



日字型邊區逆打工法於 都會地區深開挖營建工程之應用

莊坤諺／泛亞工程建設股份有限公司 協理
林高禾／泛亞工程建設股份有限公司 土木技師、結構技師
黃明慧／圓方結構工程技師事務所 主持技師、結構技師
陳英森／泛亞工程建設股份有限公司 副總
曾惠斌／國立臺灣大學土木工程學系 教授

現今都會地區地狹人稠，各式建築結構物林立，為了增進有限土地使用率，於都市計畫區域土地，建築案偏向興建高樓層建物，以利最佳化樓地板面積使用效率，最大化土地使用效能；並採用地下深開挖工法，穩固基礎結構，增設停車空間，以舒緩都市停車位缺乏等情事。

有鑑於此，營建工程施工區域常比鄰既有建築物，為免於施工過程損及鄰房，並確保建築如期、如質、如度完工；對此，工區安全穩定、施工動線暢通，儼然為地下結構支撐系統選擇的關鍵課題^[1]；然因應營造產業大環境缺工缺料等情事，如何將營建資源耗損最小化、效率最佳化及產能最大化，儼然成為「建築工程成敗」的關鍵課題。

本案為解決現有問題，透過不斷檢討優化，並經臺北市信義區某巨額營建深開挖工程作為實際案例驗證，確保結構安全穩定及施工動線順暢前提，承襲逆打工法精神，應用「循環經濟」(Circular Economy)、「精實營建」(Lean construction)等科技新知要領，突破其傳統逆打工法技術限制，改善環境對勞工身體危害因子；並透過「資源整合」(Resource integration)及「資源拉平」(Resource Leveling)等營建管理技巧，最大化專案工程，人、機、料等資源效能；最終創造本案兼具安全穩定、動線暢通及營建價值之「日字型邊區逆打工法」。

本案成功運用「日字型邊區逆打工法」^[2]，創造分區循環施工要件，縮短整體工期，促使營建施工系統最佳化，達成價值工程願景最大化。

前言

地下結構體施工方法眾多，自早期明挖工法為主，隨著時代推進，建築物興建高度增加，地下結構物量體亦需增大，施工難度隨之提升，為克服之，擋土支撐系統逐漸產生。

根據行政院勞動部的統計資料顯示：「營造業屬重大職災風險發生率較高之行業，每年發生重大職災案件約佔全產業之一半」；另按職業安全衛生署訂頒「營造工程施工風險評估技術指引解說手冊」，擋土支撐作業屬高風險作業之一，倘若擋土系統失敗，將造成作

業勞工生命危害，對業主財物與名譽損失；因此於風險評量矩陣定義，為重大危害之高度風險項目，屬不可接受之風險，應優先考量妥適設計，選擇安全工法因應，並提高營建資源（人、機、料等）使用效率，創造價值工程最大產能，為業界長久企盼。

建築工程地下結構體工法技術發展

現今都會地區地狹人稠，建築案偏向興建高樓層建物，增加樓地板面積，並設置多層地下空間，作為防空避難及停車空間用途，最大化單一土地使用空間；

於都會地區，傳統習知地下工法，主要分為「順打工法」及「逆打工法」，相關工法工序說明^[1]，及其擋土支撐原理，詳述如下：

順打工法 (Bottom-Up)

順打工法 (Bottom Up) 為傳統由上至下順序，分層進行「土方開挖，並架設臨時型鋼安全支撐」等循環作業，直至開挖至建築物設計深度（大於等於地下結構物量體）；再由下至上的方式，逐層興建建築物結構體，並逐層拆除支撐結構。順打工法支撐結構係為臨時性鋼構，由垂直立柱（中間樁）、水平撐梁（型鋼）、支撐橫擋（圍令）、角撐（型鋼）及其他附屬鋼製鐵件之組合，其支撐外力主要來自液壓式千斤頂，運用帕斯卡原理 (Pascal's principle)，透過水平撐梁將力量傳遞至圍令，以抵抗擋土側主動土壓力，惟其缺點為：自千斤頂至圍令間，力量傳遞過程損耗大，且採點加壓方式傳遞效率低落，為達相同成效，僅能增加支撐系統結構量體，致影響地下結構物興建作業空間。

逆打工法 (Top-Down)

逆打工法 (Top-Down) 係於擋土壁體施築過程，先行預埋基礎結構物，並將其延伸至基地一樓平面高層，用以支撐、傳遞施工過程垂直向應力載重，以達建築物地上、地下層結構體，可同時施工的特性，相較於順打工法支撐系統，逆打工法係透過預留取土、吊料開口，分層進行地下土方開挖運棄，並階段性施作地下結構體，用以提供擋土壁體側向外力，取代順打工法臨時性鋼支撐系統，其工法缺點為下部結構作業空間侷限、機具施工動線不良、地下結構體要徑工項推展不易，且其通風排氣效率低，營建粉塵廢氣不易排除，造成勞動作業者身體健康危害，致使相關作業工種尋募不易，延宕整體地下基礎建置工期，使地下工程開挖風險因子長時存在。

日字型邊區逆打工法

日字型邊區複合式擋土支撐結構系統原理

本案例分享「日字型邊區逆打工法」(圖1)^[2]，除承襲傳統逆打工法，運用部分永久性建築物結構體，取代傳統臨時支撐系統之精神，更進一步，創造其獨特之「複合式擋土支撐結構系統」。傳統逆打工法－連續壁擋土支撐系統，多搭配扶壁及地中壁單元，於開

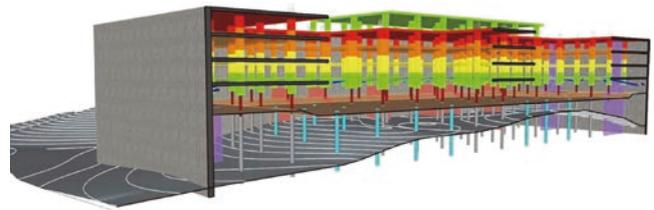


圖1 日字型邊區複合式擋土支撐結構系統剖面圖資

挖擋土過程，加強連續壁結構體勁度，抵抗非開挖區土水側向壓力，但往往於開挖過程結束，構築逆打樓板過程，即隨著施築高層，將扶壁及地中壁單元敲除運棄，產生大量營建廢棄物，不甚經濟。

本案例檢討傳統配置原理，並加以優化改良，將地中壁系統翻轉90°，將地下壁體單元，轉換為1~2個跨度樓板系統，連接對頂建物兩側連續壁體，另透過環狀邊區逆打樓板，將工區配置為「日」字型結構支撐系統。

相較傳統地下結構工法優勢之處

「日字型邊區逆打工法」其規劃配置方法較為多元，可配合擋土側邊界條件及施工載重，調整其鋼筋配置量及樓板厚度，已達相同側向支撐效果；另就結構層面，相較於傳統順打工法－鋼構造臨時支撐結構，除可降低施工風險性，及提高施工空間利用率外，邊區樓板結構系統有較高的結構靜不定度，具應力傳遞效率較佳及韌性容量較大等優點。

工區採用日字型系統配置(圖2)，可將基地平面水平向之南、北、中三區進行施工；並透過複數個循環施工臨時通道，連結各層邊區樓板，創造地下結構體垂直向車行動線，提高施工機具載運效能；更突破傳統逆打工法：僅能由特定臨時開口，進行土方挖運及材料運輸等限制，創造分區循環施工要件，提高施工便利性，縮短整體要徑工期，以達最佳化營建施工系統。

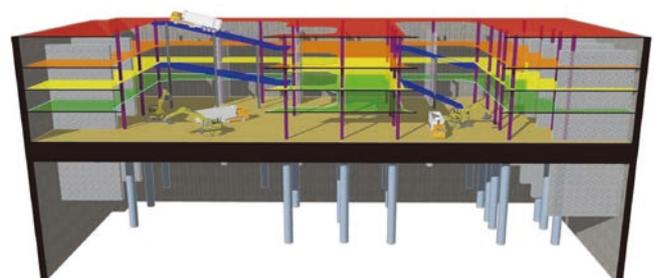


圖2 日字型邊區逆打作業模擬圖資

日字型邊區逆打工法實例驗證

本案例係選定臺北市信義區某巨額採購整體開發計畫案，透過案例工址空拍照圖資（圖 3）可見，工址環境符合都會地區典型案例，工區四周皆屬第三種住宅區，既有社區建物林立，多為屋齡 30 年以上之 5 層以下建築物。



圖 3 案例工址模擬及空拍照圖資

工區環評限制—關鍵課題

考量前揭整體開發計畫，對現行社區衝擊龐大，案經「環評審查，都市審議」程序，邀集專家學者、民間團體及在地居民達成協議，為降低工程對空汙、噪音及交通等環境衝擊影響；本開發計畫設計準則，將以「綠地保留」及「以屋就樹」（圖 4）為主軸^[3]，保有原社區街道紋理；另配合共同開幕之期程目標，同筆地號土地南側捷運工程，同時與本建築工程並行施工，爰基地南側相關通路屬捷運工程使用；全案為減緩交通衝擊，經環評協議，所有工程車輛僅能從基地西側之大道路通行；有鑑於此，選擇「工區安全穩定、施工動線暢通」營建配置系統^[2]，即為本案地下結構體支撐系統選擇之關鍵課題。



圖 4 案例標的物無人機空拍照圖資

全生命週期階段：BIM 模型建置

本案例於規畫設計階段，透過工程統包需求書所載之建築量體規模，建置 BIM 模型；透過應用 4D BIM 動態模擬技術，將施工時程視覺化，估算連續壁單元完成進度（圖 5），模擬邊區逆打版面施工動線（圖 6），剖析案例標的物地下結構體工序（圖 7），以達有效管理地下結構體工程個階段里程碑。

本案應用 BIM 模型深化檢討全生命週期里程碑之重要節點工項，如：規劃階段—施工車輛動線模擬，結構階段—鋼筋搭接模擬及逆打鋼柱介面衝突，至機電及裝修階段—機具設備進場模擬（圖 8）等，透過 BIM 模型現場施工視覺化應用，事先檢討工區動線配置，實踐快捷工法（Fast Track）效益。

本案透過「日字型邊區系統配置」，實際將工區分為南、北兩側大面積取土口配置（圖 9），解決下部結構作業空間侷限、機具施工動線不良及通風排氣效率低落等限制，將工區動線配置最佳化，將環評限制衝擊最小化^[2]。

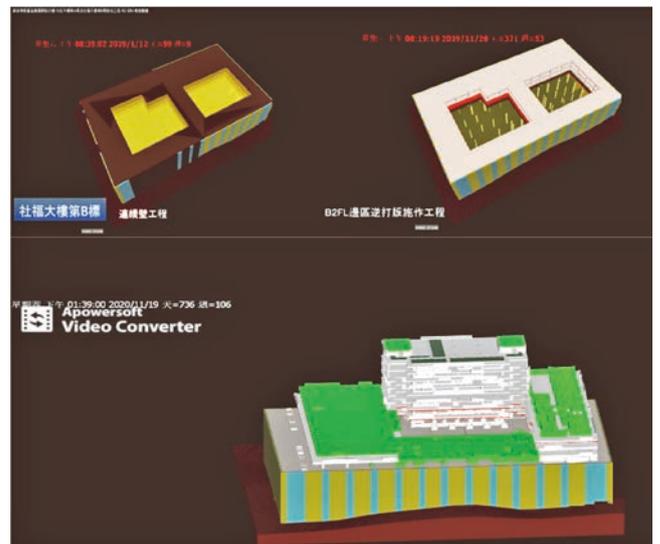


圖 5 地下結構體 4D BIM 模型圖資



圖 6 邊區逆打版面施工動線模擬圖資

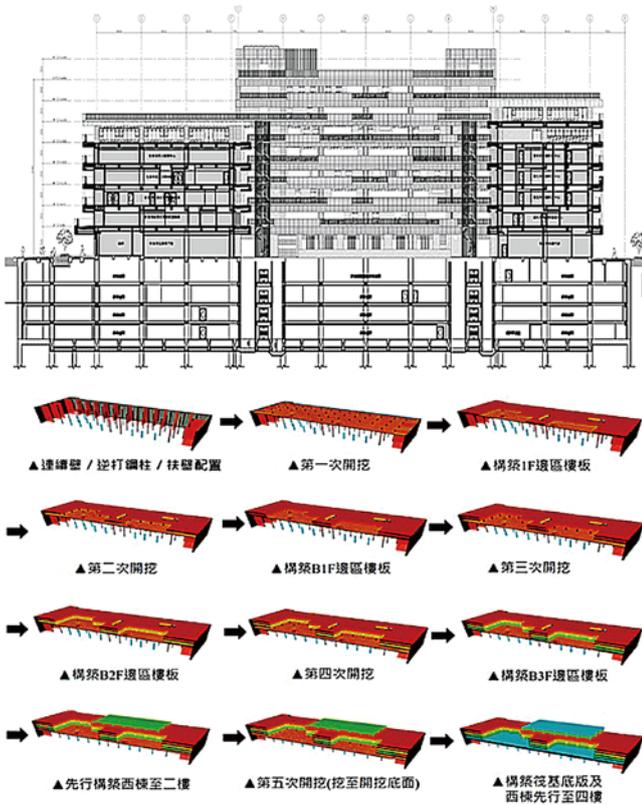


圖 7 模擬案例標的物地下結構體工序圖資

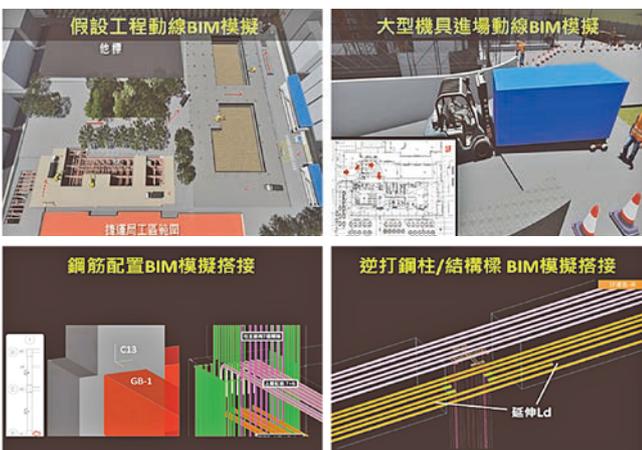


圖 8 BIM 深度應用於各階段工程圖資

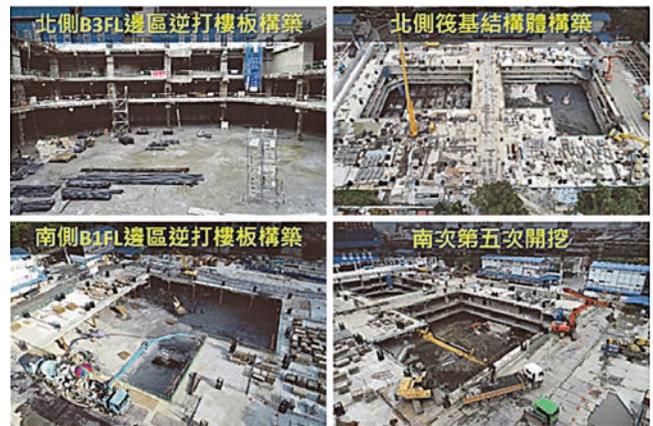
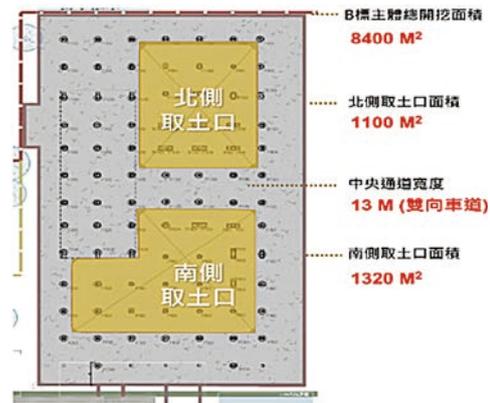


圖 9 基地動線配置及實際分區循環施工圖資

營建新知應用—循環精實營建

循環經濟 (Circular Economy)

本案邊區樓板單元為永久性之鋼筋混凝土結構物，施工期間，可作為各地下層側向支撐、車行動線及施工平台使用；工程完竣，即作為建築物室內、外樓板結構體。本工法承襲傳統逆打工法精神，利用部分建築物結構體，取代傳統營建假設工程之臨時支撐系統（如：型鋼支撐系統、環梁撐牆系統等），可避免日後拆除運棄，降低營建廢棄物產量，提升營建材料循環利用率，透過節能永續性綠建築設計（Sustainable Design）理念，減少工程碳排放量，落實營建資源循環經濟（Circular Economy）效益，提升營造產業價值，邁向淨零碳排目標。

精實營建 (Lean Construction)

本專案起始階段，選擇「日字型邊區逆打工法」初衷，係運用「精實營建」(Lean Construction) 之「確保需求向下傳遞 (Ensure Requirements Flow down)」等理念作為基礎；擴充納入「末位計畫者系統」(Last Planner System) 原則，翻轉傳統營建管理模式一由上而下的推

式管理 (Push Planning) 系統；改為由下而上的拉式管理 (Pull Planning) 系統，運用第一性原理思維模式，回溯產業技術工法窒礙因素，將營建產業基層團隊所需資源及遭遇困境作為直接依據，於工程規劃設計階段，回饋計畫推動者，優化施工方法，以達創造 IPD (Integrated Project Delivery) 價值工程最大產能。

規劃設計階段，「精實營建」：專注價值生成概念選擇 (Focus on Concept Selection) 等概念，以價值流為中心，運用 BIM、TORSa 及 ETABS 等專業軟體參數化模型技術方法，最小化營建資源浪費，致力於工程建設交付過程，最大化實現顧客價值理想。

首先，透過專案地質鑽探報告，檢討基地岩盤深度走向高程 (圖 10) [4]，規劃各區塊基樁結構實際設置

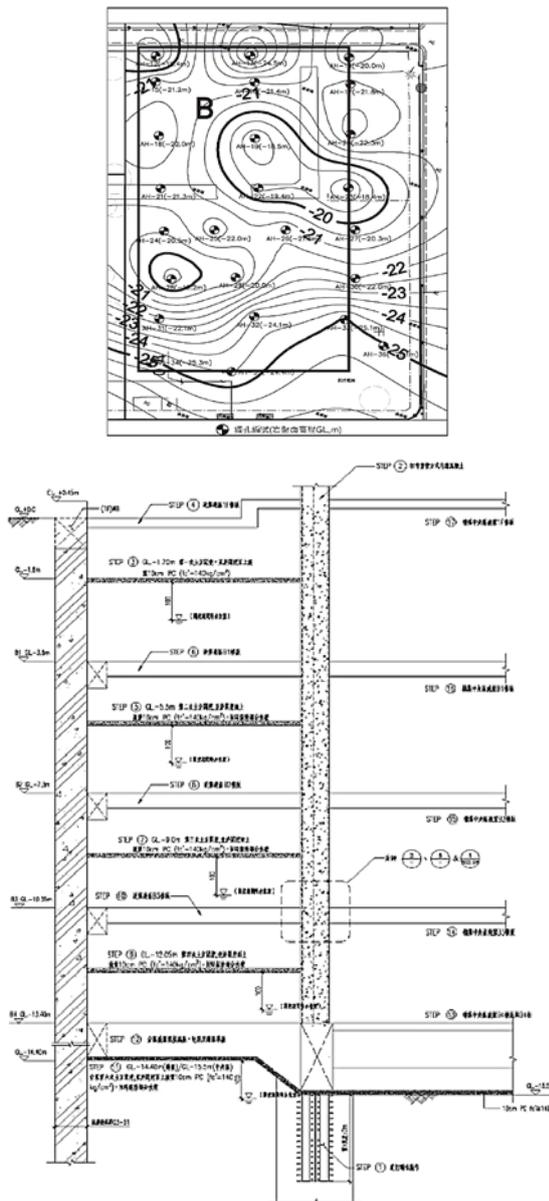


圖 10 基地岩盤等高線圖及樁位深度規劃配置圖資

深度；另為求取單一樁體於現況地質實際使用狀態之載重-變形關係，採用高單價之現地場鑄基樁載重試驗 (圖 11)，合理化降低「建築物基礎構造設計規範」安全係數規定，自經驗公式推估支承力 (FS = 3.0)，降低為現地試驗回饋承載力 (FS = 2.0) [4]；透過試驗反饋「基樁點承力」及「樁身摩擦力」數據，深度檢討建築量體所需，逐一檢討各樁位深度規劃配置。

本案應用 TORSa 深開挖分析軟體，輸入營建專案一信義區工址參數，模擬工區周遭既有建物靜態載重及施工過程動態超載因素，檢討土壤及結構勁度互制之地盤反力係數及側向土水壓力包絡線 (圖 12)；回饋應用於 ETABS 結構軟體，深度檢討邊區逆打系統應力配置及結構變形量 (圖 13)，進而設計垂直向柱狀基礎 (包括但不限於壁樁或圓樁等)，抵抗建築物結構上浮所需「最少埋入深度」，支承施工載重所需「最小斷面尺度」；及水平向邊區樓版支撐結構，抵抗擋土側主動土壓力所需「最小樓板厚度」，乘載施工機具超載所需「最少鋼筋噸數」，以產出最佳化結構設計成果 [2]。

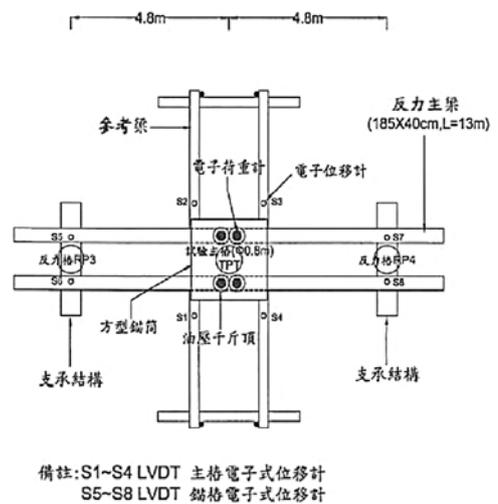


圖 11 現地場鑄基樁載重試驗圖資

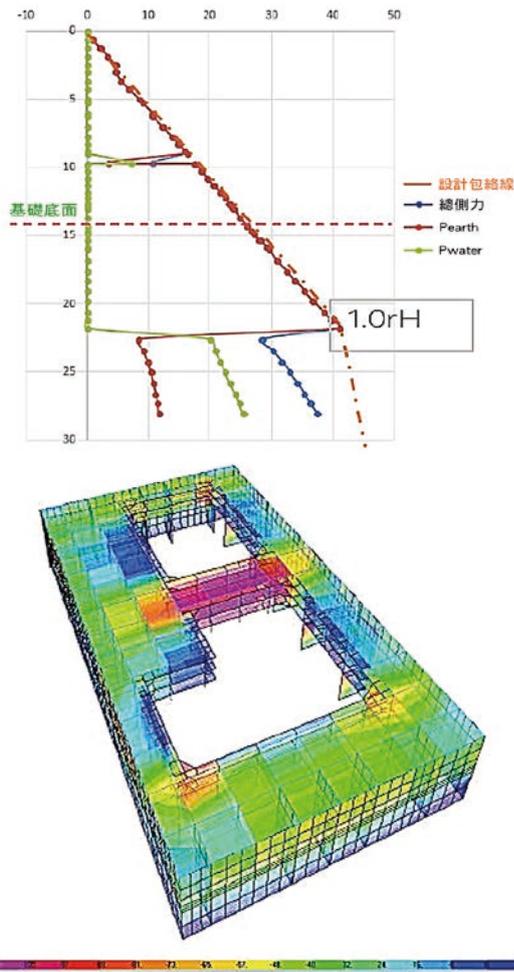


圖 12 土水壓力包絡線及邊區逆打系統應力配置圖資

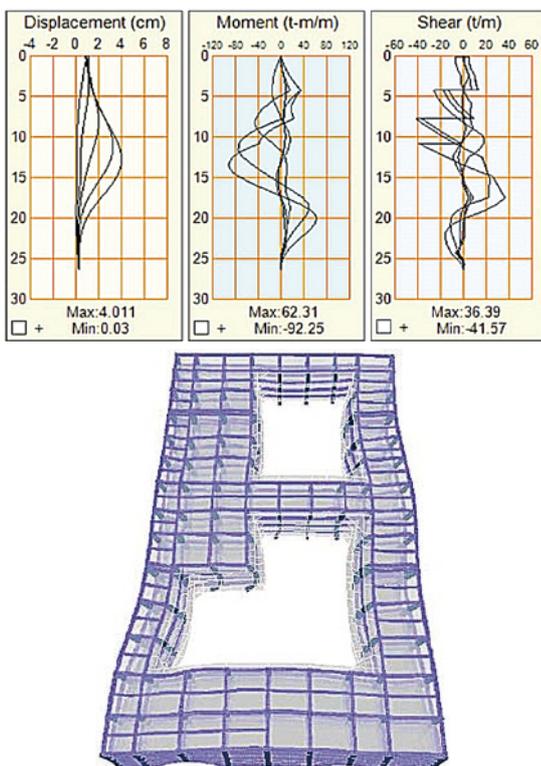


圖 13 邊區逆打系統內力檢討及變形模擬圖資

專案施工階段，透過 BIM 模型視覺化功能，輔以 AR、VR、MR 及 QR Code 等科技新知技術，於虛實整合系統，進行「現場實際施工成果」與「核定設計圖說」進行比對，並按公共工程三級品質管制制度，透過一級品質管制及二級品質查按程序，製成紀錄逐級審核，以達履約工程品質保證最終目標（圖 14）。

綜上，本案於規畫、設計及施工等各階段，運用專業軟體參數化模型技術方法，「優良精準規畫設計」搭配「精準確實施工檢討」，實踐「精實生產」管理要領，降低假設工程（包括但不限於鋼柱及邊區樓板）建設成本，避免超量設計所產生營建資源浪費，提升地下結構體工程—支撐結構系統材料應用效率，突破其技術要領限制，開創地下結構體施工作業空間，改善局限作業空間對勞工身體危害因子，增加營建施工作業界面，滿足基層團隊（末位計畫者）施工需求，解決現行工法施工困境。

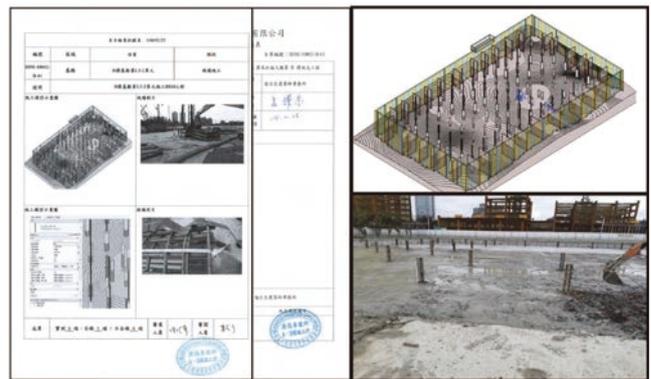


圖 14 透過虛實整合系統管制施工品質圖資

資源整合、資源拉平

本案於土方開挖及邊區逆打系統構築階段，將基地分成南、北兩側工作面（圖 15），透過一側出土、一側構築方式，創造分區循環施工機制，以利施工廠商面對 15 萬餘方之廣大體積剩餘資源出土量能，可有效降低單一工種短期人、機、料需求高峰，有效因應大環境缺工缺料衝擊。

本案「日字型邊區逆打工程複合式擋土支撐結構系統」配置，將基地分為水平向之南、北、中三區施工（圖 16），由基層團隊（末位計畫者）盤點施工能量，整合營建資源（Resource integration）；決定分區量體，進行人力調度、機具配置，藉由拉平營建資源（Resource Leveling），採用分區循環施工，提高施工便利性，避免資源過度超載及營建市場缺工等現象，大幅提升整體既有資源效能產值。



圖 15 案例工地區分南、北區工作面空拍圖資

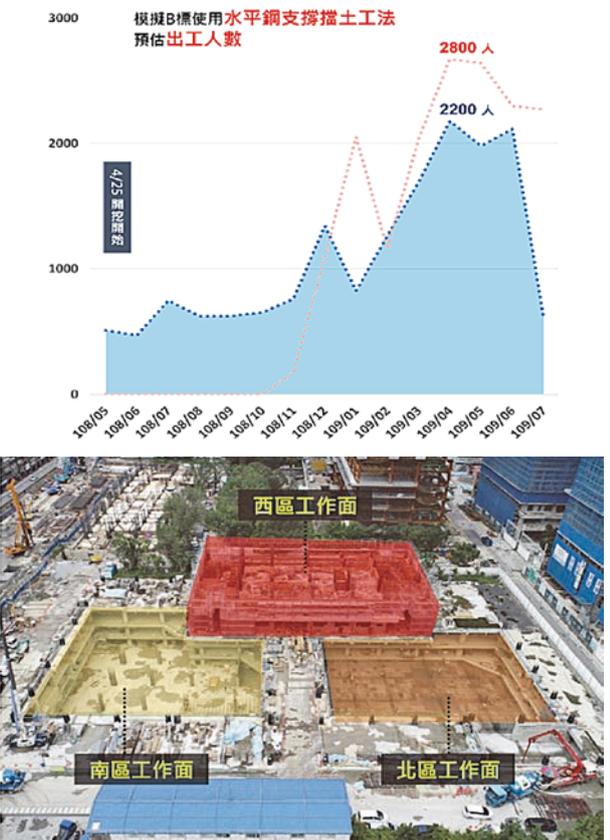


圖 16 案例工地區分南、北、西區工作面空拍圖資

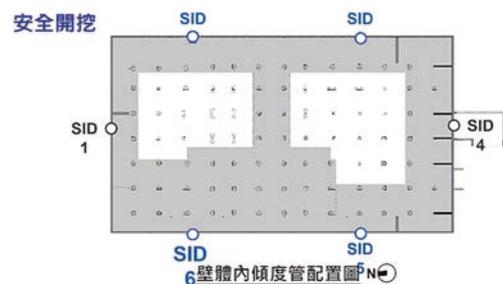
除水平向分區施工外，更可透過復數個循環施工臨時通道，連結各層邊區樓板及擋土支撐結構，創造地下結構體垂直向車行動線，提高施工機具效能，突破傳統逆打工法，僅能由特定臨時開口，進行土方挖運及材料運輸等限制，創造分區循環施工要件，縮短整體要徑工期，最佳化營建施工系統。

日字型邊區逆打支撐系統效益

本案例建築標的物，量體規模為寬度 75 m、長度 122 m 及開挖深度 15.5 m，屬都會地區廣大面積深開挖工程案例，倘若以傳統順打工法一型鋼支撐擋土系統配置，於第一層土方開挖至施工構台構築完成期間，本開發計畫之西側分標建築工程將因施工動線阻斷等因素，需辦理部分停工；另透過液壓式千斤頂所提供之支撐外力，將因為傳遞距離過長，導致有效應力過度損耗，且採點加壓方式傳遞效率低落，為達相同成效，僅能增加支撐系統結構量體，致影響地下結構物興建作業空間，致使整體工進效率低落。

綜觀本案全期程歷時安全觀測成果（圖 17），於各階段開挖期間，監測數值皆遠小於預估變化量，實際測得連續壁體變位量為 19.24 mm，相較施工前預估最大變位值 46.2 mm（圖 18），實際監測值為施工前評估值 42% [5]，驗證本工法具有優異結構穩定特性，能有效降低廣大面積開挖風險，控制地下結構體開挖支撐危害關鍵因子 [6]。

經案例證實「日字型邊區逆打系統」適用於各式建築工程使用，尤以都會區內，廣大面積及特殊長寬比基地之深開挖工程，更能彰顯其結構系統配置優勢，除了提供優異的穩定性外，亦可減少營建廢棄物量體，降低施工碳排放量；並優化工區車行動線，開創營造施工



	監測值 (MAX)	警戒值 (mm)	行動值 (mm)	儀器編號
連續壁捷連側	24.23	42	47	SID1
連續壁一般側	19.24	49	65	SID2~6
連通道連續壁(C出入口)	-	15	17	SID7

圖 17 全期程歷時安全觀測成果彙整圖資



圖 18 各階段開挖實際監測值與施工前評估值歷時曲線圖資

界面，且有營建資源拉平、建設成本降低之優點；更進一步，能具體實現「整合專案交付」(Integrated Project Delivery, IPD)，將營建產業價值工程最大化願景，以達精實營建目標^[7]。

本案例工地將此系統作為各大獎項參選亮點(圖 19)，目前業已獲得臺北市勞動安全獎(圖 20)、臺北市公共工程卓越獎(圖 21 和圖 22)、臺北市工安創意獎(圖 23)及職安署第 15 屆職業安全衛生優良營繕工程金安獎(圖 24 和圖 25)等肯定；本年度其餘獎項仍待評選中，俟得獎名單確認後，另案分享，敬請期待。



圖 21 臺北市公共工程卓越獎頒獎典禮圖資



圖 19 國家卓越建設獎盃及耐震設計/施工標章圖資



圖 22 臺北市公共工程卓越獎特輯圖資



圖 20 臺北市勞動安全獎頒獎典禮圖資



圖 23 臺北市工安創意獎頒獎典禮圖資



圖 24 第 15 屆職業安全衛生優良營繕工程金安獎座圖資



圖 25 第 15 屆職業安全衛生優良營繕工程金安獎特輯圖資

結語

本案成功運用「日字型邊區逆打工法」，透過臺北市信義區某巨額營建深開挖工程作為實際案例驗證，確保工地安全穩定及工區動線順暢前提下，承襲逆打工法精神，更突破其傳統技術限制，納入「循環經濟」(Circular Economy)、「精實營建」(Lean construction) 等營建科技新知要領，改善環境對勞工身體危害因子，提高營建資源(人、機、料等)使用效率，創造兼具安全穩定、動線暢通及營建價值之「廣大面積深開挖擋土工法」。

對此，本案設計團隊業已於 111 年 6 月 16 日正式向臺灣經濟部智慧財產局提出專利申請(案件編號：111122459)，目前審查中(圖 26)；另規劃向中國國家知識產權局提出相關專利申請程序，敬請期待。

有別於其他傳統逆打工法案例，本案係全臺首創唯一成功將「日字型邊區逆打工法」運用於營建工地之案例代表，透過案例驗證，尤以都會區內，廣大面積及特殊長寬比基地之深開挖工程，更能彰顯其結構系統配置優勢：提供優異的穩定性，減少營建廢棄物



圖 26 「日字型邊區逆打工程複合式擋土支撐結構系統」臺灣專利申請圖資

量體，降低施工碳排放量；並優化工區車行動線，開創營建施工界面，且有營建資源拉平、建設成本降低之優點；更進一步，將地下結構體分區循環施工方法，推向「資源最優化」、「效率最佳化」及「效能最大化」等科技新知技術領域，具體實現「整合專案交付」(Integrated Project Delivery, IPD) [7]，將營建產業價值工程最大化願景，以達精實營建目標。

參考文獻

1. 鄺梓文，「價值工程應用於廣慈博愛園區 選擇地下施工方法之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學系，臺北，2022。
2. 圓方結構工程技師事務所，「廣慈博愛園區整體開發計畫社福大樓第 B 標」邊區逆打施工說明會議文資，2018。
3. 臺北市政府都市發展局，「廣慈博愛園區整體開發計畫行政大樓第 A 標及社福大樓第 B 標」統包需求書，2017。
4. 三力技術工程顧問股份有限公司，「廣慈博愛園區整體開發計畫社福大樓第 B 標」大地工程顧問總結報告，2020。
5. 儀大工程股份有限公司，「廣慈博愛園區整體開發計畫社福大樓第 B 標」監測總結報告書，2020。
6. 楊金龍結構技師事務所、立景工程顧問股份有限公司，「廣慈博愛園區整體開發計畫社福大樓第 B 標」耐震特別監督結束報告，2021。
7. 陳英森，「專案整合交付模式 (IPD) 應用在國內公共工程統包之研究—以北市某社福大樓為例」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學系，臺北，2022。