

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 以碎形參數描述組構對顆粒性材料強度之影響(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-002-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：楊長義

計畫參與人員：李彥宏 吳妮晏

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 6 日

# 以碎形參數描述組構對顆粒性材料強度之影響(2/3)

## Describing the grain fabric effect on the shear strength of granular materials using fractal parameters

計畫編號： NSC 93-2211-E-032-002

執行期限： 93年8月1日至94年7月31日

主持人：楊長義 淡江大學土木工程學系

### 中文摘要：

本研究為三年期計畫，目的在研究顆粒組構對剪力強度之影響，第一年探討顆粒形狀之影響，目前為第二年探討顆粒級配之影響，未來第三年將探討顆粒堆疊之影響。本研究設計四組級配，控制骨材之級配類型，將剪斷面上骨材粒徑大小及分佈以數位相機取相，再透過影像分析技術，引用碎形理論的觀念求得反應級配特徵的方格維度，期望進一步了解卵礫石之力學特性。

關鍵詞：顆粒級配、方格維度、剪力強度

### ABSTRACT:

This research aims to study the effect of grain gradation on the shear strength of gravels. The fractal dimension in fractal theory was employed to describe the gradation of gravels. A series of shear tests in various gradations were performed by direct shear test.

### 一、前言

鑑於顆粒性材料中影響其力學特性之因素相當多，如顆粒之大小、形狀，級配類型與堆疊方式等因素，對一相同級配之顆粒亦會因其堆疊方式之不同，而在強度及摩擦角上有所差異。因此，本研究設計四組級配，控制骨材之級配類型，將剪斷面上骨材粒徑大小及分佈

位置以數位相機取相，再透過影像分析技術，再引用碎形理論的觀念求得反應級配特徵的方格維度 (box-dimension,  $D_b$ ) 以建立顆粒性材料之力學特性與級配方格維度之關係，期望進一步了解卵礫石之力學特性。

### 二、顆粒級配之碎形

瞭解卵礫石粒徑分佈目前最常採用的是傳統的篩分析法，根據篩網尺寸與顆粒重量過篩百分比半對數關係，藉以表現顆粒間之級配特徵。但傳統的篩分析法並無法反映顆粒群體大小之分佈特徵。

本研究將由粒徑分佈曲線轉成雙對數圖中的趨勢線斜率 (S) 所求得碎形維度  $D_b$ 。碎形維度  $D_b$  值卻能表現群體於三維歐氏空間或二維平面的填塞程度 (capacity)， $D_b$  值愈大，表示大顆粒間有較多小顆粒包圍，大顆粒接觸點較少；反之則反是。

在三維空間下， $D_{b(3D)} = 3 - \text{斜率}(S)$  以表現級配形式；在二維空間下， $D_{b(2D)} = 2 - \text{斜率}(S)$ ，當  $D_{b(2D)}$  介於 0.8 至 2，級配屬於優良級配； $D_{b(3D)}$  大於 1.8 以上，級配屬於優良級配。

### 三、本文骨材級配之方格維度

本研究設計 A、B、C、D 四種級配骨材 (圖 1)，並以  $D_b$  值展現出該級配特徵，其對

應  $D_b$  值依序為 0.80、1.38、1.62、2.83。並分別填充以三類不同基質材料(matrix)製作試體：FE 組為純骨材（無基質填充）、PR 組混合紅土、FX 組混合石膏基質填充材，以探討不同之顆粒邊界狀況，計 48 組試體。

經直接剪力試驗儀剪斷試體(見圖 2(a))可以製造出試體剪斷面，此處以 FE (A1)、FE (D1) 試體剪斷面為例(見圖 2(b))。再以數位相機垂直攝影剪斷面後，利用影像分析軟體對四個斷面做影像分析處理，可得到剪斷面之顆粒屬性，並用以計算剪斷面粒徑篩分析曲線如圖 3 所示。取雙對數表示可得剪斷面之二維平面級配碎形維度。

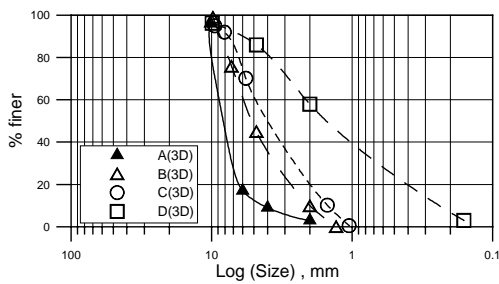
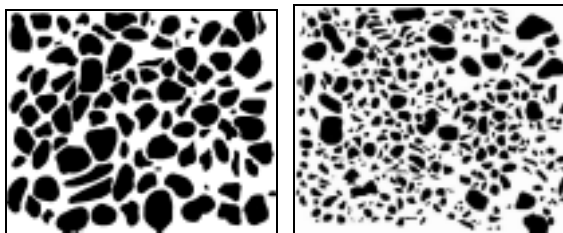


圖 1. 本研究之四種骨材級配曲線



圖 2(a). FE 組純骨材直剪試驗



FE (均勻級配)                      FE (優良級配)

圖 2(b). 剪斷面之骨材分佈狀況

從圖 3 之雙對數圖可看出此試體迴歸後之線性度極佳( $R$ -squared 皆在 0.9 以上)，顯示本文設計之骨材大小與其顆粒數具有冪級數關係，表示其三維空間級配具有碎形特性。且知 FE (A1) 剪斷面之碎形維度  $D_{b(2D)}$  值為最小、粒徑分佈皆屬於均勻級配，而 FE (D1) 則屬優良級配、 $D_{b(2D)}$  值最大；兩者之剪力行為如圖 4 所示。

然二維平面骨材分佈篩分析曲線皆向右位移，但與三維空間級配兩者趨勢相同(以級配 A 為例)。因此，級配雙對數圖兩趨勢線近乎平行，即碎形維度  $D_{b(2D)}$  與  $D_{b(3D)}$  接近一致，故可互相推估。

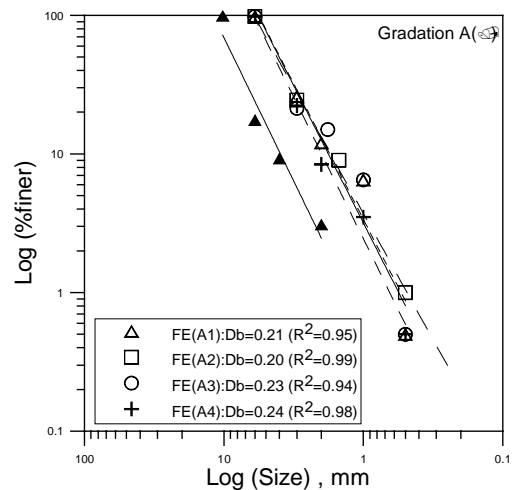
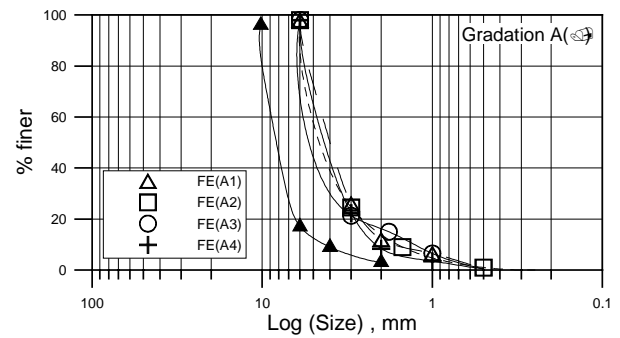
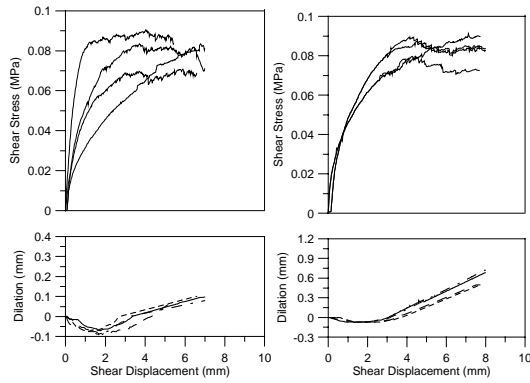


圖 3. FE 試體篩分析曲線與其方格維度 (級配 A,  $D_{b(3D)}=0.8$ )



(a) A 級配 (d) D 級配

圖 4. FE 組試體之剪應力-剪位移曲線與膨脹曲線(A 級配 ( $D_{b(3D)}=0.8$ )) (d) D 級配 ( $D_{b(3D)}=2.83$ )

依碎形理論，對同一個試體中，試體內骨材級配之碎形維度  $D_{b(3D)}$  值與剪斷平面上骨材級配之碎形維度  $D_{b(2D)}$  值間之關係應為  $D_{b(3D)} = D_{b(2D)} + 1$ 。本文特將  $D_{b(2D)}$  值與  $D_{b(3D)}$  值整理於圖 5 之關係，得知  $D_{b(3D)}$  值與  $D_{b(2D)} + 1$  值很接近，即以在平面上獲得之級配碎形維度  $D_{b(2D)}$  值，可據以推估三度空間內之實際整體級配分佈特徵  $D_{b(3D)}$  值。

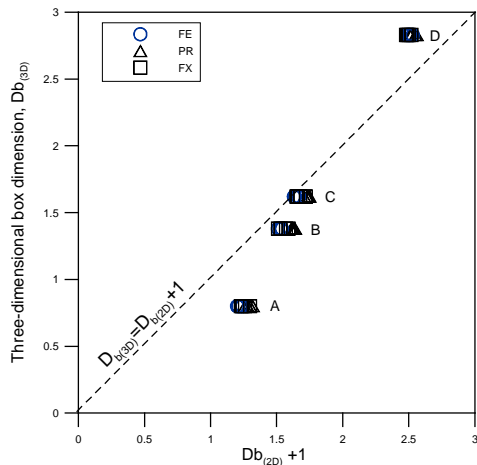


圖 5.  $D_{b(2D)} + 1$  與  $D_{b(3D)}$  之關係

#### 四、級配對剪力強度之影響

本研究三類混合試體試驗中，PR 組試體骨材重量與填充材重量比為 85% 比 15%，FX 組為 70% 比 30%，FE 組為 100% 比 0%，故依複合土觀念，其力學行為主要已由骨材所主控。

然而，在直剪試驗中實際參與剪動摩擦的是剪斷面上之骨材部分，剪斷面上骨材所佔之面積百分比才是影響剪力強度者。剪斷面上骨材所佔之比率越高，則剪斷面上之剪力強度越高；反之，若剪斷面上之填充材越多時，其剪力強度則越低。

本文將剪斷面上骨材面積百分比分別和  $D_{b(2D)}$  及  $D_{b(3D)}$  之間的關係繪於圖 6。由圖中可觀察： $D_{b(2D)}$  及  $D_{b(3D)}$  皆與剪斷面上骨材所佔面積百分比呈正相關之關係，即愈趨優良級配時骨材面積百分比愈大。顯示在試體所含之骨材級配分佈愈接近優良級配時，大顆粒骨材之間有較多小顆粒骨材填塞其中，因此骨材填塞程度愈滿，而  $D_b$  值正是用以反映出骨材在一平面 (2D) 或一空間 (3D) 之填滿程度，填塞得愈滿其  $D_b$  值愈大。

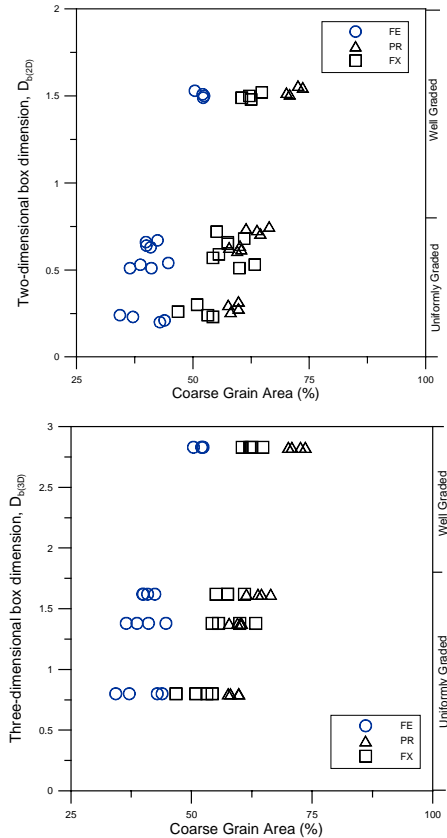


圖 6. 骨材面積百分比與方格維度值之關係

## 五、級配對剪力強度之影響

### (1) 級配與尖峰摩擦角

由直剪尖峰強度試驗結果，可求得尖峰摩擦角，整理圖 7 至圖 8 為尖峰  $\phi_p$  與  $D_{b(3D)}$  及  $D_{b(2D)}$  間的關係(以 FE 組、PR 組為例)。

由圖中可發現：(1)純骨材(FE 組)之尖峰摩擦角與級配參數  $D_{b(3D)}$  或  $D_{b(2D)}$  都沒有明顯的相關性，即級配型式與尖峰強度無明顯關係。(2)但複合土(PR 組)如卵礫石之尖峰摩擦角隨  $D_{b(3D)}$  或  $D_{b(2D)}$  之增加而略微減小(從  $56.6^\circ \sim 46.9^\circ$  之間)。即複合土(PR 組)所含粗骨材級配愈趨優良級配時( $D_b$  值愈大)，整體尖峰摩擦角愈小。原因可能是：優良級配中之顆粒數雖較多，但多為較小粒徑之骨材(參考圖 2(b))，骨材旋轉之膨脹效應較低之故。

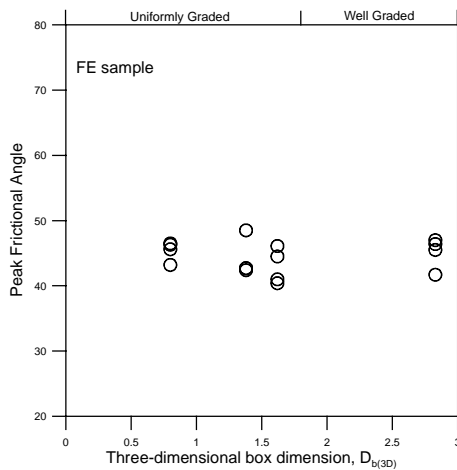


圖 7. FE 組級配方格維度與尖峰摩擦角關係

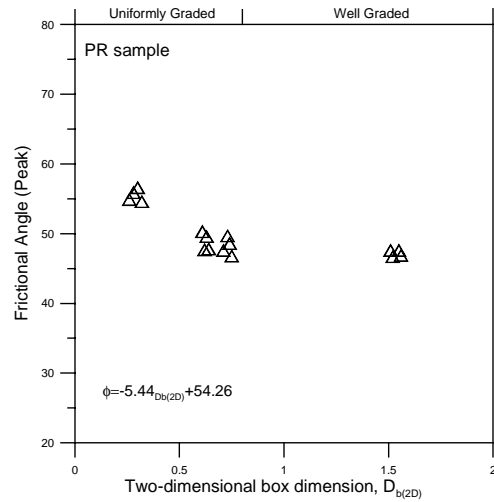


圖 8. PR 組級配方格維度與尖峰摩擦角關係

### (2) 級配與膨脹角間之關係

由直接剪力試驗之膨脹曲線，可得知尖峰強度時之對應尖峰膨脹角 ( $i$ )，結果顯示於圖 9。圖中顯示：隨著  $D_{b(3D)}$  的增加膨脹角 ( $i$ ) 愈小。意即， $D_{b(3D)}$  愈大的試體為小顆粒骨材較多之優良級配，因此在剪斷面中大部分為小顆粒之骨材主控，優良級配中之顆粒數雖較多，但大部分皆為粒徑較小之骨材，使得膨脹角較小。

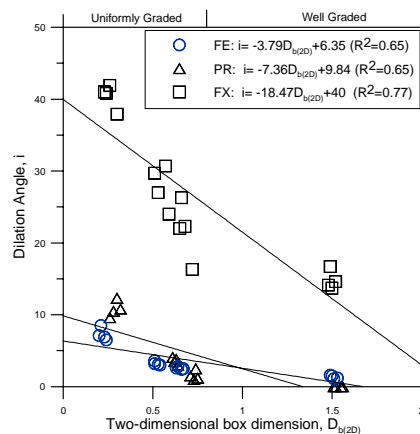


圖 9. 級配方格維度與膨脹角關係

## 六、結論

1. 利用影像篩分析技術，雖然使粒徑分佈曲線有右位移低估顆粒粒徑現象，但在方格維度圖中現地與影像篩分析之兩條線卻近乎平行，即其斜率相同，顯示影像分析技術可應用現地顆粒級配之碎形特性分析上。
2. 級配之方格維度  $D_b$  係用以表達顆粒粒徑大小級配分佈或顆粒填滿程度情形，優良級配其  $D_b$  值較大，均勻級配其  $D_b$  值則較小。
3. 複合土所含粗骨材級配愈趨優良級配時 ( $D_b$  值愈大)，整體尖峰摩擦角愈小。原因可能是：優良級配中之顆粒數雖較多，但多為較小粒徑之骨材，因骨材旋轉引致之膨脹效應較低，故整體尖峰強度較低。

## 七、參考文獻

1. Yang, Z.Y. and Lo, S.C. (2001) "Describing the geometrical packing of gravelly cobble deposits using pair-correlation function," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 38, No.6, 1343-1353.
2. Yang, Z.Y., Wu, T.J. and Yang, G.L. (2003). "Application of fractal dimensions to examine the frictional behavior of granular materials." *Proceedings of the Third International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, Lyon, France.
3. 楊長義、楊振榮(2001)，"以方格覆蓋法解釋卵礫石篩分析粒徑分佈特徵"，第九屆大地工程學術研討會，桃園，第 B007-1 -8 頁。