

III-527

レオロジーモデルから推定したゲルの構造

東洋大学工学部 正会員 加賀 宗彦
 " " 米倉 亮三

1、はじめに

近年、薬液注入工法に用いられる、注入材そのものの開発も進み、その銘柄は、260種類におよんでいる¹⁾。しかしその注入材の評価は、砂と注入材の固結砂強度、または、注入材そのものの浸透能力に関する粘性係数やゲルタイムのみによって判断されている。したがって、それぞれの注入材の特性を十分把握した評価とは考えられない。注入材に用いられる反応剤が異なれば、主材が同じであってもそのゲル構造も異なるものと予想される。しかし、この注入材のゲル構造に関しては、まったく解明されていない。この最も基本と思われる注入材のゲル構造を明らかにすることで、注入材の評価の判定や注入材によって改良された土の強度の発現機構などを知る一つの手がかりになるものと考えられる。本研究室では、注入材のゲル構造を、バネとダッシュポットの組合せからなる、Burger Model、遅延スペクトル、緩和スペクトルによる解析的手法、および電子顕微鏡写真による直接的観察法で調べている。データ整理の終わったものについては、順次発表している^{2)、3)、4)}。引続きデータ整理は行われており、今回は、有機注入材について、Burger Modelで得られる係数と注入材の S_iO_2 濃度の関係から注入材の構造を推定してみた。その結果、注入材の S_iO_2 濃度が、 $0.11g/cm^3$ 付近から上では、分子鎖がしっかりとからみあった網の目構造で、安定な構造であると推測された。これに対して、 S_iO_2 濃度が、 $0.06g/cm^3$ では、分子鎖のからみあいが少なく、中、長期的観点から見れば、不安定な構造でないかと推測された。これは、前報とも一致した。ただし、ここでは、注入材そのものについて考察したもので、 S_iO_2 濃度 $0.06g/cm^3$ の注入材でも、砂に注入した固結砂の一軸圧縮強度は、 $1.2kgf/cm^2$ 程度あり十分強度の改良能力はある。

2、注入材および実験方法

注入材は水ガラス系有機注入材で反剤はGs(主成分:グリオキサール)を用いた。おもな特性を、表-1に示す。Burger Modelで得られる係数は、ホモゲルの圧密試験で、緩和スペクトルは、一軸圧縮試験機を用い、変位一定に保つ緩和試験で求めた(詳しくは、前報 1)、2)、3)参照されたい)。

3、Burger Modelと S_iO_2 濃度

3-1 粘性係数(η_2)と S_iO_2 濃度

高分子材の変形は、大別して図-1に示すバネ、とダッシュポットからなる4要素モデル(Vurger Modelで表すことが出来る⁵⁾。この高分子材に一定の荷重を加えたとき、瞬間的に変形を起こす。その変形の大きさは、弾性係数 K_1 で決まる。この変形は、時間に依存しない。しかし、高分子材の変形は、時間の経過とともに進み、この変形は、隣接セグメント間の比較的低いポテンシャルエネルギーの山を越えるセグメントのミクロブラウン運動によって行われる⁵⁾。このため粘性が付随され、Vurger Modelでは、 η_2 で表され、内部粘性と呼ばれる。この変形量は弾性係数 K_2 に依存し、変形速度は、粘性係数 η_2 で決まる。この変形速度は、粘性係数が大きければ大きいほど、小さくなる。一般的に、この粘性係数は、図-2に示すように、分子量と共に高くなる⁵⁾。また、図中の折れ点Mcは、限界分子量と呼ばれ Miyake,A などによって、高分子

Table 1

WJ	注入材の種類	S_iO_2 濃度 (g/cm^3)	ゲルタイム (分)
A20	有機系 水ガラス	0.203	10
A15		0.152	20
A11		0.114	60
A06		0.060	120

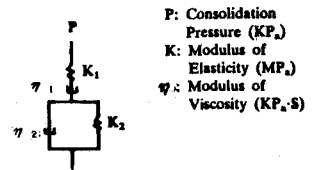


Fig.1 Vurger Model

鎖が十分長くなって、鎖のからみあいがる分子量であると考えられている。この考えをもとに、注入材の構造を推測してみた。Vurger Modelで得られた、粘性係数 η_2 と S_iO_2 濃度の関係を示したのが図-3である(η_2 は極大値を使用した)。今回、注入材の分子量がわからないので、横軸の S_iO_2 濃度は、分子量に比例するものと考えて、分子量の代用として用いた。 S_iO_2 濃度と η_2 の関係を見てみると、図に示されるように、 S_iO_2 濃度 $0.11g/cm^3$ に折れ点(Mc')がある。この結果、 S_iO_2 濃度 $0.11g/cm^3$ 付近は高分子鎖のからみあいがる限界点 Mc と考えることが出来る。これより、有機注入材の構造を推定すると、 S_iO_2 濃度 $0.11g/cm^3$ 以上含まれている A_{20} 、 A_{15} 、 A_{11} 注入材は、分子鎖がしっかりとからみあった構造と推測される。特に A_{15} グラウトは、 A_{20} グラウトよりシリカ濃度が低いにもかかわらず、 A_{20} グラウトとほぼ等しい η_2 をもつ事から、 A_{20} グラウトに近い分子鎖のからみあいを持っている構造と考えられる。これに対して S_iO_2 濃度 $0.06g/cm^3$ の A_{06} グラウトは、分子鎖のからみあいが少ないため、中、長期的観点から見て、不安定な構造であると考えられる。

3-2) 弾性係数 k_1 と S_iO_2 濃度

一般に高分子材を Vurger Modelで表した時、弾性係数 k_1 は網の目構造から生ずるとされている。したがって、この K_1 を比較検討することで注入材の網の目または、分子鎖のからみあいが、発達しているかどうかを推測することが出来る。前述した粘性係数は分子量と共に高くなったが、この弾性係数 K_1 も、同様に分子量と共に高くなるものと考えられる。この考えをもとに、本実験で得た K_1 の値から注入材の構造を推定してみた。実験で得た、弾性係数 k_1 と S_iO_2 濃度の関係を図-4に示す。図に示されるように、 S_iO_2 濃度と弾性係数 k_1 は、比例している。また、 S_iO_2 濃度 $0.11g/cm^3$ 付近には、前述した Mc と同様な折れ点(Mc'')があり、この点は、 Mc 点と同様なからみあいが起こりうる最小値と考えられる。これより、有機注入材の構造を推定すると、 S_iO_2 濃度 $0.11g/cm^3$ 以上含まれている A_{20} 、 A_{15} 、 A_{11} 注入材は、分子鎖がしっかりとからみあった構造と推測される。これにたいして、 S_iO_2 濃度 $0.06g/cm^3$ の A_{06} グラウトは、分子鎖のからみあいが少ない構造であると考えられる。これは、粘性係数(η_2)から推定した結果に一致する。

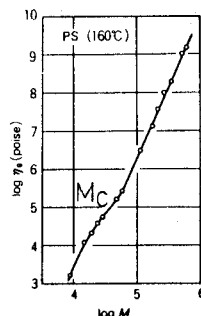


Fig.2 粘性係数と分子量(文献5による)

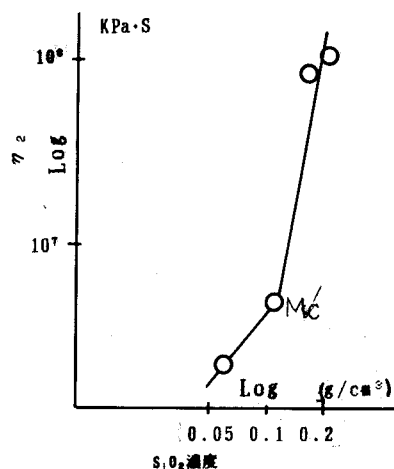


Fig.3 粘性係数(η_2)と S_iO_2 濃度

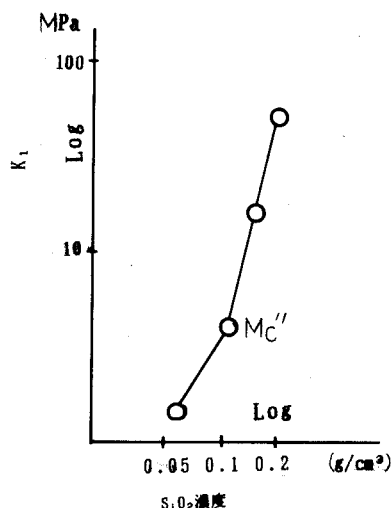


Fig.4 弾性係数(k_1)と S_iO_2 濃度

- 文献 1) 柴崎：グラウトの話(薬液注入工法の本質)，土木施工27.12，'86.9
 2) 米倉、加賀：ホモゲルの工学的特性，土質工学会発表，60.6
 3) 加賀、米倉：遅延スペクトルによるホモゲル特性，土質工学会発表，62.6
 4) 加賀、米倉：緩和および遅延スペクトルによるホモゲルの特性，土木年講，63.10
 5) 小野木(訳)：高分子の力学的特性，化学同人