JOURNAL OF SCIENCE & ENGINEERING, MAY, 1967. VOL IV PP. 119~130

含水量影響土壤抗剪強度之研究

李　華　寧*

壹　總　論

㈠ 緒　言

土壤之抗剪强度，是影響土壤行爲的主要因素。例如，土壤斜坡之穩定，擋土牆之土壓力，基礎之設計，工程之開挖等均視抗剪强度而定。故欲瞭解及進而控制土壤，對抗剪强度的特性有一清晰之認識，至爲重要。

影響土壤抗剪强度之因素極多，主要的爲有效應力，破壞時之空隙比，次則爲時間，應力過程，環境條件，孔隙水壓之性質與飽和率等。通常在實驗室內所得野外原狀土樣之記錄，令人對野外土壤情形有錯誤之觀念。實驗室內之土樣，可能是處於臨界狀態，故當影響土壤本性之各種因素中之某一因素如有微小變異，將使土壤性質發生很大的變異。因此，僅只是野外試驗及在實驗室內所作野外原狀土樣之試驗，似不足以探討土壤，關於控制土壤性質各主要變數之基本研究，是所需要。

爲著研討每一個變化因素，吾人希望決定其中之一，而令其它各因素在整個試驗過程中均爲常數。由於水對土壤抗剪强度影響至鉅，故本文之研究，着重於含水量，即取含水量爲一不獨立變數。本文所用天然生成之土壤，在實驗室內經過輾碎及重造。換言之，力求使之成爲一種工程材料。鑑於本文試驗之土壤非天然土，其歸結之資料，在實用上，有待進一步的研究發展。本文謬誤之處必多，幸請指教。

㈡ 研究之目的

1. 決定圓柱體土樣之角位移與所受扭矩之關係。
2. 決定含水量對抗剪强度與剪應變能之影響。
3. 決定正壓力對抗剪强度之影響。

㈢ 理論之根據

Lambe 氏將粘土顆粒所含的水分爲二層。內層爲吸收水，具有高度凝結的不可變換之離子，其物理性質與固體類似。外層水因其密度，滯性，及其它由於帶電土粒間之吸引力導致之特性，均與正常水情形不同，其性質亦迥異。在土粒外面之電場中，水分子化爲兩極體，並在電場中排列，其氫離子帶陽電，氧離子帶陰電。含礦質粘土的結晶體帶電荷，這些電荷吸引兩極的水到帶電土壤中。亦即兩極的水被吸引到雙層之陽離子中，陽離子進而被吸引到土壤的顆粒之間。土壤吸水呈一現象，即移動水平行於一土粒之邊所需之力小於推斥水離開土壤所需之力，土粒中之水結合物質 (Water Bonds) 可抵抗張應力，但天然粘土之粘性並非完全由於結合物質之故。例如，當含水量爲零時，粘土具有最大粘性。土壤水份可視作滑潤劑而勝于視作膠着劑。

觀察夯實之粘土，其乾密度超過 1,440 kg/m³，Lambe 氏得一結論，即粘土之抗剪强度完全因作用於土壤顆粒間之電流分子力而定。渠進而認定土壤顆粒之空間，顆粒之方向，外應力及土壤與水之關係

* 省立中興大學理工學院土木工程學系助教。

國立中興大學 Nanking Chung Hsing University

特性，爲影響粘土抗剪强度之次要因素。土粒間之電流吸引力或接觸壓力愈大，則抗剪强度愈大。電流分子之排斥力愈大，則抗剪强度愈小。土粒間之電流引力或斥力增加，土粒之空間距離則減小。由於顆粒空間改變而致抗剪强度之改變，端賴於電流分子力之淨變。換言之，如引力之增加大於斥力之增加，則抗剪强度增加。反之亦然。在天然與夯實狀態之下，土粒內之空間甚接近，故其空間之減小，卽造成接觸力之增大，因而抗剪强度亦隨之增大。在相同的平均土粒空間或空隙比的情況下，抗剪强度因土粒方向之角度增加而遞減。外壓力影響土粒之空間，方向，及顆粒間之壓力。亦因而改變其電流分子力。由於孔隙水壓可正可負，作用應力對粘土强度之影響，取決於孔隙含水量。雙層水分子間之任何擴張皆可增加隣接土粒間之電流斥力。

觀察夯實之粘土，其乾密度超過 1,440 kg/m³，Seed 氏發現土壤結構對此夯實粘土之孔隙水壓有極大影響，如將粘土强度特性以有效應力表示，則當土壤結構在高應變時似無影響，而在低應變時，僅微有影響。當含水量爲常數，密度增加導致抗剪强度輕微減小。此係指如將土樣夯實使其含水量大於最佳含水量而言。

在夯實時，土壤結構之改變，並無簡單之定則可循。任何已知土壤，其結構改變對孔隙水壓之影響，須在實驗室內，以直接方法測定。如將土壤在低含水量下夯實，則密集的電解質阻止了圍繞在每一土粒的雙層水離子之擴散，而不能充分發展。雙層水份的降低，引致土粒內斥力之減小，而造成粘土顆粒呈飛絮狀態，並使其顆粒方向之角度微小。故稱爲飛絮處理之土壤結構。一系組在高含水量時塑製成之平行土粒則稱爲分散系統。通常，在含水量低於最佳含水量時夯實之粘土，其顆粒呈飛絮結構。而在高含水量時夯實之同樣粘土，其顆粒呈分散型結構。某些土壤經靜壓及揉捏夯實，其應力與應變函數有不同結果。

由以上討論，吾人對扭轉試驗（Torsional Test）以測定土壤抗剪强度，建立信心。扭轉圓柱體土樣或轉動土塊上之圓鈑，均可得到較其它試驗更佳之結果。Schafer 氏發現扭轉試驗所得結果，較十字片鑽試驗（Vane Test）爲佳。

Fountaine 氏論及土壤之抗剪强度，在實質上並非受剪力試驗之應變率影響。Payne 氏發現，如應變率以 10^3 因子遞減，則强度依 15%至 30%順序遞減。Bailey 氏在試驗時，取應變率約爲 2.3 度/秒或 0.38 rpm，此值應屬够低，故其變化，對於在試驗中測定之抗剪强度無顯著影響。

Payne 氏計算扭轉之剪力盒，導出公式(1)，係基於下列假設:

1. 試驗之土樣受純扭矩（Pure Twisting Couple）。
2. 正荷重均勻分佈於剪力平面上。
3. 應變率對抗剪强度影響不計。

$$S=\frac{3}{2\pi r^3}\left(T+\frac{\theta dT}{3d\theta}\right) \qquad (1)$$

式中，S＝剪應力

r＝扭轉盒半徑

T＝作用之扭矩

θ＝扭轉角

將(1)簡化得(2)式如下，二者結果極近似。

$$S=\frac{3T}{2\pi r^3} \qquad (2)$$

Bailey 氏發現假設一橫切於剪力圖之首之均勻分佈應力較之假設一計算尖峯剪應力之直線分佈更爲精確。Schafer 氏亦得同一結論。基於均勻分佈應力，Bailey 氏導出一公式，此式與公式(2)之計算尖峯剪應力相同。

Pigulevskii 氏發現當論及粘土上層土壤時，Coulumb 公式(3)所得結果存疑。

$$S=C+\sigma\tan\phi \qquad (3)$$

在此，S＝抗剪强度

國立中興大學 National Chung Hsing University

C＝凝聚力（粘性）

σ＝正壓力

ϕ＝摩擦角

由於强度包絡線在表示抗剪强度發生之功能較之以凝聚力與摩擦力所表示者爲少，無標準試驗以鑑別粘土抗剪强度主要分力之由來。Lambe 氏建議 Coulumb 公式中之C可用作截取之抗剪强度，而 ϕ 用作抗剪角。

Fountaine 氏發現大多數壓力與抗剪强度之關係曲線幾近於直線；換言之，Coulumb 公式有效。研究爲扭力破壞之野外土樣，Schafer 氏假定其結果可以 Coulumb 公式示之。渠計算土壤之 C值及 anϕ 值，在扭矩與轉角或轉動曲線上，與最大扭矩相當的最大剪應變能E，適用於下列與 Coulumb 公式相似之公式：

$$E=a+b\sigma \qquad (4)$$

此式中之b值等於 Coulumb 公式中之 tanϕ，意卽土壤剪應變能因正應力之增加而增加，與土壤抗剪强度因正應力之增加而增加，其增率相等。

Payne 氏發現由扭轉剪力盒所得應力與應變代表曲線，證實通常習慣從彈性定律所得應力與應變常數比率之假設，僅在應變甚低於造成破壞之應變時爲有效。進而言之，此一比率隨正壓力之改變甚微，而隨反方向之應變改變甚鉅。

貳　調查與試驗

㈠ 土壤之種類

本試驗土壤係採自野外地表面 15cm 之原狀土壤並經室內重造。土壤之性質如下：

機械分析 (Mechanical Analysis)：

砂 (Sand)	34.1%
沉泥 (Silt)	37.5%
粘土 (Clay)	28.4%

塑性限度 (Plastic Limits)

上限	44.6%含水量
下限	25.8%含水量

土壤種類：粘土壚坶 (Clay Loam)

㈡ 土壤之準備

將採得土壤攤置於混凝土平面上，加水使成泥漿。將此飽和土壤放進轉動攪拌機中攪拌均勻，取出晒乾至可擂散輾碎。將散碎的土壤放進搖篩機，篩取同體積之 9.52mm 至 4.76mm，4.76mm 至 2.00mm，及 2.00mm 以下之顆粒，再置於混凝土攪拌機中拌合之。此混合土壤含水量之決定，可將土樣在攝氏105度時烘乾 24 小時，求其乾土重量得之。

欲得某一選定之含水量，卽將所需水份加入某一定重量之土壤中。約需 70kg 之土壤以製成各同含水量之土樣。將此重量之土壤置於混凝土拌合機中，水自噴壺中噴洒之。由於水份可能粘着於拌合機內壁，及蒸發作用，此種不能預測之水份損失，使得含水量之控制，不易完全精確。

當含水量高於20%時，拌合機中土壤結成球狀。因此必須將土壤倒出於塑膠布片上，再加水以達到較高之含水量。

每 70kg 土壤可製成三個溼土樣，其大小在 100grams±0.01grams。此時之含水量用以計算溼土重量，以供製作某一已知體積及乾密度之土樣。乾密度定爲 1.32T/m³ 或 1.3 grams/c.c.，全部土樣皆取此數，以便與野外情形近似。此時將土壤置於塑膠容器中，覆以溼布，至少放置16小時，始可用於試驗。

國立中興大學 National Chung Hsing University

(三) 試驗儀器

製作土樣之器具包括一個圓筒及兩端之蓋鈑（如圖1所示）。鋼製之圓筒，高 30cm，直徑 15cm，可對半開合，內壁以油塗潤，俾可減少土壤與圓筒內壁之摩擦。蓋鈑厚 2.5cm，直徑 15cm，內側各焊刀刃八片，使可作用一扭矩於試樣。刀刃厚 3mm，高 6mm，一端削薄。蓋鈑邊緣亦以油塗潤，減少其與圓筒內壁之摩擦。上端蓋鈑以螺絲旋緊於圓柱試體壓力試驗儀之加壓棒上。鈑上鑽 3mm 徑之小孔兩

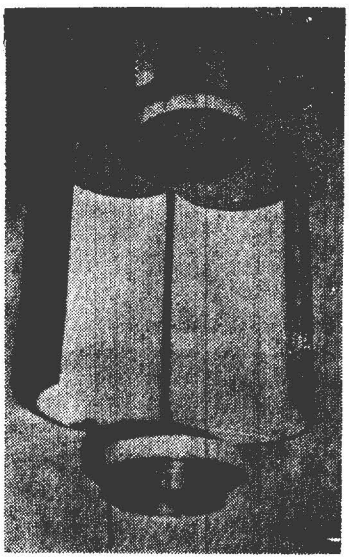

圖 1

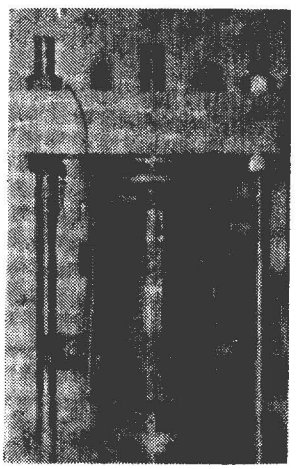

圖 2

排，以供土樣受壓時排空氣之用。下端蓋鈑用兩鍵鎖於一圓管上，此管由兩個轉動軸承支持，故下鈑可予轉動。整個下鈑體系再以三個螺絲與壓力試驗儀旋緊。

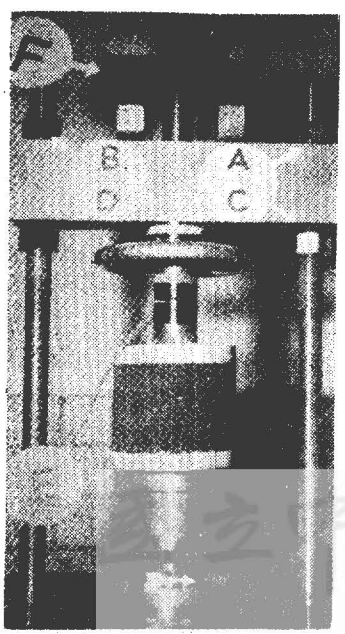

圖 3

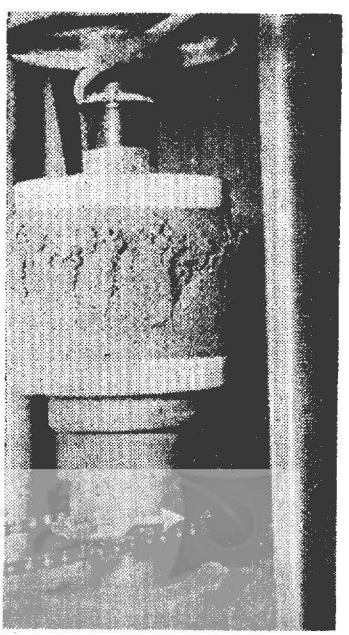

圖 4

國立中興大學 National Chung Hsing University

㈣ 試驗步驟

將備妥之土壤秤重後倒入圓筒，圓筒以鐵件夾緊，由壓力試驗儀上兩個彈簧掛住。彈簧之張力負荷圓筒重量，故兩端蓋鈑可均勻加壓於土樣(如圖2所示)。土樣受壓率控制於10mm/min，蓋鈑與圓筒之相對速率約爲 5mm/min。壓力單元之橫桿調整於當液壓機之啣子在一全動時，兩蓋鈑間距爲10cm之位置。壓縮之土樣高 10cm，直徑 15cm。當啣子停止後，試樣仍須留置於圓筒中至少五分鐘，然後將橫桿上下之四個螺絲（圖3，A，B，C，D）移動約 5cm，以使橫桿上之重量（22kg）作用於試樣上，產生 −0.15kg/cm² 之正壓力。如欲作用 0.23，0.31，0.39kg/cm² 之正壓力，則將適當之重量加於橫桿上端如圖3之F所示）。當圓筒移去後，以馬達帶動齒輪，作用一扭力於土樣，使其發生扭轉。角速度爲 0.5 rpm 或3度/分鐘，整個試驗過程中，此角速度一樣。試樣受扭以至破壞（如圖4所示）。

作用於土樣之扭矩，由安裝於上蓋鈑軸身之應變計量之。因扭轉之角速度爲常數，作用於土樣之能量，可從扭矩與時間關係積出，並繪出一能量爲時間函數之曲線實例（如圖5所示）。由於角速度不變，時間軸線與角位移成正比。圖6示扭矩與時間之關係實例。

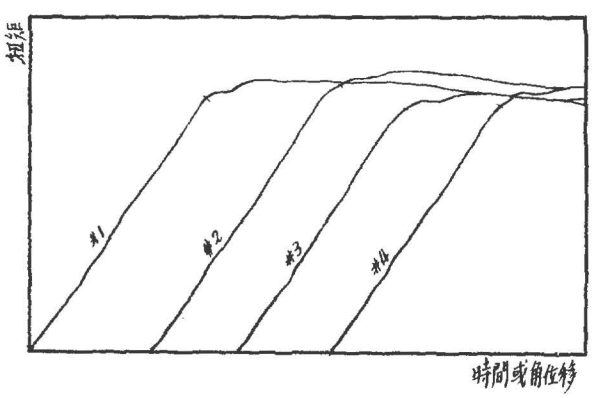

圖6　扭矩與時間關係

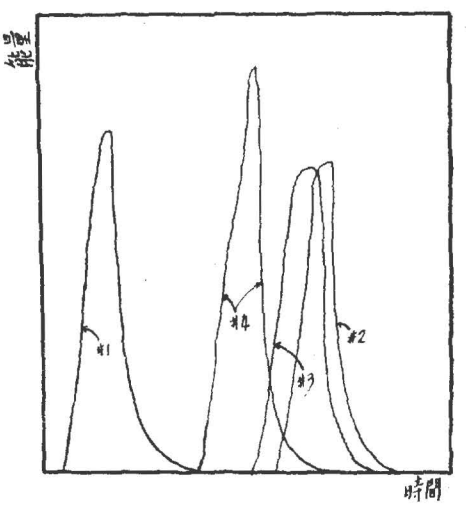

圖5　能量與時間關係

參　結果與分析

㈠ 結果與分析

於選定之各含水量下，所得之數據，99%有效。僅於最末三含水量時，數值重疊。分析時，取在每一含水量下各數值之平均值，較取各含水量每一數值平均爲佳。

扭矩對於角位移之關係曲線以座標法繪出，圖6示與鋼之應力應變曲線相似。扭矩在屈伏點之值如表1所列。使土樣變形達到屈伏點所需之應變能，數值列於表2。在此，未確定應力低於屈伏點時之變形，可於移去作用之扭矩後恢復。可假定當應力低於屈伏點時，土樣保持爲固體。有關土樣於應力達到屈伏點前後之結構改變情形，資料未收集。觀察受試驗土樣破壞情形，與鑄鐵棒受扭破壞之情形不同。圖4中所示土樣垂直方向之裂縫，較脆硬之鑄鐵棒受扭所生之螺旋狀破壞爲烈。

由於剛性係數爲決定鋼之抗剪能與抗剪强度因素之一，在土壤力學上，剛性係數亦屬有用。

由定義　$G=\frac{\text{剪應力}}{\text{剪應變}}$

由公式（2）　$S=\frac{3T}{2\pi r^3}$

國立中興大學 National Chung Hsing University

由定義　　剪應變$=\frac{2r\theta}{h}$

在此，　　T＝作用之扭矩

θ＝角位移

h＝土樣高度

r＝土樣半徑

代入，　　$G=(\frac{3T}{2\pi r^3})\times(\frac{h}{2r\theta})=(\frac{T}{\theta})\times(\frac{3h}{4\pi r^4})$　　(5)

在此，h爲 10cm，r爲 7.5cm，T/θ 爲T與 θ 關係曲線之斜率。上式應用於土壤與應用於鋼之不同在於鋼之應力分佈爲直線的，而土壤則爲常數。剛性係數數據如表 3 所列。

除含水量爲 14.9%之試樣，餘皆不能承受大於 0.45kg/cm² 之正壓力。正壓力大於 0.23kg/cm² 時，含水量爲 22.6% 以上之試樣均被壓壞。含水量爲 25.3 %之土樣不能抗拒 0.31kg/cm² 以上之正壓力。故上述之取各水量下各數值平均之數據，在表 1， 2， 3 中未列。含水量爲 14.9%及正壓力爲 0.31 kg/cm²，0.39kg/cm² 時，雖數據可得，表中不列。

含水量，正壓力，及兩者間互相作用，對於能量與扭矩影響極顯著。依據能量與扭矩之數據（表 1 與表 2），可繪出每一正壓力作用時之曲線四條（如圖 7， 8 所示）。正壓力及正壓力與含水量間之互相作用，對於剛性係數影響不大，換言之，應力與應變之比率隨正壓力之改變不大。依據剛性係數（表 3），可繪關係曲線一條（如圖 9 所示）。

根據圖 7，8，9 分析，力矩與含水量之相對關係以三次多項式示性。與由 Nichols 氏所得直線關係不同，其不同之原因可解釋爲，Nichols 氏之土樣受包圍壓力，而本文之土樣在扭轉試驗時，包圍壓力均爲零。進一步說，Nichols 氏之土樣在水平面上破壞，而本文之土樣則係在垂直面上破壞。

全部能量與含水量之關係曲線在含水量接近17%時均有一極小值。須知能量係指使土樣變形達到極大值而不致破壞，並不包括使土樣碎裂至小級配顆粒所需之能量。

扭矩，能量與剛性係數，三量在理論上，彼此均不獨立。三者中之一爲另二者之函數。假設在屈服點之扭矩T及與G成比例之T與 θ 關係曲線之斜率固定，此曲線所包含之與E成比例之面積亦固定。能量隨

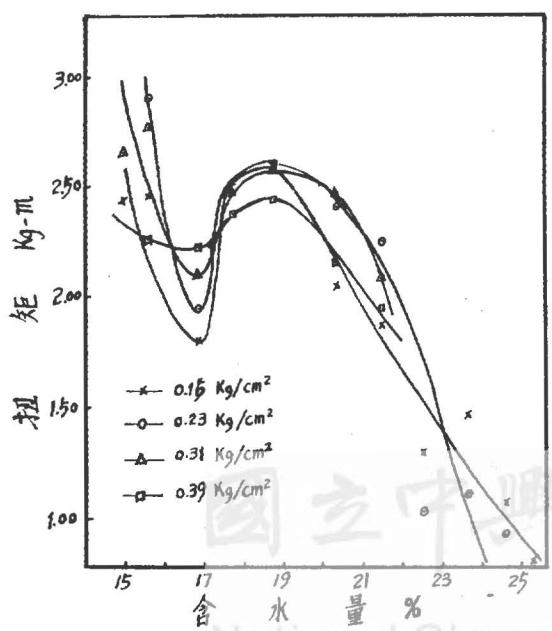

圖 7　不同正壓力時扭矩與含水量之關係

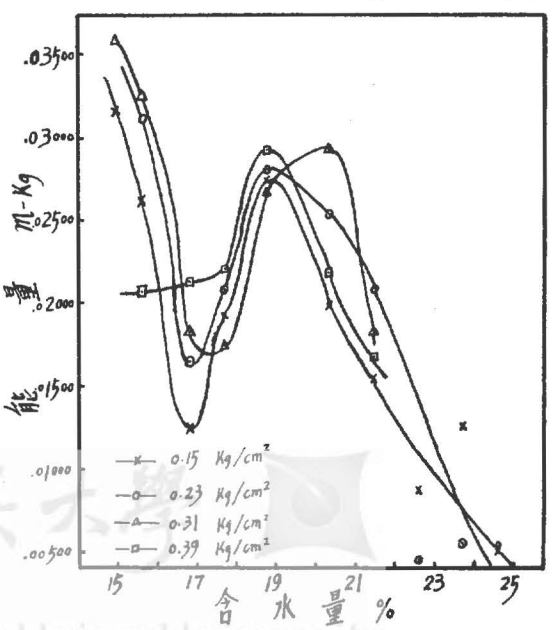

圖 8　不同正壓力時能量與含水量之關係

國立中興大學 National Chung Hsing University

扭矩增加而增加，隨G值之增加而遞減。如土樣承受同樣之扭矩，則G值較大之土樣較易碎裂。由於破壞時之扭轉角較小，故在土樣變形達到破裂之前，土壤吸收之能量亦少。如土樣之G值固定，則能承受較大扭矩之土樣，其强度較大。同樣的，爲求得較大之扭矩，在G值固定之情況下，卽需一較大之扭轉角θ。由於T與θ之乘積與能量成比例，故一土樣如需較大之能量以破壞之，卽需較大之扭矩。上述之關係由圖7，8，9表示之。能量與扭矩對於含水量之關係，在含水量接近17%時有一極小值，在含水量爲19%時有一極大值。反之，剛性係數在含水量接近17%時有一極大值，在含水量接近19%時有一極小值。剛性係數增加到含水量高達使土壤行爲似一滯性液體，其抗剪强度極微弱。

依方程式(2)，含水量自15.6%至21.4%時，自扭矩換算出剪應力S，繪出如圖10所示之S與σ關係曲線。發現僅在W=16.8%及W=18.7%時，其S與σ成直線關係。由於Coulumb公式解釋S與σ爲直線關係，故Coulumb公式不適用於本文試驗之土壤。此一推論結果與Pigulevskii氏之結論相似，但與Fountaine氏之結論抵觸。

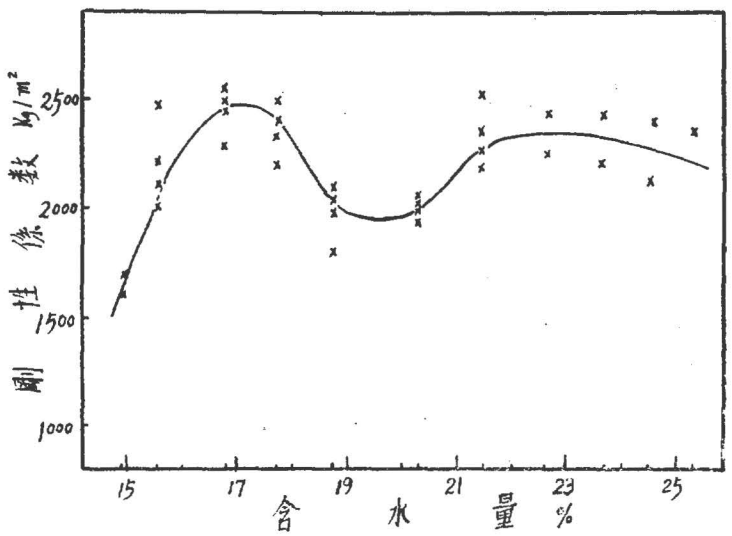

圖9　剛性係數與含水量之關係

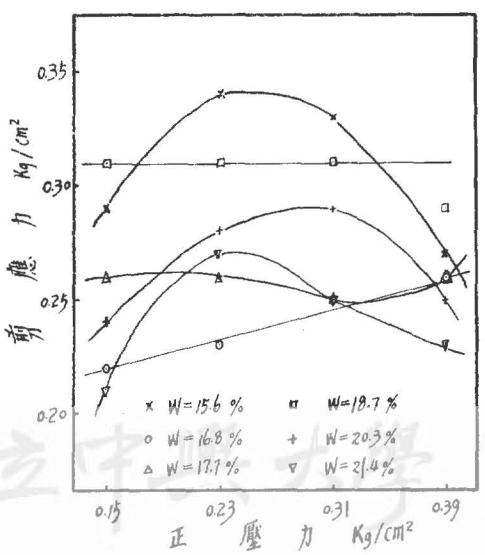

圖10　不同含水量時剪應力與正壓力之關係

國立中興大學
National Chung Hsing University

(二) 研究之範圍與未來之發展

如前所論，高含水量土樣，在無圍壓力時，不能承受大於 0.31kg/cm² 之正壓力。含水量低於塑性限度之下限 25.8%時土樣對低至 0.23kg/cm² 之正壓力亦顯脆弱。故超出此限度時所得資料不能採信。

由本文有關之研究，未來尚待研究發展者如下:

1. 各類型土壤之含水量對於抗剪强度之影響。
2. 剪應力導致土壤結構改變之研究。
3. 正壓對於上層土壤抗剪强度之影響。

肆 摘要與結論

研究粘土壚坶在分別承受正壓力爲 0.15, 0.23, 0.31, 0.39 kg/cm² 時，其含水量對於抗剪强度之影響。含水量自 15%至 25%，其差額約各爲 1%。擂碎並滲水成泥漿之野外上層土壤，晒乾後篩取粒徑爲 9.52mm～4.76mm，4.76mm～2.00mm，及2.00mm以下之顆粒數組，將此數組土壤取相同體積混合，然後依所定之含水量加入足够的水份。壓成 10cm 高 15cm 直徑之圓柱體土樣，使其密度爲 1.32 T/m³。製成之土樣在包圍壓力爲零時，兩端加扭力使之扭轉以迄破裂。扭矩由應變計量之，剪應變能從扭矩與角位移關係積出。轉動角速度保持爲常數。土樣之剛性係數由計算扭矩對角位移關係曲線之斜率得之。扭矩，剪應變能，剛性係數，含水量與正壓力間關係由是決定。

基於前述之土樣，試驗與分析，可得結論如下:

1. 扭矩對於角位移爲直線關係式。
2. 含水量，正壓力及此二者互相作用，對於抗剪强度與剪應變能影響極顯著。
3. 正壓力對土壤剛性强度影響不大。
4. 對於本文土壤，Coulumb 公式認爲剪應力爲正壓力之函數，此說存疑。

表 1 扭 矩 數 值 表　　單位：kg-m

含水量	正壓力 (kg/cm²)			
	0.15	0.23	0.31	0.39
14.9%	2.51 2.29 2.43 2.51		2.65 2.69 2.47 2.82	
15.6%	2.36 2.57 2.45 2.45	2.71 2.90 2.87 3.12	2.80 2.79 2.80 2.68	2.32 2.23 2.24 2.23
16.8%	1.80 1.75 1.84 1.79	1.82 2.08 2.07 1.82	2.23 2.11 2.00 2.10	2.23
17.7%	2.15 2.17 2.35 2.20	2.29 2.08 2.31 2.10	1.89 2.08 2.16 2.19	2.39 2.31 2.50 2.55
18.7%	2.53 2.62 2.65 2.56	2.58 2.60 2.72 2.50	2.65 2.83 2.53 2.35	2.80 2.68 2.50

國立中興大學 National Chung Hsing University

20.3%	2.04 2.10 2.00 2.06	2.49 2.50 2.37 2.29	2.41 2.68 2.58 2.26	2.26 2.16 2.18 2.05
21.4%	1.96 1.79 1.91 1.89	2.39 2.18 2.18 2.28	2.13 2.18 2.06 2.03	1.89 1.92 1.96 2.05
22.6%	1.35 1.34 1.28 1.24	1.06 0.98 0.98 1.09		
23.7%	1.47 1.50 1.49 1.44	1.17 1.03 1.12 1.11		
24.6%	1.12 0.96 1.10 1.14	0.99 0.95 0.87 0.96		
25.3%	0.78 0.80 0.79 0.80			

表 2　能　量　數　值　表　　單位：m-kg

含水量	正壓力 (kg/cm²)			
	0.15	0.23	0.31	0.39
14.9%	0.03340 0.02788 0.03146 0.03353		0.03588 0.03712 0.03243 0.03809	
15.6%	0.02451 0.02622 0.02691 0.02663	0.02912 0.03160 0.03064 0.03284	0.03215 0.02870 0.03519 0.03381	0.02139 0.01904 0.02111 0.02111
16.8%	0.01271 0.01198 0.01209 0.01305	0.01449 0.02042 0.01725 0.01463	0.01904 0.01904 0.01615 0.01891	0.02139
17.7%	0.01987 0.01835 0.01891 0.02042	0.02222 0.01697 0.02236 0.02222	0.01615 0.01863 0.01946 0.01601	0.02139 0.01891 0.02360 0.02498
18.7%	0.02760 0.02746 0.02622 0.02843	0.02953 0.02843 0.03008 0.02401	0.02746 0.02939 0.02415 0.02567	0.03036 0.03160 0.02594
20.3%	0.01877 0.02001 0.02029 0.02056	0.02746 0.02705 0.02429 0.02291	0.03008 0.03119 0.02870 0.02777	0.02581 0.02111 0.02180 0.01918

國立中興大學
National Chung Hsing University

21.4%	0.01739 0.01369 0.01490 0.01615	0.02208 0.01918 0.02001 0.02236	0.01946 0.01904 0.01670 0.01808	0.01504 0.01587 0.01794 0.01849
22.6%	0.01035 0.00920 0.00796 0.00755	0.00504 0.00453 0.00426 0.00538		
23.7%	0.01223 0.01188 0.01435 0.01213	0.00607 0.00563 0.00527 0.00538		
24.6%	0.00574 0.00442 0.00504 0.00487	0.00506 0.00469 0.00399 0.00632		
25.3%	0.00316 0.00313 0.00240 0.00265			

表3 剛性係數數值表

含水量	正壓力 (kg/cm²)			
	0.15	0.23	0.31	0.39
14.9%	1082.62 1645.02 1616.90 1630.96		1680.17 1645.02 1645.02 1757.50	
15.6%	2116.03 2144.15 2116.03 2073.85	2144.15 2186.33 2214.45 2256.63	1989.45 2291.78 1891.07 2186.33	2608.13 2629.22 2502.68 2608.13
16.8%	2326.93 2558.92 2629.22 2685.46	2502.68 2186.33 2488.62 2383.17	2657.34 2460.50 2685.46 2488.62	2558.92
17.7%	2312.87 1855.92 2530.80 2284.75	2284.75 2551.89 2340.99 2439.41	2460.50 2383.17 2404.26 2376.14	2523.77 2488.62 2460.50 2502.68
18.7%	1891.07 2158.21 2326.93 2101.97	1891.07 2101.97 2066.82 2214.45	2158.21 2179.30 2256.63 2291.78	2038.70 1891.07 2144.15
20.3%	2059.79 1982.46 1961.37 1834.83	2066.82 2066.82 2066.82 2066.82	2087.91 2101.97 1982.46 1982.46	1954.34 2158.21 2031.67 2031.67
21.4%	2207.42 2312.87 2291.78 2326.93	2256.63 2214.45 2158.21 2186.33	2256.63 2284.75 2383.17 2404.26	2558.92 2580.01 2340.99 2636.25

國立中興大學 National Chung Hsing University

22.6%	2256.63 2404.26 2404.26 2432.38	2207.42 2235.54 2235.54 2340.99		
23.7%	2488.62 2362.08 2488.62 2355.05	2207.42 1989.45 2284.75 2235.54		
24.6%	2326.93 2523.77 2502.68 2284.75	2158.21 2179.30 2101.97 2031.67		
25.3%	2010.58 2362.08 2608.13 2235.54			

參 考 文 獻

1. 趙國華、洪如江、王中村　土壤力學　1966
2. 淡江書局　土壤力學　1960
3. 鄭育時　土壤抗剪强度與土石結構物之安定分析　土木工程季刊第五卷第四期　1:1～30, 1963
4. Lambe, T.W., Compacted Clay: Structure, Transactions of ASCE 125:718～741, 1960
5. Seed, H., and Chan, C. K. Compacted Clays (Symposium) , Transactions of ASCE, 126:1344～1404, 1961
6. Schafer, R.L., and Bockhop, C. W. Vane and Torsion Techniques for Measuring Soil Shear, Transactions of ASAE, 6:57～60, 1963
7. Fountaine, E.R., and Brown, N. J. Shear Resistance of Top Soils Under Small Normal Loads, Journal of Agricultural Engineering Research. 4:53～59, 1959
8. Payne, P.C.J. A Field Method of Measuring Shear Strength of Soils, The Journal of Soil Science. 3:136～144, 1952
9. Bailey, A.C., and Weber, J.A. Comparison of Methods of Measuring Shear Strength Using Artificial Soils, ASAE Paper No.64～113, St. Joseph, Michigan. 1964
10. Pigulevskii, M.C. The Shear Strength of Soil, Pochrovedenie. 1:24～30, 1936
11. Timcshenko Strength of Materials.
12. Karol, R.H., Soils And Soil Engineering. 1960

國立中興大學
National Chung Hsing University

A Study on the Influence of Moisture Content Upon Soil Shear Strength

by

Hwa-nin Lee

Summary

The effect of moisture content upon shear strength of a clay loam soil under four normal pressures, 0.15, 0.23, 0.31, and 0.39 kilograms per square centimeters was studied. Moisture content level ranged from 15% to 25% and were about one percent apart. Puddled top soil was sun-dried and reduced to particles of sizes from 9.25mm to 4.76mm, from 4.76mm to 2.00mm and smaller than 2.00mm. These groups of particle sizes were mixed together in equal volumes and sufficient water added to the soil for a specified moisture content. The soil was then compressed into cylindrical samples 10cm high and 15cm in diameter at a density of 1.32 tons per cubic meter.

The soil samples were twisted between two torsional heads with zero confining pressure. Torque versus angular displacement were measured by strain gage. Strain energy was obtained by integrating torque and angular displacement. The soil modulus of rigidity was computed fom the slope of the torque versus angular displacement curves. Relationships between torque, strain energy, modulus of rigidity, moisture content and normal pressure were determined.

For soil samples evaluated, the following conclusions are important:

1. The torque versus angular displacement was a linear relationship.
2. The influence of moisture content, normal pressure, and the interaction between them upon the strength and strain energy was highly significant.
3. The influence of normal pressure upon soil modulus or rigidity is non-significant.
4. The validity of Coulumbs' equation for describing the shear stress as a function of normal pressure is doubftul for this soil.

國立中興大學
National Chung Hsing University