

# 杭基礎の周面摩擦力に対する被圧地下水の影響について

## Influence of confined groundwater to frictional resistance of pile foundation

地表まで自噴する被圧地下水は、杭基礎の施工に際して支障となるため種々の対策工が施されている。一方、水頭の異なる透水層が地中に存在する場合、地表に自噴しなくても杭周面に鉛直方向の地下水流動が生じ、杭基礎の周面摩擦力に影響を及ぼすことが可能性としては考えられるが、この問題に関して検討した例は現時点では見当たらない。

以下の例では、複数の透水層を貫く場所打ち杭における杭の周面摩擦力の測定（別機関で実施）とともにボーリング孔を利用した鉛直方向の地下水流動の実測により、地下水の鉛直流動が杭の周面摩擦力に与える影響について検討を行ったのでここに紹介する。

赤松 周平<sup>1)</sup>



### 1. 被圧地下水の存在と杭周面摩擦力の関係

透水層に存在する地下水面の高さ（地下水頭）は、透水層（帯水層）毎に異なっている。

図-1に示す通り、地下水頭が透水層直上の不透水層の下限より高い位置にあるものを被圧地下水と呼んでいる。したがって、被圧地下水は直上の難透水層を加圧層として、加圧された地下水である。被圧帯水層（透水層）に達する井戸やボーリング孔のうち、その地下水頭が地表より高い場合に地下水は自噴することになる。

地下水頭の高さ異なる複数の透水層（帯水層）が存在した場合、これら複数の透水層を貫く井戸やボーリング孔では、水頭の高い透水層から低い透水層に向かって鉛直方向の地下水流動が生じる。地下水鉛直流動の概念図を図-2に示す。

杭を地中に設置した場合には、杭と地盤の間隙に地下水が流動し、杭の周面摩擦力が低下する可能性が想定される。一般的に場所打ち杭では埋め込み杭や打ち込み杭と比べ杭体と地盤の密着度が高く、水頭差があっても杭周面の地下水流動は生じにくいと考えられている。

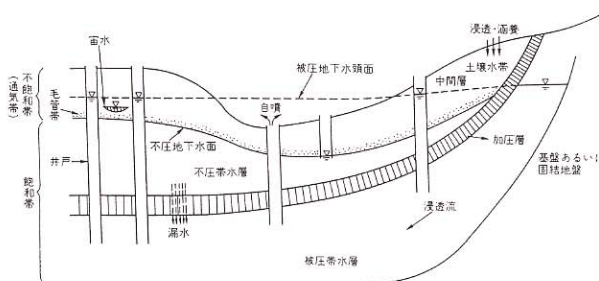


図-1 不圧地下水・被圧地下水の概念図

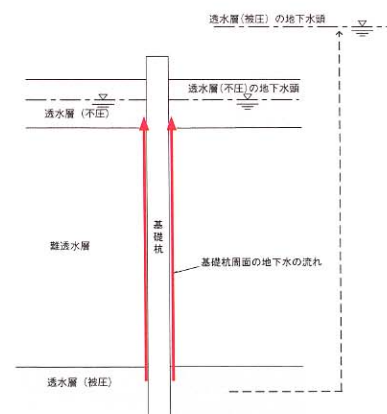


図-2 杭周面の地下水流動の概念図

1) 共通事業本部 地質部（技術士 応用理学部門） Syuhei Akamatsu

## 2. 調査地の地盤構成

調査地は、火山灰質土で構成された台地上に位置し、比較的固結した火山灰 (N 値 20~50) の間に砂質土 (火山灰質砂・礫混じり砂) や亜炭が挟在している。

火山灰や亜炭が地下水流動に対して難透水層となり、これに対し砂質土は透水層となっている。深部の透水層ほど地下水頭が高く、透水層に存在する地下水は被圧された状態になっている。

調査地では、橋梁の基礎工として場所打ち杭が施工された。地表から杭の先端までの間には図-3 の様に4層の透水層が存在する。このうち、最上部の透水層は、現河川の堆積物に相当し、上部に加圧層がなく不圧地下水が存在している。一方、下部3層の透水層は、比較的固結した火山灰や亜炭に挟まれた砂質土であり、存在する地下水は上部を難透水層で加圧された被圧地下水である。

調査地の地盤構成を表-2 に一括する。表には、調査結果から明らかとなった透水層の透水係数や地下水の水頭高さを記載した。透水層の透水係数は、最上部の現河川の堆積物で  $k=1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  とやや低く、被圧された下部2層の透水層の透水係数は  $k=3 \sim 4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  で固結していない礫~砂に相当する透水性を示している。地下水頭は、最下部の透水層では地表より高い位置で確認されている。なお、深度 15.0~17.0m の被圧透水層では、透水試験が実施されていないので、透水係数や地下水頭は不明である。

表-2 調査地の土層区分と透水層の性状

深度 (m)	土層構成	透水層区分	地下水頭 (GL±m)	透水係数 (cm/s)
0.0~4.4	砂・砂礫	不圧透水層(A)	-1.50	$1 \times 10^{-3}$
4.4~8.1	火山灰・亜炭	難透水層	—	—
8.1~9.1	火山灰質砂	被圧透水層(B)	-0.40	$4 \times 10^{-3}$
9.1~15.0	火山灰	難透水層	—	—
15.0~17.0	礫混り砂等	被圧透水層(C <sub>1</sub> )	不明	不明
17.0~18.5	火山灰・亜炭	難透水層	—	—
18.5~19.3	礫混り砂	被圧透水層(C <sub>2</sub> )	+0.60	$3 \times 10^{-3}$

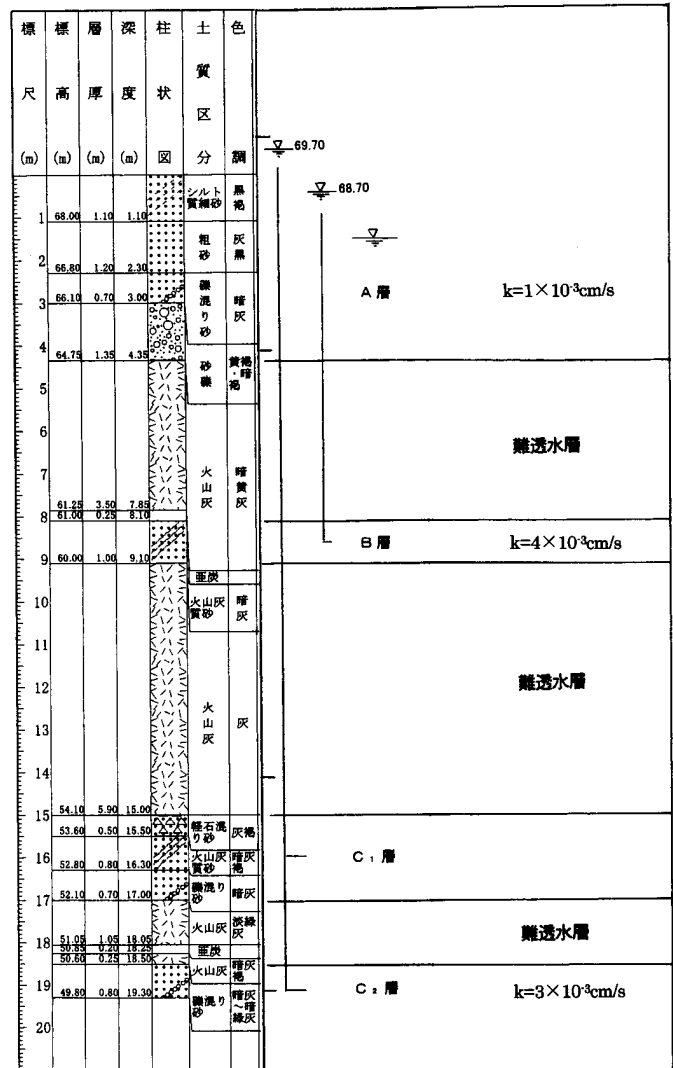


図-3 調査地の地質と透水層分布

## 3. 地下水流動状況の調査

### (1) 調査方法

本調査では、孔径 90mm で削孔したボーリング孔に塩ビパイプ (VP50) を設置し、水位観測孔として仕上げたのち、孔内にゾンデを挿入し、微流速測定を行った。ボーリング孔内の微流速測定は、図-4 に示す測定装置により、深度 0.1m 毎に鉛直方向の地下水流速を測定した。

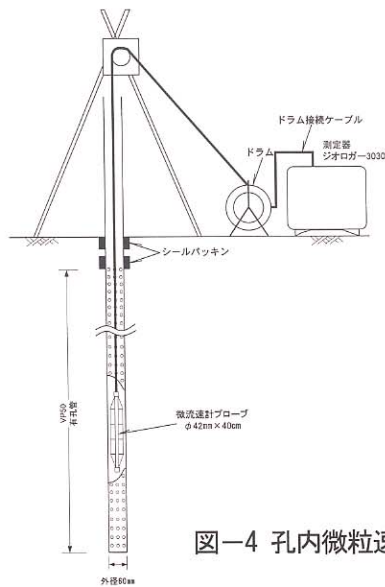


図-4 孔内微粒速測定装置

(2) 調査結果

場所打ち杭の載荷試験時に測定された孔内の地下水流動量を図-5に示す。

杭の載荷試験時には、地盤が切土されたことにより、最上部の不圧透水層(A層)が存在しておらず、地下水はC層から流出しB層に流入している。

図-5に示す通り、地下水の流動量の分布には、深度毎のバラツキが認められる。これは、ボーリング孔壁と保護工(VP50)の間に間隙があり、さらに、孔壁の崩壊により、孔径が一定でないことが原因と考えられる。図-5では、透水層の分布等を考慮し、これを補正し赤線の地下水流動量分布図を描いた。地下水の流動量は、図-5の模式図に示すとおり、杭の載荷試験時ではC層とB層間で8 l/minの地下水流動が確認された。ボーリング孔径を90mmで一定と仮定すれば、地下水の流動速度は2.1cm/sとなる。地下水が流動している地質は、N値40~50の火山灰層である。

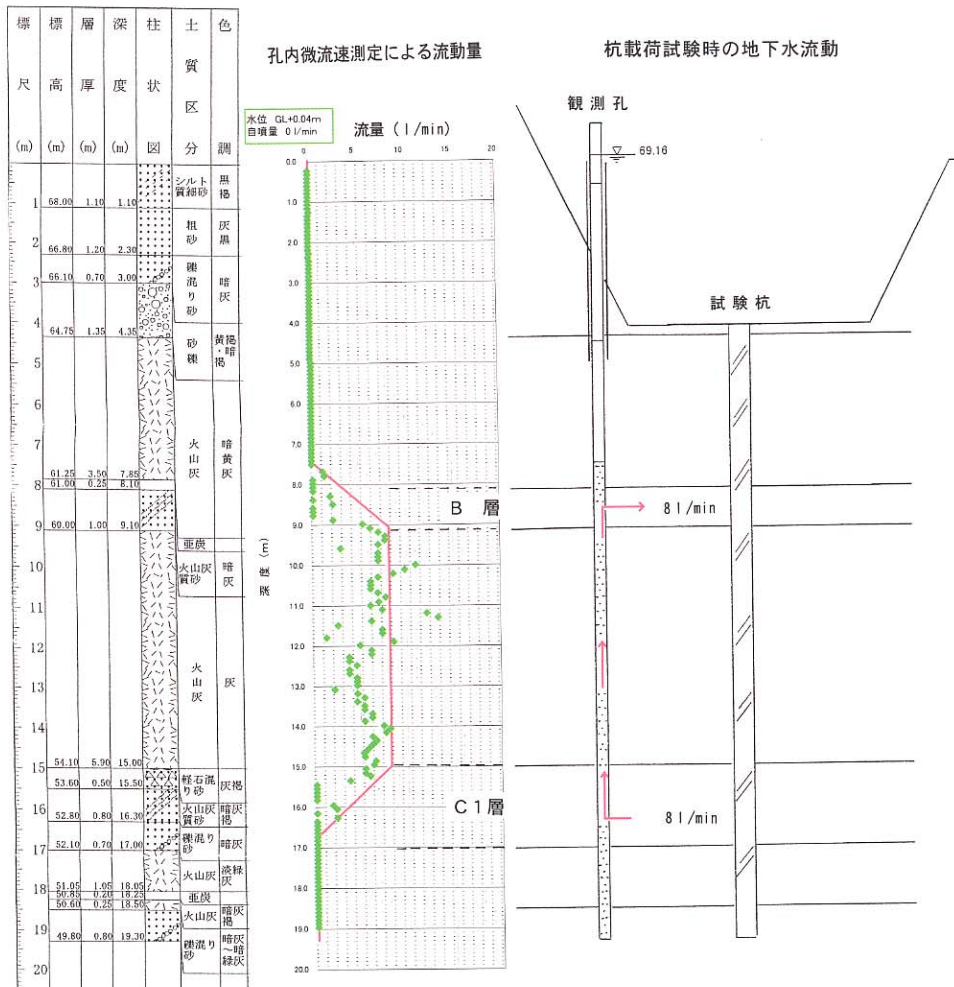


図-5 坑内微粒速測定結果および地下水流動模式図

#### 4. 杭の周面摩擦力と地下水流動との関係

本調査例では、鉛直方向の地下水流動測定とともに、別業務で杭の鉛直載荷試験が実施され、杭周面摩擦力を確認している。その結果によれば、地下水の鉛直流動が確認された火山灰層（深度 9.1～15.0m）では、実測された周面摩擦力が  $N$  値から設定した値の 20～60% 程度であるのに対し、他の土層では、杭の先端付近を除きほぼ設定値に近い周面摩擦力が得られた。土層と周面摩擦力、地下水流動速度の関係を表-4 に示す。

なお、隣接する同様の地盤状況の現場において、杭の鉛直載荷試験が実施されており、本調査例と同様に  $N$  値 40～50 を示す火山灰では実測された周面摩擦力が  $N$  値から設定した値を下回る結果となった。この現場ではボーリング孔内の地下水流動は測定していない。この結果も表-4 に併せて記載する。

#### 5. 今後の課題

ボーリング孔内の地下水流速測定を行い、杭周面の鉛直地下水流動と杭の周面摩擦力の関係について検討を試みた。実施した例では、鉛直方向の地下水流動が認められた火山灰層の周面摩擦力が  $N$  から設定した値を下回る結果となった。しかし、杭の周面摩擦力については、地盤の力学特性や施工条件等も併せて検討する必要がある、本調査結果から、地下水の鉛直流動が周面摩擦力に影響を与えたと断定

は出来ない。その理由をまとめ、以下に記載する。

- ① 本調査では、ボーリング孔内の地下水流動が確認され、地下水流動を生じさせる水頭高の差が存在することは明らかとなったが、実際に場所打ち杭周面での地下水流動の有無は確認されていない。
- ② 本調査現場、隣接する現場とも周面摩擦力が  $N$  値からの設定値を下回っている地盤は、同様に  $N$  値 40～50 以上の火山灰であり、地質的にも連続するものと考えられる。周面摩擦力が設定値を下回っている原因が地盤そのものの性状によることも考えられる。

杭周面部分における地下水流動の測定は、間接的にトレーサーにより流れを確認する方法等が考えられるが、微小な流動速度を測定するのは現実的には容易ではない。実現可能な方法としては、深部の被圧帯水層に達する杭と達しない杭で周面摩擦力を比較することにより、被圧地下水が周面摩擦力に与える影響を評価出来るものと考えられる。この際には、本調査の様に地盤の透水層の分布・性状が確認され、ボーリング孔における地下水流動が実測されていることが前提となる。

同種調査結果の蓄積により、今まで問題とされていなかった被圧地下水の存在と杭の周面摩擦力との関係が解明されるものと考えられる。

表-4 杭周面摩擦力の設計値と実測値、地下水流速の関係

区分	測定深度 (GL - m)	主な土層	$N$ 値 (既往調査)	杭の周面摩擦力の比較 実測値/ $N$ 値からの設定値	地下水流速 (cm/s)
本 現 場	3.43～6.38	砂礫・火山灰	34～49	0.97	0
	6.38～7.84	火山灰	20～31	1.15	0
	7.84～10.58	火山灰質砂・亜炭・火山灰	20～44	0.37	0～2.1
	10.58～12.68	火山灰	48～49	0.61	2.1
	12.68～15.06	火山灰	45～50	0.23	2.1
	15.06～16.82	火山灰質砂・礫混じり砂	39～54	1.16	0～2.1
	16.82～19.20	火山灰・亜炭・礫混じり砂	41～44	0.15	0
隣 接 地	5.22～8.50	火山灰	44～83	0.30	—
	8.50～10.75	亜炭・火山灰質砂	14～23	0.95	—
	10.75～12.77	火山灰・亜炭	37～54	1.26	—