

遠心模型装置による水平地盤を対象とした浸透破壊実験 Experiment of Seepage Failure on Horizontal Ground in Centrifuge Test

森 洋
Mori Hiroshi

1. はじめに

昨年度の発表では 1g 場の水平地盤を対象とした準定常的な浸透破壊を再現させることによって、不均一性地盤のポイリング発生現象等の観察を行った¹⁾。Fig.1 には、豊浦標準砂を用いた過去 10 編の研究結果²⁾より得られた初期間隙比 (e_0) と全体破壊時での動水勾配 (i_f) 関係を昨年度の実験結果を含めて示した。浸透破壊実験の多くは一次元モデルを基本としており、また、実験装置や実験条件が異なっているため、直接それらを比較することは困難であるが、概ね Terzaghi の限界動水勾配 (i_c) 近傍にデータが集中する傾向にある。

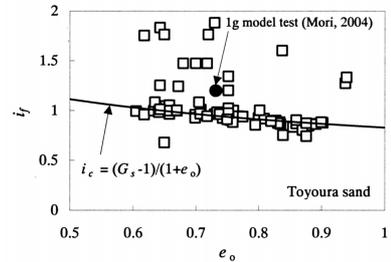


Fig.1 e_0 and i_f

しかし、 i_c よりもかなり高い値を示す場合も珍しくなく、二次元モデルを想定している筆者の結果も i_c より 20% 程度高くなった。一般に言われている実験装置による損失水頭問題や周面摩擦問題等を含めたスケール効果の影響が考えられるが、明確な見解には至っていない³⁾。本報告では、実規模地盤相当での遠心場 (50g 場) 実験による浸透破壊現象の再現を、前報の 1g 場実験結果と比較しながら検討を行った。

2. 遠心模型装置

Fig.2 に示す実験装置は、供給タワーと実験土槽で構成されており、供給タワーから実験土槽内地盤に水頭差を与えていくものである。土槽内地盤底面にはフィルター材としてポーラスストーンを全面に設置し底面部から一様に流体が供給できるようにしている。実験は 50g の遠心加速度場で行い、地盤モデルは幅 35m、高さ 7m の 1/50 寸法とした。地盤は豊浦標準砂を空中落下法 (D_r [相対密度] = 60% 程度) で作成し、地盤内には実験中の破壊形状を観察するための色砂を水平に設置している。なお、間隙流体には透水に関する相似則を満足させるため、水に対して 50 倍の粘性を持たせたシリコンオイルを用いている⁴⁾。

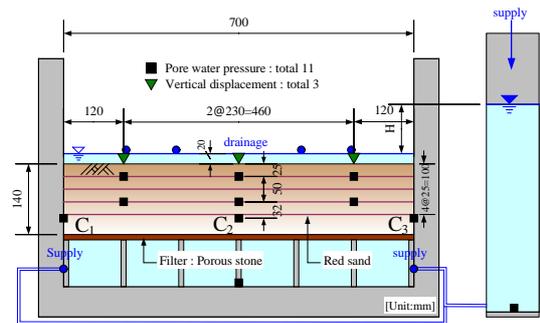


Fig.2 Apparatus

3. 実験結果

Fig.3 には、本実験に使用した実験装置に対する損失水頭の影響を検討するため、超音波式変動計 () より測定している供給タワー内の水頭差 (H) に対する、供給タワー内底面 () と土槽内底面 () ならびに土槽内地盤下層部 (C_1, C_2, C_3) 付近にある水圧計より求めた過剰間隙水圧の関係を示した。ただし、土槽内地盤下層部付近より得られた過剰間隙水圧は、土槽内地盤底面での過剰間隙水圧に換算している。破壊に至るまでの H に対する各過剰間隙水圧は 1:1 の関係にあり、実験装置自身による損失水頭の影響はほとんどないことを示している。Fig.4(a)

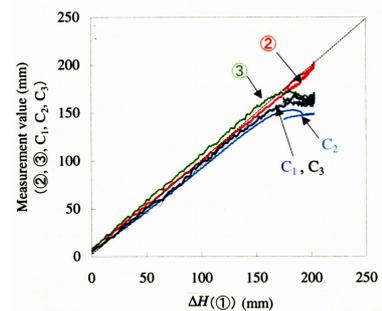


Fig.3 Excess pore water pressure

には、地盤全体が準定常的な浸透破壊 (ポイリング現象) に至るまでの H による動水勾配 ($i = H/L$; L : 地盤高) と、各水圧計より得られた過剰間隙水圧比の関係を示した。過剰間隙水圧比 (R) は、 $H (= u)$ と各深度 (h') での各水圧計から得られた u' を用いて次式より求めている [$R = u / u' = i / i_c$ or $R = u' / u = i_c \cdot h' / H$] また、Terzaghi の i_c も併せて示している。Fig.4(b) には 1g 場での実験結果を示すが、1g 場と同様に遠心場でも、 $i = 1.2$ 付近でポイリング現象が発生している。また、1g 場と比較して各水圧計から得られた R は供給タワー内の H より求めた R と一致する傾向にあり、1g 場に対するスケール効果の影響は無視できないものであると考える。遠心場での各深度 (h') 毎による R の変化を見ると、 $i = 0.7$ 付

近以降から各 R 間での差異が若干現れ始め、地盤上層部 A () から中層部 B () 下層部 C () へと順に i_c 付近で $R=1$ に達していく傾向にある。この傾向は、マンメーター計によって測定した 1g 場実験でも確認できるが、全体的には各 R 間での差異は遠心場と比較して大きく、 i_c 付近であっても中層部と下層部の R は 0.7~0.8 程度の低い値を示す。

Fig.5(a)には、ポテンショ式変位計より測定した地表面変位を地盤高 (L) に対する鉛直変位量 (d) の比 (d/L) と i の関係で示した。Fig.5(b)には、1g 場での実験結果を示す。遠心場より得られた 3 地点での d/L は i_c 付近から変位計自身の自重により沈下し始め、ボイリング発生付近で隆起し、その後顕著な沈下を示している。

1g 場の実験結果でも、遠心場と同様に i_c 付近から地盤上層部での支持力が一様に变化しており、ボイリング発生以前の地盤上層部での支持力低下が確認できる。Photo-1, -2 には、地盤破壊前から破壊直後までの撮影画像を示した。遠心場では $i=1$ () 付近で最上層部の色砂が乱れ始め、ボイリング時点 () では地盤中層部までの色砂が全体的に乱れて隆起してくる。その後、変位計が大きく沈下した時点 () で、各所にわたり噴砂が発生する。また、1g 場では破壊直前 () で局所的に地盤が隆起し、その直後 () 隆起した箇所噴砂する傾向にある。破壊挙動から判断すると、1g 場と遠心場では地盤の不均一性による地盤変状への影響が異なっていると考えられる。

4. まとめ

1g 場と遠心 (50g) 場での浸透破壊実験におけるボイリング発生時の動水勾配は Terzaghi の i_c よりも高い値を示し、深度方向での各過剰間隙水圧比の挙動が異なっていた。また、 i_c 付近から地盤上層部での支持力低下が得られた。しかし、1g 場での i_c 付近の過剰間隙水圧比が遠心場に比べて相対的に低いことや、破壊に至るまでの地盤内変状については全体的な浸透破壊挙動を遠心場で確認できたことから、地盤の不均一性の影響をできるだけ避ける実験を行う場合には遠心模型実験が有効であると考えられる。次回は、水平地盤上に盛土堤防を設置した条件での 1g 場ならびに遠心場での実験結果について報告する予定である。

参考文献 1) 森洋(2004) : 水平地盤モデルを対象とした浸透破壊に伴う実験的考察, 平成 16 年度農業土木学会講演会, pp.390-391. 2) 例えば, 田中勉・吉良八郎・長谷川高士(1984) : 一層系(押えフィルターなし)の浸透破壊実験-層状堆積の砂柱の浸透破壊に関する実験的研究(1)-, 農土論集 110, pp.87-99. 3) 西垣誠・梅田美彦・上山一彦(1989) : 地盤掘削地におけるボイリング, パイピング現象の 2,3 の考察, 土と基礎, 37-6, pp.69-74. 4) 田中満・樋口雄一・酒見卓也・川崎重二・名倉克博(1994) : 遠心力載荷装置による液状化模型実験手法の基礎的研究, 大成建設技術研究所報第 27 号, pp.419-424.

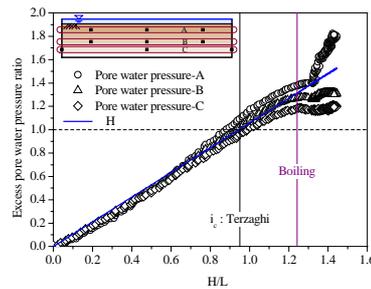


Fig.4(a) E.P.W.P. at 50g

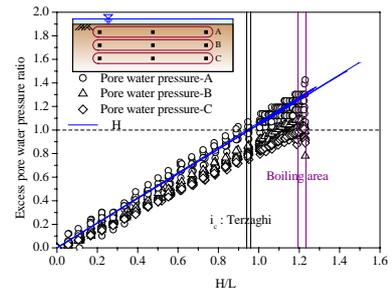


Fig.4(b) E.P.W.P. at 1g

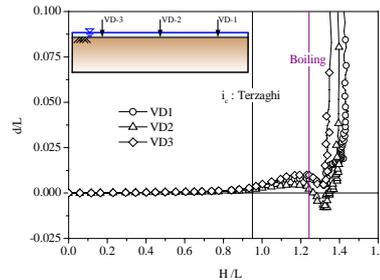


Fig.5(a) d/L at 50g

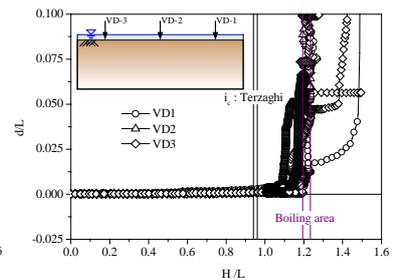


Fig.5(b) d/L at 1g

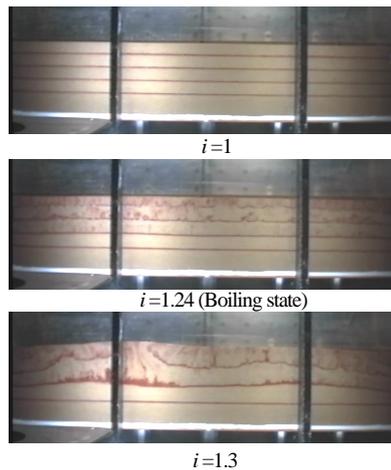


Photo-1 Observation at 50g

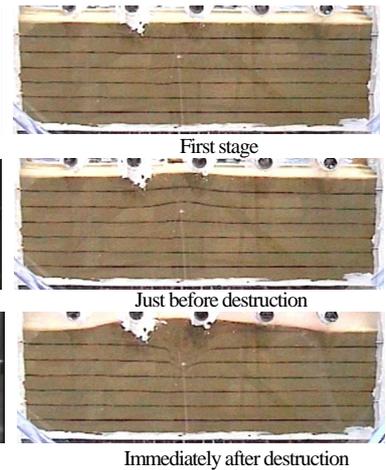


Photo-2 Observation at 1g