

鋼管杭圧入中の杭周辺地盤の間隙水圧挙動に関する考察

(株) 技研製作所 正会員 ○西川 舞
 (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

杭を静荷重で地中へ貫入させる圧入工法では、油圧式杭圧入引抜機（以下、圧入機）を用いて杭を上下に動かしたり（「打抜」と呼ばれる）、回転させたりすることができる。杭の打抜、回転は周面摩擦抵抗力度 q_s の低減に効果的であると考えられている。土と杭の相対変位が増加することによって q_s が低減する現象は、支持力論において friction fatigue（摩擦疲労）として知られている¹⁾。打抜中や回転中の q_s の低減を摩擦疲労で説明することを試みた^{2),3)}ところ、回転中の低減はよく表現できるが、打抜中の低減は過小評価の傾向があることが分かった。この差は間隙水圧挙動の違いによる可能性がある。本研究では、軟弱地盤に圧入した杭を一定深度で打抜、回転、静置する実験を行ない、杭周面部分に作用する間隙水圧を計測した。その挙動を整理する。

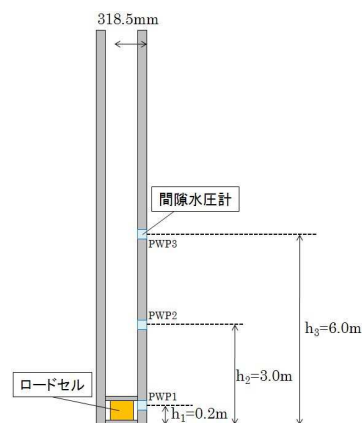


図 1. 試験杭

2. 実験の概要

外径 318.5mm、杭長 13.5m の閉端鋼管杭（図 1）を深度 11.5m まで圧入後、この深度において表 1 に示す条件で打抜、回転、静置を行なった。圧入機で地盤抵抗 Q 、杭先端のロードセルで先端抵抗 Q_b を計測し、周面摩擦抵抗 Q_s を $Q_s = Q - Q_b$ より求めた。また、杭先端から $h_1=0.2m$ 、 $h_2=3m$ 、 $h_3=6m$ の位置の杭周面に設置した間隙水圧計（PWP1～PWP3）で水圧 $u_1 \sim u_3$ を計測した。試験場の地盤条件（深度 4m までは事前に掘削を行った）を図 2 に示す。

表 1. 試験条件

	試験No	打抜速度 [mm/sec]	打抜ストローク [mm]
打抜	C09-12	60	700
	C09-13	60	40
	C09-15	2	700
	C09-16	2	40
回転	試験No	回転速度 [mm/sec]	
	C10-11	2	
静置	試験No	静置時間	
	C09-11	60分	

3. 結果と考察

(1) 打抜 / 回転 / 静置時の間隙水圧挙動の比較

図 3 は打抜、回転、静置時の過剰間隙水圧を、初期値の絶対値で正規化した $u_{e1}^* \sim u_{e3}^*$ の時間変化である。回転中の u_{e1}^* は回転周期と同じ周期の増減を繰り返しながら消散している。この増減は、杭の微量の傾斜や水

平面内の地盤条件の差異などを反映していると考えられるが、消散カーブそのものには影響していない。 u_{e2}^* 、 u_{e3}^* は、初期値が小さいため時間変化はほとんどない（ただし、 u_{e3}^* の初期の値は貫入時の影響で大きくなっている）。また、 $u_{e1}^* \sim u_{e3}^*$ 共に静置時とほぼ同じ消散カーブとなっている。他方、打抜中の $u_{e1}^* \sim u_{e3}^*$ は打抜周期と同じ周期で大きく増減を繰り返している。消散過程は先述の回転や静置の場合に比べて u_{e1}^* が特徴的である。これは打抜に特有の現象であると考えられる。

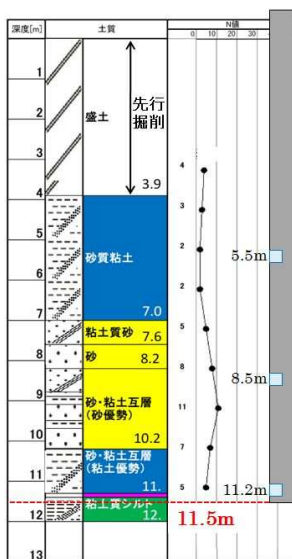


図 2. 地盤条件

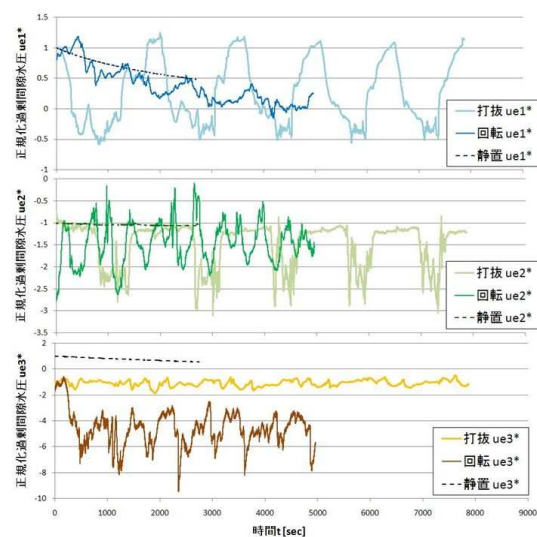


図 3. 間隙水圧挙動

(2) 打抜中の間隙水圧の伝達

図4はC09-13における $u_{e1}^* \sim u_{e3}^*$ の時間変化である。杭の上下動とともに $u_{e1}^* \sim u_{e3}^*$ は増減を繰り返すが、極大値の発生時刻に着目すると u_{e1}^* 、 u_{e2}^* 、 u_{e3}^* の順に時間をおいて極大値が発現している(図中の網掛けは u_{e1}^* の周期を示している)。このような傾向はC09-12およびC09-15でも確認された。 u_{e2}^* および u_{e3}^* の極大値は u_{e1}^* の極大値を反映した

ものであると考えられる。したがって、ある深度における打抜中の杭周面部分の間隙水圧挙動は、その深度における杭と土の摩擦に起因した現象だけでなく、杭先端近傍で大きく増減する間隙水圧挙動をも反映しており、しかも後者の影響が大きいと推察される。すなわち、打抜中には、図5に示すような透水性の高い「膜」のような領域が杭周面部分に形成されている可能性がある。

極大値の時間差が、ある時刻 t における各深度の水圧差に伴う動水勾配によって発生する透水現象に起因しており、しかもその透水現象が「膜」の内部でのみ起こっている、との仮定の上に立って、「膜」の部分の透水係数を式1により算出した。ここで、 $u_{ei}(t_i)$ [MPa]は時刻 t_i における過剰間隙水圧、 t_i [s]は u_{ei} が極大を示す時刻、 $i=2, 3$ である。算出結果、いずれの試験においても $k=10^{-1} \sim 10^{-3}$ m/s となった。これは砂の透水係数の一般論 $k=10^{-5} \sim 10^{-4}$ m/s⁴⁾や同試験場の深度9.5m(砂優勢の砂・粘土互層)の土質サンプルを用いた透水試験の結果 $k=10^{-6}$ m/sより2桁以上大きい値である。

$$k_i = \frac{(h_i - h_1)^2}{100(t_i - t_1)\{u_{ei}(t_i) - u_{e1}(t_1)\}} \quad (\text{式 1})$$

(3) 透水状況の変化と周面摩擦抵抗

図6に打抜回数の増加に伴う打抜中の透水係数の変化を示す。09-12とC09-15では打抜回数の増加と共に k_2 、 k_3 が増加しているのに対し、C09-13では減少している。膜の透水性を高くするには打抜ストロークが長い方が効果的であると言える。

図7は打抜最終時の k と Q_s をそれぞれの初期値で正規化した、透水係数の変化率 k^* と周面摩擦抵抗の変化率 Q_s^* の関係である。打抜による k の増加量が大きい方が Q_s の低減が大きいという傾向が見られ、打抜中には膜の透水性が向上し、周面抵抗の低減に寄与していることが推察される。

参考文献

- 1) White, et al., Novel piling: axial and rotary jacking, 2010
- 2) 石原他, 圧入施工時の周面摩擦抵抗の予測における

摩擦疲労の検討, 2010

- 3) 岡田他, 回転圧入中の摩擦疲労に関する研究, 2011

- 4) (社)地盤工学会, 土質試験の方法と解説, 2000

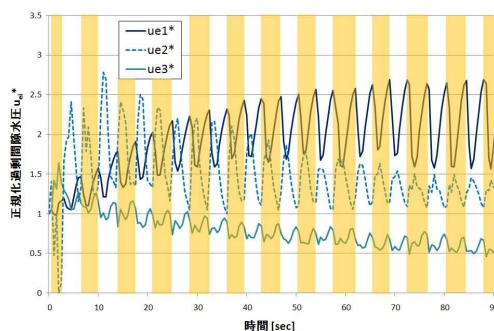


図4. 間隙水圧ピークの時間的ずれ



図5. 膜のイメージ

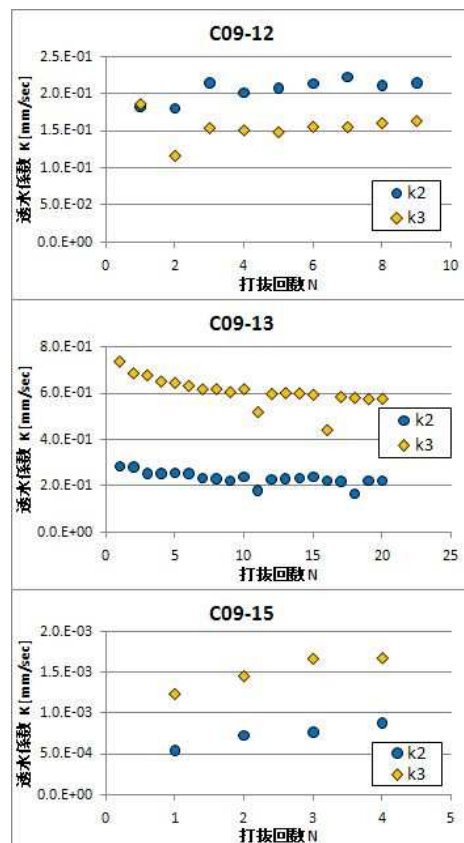


図6. 透水係数

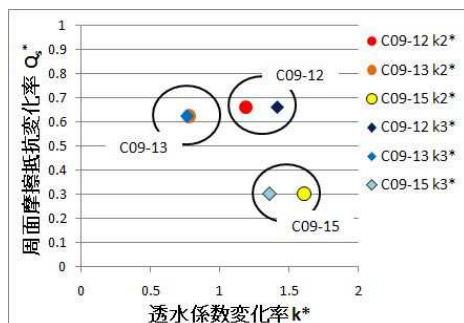


図7. 透水係数最終値と周面摩擦抵抗低減率