

數值圖資運用於工兵部隊架橋點選定之研究

作者／李啟陽士官長、許文雄上尉

◆提要

鑑於現今航(遙)測技術發達，國內、外數值圖資研究與運用實例眾多。例如：「數位影像於三維地形模擬的製作與應用」及「利用 GIS 建立軍事地形分析效能之評估」等相關研究。所謂「數值圖資」即是以數值方式記錄影像、地圖與地形等資料之通稱。然「逢山開路、遇水架橋」為我工兵首要任務。而部隊機動遇有河川障礙時，首要工作即是選定架橋點實施架橋，而架設橋樑架設最重要的就是需取得先機、把握時效，方能發揮促進我軍機動功能。為達此目的，如何選定適當之架橋點，則是工兵部隊執行橋樑架設前首要任務。

本研究是運用衛星影像、電子地圖、數值地形模型等數值圖資與地理資訊系統軟體。針對本軍制式固定橋樑架設位置選定條件與固定橋架設坡度與河幅限制條件，利用地理資訊系統對數值地形模型進行篩選分析後，尋找符合條件架橋點位置。希冀能建立橋樑架橋點選定模式，以作為提供日後工兵快速選定固定橋架橋點，以利架橋任務遂行順利。

關鍵詞：固定橋、衛星影像、地理資訊系統、數值地形模型

壹、前言

台灣本島地形中，山地地形佔五分之三，各大小山脈連綿橫貫，將台灣切割而形成多河川之地形。本島河川多源於中央山脈，東西分流入海，具河川長度短且水量不定，上游流經山區流速湍急、且河道多彎折。尤當每逢颱風季節來臨時，河水量驟增、流速湍急，在山區常有山洪暴發與土石流等災情傳出，造成聯外道路、橋樑沖毀等情形發生。而工兵部隊素有「逢山開路、遇水架橋」之特性，近幾年來增購許多新式救災裝備，工兵可運用既有之專業技能與新式工兵裝備提供適時、適地之援助。

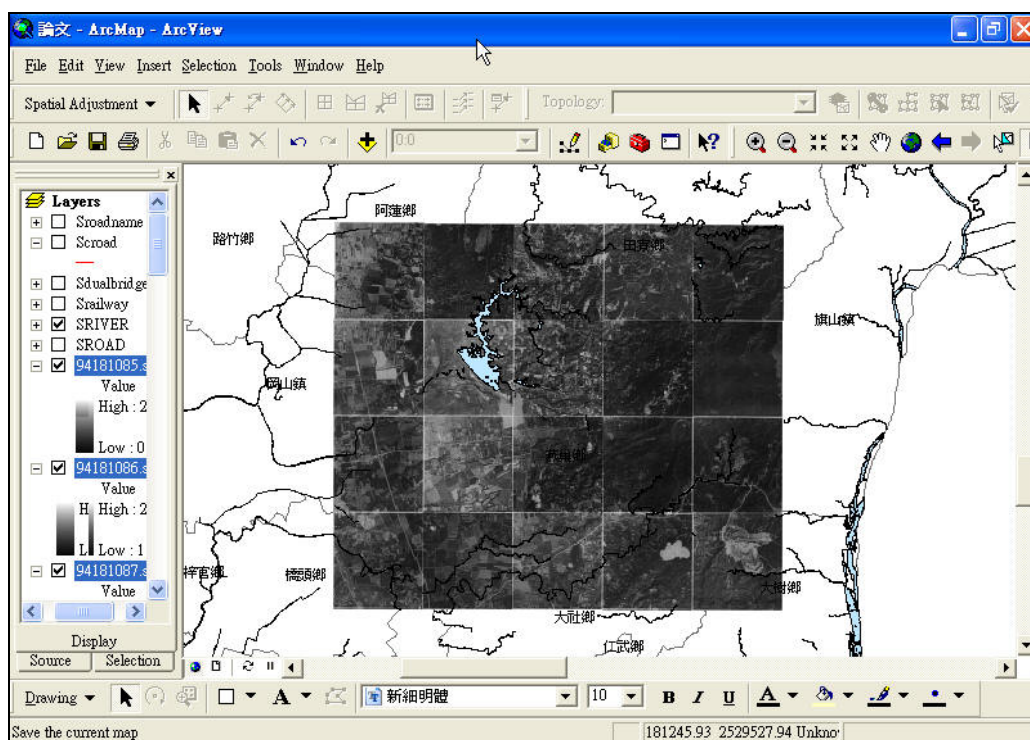
本研究乃運用相片基本圖、衛星影像、電子地圖、數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)等數值圖資，結合渡河及架橋各式準則與地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)軟體 ArcGIS 8.x。針對本軍制式固定橋樑架設位置選定條件與固定橋架設坡度與河幅限制條件，利用地理資訊系統軟體與相關模組進行環域、坡度、空間、3D 與路網等篩選後，尋找符合條件架橋點位置。希冀能建立橋樑架橋點選定模式，以作為提供日後工兵快速選定固定橋架橋點，以利架橋任務遂行順利。

貳、數值圖資與 GIS 軟體介紹

所謂「數值圖資」即是以數值方式記錄影像、與地形等資料之通稱。本研究中使用之數值圖資包括內政部五千分之一相片基本圖掃描影像、史波特 (SPOT) 衛星影像、勤崙國際科技之五千分之一台灣地區電子地圖及農林航測所 40×40 公尺數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 等等，GIS 軟體則為 ESRI ArcGIS 8.X，分述如下：

一、相片基本圖

相片基本圖是以航空黑白照片為底圖，經改正投影差，調整比例尺後，加繪等高線資料及地物等註記而成。主要可分為 1/5000 (平地、坡地地區) 及 1/10000 (高山地區) 二種比例尺，相片基本圖範圍涵蓋台灣 (澎湖、綠島與蘭嶼)，共計 3791 幅。本系統所採用的為內政部台灣地區 1/5000 相片基本圖 (涵蓋區域為高雄縣阿蓮鄉、田寮鄉、岡山鎮及燕巢鄉一帶範圍之衛星影像影像)，如下圖一所示。



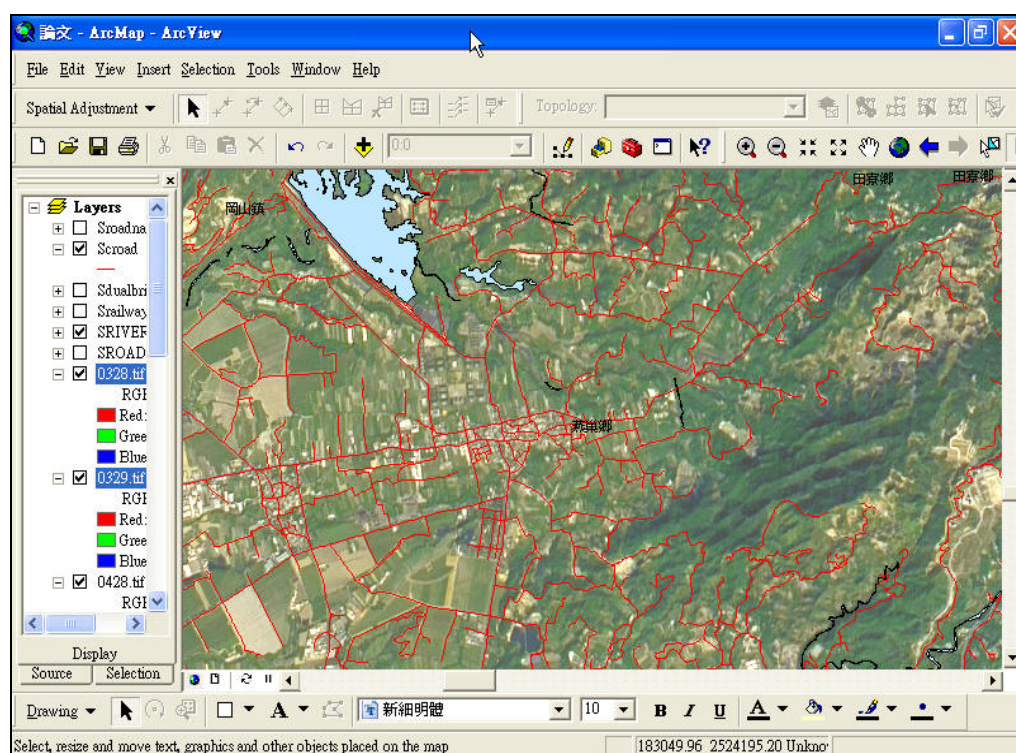
圖一 高雄地區五千分之一相片基本圖

資料來源：作者彙整

二、史波特 (SPOT) 衛星影像

法國 SPOT 衛星屬於太陽同步軌道衛星，平均航高 832 公尺，軌道與赤道交角 98.77° 繞地球一圈週期為 101.4 分鐘，一天可轉 14.2 圈，每 26

天通過同一地區。本研究使用衛星影像地區為涵蓋高雄縣阿蓮鄉、田寮鄉、岡山鎮及燕巢鄉一帶範圍之衛星影像，如下圖二。

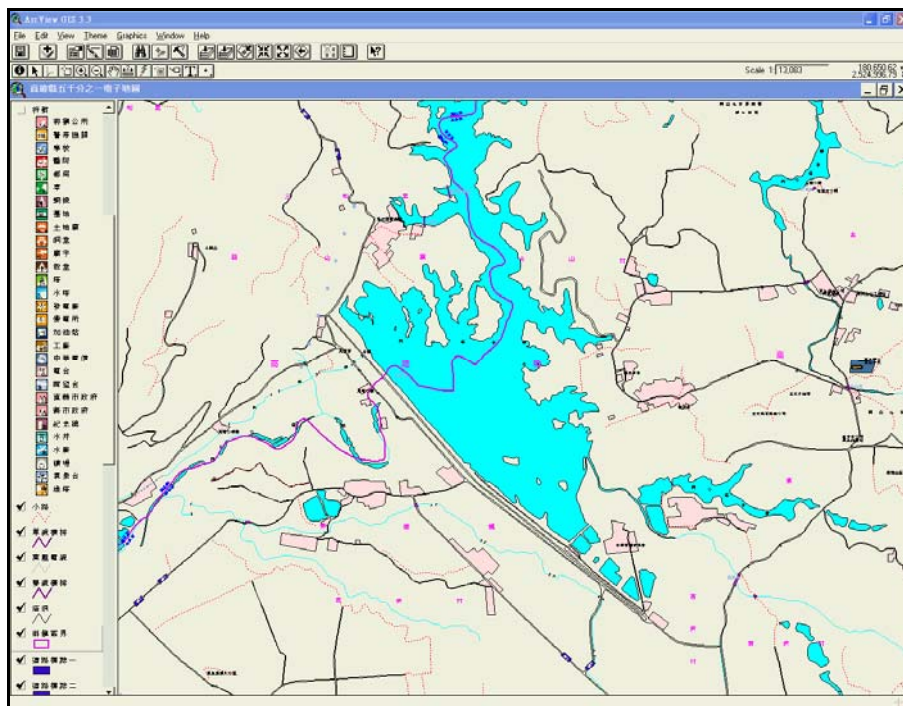


圖二 高雄地區史波特(SPOT)衛星影像

資料來源：作者彙整

三、勤崙國際科技之「行動商務電子地圖」

該「行動商務電子地圖」，以農林航空測量所出版之五千分之一相片基本圖(山區一萬分之一)為基礎，並以地理資訊、衛星影像、航空測量等技術，輔以現地調查等，將繁瑣圖形、文字、數字及資料數化建置而成。使用 TM 二度地理座標之向量式地圖，範圍涵蓋台灣全島、澎湖、綠島及蘭嶼等離島，依圖形型態(點、線、面)與應用需求為根據分層建置。所有數值資料庫圖檔，以影像為底輔立體製圖數化而來，每一圖檔均以控制點控制精度要求，影像資料亦以平差處理，誤差控制於 1.28 公尺內，整體誤差相對於相片基本圖控制於 5 公尺內。系統所運用之電子地圖含 1/5000、1/25000、1/100000 等不同比例尺，各比例尺間之道路街廓、圖形內容均可緊密套疊，圖資格式具有 ESRI-SHP、MapInfo、Autodesk-DWG 與座標系統 TWD67、TWD97 與 WGS84 等。

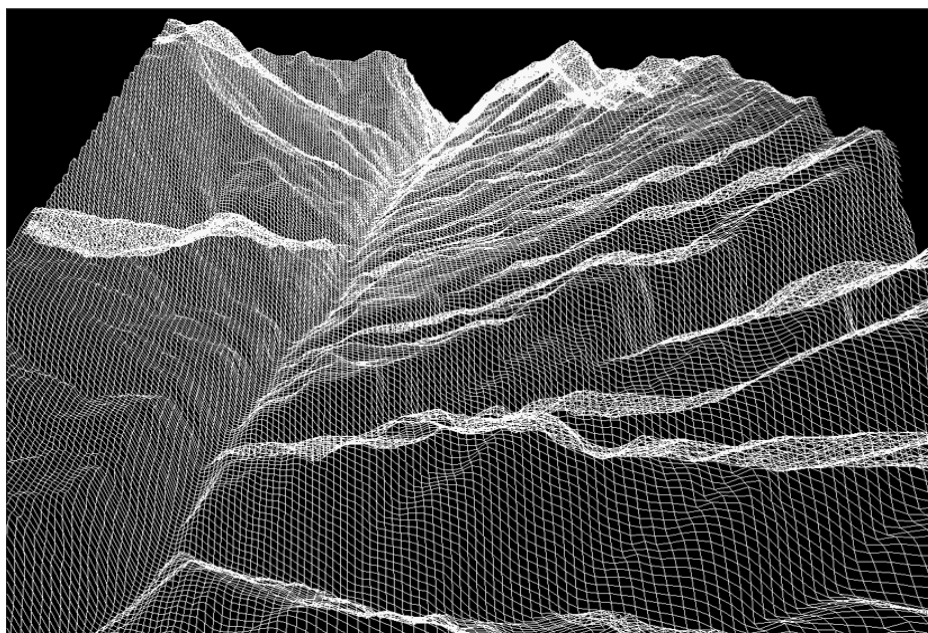


圖三 勤崙科技之「行動商務電子地圖」

資料來源：作者彙整

四、農林航測 40 公尺數值地形模型(DTM)

「台灣地區數值地形模型資料」為由行政院農委會委託林務局農林航空測量所測製，採用解析航測法在航照立體相對上數化高程點，以每 40×40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之 DTM 資料以五千分之一基本圖幅分檔。



圖四 高雄地區數值地形模型(DTM)

資料來源：作者彙整

數值地形模型(Digital Terrain Model，簡稱 DTM)，是以 X、Y、Z 坐標格式來描述地表位置之數值資料，與傳統地圖之等高線均是用來展現地形高低起伏。DTM 在 GIS 中被靈活運用，如製作成 3D 立體模型、飛行模擬、景觀模擬及彩色地圖等，若將 3D 立體模型結合彩色地圖，可產生出接近真實世界之地形面貌。系統運用之數值地形模型 DTM 涵蓋範圍為高雄地區，如上圖四所示。

五、地理資訊系統軟體

本系統運用之地理資訊系統軟體為 ESRI 資訊股份有限公司開發之地理資訊系統軟體 ArcGIS 8.X，作為研究模式架構之平台。除具備基本之電子地圖展示功能，並包含查詢、分析與整合功能，使對空間基礎資料建置分析與利用相關模式進行空間分析的使用者，能提供便利與完善的操作介面。此外，此軟體亦具備可擴充性的模組架構，利用一系列的模組來強化其軟體整體功能，使用其擴充模組包括如下：

(一)空間分析模組(Spatial Analyst)：

為一套空間資料處理工具，具有向量資料與網格資料的整合、分析、查詢與展現的功能，提供決策者簡易而清晰的決策參考。

(二)3D 分析模組(3D Analyst)：

主要提供使用者 3D 視覺化的功能與分析表面(Surface)的工具，可模擬不同視角之表面變化，查詢表面上特定點之資訊，並可套疊衛星影像資料、航空照片、電子地圖與數值地形模型(DTM)，模擬出真實世界之地表狀況。

(三)路網分析模組(Route Analyst)：

針對路網問題，使用者可透過路網分析模組的強大分析功能，獲得最佳輔助建議與參考，如交通運輸規劃、倉庫位址規劃與急難中心設置分析等¹。

參、模式基本設計原理

架橋點選定模式基本設計原理係依據國軍渡河及架橋各式準則律定，其條件、限制與分析探討如后：

一、架橋點選定條件與限制

(一)「渡河教範(上冊)」固定橋選定條件如下

1. 有良好之道路網、進出路及迴車場。
2. 兩岸高度相近且土質堅實穩固。

¹「GIS 技術與實務應用 ArcView 3.x & 8.x」，陳錦媽，新文京開發出版股份有限公司，民國 92 年 7 月，第 2 頁。

3. 兩岸須有足夠空間可供作業及置放器材。
4. 河床水淺土質堅實，必要時可供設置中間支點。
5. 附近有隱蔽掩蔽之地形，可供人員裝備疏散掩蔽。
6. 兩岸有穩固之支持物，必要時可供繫留錨定。²

(二)「M2 框桁橋操作手冊(上冊)」橋樑坡度限制如下

1. 正橋節坡度限制：

橋樑兩岸高差應近似水平，橋樑斜度以不超過 3.3%(30:1)為原則。

2. 橋頭橋節坡度限制：岸高度相近且土質堅實穩固。

橋樑載重等級在 50 噸級以下時，不可超過 10%(10:1)；在 50 噸級(含)以上不可超過 5%(20:1)³。

(三)「MGB 中框橋操作手冊(上冊)」橋樑坡度限制如下

MGB 中框橋架設時，在架設長度方之縱向坡度不可超過 10%，橫向坡度不可超過 20%⁴。

二、架橋點選定條件探討

綜合上述固定橋架橋點選定條件，歸納固定橋架橋點選定時，受到地形因素影響及限制條件分述如下：

(一)需有良好之道路網、進出路及迴車場：

在架橋點選定時，需選擇具有良好交通網之架橋點，以利人員、作業機具、橋材可直接運達架橋點附近，便於人員、機具作業與橋材卸載，以節省人力、物力與時間。

(二)兩岸高度相近且土質堅實穩固：

M2 框桁橋架設時，在載重等級為 50 噸級(含)以下時，於架設長度方向坡度不得超過 10%(10:1)，在 50 噸級以上之橋樑不得超過 5%(20:1)⁵；MGB 中框橋架設時，於架設長度方之縱向坡度不可超過 10%，橫向坡度不可超過 20%⁶。

(三)兩岸須有足夠空間可供作業及置放器材：

作業場地正面與縱深隨橋樑架設型式、長度與橋材置放位置不同而有改變。以 M2 框桁橋 2 路 1 層 90 呎架設長度而言，空間有限時要求正面寬為距橋軸中心線左右各 30 呎；正常要求則為距橋軸中心線左右各

² 「渡河教範上冊」，陸軍工兵學校，陸軍總司令部，民國 84 年 12 月，頁 2-6。

³ 「M2 框桁橋操作手冊(上冊)」，陸軍工兵學校，陸軍總司令部，民國 91 年 9 月，頁 4-5。

⁴ 「MGB 中框橋操作手冊(上冊)」，陸軍工兵學校，陸軍總司令部，民國 90 年 9 月，頁 4-1。

⁵ 「M2 框桁橋操作手冊(上冊)」，陸軍工兵學校，陸軍總司令部，民國 91 年 9 月，頁 1-5。

⁶ 「MGB 中框橋操作手冊(上冊)」，陸軍工兵學校，陸軍總司令部，民國 90 年 9 月，頁 1-12。

75 呎正面，縱深則需為 55 呎。而 MGB 中框橋 22 架設正面需 14.01 公尺；縱深為 40.26 公尺。

(四)河床水淺土質堅實，必要時可供設置中間支點：

本研究是以無架設中央支點情況為前提，欲架設中央支點時則須考量河川水位高低、橋樑架設長度、河床床底性質等因素。以台灣地形而言當災害發生當時，河川水流湍急且水位高漲，河道中央水流流速與水深狀況，無法架設中央支點。

(五)附近有隱蔽掩蔽之地形，可供人員裝備疏散掩蔽：

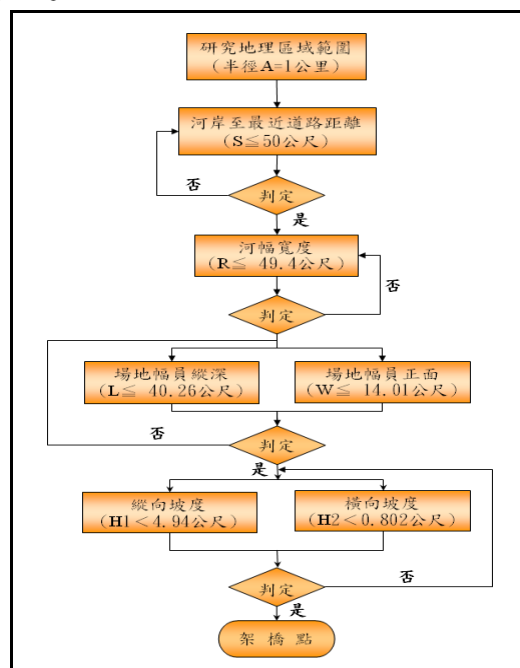
若為戰時架橋作業中需考量敵情威脅，本研究是以無敵情威脅假設情況下所建立之架橋點選定模式。

(六)兩岸有穩固之支持物，必要時可供繫留或錨定：

在河流兩岸，通常有樹木可做為支撐物提供繫留或錨定，若無天然之支撐物時，亦可以植樁方式架設人工支撐物，提供繫留或錨定，故此限制條件。

肆、架橋點選定模式建立

架橋點選定模式係運用包括地理範圍半徑(A)、河岸邊至最近道路間距離(S)、橋樑上游及下游端間之高程差(H1)、我岸及遠岸間之高程差(H2)、作業幅員縱深(L)及正面(W)、河幅(R)、橫向坡度(V1)及橫向坡度(V2)等數學式與 ArcGIS 8.x 環域分析及坡度分析兩部分，模式架構及作業流程圖如下圖五所示，建立流程敘述如后：



圖五 架橋點選定模式架構流程圖

資料來源：作者彙整

一、數學模式建立

以高雄縣蓬萊橋為中心，半徑為 1 公里之範圍內(以 A=1 公里表示)，綜合上述六個架橋點選定條件。並以前三項條件為必要篩選條件，分述如下：

(一)需有良好之道路網、進出路及迴車場：

以電子地圖為圖資來源，運用地理資訊系統軟體 ArcGIS 8.X 之路網分析模組進行分析，篩選條件為距河岸邊 50 公尺以內需有道路通過，故假設河岸至最近道路間距離為 50 公尺。以下式表示之：

$$S \leq 50 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (1)$$

(二)兩岸高度相近且土質堅實穩固：

依 MGB 中框橋操作手冊，MGB 中框橋架設容許之縱向坡度不可超過 10%，容許之橫向坡度不可超過 20%。坡度百分比計算公式表示如下：

$$\text{坡度 } V(\%) = \frac{\Delta H}{L} \times 100\%$$

其中： ΔH 為高程差

L 為水平距

1. 橋樑之縱向坡度 $V1(\%)$

$$\begin{aligned} V1(\%) &= (H1 / \text{橋樑長度}) \times 100\% \\ &= (H1 \times 49.4) \times 100\% < 10\% \end{aligned}$$

$$H1 < 4.94 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (2)$$

其中： $H1$ 為我岸及遠岸間之高程差。

2. 橋樑之橫向坡度 $V2(\%)$

$$\begin{aligned} V2(\%) &= (H2 / \text{橋樑寬度}) \times 100\% \\ &= (H2 / 4.01) \times 100\% < 20\% \end{aligned}$$

$$H2 \leq 0.802 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (3)$$

其中： $H2$ 為橋樑上、下游端間之高程差。

(三)兩岸需有足夠空間可供作業及置放器材：

以機械協建 MGB 中框橋雙層加強橋，架設長度為 22 節為例，架橋點作業幅員縱深為橋樑構桁節數之長度；正面則是橋樑寬度再加上至少 2 部機具所需之空間。故所需作業縱深(L)與正面(W)如下：

1. 所需縱深(L)=MGB 每節長度×正橋節數

$$= 1.83 \times 22 = 40.26 \text{ 公尺}$$

$$\text{縱深}(L) \geq 40.26 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (4)$$

2. 所需正面=橋樑寬度+2×機具作業所需空間

$$= 4.01 + 2 \times 5 = 14.01 \text{ 公尺}$$

$$\text{正面}(W) \geq 14.01 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (5)$$

(四)河幅限制：

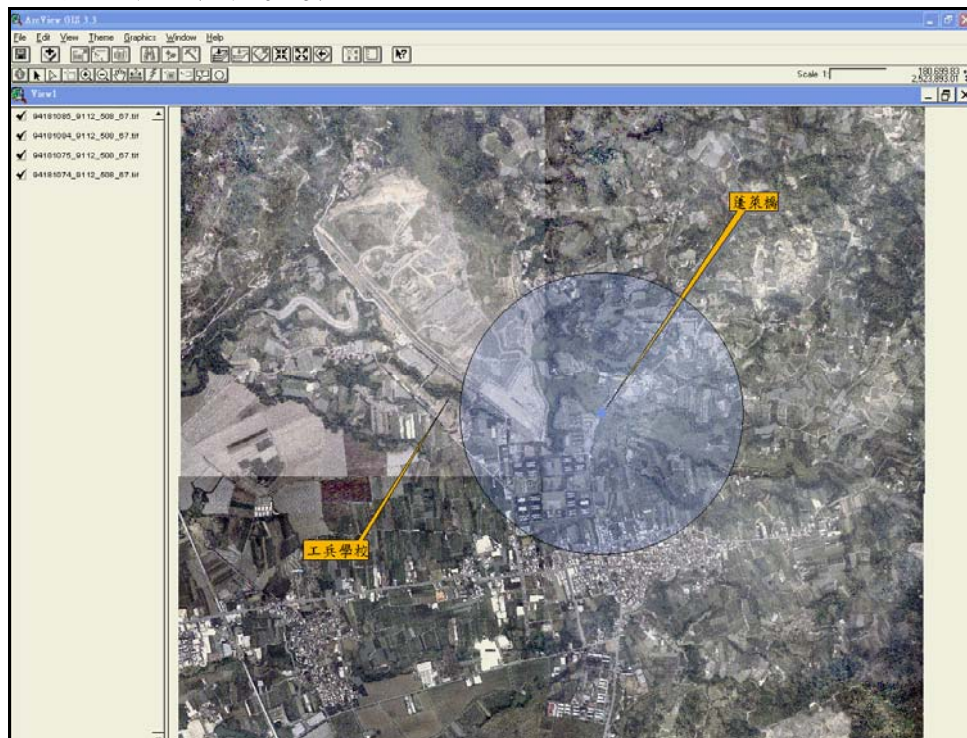
河幅寬應小於 MGB 橋 22 節橋長 49.4 公尺，以下式表示：

$$\text{河幅}(R) \leq 49.4 \text{ 公尺} \cdots \cdots \cdots (6)$$

二、架橋點選定實例操作

(一)執行環域分析

距離一空間物件某一指定距離內的區域，稱為環域。利用軟體空間分析模組，假定以蓬萊橋為中心半徑 $A=1$ 公里之範圍為研究區域，如下圖六所示(圈選處)。

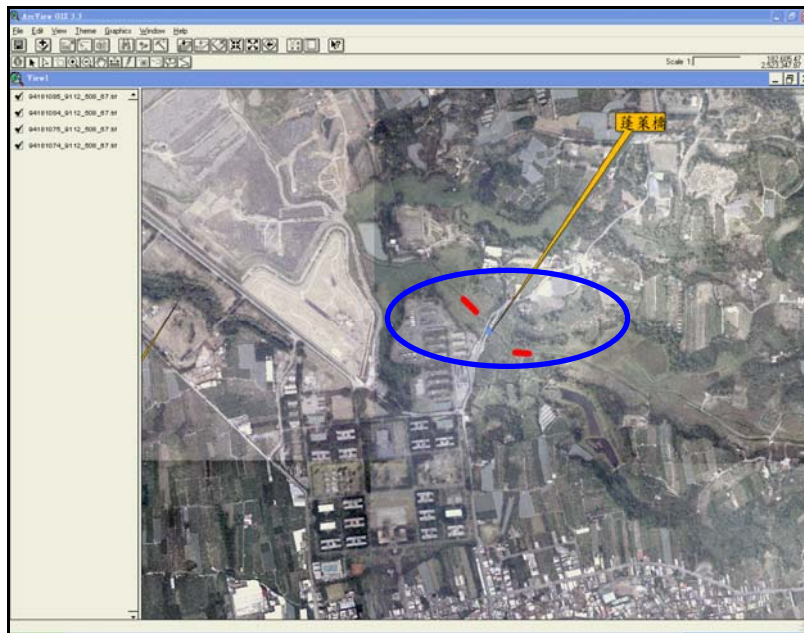


圖六 以蓬萊橋為中心半徑 $A=1$ 公里之研究範圍圖

資料來源：作者彙整

(二)河岸至最近道路距離分析：

利用電子地圖資料進行路網分析，攫取河岸至最近道路之距離 $S \leq 50$ 公尺之河流段，總共獲得 2 河段符合條件，如圖七所示。



圖七 河岸至最近道路距離 $S \leq 50$ 公尺之河流段圖(如圓圈處)

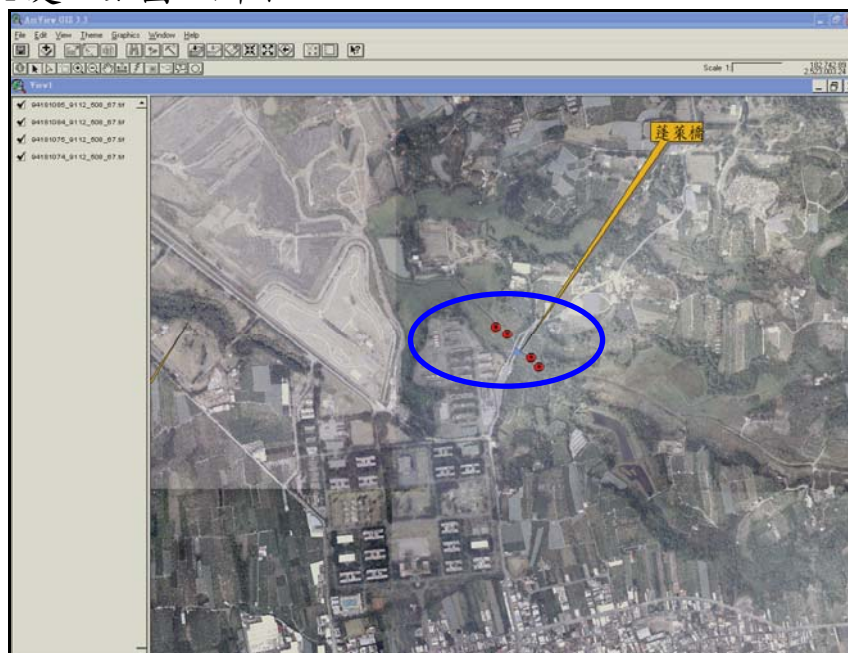
資料來源：作者彙整

(三)河幅分析：

經由步驟(二)所分析出之河流段中，以 ArcGIS 軟體距離選取工具，獲取河幅 $R \leq 49.4$ 公尺之河岸位置。

(四)作業場地幅員分析：

由高雄地區地形資料，運用 ArcGIS 量距工具針對步驟(三)河幅分析中之結果篩選出河幅 $R \leq 49.4$ 公尺之河岸位置，進行幅員分析，篩選出符合縱深 $L \geq 40.26$ 公尺、正面 $W \geq 14.01$ 公尺等條件之位置共計 4 處，如圖八所示。



圖八 河幅 $R \leq 49.4$ 公尺之河岸位置圖(如圓圈處)

資料來源：作者彙整

(五)坡度分析

以高雄地區數值地形模型(DTM)進行坡度分析，運用 3D 分析模組針對前述 4 處河幅 ≤ 49.4 公尺之河岸位置，再進行縱向及橫向坡度分析，找出符合河川我、遠岸間之高程差 $H1 \leq 4.94$ 公尺及上、下游端間之高程差 $H2 \leq 0.802$ 公尺我岸之位置。經分析篩選後，經系統確認與篩後選出此 4 處位置符合我岸與遠岸高程差 $H1 \leq 4.94$ 公尺及橋樑上、下游端間之高程差 $H2 \leq 0.802$ 公尺之限制條件。

經過以上程序共找出符合架橋點選定條件與限制的架橋點共有四處，如此，指揮官即可依選定結果，實施現勘以決定最終架橋點位置。

伍、實務運用效益

一、先期圖上偵察

在地理資訊系統運用與數值圖資運用越來普遍化情況下，地理資訊系統具有對地形與環境等空間資訊進行蒐集、儲存、檢索、分析、顯示與輸出等功能。架橋點之選定前即需先實施現地偵察，以獲得接近路線、進出路、河川特性、兩岸狀況等資料。利用本研究之方法可先期就系統上先期實施偵察，能針對以某地點為圓心與半徑之範圍或區域實施圖上偵察，利用衛星影像與數值依據實際需求初步尋找出適合之架橋點。

二、提高架橋點選定效率

藉由本系統之架橋點選定模式選定出適合之一個或數個架橋點後，再實際至系統選定架橋點實施勘查，決定出最終之架橋點。因由系統中所選定之架橋點依據是現有地形資料與影像資料為資料來源，但實際情況是現地環境可能會改變，需至現地檢核是否符合現實架橋條件與作業環境要求，以決定最終之架橋點。如此，可減少現地偵察與選定架橋點時間與人力，增進架橋點選定效率。

陸、結語與建議

一、結語

架橋點選定模式係運用 GIS 結合數值圖資進行固定橋架橋點選定，係依據國軍渡河及架橋各式準則之指導選定固定橋架橋點選定條件。將架橋橋選定條件轉換為數學模式表示，可提供工兵部隊透過於地理資訊系統中建立之選定模式進行架橋點選定，再由選定出數個架橋點。從先期選定之架橋點進行踏勘後，確認最終之架橋點再進行橋樑架設作業。利用此種作法，可節省作業前架橋點橋置選定之時間，並提供指揮官決策之參考。日後若有更高解析度衛星影像、航照與高精度 DTM 地形資料，建立為地形或影像資料庫，則系統所選定之架橋點更加能符合現地狀況，更能迅速提供指揮官下達決心之依

據。

二、建議

研究中系統所建立架橋點選定模式，能輔助工兵實施圖上偵察與快速定架橋點之功能。但此架橋點選定模式仍有未臻完善之處，茲如下所述：

- (一)本研究地形資料為農航所 40 公尺數值地形模型 DTM，是適於大範圍之數值地形模型，即高程解析度為 40 公尺。但本研究架橋點選定運用的是小範圍坡度分析作業，所需的 DTM 資料精度要求相對較高。建議 DTM 解析度要求至少要 10 公尺以下，方能獲得更精確之選定成果。例如，以 MGB 中框橋 22 節架 49.4 公尺之假設長度而言，農航所 40 公尺數值地形模型 DTM 所提供之地形資料僅提供約一個點的高程資料，仍太粗糙。以現實固定橋架設作業而言，如此的地形資料是其精度是不足的。因此，若現實環境許可，可利用精度更高之 DTM 資料，可提高架橋點選定之合理性與精確性。
- (二)在架橋點選定條件中之河床水淺土質堅實，必要時可供設置中間支點此條件，需要得知河川水位與河床床底性質，但此兩項資料需現地調查，難以將之量化轉為篩選條件式。且架橋點選定條件與限制⑤⑥兩條件亦難將量化轉為篩選條件式。此部份在本研究中架橋點模式之建立仍有改進空間。
- (三)研究中將架橋點選定條件以數學式表示，於選定條件中之兩岸土質堅實穩固此條件，土質是否堅硬與土質種類、含水量有關，含水量高低影響土壤承载力高低甚鉅。可由土壤中含水量多寡量化為數學式。土質種類可藉由先期調查獲知土壤性質而建置於系統資料庫中，而土壤含水量部份則無法事先建置於資料庫中。本模式在兩岸土質堅實穩固此條件並未將其量化而作為選定模式，此部份仍有待加以改善。
- (四)於選定條件中之需有良好之道路網、進出路及迴車場此條件因子，難將量化為數學式，轉為系統架橋點選定條件。此部份選定模式仍有改進空間，建議應再思考更嚴謹選定模式將良好道路網、進出路及迴車場等條件轉換為更佳之選定數學式表示。
- (五)本研究中所運用之數值圖資略嫌老舊，導致所得成果與實際狀況有落差。若後續圖資需能更新較新版本，方能使系統選定出架橋點更能符合現況，達到提供指揮官正確與快速下達決心之目的。

參考資料

- 一、陸軍工兵學校，「渡河教範上、下冊」，陸軍總司令部，民國 84 年 12 月。
- 二、陸軍工兵學校，「M2 框桁橋操作手冊上、下冊」，陸軍總司令部，民國 91 年 9 月。
- 三、陸軍工兵學校，「MGB 中框橋操作手冊上、下冊」，陸軍總司令部，民國 90 年 9 月。
- 四、湯福昌，「利用 GIS 建立軍事地形分析效能之評估」，陸軍司令部，陸軍學術半年刊 125 期。
- 五、許朝安，「作戰地形資訊系統架構分析與雛型系統開發」，碩士論文，民國 94 年 5 月。
- 六、陳錦媽，「GIS 技術與實務應用 ArcView 3x & 8. x」，新文京開發出版股份有限公司，台北，民國 92 年 7 月。
- 七、邱景升，「地理資訊系統入門與應用 MapInfo」初版，松崗出版股份有限公司，台北市，民國 85 年。
- 八、逢甲大學地理資訊系統研究中心著，「地理資訊系統剖析」初版，松崗出版股份有限公司，台北市，民國 89 年。
- 九、王瑞民，「地理資訊系統」初版，高立出版，臺北縣，台北市，民國 90 年。

作者簡介

李啟陽一等士官長，現為工兵學校渡河組教官。

學歷：工兵學校技勤常備士官班 25 期、工兵學校戰鬥工兵士官班 3 期、陸軍士官學校正規班 4 期、嘉南科技大學。

經歷：助教、士官督導長、教官。

許文雄上尉，現為工兵學校軍工組教官。

學歷：指職軍官 89 年班、工兵正規班 151 期、中興大學土研所 89 年班。

經歷：區隊長、教官。