

工程機械運用、任務規劃工具與決策模式

作者/李孟文中校

提 要

- 一、不論災害搶救，遲滯敵部隊機動或者促進我軍機動等工兵部隊任務特性上往往不可預期，但卻都處於緊迫關頭。
- 二、結合工程規劃設計軟體 CIVIL3D 導入本軍工程機械作業量估算、施工規劃等任務中結合地理圖資，期使待命部隊在受領任務後，以最短時間完成計畫、選用工程機械投入各項工兵部隊任務中。
- 三、本文以實際規劃作業案例，結合工兵機械任務進行個案分析，以驗證其實際作業績效成果十分顯著。
- 四、慎密與精確的規劃可有效管控機械施工的效率與數量，一方面減少不必要的資源浪費，一方面加速工程施工的進度，也提升任務遂行之可靠性。

關鍵字：CIVIL3D、地理圖資、工程機械。

前 言

工程機械作業之運用，是現今土木工程技術的重大突破，目前舉凡大型土木工程建設幾乎完全仰賴工程機械。隨著工程型態日趨複雜，機械的性能和作業特性也趨於多樣化，逐漸取代更多的人力作業。對土石方工程而言，除了施工階段的工作以外，如何規劃、運用所掌握的資源，以快速、有效最節省成本的方法派遣選用施工機械，並於工程期限內完成工作，亦為工程管理者必須面對以及克服之重要課題。然而，快速、機動是現今全球軍事行動最高宗旨，只要選定作戰目標就要將部隊迅速部署到戰術位置，使其攻其不備、速戰速決為要著。因此，快而有效的方案以及縝密的規劃才能讓部隊能順利達成任務。工兵部隊不論災害搶救，遲滯敵部隊機動或者促進我軍機動等任務特性上往往不可預期，但卻都處於緊迫關頭且講求時效。以工程機械達成主要的工兵任務已是必然的趨勢，但在支援作戰的角色當中不可能完全滿足任務需求，在數量有限的情形下如何有效運用機械達到最佳化的效益是本文探討的主題。本文針對各類型工兵機械作業特性及使用情形分析其運用方式，希望以有限之裝備發揮

最佳的資源效益。此外，結合工程規劃設計軟體CIVIL3D導入本軍土石方機械作業之作業量估算、施工規劃等任務中，結合地理資訊系統圖資，期使待命部隊在受領任務後，以最短時間完成計畫、選定機具並派遣調度投入各種工兵機械作業，並以施工規劃軟體實際作業案例結合工兵機械任務進行個案分析，以驗證其實際作業績效。期能工兵機械在土方作業時，能提升各工兵機械作業能量及工作效益，並有效掌握工兵機械在聯合作業中運用之要領，對戰場經營獲得最大之效果，發揮工兵機械最大功效。

土石方機械作業類型

工兵任務多以土石方工程為主，因此必須運用工程機械才能迅速達成預期的目標，其中機械作業方式區分為鏟掘作業、整坡作業、挖溝作業、移土作業、障礙物清除、整地鋪散作業、回填作業、整平刮修作業等類型。鏟掘作業主要是依照機械之土斗、鏟斗等工具將工程土方挖除或挖掘至必要的施工面；整坡作業係運用機械將工程界面高低差之位置依據需求或使用功能的坡面修整作業；挖溝作業是因應管線、渠道等相關工程之地面以下連續相同高程斷面之鏟掘作業；移土作業則是指作業區域土方搬運或者大量移入或移出施工區域之作業；障礙物清除作業則是指將施工位址上不屬於工程所需之建築物、設施或天然障礙物(巨石、植物)敲除移除的作業；整地鋪散作業則是將原有地形介面修整至工程所需之高程的作業；回填作業是將未達施工高程的位置覆以大量土方使之水平等高的作業方式；整平刮修作業係將修整好之工程完成面以機械刮修至平坦的水準。每種作業方式的工程技術與要領均有所不同，機械的運用也有所差異，但是仍要再依據土壤、地形、施工面積、開挖深度(高度)決定使用作業機械之種類與型式。

然而，目前工兵機械聯合作業主要運用於支援工事構築、道路（跑、滑道）搶修作業、災後復原作業、河川疏濬作業等重要之工兵部隊任務，各種作業型態其土石方機械作業運用方式亦均有差異。就工事構築而言著重掩體、戰壕之鏟掘作業以及完成面與地平面高差邊坡修整作業；或者交通壕開設之挖溝作業、移土作業、回填作業，若開設時遇地面上之障礙物如樹木、塊石等應予以清除之。道路機場搶修時著重於遭破壞形成之彈坑或破壞面進行清除之鏟掘作業以及清除廢棄物移運之移土作業。同時須完成土石料回填、整地清除以及刮修整平作業。土石流災害、地震災害搶救時著重於土石淹沒地區、設施或倒塌建物之鏟掘、障礙物清除作業以及移土作業。便引道開設著重開設位置多餘土

方鏟掘、土方移運以及路基回填作業，並進行修整與刮平作業後再予以夯實。
各機械作業類型之比重本文以雷達圖表示如圖1至圖5所示：

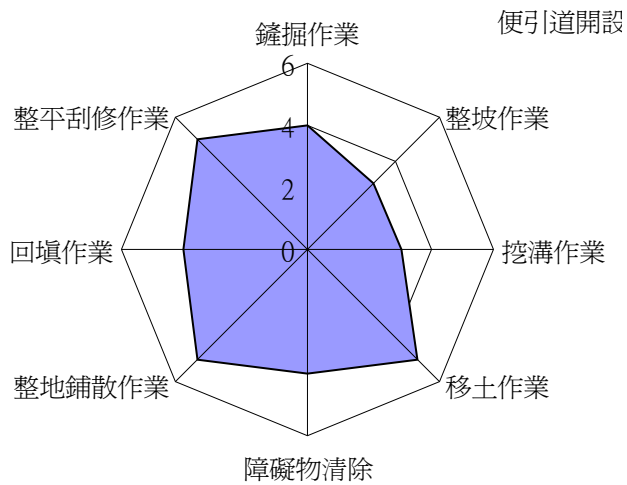


圖 1 便引道開設機械作業類型雷達圖
參考資料：作者整理

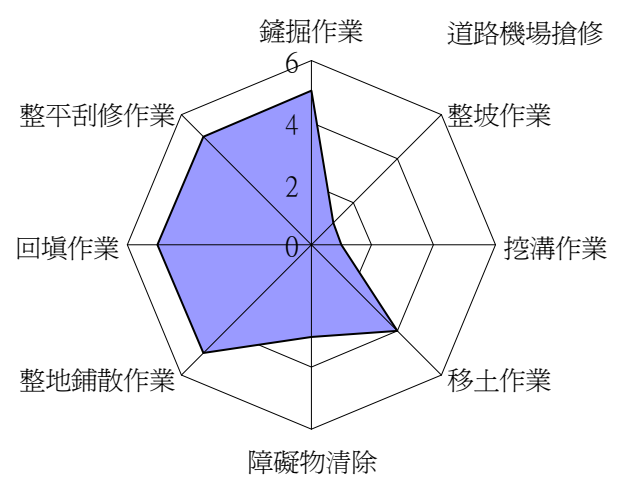


圖 2 道路機場搶修機械作業類型雷達圖
參考資料：作者整理

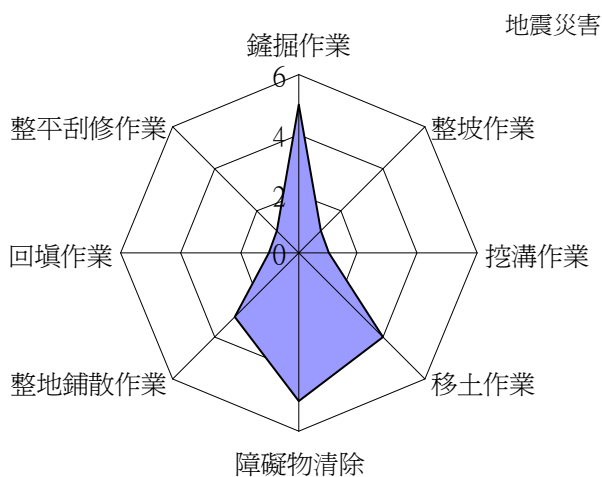


圖 3 震災搶修機械作業類型雷達圖
參考資料：作者整理

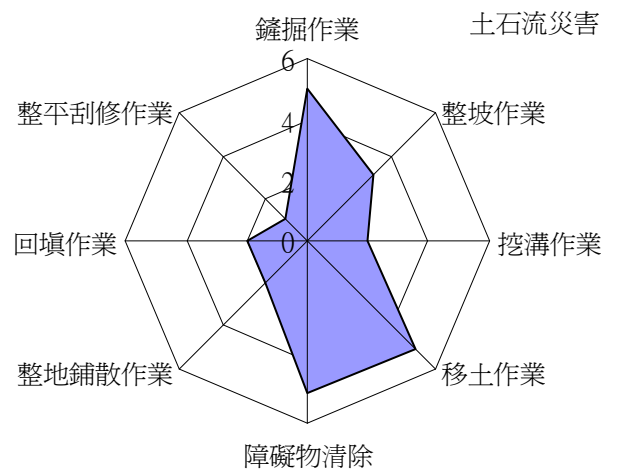


圖 4 土石災搶修機械作業類型雷達圖
參考資料：作者整理

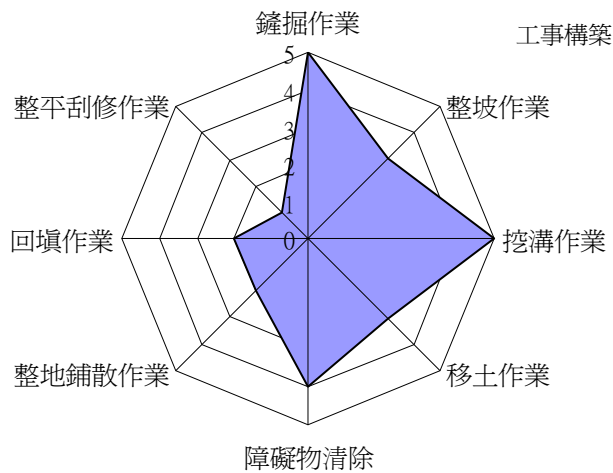


圖 5 工事構築機械作業類型權重雷達圖
參考資料：作者整理

由此觀之，不同的任務型態與所著重的機械作業方式有顯著差異，由以上雷達圖之分析結果有助於部隊指揮官了解各種任務其主要的機械作業方式，規劃適合之機械種類與數量以便管制執行如期完成目標，惟機械選用亦要考量作業特性與功能才能增加作業效能。

作業機械類型與特性

土石方作業機械種類主要區分為開挖機械、裝載機械、搬運機械、輾壓機械等，能將土方、石材等各工程材料實施挖掘、移除等之機械謂之開挖機械，在工兵工程機械中，開挖機械列有挖土機、推土機及平路機三種^[1]，各作業機械功能分述如下。

一、開挖機械

(一) 挖土機

能開挖較硬的土層能使裝土與卸土地點十分準確，對挖掘溝渠、小型地下室、基礎之直邊垂面方角、清除平地等具效果。且能依土壤垂直角度下挖無需使用支撐板角材，減少施工工項及經費，適用範圍如下^[2]：

- 1.地平面（含以下）以及垂直面（坡面）之挖掘工作均適用。
- 2.挖掘較堅硬之土質。
- 3.實施挖掘工作須較高精準度與平整度之工程。
- 4.卸土與傾土範圍較小之作業。

(二) 推土機

推土機可對各種土、砂石料、風化岩石等，擔任挖掘、推移、卸鋪、短距離移運、整地、清除樹木雜草、伐木挖根、開挖、鋪散、填土、掘溝等作業。履帶之鋼板與地面接觸面積大，故與地面接觸之單位面積上所受之壓力較低，所以特別適用於較軟弱之土質地區或礫石之崎嶇不平之地表面上作業。適宜的

註¹：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999年），頁1-5。

註²：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999年），頁2-14。

作業距離為 500 英呎推土機之適用範圍如下^[3]：

- 1.地平面之挖掘、移土工作。
- 2.牽引力強，適於移除地面上較大之障礙物。
- 3.與地面之接觸面積大，適於軟弱地面上作業。
- 4.可在任何凹凸不平之地表面上行駛，爬坡能力可達 30 度以上。
- 5.大面積開挖之整地作業。

（三）平路機

主要用途在擔任工程中之移土與整平作業，在道路工程構築道路路床、路基整平及道路養護作業上均常使用。作業時行駛速度約為每小時 3~5 公里^[4]，為機械施工所不可缺少之機具之一，適用範圍如下：

- 1.平刮場地、整修路面、剷除雜草小樹及其他雜物。
- 2.移土及填土。
- 3.可將刮刀向兩旁高舉至所需要斜度而沿邊坡修刮，實施旁刮作業。
- 4.可將成堆之土料，於地面上均勻散鋪之。

5.可用於推土機作業後之整平、刮修、拌和、鋪散、整修邊坡等工作，並適於大量材料之短程移運。

二、裝載機械

能將土方、石材等各工程材料實施移運、裝載等之機械謂之裝載機械，例如裝土機。裝土機為牽引車前端裝置鏟斗以鏟土、運土、挖土、裝載及作為短距離輸送之機具^[5]，且其能在作業區域受限制、大型施工機械不適宜作業之地區發揮其靈活特性。適用範圍：

- （一）移土、裝卸工作。
- （二）舉升、運送物資。
- （三）地面清除工作。
- （四）協助實施裝土作業。
- （五）小地區挖填方。
- （六）協助散鋪粒料。
- （七）卸土及傾土範圍較小。

三、搬運機械

能將土方、石材等各工程材料實施長短距離運輸之機械謂之搬運機械，如

註³：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999 年），頁 2-2。

註⁴：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999 年），頁 2-54。

註⁵：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999 年），頁 2-26~28。

傾卸車。主要特性是可配合挖土機或裝載機裝填土方，適用於中、長程運距（約超過 2 公里）對地形的適應性佳，能將開挖機械挖掘之土方迅速移運至施工位置節省時效是一般常採用作業方式。

四、輾壓機械

係指能將地表、路面及指定位置等各部位實施夯壓之機械謂之，常見有壓路機。主要用途是使基礎土壤緊密以增加承載重及穩定性，提高土壤承載力，降低路基之滲透性與沉陷量^[6]。各項土方工程中應根據施工要求綜合考慮土質的種類、地形、作業條件、施工期限等因素合理選用適合之機械。

本文將工程機械特性依據作業類型、運用範圍與所需配合作業機械彙整如表 1。

表 1 國軍主要土石方機械特性彙整表

特性 機械名稱	主要作業類型	其他運用範圍	配合作業機械
挖土機	開挖地面以下深度不大之土方，深挖基坑可採多層接力挖掘 最大挖土深度 4~6m 可裝車及堆土	挖溝、基腳、邊坡開挖 構築交通壕 換裝破碎機可破壞混凝土、巨石等 彈坑填補	傾卸車配合可土方移運 推土機配合便於推土
推土機	塊石、樹木等清除 土方推平鋪散 堆土（運距 500 呎內） 開挖大面積淺基坑 牽引機具	場地整平 構築戰車壕 回填壓實	鏟裝機可配合裝載土方 挖土機可配合翻鬆土方
鏟裝機	鏟掘鬆土 短程移動搬運土方 裝載土方	外運多餘土方 回填土方 場地清理	傾卸車配合可土方移運 推土機配合便於鬆土
平路機	運用刮土刀進行土壤切削、刮送、整平作業 機場跑道路基整平 草皮、土壤表層剝離	修整路面 挖溝 修整邊坡	推土機先行地上物清除作業
壓路機	鬆散土方夯實	路面夯實 路基夯實	平路機先行整平 夯實作業面

資料來源：作者整理。

總括而言，若欲提高土方工程施工效率、縮短工期與降低施工成本，如何選用適當施工機具為工程規劃決策中重要的工作。然為使土方施工機具能發揮

註⁶：沈永年，《施工機械》（台北：全華科技圖書，1999 年），頁 2-61。

最大效能，機具種類之選用，應針對機種及容量對工程條件之適合性、施工機具之經濟條件及施工機具之合理組合等做綜合評估，方能達到預期目標^[7]。

另一方面，土石方作業類型所適用之工兵工程機械特性亦均有差異。就挖土機而言雖然各項作業能力均稱良好惟作業時單位時間作業量需視土斗大小與作業機型而定；對推土機而言較適用於大面積開挖、整地鋪散以及障礙物清除作業；裝土機較適合移土與土方回填作業；平路機則適合整平刮修、整地以及淺溝開挖等作業類型。各類機械作業類型比重之雷達圖表示如圖 6 至圖 9 所示：

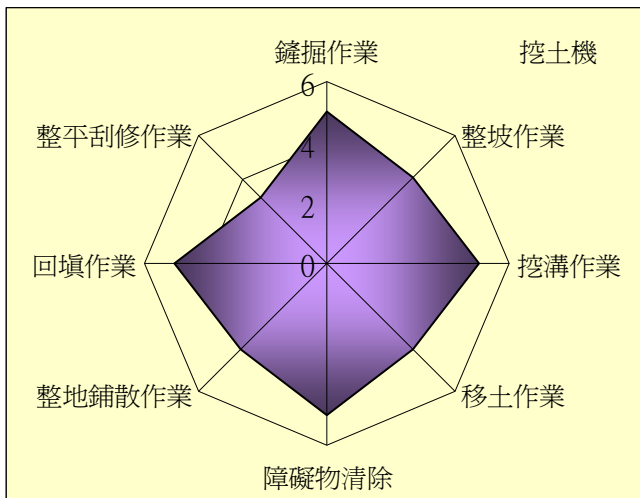


圖 6 挖土機適用之作業類型雷達圖
資料來源：作者整理

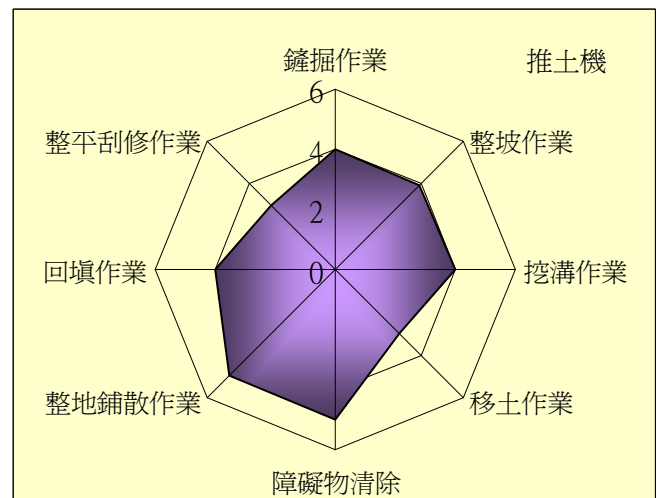


圖 7 推土機適用之作業類型雷達圖
資料來源：作者整理

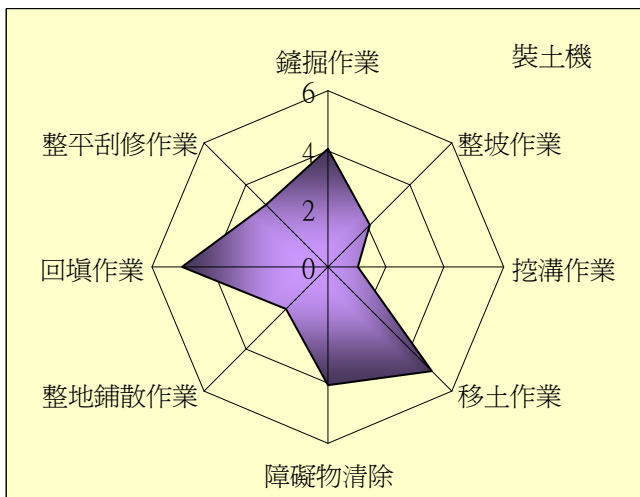


圖 8 裝土機適用之作業類型雷達圖
資料來源：作者整理

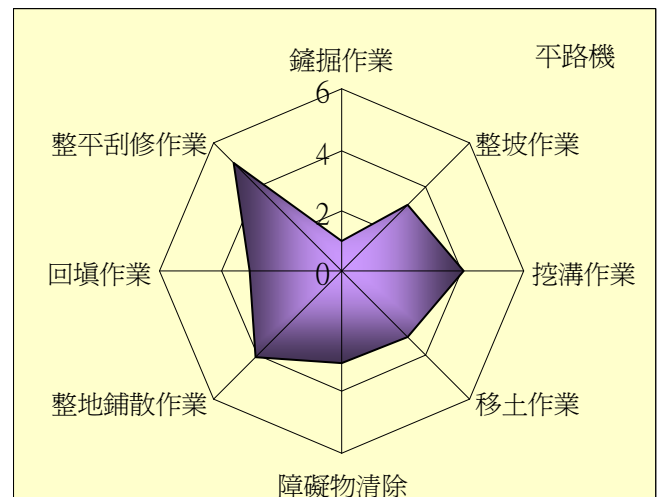


圖 9 平路機適用之作業類型雷達圖
資料來源：作者整理

註⁷：簡德和，《開發區域內土方工程最佳調派決策模式之研究》（桃園：國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2004 年 6 月），頁 13-14。

經由綜合分析得知，不同工兵任務工程作業屬性亦有所差異，部隊須考量各類型任務之頻率、急迫性以及重要性以決定兵力與裝備配賦的分配與組合。舉例而言，目前任務型態若以土石流災害搶救以及工事構築為主時，此兩者均著重在鏟掘與障礙物清除作業上，而挖溝作業是其差異最大者，鏟掘與障礙物清除作業較合適的機械為挖土機、推土機，挖溝作業較合適的機械為挖土機，由此可知執行此類任務型態的部隊應編配較多挖土機與推土機，惟仍應再依照守備作戰區域之環境與地形、土壤特性等考量機械或附屬工具的大小，並決定機械數量以符單位所需。是故，機械選用除了依工作特性差異以外仍須考量環境因素諸如土壤性質、工作區域大小、交通狀況以及工作介面複雜程度等，此外還有人員以及裝備性能等均應納入考量，作為機具派遣之最佳運用程序方能適切的選派機械如圖 10。

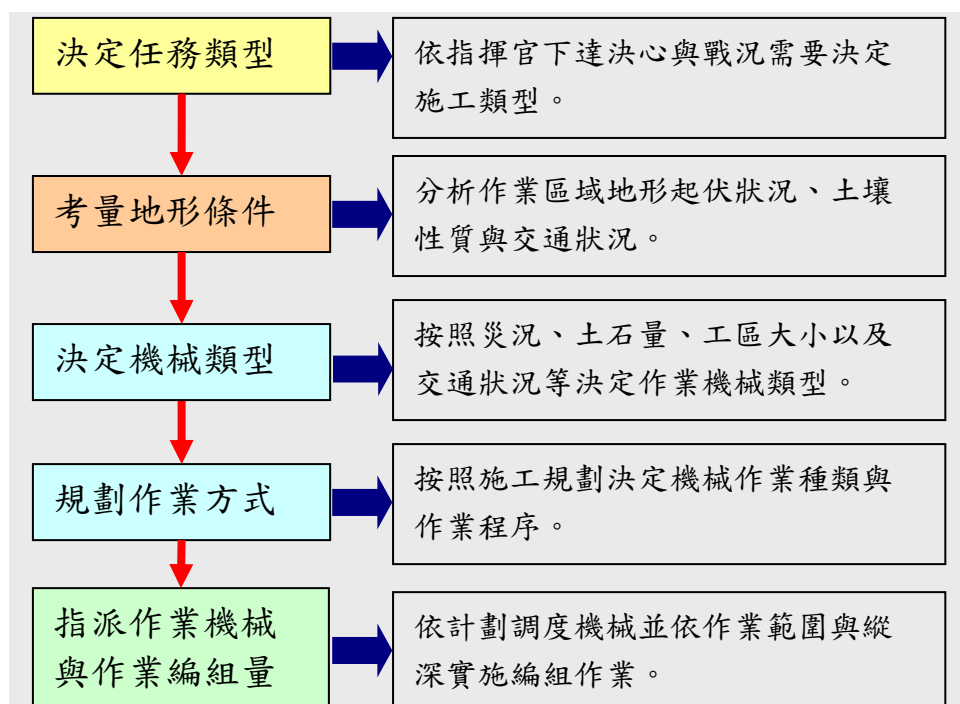


圖 10 工兵任務機械運用程序
資料來源：作者整理

然而，目前任務的執行皆只掌握工程施工時機械作業的進度與時效，有關工程選址、規劃與設計、測量踏勘所需的工作內容與時間仍未包含在內。在狀況發佈後的計畫作為中，如何決定開挖土方作業量以及時間的管制，若未納入考量則缺乏涵蓋性。以專案管理的角度而言，規劃越慎密執行時越有效率，規劃的時間也會直接影響實際執行工程的順利與否。因此，利用有利的工具簡化規劃作業精確性與時效顯得格外重要。

施工規劃資訊軟體之運用

一、Civil3D 軟體之應用概況

本文利用已漸由民間廣泛運用在工程施工之規劃作業上提升作業效率的資訊軟體Civil3D，說明其功能與作業效益。Civil3D是歐特克(Autodesk)專為土木工程規劃設計使用之軟體，提供整合的專案管理經驗，可支援在整個專案週期中靈活並安全共用資料，包括從一開始的測量與設計到專案文件製作、再到實地放樣與整地。Civil3D具備容易使用、彈性且自動化的設計功能，幫助加快完成時間，並結合智慧型定線、輪廓與可自訂設計元素，來設計道路(如圖 11)。結合 3D 圖徵、圖點、與整地投影，迅速產生整地計畫^[8]。

當工程模型建立完成後，其核心的動態模型獨特之處在於單一的變更設計會立即自動地更新至所有相關設計元件(如圖 12)。例如工程草圖修改後，此模型便會自動調整縱斷面、橫斷面、開挖土方量等，大幅減少可能發生之錯誤和遺漏。經過產業實證，把設計和生產製圖相互連結，協助迅速評估多種替代方案、減少手動編輯的需要，並自動輸出更新的平面圖^[9]。大幅降低進行設計變更和評估多種狀況時必須花費的時間。它能用更短的時間徹底評估更多的設計替代方案，且能直接從模型開始導出生產製圖，讓手動編輯工作降至最低。使用深具彈性的樣式系統，可得到更高的一致性。同時，新型模型式土木設計工具能讓設計變更即時呈現，又可保有精確度，減少會導致昂貴成本的錯誤與遺漏，掌握最大的競爭優勢。

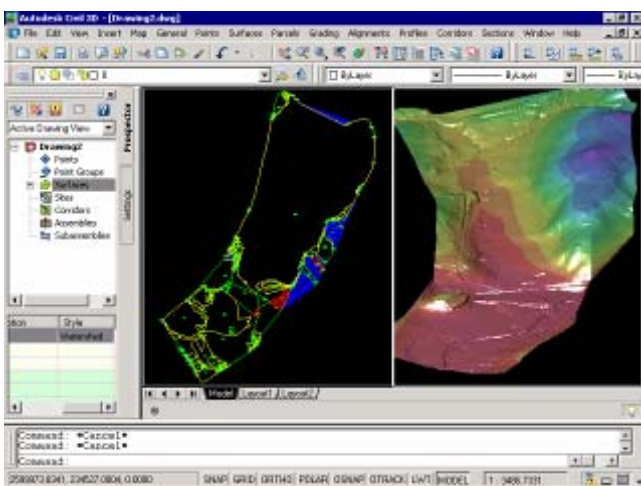


圖 11 Civil 3D 能產生之 3 維地形實例

參考資料：Autodesk 公司 Civil 3D2007 功能說明簡報

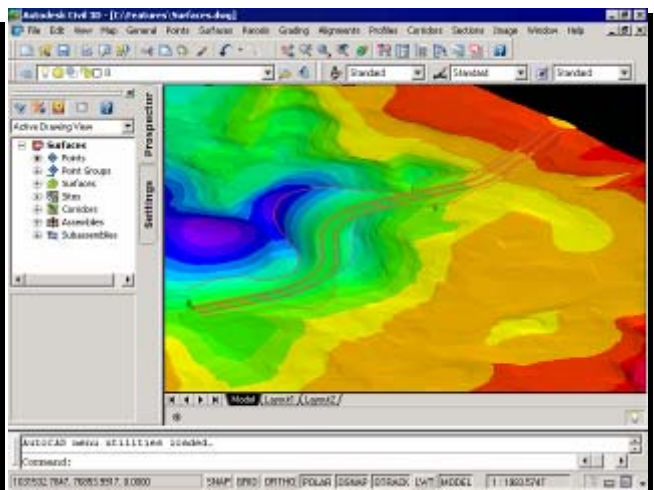


圖 12 Civil 3D 建立各種地表面、地質曲面模型實例

參考資料：Autodesk 公司 Civil 3D2007 功能說明簡報

註⁸：Autodesk 公司，〈Civil 3D2008 功能說明簡報〉，<http://www.autodesk.com.tw>。

註⁹：Autodesk 公司，〈Civil 3D2008 功能說明簡報〉，<http://www.autodesk.com.tw>。

另一方面，Civil3D可直接將空照圖、衛星影像，甚至連結Google Earth後匯入地形與影像，建立3D地形進行施工規劃作業。亦可由量測人員測得之數據，直接載入並自動展點與繪製地形物件，以迅速取得工程位址圖資。Civil3D也提供土方工程之設計工具，他能建立各種地表面、地質曲面模型，讓使用者輕易的使用完成諸如道路路線規劃、工程基地選址等，減少圖面判別產生的困擾，即時檢核設計需求的正確性。

當我們將工程模型結合地形圖資時，可依照工程設計規範如道路邊坡坡度在結合地形時涵蓋於其中與工作介面適當的切割，使我們清楚了解道路、整地開挖後的情況，有利於進行相關道路線形、整地排水設計、土石方計算、坡度計算以及邊坡設計等需求(如圖 13)。若模型設置有誤或者不恰當時，可以直接移動位置或高程，其他資料亦能即時修正完成。其中動態的整地功能係考量高程、地形與距離等因素，針對指定地區或指定區塊進行整地，並計算開挖土方量以及挖填平衡，有利於決定工程機械施工數量，提供工程整地的實務應用(如圖 14)。

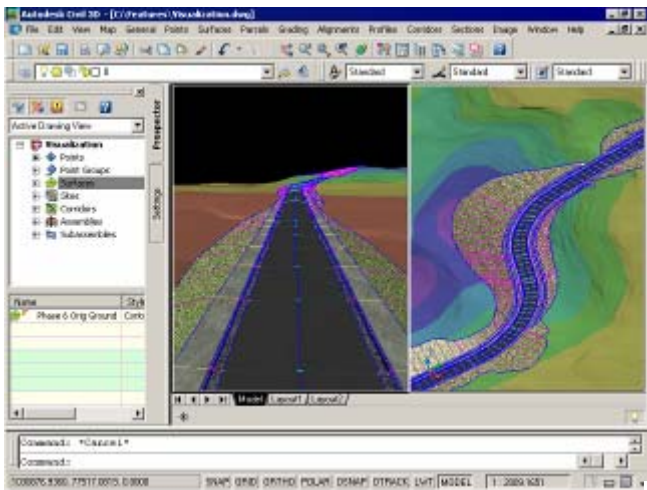


圖 13 模擬道路構築後結合週邊地形情形實例
參考資料：Autodesk 公司 Civil 3D2007 功能說明簡報

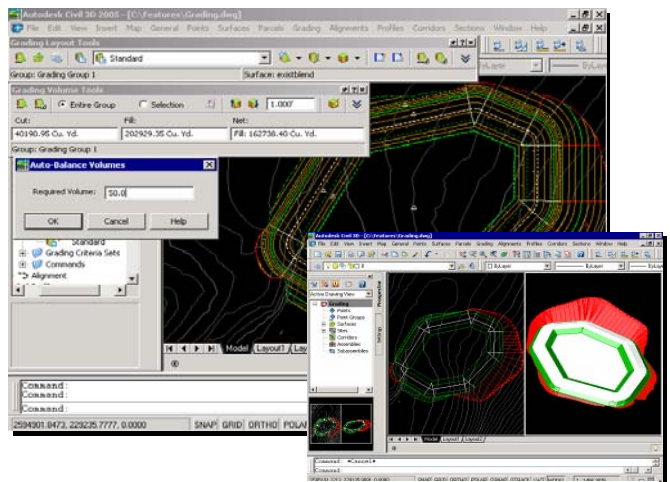


圖 14 針對指定區塊進行整地計算開挖土方量實例
參考資料：Autodesk 公司 Civil 3D2007 功能說明簡報

(一) CIVIL3D 應用實例

本文假設台灣某處橋樑遭敵炸毀完全無法使用，然而該橋樑對本軍而言有立即搶通該路線之急迫需要，應開設便引道以暢通我運補路線。本案使用 CIVIL3D 實際作業，套用 Google Earth 圖資(如圖 15)，匯入地形資料後，可立即得知河床地形高程變化，直接選取坡度較平緩之路線構築便引道(如圖 16)。

若由現況河床均難以量測高程變化，由等高線地形圖可得知坡度較緩區域，並依照需求選定合適路線。位置與路線選定後，可顯示其中心軸線縱斷面圖形以及高程變化，有利於指揮官立即判斷適合與否，選定最佳路線。大幅減少

重覆量測之人力派遣與時間，提升選址作業效益。

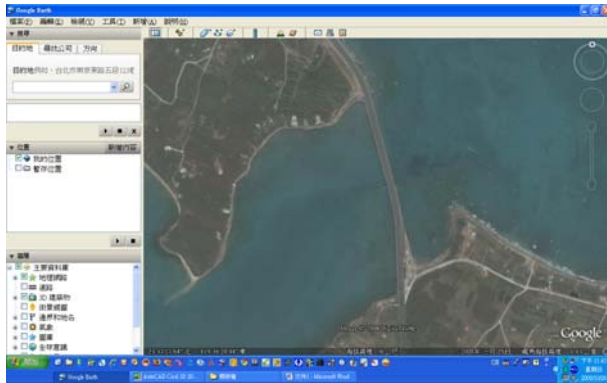


圖 15 本案假設案例 Google Earth 衛星地形實景
參考資料：作者自行繪製

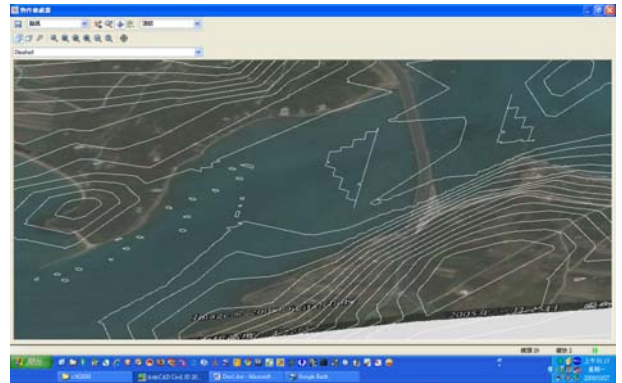


圖 16 將 Google Earth 衛星地形匯入 CIVIL3D 顯示等高線之作業視窗
參考資料：作者自行繪製

位址經選定後，由道路中心線可於程式中直接設定便道寬度與高程，使便道規劃與設計能迅速完成(如圖 17)。規劃完成後 CIVIL3D 可直接產出道路各段之橫切面，便於了解原有地形與道路間之高差與接續情形(如圖 18)。

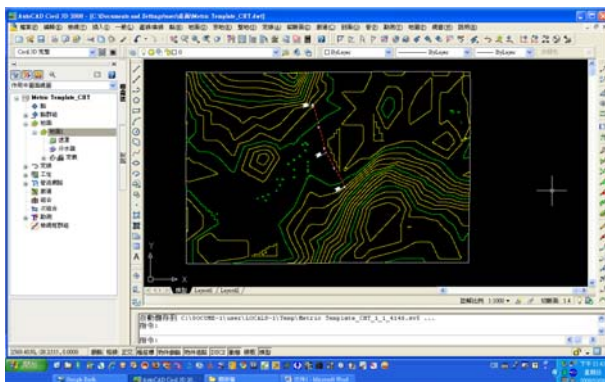


圖 17 於 CIVIL3D 等高線模式設定便引道路線實例
參考資料：作者自行繪製

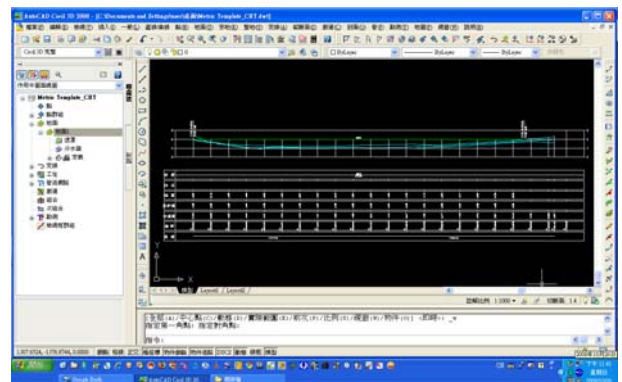


圖 18 針對指定路線檢視地形高程變化實例
參考資料：作者自行繪製

便引道規劃完成後，會顯示於專案產生的地形模型中，提供專案管理者檢視道路曲面、曲線以及高程變化是否符合道路設計規範(如圖 19)。若經發現問題可進行修改變更，變更後於模型內所有資料以及圖面會立即調整，減少遺漏與錯誤發生。此外 CIVIL3D 還具備土方量計算功能，可立即告知挖方與填方數量、整地面積等數據並匯算出總土方量，專案管理者可立即得知土方量是否挖填平衡或者需移出、移入土方(如圖 20)。

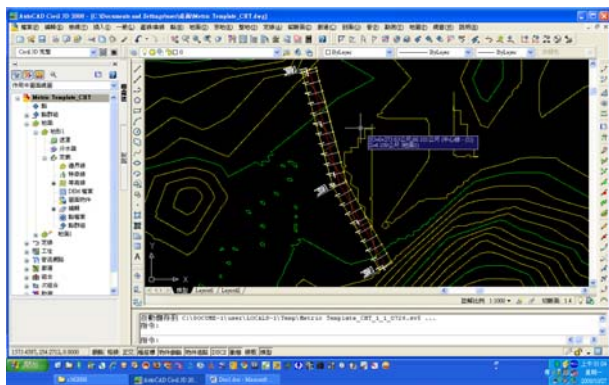


圖 19 依據規劃路線設定道路中心線與寬度實例

參考資料：作者自行繪製

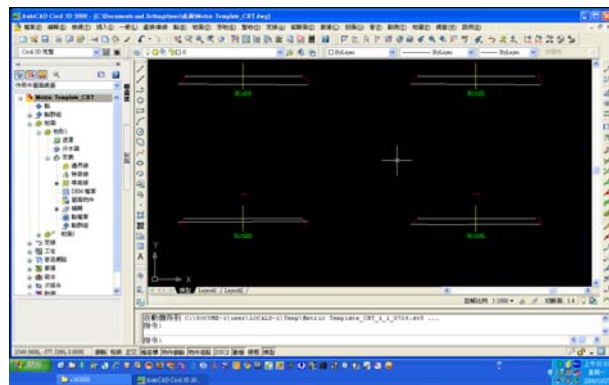


圖 20 針對指定路線檢視各節點橫斷面高程差實例

參考資料：作者自行繪製

經過 CIVIL3D 規劃匯算後得知本案淨填方 15218.07 立方公尺(如圖 21)，依照前一節本文分析之機械選用原則可以得知便引道開設作業主要工作項量為鏟掘作業、回填作業、移土作業，障礙物清除、整地鋪散作業、整平刮修作業次之，因此需大量使用挖土機、推土機以及傾卸車，平路機與壓路機為輔助機具於道路完成面刮平夯實時使用，藉此完成作業量計算推算工程完成的時間並據以管制。

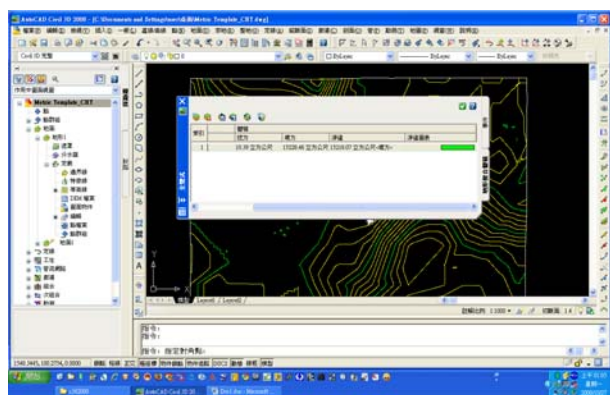


圖 21 針對指定區塊進行整地計算開挖土方量

參考資料：作者自行繪製

Civil3D 徹底改變我們傳統處理土方與計算體積的方式，以往須由圖面縱斷面切割橫斷面才能進行概算，然而現在只要在建立完成的模型中自動匯算即可，節省了 50%到 75% 的時間^[10]。同時，藉由土方量計算後便可依據部隊裝備數量、類型選擇適合之機具從事便引道構築作業節省規劃與工區測量時程增加作業時效。

施工規劃決策支援技術之發展

以上所述之相關工程管理技術，美軍已於 2007 年運用於提昇工程機械作業效能，並發展出「急造機場決策支援系統(Rapid Airport Construction Decision Support Toolset, RACDST)」(如圖 22)，係用於緊急野戰機場建造之工兵任務當中。急造機場決策支援系統主要分為「場址評估 (ASA)」、「機場設置估算

註¹⁰：Autodesk 公司，〈Civil 3D2008 功能說明簡報〉，<http://www.autodesk.com.tw>。

(AFL)」、「工程作業 (ENOps)」等軟體模組^[11]。場址評估系統，係藉由軟體程式依照設定之機場建造標準分析篩選地形圖資來決定合理可行的場址(如圖 23)。機場設置模組係評估選定場址後，將機場模型置入其中於開挖土方量最小的情形下完成模型設置，它能精確的將 3D 機場模型導入地形曲面中評估，經由場址評估系統選定可行區域後，再將機場模型以轉方位角的方式進行分析以計算開挖土方量、土質狀況與所需工時等資料(如圖 24)。

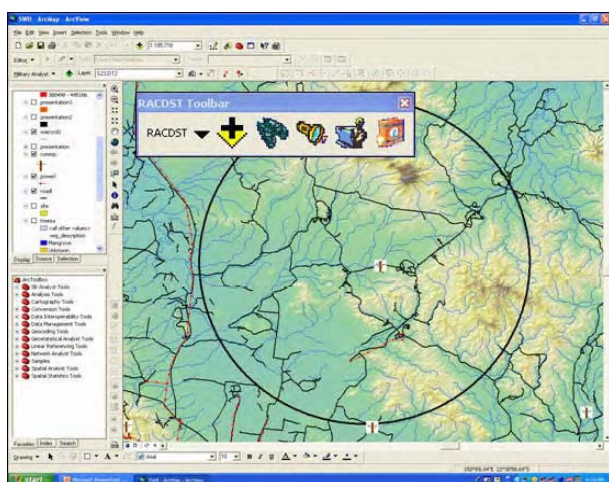


圖 22 美軍急造機場決策支援系統由地理資訊系統圖資進行規劃設計作業

參考資料：Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p21.

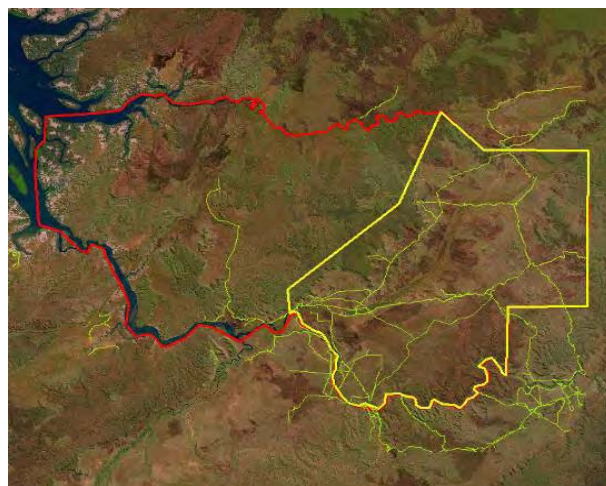


圖 23 場址評估系統依據參數選定可行區域

參考資料：Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p23.

工程作業建造估算系統，是一種能在已設定工程規模大小型態下，評估工程執行效率的模組，它提供預先已輸入部分的建造資料的基本估算，譬如適合 C-17 或者 C-130 運輸機起降的機場模型，內建在系統當中作為使用者選用的資料庫，使用者可於使用者圖形介面中輸入作業環境與地形的指令，即會提供所需地形特性的規模(如圖 25)。然而機場設置模組解算出上百個可行位址，經過地形分析將資料篩檢至 21 個，其中皆為量化的數據^[12]包括座標、方位角、土方量、土質狀況以及工作時數等。

美國陸軍工兵研究發展中心於 2007 年在澳洲執行聯合急造機場作業中，該套系統實證結果發現場址評估系統在選定建造機場可行區域的程序上進行的十

註¹¹：Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p21.

註¹²：Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p27.

分順利，機場設置估算系統在可行區設置機場跑道模型成效顯著，但須在設定斜率的情況下才能精確計算開挖土方量，同時若能選定工程技術與施工機械後工程作業系統就能精確計算總工程進度與時間，該專案在每天工作 12 小時達 14 天共 168 小時完成，與估算時間 138.5 小時僅差距 29 小時，已十分接近實際作業之結果^[13]。

圖 24 為機場設置估算系統使用者操作介面
參考資料：Gary L. Anderton .etc., Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008, p25.

No	Lat	Long	Azimuth	Volume/Slee m3	Soil Type (USCS)	Work Duration hr
1	-15.2910	130.6117	120	10127	SM	230
2	-15.2910	130.6117	140	10127	SM	230
3	-15.3637	130.5994	120	10127	SM	230
4	-15.4001	130.5194	120	14148	SM	230
5	-15.4001	130.5194	140	14388	SM	230
6	-15.4182	130.5195	140	18298	SM	230
7	-14.9651	130.6836	120	21519	SM	230
8	-15.4182	130.5195	120	22147	SM	230
9	-15.5289	130.4212	120	48866	SM	258
10	-15.5470	130.4073	140	112003	SM	402
11	-15.5827	130.4775	140	120846	SM	421
12	-15.5377	130.4695	140	169038	SM	521
13	-15.5921	130.4396	120	175487	SM	537
14	-15.5612	130.4696	140	188119	SM	566
15	-15.5920	130.4402	120	192358	SM	573
16	-15.5787	130.3962	120	209139	CL	608
17	-15.5287	130.4446	120	214683	SM	620
18	-15.5827	130.4775	120	219038	SM	629
19	-15.5877	130.4029	120	239571	SM	673
20	-15.5832	130.4029	120	240085	SM	682
21	-15.5332	130.4638	140	245695	SM	686

Runway length+clearzones = 1,372 m (4,500 ft)
Primary area width = 97.5 m (319.8 ft)
Prepared area = 107,104 m² (1,152,268 ft²)
USCS soil type assumed uniform for region based on initial site surveys.

圖 25 經過工程作業(ENOps)模組地形分析後選出 21 個最佳方案

參考資料：Gary L. Anderton .etc, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p28~29.

綜合以上分析，工程機械效能的發揮不僅僅單靠操作人員的技術，精度的控制與量測掌握了工程與機械間作業的效能與品質。工程管理資訊系統的應用將土方工程帶進新的領域，從工程選址、規劃、量測、設計以及土石方計算等諸多繁複的程序、技術文件、圖表與行政作業予以整合，大幅減少誤差與遺漏的可能性，縮短作業時間提升管控效益，極具導入應用的價值。

未來效益提升作法

由工程管理的觀點而論，資訊軟體的運用已是必然的趨勢亦是最佳的考量，筆者認為如何妥善的將資訊科技導入應用或開發提出下列建議：

一、提升機具精度控制與時效

註¹³：Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p30~31.

工程機械作業的品質，是藉由儀器量測後回饋機械操作人員校正高程與精確度，往往耗費許多人力與時間。美軍整合了一個名為工程控制系統(Grade control system)之工程機具控制技術(如圖 26)。工程控制系統，是一種結合衛星定位設備與雷射感應器來協助機具操作人員掌握工作位置、高程與坡度等資訊的系統。該系統是將感應設備裝設於機械之液壓連桿或轉向機構等位置，功能在於自動感應施工高程與坡度後及時將相關資訊藉由駕駛室面板引導作業人員依系統設定之高程、方位、坡角等數值來操作機具完成作業；衛星定位儀則是告知作業人員作業區之高程以及方位同時讓管理人員可透過系統隨時掌控機械作業之情況，以便依實際狀況決定機具作業方式與調度(如圖 27、28)。該系統精度控制目前已發展到公分級的標準而在國外亦廣泛應用。然而在 2007 年美軍工兵部隊也運用在聯合作戰急造機場構築之聯合機械作業任務當中，用來控制工程機械施工時操作之精度控制與取代人員量測作業，大幅精簡人力與時效^[14]。



圖 26 以雷射激光器結合 GPS 輔助機具操作精度即時控制實例

參考資料：Gary L. Anderton .etc., Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p53.



圖 27 工程控制系統於平路機應用實例

參考資料：Gary L. Anderton .etc., Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p66.



圖 28 工程控制系統於推土機應用實例

參考資料：Gary L. Anderton .etc., Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p67.

註¹⁴： Gary L. Anderton, Ernest S. Berney, Travis A. Mann, J. Kent Newman, E. Alex Baylot, Daniel K. Miller, and Quint Mason, Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p51.

二、資訊系統之開發與整合運用

民間企業使用的資訊系統雖然已十分成熟便利，但是對本軍的任務、功能需求以及作業環境與人員素質而言均有一定之差異，直接導入使用在便利性與適用性上仍然受限，因此若能開發一套合宜的任務規劃系統一方面可捨去不必要的功能，一方面可重新設計方便官兵使用的軟體介面，同時整合至本軍應用如聯戰的相關系統更可強化其運用價值。

三、專家決策系統之開發

工兵部隊任務若結合本軍相關作戰計畫，就任務屬性、類型與位置而言變異性相對較小，因此以數位地理圖資、部隊編配工程機械之種類以及數量等資料進行分析，並將任務參數建立資料庫後發展工兵任務專家決策系統(如圖 29)，當指揮官接獲狀況時可依據該系統輸入任務種類、作業範圍與位置等數據後，依資料庫設計參數定義可解算模擬出多個可行方案供指揮官下決心時之參考，縮短決策時間與減少狀況誤判之可能性，若經過驗證修正調整參數後亦可用於工兵任務之兵棋推演中，使幹部能演練工兵指參專業技能。

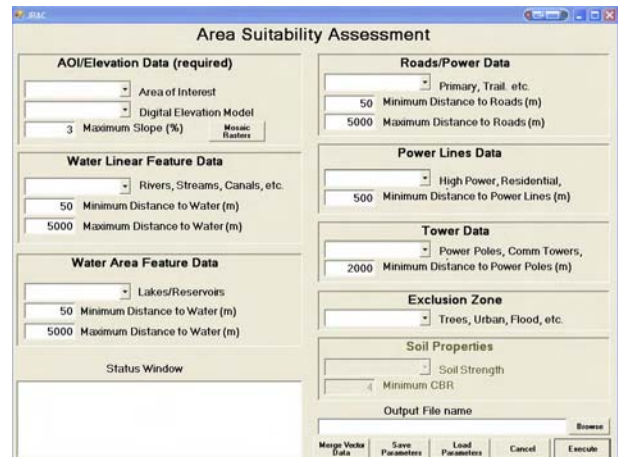


圖 29：為美軍針對急造機場建造所發展之決策系統介面

參考資料：Gary L. Anderton .etc., Joint Rapid Airfield Construction 2007 Technology Demonstration, US Army Engineer Research and Development Center, July, 2008,p21.

結 語

土方工程為土木建築工程最基本且重要作業項目之一，土方工程施工計劃之擬訂，應依工程地形、作業規模、工期、土質種類及氣候等因素做綜合考量，方可研訂最經濟的施工模式；再者由於各種施工機械設備的發達，採用機械方式施工，不但可提升施工效率、縮短工期及降低施工成本，且可確保施工品質等優異特性，故一般土方施工規劃，均以機械化施工為主^[15]。

在以往多憑經驗以傳統方法調派機械，如此排程方法在小型工程或可勝任，但在工作量大、複雜性高之土方工程則往往顧此失彼浪費資源。藉由縝密、精確的規劃，可有效管控機械施工的效率與數量，一方面減少不必要的資源浪費，一方面提升任務遂行，加速了工程施工的進度，但目前在施工機械調派的

註¹⁵：簡德和，《開發區域內土方工程最佳調派決策模式之研究》（桃園：國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2004年6月），頁13。

管理技術顯然較為欠缺，而3D介面的工程規劃資訊可即時運算工程作業量，大幅縮短作業時間與提升工程進度的掌控度，值得進一步再深入的研究。

作者簡介

李孟文中校，中正理工學院 54 期、工校正規班 141 期、國立屏東科技大學企業管理所碩士；曾任排長、連長、工程官、教官，現任職於陸軍工兵學校機械組教官。