

13. 粘性土対応連続土砂垂直搬送装置と その施工計画

清水建設(株)：*市川 誠・久保 裕之
徳田屋建機工業(株)：羽場 正文

1. はじめに

近年、工期短縮が図れることから建物の地下部と地上部を同時並行して建設する逆打ち工法の適用が増えている。また、一方で地下鉄などのシールド工事に代表されるように建設工事の大深度化が進んでいる。これに対して、従来から揚土作業に広く用いられているクラムシェルは掘削が深くなるにつれて土砂搬出能力が低下する。また、クラムシェルで搬送する領域は荷こぼれなどもあり、危険作業空間となる。このような背景から掘削工事、なかでも揚土作業の効率化・安全性向上が強く望まれている。

本報は、粘性土の搬送が確実に行えるように開発された連続土砂垂直搬送装置「パイププレートコンベア」（以降、PPCと呼ぶ）の概要を述べた上、この装置を中心とした土砂搬送システムを構築する上での計画の手順、留意点等について述べる。

2. 装置の構造および特徴

図1にPPCの外形、表1に標準機の仕様を示す。本装置は土砂を排出する上部ユニット、チェーンを循環駆動させて土砂を垂直に搬送するための2本のケーシングパイプ、そして土砂投入用の下部ユニットを基本構成とする。これに粘性土対応として装置の投入口での粘土の詰りを防ぐ回転土砂ホッパー、排出口で搬送プレートから粘土を確実に引き剥がす揺動スクレーパが装備される。

(1) 原理

a. 搬送部

PPCは、複数枚の鋼板製の搬送プレートを等間隔に2本のチェーンでつなぎ、環状に接続したケーシングパイプ内に挿入してチェーンを環状に接続し、モータで駆動されるスプロケットホイールでチェーンをケーシングパイプの中を循環させることにより、土砂投入口から投入された土砂を連続的に土砂排出口まで搬送する。

上部ユニット内には垂直に立ち上がってくるケーシングパイプ内のチェーンの方向を水平に変換するスプロケットホイールとチェーンを駆動するドライブスプロケットホイールが内蔵され、ギアモータにより駆動される。また、上部ユニットは3分割構造で中間部の長さを変えることにより、ケーシングパイプと土砂排出部の距離を現場の条件に合わせて容易に変えることが可能である。加えて上部ユニットにはゲートを付けた土砂排出口を複数設けることができる。

ケーシングパイプは2本のパイプを並行に接続した構造である。チェーンは耐摩耗性の高いものとなっている。標準としている装置（70m³/時）ではチェーンの12ピッチに相当する768mmの整数倍の長さのケーシングパイプを接続して、チェーンとプレートを接続し、深さ方向の延長を行う。また、土砂投入口、水平横引き部をケーシングパイプの途中に付ける事ができる。

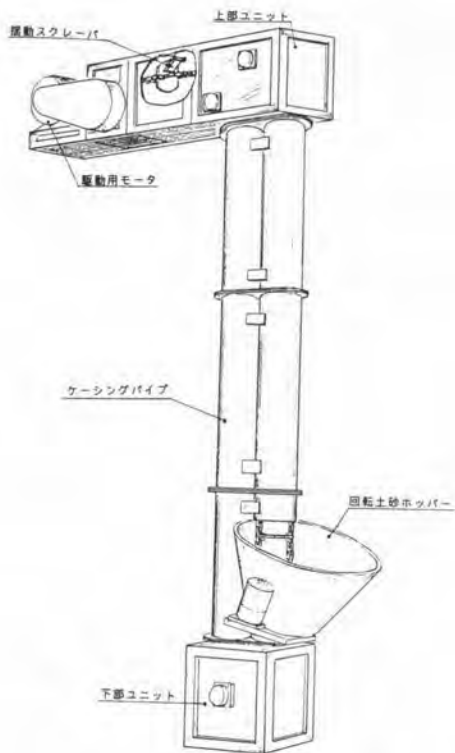


図1 PPCの外形

表1 PPCの仕様

● 搬送部 (400Aタイプ)

項目	性能
搬送容量	70m ³ /時 (但し、50%充填率)
ケーシングパイプ径	400A×2
電動機容量	37kW、3φ200V
必要開口寸法	幅 600×奥行1,200(mm) 以上
寸法	上部ユニット 高さ1,600×幅1,200×奥行4,200(mm) ・但し、歩廊を除く
	下部ユニット 高さ 900×幅1,200×奥行1,200(mm)

● 回転土砂ホッパー (400Aタイプ)

項目	性能
ホッパー容量	0.4m ³
ホッパー径	1,400(mm)
回転速度	4.5(rpm)
電動機容量	3.7kW、3φ200V
寸法	高さ2,100×幅1,900×奥行2,000(mm) 但し、接続用のケーシング部寸法を含む



写真1 回転土砂ホッパー

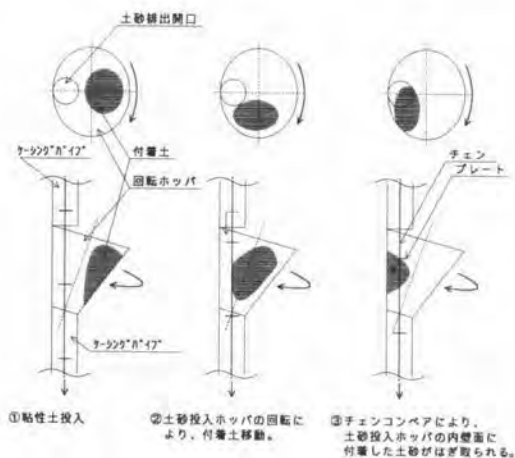


図2 回転土砂ホッパーの原理

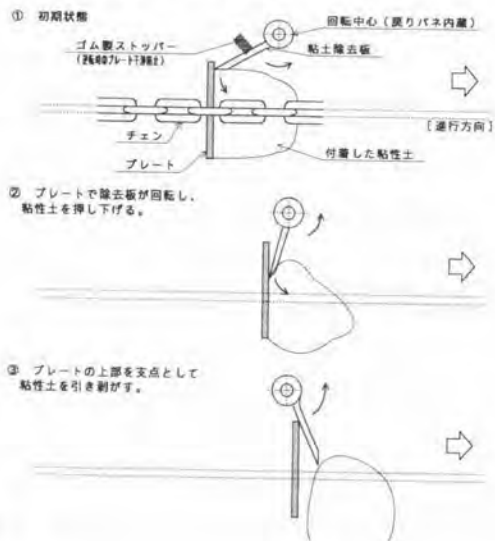


図3 揺動スクレーパの原理

下部ユニットは内部にスプロケットホイールを内蔵し、チェーンの方向変換を行う。また、下部ユニットはその横に土砂投入口を設けたタイプと、水平横引き部分を設けて土砂投入口とケーシングパイプの距離を離れたタイプが選択できる。

b. 回転土砂ホッパー

回転土砂ホッパーは写真1に示すようにモータで回転駆動される円錐形の頂部を切って逆さにした形状のホッパーで、その内側を搬送プレートが通過する。図2に示すように投入されてホッパー内側に付着した粘土はホッパーの回転によりケーシングパイプ側に移動して搬送プレートで掻き取られ、強制的に搬送される。

c. 揺動スクレーパ

揺動スクレーパは上部ユニットの土砂排出部直上に取付けて使用する。本装置は、図3に示すようにバネを内蔵した回転軸にスクレーパを取付けたもので、搬送プレートの進行に伴ってスクレーパの先端が粘土に刺さり、回転しながら粘土を引き剥がすものである。これにより、粘土がプレートに付着することによって生じるPPCの実搬送能力低下の防止が図られる。

3. 施工計画

土砂搬送設備構成の選択の流れを図4に示す。設備計画を行う上でバックホー、クラムシェル、ダンプトラックのように土砂を一山毎（バッチ）に取り扱うバッチ搬送設備と、ベルトコンベアやPPCのように土砂を連続搬送する設備との接点数を少なくすることに留意する。そしてバッチ搬送設備と連続搬送設備を接続する場合は、土砂を蓄えて各設備間での土砂の流れをスムーズにする土砂ホッパーや貯留ホッパーの使用を考慮する。次に土砂搬送システムの計画手順を述べる。

(1) 設備計画の条件調査

土砂搬送システムは、ピーク時の土砂搬出能力を考慮して設定する。掘削総土量から、1時間当たり土砂搬出量 q は、簡易的には次式で求められる。

$$1 \text{時間当たり土砂搬出量 } q \text{ (m}^3\text{/時)} : q = Q \div T \div H \times \beta$$

但し、 Q : 掘削総土量 (m³)、 T : 予定掘削工事日数 (日)

H : 土砂搬出可能時間 (ダンプトラックの現場への出入り可能時間)

β : ピーク時の平均搬出土量に対する倍数 (現場により設定)

(2) 設備能力の設定、設備計画

設備能力の設定は、ダンプトラックを如何に手際良く運行させるかが、重要なポイントであり、図5に示すように土砂の積込み部から掘削部位へ向かって計画する。なお、PPCの搬送能力は、バックホーを掘削設備として使用することを想定して約50%充填率の値を示しているため、定量払出し装置を介して土砂が送られる場合、搬送能力は同一仕様でもこれより高く設定できる。

a. 土砂積込み設備

近年、建設土砂搬送・処分を取り巻く諸条件より、ダンプトラックの運行関係の調査が重要である。ダンプトラックの運行は同じベースで積み出したとしても、帰ってくる時は道路の渋滞、信号待ちなど

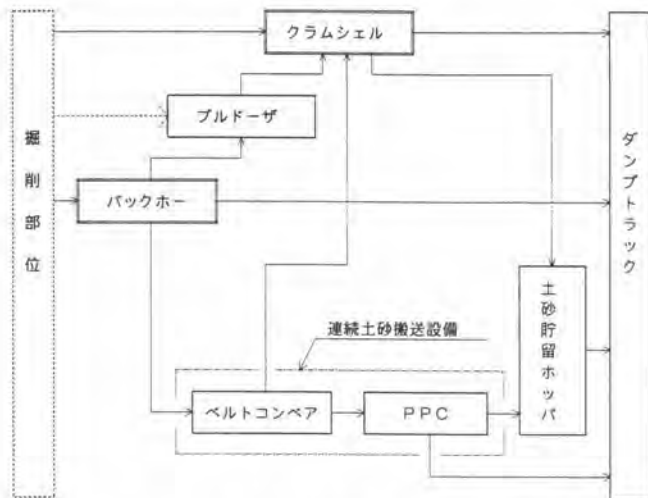


図4 土砂搬送設備構成の選択の流れ



図5 掘削土搬出設備の計画手順

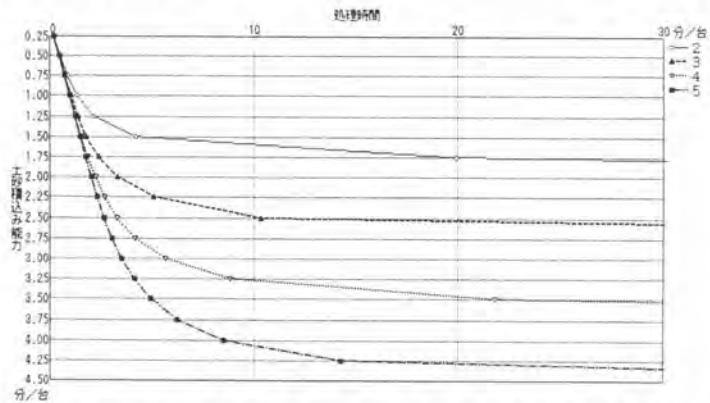


図6 積み込み設備数とダンプトラック平均滞在時間

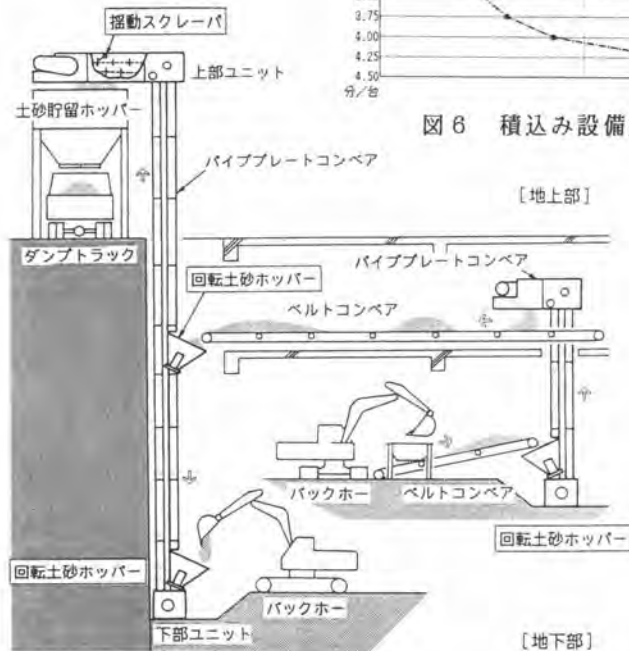


図7 逆打ち工法への適用例

の様々な影響により、ある時は連続して現場に到着したり、ある時はダンプトラックがなかなか入ってこないというのが日常茶飯事にある。このため、土砂積込み設備の能力は、ダンプトラックの待ち行列を考慮して、能力的に余裕をみて計画する必要がある。次式に1時間当りの土砂積込み設備能力P(台/時)の計算式を示す。

$$P = q \times \gamma \div D \div \delta \div \varepsilon$$

但し、D：使用ダンプトラックの積載重量(通常、11ton)、 γ ：地山の比重、

δ ：平均ダンプトラック積載率、 ε ：ダンプトラックの待ち行列解析による係数

図8はポアソン分布に従って1時間に66台のダンプトラックが到着すると仮定し、積込み設備数を2から5とした場合の待ち行列の解析により求めたダンプトラックが積込み設備に滞在(積込み待ちと積込み)する平均時間である。これによれば、例えば、窓口数が2の場合、所定のダンプトラック台数を処理するには設備能力として $60 \div (66 \div 2) \rightarrow 1.82$ (分/台)が計算されるが、本図によれば1.75(分/台)の積込み能力でダンプトラックの待ち時間が急激に増えることとなるため、これより高く積込み能力を設定する必要があると考えられる。

ダンプトラックに土砂を積込む方法としてPPCから直接、積込む場合と、土砂貯留ホッパーに蓄えてから積込む場合がある。

【ダンプトラックへPPCで直積み】

1つの土砂排出口を設備したPPCでダンプトラックへ直積みを行う場合は、ダンプトラックの入替え時間の間、PPCは休止状態となるため、時間を考慮して設備能力を高く設定する必要がある。敷地にダンプトラックを2台、並列に並べる余裕があれば、PPCの土砂排出口を2箇所設けてダンプトラックが2台並べ、その入替え時間を短縮することが可能となる。なお、この場合もダンプトラックの運行により、PPCの休止が想定されるため、これを考慮した余裕を持たせることが必要である。

ダンプトラックへPPCで土砂を直積みする場合は、PPCの土砂排出口が固定のため、ダンプトラックを徐々に前進させながら荷台に均等に積込めるように設備のレイアウトを考慮する必要がある。

【土砂貯留ホッパーを用いる場合】

土砂貯留ホッパーを用いる場合、土砂の積込み能力はそのゲートの開閉時間と土砂の性状に起因する土砂積込み時間そのものに規定される。PPCの能力はその土砂貯留ホッパーが1時間に排出する土量にあわせて設定する。

なお、PPCはそのケーシングパイプ径以上の大きさのガラなどは搬送できないことから、これらが存在する場合はグリズリなどにより選別して別途に揚重できるように計画する。

(3) 設備の配置計画

(2)を具現化する上で現場の状況に合わせた適切な設備配置計画が重要である。

【逆打ち工法】

図7は逆打ち工法に適用した例であり、地下1階にベルトコンベアの配置し、サブのPPCから揚土した土砂をメインのPPCの途中から入れ、また、メインのPPCの最下部からバックホーにより、土砂を投入し、ダンプトラックに土砂を積込む土砂貯留ホッパーに土砂を搬送するシステムとなっている。

【立坑及びシールドトンネル】

シールドトンネルの立坑建設時の土砂搬送設備として、また、土圧式シールドの土砂搬送設備としてPPCを適用することができる。道路脇に土砂排出口を設ける必要がある場合、ケーシングパイプの途中に水平横引き部を設けることが可能である。

4. 本システムの効果

- (1) 掘削が深くなっても揚土能力は一定で揚土能力が低下しない。
- (2) 砂礫から粘土まで広い範囲の土質の掘削土揚重に対応できる。
- (3) ケーシングパイプの途中に土砂投入ホッパーや水平搬送部を設けることができ、フレキシブルな土砂搬送経路を構築できる。また、上部ユニットの機高が低くでき、建家内でも適用性が高い。
- (4) 70m³/時クラスのケーシングパイプで約0.6m×1.2mの開口面積に設置でき、クラムシェルに比較して開口部を大幅に小さくすることができる。
- (5) 土砂を搬送する可動部分がケーシングに覆われ、土砂のこぼれがなく、泥水を含んだ土砂の場合にも周囲を汚すことがなく、静かで、安全に作業できる。
- (6) 構成ユニットのモジュール化により、様々な条件の現場に適用でき、転用性が高い。

5. おわりに

本報で述べたPPCは、逆打ち工法や敷地の制限からクローラクレーンなどを恒常的に設置することが難しい現場での地下掘削工事、シールド工事における立坑建設の土砂搬出、土圧式シールド工事における掘削土の搬出、地下鉄駅舎工事などの大規模地下掘削工事や地下変電所建設工事の土砂搬出等に適用が可能である。

クラムシェル、ブルドーザ、バックホーを用いた従来の掘削土搬出方法は機動力が高く、普及していることから施工計画の詳細について論じられることは少ない。しかし、本報で触れたダンプトラックへの土砂の積込みを考慮した計画法は共通に適用できよう。本報が土砂搬送システムを計画するに際して諸兄の参考となれば幸いである。

最後に開発にあたり、ご支援・助言をいただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) R.J.シーロフ/R.A.グロス著、斎藤嘉博訳、『最新オペレーションズ・リサーチ概論』、1972年1月、日科技連
- 2) 光永・三沢・安藤「垂直土砂搬送装置の開発」、平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集、pp.114-117