

III-497

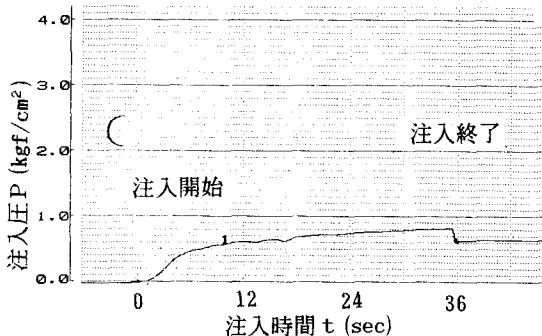
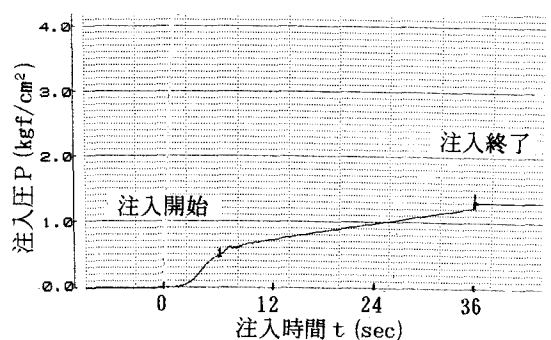
薬液注入工法における注入圧の挙動についての一考察

前田建設工業㈱ 正〇熊谷 浩二
 東北大学工学部 学 山河 篤史
 東北大学工学部 正 須藤 良清
 東北大学工学部 正 柳澤 栄司

1. まえがき 薬液注入中における注入圧挙動の評価方法は、注入圧力をP- τ チャートとして記録しているにもかかわらず、効果推定法として確立されていない。岩盤注入(グラウチング)では、割れ目への脈状注入が主体であり、注入速度を変化させ限界注入圧 P_c を越えないようにする「圧管理」によって注入している。それに比べ薬液注入では、予定の範囲内への浸透注入が基本であるため、注入材にゲルタイムを持たせ、注入前に設定した注入速度、ステップ当り注入量を保つようにする「量管理」によって注入されている。どちらの注入も加圧による効果が前提となっているが、薬液注入の場合、注入圧挙動がゲルタイムなど土質条件以外の要因にも大きく関係することから注入効果の予測に使われることも少ないのが現状である。本報告では、薬液注入における注入圧の挙動について、モールド実験の結果にもとづき考察を加えてみた。

2. 実験概要 $\phi 300 \times 300$ mmモールドに砂質土を詰め、上載圧 1.0 kgf/cm^2 をかけて飽和させた。そして、注入管から注入した。砂質土としては、 $D_{10}=0.2 \text{ mm}$ 、 $U_c=3$ 、透水係数 $1.7 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の阿武隈川砂を用いた。また、水ガラス系溶液型薬液(有機硬化剤使用)を、ゲルタイム $GT=10$ 秒および5分に配合して用いた。なお、注入には、薬液タンクに取り付けたピストンを一定速度で押し薬液を吐出させる装置を使い、注入速度の精度確保、また脈動が生じないようにした。注入後養生1日で固結体を掘り出し体積を求めた。

3. 実験結果とその考察 (1) P- τ チャートと注入効果 $GT=300$ 秒の薬液を注入した時の注入圧の変化を図-1に示す。このときの条件(ケースI)は相対密度 $Dr=75\%$ 、全注入量 $Q=1,240 \text{ cc}$ 、注入速度 $q=2,000 \text{ cc/min}$ である。注入圧は、終圧まで上昇し続け $P_{\max}=0.8 \text{ kgf/cm}^2$ となっている。このときの注入固結体の体積は $V_1=3,300 \text{ cm}^3$ であった。また、図-2は $GT=10$ 秒のときのチャートである。注入条件(ケースII)は、 $Dr=76\%$ 、 $Q=1,260 \text{ cc}$ 、 $q=2,000 \text{ cc/min}$ である。このケースIIでもIと同様に終圧まで上昇し $P_{\max}=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ となっている。このときの注入固結体は $V_2=2,700 \text{ cm}^3$ であった。なお、 $GT=300$ 秒のときの固結体の $qu=1.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_{s0}=178 \text{ kgf/cm}^2$ であり、 $GT=10$ 秒のときの $qu=1.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_{s0}=160 \text{ kgf/cm}^2$ と全く同様の値であった。注入圧 $P_{\max}$ に1.5倍の差があり、かつ $GT=10$ 秒の瞬結性薬液の V_2 は V_1 の約0.8倍と大きな差がみられたものの、強度増加については違いが全く認められない。この原因として、砂の相対密度が同じであること、あるいはホモゲル強度が $GT=300$ 秒で 2.0 kgf/cm^2 、 $GT=10$ 秒で 0.5 kgf/cm^2 と違うことが考えられる。図-3には、 $GT=10$ 秒

図-1 P- τ チャート(ケースI)図-2 P- τ チャート(ケースII)

の注入で $P=0.7\sim 8.0\text{kgf/cm}^2$ と著しく圧変化したケースを示す。この注入条件（ケースⅢ）は $Dr=67\%$ 、 $Q=3,000\text{CC}$ 、 $q=600\text{cc/min}$ であり、固結体 $V_s=7,300\text{cm}^3$ 、 $qu=2.3\text{kgf/cm}^2$ 、 $E_s a=485\text{kgf/cm}^2$ であった。吐出部が詰まったための圧変化で注入効果には影響がないものと考えたが、強度増加は他に比べ著しかった。なお、ケースⅢを含め両ゲルタイムとも固結体内部は浸透注入が卓越していた。

（3） $P-q$ 曲線 $Q=1,200\text{CC}$ で薬液を注入したときの $P-q$ 曲線を図-4に示す。この P は、注入終了の直前約10秒間の注入圧の値である。注入中にゲル化しない $GT=5$ 分の薬液では q の増加につれ p もなだらかな上昇傾向を示して、この q の範囲での浸透注入による注入効果が充分期待できる。しかし、注入中にゲル化する $GT10$ 秒では q の増加に沿った P の増大は認められない。このように、ゲルタイムが短い薬液の注入圧の値は、ケースⅢのように薬液のゲル化の影響を受けることがあるため、浸透注入の可否などと直接結び付けることができないようである。

また、図-5に Dr と P との関係を示す。 Dr が大きい締まった地盤では P も大きくなる傾向がみられる。つまり、注入圧の値は土質条件を反映していることが分かる。

（4） P と固結効率 a 注入固結体の間隙の体積と全注入量 Q の比を固結効率 a で表すと、次式のようになる。

$$a = (V \cdot n) / (100 \cdot Q) \quad \text{ここで、} n: \text{間隙率}(\%)$$

この固結効率 a は、 Q が全て固結している場合は注入填充率 α の逆数となる。ここでは $\alpha \approx 100\%$ （一定）とみなし、 Q のどの程度が固結したかを知る目安とした。注入終了の直前約10秒間の注入圧 P と、固結効率 a との関係を図-6に示す。両ゲルタイムとも P の増加に沿った a の増大傾向が認められる。図-5および図-6からは、 a を1.0に近づけるためには、 Dr が大きいほど大きく加圧する必要があると推察できる。

4. あとがき 土質・注入の両条件を明確にして実施した当実験では、ゲルタイムに係わらずほぼ浸透注入になっているため、注入圧の上昇傾向が全てに見られた。注入速度をできるだけ小さくした低い注入圧のほうが、割裂を起こさず浸透注入による注入効果を高めること（填充率・強度を大きくすること）につながる。つまり、注入圧が大きいことは注入効果を大きくすることに直接は結び付かない。しかし、圧上昇が全くないときは、割裂注入の卓越や注入量の不足が懸念される。なお、実施工での複雑な注入圧挙動をどのように整理するかということについても、一般化されていない。これらについても、今後とも検討を続けて行く予定である。

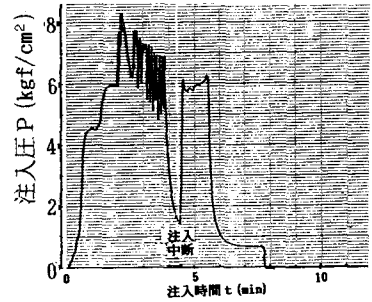


図-3 $P-t$ チャート（ケースⅢ）

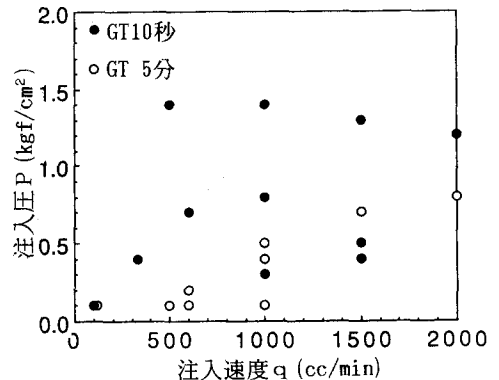


図-4 薬液の注入による $P-q$ 曲線

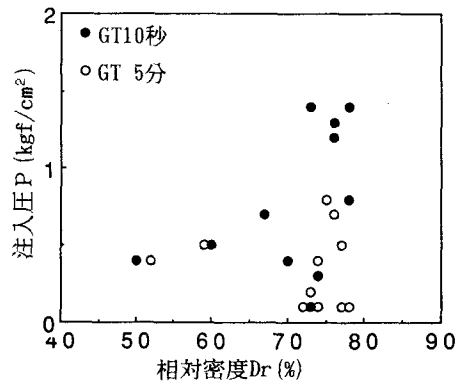


図-5 相対密度 Dr と注入圧 P

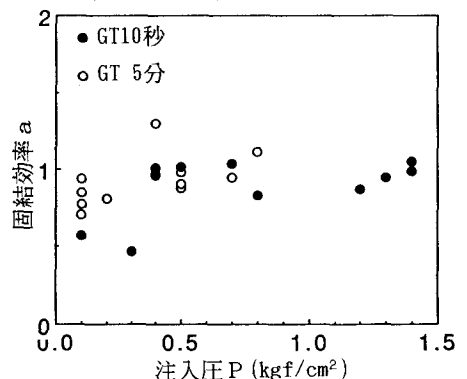


図-6 注入圧 P と固結効率 a