

第Ⅲ部門

土粒子形状がコーン貫入抵抗に及ぼす影響に関する模型実験

京都大学大学院
横浜国立大学

学生会員
正会員

○瓜生 幹久
菊本 統

1. はじめに

電気式コーン貫入試験は、一度の試験で先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧の3成分を同時に測定できる点で優れた原位置試験法であり、貫入抵抗値を連続的に観測することができる点で、互層地盤など地質変化にも対応できる調査法である¹⁾。

先行研究²⁾から、角張った土粒子は丸みのある土粒子よりもコーンの先端抵抗を大きくすることが確認されている。この知見は様々な形状の粒子が混在する模型地盤での室内実験から得られたものであり、純粋に土粒子形状の違いがコーン貫入抵抗に影響を及ぼすメカニズムには言及されていない。また、土粒子の形状が地盤の強度特性に及ぼす影響を検討すべく、土粒子に見立てた六角形断面と円形断面のアルミ棒を用いて二軸せん断試験が実施された³⁾。ここでは、アルミ棒を用いた実験で得た応力ひずみ関係が、中密度から高密度の砂と整合する挙動を示すことが確認されている。アルミ棒を用いることで、二次元地盤の挙動についてある程度の議論が可能といえる。せん断応力のピーク値においては、六角粒子は円形粒子の約1.3倍の値を示した。また画像解析によって、六角粒子は円形粒子に比べて粒子の回転量が小さいことが明らかにされた。

本研究では既往の手法³⁾を用いて、室内模型実験により、単層地盤と互層地盤において粒子形状の違いがコーン貫入抵抗に及ぼす影響を検討した。

2. 研究方法

本研究の模型実験では、先行研究³⁾と同様の、六角形断面と円形断面のアルミ棒（以降、六角棒・丸棒と呼称する）を用いた。規格を表1に示す。コーン貫入中の粒子の移動と回転を画像解析で評価するため、アルミ棒の端面には写真1に示すステッカーを貼付した。模型地盤は外径10mmと6mmのアルミ棒を1:4で混合して作製した。なお写真2に示す土槽およびコーンは、アルミ棒の長さと同じ50mmの奥行とした。

貫入試験では、4mm/minの一定速度で地盤に対して垂直にコーンを貫入させ、0.67mmの貫入量ごとにインターバル撮影を行った。撮影画像を用いてPIV解析を実施し、得られた格子点の変位から各計算格子での変位の線形分布を仮定して地盤のひずみを算出した。

実験条件は、単層地盤を想定して丸棒(Circle)のみの条件(ケースC)と、六角棒(Hexagon)のみの条件(ケ

表1 アルミ棒の規格

断面形状	六角形, 円形
長さ	50 mm
外径	10 mm, 6 mm
密度	2.830 kg/m ³
表面の摩擦係数	0.2

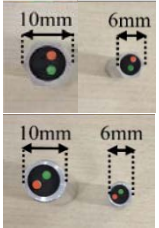


写真1 アルミ棒

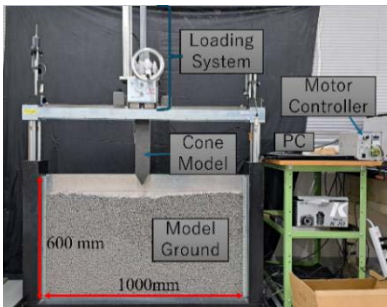


写真2 (左) 実験装置, (右) コーン模型

ースH)、互層地盤を想定して、上層を丸棒かつ下層を六角棒とした条件(ケースC/H)、上層を六角棒かつ下層を丸棒とした条件(ケースH/C)の計4ケースとした。

3. 結果および考察

単層地盤を想定したケースCとケースHにおける貫入抵抗値を図1に、互層地盤を想定したケースC/HとケースH/Cの貫入抵抗値をそれぞれ図2と図3に示す。またPIV解析で得られた模型地盤のひずみ(グレースケール)と反時計回りを正とした粒子回転量(カラスケール)について、300mm貫入時のケースC、Hの結果を図4に、ケースC/H、H/Cの結果を図5に示す。実験結果に基づいて、貫入深さ z と貫入抵抗値 P の関係を最小二乗法により式(1)で近似し、図1~図3中に併記した。

$$P = k_1 z^{n_1} \quad (1)$$

ここで、 k_1, n_1 は実験定数である。ケースHはケースCの約1.7倍の大きさを示した。先行研究³⁾では、粒子形状の違いがせん断強度に及ぼす影響として、六角棒は丸棒の1.3倍の値が確認された。一方、本研究では、貫入抵抗値において六角棒は丸棒の1.7倍の値を示した。このことから、粒子形状の違いによる影響はせん断強度よりも貫入抵抗値に顕著に現れると示唆された。

図4の300mm貫入時の地盤のひずみから、ケースCよりもケースHのせん断面の方が大きいことがわか

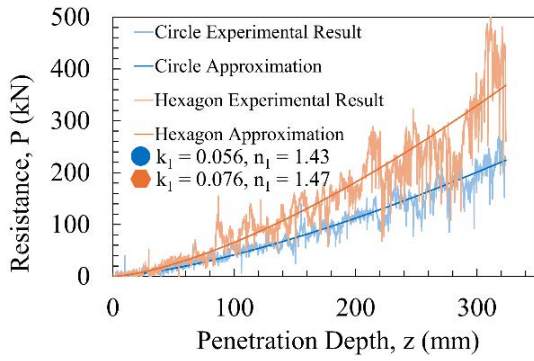


図1 ケース C および ケース H の貫入抵抗値

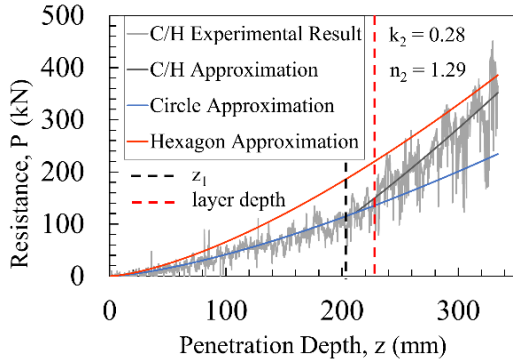


図2 ケース C/H の貫入抵抗値

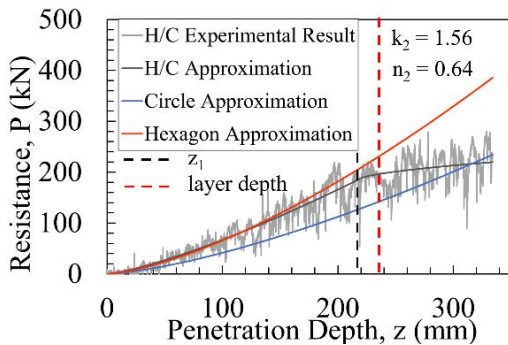


図3 ケース H/C の貫入抵抗値

る。また、ケース C ではケース H よりもコーン周面で粒子が大きく回転していることがわかる。つまり、ひずみは、ケース C では粒子の回転を、ケース H では粒子の移動を、主な原因として形成される。これは、六角棒は丸棒に比べて粒子同士の噛み合わせが顕著であることを考えると、明らかである。よって、せん断面の広さが異なり、貫入抵抗値の大きさの違いも生じる。

一方で、互層地盤のケースで得られた貫入抵抗値は図2、図3のようになる。層境の貫入深さに相当するパラメータを z_1 として式(2)のように近似した。

$$P = \begin{cases} k_1 z^{n_1} (z < z_1) \\ k_1 z_1^{n_1} + k_2 (z^{n_2} - z_1^{n_2}) (z \geq z_1) \end{cases} \quad (2)$$

k_1 および n_1 は単層地盤と同じ値を用いた。最小二乗法により、 z_1 を含む各パラメータの値を求めたところ、各ケースで z_1 は実験で設定した層境深さよりも 20 mm 程度浅くなった。これは、コーン貫入により生じるせん断面がコーン先端よりも先に層境に到達するた

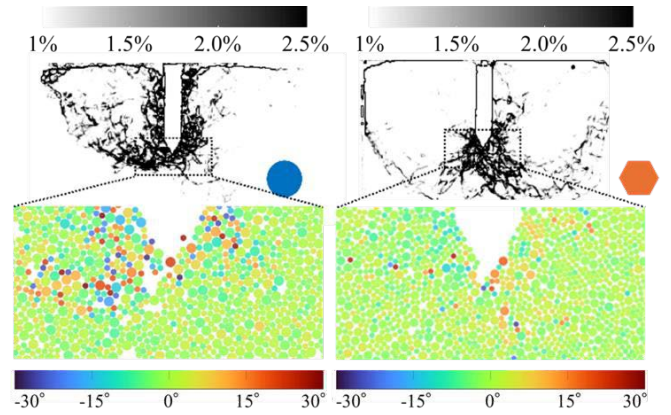


図4 ケース C(左)およびケース H(右)でのコーン貫入によるひずみと粒子回転量

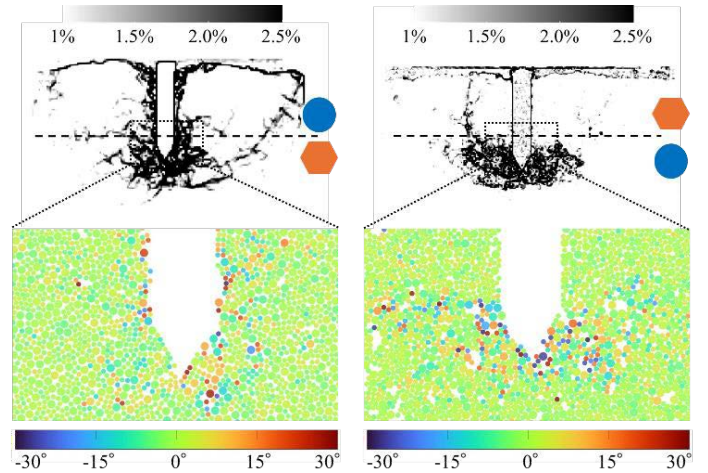


図5 ケース C/H(左)およびケース H/C(右)でのコーン貫入によるひずみと粒子回転量

めと考えられ、図5からもその挙動が確認できる。また、図5のように各層での粒子の回転量の違いが単層地盤の時と同様に確認される。ゆえに、層境以降の挙動で、ケース C/H は粒子同士の噛み合わせによって貫入抵抗値の増加率が大きく、ケース H/C では、粒子が大きく回転するので貫入抵抗値がほとんど増加しない。

4. 結論

本研究では、地盤の粒子形状がコーン貫入に及ぼす影響についての模型実験を行った。六角棒の地盤と丸棒の地盤での貫入抵抗値の違いは、二軸せん断下におけるせん断強度よりも顕著に発現することがわかり、それらは地盤に生じるせん断面と粒子の回転から説明することがわかった。また、互層地盤の層境における貫入抵抗値の変化はコーン先端が層境に到達するより前で発現し、これはコーン先端よりやや深部でせん断面が発達するためと結論付けられる。

参考文献 1) (公社) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説—二分冊の 1—, 丸善出版, pp366-403, 2013. 2) Liu et al., Geotechnique, doi:10.1680/geot.1 0.P.077, 2012.3) Ali et al., Geotechnique, doi:10.1680/jgeot.22.00364, 2023