

粗糙節理面剪力行為規模效應之研究(1/2)

Scale Effect on the Shear Behavior of Rough Joints

計畫編號： NSC 89-2211-E-032-016

執行期限： 88年8月1日至89年7月31日

主持人：楊長義 淡江大學土木工程學系

一、中文摘要

本研究根據碎形維度中自我相仿轉換觀念，將節理剖面高程做不等倍率的轉換，可使縮放後的剖面仍具有與原剖面相近的粗糙程度，故在複製大小節理面試體中，本文已可將 JRC 的規模效應給去除，剪力強度之規模效應問題將單獨由 JCS 所造成，以利於釐清 JCS 之規模效應。第一年主要針對不同長度的模擬節理面直剪試驗，以探討材料 JCS 尺寸因素。

關鍵詞：節理面、自我相仿、JCS、規模效應

Abstract

According to the self-affine transformation law, we cannot only generate joint samples with the same roughness in different scales, but also with a similar visual appearance. This will improve the investigations on the scale effect of shear strength affected by JCS in this research. To distinguish the difference in scale effect of shear strength between JCS and JRC, keeping JRC as a constant during shear test is useful.

Keywords: Joint Profile, Self-affinity, JCS, Scale Effect

二、緣由與目的

由 Barton 的研究已知岩石節理面剪力強度主要受粗糙度(JRC)與壁材強度(JCS)之影響，然而 JRC 與 JCS 均具有規模效應：即一般自然節理試體長度愈長，則其 JRC 與 JCS 值均愈小。若在同一自然節理面上截取大小不等的試體，試體剖面間並不易具有相同的 JRC 值，故在探討節理面剪力強度之規模效應時並無法同時將 JRC 與 JCS 兩者之影響析離。針對大小試體間 JRC 與 JCS 之規模效應考慮方式，目前以 Barton 與 Bandis 之建議式較常被採用： $JRC_n = JRC_o \times (L_n/L_o)^{-0.02JRC_o}$ 與 $JCS_n = JCS_o \times (L_n/L_o)^{-0.03JRC_o}$ ，即 JRC 與 JCS 兩者均隨現地節理面長度(L_n)之增加而遞減，並與室內節理面(尺寸 L_o)之初始粗糙程度(JRC_o)有關，而且 JCS 之隨尺寸遞減效應較 JRC 為劇。雖然上列兩式是由節理面直接剪力強度反推 JCS 值與節理面長度尺寸關係而建立，但如前所述，大小節理面剪力強度之試驗結果中仍同時受 JRC 與 JCS 兩變數之干擾。

本研究將利用本單位先前已發展完成的製作外形相仿節理之技術，即根據碎形理論中自我相仿(self affine)轉換的觀念，可將節理剖面高程做不等倍率的相仿轉換，使其在縮小或放大後的剖面仍具有

與原剖面相近的粗糙程度。故在探討節理剖面剪力強度時，於複製大小節理面試體時已可將 JRC 的規模效應給去除，故所剩餘剪力強度上之規模效應問題將主要由 JCS 所造成，將有利於進一步釐清對壁材強度 JCS 之規模效應問題。本文以 10 與 5cm 大小且具相似粗糙度之節理面試體進行高低應力下的直剪試驗，藉以探討大小兩相似剖面剪力行為之差異，試圖瞭解 JRC 與 JCS 值之影響程度。

三、粗糙度相似節理面之製作

本文取 JRC= 14-16 標準剖面為例，依自我相仿轉換倍率將 10 cm 剖面 x 軸縮小 0.5 倍而 y 軸縮小(0.5^{0.888})，而獲得 5 cm 小剖面試體，並以線切割技術(Yang and Chen, 1999)鑄造 10 cm 及 5 cm 兩種具相近粗糙度之模具，以供灌注模擬試體之用。其中 Hurst 指數等於 0.888 為本文 JRC 標準剖面之粗糙度參數(Yang and Lo, 1997)。以石膏灌注完成之節理模擬試體如圖 1 所示，由圖中試體起伏程度之比較，可知大小試體之節理剖面外觀相似，而兩者起伏程度之相似度亦已經過 JRC 值之定量驗證。研究中分別對 10cm、5 cm 兩相似粗糙度之節理試體進行一系列直接剪力試驗，同時擷取剪應力位移曲線及膨脹曲線記錄剪力行為。

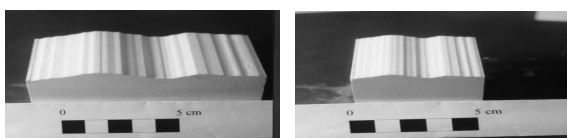


圖 1. 大小兩相似剖面石膏模擬試體

四、試驗結果與分析

(1)節理尺寸大小之影響

圖 1 的直剪試體剖面長度分別為 10cm 的 JRC=14~16 之 Barton 標準剖面[S10 型]與經由相似轉換縮小後的 5cm 剖面[H5 型]。兩者直剪試驗之剪應力位移曲線與膨脹曲線結果分別如圖 2 與圖 3 所示。由兩圖中比較可知兩者剪力強度、剪力勁度與尖峰剪位移均有隨正應力增加而遞增的現象；即低應力環境下越容易達到尖峰狀態。而垂直膨脹量則隨之遞減；在正應力大於 15kg/cm² ($\tau_n / JCS = 1/4$) 後，幾乎沒有膨脹現象。由兩者破壞包絡線(參見圖 4)可發現大試體 S10 剪力強度略小於 H5，亦具有規模效應，因兩者具有相似粗糙度下，可知 JCS 將是造成圖 4 強度差異的主因。

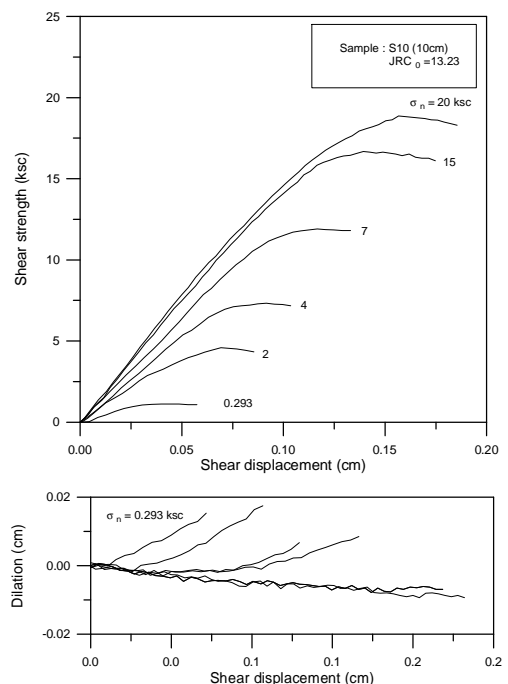


圖 2. S10 標準剖面(10cm)之試驗結果

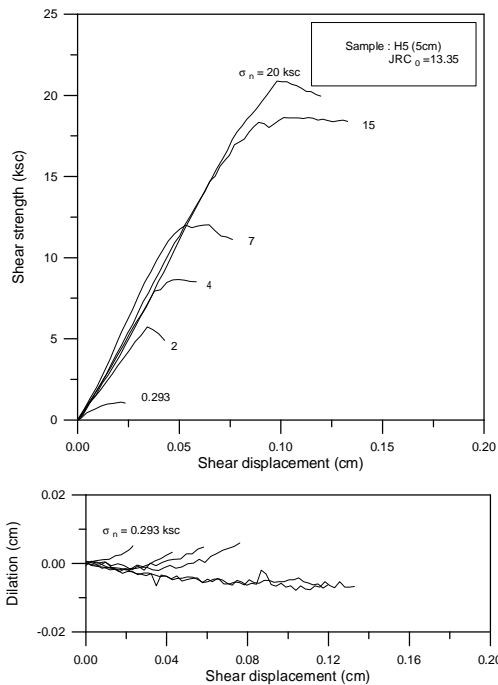


圖 3. H5 縮小剖面(5cm)之試驗結果

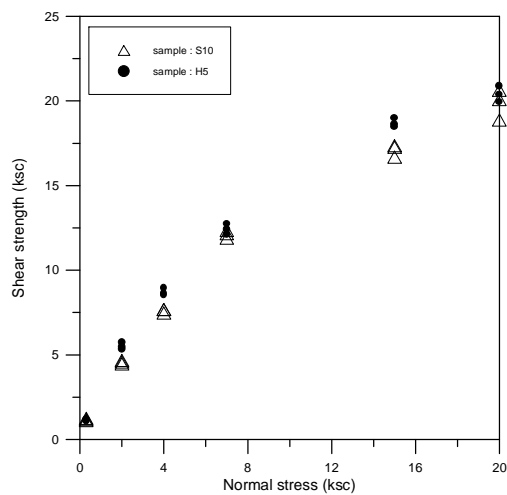


圖 4. 剪力強度破壞包絡線

(2) 剪力與膨脹行為

研究中分別以六種不同正向應力對長短兩種節理試體 S10 與 H5 進行直剪試驗：

(a) 在低應力下(0.293kg/cm²)，由比較 S10 H5 兩試體剪力行為(圖 5)可發現：兩種試體在低應力下為純爬坡型式之磨擦行為，因此其膨脹行為可以反應試體表面

之粗糙度，又由兩者在此應力下之膨脹曲線接近重合(但 S10 之最終膨脹量較高)，可證實兩者粗糙度確相近；另外，從試體表面磨損量觀察，得知試體表面幾乎無磨損現象，岩材性質 JCS 幾乎不控制此一行為。因此，粗糙度仍然主控剪力強度，故其剪力強度亦非常相近，故在低應力之爬坡行為下大小試體並無顯著規模效應。

(b)但隨正應力之提高，試體損傷程度略增，兩者膨脹曲線已不再重合(見圖 7 之實線與虛線)，在尖峰膨脹角處約有 1° ~ 3° 不等的差異，粗糙度之參與度漸減，但兩者之尖峰剪力強度卻亦相近，顯示隨正應力之提高 JCS 之參與(或發揮)的程度應有漸增之趨勢，以補足膨脹效應在兩者剪力強度所造成的差異。

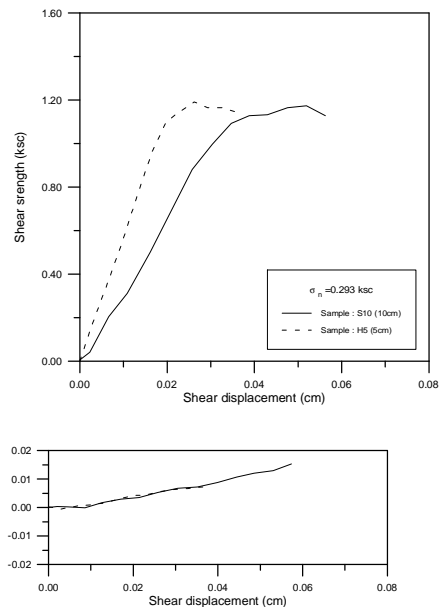


圖 5. 低應力下大小試體剪力行為比較

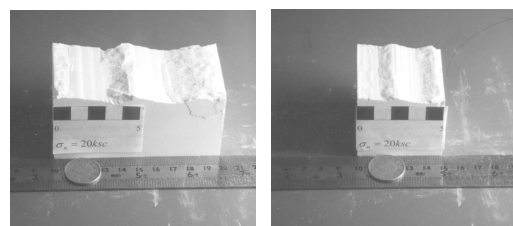


圖 6. 大小試體之破壞情形(20 kg/cm)

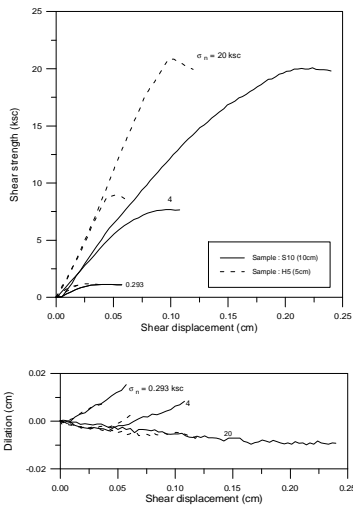


圖 7. 高低應力下大小試體剪力行為比較

(3). 岩材強度 JCS_m 之規模效應

假設於不同正向應力下可驅動出不同的 JRC_m 與 JCS_m ，因此本文將不同應力下之驅動 JRC_m 代入 Barton 強度模式以反求 JCS_m ，結果如圖 8： JCS_m 隨正向應力增加而逐漸遞減；即高應力時，兩者之 JCS 完全發揮，則大小節理之趨動 JCS 值愈相近。而反求之最佳 JCS 值分別是 5cm 的小試體 H5 為 95 kg/cm^2 、而 10cm 大試體 S10 為 75 kg/cm^2 ，JCS 的確具有規模效應，且此二者之比例與 Bandis 之建議式相近。

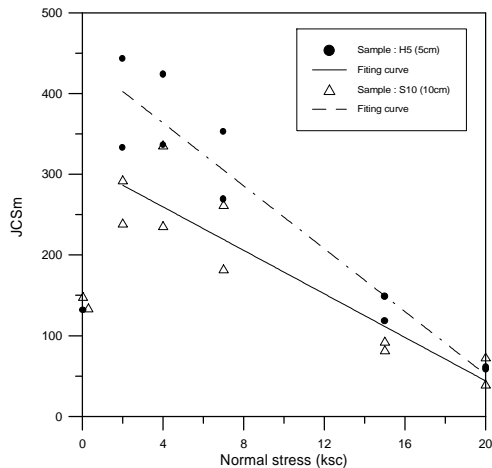


圖 8. 反求之 JCS_m 與正應力的關係

五、 結論

本研究第一年獲致以下主要定性結論：(1)在低正向應力下，節理剪力強度主要由 JRC 所控制，大小試體 JCS 沒規模效應問題；但隨著應力遞增，JCS 之影響逐步增大，JCS 之規模效應問題愈重要；(2)高應力時(約在 $t_n / JCS = 1/4$ 時)，JCS 完全發揮，則大小節理之趨動 JCS 值愈相近。

六、 參考文獻

- [1]楊長義、羅世承 (1996)，「Hurst 指數在節理面粗糙度異向性之應用」，第二十屆全國力學會議論文集，台北，第 366-373 頁。
- [2]陳俊龍(1998)，「節理剖面粗糙度規模效應之研究」，碩士論文，淡江大學土木研究所。
- [3] Barton, N., and Bandis, S. (1982), "Effect of block size on the shear behavior of jointed rock," *Proceeding of the 23rd U.S. Symposium on Rock Mechanics*, Berkeley, California, pp. 739-760.
- [4]Yang, Z. Y., and Lo, S. C. (1997), "An index for describing the anisotropy of joint surfaces," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol. 34, No. 6, 1031-1044.
- [5]Yang, Z.Y. and Chen, J.L. (1999), "Application of the self-affine concept to the scale effect of joint roughness," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 32, No. 3, 221-229.