

浸透破壊時の土中間隙の変化と動水勾配

中部大学 正会員 ○杉井俊夫 山田公夫

浅野憲雄 余川弘至

中日本ハイウェイエンジニアリング 堀 伸彰 稲吉隆太

1. はじめに

2012 年の矢部川の破堤は、浸透破壊による越水なき破堤として社会に衝撃を与える災害であった。筆者らは、これまで鉛直上昇流における浸透破壊時に粒度分布の形状と Kenney らのフィルターの内部安定性指標¹⁾から粒子移動の可能性を判断し、間隙に粒子が補足（目詰まり）されることによる局所動水勾配の上昇または透水性の変化について誘電率式土壌水分計（ADR）を用いて計測を行ってきた²⁾。本報告は、堤体基礎に水平流れが卓越する場での土中の内部浸食による浸透破壊時の間隙率の変化と局所動水勾配の関係を計測し、内部浸食のメカニズムについて検討することとした。

2. 実験概要と試料

図1に示すような水槽に、サバ土（まさ土）を厚さ 60 mmで水中に分級しないように詰めした後、底面に珪砂を張り付けた発泡スチロール製の堤防模型に錘を付けてパテで隙間を埋めて固定設置した。また、水槽の横には、誘電率土壌水分計（ADR）を3本設置して飽和土中の体積含水率（飽和時には間隙率に相当）の変化と圧力変換器（最大 100 cm水頭）により水压を測定した。用いたサバ土は図2のような粒度分布を有するまさ土であり、Kenney のフィルター安定指標によれば内部安定性に欠け（指標 $H/F < 1.3$ ）、土粒子が移動する可能性があることが判断できる材料である。

水位を一定に保ちながら 5 cm ずつ 10 分間毎に上昇させ、その時の単位時間当たりの流量を計測する。

3. 實驗結果

(1) 圧力水頭の変化

経過時間と圧力水頭（水位）の関係を図 3 に示す。堤内側水位（供給水位）が上昇していくことにより堤体基礎の圧力水頭は上昇する傾向にあるが、圧力水頭 3 の堤外側の圧力はほぼ挙がっていないことがわかる。また、3000 秒後の全体破壊に至った段階で大きく上昇しており、堤外側水位が上昇していくことで堤内側との水位差（動水勾配）が広がっていくことが推察される。

(2) 局所動水勾配の変化

局所動水勾配と経過時間の関係を図 4 に示す。0-1 区間の動水勾配は 700 秒あたりで急激に上昇しているが、すぐに減少するとともに 1-2 区間の動水勾配が最も大きくなっている。このことは、堤外側（0-1 区間）の土粒子が堤体直下に向かって移動して密度が小さくなって透水係数が大きくなっていることが予想される。そのため

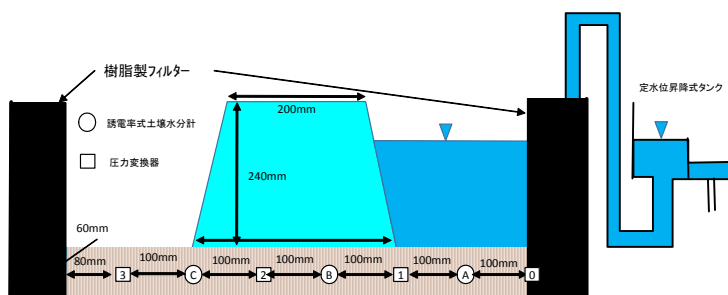


図1 実験水槽とセンサー設置箇所概要

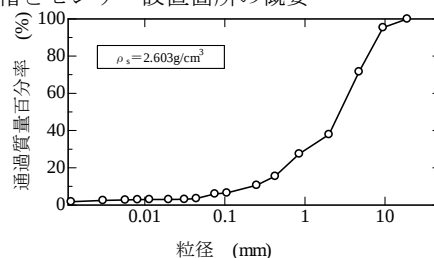


図2 サバ土の粒度分布

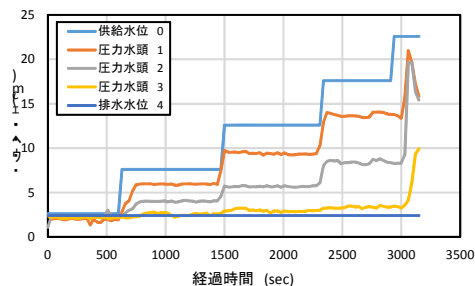


図3 圧力水頭の変化

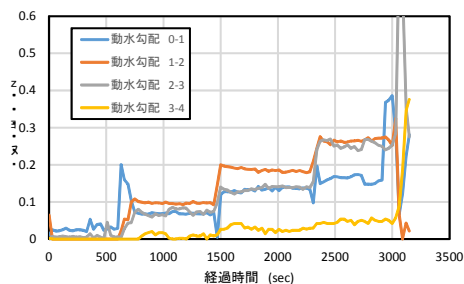


図4 局所動水勾配の変化

キーワード 浸透破壊, 内部浸食, 間隙率, 体積含水率

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学工学部都市建設工学科 TEL 0568-51-9562

に、その下流 1-2 区間で密度が大きく、透水性が減少していることが考えられる。また、全体破壊に至った局所動水勾配が 0.5 を大きく下回っていることもわかる。

(3) 間隙率の変化

今回、飽和した土中での誘電率土壌水分計 (ADR) で体積含水率を測ることを試みた。体積含水率は、式(1)のように定義され、飽和度が 100%である場合には、体積含水率は間隙率に等しくなる。著者らはこれまでに浸透破壊実験だけでなく液状化実験時の間隙率の変化を計測している。図 5 は計測された間隙率の変化である。A 点での間隙率 (間隙率 A) の変化が全体破壊までの中で最も大きく約 2% の変化がみられる。500 秒までは位置に関係なく同じような間隙率の変化が生じている点も興味深い。

$$\theta = \frac{V_w}{V} = \frac{V_w}{V_v} \times \frac{V_v}{V} = Sr \times n \quad (1)$$

ここに、 θ : 体積含水率、 V_w : 水の体積、 V_v : 間隙体積、 V : 土の体積、 Sr : 飽和度、 n : 間隙率 である。

分かり易いように、初期の間隙率で除して正規化した間隙率の変化率で経過時間との関係と供給水位の変化も合わせて示したのが図 6 である。図から水位を上昇させると堤外側 (上流側) である A 点の間隙率が大きくなっていき、またしばらくすると小さくなる傾向があり、Kenney の安定指標で判断されたように土粒子の移動が生じているものと考えられた。さらに、変化率の高い A 点について間隙率の値と局所動水勾配の時間的変化を示したのが、図 7 である。

図より、局所動水勾配と増加すると間隙率は大きくなる傾向があるが、間隙率が増加すると局所動水勾配は一時的に減少する (700 秒、2300 秒) 傾向があることがわかり、土粒子移動が原因であることが考えられる。

4. おわりに

今回、堤体は不透水として堤体基礎の水平流れについて実験を行った結果、以下の知見が得られた。

1) 水平流れ場では局所動水勾配 0.4 以下で生じることが得られた。2) 河川水位の上昇により堤外側と堤内側の水位差が開いていくことが明らかとなった。3) 局所動水勾配が上昇すると間隙率が大きくなり、すぐに小さくなることが観測され、土粒子の移動が裏付けされた。4) 誘電率式土壌水分計 (ADR) を用いて、飽和時における間隙率の変化を測定するのに ADR は有効であることが得られた。

本研究は、基盤研究 (C) (23560600) の援助を受けた。ここに、記して関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】1) Kenney T. C. and Lau D. : Internal stability of granular filters. Canadian Geotech. J., 22, 215-225, 1985. 2) 杉井・山田・名倉 : 限界流速からみた浸透破壊の発生と進行, 地盤工学会誌, Vol. 57, No. 9, pp. 26-29, 2009. 3) 杉井・山田 : 液状化時の砂の挙動観測, 総合工学, 第 21 巻, pp. 95-101, 2009

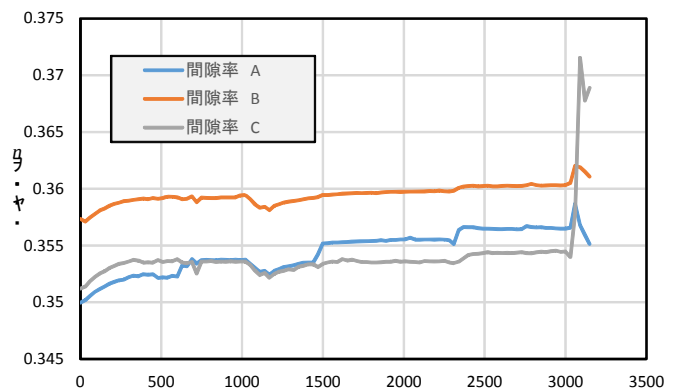


図 5 間隙率の変化

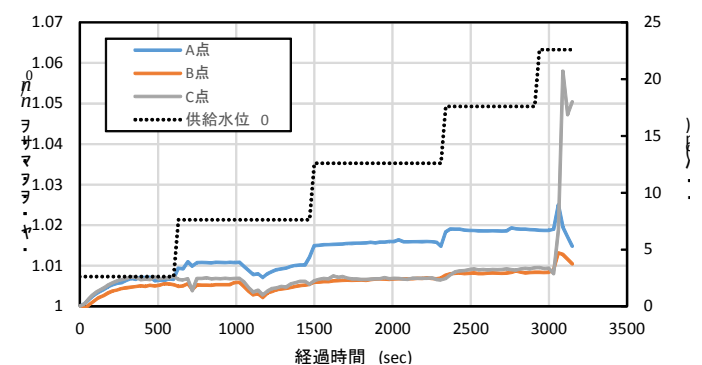


図 6 間隙率の変化率

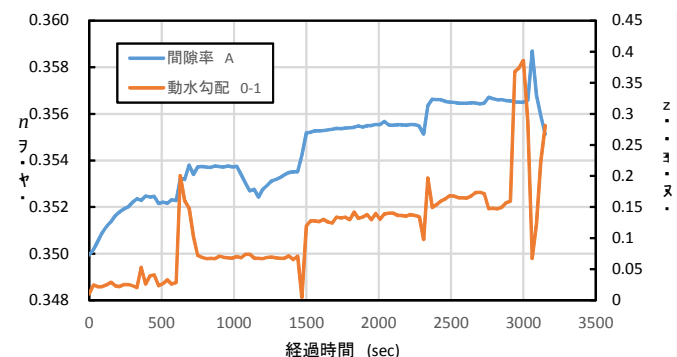


図 7 A 点の間隙率と局所動水勾配