

## 16. 超深度地盤改良（人工不透水層築造） 工法の開発

三井建設\*井上一敏・魚住雅孝

### 1. まえがき

従来の地盤改良工法は、比較的浅い軟弱地盤の強度を増加させることを目的に行うことが多かった。しかし、大規模地下構造物等の技術的开发が進むにつれ、今まで考えられなかった超深度の地盤改良や、N値は高いが透水係数の大きな砂層を地下水を遮断するため、不透水性の人工地盤に造り替えてしまう等の特殊な地盤改良工法の開発が望まれるようになった。

一方、軟弱地盤の改良工法は、浅層、深層に対して各種工法があり、その一つに高圧噴射攪拌工法がある。これは、水あるいは薬液を超高圧噴流として地盤中に噴射させ、その運動エネルギーによって切削し、その切削部分に固結材を混合あるいは、置換えにより固結化をはかるものである。この高圧噴流にエアを連行させ、動圧の減衰防止をし、高圧噴流水の飛距離を伸ばすことにより硬い地盤に適用でき、造成径もまた大きくできる特長がある。

しかしながら、更に深度が大きく且つ硬い地盤への適用を可能にする為には、鉛直精度の良い先行ボーリング、超高圧噴射切削の確実さ、固化材の確実な置換、改良効果の確認、さらにこれら一連作業の効率化を行わなければならない。

そこで、高圧噴射切削にリバースサーキュレーション工法を応用した噴射置換方式深層地盤改造工法を開発し、実験施工を行ったのでその概要について報告する。

### 2. 開発経緯

深層の地盤改良に噴射攪拌工法を用いる時、土質によって有効噴射距離が変動すること、噴射距離内に存在する礫などの異物により欠損部や未閉合部ができること、また固結材の注入量の把握および改良範囲の確認ができないこと、更に先行ボーリングの精度および施工能率等施工管理上種々の困難がある。

上記の点に検討を重ね、高圧噴射切削と、リバースサーキュレーション工法を併用した新しい工法の超深度地盤改造工法の開発方針をたてた。

その要点は

- 1) リバース方式による先行ボーリングは、可能な限りの小孔径で削孔を行う。リバース方式により、鉛直精度の良い先行ボーリングが期待できる。
- 2) 先行ボーリングが所定深度に達したら、高圧噴流を横方向へ噴射し、ノズルを回転上下動させ切削し、同時に切削土砂をリバース方式により地上に排出し、深層地盤内に拡大空疎部を形成する。切削土砂を排除することにより高圧噴流の到達距離を伸ばし、改良範囲を大きくできる。
- 3) 排土された拡大空疎部を、リバースパイプに取付けてある小型超音波センサーにより、地上にてその信号を処理するマイクロコンピュータによって状況を把握する。

4) 形成した空隙部分に固結材を充填する。完全な空隙部への固結材置換方式であるため、注入量の計量ができ、ロスが少ない。

5) 先行ボーリングから固結材の充填まで連続施工とする。

この工程を平面的に複数孔連続して施工することにより、所定の深さに所定の範囲の人工改造地盤を作ることを目的とする。施工順序を図-1に示す。

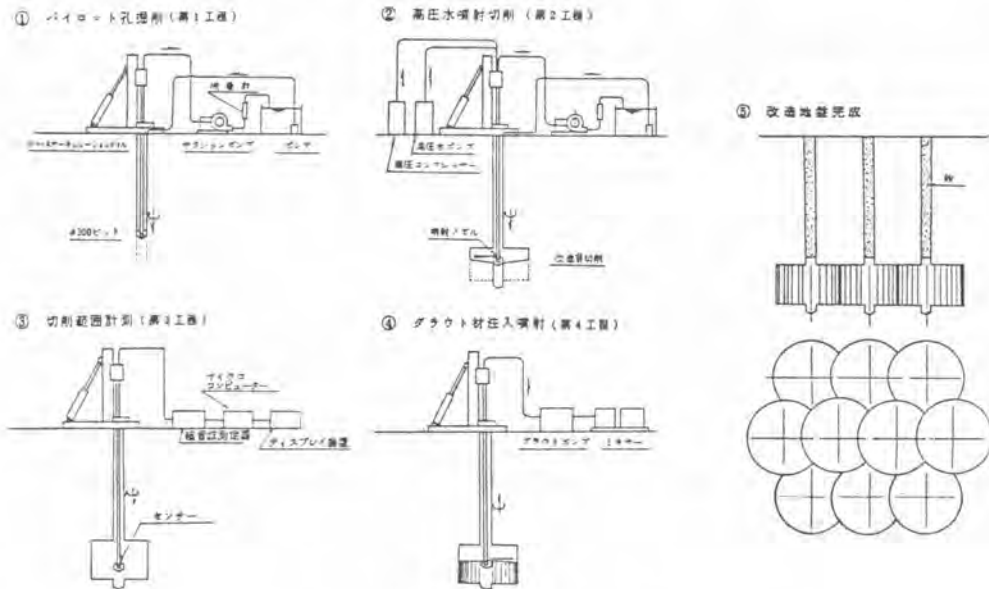


図-1 施工順序

以上の構想のもとに各装置の検討と基礎実験を行った。今回の方式でまず第1に問題となるのは、リバース方式による小孔径の先行ボーリングである。従来の噴射攪拌工法は、通常のボーリングマシンを用い、削孔は正循環方式であり、そのときの削孔径は150φ以下である。それによる改良範囲あるいは施工時間、能率もおのずと限界があり、また深度が深くなるとケーシングチューブを使用する必要がある。よって施工機械としてリバースサーキュレーションドリル S200 をベースマシンとして改造し、全体の施工能力を損わない条件で可能な限りの最小孔径の先行ボーリングを計画し、段階的に掘削実験を行ない、最終的に孔径300φを可能とし、孔壁の安定性も問題なかった。

第2の問題は、噴射切削土の排土で、高圧水噴射ポンプは、150HP、75ℓ/min、750MPaを2台並列で使用し、超高圧水は、耐圧スイベルジョイント、超高圧ホースを介してリバースビット部に取付けられた2連のノズルより横方向にある角度をもたせ噴射し、切削および切削土砂の排出が効率よく行われるよう実験検討を重ねた。(図-2、図-3)

空隙形成状況の測定は、先端ビット部に取付けた超音波センサーよりの信号を、それを処理するマイクロコンピューターを内蔵する制御部に入力し、各々の深度における形状をブラウン管に表示し、且つX、Yプロッターに記録する。これらのデータは、フロッピーディスクに記憶され、空隙部形成後、体積の算出を行い、固結材の注入量を求める。更に、これらのデータの集積により、連続して構



図-2 高圧水噴射ノズル



図-4 グラウトノズル



図-3 高圧水噴射

築された複数孔の一定深度における連続性を平面図に書き出すことができるように計画した。

形成した拡大空隙部への固結材の充填は、グラウトノズル（図-4）より横方向へ高圧噴射注入できるとともに、モルタルあるいはコンクリート等の固結材を使用する場合は、リバースパイプを用いてのトレミー方式による充填も可能である。

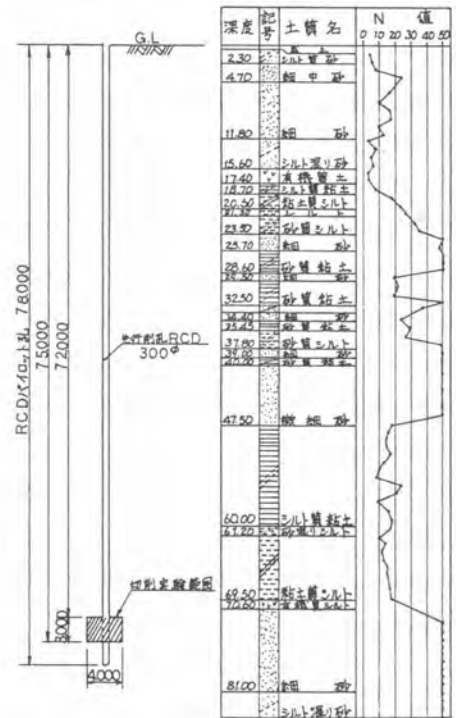


図-5 土質条件

### 3. 実験結果

現場実験は、図-5に示す如き地盤で、改良層は、GL-7.2~7.5mのN値50以上の細砂層とした。孔径300φの先行ボーリングは、削孔時間10Hr、削孔精度1/800であった。削孔後、高圧噴射ポンプを接続し、噴射拡大切削に切替えた。噴射圧は段階的にテストし、最終600kPa/φで切削を

行った。切削と同時にリバース方式により、切削土砂を吸上げ、地上の沈澱バックへ排出した。切削、排土とも順調に行われ、拡大切削範囲は、直径4 mに達し、完全な空洞を形成することができた。超音波測定結果の縦断を 図-6 に 横断を 図-7 に示す。第1孔にセメントミルクを高圧充填し、引続き隣接して第2孔および第3孔の地盤改造を行った。

その連続して構築した改造地盤の一定深度における連続性を平面図に書き出したものが 図-8 である。

この超深層の人工地盤のボーリングコアサンプリングの結果、改造前の透水係数は、 $2.93 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ であったのが、改造後は、 $5.7 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 、圧縮強度  $100 \text{ kg/cm}^2$  となり改造効果が優れていることが実証された。

#### 4. あとがき

今回開発した地盤改造工法の特長は、置換方式の噴射工法で、他の正循環方式とは逆のリバース工法による切削土排出方法を採用していることである。従来工法が有効径を確認する方法がなく、使用固結材が粘性の低い液体を使用しているのに対し、当工法は、超音波測定により排出された部分（有効径）が確認でき、なおかつ粘性土あるいは他のあらゆる不透水材、固結材が使用できる利点がある。

以上において、超深度地盤改造工法の概要を述べてきたが、人工不透水層造成のみならず、大型地下構造物の直接基礎地盤、基礎杭の支持地盤の造成等への応用を検討したい。

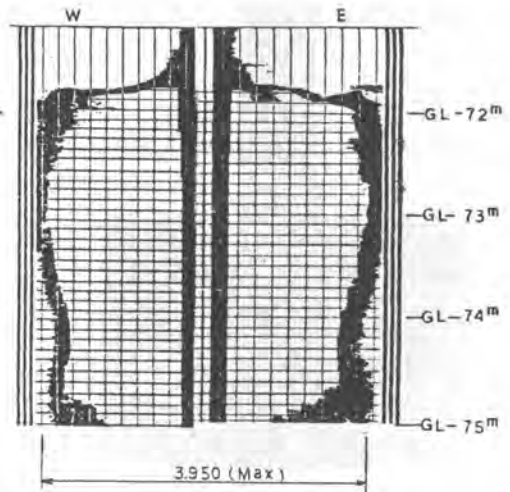


図-6 拡大空隙部縦断面

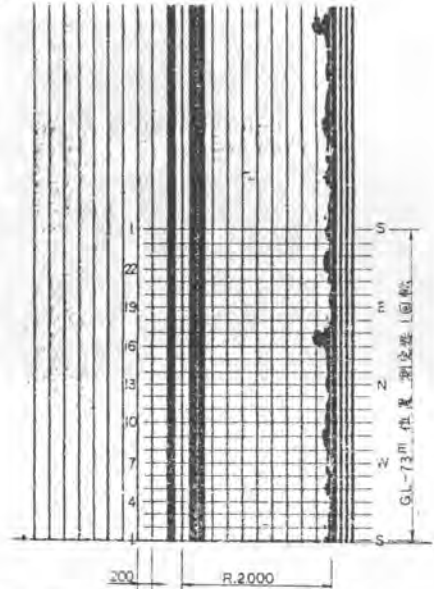


図-7 拡大空隙部横断面 (GL-73m)

図-8 群孔実験結果 (GL-73m)

