

地理資訊系統於作戰地形分析之應用

作者/粟文楷中校 許朝安上尉

◆提要

二十一世紀的作戰為聯合作戰，強調網狀化作戰理念，因此數位化建軍成為各國重視之議題。其中作戰地形資訊系統為作戰資訊系統建置之基礎。相關地形分析模式之建立均與作戰區域地形特性及使用之軍事準則有關，需因應國情差異進行研究探討。

許多研究均指出地理資訊系統(GIS, Geographic Information System)具備即時有效的資料與空間分析(Spatial Analysis)技術、虛擬實境、3D景觀模擬等多種展示能力，可應用於決策支援、資料庫建置與管理、統計分析…等相關領域，故本研究針對作戰地形分析之應用，參考本軍與美軍準則，並使用地理資訊軟體，初步探討作戰地形分析模式之建立及其應用，提供數位化建軍之參考。

關鍵字：地形分析、地理資訊系統

壹、前言

資訊化作戰為現代戰爭趨勢，為達成此一目標，必須先建立作戰資訊系統，然由美軍發展作戰地形資訊系統過程中可發現作戰地形資訊系統為作戰資訊系統建置之基礎^[註1]。中共學者亦指出指揮控制系統由戰場資訊系統、作戰模擬系統、作戰分析系統、火力支援控制系統、防空火力控制、保障勤務控制系統等所組成^[註2]。基於各國建軍構想、準則與編裝之差異，導致作戰資訊系統的內容不同，但不論何種規劃，戰術地形分析與戰場地情資訊之產出均為達成完善作戰資訊系統之核心，由此可知作戰地形分析之重要性。

美軍發展數位地形支援系統(Digital Topographic Support System; DTSS)中即以影像處理軟體結合地理資訊系統(GIS)依其準則與編裝加以設計完成^[註1]。從地理資訊系統支援軍事上的應用之經驗以及一些研究相關研究之成果中顯示，GIS不僅在於提供戰場地理圖形之顯示，更具備整合多種來源情資與情資動態顯示之能力，並能提供戰場指揮官所需之戰術地形分析成果，如射界分析、空降

註1：<http://www.tec.army.mil/ctis/about/main.html>

註2：中文書籍：王凱，數字化部隊，北京，解放軍出版社出版，1998。

場、地形障礙分析等之評估。而這些能力主要依賴即時有效的資料與空間分析(Spatial Analysis)技術，方能達成有效的運作。

本研究參考戰場情報準備中相關地形分析之準則，建立作戰地形分析模式，將之轉換成可供地理資訊系統執行之空間分析並探討其應用，使作戰地形分析資訊化，以提供工兵未來發展參考。

貳、作戰地形分析與地理資訊系統簡介

一、作戰地形分析

作戰地形資訊的重要性如同美國陸軍新版之「作戰要綱」的說明：作戰環境的四大要素是地理、地形、氣象與基礎設施，這四大要素在物質範疇對陸軍作戰有重大之影響。而我軍「戰場情報準備」中亦指出作戰地形分析包括「觀測與射擊、隱蔽與掩蔽、障礙、地形要點、接近路線」等地形五大要素^[註3]。故將上述作戰地形分析作業以 GIS 將之資訊化即為本文探討重點。

二、地理資訊系統

地理資訊系統(GIS)是一套應用電腦軟、硬體設備以提供蒐集、管理、處理、更新、查詢、分析、統計、以即時展示各種數位化地理資料的電腦基礎系統^[註4]。GIS 所包含的子系統有：資料輸入系統、圖形及數性編輯系統、空間資料庫、空間查詢與空間分析系統、製圖與輸出系統^[註5]。藉由地理資訊系統可將作戰地形分析需人工作業之情資轉化成可使用電腦判讀，以快速產生可供指揮官下達決心之情資。

參、作戰地形分析模式建立

由戰場情報準則可知作戰地形分析可區分為「觀測與射擊、隱蔽與掩蔽、障礙、地形要點、接近路線」等地形五大要素，將各地形分析準則轉換成地理資訊系統分析步驟，分述如下：

一、觀測與射擊

觀測者，乃吾人運用監視器材，觀察測度敵軍動態之能力；射擊者，係武器之射界，以及天氣，地形對武器投射系統特性之影響而言^[註6]。「觀測與

註3：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備作業手冊，陸軍總司令部，1998，頁19。

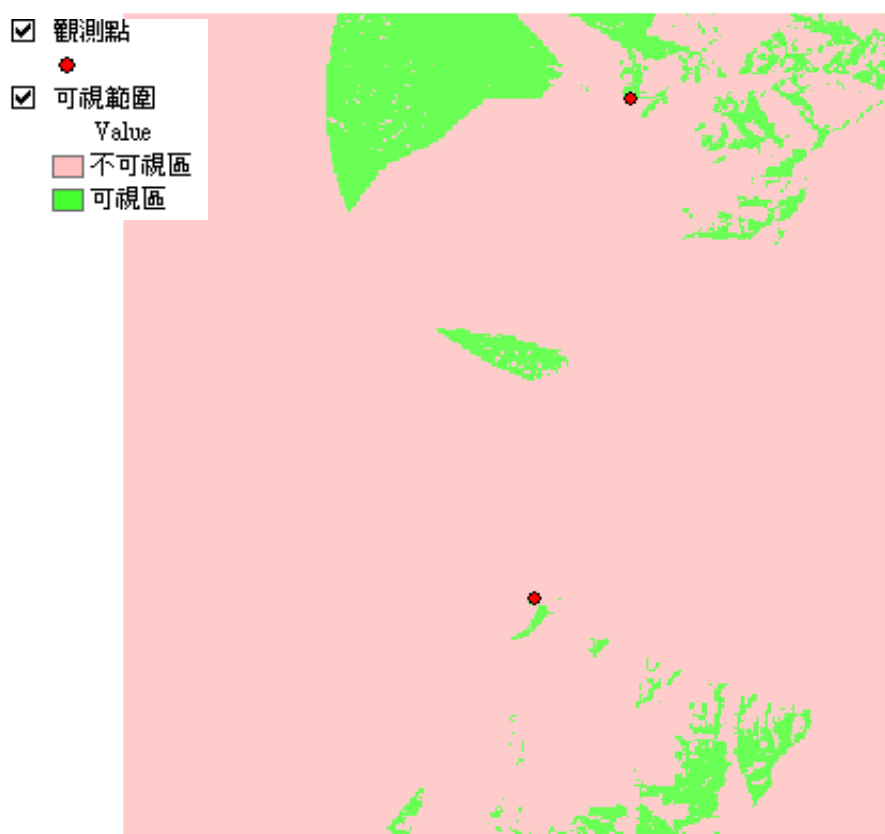
註4：中文論文：王瑞源，「地理資訊系統應用在軍事情報研判作業之研究」，國防大學國防管理學院，2001，頁14～19。

註5：中文期刊：陳昆峰，「利用地理資訊系統建立兵要資料查詢系統雛型之研究」，陸軍學術月刊，第39卷，第456期，2003，頁79～84。

註6：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備作業手冊，陸軍總司令部，1998，頁20。

射擊」實為一體兩面，作戰區地形之觀測性越高者表示此地形易遭人觀測或射擊，此分析為決策者判斷偵查點、偵查器材設置、兵(火)力之部署與行進之路線之基礎。

觀測與射擊分析是以視線(LOS, Line of Sight)及視域(Viewshed)分析方法為基礎的分析應用。目前視線分析之演算法已漸趨完備，以規則網格之演算法為例^[註7]，是以數位高程模型(DEM, Digital Elevation Modle)中任一網格，將其與觀測點相連，判斷其連線是否與DEM其他網格相交。若不相交，則該網格可視；否則，不可視。而視域分析則為視線分析360°的面域分析，即是以觀測點為中心，視線距離為半徑環繞360°分析而得知其視域範圍，如圖一所示。紅點為觀測點，粉紅色區塊為不可視區；綠色區塊為可視區。



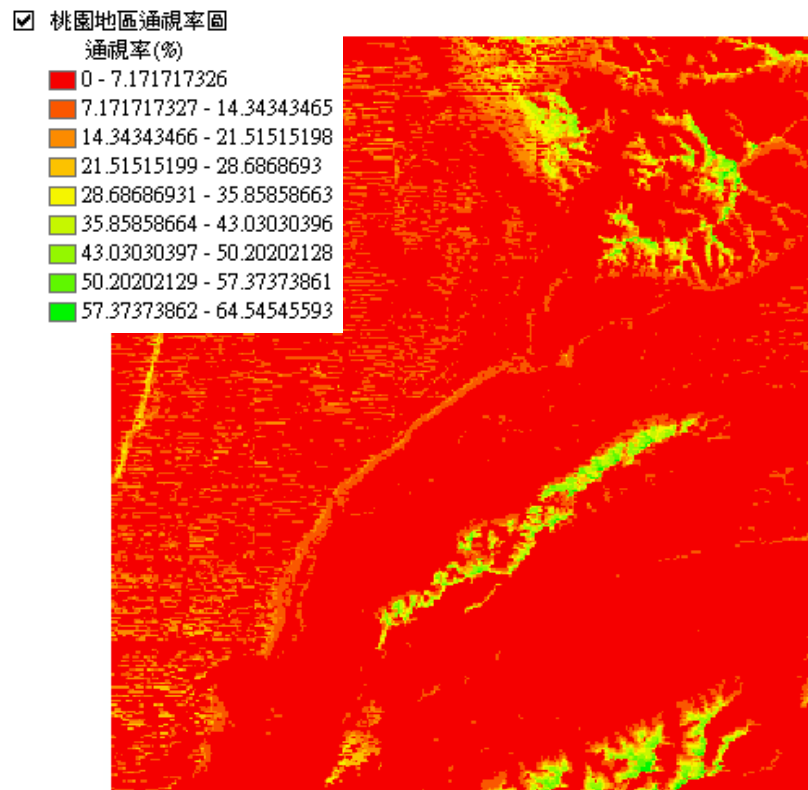
圖一 視域分析示意圖(資料來源：作者繪製)

視域分析另有一種描述方式，即「通視率」。「通視率」係於觀測區域內設置等間距之一組觀測點。然後計算地形面上每一單元可被多少觀視點通

註7：中文書籍：吳立新、史文中，地理信息系統原理與算法，北京，科學出版社，2003，頁326～341。

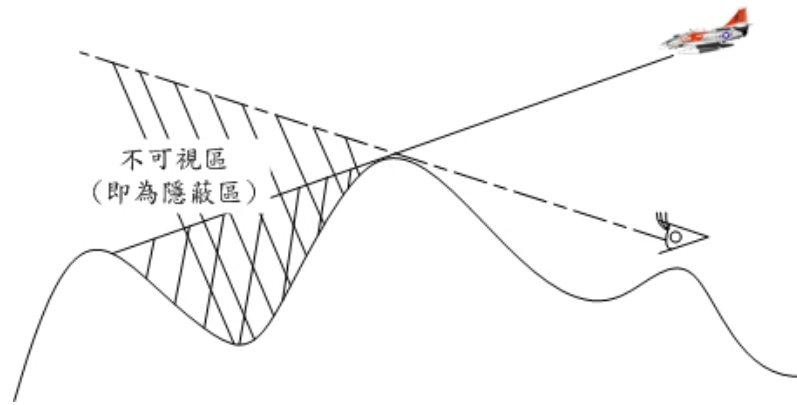
視，將之以百分比表示，如圖二所示，其公式為：

$$\text{通視率}(\%) = (\text{可通視之觀視點數} / \text{所有觀測點數}) \times 100\%$$

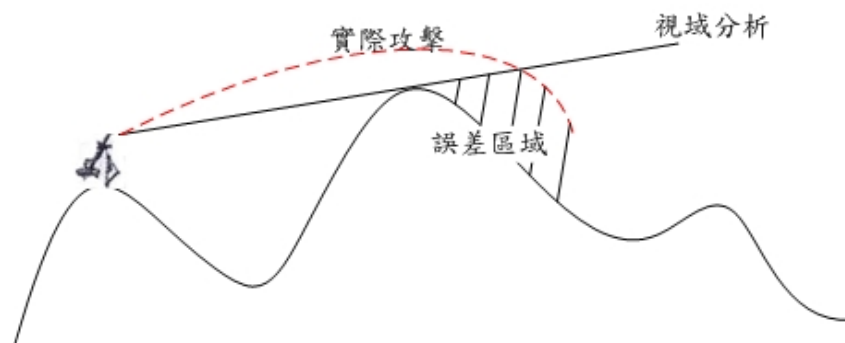


圖二 通視率示意圖(資料來源：作者繪製)

觀測與射擊分析可採用上述之視域與通視率分析模式達成，其差異處在於觀測點(武器、雷達、無線電台等)的屬性設定。如空中與地面之觀測不同處在於視域分析時之距離地表高度與觀視的角度(垂直角與方位角)，如圖三所示。另直射武器之射線即為觀測者之視線，其不同處僅為武器水平射角與最遠射擊距離等屬性之不同，故可應用視線分析實施直射武器射域之分析；而曲射武器因彈道與氣象條件因素，在分析時會產生誤差，如圖四所示，但在未發展精準模式前，採用直線視域分析仍具有參考價值。



圖三 空中與地面觀測示意圖(資料來源：注釋5)



圖四 視域與實際曲射武器之分析誤差(資料來源：注釋5)

觀測與射擊分析採用上述視域與通視率分析模式，並考量GIS軟體之支援與分析方式建立其模式分述如下：

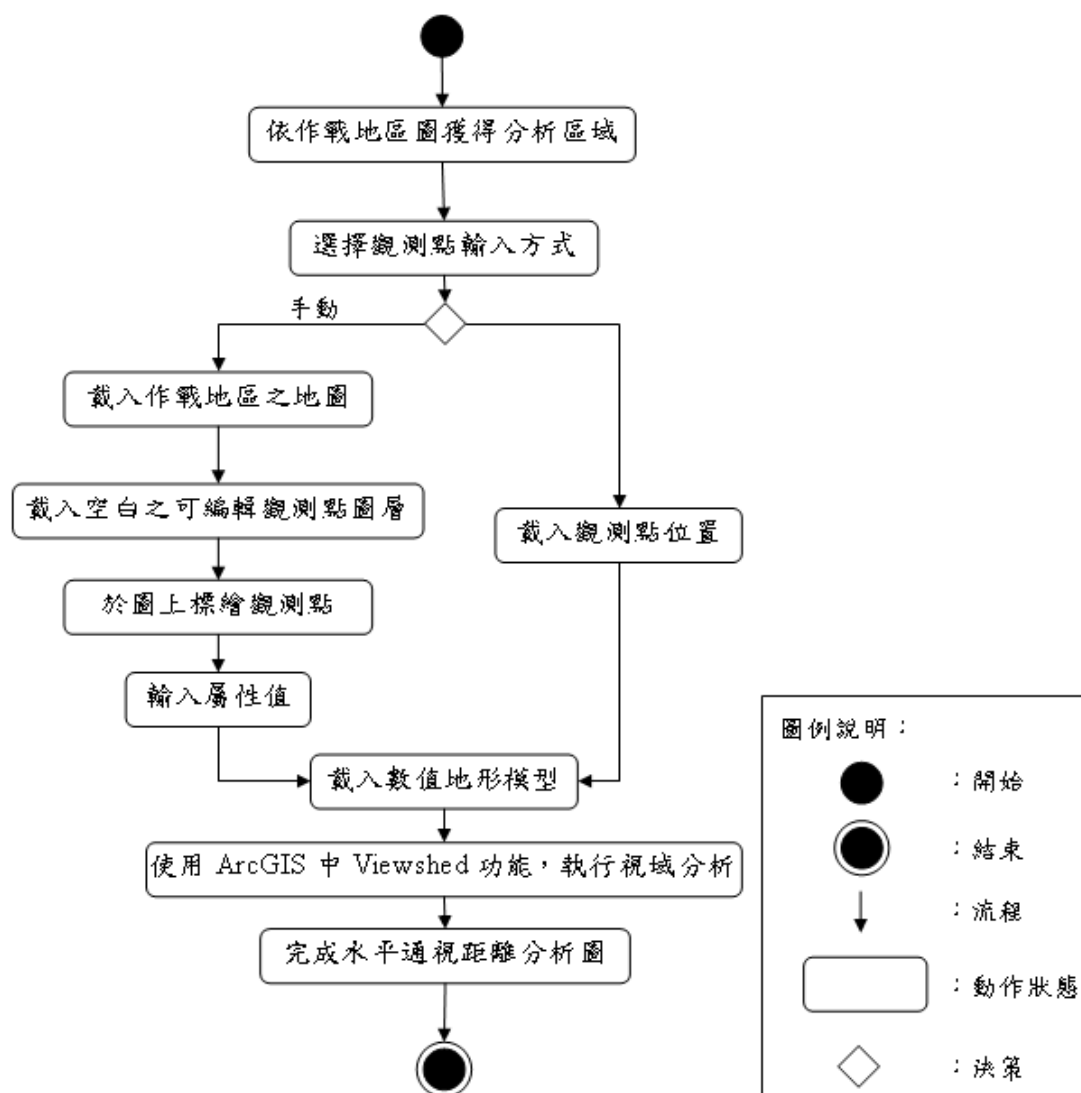
(一)視域分析

視域分析可於決定觀測點(武器載台)之位置前或後實施分析，以了解此觀測點(武器載台)可通視(攻擊)範圍，其分析主要依觀測點、武器與雷達等不同性質之參數進行分析，在GIS視域分析功能之各項參數定義，如表一所示。以下以「水平通視距離分析」為例，說明視域分析之流程。

表一 觀測點(武器)之屬性說明(資料來源：作者繪製)

參數	說明	備考
Sport	位置(X, Y)	
Offset A	觀測者(武器)高於地形面的高度	若無，系統定義值為1
Offset B	目標高於地形面的高度	若無，系統定義值為0
Azimuth1	水平左射角(方位角)	若無，系統定義值為360°之分析
Azimuth2	水平右射角(方位角)	
Vert1	仰角(0~90°)	若無，系統定義值為90°~-90°之分析
Vert2	俯角(0~-90°)	
Radius1	最短半徑	若無，系統設定值為0
Radius2	最長半徑	觀測(武器)可視距離或攻擊距離，若不輸入則系統將之視為無限遠。

「水平通視距離分析」先選擇偵查點輸入之方式，使用手動方式則將欲分析之區域地圖載入，使用標繪工具於圖上標繪觀測點所在位置或手動輸入其位置。因觀測人員可360°觀測且無俯、仰角限制，故僅須設定觀測點之距地表高度(Offset A)與最遠觀視距離(Radius2)參數；另可使用載入方式則將預先建立之觀測點圖層載入(已完成參數建置)，完成以上兩種輸入方式其中之一後，再載入分析區域之數值地形模型使用視域分析，完成「水平通視距離分析」，流程如圖五所示。

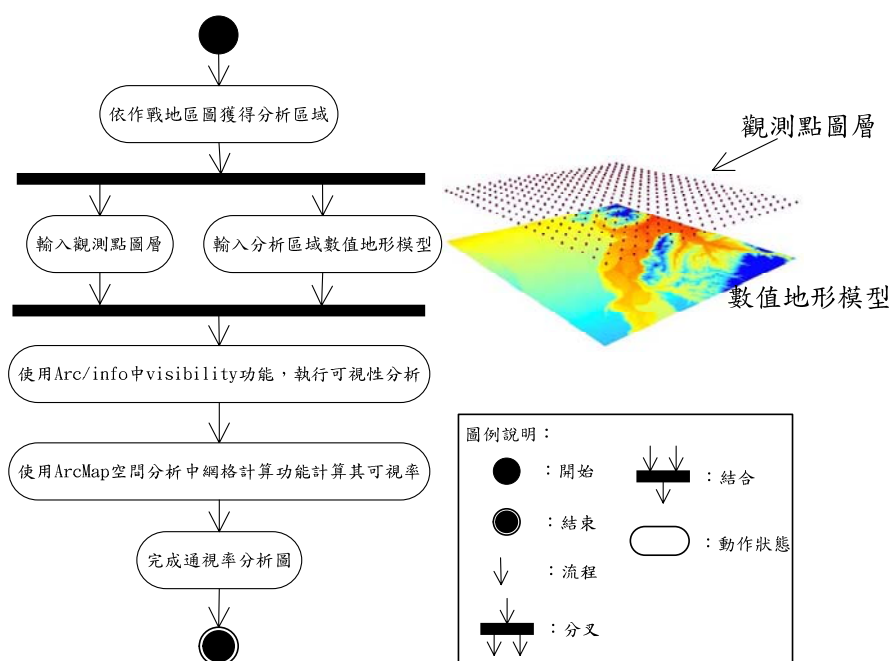


圖五 「水平通視距離」分析流程(資料來源：作者繪製)

(二)通視率分析

通視率分析則是不須指定觀測點(武器)之位置，而以預設之等間距觀測點來模擬觀測點(武器載台)位置或飛機在空位置，計算每一地形面單元之通視率，以了解作戰區內地形是否易遭人觀測或攻擊之。

通視率分析可使用ESRI ArcInfo執行，利用預設之觀測點進行計算(通常使用規則距離之觀測點)，系統會計算地形面上每一單元可被多少觀視點通視，並將其值紀錄下來。依上述公式換算為通視率表示。流程如圖六所示。此項分析可應用各項觀測與射擊分析功能，在建立預設之觀測點或航線時，依性質之不同，設定相關屬性即可。



圖六 通視率分析流程(資料來源：作者繪製)

二、隱蔽與掩蔽

隱蔽之目的，在避免敵之觀測，可藉森林、叢樹、深草、雪堆、農作物等獲之；掩蔽之目的，在於避免直射或曲射武器之效力，可藉塹壕、坑洞、堤壩、起伏地、彈坑、圍牆、建築物等獲之^[註8]。本項分析有助於研判防禦地形、接近路線、集結區、疏散區等，分述如下：

(一)隱蔽分析

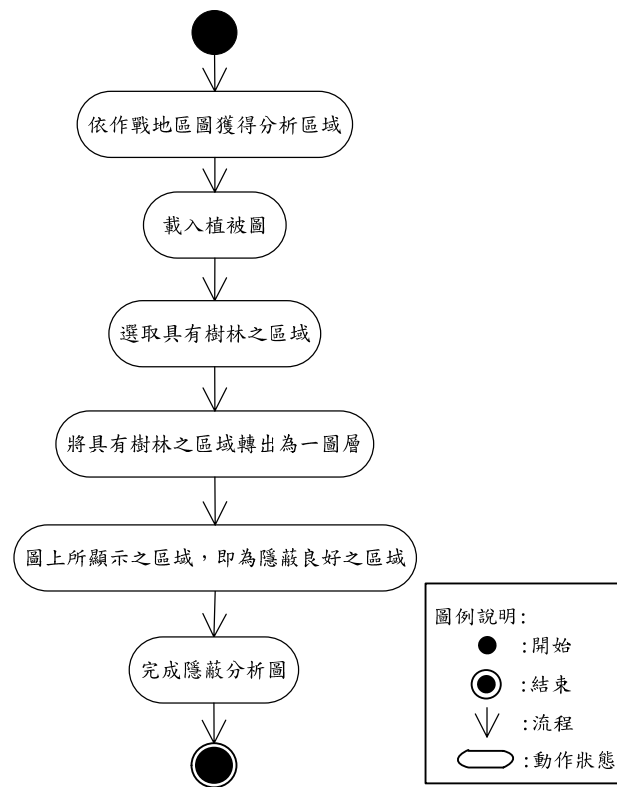
隱蔽分析採網格式分析，係以林木離散疏密程度為分析法，另有以樹木之株距研判鬱蔽度(隱蔽率)或樹枝張開度區分其隱蔽等級等方法。而考量台灣因位處亞熱帶地區，在丘陵與平原地區，多為濃密之闊葉林，夏、冬兩季樹葉凋謝之況並不明顯，且散置之灌木叢、獨立樹等並不多見，具有良好之隱蔽效能。隱蔽分析功能設計主要以樹林作為隱蔽之考量，當決策者欲了解作戰區域內可隱蔽之地區時，則可區分為隱蔽良好(林區)與不良地區(非林區)，分析時將植被種類為樹林之區域選出，將之轉出為一獨立圖層，便可完成隱蔽分析，分析流程如圖七。

(二)掩蔽分析

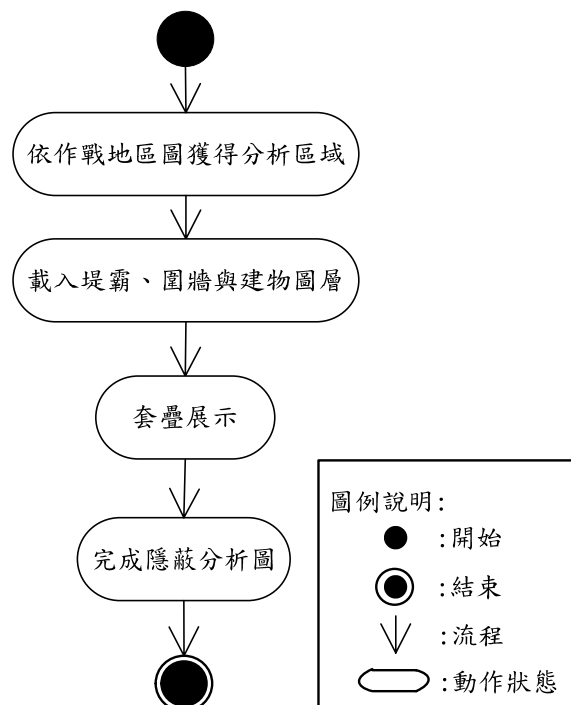
掩蔽良好的地形特徵包括塹壕、坑洞、堤壩、起伏地、彈坑、圍牆、建築物。但塹壕、坑洞、彈坑為作戰開始時始有之地形特徵，而起伏地之判斷

註8：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備作業手冊，陸軍總司令部，1998，第23頁。

則可使用通視率分析功能。本研究將堤壩、牆、建築物等視為掩蔽物，於掩蔽分析時，將之載入套疊展示以提供決策者參考，分析流程如圖八所示。



圖七 隱蔽分析流程(資料來源：作者繪製)



圖八 掩蔽分析流程(資料來源：作者繪製)

三、障礙

障礙乃作戰區內，足以妨礙或阻滯軍事行動之地形、地物。可區分為天然與人為障礙，天然障礙包括河川、溪流、沼澤、斷崖、陡坡、沙漠、山嶺、城鎮等；人為障礙乃為阻止或妨礙軍事行動所構築之工事或破壞等，如雷區、彈坑、塹壕、鹿砦、道路阻絕、橋樑破壞、有計畫的氾濫、核生化感染地區、林火等，此類障礙為實際作戰開始後，始有之障礙^[註9]。障礙分析在於提供障礙地形，以作為機動走廊與接近路線評選之基礎。

依據戰場情報準備所定義屬於障礙類別之戰術地形資訊包含有：「建築區、道路、水系圖」、「斜坡分析圖」、「植物障礙圖」與「土質通行性分析圖(乾、雨季)」，可將各種障礙因素繪於一張圖上，成為「混合障礙圖」，並將通行性區分為通行區、緩行區、阻礙區。另在美軍準則中於混合障礙圖定義有所不同，故本研究將之區別整理如表二所示。定義混合障礙圖內容應包含不可行地形、緩行地形、建築地區、河川障礙、障礙物與敵我目標等六類。以提供決策者了解作戰地區內所有相關障礙，並支援機動走廊與接近路線之分析，更可提供參謀擬定作戰計畫時之參考依據，如偵蒐計畫、阻絕計畫、後勤設施配置等。另各地形障礙分析所能支援混合障礙分析綜整如表三所示。依表建立混合障礙分析流程如圖九所示。

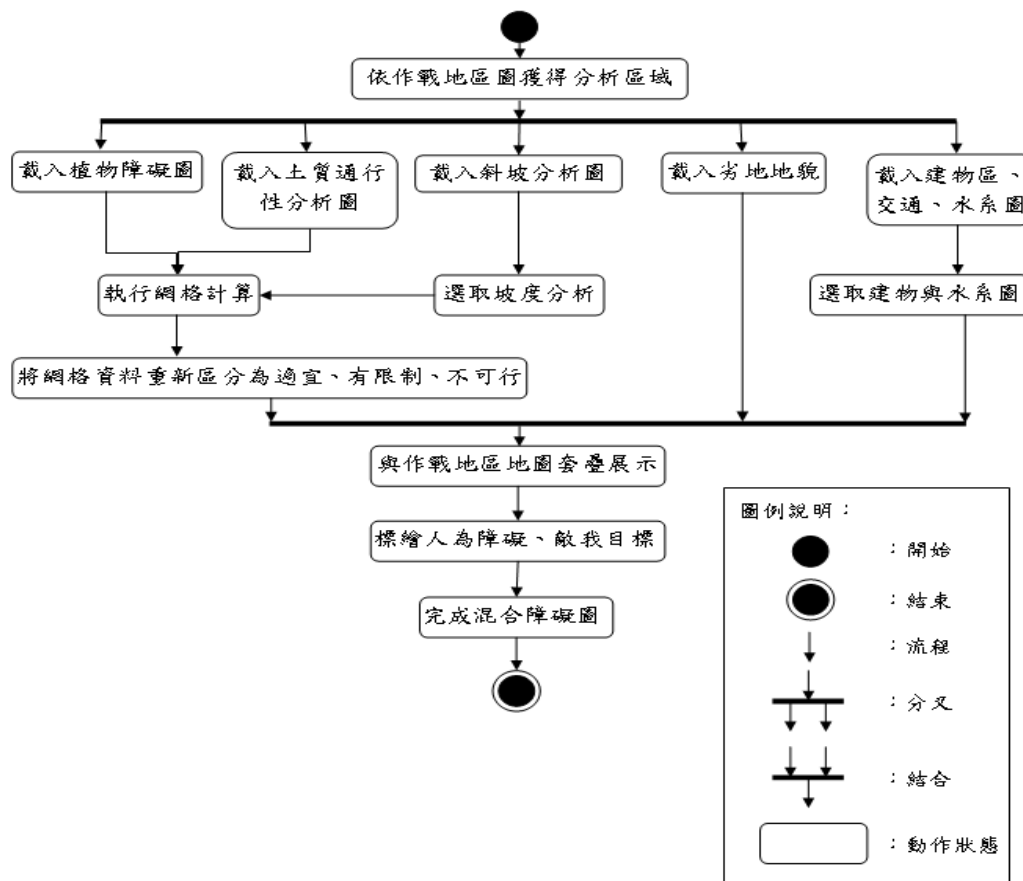
表二 混合障礙圖內容應包含項目(資料來源：作者繪製)

準則與規範	混合障礙圖內容	本研究定義之混合障礙圖內容
陸軍戰場情報準備作業手冊	1. 通行區 2. 緩行區 3. 阻礙區	1. 不可行地形 2. 緩行地形 3. 建築地區 4. 河川障礙 5. 障礙物 6. 敵我目標
美軍陸軍野戰教範－戰場情報準備	1. 不可行地形 2. 緩行地形 3. 建築地形 4. 河川障礙 5. 地形要點 6. 障礙物 7. 接近路線與前進軸線 8. 機動走廊 9. 敵我目標	

註9：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備結合指參作業程序(參考資料)，陸軍總司令部，2004，第23～27頁。

表三 各分析支援混合障礙分析一覽表(資料來源：作者繪製)

混合障礙內容	應用之分析
不可行地形	斜坡分析中坡度>45%之地形、植被障礙與土壤通行性中歸類為不可行之地形、劣地地貌。
緩行地形(有限制)	斜坡分析中坡度30~45%之地形、植被障礙與土壤通行性中歸類為有限制之地形。
建築區	面積大於1平方公里視為障礙。
河川障礙	水系圖
障礙物	主要在於標繪人為障礙、天然或人造天氣之影響。
敵我目標	使用標繪工具標繪之



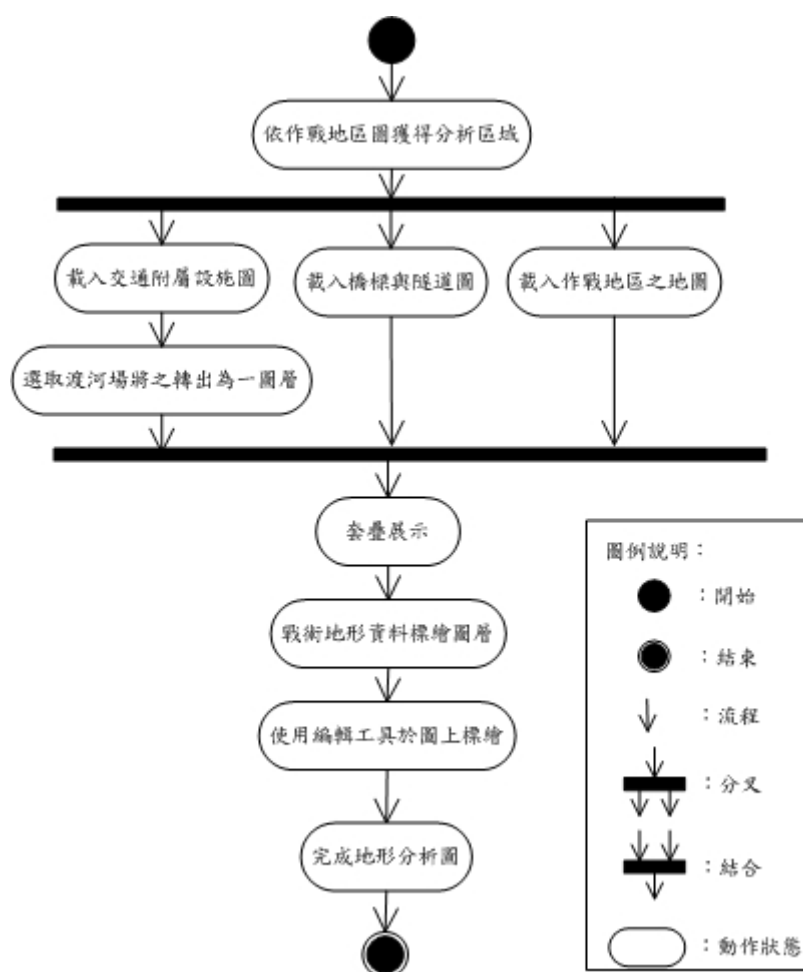
圖九 混合障礙圖分析流程(資料來源：作者繪製)

四、地形要點

地形要點於國軍戰場情報準備之定義為：任一點或地區其攻佔或固守，

對敵我雙方任一方具有顯著利益者^[註10]。美軍戰場情報準備則定義地形要點為奪取或控有後，具明顯戰術價值的地形或區域，列舉如下：橋樑、渡河場、高地、隘口、道路叉口、偵查管制點等^[註11]。地形要點之選定，主要以部隊任務為考量因素，本研究暫依美軍之定義選取地形要點。

地形要點之選取主要是由決策者依部隊階層、任務之不同而有不同之判斷，其中高地、隘口、道路叉口與偵查管制點須由專業作戰人員所選定。故可將橋樑、渡河場完成分析，執行地形要點分析功能時，將資料載入後，如需專業作戰人員判定則以人工標繪執行，其分析流程如圖十所示。



圖十 地形要點分析流程(資料來源：作者繪製)

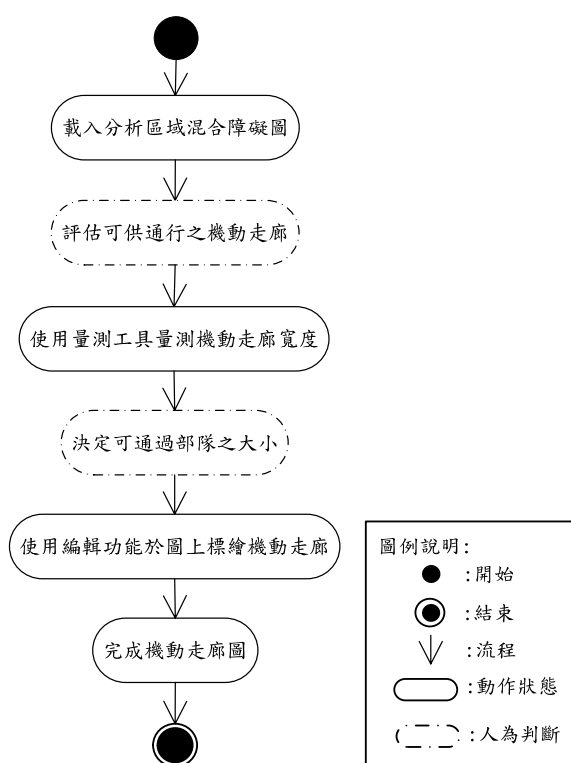
註10：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備作業手冊，陸軍總司令部，1998，頁28。

註11：西文書籍：Department of the Army, Intelligence Preparation of the Battlefield, FM 34-130, Headquarters, Department of the Army, Washington, 8 July 1994.

五、接近路線

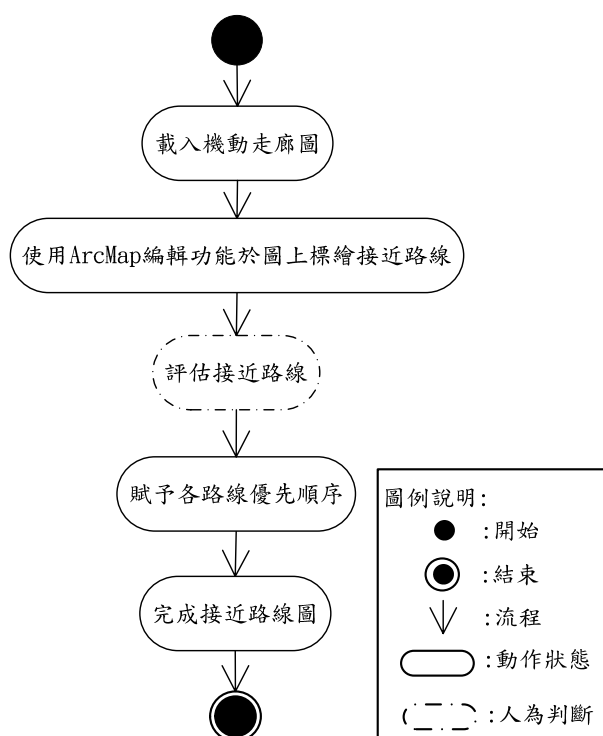
機動走廊為接近路線內可供敵我雙方部隊前進或撤退，及發揮集中、機動、速度等戰術原則之地形。接近路線即為多個機動走廊之組合，通常標示至低一層級之部隊，與機動走廊不同者，接近路線可能涵蓋「阻礙區」之地形^[註12]。

機動走廊分析之處理是以「混合障礙圖」為基礎，先標繪出機動走廊，依其寬度判斷可通過之部隊大小，再以軍隊符號註記於圖上，通常標示至低兩個層級之部隊，以旅作戰需求，須標示至「連」。故主要在於量測與標繪之功能，而自動判別路廊之大小，仍有待研究，其分析流程如圖十一所示。而接近路線分析則依機動走廊結合成接近路線，須標示至「營」，經專業作戰人員進行評估與判斷後，使用人工標繪賦予接近路線之優先順序，完成接近路線分析，分析流程如圖十二所示。



圖十一 機動走廊分析流程(資料來源：作者繪製)

註12：中文書籍：陸軍總司令部，戰場情報準備作業手冊，陸軍總司令部，1998，頁28～29。



圖十二 接近路線分析流程(資料來源：作者繪製)

參、作戰地形分析之應用

作戰地形分析之應用，是依上節地形五大要素分析模式為之基礎，所實施之應用，本節針對常用之作戰地形分析應分述如下：

一、武器射界分析

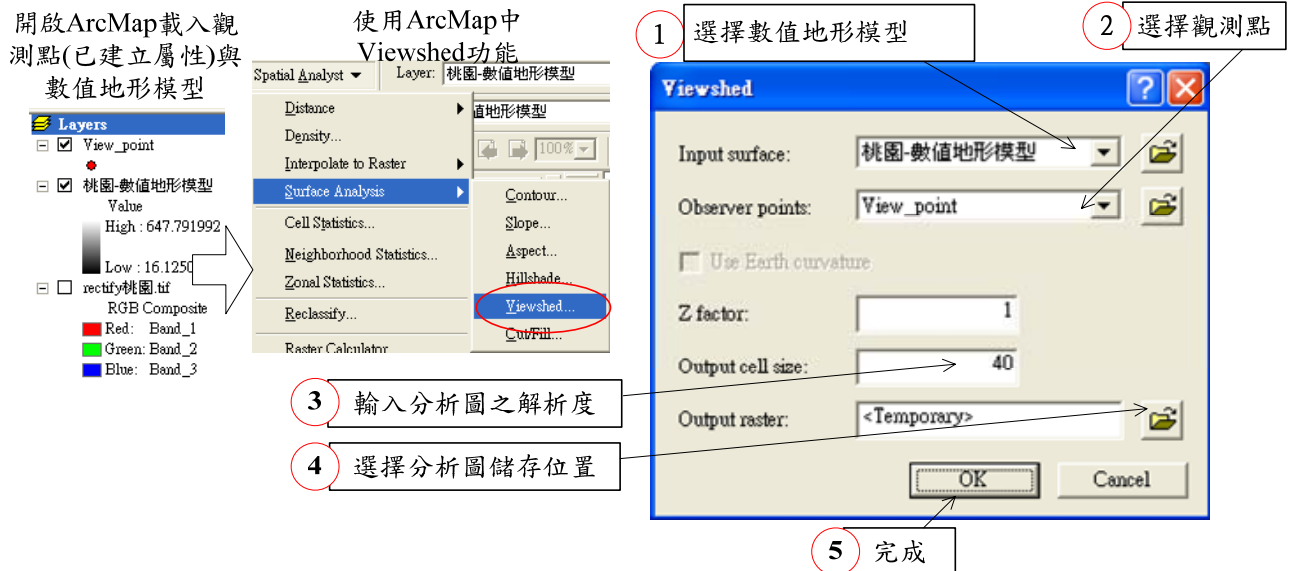
由上節所述觀測分析即為直射武器之分析，分析時應使用含有地表上層覆蓋物(含人工建物及植被)的數值地表模型(DSM, Digital Surface Model)，以獲得精確之分析。本研究目前所蒐集之資料僅有地表高程資料之數值高程模型(DEM)，因此，本研究使用此資料支援觀測與射擊分析，其目的在測試與驗證分析之可行性。說明如下：

使用GIS系統中ArcCatalog新增一Shape檔以編輯觀測點可標繪之圖層(設定流程如圖十三所示)，待開啟ArcMap載入觀測點可標繪之圖層(此觀測點即為為直射武器設置地點)與欲分析區域之影像地圖後，於標繪圖層實施標繪，並編輯其屬性(參考表1輸入武器離地面之高度與射擊之最遠距離)。之後載入欲分析地區之數值地形模型，並執行ArcMap之視域分析，本研究所採用之數

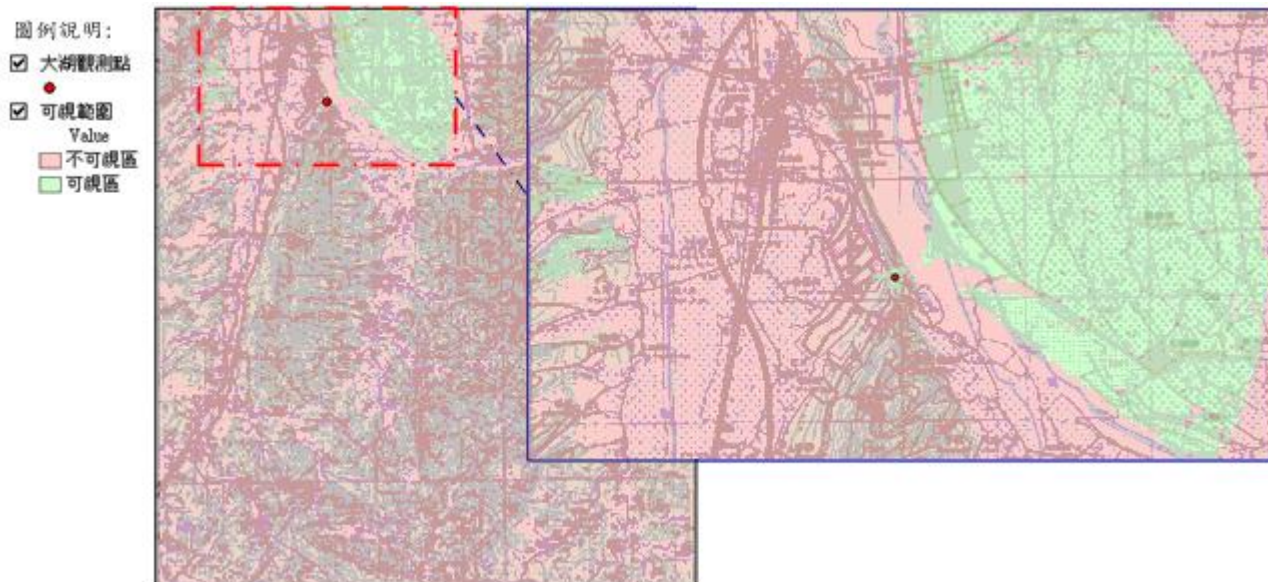
值地形模型，其解析度為40公尺×40公尺，故輸入解析度為40，其程序如圖十四所示，完成「武器射界圖」如圖十五所示，圖中觀測點即為直射武器設置位置，綠色範圍區域即為直射武器火力涵蓋範圍。



圖十三 設定武器點編輯圖層流程(資料來源：作者繪製)



圖十四 執行視域分析之流程(資料來源：作者繪製)



圖十五 武器射界圖-大湖地區(資料來源：作者繪製)

二、空降場選址

空降場分析在於評選敵可能空降場地，本研究結合美軍「FM5-33」與國軍「反空降與反空中機降教則」之準則，並參考吳文藝所提出「反空(機)降阻絕具體作為之研究」，整理如表四所示。綜整後地形區分坡度、植被與面積三方面考量，首先決定軍事設施或重要設施位置，使用GIS軟體中環域分析功能，選取距離設施30公里內之範圍，將之轉出為一網格圖層並給定分類值為1；載入植被圖選取可空降之植被覆蓋區，將之轉為網格式資料，進行重新分類面積大於等於2.5平方公里給定分類值為1，小於則分類值為0；載入數值地形模型，使用GIS軟體中坡度分析功能，將坡度小於10%者給予分類值為2；10~30%分類值為1；大於30%則分類值為0，將上述完成分類之各圖層進行網格計算，可得一計算成果圖，其中分類值為2之區域即為適宜空降之場地；分類值為1之區域即有限制之空降場地；分類值為0之區域即為無法空降之場地，其分析流程如圖十六所示。其中空降場面積詳細計算公式為：

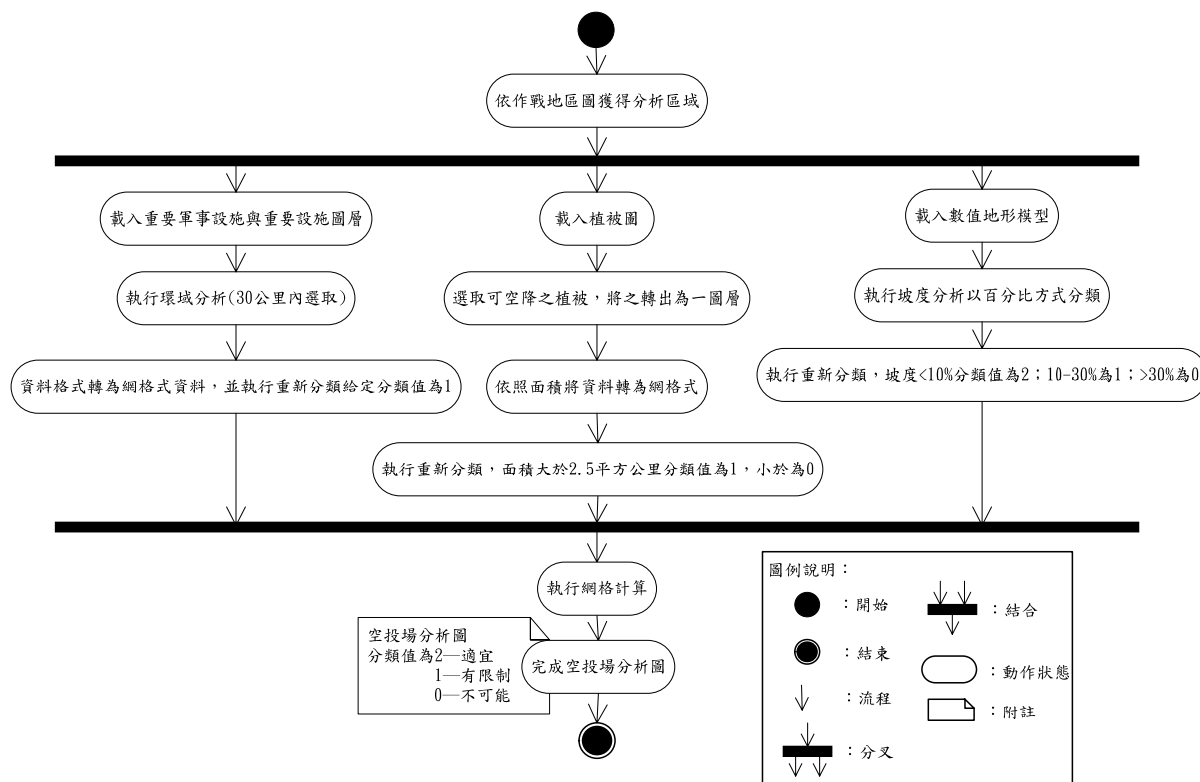
$$D = R \times T$$

式中 D 為空降場須增加之長度(m)； R 為飛機每秒之地面速度(m/s)； T 為人員所需空降時間(s)，而一基本單機單兵空降面積為550×550公尺。以運輸機安-12型為例(最大飛行速度195.5m/s)，若單機搭載60人，採雙門跳傘。則 $R=195.5\text{m/s}$ ；採雙門跳傘故人員數須除2，又第一批跳傘者不納入空降所需時間，故扣除1秒， $T=(60/2)-1=29\text{秒}$ ； $D = R \times T = 5670\text{公尺}$ ， $5670+550=6220\text{公尺}$ ，

可得其所需空降場面積為6220×550平方公尺，約為3.4平方公里。本研究使用較為嚴苛之條件，面積為2.5平方公里即可實施空降，以盡量將可供空降之場地納入考量。

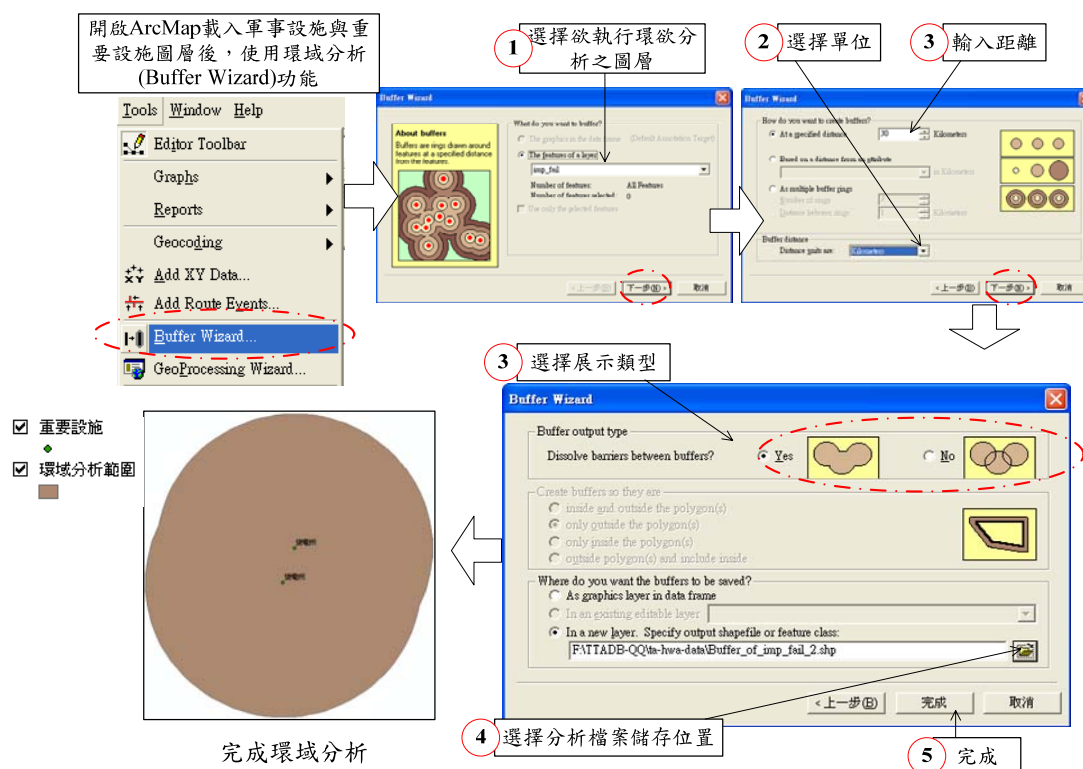
表4 各文獻與準則對空降場選定一覽表

文獻與準則	反空(機)降阻絕具體作為之研究 (參考文獻一)	FM5-33 (參考文獻二)	反空降與反空中機動作戰教則 (參考文獻三)
內容	◎一般地形： 開闊地、台地、高爾夫球場、空曠之山嶺、小叢林起伏地、坡度較小之山麓蔗園、茶林及林間空地。 ◎軍事設施： 高級司令部、通信中樞、勤務設施、倉庫區、軍事生產設備、要塞、雷達站、飛彈基地、機場、港口、及交通樞紐。 ◎非軍事性重要設施： 水庫、發電廠、油井、煉油廠、重工業設備、核子科學設備、氣象台、船屋。	◎小於10%坡度是優先的，30%是允許提供空降。 ◎距離關鍵城市30公里內。 ◎空投場需靠近聯絡線。 ◎必須有進入或撤退的路線。 ◎空投場可獲得掩蔽和隱藏。 ◎最小寬度和長度依靠類型，飛機規格和速度，表面風，空投人員的數量或者貨物的類型，以及能見度。	◎應靠近預定奪取目標。 ◎無妨礙著陸之障礙物。 ◎一般一個營一個降場，需要面積2.5平方公里。

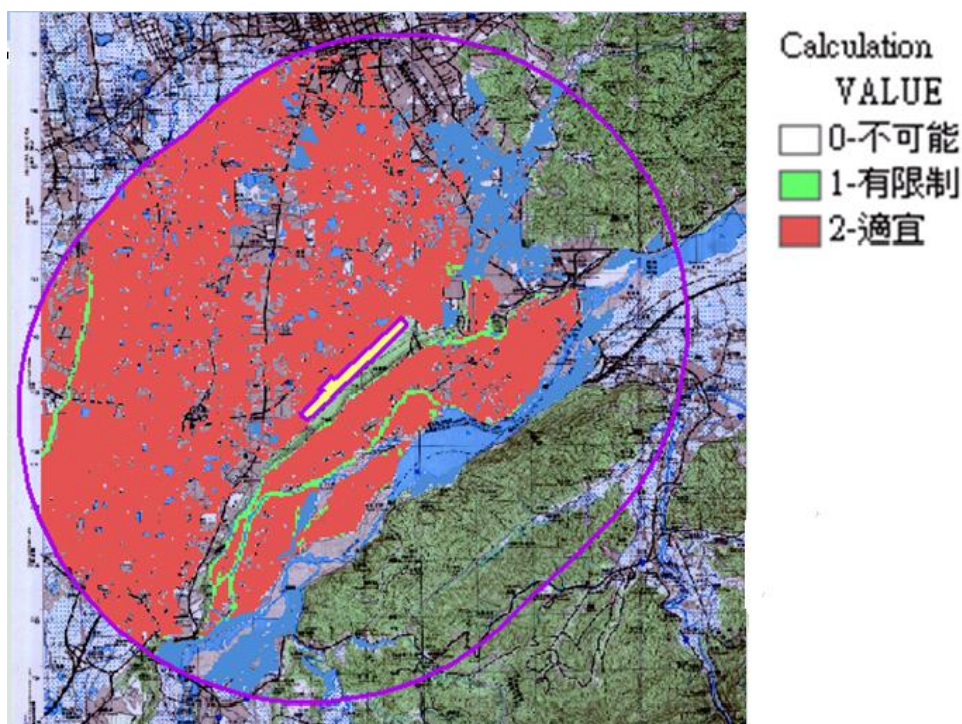


圖十六 空降場分析流程(資料來源：作者繪製)

依上述空降場分析流程完成建置基本資料後，使用其環域分析之功能，分析流程如圖十七所示。選取軍事目標或重要設施距離30公里內之區域後，實施坡度與植被分析，依上述之定義進行重新分類並給予分類值，執行網格計算以完成空降場選址。大湖地區經分析後，並無可供空降之場地，故以示意圖表示如圖十八，紅色區塊為可空降之區域。



圖十七 環域分析流程(資料來源：作者繪製)



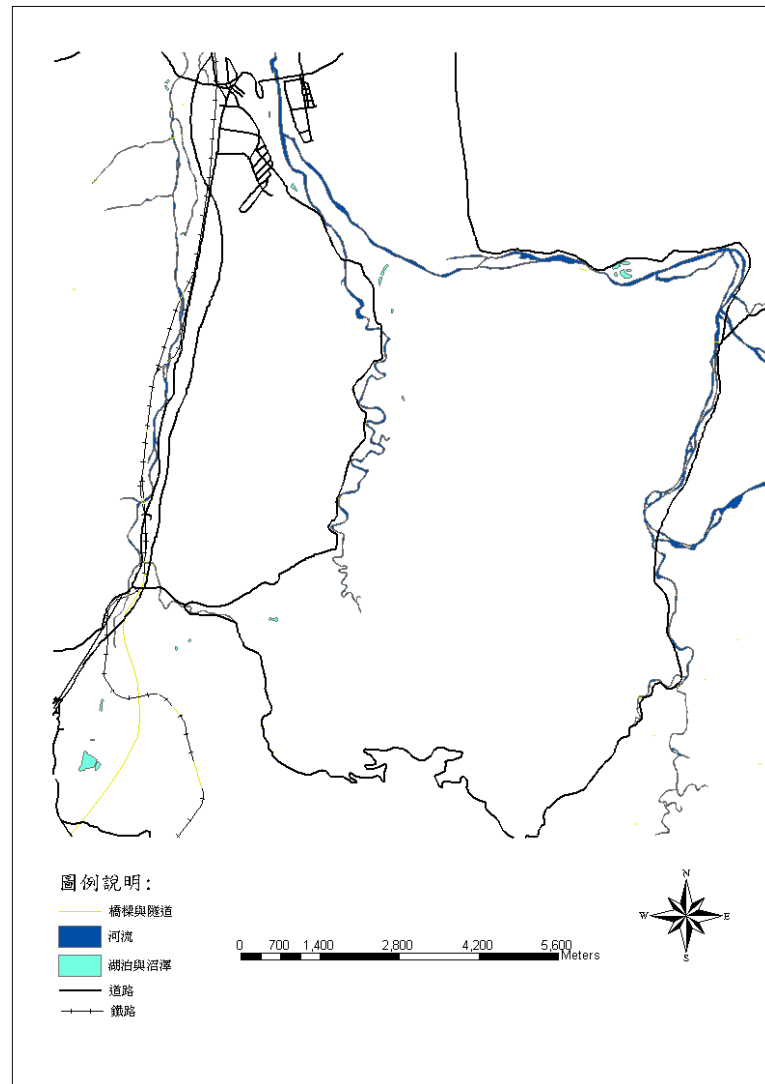
圖十八 空降場選址示意圖(資料來源：作者繪製)

三、地形障礙分析

地形障礙依據戰場情報準備所定義屬於障礙類別包含有：「建築區、道路、水系」、「斜坡分析」、「植物障礙」與「土質通行性分析(乾、雨季)」，可將各種障礙因素繪於一張圖上，成為「混合障礙圖」。故本研究使用 GIS 軟體，應用於各地形障礙分析，並將其各地形障礙分析結合為混合障礙，分述如下：

(一)建築區、道路、水系分析

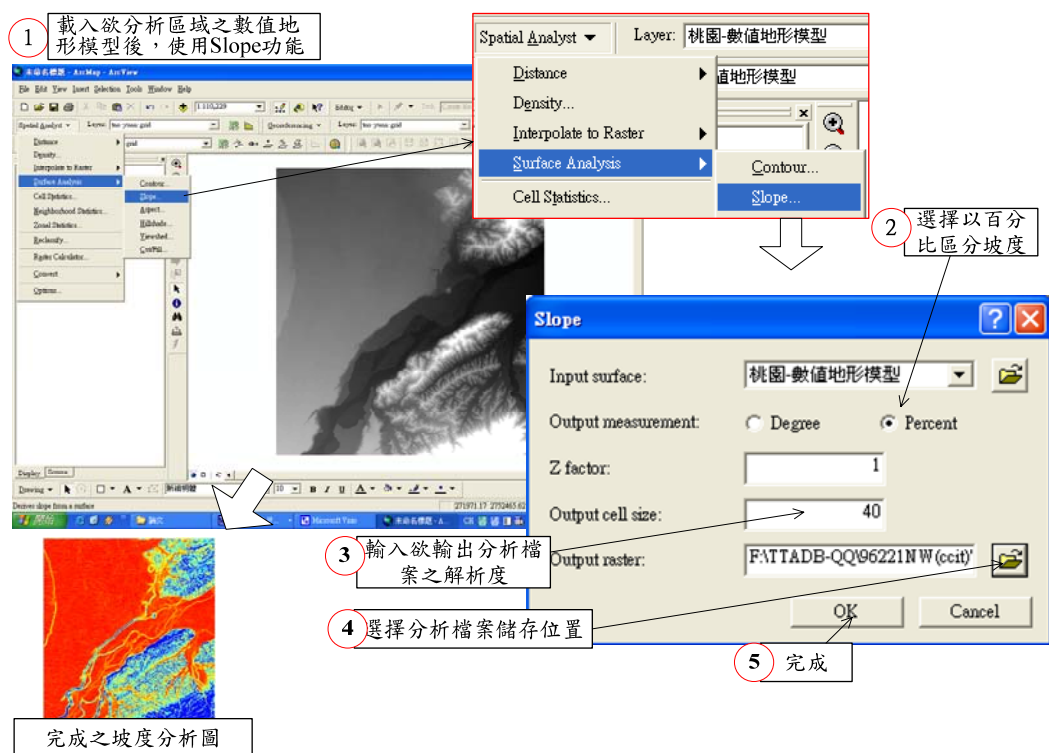
執行此項分析時，則使用屬性選取建築區、道路、水系圖之資料，選取建物面積大於1平方公里者；道路選取高速公路、重要道路與次要道路；水系則以江、河、溪與面狀水域障礙，即完成建築區、道路、水系之分析，完成如圖十九所示。



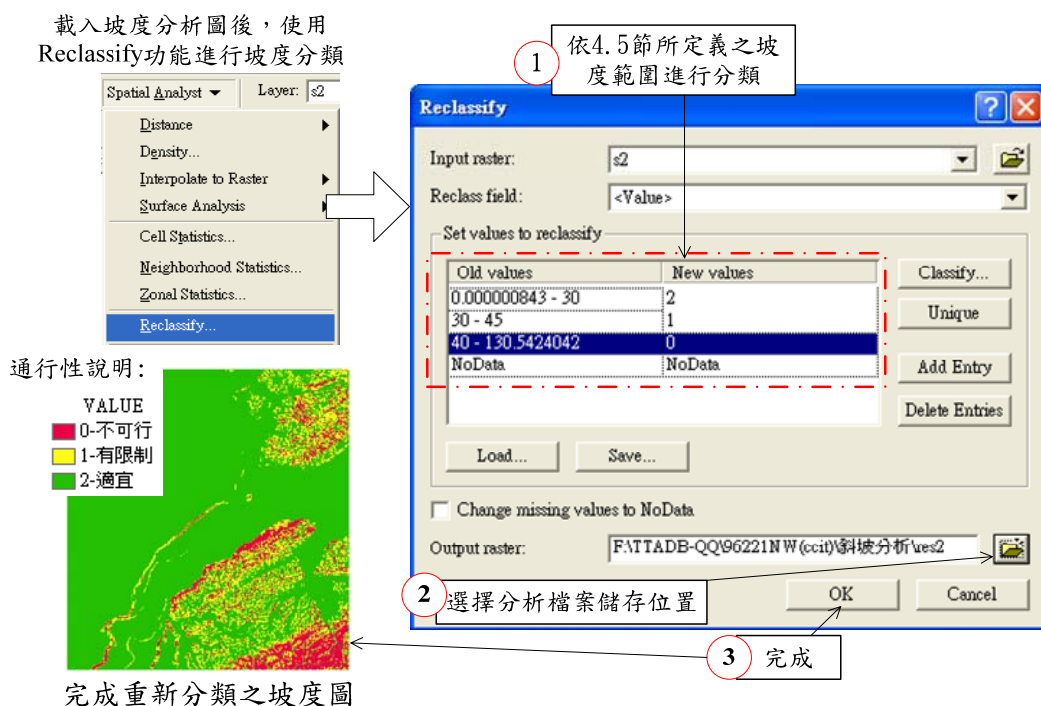
圖十九 大湖地區-「建築區、道路、水系圖」(資料來源：作者繪製)

(二)斜坡分析

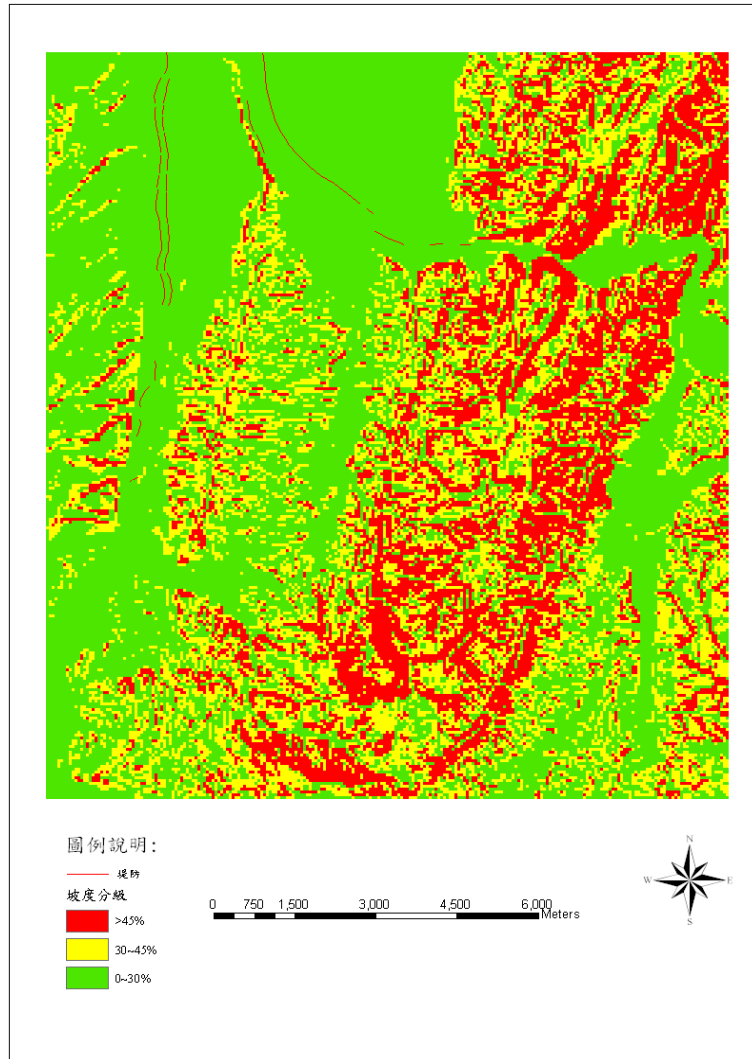
斜坡分析係載入欲分析地區之數值地形模型後，使用ArcMap中坡度分析功能進行分析，流程如圖廿所示。依表三對於坡度之分類，使用重新分類(Reclassify)功能將坡度分為三類(流程如圖廿一)，完成斜坡分析如圖廿二，圖中0~30%為適宜通行，30~45%為限制通行，>45%為不可行。



圖廿 坡度分析流程(資料來源：作者繪製)



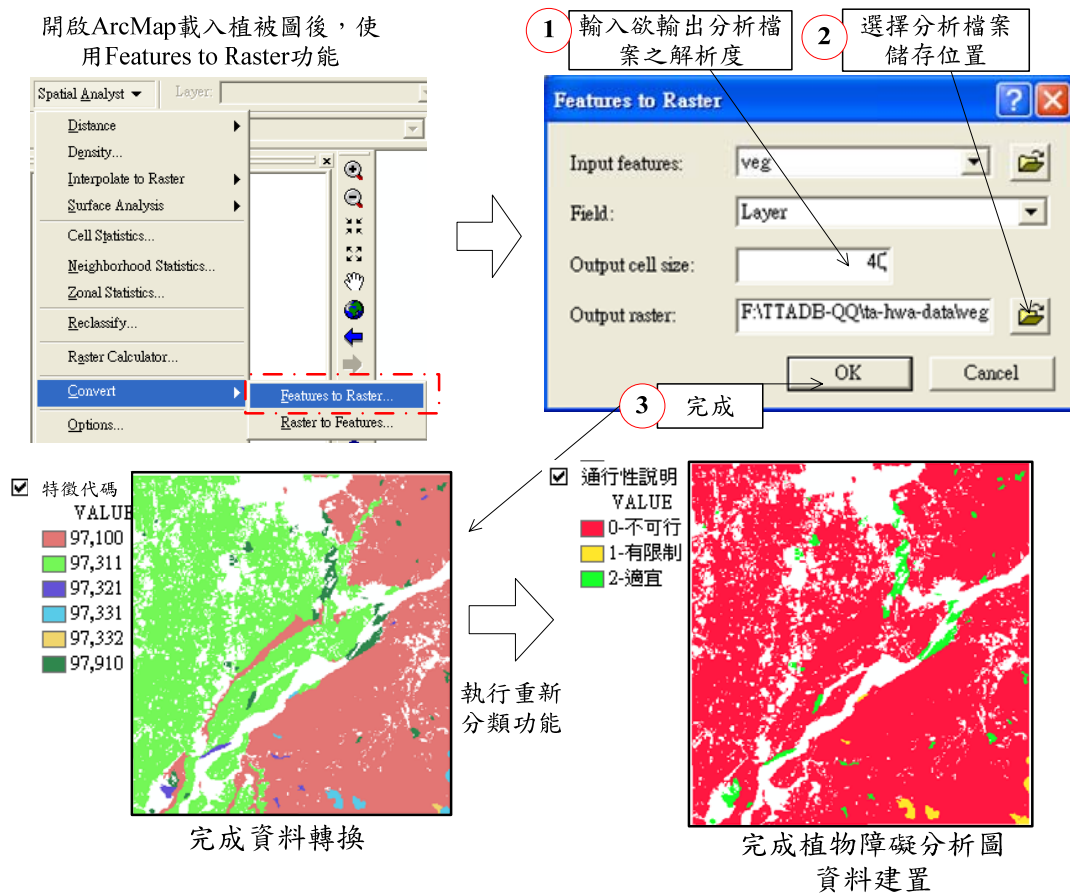
圖廿一 坡度重新分類流程(資料來源：作者繪製)



圖廿二 斜坡分析圖-大湖地區(資料來源：作者繪製)

(三)植物障礙分析

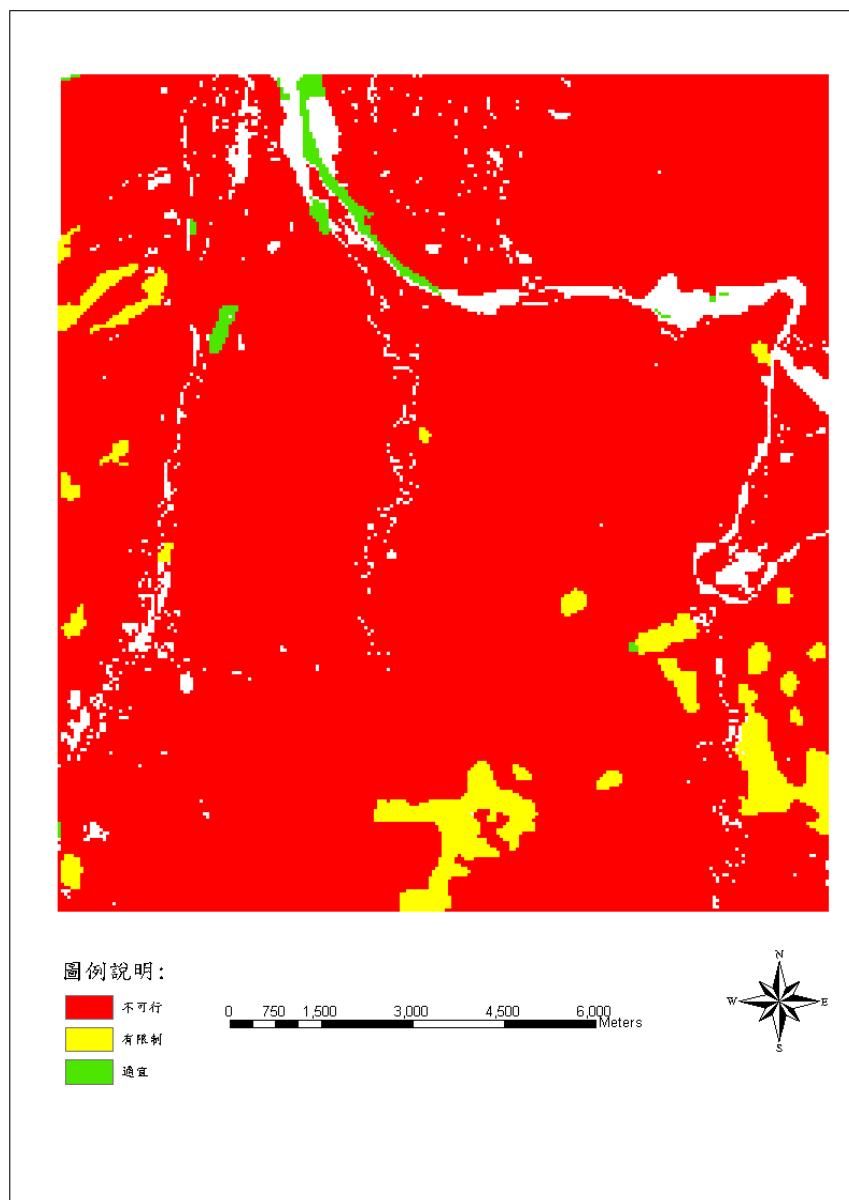
植物障礙分析是採網格分析。而植被資料為向量式資料，故須先依植被種類屬性，將其轉換為網格式資料，以利分析之執行，其轉換流程如圖廿三所示。再參考表五植被種類對部隊機動之影響，執行重新分類功能(流程參考圖廿一)，即完成植物障礙分析，完成如圖廿四所示。



圖廿三 植物障礙分析資料轉換流程與建置(資料來源：作者繪製)

表五 植被對裝甲部隊之通行性影響(資料來源：參考文獻四)

植被類型	通行性說明
草原、乾作物、荒地或疏林、裸露地	適宜
有樹林或密度不大之矮林、茶林、蔗田	有限制
經常積水之沼澤、濕地、稻田、鹽場、梯田（高度須高於1.3公尺）、密林、崎嶇山地（雨劣、流土、洞穴、崩土等）	不可行



圖廿四 植物障礙分析圖-大湖地區(資料來源：作者繪製)

(四)土質通行性分析

土質通行性分析之流程與植物障礙分析相同，但水保局土壤資料與統一土壤分類法之分類方式有所出入，資料中「壤土」為統一土壤分類未分類之土壤，係由砂40%、粉砂42%與黏土18%所組成^[註13]。若依統一土壤分類法之粒徑分佈曲線區分^[註14]，可將其歸類為強度小於砂之土壤。本研究將水保局之資料整理歸類為統一土壤分類法之分類方式，以中型坦克為考量，

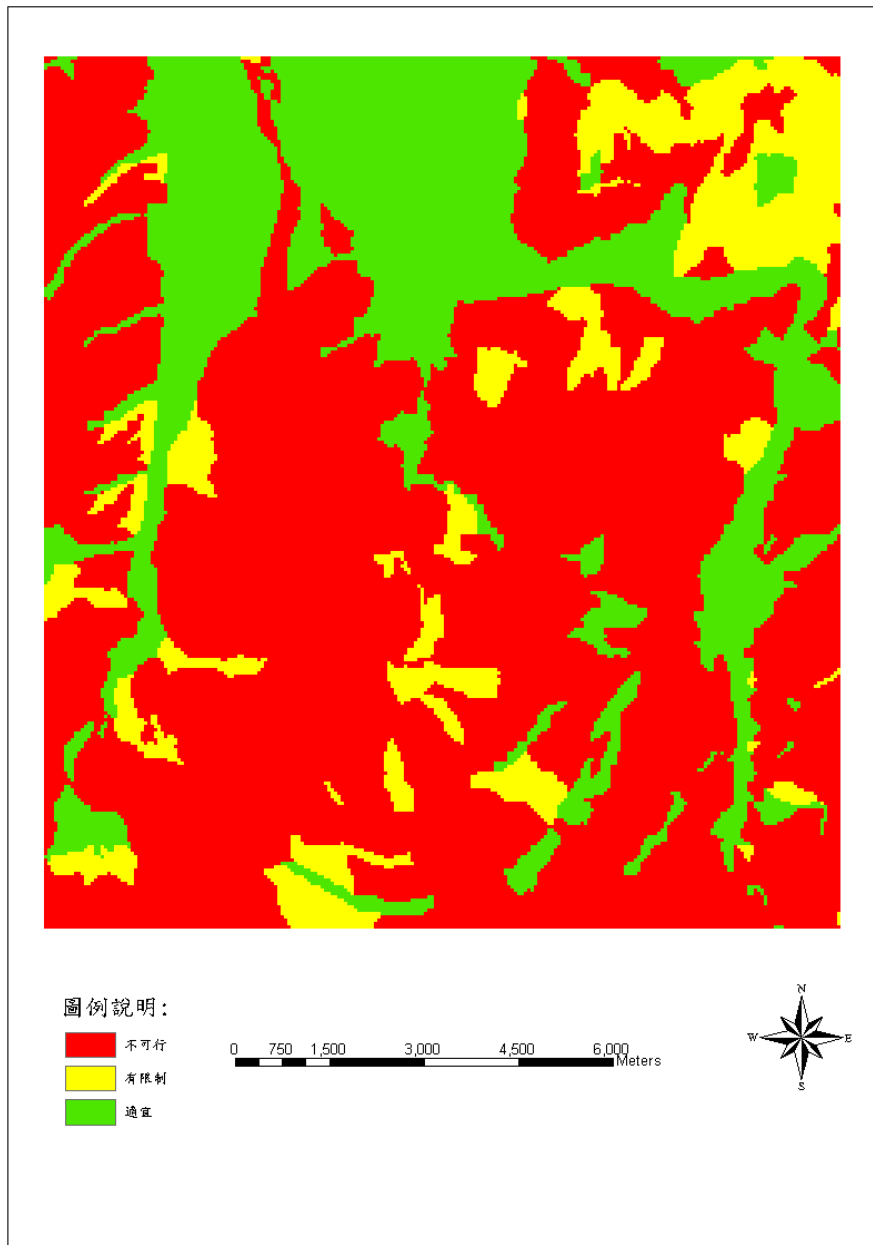
註13：中文期刊：石再添、許民陽，「土壤地理概說」，國立台灣師範大學地理教育，第 10 期，1984，頁 18～26。

註14：中文書籍：施國欽，大地工程學(一)土壤力學篇，文笙書局，台北，1971，頁2-33～2-38頁。

整理如表六所示。另水保局僅有坡地之土壤圖，故暫假擬平原土質均可通行方式實施分析，實際應用時，仍須取得平原相關土壤數值資料。依表六執行重新分類功能，即完成土質通行性分析，如圖廿五所示。

表六 中型坦克土壤運載能力分類(資料來源：作者繪製)

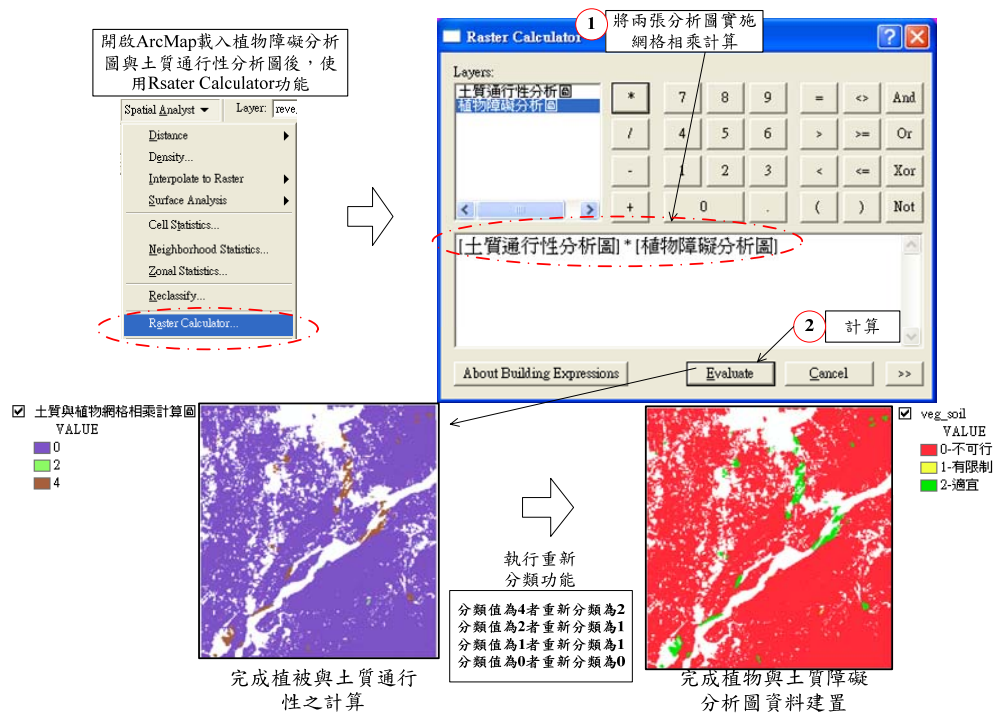
土壤質地編號	水保局土壤分類	統一土壤分類	土質通行性說明
0	粗砂土、砂土	GW、GP、SW、SP	適宜
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土		
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細質砂質壤土	GH、GC、SC、SM-SC、MH	有限制
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土		
4	粉質壤土、粉土		
5	壤土	L、SP-SM、GM、SM、ML、CL-ML、OL、OH、Pt	不可行
6	砂質粘壤土		
7	粘質壤土、粉質粘壤土		
8	粉質粘土、砂質粘土		
9	粘土		



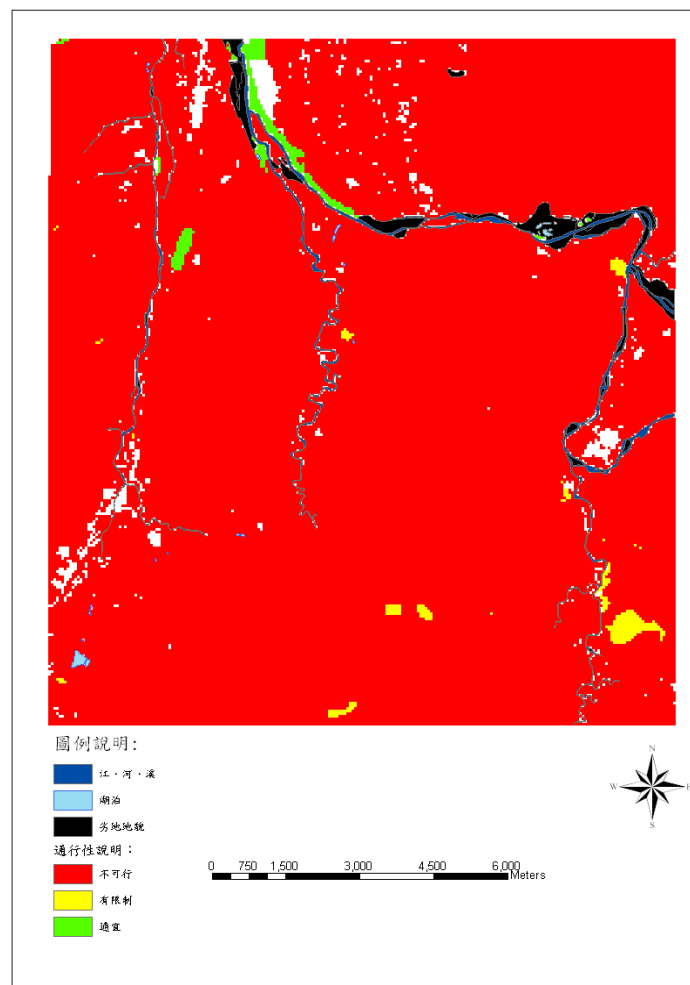
圖廿五 土質通行性分析圖-大湖地區(資料來源：作者繪製)

(五)混合障礙分析

混合障礙分析上節所定義之分析流程，使用ArcMap中網格計算功能，將植物障礙分析圖、土質通行性分析圖，坡度分析圖結合成一分析圖，網格計算流程如圖廿六所示。先完成植物與土質通行性分析圖合併後，再與斜坡分析圖執行網格計算，完成三類圖層之合併，並與劣地地貌、建物(大於1平方公里)與水系圖套疊，即完成混合障礙分析，如圖廿七所示。



圖廿六 網格計算流程(植物與土質通行性分析圖；資料來源：本研究整理)



圖廿七 混合障礙分析圖-大湖地區(資料來源：作者繪製)

四、架橋點選址

依據國軍「渡河教範」、「M2 框桁橋操作手冊(上、下冊)」及「MGB 中框橋操作手冊(上、下冊)」等準則，固定橋架設位置選定須包括下列條件^[註15]：

- ◎有良好之道路網、進出路及迴車場：運用 GIS 之路網分析模組進行分析，律定距岸邊 50 公尺內須有道路通過，故設定河岸至最近道路間距離 $S \leq 50$ 公尺。
- ◎兩岸高度相近且土質堅實穩固：以 MGB 中框橋架設為例，其縱向坡度不超過 10%，橫向坡度不超過 20%，由坡度計算公式 $V(\%) = (\text{高程差} \div \text{水平距}) \times 100\%$ 可得：

(一)橋樑之橫向坡度 $V1 = (H1 \div \text{橋樑寬度}) \times 100\% = (H1 \div 4.01) \times 100\% \leq 20\%$ ，
故 $H1 \leq 0.802$ 公尺，其中 $H1$ 為橋梁上、下游端間之高程差。

(二)橋樑之縱向坡度 $V2 = (H2 \div \text{橋樑長度}) \times 100\% = (H2 \div 49.4) \times 100\% \leq 10\%$ ，
故 $H2 \leq 4.94$ 公尺，其中 $H2$ 為我岸及遠岸間之高程差。

- ◎兩岸須有足夠空間可供作業及放置器材：為爭取時效，本研究以機械協建 MGB 雙層加強橋為例，設定架橋點作業幅員之縱深為構桁節數之長度，正面則為橋梁寬度再加上至少 2 部機具所需空間。

(一)縱深=每節長度×節數=1.83×22=40.26 公尺，可得縱深 $L \geq 40.26$ 公尺。

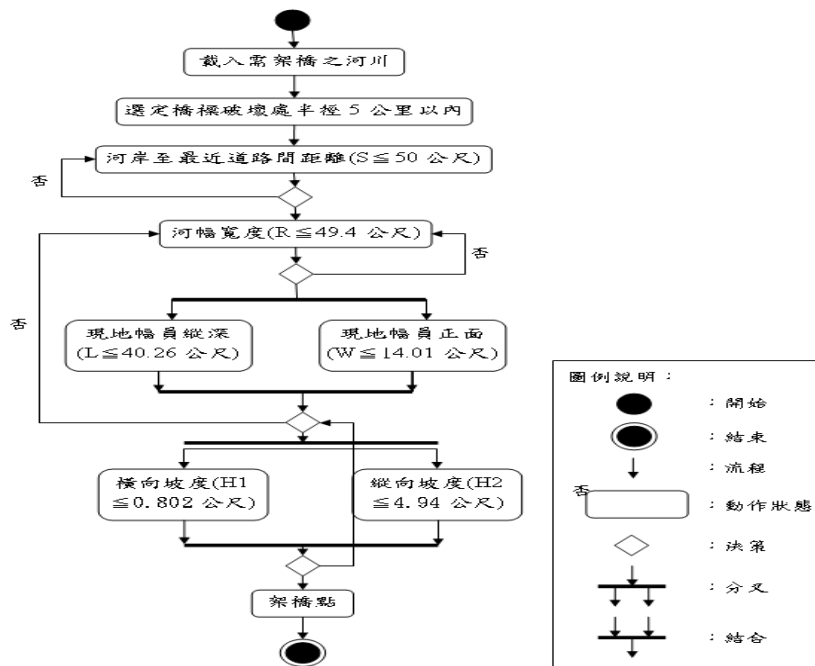
(二)正面=橋樑寬度+2×機具作業所需空間=4.01+2×5=14.01 公尺，可得正面
 $W \geq 14.01$ 公尺。

(三)河幅：河幅寬度應小於 49.9 公尺，MGB 中框橋才可實施架設，故 $R \leq 49.4$ 公尺

- ◎河床水淺土質堅實，必要時可供設置中央支點：依台灣之地質情況，當災害發生時，河川極可能發生土石流，因此河床性質並不適合架設中央支點。
- ◎附近有隱蔽掩蔽之地形，必要時可供人員裝備疏散掩蔽：台灣橋樑附近地形均為開闊地形或建築物，故僅能以建築物為其隱蔽掩蔽地形。
- ◎兩岸有穩固之支持物，必要時可供繫留固定：在河流兩岸，通常均有樹木可作為支持物，如無天然之支持物時，亦可人工設置，故此一條件無需納入考量。

縱合上述分析，其架橋場選址分析流程如圖廿八所示，使用 GIS 軟體區域分析及坡度分析功能，可得架橋點之位置。

註15：中文論文：劉慶堂，「運用數值圖資於災害搶救中架橋點選定之研究」，正規班152期，陸軍工兵學校，2007，第6～8頁。



圖廿八 架橋場選址分析流程(資料來源：作者繪製)

肆、結論

本研究於戰術地形分析參考國軍戰場情報準備及相關準則，完成地形五大要素，觀測與射擊分析、隱蔽與掩蔽分析、地形要點等分析模式設計，經由ArcGIS軟體實作產出之成果，具有輔助戰術地形分析，改善目前純人工作業耗力費時之作業模式，可供國軍做為戰場情報準備之教學、戰術分析之應用，做為國軍未來數位化建軍之基礎。

而對於相關作戰地形分析系統之開發，仍存在若干問題需加以克服，提供以下幾點建議：

一、資料庫建立

本研究之資料僅使用大湖地區完成戰術地形分析，若要建立數位化系統則須將全台灣之地形資料，先行建置於資料庫中，以利作戰地形分析時使用。

二、資料之準確度

如視域分析因採用DEM為分析資料，尚未將建物、樹林等之高程納入分析，故所得之視域範圍並未十分精準，未來可採數值地表模型(DSM)資料進行分析，以提高其準確度。

三、系統功能之開發

本研究僅針對主要戰術地形分析進行探討，雖獲得良好之成果。但並未

完整開發與建置系統，未來可針對此一部份加以自動化，進而發展一完整之作戰地形資訊系統，並建立3D戰場環境顯示功能，以為國軍數位化建軍之基礎。

參考文獻

- 一、中文期刊：吳文藝，「反空(機)降阻絕具體作為之研究」，陸軍學術月刊，第37卷，第425期，2001，頁39～51。
- 二、英文書籍：Department of the Army, "Terrain Analysis, FM5-33," Headquarters, Department of the Army, US, Washington, 11 July 1990.
- 三、中文書籍：陸軍總司令部，反空降與反空中機動作戰教則，陸軍總司令部，1992，頁2-6～2-28。
- 四、中文書籍：黃光輝，地圖編繪學，中正理工學院測量工程學系，桃園，1971。
- 五、中文期刊：湯福昌，「利用 GIS 建立軍事地形分析效能評估」，陸軍司令部，陸軍學術半年刊 125 期。

作者簡介

粟文楷中校，現任職於陸軍工兵學校軍工組主任教官。學歷：中正理工學院 78 年班、工校正規班十期、中原大學土研所碩士；經歷：排長、隊長、工程官、教官、主任教官。

許朝安上尉，現任職於陸軍司令部工兵處軍事工程組工程官。學歷：國防大學軍事工程系 89 年班、國防大學軍事工程研究所 94 年班；經歷：排長、裁判官、連長。