地工技術，第83期（民國90年2月）第93-94頁
SINO-GEOTECHNICS, NO.83. (Feb., 2001) PP.93-94

狀態參數(State Parameter)

李大振 *

砂土受剪變形的行為，以往皆以相對密度作為其指標，然而由Holtz等人、Been等人及李建中等人之研究可知，相對密度僅能表示其顆粒組成的相對緊密程度，卻無法包含所處應力狀態與受剪時體積變化之趨向，因此相對密度無法表現砂土受剪變形行為之一致性。

砂性土壤承受靜態及動態荷重時，其強度與變形特性均與應力狀態及體積膨脹潛能息息相關，因此，砂土受剪時孔隙水壓上升或下降之趨勢，以及體積的收縮或膨脹，除了受到相對密度的影響外，亦與其所處之圍壓大小有關，故對於砂土所處狀態之描述，自然要以能同時考慮上述兩種因素的參數較為合理。Been等人提出可用以描述砂土變形行為特徵的兩種參數：

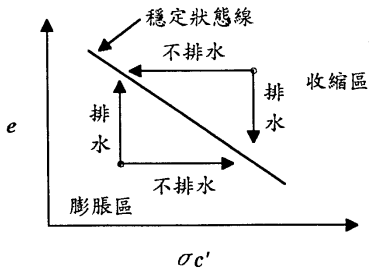
(1)狀態參數：反應砂土孔隙比及其所處應力狀況。

(2)組構參數：反應砂土顆粒排列的情形。

其中狀態參數的決定為砂土在受剪過程中，不論其初始狀態如何，當達到穩定狀態時，其趨勢幾乎存在唯一不變的關係。換言之，砂土受剪有朝向穩定狀態移動的現象，所以可用穩定狀態來描述砂土變形的行為。

砂土穩定狀態(Steady State)的觀念為Poulos於1971年首先提出，其定義是指砂土在受剪過程中，顆粒重新組合排列，在一定體積、固定有效應力及剪應力作用下，土壤產生定速率(定剪應變)之連續變形狀態，此時顆粒處於流動結構（Flow Structure）的狀態。此種狀態只有存在於大變形之後，達此狀態時之砂土組構不再改變，顆粒之破碎效應在達到穩定狀態前亦已完全發生。

對任何孔隙比的顆粒質體到達穩定狀態，於e-log p' (其中 $p'=\sigma_1'+\sigma_2'+\sigma_3'/3$)空間中即形成一穩定狀態點，沿著所有穩定狀態點連接而成的軌跡，稱為穩定狀態線（Steady State Line, SSL）。亦即穩定狀態線乃由多組不同密度與不同圍壓情況下之試驗結果所繪製而得。



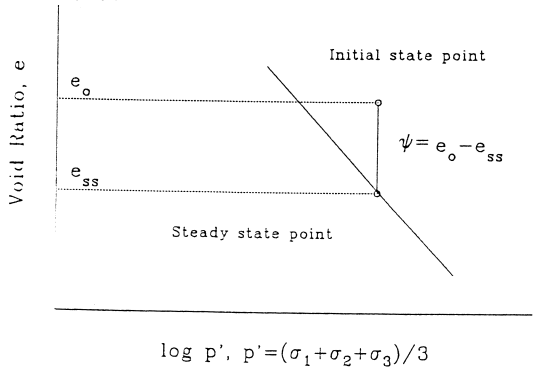
圖一　砂土（初始狀態）在受剪變形時狀態變化示意圖(劉興淦，民國84年)

由上可知，砂土受剪有朝向穩定狀態線移動的趨勢，其受剪之行為決定於初始狀態與穩定狀態線的距離。穩定狀態線在e-log p'圖中為一直線，且該線將圖畫分出收縮區及膨脹區兩個部分，如圖一所示。因此，Been等人以穩定狀態線作為砂土之基本參考線，以砂土目前所處狀態之孔隙比(e)與在相同平均主應力(p')下，砂土處於穩定狀態時孔隙比之差值，定義為狀態參數(Ψ)，如圖二所示，即

$\Psi = e_o - e_{ss}$

其中e_o = 砂土目前之孔隙比

e_{ss} ＝相同平均主應力下所對應的穩定狀態之孔隙比



圖二 狀態參數求取示意圖(鄭清江，民國85年)

狀態參數為同時考慮砂土孔隙比及所受圍壓情況之參數，用以描述砂土之初始狀態與穩定狀態之關係。探討砂土受剪行為與狀態參數間之關聯性可發現：當Ψ＞0時，即砂土之初始狀態位於穩定狀態線之上方(收縮側)，則受剪過程中將表現收縮的(Contraction)行為，稱之為剪縮行為；當Ψ＜0時，即砂土之初始狀態位於穩定狀態線之下方(膨脹側)，則受剪過程中將表現出膨脹的(Dilation)行為，稱為剪脹行為。換言之，砂土受剪之收縮或膨脹程度可由初始狀態與穩定狀態線之相對位置決定，亦即可由Ψ之大小來決定。故正的Ψ值表示剪縮性的砂樣，負的Ψ值表示剪脹性的砂樣。

狀態參數亦可視為在相同應力狀態下，孔隙比趨近穩定狀態之差值或潛能，不論鬆砂或緊砂，皆有趨近其穩定狀態之潛能。以能量觀點來看，愈緊密的砂釋放能量的潛能愈大，受力或振動時，以釋放能量方式達到穩定狀態並以膨脹行為外現；愈疏鬆的砂受力或振動時，吸收外力能量愈大，而以體積收縮外現。因此潛能愈大，外現的行為愈明顯。

因此以穩定狀態線作為描述砂土任何狀態之基準，有助於判斷出砂土受剪時體積變化的趨勢。此外，由鄭清江、劉興淦等人的研究指出，狀態參數較能反應砂土受剪之體積變化與激發之孔隙水壓，且對於抗液化強度與動態變形的描述有較明顯的趨勢，且利用狀態參數作為評估砂土的工程特性時，可在不同之砂土種類及狀態下，獲得之關係曲線具有相當程度之一致性。因此，使用狀態參數(Ψ值)作為描述砂土受剪的行為特質，較不考慮應力狀態的相對密度（Dr）為適合。

參考文獻

李建中、簡連貴、鄭清江(民國80年)，“含初始剪應力之砂質土壤動態變形特性之研究”，中國土木水利工程學刊，第三卷，第四期，309-319頁。

劉興淦(民國84年)，“片狀砂土經水力填築後之動態變形特性”，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，中壢。

鄭清江(民國85年)，“片狀砂土模擬水力填築後剪力特性之研究”，博士論文，國立中央大學土木工程研究所，中壢。

POULOS，S. J.(1971)，“The Stress-Strain Curves of Soils," Geotechnical Engineers Inc.，Winchester，Mass.，Jan.，pp.1-80

BEEN，K.AND JEFFERIES，M.G.(1985)，“The State Parameter for Sands," Geotechnique，Vol.35，No.2，pp.99-112

HOLTZ, R. D., AND W. D. KOVACS (1981), “An Introduction to Geotechnical Engineering”, Rainbom Bridge Book Co.