48 捷運松山線潛盾隧道鄰近構造設計與施工

Taipei Rapid Transit Systems

臺北市政府捷運工程局
DEPARTMENT OF RAPID TRANSIT SYSTEMS TCG.
10448 臺北市中山北路二段48巷7號
電話：02-2521-5550
No. 7, Lane 48, Sec. 2, ZhongShan N. Rd.
Taipei, 10448 Taiwan, R.O.C
網址：www.dorts.gov.tw

ISBN 978-986-03-1503-5
GPN:1010004898

捷運叢書 48 捷運松山線潛盾隧道鄰近構造設計與施工 臺北市政府捷運工程局

48 捷運松山線潛盾隧道鄰近構造設計與施工

Taipei Rapid Transit Systems

目錄

第一章　緒論 1
第二章　地層與設計參數概述 3
　第一節　地質狀況與地下水位 3
　第二節　抽水管理 8
　第三節　大地工程設計參數評估 9
　第四節　土壤液化潛能評估 12
第三章　鄰近施工之規劃與設計 15
　第一節　潛盾隧道鄰近施工設計原則 15
　第二節　潛盾隧道鄰近施工分析 23
　第三節　襯砌環片選擇與使用 28
　第四節　穿越現有基樁結構 35
　第五節　潛盾機特殊功能需求與設計 38
第四章　球狀石墨鑄鐵環片生產與運用 43
　第一節　球墨鑄鐵環片介紹 43
　第二節　球墨鑄鐵環片構造概要 49
　第三節　球墨鑄鐵環片設計概要 56
　第四節　球墨鑄鐵環片生產與組裝 70
第五章　地盤改良工法選用 89
　第一節　灌漿工法選用 89
　第二節　灌漿孔位規劃及施工管理 109
　第三節　地盤改良成效驗證 122
第六章　案例說明—以穿越塔城公園地下停車場下方為例 125
　第一節　工程概述 125
　第二節　施工規劃與執行 126
　第三節　自動監測運用及成效分析 158
第七章　自動監測與數值分析 167
　第一節　自動化監測系統運用說明 167
　第二節　松山線CG590A區段標自動化監測作業規劃 167
　第三節　自動化監測系統之功能 167
　第四節　自動化監測系統量測與分析 167

第八章　風險管理及運用 205
第一節　前言 205
第二節　捷運工程風險管理模式 205
第三節　捷運工程風險管理模式應用（以CG290施工標為例） 206
第四節　結論與建議 217
第九章　結語 219
第一節　大地工程設計與施工 219
第二節　施工機具、設備規劃 220
第三節　施工管理 220
第四節　施工材料 220
附錄 1　CG291子施工標全線土壤鑽孔柱狀圖 221
附錄 2　塔城公園地下停車場除樁防護地盤改良成果試驗報告 229
參考文獻 247
編撰小組成員 249
誌謝 251

圖目錄

圖1-1-1 工程範圍及地理位置圖 2
圖2-1-1 臺北盆地工程地質分區及捷運路網圖 5
圖2-1-2 工程範圍及地質概況圖 6
圖2-1-3 CG291 施工標地下水位及水壓分布圖 7
圖2-1-4 台北郵局（0820）觀測井地下水位變化觀測記錄及趨勢圖 7
圖2-2-1 CG291施工標松三層及景美層地下水位變化圖 8
圖2-4-1 NCEER最新修正之Seed et al.簡易經驗法（2001）分析流程圖 12
圖2-4-2 CG291施工標土壤液化潛能分析結果 13
圖3-1-1 CG291施工標路線範圍圖 15
圖3-1-2 北門站（G14）至中山站（G16/R14）間隧道各里程橫斷面圖（1） 17
圖3-1-3 北門站（G14）至中山站（G16/R14）間隧道各里程橫斷面圖（2） 18
圖3-1-4 G14站～天水路段里程0k+125～0k+280隧道平面線形圖 19
圖3-1-5 塔城公園地下停車場基礎結構分析模式圖 20
圖3-1-6 塔城公園地下停車場基樁荷重作用面及應力傳遞方式示意圖 21
圖3-1-7 關稅總局副樓潛盾隧道上方地質改良示意圖 22
圖3-2-1 隧道相對位置與先行隧道彎矩增量關係圖（A.M. Hefny, H.C. Chua, J. Zhao） 24
圖3-2-2 隧道淨間距與先行隧道彎矩增量關係圖（A.M. Hefny, H.C. Chua, J. Zhao） 25
圖3-2-3 隧道頂部土壓力隨淨距離變化圖（亞新公司） 26
圖3-2-4 隧道兩側土壓力隨淨距離變化圖（亞新公司） 26
圖3-3-1 設計方案一橫斷面示意圖 28
圖3-3-2 設計方案一環片配置圖 29
圖3-3-3 設計方案二橫斷面示意圖（一般近接路段） 29
圖3-3-4 設計方案二橫斷面示意圖（塔城公園與關稅總局副樓下方路段） 30
圖3-3-5 設計方案二環片配置圖 30
圖3-3-6 設計方案三橫斷面示意圖（G14站～天水路段） 31
圖3-3-7 設計方案三橫斷面示意圖（天水路段～G16站） 31
圖3-3-8 設計方案三環片配置圖 32
圖3-4-1 塔城公園地下停車場B2層基樁與隧道相對位置及地盤改良預定位置圖 36
圖3-4-2 塔城公園地下停車場切樁地盤改良灌漿剖面示意圖 37
圖3-5-1 CG291施工標No.2潛盾機剖面圖 39
圖3-5-2 CG291施工標No.2潛盾機後續台車剖面圖 40

圖3-5-3 CG291施工標No.2潛盾機探查及灌漿用管配置.....41
圖4-1-1 球狀石墨鑄鐵顯微照片.....43
圖4-1-2 一般鑄鐵與球墨鑄鐵應力-應變圖.....45
圖4-1-3 韌性試驗與轉脆溫度圖.....45
圖4-1-4 瓦斯鑄鐵管線平均腐蝕深度圖.....46
圖4-1-5 球墨鑄鐵環片之溫度與強度及延展性關係圖.....47
圖4-1-6 球墨鑄鐵環片於高溫冷卻後之材料強度表現及延展性能關係圖.....47
圖4-2-1 浪型環片剖面圖.....49
圖4-2-2 浪型環片結構圖.....50
圖4-2-3 浪型鑄鐵環片配置例圖.....51
圖4-2-4 鑄鐵環片接合螺栓示意圖.....52
圖4-2-5 鑄鐵環片與RC環片之接合示意圖.....52
圖4-2-6 鑄鐵環片AS接頭示意圖.....53
圖4-2-7 日本球墨鑄鐵環片設計使用兩道水膨脹止水條案例照片.....53
圖4-2-8 CG291施工標球墨鑄鐵環片使用兩道水膨脹止水條案例照片.....54
圖4-2-9 滾邊槽鋼配置詳圖.....55
圖4-2-10 日本球墨鑄鐵環片附掛槽鋼實績案例照片.....55
圖4-3-1 二維單環彈性支承分析模式.....57
圖4-3-2 日本〝隧道標準示方書（潛盾工法篇）・同解說〞之建議分析模式.....57
圖4-3-3 雙環彈性支承分析模式.....58
圖4-3-4 隧道環片設計流程圖.....64
圖4-4-1 日本球墨鑄鐵環片鑄造用木型照片.....71
圖4-4-2 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用木型製作照片.....71
圖4-4-3 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用上型模照片.....72
圖4-4-4 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用下型模照片.....72
圖4-4-5 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用上下型模側視照片.....73
圖4-4-6 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用木模進行耐火材塗布照片.....74
圖4-4-7 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用木模進行樹脂砂填充照片.....76
圖4-4-8 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用木模樹脂砂填充完成照片.....77
圖4-4-9 日本球墨鑄鐵環片造模照片.....77
圖4-4-10 日本球墨鑄鐵環片鐵水澆注照片照片.....78
圖4-4-11 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用砂模組裝固定作業照片.....79
圖4-4-12 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造用砂模進行鐵水灌注作業照片.....79
圖4-4-13 CG291標球墨鑄鐵環片鑄造完成之粗胚照片.....80
圖4-4-14 日本球墨鑄鐵環片粗胚機械加工照片.....81
圖4-4-15 CG291標球墨鑄鐵環片進行精密加工作業照片.....81
圖4-4-16 CG291標球墨鑄鐵環片精密加工完成照片.....82
圖4-4-17 CG291標球墨鑄鐵環片進行環氧樹脂漆噴塗作業照片.....82
圖4-4-18 日本球墨鑄鐵環片混凝土背填作業及面層鏝飾照片.....83
圖4-4-19 CG291標球墨鑄鐵環片噴塗完成後進行假組立作業照片.....83

圖4-4-20 CG291標球墨鑄鐵環片進行預拌混凝土背填作業照片 84
圖4-4-21 送達CG291工地之球墨鑄鐵環片成品照片 84
圖4-4-22 日本球墨鑄鐵環片組裝示意圖 85
圖4-4-23 CG291標球墨鑄鐵環片使用前檢查作業照片 86
圖4-4-24 CG291標球墨鑄鐵環片坑內吊掛作業照片 86
圖4-4-25 CG291標球墨鑄鐵環片坑內組裝作業照片 87
圖4-4-26 CG291標球墨鑄鐵環片組裝完成照片 87
圖5-1-1 原設計鑽掘隧道鄰近段地盤改良配置圖（1） 90
圖5-1-2 原設計鑽掘隧道鄰近段地盤改良配置圖（2） 91
圖5-1-3 原設計鑽掘隧道鄰近段地盤改良配置圖（3） 92
圖5-1-4 二次灌漿實際施工位置及土層分佈剖面圖（1） 93
圖5-1-5 二次灌漿實際施工位置及土層分佈剖面圖（2） 94
圖5-1-6 二次灌漿實際施工位置及土層分佈剖面圖（3） 95
圖5-1-7 塔城公園地下停車場基礎結構與潛盾隧道相對位置平面圖 96
圖5-1-8 BP1、BP2基樁與潛盾隧道相對位置剖面圖（1） 97
圖5-1-9 BP3、BP5基樁與潛盾隧道相對位置剖面圖（2） 98
圖5-1-10 塔城公園地下停車場B2F施工前現況圖（1） 99
圖5-1-11 塔城公園地下停車場B2F施工前現況圖（2） 100
圖5-1-12 二重管複相灌漿工法特性簡介（1） 103
圖5-1-13 二重管複相灌漿工法特性簡介（2） 104
圖5-1-14 塔城公園地下除樁地盤改良工程規劃概要圖 105
圖5-1-15 塔城公園地下除樁改良對象地盤與地層間關係圖 105
圖5-1-16 塔城公園地下停車場B2F地盤改良工法配置平面圖 106
圖5-1-17 JSG工法特徵示意圖 106
圖5-1-18 JSG工法鑽桿下端噴口特寫圖 107
圖5-1-19 JSG工法鑽桿橫剖面特寫圖 107
圖5-1-20 JSG工法施工流程示意圖 107
圖5-1-21 二重管雙環塞（DGI）工法鑽孔施工流程圖 108
圖5-1-22 二重管雙環塞（DGI）工法灌漿施工流程圖 108
圖5-2-1 隧道鄰近保護二次灌漿之機具配置圖 110
圖5-2-2 隧道鄰近保護二次灌漿孔位配置 110
圖5-2-3 塔城公園地下停車場高壓灌漿施作區域平面圖 115
圖5-2-4 塔城公園地下停車場地盤改良施工圖 116
圖5-2-5 JSG高壓噴射地盤改良工法施工流程圖 117
圖5-2-6 塔城公園地下停車場內JSG高壓噴射地盤改良工法特殊施工程序圖 118
圖5-2-7 二重管雙環塞地盤改良工法施工流程圖 119
圖5-2-8 塔城公園地下停車場內二重管雙環塞地盤改良工法特殊施工程序圖 120
圖5-2-9 二重管複相地盤改良工法施工流程圖 121
圖5-2-10 塔城公園地下停車場內二重管複相地盤改良工法特殊施工程序圖 122
圖5-3-1 現場透水試驗詳圖 123

圖6-1-1 塔城公園地下停車場基樁與潛盾隧道位置平面圖 125
圖6-2-1 塔城公園地下停車場地中除樁作業流程 126
圖6-2-2 開挖及基樁鑿除作業順序圖（BP1） 128
圖6-2-3 開挖及基樁鑿除作業順序圖（BP2） 128
圖6-2-4 開挖及基樁鑿除作業順序圖（BP3） 129
圖6-2-5 開挖及基樁鑿除作業順序圖（BP4） 129
圖6-2-6 作業步驟圖（BP5）-1 130
圖6-2-7 作業步驟圖（BP5）-2 131
圖6-2-8 作業步驟圖（BP5）-3 132
圖6-2-9 作業步驟圖（BP5）-4 133
圖6-2-10 作業步驟圖（BP5）-5 134
圖6-2-11 作業步驟圖（BP5）-6 135
圖6-2-12 作業步驟圖（BP5）-7 136
圖6-2-13 作業步驟圖（BP5）-8 137
圖6-2-14 作業步驟圖（BP5）-9 138
圖6-2-15 作業步驟圖（BP5）-10 139
圖6-2-16 作業步驟圖（BP5）-11 140
圖6-2-17 作業步驟圖（BP5）-12 141
圖6-2-18 作業步驟圖（BP5）-13 142
圖6-2-19 作業步驟圖（BP5）-14 143
圖6-2-20 作業步驟圖（BP5）-15 144
圖6-2-21 作業步驟圖（BP5）-16 145
圖6-2-22 作業步驟圖（BP5）-17 146
圖6-2-23 作業步驟圖（BP5）-18 147
圖6-2-24 潛盾機停機後對開挖面進行鑽探、試水作業 148
圖6-2-25 潛盾機停機後由機內進行補充灌漿作業 148
圖6-2-26 由盾首對基樁進行鑽探作業 149
圖6-2-27 土倉隔板閘門開啟 149
圖6-2-28 土倉內殘土清理作業 150
圖6-2-29 作業人員安全教育訓練 150
圖6-2-30 作業人員緊急避難及閘門關閉演練 151
圖6-2-31 改良體內留存之DGI灌漿外管 151
圖6-2-32 基樁實體近距離檢視 152
圖6-2-33 基樁實體清出並進行鋼筋位置標示 152
圖6-2-34 噴凝土施工人員佩戴防護器具 153
圖6-2-35 基樁周圍外露面以噴凝土遮護 153
圖6-2-36 基樁鑿除範圍外緣以手提鑽機洗孔 154
圖6-2-37 基樁洗孔取出之混凝土實體 154
圖6-2-38 基樁混凝土實體及鋼筋 155
圖6-2-39 基樁下半部鑿除作業 155

圖6-2-40 基樁下半部鑿除完畢後僅剩外側鋼筋保護層 156
圖6-2-41 土倉外側堆疊沙包擋牆 156
圖6-2-42 基樁下半部鑿空處進行低強度漿料回填 157
圖6-2-43 基樁下半部鑿空處進行低強度漿料回填 157
圖6-3-1 塔城公園地下停車場B2自動化監測系統平面配置圖 159
圖6-3-2 塔城公園地下停車場地下B2沉陷剖面圖（一） 162
圖6-3-3 塔城公園地下停車場地下B2沉陷剖面圖（二） 163
圖6-3-4 塔城公園地下停車場松三層水位變化圖 164
圖6-3-5 柱位BP6～BP1差異沉陷變化圖 164
圖6-3-6 柱位BP7～BP2差異沉陷變化圖 165
圖6-3-7 柱位BP8～BP3差異沉陷變化圖 165
圖7-3-1 自動化監測系統作業流程圖 181
圖7-3-2 CG590A標自動化監測系統軟體架構 182
圖7-4-1 CG590A 標環片自動化監測平面位置圖 183
圖7-4-2 RC及DC環片抗彎試驗分析結果 184
圖7-4-3 DC TL 474環片地層剖面及監測儀器配置圖 184
圖7-4-4 DC 474環片土壓力變化圖 185
圖7-4-5 DC 474環片水壓力變化圖 185
圖7-4-6 CG291標隧道段松三層水壓力變化圖 186
圖7-4-7 CG291標鄰標之景美層水位變化圖 186
圖7-4-8 DC 474環片組裝初期土壓力變化圖 187
圖7-4-10 DC 474環片於鄰近隧道施工前（2010/2/28 10:00）水壓分布圖 188
圖7-4-14 DC 474環片軸力及彎矩變化圖 190
圖7-4-15 DC 474環片於鄰近隧道施工期間應變變化及分布圖 191
圖7-4-16 DC 474環片於鄰近隧道施工期間彎矩、軸力變化及分布圖 191
圖7-4-17 DC 474環片於鄰近隧道施工前之修正慣用法回饋分析（實測值） 192
圖7-4-18 環片鬆弛土壓分析模式 193
圖7-4-19 DC474環片修正慣用法回饋分析（Terzaghi鬆弛土壓力及總覆土壓力） 193
圖7-4-20 DC S 521環片地層剖面及監測儀器配置圖 194
圖7-4-21 DC521環片土壓力變化圖 195
圖7-4-22 DC521環片水壓力變化圖 195
圖7-4-23 DC521環片裝設初期土壓力變化圖 196
圖7-4-24 DC 521環片於鄰近隧道施工前（2011/3/20 10:00）土/水壓分布圖 196
圖7-4-25 DC521環片於鄰近隧道施工前（2010/3/20 10:00）水壓分布圖 197
圖7-4-26 DC521環片於鄰近隧道施工期間土壓力變化圖 197
圖7-4-27 DC521環片於鄰近隧道施工期間土壓力分布圖 198
圖7-4-28 DC521環片於鄰近隧道施工期間水壓力變化圖 198
圖7-4-29 DC521環片軸力及彎矩變化圖 199
圖7-4-30 DC 521環片於鄰近隧道施工期間應變變化及分布 200
圖7-4-31 DC 521環片於鄰近隧道施工期間內應力變化及分布圖 200

圖7-4-32 RC TL 527環片地層剖面及監測儀器配置圖 201
圖7-4-33 RC 527環片土壓力變化圖 201
圖7-4-34 RC 527環片水壓力變化圖 202
圖7-4-35 RC 527環片於後行隧道通過10天後之水壓力分布圖 202
圖7-4-36 RC 527環片軸力及彎矩變化圖 203
圖8-2-1 風險管理過程圖 206
圖8-3-1 CG290施工標地理位置圖 207
圖8-3-2 台鐵/高鐵交會示意圖 207
圖8-3-3 專案小組風險管理檢討會議 208
圖8-3-4 FMEA風險評估執行圖 211
圖8-3-5 自動化監測系統架構 215

表目錄

表2-1-1 CG291施工標土壤分佈與一般物理性質綜合表 4
表2-3-1 常用土壤參數經驗公式 10
表2-3-2 土層簡化參數表（G16車站） 11
表2-3-3 土層簡化參數表（G15增設站-已取消，僅供參考） 11
表2-3-4 土層簡化參數表（潛盾隧道） 11
表3-2-1 鄰近隧道荷重酌增係數表 23
表3-3-1 設計方案綜整表 32
表3-3-2 設計方案特性比較表 33
表3-5-1 CG291施工標鑽掘隧道工程用潛盾機特殊性能需求表 38
表4-1-1 球墨鑄鐵與鋼材之物理性質比較表 44
表4-1-2 日本JIS標準5502（2001）「Spheroidal graphite iron castings」 44
表4-1-3 球墨鑄鐵環片與R.C.預鑄環片之性能諸元比較表 48
表4-1-4 球墨鑄鐵環片與鋼環片之性能諸元比較表 48
表4-2-1 球墨鑄鐵環片型式表 49
表4-3-1 鑄鐵環片襯砌型式基本資料一覽表 56
表4-3-2 潛盾隧道環片各載重類別細部分類一覽表 59
表5-2-1 鄰近保護二次灌漿施工參數表 109
表5-2-2 二次灌漿材料配比 110
表5-2-3 JSG工法使用機具設備一覽表 111
表5-2-4 二重管複相灌漿工法使用機具設備一覽表 111
表5-2-5 二重管雙環塞工法使用機具設備一覽表 112
表6-3-1 塔城公園地下停車場自動化監測儀器數量統計表 158
表6-3-2 監測頻率與監測管理值 158
表6-3-3 塔城公園地下停車場自動化桿式沉陷計差異沉陷分析 161
表7-2-1 松山線CG590A標自動化監測儀器數量綜整表 173
表7-4-1 CG291標環片自動監測儀器裝設編號及里程一覽表 174
表7-4-2 DC 474環鄰近隧道施工前（2011/2/28 10:00）土壓力分析 174
表7-4-3 DC環片內應力分析模式 175
表7-4-4 DC474環片於鄰近隧道施工前（2011/2/28 10:00）之內應力分析 175
表7-4-5 DC474環片於鄰近隧道施工中（2011/3/11 4:00）之內應力分析 176
表7-4-6 DC474環片於鄰近隧道施工後（2011/3/14 10:00）之內應力分析 176

表7-4-7 日本慣用計算法計算公式與參數 177
表7-4-8 DC474環片回饋分析參數（修正慣用計算法）一覽表.....178
表7-4-9 DC521環片於鄰近隧道施工前（2011/3/20 10:00）之內應力分析 179
表7-4-10 DC521環片於鄰近隧道施工中（2011/3/24 00:00）之內應力分析 179
表7-4-11 DC521環片於鄰近隧道施工後（2011/4/1 00:00）之內應力分析 180
表7-4-12 RC 527環片土壓力監測結果一覽表 180
表7-4-13 RC 527環片水壓力監測結果一覽表 180
表7-4-14 RC環片內應力分析模式 181
表8-3-1 風險嚴重度量表.....209
表8-3-2 風險頻率表.....210
表8-3-3 風險檢知度表 210
表8-3-4 風險矩陣表.....211
表8-3-5 風險辨識清單例.....212
表8-3-6 風險評估表.....214
表8-3-7 監測頻率規劃表.....216
表8-3-8 工作井監測管理值及監測頻率 216
表8-3-9 台高鐵隧道內自動化監測系統觀測頻率.....217