

粗糙節理面剪力行為規模效應之研究(2/2)

Scale Effect on the Shear Behavior of Rough Joints

計畫編號： NSC 90-2211-E-032-035

執行期限： 89年8月1日至90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

本計畫是一兩年期之研究，第一年已得知隨著應力遞增 JCS 之規模效應問題愈重要。第二年本研究以 5cm、10cm、25cm 三種長度不等但 JRC 相近之自我相仿節理面模擬試體進行直剪試驗，依其剪力強度反求試體長度不等之節理壁材強度 JCS，並與單壓強度規模效應比較。

關鍵字：自我相仿、JCS、規模效應

Abstract

The scale effect of JCS exists in the shear strength for the different joint profiles. This paper uses the self-affine joint profiles with the identical JRC, but with different length, to perform shear tests. Then, the back-calculated JCS from the peak shear strength for the different sized joints is obtained and compared to the scale effect of the uniaxial strength.

Keywords: 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。本研究第一年利用自我相仿(self affine) 轉換的觀念，可將節理剖面高度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，於複製大小節理面時已將 JRC 的規模效應給去除，故剪力強度所剩餘之規模效應問題將主要因 JCS 而起，將有利於釐清壁材強度 JCS 之規模效應問題。並已知高應力下，JCS 之影響漸大，JCS 之規模效應問題愈重要。一般常以室內 NX 尺度大小之岩心單壓（屬劈裂方式）強度替代 JCS，兩者破壞機制並不儘相同，且兩者尚具有規模效應問題，故以岩心單壓強度直接代表 JCS 值值得進一步確認。因此，本研究固定不同長度節理試體之 JRC 值，再以剪力強度反算建議 JCS 規模效應經驗式，並與既有岩心單壓強度折減方式進行比較。

三、粗糙度相似節理面之製作

本文採用的人工節理面分為兩種粗糙度，分別為 JRC=8 及 JRC=12，每條剖面各三種尺寸。JRC=8 的剖面有 5cm×5cm [編號 5A]、10cm×10cm [編號 10A] 及 25cm×10cm [編號 25A]，以及 JRC=12 的剖面有 5cm×5cm [編號 5B]、10cm×10cm [編號 10B] 及 25cm×10cm [編號 25B] 等六種。每種剖面施加 4~5 種正向應力 ($\sigma_n/JCS = 1/100 \sim 1/7$) 之實驗。

二維節理面之製作係利用直徑 0.2mm 銅線導電加熱以切割珍珠版，並應用剖面儀量測系統可預設平臺移動軌跡之功能，利用掃描平台移動時與電熱絲產生相對位移，達到切割節理剖面的目的（如圖 1 所示）。



圖 1. 珍珠版成型模具

四、實驗結果與分析

(1) 大小相仿節理面之破壞現象

圖 2 之 3 種尺寸 (5cm 10cm 及 25cm) 相仿剖面，雖試體尺寸不同，但因其整體幾何特徵上對應位置均相似，故破壞位置亦均發生於某些對應節瘤上。

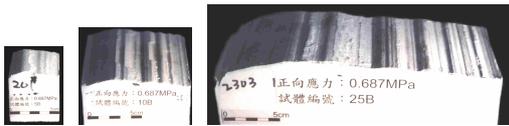


圖 2. 不同長度剖面之節瘤破壞狀況

(2) 大小相仿節理剪力強度之規模效應

在正向應力與 JRC 相同條件下，試體長度愈長其尖峰剪力強度較低 (圖 3)，此種現象反應 JCS 會隨試體長度增加而衰減。隨著正向應力的增加，不同長度試體間之剪力強度差異越大，顯見 JCS 規模效應問題在高應力下越顯著。

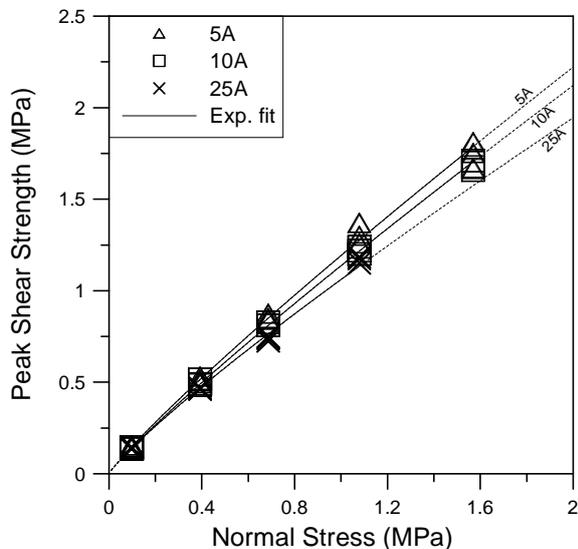


圖 3. 不同長度剖面之尖峰剪力強度比較

五、反求 JCS 近似值

已知 Barton 強度公式中尖峰膨脹角

$$\phi_p = JRC \times \log \frac{JCS}{\tau_n} + W_b$$

由上式可將 $\tan(\phi_p)$ 與 σ_n 關係繪製於雙對數座標上 (如圖 4)：由圖中可知隨著 σ_n 的增加 $\tan(\phi_p)$ 漸減，且其遞減趨勢為一近似直線關係。若再分別變化節理面之 JCS 及 JRC 因素，可得：

- (i) 對相同 JCS 及 ϕ_b 之節理面，但 JRC 不同時 (圖 4(a))：JRC 越大，其直線段的遞減斜率越大；反之，JRC 較小則遞減斜率越小 (對 σ_n 階度越不敏感)。當 σ_n 很大時，各種 JRC 值剖面之遞減函數會交於同一點 G，此刻之 σ_n 正好等於 JCS，致使 $\phi_p = \phi_b$ ；同時亦與 JRC=0 相交於此點。
- (ii) 對同一 JRC 及 ϕ_b 之節理面，但 JCS 值不同時 (因長度 L 不同，如圖 4(b))：可發現其遞減關係亦近似直線，且不同 JCS (不同剖面長度 L) 間呈現平行排列。當 JCS 值越大 (L 越短)，其整體尖峰摩擦角 ϕ_p 較高，亦與 JRC=0 剖面相交於較大 σ_n 環境下；JCS 值越小 (L 越長) 之剖面則 ϕ_p 較低，愈早與 JRC=0 剖面相交於較小 σ_n 應力條件下。意謂整體尖峰摩擦角 ϕ_p 隨 σ_n 提高而減少，終將等於岩材之摩擦角 ϕ_b 。

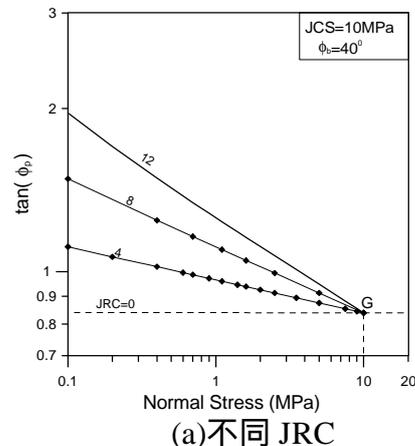
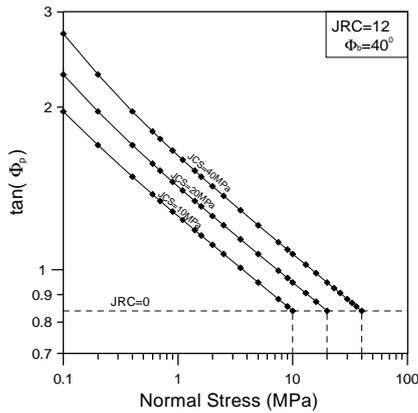


圖 4. 峰膨脹角與正向應力於雙對數座標之關係



(b)不同 JCS

圖 4. 峰膨脹角與正向應力於雙對數座標之關係(續)

綜上(i)、(ii)可知： $\tan(\phi_p)$ 與 σ_n 的關係於雙對數座標以一條直線關係遞減，此種關係近似直線段將與 JRC=0 剖面（水平線）相交，此交點之正向應力 σ_n 即為該節理面岩材之 JCS 值。故可將直剪實驗所得數據（ σ_n 、 $\tan(\phi_p)$ ）繪入圖上（圖 5），再由圖中兩已知 JCS 值之直線間，以內插之方式，依實驗值迴歸直線之相對位置，可求得試體 JCS 值之近似解。

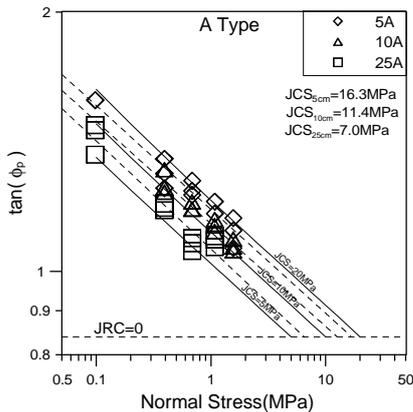


圖 5. 求解剖面之之 JCS 近似解

利用圖 5 觀念可求得三種長度之 A 型剖面之 JCS，即經由各平行線內差(或在 JRC=0 交點處)獲知其對應的 JCS 值（等於該處之 σ_n ）：其值分別為 $JCS_{5cm}=16.3$ (Mpa)、 $JCS_{10cm}=11.4$ MPa 及 $JCS_{25cm}=7.0$ MPa。可知 JCS 與剖面長度 L 之規模效應相當明顯。B 型剖面亦有類似結果：其

值分別為 $JCS_{5cm}=16.0$ MPa、 $JCS_{10cm}=10.0$ MPa 及 $JCS_{25cm}=7.3$ MPa，衰減幅度亦相當明顯。雖然 A、B 兩種剖面之 JRC 值有相當差異，但 JCS 值卻頗相近，顯見 JCS 並不隨 JRC 之不同而有太大不同，僅隨剖面長度而變，故粗糙度對於 JCS 規模效應影響較不顯著。

因此，本文利用 6 組數據(共 81 個數據)迴歸出一個不含粗糙度因子之 JCS 規模效應經驗式(圖 6)：

$$JCS_n = JCS_0 \times \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.5}$$

其中： L_n 、 JCS_n 為長試體（或現場尺寸）之長度、節理壁間強度； L_0 、 JCS_0 為短試體（或實驗室尺寸）之長度、節理壁間強度。而 L_n 、 L_0 單位為 cm。為了解本文所建議規模效應之經驗式對其他材料預測之適用性，因此收集 Bandis[2]之實驗數據進行比較，由圖 7 中可得知亦可得到不錯的預測結果。

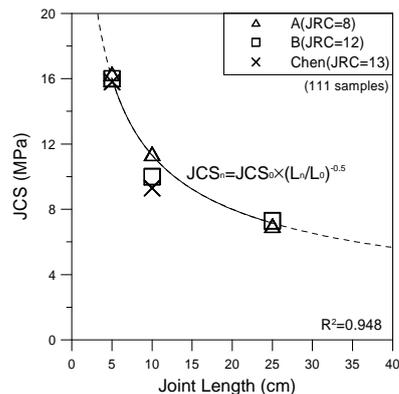


圖 6. 建立 JCS 規模效應經驗式

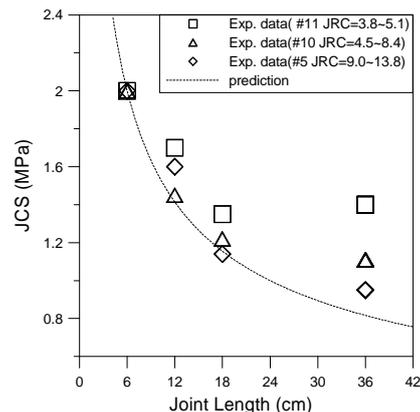


圖 7. 預測 Bandis 實驗結果

六、 JCS 與岩石單壓強度之比較

本文取 Hoek & Brown 所得完整岩石之單壓強度經驗式：

$$\sigma_c = \sigma_{c50} \times (50/d)^{0.18}$$

其中， σ_{c50} 、 σ_c 分別為直徑 50mm、 d 之完整岩石單壓強度。將單壓試體之圓柱直徑視同於節理試體長度 L 預測 JCS(圖 8): 不論對何種 JCS 材料及 JRC 剖面均有高估 JCS 現象。相較下，本文公式雖未考慮粗糙度之影響，亦可得到良好之預測效果，由此可知：剖面粗糙度對 JCS 規模效應的影響有限。

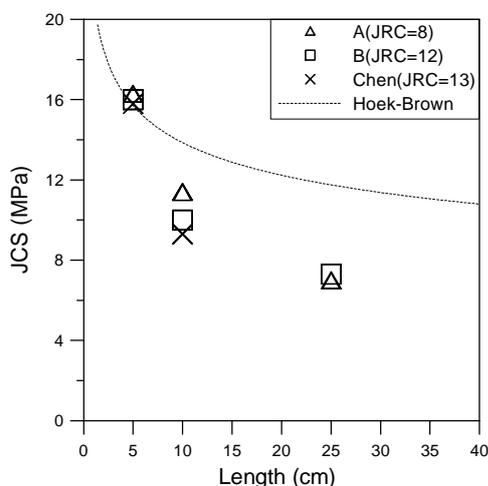


圖 8. 以 Hoek-Brown 公式預測 JCS 值

七、結論

本文以具相近粗糙程度之長短相仿節理剖面進行直剪試驗，以探討 JCS 之規模效應問題，基於極大正應力作用下，節理面壁材強度 JCS 值將近似於岩材之剪力強度的觀念，提出一套以內插方式推求 JCS 的方法。主要研究結果如下：(1) JCS 與單壓強度 (σ_c) 並無明顯之正相關或負相關性，顯示長短節理面之 JCS 值之規模效應行為並不盡然如同單壓強度 σ_c 值，以岩心單壓強度直接替代 JCS 之適用性須進一步瞭解。(2) 以單壓強度常會高估 JCS，尤其是對高粗糙度之節理面。(3) 反求 JCS 值時，粗糙度 JRC 之影響並不

大，即 JCS 之折減可以只考慮節理長度效應。(4) 依本文據實驗結果建立一 JCS 尺寸規模效應經驗式(適用於 $L=5\sim 25\text{cm}$)為：

$$JCS_n = JCS_0 \times \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.5}$$

其中 L_n 、 JCS_n ：長試體 (或現場尺寸) 之長度、節理壁材強度。 L_0 、 JCS_0 ：短試體 (或實驗室尺寸) 之長度、節理壁材強度。

八、參考文獻

- [1]陳俊龍(1998),「節理剖面粗糙度規模效應之研究」, 碩士論文, 淡江大學土木工程研究所, 台北。
- [2]蔡子淵 (1999),「相似粗糙節理面剪力行為之規模效應」, 碩士論文, 淡江大學土木工程研究所, 台北。
- [3]范又升、楊長義(2001), “以岩心單壓強度直接替代 JCS 之規模效應問題”, 第九屆大地工程學術研討會, 桃園, 第 B018-1 -8。
- [4]Yang, Z.Y. and Chen, G.L.(1999) “Application of the self-affinity concept to the scale effect of joint roughness,” *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 221-229.