

一、前言

顆粒性大地材料的力學行為一般除受其組成顆粒外形與大小控制外，亦受到顆粒級配與堆疊形式等組構因素之影響。一個顆粒的外形(form)主要取決於顆粒的形狀(shape)、圓度(roundness)，顆粒外形將嚴重影響著顆粒群的過篩大小分佈行為、與最終的堆疊密度與形式。但這些因素相互之間各有交替影響，本研究案以室內直接剪力試驗方式逐次控制每一變數進行試驗，期投入三年時間，分別以數個碎形參數描述顆粒外形、顆粒級配與堆疊形式等特徵，並輔助以影像分析量化技術，以瞭解此等組構因素顆粒性材料之強度影響程度，以期有系統的瞭解此等組構因素對顆粒性材料強度之影響。目前，已執行完畢第一年工作項目，並提出這份進度報告。

二、研究內容

本研究第一年主題主要在變化顆粒外形(形狀、圓度、大小)，探討顆粒外形對摩擦強度之影響：

(1)在實驗上，本研究將分次以兩種尺寸粗骨材為探討對象，每組試驗僅用同一號篩之粗骨材(60%以上含量)混合填充物，經養護後於低應力下進行直剪試驗。直剪過程係先剪斷完整試體以產生破裂面，再重置回剪動破裂面起動粒料間之摩擦，同時擷取剪應力 - 剪位移曲線、與膨脹曲線試驗資料。在以剪力強度扣除膨脹爬坡效應後，反推獲得粒料間之摩擦角度。

(2)在碎形理論上，因即使同一號篩之顆粒易將有不同，因此本研究將以方格覆蓋法求取代表性顆粒之數位影像形狀，並以方格維度(碎形維度)歸納顆粒之形狀、圓度因素，以瞭解顆粒形狀對整體摩擦角度之影響。

三、主要研究成果

3.1 標準顆粒形狀之方格維度

一般顆粒形狀可分為五種典型形狀(Krumbein,1941):即角狀 (angular)，次稜角狀 (subangular)，次圓狀 (subrounded)，圓狀 (rounded) 及極良好圓狀 (well rounded)。本文採用方格覆蓋法(見圖 1)依序以 0.056、0.07、0.14 及 0.28 (in) 四種不同尺寸之網格計數此 25 顆標準顆粒形狀之碎形維度 $D_{(sp)}$ ，結果如圖 2 顯示：當顆粒形狀趨近圓狀時， $D_{(sp)}$ 值愈小；反之，當顆粒形狀趨近角狀時， $D_{(sp)}$ 值會變大。例如，在極良好圓狀顆粒時， $D_{(sp)}$ 值可達 1.72；在角狀為 1.55，即 $D_{(sp)}$ 值可用以反應骨材形狀之特徵。

3.2 粒徑大小與 $D_{(sp)}$ 值

本文以 A、B 兩種顆粒骨材(其粒徑依序為 1.30 2、2~4.86、4.86~9.8、9~13.2mm，如圖 3)，骨材 A 是取自河川、而骨材 B 是瀝青用骨材，依照目視比對標準顆粒，其形狀分屬次圓狀與次角狀。每種粒徑之骨材各選取 10 顆，利用前述方格覆蓋法來計算骨材形狀之 $D_{(sp)}$ 值，其結果如圖 4 所示。結果顯示：骨材形狀之碎形維度值 $D_{(sp)}$ 大約介於 1.15 ~ 1.75，A 骨材其 $D_{(sp)}$ 值較小，表示骨材顆粒形狀比較圓。

亦可得知：顆粒粒徑越大時，其 $D_{(sp)}$ 值也越大；反之，則 $D_{(sp)}$ 值越小，故顆粒粒徑大小與 $D_{(sp)}$ 值兩者間具有相關性。因為，當 $D_{(sp)}$ 值越接近 1，表示形狀越接近極良好圓狀；當 $D_{(sp)}$ 值

越大，表示形狀越接近角狀。故 $D_{(sp)}$ 值可用以反應骨材形狀之特徵。

3.3 顆粒形狀與安息角之關係

在地面上傾倒之顆粒性材料，在地面上將形成為一團錐狀堆積體，此堆積體之坡角可能很陡，但當愈多顆粒堆積後，顆粒會產生滑動撥度變緩，最後會形成一穩定之邊坡，此一相對於水平面之邊坡角度會在某一極小值下維持固定，此角度乃是顆粒在非常疏鬆狀態下的最穩定邊坡，稱之為安息角 (angle of repose)，因此安息角亦可視為最疏鬆狀態下顆粒之內摩擦角或抗剪角。一般而言，顆粒表面之粗糙度與岩性基本摩擦角會使顆粒表面存在有摩擦係數 (或稱為摩擦角)，可產生摩擦阻抗，故可抵抗顆粒之滑動，且顆粒形狀之互鎖效應，更可抵抗顆粒之旋轉，安息角便藉由邊界與顆粒間之磨擦力所造成，此摩擦力可支撐顆粒自重而形成圓錐狀堆積體。但影響安息角之因素必非單純的只有顆粒表面之摩擦係數而已，尚有顆粒形狀與級配等因素。

本研究利用一圓柱筒尺寸為直徑 5 公分，將骨材放置於桶內高度 10 公分，然後類似水泥砂漿之坍塌試驗法，慢慢將圓筒抽向上取開來，而骨材會與水平面形成一錐狀堆積，當骨材堆積達定狀態後，量取此堆積體四個方向夾角(見圖 5)，取最小之角度作為堆積體之安息角。本試驗中的四種尺寸的骨材，先將骨材過篩，以挑選顆粒大小較接近之四種骨材，各選出 6 顆骨材計算其形狀之碎形維度 $D_{(sp)}$ 值，總共挑選出四堆骨材以供安息角試驗，如圖 6，此部分主探討 $D_{(sp)}$ 與安息角 (ϕ_r) 之關係。其結果如圖 7 所示，圖中顯示： $D_{(sp)}$ 值愈大，安息角愈大，其值介於 15° 至 43° 。當 $D_{(sp)}$ 值愈小，表示骨材形狀愈接近圓狀，其維持自然穩定之坡角較小；而當 $D_{(sp)}$ 值愈大時，表示形狀愈接近角狀，其安息角較大。圖 7 安息角與 $D_{(sp)}$ 值回歸之後其關係式可表示為：

$$\phi_r = 28 \cdot D_{(sp)} - 11 \quad (\pm 4.3^\circ)$$

由上式可知： $D_{(sp)}=1$ 時，安息角 $\phi_r=17^\circ (\pm 4.3^\circ)$ ，即若不考慮顆粒間之互鎖效果，自然坡度約為 17° 。多角狀之顆粒其 $D_{(sp)}$ 值愈接近 2，顆粒間的互鎖效應較佳，其安息角可到達 45° 左右。顯見顆粒形狀對邊坡穩定性或顆粒群之內摩擦角有重要影響。



圖 1. 以數位相機攝影骨材影像與方格覆蓋計數示意.

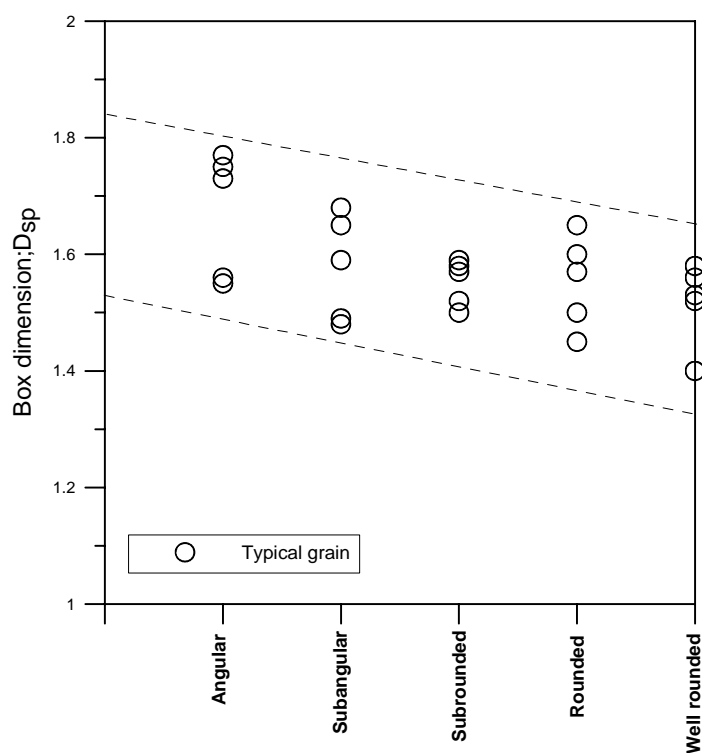


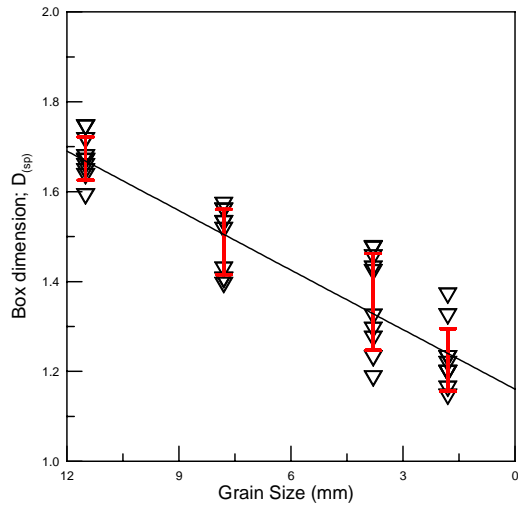
圖 2. 標準顆粒形狀之 $D_{(sp)}$ 值



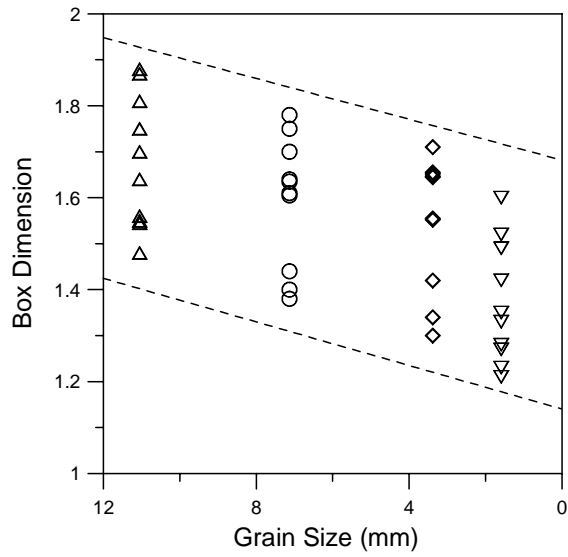
A 骨材(次圓狀)

B 骨材(次角狀)

圖 3. 本研究之 A、B 兩種骨材(各取四種粒徑)



(a) A 骨材(次圓狀)



(b) B 骨材(次角狀)

圖 4. 本研究 A、B 骨材粒徑大小與其 $D_{(sp)}$ 值之關係



圖 5. 安息角之量測方法

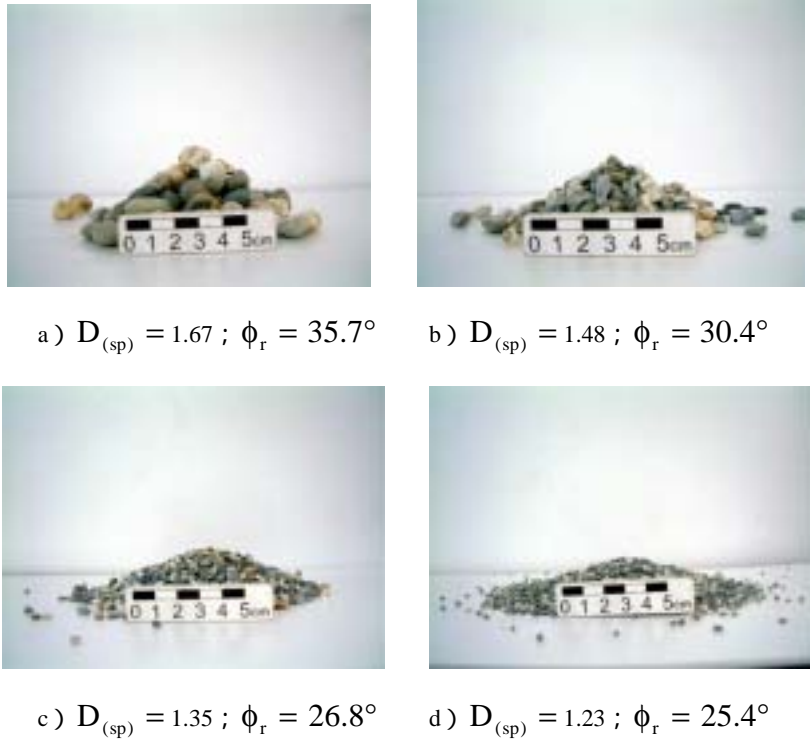


圖 6. 大小粒徑骨材之安息角試驗結果

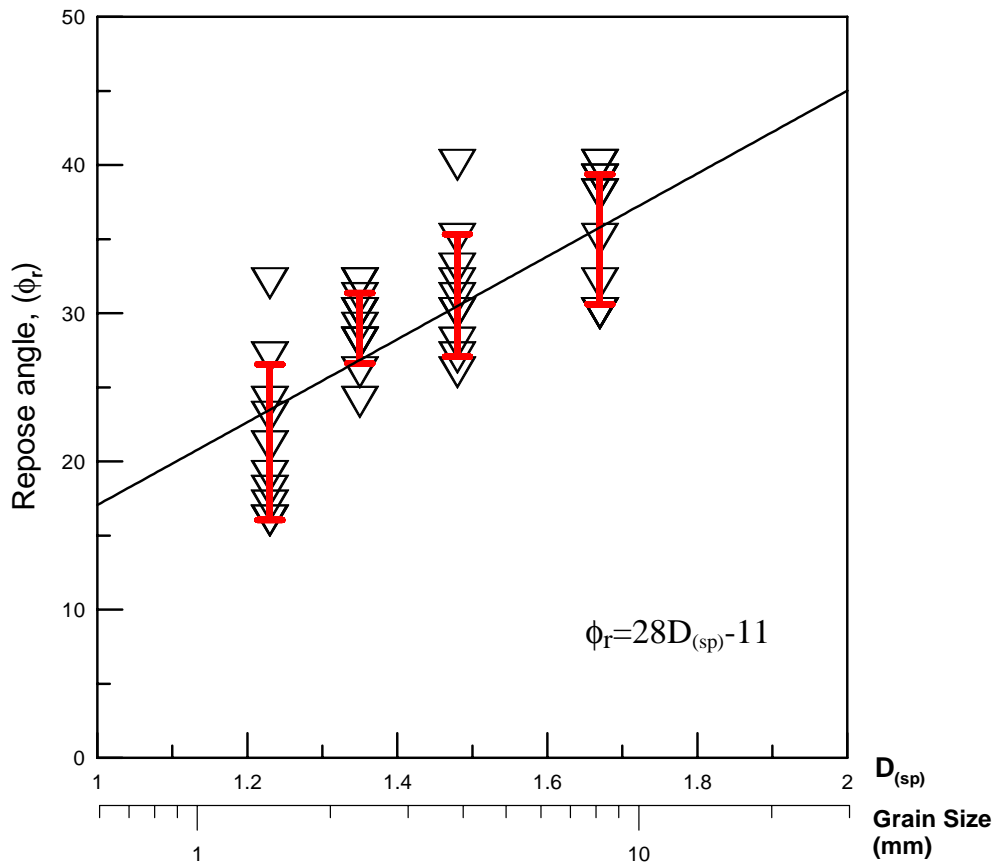


圖 7. 顆粒形狀 $D_{(sp)}$ 與安息角值之關係圖