



個別要素法を用いた一次元上昇浸透流による地盤内砂粒間力の低減と粒子移動特性の把握

廣瀬, 哲夫
田中, 勉
内田, 一徳
河端, 俊典
中瀬, 仁

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 13:243-253

(Issue Date)

2009-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81001970>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81001970>



個別要素法を用いた一次元上昇浸透流による地盤 内砂粒子間力の低減と粒子移動特性の把握

Characteristics of interparticle forces and particle movements caused by a
vertical upward seepage flow in soil using DEM

廣瀬 哲夫¹⁾

Tetsuo Hirose

田中 勉²⁾

Tsutomu Tanaka

内田 一徳³⁾

Kazunori Uchida

河端 俊典⁴⁾

Toshinori Kawabata

中瀬 仁⁵⁾

Hitoshi Nakase

概要：浸透破壊メカニズムを解明するために、一次元上昇浸透流のある地盤について、個別要素法と差分法を組み合わせ解析し、ミクロな視点から、粒子移動と粒子間力の関係について考察し、次のような結論を得た。(1) 一次元上昇浸透流のある地盤において、限界水頭差に達すると、砂柱を構成する全粒子が上昇する。(2) 段階的に水頭差を増加してゆくにつれて、限界水頭差未満の水頭差では、流体力の増加に対応して粒子間接触力が減少し、各粒子間距離が微小変化して増加することで重力と粒子間接触力と流体力がバランスするが、限界水頭差に達すると粒子間接触力がなくなり、全粒子が全体的に上方へ移動を開始する。

キーワード：個別要素法, 一次元上昇浸透流, 限界水頭差, 粒子間接触力

1. 序論

地下水位の高い地点における土木構造物や基礎の設計では、地盤の浸透破壊が問題となる。また、浸透水による土構造物および基礎地盤の破壊は、性能設計における主要課題の一つである。社会の流れと同様に、設計におけるグローバル化の潮流の中で、性能照査の観点から、地盤の浸透破壊における破壊メカニズムの解明が重要になると考えられる。

ここでは、個別要素法による地盤の粒状体モデルと差分法による浸透流モデルを組み合わせることによって、一次元上昇浸透流における地盤モデルを構築してシミュレーションを行った。一次元上昇浸透流による地盤の破壊について、「土塊全体の挙動としてマクロな視点からみた地盤の一次元浸透破壊理論による限界状態¹⁾」、及び、「個別要素法と差分法を組み合わせたシミュレーションによって、ミクロな視点からとらえた粒子移動特性や地盤構成砂粒子における粒子間力の低減」に着目して考察を行った。そして、マクロな視点から地盤を土塊全体として見たときには得られなかった有意義な結論を得た。

2. 一次元上昇浸透流による砂柱の破壊理論¹⁾

地盤の浸透破壊モデルを考えると、水で飽和された土粒子の間隙内を浸透水が流れると、ミクロに見ると、個々の土粒子は水より抵抗力を受ける²⁾³⁾。これをマクロに見ると、単位体積内の土粒子に働く抵抗力の合力(浸透力)は、流量流速の方向の体積力として与えられる²⁾。Fig.1 に上昇浸透流のある一層系砂柱のモデルを示す。

Fig.1 に示すような一層系砂柱について、限界動水勾配 i_c は次式で表すことができる¹⁾。

$$i_c = \frac{h_c}{l} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (1)$$

ここに、 h_c は限界水頭差、 l は砂層の厚さ、 γ' は土の水中単位体積重量、 γ_w は水の単位体積重量である。一層系砂柱は、下端における水頭値を上昇させてゆくと、 $h=h_c$ で限界状態になり破壊する。解析モデルとして用いた一層系砂柱は、厚さ $l=0.11\text{m}$ 、水中単位体積重量 $\gamma'=885.7\text{kg/m}^3$ である。このとき、限界水頭差 h_c は、

$$h_c = \gamma' / \gamma_w \times l = 885.7 / 980 \times 0.11 = 0.099415\text{m}$$

となる。

2. 個別要素法解析

(1) 解析方法

地盤における浸透流や、浸透破壊に対する安定性を解明する最も一般的な方法として、浸透破壊実験がある。砂粒子を用いて土槽内に地盤モデルを構築し、浸透水を流し、破壊するまで水頭差を上げてゆくものである。境界条件やパラメータの組み合わせによっておこる浸透流について、ピエゾメータによる全水頭値や浸透流量、地盤の表面変位や地盤を構成する土粒子の移動ベクトル等を計測して地盤の浸透に関する基本情報を抽出・収集する。これらの基本情報をもとに、地盤の浸透流特性、逆解析による地盤の透水特性や、各水頭差に対応した地盤状態の変化を把握することができる⁴⁾。

一方、近年、浸透流に関して、計算機の高性能化と普及に伴って、数値解析(Numerical analysis)や数値シミュレーション(Numerical simulation)は、地下水流(浸透流)にかかわる諸問題を解くための極めて実用的で有効な手段として評価され、いまや解析方法の主流となっている⁵⁾。数値シミュレーション手法は、支配方程式が微分方程式で表されるものと積分方程式で表されるものに大別される。前者の代表的なものが差分法であり、後者の代表的なものが有限要素法である。どちらの解析法でも解析領域を部分領域に分割して基礎方程式の離散化(Discretization)を行う⁵⁾。

数値解析によって地盤の浸透破壊に対する安全性を照査する場合、まず浸透流解析モデルによって地盤における浸透流の特性を把握し、その浸透特性に適合した浸透破壊解析モデルを用いて地盤の安定性を評価する必要がある。

浸透流による地盤の破壊に対する安定性を評価する方法には、多孔質媒体を連続体としてとらえるマクロな視点からからの、一次元上昇浸透流について砂柱モデル¹⁾、二次元地盤についての Terzaghi の方法や Prismatic failure の考え方^{6) 7)}がある。一方、多孔質媒体を離散化した要素としてとらえるミクロな視点に基づいた個別要素法によるモデル化がある⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。個別要素法では、多孔質媒体を土粒子(要素)の集合体と考え、与えられた境界条件のもとで、要素一つ一つが隣接する要素から伝達される接触力を求める。すなわち、個別要素法は、多孔質媒体の変位や、接触力のモデルである。ここでは、個別要素法による多孔質媒体のモデル化と差分法による浸透流のモデル化を組み合わせ、一次元上昇浸透流に対する浸透破壊安定性を照査する方法について考察した。

(2) 解析条件

砂粒子を個別要素法、上昇浸透流を差分法でモデル化して組み合わせて解析した。解析モデルとしては、Fig.1 を参照して、厚さ $l=0.11\text{m}$ 、幅 $b=0.15\text{m}$ の一層系砂柱を考える。解析モデル定数は、浸透破壊実験で使用している琵琶湖砂3の物理定数(平均粒径 D_{50} 、均等係数 U_c 、透水係数 k_{15})から、計算機能力を勘案して決定した。すなわち、解析モデルの粒子数を57,714個、平均粒径 D_{50} を琵琶湖砂3の2倍の0.566mm、均等係数と透水係数を琵琶湖砂3と

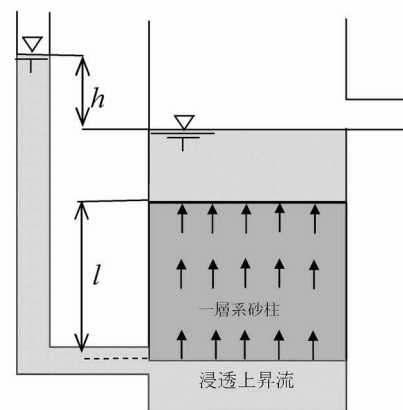


Fig.1 一次元上昇浸透流のある一層系砂柱モデル

同様の 1.404 と $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ とした¹¹⁾。また、個別要素法に必要な定数は、使用する個別要素が二次元モデルであること、及び、これまでの解析事例^{8) 9) 10)}を参考にして決定した。Table 1 に計算に用いた解析モデルの定数を示す。

初期状態の粒子モデルは次のように作成した。まず、個別要素モデルの平均粒径を 0.566mm とし、均等係数が 1.404 となるように粒度分布曲線を設定し、その曲線に対応した 20 粒径を設定して、擬似乱数によって粒子位置と粒径を発生させて配置した。次に、個別要素法を用いて、重力下で落下法によるパッキングを行い、厚さ $l=0.11\text{m}$ 、幅 $b=0.15\text{m}$ 、密度 1.69kg/m^3 の砂柱を作製した。

一次元上昇浸透流の解析は、個別要素法によって作製した初期状態の砂粒子モデルと、差分法による浸透流モデルを組み合わせで行った。差分法においては、砂粒子モデルの下端と上端に水頭値を与え、下端から上端に向かって浸透流が上昇する状態について解析した。上下端の水頭差は、 3.0cm から 12.25cm まで順次増加させていった。解析ケースとして、CASE 1～CASE 10 ($h=3.0, 6.0, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.25\text{cm}$)を考えた。

(3) 解析結果

ここでは、個別要素法による粒子移動解析の結果について述べる。

a) 粒子移動特性 Fig.2 に、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ のときの、上昇浸透流による個別要素法モデルを示す。Fig.3 に、水頭差 $h=12.25\text{cm}$ のときの、上昇浸透流による個別要素法モデルを示す。

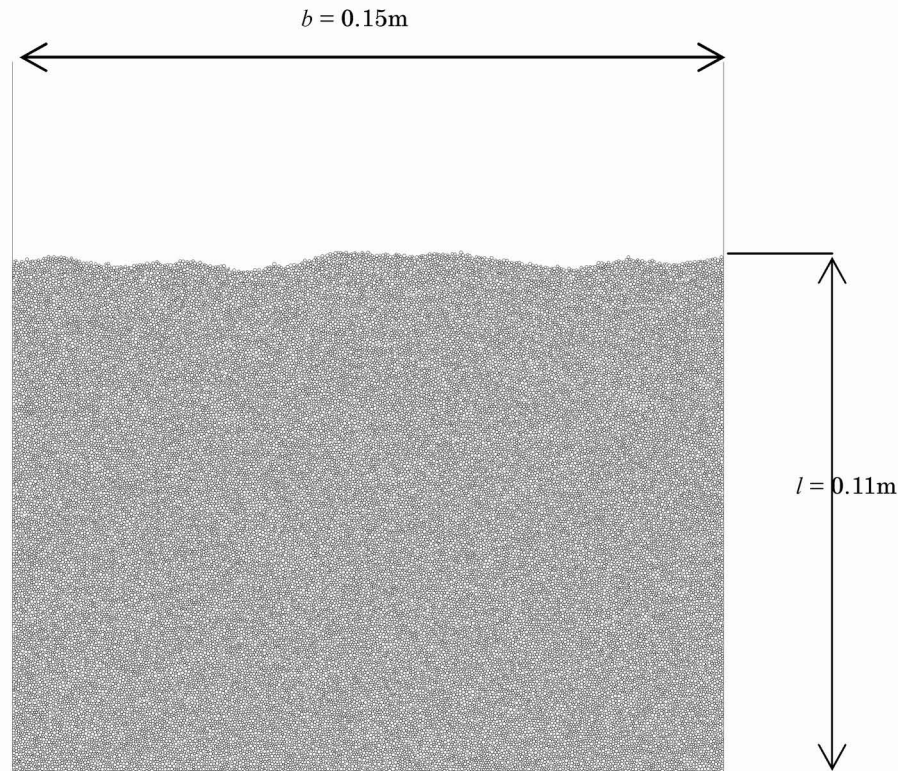


Fig.2 水頭差 $h=3.0\text{cm}$ のときの上昇浸透流による個別要素法モデル(低水頭差段階におけるモデルの状態)

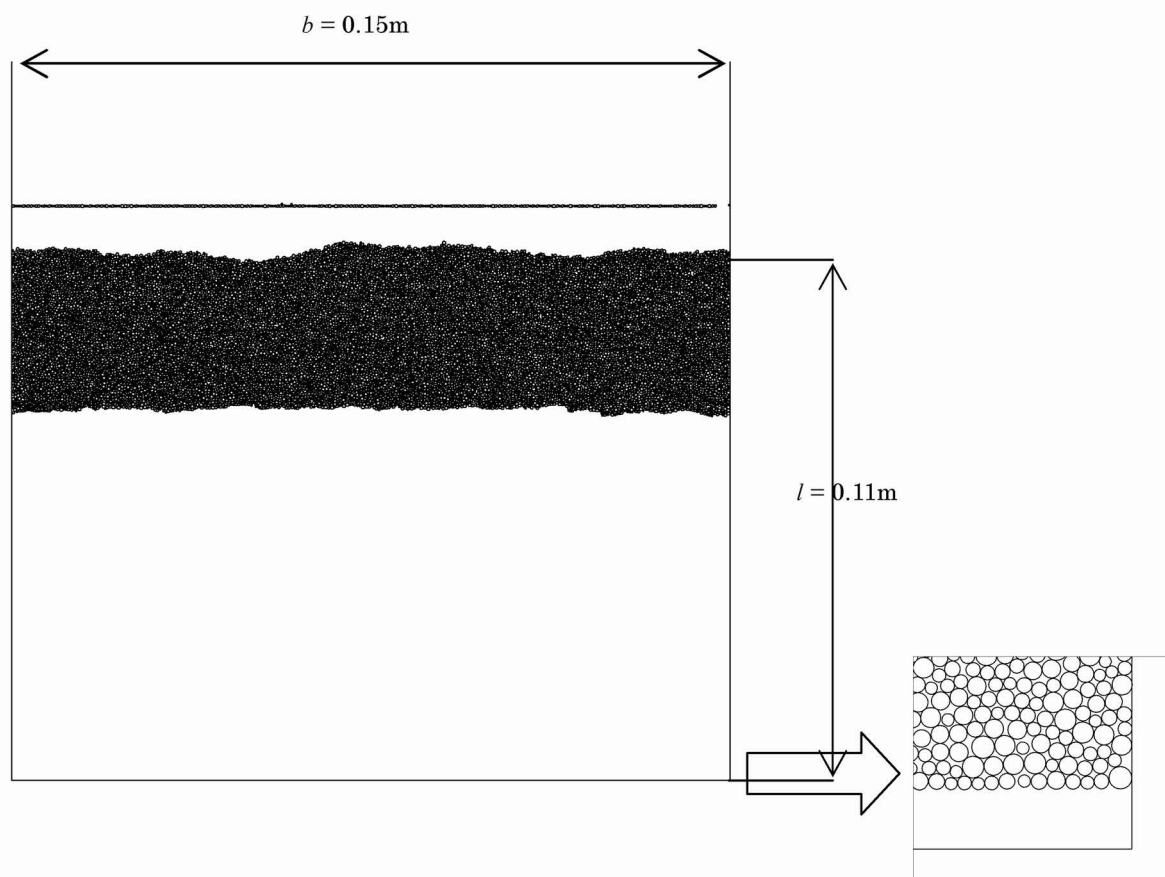


Fig.3 水頭差 $h=12.25\text{cm}$ のときの上昇浸透流による個別要素法モデル(砂柱全体が上昇したときの様子)

Fig.2 から、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ のとき、粒子の移動状況は確認できない。Fig.3 から、水頭差 $h=12.25\text{cm}$ のとき、砂粒子が砂柱全体として底面から上方向に移動している状況(底面から浮き上がっている状況)が確認できる。

次に、各水頭差段階における個別要素法による砂粒子の移動の状況を詳細に検討するために、パッキング後からの各粒子の移動量(移動ベクトルの大きさ)について調べた。Figs.4, 5 に、 $h=3.0\text{cm}$ 及び $h=12.25\text{cm}$ のときの、砂粒子移動量(対数表示)の鉛直方向の分布を示す。

Fig.4 から、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ での各粒子の鉛直位置における移動量(移動ベクトルの大きさ)は、砂柱底部から表面に近くなるほど大きくなり、底部付近で $0.3\text{mm}\sim 0.02\text{mm}$ 、表面付近で $4.0\text{mm}\sim 0.4\text{mm}$ である。表面から飛翔する砂粒子が観察され、表面付近では最小でも平均粒径程度移動していることから、砂粒子は再配列を繰り返しながら緩みが進行している状態にあると考えられる。底部では最大でも平均粒径以下の移動しかなく、移動や粒子の再配列はほとんど進んでいないといえる。

ここでは、図示していないが、水頭差 $h=10.0\text{cm}$ 、 12.0cm のケースにおいても、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ のケースとほぼ同様の傾向を示すことがわかった。この場合、各粒子の鉛直位置における移動量は、砂柱底部から表面に近くなるほど大きくなり、底部付近で $0.3\text{mm}\sim 0.02\text{mm}$ 、表面付近で $4.0\text{mm}\sim 0.4\text{mm}$ である。

Fig.5 から、水頭差 $h=12.25\text{cm}$ での各粒子の鉛直位置における移動量は、他の水頭差のケースと著しく異なり、砂柱底部から表面まで差がなく、全粒子が全体的に約 2mm 移動していることがわかる。

4. 粒子間力の低減

上昇浸透流を受ける砂柱内の砂粒子 i にかかる力は、重力、他粒子からの接触力、及び、浸透流による流体力である。砂粒子 i にかかる力 F_i は、

$$F_i = F_{Gi} + F_{Ci} + F_{Si} \quad (2)$$

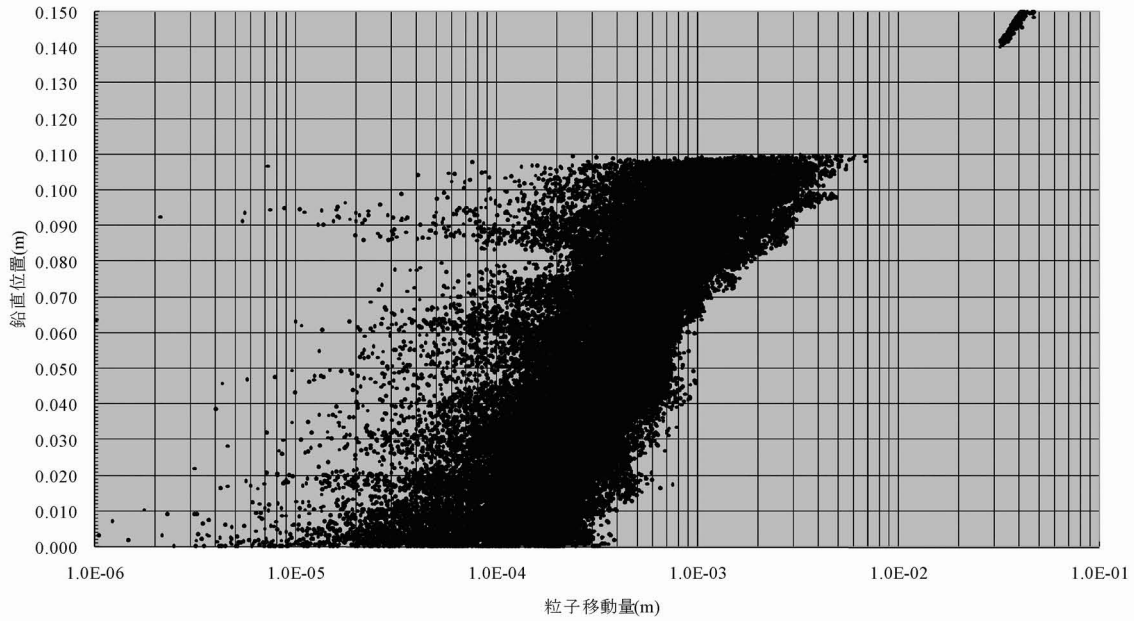


Fig.4 水頭差 $h=3.0\text{cm}$ での各粒子の鉛直位置における移動量の分布

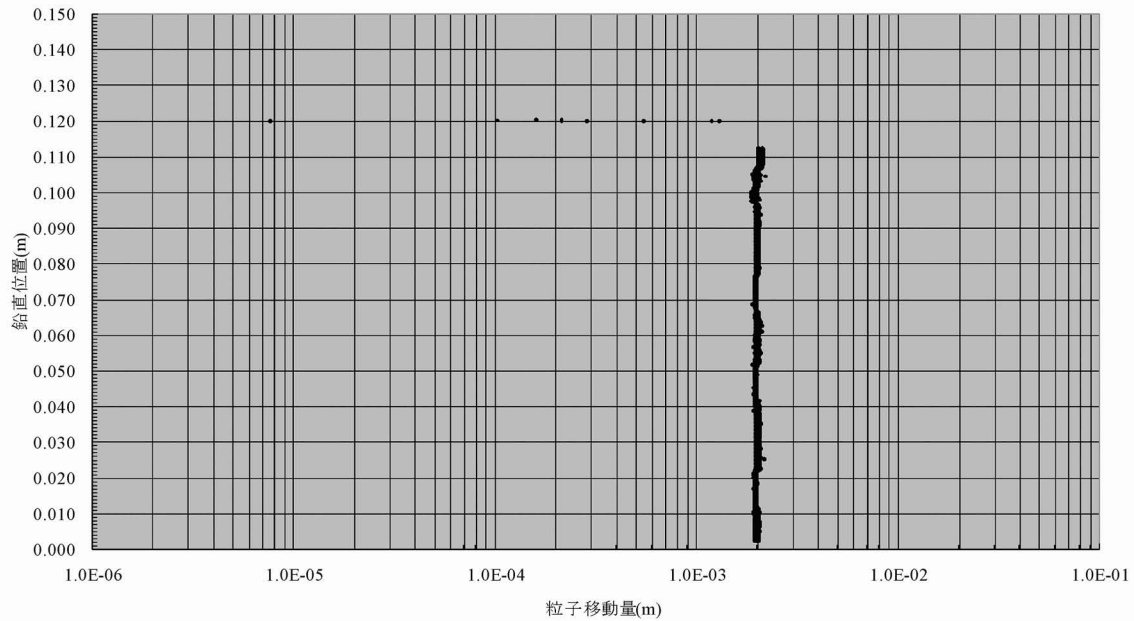


Fig.5 水頭差 $h=12.25\text{cm}$ での各粒子の鉛直位置における移動量の分布

と表せる。ここに、 F_{Gi} , F_{Cb} , F_{Si} は、粒子 i についての重力加速度、粒子間接触力、流体力である。ここでは、一次元上昇浸透流モデルについて考えているので、動水勾配が増加し、浸透流速が大きくなると、鉛直方向上向きの流体力 F_{Si} が増加し、鉛直方向下向きの重力 F_{Gi} の効果を低減させるように作用する。このときの粒子間力や粒子移動を、個別要素法で解析することによって、一次元上昇浸透流による砂柱内砂粒子のミクロな挙動を把握することができる。ここでは、各砂粒子径が異なることから、各砂粒子の単位質量当りの鉛直方向力に着目する。

個別要素法は、時刻 t において粒子 i にかかる力の総計から粒子速度を算定して微小時間 Δt 秒後の粒子 i の位置を算出することを繰り返す陽解法である。すなわち、粒子 i について、力の総計は、単位質量及び単位時間当たり、 $F_i = \rho_i \Delta v_i / \Delta t$ となる。ここに、 $\rho_i \Delta v_i$, Δt は粒子 i の質量、速度変化、微小時間である。これより、粒子 i に関して Δt 秒後の速度変化は $\Delta v_i = F_i \Delta t / \rho_i$, Δt 秒後の速度は $v_i + \Delta v_i$ となり、粒子 i の位置は、 $r_i' = r_i + \Delta t (v_i + \Delta v_i / 2)$ から算出

される。ここに、 r_i' 、 r_i は時刻 $t + \Delta t$ における粒子 i の位置ベクトル、時刻 t における粒子 i の位置ベクトルである。粒子間力は、粒子移動が定常的になったと考えられる時点（ある繰返し計算回数の時点）において評価した。

水頭差 h で定常状態の一次元上昇浸透流を受ける砂柱においては、 Δh だけ水頭差を上昇させると、粒子間力は、流体力の増分に対して平衡状態を保つように変化して一定値に漸近する。個別要素法の各計算ステップにおいて、粒子にかかる外力の鉛直方向力の合計を、各粒子の単位質量当りで考え、[重力 F_{Gi} + 接触力の鉛直方向成分 $|F_{Ci}| \sin \phi_i$]/ ρ_p とした。ここに、 $|F_{Ci}|$ 、 ϕ_i は粒子 P_i に関する接触力ベクトルの合力の大きさ、接触力ベクトルの合力の方向角である。

Fig.6に、浸透開始時 $h=3.0\text{cm}$ から破壊時 $h=12.25\text{cm}$ まで、段階的に水頭差を上昇させたときに、各ケースについて単位質量当り鉛直方向力の全粒子平均値を累加計算ステップ数に対して表した。

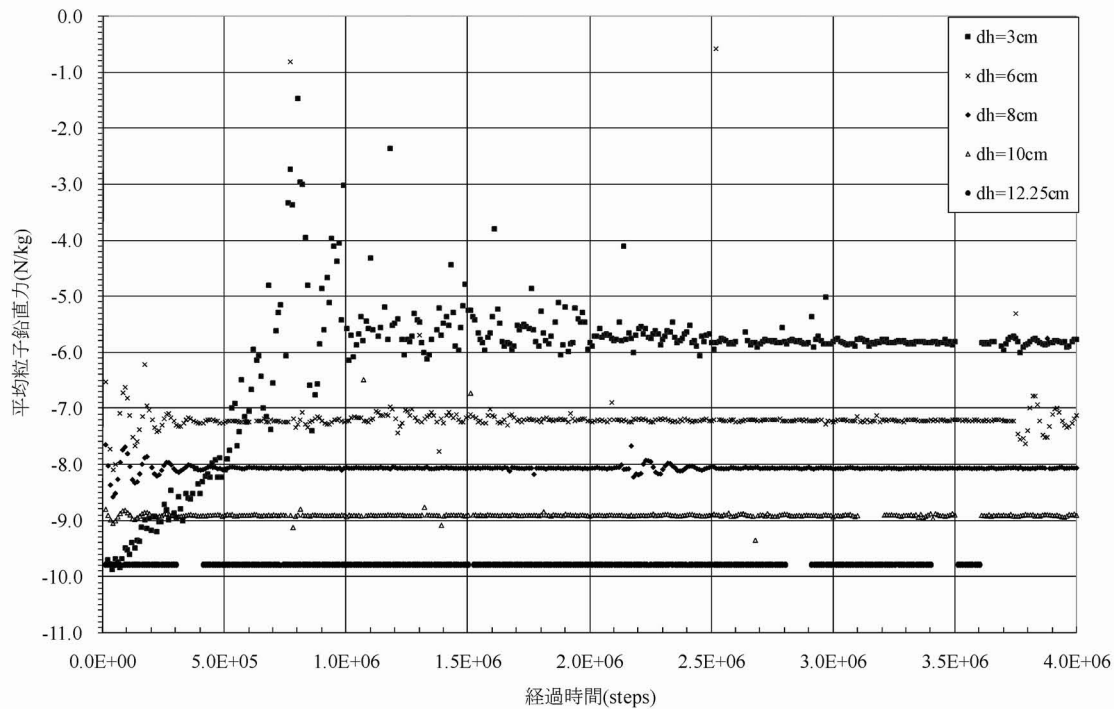


Fig.6 各水頭差における単位質量当り鉛直方向力の全粒子平均値の変化

$h=3.0\text{cm}$ のケースは、空中落下法によって作製した初期状態の個別要素モデルに、初めて水頭差を与えたものである。 $h=3.0\text{cm}$ の場合、Fig.8 から、計算開始から各計算ステップごとに鉛直方向力が上昇し -5.8N/kg に漸近することがわかる。漸近するまでの鉛直方向力の振れ幅は、他のケースと比較して最も大きく、収束するまでの計算ステップ数(3.0×10^6 steps)も最も多い。

水頭差 $h=6.0\text{cm}$ のケースは、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ の解析終了時のデータを初期値とし、水頭差を $\Delta h=3.0\text{cm}$ だけ上昇させて計算を行ったものである。計算開始から比較的小さな振れ幅で振動しながら、各計算ステップに伴い鉛直方向力が -7.2N/kg に漸近することがわかる。漸近するまでの鉛直方向力の振れ幅は $-6\text{N/kg} \sim -8\text{N/kg}$ であり、水頭差 $h=3.0\text{cm}$ のケースと比較して小さくなっている。また、収束するまでの計算ステップ数(2.0×10^6 steps)は $h=3.0\text{cm}$ のケースの2/3になっている。

解析では、以降、水頭差を $h=8.0\text{cm}$, 9.0cm , 9.5cm , 10.0cm , 10.5cm , 11.0cm , 11.5cm , 12.0cm , 12.25cm と段階的に増加させた。鉛直方向力は $h=12.0\text{cm}$ で -9.75N/kg 、 $h=12.25\text{cm}$ で -9.8N/kg になっている。これは、 $h=12.25\text{cm}$ のとき、砂粒子について、粒子間接触力が無くなり重力と上向きの流体力が釣り合った状態、すなわち、クイックサンドの状態になっていることを表している。

水頭差 $h=12.25\text{cm}$ 以外のケースでは、鉛直方向力は、計算開始時に(5.0×10^5 stepsに至るまでに)小規模な振れが発生するものの、どのケースも一定値に収束する傾向を示す。

水頭差 $h=12.25\text{cm}$ のケースでは、鉛直方向力は、計算開始時からほとんど振れが無く -9.8N/kg を示す。各水頭差に関する鉛直方向力(全粒子 $N=57,714$ 個の平均値)の収束値をTable 2に示す。

Table 2 各水頭差に対する全粒子平均鉛直方向力の収束値

水頭差(cm)	3.0	6.0	8.0	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.25
鉛直方向力 (N/kg)	-5.8	-7.2	-8.1	-8.5	-8.7	-8.9	-9.1	-9.3	-9.5	-9.7	-9.8

次に、水頭差 $h=3.0\text{cm}$, 12.25cm における各粒子の鉛直方向力の鉛直方向分布を Figs.7, 8 に示す。

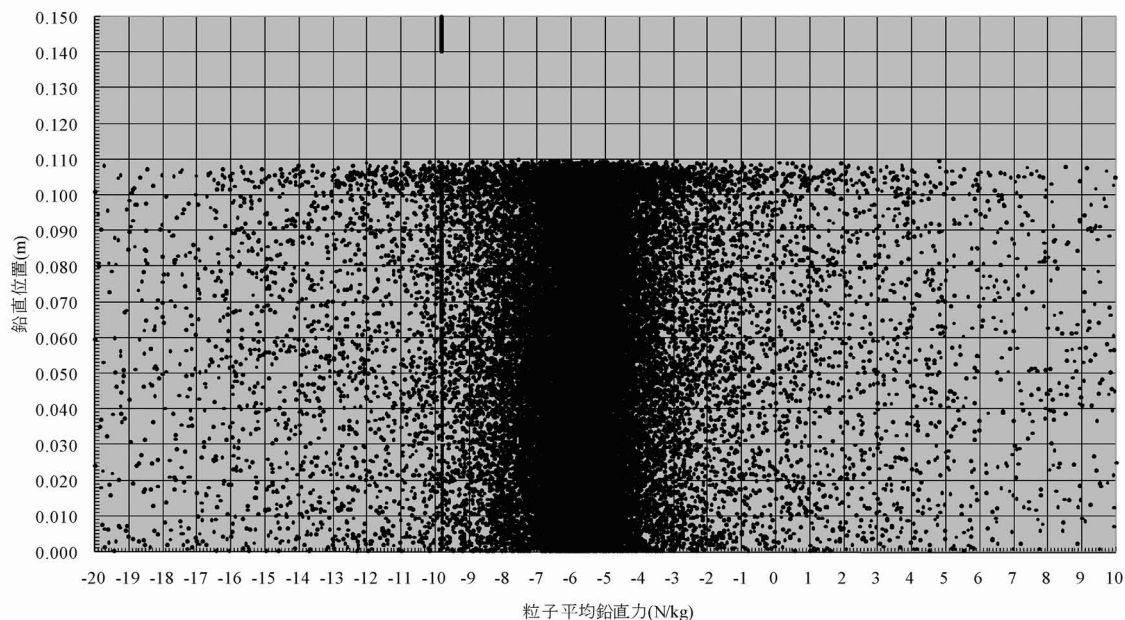


Fig.7 水頭差 $h=3.0\text{cm}$ における各粒子の鉛直方向力の鉛直方向分布

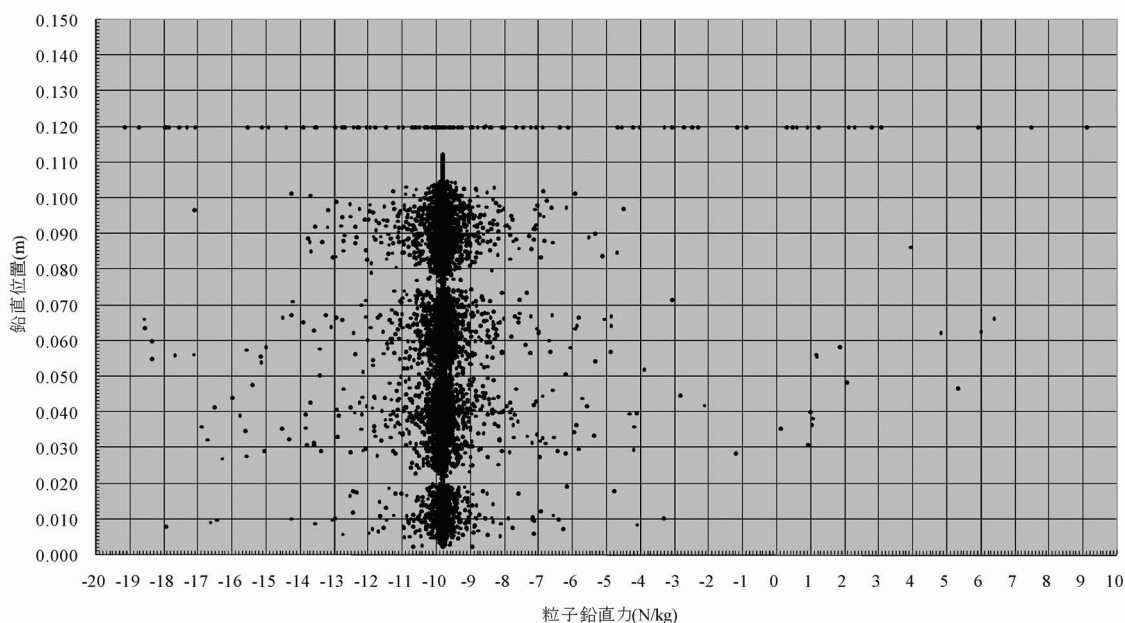


Fig.8 水頭差 $h=12.25\text{cm}$ における各粒子の鉛直方向力の鉛直方向分布

$h=3.0\text{cm}$ における各粒子の鉛直方向力は鉛直方向に、砂柱の表面に近い厚さ $10\text{cm}\sim 11\text{cm}$ の位置ではやや広い範囲に分布するが、それ以外では -5.8N/kg 近傍を中心に $-4\text{N/kg}\sim -8\text{N/kg}$ の範囲に分布する。

ここでは示していないが、 $h=10.0\text{cm}$, 12.0cm においても $h=3.0\text{cm}$ のケースとほぼ同様の傾向を示し、中心部(平均

値)が次第に低減して-9.8N/kg に近づいてゆく。分布範囲の幅は 4N/kg 程度である。

$h=12.25\text{cm}$ の場合、他の水頭差のケースと著しく異なり、各粒子の鉛直力は-9.8N/kg を中心とする狭い範囲に分布する。分布範囲は-10.2N/kg~-9.4N/kg(すなわち、幅が 0.8N/kg 程度)と大変狭い。

次に、 $h=3.0\text{cm}$, 12.25cm における各粒子の鉛直力の水平方向分布について、Figs.9, 10 に示す。

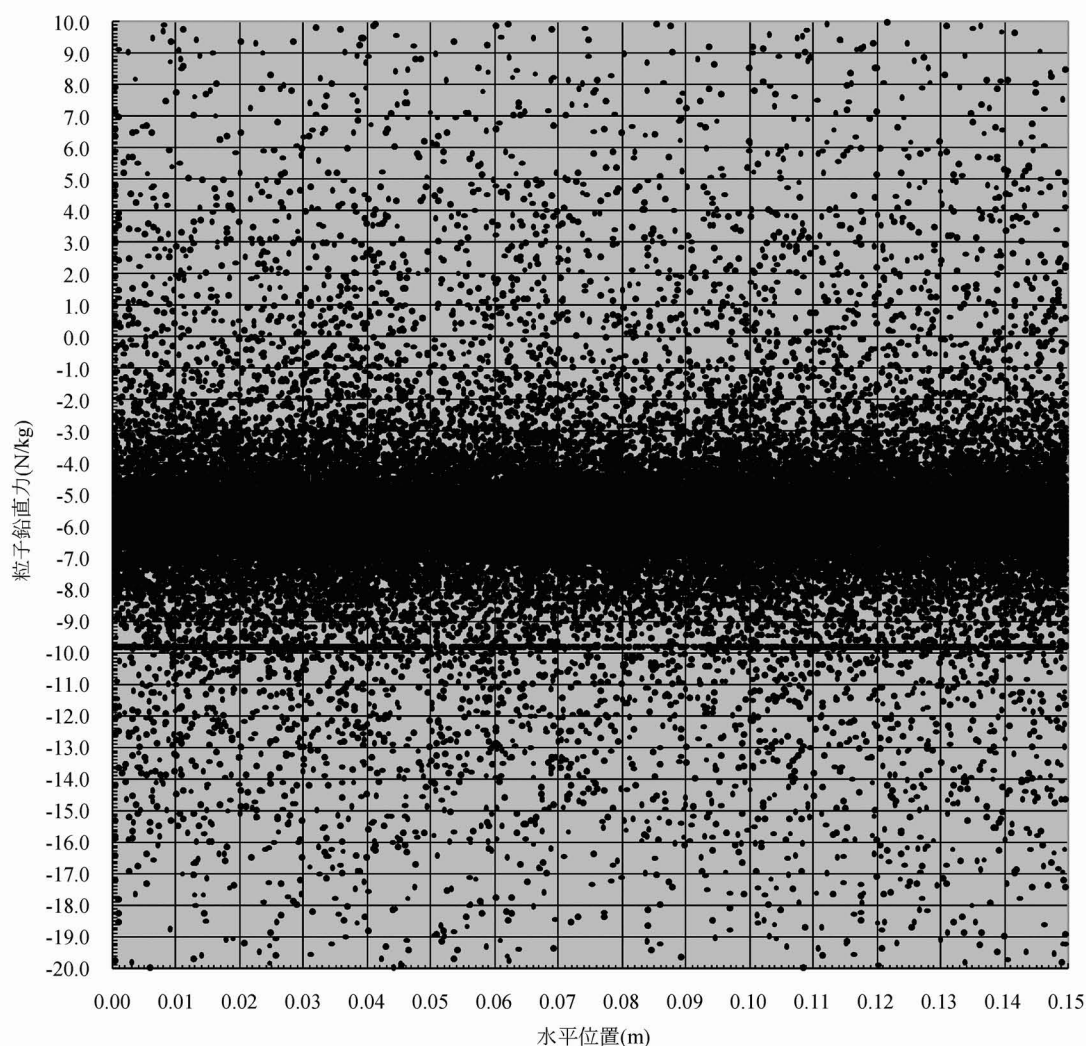


Fig.9 水頭差 $h=3.0\text{cm}$ での各粒子鉛直力の水平方向分布

$h=3.0\text{cm}$ における各粒子の鉛直方向力は、水平方向に、全粒子平均値の-5.8N/kg を中心に左端から右端までの全範囲にわたって-4N/kg~-8N/kg と比較的広い範囲に多く分布する。ただし、少数ではあるが、飛翔したと考えられる粒子については、水平方向の全範囲にわたって-9.8N/kg に分布するグループを形成する。

ここでは示していないが、 $h=10.0\text{cm}$, 12.0cm のケースにおいても、 $h=3.0\text{cm}$ のケースとほぼ同様の傾向を示し、中心部(平均値)が次第に低減して-9.8N/kg 近傍に漸近してゆく。分布範囲の幅は 4N/kg 程度である。

$h=12.25\text{cm}$ の場合は、他の水頭差のケースと著しく異なり、各粒子の鉛直力は-9.8N/kg を中心とする狭い範囲に分布する。分布範囲は-10.2N/kg~-9.4N/kg(すなわち、幅が 0.8N/kg 程度)と大変狭い範囲に分布する。

5. 結論

浸透破壊メカニズムを解明するために、一次元上昇浸透流のある地盤について、個別要素法と差分法を組み合わせさせて解析し、ミクロな視点から、粒子移動と粒子間力について考察した。ここでは、厚さ $l = 0.11\text{m}$ 、水中単位体積重量 $\gamma = 885.7\text{kg/m}^3$ 、限界水頭差 $h_c = 0.099415\text{m}$ の一層系地盤について解析し次の結論を得た。

まず、粒子移動特性について次のようになる。

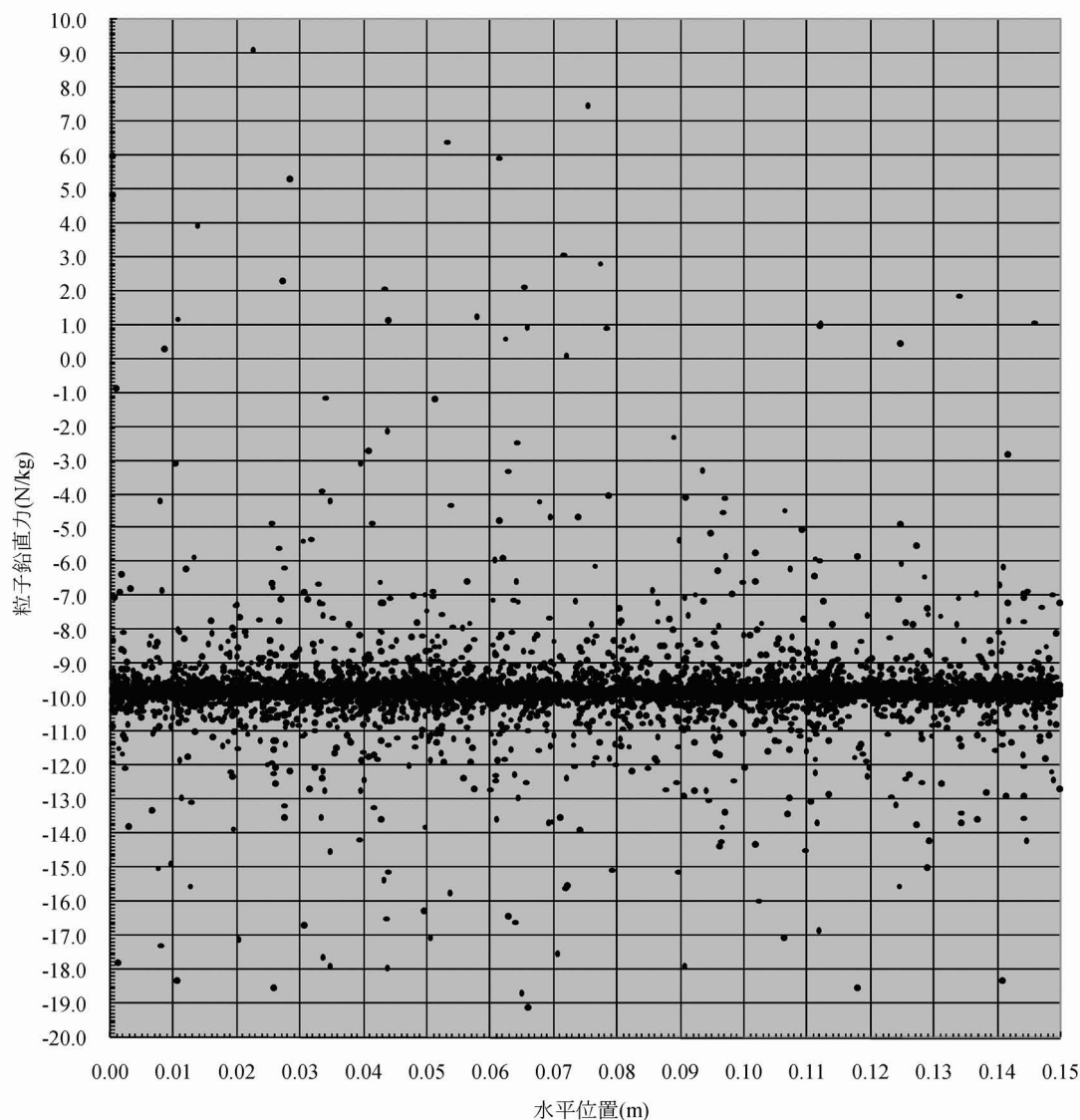


Fig.10 水頭差 $h=12.25\text{cm}$ での各粒子鉛直力の水平方向分布

(1) 水頭差 $h=3.0\text{cm}\sim 12.0\text{cm}$ では、大きな粒子移動を確認できないが、水頭差 $h=12.25\text{cm}$ では、砂柱が底面より離れ、粒子が全体的に上方向に移動したことが確認できる。

次に、粒子間力の低減について次のようになる。

(2) 各水頭差における、単位質量あたりの全粒子の平均鉛直方向力は、水頭差が上昇するにつれて低減し、各水頭差に対応した鉛直方向力の値に収束する。

(3) 水頭差が $h=12.25\text{cm}$ より小さいとき、全粒子の各鉛直位置における単位質量当り鉛直方向力は、砂柱の底部から表面まで各水頭差に対応した全粒子平均鉛直方向力の収束値を中心に、約 4N/kg の比較的広い範囲に分布するが、水頭差 12.25cm では、他のケースと著しく異なり、 -9.8N/kg を中心に 0.8N/kg 程度の狭い範囲に分布する。これは、 $h=12.25\text{cm}$ のとき、砂粒子について、粒子間接触力が無くなり重力と上向きの流体力が釣り合った状態、すなわち、クイックサンドの状態になっていることを表している。

ここで、一次元浸透破壊理論による限界水頭差は約 10cm であり、個別要素法と差分法を組み合わせたシュミレーション方法による限界水頭差 12.25cm とは2割程度の差がある。これは、個別要素法が二次元モデルであるのに対し、実際の砂粒子が三次元粒状体であることが原因であると考えられ、今後、一次元浸透破壊実験、個別要素

法モデルの三次元化が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 澤田敏男, 長谷川高士, 田中 勉 (1980): 一次元一層系砂柱の浸透破壊問題 —一次元上昇流による砂柱の浸透破壊に関する理論的研究(1), 農業土木学会論文集, 第 88 号, pp. 45-50.
- 2) 吉田昭治 (1968): 浸透流の基礎的研究 —浸透流体の力学—, 山形大学紀要(農学), 第 5 卷, 第 3 号, pp.257-329.
- 3) 高野 彰 (1955): 流体力学, 岩波書店 pp.221-224.
- 4) 廣瀬哲夫 (2008): 地盤特性を考慮した浸透破壊安定性の評価方法と性能照査に関する研究, 神戸大学 学位論文 博士(学術), 2008.03.25.
- 5) 佐藤邦明, 岩佐義郎 (2002): 地下水理学, 丸善株式会社.
- 6) Tanaka, T., Toyokuni, E. and Ozaki, E. (1996): Prismatic failure – A new method of calculating stability against boiling of sand within a cofferdam, Proc. of Intl. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, pp. 219-224.
- 7) 田中 勉 (1996): 上昇浸透流を受ける矢板背後地盤の浸透破壊 —Prismatic failure の概念と解析結果—, 農業土木学会論文集, No.186, pp.77-87.
- 8) 後藤仁志, 林 稔, 安藤 怜, 酒井哲郎 (2003): 固液混相流解析のための DEM—MPS 法の構築, 水工学論文集, 第 47 卷, pp.547-552.
- 9) 中瀬 仁, 武田智吉, 石川博之 (1998): 実地盤の液化化に対する個別要素法の適用, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.485-486.
- 10) 澤田 豊, 河端俊典, 北野友洋, 内田一徳, 平井貴雄, 斎藤喜久雄 (2005): ジオグリッドを用いたスラスト防護工法の水平抵抗メカニズムに関する研究, ジオシンセンティックス論文集, 第 20 卷, pp.217-222.
- 11) 廣瀬哲夫, 田中 勉, 内田一徳, 河端俊典, 中瀬 仁 (2007): DEM を用いた地盤の一次元上昇流による浸透破壊と砂粒子移動特性の把握, 平成 19 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp.906-907.
- 12) 廣瀬 哲夫, 田中 勉, 内田一徳, 河端俊典, 中瀬 仁 (2008): 個別要素法を用いた一次元上昇浸透流による地盤の浸透破壊に対する限界状態と粒子の移動特性及び力学特性の把握, 第 43 回地盤工学研究発表会 平成 20 年度発表講演集, pp.1075-1076.

著者

- 1) 廣瀬哲夫, 建技インターナショナル(株), 元神戸大学大学院自然科学研究科, 博士課程後期課程
- 2) 田中 勉, 神戸大学大学院農学研究科, 教授
- 3) 内田一徳, 神戸大学大学院農学研究科, 教授
- 4) 河端俊典, 神戸大学大学院農学研究科, 准教授
- 5) 中瀬 仁, 東電設計株式会社

Characteristics of interparticle forces and particle movements caused by a vertical upward seepage flow in soil using DEM

Tetsuo Hirose
Tsutomu Tanaka
Kazunori Uchida
Toshinori Kawabata
Hitoshi Nakase

Abstract

Seepage failure is a problem for structures or foundations where the ground water level is high, and is one of the major issues from the perspective of performance based design. It is important to clarify the mechanism of seepage failure. In this study, combining distinct element method for modeling soil particles and the finite differential method for modeling seepage flow of ground water, the mechanism of seepage failure within a sand column is simulated.

The particle movement and interparticle forces are discussed for the sand column subjected to the one-dimensional upward seepage flow, and the following conclusions were obtained:

- (1) In one-dimensional upward seepage flow, all particles simultaneously begin to move upward when the head difference reached a critical level.
- (2) With increase in the head difference, contact forces between particles decrease and the distance between particles increases. The gravity, contact forces and seepage forces are balanced up to a critical level. Beyond the critical level of the hydraulic head difference, interparticle forces vanish and the soil particles enter a quick state.