

既存施設直下および周辺地盤の液状化対策工法

バルーングラウト工法

大野 康年

バルーングラウト工法（以下「本工法」という）は、ボーリングマシンにて地盤を削孔（ $\phi 96$ mm）し、長期耐久性を有する薬液を地盤に低圧にて注入することで地盤強度を高める地盤改良工法である。このような施工方法により、既存施設の直下地盤の改良を可能とし、既存施設を傷めることなく、しかもその稼動を止めることなく施工を行うことができる。本文では、本工法の概要、特長および効果について示すとともに、供用中岸壁の液状化対策として適用した事例について紹介する。

キーワード：液状化対策、薬液注入工法、恒久型薬液

1. はじめに

近年、岸壁施設、空港滑走路、工場施設等、既存構造物直下地盤の液状化対策や、岸壁裏埋め土砂の吸い出し対策に長期耐久性を有する特殊シリカ液を用いた薬液注入工法が多く適用されている^{1),2)}。この理由は、薬液注入工法が既存施設を供用しながらの施工が可能であること、および狭隘箇所にも適用可能であることによる。しかしながら、従来の薬液注入工法には、地盤へ注入した薬液が逸走することにより改良品質が低下するといった施工上の課題があった。

本文では、従来の薬液注入工法の施工上の課題に対応した薬液注入工法（本工法）について示すとともに、同工法による現地注入試験結果および供用中岸壁の液状化対策例について示す。

2. 従来の薬液注入工法における施工上の課題

改良品質低下の原因である注入時の薬液の逸走は、図-1に示すように、地盤割裂による薬液の逸走と削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走とに分類される。

地盤割裂による薬液の逸走は、注入圧力を低くして薬液を注入することによりおおむね対応可能であるが、削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走は、施工方法の工夫が必要となる。

従来の薬液注入工法は、削孔軌道および注入管に沿った薬液の逸走を防止するため、注入外管と地山との隙間にセメントベントナイト等のシール材を充填し

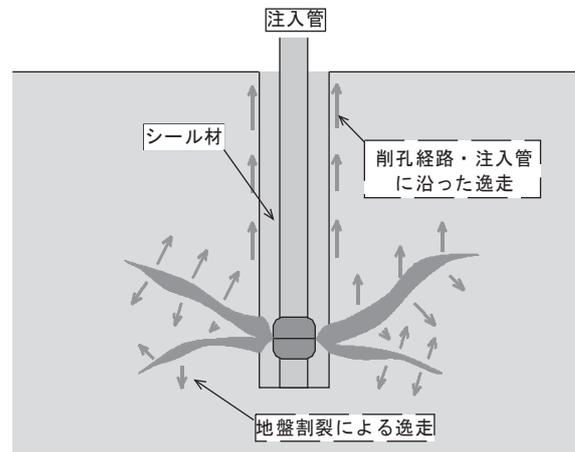
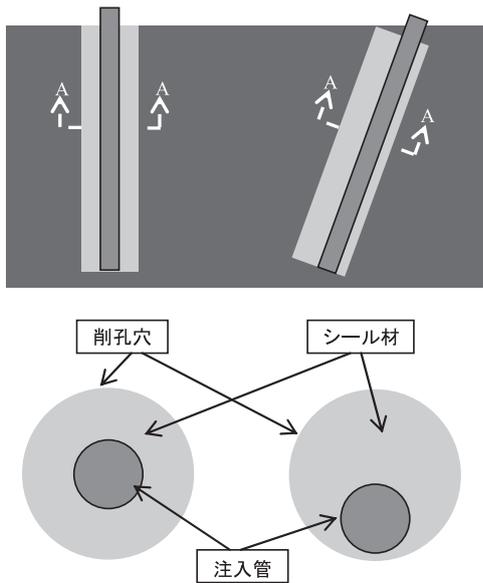


図-1 薬液注入時の薬液逸走箇所

たり、注入外管に設置されたパッカーを地山に押付けるといった施工方法を採用していた。しかし、以下にそれぞれの施工方法にはa), b)に示す課題があった。

a) シール材を充填する施工方法では、図-2 (a)に示すようにシール材が注入外管と地山との間に均等に充填されている必要がある。しかし、削孔深度の深い場合や斜め削孔および曲り削孔時には注入外管の建て込み精度や注入外管の自重により、図-2 (b)に示すように注入外管周りのシール材厚に偏りが生じる。シール材の薄層部では、薬液逸走を防止する性能が低下するため、注入外管と地山の間隙に沿って薬液が逸走しやすい。

b) 注入外管にパッカーを設置する方法では、礫混じり土砂等の地盤種別によっては削孔穴周辺地盤の乱れやパッカーと地山との密着性の不足に



(a) 正常な状態 (b) 偏りが生じた状態
図-2 シール材を用いた注入方法の施工上の課題

より、削孔により乱れた地盤領域や地山とパッカーの間隙を通して薬液が逸走しやすい。

3. 本工法

(1) 工法概要

本工法は、前述した既往の薬液注入工法の施工上の課題を克服するため、注入外管の構造を工夫することにより、薬液の逸走防止性能を向上させている。本工法では、図-3の注入外管構造に示すように5～20秒程度でゲル化する特殊水ガラス系の瞬結材にて注入管と地山との隙間を充填することで、注入管と地山との隙間への薬液の逸走防止性能を向上させている。具体的には、写真-1に示すように注入外管の注入口の上下に二つのバルーンとバルーン間に瞬結材の吐出口を配置し、瞬結材充填によるバルーンの膨張と削孔地山周辺地盤への瞬結薬液の注入により注入管と地山

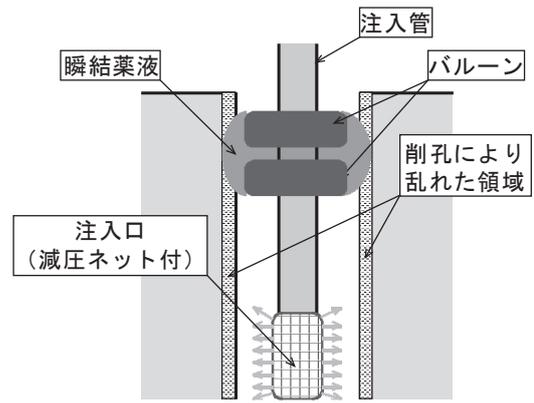


図-3 注入外管概要



写真-1 注入外管

との隙間への薬液の逸走を防止する。

図-4に鉛直・斜め削孔時の施工手順を示す。①ケーシングにて所定の深度まで削孔する。②注入外管をケーシング内に建て込み、ケーシングを引き抜く。③ダブルパッカー付きのバルーン用内管を注入外管内に挿入し、所定位置にて固定する。④バルーン用内管から溶液型の瞬結薬液を注入して二つのバルーンを膨張するとともにバルーン間の吐出口からバルーンと地山の境界部等に瞬結薬液を充填する。なお、地盤性状等によっては孔壁防護材を充填する。⑤ダブルパッカー

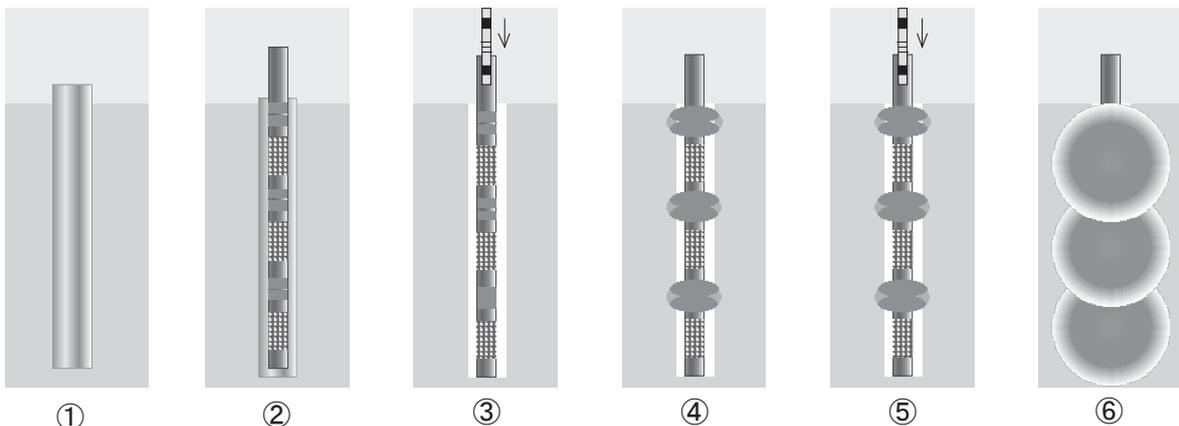


図-4 施工手順 (鉛直, 斜め削孔時)

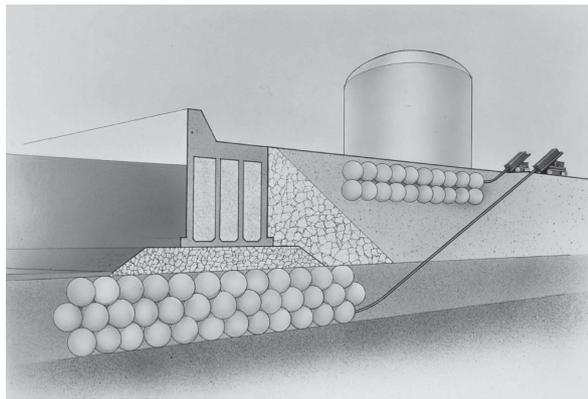


図-5 工法イメージ (曲り削孔時)

付きの薬液注入用内管を注入外管内に挿入し、所定位置にて固定する。⑥注入圧を低くして薬液を地盤内に注入することにより、割裂を伴わない浸透形態³⁾にて注入を行い、改良体を形成する。また、同工法は、図-5の適用イメージに示すように曲り削孔による改良も可能である⁴⁾。

(2) 工法の特長

本工法の特長を1)～4)に示す。

- 1) 瞬結材にて注入管と地山との隙間を充填することで注入管と地山との隙間への薬液の逸走防止性能が向上している。
- 2) 薬液の注入圧力が低く(1～2 kPa程度)、周辺への影響がほとんどない。
- 3) 注入材は、溶液型の特種シリカ液(恒久型)の他、特種シリカ液の10倍程度の発現強度を有する微粉末スラグ系注入材も地盤条件に応じて使用可能である。
- 4) 作業ヤードは、削孔時：28 m²程度、注入時：120 m²程度とコンパクトである。

(3) 現地注入実験

本方法の現地における改良効果を確認するため、愛知県津島市神守町内の自然堆積地盤にて現地注入実験を実施した。

実験サイトは、地表面からGL-0.45 mまで盛土、その下部に細砂～中砂が分布する。図-6に柱状図と標準貫入試験結果を示し、図-7に改良対象層である細砂層の粒径加積曲線を示す。細砂層は、N値が5～10程度、地下水位はGL-1.59 m、土粒子密度は深度によらず $\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ と一定である。また、平均粒径 $D_{50} = 0.18 \text{ mm}$ 、細粒分含有率 $F_c = 16.5\%$ で、緩く液状化危険度が極めて高い地盤であることがわかる。

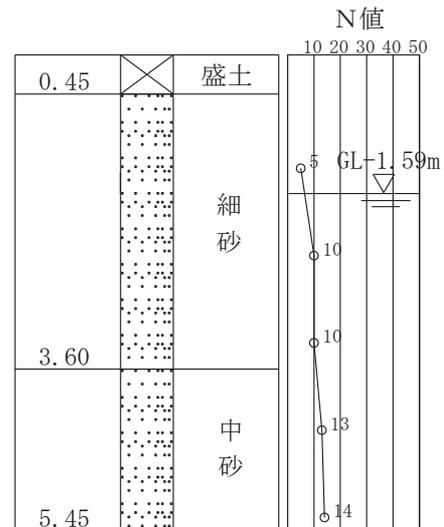


図-6 柱状図と標準貫入試験結果

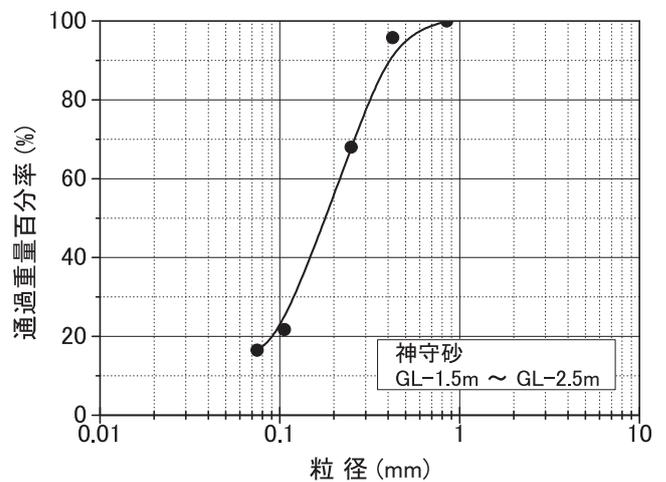


図-7 粒径加積曲線 (細砂層)

実験は、GL-3 m位置に注入口を配置した注入外管を地盤内に設置した後、特種シリカ液⁵⁾を浸透形態にて注入した。注入仕様は、注入率 $\lambda = 40.5\%$ 、1改良体当たりの薬液注入量 $Q = 4,172 \text{ l}$ 、注入速度 $q = 10 \text{ l/分}$ および薬液シリカ濃度は8%とした。注入完了14日後に改良体を発掘し、出来型を確認するとともにブロックサンプリングにより改良体の不攪乱試料を採取し、一軸圧縮試験、非排水繰返し中空ねじりせん断試験等の力学試験を実施した。以下に原位置におけるa)改良地盤の出来形、b)改良地盤の強度について記述する。

a) 改良地盤の出来型

写真-2に改良地盤の発掘写真を示す。改良天端は、計画天端GL-1.65 mに対して実測天端GL-1.59 m、計画改良径 $\phi 2.7 \text{ m}$ に対して実測改良径 $\phi 2.75 \text{ m}$ と計画出来型を満足している。また、現地観察により改良体には未改良領域は見られず、改良範囲に薬液が十分浸透し、地盤が固結していることがわかる。

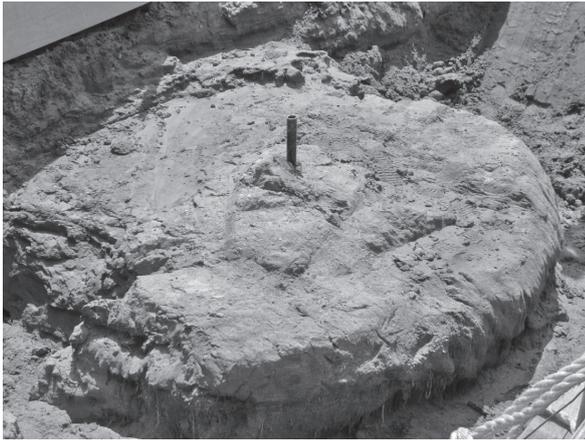


写真-2 改良地盤の発掘写真

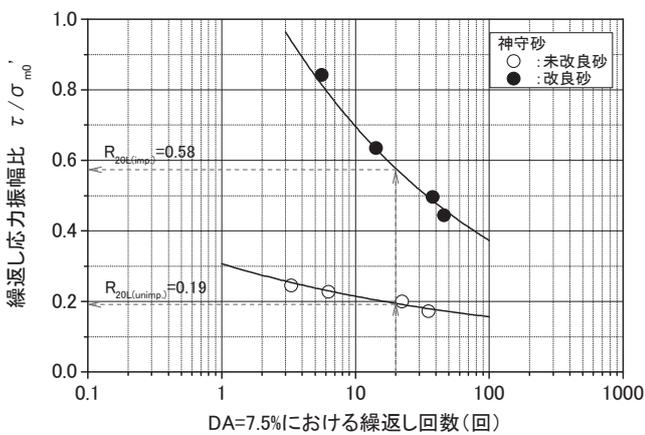


図-8 7.5%せん断ひずみ両振幅における繰返し回数と応力比の関係

b) 改良地盤の強度

改良地盤の一軸圧縮強さ q_{uf} は、 $q_{uf} = 99.4 \sim 137.6$ kPa の範囲にあり、平均では $q_{uf} = 119$ kPa であった。改良体の現地における一軸圧縮強さは、現地砂を使用した室内配合試験にて得られた室内平均強度 $q_{ul} = 199$ kPa の約 1/2 であった。

図-8 に改良地盤の 7.5%せん断ひずみ両振幅における繰返し回数と応力比の関係を示す。同図には、比較のため改良前の結果も示している。液状化強度比 R_{20L} (20 回の繰返しせん断によってせん断ひずみ両振幅が 7.5%に達するようなせん断応力振幅比) は、未改良地盤では $R_{20L(unimp)} = 0.19$ であるのに対して、改良地盤では $R_{20L(imp)} = 0.58$ となっており改良体の液状化強度比 R_{20L} は未改良砂の 3 倍以上に大きくなっている。

4. 適用例⁶⁾

当該工事は、供用中岸壁の直下地盤（置換砂）の液状化対策である。

当該施工場所は、原塩や原木の荷役作業等、供用中

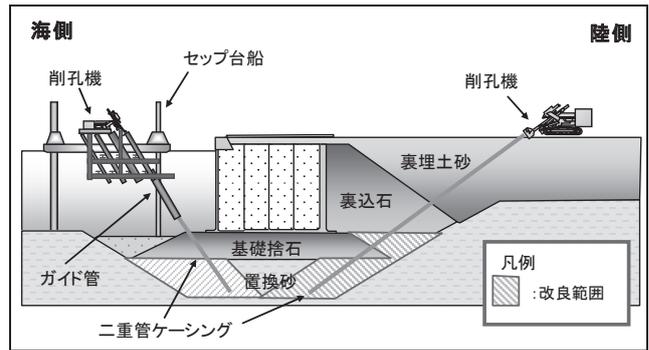


図-9 (a) 施工図 [削孔時]

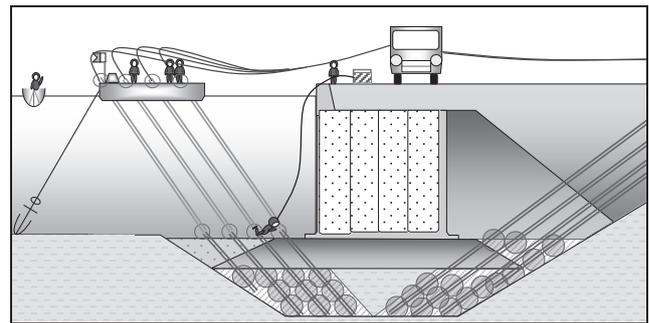


図-9 (b) 施工図 [注入時]



写真-3 (a) 施工状況 (海側)



写真-3 (b) 施工状況 (陸側)

の岸壁であったため、使用する機材を全て車載式とすることによって岸壁の供用に大きな影響を与えることなく、施工を実施した。

図9 (a), (b) に削孔時及び注入時の施工図を示す。施工は、岸壁直下の置換砂を海側および陸側より斜め削孔により施工した。海側からの施工は、写真—3 (a) に示すようにセップ台船上にスキッド型の削孔機を載せ、プラントは車載式にて岸壁側に配置して施工した。陸側からの施工は、写真—3 (b) に示すようにクローラー型の削孔機を用い、プラントは車載式にて実施した。

5. おわりに

バルーングラウト工法は、2008年に開発されて以来、2012年6月現在で35件の施工実績がある。その内訳は、液状化対策23件、岸壁・護岸裏埋土砂の吸出し対策：8件、止水対策2件、土圧軽減対策1件およびすべり対策1件である。また、液状化対策では、岸壁・護岸、タンク基礎、河川堤防、工場建屋他の既存施設下部地盤の液状化対策が多い。このようにバル-

ーングラウト工法は、既存施設の稼働を止めずに、その直下および周辺地盤の地盤強化に有効な工法である。今後は、耐震性を満足しない既存の岸壁・護岸、河川・海岸堤防、地下埋設物等の液状化対策に提案していきたいと考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) 玉山具夫他：供用中岸壁における薬液注入固化工法による岸壁背面土砂の吸出し対策例，土木学会第64回年次学術講演会，VI-133.
- 2) 瀬賀康浩他：薬液注入工法による既設護岸直下地盤の液状化対策，第17回土木学会四国支部技術研究発表会，VI-1.
- 3) 地盤工学会：地盤工学実務シリーズ11「地盤改良効果の予測と実際」，pp.268-272，2000.
- 4) 大野康年他：水圧式自在ボーリングを用いた薬液注入工法—バルーングラウト工法—，平成20年度土木学会西部支部技術発表会.
- 5) 富士化学：クオリティシリカ パンフレット.
- 6) 東亜建設工業株式会社ホームページ (<http://www.toa-const.co.jp/>)

【筆者紹介】

大野 康年（おおの やすとし）
東亜建設工業(株)
土木事業本部 エンジニアリング事業部 防災事業室
室長



大口径岩盤削孔工法の積算

——平成24年度版——

■改訂内容

- ・国交省の損料改正に伴う関連箇所の全面改訂
- ・ダウンザホールハンマ工、ロータリ掘削工法の積算方法の改定
- ・工法写真、標準積算例による解りやすい説明
- ・施工条件等に対応した新たな岩盤削孔技術事例の追加
- ・施工実績の改定

- A4判／約250頁（カラー写真入り）
- 定 価
非会員：5,880円（本体5,600円）
会 員：5,000円（本体4,762円）
※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。
- ※送料は会員・非会員とも
沖縄県以外 450円
沖縄県 340円（但し県内に限る）
- 発刊 平成24年5月

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>