

吳 偉 特*

27. 達西定律(Darcy's Law)

達西定律對於土壤力學的重要性，不亞於它在流體力學中所佔的角色；在土壤力學中，應用簡單的達西定律，却可以成爲解決土壤中有關滲透與排水問題最有用之工具與方法；其次有關沉陷計算極重要的黏土壓密理論，土壤中流量之計算以及流網(Flow net)繪製之理論依據等，亦皆以達西定律作爲最重要的假設條件，與演導公式之基礎。

達西於1856年根據試驗研究，得知

$$Q=kiAt$$

或 $q=kiA=VA$

或 $V=ki=q/A$

或 $V_s=ki/n_e$

式中Q或q爲滲透流量；t爲時間；i爲水力坡降，亦即 $i=\Delta h/\Delta l$ ；A爲垂直流量方向之總截面積，包括土壤之土粒與空隙空間；k爲

滲透係數，係表示水力坡降 $i=1$ 時，層流狀態下之滲透速度；V爲表面流速， V_s 爲滲透水速度， n_e 爲有效孔隙率，係孔隙水流經孔隙空間之體積與整個土壤體積之比值。

在層流狀態(Laminar flow)下之土壤滲流現象，可運用達西定律得到下列大地工程有關問題之解答：

- (1)繪製流網，求取在等向性或非等向性情況下，土壤之滲透特性，與孔隙水壓力之變化；
- (2)計算水在具有空隙介質材料中滲透時之速度；在某些情況下，藉著地下水之滲流流速，可測定現地工址之滲透特性
- (3)計算飽和土壤與岩體或其他具有孔隙材料之滲透量；
- (4)計算抽水井之排水量與設計排水系統措施。

28. 流網(Flow Net)

流網係由流線(Flow line)與等勢能線(Equipotential line)成相互直交之曲線群所構成之圖網；且各個交線所成之小格圖形皆爲正方形形狀；一般可由數學方法，實驗方法及徒手圖解法而得之；其中以圖解法最爲實際，普遍、快速、省錢與便利。

流網之理論依據爲Laplace方程式，係基於下列之假設而得之：

- (1)土壤爲飽和均質材料，即孔隙內完全爲水所充滿；
- (2)土粒與水皆爲不可壓縮體；
- (3)水流爲層狀與穩定流；且適用於達西定律；
- (4)水於孔隙中流動時不產生壓密或膨脹變化。

流線係指孔隙中水分子於滲透時之運動軌跡；流線數目可爲無數，但實際運用時，則爲任取其中幾條作爲分析之用；等勢能線係爲將所有等壓水頭之點連接而稱之；等勢能線亦可爲無數，分析時亦選擇其中幾條加以運用。

流網之繪製方法與原則，大致敘述如下：

- (1)繪製使用質地良好之透明紙，即可經繪圖鉛筆之反覆修改與橡皮擦除線條而不變質者；繪製時用透明紙之反面繪圖，當流網繪製完畢，再在繪圖紙之正面描繪，或以新透明紙描繪之；一般紙張大小以20cm×30cm較爲適宜。
- (2)仔細觀察邊界條件與幾何形狀，找出最長與最短之流綫，以及最大與最小之等勢能線，並以墨筆勾畫而出；則其餘之流綫與等勢能線，皆在上述之最長與最短流綫，以及最大與最小等勢能線之範圍內。
- (3)以繪圖鉛筆輕輕先勾畫幾條流綫（一般情況以5~6條即已足夠）；注意與最大或最小等勢能線之交線應保持90度。
- (4)繼續以鉛筆畫出等勢能線，注意務必與流綫之交角保持90度，各線條皆需保持平滑之曲綫，且需儘量調整相互圍成之小格成爲正方

* 國立台灣大學土木工程學系教授

形狀。

- (5)由於幾何形狀與邊界條件之限制，某些區域內之流網，出現不可避免的非正方形狀，亦即可能出現四個角度為90度，但其形狀却不為正方形；此時可用斜紋線條將該方格標出，並用箭頭表示應予修正之方向位置。
- (6)經過不斷的調整各個小格形狀，可逐漸使得每一個小格成為正方形，遂完成流網之繪製工作。
- (7)每一方格之正確性程度，可利用「圓圈法」核對之，亦即在各方格內畫圓圈與各邊相切；若各邊皆切於該圓圈之圓周，則表示為正

確之方格形狀。

- (8)對於經再三調整後仍然出現之不規則方格，是否為最終調整後之正確圖形；可採「細分法」核對之，亦即針對該不規則方格再予細分，成為三個方格與一個不規則方格；當三個方格經調整為正方形後，再針對該不規則方格予以細分，如此重複採細分法可增加該不規則方格之精確度。

流網之徒手圖解法，為初學者雖然剛開始費時亦費力，常須歷時數小時才能完成，但在具有經驗技巧之後，往往皆可在十至十五分鐘內，即可得到正確且快速之解答。

29. 排水系統(Drainage System)

排水系統一般係指涵蓋集水坑排水等方法代表之「排水法」，與探點井工法等方法代表之「地下水位降低法」；兩者均利用抽水原理，但兩者在排水程度，開挖深度與排水時間上皆有其差異。

「排水法」係將自然靠重力滲透之水，聚集在某些固定位置儲存，然後以抽水機具抽取排除之，或經自然流出，故一般又稱為「重力排水法」，施工地點著為開挖工程，則地下水位高於開挖底面時，可採排水法實施之。

「地下水位降低法」係除利用水之重力滲透外，亦同時使用其他方法施以能量使之排水稱之；可預先將地下水位降至預定深度，故一般又稱為「強制排水法」，若為開挖工程，則一般降至開挖面下後始行施工。

(1)重力排水法

- ①集水坑排水法——本方法最簡單與容易，係使滲入施工地區地面上之地下水，自然流入較低之集水坑內後，以抽水機抽取排除之；
- ②明渠排水法——適用於擋土設施設置主樁橫板條之開挖工程；
- ③暗渠排水法——適用於地盤改良之工程，而於開挖工程則幾乎很少採用之；
- ④深井排水法——適用於在土壤中收集地下水之排除方法；一般深井須附有濾網之套管，且套管與井壁間須填入過濾材料；井內之水並使用浸水泉，離心泉或高程泉抽取排除之。

- ⑤西姆氏深井法——介於點井法與深井法之間之排水方法，適於點井不易打設之地盤；一般係將小口徑之井，以4~5公尺間隔，配置成列或長方形，連結至一根集水管，再以抽水機排水之。

(2)強制排水法

- ①點井排水法——適用於湧水量較多之砂土層，對於低滲透性之沉泥層亦可達排水之效果；此法係利用高度真空，使地層內部之孔隙水達到真空脫水而排除；點井係以集水管連接，並以真空泵與離心泵組合之抽水機達到抽水之目的；點井排水法常易造成地層沉陷現象。
- ②真空深井排水法——適於要求水位降低量與水量皆大之區域；
- ③電氣滲透排水法——適用於細料成份較多之沉泥質或黏土質低透水性材料土壤；此法使用時將直流電通入埋於土中之——對電極，使細粒土壤之正離子，漸趨向於陰極之過程中，即牽帶水份以達排水之目的；此種排水法亦會使土壤產生壓密作用，使體積減少而增加土壤之強度。

參 考 文 獻

- 林耀煌(1978)“高層建築基礎開挖施工法與設計實例”長松出版社。
- CEDEGREN H. R. (1977) “Seepage, Drainage and Flow Nets” John Wiley & Sons, New York.
- DARCY, H. (1856) “Les Fontaines Publiques de la ville de Dijon”