

19. シールドトンネル内の掘削土砂の流体輸送について

三井建設(株) 中井 栄

1. まえがき

石炭鉱山傾斜坑道掘削の切羽大湧水の連続排出を目的として開発された、フェイスバキュームポンプシステムは、その苛酷な使用条件を満足すべく設計された為、現在では、湧水処理とどまらず、ハドロのポンプアップ、砂礫等の流体輸送に広く応用されて、好結果を得ている。このポンプシステムの開発経過、及び構造、性能等を実際の施工例をあげて紹介する。

2. 開発の経過

今日の隧道工事の掘削切羽に於ける湧水は、水中ポンプによる方法がほとんどであると思われる掘削作業のサイクルタイムの内、発破作業に伴うポンプの撤去据付作業に要する時間は、僅かなものであるが、この間の湧水は全て、切羽に溜る。大量湧水の場合、この溜水の排水処理に費す時間が、かなり必要となり掘削時間を著しく短くする事になる。又、大型水中ポンプを移動、据付ける事は、多大な労力を要し、狭い坑道内では、かなりの危険を伴う作業である。

これらの諸問題を解決する為には、ポンプの移動なしに、常時(発破作業中も含めて)切羽の水を集水する方法を考えねばならない。現在使用されている自吸式タービンポンプ等は、上記の集水方法と同様な方法であるが、サクシオン側より一度空気を吸込むと、再揚水には数分間のタイムロスが発生する。苛酷な現場条件下に於ては予期せぬ問題が発生すると思われたが、基本設計条件として、次の諸条件を満足すべく、基礎実験を行いながら、一号機を完成した。

- (A) 発破作業時にポンプ撤去を行わず連続運転可能な事
- (B) サクシオン口に於いて、空気を吸込んでも連続吸水可能な事
- (C) 横心機械等により発生するハドロ状土砂、岩粉も排出可能な構造である事
- (D) 現場で発生する木片、ビニール片等により、閉塞トラブルの起らない事

(A) (B) の条件はウェルポイント互法に於いて使用する真空ポンプ吸引方式を利用する事により容易に解決できたので、(C) (D) の条件を満足すべく、Fig-1に示す構造にして、一号機の試作を行った。この試作機は現在、三井石炭鉱業岡山坑に於いて昼夜連続運転中である。8ヶ月使用後、オーバーホールして調査した結果、修理箇所は、無かった。

3. 構造

(1) サクション口

茶臼にて破損せぬ様、鋼製にて強固に作り、ストレーナーは40%~50%の土砂、木片等の吸込みが可能の様、大きくする。特殊な場合、サクション口の内部に、エアノズルを設け、間歇的に空気を噴出させ附着ゴミを取除く。

(2) サクションパイプ

茶臼等を行なう場合は、切用より約30m区間は鋼管を使用する。パイプジョイントは、完全気密にする事は困難で、自吸式ポンプ等の場合、保守管理が大変であるが、本システムの場合、簡便な連結により少々の空気漏れが発生しても、揚水には殆んど不都合は生じない。

(3) フレキシブル サクションホース

パイプの連結、延長を容易にする為に使用する。

(4) 真空タンク

揚水ポンプを内蔵可能な、鋼製容器である。

(5) 攪乱羽根

真空タンク内に混入した土砂等を混合し排出する。この羽根は、ポンプのストレーナー部に附着するゴミを取除く役割も持っている。

(6) サンドポンプ

水と混合した土砂を排出できるサンドポンプを真空タンク内に設置する。

(7) 電動機

苛酷な現場条件下に於ても漏電トラブル等による故障の無い様にポンプ本体と分離す。

(8) 真空ポンプ

水冷式の真空ポンプを設置している。

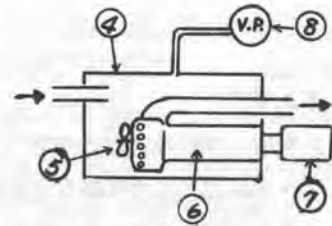


Fig-1

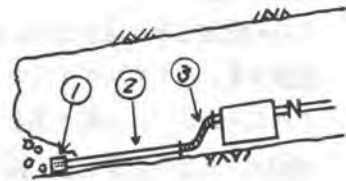


Fig-2

4. 機構

Fig-1, Fig-2に示す様な標準的使用条件での、本システムの機構の概略を述べる。

- (8)の真空ポンプにより、サンドポンプ(6)が内蔵した真空タンク(4)を真空状態に保ち、(1)(2)(3)のサクショパイプ系統よりタンク内へ水を吸引し、タンク内サンドポンプ(6)によりタンク外へ排出する。以上が基本的な動作である。種々異なる汚泥水の揚水も可能にした機構を下へ記す。
- (1) サクショ側とデリバリー側を分離する事により、タンク内まで、サクショパイプ口径以下の粒径の固形物が障害無く通過可能である。
 - (2) デリバリー側を支持するサンドポンプに、インペラー部分がオーマン型のものを使用する事により、大粒径のものが排出可能となる。
 - (3) 電動機はポンプと分離型とし、大粒径固形物等を排出するに要する動力増加等も、大馬力の電動機と交換し、簡単におこなう事ができる。
 - (4) サンドポンプを水平に設置する事により、サクショ側より空気を吸込んだ場合にもインペラケーシング内での空気抜きが可能である。

5. バキュームサクショシステム を応用した土砂の流体輸送

(1) 砂の流体輸送 (予備実験)

シールドトンネル掘削にあたり、土質が完全な砂層である事と、トンネル径が小さい事(内径1350mm)とを考慮して、バキュームサクショ方式による流体輸送を用い、掘削土砂の坑外搬出を計画し Fig-3に示す予備実験を行った。

サクショ長を20mとし、容器中の2mの砂に注水しながら吸込み、輸送した結果、約10分間で、完全に輸送を終えたこれは12mm³に相当する。本シールドトンネルは、掘削径2000mm、延長360m、掘削土砂量約1200m³となる。従って正味掘削時間は100時間とみて、本シールド工事に充分応用できると判断した。

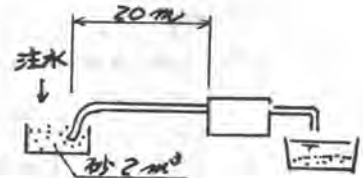


Fig-3

(2) 工事の概要

Fig-4に示す様に、発進立坑内にフェイスバキュームポンプを設置し、水平坑道内に、4φガスパイプを連結し、輸送を行った。当初に於ては、トンネル掘進と併し、ポンプ本体も坑内へ設置移動する予定であったが、総延長360m全区间、サクショ能力の低下がみられなかった為、立坑内に設置したままであった。このシステムによる最大輸送記録は0.75m³/min(45mm³/s)であった。

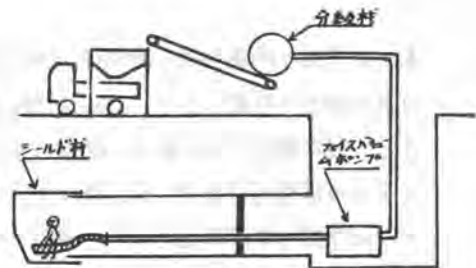
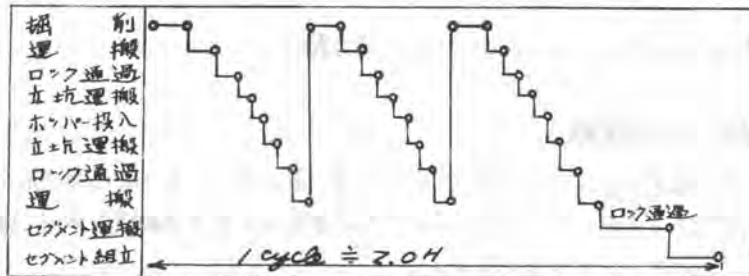


Fig-4

本システムの特徴を下に記す。

1. 掘削はサクシオンパイプを延長してゆくだけで可能であり、残土運搬は流体輸送である為、作業が非常に能率よく行え、掘進能率が向上する。
2. 切羽の掘削は、バキュームポンプによる吸引であるので、作業員はサクシオンホースを持つだけでよく疲労が少ない。
3. シールド掘進機の前面は開放型とでき、他山の監視が可能である。
4. 坑内から坑外まで連続した流体輸送である為、圧気ロックの開閉が最小限であり、圧気による高圧障害が非常に少ない。
5. 坑内の掘削、土砂運搬設備は4 ϕ 鋼管のみであるので、特に小断面トンネルの場合、有効断面積がなくなり作業環境が良くなる。

Fig-5に バッテリーロコによる運搬と流体による運搬の標準サイクルを図示する。



バッテリーロコによる圧気シールドにおける標準サイクル



流体輸送によるシールド標準サイクル

Fig-5

6. 将来の展望

本システムの開発当初の目的は、切羽湧水の連続揚水であったが、それにとどまらず、砂、ハドロ等の排出も可能となり、土砂流体輸送の一手段として有効である事が実証された。特に圧送でなく、吸引輸送である事で、配管の塞閉等の復旧が容易であり、機械本体の故障もなく輸送システムの信頼性は高かった。特にサクシオンパイプの配管延長が予想を大きく上回り、シールド、地下鉄の土砂輸送、河川、海のハドロ除去に有効である。又、サクシオンロより空気を吸込ませる事により、エアリフト効果を併用でき、深い立坑の揚水、鋼管ぐい内の土砂排出に使用できる。以上今後、その特徴を生かし、有力な流体輸送法として発展するものと思われる。