

## 43. 外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルの開発

日立建機㈱：\*羽賀 正和、渡邊 洋  
藤島 一雄、富田 禎久

### 1. 開発の背景と目的

昨今の厳しい財政状況下で効率的な建設投資を進める方策が進められ現在の建設土木現場では作業効率の向上、コスト低減などが重要な課題となっている。また、建設土木作業に従じる労働者の高齢化、あるいは熟練作業者の減少が進んでいることから、作業の機械化、自動化による作業の省力化、効率化が求められている。そこで、油圧ショベルの作業の中に必ずと言って良いほど含まれている水平掘削作業の容易化、作業効率向上を目的として外部基準方式領域制限掘削機能を開発した。これを車重12t、20tクラスの油圧ショベルに搭載し製品化した。本報告では、この外部基準方式領域制限機能を搭載した油圧ショベルの開発について述べる。

### 2. 開発コンセプト

外部基準方式領域制限掘削機能の開発において、以下の開発コンセプトを設けた。

#### (1) 水平掘削作業の効率向上

所望の深さを設定しておけばその設定面より上では従来の操作で掘削でき、バケットが設定深さを越えそうになると掘り過ぎずに設定面に沿った掘削を自動で行う。また、水平掘削作業における掘削と測量作業を一度に行える様にするを図る。

#### (2) 手動と自動の連携が良く、違和感のない操作系

掘削作業の一連の動作をスムーズに行うため、従来の操作感を損なわず、自動と手動操作の繋がりがスムーズな操作系とする。また、自動による制御精度は荒ら仕上げ程度とし、むしろ、操作の連携、掘削速度を重視する。

#### (3) シンプルな機器構成

自動制御化の為にシステムを複雑にせず、従来システムを基としてシンプルな機器構成とする。

### 3. 外部基準方式領域制限掘削機能

開発コンセプトに基づいて、以下に述べる制御方法を考案した。

#### (1) 領域を制限した掘削制御

予め所望の深さを設定しておく、普通に油圧ショベルの操作をしても、バケットがその深さ設定面より下に入らぬ様に自動的にブームをコントロールする機能である。その結果、深さ設定面より上方ではオペレータの操作に従った動作をし、設定面上では設定面に沿った水平掘削を自動的に行うことが可能となる。

この制御の原理を図1に示す。制御ユニットは、フロント各部に備えられたセンサの情報から、バケット爪先の設定面に対する位置を計算する。また、バケットがどちらの方向にどの程度の速度で動こうとしているかを演算する。図に示す様に設定面より上方にバケットがある時は手動操作どおり動

くように何も補正は行わない。バケット爪先が設定面に近付いていくと、バケット爪先の軌跡が徐々に設定面に沿う様に補正する信号を演算する。その補正演算値から必要とするブームの上げ速度を求め、ブームの上昇を制御する。

このことにより、設定面までは通常の操作が可能であり、設定面ではこれを超えずに自動的に水平掘削が可能となる。また、車体には前後方向の傾斜センサを備え、車体が前後に傾いても絶対的な水平面を作ることを可能とする。

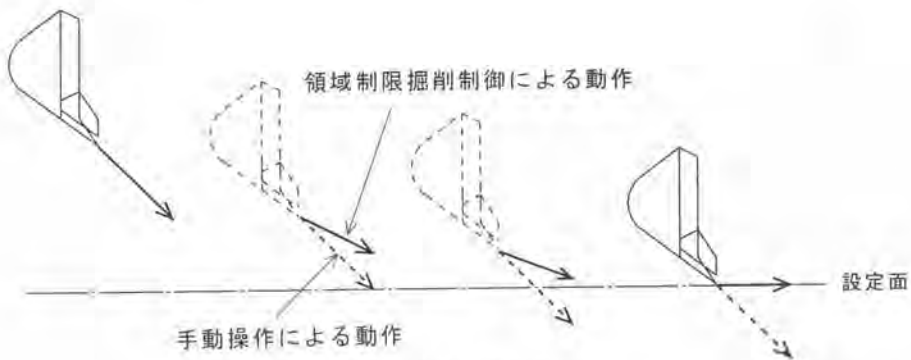


図1 領域制限掘削制御の制御原理

一例として、図2にこの制御によるフロントの動作を示す。図2(a)は設定面付近でアーム引き操作を行った場合を示す。この操作では、設定面より上方はレバー通りにアームが動き、バケットが設定面に近づくと自動的にブームを上昇させ、設定面に沿った水平掘削を行う。この制御は自動的にブームを下げることは行わないので、アーム鉛直姿勢を過ぎるとブームは停止し、アームは設定面から離れる方向にレバー操作通りに動く。

また、図2(b)にアーム引き操作と同時にブーム下げ操作を行った場合を示す。この場合、設定面付近では設定面を超えないようにブーム下げ操作信号を0にして自動的にブーム上げを行う。その結果、設定面に沿った水平掘削の動作となる。アームが鉛直姿勢を超えるとブームの操作信号が有効になりブームが下がる。その時ブームの下げ速度を自動調整することで設定面を超えないよう制御する。この操作により、水平掘削距離をより大きくとることが可能となる。

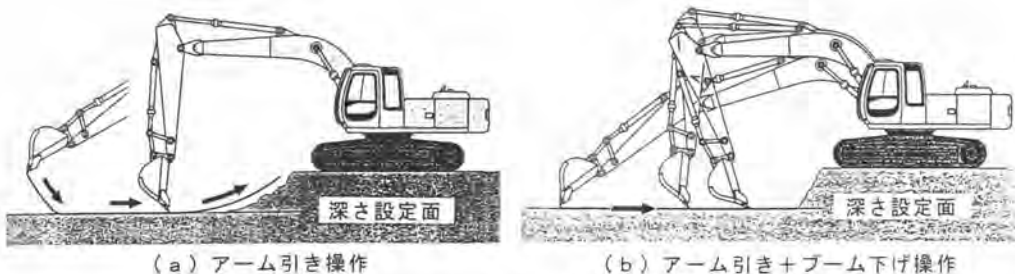


図2 領域制限掘削制御によるフロントの動作

## (2) 外部基準を用いた掘削深さの設定

連続した溝掘削、圃場整備などの作業では、油圧ショベルを移動しながら同じレベルの水平面を掘削する。掘削前の地面に凹凸があり、機体の移動に伴って機体高さが変化する現場では、機体基準の設定深さでは連続した水平面を形成する事が困難である。

そこで、領域制限掘削の機能をさらに有効なものとするため、深さ設定を車体外部に設けた基準から行うことができる外部基準方式を導入した。外部基準としては、水系の様に現場に設置する基準や、最近測量などで用いられることが多くなってきたレーザ灯台などを使用する。

その原理を図3に示す。図中(a)に示す様に、最初の設定時にフロントに設けた基準設定位置に外部基準を合わせ、制御ユニットに機体基準に対する外部基準の高さ $h_f$ を計算、記憶する。ここで、外部基準からの設定深さ $h_r$ を設定して掘削作業を行う。連続した掘削を行うために機体が移動して図中(b)に示すように機体高さが変化した場合、再度、フロントに設けた基準設定位置に外部基準を合わせ、制御ユニットに機体基準に対する外部基準の高さ $h_f'$ を再計算、記憶する。そして、機体は新たに計算した外部基準高さ $h_f'$ を基に外部基準から $h_r$ の深さの掘削制御を行う。このことを続けることで、機体の移動で高さが変化しても、広い範囲で外部基準から一定の深さ $h_r$ の面を掘削することが可能となる。従来、この様な現場では掘削深さの測量を行いながら作業を行う必要があった。この外部基準方式により一度深さ設定を行い掘削を行うことにより、補助員による深さ計測を省略して作業を進めることができる。

ここで、写真1にレーザ灯台を用いた外部基準の設定状況、写真2にレーザ灯台を示す。外部基準としてレーザ灯台を用いる場合は、フロントの基準設定位置にレーザ受光機を取り付け、これでレーザの受光を確認して外部基準を設定する。レーザ灯台を用いると外部基準を広い範囲に正確に、しかも容易に設定することが可能となる。

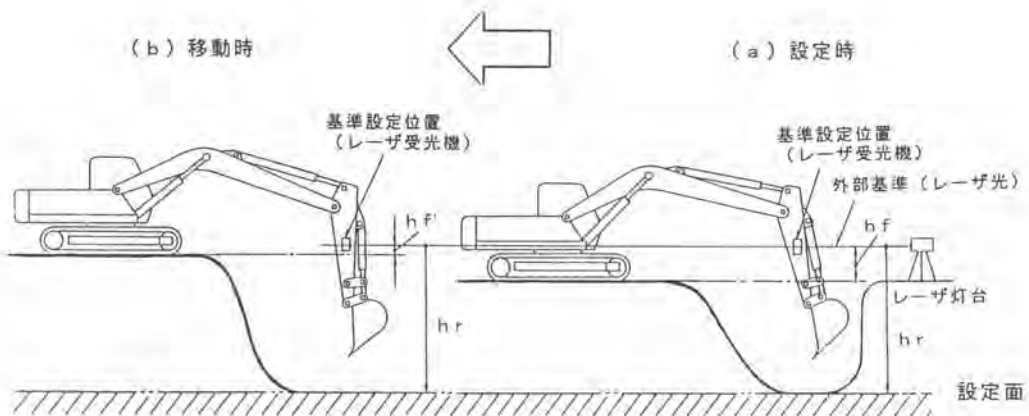


図3 外部基準を用いた深さ設定方法



写真1 レーザ灯台を用いた外部基準の設定状況



写真2 レーザー灯台写真

#### 4. 掘削試験結果と考察

次に12tクラスの油圧ショベルを用い、外部基準にレーザー灯台を用いた溝掘削試験の結果を示す。掘削距離は16mであり、掘削場所を移動する毎に外部基準の更新を行った。試験は外部基準から-2.2mと-2.6mの深さの設定で行った。

試験結果を図4に示す。結果はレーザー受光機を備えたスタッフを用いて、掘削後の溝底面からレーザー光までの高さを計測したものである。結果は16mの掘削距離に渡り、ほぼ±10cmの範囲にはいっており、本方式の外部基準による深さ設定を行った領域制限掘削制御の有効性が確認された。

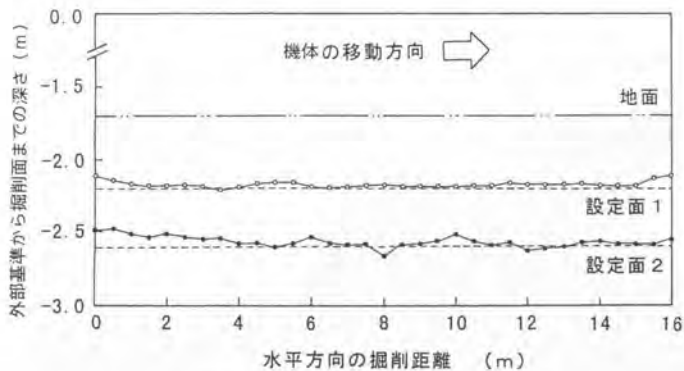


図4 外部基準を用いた掘削実験結果

#### 5. ユーザテスト

外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルは宅地造成、圃場整備、管理設工事等の溝掘りなどで作業効率を向上する。本機開発中に行ったユーザによる施工テストについて説明する。工事は工業団地内の下水本管理設工事であった。図5に工事の方法を、写真3、4に現場の状況を示す。

図5に示すように、管理設工事では緩やかな水勾配をつけた溝掘削をする必要がある。この場合、レーザ灯台はレーザ光に勾配を付けることができるタイプのものを使用して、予め勾配に合わせたレーザ光を設置しておく。ショベルが移動する毎に、先に述べた方法で外部基準を設定して掘削していく。この方法だと、詳しく見れば図に示す様に水平面を段々に繋いで掘削することになるが、水勾配は0.1から1%程度の勾配であり、ほとんど問題にならない程度の段差で施工できる。

本機を用いて施工を行った結果、

- (a) 土木作業として実用上十分な掘削精度
- (b) 下限で止まらず設定面に沿って掘削可能なこと
- (c) 掘り過ぎない安心感による掘削作業の容易化
- (d) 深さ計測の省略による作業効率向上
- (e) 違和感の無い操作系

等が評価された。

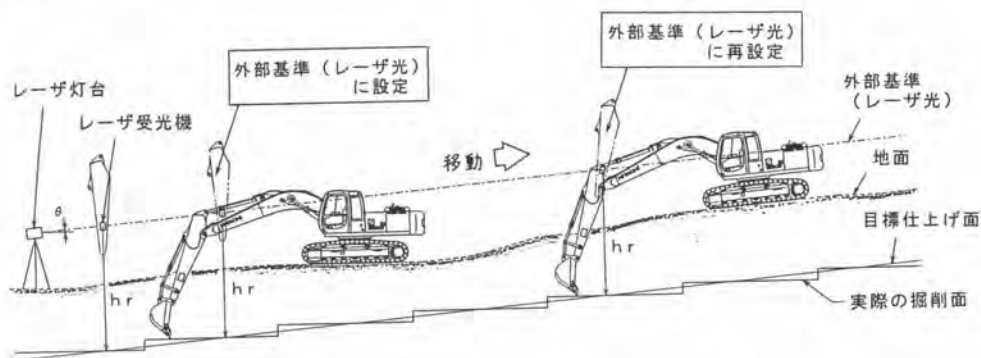


図5 外部基準方式領域制限掘削機能を用いた埋設工事の方法



写真3 領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルによる管理設工事の施工状況 (a)



写真4 領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルによる管理設工事の施工状況 (b)

## 6. おわりに

水平掘削作業の効率向上を目的として、外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルを開発した。本機能により水平掘削作業の容易化及び掘削時の計測作業の削減が可能となり作業の効率化が図られると考える

本機は、市場に導入したばかりで台数が少ない状態であるが、本機の考え方がユーザーに理解されるにつれ徐々に広まって行くと予想している。本機は油圧ショベル自動化の第一歩と考えており、今後ともユーザーのご意見、ご要望をいただきながら製品の熟成、新たな課題の解決を図っていきたい。