

Ⅲ－B 286

地盤注入時の薬液先端の浸透速度と土との反応を考慮した室内注入試験

清水建設技術研究所

正会員 宮本武司

1. はじめに

最近、薬液注入工法の適用範囲拡大を目指して、極めて長いゲルタイムをもつ薬液が検討されている。ゲルタイムが長い薬液の浸透先端部では、新鮮な土粒子と薬液が長時間接するため、浸透中に両者が反応し薬液が次第に変化して、作液当初とはかなり性状が変化する可能性があることを指摘した¹⁾。このため、ゲルタイムが極めて長い薬液の浸透性判定に際しては、薬液の浸透先端部を想定した試験が必要になるものと推測される。

本文では、地盤注入時の薬液浸透先端部の浸透状況と、通常室内で行われるパイプを用いた注入試験時の浸透状況を比較し、土との反応性を考慮した薬液浸透性の確実な評価には、浸透速度を変化させた試験が必要になることを報告する。

2. 地盤注入時の浸透形状と注入時間～浸透距離の関係式

地盤注入時の浸透形状は、図-1に示すように、半無限均質地盤に対する三次元の球状浸透と、互層地盤に対する二次元の層状（円柱状）浸透の二種類に単純化モデル化できる。このモデルによれば、一定流量 q で薬液を浸透注入する場合の注入時間 t と浸透距離 R の関係について、地盤の間隙率を η 、填充率を100%とし、 t 時間の総注入量が浸透半径 R 内の地盤間隙の総体積に等しいと考えれば、球状浸透、層状浸透に対してそれぞれ(1)、(2)式が得られる。

$$R = \left(\frac{3qt}{4\pi\eta} + r^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$R = \sqrt{\frac{qt}{\pi\eta D} + r^2} \quad (2)$$

3. 定量注入時の浸透距離と浸透速度

通常の工事では、注入速度 q はほぼ10～20 l/minの間の一定流量で施工されている。そこで、図-2に、 $q=10, 20$ l/minとして上式で計算した2日間の注入時間と浸透距離との関係を示す。なお、注入孔半径 r は3 cm、層厚 D は3、5mとした。

この図によれば、球状浸透、層状浸透いずれの場合にも、浸透距離は注入直後に急速に増加するが、時間経過とともにしだいに緩慢になることや、この傾向は層状浸透よりも球状浸透の方で顕著であることが分る。また、この図から、2日後の浸透距離は、 $q=20$ l/minでは3.0～3.8m、 $q=10$ l/minの場合でも2.2～2.7mであり、ゲルタイムを10時間単位に長くできれば、浸透半径をm単位にまで拡大できることが分る。

さて、この浸透距離～注入時間関係曲線の勾配は、単位時間あたりの浸透距離、即ち薬液先端部の浸透速度を表す。

この薬液先端部の浸透速度は、上記のように、一定ではなくかなりの幅で変化するので、図-3に、その経時変化

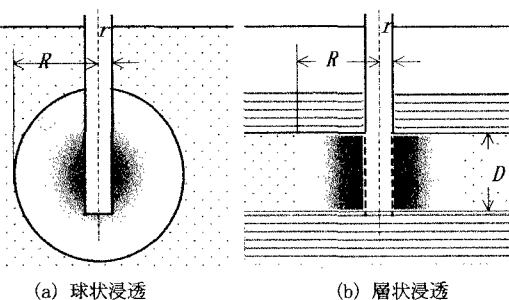


図-1 地盤と浸透形状のモデル

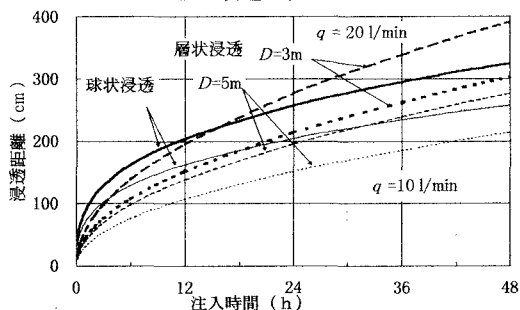


図-2 モデル地盤における注入時間～浸透距離関係

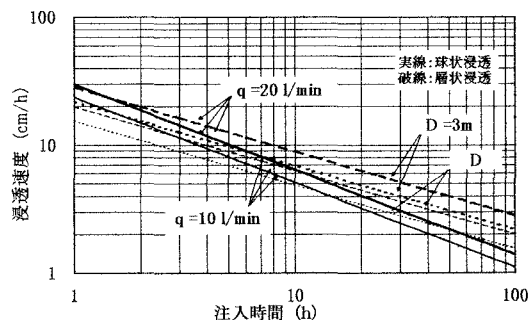


図-3 注入時間と浸透速度の関係

を示す。

この図によれば、薬液先端部の浸透速度は、両対数座標上で注入時間の増加に対し直線的に減少している。また、注入開始1時間後と50時間後の浸透速度は、 $q = 20 \text{ l/min}$ の時には、層状浸透で21～28 cm/hから3～4 cm/hへと約1/7に低下する。一方、球状浸透では30 cm/hから2.1 cm/hへと約1/14に低下している。

このように、一定速度の注入でも、地盤における薬液先端部の浸透速度は、経過時間によって著しく変化することが分る。

さて、通常、室内試験でよく行われるように、パイプ内の試験体に一定速度で注入（定量注入）する場合には、薬液先端部の浸透速度は常に一定であり、2日後の浸透距離を地盤注入時と同じに合せて試験するとしても、図-4に例示したように、実地盤と室内試験における浸透距離～注入時間関係は異なる。

そこで、以下では、定量注入時の両者の相違を検討する。

4. 地盤と室内試験における定量注入時の浸透距離の相違

図-5は、地盤における浸透距離 R と、室内試験における浸透距離 R_i の差（ $R_i - R$ ）を、図-4から求めて図示したものである。この図のように、両者の差は注入開始直後に急激に拡大し、注入開始約10～12時間後に75～125cmと最大の差を生じた後、徐々に縮小している。

図-6は、室内試験と地盤における浸透距離の比（ R_i/R ）と、注入時間の関係を表したものである。この図のように、注入時間が短い時ほど、この比が小さくなっている。相対的には、層状浸透に対する方が球状浸透に対するものより最大10%程度大きい、層状浸透に対する場合でも、注入開始6, 12, 18時間後には、それぞれ28, 52, 62%程度の値でしかない。この比が80%以上になるのは、層状浸透、球状浸透の場合で、それぞれ約30, 34時間以降である。このように、一定速度での室内注入試験では、大半の注入期間において、地盤注入時よりかなり小さな浸透距離しか得られないことが分る。

このことは、一定注入速度で実施する室内注入試験では、同一注入時間で比較すると、地盤注入時より土粒子との反応が少なく、薬液の性状変化が少ないという結果を与え、配合計画上的危険側に判定することを意味する。したがって、極めてゲルタイムの長い薬液で、土粒子との反応に伴う薬液性状の変化（とくにゲルタイムや浸透可能距離など）を、室内注入試験によって正確に推定するためには、注入対象の地盤性状から薬液の浸透形状や浸透速度、およびその経時変化を推定し、その浸透速度～注入時間に対応させた室内注入試験を実施することが必要と判断される。

5. おわりに

本文では、一定注入速度での地盤注入と、室内注入試験における薬液浸透先端部の浸透距離～注入時間関係を計算し、その比較検討結果から、極めてゲルタイムが長い薬液を注入したときの土粒子との反応に伴う性状変化を考慮して、薬液の長距離浸透性を正確に把握するためには、注入速度を変えた試験を行う必要があることを報告した。今後は、これらの注入実験を実施し、極めてゲルタイムが長い薬液の長距離浸透性状や、その予測方法等について検討していきたい。

参考文献

- 1) 宮本武司：極めて長いゲルタイムを有する薬液のサンドゲル作成時のpHとその経時変化、第32回地盤工学研究発表会

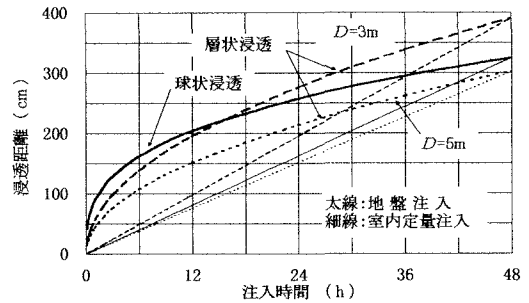


図-4 浸透距離～経過時間関係の変化

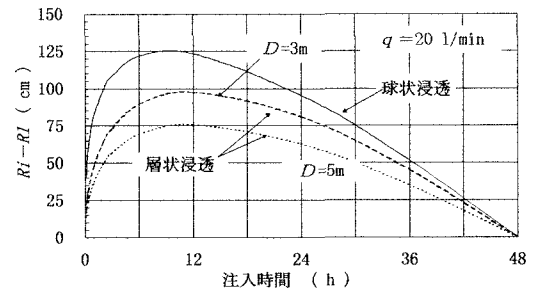


図-5 地盤と室内試験における浸透距離の差

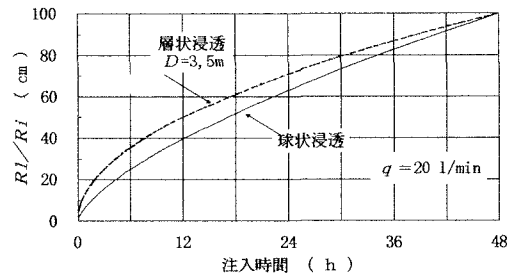


図-6 注入時間と R_i/R の関係