

捨石マウンドの透過性低減を目的とした可塑性グラウト注入工法の適用

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○石井 裕泰

1. はじめに

近年、巨礫・巨石地盤の変形抵抗性向上、透水・透過性低減を目的として、可塑性グラウトを間隙に注入・充填する手法が複数の実験研究、施工適用で採用されている。本報では、この「可塑性グラウト注入工法」の技術概要と適用例について報告する。なお、本報は発表済み論文内容を中心に再構成したものであり、詳細については当該論文¹⁾を参照されたい。

2. 可塑性グラウト注入工法

各種原位置地盤改良のうち、薬液注入工法、浸透系のセメントグラウト注入工法は、溶液型薬液やセメントミルクを地盤に注入・浸透させ固結させることで、対象地盤の強化や透水性の低減を図る。注入管を地中に敷設して、これを通して上記注入材を地中に供給、浸透させる手順から、使用機械は小型のボーリング機械と供給ポンプとなり、原位置で強制的に攪拌・混合を行う工法、密度増大を図る工法に比べると作業の専有面積、空頭高さが少なく済む。そのため、施工の制約に対応した施工、障害物を回避した施工が可能となり、既存構造物の周辺や直下の改良で高い適用性を発揮する。

一方、これらの注入工法については、その改良原理から浸透性に富んだ砂質土地盤が適用対象とされる。元来浸透性に富みながら仮設利用に限定された水ガラス系薬液の耐久性を向上したり、浸透性を阻害するセメント粒子を微細化する製造・加工技術を開発したりすることで、細粒土への適用拡大が図られてきた。

一方、近年、より粗い土質である粗礫（粒径：19～75mm）、粗石（同75～300mm）、巨石（同300mm～）を対象とした注入改良の実験研究、施工適用の事例が報告されている。代表例として、a) 捨石マウンドの耐震補強のための高圧噴射攪拌改良の施工に際して、固化材の海中流出を防ぐことを目的とした表層捨石層の透過性低減²⁾、b) 既存護岸の機能強化として大型船舶の停泊を実現するための捨石マウンドの掘り下げに際して、掘削部周辺の補強を目的とした捨石マウンドの変形抵抗性向上³⁾、が挙げられる。

こうした粗い土質の改良に際しては、間隙サイズが大きいことから流動性の高いモルタルで充填することも可能となるが、重力で流し込む方式では充填材料が広域に行きわたる。この場合、施工性は向上することになるが、条件によっては目的外領域への流出が懸念され、材料の浪費や周辺域汚濁につながるおそれがある。そこで、注入中は間隙への浸透性をもち、注入完了後は固化するまで滞留する性状を持つ充填材料を用いる手法が有効となり、上記取り組みでは共通して可塑性グラウト⁴⁾が用いられている（写真-1）。

可塑性グラウトは、セメント、水、可塑材からなるセメント懸濁液で、作用圧が加わらない自重のみでは形状を保持し、注入圧等が加えられると容易に変形する粘性を持つ。粗礫、粗石、巨石に見られる比較的大きな間隙に従来の溶液型薬液、セメント懸濁液やモルタルを注入すれば固化前に流下、希釈するが、可塑性グラウトを用いれば、注入地点周りに滞留させることができる。計画量を対象地盤に順次注入した後はセメント水和反応で固化し、配合強度としてセメント添加量に応じた1N/mm²程度の一軸圧縮強さを発揮する。

3. 捨石マウンドでの適用

3.1 施工概要

捨石マウンドは護岸基礎として粗石・巨石を盛り立てて構築するもので、空港や港湾、プラント・発電施設等で多用されている。以下に紹介する事例では、捨石マウンド補強を目的に間隙を水中モルタルで充填す



写真- 1 可塑性グラウトの例

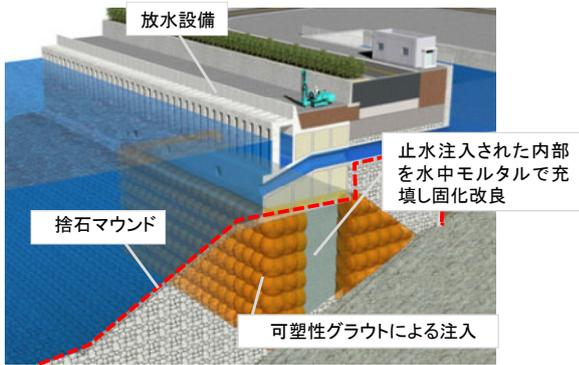


図- 1 透過性低減策としての可塑性グラウト注入工法

ることを計画し、前面海域への流出防止策として先行して打設領域外周を壁状に可塑性グラウト注入する方法を採用した(図- 1)。可塑性グラウト注入工法自体は、2009年の検討時点で報告事例がなかったことから、個々の固結体が意図した箇所に概略球形に形成されるとともに、隣接する箇所からの注入で一体性を確保できるかについて入念に実験検討を重ねた上、図- 2 に示すような注入間隔 2.5m、改良球体径 3.0m を基準とした改良体配置を決定した。

3.2 注入装置・モニタリングカメラ

図- 3 に注入装置の概念図と装置全景を示す。概略球形の注入改良を順次進める上で、特定方向に偏って可塑性グラウトが拡がる要因として、ボーリング孔壁と注入装置の間のクリアランスが挙げられる。そこで、これを閉塞するためのパッカーを注入装置に付与した。また、実施工においては事前の注入実験で測定されたような安定した注入圧を確保することが、実験で確認できた同等の注入改良を達成するための必要条件となる。圧力の変調が感知されれば、機械・材料の不具合により可塑性状が発揮されていない等の可能性が把握でき、対処にあたることができることから、注入装置の吐出部に圧力センサーを付与し、施工時の管理に活用した。

図- 4(a), (b)に施工で用いたモニタリングカメラの撮影方法と装置本体の写真を示す。利用にあたっては、はじめに目盛を印字した透明塩化ビニル管をボーリングにより地中に設置し、これに撮影方向は下向きで 45度の鏡を備え付けて水平横向きに観察する CCD カメラを挿入した。付近の注入に際して、観察孔内でカメラを上下させながら可塑性グラウトの到達位置を探索し、注入が進展する状況を観察した。

3.3 注入結果

図- 4(c)にモニタリングカメラによる映像を示す。本結果では可塑性グラウトが到達する前に確認された間隙に右側から可塑性グラウトが侵入した。これとは別の水中モルタルを打設した際の観察例では、可塑性グラウトとは対照的に水平に近いモルタルの打設表面が、画面下側より徐々に上昇した。間隙内に注入が進展

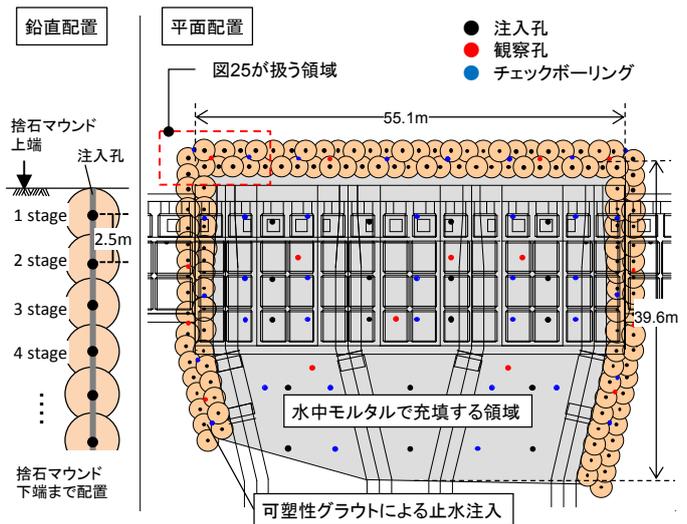


図- 2 注入位置、観察孔、チェックボーリングの配置

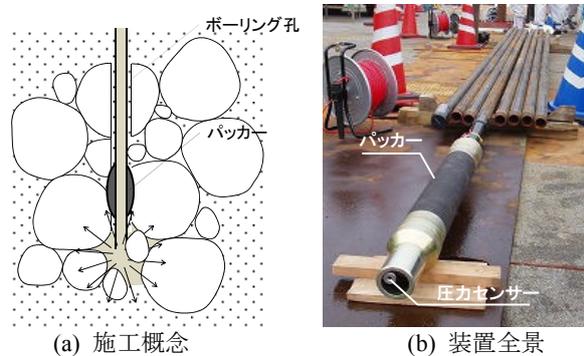


図- 3 大型パッカー付き注入装置

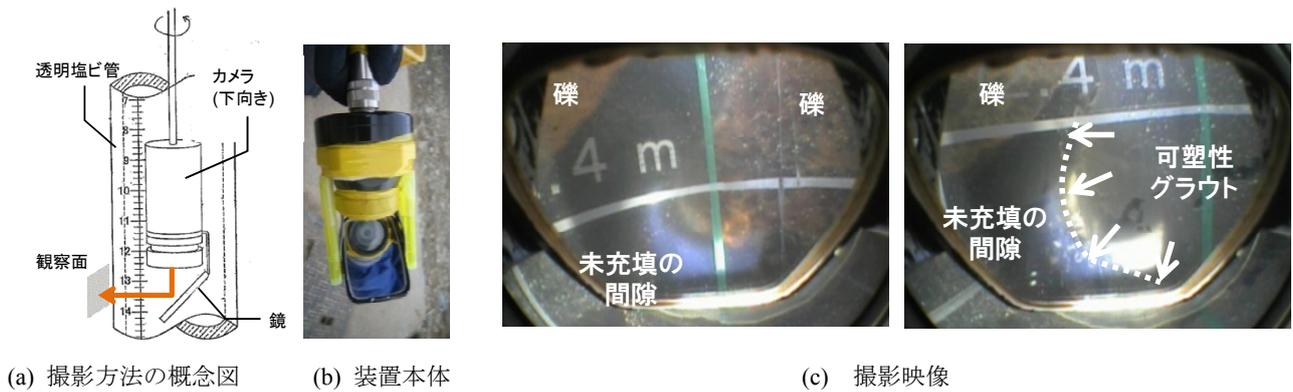


図-4 モニタリングカメラ

する状況を、注入材料に応じた挙動の違いとともに直接実施工で確認できた。

図-5には隣接する3つの注入孔（平面図中矢印、B-19、B-18、A-21）での注入速度、注入圧を、4深度で抜粋して比較する。ここでB-19は隣接する注入が行われていない状況（1次注入）、B-18は隣接する2側面で注入が完了した状況（2次注入）で、A-21はさらに1側面の注入が完了して1側面のみが開放されている状況となっている（3次注入）。注入速度は、1次注入のB-19では計画の60L/minを、その後は施工の安定性が確認されたことから施工効率を上げるため70L/minとした。注入圧の大きさ、時間経過の増加割合については、本計測結果を見る限り、深度や1～3次注入の進展による明瞭な傾向は見られない。

一方、図-6には同じ1、2、3次注入箇所での12深度の注入圧をそれぞれ一つの図にまとめた。測定された注入圧は、1次、2次注入で200～500kN/m²程度に分布しているが、対象地盤の巨石サイズや可塑性グラウトの練上がり性状の変化が反映されたものと考えられる。一方、3次注入については500kN/m²以上の注入圧が見られるようになり、1次、2次注入より高めの圧力水準となっている。これは、先行する注入により可塑性グラウトの注入域が限定されたことによる傾向と推察される。

あわせて図-6には、参考文献1)による注入圧の計算値3水準を付記した。本計算値は、4つの注入実験で得られた注入圧に基づき浸透抵抗に関する係数 K 、滞留性に関する係数 i_c により定まる。これらの係数が注入中の可塑性グラウトの粘性特性と対象巨礫の代表寸法の比で表す無次元量に関連付けられることを用い、実施工条件を想定する実規模注入実験に対してフィッティングしたものと、その対象地盤の最大粒径（600mm：施工に先立つボーリング調査から見込んだ最大値）を、2/3（400mm）、1/3（200mm）に減じた K による計算値を併記している。実測値と計算値の比較からは、以下のことが言える。

- ・ 計算値による注入圧の経時変化は、1次注入で得られた実測値と定性的に整合した傾向を示す。
- ・ 1次注入での注入圧は、実規模注入実験に比べて高い水準となったが、注入地盤の代表粒径が1/3であったことにより説明できる水準である。

チェックボーリングを通しては、間隙に可塑性グラウトが満たされた状態のコアサンプルを採取することができた。なお、上記の計算値に対して大きめの注入圧が生じたことは、相対的には浸透しにくい条件であったことを意味し、間隙の特に狭隘な部分には未充填部が残されたことが示唆される。より高い透過性低減効果を得る場合には、可塑性グラウトの粘性をある程度落とす余地があったとの判断に繋がる。

4. おわりに

本報で紹介した事例においては、引き続きの水中モルタル打設で海域への漏出が認められなかったこと、水中モルタルの打設量が間隙量からの設定値未満に収まったことから、透過性低減の目的を達成できたと判断できた。一方、本報で示した計算値との比較を含めた注入圧の事後評価は、合理化検討に貢献するものと思われる。今後の可塑性グラウト注入工法の適用において、検証と活用を重ねていきたい。

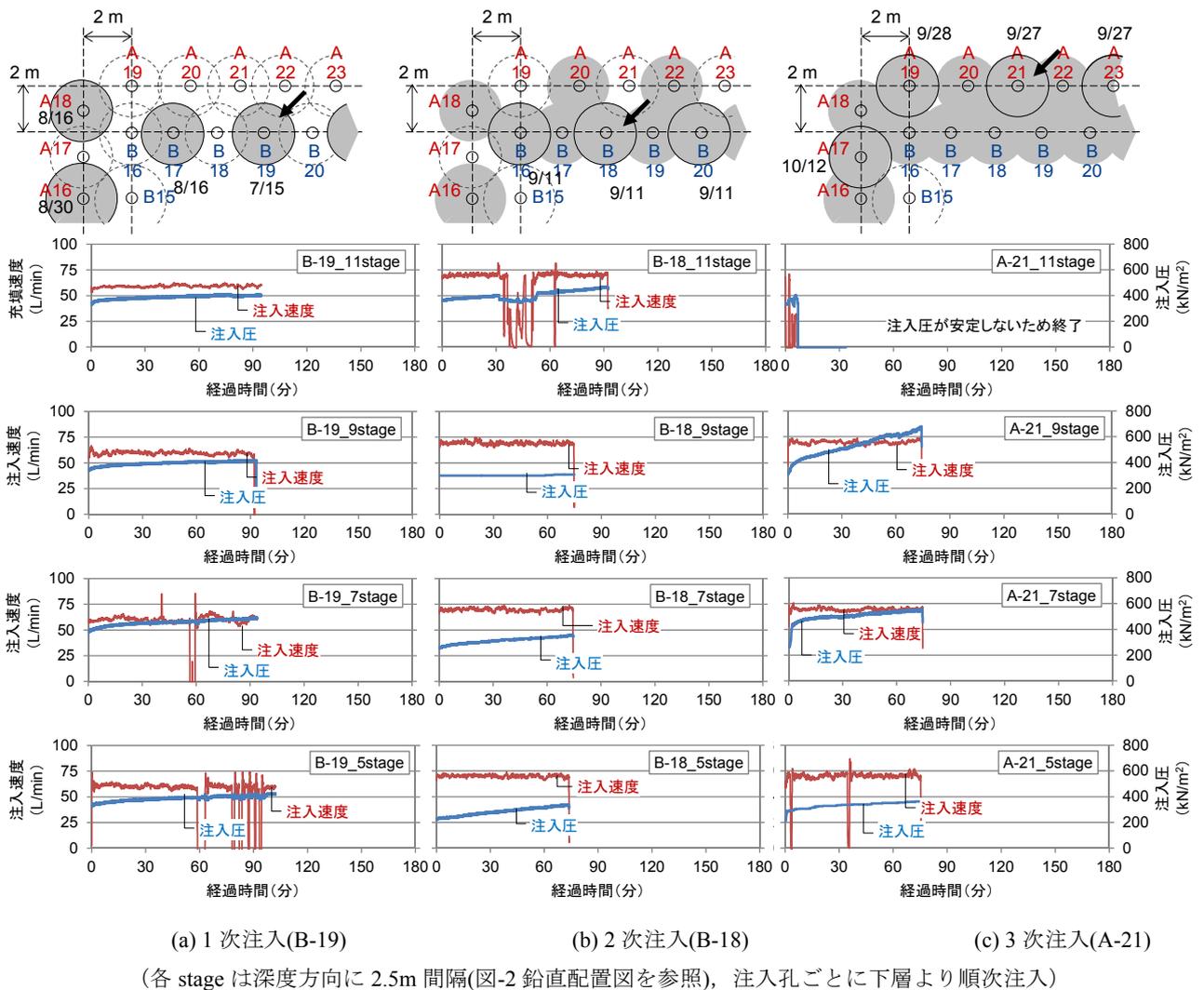


図- 5 注入速度と注入圧の記録

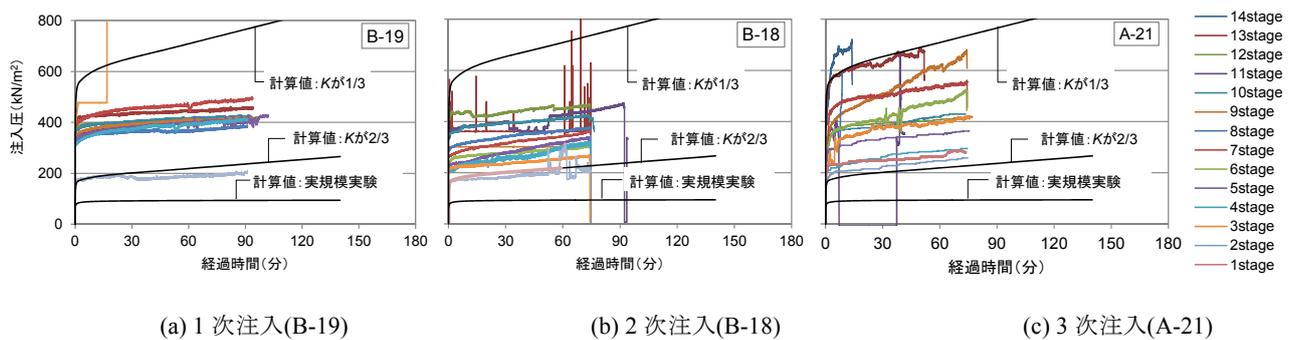


図- 6 注入圧の比較

参考文献

- 1) 石井裕泰・羽生剛・北誥昌樹 (2016): 捨石マウンドを対象とした可塑性グラウト注入工法の施工と適用性の検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.4, pp.327-339.
- 2) 木岡浩一・下口裕一郎・吉田浩・吉迫和生 (2012): 耐震性向上を目的とした岸壁背面の地盤改良(その2)—可塑性グラウトによる遮蔽壁築造工—, 第47回地盤工学研究発表会, pp.1239-1240.
- 3) 三藤正明・合田和哉・加藤繁幸・寺内潔・水谷崇亮, 菊池喜昭 (2014): 重力式岸壁の捨石マウンドの改良工法に関する研究, 第49回地盤工学研究発表会, pp.1271-1172.
- 4) 三木五三郎・下田一雄 (2001): 可塑性グラウト注入工法, 日刊建設工業新聞社.