

III-509

ボイリング実験供試体の間隙分布

愛知工業大学 正会員 木村勝行

1. まえがき

鉛直一次元浸透流により砂質土地盤が破壊する原因の一つとしてボイリング現象の発生があげられる。この現象の発生に対する検討には次の Terzaghi による限界動水勾配 i_c の式が一般に用いられている。

$$i_c = \frac{Gs - 1}{1 + e} \quad [Gs: \text{土粒子の比重}, e: \text{間隙比}] \quad (1)$$

(1)式の検証は、通常、砂柱の供試体を用いた鉛直一次元浸透実験によって行われ、その際、 e は一定、水頭差を得るための測点は供試体上面と下面(あるいは両面近傍)に2点設けるのがふつうであろう。

本研究では、鉛直一次元浸透下にある供試体内の水頭の分布を測定し、これより e および鉛直有効応力の分布を算出し、ボイリング現象発生に対する Terzaghi の限界動水勾配式の適用性について検討を加えた。

2. 実験

2.1 実験装置：実験装置の概略は図-1のように示され、給水タンク、試料を詰める透明アクリル製パイプ(内径 20cm)およびピエゾメーター(2.5cm 間隔)から成る。

2.2 試料および実験方法：試料には標準砂と3種類の配合砂を用いた。これらの粒径加積曲線を図-2に示した。供試体はアクリルパイプ下部にフィルターを置き、その上に試料を厚さ 2~3cm に分けて詰め、長さ 20cm に仕上げた。供試体セット後は水頭差を約 2cm とし、この状態で約半日置いた。その後水頭差を段階的に増していった。増加の割合は、(1)式による限界水頭差付近まで 4~5cm、それ以後を0.3~0.5cm 刻みとした。各段階で供試体土粒子の移動の有無を観察し、浸透流量が一定になったことを確認した後、ピエゾ水頭を測定した。各段階の時間は概ね1時間であった。

3. 結果及び考察

各試料の供試体ともボイリング現象の発生直前までは土粒子の移動は認められず、供試体上下面の水頭差から計算した動水勾配と浸透流量とは比例関係にあった。このことから、以下においては供試体平均の透水係数および間隙構造(土粒子の骨格構造)をボイリング現象発生直前までは不変とした。

3.1 間隙比と限界動水勾配の関係：図-3に間隙比 e ~限界動水勾配 i_c の関係を示す。なお、ここでの e は供試体全体の平均値、 i_c はボイリング発生直前における供試体両端面の水頭差より求めた動水勾配のことである。この図から、これまでも言われているように、実験の i_c は e の小さい方が理論値からより大きめにはずれる傾向があるといえる¹⁾。

3.2 水頭および透水係数の分布：図-4は標準砂供試体内の水頭 H の分布例である。図の水頭分布を、水頭は上下両端面間で直線分布をすると仮定した場合の水頭値との比で示したのが図-5であるが、図からこの仮定は成立していないといえる。図-6は各測点間の水頭差から算出したボイリング現象発生直前の透水係数 k の分布である。この図から、供試体は上面近傍の透水係数がそれ以降より大きくなっていることが見とれる。同様の整理を配合砂の実験に対して行くと、上述の標準砂に対してと同様の結果を得た。

3.3 間隙比および鉛直有効応力の分布：供試体平均の e と k の間に次式が成り立つとする²⁾。

$$k = C \frac{e^3}{1 + e} \quad [C: \text{係数}] \quad (2)$$

図-4に示した実験例の場合の C を(2)式により求め、この C の値と図-6の k の分布から(2)式により e の分布を計算すると図-7のようになる。さらに、図-7の e の分布と図-4の H の分布を用い、鉛直有効応力 σ_z' を次式で計算すると、 σ_z' の分布は図-8のように示される。

$$\frac{\sigma_z'}{\gamma_w} = \int_a^z \frac{Gs - 1}{1 + e(z)} dz - H(z) \quad [\gamma_w: \text{水の単位体積重量}] \quad (3)$$

図-8に見られるように、ボイリング現象発生直前における σ_z' の分布は供試体下部で負の値となっている。同様の結果が配合砂供試体による実験からも得られた。このように σ_z' に負値が現れてもボイリングが発生していない原因として、アクリルパイプ壁面と供試体との摩擦抵抗などが考えられよう。

4. まとめ

本研究では、鉛直一次元浸透下にある砂柱供試体内の水頭分布の測定から、透水係数の分布を求め、間隙比と鉛直有効応力の分布を計算した。その結果「水頭は直線分布をせず、このため鉛直有効応力も直線分布をしない」ことが判明した。これは「供試体の間隙比は一定ではなく、上面付近がそれより深より大きくなる」という供試体土粒子の骨格構造上の問題に起因する。このことも含め、摩擦の影響などを明確にし、ボイリング現象発生に対する Terzaghi の限界動水勾配式の適用性を検討することが今後の課題であろう。

【参考文献】 1)宇野・杉井・山田：限界動水勾配の検証，第23回土質工学研究発表会，pp.1857-1858，1988。
2)Taylor, T.W. : Fundamentals of Soil Mechanics, Modern Asia Edition, p.115, 1948.

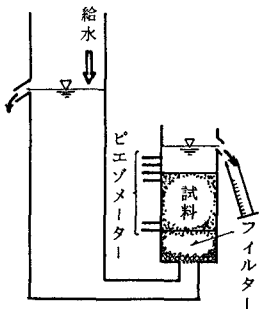


図-1 実験装置の概略

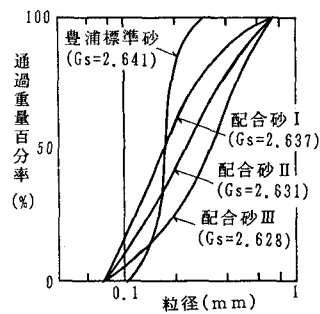


図-2 試料の粒径加積曲線

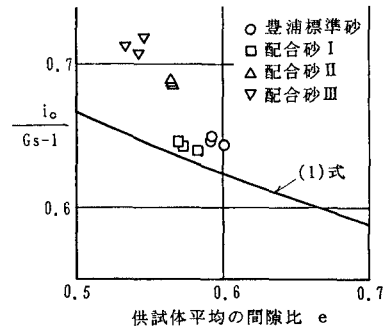


図-3 間隙比と限界動水勾配

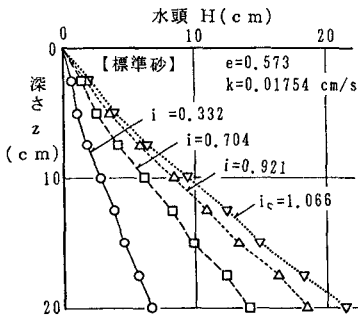


図-4 供試体内の水頭分布

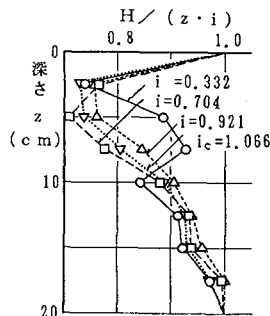


図-5 直線分布水頭値との比較

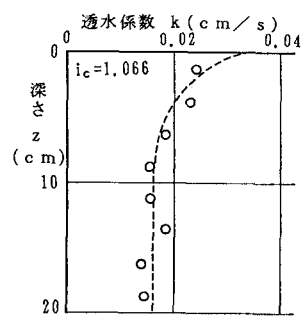


図-6 限界時の透水係数分布

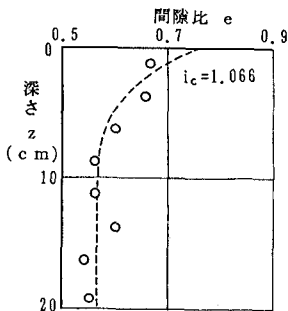


図-7 限界時の間隙比の分布

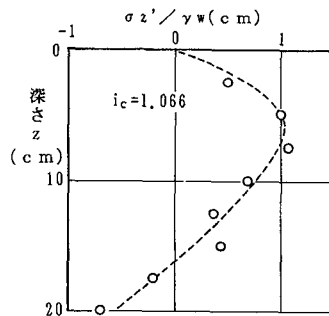


図-8 限界時の鉛直有効応力分布