

# 桃園捷運綠線 GC01 標高架段 基礎工程設計及施工簡介

邱志晃 林同棪工程顧問股份有限公司 / 技術經理、大地技師  
張登貴 林同棪工程顧問股份有限公司 / 組長、大地技師  
鍾賢慶 大陸工程股份有限公司 / 設計經理  
郭國振 林同棪工程顧問股份有限公司 / 技術副理、大地技師

摘要

桃園市政府因應桃園地區之快速發展及民眾大眾運輸系統需求，配合空間布局規劃以「三心六線」發展桃園市軌道建設路網，六線中之捷運綠線區分為高架段及地下段，高架段由南往北共約15.3公里及11座車站，由大陸工程股份有限公司負責統包施工。路線通過之地層主要屬卵礫石層，地下水位亦甚高，高架橋梁及高架車站基礎型式設計採用樁基礎，基礎設計時先建立橋梁結構模型並以彈簧模擬群樁基礎，分析得到基礎作用力後再以變位法進行基樁設計及承載力檢核。基礎開挖部分主要為樁帽開挖，開挖深度以介於5.2~5.8公尺為主，最深約為8.2公尺，擋土開挖設計採鋼軌樁擋土配合型鋼內支撐。依據目前施工中支撐軸力監測結果，以目前設計使用之開挖支撐分析軟體初步回饋結果顯示，當適當考量卵礫石層之凝聚力，則支撐軸力之分析結果較接近監測數值。

## 一、桃園捷運綠線及 GC01 標 高架段簡介

## 1.1 桃園都會區軌道路網

桃園都會區都市發展核心區主要在桃園區及中壢區，另桃園機場南側近期亦快速發展，上述三區由北而南串聯形成倒C字形之帶狀城市發展區域，近年來由於人口成長及工商業迅速發展，都市區域道路交通問題逐漸受到重視。

依據桃園市政府軌道路網規劃，以「三心六線」做為發展主軸（圖1），其中「三心」為桃園、中壢、航空城三大都心，「六線」則為



圖 1 桃園地區軌道路網與捷運綠線圖

機場捷運、捷運綠線、中壢延伸線、捷運棕線、三鶯線延伸八德段，以及台鐵桃園段鐵路地下化工程，構築與台北市及新北市連結之「綠色運輸」交通路網，達到北北桃首都生活圈以及桃園市永續發展之目標。

## 1.2 桃園捷運綠線

因應桃園市人口快速成長與城市發展，桃園都會區大眾捷運系統於 1990 年代即開始規劃，其中捷運機場線已於 2017 年完工通車，捷運綠線則因符合都市空間發展及可配合結合其他交通建設期程，成為桃園市最優先推動之捷運路線，並於 2016 年 4 月經行政院核定，同年 11 月完成專案管理發包，高架及地下段工程則分別於 2018 年 7 月及 2019 年 7 月完成統包發包工作，捷運綠線完成後將可串聯桃園國際機場、高鐵、臺鐵及南崁長途客運轉運站等重大交通節點，構成路網並提升運輸效能。

桃園捷運綠線全長共 27.8 公里，共設 21 站，其中地下段約 12.5 公里、10 座車站，高架段約 12 公里、7 座車站，路線由南往北先以高架型式自八德區建德路開始（高架南段），經介壽路至建德路新闢道路後改為地下段，地下段沿介壽路往北經桃園火車站續沿中正路至國道 1 號，過國道 1 號後出土改採高架段（高架北段），高架路線轉至中正北路續往北行，至蘆興街跨越高鐵後，再沿南崁路二段、三民路二段轉坑菓路，最後與機場聯外捷運 A11 站銜接。

### 1.3 桃園捷運綠線 GC01 標

桃園捷運綠線 GC01 標之工程範圍為 1.2 節所述之高架段路線範圍，長度約為 12 公里，包含 G01、G02、G13、G13a、G14、G31 及 G32 共 7 座車站、跨河橋 2 座（茄苳溪、南崁溪）及進出機廠聯絡線（含機廠聯外道路），工程範圍如圖 2，本標高架段土建之統包工程由最有利標評選第一名之大陸工程負責施

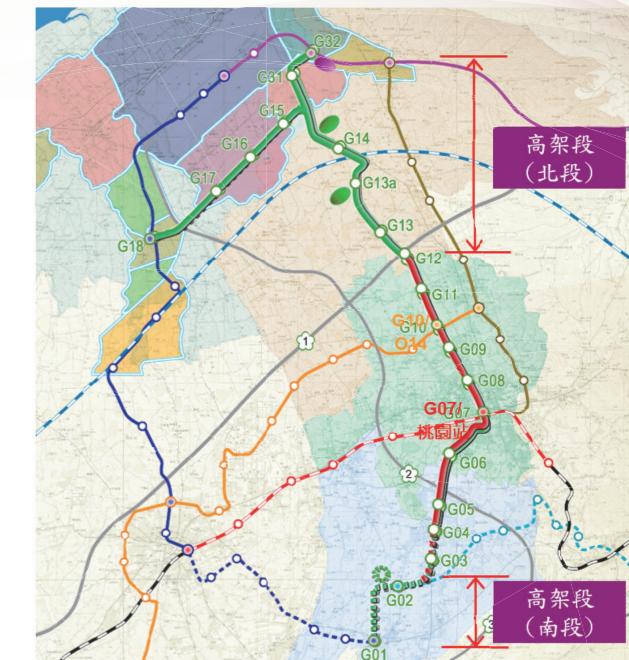


圖 2 桃捷綠線 GC01 標高架段工程範圍圖

工，並於 2018 年 10 月開工。

大陸工程為完成 GC01 標高架段土建統包工程，邀集美商同棪國際工程顧問股份有限公司及張樞建築師團隊等工程專業顧問公司擔任土建、機電及建築方面規劃設計工作，組成專業設計及施工團隊。

## 二、地形、地質與地下水位

2.1 地形

桃捷綠線 GC01 標之地形為臺地地形，臺地為桃園地區主要地形，面積佔桃園地區 50% 以上，桃園地區臺地早期為古石門溪等大型河川沖積及堆積而成之沖積扇，後來受造山運動地殼抬升影響而逐漸形成現今臺地地形，地形範圍東側大致以大漢溪及雪山山脈為界，西則延伸至至桃園及新竹間之海岸，高度則約由東南向西北遞降。本工程高架段南段之現地高程約由南端之 EL+147 m 往北漸降至 EL+137 m，北段現地高程則約由其南端之 EL+70 m 往北漸降至 EL+22 m。

桃園地區另一地形特色為埤塘密佈，埤塘

最早從清朝時期即開始興建，累積數量最多曾達一萬個以上，使桃園市素有「千塘鄉」之美稱。桃園地區埤塘成因與桃園地區地層及地形特性有關，因桃園地區表土主要為紅色或黃棕之黏性土壤，表土透水性低；此外，臺地地形則具有地面坡降特性，因此居民乃挖掘地勢較低處之表土層築堤圍阻後蓄水成埤作為灌溉水源。

## 2.2 地質

本工程及其鄰近範圍之區域地質主要為桃園層、沖積層、中壠層及店子湖層，區域地質詳圖 3，各層次之工程地層特性描述如下：

### (1) 店子湖層

店子湖層分布在平鎮臺地之北緣，四周與中壠臺地相接；店子湖層由礫石及紅土組成，礫石主要為砂質砂岩，部份為雜砂岩，礫徑從數公分至 1.5 公尺。

### (2) 中壠層

由礫石和上覆厚約一至二公尺之紅土組成。礫石主要為砂質砂岩，部分為雜砂岩，膠結及充填物為泥砂。紅土富砂質，呈紅色或黃棕色者，其為店子湖層之紅土受侵蝕後與後期泥砂混合後沉積而成。

### (3) 桃園層

由礫石及上覆紅土組成，主要分布於桃園

臺地，厚度自數公尺至 30 公尺不等。

### (4) 沖積層

主要由礫、砂及泥組成，依其地理分布及成因之不同，分為海岸沖積層及河川沖積層。

本工址鄰近之地質構造主要為東方之山腳斷層及南方之湖口斷層，山腳斷層為正移斷層，呈北北東走向並分南、北兩段，山腳斷層最近一次活動時間可能約在距今 1 萬年以前，故暫列為第二類活動斷層。湖口斷層受中壠層堆積物掩蓋，於地表無法觀察，但經由航照圖可看出湖口臺地北緣之斷層崖地形，另由湖口臺地地面的傾動與定年結果顯示，湖口斷層可能至少在距今 70,000 年內曾經活動過，故亦列為第二類活動斷層。上述兩斷層距本計畫路線較遠且皆屬於第二類活動斷層，因此無需考量近斷層效應等斷層影響。

## 2.3 補充地質鑽探調查成果

本高架段南段及北段路線長度共計約 15.3 公里，配合統包工程基礎分析及設計需求，統包工程初期即規劃進行 70 個鑽孔之補充地質調查工作，鑽孔深度以 35 公尺為主，少數鑽孔之深度為 20 公尺及 45 公尺，南北段代表性之鑽孔地層剖面如圖 4，地層分布由上而下則概述如下：



圖 3 區域地質圖

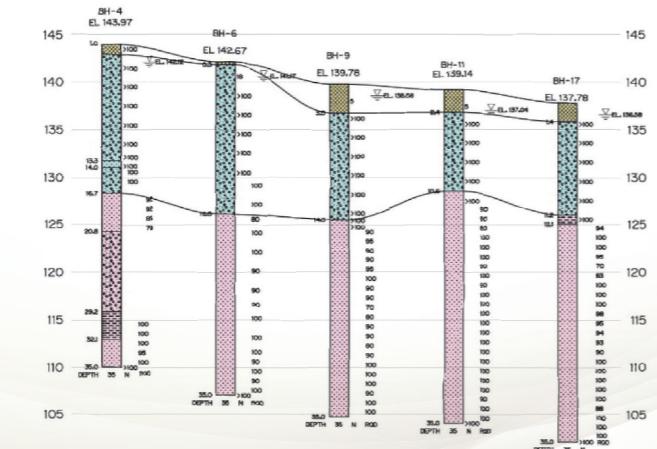


圖 4 南段代表性地層剖面圖

### (1) 回填層

本層次成分主要包含混凝土、柏油瀝青、回填卵礫石夾黃棕～棕灰色砂質粉土或夾黃棕～棕灰色粉質細砂、礫石、紅磚等。

### (2) 覆土層

本層次成分主要包含黃棕色粉質細砂或粉質砂土、黃棕色砂質粉土等砂性土壤，或紅土、棕褐～紅棕色粉質黏土等黏性土壤，厚度主要介於 1 ~ 3 公尺，本層次依所含土壤性質成分約可再區分為上、下兩次層，上層黏性土壤含量相對較高，N 值介於 4 ~ 12 下，下層則以砂性土壤含量相對較高，N 值介於 3 ~ 7 下。

### (3) 卵礫石層

本層次成分主要為卵礫石夾黃棕色、棕灰～灰色粉質細砂或砂質粉土、礫石，部分為卵礫石夾黃棕色粉質粘土，南段部分鑽孔有卵礫石層與岩層交互出現狀況，北段則部分鑽孔有間夾砂質粉土層或粉質細砂層或粉質粘土層或紅土等狀況。

### (4) 岩層

本層次主要為砂岩、泥質砂岩、泥岩、砂質泥岩、泥岩夾砂岩、砂岩夾泥岩，部分砂岩

偶夾礫石或礫岩。

本高架段工程南段與北段之地層層次相同，地層差異主要在於卵礫石層厚度，南段卵礫石厚度主要約介於 8 ~ 11 公尺，北段厚度則主要約介於 13 ~ 18 公尺，相對較厚。

## 2.4 地下水位概況

依據補充地質調查鑽孔 BH-4、BH-13、BH-21、BH-31、BH-48、BH-56 及 BH-64 埋設觀測井之水位觀測結果，地下水位分別約在地表下 2.4、1.9、3.6、5.6、5.2、5.2 及 1.7 公尺，由於地下水位主要位在地表下 3 ~ 5 公尺，僅 2 孔觀測井水位約位在地表下 2 公尺左右相對較高，故本工址設計時常時地下水位採較高之地表面下 2 公尺。

## 三、基礎工程設計及施工

本工程為桃捷綠線之高架段部分，工程內容除捷運站出入口之外，主要皆為高架橋梁及高架車站。依據業主需求書規定「高架橋及高架車站應使用深基礎…不得採用淺基礎…」，相關之深基礎基礎型式評估及設計方法等概述於本章節。

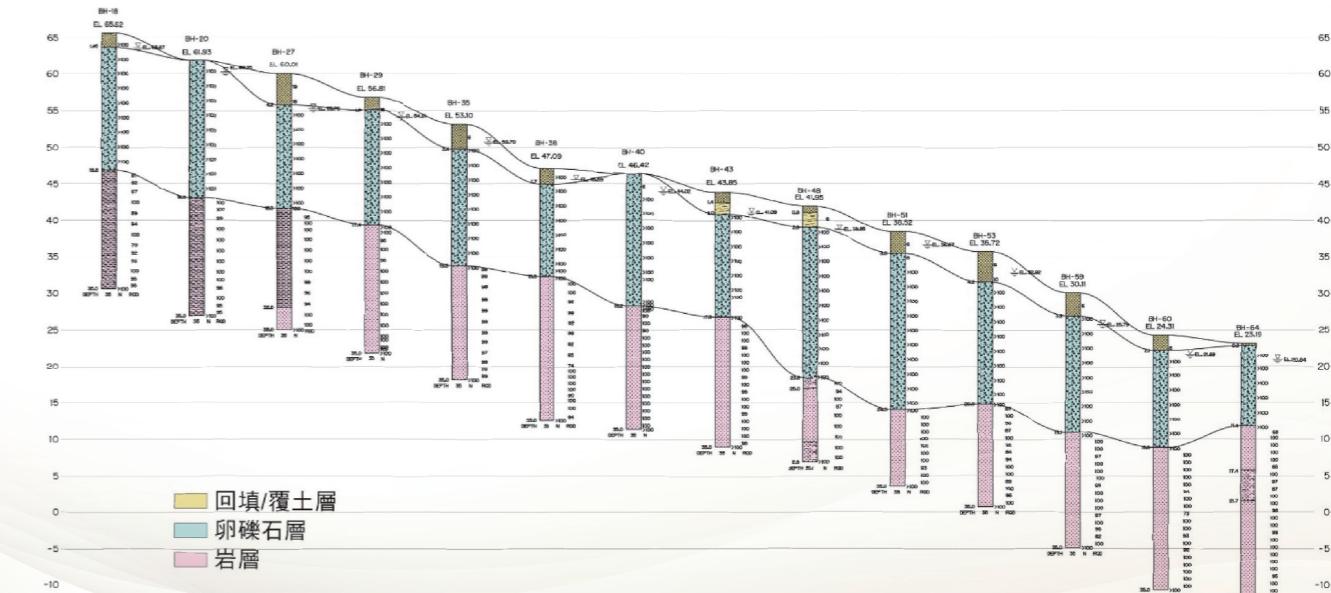


圖 5 北段代表性地層剖面圖

### 3.1 基礎型式選擇及施工法

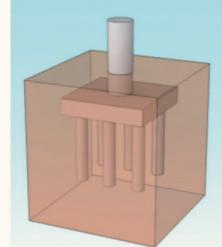
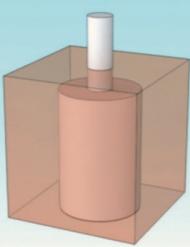
本標工程路線通過地層以卵礫石層及岩盤為主，覆土層厚度並不深厚，適用於卵礫石層等堅硬地盤之深基礎型式主要包括樁基礎及井式基礎，比較如表 1。

本工程地層條件雖然甚佳而提供井式基礎良好之承載力，但在地下水位高及卵礫石層透水性佳情況下採用井式基礎，施工期間除須長期大量抽降地下水外，井基挖掘周邊之地表沉陷亦較大，考量本工程路線主要行經桃園市區交通要道上且周邊鄰房密佈，可能造成周遭道路路面及建物沉陷影響；此外，本基地井基在高地下水因素影響下其風險亦高，加上施工工期較長，施工交維對交通影響較大，因此選擇施工相對單純、安全及迅速之樁基礎做為本工程之基礎型式。

### 3.2 橋梁設計理念

本工程經過桃園市區並跨越茄苳溪、南崁溪、地區水路以及台灣高速鐵路，考量車輛系統、路線設計、既有道路、橋下空間利用、地

表 1 基礎型式比較表

基礎型式	樁基礎	井式基礎
示意圖		
適合地形	平坦地、低路堤（塹）	平坦地、狹窄地、邊坡
基礎尺寸	面積較大	面積較小
施工空間	樁基有最小間距要求、全套管施工機具設備等需一定空間。	先開挖井筒再施作 RC 本體。
安全性	基樁施工無安全問題，樁帽開挖深度有限，整體安全性較高。	視地下水位及地層狀況，地層不佳仍有一定危險性。
地下水影響	基樁施工不受影響，樁帽開挖深度不大。	需抽降地下水至井基底開挖面，影響較大。
臨時擋土	樁帽開挖深度較淺，擋土開挖困難度低。	井筒開挖深度較深，支撐保護工須審慎評估，確保施工安全。
工期	短	長

形特性及生態環境景觀等要素，研擬適用之高架橋結構型式，並依跨徑長短及路段特性，區分為「一般跨徑橋」、「中長跨徑橋」及「特色景觀橋」。

#### (1) 一般跨徑橋

橋梁跨徑小於 50 公尺，配合不同環境需求規劃 U 型梁橋、預力箱型梁橋及鋼箱梁橋三種橋型，上部結構採簡支系統為主，下部結構則主要採圓形單柱式橋墩。

#### (2) 中長跨徑橋

跨距大於 50 公尺，針對跨越地區道路及水路之橋梁，橋梁形式為變斷面預力箱型梁或鋼箱梁橋，上部結構採多跨連續系統，於淨高受限處，橋墩可與上部結構以剛接接合以增加結構效率。

#### (3) 特色景觀橋

於跨越南崁溪處規劃設置景觀式蝶型鋼拱橋，除作為機場門戶意象外，亦可與南崁溪自行車道及往 G32 車站橋梁橋下空間串聯，創造優質觀光景點。

### 3.3 橋梁結構分析

本工程高架橋梁基礎工程分析設計前須先取得作用於基礎上之荷重，再依據基礎荷重檢核設計基樁及樁帽，倘設計之樁帽基礎或基樁有結構強度或承載力不足狀況，則需再檢討調整基礎尺寸並重新進行分析，相關之基礎工程設計及分析流程如圖 6 所示。

因作用於基礎上之荷重與結構分析方法及基礎彈簧設定有關，因此本節乃先針對高架橋梁結構分析方法等進行簡要說明。

#### (1) 基本設計條件

##### a. 設計載重

設計載重包括自重及附加載重等靜載重，活載重則包括電聯車載重、衝擊載重、離心力、列車縱橫向力、風力、地震力及差異沉陷

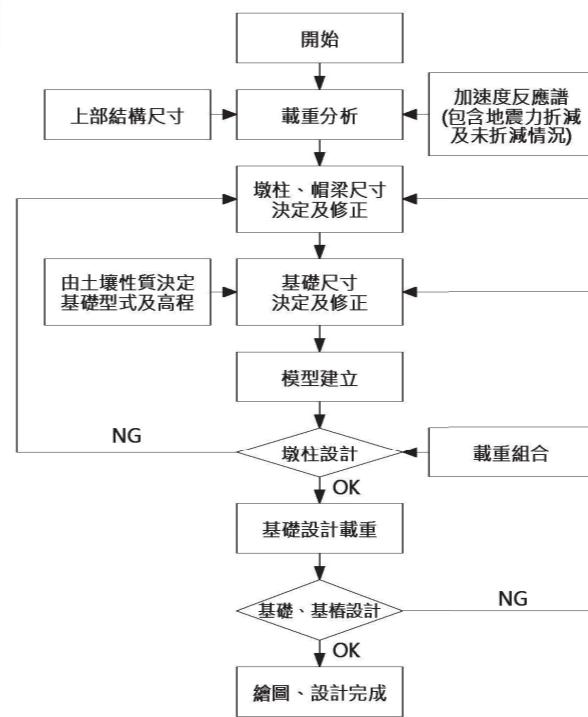


圖 6 基礎分析流程圖

等，其中地震力採多振態反應譜疊加法進行橋梁動力分析，考量之振態數量不少於跨度數之三倍，輸入設計地震力之反應譜以中小地震（30 年回歸期）、設計地震（475 年回歸期）及最大考量地震（2500 年回歸期）三者取最大進行分析。

#### b. 載重組合

依據業主需求書及設計規範，基礎之穩定及承載力需考慮常時載重、特殊（短期）載重、極限載重及沉陷量等四大項檢核及六大項載重組合，至於柱、樁帽及基樁之結構設計則採強度設計法並依據「鐵路橋梁設計規範」及「鐵路橋梁耐震設計規範」，檢核 9 種結構強度檢核之載重組合及 3 種變形檢核之載重組合。

#### (2) 分析工具及分析模型

本工程採用 MIDAS Civil 2011 有限元素法分析軟體進行高架橋梁結構分析，並依據橋梁特性、尺寸或基礎型式等之不同，將本工程之高架段切分為 70 個以上之單元進行分析，每分析單元包含至少一個跨距或數個跨距之橋梁段，分析

時依據單元高架橋結構型式及尺寸建構結構模型，建構範圍除分析單元之外，視橋梁結構型式，再往前及往後延伸適當數量跨距之結構模型。圖 7 為某單一橋墩單元之整體分析模型及節點編號，該單元建構之結構模型涵蓋前後兩單元在內共計 8 跨（9 墩）之橋梁結構。

#### (3) 基礎彈簧

於進行高架橋梁結構分析時，需於模型橋柱底部輸入代表基礎之彈簧勁度，包括三維方向上之位移及旋轉共計 6 個自由度之基礎彈簧勁度。本工程依高架橋梁之荷重規模設計採用群樁基礎，群樁基礎彈簧勁度則依據「日本道路協會 - 道路橋示方書・同解說」計算，群樁彈簧勁度由各單樁彈簧勁度累加而成，單樁垂直及水平向位彈簧勁度則分別以下列公式計算之：

$$K_v = \frac{\alpha_2 A_p E_p}{L} \quad (\text{單樁垂直向彈簧勁度}), \text{kN/m}$$

$$K_h = 4E_p I_p \beta^4 \quad (\text{單樁水平向彈簧勁度}), \text{kN/m}$$

其中

$$A_p : \text{單樁截面積}, \text{m}^2$$

$$E_p : \text{樁身彈性模數}, \text{kN/m}^2$$

$$I_p : \text{基樁慣性矩}, \text{m}^4$$

$$L : \text{樁長}, \text{m}$$

$$\beta : \text{基樁特徵值}, 1/\text{m}$$

$$\alpha_2 : \text{地盤反力係數推估用係數}$$

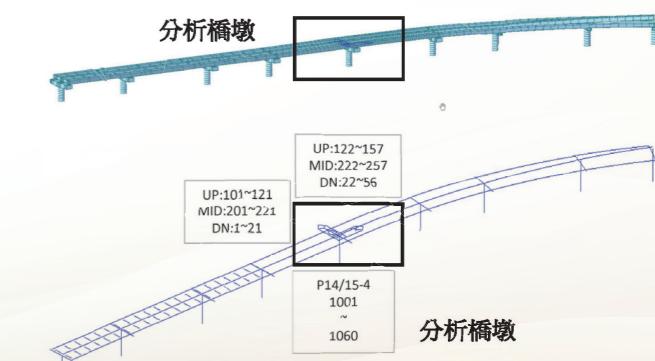


圖 7 橋梁結構分析模型示意圖

上述公式中之單樁垂直彈簧  $\alpha_2$  值依道路橋示方書之場鑄樁公式計算；水平彈簧之水平反力特性值  $\beta$  則由水平地盤反力係數及基樁彈性模數等計算而得；此外，因基樁設計中心距皆等於或大於 2.5 倍之樁徑，因此於計算群樁之垂直彈簧時不考慮群樁效應，但在計算群樁水平向彈簧時，則依據基樁間距及配置等，於計算水平地盤反力係數時進行群樁效應之折減。

### 3.4 橋梁基樁分析

完成高架橋結構分析後，即可得到高架橋墩柱作用於基礎（即樁帽頂）之垂直及彎矩等之基礎作用力，後續再依據基礎作用力進行各基樁荷重分配之計算、承載力檢核及樁體結構設計等，概述如下，惟基樁配筋等結構設計考量文章篇幅不做說明。

#### (1) 單樁力量分析

作用於群樁上之作用力除分析所得之高架橋梁作用力外，尚需考量樁帽荷重及樁帽上覆土重，其中樁帽荷重除自重外另外亦考量地震引致之額外荷重；此外，倘地下水位高於樁帽底部，則荷重計算時亦需考量地下水浮力作用於樁帽底部之影響。

累加上述高架橋梁及樁帽等作用力後，接續以變位法分析作用於各基樁之荷重，變位分析法主要有以下之假定：

- 樁帽為剛性且以群樁平面重心位置為旋轉中心。
- 基樁之受壓、受拉及彎曲變形屬於線彈性。
- 樁頭之垂直、水平及旋轉彈簧屬於線彈性。

依據變位分析法，垂直荷重及水平荷重係平均分配給各基樁，彎矩則因會對單樁產生垂直作用力，分析時則假設樁頭為剛接並依據各基樁之二次矩等參數，參照日本道路橋示方書之建議公式計算分配至各基樁，而有關變位分析法及彎矩作用力分配等公式因篇幅限制於本文章中不再重複摘錄。

#### (2) 基樁容許承載力

單樁容許承載力由極限承載力除以安全係數而得，並依下述公式計算：

$$Q_{ac} = \frac{Q_b}{FS_1} + \frac{Q_{sc}}{FS_2} - W'_p \quad (\text{下壓})$$

$$Q_{at} = \frac{Q_{st}}{FS_3} + W'_p \quad (\text{拉拔})$$

其中

$Q_b$ ：樁底端點極限承載力

$Q_{sc}$ ：樁周下壓極限摩擦阻力

$Q_{st}$ ：樁周拉拔極限摩擦阻力

$W'_p$ ：基樁浸水重

單樁極限垂直承載力包括樁周表面摩擦力及樁底承載力，因本工程基樁長度主要介於 20 ~ 30 公尺，最長則約達 38 公尺，基樁主要皆貫穿卵礫石層並貫入於岩盤中，因此承載力由卵礫石及岩盤提供，其中卵礫石層及岩盤之樁周下壓摩擦力採  $15 \text{ t/m}^2$ ，至於拉拔摩擦力則依據業主設計規範不得大於 70% 樁周下壓摩擦力之規定，以  $10.5 \text{ t/m}^2$  進行考量，至於樁底極限承載力則採  $375 \text{ t/m}^2$ 。基樁容許承載力之安全係數則依據設計規範，依表 2 計算之：

至於基樁承受側向力之容許承載力，考量基樁側向變位過大時將使基樁週邊土壤產生塑性變形，並於地震、風力等反覆載重作用下可能累積永久性之水平變位進而影響橋梁結構安全，因此有關基樁容許側向承載狀況係以樁頭變位進行限制，容許樁頭變位值如表 3 所示。

表 2 樁基礎受壓及拉拔設計採用之安全係數

項目	$FS_1$	$FS_2$	$FS_3$
當時	3	2	註 1
短期	2	1.5	2.5
極限	1.25	1.25	1.5

註 1：不允許拉力產生

表 3 樁基礎受側向力容許樁頭變位

基準	當時載重	短期載重	極限載重
樁頭側向變位	10 mm	15 mm	不落橋

### 3.5 基樁施工方法

國內常用之場鑄基樁施工方法包括全套管基樁及反循環基樁工法，依本基地特性比較如表 4。對於沖積地層且具一定數量之基樁工程而言，因施工費用、機具動員數量及施工速率等因素，反循環工法常為首選，然對本標工程而言，因地層主要為卵礫石層，反循環工法除需面對穩定液於流失問題外，施鑽過程中偶遇巨大卵石卡管耗費之障礙排除時間，亦可能使反循環基樁工法失去施工快速之優勢，故採用全套管基樁工法施工。

本工程基樁統一設計採用中等尺寸之 1.5 公尺群樁基礎，故不致有大口徑、長基樁之大量套管堆置空間問題，至於抓掘期間可能之土石掉落飛濺等汙染問題則設置遮蔽帆布加以預防。

### 四、基礎開挖工程

本工程因高架橋梁及車站之基礎型式皆為樁基礎，基礎開挖皆為樁帽開挖，基礎開挖工程相對單純；此外，文章撰寫過程中已有部分支撐軸力之監測結果，因此乃依據支撐軸力監測數值，嘗試針對卵礫石參數進行初步之回饋檢討。

#### 4.1 開挖擋土支撐工法

##### (1) 卵礫石層地層擋土工法

雖然都是卵礫石層地層，但在台灣不同區域之卵礫石層因性質差異與地下水位高低，其

表 4 基樁施工方法比較表

樁施工法	全套管基樁	反循環基樁
卵礫石層適用性	佳	不佳
優勢	1. 以鋼套管保護孔壁，施鑽時無孔壁崩塌問題。 2. 無須套管置放空間問題。 3. 無抓掘土壤飛濺汙染問題。	1. 施工時間可能較短。 2. 當樁徑較大及樁長較長時，需較大之套管置放空間。
缺點	1. 施工時間可能較長。 2. 當樁徑較大及樁長較長時，需較大之套管置放空間。 3. 抓掘時土石較易汙染至工區外。	1. 以穩定液保護孔壁，於施鑽卵礫石層時需克服穩定液流失問題。 2. 需設置循環水路及沉澱池，場配相對複雜。

基礎擋土開挖特性及注意事項也有差異，以不考慮山坡地階地堆積層卵礫石層情況下，台灣卵礫石層地層為主之地區包括林口、桃園及台中，其中台中地區卵礫石岩質堅硬，卵礫石間之填充料以砂性土壤為主；林口及桃園地區之卵礫石性質較相近且岩質不若台中地區卵礫石堅硬，部分卵礫石甚至可能因為風化因素等而容易破裂，卵礫石間填充料則以黏性土壤為主。

對斜坡明挖基礎開挖工程而言，林口及台中等地下水位較深之地區較為合適，但對於地下水位較高之桃園地區，當斜坡降挖深度超過地下水位時須配合抽降地下水，此時抽降水之控制即相當重要，當抽水規劃配置不當或暴雨等抽降水位不及時，地下水滲流穿越邊坡坡腳常造成土石掏刷崩落，甚至引發邊坡更大範圍之崩塌。

對開挖擋土支撐工程而言，卵礫石層地層淺開挖擋土措施一般優先選擇鋼軌樁，當深度較深而需較高勁度擋土樁時則採用 H 型鋼樁，惟型鋼樁常有不易貫入情形，此時可配合型鋼樁頭削尖強化及高壓水刀貫入或配合引孔，更深開挖則需配合更高勁度之擋土措施，在台中以人工擋土柱為主，桃園及林口地區則因為地下水等因素使人工擋土柱危險性相對較高較少採用而多採用排樁或連續壁。

##### (2) 本工程開挖擋土支撐工法

本工程基礎開挖主要為樁帽開挖，樁帽設計厚度以 2.5 公尺及 3 公尺為主，最厚則為 4.5 公尺；此外，依據業主需求書規定，樁帽上覆土厚度至少需 2.5 公尺，因此本工程基礎開挖深度主要為 5.2 ~ 5.3 公尺及 5.7 ~ 5.8 公尺，少數較深為 6.8 或 7.3 公尺左右，最深達 8.2 公尺。

基礎開挖尺寸部分，樁帽尺寸主要以  $5.95 \text{ m} \times 5.95 \text{ m}$  及  $5.95 \text{ m} \times 9.7 \text{ m}$  為主，部分較大尺寸為  $5.95 \text{ m} \times 13.45 \text{ m}$  及  $9.7 \text{ m} \times 13.45 \text{ m}$ ，相較於一般建築基地而言皆屬於小範圍之開挖。

因本工程路線主要位於交通要道上，為降低基礎開挖對道路及周圍鄰房之影響，擋土措

施皆採用鋼軌樁配合擋土板，擋土板除使用一般之木襯板之外亦搭配使用鋼板。支撐則採用型鋼內支撐，其中  $5.95\text{ m} \times 5.95\text{ m}$  及  $5.95\text{ m} \times 9.7\text{ m}$  尺寸樁帽開挖採用開挖面角隅斜撐，更寬尺寸之樁帽開挖則以加設水平向支撐處理。

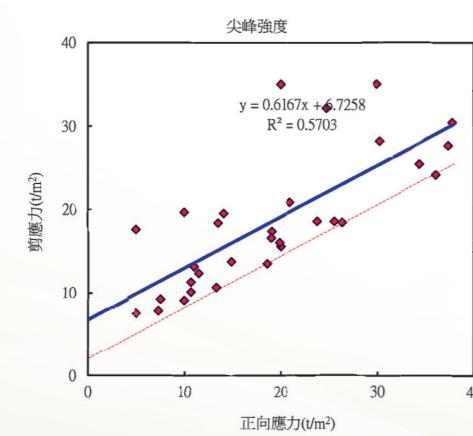
此外，由於樁帽深度範圍內之支撐皆會影響樁帽鋼筋綁紮，因此除開挖影響範圍內有保護建物外，皆設計採用一層支撐，支撐位置除需設置位於樁帽上方外，設計初期並反覆嘗試不同支撐深度位置與鋼軌樁受力之關係後，最終再決定支撐設置之深度。

## 4.2 卵礫石層強度參數與支撐軸力

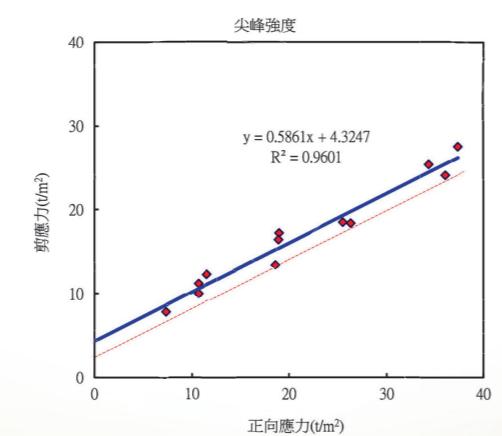
### (1) 桃園地區卵礫石層參數

卵礫石層凝聚力及摩擦角等強度參數可藉由室內試驗或現地試驗取得，惟室內試驗受限於需動用大型設備且所費不貲，參考資料極有限，而關於桃園地區卵礫石層剪力強度現地試驗，台灣世曦公司曾彙整褚炳麟等人於林口、龜山、南崁、中壢及桃園國際機場所進行之卵礫石現地直剪試驗結果整理如圖 8。

依試驗數值統計迴歸分析，其有效凝聚力為  $6.7\text{ t/m}^2$ 、有效摩擦角為  $31.7^\circ$ ；如僅挑選南崁及桃園國際機場等桃園地區之試驗，則迴歸所得之有效凝聚力為  $4.3\text{ t/m}^2$ 、有效摩擦角為



(a) 林口、龜山、南崁、中壢及桃園國際機場地區



(b) 南崁及桃園國際機場地區

註：摘錄自台灣世曦工程顧問股份有限公司(2014)，「桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線暨土地整合發展建設計畫先期調查分析暨基本設計 DU131 標地質調查成果報告」。

圖 8 卵礫石現地直剪尖峰強度圖

$30.5^\circ$ ，最終建議卵礫石層參數為有效凝聚力  $4.0\text{ t/m}^2$ 、有效摩擦角  $35^\circ$ 。

### (2) 卵礫石層強度參數與支撐軸力

本基地基礎開挖及擋土措施深度範圍內之地層主要為卵礫石層，其次為覆土層，覆土層及卵礫石層之強度參數皆會影響開挖分析結果，而為了解卵礫石層參數之影響，因此嘗試針對覆土層淺薄橋墩基礎開挖之卵礫石強度參數差異進行分析並與現地監測資料比較。

現場回饋之監測結果顯示地表沉陷點及土中傾度管之變化皆甚為微小，回饋分析之參考性不大，因此採用數值相對變化較大之支撐軸力進行開挖回饋分析。

#### a. 基本說明

基礎開挖回饋分析時之參數越多則回饋分析難度越高，本基地因擋土開挖皆在卵礫石層中進行，較無沖積層中砂、黏土互層等眾多參數回饋問題；此外，施工時將擋土壁內外之地下水抽降至開挖面下，因此回饋分析時亦無止水性擋土壁水壓力之水壓力設定問題，因此回饋分析參數相對單純，惟本分析仍有其限制，分析結果僅供初步參考，如第(3)點所述。

#### b. 監測結果

本參數分析對象為  $5.95\text{ m} \times 9.7\text{ m}$  尺寸樁

帽之開挖，開挖深度則包括  $5.2\text{ m}$  及  $5.8\text{ m}$  兩種，支撐則皆為一層 ( $H300 \times H300 \times 10 \times 15$ ) 並分別設置於深度  $1\text{ m}$  及  $1.5\text{ m}$  處，其中開挖  $5.2\text{ m}$  之支撐未施加預力，開挖  $5.8\text{ m}$  之支撐則施加 30 噸之預力。

依據監測結果，基礎深度  $5.2\text{ m}$  之樁帽基礎開挖完成時，支撐軸力約由 0 增加至  $13 \sim 14$  噸，基礎深度  $5.8\text{ m}$  之開挖則支撐軸力約由 30 噸增加至  $40 \sim 44$  噸，支撐軸力增幅約  $10 \sim 14$  噸。

#### c. 卵礫石參數分析

卵礫石層分析之參數包括有效凝聚力  $c'$  及有效摩擦角  $\phi'$ ，其中有效凝聚力以  $c' = 1, 2, 4\text{ t/m}^2$ 、有效摩擦角  $\phi'$  以  $31, 33, 35, 37$  及  $39^\circ$  進行分析，分析軟體採用 RIDO 4.0 版，依據上述不同卵礫石參數分析所得之支撐軸力如圖 9 所示。

圖中顯示，卵礫石層有效凝聚力  $1\text{ t/m}^2$ 、有效摩擦角  $31^\circ$  時，分析所得之支撐軸力高達 35 噸，當有效摩擦角提高至  $39^\circ$  時支撐軸力則減少約 9 噸達 26 噸；當有效凝聚力提高至  $2\text{ t/m}^2$  時，分析之支撐軸力皆有明顯下降，下降幅度介於  $17 \sim 15$  噸，此時有效摩擦角由  $31^\circ$  提高至  $39^\circ$  時支撐軸力僅降低約 2 噸；當有效凝聚力進一步提高至  $4\text{ t/m}^2$  時，雖然分析軸力相較於有效凝聚力  $2\text{ t/m}^2$  皆有再下降，惟下降幅度並不明顯，此外有效摩擦角之增加則對支撐軸力變化幾無影響，至於開挖深度  $5.8\text{ m}$  之分析亦有類似結果。

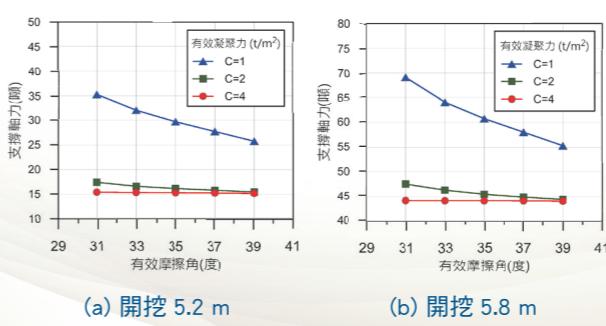


圖 9 卵礫石參數與支撐軸力分析值圖

圖 8 分析結果顯示，當有效凝聚力為  $1\text{ t/m}^2$  時，分析軸力明顯高於監測結果並有相當之差距，即使提高有效摩擦角至  $39^\circ$  亦如，而當有效凝聚力提高至  $2$  或  $4\text{ t/m}^2$  時，支撐軸力即相對較接近監測結果。

然由於現場屬於小面積基礎開挖，開挖分析時並無考量小開挖面積時卵礫石層土拱效應之影響；此外，採用之分析軟體不同亦可能有不同之分析結果，因此上述參數分析結果僅供初步參考且僅適用於本基地，實際之卵礫石層參數仍尚待更多不同開挖規模及深度基地之監測回饋資料進行進一步之研究。

## 五、結論

本工程主要為高架橋梁及高架車站之興建，墩柱基礎型式依設計規範採用深基礎，考量路線主要位於交通要道及人口密集區，為減少施工衝擊及影響，設計採用樁基礎，基礎樁帽開挖部分，雖開挖主要位於卵礫石層中且開挖深度有限，惟考量地下水因素、施工腹地及基礎開挖對道路及鄰房之影響，故設計採用鋼軌樁擋土配合支撐及抽降地下水進行開挖，而依現場支撐軸力監測值初步回饋分析結果顯示，適當考量卵礫石層之凝聚力，支撐軸力之分析結果較接近現場監測值。

## 參考資料

- 大陸工程股份有限公司(2018)，「桃園捷運綠線 GC01 標高架段土建統包工程服務建議書」。
- 日本道路協會(2012)，「道路橋示方書・同解說」。
- 日本鐵道綜合技術研究所(2012)，「日本鐵道構造物等設計標準・同解說 - 基礎構造物」，丸善株式會社。
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2014)，「桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線暨土地整合發展建設計畫先期調查分析暨基本設計 DU131 標地質調查成果報告」。
- 交通部(2004)，「鐵路橋梁設計規範」。
- 交通部(2007)，「鐵路橋梁耐震設計規範」。