

レキ地盤における地下空間構築技術の開発

Development of a construction technique of underground space in gravel geology

粕谷太郎, 青木義治,,
Taro KASUYA, Yoshiharu AOKI

While the utilization range of underground spaces has been ever expanding recently, the shield tunneling technique for urban areas has made rapid progress. In April 2001, the Special Measures Law on Public Use of Deep Underground was enacted. Under these circumstances, it is vital to develop element technologies for satisfying the requirements for tunneling of larger distance, greater section and more complexity.

The curved boring technique (TULIP) is one of element technologies for enlargement of tunnel section, by placing curved pipes for improving ground. This paper discusses the development of an advancing device for the TULIP applicable to gravel geology frequently encountered in urban districts.

「keywords」 underground space, curved boring method, Section width, Curved pipe

1. まえがき

近年、地下空間の利用範囲が拡大するなかで、都市域ではトンネルを造る技術が飛躍的に進展している。平成13年4月に「大深度地下の公共使用に関する特別措置法」が施行し、プロジェクト実現のためには、トンネルの長距離化、大断面化、複雑化等に対応するための要素技術の開発が重要な課題となる。

本論文では、トンネルの断面拡幅等の要素技術として、曲線管を埋設し、地盤改良工を用いて対応する曲線ボーリング(TULIP)工法の概要と工法の課題である都市域で現出する砂礫や玉石層で施工可能な掘進装置の開発について述べる。

2. 曲線ボーリング工法の概要

2.1 システムの概要

曲線管を精度よく敷設するための本システムは、先端駆動のビットを装着した先端装置、先端装置を収納する外管(先導管)、接続用曲線管(外管と内管)、推進装置および一定曲率を保持する架台、そして、送排(泥)水ポンプと排泥処理設備等の後続設備にて構成している。

キーワード：地下空間、曲線ボーリング工法、断面拡幅、曲線管

, 正会員 フェロー 鉄建建設(株) エンジニアリング本部
,, 鉄建建設(株) エンジニアリング本部

2.2 先端装置

図-1、写真-1に示すように、一般的な地質で使用される先端装置は、所定の曲率を有した2重管構造であり、その先導管内にビット駆動用オイルモータを内蔵した掘削機構がある。ビットは拡縮型で、拡縮量と余掘量は調整可能であり、回転は左右可能である。地山の掘削は先端部より水等を噴射し、先端部に装備したカッタにより切削、掘削した土砂は後方設備の排泥装置等によって内管内を通過して排出する構造となっている。また、先端装置と先導管の空間を、油圧パッカを用いて止水する構造であり、先端装置後部に外管との固定をするための油圧チャックを内蔵している。図中にチャック部の断面を示す。

先端装置はオイルモータ等により最小管径・曲率が決定される。現状では、外管外径216.3mmにおいて、最小曲率半径が $R=3m$ である。

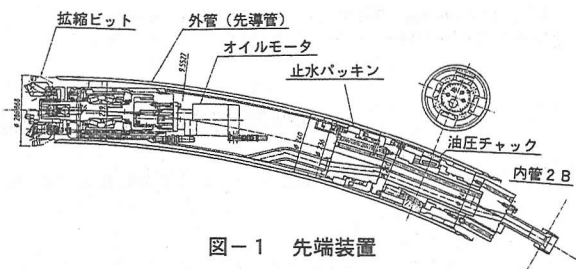


図-1 先端装置

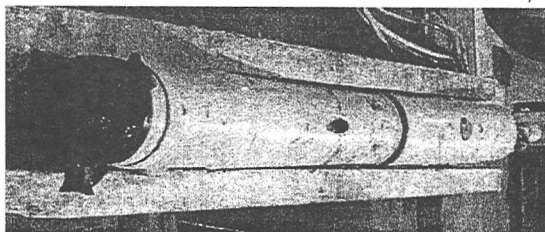


写真-1 先端装置

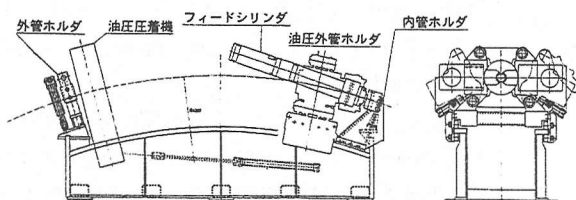


図-2 推進装置

2.3 推進装置

図-2、写真-2に示すように、推進装置は、油圧外管ホルダが上部開閉式であり、そのホルダがローラにより把持、所定の曲率をもつガイド板を装着した推進架台（ベース）上を、油圧シリンダでスライドする、架台とガイド機構が一体となった構造である。小さな空間（トンネル内径 3.0m程度）でも作業が可能であり、曲線管のセットを上方から行うことで、管長を長くすることができる。また、ホルダの盛替作業を少なくし、作業効率の向上を図る構造としている。

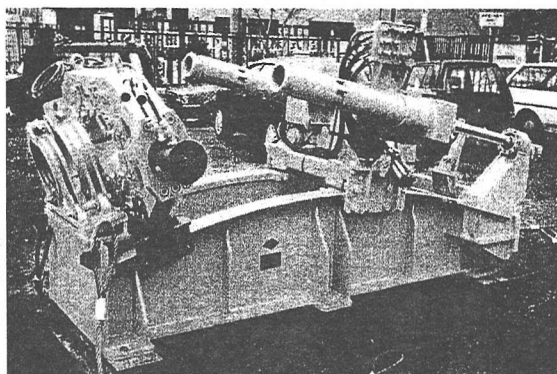


写真-2 推進装置

2.4 施工実績

高速道路の並列トンネル新設工事に伴い、NATMで施工完了しているトンネルと鉄道線路下を横断して造られるトンネルの地中接合部造成のための支保工敷設工事である。

施工場所は、鉄道の営業線に近接しており、曲線管（先行支保工）を、図-3に示すように、中央導坑内にセットした先端装置、推進装置を用いて、掘削断面上半部に約17m（1.25m×14本）の長さにより敷設した。

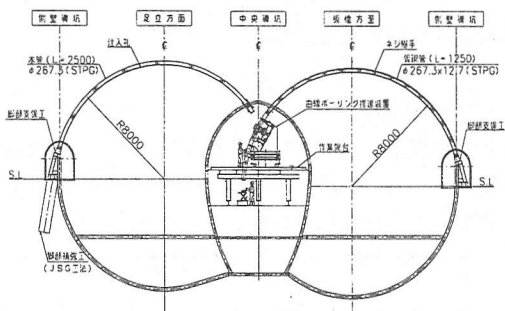
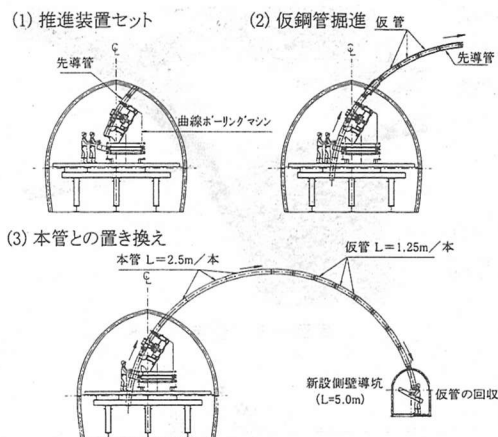


図-3 施工断面図



図－４ 施工順序

図－４に曲線管敷設の主な施工順序、写真－３に中央導坑内での施工状況を示す。

今回の施工箇所には、NATM施工時の段階で先受工としてロジンジェットが施されており、さらに切羽安定や止水を目的とした薬液注入工施工時の注入管(塩化ビニル管)が存置していることが判明した。このため、２工程方式で施工する方法にて計画した。

１工程目に中央導坑から仮鋼管(1.25m)で掘進を行い、ネジ継手による接合(13箇所)を繰り返した。側壁導坑に到達後は順次、仮鋼管を取り外し、再転用する。

２工程目では、側壁導坑内で仮鋼管を取り外し後、仮鋼管の後端に本管(2.5m)を接続(溶接)し推進する。

この繰り返により、順次本管に置き換えた。

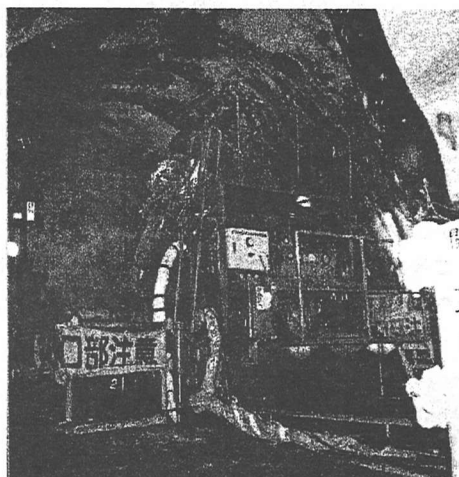
写真－４に側壁導坑への到達状況、写真－５にトンネル掘削時に現出した先行支保工としての曲線管および曲線管敷設時に切削されたロジンジェットが確認できる。また、写真－６に切削された塩化ビニル管片が確認できる。

３．施工実験目的と概要

３．１ 実験目的

施工実績から、現状の先端装置(図－１)は、先受工として造成されたロジンジェット程度の強度の改良体(写真－５)や薬液注入工で存置された塩化ビニル管等の切削(写真－６)は可能であることを確認した。

しかしながら、首都圏を含む大都市圏においては、地下空間の利用が進展しており、対象地盤条件もより難易度の高い状況での施工が望まれている。特に都市部の深部に介在する砂礫層、玉石層での対策が課題解決の大きな要素となる。



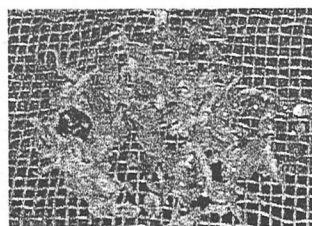
写真－３ 施工状況



写真－４ 側壁導坑への到達状況



写真－５ 敷設された曲線管



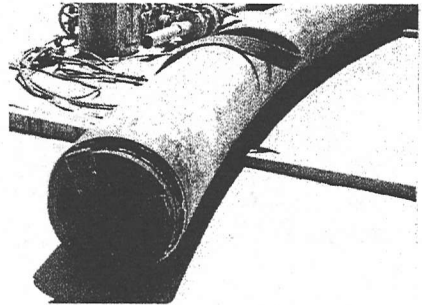
写真－６ 塩化ビニル管片

このため、曲線ボーリング技術を用いた施工計画を進めるため、かつ「大深度地下の公共使用に関する特別措置法」の対象となるプロジェクトの具現化を推進するためにも、これら地盤での施工が可能となる装置の開発が重要と考えた。

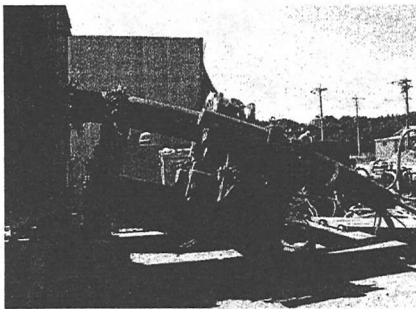
3.2 実験概要

最初に砂礫層での施工に際しての課題を解決するため、写真－７に示すように、下水道工事等の推進工事で実績のある掘削機のヘッドを改造したもので、予備実験を行った。

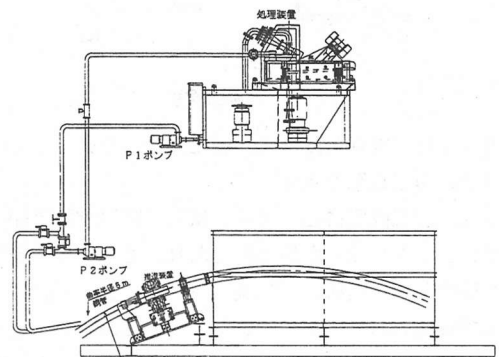
図－５に掘削実験概要図を示す。



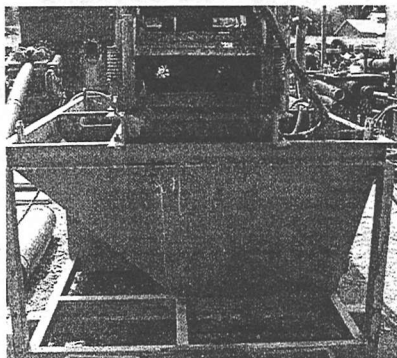
写真－７ 改造ヘッド



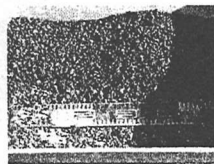
写真－８ 実験状況全体



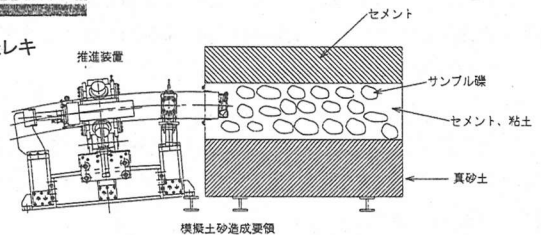
図－５ 掘削実験概要図



写真－９ プラント状況（振動篩等）



破碎されたレキ

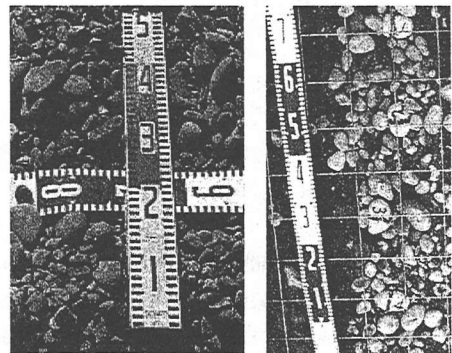


図－６ 模擬土層状況例

写真－８に実験状況全体、写真－９にプラント状況（振動篩等）を示す。

図－６に示す実験用の模擬土層をタンク内に造成した。模擬土層は、(写真－１０)

- ① レキ混じり土砂 (40mm以下)
- ② レキ混じり土砂 (60mm程度)
- ③ 玉石の周辺土砂を固化 (セメント・ベントナイト)
- ④ 真砂土にセメント (C)、ベントナイト (B) を混合、玉石を 1m間に 3～4 個配置
- ⑤ 砂礫層 (75mm以下) に 75～125mm玉石を点在、セメントと真砂土を混合 (C 200 kg、B 120 kg)



写真－１０ 土層造成状況

⑥ 締まった砂層および 60mm以下の玉石層を 1mづつ交互に 4m間

200～300mm玉石を 1mあたり、5～10 個配置、セメント混合 (75kg/m^3) 真砂土に固定

上記の土層をランマで転圧して、造成 (掘削位置周辺中心) し、上部は掘削時の切羽加圧時に噴発を防止するため、図-6の断面図に示すように固化した。

模擬土層用タンクは、長さ 4m、幅 2mものを使用した。初期段階の実験では、タンクを 4分割にして多くのケースの確認実験を進め、その後は、タンクを 2分割にし、掘進方向を 4mにして、連続的に実験を行った。また、掘進実験中には、掘削を中断し曲線管を引き戻し、掘削孔内の写真に示すように目視確認を行い、レキ・玉石の切削状況を検証した。

4. 実験結果

第 1 回目の実験は、レキ混じり土砂 (40mm以下) で造成した土層 (10mm以上のレキ率 40%) において

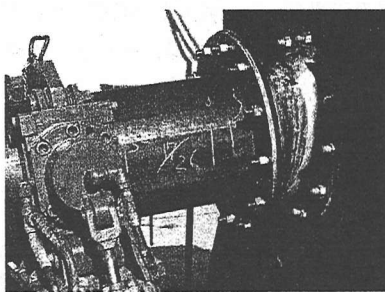


写真-11 実験状況

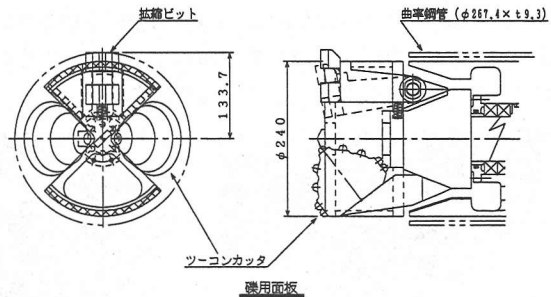


図-7 玉石用ヘッド

実施した。掘進速度を 60mm/min に設定して、1.5m を掘進した結果、レキ破碎は造成土層のため多少は逃げたように考えられるが、スムーズに推進が完了した。振動篩から回収された破碎後のレキ径は 5mm 以下であった。その後、実験機のカッタヘッド部のレキ取り込み部を 60mm 程度のレキ径に対応できるように改造して実験を進めた。写真-11 に実験状況を示す。

また、レキ・玉石の掘進用のヘッドを、図-7、写真-12 に示す。

これらの実験の結果から、砂層では 30～40mm/min 程度、砂礫層 (玉石点在) では 10～30mm/min 程度、玉石は 1～10mm 程度の掘進速度を確認した。玉石は正面に現出した状態の速度であり、掘削位置に半分程度が現出する場合は、10～20mm/min 程度のスピードでの掘進が可能となることを確認した。

このため、曲線ボーリング技術の深度化を進めることとし、都市部の立坑等での施工の際に現出した玉石層で、掘進が可能な装置の開発条件を確認することが重要であるとの認識のもと実験を計画している。

写真-13 に示すように、タンク内に 100～300mm 程度の玉石層を想定した模擬土層を造成し、実験を進めている。土層の造成に当たっては、より現地盤に近い状態にするため、砂礫の周囲にセメント、ベントナイト等を混合し、ランマで締め固めを行った。

今回の実験に使用した推進装置は、当社が施工した首都高速中央

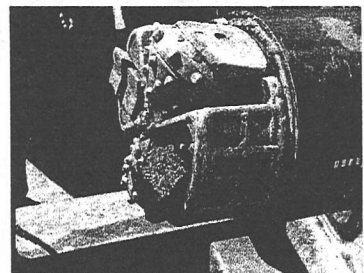


写真-12 玉石用ヘッド

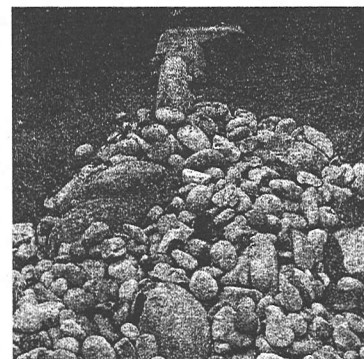


写真-13 玉石層の模擬土層

環状王子線の「東北本線王子駅構内首都高速道路新設工事に伴う支保工敷設工」工事のものであり、使用した先導管、曲線鋼管の仕様は外径 $\phi 267.4\text{mm}$ 、曲率 $R=8\text{m}$ である。

写真-14は、掘進途中に先端部を引戻して、玉石の切削状況を目視したものであり、右側に切削した玉石、正面右上に一部が切削された玉石を、それぞれ確認することができる。この時点での掘進速度は $1\sim 3\text{mm}$ 程度であった。

また、写真-15に示すように、掘進後の土層を取り出し、目視の確認をした。切削された玉石の跡が確認でき、固化されて固定された状態であれば、写真のごとく掘削が可能であると判断した。

写真-16 模擬土層内の各掘削状況を示す。

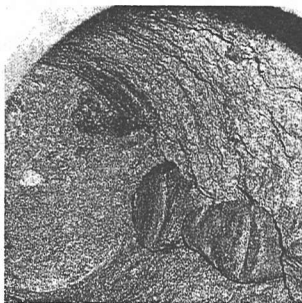


写真-14 模擬土層掘削状況



写真-15 玉石の切削跡

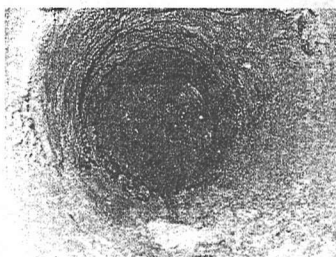
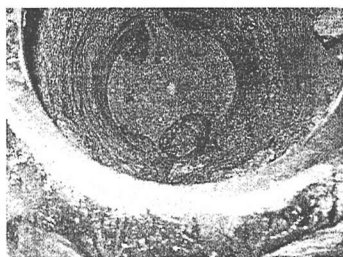


写真-16 模擬土層内の各掘削状況

5. おわりに

本実験では、砂礫層、玉石層での曲線ボーリングが可能であるかを検証することが目的であり、成果を得たと考えている。

今後は、この実験で得たデータを分析し、掘進速度のアップ等を含めた（施工時の機能性を考慮した）先端装置の改良、 $\phi 700\text{mm}$ 程度の径に対応可能な各装置（曲線リユースマシン）の開発、高水圧に対応できる機構の開発・施工実験を進めるつもりである。

また、先端装置のトルクをあげる機構の開発も順調に進んでいる。

6. 参考文献

- 1) 粕谷太郎・竹田茂嗣：曲線ボーリング技術を用いた地下空間の新しい施工法の開発、第7回地下空間シンポジウム、土木学会、2002.1
- 2) 粕谷太郎：砂礫層対応型曲線ボーリング装置の開発と施工実験、第57回年次学術講演会、土木学会、2002.9
- 3) 粕谷太郎：曲線ボーリング技術の開発と地下空間での応用、H14年度技術士CPD・研究業績発表年次大会、日本技術士会、2002.5
- 4) 粕谷太郎・佐藤壮一郎・夏秋洋治：東北本線王子駅構内首都高速道路新設工事に伴う支保工敷設、鉄道施設協会誌、日本鉄道施設協会、2001.7