

III-498

薬液注入固結土の体積および一軸圧縮強さに関する基礎実験

東北大学工学部 正〇須藤 良清
 東北大学工学部 学 山河 篤史
 前田建設工業㈱ 正 熊谷 浩二
 東北大学工学部 正 柳澤 栄司

1. まえがき 薬液注入工法の信頼性を高めるため、注入効果の予測・確認の方法について各方面で研究が進められている¹⁾。計画・設計段階の予測として限界注入速度 q_{cr} による浸透注入の可能性の事前評価²⁾があり、効果確認の手法として土質調査や物理探査などの利用が検討されている。そして、これらの予測・確認データをもとに、注入効果の良否について判断を下す場合、「土質条件に適応した合理的な注入」の条件が明確になっている必要があると考えられる。本報告では、室内注入実験により作成した注入固結体について、土質条件（相対密度）と注入条件（ゲルタイム、注入速度）との関係を検討した。

2. 実験概要 砂質土供試体（ $\phi 300 \times 300 \text{mm}$ ）に上載圧 1.0kgf/cm^2 をかけて飽和させ、注入した。使用した砂は阿武隈川砂で、 $D_{10}=0.2 \text{mm}$ 、 $U_c=3$ 、透水係数は $k=1.7 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ である（図-1）。また、注入には水ガラス系溶液型薬液（有機硬化剤）を使用した。注入後1日間経ってから、砂質土供試体の未固結部分を手で取り除いた。そして固結体の体積 V を測定後、分割・成形して一軸圧縮試験を行った。

3. 実験結果とその考察 （1）固結体の体積 全注入量 Q が全て注入固結体になったときの体積 $V \text{ (cm}^3\text{)}$ は、次式で表される。

$$V = (Q/n\alpha) \times 100^2 = \frac{Q}{\alpha} \times \frac{100(1+e_{\max}) - (e_{\max} - e_{\min})Dr}{100e_{\max} - (e_{\min} - e_{\min})Dr} \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 Q ：全注入量(cc)、 n ：間隙率(%)、 α ：注入填充率(%)、

$e_{\min}$ ：最小間隙比=0.626、 $e_{\max}$ ：最大間隙比=0.946、 Dr ：相対密度(%)

浸透注入で間隙水が完全に薬液と置きかわり $\alpha=100\%$ としたときに式(1)で求めた値、および実測で求めた値 V と Dr の関係を、図-2に示す。実測値 V の注入条件は $Q=1,200 \text{cc}$ 、注入速度は実験ケース毎に $q=500 \sim 2,000 \text{cc/min}$ と変化させている。この図からは、 $GT=5$ 分の実測値が計算値より離れているケースが多く見受けられる。実測値が小さくなるのは、薬液の一部が逸走し、実際の Q が小さくなったことや、逆に薬液

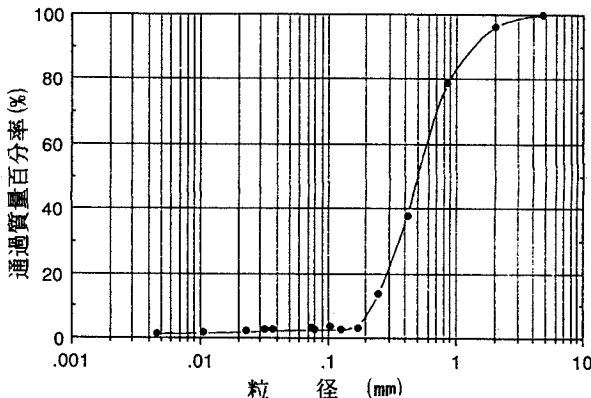


図-1 使用砂の粒度分布

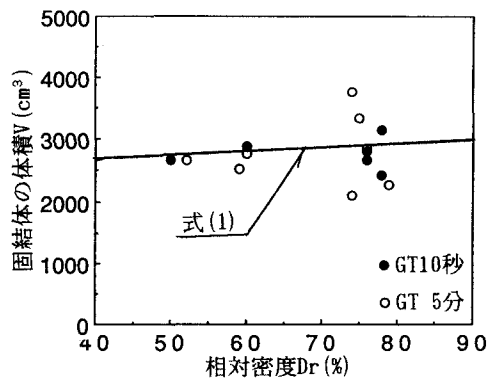


図-2 相対密度 Dr と固結体の体積 V

の脱水・濃縮が生じて α が大きくなったことが考えられる。また、実測値が大きくなるのは、薬液が希釈されたまま固結して α が小さくなった場合が考えられる。この場合でも、薬液の逸走も生じていると思われるが、結果的に Q/α が大きくなる。したがって、実測値と計算値が大きく異なるケースは、一部の薬液が未硬化となり、逸走・未固結（半固結）が生じていると推測される。なお、原子吸光による化学分析で非晶質珪酸含有量を求め、注入填充率 α を計算すると固結体内部では $\alpha=81\sim100\%$ 、そして、固結体に近接した未固結部では $\alpha=35\sim51\%$ となっていた。当実験でも、固結範囲と見なさなかった部分に薬液が含まれていたことがいくつか確認されており、実際に固結に要した注入量の把握は難しいと考えられる。

注入の実施工においては、薬液が地下水に混入しないで、強固な固結体同志がつながっていることが望まれている。したがって、最近の二重管ストレナ（複相）注入方式のようにゲルタイムの長い薬液を用いる場合に、透水性の大きい層への対応はより慎重にする必要があると考えられる。

（２）一軸圧縮強さ qu 固結体について qu と変形係数 E_{50} との関係を図-3に示す。ホモゲルの強度は、GT10秒で $qu=0.5\text{kgf/cm}^2$ 、GT=5分で 2.0kgf/cm^2 であったが、注入した固結体の qu の差は認められなかった。固結体の観察で浸透注入が卓越していた。図-4の Dr と qu の関係でも、注入速度等の影響と思われる幅はあるものの Dr が大きいほど qu の上限が大きくなる傾向が認められる。したがって、事前に土質条件を精度よく把握することによって、注入効果を予測できる。しかし、 qu のこの幅は土質条件と注入条件の適応の度合を示すものと考えられる。つまり、完全に適応している場合に上限値をとる。そして、下限値についても0ではなくある値をとる。図-2でいえば、 $qu=0.5\sim0.8\text{kgf/cm}^2$ あたりが適応の限界と考えられる。なお、これら qu が小さいケースの固結効率³⁾ $a=(V\cdot n)/(100\cdot Q)<90\%$ であり、薬液の未硬化が比較的多かった。この値より下では、未固結部がどこかに存在しており、注入効果がまだ不十分と判断して良いと思われる。実務的にも、砂質土では注入固結土の設計粘着力を、原地盤の N 値と注入方式によって $c=6\sim10\text{tf/m}^2$ としている⁴⁾。

4. あとがき 注入効果を予測するには、土質条件が明確になっている必要がある。しかし、注入設計や効果の予測・確認に必要な土質定数など情報の種類がまだ定まっていない。土質条件と注入条件の適応については、合理的な注入のあり方の確立にもつながり、今後も研究を続けて行く予定である。

参考文献 1)熊谷浩二：注入効果の確認手法の現状と研究動向、薬液注入工法に係わる最新の技術的課題講習会テキスト、土質工学会、1991。2)森麟、田村昌仁、原口賢一：ゲル化時間の短い急結・瞬結性薬液の砂質地盤における注入固結形態とその支配条件、土木学会論文集、第406号/III-11、1989。pp.157～166。3)熊谷浩二、山河篤史、須藤良清、柳澤栄司：薬液注入工法における注入圧の挙動についての一考察、第47回土木学会年講III、1992。（投稿中） 4)日本薬液注入協会：薬液注入工法の設計・施工指針、1989。pp.12～13。

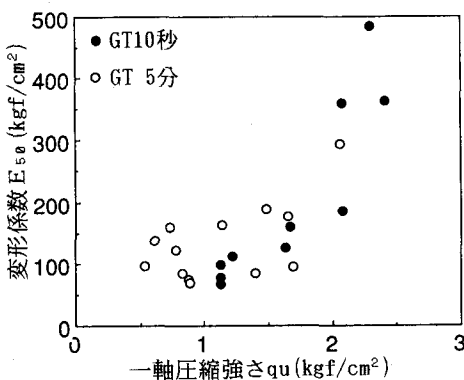


図-3 一軸圧縮強さ qu と変形係数 E_{50}

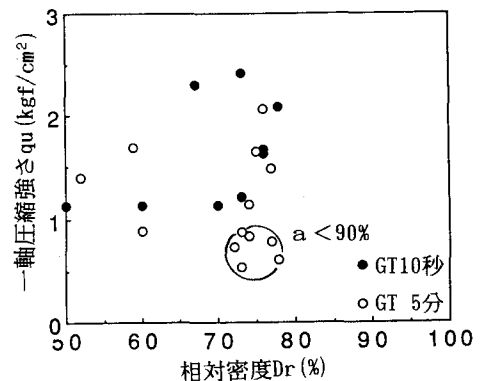


図-4 相対密度 Dr と一軸圧縮強さ qu