

# 生命週期思維於捷運三鶯線基礎設計之應用

胡逸舟<sup>1,\*</sup>、李政安<sup>2</sup>、林建勳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>亞新工程顧問股份有限公司 <sup>2</sup>新北市政府捷運工程局 <sup>3</sup>榮工工程股份有限公司

## 摘要

面對日益複雜的都市環境，基礎工程設計施工所面臨的挑戰亦隨之擴大，不再只是單純的工程技術問題，而是要具備永續發展的理念，在工程技術以外，綜合考量工程對經濟、環境與社會等三個面向的衝擊及其後果。由於基礎工程深埋地底，在設計施工、營運維護及延壽規劃階段的生命週期，確實有工程技術難以克服的不確定性及風險。面對這些挑戰，大地工程師可以藉由生命週期思維的邏輯，釐清關鍵設計施工課題，提升基礎工程的決策水準，在設計施工階段融入「防範未然」的概念，儘可能將營運維護及延壽規劃兩階段可能面臨的課題納入考量，並導入建築資訊模型(BIM)建構工程的生命週期記錄。本文將以新北市捷運三鶯線高架橋基礎設計為例，說明藉由生命週期思維，站在永續發展的角度，進行基礎型式的選擇及設計規劃，提供有效率的方案決策。

**關鍵字：**生命週期思維、井式基礎、永續發展、BIM。

## Application of Life Cycle Thinking in Foundation Design of New Taipei City MRT Sanying Line

I-Chou Hu <sup>1,\*</sup>, Zheng-An Li <sup>2</sup>, Chien-Hsun Lin <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Moh and Associates, Inc. <sup>2</sup> New Taipei City Government <sup>3</sup> RSEA Engineering Corporation

## Abstract

Facing the increasingly complex urban environment, the challenge of foundation design and construction is no longer a simple engineering issue, but one that must be integrated with the concept of sustainable development. In addition to engineering technology, the impact and consequence of engineering on the economy, environment and society should also be comprehensively considered. As the foundation works are buried deep underground, there are indeed uncertainties and risks that engineering technology cannot overcome during the life cycle of design, construction, operation and maintenance, and life extension planning. Geotechnical engineers can use the logic of life cycle thinking to clarify key design and construction issues and improve the decision-making level of foundation engineering. At the design and construction stage, the consideration of prevention should be incorporated, and the issues that may be faced at the stages of operation, maintenance and life extension planning are taken into consideration as much as possible. Besides, Building Information Model (BIM) is imported to establish the record of the life cycle of the work. This article will take the foundation design of the New Taipei City MRT Sanying Line Viaduct as an example to illustrate the selection of foundation types and design planning from the perspective of sustainable development through life cycle thinking that leads to efficient decision-making.

**Key Words :** life cycle thinking, shaft foundation, sustainable development, BIM

## 一、前言

捷運三鶯線計畫路線起點銜接現有捷運板南線頂埔站，跨三峽河後，沿臺北大學特定區聯外道路，跨越國道三號及大漢溪至鶯歌區三鶯新生地聯外道路，沿鶯歌溪側、中山路、鶯桃路至福德一路止，全線採高架中運量系統，路線全長約為 14.29 公里，共設置十二座高架車站及一座機廠(圖一)，採用統包方式進行作業。

高架橋路線沿線跨越河川如橫溪、三峽河、大漢溪、鶯歌溪及兔子坑溪等，跨越重要運輸設施如國道三號高速公路及臺鐵縱貫線，穿越國立臺北大學校園，並與國道三號高速公路邊坡共線。除穿越國立臺北大學飛鷹廣場拱橋採用聯合基腳，橫溪跨越橋、三峽河跨越橋及部分高架車站採用群樁基礎外，其餘皆採用井式基礎，數量統計如表一所示。

捷運三鶯線沿線地層主要以卵礫石層或岩層為主，一般情形卵礫石層之抗剪強度及透水性高於土層，相對來說具有較佳的基礎承載力；礫石層下地層則為砂岩層或頁岩層。依本工程地盤調查成果，顯示沿線地下水甚為豐沛，整體來說在基礎開挖期間特別留意地下水對施工安全之影響(表二)。

本工程高架橋基礎有相當數量座落在既有道路上，穿越人口交通密集區域。如國道三號高速公路、臺鐵縱貫線鐵路、鶯歌橋等既有

重要結構物(圖二)。因此於基礎工程設計之初，便針對如此侷促的施工空間進行評估，選用適宜的橋墩基礎型式。另外，為維護施工安全與避免工程施工期間過度影響周遭交通流量及居民出入，也盡量限縮施工範圍，並妥善執行交通維持計畫。在這樣的施工條件下，可採用較小型施工機具施工的井式基礎便是一個安全經濟的選項，因此三鶯線高架橋基礎便以井式基礎為主。

表一 沿線高架橋基礎型式數量統計

基礎型式	位置	墩數
聯合基腳	穿越國立臺北大學飛鷹廣場拱橋	--
群樁基礎	橫溪跨越橋	2
	三峽河跨越橋 LB01、LB08至LB11車站(共5站)	29
井式基礎	國道三號高速公路跨越橋(共2處)、臺鐵縱貫線跨越橋(共2處)	403
	大漢溪跨越橋 LB02至LB07車站、LB12車站(共7站)、其餘高架橋	

表二 沿線礫石層與地下水水位分佈概況

路段	礫石層		地下水深度(m)
	深度(m)	平均厚度(m)	
LB01~LB02	約1~25	約22	約9~12
LB02~LB07	約2~22	約15	約5~10
LB07~LB11	約3~16	約10	約4~10
LB11~LB12	約2~29	約25	約4~9



圖一 捷運三鶯線計畫路線圖



(a) 墩柱基礎座落國道三號邊坡



(b) 墩柱基礎緊鄰臺鐵路與鶯歌橋

圖二 三鶯線沿線空間侷促之井式基礎施工  
(照片來源：新北捷運局網頁)

在基礎設計施工上面臨較高的不確定性與風險，因此需要選擇一個具有高度邏輯性的思維工具來處理這些課題。生命週期思維(life cycle thinking) 便具有這種特性，可以讓大地工程師抽絲剝繭，釐清工程關鍵並做出適當的決策(decision making)。將施工及未來的營運維修可能面臨的衝擊，如環境因素(地盤條件、自然災害、鄰近結構物)、人為因素(礙難執行、疏忽、故意防止)及規範標準(規範諧和、法規修定)，以及社會意識(寧靜生活，生態環境保護)等課題審慎地納入考量。

本工程在基本設計階段所規劃的高架橋基礎型式主要有井式基礎、樁基礎、壁式基礎等三類。於細部設計階段另外納入沉箱進行評估，經由生命週期思維的決策過程，最後決定將基礎型式簡化為井式基礎與樁基礎兩類。如

表一所示，除少數河川跨越橋及車站區段採用樁基礎外，路線高架段基礎以井式基礎為主，井式基礎總數超過四百座。

以下將以捷運三鶯線井式基礎為例，說明如何藉由生命週期思維，探尋井式基礎生命週期中各階段的可能風險及衝擊，透過各種設計手段防範未然的過程。

## 二、永續發展與生命週期思維

### 2.1 永續發展

永續發展 (Sustainable Development) 的概念可以追溯到上一個世紀，然而它廣為人知且被視為未來人類文明重要課題則是開始於1980年代。其中最具有代表性的里程碑就是1987年由聯合國世界環境與發展委員會(WCED)所發布的「我們共同的未來 (Our Common Future)」報告。在這份報告中首次正式提出了「永續發展」的定義，並將其描述為「既滿足當代需求，又不損害後代人滿足其需求的能力」的發展模式。這一個定義便成為後續的全球環境政策、經濟發展策略與社會發展規畫的基礎。

此後，永續發展便成為國際間討論和政策制定的核心議題，並在1992年的里約熱內盧地球高峰會 (Rio Earth Summit) 上進一步推動，促成了「21世紀議程 (Agenda 21)」等重要文件的制定，成為全球永續發展的重要指引。永續發展的概念強調在「滿足當代需求的同時，不損害未來世代滿足其需求的能力」的前提下，兼顧經濟發展、社會公平與環境保護之間的平衡，以確保人類與地球的長期共存。而「經濟」、「社會」與「環境」的永續性，正是永續發展的三個主要面向(dimensions)，或稱為「永續發展三支柱」，而這三個面向的共同作用，便構成了永續發展的核心理念。

### 2.2 生命週期思維

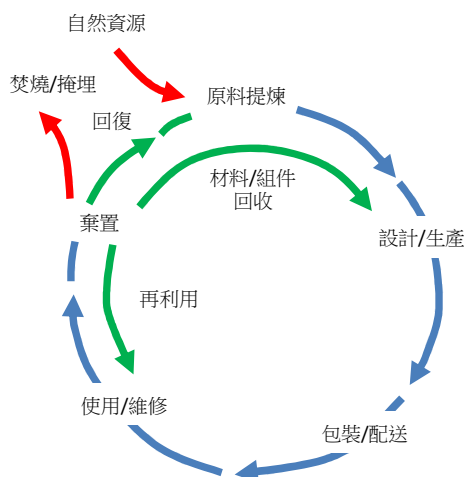
#### 2.2.1 生命週期

聯合國環境署 (United Nations Environment Programme, UNEP)對生命週

期倡議(Life Cycle Initiative)指出，生命週期思維是一種考慮產品和流程在其生命週期的每個階段對環境、經濟和社會影響(impact)與後果(consequence) 的思維方式，對於永續發展也是至關重要的，它可以將決策水準提升至一個更高的層次(UNEP, 2007, 2009)。也就是在決策過程中，更重視每個環節所產生的後果及衝擊，所以能從細節中理出對永續發展有利的方案。

生命週期的概念原本是針對一個產品從原料取得、生產、使用到最終處置整個過程。如圖三所示，從自然資源開採開始，經過原料提煉、設計生產、包裝配送、使用維修、棄置，到焚化或掩埋的最終處置等數個階段(stages)，就是一般所謂「從搖籃到墳墓」的過程(UNEP, 2007)。

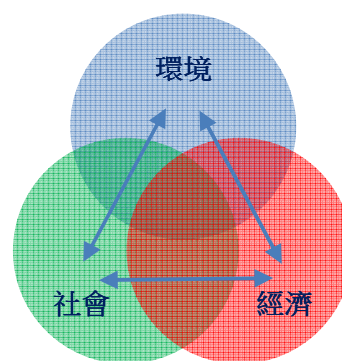
近年氣候變遷加劇，極端氣候頻仍出現，基於環境保護與永續觀念的倡導，如何保護地球以為當務之急。應該儘量節制對自然資源的開採，例如石油或礦物，並儘可能重複使用這些資源，發揮其最大的效益。因此期望在產品棄置後能被回復(recovery)、再利用(reuse)或者將產品上的零件或材料回收(recycling)後，重新進入原有生命週期或另一個產品的生命週期中。也就是說，生命週期中的各個階段均要思索如何減少對下一階段的衝擊，如此便能積少成多逐步減緩對整體地球環境的破壞。



圖三 生命週期概念圖(摘自UNEP, 2007)

### 2.2.2 生命週期思維

過往較著重一個產品整個生命過程的成本分析，之後由於對環境保護概念與社會意識的重視。近年來相關應用概念隨著永續課題廣泛受到重視，有關產品生命週期中環境考量與潛在環境衝擊也都納入考量。因此，一個產品的永續發展所要考慮的面向(dimensions)便包含了經濟、環境與社會三個面向，此三個面向並非獨立存在，而是彼此交互影響環環相扣，如圖四所示(UNEP, 2007)。



圖四 永續發展三面向(修改自UNEP, 2007)

## 三、基礎工程生命週期

與人類生命或者一項產品來比較，對工程而言，也有它的生命週期，巨觀上可以是整個工程從設計施工、營運維護到系統延壽規劃的生命週期，微觀上也可以是一個構件產品從原料製作使用到停用或再利用的生命週期(圖五)。



圖五 生命週期概念比較(摘自胡逸舟, 2021)

以高架捷運系統來說，高架橋的結構部分主要區分為基礎、墩柱與上部結構三大部分。相較於墩柱與上部結構，由於基礎大多埋設於地底下，因此在基礎工程生命週期的管理上，更著重工程本身的穩定耐久與風險管控。從設計與施工階段開始便要有詳盡的規劃，減少營運階段的維護成本，以及未來延壽規劃的可能性。整體來說，基礎工程生命週期有以下幾個特點：

1. 施工不可逆性：基礎工程一旦施工，通常很難再進行重大修改或更換。在設計和施工階段便需要十分謹慎，以免事後產生問題，更甚者需要重建。
2. 地盤不確定性：為確保基礎能在設計使用年限中提供符合規範的功能，須確實的掌握地盤條件符合原有設計假設條件。
3. 受上部結構影響：基礎的設計需考量上部結構的載重與變形需求，因此基礎設計年限至少須與上部結構的設計年限一致。
4. 維護困難且成本高：基礎通常埋設於地底，維護和檢查難度相對較大，成本也相對較高。一般而言，基礎設計時須考量完工後盡量避免或減少後期維護的需求。
5. 風險管理與資料庫：基礎需要承受長期的環境變化，如地盤條件與周邊區域的開發活動等，這些因素都可能影響基礎長期的穩定與耐久性。儘管基礎完工後通常很少進行檢查，但對於重要的結構（如捷運高架橋），仍應建立相關設計施工管理系統，有效管控各項影響基礎安全的風險因素。

6. 達使用年限的規劃：因為基礎設施埋設於地底下，當整體設施到達使用年限需要拆除、替換或延壽時，基礎的處理相對複雜。尤其拆除或替換時極可能影響周圍地盤和結構物安全，因此須透過對既有資料審視，仔細評估規劃處理方案以降低鄰近環境和結構的影響。

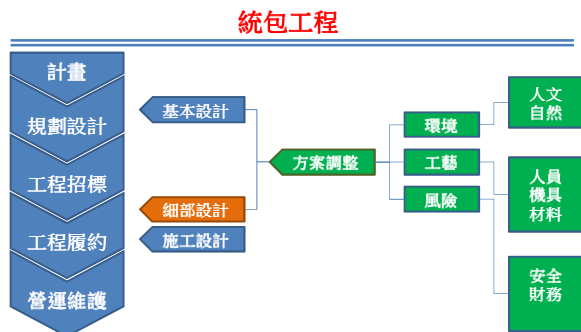
捷運三鶯線高架橋基礎有相當數量座落在既有道路上，穿越人口交通密集區域，在基礎設計施工上面臨較高的不確定性與風險，因此需要選擇一個具有高度邏輯性的思維工具來處理這些課題。生命週期思維便具有這種特性，可以讓大地工程師抽絲剝繭，釐清工程關鍵並做出適當的決策(decision making)。將施工及未來的營運維修可能面臨的衝擊，如環境因素(地盤條件、自然災害、鄰近結構物)、人為因素(礙難執行、疏忽、故意防止)及規範標準(規範諧和、法規修定)，以及社會意識(寧靜生活，生態環境保護)等課題審慎地納入考量。

捷運三鶯線採統包標的方式發包，與以往捷運工程較常見的先細部設計後再發包施工標的方式有所不同，尤其在土木工程上，更能個別廠商的技術特質。三鶯線基本設計成果提供統包商一個工程初步概念藍圖，然而工程環境並不是一成不變的，隨著科技進步、資訊透明、環保意識及永續觀念的發達成長，公共建設能否順利完成，所要面臨的課題不在只有工程技術本身，尚需要掌握從設計施工、營運維護甚至到延壽規劃整個生命週期中，該項工程建設可能面對的各項主、客觀課題，予以適當規劃處理。

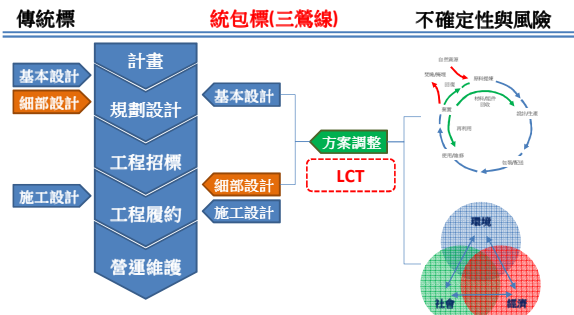
一般來說，在統包工程細部設計會根據當時的環境、工藝、風險等因素，對基本設計進行方案調整(圖六)，惟各個因素看似獨立卻又可能彼此牽連，這便需要一個分析計算技術以外的邏輯思考工具。在三鶯線基礎工程設計上，除了採用在以往捷運工程中常見的數值分析及風險評估等處理工具外，另外導入生命週期思維(Life Cycle Thinking, LCT)概念，以便更有邏輯的進行設計思考，增強方案調整的說服力(圖七)。

基礎工程可視為捷運系統中的一個構件，針對其個別生命週期來釐清關鍵課題。藉由生命週期思維可以看出，由於基礎工程深埋地底，在營運維護及延壽規劃階段具有維修改善「極為不易」的特性，因此設計施工階段便要依賴過往技術經驗，對可能面臨的功能及安全情況進行分析，儘可能掌握各種風險。

對捷運三鶯線而言，路線通過人口交通密集區域，在施工空間相當侷限情況下，除考量結構安全外，也要將施工安全納入設計考量。針對這種特殊的基礎工程條件，在設計施工上，制定了「3R原則」，期能施工快速(Rapid)減少對鄰近環境的干擾；施工步驟重複(Repeatable)提升作業熟練度及工作安全；材料再利用(Reusable)避免環境衝擊。



圖六 統包工程細部設計方案調整架構

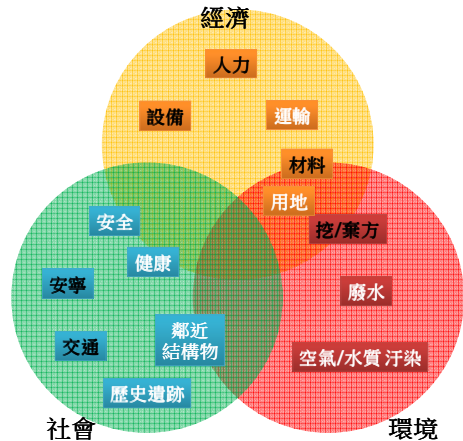


圖七 三鶯線統包工程細部設計LCT方案調整架構

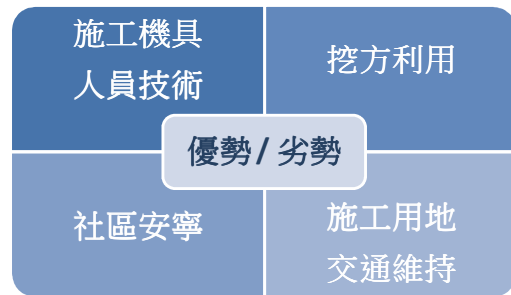
### 3.1 基礎型式選擇

藉由生命週期思維，考量環境、社會、經濟三個面向，整理出機具取得、人員技術、挖方利用、社區安寧、施工用地及交通維持等六個衝擊評估課題，進行基礎型式優劣勢分析，作為基礎選擇的參考依據。

藉由生命週期思維，考量環境、社會、經濟三個面向，設計與施工團隊進行開放式討論，整理出機具取得、人員技術、挖方利用、社區安寧、施工用地及交通維持等六個衝擊評估課題，採用全距為10分之相對比分方式，進行基礎型式優劣勢分析，作為基礎選擇的參考依據(圖八)。



(a) 基礎型式選擇三面向



(b) 優劣勢比較

圖八 基礎型式選擇三面向與優劣勢比較

LB01車站及尾軌段、鶯歌溪跨越橋、兔子坑溪跨越橋，原基本設計階段規劃採用壁式基礎。由於從基本設計完成至細部設計工作開始之初，工程環境及其他客觀條件已有所改變。設計與施工團隊藉由生命週期思維的評估方式，針對壁式基礎與井式基礎，以及壁式基礎與群樁基礎分別進行評估。評估結果將LB01車站基礎由壁式基礎改為群樁基礎，而尾軌段、鶯歌溪跨越橋、兔子坑溪跨越橋等基礎，則由壁式基礎改為井式基礎，基本設計初步方案與細部設計調整方案分別如圖九與圖十所示。

以鄰近鶯歌車站的墩柱編號P08-09之基礎選用為例，該墩柱位於鶯歌溪右岸，緊鄰營運繁忙的臺鐵縱貫線鐵路及當地交通要道的鶯歌溪橋(民國七十二年改建完成)，基本設計階段規劃用壁式基礎，徵收兩幢民宅土地作為墩柱基礎用地，施工空間相當狹小(圖十一)。細部設計階段綜合考量上述六個評估課題，進行井式基礎與壁式基礎的優劣勢比較分析

後，決定改採用井式基礎(圖十二)。

### 3.2 設計條件確認

儘管三鶯線沿線地層主要以卵礫石層與岩層為主，一般來說地層分佈變化不大，然而為確認各墩柱基礎範圍內之地盤狀況滿足設計假設，規劃於基礎施工期間，採鑽探及挖掘探測方式逐墩進行評估。

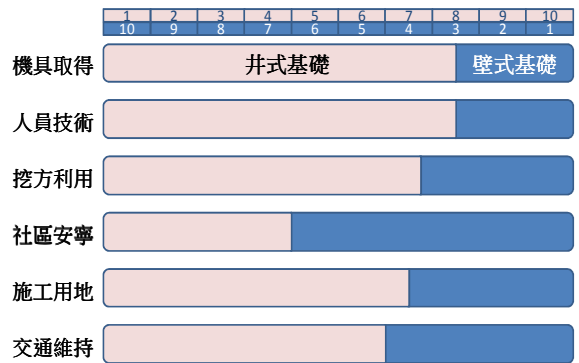
以本工程井式基礎為例，設計工作包含永久基礎結構與擋土支撐臨時結構兩大部分。兩種結構的分析模型與考量重點有所不同。

#### 3.2.1 永久基礎結構

永久結構分析時基礎頂部載重，來自上部結構所受之各種載重組合，傳遞至墩柱底部，作用於基礎頂部。作用力的組合分別須滿足穩定與墩柱底部變形需求，共計有52種載重組合。結構分析模型綜合參考日本道路協會(2012)與內政部(2001)有關如沉箱之柱狀體基礎之模型，並採用SAP2000軟體進行數值分析，相關模型如圖十三所示。

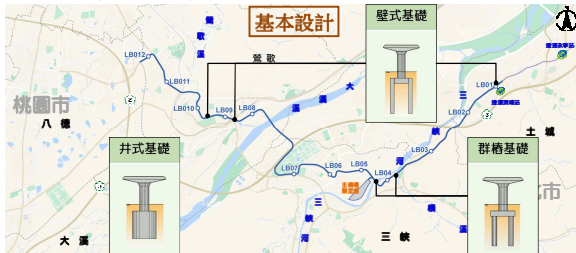


圖十一 高架橋基礎施工空間狹小



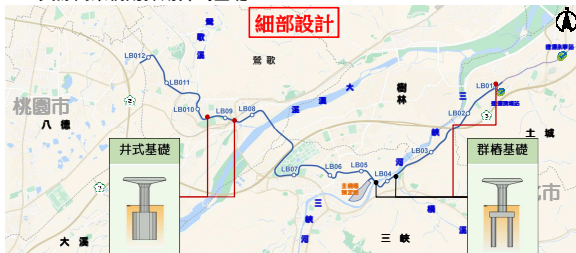
圖十二 基礎型式優弱勢分析(摘自胡逸舟, 2021)

- 橫溪、三峽河跨越橋，採群樁基礎
- LB01車站及尾軌段、鶯歌溪跨越橋、兔子坑溪跨越橋，採壁式基礎
- 其餘高架橋則採用井式基礎

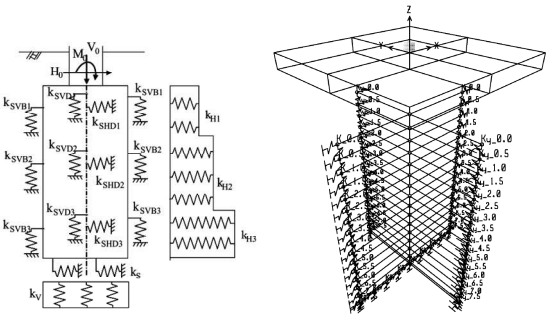


圖九 墩柱基礎型式-基本設計初步方案

- 橫溪、三峽河跨越橋、LB01車站，採群樁基礎
- LB01尾軌段、鶯歌溪跨越橋、兔子坑溪跨越橋，改採井式基礎
- 其餘高架橋則採用井式基礎



圖十 墩柱基礎型式-細部設計調整方案



結構分析模式

SAP2000 分析模型

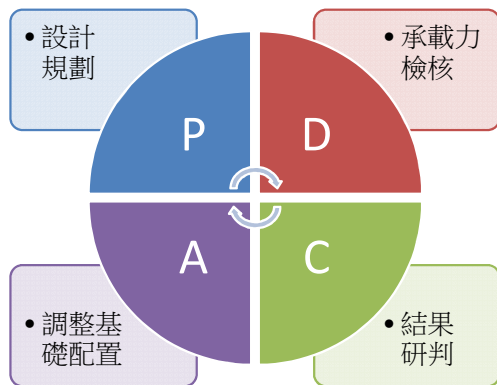
圖十三 井式基礎結構

以本工程井式基礎為例，統包團隊藉用戴明循環(Deming Cycle, 或稱PDCA循環)的概念進行滾動式設計(圖十四)。於基礎開始施工前必須事先規劃基礎承載力的評估流程及允收條件，並確認參與本項工作的所有單位，包括專案管理、監造、設計及施工等單位，均接受與瞭解基進行基礎承載力確認流程中的所有細節。三鶯線井式基礎採用標準貫入試驗貫入值(SPT-N)作為判斷地層是否符合假設條

件的依據。現地調查人員詳實記錄試驗結果，經駐地專業技師研判後，轉交設計單位進行比對，作為是否須調整基礎設計之依據。此外，當基礎開挖發現不明地下障礙物時，亦須適時回報設計單位進行評估，必要時將進行基礎配置調整。

基礎承载力確認之標準貫入試驗執行方式如下：

1. 標準貫入試驗間隔為2m，其深度應不小於基礎設計底面下方6m。
2. 上述步驟1.中任一次N值小於50時，需每2m進行一次標準貫入試驗至符合(1)連續4次N值大於50；或(2)共計施作8次
3. 每次試驗，錘擊數若貫入2.5cm超過50下，或貫入30cm超過100下即可停止試驗。



圖十四 滾動式設計 (摘自胡逸舟, 2021)

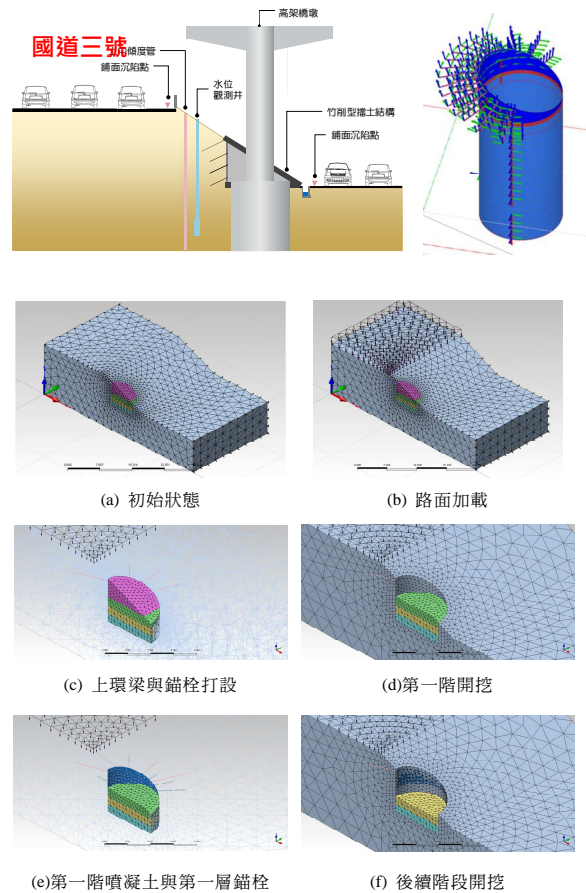
### 3.2.2 擋土支撐臨時結構

擋土支撐結構則以掛網噴漿為擋土壁與桁型鋼肋為支撐之組合，施工步驟由地表往下逐階開挖支撐至基礎預定深度。設計重點在於除了土、水壓力外，尚須能反映基坑挖掘時因施工偏差以致基坑斷面並非真圓的事實，以免因高估地層的自力支撐能力，而低估支撐系統的強度與勁度。以掛網噴漿之厚度設計為例，因掛網噴漿工法本身的限制，並無法確保基坑斷面為真圓的條件。針對這個無可避免的施工偏差，本工程採用額外增加擋土壁變形的處理，變形量為基坑半徑的1%。由於基坑挖

掘速度相當快速，為確保噴凝土強度能符合逐階快速挖掘的支撐強度需求，事先特別針對噴凝土進行多組配比試驗，以選擇最適合現地環境與施工進度之配比，原則上須能滿足設計所需的”24小時強度”要求。

### 3.2.3 竹削式擋土支撐之三維有限元素分析

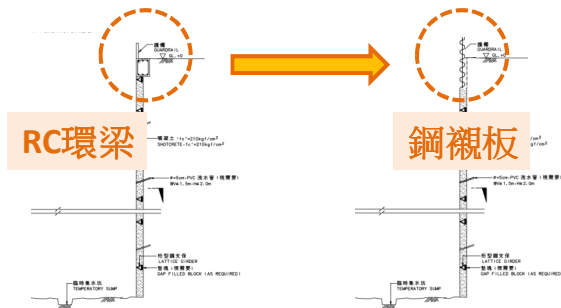
考量開挖施工對國道三號高速公路營運安全之影響甚為關鍵，慎重起見採用三維有限元素分析(3D-FEM)，評估在基礎開挖期間可能的高速公路路堤變位量、噴凝土壁所承受的應力變化、以及岩栓的受力狀況，並據以訂定施工中各項監測儀器如地面沉陷點、土層傾度管、水位觀測井等之監測頻率及監測管理值。各階段開挖保護步驟為(1)初始狀態；(2)路面加載；(3)上環梁與錨栓打設；(4)各階段開挖；(5)各階噴凝土與各層錨栓；(6)重複(4)及(5)步驟至開挖至基礎底部(圖十五)。



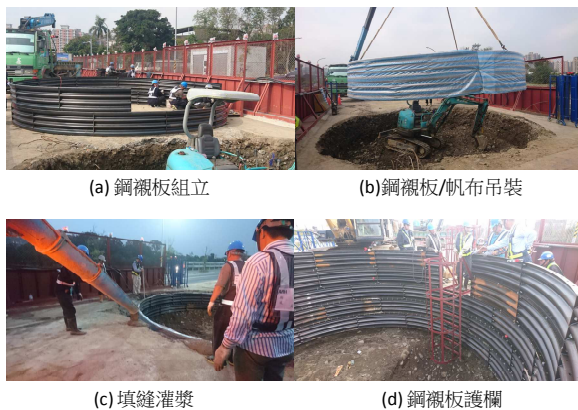
圖十五 井基開挖擋土3D-FEM模擬(竹削工法)

### 3.3 施工安全與效率

由於井式基礎數量龐大，為避免耽誤工程，須仔細規劃施工程序，在維護施工安全的基礎上提升施工效率，尤其是通過人口交通密集區域的路段。本工程之井式基礎開挖擋土措施，基坑內壁採用掛網噴漿方式進行保護，基坑開口段的穩定工法，一般可採用鋼襯板或者鋼筋混凝土(RC)環梁兩種方式。以生命週期思維三面向來綜合評估施工所造成得衝擊。以井基開口段保護為例，本工程採用鋼襯板作為保護措施，鋼襯板可以重覆使用，具施工效率高、低噪音、低空氣污染的優點。相對而言，RC環梁施工比較耗時，當井基施工完成後又需進行破碎移除，產生空氣污染及噪音擾鄰，破碎廢料亦須運棄，產生營建廢棄物造成環境衝擊。此外為確保施工人員安全，避免發生墜落意外，會在開口周圍設置安全圍籬，本工程採用延伸鋼襯板之方式作安全圍欄，不僅施工方便且封閉性更佳(圖十六、圖十七)。



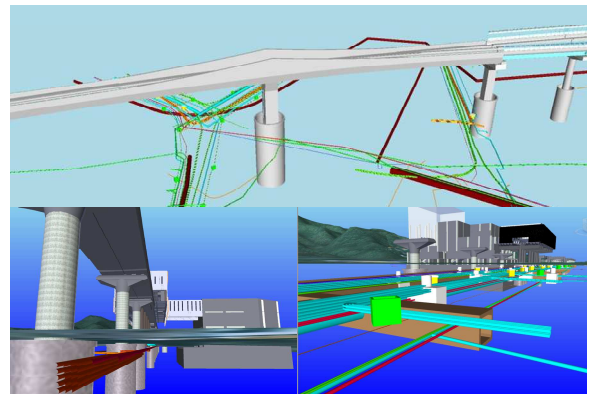
圖十六 RC環梁與鋼襯板(摘自胡逸舟，2021)



圖十七 鋼襯板施工步驟

## 四、基礎工程生命週期記錄

利用建築資訊模型 (Building Information Model, BIM) 將設計、施工過程及成果予以資訊化、圖像化，可作為各工程參與單位統一的溝通平台(康思敏等，2014)。對基礎工程而言，除地層及地下水分布狀況外，地下管線及設施也一直都是基礎設計施工重要的課題。本工程將三鶯線捷運沿線的地質調查成果(例如，鑽孔柱狀圖)、各種地下管線及設施調查成果、基礎設計施工資訊納入BIM模型資料庫中。並應用BIM資訊化及圖像化的特點，隨時掌握各地下工程項目彼此衝突的狀況，擬定合宜的處置措施。此外，經由記錄本工程的設計施工成果，將來也可以作為營運維修以及延壽規劃之參考(圖十八)。



圖十八 捷運三鶯線基礎及地下設施BIM模型(例)

## 四、結論

在日異複雜的工程環境中，環境永續發展概念是作為現代工程師所需具備的基本條件，透過生命週期思考正可以使工程師在處理重要工程課題時，可以更鉅細靡遺的掌握整個工程從設計施工到營運延壽各階段決策過程要點。現代工程師所要面對的課題，已遠遠超過工程安全及成本的問題，尚且需要將環境保護及社會衝擊兩個課題納入考量。

對大地工程而言，由於基礎工程具有維修

改善「極為不易」的特性，生命週期思維恰好可以提供一個選擇基礎型式的決策思考邏輯，能有系統的釐清重要課題及其後續影響，在工程安全風險之外，權衡經濟、環境與社會三個面向的利害均衡，將工程所面臨的環境因素、人為因素、規範標準以及社會意識等課題納入考量審慎評估，選擇合適的基礎型式及施工方法，使工程得以順利開展執行。

基礎工程深埋地底，一旦完工後便難以再進行檢修，基於此種工程特性，詳實的設計施工記錄便更顯重要。BIM具備的資訊化及圖像化優點，可以將工程本身及其他工程的記錄與資訊予以整合，不僅提供一個工程資訊溝通的平台，更能完備工程生命週期記錄。

三鶯線座落於國道三號邊坡高架橋樁井式基礎之設計，係國內首例須配合未來拓寬規劃於營運中高速公路邊坡進行井式基礎施工之個案。井式基礎開挖設計工作係根據國道三號竣工資料及現況測量成果，建立3D-FEM模型，就井式基礎施工之影響進行分析，藉以了解整個開挖過程對國道三號路堤穩定性及性能之影響程度。

規劃井式基礎施工時開挖採用竹削工法，保護措施包含二階段環梁、噴凝土、土釘及祛水等，嚴格限制開挖施工程序，並配置監測儀器，掌握施工狀況，避免影響國道三號之正常營運。

高架橋基礎型式之選擇與現況地形、地層條件、水文條件、上部結構載重、機具動員及施工用地取得等主客觀因素息息相關。本工程採用之高架橋基礎型式包含有井式基礎、群樁基礎及聯合基腳等三種型式，其中以井式基礎的數量最多，共計403墩。對捷運三鶯線而言，井式基礎多數座落於人口交通密集區域，在施工空間相當有限的條件下，可預見的是基礎開挖將是井式基礎施工最大的風險來源。在設計安全考量上，為確認各墩柱基礎範圍內之地盤狀況滿足設計假設，規劃於基礎施工期間，採鑽探及挖掘探測方式逐墩進行評估。另外，也針對這種特殊的基礎工程條件，在施工管理概念上，制定了「3R原則」，期望能施工快速(Rapid)減少對鄰近環境的干擾；施工

步驟重複(Repeatable)提升作業熟練度及工作安全；材料再利用(Reusable)避免環境衝擊。

## 致謝

本工程榮獲社團法人中華民國大地工程學會 112 年度「大地工程傑出工程獎」。承蒙新北市政府捷運工程局、榮工工程股份有限公司與亞新工程顧問股份有限公司之支持，本論文得以順利發表，特此致謝。

## 參考文獻

- 胡逸舟 (2021), 「全生命週期概念於井式基礎設計之應用-以三鶯線為例」, 新北捷運五年有成-施工技術及經驗發表會, 新北市政府捷運工程局。
- 康思敏、莫仁維、曾雅愉 (2014), 「BIM於建物全生命週期各階段之導入與應用」, 中國土木水利工程學會會刊, 第四十一卷第三期, 頁35-41。
- 內政部 (2001), 「建築物基礎構造設計規範」
- 日本道路協會 (2012), 斜面上の深礎基礎設計施工便覽, ISBN: 978-4-88950-270-1.
- UNEP (2007). "Life Cycle Management-A Business Guide to Sustainability." ISBN: 978-92-807-2772-2.
- UNEP (2009). "Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products." ISBN: 978-92-807-3021-0.