

中部地區(苗栗、台中、彰化)坡地土壤力學特性之統計分析

蘇苗彬* 陳旺志**

*國立中興大學土木工程研究所

**國立屏東技術學院土木工程技術系

摘要

山坡地的土壤力學特性統計，由於其地形、地質等條件變異，殊屬困難，本研究嘗試應用本省中部地區之坡地土壤在各單位相關研究計畫之執行下，取樣及試驗之有效點數累積已達 118 個，足夠進行各類統計分析比較，期建立適當的統計歸納方法，並得到具代表性之結果，其中台中縣市之樣點數計 51 點，苗栗縣計 40 點，彰化縣計 24 點。各樣點之試驗項目包括土壤物理性質、阿太堡試驗、機械分析、透水試驗、夯實試驗、單壓試驗、壓密試驗及剪力試驗等，根據現場調查及試驗結果可得各樣點之地理資料、環境資料及土壤分類資料包括高程、TM 座標(2 度分帶)、地層類別、農業土壤類別、USCS 土壤類別及 AASHTO 土壤類別等。本研究以變異係數計算、常態分佈考驗、變異數同質性考驗、變異數分析及無母數 Kruskal-Wallis 分析等統計方式，對不同環境條件及土壤類別之各樣點試驗結果進行分析，比較各項試驗結果之離散情形，並界定在 95%顯著水準之統計下何項環境條件及土壤類別為各項試驗結果具有差異性之主要影響項目，再以此等項目作為土壤力學性質分區之依據，完成苗栗、台中及彰化地區十萬分之一比例尺之彩色坡地工程土壤分佈圖，及各土壤力學性質分區之試驗結果統計表，以供相關各界之參考。

一、前言

台灣地區平地面積有限，因此山坡地之開發與建設為必要之途徑，而坡地之不穩定潛在因素遠大於平地，如何安全的進行開發更是重要課題，建立山坡地土壤力學特性之基本資料庫及工程土壤分區之基本圖說將有助於安全有效的從事開發工作。本研究目的係針對中部地區(苗栗、台中、彰化)已完成之 118 個坡地土壤樣點，其各項土壤力學參數、土壤分類別及地層類別等進行各項統計分析，探討個別土壤力學參數其試驗結果之離散程度，不同土壤力學參數間之相關方程式，並找出使土壤力學參數性質具有顯著差異性之分類方式，作為指標類別進行工程土壤分佈圖之製作。

二、材料與方法

1. 基本資料蒐集與整理

蒐集與整理中部地區苗栗、台中、彰化三個行政區域之坡地分佈範圍圖、行政區域圖、坡地地質分佈圖、農業用坡地土壤分佈圖、地形圖、交通道路系統圖及水系圖等，以供規劃土壤樣點分佈及野外調查之應用，此外並蒐集上述圖說之電子圖檔加以併圖整理，以供工程土壤分佈圖製作之應用。

2. 野外調查及室內試驗

野外調查除原狀及擾動土樣之採集外，並應用

GPS 接收器配合地形圖定出土樣點之高程及 2 度分帶之 TM 座標。

室內試驗項目包括現地單位重(γ)、乾燥單位重(γ_d)、飽和單位重(γ_{sat})、孔隙比(e)、土粒比重(G_s)、現地含水量(w)、液性限度(LL)、塑性限度(PL)、塑性指數(PI)、分組指數(GI)、粒徑分佈曲線、透水係數(k)、最大乾密度(MDD)、最佳含水量(OMC)、無回壓縮強度(q_u)、凝聚力(C)、內摩擦角(ϕ)、壓縮指數(C_c)及再壓縮指數(C_r)等,此外並以 USCS(統一土壤分類法)及 AASHTO 系統進行土壤分類。各地區之詳細試驗數據及結果請參考文獻[1]、[2]、[3]。

3. 不同土壤分類及地層分類之坡地土壤樣點分佈

土壤樣點之數目苗栗縣計 40 點,彰化縣計 24 點,台中縣市計 54 點,合計中部地區之樣點為 118 點,此等樣點之農業土類、USCS 土類、地層分類分佈數量,及各類別間交叉關係之分佈數量如表 1 及表 2 所示。

4. 土壤力學參數試驗結果之變異性比較

就 USCS 分類中土樣數目較多之 CL、ML 及 SM 三種土類,分別求其 G_s 、 w 、 e 、 γ_d 、 k 、OMC、MDD、 q_u 、 C 、 ϕ 、 C_r 、 C_c 之平均值、標準偏差及變異係數結果如表 3 所示,由各參數之變異係數可以比較其試驗結果之離散情形。

5. 土壤力學參數間相關方程式之推求

土壤力學基本參數間之關係式,前人研究之結果整理後如表 4 所示,參考前人研究之方程式型態,就中部地區之試驗資料整理迴歸後得結果如表 5 所示,表中並列出其相關係數、標準誤差及 $R^2 = 0$ 、迴歸式係數=0 假說之考驗結果。

6. 不同土壤分類及地層分類影響土壤力學參數差異性之統計分析

土壤力學參數之影響因素頗多,本文就農業土壤分類、統一土壤分類及地層分類(地質分類)等因素做為探討對象,並以單因子變異數分析(One-Way Analysis of Variance)及無母數分析之 Kruskal-Wallis 考驗為工具進行統計分析。

進行變異數分析前,尚進行資料之事前檢查,以確保變異數分析結果之正確性,資料事前檢查部份包括:(1)常態性考驗:指考驗樣本所來自的母群在實驗研究的依變數方面其分配是常態性的。(2)可加性考驗:考驗資料分割後之各部份互相獨立或不相重疊,而且其變異數來源均甚明顯。在單因子變異數分析裡,這一點通常可合乎要求不需考驗。(3)變異數同質性考驗:考驗變異分析時各組資料之變異數必須是相同的。

無母數分析之 Kruskal-Wallis 考驗則不受到資料分佈為常態性及考驗組別之變異數需有均質性之限制,惟其統計過程係先將統計資料排序後編以階數再行處理,故未完全利用樣本所提供之資訊,其考驗之能力較有母數之變異數分析為差,但無母數統計法特別適用於小樣本,名義、類別和次序變數資料之情況。

基於上述原因,本文對考驗之分類組別其樣本數較大者採用考驗能力較好之變異數分析進行考驗,對樣本數較小者則以 Kruskal-Wallis 法進行考驗。進行考驗之分類組合規劃方式及其分析流程如圖 1 所示,考驗結果則如表 6 及表 7 所示。

7. 坡地工程土壤分佈圖之製作

坡地工程土壤分佈圖之製作,係以水土保持局提供之山坡地範圍及土壤分佈圖數位檔為基本資料,在 AutoCAD 之環境下進行分區圖之製作,分區之依據係前述 6 之分析檢討所得之土類組合,製作之圖以十萬分之一比例尺繪製成圖,其製作流程如圖 2 所示。

三、結果討論

1. 就表 3 中之變異分析結果,顯示 CL、ML、SM 三種土類土壤力學參數試驗資料之變異性可歸納如下,以 k 之離散性最大;其次為 q_u 、 C 、 C_r 、 C_c ;再其次為 w 、 e 、OMC、 ϕ ;再其次為 γ_d 、MDD;而以 G_s 之離散性為最小。

2. 表 5 中各關係式中 R^2 為零及迴歸係數為零之假說在 99% 之顯著水準下均不成立,顯示各關係式中之土壤力學參數其間之線性關係很顯著,唯其相關係數 R^2 普遍不高,故其實用性仍屬有限,此外由

表 5 中亦可知相同關係式，不同土類之情況時均以 CL 土類所得迴歸式之 R^2 最高。

3. 由表 6 及表 7 之結果中，可知紅棕色紅壤、黃紅色紅壤；黃棕色黃壤、黃紅色黃壤；灰黃色崩積土、暗灰色崩積土；砂頁岩老沖積土、砂頁岩新沖積土等四組，各組內之兩種土類其各項土壤力學參數均無顯著差異，故農業土類可併為紅壤、黃壤、崩積土及沖積土等四類進行考驗。
4. 由表 6 及表 7 之結果中，亦可知不同地層分類(沖積層、紅土地堆積層、卓蘭層及頭料山層)每不同 USCS 分類(CL、ML 及 SM)之土樣其土壤力學參數均無顯著差異，而農業土壤分類(紅壤、黃壤、崩積土及沖積土)之土樣則於 OMC 及 MDD 兩參數有顯著之差異。
5. 對紅壤、崩積土及沖積土內之土樣進一步細分為不同 USCS 分類及地層分類進行考驗分析(黃壤由於土樣數目較少不再細分)，由表 7 中，其結果可知紅壤內不同地層分類之土樣於 Cr 參數有顯著差異，紅壤內不同 USCS 分類之土樣於 $\log k$ 及 q_u 兩參數有顯著差異，崩積土內不同地層分類之土樣於 C 及 $\tan \phi$ 兩參數有顯著差異，崩積土內不同 USCS 分類之土樣於 $\log k$ 參數有顯著差異，沖積土內不同 USCS 分類之土樣則於 C 參數有顯著差異。

四、結論與建議

本研究運用現地實際調查結果進行坡地土壤特性的統計分析，期藉由檢討歸納適用的土壤工程性質分類方法，也同時期望建立各類的特性，經由統計分析本省中部坡地的 118 個採樣點的實驗結果，以農業土壤分類之類別最具有顯著性，將中部坡地土壤分為紅壤、黃壤、崩積土與沖積土等四個主要分類，並配合表土分佈調查結果作為工程土壤分佈圖之繪製依據，繪製完成之中部地區工程土壤分佈圖，圖中並包含各工程土類之統計值一覽表。

進一步在各分類中以 USCS 為細分進行統計之考驗分析，初步得到幾項顯著差異的結果，可以推得台灣中部地區之四種工程土類中應可依不同之 USCS 及地層分類細分為不同之工程土壤次類，建議爾後繼續增加土樣之項目，以便應用考驗能力更佳

之變異數分析進行考驗，並使工程土壤次類分佈圖之繪製更為便利及精確，此外亦可使得各種工程土壤類別其土壤力學參數之統計值更為客觀及合理。

由上述結果可以研判，本文所引用統計分類的考驗分析，是可以運用作為山坡地土壤力學性質分類判定之用，初步已獲致不錯的結果。而分類的方法暫時以農業土壤分類作為大項，有必要時再以工程土壤分類細分，應是可行的方式，待有更多地區的結果時，應不斷驗證這樣的說法。

參考文獻

- [1]農委會，水土保持局，國立中興大學土木所 (1994)，八十三年度台灣省山坡地土壤力學性質基本資料調查—選點、取樣及試驗方法研究。
- [2]農委會，水土保持局，國立中興大學土木所 (1995)，台灣省山坡地土壤力學性質基本資料調查—選點、取樣及試驗方法研究(四)。
- [3]農委會，水土保持局，國立中興大學土木所 (1996)，台灣省西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查—彰化地區。
- [4]張紹勳、林秀娟(1993)，SPSS for Windows 統計分析，松崗圖書公司。
- [5]CARTER, M. and BENTLEY, S.P.(1991)，Correlations of Soil Properties，Pentech Press。
- [6]DAS, BRAJA M. (1983)，Advanced Soil Mechanics，McGraw-Hill Book Company。
- [7]SPSS Inc. (1993)，SPSS for Windows, Base System User's Guide, Release 6.0

The Statistical Analysis of Soil Mechanical Properties of Slope Land in the Central Areas(Miaoli, Taichung and Changhua) of Taiwan

Miau-Bin Su Wang-Jyh Chen

ABSTRACT

There are totally 118 slopeland soil samples in the central areas of Taiwan, which were collected by the relative research projects of the last few years. The experiments of those soil samples in the laboratory including soil physical properties, Atterberg limits, mechanical analysis, permeability test, compaction test, unconfined compression test, consolidation test and shear test etc. On the other hand the geographical, environmental and classified information of the soil samples were gained from the field investigation and the experiment data, those information including elevation, TM coordinates (2 degree zone), geological formation type, agriculture soil type, USCS soil type and AASHTO soil type etc. The experiment data of the soil samples were analyzed and tested by the coefficient of variance, the distribution of normality, the homogeneity of variance, the one-way analysis of variance, and the nonparametric Kruskal-Wallis test etc., in order to compare the deviation of data of different experiment and to find out which one of the environmental type or the soil classified types is the main factor to effect the experiment data under the 95% significance level. Finally, the colorful map of engineering soil distribution was printed in the scale of 1:100,000, and the table of statistical value of various soil mechanical properties of different engineering soil types was also appended to the map.

表 1 台中縣市、苗栗縣及彰化縣農業土類之土壤樣點數量表

農 業 土 類		數 量
紅壤	紅棕色紅壤	23
	黃紅色紅壤	33
黃壤	黃棕色黃壤	9
	黃紅色黃壤	5
崩積土	灰黃色崩積土	31
	暗灰色崩積土	6
沖積土	砂頁岩老沖積土	9
	砂頁岩新沖積土	12

表 2 台中縣市、苗栗縣及彰化縣農業土類、工程土類、地層分類及其間交叉關係之土壤樣點數量表

	CL	ML	SM	ML - CL	SC	沖 積 層	台 地 堆 積 層	紅 土 台 地 堆 積 層	卓 蘭 層	錦 水 頁 岩 層	頭 料 山 層	瑞 芳 層	三 峽 層
紅壤	26	4	9	6	1	3	2	26	0	0	14	0	1
黃壤	6	3	5	0	0	1	0	2	4	1	5	1	0
崩積土	21	10	6	0	0	1	3	2	19	2	7	2	1
沖積土	5	6	10	0	0	10	2	0	2	2	5	0	0
合計	58	23	30	6	1	15	7	30	25	5	31	3	2

表 3 中部地區(苗栗、台中、彰化)坡地土壤 USCS 類別之土壤力學參數統計表

土類	統計項目	Gs	w (%)	e	γ_d (g/cm ³)	k (cm/sec)	OMC (%)	MDD (g/cm ³)	q_u (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (deg)	Cr	Cc
CL	平均值	2.69	16.81	0.73	1.56	2.47×10^{-5}	14.10	1.84	1.26	0.15	31.2	0.05	0.20
	標準偏差	0.0335	5.482	0.149	0.130	1.19×10^{-4}	2.367	0.0818	1.467	0.101	4.837	0.0694	0.140
	變異係數 (%)	1.25	32.61	20.37	8.30	479.60	16.79	4.44	116.85	67.08	15.51	139.98	70.37
ML	平均值	2.67	15.69	0.70	1.59	8.13×10^{-5}	12.33	1.89	0.95	0.15	28.6	0.07	0.15
	標準偏差	0.0122	3.051	0.139	0.125	2.07×10^{-4}	1.408	0.0602	1.473	0.0978	7.697	0.0889	0.104
	變異係數 (%)	0.46	19.45	19.96	7.87	254.65	11.42	3.19	155.24	63.51	26.87	120.15	71.44
SM	平均值	2.67	12.08	0.71	1.57	5.15×10^{-4}	12.13	1.88	0.71	0.16	31.5	0.03	0.15
	標準偏差	0.0209	3.541	0.162	0.140	1.47×10^{-3}	1.825	0.0820	0.617	0.155	6.361	0.0417	0.0942
	變異係數 (%)	0.78	29.32	22.76	8.88	286.27	15.05	4.36	87.01	99.88	20.18	141.41	64.36

表 4 土壤力學參數間之關係式(摘自文獻[5]、[6])

關係式	土 壤 別	來 源
OMC=0.61PL-0.84(std. dev.=3.38)	South American Soils	Morin and Todor (1977)
OMC=0.58PL-4.54(std. dev.=4.2)	African Soils	
MDD=2563-44.48OMC (std. dev.=88 kg/m ³)	African Soils	
Cc=0.009(LL-10)	Normally Consolidated Clays	Terzaghi and Peck (1967)
Cc=0.007(LL-10)	Remolded Clays	
Cc=0.208 e_o +0.0083	Chicago Clays	
Cc=1.15(e_o -0.35)	All Clays	Summarized by Azzouz, Krizek and Corotis (1976)
Cc=0.30(e_o -0.27)	Inorganic, Cohesive Soil; Silt, Some Clay; Silty Clay; Clay	
Cc=0.75(e_o -0.50)	Soils of Very Low Plasticity	
Cc=0.01 w_n	Chicago Clays	
Cc=0.0115 w_n	Organic Soils-Meadow Mats, Peats, Organic Silt and Clay	

表 5 中部地區(苗栗、台中、彰化)坡地土壤力學參數間之關係式

關係式	土壤別	R^2	標準誤差	99%顯著水準下之假說考驗	
				R^2 為零	迴歸式係數為零
OMC=0.43 PL-6.53	CL	0.438	1.807%	No	No
MDD=2221-27.07 OMC	CL	0.652	47.70 kg/m ³	No	No
MDD=2226-27.59 OMC	ML	0.417	47.01 kg/m ³	No	No
MDD=2177-24.45 OMC	SM	0.296	70.04 kg/m ³	No	No
MDD=2207-26.36 OMC	All Soils	0.536	55.57 kg/m ³	No	No
Cc=0.007 LL	CL	0.751	0.130	No	No
Cc=0.302 e_o	CL	0.782	0.122	No	No
Cc=0.204 e_o	ML	0.668	0.104	No	No
Cc=0.200 e_o	SM	0.708	0.0952	No	No
Cc=0.227 e_o	All Soils	0.661	0.122	No	No
Cc=0.0126 w_p	CL	0.761	0.128	No	No
Cc=0.0952 w_p	ML	0.740	0.0923	No	No
Cc=0.0116 w_p	SM	0.712	0.0946	No	No
Cc=0.0106 w_p	All Soils	0.673	0.120	No	No

表 6 不同土類組合於 95%顯著水準下，變異數均相等且平均值有差異之考驗結果(✓表同時通過，*表不通過)

分析類別	紅棕色紅壤 黃紅色紅壤	沖積層紅土台地 堆積層 卓蘭層 頭料山層	CL ML SM	紅壤 黃壤 崩積土 沖積土
k	*	*	*	*
log k	*	*	✓*	*
Cc	*	*	*	*
Cr	*	*	*	*
MDD	*	*	✓*	✓
OMC	*	*	✓*	✓
q_u	*	*	*	*
C	*	*	*	*
ϕ	*	*	*	*
tan ϕ	*	*	*	*

* 表不符合常態分佈要求

表 7 不同土類組合於 95%顯著水準下，以無母數 Kruskal-Wallis 考驗其差異性結果(✓表同時通過，*表不通過)

分析類別	黃棕色黃壤 黃紅色黃壤	灰黃色崩積土 暗灰色崩積土	砂頁岩老沖積土 砂頁岩新沖積土	紅壤內之紅土台地 堆積層 頭料山層	紅壤內之 CL ML SM ML-CL	崩積土內之卓蘭層 非卓蘭層	崩積土內之 CL ML SM	沖積土內之沖積層 非沖積層	沖積土內之 CL ML SM
log k	*	*	*	*	✓	*	✓	*	*
Cc	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cr	*	*	*	✓	*	*	*	*	*
MDD	*	*	*	*	*	*	*	*	*
OMC	*	*	*	*	*	*	*	*	*
q_u	*	*	*	*	✓	*	*	*	*
C	*	*	*	*	*	✓	*	*	✓
tan ϕ	*	*	*	*	*	✓	*	*	*

註：本考驗結果中之 k 與 log k 同， ϕ 與 tan ϕ 同，故表中僅列 log k 及 tan ϕ 項。

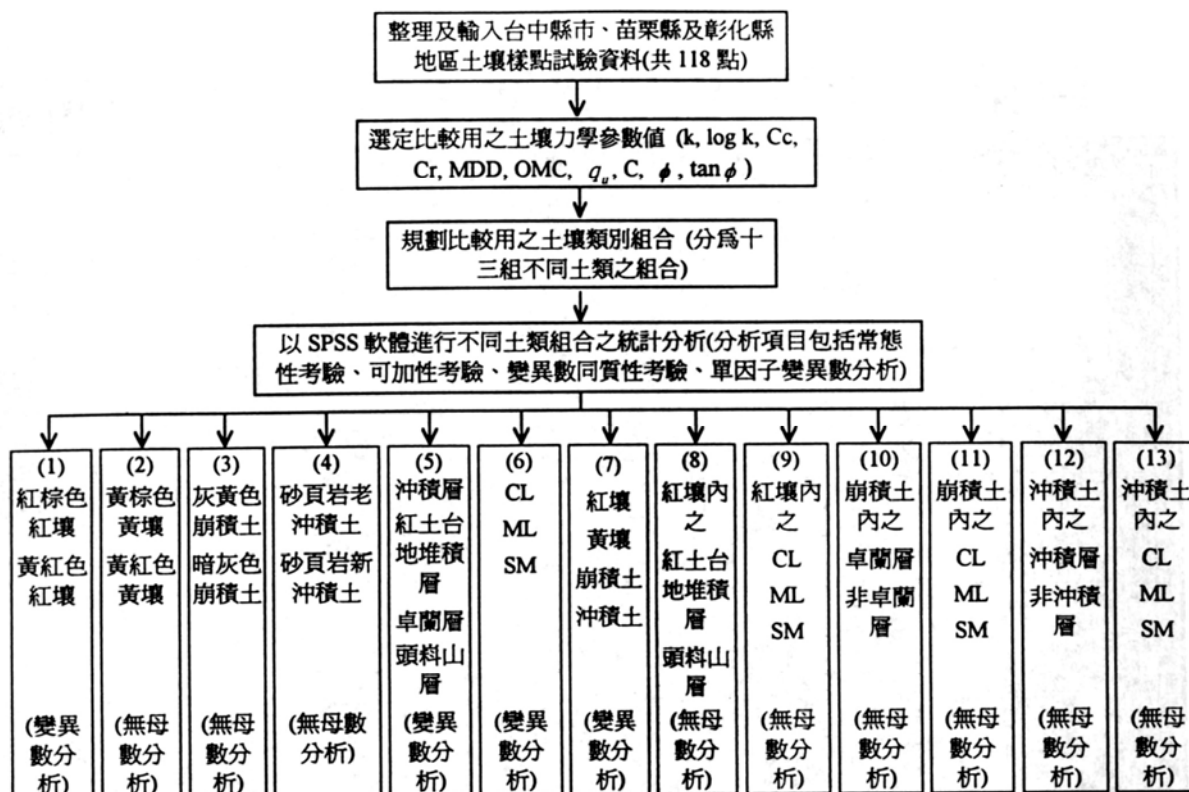


圖 1 台中縣市、苗栗縣及彰化縣地區坡地土壤樣點不同土壤分類及地層分類力學參數差異性統計分析流程圖

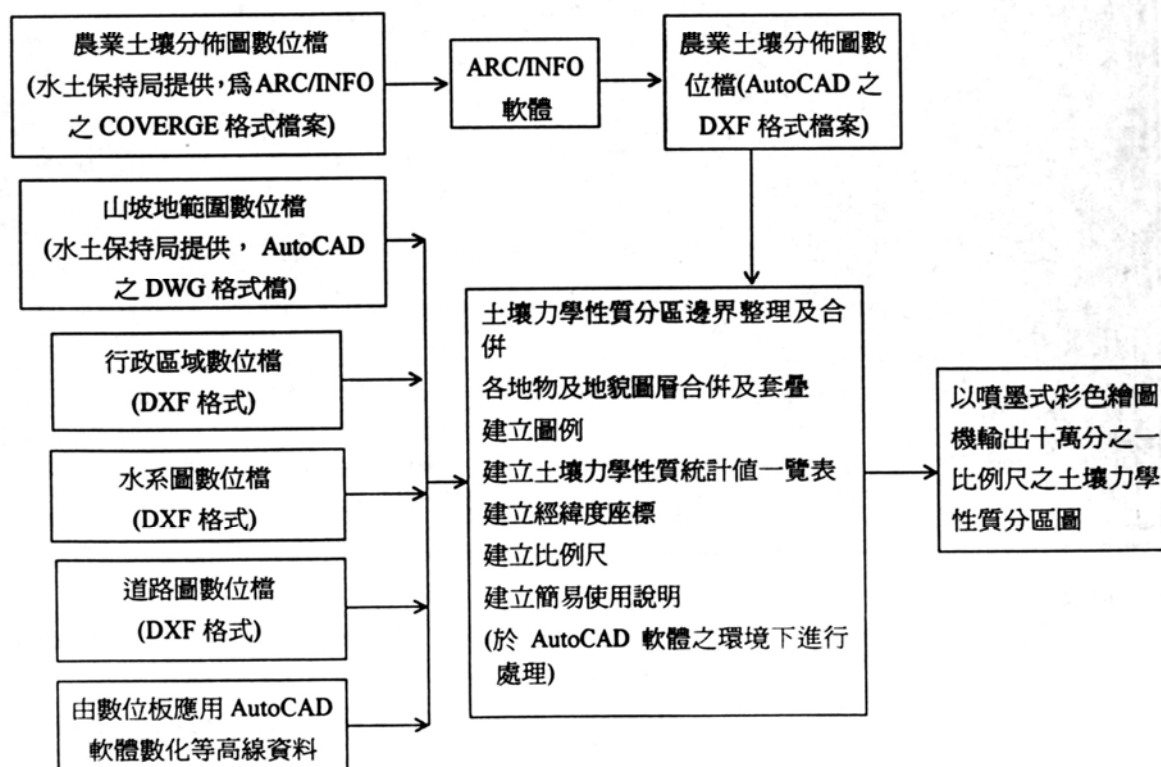
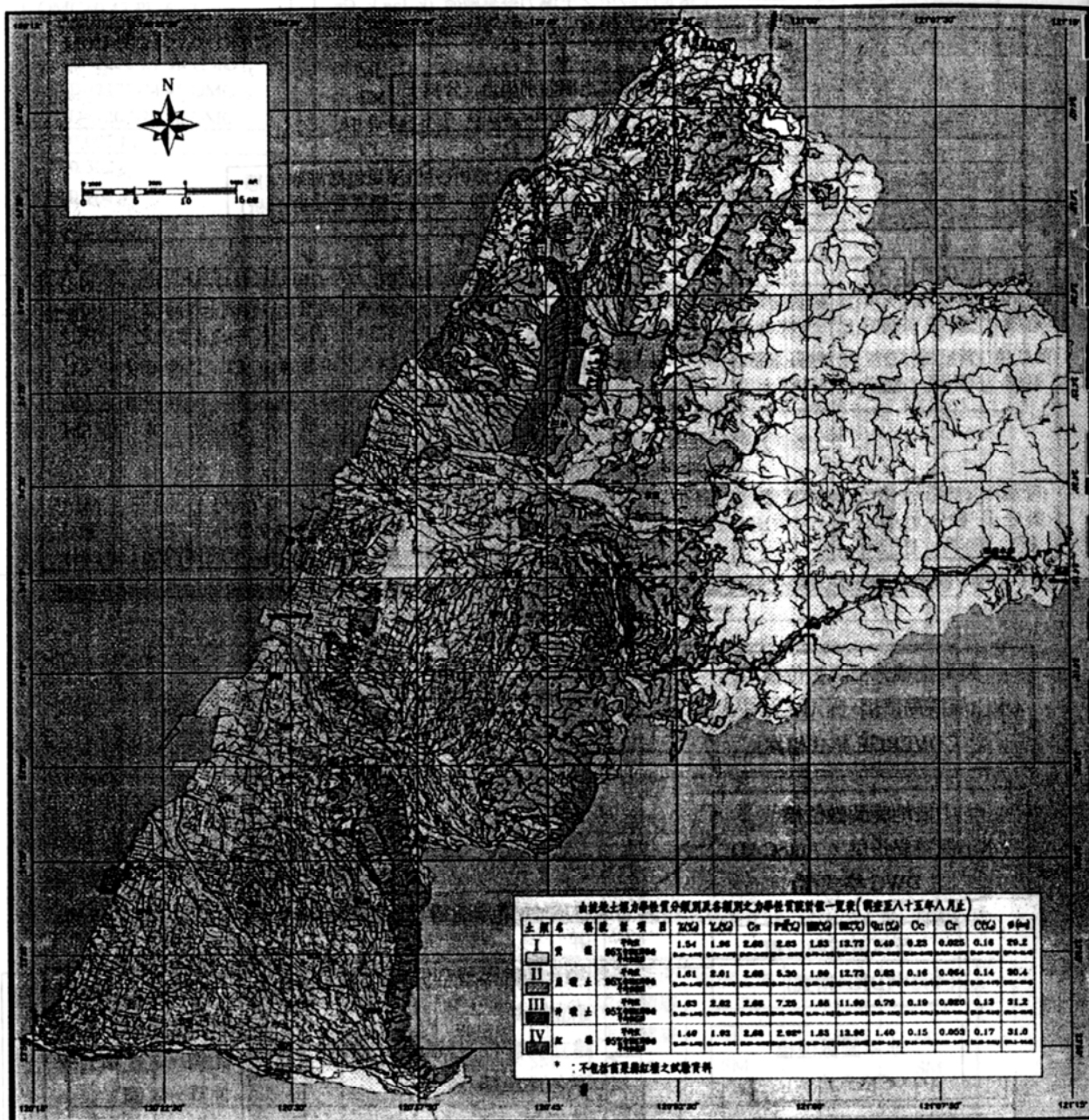


圖 2 坡地土壤分佈圖製作之流程

苗栗台中彰化山坡地工程土壤分佈圖



山坡地土壤力學性質分類及其各類別之土壤性質調查一覽表 (調查至八十五年八月止)

土類	名稱	項目	TC ₅₀	TC ₁₀	Cu	FW ₅₀	SH ₅₀	SH ₁₀	U ₅₀	Cc	Cr	CC ₅₀	砂分
I	實 土	90%以上砂質	1.54	1.56	2.60	2.63	1.53	12.73	0.49	0.23	0.025	0.18	29.2
II	崩 土	80%以上砂質	1.61	2.01	2.60	5.30	1.89	12.73	0.63	0.16	0.064	0.14	30.4
III	砂 壤 土	90%以上砂質	1.63	2.63	2.60	7.25	1.66	11.90	0.79	0.19	0.080	0.13	31.2
IV	灰 壤	90%以上砂質	1.69	1.93	2.60	2.97*	1.53	12.90	1.40	0.15	0.053	0.17	31.9

*: 不飽和直剪試驗之試驗資料

本圖幅在台灣地區位置圖



圖 例

國道高速公路	——●——	第一型工程土壤	——□——
省道	——	第二型工程土壤	——▨——
縣道、其他道路	——	第三型工程土壤	——▩——
河川	——	第四型工程土壤	——▪——
湖泊、水庫	——		

計畫名稱	臺灣省山坡地土壤力學性質基本資料調查
監辦單位	行政院農委會
委辦單位	台灣省政府農林廳水土保持局
執行單位	國立中興大學土木工程研究所