

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：考察)

考察軌道於地層下陷區域之因應及營 運維修管理

服務機關：交通部高速鐵路工程局

職 稱：副工程司

姓 名：孫玉龍

派赴國家：日本

出國期間：99年10月17日~99年10月23日

報告日期：100年1月

考察軌道於地層下陷區域之因應及營運維修管理

摘要

高鐵路線行經雲林地層下陷地區，持續之地層下陷對高鐵結構及營運安全造成影響，長期來看，地層下陷是高鐵營運的重要風險，為降低此風險，可從工程本身之因應措施及營運維修管理著手，如調整工程之維修設計概念、擬定長期之監測計畫與維護計畫、營運應變措施等機制。國內目前軌道工程並無相關經驗，亟需參考他國之經驗，進而作為辦理高鐵監督管理之參考，以維高鐵安全，亦可提供相關軌道工程經過地層下陷區域之因應參考。

藉由本次考察的機會，了解到日本鐵路相關部門如負責規劃設計與興建單位之鐵道建設・運輸設施整備支援機構、營運與維修單位之東海鐵道株式會社、技術研究開發單位之鐵道綜合技術研究所等，在軌道工程面臨地層下陷問題時於工程設計、建造、營運維修之處理機制，並參訪東京高速道路目黑線支承墊改善工程，藉由本次之參訪經驗，供本局在辦理軌道建設計畫相關作業時參考。

考察軌道於地層下陷區域之因應及營運維修管理

目 錄

壹、考察目的	2
貳、考察成員及行程	3
參、東京高速道路目黑線支承墊改善工程	4
肆、東海鐵道株式會社	14
伍、鐵道建設・運輸設施整備支援機構	17
陸、財團法人鐵道綜合技術研究所	23
柒、心得與建議	32
捌、參考資料	33
附錄、考察照片集錦	34

壹、考察目的

高鐵路線行經雲林地層下陷地區，持續之地層下陷對高鐵結構及營運安全造成影響，長期來看，地層下陷是高鐵營運的重要風險，為降低此風險，可從工程本身之因應措施及營運維修管理著手，如調整工程之維修設計概念、擬定長期之監測計畫與維護計畫、營運應變措施等機制。國內目前軌道工程並無相關經驗，亟需參考他國之經驗，進而作為辦理高鐵監督管理之參考，以維高鐵安全，亦可提供相關軌道工程經過地層下陷區域之因應參考。故次出國考察選擇參訪日本鐵路相關部門鐵道建設・運輸設施整備支援機構、東海鐵道株式會社、鐵道綜合技術研究所等，在軌道工程面臨地層下陷問題時於工程設計、建造、營運維修之處理機制，並參訪東京高速道路目黑線支承墊改善工程，藉由本次之參訪經驗，供本局在辦理軌道建設計畫相關作業時參考。

貳、考察成員及行程

2.1 成員

姓名	服務單位	職稱	專長及負責
孫玉龍	高鐵局第二組	副工程司	機場捷運營運規劃

2.2 行程

1. 行程起迄：

自 99 年 10 月 17 日至 10 月 29 日止（全程計 7 天，其中 10 月 17、23 日爲例假日，費用自理）。

2. 考察行程：

日期	地點	行程概述
10/17(日)	台北/日本	啓程
10/18(一)	日本東京	資料討論及考察東京都軌道運輸系統
10/19(二)	日本東京	參訪東京高速道路目黑線支承墊改善工程
10/20(三)	日本東京	參訪「東海鐵道株式會社」 聽取營運及維修對策過程有關地層下陷之因應經驗
10/21(四)	日本橫濱	參訪「鐵道建設・運輸設施整備支援機構」 聽取鐵道工程於建設過程中有關地層下陷之經驗
10/22(五)	日本東京	參訪「鐵道綜合技術研究所」 聽取對鐵道工程於地層下陷之對策及研究成果
10/23(六)	日本/台北	回程

參、東京高速道路目黒線支承墊改善工程

原安排拜會國土交通省了解日本政府對鐵道結構物地層下陷之政策，行前告知時程上無法配合，故另行安排參訪東京高速道路目黒線支承墊改善工程，以了解橋梁支承墊改善處理作業。

3.1 工程概述

本工程為位於東京港區白金台五丁目之高速道路目黒線支承墊改善工程，因橋墩支承墊老舊損傷破裂，在需維持既有高速道路服務運輸下，進行橋墩支承墊抽換、防落橋設置、抗拉拔裝置設置及橋梁底面碳纖維補強等工程。本工程範圍計有 2 座門架式橋墩及 3 座單柱式橋墩，在工期 4 年半內，需完成 14 處支承墊抽換、8 處預力防震拉條防落橋設置、24 處抗拉拔裝置設置及 113 平方公尺之橋梁底面碳纖維補強，如下圖。

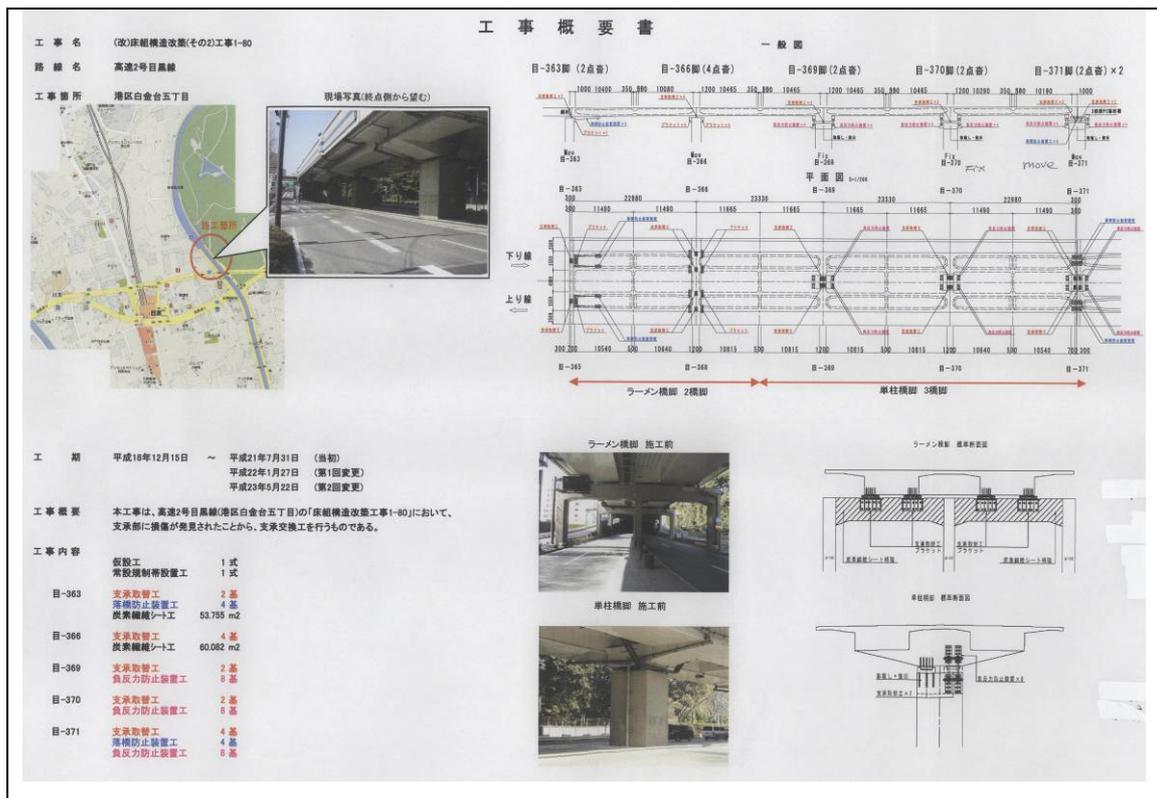


圖 3-1 工程概要圖

3.2 改善工程內容

本工程橋墩支承墊改善工程之施工程序，門架式橋墩處需進行支承墊抽換及橋面版碳纖維補強等工作，單柱式橋墩處需進行支承墊抽換及抗拉拔裝置設置等工作。詳細之施工作業程序，依門架式橋墩及單柱式橋墩兩類說明如下：

3.2.1 門架式橋墩

1. 假設工設置：假設反力支柱設置。

2. 支承墊抽換作業：

a. 梁底錨定鑽孔（如下圖）：梁底鋼筋探查、小鑽孔試鑽（pilot hole）、穿孔。



圖 3-2 梁底錨定鑽孔

b. 橫梁頂升。

c. 舊有支承墊撤除（如下圖）：鋼線切斷剪力樑、支承墊上承板撤除、支承墊撤除。



圖 3-3 舊有支承墊撤除

d. 新設支承墊錨定鑽孔（如下圖）：帽梁錨定栓鑽孔設置、樹脂注入、預埋鋼板錨定栓設置完成。



圖 3-4 新設支承墊錨定鑽孔

e. 新設支承墊設置（如下圖）：支承墊托架設置、支承墊置放、預埋鋼板與

支承墊上承板焊接、支承墊托架背面樹脂注入、支承墊下承板與支承墊座間無收縮水泥砂漿打設、支承墊取代完成。



圖 3-5 新設支承墊設置

f. 橫梁卸降。

每座門架式橋墩自橫梁頂升後，4 處支承墊一起抽換，約需時 1.5~2 個月完成支承墊抽換作業。

3. 防落橋設置作業：

本工程防落橋設置採預力防震拉條設置（如下圖），其作業程序如下：

- a. 橫梁內防震拉條錨定座鋼筋組立錨定座澆注模版組立。
- b. 錨定座澆注完成。
- c. 防震拉條托架設置。
- d. 預力防震拉條設置。



圖 3-6 防落橋設置

4. 假設工撤除：假設反力支柱撤除。
5. 橋面版碳纖維補強作業（如下圖）：
 - a. 表面調整：表面缺陷填補及磨平。
 - b. 底塗樹脂塗佈。
 - c. 不平調整：樹脂砂漿塗佈飾平。
 - d. 第 1 層碳纖維樹脂塗佈。
 - e. 鋪設第 1 層碳纖維布。
 - f. 碳纖維布刮平。
 - g. 第 2 層碳纖維樹脂塗佈。
 - h. 鋪設第 2 層碳纖維布。
 - i. 碳纖維布刮平。

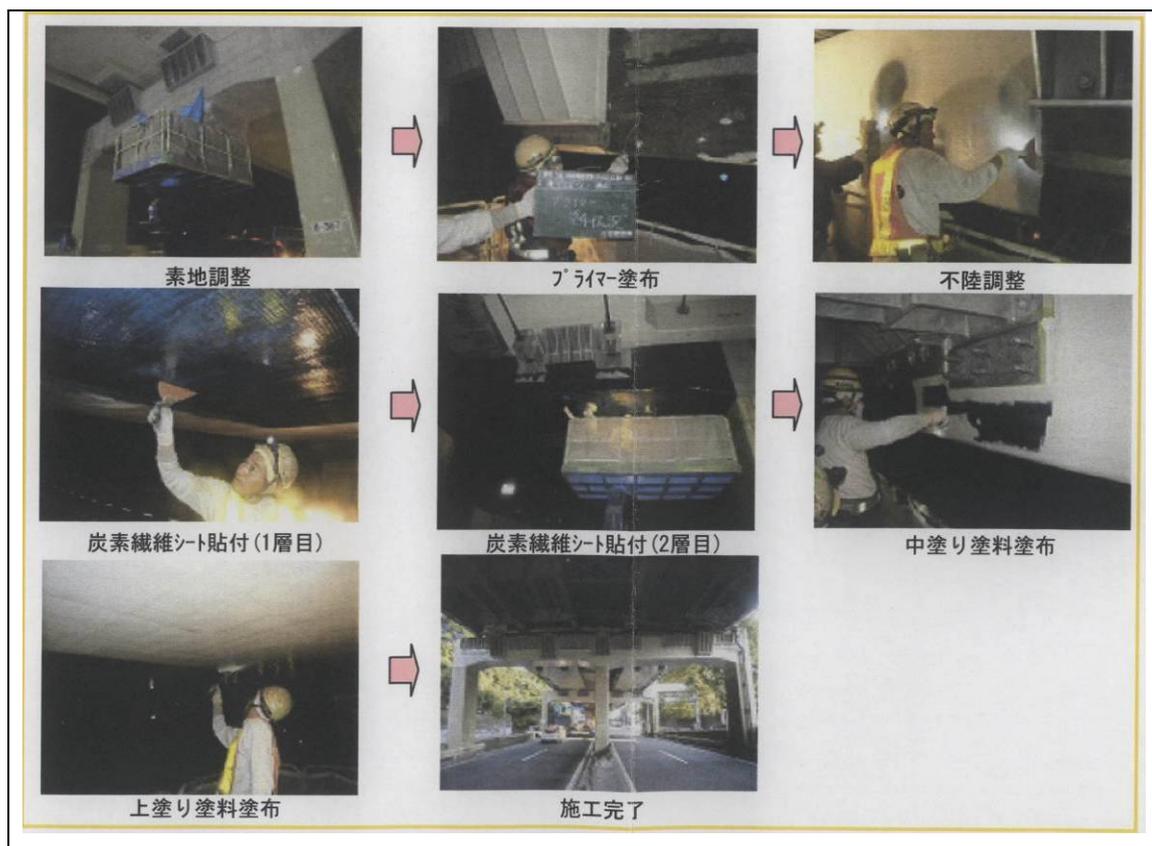


圖 3-7 橋面板碳纖維補強

3.2.2 單柱式橋墩

1. 假設反力支柱設置 (如下圖)：假設反力支柱基礎挖掘、假設反力支柱基礎混凝土打設、假設反力組立完成。



圖 3-8 假設反力支柱設置

2. 支承墊抽換作業：

- a. 箱型梁抬升。
- b. 支承墊上承板撤除 (如下圖)：鋼線切斷支承墊上承板。

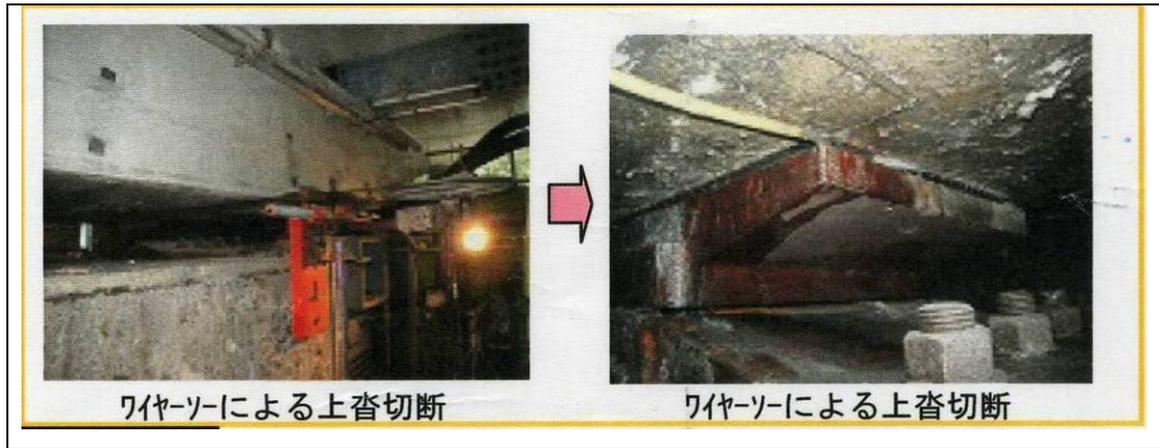


圖 3-9 支承墊上承板撤除

c. 橋墩撤除：水刀切除柱頭上部混凝土、完成支承墊上盤撤除。



圖 3-10 橋墩撤除

d. 新設支承墊錨定鑽孔（如下圖）：支承墊上盤部無收縮水泥砂漿注入、上盤部穿孔、上盤部錨定設置。



圖 3-11 新設支承墊錨定鑽孔

e. 新設支承墊設置（如下圖）：預埋鋼板與支承墊上承板焊接、支承墊設置完成。



圖 3-12 新設支承墊設置

f. 橋墩復舊（如下圖）：橋墩接續鋼筋壓接、鋼筋組立、復舊鋼板設置、橋墩混凝土打設、支承墊設置完成。

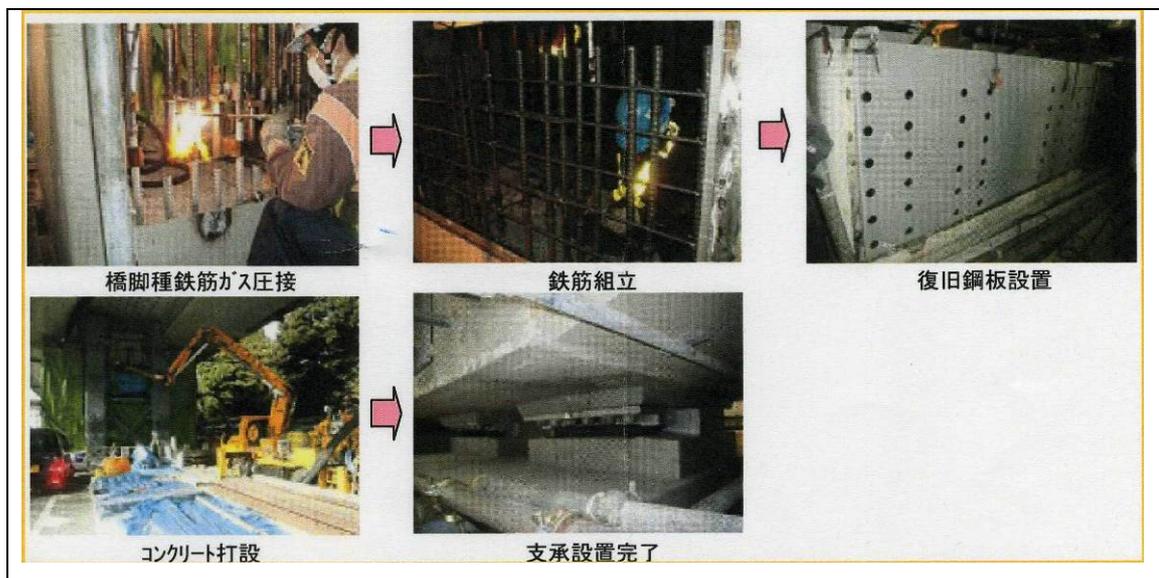


圖 3-13 橋墩復舊

g. 箱型梁卸降。

3. 抗拉拔裝置設置（如下圖）：抗拉拔錨定栓打設、抗拉拔錨定條設置。



圖 3-14 抗拉拔裝置設置

4. 假設工撤除：假設反力支柱撤除。

肆、東海鐵道株式會社

4.1 東海鐵道株式會社概要

東海鐵道株式會社(Central Japan Railway Company)一般稱為 JR 東海，於 1987 年日本國鐵民營化時成立，除了負責日本中部地區國鐵路線營運，也經營東京大阪間之東海道新幹線，如下圖。

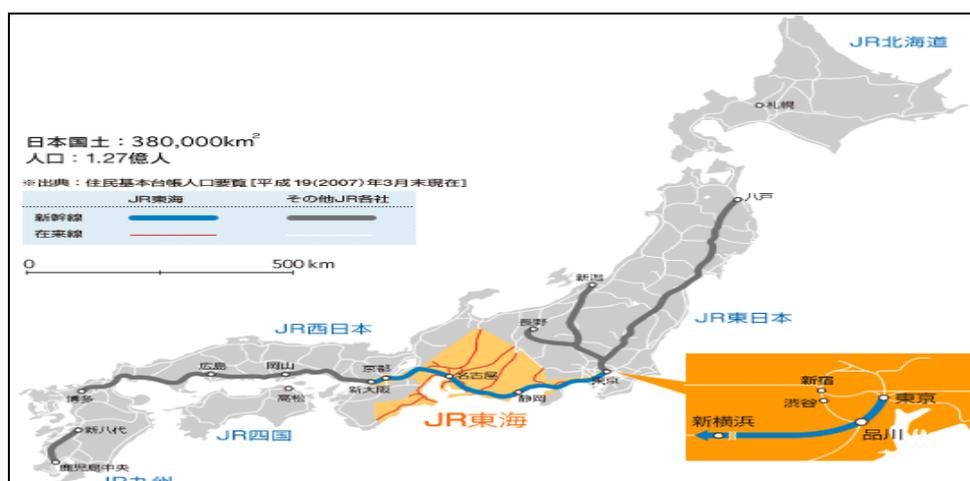


圖 4-1 東海鐵道株式會社（JR 東海）營業範圍

4.2 東海鐵道株式會社參訪

本次考察拜會位於東京品川之「東海鐵道株式會社（JR 東海）」總部，聽取該社綜合技術本部及新幹線鐵道事業本部在東海道新幹線營運及維修階段，有關地層下陷之處理經驗。

案例為東海道新幹線於大阪附近之路堤兩側銜接高架橋路段，如圖 4-2，地表下約 30M 範圍有軟弱地盤存在，建設之初就已有地層下陷發生，故於橋台處增設中空 PC 基樁並輔以地中梁補強，完工後開始營運。但營運後，在橋台後方之路堤段繼續發生下陷。

該地區之地質情況，如圖 4-3，近地表處為鬆散之砂質土層，其下為膠結差之粘質土、粉土層，再下為砂礫層。鑽孔柱狀圖顯示，地表下深度 9M 範圍為鬆散之砂質土，標準貫入試驗 N 值在 7~12，地表下深度 9M~22M 範圍為膠結差之粘質土、粉土，標準貫入試驗 N 值在 1~6，地表下深度 22M 以上範圍為砂礫，標準貫入試驗 N 值在 30 以上。

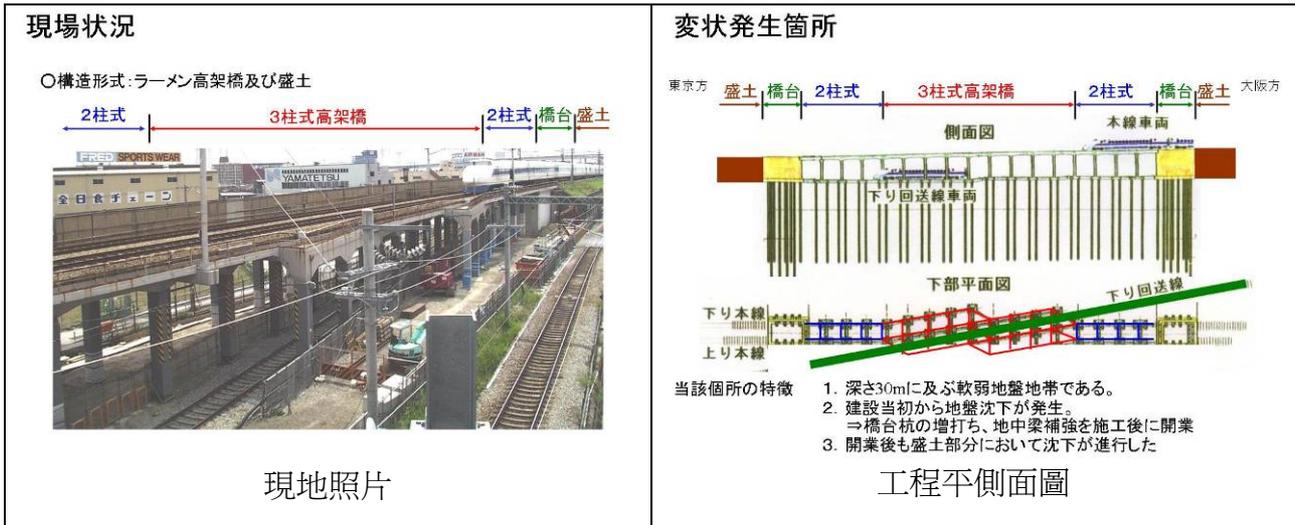


圖 4-2 工程現況圖

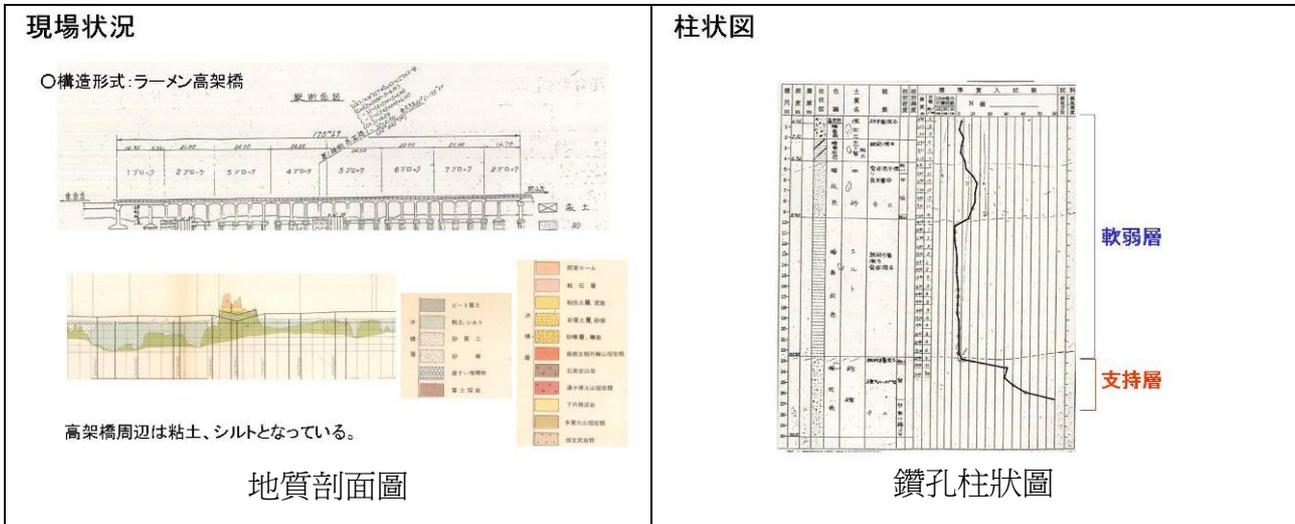


圖 4-3 工程地質断面圖及鑽孔柱狀圖

先進行高架橋之基礎及墩柱檢查，經吊放攝影機於中空 PC 樁，檢查樁身並無損傷，樁帽無異常之變形、下陷，而目視檢查墩柱，亦無發現裂縫，故後續分別就路堤、橋臺及高架橋進行補強工程，如圖 4-4。

路堤段考量地震發生時，路堤下行線側之鋼板貫入深度不足，路堤將因下面砂層發生液化而產生滑動破壞，故另於路堤兩側分別打設鋼板樁，貫穿液化砂層，並以繫桿連結鋼板樁。

橋臺補強工程部分，先行於橋臺範圍發生液化之砂層進行地盤改良，再於原橋臺周圍打設基樁至承載層後，於原橋臺進行橋臺壁體補強。

高架橋段補強工程部分，則分別對橋墩以鋼板圍束補強，提高橋墩之耐震性、墩帽增設擴座，以防止落橋發生、於橋臺端設置落橋防止裝置、進行地中梁

補修與補強、液化之砂層進行地盤改良。

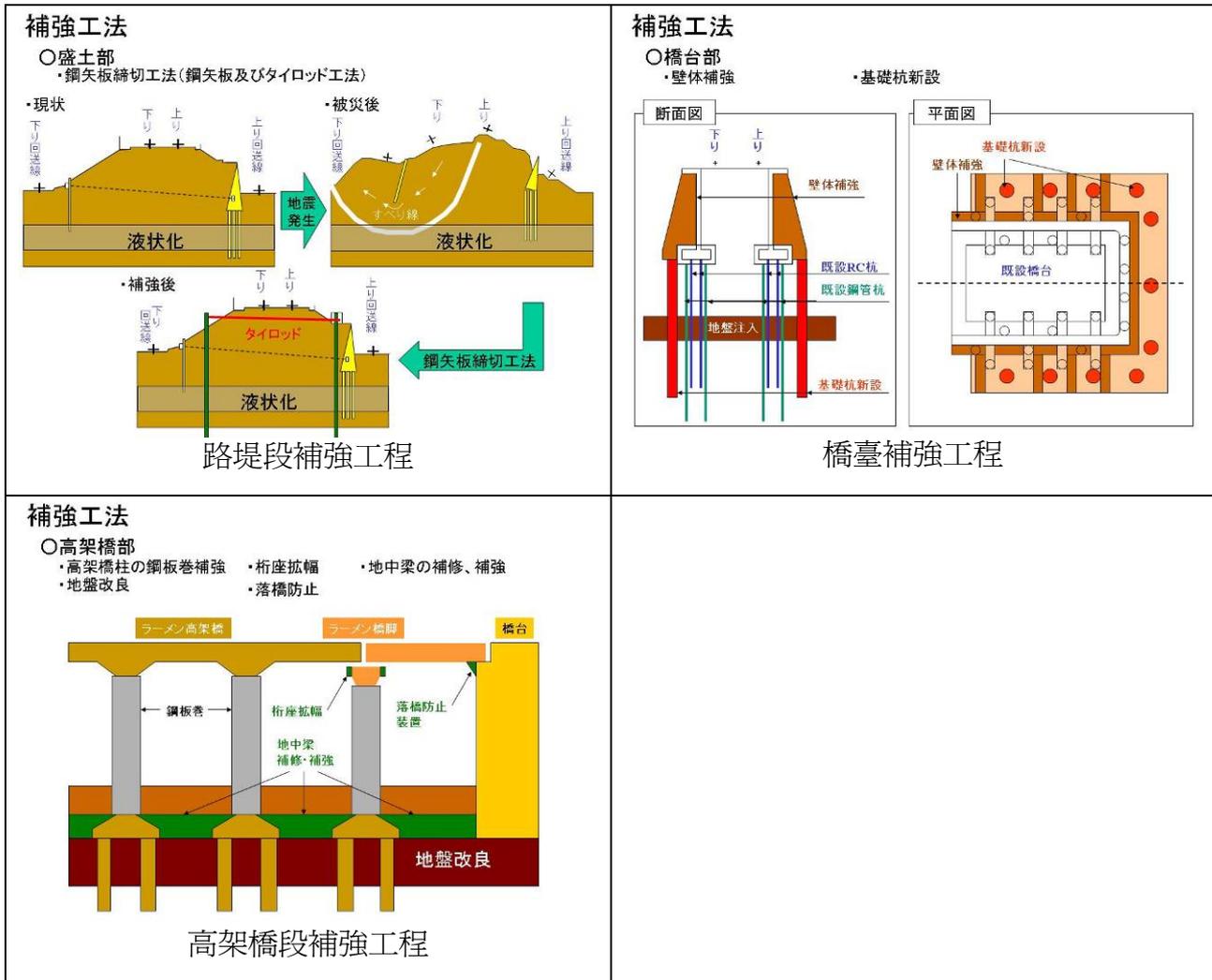


圖 4-4 補強工程

伍、獨立行政法人鐵道建設・運輸設施整備支援機構

5.1 獨立行政法人鐵道建設・運輸設施整備支援機構概要

獨立行政法人鐵道建設・運輸設施整備支援機構（Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency, JRTT）係於 2003 年 10 月 1 日合併「鐵道建設公團」與「運輸施設整備事業團」而成之獨立行政法人機構，其設立宗旨主要在建設鐵路及促進或支援運輸設施之整備，係為日本鐵道建設主體。

5.2 鐵道建設・運輸設施整備支援機構參訪

本次考察拜會位於神奈川縣橫濱市之獨立行政法人鐵道建設・運輸設施整備支援機構鐵道，聽取該機構建設本部設計技術部於新幹線建設過程中有關土壤結構物及基礎構造物在下陷之設計對策經驗。

5.2.1 新幹線土壤結構物之沉陷對策設計概要

日本新幹線之軌道結構有採用道碴軌道及省力化/道版式（Slab）軌道如圖 5-1，而省力化軌道之設計理念，係將呆載重及列車載重所產生之長期性沉陷與變位，抑制在限制值後，依靠建造使用耐久性較高之土壤結構物，來減低軌道保養量的構造。

在土壤結構物上構築省力化/道版式軌道時，需考量下列課題及處理方式如圖 5-2：

1. 路堤填土壓縮沉陷：規定填土材料的選用及施工管理標準。
 - a. 填土材料要求為 A 群材料，即良質之砂礫，如表 5-1。
 - b. 壓實管理要求平均 K_{30} 值 $\geq 110\text{MN/m}^3$ 。（下限值 70MN/m^3 ）
 - c. 平均壓實密度比（ ρ_d/ρ_{dmax} ） $\geq 95\%$ 。（下限值 92%）
2. 填土下之支撐地盤發生沉陷、破壞、液化：規定支撐地盤之條件。
 - a. 砂質土之 N 值 ≥ 20 。（液化考量）
 - b. 粘性土之 N 值 ≥ 4 。
3. 路基噴泥造成路基沉陷：採用鋼筋混凝土路基如 5-3。

為了防止路基噴泥和路基沉陷，開發了鋼筋混凝土路基。鋼筋混凝土路基之剛性高，荷重可均勻分散傳遞至路床，並能防止雨水浸透與發生噴

泥現象。首先於北陸新幹線（高崎~長野）之土壤結構區間鋪設長達 10.8 公里之道版式軌道，並經動態載重試驗於軌道進行來回衝擊試驗如圖 5-4，自 1997 年 10 月起正式採用於日本高速鐵路。

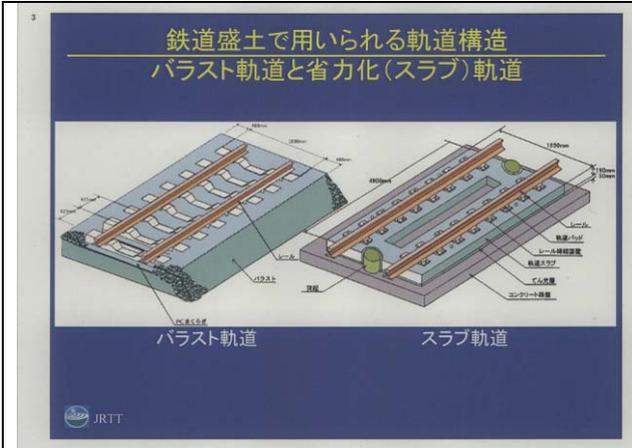


圖 5-1 軌道結構型式

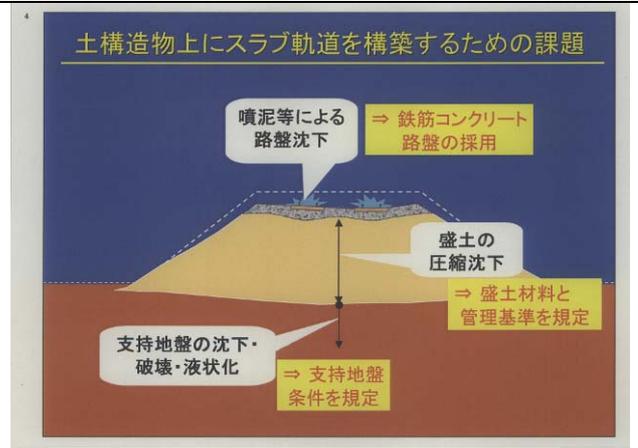


圖 5-2 土壤結構物上構築省力化軌道課題

スラブ軌道化のための土構造物の仕様

鉄道の盛土材料の分類

A 群	<ul style="list-style-type: none"> ・粒度分布のよい礫、砂 ・K_{30}値$\geq 110\text{MN/m}^2$が容易に確保できる。 ・自重や繰返し荷重による沈下が極めて小さい ・良質な盛土材料 	<div style="border: 2px solid red; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;"> 最も良質 </div>
B 群	<ul style="list-style-type: none"> ・細粒分を含んだ礫・砂、軟岩・脆弱岩ずり ・K_{30}値$\geq 70\text{MN/m}^2$が容易に確保できる ・盛土に適した材料 	
C 群	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物or火山灰質粘性土を含む礫質土・細粒土 ・十分な施工管理によりK_{30}値$\geq 70\text{MN/m}^2$を確保できる場合がある。 ・圧縮性等の点で、[B群]より劣る材料。 	
D 群	<ul style="list-style-type: none"> ・主に、粘性土、有機質土、脆弱岩ずり ・圧縮性が高い ・出来る限り使用しないのがよい。 	
V 群	<ul style="list-style-type: none"> ・火山灰質粘性土 ・噴泥を生じやすい 	

JRJT

表 5-1 填土材料分類表

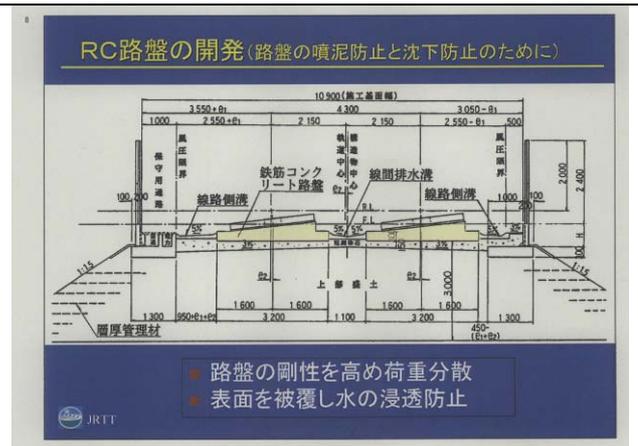


圖 5-3 鋼筋混凝土路基圖

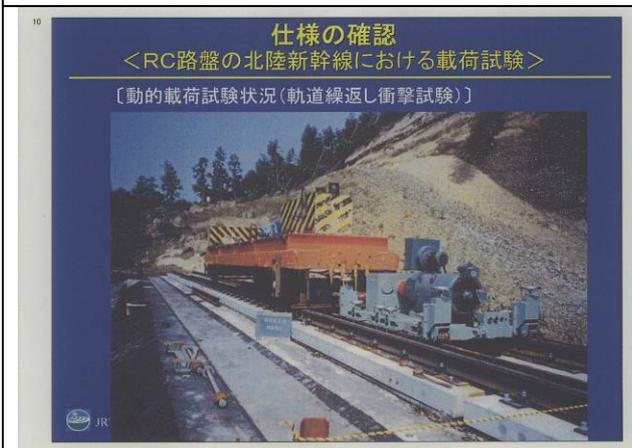


圖 5-4 動態載重試験

省力化軌道可減輕保養量，讓省力化軌道經濟性的優勢能夠實現，其經濟性包括初期建設費、保養費及工程生命週期等成本，在第 12 年起，其費用已開始比道碴軌道低。省力化軌道的使用可以提高行車安全性能，且因具有較高之抗彎剛性，可抑制列車行駛產生的變位，耐久性能相對提高。

5.2.2 路基構造的地震對策

1995 年 1 月兵庫縣南部規模 M7.3 之地震，造成當地鐵路路堤段之填土下沉、路堤坡肩產生龜裂、和橋台連接部分因橋台構造物變形，背填土下陷，軌道懸空等災害。

1. 地震時填土的變形與補強：

- a. 爲了確保軌道的平坦性，地震時填土的變形，包括填土斜坡滑動下陷量、填土之殘餘下陷量及地盤之殘餘下陷量。填土斜坡滑動下陷量以 Newmark 法估算，填土之殘餘下陷量以累積變形特性估算，地盤之殘餘下陷量以反應分析（Response Analysis）計算，如下圖。

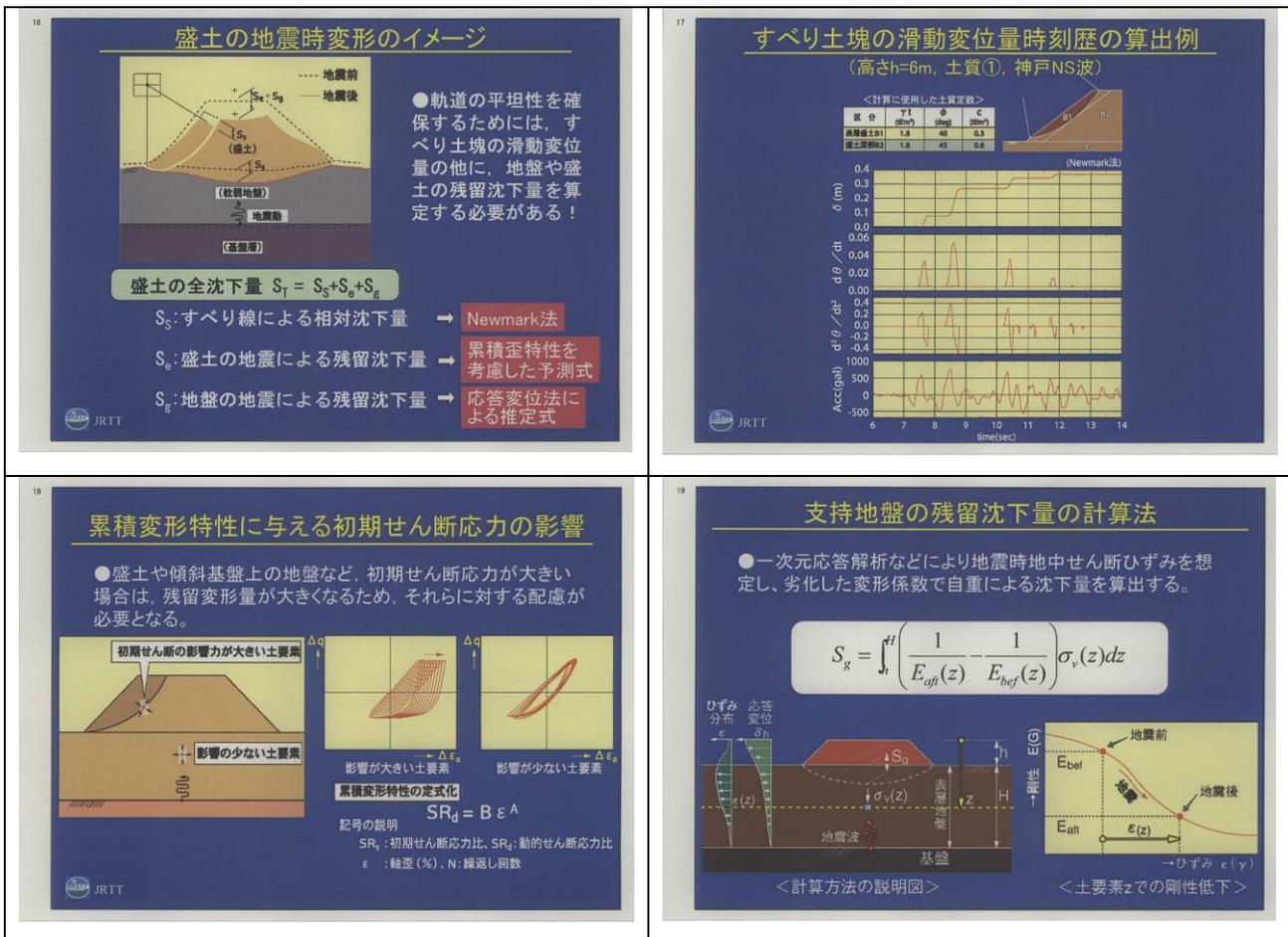


圖 5-5 地震時填土的變形量計算

- b. 地震時填土下陷量在 100mm 以內，於上、下部填土分層鋪設土工格網 (Geogrid) 補強，可提高填土的耐震性，如下圖。

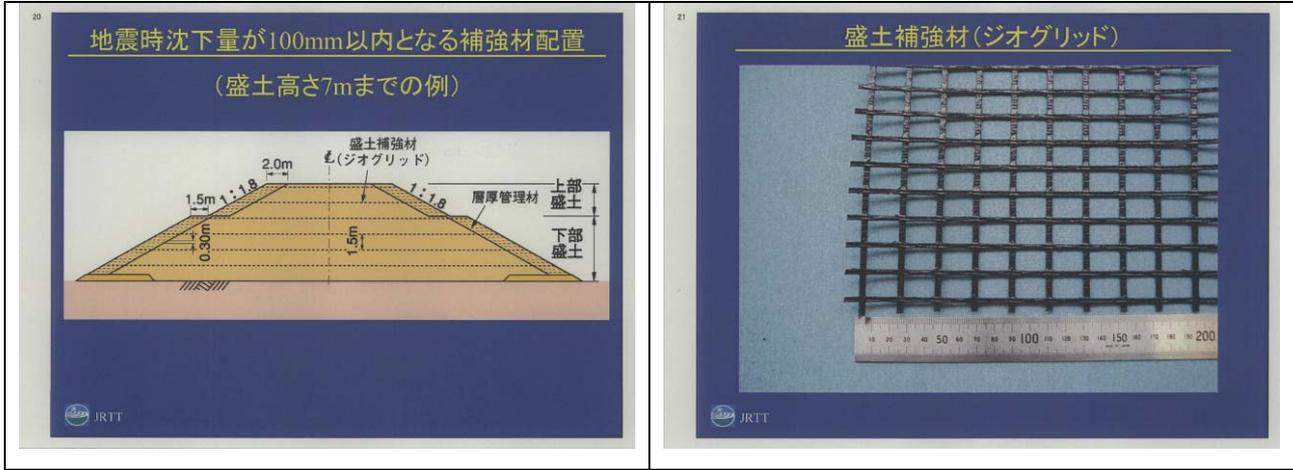
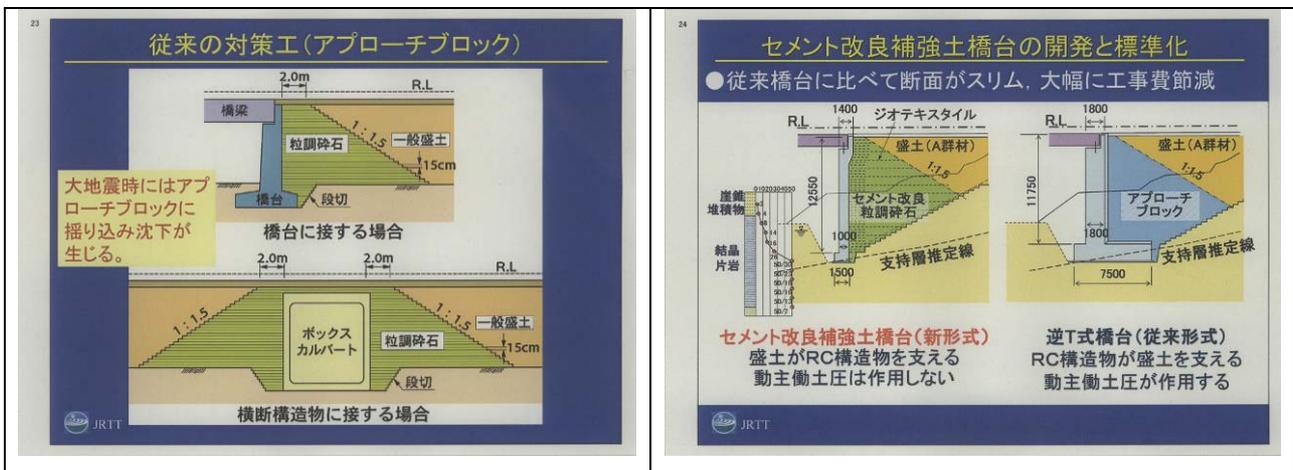


圖 5-6 填土地工格網補強

2. 填土與橋台等結構物銜接處於地震時之問題及處理：

- a. 地震時填土與橋台等結構物銜接處，常發生填土下陷、橋台前傾滑動，橋台背面產生高低落差。
- b. 以往橋台與填土之高低落差，以級配調整碎石作為進橋段 (approach block)，抑制橋台背填土之沉陷，在平常或中度地震，極為有效，惟大地震時，進橋段會發生滑動下陷。後以水泥安定處理，改良補強土作為進橋段，並於橋台背填土配置土工織物與橋台連結，橋台並不支撐填土，主動土壓力不作用，對大地震時沉陷之抑制效果較佳，如下圖。



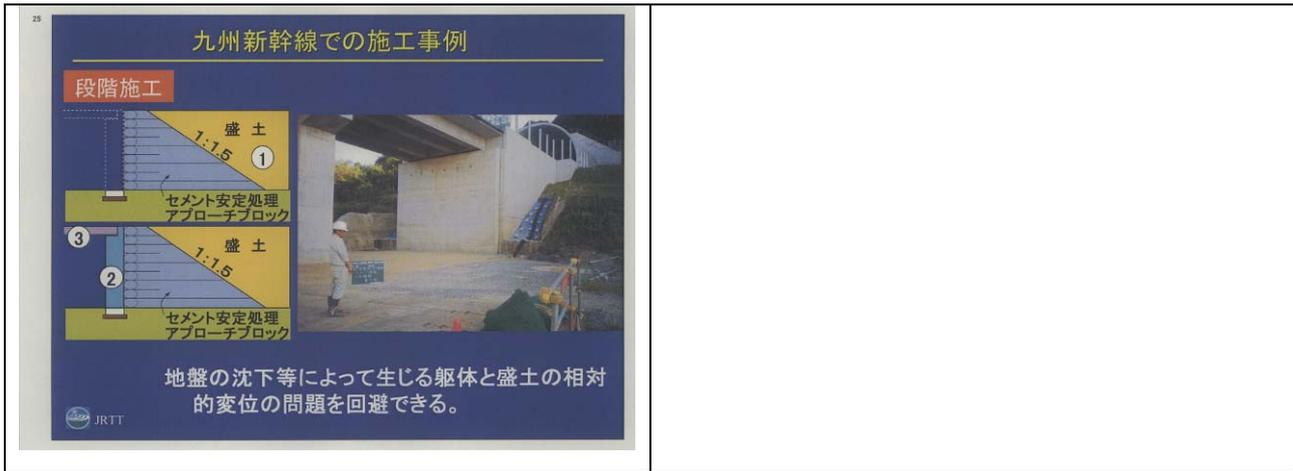


圖 5-7 填土與橋台等結構物銜接處於地震時之問題及處理

5.2.3 新幹線基礎構造物之沉陷對策設計概要

1. 地震時基礎構造物之變位限制，依行車速度、橋面跨度等條件，對基礎構造物之平行移動及折疊作不同之限制。另軌道之變位限制，依軌道型式、常時及地震時軌道損傷的復舊性等條件，決定軌道面不動變位的限制值（如下圖）。

構造物および軌道に生じる変位の制限(1)

地震時の構造物境界における不同変位の照査

平行移動

折れ込み

方向	最高速度 (km/h)	平行移動 ($\theta / 1000$)		折れ込み ($\theta / 1000$)
		$L_b = 10m$	$L_b = 30m$	
線路直角方向	260	5.0	3.0	3.5
	300	4.5	2.5	3.0
	360	4.0	2.0	2.0

判定：不同変位の応答値 \leq 不同変位の限界値・・・ならOK

構造物および軌道に生じる変位の制限(2)

軌道の復旧性

常時および地震時における軌道の損傷に関する復旧性を検討するため、軌道面の不同変位を照査する。

軌道の損傷から定まる軌道面の不動変位の限界値

変位の方向	軌道種別	平行移動、折れ込み ($\theta / 1000$)	
		常時	地震時
上下方向	スラブ軌道	3.0	3.5
	バラスト軌道	5.5	6.5
線路直角方向	スラブ軌道	4.0	6.0
	バラスト軌道	5.0	8.0

判定：不同変位の応答値 \leq 不同変位の限界値・・・ならOK

圖 5-8 地震時基礎構造物及軌道之變位限制

2. 基礎構造物之變位量是綜合考量載重之狀態、地盤之性質、構造物之勁度等後，計算之結果，應符合前述基礎構造物及軌道之變位限制值。
3. 基礎構造物之變位設計考量如下：
 - a. 荷重造成之變位量：垂直及水平荷重造成之變位量，應考量基礎之彈性係數或地盤反力係數，以獲得荷重-變位關係。
 - b. 永久荷重於粘性地盤之壓密變位量。
 - c. 地盤下陷之變位量：軟弱地盤上因填土或地下水下降時，基樁會有負

摩擦力產生，基樁承载力減少。

- d. 地盤側向移動造成之變位量：壁軟弱地盤上因填土或地盤挖掘等，造成橋台或擋土側向移動變位。
- e. 地震時依據地震之反應譜進行構造物歷時分析。
- f. 砂質地盤液化設計：樁基於 N 值小且地下水位高之砂質地盤，必需檢討因砂質地盤液化造成地盤勁度減低。

六、財團法人鐵道綜合技術研究所

6.1 財團法人鐵道總合技術研究所概要

財團法人鐵道總合技術研究所(Railway Technical Research Institute, RTRI)為日本國有鐵路分割與民營化前，經由運輸大臣（現今之國土交通大臣）同意設立，並於 1986 年成立，是日本國有鐵路技術研究開發的法人單位，其研究領域遍佈車輛、土木、電氣、號誌、材料、環境及人類科學等之基礎研究及應用技術。

6.2 財團法人鐵道總合技術研究所參訪

本次考察拜會位於東京都國分寺之財團法人鐵道總合技術研究所，聽取該機構軌道技術研究部與構造物技術研究部於新幹線建設過程中有關土壤結構物及基礎構造物在下陷之研究對策經驗。

鐵道土壤構造物包括路基、路床、上部/下部填土、側溝、排水層等。鐵道路基依設計標準制定之前後區分為營業線路基及新設線路基兩類。1960 年以前建造之路基，尚未有完備之設計標準，稱為營業線路基。1968 年以後建造之路基，已有完備之設計標準，稱為新設線路基。

1. 營業線路基之問題及處理對策：

營業線路基常發生之問題如下：

- a. 沒有明確的路基構造，直接於填土、地盤上鋪設軌道。
- b. 路基材料品質多樣，也有粘性土路基。
- c. 排水設備不充分。
- d. 路床的剛性很小，與其他構造物銜接處剛性急劇變化。
- e. 道碴路基之道碴貫入道床，貫入層之強度高於路床。
- f. 路基噴泥發生。
- g. 路基下陷發生。
- h. 列車通過時路基的變形較大。
- i. 軌道保守的增加。

重要問題之處理對策如下：

- a. 路基噴泥：

造成路基噴泥的主要原因為路基的土質、排水狀態及列車荷重等因素，此外尚有道床排水不良、路基下有含水帶存在、線路側溝積水、路基面上存在障礙物、路基的排水坡度不足、高地下水存在、路基土壤為高含水比之粘性土等因素。其中容易噴泥路基土壤的條件為 $P_{0.425} > 70\%$ 、 $r = P_{0.075} / P_{0.425} > 0.65$ 、液性限界 $> 35\%$ 、塑性指數 > 9 ，而 P_A 表示 Amm 篩分析通過質量百分率 (%)。

路基噴泥對策工法選定程序，其中路基面被覆工法係於路基面上鋪設被覆層，該被覆層係由防止遮水層遭道床道碴破損之保護層、遮斷路基面雨水進入之遮水層、路基水排出之排水層所組成。而路基置換工法係於路基置換 30 公分厚之排水砂層。橫斷排水工法係於噴泥範圍填設直徑 15 公分之排水管，上面鋪設濾料，如下圖。

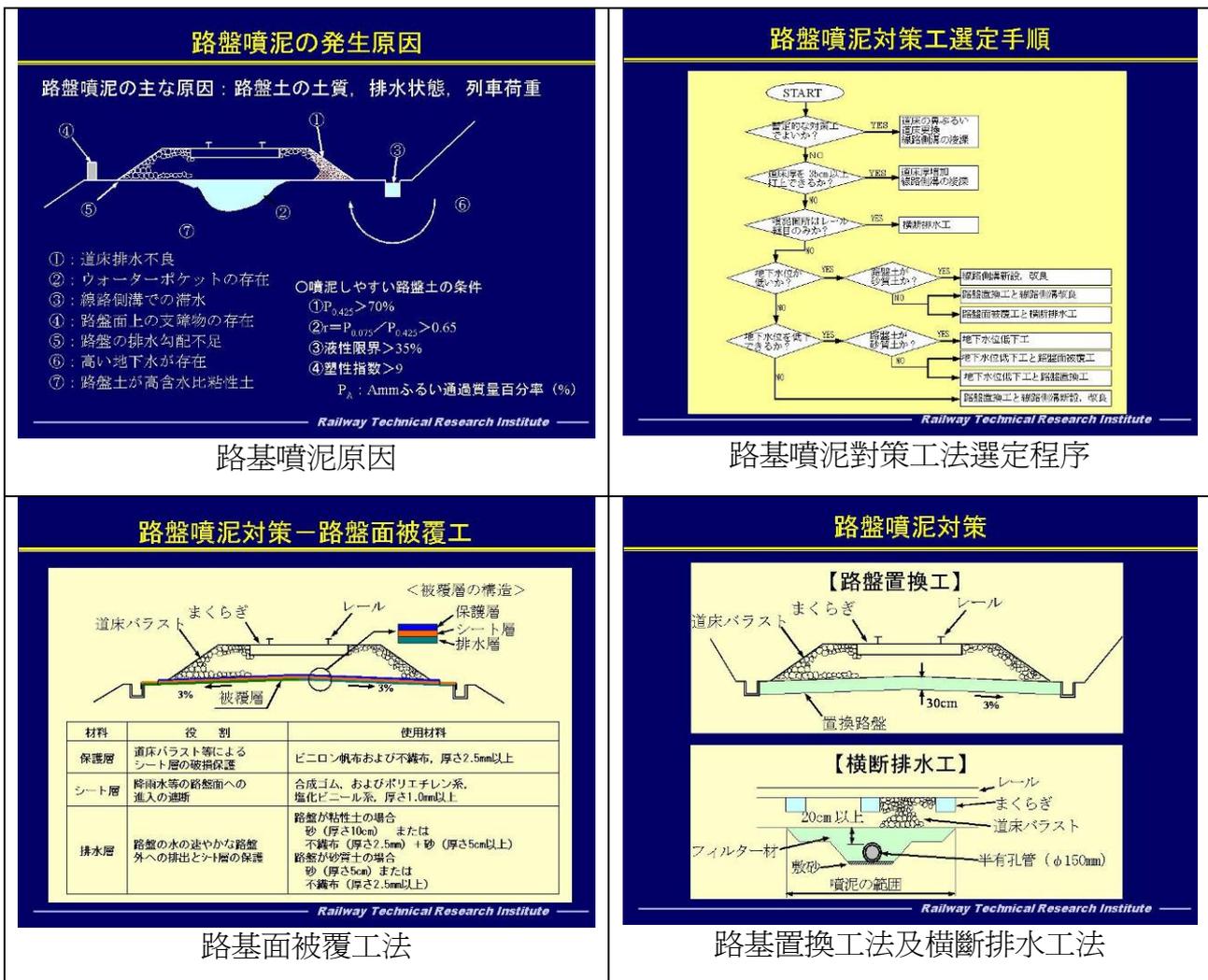


圖 6-1 路基噴泥處理對策

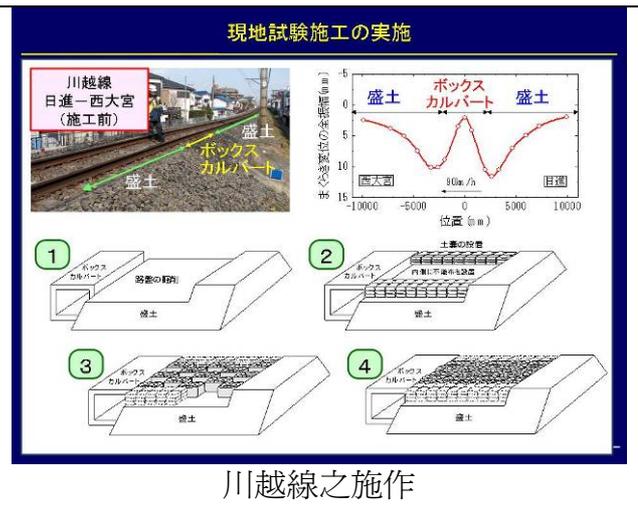
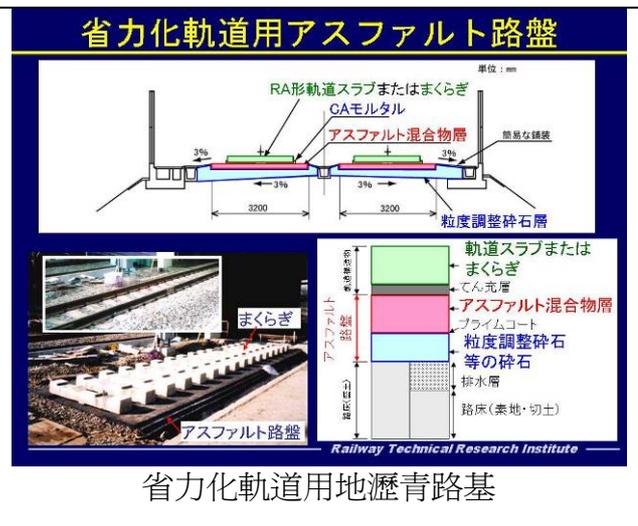
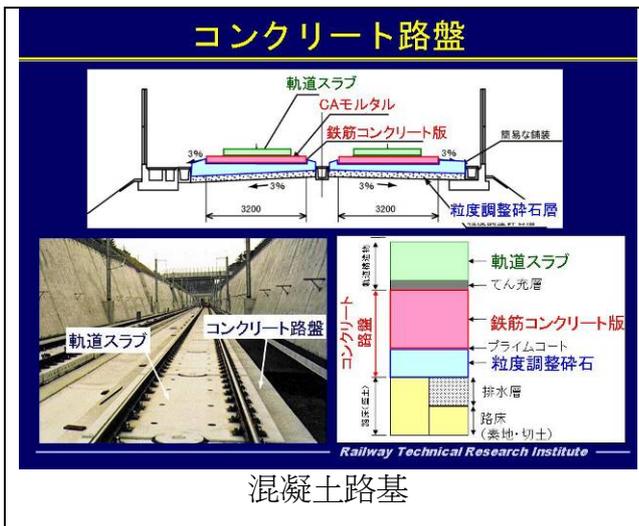


圖 6-3 結構物銜接處路基的變形處理對策

2. 新設線路基：

(1) 新設線之路基種類依軌道型式來區分，省力化/道版軌道採用混凝土路基及省力化軌道用地瀝青路基，道碴軌道採用道碴軌道用地瀝青路基及碎石路基，如下圖。混凝土路基之結構包括鋼筋混凝土版、透層、顆粒度調整碎石層，省力化軌道及道碴軌道地瀝青路基之結構包括地瀝青混凝土層、透層、顆粒度調整碎石層。而其對路床剛性之要求，省力化軌道之路床剛性 K_{30} 值 $\geq 110\text{MN/m}^3$ ，道碴軌道 K_{30} 值 $\geq 70\text{MN/m}^3$ 。



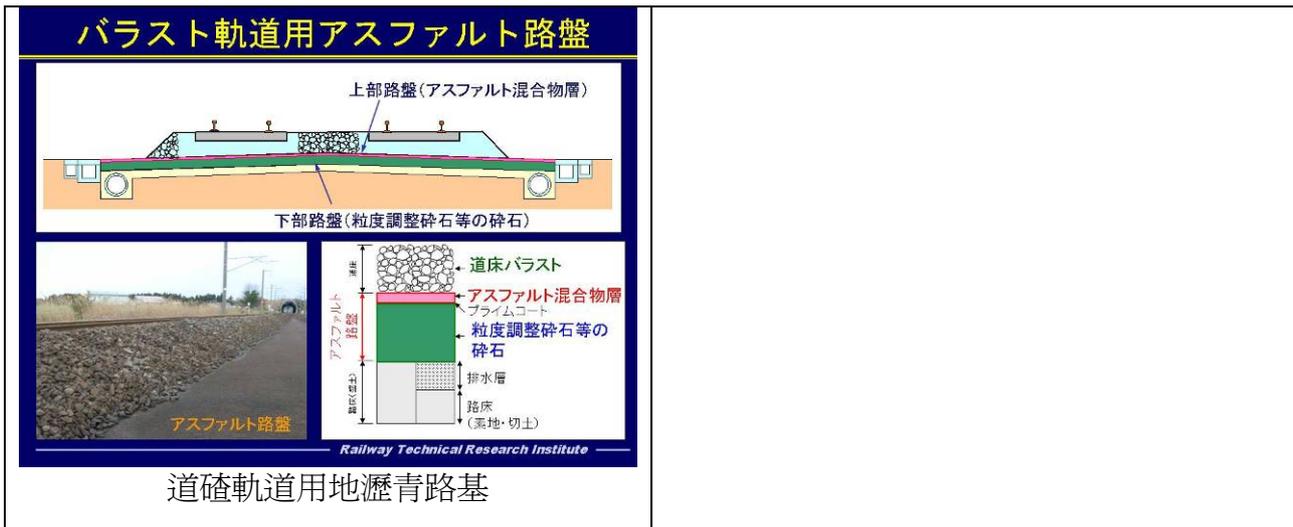
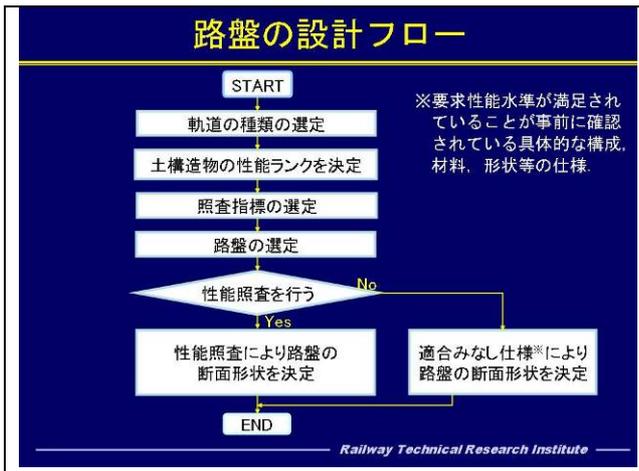


圖 6-4 新設線之路基種類

(2) 有關新設線路基之設計流程圖如下圖並說明如下：

- a. 軌道種類之選定：依軌道種類之選定路基型式，省力化可選用混凝土路基、省力化軌道用地瀝青路基，道砟軌道可選道砟軌道用地瀝青路基、碎石路基。
- b. 土壤構造物之性能序位決定：依土壤構造物設計要求之各種性能項目，決定適用之先後順序。
- c. 路基設計需考量之檢討指標選定，如動態變形限制、累積變形量、振動、噪音、凍結深度等。
- d. 路基設計要求性能之檢討，包括安全性能之要求如列車走行、破壞等項目，使用性之要求如軌道保守之作業性、振動、噪音、耐凍性等項目。
- e. 依照設計要求性能之檢討，決定路基之斷面形狀。



路基之設計流程圖

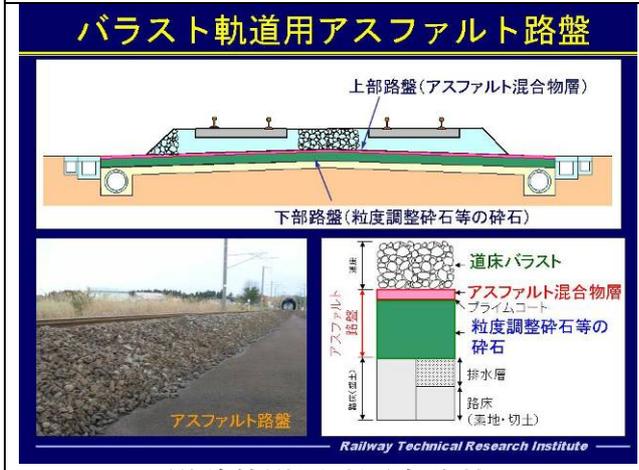
路盤の照査指標

要求性能	性能項目	照査指標	作用	土構造物の性能ランク		
				I	II	III
安全性	列車走行	動的変形*	変動作用(列車)	◎	◎	○
	破壊	疲労によるひび割れ	変動作用(列車)	◎	◎	—
使用性	乗り心地	動的変形*1	変動作用(列車)	○	○	△
	軌道保守の作業性	累積変形量, 動的変形	変動作用(列車)	○	○	○
	振動・騒音	振動レベル, 騒音レベル	変動作用(列車)	○	△	△
	耐凍上性	凍結深さ, 土質分類	凍結	△	△	△

(凡例) ◎:必ず必要, ○:できれば必要, △:必要に応じて考慮, —:一般的には不要
*:変位制限標準による照査項目

Railway Technical Research Institute

路基設計要求性能之檢討項目



道碴軌道用地瀝青路基

圖 6-5 路基之設計流程

(3) 新幹線對路基下陷變位之限制值規定，路基撓曲量 δ (m) 為 $L/1600$ ，而 L 為淨跨度。軌道水平面之垂直變位，於列車速度 260km/h 時，平行移動角 θ 為 $3.5/1000$ 、撓曲角 θ 為 $4/1000$ 。

(4) 混凝土路基之設計檢討

有關混凝土路基設計採用之分析模式說明如下：

a. 路線方向之檢討：

- 假設軌道、軌道墊、鋼筋混凝土版是彈性梁。
- 假設軌道扣件裝置、CA 水泥砂漿是線性彈簧。
- 假設路床為全面支撐線性彈簧。

b. 線路直角方向之檢討：

- 假設軌道版、鋼筋混凝土版是彈性梁。

- 假設 CA 水泥砂漿是線性彈簧。
- 假設路床爲全面支撐線性彈簧。
- 假設列車荷重經由軌道扣件裝置分散荷重作用。
- 線路方向的有效幅度是以路線方向計算出之 CA 水泥砂漿軸向分佈。

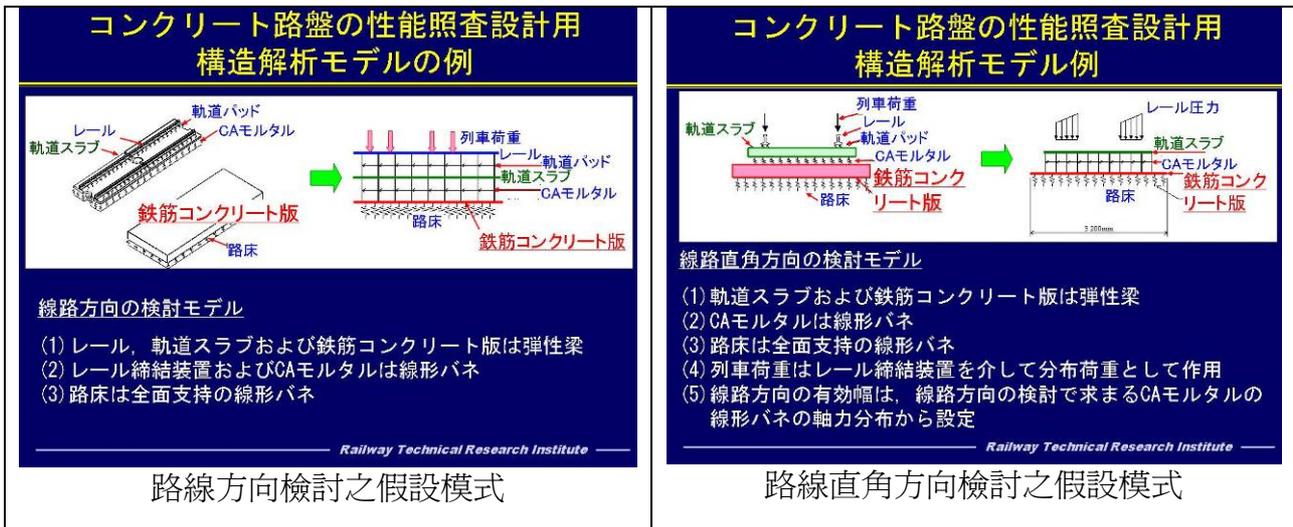


圖 6-6 混凝土路基設計分析假設模式

當混凝土路基下之填土有下陷之情形，應檢核鋼筋混凝土版之應力。檢核時假設殘餘沉陷沿著路基的撓曲形狀，並且降低路床的彈性係數，而混凝土路基設定之最大下陷量，於使用狀態爲 20mm、最終狀態爲 30mm。標準的混凝土路基斷面形狀如下圖，以標準軌而言，鋼筋混凝土版寬 3.2m、版厚 0.3m，顆粒度調整碎石層厚 0.15m。

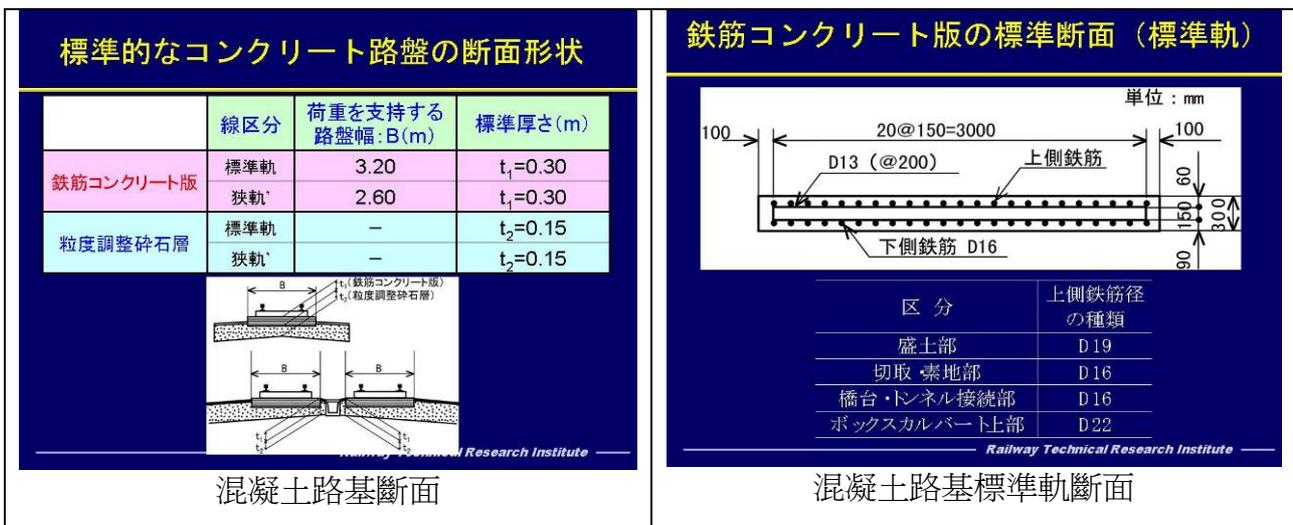


圖 6-7 混凝土路基断面圖

(5) 地瀝青路基之規定

地瀝青路基與混凝土路基相較下，對於路床的變形之反應性較高。新幹線之地瀝青路基，上部路基為 50mm 厚之地瀝青混合物、下部路基為 300mm 之顆粒度調整碎石層。如下圖

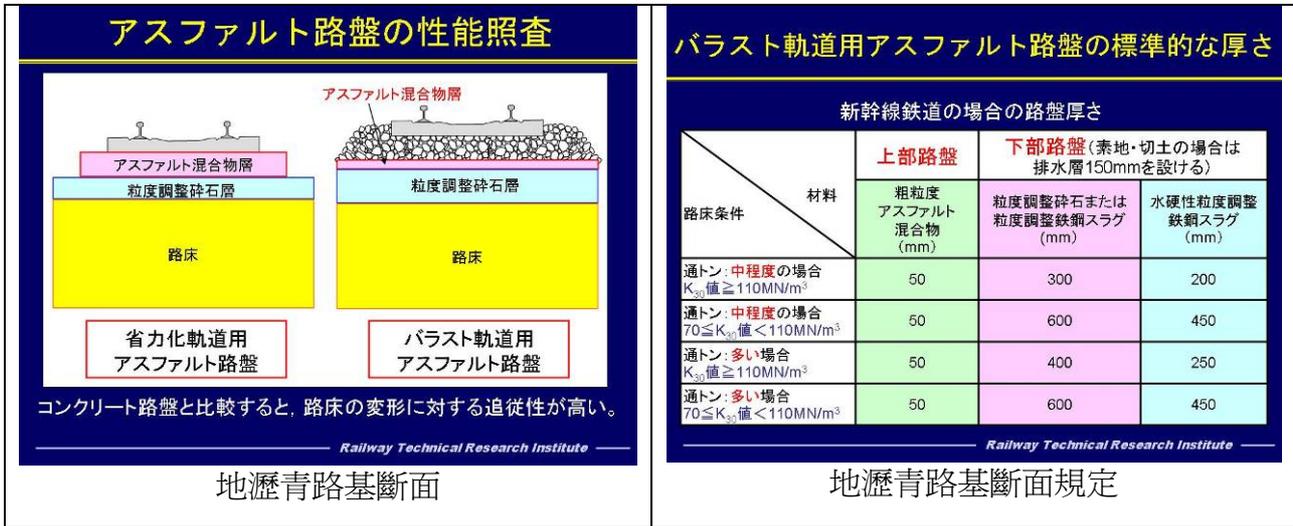
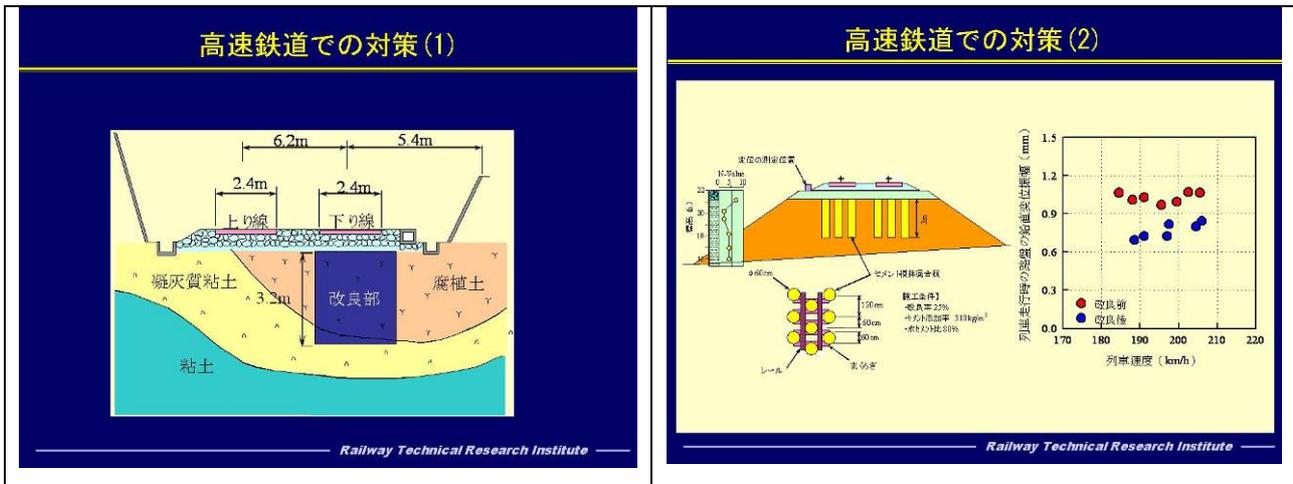


圖 6-8 地瀝青路基圖

3. 下列為高速鐵路處理之對策及案例：

a. 土壤結構物改善處理：

因為路床上部 3m 以內受列車荷重之影響較大，故下圖案例於軌道路基範圍施作直徑 60cm、深度 3m 之混凝土攪拌樁後，量測列車行走時路基的變位減少。另案例則於路床上部 3m 以內，分三層進行水平雙重管灌漿。



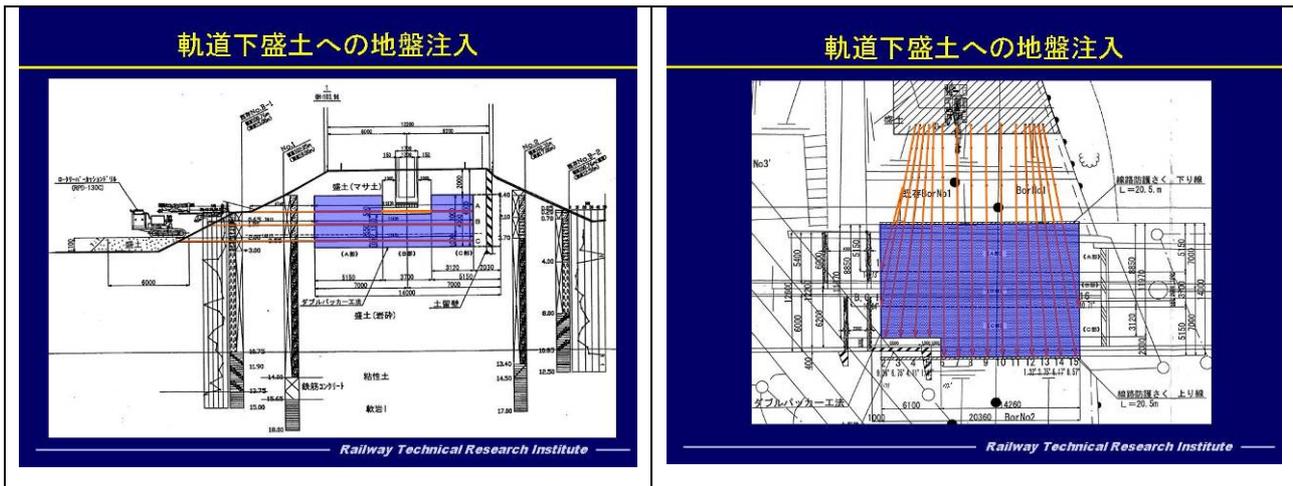


圖 6-9 土壤結構物改善案例

b. 路基補強處理：

下圖案例為省力化軌道採用混凝土路基，為進行路基補強，於混凝土路基兩側架設千斤頂架台，將混凝土路基抬昇後，於混凝土路基下填充水泥砂漿。



圖 6-10 路基補強處理案例

柒、心得與建議

此次考察承蒙日方相關單位熱心協助與安排，將日本相關鐵道建設之經驗詳細簡報與說明，以下僅就考察過程中所見之心得與淺見，說明如後，希能提供國內未來軌道工程規劃、設計、施工及維修之參考。

一、此次考察過程深刻體會日本於鐵道建設整體規劃制度之完整與緻密，工程技術之專業與用心，從鐵道工程規劃、設計、施工及營運維修相關標準、解說等鉅細靡遺。鐵道總合技術研究所致力於日本國有鐵路技術之研究與開發，提供鐵道建設・運輸設施整備支援機構落實於設計與建設作業、鐵路工團於營運維修作業之遵循參考，故能確保鐵道營運之安全。因此日本於鐵道建設整體規劃制度之完整與工程技術之專業，非常值得國內未來軌道工程推動之參考。

二、此次考察與日方各單位交換軌道工程於地層下陷之處理建議：

1. 軌道下陷將影響到軌道之平整度，進而乘車舒適性或列車行車安全性勢將受影響。地層下陷發生時，道碴軌道有較大之處理彈性，可採道床道碴補充或實施砸道進行軌道維護。然而道版式軌道，超過限制時就有必要抬高軌道版、在軌道扣件裝置與軌道間插入襯墊，所容許之累積下陷量有限。
2. 對於支持之地盤較軟弱，有沉陷之問題時，應予地盤改良或盡可能路線變更避開地層下陷區域。惟路線仍無法避開地層下陷區域時，除於地質上應予地盤改良，減少下陷量外，結構設計時高架橋段應設置緩和區間因應，採簡支梁有調整之空間，而基礎部分應就基樁負摩擦力預為處理，減少地層下陷對結構之影響。另軌道結構部分則採用道碴軌道，對地層下陷具較大之處理彈性。
3. 在前述設計施工階段處理後，後續營運維修階段，有必要預為考量下列事項如軌道與結構長期監測機制之建立，作業維修調整之參考、初步僅需調整軌道墊片來維護軌道線形、抬高道版調整軌道線形、調整橋梁支承墊、橋梁結構安全需進行結構補強。

三、此次考察參訪東京高速道路目黑線支承墊改善工程，在不中斷運輸服務下，進行橋墩支承墊抽換、防落橋設置、抗拉拔裝置設置及橋梁底面碳纖維補強等工程。相較於新建工程支承墊設置或暫停止服務功能下抽換支承墊，其所

受之限制條件較多，而本改善工程中，撤除既有支承墊並將載重移轉至假設反力支柱為支承墊改善之重點。軌道工程面臨地層下陷問題時，長期而言，在營運維修有可能會面臨支承墊抽換或調整，本案之經驗可提供未來軌道工程營運維修之參考。

捌、參考資料

1. 東京高速道路目黒線支承墊改善工程工事概要書，川田建設株式會社
2. 東海道新幹線における沈下事例と，東海鐵道株式會社
3. 新幹線用土構造物の沈下対策設計概要，鐵道建設・運輸設施整備支援機構
4. 新幹線用基礎構造物の沈下対策設計概要，鐵道建設・運輸設施整備支援機構
5. 鐵道路盤，財團法人鐵道總合技術研究所
6. 基礎の構造と変状，財團法人鐵道總合技術研究所

附録、考察照片集錦



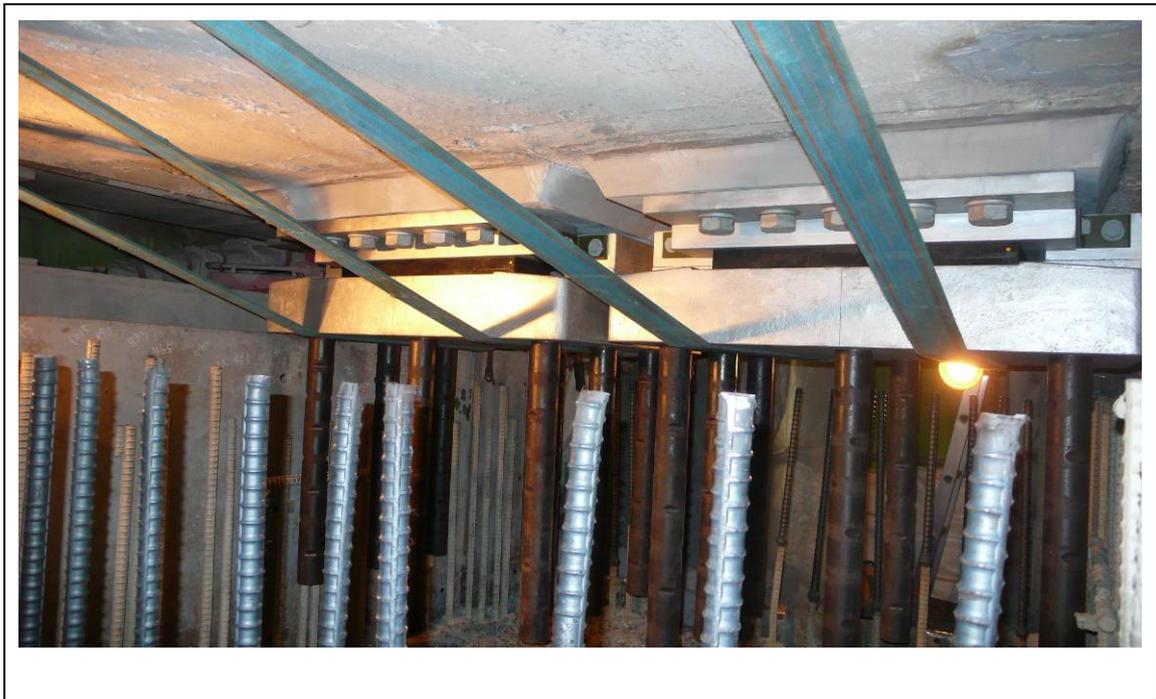
參訪東京高速道路目黒線支承墊改善工程



預力防震拉條



碳纖維補強及抗拉拔裝置



支承墊及橋墩接續鋼筋



支承墊托架



拜會東海鐵道株式會社



拜會鐵道建設・運輸設施整備支援機構



聽取鐵道建設・運輸設施整備支援機構簡報



拜會財團法人鐵道總合技術研究所



拜會鐵道總合技術研究所



聽取鐵道總合技術研究所簡報



聽取鐵道總合技術研究所簡報