列車行駛安全，而於 1996 年廢棄此路線與隧道，往山側內改線並新建「新深沢第二隧道」，「新橫吹第二隧道」則予以回填，以確保邊坡之長期穩定與安全，現地參訪如照片 3-8 所示。

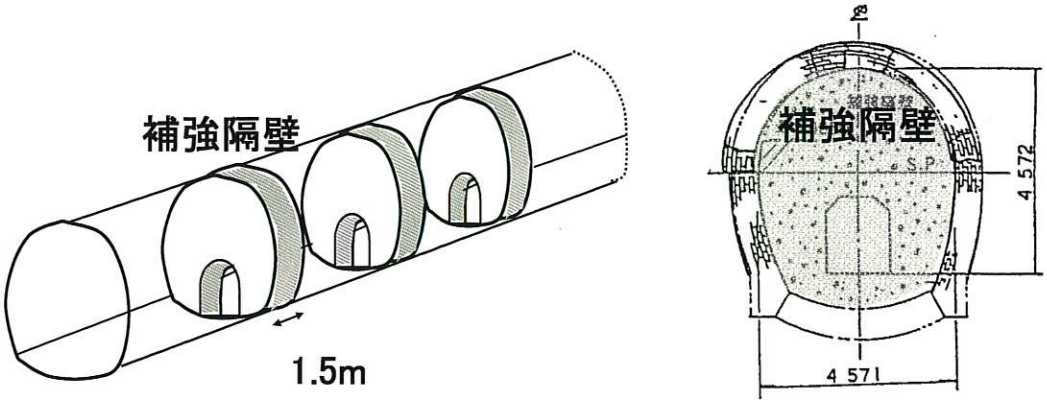


(a)

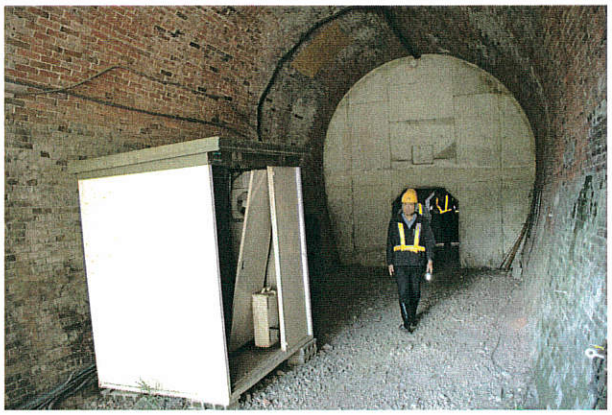


(b)

圖 3-12 新/舊橫吹第二隧道平/剖面示意圖



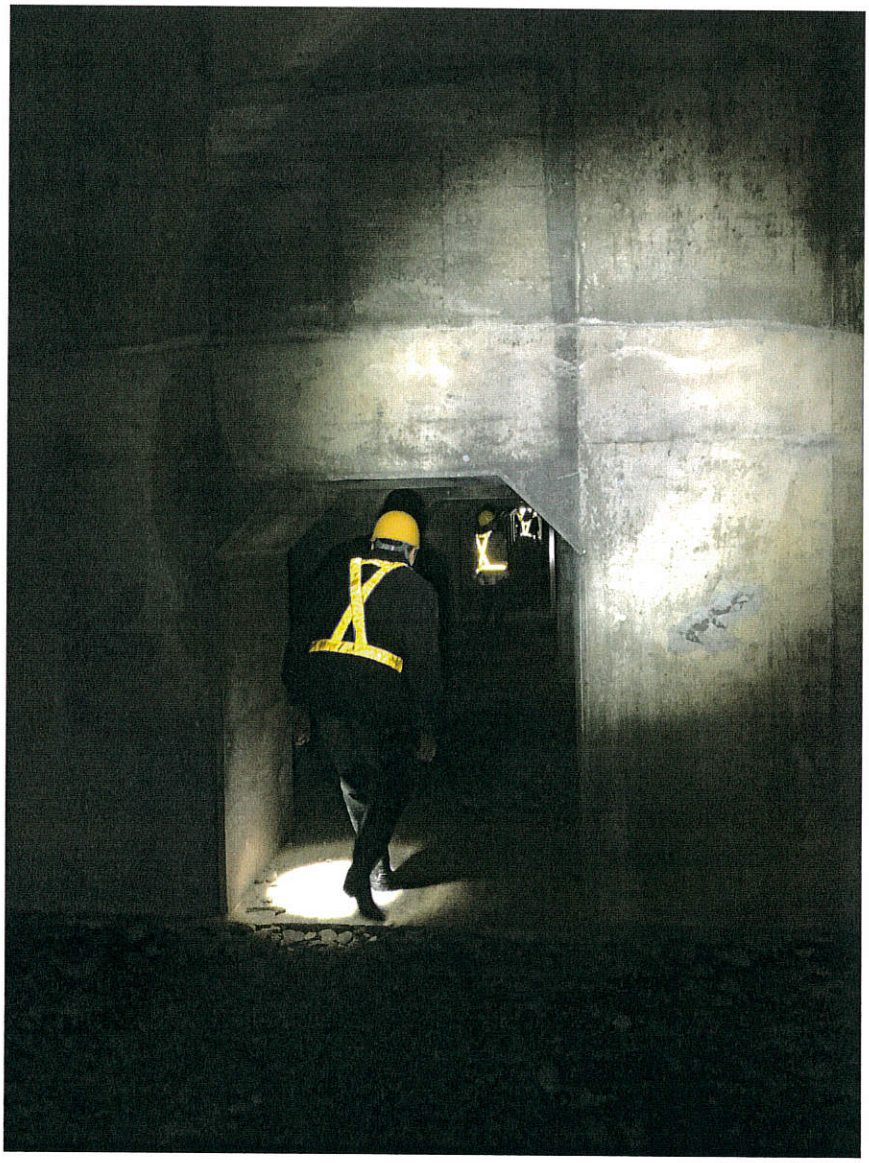
(a)



(b)

圖 3-13 舊橫吹第二隧道補強隔牆示意圖與現地照片

(a)



(b)

(c)

(d)

(e)

照片 3-8 舊橫吹第二隧道現地參訪照片

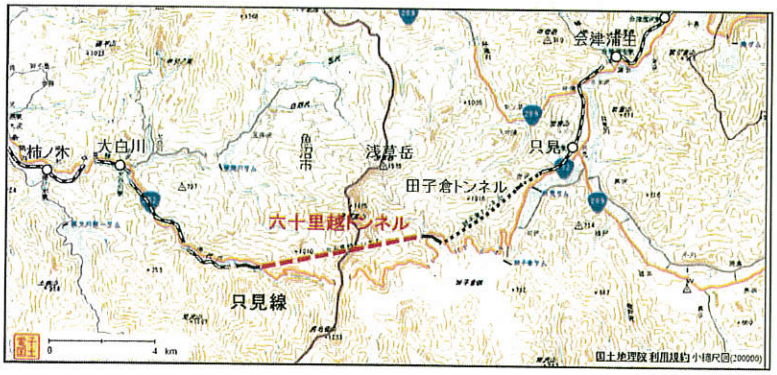
(二) 六十里越隧道

概述：六十里越隧道(目前仍營運中)位於福島縣與新潟縣間 JR 只見線上(圖 3-14)，為單線馬蹄形隧道(混凝土襯砌)，隧道全長為 6,359 公尺，最大覆蓋厚度約為 680 公尺，隧道沿線穿過 5 條大斷層，地質以新第三紀中新世津川層的綠色凝灰岩、凝灰角礫岩、流紋岩等岩性為主。

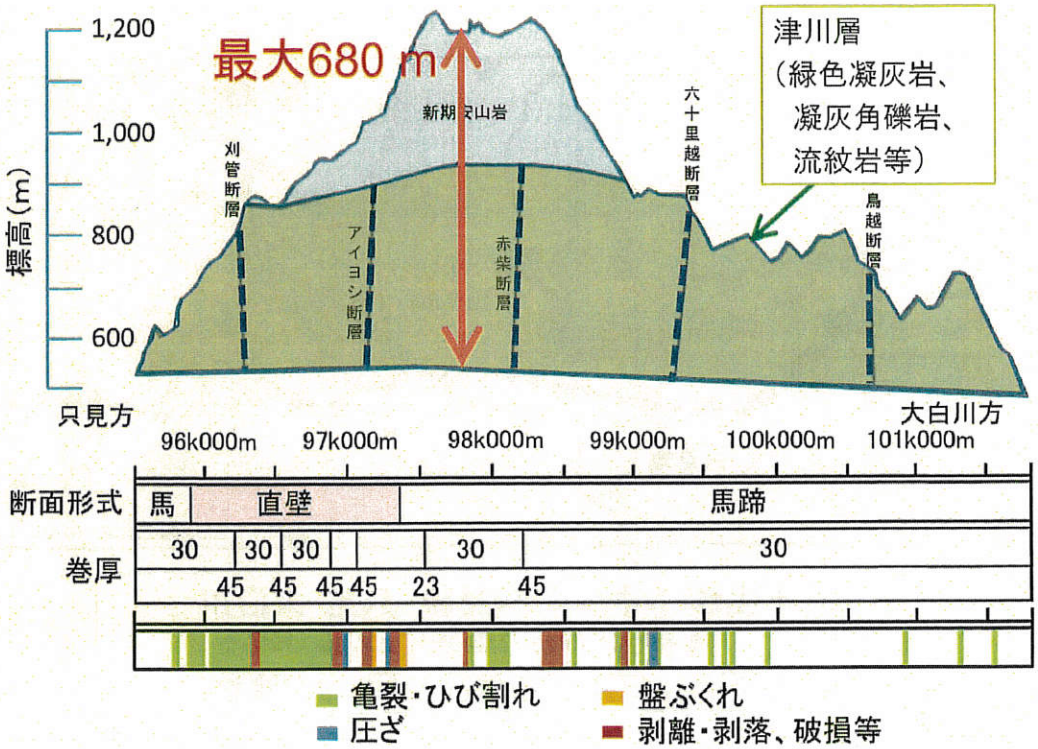
變形現象：隧道於 1971 年 8 月通車，自當時起，即發生隆起及側壁的擠壓變形。此外，在 1972 年 3 月以後，隨著襯砌的變形，發生仰拱及側壁的擠壓，以及邊溝蓋的傾斜等變形。其淨空斷面縮小速率約為 15 mm/年。調查結果顯示，亦有部分襯砌厚度不足的區域。路基上浮的 1977～1984 年之 7 年期間，最大上浮量累計達 38.4 mm，平均每年約上浮 6 mm。

變形機制：自地形、地質的狀況，至發生變形的原因，認為係由於相對於大覆土層，破碎帶部分的地盤強度不足，因而塑性地壓作用於隧道所致。建設當時，判斷地盤良好，乃以直側壁、無仰拱及襯砌厚度為 23～45 公分不等，比一般隧道輕微的設計進行施工為發生變形的內因。

對策工法：由於前述隧道側壁與仰拱持續變形現象，而陸續進行隧道加固補強並持續監測作業，其對策工法(圖 3-15)有：(1)剝落防止網；(2)噴凝土襯砌補強；(3)岩栓加固補強；(4)仰拱橫撐加固；(5)仰拱混凝土打設；由本次現場勘查可發現：早期施作之岩栓補強因隧道持續擠壓變形而導致岩栓錨頭基座陷入噴凝土內(圖 3-15(c))，其後經施作仰拱橫撐加固或仰拱混凝土打設等加固補強作業後，方才減緩隧道側壁與仰拱之變形速率，現地參訪如照片 3-9 所示。

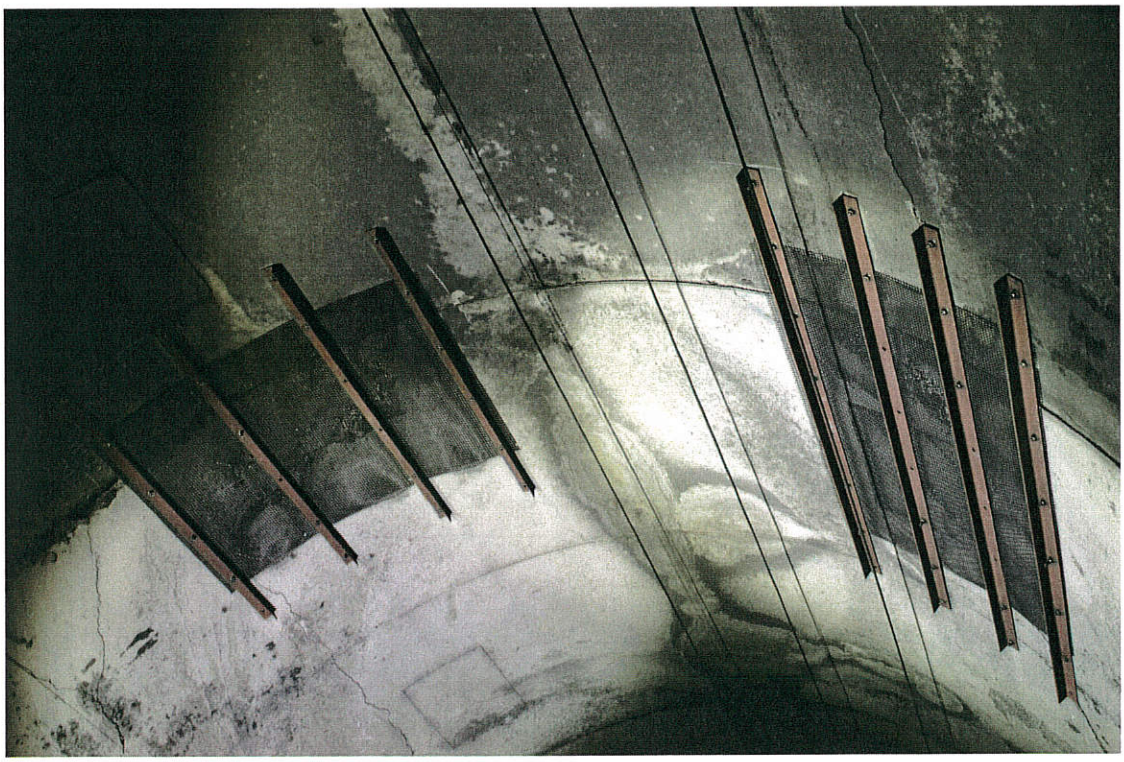


(a)

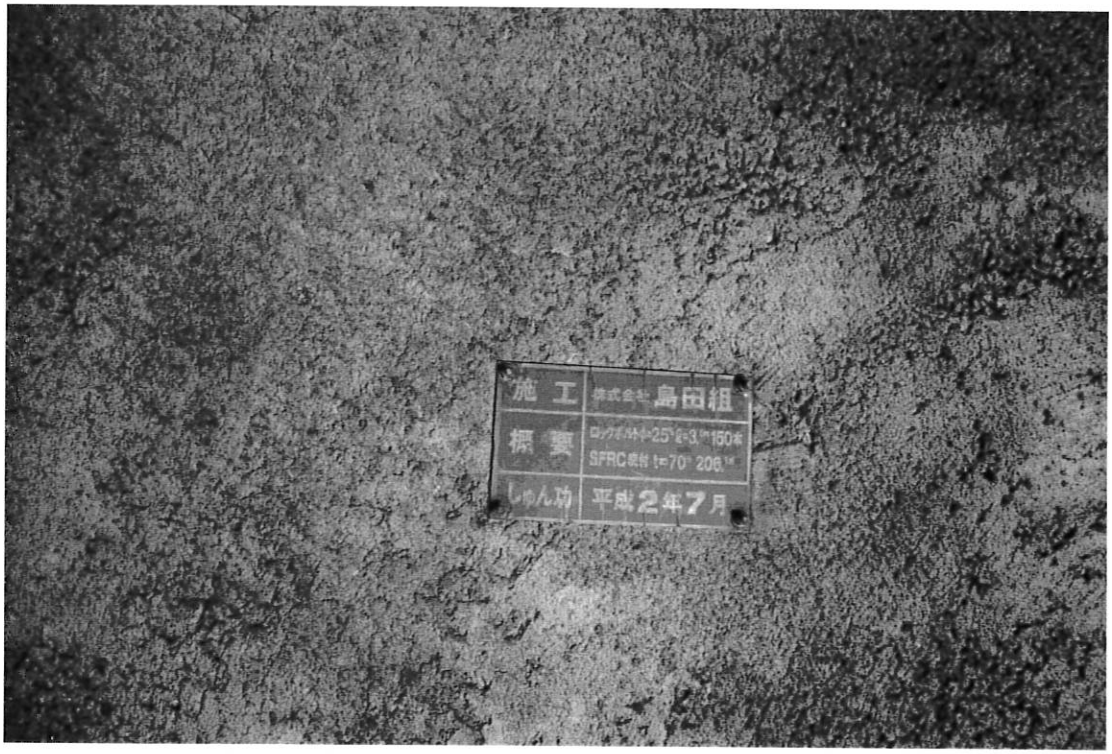


(b)

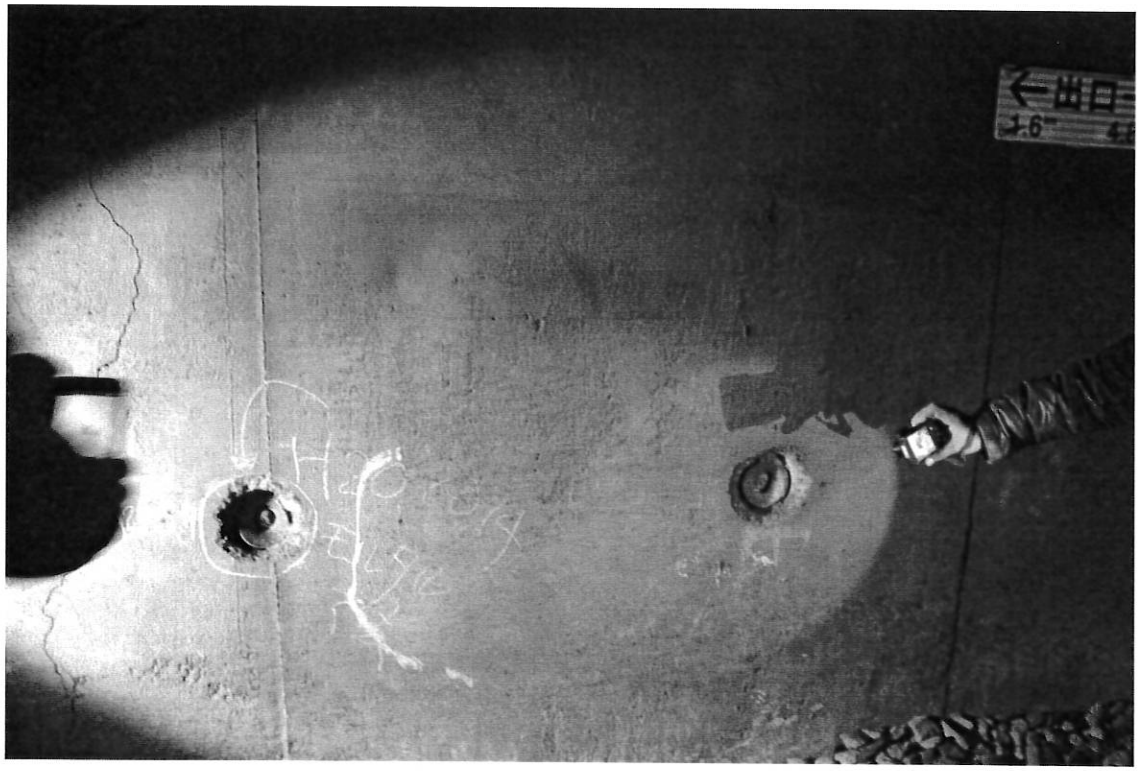
圖 3-14 六十里越隧道平、縱斷面示意圖



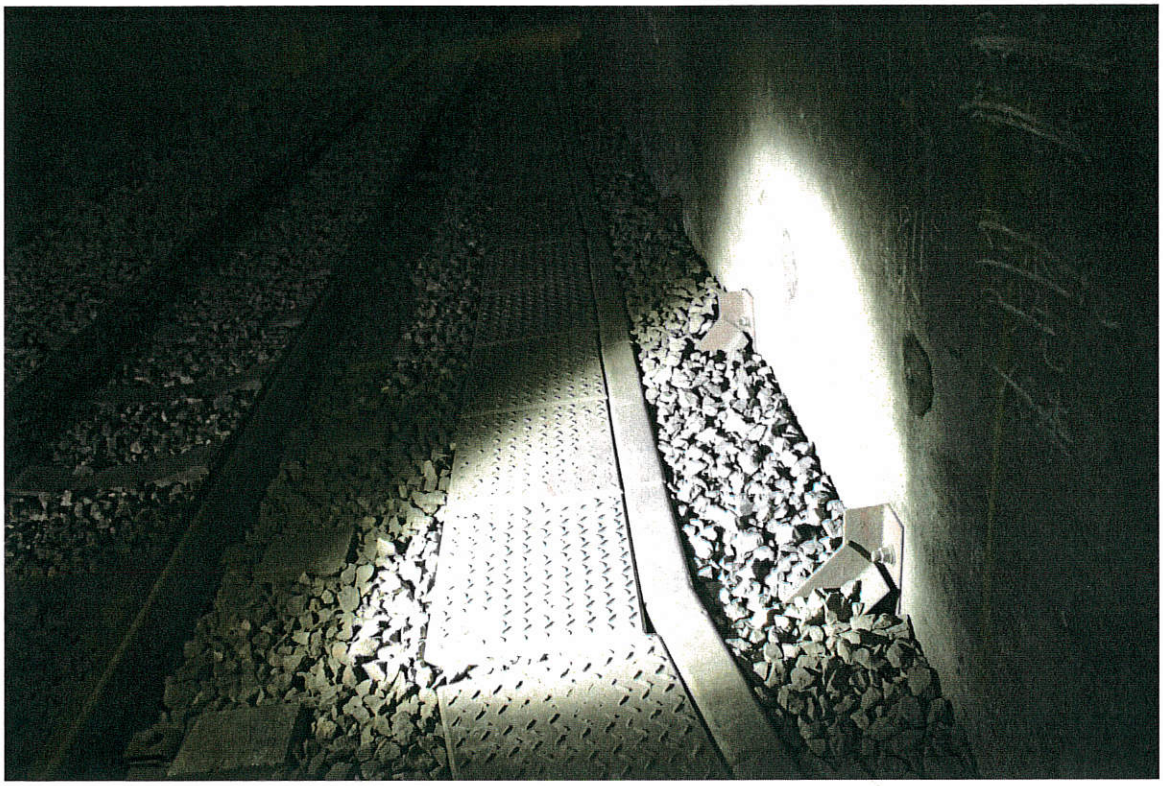
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 3-15 六十里越隧道加固補強現地照片

(a)

(b)

(c)

照片 3-9 六十里越隧道現地參訪照片

肆、心得與建義

本次考察日本東京拜訪日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)與東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)，同時舉行研討會(Workshop)意見交流，並考察山梨縣之橫吹隧道與新潟縣營運中之六十里越隧道，考察期間除受日本京都大學　朝倉俊弘名譽教授於隧道內親自指導外，並與日方相關人員熱烈討論暨技術交流，可說是獲益良多，茲將此行之心得與建議列述如后。

1. 日本 RTRI 除具有一般橋柱與橋台之靜態載重與動態荷載之縮尺試驗、路堤段之暴雨與振動台試驗外，還開發設置隧道襯砌不同比例之縮尺試驗，以利瞭解隧道於各種靜態載重組合下可能之破壞行為與型態，並可藉此縮尺模型試驗各種加固補強材料之成效，而加以改良與精進。反觀國內僅重視建築物(含車站)與橋樑之結構安全與耐震能力而設立相關研究機構與試驗室，尚缺乏隧道相關之研究機構與試驗設備，著實值得國內產官學界評估考量開發與設立。
2. 雖目前國內隧道檢測技術與日本相去不遠，惟國內各隧道維護管理單位尚缺乏「長期監測」之觀念，往往必須俟隧道已產生明顯異狀或即將進行電氣化(或雙軌化)才委託專業顧問公司進行檢測與評估作業，且往往僅就一次性之檢測結果評估隧道安全等級並進行加固補強作業；實在應參酌日本隧道維護管理「長期監測」觀念，於隧道內具有疑慮之區段安裝監測儀器(如：電子式裂縫計、全斷面變形收斂監測等)，或考量開發導電塗料/光纖的隧道變形監測，並採用無線回傳至行控中心或列車方式達到預警之功效。
3. 日方相關技術人員於本次考察期間提醒本團隊，目前南迴線鐵路電氣化建設計畫隧道工程所採用「碳纖維貼片補強」工法之“碳纖維”具有導電性，若使用於鐵路隧道時必須十分留意；而 Aramid(芳綸)纖維的強度或彈性及化學穩定性等雖然較碳纖維要差，但因可調整纖維量獲得與碳纖維相等之機能，且由於其不具有導電性，因此是日本鐵路隧道中使用實績最多的材料，可供未來材料選用參考。
4. 日本山梨縣「舊橫吹第二隧道」因襯砌裂縫、剝落現象與隧道變形持續發生，

而變更路線往溪(谷)側並新建橋樑與「新橫吹第二隧道」；其後又因「新橫吹第二隧道」太靠近邊坡而持續變形與襯砌裂縫嚴重，最後不得不第二次變更路線往山側新建「新深沢第二隧道」。此情況與目前南迴線鐵路電氣化建設計畫之多良一號隧道不謀而合，目前多良一號隧道亦因隧道變形嚴重且降道困難而改線往海側新建二座橋樑與一座隧道，其長期穩定性與耐久性值得相關單位審慎評估與決策。

5. 日本新潟縣 JR 只見線上之六十里越隧道因擠壓(Squeezing)與膨脹(Swelling)機制雙重作用下，使隧道持續變形、仰拱隆起，其後經多次加固補強作業(剝落防止網、噴凝土襯砌補強、岩栓加固補強、仰拱橫撐加固、仰拱混凝土打設)，目前隧道已趨於穩定。而國內亦有隧道具有仰拱隆起之現象與特性，或許可參考日本六十里越隧道加固補強方式加以改善，並持續觀測其變形狀況。

伍、參考資料

一、日本鐵道綜合技術研究所(RTRI)網頁資料

二、RTRI 嶋本敬介(Keisuke Shimamoto)博士發表「Maintenance Technologies of Railway Tunnels in Japan」簡報資料

三、李佳翰博士發表「Railway Tunnel Maintenance in Taiwan (台灣鐵路隧道維護管理)」簡報資料（附錄一）

四、東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)本田諭課長發表「Maintenance of Railway Structures (Tunnel) in JR East」簡報資料（附錄二）

五、東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)提供「新横吹トンネルの教訓」一文資料

六、東日本旅客鐵路株式會社(JR-EAST)提供「六十里越トンネル全体の概要及內空變位ゲラフ、對策工圖面」資料

陸、附錄

附錄一

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting
2017日本鐵路隧道維護技術考察

Railway Tunnel Maintenance in Taiwan
台灣鐵路隧道維護管理

蔡崇義 Tsai, Chong-Ye
薛文城 Hsueh, Wen-Cheng
交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau, MOTC

邱顯欽 Chiu, Hsien-Chin
根基營造股份有限公司 Kedge Construction

李佳翰 Lee, Chia-Han
聯合大地工程顧問公司 United Geotech, Inc.

詹尚書 Chan, Shang-Shu
尚新民 Shang, Hsin-Ming
張嘉倩 Chang, Chia-Chien
駿馳工程有限公司 Jines Construction

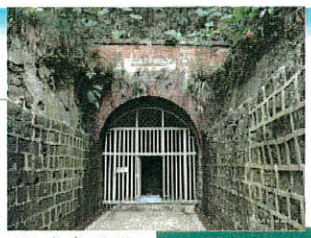
17 October 2017

簡報大綱

- 引言
- 台灣隧道維護管理準則
- 台灣隧道檢測技術
- 台灣隧道維護新技術開發
  - 隧道襯砌影像嵌接技術
  - 隧道異狀肇因診斷
  - 隧道襯砌微變監測技術
  - 隧道仰拱異狀診斷
- 南迴線電氣化計畫－隧道篇
- 結語

引言(1/3)

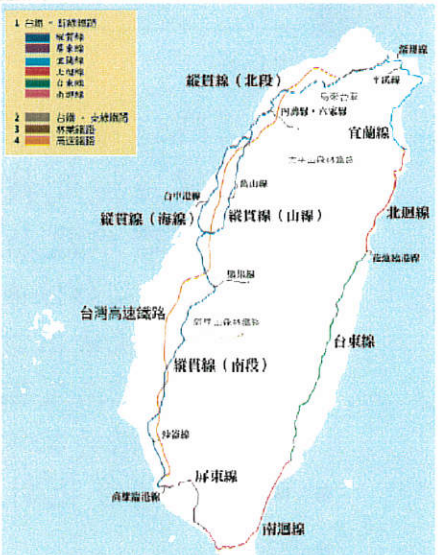
- 1887~1895年：清朝臺灣首任巡撫　劉銘傳成立全臺鐵路商務總局開始鋪設臺灣鐵路
- 1895~1899年：日治初期設置「臺灣鐵道線區司令部」、「鐵道課」、「臨時臺灣鐵道隊」等
- 1899~1945年：則由「臺灣總督府交通局鐵道部(簡稱鐵道部)」開始往南鋪設臺車軌道，首先完成的是新竹到彰化段，之後完成臺南到打狗(高雄)段，形成縱貫線鐵道



獅球嶺隧道

引言(2/3)

- 1945~1980年：北迴線、縱貫線電氣化
- 1980~2000年：東線拓寬、南迴線(1991年)、宜蘭線雙軌化、北迴線雙軌化
- 2000~2010年：宜蘭線電氣化、北迴線電氣化
- 2010年~：花東線雙軌化、花東線電氣化、南迴線電氣化...



Part I— 台灣隧道維護管理準則

隧道維護管理準則

- 1997年：


MOTC-STAO-RD1501-86

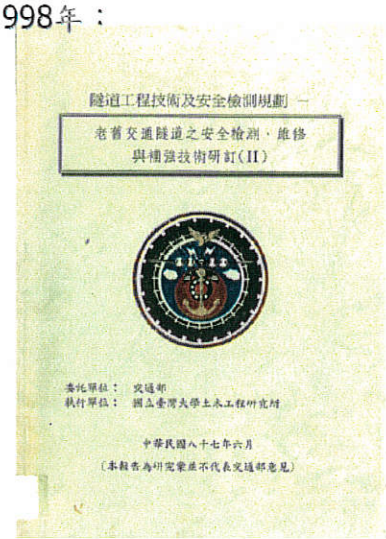
隧道工程技術及安全檢測規劃 —

老舊交通隧道之安全檢測、維修
與補強技術研訂 (I)

委託單位： 交通部
執行單位： 國立臺灣大學土木工程研究所

中華民國八十六年七月

- 1998年：


隧道工程技術及安全檢測規劃 —

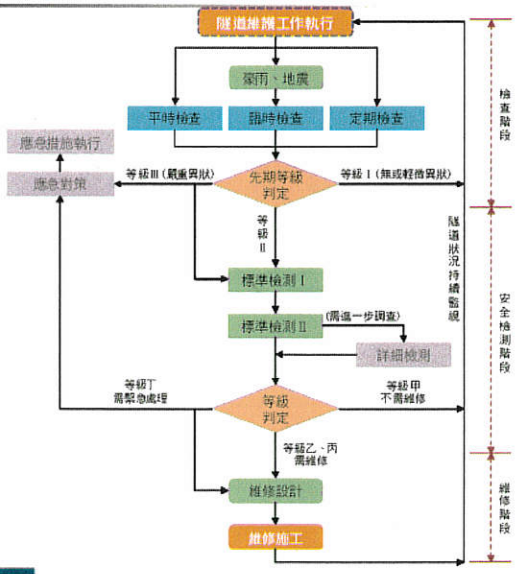
老舊交通隧道之安全檢測、維修
與補強技術研訂(II)

委託單位： 交通部
執行單位： 國立臺灣大學土木工程研究所

中華民國八十七年六月
(本報告為研究案並不代表交通部意見)

交通隧道維護管理流程圖

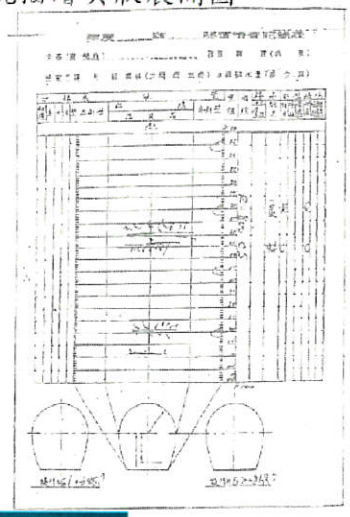
- 1997年：



各鐵路隧道實際執行狀況

2017 Japan Railway
Tunnel Maintenance
Technology Visiting

- 目視描繪異狀展開圖：



- 隧道等級判定&異狀統計：

交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

9

隧道異狀種類

2017 Japan Railway
Tunnel Maintenance
Technology Visiting

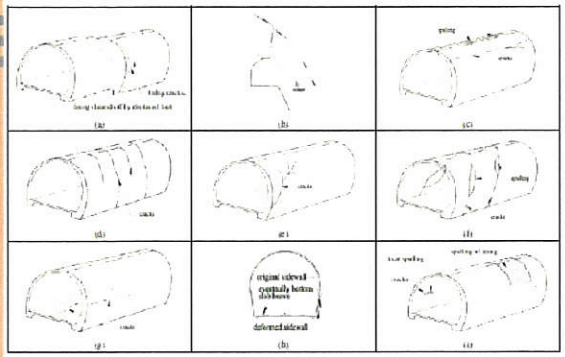
交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

(王泰典等，2007) 10

隧道維護管理準則－地震後

- 1999年：



台灣隧道受震損壞型態

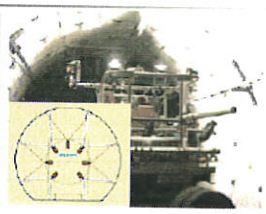
(Wang et al., 2001)

Part II－台灣隧道檢測技術

隧道襯砌表面影像擷取方式

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

(a)照相檢測

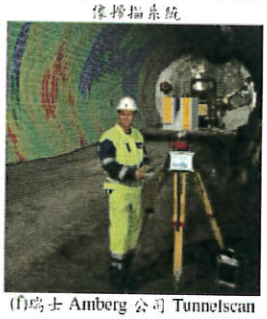


(b)日本 CCD 隧道影像攝影系統

(c)德國 Spacetec 公司 T2 隧道影像掃描系統

(d)德國 Spacetec 公司 T3 隧道影像掃描系統(原 TS360)

(e)瑞士 Amberg 公司 GRP5000 隧道影像掃描系統



(f)瑞士 Amberg 公司 Tunnelscan 隧道影像掃描系統

交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

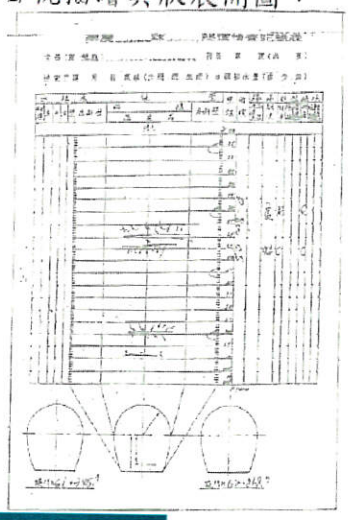
聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC. (李佳翰，2008)

13

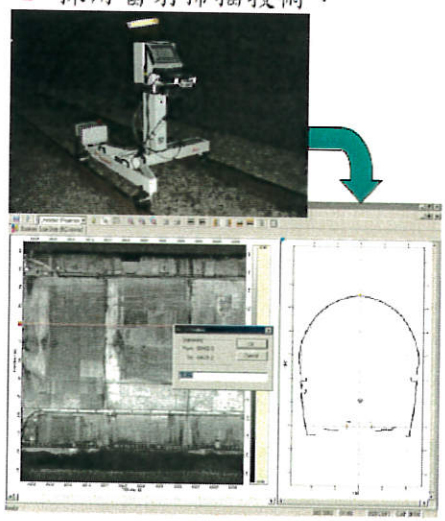
目視檢測與影像掃描之差異

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

- 目視描繪異狀展開圖：



- 採用雷射掃描技術：



交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

14

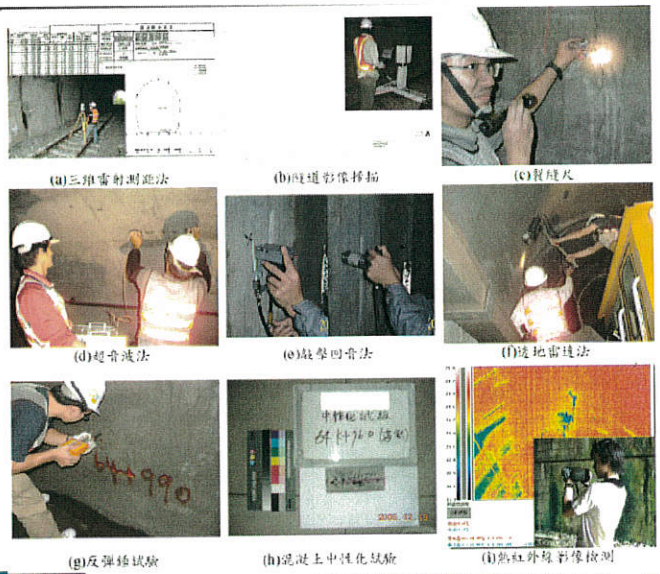
隧道安全檢測項目

- 洞口及地表
  (邊坡滑動)
- 襯砌表面
  (裂縫、滲水、白華)
- 襯砌完整性
  (強度、厚度、中性化)
- 襯砌背後狀態
  (疏鬆、空洞)

檢測項目		檢測方法	檢測儀器	備註
襯砌初步檢查		目視檢測	目視	人工
		回彈檢測	回彈儀器	人工
		敲擊檢測	敲擊器具	人工
		隧道影像掃描	隧道影像掃描儀	自動化
隧道內部檢查		三維雷射測距法	雷射測距儀/測距儀	人工
		隧道影像掃描	隧道影像掃描儀	自動化
襯砌表面	裂縫檢查	裂縫量測法	裂縫尺、裂縫放大鏡	非破壞性
	滲水檢查	超音波法	超音波儀	非破壞性
		敲擊回音法	敲擊回音儀	非破壞性
襯砌完整性	襯砌厚度	敲擊回音法	敲擊回音儀	非破壞性
		透地雷達法	透地雷達	非破壞性
		鑽孔工程以取樣	手提式鑽機	破壞性
	襯砌強度	反彈錘試驗	反彈錘	非破壞性
		拉拔試驗	拉拔試驗儀	破壞性
		室內抗壓強度試驗	抗壓強度試驗機	破壞性
	混凝土中性化試驗	混凝土中性化試驗	酚酞溶液指示劑	破壞性
	混凝土氯離子含量檢測	酚酞劑	酚酞溶液	破壞性
		硝酸銀滴定檢測法	硝酸銀與氯化鈉反應	破壞性
	鋼筋銹蝕檢測	鋼筋電位量測法	銅硫酸銅探測器	破壞性
		鋼筋電阻檢測法	鋼筋電阻檢測儀器	非破壞性
襯砌背後狀態		鑽孔檢查	鑽孔鑽機	非破壞性
		襯砌背後影像掃描	襯砌背後影像儀	非破壞性
		孔內錄影機	孔內錄影機	破壞性
滲漏水水質		物理性試驗	水質量測儀、濁度測定儀、電導測定儀等	現場
		化學性試驗	水質分析儀、陽離子含量檢測	室內

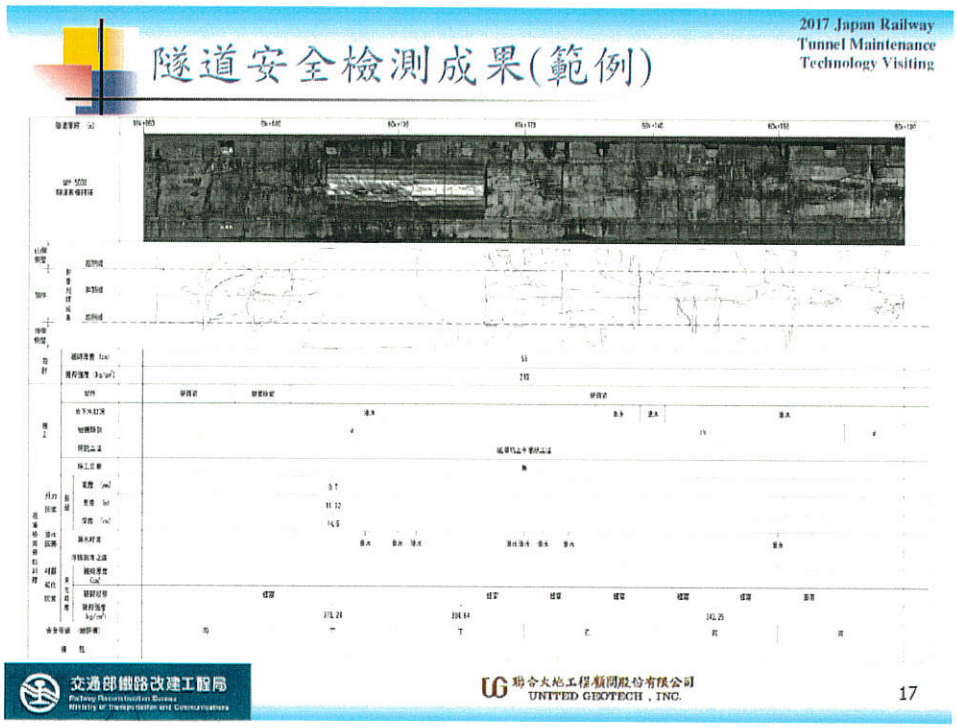
(李佳翰，2008)

隧道詳細檢測項目



(a)三維雷射測距法 (b)隧道影像掃描 (c)裂縫尺
(d)超音波法 (e)敲擊回音法 (f)透地雷達法
(g)反彈錘試驗 (h)混凝土中性化試驗 (i)熱紅外線影像檢測

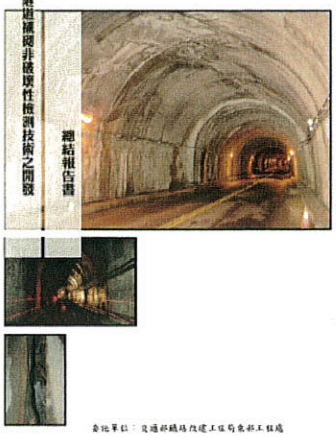
(李佳翰，2008)



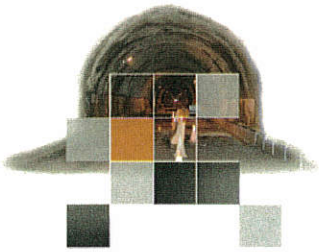
Part III－台灣隧道維護新技術開發

台灣隧道維護新技術開發

- 2008年：

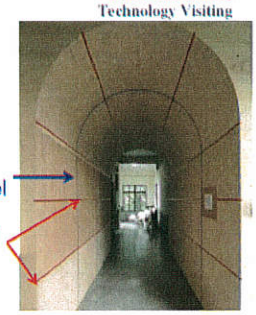


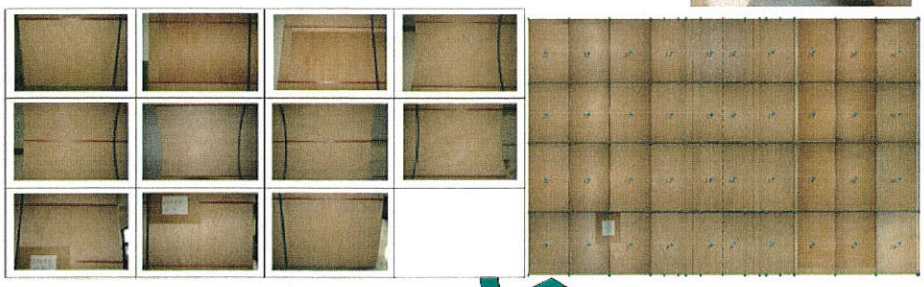
- 2009年：



1隧道襯砌影像嵌接技術(1/3)

- 開發緣由：
  - 傳統目視檢測→精度不佳
  - 雷射掃描→費用太高
- 隧道襯砌影像嵌接技術：



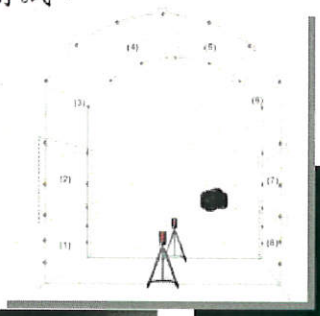


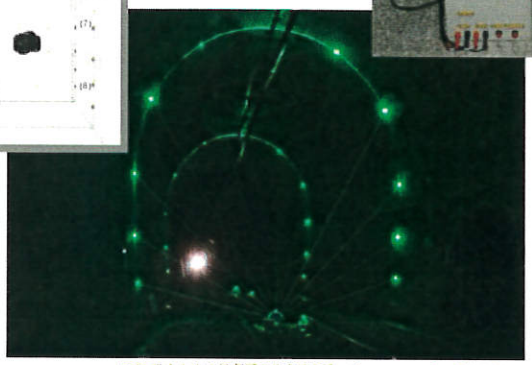
(Lee et al., 2013)

1隧道襯砌影像嵌接技術(2/3)

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

- 現地測試：





交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

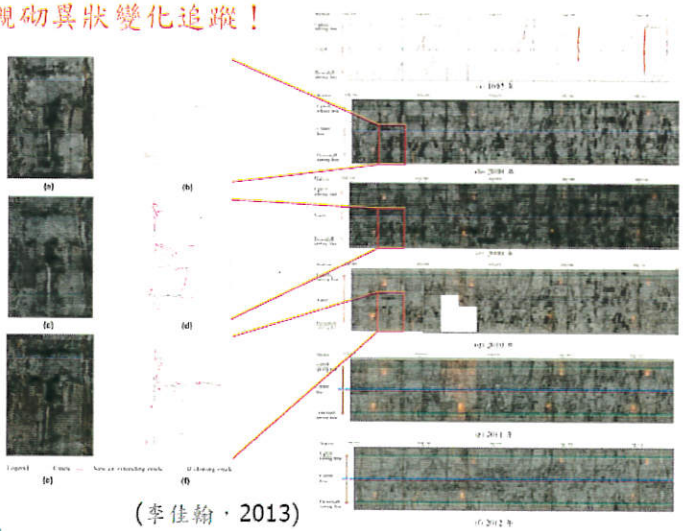
(Lee et al., 2013)

21

1隧道襯砌影像嵌接技術(3/3)

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

- 實際應用：襯砌異狀變化追蹤！



(李佳翰，2013)

交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

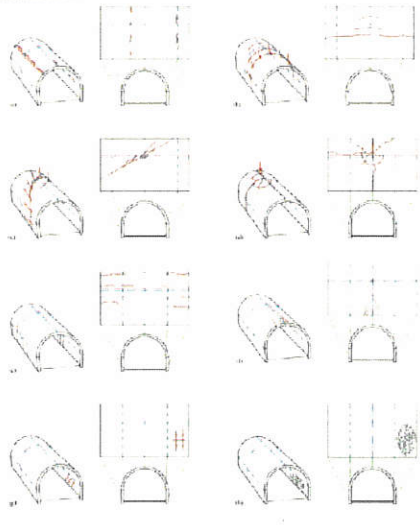
聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

22

2隧道異狀肇因診斷(1/3)

- 蒐集260個隧道異狀案例

→歸納出8種典型裂縫型態

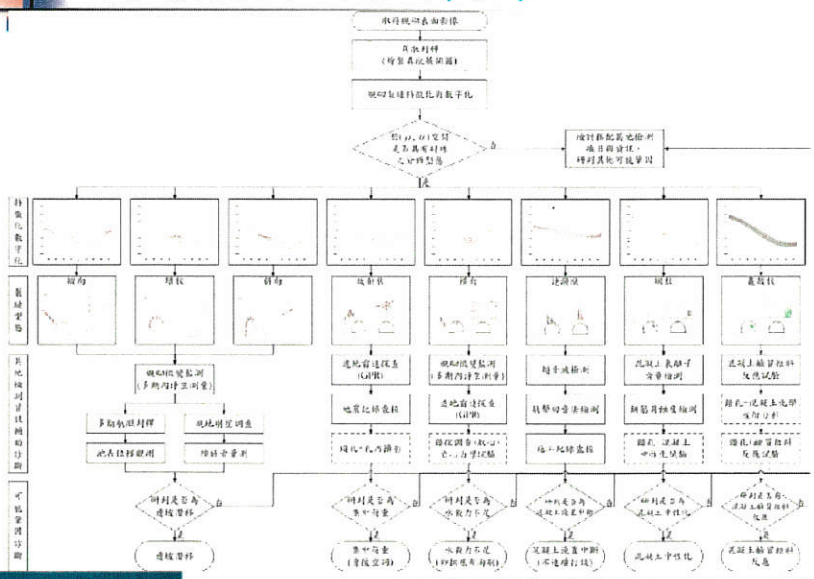


(a)縱向裂縫；(b)環狀裂縫；
(c)斜向裂縫；(d)放射狀裂縫；
(e)橫向裂縫；(f)連漪狀裂縫；
(g)網狀裂縫；(h)龜殼狀裂縫。

(李佳翰、2013)

2017 Japan Railway
Tunnel Maintenance
Technology Visiting

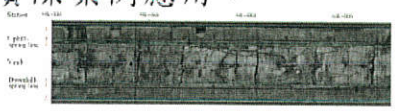
2隧道異狀肇因診斷(2/3)



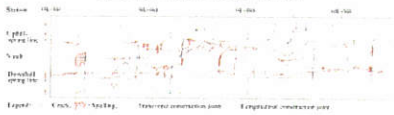
(李佳翰、2013)

2隧道異狀肇因診斷(3/3)

- 實際案例應用：



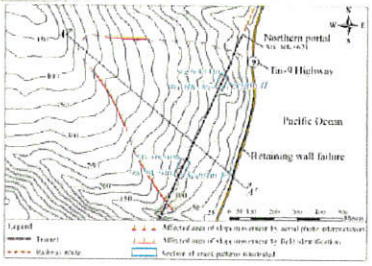
(a) 襯砌表面裂縫(里程 59k+940~60k+010)



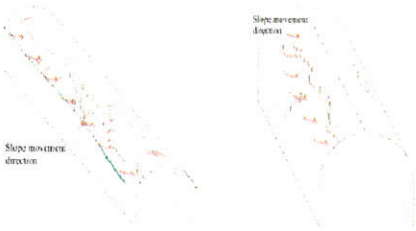
(b) 襯砌裂狀分佈(里程 59k+940~60k+010)

(c) 襯砌表面裂縫(里程 60k+360~+430)

(d) 襯砌裂狀分佈(里程 60k+360~+430)



(a) 邊坡崩塌分佈



(b) 襯砌裂狀 3D 視覺(里程 59k+940~60k+010)

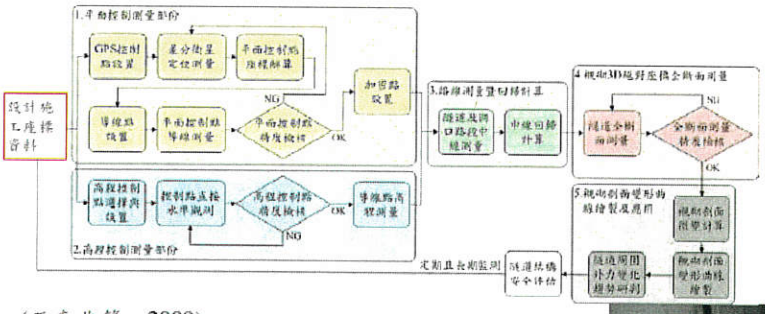
(c) 襯砌裂狀 3D 視覺(里程 60k+360~+430)

交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

(李佳翰，2013)

3隧道襯砌微變監測技術(1/2)

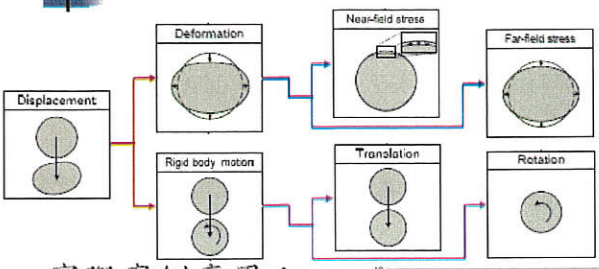


(王泰典等，2009)

交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

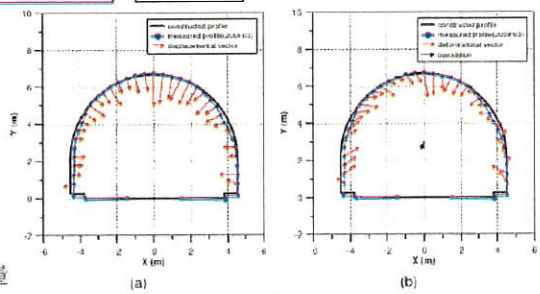
聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

3隧道襯砌微變監測技術(2/2)



(邱雅筑、2007)

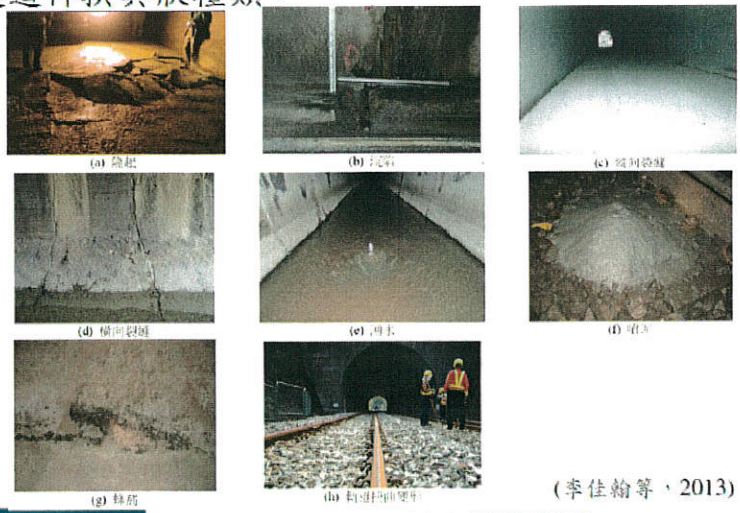
- 實際案例應用：



(a)位移分量 (b)變形分量

4隧道仰拱異狀診斷(1/4)

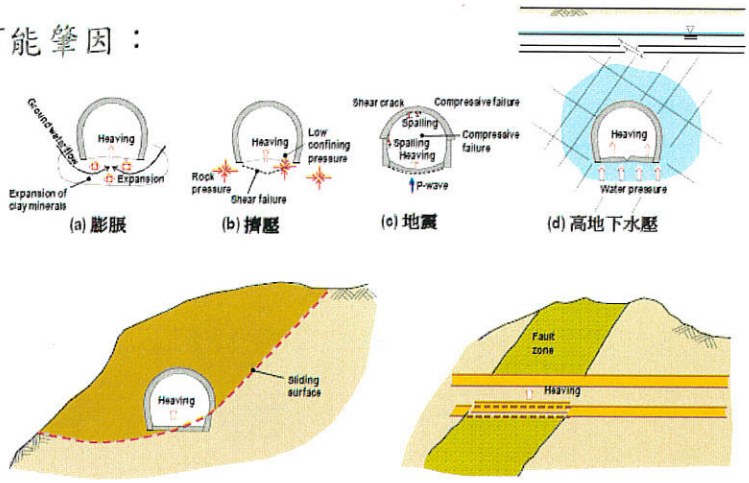
- 隧道仰拱異狀種類：



(李佳翰等、2013)

4隧道仰拱異狀診斷(2/4)

- 可能肇因：

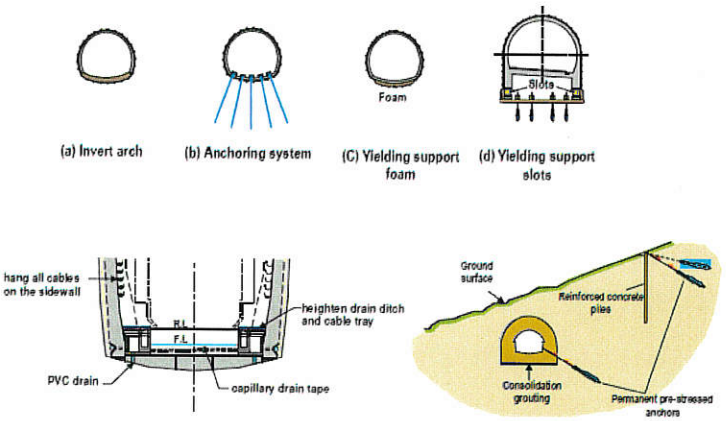


(a) 膨脹 (b) 擠壓 (c) 地震 (d) 高地下水壓

(e) 邊坡滑動或潛移 (f) 斷層活動 (李佳翰等，2013)

4隧道仰拱異狀診斷(3/4)

- 改善對策：

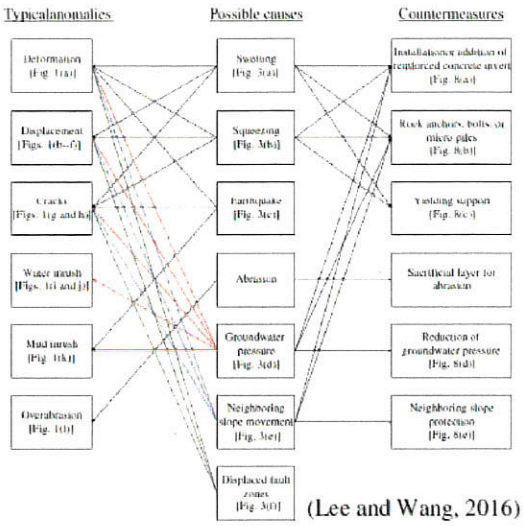


(a) Invert arch (b) Anchoring system (C) Yielding support foam (d) Yielding support slots

(e) Drain (Lee and Wang, 2016) (f) Slope stabilization

4隧道仰拱異狀診斷(4/4)

- 診斷網狀圖：



(Lee and Wang, 2016)

Part IV－南迴線電氣化計畫－隧道篇

東改計畫&花東電氣化計畫

■ 1991~2004：

東部鐵路改善計畫範圍示意圖
Location Presentation of Eastern Railway Improvement Project

■ 2008~2018：

花東線鐵路瓶頸路段雙軌
化暨全線電氣化計畫

交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

南迴線鐵路電氣化建設計畫概述

◆計畫範圍

❖南迴線98.2公里+潮枋段25.2公里，全長約123.4公里
(現況雙軌路段南迴線16.8公里，新增潮枋段雙軌6.8公里)

❖主要工程內容為原線鐵路電氣化，一併改善沿線之鐵路橋涵、隧道、邊坡保護、車站、平交道及機電設備等

設施	數量
客貨運站	17座
號誌站	2座
平交道	31處
橋涵	249座
山岳隧道	36座

交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau
Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.

南迴線電氣化工程內容

◆南迴線路廊現況

❖全長98.2公里

- 隧道段40.8公里
- 橋涵段 9.1公里
- 路基段48.3公里

山岳隧道	明隧道	嘉和遮體	合計
36座 (39km)	5座 (0.6km)	1座 (1.2km)	42座 (40.8km)

多跨橋	單跨橋	箱涵	合計(座)
64座 (8.2km)	72座 (0.7km)	34座 (0.2m)	170座 (9.1km)

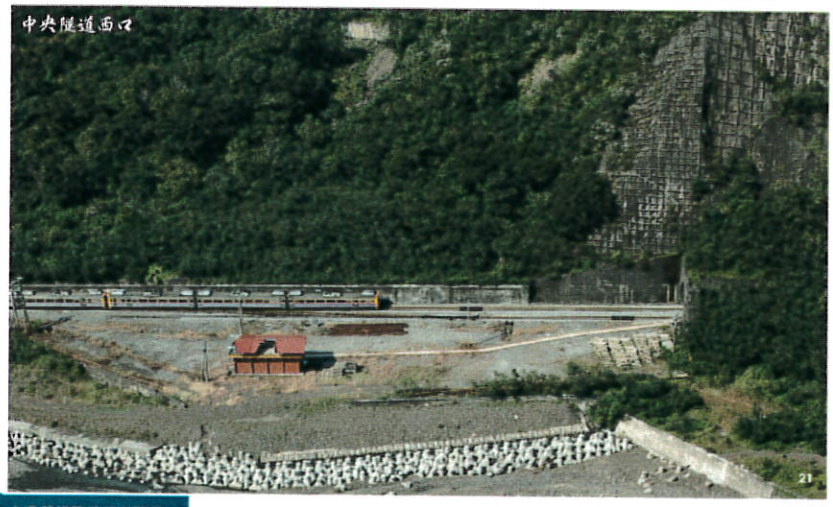
南迴線電氣化工程特色(1/3)

南迴線工程特色 南迴線地處偏遠，人、機、料等物資運送困難，尤其是山區路段之補強工程，需仰賴既有產業道路進行運補

南迴線電氣化工程特色(2/3)

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

南迴線工程特色 南迴線為既有營運鐵路，橋梁、隧道、邊坡補強等鄰軌工程之施工需考量列車行車安全，作業時間受限



交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

37

南迴線電氣化工程特色(3/3)

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

南迴線工程特色 隧道有裂縫、漏水、淨空不足問題，僅能用夜間封鎖時間進行補強及降道，並要確保翌日鐵路行車安全

交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

38

南迴線電氣化工程內容(1/3)

南迴線工程內容

◆隧道改善工程

異狀			可選用對策工法
功能	Type A	淨空不足	降道
	Type B	滲漏水	裂縫止水灌漿(B1)、導排水措施(B2~B4)、電力設備保護板(B5)
結構	Type C	剝落	局部剝落填補(C1~C2)、碳纖維貼片補強(C3)
	Type D	裂縫	裂縫補強灌漿(D1)、岩栓補強(D3)
	Type E	其他	回填灌漿(E1)、鋼筋外露對策(E2)、底版補強(E3)

TYPE B4
導水殼導水

TYPE C1
局部剝落填補(超拱頂以上)

TYPE D3
岩栓補強

TYPE E1
回填灌漿

南迴線電氣化工程內容(2/3)

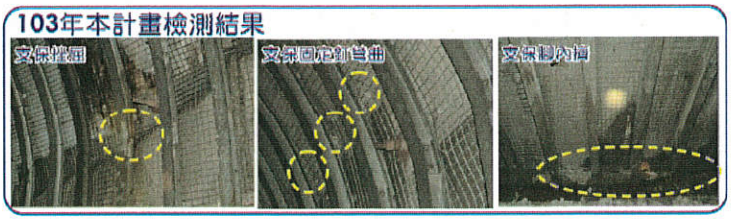
南迴線工程內容

◆多良路段局部改線工程

❖多良一號隧道

- 隧道完工後曾歷經多次加固，仍緩慢持續產生異狀
  - 95年：鋼鈑
  - 98年：鋼支保+鋼襯鈑+固結灌漿、鋼支保+鋼線網
  - 103年：鋼支保挫曲

103年本計畫檢測結果



- 受隧道襯砌異狀及加固工程影響，隧道淨空嚴重不足
- 無法以降道配合電車線功能標解決隧道淨空不足問題

南迴線電氣化工程內容(3/3)

2017 Japan Railway Tunnel Maintenance Technology Visiting

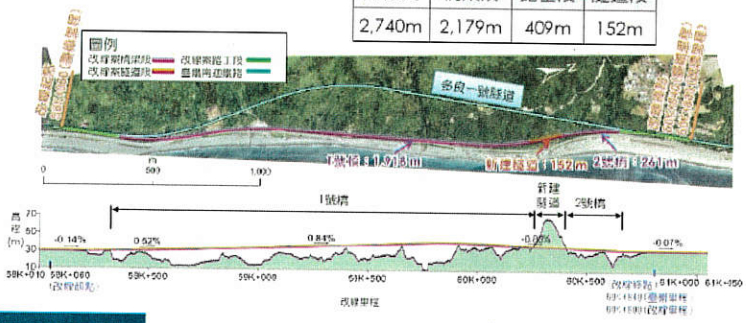
南迴線工程內容

◆多良路段局部改線工程

❖線形及路線結構

- 鄰近山勢陡峭，儘量以橋梁型式通過，避免大規模邊坡開挖
- 大溪四號橋北側岔出，沿海側增設單軌路線進行改線，往北銜接至多良站南側

路線長	橋梁段	路基段	隧道段
2,740m	2,179m	409m	152m

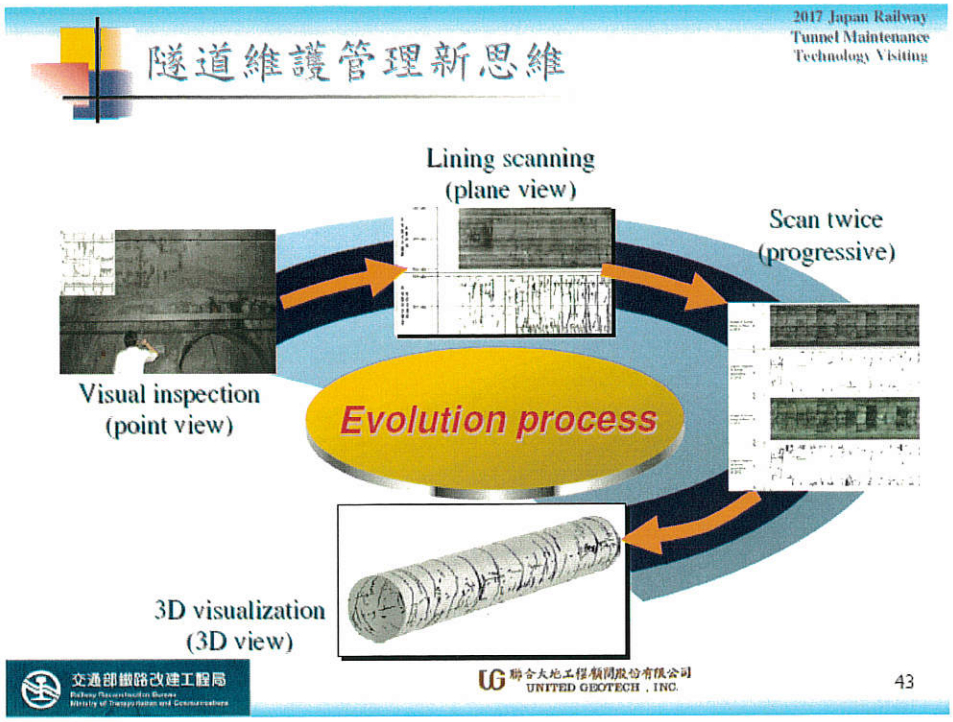


交通部鐵路改建工程局 Railway Reconstruction Bureau Ministry of Transportation and Communications

聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH , INC.

41

Part V — 結語


2017 Japan Railway
Tunnel Maintenance
Technology Visiting
隧道維護管理新思維
Lining scanning
(plane view)
Scan twice
(progressive)
Visual inspection
(point view)
Evolution process
3D visualization
(3D view)
交通部鐵路改建工程局
聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.
43


2017 Japan Railway
Tunnel Maintenance
Technology Visiting
台日技術交流
2013
Cooperation
2009
2014
2017
To be continued...
交通部鐵路改建工程局
聯合大地工程顧問股份有限公司
UNITED GEOTECH , INC.
44

參考文獻

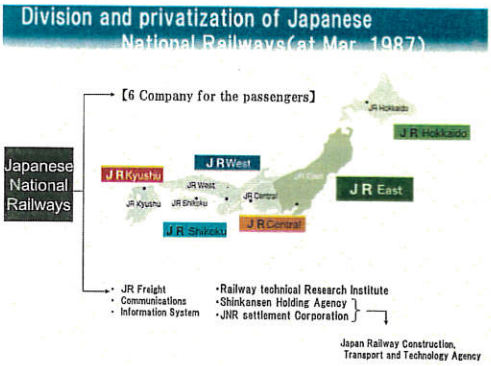
- C.H. Lee, Y.C. Chiu, T.T. Wang, T.H. Huang (2013) "Application and validation of simple image-mosaic technology for interpreting cracks on tunnel lining", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 34, pp. 61-72.
- Chia-Han Lee, Tai-Tien Wang (2016) "Invert Anomalies in Operational Rock Tunnels: Appearance, Causes, and Countermeasures", Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 30, Issue 3, 04015048-1~04015048-13.
- Wang, W.L., T.T. Wang, J.J. Su, C.H. Lin, C.R. Seng and T.H. Huang (2001) "Assessment of damages in mountain tunnels due to the Taiwan Chi-Chi Earthquake", Tunnelling and Underground Space Technology, 16(3), 133-50.
- 王泰典、莊海岳、邱雅筑、李佳翰、鄭富書 (2009)，「微變監測在營運中隧道穩定評估之應用」，第八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，第D2-1~D2-12頁。
- 王泰典、黃燿輝、鄭富書、薛文城、傅子仁 (2007)，「台灣隧道襯砌異狀類別之探討」，隧道建設，第27卷，第87~92頁。
- 李佳翰 (2008)，「隧道檢測技術傾向自動化」，營建知訊，第309期，第21~30頁。
- 李佳翰 (2013)，「山岳隧道襯砌異狀肇因診斷技術研究」，博士論文，國立台北科技大學工程科技研究所，台北，共181頁。
- 李佳翰、王泰典、秦　德 (2008)，「鐵路隧道結構安全檢測之探討」，2008岩盤工程研討會，第579-588頁。
- 李佳翰、江奕廷、王泰典、黃燿輝 (2013)，「山岳隧道仰拱異狀種類與肇因診斷探討」，第十二屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，第D-8-1~D-8-7頁。
- 邱雅筑 (2007)，「隧道剖面量測技術及相應應力增量回溯分析」，台大土木工程研究所碩士論文，台北。
- 黃燿輝與鄭富書 (1997)，「老舊交通隧道之安全檢測、維修與補強技術研討(I)」，交通部委託研究計畫報告。

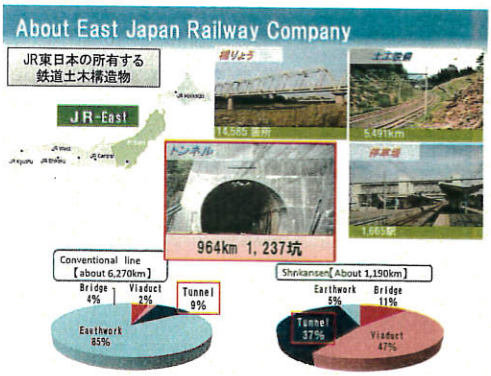
簡報結束
敬請指教

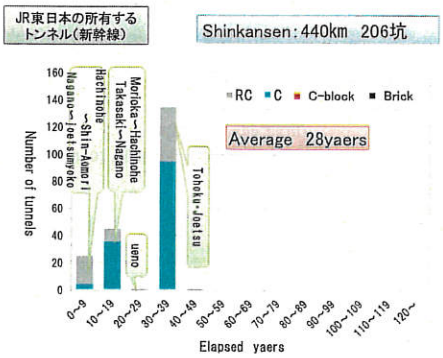
Chia-Han Lee
李佳翰

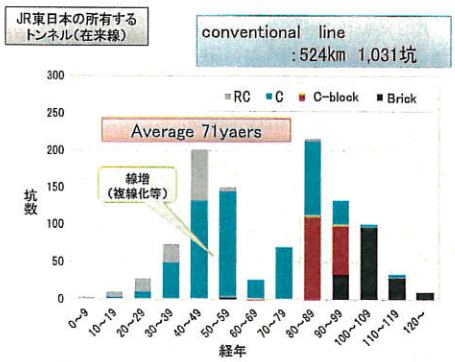
United Geotech, Inc.
聯合大地工程顧問公司
Manager (Ph.D., P.E., APEC Engineer)
經理(博士/大地技師/亞太工程師)
5F., No.21, Ln. 583, Ruiguang Rd., Taipei, Taiwan
Tel: +886-2-2798-5198 ext. 228
E-mail: ug513@mail.ugi.com.tw

附錄二









The oldest tunnel owned by JR-East

※左(上り線)が当該 右は複線開業(1898年)時に増設されたもの

駅 間 Tokaido-Line Hodogaya~Higashitotsuka
名 称 Shimizuyato(しみずやと)Tunnel
材 質 Brick
取得年 since 1887 経年130years

The newest tunnel owned by JR-East

戸花山第一トンネル

戸花山第二トンネル

Construction to restore Joban line damaged by Earthquake

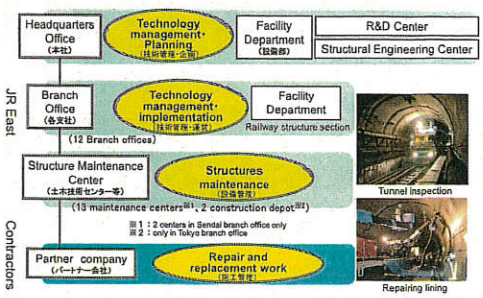
駅 間 Joban-Line Soma~Hamayoshida
名 称 Tobanayama Tunnnel
材 質 Concrete
取得年 since 2016 経年1years

【Organization】(組織)

(保守土木の役割と実務体系)

JR East is in partnership with contractors for maintaining structures

(JR東日本と施工専門会社が協力して保線をメンテナンス)



Inspection Categories

(構造物検査の種類)

Inspection type		Cycle	Methods	target
Initial inspection		Before service	Careful visual inspection Hammer tests Instrument	All Concrete structure Steel/composite structure Foundations/retaining structures Earth structure Tunnels
General inspection	Regular general inspection	2 years	Visual inspections	
	Special general inspection	10 years※	Careful visual inspection Hammer tests Instrument	
Individual inspection		Each time needed	Visual inspection Detailed survey	A-rank
Extraordinary inspection		Each time needed	Sight	After earthquake, rain Change of environment

※ Tunnel of Existing line:20 years

Approach to mechanization of railway tunnel inspection

Current issues in Maintemansce

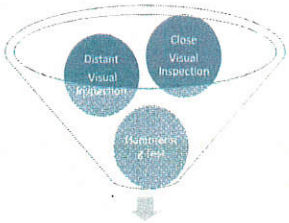
Problems

- Quantity is high
- The aiging of structure is wide
- Decrease in number of employees and experienced people

↓

- Improve inspection accurancy
- Improve inspection efficiency

Conventional situation of railway tunnel inspection



There is a problem with efficiency and precision in visual inspection and hammering test only.

(目視と打音検査では効率と精度に課題がある)

12

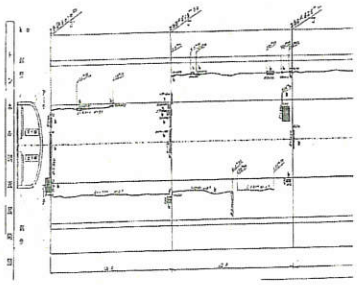
Close visual inspection and hammering test by tall car

14

Distant visual inspection and sketch of deformation by walking

15

Deformed development map created based on sketched notepad



16

Problems of human tunnel inspection

- Tunnel inspection is carried out in an environment with insufficient illuminance and time constraints. Moreover, the inspection depends on experience and feeling of the inspector in many ways. As a result, there is also one aspect in which individual differences occurred in the soundness judgment and variations occurred in the results.
(照度不足や時間的制約がある環境で、検査者の経験や感覚に依存する面が多く、健全度判定に個人差が生じる)

- It is difficult to capture accurately the deformed development map created based on this sketch because it takes time to create and writes the deformation by hand.
(スケッチによる変状展開図は作成に時間がかかり、変状を手で書き込むため正確な情景が困難)

17

New tunnel inspection method

Human tunnel inspection (人力主体の検査)
⇒Development of tunnel exclusive inspection apparatus.
(トンネル検査車の導入)

Development of inspection apparatus scanning the tunnel lining surface condition with laser light supplementing visual inspection.
(トンネル覆工表面をレーザー光により撮影する検査車の導入)

TuLIS(Tunnnel Lining Scanning Car)

Development of inspection apparatus to investigate the internal condition of tunnel lining by electromagnetic wave exploration supplementing hammering test.
(トンネル覆工の内部状態を電磁波探査により調査する検査車の導入)

CLIC(Concrete Lining Inspection Car)

TuLIS(トンネル覆工撮影車)の概要

Characteristics of TuLIS

- Capture the condition of deformation of the tunnel lining surface accurately and in a short time. (トンネル覆工表面の変状状態を正確かつ短時間で捕捉)
- Laser scanning electrophotography is adopted as shooting method.(撮影方式はレーザースキャニング電子写真方式を採用)
- Images can be taken at speeds of up to 8.5 km / h.
(最高8.5km/hで撮像撮影が可能)
- No need for lighting and focusing on shooting.
(撮影時に照明およびピント合わせが不要)
- Cracks with width of 0.5 mm or more can be detected.
(幅0.5mm以上のひび割れを検知可能)

Since 2009~2000
About 4 year cycle

19

Tunnel Lining Scanning Car(TuLIS) for Shinkansen tunnel

20

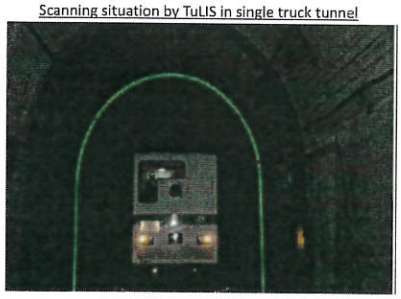
Tunnel Lining Scanning Car(TuLIS) for conventional line tunnel

21

Scanning situation by TuLIS in double truck tunnel

22

Scanning situation by TuLIS in single truck tunnel



23

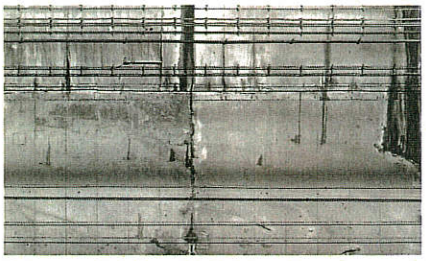
Creating deformed development map from images by TuLIS

- Images taken by TuLIS are sequentially imaged using an image processing apparatus. As a result, it is possible to accurately record the position, shape and temporal change of deformation.
(TuLISにより撮影された画像は、画像処理装置を用いて連続画像化することで、変状の位置や形状、経時変化を記録)

- Trace the deformation while looking at the image, and create deformed development map.
(画像を基に変状をトレースして電子変状展開図を作成)

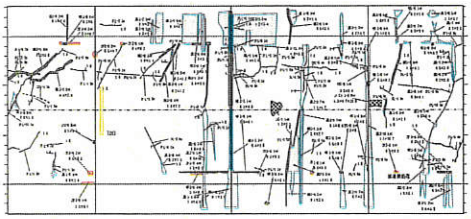
24

TuLIS image sample



26

TuLIS deformed development map sample



26

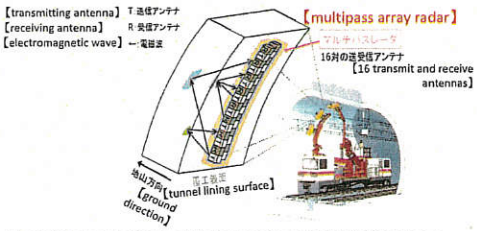
CLIC(トンネル覆工検査車)の概要

Characteristics of CLIC

- Improving inspection accuracy of internal condition in tunnel lining and carrying out efficient inspection.
  (トンネル覆工内部の変状状況の検査精度を高め，効率的な検査を実施)
- The inspection apparatus equipped with antenna device for recording deformation in the tunnel lining in three-dimensional display
  (トンネル覆工内部の変状を3次元表示で記録するアンテナ計測装置を搭載)
- Data of internal condition in tunnel lining can be obtained at speeds of up to 3.5 km / h.
  (最高3.5km/hで計測することが可能)

27

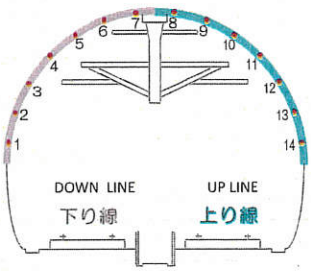
CLIC multipass array radar



The CLIC radar has 16 transmit and receive antennas installed, and adopts multipass array radar capable of internal 3D display.
(送受信アンテナ16個が内蔵されており覆工内部の3次元表示が可能なマルチパスアレイレーダーを採用)

28

Arrangement between CLIC survey line and tunnel cross section



29

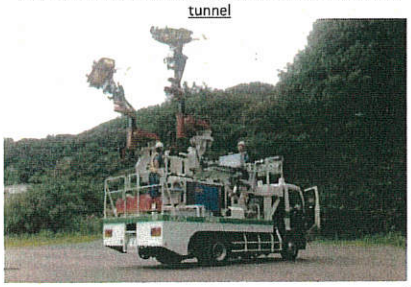
Concrete Lining Inspection Car(CLIC) for Shinkansen tunnel

30

Situation of inspecting the internal condition of tunnel lining

31

Concrete Lining Inspection Car(CLIC) for conventional line tunnel



32

Internal deformation detectable by CLIC

①Crack within 25cm depth or less from the tunnel lining surface and having a width of 1mm or more.（表面から深さ25cm以内で幅1mm以上のひび割れ）

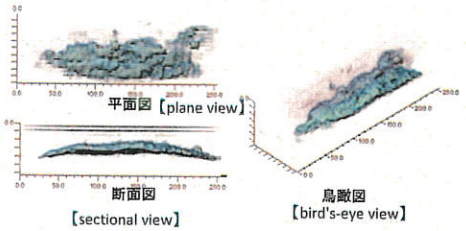
② Void within 40cm depth or less from the tunnel lining surface and having a thickness of 10mm or more.（表面から深さ40cm以内で厚さ10mm以上の空洞）

③ Honeycomb within 40cm depth or less from the tunnel lining surface and having a thickness of 100mm or more.
（表面から深さ40cm以内で厚さ100mm以上の豆板）

④ Separation within 25cm depth or less from the tunnel lining surface.（表面から深さ25cm以内の浮き）

33

CLIC three-dimensional data



34

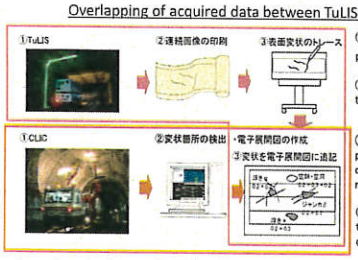
Response for CLIC reacted result

A:thickness of lining(design)

Reacted thickness	depth \ Area	<1m²	≧1m² ～<5m²	>5m²
A×2/3 or more	<5cm	I	II	II
	≧5cm and <A×1/3	IV	III	III
	≧A×1/3	IV	IV	III
A×2/3 less than	<5cm	I	I	I
	≧5cm and <A×1/3	IV	IV	IV
	≧A×1/3	IV	IV	IV

I :Hammering test
II :Hammering test ＋ Drilling investigation
III :Drilling investigation
IV :Normal maintenance

Overlapping of acquired data between TuLIS and CLIC



②Continuous image printing

③Surface deformed trace

②Extraction of deformed points and creating deormed development map

③Add a variant to the deformed development map

Soundness judgment is realized by overlapping reaction points detected by CLIC's radar data analysis on deformed development map out of TuLIS shot images.
（CLICの反応箇所をTuLISの変状展開図に重ね合わせることで総合的な健全度判定に寄与

36

Close visual inspection and hammering test by tall car

⇒ Improve accuracy by checking TuLIS shot images
Hunmering test where CLIC reacted

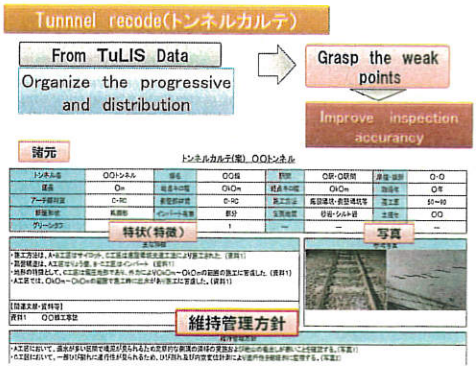
37

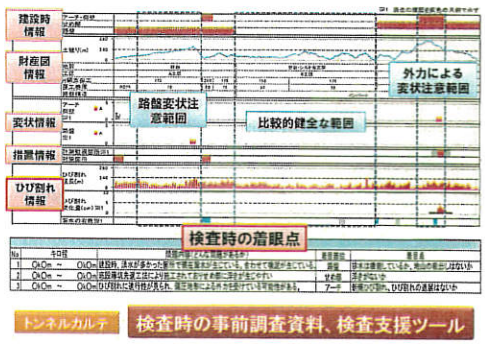
Effect of introducing TuLIS and CLIC

- Deformed development map obtained by TuLIS was able to confirm the progressiveness of the deformation such as the progress of cracks by comparing the latest one with the one of the previous one.
（TuLISにより得られる展開図は最新と前回を比較することで変状の進行性を確認することが可能となった）

- We introduced a new method using a dedicated inspection apparatus called TuLIS and CLIC as an inspection method for tunnels that have been carried out manually. As a result, it was possible to reduce the burden on the inspector and improve the accuracy of the inspection data.
（TuLISとCLICを導入することで、検査員の負担軽減、検査精度の向上を図ることができた）

38





Judgment of Soundness (健全度判定)

(構造物検査・修繕)

Soundness		Structure state	Countermeasures
A		State that threatens operational safety, safety of passengers, public safety, guarantee of regular train operation, or deterioration that might cause this state	
	AA	Deterioration that threatens operational safety, safety of passengers, public safety, or the guarantee regular train operation, and which require emergency countermeasures	Immediately (緊急に)
	A1	Progressive deterioration that causes the performance of structures to drop, or heavy rain, floods or earthquakes that might impair the performance of structures	Urgently (早急に)
	A2	Deterioration that might cause a future performance drop of structures	Next A1
B		Deterioration that might result in a future soundness rank of A	If necessary
C		Slight deterioration	Next survey with emphasis (次回重点的に)
S		Sound	Non

And Judgment of spalling ⇒α、β、γ