

11. 丁張りレス施工による油圧ショベルオペレータ支援システムの開発

日立建機株式会社 ○金成 靖彦
株式会社コイシ 井上 瑞貴

1. はじめに

油圧ショベルによる掘削・仕上げ作業では、その目印となる丁張りの設置に多くの工数を要しており、施工の効率化が求められている。一方、国土交通省が推進している CALS/EC により、電子化された 3 次元設計データが普及し始めており、情報利用による施工の効率化向上の期待が高まっている。こうした背景の中、測量機器メーカーなど各社から 3 次元設計データを利用した施工支援システムが提供されている。

そこで、以下の 3 つの特徴をもった丁張りを設置せず（以下、丁張りレス）に施工できる油圧ショベルオペレータの支援システムを開発し、実証実験を行った。

- ① 国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、国総研）¹⁾が規格化を進めているフォーマット（以下、国総研フォーマット）の設計データと GPS による位置情報を利用する。
- ② 油圧ショベルの運転室内に設けたモニタに施工目標情報の表示を行う。
- ③ 施工目標情報を元に油圧ショベルのフロント作業機の半自動制御を行う。

本論文では、システムの概要と実証実験の結果について報告する。

2. システム概要

2.1. システム全体構成

システム構成を図 1 に、主な構成機器の仕様と用途を表 1 に示す。システムは、事務所内のコンピュータと作業現場の車体システムからなり、事務所コンピュータでは、3 次元設計データを生成する。車体システムは、目標掘削断面の生成、オペレータへ情報の表示、目標掘削断面より深く掘り過ぎないよ

うな車体制御、バケット先端軌跡の保存等を行う。

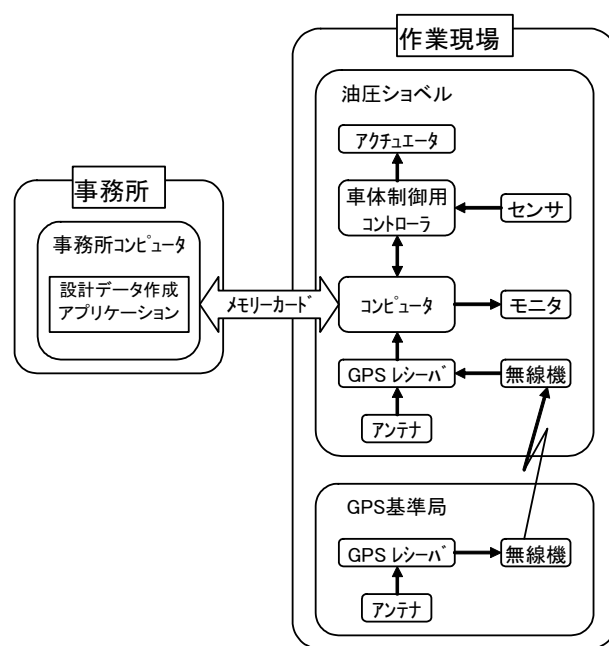


図1 システム構成

表1 システム構成機器

機器	仕様	用途
コンピュータ	車載用コンピュータ WindowsXP	位置演算 目標掘削断面生成 表示内容生成 バケット先端軌跡保存
モニタ	8inch 液晶、縦型 タッチパネル付	目標掘削断面及び、 ショベル姿勢等の表示
GPS	RTK-GPS	位置検出
無線機	2.4GHz 帯 SS 無線	GPS 補正情報送受信
傾斜センサ	2 軸	車体傾斜角度検出
回転角センサ	ポテンショメータ	ブーム/アーム角度検出
ストロークセンサ	エンコーダ	バケットシリンダストローク検出
車体制御用コントローラ	H8 マイコン	車体制御

2.2. 3次元設計データの生成

3次元設計データの生成には国総研フォーマットを使用する。このフォーマットは、土木建設物の設計データを紙媒体の図面を経由することなく、施工、検査、維持管理に使用するという目的で生まれたXML形式のテキストファイルである。設計データのデータ・スキーマ定義に当たって、最初に道路土工を対象に研究が開始され、まず基本的な構造を定義し、そこにパラメータを与えて道路設計データを表現するという考え方で進められた。具体的には道路中心線形、縦断線形、横断形状を定義する。(図2参照)

現時点ではこの3次元データを作成するためには、国総研の開発した「設計データ作成アプリケーション」を用いる。これは紙媒体の図面からデータを収集し、そのデータを入力することによって道路の3次元設計データを作成するアプリケーションで、通称「Skeleton」と呼ばれるスキーマに準拠したデータを生成する。Skeletonは、アメリカ合衆国における土木建設物定義スキーマである「LandXML」を参考にして、それを我が国の土木施工方式に合わせて大幅に改良したものである。

今回、国総研フォーマットを利用したのは、CADデータに比較してコンパクトで軽量であること。さらにこのSkeletonデータは新しいデータを追加するだけで、設計から施工、管理を、1つのファイルで運用可能なデータ形式だからである。

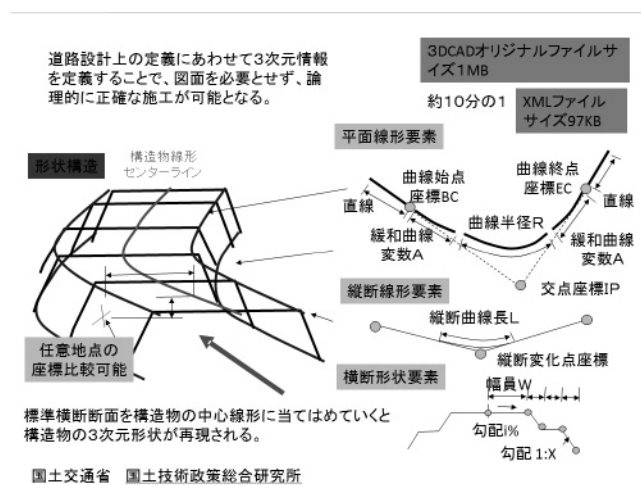


図2 フォーマット概念図

(資料提供：国土技術政策総合研究所)

2.3. 目標掘削断面の生成

油圧ショベルの位置・方向、爪先位置の演算には、車体に取り付けられたセンサを使用する。センサの取り付け構成を図3に示す。

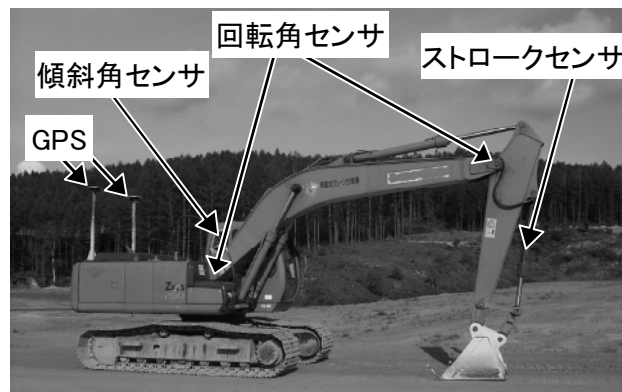


図3 システムのセンサ構成

まず、2つのGPSによりショベルの旋回中心の位置を演算する。次に、車体用傾斜センサとフロント作業機に取り付けられたセンサにより、バケット先端の位置を演算する。

これらの位置情報と3次元設計データから、現在位置における目標掘削断面を生成する。目標掘削断面は、水平方向と垂直方向の夫々で油圧ショベルの旋回中心地表面を原点とした2次元座標とし、以下に述べる情報表示や車体制御で利用する。

2.4. オペレータへの情報表示

オペレータへ情報を表示する表示装置はタッチパネル式のモニタを使用する。表示画面は、図4に示すように、油圧ショベルの上面図と側面図を基本画面とし、目標掘削断面を上面図と側面図に表示する。また、各種ステータスの表示、領域制限制御やバケット先端軌跡保存のON/OFF選択、画面切替えなどのスイッチを設ける。

上面図には、施工目標面に正対するためにどのくらい旋回すればよいかを矢印と数値で表示する。側面図には、目標掘削断面までの距離を矢印と数値で表示する。また、バケットが目標掘削断面に近づくとバケット付近を拡大し、矢印と数値のみではなく、感覚的にも目標掘削断面に近づいていることを表示する。



図4 表示画面例

2.5. 車体制御

油圧ショベルのバケットが目標掘削断面より深くならないように領域制限制御²⁾により車体制御を行う。図5に示すように目標掘削断面よりも上面であれば、通常のショベルの操作と変わりなく操作でき、目標掘削断面より深くなるような操作のときに油圧ショベルのフロントを制御する。

領域制限制御を用いることにより、通常の掘削操作に比べ、オペレータはレバーの微操作を行う必要がなくなり、オペレータの負担を軽減することが期待できる。

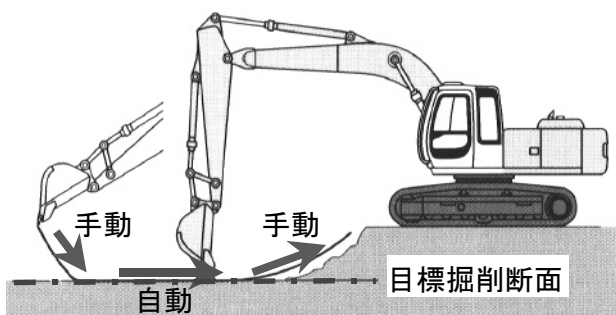


図5 領域制限制御イメージ図

2.6. バケット先端軌跡の保存

表示装置に設けたバケット先端軌跡保存ボタンを押し、バケット先端軌跡保存機能がONになると、バケットの端点の軌跡をメモリカード内に保存する。この軌跡データは、作業終了後に掘削した領域などを把握することに利用する。

3. 実証実験

開発したシステムの有効性を実施工環境で確認するため実証実験を行った。

3.1. 実証実験概要

- ・ 実験期間 2006年9月11日～22日
- ・ 実験場所 日立建機(株) 浦幌試験場
- ・ 施工内容 道路法面の掘削/仕上げ

3.2. 実証実験の目的と内容

実証実験では、表2の通り、5つの工区で実験を行った。工区1～4は、法面勾配1:1.6とし、掘削土量はそれぞれ約35m³である。工区1～4では、通常の掘削状況を模擬した工区1と比較して、開発したシステムの動作・有効性の確認、作業時間比較等を行った。なお、丁張りを設置した施工場所に関しては、丁張りを10m間隔で設置し、丁張りのみの工区1では、丁張りに水糸も張った。また、より現場に近い形での施工ということで、道路拡幅及び小段がある工区5のパターンでもシステムの動作確認を行った。

掘削は、全て法面の下側から掘削を行うようにし、法面の上側から掘削するよりも、オペレータの技量が必要な状況とした。本実験でのオペレータは、経験年数35年の熟練オペレータである。

表2 実証実験の実験内容

	丁張り	表示装置	制御	形状
工区1	有	無	無	30m 直線
工区2	有	有	無	30m 直線
工区3	無	有	無	30m 直線
工区4	無	有	有	30m 直線
工区5	無	有	有	50m 拡幅・小段有

4. 実験結果

4.1. システムの動作・有効性の確認

リアルタイムで3次元設計データより目標掘削断面の生成、表示装置への表示、領域制限制御が行え、丁張りレスで施工できることを確認した。

丁張りをを用いた通常の施工方法の工区1と丁張りレス施工を行った工区4の施工結果をそれぞれ

図6、図7に示す。道路拡幅及び小段があるような工区5の施工現場においても、本システムの有効性が確認できた。図8に施工結果を示す。



図6 工区1の施工結果



図7 工区4の施工結果



図8 工区5の施工結果

オペレータは、切り出し位置や法面中央付近、法尻付近で表示装置を確認しながら掘削をしている。図9にオペレータが掘削時に見ている表示画面の様子を示す。領域制限制御を行わない場合は、行う場合に比べ、格段に操作レバーを頻繁に微操作しており、領域制限制御を用いることで、オペレータの負担を軽減できることも確認できた。

オペレータからも、表示装置を用いることで、通常分かり難い切り出し位置が簡単に分かれると好評だった。



図9 オペレータから見た表示画面

4.2. 作業時間比較

実験した工区1～4でのそれぞれの作業時間結果を図10に示す。図10に示すように、掘削時間としてはそれほど変化ないが、作業員が行う丁張り設置や水系張りにかかる時間が省略される分、トータルとして施工時間が約40%短縮できた。

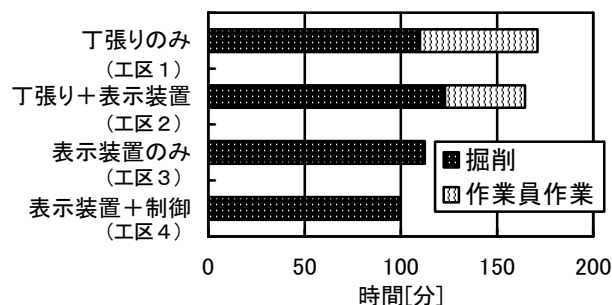


図10 工区1～4での作業時間比較

5. おわりに

国総研フォーマットで作成した3次元設計データを利用し、目標掘削断面の表示や領域制限制御を行う、丁張りレスによる油圧ショベルオペレータ支援システムを開発した。

実証実験を行い、システムの基本機能・有効性の確認と、通常の掘削作業に比べ約40%の作業時間の短縮が期待できることを確認し、実施工においても、本システムが有効に利用できる見通しを得た。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ <http://www.nilim.go.jp/>
- 2) 羽賀正和、渡邊洋：「油圧ショベル作業を支援する掘削機能」建設機械 pp19-22、2003. 10