

## 玉山國家公園地質動態與環境長期監測研究 - 以天池地區 長期山坡變形現象之研究為例

張石角<sup>1,2</sup>

(收稿日期：2003 年 5 月 15 日；接受日期：2003 年 8 月 8 日)

### 摘 要

南橫天池地區，因歷經數次火燒，為一片草生地景觀。正因此故，其地表凹凸等微小地形得以彰顯，而揭露出天池地區約四十公頃範圍內之「類喀斯特」地形。喀斯特地形以陷穴、盲谷、洞窟和地下排水系統等為其特色，乃石灰岩等受地下溶解、溶洞塌陷而成。其現象竟出現於變質砂頁岩分布區的天池地區，實不得不令人稱奇，而遂有此研究計畫。

本研究發現南橫天池位於一脊雙嶺所夾之淺谷內，其山脊和淺谷多凹穴和盲溝，各為地表水入滲系統，不與區外水系連接；天池乃凹穴中規模最大且長年有水者。

本研究發現此等凹穴與盲溝都是地下水侵蝕造成地下孔洞，使地面塌陷而成。而此地區地表水之所以幾乎全部入滲成地下水，而地下水又容易侵蝕成地下空洞，乃因本地區高傾角板岩層之順向坡產生「重力屈膝褶曲和塌陷作用」所致。

重力屈膝褶曲和塌陷作用現象普遍見於台灣板岩、千枚岩、片岩等岩層分布區，惟常被誤解為構造型褶皺，而滋生困擾。此種作用對地形發育、邊坡穩定、工程地質等有特殊之意義，應加以重視。

天池地區地下水系、凹穴、盲溝等地形特殊而典型。建議應將相同成因之此類地形稱之為「天池地形」。

**關鍵詞：**天池地區，類喀斯特地形，重力屈膝褶曲和塌陷作用，天池地形

### 一、前 言

南橫天池自長青祠嶺頂稍東至天池派出所一帶乃一山脊，地貌相當和緩，草生地之面積約四十餘公頃，其他原為松樹林，據說歷經數次火燒，故草生地乃其火燒跡地，至今其邊緣仍殘

---

1. 自然環境及災害研究室，台北市 104 長春路 328 號 2 樓之 5。

2. 通訊作者。

留高大之松樹幹白木林。此草生地於約五年前栽種紅檜、香杉、二葉松、華山松等樹種，惟因樹苗仍小，故至今尚保有草生地景觀。正因其為草生地，故當身臨其地時，其地表凹凸等微小地形特徵遂得以彰顯，而揭露出天池地區四十公頃範圍之「類喀斯特」(Karst)地形。喀斯特地形以陷穴、盲谷、洞窟和地下排水系統等為其特色，乃石灰岩等受地下水溶解、溶洞塌陷而成。其現象竟出現於變質砂頁岩分布區的天池地區，實不得不令人稱奇，而遂有此研究計畫。

設若此地森林未遭火燒，則在蔭鬱之林相下，此特殊地形豈不將續為沒沒於世乎！

本研究計畫之成果除可增加台灣地形研究的新頁外，並可提供天池地區地球科學和植物生態學的解說教育資料，而藉以豐富本區之遊憩內涵。

## 二、材料與方法

### (一) 南橫天池地區之地貌

#### 1. 地貌分區

南橫天池位於荖濃支流溪拉庫音溪左岸之肩狀嶺(Ledge)上，距拉庫音溪注入荖濃溪處約三公里(圖一)。

肩狀嶺係狹長而平坦之山脊，居山系指狀末端，三面下臨陡峭谷壁。天池肩狀嶺東、北、西三面皆鄰接拉庫音溪及其支流之河谷，其西、北兩側陡峭，而東側稍緩，乃其南面的庫哈諾辛山(EL.3115m)之餘緒，後者則為關山(EL.3668m)之西北向支脈。天池位於山脊上之凹溝，後者凹溝將肩狀嶺分割成東西，不對稱之叉狀嶺，其大者在主山脊上(區)，其平坦面之標高約2330公尺，長約700公尺，寬約180公尺，小的則在其東側之旁枝(區)，其平坦面之標高約2310公尺，長約200公尺，寬約70公尺。長青祠即建於小肩狀嶺東斜面上。

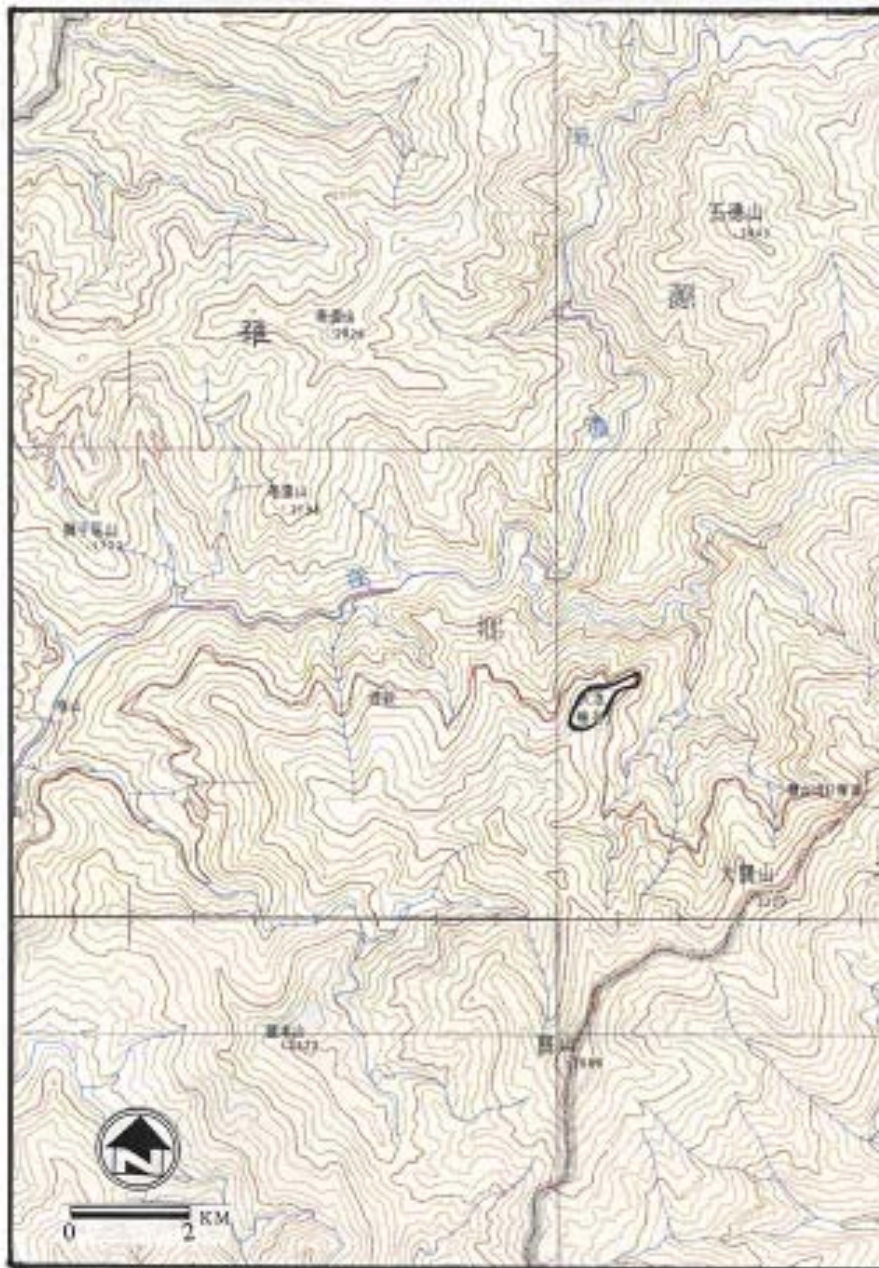
所以天池肩狀嶺乃一脊雙嶺(Double crests of a ridge)之特殊地形。

天池肩狀嶺之東向坡原應為一稍緩之斜坡，今則於天池派出所與林務局工作站間形成直徑約六百公尺之弧形山凹，乃一大規模崩塌作用之崩積地(區)，而將此東斜坡分為北、中、南三區(圖二)：

北區山坡為原東坡之北側殘留物，上接大肩狀嶺北端約三十公尺之陡崖(坡度約 $35^\circ$ )，緩坡面坡度約 $14^\circ$ ，中夾小陡坡，整體呈小階段，寬150公尺，長約600公尺，至南橫公路下方漸變為陡坡。

中區(區)上接肩狀嶺(區)之陡下坡，外側隔一矮嶺，下接弧形山凹區(區)，故亦為一雙嶺區。雙嶺間之淺谷其本體則為南北向延長之波浪狀緩坡，中有二條淺溝和其間之高地。從其周邊地形大勢看來，本區之地形特徵頗類天池谷地。

南區位於長青祠之南，自南橫公路上方標高2350公尺至嶺頂部分為坡度約 $25^\circ$ 之稍緩坡，坡面作不甚規則之緩起伏；標高2350公尺以下坡度轉陡，植被為茂密之雜木林。

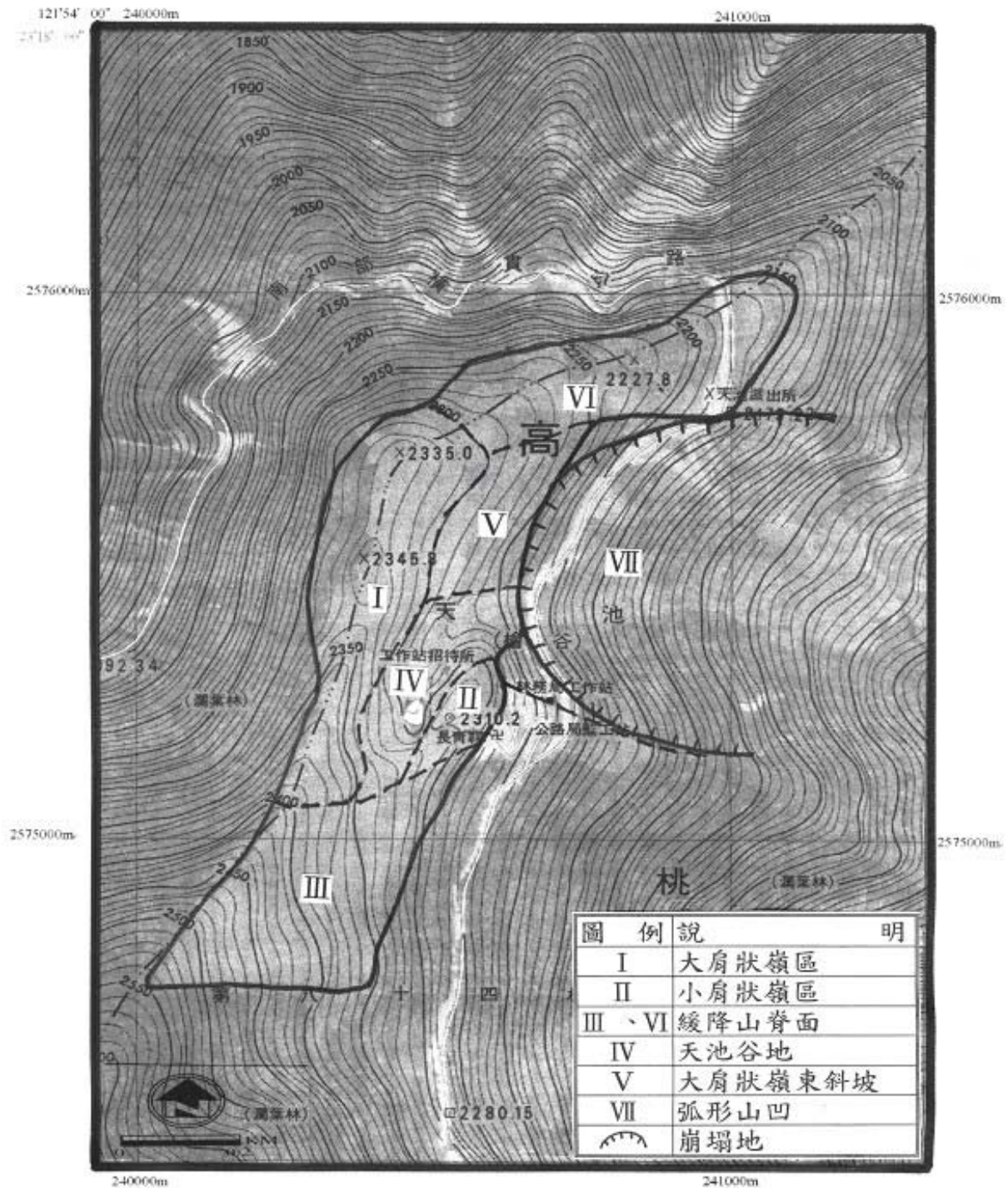


圖一 玉山國家公園天池地區地理位置圖。

天池所在之谷地長約 200 公尺，底寬約 40 公尺，末端開口朝東，下距南橫公路路面有 40 公尺之高差。此凹地與大小兩肩狀嶺頂之高差分別為 50 公尺和 25 公尺。天池谷地之西翼為肩狀嶺之東斜坡，其向北延長部分即構成東斜坡中區（區）之陡上坡。

根據以上地勢特徵之分析描述，本研究可劃分為七個地形區。其中、兩區為肩狀嶺，稱之為嶺頂區；天池谷地（區）和其北側淺谷都是雙嶺夾一谷之地形特徵，皆屬地形凹區，稱之為溝谷區。區和區則保留有東斜坡之地貌，而其中所挾之弧形山凹（區）則為崩跡地。

因之，天池地區依其地貌區位與特色雖可劃分為七區，卻又可歸納成嶺頂區、溝谷區、東坡區和崩跡地等四大地形區。其空間之配置模樣頗為神奇特殊，顯然隱藏其生成機制之秘密。



圖二 玉山國家公園天池地區地貌分區圖。

植被上，本研究區為火山跡地與區外雜木林區涇渭分明。區內目前雖已重新造林，仍在幼苗階段，故全區呈青草色景觀，與區外之雜林間有鮮明之界線。在造林樹種方面，區南界延至嶺頂以北地區以紅檜為主，區與區交界約 20 - 30 公尺寬度，種植耐火性較強之青剛櫟當防火巷；區和區則為華山松。因此地貌分區恰與造林分區頗有一致之處，而地貌分區遂可以特徵彰明之造林樹種為其指標。

## 2. 天池地區之水文地形特色

一般山勢之隆起者為嶺頂，而其下凹者，則呈溝谷；前者集天水，後者收而排出之。故地勢及其水文作用皆單純且為理所當然。

惟天池地區之所以須加研究者，即在其微地形和水文有非尋常之處。其特色，簡而言之，即：高者凹之，凹者高之，地表水不相往來而不成地表水系。

以天池所在之谷地（圖三）而言，其地形圖上之形狀與源頭河谷無異，而實際上其谷地內卻有三個窪地沿著河谷一字排開，直徑 10 - 20 公尺，形狀亦各異，且地勢高下亦無規則，顯然不能相互貫通而成一個地表水系。其地形示意縱剖面如圖四所示。

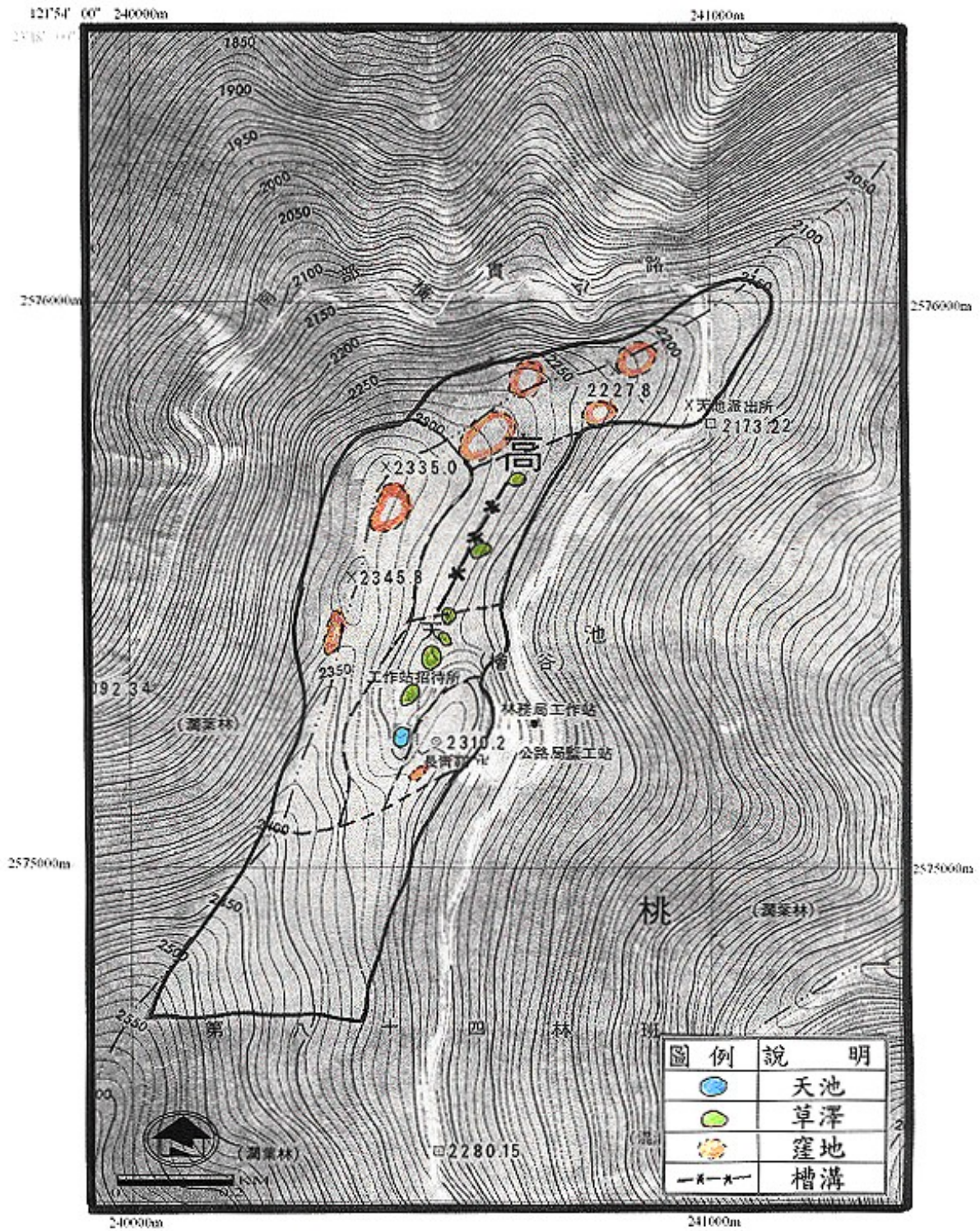
天池谷地之窪地中，唯有天池因其經年有水，又因規模小，故稱之為「池」；其他二個則常時乾涸，窪地最深處皆在中央，而呈漏斗狀，顯然乃地表水大量下滲所造成。該等窪地於雨季可儲水，長髮草，其生長面積則受水域之控制：乾季時，只有池中央濕度較大，仍舊有水草之生長，其他部分則枯黃而成褐色，故屬非常時草澤(Marsh)。

東斜坡中區(區)雙嶺間之淺谷有南北巷平行溝槽之發育，皆呈斷線者，而短線之一南端或北端恆有凹穴，生長髮草。此等窪地直徑 3 - 5 公尺，槽溝為其匯集地表水之水路，而沿溝亦多窪地；而當水入淺盤狀凹穴後，則無復有明顯出口，故可確定該等凹穴應為地表水下滲處。內側槽溝北端之一凹穴深可四、五公尺，乃規模最大者。

大肩狀嶺(區)、東斜坡北區(區)和東斜坡南區(區)上之平坦面亦有多個淺碟狀窪地，直徑數公尺至十多公尺，其在大肩狀嶺上多作橢圓形，而在東斜坡面上亦有中間陷落，兩側作階段狀者。但都無儲水成池，惟其中央地表水入滲處痕跡清晰，且以無樹木(含造林植栽)生長為其特徵。

小肩狀嶺頂因已被開闢為觀景台和步道，原來地貌已遭改變，惟仍可於步道外側見有一數公尺長之橢圓形窪地，表示此處亦有其生成之環境。

大、小肩狀嶺和東斜坡北區等地形分區(區、區、區)之窪地的共同特徵為淺而無儲水情況。此或以其位在地形高區，距稜線近，故其集水面積小，流入窪地之地表水量少而有以致之。



圖三 玉山國家公園天池地區池、沼、溝、窪等地貌分布示意圖。



圖四 天池谷地地形縱剖面示意圖。

比較溝谷區(、區)與嶺頂區(、區)之窪地形狀，其在嶺頂區者無明顯邊緣(Rim)，窪地自然過渡至周圍坡地；其在溝谷區者，則有明顯之邊緣，且其處於乾涸而露底者，更見窪地中尚套有小窪地的情況，表示水少時之滲水處(圖五)。



圖五 溝谷區草澤區與嶺頂區窪地立剖面示意圖。

綜合以上各地貌分區水文地形特色如下：

- (1) 研究區內地表呈凹穴、溝槽等水文微地形，而無完整地表水系。換言之，本區自成一內陸水系，雨水皆在區內下滲。
- (2) 地形高區之凹穴淺而無邊緣；溝谷區者邊緣分明。不同形狀和規模之凹穴在區內有普遍之分布，以雙嶺谷地特為明顯，而在近嶺線區則稍遜。
- (3) 地形高區凹穴無水，亦無水草，只是不易生長樹木；溝谷區者除天池有水之外，其他窪池在雨季亦有水，而形成草澤，池內長滿簇狀優雅之髮草。
- (4) 東斜坡中區凹穴一邊，恆帶有溝槽以集水，而前後左右相鄰之溝槽則互不相通。

## (二) 南橫天池地區之地質

天池地區的構成岩盤露出於圍繞天池肩狀嶺之南橫公路上邊坡。尤以天池派出所至中之關間，連續峭壁，使岩盤出露而可供岩層和地質構造以及邊坡變形之觀察研究。

天池肩狀嶺之東斜坡，即天池派出所至長春祠之間，自南橫公路至嶺頂，其地表唯見岩塊與土壤，而無完整基盤之出露，故乃提供研究本地區邊坡變形和岩石風化作用的良好觀察場所。

換言之，天池地區地方雖小，卻有地下至地表的各種地質現象的豐富資源亟有利於地形作用和現象之觀察，而且交通方便，便於親近，故乃不見多之優質特殊地質景觀的野外教室。

天池肩狀嶺北西兩面山壁嵯峨峭拔，其肌理強直，皆由近乎垂直之劈理面和節理面所形成，岩色烏黑單調，岩質硬脆，且為變質硬頁岩和粉砂岩偶夾砂岩之岩層之特徵。此三類岩石在新鮮岩壁上雖然頗難作精準之分辨，惟仍難逃水與空氣的試煉。故自肩狀嶺之風化土層中，土多石少的情況，可約略推知，較易於風化之頁岩，約佔比例 70%，砂岩則為量不多，以其硬度大，故其存在處，常突出於地表而顯露。

根據文獻（經濟部中央地調所，1988），天池地區之岩層係生成於中新世早期的海底的梅山層，其層序相當於廬山層。廬山層廣泛分布於中央山脈之西斜坡及其南端，如太平山、合歡山、奧萬大、三地門等地皆是。廬山層之岩質以硬頁岩、板岩、千枚岩夾砂岩為主，合歡山、奧萬大以板岩和千枚岩等葉片狀岩石較為發達，而天池地區者則以變質頁岩和粉砂岩等片理較不發達的岩石為主。

本區岩層構造與台灣和本區域的主構造線相一致，即岩層層面之走向大致為東北偏北或南北，層面多傾向東或東南，亦有向西者，傾角則變化很大，一般多大於 45°，亦有近乎垂直者（圖六）。

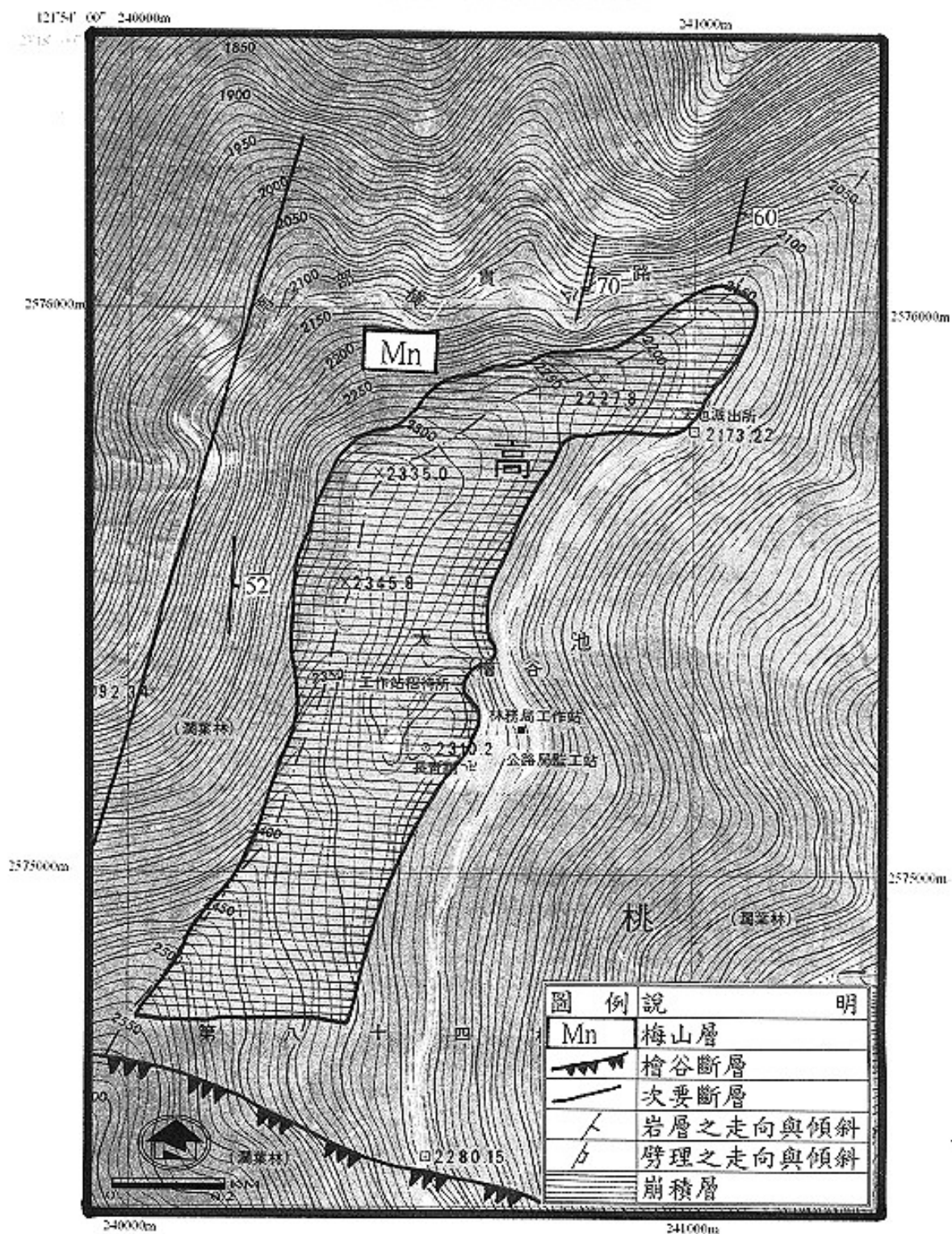
在變質沉積岩地區，由變質作用所產生的葉片狀構造(Foliated structure)對地形的發育的影響力遠大於原來的層面。所謂葉片狀構造係指變質岩可成片狀裂開的可裂性(Fissility)而言，其乃起因於岩石於遭受高溫與高壓的變質過程中，其組成之礦物結晶軸或其礦物組成採取方位調整或成分重整的動作，以有助於其紓解環境壓力所作的優勢排列。例如，板岩的葉片狀構造即其板狀劈理(Slaty cleavage)，乃其中的片狀礦物，如黏土礦物、雲母類礦物等採取片離面相互平行的緊密排列所成的結果。

一般而言，岩石中層狀礦物如黏土、雲母等所佔比例愈大者，其葉理愈發達和愈為細緻，如千枚岩者然。天池地區因以粉砂質（多細粒石英粒）含量較多，因此葉理不若板岩、千枚岩之發達，只有較粗的破裂狀劈理，其延續性小，但風化後仍形成掌狀大小之岩片而混雜於土壤中。

天池地區此種破裂狀劈理的位態與岩層走向一致，亦是東北偏北，劈理面則以高角度向東南傾斜，使得天池肩狀嶺的北面坡和西面坡分別為斜交坡和反向坡，皆以坡度陡峭為其地形特色，坡度大多在 60°以上，部分則近垂直；而天池肩狀嶺東斜坡則惟順向坡，所以坡面較為緩和，坡度亦在 40°左右。但肩狀嶺區，亦即本研究區之平均坡度約 20°，而嶺頂和溝谷區之坡度小於 10°，則為岩層風化和長期邊坡運動所造成之結果，已經不是岩層初始層態所直接控制的產物。

天池地區的岩體，除其岩層層態和劈理之外，尚受到鄰近的斷層之影響。根據文獻（經濟部中央地調所，1988），本區在檜谷附近有一條近東西向的「檜谷斷層」和西邊南橫路線處的一條南北向次要斷層，皆屬逆斷層。斷層乃岩體不堪受到強大之擠壓力而產生的斷裂與位移的現象。而位處斷層附近之岩體受其剪壓力之影響常因而破碎，而容易產生較為激烈的風化和崩塌等作用。





圖六 天池地區地質與土壤分布圖。

岩體因地殼擠壓作用而破碎，遂於岩體產生縱橫裂隙，使空氣和水得以滲入至岩體深處而弱化岩體整體之強度，並使風化作用得以活潑進行。此種風化作用未受擠壓作用之結合緊密岩體中是不容易發生的。而岩體風化者，其強度更進一步遭到削弱，於是陡邊坡上重力拖曳作用極大的環境條件下，岩層層態遂漸從直立轉化成平置狀態以求達到較易獲的平衡的空間排列。此種岩層之長期緩慢之變化不同於移動迅速的崩塌和地滑作用，所以極少引起學者之注意。台灣尤其如此，並對此種局部性之層態改變之誤解，其為局部性小規模之褶皺作用而又整體難以解釋，而成為地質學者的困擾（Billings, 1972）。

### （三）南橫天池地區之土壤

土壤(soil)係指地表未固結之礦物質和有機質，其性質顯示其母質及物理、化學、生物和地形等環境因子及生成時間之特性。

天池地區自大肩狀嶺嶺線至東側南橫公路上高差約 180 公尺，面積約 40 公頃之地表悉為稜角尖銳之大小岩塊及夾於其中之赭黃色磚紅壤所覆蓋，部分地區覆有數公分厚之黑色腐質土。

土壤中石塊之比例隨外而異，自 30% - 70%，與母岩性質和風化程度有關。土壤之厚度不明，惟天池谷地頗似古河道地形，惟據踏勘所得，除土質較為深厚外，未發現足以代表流水搬運與堆積之沖積層。此遂使天池谷地之水成說法（富田芳郎，1972）失其依恃。全區除南橫公路上邊坡約五公尺高度及長青祠後方山坡出露變形破碎岩層外，未見有完整岩盤露頭。故其土壤應有相當之厚度，而土壤和變形破碎岩層的厚度以及完整岩盤面之深度尚須賴地質鑽探求證之。

此外，一如前述，天池谷地中地勢起伏甚大，不能通水，故其成因顯須另闢蹊徑。

以上土壤之特色及其分布狀況，在學理上應有以下之意義及水文與地形作用之現象：

1. 本區地表土壤中夾雜尖銳砂質岩塊，應分別代表母岩中之泥質岩石和砂質岩石；兩者之抗風化能力頗為懸殊。土壤含石量受母岩出露地點之控制。由於岩層傾角大，某種母岩之分布範圍有限，故使土壤含石量顯示局部性的變異。
2. 分布於本區地表之土壤惟含有未風化或部分風化的石塊、角礫等，大多見於較陡之山坡。由於成土作用不完全而無農業價值可言。本研究區地表頗為平坦，石質土都覆蓋四十多公頃之地面，且其深度頗大，故其應非為一般成因之石質土，而似為影響全區之某種形式之岩層崩移作用所成。
3. 根據文獻(Loughnan, 1969)，磚紅壤(Laterite, Latosols)乃生成於排水良好之大草原型降雨地區，其生成之環境條件為高降雨量、強烈淋溶作用和氧化環境，而其土壤中以含有多孔隙之氧化鐵為特徵。惟磚紅壤一般生成於中低海拔地區，二千公尺以上之高山林地一般只見灰化土（謝兆申、王明果 1991），且林下土壤通常有腐質土之覆蓋，本區雖局部覆有粗腐質(Raw humus)，推測本區應長期為草生地的狀況，而可能與本區特殊地形及其作用有關。

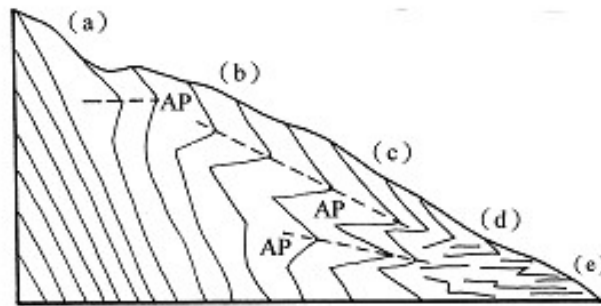
#### (四) 天池地區岩層變形現象與山坡長期變形作用

##### 1. 天池地區岩層變形現象

(1) 天池地區岩層露出良好之北側和西側陡坡，其岩層大致皆作南北走向，層面以高傾角向東傾斜；東斜坡南橫公路以上至嶺頂則皆被土壤或破碎岩塊覆蓋，而不見完整之岩盤露頭。根據所見露頭推斷，本區之岩層構造應頗單純，即：岩層走向近乎南北，層面以  $60^\circ$  左右之高傾角向東傾斜。

(2) 本區北側山坡南橫公路東西向路段之上邊坡，坡高自西端之一百八十公尺 (EL.2330) 遞降至東端的零公尺 (EL.2150)。所以公路越接近東端，與東向坡面間之高差就越小。而因坡面下之岩層對坡面地貌若有所影響，則其最明顯處當在岩層接近坡面處。北側公路段之東端正當下伏之岩層與其坡面之交界處，因此提供岩層如何影響其坡面的良好觀察機會。

本路段自路面上目力所及之高度至坡面與公路交接處所見之岩層層面之變化如圖七所示。本圖顯示岩層層態在空間上有如下之規則性改變：



圖七 天池北側山坡與南橫公路交接處岩層層面之變化圖。

- ① 岩層露頭可分成靠近東斜坡的變形部分與其內側的未變形部分。
- ② 未變形部分的岩層面外側，由平直而向外側略為凸出 (a)，然後彎曲幅度越向外側越大，而呈顯褶曲構造 (Fold) 之型態 (b)。
- ③ 褶曲皆屬翼長自數公分至一、二十公分之微型褶曲，其褶曲軸 (Axial plane) 初始近水平 (c)，然後稍向下坡傾斜。
- ④ 褶曲兩翼皆相交成尖頂 (Chevron)，並連續褶曲而成「鋸齒狀褶曲」 (Zigzag Fold) (b)。
- ⑤ 鋸齒狀褶曲在靠近內側 (未變形部分)，其兩翼交角大於九十度，而屬「寬展型」褶曲 (Open fold) (b)；越向外側則其兩翼越聚攏，相交遂成小於六十度之「閉合型」褶曲 (Closed fold) (c)。
- ⑥ 閉合型褶曲於接近地表處，其兩翼內側層面恆摺疊在一起 (d)，終成幾乎水平平行疊置之岩堆 (e)。
- ⑦ 屈膝褶曲作用最終階段雖然形成板狀岩塊相互疊置之情況，實則其岩層間仍有相當程度

之交錯犄角，而形成甚大之空間，容許大量水與空氣之進出而極有利於變形岩層之風化和地下之沖蝕作用。

- (3) 以上岩層變形空間變化實際上亦為岩層從初始狀態演變至最終風化土壤之時間序列 (Time Sequence)，其過程以照片一 六表示之。此一岩層彎曲變化過程，望之有如人體不堪其自身重量之負荷，而屈其膝蓋終至跪倒，故稱之為「屈膝褶曲」(Knee fold)，乃起因於重力的塌陷 (Gravity collapse) 構造 (Jackson, 1997)。
- (4) 本區東斜坡南北向南橫公路段上邊坡，唯見水平堆置之岩堆；其在長青祠南側者，岩石平置整齊狀如岩盤，皆是岩層屈膝褶曲與塌陷之最終結果。

綜上述可知，天池肩狀嶺地區緩坡地形，乃該區岩層近地表部分，在重力作用下，產生屈膝褶曲和崩陷之結果。

在重力作用下，山坡組成物質非因風力、水力、冰川等營力所產生之位移現象，一概歸為「斜坡運動」(Slope movement)。

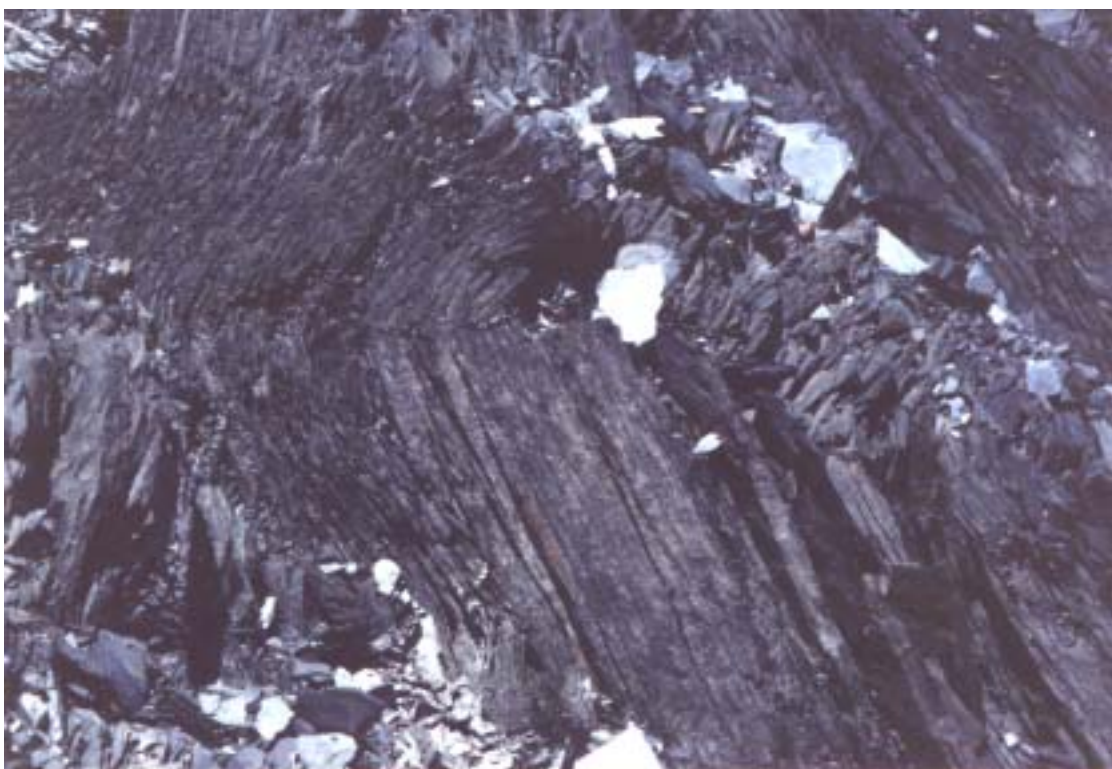
地震、豪雨引發的崩塌、土石流 (不含由洪水帶動者，蓋其動力為水力) 屬於快速的斜坡運動；天池地區之岩層變形需時須以百千年計，而其作用目前仍然持續中，故屬於極緩慢之斜坡運動，稱為「潛移」或「蠕移」(Creep)。而天池地區岩層之潛移，其變形幅度自深層至淺層，循序加強，故稱為「累進式潛移」(Progressive creep)(Hutchinson, 1968)。

此種地表作用之岩層完整變形過程，可稱之為「重力屈膝褶曲 - 崩陷」(Gravitational knee folding-collapse)，而對只表現某一階段之現象者，則可分開指稱之。例如只有屈膝褶曲現象者，稱為「重力屈膝褶曲」；若只見其平置石堆者，則可稱為「重力屈膝褶曲 - 崩陷」(Gravitational knee folding-collapse)，而對只表現某一階段之現象者，則可分開指稱之。例如只有屈膝褶曲現象者，稱為「重力屈膝褶曲」；若只見其平置石堆者，則可稱為「重力屈膝塌陷構造」等。



照片一 重力屈膝褶曲作用過程 (一)。

照片二 重力屈膝褶曲作用過程 (二)。



照片三 重力屈膝褶曲作用過程（三）。



照片四 重力屈膝褶曲作用過程（四）。



照片五 重力屈膝褶曲作用過程（五）。 照片六 重力屈膝褶曲作用過程（六）。

## 2. 天池地區岩層變形機制與變形地形特徵

### （1）天池地區岩層變形為「非地體構造作用」：

天池地區岩層之「屈膝褶曲」構造現象不同於岩層受到地殼內部之擠壓力所產生之褶皺 (Fold)，有以下二點說明：

- ① 屈膝褶曲乃岩層呈折裂彎曲，此表示其係發生於地表岩石物性極為硬脆之環境，非同於地底高溫高壓下岩石之塑性變形。
- ② 發生屈膝褶曲之岩層，其層面皆呈開口狀之張力裂隙，層面間並有相對位移之情況，非同於強壓下岩石破壞 (Rupture) 面之密接。此亦表示其作用係發生於地表。

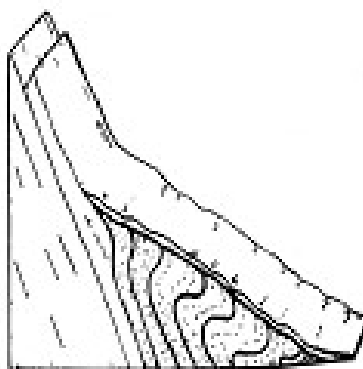
### （2）天池地區岩層變形乃由於順向坡解壓作用：

天池地區西、北、東三面皆臨拉庫音溪深谷；岩體之臨深谷者，其谷壁恆生解壓節理 (Pressure-release joining)，但本區岩層變形係只發生於東向斜坡。此因東向斜坡乃本區岩層構造之順向坡；順向坡解壓時，其現成之綿密層面提供廣且深之解壓節理生成之空間，使岩層得以向溪谷方向解壓，而產生屈膝褶曲（圖八）。其他北、西兩個方向，因無此特殊有利條件，故

無朝該等方向產生顯著之重力變形現象。

### (3) 泥質層狀變質岩之重力變形規模：

岩體解壓而產生岩層重力變形，恆發生於板岩、千枚岩、黑色片岩等泥質層狀變質岩高傾角（坡度大於五十度）順向坡（Zaruba et al.,1982、Selby,1993）。此類岩石的共同特徵是具有極為發達的片理面，可因風化作用、解壓作用、地震作用而分離。而高傾角則有利於雨水之下滲，以促進其風化作用；處此二項條件之岩體，使岩體整體強度軟化，位高傾角的斜面上時，其安全係數(Factor of safety)會隨著風化作用的加深、解壓作用的進行、地殼震動等而逐漸變小，才會褶曲位移。



圖八 順向坡解壓時，岩層因重力變形產生屈膝褶曲現象。（圖片來源：Selby,1993）

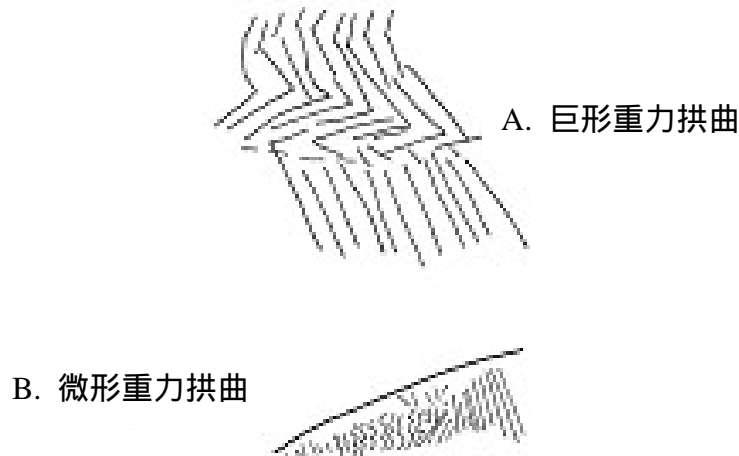
### (4) 泥質層狀變質岩之重力變形規模：

- ①岩體解壓而產生岩層重力變形，恆發生於板岩、千枚岩、黑色片岩等泥質層狀變質岩高傾角（坡度大於五十度）順向坡（Zaruba et al.,1982、Selby,1993）。此類岩石的共同特徵是具有極為發達的片理面，可因風化作用、解壓作用、地震作用而分離。而高傾角則有利於雨水之下滲，以促進其風化作用；處此二項條件之岩體，使岩體整體強度軟化，位高傾角的斜面上時，其安全係數(Factor of safety)會隨著風化作用的加深、解壓作用的進行、地殼震動等而逐漸變小，才會褶曲位移。

換言之，傾角太小或層面間結合力尚未遭到風化作用等破壞的層狀變質岩，是不容易發生重力屈膝褶曲，如天池鄰近地區未變形之山坡即是。

- ②天池地區所見岩體之屈膝褶曲構造的規模也有大小之別，主要與岩石之風化程度和片理面發達程度有關。此所以在本區北坡峭壁上所見新鮮露頭的屈膝構造，其翼長在五、六公分至十幾公分，而在東向坡天池谷口風化較深之變形岩層上所見之屈膝構造，則規模

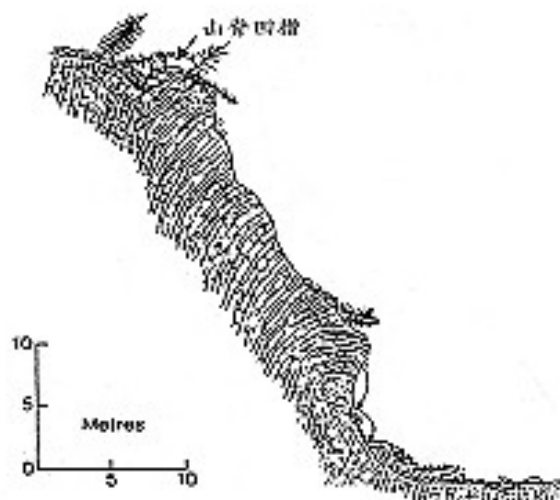
僅三五公分而已。南投縣仁愛鄉奧萬大森林遊樂區之廬山層分布區所見一系列規模之屈膝褶曲（即重力拱曲），張石角，1992）露頭（圖九），更清楚地顯示其乃由岩質與風化程度所決定。



圖九 奧萬大森林遊樂區之屈膝褶曲（即重力拱曲）岩層露頭示意圖。

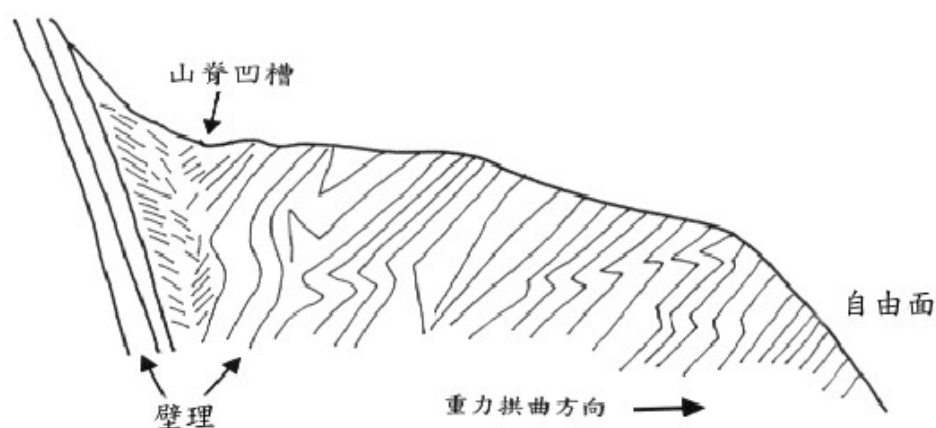
(5) 天池地區岩層產生重力屈膝褶曲和塌陷作用後，坡度變緩並產生平行於山脊線之淺谷，乃因：

- ① 塌陷後物質的安息角小於岩盤，故其所形成之地表坡度遂趨於和緩。
- ② 岩層既無重力變形塌陷，其長度縮短甚多，因此變形塌陷區之地表高度隨之下降。變形塌陷區降低之幅度與岩層之變形和塌陷程度成正比。
- ③ 順向坡岩層重力變形，其岩體恆朝其傾斜方向蠕移向外側，因於移動岩體與不動岩體之間形成平行於岩層走向之槽狀凹陷狀（Sagging）（圖十、十一）。此種由岩層大規模向一方向深層蠕移而產生之平行山脊凹槽(Ridge-parallel trough)地形。



圖十 平行山脊凹槽地形示意圖。（圖片來源：Lee,1989）





圖十一 平行山脊凹槽地形變化示意圖。

### 三、結 果

#### (一)「天池地形」之成因

##### 1. 天池地形之區位條件

天池地區面積約四十多公頃的山坡變形區乃由高傾角硬頁岩和板岩的順向坡產生重力屈膝褶曲和塌陷而來，已詳述於前章。

惟玉山國家公園內的南橫公路上，能同時滿足岩質、傾角與順向坡等三項因子之山坡，並非僅有天池一處，而所以天池獨有此地形特色，理應有其獨有因子無疑。此無他，主要乃其長達一千五百公尺之順向坡朝向深達五百公尺之拉庫音溪溪谷所致。此一規模條件為南橫公路其他地區所無。

在中橫公路上的關原和小風口也具備此山坡變形之三條件，也出現類似之變形地貌，亦因其順向坡長度不及天池者，各約一千公尺（張石角，1998），故其地貌不若天池者之大。其次中橫公路合歡山區以千枚岩為主，其形成之屈膝褶曲構造規模也因此較小，亦為其地貌不若天池者之顯著的原因。

除岩質與順向坡條件外，劈理面分開度（Separation）也是決定重力變形之難度。新鮮板岩與硬頁岩即使有其他必要條件也不易發生重力變形，已如前述。高傾角固有利地表水順層面或劈理面入滲，惟天池地區東界的「檜谷斷層」和西界的次要斷層生成或其後之活動，對天池地區硬頁岩和板岩劈理面之分離應有幫助。

總之，天池地區之山坡變形乃有其殊異之區位條件，有以致之。

## 2. 天池地區之內部型水系

溪谷乃由地表逕流長年刻蝕而成。而逕流 (Run-off) 乃由降至地面之天水不被土壤、岩層接受的部分所成。今天池由於大面積的屈膝褶曲和塌陷作用形成厚度不下數十公尺之石塊與風化物混雜之多孔質土壤，其透水性極為良好，是以凡降至該區地表之雨水，在地面流不多遠就會被吸收殆盡，因此不曾形成足以刻蝕成溝谷的逕流，遂也無從形成與拉庫音溪、荖濃溪構成網絡的區域水系。

天池地區因而形成台灣罕見之小型不流出海的內部水系 (Internal drainage); 其水則滲入地下而成地下水系 (Underground drainage), 一如發生於石灰岩地區的「喀斯特」(Karst) 地形者然。

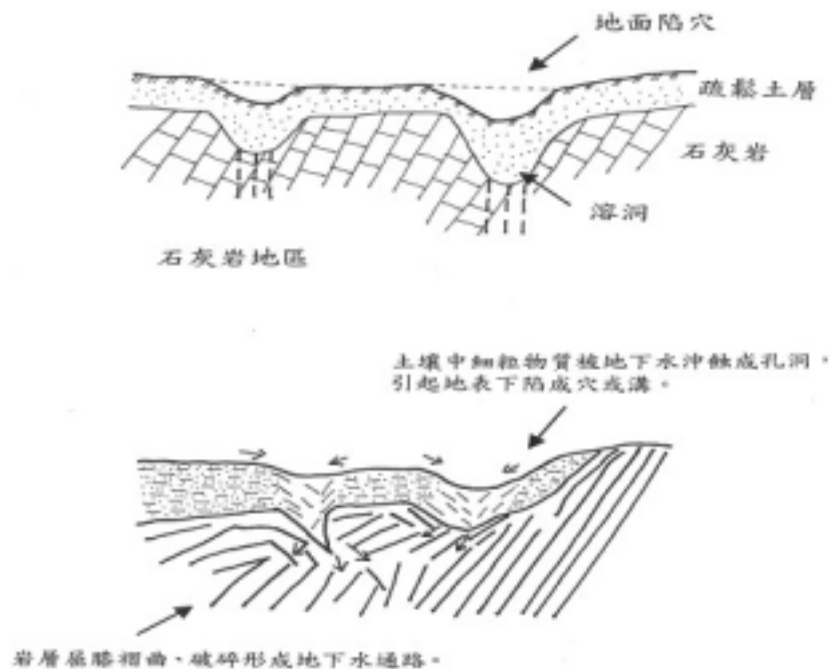
## 3. 天池地區的凹穴

天池地區之山頂、斜坡、溝谷等地形區皆可看到大小不等、深淺不一的凹穴。此等凹穴在地表不相往來，更不在同一地表流水系統上，所以顯然不是以崩場所產生的堰塞湖 (費立沅, 1988) 所能解釋。

根據凹穴之形狀及凹穴區內石塊比例偏高 (林務局天池工作站資訊) 之事實推斷，凹穴應是地表水入滲處；由於入滲之地下水向下流動時帶走細粒之風化土壤，形成地表下之空洞，其地表塌陷遂成凹穴。故凹穴實係地下沖蝕形成之孔洞的陷穴，其大小、深淺視其集水面積、地下細粒土壤含量生成年代久暫等因素而異。

位於山脊 ( 、 區) 和東斜坡 ( 、 區) 上之凹穴較淺，顯然是該處土壤較淺之故。

陷穴 (Sinkhole) 一般生成於石灰岩溶蝕洞之塌陷；在天池地區則係因地下水系沖蝕作用旺盛生成地下空洞之塌陷，其理與石灰岩地區者相同，稱之為「陷穴」並無不妥 (圖十二)。



圖十二 陷穴地形示意圖。

#### 4. 天池溝谷之成因

天池溝谷（圖 13、圖 14 區）成南北走向，與岩層走向一致，符合順向坡岩層向東屈膝蠕移時，恆於背後形成之凹區。沿層面發展之裂縫乃地下水最佳之通路，其區下陷特將而成為雙嶺間之淺谷，實良有以也。

以淺谷中有數條相互平行之斷線狀淺溝，其一段常有一陷穴，似為陷穴集水之水路。惟水路上又有多個凹穴，所以水路顯然亦是地下水入滲處。實際上地表水路亦是地下滲透流(Through flow) 產生沖蝕性之管湧(Piping) 水路塌陷而成(田村, 1996)。其作用與地表現象亦與喀斯特地形的盲谷(Blind valley) 相當，可為異曲而同工。

除此之外，有助於淺溝區(圖 13 區)生成的另一個可能原因是其東斜坡上的弧型崩塌跡地(圖 13 區) 由於岩層的重力變形最終常導致大規模的崩塌，所以弧型崩塌地極可能是順向坡外側極度屈膝褶曲和塌陷所造成，而淺溝區恰位居此崩塌地之冠部裂縫(Head cracks)，遂成為地表水下滲之最有利之通路。

#### 5. 「天池地形」

以上對天池地區特殊之地貌現象分別論其成因之後，可知天池地形，除無地下大型溶洞之外，幾乎具備喀斯特地形之各項與地下水文相關之地形特徵，其為台灣皆未正式公諸於世的特殊地形，殆無可疑。雖然在關原、小風口等廬山層分布區也有類似地形之生成，但論規模與種類，應推天池者為完整。此種泥質層狀變質岩地區因岩層屈膝褶曲和塌陷所形成之山坡變形現象(圖十三)，迄無以名之，故特名之曰「天池地形」，蓋便以表達此種變形地形之總體特色也。



圖十三 天池地形示意圖

#### (二) 重力屈膝褶曲作用之意義

1. 根據筆者調查，台灣分布於中央山脈和雪山山脈各地質時代之板岩、千枚岩、硬頁岩、黑色片岩都有重力屈膝褶曲現象。由於此種構造型態頗類一般之褶皺，而使粗心大意的地質學者誤認其為一般之地體構造現象而繪製出「假地質構造(Pseudo-structural features)」滋生困擾(Chorley et al., 1984)。由於其出現機率比地質學者和工程師想像的為多，因次其外部型態和內部構造的認知及其重要性應受到野外地質學者和大地工程師的廣泛重視。

2. 重力變形區隱藏山坡崩塌的危機，對於山區聚落、道路邊坡，尤其是大壩和抽蓄水庫 (Pump-storage reservoir) 安全尤關重要，因此須特別注意其存在和分布情況。

太魯閣國家公園原擬在關原設置遊客中心，即因發生該處為「天池地形」並經鑽探證實而放棄。梨山地滑區分布甚廣，應亦為該區板岩、千枚岩之重力變形所致，非一般類型之崩塌。

3. 「天池地形」作用既然如此普遍，則因其為地形作用之一種，對台灣中央山脈地形演變扮演相當一定份量之角色，值得地形學者作深入探究。
4. 「天池地形」乃特殊之地質景觀，其如天池地區者尚未見之於他處，故乃一稀少而珍貴之地質景觀，應將之視為「特殊自然景觀」加以保護。

#### 四、 結論與建議

- (一) 本研究計畫將南橫公路上的天池及其相關地形作深入研究後，已然明其所以，有助於瞭解台灣分布極廣泛之高傾角、泥質層狀岩層的山坡變形情況及其重要性。
- (二) 天池地區岩層之重力屈膝褶曲和塌陷作用及其引起的水文變化乃天池所見各種特殊地形之成因。由於其規模大、種類完備，故建議稱之為「天池地形」。
- (三) 天池地區因有此特殊之「天池地形」，故建議列本區為「特別景觀區」加以保護，並以步道或棧道連接全區各地形據點，以供教育解說之需。
- (四) 為更一步瞭解本區重力屈膝褶曲和塌陷構造地形及其影響深度，建議本區進行二千分之一比例尺之測量，並選擇四點進行地質鑽探，以建立完整之地質資料供學術研究之用。

#### 五、 引用文獻

- 經濟部中央地質調查所，1988，玉山國家公園關山地區地質調查暨解說規劃調查報告書，玉山國家公園保育研究叢書 1008。
- 謝兆申、王明果，1991，台灣地區主要土類圖輯，國立中興大學土壤調查試驗中心。
- 張石角，1992，奧萬大森林遊樂區地質調查報告，台灣省林務局南投林區管理處委託。
- 張石角，1998，太魯閣國家公園合歡山遊憩區（關原、大禹嶺、小風口、昆陽）土地使用計畫適宜性評估工作計畫，內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 費立沅，1988，玉山國家公園關山地區地質調查暨解說規劃調查報告書(第三章、地形)，玉山國家公園保育研究叢書 1008。
- Billings, Marland.p.,1972,Structural Geology ,Prentice-Hall, Inc .,Englewood Cliffs, New Jersey (3rd Edition).
- Chorley, R. J. ,Schum ,S .A. and Sugden,D.E.,1984,Geomorphology,Methuen.
- Loughnan, F.C,1969,Chemical Weathering of the Silicate Minerals, American Elsevier

Publishing Company, Inc. New York.

Lee, F. T.,1989 ,’Slope movements in the Cheshire Quartzite, southwestern Vermont’,Geological Society of America, Special Paper.

Selby, M.J.,1993, Hillslope Materials and Processes, Oxford University Press.

Zaruba, Q.、 Mencl, V., 1982, Landslides and their control, Czechoslovak Academy of Sciences.

Zischinsk,Ulf,1969,Uber sackungen Rock mechanics, vol.,P.P30-52.

田村俊和，1996，斜面の分類と編年をめぐる研究の展開，In 地形學のフロンティア，藤原健藏編著，大明堂。

富田芳郎，1972，台灣地形發達史の研究，古今書院。

## **A Study on Longterm Slope Deformation in Tien-Tzu Area, Yushan National Park**

Shih-Chiao Chang<sup>1, 2</sup>

( Manuscript received 15 May 2003 ; accepted 8 August 2003 )

**ABSTRACT :** The present study found that the Tien-Tzu pond, at the middle part of Southern Cross-island Highway, is located in a shallow valley in a double-crest ridge, which extends about six hundred meters with clusters of hollows and blind and short trenches in the whole area, and the Tien-Tzu pond is the largest and the only one with water all the year round.

This study revealed that both hollows and trenches collect and drain almost all of the surface water through underground water system, and the downward and through flow of the ground-water have created cavities and pipes, and their collapse of the ground surface resulted in the formation of the hollows and trenches.

The high porosity of the soil of this area is supposed to be the result of a sort of gravitational deformation of slate rocks at a high degree of inclination, named as “gravitational knee-fold and collapse processes”, it can take place in a considerable extend at great dip slopes, like Tien-Tzu area.

As the gravitational knee-fold and collapse processes are quite common in Central mountain Ranges of Taiwan, and also are deeply related to landscape sculpturing, slope stability and engineering geology, it deserves more attention among these fields.

As the Tien-Tzu landscape is so particular and typical in their form and origin, it is recommended to name such a sort of landscape as “Tien-Tzu landscape”.

**KEYWORDS :** Tien-Tzu pond, gravitational knee-fold and collapse processes”, “Tien-Tzu landscape”

---

1. Research Center of Natural Environment and Hazards, Taipei

2. Corresponding author