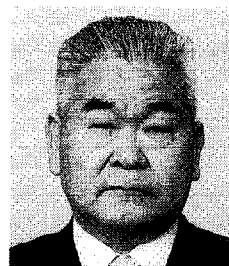


推進施工技術発展に伴う 排土方法の変遷

高根 昇

(社)日本下水道管渠推進技術協会
技術委員



1. はじめに

適切に採択された推進工法が、他のトンネル工法に比較して最も優れている点は、コストの面である。このコストの面で利点を構成する要素の第1は、工期即ち掘進速度の問題であり、第2は、張り付け人員数である。

わが国は、国土が狭く、都市に人口や経済拠点が集中し、過密な都市構造を生んだ。この都市構造の中で、上・下水道、通信、電力、ガスなどのライフラインは、地下空間の立体的利用を余儀なくされ、深層化せざるを得なくなっている。またわが国の土質条件が複雑多岐にわたっていることから、シールド工法との複合的工法であるセミシールド工法を初めとし、推進工法施工技術は、近年長足の進歩を遂げ、ますます多種多様化が進んでいる。

推進工法の施工方法を分解すると次の要素からなり、各種施工方式は各要素の順列組合せにより成り立っている。

- (1) 切羽安定機構と地山掘削排土方式
- (2) 推進管のトンネル力学的挙動と推力負荷方式および反力受け
- (3) ずり運搬方式—坑内運搬と坑外運搬

(4) 測量方式と方向調整方式

その中で排土方式即ちずり運搬方式は、推進技術の進歩に伴って、コストの面即ち掘進速度に見合った排土速度の保持及び省力化即ち張り付け人員を最小限に止めることによって、役割を果たすような工夫が採られている。

2. わが国における排土方式の変遷

推進工法施工技術の進歩に付随して排土方法も工夫されているので、年代別に発達過程を追うことにする。

(1) 発明試用期(1940～1950年代)

推進工法がわが国で最初に採用されたのは、1948年であり、以来国情に合った技術開発が進められている。

推力負荷のための油圧機器は、当初専ら手動であるシップジャッキが使用され、1950年代の後半になってジャッキの動力化に成功している。

初期の頃は、内径500mmから600mm程度の工事が多く、この場合作業員が管内に入り切羽部に腹這いとなり手掘りにて掘削をし、柄の短いスコップにて小さい「なべトロ」に積み、合図を受けて立坑に居る作業員が綱を引っ張って「なべトロ」を立坑まで出し、転倒バケットに移し替え空に

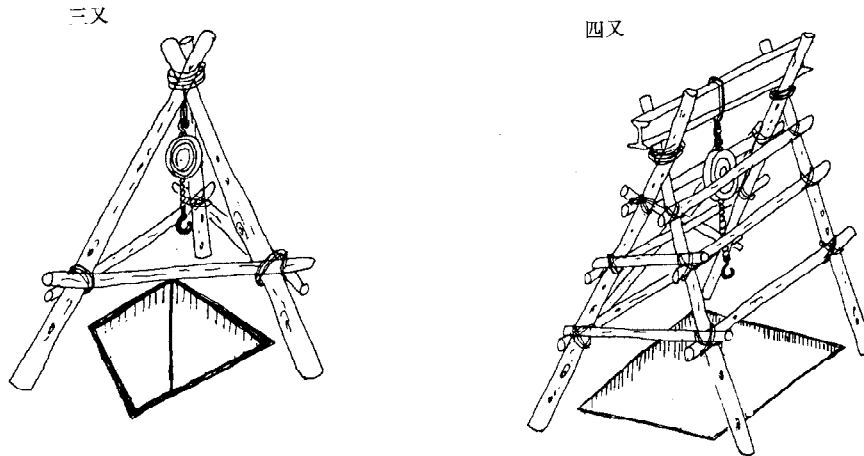


図-1

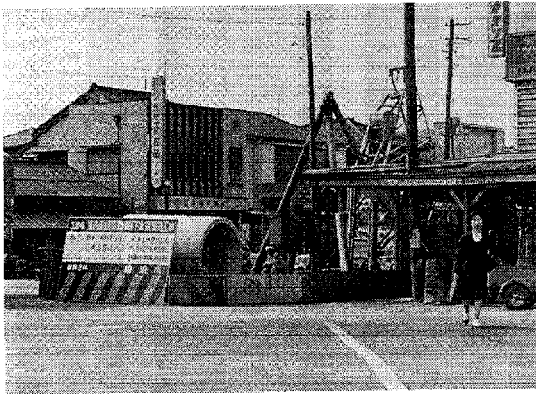


写真-1 丸太で組んだ三又

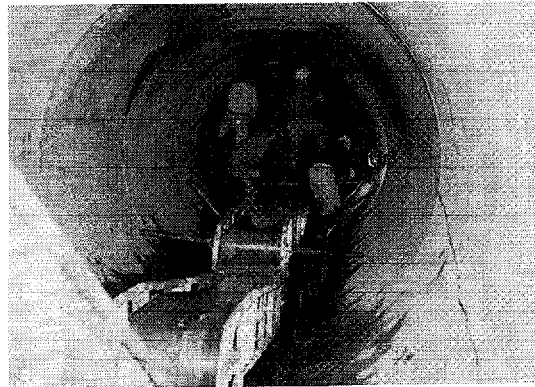


写真-2 刃口での手操作業とベルトコンベア

なった「なベトロ」を管内作業員が綱を引っ張って切羽に戻すこれらの作業を繰り返して推進を行っている。また内径400mm以下の管では、管を地山に元押しジャッキにより貫入し、立坑の中に居る作業員がハンドオーガーや柄の長い小型スコップなどにより管内土砂を取り出し、転倒バケットに積み込んでいる。推進仮設備も専ら木材を使用、押角には堅木(ケヤキなど)の尺角が用いられた。坑外ずり出し設備としては、管の吊り下ろしと兼用タイプのものが考えられ、丸太で三又または四又に組んだものが使用されていた。(図-1 参照)

(2) 発展拡大期(1960年代)

この時期は世界的に推進工法、シールド工法ともに長足の進歩を遂げた。1957年油圧ジャッキの

動力化に成功、また長距離推進に不可欠な中押し工法の技術開発と相俟って能率の向上、適用範囲の拡大がなされ、さらに1960年にはボックスカルバート推進が施工されている。1962年にはシールド工法が東京都下水道局幹線管渠に採用、良好な成果をあげたことから各地に拡大、多くの幹線工事に採用されることになり、その技術も競って習熟されつつあった。一方特殊シールド工法またはシールド推進工法の名のもとに研究が進められたのもこの頃で、横浜市では1967年に大手シールド業者、推進専業者各社の技術陣が競って独自の方式を発案し、セミシールド工法と称し推進工法の分野へ加担することとなった。

シールド工法は、軟弱な地盤にトンネルを掘削

表-1 標準呼び径別ずり出し設備一覧表

呼び径 (mm)	形 式	トロバケット寸法 (m)	操 作 方 法		容 量 (m^3)
			坑内走行	吊上げ等	
600 700	トロバケット (つり手なし)	幅0.4×長さ0.65×高さ0.15	両端綱引 (ロープ30m付)	転倒バケットに 積替えてつり上げ 0.1 m^3 転倒バケット 径0.5×高さ0.51	0.032
800 900	トロバケット (つり手なし)	幅0.45×長さ0.66×高さ0.18	両端綱引 (ロープ30m付)	転倒バケットに 積替えてつり上げ 0.1 m^3 転倒バケット 径0.5×高さ0.51	0.045
1,000 1,100	転倒式トロバケット (つり手付)	幅0.5×長さ0.7×高さ0.23	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ 引出しレール必要	0.076
1,200 1,350	転倒式トロバケット (つり手付)	幅0.6×長さ0.8×高さ0.26	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ 引出しレール必要	0.12
1,500 1,650 1,800 2,000	トロ台車(タイヤ式) および 転倒式トロバケット	径0.8×高さ0.6	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ 引出しレール必要	0.30
2,200 2,400 2,600 2,800 3,000	トロ台車(タイヤ式) および 転倒式トロバケット	径1.0×高さ0.9	レール敷設 手押し	直接つり上げ はしごレール必要	0.70

する特殊技術として誕生して居り、適用に当たっても地山安定のために補助工法を必要とする場合が多い。特に圧気の併用は、シールド工法に適合しており不可分の関係にあったといえる。

シールド工法における排土方法の標準的な手法は、シールド機をジャッキにより推進し、掘削、積込みは人力で行い、シールド前面で掘削した土砂は、シュート、コンベヤ等によってシールド機後方に搬出する。運搬方法は、坑内におけるずりを先づ土運車に積込み、バッテリーカーによりけん引運搬し、立坑底部と坑外の間を、クラムシェールバケットによりずり運搬を行い、ホップに貯留する。貯留された土砂はダンプトラックにより土捨場に処分するように決められている。

この方法は、推進工事においても呼び径1,650以上の大口径で長距離推進の場合に準用されている。

(3) 標準統一期(1970年代)

建設公害対策、安全性で優れている都市トンネ

ルの花形時代を迎え、推進工法の需要が急速に伸びた。また下水道整備促進が叫ばれる中で、技術者が大都市のみに偏在していること、設計・施工に関する指針がなく、設計の考え方および施工法の統一性に欠けることなどが、多々指摘されることになった。

このようなことから(社)日本下水道協会(以下「下水協」という)において、さきに設置された「シールド工法等調査専門委員会」内に「推進工法小委員会」が設けられることとなった。このため委員会を組織し、規格管制定、施工法の標準化、設計積算要領・歩掛の作成、設計施工指針の発刊等が次々と進められた。

推進工法における排土方法の標準的な手法は、推進管の先端に刃口を装備し、ジャッキ推力により推進させ、刃口部の土砂を人力により掘削し、はね出しによりトロバケットに積込む。運搬方法は、坑内ずり出しはトロバケットを用い、立坑底

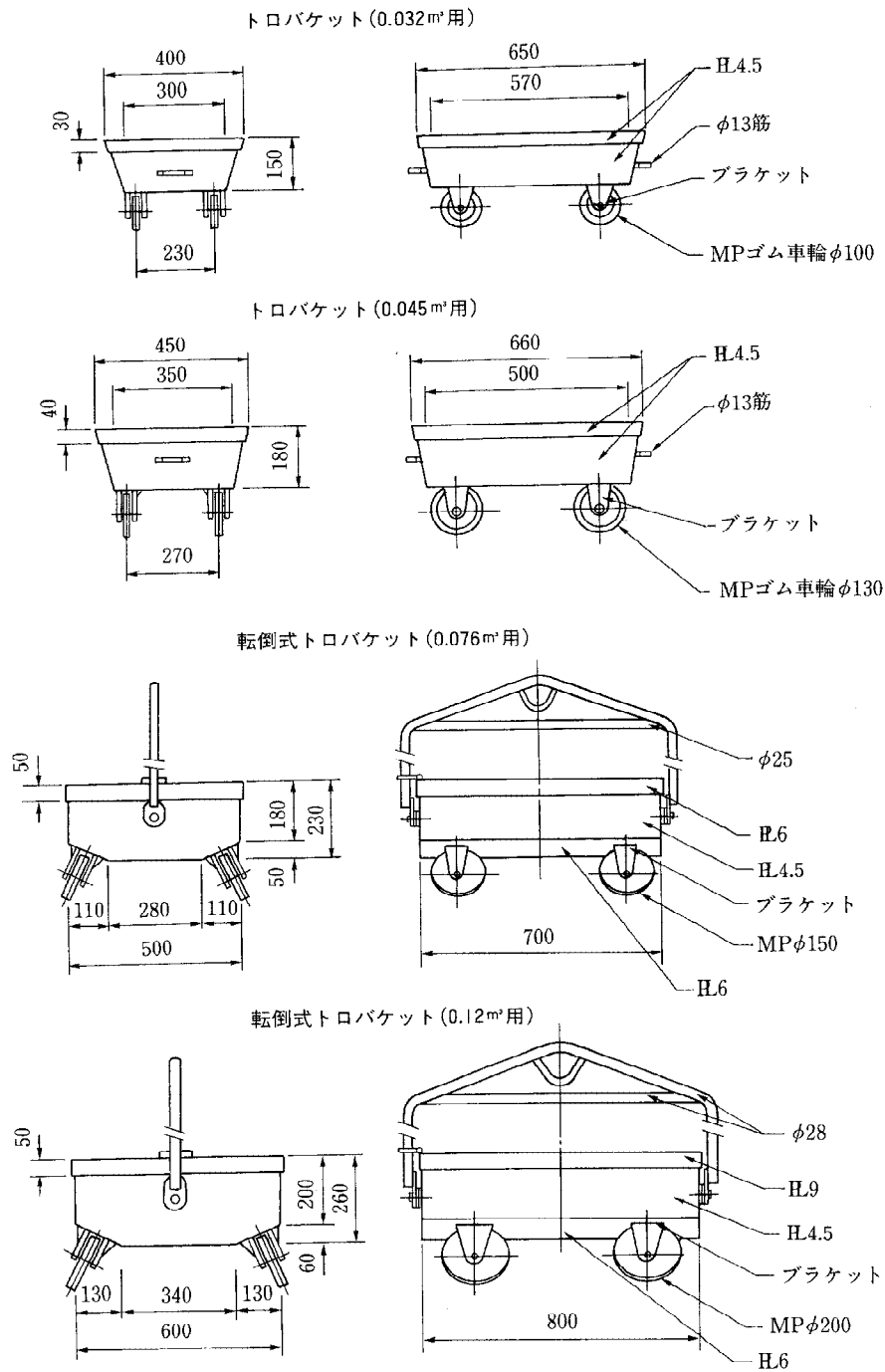


図-2 標準トロバケットおよび転倒式トロバケット構造図

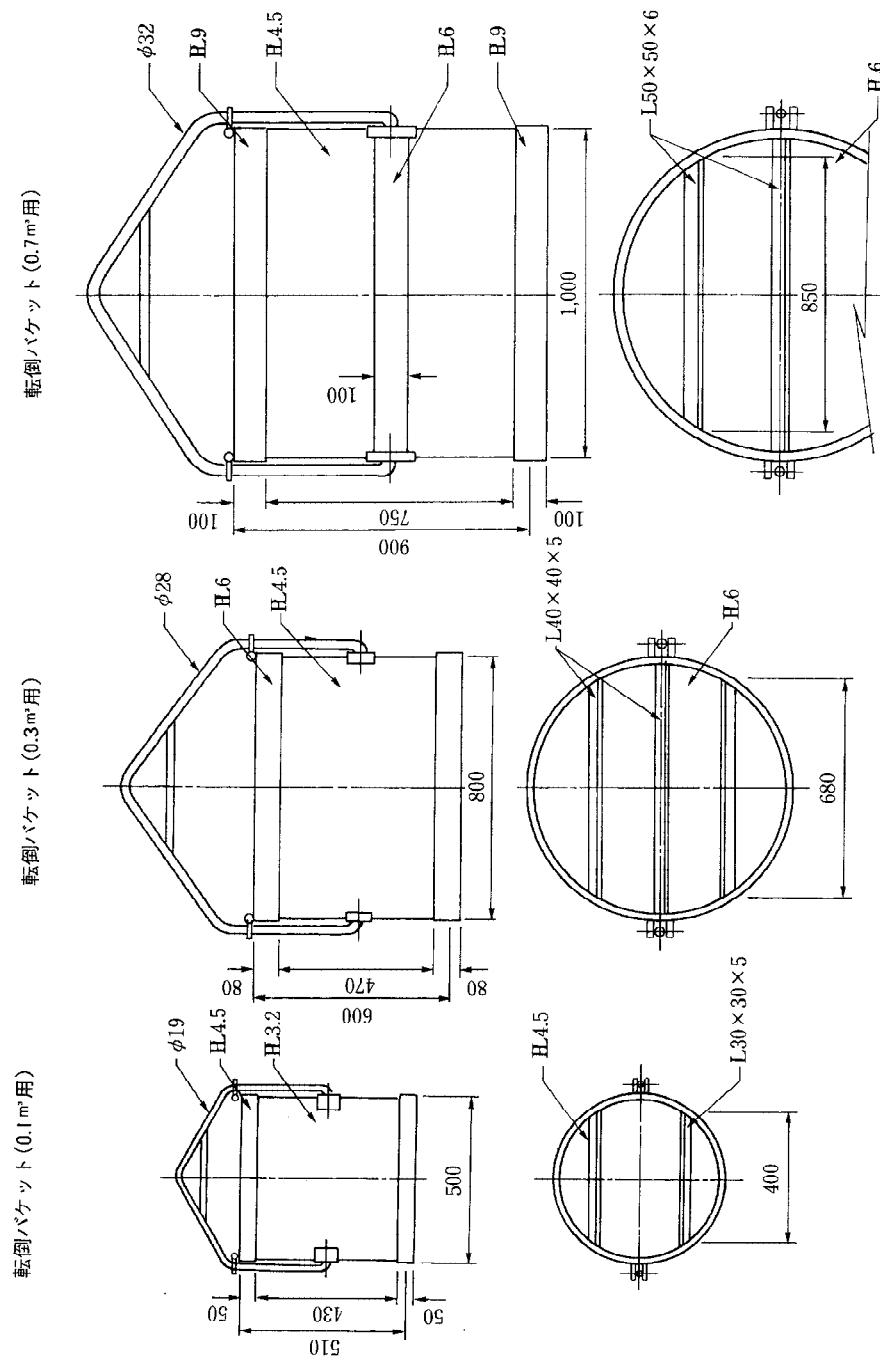


図-3 標準転倒バケット構造図

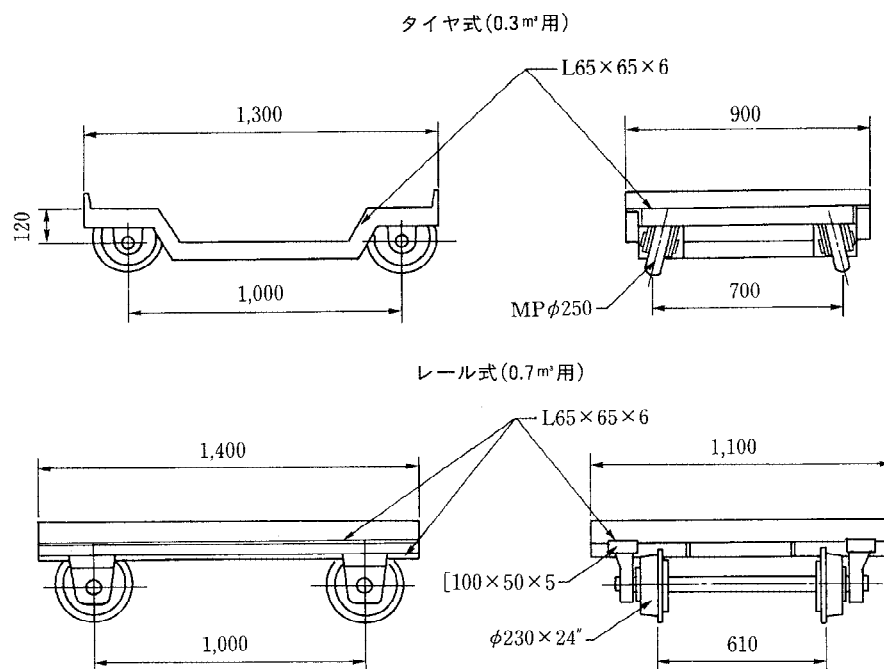


図-4 標準トロ台車構造図



写真-3 バッテリーカーによる土砂運搬

部より坑外へのバケットの巻上げは、クレーンの子巻を使用し、直接ダンプトラックに積み込み処分するよう決められている。

すなわち坑内ずり出しを行うには、トロバケッ

ト、転倒バケットとトロ台車の組合せによって行うこととしている。呼び径別の標準トロバケットの容量、坑内走行方法、つり上げ等の操作方をまとめると、表-1のとおりである。また標準トロバケットおよび転倒トロバケットの構造図を図-2に、標準転倒バケット構造図を図-3に、標準トロ台車構造図を図-4に示す。なお引出しレール、はしごレールの構造についても標準が決められている。(図省略)

これらは、1973年8月「下水道用設計標準歩掛り表-管路施設推進(刃口元押し)工法編」として成案、1975年7月には「下水道推進工法の指針と解説」として成案、それぞれ刊行の運びとなっている。

ところが、昭和50年度会計検査院より「歩掛り表の日進量が最近における施工の実態にそぐわない」との指摘を受け、再調査を実施した。最近における実績データを集め、歩掛り作成時の実績データとを分析比較した結果、技術の進歩等により日進量が5割程度伸長向上したことが確認されたため、日進量の変更として1976年9月建設省に報告

表-2 標準呼び径別ずり出し設備一覧表

呼び径 (mm)	形 式	トロバケット寸法 (m)	操 作 方 法		容 量 (m³)
			坑内走行	吊上げ等	
600	トロバケット (つり手なし)	幅0.4×長さ0.76×径0.4半割	両端綱引 (ロープ40m付)	転倒バケットに 積替えてつり上げ (転倒バケット0.15m³)	0.05
700					
800	トロバケット (つり手なし)	幅0.5×長さ0.8×径0.5半割	両端綱引 (ロープ40m付)	転倒バケットに 積替えてつり上げ (転倒バケット0.25m³)	0.08
900					
1,000	転倒式トロバケット (つり手付)	幅0.7×長さ0.8×高さ0.28	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ	0.15
1,100					
1,200					
1,350	転倒式トロバケット (つり手付)	幅0.8×長さ0.8×高さ0.42	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ	0.25
1,500					
1,650					
1,800	転倒バケットおよび トロ台車(タイヤ式)	径0.8×高さ0.8	手押し (ノーパンクタイヤ付)	直接つり上げ	0.40
2,000					
2,200	転倒バケットおよび トロ台車(レール式) および積込コンベア	径1.0×高さ0.85	手押し (レール敷設)	直接つり上げ (はしごレール使用)	0.65
2,400					
2,600					
2,800	転倒バケットおよび トロ台車(レール式) および積込コンベア	1.0角×高さ1.0	手押し (レール敷設)	直接つり上げ (はしごレール使用)	0.90
3,000					

された。

これを受けてずり出し設備も見直しが行われた。即ち当初の標準化は、掘削および推進が15cmづつの作業サイクルで組み立てられ作業時間を計算し、日進量が求められていた。この日進量が5割程度伸長するためには更に効率を高めなければならず掘削および推進を20cmの作業サイクルに改めることとした。このためずり運搬用のトロバケット、転倒式トロバケット、転倒バケットの容量を増加する必要があった。改訂された標準呼び径別ずり出し設備一覧表を、表-2に示す。

1980年12月下水道用設計積算要領の改訂版として管路施設(推進工法)編を発刊、ここに1971年6月以来下水協において進められた、推進工法の標準統一化作業は一応完了し、一段落することになる。

(4) シールド応用期(1970年後半、1980年代)

シールド工法は、当初安定した地盤条件下で採用され、開放型シールドによる手掘り式が補助工

法(特に圧気工法)を含めて確立された。

次いで軟弱沖積層に挑むこととなり、部分開放型シールドによるブラインド式、さらに密閉型シールドによる泥水式へと技術開発がなされた。またブラインド式を拡大して密閉型シールドによる土圧式を発案し、さらに切羽安定を求めて泥土圧式へと改良されていった。

機械掘り式の採用は、日進量を伸長させる結果となっている。また工事量の増加に伴い施工条件も多様化し、都市部における施工環境も一段と厳しさを増して、いかなる苛酷な条件下でも応じ得るよう努力が払われている。これらの施工技術はそのまま推進工法にも応用され実績が積まれている。

排土方法即ちずり運搬方法も、前述の推進技術の進歩に伴って多種多様な方法が検討され実用化されている。

ずり運搬方法(坑内ずり出し)には次のものが挙げられる。

1) ずりトロバケット運搬方式

- ① 人力綱引き式
- ② 人力押し式
- ③ ウインチ巻き式
- ④ 軌条式トロ、バッテリーカーけん引式
- ⑤ モノレール、バッテリー自走トロ車式

大口推進工法では、①②③を用いることが多い。特に③が効率的である。大口径管で長距離推進工事にあっては、④⑤を用いることがある。

この場合作業員の安全のため歩行通路を確保するよう配慮する必要がある。

2) 連続ベルトコンベヤ方式

呼び径1,500程度以上では、土質、延長および立坑スペースなどが適している場合に用いることがある。常に良好な状態に整備されている場合には、非常に大きな運搬能力を持っている。

3) パイプ+ポンプ・流体輸送方式

泥水方式で用いられる方法である。流体輸送管理(含切羽安定管理)、掘削管理のため制御を含んだ確実な管理体制をとり得るものでなければならない。

4) パイプ+ポンプ・モノポンプ圧送方式

ブラインド方式、上圧方式で軟弱地盤掘削の場合有効である。

5) パイプ+空気圧・輸送方式(真空式・圧搾空気式)

特殊な場合に用いられる。

坑外ずり運搬方法は、主としてクレーン設備によってトロバケット又は転倒バケットをつり上げる方法が採られている。クレーン設備は、標準的設備として門形クレーン(走行式)を用いることとし、テルハ形クレーン、トラッククレーンなども現場条件によって必要な場合に用いられている。推進工事においては、土砂ホッパーを用いることは稀である。

(5) 小口径管推進工法発展拡大期(1980年代)
わが国における小口径管推進工法の技術発展の過程について概要を述べる。

1) さや管式

当初小口径管を開削によらず埋設するには、有人作業の可能な最小口径管を推進し、

それをさや管として用い、本管を引込み固定するのが一般的であった。しかしこの方法は経済的に著しく不利であったことから、小口径管推進工法の発想が生れることとなった。

2) ホリゾンタルオーガ工法の実用化

1960年代後半より、ボーリング機、アースオーガ機を水平にとの発想から採用されるようになったが、下水道に利用するには施工精度、推進延長などに難点があった。

3) 高精度工法の開発

1970年代初め頃から機械メーカーにおいて、方向調整、掘削、ずり出し等の管内作業を無人化した遠隔操作によって行い、施工精度の良好な機器の研究開発が進められ、1975年に完成、試用されるに至った。

4) 各種方式に拡大実用化

下水道整備事業が急激に拡大し、小口径管推進工法の社会的ニーズが高まったことから、急速に機械メーカー、施工業者が競って技術開発が進められ、オーガ方式、泥水方式、水圧バランス方式、ボーリング方式に関する機器も開発、拡大実用化の時代を迎えた。これらの技術開発は、民間特にメーカー主導型で進められた。小口径管推進工法での排土方法(立坑までのずり出し)には次のものが考えられる。

① 自然流下によるもの

最も原始的なものでボーリング方式において切羽に対し注水し、管に入った土砂を水で自然流下により立坑まで運ぶものである。

② スクリューコンベア運搬方法

最も多用されている方法で、管内のスクリューを回転することにより、先導体で掘削されたずりを立坑まで搬出するために用いられる。オーガ方式、拡大圧入方式、水圧バランス方式一工程式では、殆どがスクリューコンベアによりずり出しを行っている。

③ パイプ+ポンプ・流体輸送方式

泥水方式、水圧バランス方式二工程式で用いられている。なお切羽水圧、排泥流量、泥水の圧力、比重、流量等の制御を行っている。

④ パイプ+空気圧・輸送方式(真空式・圧搾

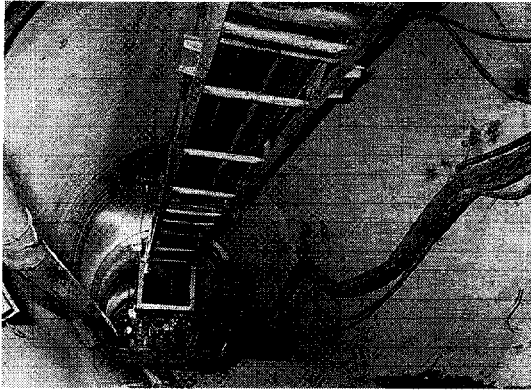


写真-4 ベルトコンベアによる土砂運搬

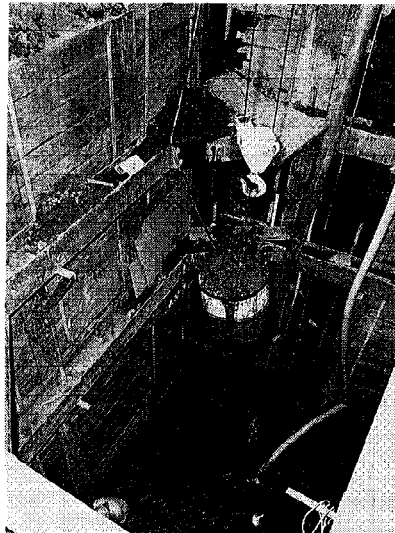


写真-6 転倒バケットにより土砂を吊り出す

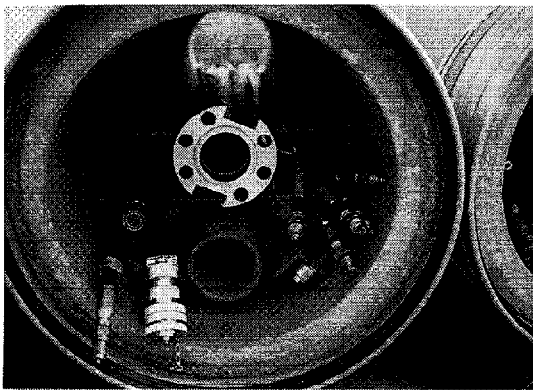


写真-5 流体輸送用の送排泥パイプ



写真-7 ホッパーによりトラックに土砂を積み込む

空気式)

掘削断面が小さく、掘削土量が少ないため有効な排土方法である。最近開発された方式の中に採用されつつある。

3. おわりに

推進工法は、開削工法、シールド工法と比較して、建設公害防止、工期、経済性の面で有利であること、またわが国の複雑な地形、地質、環境条件に適していることから、需要も伸び、施工技術も研究開発が進展するものと思われる。

したがって今後は特に曲線施工を含めた長距離

化、小口径管の非開削化のニーズの高まりから、掘削方法、排土方法、測量および方向調整方法は、自動化されたシステムが確立される方向に技術開発が進められるものと思う。

一方残土及び汚泥等の産業廃棄物の処理は、ますます制約条件が厳しく、かつ大きな費用負担を要することから、排土を皆無に、または極力少量にしたいとの発想が生まれてくる。

このため、この分野の技術開発・実用化に大きな期待が寄せられている。