

小型二次元実験地盤における相対密度の異方透水性への影響
Effects of relative density on anisotropic permeability of H2D soil

○ 阪本 達彦, 田中 勉, 上野夏貴, 井上 一哉

Tatsuhiko Sakamoto, Tsutomu Tanaka, Natsuki Ueno and Kazuya Inoue

1. 序論

一般に、地盤に異方透水性があると浸透破壊現象に影響を及ぼすことが知られている¹⁾。本研究では種々の条件で小型二次元浸透破壊実験を行い、地盤の異方透水性の値を求めるために FEM 浸透流逆解析を行った。ここでは、相対密度 D_r が異方透水性に与える影響と感度解析による少数観測点での逆解析について述べる。

2. 小型二次元浸透破壊実験

本研究では、均一な細砂(琵琶湖砂 3)を用いて水中落下法にて実験地盤を作製した。地盤に水頭差 H を段階的にかけていき、浸透流が定常状態になったことを確認した後に、間隙水圧、地盤形状、流量、水温を測定した。実験装置の概略図を Fig.1 に示す。

3. FEM 浸透流逆解析による異方透水性の値

実験地盤の異方透水性の値を求めるために、FEM 浸透流逆解析を行った。 $x-z$ 座標における、浸透流の支配方程式を(1)式に、最小二乗条件を(2)式に示す。

$$k_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + 2k_{xz} \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial z} + k_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^n w_i (h_i - \hat{h}_i)^2 + w_{n+1} (Q - \hat{Q})^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

ここに、 $i = 1 \sim n$: 節点番号, h_i : 観測水頭値, Q : 流量, \hat{h}_i, \hat{Q} は解析による推定値, w_i は重み, S は重み付き残差二乗和を表す。FEM 浸透流逆解析により各透水係数成分 k_{xx} , k_{zz} , k_{xz} , 及び、異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} を算出する。ここでは、33 種類の実験 E0401~E0433 について考察を行う。

4. 地盤の相対密度と異方透水性

地盤の相対密度 D_r と異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} の関係を Fig.2 に示す。Fig.2 からわかるように、相対密度 D_r が大きくなるほど異方透水性の値が小さくなる。これは実験水槽に試料を約 10 層に分けて水中落下法により入れ、約 10cm の高さからアルミニウム棒で突固めていることに関係している。 D_r が大きいほど落下回数が増加し、砂粒子の配向が乱され、よりランダムになったためだと考えられる²⁾。

5. 透水試験による異方透水性の値

実験後、実験地盤から 1L モールドを用いて水平及び鉛直方向に試料を採取し定水位透水試験を行った。各実験における透水試験と逆解析による異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} を Fig.3 に示す。琵琶湖砂 3 ($D_r \approx 50\%$) について、異方透水性の値は平均で逆解析では 1.196、透水試験では 1.111 となった。

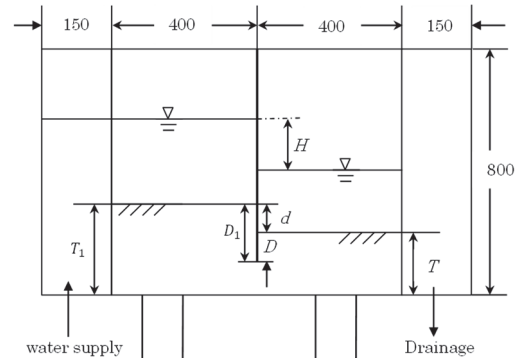


Fig.1 実験装置の概略図 (Unit mm)

Fig.1 Ttest equipment of H2D soil

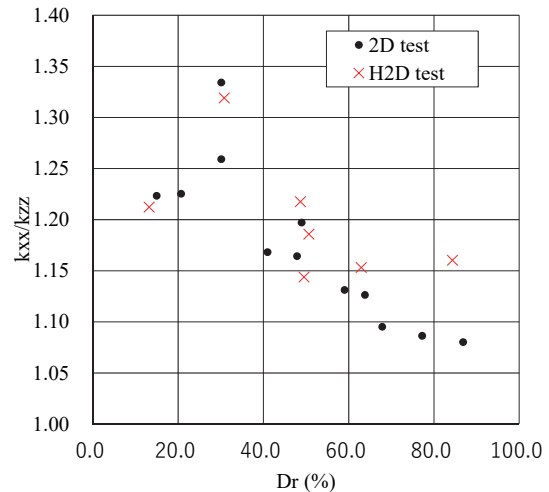


Fig.2 相対密度 D_r と異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} の関係
Fig.2 Relation between relative density and anisotropic permeability

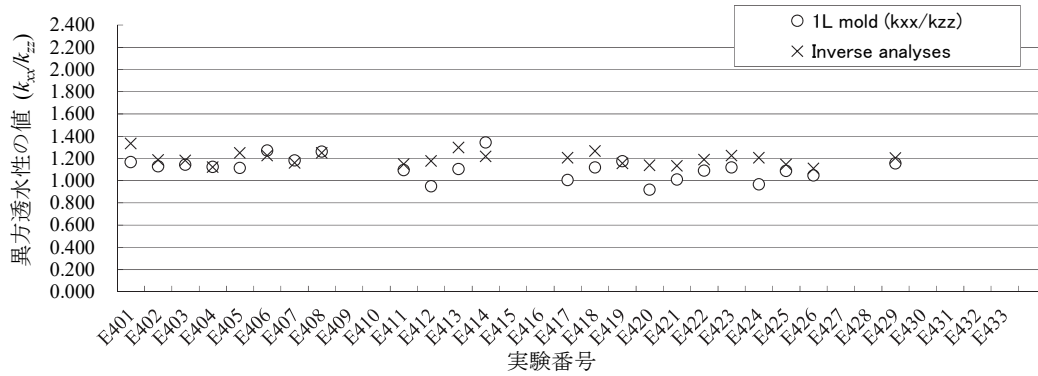


Fig.3 逆解析と透水試験による異方透水性の値(琵琶湖砂 3, $D_r \approx 50\%$ のみ)

Fig.3 Values of anisotropic permeability by inverse analysis and permeability test (Biwa lake sand 3, $D_r \approx 50\%$)

6. 感度解析

感度解析とは k_{xx} , k_{zz} , k_{xz} の変化に対する水頭値の変化量を算出するものである。変化量の絶対値が大きいものほど感度が高いと言える。掘削なし地盤の実験について、 k_{xx} に関する高感度点の分布を、得られた異方透水性の値に応じて Figs.4~6 に示す。Figs.4~6 から、高感度点は異方透水性の値が大きくなるほど地盤底部水平方向に広がるのがわかる。

7. 少数の高感度点を用いた逆解析

本研究において、逆解析は観測した約 150 の節点水頭値をすべて使用して行っている。しかし、逆解析の観測点が多数あることは非効率的であるため、少数の観測値にて逆解析を行うことが考えられる。全節点による逆解析に対して、少数の高感度点を用いた逆解析による異方透水性の値について考察した。結果の一例を Fig.7 に示す。逆解析の使用節点は、21 点から 3 点ずつ減らし、6 点までとした。このケースでは異方透水性の値は全点での逆解析結果に対して +6% 以内となった。このように、小型二次元実験地盤において、少数の高感度点による逆解析は、全節点による逆解析に対して、高い精度で異方透水性の値を算出できるといえる。

8. 結論

実験地盤の異方透水性の値を算定すべく、また高感度点の分布挙動を把握するため FEM 浸透流逆解析を行った。そして、次の結論を得た。(1) 実験地盤では相対密度が大きくなるほど異方透水性の値が小さくなる。(2) 高感度節点は異方透水性の値が大きくなるほど地盤底部水平方向に広がるように分布する。(3) 高感度節点を用いた逆解析は、全節点水頭値を用いた逆解析に対して、高い精度で異方透水性の値を求めることが可能である。

参考文献

- 1) 田中 勉: 地盤の異方透水性とその発現メカニズム, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 2016.
- 2) 中川徹・小柳義夫: 最小二乗法による実験データ解析, 東京大学出版会, 1982.

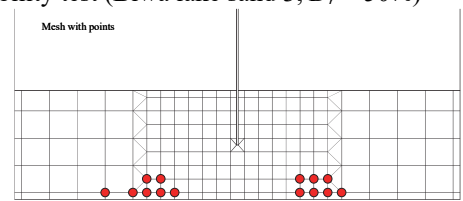


Fig.4 k_{xx} 高感度 14 点($k_{xx}/k_{zz}=1.153$, E0427)

Fig.4 14 High sensitivity points of k_{xx}

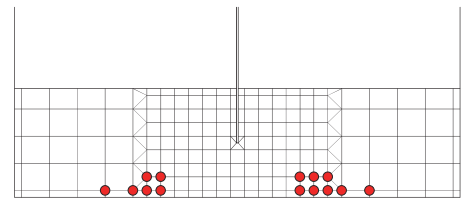


Fig.5 k_{xx} 高感度 14 点($k_{xx}/k_{zz}=1.218$, E0414)

Fig.5 14 High sensitivity points of k_{xx}

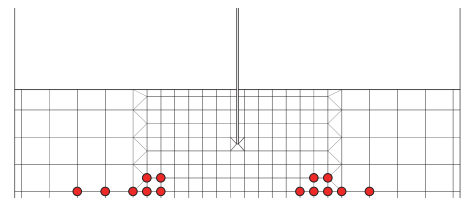


Fig.6 k_{xx} 高感度 14 点($k_{xx}/k_{zz}=1.319$, E0428)

Fig.6 14 High sensitivity points of k_{xx}

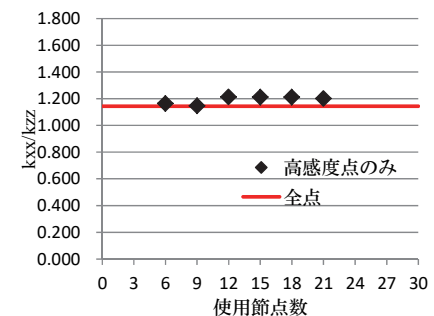


Fig.7 高感度点による逆解析の結果(E0425)

Fig.7 Results of inverse analysis using high sensitivity points