

軟弱地盤改良のためのOH-GROUTの注入効果について

齋藤 二郎 岡田 純二
内藤 和章

Injection Effect of OH-Grout in Soft Ground

Jiro Saito Jyunji Okada
Kazuaki Naito

Abstract

When building underground structures, the protection method for preventing occurrence of deformations in adjacent structures is of great importance. One of the protection methods generally adopted is grouting. Especially, in soft ground, the grouting method is used with the purpose of obtaining consolidation effects through veinlike injections. In the event a good expansive grout is used, it is thought the consolidation effect will be doubled compared with conventional non-expansive grout due to expansive pressures. This paper reports on the injection effect and solidification effect in the case of use of an expansive grout with the purpose of protecting structures such as bridge piers during shield excavation for a sewer line project.

概 要

地下構造物を建造する場合、付近の構造物に変状を与えないための防護工はきわめて重要であるが、その防護工の一つとして、注入工法が採用されることが多い。特に軟弱な粘性土地盤においては、脈状注入による圧密効果をねらって注入工法が採用される。ところで、グラウトとして、発泡性のきわめて優れたものを使用すると、従来の無発泡性グラウトに比して、発泡圧力の作用により、圧密促進が倍加されると考えられる。

本報告は東京都下水道局西亀有幹線工事において、シールド掘進に伴う、橋脚などの防護にこの発泡性グラウトを使用した場合の注入効果および固結効果について述べたものである。

1. まえがき

注入工法において多用されるグラウトにはセメント系、水ガラス系、尿素系、アクリルアミド系、ウレタン系のものがあり、浸透性の低いセメント系(懸濁液)を除くと、ウレタン系の強度が最も高く、ついで、尿素系、水ガラス系、アクリルアミド系である。

ウレタン系グラウトには水溶性のものと非水溶性のものがある(水溶性とは、薬液が水に十分、分散し、よく混合されることを意味する)。

OH-GROUT は水溶性ウレタン系グラウトであり、非水溶性ウレタン系グラウトに比してつぎのような利

点がある。

- (1) OH-GROUT と水とを任意の混合比率で固結させることにより経済的な注入設計ができる。
- (2) 地中の浅い位置での注入の場合、ほとんどの場合、グラウトが地表面などへ溢出して無駄になる。

この場合は注入作業を一時中止し、溢出中のグラウトが固結するのを待って、再び注入することにより溢出を防止することができる。

ところが、非水溶性ウレタン系グラウトの場合は、水の補給が十分でないため、注入を中止しても固結するまでに長時間を要し、場合によってはグラウトの原液がいつまでも溢出して固結しない。

これに対して、水溶性ウレタン系グラウトは薬液と水を予め混合して注入しているため、数分待つと溢みちのグラウトは固結して閉そくされる。

その後、再注入することにより、溢出を防止しながら完全な施工が可能である。

(3) 非水溶性ウレタン系グラウトはグラウト原液が未固結のまま地盤に残存することが多く、掘削中にこれが露出すると未反応のイソシアネートが発生し、人体に悪影響を及ぼすことがある。

これに対して、水溶性ウレタン系グラウトは水に溶けて反応しているので、注入領域では固結が完了しており、人体にほとんど影響がない。

東京都下水道局西亀有幹線シールド工事において、藤塚大橋の防護工として各種の工法が検討されたが、前述の特徴を有する水溶性ウレタン系のOH-GROUTシリーズのうち、OH-12による注入工法が採用された。

2. OH-12 の特性

OH-12はOH-GROUTシリーズのうち、強度が高いことその他に、発泡性がきわめて優れている。その基礎物性はつぎのとおりである。

2.1. ゲルタイム

OH-12のゲルタイムは、薬液濃度50%の場合、約5分、薬液濃度75%の場合、約3分である。

2.2. 一軸圧縮強度

直径5cm、高さ10cmのモールドに、豊浦標準砂を均一に充填し、(単位体積重量1.58g/cm³、間隙比0.67)、注入孔から各濃度別の薬液を注入した後、1日養生した供試体の一軸圧縮強度を測定した結果は図-1の通りである。

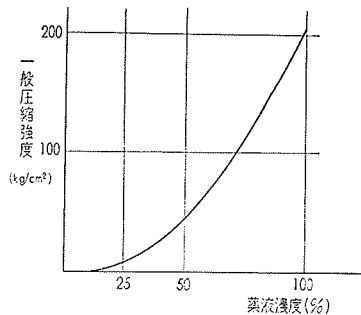


図-1 OH-12の固結体強度

2.3. 透水性

前記の供試体を透水試験機にかけて、透水係数を測定した結果を表-1に示す。

薬液濃度(%)	透水係数K(ダルシーの式使用)(cm/sec)
25	2.54×10^{-7}
50	1.69×10^{-7}
100	2.82×10^{-8}

表-1 OH-12の濃度別透水試験結果

2.4. 有効固結率

直径15cm、高さ18cmのモールドに間隙比0.67(間隙率

39.7%)の豊浦標準砂を充填し、100mlの各濃度別の薬液を注入して、有効固結率を測定した。測定結果を図-2に示す。ここに、有効固結率とは実測した固結体積と理論固結体積(球状浸透で充填

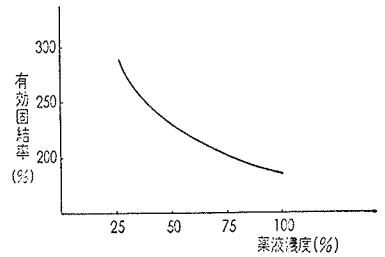


図-2 OH-12の薬液濃度と有効固結率の関係

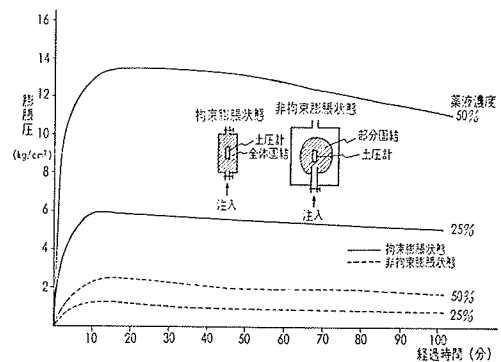


図-3 OH-12の膨脹圧の経時変化

率が100%の場合)との比を百分率で表わしたものである。

2.5. 膨脹圧

OH-12には水と反応する際、炭酸ガスを発生して膨脹を起す。その時の膨脹圧は周囲の拘束状態によって異なる。

完全拘束状態の場合は、直径5cm、高さ10cmのモールドの中央部に直径2.5cmの土圧計を設置して、豊浦標準砂を充填(間隙比0.67)し、注入孔から各濃度の薬液をモールドに充填するまで注入した。土圧計により膨脹圧の経時変化を測定した結果を図-3に示す。

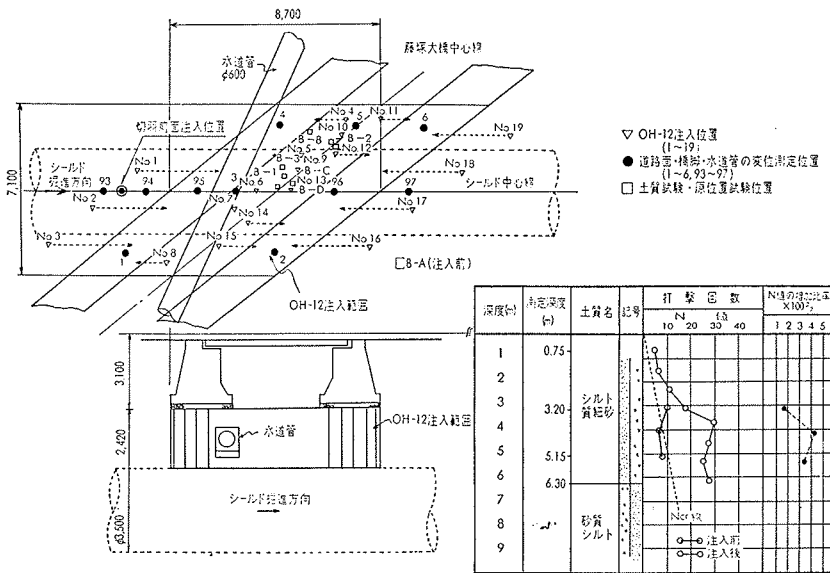
一方、非拘束状態の場合は、直径15cm、高さ18cmのモールドに、標準砂を詰め、注入孔から100mlの各濃度別の薬液を注入し、中央部に設置した土圧計を包囲するように固結させた。溢出孔を開放したままにして、土圧計によって膨脹圧の経時変化を測定した結果を図-3に示す。

3. 藤塚大橋防護注入工事

3.1. 概要

東京都下水道局・西亀有幹線工事がシールド工法によって施工されている。このルート上には藤塚大橋が交差しており、シールドはこの河床下を通過する。

藤塚大橋の橋脚はクイ長2.5mの松グイで支持され



図一四 OH-12 注入に伴う各測定位置図

注入順序	注入月日	注入孔番号	注入方法	ステップ数	注入量(ℓ)	備考
1	3月17日	№10	垂直方 向注入	5	850	№7においては、グラウト注入中、水道管の浮き上がり若干認められたので2ステップで中止。 №18においては、ロッド下部破損のため4ステップで注入中止。
2	3月18日	№9		5	850	
3	3月19日	№6	斜方向 注入 (傾斜角 15°)	5	850	
4	3月19日	№7		2	216	
5	3月20日	№5	斜方向 注入 (傾斜角 30°)	5	850	
6	3月20日	№13		5	850	
7	3月20日	№14	斜方向 注入 (傾斜角 30°)	5	850	
8	3月21日	№11		5	850	
9	3月21日	№2	斜方向 注入 (傾斜角 30°)	5	850	
10	3月21日	№3		5	850	
11	3月21日	№18	斜方向 注入 (傾斜角 30°)	4	680	
12	3月22日	№17		5	850	
13	3月23日	№19	斜方向 注入 (傾斜角 30°)	5	850	
14	3月23日	№16		5	850	

№1、4、8、12、15は注入中止

表一 二 グラウト注入結果一覧表

ており、シールドはこのクイの下端部を切除するように通過する(図一四参照)。

また、両橋脚の支持グイ間にはφ600の水道管が布設されている。

シールドを通過させる際、切羽の先掘りによる地山のゆるみ、シールド切羽からの湧水に伴う流砂現象により、藤塚大橋、水道管の沈下、道路表面の変状などが発生することが懸念された。

これらの悪影響を未然に防ぐために、予め支持グイ周辺、水道管周辺を中心とした注入を行ない、地山強化を図る必要があった。

3.2. 注入計画

前述のごとく、グラウトとして、ウレタン系のOH-12を使用した。

グラウト配合は OH-12:水=75:25とした。この理由は(1)高強度が必要であるから高濃度とする。

(2)浅い位置での注入であるから溢出防止のために水の供給が必要である。

この上記の条件から配合を決定した。

注入範囲は図一四に示すとおりであり、注入深度は橋脚底面より、シールド天端間の約2.40mとし、深度方向の注入ピッチは0.5mとし、また、注入管の配置は同図のように計画した。

計画注入量は下式を用いて算定した。

$$Q = n\alpha V = n \frac{1}{A} V$$

ここに、Q:注入量(水+OH-12)、n:地盤の間隙率、α:注入充填率、V:被注入土量、A:有効固結率(薬液濃度75%の場合は200%である)、

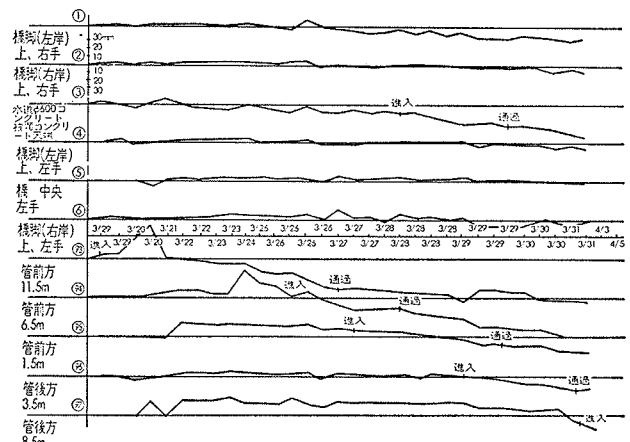
n=40%、A=200%として、算定した結果、1ステップであり、シールドはこのクイの下端部を切除するようアップ当りの注入量は170ℓとなった。

なお、グラウトの過注入などによる周囲地盤、橋脚、水道管の挙動を観測するため、図一六に示した測点で、レベル測量を行なった。

3.3. 注入施工結果

注入施工結果を表一に示す。なお、水道管下部周辺の注入のうち5本はOH-12の発泡圧による水道管の浮上りが懸念されたので中止した。今回の注入を通じて、グラウト注入中における注入圧はあまり上昇せず、平均して最高1.5kg/cm²程度であった。すなわち、この地盤では低圧で多量のグラウトが注入できた。

グラウト注入中におけるレベル測量による周囲地盤、橋脚、水道管の挙動結果を図一五に示す。これによると、注入中の橋脚の浮上量は最大16mm、地表面は



図一五 藤塚大橋下通過及水道管防護工事・沈下測定結果

34mm, 水道管は5mm であった。

3.4. 注入効果確認試験結果

後述のシールド切羽前面における試験注入結果から、OH-12 注入効果の確信を得たのであるが、シールドの推進は注入効果を十分確認した後に行なうという方針のもとに、藤塚大橋下部の実際の注入範囲と注入の影響を受けていない原地盤の物理的・力学的性質を比較して、注入効果を判定することとした。

注入効果を確認するための試験には、各種の方法があるが、本地盤における注入には完全な浸透注入は不可能であり、脈状注入による効果を期待しているため、原位試験および土質試験を実施した。

試験内容を表一3に示す。試験位置は図一6に示したとおりである。

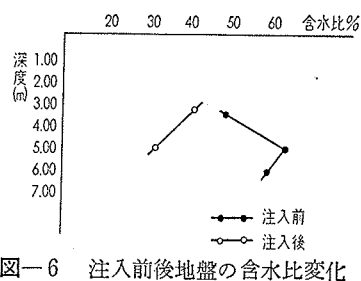
3.4.1. 含水比測定結果 注入前後の土の含水比を比較したものが、図一6である。これによると注入により土の含水比が著しく低下していることがわかる。

深度(m)	地質	物理試験			力学試験		標準貫入試験	電気検層	現場透水試験
		比抵抗	含水比	透水性	直接剪断	三軸圧縮			
1							0.50		
2									
3		3.00	3.50	3.00		3.20	3.30	3.50	
4		4.50	4.50	4.50					
5		5.50	5.50	5.50		5.15		5.00	
6							5.70		
1						0.75		0.75	
2									
3							3.00	3.50	
4		3.20	3.50	3.20	3.20	3.20	3.50	3.50	
5		4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.30	
6		4.50	5.50	4.50	4.50	5.00	5.10		
						6.00	7.00		

(注) (1) 注入前の調査位置のGLは注入後の調査位置のGLより標高が約50cm高い。
 (2) 注入後の場合は不攪乱資料採取が不可能であるため、室内試験である物理試験の一部と力学試験は不可能。
 (3) 力学試験で直接剪断試験のみ実施した理由は、比抵抗が小さく、剪断試験に必要な資料の採取は不可能。

表一3 注入前後地盤の土質試験・原位試験内容

これは既述のごとく、OH-12 が脈状浸透して発泡膨脹するために付近の水が未注入領域へ逸散し、周囲の地盤が圧密脱水したものと考えられ



図一6 注入前後地盤の含水比変化

深度(m)	粘着力 C (kg/cm ²)	内部マサツ角 φ (度)	一軸圧縮強度 qu (kg/cm ²)
3.20~3.50	0.48	32° 40'	1.76
4.50~5.50	0.36	35°	1.38

表一4 注入後地盤の試験結果一覧表

る。通常、粘性土の強度は土の含水比に反比例するので含水比の低下は土の強度を増大させたことを意味する。

3.4.2. 直接せん断試験結果

未注入の地盤では、不攪乱資料採取が不可能であったので、注入後地盤のみの試験結果を示すと表一5のようになる。ただし、一軸圧縮強度quは計算値である。

表一5によると、一軸圧縮強度は1.38~1.76 kg/cm²であるが、未注入領域では試料採取できない程度であることを考えると地盤は著しく改良されたといえる。

3.4.3. 標準貫入試験結果 未注入領域と注入領域との標準貫入試験結果(N値)を比較したものが図一4である。また、深度方向のN値の増加比率を算定して図示すると図一4に併記したようになる。

3.4.4. 電気検層結果 電気検層より得られる地盤の比抵抗は土粒子の比抵抗、含有水中の導電性物質の種類、量その他に含水比によって変化する。本地盤の場合 OH-12 は非導電性材料であり、他の条件が同じであるから注入により含水比が低下すると地盤の比抵抗は増大することになる。注入前後の比抵抗ρ(Ω-m)の測定結果は図一7のようになる。これによると注入前の比抵抗が10~30Ω-mであったのに対して、注入後の比抵抗は40~60Ω-mと著しく増大しており、含水比はかなり低下したことが推定される。

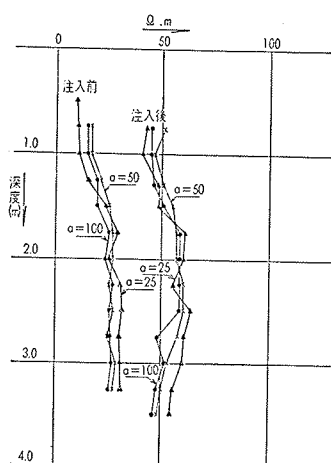
3.4.5. 現場透水試験結果 注水法による現場透水試験によると注入前後の透水係数はつぎのようであった。

注入前(深度5.00m) k=1.029×10⁻⁴cm/sec
 注入後(深度4.00m) k=1.391×10⁻⁵cm/sec

これによると、OH-12 注入により地盤の透水係数はかなり、低下しており止水効果も著しく向上したことがわかる。

3.5. シールド施工結果

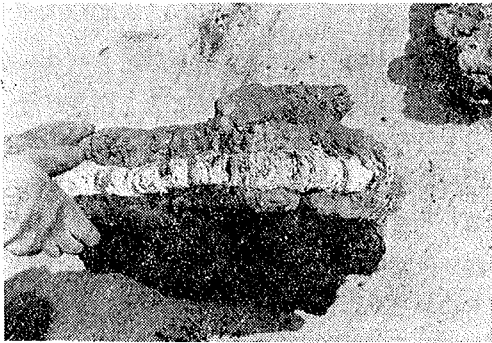
3.5.1. 切羽前面注入結果 シールドを藤塚大橋下部に推進させるに先立ち、前述の注入効果確認試験を実施して、地盤の安定性の向上を確認したのであるが、さらに、注入状態を目で確認するために、切羽前面の



図一7 注入前後地盤の電気検層ρ-a 曲線



写真一 注入状況の観察結果 (切羽付近)



写真二 固結体の固結状況

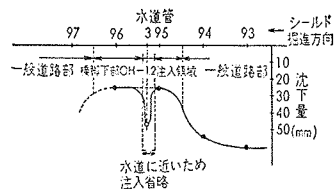
位置において、試験注入を実施した。

注入ピッチ段階は深さ方向 50cm とした。注入量は本注入工事におけると同様 1 ステップ当たり 170 l としたが、注入本数は 1 本のみとした。

切羽前面注入の実施後、シールドを前進させ、切羽にて注入状況を観察した。注入状況の観察結果を写真一に、固結体を採取した状況を写真二に示す。これからわかるように OH-12 は脈状注入されており、板状のホモゲルの厚みは 60~150mm であった。また、採取した固結体の観察によるとホモゲルの周囲の土にはかなりの厚みの浸透固結層が形成されていた。

3.5.2. 道路面・橋脚・水道管の変位測定結果 レベル測量による測定結果は図一五に示したとおりである。これによるとシールド中心線上で、OH-12 の注入されていない所ではシールド切羽到達と共に沈下がり、最大 50~60mm に達している。橋脚上の沈下は 5~20mm に抑制

されているが、橋中央部では 25mm 沈下している。また、水道管は切羽到達と共に沈下が始まり、シールド



図一八 地盤—橋脚—水道管沈下縦断曲線

時点で 45mm 沈下している。これを橋中央部と比較すると 20mm 多く沈下している (図一八参照)。これは前述のごとく、水道管付近の注入は危険であるため、水道管まわりの注入は大部分省略したためであり、OH-12 の注入された部分に対してかなり大きい沈下を起している。しかし、別途検討書によると水道管の許容沈下量は 50mm であるから許容値以内に収まっていることになる。

3.5.3. 掘進結果 切羽の観察によると、土の含水比が低下していることがはっきりわかり、また、切羽からの湧水状態から透水性の低下が認められ、前述の注入効果確認試験結果が再確認された。

4. No. IV 立坑試験注入工事

本工事現場の立坑を利用して、試験注入を行ない、掘削して固結土を取り出す機会を得たのでその結果について概述する。当立坑は前述の藤塚大橋から約 90m 離れた所にあり、地質状況は藤塚大橋付近のそれとほとんど変化なく、図一四に示すとおりである。

4.1. 注入計画

グラウトは OH-12 を使用した。注入本数は OH-12 の薬液濃度 50%、75% のもの各 1 本合計 2 本とした。注入深度は 7.50m で、1 ステップのみとした。

4.2. 固結状態観察結果

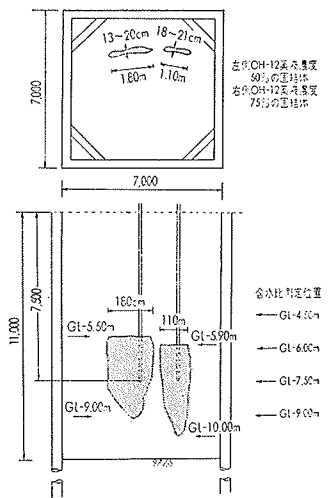
固結体の状態を図一九、および写真一三に示す。薬液濃度 50% の場合 (注入量 290 l) の固結体の形状は厚さ 13~20cm、巾 1.80m、長さ 3.50m、また、薬液濃度 75% の場合 (注入量 230 l) は厚さ 8~21cm、巾 1.10m、長さ 4.10m の壁状であった。

固結体の固結状況を全般的に観察するとつぎのことがわかった。

脈状に注入された薬液はほとんど垂直上方にしかも壁状に浸透固結していた。

4.3. 注入効果確認試験結果

立坑掘削に伴って固結体付近の含水比と未注入区域における含水比を測定して比較した。含水比の測定結果を図一十に示す。これによると



図一九 固結体の固結状況

注入区域の含水比は未注入区域と比較して著しい減少が認められ、固結体に近いほど減少の程度が大きいこともわかった。

5. まとめ

OH-12 を用いた粘性土地盤注入結果よりつぎのことがわかった。

(1) 非常に厚みの大なる脈状ホモゲ

ルが形成されており、これはOH-12が水と反応して炭酸ガスを発生して膨脹したことを示している。そして、周囲地盤は脱水されて安定化していることが観察された。従来のグラウトが脈状注入された場合のホモゲ



写真-3 固結状況

の厚みは最大10mm前後であるのに対してOH-12の場合には非常に大きく圧密脱水効果はきわめて大きいことがわかる。

(2) ホモゲルは壁状でほとんど直立した状態である。層状地盤

の場合は水平方向に脈状注入されることが多いが、本現場は地質が比較的均質であることと深度が浅いためこのような状態になったと推定される。

(3) OH-12 注入による橋脚の防護効果は大きく、沈下を著しく制禦できる。

(4) 浅い位置での注入であったが、地表面への溢出はあまりなかった。

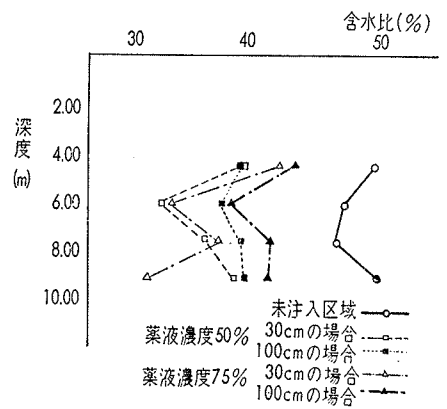


図-10 含水比測定結果