

86-9

高雄縣六龜十八羅漢山地區自然景觀 資源之地質地形研究

鍾廣吉

吳銘志

1997

委託單位：台灣省政府農林廳林務局

屏東林區管理處

執行單位：國立成功大學

計畫主持人：鍾廣吉

共同主持人：吳銘志

中華民國八十六年六月

高雄縣六龜十八羅漢山地區自然景觀 資源之地質地形研究

鍾廣吉

吳銘志

1997

委託單位：台灣省政府農林廳林務局

屏東林區管理處

執行單位：國立成功大學

計畫主持人：鍾廣吉

共同主持人：吳銘志

中 華 民 國 八 十 六 年 六 月

高雄縣六龜十八羅漢山地區自然景觀資源之地質地形研究

摘要

高雄縣六龜鄉荖濃溪西側的十八羅漢山地區分布的岩體由六龜礫岩組成，其地質時代相當於更新世中期以後，此地層相當厚，但各層單位並未延伸甚長距離，所含的礫石有砂岩質和泥岩質，礫石的型態有圓球形、扁片形，而且有方向性，相當具有特性。本報告主要針對各自然景觀資源的地質、地形意義作深入之研究與分析探討。

本區的地質以六龜礫岩為主體，其下部有糖恩山砂岩、長枝坑層和樟山層，岩性為礫岩、砂岩、頁岩、砂頁岩互層和變質泥岩之板岩。主要之構造線有土壘灣斷層、六龜斷層、月光山斷層、枋寮斷層和新威向斜、茶頂山向斜、茶頂山背斜、廣林向斜，構造線大致呈東北—西南向。由地形、礫岩岩性推斷六龜礫岩為一面堆積一面發生地殼拗陷的地殼均衡調整，其厚度高達300公尺。

六龜礫岩層之堆積、地形的發育均與暴雨條件的古氣候有密切關係。依礫岩特性推測古地理條件為搬運礫石的溪流來自東南方向，十八羅漢山以西的丘陵區原為低的堆積區，均在六龜礫岩堆積後始上升，此種上升也應為發育十八羅漢山地形位能之來源。礫岩之堆積，大致有三次的沉積循環。

十八羅漢山地層富含地下水資源，區內除地形地質景觀外，亦賦存地質地形學術研討之資源，為台灣南部地區所唯一，宜儘速劃立保護區以保護自然景觀資源。

壹、緒言

高雄縣六龜鄉荖濃溪西側的十八羅漢山地區分佈的岩體由六龜礫岩組成，其地質時代相當於更新世中期以後，這一套地層不但呈層，而且相當厚，但各層單位並未延伸甚長的距離，所含的礫石有砂岩質和泥岩質，礫石的型態有圓球形也有扁片型，而且有方向性，相當具有特性。

這套鉅厚的礫岩堆積之後，歷經沉積岩的造岩作用、地形的侵蝕作用、堆積作用和構造運動作用，將礫石與礫石之間的關係，地形面變形或刻蝕成特殊的現象或景象；造岩作用將礫石與礫石之間原本鬆散的關係形成堅硬不易鬆散的關係；構造運動作用將岩體塑造呈向斜構造，呈傾斜的地層；侵蝕作用將鉅厚的礫岩刻蝕成獨立山頭、半面山、陡崖、峽谷、樹枝狀水系，這些景象均可構成地景的條件，這種地景資源的調查已於民國八十二年十一月至八十三年六月間調查完畢，並撰有完整的報告以供地景保育之參考。
1

地景的賞景工作應不僅是欣賞的行為，在保育任務上地景的賞景應尚具有教育的任務，能透過賞景的行為由地景中學習得到地景所蘊涵的地質地形意義，瞭解每個地景形成的地質地形條件，每個地景所能告訴一個賞景者地景價值。

基於賞景的教育任務有必要對十八羅漢山地區各自然景觀資源的地質地形意義作深入的學術性研究與分析探討，建立各自然景觀資源的地質地形意義資料，始能提供賞景的教育任務，因此進行本研究工作。

貳、報告內容

一、附近之地質

出露在本次研究區及附近的地層比較單調（圖一、二），計有台地堆積層、六龜礫岩層、糖恩山砂岩和長枝坑層，可以表列如下：

地質時代	地層
現代	台地堆積
更新世 VVVVVVVVVVVVVVVVVV	六龜礫岩層 不整合或斷層 VVVVVVVV
中新世	糖恩山砂岩
	長枝坑層 VVVVVVVVV斷層VVVVVVVVV
	樟山層

茲將各地層岩性分別就野外觀察到的資料敘述如下：

(1) 台地堆積：分佈在荖濃溪左岸（西岸）的平坦地形面上，形成六龜地區主要聚落的分佈區，組成材料為與現代河床相同的大小礫石、砂土混合而成，淘選已不良好，大致的狀況為下部較粗，礫石粒徑也較大，到了地表面礫石的粒徑漸小，而砂土漸增加，似乎也表示近代台地堆積過程中早期溪流搬運能力較強而有粗礫石的存在，到了後期台地上的流水後退，能量已大減，僅些砂石可以搬運進來。此種台地堆積層透水性良好，排水容易，又接近荖濃溪，相當適合聚落的發展。

(2) 六龜礫岩層：由各不同粒徑的礫石呈不甚規則的呈層狀態分布，每層段延伸不很遠，礫石中粒徑大者以砂

岩質礫石為主，礫徑小者則以板岩或泥質岩體性質的礫石為主。各大小粒徑的礫石均呈很好的圓磨度，此礫岩層中的礫石膠結得很緊，礫石也顯示出明顯的方向性，交錯層、分級層等現象，表示堆積之時的河床條件並非一致性的地形面，當時的河床一定也有深淺、流速有快慢等條件，本岩層露出部份已達超過二百公尺，下部尚有未露出部份者，岩層被侵蝕發育成陡坡和獨立山頭等明顯的地形面。

(3) 糖恩山砂岩：糖恩山砂岩並未與六龜礫岩層直接接觸，依岩層之層序而言，若不是不整合則必為斷層關係，糖恩山砂岩分佈在本調查區的西南側和西側，在本次的野外工作中由三號遂道南側溪谷進入的一條路係切過六龜礫岩層，在西側可以看到為泥質砂岩，而糖恩山砂岩在本區常呈較泥質之岩體，差異侵蝕的結果常呈較平緩的地形面。

(4) 長枝坑層：與六龜礫岩層間以斷層直接接觸，分佈在中間呈狹長帶，界於六龜礫岩層與糖恩山砂岩之間，另一部份分佈在本研究區的西北側，岩性以頁岩為主，並呈砂岩與頁岩的互層。

(5) 樟山層：在本調查區僅分布在六龜大橋附近，呈硬頁岩質，但岩體相當破碎，以土壟灣斷層與台地堆積接觸。

分布在本區的構造線計有新威向斜、茶頂山向斜、茶頂山背斜、廣林向斜、新發斷層、土壠灣斷層、六龜斷層、月光山斷層和枋寮斷層，這些構造線大致呈東北—西南走向相互平行的排列，茲分別描述如下：

- (1) 新威向斜：由六龜礫岩層所形成，軸向呈北北東--南南西，切過六龜礫岩層大部份地區，令地形上呈部份為向西的平面山，部份為向東的平面山，軸部呈平緩的地形面。
- (2) 茶頂山向斜、茶頂山背斜，二構造係相差約1公里，大致呈東北--西南走向，軸部均在糖恩山砂岩內。
- (3) 廣林向斜：軸向呈東北--西南走向，分佈在本研究區的西北側，軸部露出的地層為糖恩山砂岩。
- (4) 新發斷層、土壟灣斷層均僅分佈在本研究區東北角，往南延伸為與荖濃溪平行，新發斷層為樟山層內的一小斷裂，為高角度的逆斷層，土壟灣斷層為屈尺斷層的區域性名字，為高角度逆斷層，東側上升，為樟山層，西側為長枝坑層和六龜礫岩層。
- (5) 六龜斷層：呈北北東--南南西走向並向西南延伸切過整個研究區，令六龜礫岩層與長枝坑層直接接觸。
- (6) 月光山斷層：分佈在西北角，為東北--西南走向為高角度的正斷層。
- (7) 杉寮斷層：分佈在西北側為一小斷裂，呈南北向，為一高角度的斷層。

本區的地形可以分為地勢、坡度、起伏度、溪谷系統和特殊地形地貌來說明。

地勢方面：本研究區應屬丘陵區，地勢均在500公尺以下，海拔200公尺以下的地形面佔大多數，山頭以200-300公尺的高度較多，高度分布上未具有規律性，大致全區高度一致。

坡度：由於本研究區的山頭林立，短距離即出現山頭，相對地斜坡的坡度即顯得很陡峭，而且礫岩層質岩體

之斜坡比其他岩體陡，常見的斜坡均超過40度，達80-90度陡直的斜坡很多，此種現象也是此種岩性的特徵之一。

起伏度：起伏度的表現受山頭斜坡的影響很大，在200-300公尺之間的山頭下的陡坡也形成近100公尺的起伏度，因此地形面上會發現聳立的山頭，另外溪谷間的小型河階台地的比高大致在3公尺以內，並不算高，因此可以說除了山頭下的起伏度在100公尺左右以外，起伏度就不大了，也有不少的緩坡面，起伏在1公尺以內者。

溪谷系統：本調查區內的溪谷系統大致呈樹枝狀河床，與月世界泥岩區者相似，仍因整體而言為均勻的礫岩層區的結果，彎曲的溪谷與分支的條件令形成似迷宮型，在其中很容易迷路。

在六龜礫岩層區內可以看得很明顯的特殊地形地貌計有積載谷、山頭、遷急點、谷頭、曲流、峽谷和乾旱溪谷，茲分別描述如下：

(1) 積載谷：為溪谷兩岸陡直所形成，有的為略寬點的U字型積載谷，有的則為很窄狹的U字型積載谷，此類型的溪谷表示曾經有很激烈的下切侵蝕作用之後再被堆積於谷底的峽谷。。

(2) 峽谷地形：令積載谷延伸一段不算短的距離即形成峽谷，在本區能形成峽谷的部份為與走向大致略呈直交的溪谷，溪谷狹長，能形成此種地形需岩性配合激烈的下切侵蝕作用。

(3) 山頭：六龜礫岩層的分佈區內一座一座獨立的山頭甚多，可謂山頭林立，這些山頭的分佈大致成兩群散布在新威向斜的向斜軸之兩側，在東側者標高有353公尺、374公尺、337公尺、351公尺、383公尺、357公

尺、307公尺等，西側者有554公尺、365公尺、307公尺、535公尺、354公尺等，到南端由332公尺、255公尺、214公尺山頭圍合圍起來。這些山頭間的山谷或溪谷即組合成樹枝狀水系，因此可以認為完全是構造和侵蝕的結果。

(4) 遷急點：大都發生在溪谷的較上游區，遇到膠結比較良好的堅硬礫岩層，溪谷的縱剖面在此種岩性突然產生落差1-2 公尺的河道，在此位置尚可看到流水呈湍流，在礫岩層區內亦為很重要的地質現象。

(5) 谷頭：在六龜礫岩層區內若往溪谷上游追蹤，常會遇到支流僅到二、三十公尺遠即沒有了，僅淺V型谷的崩塌面，即為谷頭，為向源侵蝕的痕跡，表示目前溪谷仍有向源侵蝕的作用存在。

6 (6) 曲流：在六龜礫岩層區內亦可看到許多曲流，本地區岩內的溪谷為樹枝狀河系，溪流除了有許多分枝外，各支流也呈彎曲的現象，即為曲流，有些曲流外彎區的侵蝕相當明顯，令內彎的堆積也明顯，而形成較寬的溪谷，因此也可能表示溪谷的側向侵蝕作用正在進行。

(7) 乾旱溪谷：大部份的礫岩層區透水性應該很好，所以平常時間裡溪谷均呈乾旱狀況，可叫乾旱溪谷，也表示地下水位低於地面，此種乾旱溪谷可以認為曾經有不少的流水在進行侵蝕作用呈溪谷的條件，目前的水位已下降了。

二、六龜礫岩區的地形及地形作用

六龜礫岩區形成甚為特殊的地形，均由礫岩特性與地形作用所形成，圖三至圖六為由東北、東南、西北、西南向看的立體地形圖，可以看到一座一座的山頭組成似不平緩的高低起伏地形面。

1. 調查研究方法

六龜礫岩區內較具特性的地形為（1）陡崖與山頭（2）峽谷與積載谷（3）曲流與河階台地（4）樹枝狀水系，針對此四類具有特性的地形做如下的調查工作：

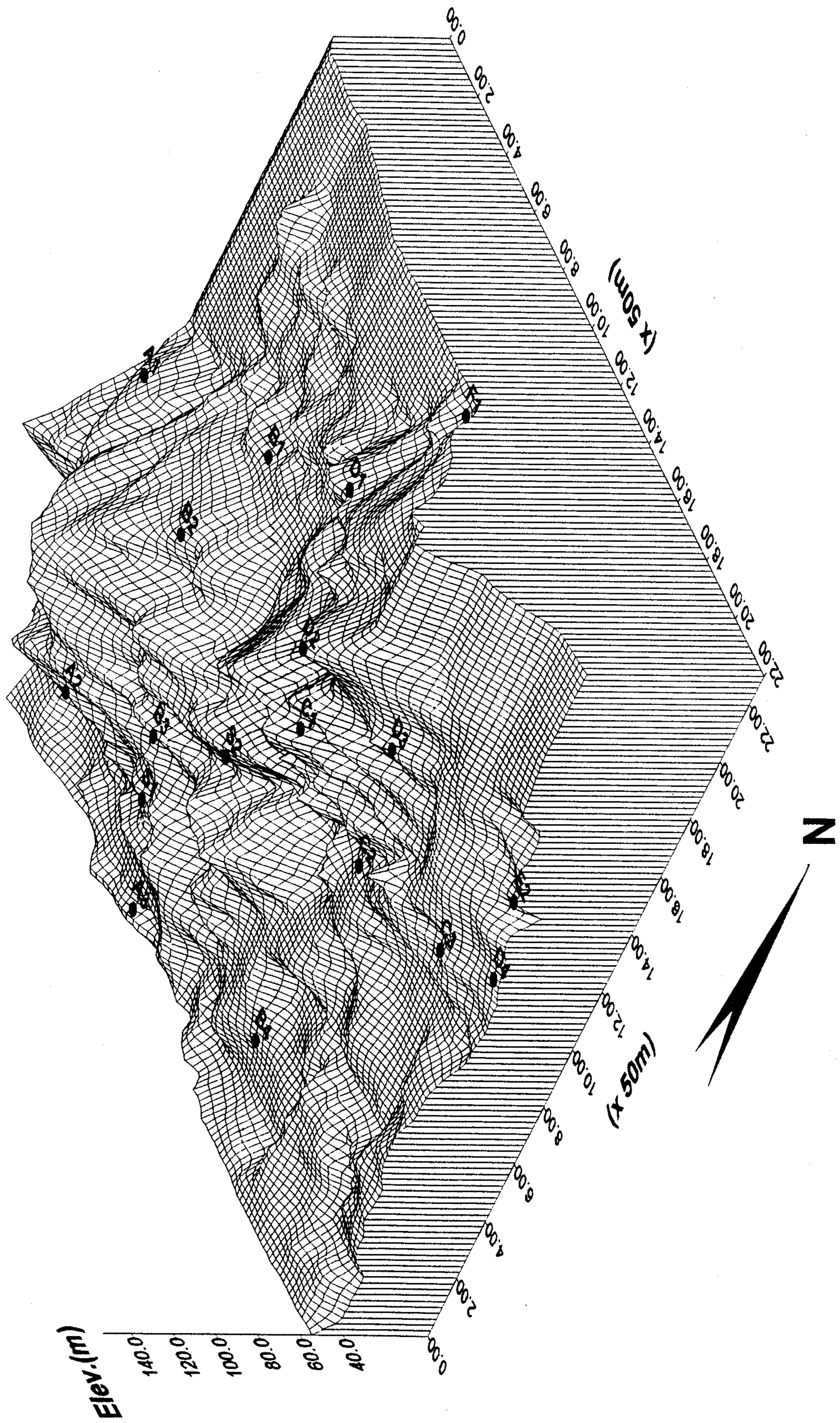
- （1）調查陡崖與山頭的關係
- （2）調查陡崖礫岩的特性、透水條件
- （3）溪谷的分支方向之調查
- （4）溪谷深度、基底及谷型之調查
- （5）溪谷型式、彎曲與階地

2. 調查結果與討論

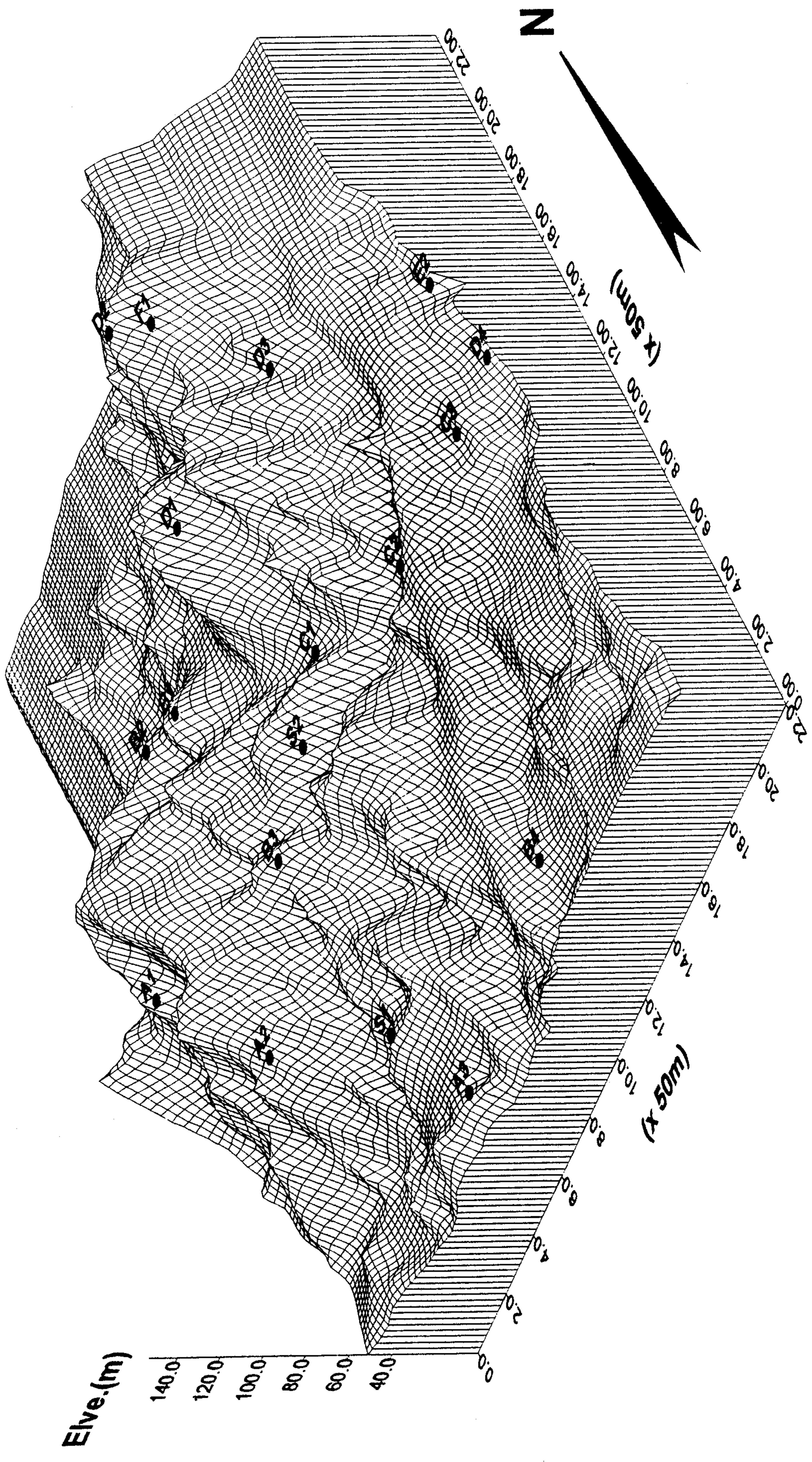
野外調查的結果可以下表予以表示：

調查項目	調查結果
（1）陡崖與山頭關係	新威向斜軸東側之山頭，西為傾斜坡，東、南、北三方向為近乎垂直之陡崖圍成
（2）山頭造型	由南方新威國小方向觀察呈平面山，北方觀察呈各式之龜形，荖濃溪對岸觀察呈相連排列之山頭
（3）陡崖礫岩特性：透水性	透水性良好，溪谷以上乾燥，乾季時溪谷呈乾谷，岩

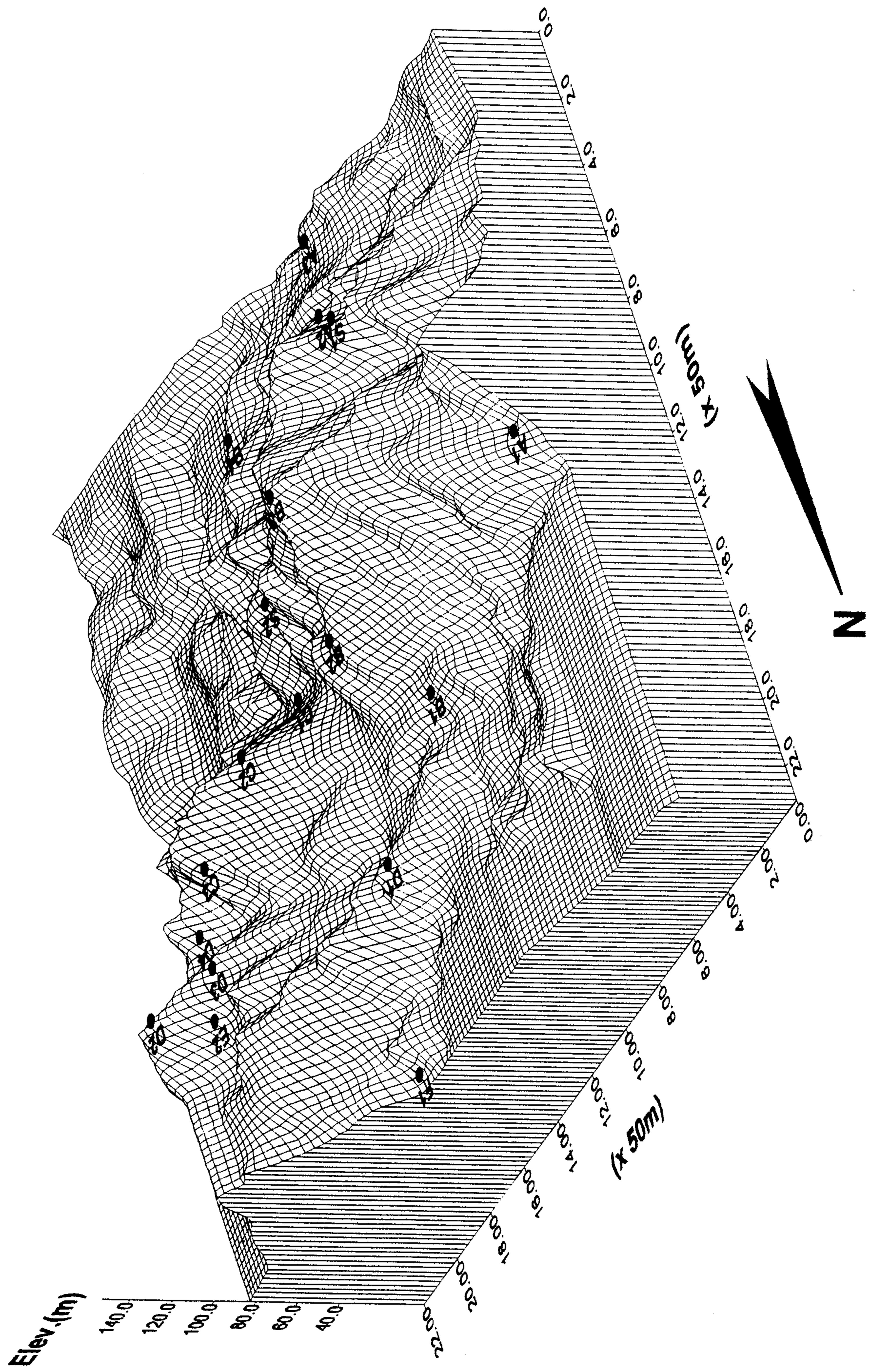
圖三、由東北方向看的六重十八羅漢山區之立體地形圖示



圖四、由東南方向看的六重十八羅漢山區之立體地形圖示

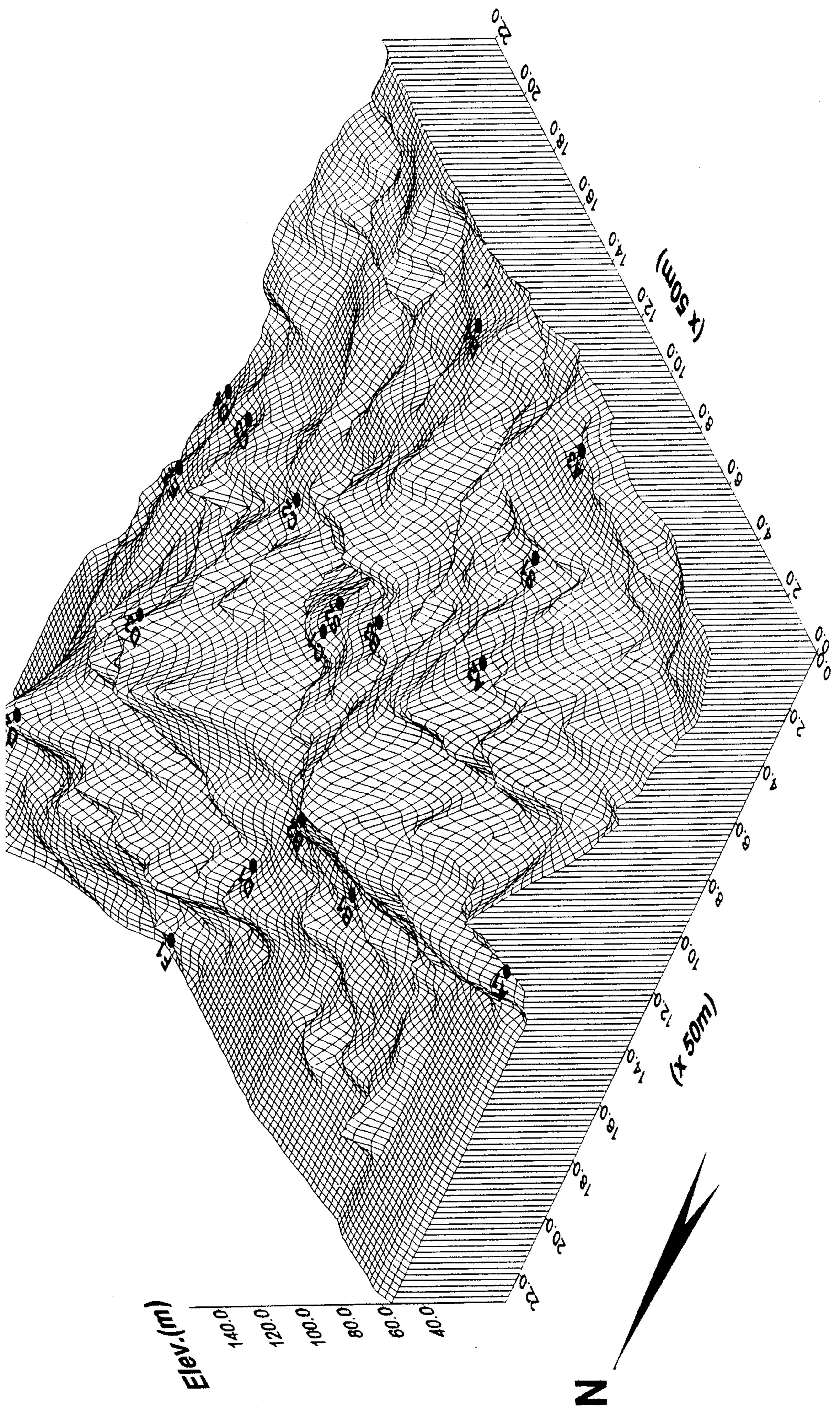


圖五、由西北方向看的六重十八羅漢山區之立體地形圖示



圖六、由西南方向看的六龜十八羅漢山區之立體地形圖示

11



(4) 溪谷分枝方向	溪谷有二主要方向垂直岩層走向均為東西，平行岩層走向約為南北，分支多，約100公尺左右即有分支
(5) 溪谷深度	南北向溪谷比東西向溪谷寬，因此覺得南北向溪谷深，深可達30~100公尺
(6) 溪谷基底與谷型	除部份位置溪谷為礫岩質基岩體，大部份為二次堆積的礫石充填，深且狹窄呈峽谷者，谷底堆積呈U字型，為積載谷
(7) 溪谷型式	溪谷兩岸陡直，幾乎可呈狹的U字型谷，谷底呈不甚明顯之V字型，谷並不長，短距離即彎曲成分支
(8) 河階台地	河階台地不易辨認，因河階台地上的堆積為礫石層，與六龜礫岩不易分別，且均為小規模

由這些地形資料與敘述，可以提供探討下列的討論事項：

(1) 陡崖的坡度相當陡直，此種條件若在其他的岩體一定會產生崩坍，但在礫岩內尚能維持，必定有其原因：一般發生崩坍的現象，一方面為岩體破碎、膠結不良、斜坡之坡度太陡，而發生的時機經常是在下雨的時候，即有雨水滲入岩體的時候，因改變岩體內水的含量，增加孔隙水壓，則降低抗剪力，而且影響內含之黏土礦物 (Zaruba and Mencl, 1976)，無可否認的另一可能原因为裸岩若斜坡達某一高度，由岩體重量所引發的側壓力應該也不可忽略。

十八羅漢山區的礫岩內礫石與礫石之間為充填條件，而非點接觸，雖與其他地區的岩體相同承受地殼運動

的應力，但並沒有顯示破裂、破碎的現象，可能為不易崩的第一個原因。

在十八羅漢山區內，於乾旱時大部份的溪谷均呈乾燥條件，但若在剛接近乾季時，有的位置尚有積水，有的位置則已乾燥，此時乾燥位置往下挖掘某一深度即可發現有地下水。在此同時將挖掘的坑穴略予以擴大，令呈可蓄水的小坑，若將坑內之積水弄走，則坑內很快又滲出水積聚達原先的量。

這二種現象均顯示礫岩透水性良好，再觀察陡崖之崖面，則顯示相當乾燥，連由崖面滲水的痕跡也不易出現，這些條件表示溪谷以上的礫岩，無論是乾季或雨季，均不易涵有水分，除非在上面有茂密的植物部份；岩體內不易涵水，降低抗剪力的狀況即不發生，自然可減少崩塌。

陡崖面的側壓力似乎存在，陡崖有時也有崩落現象，但崩的方式均順著與崖面近乎平行的裂塊崩落，有時也可發現約與崖面平行的裂塊尚懸於崖面上，不知何時會崩落，此似乎為側壓力的結果。

陡崖面近乎陡直而且可高達30~100公尺，似乎表示曾經經歷過快速的下切侵蝕或者持續的下切侵蝕，快速下切侵蝕或持續下切侵蝕均需與地殼運動有關，需有地殼上升的運動產生位能，也需要有豐沛的流水進行侵蝕，因此陡崖的存在即表示一面堆積一面下沈的河床條件在堆積達一定厚度之後即不再向下拗陷作用，因此礫石的河床堆積即停止，但之後曾有地殼抬升的隆起現象，而產生位能，並維持有暴雨的氣候條件以

產生大量的流水，而有能力將礫岩層侵蝕呈高的陡崖。

(2) 高聳的陡崖也反應成深的溪谷，因快速的下切侵蝕或持續的下切侵蝕的結果，不但呈陡崖，在相距甚近的陡崖則形成深的溪谷，溪谷若略寬，則不易感覺其深，若窄狹，則不很深也會感覺似很深的樣子，由野外調查的結果顯示溪谷為南北向者較寬，為東西向者較窄狹，因此在溪谷內總覺得東西向的溪谷均較深，事實上均為深的溪谷；而南北向的溪谷為與岩層之走向平行，呈縱谷，東西向則與走向垂直，為「橫谷」，所以橫谷窄狹，縱谷寬；在十八羅漢山的六龜礫岩內應可以視為均勻岩性，岩體受應力作用未發育成明顯可辨認的破裂或節理，在地形發育上縱谷、橫谷應不明顯、不易發育的，若縱谷、橫谷順節理則易成格子狀水系，但此區為樹枝狀水系，支流多，仍因陡崖與陡崖間即為溪谷，即為溪流，不是主流，就是支流，不是東西向，就是南北向，各溪谷短促即相遇，因此支流甚多。此現象應歸因於激烈且持續的下切侵蝕作用。

(3) 積載谷所顯示的地質意義甚值得注意，部份較狭窄的溪谷內以開始有第二次堆積，甚為明顯，二次堆積的結果令溪谷呈U字型，但不應稱為U型谷，應可叫積載谷，此種甚明顯的二次堆積現象的溪谷表示該區已沒有位能，地形上已不進行侵蝕作用，溪谷的攜帶物到該區已無動能可以搬運而進行堆積，而且堆積的材料以比礫石細小的小礫石或粗砂為主，溪谷連此種較細的材料也無法搬運走，溪流已無多餘的能量，因此開

始有堆積的現象，也表示近期內此區無地殼運動來引起地殼上抬作用，前一次上抬作用的位能已被侵蝕作用達平衡狀態，也許此條件正可指示近期十八羅漢山東側的土壘灣斷層（或潮州斷層）未再活動以影響附近的地形作用，此斷層為觸口斷層的一部份，間接也暗示觸口斷層並非全部都有活動的跡象。

3. 結論

由以上的調查結果和分析討論，本項目可以做以下的結論：

- (1) 六龜礫岩於一面堆積一面下拗下沈作用堆積這套礫岩之厚層經歷地殼上升作用，令此套礫岩受下切侵蝕成陡崖、山頭、深谷、樹枝狀水系。
- (2) 六龜礫岩堆積之後仍然維持與堆積時相似的古氣候，而有豐沛的流水以進行下切侵蝕的地形作用。
- (3) 六龜礫岩良好的透水性為形成陡崖的主要原因。
- (4) 十八羅漢山東側的土壘灣斷層（或潮州斷層）近期中並未有活動，因此無法再產生位能以供持續的侵蝕作用，而同時已開始進行堆積作用。

三、六龜礫岩中礫石粒徑變化、排列方向性的變化及其古沈積環境條件

礫岩中礫石特性的分析最難於進行者為採樣，在非常不均勻的岩體中要選取一個具有代表性的標本非常不容易，本次的調查研究工作僅及於粒徑的變化、礫石的排列方向性的變化，以供解釋古沈積環境的參考。

1. 研究方法

(1) 粒徑變化的研究以最大粒徑垂直變化為主，野外資料的觀測收集以梳子狀採樣法進行（圖七），其流程如下：

- a. 建立準線：沿著溪谷或選好的測現作為基準線，於固定距離的露頭設立採樣點。
- b. 測量最大粒徑：在各個露頭採集點順著地層層面的方向，在設定的固定長度的觀測線內選擇5個最大的礫石，分別量測其表面上最長兩軸的長度。
- c. 記錄基準線的方向與長度：作為畫路線圖及計算地層厚度時使用。
- d. 記錄地層的走向與傾斜：礫岩地層的層面常不明顯，或是有傾斜的層理，需仔細處理。
- e. 反覆a到d的步驟，直到所需的資料足夠。

將以上所量測的資料含測線的方向、長度及地層的走向、傾斜與5個最大粒徑礫石的粒徑之平均值整理成路線資料表，再根據路線資料表繪成路線圖（圖九~十一）。

圖 7

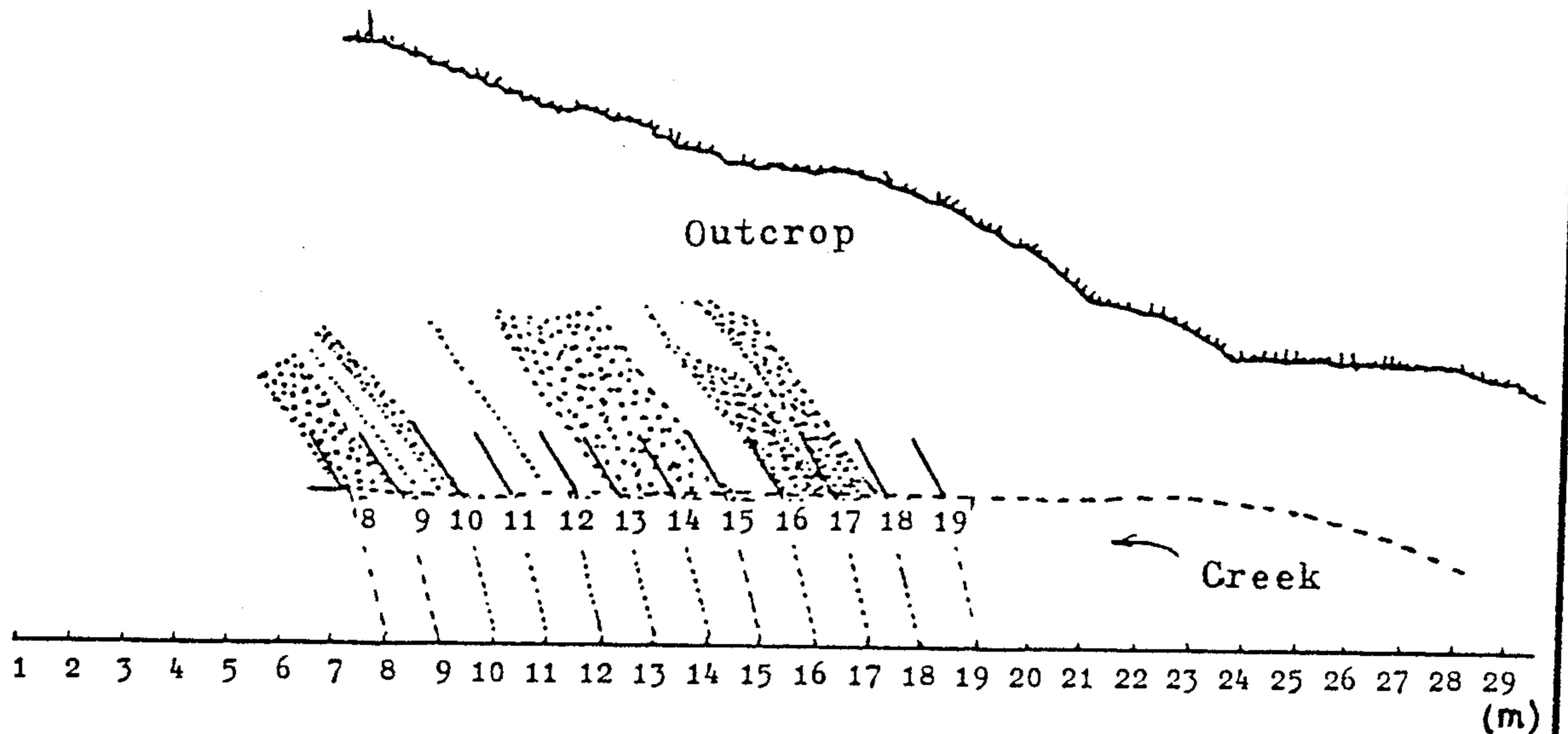
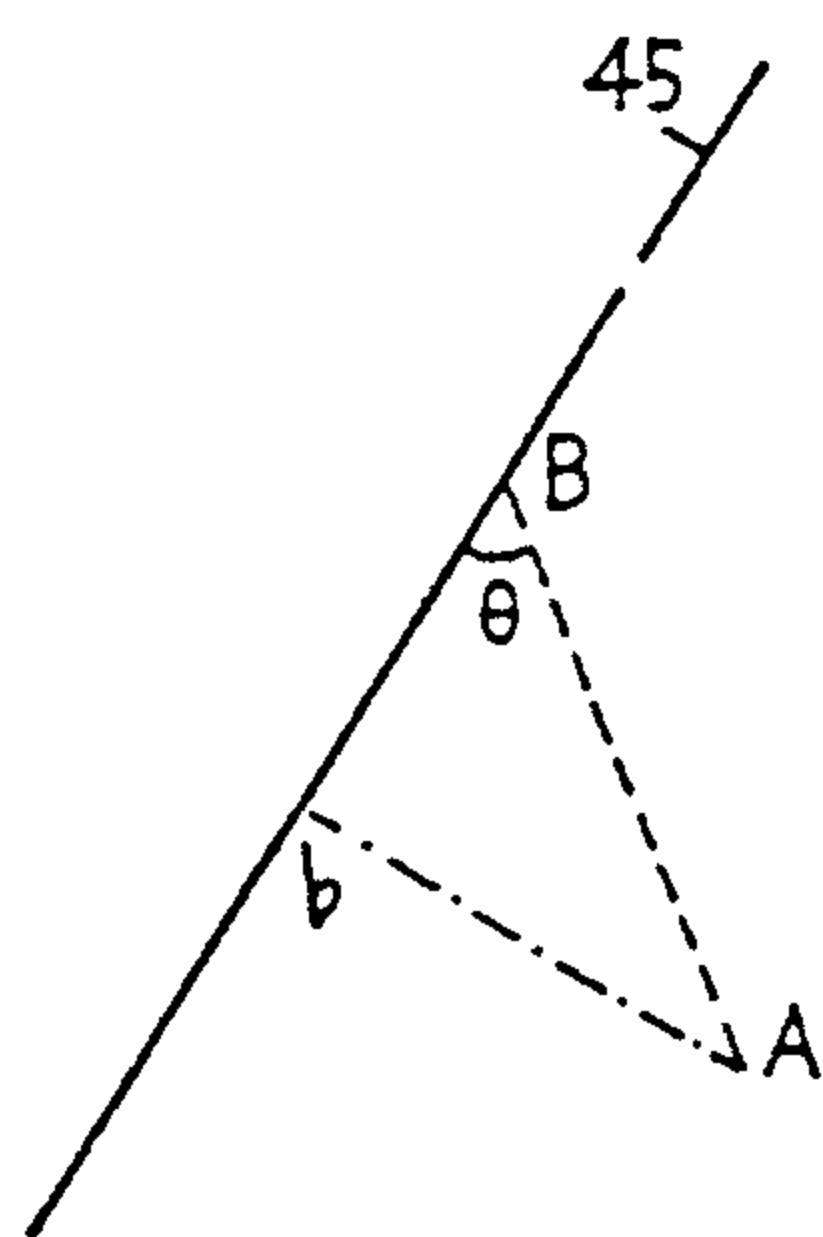


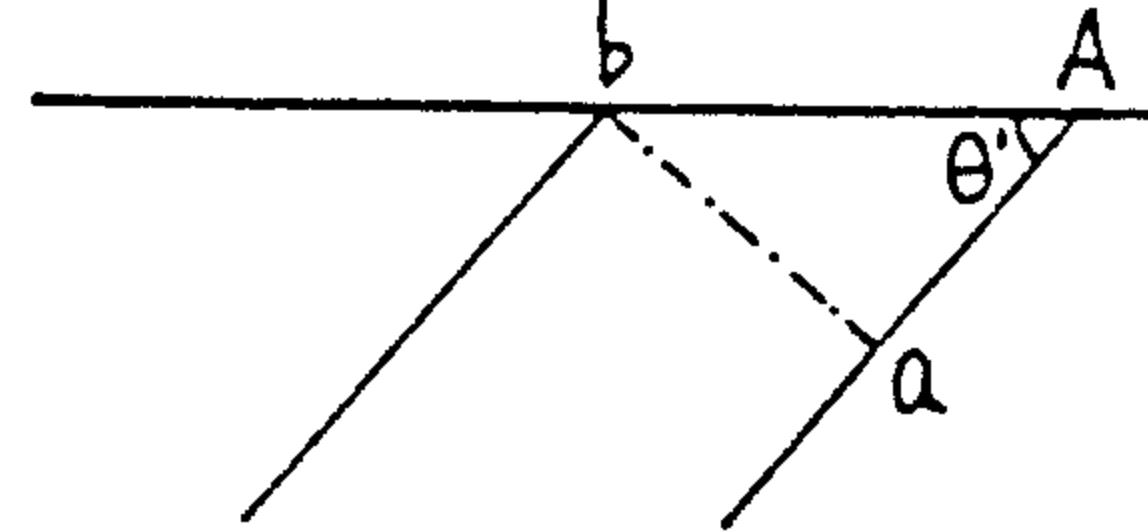
圖 8

(a) 俯視圖



$$Ab = AB \sin \theta$$

(b) 剖面圖



$$\begin{aligned} ab &= Ab \sin \theta' \\ &= AB \sin \theta \cdot \sin \theta' \end{aligned}$$

圖七、最大粒徑之採樣法（梳狀採樣法）

圖八、最大粒徑量測採樣中由測線的方向與角度計算地層厚度

AB：路線長度

ab：地層厚度

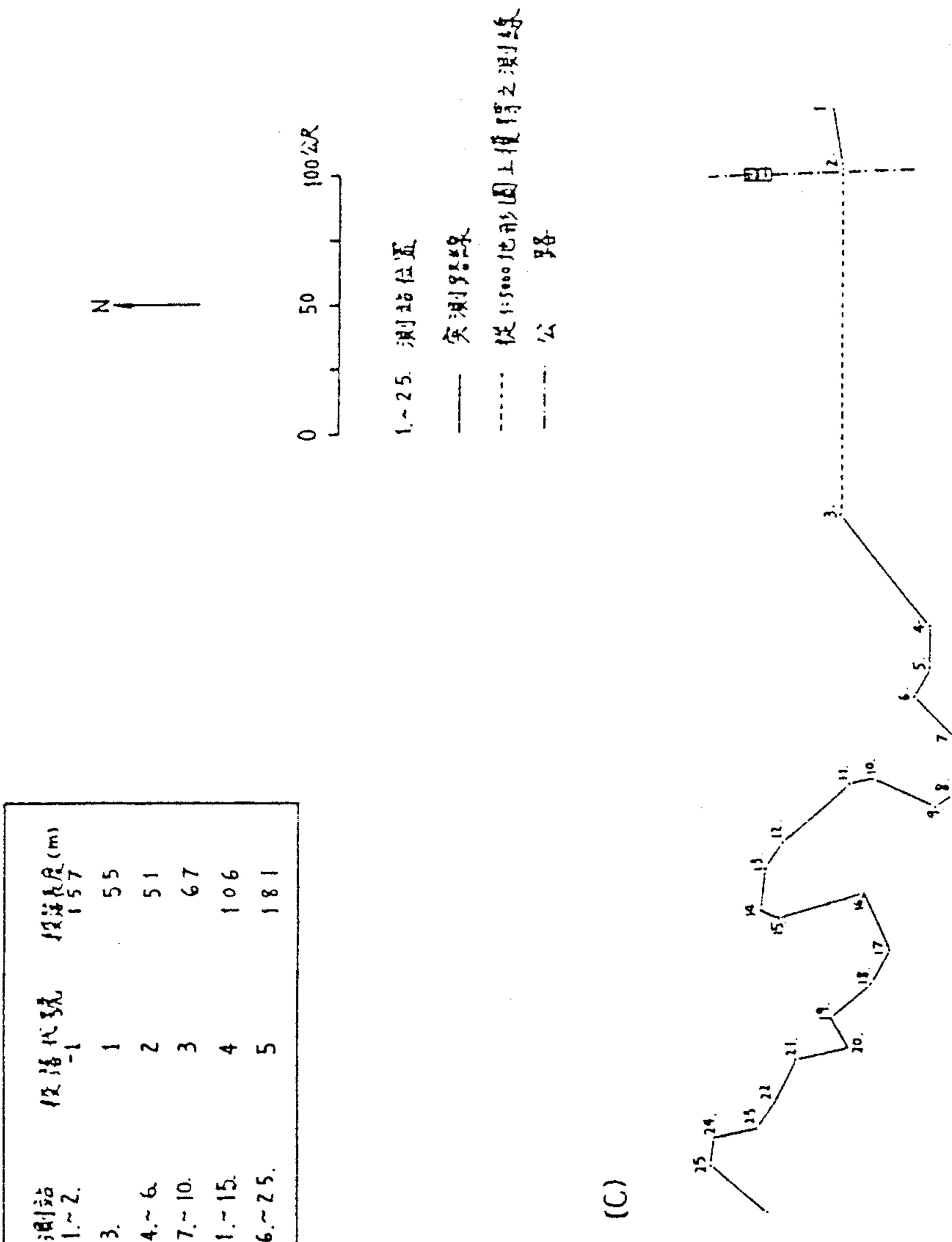
Ab：AB在與地層走向Bb垂直方向水平面上的投影

θ ：測線與地層走向的交角

θ' ：地層傾斜角

(A) 路面測量站			(B) 測站			(C) 測站		
	長度(m)	方位角(°)		長度(m)	方位角(°)		長度(m)	方位角(°)
1.	2.2	260	1.~2.	2.60	1.~2.	1.	5.5	1.57
2.	135	270	3.	1	1	2	5.1	
3.	55	230	4.~6.	4.	4.	3	6.7	
4.	16	270	7.~10.	7.	7.	4	10.6	
5.	13	298	11.~15.	11.	11.	5	18.1	
6.	22	225	16.~25.	21	21	270		
7.	21	270	8.	9	9	323		
9.	27	23	10.	10	10	34.6		
10.	34	320	11.	12	12	300		
11.	17	275	12.	17	17	206		
13.	8	206	14.	35	35	164		
15.	24	245	16.	15	15	300		
17.	20	320	18.	13	13	240		
19.	21	347	20.	19	19	295		
21.	12	305	22.	17	17	348		
23.	11	278	24.	29	29	220		
25.								

(a) D'剖面路線圖之方位角與長度表
 (b) D'剖面路線之分段代號表
 (c) D'剖面路線圖

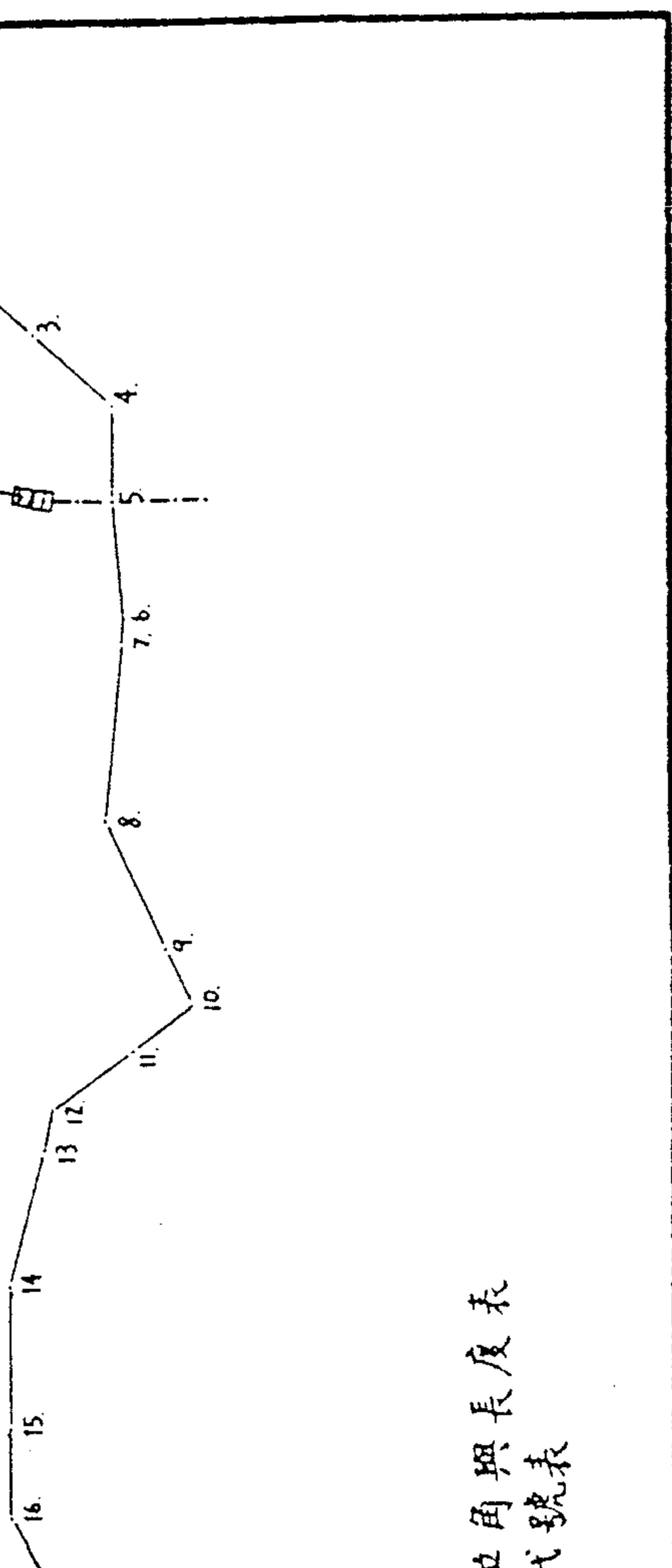


圖九：D+D' 剖面路線最大粒徑資料與路線圖

圖十：E剖面路線最大粒徑資料與路線圖

(a) 分段代號	測站	長度(m)	方位角(°)
-2	1.	40	40
2.	2.	40	40
3.	3.	30	40
-1	4.	27	270
0	5.	33	265
	6.	7	275
	7.	50	275
1	8.	40	245
	9.	18	245
	10.	22	325
	11.	29	330
	12.	11	280
	13.	40	285
	14.	40	270
	15.	25	270
	16.	17	240

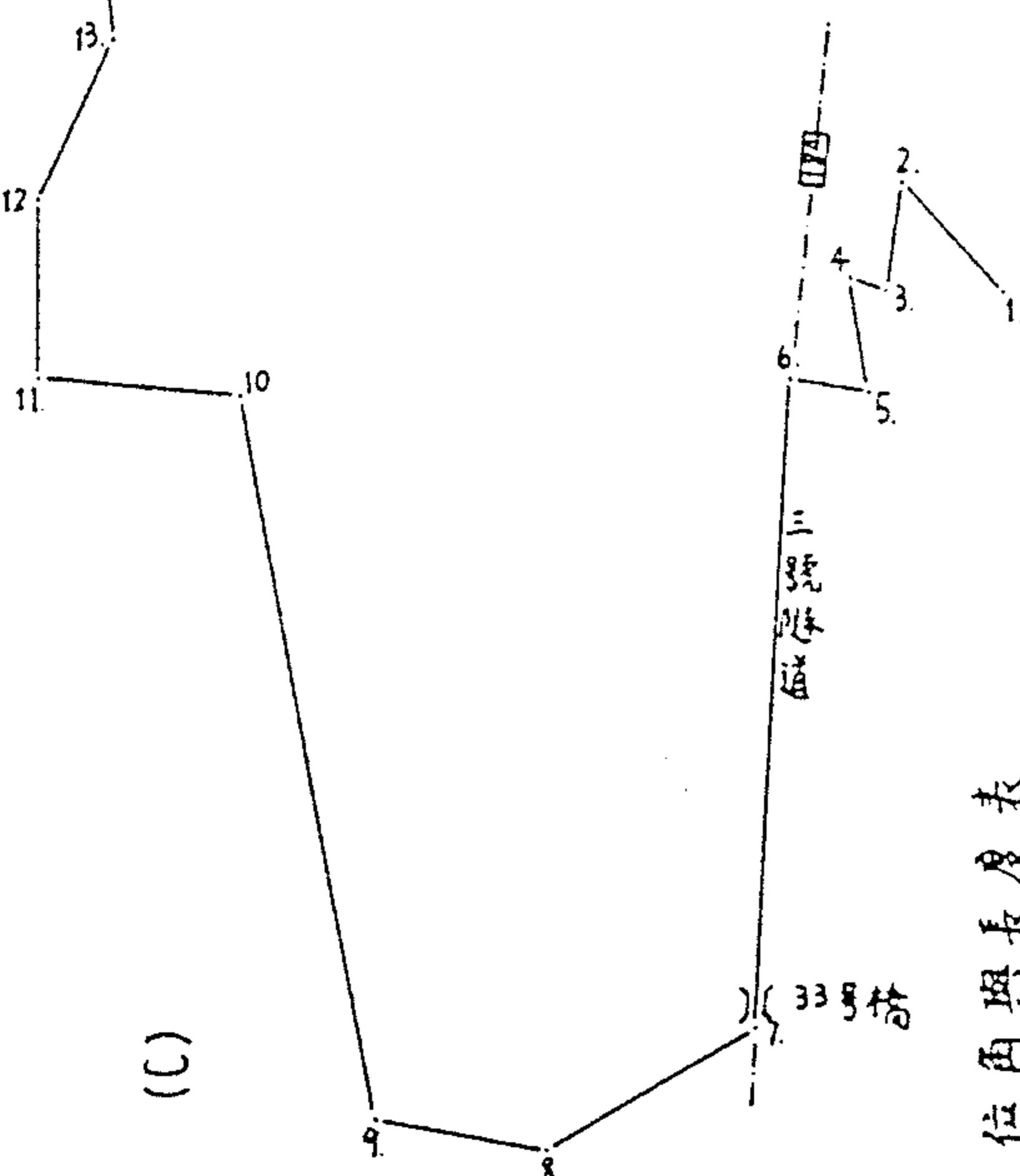
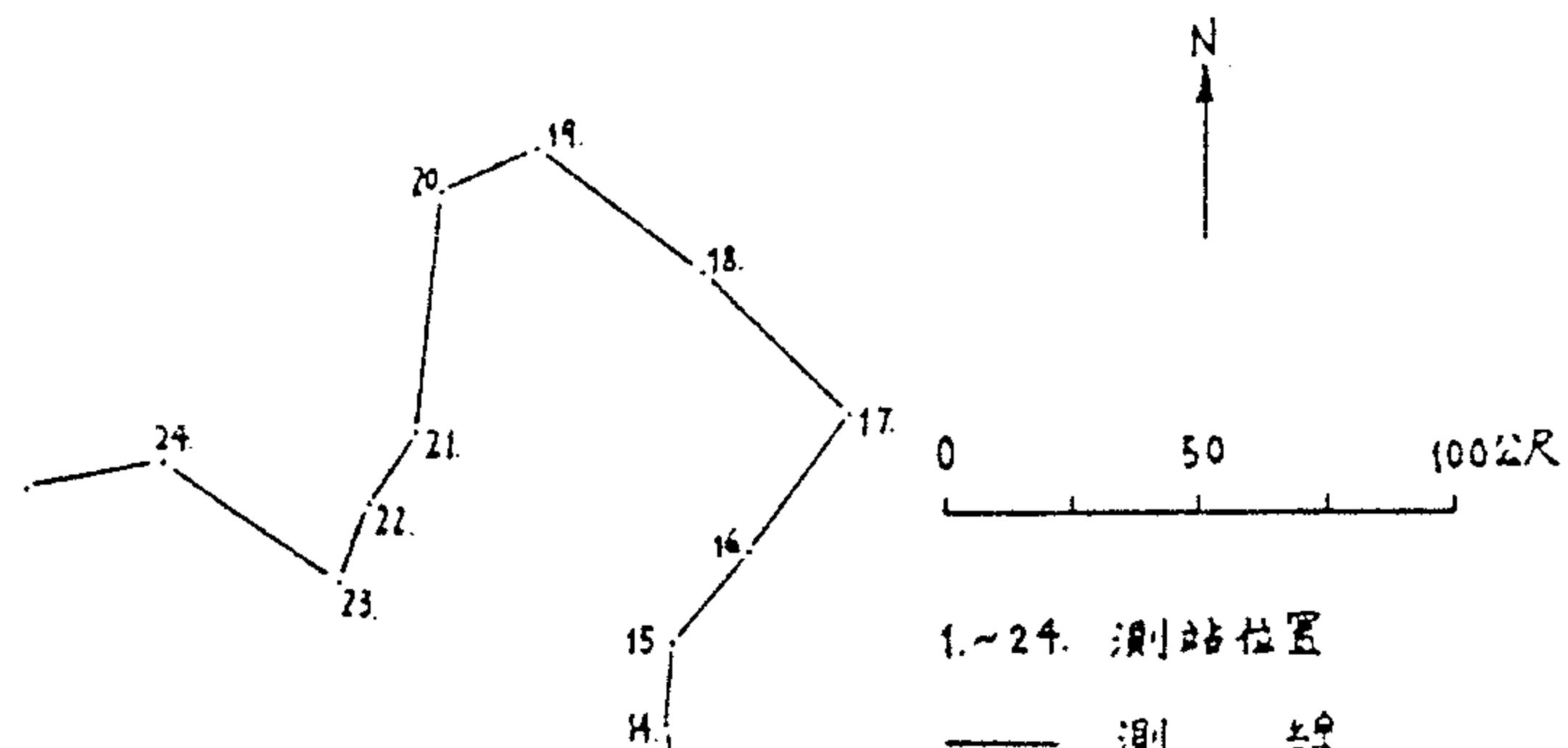
(b) 測站	段落代號	段落長度(m)
1.-3.	-2	110
4.	-1	27
5.-7.	0	90
8.-16.	1	242



- (a) E剖面路線圖之方位角與長度表
- (b) E剖面路線圖之分段號表
- (c) E剖面路線圖

(A) 分段號	測站	長度(m)	方位角(°)
1	1	34	316
2	2	24	188
3	3	8	278
4	4	25	170
5	5	18	282
6	6	145	183
7	7	55	240
8	8	40	280
9	9	165	349
10	10	46	275
11	11	40	0
12	12	40	25
13	13	40	352
14	14	16	5
15	15	24	40
16	16	33	35
17	17	40	315
18	18	40	305
19	19	20	245
20	20	46	186
21	21	14	212
22	22	16	200
23	23	42	305
24	24	26	260

(B) 測站	分段代號	分段長度(m)
1~6.	-1	254
7.	1	55
8~9.	2	205
10~24.	3	484



(a) F剖面路線圖之方位角與長度表
(b) F剖面路線之分段代號表
(c) F剖面路線圖

圖十一：F剖面路線最大粒徑資料與路線圖

f. 計算採樣間隔中的地層厚度：可根據測線長度、方向與地層走向的夾角及地層的傾斜角計算出各段測線的採樣間隔實際上所代表的地層厚度（圖八），其計算公式如下：

$$T=t \times \sin\theta' \times \sin\theta$$

其中 θ =測線與地層走向的夾角

θ' =地層的傾斜角

t =採樣計測點的間隔

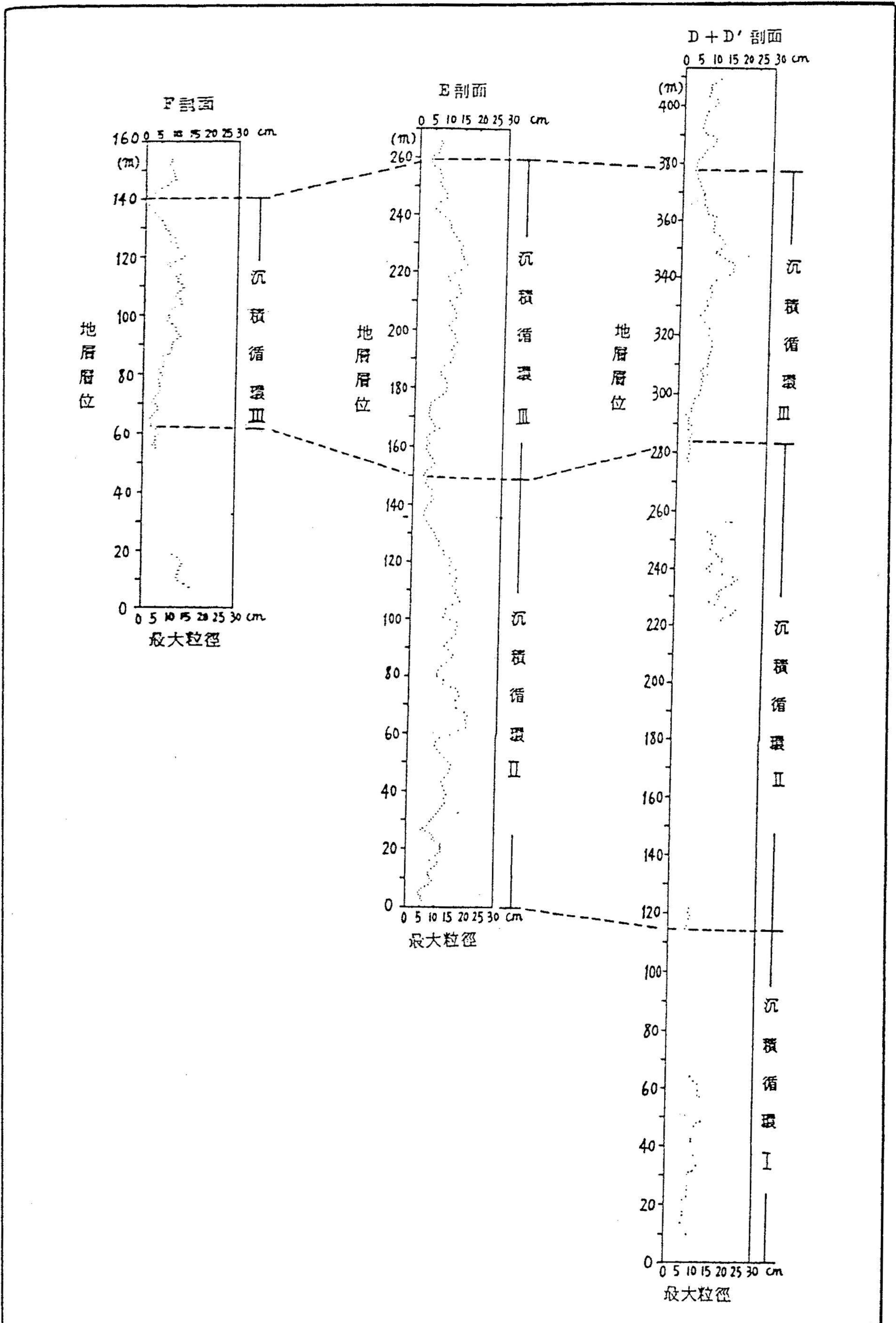
T =地層的厚度

g. 繪製最大粒徑垂直變化圖：計算每個採樣點五個最大礫石的粒徑之平均值，以粒徑平均值為軸，依不同的 T 值為軸（各採樣點的地層厚度）與粒徑平均值分別標示於圖中，即為最大粒徑垂直變化圖（圖十二）。若厚度間隔太小圖示不易顯示，可用移動平均值法，將個個採樣點的數值和鄰近六個採樣點的平均值作為各採樣點處理後的數值，圖示可以更明顯。

(2) 礫石的排列方向變化：

礫石的排列方向變化研究為量測扁平礫石ab面方向性排列。利用最大粒徑計測所建立的剖面資料，在各剖面選擇層位相同的採樣點及層位不同的採樣點，量測這些採樣點的扁平礫石ab面的方向性排列。

選定的採樣點需具有顆粒支持的岩體組成構造 (Clast-supported fabric) 的礫岩層中，每隔1公尺順著層面設定2公尺長的採樣線及選擇固定個數，粒徑較大而且為扁圓形 (discoidal) 或為片狀 (blade-like) 的礫石，設法測定這些礫石的ab面



圖十二：經校正後最大粒徑垂直變化圖，依對比關係可劃分為三個沈積循環

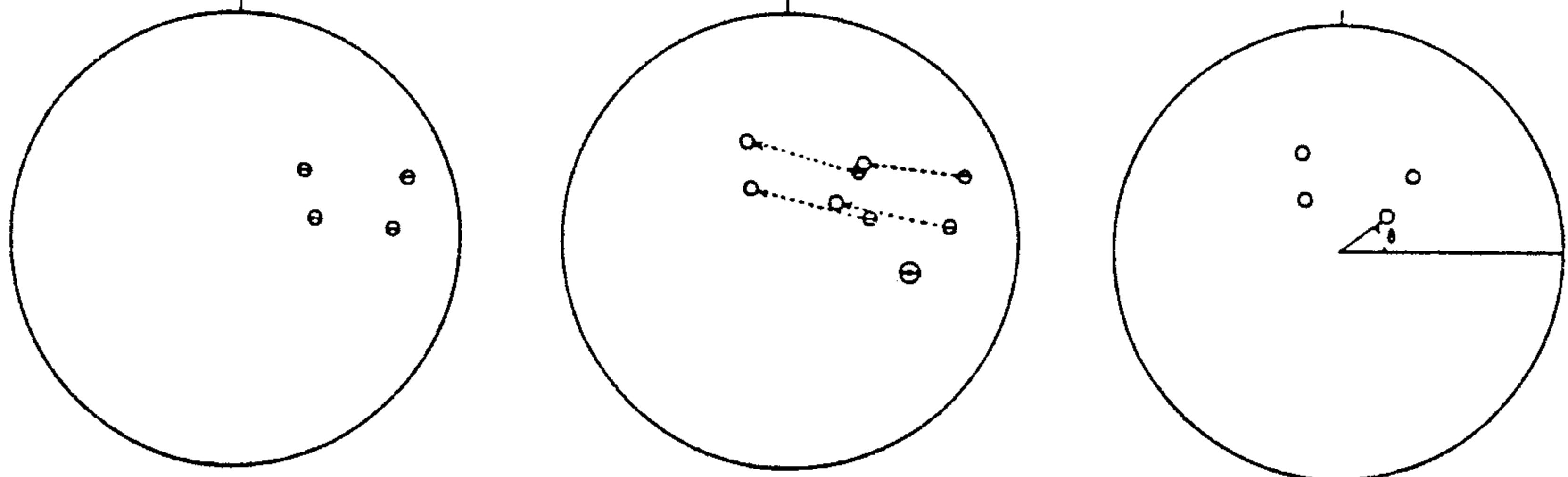
的走向與傾斜，一般以量測20個以上的ab面的走向和傾斜值為宜，首先必須選擇礫石較突出的露頭，才能判別礫石的形狀及ab面的方向，然後用一平板，固定於平行礫石ab面的位置，測量該平板的走向與傾斜，作為該礫石ab面的走向與傾斜，將ab面方向性測量所得的資料可依下列步驟予以處理：

- a. 每一採樣點的扁平礫石ab平面極軸的位置以烏魯夫氏網（Wulff's net）投影在下半球（圖十三示）。
- b. 將極軸位置旋轉至地層呈水平的狀況（圖十三所示）。
- c. 記錄旋轉後ab面極軸（即礫石的c-軸）傾斜方向的角度（圖十四），得到校正後ab面傾斜方向資料表（圖十四）。
- d. 計算旋轉後ab面極軸傾斜方向的平均向量和角度（圖十四），將這些平均向量的方向與長度資料列表（表一）以供進一步處理。
- e. 將這些資料中的向量方向標示於路線圖上，並將各剖面的扁平礫石ab面方向性排列的校正後資料作用玫瑰圖示（圖十五）。

2. 結果與討論

(1) 最大粒徑測量的結果如圖十二所示，標示成D剖面、E剖面和F剖面，圖中可以見到最大粒徑的變化略具週期性，其變化範圍大致在2公分到25公分之間，變化的週期有三次，即三次的沈積循環。三個剖面的三次沈積循環可以藉此建立剖面間較大比例尺的對比關係。

圖 13



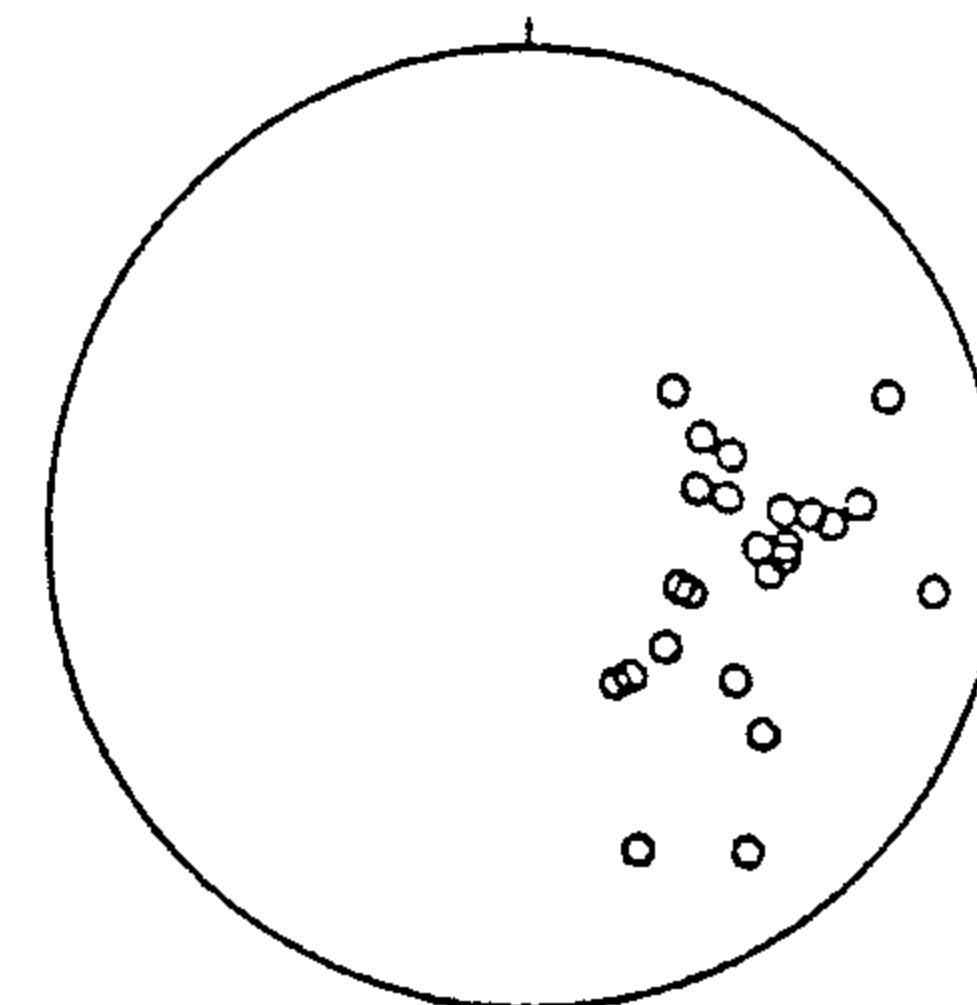
(a)校正前 ab 面測值極點投影位置。 (b)將地層之傾斜旋轉為水平時
 ab 面測值極點移動的方式。 θ 角為 ab 面傾斜方向之反向角度。

圖 14 (a) ab 面測值表 (採樣點第 23 號)；計 24 組測值。 (b) ab 面測值極點投影位置 (採樣點第 23 號)。

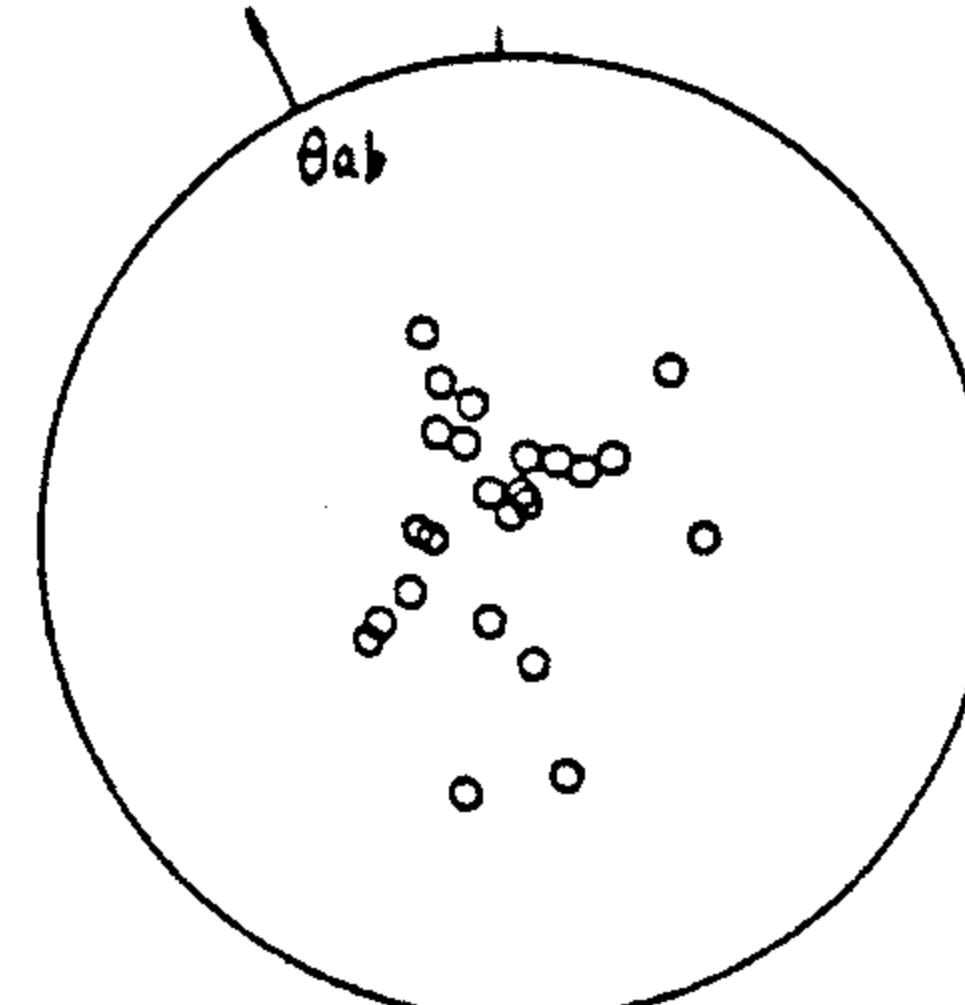
N70E/60NW	N60E/30NW	N6E/45NW	N10E/42NW
NSSE/30NW	N41E/55NW	N4E/40NW	N55E/30NW
N40E/30NW	N20E/30NW	N15W/30SW	N30W/25SW
N20E/28NW	N45W/35SW	N20W/38SW	N4W/50SW
N10W/55SW	N20W/70SW	N5W/60SW	N5W/45SW
N8E/75NW	N35E/45NW	N2W/50SW	N0E/45NW

(d)校正後 ab 面測值之 θ 角及正弦餘弦函數值。

no.	$\theta (^{\circ})$	$\sin \theta$	$\cos \theta$
1.	76	.970	.242
2.	108	.951	-.309
3.	117	.891	-.454
4.	208	-.469	-.883
5.	210	-.500	-.866
6.	255	-.966	-.259
7.	274	-.998	.070
8.	279	-.988	.156
9.	62	.883	.469
10.	105	.966	-.259
11.	112	.927	-.375
12.	114	.914	-.407
13.	124	.829	-.559
14.	172	.139	-.990
15.	175	.087	-.996
16.	201	-.358	-.934
17.	38	.616	.788
18.	44	.695	.719
19.	46	.719	.695
20.	79	.982	.191
21.	82	.990	-.139
22.	115	.906	-.423
23.	247	-.921	.391
24.	358	-.035	-.999



(c)校正後 ab 面測值極點投影位置。

(e)向量和之方向 (θ_{ab}) 之計算。

$$\sum \sin \theta = 7.230$$

$$\sum \cos \theta = -3.637$$

向量總和方向: 117° (N27W) = θ_{ab}

[θ 角度以逆時針方向計算，北方相當於 $\theta=90^{\circ}$]

圖十三：扁平礫石 ab 面測量值校正法圖示

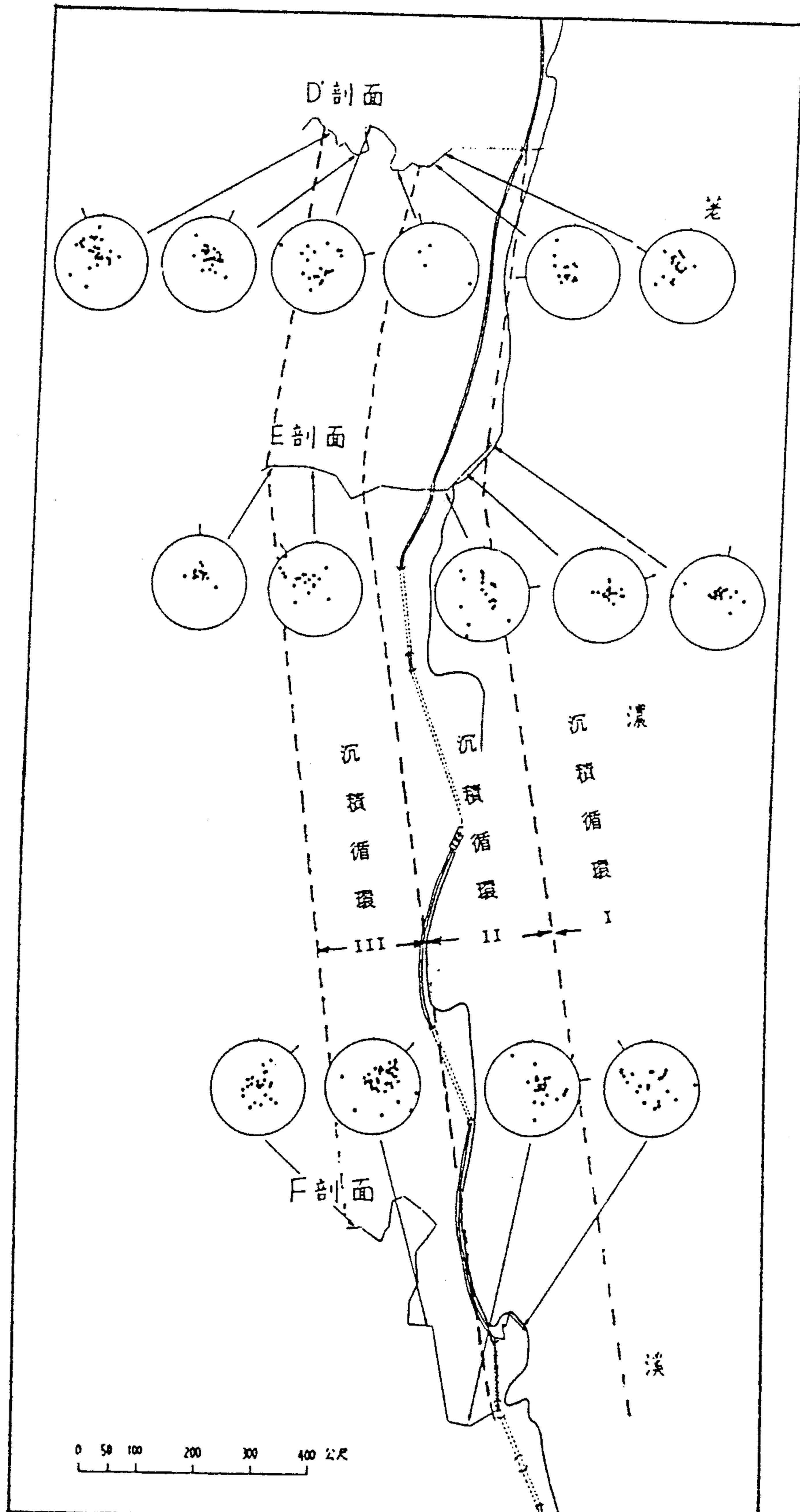
圖十四：扁平礫石 ab 面測值校正及向量和之計算範例

no.	SECTION	n	$\Sigma \sin \theta$	$\Sigma \cos \theta$	$\theta^*(^{\circ})$	$\frac{\sqrt{(\Sigma \sin \theta)^2 + (\Sigma \cos \theta)^2}}{n}$	position
1.	D	24	3.094	3.163	44	.184	(5,D)~(7,D)
2.	D	24	-12.350	1.411	277	.518	(30,D)~(32,D)
3.	D	25	7.351	-5.394	126	.365	(65,D)~(67,D)
4.	D'	29	-13.163	15.236	319	.694	(8,-1,D')
5.	D'	20	9.769	-12.754	143	.803	(20,1,D')
6.	D'	15	-0.935	-6.335	188	.427	(40,1,D')~(50,1,D')
7.	D'	4	2.077	-0.524	104	.536	(13,3,D')
8.	D'	24	0.611	2.209	15	.095	(71,4,D')~(73,4,D')
9.	D'	24	2.010	5.006	22	.225	(73,4,D')~(75,4,D')
10.	D'	30	16.208	-6.781	113	.586	(22,5,D')~(25,5,D')
11.	D'	30	13.384	5.421	68	.481	(100,5,D')~(107,5,D')
12.	E	20	12.575	2.544	79	.641	(73,-2,E)~(78,-2,E)
13.	E	17	8.988	2.571	74	.550	(15,-2,E)~(17,-2,E)
14.	E	20	5.697	14.203	22	.765	(12,-2,E)~(12,-2,E)
15.	E	19	1.093	8.710	7	.462	(10,-2,E)~(12,-2,E)
16.	E	21	1.074	5.533	11	.268	(0,-1,E)~(5,-1,E)
17.	E	20	9.553	-8.041	130	.624	(145,1,E)~(148,1,E)
18.	E	20	10.157	2.170	78	.519	(148,1,E)~(151,1,E)
19.	E	20	9.413	-11.968	142	.761	(153,1,E)~(156,1,E)
20.	E	16	3.480	-1.656	115	.241	(209,1,E)~(210,1,E)
21.	E	16	7.645	5.114	56	.575	(211,1,E)~(212,1,E)
22.	E	16	11.489	0.158	89	.718	(213,1,E)~(214,1,E)
23.	E	24	7.230	-3.637	117	.337	(215,1,E)~(217,1,E)
24.	F	24	5.335	-3.603	124	.268	(-2,-1,F)~(-4,-1,F)
25.	F	23	2.503	14.720	10	.649	(0,2,F)~(2,2,F)
26.	F	40	15.062	14.094	47	.516	(12,3,F)~(16,3,F)
27.	F	24	2.373	2.329	46	.139	(458,3,F)~(460,3,F)

θ^* = direction of vector $(\Sigma \sin \theta, \Sigma \cos \theta)$, 向東為 0° , 以逆時針方向計算角度。

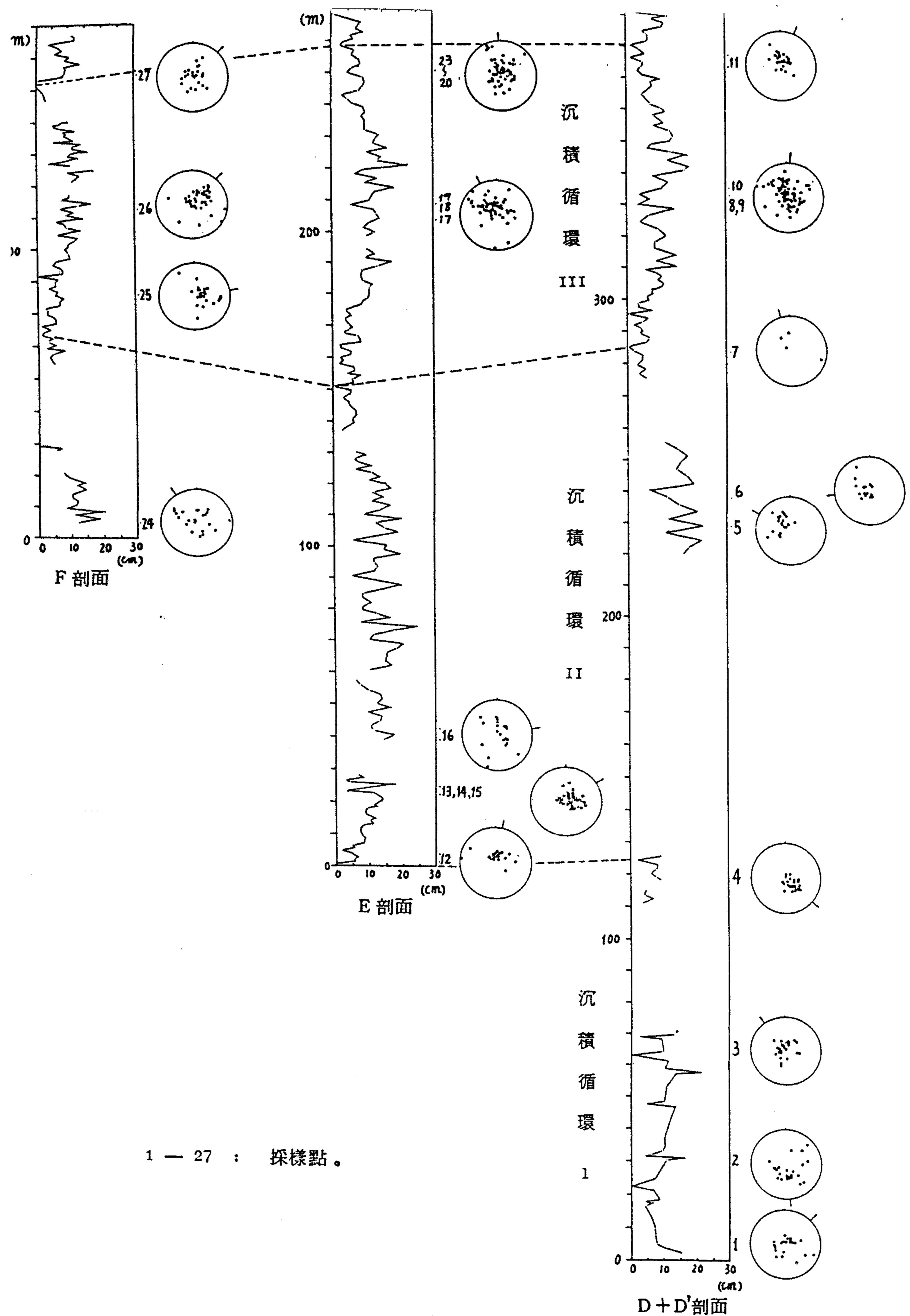
$\frac{\sqrt{(\Sigma \sin \theta)^2 + (\Sigma \cos \theta)^2}}{n}^{1/2}$ 值愈大表示測值愈集中 (Potter and Pettijohn, 1963, p.264)。

表一：扁平礫石ab面方向性排列的各採樣點平均向量的長度與角度之計算表



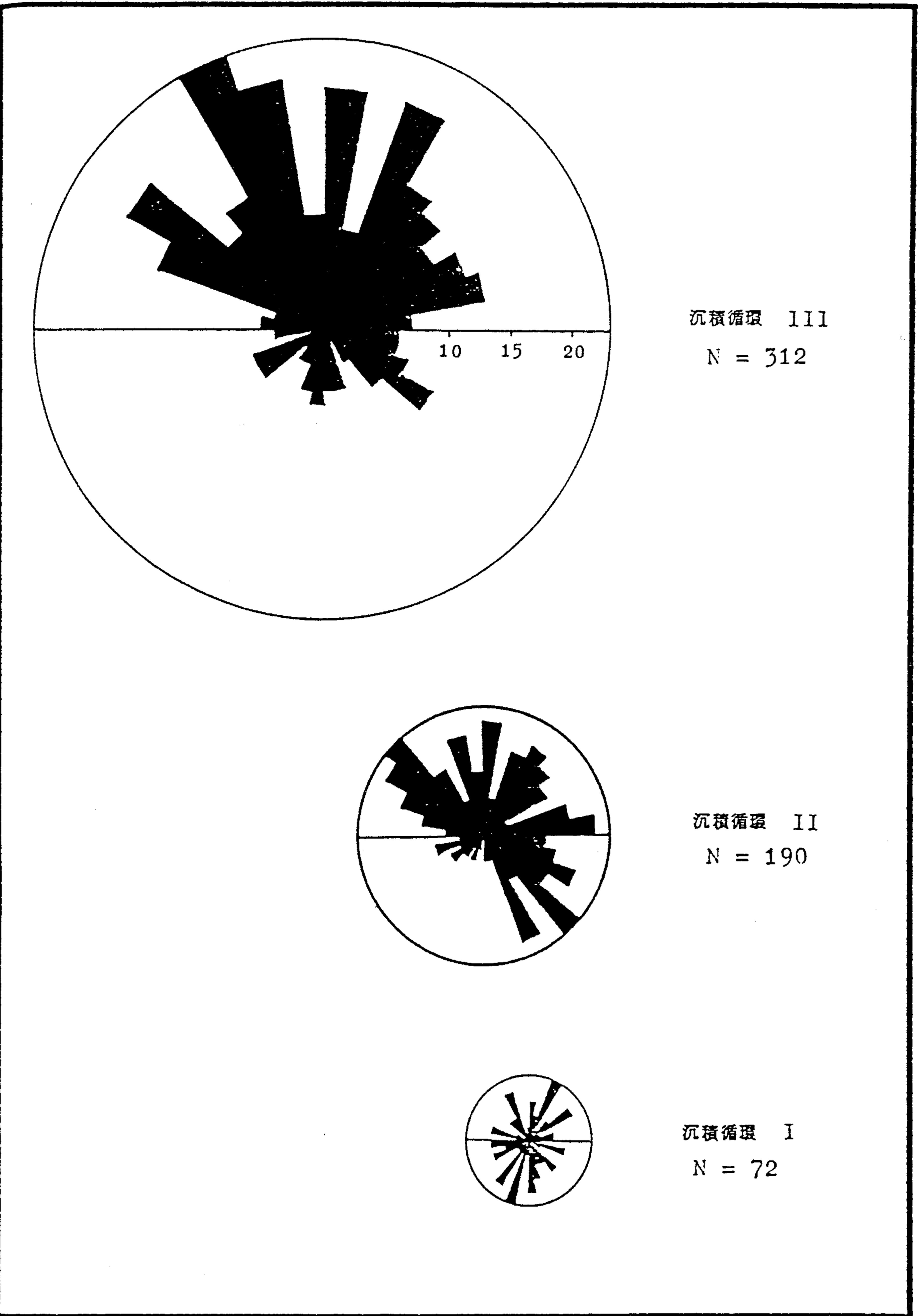
圖十五：扁平砾石ab面方向性排列的採

樣點位置及結果

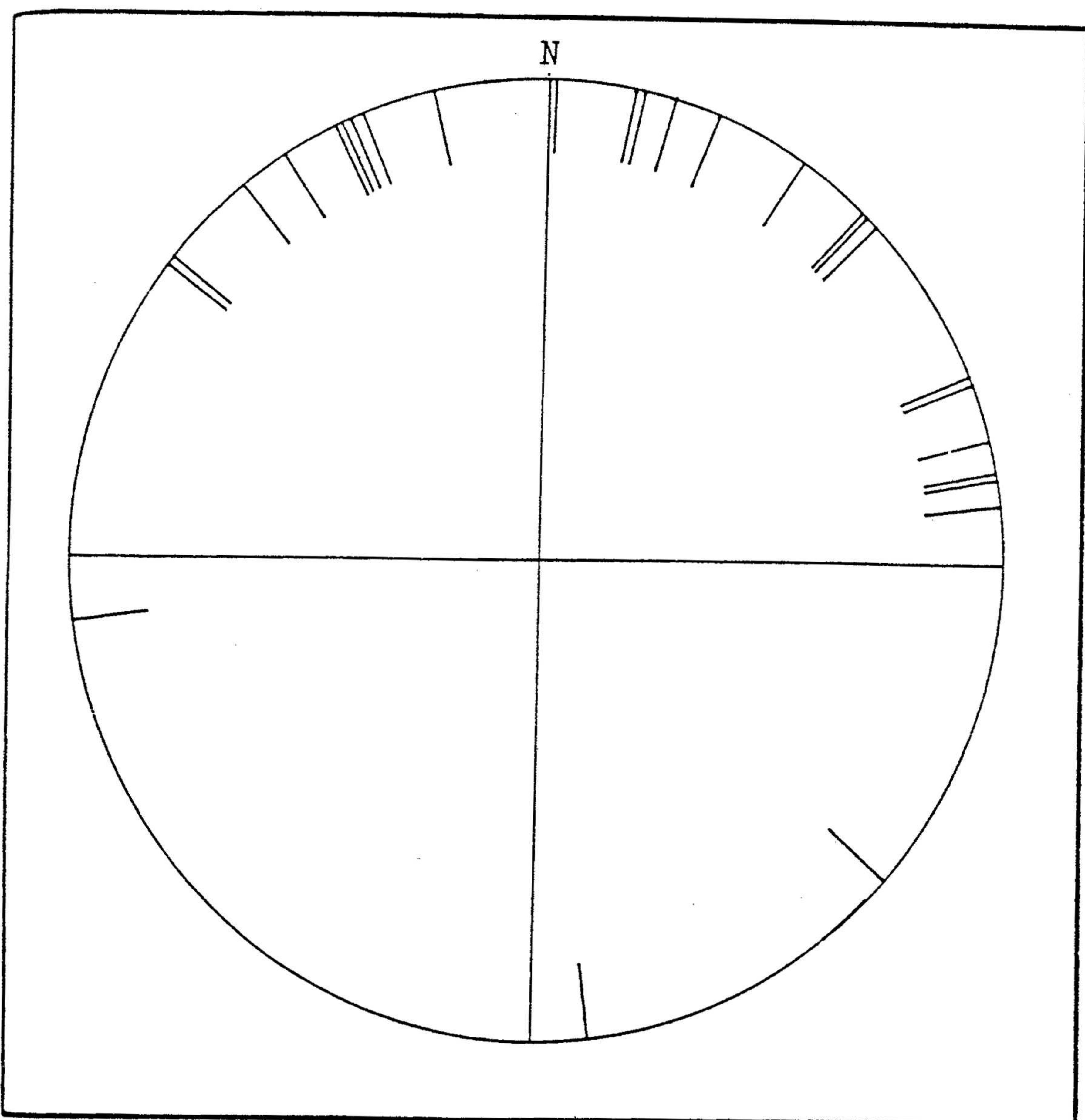


1 — 27 : 採樣點。

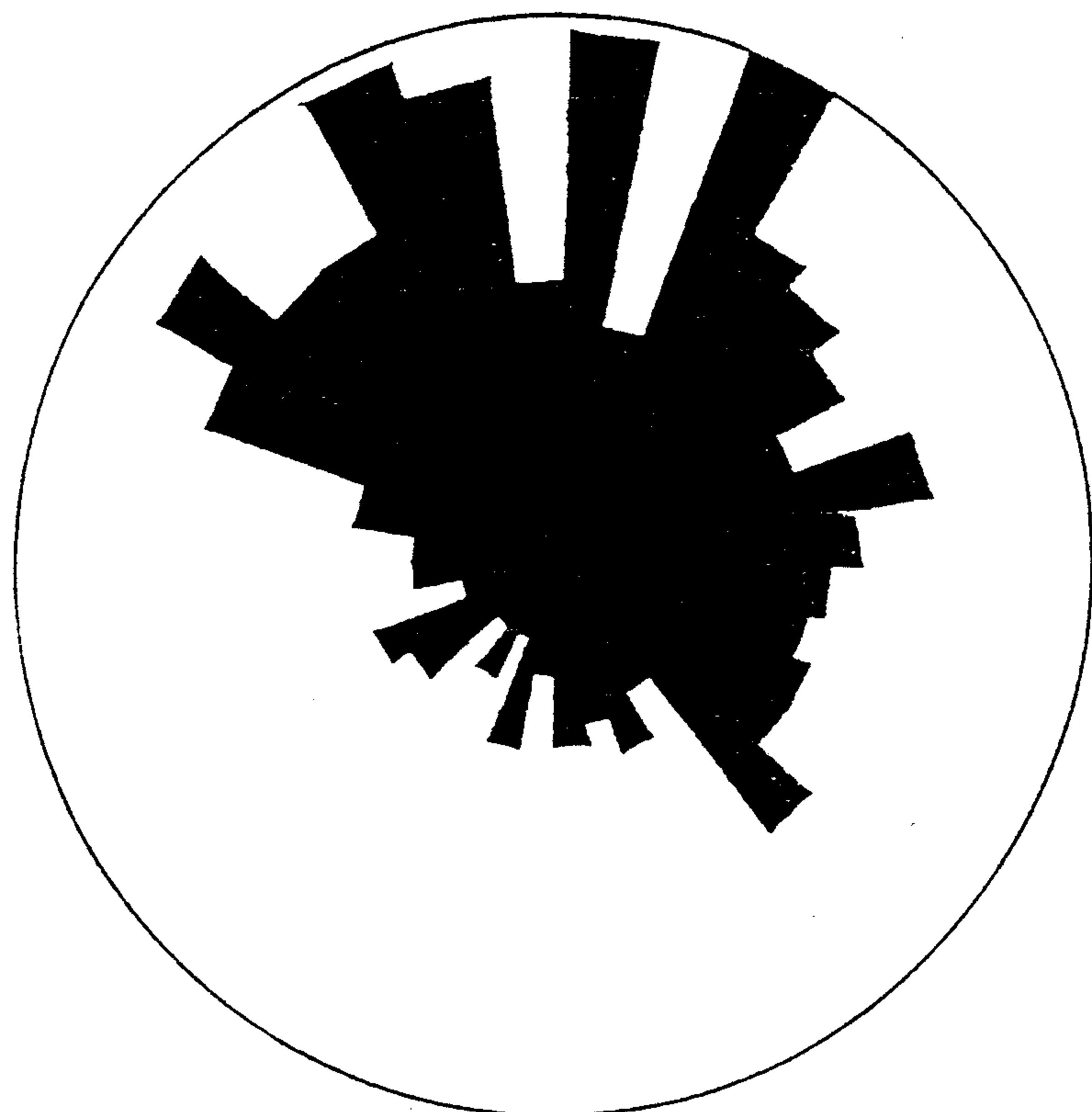
十六：扁平礫石ab面方向性排列測值的校正結果與平均向量的方向



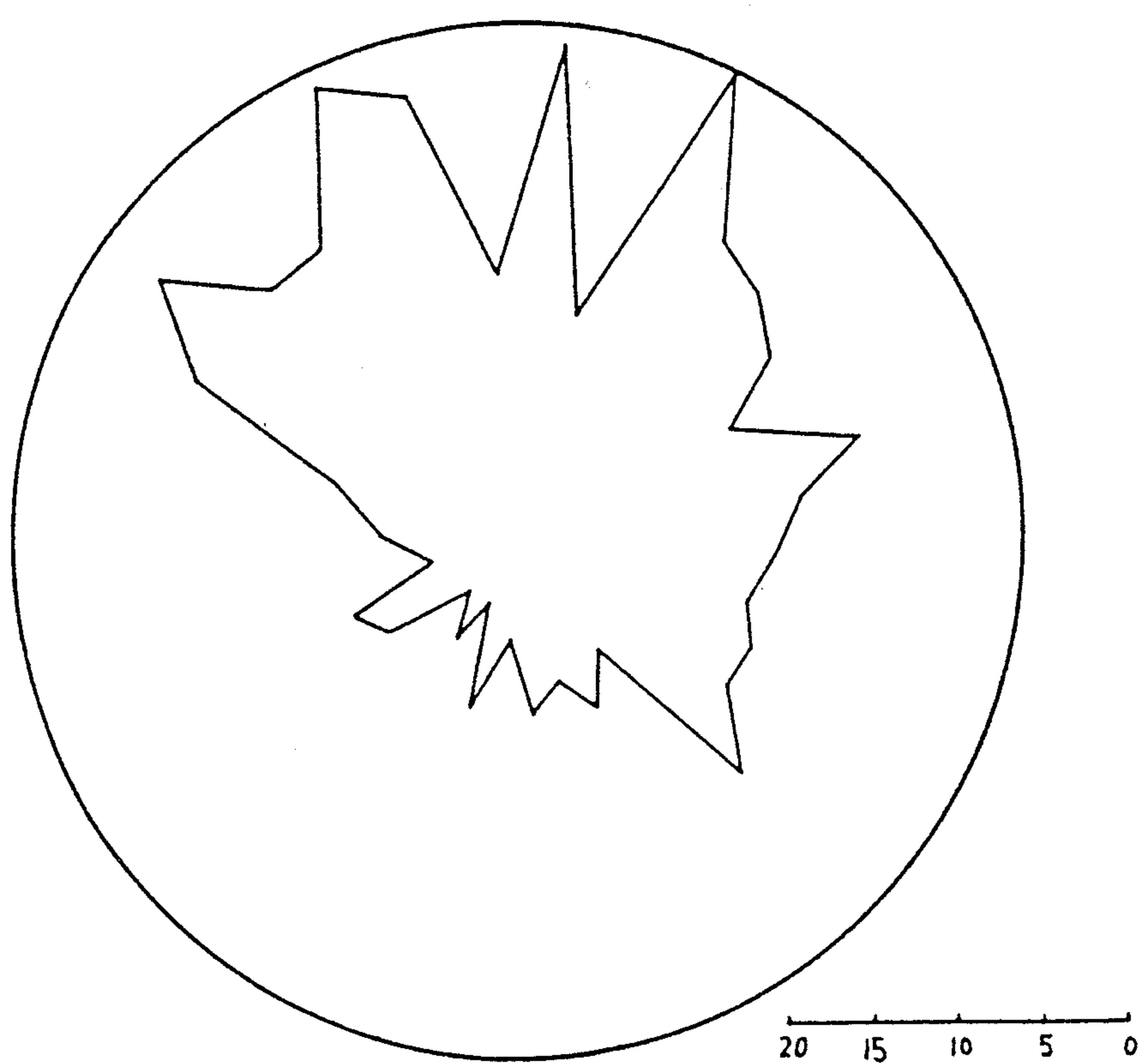
圖十七：扁平礫石ab面方向性排列的各沈積循環資料



圖十八：扁平礫石ab面方向性測量所有測點平均向
量的分佈



30



圖十九：扁平礫石ab面方向性測量所有資料累計圖

(2) 將各採集點扁平礫石ab面極軸經地層傾斜校正後的投影圖上標示平均向量的方向（如圖十六所示），發現平均向量的指向大部份集中於第一象限及第二象限（圖十七、十八所示），若將平均向量的指向各自標示於實際的採樣位置得到圖十五、圖十六，然後分別作各沈積循環資料的玫瑰圖（圖十七、十八、十九）而不考慮平均向量的指向，發現第一次沈積循環的資料較少，沒有顯著的方向性，第二次沈積循環的資料分佈於第一、第二及第四象限，第三次沈積循環的資料分佈於第一及第二象限。

圖十九是所有資料的玫瑰圖，顯示扁平礫石ab面排列向北方成扇狀分佈，而且分佈的區域很明顯的集中於第一及第二象限。

依上面的結果可以提出下列二項問題，分別予以討論
分析：

(1) 六龜礫岩中最大粒徑變化的顯示的沈積循環與斷層活動、古氣候變化的關係：

依上述結果的資料可以觀察到六龜礫岩最大粒徑的垂直變化顯示二個「粒徑向上變粗再變細」的沈積循環（葉志宏，1984），每個循環的地層厚度約為120公尺，這個沈積循環至少可以追蹤2.5公里，全礫岩的厚度至少有400公尺厚，岩相以礫岩為主，夾有少量砂岩、泥岩及粉砂岩。

似此的條件羅斯特（Rust, 1979）認為此種沈積為外因性變化造成的，為山脈前緣沖積扇的沈積物，對於山脈前緣斷層活動的基本反應，他認為是一個「粒徑向上變粗再變細的層序」，依此說法表示六龜礫岩中

觀察到的三次「粒徑向上變粗再變細」的沈積循環似可以解釋為鄰近的山脈前緣斷層三次活動期的地層記錄。依葉志宏（葉志宏，1984）的看法，六龜礫岩的厚度大約400公尺，而在陸相的沈積環境中形成，表示沈積盆地有持續的陷落，或供應沈積物的來源區有持續的上升，而源源不斷的供應粗粒的沈積物，也依地質位置，故推測歸因於潮州斷層的週期性活動。

本文的調查並不太同意此項看法，一方面在荖濃溪東側（即左岸）六龜大橋下游附近有明顯的板岩擠入礫岩的現象，表示斷層在礫岩堆積之後才發生；又六龜礫岩東側的潮州斷層以東岩體全為板岩，但六龜礫岩中之礫石有相當高的比例為砂岩質，甚至為非變質的砂岩質礫石，尤其粒徑大者均為砂岩質，小且扁平者才為泥質岩質，並呈圓球狀或次圓狀，表示非近距離的搬運，值得注意，呈沖積扇的犬牙交錯層狀態也不存在，僅有各層呈不太遠距離的延伸狀況。與現代荖濃溪河床的堆積倒是較相似。礫石的搬運堆積需有較大的流水流量，意即需有較多的雨量，三次的堆積循環，應可以指示有三次暴雨的古氣候的變化，則可更明確地顯示古氣候變化亦具週期性。

(2) 扁平礫石ab面方向性排列與古水流方向：

扁平礫石在河流中沈積時，其最大投影面（即ab面）向上游傾斜的現象（即疊瓦狀構造）是公認的古水流指標（Potter and Pettijohn，1963）。此外，如亨得利（Hendry，1976）測量在沈積礫岩中扁平礫石ab面的方向性排列，顯示再沈積礫岩中，扁平礫石ab面極軸（即C-軸）傾斜的方向，與其古水流指標如

交錯層（cross bedding）、底流痕（flute cast）、連紋（ripple mark）的指向一致。韋恩等（Winn and Dott, 1979）也得到相近的研究結果。因此本次所得的扁平礫石ab面方向性排列的結果，可以做為六龜礫岩中古水流的指標，此次資料中三剖面扁平礫石ab面極軸傾斜的方向，經地層傾斜校正後，向北方成扇狀分佈（圖十七、圖十九），顯示向北方成扇狀分佈的古水流方向，依此若解釋為受潮州斷層的影響的搬運，則如前最大粒徑的分析所得，知並不合理，應為較遠距離的河流搬運，似此應暗示此區的古地理與現今不太相同，東南方向流進來的影響似乎較大，十八羅漢山起以西的這一片丘陵應是後來的構造運動才先後抬高的，意即十八羅漢山以西的構造線應為十八羅漢山六龜礫岩堆積以後才發生的構造線。此仍由古水流方向所進一步推論的結果，而這些構造運動似乎也促成後來十八羅漢山內地形發育的位能之主要來源。

33

3. 結論

本文在粒徑的變化及礫石的方向性資料方面可以作以下簡單的結論：

- (1) 六龜礫岩的粒徑之垂直變化只是有三次的循環，可能受三次的構造運動及三次的暴雨期循環的影響。
- (2) 六龜礫岩的礫石應為河床的堆積，有一面堆積、一面拗陷的構造運動。
- (3) 六龜礫岩內的礫石應為來自東南方向的搬運，也表示當時東南方向來的流水影響較大，目前十八羅漢山以

西的丘陵高度均為六龜礫岩堆積後，才發生的構造的影響，也影響後來的地形發育。

四、六龜礫岩中礫石的岩石性質及意義

由礫岩中礫石的岩石性質可以研究來源區、搬運能力變化及沈積條件。

1. 調查研究方法

可分為二項：

(1) 級石的岩石類別：

由野外直接觀察各露頭內礫石的岩石類別，為砂岩質礫石、泥質岩質礫石、變質岩質礫石，其中的泥質岩質含頁岩質、板岩質；變質岩質含綠色片岩等，有時甚至有火成岩質的材料，這些材料的母岩分佈區均一定的，依此可以研判其來源區。

(2) 岩相 (lithofacies)、岩體組成結構 (fabric) 和層理 (Stratification) 的觀察：

在野外直接觀察，可以觀察各層礫石之粗細變化，為砂岩、細粒礫岩、泥岩、粉砂岩，向上便粗或變細，礫岩中的礫石與礫石之間為基質支撐岩組（即礫石與礫石之間充填物），或為顆粒支持岩組（即礫石與礫石為直接接觸的點接觸）；層理的變化則有密集層理、傾斜層理、無層理或水平層理、層面的間距變化明顯程度。

2. 結果與討論

由野外直接觀察的結果，可以歸納如下：

(1) 級石的岩石類別：

在野外所觀察到的資料顯示，礫石的岩石類別與粒徑有直接的關係，大概可列表如下：

礫石粒徑	礫石岩石類別
大於20公分	90%以上為砂岩質，少量的變質岩，但均含石英脈
20公分~5公分	砂岩質可達80%，泥質岩質可達10%，含石英脈之變質岩可達10%
5公分以下至粗砂	砂岩質可達50%，泥質岩質可達45%，5%則為全石英脈之變質岩質礫岩
填充材料者	幾乎全為泥質岩質

(2) 岩相、岩體組成結構和層理的觀察有下列的資料：

- a. 岩相由砂岩與細粒礫岩之互層，偶爾夾有泥岩和粉砂岩，有向上變粗再變細的變化，而且有三次如此的變化循環。
- b. 岩體組成結構：大部為顆粒與顆粒之間填充關係，到最上部才有顆粒與顆粒呈點接觸。
- c. 層理的變化則由砂岩與細粒礫岩中較密集的層理，並且有傾斜層理，漸變為粗粒礫岩中的無層理或水平層理，層理間距也變為較大，較不明顯。
泥岩層中有水平薄互層，粉砂岩中有微交錯層，層面有的呈侵蝕性接觸。
在中粒礫岩、砂岩和粉砂岩中亦可看到炭化標本。

由上述的觀察資料，應有下列的問題值得討論：

(1) 矸石的搬運問題：

礫石的搬運過程需經歷磨損過程 (Small, 1970)，在野外觀察直接由岩體崩落下來的岩塊，不問其大小

塊，一定具有尖銳的稜角，但若搬運一段距離之後，這些稜角就會漸漸被磨損呈次稜角或圓形，至於磨損的難易程度，也可以由野外河床的現象直接觀察出來，砂岩質比頁岩質耐磨損，頁岩質的岩塊略搬運一短距離即失去稜角，甚至呈細粒材料，砂岩質岩塊在搬運過程中先磨損掉稜角，再漸被磨成小塊，依此項條件而言，六龜礫岩中的礫石不管其粒徑之大小，有充填材料以上的粒徑均為砂岩質佔很大的百分比，此項現象至少表示堆積之時有甚多的材料均來自砂岩區，這些砂岩質礫石以呈次圓或圓球形，表示已被搬運了一段距離，當時的水量有時可能不小，所以可以搬運粒徑大的礫石。

依此對葉志宏（葉志宏，1984）的解釋認為潮州斷層引起的侵蝕材料之沖積扇的一部份的說明，認為並不合理，因潮州斷層之上盤為泥質岩性的板岩，材料不符，即六龜礫岩內泥質岩質材料呈充填的細粒材料，也表示非短距離的搬運可以達成的，應來自可能較遠的距離，這些停積的材料令礫石和充填物質均非其東側鄰區潮州斷層上盤的岩體材料。由礫石非短距離的搬運的結果，亦可推測六龜礫岩堆積之時的暴雨古氣候條件涵蓋的範圍應非侷限於十八羅漢山地區，當時扮演搬運的溪流的集水區應多有受到影響。

- (2) 由岩相的變化中礫石有向上變粗再變細的循環狀況來說明古氣候條件，則可以表示暴雨期雨勢的變化應呈由小變大再變小的情況，令溪流的搬運能力也有弱到強再到弱的變化；岩體的組成結構大部份為顆粒與顆粒之間由充填材料支持，到上部才有顆粒與顆粒直接

的點接觸，似乎可以指示搬運堆積過程中材料粗細的比例及停積的速率有變化，早期與後期不同，也表示此項條件一直維持穩定無變化。層理的存在則表示呈一次一次的搬運堆積，不平整的界限則表示流水的能量的變化，所以依這些條件應顯示出多樣化的停積區的條件，似乎也只是停積的古河床具有不同條件的小地形，而這些小地形可以直接影響到停積作用。

3. 結論

針對礫岩中礫石性質的條件，本項可以得到下列初步的結論：

- (1) 沈積物的來源區應不是近距離地區，曾受不短的距離的搬運而呈圓磨現象，其來源區有砂岩質岩區、泥質岩質區。有時也顯示搬運能量甚強，所指示的暴雨條件應非侷限於小地區，應涵蓋當時與沈積物搬運有關的集水區。
- (2) 岩相所顯示的古氣候條件之雨勢由弱到強再到弱的週期性變化三次，當時的沈積河床有多樣性的小地形可直接影響停積的情形。

五、六龜礫岩的堆積條件與古氣候、地殼運動的關係

1. 研究方法：

礫岩或礫岩層為沈積岩中較特殊的岩體，能堆積礫岩或礫石層的環境應為陸相的河床堆積，或海相的沖積扇之局部地方（Reading, 1982），六龜礫岩是河流搬運作用所形成的沖積扇沈積物（葉志宏, 1984；Blatt et. al., 1979；Rust, 1979；Steel, 1976；Allen, 1981），因此可以依河流作用來分析解釋。

本項目的研究方法可設計如下：

以野外觀察方式進行，需觀察的項目有：

- (1) 陡崖面或剖面的呈層狀態。
- (2) 各層的水平及垂直分佈。
- (3) 現在荖濃溪河床的堆積狀況。

再以現代的堆積狀況與地層的狀況相互比較以作合理的說明解釋。

2. 野外觀察結果與討論

野外觀察各陡崖之崖面或各剖面的結果，可歸納如下表：

觀察項目	觀察結果
每層垂直厚度	50公分~100公分以內
每層水平延伸	20~50公尺
各層之區分依據	由礫石粒徑之大小決定
各層之相互對比	對比困難
陡崖崖面之高度	30~100公尺
礫岩厚度	可能超過300公尺

又實際在野外直接觀察十八羅漢山鄰近的荖濃溪河床堆積的情形，其結果亦可表列如下：

觀察項目	觀察結果
河床寬度變化	荖濃溪在六龜大橋至與茂林溪合流段河床甚寬，可能超過150公尺
河床浮洲特性	呈層可見到五、六層
浮洲內各層厚度	各層厚度在1公尺以內
河床內各粒徑礫石的分佈狀況	呈層礫石層延伸不遠，約50公尺以內，水平面上各粒徑分佈在40~50公尺以內，而且呈相重疊

由野外直接觀察計測的資料可以得到下列幾項現象：

(1) 現在荖濃溪河床鄰近十八羅漢山的這一河段為由山區流出較寬廣的一段，不但寬廣而且河床又較平緩，河流對沈積物搬運所必需的能量應是流水的動能，流水動能理論上應為 $1/2 \cdot M V^2$

其中 M 為水量， V 為流速，由山區較狹窄且較大坡度的河道流出漸進入平原的寬廣且平緩的河道，若沒有較多的支流流水加入，則每個橫截面積平均分配的流水量必減少；流水之流速也必變小，若在山區令單位橫截面積的水量為 M_1 ，流速為 V_1 ，進入寬廣平緩河段的單位橫截面積的水量為 M_2 ，流速為 V_2 ，則必有 $M_1 > M_2$ ； $V_1 > V_2$ 的條件，因此 $1/2 \cdot M_2 V_2^2$ 必小於 $1/2 \cdot M_1 V_1^2$ ，即 $1/2 \cdot M_2 V_2^2 < 1/2 \cdot M_1 V_1^2$ ，動能變小，即可將搬運的材料停積下來。

荖濃溪河床此段的堆積依以上的觀念予以解釋應是合理的。

(2) 依現在荖濃溪河床的堆積條件而言，能堆積目前河床這些粗礫石的條件並非平常的條件，均發生在暴雨時河水水量多時，在暴雨時，河水水量增加，每一單位橫截面積的水量 M 均增加，流速 V 也增加，因此可以有

較大的動能搬運粗的礫石下來，但此段的動能仍比山區的動能小，因此搬運下來的材料即停積在這一段，然而可以肯定的條件為這些條件均發生在暴雨期的時候，而且一次的暴雨期應為一次的堆積，形成一層的堆積，每次能量不會完全相同，因此礫石的粒徑也不會完全相等，一次與一次之間應為間歇性的，因此各層次並不連續，而可被認出呈一層一層。

(3) 目前河床面上的礫石堆積，在河床上形成似「礫石灘」一般，一片一片的分散分佈，每片的礫石粒徑不相同，其分佈的範圍也有限，大約都在50公尺以內，有時相鄰二片之間粒徑差異就顯示明顯，這些分佈位置、粒徑的大小均受目前河床面的深淺起伏所控制，應也可以認為是河床上的小地形的控制。

(4) 十八羅漢山內的六龜礫岩全由各大小不同的粒徑所組成，呈層狀，如前面表中所列，層厚在1公尺以內，各層延伸範圍相當有限，其礫岩層內的礫石產狀與目前荖濃溪河床內的堆積條件完全相同，唯一之差異為總厚度不同，若一層代表一次的暴雨期堆積，各層厚在1公尺以內，六龜礫岩厚度在300公尺左右，可以表示至少有近300次的堆積作用，呈層狀也表示有間歇性的堆積，粒徑有粗細，也可表示搬運力有不同之大小，即雨量有不同之大小。

(5) 蒯濃溪河床若每遇暴雨即堆積一層，每年雨季必有幾次暴雨，累積十幾年或幾十年，一定可以達到數十層或數百層厚度的礫石層，但事實上並沒有，在荖濃溪河床浮洲內的呈層現代礫石之堆積也僅十層以內的狀況，此種現象可以作如下的說明。

現在的荖濃溪河床能接受沈積物的深度就是現代的深度，有如一10公分深的盆子僅能堆10公分厚的材料一樣，除非有加深作用，上面才能有空間再堆積新的材料上去，否則後面的流水會將超出某一高度的材料侵蝕掉，然後才有空間堆積新材料，河床深度若不變，則堆積層也將維持固定的厚度，此仍目前荖濃溪河床維持固定厚度的河床礫石堆積現象的原因。

若因為上覆空間持續停積新的堆積物，由其重力令地殼有向下拗陷的現象（Down Warpping），視為一面堆積一面下沈，則可以堆積至超過原沈積區深度的量，此種現象應是用以說明六龜礫岩堆積時的條件。

(6) 由以上的說明，本報告可以認為堆積十八羅漢山六龜礫岩時，此區有與現在相同的間歇性暴雨期現象，雨量有不同大小的變化，促使激烈的侵蝕作用和高能量的搬運作用，以至於在此區停積下來，仍因河道變寬廣平坦之故，但當時再配合地殼的下拗作用（Down Warpping），而有一面堆積，一面下沈以致堆積達300公尺以上的厚層礫岩；當時的古氣候條件與現代相似，成間歇性暴雨，有時大，有時不大，致搬運能力並不完全一致；同時也發生向下拗陷的地殼運動以作地殼均衡的調整，而能停積達300公尺以上厚度的礫岩層。

3. 結論

(1) 堆積十八羅漢山之六龜礫岩除古氣候條件與現代相似，經常有間歇性的暴雨，但這時的暴雨並非一致的，而有不同大小雨量。

(2) 地殼運動爲一面堆積，一面下沈的向下拗陷作用以爲地殼均衡的調整。

六、六龜礫岩區的地下水賦存狀況及地下水資源

要分析討論礫岩層的地下水賦存狀況及地下水資源，則必須需對岩層中的賦存狀況與河床沖積層內之賦存狀況有所瞭解，並對地表流水及岩層的透水性質予以分析，因此設計的調查方法如下：

1. 調查研究方法

本調查研究工作包括野外及室內二部份。

A. 『野外之調查工作』

- (1) 調查區的集水系統調查
- (2) 磫岩組成材料調查
- (3) 磫岩區溪谷水流流速、流量調查與估算
- (4) 岩壁滲水狀況調查

B. 『室內之分析工作』

- (1) 地質圖、地形圖之研判
- (2) 各岩體組成質材透水性資料之收集估算
- (3) 分析討論

2. 調查結果與討論

(1) 由野外實地調查中得知，本地區之地質組成材料以礫石為主，其間或夾有細粒砂質或泥質岩層。砂質或泥質岩層之厚度不定，大部皆為30公分以內；岩層長度延續不遠，或尖滅、或呈透鏡狀分佈。礫石之粒徑不一，有大至數十公分者，亦有小至數公釐者。然其分佈則約略具規則性，即粒徑相似者分佈成層狀，因此可由粒徑大小之分佈情形，約略看出礫石之沈積層序（圖版一：圖一、圖二）。礫石之間通常填充以細粒材質，或泥、砂混合材料。整個礫石層或有言其已歷

經壓密及膠結等成岩作用而稱之礫岩者，然而其膠結度並不高，故整體上看來仍極為疏鬆，其岩層表面極易受風化作用而崩落。

就地層組成材料而言，無論其為礫質或砂質，皆為透水性相當良好之材料（表二）。由表（二）中所示可知，在未固結岩層中，粉砂（Silty Sand）之水力傳導係數約為 10^{-4} 公分/秒，淨砂（Clean Sand）之水力傳導係數值約為 10^{-2} 公分/秒，而礫石（Gravel）之水力傳導係數值則約為1公分/秒。

由以上數值可知，若取水力梯度為1時，地下水在礫石質材料中之移動速度為每秒1公分。若假設地下水以如此的速度流過一個1平方公尺截面積體時，其所得的地下水流量為 $100 \times 100 \times 1$ 立方公分/秒，即10公升/秒，亦即為600公升/分 之流量。換言之，若地下水以 10^{-4} 公分/秒 流經一個1平方公尺截面積粉砂質岩體時，其所得的地下水流量為1立方公分/秒，亦即為0.06公升/分。由此，亦可計算得地下水在淨砂質岩層中之流量可達6公升/分。由以上數據可知，地下水之流速與流量於本調查研究區之地質材料中極為重要。

45

(2) 於調查研究區中地下水之賦存狀況可分為二部份討論之；一為岩層中之賦存狀況，一為溪谷河床沖積層內之賦存狀況。

如圖（圖版一：圖三；圖版二：圖一）所示，岩層中之礫石因細粒材質填充其間，加上已具膠結成岩之程度，因此其岩層之實際透水性較小於疏鬆或未固結情況下之同材質岩層。然而，於固結的礫岩中所夾的破

裂面，即岩層裂縫則常成為地下水之流通管道。於岩層中地下水的流通有兩種情形：一是沿著岩層流動，另一則是沿著岩層之裂縫流動。如同電流一般，地下水水流的流動亦循著兩個原則流動；第一個原則是由高壓處向低壓處流動，亦即由高勢能區向低勢能區流動。第二個原則是被採取為地下水流動的通道之岩層為具低水密性者，即對流動阻力較低之岩層，亦即地下水將沿著高透水性之岩層流動。如此，岩層中所含之水，因著重力之故，透過岩層向下滲流，其流動在通過透水性較好之岩層（如：礫石層）時流動速率較快，但碰到透水性較差之粉砂質岩層時，其無法快速滲入，因此流水將存積於礫石層內。當其存積至某程度時，則將使水流之流勢變成橫向流動，因此岩層內之地下水常沿著粗、細粒徑之岩層界面出露於岩壁或坡面。

當然，當滲流水在岩層中流動時，若碰到岩層中的裂縫，則將沿著裂縫流出。於調查研究區內，部份較大之裂縫甚至已達裂谷之規模。這些裂谷所匯集之滲流水除其坡度較陡外，已具小溪溝之規模。調查研究區內崖坡面上之滲流水經常以此二種方式流出。本區內之岩層雖已經有膠結作用，然其滲透性質仍相當地良好；因此，於調查研究區域內之地下水滲流方式，基本上是向下流動的速率大於向側方向流動的速率。其間，由於礫岩層中所夾之細粒岩層（如：粉砂質或泥質岩層），其或呈透鏡狀，或於短距離的延續後尖滅；因此，其存在與延續並未對向下滲流之地下水體形成任何形式的阻礙，而使水體向側向流動。是故，

出露於崖面上之滲流水甚少。

此一龐大的地下水體因著重力所積存的高勢能，最後則將於岩層界面與岩層裂縫或裂谷中流出。由裂谷中滲流出之地下水匯集而成溪谷中之流水，如此即形成調查研究區域內之溪谷河床沖積層內所賦存之地下水。

與調查研究區內之水系流域直接相關之主要溪流僅有向南流之西勢坑溪，其源自礫岩區之南端，向南注入荖濃溪（圖一）。荖濃溪位於研究區之東側，於研究區域段內為自北向南流，並以大貢占山（北）、狗寮山、竹頭山及大崩達山（南）為分水嶺，與研究區域之西側的雙溪及其支流東勢坑溪分隔。基本上，位於研究區域之內，且直接相關者僅有二條東西流向之溪谷。溪谷之寬度平均為十數公尺，其最寬者僅達二十公尺左右（曲流處），其餘皆僅為數公尺寬度，最窄處約為二公尺（圖版二：圖二、圖三）。溪谷蜿蜒於各山頭之間並與其支流溪溝形成樹枝狀分佈。位於南段之溪谷河床較平緩，河寬較寬，而位於北段之溪谷則坡度較南段者為陡，且多湍流點。溪谷之兩岸岩壁陡峭（圖版二：圖三），而使溪谷呈細U字形，為一處於堆積形態之河谷，或有稱之為積載谷。谷內於濕季（即豐水期）常有流水匯流，而於乾季時期（即枯水期），則常呈乾谷形態。

上述兩溪谷皆向東注入荖濃溪，其河口與荖濃溪相距僅約二~三百公尺，而整個區域自分水嶺向東，離荖濃溪僅約二公里左右；因此，溪谷內之水位應受荖濃溪水位之直接影響。然而溪谷內河床之高程應高於荖

濃溪河床約二公尺以上，因此溪谷內之水流無論於豐水期或枯水期皆為朝荖濃溪方向流動。實際上，除了於豐水期間，溪谷匯流地表水及岩層滲流水後亦將朝向荖濃溪會流外，於枯水期間，整個礫岩區所賦存之地下水體亦將因岩層之高透水性，而以不定之速率向荖濃溪滲流。由於溪谷內河床堆積亦以礫石為主，其為高透水性之材質，因此，除了豐水期間之連日降雨，始可得溪谷內之流水成渠。平常時期所能見得者僅為湍湍細流，甚或不見流水，或僅於岩壁下之凹處有水坑之存在。於研究期間曾數度進入溪谷內欲調查溪谷之流水狀態，然常因谷內僅有湍湍細流或不見流水而無法量取流水之流速及流量。其中，僅有一次在位於研究區域南段的溪谷中於不同河段測得溪谷內之水流的流速。爾後，利用簡化的方法予以計算，得平均流速約為13.5公分/秒，流量約為7.5公升/秒（表三），亦即當時之流速約為8公尺/分，流量約為450公升/分。以此推論之，即僅由其中之一條溪谷，每日即可向荖濃溪注入約648公噸之水量。而表（三）中所示之流水截面積僅為當時溪谷內水流之流道截面積，其平均水流面之流水截面積約為600平方公分，以平均水流深度20公分計，則平均水流面之寬度約60公分，其僅佔溪谷河床面之 $1/4$ 至 $1/3$ 不等。

表三 調查研究區南段之溪谷河床面的水流流速計測

水流流速(公分/秒)				水流截面積(平方公分)				平均流量
第一次	第二次	第三次	平均流速	第一次	第二次	第三次	平均面積	公升/秒
21.20	23.00	16.00	20.10	600.00	450.00	422.50	490.80	9.80
9.60	11.70	7.20	9.50	775.50	785.40	633.50	731.50	7.00
27.60	26.70	28.50	27.60	345.40	494.00	366.80	402.10	11.10
20.00	13.20	14.50	15.90	441.00	281.40	177.80	300.10	4.80
19.80	19.70	21.30	20.30	356.30	329.00	418.00	367.80	7.50
5.70	5.50	5.60	5.60	968.00	1039.50	1344.00	1117.20	6.30
20.60	21.50	22.70	21.60	807.30	292.50	402.80	500.90	10.80
15.70	20.50	19.00	18.40	315.00	540.00	600.00	485.00	8.90
5.70	5.20	4.60	5.20	357.50	595.00	292.50	415.00	2.20
11.60	14.20	12.20	12.60	684.80	508.50	630.00	607.70	7.70
4.60	3.40	6.40	4.80	1522.50	1786.00	1955.00	1754.50	8.40
5.80	6.20	8.90	7.00	900.00	430.00	412.50	580.80	4.10
30.40	29.60	33.80	31.30	122.50	140.00	330.00	197.50	6.20
總平均流速=13.5公分/秒；總平均流量=7.5公升/秒； 平均水流截面積=611.6平方公分								

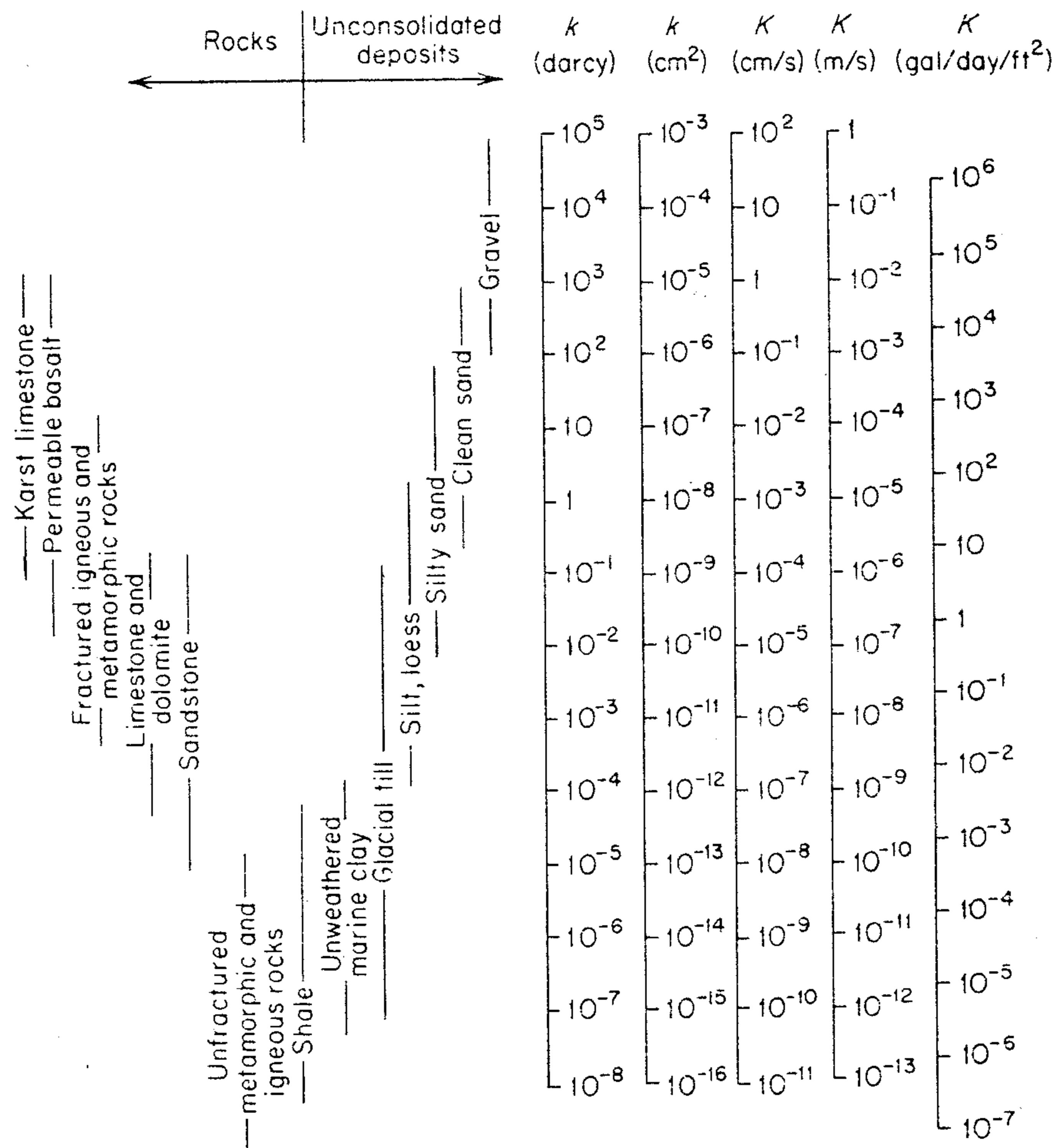
由上述計算所得之數值得知，當溪谷內河床面之水流，雖然流水面並不寬（僅為溪谷河床面的 $1/3$ 左右），其流量則已達648公噸/日；如若以河床之最小水流面2公尺，而水流深度20公分計，則其流量將可達約1,950公噸/日，此乃為一溪谷內保守的估計。

(3) 回顧前段(1)中所討論者，若假設本調查研究區沿荖濃溪河畔之區段全長為4公里。而地層材料之透水性取以淨砂(10^{-2} 公分/秒；表二)和礫石(1公分/秒；表二)之中間值，即地質材料之水力傳導係數值約為 10^{-1} 公分/秒，另按調查研究區內之溪谷的河床面約2公尺高於荖濃溪河床面計，若其橫向之水力梯度值假設為0.01(同時考慮岩層之膠結性)，則蓄含於岩層中之水體將以 10^{-1} 公分/秒 $\times 0.01 \times 2$ 公尺 $\times 4$ 公里之流量向荖濃溪滲流；即其滲流量為80公升/秒，即6912公噸/日。簡而言之，於調查研究區內蓄含於岩層中之地下水體，正以6912公噸/日之流量向其東側之荖濃溪滲流。

(4) 考慮乾季時期，溪谷內之河床面並無流水，然而可確知的是河床之沖積層內仍蓄存著大量的水。此現象可由兩方面得證之：一是在乾季時期，河床面雖然沒有流水，但是沿著崖壁邊仍然有水坑之存在。其次則是，當用手或工具將河床之堆積物挖開時，亦可在不同深度下(乾季時通常約在20~30公分)得到水之存在。

為瞭解水在河床沖積層下之蓄存與流動之情形，於位在調查研究區南段之溪谷內不同的地點，以挖掘水坑之方式量測地下水流入水坑之速率，並藉以估計河床

表二 各種不同地質材料的水力傳導係數及滲透度值表



沖積層內之地下水流動之情形（表四）。

由表（四）之結果可知，於不同河段所測得之滲流量相差甚大，其主要原因很明顯的乃因為河床堆積物之材質不同，造成滲流量有所不同。表（四）之估算方式為極簡略之計算方法，僅能供統計評估參考之用，並非絕對值。由表（四）所得之結果，綜合各河段對所開挖之水坑所得之平均滲流量約為630立方公分/秒。若取單方向之滲流量，因為水坑開挖後水是從四周圍流入，而地下水滲流則是單方向流動，因此單方向之滲流量約為315立方公分/秒，即18.9公升/分，亦即於所量測之河段內地下水流以27.2公噸/日之滲流量向荖濃溪流動。

3. 結論

52

綜合以上各段所述，一般而言，調查研究區域內之溪谷在全年的大部份時間裡，是屬於涓涓細流的情形，而整個地區之地下水蓄含量應仍有約7000公噸/日之流量滲流入荖濃溪內。由此可見本地區之地層富含地下水，其賦存量如可加以適當開發利用，應可成為甚好之水資源。加以本地區無任何工業或住家參雜其中，因此水質環境相當良好，若無外來之污染，則水質應可保持在一定水準之上。唯，水質分析不為本調查研究之工作範圍，因此不作進一步之探討。

表四 調查研究區南段之溪谷河床內的地下水滲流量計測

開挖面積 A (cm ²)	量測次數		水面回升		各時段滲流量 $Q_n = AxH/T$ (cm ³ /sec)	平均滲流量 $\bar{Q}_N = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Q_n)}{n}$ (cm ³ /sec)	總平均流量 $\frac{\sum Q_N}{N}$ (cm ³ /sec)	
	N	n	高度 H (cm)	時間 T (sec)				
50X100	1	0	4	0	-	497.0	53	
		1	5	6	833.00			
		2	6	11	1000.00			
		3	7	17	833.00			
		4	8	27	500.00			
		5	9	43	312.50			
		6	10	79	138.90			
	2	0	3	0	-	716.7		
		1	4	2	2500.00			
		2	5	6	1250.00			
		3	6	9	1666.70			
		4	7	18	555.60			
		5	8	25	714.30			
		6	9	39	357.10			
40X38	1	0	3	0	-	456.0	389.4	
		1	4	2	2512.00			
		2	5	9	717.71			
		3	6	20	456.70			
		4	7	47	186.07			
	2	5	7.5	86	128.82	323.0		
		0	2.5	0	-			
		1	4	4	1256.00			
		2	5	13	558.22			
		3	6	30	295.53			
		4	7	126	52.33			

表四(續) 調查研究區南段之溪谷河床內的地下水滲流量計測

開挖面積 A (cm ²)	量測次數		水面回升		各時段滲流量 $Q_n = AxH/T$ (cm ³ /sec)	平均滲流量 $\bar{Q}_N = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Q_n)}{n}$ (cm ³ /sec)	總平均流量 $\frac{\sum \bar{Q}_N}{N}$ (cm ³ /sec)
	N	n	高度 H (cm)	時間 T (sec)			
110X70	1	0	4	0	-		
		1	5	2	3850.00		
		2	6	7	1540.00		
		3	7	15	962.50		
		4	8	25	770.00		
		5	9	49	320.83		
		6	9.5	88	197.44		
	2	0	4	0	-		
		1	5	4	1925.00		
		2	6	9	1540.00	980.0	892.0
		3	7	17	962.50		
		4	8	28	700.00		
		5	9	45	452.94		
	3	0	3.5	0	-		
		1	4	1	7700.00		
		2	5	7	1283.30		
		3	6	17	770.00	889.0	
		4	7	27	770.00		
		5	8	49	350.00		
		6	9	81	240.67		

七、總結論

由以上六項地質地形的分析討論及野外觀察的資料，應可以得到以下的綜合性結論：

- (1) 本區的地質以六龜礫岩為主體，其下部有糖恩山砂岩、長枝坑層和樟山層，岩性為礫岩、砂岩、頁岩、砂頁岩互層和變質泥質岩之板岩。
- (2) 本區主要的構造線有土壟灣斷層、六龜斷層、月光山斷層、枋寮斷層和新威向斜、茶頂山向斜、茶頂山背斜、廣林向斜，構造線大致呈東北-西南向。
- (3) 由地形、礫岩岩性可認為六龜礫岩為一面堆積一面發生地殼拗陷的地殼均衡調整，始可堆積達超過300公尺的厚度。
- (4) 六龜十八羅漢山地區六龜礫岩層的堆積、地形的發育均與暴雨條件的古氣候有密切的關係，而且此種氣候條件影響涵蓋面積甚廣泛。
- (5) 依礫岩特性推測認為古地理條件為搬運礫石的溪流來自東南方向，十八羅漢山以西的丘陵區原為低的堆積區，均在六龜礫岩堆積後始上升，此種上升也應為發育十八羅漢山地形的位能之來源。
- (6) 六龜礫岩的堆積，大致有三次的沈積循環。
- (7) 十八羅漢山地區內之溪谷在全年的大部份時間裡為涓涓細流，但整個地區之岩層則仍保留著蓄含水之情況，整個地區地下水蓄含量應仍約有7000公噸/日之流量滲流入荖濃溪內，由此可見本地區之地層富含地下水，其賦存量可以適當開發利用，應可成良好之水資源。

(8) 十八羅漢山內除地質地形景觀外，亦賦存地質地形學術研討之資源，在南部地區為唯一的，趁此目前未被开发利用破壞之前宜速予以劃為保護區，其範圍至少應含全部礫岩區內的林務局公有地，最好宜與生物資源方面取得共識，劃定能涵蓋自然景觀資源又不擾民的範圍。

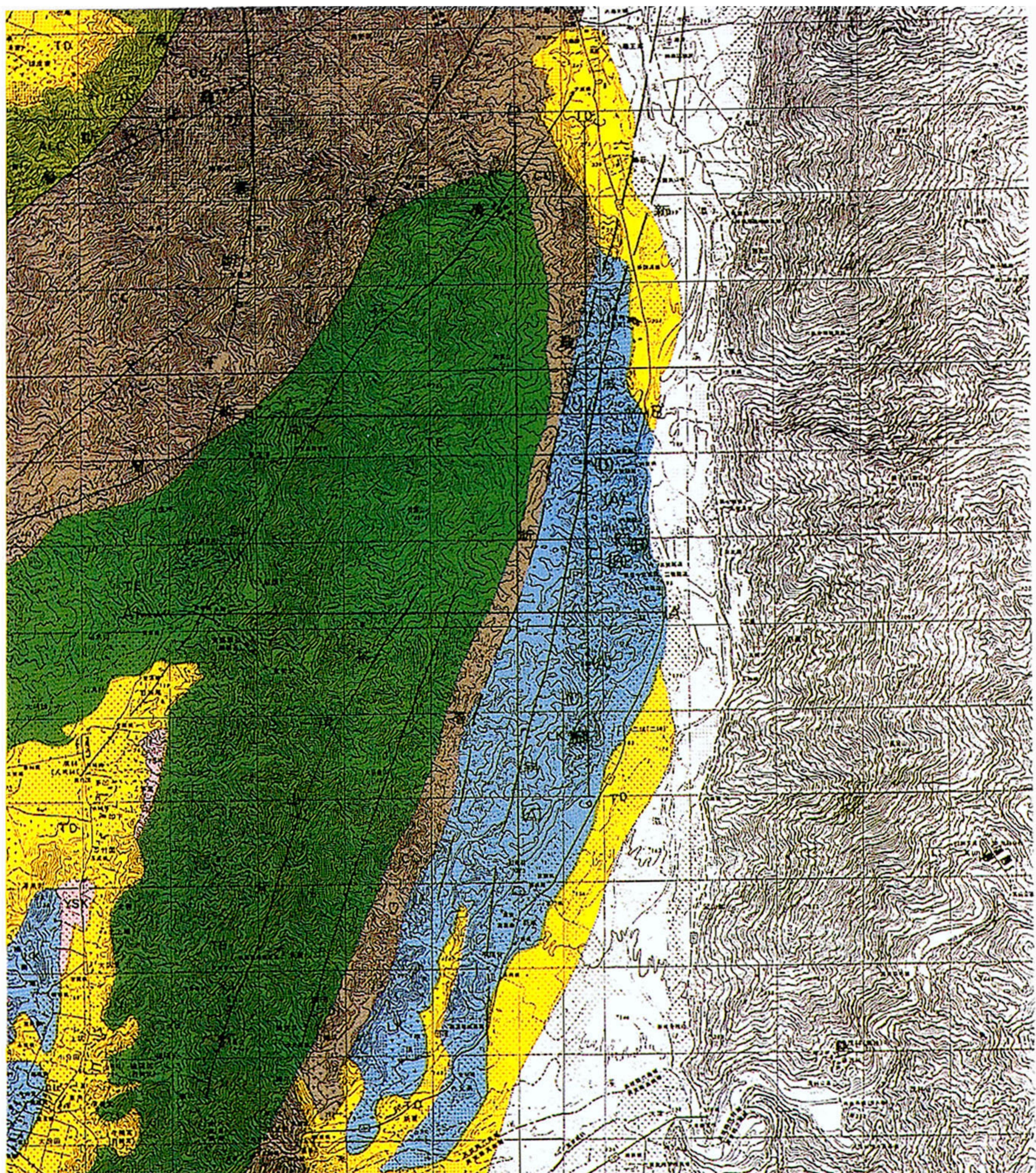
八、參考文獻

1. 何春蓀，1975，台灣地質概論，台灣地質圖說明書，中華民國經濟部，第1-118頁。
2. 何春蓀，1982，台灣地體構造的演變，台灣地體構造圖說明書，中華民國經濟部，第1-126頁。
3. 林朝榮，1957，台灣地形，台灣省通志稿，卷一，土地志地理篇，第一冊，地形，台灣省文獻委員會，第1-424頁。
4. 耿文溥，1967，台灣南部甲仙及旗山間之地質，台灣省地質調查所彙刊，第19號，第1-13頁。
5. 徐慶雲和邱紹康，1980，高雄縣六龜地區構造地質，台灣石油地質，第17號，第17-23頁。
6. 葉志宏，1984，高雄縣六龜礫岩最大粒徑及扁平礫石方向性排列之研究，國立台灣大學地質研究所碩士論文，第1-47頁。57
7. Allen, P. A., 1981, Sediments and processes on a small stream-flow dominated, Devonian Alluvial fan, Shetland Island, *Sedimentary Geology*, Vol. 29, p. 31-60.
8. De Marsily, G., 1986, *Quantitative Hydrogeology*, Academic Press Inc.
9. Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice Hall Inc.
10. Haan, C. T., 1977, *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State.
11. Earuba, Q., and Mencle, V., 1976, *Engineering Geology*, Czechoslovak Academy of Sciences,

Developments in Geotechnical Engineering 10,
p.1-504.

12. McCuen, R. H., 1992, Microcomputer Applications in Statistical Hydrology, Prentice Hall Inc.
13. Hendry, H. E., 1976, The Orientation of discoidal clasts in resedimented conglomerates, Cambro-Ordovician, Grap's, Eastern Quebec, Jous, Sedimentary Petrology, Vol.46, p.48-55.
14. Pettijohn, F. J. 1975, Sedimentary Rocks, 3rd Edition, Harper and Row, Publisher, p.1-628.
15. Reading, H. C., 1982, Sedimentary Environments and Facies, Blackwell Scientific Publications, p.1-569.
- 58 16. Rust, B. R., 1972, Pebble Orientation in fluvial sediments, Journal of Sedimentary Petrology, Vol.42, p.384-388.
17. Rust, B. R., 1979, Facies Model 2, Coarse alluvial deposits: in Facies Models, Geoscience Canada, Reprint Series 1, edited by R. C. Walker, Published by Geological Association of Canada.
18. Small, R. J., 1970, The Study of Landforms, a textbook of geomorphology, Cambridge Univ. Press, p.1-486.
19. Stell, R. J., 1976, Devonian basins of Western Norway: Sedimentary response to tectonism and to varying tectonic contexts, Tectonophysics, Vol.36, p.207-224.

圖版及圖版說明

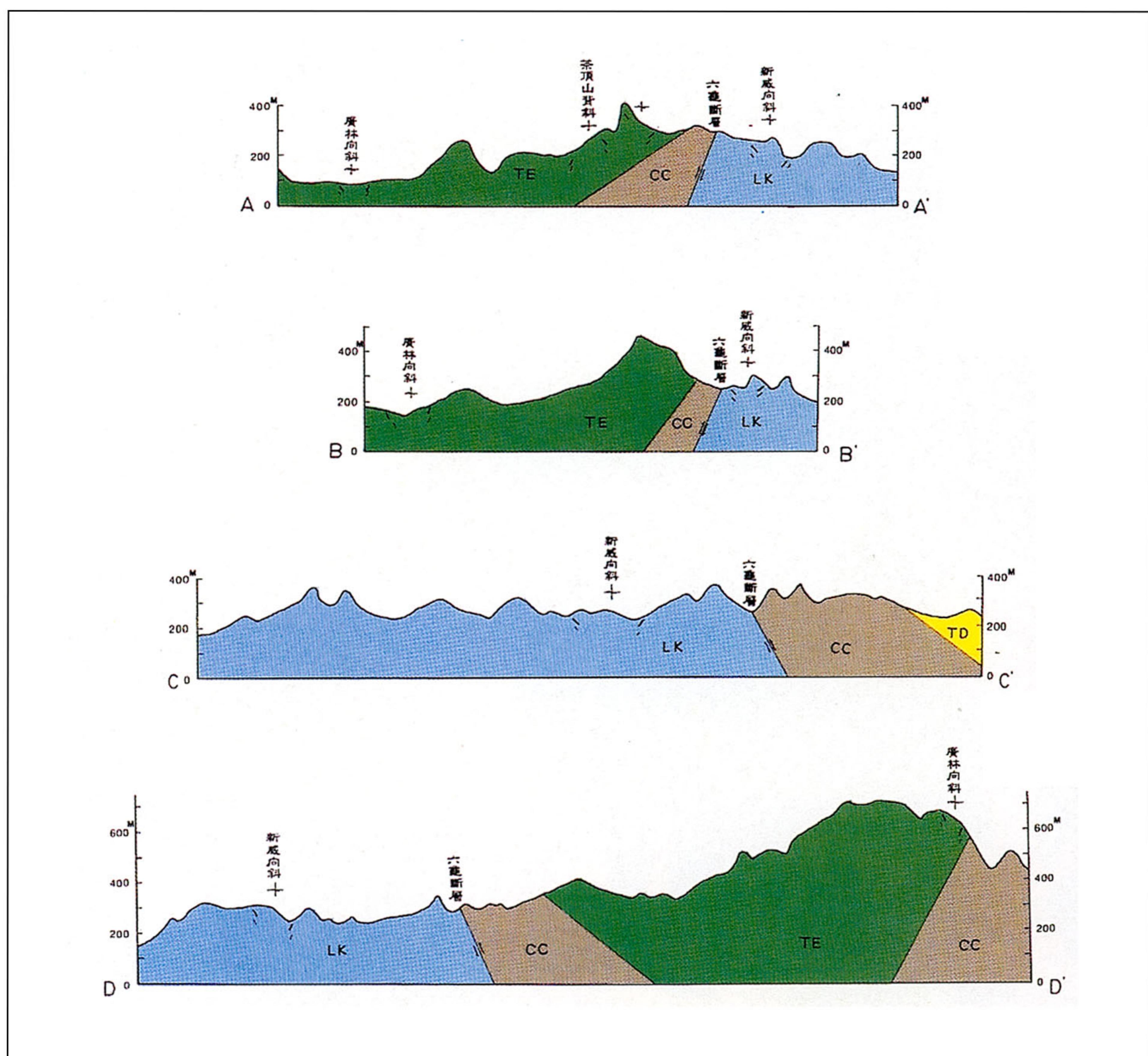


圖例	
TD	台地堆積
LK	六龜層
ALC	隘寮腳層
YSK	鹽水坑頁岩
TE	塘恩山砂岩
CC	長枝坑層

N
0 1km
比例尺

圖一、高雄縣六龜十八羅漢山地區地質地形圖

圖二、十八羅漢山地區地質地形剖面圖



圖例與圖一同



1 明顯的呈層狀礫岩層



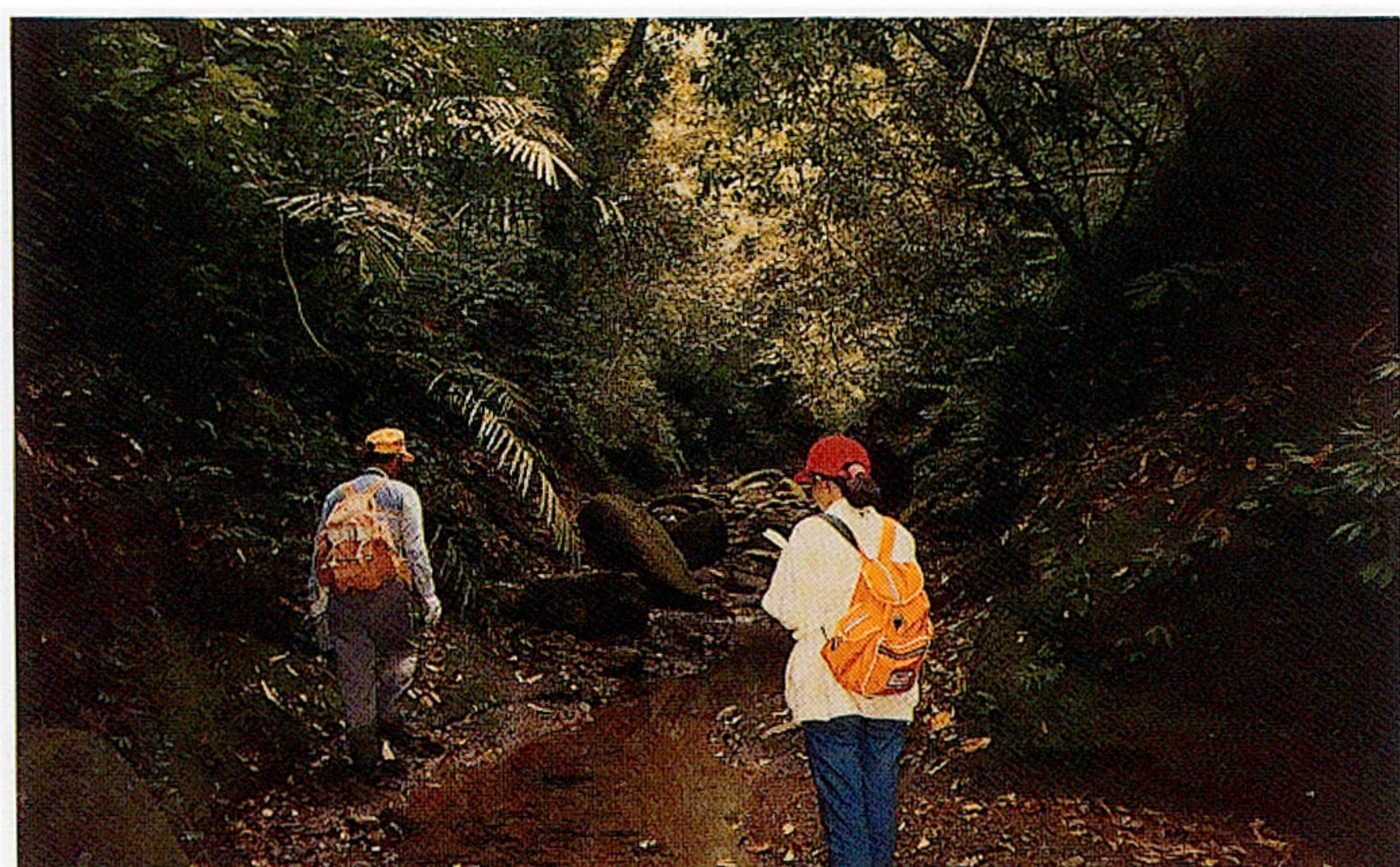
2 矶岩中以礫石為主，中夾呈透鏡狀的粗砂岩



3 膠結良好的礫岩有明顯的裂縫，為滲水的地方



1 膠結良好的礫岩及其裂縫



2 積載谷呈U字型的峽谷及兩岸之陡崖



3 溪谷已可看到流水及茂密的植生



1 碟岩中的碟石粗細
有時相當明顯



2 陡崖與峽谷



3 陡崖與側壓力



1 對岸看十八羅漢山群



2 粗細不同的礫石組成呈層略具方向性



3 矶石層與粗砂層之界限關係



1 碓石以砂岩質碓石為主，呈充填關係



2 呈次圓形的砂岩質大小碓石呈充填關係



3 扁平形碓石略具方向性



1 碟岩中的夾層粗砂岩，上下界限不同



2 半面山型的獨立山頭



3 碟岩中的植物化石，碳化木