

報 文 新しき薬液注入工法・動的注入工法の開発

村田 修* 大河内 保彦** 駒延 勝広***

1. はじめに

薬液注入工法は、簡易に地盤改良が行える工法として多くの現場で用いられている。しかしながら、設計どおりの改良が行えない、注入後の効果確認手法が明確でないなど問題点も多い¹⁾。

筆者らは、薬液注入工法の品質改善と施工能率の向上を目的として、従来の速度一定で行う注入工法に対して、注入速度もしくは注入圧力を変化させながら注入を行う動的注入工法を提案し、その注入効果について検討を行ってきた²⁾。数件ではあるが実施も行っている。

本報文では、これまでに得られた動的注入工法の注入効果、および実施について報告する。

2. 動的注入工法の概要

動的注入工法は、注入速度・注入圧力を変化させながら注入を行うが、現在のところ注入速度を図-1のように制御して注入を行っている。注入開始から終了までの注入速度の平均値を平均注入速度 q_{avg} 、注入速度の両振幅を速度振幅 q_{p-p} と定義している。従来工法との注入速

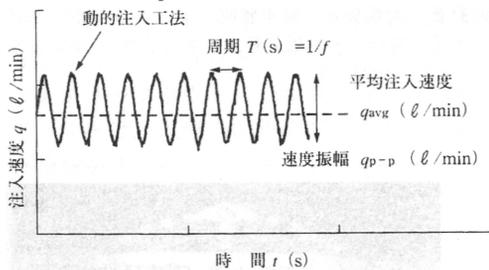


図-1 動的注入工法の概念図

表-1 実験ケース

注入方法	平均注入速度 q_{avg} (ℓ/min)	速度振幅 q_{p-p} (ℓ/min)	周期 T (s)
K-1 従来	10.0	—	—
K-2 動的	10.0	1.0	10
K-3 動的	10.0	2.0	10
K-4 動的	10.0	4.0	10

度の比較には、平均注入速度 q_{avg} を用いる。

実施工では平均注入速度 q_{avg} 、速度振幅 q_{p-p} 、周期 T をあらかじめ設定し注入を行っている。

本工法では、従来工法と比較して次の利点が期待できる。

- ① 注入速度を随時変化させているため、注入圧力が高い状態で持続することを防ぎ、割裂脈の発生を防止できる。
- ② 割裂脈が発生しても特定の方向に進展しにくく、固結体に悪影響を及ぼすような大きな割裂脈が発生する可能性が低い。
- ③ 割裂注入が主体となる粘性土地盤では、短い割裂脈を多数発生させて、複合地盤としての強度を大きくすることが期待できる。
- ④ 特別な注入装置を必要とせず、従来の装置を多少改造するだけで施工が可能である。

3. 現場実験

3.1 粘性土地盤

3.1.1 実験概要

当該地盤はGL-0.5m程度までが埋土、GL-0.5~3.5m程度までが関東ロームである。スウェーデン式サウンディングの試験結果を図-2に示す。

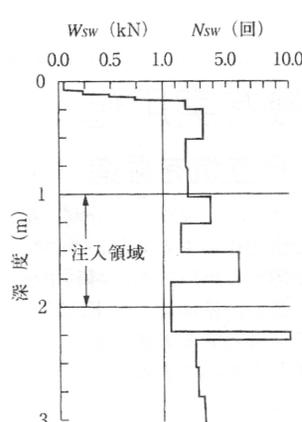


図-2 スウェーデン式サウンディングの結果

注入はGL-1.0~2.0mの領域に行った(図-2参照)。注入条件は注入率を35%とし、総注入量を280ℓとした。薬液はセメント系懸濁液型のものを用い、ゲルタイムを15秒に設定した。実験ケースを表-1に示す。

効果確認は注入7日後に掘削を行い、割裂脈の分布状況などを調べた。なお、実験の詳細については参考文献3)を参照されたい。

3.1.2 実験結果

従来工法で注入したK-1と、動的注入工法で注入したK-3の割裂脈の分布状況を写真-1に示す。従来工法では割

*MURATA Osamu

財鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 部長

国分寺市光町2-8-38

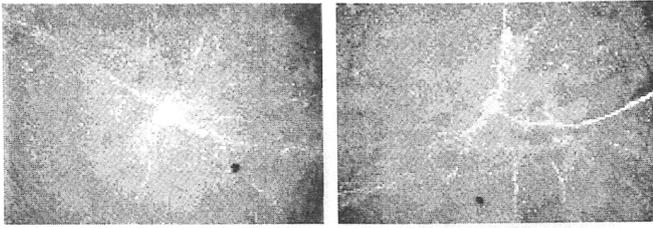
**ŌKOUCHI Yasuhiko

株ノム

東京都渋谷区本町2-33-20-201

***KOMANOBE Katsuhiko 同上

同上



従来工法 (K-1) 動的注入工法 (K-3)

写真-1 割裂脈の分布状況

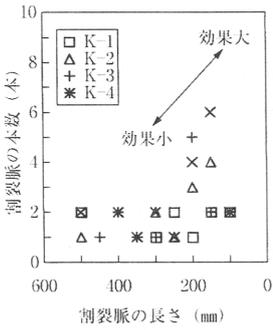


図-3 割裂脈の長さとの本数の関係

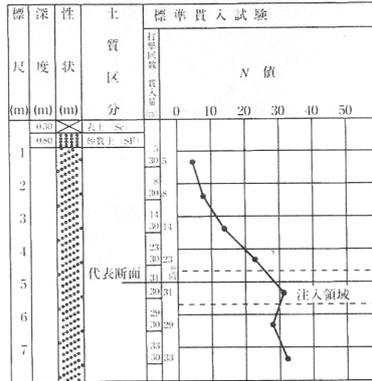


図-4 土質柱状図

裂脈が4本しか発生しておらず、また割裂脈も細い。これに対して、動的注入工法では従来工法よりも割裂脈の本数が多い、脈自体も太くなっているのがわかる。

図-3に、GL-1.5mの断面での割裂脈の長さとの本数の関係を示す。なお、ここで対象としている割裂脈は、設計改良範囲内(注入管を中心とした直径1.0mの円内)にあるものとし、設計範囲内から範囲外へ進展しているものについては、設計範囲内にある部分のみを有効とした。図より、動的注入工法であるK-3、K-4では、150~200mm程度の割裂脈が多く発生しており、動的注入工法は従来工法よりも短い割裂脈が、多数発生する傾向があるのがわかる。

3.2 砂質土地盤

3.2.1 実験概要

図-4に当該現場の土質柱状図を示す。当該現場の地盤は均質な礫混り砂であり、現場透水試験による透水係数は、 $k=4.18 \times 10^{-2}$ (cm/s)であった。

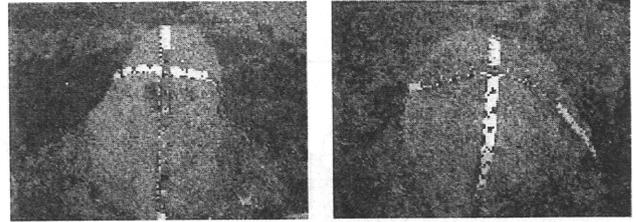
注入は、図-4に示すようにGL-4.7~5.7mの領域に行い、総注入量は400ℓとした。薬液は水ガラス系溶液型のもを用い、ゲルタイムは瞬結タイプのもので2、3秒、緩結タイプのもので約60分とした。なお、緩結タイプの薬液注入は複相注入とし、その比率は瞬結：緩結=1：3とした。

当該現場では、主に動的注入工法の施工能率向上の可能性を検討した。そのため、注入速度の速度振幅、周期は、これまでの実験から想定される最適値(速度振幅：平均注入速度の2割、周期：10秒)⁴⁾とし、平均注入速度を2種類に決定して実験を行った。実験ケースを表-2に示す。

効果確認試験は注入から約50日後に行った。効果確認

表-2 実験ケース

実験ケース	注入方法	ゲルタイム	平均注入速度 q_{avg} (ℓ/min)	速度振幅 q_{D-P} (ℓ/min)	周期 T (s)
H-1	従来	2~3秒	10	—	—
H-2	従来	約60分	10	—	—
H-3	動的	約60分	10	2.0	10
H-4	動的	2~3秒	10	2.0	10
H-5	従来	2~3秒	12	—	—
H-6	動的	2~3秒	12	2.4	10



従来工法 (H-2) 動的注入工法 (H-3)

写真-2 固結体の形状

は目視による注入状況の確認や、原位置での貫入試験、サンプリングによる室内試験などを行った。なお、実験の詳細については参考文献5)を参照されたい。

3.2.2 実験結果

写真-2に固結体の形状の1例を示す。写真は緩結タイプの注入であるが、従来工法では縦長な形状を呈しているのに対して、動的注入工法ではほぼ円柱の形状をしており、設計にかなり近い形状になっている。

図-5に、代表断面(注入領域の中心から25cm上の面、図-4参照)の形状とポケットコーン貫入試験の結果を示す。当該現場では、浸透注入を期待して現場実験を行ったが瞬結タイプの薬液注入では割裂脈が見られ、いわゆる割裂浸透注入となった。緩結タイプの複相注入で割裂脈が発生しているのは、初期注入の瞬結薬液のためであると考えられる。

割裂脈の分布について見ると、従来工法では割裂脈がある特定の方向に進展する傾向があるのに対して、動的注入工法では割裂脈が多方向に分散する傾向がある。これは、動的注入工法は従来工法で問題となる薬液の逸散が発生しにくく、設計改良範囲の均質な改良が行える可能性を示唆している。

強度分布について見ると、動的注入工法では強度のばらつきが少なく、均質な改良が行われている。また、今回の実験において、動的注入工法では20%程度注入速度を増加させても、従来工法と同等の改良が行えることがわかった。

4. 実施工

4.1 歩道橋橋脚工事

歩道橋新設工事において、歩道橋の橋脚基礎が深礎工法で計画されていた。当該地盤は地下水位が高く、また土質は砂質土を主体とするため自立性に乏しく、深礎工

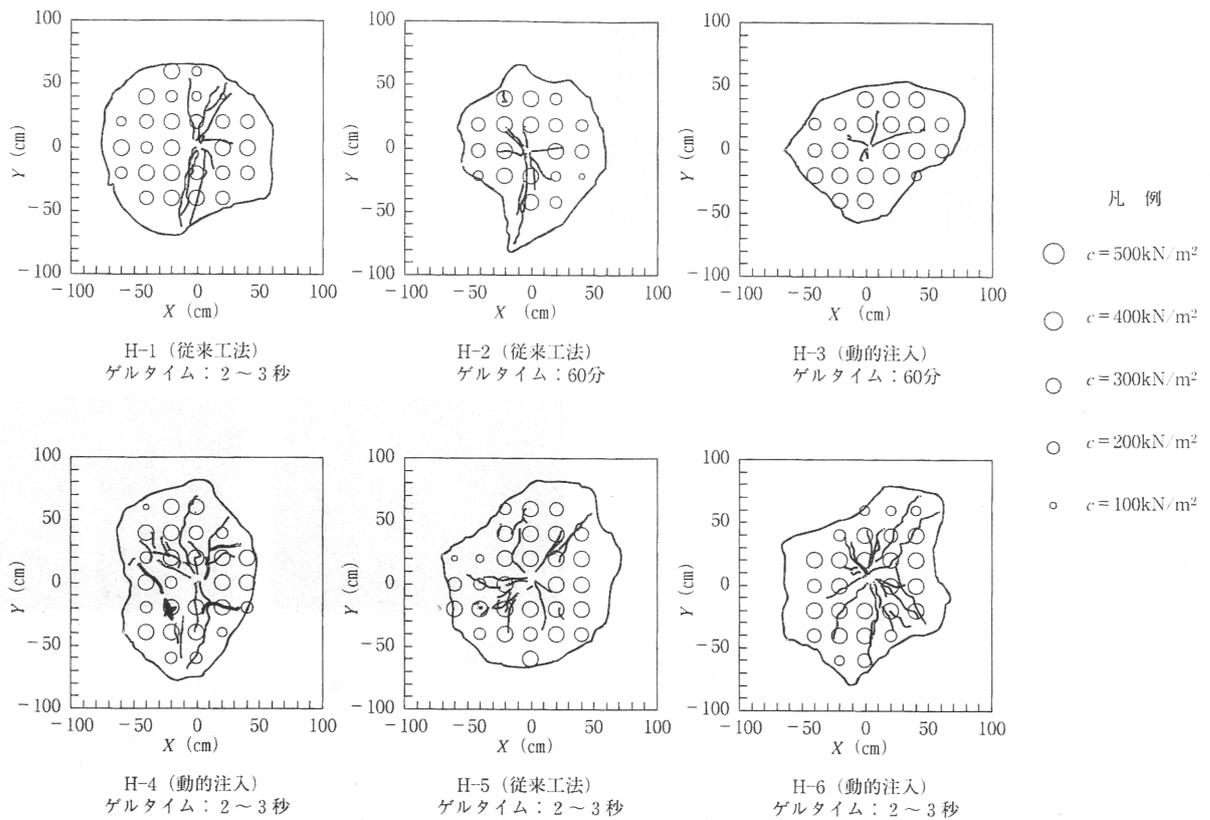


図-5 代表断面の形状とポケットコーン貫入試験結果

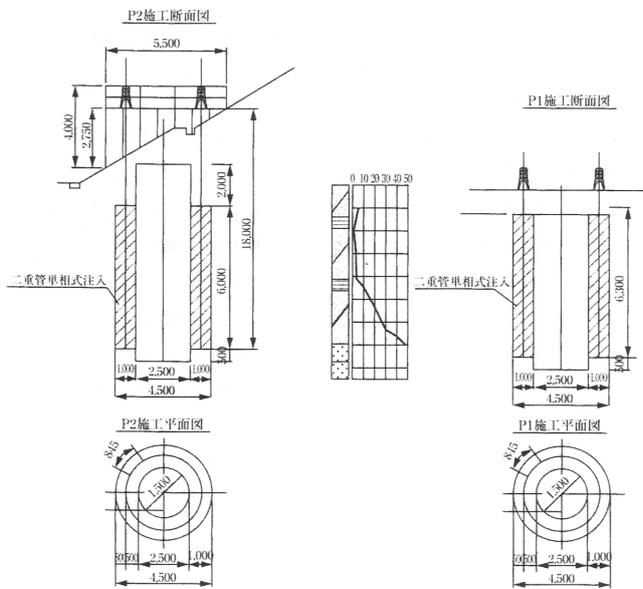


図-6 薬液注入工計画図

法を行うに当たり、湧水による地山の崩落等が懸念された。このため、橋脚を取り囲むように橋脚基礎背面部の地盤改良が、薬液注入工法で計画されていた。図-6に薬液注入工の計画図を示す。

元設計では、薬液注入は単列配置で計画されていたが、薬液注入工法の特徴を考慮すると、止水が部分的に十分でない箇所が生じることが懸念された。

そこで、注入方法を従来工法から動的注入工法に変更して施工を行い、無事、橋脚基礎を施工することができ



写真-3 ファンクションジェネレータ (○囲み部分)

た。なお、動的注入工法の施工は、既存の注入装置にファンクションジェネレーター(写真-3)を接続して、注入速度を制御することで行った。施工状況を写真-4に示す。

4.2 汚水管敷設工事

下水道整備工事において、汚水管敷設が推進工法により計画されていた。これに伴い、発進立抗部の切羽の崩壊防止、上水道管の変状防止のための薬液注入工法が計画されていた。しかし、当該地盤は砂礫で透水性がよいと考えられること、使用薬液がゲルタイムの短い瞬結タイプで、しかも注入速度が20l/minと比較的速い速度で計画されていたことなどから、薬液の逸散や地中構造物に変状などの影響を及ぼすことが懸念された。

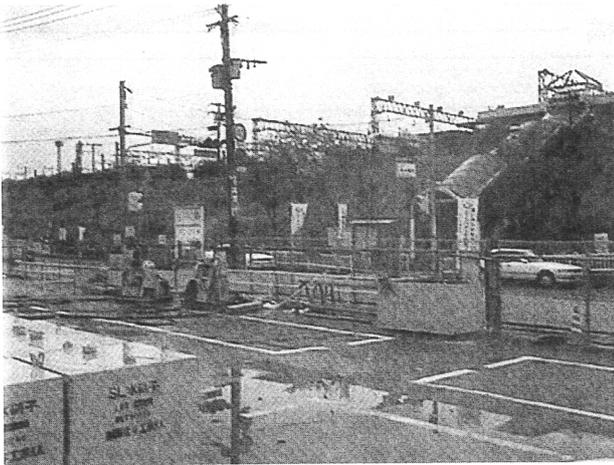


写真-4 施工状況

このため、薬液注入工を従来工法から動的注入工法に変更して施工を行い、無事、発進立抗を掘削することができた。また、下水道管にも有害な変状を及ぼさずに、無事、施工を終了することができた。

図-7に、効果確認試験として行ったポケットコーン貫入試験の結果を示す。これより、動的注入工法の方が従来工法よりも強度が大きくなることが確認された。施工状況を写真-5に示す。

5. まとめ

薬液注入工法の品質改善と施工能率の向上を目的として、注入速度を一定にして注入を行う従来工法に対して、注入速度を変化させながら注入を行う動的注入工法を提案し、その注入効果について検討を行ってきた。その結果、以下のことがわかった。

- ① 動的注入工法では割裂脈が特定の方向に進展しにくく、多方向に分散し、設計改良範囲の均質な改良が行えると考えられる。
- ② 動的注入工法は、従来工法よりも固結体の強度が大きくなる。
- ③ 動的注入工法と従来工法を比較した場合、動的注入工法は注入速度を20%程度増加させても、従来工法と同等の改良効果が得られると考えられる。

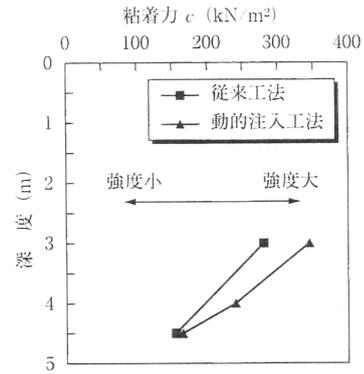


図-7 ポケットコーン貫入試験結果



写真-5 施工状況

[参考文献]

- 1) 土質工学会編：薬液注入工法の調査・設計から施工まで，(社)土質工学会，pp. 9～12，1985. 2.
- 2) 例えば，駒延，村田，大河内：動的注入工法の開発，建設技術報告会in北陸'98報文集，pp. 89～94，1998. 10.
- 3) 駒延，村田，大河内，藤澤：関東ロームでの動的注入現場実験，土木学会第53回年次学術講演会，pp. 588～589，1998. 10.
- 4) 例えば，駒延勝広，村田修：動的注入工法の振幅および周波数が改良効果に与える影響，鉄道総研報告，Vol. 12，No. 4，pp. 19～24，1998. 4.
- 5) 駒延，大河内，村田，金子：動的注入工法の現場施工実験(その2)，第34回地盤工学研究発表会，pp. 1231～1232，1999. 7.