

III-395 復水工法の目づまり特性に関する研究

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠  
岡山大学大学院 学生会員 田中卓也  
建設省土木研究室 正会員 苗村正三  
(株) 竹中土木 正会員 森嶋 章

1.はじめに

近年、大深度地下空間工事や大規模な建設工事の際の地下水災害を未然に防止するために、復水工法が多く用いられるようになってきた。復水工法を導入する際、注入圧が高すぎるために帯水層土粒子の配列に変化が生じ、透水性が減少する目づまり現象が問題となっており、その対策法の設立が急がれている。そこで、本研究では一次元浸透モデルによる透水試験を行ない、地盤の粒度分布と土粒子配列を変化させない動水勾配との関係を求め、目づまりを起こさないで復水を継続できるための条件を探索した。

2.目づまりに対する室内実験

細粒分の有無と目づまりを起こす最小動水勾配の関係を調べることににより、目づまりを起こす粒子の粒径の特定と、この粒子を取り除くことにより目づまりがどの程度軽減されるかを調べるために、以下の方法で実験を行なった。

表 - 1 試料の粒度調整の結果

| Sample       | Grain size distribution | Minimum grain size (mm) |
|--------------|-------------------------|-------------------------|
| River sand   | R                       | ~ 4.76 mm               |
|              | R0.104                  | 0.104mm ~ 4.76 mm       |
|              | R0.25                   | 0.25mm ~ 4.76mm         |
|              | G0.25                   | 0.25mm ~ 0.42mm         |
|              | G0.42                   | 0.42mm ~ 0.84mm         |
| Narita sand  | N                       | ~ 0.84mm                |
|              | N0.074                  | 0.074mm ~ 0.84mm        |
|              | N0.104                  | 0.104mm ~ 0.84mm        |
| Toyoura sand | T                       | 0.074mm ~ 0.42mm        |

(1) 試料

川砂、成田砂、豊浦標準砂を実験試料として用いた。川砂、成田砂とも表 - 1のように粒度調整を行ない細粒分の有無や、単一粒径に近い粒度分布の試料における透水性低下の割合を比較する。実験に用いた試料の粒度分布を図 - 1に示す。

(2) 試験装置および方法

試験装置はΦ=100(mm)、長さ500(mm)のモールドに(1)の試料を相対密度が約0.8になるように詰め、動水勾配が0.05間隔で0.05から0.20になるまで一端の水頭を上昇させる。各動水勾配で30分間透水した後、1時間間隔で12回マノメータによるモールドの上、下流端の水位と流量の測定を行なった。

(3) 実験結果

表 - 2に各動水勾配で測定開始後12時間の透水係数kと動水勾配0.03での透水係数k<sub>0</sub>との比(k/k<sub>0</sub>)と動水勾配の関係を示す。ここで(k/k<sub>0</sub>)が0.8以下になると工事に支障をきたすとなると、粒度調整をしない成田砂は動水勾配0.05で(k/k<sub>0</sub>)が0.2近くまで減少することから、成田砂の地盤に復水工法を行なうと、目づまりにより工事に大きな支障をきたすと考えられる。しかし、同じ成田砂でも0.104(mm)以下の細粒分を取り除くことにより、動水勾配0.20まで透水性の低下が見られなくなる。川砂においても同様の結果がでている。また、単一粒径に近い試料では、工事に支障をきたすほどの透水性の低下は見られなかった。

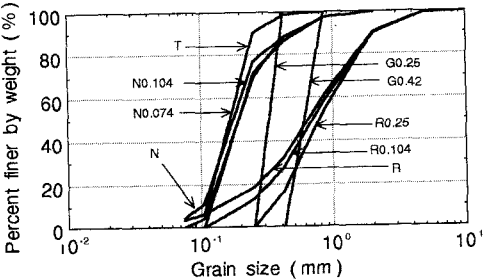


図 - 1 粒径加積曲線

表 - 2 目づまりに対する室内実験の結果

| Sample       | k/k <sub>0</sub> | Average (i=0.05) of k/k <sub>0</sub> | k/k <sub>0</sub> | Average (i=0.10) of k/k <sub>0</sub> | k/k <sub>0</sub> | Average (i=0.15) of k/k <sub>0</sub> | k/k <sub>0</sub> | Average (i=0.20) of k/k <sub>0</sub> |
|--------------|------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| River sand   | R                | 0.87<br>0.90                         | 0.89             | 0.84<br>0.82                         | 0.83             | 0.84<br>0.82                         | 0.83             | 0.85<br>0.81                         |
|              | R0.25            | 1.01<br>1.00                         | 1.01             | 0.99<br>0.89                         | 0.94             | 0.79<br>0.79                         | 0.79             | 0.69<br>0.77                         |
|              | R0.104           | 1.09<br>1.05                         | 1.07             | 1.00<br>0.99                         | 1.00             | 1.03<br>0.99                         | 1.01             | 1.01<br>0.97                         |
|              | G0.25            | 1.06<br>1.04                         | 1.05             | 0.96<br>0.93                         | 0.95             | 0.90<br>0.88                         | 0.89             | 0.85<br>0.83                         |
|              | G0.42            | 1.03<br>1.04                         | 1.04             | 0.94<br>0.89                         | 0.92             | 0.88<br>0.87                         | 0.88             | 0.87<br>0.86                         |
|              | N                | 0.48<br>0.39                         | 0.48             | 0.17<br>0.37                         | 0.17             | 0.23<br>0.38                         | 0.23             | 0.24<br>0.40                         |
| Narita sand  | N0.074           | 0.98<br>0.98                         | 0.98             | 1.03<br>1.03                         | 1.03             | 1.01<br>1.01                         | 1.01             | 1.03<br>1.03                         |
|              | N0.104           | 0.98<br>0.98                         | 0.98             | 1.03<br>1.03                         | 1.03             | 1.01<br>1.01                         | 1.01             | 1.03<br>1.03                         |
| Toyoura sand | T                | 0.70                                 | 0.70             | 0.73                                 | 0.73             | 0.72                                 | 0.72             | 0.75                                 |

### 3. 目づまりを軽減する設計法

室内実験から成田砂、川砂の目づまりを起こす最小動水勾配が0.05とわかったが、被圧地下水層（影響圏半径300(m)）に完全貫入井戸で復水する場合、地盤内の動水勾配が0.05以下になる井戸半径と井戸内の水位上昇量の関係は以下になる。水位上昇量2(m)で復水するためには井戸半径を12(m)以上にする必要があり、井戸半径0.3(m)の完全貫入井戸を用いて復水する場合、井戸内の水位上昇量0.1(m)以下にする必要がある。井戸半径を1(m)にしても水位上昇量0.3(m)以下で復水する必要がある。実際このような条件で復水を行なうことは困難であると考えられるので、目づまりが起りにくい地盤に改良する必要がある。その方法として復水する前に高い水頭で揚水することにより、0.104(mm)以下の細粒分を取り除くことが有効であると考えられる。川砂の場合、目づまりを起こす前の透水係数が0.104(mm)以下の細粒分を取り除くことで、粒度調整しないものの3倍になることから、細粒分の取り除かれた部分は透水性が良くなり、透水層内に透水性の異なる部分ができることになる。このことを考慮して、復水するときの水頭とその前に行なう揚水の水頭を決定すれば良いと考える。以上のことより、復水工法を行なう場合の目づまりを軽減する方法のフローチャートを図-2に示す。この方法で上の川砂の場合、井戸半径が0.3(m)でも水位低下量で2.5(m)揚水することにより水位上昇量2(m)で復水できることになる。

図-2中の(A), (B)について以下に説明を加える。

(A) 目づまりを起こす最小動水勾配( $i_{min}$ )の推定

(1) 低動水勾配時に水位差の測定の精度を上げるために、実験用モールドは50cm以上のものを使用するとよいと思われる。

(2) 動水勾配0.05より実験を開始し、0.02間隔で動水勾配を上昇させていく。

(3) 動水勾配が0.03で透水試験を行ないこれより求めた透水係数 $k_0$ を初期透水係数とする。

(4) 各動水勾配で30分間透水しその後1時間間隔で12回流量と水位差を測定し透水係数 $k$ を求める。

(5) 縦軸に透水係数の低下量( $k/k_0$ )をとり、横軸に動水勾配( $i$ )をとってグラフを作り、( $k/k_0$ )0.8以下になる動水勾配を、目づまりを起こす最小動水勾配( $i_{min}$ )とする。

(B) 揚水を行なう方法

揚水を行なう場合、一度に所定の水位まで低下させてしまうと、非定常時に井戸周辺に高い動水勾配が発生してしまい、細粒分を取り除ける範囲も井戸周辺に限られてしまう恐れがある。よって、段階的に水位を低下させ、そのつど定常になるまで待つことにより、揚水による細粒分の取り除きの効率が高くなると思われる。

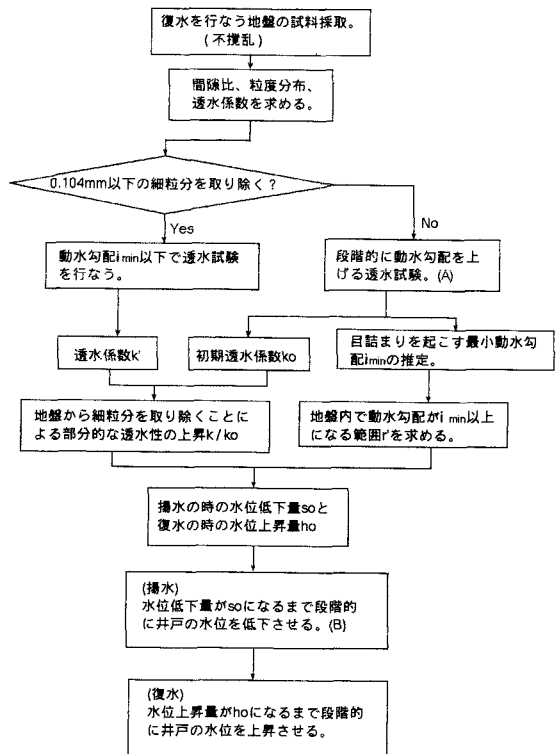


図-2 復水工法の日づまりを軽減する  
方法のフローチャート