

ガマを有する基礎地盤内3次元流に対する2次元理論解の応用

愛知工業大学 正会員 ○ 木村 勝行
愛知工業大学 学生員 丹羽 崇哲

1 本研究の目的

図1に概略が示されるような、ガマからの流出は、最初水のみであるが、河川水位の上昇とともにガマ内の流速が増し、ガマ周辺の土粒子を排出するような流出水となり、パイピングへと進行していく。土粒子がガマ内へ流入し、排出される現象の解明には、ガマ周辺の動水勾配および漏水量（ガマ内の平均流速）を知ることが要点と思われるが、3次元流の理論解は得られていないのが現状である。そこで、2次元流に類似の問題を探すと、井戸（well）への流れが挙げられ、この流れに関しては、理論解が得られている。ここでは、3次元流に対する2次元理論解の利用の可能性について検討する。

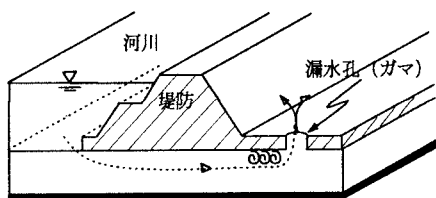


図1: 河川堤防概略図

2 3次元FEM解析および2次元理論解

2.1 3次元FEM解析

3次元FEM解析モデルを図2に示す。\$x=0\$ および \$x=L\$ の、\$y-z\$ 面が河川側からの流入面、流出面に相当する。また、\$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\$ 面上にあり、\$y=a\$、\$x=s\$ に中心のある、半径 \$r\$ の面としておかれている。\$L, a, s, d\$ および \$r\$ の各緒元のうち、\$L=100\text{m}, a=d=60\text{m}, s=40\text{m}\$ は固定値とし、漏水孔の半径 \$r\$ を、\$0.2\text{m} \sim 1\text{m}\$ までの \$0.1\text{m}\$ 刻みの9通りとした。解析領域内の流れは、Darcy 則が成り立ち、等方透水性である。また、漏水孔と流出面のポテンシャルは等しいとし、流入面とは単位水頭差で解析を行った。

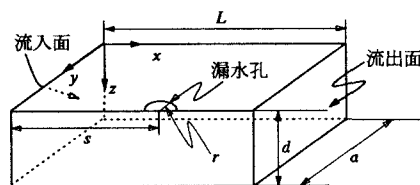


図2: 3次元FEM解析領域

2.2 2次元理論解

2次元理論解は、図2の \$z=0\$ の面に適用される。嶋¹⁾は式(1)に示す理論解を得た。

$$\omega = \frac{Q_0}{\pi} \log \frac{\vartheta_0 \left\{ \frac{s+x+iy}{2L} \right\}}{\vartheta_0 \left\{ \frac{s-x-iy}{2L} \right\}} + H \left(1 - \frac{x+iy}{L} \right) \quad (1)$$

ここに、\$\omega\$: 複素ポテンシャル、\$Q_0\$: well からの漏水量、\$\vartheta\{\}\$: 楕円テータ関数、\$H\$: 流入面と流出面の水頭差である。well と流出面の水頭を0とすると、well からの漏水量は、\$Q_0\$ に基礎地盤の透水係数、well の長さを乗じて得られる。

3 解析結果および考察

図3は、\$r=1\text{m}\$ のときの well 線上のポテンシャル分布を示している。図中の基準線とは、漏水孔が存在しない場合の、well 線上のポテンシャル分布である。図からわかるように、3次元流は、2次元流に比べて漏水孔近傍で急激なポテンシャルの降下が見られる。このことは、3次元流では、孔近傍で急激な動水勾配の増大、流線の集中が見られることを示している。

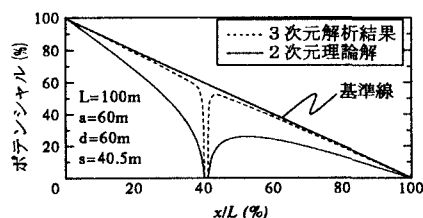


図3: well 線上のポテンシャル分布

図4, 5はともに, 漏水孔の直径 D の違いによる, 2次元理論解, 3次元解析の漏水の平均流速を示したものである。2次元理論解を用いた計算では, 設定した値と計算結果との間に補正值²⁾が必要なので, 表記には設定した値を, 計算には補正した値を用いている。2次元 V_2' , 3次元 V_3' ともに漏水孔の直径 D が大きくなるにつれて, 漏水の平均流速は減少していく。また, $D \leq 0.4m$ までは, V の減少は急激であるが, $D > 0.4m$ でのそれは緩やかになるのが, この図から読みとれる。2次元と3次元の平均流速の相関係数は, 0.99程度あり, 有相関であるといえる。

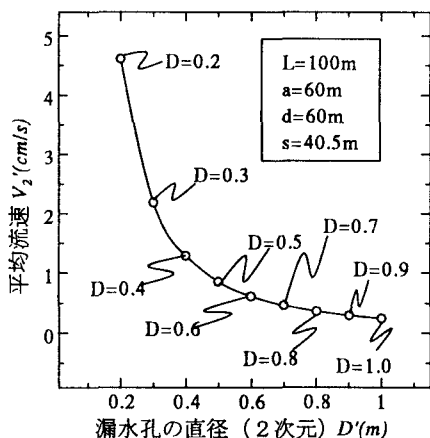


図4: 2次元理論解による漏水の平均流速

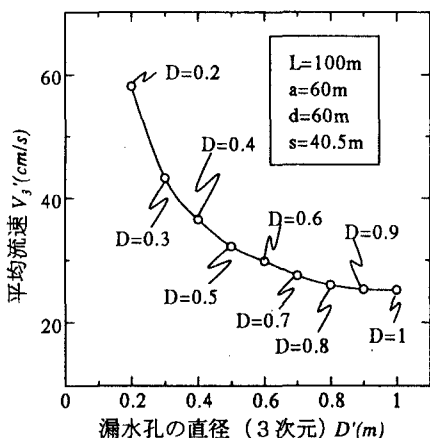


図5: 3次元解析による漏水の平均流速

図6は, 図4, 5で示した2次元での漏水の平均流速 V_2' と, 3次元での漏水の平均流速 V_3' を比較したものである。この図から, 相関係数が0.99程度なので, 式(2)に示す直線近似による近似線が得られる。

$$V_3' = 7.627 \cdot V_2' + 24.5 \quad (2)$$

ここで, V_3' : 3次元解析による平均流速, V_2' : 2次元理論解による平均流速, である。この式は, 2次元理論解を用いた際の計算結果から, 3次元での漏水の平均流速を推定する際の式として利用できよう。

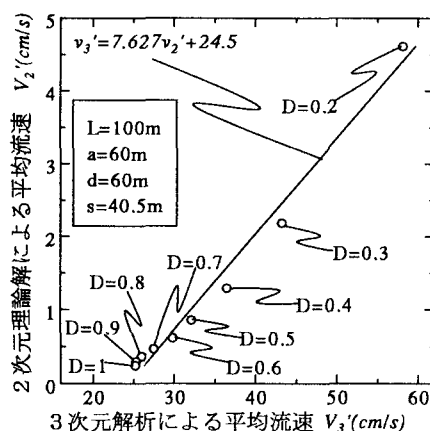


図6: 平均流速の比較

4 おわりに

漏水孔の直径の違いによる堤内地漏水孔からの漏水の3次元の平均流速について, 2次元理論解を用いて概略値の推定をする事の可能性について検討してきた。その結果, 式(2)に示すような概略値を推定する式が得られた。

参考文献

- 1) Shima, S. and Ogiwara, 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
- 2) 丹羽, 木村: 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, 平成9年度土木学会中部支部, pp429-430, 1997