

岩石節理面峰後剪力強度衰減行為之研究(II) Study on the Degradation Behavior of Rock Joints after Peak Shear Strength (II)

計畫編號：NSC 88-2218-E-032-010

執行期限：87年8月1日至88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二年研究成果，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)節理面進行直接剪力試驗，以探討鋸齒狀節理面之磨損衰減破壞行為。進一步結合 15° 與 30° 兩種鋸齒成為一複式剖面進行試驗，分析影響鋸齒幾何形狀磨耗與剪力強度之衰減機制，以瞭解節理面上大小節理面間之破壞順序與相互影響關係。

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 two tooth-shaped asperities were shearing. In this paper, the failure modes, shearing stress-displacement curve and dilation curves for cases of single tooth and two teeth are compared for evaluating the superimposing shear behaviors between asperity.

Keywords : tooth-shaped asperity, superimposing shear behaviour.

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力強度漸進衰減，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。

節理面破壞機制可分類為：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。

本研究採含單顆三角形規則鋸齒(包括 15° 與 30° 兩種)節理面進行直接剪力試驗，並檢視其剪動過程之破壞機制與剪力曲線(包括剪應力位移曲線與膨脹曲線)關係。同時為瞭解不同鋸齒間之相互作用，本文亦結合 15° 與 30° 兩種角度鋸齒而成為一複式剖面進行試驗，先與單顆鋸齒時比擬探討複式剖面之剪應力行為。

三、研究結果與討論

1. 研究方法：首先以單顆鋸齒節理面來作重複式直剪試驗，藉由試驗結果以得知其衰減行為。且利用雙顆鋸齒組合之複式剖面試驗結果與單顆鋸齒節理面結果作比較，以推測大小鋸齒節理面之相互作用。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，材料基本性質如下：單壓強度約為 75kg/cm^2 、彈性模數E值約為 13000kg/cm^2 、基本摩擦角約為 35° 。

2. 試驗內容：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° 與 30°)情況；(2)依固定正應力比(σ_1/CS)之考慮，共施予的正向應力為4、7、 15kg/cm^2 。本文鋸齒複式剖面齒狀試體同時包含 15° 與 30° 鋸齒，依剪動方向之不同分為：模型AB(由 30° 向 15° 剪動)與BA(由 15° 向 30° 剪動)。

3. 主要研究結果：

(1) 單一鋸齒

節理面之磨損面積隨剪動循環之增加而愈大，剪力強度因節理面損傷愈嚴重而遞減，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° 鋸齒斷節理面之磨損衰減破壞較 15° 鋸齒劇烈，行為較趨於脆性；詳文獻[1-2]。

(2) 複式(雙)鋸齒

(a) 低應力環境下： $(\sigma_1=4\text{kg/cm}^2)$

在低正向應力下，試體於剪動過程中，先是沿著 30° 鋸齒爬坡，然後隨爬坡高度之增加而使上下 15° 鋸齒相互分離；直至 30° 鋸齒相互剪斷破壞且在剪位移增加後，再使 15° 鋸齒相互接觸爬坡，接著已磨損之 30° 鋸齒相互分離，直至 15° 鋸齒相互剪斷破壞止。剪應力位移曲線與膨脹曲線：由圖1剪應力位移曲線及膨脹曲線觀察得知：試體於剪動過程中， 30° 鋸齒先以約 22° 之角度相互爬坡且當剪位移約為 0.6cm 時(a點)， 30° 鋸齒在高度 0.2cm 處發生斷裂，然後沿略呈水平狀之剪斷面相互剪動，其剪應力幾乎維持固定且膨脹量趨於定值；然後剪動至已磨損 30° 鋸齒之下坡面，直至剪位移約為 1.1cm 時(b點)， 15° 鋸齒才相互碰觸並爬升，而使剪應力再度上升，已磨損 30° 鋸齒亦再度相互分離，直到剪位移約為 1.6cm 時(c點)，在 15° 鋸齒產生破壞而使應力再度下降，試體持續滑動。

(i) 剪應力位移曲線與膨脹曲線：由圖1剪應力位移曲線及膨脹曲線觀察得知：剪動剛開始時鋸齒產生彈性變形，剪力勁度為一固定值(a點)；接著 15° 鋸齒與 30° 鋸齒相互以約 20° 之剪斷傾斜角度同步

爬坡，此時 15° 鋸齒在 20° 新爬坡角情況下仍得以相互接觸，主要可能是因為力矩的作用使試體旋轉與彈性變形壓縮之緣故。當剪位移約為 0.25cm 左右時(b 點)， 30° 鋸齒相互剪斷，試體達到尖峰值(12.5kg/cm^2)，其強度幾乎由 30° 鋸齒所提供，可印證複式剖面(模型 AB)之強度以 30° 鋸齒為主控之假設。在磨損滑動後，已磨損之 30° 鋸齒處約以 12° 之剪裂傾斜角度與 15° 鋸齒同步爬坡剪動，此時剪應力維持一定(約為 8kg/cm^2 左右)。繼而，隨 15° 鋸齒爬坡高度之增加，使已磨損之 30° 鋸齒處相互分離，此時剪應力亦無變化而維持定值，直至剪位移約為 1.5cm 時(c 點)， 15° 鋸齒相互剪斷進入殘餘狀態(此階段膨脹量維持定值)，其應力下降至殘餘應力約為 5kg/cm^2 左右。

(ii) 由試驗後試體損傷照片而言：見圖 1，模型 AB 之 15° 與 30° 鋸齒之損傷面積各為 4cm^2 與 10cm^2 ，因為面積達 10cm^2 主要是包含 30° 鋸齒下坡所損傷之面積，若不包含下坡面之面積(大約 5cm^2)，則與模型 B1、A1 之損傷面積各為 5cm^2 和 5cm^2 極為相似

(b) 中等應力環境下： $(\sigma=7\text{kg/cm}^2)$

由試驗觀察得知：在該正應力作用下，模型 AB 之 30° 鋸齒與 15° 鋸齒均同時相互接觸爬坡，隨即 30° 鋸齒相互剪斷，且沿近似 15° 的傾斜角度沿剪裂面與 15° 鋸齒面同步爬坡。但因爬坡高度增大，故上下 30° 鋸齒處隨之相互分離，只剩上下 15° 鋸齒繼續剪動爬坡，直至 15° 鋸齒破壞才進入殘餘狀態，如圖 3 圖 5 所示之破壞情形。

(i) 剪應力位移曲線與膨脹曲線：由圖 2 剪應力位移曲線及膨脹曲線觀察得知：剪動剛開始時鋸齒產彈性變形，剪力勁度為一固定值(a 點)；接著 15° 鋸齒與 30° 鋸齒相互以約 20° 之剪斷傾斜角度同步爬坡，此時 15° 鋸齒在 20° 新爬坡角情況下仍得以相互接觸，主要可能是因為力矩的作用使試體旋轉與彈性變形壓縮之緣故。當剪位移約為 0.25cm 左右時(b 點)， 30° 鋸齒相互剪斷，試體達到尖峰值(12.5kg/cm^2)，可見模型 AB 之強度與大角度鋸齒(30°)有很重要的關係，其強度幾乎由 30° 鋸齒所提供，可印證複式剖面(模型 AB)之強度以 30° 鋸齒為主控之假設。在磨損滑動後，已磨損之 30° 鋸齒處約以 12° 之剪裂傾斜角度與 15° 鋸齒同步爬坡剪動，此時剪應力維持一定(約為 8kg/cm^2 左右)。繼而，隨 15° 鋸齒爬坡高度之增加，使已磨損之 30° 鋸齒處相互分離，此時剪應力亦無變化而維持定值，直至剪位移約為 1.5cm 時(c 點)， 15° 鋸齒相互剪斷進入殘餘狀態(此階段膨脹量維持定值)，其應力下降至殘餘應力約為 5kg/cm^2 左右。

(ii) 由試驗後試體損傷照片而言：由圖 2 所示，經試驗後量測模型 AB 之 15° 與 30° 鋸齒之損傷面積各為 7cm^2 與 10cm^2 。

(c) 高應力環境下： $(\sigma=15\text{kg/cm}^2)$

由試驗觀察得知：在高正向應力作用下，施加剪力不久後， 30° 鋸齒祇稍微爬坡隨即斷裂；然

後，沿著 15° 鋸齒爬坡剪動，亦因爬坡高度之增加而使 30° 鋸齒處相互分離，最後 15° 鋸齒亦發生相互剪斷破裂。

(i) 剪應力曲線與膨脹曲線：由圖 3 剪應力位移曲線及膨脹曲線觀察得知：剪應力之尖峰值為 26kg/cm^2 約發生於剪位移為 0.2cm 處(a 點)之膨脹曲線的反曲點，也是 30° 鋸齒發生破裂時，伴隨較明顯的剪應力下降量(較脆性破裂)。隨之， 15° 鋸齒約以 11° 傾斜角相互爬坡剪動產生新裂面，此時剪應力不再遞減而維持定值(17.5kg/cm^2)。陸續因 15° 鋸齒爬坡高度增加而使已磨損 30° 鋸齒相互分離，直至剪位移約 1.2cm 時(b 點)， 15° 鋸齒相互剪斷破裂而降至殘餘狀態。其殘餘剪力強度約為 12kg/cm^2 。因為上述模型 AB 之尖峰剪力強度(26kg/cm^2)遠大於 15° 鋸齒之爬坡應力(15.5kg/cm^2)，故該尖峰剪力強度之主控權應該在 30° 鋸齒上。

(ii) 由試驗後試體損傷照片而言：由圖 3 所示，經試驗後量測模型 AB 之 15° 與 30° 鋸齒之損傷面積各為 14cm^2 與 12cm^2 。

綜合上述可知：剪動過程之前半部份剪動機制是以 30° 鋸齒為主控因素，後半部行為是以 15° 鋸齒為主控因素。因此，可將模型 AB 之剪應力位移行為分為前半部行為(以 30° 鋸齒主控)和後半部行為(由 15° 鋸齒主控)。

由圖 4 中發現，模型 AB 前半部第一個尖峰剪力強度值相差不多，且與模型 A1 之尖峰剪力強度相當吻合；所以，在此可得知：模型 AB 之前半部剪應力行為可以模型 A1 之剪應力位移行為來模擬；模型 AB 之後半部之爬坡剪力強度與模型 B1 之尖峰剪力強度相當吻合。故模型 AB 之後半部份剪應力行為可以模型 B1 之剪應力行為來模擬。發現：模型 AB 之 30° 鋸齒與 15° 鋸齒損傷之面積與模型 A1、B1 鋸齒損傷面積幾乎吻合，顯示其正向應力狀態應相同，因此模型 AB 之剪力行為可以模型 A1 與模型 B1 之剪力行為疊加組合；模型 BA 亦有類似行為。模型 AB 與 BA 之剪應力位移曲線可以同正向應力之模型 B1、A1 剪應力位移曲線來組合。

四、結論

本文試驗獲致以下主要結論：(1) 在複式剖面剪動過程中，較大的鋸齒(30° 鋸齒)先發生作用，次級鋸齒參與作用常常是在峰後階段，故尖峰剪力強度主要由 30° 鋸齒所控制；(2) 複式剖面之完整剪力位移曲線可以含單顆鋸齒(包括 15° 與 30° 兩種)之剪應力位移曲線來組合構成。

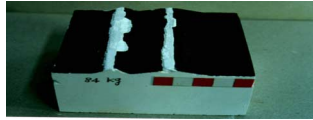
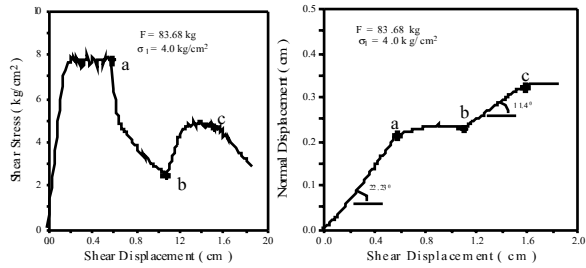


圖 1. 模型 AB($\sigma_1=4 \text{ kg/cm}^2$) 衰減情形

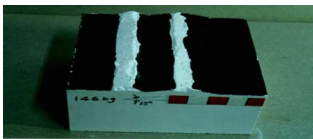
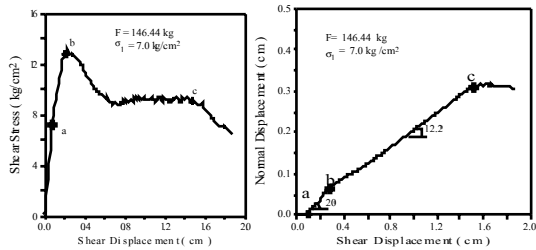


圖 2. 模型 AB($\sigma_1=7 \text{ kg/cm}^2$) 衰減情形

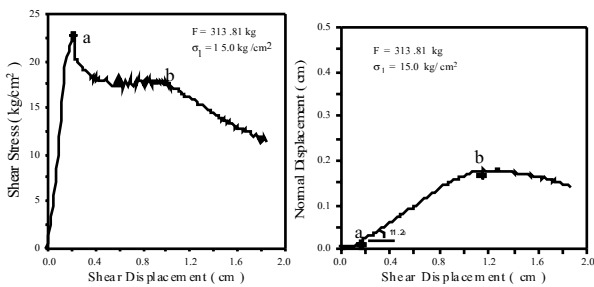


圖 3. 模型 AB($\sigma_1=15 \text{ kg/cm}^2$) 衰減情形

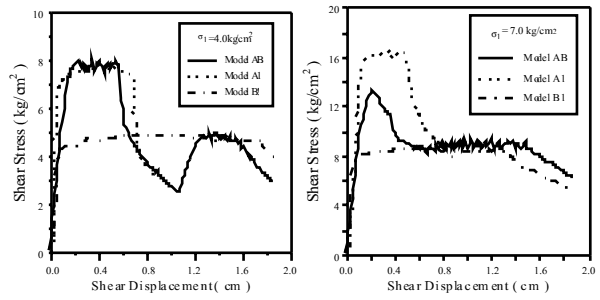


圖 4. 模型 AB 與 A1、B1 之組合剪力行為

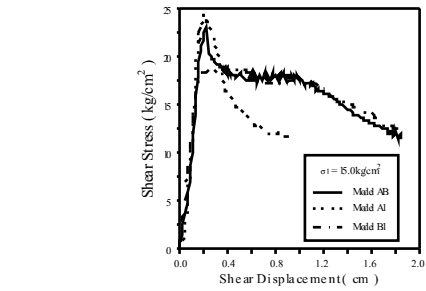


圖 5. 模型 AB 與 A1、B1 之組合剪力行為

五、參考文獻

- [1]楊長義、蔡宜峰(1996)，“規則節理面峰後剪力強度之衰減行為，”1996岩盤工程研討會，台北市：571-580。
- [2]Yang Z.Y. and Chiang D.Y. (1997), “Progressive degradation on the shear behavior of artificial joints before residual failure,” *Proc. of Int. Symp. on Deformation and Progressive Failure in Geomech.*, Nagoya, Japan, pp. 181-186.