

III-526

割裂浸透注入で有効な固結形状を得るための限界注入速度の予測方法について

早稲田大学	正会員	森 麟
建設省建築研究所	正会員	田村 昌仁
早稲田大学	学生員	○小川 雄二
早稲田大学	学生員	林 忠

1. はじめに

文献1)において、薬液注入で割裂浸透注入になる場合、ほぼ球状に近い固結体を得られる割裂表面積の許容値 A_0 は $3000(\text{cm}^2)$ であることを報告した。しかしこの割裂表面積はすべて浸透面積に相当するので、注入時の注入圧 p 、注入速度 q 、薬液の粘性係数および地盤透水係数に対する必要浸透面積をMaagの式を用いて計算してみると実測値と一致せず、計算値が実測値に比べかなり大きくなる。実測の割裂面積にはほぼ一致するような式ができれば、割裂表面積 A_0 を発生させる注入速度、すなわち限界注入速度(最大許容注入速度)を求める簡単な方法を確立することが可能である。そこで本研究は、このような式(修正Maag式)を実験的に求めた。またこの式を使用するには、事前に現位置地盤で標準化した水注入試験により求める p - q 曲線が必要である。なお、今回の実験に用いた薬液の粘性比 μ は $1.5 \sim 4.0$ (水の粘性を 1.0 とする)の範囲であり、実験方法及び試料などは文献1)を参照されたい。

2. Maag式による割裂表面積と実測割裂表面積との比較

図-1に粘性比 $\mu=2.0$ の場合の、実測の割裂表面積とMaag式による浸透面積すなわち割裂表面積との比較を示す。この図よりMaag式による割裂表面積は、実測の割裂表面積よりかなり大きくなっていることが分かる。このためMaag式を修正して、実測値にほぼ一致するように改める必要がある。

3. 実験によるMaag式の修正

Maag式では注入孔の浸透面積が不変であれば、薬液による p - q 曲線の初期勾配 i_{OL} は水注入による場合の初期勾配 i_{OW} の粘性比 μ 倍となる(図-2参照)。しかし今回の実験では、図-3のように i_{OL} は粘性比の $2/3$ 乗に比例して大きくなることがわかる。すなわち、

$$i_{OL} = \mu^{2/3} i_{OW} \quad \dots\dots\dots (1)$$

また図-2に示す割裂発生後の同一注入速度 q_1 に対する、水による注入圧 p_w と薬液による注入圧 p_L との関係は図-4のようになり、 p_L は p_w よりも高く、実験的に粘性比のほぼ三乗根に比例することがわかった。すなわち注入速度 q_1 における薬液注入圧 p_L は、水の p - q 曲線の q_1 における注入圧 p_w から次式で予測することができる。

$$p_L = \sqrt[3]{\mu} p_w \quad \dots\dots\dots (2)$$

以上の式(1)、(2)を用いて、Maag式による必要浸透面積($A = \mu^2 / 4\pi k^2 i_w^2$)を修正すると次のような式(3)となる。

$$A = \frac{\mu^{2/3}}{4\pi k^2} \frac{1}{i_w^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

4. 水注入による p - q 曲線と修正Maag式による限界注入速度 q_{CR} の決定法

図-5に示すような水注入による p - q 曲線を、標準化した素堀孔の方法(図-6)により求め、その初期勾配 i_{OW} と浸透面積 $A_0(140\text{cm}^2)$ に当たる素堀孔表面積との関係は修正Maag式によると、

$$A_0 = \frac{1}{4\pi k^2 i_{OW}^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

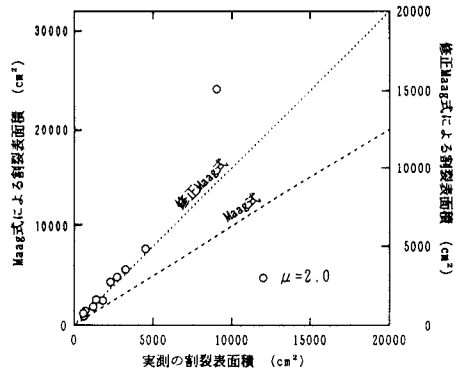
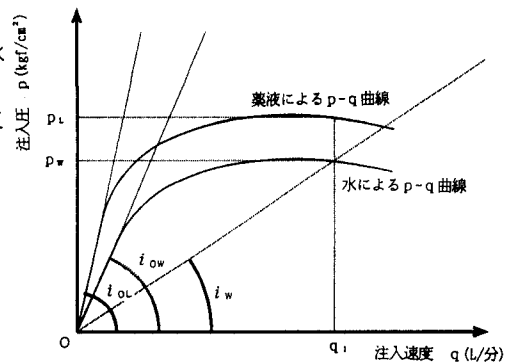


図-1 割裂表面積の実測値と計算値の比較

図-2 薬液及び水による p - q 曲線

となる。薬液注入の時に割裂表面積(浸透面積)が3000(cm²)となる場合の注入速度 q_{CR} は、図-5の水注入 p - q 曲線と勾配 i_{CR} (= p_1/q_{CR})との交点の注入速度に相当する。このような勾配 i_{CR} は初期勾配 i_{OW} との比(i_{CR}/i_{OW})で示すと、修正Maag式から

$$\left(\frac{i_{CR}}{i_{OW}}\right) = \sqrt{\frac{A_0}{3000}} \mu^{1/3} \sqrt{\frac{140}{3000}} \mu^{1/3} = 0.216 \times \mu^{1/3} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。(5)式において $\mu=2.0$ とすれば(i_{CR}/i_{OW})=0.272、 $\mu=3.0$ の場合は(i_{CR}/i_{OW})=0.312となる。従って図-5の水注入による p - q 曲線と(5)式から(i_{CR}/i_{OW})比を求めれば、限界注入速度 q_{CR} を決定することができる。

5. 限界注入速度の決定が必要な地盤の透水係数の範囲

図-7に A_0 を3000(cm²)とした場合の、透水係数と注入速度5(L/分)及び20(L/分)としたときの必要注入圧を両対数グラフで示す。注入圧の範囲は本実験や現場実験のデータより大部分が2.0~5.0(kgf/cm²) (管内抵抗を引いたもの)にあり、粘性比は2.0~3.0とすると、図-7から割裂浸透となり注入が有効な限界注入速度を正しく知る必要のあるのは、透水係数がほぼ $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-3}$ (cm/sec)の範囲にある地盤である。すなわち一般的に $k=2 \times 10^{-3}$ (cm/sec)以上の地盤では、実用注入速度5~20(L/分)のどれを用いても効果的な浸透注入が期待でき、一方 $k=1 \times 10^{-4}$ (cm/sec)以下の地盤では、注入速度を最も小さい5(L/分)にしてもいびつな固結体か割裂注入となり、未固結部分がない効果的な薬液注入ができないことを意味している。また今回は室内実験のため、薬液の注入量が50(L)で現場より少ない。実際の地盤では1ステップで100(L)程度注入するので、3000(cm²)の A_0 を基準にして決めた q_{CR} は安全側の値と考えられる。

<参考文献> 1) 森 他: 割裂浸透注入でほぼ球状固結させるための最大許容注入速度について: 第27回土質工学発表会(1992年6月)

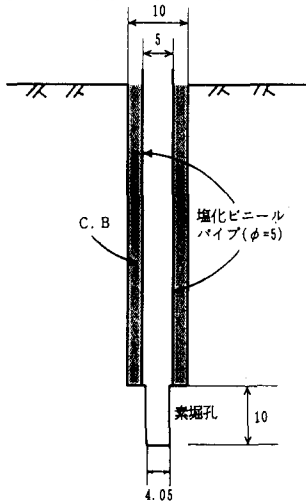


図-6 標準化した水注入試験の素掘孔(単位:cm)

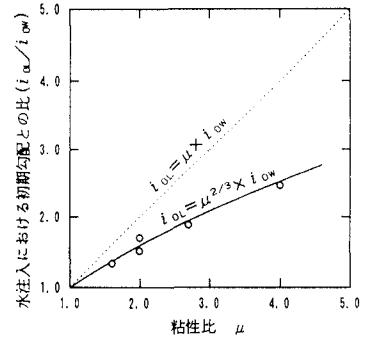


図-3 粘性比と初期勾配比の関係

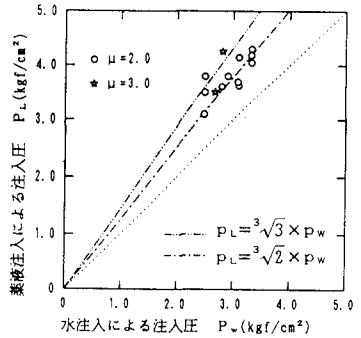


図-4 P_w と P_L の関係

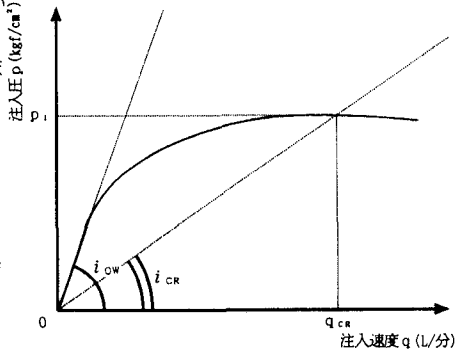


図-5 水注入の p - q 曲線からの q_{CR} の決定法

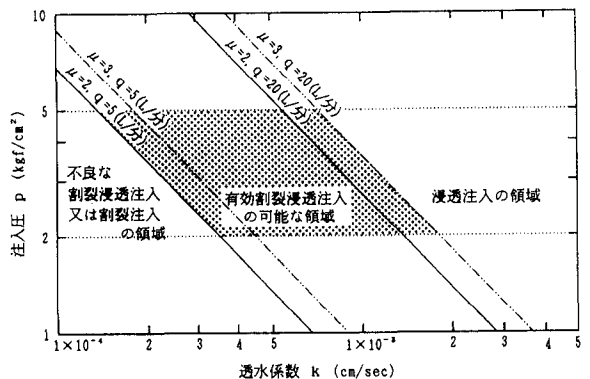


図-7 q_{CR} の決定に必要な k の範囲