

# ～交通の流れを変える 「東京バイパス」～

## 首都高速中央環状新宿線

### 1 はじめに

池袋に程近い東京メトロ有楽町線要町駅から地上に出ると、あわただしい交通量の山手通りに出くわす。その山手通りの中央に真っ白で大きな建物がある。慢性的な交通渋滞に悩まされる東京の道路網、その緩和と効率改善のために新たな首都高速の建設が進んでいるが、その中核をなす首都高速中央環状新宿線の地下トンネル構築のための防音ハウスである。今回メカライフ取材班は、このトンネル掘削で活躍している外径12.02m、泥土圧式としては世界最大級を誇るシールドマシンの見学に行ってきた。

### 2 首都高速中央環状新宿線の概要

首都東京の交通の大動脈として人々の暮らしを支えている高速道路ネットワーク、その骨格は三つの環状方向の高速道路と九つの放射方向高速道路からなっている。この環状道路には中心から都心環状線、中央環状線、東京外かく道路の道路があり、都心から8kmに位置する首都高速中央環状線はこの環状道路の一つである。現在、46kmの計画延長に対し東側区間26kmが完成している。今回見学した首都高速中央環状新宿線はこの中央環状線の西側区間11kmにあたる(図1)。放射方向高速道路である高速3号渋谷線、高速4号新宿線および高速5号池袋線を相互に接続する中央環状新宿線が完成すると、首都高速道路を効率よく走ることができ、その結果、都心環状線に集中する高速交通が分散し、渋滞が大きく緩和される。また、中央環状新宿線の6箇所の出入り口を利用することに

よって、渋谷・新宿・池袋の各副都心が便利に行き来できるようになり、首都機能が高まることになる。この中央環状新宿線は、環境に優しい高速道路を目指して全線に「トンネル構造」を採用しているため、工事は地下で行われている。

この首都高速中央環状新宿線の計画による効果には、都市交通の効率化、渋滞緩和・解消、時間短縮、環境改善の四つがある。以下に詳細を示す。

**2.1 都市交通の効率化** 現在の首都高速道路は1点集中型のネットワークであるため、都心環状線を利用する車の約60%は通過目的であり、そのために慢性的な渋滞を引き起こしている。中央環状線の完成により、通過交通が分散され首都高速全体の交通の流れが良くなるとともに目的にあわせたさまざまなルート選択が可能になる。また、事故や災害時には迂回ルート、都心の物流においては主要な市場を結ぶ新しいルートとしての役割を果たす。

**2.2 渋滞緩和・解消** 中央環状新宿線が開通すると利用交通の分散により、都心環状線と都心環状線と放射方向の渋滞など、東京線の渋滞が60%減少することになる。

**2.3 時間短縮** 東京の3大拠点である「渋谷～新宿～池袋」間を高速道路で直結することによって、現在50分かかっていたところが20分に短縮で

き、都内の移動がスムーズになる。

**2.4 環境改善** 交通の流れがスムーズになるため車の排出ガス量が減少し、そのため地球温暖化の要因とされている二酸化炭素の排出量も大幅に減少し、東京圏の環境改善に貢献する。

今回見学した工事区間は11kmある首都高速中央環状新宿線のうち、豊島区千早1丁目の立教通り立坑から新宿区上落合2丁目の地下鉄大江戸線中井駅舎までの2018mの内回りトンネル工事区間である。中井駅ホームの上部にはすでに、この首都高速中央環状新宿線の道路が通る部分ができおり、その中井駅舎の道路階と接続するよう立教通り立坑からシールドマシンが発進しトンネル工事が行われている。

### 3 世界最大級のシールドマシン

シールド工法とその主役であるシールドマシンについて、首都高速道路公団の方に説明していただいた。



図1

シールド工法とは、シールドマシンという掘削機を用いてトンネルを構築していく工法であり、シールドマシンは簡単に言うと、「掘りたいトンネルの形状に合わせた筒型の本体で地盤を支えておいてその内部で壁を組み立て、その壁を押し反力で前へ進む装置」である。今回採用されているシールド工法は掘り進んだ土砂をチャンバー内に充満し、シールドジャッキの推進力により加圧し、その土圧を切羽全体に作用させて切羽の安定をはかりながら、スクリーコンベアなどで排土する土圧式シールド工法とよばれるものである。我が国独自の発想により開発されたものである。ほかに泥水でバランスをとる泥水式シールド工法もあるが、泥土圧シールドとしては世界最大級のものである。泥土圧シールドマシンの先端についた掘削回転機構のことをカッタスポークといい、これについている超硬合金の刃をカッタビットという。シールドマシンの円筒内部ではセグメントと呼ばれる板が、1リング分掘削後円筒状に組み立てられる。掘進機構としてはジャッキでセグメントに反力をとり掘削しながらシールドマシンを押し出すことで前進する。

今回見学した工事現場で使用されているシールドマシンは、全長約12mで石川島播磨重工業(株)と(株)小松製作所のJV(Joint Venture:共同企業体)により、名古屋で製作されたものである。現場へ持ってくる前に、まず名古屋において所定の性能がきちんと発揮されるか試運転・検査を行って、その後解体して東京の地下工事現場へ搬入してから再度組み立てたということだ。

カッタ盤はその内部に環状に配置されたカッタモータを回転させることによって1分間に0.4回転する。このモータの出力は1台55kWで、合計台数は22台である。それぞれのモータとカッタ盤の間にはトルクを出すために減速機が設けられており、このトルクは29174.3kNmにも及ぶ。これは一般の乗用車のタイヤで発生しているトルクの約1万倍ものオーダーになり、いかに巨大なトルクで回転してい

るのかということがわかる。

カッタモータと同じく環状に配置されたジャッキは、1台3500kNの能力があり、全部で40台、合計140000kNの力が生み出される。このジャッキすべてを使用した場合、その掘削速度は最大36mm/min出るが、実際の掘削ではこれほどのスピードでは行っておらず、25~30mm/minの間で運転されている。

カッタ部を前から見るとスポークがついており、このスポークの両側にメインビットが配置されている。このビットによって地盤が掘削される。カッタビットは回転しながら掘削を行うので、当然、外周部に配置されたビットが最も摺動距離が長くなる。そのため、外周部になればなるほど配置されているビットの数が多くなっている。今回のシールドマシンでは、最外周部で12条、内周部では2~3条というようになっている。ビットにはメインビット、シェルビット、可動式強化型ビット、磨耗検知ビットなどがある。メインビットは高さ110mmの一次ビットと80mmの二次ビットによる高低差をつけた配置になっている。このことによって一次ビットが減った場合に二次ビットで掘削をするというようなことが可能になり、今回のような長距離の掘削に対応しているのである。シェルビットは最外周部に配置されており、強度的にも耐久性にも優れている。可動式強化型ビット

は、先行ビットが擦り減ってきた場合に、スポーク内部から油圧式でせり出す構造になっている。つまり、切れ味が悪くなってくるとビットを生え変える仕組みになっているのである。磨耗検知ビットは、超音波式と油圧式がそれぞれ4箇所設けられており磨耗具合を測定できるようになっている(図2)。

トンネルの外壁を構成するセグメントは鉄筋コンクリート製(この工区では八ニカムセグメント)、鋳鉄製(ダクタイルセグメント)、そしてスチール製(鋼殻セグメント)の3種類を使用しており、幅はそれぞれ1500, 1200, 1500mmである。厚みはダクタイルセグメントだと400mm、鋼殻および八ニカムセグメントだと450mmとなっている。当然のことながらトンネルはずっと直線ではなくカーブもある。カーブでは例えば外周側1230mm、内周側1170mmなど幅の異なるテーパのついたセグメントを用いる。

カーブの掘削の仕方であるが、全部で40台あるジャッキをうまく使うことにより実現している。つまり、主にカーブの外側のジャッキを使うことにより「片押し」のような動作をさせ、カーブ施工を行う。

トンネルを掘り進むルートの土層を見ていくと、礫層<sup>れき</sup>があって、粘性土層があって、また礫層があって・・・というようになっている。また、シールドが大きいこともあって断面内にさまざまな土層を挟んでいる。このように、日本の地盤は非常に土質が変化しやすく、施工が難しいということだ。もし土層が一種類だけであれば、その土層のみに対応したマシンを作って掘削すれば良いが、ルートの中で土質がさまざまに変化するとすると、変化する土

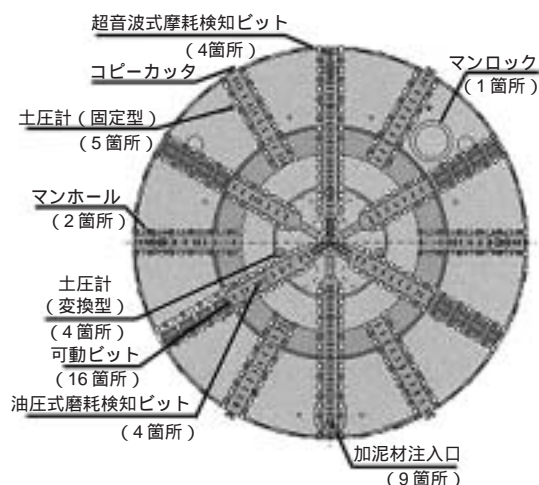


図2

層すべてに対応したマシンを作らなければならない。管理の面でいちばん大切なのは、土を取り込みすぎて自動車<sup>たいせつ</sup>が走っている道路のある地表に対して陥没などの被害を絶対に出さないことである。そのために、掘削している土に対して多少粘性のある液体を混ぜたりして地下水が入り込まないようにすることや、一方で、掘削することによって土圧が急に下がらないように、掘進によって適当な圧力をかけていくということが行われる。土を押しすぎて地表が隆起することも、土を取り込みすぎて陥没することもないように切羽の土圧、水圧とバランスをとりトンネルを掘削していくのである。日本の場合には地盤にさまざまな地層が含まれている場所が多く、これがシールドマシン製作の難しい点にもなっており、そのためシールド工法の技術では日本が世界でもトップクラスになっている。

地下では様々なことが起こりうることから緊急の場合の対策もある。例えば昔埋め込まれたくいやコンクリートなどが地中に埋まっている場合などがある。そういう場合に備え、シールド機内に「マンロック」と称される圧気できるカプセルがあり、緊急時、人がここから出入りして様子を見て対処できるようになっている。それから切羽崩壊探査装置というのがあり、シールドマシンの外側に油圧式で貫入させる装置があり、シールド機外側の状況がどうなっているかを調べられるようになっている。ある程度抵抗があれば

切羽はしっかりしており、全く抵抗がなく入っていくようであれば切羽は崩壊しているというように検査していく。このようにしてシールド機先端の地盤がどうなっているかをチェックしながら掘削をしていく。

最終的にこのシールドマシンは中井駅の駅舎の壁に到達し、到達後壁を撤去することになるが、水の回り込みを防止するために外周部からセメントミルクを注入する注入管も装備している。

以上がシールドマシンの概要および特徴になるが、このようにシールドマシンは非常に多くの工夫がなされている巨大な機械なのである。

では、いざその巨大な機械の活躍する現場へ行ってみよう！



## 4 工事現場を見学！

安全のためヘルメットを装備したわれわれメカライフ取材班は、立教通り立坑からシールドマシンがある地下まで仮設階段を下った。

立坑を含む発進基地は、シールドマシンが掘削を進める上で排出される土砂を一時的にためておく土砂ピット、またトンネルの外壁となるセグメントを保管しておくセグメントヤード、その他土砂を運ぶベルトコンベア、天井クレーンなどから構成されている。そのため防音ハウスで囲まれた基地の長さは145mにも及ぶ。どおりで大きいと感じるわけだ。山手通りに位置するため基地が家屋に近接しており、工

事に伴う騒音・振動を抑えるための防音ハウスである。

これがシールドマシンの裏側！

仮設階段を下っていくと、広い空間に出た。強烈なライトで照らされているここは、シールドマシン後方部に位置する。シールドマシン前方部(図3)は土砂掘削面に位置しているの、テレビや写真などで目にするカットピットなどは見られなかった。残念！

こちらシールドマシン後方部には、エレクタ(図4)と呼ばれる赤い機械があった。これはセグメント(図5)を組み立てる機械で、シールドマシンと同様に円形形状をしている。1枚約3.7tのセグメントを所定の場所に回転しながら運び組み立てることができ、円形状に一周組み立てた後、ジャッキの圧力で前進するのだ。セグメント幅分、前進した後、再度エレクタを使用してセグメントを組み立てる。この作業の繰り返しで進んでいく。40本あるジャッキは通常の場合、総推力が5000t程度で進んでいるという。また9分割された1周のセグメントを組み終わるのに約1時間弱かかるということだ。

掘削予定の土質は、武蔵野礫層、東京層粘性土、東京礫層、江戸川層粘性土など場所によって違ってくる。3種類あるセグメントはこれら土質や深さによる地盤の荷重条件およびランプなどの切り開くところの施工性などによって使い分けている。これら条件に合わせて使用するセグメントを変更する

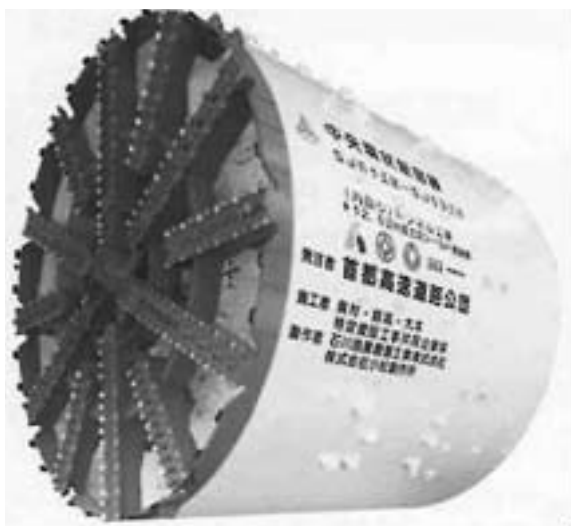


図3 シールドマシン前方部



図4 エレクタ



図5 セグメントの組立



図6 案内者を囲んで

のである。もちろん前進時に使用するジャッキの押し付け圧も地盤の条件により変わってくるという。

トンネル1周分に必要なセグメント9枚を運ぶには、トレーラ1台で5枚と15tトラック1台で4枚を運搬している。つまり1周分のセグメント幅1.2mを掘削するのにこれだけの労力をかけるという、思いを遥かに越えた労力である。

防音ハウス内を一通り見学しながら、疑問に感じたことを聞いてみた。

ここでは、何人くらいの方が作業をしているのですか？

現場で作業をしている人数は、日中だと100人程度、夜間だと70人程度である。現場が広いもので、あちこちで作業をしているのであまり目立たないかもしれませんが、その中には、土砂を運び出すダンプのドライバも含まれますから。(笑)

この防音ハウスは交通量が多い山手通り内にありますが・・・

交通量が非常に多い場所であるので交通量を調整し、また道路付近に民家があるもので騒音や振動、作業時間などの問題があるのでこういった大きな設備を作るのは施工条件が厳しく大変でした。ただし、防音ハウスができてしまうと、音があまり外に漏れないので自由に作業できるのですが、これができるまで約1年かかりました。お陰で、現在は昼夜を問わず作業ができますよ。

切削後の土砂はどこへ出されるのでしょうか？

シールド機のスクリーコンベアからの切削土を、坑内連続ベルトコンベアで立坑まで運ばれ、垂直ベルトコンベアで地上防音ハウス内の2階まで垂直搬送します。その後、中継ベルトコンベアを経由して土砂ピットまで搬送。また、シャトルコンベアを自由に配置することにより36mの土砂ピット内に等しく配分することができ、空いているスペースを有効に利用することができます。土砂ピットに溜められた土砂は、油圧式グラブバケット(3.0m<sup>3</sup>)により、計量ホッパまで運ばれます。計量ホッパでは土砂の重量がダンプ1台分で運べる重量になるよう計測し、その後ホッパを開きダンプへ積み込みます。このようにしてダンプの最大積載量を超過しないようなシステムをとっています。最近ではダンプなどの積載重量の規制が非常に厳しく、道路法を犯さないようこういった配慮をしているのです。

トンネルの内回りと外回りで、工事の進み具合が違うようですが。

掘削すると地盤に圧力がかかります。ですから、同時に同じ場所を掘削すると地盤変化の影響をお互い受けてしまうので、必ず掘削する場所に間隔を持たせています。

最後に、首都高速道路公団東京建設局建設第一部池袋工事事務所長の馬上さんから機械系の学生に向けてのメッセージをいただいた。

「ますます肥大化・複雑化する首都機能、少子化、高齢化による労働力の低下が社会問題として提起されていま

す。土木の業界においてもこれらの対策として大幅な機械化が進んでいます。機械の領域はさらに発展し続けていくと思われま。多くのものに興味を持ち、見聞を広め、視点を変えたものの見方を心がける習練をし、多様化を認め、個々に対応する幅の広いエンジニアとなることを期待しています。」

## 5 おわりに

まさに「モグラ」のように地中を掘り進んでいくシールドマシン。歩みは遅いけれど、安全かつ効率よくトンネルを作っていくその機械の姿はやはり勇壮であった。今回の訪問では、まだ工事の開始時だったこともあり、がんがんに動いているシールドマシンを見るということはできなかったが、その技術とスケールの大きさに触れることはできた。東京都心の自動車の台数が減ったと感じた時、きっとたくさんの自動車がこの地下高速道路を走っていることだろう。そんな日を想像しつつ、われわれ取材班は工事現場を後にした。

最後に、非常にお忙しい中、快く取材を了承して下さった首都高速道路公団の馬上さん、シールドマシン・工事現場の説明をして下さった奥村JVの職員の方々、また見学中に作業をなさっていた工事現場の方々に心より感謝申し上げたいと思います。

(文責メカライフ学生編集委員

山口 真, 鈴木良平, 落合高志,  
佐藤和生, 八木俊太)