

電腦輔助路線設計製圖 系統之研究

劉積凱

摘 要

路線設計為道路工程設計中極為重要的一環，為了節省計算時間，設計修正時間，提高計算與製圖的精確度，提昇圖形品質，導入電腦輔助設計技術已成為必然趨勢。本文所提供之系統可在 PC 級電腦上執行，且配合台灣省公路局之設計與圖面規範完成，較之國外軟體，不僅投資成本低廉，維護容易，更可完全配合國內之設計標準。此系統已實際應用於台 127 線，台 139 線，南化水庫及柳川西街拓寬工程之路線設計工作，已証實可大幅減少製圖時間，降低成本，並獲得良好之結果。而有關道路工程其餘的設計工作，亦可以本系統為基礎擴充連接，成為一完整之電腦輔助道路工程系統。

前言

國家經濟發展之過程中，道路之開闢必定先於其它各項建設。因此，道路網的興建就如同人體的血管一樣重要。隨著平地可開發範圍日漸減少及交通工具的進步、工商時代時間對人們成爲分秒必爭的要務，導致了道路設計面對了地形日趨複雜或是設計標準逐漸提升的新局面。因此，工程師們所面對的設計工作將要作更慎重的考慮，更繁雜的計算，更多次的討論、協調與修改。此爲現今路線設計的新問題。

在傳統的製圖方式中，製圖員之技巧決定了圖形品質，製圖成本與圖形精確性。但有些路線設計在紙上作業時無法畫出正確的路線位置，克羅梭曲線 (Clothoid Curve，或稱緩和曲線) 就是個例子。傳統製圖作業中，克羅梭曲線只能憑製圖員的技巧定出大略位置，只能靠現場施工中利用圖面標示的設計諸元現場計算放樣，如此在初期的土地徵收作業，或對縱面圖及橫斷面圖中有關高程的計算產生誤差。此爲路線設計的傳統問題。

以上問題的解決，在電腦日益普及的今天出現了解決的方法。但在國內目前的應用程度上，許多單位只是用電腦提供數據的計算 [1],[2],[3]，或計算後利用驅動繪圖機的方法繪出圖形，無法在電腦螢幕上顯示圖形並直接修改設計 (如農林廳之 Calcamp 系統)。而國外引進之軟體雖可作完整的計算分析與圖型顯示 (如 DCA, WESCOM, CDS 等)，但具有設備投資昂貴、缺乏中文能力，無法配合台灣省公路局要求之標準圖規定等缺點，並不完全適用於國內之設計工作。

有鑑於必需配合國內設計工作環境，降低系統建立成本，並能提供一完整之電腦輔助路線設計系統。於是在個人電腦上配合相關硬體形成工作站，再利用 Autocad* 軟體所提供之開放式架構進行軟體與工具開發，並整合爲一完整之系統，以提供相關設計工作者使用。

演算法分析

根據 [4] 中規定，路線設計爲路線平面及縱面圖中之上半圖 (路線平面圖)。此圖中包含了地形、地物、測量導線、路線 (直線、圓曲線、緩和曲線) 及相

關設計諸元、整樁點、重要結構物(擋土牆、涵管等)等圖面資料。而由[4]、[5]之關係可知，路線設計定線後，又會與縱面圖與橫斷面圖產生數據上的關連。又由[1]中所述，可知路線設計作業與先期路線會勘、導線測量、沿線地物之平板測量之作業產生關連。因此，由上述之作業關係定出了利用本系統之作業流程(圖一)及本系統設計開發時所依據之系統流程圖。(圖二)，現根據圖二中之各單元分析如下：

- (一) 地形地物符號庫：根據[6]中規定與常用地圖符號，建立地物符號庫。此符號庫係針對[6]中之標準符號與習用地圖符號，利用[7]中有關造形(SHAPE)及剖面(HATCH)檔案所建立，部份圖案內容如圖三所示。
* 註：AutoCAD 為美國 AutoDESK 公司發展之軟體。
- (二) 導線測量檔：導線為路線設計之原始根據，一道路之導線定義如圖四所示。本檔為配合導線繪圖程式之資料結構所定義之 ASCII 檔。其部份內容如圖五所示。
- (三) 導線繪圖程式：此程式之目的為擷取導線測量檔之資料，將導線繪出。導線繪出後，其上之 IP 點可作為路線設計之依據。加上控制點後，可供日後平板測量地物時作為參考點之用，可降低平板測量之誤差累積。

本系統中之導線測量係採用偏角法。其定義如圖四所示，計算根據為長度及方位角，由[8]知，方位角之計算根據下列原則：

$$\text{方位角} = \text{前測線方位角} + \text{該測線右偏角}$$

$$\text{方位角} = \text{前測線方位角} - \text{該測線左偏角}$$

若 $\text{Sgn}(\text{方位角}) = "-"$ 則 $\text{方位角} = 360^\circ - (\text{原角度})$ ，而在繪圖作業中，所採取的是其水平線夾角，即

$$\text{與水平線夾角} = 90^\circ - \text{方位角}$$

於是在 AutoCAD 中，計算出夾角後，可以相對極座標定點方式，定出導線。本程式繪出之圖形可參考圖六。

- (四) 圓曲線繪圖程式：由[4]中可知，圓曲線的佈設，在圖面上除了相關

導線中繪出圓曲線外，並需標明下列數據：起點 BC、交點 IP、終點 EC、交角 I、切線長度 TL，曲線長度 CL，外距 SL 及曲線半徑 R。圓曲線之定義如圖七所示，繪圖圖面標準如圖八所示。因此，將本模組程式分為下列子模組：

- (1) 輸入子模組：本模組中輸入交角 I，判別左、右曲線，並輸入半徑 R 與三個 IP 點位置，以計算長度與角度。由 [9] 其中

$$TL = \left| R \frac{\sin\left(\frac{I}{2}\right)}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)} \right| = I$$

- (2) 計算及繪圖模組：本模組中執行有關圓曲線圖形之計算並繪出。若 P1 代表目前 IP 點座標，P2 代表後一 IP 點座標，P3 代表前一 IP 點座標，則

$$\begin{aligned} \angle AN1 &= \angle P1 \rightarrow P3 \\ \angle AN2 &= \angle P1 \rightarrow P2 \\ \therefore BC &= P1 @ TL \angle AN1 \\ EC &= P1 @ TL \angle AN2 \\ \text{若令 } \angle AN3 &= \angle BC \rightarrow EC \\ \text{且 } C &= 2 * R * \sin \frac{I}{2} \\ \text{則 } X &= \frac{C}{2} \\ \text{若令 } \therefore S1 &= BC @ X \angle AN3 \\ M &= R * \left(1 - \cos \frac{I}{2} \right) \\ \text{則 } S2 &= S1 @ M \angle AN4 \end{aligned}$$

最後由 AutoCAD 之圓弧 (ARC) 指令，便可以 BC, S2, EC 之點將圓曲線弧畫出。

- (3) 諸元標示模組：本模組係將各設計諸元以 [9] 之公式計算後，繪於相關位置。本程式繪出圖形如圖九所示。

(五) 緩和曲線繪圖程式：緩和曲線即克羅梭曲線。由 [10] 知，克羅梭曲線

分爲許多類型，而在[11]知，台灣省公路局之設計標準只取用對稱型克羅梭曲線作爲緩和曲線之佈設依據。緩和曲線分爲三段，中間段爲一般之圓曲線(由S.C至C.S，參閱圖十)，而前段(由B.C至S.C)與後段(由C.S至E.C)爲互相對稱之克羅梭曲線。而由[4]知，佈設緩和曲線除了繪出圖形外，尚需繪註起點TC、轉入點SC、交點IP、轉出點CS、終點ST、交角I、切線長度TS、緩和曲線長度LS，中心角 θ_s ，外距ES，單曲線長CL及曲線半徑R。標準圖面如圖十一所示。因此，本模組又可分爲下列三個子模組：

- (1) 輸入子模組：本模組中輸入交角I，判別左、右曲線，並輸入半徑R與三個IP點位置，另包含了緩和曲線長度LS之安全值判斷與輸入。由[11]知，LS之最小值應爲：

$$LS = 0.035 V^3 / R \quad \text{其中 } V: \text{最高速限}$$

- (2) 計算及繪圖模組：本模組中執行有關緩和曲線圖形中各點之座標與相關數值計算，並將圖形繪出。而有關緩和曲線之計算公式由[1],[2],[3],[10],[12],[13]中有各種推導與表示方式，爲配合台灣省公路局之設計標準，採用[13]中之方式進行作業分析，由[13]，參照圖九可知：

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R}$$

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40R^2} + \frac{L_s^5}{3456R^4} - \dots$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6R^2} - \frac{L_s^4}{336R^3} + \frac{L_s^6}{42240R^5} - \dots$$

$$K = X_c - R * \sin \theta_s$$

$$L.T. = X_c - Y_c * \cos \theta_s$$

$$P = Y_c - R * (1 - \cos \theta_s)$$

$$S.T. = \frac{Y_s}{\sin \theta_s}$$

$$L.C. = \frac{Y_s}{\cos \phi_c}$$

$$T_s = (R + P) * \tan \frac{T}{2} + K$$

$$\theta = \left(\frac{l_s}{L_s} \right)^2 * \theta_s$$

而在佈設方法中，本文採取的是十點支距法，亦即將 LS 分為十段，分別計算 X_c 與 Y_c 支距，找出各放樣點位置，再以圓弧指令連接，如此，可得到與現場施工完全相同的座標點，免除了一般傳統繪圖的誤差。

(3) 諸元標示模組：此模組係將各設計諸元以[13]之公式計算出後，繪於相關位置。本程式繪出圖形如圖十二所示。

(六) 整樁點標示：將所有路設計線條，以 PEDIT 指令中之 Join 選擇項連接，並以 MEASURE 指令繪出 20 公尺與 100 公尺整樁點。

(七) 地形地物繪製：將平板測量所得之地形地物資料，以 TABLET 指令中 Cal 選擇項繪於圖面上。

應用實例

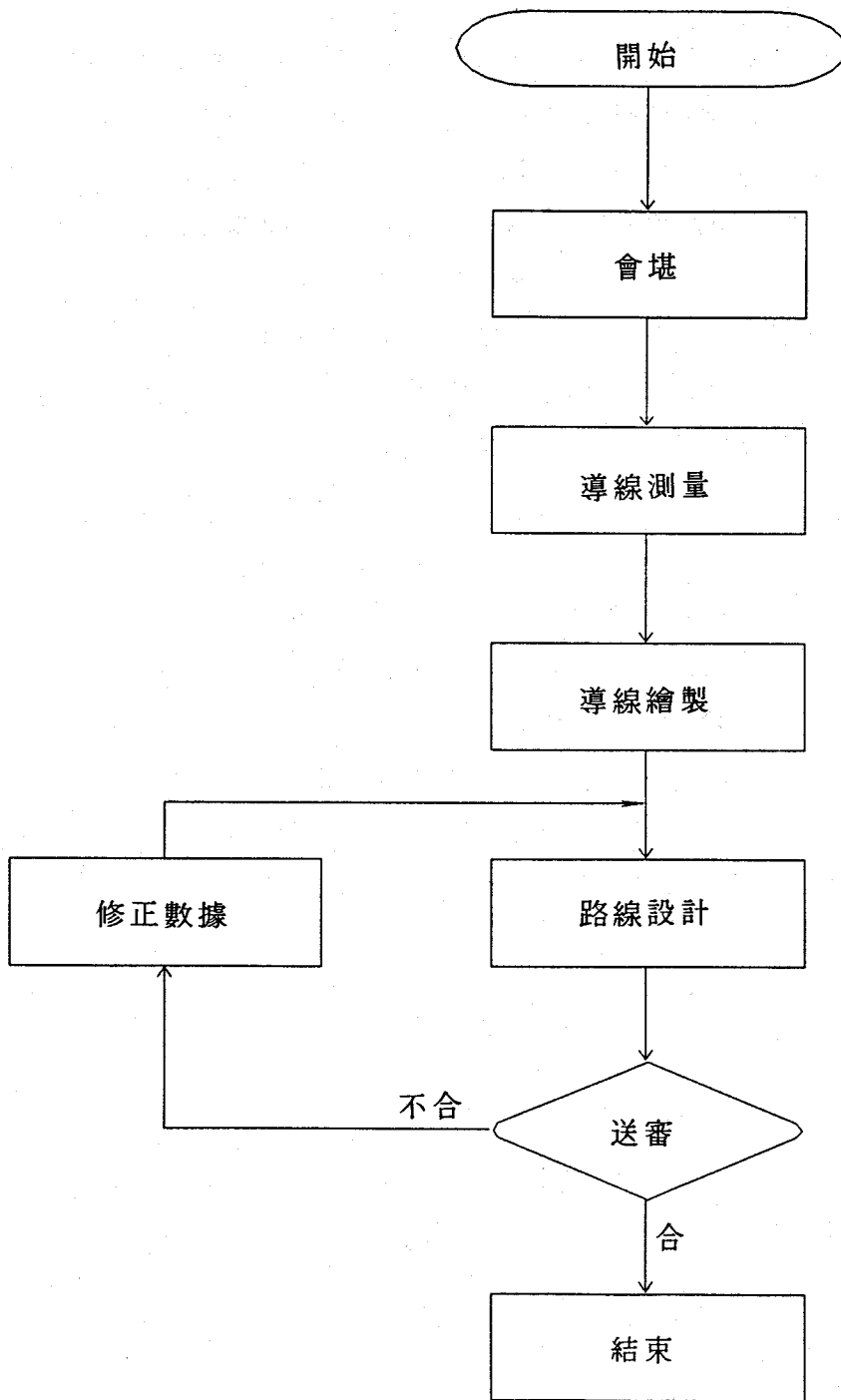
本系統完成後，已先後應用於台 139，台 127，南化水庫施工道路、柳川西街拓寬等道路工程之定線設計工作。已證明可減少設計負擔，降低時間及人力成本，並且在審核作業後之修改作業中節省了大量的時間，而圖面品質也獲得肯定，圖十三即為台 139 線的部份設計圖。圖十四為台 127 線之部份設計圖，圖十五為南化水庫取土區運輸道路工程之部份設計圖，均利用本系統完成。

結語

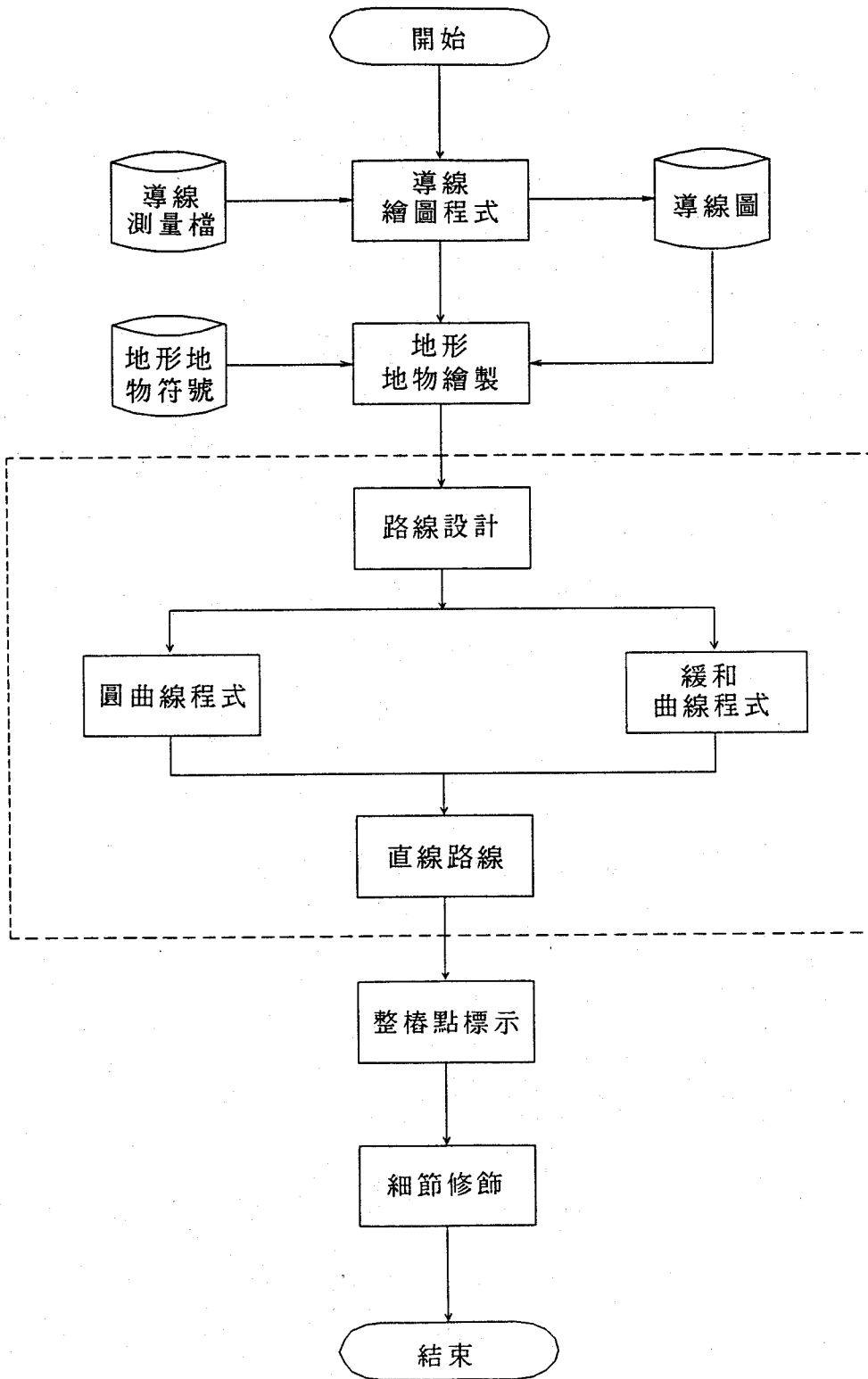
本系統之開發，已證明了在 PC 工作站及 AutoCAD 之開放式架構下進行電腦輔助路線設計製圖系統之開發與實用性均為可行。然而，路線設計只是整體道路工程之一環，其它如道路縱面圖、道路橫斷面圖的設計製作也可整合在同一系統內。而相關的結構物如邊溝、擋土牆、涵洞、涵管等之設計製圖，均可依據同一原則開發完成。目前在縱面圖與橫斷面圖的模組已開發完成，只要加以修正、合併後、即可做道路路線的細部設計工作。期望此種系統之開發工作，能為國內土木工程業提供一物美價廉之工作方法。

參考文獻

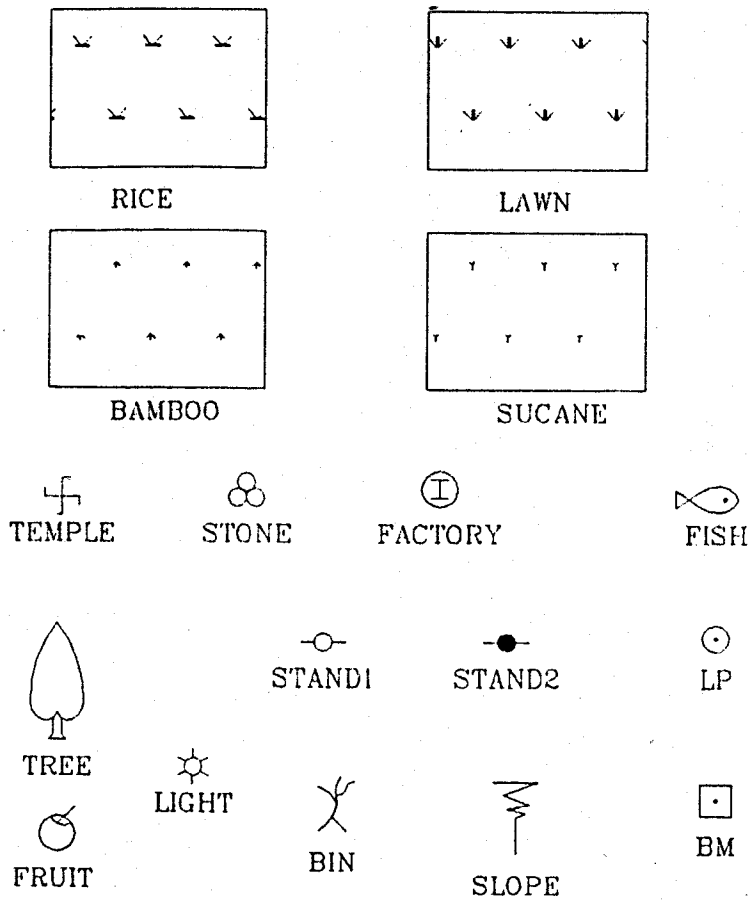
- [1] 謝政平，謝政安 "公路測量與電腦計算"，科技圖書公司，77 年 9 月。
- [2] 詹東桔，"電腦輔助座標法在單曲線及緩和曲線測量上之應用(一)"，台灣公路工程，第十三卷第十二期，76 年 6 月。
- [3] 詹東桔，"電腦輔助座標法在單曲線及緩和曲線測量上之應用(二)"，台灣公路工程，第十三卷第十三期，76 年 7 月。
- [4] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 103"，72 年元月。
- [5] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 104"，72 年元月。
- [6] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 107"，72 年元月。
- [7] 林立域，"AutoCAD 2.5X/2.6X 入門與應用"，松崗電腦圖書公司，77 年 6 月。
- [8] 江儀助，"測量學"，徐氏基金會，75 年 11 日。
- [9] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 112"，72 年元月。
- [10] 陳精微，"克羅梭緩和曲線應用手冊"，科技圖書公司，73 年 2 月。
- [11] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 116"，72 年元月。
- [12] 蔡攀鰲，"公路工程學"，成功大學土木系，69 年 8 月修訂 8 版。
- [13] 台灣省交通處公路局，"道路工程標準圖；路 - 119"，72 年元月。



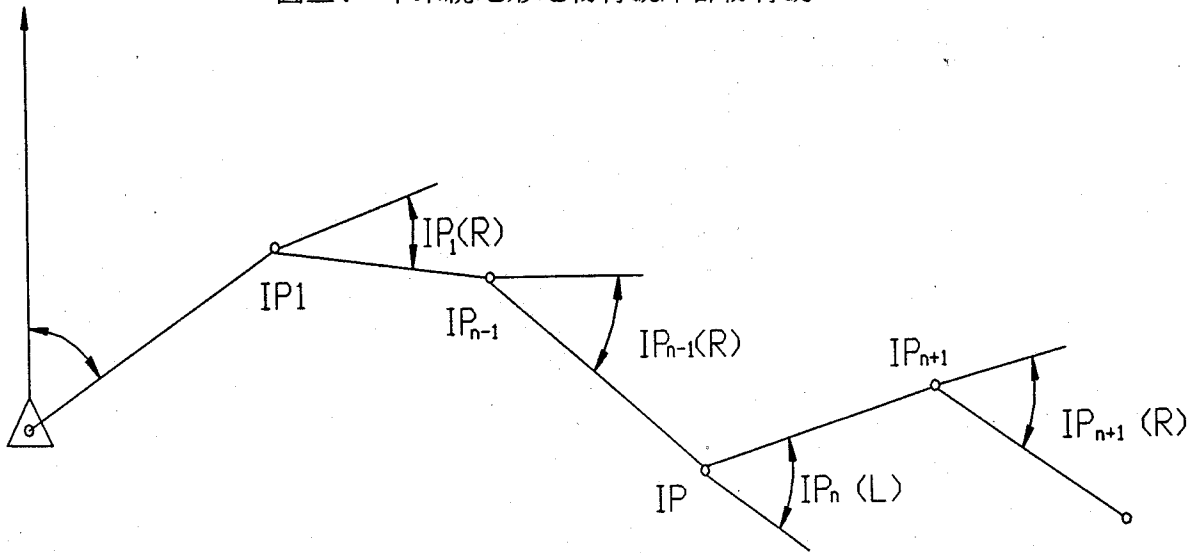
圖一路線設計作業流程圖



圖二本系統系統流程圖



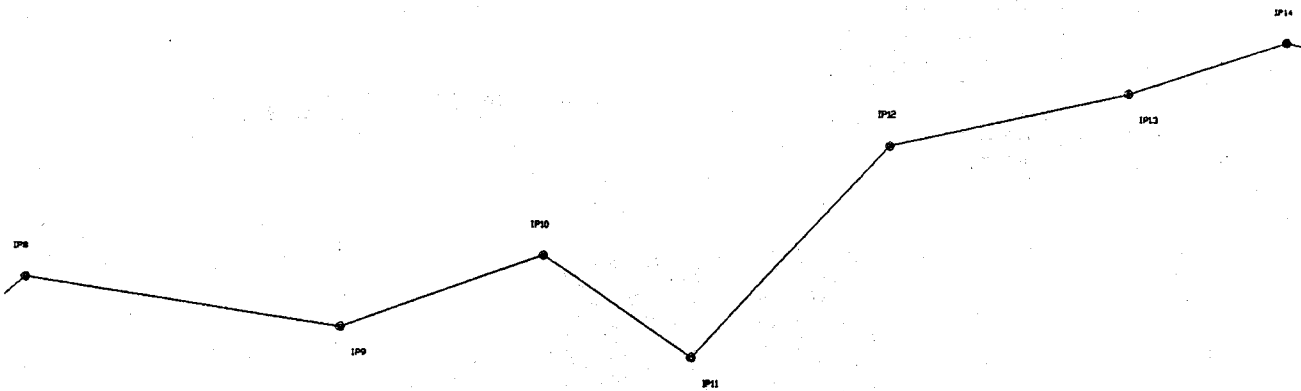
圖三、本系統地形地物符號庫部份符號



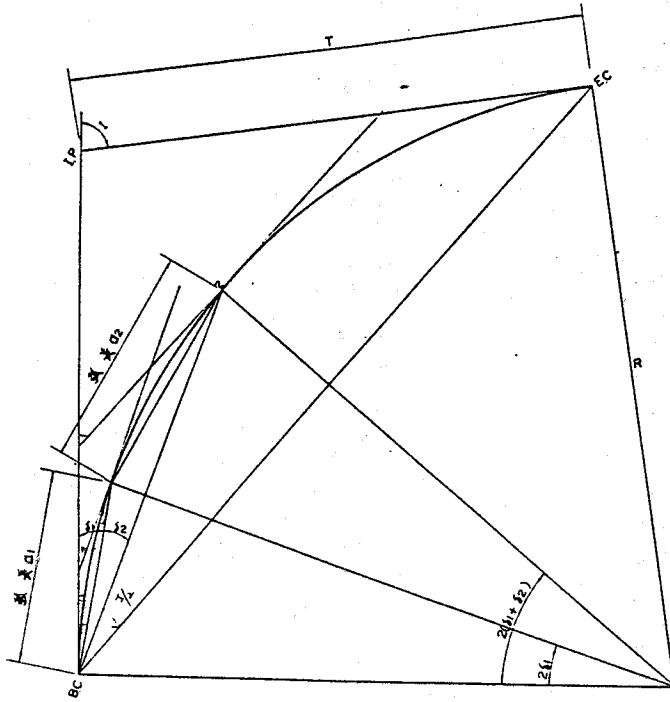
圖四、導線定義圖

53.92166	14.35972
R	R
62.870	79.393
81.21333	63.64861
L	R
101.791	91.911
34.57583	13.49611
R	L
85.254	77.986
5.77111	40.99805
L	L
57.393	93.937
30.46166	51.48222
R	L
137.405	108.056
1.08888	38.13277
L	R
96.603	132.819
3.15444	35.21666
L	L
117.478	58.198
46.05611	48.71000
L	R
105.792	112.757
35.10305	28.26416
R	L
113.828	74.649

圖五、 台 139線之部份導線測量檔案內容 (注:檔案分列兩行)



圖六、 由圖五檔案所產生之部份台 139線導線圖形 (IP8-IP14)



圓曲線

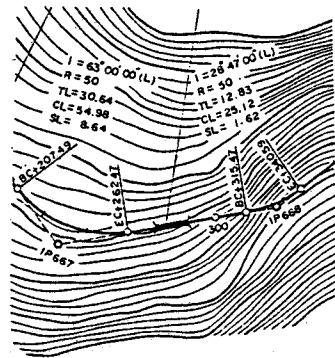
公式：

- (1) $T = R \times \Delta \times \frac{\pi}{180}$
- (2) $\delta = 1718.87 \frac{\Delta}{R}$
- (3) $L = R \left(\Delta \times \frac{\pi}{180} \right)$

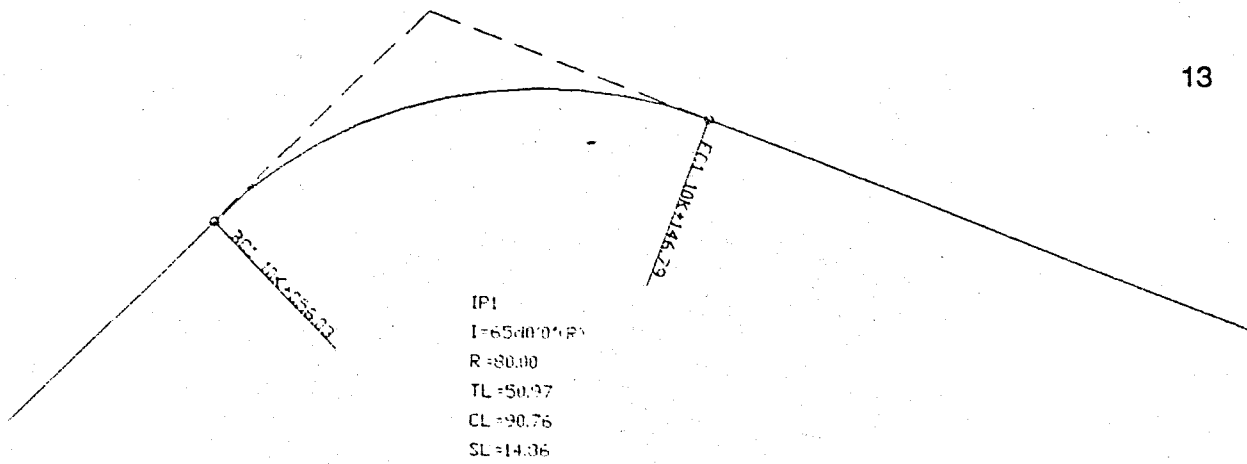
符號：

- T = 切線長度 (公尺)
- R = 曲線半徑 (公尺)
- L = 曲線長度 (公尺)
- δ = 弧長 L 所對之偏角 (分)
- α = 偏角 δ 所對之弧長 (公尺)
- I = 切線交角
- BC = 曲線起點
- EC = 曲線終點
- IP = 切線交點

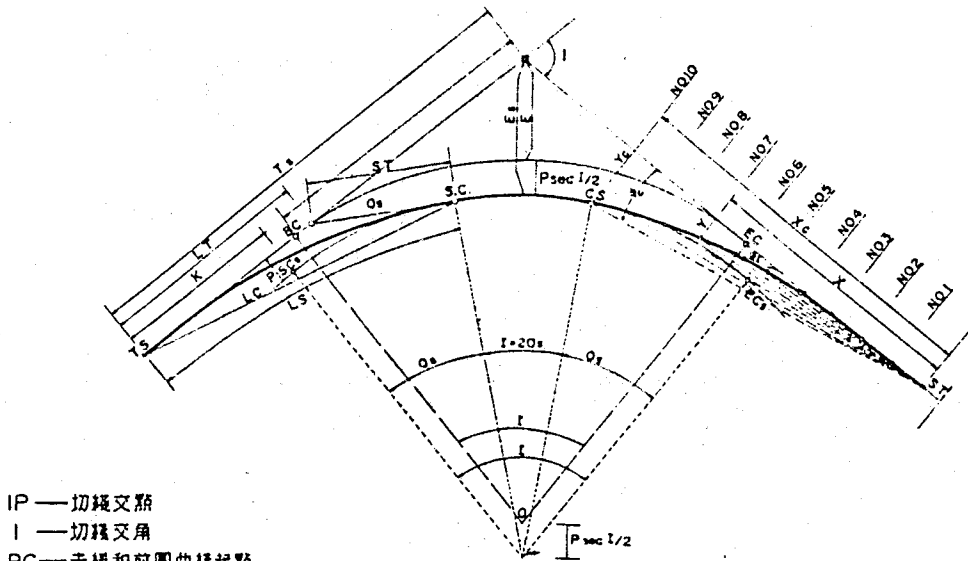
圖七、標準圖中對圓曲線之定義



圖八、標準圖中對圓曲線之圖例



圖九、本系統對圓曲線之執行結果

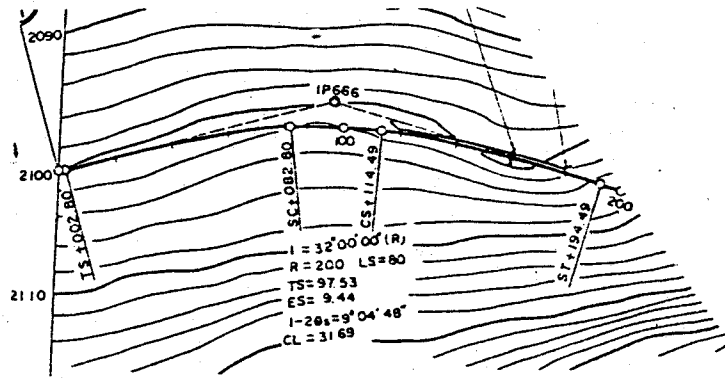


缓和曲线平面圖

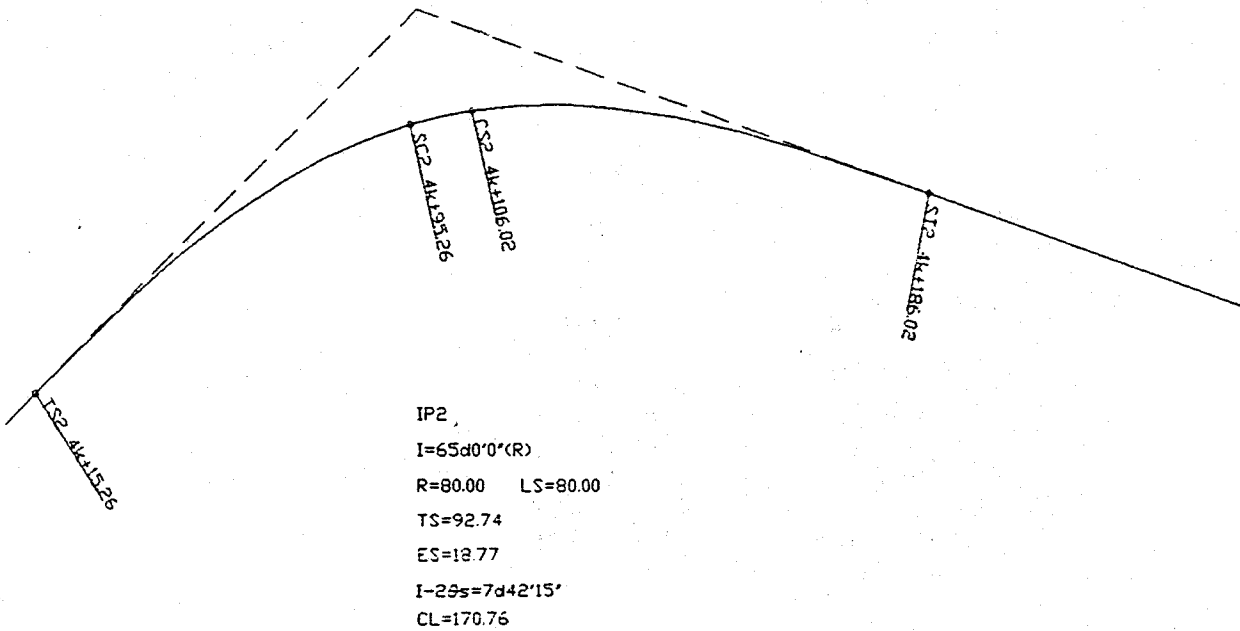
- IP — 切線交點
- I — 切線交角
- BC — 未緩和前圓曲線起點
- EC — 未緩和前圓曲線終點
- BCs — 緩和後B.C.內移之假想點
- ECs — 緩和後E.C.內移之假想點
- T.S. — 切線轉入緩和曲線之點
- S.C. — 緩和曲線轉入圓曲線之點
- C.S. — 圓曲線轉入緩和曲線之點
- S.T. — 緩和曲線轉入切線之點
- R — 圓曲線半徑
- T — 未緩和前圓曲線之切線長度
- E — 未緩和前圓曲線之外距
- Ts — 緩和後IP至T.S.或S.T.之切線長度
- L.C. — 緩和曲線之長弦
- Is — 自T.S.至緩和曲線上任意點之長度
- Es — 緩和後IP至圓曲線中點之外距
- K — BCs或ECs之切線橫距
- P — BCs或ECs之切線支距
- Os — 緩和曲線中心角(緩和曲線起點與終點切線間之交角)
- phi — T.S.或S.T.點切線對S.C.或C.S.點之偏角
- theta — 緩和曲線起點與其上任意點切線間之交角(緩和曲線上任意點之中心角)
- phi' — T.S.或S.T.點切線對緩和曲線上任意點之偏角

- Xc — s.c.或c.s.之切線橫距
- Yc — s.c.或c.s.之切線支距
- X — 緩和曲線上任意點之切線橫距
- Y — 緩和曲線上任意點之切線支距
- L.T. — 緩和曲線之長切線
- ST — 緩和曲線之短切線
- Ls — 自TL至s.c.之緩和曲線長

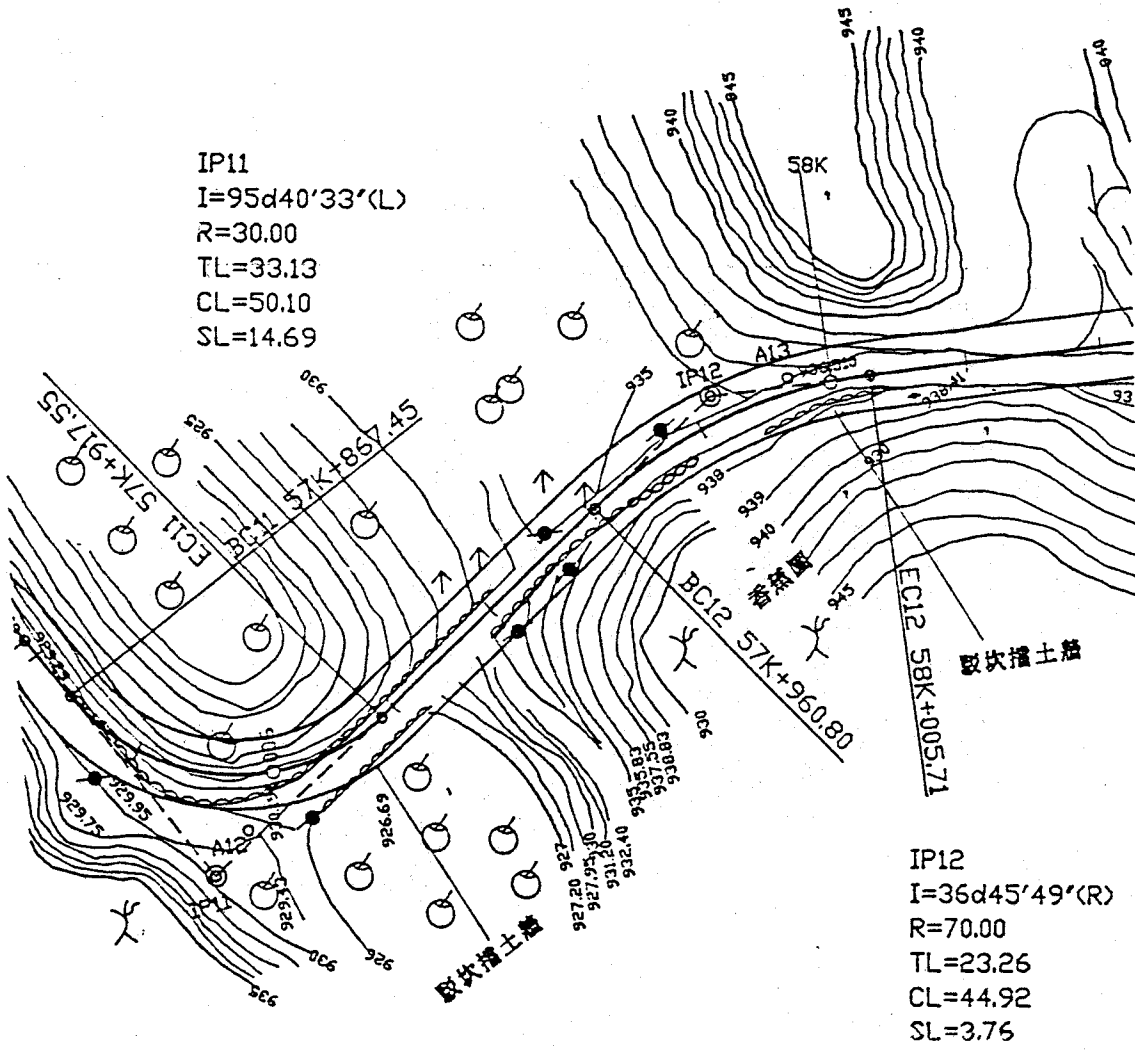
圖十、標準圖中對緩和曲線之定義



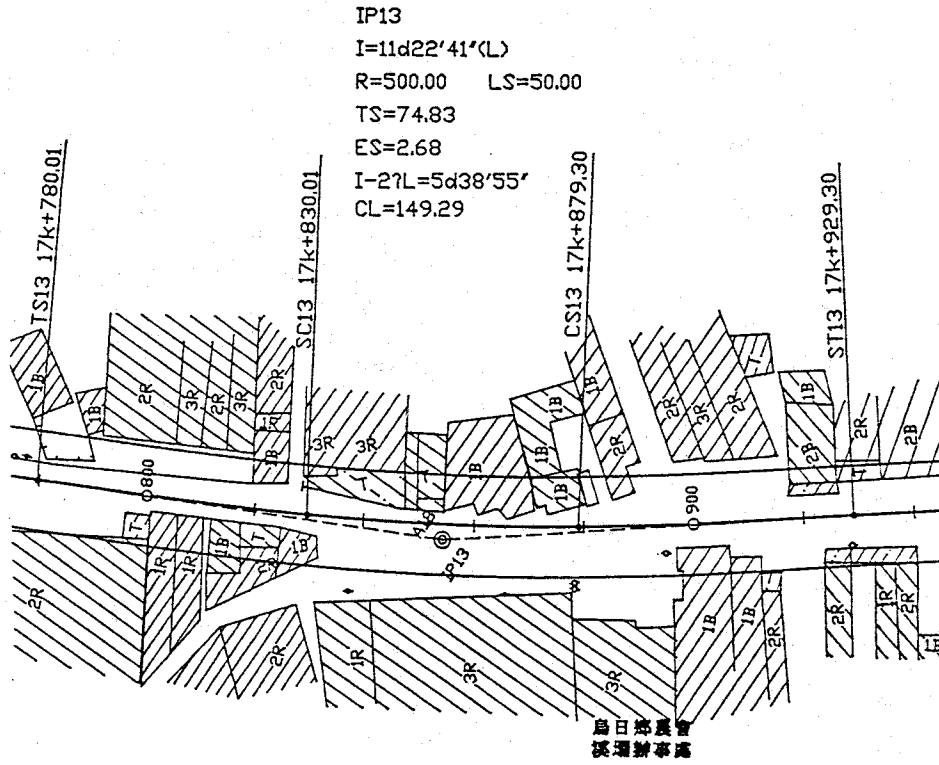
圖十一、標準圖中對緩和曲線之圖例



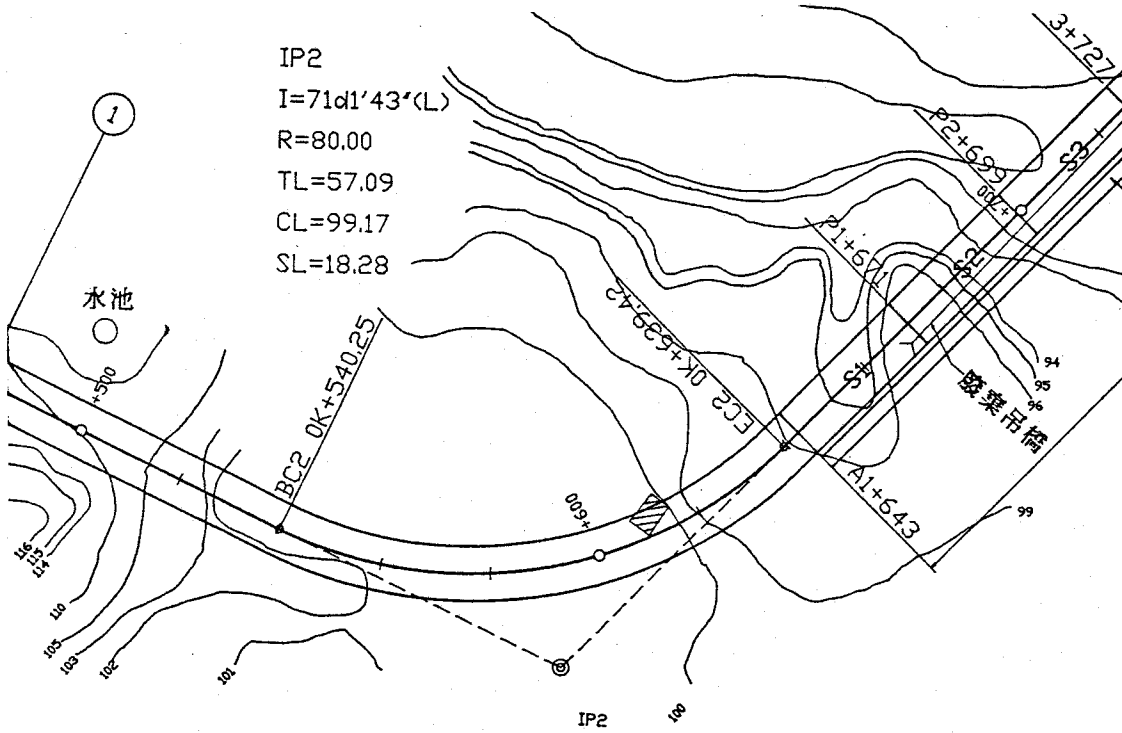
圖十二、本系統對緩和曲線之執行結果



圖十三、台139線拓寬工程用本系統之部份設計圖



圖十四、台127線拓寬工程利用本系統之部份設計圖



圖十五、南化水庫取土區運輸道路利用本系統完成之部份設計圖