

OH-GROUTの基礎的特性と注入効果 (第1報)

齋藤二郎
内藤和章
岡田純二

概要

従来の地盤注入薬液は主剤と硬化剤を別々の系統で地盤中に注入して反応せしめ、地盤を固結あるいは止水するものであるが、最近、主剤のみを注入して、硬化剤として地盤中の水を利用する1液タイプのものが注目されるようになった。このタイプの薬液は多くの特徴を有していることに着目して、大林組と東邦化学工業は水溶性ポリウレタン樹脂を主成分とする地盤注入薬液を開発した。この薬液は水酸基(-OH基)を有する水と重合反応して固結することからOH-GROUTと命名した。OH-GROUTは地盤注入薬液としてだけでなく、建設分野におけるその用途開発は大きな可能性を秘めている。

この報文は(第1報)として、地盤注入薬液としてのOH-GROUTの基礎的特性、および大型模型実験装置を使用してその注入効果について述べるものである。

1. まえがき

OH-GROUTは水と重合反応して固結する全く新規なタイプの地盤注入薬液で、従来のものと比較して次のごとく特徴を有している。

(1) 加水反応型であるので、地盤中の水を硬化剤として利用すれば、従来の薬液のように、混合不完全により固結しない部分の発生が少ないので有効であると共に、地下掘削中に起った激しい湧水等による流水地盤中において、流失が少なく、止水性が優れている。

(2) 薬液が水溶性であるので、2液1系式注入で、任意の薬液濃度で使用することにより経済化することができる。

(3) 薬液は反応時に炭酸ガスを発生するので、その発泡圧と、薬液の界面活性作用により、粘度が高いにもかかわらず、浸透性が優れている。

(4) 反応時の炭酸ガスの発生により、一定の薬液量に対して、固結体積が大きい。すなわち、きわめて大きい有効固結率を得ることができる。

(5) 固結体はゴム状弾性を有しているので、地盤に生じたひずみ等に十分追従できる。

(6) 土粒子との付着力が大きいので、高強度の固結体を得られると共に、引張り強度が大きい。

(7) 特に、地盤の強度が要求される場合や、流水のきわめて激しい地盤では、1液注入が可能である。

以上の特徴を有するOH-GROUTの特性を明確にするために、各種基礎実験、模型実験を行なったので、以下に、その結果について述べる。

2. OH-GROUTの基礎的特性

2.1. 粘性および浸透性

従来、注入薬液の浸透性は薬液の粘性のみによって評価されていた。しかし、OH-GROUTは界面活性作用と、水との反応時に発生する炭酸ガスの発泡圧および空気連行剤的作用により、薬液の粘性のみでは評価できない浸透性を示す。

OH-GROUTの経時粘性変化を図-1に示す。

これによると粘性は薬液濃度(水に対する薬液樹脂分濃度)によって異なり、水に溶解すると急激に低下することがわかる。

ところで、薬液の浸透性が粘性のみによらないことは、図-2に示した透液係数測定結果からわかる。これは山砂の密度を変化させて、水、アクリルアミド系薬液、尿素系薬液、リグニン系薬液およびOH-GROUTの10%水溶液を圧力浸透させて、透液係数を求めたものである。

これによると、浸透性は粘性のみによらず、OH-GROUTは粘性

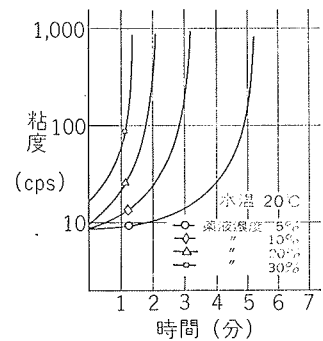


図-1 経時粘性変化

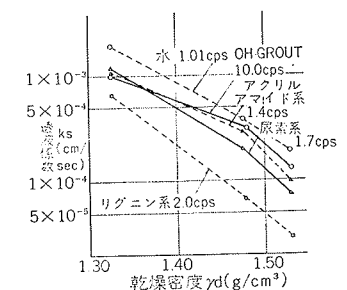


図-2 各種薬液の透液係数の比較

が高いにもかかわらず、透液係数が大きくて浸透性がよいことがわかる。

2.2. 強度

OH-GROUT は水溶性なので、混合する水に対する薬液濃度によって強度が異なる。また、注入対象土の性質によっても、固結体の強度が異なる。内径5cm、高さ10cmの供試体作製用二つ割りモデルに、豊浦標準砂を均一(単位体積重量 1.58g/cm³, 間隙比0.67)に充填し、OH-GROUT を注入して1日モールド養生した供試体の一軸圧縮試験を行なった。試験結果を、

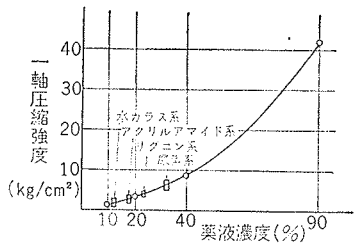
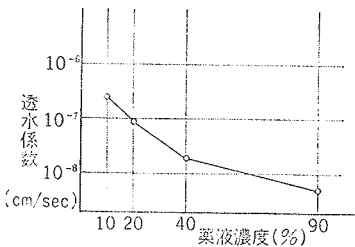


図-3 薬液濃度と強度の関係

図-3に示す。なお、同図に、比較のために従来一般の薬液(標準配合)を用いた場合の試験結果(注入対象土は本試験と同一)も併せて記入した。

2.3. 透水性

前述の同一供試体により、OH-GROUT を用いた場合の室内透水試験を行なった結果を図-4に示す。これによる薬液



濃度が低い場合には 図-4 薬液濃度と透水係数の関係 透水係数が大きい、大略 10⁻⁶~10⁻⁸cm/secであり、十分止水性が高いことがわかる。

2.4. 膨脹性

すでに記述したように、OH-GROUT は水と重合反応する際、炭酸ガスを発生して膨脹を起し、これが薬液の浸透性の向上や、固結体積の増大に有効に作用する。そこで、この膨脹性を確認するために、まず、膨脹圧の測定を行なった。

膨脹圧は周囲の拘束状態によって異なる。すなわち、周囲が完全に拘束された容器の中に土を詰めて OH-GROUT を注入する(完全拘束)と、高い膨脹圧が発生し、また、周囲を拘束しないで OH-GROUT を局部的に注入する(非拘束)と、膨脹圧は低い。そこで、完全拘束状態と非拘束状態における膨脹圧を模型によって測定した。

まず、完全拘束状態におけるものは、内径5cm、高さ10cmのモールドの中央に、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、水で飽和させた後、注入孔から OH-GROUT をいろいろな濃度で溢孔から溢するまで注入した。そして

土圧計により膨脹圧の経時変化を測定した結果を図-5に示す。

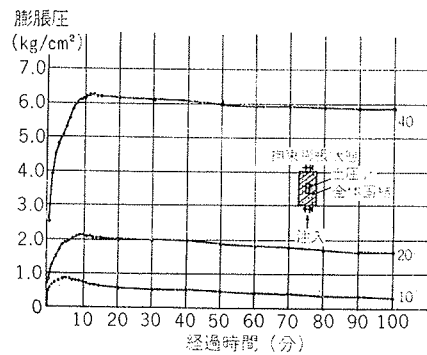


図-5 完全拘束状態における膨脹圧

これによると、膨脹圧は薬液濃度によって異なり、薬液濃度40%では6.0kg/cm²におよぶ膨脹圧が発生する。また、膨脹圧は時間が経過してもあまり低下しない。

つぎに、非拘束状態におけるものは、内径15cm、高さ18cmのモールドを用いて同じように土圧計と豊浦標準砂を詰め、注入孔から OH-GROUT をいろいろな濃度で100ml注入して、土圧計の部分のみを固結するようにした。溢孔は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-6に示す。

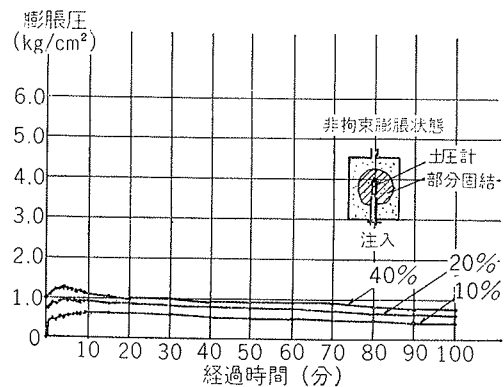


図-6 非拘束状態における膨脹圧

これによると、非拘束状態の場合には、膨脹圧は約1.0kg/cm²以下であることがわかる。

実際の地盤中では、注入の初期において非拘束状態であるが、注入量が増すに従って、しだいに拘束状態に近づき、膨脹圧が大きくなって、薬液の浸透していない細隙部分にも、十分浸透するようになると考えられる。

以上は、膨脹性を膨脹圧で評価したが、つぎに膨脹量での評価を行なう。

一定の薬液使用量に対して、いくらの固結体積が得られるかを表わすものに、有効固結率(実際の固結体積と土粒子間隙に薬液が100%充填されたと仮定した理論固結体積との比)がある。前述の非拘束膨脹圧試

験に使用した装置を用いて、豊浦標準砂(間隙比0.67)に OH-GROUT をいろいろな薬液濃度で 100ml 注入した場合の有効固結率測定結果を図-7に示す。

これによると、薬液濃度が40%程度の場合に最大有効固結率が得られ、これはほとんど薬液の膨脹によるものである。

従来一般の薬液は膨脹性を有していないので、その有効固結率は100%前後で

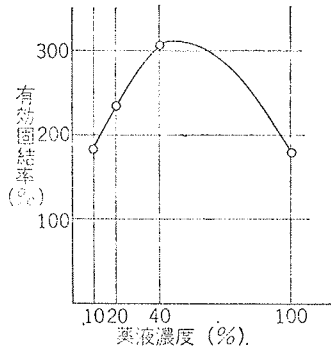


図-7 薬液濃度と有効固結率の関係

2.5. 付着性

従来一般の薬液は、固結体自身の引張り強度および、土粒子との付着力が小さいので、土粒子に対する付着性はほとんどない。ところが、OH-GROUT の場合には、これらが大きいので、水圧のかかるところでも浸透圧によって剝離されて流失することがなく、止水効果がきわめて優れている。

土粒子との付着力を測定することは困難なので、ここでは図-8に示すように、4 cm×10cmの花崗岩板をOH-GROUTで接着したときの引張り強度を、薬液濃度をいろいろと変化させて測定した。

その結果を図-9に示す。

これによると最大約 1.2kg/cm² におよぶ大きい引張り強

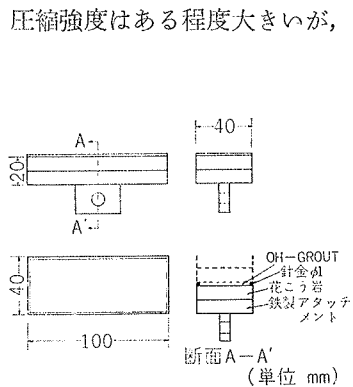


図-8 付着強度測定装置

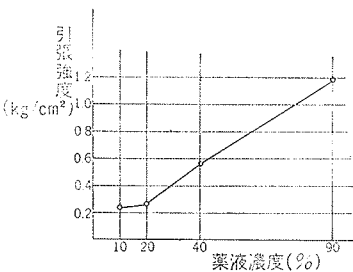


図-9 花崗岩との付着力測定結果

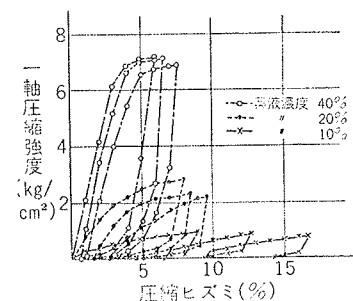


図-10 くり返し一軸圧縮試験結果

度が得られることがわかる。

2.6. ゴム状弾性

OH-GROUT は水溶性ポリウレタン樹脂を主成分としているので、固結体はゴム状弾性を有している。そこで、前述の2.2項と同一の供試体を用いて繰り返し一軸圧縮試験を行なった結果を図-10に示す。

これによると薬液濃度が大きい場合には、残留ヒズミが小さくてゴム状弾性を有していることがわかる。しかし、薬液濃度が10%になると、塑性体に近い性質をもつようになる。

2.7. 止水性

OH-GROUT は、地盤中の水の流れをきわめて合理的に止水することができる。すなわち、水溶性加水反応型であるので、流水地盤中に注入されると、架橋剤である無限の流れる水に溶けながら重合反応を起し、土粒子と強力に付着する。流水が激しく、稀釈されても、薬液濃度が約2%以下にならない限り、流路のどこかで固結して、しだいに透水性を低下させ、ついに止水する。

この止水性を明確にするために、図-11に示すような模型流水地盤を作って実験を行なった。

試料土は川砂で粒度分布は図-12に示すようであり、透水係数は 3.8×10^{-2} cm/sec である。

模型地盤内の水の流速はタービンポンプによって、いろいろと変化させる。

このようにして流水状態を作って置いて、注入孔から OH-GROUT 5 l を1液注入し、水の流量の経時変化を流量によって測定した。地盤内の水の実質流速が 0.5cm/sec, 0.3cm/sec, 0.1cm/sec の場合の測定結果を図-13に示す。

これによると、地盤内流速が大きい場合でも優れた止水性が得られることがわかる。

実験終了後に固結状態を観察した結果を図-

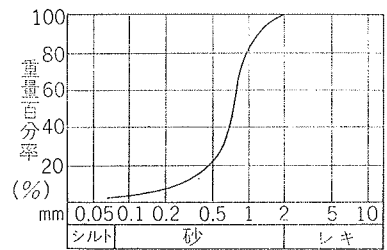


図-12 止水実験用試料土粒径加積曲線

図-13に示す。

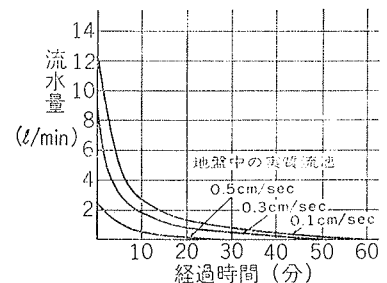


図-13 流量の経時変化

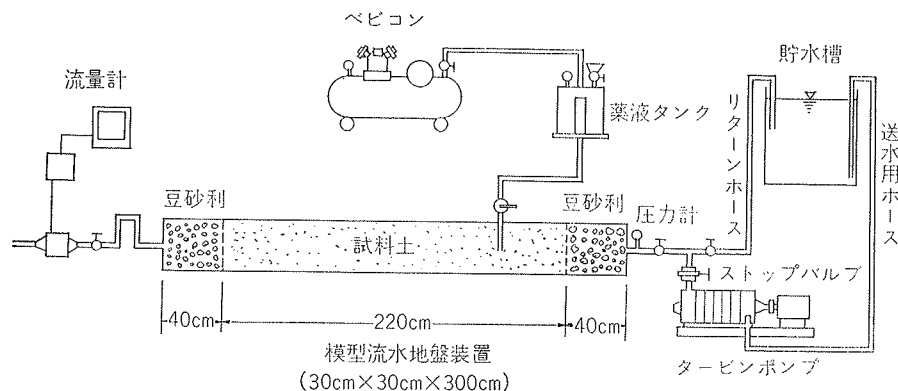


図-11 模型流水地盤における OH-GROUT の止水効果試験装置

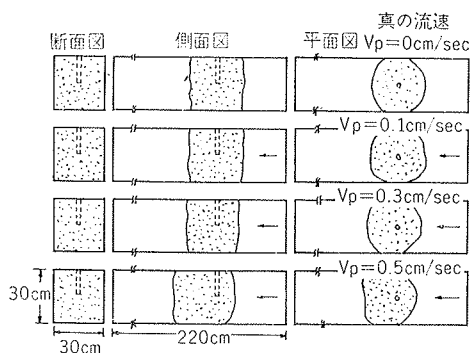


図-14 OH-GROUT の固結状況

14に示す。これによると地盤内流速が大きくても固結土の移動が少なく、固結性がよいことがわかる。また、有効固結率を計算した結果を図-15に示す。これによると、有効固結率は地盤内流速が大きいく程、大きくなり、これが OH-GROUT の大きな特徴の一つである。従来の薬液は地盤内の流速が大きくなると流失が多く、有効固結率が急激に低下する。

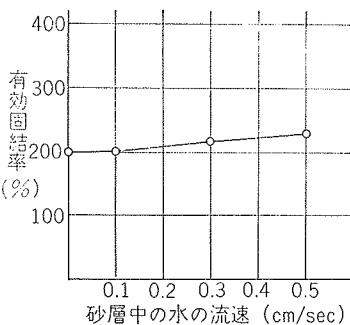


図-15 有効固結率

3. OH-GROUT の注入効果

3.1. 大型模型実験

以上のごとく、OH-GROUT の基礎的特性を述べた。注入剤としての OH-GROUT の地盤に対する注入効果を確認するため、つぎのような大型模型実験を行なった。

なお、この実験は、帝都高速度交通営団職員約40名を迎えて、公開実験として実施されたものである。

3.2. 模型静水地盤中の固結性確認実験

静水地盤中における OH-GROUT の注入は二液一系統方式で、水と併用して注入する方が経済的である。

図-16に示すような実験装置を用い、90cm x 90cm の多孔板製内箱にレキ混り砂 (図-17のA参照) を投入し、均一 (間隙率約40%) に突き固めた。

注入パイプはストレナーパイプを使用し、その上部にはY字管がセットされている。なお、注入ポンプは水、OH-GROUT 共に ND-27 型の手動式ポンプを使用した。

注入の結果、注入量は水 13 l、OH-GROUT 5 l の計 18 l (薬液濃度27.8%)、また、注入時間は3分45秒であった。

OH-GROUT の固結体は写真-1に示すごとく、おおむね円柱体 (φ約 37cm, 高さ約 75cm) を形成し、その容積は 91 l であった。これは固結体積比が約5、すなわち、注入量 1 l (水と OH-GROUT) で、5 l の容積をもつ固結体が得られ、また OH-GROUT

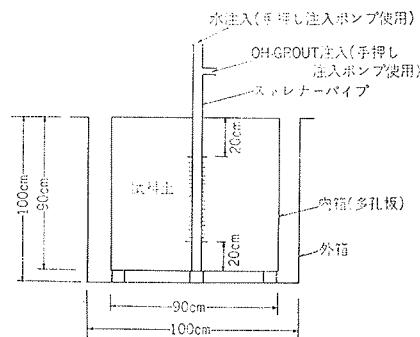


図-16 模型静水地盤中の固結性確認実験装置

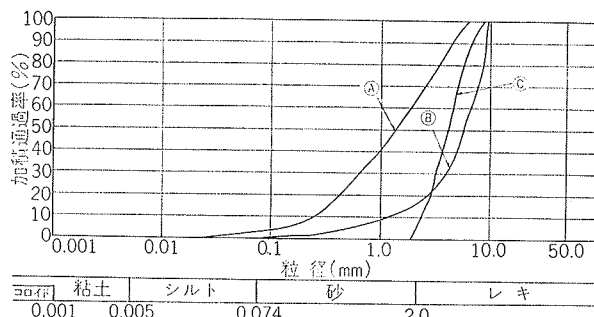


図-17 大型模型実験用試料土粒径加積曲線

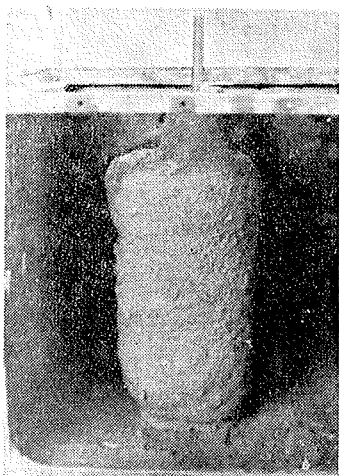
のみについては約18, すなわち, OH-GROUT 1 l で 18 l の容積をもつ固結体が得られたことを意味し, きわめて経済的であることがわかる。

3.3. 土留め壁の欠損部からの漏水防止効果確認実験

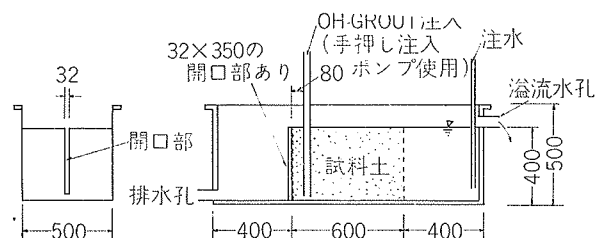
実験装置は図一18に示すごとく, 中に壁の欠損部に相当する開口部のある鉄板を垂直に設けた 50cm×140cm×50cm の鉄製箱である。試料土は砂レキ (図一17の㊸参照) で, 間隙率は約40%である。

開口部から流れる初期漏水量は 5 l/min である。注入パイプは開口部から試料土側へ 8cm 離れた所にセットされている。

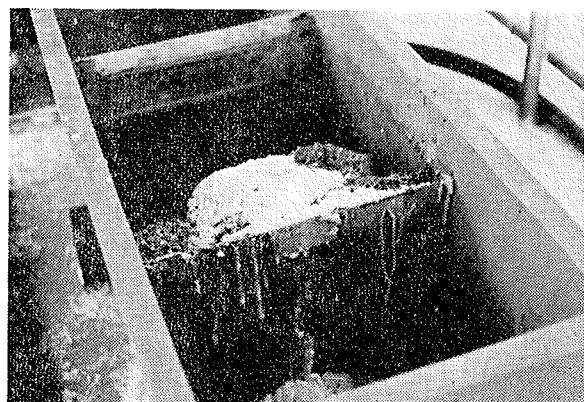
OH-GROUT を一液注入する際, 開口部下方から一部の OH-GROUT が流れて来たら, 注入パイプを



写真一 模型静水地盤中の OH-GROUT 固結状況



図一18 土留壁の欠損部からの漏水防止効果確認実験装置



写真二 OH-GROUT 注入による土留壁欠損部からの完全漏水防止

徐々に引き上げる方法をとった。

注入の結果, 注入量は 4 l, また, 注入時間は 4 分 30 秒であった。注入を開始してから約 5 分 30 秒で完全に漏水が止まった (写真一2 参照)。

3.4. 模型動水地盤中の止水効果確認実験

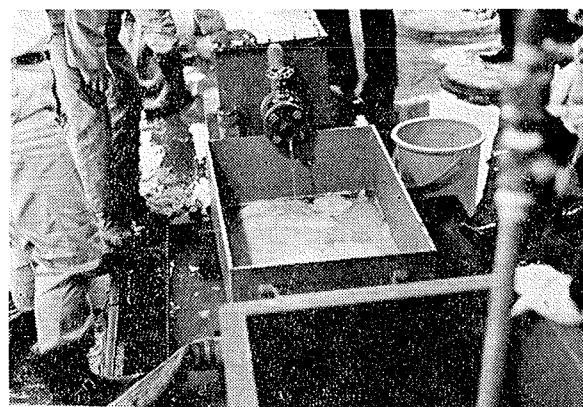
前述の 2.7 の止水性基礎実験に使用した装置 (図一11) を用いた。試料土は粒径 2.0mm~9.5mm のレキ (図一17の㊸参照) で, 間隙率約38%である。また, 地盤内の水の流速は約 2.9cm/sec であり, これは従来一般の薬液では止水不可能な過酷な条件である。

注入の結果, 注入量は OH-GROUT 43 l, また注入時間は 2 分 30 秒であった。注入を開始してから約 5 分 30 秒で完全に止水された。(写真一3, 4 参照)。

OH-GROUT の固結状況は, 送水側のフィルター層の一部を除いて排水孔付近まで完全に固結していた。



写真三 OH-GROUT 注入前の流量測定



写真四 OH-GROUT 注入による完全止水寸前の状況

4. あとがき

以上, OH-GROUT の基礎的特性, およびその注入効果の概要について述べたが, 実際の施工に当たっては, 対象地盤の土質や, 地下水を十分調査し, OH-GROUT の物性をよく理解した上で, 合理的な施工を行なうことが重要である。

また, OH-GROUT は法面防護剤としても, 有効であることが判明し, これについては (第2報) とし, 報告する予定である。