

発掘調査支援機械システムの試作研究

埋蔵文化財センター

平成6年度の埋蔵文化財発掘調査等の届出件数は4,000を上回り、要した費用は1,170億円に及ぶ。莫大な人的・経済的エネルギーが投入されており、それにかかる時間もまた膨大であると言えよう。本研究では、このような現状に対処するために、遺跡発掘作業の「迅速化」「省力化」「精密化」を計り、さらに調査の諸情報を定量化して活用することを目的として、発掘調査に有効な機械を新たに考案し、試作を行うものである。平成5年度より当研究所の特別研究として「掘削」と「測定」の両面から研究を進めている。また発掘現場において試作機械の性能検討会を開き、現場関係者の諸批評を仰いだ。以下、これまでの研究の進展について報告する。

1. 掘削機械システム

掘削機械1号機の試作 この1号機はスクレーパーであり、バックホーで表土を除去した後、遺構面までの間に残る5～20cmの土層を機械力で削り取ることを目的として試作した。一人で操作でき、現場まで数人で運搬が可能なことを条件としている。動力源は、5.6馬力のガソリンエンジンである。掘り上げた遺構面の上での走行も想定されるため、走行部には平ベルトを用いて遺構面の保護を計った。掘削刃は幅30mmの平刃を90°位相をずらし、10個並列させて組立て、総幅30mmの回転刃としている。この回転刃は無負荷時毎分約2000回転し、土層を10～15mmずつ掻き取る。掻き取った土は排土カバーの先端からスクレーパー側方に放出される仕組みになっている。重量は約90kgである。

1号機の掘削実験 スクレーパーを実際の発掘現場で稼働させ、掘削性能を検討するとともに、現場での機動性、使いやすさを調べ、今後の開発の指針を得ることを目的として掘削実験を行った。掘削の際の土の切れ方、掘削後の削られた面の状態、排土の状況および走行性能を観察するとともに、調査員や現場関係者の感想や意見も聴取した。実験の場所は平城、飛鳥藤原の計4ヶ所の現場である。

実験結果と改良点 この結果、次に示す改良点が明らかとなった。1) 機体重量が大き過ぎ、運搬が難しい。2) 走行装置の性能が不十分である。3) 掘削土中に遺物がある場合でも破壊してしまう。4) 排土の処理が考えられていない。また聴取意見では、同現場に複数台の掘削機械を投入した際の騒音の処理の問題や、動力源の電動化などの指摘があった。

掘削機械2号機の試作 2号機の試作では、1号機自体には改良を加えず、1号機での問題点を踏まえ、新規に機械を設計し直す方針を採り、以下を設計の基本とした。1) 機体重量を40kg程度に抑え、現場への搬入を容易にする。2) 走行にはゴムタイヤを用いる。3) 掘削刃を工夫し掘削中に遺物に当たっても損傷を最小限にとどめる。4) 動力にはモーターを用いる。2号機では、機能の違う3台の機械を試作した。掘削部の部分試作の形で1機、排土処理方式の違いで2機とし、これを区別するた



1号機



2 A号機



2 B号機



2 C号機

め各々 2 A、2 B、2 C と呼ぶ。

2 A 号機 動力源をモーターとしたとき、掘削がどの程度可能かを確認するために製作した。3 相 200 V 400 W のモーターを用い、掘削刃は無負荷時毎分約 1100 回転で駆動する。掘削刃は直径 30 mm の円筒上に、幅 350 mm、毛足 40 mm のスチール製ワイヤーブラシを 4 本 90°毎に外向きに溶接した円筒ブラシを用いた。砂利を含む土を掘削する際の掘削抵抗の分散化と掘削中に遺物に当たったとき、これを保護する機能をもつ。重量は 23 kg。

2 B 号機 2 A 号機を基に、モーター 750 W に増強して掘削能力を向上させるとともに、掘削刃の後部に排土の吸い込み口を設け、別に設置した工業用電気掃除機をこれに接続し、掘削土を吸引して排除する機構となっている。掘削刃は 2 A と同じ仕様である。重量は 37 kg。

2 C 号機 掘削土を吸引する工業用掃除機を掘削機本体に搭載したものである。本体上部には、掘削土を吸引するための工業用掃除機のモーター部分が 2 台設置されている。掘削刃部は 2 B と同じであるが、掘削刃後部の排土吸い込み口から吸い込まれた土は、本体後部の掘削土溜に収納される構造になっている。重量は 89 kg。

2 号機の掘削実験結果 これら 3 台の試作機械を平城宮造酒司跡の発掘現場で稼働させ、性能の検討を行った。機体重量の問題は、2 A、2 B 号機が 40 kg 以下に納まっており、またゴムタイヤ 2 輪の装着により機動性は向上した。2 C 号機は重量は約 90 kg であるが、4 輪であるため機動性には問題はなかった。掘削では、平刃からワイヤーブラシに変えた効果として、掘削土中の遺物に当たっても損傷することなく掘り残すことができた。また、相当に固い土層でも繰り返し掘削することにより、無理のない掘り下げが可能となった。しかし、掘削した面については、現在の手掘りによる面に比べて荒れており、遺構の検出には不適との指摘もあった。これら 3 台の中では、2 A 号機が最も機動性に優れており、現場での有効性が高いことがわかった。掘削土の処理では、大型の工業用掃除機を用いても、なお掘削土の吸引が追い付かず、掘削土が掘削後の面に残ったり、掘削土がパイプに詰まるなどの不具合が生じた。また、掘削土溜に土がたまるとつれて重量が増し機動性は鈍る。さらにこの溜土の運搬も問題となった。これは掘削機能と排土機能とがうまく連動しなかったことが原因であり、排土機能については装置を再検討する必要がある。

今後の試作研究方針 「掘削」では土からの反力をどのように受け止めるかが大きな問題となる。バックホー等の大型掘削機械ではその自重と地面との摩擦が支点となって大きな掘削力を生ずる。しかし、これをそのまま発掘現場に入れば重量や走行部履帯との摩擦により遺構面は損傷もしくは破壊されることになる。人力掘削から機械掘削への移行では、「掘削力」とこれを生み出す「重量」と「遺構面の地耐力」との関係を的確に把握することが重要となる。また、人力掘削は遺物を識別できる速さで進む。しかし、機械掘削では人力より速く効率的に土を掘り取ることと、その土の中に混在する遺物や遺構を損傷してはならない、という相反する 2 つの条件を同時に満たすことも課題となっている。次年度は以下の項目を研究の課題とし、設計・試作・検討の段階を繰り返しながら、発掘調査に有効な機械の開発を目指したい。

1) 2 A 号機の機能及び形状をもつ掘削機械の実用モデルの試作 2) 回転掘削刃の形状、強度等についての実用化に向けた改良 3) 現在採用している回転刃による掘削とは別に、人の手による掘削を模した往復運動刃を検討する。4) 排土処理装置群の考察 (内田昭人)

2. 測定機械システム

自動追尾型三次元データ採取システム 発掘調査の行程で、検出した遺物の出土状況、出土地点の記録、および検出した遺構の実測作業は欠かすことはできない。しかもその作業には迅速性と正確性が

要求され、検出機構に精通した調査員がこれにあたなければならない。しかしながら、調査員は遺構・遺物の検出のほか、現場の運営のために作業員の手配と労務管理、発掘器材などの管理など、多くの仕事を抱えている。その上、近年の発掘調査では、少人数の調査員で現場を担当しなければならないことが少なくない。このような状況の中、調査員は他の諸事に追われながら、出土遺物の記録・取りあげ、遺構の検出、解釈・記録などを、迅速かつ正確に行うことが、なかなかままならないというのが現状である。この部分にコンピュータなどを導入することによって省力化を計ることができないか、また、更に測定精度を高めることはできないか、これが従来からの課題であった。これに対し、電子型測距・測角儀（トータルステーション）によって座標をより精密に測定し記録するシステムについては既にいくつかの試みがあり、実用に至っているものもある。しかし、いずれもオペレーターが測定機械を操作し、目標を測定機械のレンズの中心で捉えるという操作が必要条件として与えられており、これにはまだ省力化の余地が十分に残されている。「もう一人調査員が欲しい」という要求に対して、発掘調査行程のうち、記録の部分の負担を軽減し、かつ後のデータ管理の省力化を見越して応えようとしたのがこのシステムである。

システムの構成 自動追尾型のトータルステーションをシステムを中心に置き、コンピュータ、周辺機器および、市販のアプリケーションソフトウェア、新たに開発したソフトウェアでこのシステムを構成する。

ハードウェア 本システムに導入した自動追尾型トータルステーションは、離れたポイントのプリズムを自動的に捕捉し、その動きを追跡しながら3次元座標を計測するという画期的なものである。さらに、計測したデータをRS-232Cインターフェイスを通じてコンピュータ側に送信する機能も併せて持つものである。これを遺跡・遺物の計測のために新たに開発したソフトウェアによって制御し、またデータベースと連動することによって、現場のデータ収集、管理などの作業を一つのシステムに組み込むものである。必要なコンピュータのタイプとしては、現場での作業性を考えたペンコムタイプのノート型と、研究所内でのデータ処理用のデスクトップ型によって構成する。現場から発生するデータは、追い番号と点のID、遺物・遺構の属性、3次元座標値があるので、ノート型コンピュータの補助記憶装置については、システムやアプリケーションのための容量のほか、データ格納用の容量として100MBは確保しなければならない。現場における1回当たりの計測単位を4,000点とすると、データ部だけで最低400KB、システムに4MB、その他アプリケーションを起動することを考えれば、10MB程度の主記憶装置を必要とする。また、採取したデータを研究所内で、加工・蓄積・出力するための周辺機器として、大容量の記録メディア、高精細のカラーディスプレイ、XYプロッターなどもあれば、作業性を一段と高めることができる。

ソフトウェア ソフトウェアは、基本的なものとして、操作を容易にするためのユーザインタフェースとしてマルチタスクのOS、データ加工用に使用するCADなど市販のアプリケーションソフトウェアを使用する。さらに今回のシステム設計に際し、1) 基準点計測 2) データ取り込み 3) データ出力 4) 既存データとのマッチング 5) データ加工 6) ファイル収納 7) XYプロッター出力などの各機能に応じたアプリケーションを開発した。また、これらを一つのシステムとして結合し、現場や所内における作業を容易にするためのプログラムについても新たに開発した。

実験結果と改良を要する点 システム全体を開発していくなかで発掘現場において幾度かテストを行った。その結果、いくつかの改良すべき点が指摘されている。これらを参照して、今後発掘現場において、このシステムを有効に利用するための指針としたい。

電源の問題 本システムに導入した自動追尾型トータルステーションは、サーボモーターで自動的に

水平・鉛直方向に駆動する。また、測定するための電磁波を発射しそれを受信しなければならない、そのためにかなりの電力を消費する。これには大容量の充電電池が付属しているが、作業中に充電を要することがよくあった。複数個の電池を常時用意し、現場で充電しながら作業を継続する方法もあるが、現場にAC電源をひいて、それを活用できるならば、安定した作業環境を提供できる。このことから、小型軽量かつ無騒音で、電圧の安定した発電器の使用についても、今後検討すべきである。

無線通信の問題 トータルステーションによって収集されたデータはRS-232Cインタフェースを通じて、無線によってコンピュータ側に送信される。データの送信に電波を使うため、発掘現場に発生している様々な電波との競合（混信）の問題があった。現場でのテストの結果、しばしば本体が交信不能の状態が見られたが、これは重機が出すFM波、トランシーバーとの競合などが原因であると考えられる。RS-232C用の電波は発掘調査区内の一部の範囲において有効であれば十分であるが、混信の問題については、機器の改良が望まれる。

省力化の問題 冒頭でも述べたように、このシステム開発の第一の目的は、現場の省力化である。実験中は本体側にもオペレータがいて、常にトラブルの処理に当たっていたが、本来、本体側は無人であることが、このシステムのいわば主眼であり、今後、システムのより高い安定性を確保し、真の省力化を目指さなければならない。（伊東太作）

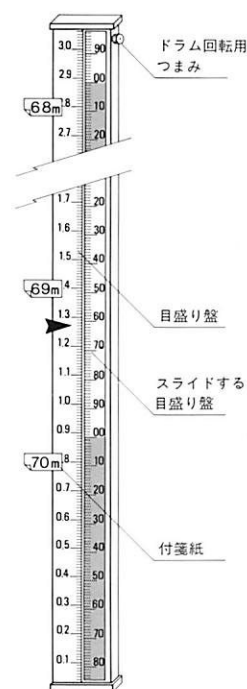
3. 標高換算式標尺を用いた実測調査

遺構の実測調査における高さの記録は、従来測定点に標尺を立て標高の既知の水糸または眼高からどれだけ下がるかを記し、必要に応じ標高を算出してきた。しかし、標高で記録しておくことが便利であることから、近年では現場で標高を記録する二つの方法をとってきた。一つ目はバーコードの付いた標尺と光波を発する水準器を用いて標高を算出する方法やトータルステーションを用いるもので、測距に若干の時間を要した。二つ目は従来のやり方に加え標高に直して記録する方法で、これも繰り返し行う計算に時間を要した。そこで計算することなく瞬時に標高を読み取る方法を考案した。

標尺の特徴 標尺正面の左側には通常の標尺と同様に底面から上に向かって目盛りを記した目盛り盤があり、これに接する右側にはスライドする目盛り盤が装備される。スライドする目盛り盤の目盛りは1 m単位で0に戻り、上から下へ数値は大きくなる。この目盛り盤の数字と地の色は2種類とし1 mごとに交互に替わる。これは標高の整数部分の値が偶数か奇数かを判読しやすくするためのものである。

測定の方法 レベルを据えて後視する既知点の標高が69.615 m、目盛り盤の読みが1.27ならメートル単位で示す標高の小数部分の値(615)をスライドする目盛り盤の目盛り61.5 cmとし、これをスライドさせて目盛り盤の1.270の値と合わせる。これによりスライドする目盛り盤の数値は未知点においても標高の小数部分の値を示す。標高の整数部分の値を記した付箋紙を要所に貼付し、双方の値を読むことにより標高を知ることができる。

構造 断面が方形のアルミ管正面の上下に開口部、それぞれの内側にはドラムを設けた。標尺表面をスライドする目盛り盤は開口部から内部に入り、上下のドラムで向きを変えリング状に加工した。開口部から水や土の侵入を防ぐために透明板で開口部を覆った。また、標尺の長さが足りなくなる場合に備え、標尺を1 mまたは2 m高くする脚（装着式・内蔵式）を装備した。なお、試作品はアルミ管の長さ・断面の大きさ、脚の長さ・構造を変えた5種類を制作した。（内田和伸）



標高換算式標尺