

# 18. 大深度連続地下壁の掘削精度管理装置の開発

㈱竹中工務店：\*宮口 幹太，門中 章二

## 1. はじめに

ＬＮＧ地下式貯槽等の構築に用いられる大深度連続地下壁は高い鉛直精度が要求されるとともに水平面内における掘削機の回転による掘削孔のねじれの管理も必要とされる。そこで1台の装置で掘削機の水平変位および回転を計測することができ、かつ計測精度の較正機能を有する掘削精度管理システムを開発した。本報では、システムの概要と施工実験結果について報告する。本システムの特長は以下の通りである。

- ① 1本の計測用ワイヤで掘削機の水平変位とねじれが計測可能である。
- ② 較正機能を有し掘削中任意のタイミングでシステムの計測結果の信頼性を確認できる。
- ③ 変位計測センサを上下2段に設置することで外乱による基準点誤差を回避できる。
- ④ 計測部を本体から分離することで設置性の向上と熱変形等による計測誤差を減少できる。

## 2. 原理確認モデルによる実験

### 2. 1. 機器構成

システムの構成を図-1に示す。

#### A 計測部（図-2）

地上から施工中の掘削機の位置を計測する。ウェイトによって張力が一定に保たれた計測用ワイヤを原点調整台で水平方向に拘束して固定点とし、変位計測器によってワイヤの変位を検出することによりワイヤ先端の動きを演算し掘削機の水平変位を計測する。変位計測に際してはレーザー変位計を使用することでワイヤの太さに影響されずに測定することができる。

#### B 較正部（図-3）

掘削機の頭部に取付け、計測用ワイヤの下端を地上の計測用コンピュータの指示により所定方向へ設定量だけ移

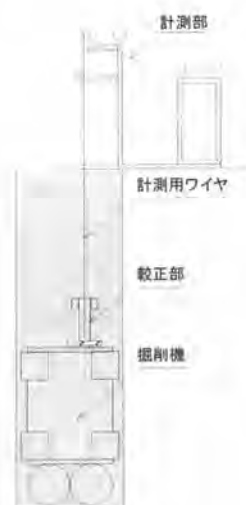


図-1 システム構成



図-2 原理確認モデル計測部



図-3 較正部

動かせる。ワイヤの下端を移動させることによって掘削機本体のねじれを計測するとともに水平変位の計測結果の信頼性を確認することができる。

### C 計測用コンピュータ

レーザー変位計の検出値から施工中の掘削機の変位を演算するとともに校正時には計測用ワイヤ下端の移動量を制御する。

## 2. 2. ねじれ計測原理 (図-4)

- ① 掘削機が正規の位置にある掘削の初期に計測用ワイヤの下端(掘削機側)を校正装置によって一定量移動させる。地上の計測装置によってこのワイヤの変位を測定するとA点→B点のように計測され、これを初期値とする。
- ② 掘削精度を確認する掘削深度に達したところで再度計測用ワイヤの下端を①と同様に移動させると水平変位やねじれが発生しているとa点→b点のように計測される。
- ③ A点とa点とのずれ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )が掘削機本体の水平変位に相当し、 $a \rightarrow b$ の矢印を平行移動したA $\rightarrow$ b'の矢印とA $\rightarrow$ Bの矢印とのなす角度 $\theta$ が掘削機のねじれ角に相当する。

## 3. 性能確認実験

原理確認モデルを用いて屋内実験と屋外実験を実施し、計測性能と外乱の影響を確認した。

### 3. 1. 屋内気中実験結果

室内において計測部と校正部の高低差約3mを確保し原理確認モデルにより計測実験を行った。実験は校正部によりワイヤ先端を変位させその実際の移動量を変位計によって計測した。またこのワイヤの移動量を本装置によって計測しその結果を比較した。この実験で校正装置は0.1mm以下の精度で動作することを確認し、また本装置は精度0.1mm以下で計測が可能であることを確認した。

### 3. 2. 屋外気中実験 (写真-1)

屋外で計測部と校正部との高低差30mを確保し計測用ワイヤの張力を変化させ、風などの外乱やワイヤのたわみ等による計測の誤差要因と影響の大きさを調査した。

実験では風の影響を受けワイヤが振動したため計測値に変動がでたが、この変動の移動平均を取ると校正部によってワイヤ下端を動かした量(移動指示量)と計測によって得られた値の誤差は最大で0.3mm程度であった。このことからワイヤの振動は平均化処理により影響を除去することが可能であると判断された。また、ワイヤ張力が100kg以上であればワイヤの自重によるたわみ(懸垂曲線)の影響がほとんどないことから、気中よりも浮力を受ける水中での自重によるたわみの影響はさらに小さいと予測される。また計測用ワイヤの張力を上げるとこれらの影響も少なくなり、より高精度の計測が可能になる事を確認した。



図-4 ねじれ計測原理



写真-1 屋外気中実験

#### 4. プロトタイプシステムによる実大規模施工実験

原理確認モデルによる実験によってシステムの有効性が確認されたので、引き続きプロトタイプシステムを製作し実大規模施工実験を実施し、システムの適用性などを確認した。

##### 4. 1. プロトタイプシステムの概要 (図-5)

プロトタイプシステムは、レール上を移動する本体制御部、掘削孔直上に設置する計測部と掘削機に設置する較正部で構成される。本体制御部は計測ワイヤを一定の張力に保ちながら繰出し、計測部が検知したワイヤ変位から掘削機の変位を演算する。また、計測部はワイヤ変位を計測するレーザーセンサおよび垂直性保持装置で構成される。較正部は、計測ワイヤを所定方向へ一定量動かすパルスモータとパルスモータ駆動用コンピュータを収納したドライボックスで構成される。較正部の動作の設定および操作は、地上の本体制御部に接続されたパソコンで行う。システムの特長を表-1に示す。

##### 4. 2. 2段センサによる変位計測原理 (図-6)

計測部はレーザーセンサを上下2段に有し、振動や熱変形などにより計測ワイヤ上部(トップシーブ)が動いた場合でも誤差を回避できる。

- ① 上側レーザーセンサ：Sensor(upper)と下側レーザーセンサ：Sensor(lower)の原点を垂直に補正し上下のレーザー変位計測器間の距離を  $l_0$  とする。
- ② 掘削深度  $l_1$  において検出される計測用ワイヤの変位は Sensor(upper)で  $S_{u1}$ 、Sensor(lower)で  $S_{l1}$  する。また掘削機の位置を  $x_1$  とする。
- ③ 掘削深度  $l_2$  において検出される計測用ワイヤの変位は Sensor(upper)で  $S_{u2}$ 、Sensor(lower)で  $S_{l2}$  とする。また掘削機の位置を  $x_2$  とする。
- ④ この時掘削機の水平変位  $\Delta x$  を計算する。

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$x_1 = \frac{(S_{u1} - S_{l1})}{l_0} (l_0 + l_1) + S_{u1}$$

$$x_2 = \frac{(S_{u2} - S_{l2})}{l_0} (l_0 + l_2) + S_{u2}$$

- ⑤ この計算式によれば計測用ワイヤの上端は固定されている必要はない。また掘削開始時に計測用ワイヤを垂直に保つように計測部を掘削機の直上に設置する必要もない。

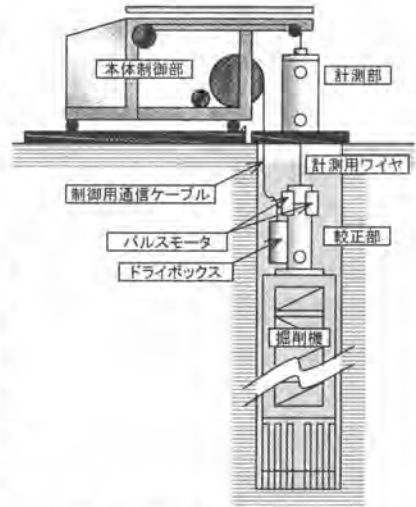


図-5 プロトタイプシステム概要

表-1 プロトタイプシステムの特長

特長	効果
較正機能	セルフチェック機能 精度不足時に対策が可能 懸垂曲線による誤差を排除可能
ねじれ検出	計測用ワイヤ1本によるねじれ検出
2段センサ	固定点誤差を排除可能 新型センサにより精度向上
検出部分離	掘削孔上に設置する装置がコンパクト 温度変化による変形の影響が少ない

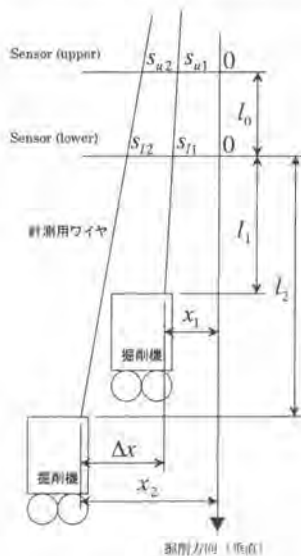


図-6 変位計測原理

#### 4. 3. 較正部の耐水圧試験

較正部（写真－2）のバルスモータは作動油で満たされた圧力容器に収納されている。圧力容器内の圧力は調圧装置により水圧の変化に応じて調整され常に外部と内部の圧力の均衡を保つ機構となっており、可動部からの水の侵入を防ぐことができる。施工実験に先立ち、較正装置の耐水圧試験を実施した。水で満たした試験容器（写真－3）に較正部を入れ、約  $10\text{kgf/cm}^2$  の圧力を加えた状態で 24 時間放置した。つづいて高水圧下における作動状況についても確認した。その結果、圧力容器およびドライボックスへの浸水は認められなかったとともに、高水圧下においても較正部が正常に作動することを確認した。



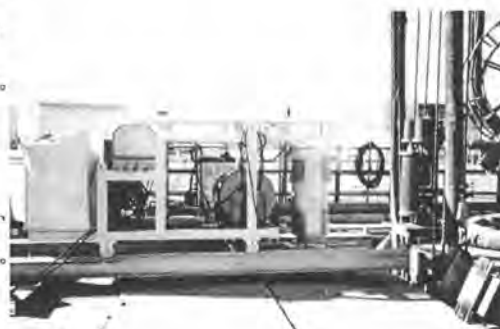
写真－2 較正部



写真－3 耐圧試験容器

#### 4. 4. 実大規模施工実験（写真－4）

プロトタイプシステムの基本性能を確認した後、実際に掘削機に取付けて実大規模の施工実験を行い、施工時に発生する外乱の影響や計測精度を確認した。実験の第一段階では、あらかじめ掘削した孔（GL－53m）にシステムを取付けた連壁掘削機を昇降させ、ワイヤ張力や外乱の影響を検証した。実験時のワイヤ張力は、100kg、150kg、200kg と変化させた。



写真－4 プロトタイプシステム全景

外乱については、掘削機の下降に伴う振動、カット回転、排泥ポンプの運転および安定液の供給位置による影響を調べた。実験では移動幅 45mm の較正動作を行ったが、計測の結果誤差は最大でも 1mm 程度であった。また、実験を行った張力の範囲ではワイヤ張力は計測精度にはほとんど影響しないが、張力が大きいほど計測値が安定するまでの時間が短くなった。

次に、実際の掘削作業にシステムを適用しプロトタイプシステムの性能を検証した。その結果、以下の点を確認した。

- ① 検出した掘削機の軌跡は、超音波測定器の測定結果とほぼ一致した。
- ② 掘削機のねじれ角は、考案した原理通り検出することができた。
- ③ 計測ワイヤ上部が動いた場合でも、誤差を生じることなく計測できることを確認した。
- ④ 掘削機本体の移動量 60cm に対しても追従できた。

#### 5. まとめ

はじめに原理確認モデルによる実験を行って計測原理とシステムの有効性を確認した。つぎにプロトタイプシステムを製作し実大規模施工実験を行って目標性能を満足していることを確認した。今後は、システムをコンパクト化し施工時における適用性の向上と実工事への適用を進めていく予定である。なお、本システムは(株)竹中工務店、(株)竹中土木、大容基功工業(株)の共同研究の成果である。