

6. 既存施設直下地盤の液状化対策工法

— バルーングラウト工法 —

東亜建設工業株式会社

大野 康年

1. はじめに

近年、岸壁施設、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恒久型薬液を用いた薬液注入工法が多く適用されている。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課題に対して、薬液逸走防止機能の向上させた薬液注入工法「バルーングラウト工法」(NETIS No. SK-110016-A)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既設護岸および供用中岸壁の液状化対策例について報告する。

2. 薬液注入工法の施工上の課題

薬液注入工法では、図-1 に示すように地盤に注入した薬液が逸走した場合、改良品質が低下する。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、1)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たり、2)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。しかしながら、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

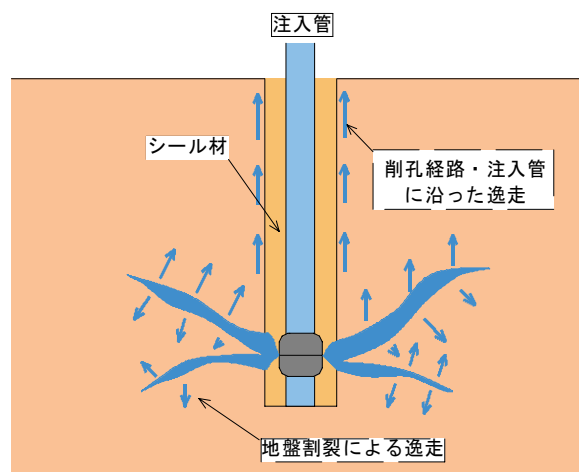
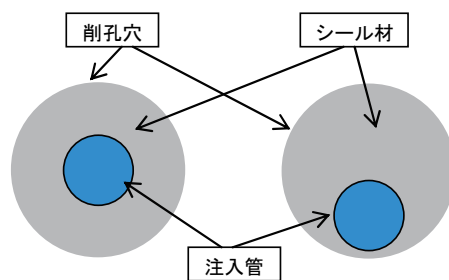
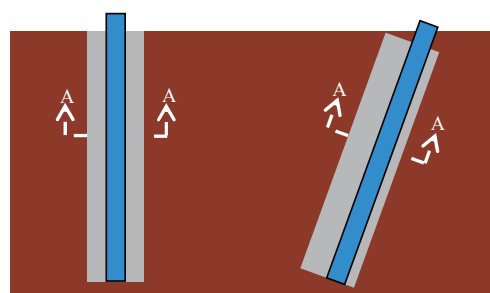


図-1 注入時の薬液逸走



(a)正常 (b)偏りが生じた状態

図-2 施工上の課題

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. バルーングラウト工法の概要

バルーングラウト工法の構造概要を図-3 に示す。

本工法は、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との隙間への薬液の逸走を防止する。

また、本工法の施工イメージを図-4 に示す。本工法は、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。また、当工法の特長を 1)～4) に示す。

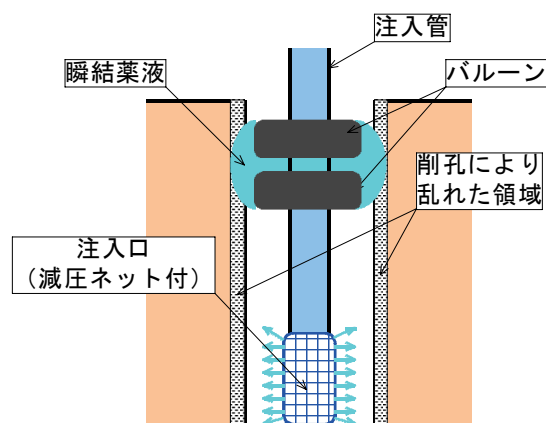


図-3 注入管概要

[工法の特長]

- 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（ $0.5 \sim 2 \text{ kN/m}^2$ 程度）、施工に伴う周辺への影響がほとんどない。
- 3)注入材は、溶液型の特殊シリカ液（恒久型）の他、特殊シリカ液の 10 倍程度の発現強度を有する微粉末スラグ系注入材も条件に応じて使用可能である。
- 4)作業ヤードは、削孔時： 28 m^2 程度、注入時： 120 m^2 程度とコンパクトである。

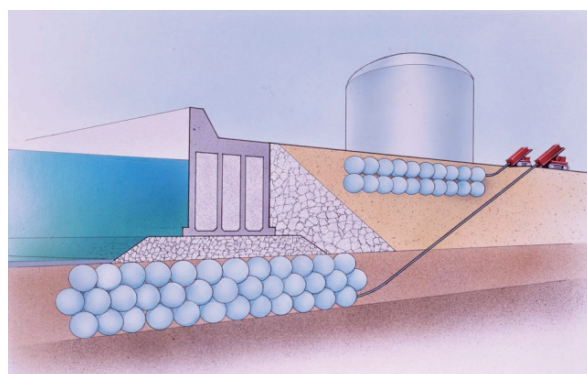


図-4 施工イメージ

4. 改良効果と施工実績

ここでは、本工法の改良効果を確認するために実施した現地注入実験¹⁾と適用実績について紹介する。

4.1 現地注入実験¹⁾

実験サイトは、愛知県津島市神守町内の自然堆積地盤である。地層は、地表面から GL-0.45m まで盛土、その下部に細砂～中砂が分布する。改良対象層である細砂層は、N 値が 5～10 程度、地下水位は GL-1.59m、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。

実験は、GL-3m 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、恒久型薬液を地盤に注入した。注入仕様は、注入率 $\lambda = 40.5\%$ 、改良体当たりの薬液注入量 $Q = 4,172$ リットル、注入速度 $q = 10$ リットル/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地盤の乱さない試料を採取し、一軸圧縮試験等の力学試験を実施した。なお、試料採取位置は、改良体半径



写真-1 改良体発掘全景

の中心とした。

写真-1 に改良体の発掘写真を示す。改良体の出来形は、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、連続した一体固結体となっている。

改良体の一軸圧縮強さ q_{uf} は、 $q_{uf} = 99.4 \sim 137.6 \text{ kN/m}^2$ の範囲にあり、平均では $q_{uf} = 119 \text{ kN/m}^2$ 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 $q_{ul} = 199 \text{ kN/m}^2$ の約 1/2 であった。

改良地盤の液状化強度を確認するため、未改良砂および改良体の非排水繰返し中空ねじり試験を実施した。改良砂はトリプルチューブサンプリングにより改良体と同深度にて採取した試料を使用した。図-4 に未改良砂と改良体の 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。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、未改良砂では $R_{20L(unimp.)} = 0.19$ であるのに対して、改良体では $R_{20L(imp.)} = 0.58$ となっており、改良体の液状化強度比は未改良砂の 3 倍以上に大きくなっていることがわかる。

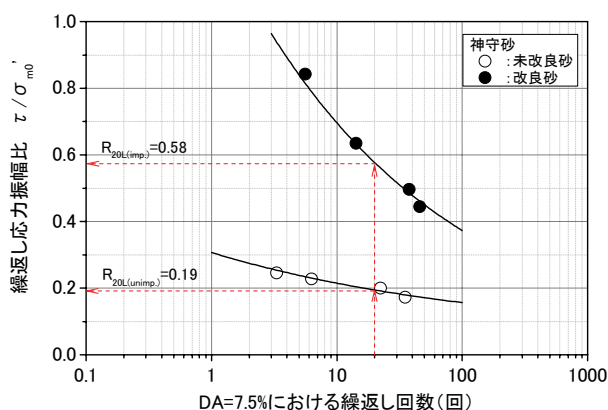


図-4 液状化強度曲線（未改良，改良体）

4.2 適用実績と適用例

バルーングラウト工法は、2008年に開発されて以来、2012年3月現在で29件の施工実績がある。内訳は、液状化対策17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、工場建屋他の実績がある。ここでは、本工法を供用中岸壁の液状化対策例²⁾と既設護岸の液状化対策例³⁾について紹介する。

(1) 既設護岸の液状化対策例²⁾

当該事例は、地震時の液状化による変形量の低減を目的として既設護岸直下の置換層の液状化対策を実施した例である。

改良断面を図-5に示す。施工は、護岸背面より斜めに10～200kg/個の捨石を削孔し、捨石下部の置換層に微粉末スラグセメント注入材を注入した。施工箇所は、狭隘で護岸直背後に民家が近接していたため、削孔時および注入時のプラント機材は台船上に設置し、削孔時には防音壁を設置し、削孔に伴う民家への騒音低減を図った。写真-2および写真-3に施工状況および台船上のプラント設置状況を示す。

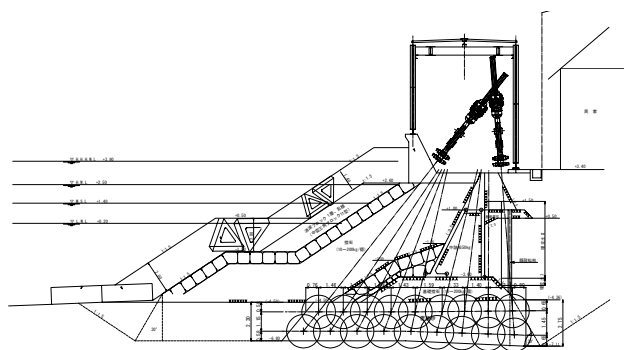


図-5 改良断面図



写真-2 削孔状況（防音壁内）



写真-3 プラント（台船上）

改良後の効果確認は、護岸延長約171mの内、事前調査から柱状図区分（改良層厚）の異なる4区間にて各1本のボーリング調査を実施し、一軸圧縮試験にて改良強度を確認した。図-6に改良層の一軸圧縮強さ q_{ur} の深度分布を示す。改良地盤の一軸圧縮強さは、平均値で $q_{ur}(\text{平均}) = 2,000 \text{ kN/m}^2$ であり、設計基準強度 $q_{uck} = 50 \text{ kN/m}^2$ を十分満足していることが確認された。

(2) 供用中岸壁の液状化対策例³⁾

当該事例は、供用中岸壁下部の置換砂の改良を

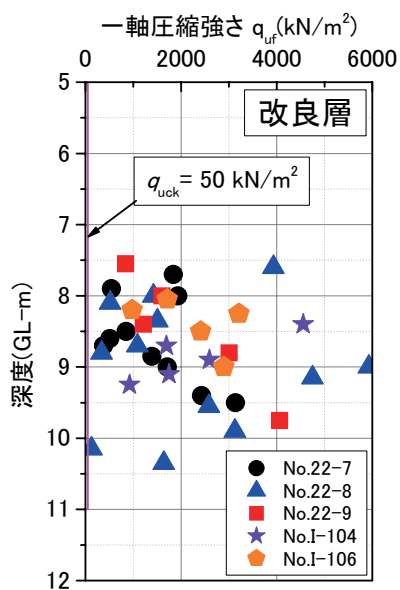


図-6 改良層の一軸圧縮強さ

行った例である。施工は、図-7および図-8示すように海側および陸側より斜め削孔にて注入管を設置し、恒久型薬液を地盤に注入した。

施工状況写真を写真-4に示す。当該工事は岸壁を供用しながらの施工であったため、施工に使用する機材は全て車載式とし、岸壁の供用に大きな影響を与えることなく改良を行っている。

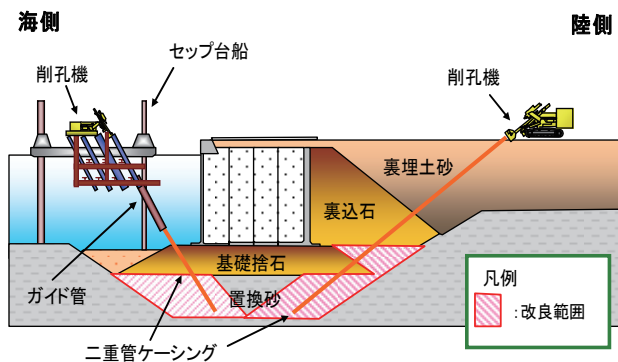


図-7 削工事の施工図

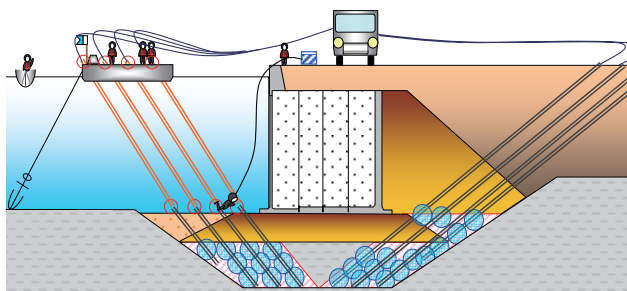


図-8 注入時の施工図

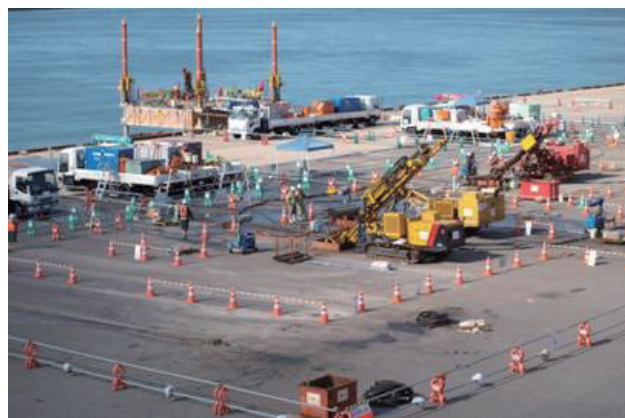


写真-4 施工状況

5. まとめ

本文では、薬液逸走防止機能の向上による改良品質の向上を目指して開発したバルーングラウト工法について述べた。本工法は、既存構造物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、現行基準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。

参考文献

- 1) 大野康年：恒久型薬液を用いた注入固化固法の開発と適用例，土木学会土木建設技術発表会講演集，pp181～186，2009.
- 2) 瀬賀康浩・岩本英浩・大野康年・長谷川智直：薬液注入工法による既設護岸直下地盤の液状化対策，土木学会四国支部第17回技術研究発表会論文集，pp295～296,2011.
- 3) 東亜建設工業ホームページ (<http://www.toa-const.co.jp/>)