

I-21 アルミ棒による変形局所化とすべり面進展のモデル実験

川崎製鉄	正員	岡	由剛
東京大学	正員	堀井	秀之
東京大学	正員	山口	栄輝

1 はじめに 近年の精密な支持力の模型実験により、地盤の破壊の進行性の問題が指摘されている。ここで言う進行性破壊とは、すべり面が徐々に進展して破壊が生ずる現象を意味する。

従来の支持力理論は、最終的なすべり面を仮定し地盤の支持力を算定している。最大荷重を精度良く予測するためには、進行性破壊を考慮した解析法が必要である。そのような解析法を確立するためには、現象を詳細に観察・計測して、現象を支配するメカニズムを明らかにする必要がある。過去にもこのような目的から実験が行われてきたが、実材料を用いた実験には非常に多くの要因が絡んでくる。そこで現象を理想化したモデル実験を行い、解析に必要な要因のみを取り出すというアプローチが有効であると考えられる。

以上のような背景を踏まえ本研究においては、地盤材料をアルミ棒で置き換え、地盤の破壊の進行性を確認し、すべり面の形成・進展の過程を明らかにすることを目的として単純化したモデル実験を行った。個々のアルミ棒の変位を計測する事が必要であるが、本研究では画像処理の手法を適用した計測法を確立して用いた。

2 実験装置および実験方法 アルミ棒は長さが10cm、直径が10mm・7mm・5mm・3.2mm・2mmの5種類を、柱面を平行にして枠の中に水平に高さ15cmまで積み上げた。左右の仕切り壁間の距離は30cmで、奥行きは10cmである。フーチングは幅10cmで、荷重は変位制御型の荷重装置を用い、フーチングの中心から17mmの位置に準静的に偏心荷重し、ロードセルによって計測した。また荷重位置の沈下量はダイヤルゲージによって測定した。荷重中、フーチング端付近の幅7cm、高さ5cm程度の領域をビデオカメラで撮影し、パーソナルコンピュータに接続した画像取り込みボードによってA/D変換してファイルに落とし、ワークステーション上で画像処理を行いアルミ棒の中心位置と半径を検出した（図1参照）。

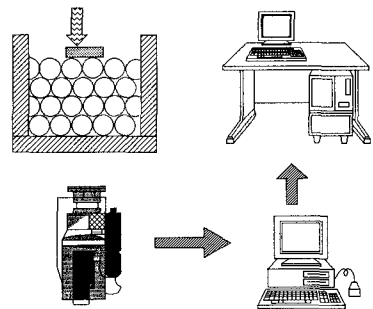


図1 実験・計測手順

3 画像処理による変位計測 画像処理によって得られる半径のデータと粒度分布の関係から、画素あたりの実際の長さが求められ、変形の各段階における位置のデータからは、各アルミ棒の中心位置の軌跡とひずみ場の分布が計算される。

A/D変換により得られた画像データ（図2 a）は、水平方向に512ドット、鉛直方向に512ドット（ビデオ信号の制約により実際に有効な鉛直方向のデータは435ドット程度）の解像度で、各ドットあたり8ビット=256階調の濃度値をもつ。各画素の水平方向の辺と鉛直方向の辺の実際の長さの比を表すアスペクト比は、4：3である。

この生画像に含まれているノイズを除去することを目的として、平滑化処理を行う。これはある画素の濃度値を、その近傍領域の平均値で置き換える

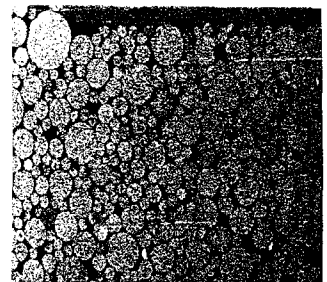


図2 a 入力画像

処理のことである。

次に画像中の各画素に対し、ある値よりも大きい濃度値を持つ画素を1、そうでない画素を0とする2値化処理を行う。この処理により画像中、アルミ棒がある部分は1に、空隙の部分は0になる（図2b）。

2値画像中値が1の画素を対象に、その画素から値が0の画素までの最短距離を求め、その画素の値とする処理を行う（図2c）。この距離変換により各画素の値がエッジまでの距離をあらわし、円の中心が極大値をとり、その極大値が半径を表すことになる。

このようにして得られた半径と位置のデータ（図2d）は、画素で2ドット、実際の長さで0.2mm程度の誤差を含んでいる。この値は当初目標としていた値とほぼ同程度であり、満足できる結果であると言える。しかしこの方法では、図形が円として認識されるために最低でも3から4ドット程度の半径が必要であると考えられる。実験結果においても、半径が10ドットより小さくなると誤って検出される率が増加した。このため測定できる領域が制限されるという問題がある。またアルミ棒の傷や汚れなどにより2値画像中にノイズが残って残ってしまった場合にも大きな影響があらわれる。画像データの解像度を上げることが困難であるため、より精度を良くするには、アルゴリズムの改良に加えアルミ棒にマーキングするなどの工夫が必要であると考えられる。なお、こうした画像処理による変位計測はアルミ棒だけではなく、メンブレンにマーキングをすることにより砂を用いた実験においても十分実用になると考えられる。

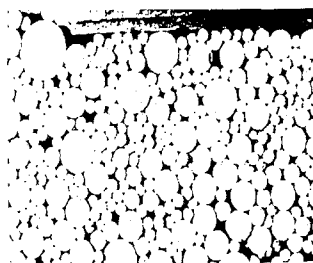


図2b 二値画像



図2c 距離画像

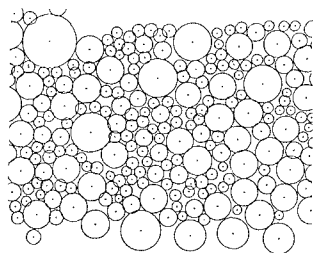


図2d 検出結果

4 実験結果 図3は変形の進行に伴う各アルミ棒の軌跡を表している。計測した領域を、アルミ棒の中心を結ぶ3角形領域に分け、アルミ棒の変位から各3角形領域の平均ひずみ、回転を求めた。最大荷重時における最大せん断ひずみの分布を図4に示す。

これらの結果を以下に整理する。载荷開始直後、ほぼ一様な沈下を続けたアルミ棒はある荷重に達すると再配置を行い、より密な状態へ移行する。ある程度この再配置が進んだところで、再び一様に沈下を始めるが、やがてフーチング左側の領域が、左側へ流れる。この時フーチング直下の領域では、再配置が完了し全体として下方へ向かう。この二つの流れの領域の境界部分に粒子間の間隙が生まれる。この間隙の大きな領域は、ひずみの大きな領域に対応している。その後フーチング直下の領域はくさびを形成し、左右の領域を押しつつ沈下する。この間もくさび左側の間隙の大きな領域は伸びており、すべり面が現れ始めたあたりで最大荷重を記録する。

進行性破壊が本実験においても確認された。実験初期のデータを用いDEM解析を行い、結果を本研究と比較することは興味深い。実験を重ね、すべり面進展のモデル化に有用な情報を抽出することが今後の課題である。

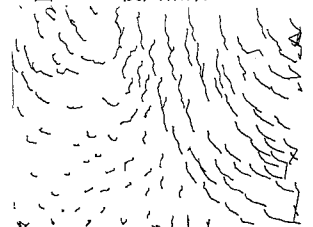


図3 各アルミ棒の軌跡

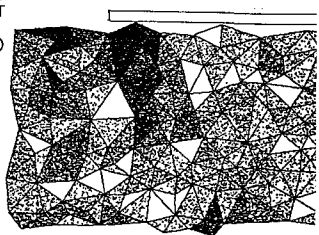


図4 最大せん断歪の分布