

名詞解說專欄

t-z曲線法

吳坤忠

在估算單樁極限承载力時，通常採極限平衡分析之理論公式或經驗公式，已可獲得相當不錯的成果，惟大都無法預估載重狀況下之基樁應力-應變關係（載重與沈陷關係），即使利用昂貴的樁載重試驗，也僅能獲得單一位址、單一樁長及樁徑的基樁承載特性。因此有多位學者致力於研究樁身位移與樁身所受摩擦力間之關係，並試著將其建立在土壤剪力強度與變形量之關係上，意圖利用試驗室試驗或現場試驗結果預測基樁承載特性，包括樁頭載重-沈陷曲線、樁身荷載傳遞及樁身位移之關係。

Seed及 Reese是最早提出樁身位移與樁身摩擦力關係的學者，後來這種曲線被稱為t-z曲線，其中t代表樁身所受摩擦力或樁身應力傳遞（load transfer），而z則為樁身垂直位移量。利用t-z曲線計算基樁承載特性的方法亦同時被提出，且經過後來若干學者的潤飾，現已相當成熟。茲簡述如下：

1. 先假設樁尖發生一小位移量（ y_{3T} ），並求出此時樁尖之土壤反力T（此關係曲線稱為Q-z曲線，可藉由安裝於樁底之荷重計及位移計求得）。

2. 將樁身切分成若干樁段，如圖一所示。

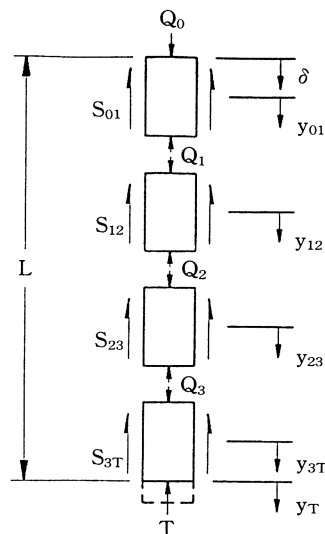
3. 假設最底部樁段之中點位移（第一

次計算可假設為 y_{3T} ），藉由t-z曲線求出此樁段之樁身摩擦力（ S_{3T} ）。

4. 利用 S_{3T} 及T求出底部樁段之上側載重 $Q_3 (= T + S_{3T})$ ，再用T及 Q_3 求出樁段中點之彈性壓縮量（ Δy_{3T} ）。

5. 計算出新的樁段中點位移量 $y_{3T} = y_T + \Delta y_{3T}$ ，並與原來的樁段中點位移量比較。

6. 若算出的樁段中點位移量與原先假設值的差異大於容許範圍，則重覆步驟2至5，計算出新的位移量。



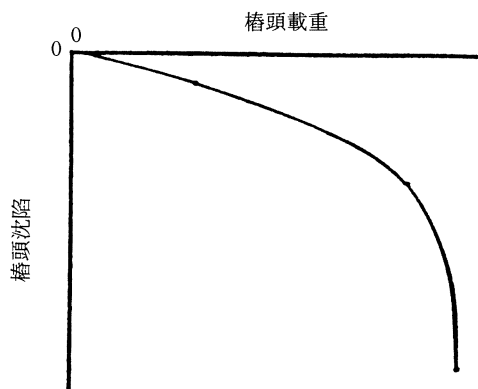
圖一 將樁身切成數段後之樁身荷載作用情形

7.當達到收斂後，計算次一樁段，直到樁頭為止，此時可獲得樁頭荷載（ Q_0 ）及樁頭沈陷量（ δ ）。

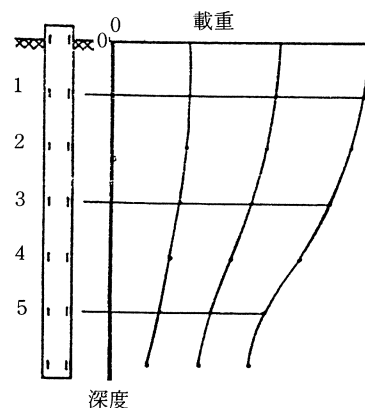
如此重覆計算數個不同的假設樁尖位移後，即可獲得一條描述樁頭載重及沈陷量的關係曲線（圖二），及各樁段之荷載傳遞情形（圖三）

Seed及 Reese提出 $t-z$ 曲線時，僅針對打設於粘土層之鋼管樁，Coyle及 Reese於 1966年提出由試驗室模型樁試驗及樁載重試驗回饋資料，求出之建議 $t-z$ 曲線，如圖四所示；Colye及 Sulaiman於 1967年提出打設於砂土層之鋼管樁之 $t-z$ 曲線，但僅針對特定案例，無法廣泛應用；Kraft、Ray及 Kagawa於 1981年提出利用雙曲線模式之理論 $t-z$ 曲線，不僅適用於砂性及粘性土壤，且考慮打樁後土壤勁度的增加及土壤破壞前後之曲線形狀，如圖五所示；Briaud及 Garland於 1985年提出考慮加載速率之 $t-z$ 曲線，藉以計算打設於粘土層之鋼管樁承载力與加載速率之關係。

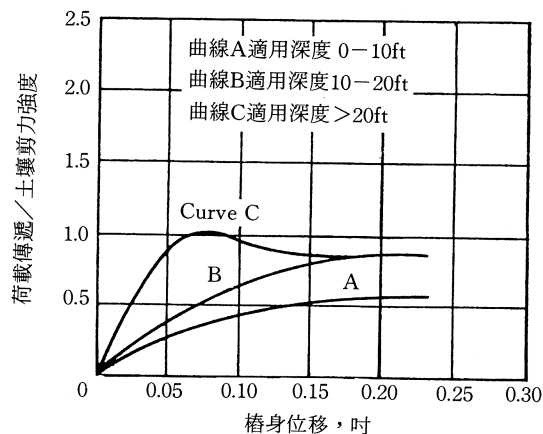
$t-z$ 曲線預測基樁承載特性能否成功，其因素可分成三大類，一為 $t-z$ 曲線本身，如 $t-z$ 曲線於破壞前後的線型、 t_{max} 及 t_{res} 與土壤不排水剪力強度之關係、及



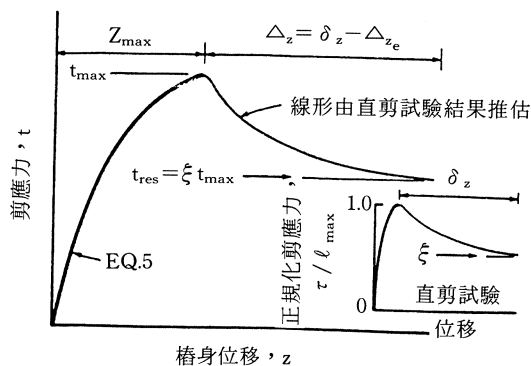
圖二 樁頭載重—沈陷曲線



圖三 樁身荷載分佈曲線



圖四 打設於粘土層之鋼管樁之 $t-z$ 曲線
（摘自 Coyle and Reese, 1966）



圖五 考慮較完整之 $t-z$ 曲線（摘自 Kraft, Ray and Kagawa, 1981）

z_{max} 推估是否正確等；另一為土層狀況的掌握，如各土層之不排水剪力強度、基樁施工過程對周圍土壤的影響等；最後為計算方法本身假設與實際狀況的差異。各個因素均包含若干變數及假設，且對影響計算結果的程度不一。通常大地工程師較關心的是基樁的承載力及樁頭沈陷量， $t-z$ 曲線在兩者的預測上，若基於良好的強度試驗時，大多以承載力的預測有較好的結果，而在樁頭沈陷方面，則有賴 $t-z$ 曲線採用的線形是否能符合土壤受剪行為而定。

$t-z$ 曲線線形較常採用的有雙曲線模型、拋物線模型及試驗回饋資料等。於應用時除須考量基樁之施工方式（打擊樁或鑽掘樁）外，地域性的土壤差異、施工習慣亦應加以考慮，不宜未經驗證即逕行引用國外案例之 $t-z$ 曲線，建議最好根據實際施工之基樁，進行二組以上之樁載重試驗，以決定符合基址地層特性及施工方式之 $t-z$ 曲線，提供預測基樁行為之依據。國內使用 $t-z$ 曲線計算單樁承載力的例子尚不多見，以目前國內安裝應變計之樁載重試驗結果為資料庫，應可建立國內各區適用的 $t-z$ 曲線，無論在計算基樁承載力或補充樁載重試驗結果的應用上，相信均可獲致良好的結果。

參考文獻

- COYLE, H. M., and REESE, L. C., (1966) "Load Transfer for Axially Loaded Piles in Clay," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 92, No. SM2, Mar., pp. 1-26.*
- COYLE, H. M., and SULAIMAN, I. H., (1967) "Skin Friction for Steel Piles in Sand," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 93, No. SM6, Nov., pp. 261-278.*
- KRAFT, L. M. JR., RAY, R. P., and KAGAWA, T., (1981) "Theoretical $t-z$ Curves," *JGED, ASCE, Vol. 107, No. GT11, Nov, pp. 1543-1561.*
- BRIAUD, J. L., and GARLAND, E., (1985) "Loading Rate Method for Pile Response in Clay," *JGED, ASCE, Vol. 111, No. 3, Mar., pp. 319-335.*