

III-A 258

堤防基礎地盤のパイピング破壊基準に関する考察

岡山大学大学院 学生員 松尾雄一郎  
 岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠

1. はじめに

近年、防災構造物としての河川堤防の重要性は一段と高まってきており、堤防の安定度評価手法の高度化を目指した取り組みが精力的に進められている。堤防の安定性のうち浸透流によるパイピング破壊を検討する手法として、従来からクリープ比やJustinによる限界実流速、Terzaghiによる限界動水勾配等が適用されてきた。しかし、実際のパイピング現象は、これらの基準ではうまく説明できない事例が少なくないことが指摘されている。

本研究では、有限要素法による3次元浸透流解析により、パイピングを起こしている所での最大動水勾配の考察を行った。

2. 解析法

従来、堤内地での弱点箇所におけるパイピング現象のシミュレーションは、簡易的に断面2次元解析により弱点箇所の動水勾配を求め、それにより安定評価を行った。しかし実際には、弱点箇所へは河川から透水性の地盤を浸透して3次元的な地下水の挙動が生じている。

したがって、本来3次元的な地下水の挙動は3次元浸透解析によって評価すべきである。そこで、2次元解析および3次元解析の比較を行った。

3. 解析の諸条件

解析に対象とした地盤はK川である。解析に用いた透水係数は  $1.33 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、間隙比は0.661である。

解析の対象にした大型実験装置を図-1に示す<sup>1)</sup>。モデルの境界条件は簡単にするため、図-2に示すように、上下面は不透水面、浸透する方向の左右も不透水層、浸透する上流下流端を定水位（下流端は  $h_{20} = 50 \text{ cm}$  に固定、上流端は任意の固定水位（： $h_{10}$ ）を与える）、また弱点箇所は上部の表土層が流出するため、弱点箇所の水位を  $h_w = 66 \text{ cm}$  と固定条件にした。なお、洪水時の河川水位は経時的に変化をしているが、弱点箇所の危険な状態での動水勾配を評価するため、河川水位を上流側水位とし、被圧帯水層の定常浸透解析を行った。解析に用いた要素分割図を図-3、図-4に示す。

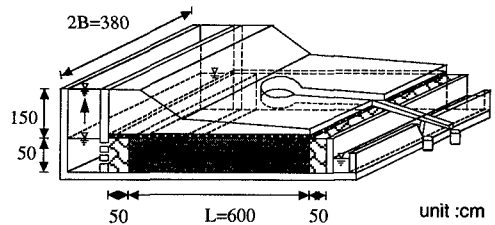


図-1 大型実験装置概念図<sup>1)</sup>

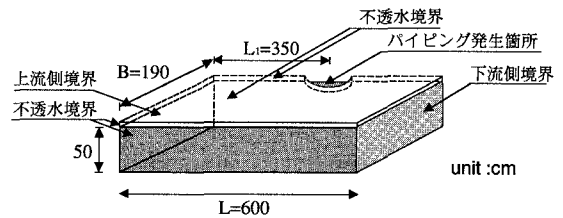


図-2 解析モデル境界条件図

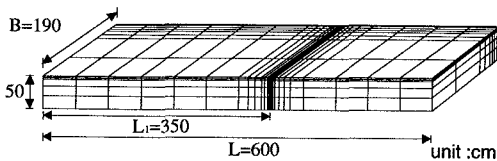


図-3 3次元解析要素分割図



図-4 2次元解析要素分割図

#### 4. 解析結果

解析の条件として、図-2における $L_1$ 、 $h_{10}$ をそれぞれ変化させて弱点箇所の最大動水勾配の違いを比較した。解析の結果を図-5に示す。これらの結果から、解析対象領域は、 $B$ が $190\text{ cm}$ より大きい場合であれば十分であるといえる。しかし、これは図-2での $L$ にも依存するため、解析には注意を要する。

次に、洪水時における河川水位の上昇を考えて、上流側水位を15段階の固定条件( $h_{10}=60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200\text{ cm}$ )として解析を行った。これらの解析結果での弱点箇所の最大動水勾配を図-6に示す。図-6より、3次元解析の方が最大動水勾配が大きいがわかる。これは、弱点箇所に周囲から地下水が集中するためである。また、上流側水位の上昇に伴って最大動水勾配の線形性が認められる。

ここで、 $h_{10}$ が $200\text{ cm}$ の場合に、 $L_1$ を変化させた弱点箇所での最大動水勾配を2次元解析と3次元解析それぞれで行った結果を表-1に示す。いずれの解析も、 $L_1$ が大きくなれば最大動水勾配が小さくなるが、 $L_1$ が大きい場合に2次元解析によって簡易的に解析を行った場合、過小評価してしまうおそれがあるため、3次元解析を行うべきである。

#### 5. 実験と解析の比較

砂地盤中の間隙を流れる流速、すなわち限界実流速を求める式は、以下によって表される。

$$V_p = \frac{V}{1 - (1-n)^{2/3}} \quad (1)$$

ただし、 $V_p$ :限界実流速、 $V$ :ダルシー流速、 $n$ :間隙率。

大型模型実験において、パイピングが発生した際の平均動水勾配 $i_c=0.183$ であった。この条件での $\Delta h$ は $109.8\text{ cm}$ で、これによる3次元解析の最大動水勾配は図-6より $L=600\text{ cm}$ の時、 $i_c=4.5$ と求められる。 $k=1.33 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ より $V=0.060\text{ cm/s}$ となる。 $n=0.398$ と(1)式を用いると $V_p=0.214\text{ cm/s}$ が得られる。これより、パイピング箇所は局所的な平均流速より10倍近い流速が発生し、土粒子に大きな浸透水圧（あるいは掃流力）が作用して、パイピングが進行することになる。図-7のKoslovaの実験式<sup>1)</sup>では $0.2\text{ mm}$ 以下の粒子が移動することになる。したがって、実際にはパイピングが進行するかどうかをきわめて重要である。

#### 6. 結論

以上よりパイピングに対する解析を行う場合、3次元浸透解析を行う必要がある。すなわち、局所的なパイピングホールに、周囲から地下水が集中する現象を考慮し、土粒子が移動するかどうかを検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1)三木博史,山田哲也,藤井厚企,野口典孝,佐藤正博:堤防基礎地盤のパイピング破壊に関する模型実験,土木研究所資料,第3399号,1996.

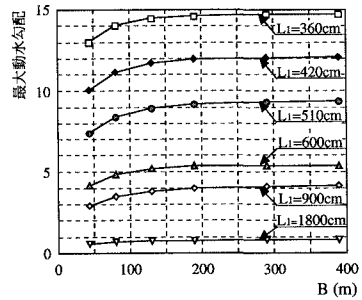


図-5 上流側と弱点箇所の距離による最大動水勾配

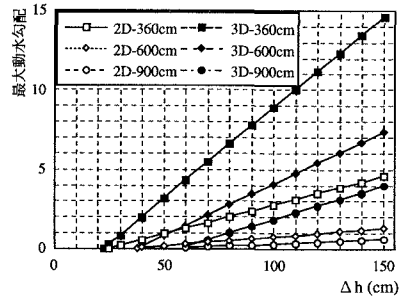


図-6 上流側と弱点箇所の距離による最大動水勾配

L1(cm)	2D-FEM	3D-FEM	Rate
110	4.568	14.608	3.198
170	3.192	11.905	3.730
260	1.751	9.165	5.234
440	0.987	5.977	6.054
540	0.789	4.955	6.276
650	0.607	3.949	6.502
1550	0.012	0.754	60.739

表-1 解析による最大動水勾配の差

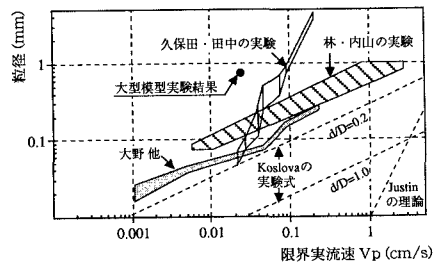


図-7 50%粒径と限界実流速の関係<sup>1)</sup>