

立命館大学理工学部 学生員 ○栗原 健伸  
立命館大学大学院 学生員 大和田 和夫  
立命館大学理工学部 フェロー 深川 良一

**1. はじめに** 杭施工の現場においては、杭基礎を打ち込む際の支持層の確認が重要である。支持層の確認において主に取られる手段としては、事前の標準貫入試験等による地盤プロフィールの概略評価、及び杭施工のためのアースオーガ掘削による支持層の直接的評価があげられる。これら2つの手順を踏む必要があるが、アースオーガ掘削のみで信頼性の高い地盤情報の取得を行うことができれば、コスト削減、工期短縮、生産性向上につながる。本論文では、掘削試験の際にオーガの先端にかかる抵抗に着目し、強度定数の推定を行う方法を提案し、またスクリーオーガを用いて真砂土地盤に対する掘進試験を行い、実際の逆推定に適した掘進速度条件を提案した。

**2. 抵抗値の分離** スクリーオーガの掘削メカニズムは複雑であり、スクリーオーガ全体を対象としたモデル作成は困難であったためスクリーオーガ先端についての掘削モデルを作成し、逆推定手法について検討した(3. 参照)。まず、掘削の際にスクリーオーガの先端にかかる抵抗値のみを分離する必要がある。ここでいうスクリーオーガ掘削とは、掘進に伴って中心軸回りに回転運動を行うものである。本研究においては、掘進の際に検出されるスクリーオーガにかかる抵抗を図1のように3つに分類した。①オーガ上面土の自重抵抗  $R_s$ 、②排土抵抗  $R_f$ 、③先端抵抗  $R_r$  の3つである。このうちの抵抗  $R_f$  はさらに3つに分類でき、それは2-a) オーガ刃側面と孔壁との摩擦、2-b) 排土と孔壁との摩擦、2-c) オーガ刃上面と排土との摩擦である。この中から先端抵抗  $R_r$  のみを分離するために

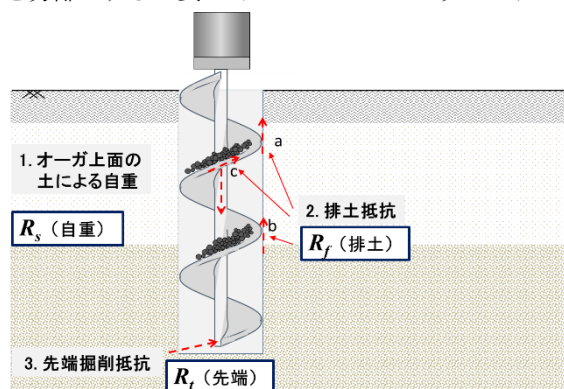


図1 スクリーオーガにかかる抵抗

図2のような回転継続試験と掘進再開試験と呼ばれる方法を用いた。この方法はまず掘進時に一層ごとに掘進をやめ、回転のみを継続させ(回転継続試験と呼ぶ)、また掘進を再開させるといったものである。このとき回転継続試験の間、オーガは掘進を行っていないので、 $R_r$  として出力される抵抗値はほぼ0であると考えられる。つまり、回転継続状態での抵抗は、排土抵抗  $R_f$  と土の自重抵抗  $R_s$  の和であり、この値は掘進再開直後においてもほぼ同じであると仮定できる。したがって、掘進再開直後(1回転)の全抵抗値から回転継続時の抵抗値を差し引くことで先端掘削抵抗の分離を行った。

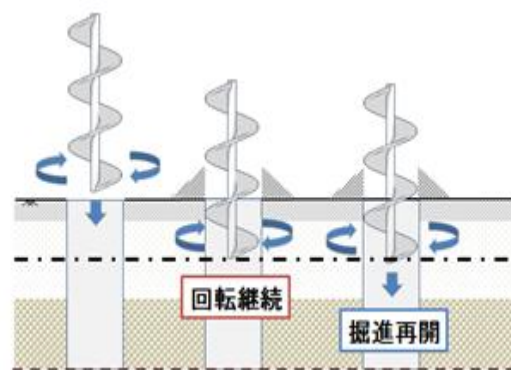


図2 回転継続試験と掘進再開試験

**3. 逆推定手法の提案** 本研究において構築されたモデルは、McKeyes and Ali(1966)によって提案された平刃の掘削モデル<sup>2)</sup>を基本として、それをオーガ先端における回転掘削モデルへと発展させたもの(図3参照)である。式(1)は掘削刃先端における回転方向掘削抵抗(トルク)を表したものである。

$$M = \frac{\gamma b_1 (\frac{b_1}{2} + b_2) (\cot\alpha + \cot\beta)}{\cot(\alpha + \delta) + \cot(\beta + \varphi)} d^2 + \frac{c b_1 (\frac{b_1}{2} + b_2) (1 + \cot\beta \cot(\beta + \varphi))}{\cot(\alpha + \delta) + \cot(\beta + \varphi)} d \quad (1)$$

式(1)のパラメータは表1の通りである。また式(1)は定数項を含まない2次式  $M = f_1(\phi)d^2 + f_2(c, \phi)d$  の形になっていることが分かる。実際の実験を通して得られた実測値から2.で示した手順に従い回転方向先端抵抗(トルク)の分離を行い、それらの先端抵抗値を定数項を0とした2次の回帰曲線で近似することができれば、お互いの係数比較を通して  $c$ ,  $\phi$  の値を求めることができる。具体的には、まず  $f_1$  の項と実測値の回帰曲線の  $d^2$  の項を比較することによって  $\phi$  を求める。次に、求めた  $\phi$  を  $f_2$  に代入することで  $f_2$  は  $c$  の関数となる。その後  $f_2$  と回帰曲線の  $d$  の項を係数比較することで  $c$  を求めるといったものである。

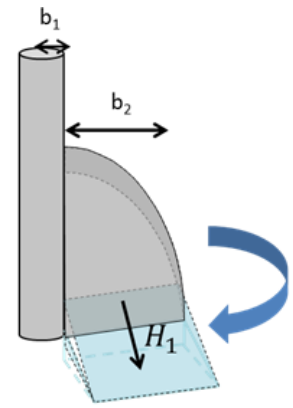


図3 回転掘削イメージ

**4. 逆推定に適した掘進速度の提案** 実際に表2のような実験条件を設定し、4パターンの掘進速度に対して総掘進距離が900mmとし、含水比10%の真砂土地盤を対象として掘進再開試験を行った。用いたオーガの諸元は、オーガ角:16°, ピッチ:90mm,  $b_1$ :12.5mm,  $b_2$ :35mmである。試験は、100mm毎の掘進に対して回転継続(10秒)と掘進再開を繰り返すという方法で実施した。各深さ毎の掘進再開直後1回転分の実測データ(回転方向掘削トルク)を定数項が0の2次関数によって近似し、重相関係数を調べた。図4は、掘進速度毎の各掘進距離に対応した重相関係数をまとめて示したものである。

逆推定が可能となるためには、少なくとも先に述べた式:  $M = f_1d^2 + f_2d$  の係数項が正でなければならないが、図4中の青△はこの条件を満たしたものを示している。それ以外はこの条件を満たさなかったものである。図4より、掘進速度が小さい場合(5.0mm/s)は全体的に相関性が低いことが分かる。これは1回転当たりの掘進距離が小さいため掘進抵抗も相対的に小さくなるから、その分掘削抵抗の変動が及ぼす影響が大きくなることに起因している。全体的に相関性の低い場合が多く含まれているのは、オーガ刃先のシャープネスに問題があると考えているが、実施した試験条件の中では、1)7.5mm/s以上の場合に高い相関性を示す場合が多い、2)先に述べた  $f_1$ ,  $f_2$  が正になる場合は10.0mm/sの場合が多いことが判明した。以上のことより、現時点では掘進速度:10.0mm/sの場合が逆推定に適している可能性が高いと考えている。

**5. おわりに** まず、将来的に実際に逆推定を行うために先端抵抗を3つに分類し、回転継続試験と掘進再開試験をおこなうことによって、先端掘削抵抗の値を抽出した。さらに実際の試験を通して得られる実測値を、定数項を0とした2次式の回帰曲線で近似した関数を作り、これと回転方向におけるモデル式から得られる理論値を比較することによって地盤強度定数を推定する手法の提案を行った。次に、掘進速度毎の重相関係数の比較を行うことによって逆推定に適した掘進条件を調べた。実験条件の中では掘進速度10mm/sが逆推定に適している可能性が高いことが分かった。

<参考文献>

- 1) 黒岩晃平: スクリューオーガの掘削性能およびスクリューオーガを用いた月面地盤強度定数の逆推定に関する研究、立命館大学修士論文、pp.26-33, 2014.
- 2) McKyes, E. and Ali, O. S. : The cutting of soil by narrow blade, *Jour. Terramechanics*, Vol.14, No.2, pp.43-58, 1977.

表1 逆推定に用いるパラメータ

$\alpha$	掘削刃と地表面のなす角 (deg)
$\beta$	破壊面が地表面となす角 (deg)
$c$	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )
$\phi$	内部摩擦角 (deg)
$\delta$	地盤と刃との摩擦角 (deg)
$b_1$	刃径 (cm)
$b_2$	刃幅 (cm)
$d$	貫入深さ (cm)

表2 試験条件

掘進速度(mm/s)	5.0, 7.5, 10.0, 12.5
回転速度 (r.p.m.)	60
相対密度(%)	70
回転継続時間(s)	10
含水比(%)	10

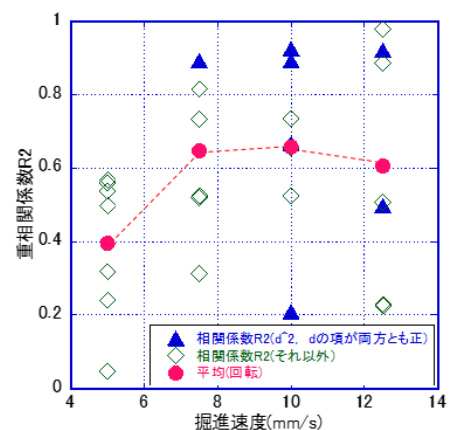


図4 掘進速度別の重相関係数