

堤内地漏水孔（ガマ）への流れに対する2次元理論解の利用性

愛知工業大学 正 員 木村 勝行
愛知工業大学 学生員 ○丹羽 崇哲

1. まえがき

堤内地が難透水層の表層で覆われており、この表層に上下に貫通する孔、いわゆるガマが存在する場合、出水時などの河川水位上昇時にはガマからの漏水が起こる（図-1）。この漏水に伴う基礎地盤内の浸透は3次元流としての取り扱いが必要であり、境界条件を相当に単純化した場合でも、理論解は得られていない。したがって、検討は実験あるいは数値解析によらざるを得ない。2次元流に類似の浸透問題を求めるとすれば、well を含む流れをあげることができる。この場合には理論解が知られているので、種々の境界条件に対する解を容易に得ることができる。ここでは、3次元FEM解析によってガマからの漏水量やガマへの流出動水勾配を算出し、これらの3次元量を2次元理論解を利用して推定することの可能性について検討した。

2. 3次元FEM解析および2次元理論解析

3次元FEM解析：FEM解析モデルを図-2に示す。 $x=0$ および $x=L$ の $y-z$ 面が河川側の流入面および堤内地側の流出面、 $y=0$ および $y=a$ の $x-z$ 面と $z=0$ および $z=d$ の $x-y$ 面はいずれも不透水面である。漏水孔は、基礎地盤の上面に相当する $z=0$ の $x-y$ 面上、 $x=s$ を中心とする半径 r の半円としておかれている。 L, a, d, r および s の諸元のうち、 $L=18\text{m}, a=15\text{m}, d=15\text{m}, r=0.45\text{m}$ は固定値とし、漏水孔の中心位置 s は $2.5\text{m}, 5\text{m}, 7.5\text{m}, 10\text{m}, 12.5\text{m}$ および 15m の6通りとした。領域は x, y および z 方向をそれぞれ $26\sim 28, 13\sim 16$ および $13\sim 16$ の6面体要素に分割した。節点数 $5292\sim 8381$ 、要素数 $4393\sim 7168$ となる。解析領域の流れはDarcy則が成り立ち、透水性も一定、等方であると仮定した。漏水孔と流入面の水頭値は等しいとし、流入面とは単位水頭差として解析した。

2次元理論解析：2次元理論解析は図-2の $z=0$ の $x-y$ 面に適用される。嶋⁴⁾は次の理論解を得た。

$$\omega = \frac{Q_0}{\pi} \log \frac{\theta_0 \{ (s+x+iy) \} / 2L}{\theta_0 \{ (s-x-iy) \} / 2L} + H \left(1 - \frac{x+iy}{L} \right) \quad (1)$$

ここに、 ω ：複素ポテンシャル、 $\theta_0\{\}$ ：楕円データ関数、 H は流入面と流出面の水頭差である。wellと流出面の水頭値を等しいとすると、wellからの流出量は Q_0 に基礎地盤の透水係数、wellの長さ乗じて得られる。図-3に式(1)による計算例を示した。(a)図は、 $s=2.5\text{m}$ 、(b)図は $s=15\text{m}$ の場合であり、実線が設定し

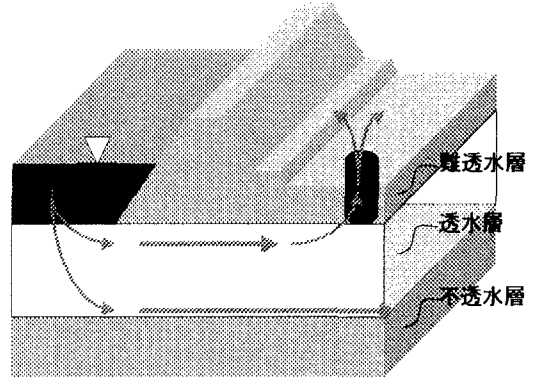


図-1 堤内地漏水孔への流れ

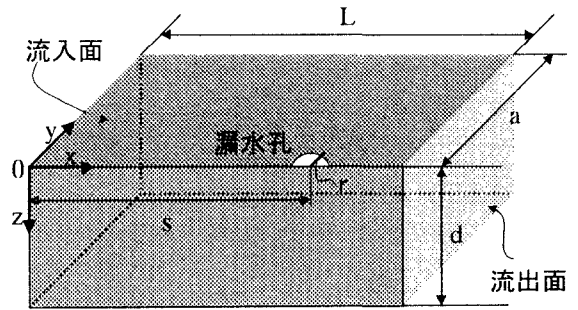


図-2 FEM解析領域-3次元

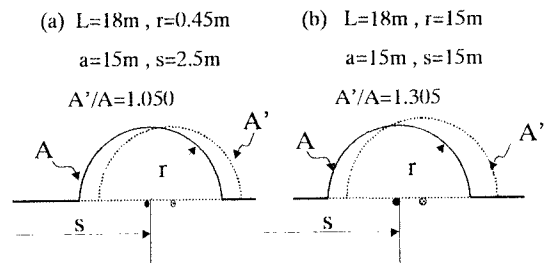


図-3 2次元理論解によるwellの位置と大きさ

た s に中心をもつ半径 r の半円を表し、破線が計算による well 水頭値の等ポテンシャル線（形状はほぼ半円）を表している。図からわかるように、計算による well は中心位置も半径も設定値とは異なる。計算と設定の well 面積の比を A'/A とすると、この値は(a)図では 1.050, (b)図では 1.305 にもなる。式(1)を使う場合には、 A' の中心と半径が A と一致するように s および r を補正して用いなければならない。いま、補正値を Δs および Δr とすれば、これらは図-4 のように示される。以下、本文では s および r の値は、表記は補正なしの値を、計算には補正した値を用いた。

3. 解析結果および検討

図-5は3次元と2次元の x 軸上のポテンシャル分布である。流入面のポテンシャルを100%, 孔 (well) および流出面を 0% としている。3次元流は孔近傍で著しい水頭降下が認められ、流線の集中および動水勾配の急激な増大を推し量ることができる。図-6には孔 (well) からの漏水量を示した。 q_2 は well の単位長さ・単位水頭差当たりの2次元流漏水量, q_3 は単位長さ・単位水頭当たりの3次元流漏水量, k は基礎地盤の透水係数である。3次元流の q_3 は, q_2 と次元をあわせるために漏水量を 1m^2 で除した値である。図-6から、 $s=2.5\text{m}$ 以外の $s=5\text{m}\sim 15\text{m}$ の場合には、 $q_2 \approx q_3$ であるので、図-2に示したような3次元流の漏水量は、2次元理論解から概略の推定が可能と言える。図-7の i_2 と i_3 は、図-2の x 軸上 $s-r$ の位置における単位水頭差当たりの最大流出動水勾配を示している。 i_2 および i_3 はそれぞれ2次元流および3次元流に対応する。図-7から、 $s=2.5\text{m}$ 以外の $s=5\text{m}\sim 15\text{m}$ の場合については、 $i_3 \approx 5.5i_2$ となっており、3次元流の最大流出動水勾配も2次元理論解から概略の推定が可能といえる。ここで、簡便的に、単位水頭差当たりの流出動水勾配を $i=1/(s-r)$ とした場合は $s=5\text{m}\sim 15\text{m}$ に対して $i_3 \approx (15-23)i_2$ なる関係が得られる。この関係は、2次元理論解による推定より、さらに概略値を推定する式として利用できよう。

4. あとがき

ガマからの漏水による基礎地盤内の3次元浸透流の漏水および最大流出動水勾配を2次元理論解を利用して推定することの可能性について検討した。その結果、どちらの量も概略値の推定は可能であることがわかった。しかし、その過程で図-4に示した補正量が必要であるなど、今後の検討を要する問題点もあった。

《参考文献》

- 1) Shima, S. and Ogihara, K.: "The problem of the seepage flow in the rectangular domain including a well, Collected Papers, Dept. of Civil Engineering, University of Tokyo, Vol.3, pp.1-21, 1965.

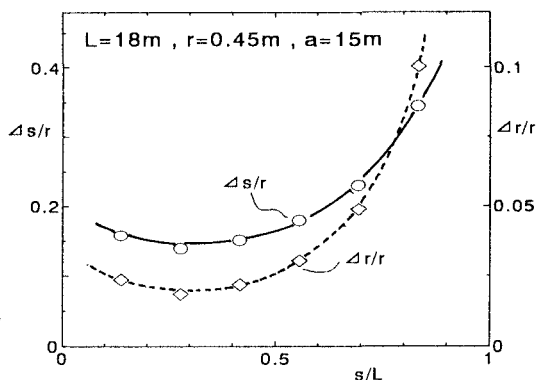


図-4 2次元理論解析の補正量 Δs , Δr

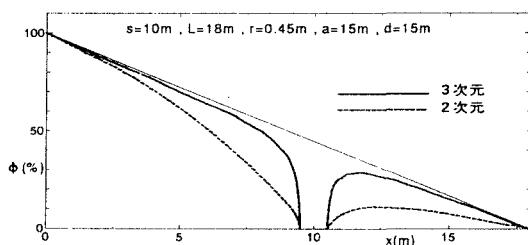


図-5 2次元流と3次元流の x 軸上のポテンシャル分布

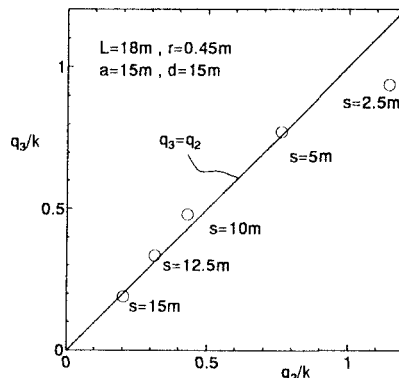


図-6 2次元流と3次元流の漏水量

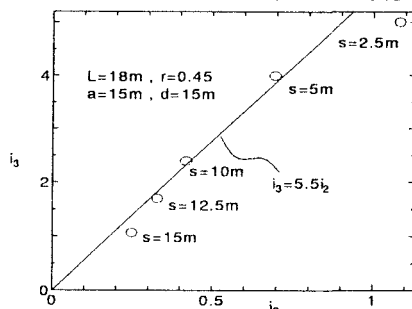


図-7 2次元流と3次元流の単位水頭差当たりの最大流出勾配