

Ⅲ-724

水ガラス系注入材のゲル構造と固結砂強度および凍結融解強度特性との関連性

東洋大学 正会員 加賀宗彦、大坪紘一、米倉亮三

1、はじめに

水ガラス系注入材のゲル構造やこれに関連すると考えられる注入固結砂の耐久性についての研究を行っている。これらの研究は少しずつ進展し、文献1)、2)でその成果を報告した。本報告は、最初に文献1)2)を整理し、ゲル構造と注入材の体積変化および固結砂強度特性との関連性を把握し、さらに、注入固結砂の凍結融解強度特性との関連性の検討も行った。凍結融解試験データは、凍結工法で地下水の流速を小さくするため前処理として注入工法を併用したとき、固結砂の安定性を知るための検討資料となる。

2、使用注入材と実験方法

注入材の選定は、アルカリ領域でゲル化する注入材の代表として、反応材にグリオキザール用た有機系注入材、中性から酸性領域で固結する注入材の代表としてシリカゾル注入材、さらにシリカ粒子の大きさに特徴のあるコロイダルシリカゾル系注入材、3種類を選定した。簡単な物性を表-1に示す。

ゲル構造は、応力緩和試験、電子顕微鏡およびX線回折によって調べた。応力緩和試験は、供試体に一定の荷重を加えた後、変位を一定に保ちながら緩和応力を測定する試験である。なお詳しくは文献1)2)を参照されたい。

Table 1 Properties of Grout

Grout Type	SiO ₂ (g/cm ³)	Gel Time (min)
A20	0.200	10
CH	0.114	240
CSN	0.323	30

3、結果

(1)ゲル構造¹⁾

理解を深めるためゲル構造を簡単に説明すると次のようである。

有機系注入材(A20)

10~100nm長さの一次単線状粒子がからみ合った網の目構造(Photo.1)

酸性シリカゾル系注入材

結晶性の性質を持つガラス状の3次元的網の目構造(Photo.2)

コロイダルシリカゾル系注入材

約10nmの直径を持つコロイド粒子からなる蜂の巣構造(Photo.3)

なお、最近の調査で、本実験で用いたすべての注入材はアモルファスであることが判明した。この結果については整理の終わった時点で、機会を得て発表したい。



Photo 1 A20 (×500,000)

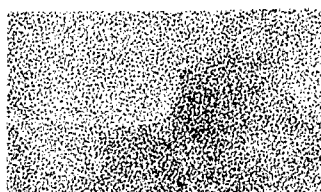


Photo 2 CH (×500,000)

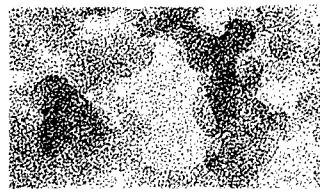


Photo 3 CSN (×500,000)

(2)ゲル構造とゲルの体積変化および固結砂の強度特性

本実験で用いたゲルの体積変化、固結砂の弾性係数および1軸圧縮強度の経時変化をFig. 1~3に示す。なお縦軸は $\Delta V_0/\Delta V$, E/E_0 , q_u/q_{u0} とし無次元化してある。また、V:体積変化、E:弾性率、 q_u :1軸圧縮強度で添字の0は、初期の体積変化、弾性係数および1軸圧縮強度を表し2日経過後の値を用いてある。

これは、最初の測定を2日後に行っているため、実験条件によって決められた。最初にFig. 1に示す蜂の巣構造を持つ有機系注入材の結果を見てみると、体積変化は30日前後まで減少しその後一定となる。この体積減少は10%前後の強度減少を引き起こす要素として働く事が推測²⁾されるが、弾性係数は逆に10%増加するので結果として30日前後まで、1軸圧縮強度は、ほぼ一定の値を保つ。その後は弾性係数の影響を受けて緩慢な強度減少をする特徴がある。有機系注入材とは反対の中～酸性領域で固結するガラス状構造を持つ酸性シリカゾル注入材は700日前後まで体積減少しその後はほぼ一定になるこの体積変化は約45%の強度低下を引き起こす要素として働くことが予測されている。これに対し弾性係数は200日前後まで増加しピークを付けその後は徐々に減少するが1000日現在で2.7の値を示し有機注入材と異なり1.0以下にはならない。この弾性係数は1軸圧縮強度増加を引き起こす要素として働く。結果として、体積減少による強度低下より弾性係数の増加率が大きいため、1軸圧縮強度は、200前後まで強度増加をし、ピークを付けた後は弾性係数の減少に伴って強度も減少する特徴がある。これに対しFig. 3に示す粒状体からなる蜂の巣構造のコロイダルシリカゾル系注入材の、体積変化は、ほぼゼロで、強度の経時変化はおもに弾性係数の増減に左右される。図に示されるように弾性係数と強度は比例し経時的に単調に増加する特徴がある。

(3)ゲル構造と固結砂の凍結融解強度

透水係数の大きい地盤で凍結工法を用いる場合、地下水の流速を小さくする必要がある。この地下水流速の抑えに注入工法を実施した時、注入固結砂の安定性を知るため凍結融解試験を行った。結果の一部をFig. 4に示す。有機系注入材は、解凍後も大きな強度を保持している。これは粒子のからみ合いによるものと考えられる。なお、注入材の濃度や砂の粒度などの実験条件によって固結砂の凍結融解強度は変わる。現在データの蓄積を行っている。

参考文献

- 1) 加賀：注入固結砂強度などに関連する水ガラス系注入材のゲル構造、土木学会論文集V, 1993, 2.
- 2) 加賀、森：薬液注入におけるゲル化した注入材の安定性と固結砂強度の耐久性に関する基礎研究、土木学会論文集V, 1994, 8.

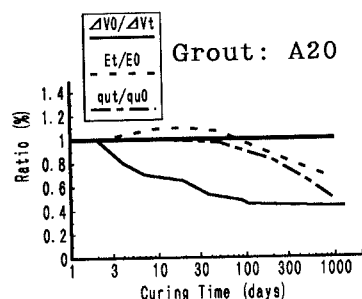


Fig. 1 Rate of Modulus of Deformation and Volume Change

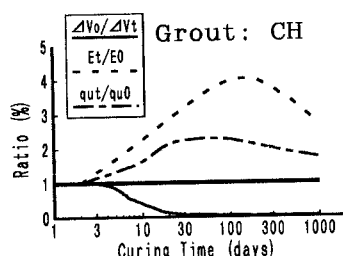


Fig. 2 Rate of Modulus of Deformation and Volume Change

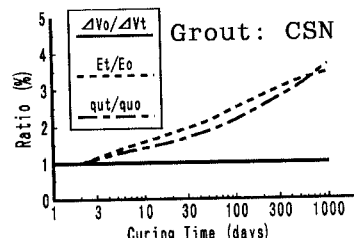


Fig. 3 Rate of Modulus of Deformation and Volume Change

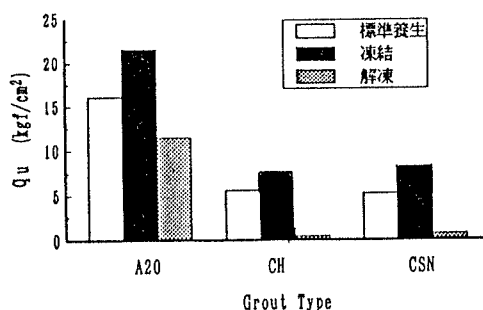


Fig. 4 Freezing and Defreezing Strength of Grouted Sand