

九州大学工学部 〇学生員 山下 亮
正員 内田 一郎
村田 重之

1. まえがき

土構造物の安全をそこう因子としては諸種の要因が考えられるが、特に土中の水が流動状態にあることよって起こる浸透水圧は重要な因子と考えられる。この浸透水圧により、パイピングあるいはボイリングなどの浸透破壊現象が生じ、土構造物などの破壊へとつながることがある。このような浸透破壊現象は、初期の段階においては局部的な土粒子の移動に始まると考えられる。この発生条件については、従来から理論並びに実験的研究が行なわれているが、その代表的なものとしてTerzaghiによる限界動水勾配の式がある。

$$\text{限界動水勾配: } i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad \text{ここに、} \quad G_s: \text{土粒子比重}$$

e : 間ゲキ比

しかし、実際には G_s , e 以外の他の因子にも支配されると考えられ、定式化することは容易ではなく、また破壊過程については式からは必ずしも明らかではない。そこで本研究は粗粒土(砂・ガラスビーズ)を使用し、一次元浸透流を受ける土の限界動水勾配と間ゲキ比の関係、さらに試料長と限界動水勾配の関係、また土圧の測定を行なってボイリングによる破壊過程を追求したものである。

2. 試料及び試験方法

試験装置は図-1に示すように内径100mmの透明アクリル円筒管と昇降水槽及び流量、水頭差の計測部からなる。水頭差は、昇降水槽内の水位をコンプレッサーで随時水を供給することにより一定水位に保ちながら、円筒管

上部の水位と昇降水槽の水位との差で与え、試料に過す水は昇降水槽と円筒管の下部をパイプで連結することにより供給した。

試料は円筒管内に多孔板と金網を設け、その上に充填した。用いた試料は豊浦砂、九大砂、しらす、ガラスビーズ(大小2種)の4種である(表-1参照)。試料を完全に飽和させるために

円筒管内を水で満たした後、水中に自然落下させながら充填し、円筒管側面にハンマーで衝撃を与えることにより試料を適度の間ゲキ比に調整した(しらすを除く)。試料長は15cmを基準とし、5cm毎に打撃を与えた。また

試料下面より2.5cm及び12.5cmの地点に土圧計をセツトし、各段階毎に圧力を計測した。

実験は前述の試料に鉛直上向きに浸透流を与えて徐々に水頭差をつけ、ボイリングが発生するまで各段階毎に水頭差、圧力及び流量を記録した。ただし、試料が噴流を呈した段階を完全なボイリングの発生とした。

図-1 試験装置の略図

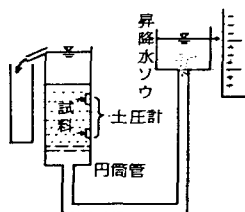


表-1 試料の諸性質

	比重(G_s)	均等係数	粒徑範囲(mm)
豊浦砂	2.691	1.35	—
九大砂	2.647	3.14	—
しらす	2.721	11.9	—
ガラスビーズ(大)	2.494	—	0.84~0.59
ガラスビーズ(小)	2.503	—	0.25~0.15

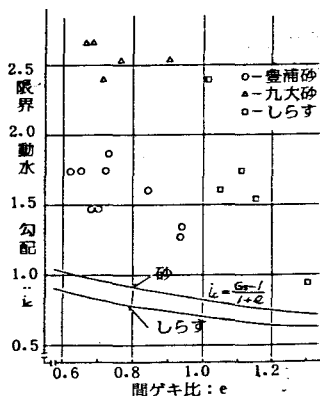


図-2 限界動水勾配と間ゲキ比の関係

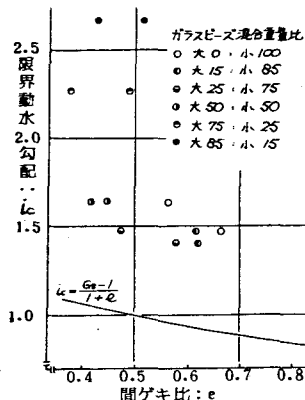


図-3 ガラスビーズにおける限界動水勾配と間ゲキ比の関係

3. 試験結果と考察

(1). 間ゲキ比(e)と限界動水勾配(i_c)の関係

各々の e による i_c は、4種の試料すべてにおいてTerzaghiの理論値より大きな値を示した(図-2, 図-3参照)。豊満砂、九大砂においては、 i_c はTerzaghiの理論式を平行移動させた形、つまりTerzaghiの理論式にある係数 α (豊満砂で $\alpha \approx 1.5$, 九大砂で $\alpha \approx 2.5$)を乗じた値付近に分布した。しらすにおいては、 e の変化により大きな i_c の変化があった。またガラスビーズについては、大粒子の混合重量比が50%以下あるいは小粒子のみの試料の場合は豊満砂とほぼ同じ傾向がみられるが、大粒子の混合重量比が50%を越えると、ボーリングは小粒子が大粒子の間ゲキをぬって上昇するという形で発生し、大粒子のみの試料になるともはや動水勾配が3以下の範囲内ではボーリングは発生せず、浸透流は大粒子の間ゲキをぬって試料内を通過する。

(2). 試料長(L)と限界動水勾配(i_c)の関係

(1). の試験結果で述べたとおり、 i_c はTerzaghiの理論値より大きな値となった要因を探るべく、ここでは L と i_c の関係についてとりあげ、その試験結果を図-4に示す。図において e_{max} は自然沈降のみによる最緩状態、 Q_{min} は各5cm層毎に衝撃を加えた最密状態を示す。図では L の増加によって i_c が一次元的に増加する傾向を示しており、 L が i_c に重要な影響をもたらす一因子であると考えられる。またこの図でTerzaghiの理論式と一致する L は最緩最密状態で各々約8cm, 7cmである。さらに透水係数も図-5に示すように L の影響を受けると考えられる。つまり、粗粒土における i_c は e や G_s 以外の因子、特に L などの因子に大きな影響を受け、Terzaghiの理論値より大小両側の値をとり得る。従って i_c を評価する際は、 L などの他の因子の影響を加味する必要があると思われる。

(3). 動水勾配による土圧の変化について

試料内に試料下面から2.5cmと12.5cmの地点に土圧計をセットし、圧力を各々の動水勾配について計測した。計測された圧力には次式が成り立つ。

$$(\text{計測された圧力}) = (\text{土圧}) + (\text{静水圧}) + (\text{動水圧})$$

よって、計測された圧力から静水圧、動水圧を減ずることにより、土圧が得られることになる。静水圧は土圧計の水深(h)と、水の単位体積重量(γ_w)との積($\gamma_w h$)をとり、動水圧は与えられた水頭差(ΔH)によって起こるとみなし、 $\gamma_w \Delta H$ が試料底面から円筒管上部越流面の間に三角形状に分布すると考えた。動水勾配と土圧の関係を図-6に示す。これによると土圧は動水勾配の増加に従って徐々に減少し、 i_c 付近で零に達する。これは図-7において、 K_0 が零を示すという事であり、つまり鉛直方向の有効応力が浸透力によって相殺されて零になり、土粒子が浮遊した状態にあることを意味していると考えられる。このように土圧の計測によって、ボーリングの発生過程が一応定量的に明らかにされたといえる。

4. おわりに

今後とも、 i_c と他の因子の関係及び i_c 付近における土圧についてさらに考察を加えていきたい。

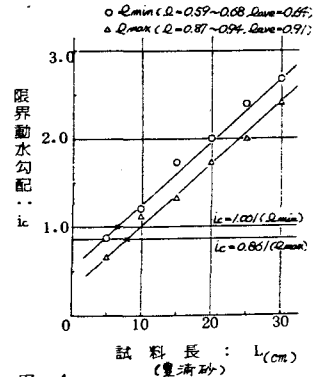


図-4 限界動水勾配と試料長の関係

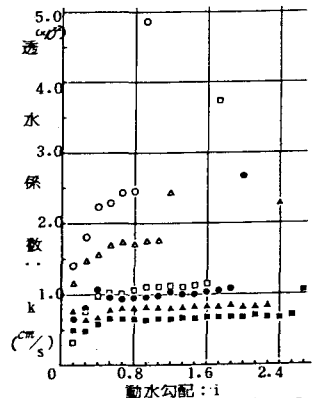


図-5 透水係数と動水勾配の関係

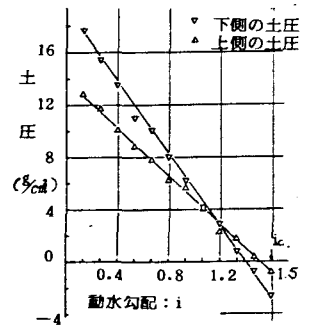


図-6 土圧と動水勾配の関係
(豊満砂, $e=0.85$
自然落下による充てん)

図-7 土粒子に働く力

