

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

岩石節理面強度之規模效應

Scale Effect on Shear Strength of Rock Joints

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-055

執行期限：88年8月1日至89年12月31日

主持人：翁作新 台灣大學土木工程學系

計畫參與人員：黃文泓、張永漢 台灣大學土木工程學系

一、摘要

本研究主要利用 HELISYS 公司之 LOM1015-PLUS 系統(Laminated Object Manufacturing System)執行快速原型(Rapid Prototype)技術製作模型，以石膏及石英粉混和材料，針對規則節理面與 BARTON 標準剖面中 JRC=4~6、10~12 及 18~20 三條剖面製作放大、分割及組合之節理面試體，進行不同正向應力下直剪試驗，經由一系列直接剪力試驗，獲得不同尺寸節理面間剪力強度之變化，以便探討節理面剪力強度規模效應的機制。本計畫同時又改裝整修原 10 噸直剪儀改進其功能並增加精確性。

關鍵詞：岩石節理面、剪力強度、規模效應

Abstract

This study uses LOM1015-PLUS (Laminated Object Manufacturing System) of HELISYS company to perform the rapid prototype skill to make the artificial rock joints of regular tooth-type and Barton's standard profiles of JRC=4~6, 10~12, 18~20. The experimental material was made of gypsum and quartz powder mixture. We enlarge, divide and combine these profiles to get the shear strength under different normal stresses on the specimen using a 10-ton direct shear machine. The direct shear machine has been modified and improved in this project.

Keywords: Rock Joints, Shear strength, Scale Effect

二、緣由與目的

在工程問題中，常有岩體沿其不連續面或弱面如節理面、層面、斷層、劈理、片理等而破壞，這些弱面常統稱為節理面(joints)。節理面影響岩體的力學性質甚鉅，如岩石順向坡易沿其節理面(層面)滑落，或在隧道中亦因節理而形成岩塊掉落。故對岩石節理面強度性質及其影響因素有研究必要。一般岩石節理面強度常以實驗室強度試驗結果為考量依據。但實驗室中試體尺寸遠小於現地尺寸，其所得各項強度是否可代表現地岩體，則有待探討。一般岩體的強度隨尺寸增加而有減少的趨勢，稱之為規模效應(scale effect)或尺寸效應(size effect)。自 1960 年代末期以來即有許多學者針對節理面強度之規模效應進行探討，發現岩石節理面剪力強度隨試體尺寸大小不同而有相當的差異。有些岩石節理面剪力強度隨試體尺寸增加而增加 [1]，有些則相反 [2, 3, 4]。有關岩石節理面強度之規模效應，常依據不同尺寸大小節理面的剪力強度試驗結果，以統計方法歸納而得，如 [3]。但這些結果僅能顯示平均強度依尺寸增加而變化，但其中個別試體之強度則未必是同一變化趨勢，而由於節理面粗糙程度及幾何形狀變化，並沒有在統計過程中詳細比較，以致真正影響不同尺寸節理面強度的因素及其機制並未被分辨清楚。因此對岩石節理面剪力強度規模效應仍舊有系統性的研究，以釐清影響岩石節理面剪力強度規模效應之因素。

三、節理面試體準備及試驗

本研究採用 HELISYS 公司生產之 LOM1015-PLUS 系統 (Laminated Object Manufacturing System) 進行電腦輔助製造完成 RP (Rapid Prototype) 快速原型模型。並以矽橡膠翻製矽橡膠母模。再以此矽膠剖面模型翻製直剪試驗所需之石膏試體。模擬材料之原料使用石膏：石英粉：水配比為 1：0.75：1。

本研究中對規則 (15° 與 30°) 鋸齒狀剖面以及 Barton 標準剖面中 $JRC=4\sim 6$ ， $10\sim 12$ 及 $18\sim 20$ 三剖面進行放大、分割及組合情形下進行直剪試驗，每一幾何形狀、試體長度相同之剖面，均在 0.2MPa 、 0.6MPa 及 0.9MPa 三個不同之正向應力下進行直剪試驗。

剪力強度試驗採用 Wykeham Farrance 10 噸直接剪力儀，剪力傳動方式為齒輪傳動，剪力容量為 98.1kN ，剪動速率設定為 0.5 mm/min ，正向壓力加壓系統為油壓式，以調壓閥控制正向力的大小。但因儀器老舊控制不易，精確度不足。故本計畫加以整修，使其可以電腦伺服控制垂直應力或垂直位移，並且減除剪動時之摩擦阻力。

四、試驗結果與討論

由直剪試驗所得石膏試驗材料基本摩擦角在低正應力下為 43.6° 到 46.3° 之間，而在 $1.5\text{ MPa}\sim 3.0\text{ MPa}$ 之正向應力範圍，則石膏試驗材料介於 $27^\circ\sim 34^\circ$ 之間，試驗結果顯示基本摩擦角與試體長度無明顯的相關性。但依據整修後直剪儀試驗結果發現高基本摩擦角可能是因剪動時儀器本身之摩擦阻力所引起。

在研究之試體尺寸與正向應力範圍內，規則節理面鋸齒尺寸隨試體長度縮放時，不同長度試體間無明顯剪力強度規模效應 (圖 1)。節理試體長度改變時，鋸齒尺寸大小固定之規則節理面其剪力強度具有明顯規模效應，剪力強度隨試體長度增加而降低 (圖 2)。

本研究所選定之 $JRC=4\sim 6$ 、 $10\sim 12$ 、 $18\sim 20$ 三剖面，在等比例放大試體長度時，如圖 3 所示，試體剪力強度有隨試

體長度增加而呈現遞增之趨勢。

將分割後之 10 cm 剖面與原 10 cm 長之 Barton 標準剖面在剪力強度上作比較，其結果顯示當分割試體與原剖面在長度同為 10 cm 時，兩者剪力強度並無明顯關係存在。若取分割後之 10 cm 剖面與 Barton 標準剖面，兩者同時等比例放大至試體長度為 20 cm 與 30 cm ，比較原剖面及分割剖面之剪力強度在長度為 20 cm 及 30 cm 時，同樣無明顯趨勢存在 (圖 4)。

以 10 cm 長之試體，以環氧樹脂膠結成為 20 cm 以及 30 cm 長之試體，經養護後進行直剪試驗。試驗結果顯示，低起伏剖面組合至 20 cm 及 30 cm 長時，與原單一剖面放大至 20 cm 、 30 cm 之剪力強度，在相同正向應力下，剪力強度相近 (圖 5)。粗糙起伏較明顯之剖面，在低正應力情形，兩種狀況下試體剪力強度相近，但較高正向應力下，起伏隨試體長度放大者，所得到之剪力強度明顯有較高之結果 (圖 6)。另比較將相同剖面連接時，試體長度與其尖峰剪力強度之關係，發現試體之尖峰剪力強度有隨試體連接長度增加而增加之情形。試體由原先之 10 cm 連接成 20 cm 、 30 cm 時，在低正應力下，剪力強度與試體長度之增加無明顯關係，而較高正向應力，則試體剪力強度隨其長度增加而增高 (圖 7)。

綜合本研究之試驗結果，可看出當試體長度增加時，無論是其表面粗糙度隨試體長度等比例放大或是由相同之剖面組合增加試體長度，均得到剪力強度隨試體長度增加而增加之結果。試驗中大試體會有較多剪壞突出鋸齒的情形。因此從破壞位置多寡以及破壞型態，可看出大試體比小試體有較高的剪力強度。這樣的結果可能是因為小試體在直剪過程中，試體爬坡所需之膨脹量較小，而較大試體所需要之膨脹量較大，但在原修改前之直剪儀在剪動過程中，上盒發生旋轉情形而造成其端部無法自由滑動產生膨脹，因此對較大試體而言，即得到額外之束制，因此造成等比例放大後之較大試體，產生較多破壞位置以及與小試體不同之破壞型態，而得到較高之剪力強度。目前直剪儀正在修正此缺點。

五、結論

1. 在剖面尺寸與其表面粗糙起伏等比例放大時，試體剪力強度有隨剖面長度增加而增加的趨勢。
2. 試體分割後，各部分剖面之平均剪力強度較原完整剖面為低，因為分割剖面無法得到剖面整體起伏對剪力強度之貢獻。
3. 分割之剖面，放大至與原剖面相同長度，比較其剪力強度，則無相關性；JRC 值越高之剖面，分割並放大後，觀察其表面幾何分佈，亦無相關。
4. 分割後，幾何形狀相同之 10 cm 剖面，組合成 20 cm、30 cm 後，剪力強度有隨試體長度增加而增加的情形。
5. 直剪儀之正向應力控制、剪動摩擦阻力以及試體之旋轉與膨脹束制，對剪力強度試驗結果有相當影響，應儘可能修正之。
6. 以電腦輔助製造的方式，可對規則或不規則剖面形狀之試體，進行任意的複製或是比例上的縮放，即使是對自然岩石節理面，亦可利用雷射剖面儀掃瞄其高程後，進行複製動作。故可藉此製造設備，協助對岩石節理面規模效應、不等向性以及三向度特性的問題進行有系統之試驗。

六、參考文獻

- [1] Pratt, H.R., Black, A.D. & Brace, W.F., (1974), "Friction and Jointed Quartz Diorite", *Proc. 3rd Conf. Int. Soc. For Rock Mechanics*. Dever, CO. Vol IIA, pp.306-310.
- [2] Brown, E.T., Richards, L.R., and Barr M.V., (1977), "Shear Strength Characteristics of the Delabole Slates", *Proc. Conf. on Rock Engineering*. Newcastle, England, pp. 33-51.
- [3] Bandis, S., Lumsden, A.C. and Barton, N.R., (1981), "Experimental Studies of Scale Effects on the Shear Behaviour of Rock Joints", *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abstr.* 18, pp 1-21.
- [4] 李宗德(1983), "模擬岩石節理面剪力強度之規模效應", 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。

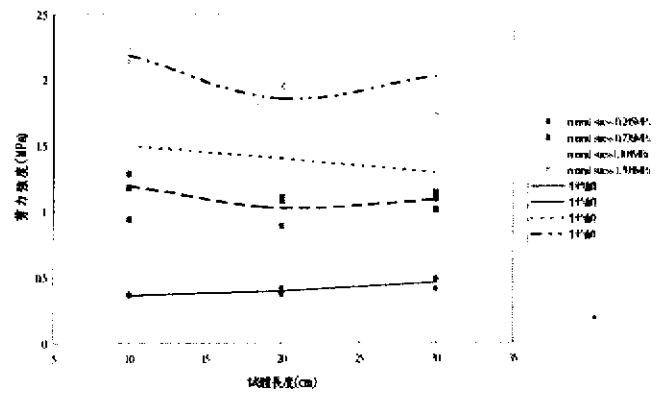


圖 1 15°鋸齒規則節理面尖峰剪力強與試體長度關係

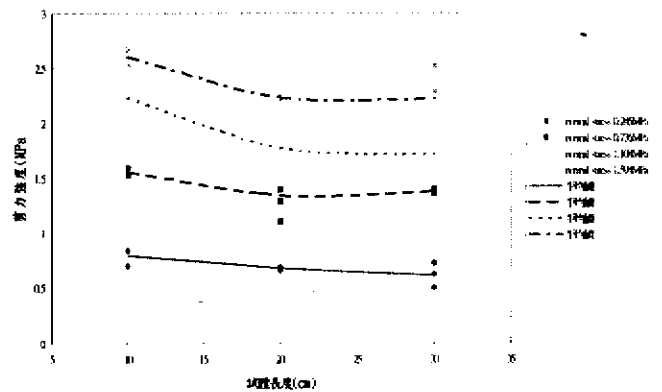


圖 2 鋸齒尺寸固定之剪力強度與試體長度關係

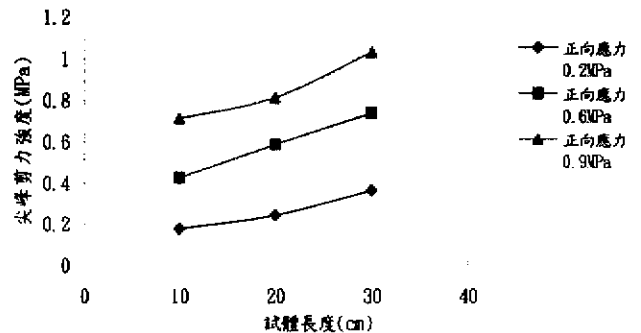


圖 3 JRC=10~12 剖面等比例放大，剪力強度與試體長度關係

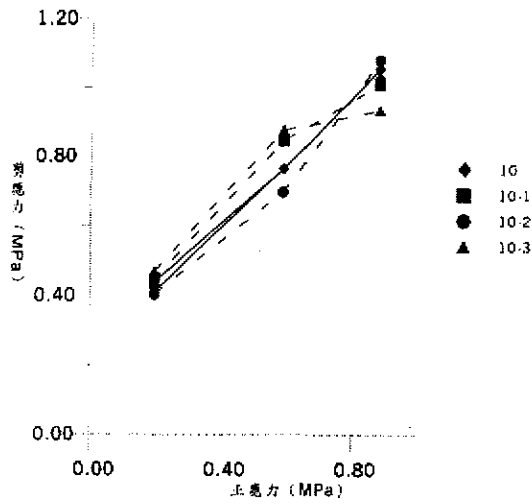


圖 4 JRC=18~20 分割後剖面與原剖面
試體長度同為 20 cm 剪力強度比較

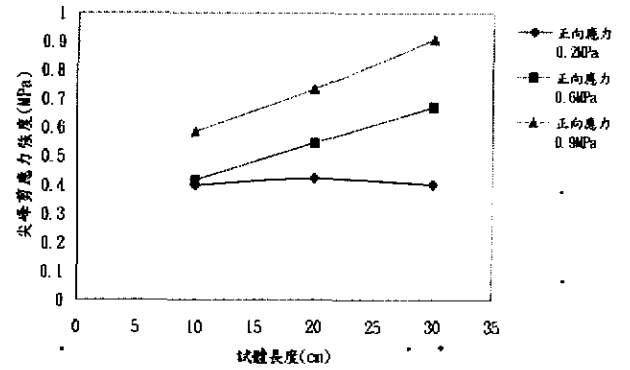


圖 7 分割後剖面組合成 20 cm、30 cm 剪
力強度關係

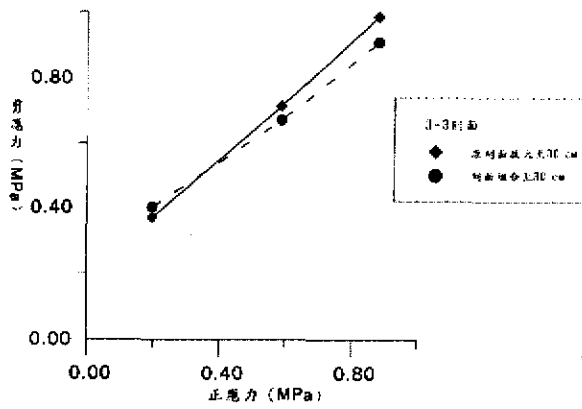


圖 5 分割後 3-3 剖面組合至 30 cm 與原
剖面放大至 30 cm 剪力強度比較

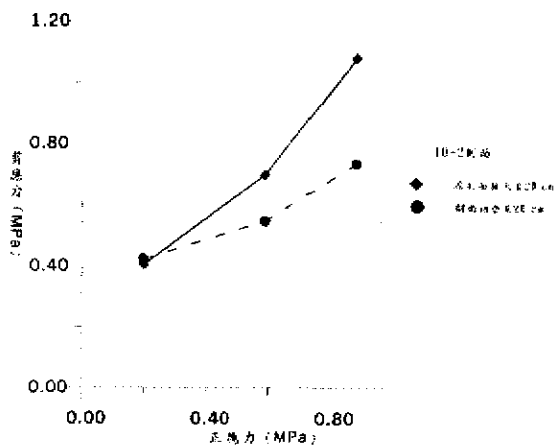


圖 6 分割後 10-2 剖面組合至 20 cm 與原
剖面放大至 20 cm 剪力強度比較