

名詞解說專欄

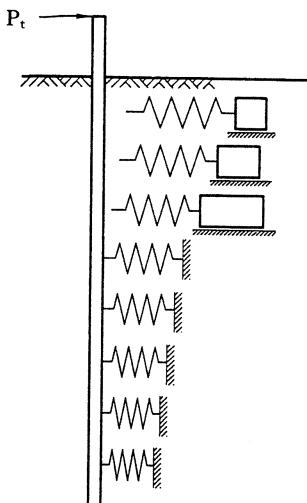
P-y曲線法

吳坤忠*

基樁承受側向力的行為為一典型的土壤與結構互制問題，傳統的設計乃根據彈性基礎上橫樑之理論，如圖一所示，利用單向度的彈簧來模擬基樁四周的土壤反力，並假設各深度的彈簧反力各自獨立且不相影響。土壤反力與樁體側向位移間之相互關係，可由彈簧的應力—變形曲線加以模擬，且一般將土壤反力P表示為

式中 k 為土壤反力係數 (Secant Modulus of Resistance Curve)， y 為基樁之側向位移，值得注意的是，一般土壤的 k 並非常數。若以 P 為縱軸， y 為橫軸所繪出之曲線則稱為 $P-y$ 曲線，即土壤反力曲線，因此基樁受力後之變形與應力變化可由下面的方程式求得：

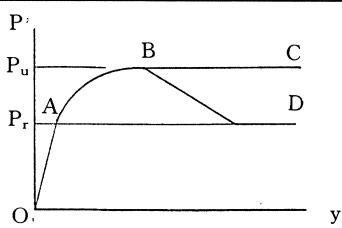
式中EI為基樁撓曲勁度，而 P_x 則為基樁承受之垂直力。 $P - y$ 曲線最簡單的假設為線性關係（即k為常數），最具代表性的有假設土壤反力係數不隨深度變化的張有齡（Chang Y. L., 1937）理論解及考慮土壤反力係數隨深度增加的Reese and Matlock（1956）無因次解。至今張氏的理論解在國內及日本仍廣被設計者採用，但由於此等方法對 $P - y$ 曲線的假設過於



圖一 以彈性基礎上橫樑模擬土壤與基樁
互制行為（摘自 Murthy, 1991）

簡單，雖然使用上非常簡便，但在基樁側向變位較大、地層變化複雜或半固定接頭等狀況時，利用此等方法均有其限制，且亦不適用於短樁情形。對於考慮土壤非線性反力參數及較複雜之地層或接頭狀況時，或有較複雜之理論解，惟因計算繁複且無法涵蓋多種狀況，因此一般均使用數值分析法求近似解。常見的數值分析法包括有限差分法、勁度法及有限元素法，但以有限差分法最簡易快速，詳細的方法有興趣的讀者可參考Reese (1977) 的文竇。

$P-y$ 曲線隨著土壤種類、土層深度、地下水位、基樁直徑、載重狀況及施工品質等因素而改變。典型的 $P-y$ 曲線形狀如圖二所示， \overline{OA} 屬彈性段， \overline{AB} 屬過渡



圖二 典型P-y曲線

段，而 \overline{BC} 則為塑性段，B點所對應之P即為地層之側向極限抵抗力 P_u ，有時地層之抵抗力在達到 P_u 後會有軟化現象，最後趨向殘餘抵抗力 P_r ，如 \overline{BD} 。

推求P-y曲線的方法通常可由試驗室或現場試驗求得之地層力學行為，配合現場樁載重試驗所量得之變形曲線，歸納求出反力曲線公式。例如美國石油工程協會（API）在設計準則中所推薦的四種不同土層反力曲線半經驗式，包括地下水位以下軟弱粘土（Matlock, 1970）、地下水位以上及以下之堅硬粘土（Reese and Welch, 1975）及砂土層（Reese et al., 1974）之P-y曲線，與Reese and Nyman (1978)建議的岩石P-y曲線等，均架構於地層之試驗室強度試驗結果，再依現場量測結果修正而得。此外Briaud et al. (1984)曾配合理論公式的推導與試驗結果的歸納，建議一些經驗公式，可將Pressuremeter所量得的均勻壓力反應曲線轉換成P-y曲線，Gabr and Borden (1988)亦曾發表利用DMT試驗結果推估P-y曲線的研究報告，惟由於受到不同尺度的影響，利用Pressuremeter或DMT試驗結果推估P-y曲線，其準確性尚未得到普遍的認同。

如前所述，P-y曲線受地層條件及施工品質之影響，因此上面所提之經驗公式或許並不完全適合於台灣地區，故應用前宜根據現場樁載重試驗結果作一分析修正。

參考文獻

MURTHY, V.N.S. (1991) "Soil Mechanics & Foundation Engineering", Vol II Foundation Engineering, Third Ed., Sai Kripa Technical Consultants, Bangalore.

CHANG, Y. L. (1937) Discussion on "Lateral Pile Loading Test" by Feagin, Trans. ASCE, Paper No. 1959.

REESE, L. C., and H. MATLOCK, (1956) "Non-dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth", Proc. 8th Texas Conf. S.M. and F.E., Spec. Pub 29, Bureau of Eng. Res., Univ. of Texas, Austin.

REESE, L. C., (1977) "Laterally Loaded Piles : Program Documentation", JGED, ASCE, Vol. 103, No. GT4.

MATLOCK, H., (1970) "Correlations for design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay", Proc. 2nd Offshore Tech. Conf. Houston, Vol. 1.

REESE, L. C., and R. C. WELCH, (1975) "Lateral Loading of Deep Foundations in Stiff Clay", JGED, ASCE, Vol. 101, GT 7.

REESE, L. C., W. R. COX, and F. D. KOOP, (1974) "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand, Proc. 5th Offshore Tech. Conf. Houston, Vol. 2.

REESE, L. C., and K. J. NYMAN, (1978) "Field Load Tests of Instrumented Drilled Shafts at Islamorada, Florida", a report to Girdler Foundation and Exploration Co., Clearwater, Florida, Bureau of Eng. Res., Univ. of Texas, Austin.

BRIAUD, J. T. SMITH, and B. MEYER, (1984) "Laterally Loaded Piles and the Pressuremeter : Comparison of Existing Methods, Laterally Loaded Deep Foundations : Analysis and Performance", ASTM STP 835.

GABR, M. A., and, R. H. BORDEN, (1988) "Analysis of Load Deflection Response of Laterally Loaded Piers Using DMT", Proc. 1st International Symposium on Penetration Testing, ISOPT 1, Orlando, Fla.