

Ⅲ-A270 ディープウェル設計の経験則から得られる井戸揚水能力に関する一考察

大林組技術研究所 正会員 栗原 正美

同 上 正会員 須藤 賢

同 上 正会員 上野 孝之

1. はじめに

ディープウェルによる排水設計を行う場合、必要井戸本数を算定するために井戸1本当たりの揚水能力(限界揚水量)を適切に評価する必要がある。揚水能力の評価方法としては段階揚水試験による確認が最も確実であるが、試験が実施できない場合や設計段階ではSichardt(シーハルト)の経験式が一般に用いられる¹⁾。この式は安全側の値を示すと言われるが²⁾、揚水試験結果と具体的に比較した例はあまり示されていない。

この報告では、既往の試験結果と経験式から得られる揚水能力を比較・検討した結果について述べる。

2. 限界揚水量

段階揚水試験から得られる井戸内水位低下量 S と揚水量 Q は、図-1のタイプIのように両対数グラフ上で勾配の異なる2直線を示し、この2直線の交点を超越する揚水量では帯水層の物理性が乱れることから限界揚水量 q_c と定義されている³⁾。実際の揚水試験ではタイプIIのように勾配変化点に達する以前に揚水ポンプ能力が限界となり、ポンプ能力での最大揚水量を仮の q_c としている場合も多い。一方、限界揚水量をダルシー則が適用できる最大の揚水量と考えると、揚水量推定式は以下になる²⁾。揚水井構造を図-2に示す。

$$q_c = 2\pi r_w \ell_w k i_c \quad \dots\dots (1) \quad r_w: \text{井戸半径(m)} \quad \ell_w: \text{地下水位以下のストレーナ長(m)} \quad k: \text{透水係数(m/sec)} \quad i_c: \text{限界動水勾配}$$

ここで、(1)式中の i_c として以下の2式が実験式として提案されている⁴⁾。

$$\text{シーハルトの式} \quad i_c = \frac{1}{15\sqrt{k}} \quad \dots\dots (2) \quad k: (\text{m/sec})$$

$$\text{エス・カ・アブラモフの式} \quad i_c = \frac{65}{\sqrt[3]{k^2}} \quad \dots\dots (3) \quad k: (\text{m/day})$$

(1)、(2)式を用いたものがシーハルトの限界揚水量として広く用いられている。(3)式については文献⁴⁾に単位が正確に記載されていないため、文献中の前後の関係から推定した。

3. 段階揚水試験データとの比較

整理した試験データの揚水井寸法を表-1に示す。揚水井の寸法は、地盤調査用の試験井から工事用の揚水井まで含まれており、大きく異なる。井戸のストレーナは巻線型スクリーンが主で、一部にスリット加工も含まれ、その開口率は約15~20%である。段階揚水試験データから q_c は図-1に示す方法で求め、揚水限界とポンプ限界を区別した。さらに、井戸底の位置より完全貫入と不完全貫入井戸に区別し、単位面積当たりの q_c (限界流速 V_c)を

$$V_c = \frac{q_c}{2\pi r_w \ell_w} = k i_c \quad \dots\dots (4) \quad V_c: (\text{m/min})$$

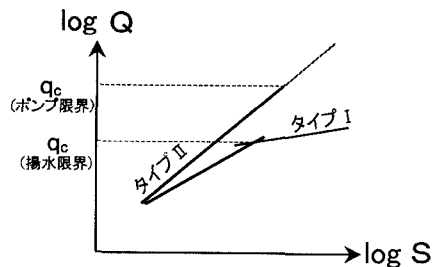


図-1 段階揚水試験結果

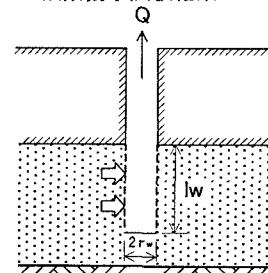


図-2 揚水井構造

表-1 揚水井寸法

井戸径 d	16.5~60.0cm
ストレーナ長 ℓ	3~22.5m

ディープウェル設計、井戸揚水能力、段階揚水試験、シーハルト式

〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL 0424-95-0939 FAX 0424-95-0909

として算定し、透水係数に対して整理した結果を図-3に示す。図中には(2)、(3)の経験式から求めた値を各々実線で併記した。ストレーナ形状や開口率が異なっているにもかかわらず、試験から得られた V_c は透水係数 k と共に大きくなっており、井戸集水部の構造の違いが V_c に与える影響は透水係数に比べて小さいようである。ポンプ限界を示すデータ(○、△)の実際の限界流速値はグラフの上方に位置し、全体的には2つの経験式で囲まれる領域付近に V_c が分布するであろうと推測される。揚水限界が得られたデータ(●、▲)は、透水係数が $5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-1}$ (cm/sec)の範囲内でシーハルト式に比較的良く一致しており、この式の適用性が高いことが再確認できる。井戸の貫入度の違いによる V_c については、この結果では明らかにすることはできない。段階揚水試験において揚水状況が変化する動水勾配 $i_c (=V_c/k)$ と透水係数の関係を図-4に示す。 i_c は透水係数が 10^{-2} オーダーの地盤で1~10、 10^{-3} オーダーで8~40程度、 10^{-4} オーダーで20以上と予想される。エス・カ・アブラモフ式は $10^{-3} \sim 10^{-2}$ オーダーの砂や砂礫地盤で比較の実測値に近づくが、透水性の低い地盤では実測値に比べて大きめの値を示す。一方、シーハルト式は透水係数によらず、実測値と i_c の変化傾向が良く一致している。また、シーハルト式の $i_c/2$ ラインの上側に実測値のほとんどが分布していることから、井戸1本当たりの限界揚水量をシーハルト式によって算定する場合、安全率2を考慮すれば良いことが示唆される。土中の流れを示すレイノルズ数 Re に限界流速 V_c を適用すると、

$$Re = \frac{\rho d V_c}{\mu} = \frac{\rho d_0 V_c}{\mu} \quad \dots (5)$$

ρ : 水の密度 (1g/cm³) d_0 : 土粒子の50%粒径 (cm)
 μ : 水の粘性係数 (0.01g/sec·cm)

となる。限界揚水量が得られているデータについて、

(5)式より Re を算定した結果を図-5に示す。 d_0 が0.4~5mmの砂や砂礫については $Re=1 \sim 5$ を示している。ダルシー則が成立する限界 Re は1~10と言われており⁵⁾、実測値はその範囲内にある。一方、透水性の低い地盤では非常に小さな Re で限界流速に達しているようである。

4. まとめ

段階揚水試験の勾配変化点は土中の流れが層流から乱流に変化する動水勾配付近で生じ、シーハルトの限界動水勾配がその傾向をよく説明している。また、シーハルトの限界揚水量の算定式に用いる安全率は2程度を考慮すれば良いことが、観測データとの比較・検討から示唆された。

【参考文献】 1) 地盤工学会：根切り工事と地下水, p. 186, 1991 2) 進士：排水設計の要素技術に関する一考察, 地下水技術, 第38巻第12号, p. 23, 1996 3) 地盤工学会：地盤調査法, p. 296~301, 1995 4) ペ・ペ・クリメントフ, 他：地下水の力学, p. 328~329, 1967 5) 河野：地下水工学, 鹿島出版会, p. 16, 1989

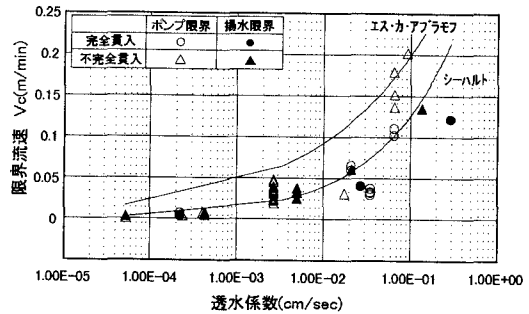


図-3 透水係数-限界流速

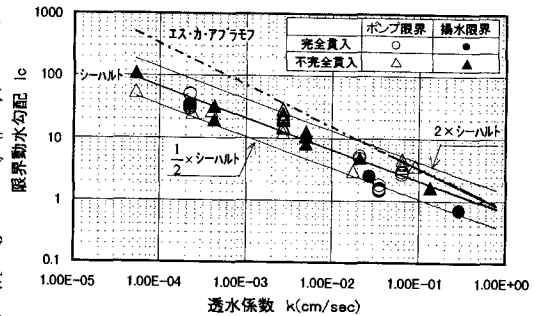


図-4 透水係数-限界動水勾配

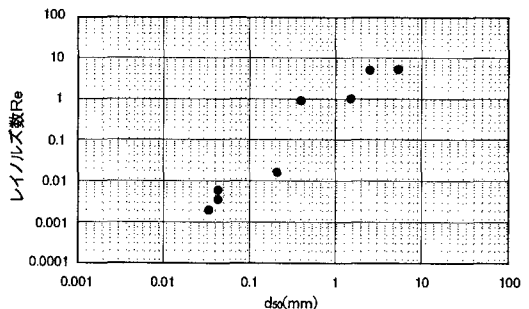


図-5 土粒子径-レイノルズ数