

二次元矢板締切り層状堆積地盤の浸透流及び浸透破壊特性

Seepage flow and seepage failure of multi-layered soil within sheet piles in two dimensions

○柴田奈緒・田中 勉・三木昂史・井上一哉

Shibata Nao, Tanaka Tsutomu, Miki Takashi and Inoue Kazuya

1. 序論

地下水位の高い地点における締切り工事では地盤の浸透破壊が問題となる。大河川の近傍における地盤は、河川の氾濫によって種々の粒径の土粒子が層状に堆積している場合がある¹⁾。粒径の異なる土粒子が層状に堆積していると水平方向及び鉛直方向の透水係数 k_h 及び k_v に違いが生じる。このような層状地盤においては、水平方向の方が鉛直方向より透水性が大きいこと、すなわち異方透水性があることが知られている。たとえば、ダニューブ川堤防の基礎地盤において $k_h/k_v=10$ の異方透水性が報告されている²⁾。ここでは、層状堆積地盤に単列締切り矢板を打ち込んだときに、浸透流及び浸透破壊特性にどのような影響を及ぼすかについて考察する。

2. 実験的検証及び層状堆積地盤の作製

実験的検証では、小型二次元浸透破壊実験装置を用いた実験を考えている。実験装置の概略図を Fig.1 に示す。実験水槽本体は幅 800 mm、奥行き 200 mm、高さ 800 mm の直方体型の前面アクリル張りステンレス水槽である。矢板は、中心にあり厚さ $t=3$ mm である。両側に幅 150 mm の補助水槽がある。実験水槽本体の背面にはピエゾメータ孔が 322 個設置されている。Fig.1 において、 T は地盤層厚、 D は矢板の根入れ深さ(掘削なし地盤の場合)を表す。

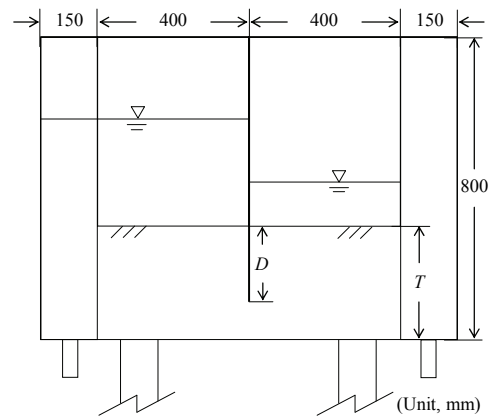


Fig.1 小型二次元浸透破壊実験装置の概略図

ここでは、一例として、粒径の異なる細(粒)と粗(粒)の砂が交互に堆積する場合について考える(Fig.2 参照)。また、浸透破壊に対する安定性が高くなるように最上層を粗とし、矢板の下端部は細がまたがって存在するものとする。したがって、層状地盤は、下方から粗(最下層)、細、粗、..., 細(矢板下端部)、..., 粗、細、粗(最上層)の順となる。このパターンでは、層の数 a_m が 3, 7, 11, 15, 19, 23, ... (初項 $a=3$ 、公差 $d=4$ の等差数列 $a_m=a+(m-1)d$) となる。Fig.2 では、F(ine), C(oarse)を表す。

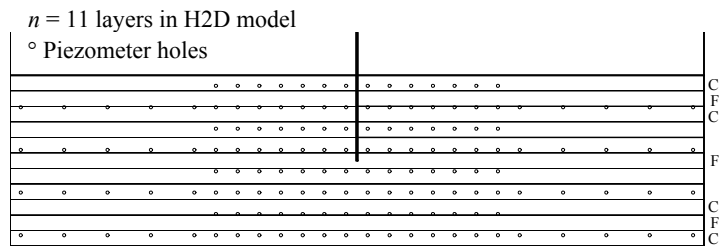


Fig.2 層状堆積地盤の一例 (n=11層)

3. 層状堆積地盤の浸透流特性

(1) 数学的考察 層厚 d_i 、透水係数 k_i ($i=1, \dots, n$) をもった n 層からなる層状堆積地盤に関して水平及び鉛直方向の透水係数 k_h 及び k_v は次のように表される¹⁾。

$$k_h = \sum_{m=1}^n \frac{k_m d_m}{D}, \quad k_v = \frac{D}{\sum_{m=1}^n \frac{d_m}{k_m}}, \quad D = d_1 + d_2 + \dots + d_n \quad (1)$$

このように、 k_h 及び k_v は層厚を重みとした重み付き透水係数の算術平均及び調和平均となる。数学

的に、 $k_h \geq k_v$ が証明される。層数 n と(1)式による k_h 及び k_v と異方透水性の値 k_h/k_v の関係を $n=11, 23, 39$ の場合について Table 1 に示す。 k_h/k_v は、層数の増加とともに $n = \infty$ の値、すなわち $k_h/k_v=0.805$ に収束することがわかる。

(2) 透水係数逆解析 ここでは、珪砂 56 号を細砂($k_1=5.3762 \times 10^{-4}$ m/s)、珪砂 5 号を粗砂($k_2=26.999 \times 10^{-4}$ m/s)として、小型二次元浸透破壊実験装置を用いた実験を考えている。実験に先立って、層状地盤に関する浸透流解析を行い、ピエゾメータで間隙水圧を観測したとして、観測水頭値及び流量(順解析結果)から透水係数を逆解析した結果を示すと Table 1 となる。ピエゾメータの位置を Fig.2 に示す。

(3) 実験採取試料の透水試験 今回、11 層地盤について実際に実験を行った。実験後、残った Original 地盤から試料を採取し定水位透水試験を行った。結果を Table 1 に示す。あわせて、観測された水頭値と流量から実験地盤の透水係数逆解析を行った。その結果を Table 1 に示す。Table 1 から、11 層地盤について、異方透水性の値は、理論地盤の(1)式による理論値及び FEM 浸透流逆解析値、実験地盤の採取試料透水試験及び逆解析値はおおよそ一致しているといえる。浸透流に関して、総数が小さくても、理論と実際がよく一致しているといえる。

3. 層状地盤の浸透破壊特性

実験に先立って、各層状堆積地盤について、Prismatic failure concept の考え方をを用いて浸透破壊に対する安定解析を行った。層数 n と理論限界水頭差 H_c の関係を示すと Fig.3 となる。Fig.3 には同時に均質異方透水性地盤の H_c の値を示している。層数が多くなるにつれて均質異方透水性地盤の H_c の値に漸近していくことがわかる。浸透破壊特性(限界水頭差)の収束値への漸近の仕方は浸透流特性(流量や透水係数)よりも遅いといえる。

4. 結論

二次元矢板締切り層状堆積地盤の浸透流及び浸透破壊特性について、小型二次元浸透破壊実験を想定して、理論的・実験的に考察を行い次の結論を得た。

- (1) 11 層地盤について、異方透水性の値は、理論地盤の(1)式による理論値及び FEM 浸透流逆解析値、実験地盤の採取試料透水試験及び逆解析値はおおよそ一致しているといえる。
- (2) 浸透破壊特性(限界水頭差)の収束値への漸近のし方は浸透流特性(流量や透水係数)よりも遅い。

参考文献

- 1) Cedergren, H.R. (1989): Seepage, Drainage, and Flow Nets, p.32, pp.88-91, John Wiley & Sons, 3rd ed., (1st. ed 1967).
- 2) Hulla, J. and Z.Kadubcová, Z. (2000): Erosive filtration in the flood embankments subsoil, Proceedings of the 3rd. International Conference on Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering, Wolski & Mlynarek eds., Balkema, Rotterdam, pp.305-312.

Table 2 k_h 及び k_v と異方透水性の値 k_h/k_v の関係

11 層		$k_x(\times 10^{-4}$ m/s)	$k_y(\times 10^{-4}$ m/s)	k_h/k_v
理論	理論解	15.20	8.454	1.799
	逆解析	15.61	9.156	1.705
実験	採取試料	12.20	6.328	1.928
	逆解析	13.72	7.290	1.882
23 層				
理論	理論解	15.72	8.714	1.804
	逆解析	15.78	9.069	1.740
実験	採取試料	-	-	-
	逆解析	-	-	-
39 層				
理論	理論解	15.91	8.816	1.805
	逆解析	15.59	8.948	1.743
実験	採取試料	-	-	-
	逆解析	-	-	-

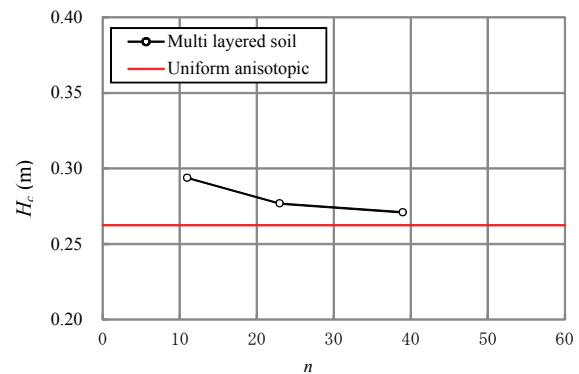


Fig.3 層数 n と理論限界水頭差 H_c の関係