

愛知工業大学 正員 大根義男

〇木村勝行

ダム基礎の浸透問題は透水層が均一であり、その浸透流がDarcyの法則にしたがうものとすれば、Laplaceの方程式を与えられた境界条件下で解くことによって明らかにされる。しかし、このような解析的方法で解決し得るのはごく簡単な境界条件の場合だけであって、実際の、あるいは実際に近い複雑な境界条件の下では多くの場合、数学的解を得るのはほとんど困難であろう。このような場合は緩和法

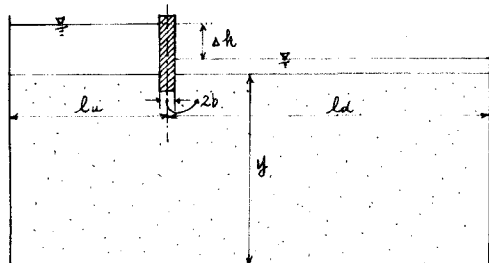


図-1 非対称形境界条件

や有限要素法によって近似解を得ることになる。このうち特に有限要素法はあらゆる境界条件に適用でき、さらに要素分割を細かくしていくことによって解の精度を高めることができる、という点で浸透問題に対する有力な方法といえる。緩和法も有限要素法も電子計算機の利用によって威力を発揮するものである。したがって従来は解析的方法によるのが困難な問題に対しては、主として実験的方法や図式的方法に依存したのである。理論解による場合は以下に述べるように流線の浸入面と浸出面はダム軸を中心として対称となる。したがって境界条件もこれに適合するものでなければならぬ。しかし実際問題において、ダム軸を中心とし、流線を対称形として扱いかねる場合は極めて稀であって、多くは非対称である。ここでは、このように非対称の境界条件に対する理論解の適応性について、有限要素法および砂模型による実験により検討した。

1. 水平および垂直方向に不透水層を有する時の理論解¹⁾

対象領域(図-2)についてSchwarz-Christoffelの定理を応用して3回写像し、最後の写像平面で楕円積分を用いて浸透流量を求める。ここでは浸透流量の計算に必要な結果のみについて述べることにする。

$$\frac{2y}{l} = \frac{K_1'}{K_1} \quad \text{①}$$

2) 例として、片側伸張編：第2編 数値計算などによる

①式を満足する K_1 を求める。²⁾ただし K_1 , K_1' はそれぞれ l_2 , l_2' を母数とする第一種の完全楕円積分の値である。

$$l_2 = \sin(K_1' \cdot \frac{b}{l}) \quad \text{②}, \quad \frac{Q(x)}{K \cdot \Delta h} = \frac{K_2'}{K_2} \quad \text{③}$$

③式から浸透流量が求まる。ただし K_2 , K_2' は l_2 , l_2' を母数とする第一種の完全楕円積分の値である。

2. 透水性領域が半無限であるときの理論解³⁾

3) 数式理論：土質力学

1) 例として、片側伸張編：第2編 数値計算などによる

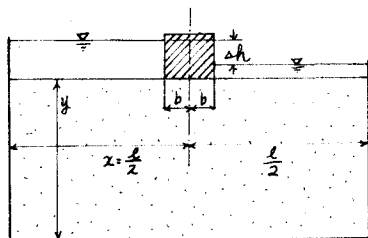


図-2

複素速度を用い、写像をすることにより浸透流量を求める。
 ここでも計算に必要な結果だけを述べる。図-3で流線は楕円(焦点は $x=\pm b$)であり等ポテンシャル線は共焦点の双曲線となる。浸入面、浸出面での流速分布は

$$v = \pm \frac{k \cdot \Delta h}{x \sqrt{x^2 - b^2}} \quad \text{--- (4)}$$

で示される。④式を $x=-b$ から $x=b$ まで積分してやると図-3の斜線で示される不透水層で囲まれた領域の浸透流量が求まる。すなわち

$$\frac{Q(x)}{k \cdot \Delta h} = \int_{-b}^b \frac{dx}{x \sqrt{x^2 - b^2}} = \frac{1}{\pi} \cosh^{-1} \frac{l}{b} = \frac{1}{\pi} \log_e \left\{ \frac{l}{b} + \sqrt{\left(\frac{l}{b}\right)^2 - 1} \right\} \quad \text{--- (5)}$$

3. 有限要素法による解^{4), 5)}

浸透領域を三角形要素に分割して各節点の水頭値を求める。さらにその水頭値を用いて両端が不透水層になっている断面(例えばAB断面)を通過する流量をAB断面の上流側要素における動水こう配を使って求めた Q_u と、下流側要素における動水こう配を使って求めた Q_d との平均値を浸透流量 Q とする。

4) O.C. ウェンツェル, Y.K. パーレン: ストラス有限要素法
 5) 日本建設院 浸透および基礎の算定法の有限要素法解法について(土木学会 18-12)

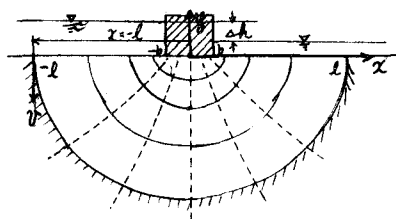


図-3

4. 図式的方法

流線網の描き方はここでは説明を略す。浸透流量は次の式で求まる。

$$\frac{Q}{k \cdot \Delta h} = \frac{N_f}{N_d}$$

k : 透水係数

N_f : 流線にはさまれた流水路の数

Δh : 上, 下流面の水位差

N_d : ポテンシャル線にはさまれた帯状部の数

5. 砂模型による実験

豊浦標準砂を用いて図-5に示すような装置で実験した。
 Δh は2~3cm程度に保ち、 $l_u: l_d$ の比を4:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4の7種に変えて実験を行った。

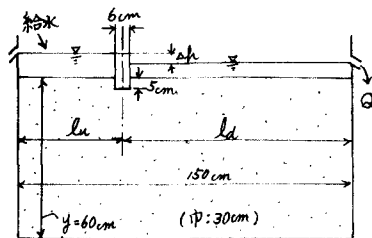


図-5 砂模型による実験装置

6. 検討

図-6は以上の各方法を実際断面(図-1)に適用した結果である。適用方法の詳しい説明は講演当日行なう。1., 2.の理論解を実際断面に適用するのに次の式を提案する。

$$l_u \leq l_d \text{ の場合 } Q(x) = Q(l_u) + \frac{\{Q(l_u) - Q(l_d)\}}{(l_u + l_d)} \cdot l_u$$

$$l_u > l_d \text{ の場合 } Q(x) = Q(l_u) + \frac{\{Q(l_u) - Q(l_d)\}}{(l_u + l_d)} \cdot l_d$$

なお3.の計算は京都大学大型計算機センターのFACOM 230-60を使用して行なった。

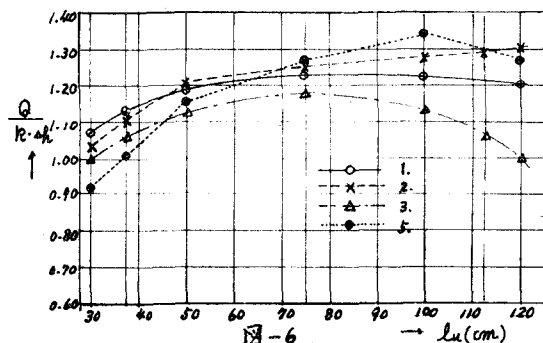


図-6