

(株)間組 正員 大沢康男
 (株)間組 柳山良一
 (株)間組 正員 〇 浜田 裕

1. まえがき

浸透性注入が望めない沖積世シルト層の場合薬液注入による地盤の土性変化および強度変化のメカニズム等に対して、いまだに不明確な点が多く施工計画を立てるにあたって地盤の変状程度をどの様に実施面に反映していくかに苦しんでいる。当報告は地下鉄10号線浜町工区の施工にききだ、て実施した薬液注入試験工事のうち、沖積世シルト層に対する薬液の地盤への浸透状況と地盤の土性変化、強度変化について報告するものである。

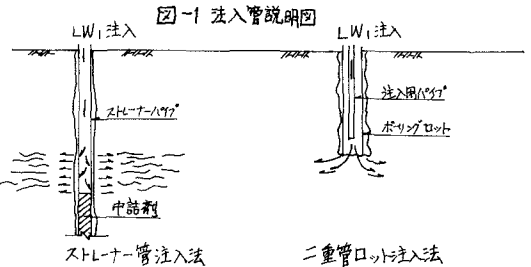
2. 薬液注入試験方法

本試験の対象となっている沖積世シルト層の地盤特性は、薬液注入試験工事前の土質試験結果によれば透水係数 $k_H = 1.11 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 、粒度組成は砂11.5%、シルト56.0%、粘土32.5%となっている。従って注入管としては難透水性地盤に対して注入効果が一般ロット注入より良いと言われている二重管ロットおよびストレーナ管による注入を行なった。(図-1 参照)

使用薬液としてはゲルタイムの調節が可能でホモゲル強度の高いものを使用するという事でLW₁を用いた。(混合初期粘度(cP)5~6、ホモゲル強度3~30 kg/cm²、成分はケイ酸ソーダ、セメント、塩化カルシウム)

ゲルタイムは二重管ロット注入の場合15~20秒、ストレーナ管注入の場合1~3分とした。

注入圧としては、1.0mあたり0.3 kg/cm²以下(薬液注入工法指針と解説; 日本材料学会土質安定委員会では0.2 kg/cm²を適当としている。)を目安として注入を行なった。注入量は20~25 %inの割合であった。



3. 試験結果および考察

(1) 鉛直面薬液走脈について GL-10mまで掘削してストレーナ管注入、二重管ロット注入による地盤への注入状況を観察したところ図-2の様であった。

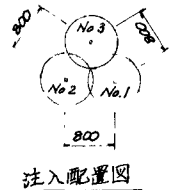
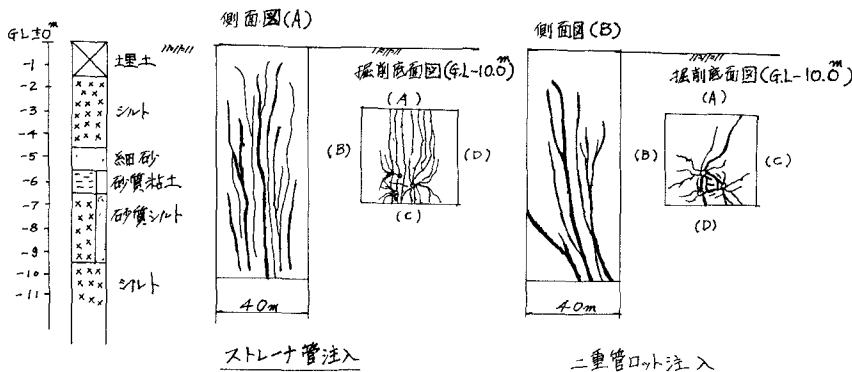


図-2 注入状況概略図



薬液は水平層状に入っているのではなく鉛直面に走脈が入っていた。これは薬注を行なった当シルト層の層厚が厚いこと、およびシルト層中に堆積時の海面変化等により形成される極めて軟弱なシルトの軟粘土層や、透水係数の大きい砂層がなかった為であると思われる。(目視による脈厚は厚いもので15mm程度、うすいもので2~3mm程度であった。)

また、薬液注入可能な最低圧と最小地盤割裂圧 P_c を比較すると図-3の通りである。最小地盤割裂圧 P_c は静止土圧に抵抗し鉛直面で水平に地盤を裂くための最低圧で、 $P_c = \alpha \cdot \gamma \cdot h + c$ (α : 静止土圧係数 0.5, γ : 土の単位体積重量, h : 地表面より割裂点までの深さ, c : 割裂点での土の粘着カ) と考えると 土質試験結果より $\gamma = 1.65 \text{ t/m}^3$, $c = 0.4 \text{ t/m}^2$ ($6 \leq h \leq 18$), よって $P_c = 0.123 \text{ t/m}^2 + 0.1 \text{ t/m}^2$ となる。図-3 では最小地盤割裂圧 P_c と実際の注入圧とがよく一致している事から、当地盤への脈状注入は割裂によるものと判断される。

($c = 0.4 \text{ t/m}^2$ は図-4 参照)

図-3 注入可能最低圧と最小地盤割裂圧の比較図

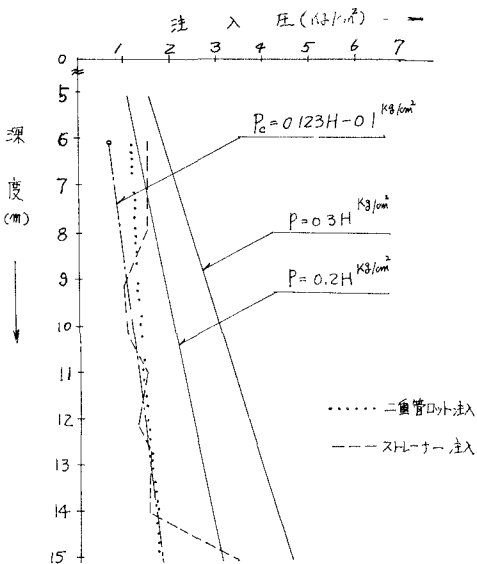
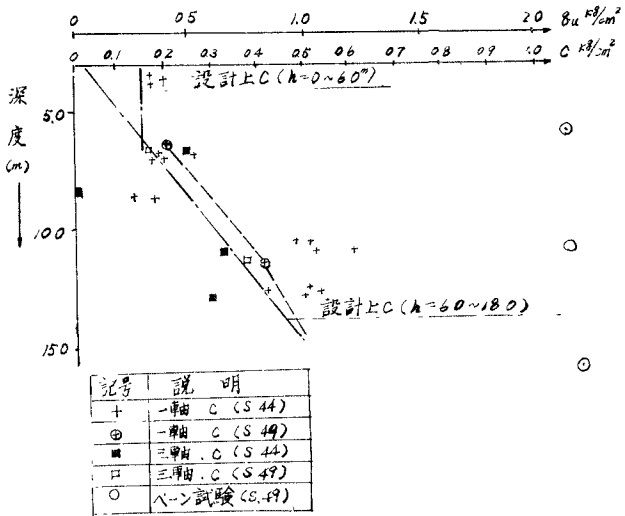


図-4 粘着力 c 、軸圧縮強度 σ_c と深度関係図



(2) 土性変化について… ① N 値の変化と土の粒度組成を図-5、図-6に示す。これより $GL-70 \text{ m} \sim GL-120 \text{ m}$ の上部シルト層では薬液注入後 N 値が上昇していることが明らかである。薬液注入前の動的標準貫入試験結果の N 値が 0 ということは、上部シルト層が粘土分が少なく砂分が多いという粒度組成の為、動的標準貫入試験の振動による局所的な間隙水圧の上昇により、クイックサントの状態が起きた為であると思う。薬注後の N 値の上昇は前述の様なクイックサント状態になる事を防いだ効果があったものと考えられる。

図-5 N 値の比較

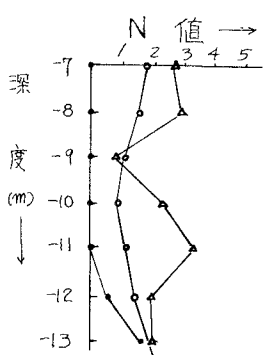
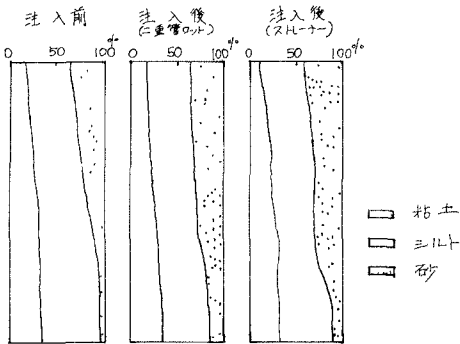


図-6 粒度組成



②脈状注入が主体となる粘性土地盤の薬注効果については、(A)ミクロ的な土の強度変化を室内土質試験により、判定するのではなく(B)複合地盤としての強度変化を判定する試験法によるべきだとの意見が主流を占めています。

(A)の判定法として一軸圧縮試験、自然含水比、間隙比の測定を行なった。

表-1、図-7、図-8にこれらの結果を示す。一軸圧縮強度 q_u は、試験結果にバラツキがあるが30%程度の強度上昇があり、自然含水比は、25~10%程度低下している。

(B)複合地盤としての強度判定としては、ベーン剪断試験と地耐力試験(φ450円板、10°オイルジャッキ)を採用した。試験結果は図-9、図-10である。

ベーン試験結果としては、二重管ロット注入では養生8~13日で30~100%の強度増加がみら附近で、注入前に比べて強度が上昇しているが、G.L-10.0m附近では、強度が落ちており注入管方式により強度変化に差が生じた。

地耐力試験は3ヶ所行なったがストレーナ管注入部は、成形地盤面地下に貝殻層が存在していた為試験は失敗した。

地耐力試験結果より破壊荷重は非薬注部で $R_u = 2.8^t$ 、薬注部で $R_u = 3.8^t$ である。したがって極限支持力 q_u は非薬注部 $q_{u1} = 1.78 \text{ kg/cm}^2$ 、薬注部 $q_{u2} = 2.42 \text{ kg/cm}^2$ となり36%程度の強度上昇があった。また見かけの粘着力 C は $C = \frac{R_u}{N_c}$ より非薬注部で $C_1 = 0.336 \text{ kg/cm}^2$ 、薬注部で $C_2 = 0.457 \text{ kg/cm}^2$ である。(※ N_c : $\phi = 0^\circ$ の時のテルツァギーの支持力係数 $N_c = 5.3$)

土質試験結果より求めた $C = 0.44 \sim 0.9 \text{ kg/cm}^2$ (図-4参照)は、G.L-11.0mで $C = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ とあり、地耐力試験結果より算定した $C_1 = 0.336 \text{ kg/cm}^2$ と比較的良好一致している。

4. あとがき

沖積世シルト層に今回のような薬液注入を行なった場合、鉛直面にそって走脈が生じることが目視観察の結果わかった。また N 値が0から1~3程度に上昇し薬液注入による N 値の上昇が認められたが、一軸圧縮試験結果についてはバラツキがあり真偽のうちに欠ける。しかしながらベーン試験、地耐力試験によって複合地盤としての強度上昇が認められた。

表-1 一軸圧縮強度一覧表

深度 (m)	注入前		注入後(二重管ロット)		注入後(ストレーナ管)	
	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	破壊ひずみ (%)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	破壊ひずみ (%)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	破壊ひずみ (%)
-6.00	0.333	4.5	0.429	3.3	0.437	4.0
S	0.407	4.0	0.537	3.3	0.529	5.3
	0.425	4.5	0.543	3.3	0.544	4.0
-6.85						
-11.00	0.830	4.0	1.051	2.7	1.011	2.6
S	0.851	4.0	1.131	3.3	0.956	3.3
-11.85	0.774	4.0	0.998	2.7	0.999	2.6

図-7 間隙比の比較

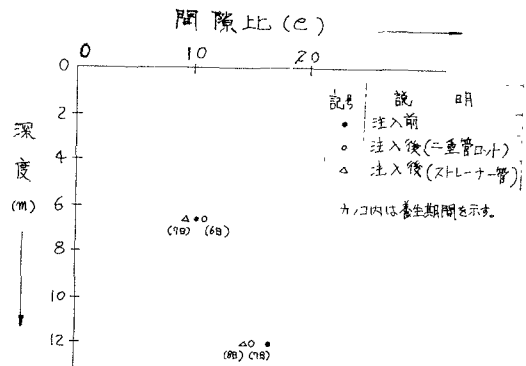


図-8 自然含水比の比較

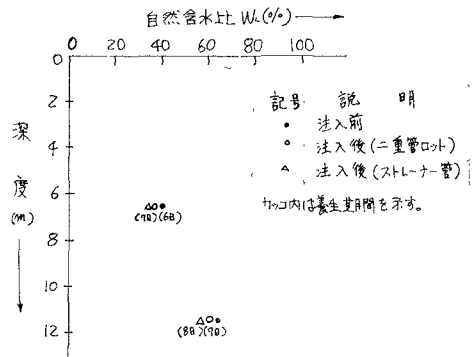
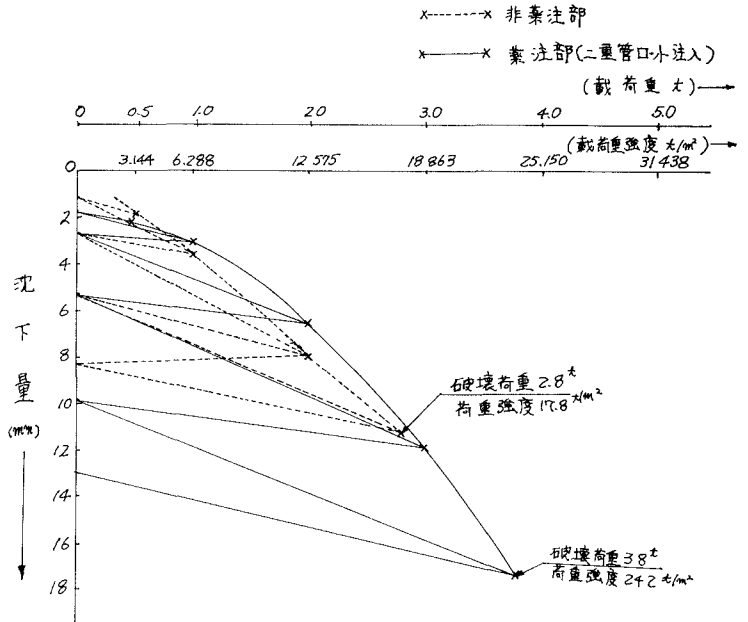
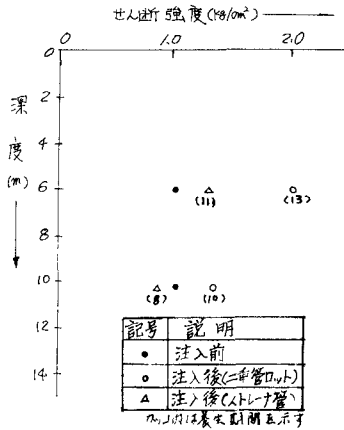


図-10 荷重-沈下量曲線 (G.L-1100, $\phi 450$ 円板使用)

図-9 バーン式試験によるせん断強度の比較



ところで、今回の薬液注入試験結果のみで沖積世シルト層における薬注効果を明らかにするには不明確な点が多く、今後の研究成果をつまかさね土性変化および強度変化のメカニズムの解明が望まれる。

参考文献

関 組 「都営地下鉄10号線浅町工区建設工事薬液注入試験工事報告書」昭和49年9月
 日本材料学会土質安定材料委員会 「薬液注入工法 指針と解説」 昭和43年9月