

引抜き力を受ける杭周辺地盤の挙動(その2:画像計測ソフトの開発)

電力中央研究所	材料構造部	正	酒井理哉
東京電力(株)	電力技術研究所	正	佐藤 博
東電設計(株)	送変電土木部	正	高橋秀明
セントラル技研	地盤調査部		藤井克博

1. はじめに

2次元土槽を用いた杭の引抜き模型実験¹⁾では、引抜き時の微小な変位をとらえるため、地盤の鉛直断面内で、変形とひずみの分布を面的に計測する必要がある。このため、格子パターン付きメンブレンを模型地盤に貼り付け、変形状況を撮影して、数千点に及ぶ格子点の座標を、専用の光学機器を用いて読み取ることが行われてきた。この作業には多大の労力を必要としたため、本論では、微小な変形を高い精度で計測する画像計測プログラムを開発し、杭の引抜き実験に適用した結果を報告する。

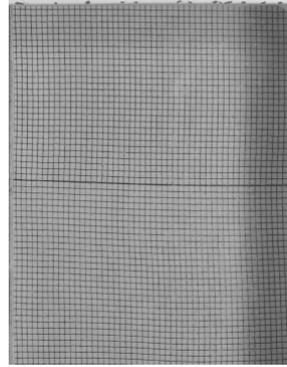


図1 元画像



図2 平均化画像

2. 画像解析方法

(1) 格子線の認識

図1に示すように、記録された画像には明るさのムラがあるため、 30×30 ピクセル毎に平均化して、全体的な明るさを補正する処理を施した(図2)。この元画像と平均化画像の輝度差で2値化処理し、格子線を認識させた。

(2) スケルトンと交点の抽出

線の連続性から格子の骨格(スケルトン)を抽出し、縦方向と横方向のスケルトンの交点を認識させた(図3)。

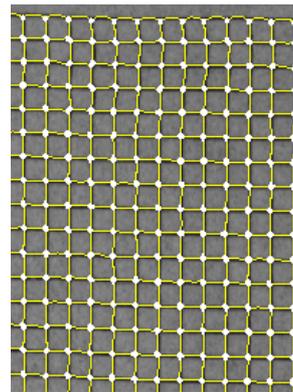


図3 格子認識状況

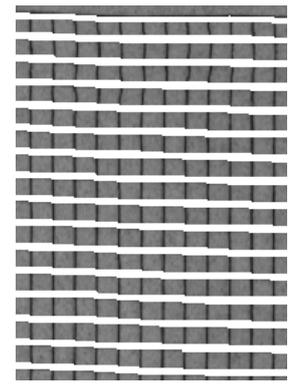


図4 横方向の線の認識

(3) ナンバリング

2値化画像で取得した格子から横方向の線だけを認識する処理を施した(図4)。この線に沿って、(2)で求めた格子点のナンバリングを行った。格子線の連続性を利用するため、変形が大きくなり、初期状態から1メッシュ以上移動しても、常に同じ格子点を追跡可能である。

(4) 格子線のエッジ認識

図5に画像の格子点近傍を拡大した図を示す。格子線の中央部は輝度変化が比較的平坦であるため、格子点から一定距離はなれた四箇所、輝度分布の補間を用いたサブピクセル精度で格子線のエッジを定め、この平均より格子線座標を求めた(図6)。

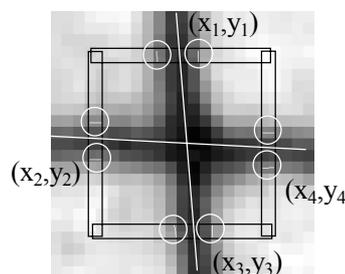


図5 格子点拡大図

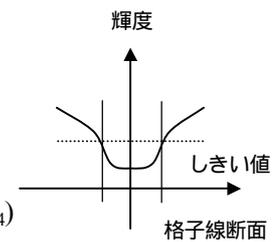


図6 格子線断面の輝度分布

(5) 格子点座標の算出

前項で得られた四箇所の格子線座標 (x_i, y_i) ($i=1,2,3,4$)を補間して、格子点座標 (X, Y) を次式により算出した。

キーワード：画像計測，形状認識，地盤変形，杭基礎，引抜き実験

連絡先：〒270-1194 我孫子市我孫子 1646 Tel:0471-82-1181 Fax:0471-82-5934

交点の座標

$$X = (a_2b_3 - a_3b_2) / (a_1b_2 - a_2b_1)$$

$$Y = (a_3b_1 - a_1b_3) / (a_1b_2 - a_2b_1)$$

ここで、

$$a_1 = y_1 - y_3, a_2 = x_3 - x_1, a_3 = y_3x_1 - y_1x_3$$

$$b_1 = y_2 - y_4, b_2 = x_4 - x_2, b_3 = y_4x_2 - y_2x_4$$

(6) 座標変換

画像に生じている幾何学的なひずみを除去するため、アフィン変換を用いて基準点の座標にキャリブレーションを行った。図7のように計測された画像座標（実線）を、4つの基準点により基準座標系（点線）に変換した。

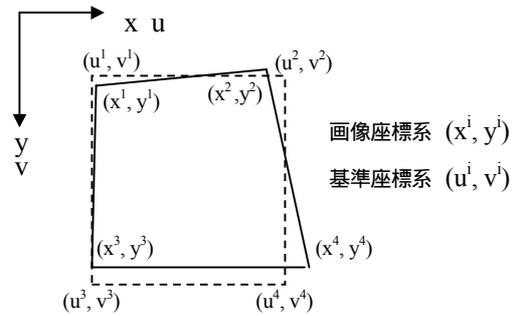


図7 アフィン変換

3. 計測結果と分解能

(1) 計測結果

図8に杭の引抜き実験の概念図を示す。この実験は平面ひずみ状態の土槽と板状の杭試験体より構成され、ゴムバルーンによる上載圧を変化させて、杭近傍の変形挙動を調べている。計測範囲は土槽前面の460mm x 300mmの範囲であり、計測には70mm フィルムのカメラを用いて撮影し、フィルムスキャナーにより2,000dpiの解像度でデジタル画像に変換した（約2,800万画素）。

図9にその計測範囲の約1/4にあたる部分の、計測結果の変形図を示す。メンブレンの格子間隔は3mmのものを使用し、この計測ケースでは3,009 (=51 x 59)個の格子点を認識している。多くの点数の格子点座標を自動的に計測でき、詳細な変形挙動を把握することができた。

(2) 分解能の評価

同じフィルムをセットし直して2回スキャンした2枚の画像から格子座標を求め、量子化による輝度分布のずれがどの程度の精度で得られるかを調べ、分解能を評価した。図10に示すように計測結果の差は、最大で0.02mm程度であり、概ね0.01mm以内に収まった。

4. まとめ

地盤の変形を計測するため、メンブレンの格子座標を画像処理で求めるプログラムを開発した。杭の引抜き実験に適用した結果、0.01mmの分解能で、1万点以上の格子座標を求めることができた。

参考文献

- 1) 佐藤, 高橋, 酒井: 引抜き力を受ける杭周辺地盤の挙動(その1: 実験結果と考察), 土木学会第57回年次学術講演会(投稿中)

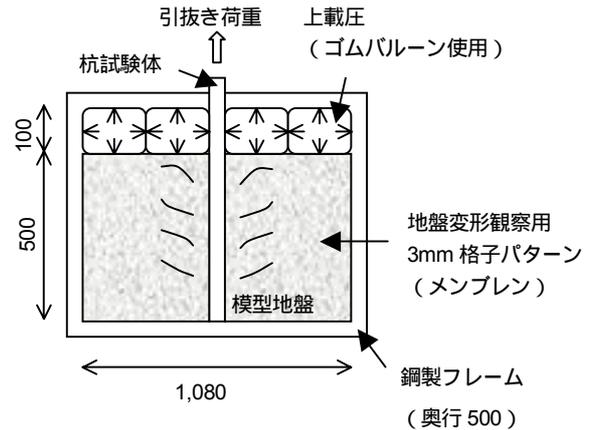


図8 引抜き模型実験概念図(単位: mm)

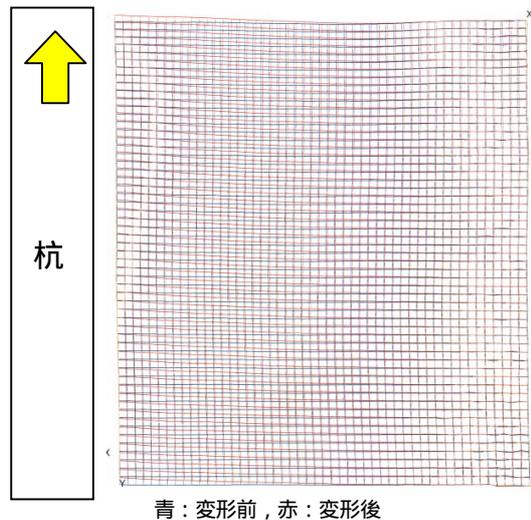


図9 計測結果の変形図

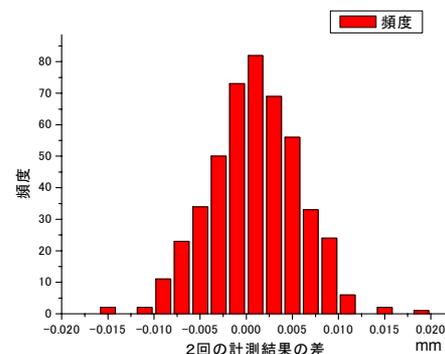


図10 計測結果の差の頻度分布