

Ⅱ-2 大深度地中連続壁掘削精度管理システム

～システム概要、精度検証及び実施工への適用結果～

村上 薫 西 保 木村 哲 小栗利夫
Kaoru Murakami Tamotsu Nishi Tetsu Kimura Toshio Oguri

抄録

地中連続壁工事における掘削精度は、出来形や鉄筋建て込み等の施工性、構築した地下構造物の継ぎ手性能（連続性及び止水性）に直接的に影響する為、重要な管理項目である。西松建設においても、掘削精度を向上させるため 150m 級までの大深度地中連続壁工法に対応できる、高精度で取り扱いの簡便な掘削精度管理システムを開発し、実工事に適用している。以下に、システムの概要、実施工への適用結果および精度の検証について紹介する。

キーワード

情報化施工、計測

1. 開発経過

高精度かつ効率的な掘削管理を目指した掘削機位置検知システムの開発は、深度 150m において掘削機の変位 1cm（傾斜角換算で 14 秒の微小角度）を確実に検知できる性能の実現を目標とした。この目標精度をクリアし信頼性の高い計測を達成するため、精度管理架台は高剛性・高精度な構造を、傾斜計方式の計測機構部にはジンバルユニット・計測ロッドなど独自のメカニズムを採用している。

平成 5 年に深度 140m の地中連続壁工事に採用した精度管理架台 1 号機（TYPE-I）を開発し、以降、平成 6 年に 2 号機（TYPE-II）・3 号機（TYPE-III）、平成 8 年に 4 号機（TYPE-IV）を開発し、実施工に適用している。写真-1 に、タイプ別掘削管理架台を示す。

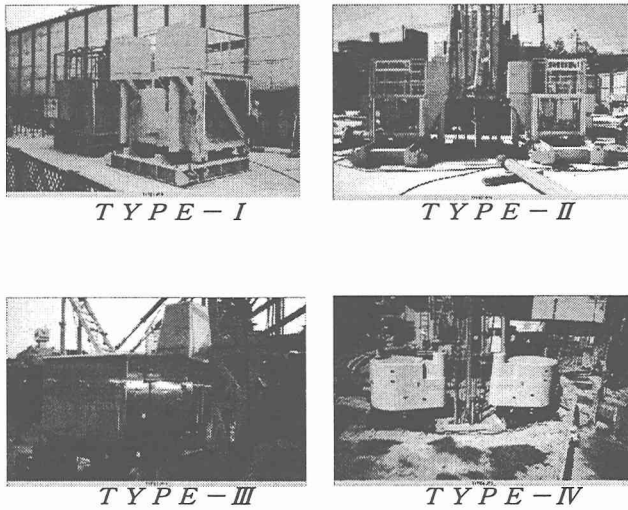


写真-1 精度検出架台

2. 掘削精度管理システム

本システムは、掘削中の掘削機位置・姿勢を検知し、その情報をリアルタイムでオペレータにフィードバックして掘削機の姿勢制御操作を支援するもので、データの保存、記録も可能である。図-1 にシステムの概要を示す。

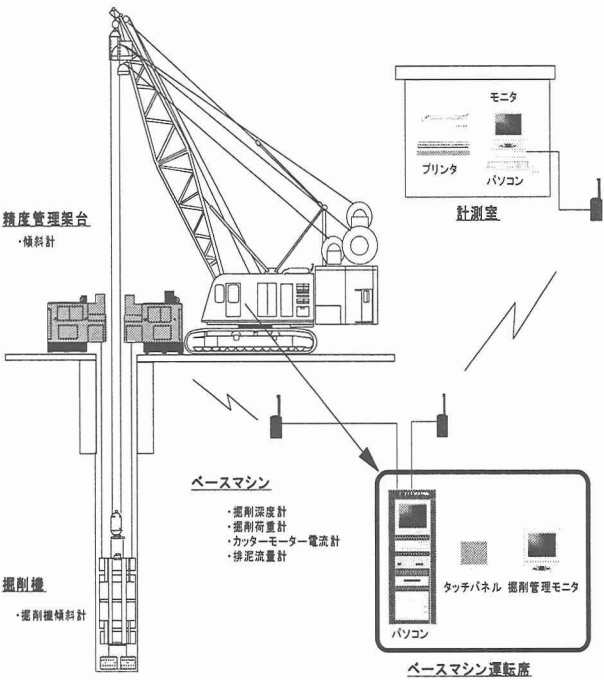


図-1 掘削精度管理システムの概要

基本的な位置検知原理は、掘削溝上の精度管理架台と掘削機頭部のシーブ（滑車）との間にワイヤを一定張力で張り、ワイヤの長さ・傾斜角および掘削機の傾斜角を測定し、掘削機の水平変位量を算出する方式である。以下に、本システムを構成する精

度管理架台、ベースマシンシステム、管理室システムについて概要を示す。

2-1. 精度管理架台

精度管理架台は、高精度傾斜計・計測ロッド・ジンバルユニット・X-Yテーブルがユニット化された計測機構部、ワイヤ張力発生用ウィンチ、計測機構部移動装置、架台水平調整装置、制御盤・パソコン・無線通信ユニットなどの制御機器から構成される。

掘削機の水平変位量を2方向に分けて算出するため、X軸（壁長方向）、Y軸（壁厚方向）の2軸それぞれに傾斜計を設置し、掘削機の動きに伴うワイヤの挙動を直接計測するのではなく計測ロッドと一体化されたジンバルユニットの動きを傾斜計が検知する機構としている。精度管理架台は掘削溝上部に2台設置され、2本のワイヤからスピン角（水平軸まわりの回転角）も算出する。ジンバルユニットに一体化された計測ロッドの先端にワイヤを取付け、ワイヤは掘削機頭部に設置されたシーブを介し架台内に戻され、ウィンチによって一定張力を付与されている。

平成5年に開発し、深度140mの地中連続壁工事に採用した精度管理架台1号機（TYPE-I）は、壁厚2.1mに伴い掘削機の計測点2点を片側に配置した一体型タイプである。TYPE-II以降は、架台設置方法の柔軟性、利便性などを考慮し、計測点の設定位置を選択できる分割型タイプを採用している。また、計測ワイヤ用ウィンチの改良、ダンパ機構の追加など架台構成機能の性能向上を図るとともに、架台計測部待避方式の工夫などにより簡便に設置でき、作業スペースや掘削ガット形状に合わせて柔軟に架台タイプの使い分けが可能となっている。

2-2. ベースマシンシステム

ベースマシンシステムは、ベースマシンのサブキャビン内に設置し、演算処理用システムラック、モニタ、オペレータ操作盤、無線通信ユニットにより構成される。精度管理架台の無線通信ユニットから送信されるデータ、ベースマシンから得られる掘削深度、掘削機傾斜角および掘削機運転状況データが取込まれ、掘削機の位置・姿勢情報が掘削機の運転状況データと共にモニタに表示されオペレータに情報が伝達される。また、取り込まれたデータの保

存、管理室システムへの無線送信も行う。

2-3. 管理室システム

管理室システムは、ベースマシンシステムから送信される掘削機の位置・姿勢データ情報と掘削機運転状況データを受信し、オペレータ用モニタと同様の情報をモニタに表示する。また、収集されたデータは連続壁掘削工の施工管理データとして保存され、変位軌跡図などの出力が可能である。パソコン、モニタ、プリンタ、無線通信ユニットから構成され、これらの機器を事務所等に設置することにより掘削状況の把握、監視が事務所内で可能となる。図-2に、モニタ画面の一例を示す。

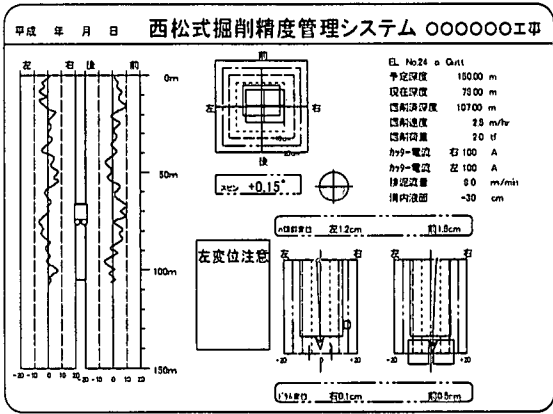


図-2 モニタ画面

3. 使用実績

平成6年以降、掘削深度100m以上の工事2件を含む計8件の立坑工事に適用した。表-1に、使用実績を示す。

表-1 使用実績表

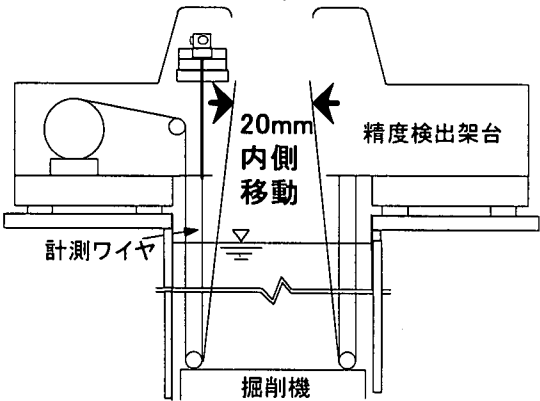
工事	掘削深度 (壁厚)	架台 タイプ	掘削機仕様
A工事	140 m (2.1 m)	TYPE I	EMX-240
B工事	88.1 m (1.3 m)	TYPE II	EMX-240
C工事	40 m (1.0 m)	TYPE III	BW-90120
D工事	50 m (1.2 m)	TYPE II	EMX-240
E工事	64.9 m (1.2 m)	TYPE III	FD32/180
F工事	108.5 m (1.2 m)	TYPE IV	EMX-240
G工事	75.5 m (1.2 m)	TYPE III	EMX-240
H工事	74.5 m (1.2 m)	TYPE IV	EMX-240

4. 実施工における精度の検証

4-1. 計測ワイヤ自重に関する調査

計測ワイヤに関する調査の為に、平面上の正規の測点位置よりあらかじめ両側共に20mm内側に入

両測点のX成分の差（以下、ワイヤ挙動）がどのような挙動をしているのか調査した。但し計測の結果、掘削機の水平回転および傾斜の影響は共に微小な為無視している。計測の結果、計測ワイヤ挙動はプラスの値を示し深度が深くなるに伴い値は増加し、水平変位 20mm が検知しにくくなった。一般にこの計測ワイヤの状態は、懸垂曲線（以下、計測ワイヤ自重考慮）としてあらわす事ができる。各深度におけるワイヤ挙動が、ワイヤ自重考慮にて求めた値を上回っている。またワイヤ自重考慮にて求めた値は、理論上その値は深度に関係なくゼロであり続けるはずであるが、結果を見ると深度が深い程およそ増加の傾向を示している。これはワイヤ自重考慮にて求めた値は力学的釣合いのみで計算しているのに対し、実際にワイヤには安定液等の各種影響が加わる為と思われる。

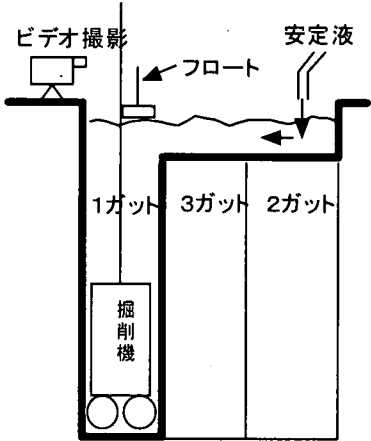


図－3 測定位置説明図

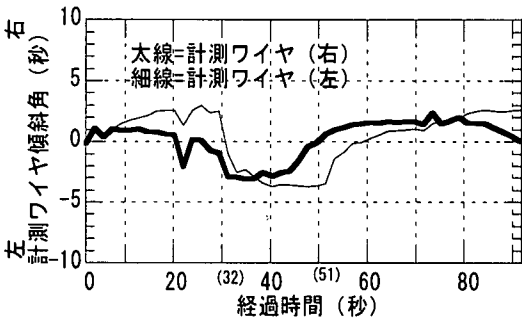
4－2．安定液の流れが計測ワイヤに与える影響について

計測誤差の要因と考えられるもののひとつとして、安定液供給時の流れが計測ワイヤに及ぼす影響を調査した。調査方法は、図－4に示すように、溝壁内の安定液面に「フロート」を浮かべ、その挙動を観察した。解析には、本システムで計測した2本の計測ワイヤ傾斜角の経時変化と対比させた。今回は、先行3ガットのうち1ガットについて報告するが、図－4からも判るように、2および3ガットでは掘削底面の形状が異なる為、違った挙動を示す。なお、調査時の安定液の性状は通常的管理範囲値以内であった。調査の結果、「フロート」の左右方向の挙動と計測ワイヤの傾斜角発生タイミングに、規則性が

認められた。掘削機が揚泥ポンプのみ稼動の時、左右方向について2本の計測ワイヤ傾斜角の経時変化を、図－5に示す。



図－4 調査方法説明図



図－5 調査結果

表－2 安定液の流れの影響

現象	時間(秒)	現象の説明
1	20～31	両計測ワイヤがほぼ同時に安定液の流れの影響を受け、左へ傾斜を始める
2	32～43	両計測ワイヤが安定液の流れの影響を受け、左傾斜を示し続ける
3	44～63	両計測ワイヤが安定液の流れの影響を受け、右へ傾斜を始める

「フロート」の挙動は、32秒後に左に、51秒後に右へ動いている。安定液が右側から供給されていることを考慮すると、この一連の現象は、表－2の様な理由で起きたと説明できる。現象1では、左へ傾く時、右ワイヤの方が左ワイヤより1秒程度早く、これは右ワイヤの方が安定液供給口により近い為である。現象2は、右からの流れの方が、左の壁に当たった後の反射波よりも強い為である。現象3は、反射波が右からの流れよりも強い為である。

今回の調査結果を深度 100mでの水平変位に換算すると、約 1mm 以上になり、前回の不明な計測誤

差の要因として、安定液の流れが影響していると考えられる。

4-3. 通信状況

本システムにおける精度検出架台～ベースマシンシステム間は、無線通信を使用している。図-6に、室内実験および実施工での無線の通信間隔、エラー発生率を示す。実施工では、平均 1.94 秒間隔で通信し、エラー発生率も 1 %未満であり、当初の目的であるオペレータ等へのリアルタイムな掘削情報の提供が達成できている。なお、実施工における通信間隔およびエラー発生率がともに室内実験よりも悪いのは、使用条件が屋外かつ重機の近傍である為と考えられる。

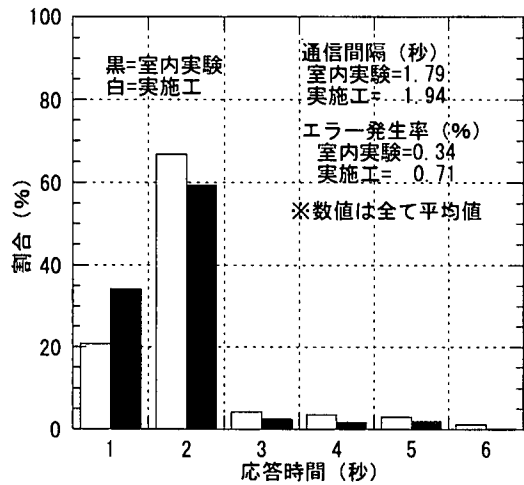


図-6 無線の通信間隔

4-4. その他のデータについて

図-7に、各ガットにおける掘削機の掘削速度とスピン（水平回転）との関係を示す。掘削速度は最高で約 0.17(cm/s)であるが、無線通信間隔と取り込み深度データの最小単位が 1cmであることを考慮すると、同深度のデータが少なくとも約3個取得でき、提供する情報の信頼性が高く、より高速な掘削にも対応可能なことが判った。また、掘削速度が遅い時スピンの大きくなり、掘削速度が速い時スピンの小さくなるのは、コンクリートカッティングの影響と先行の3ガット（中間ガット）の為である。本データを調査した現場の地層は、表層部は軟らかいシルト層と緩い砂質土層および砂礫層から形成され、GL-5m 付近から安定した土丹層（砂質泥岩）が出現し、土丹層には細砂主体の未固結層が介在する。

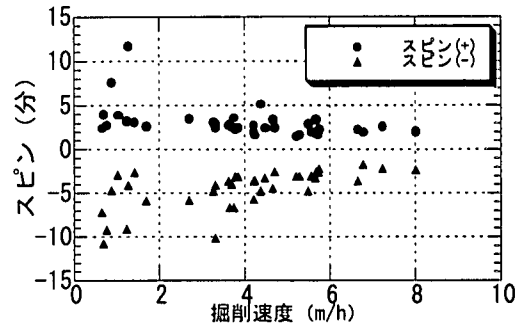


図-7 掘削速度とスピンの関係

5. おわりに

高精度かつ効率的な掘削管理を目的として開発した掘削精度管理システムは、開発から6年以上経過し、幸いにもいくつかの現場で採用して頂きその役割を担っている。今後は、掘削精度架台の取扱い性の向上及び小型化、システムの低コスト化等を目指し、より信頼性の高い情報化施工システムの構築を進めて行く予定である。

最後に、本システムの開発、実用化にあたり御指導、御協力頂いた関係各位に深く感謝致します。