

注入時のP～Q関係による改良効果確認結果の考察

(株)大阪防水建設社 正会員 ○本橋 俊之

(株)大林組 フェロー会員 山本 彰

(株)大林組 正会員 稲川 雄宣

1. はじめに

薬液注入工法の改良効果確認方法は、注入後に調査することが一般的であるが、ボーリングでサンプリングされた試料の力学試験などのピンポイントの確認に留まり、改良範囲全体を精度よく評価する方法はいまだ確立されていないと思われる。特に構造物直下の改良では、改良体のサンプリングもままならないことが多い。

筆者らは、限界注入速度測定試験に着目し、注入施工時のP～Q関係から改良効果を予測しようと試みた。その結果、P～Q関係が浸透注入ならば透水係数が、P～Q関係が割裂注入ならば強度が推定できることを確認した。また、後行の注入が、先行した注入改良体内における割裂注入となった実験結果を用いて、有効割裂圧力から改良地盤強度を算出し、考察を加えた。

2. 実験内容

注入は、鋼矢板土留で作成した実験土槽で行った。土槽に投入した土の諸元を表-1に示す。この実験土槽内に、上下2ステージ分の鉛直注入管設置し、同じく2ステージ分の水平注入管を自在ボーリング工法により設置した(図-1)。

まず、自在ボーリングで設置した注入管については、限界注入速度測定試験を行い、その後、注入開始時に段階的に注入速度を増加させて、P～Q関係を測定しながら注入した。次に鉛直注入管の上段のステージからの注入も同様に、P～Q関係を測定しながら注入した。一方、下段のステージからの注入は、注入速度を増加させている途中で薬液がリークしたため注入を一度中止し、その後、改良体が固化した3日後に再び注入をした。この注入は、初期の注入圧力が高く割裂状況が推定されたので注入速度は一定として注入した。しかしながら、割裂を繰り返しながら薬液のリークが継続し、計画量の注入はできずに注入完了とした。

表-1 実験土槽砂の諸元

土粒子の密度	2.670 g/cm ³
自然含水比	27.80%
細粒分含有率	0.10%
均等係数	2.0
相対密度	80 %
現場透水試験	5.69 × 10 ⁻⁵ m/sec
地下水位	GL-1.00 m

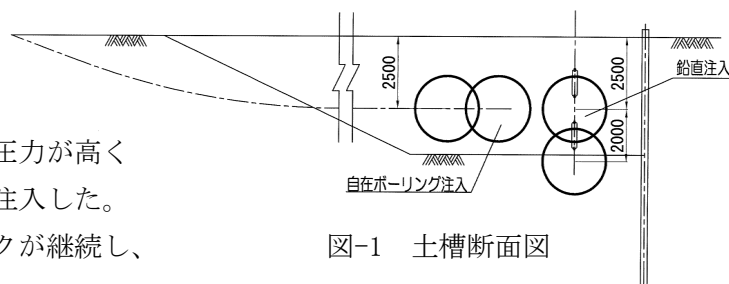


図-1 土槽断面図

約2週間の養生後、改良体を掘り出して出来形を目視確認し、ブロックサンプリングで試料採取を行い、室内試験を実施した。

3. 実験結果

(1) 限界注入速度測定試験

注入管周囲の面積を初期浸透面積(A_0)として、初期直線勾配($i=p/q$)から、次式により実験土槽の透水係数を求めた。

$$\text{透水係数 } k = \sqrt{\{\mu^2 / (A_0 \cdot 4 \cdot 3600 \cdot \pi \cdot i^2)\}} \quad (1) \quad \text{式-1}$$

ここで、 μ : 粘性係数比(薬液の粘性係数/水の粘性係数、水は1)

p : 初期直線勾配の有効注入圧力、 q : 初期直線勾配の注入速度

透水係数は、 $4.68 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ となり、事前の現場透水試験結果 $k_0 = 5.69 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ とよく一致している。

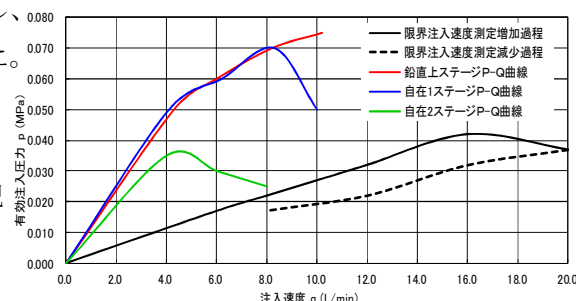


図-2 P～Q曲線

キーワード 薬液注入, 改良効果確認, P～Q関係, 浸透注入, 割裂注入

連絡先 〒135-0042 東京都江東区木場 5-8-40 東京パークサイドビル 10F (株)大阪防水建設社 TEL 03-5621-6077

(2) 上段ステージおよび自在ボーリングの注入

初期浸透面積、薬液粘性および、 $P \sim Q$ 関係の初期直線勾配から、式-1により透水係数を求めた。

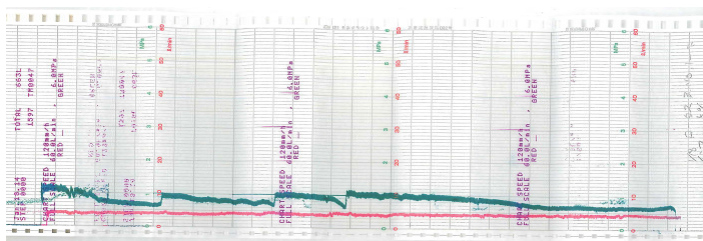
上段ステージ注入 : $k=4.56 \times 10^{-5} \text{m/sec}$

自在1ステージ注入 : $k=6.52 \times 10^{-5} \text{m/sec}$

自在2ステージ注入 : $k=5.15 \times 10^{-5} \text{m/sec}$

いずれの結果も、現場透水試験結果の値と近似しており、薬液の粘性とホース抵抗等を考慮する

ことにより、注入時の $P \sim Q$ 関係から地盤の透水係数を求める方法は妥当であると考えられる。

図-3 割裂の $P-t$ チャート

(3) 下段ステージの注入

改良体を掘り出した結果、下段ステージの注入口は、先に注入していた隣接注入管からの薬液で閉塞されていたため、下段ステージ注入口からの薬液は、上段改良体内を割裂して上段改良体の外周部に付加した形で浸透していることが判明した。

注入の $P-t$ チャートは、4回の大きな割裂を記録しており、初期圧0.74MPa、割裂圧1.25MPaを繰り返していた。

(4) 一軸圧縮試験

鉛直注入上段改良体の二箇所からブロックサンプリングした試料による一軸圧縮試験結果を表-2に示す。



図-4 割裂面状況

4. 考察

森らは、室内実験から砂の割裂発生機構を考察し、次式を提案している。

$P'_f = m \cdot \sigma'_3 + \sigma_t + R$ (式-2) ここで、 P'_f : 砂質土の割裂圧、 m : 定数 (透水性の小さい場合最大2) σ'_3 : 有効側圧、 σ_t : 引張強度、 R : 亀裂進展抵抗 (透水性の小さい場合0に近い)

下段ステージ注入圧力から、有効割裂圧=割裂圧-初期圧(=諸抵抗値)-水圧、として上式によって σ_t を算出してみる。

$$1250 - 740 - 15 = 2 \times 0.4 \times (18 \times 1.0 + 8 \times 1.5) + \sigma_t + 0 \quad \text{より} \quad \sigma_t = 471 \text{ kN/m}^2$$

森らの実験に使用した固結砂では一軸圧縮強度が引張強度の10倍程度の値を示している。一方、粘性土の割裂圧は、上式の σ_t を一軸圧縮強度 q_u と置き換えて表される結果であった。今回の実験結果では、算出した σ_t が一軸圧縮強度に近い値を示していることから、粘性土の室内実験結果と同様に、有効割裂圧からの推定強度は、一軸圧縮強度として評価できる可能性があると思われる。

5. まとめ

注入施工時の $P \sim Q$ 関係が浸透注入ならば透水係数が推定され、 $P \sim Q$ 関係が割裂注入ならば強度が推定できる可能性がある。現状では有効活用がされてこなかった注入施工時のデータを、適切に評価することにより、定量的に改良効果と結び付けられることができると思われる。

注入施工時の有効注入圧力は、諸抵抗値を把握することに問題があると考えられる。また、透水係数を算出する上では初期浸透面積を設定することになるが、この値は多少の誤差があっても透水係数がオーダーで違うまでの影響はない。今後は実現場においてデータを積み重ねることにより、有効な施工管理・改良効果確認手法であることを検証していきたい。

参考文献

- 1) 土質工学会：薬液注入工法における注入効果の予測確認手法に関するシンポジウム発表論文集，1993。
- 2) 森 麟・田村昌仁・千柄植：砂質地盤における割裂発生機構，土木学会論文集，388号，pp.61-70，1987。

表-2 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度 q_u kN/m ²		
No. 19	455.0	433.1
	434.2	
	410.1	
No. 20	616.6	606.4
	582.0	
	620.7	