

薬液注入による液状化対策を目的とした固結砂の長期耐久性について

早稲田大学 学生会員 鈴木慎一
 早稲田大学 正会員 赤木寛一
 早稲田大学 学生会員 伊藤健
 早稲田大学 学生会員 川村淳

1, まえがき

近年,薬液の性能が向上し従来の仮設目的だけでなく液状化対策などの恒久性を必要とする分野への需要が高まり,薬液の長期耐久性が要求されるようになってきている。また,注入工法自体が著しく進歩し,既設構造物の直下を,曲がりボーリングを用いて地盤を掘削し,その構造物の機能を停止することなく地盤改良を行えるようになるなど,現在課題となっている液状化対策工事や大深度地下開発工事を含め,幅広い目的での薬液注入の利用が期待されている。本研究においては,実際に三重県津市津松坂港で行われた護岸直下の液状化対策工事をモデルとして模型地盤を作製し,実際に注入を行い,薬液固結物の長期耐久性に焦点を当てている。長期養生を行った固結物に対し,一軸圧縮試験による長期的な強度変化の調査,さらに加熱養生を行うことにより短期試験により長期強度変化予測の可能性の検討を行う。

2, 実験装置・実験方法・使用材料

大型土槽を用いた注入実験を行い,その固結物に対する一軸圧縮試験による長期的な性能評価,加熱養生を利用した長期耐久性予測を行う。

(1)実験装置・方法

図1に実験装置を示す。供試体は円柱形で,ゴムスリーブ内にバイブレーターを使って水を加えながら砂を締め固めることで作られる。供試体の下端と上端に水槽をそれぞれ繋ぎ,供試体と上記の2つのタンクの水面が釣り合った後に注入を開始する。供試体の下部からは円筒形のロッドが立ち上げられている。ロッドには注入口が四方に設けられており,そこから注入材が地盤へ注入できるようになっている。注入装置がロッドにつながっており,ピストンがシリンダー内の液面を押すことで注入が行われる。注入条件は拘束圧 30kPa.注入量 6.0(l).注入速度 1.0(l/min)とする。次に,注入実験により形成され,所定の期間(標準養生(20 ± 5):最長 231 日間,加熱養生(40 ± 2):最長 107 日間)水中養生した固結物から採取した試料について一軸圧縮試験を行った。標準養生において温度にばらつきが見られるのは,水槽を静置する場所の都合により屋外へ出したものが数ケース含まれるためであり,実験結果から判断し大勢に影響はないと考えた。

(2)使用材料

実際に改良工事が行われた地盤の透水性に近づけるため,試料はケイ砂7号,8号を重量比で1:3に混合したものを,注入材として酸性シリカゾル系の薬液であるエコリオン溶液を使用した。物性値をそれぞれ表1,2に示す。

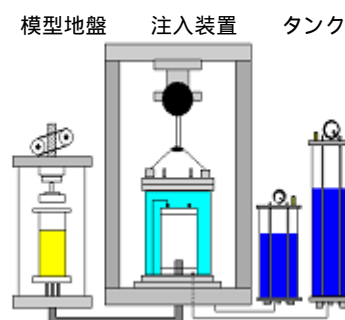


図1 注入実験装置

表1 試料の物性値

試料	ケイ砂7号8号
土粒子密度 (g/cm ³)	2.63
乾燥密度 (g/cm ³)	1.56
透水係数 (cm/sec)	6.99×10^{-3}
平均径(mm)	0.106
有効径(mm)	0.048

表2 注入材の物性値

主材濃度 (%)	25
薬液1(l)中の主材量 (ml)	250
ゲルタイム (時間)	約10
比重 (g/cm ³)	1.1
ファンネル粘性 (s)	24

キーワード 液状化, 薬液注入, 一軸圧縮強さ, 長期耐久性

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1-58-205 TEL. 03-5286-3405

3, 実験結果・考察

(1) 一軸圧縮強さの経時変化

固結物の一軸圧縮強さの経時変化を図2に示す。図2において、加熱養生では養生1日目から高い一軸圧縮強さを示し、その後養生30日前後まで強度は緩やかに増加し一定となり、標準養生については加熱養生に比べ緩やかに養生60日前後まで強度が増加し一定となる。加熱養生、標準養生とも一定となる一軸圧縮強さは約600kPaである。

(2) 加熱養生を利用した長期耐久性予測

化学反応速度式は(式1)で与えられる。

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{A}{A_0} \quad (\text{式1})$$

A: 時間tにおける値
A₀: 初期値 k: 速度定数

ここで本研究においては、強度が増加する速度を正とする。

区間(1)初期値～約470kPa、区間(2)約470～約600kPaとして場合分けを行い、それぞれ速度定数を求め、その結果を表3に示す。なお、区間(1)の境界値である470kPaは加熱養生の養生1日目の値、600kPaは加熱、標準ともに強度が一定となる値である。

この近似をもとに促進倍率=(加熱養生の速度定数/標準養生の速度定数)と定め、表4にその計算結果についてまとめる。

養生温度 (℃)	速度定数 (1/day)	
	区間(1)	区間(2)
40	0.5156	2.127×10^{-3}
20	0.0331	1.343×10^{-3}

養生温度 (℃)	速度定数 (1/day)	
	区間(1)	区間(2)
40	15.58	1.584
20	1	1

表4より区間(1)、(2)における加熱養生の養生期間をそれぞれ t_1 , t_2 、促進倍率により日数に補正を加えた後の加熱養生の養生期間をそれぞれ T_1 , T_2 とすると、

$$T_1 = 15.58t_1 \quad (0 < t_1 < 1) \quad (\text{式2})$$

$$T_2 = 15.58 + 1.584t_2 \quad (1 < t_2 < 107) \quad (\text{式3})$$

として表すことができる。ここで、前節で示した図2に(式2)(式3)の式により養生日数に補正を加えたグラフを図3に示す。図3と図2の比較を行うと、養生日数の補正を行った後には加熱養生、標準養生それぞれのプロットが一つの強度変化曲線上に載っているということができ、加熱による化学反応の促進、及び促進倍率の妥当性が確認できたと考察することができる。すなわち加熱養生には短期試験で、長期強度変化予測を行うことは可能と言える。

4, まとめ

エコリオン溶液について最大8ヶ月間の長期的な性能評価を行ったが、劣化は見られなく今後も600kPa程の強度を保ち続けられると思われる。また、化学反応速度の違いを利用した促進倍率の算出と、その値を用いた温度補正式の有用性が確認できた。性能評価試験を今後も継続して行い、強度の増加部分だけでなく、劣化部分までを含む補正式を提案する事が今後の目標である。

5, 謝辞 本研究の実施にあたっては、ケミカルグラウト(株)のご援助を得たことを付記し謝意を表する。

参考文献 ・日本薬液注入協会：正しい薬液注入工法(2002)

・加賀宗彦 土木学会論文集：「水ガラス系注入材の安定性と注入固結砂の長期強度の予測」(2000)

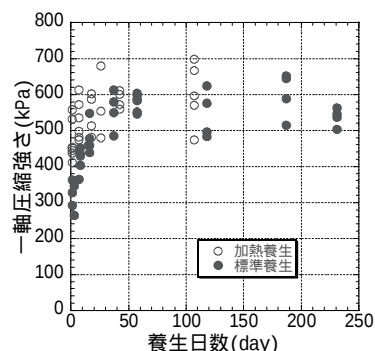


図2 一軸圧縮強さの経時変化

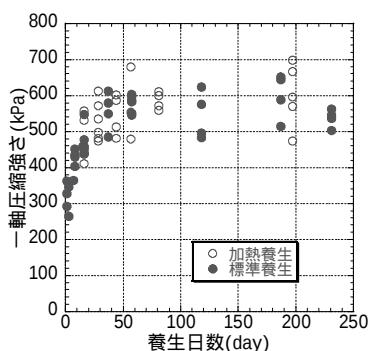


図3 養生日数の補正を加えた一軸圧縮強さの経時変化