

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 岩石節理面峰後剪力強度衰減行為之研究(I)

### Study on the Degradation Behavior of Rock Joints after Peak Shear Strength (I)

計畫編號：NSC 87-2211-E-032-020

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：楊長義 執行單位：淡江大學土木工程學系

#### 一、中文摘要

本報告為此一系研究主題之第一年研究成果，係以物理模型試驗對含單顆三角形規則鋸齒(包括15°與30°兩種)節理面進行重複多次直接剪力試驗，以探討鋸齒狀節理面之磨損衰減破壞行為與強度衰減機制。

關鍵詞：鋸齒狀節理、強度衰減行為

#### Abstract

To investigate the wear and friction behaviors of rock joints, a model joint with a single tooth-shaped asperity were repeatedly shearing first. In this paper, the failure modes, shearing behavior and shear strength envelopes are shown for comparison.

**Keywords** : tooth-shaped joint, degradation of shear strength

#### 二、緣由與目的

邊坡之滑動常因地質弱面抗剪強度不足所造成，一般邊坡滑動破壞之前常經歷一段超過尖峰剪位移之大位移，隨剪位移之增加使節理面逐步損傷或斷裂，而造成摩擦係數降低，故災害發生時某部份應力可能已達峰後或殘餘狀態。介於尖峰強度與殘餘強度間之峰後剪強度漸進衰減，乃因節理面粗糙節理面磨損或斷裂所致，整體粗糙程度將隨剪位移之增加而逐漸衰減，其剪力衰減機制仍不十分明瞭。

在定性現象觀察相關研究方面有：Rengers[1]指出粗糙度不但控制低正向應力下之節理面尖峰剪強度，並且控制剪行為曲線形狀以及膨脹速率，其剪力值為節理面上之正向應力與有效摩擦角的乘積。而有效摩擦角為殘餘摩擦角與膨脹角 $i$ 值之和，即 $\tau(\Delta u) = \sigma \times \tan[\phi_r + i_{\tan}(\Delta u)]$ ，其中 $i_{\tan}(\Delta u)$ 為任意剪位移時膨脹曲線上之切線角度值。而因 $i$ 值隨剪位移之增加而

減小，故剪應力亦隨剪位移之增加而減小。由此可知，節理面鋸齒之直接剪力過中，隨剪位移之增加而造成鋸齒幾何過程之衰減而導致膨脹角之減小，亦導致剪力強度之衰減。其破壞機制可分為：低正向應力時：節理面鋸齒之間僅相互爬坡，無任何損傷現象；正向應力稍大時：節理面鋸齒之間僅相互爬坡且沿鋸齒爬坡面將產生些微破裂與磨損；正向應力較大時：節理面鋸齒間產生部份剪斷現象或完全剪斷。

在節理面磨損因素方面：Xu[2]發現岩石節理面會因節理面的破裂與磨損而達到殘餘強度，直到節理面不再膨脹而達到殘餘強度。Huang等人[3]經由反覆直剪試驗，發現節理面剪動過程中節理面之磨損，將造成節理面膨脹角之減小。當反覆直剪剪動達20次時，正向剪位移之值將趨於零，而剪應力趨於定值且達到殘餘剪強度，證明節理面高度隨剪位移之增加而減少。Jing等人[4]亦先經由反覆直剪試驗，發現鋸齒於剪動過程中，隨剪位移之增加而逐漸磨損，其高度亦逐漸減小。

本研究採含單顆三角形規則鋸齒(包括15°與30°兩種)節理面進行重複多次直接剪力試驗，並檢視其剪動過程之破壞機制與剪應力曲線(包括剪應力位移曲線與膨脹曲線)關係，進而分析影響鋸齒幾何形狀與峰後剪強度之衰減因素。

#### 三、研究結果與討論

(1)研究方法：本研究所採用之試驗方法為直接剪試驗，並為簡化試驗之困難性，特設計規則鋸齒節理面來模擬自然節理面。首先以單顆鋸齒節理面來作重複式直剪試驗，藉由試驗結果得知其衰減行為。由於實驗室中岩石節理面之直接剪試驗儀缺乏長位移剪動之功能，因此本文採用重複直剪的方法，即將經剪動後之試體拉回原位再剪動，直至第六個剪動循環為止。模擬材料：模擬材料是以熟石膏和水之重量配比为3:2製成，材料

質如下：單壓強度約為  $75\text{kg/cm}^2$ 、彈性模數  $E$  值約為  $13000\text{kg/cm}^2$ 、基本摩擦角約為  $35^\circ$ 。

(2) 鋸齒數目與形狀之設計：一般岩石節理面之節瘤形大小錯綜複雜，且其第一階節瘤 (First-order asperity) 大部份在  $5^\circ\sim 20^\circ$  之間，為岩石節理面之剪力強度之主要控制因素，故第一階節瘤為本文主要之探討對象。本文先以簡化後規則鋸齒為研究對象，並依據前人建議對鋸齒之尺寸與形狀作合理的設計，共設計兩種等腰狀鋸齒其上坡角分別為  $15^\circ$  與  $30^\circ$  兩種，以試驗中低應力下節瘤損傷之行為。

(3) 試驗內容與方式：本研究試驗包括：含單顆鋸齒與含兩顆鋸齒複式剖面試體：(1) 在單顆鋸齒試體中共使用兩種角度 ( $15^\circ$  與  $30^\circ$ ) 情況；(2) 依固定正應力比 ( $\sigma_n/\text{JCS}$ ) 之考慮，共施予的正向應力為  $4$ 、 $7$ 、 $15\text{kg/cm}^2$ 。本文鋸齒狀剖面試體共分為： $15^\circ$  (本文稱之為模型 A1) 或  $30^\circ$  (模型 B1) 單顆鋸齒剖面。

(4) 主要研究結果：由圖 1 與圖 2 中  $30^\circ$  與  $15^\circ$  鋸齒之重複直剪試驗結果可得知：節理之磨損面積隨剪動循環之增加而愈大，剪力強度因節理損傷愈嚴重而遞減，剪力強度包絡線漸趨下降；膨脹高度亦漸少，但剪應力與膨脹角直至第六循環而趨於定值；在相同正應力下， $30^\circ$  鋸齒斷節理之磨損衰減破壞較  $15^\circ$  鋸齒劇烈，行為較趨於脆性。

#### 四、結論

本文試驗獲致以下主要結論：中應力環境下大部份鋸齒剪力行為屬於部份剪斷或漸進磨損行為，剪力強度隨剪位移增加漸次衰減，鋸齒磨損面積隨剪位移增加而擴大。

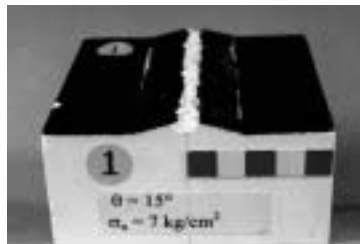
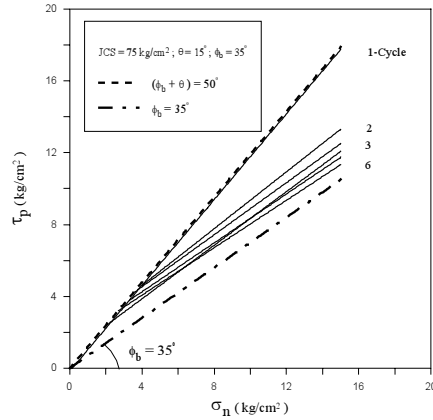
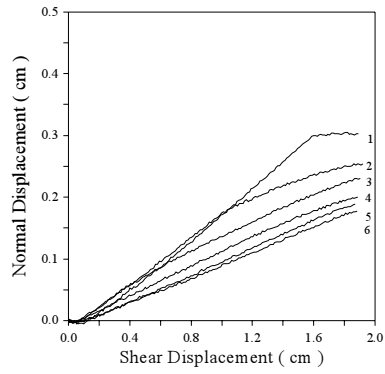
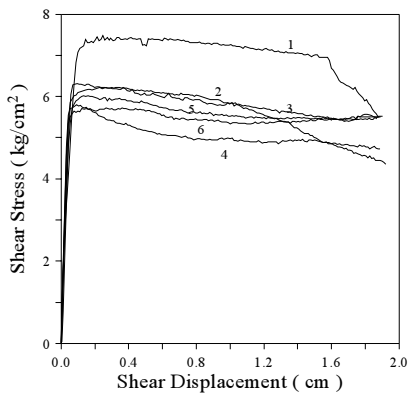


圖 1.  $\text{JCS}=75/\text{cm}^2$ 、 $\theta=15^\circ$  試體各剪動循環之衰減情形：(a) 剪應力衰減 (b) 膨脹曲線之衰減 (c) 強度包絡線 (d) 破壞模式。

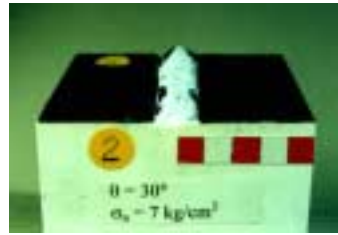
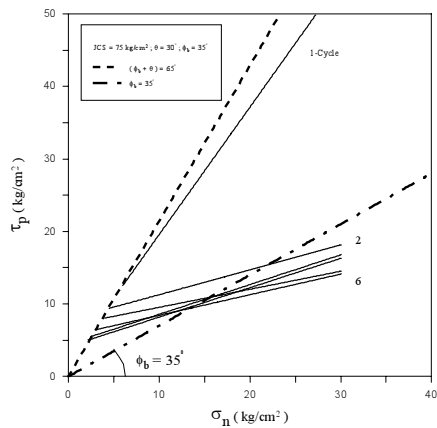
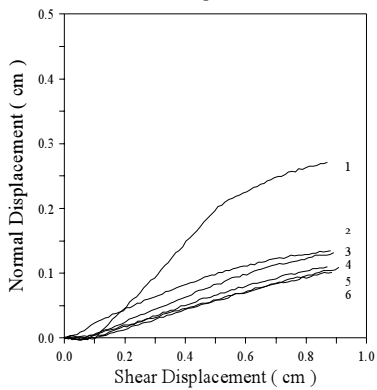
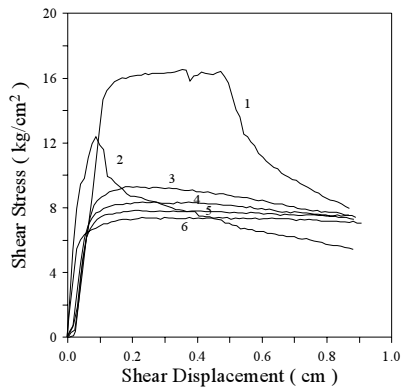


圖 2.  $JCS=75/cm^2$ 、 $\theta=30^\circ$  試體各剪動循環之衰減情形 ( $\sigma_n=7kg/cm^2$ ) : (a)剪應力衰減(b)膨脹曲線之衰減(c)強度包絡線(d) 破壞模式。

## 五、參考文獻

- [1]Rengers, N.(1970), "Influence of surface roughness on the friction properties of rock planes, *Proc. 2nd Cong. of ISRM*, Vol. 1, Belgrade, pp. 229-234.
- [2]Xu, S.L.(1987), "Shear strength characteristics of rough joints subjected to large displacements," *Conf. on Appl. Rock Engng*, IMM, Newcastle, pp. 269-282.
- [3]Huang, X.B., C. Haimson and M.E. Plesha(1993), "An investigation of the mechanics of rock joints," *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* **30**, pp. 257-269.
- [4]Jing, L. (1993), "Study of rock joint under cyclic loading conditions," *Rock Mech. and Rock Engng* **26**, pp. 215-232.