

砂杭造成時の管内砂の挙動に関する研究

小野田ケミコ株式会社（正） 甲斐 友也
鳥取大学工学部（正） 榎 明潔

国土総合建設株式会社（非） 斉藤 稔
鳥取大学大学院（学） 下向 孝寛

1. はじめに

砂杭造成時の管内砂の挙動を解明し、砂が排出しやすい条件を推定することができれば、砂杭造成の効率化に繋がると考えられる。砂が排出しやすい条件と、サイロ理論を用いて振動状態の管内砂の挙動について検討を行う。

2. サイロ理論

図 1 のような飽和状態での底面に作用する鉛直圧力を考える。鉛直圧力は、静水圧 u と鉛直有効応力 p_x の和で表すことができる。静止状態では、側面摩擦は鉛直上向きに作用し、つりあい式は次式で表せる¹⁾。 $u=0$ の場合は、気乾状態となる。

$$\pi r^2(p_x + u) + \rho_l g \pi r^2 dx = \pi r^2(p_x + u + dp_x + du) + 2\mu k \pi r dx(p_x + u)$$

深さ $x=0$ では、鉛直圧力が $p_x=0$ である境界条件から、 p_x の解は次式となる。

$$\frac{p_x}{\gamma_t} = \frac{r}{2\mu k} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_t} \right) \left(1 - e^{-\frac{2\mu k}{r} x} \right) + \frac{\gamma_w}{\gamma_t} x$$

3. 静的な砂の排出実験

飽和度を気乾状態、50、90%、浸水状態に変化させ、砂の高さ 10、30、50、100cm での底面に作用する荷重をロードセルで測定した。実験装置の概略を図 2 に示す。実験試料砂は豊浦標準砂を用いた。

上記の式を用いて解析を行う。表 1 に示す試料砂の物性値及び μk 、高さを式に入力し、気乾状態、飽和状態での各高さの底面に作用する圧力を求める。ここで μ は砂とアクリルパイプとの摩擦係数、 k は側圧係数（静止土圧係数）である。 μk は、気乾状態実験時の内部摩擦角、外部摩擦角を用いて求めた。

図 3 の浸水状態以外の実験値を見ると、高さ 30cm 以上は圧力があまり増加していない。高さ 30cm 以上投入しても側面摩擦によって支持され、圧力は増加しないと考えられる。また飽和度が高くなると、圧力は増加している。飽和度を上げることにより、側面摩擦力が軽減されたと考えられる。

4. 動的な砂の排出実験

ケーシングパイプの振動数 10Hz（最大加速度 33m/s²）で振動させ、振動中での底面に作用する荷重をロードセルで測定

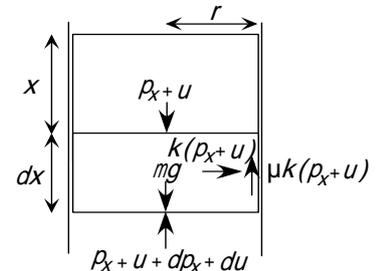


図 1 底面に作用する圧力

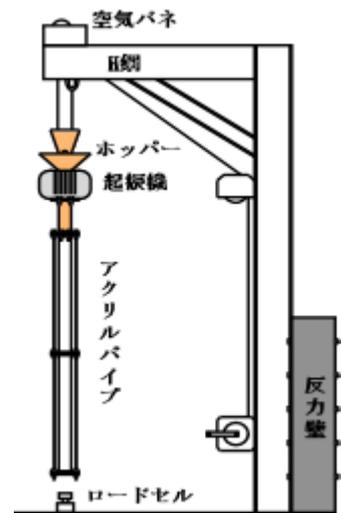


図 2 実験装置概略図

表 1 解析入力値

ケーシングパイプの半径 r (cm)	5.0
μk	0.14
気乾状態の密度 γ_t (g/cm ³)	1.51
飽和状態の密度 γ_t (g/cm ³)	1.84

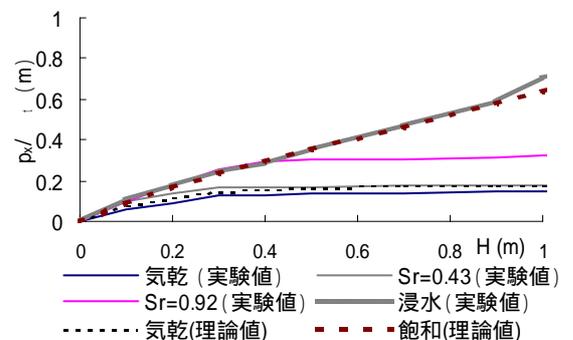


図 3 各飽和度、各高さでの底面に作用する圧力

キーワード 砂杭、振動、サイロ理論

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地 鳥取大学工学部土木工学科

した。気乾状態の豊浦標準砂を用い、砂の高さ 10cm で実験を行った。砂とケーシングパイプの加速度を測定し、相対速度を求めた。ここで示す相対速度とは、ケーシングパイプから見た砂の速度である。また相対速度が正の値は、相対速度が上方向作用状態を示す。

図 4 のグラフを見ると、圧力は時間の経過とともに、増加と減少を繰り返している。これは、振動により相対速度の作用方向が変化し、それに伴い側面摩擦の作用方向も変化したためと考えられる。相対速度が正の値を示すと、側面摩擦は下方向に作用する。この場合、押し抜き状態となり、圧力は増加すると考えられる。反対に負の値を示すと、側面摩擦が上方向に作用し、圧力は減少すると考えられる。

また時間経過とともに側面摩擦が下方向作用状態の圧力は徐々に減少し、側面摩擦が上方向作用状態の圧力は徐々に増加しており、側面摩擦力が低減されていると考えられる。

5. 振動状態での砂の運動

砂を入れた状態で振動させると、上部だけ分離する現象が起こる。分離とは、自重以上の慣性力が鉛直上向きに作用し、浮き上がることを示す。サイロ理論に加速度を入力すると高さに関係なく分離することになり、実際とは異なる。サイロ理論で分離する加速度の推定ができれば、振動状態での鉛直圧力を求めることができる。

振動数 10Hz での、振動中の管内砂の加速度を測定した。気乾状態の豊浦標準砂を用い、砂の高さ 10cm、180cm で実験を行った。加速度計の設置位置は、グラフ中に示す。加速度は、鉛直上向きを正の値として測定している。またグラフには、 -9.8m/s^2 の値に直線を引いている。

図 5、図 6 の底面より上 2cm の実験値を見ると、砂の高さ 10cm では分離しているが、高さ 180cm では分離していない。

図 6 の底面より上 2cm、上面より下 10cm の実験値を見ると、上面より下 10cm が先に分離している。上面から深くなると、砂は分離しにくくなると考えられる。

上面から深いほど分離しにくいのは、側面に作用する側面摩擦力が大きくなるためと考えられる。側面摩擦力が大きくなる要因の一つに、ケーシングパイプ側面に作用する水平応力の変化が挙げられる。そこで深くなると自重に依存しない水平応力が生じ、側面摩擦力が大きくなり分離しにくくなっていると考えられる。その自重に依存しない水平応力は、砂の深さなどに影響するのではないかと考えられる。砂の水平応力とその応力状態で作用する加速度の関係がわかれば、サイロ理論に加速度を入力できると考えられる。

6. 結論

- ・ 静止状態では、実験値が理論曲線と同様の傾向を示した。飽和度が高いほど、圧力は大きくなる。
- ・ 振動状態では、側面摩擦力が低減される。管内砂は、上面から深いほど分離しにくい。分離しにくくなるのは、水平応力、側面摩擦力に関係していると考えられる。

参考文献 1) 榎 明潔：軟弱地盤における砂杭の造成機構に関する研究，京都大学博士学位論文，pp.41-42，1982。

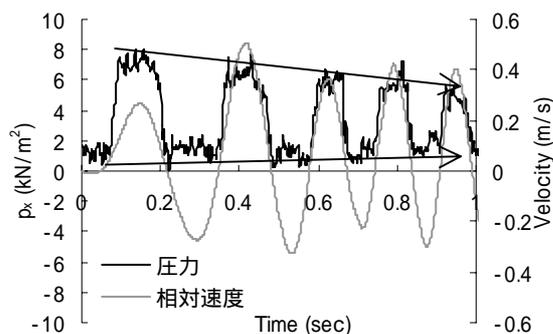


図 4 高さ10cmでの底面に作用する圧力と相対速度

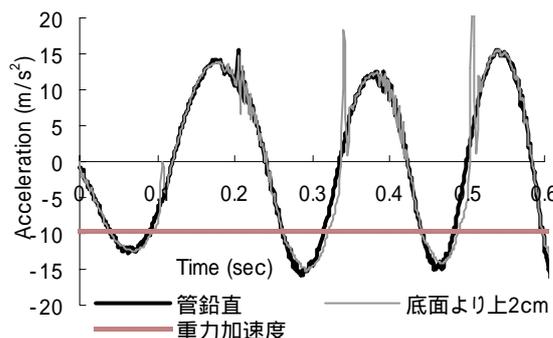


図 5 高さ10cmでの管内砂の鉛直加速度

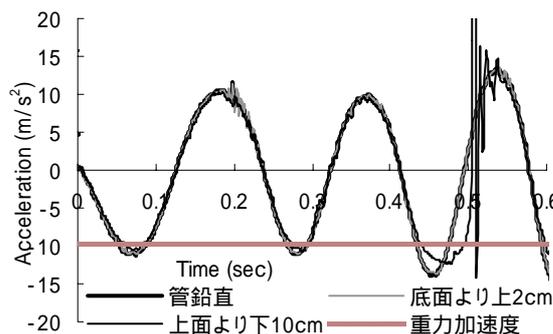


図 6 高さ 180cm での管内砂の鉛直加速度