

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780247

研究課題名(和文) 浸透による土粒子輸送現象の解明と解析手法の開発～土中の流砂力学の創造～

研究課題名(英文) Mechanism elucidation and numerical investigation of transport of soil particles by seepage flow

研究代表者

藤澤 和謙 (Fujisawa, Kazunori)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師

研究者番号：30510218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：これまで明らかになっていない浸透破壊後の土と浸透水の挙動について、実験、理論、数値解析を実施した。実験結果は「浸透流によって運ばれる砂の平均速度は、浸透力と外力のつりあいから推定できる」ことを示した。これは、浸透による土粒子輸送を予測するための重要な結果であり、理論にもこの事実を立証した。また、数値解析においては、実験結果と理論を再現することに成功し、今後、幅広い現象を解析するための足がかりをつくった。

研究成果の概要(英文)：This study has conducted the experimental, theoretical and numerical investigation of the transport of soil particles caused by seepage flows. The experimental results showed that the velocity of soil particles transported by the seepage flows is predictable from the equilibrium of the seepage force, exerted onto the soil particles, and the external forces. This important fact for predicting the transport of the soil particles has been verified by the theoretical and numerical analysis. The numerical analysis is expected to be applicable to the variety of phenomena, such as the seepage erosion.

研究分野：農業工学

科研費の分科・細目：地域環境工学・計画学

キーワード：浸透破壊 土粒子輸送

1. 研究開始当初の背景

浸透流によって土粒子が流亡し、土塊内に浸透流が集中する水みちが形成される現象はパイピングと呼ばれ、フィルダム、堤防、ため池等の水の浸透にさらされる土構造物の主要な崩壊原因であった(これは、現在においても同様である)。研究開始時には、埋設された水道管の損傷部から周辺の土粒子が流出することによる空洞化等の地盤変状も多く報告された。

このように、地盤や土構造物の被害は土粒子の流亡に起因する可能性が十分に高いものである。土の力学挙動を扱う現在の土質力学は土の変形やせん断破壊については構成則の発展と共にその予測が精度あるものになりつつあるが、土粒子の流亡に関する現象については不明なことが多く、その現象の説明と予測が重要と考えた。

2. 研究の目的

これまで不明な点が多い土中の土粒子移動についての実験的かつ理論的な研究を遂行することにより、これまでにない土粒子移動を考慮した土質力学の学問体系を創造することを試みた。これは、土塊の安定性に関する予測技術を発展させ、今後ますます重要となる土構造物の維持管理に貢献することを研究の全体的構想に位置付けたためである。具体的な目標として、本研究課題では土中で生じる土粒子の移動・輸送現象について定量的な把握を行うとともに、その現象を予測するための数値計算手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

上述の目的に対し、以下の2つの研究を重点的に行った。

- (1) 均一粒径から成る土において浸透流による土粒子の移動開始条件と移動速度/輸送量の把握
- (2) 「土粒子の流亡～土塊の安定性」を解析するための数値計算プログラムの開発

4. 研究成果

(1) 土粒子の移動速度に関する理論的考察
浸透破壊後の土粒子及び浸透水の移動を解くには、それらについての連続式及び運動方程式を解析すればよい。一次元の現象を考えると支配方程式は以下となる。

$$\frac{\partial \rho_s(1-n)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s(1-n)v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_s(1-n)v}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s(1-n)v^2}{\partial z} = -(1-n) \frac{\partial p}{\partial z} - \rho_s(1-n)g + f \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho n}{\partial t} + \frac{\partial \rho n q}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho n q}{\partial t} + \frac{\partial \rho n q^2}{\partial z} = -n \frac{\partial p}{\partial z} - \rho n g - f \quad (4)$$

ここに、 $n, v, q, p, \rho_s, \rho, g, f$ はそれぞれ間隙率、土粒子の平均的な速度(以下、土粒子速度と呼ぶ)、浸透流速(ダルシー流速を間隙率で除したもの)、水圧、土粒子密度、水の密度、重力加速度、浸透水が土粒子から受ける抵抗力(=土粒子が浸透水から受ける駆動力)を表し、 t, z は時間と鉛直座標である。以下では f を相互作用力と呼ぶが、これはダルシー則等の浸透流速と動水勾配の関係から具体形を得る。 f の具体形は

$$f = \frac{n^2 \rho g}{k} (q-v) \quad (5)$$

と与えられる。式(2.12)は土粒子と浸透水の相互作用をモデル化するものである。

間隙率が定数とすると、式(2.6)と(2.8)は式(5)を用いて以下のように変形される。

$$\rho_s(1-n) \frac{dv}{dt} = -(1-n) \frac{\partial p}{\partial z} - \rho_s(1-n)g + \frac{n^2 \rho g}{k} (q-v) \quad (6)$$

$$\rho n \frac{dq}{dt} = -n \frac{\partial p}{\partial z} - \rho n g - \frac{n^2 \rho g}{k} (q-v) \quad (7)$$

式(6)及び(7)は、圧力勾配 $\partial p / \partial z$ が与えられた時、 $v(t)$ と $q(t)$ についての連立常微分方程式となる。ここで、 v と q は時間 t のみの関数であることに注意する。

式(6)と(7)について、次の初期値問題を解く。

- $t=0$ の時、土は限界動水勾配下にあり、土粒子は浸透水中に浮遊した状態にあるが、その速度はゼロである。
- 初期状態から、圧力勾配の大きさを僅かに増加させ、土粒子の移動速度と浸透流速の時間変化を求める。

初期状態(=限界動水勾配時)の圧力勾配 $\partial p / \partial z$ と浸透流速 q は以下で与えられる。

$$p_{z,0} = \frac{\partial p}{\partial z} \Big|_{t=0} = -\rho n g - \rho_s(1-n)g \quad (8)$$

$$q_0 = \frac{k}{n} (1-n) \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \quad (9)$$

ここに、 $p_{z,0}$ と q_0 は圧力勾配と浸透流速の初期値を意味する。 $p_{z,0}$ と q_0 は、 $v=0$ として式(6)及び(7)の右辺をゼロにすることで得られるため、初期状態のままであれば、土粒子速度と浸透流速に変化はない。今、圧力勾配の大きさを初期値から僅かに増加させ、

$$\frac{\partial p}{\partial z} = p_{z,0} (1+\varepsilon) \quad (10)$$

とする。ここに、 ε は圧力勾配の増加率である。

式(10)を式(6)及び(7)に代入すると、 q と v

についての連立常微分方程式を得る．それ微分方程式を解き， v 及び q を， t と ε の関数と考えて書き直すと，

$$v(t, \varepsilon) = g\varepsilon t - \frac{\alpha q_0 \varepsilon}{\alpha + \beta} \{1 - e^{-(\alpha + \beta)t}\} \quad (11)$$

$$q(t, \varepsilon) = g\varepsilon t + q_0 + \frac{\beta q_0 \varepsilon}{\alpha + \beta} \{1 - e^{-(\alpha + \beta)t}\} \quad (12)$$

を得る．式(11)と(12)から時間 t が十分に経過した時， dv/dt ， dq/dt 及び $q - v$ について

$$\frac{dv}{dt} \rightarrow g\varepsilon, \quad \frac{dq}{dt} \rightarrow g\varepsilon \quad (t \rightarrow \infty) \quad (13)$$

$$q - v \rightarrow q_0(1 + \varepsilon) \quad (t \rightarrow \infty) \quad (14)$$

となる．式(13)と(14)は，浸透水と土粒子の加速度及びそれらの速度差がそれぞれ $g\varepsilon$ と $q_0(1 + \varepsilon)$ に漸近することを示す．

(2) 浸透流によって運ばれる土粒子の移動速度測定実験

浸透破壊中の土粒子速度を測定した実験について，その装置と実験方法の概要を述べる．実験には図1に示すU字型の亚克力円筒を用いた試験機が作製され，実験試料には珪砂が用いられた．U字型の円筒は厚さ5mmの透明な亚克力によって作られており，その内径は80mmである．U字型亚克力円筒（以下，「試験円筒」と呼ぶ）を用いた理由は，砂粒子が試験円筒から流出する際にも安定して浸透水と砂が流出側へと供給されるように意図したためである．試験円筒の流入側には貯水タンクが接続され，タンク内の水位は水を常時供給することで一定に保たれている．試験円筒の流出側には滑らかな表面のプラスチック製のスロープが取り付けられており，浸透破壊時に流出する水と砂は試験円筒の横に置かれた容器（容器1及び2）へと速やかに流れ落ちる仕組みである．

浸透破壊時に流出する水と砂の混合物は，まず容器1に入る．容器1は常に満水状態にあるため，試験円筒からの流出物（水と砂の混合物）と同じ体積の水が，容器1から容器2へと流出する．なお，試験円筒から流れ出した砂は容器1に沈降し，容器2には流出しない．時間間隔 Δt の間に流れ出した水と砂の体積をそれぞれ ΔV_w と ΔV_s とする．容器1においては，時間 Δt の間に体積 ΔV_s の水が砂に置き換わるため，容器1の質量の増加分 ΔW_1 は以下のように与えられる．

$$\Delta W_1 = (\rho_s - \rho) \Delta V_s \quad (15)$$

また容器2においては，時間 Δt の間に試験円筒からの流出物（水と砂の混合物）と同じ体積の水が，容器1から容器2へと流出するため，容器2の質量の増加分 ΔW_2 は

$$\Delta W_2 = \rho(\Delta V_s + \Delta V_w) \quad (16)$$

となる．式(15)と(16)から浸透破壊時に流出

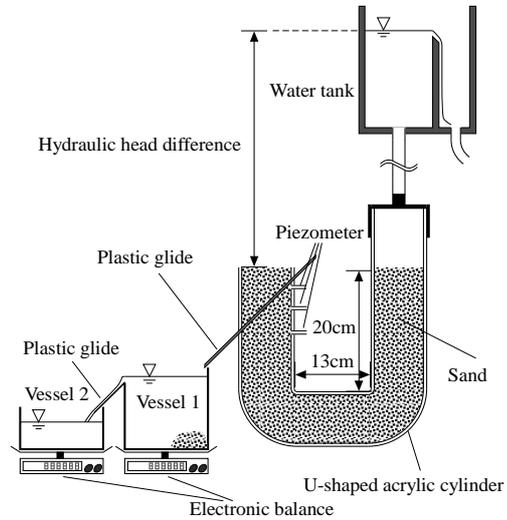


図1 U字型浸透破壊試験機

する水と砂の体積 (ΔV_w と ΔV_s) は容器1と容器2の質量を測定することで以下のように求まる．

$$\Delta V_s = \frac{\Delta W_1}{\rho_s - \rho}, \quad \Delta V_w = \frac{\Delta W_2}{\rho} - \frac{\Delta W_1}{\rho_s - \rho} \quad (17)$$

実験では，容器1及び2の重量を電子天秤で測定し，その測定データは1秒毎にパソコンへと転送された．式(17)によって得られる砂及び水の流出量から浸透破壊時における鉛直上向きの土粒子速度と浸透流速は以下のように算出される．

$$v = \frac{\Delta V_s}{\Delta t \cdot (1-n)A}, \quad q = \frac{\Delta V_w}{\Delta t \cdot nA} \quad (18)$$

ここに， A は試験円筒の断面積である．試験中は，これらの速度に加えて，試験円筒の出口付近に設置されたピエゾメータにより浸透水の水頭が測定された．実験試料には珪砂5号と6号が用いられた．

(3) 浸透流によって運ばれる土粒子移動速度の実験値と理論値の比較

上述の実験結果は，浸透破壊中の砂粒子の速度は以下の式に従うことを明らかにした．

$$v = q - \frac{k(1-n)}{n^2} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} + \frac{\partial h}{\partial z} \right), \quad h = z + \frac{p}{\rho g} \quad (19)$$

ここに， h は全水頭を意味し，式(19)は式(2)の左辺をゼロとおいたものを v について解くことで得られる．つまり，式(19)は，浸透破壊後であっても加速度を考慮しない力のつり合いが近似的に成り立つと仮定して導かれる．図2は上記の実験結果の一例を示す．同図の横軸は，測定された砂粒子の速度であり，縦軸は式(19)による推定値である．

今，式(10)の $\partial p / \partial z$ と式(12)の $q(t, \varepsilon)$ を式(11)の右辺に代入して求められた土粒子速度を $v^{est}(t, \varepsilon)$ と書く． $v^{est}(t, \varepsilon)$ の具体形は以下

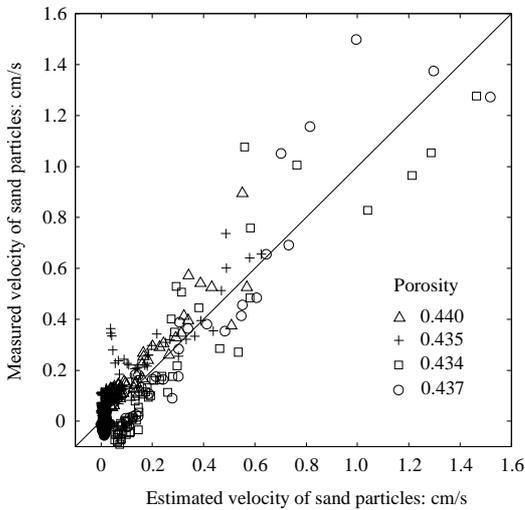


図2 ポイリング中の砂粒子速度

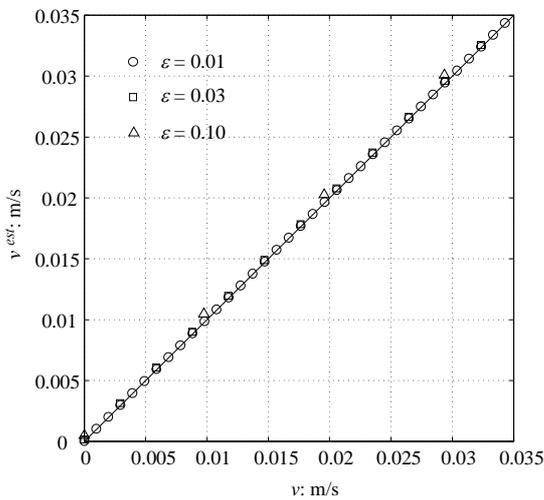


図3 土粒子速度の近似値と理論値の比較

となる．

$$v^{est}(t, \varepsilon) = g\varepsilon t + q_0 + \frac{\beta q_0 \varepsilon}{\alpha + \beta} \left\{ 1 - e^{-(\alpha + \beta)t} \right\} - \frac{k(1-n)}{n^2} \left(\frac{\rho_s}{\rho} + \frac{p_{z,0}(1+\varepsilon)}{\rho g} \right) \quad (20)$$

$v^{est}(t, \varepsilon)$ と式(11)の $v(t, \varepsilon)$ を比較するため、 ε を少し大きめに設定し、横軸に $v(t, \varepsilon)$ 、縦軸に $v^{est}(t, \varepsilon)$ の値をプロットしたものを図3である。図3では、 $n=0.45$ 、 $\rho_s=2.65 \text{ t/m}^3$ 、 $\rho=1.0 \text{ t/m}^3$ 及び $k=1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ を仮定し、見やすさのため、時刻 $t=0.01N$ (N は自然数)秒での $v^{est}(t, \varepsilon)$ と $v(t, \varepsilon)$ の値を示した。図3からは、式(20)は式(11)とほとんど同じ値を与えることが見て取れる。実際に、 $v^{est}(t, \varepsilon)$ と $v(t, \varepsilon)$ の差を計算すれば、

$$v^{est}(t, \varepsilon) - v(t, \varepsilon) = q_0 \left\{ \varepsilon - e^{-(\alpha + \beta)t} \right\} - \frac{k(1-n)}{\rho g n^2} p_{z,0} \varepsilon \quad (21)$$

を得る。式(21)は、式(20)による推定値と式

(11)の理論解との差が k と ε に比例することを意味しており、図2.4の結果を考えれば、 $k < 1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 、 $\varepsilon < 0.10$ の範囲において式(19)が土粒子速度を非常に良く近似することを示す。

(4) 数値解析

浸透破壊に達する前であれば砂は固体として静止しているが、浸透破壊後は浸透流によって運ばれ、流体のようにふるまう。そのため、浸透破壊後に砂は大きな変位を生じる。その変位をオイラー的に考えることで、砂の大きな変位と移動の計算を可能にすることを試みた。静的な変形解析では砂の移動を解くことができないため、砂と浸透水の両方の挙動について、加速度項を持つ運動方程式を支配方程式に採用し、数値解析を行う。加速度をオイラー的に扱うと、速度の空間時間微分により双曲型の支配方程式を得る。この支配方程式を数値的に解く方法としてCWENOスキームを採用した。行った数値解析の概要と結果を示す。

支配方程式は式(1)～(4)を多次元に拡張した以下のものであるが、土の変形も計算できるように、土の有効応力も考慮した。図4に計算格子と境界条件を示す。計算領域は横幅0.1m、高さ0.3mの砂層である。砂層上面では、水圧と有効応力がゼロとし、砂と水は自然流入出条件とした。初期条件は、水圧と有効応力には、事前に土と水の静止状態を計算した結果から得られた。この初期状態から、下面の水圧を上昇させることでポイリングを発生させた。図4を参考にすると、上面($x_2=0.3$)

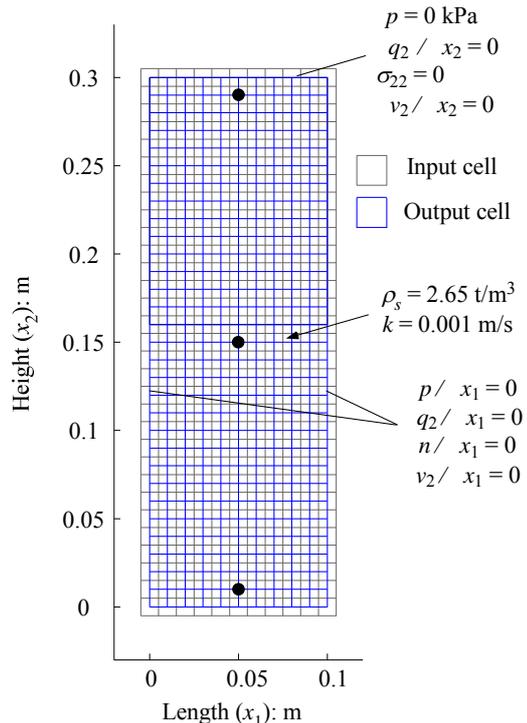


図4 計算メッシュと境界条件

の水圧は引き続きゼロとし，下面 ($x_2=0$) のそれを初期状態の 2.94 kPa から，有効応力がゼロとなる 5.85 kPa 付近まで上昇させた．砂が動き出すには 5.85 kPa よりもわずかに下面の水圧が大きくなる必要があるため，この解析では 5.88 ($=5.85 \times 1.005$) kPa まで上昇させた．下面の水圧は 2.94 kPa から 5.88 kPa まで 10 秒間かけて上昇させ，その後は一定に保った．

図 5 には，図 4 に黒丸 () で示す砂層の上部，中部，下部における水圧 p と有効応力 σ'_{22} の計算結果を示す．これらのすべての箇所において，10 秒まで水圧が上昇することによって，有効応力の減少と喪失が生じていることが分かる．図 6 には，砂層上部における浸透流速 q_2 及び砂の速度 v_2 の時間変化を示す．図 5 と見比べると，有効応力が残っている 10 秒までは砂の速度はなく，浸透流速もそれほど大きくないが，有効応力の喪失後はそれらの速度は急激に増加する．これは，砂のポイリング現象に対応し，その間の浸透流速と砂の速度はほぼ線形に増加する．また，浸透破壊後の浸透流速と砂の速度は，僅かな速度差を保ったままほとんど同じ速度となる．これは，上述した理論値と良好な一致を得た．

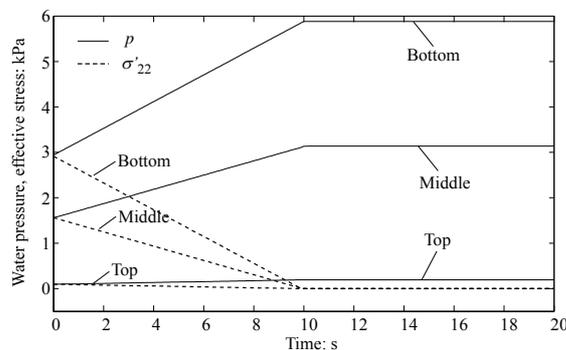


図 5 水圧と有効応力の時間変化

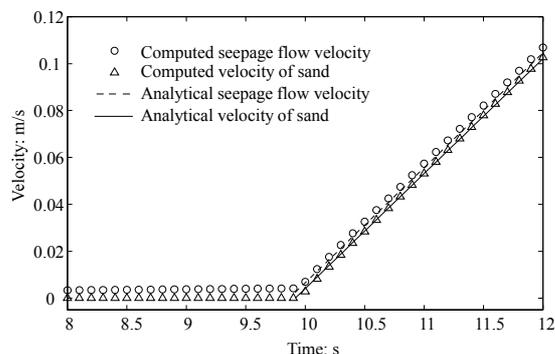


図 6 ポイリング前後の浸透水と砂の速度

5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

1. 藤澤和謙，有本慎一，村上章：

- Darcy-Brinkman 式を用いた非圧縮性流れと Darcy 流の同時解析手法，農業農村工学会論文集，第 287 号，pp.35-44，2013.
2. K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura and T. Shuku: Relation between seepage force and velocity of sand particles during sand boiling, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol.43, No.2, pp.8-16, 2013.
 3. 藤澤和謙，西村伸一，中谷亜友美，村上章：上向き浸透流による浸透破壊時の砂粒子の移動速度，農業農村工学会論文集，第 281 号，pp.35-42，2012.
 4. 藤澤和謙，村上章，西村伸一，珠玖隆行：土の侵食速度を用いた堤体の越流破壊解析，土木学会論文集 A2 分冊(応用力学)特集号, Vol.68, No.2, pp.1_317-326, 2012.
 5. K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura and T. Shuku: Numerical analysis of embankment erosion caused by overflow using shallow water equations, Proceedings of the 6th International Conference on Scour and Erosion, pp.941-948, 2012.
 6. K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura and T. Shuku: Numerical simulation of embankment breaching due to overflow based on erosion rate of soils, New Frontiers in Computational Geotechnics, Takayama, pp.133-138, 2012.
 7. K. Fujisawa: Comparison of numerical simulation and experimental observation of embankment breaching caused by overflow, The 7th Asian Young Geotechnical Engineers Conference, pp.123-128, 2012.
 8. A. Murakami, T. Shuku, S. Nishimura, K. Fujisawa and K. Nakamura: Data assimilation using the particle filter for identifying the elasto-plastic material properties of geomaterials, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.37, pp.1642-1669, 2013.
 9. 藤澤和謙，村上章，西村伸一：砂・粘土混合材料の侵食速度測定と室内越流破壊実験，農業農村工学会論文集，第 273 号，pp.45-55，2011.
 10. K. Fujisawa, S. Nishimura and A. Murakami: Numerical simulation of dynamic seepage flow - Porous media interaction by finite volume method, Proceedings of the 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, pp.765-770, 2011.
 11. K. Fujisawa, S. Nishimura and A. Murakami: Numerical analyses of surface and internal erosion of soil structures, Proceedings of the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and

Geotechnical Engineering, Paper No.TC103_1, 2011.

12. K. Fujisawa and A. Murakami: Simultaneous modeling of seepage erosion and deformation of soils, Proceedings of the 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paper No.240, 2011.
13. K. Fujisawa, S. Nishimura and A. Murakami: Numerical simulation of dynamic behavior of seepage flow with finite volume method, New Frontiers in Computational Geotechnics, Brisbane, pp.75-80, 2011.

〔学会発表〕(計 17 件)

1. 坂井孝太郎, 藤澤和謙, 村上章: フェーズフィールド法を用いた浸透による地盤侵食解析法の開発, 平成 25 年度農業農村工学会全国大会, pp.618-619, 2013. (発表日 2013 年 9 月 4 日)
2. 辻村康佑, 藤澤和謙, 村上章: CWENO スキームを用いた流動化する土質材料の数値シミュレーション, 第 48 回地盤工学研究発表会, pp.1081-1082, 2013. (発表日 2013 年 7 月 25 日)
3. 坂井孝太郎, 藤澤和謙, 村上章: フェーズフィールド法を用いた地盤侵食による界面追跡法の開発, 第 48 回地盤工学研究発表会, pp.1085-1086, 2013. (発表日 2013 年 7 月 25 日)
4. 藤澤和謙, 村上章, 有本慎一, 川並俊輔: 非圧縮性流体の数値解法による流体(層流)と浸透流の連成解析, 第 48 回地盤工学研究発表会, pp.1083-1084, 2013. (発表日 2013 年 7 月 25 日)
5. 藤澤和謙, 村上章, 西村伸一, 珠玖隆行: 有限体積法による Darcy 流と Navier-Stokes 式の同時解析, 第 18 回計算工学講演会論文集, G-3-3, 2013. (発表日 2013 年 6 月 19 日)
6. 福田啓五, 藤澤和謙, 西村伸一, 珠玖隆行: CWENO スキームを用いた土質材料における浸透破壊現象の数値シミュレーション, 第 67 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp.106-108, 2012. (発表日 2012 年 11 月 1 日)
7. 児谷吉紘, 藤澤和謙, 西村伸一, 珠玖隆行: Navier-Stokes 方程式に基づく流体(層流)と浸透の同時解析, 第 67 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp.106-108, 2012. (発表日 2012 年 11 月 1 日)
8. 川並俊輔, 藤澤和謙, 村上章: Navier-Stokes 方程式に基づく浸透流及び層流の同時解析手法の開発, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, pp.782-783, 2012. (発表日 2012 年 9 月 20 日)
9. 辻村康佑, 藤澤和謙, 村上章: CWENO スキームを用いた土質材料の浸透破壊シミュレーション, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, pp.786-787, 2012. (発表日 2012 年 9 月 20 日)
10. 藤澤和謙, 西村伸一, 珠玖隆行, 村上章: 越水によって集中的に生じる堤体侵食の数値解析, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, pp.786-787, 2012. (発表日 2012 年 9 月 20 日)
11. 辻村康佑, 藤澤和謙, 村上章: CWENO スキームを用いた流動化する土質材料の数値シミュレーション, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.893-894, 2012. (発表日 2012 年 7 月 16 日)
12. 川並俊輔, 藤澤和謙, 村上章: Navier-Stokes 方程式に基づく浸透と流体(層流)の同時解析手法の開発, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.889-890, 2012. (発表日 2012 年 7 月 16 日)
13. 藤澤和謙, 西村伸一, 珠玖隆行, 村上章: 越水を受ける堤体の侵食過程に関する 3 次元数値シミュレーション, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.933-934, 2012. (発表日 2012 年 7 月 14 日)
14. 藤澤和謙, 佐藤太一, 西村伸一, 村上章: 浅水流方程式を用いた堤体の越流侵食シミュレーション, 第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会, pp.17-18, 2011. (発表日 2011 年 10 月 19 日)
15. 福田啓五, 藤澤和謙, 西村伸一: 浸透流の動的挙動に関する数値解析, 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, pp.386-387, 2011. (発表日 2011 年 9 月 8 日)
16. 藤澤和謙, 中谷亜友美, 西村伸一, 村上章: 浸透力による土粒子の移動/輸送速度の実験的把握, 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, pp.384-385, 2011. (発表日 2011 年 9 月 8 日)
17. 藤澤和謙, 西村伸一, 村上章, 佐藤太一: 越流による堤体侵食の安定化数値解析, 第 46 回地盤工学研究発表会, pp.1071-1072, 2011. (発表日 2011 年 7 月 5 日)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.agrifacility.kais.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤澤 和謙 (Kazunori Fujisawa)

京都大学・大学院農学研究科・講師

研究者番号: 30510218