

開端鋼管杭圧入時の管内土の挙動と先端抵抗の関係

管内土長，IFR，先端抵抗

(株) 技研製作所 正会員 ○西川 舞
 (株) 技研製作所 正会員 尾川 七瀬
 (株) 技研製作所 非会員 岡田 浩一
 (株) 技研製作所 正会員 石原 行博

1. はじめに

圧入工法は油圧力により杭を地中へ貫入する杭打ち工法である。鋼管杭を圧入する際の管内土の挙動は、施工の効率や杭の支持力性能に影響する。管内土が杭と共に動く現象を閉塞と呼ぶが、閉塞の発生は先端抵抗の増加に繋がり鋼管杭の支持力性能を向上させる一方で、施工の効率を悪化させる。本論では、開端鋼管杭を用いた試験の結果を用いて、圧入中の先端抵抗と閉塞の関係を整理する。

2. 試験の概要

外径 318.5mm の鋼管杭を油圧式杭圧入引抜機により 15mm/s の速度で圧入した。試験ケースは C08-01, C08-07, C08-08 の 3 ケースである。試験杭は二重管構造で、杭先端の 3 つの土圧計で先端抵抗力度 q_b を計測した。杭内周面には土圧計と間隙水圧計をそれぞれ杭先端から $h_1=0.1\text{m}$, $h_2=0.3\text{m}$, $h_3=0.6\text{m}$, $h_4=1.0\text{m}$ の位置に設置し、管内土の土圧および水圧 $\sigma_1 \sim \sigma_4$, $u_1 \sim u_4$ を計測した。地盤抵抗 Q は圧入機で計測された油圧力から求めた。管内土長 h と貫入長 z はドラム型ストロークセンサを用いて連続的に計測した (図 1)。地盤条件を図 2 に示す。

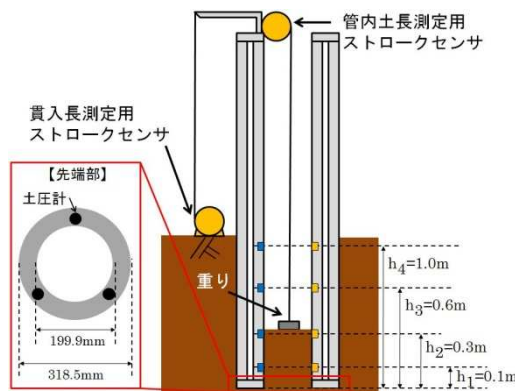


図 1. 試験杭の構造

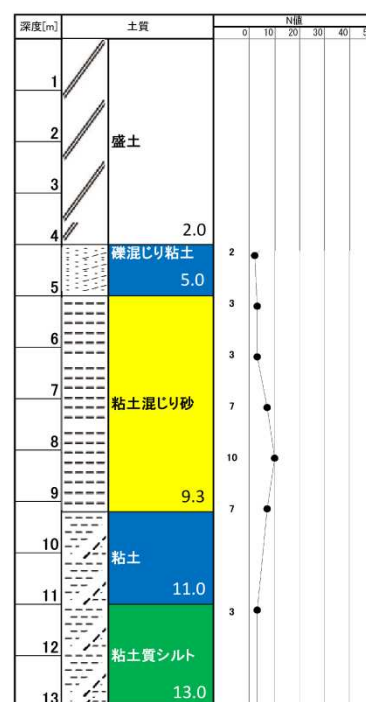


図 2. 試験場の地盤条件

3. 管内土の挙動の定量的な表現方法

鋼管杭圧入中の管内土の挙動は、杭だけが地中へ貫入する「非閉塞」、土と杭が一体となって貫入する「閉塞」、その中間である「部分閉塞」の 3 形態に分類される。図 3 は z に対する h と Q の変化を示したものである。 Q が極大になっている $z=8\text{m}$ 付近に着目すると、C08-07 は C08-08

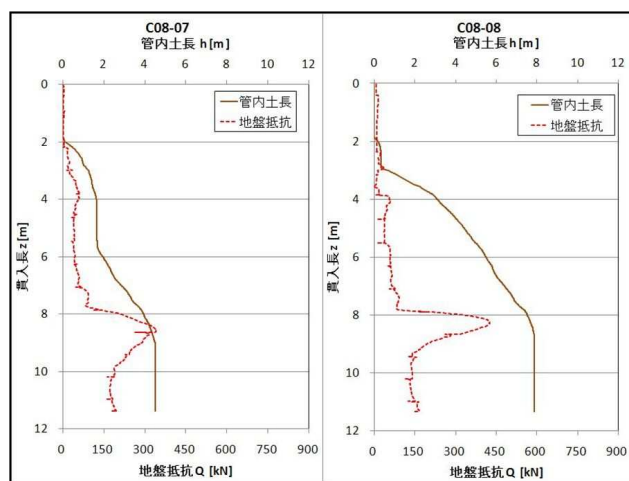


図 3. 管内土長と地盤抵抗

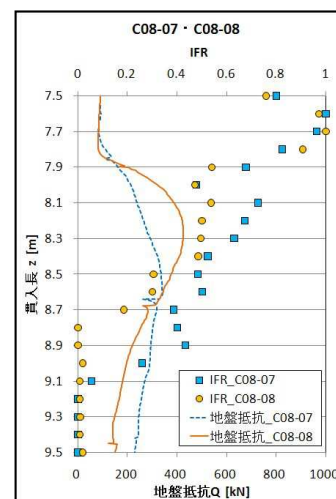


図 4. IFR と地盤抵抗

に比べて h が短くなっており、この深度までの圧入過程がより閉塞状態であったと考えられるにも関わらず、計測された Q は小さくなっている。これは、 h そのものと Q を直接的に関連づけることが不適切であることを示唆している。他方、図 4 に z に対する IFR (Incremental Filling Ratio) と Q の変化を示す。IFR とは、ある深度における貫入長の増分 Δz に対する管内土長の増分 Δh の比 (式(1)) で、IFR=0 は閉塞、IFR=1 は非閉塞、 $0 < \text{IFR} < 1$ は部分閉塞に相当する。深度 7.9m から 8.7m 付近において、IFR は C08-08 の方が 0.1~0.2 程度小さい。すなわち、この深度区間では C08-08 の方がより閉塞に近い状態であったと考えられる。実際、図 4 に示した Q の実測値も C08-08 の方が C08-07 より大きくなっている。以上の考察より、 Q の変化を説明するための管内土挙動の把握は、管内土長ではなく IFR によることが適切であると言える。

$$\text{IFR} = \Delta h / \Delta z \quad \text{式(1)}$$

4. IFR による管内先端抵抗の表現

図 5 は開端杭の圧入時に管内土に作用する力のつりあいを図示したものである。管内土が常に等速度運動をすると仮定すれば、内周面抵抗 $Q_{s,in}$ と管内土重量 W_{soil} の和は管内先端抵抗 $Q_{b,in}$ に等しい。 $Q_{b,in}$ は地盤が本来持つ強度を反映した先端抵抗力度、すなわち閉端杭圧入時の先端抵抗力度 $q_{b,closed}$ と管内土挙動を反映した管内有効断面積 $A_{b,in,eff}$ との積により、式(2)のように表現できると考えられる。 $A_{b,in,eff}$ は IFR に関する線形関数とした (式(3))。図 2 の地盤条件から得られる $q_{b,closed}$ の理論値 q と IFR の実測値を用いて式(2)(3)により求めた $Q_{b,in}$ と、 $\sigma_1 \sim \sigma_4$ および $u_1 \sim u_4$ の実測値と土圧係数 $K=0.5$ を用いて式(4)(5)により求めた $Q_{s,in}$ の相関を図 6 に示す。両者にはばらつきはあるものの正の相関 (相関係数 0.68) が認められ、管内先端抵抗を IFR から式(2)(3)のように表現することの有用性が示唆できる。

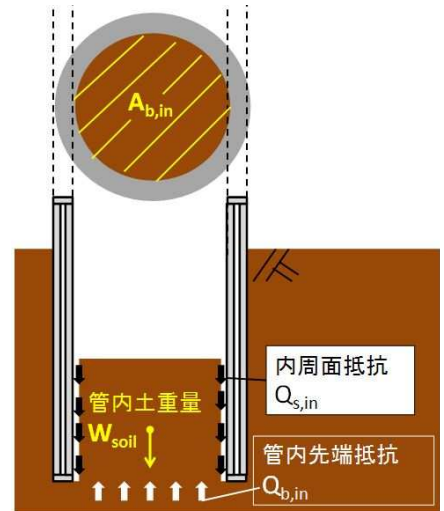


図 5. 管内土に働く力

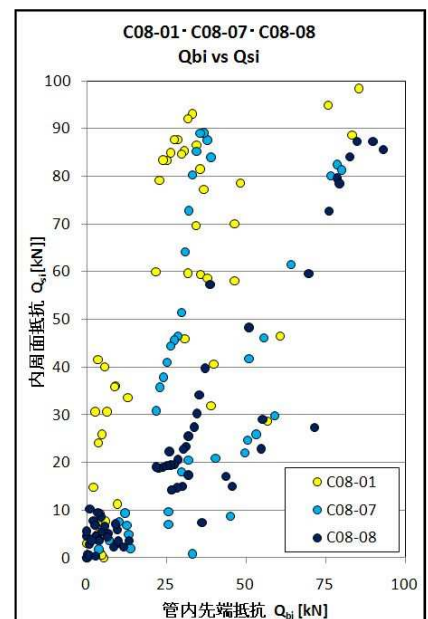


図 6. $Q_{s,in}$ VS $Q_{b,in}$

$$Q_{b,in} = q_{b,closed} \cdot A_{b,in,eff} \quad \text{式(2)}$$

$$A_{b,in,eff} = A_{b,in}(1 - \text{IFR}) \quad \text{式(3)}$$

$$Q_{s,in} = K \left[\pi D h_1 \sigma'_1 + \sum_{i=2}^4 \left\{ \pi D (h_i - h_{i-1}) \left(\frac{\sigma'_i + \sigma'_{i-1}}{2} \right) \right\} \right] \quad \text{式(4)}$$

$$\sigma'_i = \sigma_i - u_i \quad (i=1,2,3,4) \quad \text{式(5)}$$

5. まとめ

開端鋼管杭を圧入する実験を行ない、以下の知見を得た。

- 地盤抵抗と管内土の関係は、管内土長ではなく IFR を用いて説明するのが適切である。
- 管内有効断面積を IFR による線形関数で表現し、これと閉端杭圧入時の先端抵抗力度との積で管内先端抵抗を算出した。
- 算出した管内先端抵抗と内周面抵抗の実測値には相関が認められ、IFR を用いて管内先端抵抗を表現することの有用性を示唆できた。

参考文献

- 1) 西川他：SPT データに基づく杭圧入時の地盤抵抗予測，2010