

遠心模型実験による河川堤防を対象とした浸透破壊の実験的考察 Experimental Study of Seepage Failure on River Dike in Centrifuge Model Test

森 洋
Mori Hiroshi

1. はじめに

液状化時での河川堤防における耐震性評価手法は、液状化抵抗率 (F_L) より推定される過剰間隙水圧 (Δu) を考慮することで、有効上載圧を低減させて円弧すべり計算 (Δu 法) を行うのが一般的であり、**Table1** の関係を適用しながら、河川堤防背後地の浸水被害の可能性に対する判断基準としている¹⁾。筆者は、高規格堤防盛土を対象とした液状化時における耐震性評価手法の一環として、前回までの発表では二次元モデルの水平地盤を対象とした準定常的な浸透破壊現象の再現実験を検証した²⁾。本論文では、盛土堤防を対象とした実規模相当モデルでの上向き浸透流による浸透破壊現象を利用した液状化の再現実験と Δu 法との比較・検討について報告する。

2. 実験装置

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 (**Fig.1** を参照)。土槽内地盤底面にはフィルター材としてポラスストーンを全面に設置し底面部から一様に間隙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、間隙流体には透水に関する相似則を満足させるため、水の 50 倍の粘性を持つシリコンオイルを用いている。基礎地盤部は深さ 14cm で、その上に堤防高 6cm (法勾配 1:1.5) の堤防盛土を設置している。基礎地盤部は豊浦標準砂を空中落下法で作製し、盛土部は豊浦標準砂とカオリン粘土の混合土 (乾燥土重量比 10:1) を含水比で約 8% に調整したもので、各材料の物性値は **Table2** に示す。なお、盛土底面部には地盤下部より作用する浸透水の排水材として硅砂を敷設し、基盤部及び盛土中には地盤内挙動を観察するための色砂を設置している。主な計測器は、地盤内深度毎に設置した間隙水圧計と地表面変位測定のためのポテンショ式並びにレーザ式変位計である。

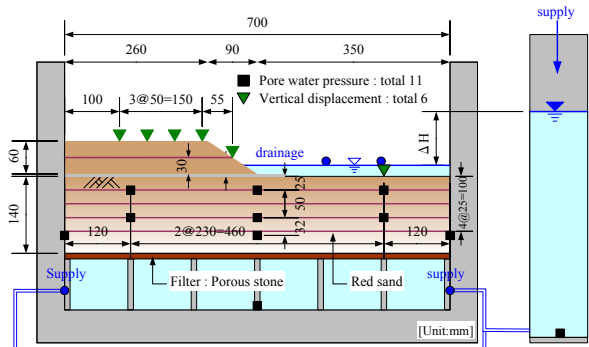


Fig.1 Apparatus

Table2 Physical properties of materials

Horizontal ground	Embankment
ρ_{sat} 19.4kN/m ³	ρ_t 16.1kN/m ³
ρ_d 15.2kN/m ³	ρ_d 14.9kN/m ³
e 0.74	w 7.8%
Dr 65%	Cr 88%
i_c 0.95	ϕ 32.4°
k 2×10^{-2} cm/s	c 6kN/m ²

3. 実験結果

実験開始から地盤内に水頭差 (ΔH) を与えていき、地盤全体が浸透破壊 (ボイリング現象) に至るまでの動水勾配 ($i = \Delta H/L$, 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 **Fig.2** に示す。同図には、Taylor の限界動水勾配 (i_c) と、供給タワーでの $\Delta H (= \Delta u)$ より得られた過剰間隙水圧比関係を実線で示している。また、過剰間隙水圧比を算出するための有効上載圧は、盛土形状の影響を地盤内応力で表現できる Osterberg 式³⁾より求めている。各深度毎での過剰間隙水圧比は、水平部 (Bed)、法尻部 (Toe)、盛土部 (Crest) の順で 1 に達しており、 ΔH より求めた過剰間隙水圧比も一致する傾向にある。水平地盤部で過剰間隙水圧比が 1 程度となった時に、法尻部では 0.8 程度、盛土直下部では 0.6 程度であった。また、ボイリングの発生時は動水勾配 ($\Delta H/L$) で 1.3 付近であった。**Fig.3** には水平地盤部に設置したポテンショ式変位計と盛土部のレーザ変位計より得られた地表面変位挙動 (+: 沈下; -: 隆起) を、各変位計位置での有効上載圧 (σ'_v) と ΔH から得られる過剰間隙水圧比 (R) の関係で示した。地表面変位での挙動が $R=0.6$ 付近で現れ始め、 $R=1.0$ 近傍より顕著な変位挙動を示している。盛土斜面の破壊挙動は、斜面法先肩部分 (CH.11, CH.18) から徐々に天端奥行き方向へと進行的に破壊していくことが分か

る。Photo1には、側面のアクリル板を透して観察した地盤の破壊状況を示した。限界動水勾配①付近での地盤変状は目視で確認できないが、ボイリング状態②と想定した時点では、かなりはっきりと水平地盤部での隆起と法先部分での変状が現れる。i=1.38程度③でようやく局所的に噴砂が発生し、それに引きずられるように盛土斜面部も沈下していく。ただし、盛土直下部での顕著な破壊は見られず、Fig.2の結果からも盛土(Crest)直下での過剰間隙水圧比は1に達していない。④は実験終了直前での破壊状況であるが、水平地盤部ではほぼ全域にわたって破壊(ボイリング)状態に至っている。特に、盛土斜面部での沈下は顕著になり、斜面直下での基礎地盤部には数本のすべり帯が観測できる。

4. 円弧すべり計算(Δu法)

Fig.4には、飽和した基礎地盤部の初期内部摩擦角(φ)を42°とした時⁴⁾のΔu法による円弧すべり計算結果を、安全率(Fs)と水平地盤部の過剰間隙水圧比(Ru(A))で示した。基礎地盤部での過剰間隙水圧比(Ru)は、盛土荷重を考慮した3ブロック(A・B・C)に区分しており、各Ruの比をFig.3の結果を基にRu(A):Ru(B):Ru(C)=1.0:0.8:0.6と仮定した。また、通常のΔu法のように有効上載圧を低減させないで、Ruによってφを低減させる評価手法⁵⁾での検討も行った。Fig.3の結果より盛土部での変状が現れ始める盛土直下部の過剰間隙水圧比(Ru(C))を0.6程度とすると、水平地盤部の過剰間隙水圧比(Ru(A))は1.0となり、通常のΔu法での安全率は大変小さな値を示し、かなり安全側の評価であることが確認できる。しかし、Ruによってφを低減させる評価手法では、Ru(A)が0.9程度で安全率1を切り、地盤変状が現れ始める時点を実験結果と一致する傾向にあると考えることができる。しかし、今後は発生するすべり面位置等の詳細な検討が必要である。

5. まとめ

①盛土地盤を対象とした遠心場での上向き浸透流を利用した浸透破壊実験は、Δu法による円弧すべり計算結果を再評価し得る実験手法として有益であることが確認できた。②実験によるボイリング発生時の動水勾配は、Taylorの限界動水勾配よりも高い値を示した。③Δu法による円弧すべり計算手法で検討した結果、Δu法はかなり安全側の評価手法であった。④過剰間隙水圧比によってφを低減させる評価手法では、地盤変状との関係性から実験結果と一致する傾向にあった。

参考文献

- 1)建設省河川局治水課(1995):河川堤防耐震点検マニュアル
- 2)森洋(2005):遠心模型実験による水平地盤を対象とした浸透破壊実験,平成17年度農業土木学会大会講演会,[9-38]
- 3)土質工学会(1984):土質工学数式入門(入門シリーズ9)
- 4)Fukushima, S. and Tatsuoka, F.(1984):Strength and Deformation Characteristics of Saturated Sand at Extremely Low Pressures, Soils and Foundations, 26(1), pp.65-84.
- 5)耐震設計上、液状化を考慮すべき地盤のせん断抵抗φはどのように取り扱われるのでしょうか(1995):Q&Aコーナー,土と基礎,43(3),pp.42.

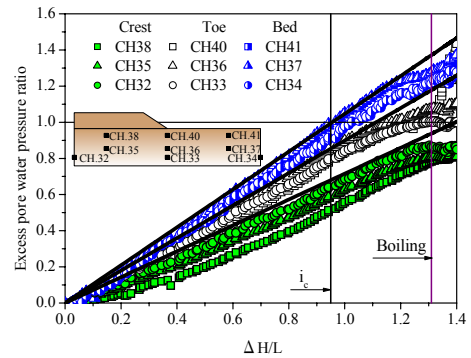


Fig.2 Excess pore water pressure ratio

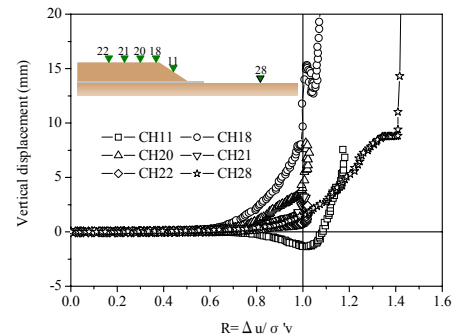


Fig.3 Vertical displacement

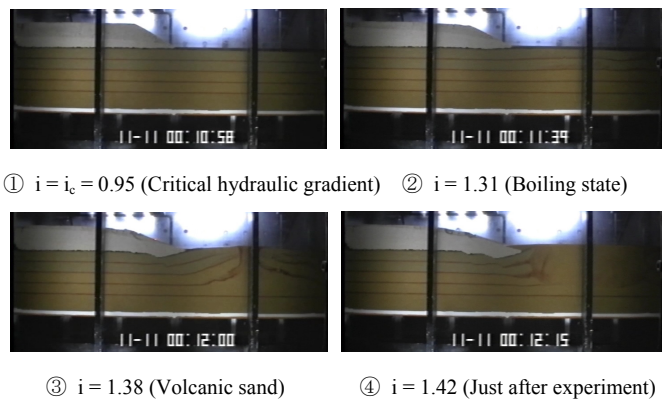


Photo1 Observation of destructive

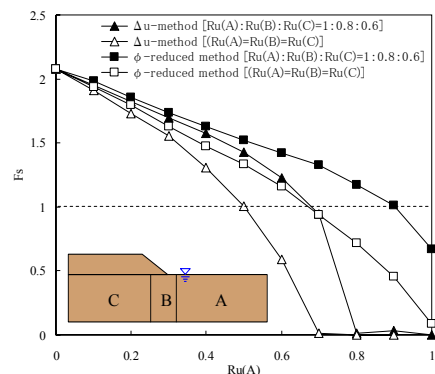


Fig.4 Relationships between Fs and Ru(A)