

# パイピング現象の基礎的実験

岡山大学工学部 正会員 ○西垣 誠  
 岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎  
 大成建設 正会員 早瀬宏文  
 岡山大学大学院 学生員 上山一彦

## 1. はじめに

地下水位の高い地盤を掘削する際に、しばしば掘削面が浸透水によって破壊されることがある。このような破壊をパイピング現象と称しているが、従来より、一次元的な安定問題を扱う研究と、止水矢板の安定に関する研究に分類される。本研究ではパイピング現象のメカニズムを探究する目的より、砂質土とマサ土を用いた鉛直一次元浸透での円筒試料の安定性について検討する。

## 2. パイピングの実験と開放半径との関係

掘削によりパイピング現象が生じるかどうかの判定基準として一般にTerzaghiの限界動水勾配の理論式が良く用いられている。しかし、Terzaghiの式には、地盤が粘性土である場合の粘着力の影響や不均質による透水係数の影響などが考慮されていない。粘性土についてのパイピングの実験としては、Zaslavskyらの研究<sup>1)</sup>や西田らの研究<sup>2)</sup>があるが、まだその試験法すら確立されていない状態である。西田らは、不かく乱マサ土試料のパイピング試験として、試料側面とモールドを接着樹脂で拘束する方法を提案しているが、本研究ではFig.1に示す実験装置にて浸出側に一部開放の多孔板を設置して、開放部の半径と限界動水勾配の関係を検討した。Fig.2に実験で用いた川砂、マサ土の粒径加積曲線を示す。

Fig.3に試料長12cmにおいて、上部の開放半径を変化させたことによる限界動水勾配の変化を示す。この結果より、砂質土については、開放半径にあまり関係なく、ほぼ一定の値を示すが、マサ土については、開放半径が大きいほど限界動水勾配の値は小さくなることわかる。なお、ここで限界動水勾配の定義としては、流出流量が急変化する時の動水勾配とした。

図中の破線はTerzaghiの理論式より求めた限界動水勾配の値である。この図よりマサ土のように粘性を持つ試料では、Terzaghiの理論式より5倍以上の安全性を持っていることがわかる。

これは試料の粘性の影響であり、Fig.4のように試料の周辺の摩擦に粘着力を考慮すると次式の限界動水勾配の式を得る。

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} + \frac{2c}{\gamma_w \cdot r} \quad (1)$$

Fig.4 パイピング現象の周辺摩擦

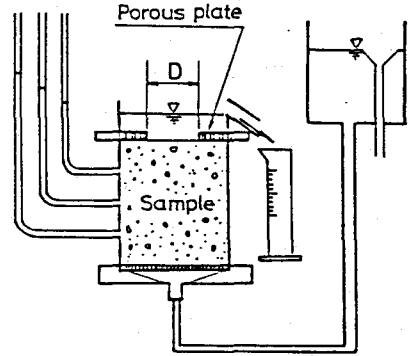


Fig.1 パイピングの実験装置

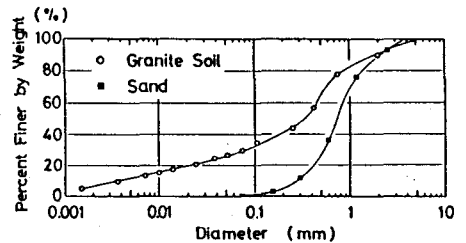


Fig.2 試料の粒径加積曲線

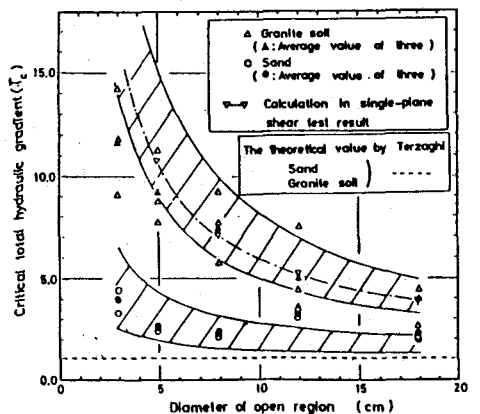


Fig.3 開放半径と限界動水勾配の関係

ここで、 $c$ は粘着力であり、 $r$ はFig.4の開放部の半径である。

$c$ の値を直接セン断試験より求められる値とすると、川砂では $c = 0 \text{ gf/cm}^2$ 、マサ土( $\rho_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$ )では $c = 10 \text{ gf/cm}^2$ であり、このマサ土の粘着力の値を(1)式に代入すると、Fig.3中の一点鎖線で示ようになる。この結果より(1)式は妥当な式であると考えられる。しかし、(1)式には試料長が考慮されていない。試料長の変化による限界動水勾配の変化をFig.5に示すが、試料長が長いほどパイピングが生じにくいことがわかる。

### 3. パイピング発生時の間隙水圧

軸対称モデルより一応の結果が判明したが、試料内部での変化を知る目的で、Fig.6に示す半断面モデル円筒にて、パイピングの発生機構を探究した。Fig.7に底部の水頭を上昇させたことによる砂試料内の間隙水圧分布を示すが、動水勾配が2以上になると上部の約4cmの区間での間隙水圧は変化していないことがわかる。すなわち、この区間で局所的な変形が生じ、透水係数が良くなったことがわかる。また、この現象はFig.8に示す粒子の移動状況の計測からもわかる。すなわち、パイピング発生初期には、上部でゆるみ領域ができる。その後動水勾配が大きくなると全体的に破壊することになる。Fig.7でのゆるみ領域の発生は小さい動水勾配で生じていることを参考にとると、Fig.5の試料長が短い時に低い動水勾配でパイピングが生じていることが説明できる。また、上部のゆるみ領域によって、下部の動水勾配が大きくなり、パイピングが進行すること

になる。Fig.9に試料内の中心と側面での間隙水圧分布を示すが試料中心ではゆるみ領域が深く発生しているために間隙水圧の値は小さくなり動水勾配が大きくなっていることがわかる。このことより、中心部で深くパイピングが進行して全体破壊に至ることになる。本研究では基礎的な研究であったが、粘性土に関してもパイピングが発生するかどうかを規定する試験法が確立されたと考えられる。

#### 〈参考文献〉

- 1) D.Zaslavsky et al.: Theoretical formulation of piping mechanism in cohesive soils, Hifa, 1964
- 2) 西田, 青山: 不かく乱まき土のパイピング現象, 土質工学会論文報告集, Vol.21, No.2, 1981, pp.141-150.

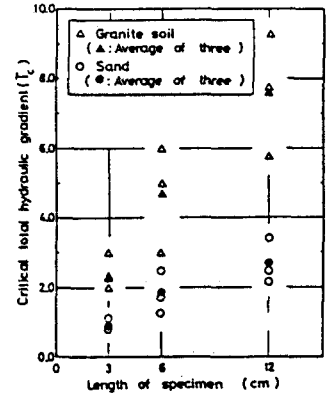


Fig.5 試料長と限界動水勾配の関係

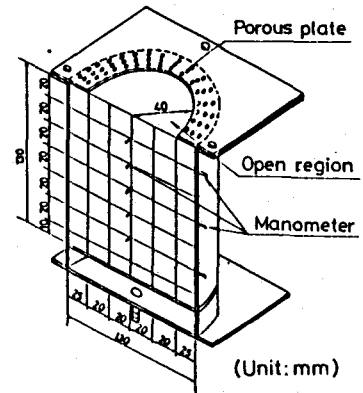


Fig.6 半断面円筒モデル装置

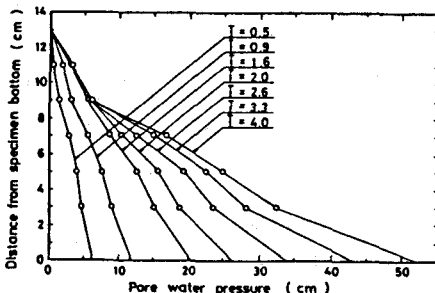


Fig.7 砂試料内の間隙水圧分布

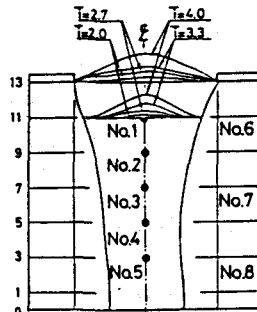


Fig.8 砂試料の破壊形態

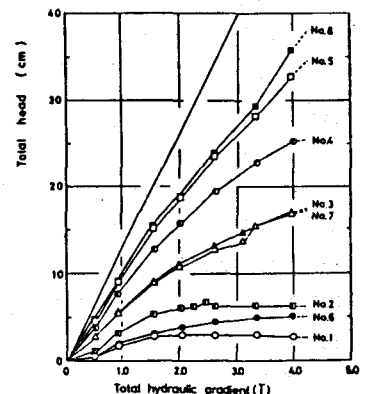


Fig.9 動水勾配と間隙水圧の関係