

出國報告（出國類別：考察）

# 考察日本東海道新幹線路線設施 大規模更新計畫出國報告書

服務機關：交通部高速鐵路工程局

姓名職稱：副總工程司／饒國政

正工程司兼科長／高耀宏

派赴國家：日本

出國期間：民國 105 年 10 月 25 日至 10 月 28 日

報告日期：民國 106 年 01 月 14 日

## 提要表

系統識別號：	C10502671																							
計畫名稱：	考察日本東海道新幹線路線設施大規模更新計畫																							
報告名稱：	考察日本東海道新幹線路線設施大規模更新計畫出國報告書																							
計畫主辦機關：	交通部高速鐵路工程局																							
出國人員：	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">姓名</th> <th style="width: 15%;">服務機關</th> <th style="width: 10%;">服務單位</th> <th style="width: 10%;">職稱</th> <th style="width: 15%;">官職等</th> <th style="width: 35%;">E-MAIL 信箱</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>饒國政</td> <td>交通部高速鐵路工程局</td> <td></td> <td>副總工程司</td> <td>簡任(派)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>高耀宏</td> <td>交通部高速鐵路工程局</td> <td></td> <td>正工程司兼科長</td> <td>薦任(派)</td> <td>聯絡人： ykao@hsr.gov.tw</td> </tr> </tbody> </table>						姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱	饒國政	交通部高速鐵路工程局		副總工程司	簡任(派)		高耀宏	交通部高速鐵路工程局		正工程司兼科長	薦任(派)	聯絡人： ykao@hsr.gov.tw
姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱																			
饒國政	交通部高速鐵路工程局		副總工程司	簡任(派)																				
高耀宏	交通部高速鐵路工程局		正工程司兼科長	薦任(派)	聯絡人： ykao@hsr.gov.tw																			
前往地區：	日本																							
參訪機關：	國土交通省鐵道局、東海鐵道旅客株式會社、JRC 三島綜合訓練中心																							
出國類別：	考察																							
出國期間：	民國 105 年 10 月 25 日 至 民國 105 年 10 月 28 日																							
報告日期：	民國 106 年 01 月 14 日																							
關鍵詞：	高速鐵路、新幹線、監理作業、異常事件、國土交通省鐵道局、東海鐵道旅客株式會社、JRC 三島綜合訓練中心、JRC 小牧研究中心																							
報告書頁數：	45 頁																							
報告內容摘要：	<p>日本東海道新幹線自 1964 年開始營運，當時為世界第 1 座高速列車，在 2011 年的東日本大地震後，有關基礎設施安全性特別受到關注，日本新幹線工程結構經由詳實的調查與維護已確保營運穩定，惟已營運 50 年之久，有必要進一步評估與補強。JR 東海公司已提送路線設施大規模更新計畫，並獲日本國土交通省核准於 2013 年開始執行，目前正進行中。鑒於高鐵特許營運期已由 35 年延長到 70 年，有關日本新幹線大規模更新計畫之法規及管控機制、強化構造物與抑制老化之技術、更新構件之方法、耐震補強的因應措施、降低行車干擾與造價之施工技術及大規模資金籌措方式等，均可提供本局及台灣高鐵公司等鐵路機構未來擬訂相關因應對策之參考。</p>																							
電子全文檔：	C10502671_01.pdf																							
附件檔：	C10502671_02.pdf 、 C10502671_03.pdf 、 C10502671_04.pdf 、 C10502671_05.pdf 、 C10502671_06.pdf 、 C10502671_07.pdf																							
限閱與否：	否																							
專責人員姓名：	高來富																							
專責人員電話：	02-8072-3333 分機 8503																							

## 摘 要

日本東海道新幹線在 1964 年開幕時當時為世界第 1 座高速列車，最高時速達 200 km/h，成為連接東京、名古屋及大阪等幾個大城市主要的動脈，其服務範圍大約為日本總陸地 24%及 60%的人口。在 2011 年的東日本大地震後，有關重要基礎設施安全性特別受到關注，日本新幹線工程結構經由詳實的調查與維護以確保營運穩定，惟已營運 50 年之久，隨之而來的就是維修及補強的問題。JR 東海公司為執行路線設施大規模更新計畫，已獲日本國土交通省核准於 2013 年開始執行。鑒於高鐵特許營運期已由 35 年延長到 70 年，有關日本新幹線大規模更新計畫之法規及管控機制、強化構造物與抑制老化之技術、更新構件之方法、耐震補強的因應措施、降低行車干擾與造價之施工技術及大規模資金籌措方式等，均可提供本局及台灣高鐵公司等鐵路機構未來擬訂相關因應對策之參考。

# 目 錄

壹、目的.....	1
貳、行程.....	2
參、考察過程.....	5
一、監督鐵路機構執行老化更新計畫之法規與管控機制及執行情形	5
二、強化構造物與抑制老化之技術及更新構件之方法.....	9
三、耐震補強的因應措施 .....	18
四、降低行車干擾與造價之施工技術 .....	24
肆、實地參訪.....	27
一、觀摩 JRC 新幹線高架橋更新計畫現地施工執行情形.....	27
伍、心得與建議.....	33
一、考察心得 .....	33
二、相關建議 .....	35

## 附 件

- 附件一 拜會各單位出席代表名片
- 附件二 國土交通省鐵道局簡報資料
- 附件三 東海旅客鐵道株式會社簡報資料
- 附件四 觀摩 JRC 三島訓練中心說明資料
- 附件五 國家新幹線鐵道發展法資料
- 附件六 東海道新幹線の脱線・逸脱防止対策について
- 附件七 東海道新幹線「改良型レール削正車」と「脱線防止ガード  
轉換ロボット」の導入について
- 附件八 脱線防止ガード自動検査装置の開発について

## 表 目 錄

表 1	考察行程表.....	2
表 2	考察人員名單.....	3
表 3	結構物檢查頻率及權屬單位.....	10

## 圖 目 錄

圖 1	105 年 10 月 26 日上午拜會國土交通省會議討論情形.....	3
圖 2	105 年 10 月 26 日下午拜會 JRC 會議討論情形 .....	3
圖 3	105 年 10 月 27 日觀摩新幹線高架橋更新計畫現地執行情形..	4
圖 4	105 年 10 月 27 日下午拜會 JR 三島訓練中心 .....	4
圖 5	鐵道局轄下 9 個地方運輸局位置示意圖 .....	5
圖 6	鐵道局組織架構及職掌 .....	6
圖 7	關東運輸局組織架構及職掌 .....	6
圖 8	鐵道局轄管新幹線分布圖 .....	7
圖 9	各新幹線資金儲備及大規模更新計畫期程 .....	8
圖 10	新幹線客流-里程與 GDP 關係曲線圖 .....	9
圖 11	新幹線全線各結構物比重 .....	10
圖 12	結構修復及所需經費歷時圖 .....	11
圖 13	鋼橋加勁補強措施 .....	12
圖 14	鋼橋底樑補強措施 .....	13
圖 15	鋼橋補強具體措施 .....	13
圖 16	東海道新幹線 RC 結構中性化(碳化)對鋼筋侵蝕示意圖 ....	14
圖 17	東海道新幹線 2000 年 RC 結構以樹脂塗刷示意圖 .....	14
圖 18	東海道新幹線補強支撐及基礎 (基樁及地梁)示意圖 .....	15
圖 19	懸臂結構以鋼板全斷面包覆示意圖 .....	15
圖 20	隔音牆柱納入鋼板全斷面包覆示意圖 .....	16

圖 21	全斷面包覆鋼板減輕及搭接方式示意圖 .....	16
圖 22	混凝土橋補強措施彙整方案 .....	17
圖 23	隧道補強措施彙整方案 .....	18
圖 24	鐵路行車事故調查流程圖 .....	19
圖 25	鐵路行車事故調查流程圖 .....	19
圖 26	鐵路行車事故調查流程圖 .....	19
圖 27	擴展墩座防止落橋 .....	20
圖 28	版樁及對拉地錨鎖固補強路堤滑動破壞 .....	20
圖 29	東海道新幹線沿線地震偵測器位置圖 .....	21
圖 30	東海道新幹線地震遠距告警系統機制 .....	21
圖 31	2004 年新瀉地震造成上越新幹線列車嚴重脫軌 .....	22
圖 32	防脫軌之護衛軌道裝置圖 .....	23
圖 33	脫軌停止裝置圖 .....	23
圖 34	道碴軌道的對策-地工格網、蛇籠及鋼筋錨定工法示意圖 ..	24
圖 35	2002 年原計畫橋樑結構更新施工示意圖 .....	25
圖 36	列車不降速橋樑結構臨時支撐施工示意圖 .....	25
圖 37	Transfer Plant Method 施工示意圖 .....	26
圖 38	新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(一) .....	27
圖 39	新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(二) .....	28
圖 40	新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(三) .....	28
圖 41	JRC 三島訓練中心位置及交通 .....	30

圖 42	三島訓練中心綜合訓練模擬教室(一)	31
圖 43	JRC 三島訓練中心綜合訓練模擬教室(二)	31
圖 44	JRC 三島訓練中心功能訓練教室	32
圖 45	防出軌護軌裝置現地觀摩情形	32

## 壹、目的

日本東海道新幹線自 1964 年開始營運，當時為世界第 1 座高速列車，最高時速達 200km/h，主要連接東京、名古屋及大阪等幾個大城市，其服務範圍大約為日本總陸地 24%及 60%的人口。在 2011 年的東日本大地震後，有關基礎設施安全性特別受到關注，日本新幹線工程結構經由詳實的調查與維護以確保營運穩定，惟已營運 50 年之久，隨之而來的就是維修及補強的問題。JR 東海公司為執行路線設施大規模更新計畫，並已獲日本國土交通省核准於 2013 年開始執行。

鑒於台灣高鐵特許營運期已由 35 年延長到 70 年，日本新幹線正進行的大規模更新計畫之法規及管控機制、強化構造物與抑制老化之技術、更新構件之方法、耐震補強的因應措施等，均可提供本局及台灣高鐵公司等鐵路機構未來擬訂相關因應對策之參考。除施工技術面外，對於如何降低對營運列車之干擾與造價之施工技術，及大規模資金(10 年總經費約 7300 億日圓)籌措方式，對於鐵路營運機構而言更是重要，尤須提早準備及因應。

本局為配合政府組織改造未來將轉型為鐵道局，專責辦理鐵路系統監理業務，業務範圍除高鐵路線設施外，尚擴及其他鐵路機構，藉由本次考察將有助於未來辦理本局相關鐵路機構監理作業時，要求各鐵路機構檢討落實鐵路設施安全維護，並適時進行更新作業，強化鐵路運轉安全。

## 貳、行程

本次行程自 105 年 10 月 25 日起至 10 月 28 日止，共計 4 日(行程表詳表 1)，由本局饒副總工程司國政率本局及台灣高鐵公司相關業務人員進行考察(考察人員名單如表 2)，主要拜會機構包括日本國土交通省鐵道局及東海旅客鐵道株式會社，並參觀 JRC 新幹線高架橋更新計畫現地執行情形及 JR 三島訓練中心人員教育訓練及軌道防脫軌措施等。相關拜會觀摩情形如圖 1~圖 4。

表 1 考察行程表

日期	行程摘要	地點
105/10/25 (二)	台北→東京	東京
105/10/26 (三)	上午： 拜會國土交通省鐵道局並進行簡報與討論	公益財團法人交流協會 東京本部
	下午： 拜會 JR 東海道鐵道株式會社並就大規模更新計畫執行情形進行簡報與雙向討論	JRC 東京辦公室(品川 (Shinagawa)車站)
105/10/27 (四)	上午： 現地觀摩 JRC 新幹線高架橋更新計畫現地執行情形	靜岡 - 草雉 (Shizuoka-Kusanagi) 高架橋下
	下午： 拜會 JR 三島訓練中心人員教育訓練及軌道防脫軌措施	三島訓練中心 (Mishima Training Center)
105/10/28 (五)	東京→台北	東京

表 2 考察人員名單

姓名	單位	職稱
饒國政	交通部高速鐵路工程局	副總工程司
高耀宏	交通部高速鐵路工程局第二組	科長
陳其雍	興建處設施工程部建築與土木工程課	專業工程師
陳俊名	興建處設施工程部軌道課	專業工程師



圖 1 105 年 10 月 26 日上午拜會國土交通省會議討論情形



圖 2 105 年 10 月 26 日下午拜會 JRC 會議討論情形



圖 3 105 年 10 月 27 日觀摩新幹線高架橋更新計畫現地執行情形



圖 4 105 年 10 月 27 日下午拜會 JR 三島訓練中心

## 參、考察過程

### 一、監督鐵路機構執行老化更新計畫之法規與管控機制及執行情形

#### (一) 國土交通省鐵道局組織及轄管路線

日本國土交通省鐵道局及所屬地方運輸局（詳圖 1，包含北海道、東北、關東、北陸信越、中部、近畿、中國、四國、九州等 9 個運輸局）負責鐵路興建計畫、營運計畫核准及安全監理。鐵道局負責主要業務為國鐵分割後，九家民營化鐵路公司鐵道事業監督與管理、鐵路安全運輸、新路線的規劃設施改造，鐵道運輸機構(JRTT 原鐵道建設公團)、國家交通安全和環境實驗室、RTRI 研究機構之監督等，地方運輸局鐵道部則負責鐵路系統既有路線通車後之改建及營運監理。鐵道局、地方運輸局之組織架構職掌及鐵道局轄管新幹線分布圖，詳圖 5、圖 6、圖 7 及圖 8。

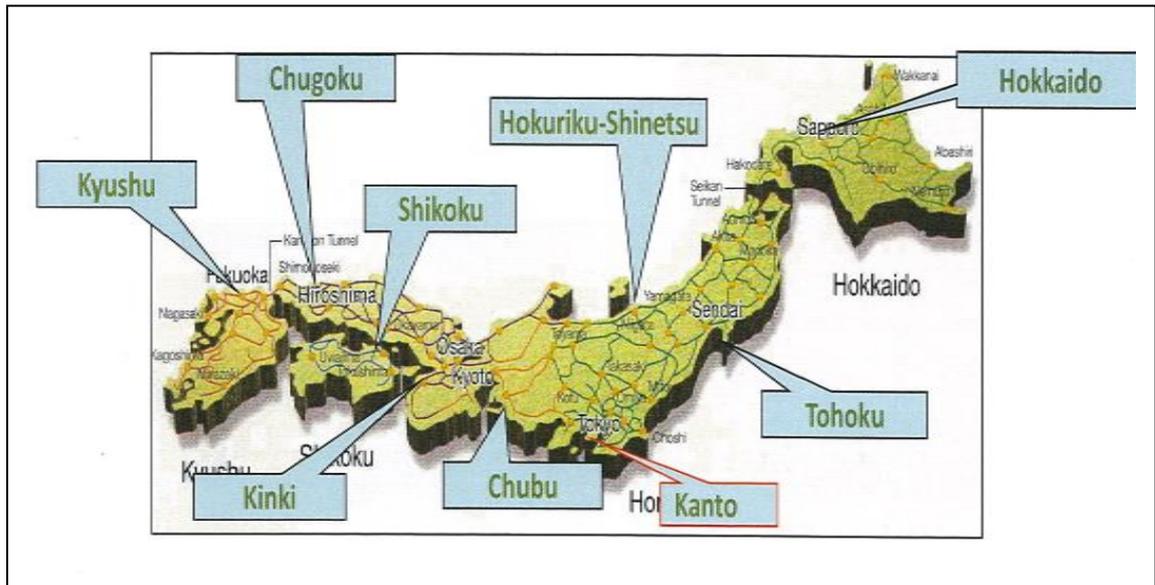


圖 5 鐵道局轄下 9 個地方運輸局位置示意圖

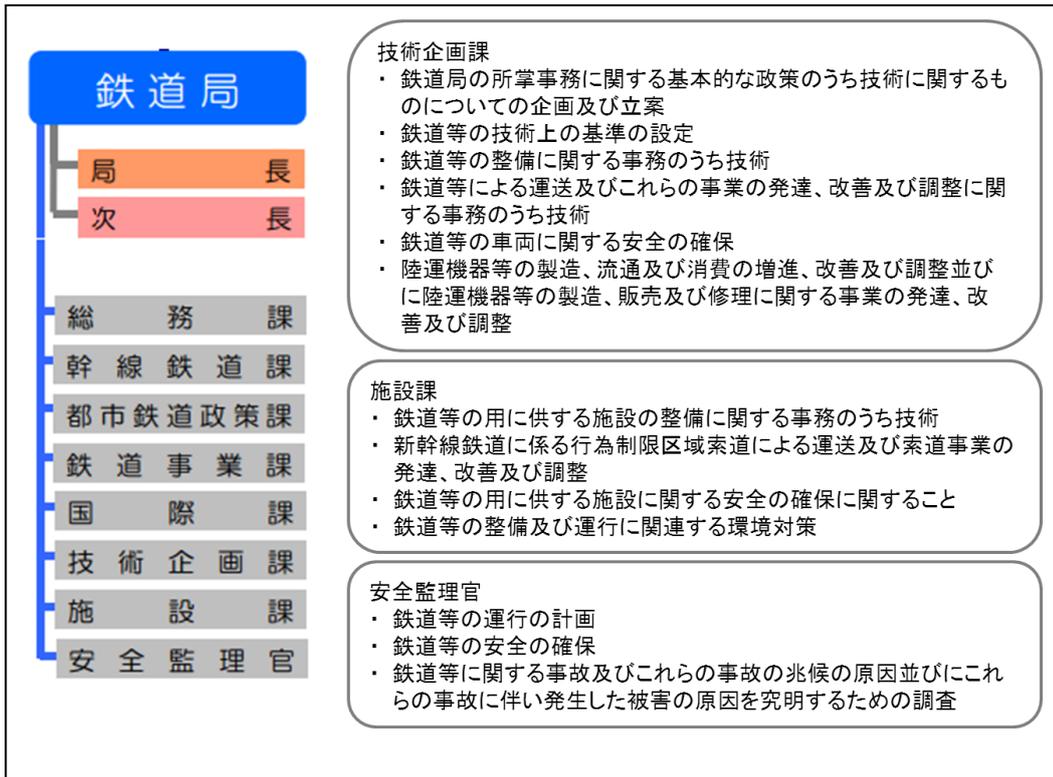


圖 6 鐵道局組織架構及職掌

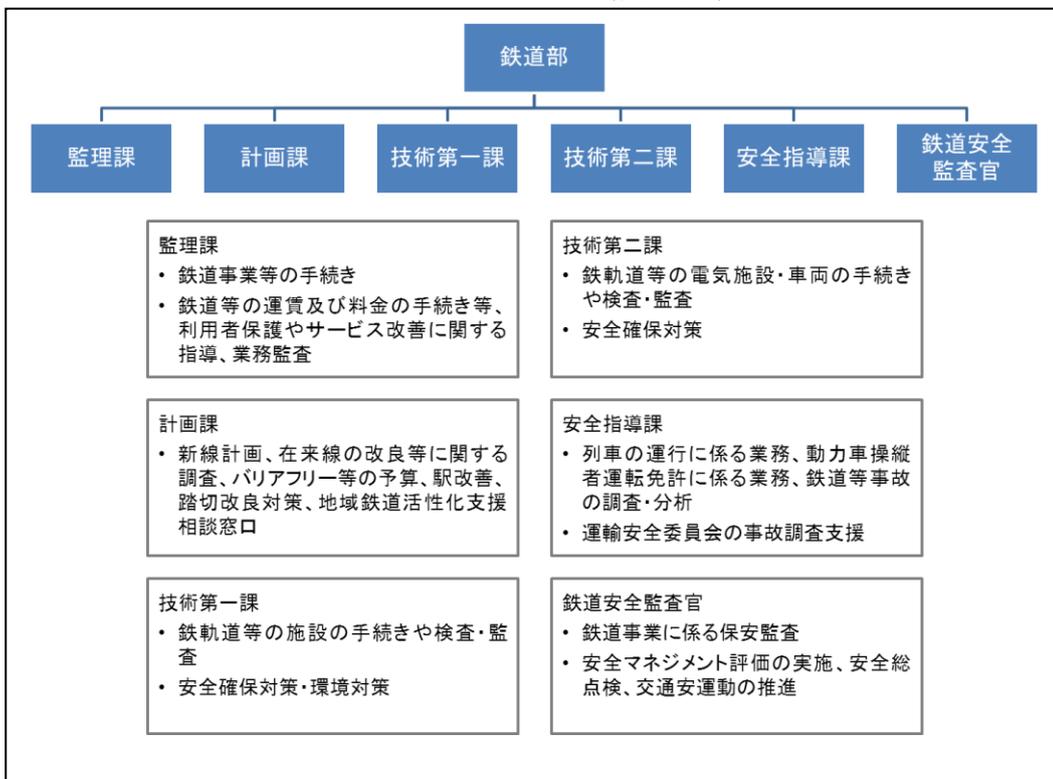


圖 7 關東運輸局組織架構及職掌

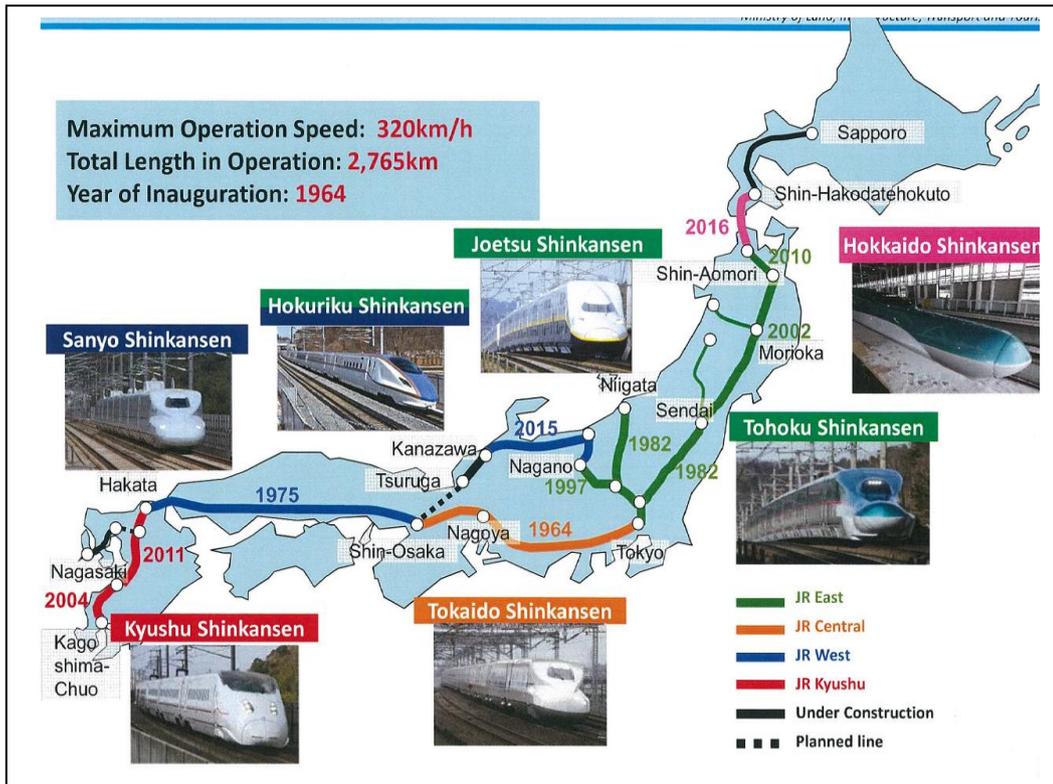


圖 8 鐵道局轄管新幹線分布圖

(二) 國土交通省鐵道局管控機制及實際執行情形

1. 日本新幹線原本屬公營事業的日本國有鐵道（國鐵）所有，自 1987 年進行分割成民營化 JR 集團並分屬七家鐵路公司，包括東日本旅客鐵道（JR 東日本）、東海旅客鐵道（JR 東海）以及西日本旅客鐵道（JR 西日本），北海道旅客鐵道（JR 北海道）、四國旅客鐵道（JR 四國）、九州旅客鐵道（JR 九州）、日本貨物鐵道（JR 貨物，政府 100%出資但以股份公司形態營運的特殊法人），後面四家公司因為負責的營運區域廣大或基於人口、經濟活動等因素，營運基礎較為脆弱，需要仰賴中央或地方政府的預算支援，因此其經營的重點在於鐵路運輸業之外的多角經營，以提升公司的整體經營利益。

2. 1987 年國鐵分割民營化後設立「鐵道事業法」，訂定國家與鐵路公司間鐵路的經營、營運、事業參與及工程施工，國土交通省(MLIT) 負責核發鐵路公司營業許可證，鐵路公司要提施工計畫、竣工檢查、車輛符合標準、車票價格及運輸計畫等經國土交通省鐵道局核准並依據「鐵道事業法」相關規定辦理與鐵路機構相關監督與協助事宜，可分為定期與發生事故後臨時監理，

每 3 年選擇一個單位(地區)進行定期監理 1 次，並依全國新幹線鐵道發展法第三章新幹線鐵路的主要改善工程 (Chapter 3 Major Improvement Works of Shinkansen Railways 第 15 至 23 條)，監察鐵路機構實際狀況，並要求鐵路機構提出改善計畫，提送交通省核准。

3. 為辦理新幹線路線設施大規模更新改善工程的儲備資金，依據特殊稅收措施法第 56 條可從企業所得額中扣除，更新後的設施可以資本化，進而鼓勵鐵路機構從事鐵路設施大規模更新計畫大量資金籌措，維護鐵路行車安全。目前日本新幹線除東海道新幹線(JR Central)自 2013 年開始進行大規模更新修復計畫外，還有東北/上越新幹線(Tohoku/Joetsu Shinkansen, JRE)及山陽新幹線(Sanyo Shinkansen, JRW)，已於 2015 年奉核定進行資金儲備，相關路線資金儲備及大規模更新計畫期程詳圖 9。JRC 大規模建設總金額為 7300 億日幣於 10.5 年籌措 3,500 億日幣作為大規模更新基金，JRE 大規模建設總金額為 10,406 億日幣於 15 年籌措 3600 億日幣基金，JRW 大規模建設總金額為 1,557 億日幣於 12 年準備 500 億日幣基金。

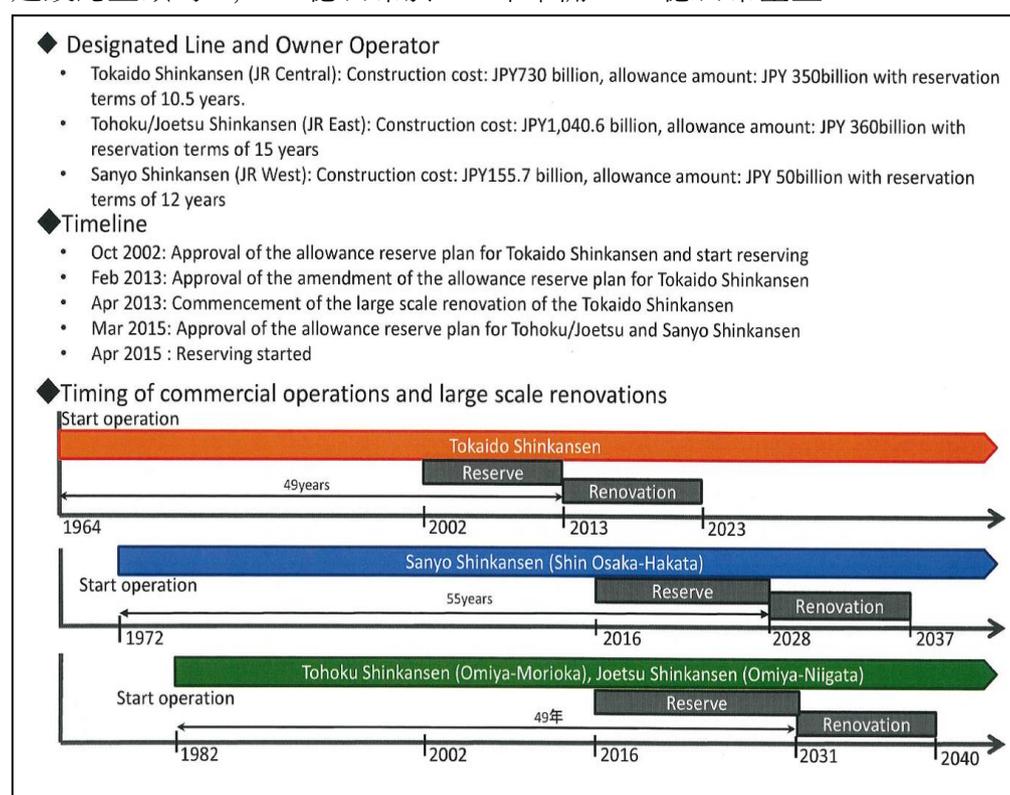


圖 9 各新幹線資金儲備及大規模更新計畫期程

## 二、強化構造物與抑制老化之技術及更新構件之方法

日本東海道新幹線(Tokaido Shinkansen)自 1964 年開始營運，截至 2014 年 3 月止，客流量不斷增加並與 GDP 趨勢同步，顯示新幹線客流量/里程與日本經濟息息相關，新幹線客流/里程與 GDP 關係曲線圖，詳圖 10。目前東海道新幹線每天有 342 列車次，平均每日載運 42.4 萬人，每年達 155 百萬人次，最高營運速度達 285km/h，平均每班次誤點率 0.9 分鐘，提供安全、準點、快速及高頻率車次之服務。

### (一) 日本東海道新幹線土木結構型式比例、維護與管理組織

新幹線所有土木結構長 515.4km，鋼橋 22.1km(4%)，混凝土橋 148km(29%)，隧道 68.6km(13%)及土方工作 276.7km(54%)詳圖 11，而大型修復計畫主要集中在鋼橋、混凝土橋及隧道，基本上各類型結構執行修復的方法就是在所有可能破壞的位置進行預防性補強，然後持續觀察並進行全面修復。東海道新幹線土木結構由 20 個追蹤維護單位每 2 年進行 1 次一般檢查，以目測方式實行規則性(常態性)的維護及管理，並視需要在重要及特殊的設備進行詳細的個別檢查。且由 1993 年在東京、靜岡、名古屋、大阪設立專門鑑識土木結構變形及老化疲勞的各新幹線結構檢查中心，進行特別檢查，各結構物檢查頻率及權屬單位，詳表 3。

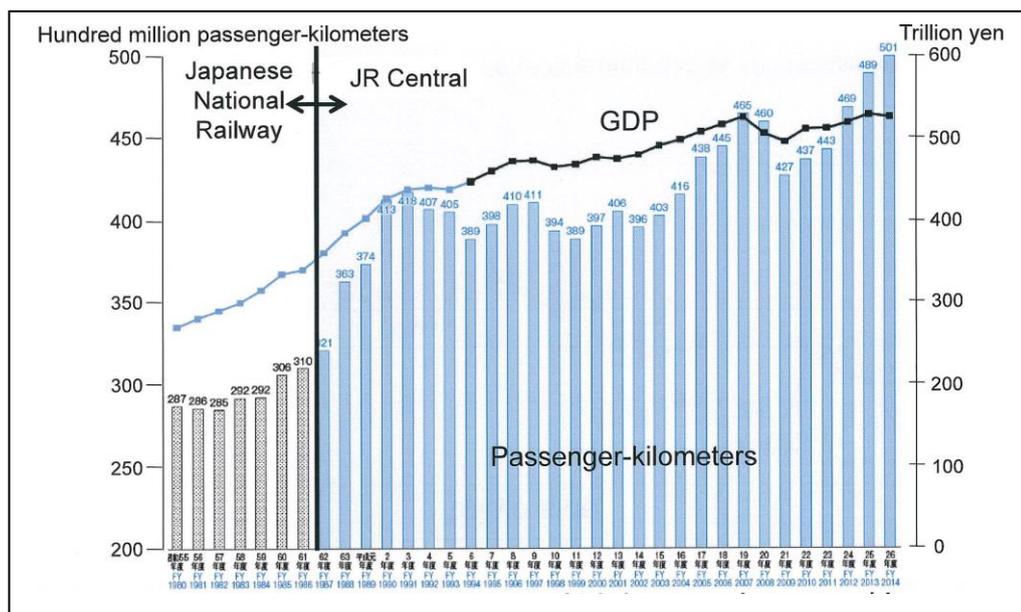


圖 10 新幹線客流-里程與 GDP 關係曲線圖

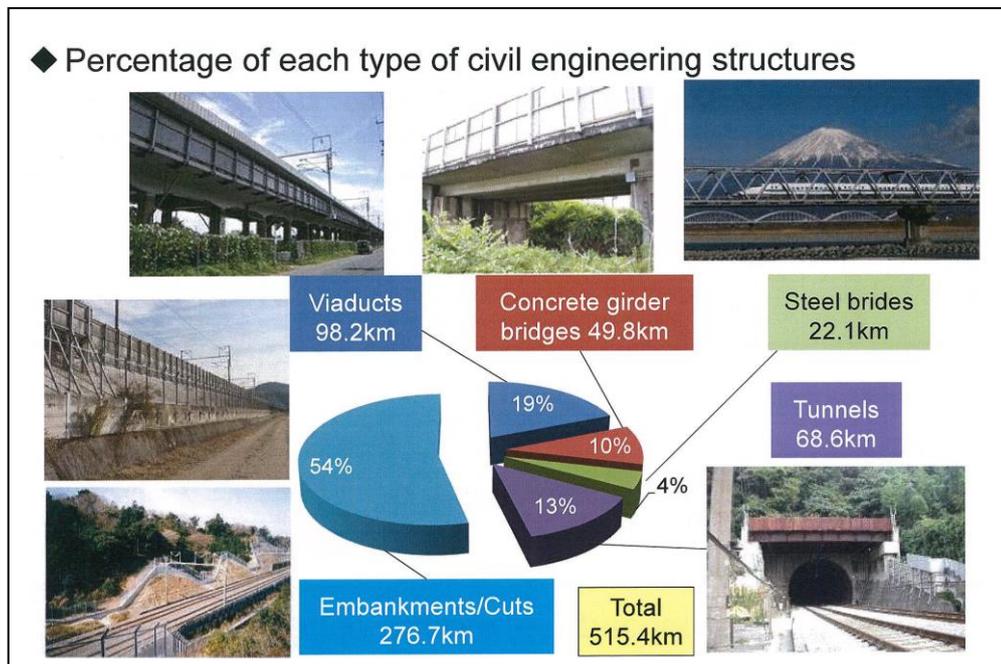


圖 11 新幹線全線各結構物比重

表 3 結構物檢查頻率及權屬單位

結構物	檢查分類	頻率	檢查單位
鋼橋	一般檢查	1 次/2 年	軌道維護基地
	個別檢查	視需要	
	特別檢查	1 次/8 年	結構檢查中心
混凝土/ 高架橋	一般檢查	1 次/2 年	軌道維護基地
	個別檢查	視需要	
隧道	一般檢查	1 次/2 年	軌道維護基地
	個別檢查	視需要	
	特別檢查	1 次/10 年	軌道維護基地/結構檢查中心

(二) 大規模更新計畫及經費儲備

東海道新幹線雖然持續進行維護及管理去確保土木結構的穩固，但老化疲勞問題終究是要面對，如鋼橋的角焊縫、RC 結構的碳化(中性化)及隧道振動及壓力造成之影響等。基於這些原因，機械設備更換措施及大規模更新計畫是

有必要的，特別是東海道新幹線全線是在 1964 年通車的期限下必須短時間建造完成，致使日後可能同時產生大規模且廣泛的老化疲勞，因此必須及早為未來大規模老化問題做準備。因此，為幫助大規模更新計畫順利產出，在 2002 年 6 月全國新幹線發展條例完成修訂，3 條新幹線(JR Central、JR East、JR West)完全私有化，相關資金系統經國土交通省核定由每年營運利潤提撥 333 億(總數 5000 億，10 年建造期約需 1.1 兆，從 2018~2027)。惟，2011 年東日本大地震造成巨大損失，喚醒日本對於這些基礎設施更新的急迫性，故最終大規模修復計畫提前至 2013 年 4 月啟動並改變儲備基金的提撥方式(總經費 3500 億，10 年建造期約需 7300 億，從 2013~2022)，，此提早 5 年的修復計畫使用新工法，以預防性維護方式在結構還穩健時，即防止裂縫及變形之發生，並得以降低更新修復費用，結構修復及所需經費歷時圖，如圖 12。

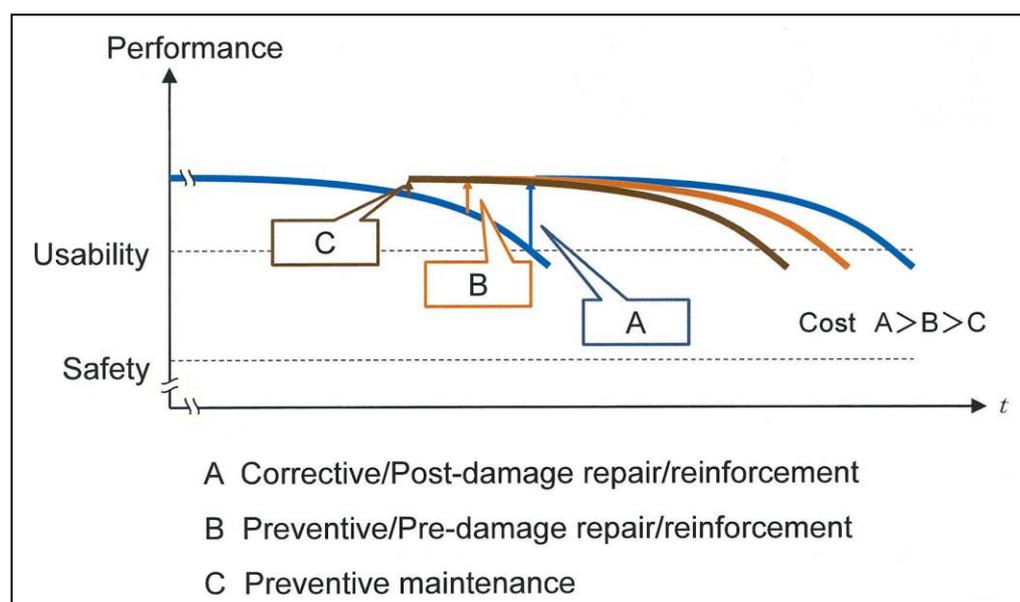


圖 12 結構修復及所需經費歷時圖

### (三)東海道新幹線大規模更新修復計畫

東海道新幹線大規模更新修復計畫，已於 2002 年啟動，原計畫在 2018 年開始進行更新鋼橋、鋼板包覆 RC 和隧道襯砌等計畫，並在檢查出變形的時候馬上進行結構修復及補強，且在類似之處進行預防性修復及補強。

在 2011 年東日本大地震造成大量損壞後，喚醒了人們對基礎設施之重要性，也意識到大規模更新修復計畫實刻不容緩，並決定將計畫提早 5 年至 2013 年 4 月開始實施，相關預算儲備調整為 333 億/年及 7300 億/10 年，以下將就大規模更新維護項目包括鋼橋、混凝土橋及隧道襯砌等相關具體措施進行描述，分述如下：

## 1. 鋼橋

### (1) 鋼橋的維護補強：

鋼橋的重點主要是當火車經過時對構件焊接處的累積疲勞及性能耐久性的問題，如果結構系統由於局部損害或軌道不規則導致其應力超過角焊縫極限強度時進而產生角焊縫裂縫。經由 3D FEA 及應力實際量測顯示，當底樑系統(floor beam 及 stringer)產生接合裂縫及支撐損壞，主要構件角焊縫應力將增加，因此補強這些地方將可減少角焊縫產生裂縫的風險。為防止因應力造成的角焊縫變形，日本東海道新幹線對所有鋼橋進行兩項措施，翼板斜撐版接合處半徑從 20mm 擴大到 50 mm 以防止應力集中；底樑增設加勁版及螺栓鎖固，詳圖 13、圖 14。

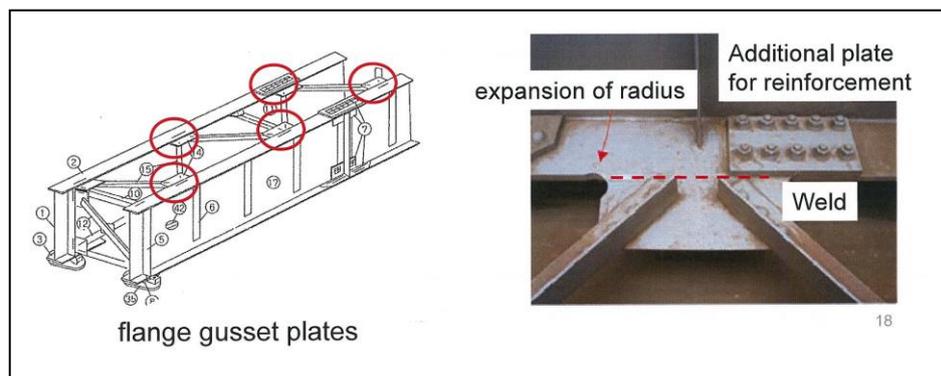


圖 13 鋼橋加勁補強措施

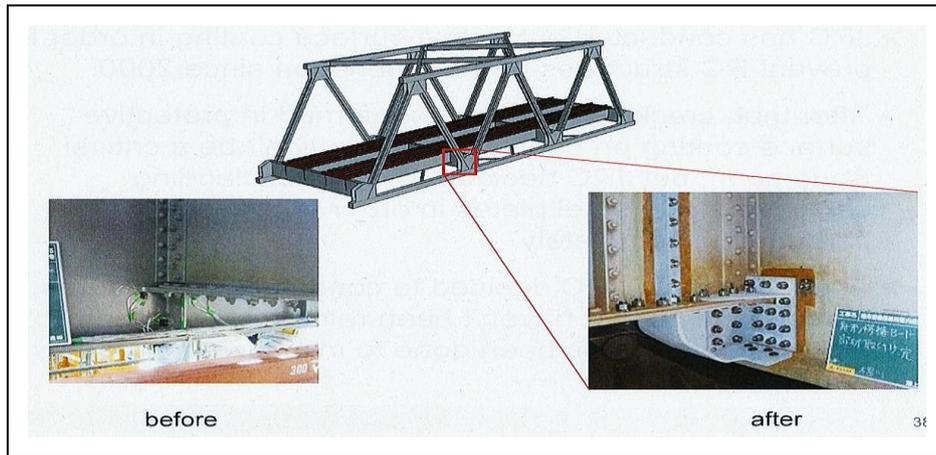


圖 14 鋼橋底樑補強措施

(2) 鋼橋補強具體詳細措施：

東海道新幹線轄下小牧 (KOMAKI)研究中心建立了全尺寸桁架模型，藉由使用在新幹線轉向架桁架模型進行疲勞樣品試驗、3D 動態行車分析、動態荷重試驗等驗證，由實際轉向架應力量測顯示降低支撐功能將大量增加角焊縫應力。經研發新工法以補強系統構件，如地面系統接合處、支撐及抽換補強支撐，並藉由插入新的軌枕增加接觸面積以減少軸向荷重，詳圖 15。

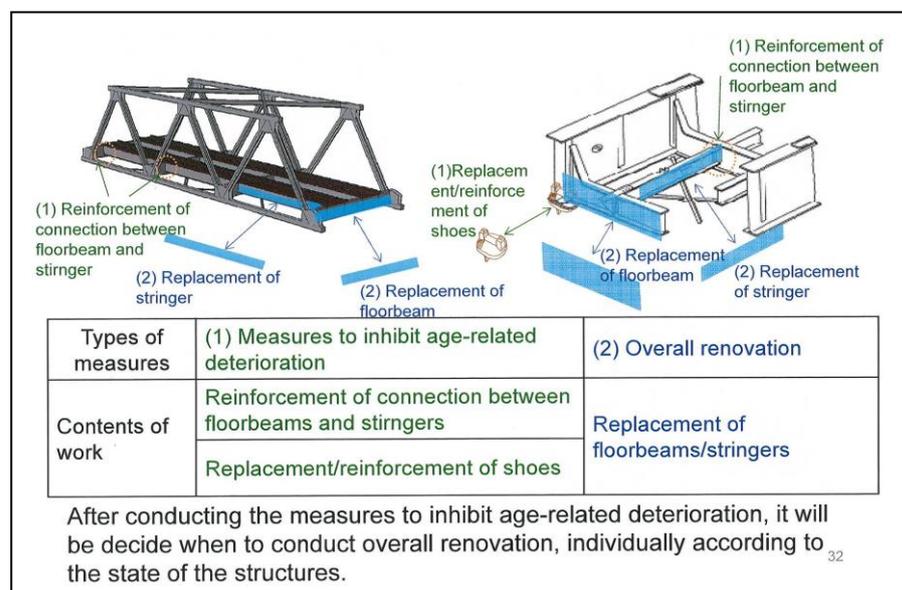


圖 15 鋼橋補強具體措施

2. 混凝土橋

(1) 混凝土橋的問題說明

混凝土橋的問題主要在 RC 結構中性化(碳化)問題及反覆荷重產生裂縫問題，分別說明如下：

A. RC 結構中性化(碳化)問題:東海道新幹線建造當時對於 RC 結構中性化(碳化)問題未有設計標準，鋼筋的保護層在板結構為 25mm；在樑結構為 27mm；在柱結構為 35mm，小於現在新的結構標準。RC 結構碳化係空氣中 CO<sub>2</sub> 滲透到混凝土內,使混凝土鹼度降低，當碳化深度超過混凝土的保護層時，在水與空氣存在的條件下，鋼筋表層的鈍態膜遭到破壞，就會使混凝土失去對鋼筋的保護作用,鋼筋開始生銹，進而影響 RC 結構強度，其化學反應:Ca(OH)<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>=CaCO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O，詳圖 16。經調查發現在 1995 年平均碳化深度達 15.1mm，依時間平方根法預測在版結構約 15~20 年碳化將達到鋼筋面，因此在 2000 年時便在 RC 結構表面以樹脂保護抑制碳化，詳圖 17。

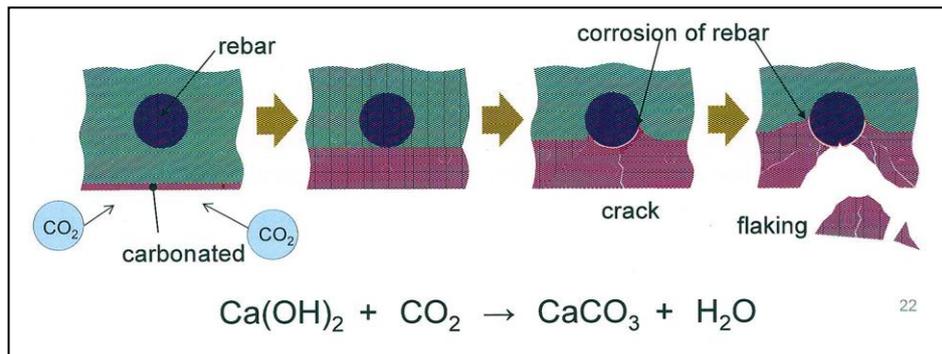


圖 16 東海道新幹線 RC 結構中性化(碳化)對鋼筋侵蝕示意圖

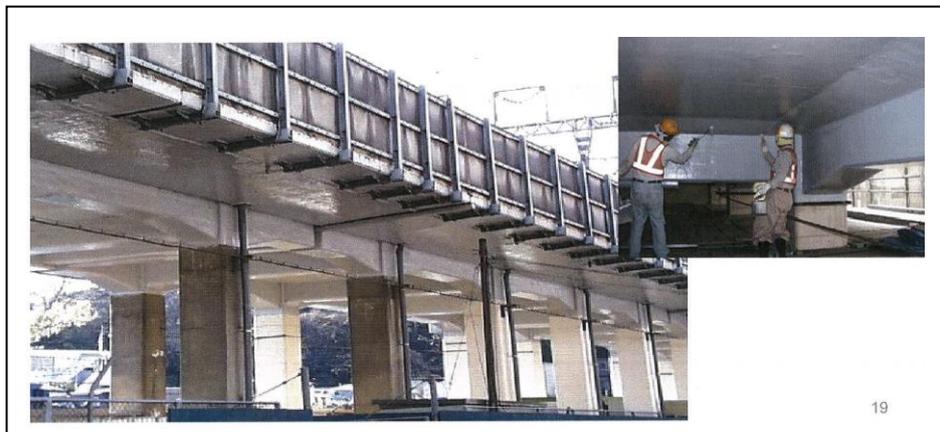


圖 17 東海道新幹線 2000 年 RC 結構以樹脂塗刷示意圖

B. 反覆荷重產生裂縫問題: 高架橋側底面裂縫係因火車通過時橋墩垂直運動造成反覆荷重致使高架橋懸臂結構保護層表面開始產生裂縫，經由現場調查首先決定藉由增加結構支撐及基礎補強(基樁及地梁)來限制橋柱的垂直運動，詳圖 18。在懸臂結構以鋼板全斷面包覆，以樹脂保護橋板中央部分，這些措施應可保持 RC 結構穩定性，並觀察其效果再決定是否進行全面性補強措施，詳圖 19、圖 20。

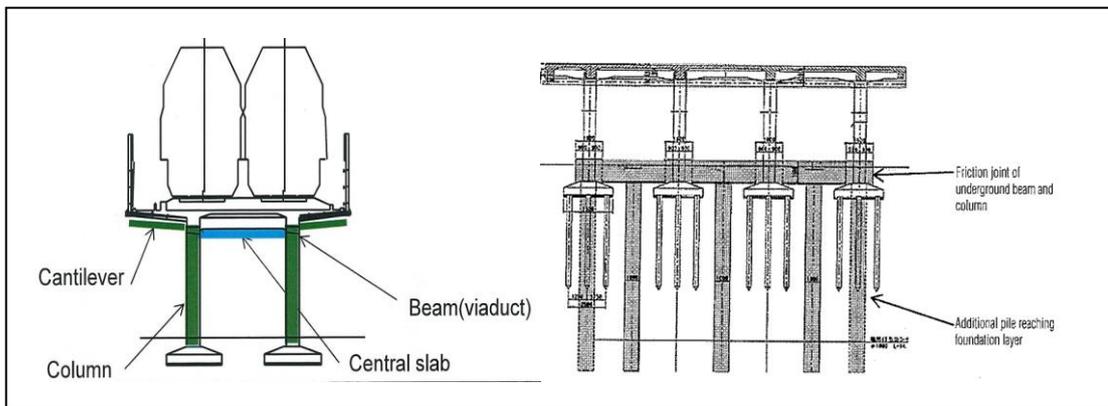


圖 18 東海道新幹線補強支撐及基礎 (基樁及地梁) 示意圖

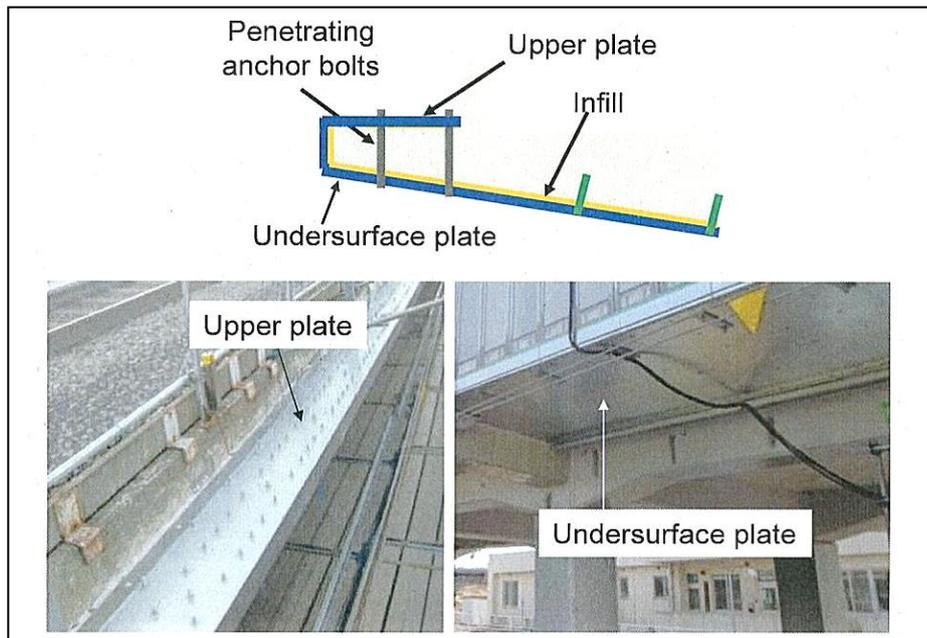


圖 19 懸臂結構以鋼板全斷面包覆示意圖

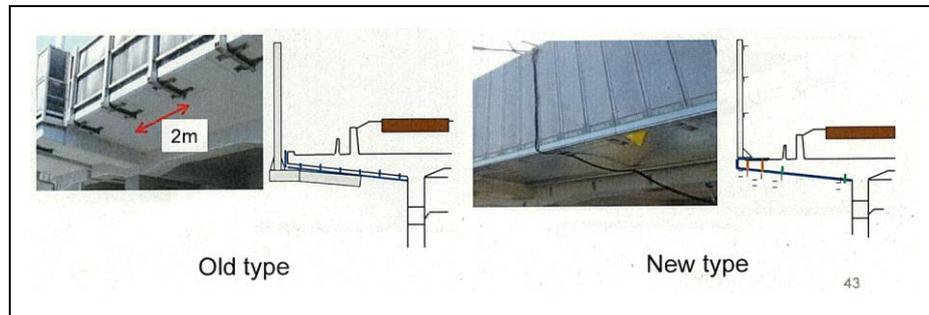


圖 20 隔音牆柱納入鋼板全斷面包覆示意圖

(2) 混凝土橋補強具體措施:經彙整混凝土橋補強具體措施包括 A. 環氧樹脂包覆(Epoxy coating)RC 結構表面 B. 裂縫補強 C. 橋柱及懸臂段鋼板全包覆 D. 基礎地樑及基樁保護。另為確保 A. 鑽孔不損壞鋼筋，螺栓孔必須最少化。B. 鋼板重量必需減輕增加工作性。故對策為 A: 無焊接機械搭接 2.3mm 鋼板取代原 6mm 鋼板方式減輕鋼板重量，詳圖 21，增加環氧樹脂強度減少螺栓數量。B. 改進傳統 2m 乙支隔音牆柱，改設在牆面頂端，以鋼板包覆及貫通螺栓鎖緊在一起，並以 3D 數值分析及全尺寸模型荷重試驗及實際施工測試確認，混凝土橋補強措施彙整方案，詳圖 22。

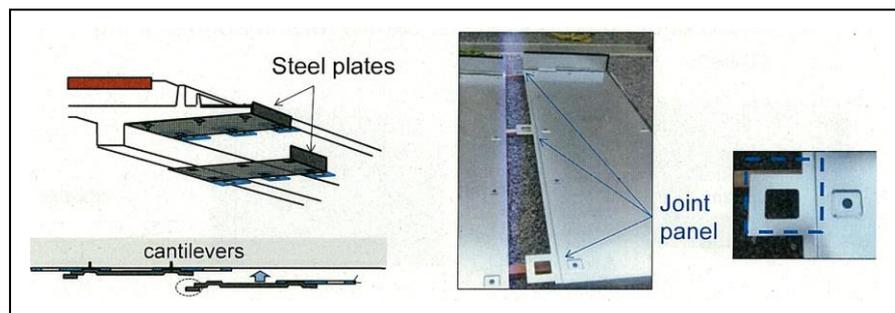


圖 21 全斷面包覆鋼板減輕及搭接方式示意圖

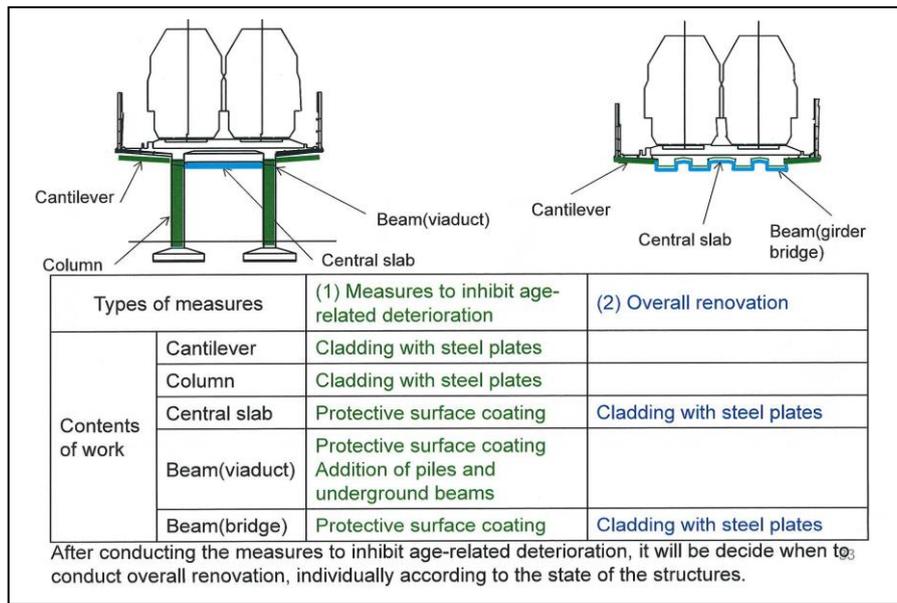


圖 22 混凝土橋補強措施彙整方案

### 3. 隧道襯砌

- (1) 隧道襯砌的問題說明: 隧道穩定係藉由與周遭環境地盤的動態平衡，隧道開挖後由於混凝土收縮及地盤鬆弛持續，造成裂縫及其他變形，東海道新幹線已出現隧道襯砌混凝土輕微裂縫，這些裂縫必須被充填，此外，因大量火車通過時產生震動及壓力改變同時影響，造成裂縫延伸發展。另經由 130 處監測調查、現地探勘及襯砌背後空隙的鑽探調查結果顯示每當有裂隙發生就有襯砌背後空隙存在。當襯砌背後有空隙就會喪失其完整性並導致混凝土襯砌耐久性降低，耐久性與空隙尺寸增加成反比，經由精確的有限差分分析結果，在 1~10 公分空隙尺寸並無特別明顯(什麼無特別明顯?)，意思是即使輕微裂隙也必須填補，而且新幹線係使用含環片襯砌施工，經由雷達及鑽探調查顯示所有空隙可能存在，必須去抑制裂縫及保護襯砌剝落。
- (2) 隧道補強具體措施: 隧道補強具體措施包括空隙以無收縮水泥砂漿填滿 裂縫以樹脂填補 使襯砌與地盤緊密結合進而增加襯砌耐久性，並以岩栓及鋼板抑制進一步變形，且在曾經變形之處特別實施全面檢視，透過岩栓及鋼板進行全面預防性修復來防止襯砌剝落，整治時機

視襯砌與岩盤間隙填補的情況而定，隧道補強措施彙整方案，詳圖 23。

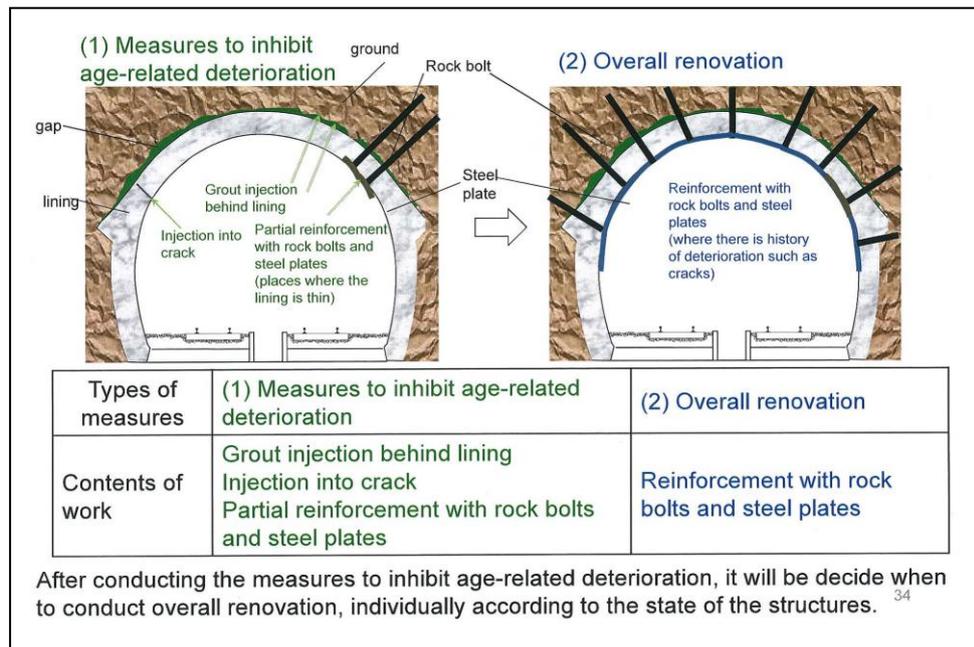


圖 23 隧道補強措施彙整方案

### 三、耐震補強的因應措施

#### (一) 耐震補強的因應措施沿革

1. 1979 年至 1992 年主要是對結構補強，將土木結構及軌道的損害降至最低。
2. 1992 年至 2009 年主要是地震災害的預防系統及快速告警系統，在大地震波到達前緊急煞停列車。
3. 2009 年以後主要是對抗脫軌措施，儘可能預防行駛列車從軌道脫軌，及脫軌後產生太大偏移。

#### (二) 耐震補強的因應措施

##### 1. 高架橋因應措施：

- (1) 高架橋的地震損壞型態：包括剪力破壞及彎矩破壞，詳圖 24，剪力破壞將導致大的坍塌(落橋)；彎矩破壞將可在幾天內恢復，因此，東海道新幹線自 1995 年以來均致力預防發生剪力破壞之地震補強。

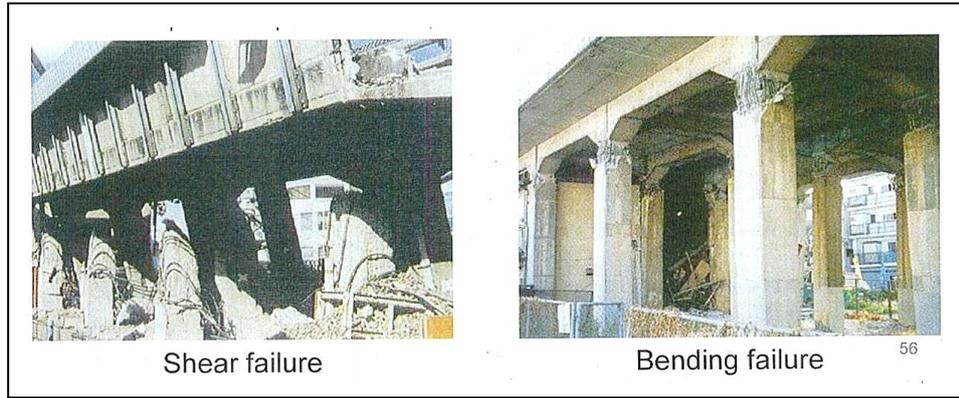


圖 24 鐵路行車事故調查流程圖

(2) 高架橋的補強措施:一般均採鋼板包覆加灌漿工法進行橋墩柱補強，詳圖 25。並就一些侷限空間無法以重機械施工的情況，發展模組化小型鋼板，可藉由人工組合施工再以灌漿充填，詳圖 26。另以擴展墩座防止落橋，詳圖 27。

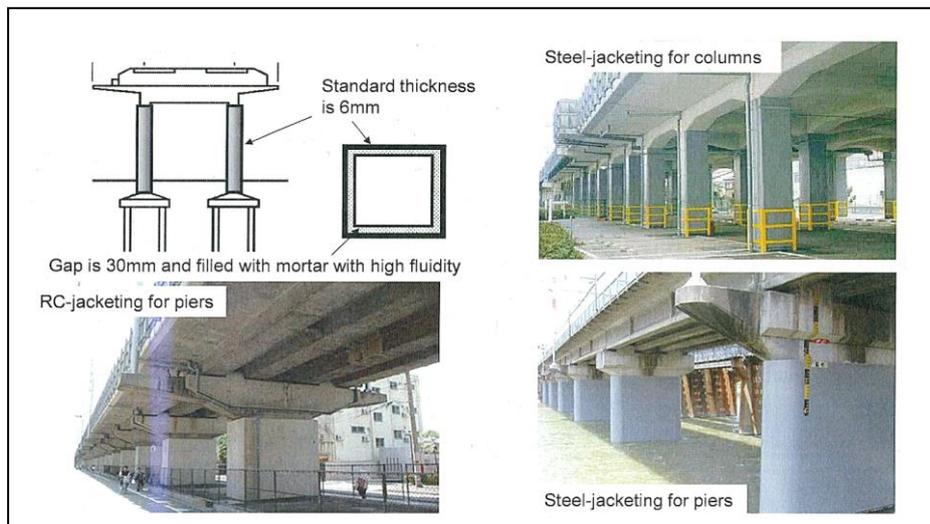


圖 25 鐵路行車事故調查流程圖

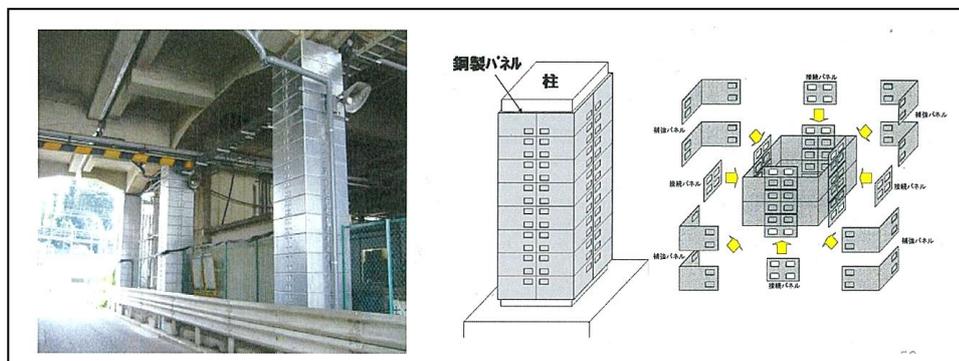


圖 26 鐵路行車事故調查流程圖



圖 27 擴展墩座防止落橋

## 2. 路堤地震補強措施

東海道新幹線全線路堤結構佔 44%，因此路堤地震阻抗就顯得至為重要，例如 1968 年東京海岸地震及 2004 年新瀉地震使路堤產生滑動破壞，故以版樁及對拉地錨鎖固方式進行補強，詳圖 28。

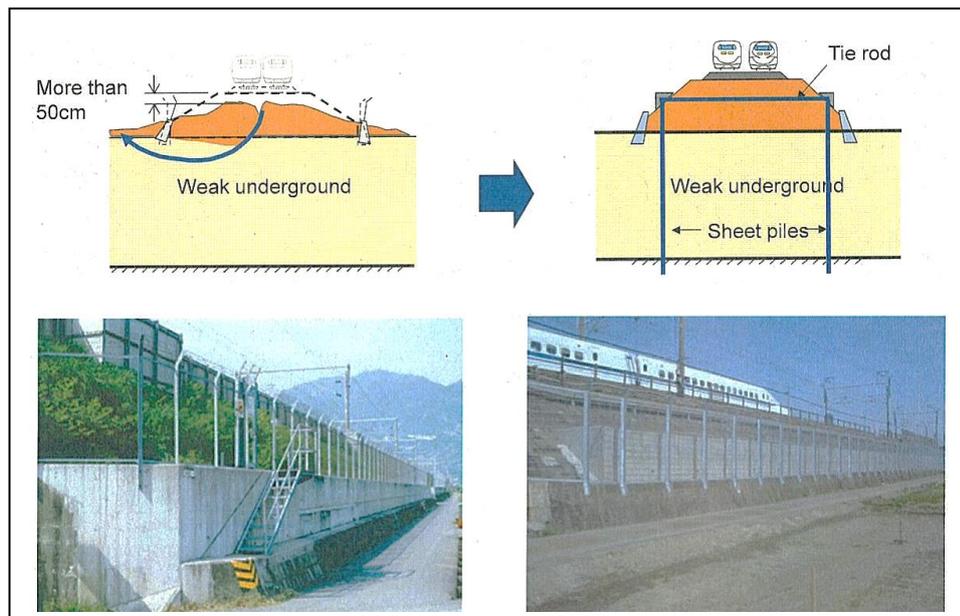


圖 28 版樁及對拉地錨鎖固補強路堤滑動破壞

## 3. 地震災害預防系統

東海道新幹線地震災害預防系統有三種功能組合，相關位置詳圖 29：

### (1) 道旁地震偵測器(1965~)

偵測接近路軌大型地震並快速告警。

### (2) 東海道新幹線地震遠距快速告警系統 (TERRA-S) (1992~)

遠距偵測大型地震並快速告警，詳圖 30，利用地震波到達先後(P 波

及S波)當TERRA-S偵測到P波(7km/s)時計算地震規模及震央距離傳送到各分站並決定是否發出告警及停駛列車，以降低行車風險、提高行車安全。

(3) 地震早期預警系統(2008~)

結合日本氣象廳地震預報訊息。

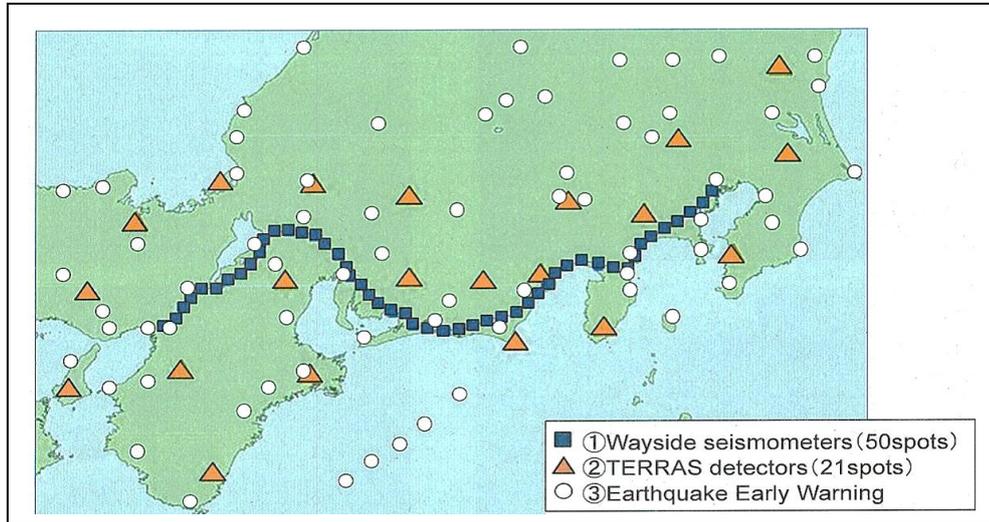


圖 29 東海道新幹線沿線地震偵測器位置圖

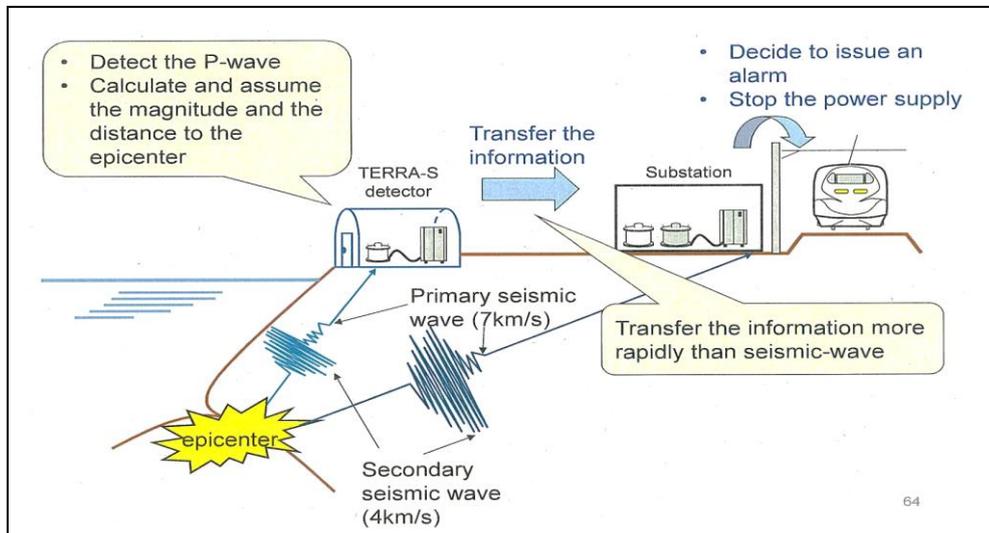


圖 30 東海道新幹線地震遠距告警系統機制

#### 4. 防止軌道脫軌系統

2004 年新瀉地震造成上越新幹線列車嚴重脫軌，並導致軌道及高架橋結構損害，且無法以增加結構強度來避免脫軌，詳圖 31，此事件觸發東海道新幹線研發防止軌道脫軌對策，如防護軌(guard rail)及脫軌停止裝置(Deviation preventing stopper)等，茲說明如下：

##### (1) 防脫軌之防護軌

藉由安裝在營運軌道之間的護衛軌，防止在地震期間的火車脫軌。護衛軌設計為可翻轉型式，俾利後續軌道維修作業，詳圖 32。

##### (2) 脫軌停止裝置

在列車車廂底部中心安裝脫軌停止裝置來防止列車出軌時產生大程度偏離，以降低列車出軌時二次災害，詳圖 33。

##### (3) 道碴軌道的對策

利用地工格網、蛇籠及鋼筋錨定等加勁作用，防止地震期間道碴流動並保持軌道線形，且使防護軌發揮應有的功能，詳圖 34。



圖 31 2004 年新瀉地震造成上越新幹線列車嚴重脫軌

- Derailment preventing guard rails are installed between rails to prevent the derailment of trains during earthquake.
- Guard rails are designed to be turned over not to be an obstacle to track maintenance works.

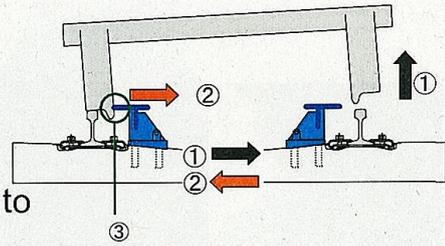
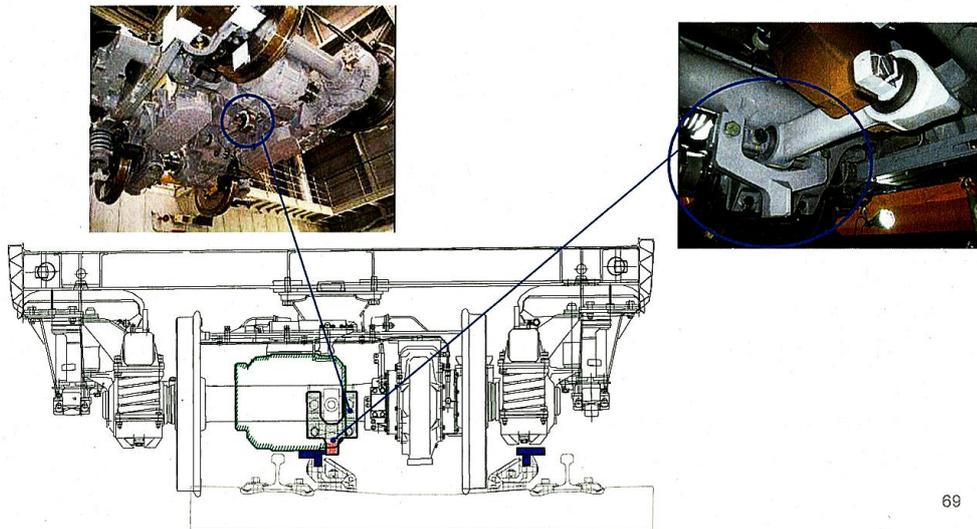


圖 32 防脫軌之護衛軌道裝置圖

- Deviation preventing stopper is installed at the center of the carriage of the train in order to prevent the train from deviating largely ,even when it is derailed.



69

圖 33 脫軌停止裝置圖

- Geotextile-mesh bags including ballast are piled up outside of the track to prevent ballast flow out during earthquake and keep the shape of track appropriate.
- If ballast flows out, derailment preventing guard rails become not functional.

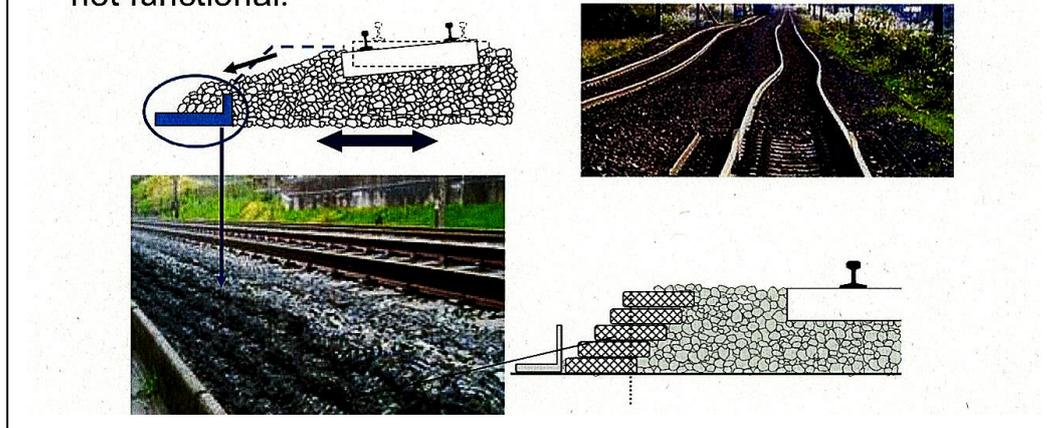


圖 34 道碴軌道的對策-土工格網、蛇籠及鋼筋錨定工法示意圖

#### 四、降低行車干擾與造價之施工技術

##### (一) 降低行車干擾

1. 為維護鋼橋因列車經過的反覆荷重超過角焊縫強度所產生之裂縫，並確保營運安全，交通省在 2002 年指定 22.1km 長的鋼橋優先進行大規模修復，詳圖 35，惟經研究東海道新幹線 3 跨桁架橋需 2 天暫停營運進行修復，在 10 年的所有橋梁修復期，共有 135 跨 37 座橋每年暫停 8 天，且為了安全營運火車全天需降速，將造成運輸瓦解。為避免列車降速，需要增設臨時支撐結構及修訂施工程序。利用相同的支承系統作為臨時支撐當成主結構來達到不降速施工，詳圖 36。在置換支承時還必須考慮接觸軌道樑揚起及管理軌道不規則的影響。增加軌枕能平均分攤支承結構所受之軸向荷重，使軌道不規則彎曲受到掌控，形成非常穩固的地面系統能減少在縱向角焊縫的應力，經由施工前後的數值分析及實際軌道應力量測，確實可減少角焊縫應力集中及裂縫發展。

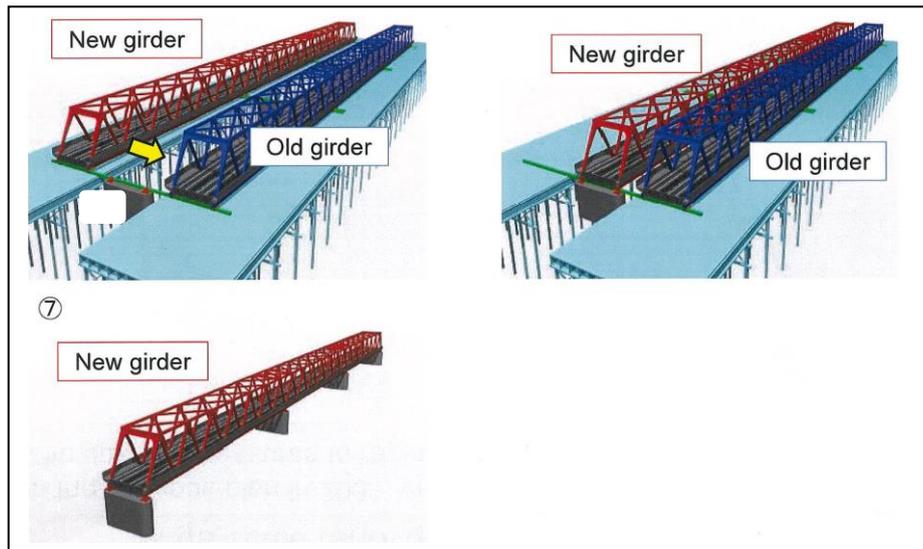


圖 35 2002 年原計畫橋樑結構更新施工示意圖

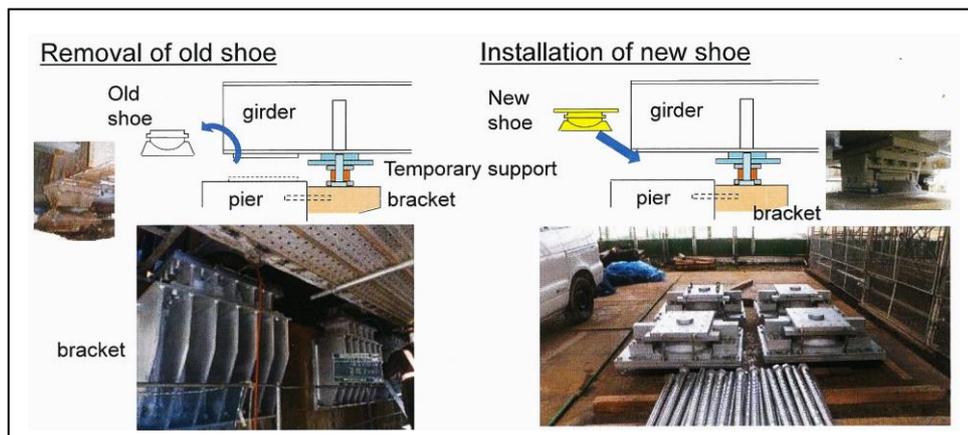


圖 36 列車不降速橋樑結構臨時支撐施工示意圖

2. 隧道方面使用隧道上半斷面修復方法，其中使用完整覆蓋上半斷面的鋼板補強在 2002 年已被執行去預防襯砌剝落，用無收縮水泥砂漿花了很長時間施工去充填鋼板與混凝土襯砌間隙，必須配合取消早班列車及全天降速行駛隧道，這方式必須調整，將研究減少影響時間表的方法。東海道新幹線研發「Transfer Plant Method」將灌漿設備整備在列車上，詳圖 37，可隨隧道工作面移動較為機動，但仍常會受限於其他維修作業而有所影響。

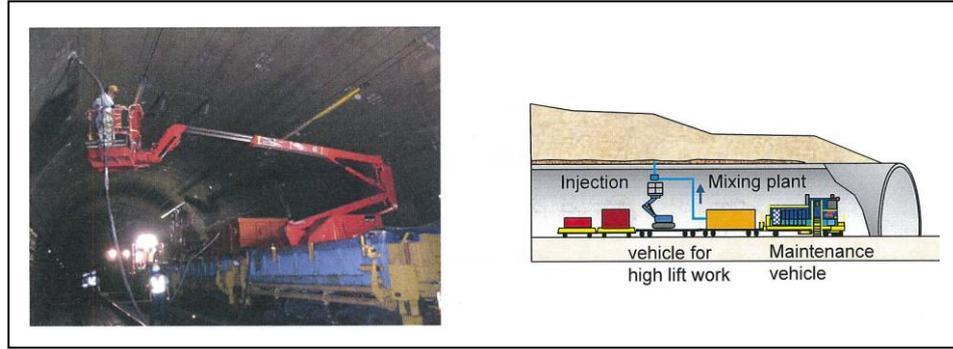


圖 37 Transfer Plant Method 施工示意圖

## (二) 降低更新造價之施工技術

在 2002 年原獲國土交通省核定於 2018 年開始進行東海道新幹線大規模修復提撥累積資金為 333 億/年(總數 5000 億，10 年建造期約需 1.1 兆，從 2018~2027)。後經 KOMAKI 研發施工新技術降低對營運列車之影響，並大幅降低造價，小牧 (KOMAKI) 研究中心超過 10 年以上，其關鍵任務就是解決這些問題，包括使用結構分析設備、全尺寸模型及大型試驗設備去預測隨時間發展之變形，及減少影響服務及降低建造代價的維護及補強方法，這些建造方法經由「新幹線土木結構協會」測試，協會組成為外界專家，並由橫濱大學 Kazuo Konagai 教授率領提出建議納入實際使用。結構修復及補強僅在檢查出變形的時候，並在類似之處進行預防性修復及補強。因此，這些預測會變形之處均以系統性的修復及補強辦理。東日本大地震造成巨大損失，喚醒日本對於這些基礎設施更新的急迫性，故最終大規模修復計畫提前至 2013 年 1 月啟動並改變儲備資金的提撥方式(總經費 3500 億，10 年建造期約需 7300 億，從 2013~2022)，此提早 5 年的修復計畫使用新工法以預防性維護方式在結構還穩健時，即防止裂縫及變形之發生，並持續降低費用，就圖 12 所示，C 點為預防性維護，相關維護成本遠低於 A 點破壞後之維修成本，除此之外，小牧 (KOMAKI) 研究中心研擬了新的施工技術包括補強底樑及縱樑連接處、抽換支承系統，並以相同支承當成臨時支撐(如圖 23)，取代 2002 年原計畫製造新的橋梁，大大降低工程成本及列車營運之影響。

## 肆、實地參訪

本次考察除了與日本東海道新幹線進行面對面討論外，並進行大規模更新計畫施工現地觀摩，及拜會 JRC 三島訓練中心瞭解訓練中心設備、學員教育訓練狀況。

### 一、觀摩 JRC 新幹線高架橋更新計畫現地施工執行情形

#### (一) 現地觀摩

1. 日期:105 年 10 月 26 日上午。
2. 地點：JRC 新幹線靜岡-草雉(Shizuoka-Kusanagi)路段
3. 結構型態：RC 高架橋
4. 維修作業：高架橋懸臂部分鍍鋅鋼板包覆+螺栓、橋底中央用環氧樹脂塗裝，現場施工作業詳圖 38~40。
5. 作業方式：橋面上俟夜晚收班後先施作施工圍籬作業，橋底作業不影響營運。
6. 施工進度： 15 km/year。



圖 38 新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(一)



圖 39 新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(二)



圖 40 新幹線靜岡-草雉段高架橋更新計畫施工現況(三)

## (二) 說明

1. 新幹線靜岡-草堆段主要更新項目為 RC 高架橋就 RC 中性化及裂縫以鋼板包覆及樹脂塗刷保護施工作業，對於耐震措施包括墩柱鋼板包覆及增加柱頭寬度防落橋裝置等，不在此次路線設施大規模更新計畫項目中。現場相關詳細施工步驟包括準備工作、施工架及工區施工圍籬保護、橋上施工圍籬作業、拆除舊有隔音牆施工、橋梁懸臂段鋼板包覆、螺栓固定、鋼板與混凝土面間隙灌無收縮水泥砂漿、梁底樹脂塗刷保護等。
2. 由現場工地施工架搭設完整、支撐設備與固定端密合度及現地之環境整潔均顯示新幹線優良之施工品質及管理。

## 二、拜會 JR 三島訓練中心(Mishima Training Center)人員教育訓練及軌道防脫軌措施

### (一) 說明

1. 觀摩日期:105 年 10 月 26 日下午。
2. 地點：日本靜岡三島市文京區。
3. 啟用日期：1987 年 4 月開幕、2011 年 9 月總訓練中心開幕。
4. 容納量：以住宿而言最多可供 1050 位學員留宿。
5. 建物配置：1~4 樓為教育訓練區、5~10 樓為宿舍。

### (二) 概述

1. JRC 三島訓練中心位於日靜岡三島市文京區，到三島訓中心可搭東海道新幹線三島車站下，由北出口步行約 5 分鐘路程即可到達，交通便利，相關位置詳圖 41，訓練中心佔地 47,155m<sup>2</sup>，主結構為 10 層樓隔震建築物，另有兩棟訓練用建築物，總樓地板面積達 44,393m<sup>2</sup>。訓練中心自 1987 年開幕，並於 2009 年增建為 General Education Center 至 2011 年完成並開幕。

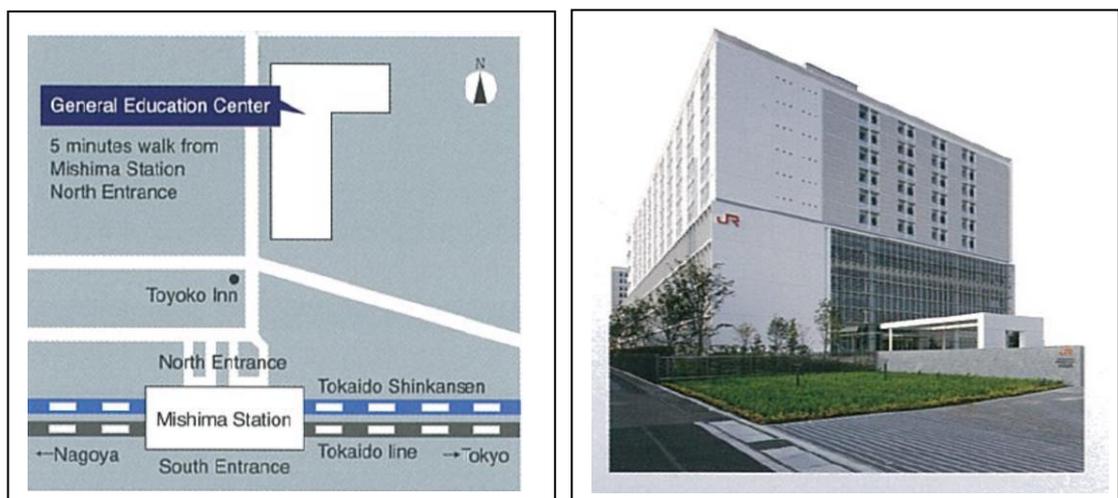


圖 41 JRC 三島訓練中心位置及交通

2. 訓練中心功能包括三種，分別為基本功能、訓練功能及住宿功能，基本功能包括擁有 50 間訓練教室(30 人)、2 個演講廳(400 人)、1 間視聽教

室(184人)、其他多功能教室及健身房等；訓練功能包括綜合訓練模擬教室(線上新幹線列車兩節)詳圖 42、及駕駛訓練室(線上新幹線列車駕駛室)車站運轉訓練教室、售票訓練教室、售票機械訓練教室、連鎖裝置訓練、電力訓練、訊號聯繫訓練、軌道(鋪、磨軌)訓練等；住宿功能，學員訓練期間全部住宿，訓練中心擁有 525 間 2 人房間、12 間無障礙房間及 48 間講師房間。



圖 42 三島訓練中心綜合訓練模擬教室(一)



圖 43 JRC 三島訓練中心綜合訓練模擬教室(二)

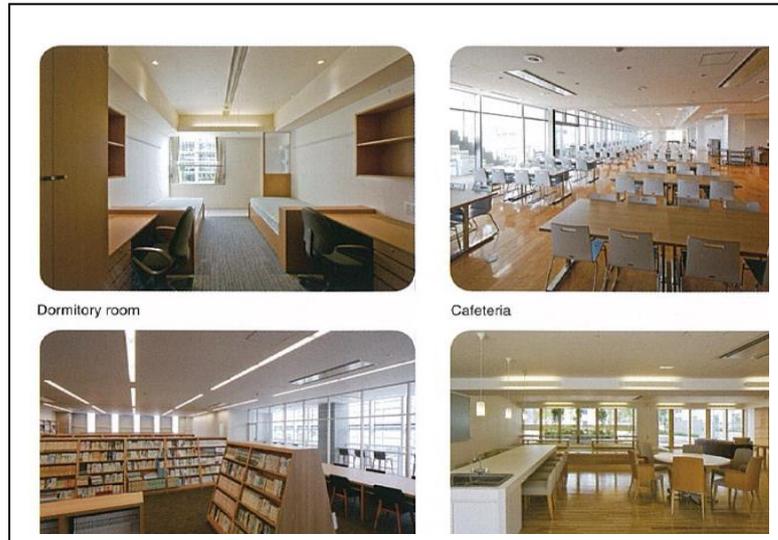


圖 44 JRC 三島訓練中心功能訓練教室

3. 觀摩防出軌護軌，培訓中心有新幹線及在來線訓練軌 2 條道碴軌道長度 220 公尺，防護軌鋪設於現行軌內側，為倒 L 型以螺栓鎖固於金屬固定件上，並以螺栓固定於軌枕上(間距為 1.2 公尺)，防護軌與現行軌水平間距 80mm 且高於現行軌頂 2mm，防出軌護軌裝置現地觀摩情形詳圖 45。

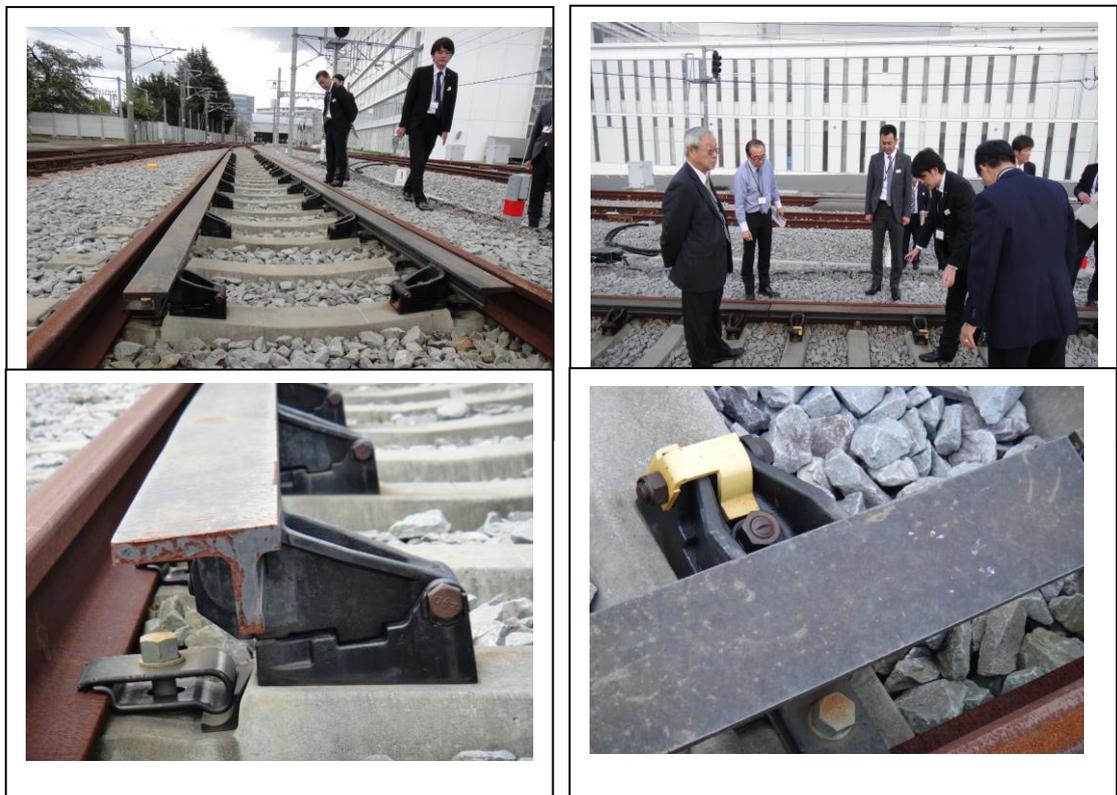


圖 45 防出軌護軌裝置現地觀摩情形

## 伍、心得與建議

### 一、考察心得

日本東海道新幹線在 1964 年開始營運，為世界第 1 座高速列車，一直以來，透過對工程結構細心詳實的管養及維護，確保了營運的穩定及安全，惟土建結構物已達設計年限 50 年以上，在 2011 年東日本大地震發生造成基礎設施巨大災害後，國土交通省決定將老舊設施更新項目列為優先政策，遂提早於 2013 年開始辦理東海道新幹線路線設施大規模更新計畫(原於 2018 辦理)，且該更新計畫所需總資金因 JRC 小牧研究中心新技術之研發由 1.1 兆日元降至 7300 億日元，並分 10 年每年由營運所得提撥 333 億日圓納入大規模更新計畫基金，相關施工技術及大規模更新計畫資金儲備，可供國內政府單位及相關鐵路機構參考。

#### (一) 監督鐵路機構老化更新計畫之法規與管控機制及執行情形

日本國土交通省依據 1987 年民營化後設立之「鐵路事業法」，訂定有關鐵路機構之經營、營運、事業參與工程施工。國土交通省負責核發鐵路機構營業許可證，鐵路機構要提車輛符合標準、車票價格及運輸計畫、施工計畫、竣工檢查等，經國土交通省核准並據以對鐵路機構辦理相關監理作業，可分為每 3 年進行 1 次定期監理與發生異常事件之臨時監理，定期監理每次選擇一個單位(地區)進行檢查，鐵路機構發生異常事件時，必須對國土交通省進行事故報告，並提改善計畫送國土交通省核備，此部分與國內之監理制度相似，惟本國之檢查頻率為每年 1 次，尤其對高鐵路線設施係採全線檢查，對鐵路機構之管轄監督強度較高，亦為對初期營運或異常狀況頻繁之鐵路機構之必要措施。

#### (二) 強化構造物與抑制老化之技術及更新構件之方法

東海道新幹線全長 515.4 公里，其中鋼橋、混凝土橋及隧道三類合計約佔 46%，路線設施大規模更新計畫經 JRC 小牧研究中心研發新技術，主要更新重點在於鋼構鉸道疲勞、混凝土中性化、隧道襯砌損壞等更新補強措施，JRC 在該計畫中針對鋼橋、混凝土橋、隧道所採取之新技術彙整說明如下：

## 1. 鋼橋

JRC 以研發之新技術由全面更新改為局部補強包括增加軌枕以分布荷重，補強橋面系統之底梁與縱桁接頭、更換支承與承壓板並以螺栓取代銲接，並視需要更換整組鋼梁構件。

## 2. 混凝土橋

JRC 經研發決定在橋梁懸臂段採全斷面鋼板包覆，使用厚 2.3mm 鋼板無焊接機械搭接方式減輕整體重量，增加環氧樹脂強度減少螺栓數量；改進傳統 2m 乙支隔音牆柱，改設在牆面頂端，以鋼板包覆及貫通螺栓鎖緊在一起；懸臂板以外之梁與板，以塗料塗覆於混凝土表面，隔絕混凝土與大氣以抑制混凝土中性化；增加結構支撐及基礎補強(基樁及地梁)來限制橋柱的垂直運動，減少因火車通過時橋墩垂直運動造成高架橋側底面裂縫，以保持 RC 結構穩定性。

## 3. 隧道

在 2002 計畫中，JRC 原擬以 2.3mm 厚鋼板全面包覆頂拱並灌柱無收縮水泥砂漿填隙以解決襯砌剝落問題； JRC 後續又進行了相關研究與開發之對策由全面更新改為局部補強：岩盤間隙處理（以無收縮水泥砂漿灌注襯砌與岩盤間隙）、襯砌損壞修補（以樹脂補修裂縫，以岩栓及鋼板防止剝落與變形）、並視需要全面補強頂拱（以系統性岩栓及鋼板全面補強， JRC 將俟後續需求辦理）故更新計畫成本得以進一步降低。

### (三) 耐震補強的因應措施

JRC 新幹線耐震補強因應措施不納在此次大規模更新計畫中，目前日本耐震設計標準是依據 1995 年阪神地震後訂定的，並依各地之地震規模持續檢討辦理，有關新幹線耐震因應措施包括沿線地震接收告警設施、結構補強及防脫軌措施，地震接收告警設施包括地震接收告警設施、地震遠距快速告警系統及地震早期預警系統；結構補強包括鋼板包覆橋墩柱補強、防落橋裝置及路堤版樁及對拉地錨鎖固方式進行地震補強措施；防脫軌措施包括防脫軌之防護軌、脫軌停止裝置及利用地工格網、蛇籠及鋼筋錨定等加勁道碴軌道等對

策，防止列車出軌及出軌後限制在一定範圍，其中防護軌及脫軌停止裝置目前 JRC 新幹線保有專利，可視需要進一步洽商。

#### (四) 降低行車干擾與造價之施工技術

如何降低行車干擾與造價之技術係 JRC 小牧研究中心設立並建立全尺寸桁架模型，並進行疲勞樣品試驗、3D 動態行車分析、動態荷重試驗等驗證研究之核心目的，否則大規模更新計畫無法推動，這些核心技術包括經分析發現結構老化更新主要關鍵問題包括鋼橋角焊縫疲勞與裂縫、混凝土中性化(碳化)及隧道襯砌與岩盤間隙，均為相關措施須克服補強之關鍵議題，因此後續藉由補強鋼橋橋面系統之底梁與縱桁接頭、更換支承與承壓板並以螺栓取代鉚接，替代原計畫更換整座鋼橋；混凝土橋之鋼板包覆及樹脂塗刷防止中性化；隧道局部鋼板加岩栓及岩體間空隙灌漿替代全鋼板包覆及系統岩栓等，進而節省大量經費及降低營運影響。

## 二、相關建議

### (一) 鐵路機構可參考 JRC 小牧(KOMAKI)研究中心建立相關研究團隊

JRC 小牧(KOMAKI)研究中心成立於 2002 年，致力於新施工技術之研發與驗證，並大幅降低新幹線路線設施大規模更新計畫經費及對營運之影響，反觀國內相關鐵路營運機構，包括高鐵公司及台灣鐵路管理局等，尚無相關研究機構之設立，以高鐵而言，自 2017 年營運至今已屆 10 年，在政府監督及營運機構共同努力下，工程重要結構尚無重大缺失，惟考量高鐵特許營運期已由 35 年增加到 70 年，尤其高鐵結構橋樑及隧道佔全線權重尤甚日本新幹線，為確保後續營運期滿政府單位接管時土建結構之穩定，工程結構老化更新問題應提早準備，若以台鐵而言，部分運行中結構物已逾 90 年以上，為確保營運安全，老化更新計畫更刻不容緩，建議相關鐵路機構可參考日本東海道新幹線小牧研究中心或納入交通部近期新增「軌道技術研究暨驗證中心」計畫之相關研究，建立工程結構老化更新檢測計畫，逐年進行檢測與評估，並訂定執行計畫進行汰舊換新及補強。

### (二) 參考日本國家新幹線鐵路發展法辦理相關稅法進行修正

大規模更新計畫將動用大量資金(部分超過 1 兆日圓)，完全由鐵路機構承擔有相當困難度，建議參考日本「國家新幹線鐵路發展法」，以分年由盈餘提撥儲備金的作法累積施工總資金來進行更新，並給予每年儲備資金期間減免營業所得稅，更新後項目可列入資本化資產，目前台灣尚無大規模更新計畫儲備金相關的法令，就高鐵部分從現有「高鐵財務解決方案」係以現有設備養護更新來估算，並未包含大規模更新設施，建議本局相關單位。建請交通部及相關財稅單位可納入研議或進一步研究增修相關法令。

(三) 依地震風險評估高風險路段增設防護軌及脫軌停止設施

日本東海道新幹線(JRC)為防護地震造成行駛中列車出軌研發防護軌(guard rail)及脫軌停止設施(Deviation preventing stopper)，業經 JRC 小牧(KOMAKI)研究中心動態驗證，並自 2009 年至 2015 年已有鋪設 360 公里之實績，另據 JRC 表示脫軌停止設施適用於高鐵 700T 列車，雖 700T 列車已於 1、5 及 12 節車廂裝有渦電流煞車碟盤(ECB)亦有類似功能，惟若以全面安全性考量，JRC 建議全面加裝。目前防護軌及脫軌停止設施 JRC 擁有專利權，建請相關鐵路機構依地震風險評估高風險路段分階段及區域，逐步增設防護軌及脫軌停止設施，確保營運行車安全。

(四) 依鐵路機構營運績效調整監理檢查項目及頻率

配合政府組織改造，本局未來將轉型為鐵道局，專責辦理鐵路系統監理業務，業務範圍除高鐵路線設施外，尚擴及台鐵、森鐵及糖鐵等鐵路機構，為鼓勵營運績效優質之鐵路機構，建請修法給予監理單位具有視需要適當調整監理檢查項目及頻率之彈性。