

Q 與 A 專欄

歐晉德*

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾。本欄歡迎各讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見。有鑑於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視為唯一方案，以免造成施工或尋求解決方法之錯誤。

Q11：擋土牆應如何推求其土壓力？當牆體發生變形時，對土壓力之影響如何？牆背後回填土，應利用何種試驗求取土壤參數？（板橋市蘇少溪先生提出）

A：本問題牽涉範圍甚廣，事實上，土壓力問題幾乎是土木工程師對大地工程中最早研究的項目。多年以來，在一般工程中，設計之土壓力常考慮在極限狀態之主動或被動土壓力，如利用 Rankine 理論，則主動土壓力 P_a 為。

$$P_a = \gamma z \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

其中 γ 代表土壤之單位重， z 為土層深度， c 及 ϕ 則分別為土壤之凝聚力與內摩擦角，至於被動土壓力則為

$$P_p = \gamma z \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

以上均係所謂極限狀態之主動或被動土壓力。在求取擋土牆背後之土壓力時，事實上，最重要的考慮是牆體之移動變形量，此變形可改變土壓力之狀態。

理論言之，當結構物不發生任何側向變形時，則土體中主應力僅有水平與垂直兩方向，即所謂之靜止 (at-rest) 狀態，此時有效水平壓力與有效垂直壓力之比值即靜止土壓係數 K_0 ，其計算一般接受 Jaky 建議式即

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

ϕ 為土壤之有效內摩擦角，而利用 K_0 求得之土壓力即所謂靜止土壓力 (Earth pressure at-rest) P_0 ，

$$P_0 = \gamma z K_0$$

K_0 的數字有時甚至達 2.0 以上，表 11-1 為擋土牆背後回填土可能之靜止土壓係數值。

表 11-1 靜止土壓係數

土壤類別	K_0
一般正常壓密土壤	$1 - \sin \phi$
人力夯擊壓實黏土	1.0~2.0
全區均行機械夯實黏土	2.0~6.0
過壓密黏土	1.0~4.0
鬆棄砂土	0.5
夯實砂土	10.~1.5

當牆體發生移動或變形時則土壓力自然發生改變。Terzaghi 即曾經證明在緊密砂土層中，當牆體之水平移動量達牆高的 $0.5/1000$ 時，土壓力已自靜止土壓狀態降低至接近主動土壓力值。至於在軟弱或疏鬆土層中，水平移動量達牆高的 $2/1000 \sim 4/1000$ ，土壓力亦可降至主動土壓力值。圖 11-1 及表 11-2 即說明牆體變形與土壓力之變化關係。

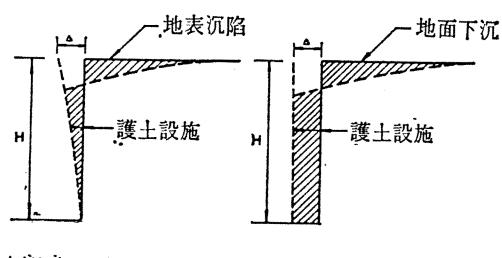


圖 11-1 擋土設施之移動

* 亞新工程顧問公司副總經理

表 11-2 產生主動及被動土壓力之牆體移動量

土壤類別	土壓狀態	移動形式	移動量
砂 土	主動	平 移	$0.001H$
	主動	旋 轉	$0.001H$
	被動	平 移	$0.05 H$
	被動	旋 轉	$>0.1H$
黏 土	主動	平 移	$0.004H$
	主動	旋 轉	$0.004H$
	被動		—

由此可知，擋土牆土壓力之選擇與其可能發生之移動量有密切關係。當牆體不能發生移動時，則土壓力之最大值即接近靜止土壓力。因此工程設計中土壓力選擇，必需考慮其移動量。美國工兵署，曾根據擋土牆之狀況，基礎情形推論其可能移動，藉之訂定土壓力選擇標準，謹提供如下，為讀者之參考：

(1)座落於一般土層之擋土牆，若回填土為砂土時，採用主動土壓力。

(2)以端點支承垂直基樁為基礎之懸臂式擋土牆，回填土為砂土時採用主動土壓力。

(3)座落於岩盤之懸臂式擋土牆，土壓應略大於主動值。

(4)座落於摩擦樁之一般擋土牆或U型架構，土壓力均宜考慮略大於主動壓力值。

(5)座落於岩盤或以斜樁及直樁共同支承之重力式擋土牆，應考慮靜止土壓力狀況。

於設計中，土壓力之合力作用點應視回填土之坡度而定。一般在牆底部上方 $0.33H$ 至 $0.38H$ 高度處 (H 為牆身高度)。至於牆面與回填土間之摩擦角常選擇為回填土材料內摩擦角之 $\frac{3}{8}$ 至 $\frac{3}{4}$ (Roscoe 建議考慮在多數情況下，摩擦力常不能完全發揮。因此摩擦力，宜只採用回填土抗剪強度的二分之一)，而當懸臂式擋土牆其後根底部長度達 $\frac{1}{8}H$ 至 $\frac{1}{4}H$ ，並採水平回填時，其垂直摩擦力則不予計入。

在以上的說明中，固然提及土壓力之狀態，但在設計中最重要的因素仍在土壤強度上。以下綜合幾種考慮情況以為讀者選擇參數及試驗方法之參考。

(1)對砂質土壤，透水性良好者，如乾淨砂土或礫石層，超孔隙水壓不易保存，設計則採用排水剪

力強度，以有效應力法分析之。

(2)沉泥或黏土質砂土等透水性略差之土層，使用不排水剪力強度分析時，可以大略分析擋土牆剛完工後之狀況，如能自不排水三軸試驗中測定孔隙水壓之影響，並測定將來現場之變化時，亦可以有效應力法分析其長程之壓力狀況。

(3)黏土層其透水性甚低，則以排水剪力強度分析擋土牆剛完工後之狀況，分析均以總應力法 (Total Stress Analysis) 進行。至於長程之狀況，特別是過壓密之黏土層，由不排水三軸試驗求得之強度，常不適用於永久結構之設計，而必需由排水三軸試驗之排水強度 (Drained Strength) 按有效應力法 (Effective Stress Analysis) 分析壓力狀況。

對於過壓密黏土之設計，亦有建議採用 $c=0$ 者，此類通常屬較保守之設計，但設計亦應考慮現場土層可能發生強度不見得能達到試驗室試驗所得之尖峰強度值 (Peak Strength)，因此建議分析可採用潛變階段之不排水強度值，或採用尖峰排水強度至殘留剪力強度間之強度值。

Q12：(1)三軸試驗中 (CIU, CID)，其所謂的“C”係指土壤在不同應力之下有效應力？或指土壤在受載重期間，容許有壓密作用？或者指在現時壓力作用下，為完全壓密？(板橋市蘇少溪先生提出)

A：三軸試驗中 CIU, CID，其所謂的 C，係指土壤試體受側壓力作用期間而軸差應力尚未作用之前，允許排水而有壓密現象。

室內試驗之條件，須對應於當地之情況，當地之土壤（尤其指黏性土層），若已完全壓密，將土樣自地中取出，必然解壓，因此在進行三軸試驗時，須先壓密至當地之壓力情況再加軸差應力以求其剪力強度。

當地之土壤，若將因工程荷重之應力增量而引起超額孔水壓力，而且有排水邊界者，則工程完工甚久之後，土壤必然趨於完全壓密。為模擬此種情況，在室內之試驗，試體須先在「目前之當地應力加上工程荷重之新增應力」之條件下壓密。

總之，室內試驗須儘可能充分模擬當地之情況。目前，不少人採用應力軌跡法 (Stress Path Method) 使試驗與當地情況相似。因此，室內三軸試驗 CIU, CID 之 C，係模擬當地土壤的壓密，所不同者，主要在於(1)土壤厚度不同，(2)壓密時間不同。（洪如江）