

X線CT法を用いた三次元掘削機構の可視化

熊本大学 大学院自然科学研究科 学生会員 ○江副 哲

熊本大学 工学部環境システム工学科 正会員 大谷 順

1.はじめに

現在までに地盤の掘削に関する研究は古くから数多く行われているが、Rathje¹⁾などの研究では直線あるいは対数らせんのすべり線を仮定することで、土圧論を用いて掘削抵抗を計算できるとしており、実際現象を反映させて提案されているとは必ずしも言えない。そこで、掘削機構の追求の上で、三次元的な可視化が必要であると考え、本研究では、掘削模型実験を行い、掘削地盤の内部挙動を産業用X線CTスキャナを用いて非破壊検査することにより、地盤内部状況について把握することで、掘削機構の解明を試みた。

2.模型実験概要

模型実験装置についてその概要を図-1に示す。ネジにアクリル製の掘削刃を取り付けることで、水平方向のみの移動による掘削を可能にした。掘削には刃幅40mm、刃の厚さ12mm、逃げ角40°の平刃を用い、根入れ深さを40mmとして、すくい角を0°(Case1)と30°(Case2)の2ケースで模型実験を行った。地盤については、X線による非破壊検査を実施するためのX線照射範囲を考慮し、高さ160mm、内径130mmの塩化ビニル製のモールド内に地盤を作成した。地盤材料として豊浦標準砂を用い、多重ふるいをを用いた空中落下法によって地盤を作成した。相対密度は $Dr=91.0\sim94.0\%$ であった。両ケースとも地表面から10mm下部より掘削刃先端から10mm下部までを撮影領域とし、Case1ではInitial、水平変位 $X=10\text{mm}$ 、 $X=25\text{mm}$ 、Case2ではInitial、 $X=10\text{mm}$ における模型地盤内挙動について、産業用X線CTスキャナを用いて非破壊検査を行った。ただし、CT撮影に際しては、スチール製載荷枠を取り外して、モールドのみをCT装置上にセットした。

3.実験結果

図-2は、Case1における地表面から10mm下部から10mm間隔でのInitial、 $X=10\text{mm}$ 、および25mmでの4つの深さにおける断面CT画像である。一般に、X線の吸収係数により得られるCT値は物体の密度に比例し、CT画像において、CT値が高い領域(高密度領域)は白く、低い領域は(低密度領域)は黒く表示される。²⁾これを見ると、掘削刃先端部(d)から地表面に近づくにつれて、掘削刃の側方から進行方向に楕円形のひずみの局所化領域(すべり面)が大きくなり、水平変位が進むにつれて、その領域が拡張している。掘削刃の裏側では、掘削に伴い砂が落ち込んでいくため低密度領域となり黒く見える。また、進行方向から反れて発生しているすべり面も見られるが、これは、ネジの回転を利用して変位させるときの実験精度の問題であると考えられる。図-3のCase2においても同様の挙動を示しているが、Case1と比較すると、Case2の場合が、30°のすくい角を持っているためすべり面が、進行方向により広範囲に広がりを見せていることがわかる。図-4、5、6は、図-3の $X=10\text{mm}$ における断面画像を重ね合わせて作成した縦断面CT画像と3次元CT画像である。刃先から地表面に向かってすべり面が発生していることがわかる。図-6は、低密度領域のみを示した3次元画像であり、進行方向に広がりを見せながら3次元的な楔状のすべり面が発生している。これについては、実験において、掘削が進むと地表面が盛り上がりを見せており、掘削に伴い発生するせん断応力によるダイレイタンスの影響と考えられる。

4.おわりに

今後は、実験装置の精度の向上と共に、水平荷重と変位の関係、荷重ステップごとの地盤内部挙動の3次元的可視化および密度変化の定量的評価について検討を加えたい。この研究を始めるに際し、立命館大学深川良一教授に多くのご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献：1) J.Rathje : Schnittvorgang im Sande, V.D.I. Forschungsheft 350, 1937. 2) 椋木俊文 : X線CT法を用いた土および地盤の破壊メカニズム解明に関する研究, 熊本大学修士論文, 1997.

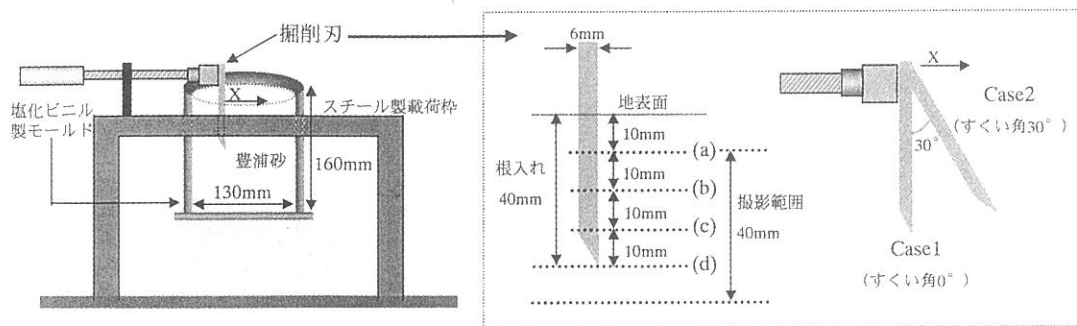


図-1 実験装置概要図

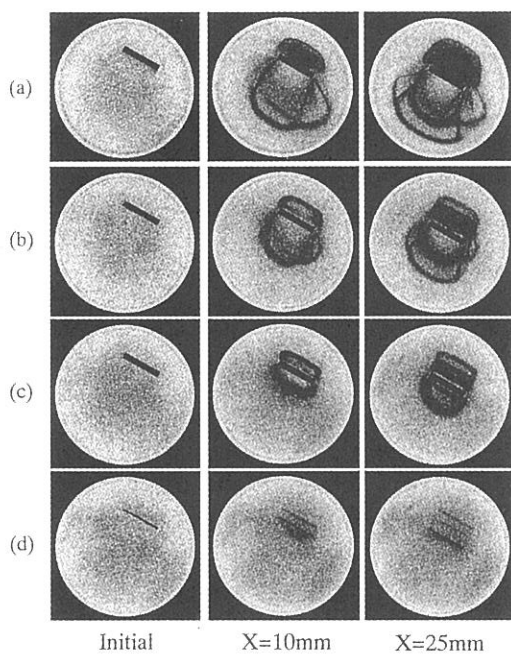


図-2 Case1における断面CT画像

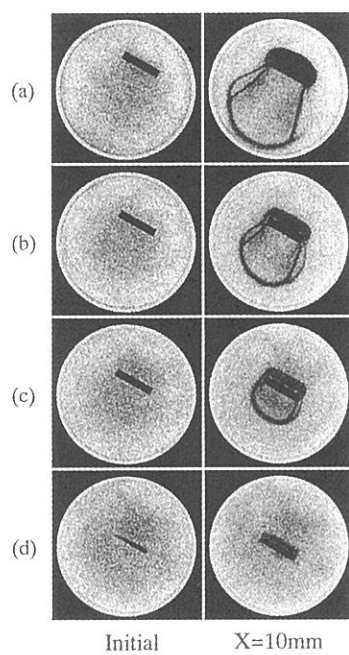


図-3 Case2における断面CT画像



図-4 縦断面CT画像 (Case2)

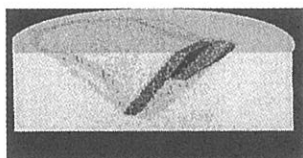


図-5 3次元CT画像 (Case2)

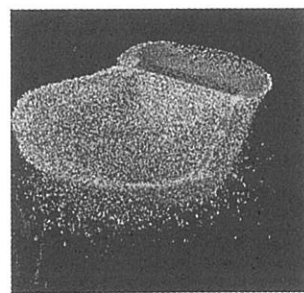


図-6 低密度領域3次元CT画像 (Case2)