
* 陽明山國家公園遊憩區 *

* 工程地質防災技術之研究 *

委託單位：內政部營建署陽明山國家公園管理處
計劃編號：土力研究第 015 號

計劃主持人

許海龍

國立交通大學

土木工程學系（所）副教授

中華民國七十八年十月一日

致 謝

感謝內政部營建署陽明山國家公園管理處劉處長給予交通大學土木研究所同仁真正投入大地工程之領域工作及陶冶在大自然生態之優美環境中；更感謝楊秘書、工務課課長及所有同仁在現場勘察及資料提供上之協助，使得本研究得以順利完成，謹此誌謝。

目 錄

誌 謝	i
目 錄	ii
表 次 目 錄	iii
圖 次 目 錄	iv
第 一 章 前 言	1
第 二 章 地 質 特 性 與 水 文 狀 況	2
第 三 章 地 質 鑽 探 取 樣 及 監 測 儀 器 之 裝 設	3
3 . 1 地 質 鑽 探 取 樣	3
3 . 2 監 測 儀 器 之 裝 設 與 原 理	3
第 四 章 室 內 靜 動 態 三 軸 試 驗 與 分 析	9
4 . 1 試 驗 設 備	9
4 . 2 動 態 試 驗 原 理	9
4 . 3 試 驗 方 法	11
第 五 章 監 測 儀 器 之 觀 測 與 資 料 分 析	14
第 六 章 結 果 與 討 論	16
第 七 章 建 議	18
第 八 章 參 考 文 獻	20

表 目 錄

	頁 次
表 2-1 遊憩區之地質與土壤特性 -----	21
表 4-1 試驗試體一般物理性質表 -----	22
表 5-1 小油坑遊憩區日降雨量記錄 -----	23
表 5-2 馬槽七股遊憩區日降雨量記錄 -----	24
表 5-3 菁山露營場遊憩區日降雨量記錄 -----	25
表 5-4 應變量變動種類 -----	26
表 5-5 小油坑遊憩區NO.1管式應變計累積應變值 -----	27
表 5-6 馬槽七股遊憩區NO.2管式應變計累積應變值 -----	28
表 5-7 菁山露營場遊憩區NO.3管式應變計累積應變值 -----	29
表 6-1 一般物理性質試驗結果 -----	30
表 6-2 各遊憩區靜動態三軸試驗結果 -----	35

圖 目 錄

	頁 次
圖 3-1 鑽孔位置及雨量計、管式應變計安裝位置分佈圖 -----	36
圖 3-2 傾斗式雨量計構造圖 -----	37
圖 3-3 管式應變計示意圖 -----	38
圖 3-4 管式應變計埋設示意圖 -----	39
圖 4-1 振動三軸儀基本配置圖 -----	40
圖 4-2 振動三軸儀主要單元之配置相片圖 -----	41
圖 4-3 單階段反覆載重試驗步驟 -----	42
圖 4-4 多階段反覆載重試驗步驟 -----	43
圖 4-5 靜動態載重之破壞包絡線關係圖 -----	44
圖 4-6 地震時邊坡之受力狀況及試驗室模擬情形 -----	45
圖 4-7 試體準備過程圖 -----	46
圖 5-1 管式應變計量測地滑之力學模式 -----	49
圖 6-1 土層剖面與N值分佈圖 (B H - 1) -----	50
圖 6-2 土層剖面與N值分佈圖 (B H - 2) -----	51
圖 6-3 土層剖面與N值分佈圖 (B H - 3) -----	52
圖 6-4 土層剖面與N值分佈圖 (B H - 4) -----	53
圖 6-5 土層剖面與N值分佈圖 (B H - 5) -----	54

圖 6-6 一般物理性質分佈圖 (B H - 1)	55
圖 6-7 一般物理性質分佈圖 (B H - 2)	56
圖 6-8 一般物理性質分佈圖 (B H - 3)	57
圖 6-9 一般物理性質分佈圖 (B H - 4)	58
圖 6-10 一般物理性質分佈圖 (B H - 5)	59
圖 6-11 靜態三軸試驗應力~應變關係 (小油坑)	60
圖 6-12 靜態三軸試驗破壞包絡線 (小油坑)	61
圖 6-13 動態三軸試驗應力~應變關係 (小油坑)	62
圖 6-14 動態三軸試驗破壞包絡線 (小油坑)	63
圖 6-15 靜動態三軸試驗破壞包絡線比較 (小油坑)	64
圖 6-16 靜態三軸試驗應力~應變關係 (馬槽七股)	65
圖 6-17 靜態三軸試驗破壞包絡線 (馬槽七股)	66
圖 6-18 動態三軸試驗應力~應變關係 (馬槽七股)	67
圖 6-19 動態三軸試驗破壞包絡線 (馬槽七股)	68
圖 6-20 靜動態三軸試驗破壞包絡線比較 (馬槽七股)	69
圖 6-21 靜態三軸試驗應力~應變關係 (菁山露營場)	70
圖 6-22 靜態三軸試驗破壞包絡線 (菁山露營場)	71
圖 6-23 動態三軸試驗應力~應變關係 (菁山露營場)	72
圖 6-24 動態三軸試驗破壞包絡線 (菁山露營場)	73
圖 6-25 靜動態三軸試驗破壞包絡線比較 (菁山露營場)	74
圖 6-26 小油坑遊憩區日降雨量分佈圖	75

圖 6-27 馬槽七股遊憩區日降雨量分佈圖	-----	76
圖 6-28 菁山露營場遊憩區日降雨量分佈圖	-----	77
圖 6-29 月降雨量比較圖	-----	78
圖 6-30 小油坑遊憩區 NO.1 累積應變值歷時曲線	-----	79
圖 6-31 小油坑遊憩區 NO.2 累積應變值歷時曲線	-----	80
圖 6-32 小油坑遊憩區 NO.3 累積應變值歷時曲線	-----	81
圖 7-1 小油坑邊坡穩定示意圖	-----	82

致 謝

感謝內政部營建署陽明山國家公園管理處劉處長給予交通大學土木研究所同仁真正投入大地工程之領域工作及陶冶在大自然生態之優美環境中；更感謝楊秘書、工務課課長及所有同仁在現場勘察及資料提供上之協助，使得本研究得以順利完成，謹此誌謝。

第一章 前 言

內政部營建署陽明山國家公園管理處，基於陽明山國家公園遊憩區之開發規劃，必先對該遊憩區之工程地質特性充分瞭解，以利基本規劃、經營管理以及防患地質災害之需求，委託國立交通大學土木工程研究所從事工程地質防災技術之研究。

陽明山國家公園的遊憩區共計十一處，其中小油坑遊憩區、馬槽七股遊憩區、菁山露營場遊憩區、冷水坑遊憩區、內雙溪遊憩區、大屯坪遊憩區及大油坑遊憩區等七處由管理處有關人員陪同進行現場瞭解，經勘察結果選擇小油坑遊憩區、馬槽七股遊憩區及菁山露營場遊憩區為研究重點，現場安裝雨量計並進行鑽探取樣，以探求土壤之物理性質及力學性質，俾供爾後遊憩區開發規劃及地質防災之參考與利用。另小油坑遊憩區有滑動跡象，為顧及安全，安裝管式應變計，以探究其滑動之潛在因素及誘因，提供該遊憩區爾後整治處理之參考依據。

第二章 地質特性與水文狀況

陽明山國家公園的地質特性主要是由更新世紀、台灣北部和東北方外島，發生大規模的安山岩質火山噴發作用，形成各類安山岩及安山岩質碎屑岩所組成之大屯火山群所構成，本火山群內許多地區出現溫泉、噴氣孔、硫氣孔等火山地形的特色。本區主要地質構造，東南方有嵌腳斷層，西北方有金山斷層，形成兩大平行之斷層。本區之河川均發源於七星山、大屯山、小觀音、竹子山等大屯火山群，然後呈放射狀向四周分流而下，溪流水源主要來自雨水，水位變化大，主要河川集水區包括北磺溪、關渡溪、雙溪以及沿海集水區。

各遊憩區之地質與土壤特性如表 2-1 所示。

第三章 地質鑽探取樣及監測儀器之裝設

3. 1 地質鑽探取樣

為了探討小油坑、馬槽七股及菁山露營場等三處遊憩區之工程地質特性，於現場進行鑽探取樣，以瞭解該遊憩區之地質剖面及一般物理性質，鑽孔位置分佈如圖 3-1 所示，鑽孔過程中除做現場 SPT 及劈管取樣外，並取 3" 薄管不擾動土樣，以探討土壤之靜動態力學特性。

3. 2 監測儀器之裝設與原理

本研究分別於小油坑遊憩區、馬槽七股遊憩區以及菁山露營場遊憩區安裝自動雨量計三部，並於小油坑遊憩區安裝管示應變計三套，監設儀器裝設位置如圖 3-1 所示，茲將自動記錄雨量計與管式應變計之原理述之如后：

3. 2. 1 自動記錄雨量計之原理

自動計錄雨量計乃將雨量資料收集器，安裝於傾斗式雨量計內，接收並儲存雨量記錄；傾斗式雨量計為頂端 200mm 之直立圓筒，由頂端接收雨水，經漏斗集中注入傾斗式感應器（構造如蹺蹺板），降雨量達 0.5mm 即傾倒一次並排出雨水，左右交替使用傾倒時同時送出一接點信號，供接收記錄用。其構造如圖 3-2 所示。利用雨量資料處理系統，包括 P.C.，列表

機，介面片等即可將雨量資料收集器內之雨量資料加以分析處理。

3. 2. 2 管式應變計 (Pipe Strain Gage) 之原理

管式應變計乃將體積小、精度高之應變計薄片粘貼於PVC管之表面，形成應變管，當埋入土中承受土壓力擠壓時，應變計之電阻線會產生伸張或收縮，電阻的變化由應變指示器 (StrainIndicator) 來量測之，進而分析滑動面之位置，其量測方法如圖3-3

所示，量測原理乃利用惠斯登電橋 (Wheatstone Bridge) 原理，即

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_3 + R_2 R_4} \quad \text{----- (1)}$$

式中

V_o : 電壓輸出值，亦即量測所得之電壓值

V_i : 電壓供應值

R_1, R_2, R_3, R_4 分別代表電橋中四個電阻。

當 $V_0 = 0$ 時，表示無電流通過，因 $V_1 \neq 0$ ，所以

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (2)$$

當應變計中之電阻發生變化時，即 $R_1 \rightarrow R_1 + \Delta R_1$ ，
電橋之電壓輸出值 $V_0 \rightarrow V_0 + \Delta V_0$ ，代入(1)式得

$$\Delta V_0 = V_1 \cdot \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (3)$$

由於應變計在製造時， R 值均相同，因此

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，(3)式可變成

$$\Delta V_0 = V_1 \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{2(2R_1 + \Delta R_1)} \right) \quad (4)$$

由 $2R_1 \gg \Delta R_1$ 故(4)式可改寫為

$$\Delta V_o = \left(\frac{V_i \cdot \Delta R_i}{4 \cdot R_i} \right) \text{-----} (5)$$

電阻式應變計，乃利用金屬絲受應變時，其電阻隨之起線性變化之原理，因此定義應變計因數 G (Gage Factor) 為電阻變化率與長度變化率之比值 (一般在 2.0 左右)

$$G = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \text{-----} (6)$$

所以應變 $\Delta l / l$ 以 ϵ 代表則

$$\epsilon = \frac{\Delta R}{GR} \text{-----} (7)$$

將 (7) 式代入 (5) 式

$$\frac{\Delta V_o}{V_i} = \frac{G \epsilon}{4} \text{-----} (8)$$

將 ΔV_0 之訊號加以放大，利用應變指示器可直接由儀表上讀出其所對應之應變值。

3. 2. 3 管式應變計之埋設

管式應變計之埋設情形如下（如圖3-4）：

- (1) 埋設應變管之前，需先勘查滑動區，判斷可能地滑之土體分佈情形，再鑽孔至不動土層之深度，以做為應變管埋設之深度。
- (2) 應變管係由滑動測管（PVC管），接頭套管，應變計及訊號纜線等組合而成，應變計一般採用兩個對稱裝於同一深度之測點上，此方式可消除溫度變化對應變計電阻之影響。
- (3) 在應變計排列線上之每一節測管做紅色標點，做為埋設方向之依據，將組合完成之應變管，插入事先鑽好之孔洞內，測管之紅色標點需逆向山坡滑動方向，整理每一測點之電線連接至開關箱，將最底一節端部以水泥砂漿固定之，然後於孔壁與應變管間之空隙回填細砂。
- (4) 在回填細砂前，先檢測各測點之應變值，若有無反應之測點，應廢棄該測點，且回填砂後再檢測之，若有不正常反應，即為回填時之不慎所致，所以回填時應小心行之。

(5) 當土層發生移動時，滑動測管隨之變形，其變形量化為應變訊號，由導線傳至觀測箱，以應變指示器 (Strain Indicator) 量測之。

陽明大學圖書館

第四章 室內靜動態三軸試驗與分析

4. 1 試驗設備

本研究採用之試驗設備係為日本 SEIKEN 公司所製之 MODEL DTC-311 型氣壓式振動三軸試驗儀，其基本配置如圖 4-1 所示，動態載重系統採用該公司所製 MODEL DTC-161 型氣壓式正弦載重單元，此儀器設備可進行靜態應變控制之三軸壓縮試驗以及利用氣壓式正弦載重單元進行動態應力控制之振動三軸試驗，其主要組成單元包括 (1) 三軸室 (2) 垂直載重單元 (3) 量測系統 (4) 氣水壓量測控制系統 (5) 擷取記錄系統，以及 (6) 氣壓式正弦載重單元，如圖 4-2 所示。

4. 2 動態試驗原理

土壤在動力作用下（如地震力）將產生何種反應，是一個相當複雜的問題，概土壤為一種非線性、非均勻性，非彈性與非等向性之材料，欲瞭解其受力後之行為，則有賴於利用實驗設備，模擬現場土壤之應力狀況，並依預測之載重作用歷程進行試驗。一般地震之振動歷時記錄，皆屬一連串隨機分佈，大小不一之反覆振動應力，其形狀與大小皆隨時間變化。若一邊坡，在一已知地震（並記錄得其地震記錄）作用下產生破壞，為瞭解其破壞機制，則以直接輸入該次地震，求得土壤受震時之土壤動態強度較為

適當。若無當地代表性之地震記錄，或採用規則振波輸入反覆動力三軸試驗儀進行試驗，一般皆採用 Lee & Chan (1972) 提出之加權步驟，將地震應力轉換成等量均勻之反覆作用次數 N_{eq} 。Seed & Idriss (1971) 亦曾根據經驗與判斷，建議地震規模 M 、等量均勻反覆應力與 N_{eq} 之關係，如下列所示：

地震規模 (m)	等量均勻反覆應力	等量均勻反覆作用次數
7.0	$0.65 \tau_{max}$	10
7.5	$0.65 \tau_{max}$	20
8.0	$0.65 \tau_{max}$	30

另據 Annaki and Lee (1976) 研究使用等量均勻反覆作用應力觀念，進行各種不同反覆載重型式之動力試驗；試驗條件（包括試體準備、試驗步驟、振動頻率等）皆保持相同，根據試驗結果顯示與正弦波之反覆應力有相當良好之符合關係。一般利用反覆動力三軸試驗儀進行動態試驗，求取土壤之動態強度為採用 Seed (1966) 提出之單階段反覆載重試驗，如圖 4-3 所示，首先將試體在設定之圍壓 σ_o 下進壓壓密，在不排水情況下加上初始剪應力 σ_s ，再加一反覆之剪應力 σ_d 進行試驗。後來依 Ishi-

hara and Yasude (1980)之建議採用多階段反覆載重試驗，其試驗步驟如圖4-4所示，首先仍然在 σ_o' 下進行壓密，並施加初始應力 σ_s ，先加一微小 σ_d 作用次數 N_c ，再加大 σ_d ，繼續作用 N_c 次如此重覆，可得一應力~應變關係圖，靜動態載重之破壞包絡線關係如圖4-5所示。如果不考慮應力歷史之影響，理論上多階段試驗結果應與單階段試驗結果相同，就實用之觀點，可假設應力歷史之影響甚小，採用多階段試驗，本文即採用此種試驗方法。

在自然狀況下，邊坡間之土體因其所處位置之不同，而有不同之受力狀況，石原研而(1980)在研究土壤構造物之耐震設計法時，以邊坡受震動時土體受力情況如圖4-6(a)所示，其莫爾應力圖如圖4-6(b)所示，此種應力將可用反覆動力三軸試驗加以模擬，如圖4-6(c)所示。

4.3 試驗方法

(一) 試驗試體

本研究試驗試體係取自小油坑、馬槽七股，菁山露營場等遊憩區之現場3" ϕ 不擾動薄管土樣，試體之一般物理性質如表4-1所示。試驗前將薄管置於橫臥式頂土機，將直徑75mm 高度150mm 之裁剪模置於薄管末端，啟動頂土機，緩慢地將土樣頂入裁剪模直到足夠長度，以裁剪刀分割，並小心裁剪

成 $75^{\text{mm}} \times 150^{\text{mm}}$ 的試體。試體周圍貼柵狀濾紙，上下兩面貼圓形濾紙，以橡皮模套於試體上，然後將試體置於三軸室內完成準備工作，圖4-7 為試體準備過程圖。

(二) 試驗步驟

(1) 試體飽和

- a. 通二氧化碳 (CO_2)
- b. 通除氣水
- c. 加反水壓
- d. 測定 B 值，B 值須達 0.96 以上方能進行壓密。

(2) 試體壓密

當 B 值達 0.96 以上，提高室壓使與反水壓之差值為所需之圍壓進行壓密，由測微計與體積變化儀量測試體高度與體積變化。本試體採用之圍壓分別為 0.5, 1.0, 2.0 kg/cm^2 三種。

(3) 靜態不排水試驗

以應變控制進行不排水剪力試驗，變形速率為 $0.7^{\text{mm/min}}$ ，並以自動擷取系統每隔 1 秒記錄載重、位移、孔隙水壓直到試體破壞或應變量達 15% 為止，以便試驗後分析。

(4) 動態試驗

以應力控制進行正弦波多階段之反覆載重，使用反覆作用次數 $N_c=10$ ，載重頻率為 1.0HZ ，初始剪應力比為 0.5 ，並以自動擷取系統記錄載重、位移、孔隙水壓，直到試體破壞或應變達 15% 為止。

第五章 監測儀器之觀測與資料分析

本計劃分別於小油坑、馬槽及菁山露營場等三個遊憩區安裝自動記錄雨量計，附有雨量資料收集器接收並儲存雨量記錄，利用P.C 可將雨量資料收集器之雨量記錄讀出，並以列表機列印出來，利用此種雨量計可免除傳統雨量計必須每週更換記錄紙之麻煩，且資料正確分析快速，表5-1 至5-3 為三個遊憩區二月至十月間之日降雨量記錄。

小油坑遊憩區經現場勘察，臨硫磺噴氣孔，附近之邊坡有崩塌之跡象，因該遊憩區之火山硫氣孔景觀極為特殊，為吸引遊客之有利條件，為顧及安全，於該區選擇三孔安裝管式應變計以監測邊坡之穩定，應變管量測地滑的力學模式如圖5-1 所示，應變管所受之外力為坡面下土壤本身之不平衡力，或因地震造成之外加作用力，當外力作用時，應變管會往下坡面產生位移變化，利用應變指示針，可直接由儀表上讀出所對應之應變值，經由管式應變計之觀測結果可瞭解地層滑動程度。表5-4 為藤原明敏(1976)依據管式應變計觀測結果，將地層滑動之程度分為確定變動、準確定變動、潛在運動及異常運動。

一般邊坡滑動，因為邊坡僅會往下坡面移動，所以應變值分

佈可歸納為弓型及 S 型分佈，若為多層伴隨滑動之邊坡，其應變值曲線則為弓型及 S 型之組合，對於應變值曲線類型之歸納有助於滑動位置之研判，表 5-5 至 5-7 為小油坑三孔管式應變計之累積應變值記錄，其中第 2 號管式應變計，因接近硫磺噴氣孔，應變計因硫磺氣的噴出而損壞，無法觀測。

第六章 結果與討論

由鑽探取樣與現場 SPT 得知，本區地層主要由安山岩塊及粗細砂所組成，是為本區之地層特徵，且 N 值分佈極不均勻；各孔之土層分佈及 N 值分佈如圖 6-1 至 6-5 所示。由劈管取樣所得之一般物理性質試驗結果如表 6-1 所示，圖 6-6 至 6-10 為各孔之一般物理性質分佈圖。

利用鑽探取出 3" ϕ 薄管不擾動土樣分別進行靜動態三軸試驗，各遊憩區試驗所得之應力應變關係、破壞包絡線及靜動態試驗之比較如圖 6-11 至 6-25，試驗結果示如表 6-2，由試驗結果顯示，靜動態強度參數 C 、 ϕ 、 C_d 、 ϕ_d 中，內摩擦角參數靜動態結果相似，即 $\phi \approx \phi_d$ ，而凝聚力參數，動態略小於靜態試驗結果， $\phi_d \approx (50 \sim 90) \% \phi$ 。

由自動記錄雨量計獲得遊憩區之日降雨量分佈如圖 6-26、27、28，在觀測期間（2 月至 10 月）以七月、九月降雨量最多，小油坑及馬槽七股遊憩區之降雨量遠較菁山露營場遊憩區為多，圖 6-29 為三遊憩區之月降雨量比較圖。

根據管式應變計觀測資料繪得圖 6-30 至 6-32 之累積應變值歷時曲線，由圖形顯示累積應變值之分佈曲線為弓型與 S 型之組合

型態，為多層滑動類型，無固定滑動面，月累積應變值有大於
 1000×10^{-6} ，依藤原明敏之分類，屬準確定型之滑動，滑動之原
因除本身地質不良外，降雨量多亦是造成滑動之因素。

陽明-國家-水

第七章 建議

本計劃經由現場勘察、鑽探取樣、試驗分析以及監測系統之觀測分析對遊憩區之開發規劃、經營管理及工程地質防災提出以下之建議：

(1) 小油坑遊憩區臨硫磺噴氣孔附近之邊坡有崩塌跡象，並由管式應變計資料顯示具有緩慢滑動之現象，除了本身地質不良外，降雨量也是影響主因之一，故對該坡面宜做好排水措施排除地表逕流，臨近之兩層建築物之排水尤須考慮，勿使其直接由坡面流下，且為了顧及遊客之安全，於接近邊坡處應設置欄杆，標示警界線；對邊坡是否穩定或採取進一步之防治措施，有賴更多之監測資料，因此管式應變計宜繼續觀測；有關緊急措施及長久之計，建議截取地表水使遊客觀憩中心上表由A點做暗溝分向排水，遊客觀憩中心下部污水或地表水均由暗管排水噴氣處，嚴止流入崩滑處，同時在已有崩滑處由下而上做潛堤及表面植生綠化工作。如圖7-1所示。

(2) 大油坑遊憩區為風化之安山岩，岩質鬆軟，易崩塌下陷，尤其在硫磺噴氣孔區更為嚴重，因此對該遊憩區之開發建設宜專案處理。

- (3) 對小油坑、馬槽七股及菁山露營場等遊憩區分別建議靜動態土壤強度參數如表6-2，提供基礎設計、邊坡分析之參考。
- (4) 菁山露營場基地因有部份回填土之邊坡，建議除坡址下部做好擋土措施外，基地右側道路側排水溝之鐵水井及少部護岸處理，以容基地上遊排水之沖擊亦是一個很好措施之考慮。
- (5) 馬槽、七股、內雙溪及冷水坑基地因距邊坡及溪谷遠，地質穩定上比較沒有問題，今後如欲在此基址建築結構物祇需依建築規範所定規則施作即可。
- (6) 大屯坪目前是個地質穩定地區，視野曠寬，凹凸均襯，景色優美，頗值開發為遊憩場地，亦是生態最佳棲生之所，嘆為神仙遊憩之地。

第八章 參考文獻

1. 何春蓀 (民國 75 年), "臺灣地質概論"。
2. 內政部營建署, "陽明山國家公園遊憩區之適宜活動研究與規劃"。
3. 許海龍 (民國 70 年), "山坡穩定監視—地層滑動儀之觀測研究", 中華水土保持學報, 第12卷第2期。
4. 藤原明敏 (1979), "地すべりの解析と防止對策", 理工圖書出版。
5. 經濟部中央地質調查所, "台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告", 第二卷第二集, 70年12月。
6. Ishihara, K. (1981), "Strength of Cohesive Soil under Transient and Cyclic Loading Conditions", Seate-of-the-Art in Earthquake Engineering, edited by Ergunay and Erdik, Turkish National Commtttec on Earthquake Engineering, PP.154-169。
7. H. B. Seed & I. M. Idriss (1971), "Simplified Procedure For Evalating Soil Liquefaction Potential", ASCE, Vol. 97, SM 9, PP.1249-1273。
8. Ishihara, K. (1985), "Stability of Natural Deposits Duriang Earthquake", Proc. 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Fancisco, Vol 2, PP.321-376, 1985。

表 2-1 遊憩區之地質與土壤特性

遊 憩 區	地 質 與 土 壤 特 性
小 油 坑	屬第三紀中新世沉積岩，含輝石安山岩、輝石安山岩、以及安山岩岩流、集塊岩等構成。
馬槽、七股	含輝石安山岩、角閃石安山岩等安山岩岩流以及火山碎屑岩，因更新世火山活動而覆蓋於第三紀中新世沉積岩上。
菁山露營區	以第四紀更新世火山岩及第三紀沉積岩為主，該區土壤係由安山岩流及安山岩質碎屑岩經風化而成之山嶺，呈黑色、棕灰色之粘土質壤土，呈酸性
內 雙 溪	屬第三紀中新世沉積岩，含兩輝安山岩。
冷 水 坑	本區屬第三紀中新世沉積岩，含輝石安山岩、角閃石安山岩及紫蘇輝安山岩與火山碎屑岩。
大 屯 坪	本區屬第三紀中新世沉積岩，大屯山熔岩含輝石安山岩、角閃石安山岩及紫蘇輝安山岩，蓋在南大屯山頂上。火山體均以安山岩岩流、集塊岩、凝灰石等構成。
大 油 坑	屬第三紀中新世沉積岩，含角閃石安山岩、兩輝安山岩，岩質鬆軟，易崩塌下陷。

表 4-1 試驗試體一般物理性質表

遊憩區	統體單位重 γ (T/M ³)	自然含水比 w_n (%)	比重 G	孔隙比 e	阿太堡限度		
					LL	PL	PI
小油坑	1.89	39.8	2.68	0.76	---	NP	---
馬槽、七股	1.83	43.0	2.66	1.44	---	NP	---
菁山露營場	1.87	42.9	2.65	1.05	---	NP	---

表 5-1 小油坑遊憩區日降雨量記錄 (公厘)

月份 日期	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1		8	64	0	45	0	127
2		0		45	27	4	78	0	256
3		0		17	33	0	50	0	2
4		35		77	0	0	0	0	0
5		16		87	0	0	2	0	0
6				6	0	0	31	4	
7				0	0	0	0	36	
8		0		0	0	0	7	125	
9				0	0	0	0	131	
10				0	0	0	0	54	
11		0		0	1	0	0	234	
12		0		0	15	21	0	406	
13		0		8	0	0	0	105	
14		0		40	0	0	0	5	
15		1		7	0	0	0	1	
16		1		1	0	1	19	3	
17		95	0	13	0	18	0	0	
18		14	0	54	0	0	0	35	
19		57	6	52	58	0	0	53	
20		3	11	0	57	0	13	62	
21		39	1	0	2	0	1	80	
22	47	33	11	1	0	0	13	17	
23	39	23	36	0	21	143	0	8	
24	0	14	40	0	13	16	106	0	
25	1	151	1	35	0	0	229	0	
26	0	37	0	9	0	0	175	0	
27	0	1	0	9	0	81	16	0	
28	0	0	0	1	0	98	0	0	
29	x	0	0	36	0	357	139	165	
30	x	0	1	130	0	399	0	54	
31	x	0	x	153	x	56	0	x	

表 5-2 馬槽七股遊憩區日降雨量記錄 (公厘)

月份 日期	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0		15	114	0	68	0	19
2		0		42	30	0	7	0	375
3		0		21	53	7	148	0	210
4		58		106	30	0	25	26	0
5		22		127	0	0	0	2	0
6		0		11	0	0	7	7	
7		0		0	0	0	34	15	
8		0		0	0	0	11	45	
9		1		1	0	0	0	133	
10		0		0	0	0	0	117	
11		0		0	7	0	0	63	
12		0		0	12	0	0	321	
13		0		14	0	16	0	536	
14		0		41	0	0	0	105	
15		0		6	0	0	0	4	
16		3		1	0	0	0	0	
17		102	0	14	0	1	24	0	
18		17	0	51	0	15	0	0	
19		60	30	59	0	0	0	89	
20		4	16	0	112	0	2	28	
21		61	1	0	46	0	0	144	
22		28	13	0	0	0	1	10	
23		20	45	0	0	0	8	27	
24		15	44	17	50	164	3	12	
25		184	0	0	1	27	153	0	
26		56	0	21	4	0	217	0	
27		0	0	11	0	38	178	0	
28		0	0	10	0	62	0	0	
29		0	0	6	0	180	36	0	
30		0	4	124	0	294	111	171	
31		0	x	205	x	462	0	x	

表 5-3 菁山露營場遊憩區日降雨量記錄 (公厘)

月份 日期	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0	0	3	1	4	2	0	
2		0	0	16	13	0	71	0	
3		0	7	1.5	0	0	0	7	
4		13	53	29	0	0	3	0.5	
5		7	12	28	0	0	10	10	
6		0	14	1.5	0	0	0	6	
7		0	1	0	0	0	0	17	
8		0	15	0	0	0	0	74	
9		0	15	1	0	0	0	58	
10		0	1	0	0.5	0	0	76	
11		0	2	0	4	1	0	255	
12		0	0	0	0	0	0	152	
13		0	0	2	0	0	0	10	
14		0	2	10	0	0	0	0	
15		0	5	2	0	0	0	3	
16		0	1	0	0	5	0	0	
17		2.5	18	1	0	0.5	0	9	
18		6.5	28	19	2	0	0	43	
19		30	19	21	17	0	0	2.5	
20		1	3	1	2	0	0	42	
21		12	0	0	0	0	0	3	
22		3.5	6	0	6	56	1	10	
23		7.5	20	0	9	15	2	3	
24		1.5	7	1	0	0	63		
25		22	0	13	0	0	88		
26		13	0	3	0	34	30		
27		0	0	3	0	11	0		
28		0	0	0	0	167	45		
29		0	0	64	0	61	0		
30		0	0	55	0	164	0		
31		0	x	27	x	34	0		

表 5-4 應變量變動種類 (藤原明敏1976)

累積變動值 (μ / 月)	變 動 型 態		地滑面存在之地形 、地質之可能性	綜 合 判 定	
	累積傾向	變動狀態		滑動面種類	活 動 性
5000以上	顯著	累積變動	有	確定	有顯著活動岩盤、崩積土滑動
1000以上	略顯著	累積變動	有	準確定	緩慢滑動，潛移性地滑
100 以上	略有	累積、斷續、擾亂、反復	有	潛在	無法判定有無地滑面存在，必須繼續觀測
1000以上 (短期間)	無	繼續、擾亂、反復	無	異常	無滑動面、屬地滑以外之因素

表 5-5 小油坑游憩區 NO.1 管式應變計累積應變值 ($\times 10^{-6}$)

測點深 (M)	年 78				
	月 3	4	6	8	10
	日 4	13	25	9	8
1	0	-90	-3020	-3125	-3465
3	0	25	-3310	-3030	-3605
5	0	15	455	585	-215
7	0	-135	-250	110	-
9	0	-10	-130	65	-1605
11	0	-1745	-1760	-1735	-2640
13	0	-1225	-1400	-1380	-1635
15	0	45	80	435	-890
17	0	-90	-275	-200	-5200
19	0	-65	350	565	-4380
21	0	-65	-565	-1050	-2005
23	0	25	3340	-170	555
25	0	-170	1705	2340	1870

備註：以78年 3月 4日儀器穩定為基準值

表 5-6 小油坑游憩區 NO.2 管式應變計累積應變值 ($\times 10^{-6}$)

測點深 (M)	年 78					
	月 3	4	6	8	10	
	日 4	13	25	9	8	
1	0	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
5	0	-770	-	-	-	-
7	0	-140	-	-	-	-
9	0	-1210	-	-	-	-
11	0	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-

備註：1. 以 78 年 3 月 4 日儀器穩定為基準值

2. 此管式應變計埋設孔，因硫磺氣之排出使應變計損壞。

表 5-7 小油坑游憩區 NO.3 管式應變計累積應變值 ($\times 10^{-6}$)

測點深 (M)	年 78 月 3 日 4	4	6	8	10
		13	25	9	8
1	0	0	-410	-490	-2070
3	0	900	700	545	-
5	0	50	-5	-95	-15
7	0	-10	-125	30	-
9	0	-10	-290	-305	-525
11	0	60	-15	-10	-1365
13	0	-50	-	-	-
15	0	25	-255	-170	695
17	0	10	75	300	-940
19	0	35	190	245	-125
21	0	85	-530	-630	-1000
23	0	50	-330	-175	-775
25	0	20	-155	-795	-1140

備註：以78年 3月 4日儀器穩定為基準值

表 6-1 一般物理性質試驗結果

孔號	樣號	深度 m	土壤分類	粒徑分析 %			自然 含水量 w_n %	液 限 LL %	塑 限 PL %	塑性 指數 PI %	比重 G_s	結實密度 γ_t T/m ³	孔隙比 e
				礫石	砂	沉泥粘土							
BH-1	S-1	1.05-1.50	SM	0	80	20	63.0	—	NP	—	2.65	1.54	1.30
	S-2	2.55-3.00	SM	10	75	15	47.0	—	NP	—	2.66	1.64	1.39
	S-3	4.05-4.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	S-4	5.55-6.00	SC	0	80	20	44.7	28.6	19.2	9.4	2.56	1.77	1.09
	S-5	7.05-7.50	SC	0	65	35	104.6	29.1	18.1	11	2.53	1.35	2.53
	S-6	8.55-8.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	S-7	10.08-11.25	SM	0	55	45	50.7	—	NP	—	2.62	1.60	1.46
	S-8	13.05-13.50	SM	0	60	40	43.0	—	NP	—	2.60	1.62	1.30
	S-9	14.55-14.87	SM	9	78	13	24.5	—	NP	—	2.59	1.76	0.83

表 6-1 一般物理性質試驗結果(續)

孔 號	標 號	深 度 m	土 壤 分 類	粒 徑 分 析 %			自 然 含 水 比 w _n %	液 限 LL %	塑 限 PL %	塑 性 指 數 PI %	比 重 Gs	統 計 密 度 r + T/m ³	孔 隙 比 e
				礫 石	砂	沉 泥 粘 土							
BH-2	S-1	1.05-1.50	SM	21	59	20	24.2	-	NP	-	2.55	1.94	0.63
	S-2	2.55-3.00	SM	20	64	16	47.9	-	NP	-	2.56	1.64	1.31
	S-6	8.55-9.00	SM	20	65	15	20.6	-	NP	-	2.62	1.93	0.64
BH-3	S-1	1.05-1.50	GW-GM	68	24	8	7.4	-	NP	-	2.72	1.90	0.54
	S-2	2.55-3.00	SM	7	51	42	20.6	-	NP	-	2.63	1.99	0.60
	S-3	4.05-4.50	ML	4	28	68	16.8	-	NP	-	2.72	2.19	0.45
	S-4	5.55-6.00	SW-SM	22	68	10	59.7	-	NP	-	2.52	1.59	1.53
	S-5	7.60-8.05	ML	6	44	50	19.0	-	NP	-	2.64	2.06	0.52
	S-6	8.55-9.00	SM	30	30	40	20.6	-	NP	-	2.66	2.06	0.56
	S-7	10.05-10.50	ML	3	47	50	35.6	-	NP	-	2.64	1.87	0.91

表 6-1 一般物理性質試驗結果 (續)

孔 號	樣 號	深 度 m	土 壤 分 類	粒 徑 分 析 %		自 然 含 水 比 w_n %	液 限 w_L %	塑 限 w_P %	塑 指 數 PI	比 重 G_s	統 計 密 度 ρ_t T/m ³	孔 隙 比 e
				礫 石	砂							
BH-3	S-8	11.55-12.00	SM	36	51	15	—	NP	—	2.63	1.87	0.84
	S-9	13.05-13.50	SM	20	37	43	—	NP	—	2.67	2.33	0.30
	S-11	16.05-16.50	SM	14	66	20	—	NP	—	2.58	1.56	2.04
	S-12	17.55-18.00	SW-SM	24	66	10	—	NP	—	2.63	1.89	0.94
	S-13	19.05-19.50	SM	19	61	20	—	NP	—	2.69	1.84	1.08
	S-14	20.55-21.00	SM	10	42	48	—	NP	—	2.71	1.91	0.94
BH-4	S-15	22.05-22.50	SM	15	53	32	—	NP	—	2.63	1.66	1.48
	S-1	1.05-1.50	SM	5	69	26	—	NP	—	2.60	1.88	0.90
	S-2	2.55-3.00	SM	2	54	44	—	NP	—	2.63	1.88	0.84
	S-3	4.55-5.00	SM	11	65	24	—	NP	—	2.68	2.04	0.62
	S-4	5.55-6.00	SM	8	70	22	—	NP	—	2.67	2.34	0.38

表 6-1 一般物理性質試驗結果 (續)

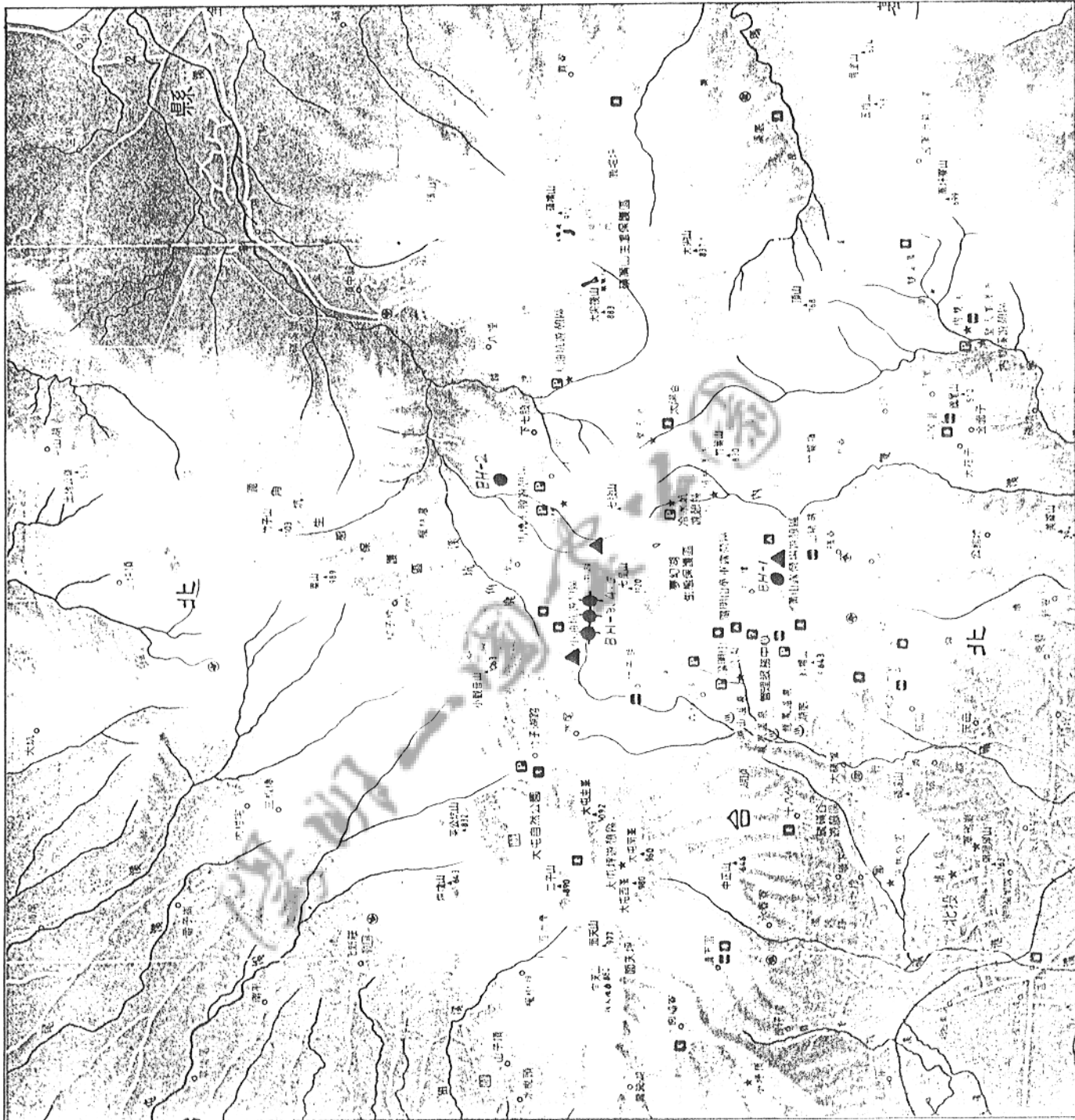
孔 號	樣 號	深 度 m	土 壤 分 類	粒 徑 分 析 %		自 然 含水比 w_n	液 限 w_L	塑 限 w_P	塑 性 指 數 PI	比 重 G_s	統 計 密 度 $\rho = T/m^3$	孔 隙 比 e
				礫 石	砂							
BH-4	S-5	7.05-7.50	SM	3	75	22	—	NP	—	2.66	2.11	0.54
	S-6	8.55-9.00	SM	29	44	27	—	NP	—	2.71	2.16	0.47
	S-7	10.05-10.50	SW-SM	26	67	7	—	NP	—	2.70	1.96	0.59
	S-8	11.55-12.00	SM	17	66	17	—	NP	—	2.69	2.10	0.48
	S-9	13.05-13.50	SM	4	68	28	—	NP	—	2.61	2.22	0.39
	S-10	14.55-15.00	SW-SM	15	76	9	—	NP	—	2.72	2.20	0.44
	S-11	16.05-16.50	SM	3	77	20	—	NP	—	2.71	2.18	0.49
	S-12	17.55-18.00	SM	27	55	18	—	NP	—	2.70	2.05	0.54
	S-1	1.05-1.50	SM	39	46	15	—	NP	—	2.65	1.66	1.66
	S-2	2.55-3.00	SM	39	20	41	—	NP	—	2.66	1.67	1.31
BH-5	S-3	4.05-4.50	SM	0	53	47	—	NP	—	2.56	1.78	0.65

表 6-1 一般物理性質試驗結果(續)

孔號	樣號	深度 m	土壤分類	粒徑分析 %			自然 含水量 w_n	液限 w_L	塑限 w_P	塑性 指數 PI	比重 G_s	統體密度 $\rho: T/m^3$	孔隙比 e
				礫石	砂	沉泥粘土							
BH-5	S-4	5.55-6.00	ML	0	42	58	35.2	-	NP	-	2.53	1.80	0.90
	S-5	7.05-7.50	SM	0	80	20	31.1	-	NP	-	2.62	1.77	0.94
	S-7	10.05-10.50	SM	0	83	17	29.8	-	NP	-	2.60	1.92	0.70
	S-10	14.55-15.00	SM	6	74	20	31.0	-	NP	-	2.65	1.93	0.80
	S-11	16.05-16.50	ML	0	43	57	33.3	-	NP	-	2.61	1.93	0.80

表 6-2 各遊憩區靜動態三軸試驗結果

遊 憩 區	$C(kg/cm^2)$	$\phi (^{\circ})$	$C_d(kg/cm^2)$	$\phi_d (^{\circ})$
小 油 坑	0.40	26.5	0.20	26.5
馬槽、七股	0.60	16.0	0.50	16.0
菁山露營場	0.35	20.0°	0.30	22.0°



鑽孔位置 ●

管式應變計 ⊕

雨量計 ▲

圖 3-1 鑽孔位置及雨量計、管式應變計安裝位置分佈圖

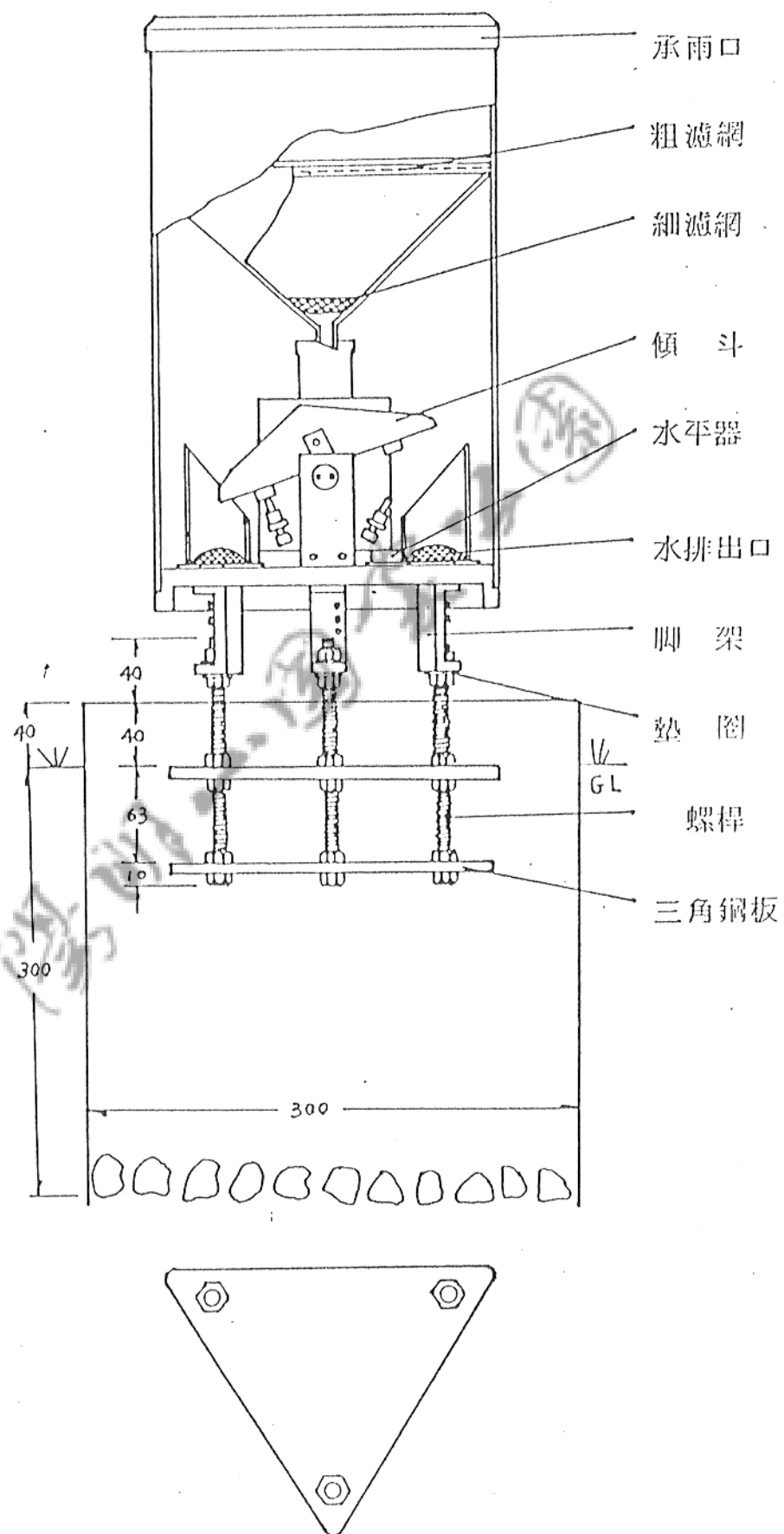


圖 3-2 傾斗式雨量計構造圖

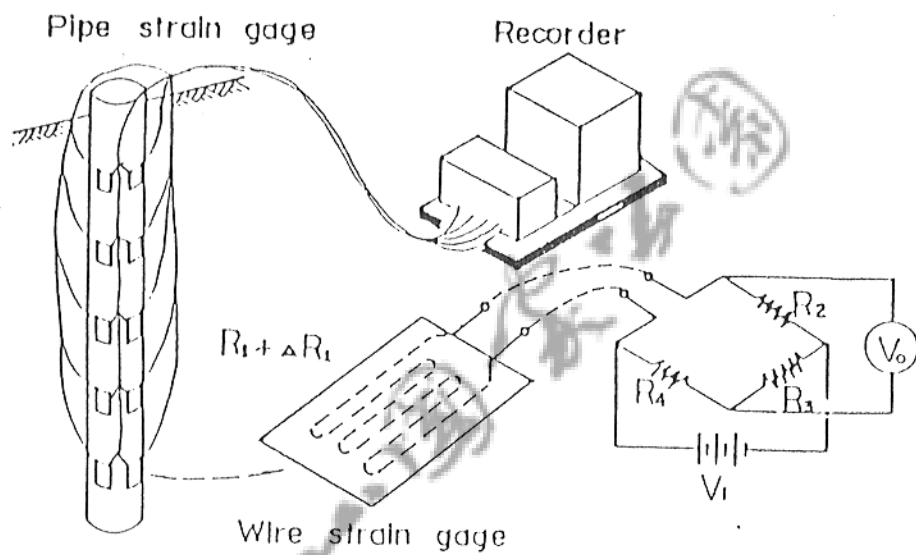
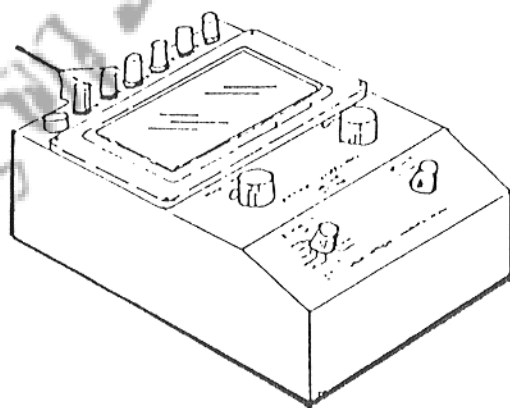
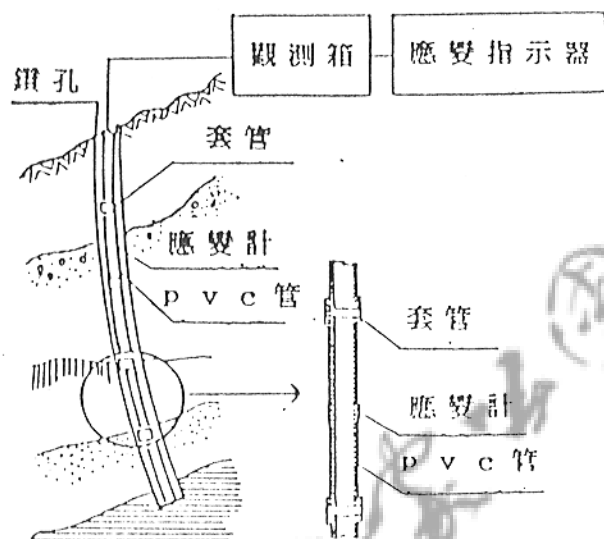


圖 3-3 管式應變計示意圖



應變指示器

圖 3-4 管式應變計埋設示意圖

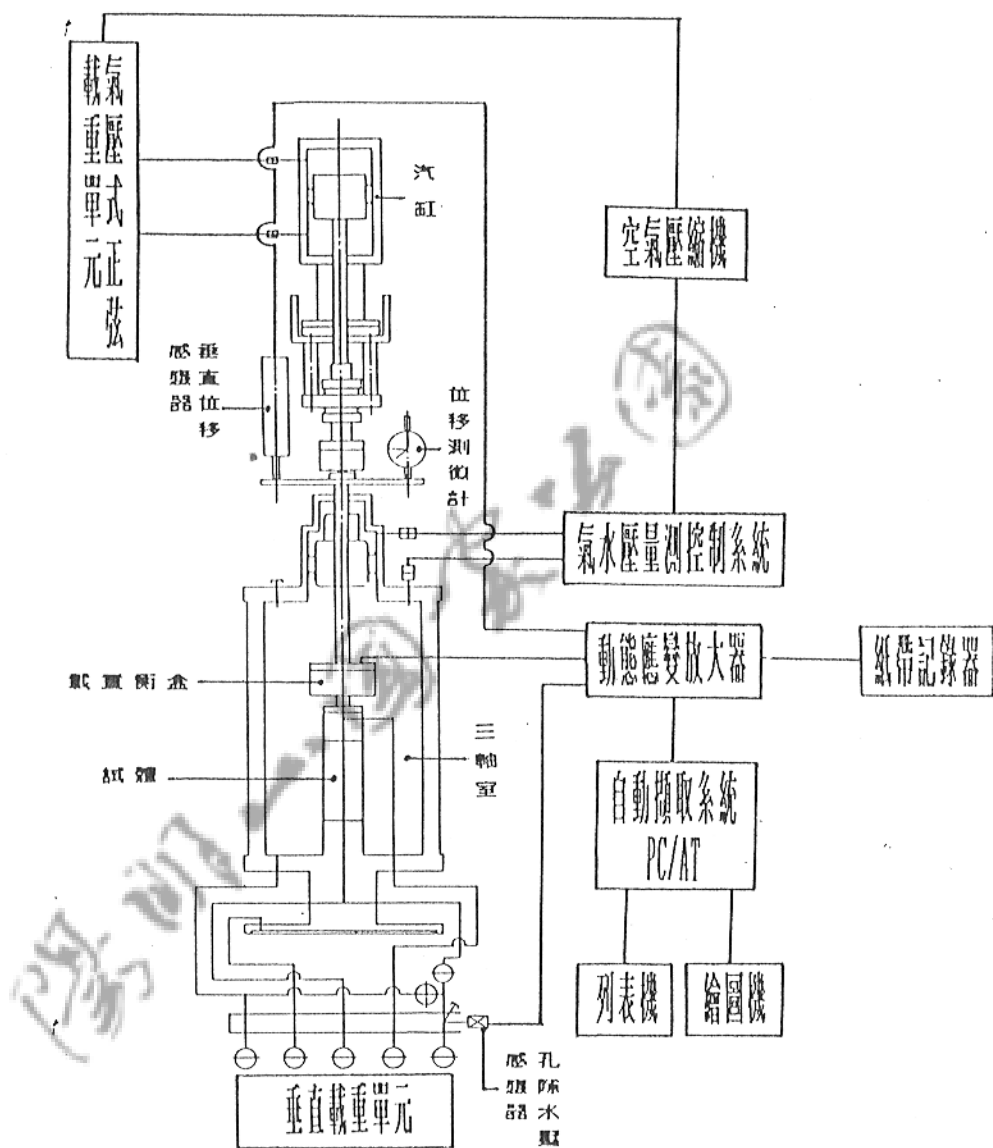
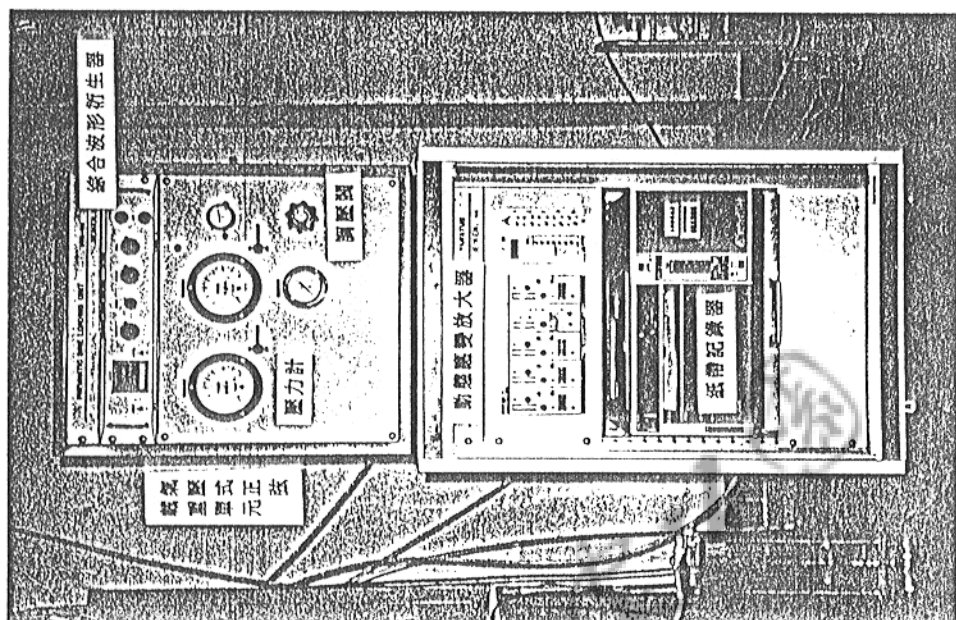
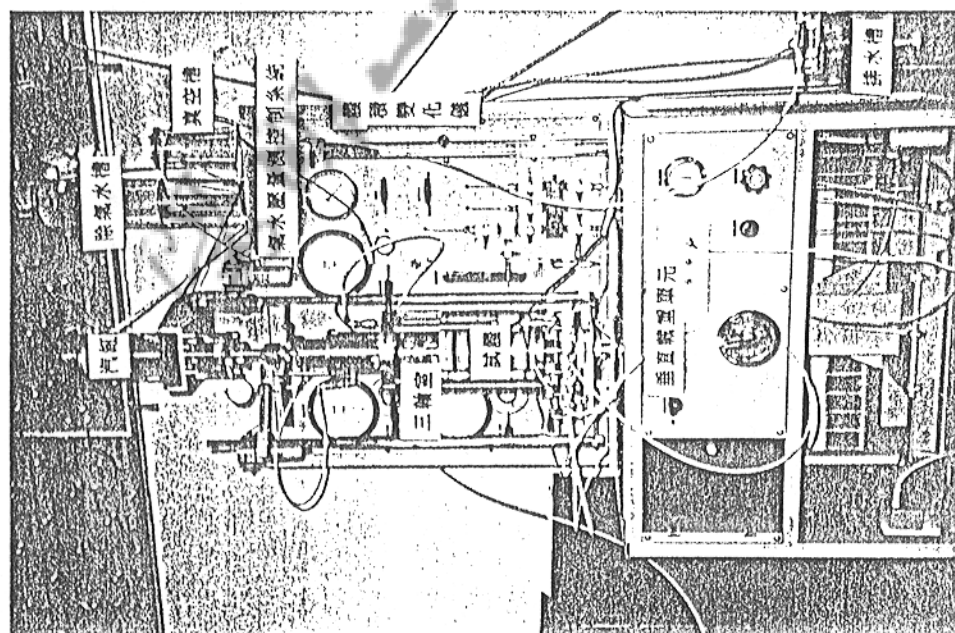


圖 4 - 1 振動三軸儀基本配置圖



圖工要圖之十冊附小冊題辭 24



(c)

圖 4-2 振動三軸儀主要單元之配置相片圖 (續)

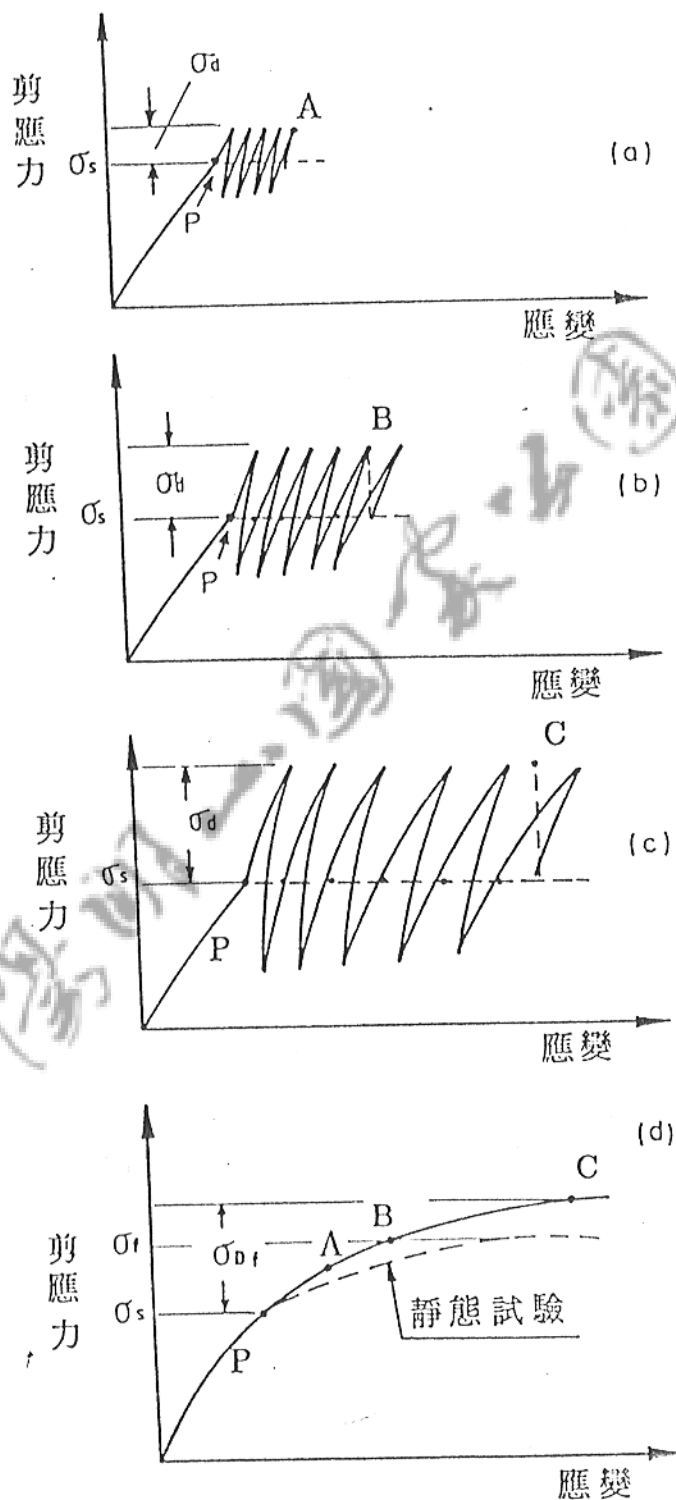


圖 4-3 單階段反覆載重試驗步驟

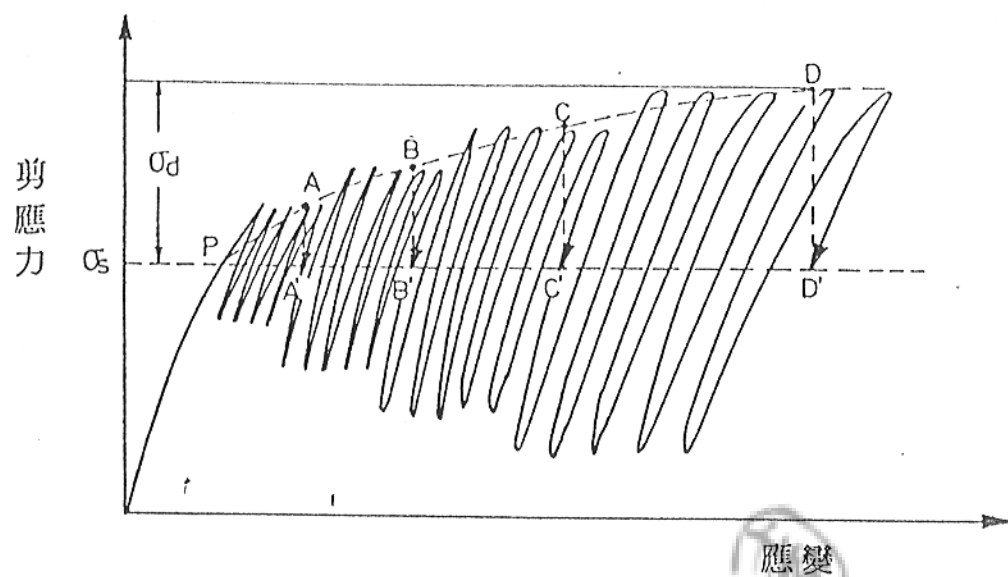


圖 4-4 多階段反覆載重試驗步驟

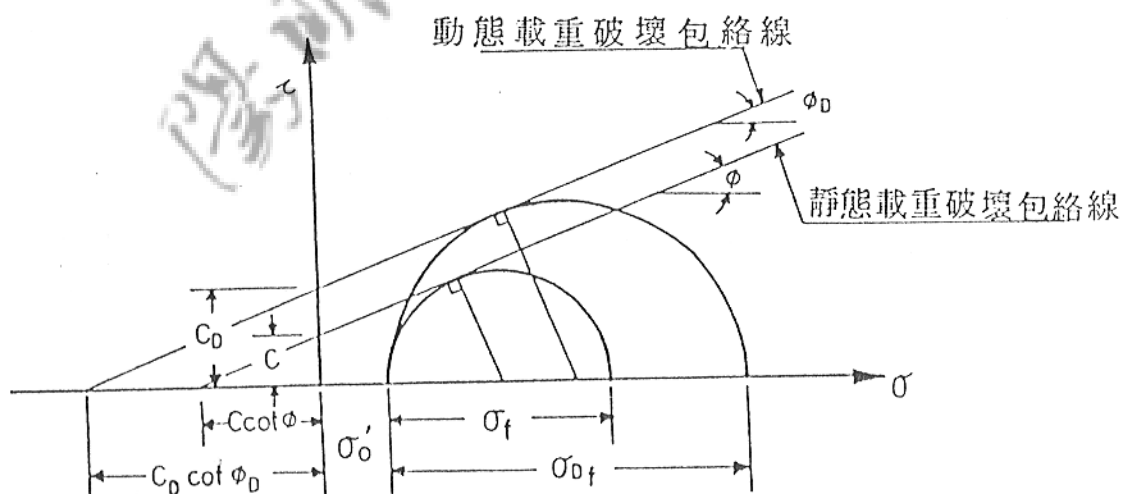
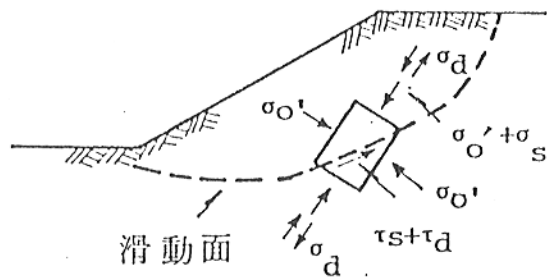
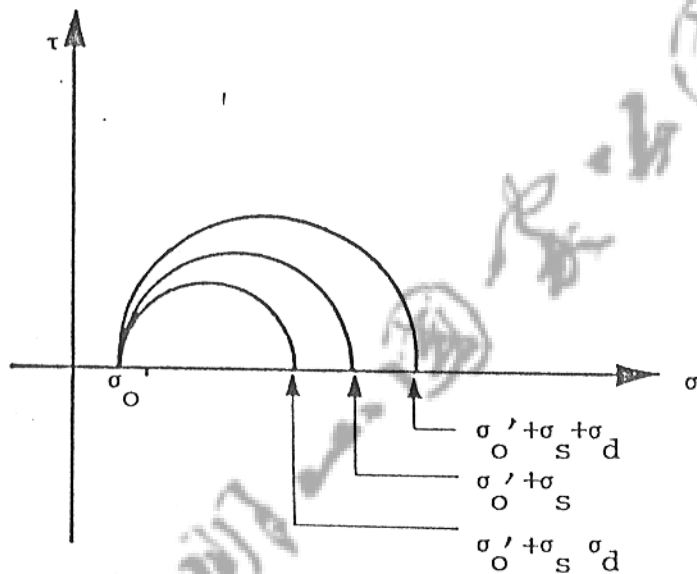


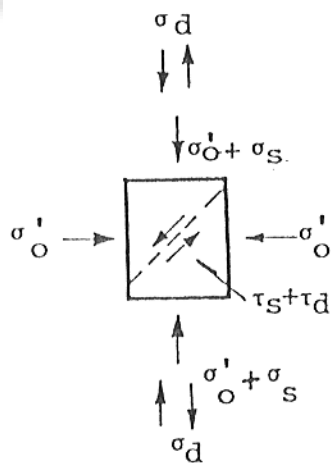
圖 4-5 靜動態載重之破壞包絡線關係圖



(a) 地震時邊坡之應力狀況

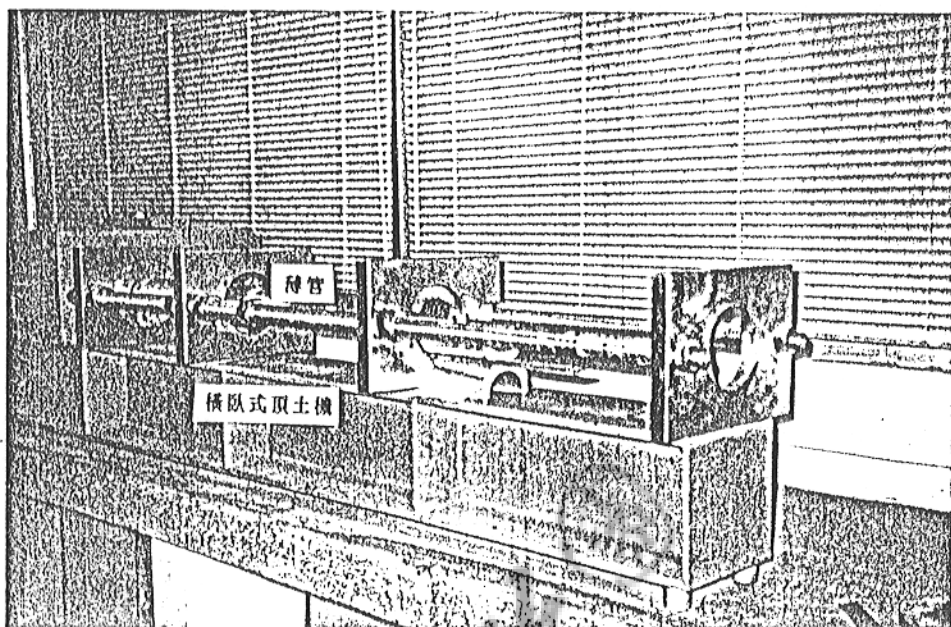


(b) (a) 之莫爾應力圓

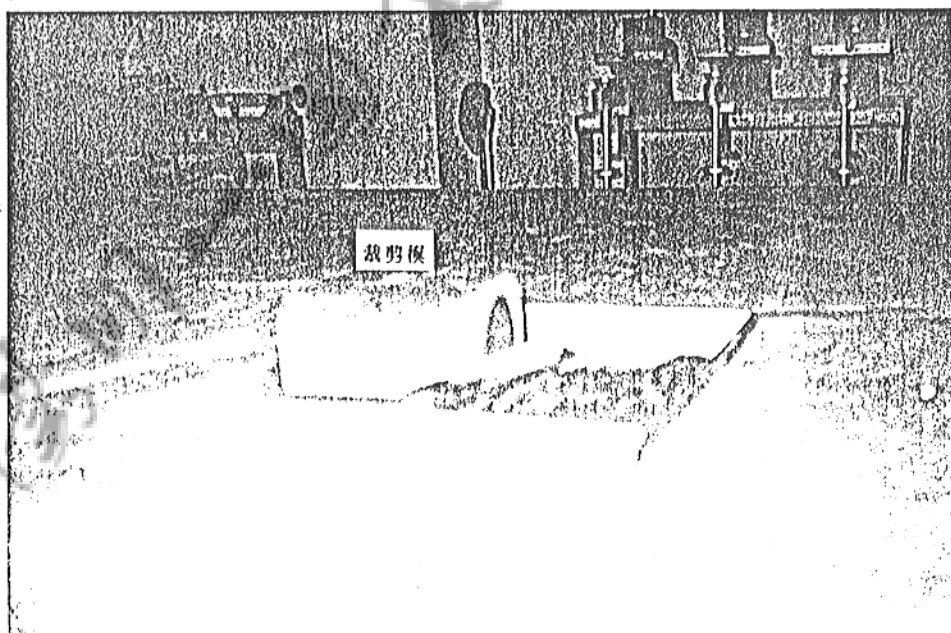


(c) 室內反覆三軸試驗之應力狀態

圖 4-6 地震時邊坡之受力狀況及試驗室模擬情形

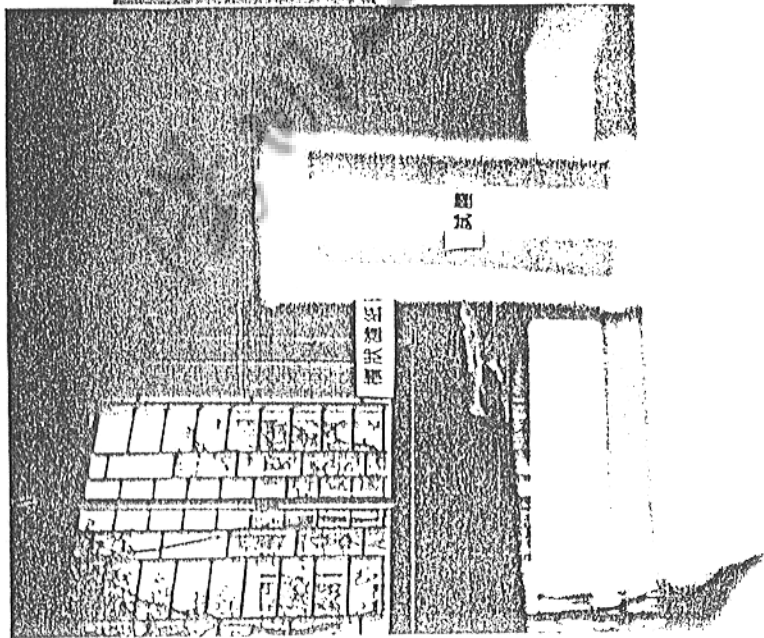


(a)

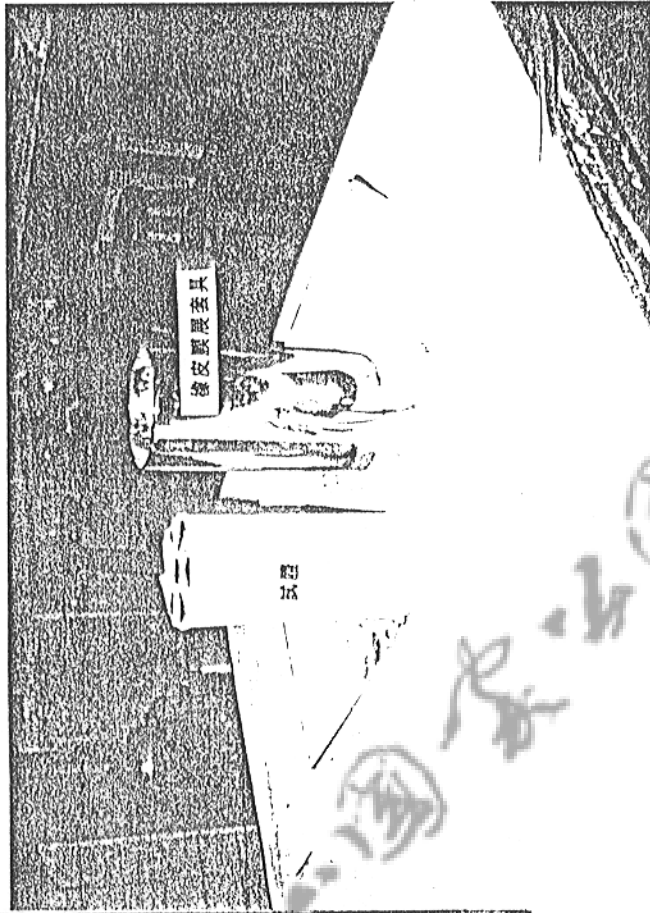


(b)

圖 4-7 試體準備過程圖



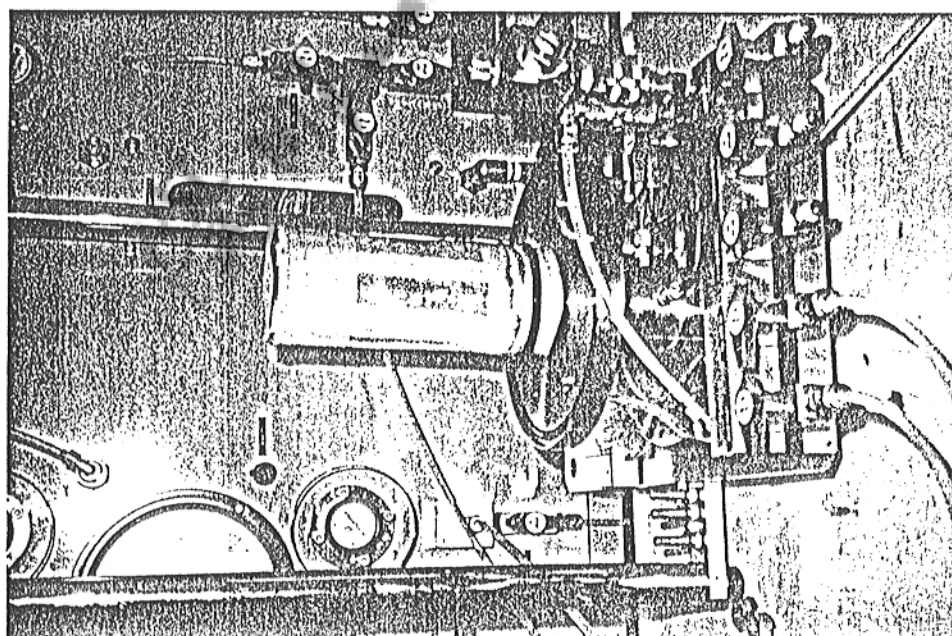
(c)



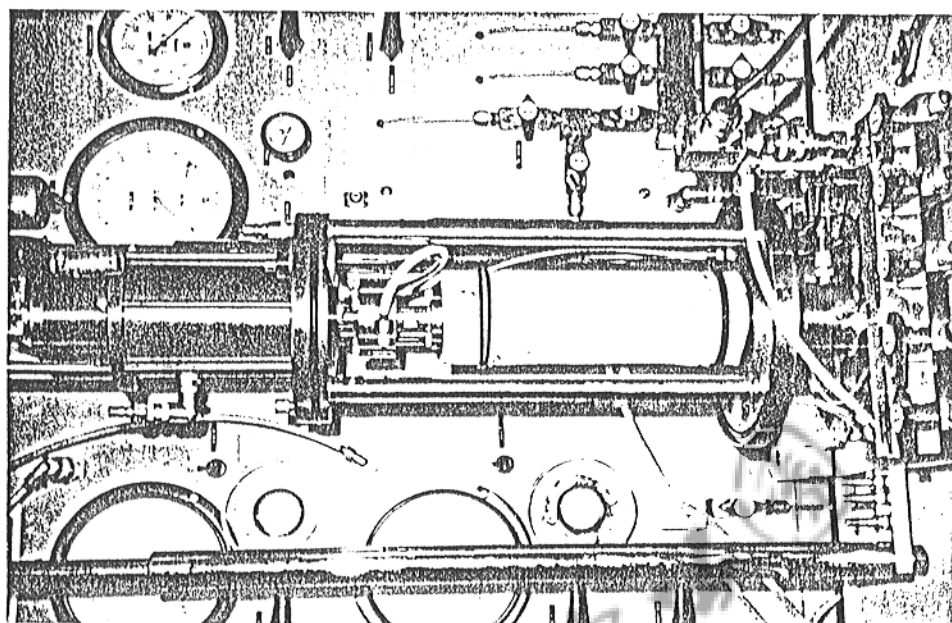
(d)

圖 4-7 試驗室

圖 4-7



(e)



(f)

圖 4-7 (續)

圖 4-7

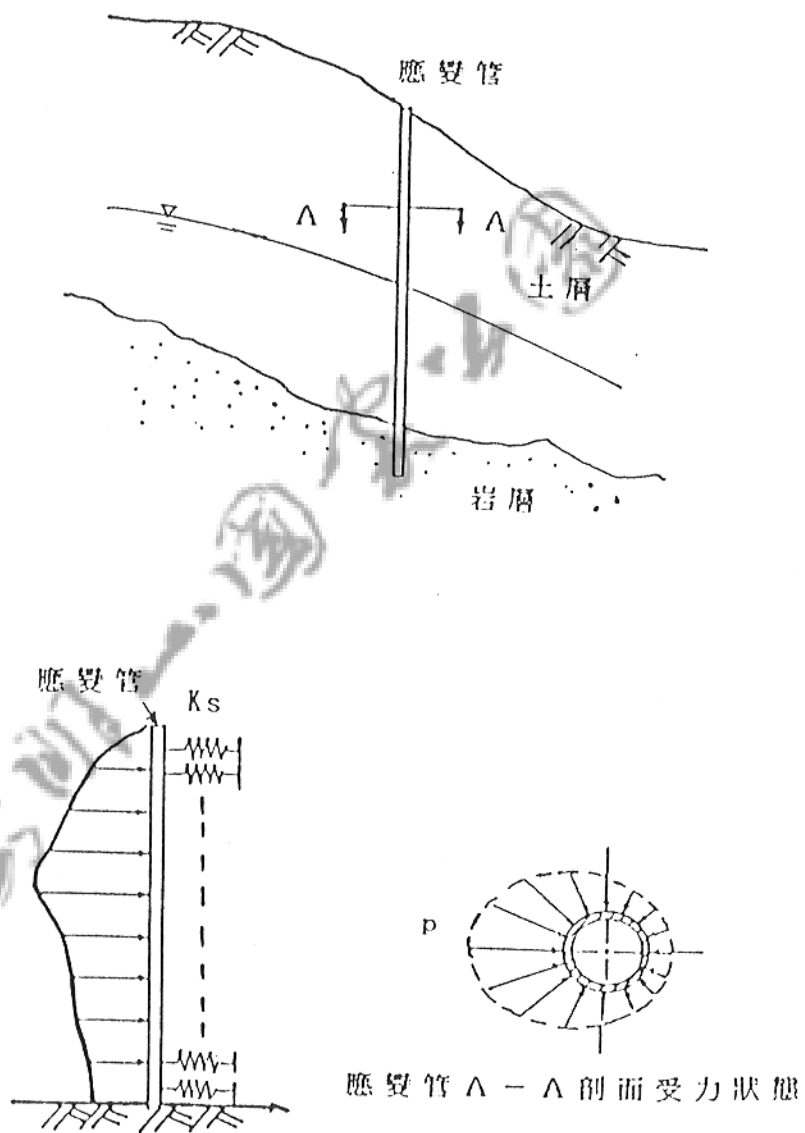


圖 5-1 管式應變計量測地滑之力學模式

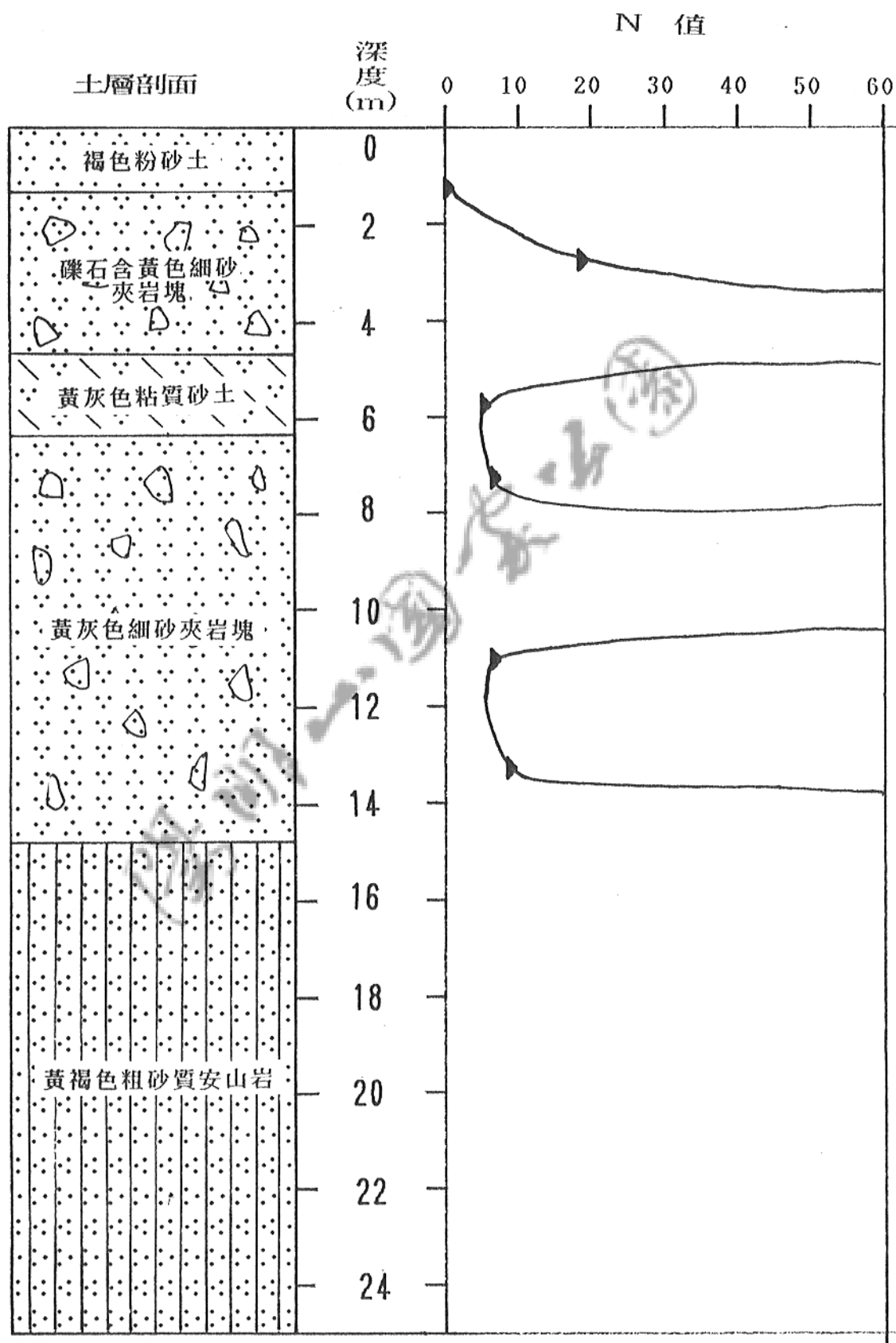


圖 6-1 土層剖面與N值分佈圖 (BH-1)

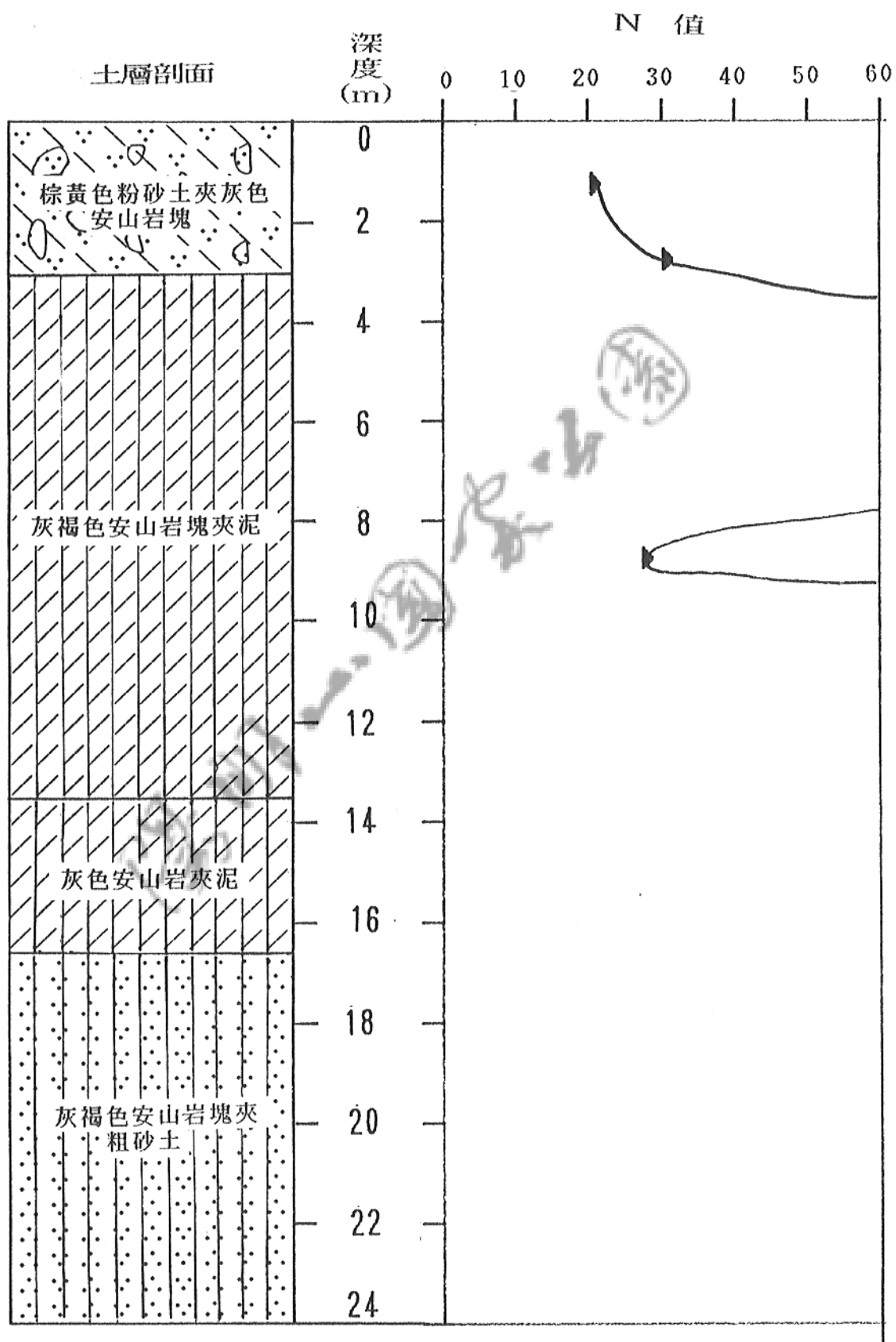


圖 6-2 土層剖面與 N 值分佈圖 (BH-2)

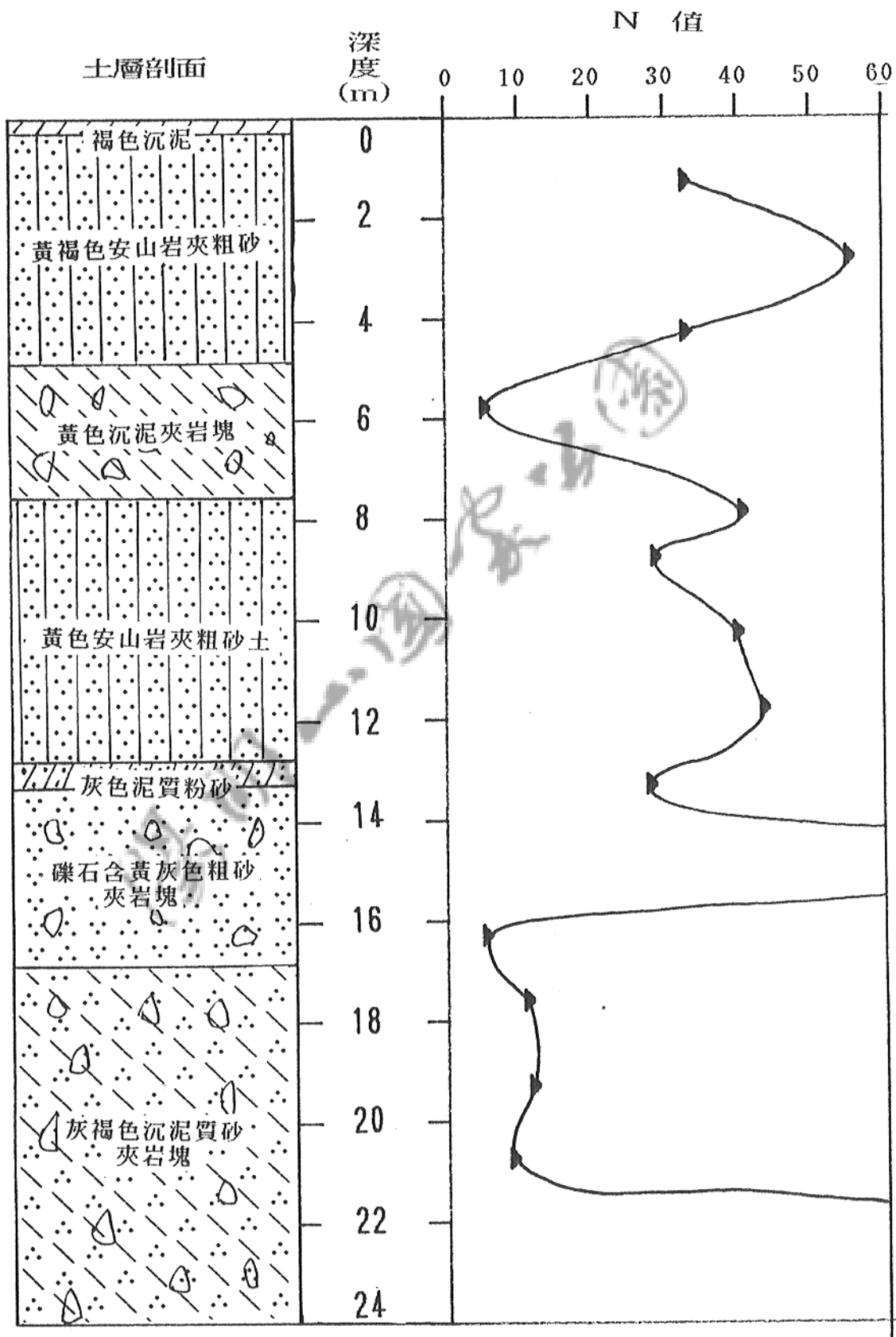


圖 6-3 土層剖面與 N 值分佈圖 (BH-3)

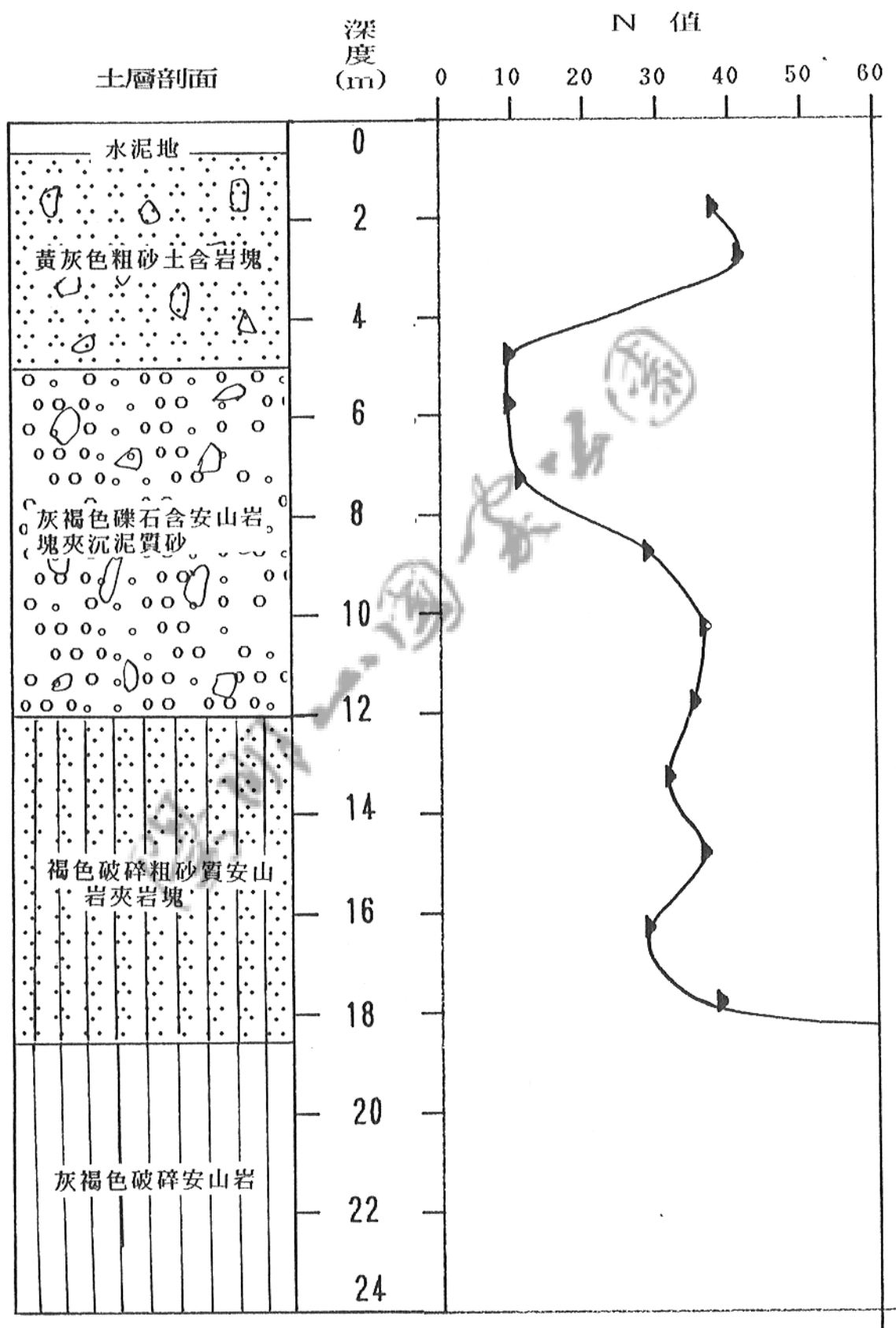


圖 6-4 土層剖面與 N 值分佈圖 (BH-4)

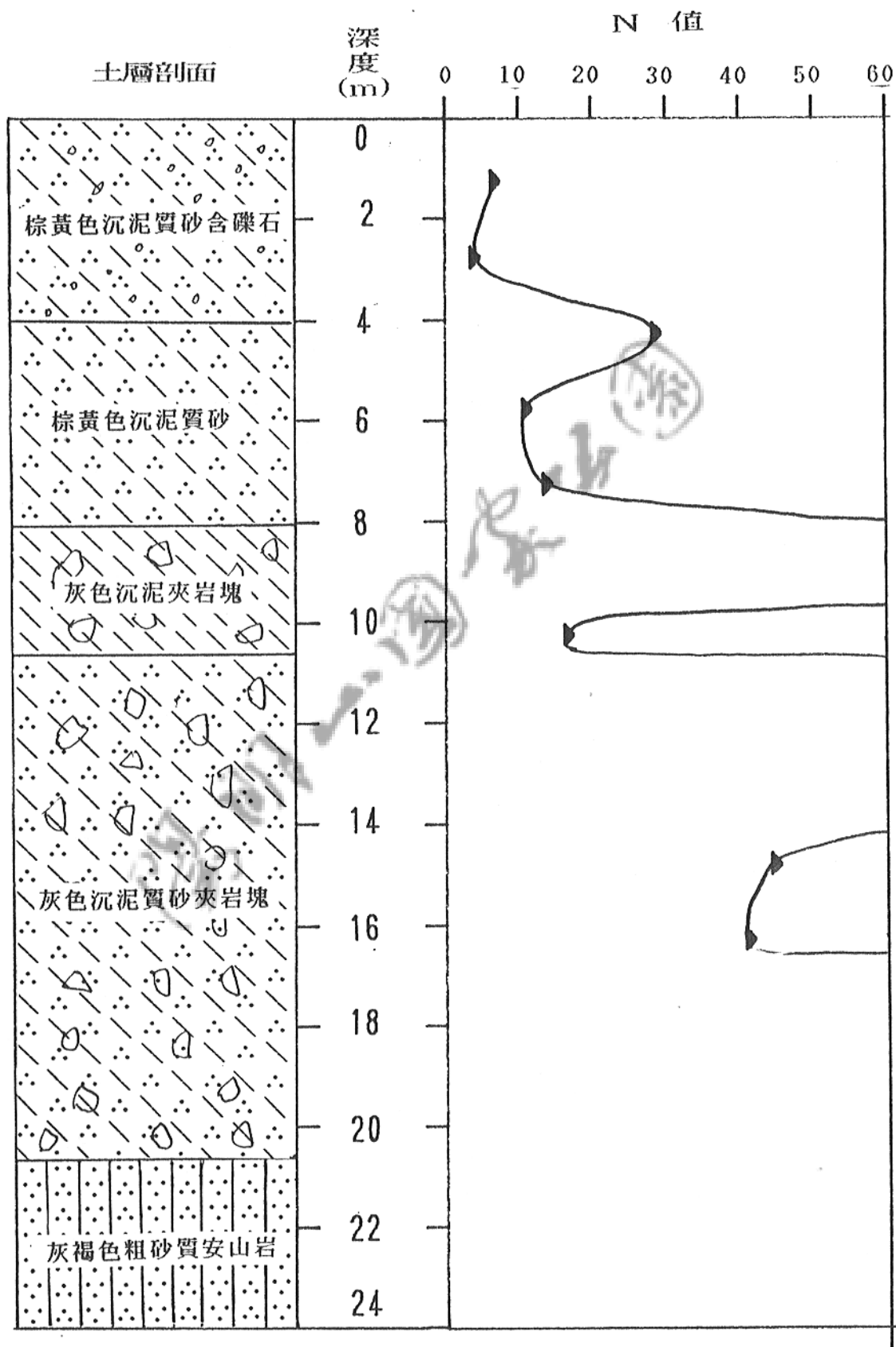


圖 6-5 土層剖面與 N 值分佈圖 (BH-5)

圖 6-6 一般物理性質分佈圖 (BH-1)

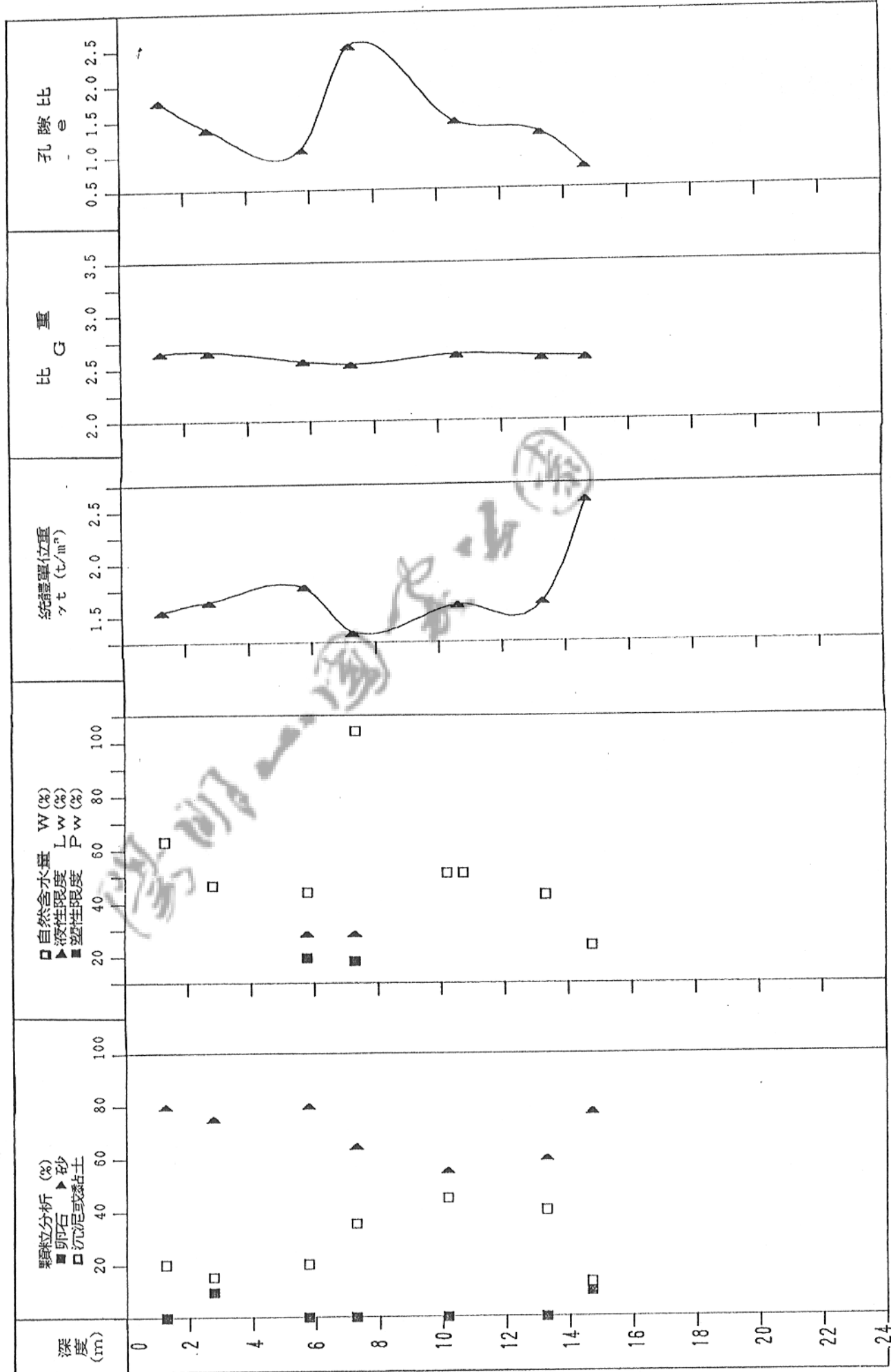


圖 6-7 一般物理性質分佈圖 (BH-2)

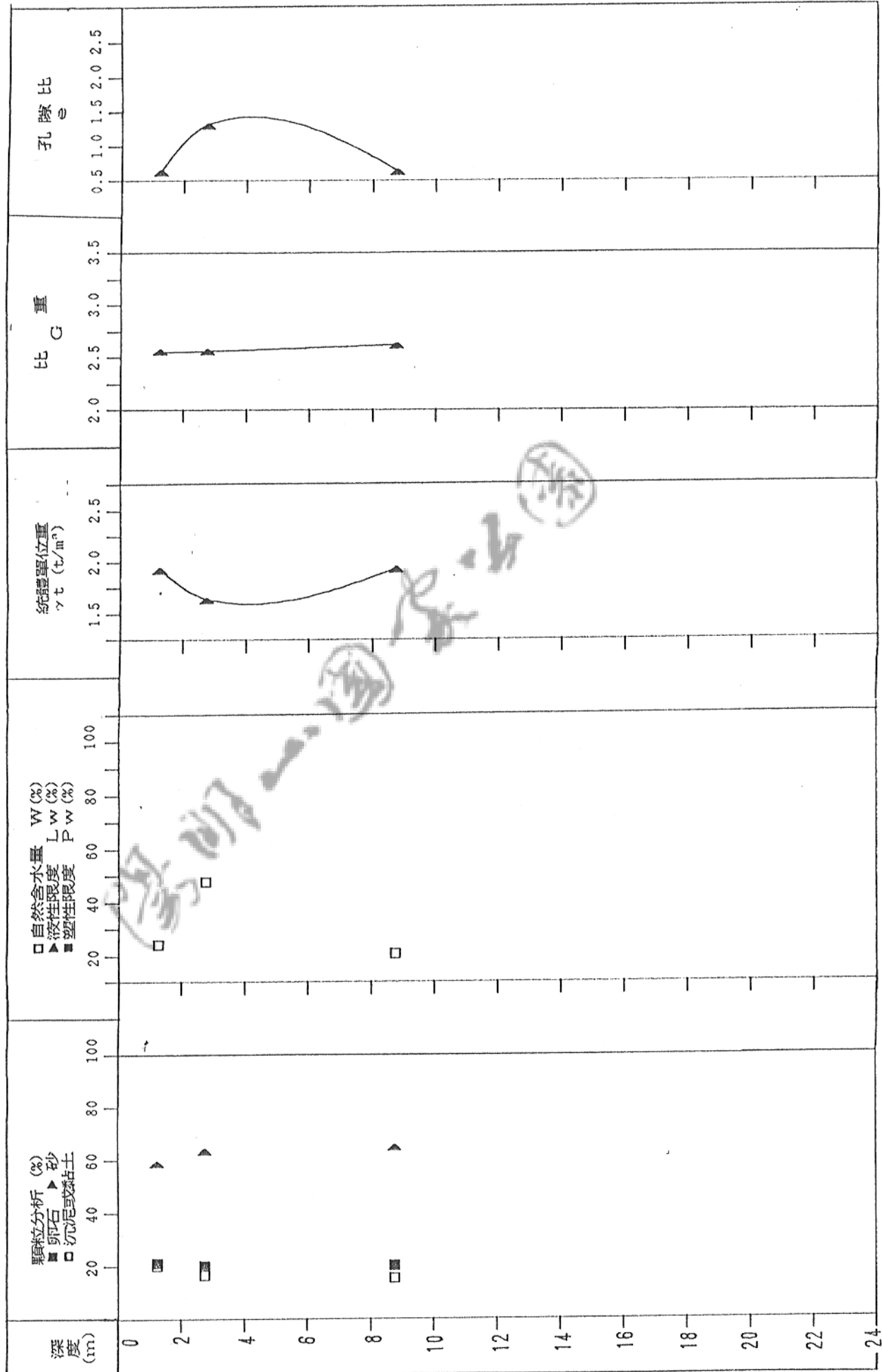


圖 6-8 一般物理性質分佈圖 (BH-3)

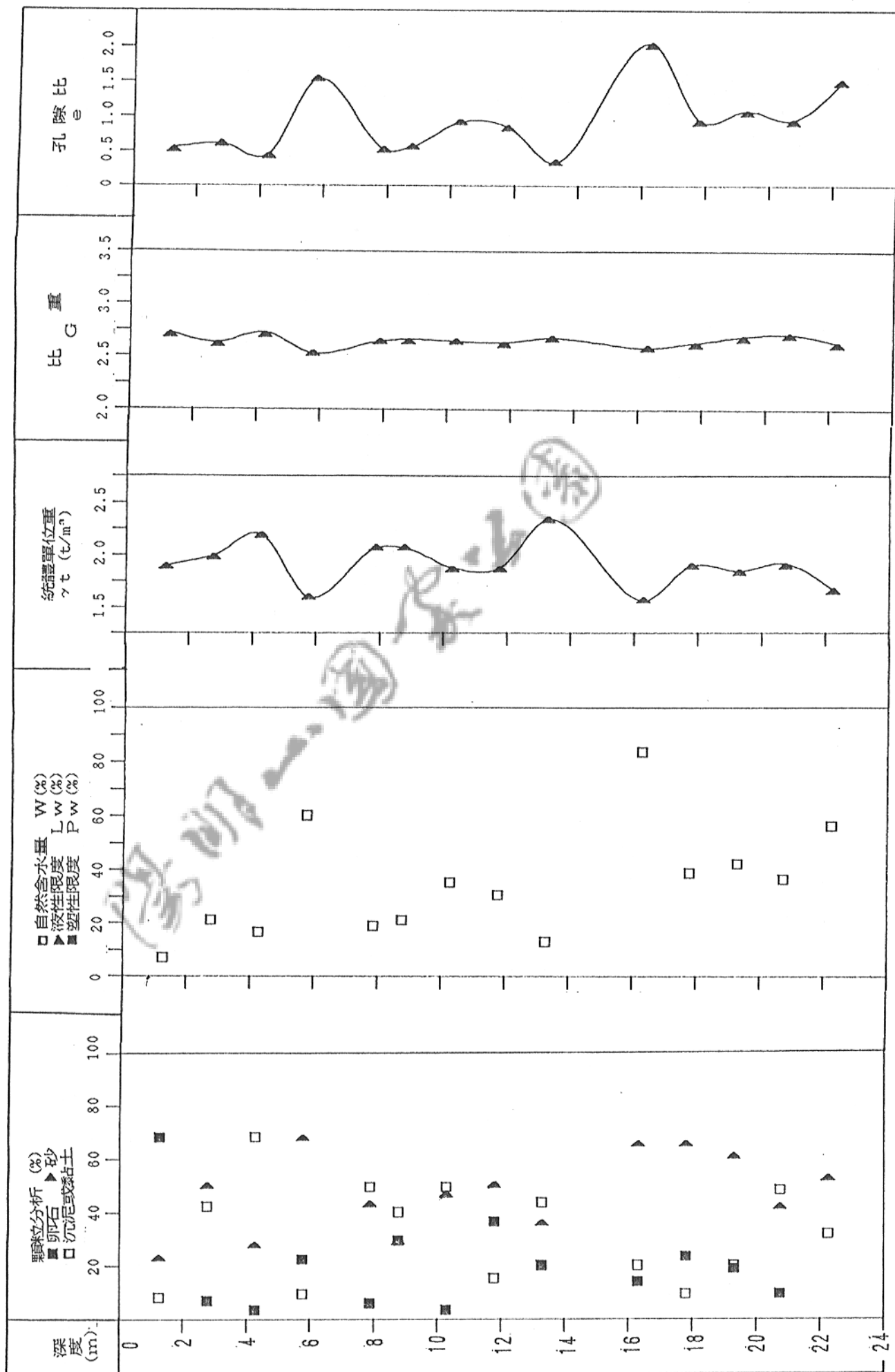


圖 6-9 一般物理性質分佈圖 (BH-4)

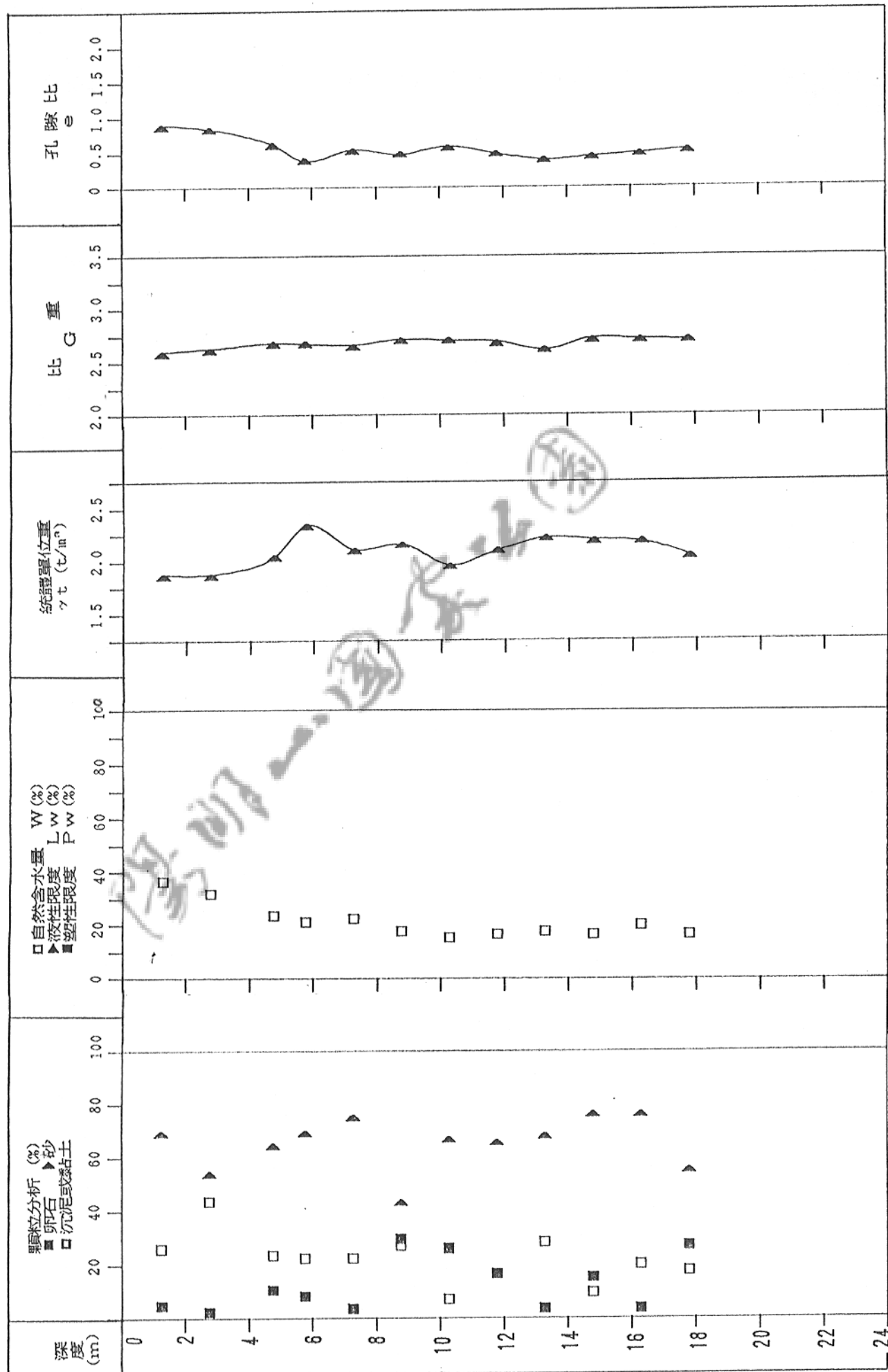
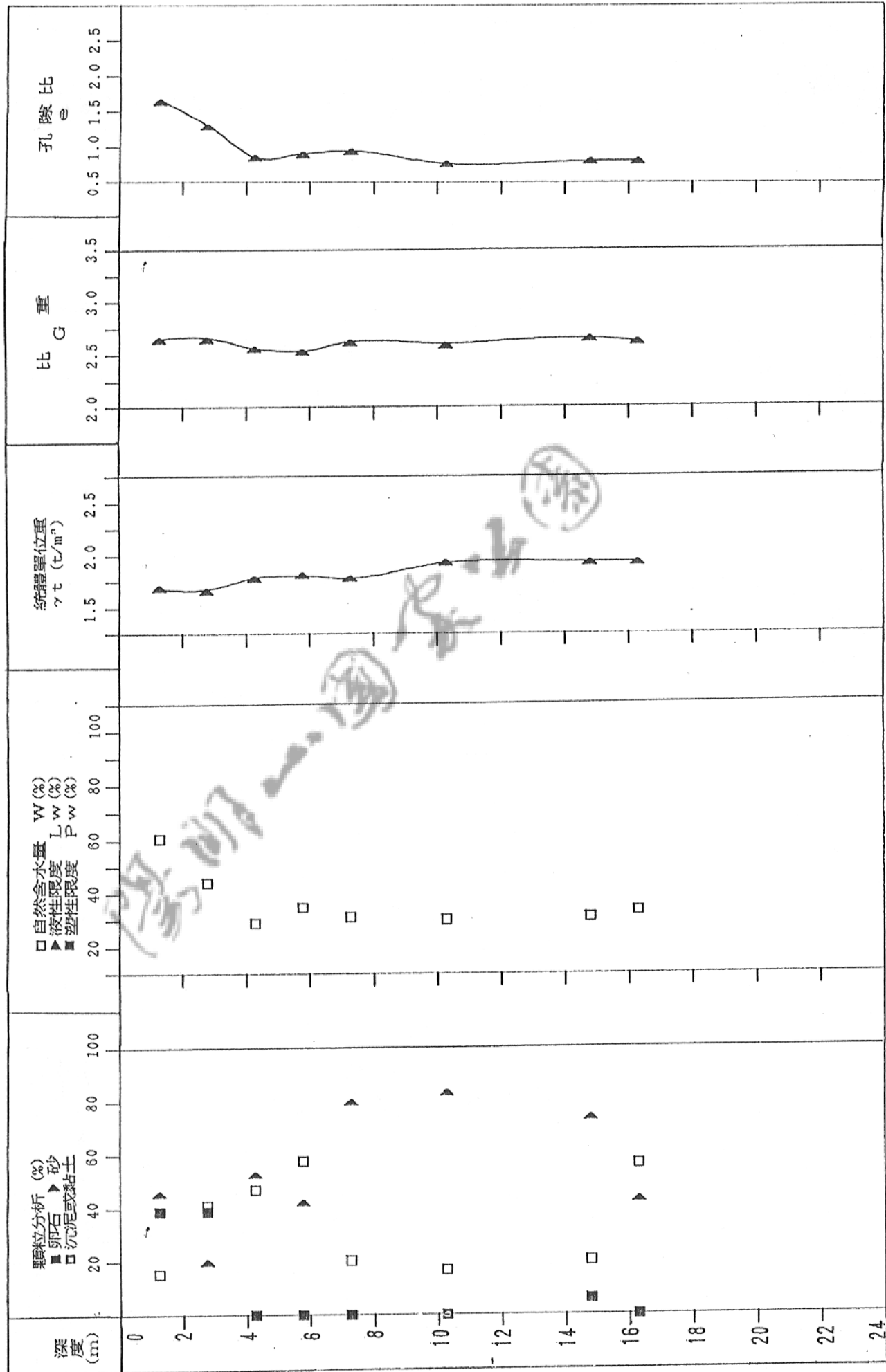


圖 6-10 一般物理性質分佈圖 (BH-5)



STATIC TRIAXIAL TEST

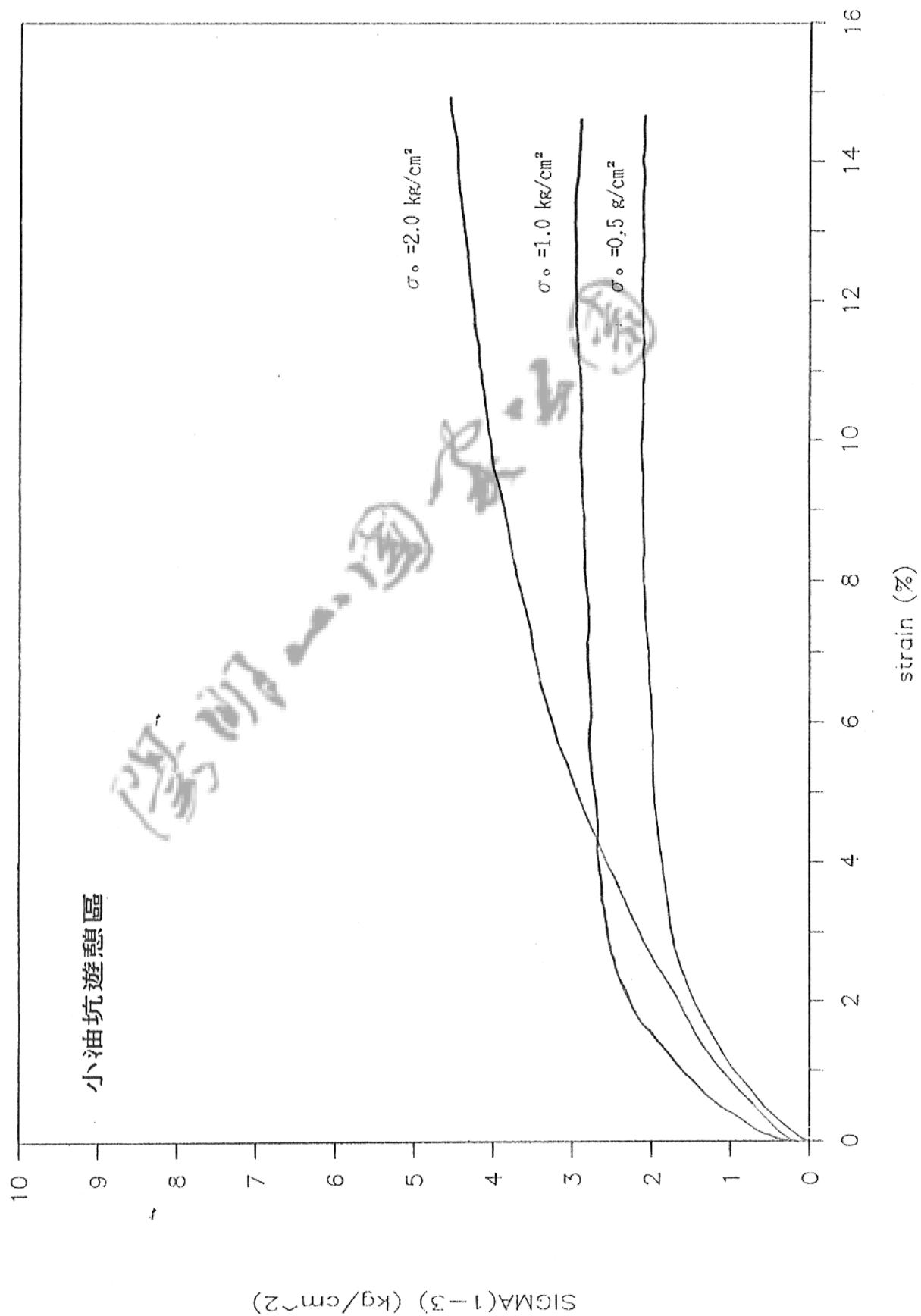


圖 6-11 青爭寬三車曲言式馬劍應力~應變關係 (小油坑)

STATIC TRIAXIAL TEST

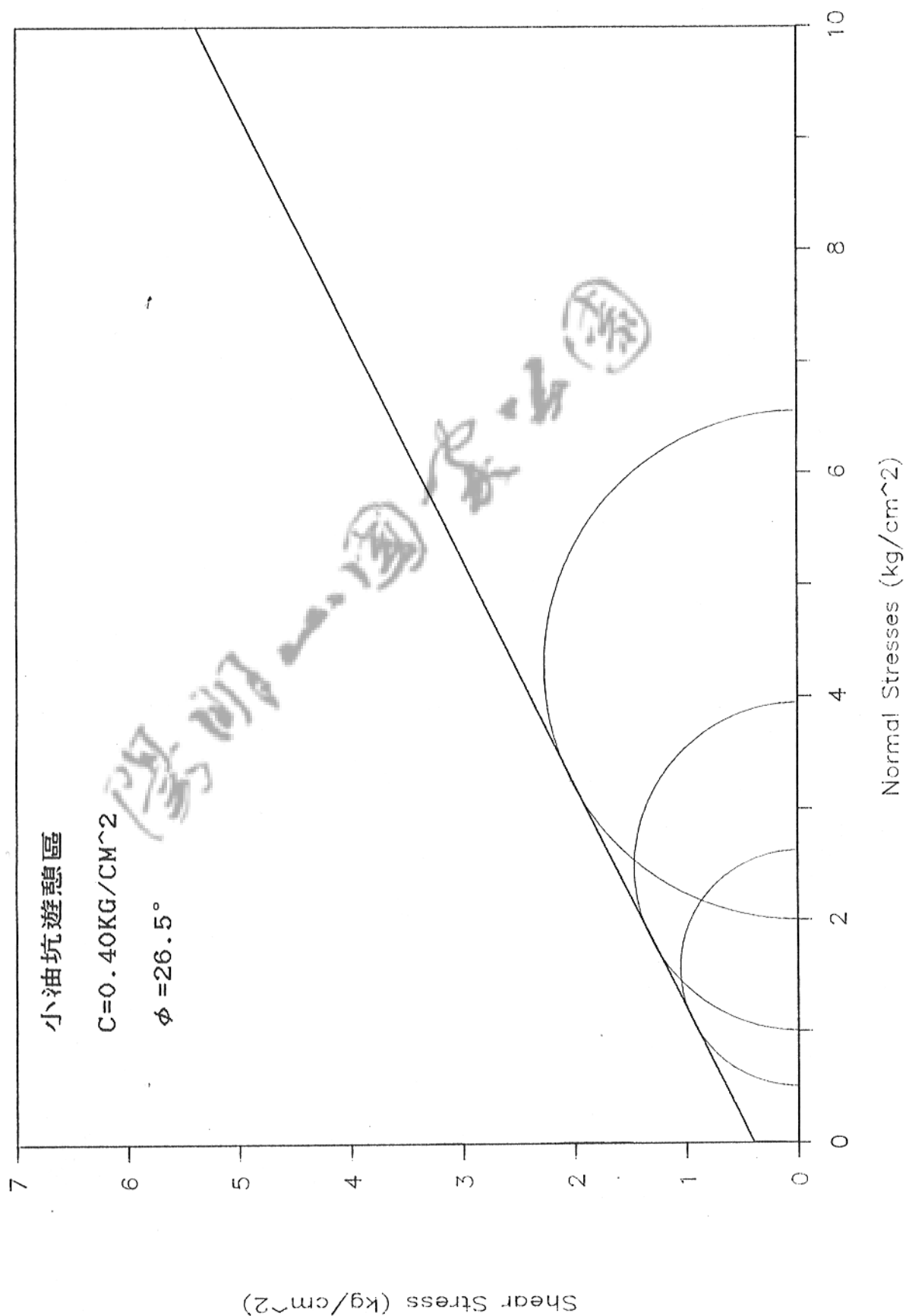


圖 6-12 靜態三軸試驗破壞包絡線 (小油坑)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST

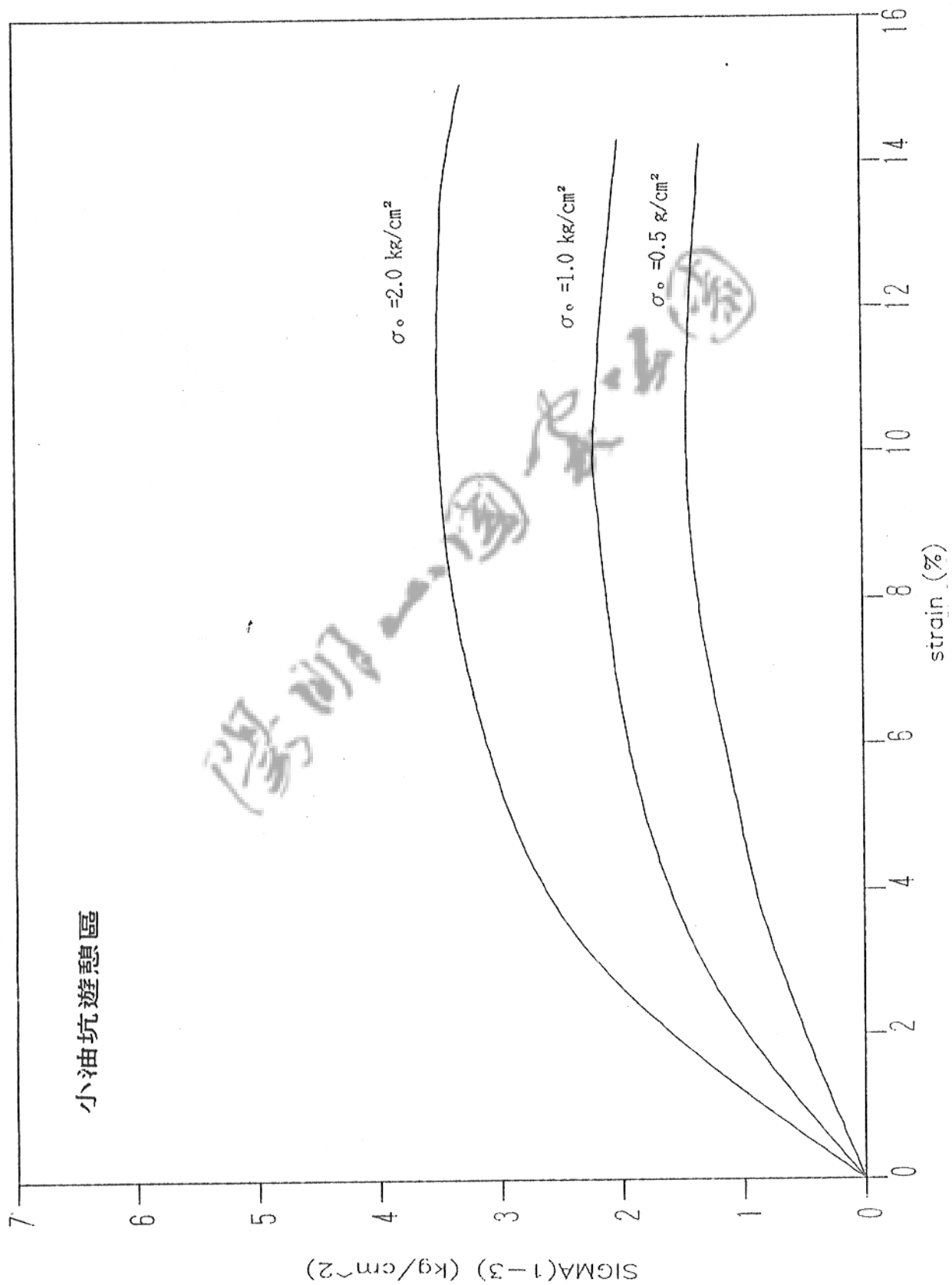


圖 6-13 重力式三軸試驗式應力~應變關係 (小油坑)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST

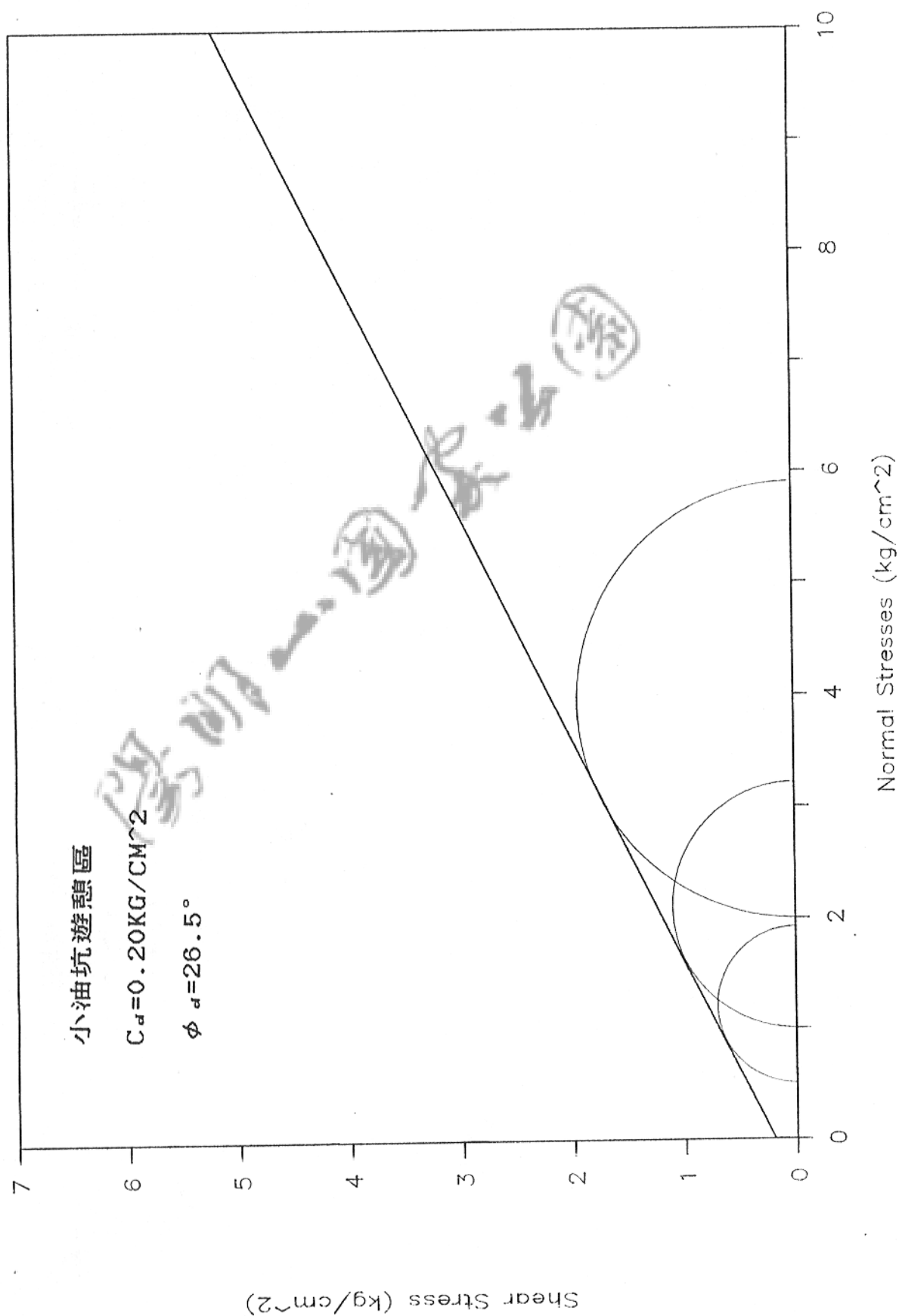


圖 6-14 動態三軸試驗破壞包絡線 (小油坑)

TRIAXIAL TEST

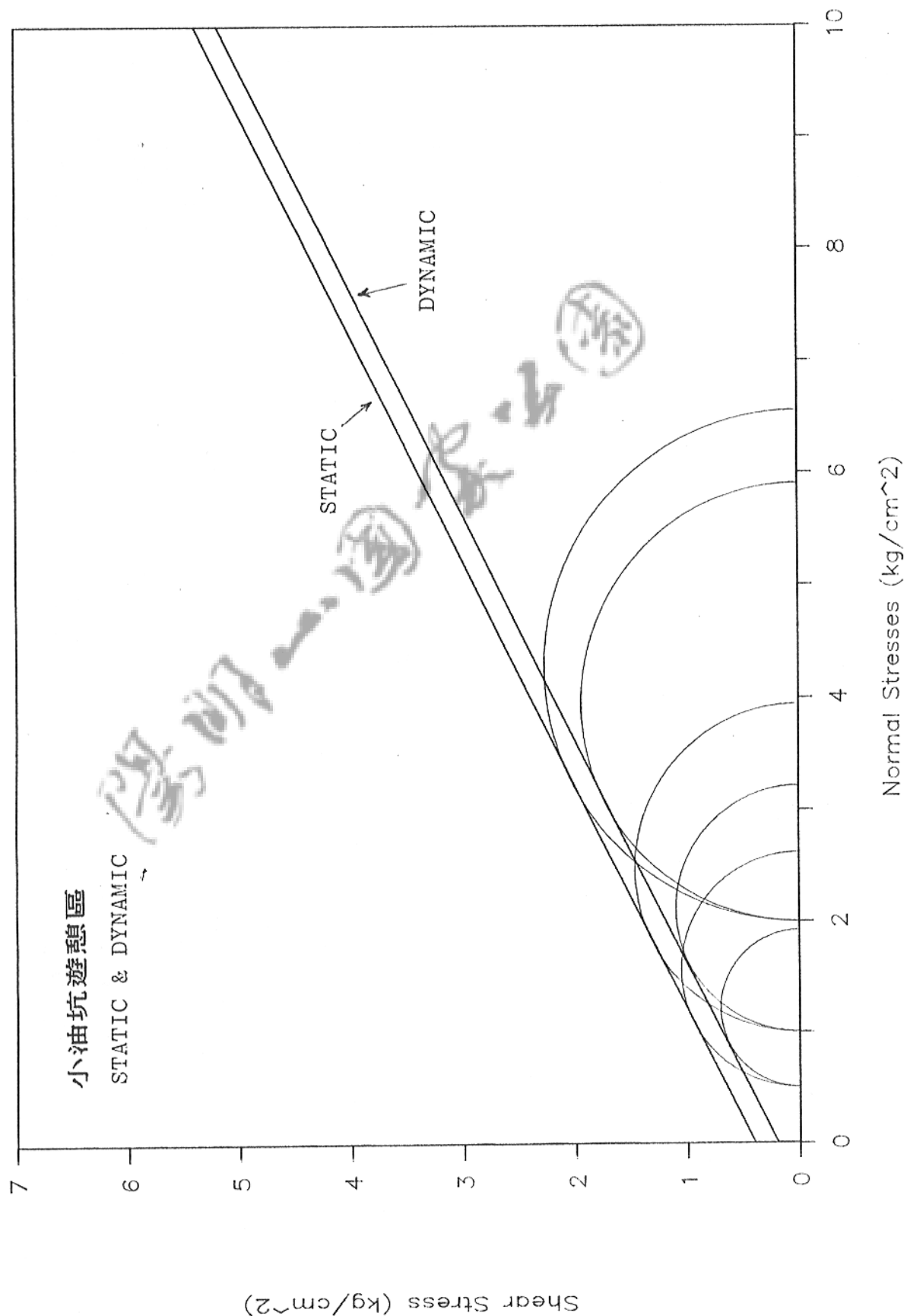


圖 6-15 青爭動力態三軸曲式驗破皮環包絡線比較 (小油坑)

STATIC TRIAXIAL TEST

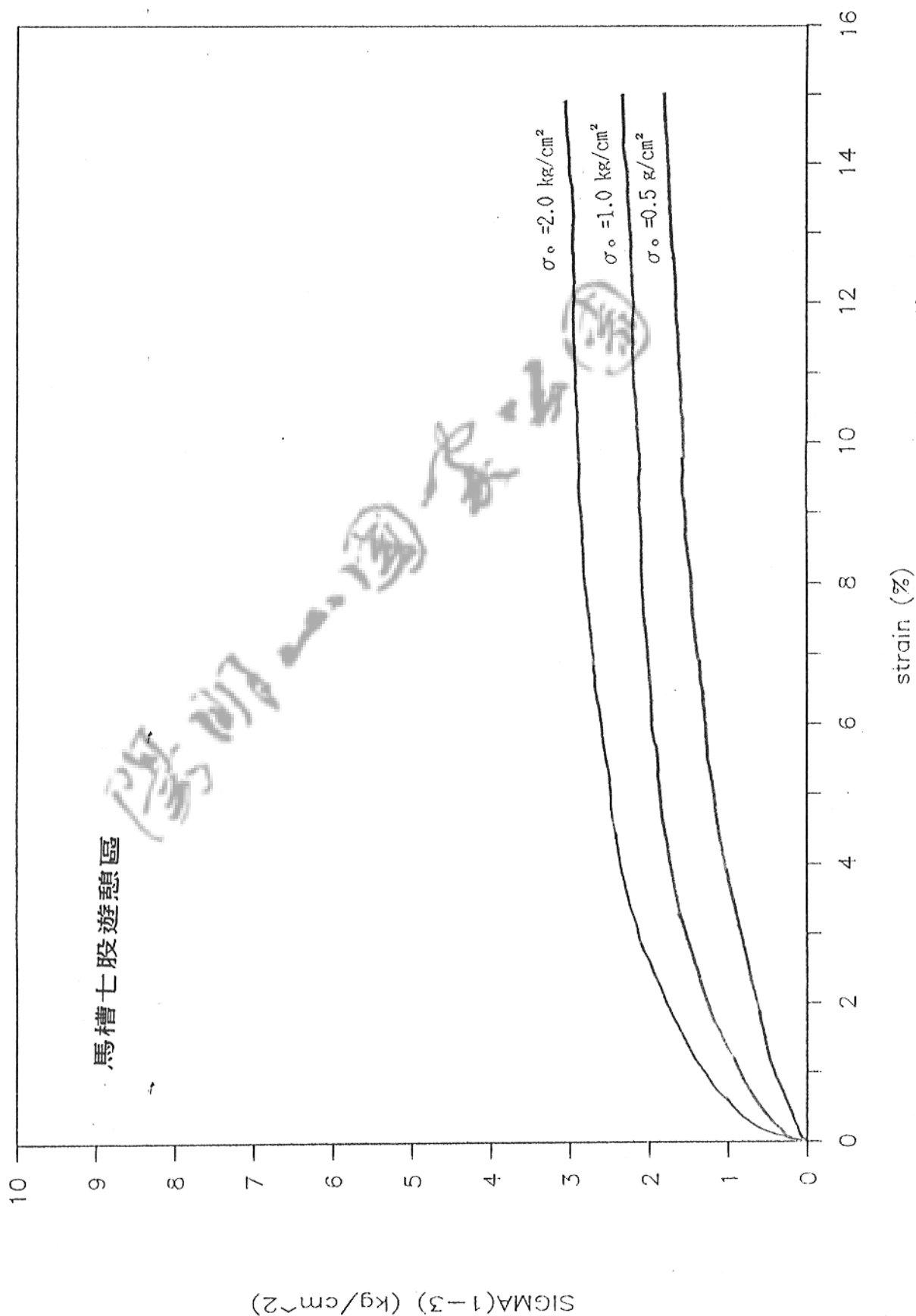


圖 6-16 青爭境三車由式駁應力~應變關係 (馬槽七股)

STATIC TRIAXIAL TEST

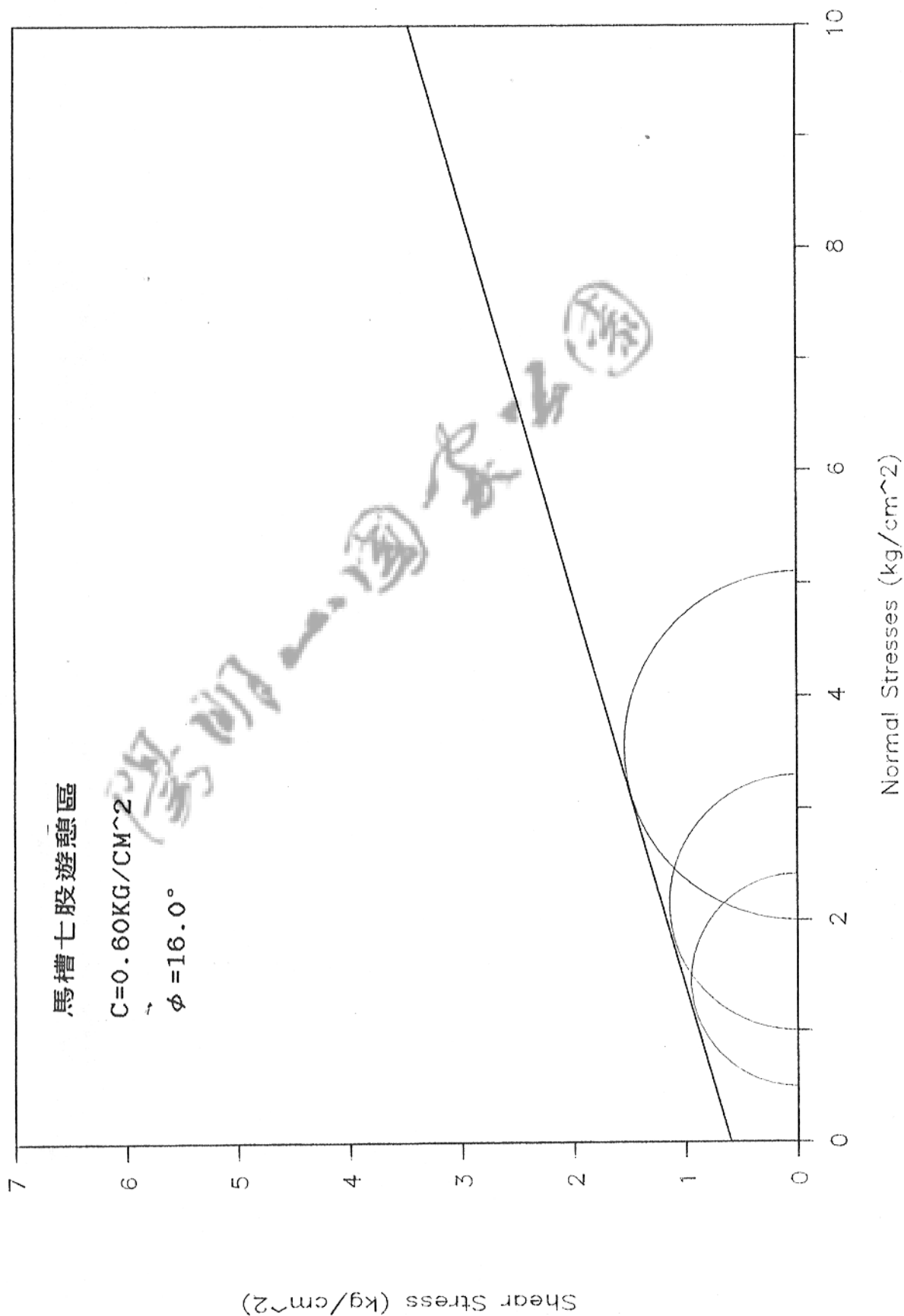


圖 6-17 青爭態三車曲式馬驗破壞包絡線 (馬槽七股)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST

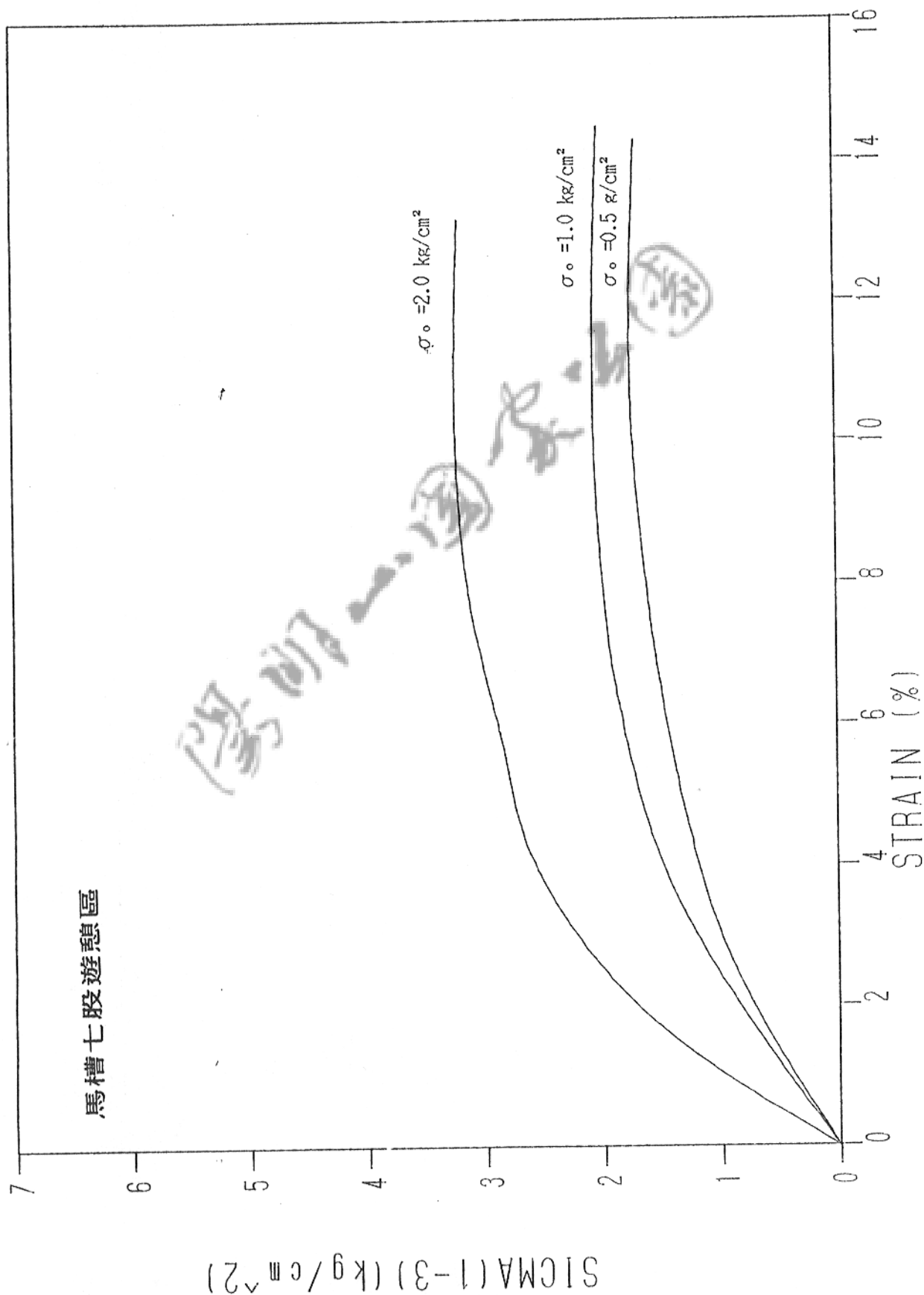


圖 6-18 動態三軸試驗應力~應變關係 (馬槽七股)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST

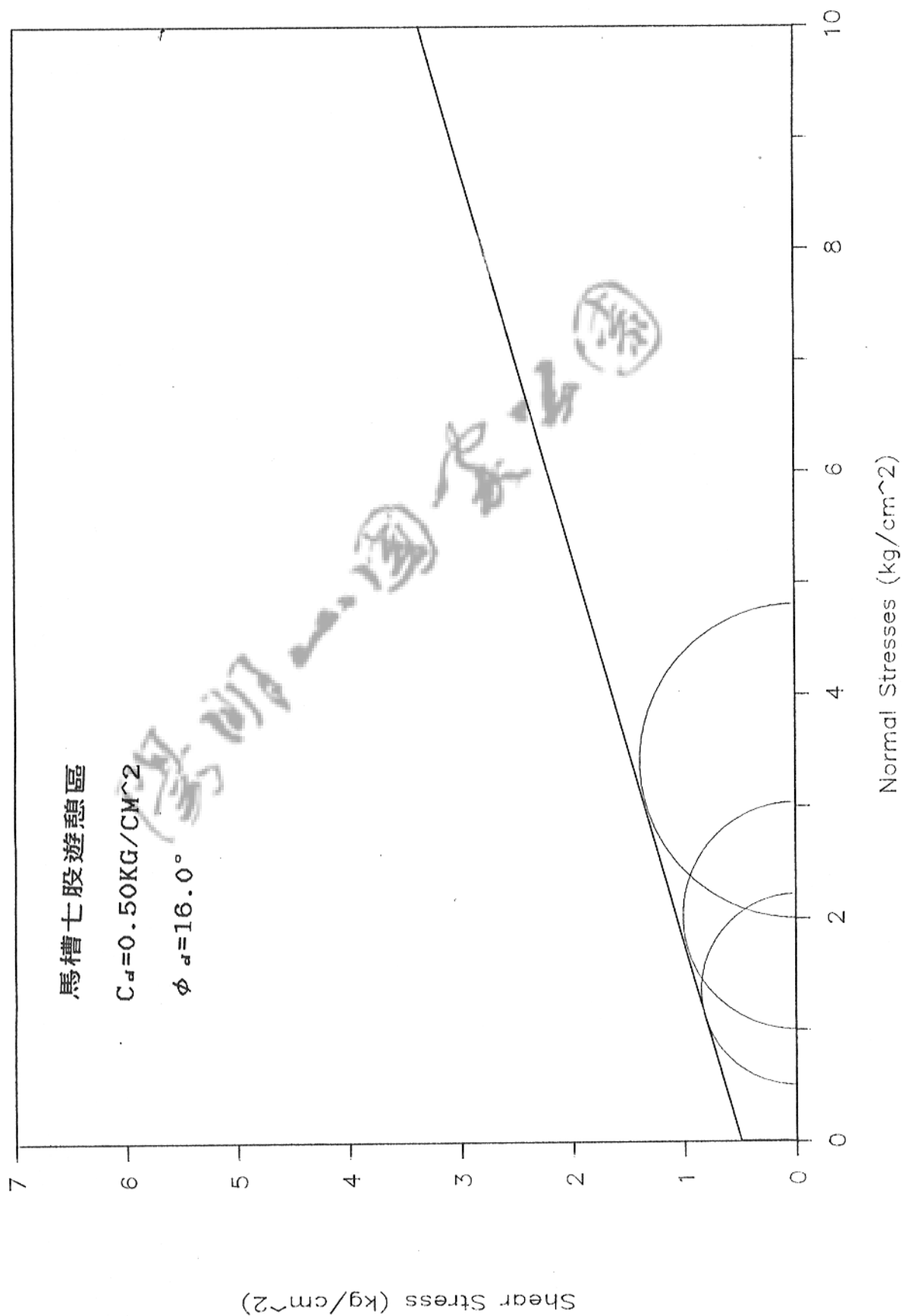


圖 6-19 動態三軸試驗破壞包絡線 (馬槽七股)

TRIAXIAL TEST

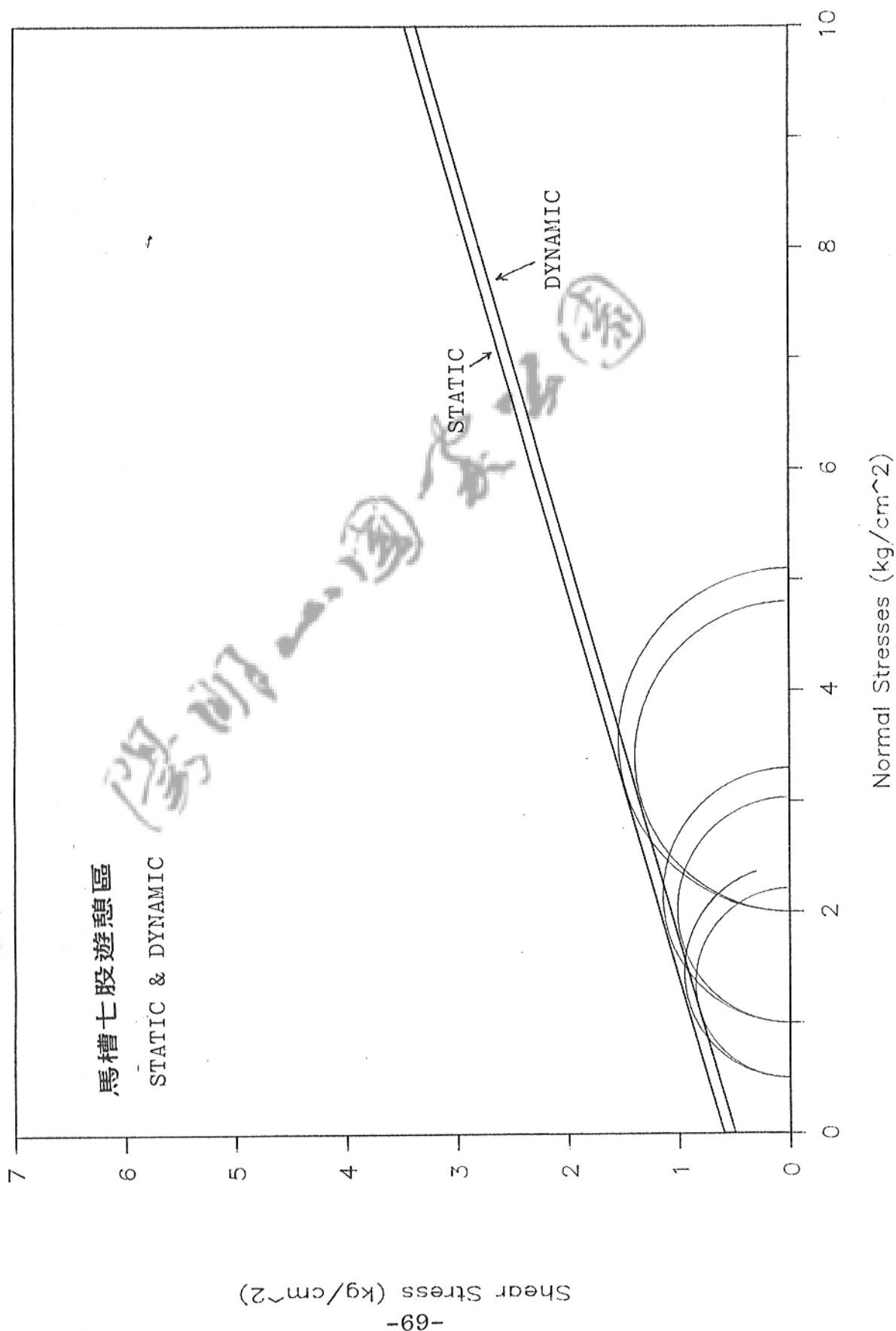


圖 6-20 靜動力態三軸試驗破壞包絡線比較 (馬槽七股)

STATIC TRIAXIAL TEST

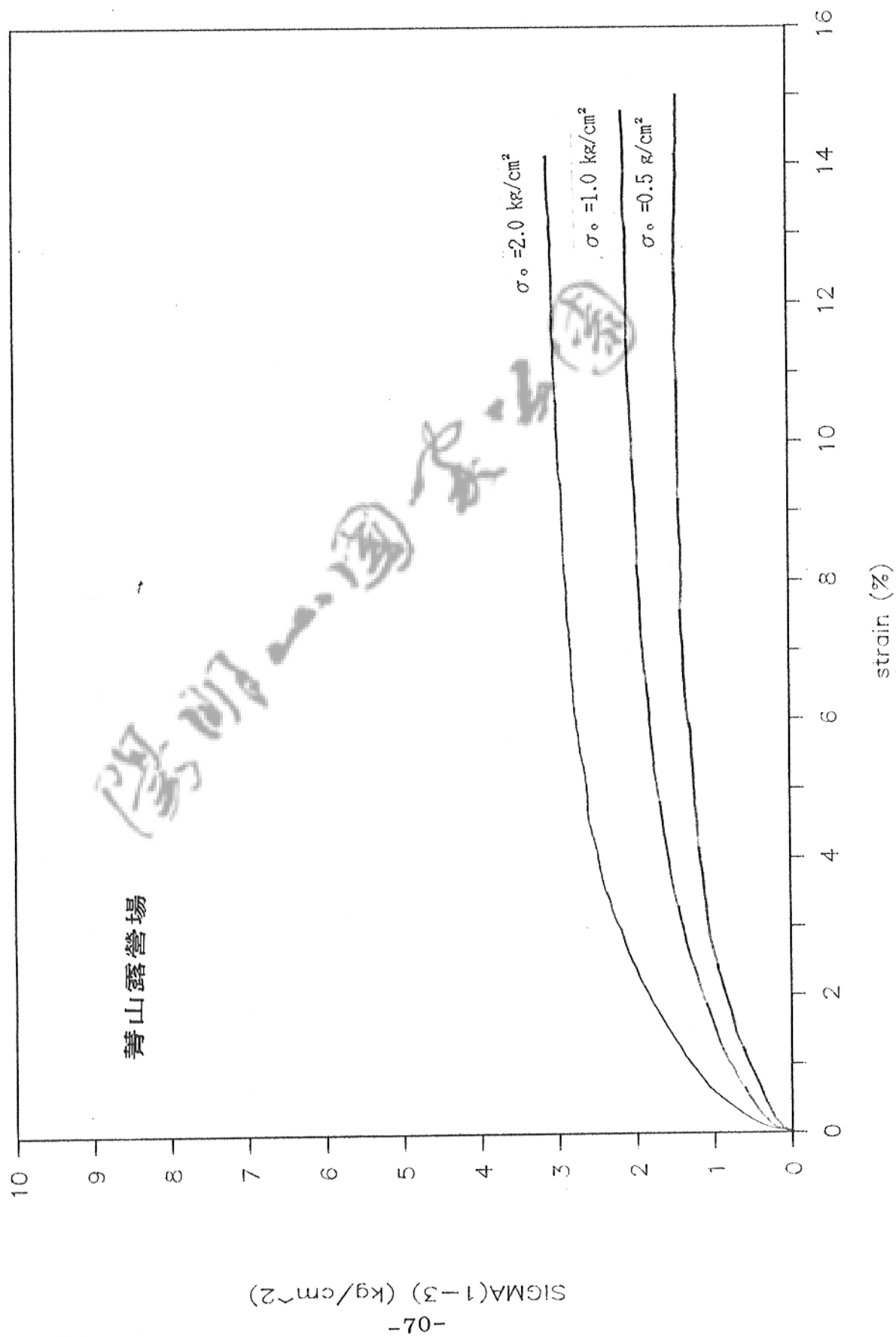


圖 6-21 靜態三軸試驗壓力~應變關係 (菁山露營場)

STATIC TRIAXIAL TEST

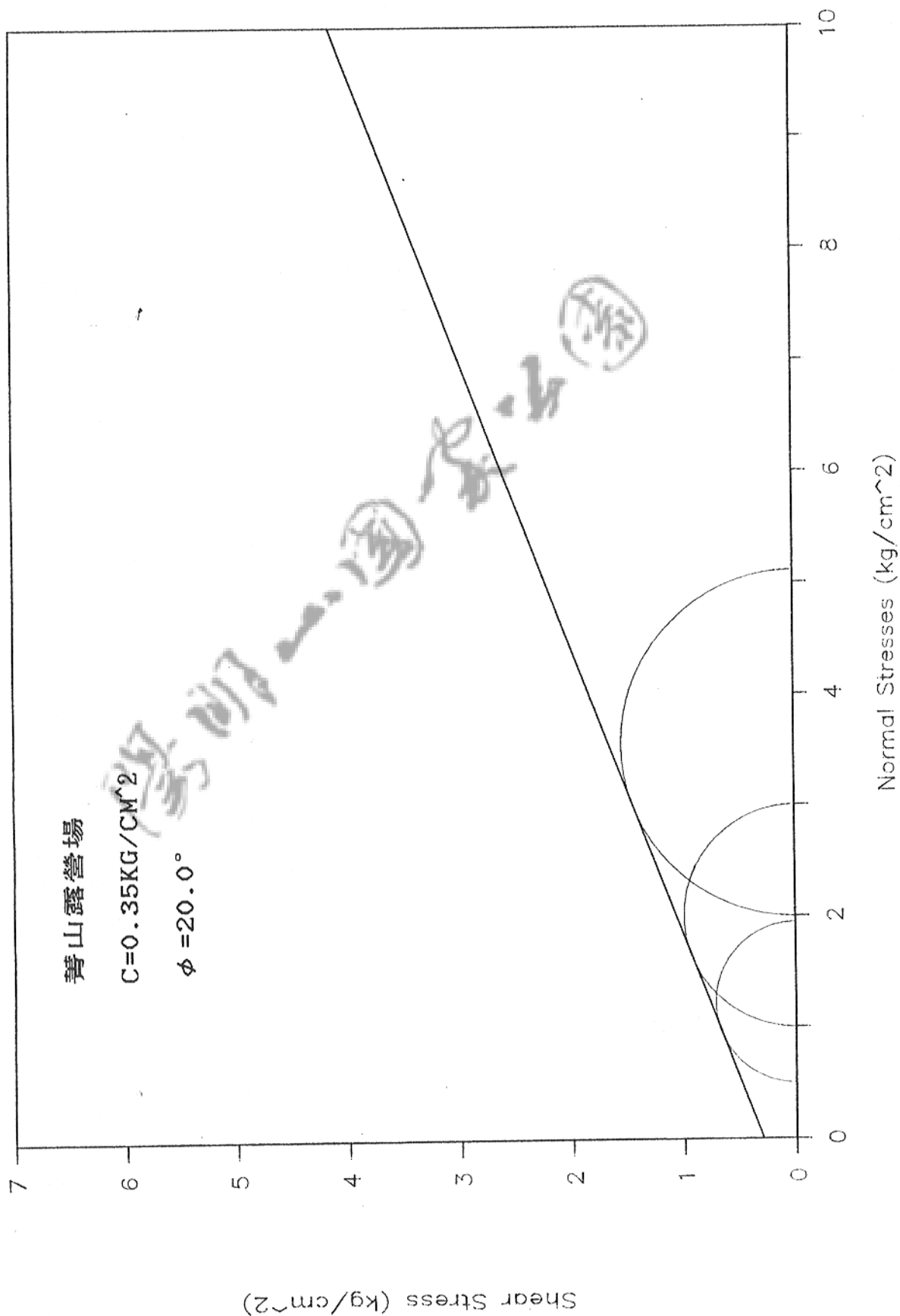
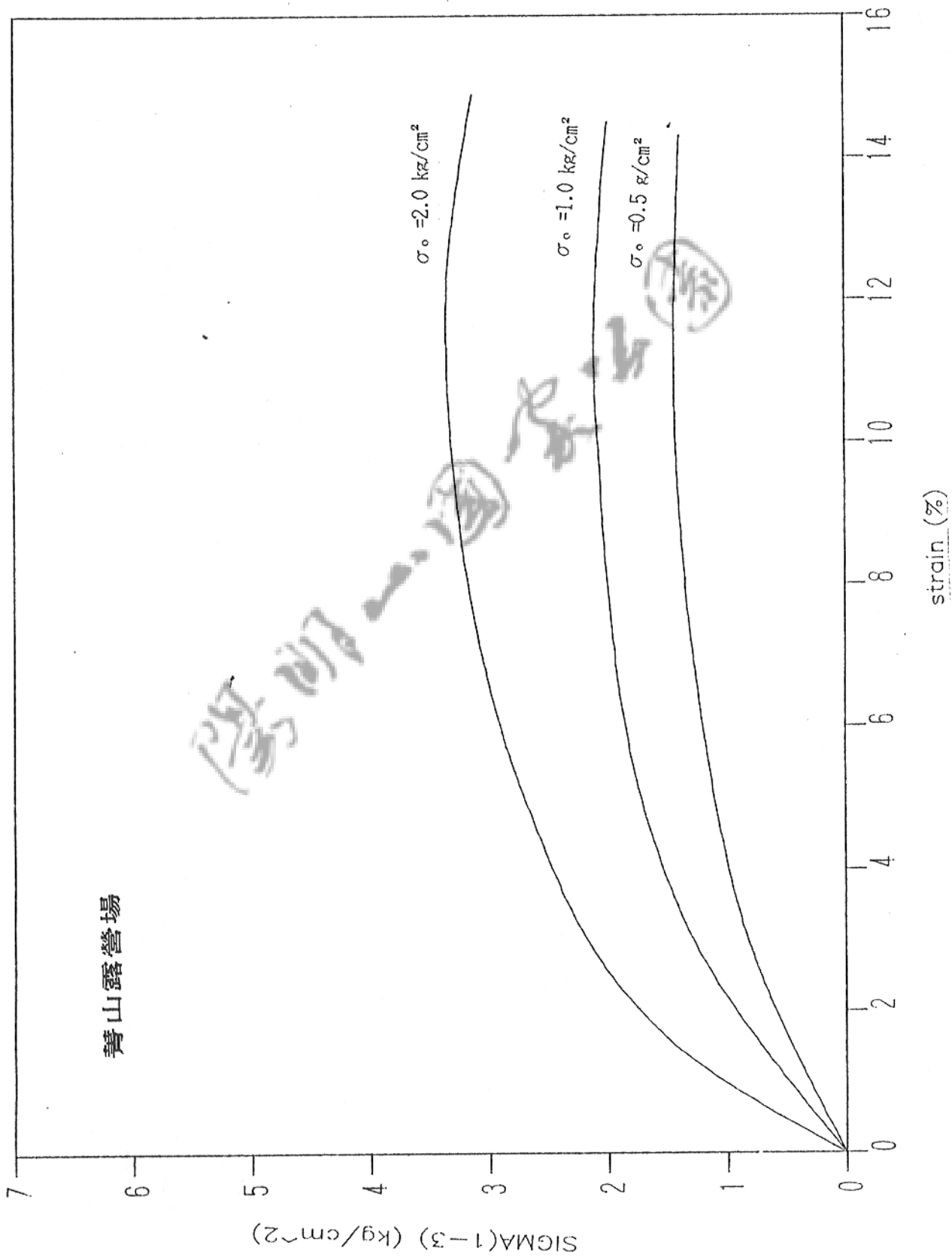


圖 6-22 靜態三軸試驗破壞包絡線 (菁山露營場)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST



菁山露營場

圖 6-23 動態三軸試驗應力~應變關係 (菁山露營場)

DYNAMIC TRIAXIAL TEST

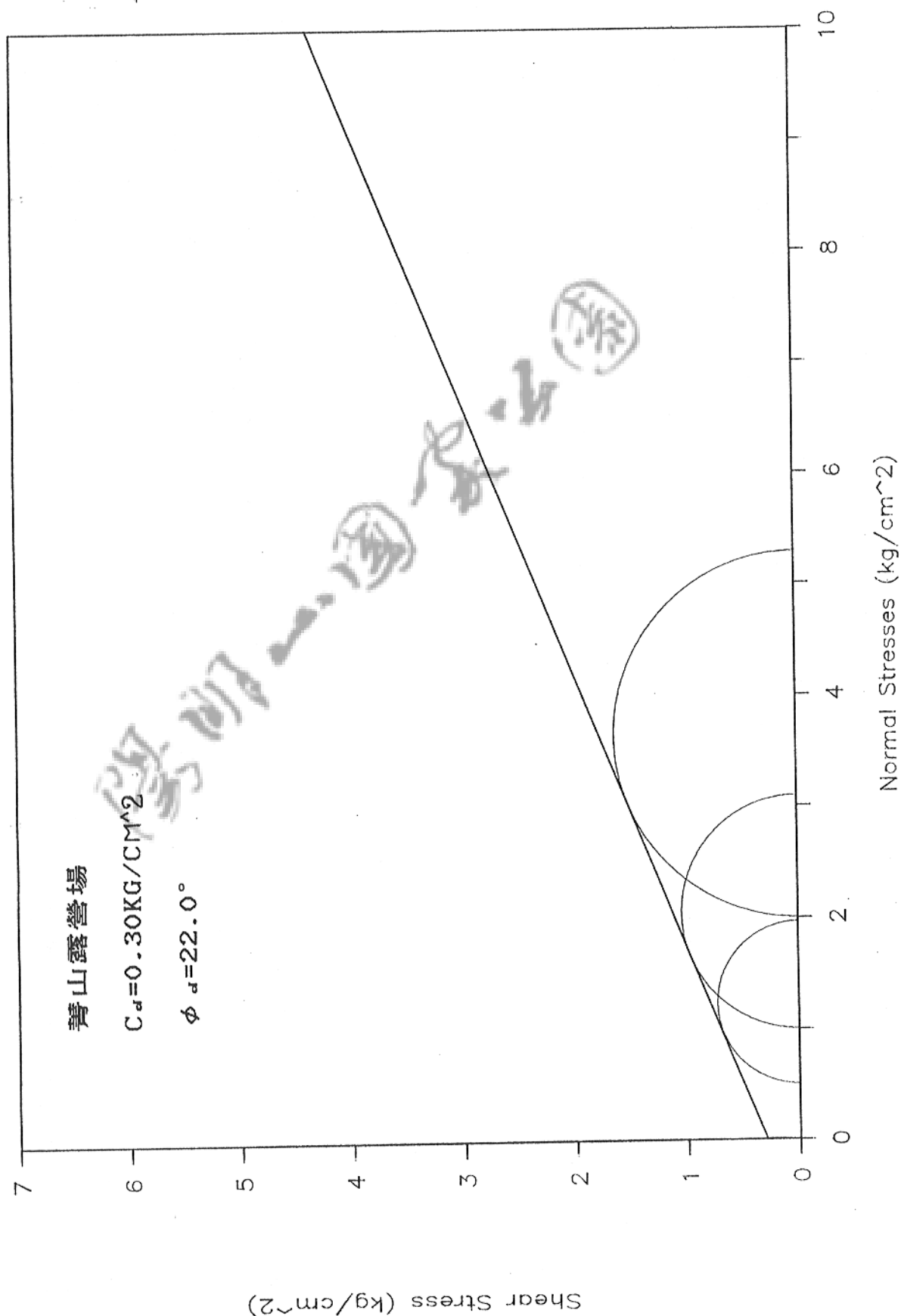


圖 6-24 動態三軸試驗破壞包絡線 (青山露營場)

TRIAXIAL TEST

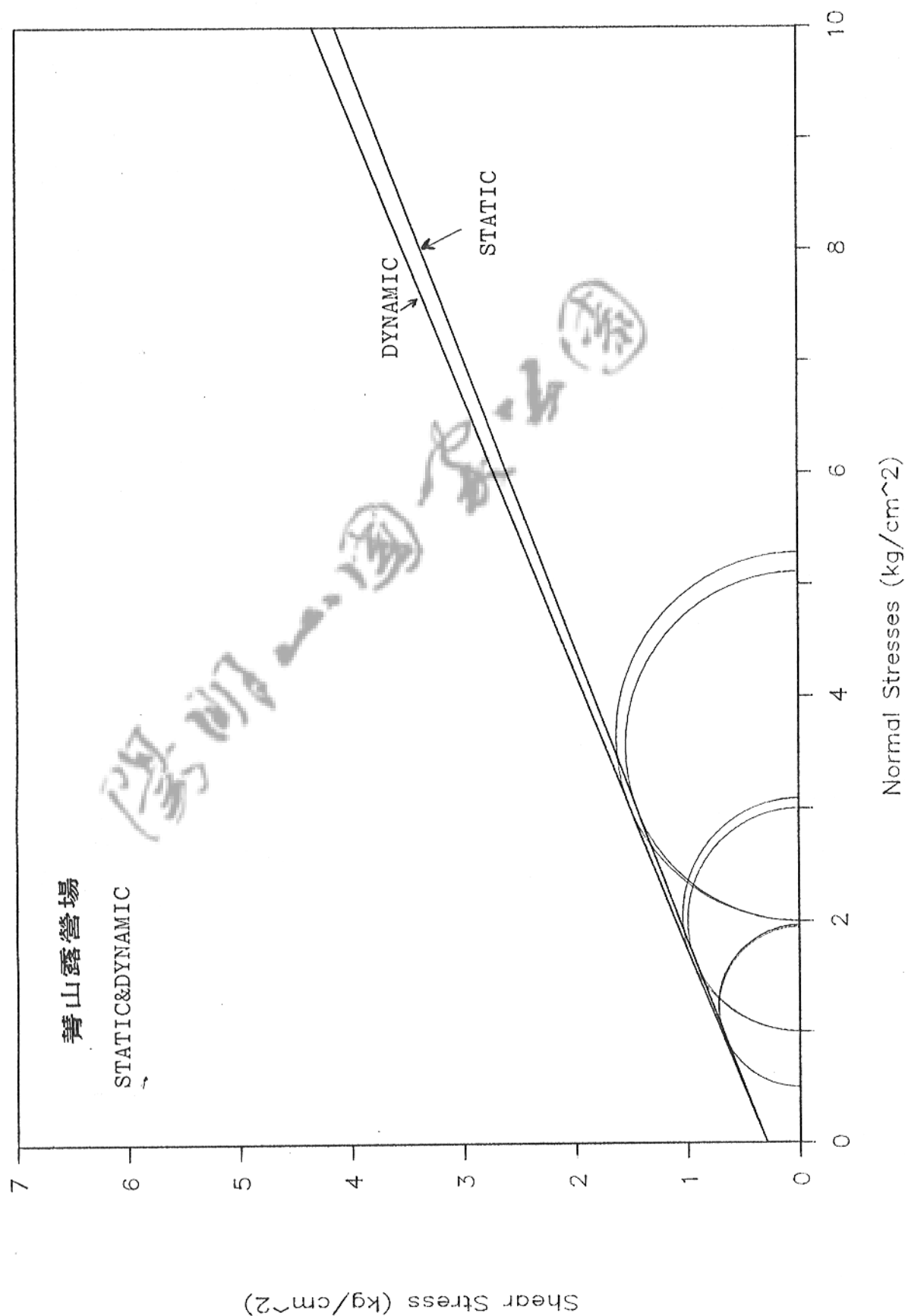


圖 6-25 菁山露營場三車由試驗破壞包絡線比較 (菁山露營場)

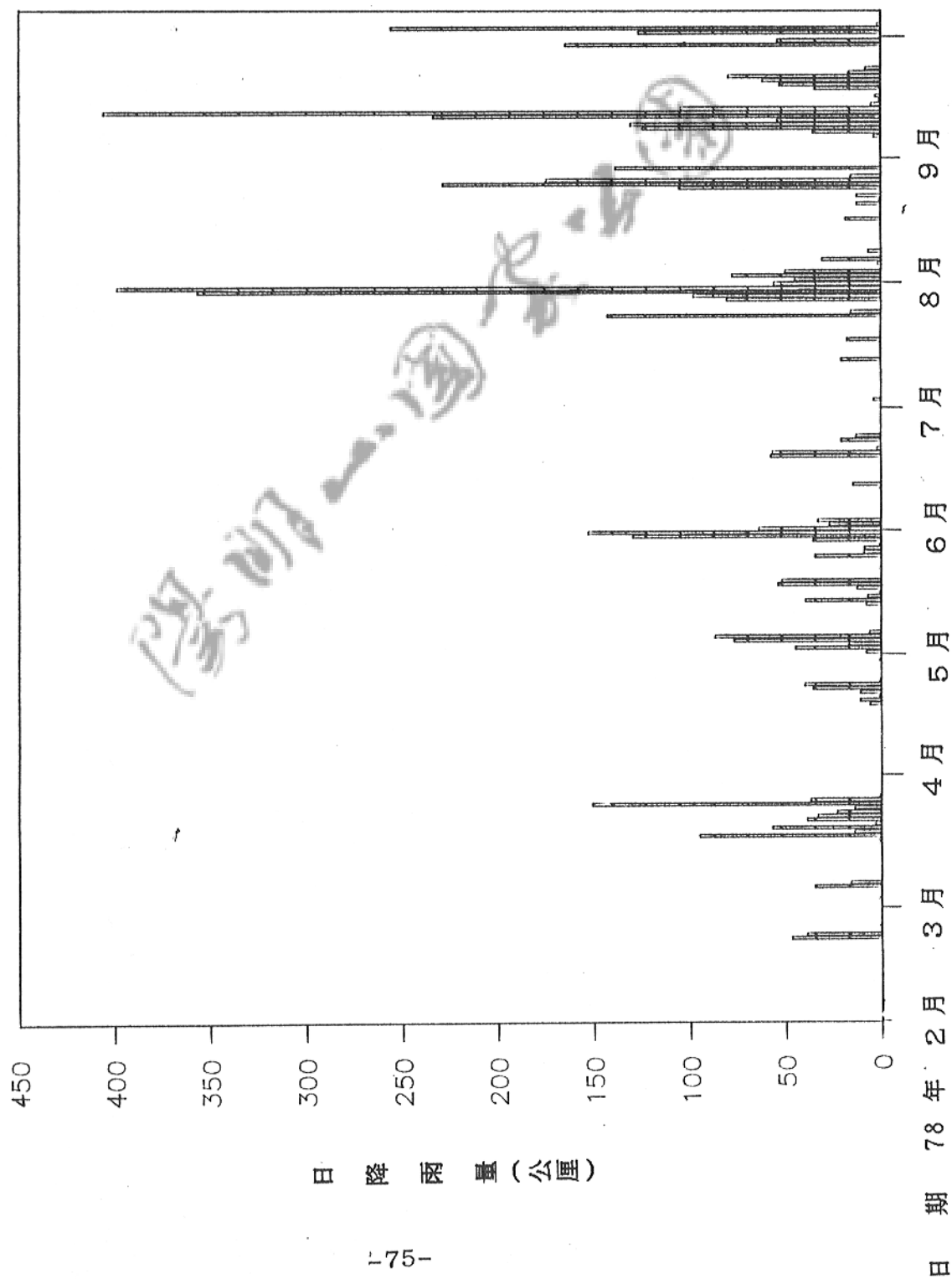


圖 6-26 小曲坑遊憩區日降雨量分佈圖

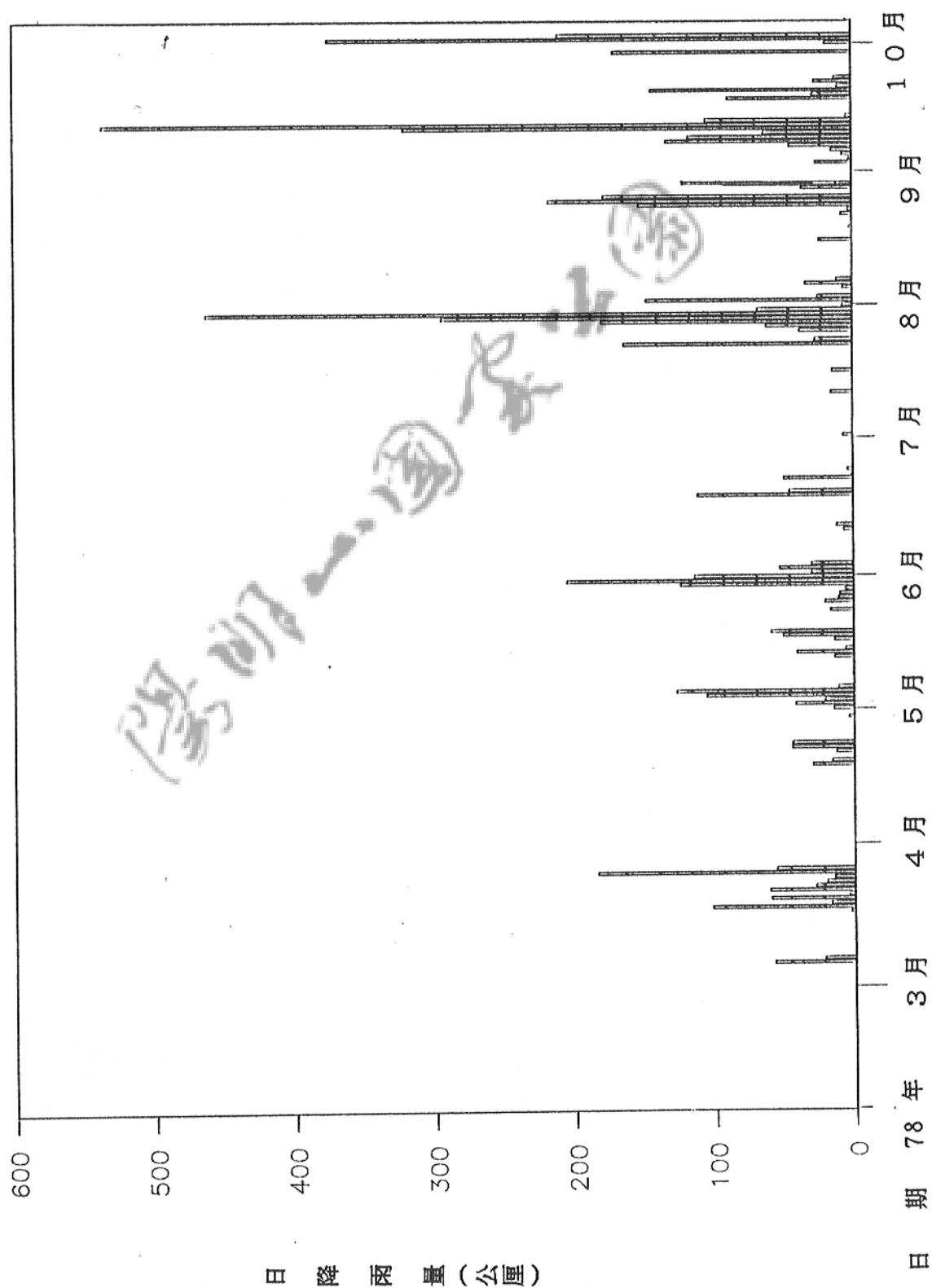


圖 6-27 馬槽七股遊憩區日降雨量分佈圖

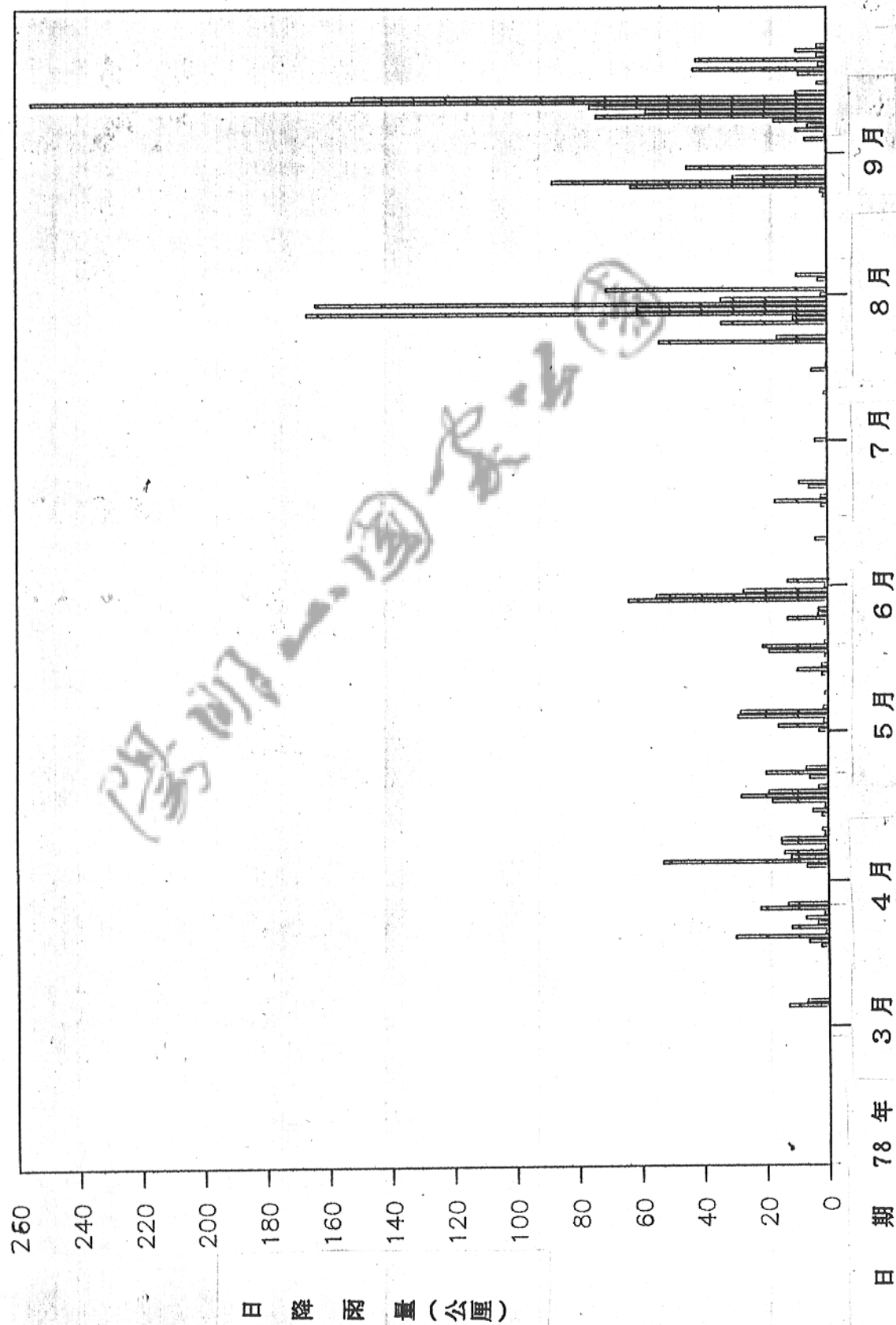


圖 6-28 菁山露營場遊憩區日降雨量分佈圖

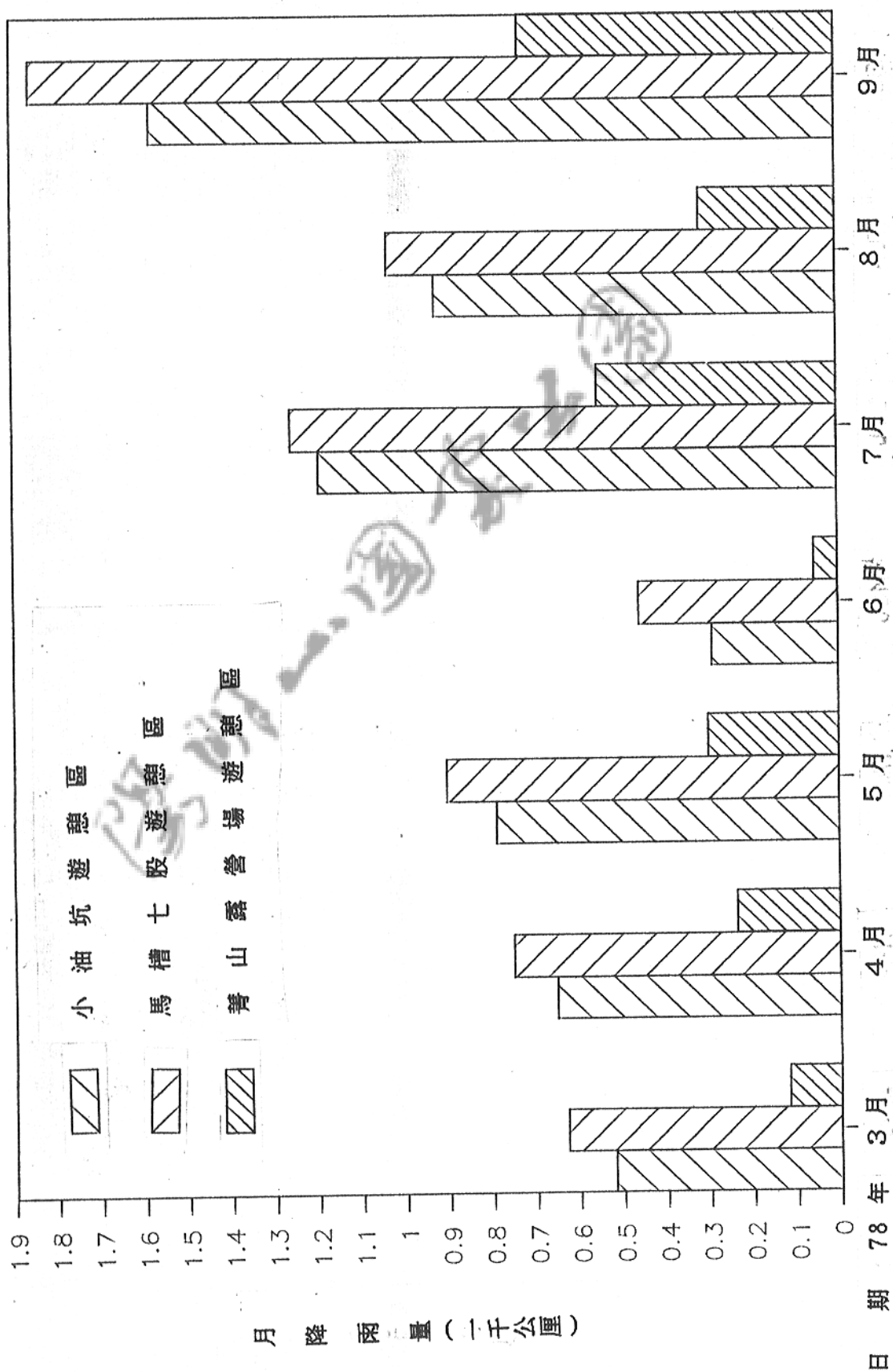


圖 6-29 月降雨量比較圖

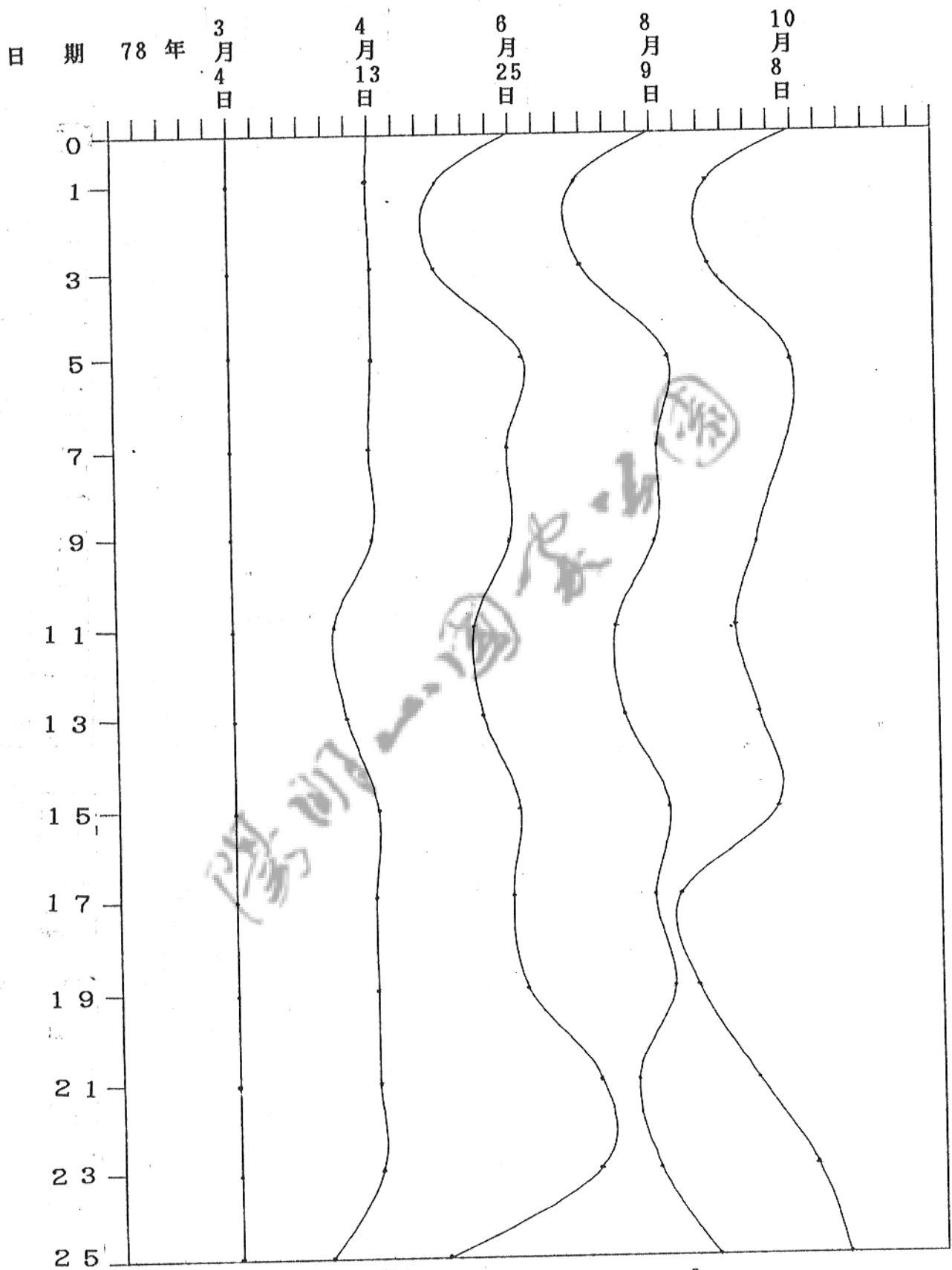


圖 6-30 小油坑遊憩區 NO.1 累積應變值歷時曲線

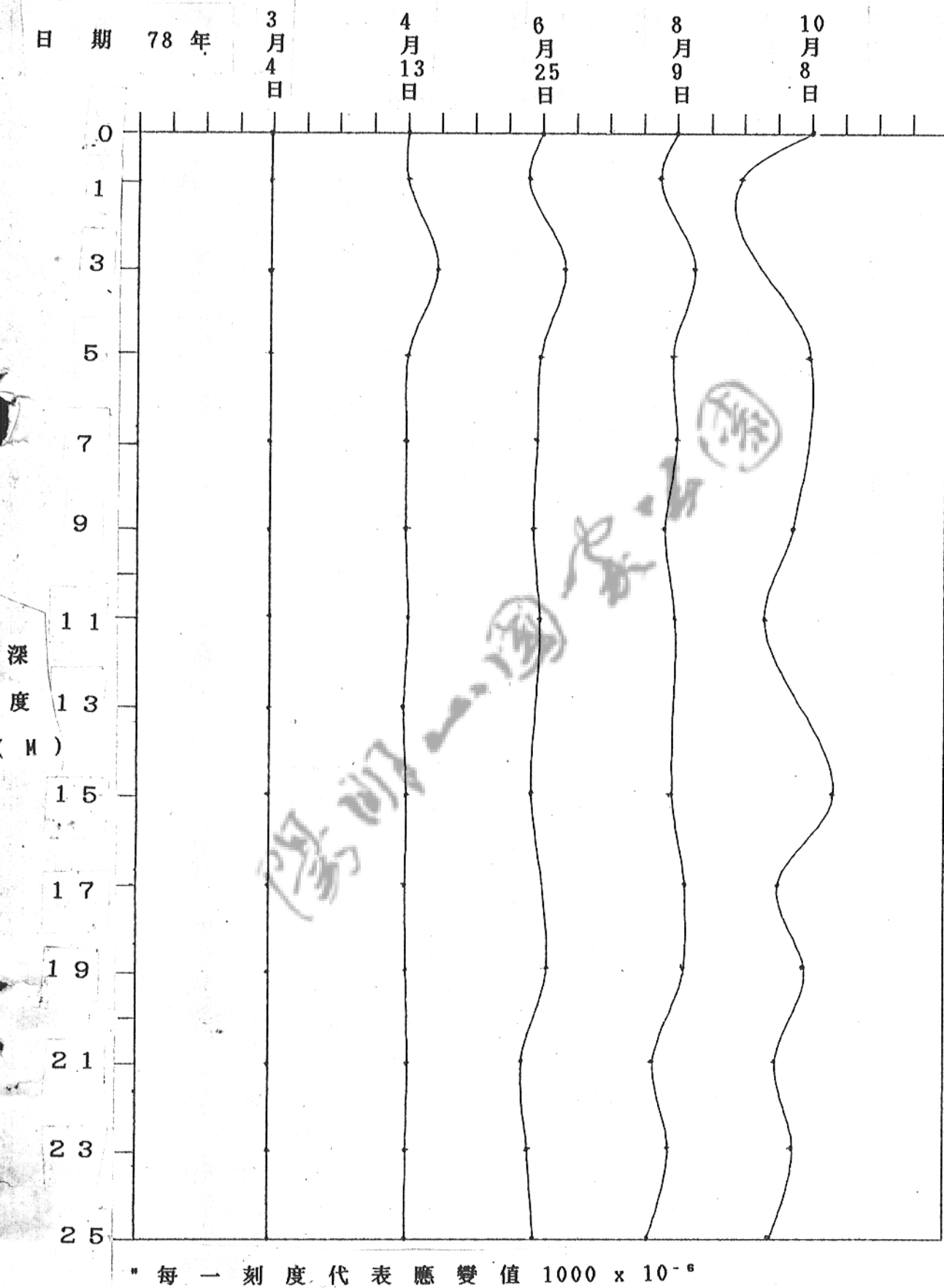


圖 6-32 小油坑遊憩區 NO.3 累積應變值歷時曲線

●---應變計

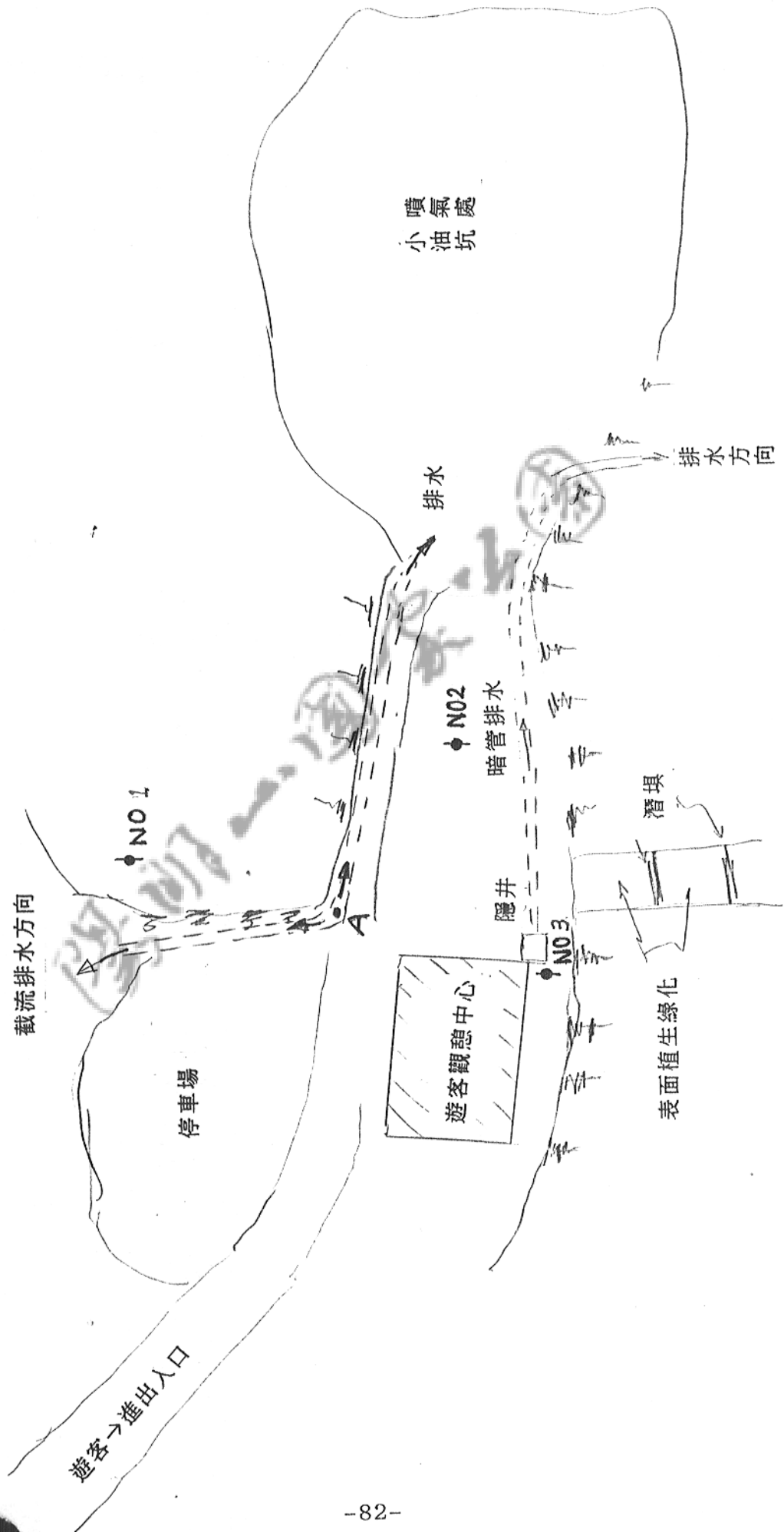


圖 7-1 小油坑邊坡穩定示意圖