

愛知工業大学 正員 木村 勝行
 " 大根 義男
 学生員 佐藤 浩一

1. まえがき

自由水面のある浸透流のうち、長方形断面堤体内の2次元流については堤体が均一である場合および透水係数の異なる水平な2層から成る場合(以後、不均一層という)に対して浸透流量の解が得られている。^{1), 2), 3)}一方、3次元流については数学的な解を得ることは困難であるため、その解析は実験あるいは数値計算によることになる。3次元流でも浸透領域が均一な場合の浸透流量については、2次元流の解から推定する方法の提案がある。⁴⁾ここでは、この推定方法を用い、さらに前述の2次元流についての均一層と不均一層との関係を利用することによって、不均一層内3次元流の浸透流量を推定する方法を提案する。そして、この推定方法の適用性を室内実験により検討を加えた。

2. 実験装置および実験方法

実験は図-1に概略を示すような装置を用い、恒温室内で行なった。浸透領域には2種類のカラス球(直径約2.6mmと5.0mm)を使用し、流体には潤滑油を用いた。これにより透水係数(23°C時)が0.0181 cm/secと0.0590 cm/secに相当する浸透域が得られる。

3. 浸透流量の推定法と実験結果

図-2(a)に示すような均一な長方形断面堤体内の2次元流の単位幅当りの浸透流量 q は¹⁾

$$q = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \quad \dots\dots (1)$$

である。また、図-2(b)に示すような不均一層の場合の単位幅当りの浸透流量 q' は²⁾

i) $a < h_2$ の場合²⁾

$$q' = \frac{k_2(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \left\{ \frac{k_1}{k_2} + \left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right) \left(\frac{1 + \frac{2a}{h_1} \frac{k_1}{k_2}}{1 + \frac{k_1}{k_2}} \right) \right\} \quad \dots\dots (2)$$

ii) $h_2 \leq a$ の場合^{2), 3)}

$$q' = \frac{k_2(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \left\{ 1 + \left(\frac{k_1}{k_2} - 1 \right) \frac{\left(1 - \frac{a}{h_1}\right)^2}{1 - \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2} \right\} \quad \dots\dots (3)$$

である。ここで、 $\alpha = \frac{k_1}{k_2} + \left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right) \frac{\left(1 + \frac{2a}{h_1} \frac{k_1}{k_2}\right)}{1 + \frac{k_1}{k_2}}$ および $\beta =$

$1 + \left(\frac{k_1}{k_2} - 1 \right) \frac{\left(1 - \frac{a}{h_1}\right)^2}{1 - \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2}$ とおくと、(2)および(3)式の q' はそれぞれ

$$q' = \alpha \frac{k_2(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \quad \dots\dots (2')$$

$$q' = \beta \frac{k_2(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \quad \dots\dots (3')$$

と表わされ、どちらも均一層の場合の浸透流量に α あるいは β

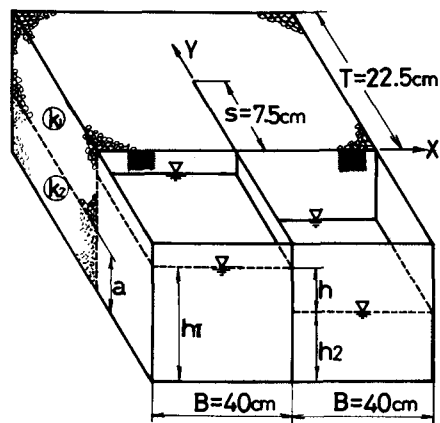


図-1

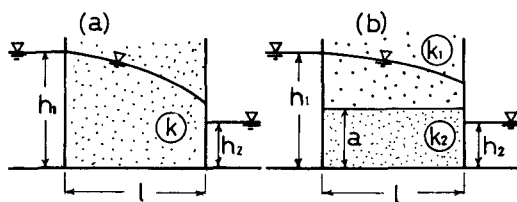


図-2

なる係数を乗じて求められる。

ところで、図-1に示すような3次元流は浸透領域が均一な場合には、2次元流に対する解から次の式により浸透流量 Q を推定すると、それが実験結果とよく合うことが確かめられている。

$$Q = kh \frac{K(\beta)}{2K(\beta')} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 $K(\beta)$ は母数 β の第1種完全楕円積分、 $K(\beta')$ は補母数 β の第1種完全楕円積分である。 β の値は、 $\beta = \sin\left(\frac{\pi}{B} K(m), m'\right)$ あるいは $\sin\left(\frac{\pi}{2} K(m), m'\right)$ より求まる。 $\sin$ はJacobiの楕円関数であり、 m の値は $T/B = K(m)/K(m')$ から決められる。

いま、不均一層内3次元流の浸透流量 Q' を2次元流の場合の(2')および(3')式の α および β を(4)式に乘じた値をもって推定値とすると、

i) $\alpha < h_2$ の場合

$$Q' = \alpha kh \frac{K(\beta)}{2K(\beta')} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \dots\dots (5)$$

ii) $h_2 \leq \alpha$ の場合

$$Q' = \beta kh \frac{K(\beta)}{2K(\beta')} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \dots\dots (6)$$

と表わすことになる。表-1に不均一層内3次元流の実験から得られた実測流量 Q と(5)および(6)式による推定流量 Q' を示す。表から実測流量と推定流量は良く一致していることから、ここで述べた方法により図-1に示すような不均一層内3次元流の浸透流量を推定できるといえよう。次に、下流に流出する流量の流出分布を検討してみよう。実験装置の下流部は等分に鉛直仕切り板で4つに区切られ、各区分に流出する流量が測定できるようになっている。均一層の場合には図-1

の止水壁より下流 x までに流出する流量 Q_x は、2次元流⁴⁾についての解を利用して⁴⁾

$$\frac{x}{B} = \frac{F\left(\sin^{-1}\sqrt{\frac{1-\beta'^2}{1-\beta^2}}, m\right)}{K(m)} \quad \text{および} \quad \frac{Q_x}{kh} = \frac{F\left(\sin^{-1}\sqrt{\frac{1-\beta'^2}{1-\beta^2}}, \beta'\right)}{2K(\beta')} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \text{の両式から} x \text{を消去して得られる} x \text{と}$$

Q_x の関係により推定されることもまた実験により確かめられている。⁴⁾(4)式の Q は $x=B$ の時の Q_x の値となる。これらの式を用いて x/B と Q_x/Q の関係を示す図-3の実線で表わせる。いま、不均一層内3次元流の実験により得られた実測流量を Q 、止水壁より下流 x までに流出した流量を Q_x とした場合の Q_x/Q と x/B との関係のいくつかを同図中に記す。これから、図-1に示すような不均一層内3次元流の下流に流出する流量の分布状態は均一層の場合の流出量の分布状態から推定できるといえよう。

【参考文献】：1) Polubarinova-Kochina, P. Ya.: "Theory of ground water movement", Princeton, pp.281-282, 1967
2) Jacob Bear: "Dynamics of fluids in porous media", Elsevier, pp.369-372, 1972, 3) 木村, 大根, 佐藤: 不均一層内浸透流の自由水面形, 第14回土質研, 1979, 4) 大根, 木村: 砂の浸透性について, 第11回フルガム施工技術講習会テキスト, 日本ダム協会, 1976

表-1

実験番号	上流水深 h_1 cm	下流水深 h_2 cm	下層厚さ a cm	透率数比 k_1/k_2	実測流量 Q cm^3/s	推定流量 Q' cm^3/s	Q'/Q
1	15	0	10	3,260	1.58	1.62	1.046
2	20	0	10	3,260	3.56	3.60	1.011
3	30	0	10	3,260	10.54	10.38	0.985
4	15	5	10	3,260	1.43	1.48	1.029
5	20	5	10	3,260	3.35	3.46	1.032
6	25	5	10	3,260	6.42	6.38	0.944
7	20	10	10	3,260	3.05	3.03	0.922
8	30	10	10	3,260	9.98	9.80	0.982
9	30	15	10	3,260	9.00	9.15	1.017
10	15	0	10	0.307	3.94	3.89	0.988
11	20	0	10	0.307	6.25	6.20	0.993
12	20	5	10	0.307	5.58	5.73	1.026
13	20	10	10	0.307	4.24	4.33	0.980
14	30	15	10	0.307	9.37	9.80	1.046
15	30	15	10	0.307	7.26	7.39	1.018

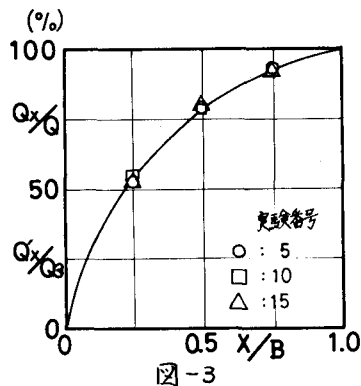


図-3