短杭の水平抵抗測定による種々の地盤の原位置強度簡易推定

長崎大学工学部　学生会員　○伊木　康二　　長崎大学大学院　正会員　大嶺　聖　杉本　知史
長崎大学大学院　フェロー会員　蒋　宇静　正会員　李　博　学生会員　長浦　万理

1. はじめに

地盤の力学的安定性を評価するためには、原位置強度の推定が重要である。土の強度を原位置で求める実験方法がいくつかあり、様々な土の種類や地盤の状況に合わせて使い分けて用いられているが、そのような原位置試験の中でも、代表的な試験が原位置一面せん断試験である。[1)2)]しかし、原位置一面せん断試験は供試体の整形作業に時間を要し、効率的に強度定数を求めるために新たな試験法が求められている。著者らは、これまで現場土圧試験による廃棄物地盤の強度定数の推定を行ってきた。[3)]さらに、本研究では、簡易的に土の強度を推定するために開発された短杭の水平抵抗測定試験機を用いて、砂質地盤、まさ土地盤、廃棄物地盤で実験を行い、原位置強度簡易推定法の適用性を明らかにする。

2. 試験概要

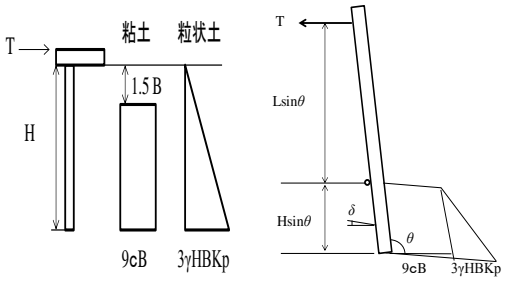
2.1 原位置強度簡易推定試験装置の開発

開発した試験機を図-1 に示す。杭を根入れ深さを変えて打ち込み、人力で杭の上端を引いて地盤を破壊し、3 個以上の水平抵抗を測定することにより、強度定数の概算値を求める。杭 1 本の有効幅は 12mm である。また、杭の自重は 34.3N であり、長さは 980mm である。図-2（a）はブロムスの方法[4)]に示す図である。ブロムスの方法を用いて反力を定めている。粘性土は横載荷杭に対する土の抵抗の極限値は 8 c と 12 c の間をとるとされている。そして、その値は地表面以下約 3 倍の杭径の深さまで小さくなる実験結果がある。そのため、ブロムスは地表面から 1.5 倍の杭径の深さまでの土の反力をゼロと仮定し、それ以下の深さでは一定の 9 c の値をとる分布を想定している。砂質土の場合は、以下の 3 つのことを仮定している。

・杭の背面に働く主働土圧は無視される
・杭の前面の受動土圧分布は計算したランキン土圧の 3 倍に等しい
・杭断面の形は極限横抵抗値に影響を及ぼさない

(a) 組み立て前　　(b) 実施状況

図-1　原位置強度簡易推定試験の様子



(a) ブロムスの方法　(b) 短杭の水平抵抗測定試験の場合

図-2 杭に作用する水平抵抗の考え方

2.2 検証のための原位置一面せん断試験

土塊の表面を平坦に整形し、せん断箱の寸法(幅 30cm、奥行 30cm、高さ 15cm)に合わせてブロックの供試体を作製する。せん断はジャッキを用いて手動で行い、せん断スピードは約 1mm/min とする。載荷棒により実荷重の 10 倍の載荷重をかけることができ、その時、杭により下箱を固定することで反力をとる仕組みとなっている。それらより粘着力 c と内部摩擦角 φ を算定する。また、せん断応力がピークを示さない場合は、JIS A 1216:2009 で定められている基準にならい、せん断変位 35mm のせん断応力をせん断強度とする。

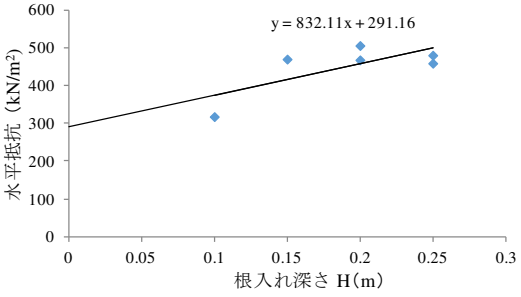


図-3 佐賀まさ土地盤での原位置強度簡易推定試験の実験結果

図-2(a)のブロムスの方法と**図-2(b)**の短杭の水平抵抗測定試験の考えを元にして、自重を考慮したモーメントの釣合い式から考案した式が(1)式である。

$$\frac{TL}{H^2B} = \frac{9c}{2} + H\gamma K_p \qquad (1)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\theta+\Phi)}{\sin^2\theta\cdot\sin(\theta-\delta)\cdot\left\{1-\sqrt{\frac{\sin(\Phi+\delta)\cdot\sin\varphi}{\sin(\theta-\delta)\cdot\sin\theta}}\right\}^2} \qquad (2)$$

縦軸を水平抵抗 TL/H、横軸 H を根入れ深さとし、実験結果をプロットする。例として、佐賀まさ土地盤の実験結果を**図-3** に示す。近似直線をひき、近似直線の切片は 9c/2、傾きは γK_p となるため、逆算することで、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を求めることができる。ここで、θ は杭の傾斜角、δ は地盤と杭表面との摩擦角、T は張力、L は地表に出ている杭の長さ、H は根入れ深さ、c は粘着力、B は有効幅、γ は湿潤密度、K_p はクーロン土圧における受動土圧係数である。

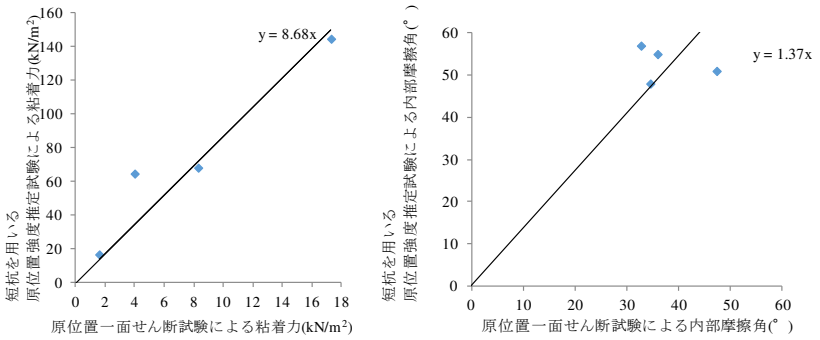


図-4　両試験から得られた粘着力と内部摩擦角の比較

表-1　粘着力と内部摩擦角における比較

現場名	原位置一面せん断試験		原位置強度推定試験　短杭	
	粘着力 (kN/m^2)	内部摩擦角(°)	粘着力 (kN/m^2)	内部摩擦角(°)
愛知県豊田市廃棄物地盤	8.3	35.9	68.22	55.0
佐賀県玄海町(砂質土)	1.6	34.5	16.72	48.0
佐賀県玄海町(まさ土)	4.0	47.3	64.70	51.0
長崎県佐世保市廃棄物地盤	17.3	32.7	144.75	57.0

3. 原位置一面せん断試験との比較

一面せん断試験で求めた結果と比較し、短杭による原位置強度簡易推定試験の評価を行う。実験を行った地盤は、佐賀県砂質地盤(硅砂 7 号)、佐賀県まさ土地盤、愛知県豊田市の廃棄物地盤、長崎県佐世保市の廃棄物地盤である。廃棄物地盤の状況は、愛知県の廃棄物地盤はプラスチックが多く、長崎県の廃棄物地盤は礫が多く含まれていた。一面せん断試験から得られた強度定数と短杭の水平抵抗測定試験から推定した強度定数の比較を**図-4** および、**表-1** に示す。粘着力、内部摩擦角ともに、原位置一面せん断試験よりも短杭による原位置強度簡易推定試験の方が大きくなることがわかった。特に、粘着力については、短杭の水平抵抗測定試験から推定された値が、一面せん断試験から得られた粘着力の 9 倍程度となった。これは、杭の有効幅が 10mm と小さいため、スケール効果による違いが影響していると考えられる。

4. まとめ

簡易的に地盤の強度を推定するための原位置強度推定試験機を開発した。この試験機の性能を評価するため、従来から土の強度を求める際に用いられている一面せん断試験機と強度定数を比較した。この結果、原位置強度推定試験から得られた強度定数は、一面せん断試験から得られた値と同様の傾向を示すことがわかった。廃棄物地盤での強度定数の値は、供試体に含まれる廃棄物の量や種類に影響を受けやすいため、実験を行う地点を多くすることで、正確に土の強度定数を算出できると考えられる。地点を増やしても、実験に要する時間は、1 つの地点において 5 分間程度であることから、短杭による原位置強度簡易推定試験は、従来からある試験法の原位置一面せん断試験よりも迅速に原位置の強度を推定することができると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、平成 26 年度「 循環型社会形成推進科学研究費補助金 」(課題番号 3K133011) の支援を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献　1)植下協ほか：現場受動土圧型せん断試験の試み，土木学会論文集 No.481，pp.69~75，1993，2)山本哲郎ほか：斜面土を対象とした簡易現場せん断試験装置，山口大学工学部研究報告書，pp.15~22，1999，3)長浦万理ほか：堆積廃棄物地盤の現場強度の簡易推定法，第 49 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1967~1968，2014，4)福岡正巳ほか：新編土質工学，pp.329~331，2009，