

小型二次元実験地盤における透水係数成分の逆解析とその異方性

Inverse Analyses and Anisotropic Permeability of H2D Soil

○齋藤 寛, 田中 勉, 阪本達彦, 井上一哉
 Saito, K., Tanaka, T., Sakamoto, T. and Inoue, K.

1. 序論

地盤に異方性が存在すると、変形、強度、透水性等の力学的性状に影響を及ぼすことが知られている¹⁾²⁾。ここでは、条件を変えた 25 ケースの小型二次元浸透破壊実験 E0401~E0425 を行った。そして、実験地盤の異方透水性を明らかにすべく、FEM 浸透流逆解析プログラムを用いて逆解析を行った。また、同時に鉛直及び水平 2 方向の採取試料について定水位透水試験を行い、異方透水性の値を求めた。さらに、より少ない高感度観測点データから均質地盤全体の透水係数が算定できるかどうかについて考察した。

2. 小型二次元浸透破壊実験

実験では、均一な細砂(琵琶湖砂 3)を用いた。琵琶湖砂 3 の物理的性質を Table 1 に示す。実験装置の概略図を Fig.1 に示す。実験では上下流に水頭差 H をかけ、浸透流が安定した状態を確認してから、間隙水圧、流量、水温、地盤形状等を測定する。

Table 1 実験試料の物理的性質

物理的性質	琵琶湖砂 3
比重 G_s	2.668
均等係数 U_c	1.404
平均粒径 D_{50} (mm)	0.283
最大間隙比 e_{max}	1.115
最小間隙比 e_{min}	0.761

3. FEM 浸透流逆解析と採取試料の透水試験

(1) 逆解析法 客観的かつ合理的に実験地盤の異方透水性の値を得ることを目的として FEM 浸透流逆解析プログラムを用いて逆解析を行った。 x, z 座標における支配方程式(1)及び最小二乗条件(2)式をもとに透水係数成分 k_{xx}, k_{zz}, k_{xz} を同定する³⁾。

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

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

ここに、 h は全水頭、 h_i, Q は観測水頭値及び流量、 \bar{h}_i, \bar{Q} は推定値、 w_i は重み、 $i = 1, 2, \dots, n$ は考慮節点番号、 $n+1$ は流量の番号を表す。ここでは、地盤の浸透流が比較的安定した水頭差段階(理論限界水頭差の 50~60%)のデータを用いた。

実験において、水頭差を段階的に上げていくと、地盤はある点で表面形状が変化する。さらに水頭差を上げていくと、変形(上流側沈下、下流側隆起)が進行し、最終的に破壊する。

(2) 採取試料の定水位透水試験 実験地盤における異方透水性の値を調べるため、実験地盤から試料を採取し、定水位透水試験を行った。逆解析結果より $k_{xz} \approx 0$ であると考え、透水試験は水平と鉛直の 2 方向の試料について行った。Fig.2 に逆解析と採取試料の透水試験による異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} を示す。Fig.1 より k_{xx}/k_{zz} は透水試験の結果の方が少し小さい値を示すが、ほぼ同一で 1.20 といえる。

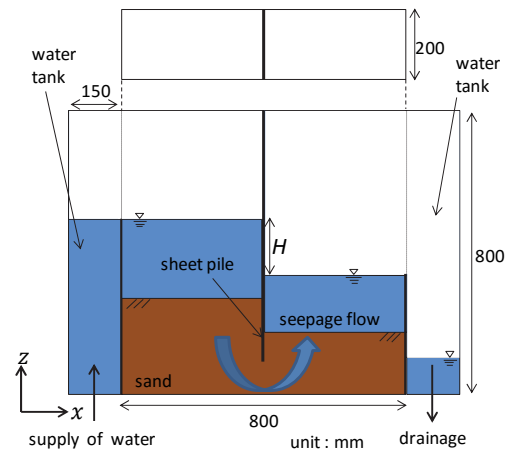
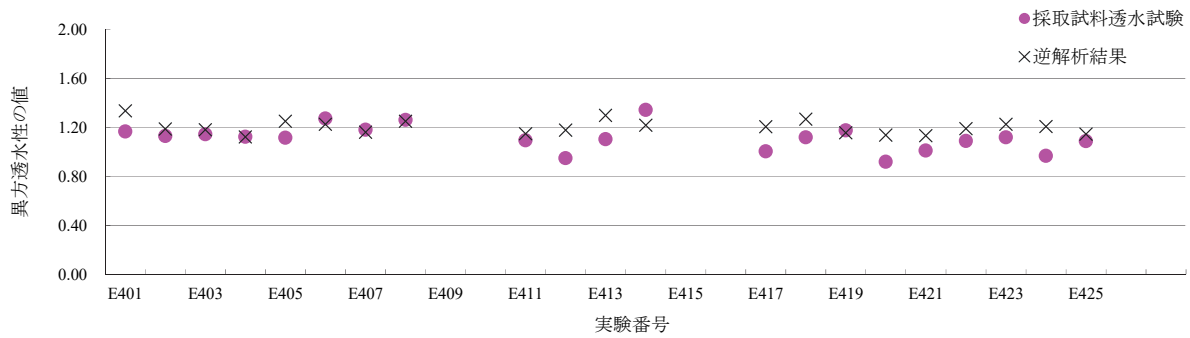


Fig.1 小型二次元浸透破壊実験装置の概略図



4. 感度解析

Fig.2 逆解析と透水試験による異方透水性の値の比較

逆解析結果をもとに、透水係数の変化に対する各節点の観測水頭値の変化割合、つまり感度を求め少ない高感度観測点データから地盤全体の透水係数が正確に算定できるかを考察した。一例として、Fig.3に実験E0414における全パラメータの高感度上位6点の分布を示す。また、Fig.4に高感度及び低感度点のみを用いた場合の、使用節点数と得られた異方透水性の値の関係を示す。図には全節点(152点)を用いた場合の値を同時に示す。Fig.4から、高感度上位6点を使用した場合にも正確な異方透水性の値が得られることがわかった。

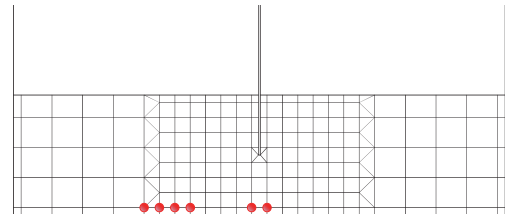


Fig.3 実験 E0414 の高感度上位 6 点の分布

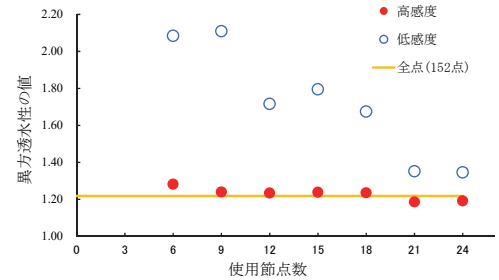


Fig.4 節点数を減らした場合の逆解析結果(E0414)

5. 全ての水頭差段階における逆解析

水頭差の上昇とともに異方透水性の値がどのように変化するかを、実験E0424の全水頭差段階において逆解析を行った。その結果をFig.5に示す。異方透水性の値は、水頭差が上昇するにつれて緩やかに上昇しているものの、変形開始時水頭差 H_y の前後でも急激な変化がないこと、また、破壊時水頭差に向かうにつれて、異方透水性が若干小さくなることがわかる。

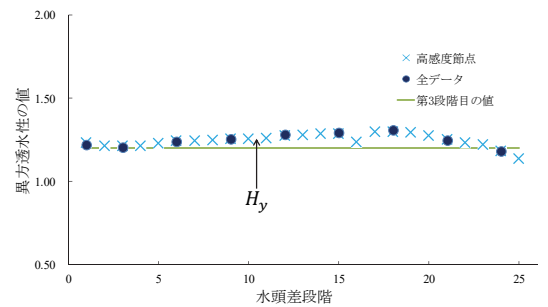


Fig.5 水頭差の増加に伴う異方透水性の値の変化 (E0424)

6. 結論

- (1) 小型二次元実験地盤における透水係数逆解析及び、採取試料の透水試験の結果は概ね良好である。また、異方透水性の値 k_{xx}/k_{zz} は琵琶湖砂の場合おおよそ 1.20 である。
- (2) 観測点数を減らしたときでも、高感度観測点データを用いれば、全点データを用いた場合とほぼ同精度で異方透水性の値を求めることが可能である。
- (3) 異方透水性の値は、水頭差が上昇するにつれてほとんど変化しないが、地盤の変形に伴い緩やかに上昇し、破壊に向けて緩やかに減少する。

参考文献

- 1) Cosan Ayan : Measuring Permeability Anisotropy : The latest approach, Oilfield Review, Abu Dhabi , UAE, 1994
- 2) 村上幸利 : 異方透水性を有する粘土地盤の圧密について, 土木学会論文報告集第 326 号, 山梨大学, 1982
- 3) 中川徹, 小柳義夫 : 最小二乗法による実験データ解析, プログラム SALS, 東京大学出版会, 1982.