

微粒子スラグを用いた浸透注入に関する実験的検討

早稲田大学 学生会員 ○齋藤 拓末
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 ケミカルグラウト(株) 正会員 渡邊 陽介

1. 目的

薬液注入工法は任意のゲルタイムを持つ薬液を地盤の隙間に注入し、固結させる工法であり、浸透注入においては水ガラスを主剤とした溶液型の薬液が主に用いられている。近年では液状化対策に用いられ既設構造物下での適用事例も増加しているが、薬液を浸透注入させた地盤の改良強度は $100\sim 200\text{kN/m}^2$ に留まり、レベル 2 地震のような大きな強度を要求される場合は強度不足となる場合がある。このような課題に対しセメントやスラグなどの懸濁系注入材を用いる方法があるが、溶液型に比べ高強度が期待できる一方で浸透性が低い。そこで、本報告では微粒子スラグを用いて各種の地盤に注入実験を実施し、薬液の注入性と改良効果を確認した。

2. 試験条件

図 2.1 に注入装置の概要図を示す。図 2.1 に示す透明パイプ(内寸 $\phi 51.6\text{mm}\times h1000\text{mm}$)内に空中落下法で 10cm ずつ相対密度 60% となるように所定の砂を突き固めて土槽を作製し、その後通水して飽和状態とした。土槽の上下に礫層として瑞浪珪砂 2 号を設置した。注入地盤は、平均粒径を珪砂 5 号~7 号の間に設定し、さらに均等係数をそれぞれ $U_c=1.5\sim 10$ となるように粒度分布を調整し、珪砂を混合して作製した。地盤の詳細な物性値は表 3-1 に示した。薬液は微粒子スラグと反応調整材を混ぜて配合したものをそれぞれの地盤に注入した。注入方法は 0.2MPa で定圧注入とし、間隙体積の 1 倍以上の排水が確認されるか、排水量が 30ml/min 以下となった時点で終了した。薬液注入後に土槽を湿潤養生し、14 日経過後に針貫入試験(JGS 3432)を図 2.1 中の下側礫層の上面を 0cm として 2cm 間隔で行い、改良強度および浸透長(初めて針貫入抵抗値が 0 となった点とした)を計測した。ここで、針貫入試験は針の貫入長さが 10mm に達した時点で針の貫入長さ L と貫入荷重 P を読み取り針貫入勾配 NP を算出するものである(式 1)。また、針貫入抵抗値と一軸圧縮強さは相関関係を示すことが知られている¹⁾。測定した針貫入抵抗値から改良地盤の一軸圧縮強度を推定するため、別途モールド(内寸 $\phi 50\text{mm}\times h100\text{mm}$ 、珪砂 7 号を用いて水中落下法で作製し、薬液配合を変化させた)を作製し、7, 14, 28 日

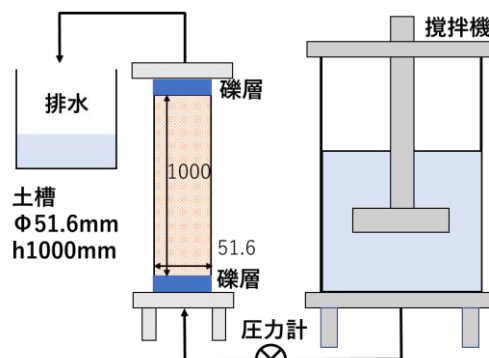


図 2.1 注入装置概要図

針貫入勾配 $NP = \frac{\text{貫入荷重 } P}{\text{貫入長さ } L}$ (式 1)
 (N/mm) (N) (mm)

グラウタビリティー比 = $\frac{\text{注入地盤の 15\% 粒径}}{\text{注入材の 85\% 粒径}}$ (式 2)

養生後に針貫入抵抗値および一軸圧縮強度の測定を行い、相関関係を確認した。

3. 試験結果

図 3.1 にモールド供試体の針貫入抵抗値と一軸圧縮強さの関係を示す。各養生日における針貫入抵抗値 x と一軸圧縮強さ y の関係から求めた予測式は $y = 133.5x + 40.78$ であった。相関係数 R^2 は 0.95 であった。

図 3.2 に平均粒径が珪砂 5 号および 6 号に近い地盤(地盤 1~4, 13~15)に対する針貫入試験結果を示す。なお、図 3.1 の試験結果に基づいて針貫入測定値の値を一軸圧縮強度に換算している。図 3.2 より、地盤の平均粒径が小さくなると薬液の浸透距離は低下しているが(地盤 2 と地盤 13)、それ以上に地盤の均等係数が増加すると浸透距離が著しく減少した(地盤 13~15)。地盤改良強度について、溶液型の改良強度 200kN/m^2 (図 3.2 赤線部)以上を満足する領域は懸濁液が浸透した部分にほぼ等しく、懸濁液の浸透距離=有効改良範囲であると言える。

図 3.3 にグラウタビリティー比 GR と浸透長の関係を示す。ここで、グラウタビリティー比は懸濁液の注入可能性を表す指標であり(式 2)のように定義され、 $GR > 15\sim 25$ であれば一般に浸透可能とされる²⁾。

キーワード 薬液注入, 超微粒子スラグ, 針貫入試験, グ라우タビリティー比, 透水係数

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 室 赤木研究室 TEL: 03-5286-3405 E-mail: fourokrock@fuji.waseda.jp

図 3.3 より注入可能とされる GR>25 の領域でも浸透長が 10cm 以下のケースが見られた。一方, GR 比が 40~50 の領域では浸透したケースと浸透しないケースに分かれ, 50 以上の領域ではいずれのケースも高い浸透性を示した。この結果については, 微粒子スラグ粒径が小さく, 表面積が大きく反応性が高いことにより薬液の一部が凝集したことで浸透性が低下したと思われる。

図 3.4 に注入前の地盤の透水係数と, 浸透長の関係を示す。特に GR 比が 40~50 であったケースは四角のプロットで示した。図 3.3 や表 3-1 より, GR 比が 40~50 であっても透水係数が約 $2.0 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ 以上の地盤配合では浸透性が確保された一方で, これを下回ると浸透長が減少していた。また, 注入結果より透水係数 x と浸透長 y について, $y = 33.64x - 4.255$ の関係式を得た。相関係数 R^2 は 0.97 であった。以上から, 浸透可能となる条件は透水係数が $2.0 \times 10^{-4}(\text{m/s})$ 以上かつ GR 比 40 以上であり, その場合, 浸透長も予測可能であると言える。

4. まとめ

本報告では微粒子スラグを用いた懸濁系注入材の注入試験を実施し, 実験的に浸透可能条件を検討した。また, 針貫入試験機を用いて改良地盤の一軸圧縮強度の推定を行った。その結果, 浸透可否の判断指標を決定し, 浸透長を予測できた。今後は実用化に向けた検討を行っていくとともに, 注入メカニズムの解明について理論的な検討も行っていきたい。

表 3-1 浸透注入実験結果

地盤番号	平均粒径 (mm)	均等係数	GR 比	透水係数 (10^{-4}m/s)	浸透長 (cm)
1	0.35	1.71	77	3.38	100
2	0.30	3.30	45	0.542	10
3	0.32	5.00	32	0.286	8
4	0.40	9.00	26	0.202	4
5	0.18	1.58	41	2.30	76
6	0.20	2.94	35	0.312	9
7	0.19	4.76	23	0.384	3
8	0.23	10.0	26	0.210	0
9	0.24	2.00	48	2.35	66
10	0.25	3.37	38	0.437	7
11	0.26	4.93	27	0.388	5
12	0.34	8.92	24	0.253	0
13	0.50	3.00	81	2.55	90
14	0.55	4.67	58	1.49	64
15	0.70	9.29	48	0.574	18
16	0.28	2.13	54	2.74	84
17	0.21	1.83	45	1.98	69

<参考文献>

1)高橋ら, 針貫入試験による軟岩基礎の強度評価, ダム工学, Vol. 1, No. 4, pp.30-40, 1991
2)Mitchell, J. K. : Soil Improvement-State-of-the-Art Report, Proceeding on 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.4, pp. 509-565, 1981.

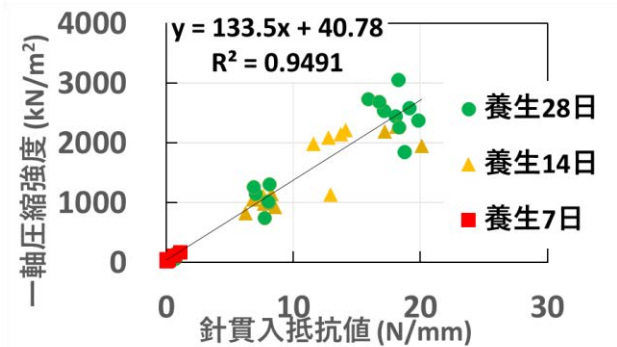


図 3.1 針貫入抵抗値と一軸圧縮強さ関係

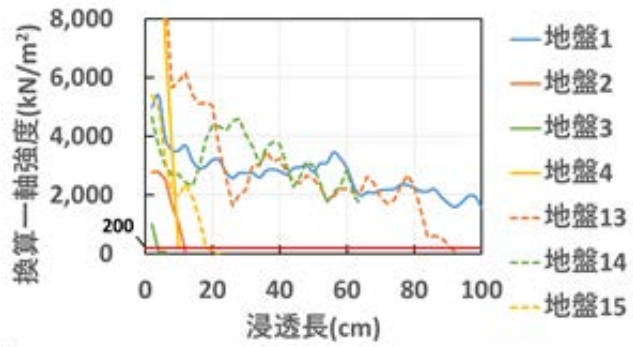


図 3.2 針貫入試験結果

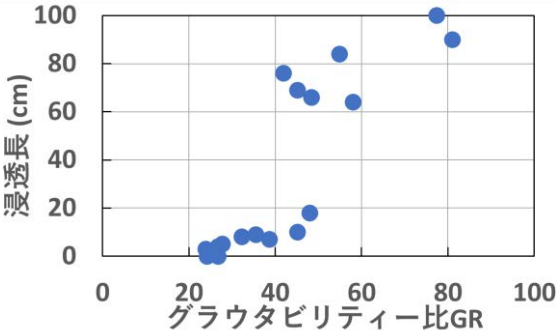


図 3.3 グラウタビリティー比と浸透長関係

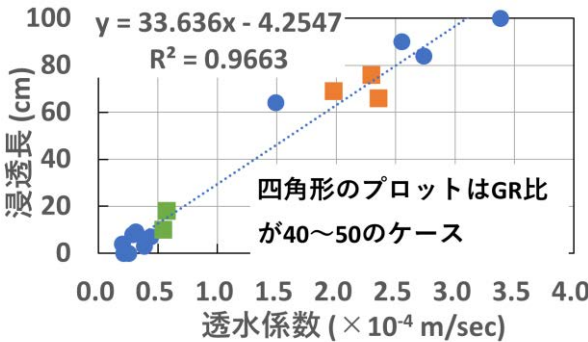


図 3.4 透水係数と浸透長関係