

## III-18

## 泥土圧シールド工法における土量計測システムの開発

柳奥村組 正会員○杉本 博史  
同上 正会員 畑山 栄一

## 1. まえがき

泥土圧シールド工法ではカッターチャンバー内の掘削土砂を所定の圧力に保つことにより切羽の安定を確保している。しかし、所定の圧力に保つ制御が不十分であったり、圧力の設定値にミスがあった場合、切羽の安定を確保できない。このため、間接的な方法であるが排出土量を所定の値に保つ管理も必要である。

排出土量の計測は、掘削と排出の過程で土、地下水、空気などの含有率が変化するため計測精度に問題がある場合が少なくない。測定精度向上の対策の一つとして、水、空気などを含んだ排出土砂の体積、密度など2種以上の物理量を検出することが有効であると考えられる。

泥土圧シールド工法において測定精度の高い土量計測を行うことを目的に流量計、密度計などの土量計測装置の精度を把握する実験を実施した。ここでは、パイプライン搬送を取り上げ、実験によって求めた土量計測の精度について説明を加え、さらに実験結果から高性能であった装置の組み合わせによる土量計測システムの説明を行う。

## 2. 土量計測装置性能実験

泥土圧シールド工法におけるパイプライン搬送方式の土量計測には、種々の計測方法があるが、流量計や密度計を利用した計測がリアルタイムに行うことができるため、最も有効であると考えられる。検出器の精度を確かめるために実施した実験の内容について述べる。

1) 検出器 実験の対象とした検出器を表-1に示す。パイプラインに組み込むことができ、かつ、排出土の性状や搬送条件に合致する検出器を対象にした。直管およびU管密度計は新規に開発した検出器である。

2) 実験内容 地上に直径10cmのパイプラインの模擬装置を設置し、実験対象の検出器をパイプラインに組み込んで試料を送り検出性能を調べた。

図-1に示すように、貯留槽の試料を送泥ポンプで送る。試料は実験対象の検出器を通して較正用の計量タンクに流入する。計量タンクは試料の体積と重量を測定できる構造をもつ。計量タンクの計量値を基準として、検出器の測定値を評価した。

検出特性を調べるために、実験要

表-1 実験対象検出器

| 検出器名称                        | 内 容                                                                                                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 流量計<br>2周波励磁方式電磁流量計<br>(市販品) | 検出器の動作原理は電磁誘導の法則による。低周波数と高周波数の矩形波を励磁する。本流量計は従来タイプに比べ低速領域で精度低下が少なく、また、スラリーノイズに影響されにくい。固体、気体を含む液体でも精度低下が少ない特長をもっている。    |
| 超音波ドップラー流量計<br>(市販品)         | ドップラー効果を利用。泥土圧シールド工法の現場で試験的に用いられている。計測データに影響を与える要因が多いため、実用的であるかどうかを判断することが難しい状況である。センサーの取り付けが容易である。                   |
| 密度計<br>γ線透過式密度計<br>(市販品)     | 放射能をカウンターで計数する。泥土圧シールド工法における泥水濃度測定に用いられた実績がある。移動状態での測定実績が少ない。センサーの取り付けが容易である。                                         |
| 直管密度計<br>(開発品)               | 直管型パイプラインの一部の重量を測定して、管内の被測定物の単位体積重量を検出する。直管部の両端をゴム継手で接続した。市販の測定器がなく、新規に製作した。                                          |
| U管密度計<br>(開発品)               | U管型パイプラインの一部の重量を測定して、管内の被測定物の単位体積重量を検出する。U管部の両端をゴム継手で接続し、管軸と軸心を一致させた回転軸受けでU管部を支持し、U管部が上下に変位しない構造をもつ。両端支持部の支持力の影響が少ない。 |

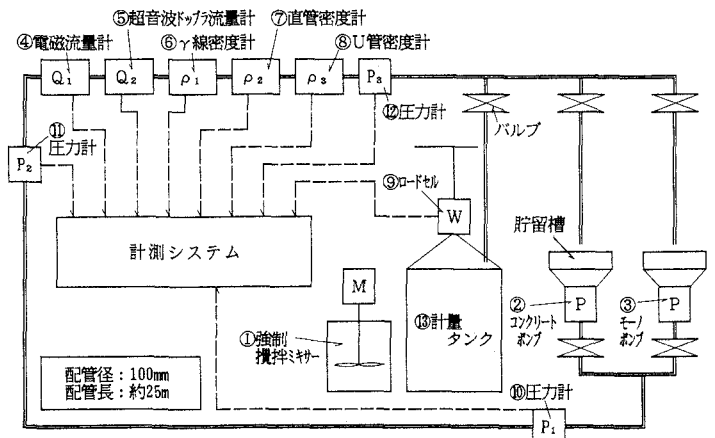


図-1 実験装置系統図

因として脈動の有無、搬送試料、流速、圧力、空気混入率を変えて実験を実施した。ポンプには、脈動のあるコンクリートポンプと脈動の少ないモノポンプの2機種を用いた。

3) 実験結果 流量計の実験結果を表-2に、また、密度計の実験結果を表-3に示す。

2周波式電磁流量計は精度が±16%以内であったが、ばらつきの原因を補正することによって精度を±5%以内にすることができた。

一方、ドップラー流量計は搬送試料によって精度が異なり、搬送試料が土砂の場合に測定不能の状態が多く、小さい測定値を示した。また、脈動のある場合にも測定不能の状態になり、このときは大きな値を示した。センサーの取り付けは簡単であるが、概して精度が悪い。測定が正常に行われている状態で精度は-50%～+80%であった。

ガンマ線密度計の精度は±3%以内であった。瞬時に密度が変化した場合、応答しない。直管密度計は圧力の変動の影響を受け、精度が悪い。配管内で10kgf/cm<sup>2</sup>の圧力変動があるとき、精度が±30%であった。圧力が小でかつ変動がない場合、精度は±10%以内である。

U管密度計は圧力の変動があっても影響を受けず、精度が±3%以内である。また、瞬時に密度が変化しても、応答した。

### 3. 土量計測システムの概要

実験結果から、高性能であると考えられる2周波式電磁流量計とU管密度計を選び、土量計測システムを開発した。ガンマ線密度計とU管密度計の精度は同等であるが、①応答が速い、②コストが安いことが利点であるためU管密度計を選定した。

本システムの構成、内容を図-2、表-4に示す。排出土砂から加泥材を差し引くために加泥材の流量を測定する。本システムでは土質、設備、地質調査データに応じて測定項目、計算方法を選定して掘削土量を求める。また、圧力の変動、流量の大きさ、掘削状況などにより、実験結果に基づいたデータ補正を行い、掘削土量を求め、管理値を越えると警報を出力する。

4. あとがき 市販および新規に開発した土量測定装置の精度を明らかにすることができた。また、実験データをもとに測定精度が±5%以内である計測システムを開発することができた。ただし、精度±5%で良好な切羽安定管理が可能であるか今後確認していかなければならないと考えている。また、本システムを現場に適用し、さらに改善を進め、精度を向上させたい。

表-2 流量計の精度 単位：誤差(%)

| 搬送試料               | 流速 | 2周波式電磁流量計 |     |          |          | 超音波ドップラー流量計 |     |            |            |
|--------------------|----|-----------|-----|----------|----------|-------------|-----|------------|------------|
|                    |    | 空気混入無     |     | 空気混入有    |          | 空気混入無       |     | 空気混入有      |            |
|                    |    | 脈動無       | 脈動有 | 脈動無      | 脈動有      | 脈動無         | 脈動有 | 脈動無        | 脈動有        |
| 水                  | 低速 | +4        | +9  | —        | —        | +46         | —   | —          | —          |
|                    | 低速 | +2        | +5  | —        | —        | +40         | +75 | —          | —          |
| 加 泥 材              | 中速 | +2        | +7  | +3<br>+4 | +2<br>0  | +62         | **  | +70<br>**  | **         |
|                    | 高速 | +2        | +5  | —        | —        | +77         | **  | —          | —          |
| 砂+粘土<br>+加泥材       | 低速 | -3        | +16 | —        | —        | -21         | -35 | —          | —          |
|                    | 中速 | -1        | +4  | 0<br>+1  | +4<br>+2 | -44         | -40 | -39<br>-39 | -41<br>-37 |
| 砂+粘土<br>+加泥材<br>+礫 | 高速 | -3        | +2  | —        | —        | -49         | -42 | —          | —          |
|                    | 中速 | —         | +10 | —        | —        | —           | **  | —          | —          |

\*\* : 測定不能  
エアの混入有・中速の実験  
— 上段：空気混入量0.02m<sup>3</sup>/min  
— 下段：空気混入量0.06m<sup>3</sup>/min  
誤差の求め方：誤差 =  $\frac{(\text{流量計累積値} - \text{計量ホッパー体積})}{\text{計量ホッパー体積}} \times 100$

表-3 密度計の精度 単位：g/cm<sup>3</sup>

| 番号 | 容積重量<br>(天秤) | γ<br>密度計         | 線<br>密度計          | 直管<br>密度計        | U管<br>密度計 |
|----|--------------|------------------|-------------------|------------------|-----------|
| 1  | 1.759        | 1.780<br>(+1.2%) | 1.673<br>(-4.9%)  | 1.757<br>(-0.1%) |           |
| 2  | 1.762        | 1.801<br>(+2.2%) | 1.604<br>(-9.0%)  | 1.773<br>(+0.6%) |           |
| 3  | 1.773        | 1.780<br>(+0.4%) | 1.615<br>(-8.9%)  | 1.783<br>(+0.6%) |           |
| 4  | 1.784        | 1.785<br>(+0.0%) | 1.612<br>(-9.6%)  | 1.773<br>(-0.6%) |           |
| 5  | 1.794        | 1.791<br>(-0.2%) | 1.598<br>(-10.9%) | 1.744<br>(-2.8%) |           |
| 6  | 1.766        | 1.790<br>(+1.4%) | 1.557<br>(-11.8%) | 1.757<br>(-0.5%) |           |
| 7  | 1.770        | 1.780<br>(+0.6%) | 1.639<br>(-7.4%)  | 1.757<br>(-0.7%) |           |

容積重量は天秤を使用し室内にて測定した  
( ) の数値は容積重量データに対する誤差

表-4 システムの内容

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| 電磁流量計    | 精度±5%以内                       |
| U管密度計    | 精度±3%以内                       |
| 圧 力 計    | 精度±1%以内                       |
| 変 位 計    | 精度±1%以内                       |
| 警報出力条件   | $V_m > 1.05 \gamma \cdot V_D$ |
| $V_m$    | 土量計測システムにより求めた掘削土量            |
| $V_D$    | 掘進距離による掘削量                    |
| $\gamma$ | 土量変化率                         |

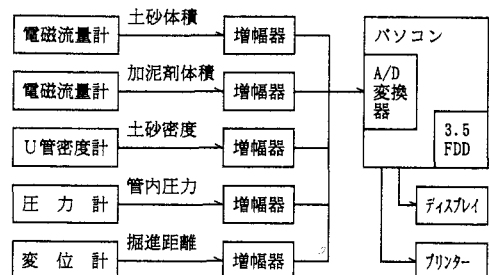


図-2 土量計測システムの構成