

III-527

緩結性薬液の注入時における p-t チャートの圧力勾配と固結形状の関係について

早稲田大学

建設省建築研究所

早稲田大学

早稲田大学

正会員

正会員

学生員

学生員

森 麟

田村 昌仁

○林 忠

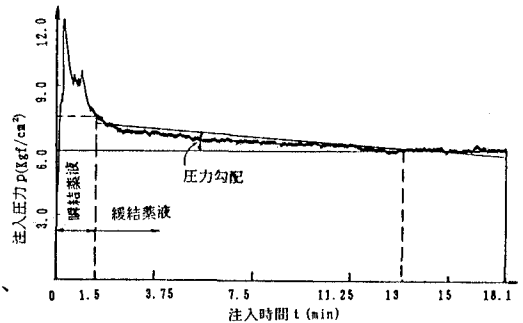
小川 雄二

1. 本研究の目的

砂質地盤における薬液注入で地盤改良を目的として注入固結計画をする場合、注入の効果を予測することは重要である。その一つの手段として、本研究は注入状況を示す p-q チャートのうち、注入中の圧力の変化に着目した。薬液注入の現場において、実際の注入圧力状況を示すものに、いわゆる p-t チャートがある。注入速度 q をある値に設定し、注入中は一定に保たれるが、注入圧 p は注入経過時間 t と共に一般に変動するので、p-t チャートは注入中の薬液の注入状況をかなり反映しているものと考えられる。一例として、実際の砂質地盤で行った複合注入(瞬結 9 L、緩結 q = 6 L/min で 100 L 注入)した場合の p-t チャートを図-1 に示す。このチャートの初期 1.5 分間は主にパッカーのための瞬結 9 L の分である。注入の主体となす緩結の注入圧は瞬結より低く、初めは 8 (kgf/cm²) 程度であるが時間と共に減少し、13 分経過後はほぼ一定の注入圧となっている。これは緩結薬液により注入孔から内部地盤に割裂が時間と共に進行し、割裂面(薬液浸透面になる)が徐々に拡大し、13 分位で割裂の進行が停止し、これ以後は薬液浸透面が一定となったため注入圧も一定値になったことを示すものと考えられる。注入圧 p と浸透表面積 A の関係は我々の研究によると、次のようになる。

$$p = \frac{\mu^{1/3}}{\sqrt{4\pi A}} \frac{q}{k} \quad \dots\dots\dots (1)$$

この式はにおいて、注入圧 p は浸透面積 A (割裂表面積) の平方根と透水係数 k に逆比例することを示す。q/k を一定値と考えると、p-t チャートの勾配が大きいほど一般に注入中に生じる圧力の低下量が大きくなり、注入中に発生する割裂面積が増加分が多くなる。割裂表面積が大きいほど(3000 cm² 以上¹⁾ になると)、固結形状はいびつ形になり、注入効果は悪くなる。本研究は p-t チャートの圧力の変化勾配に着目し、実験室で行った一点注入の場合の圧力勾配と実測割裂表面積及び固結形状の関係、また現場における一点注入、群注入の場合の圧力の低下勾配と固結形状の関係を調査したものである。

図-1 注入時における p-t チャートと圧力勾配 (kgf/cm²/sec)

2. 実験室における一点注入の場合の圧力勾配と割裂表面積

室内実験における注入装置・方法、試料及び薬液の配合は文献(1)参照されたい。また、実験中の注入圧の時間的な変化を x-y レコーダーで記録し、これを p-t チャートとした。その p-t チャートを分析し、圧力勾配を直線と見なして求める。この圧力勾配と実測した割裂表面積及び固結形状の関係は図-2 に示す。試料 A (透水係数 k = 1.5 × 10⁻³ cm/sec) に注入速度 4 (L/min) で薬液注入を行った場合、完全な球状の浸透注入となり、圧力勾配はほとんど 0 であった(浸透状況は写真-1)。試料 D (透水係数 k = 3.0 × 10⁻⁴ cm/sec) に注入速度 12 (L/min) で薬液注入する場合、割裂注入となり、圧力低下勾配は大きくなった(割裂状況は写真-2)。これらの結果により、圧力低下勾配が大きくなると実測の割裂表面積は大きくなると考えられる。図-2 から、この圧力勾配が -8/1000 (kg/cm²/sec) を超えると固結形状は不良になると判断できる。圧力勾配は -8/1000 (kg/cm²/sec) を超えるとその間の圧力の減少量 Δp により、式(1)を用い

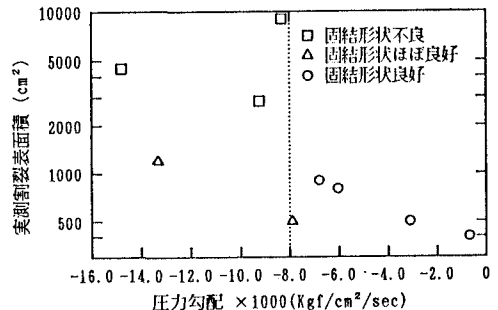


図-2 実験室における圧力勾配と固結形状(割裂表面積)の関係

て割裂面積の増加を計算すると 2000cm^2 以上になる。この面積の他に注入開始と同時に発生した割裂面積がありうるので、これを合わせると割裂表面積の許容値である 3000cm^2 を超え、固結形状は不良になると考えられる。

3. 現場一点注入実験における圧力勾配と固結形状の良否

千葉県山武町の成田層において、緩結薬液をGL-6m、GL-8mの深度に注入速度2(L/min)、6(L/min)、20(L/min)で複相式二重管ロット工法と二重管ダブルパッカー工法を用いて、注入量100(L)の一点注入試験を行った。固結後、地盤を掘削し固結状況を調査した。その時記録されたp-tチャートを室内実験と同じ方法で分析した。圧力勾配と固結形状は図-3に示す。圧力低下勾配が大きくなると、形状は不良となり、実験室と同様の傾向が見られる。図-3から判断すると、圧力勾配は $-4/1000(\text{kg}/\text{cm}^2/\text{sec})$ を超えると固結形状は不良になることが分かる。実験室の限界圧力勾配の1/2となった。現場注入実験では初めにパッカー用の瞬結薬液を9(L)注入してから緩結薬液を100(L)まで注入するため、その瞬結薬液の一部が地盤に割裂を発生させ、その割裂面のかなり部分は緩結薬液に対する初期浸透面となりうる。従って、初期浸透面としては大きく、さらに必要な発生割裂面は小さくなるので、圧力の低下勾配は緩くなるのではないかと考えられる。この実験で用いた2(L/min)、6(L/min)の注入速度の場合は圧力勾配は $-4/1000$ 以下であり、 $-4/1000$ を超えるものは20(L/min)の場合であった。このため、本地盤では圧力低下勾配 $-4/1000$ 以下になるような注入速度の場合にのみ、良好な固結形状になるものと思われる。

4. 現場群注入実験における圧力勾配と固結状態

群注入実験では、この地盤に対してほぼ有効な割裂浸透注入になり得ると考えられる注入速度6(L/min)にて、緩結薬液を深度GL-7.25m~GL-9m区間で注入孔間隔1(m)で3列で全9個所の群注入を行い、ステップ長25(cm)、各100(L)注入とした。p-tチャートを記録し、改良体の固結状況を調査した。その時のp-tチャートの圧力低下勾配は注入孔、注入ステップごとに全部 $-4/1000$ 以下であった。注入率も十分なものであったので、地盤を掘削して固結状況を調査した結果、全区間にわたり全く良好な固結状態が確認された。

5. まとめ

今回の調査・研究により、現場注入する場合、p-tチャートの圧力低下勾配が $-4/1000(\text{kg}/\text{cm}^2/\text{sec})$ を超えると、効果が悪くなると判断され、圧力勾配がほぼ水平あるいはやや上昇勾配であれば良好な固結形状となり、注入効果が期待できるものと考えられる。しかし、このような結論にはまだデータが不足しており、今後のデータ収集により、定量的にこの限界勾配は変わる可能性も有り得る。

（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回土質工学研究発表会、1992.6

(2) 森 他: 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、土木学会第47回年次学術講演会、1992.9

(3) 森・ライト工業株式会社: 薬液注入の効果予測・確認に関する現場注入実験報告書、1992.2

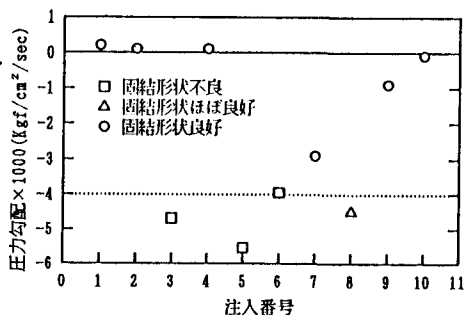


図-3 現場一点注入試験における圧力勾配と固結形状の関係

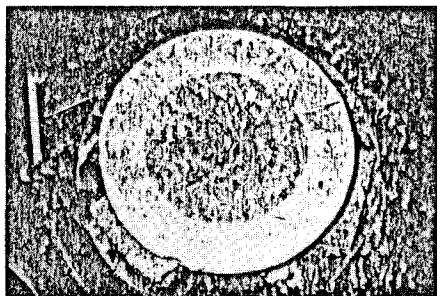


写真-1 試料A q=2(L/min)

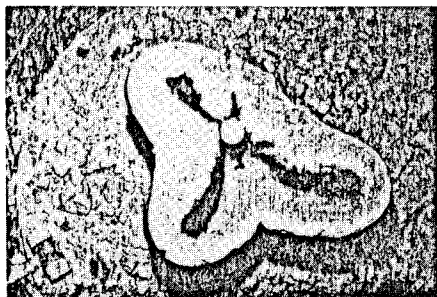


写真-2 試料D q=6(L/min)