

## 15. 気泡シールド工法のトータル施工システム

(株)大林組：\*上田 尚輝・(株)熊谷組：北原 陽一

### 1. まえがき

気泡シールド工法は、切羽あるいはチャンバ内に、特殊起泡材により作られた気泡を注入しながら掘進する工法で、注入される微細なシェービングクリーム状の気泡が、掘削土の流動性と止水性を向上させ、かつ、チャンバ内での掘削土の付着が防止できるため、切羽の安定を保持しつつ、スムーズな掘進が可能になる。しかも、排出土中の気泡は条件によっては自然消泡するが、自然消泡しない場合は特殊消泡材の散布により消泡されるため、排出土が気泡注入前の状態に戻り、後処理が容易である。

当工法で施工された工事は、17件(S. 61年5月現在)を数えており、それらの掘削対象地盤は帯水砂礫層から粘性土層までの広い範囲であり、いずれも良好な施工実績をあげている。

これには、気泡シールド用に開発されたトータル施工システムが次のような点で大きく寄与していると考えられる。

- イ. コンピュータを含めた自動制御機能を導入して、掘削地山に応じて設定された気泡混合率（気泡注入体積／掘削土砂体積）、発泡倍率（気泡体積／起泡材体積）を保持し気泡を注入する。
- ロ. 施工システムの大部分を自動化し省力化をはかると共に施工管理が容易である。
- ハ. 気泡注入状況やシールドマシンの各種データを連続記録することにより施工管理が行いやすい。

本報文では、気泡シールド工法で重要なファクターとなるトータル施工システムの概要ならびに施工例の一部について報告する。



写真-1 気泡

### 2. トータル施工システムの概要

気泡シールド工法のトータル施工システムは、大別して①起泡材作成設備、②気泡注入設備、③消泡設備に分けられる。図-1にシステム図の1例を示す。

#### 1) 起泡材作成設備

施工にあたっては、土質別に適切な起泡材を選定するが、起泡材には起泡剤の水溶液であるAタイプと起泡剤に起泡添加剤を加えた水溶液であるBタイプがある。

図-1の作成設備は、Bタイプの起泡材を作成するものであるが、添加剤散布装置、起泡材溶解槽、同貯留槽、坑内圧送ポンプおよび材料のストックヤードからなる。図-1では、地上基地に設備されているが、5mクラスのシールドでは、後続台車に組み込まれた例もある。

Aタイプの作成設備は、写真-2に示すようにコンパクトに後続台車に組み込まれており起泡材を自動で作成し貯留タンクに圧送する。

## 2) 気泡注入設備

図-1に示すように加圧されたエアと起泡材は、それぞれコンプレッサー、注入ポンプによって気泡制御装置に送られる。気泡制御装置によって流量をコントロールされた加圧エアと起泡材は、発泡装置によりシェーピングクリーム状の気泡となり切羽あるいはチャンバ内に注入される。写真-3に示すように注入ポンプ、起泡材貯留タンク、気泡制御装置は一般には後続台車に組込まれる。

## 3) 消泡設備

一般的には、作成設備は地上基地に設置し、作成された消泡材は坑内の消泡材タンクに送られる。タンクより消泡材ポンプで送られた消泡材は排出される気泡土に散布ノズルにより噴霧される。



写真-2 起泡材作成設備（台車右側）



写真-3 気泡注入設備台車

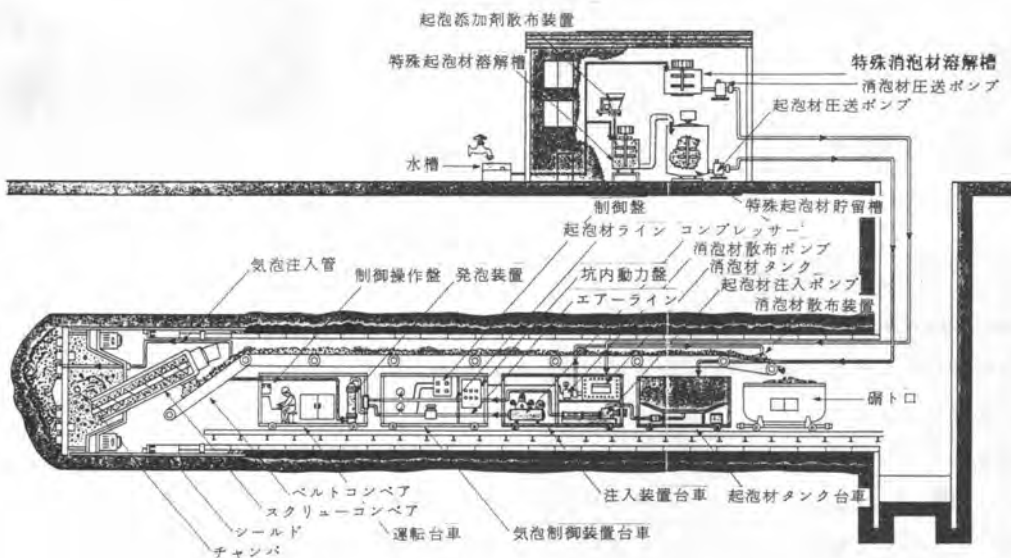


図-1 気泡シールド工法トータル施工システム図

### 3. 気泡自動注入（気泡注入設備）

#### 1) 気泡作成例

図-2に気泡の注入量を地山1m<sup>3</sup>当たり370ℓ（気泡混合率37%），発泡倍率6倍，チャンバ内圧力1.2kgf/cmとした場合の気泡標準作成例を示す。

気泡混合率=気泡注入体積/掘削土砂体積，発泡倍率=気泡体積/起泡材体積

エアは圧縮性流体であるのでチャンバ内の体積が大気圧下での体積と等しくなるように圧力換算され注入される。

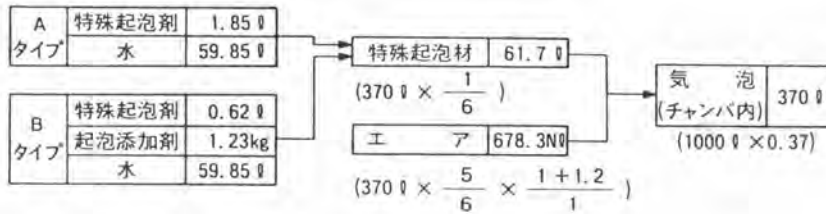


図-2 気泡標準作成例

#### 2) 自動制御

図-3に自動制御のフローの1例を示す。設定された気泡混合率，発泡倍率をチャンバ内で保持するように起泡材流量，エア流量を制御する。（図-2参照）

- ①シールドマシンの掘削開始信号で自動運転モードに切替わる。
- ②ジャッキスピードを検出し掘削土砂量を演算する。
- ③気泡混合率より気泡注入量を演算する。
- ④発泡倍率よりチャンバ内での起泡材量，エア量を演算する。
- ⑤土圧を検出してチャンバ内でのエア量を大気圧下での体積に圧力換算する。
- ⑥起泡材量，エア量の演算値と実流量が等しくなるように各々単独でフィードバック制御を行う。

また，カッター圧が設定値以上になった場合には，設定された割増気泡混合率で注入する事が可能である。

#### 3) 記録装置

以下の6項目を連続記録し気泡注入の管理を行なっている。

- ・気泡注入量
- ・エア流量
- ・起泡材流量
- ・ジャッキスピード
- ・土 圧
- ・カッター圧力

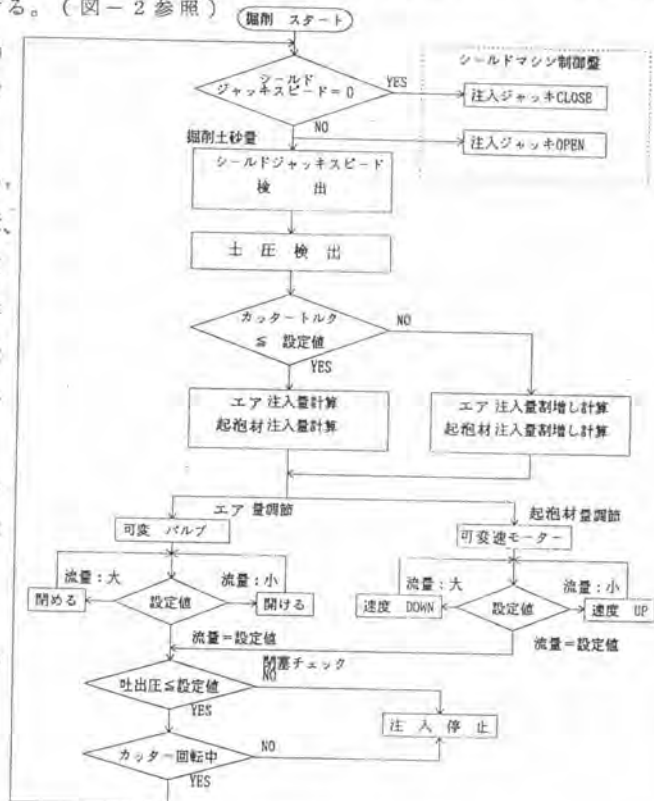


図-3. 気泡自動注入制御フロー図

#### 4. 施工例

##### 1) 工事概要

本工事は、仕上り内径 $\phi 2,400\text{ mm}$ 、延長 $1,012\text{ m}$ で土被り約 $3\text{ m}$ のシールド工事である。シールドマシンは外径 $\phi 3,280\text{ mm}$ の削土密閉式土圧シールド機である。

##### 2) 施工実績

###### ① 気泡注入

起泡材はAタイプのものを選択した。気泡注入は初期掘進時より実施し、チャンバ内土圧、カッター圧の変動が設定値以内で、かつ、排土砂の性状を確認しながら気泡混合率を変化させた。結果的には気泡混合率は $30\sim 40\%$ であった。気泡混合率は $145$ リングまでは $40\%$ に設定し、それ以後は $30\%$ に設定したが、図-4より気泡注入は正常に行なわれていたことが判る。

###### ② マシン負荷

平均掘進速度 $4\text{ cm/min}$ でカッタートルクは最大値の $60\%$ 以下、スクリーコンベアトルクは最大値の $30\%$ 以下である。

###### ③ その他

チャンバ内土圧管理値は、ほぼ設定値以内で管理出来た。土砂の取り込み過ぎもなく地表面沈下も土被りが小さいにもかかわらず少なかったことから切羽の安定は確保されたと考えている。

また、排土土のスランプは $3\sim 4\text{ cm}$ で含水比は砂層の場合 $20\%$ と自然含水比 $25\%$ と比べ低くなっている。したがってダンブに山積でき普通残土として取扱うことができた。

#### 5. おわりに

気泡は閉回路の中で作成されそのまま切羽やチャンバ内に注入される。泥土等を注入する場合、大気圧下で作成した泥土の品質を検査する事が出来るが、気泡の場合には圧力下で設定した気泡混合率発泡倍率を保持するように起泡材流量、エア流量をコントロールしているので大気圧下で簡単に検査することは出来ない。この気泡シールド工法のトータル施工システムは、この問題を解決し気泡シールド工法の普及に大きく寄与したと考えている。

最後に、開発にあたり、関係者の御協力を頂いたことを感謝致します。

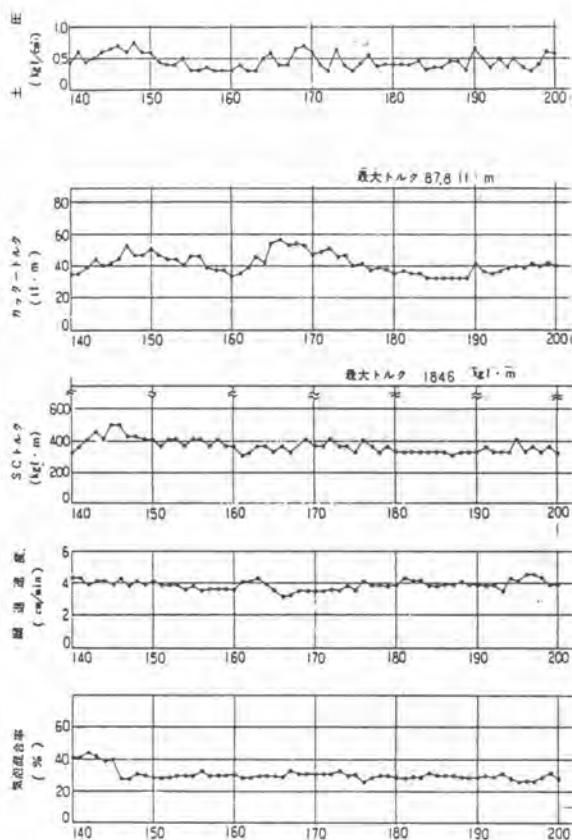


図-4 掘削記録の一部