

# 10. ジェットボルト工法の開発

㈱大林組：\*八戸 裕・山本 幸信

## 1. まえがき

NATMやアースネイリング工法に代表される補強土工法は、土砂あるいは岩盤に比較的短い鋼製あるいはFRP製のボルトを設置し、吹付けコンクリート等の表面防護工と組合わせ、トンネル壁面や法面などを安定化させる工法である。この種の工法では、ボルトの設置方法が大きな比重を占める。岩盤等の密実な地盤では、削岩機等で先行削孔し、モルタル等の定着材を注入したのちボルトを挿入、定着するのが一般的である。ただし、粘土や砂のような土砂地盤あるいは崖錐や強風化岩のような崩壊性の地盤では、削孔後孔壁の自立が保たれず、グラウト注入やボルト挿入が困難となり、十分な定着力が得られないケースが多い。このような場合には、ボーリングマシンで削孔したり、特殊な自穿孔ボルトを使用するが、いずれも、品質、作業効率、コスト面で問題となる場合が多い。

ジェットボルト工法は上記のような崩壊性地盤への適用を図る目的で開発したもので、高圧グラウト注入機構を装えた特殊中空ボルトを回転、打撃により打込むと同時に、ボルト先端部よりグラウトを高圧噴射することにより貫入補助とボルト定着を行なう自穿孔タイプの打設システムで、高圧ジェットグラウトによって、周辺地盤も積極的に改良する付加効果をも目的としている。



写真-1 ジェット噴射中

本報文では、開発の概要ならびに2～3の試験実績について報告する。

## 2. アースネイリング工法の概要

補強土工法は大別すると、盛土に対してはテールアルメ工法、ジオテキスタイル工法、トンネルに対してはNATM工法、切土、根切りに対してはアースネイリング工法（鉄筋挿入工法）が代表的工法に挙げられる。

アースネイリング工法は、NATM工法の原理を二次元の法面に拡大適用したもので、自然の土の強度を利用して一体化した補強壁体を形成し、法面の自立を図る工法で、施工的には、法面を安定自立高さ毎に段階的に掘削しながら、表面にコンクリート吹付け等の法面防護と鉄筋等の比較的短い補強棒を多数打込む（ネイリング）という単純作



図-1 施工順序図

業のくり返してある。(図-1参照)

設計的には、地盤、崩壊形態等の諸条件によって最適な設計手法を選定する必要があると思われるが、基本的な設計思想としては、ネイリングによってせん断および引張補強された領域の土塊が、あたかも一体化した疑似擁壁のような働きをするという現象に基づき、この補強土壁体が仮定し得るい

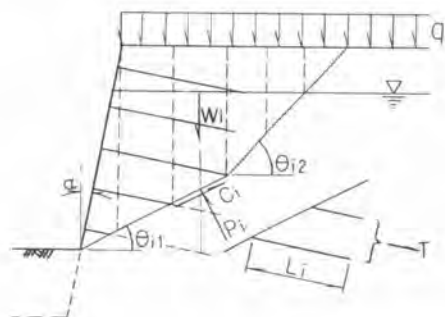


図-2 設計概念図

### 3. ジェットボルト工法の装置

打設機構はセメントミルク等のグラウト材をジェットボルト先端のノズルより高圧噴射する際のジェット削孔効果およびボルト後端に加える削岩機の回転、圧入、打撃エネルギーの相乗効果によってボルトを効率良く地盤に貫入定着するものである。

本工法に使用される装置は、(1)ボルト打設機械、(2)高圧グラウト注入機械、および(3)ジェットボルトの3つに分かれる。

#### (1) ボルト打設機械

通常は掘進速度および注入圧力を一定に制御してボルト打設を行う。しかし転石を含む砂レキ地盤や風化地盤等堅い地盤にはボルト後端に打撃を加え貫入を補助する。従って孔壁自立が難しい土砂地盤や崩壊性地盤に対しても作業効率及び定着効果についても極めて効果的である。

機械種類としては軟弱地盤でも走行可能な湿地タイプのクローラ式機械と、法面の途中に据え付けて作業するのに適したスキッドベース式の法面専用機械とがある。(図-3参照)

#### (2) 注入機械

注入グラウトシステムは最高使用圧力 $200\text{kg/cm}^2$ の無段変量二液形高圧4連プランジャーポンプを中心とし、ミキサー、計量機、グラウト流量計等を組合わせたプラントとしている。またプラントは通常は施工場所毎に組立てられるが、施工範囲が広く移動が必要なところではトラックマウントとし機動性を高めている。図-4に本工法のプラントシステム、図-5にトラックマウント状況

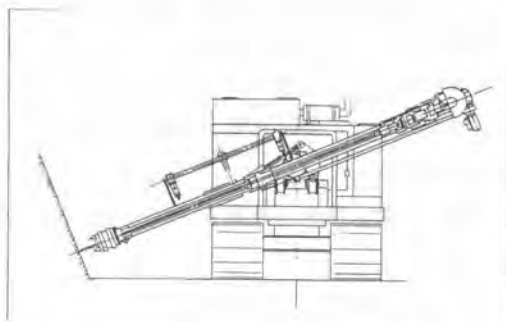


図-3 ジェットボルト打設機

を示す。

グラウト材料としては、用途、目的、施工条件等に応じて適宜選定するが、標準として以下のものを使用する。

イ) 法面、土留、下向きボルト…ロングゲル

セメントミルク；  $W/C=1.0\sim0.75$

ロ) トンネル、上向きボルト…ショートゲル

A液：セメントミルク

B液：硬化促進剤

配合：  $A/B=1.0$

### (3) ジェットボルト

ジェットボルトには大きく分けて2種類あり、1つは自穿孔型ジェットボルト、他方は転用型ジェットボルトである。

自穿孔型は文字通り注入・打設～定着の作業を1工程で行い、ジェットボルトはそのまま定着ボルトとなる。転用型はジェットボルトによる削孔注入後引抜き、替わりに注入された孔へ汎用ボルトを挿入するものである。

前者は上向ボルト打設あるいは瞬結性グラウト材を使用する場合に適し、後者は一般の法面に対し使用するのを原則としている。

図-6に標準的なジェットボルトの構成を示す。

以上(1)～(3)の装置を効率的に作動させる為、新機能として自動的に一定圧力で注入できる定圧注入機構およびジェットボルトの自動脱着装置、さらに打設機上でグラウト注入を制御できる遠隔操作機構も備えている。

### 4. ジェットボルトの効果

ジェットボルトの主な効果としては、

- 土砂地盤、崖錐等の崩壊性地盤に対して効率的な打設が可能であること。
- 先行削孔方式に比べボルトの定着効果が高いこと。
- ジェットグラウト作用によってボルト周辺域の地盤改良ができること。

等である。これらの効果について、2～3の試験施工を基に以下に概略を述べる。

#### (1) 土質への適応性

試験施工の地盤としては、A：風化泥岩、B：崩積粘性土、C：砂礫、を選定し、ボルトの種類、先端ノズル形状、注入圧力、グラウト吐出量、打設機の給進圧、打撃圧等、種々の条件の組合せの

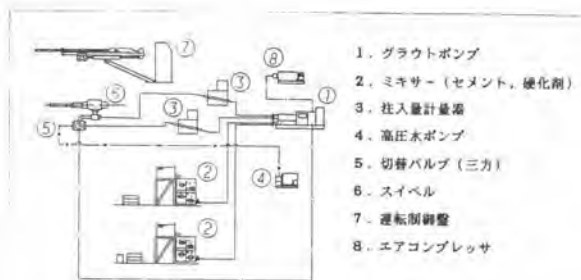


図-4 プラントシステム

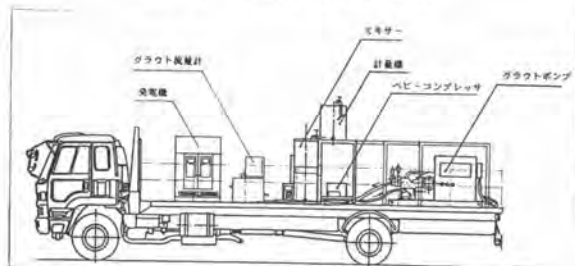


図-5 プラントトラックマウント状況

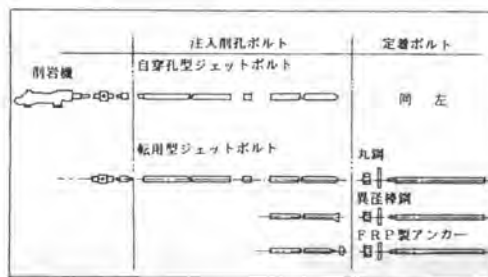


図-6 ジェットボルト構成図

もとに試験を行った。

結果としては、砂礫地盤および風化泥岩の1部を除いて、ほとんどパーカッションを必要とせず、ジェットグラウトおよび打設機の給進圧のみで貫入した。ただし、玉石あるいは軟岩に対しては必要に応じパーカッションを併用したが、大巾な能率低下もなく打設でき、粘性土から砂礫、風化岩に至る広範囲の土質に適應できることが判明した。

## (2) 定着効果

ジェットボルト打設後、センターホールジャッキによる引抜き試験の結果を図-7に示す。

風化泥岩では、エアーオーガによる従来方式の定着方法が単位 $m$ 当たり $1\sim 2\text{ t/m}$ の定着力に対し、ジェットボルトでは $3.5\text{ t/m}$ 以上の定着力を示した。

砂礫地盤では、従来のロータリーマシンによる先行削孔方式の定着が、 $0.7\text{ t/m}$ に対し、ジェットボルトでは $2.5\text{ t/m}$ 以上と高い定着力を示し、いずれの地盤でも、定着効果の高いことが確認された。



図-7 ボルト定着力

## (3) 改良範囲

ジェットボルトの打設後、地盤を掘削し改良範囲を調査した。誌面の都合上、詳細な報告は省略するが、いずれの地盤に対してもボルト周辺部の地盤改良ないしはボルト軸回りのグラウト領域の拡大がみられ、明瞭な改良効果が確認された。

以下に試掘時の写真を示す。



写真-2 粘性土



写真-3 砂礫



写真-4 砂礫



写真-5 風化泥岩

## 5. おわりに

アースネイリング工法等の補強土工法では、ボルト設置技術が工法の重要な位置を占めるものと考えられる。その点、今回開発したジェットボルト工法によって、土質に対する適用性が大いに増したものと確信する。ただし、法面の補強土工法は、多方面で脚光を浴びつつも、国内では、未だ一般的にオーソライズされていない段階である。今後は設計へのフィードバックも含め、当工法の研究をさらに深めていくつもりである。

最後に、開発にあたり、関係者の御協力を頂いたことを感謝致します。