

建設省土木研究所 正会員 吉 岡 淳
久 桑 勝 行
佐 藤 正 博

1. はじめに

透水性の砂質土や砂礫からなる基礎地盤上に築造された河川堤防やフィルダムなどにおいて、堤体の安定性を考える場合には、浸透流によるパイピング現象が問題になる。従来、パイピングに対する検討方法としては、多くの理論的・実験的な考察による限界動水勾配や限界流速の考え方などがあるが、実際の堤体下の透水地盤を流れる水平方向の浸透流によるパイピング現象を対象にして、実験的な考察を加えた事例は以外と少ない。

そこで、二次元浸透モデルを用いて水平方向の浸透流によるパイピング現象についての実験的検討を行い、現象の定性的な傾向および従来の理論値、実験値との適合性について考察を加えたので報告する。

2. 実験方法

実験模型は、図-1に示すように、アクリル製の二次元土槽に厚さ16cmの砂地盤を作り、その上の支切り板で挟まれた部分に粘土層を置いたものである。砂地盤は水締めによって築造した。地盤の砂は、表-1に示す粒径の範囲にふるい分けした5種類のものを用いた。なお、No.5の試料は、ふるい分けした試料を混合して粒度分布が良くなるように調整したものである。

実験は、下流側の水位を地盤のレベルに保ち、上流側の水頭を段階的に上げる方法をとった。各水頭段階では、下流側からの流出量を測定し、流量が一定となるか、あるいは、地盤砂に動きが生じた場合には、その動きに変化がなくなったことを確認して次の段階に移った。

さらに、有限要素法を用いた二次元定常浸透流解析によって実験のシミュレーションを行い、噴砂が生じた部分の局所的な動水勾配や流速を求めて、実験値との比較を行った。

3. 実験結果および考察

3.1. パイピングの発生と進行破壊形態

No.1~5の名試料砂を用いた実験を通して、水平方向浸透流によるパイピングの発生状況ならびに進行形態を、実験模型の下流側の粘土層の端部のものについて模式的に図示すると、図-2に示すような段階に分けられる。No.1~5のどのケースも、図-2に示すような端部からパイピングが発生している。

パイピングの発生とその進行形態は、次のようにまとめられる。すなわち、①ある水位差(ΔH)に達すると、最初の噴砂が図の位置に生ずる。これは一時的なもので、数秒~数分程度で止まり、つしまう。噴出した砂が盛上がり、局部的に水位がはずかなが

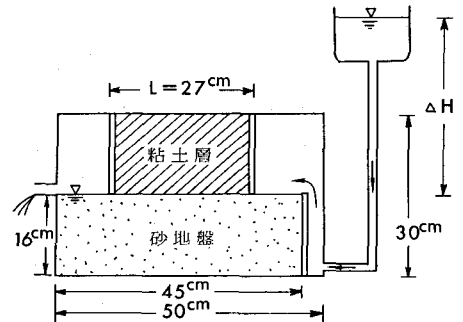
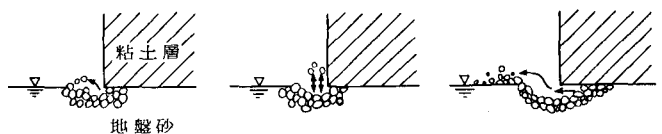


図-1 実験装置および模型

表-1 実験に用いた材料

No.	粒 径 (mm)	比重	乾燥密度 (g/cm ³)	間 け き 比	透 水 係 数 (cm/s)
1	0.074 ~ 0.25	2.794	1.325	1.108	1.672×10^{-2}
2	0.25 ~ 0.42	2.716	1.378	0.971	5.826×10^{-2}
3	0.42 ~ 0.84	2.661	1.461	0.821	9.276×10^{-2}
4	0.84 ~ 2.0	2.657	1.331	0.996	5.417×10^{-1}
5	0.074 ~ 4.76	2.700	1.648	0.638	2.789×10^{-2}



① 最初の噴砂(一時的) ② 連続的な噴砂 ③ パイピングの進行

図-2 パイピング現象

ら上昇し、動水勾配が低下するためと考えられる。②さらに水位差を大きくすると、連続的な噴砂状態となる。しかし、この状態は、10~20個程度の砂粒子が元の位置で上下運動を繰返しているだけで、噴砂による破壊は進行しない。この段階からさらに水位を上げて行くと、粘土層の下流端の他の箇所(噴砂半径1cm程度の半円型をしている)からも同様に砂粒子の上下動による連続的な噴砂が生じるが、破壊には至らない。③水位差をある段階まで大きくすると、上下動を繰返していた砂粒子が下流側へ押し流され、そこに生じた空洞部分へ粘土層と砂地盤の境界面の部分の砂粒子が流出し始める。これによって、粘土層と地盤の境界面に空洞(水みち)が生じ、図-3に示すように、地盤内の浸透流が流れを変え、その空洞に集中して流れるようになる。したがって、空洞での流速が増大して砂の流出がますます多くなり、水みちが上流側へと拡大する進行的な破壊の様相を呈する。

3.2. 限界動水勾配、限界流速について

最初に噴砂が起こった段階での地盤の平均動水勾配 $\bar{i}$ 、有限要素法による浸透流解析で求めた噴砂箇所の要素での局所的動水勾配 i および限界動水勾配 i_c を、各粒径範囲ごとに示すと表-2のようになる。噴砂が起こった位置では、解析値が限界動水勾配に近い値を示しており、水平方向の地盤内浸透流の場合でも、地表面で噴砂が起こるのは、その周辺で限界動水勾配の状態になっているためと考えられる。また、実験での平均動水勾配は、限界動水勾配の0.4~0.6になっており、この程度の動水勾配が水平方向浸透流によって噴砂の生じる目安になるといえる。

次に、粒径と限界流速の関係について、大野らが示した従来の理論値、実験値との比較の図に、今回の実験で③の段階の流量から逆算した平均流速 $\bar{v}$ および解析から求めた噴砂箇所の流速 v を併記したものを図-4に示す。平均流速は、同一粒径に対して従来の値より小さくなっているが、解析値は林らの実験値、久保田・田中の実験値と比較的良好一致している。したがって、従来の鉛直一次元モデルによる実験値が、水平方向浸透流によるパイピングに対してもある程度適用できるものと思われる。また、局所的に限界流速に達すると、前述のように砂が押し流されてできた空洞に浸透水が集中するため、空洞の部分でも限界流速の状態となってパイピングが進行するものと考えられる。

4. まとめ

今回の結果から、水平方向の浸透流によるパイピング現象が、3段階に分けられることを示した。また、最初の噴砂は局所的に限界動水勾配状態に達した時点で生ずるものと考えられる。破壊に至るような進行的なパイピングは、従来の実験から得られているような限界流速に達することによって引き起こされるものと考えられる。

参考文献

- 1) Justin, J.D.; The design of earth dams. Trans. ASCE Vol. 87, PP. 49-54, 1924
- 2) 大野隆雄, 山崎弘, トランジェット・フ・オアン; 砂のパイピング特性に関する実験的研究, 間組年報, PP. 27-34, 1981
- 3) 林孝徳, 山内豊路, 緒方健治, 東光久; しらすの侵食特性について, 第15回土質工学研究発表会, PP. 1153-1156, 1980. 6
- 4) 土質学会編; 土質工学ハンドブック, P. 93, 1965. 11

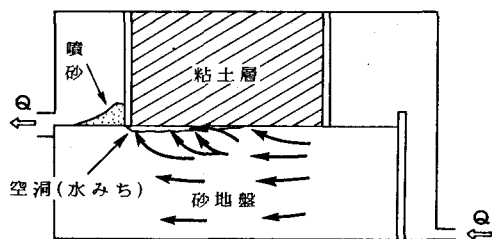


図-3 パイピング進行時の流れ

表-2 粒径と動水勾配 (最初の噴砂)

No.	粒径 (mm)	ΔH (cm)	$\bar{i}$ ($\Delta H/L$)	i (解析)	$i_c (\frac{Gs-1}{1+e})$
1	0.074 -0.25	14.0	0.519	0.992	0.908
2	0.25 -0.42	10.0	0.370	0.711	0.929
3	0.42 -0.84	—	—	—	0.973
4	0.84 -2.0	17.0	0.630	1.208	0.886
5	0.074 -4.76	15.0	0.555	1.067	1.107

注) No.3では初期の噴砂が確認できないうちに破壊した。

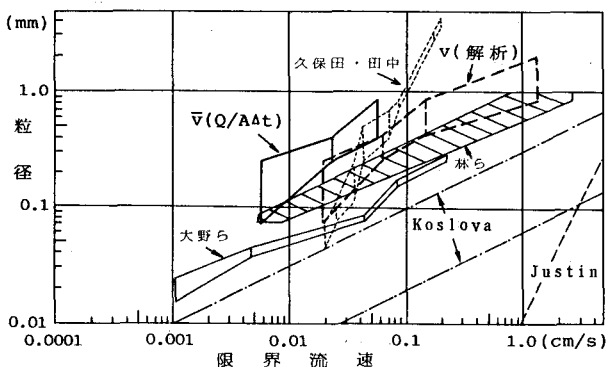


図-4 粒径と限界流速の関係