

## 技術講座專欄

# 捌 各種自然岩石與土壤之簡介 (A Short Introduction of Natural Rocks and Soils)

洪 如 江\*

## 一、引 言

各種土木、水利、或採礦工程，遭遇自然岩石與土壤的機會很大。對每一種自然岩石與土壤的工程地質性質詳加說明，需要較多篇幅，本文僅簡要地介紹其重要特徵。此外，並以附錄介紹黏土礦物的基本構造，因為許多自然土壤，以及某些岩石，含有黏土礦物成分在內，影響重大，故有必要加以強調。

## 二、各種岩石之重要特徵

### 2.1 泥岩(Mudstone), 貢岩(Shale)

所謂泥岩係由膠結作用(Cementation)而成；貢岩則由壓密作用(Consolidation)而成。其重要特徵為：

- (1)具消散(Slaking)性
- (2)平行層面之抗剪強度低，呈高度異向性
- (3)風化快且深，壓縮性大，變形性大
- (4)具膨脹性

### 2.2 砂岩(Sandstone)

- (1)膠結性影響重大：強度、變形性、透水性皆受影響。
- (2)脆性破裂：產生二組節理之情形很多，節理常比層面更發達或一樣發達，節理之影響大。我國台灣地區的許多大規模崩山，例如草嶺大崩山、高速公路八堵交流道與汐止收費

站附近之大坍方，都是因為砂岩之二組近乎垂直的節理與順向坡所造成。雨水進入節理及層面，產生突發性坍方。

### 2.3 炭酸質岩石(Carbonates)

- (1)長期溶解性問題：在高水頭作用下，溶解性問題更重要。
- (2)過去因溶解而造成的地下洞穴、地下水道對水庫之水密性問題關係重大。
- (3)可能在岩體內有夾泥之情形。

### 2.4 火山岩(Volcanic Rock)

- (1)地質情況複雜，不像沉積岩有規則。
- (2)含冷卻破裂：柱狀節理。
- (3)含水平層理，水平斷層。
- (4)含弱礦物，腐朽、風化特別迅速，造成局部弱點。
- (5)火山灰及集塊岩(Agglomerates)之透水問題複雜。
- (6)薄層侵入岩體可能產生嚴重之局部影響。
- (7)異向性不明顯，但若有捕獲岩(Xenolith)、杏仁石(Amygdale)或斑晶(Phenocrysts)，則可能有輕微異向性。

### 2.5 變質岩(Metamorphic Rocks)

- (1)構造複雜：缺乏參考層，地層次序難於判定，主要由於古生物受高溫、高壓毀失，難於用古生物定年代。

\* 國立臺灣大學土木工程系教授

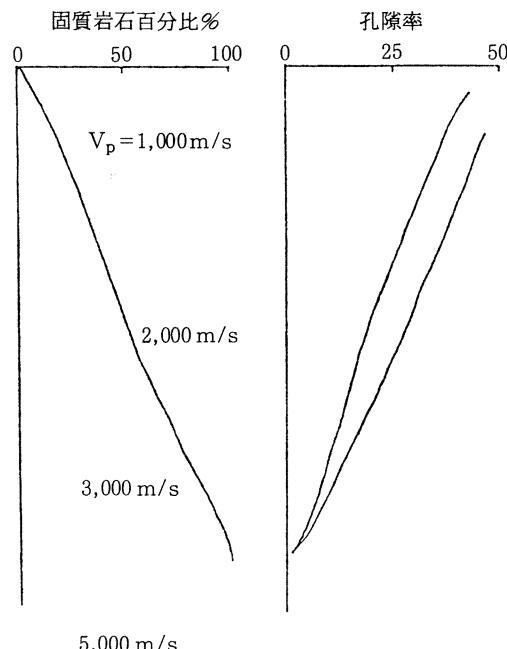
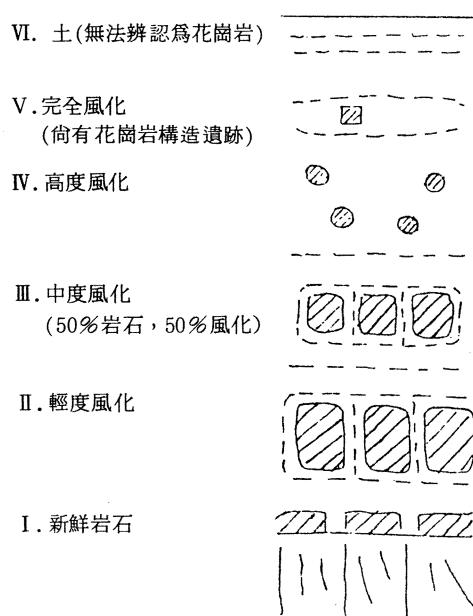
- (2)風化難易之範圍大。
- (3)含弱層、軟弱夾心。
- (4)多裂縫：岩石材料、岩體皆有之。
- (5)異向性：有的是材料上的異向性，有的是岩體上的異向性。變質作用，使片狀礦物成順向排列，致岩石力學性質有很大異向性。片岩之異向性最大；片麻岩之異向性不大。板岩因片狀劈理而具高度異向性。

## 2.6 花崗岩(Granite)

### 2.6.1 重要特徵

- (1)解壓造成板狀節理(Sheet Structure)。
- (2)風化程度之範圍甚大，致工程特性之相差甚大。
- (3)熱水換質使材質腐朽快速且嚴重。

### 2.6.4 花崗岩風化之剖面(Tuxton & Berry, 1957)



## 三、殘留表土(RESIDUAL SOIL)

所謂殘留表土，係指岩石風化成土壤之後，尚停留在原地，未受侵蝕作用者。通常，必需風化作用快於侵蝕作用之處，才有殘留表土。熱帶之地，若坡度平緩，殘留表土可能深達

礦物組成(主要成分)	岩石	風化後
石英(Quartz)	38%	34%
長石(Feldspar)		
正長石(Orthoclase)	37%	
斜長石(Plagioclase)	21%	
黑雲母(Biotite)	4%	11%
白雲母(Muscovite)		
高嶺石(Kaolinite)		55%

(資料來源：Lumb, 1965, 以香港花崗岩為例)

- 2.6.3 風化次序：根據 Lumb, 1965, 香港花崗岩之風化次序為：
- 斜長石
- 正長石與黑雲母
- 石英不風化

百公尺。寒冷地帶，風化緩慢，殘留表土很薄，有的只有幾公分厚。

### 3.1 花崗岩與火山岩之殘留表土

花崗岩風化之後，顏色棕至黃，粒度為砂質粉泥至粉泥質砂，含雲母及高嶺石族黏土。

基礎承力視風化程度而定。通常為良好施工材料。

玄武岩，富於鐵鎂之礦物，產生含失密石之黏土，具高塑性，氧化鐵使土壤呈暗紅色至深棕色。基礎承力視風化程度而定，但因含失密石，故須特別小心，尤其不很適合作為施工材料。

風化之後，尤其在風化較深之處，常保留有母岩之組構或顯微構造，稱為殘骸土(Saprolites)。

岩石節理或其他裂縫，風化較先較快，常形成完全風化及半風化材料，有人稱為泥縫(Seam)，筆者常稱之為裂縫之軟弱夾心。

### 3.2 沉積岩之殘留表土

沉積岩，原來是由土壤壓密或膠結而成，若因環境之改變，可風化回土壤，但在許多方面都已經不同於原來土壤。最明顯的是粒度，風化之後，粒度變細。

沉積岩之風化深度通常小於火山岩。沉積岩之中，若為砂頁岩互層，頁岩之風化與侵蝕常比砂岩快；但若同一地區之均勻砂岩與均勻頁岩相比，則砂岩之殘留表土常比頁岩之殘留表土深。

石灰岩及白雲石之殘留表土，含有岩石中之各種不溶材質：高嶺石與失密族黏土、矽質燧石(Chert)、矽質砂與粉泥、及氧化鐵等。殘留表土深度視風化程度與所含材質而不同。燧石質與黏土質石灰岩之殘留表土，可能厚達數十公尺；而乾燥地帶之新生石灰岩，殘留表土則很薄甚至沒有。殘留表土與新鮮岩石間，界線分明但呈不規則狀。殘留表土在岩石面接觸處，常軟弱呈糊狀；在地表處，則常因膠結與蒸發而變硬。除在與岩石接觸處，通常不具構造；若石灰岩極富矽質或頁質，則在扭曲帶之矽、礫或黏土，常顯示原來岩石之構造。

### 3.3 變質岩之殘留表土

變質岩之殘留表土為粉泥質至粉泥質砂土，含雲母，雲母來自片麻岩與片岩。組織變異性大。因原來岩石之礦物成帶狀分佈，故風化成土之後，若礦物亦呈帶狀分佈、保留母岩之構造者，亦稱殘骸土。在未風化之岩體內，或沿節理與斷層處，常有半風化之泥縫存在。而

土中亦常含有從微風化岩石伸出之鋸齒狀或尖塔狀硬質岩石。殘留表土深度在小範圍之內可以有很大之變化，在一百公尺之內，可以自數公尺變至數十公尺。軟弱之高嶺土化長石與較硬之石英岩及弱雲母，成帶狀或薄片狀互層。

板岩與千枚岩之殘留表土，更具黏土質。有時，略已風化之岩石與黏土質與粉泥質土層互層。

片岩與片麻岩，富於雲母與黏土質，但變異性大，必須詳細研究以確定其工程地質學性質。

石英岩之殘留表土，與花崗岩之殘留表土相似；大理石之殘留表土與石灰岩者相似。

## 四、運積土(TRANSPORTED SOIL)簡介

### 4.1 崩積土(Colluvium)

懸崖之岩石，因風化作用與侵蝕作用，成為碎石與土壤，堆積於懸崖下，稱為崖錐堆積(Talus Deposits)。大規模之崖錐堆積，有時由大規模崩山所造成，為崩積土。

崩積土之質地極不規則，粒度大至巨石，小至細土。地表可能因風化或植物之生長而顯得不易透水，但內部實際上很疏鬆，易於透水。其邊坡穩定之安全係數近於1，常因豪雨而在崩積層表面產生小規模坍方，也可能整個崩積土向下崩滑。

若粗粒料(粒徑大於0.06mm者)多於75%以上，則該崩積土之剪力強度由粗粒料決定；若少於70%，則由細粒料決定。

### 4.2 洪積土(Diluvium)

在更新世(Pleistocene)期間，許多地方之高山多冰河，一時由於氣候變化或其他原因，溶解成大洪水，將石、礫、及細粒土帶至山麓，形成沖積扇，除表面數公尺之細土外，有數十公尺或更厚之卵石。在台灣北中部，此等沖積扇，或由於斷層或由於河川割切，形成許多台地狀地形，地表數公尺之細土，受陽光熱力作用及雨水淋洗，漸成今日之紅土(Laterites)或紅棕土(Lateritic Soil)。

### 4.3 沖積土(Alluvium)

河川之水，出谷之後，在平原之流速較慢

，其所攜帶之泥砂沉積而成。又河谷中，由於古河流所造之河谷階地 (Valley-Side Teraces)。季節性山洪，攜帶粗至很粗的粒料，堆積在谷口，形成谷口冲積扇。山坡地因暴雨之冲刷，在坡脚形成泥地。世界各大河川之冲積扇，都是典型冲積土，如長江、黃河、尼羅河、密西西比河等等。台灣的曾文溪三角洲，亦即嘉南平原，也是典型冲積土。

冲積土之水平及垂直變異性都極大，粒度、級配、塑性、強度、壓縮性、透水性，都很不規則。

#### 4.4 海埔地泥土(Estuarine and Coastal Muds and Silts)

海埔地為冲積土之末緣，土粒亦較冲積土為細，壓密度通常亦不大。其屬於非塑性者，須防液化(Liquefaction) 現象；其屬於塑性者，可能形成膠凝構造或蜂巢構造，開墾時，以淡水沖洗鹽分，可能使土粒變為分散構造，則須注意大量變形。

#### 4.5 湖積土(Lacustrine Sediments)

通常指由河川攜帶入湖之土沉積而成，粒度變化大，細土為主，有機土、方解石質土皆可能有；鹹水湖有石膏質土，火山湖則有玻璃質土。在高鹹水性湖中，可能有白利石黏土礦物。台北盆地為一典型之湖積土。

#### 4.6 海積土(Marine Soils)

土粒很細，在海水中緩慢沉積，通常含水量高且極富膠凝構造。主要土粒為黏土礦物及碎屑石英所構成，有時含方解石及硫化物。黏土最多，粉泥次之，砂最少。分類常為 CH。塑性高、膨脹性大。有的含方解石結塊及有機物殘骸。

#### 4.7 風積土(Aeolian Soils)

沙漠之沙，一望無際，因風而飛揚，極不穩定。

另一種風積土為黃土(Loess)，產生於沙漠週圍或冰川外圍。

我國大陸中部有620,000平方公里的面積為風積黃土所被覆，最厚處可達一百公尺。土粒細（粉泥之粒度）而均勻，空隙大，分類ML

，CL，MH。含鈣質、方解石、或氧化鐵，產生膠結力，故凝聚力中等，透水性中等，乾燥時強度佳，能維持直立坡不坍，但浸水後則易於崩坍，如黃河岸是。

### 附錄 8A 黏土礦物之構造

#### 8A.1 引言

土壤，由岩石風化而成，由生物死亡而成，由人類製造出來的垃圾堆積而成。

岩石風化之後的固體產物不外有下列五種：

- 1.石英與其他能抵抗進一步風化之礦物。
- 2.可風化但不分解之礦物，例如長石。
- 3.黏土礦物與某些非晶質產物。
- 4.自由鐵質與氧化鋁。
- 5.方解石。

石英所造成之土粒，限於砂土與粉泥之粒度；黏土礦物，粒徑常小於0.002公厘；氧化鐵之土粒，大至卵石，小至黏土大小。

黏土礦物，分佈廣而且性質多變，與砂礫混合存在，也常影響整個混合物之性質；黏土礦物也出現於某些岩石材質及軟弱夾心（縫泥、斷層泥等）之中，產生重大影響，故有必要對其構造加以介紹。

#### 8A.2 頁狀構造

構成黏土礦物之最基本單元只有四面體與八面體兩種。絕大部份之四面體，由一矽(Si)原子與三氧(O)原子所結合，少數四面體中之矽原子由鋁(Al)原子所代出。大部份之八面體由一鋁原子與六氫氧(OH)離子所結合，有些八面體中之鋁原子由鎂(Mg)、鐵(Fe)或其他原子所代出。圖8A.1。

四面體得在側向與其他四面體共用氧原子而形成堅固而寬廣之一層；八面體亦能形成堅固而寬廣之一層。

一“Si-O”層與一“Al-OH”層結合，通常八面體外角之OH離子被四面體之O原子所取代，如此構成一頁（厚約7.2Å），重複許多單頁，構成高嶺石(Kaolinite)之一粒，外形呈板狀，直徑約0.3μ至3μ，厚約0.1μ至1μ。參閱圖8A.2。

高嶺石之一單頁構造與另一單頁構造結合，係由上一頁最下一排OH離子與下一頁最上一

排O原子以氫鍵及次要結合力結合而成，與其他黏土礦物比較尚屬穩定。

一層四面體與一層八面體構成最基本之單頁的黏土礦物，稱為1:1黏土礦物，除高嶺石之外，尚有和樂石(Halloysite)，但和樂石中之二基本單頁間，可能有二個或四個水分子，圖8A.3。和樂石之顆粒，係由片狀捲成管狀之外型，長 $0.5\mu$ ，外徑 $0.07\mu$ ，內徑 $0.04\mu$ 。

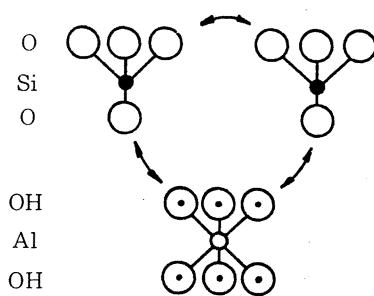
由二層四面體夾一層八面體所構成之黏土礦物，稱為2:1黏土礦物，有雲母(Mica)族、失密(Smectite)族、與蛭石(Vermiculite)。

雲丹族黏土礦物之基本單頁構造如圖8A.4。

白雲母(Muscovite)與黑雲母(Biotite)，二基本單頁間，有而且僅有鉀(K)離子，故常存在於結晶岩石之中；伊利石(Illite)之二基本單頁間則有K離子與水分子，常存在於黏土與沉積土中，其外形呈片狀，顆粒直徑 $0.1$ 至 $2\mu$ ，厚 $0.01$ 至 $0.2\mu$ ，基本單頁厚約 $10\text{A}$ 。

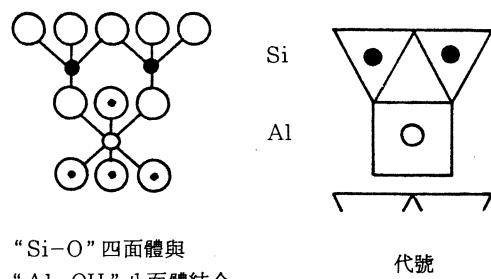
失密族之黏土礦物有二，蒙脫石(Montmorillonite)與背地石(Beidellite)，其二基本單頁間有金屬離子(K離子)與水分子存在，且水分可多可少，依壓力、溫度等因素而定，故其二單頁間之距離可變。因此，失密族黏土礦物常被稱為膨脹性黏土礦物。蒙脫石基本單頁中，八面體中之鋁原子常被鎂代出；背地石則四面體中之矽被鋁代出。蒙脫石基本單頁構造示於圖8A.5。

蛭石，為黑雲母其雲母族礦物風化而成，其基本單頁構造示於圖8A.5。其二單頁構造間雖亦有金屬離子與水份子，但結合堅固，距離不變。



上“Si-O”四面體  
下“Al-OH”八面體

圖8A.1 四面體與八面體(ICE, 1976)



“Si-O”四面體與  
“Al-OH”八面體結合  
代號

圖8A.2 高嶺石之基本單頁構造(ICE, 1976)

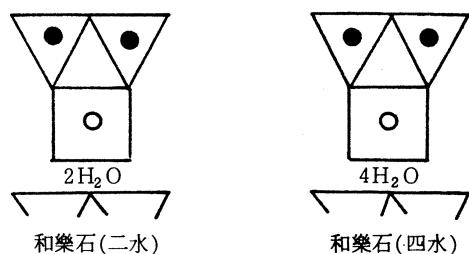


圖8A.3 和樂石之基本單頁構造(ICE, 1976)

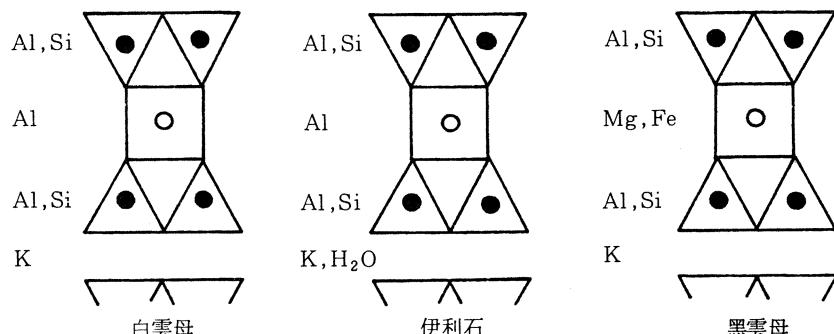


圖8A.4 雲母族黏土礦物(ICE, 1976)

蒙脫石顆粒外形呈片狀，直徑 $0.1\mu$ 至 $1\mu$ ，厚度 $0.001\mu$ 至 $0.01\mu$ 。

綠泥石(Chlorite)，常產生於片岩、古頁泥岩中，基本單頁構造如圖8A.6，可稱2:2粘土礦物。

另有外形呈針狀或纖維狀之粘土礦物，白利石(Palygorskite)、亞太石(Attapulgite)、與西皮石(Sepiolite)。有不少歐洲學者主張亞太石與白利石並無相異之處，而主張稱為白利石。

#### 8A.3 黏土礦物顆粒之外形

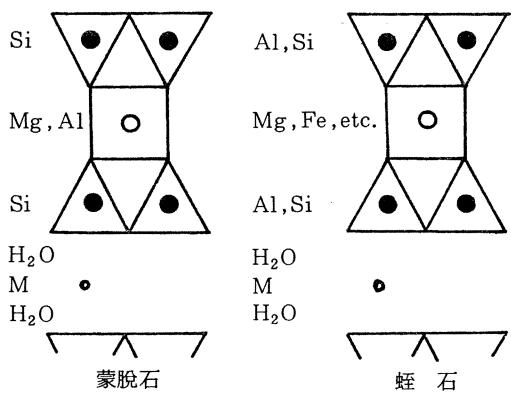


圖8A.5 蒙脫石與蛭石之基本單頁構造(ICE, 1976)

見掃描式電子顯微鏡(Sim)所拍攝之各主要黏土礦物顆粒之外形，圖8A.7至圖8A.12。

#### 8A.4 主要黏土礦物之塑性舉例

黏土礦物	PL (%)	LL (%)	PI (%)
高嶺石	26	52	26
	36	73	37
伊利石	34	61	27
	40	90	50
蒙脫石	97	700	603
	63	177	114

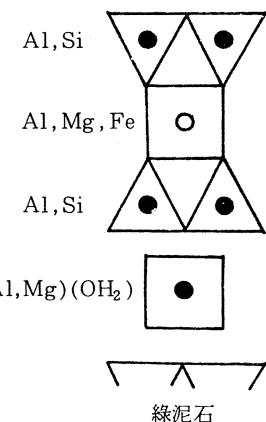


圖8A.6 綠泥石之基本單頁構造(ICE, 1976)

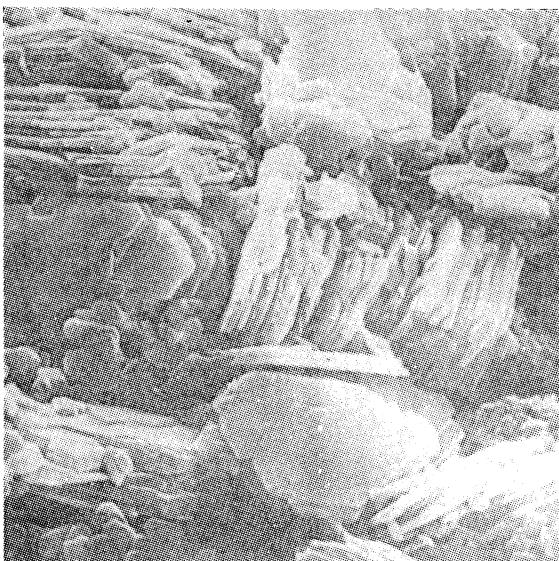


圖8A.7 高嶺石外形(TOVEY of Cambridge, 1971)



圖8A.8 和樂石外形(TOVEY of Cambridge, 1971)

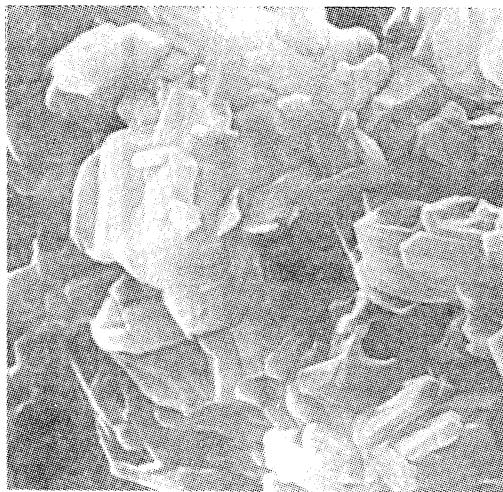


圖8A.9 伊利石外形(TOVEY of Cambridge, 1971)

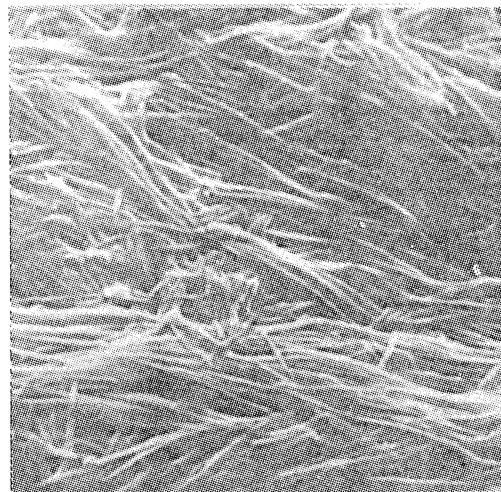


圖8A.10 亞太石外形(TOVEY of Cambridge, 1971)

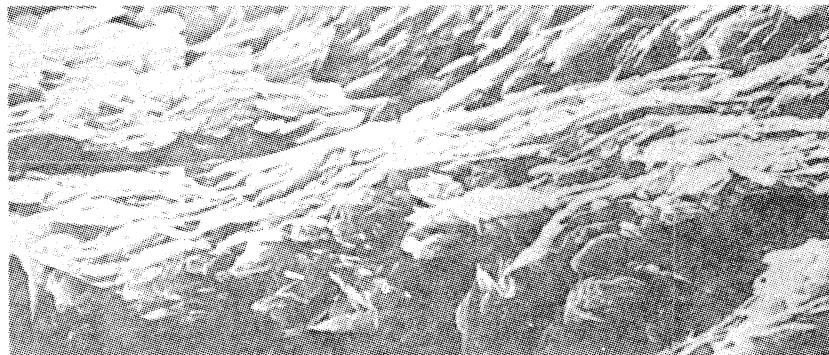


圖8A.11 重塑高嶺土受離心機試驗, 破壞面上土粒成順向排列之情形(TOVEY of Cambridge, 1971)

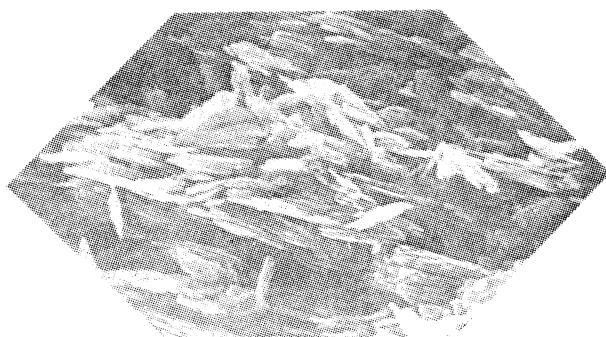


圖8A.12 重塑高嶺土受單向度壓密作用土粒成順向排列之情形  
(TOVEY of Cambridge, 1971)

## 參 考 文 獻

- DEARMAN, W.R. (1974) "Weathering Classification in the Characterisation of Rock for Engineering Purposes in British Practice." *Bull. Int'l. Ass. Engng. Geol.* 9:33-42.
- ICE (1976) *Manual of Applied Geology for Engineers*, London
- LUMB, P. (1962) "The properties of decomposed granite." *Geotechnique* XII:1:226-243.
- LUMB, P. (1965) "The residual soils of Hong Kong." *Geotechnique* XV:2:180-194.
- TOVEY, N.K. (1971) *A Selection of Scanning Electron Micrographs of Clays*, Dept. Engg., Univ. of Cambridge
- UXTON, B.P. and BEERY, L. (1957) "Weathering of Granite and Associated Erosional Features in Hong Kong." *Bull. Geol. Soc. Am.*, 68:1263-1292