



大深度の透水試験法

Q 大深度を対象とした適切な透水試験法とその留意点について教えてください。

A 1. はじめに

大深度を対象とした透水試験法ですが、まだ、あまり誰も経験しておりませんから、どのような問題点が生じてくるのかよくわからないのが正直な答えです。固結土や岩盤では、深度1000m程度までの試験がなされており、そこで発生した問題点も改良されてきております。しかし、ここで対象とする大深度は G.L. -50 m ~ -100 m の未固結土ですから、そのような所での試験は今後の課題となっております。また、事例もきわめて少ないので未固結土の地盤の大深度で透水試験（単孔式透水試験、揚水試験）を行うと、このようなことが起こるのではないかなと言う予測をもとに考えてみることにします。

2. 単孔式透水試験

単孔式透水試験は後で述べる揚水試験と比較して、求められる透水係数が限られた狭い範囲（試験孔より半径20~30cm程度の範囲）のものであるため、平均的な透水係数が求められないと言う欠点があります。しかし、試験をうまくやりますと透水係数の広い範囲（ $k=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s ~ 1.0×10^{-2} cm/s）の値が計測でき、大深度で問題となる多層地盤の各層の透水係数が測定できる利点を有しています。また、この試験はボーリングによる地盤調査の一環として実施できます。

この試験を深度50m~100mの点で実施する際の問題は原理的にはありません。透水係数が 10^{-6} ~ 10^{-3} cm/s 程度まではピエゾメーター法（非常法）を用い、 10^{-3} cm/s ~ 10^{-2} cm/s ではパッカー法（定

常法）を適用すると良いと思います。

大深度を対象とする際の留意点としては、次のようなことが考えられます。

(1) 地下水位が低い所での孔内水位低下法

東京都内の地下水位は回復しているとは言え、東京礫層の水位が G.L. -10 m 以下の所がよくあります。また、江戸川層の水位では G.L. -20 m 程度です。このように地下水位が低いところでの単孔式透水試験では、孔内の水位を低下させることがきわめて困難です。地下水位が揚水によって低下できないときには、注水試験が用いられることが多いですが、注水法による単孔式透水試験の結果は回復法（揚水法）の結果より1オーダーほど低い値を求めてしまうことがよくありますので、あまり勧められません。

定常法を行うには小さい孔径から揚水できる小型のポンプを使用する必要があります。特に透水係数の大きい所では定常揚水法を用いるため、揚水を工夫しなければなりません。

小孔径の孔内の水位を一時的に低下させる方法として、安価で簡単な方法として四つの方法が考えられます。一つは、試験孔内を気密にして、孔内に圧力をかけて孔内水位を低下させた後、圧力を開放して孔内の水位の回復を計測する方法¹⁾、また、孔内に金属棒を入れ、孔内水位が平衡になった後、金属棒を急に取り出して孔内の水位を急低下する方法²⁾、これと同じ様な方法ですが、孔内にゴム風船を入れ、それを孔内でふくらませて、孔内水位が平衡になった後、急に風船の空気をぬいて孔内水位を急低下する方法です。さらに、もう一つの方法は JFT 法です。これらの方法は、いずれの場合も、孔内の水位を揚水するのではなく、孔内の水位(水圧)を高くして、孔内水を地盤内に最初は注水した後、水位の回復を計測するため、試験孔内をよく洗浄する必要があります。なお、孔内の水位の回復測定には、間隙水圧計か JFT 用の水位測定端子を用いると便利です。

(2) 2重管法による透水試験

大深度になりますと、ボーリング時間も長くなり、孔壁崩壊防止のために泥水を用いなければなりません。この泥水が透水試験に影響することを防ぐために、2重管方式を勧めます³⁾。この方式では、透水試験のための洗浄は中に挿入したガス管内だけでよく、先端の試験区間を孔底に打設するために、試験

区間が正確になり、その崩壊等の心配がなくなります。ただ、この方法も、あまり深度が深くなると、ガス管をうまく打ち込めるかどうかの心配があります。また、毎回、ガス管を引き上げたり、挿入したりする手間が大変になります。しかし、この方法を用いると、多層地盤であっても、多層をシールする必要がなくなります。

3. 揚水試験法

透水係数が 10^{-6} cm/s $\sim$ 10^{-2} cm/s の地盤に対しては、揚水試験によって透水係数を求めるのが、きわめて有効です。この場合も未固結地盤を対象とするため、新しい問題が生じます。井戸の掘削も深くなるのでベント機を用いることができません。掘削に時間がかかるため泥水に植物性多糖類（レスター等）を用いることができなくなり、ベントナイト泥水を用いて孔壁崩壊を防ぐため、試験の前に十分水洗いや、スロビングをして揚水井戸をきれいにしなければなりません。また、掘削中のボイリングを防ぐため被圧層の各層の水位を事前に計測しておく必要があります。

大深度になることによって、今までと異なる点は、多層の帯水層を対象にしなければならないことです。多層の各層を対象として、揚水井と観測井を設けて揚水試験ができれば最も理想的です。例えば、東京区部では、東京礫層と江戸川層内の砂層を対象として、それぞれの帯水層の揚水試験を実施する方法が最も良いと思います。大阪都心部でも天満層とその下の砂層には各帯水層ごとの試験が有効です。ただ、広い範囲で何本かの揚水井を掘削することが困難な時には、1本の揚水井を用いて多層にわたって揚水試験をする方法も提案されています。たとえば、高坂らが用いているように揚水井にパッカーを設ける方法⁴⁾、多層の揚水試験をやり、下から井戸をコンクリートで埋めて行って、複数の揚水試験から多層の各層の浸透特性を測定する方法があります⁵⁾。

観測井は、深さ方向の複数の多点に間隙水圧計を設置する方法が一般的になって来ております^{4),5)}。

1層での揚水が他の層にどの程度影響するかを測定しておく、中間の粘土層の連続性や遮水効果が判断できます。

試験の際の留意点は、各層間のシールの方法です。

観測井に関しては吸水膨張性のシールが現在ではきわめて有効ですが、揚水井のシール方法はきわめて困難です。特に深度が深くなるほど、揚水井の周囲のフィルターの充填や、各帯水層間のシール方法が難しくなります。揚水井にも吸水膨張性のシール材が開発されており、その上にセメントモルタルを流入して、シールが完全であるかどうかを揚水井の近傍に観測井を設けて確認する方法を勧めます。

東京の江戸川層を対象とした揚水試験では、下部の上総層群までの中で、揚水試験の解析に必要な帯水層厚をどのように設定するか、また得られた試験結果から、透水係数や貯留係数をどのように算定するかについては、不完全貫入井の試験結果の整理法を用いるべきです。

揚水井から観測井までの距離ですが、大深度では被圧帯水層ですから、5 m、10 m、20 m程度離れていても十分良い観測結果が得られます。ただ、揚水井の近く（2 m $\sim$ 3 m）の所に深さ方向に数点の観測井があれば、不完全貫入の揚水試験では帯水層の異方性の透水係数が求められます。また、揚水井から十分離れていれば（帯水層厚の1.5倍程度）、揚水井が不完全貫入である影響は受けにくく、その観測井から得られる透水量係数、貯留係数は、全体を代表している値と思います。

大阪の上町台地下部の大阪層群内の砂層の透水係数は $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-4}$ cm/s 程度であり、このような帯水層では、揚水試験による帯水層へのインパクトがあまり広範囲に影響しないので、揚水試験より単孔式透水試験の方が効率が良いと思います。また、地盤が傾斜している条件下での揚水試験の解析手法がありません。

名古屋市内の深層の洪積層に対しても透水層の厚さの決定が問題となりますが、ここでも不完全貫入の揚水試験結果を評価することによって透水係数と貯留係数が求められています。ここでは、熱田層下部の第二礫層が1層の帯水層と判断しにくい点が問題となります。このように揚水試験結果が従来の簡単な方法で解析できないことが多いですが、漏水の影響や多層の影響を正確に解析の中に持込み、井戸の構造（井戸径、フィルターの間隙率）を考慮した解析により、帯水層特性を数値解析によって逆に同定する方法も研究されておりますので、種々の情報

Q&Aコーナー

を正確に報告する必要があります⁵⁾。

4. おわりに

大深度を対象とした地下水調査は、帯水層の透水係数だけでなく、比貯留係数や、加圧層の透水係数、比貯留係数などが解析に必要となります。無論、各層の層厚も知らねばなりません。また、深部の地下水を利用していることも多く、その使用状況や経時的、経年的な変動調査も重要です。

ここで述べましたことは、一部だけです。今後もしろいろな問題に対して、その改良する方法をともに考えてみたいものです。

参 考 文 献

- 1) 西垣 誠：孔内加圧板方式による単孔式原位置透水

試験法，地盤と調査，第1号，pp.74～79，1984.

- 2) Cooper, Jr. H. H., Bredehoeft, J. D. and Papadopoulos, I. S : Response of a finite-diameter well to an instantaneous change of water, Water Res. Res., Vol. 3, No. 1, pp. 263～269, 1967.
- 3) 西垣 誠：単孔式原位置透水試験法の諸問題，地下水と井戸とポンプ，第28号，第5号，pp. 1～13，1986.
- 4) 高坂信章・三宅紀治・平野文昭：大深度地下開発における地下水問題と部分揚水試験法の提案，地下水学会誌，第32巻，pp. 209～220，1990.
- 5) 西垣 誠・竹下祐二・河野伊一郎・中屋眞司：多層地盤での大深度地下掘削における地下水保全のための浸透特性の計測法とその検討例，地下水学会誌，第31巻，第4号，pp. 189～198，1989.

(回答者：西垣 誠 岡山大学工学部土木工学科)

(原稿受理 1991.1.21)