

61. 地下連続壁掘削精度管理システムの開発

前田建設工業(株)：*宮崎勇一郎，小川 朗二
浅井 秀明

1. はじめに

近年、地下連続壁は、高度多様化のために大深度化が求められてきた。そのため、壁体の施工精度については、厳しい精度が要求されてきた。

今回、当社は、新しく導入した大深度・大壁厚対応の水平多軸回転式掘削機について、正確で効率的な運転管理を行うため、リアルタイムで絶対位置を検出する掘削精度管理システムの開発を行った。本文は、このシステムの紹介と開発成果について報告するものである。

2. 掘削機の概要

今回適用した掘削機は、水平多軸回転式掘削機BC30とした。掘削機は、油圧モーターによりカッタードラムを回転し、ドラムに取り付けられたティースによって地盤を切削する回転式掘削機である。切削土砂は、大容量・高揚程の排泥ポンプによって安定液とともに地上に排出され、土砂分離設備で安定液と分離される。

この掘削機の特徴は次の通りである。

- ①粘土層から砂礫層、岩盤層まで掘削が可能
- ②掘削と排土の連続運転により、高速施工が可能

BC30掘削機の標準的な構成は、図1に示す通りである。掘削管理は、掘削速度の制御、アジャスタブルガイドの活用による姿勢制御、定張力ウインチのコンピュータ制御等を行っているが、今回開発した掘削精度管理システムは、これらの機能をベースとして、さらに高度な精度管理を行うものである。



写真1 BC30掘削機

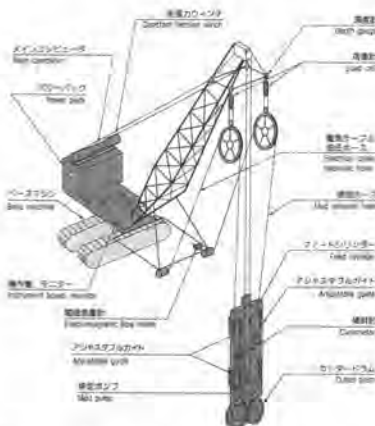


図1 BC30掘削機の標準的な掘削管理システムの構成

3. 掘削精度管理システム

掘削精度管理システムは、掘削の初めから、計画深度まで高精度に掘削することを目的として開発したもので、初期掘削管理装置、精度管理装置（（株）間組と特許共同出願）、運転管理装置で構成されている。

3.1 初期掘削管理装置

カッター本体がガイドウォール内に隠れるまでの初期掘削は、それ以深の掘削精度に大きく影響するため、高精度の掘削が要求される。

初期掘削では、カッター本体が掘削するとき浮力を受けることでブーム角度が変化するためカッター本体が傾斜する。このときのカッター本体の傾き制御は、オペレータ独自の判断で行われるため、オペレータの技量に左右される。

初期掘削管理装置は、この問題に応える目的で開発したものであり、図2に示すように、カッター本体の掘削位置を固定する初期掘削ガイド、および浮力によるブーム角度の微動を検出するブーム角度計、ベースマシンの旋回角度を検出する旋回角度計から構成される。

3.2 精度管理装置

(1)概要

精度管理装置は、溝壁内にカッター本体が隠れたあと、カッター本体の絶対位置をリアルタイムに検出する装置であり、本システムの中核を成している。これまで開発されてきた位置検出装置は、カッター本体と地上検出装置を細径のワイヤーで結び、カッター本体の動きに伴うワイヤーの変位量を各種センサーにより検出する原理が多い。この原理は、地上部でワイヤーの端部を固定するため、ワイヤーが斜めに傾くことが避けられず、大深度掘削の場合、ワイヤーのcatenary（懸垂線）現象に伴う誤差が生じやすくなる。

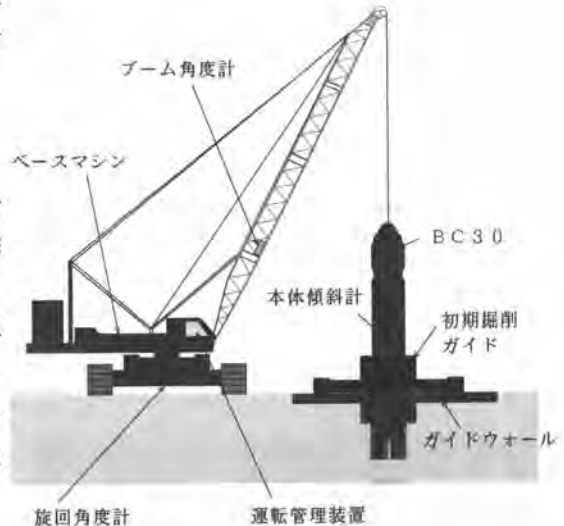


図2 初期掘削管理装置

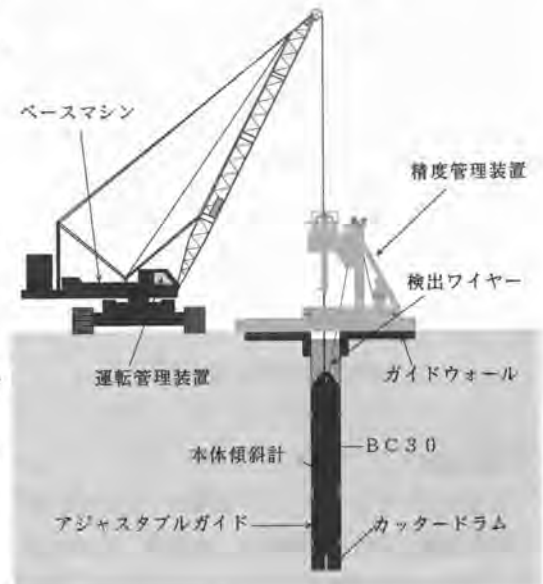


図3 精度管理装置を使った掘削

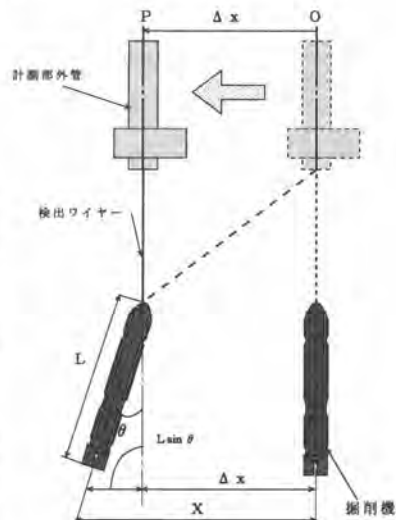
今回開発した精度管理装置は、検出ワイヤーが常に鉛直に保つことができるように、地上部のワイヤー取付部の移動を可能にしたものである。溝壁内におけるカッター本体の移動量を、そのまま地上部の精度管理装置の中で自動追尾させる新しいタイプの位置検出装置を組み込んでいるところが最大の特徴である。

(2)計測原理

カッター本体の位置計測原理は、図4に示すようにカッター本体が Δx 移動したとき、検出ワイヤーが常に鉛直になるように計測部が追尾し、このときの移動量 Δx を計測して、カッター本体の位置を求める。また、カッタードラムの移動量 X は、精度管理装置の計測部の移動量 Δx にカッター本体の傾斜による変位 $L \sin \theta$ を累加して求めることができる。



写真2 精度管理装置



- 移動量： $X = \Delta x + L \sin \theta$
 X ：掘削機先端移動量
 Δx ：移動量測定装置移動量
 L ：掘削機長
 θ ：掘削機傾斜角度
 O ：計測原理
 P ：計測点

図4 計測原理

(3)構成機器

本装置は、1台でカッター本体の上端2点の X 、 Y 方向を同時に計測するタイプの装置であり、図5に示す各機器から構成される。構成される機器は、検出ワイヤーの動きを常に監視するレーザー変位計を有する計測部外管、計測部外管に内蔵されている傾斜計つき計測ロッド、カッター本体の移動に追尾するサーボ式移動量測定装置、および検出ワイヤーを常に一定張力で引っ張る定張力ウインチ、さらに精度管理装置を前後に移動させる装置用架台等から成る。

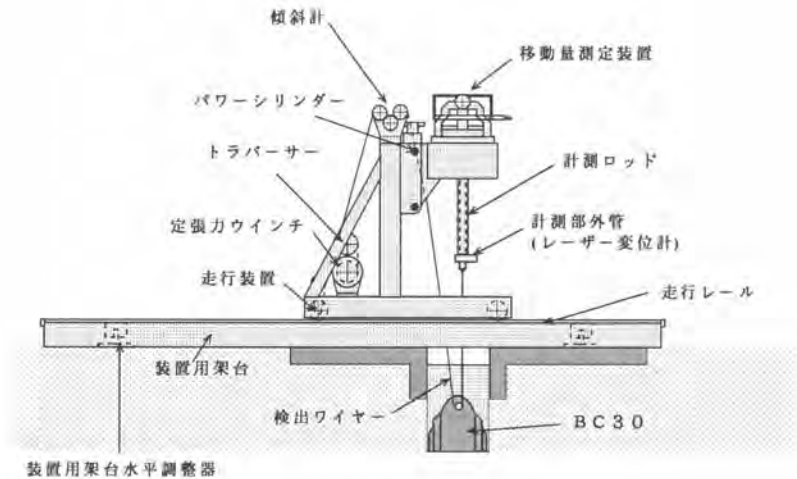


図5 精度管理装置の構成機器

3.3 運転管理装置

運転管理装置は、カッター本体、初期掘削管理装置、及び精度管理装置に内蔵される各種センサーから掘削に必要なデータを収集・演算し、モニター画面にリアルタイムに表示するパソコン機器と、得られた情報からカッター本体を制御する操作機器から構成されている。オペレータは、モニター画面にリアルタイムに表示されるカッター本体の状況を把握しながら、カッター本体の移動量が常に管理値内に収まるようにアジャスタブルガイドを作動させ、姿勢制御を行う。

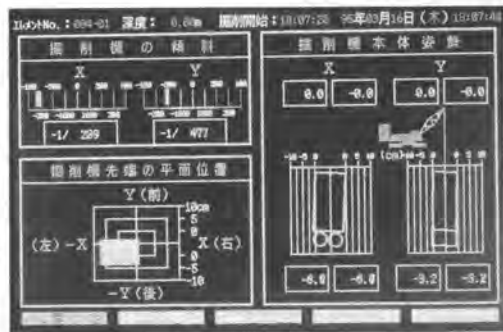


写真3 掘削精度管理画面

4. 実証試験

4.1 試験概要

試験は、名古屋市内のBC30掘削機を使用した地下連続壁の工事現場で行った。地下連続壁の壁厚は800mm、深さは45mである。現地の地盤は、砂とシルトの互層であり、一部GL-35m付近に砂礫層を含むもので、その概要を図6に示す。GL-16mまでは、初期掘削管理装置を用いた掘削を行い、GL-16m以深は、精度管理装置を用いた掘削を実施した。

掘削精度管理システムの機能を実証するに際しては、特に精度管理装置の機能確認に重点を置き、

検出された各深度毎のカッター本体の刃先位置と超音波溝壁測定結果を対比する方法で検討を行った。超音波溝壁測定位置を図7に示す。

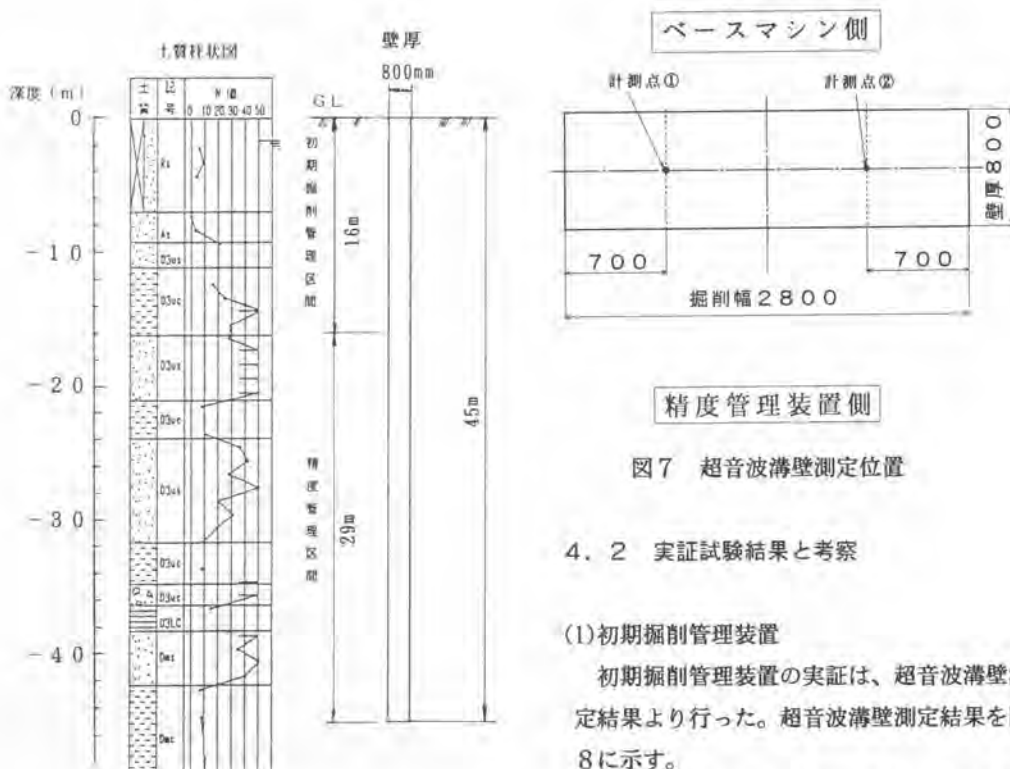


図6 地盤条件

図7 超音波溝壁測定位置

4.2 実証試験結果と考察

(1)初期掘削管理装置

初期掘削管理装置の実証は、超音波溝壁測定結果より行った。超音波溝壁測定結果を図8に示す。

図8のGL-16m区間を考察すると、計測点①と②とも超音波溝壁測定結果の掘削誤差は、1.5cm以内に収まっている。

この結果より初期掘削管理装置は、十分に機能を果たしたと判断できる。

(2)精度管理装置

超音波溝壁測定結果と精度管理装置の計測データの位置を合わせて、両者の比較を深度50cm毎に行った。その結果を図9に示す。

図8に示した超音波溝壁測定結果によれば、精度管理装置の計測データと対比するGL-16m以深区間は、溝壁の崩落、余掘等により、壁厚は大きくなるが、概ね1~3cm(平均で2.1cm)の範囲で収まっている。今回超音波溝壁測定結果と精度管理装置の計測データを比較するとき、壁厚よりも多く掘削している場合でも壁厚の中心を比較検討することとする。

図9に示された超音波溝壁測定結果と精度管理装置による測定結果の状況を比較すると、両者の動きはほぼ一致している。このことから、カッター本体の動きに精度管理装置の計測部がよく追従していることが認められる。また、超音波溝壁測定結果と精度管理装置の測定結果にみられるデータ間の差は、

±1.3cm以内（95%確率）にあり、計測精度は、非常に高いものと判断できる。

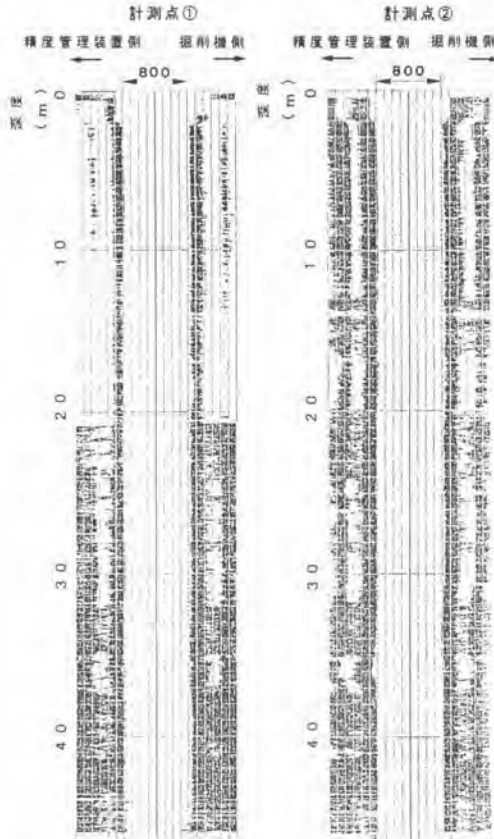


図8 超音波溝壁測定結果

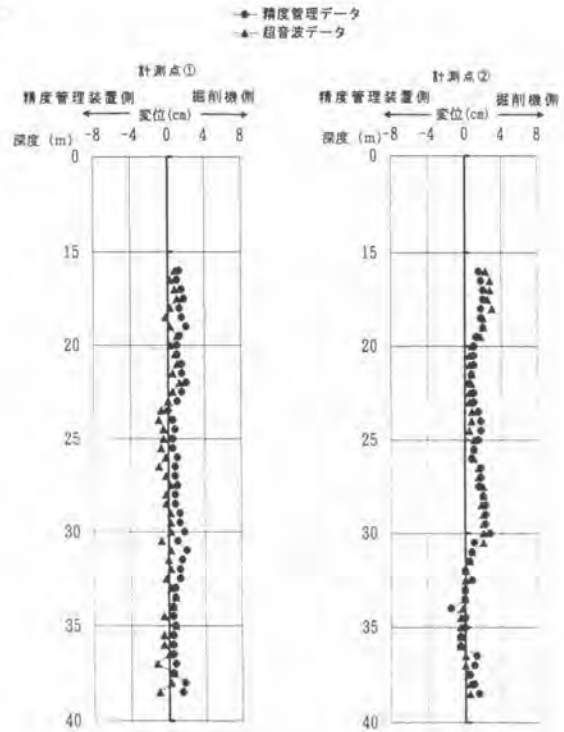


図9 超音波溝壁測定結果と
精度管理装置測定結果

5. まとめ

今回、新しいタイプの精度管理装置を中心として、精度管理システムの開発、実証を行った。その結果をまとめると次の通りである。

- ①初期掘削管理装置は、カッター本体がガイドウォールに隠れるまでの姿勢制御に利用するためのもので、高精度掘削ができ運転管理に有効であった。
- ②精度管理装置は、自動追尾機構も良好で、超音波溝壁測定結果と照合しても、高い検出精度を有していることが確認できた。
- ③運転管理装置は、情報処理が適切でわかりやすく、安定した画面を提供でき、操作性の向上に寄与した。

今後は、さらに多様な地盤条件のもとで、使用実績を重ねていくとともに、一層の高機能化を図っていく所存である。