

III-99

水平方向浸透流による透水地盤のバイピング破壊について

設省土木研究所

正会員

三木博史

〃

〃

〇

佐藤正博

〃

〃

山田哲也

1. まえがき

パイピングに関する検討方法として、従来より、限界動水勾配や限界流速の考え方などに基づく多くの理論的あるいは実験的な研究が行われている。しかし、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、実験的考察を加えた実例は少ない。そこで筆者らは、小型模型実験および大型模型実験により透水地盤の水平方向浸透流によるパイピング破壊時の地盤の流速および動水勾配と砂地盤の物理特性との関係について検討したので報告する。

2. 実験方法

模型地盤は、透水地盤上に築造された堤防を想定して、図-1, 2に示すような難透水性の表土層がある模型地盤を作製した。透水地盤に用いた砂はふるい分けした川砂と粒径5.0mm以下の近隣の河川から採取した砂で、表-1に示す物性を持っている。なお、地盤は水中での自重落下によって造成した。

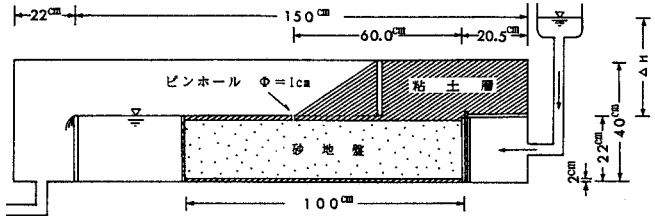


図-1 小型模型実験

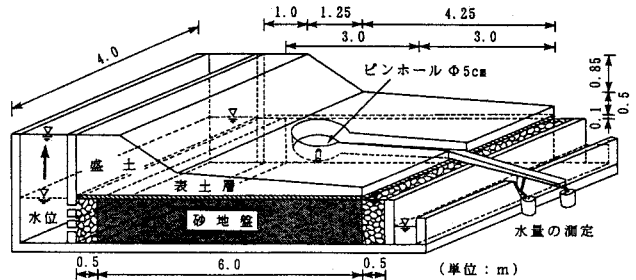


図-2 大型模型実験

表-1 透水地盤に用いた砂の物理特性および実験結果

実験は、下流の水位を砂地盤のレベルに保ち、上流側の水位を段階的に上げる方法を採用した。各々の水位段階では下流側からの流出水量をピンホール部と地盤部に分けて測定し、流量が一定あるいは透水地盤の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ることにした。

3. 実験結果および考察

小型および大型模型実験を行った35ケースの模型実験結果を表-1に示す。実験結果を基にパイピング破壊時の平均動水勾配と50%粒径の関係について調べた。その結果、

模型	ケース No.	地盤砂 (粒度状態)	50%粒径 D50 (mm)	均等係数 U _c	土粒子の密度 k (cm/sec)	透水係数 k (cm/sec)	地盤密度 (kg/cm ³)	平均動水勾配 i (ΔH/L)	地盤流速 V (cm/sec)
小型模型実験	1	単一粒径	0.107	1.44	2.830	8.854E-03	1.498	0.316	1.964E-03
	2		0.193	1.38	2.702	2.165E-02	1.564	0.266	5.506E-03
	3		0.280	1.08	2.682	5.076E-02	1.507	0.266	1.084E-02
	4		0.350	1.17	2.669	6.814E-02	1.546	0.224	1.508E-02
	5		0.500	1.25	2.654	1.274E-01	1.543	0.247	3.207E-02
	6	密度調整	0.710	1.47	2.642	1.918E-01	1.543	0.274	3.307E-02
	7		1.000	1.32	2.640	3.097E-01	1.535	0.365	7.498E-02
	8		0.350	1.17	2.672	7.188E-02	1.539	0.294	1.766E-02
	9		0.350	1.17	2.681	3.973E-02	1.625	0.303	1.033E-02
	10		0.470	5.00	2.726	4.464E-02	1.678	0.513	1.987E-02
	11	粒度調整	0.335	2.63	2.671	5.952E-02	1.518	0.294	1.232E-02
	12		0.310	1.83	2.678	6.250E-02	1.543	0.328	1.713E-02
	13		0.420	1.63	2.653	1.176E-01	1.564	0.328	2.957E-02
	14		0.380	1.24	2.647	1.034E-01	1.498	0.339	2.692E-02
	15		0.360	2.41	2.666	7.664E-02	1.535	0.351	2.192E-02
大型模型実験	16	自然砂A	0.649	2.28	2.695	8.214E-02	1.645	0.567	4.453E-02
	17		0.649	2.28	2.695	8.750E-02	1.649	0.491	3.005E-02
	18		0.280	3.28	2.68	1.964E-02	1.376	0.579	7.871E-03
	19	自然砂B	0.280	3.28	2.68	1.875E-02	1.438	0.466	7.850E-03
	20		0.280	3.28	2.68	1.750E-02	1.405	0.491	5.632E-03
	21		0.641	2.87	2.666	9.375E-02	1.625	0.562	4.076E-02
	22	自然砂D	0.690	3.31	2.694	1.125E-01	1.683	0.688	5.217E-02
	23	自然砂E	1.135	6.35	2.684	2.000E-01	1.717	0.722	9.051E-02
	24	自然砂F	0.065	57.69	2.701	—	1.393	—	—
	1	自然砂G	0.420	2.42	2.695	2.234E-02	1.519	0.437	7.629E-03
	2		0.500	2.82	2.685	3.000E-02	1.666	0.403	9.908E-03
	3		0.210	3.28	2.68	1.128E-02	1.352	—	—
	4	自然砂H	0.563	2.88	2.666	4.342E-02	1.545	0.400	1.554E-02
	5		0.563	2.88	2.666	3.888E-02	1.558	0.299	1.177E-02
	6		0.393	3.86	2.694	2.091E-02	1.652	0.450	8.789E-03
	7	自然砂I	0.393	3.86	2.694	2.145E-02	1.635	0.501	8.579E-03
	8		0.324	2.46	2.684	1.769E-02	1.459	0.383	6.702E-03
	9		0.324	2.46	2.684	1.732E-02	1.503	0.350	5.739E-03
	10	自然砂J	0.243	14.3	2.682	5.309E-03	1.517	—	—
	11		0.243	14.3	2.682	3.806E-03	1.533	—	—

図-3に示すようにデータにばらつきがあり、両者にははっきりとした相関性は見られなかった。そこで、砂の粒度状態を表すものの一つである均等係数に着目して平均動水勾配との関係を調べることにした。その結果、図-4に示すように均等係数と平均動水勾配に良い相関性があることが分った。このことから50%粒径には、均等係数など他の影響要因が含まれているため平均動水勾配に違いが表れるのではないかと考えられる。

図-5にパイピング破壊時の地盤流速と地盤の透水係数の関係について示す。この図から、砂地盤の物理特性が多少異なっている、地盤流速と透水係数には一義的な関係があることが分かった。なお、流速と透水係数の関係はダルシーの法則より動水勾配を求めることができる。

$$V = Q / A = k i \quad (1)$$

$$i = V / k = \Delta H / L \quad (2)$$

ここで、 V は見かけの地盤流速、 Q は単位時間当りの地盤浸透流量、 A は地盤断面積、 k は地盤の透水係数、 i は動水勾配（平均動水勾配）、 ΔH は全水頭の差、 L は浸透経路長

そこで、各データをダルシーの法則にあてはめ動水勾配を求めると、粒径の大きさにあまり影響を受けず、地盤材料に単一粒径砂を用いた場合が最もパイピングを起し易く、動水勾配が0.23付近でパイピング破壊に至っている。また、透水係数がほぼ同じ砂地盤であっても自然粒径砂を用いた場合には2倍以上動水勾配が大きくなるケースがある。このケースの地盤砂の特徴を比較すると粒度分布に違いがあることが分った。そこで、図-3に示した均等係数が影響を及ぼしているのではないかと考え図-5の各ケース結果に均等係数を記入したところ、均等係数が1に近いほど動水勾配が小さく均等係数が大きくなるほど動水勾配が大きくなっており、パイピング破壊は砂地盤の透水係数と均等係数からある程度の予測が可能ではないかと考えられる。なお、砂地盤の透水係数が 6.0×10^{-3} cm/sec

以下の地盤材料を用いたケースでは平均動水勾配を0.7程度まで上げたが、ピンホールからの砂の流出はあるものの最終的な地盤破壊には至らなかった。本実験のように非常にゆるい砂地盤状態では、砂地盤の透水係数がある程度低下するとパイピング破壊を起こしにくくなる傾向が見られた。

4. まとめ

小型および大型模型実験により、透水地盤の水平方向浸透流によるパイピング破壊現象について検討した結果、パイピング破壊時の平均動水勾配は均等係数と相関性があることが分った。さらに、透水係数と均等係数を基に、パイピング破壊の予測がある程度可能になるのではないかと分った。今後は、大型模型実験を幅広い物性の地盤材料について、より現地に近い状態でパイピング破壊現象を検討することで、パイピング破壊の予測手法について検討して行きたい。

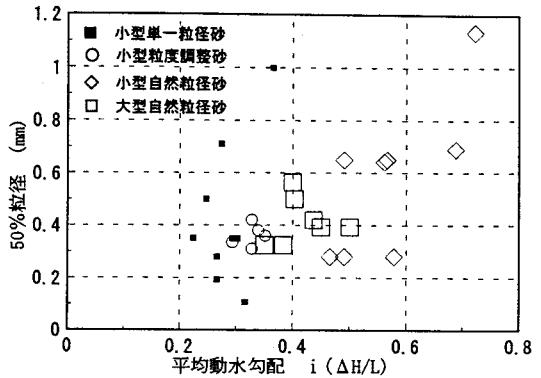


図-3 パイピング時の平均動水勾配と50%粒径

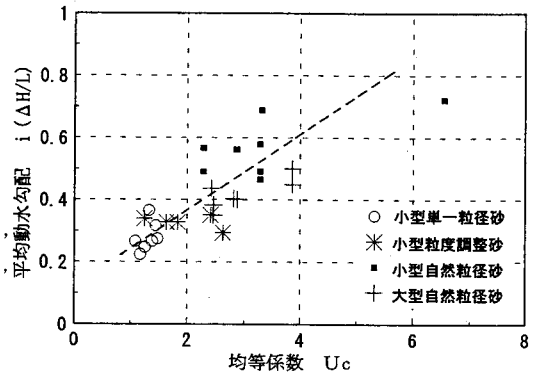


図-4 均等係数とパイピング破壊時の平均動水勾配

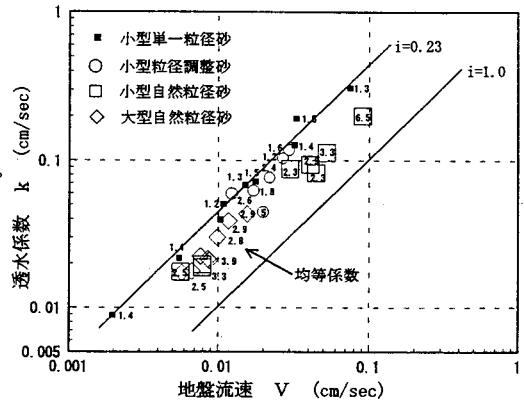


図-5 パイピング破壊時の地盤流速と透水係数