

II-4 河川堤防の非定常浸透に関する研究

建設省関東地方建設局 准員 陣内 孝雄

河川を洪水流が流下する際の堤防内の浸透現象は非定常的であるが、その解析が理論的に難解であり、また実験上にも困難な問題が存するため未解決の分野が多い。しかしこれが究明は学問的な興味のみならず、堤防断面の合理的経済的設計など実際応用面においても重要である。これらに関して若干の考察を行う。

1. 実験的基礎研究

毛管力の作用を明らかにするため、図-1の装置に砂を用いて1次元非定常浸透の実験を行い、種々の外水位上昇速度 V_0 に対する浸潤面の浸透距離 x の関係を図-2にえた。これより

$$x = C V_0^{0.75} t \quad (1)$$

一方、浸透流を巨視的にみて、これにNavier-Stokesの式を適用する。

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial V}{\partial t} = -\text{grad}(gh + pf) - \frac{\mu}{\alpha} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\mu}{\alpha \rho} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (2)$$

(2)式で加速度項、粘性項が小なるためこれを無視すれば、この実験の浸透運動方程式は理論的に

$$x = \sqrt{\alpha} V_0^{0.5} t \quad (3)$$

となる。実験式(1)は理論式(3)に比して過大な値を示す。こ

れは砂に依く毛管力の強い吸引作用に起因するものと思われる。また降雨による縦浸透や毛管水にもとづく砂の初期飽和度の増加は非定常浸透係数や浸透速度を増大せしめる。要するに非定常浸透の解析的研究には複雑な影響を及ぼす毛管力をのぞくことが好ましい。

2. 非定常浸透模型実験の相似律

(2)式及び連続の式

$$\text{div } V = 0 \quad (4)$$

を無次元化すれば、それぞれ

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial V_0}{\partial t_0} = -\text{grad}_0(g_0 h_0 + p_0) - \frac{\mu_0}{\alpha_0} \frac{\partial V_0}{\partial x_0} + \frac{\mu_0}{\alpha_0 \rho_0 L_0} \frac{\partial^2 V_0}{\partial x_0^2} \quad (5)$$

$$\text{div}_0 V_0 = 0 \quad (6)$$

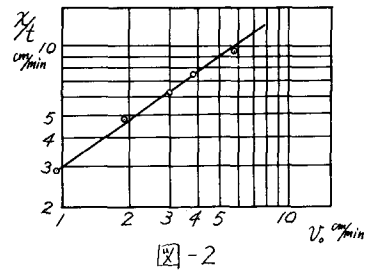
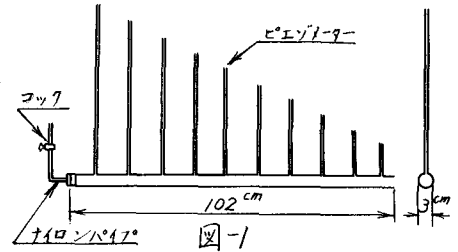
相似関係が成立つためには、実物と模型の両流において無次元化した(5)式と(6)式が全く等しくなければならない。いま実物の量と模型の量の比に r の添字を付して表わせば、

$$\frac{1}{\alpha_r} = \frac{\mu_r}{\alpha_r} = \frac{\mu_r}{\alpha_r L_r} = 1 \quad \text{ただし} \quad L_r = \frac{L_0}{L_r} \quad (7)$$

ここで $L_r = \frac{L_0}{L_r}$ とおけば(7)式は

$$\frac{1}{\alpha_r} = \frac{L_r}{\alpha_r L_r} = \frac{L_r}{\alpha_r L_r} = 1 \quad (7')$$

(7)式が満すべき相似の必要条件となる。しかし(7)式を満足させることは技術的に難かしいため、(2)式右辺第3項の粘性項が他項に比して無視できることに着目し



$$\frac{1}{\alpha_f} = \frac{1}{\alpha_f} = 1$$

(8)

と近似的に得る。この式の適合性と高粘度モビール油と鋼散弾を用い、毛管力を除いて実験した結果、矩形堤はもちろん梯形断面堤においても充分の精度をもつことがわかった。

3. 非定常浸透運動の理論的考察

図-3 (a) のごとき矩形堤に同図-(b)の洪水曲線を与えた場合を考える。浸透流の運動は主として上流側の水圧に支配されるから、その流れは水平成分だけであると仮定する。したがって自由境界面、すなわち $p=0$ における量を f で示すと、図-3 に関する非定常浸透流の運動方程式は自由境界面で次のように表わされる。

$$u_{x_2} = (\partial f / \partial x_2) / \epsilon = \{h(t) - h_f\} / x_f \quad (9)$$

以下 (9) 式の解と外水位上昇時および下降時のそれぞれに 1, 2 の添字を付けて求める。

(i) 外水位下降時

洪水曲線を三角形に近似させ、水位上昇速度を v_{01} とすれば、(9) 式は

$$x_{f1} = \sqrt{\epsilon v_{01}} (t_1 - h_f / v_{01}) \quad (10)$$

(ii) 外水位下降時

同様に三角形の洪水曲線を考え、その最高水位を H_m 、水位下降速度を v_{02} とすれば、

$$x_{f2} = \sqrt{x_{f1}^2 + \epsilon \{2(H_m - h_f) t_2 - v_{02} t_2^2\}} \quad (11)$$

ただし $x_{f1} = \sqrt{\epsilon v_{01}} (T_1 - h_f / v_{01})$

(10), (11) 両式の適合性を検証するため、2. と同じ方法によって実験した。この結果の一例を矩形堤について図-4 に示す。

4. 砂模型堤による非定常浸透実験

実際の堤防は土砂で作られ堤体内の浸透流は毛管力の作用する場におかれる。このため本節では砂模型の梯形断面堤体について飽和度や三角形洪水曲線の継続時間、水位昇降時間比等を種々変化せしめて実験を行い、その浸透現象を観測した。図-5 は乾燥砂堤における堤体底面沿いの浸透の様子を示す。

5. 堤体断面設計指針の提案

浸透水圧の面から合理的な断面を定めるには、外水位が最高水位 H_m に達してつち浸潤面が裏法に到達するよう堤防数 L を定めればよい。しかるに図-5 に見られるように三角形で近似させた洪水曲線を梯形断面堤に与える場合、外水位上昇時においては堤体底面沿いの浸透速度 v は一定となるから、容易に L は

$$\frac{H_m}{v} = \frac{L}{v} \quad \text{ただし } v_{01} \text{ は外水位上昇速度} \quad (12)$$

より得られる。もちろん水防上必要な天端幅、上の安息角等からも大きく規制される。

本研究に御指導を賜った京都大学教授村山朔郎博士、同助教授赤井浩一博士に拝謝する。なお京大防災研教授矢野勝正博士、同足立昭平助教授に助言を頂いたことに感謝する。

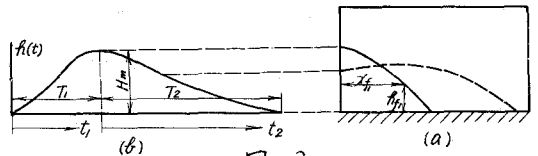


図-3

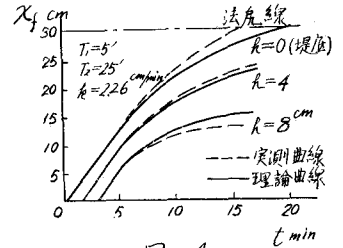


図-4

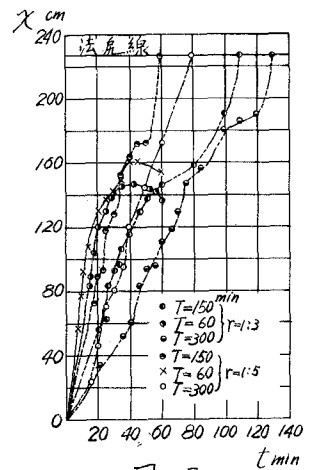


図-5