

55. 無人化施工におけるオートブレードコントロール

西松建設(株)：*石井 正典・小西 保
桑原 資孝

1. はじめに

平成6年1月から平成7年3月までの3度にわたる雲仙・普賢岳水無除石無人化施工において、土石流の流下勾配を保つため一定勾配の仕上げが要求されており、仕上げ掘削の計画地盤高が決められていた。しかし、映像視認による無線操作式ブルドーザで一定勾配の仕上げるためには、遠近感や水平・垂直感がわかりづらいこと、出来形管理システムの計画地盤との比較は、1mメッシュ毎に行われるため、感覚的な高さの差しかわからないこと、ブレードのチルト角を映像で水準面に対して平行に保つことが困難であること等の問題があった。従って、それらの問題点を解決するために、オートブレードコントロールシステムを開発し、雲仙・普賢岳における無人化施工に導入した。

2. 開発の目的

雲仙・普賢岳における無人化施工で導入した出来形管理システムにおける施工管理は、計画地盤とブルドーザのクローラ接地位置高さの比較で表示することにより行っているが、計画地盤は、フィールドをメッシュ管理しており、1mメッシュにおける計画地盤との比較となるため、実際にCRTの表示通りに掘削していくと急に計画との差が大きくなる位置が1m毎に出てくる。従って、本システムは、施工面の一定勾配仕上げを目的とし、ブレード高さを自動制御するとともに、チルト角についても水準面に対して一定角を保つよう自動制御することを目的としている。

3. システムの概要

本システムは、遠隔操作式ブルドーザで均平作業を行う際に、広範囲の掘削区域を一定の深さで計画勾配に仕上げるためのブレード自動制御システムであり、レーザ光線を基準としてブレードの高さを制御するブレードリフトコントロール、ブレードに取り付けられたスロープセンサに基づいてブレードのチルト角を制御するブレードチルトコントロールの2つから構成されている。

ブレードリフトコントロールおよびブレードチルトコントロールは、ラジコン用に取り付けられたブレードリフト、チルトの制御部分にラジコン用制御信号ラインとは別系統で、均平コントロール用に設置されたラインを図-1のような構成で接続している。

オペレータによりリフトおよびチルトの操作信号が出力されている間は、オペレータの操作信号が優先し、操作が行われていない場合のみ、本システムが機能する。

また、ブレード自動制御システムの電源は、ラジコンスイッチでON/OFFができる。図-2にオートブレードコントロールシステム構成図を示す。

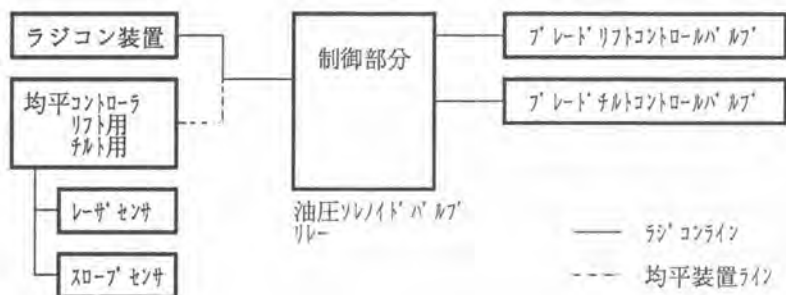


図-1 制御用機器接続概要図

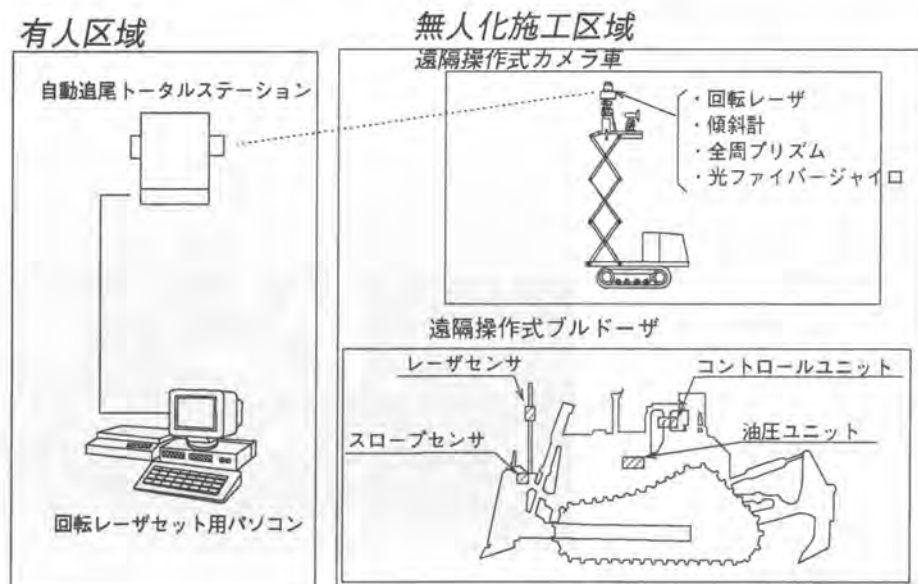


図-2 オートブレードコントロールシステム構成図

各々のコントロールの概要を以下に示す。

3-1 ブレードリフトコントロール

本システムは、掘削区域内のブルドーザに装備したレーザセンサが一定の高さでレーザを受光するようにブレードリフト電磁弁を制御する。ブレードはレーザセンサに直結しているため、掘削区域内の任意の場所で計画地盤高に応じた一定の深さに仕上げるができる。

ブレードリフトコントロールは、レーザ発光器からのレーザ光線を基準としてブレードの高さを制御する。発光器からのレーザ光は、ブレードに取り付けられたレーザセンサ（レーザ受光器）で受光する。

一方、回転レーザー発光器を搭載した遠隔操作式カメラ車を掘削区域内に設置し、レーザー光線を一定の高さで照射する。

3-2 ブレードチルトコントロール

ブレードチルトコントロールは、ブレードに取り付けられたスロープセンサ（傾斜計）からの信号に基づいて、ブレードのチルト角を設定した勾配に制御する。

ブルドーザが、如何なる姿勢であってもスロープセンサは常にブレードのチルト角を検知し、コントロールボックスにその信号を送信する。例えば、コントロールボックスで0%と設定した場合、ブレードは車体の傾きと関係なく常に水平を維持するように制御されるため、自動制御で施工している限り、如何なる場所でも水平に仕上げることができる。

4. 使用機材および仕様

4-1 4 tクローラ遠隔操作式カメラ車部

4 tクローラ遠隔操作式カメラ車は、レーザー発光器の設置（高さ、勾配方向設定）を目的に使用している。遠隔操作式カメラ車の雲台上部にレーザー発光器、センサボックス（2軸傾斜計、光ファイバージャイロ）、SS無線モデム、全周プリズムを装備している。写真-1に遠隔操作式カメラ車部を示す。



写真-1 遠隔操作カメラ車部

① 2方向勾配回転レーザー発光器

使用したレーザー発光器は、赤外線レーザーダイオードを使用したレーザーである。方位角や仕上がり勾配を計算することなしに、2方向への勾配を同時に入力することができる。この2軸はお互いに直交しており、2軸とも+10%の範囲で勾配設定ができる機能を有している。

レーザー発光器の設定は、設置場所において大まかに水平をセットするのみで、内蔵のセルフレベルリングシステムにより自動的に水平を保つことができる。2方向勾配回転レーザー発光器仕様を表-1に示す。

表-1 2方向勾配回転レーザー発光器仕様

精 度	30mで2.4mm
レーザータイプ	ガリウムヒ素ダイオード（波長780nm）
作動範囲	半径300m
レベルリング範囲	±4°
勾 配	A軸：-4.000%～+10.000% B軸：-1.000%～+50.000%

② 2軸傾斜計

雲仙・普賢岳無人化施工のように掘削地盤が周辺地盤より低く、有人域に三脚を据えて使用するこ

とができない場合、現場内にレーザー発光器を据え付ける必要がある。レーザー発光器は、セルフレベルング機能が働く傾斜角±4°以内にセットすることは非常に難しく、またレーザーが可視光レーザーではないため正しく発光されていることの確認が難しい。そのため回転レーザー発光器下部に設置した2軸傾斜計から出力されるピッチング・ローリング値をCRT上で確認し、カメラ車の雲台を水平にする。

③光ファイバージャイロ

回転レーザー発光器はA軸、B軸を勾配設定できるが、雲仙・普賢岳無人化施工の場合は設計流下勾配4.1%であったため、このうち1方の軸を4.1%の勾配をつけて回転レーザー発光器を据え付けるため、回転レーザーの傾斜をつけた方向に、発光器と施工場所軸方向を合わせて据える必要がある。そのため、遠隔操作式カメラ車に搭載した光ファイバージャイロにより、CRTを確認して回転レーザー発光器の軸方向を合わせる。

④SS無線モデム

遠隔操作式カメラ車の雲台上部に傾斜角や方位角のデータを有人域に送信するために、SS無線モデムを採用している。これは、特定小電力無線局を利用すると、他の重機械操作信号と混信する恐れがあるためである。

4-2 ブルドーザ部

4-1項の遠隔操作式カメラ車により設置された回転レーザー発光器のレーザー光をブレードに取付けられたレーザーセンサで受光しブレード高さ、またブレードに取付けられたスロープセンサによりブレードのチルト角を自動調整する。

レーザーセンサは、レーザー光を受光し、受光部中央とレーザー受光位置との差をコントロールボックスに送信する。コントロールボックスは、この受光の差を無くすために操作信号をブレードリフト電磁弁にPWM（パルス信号による出力）を介してON/OFF出力を行う。チルト制御は、スロープセンサによりチルト角を検出し、設定したチルト角との差をコントロールボックスで計算する。操作量は、チルト制御電磁弁にPWMを介して送信する。

写真-2にブルドーザ部を示す。

①レーザーセンサ

回転レーザー発光器から発振されるレーザーを受光する装置である。

レーザーセンサ仕様を表-2に示す。

②スロープセンサ

チルト角度を計測するセンサである。スロープセンサ仕様を表-3に示す。

③コントロールボックス

チルト制御、ブレードリフト制御各



写真-2 遠隔操作式ブルドーザ部

々にコントローラを使用する。表-4にコントロールボックス仕様を示す。

5. 使用方法

セッティングは以下の順序で行う。

- ①遠隔操作式カメラ車を施工エリア内に入れる。
- ②自動追尾トータルステーションで遠隔操作式カメラ車を自動追尾させ回転レーザ高さを算出し、CRTに表示される計画地盤との差をブレード底部とレーザセンサ間の距離と同様の高さにセットする。
- ③遠隔操作式ブルドーザのライトをONにする（オートブレードコントロール装置電源供給）。
- ④オートブレードコントロールボックス内のスイッチをオートにする。

⑤ROPS横の3連バトライトは、上から黄、緑、赤となっており、それぞれレーザを下に外す、レーザ受光中、レーザを上を外すことを意味する。

レーザを外した場合、このバトライトを参考にレーザを合わせる。施工場所にブルドーザを遠隔操作で移動させれば、レーザを受光次第、オートブレードコントロールが機能する。

以上で、セッティングは完了であるが、オートブレードコントロール機能を有効に使うため、以下のような使用方法が必要である。

- ①オートブレードコントロール機能で掘削時に、ブレード前面に土砂が溜まると、オートブレードをOFFにし、バックホウ積み込み場所に土砂を移動する。
- ②再度、元の位置に移動し、オートブレードをONにし、オートブレードコントロールで掘削を行う。
- ③同上の操作を繰り返し、ブレード前面に土砂が堆積しないようになったら、次の位置に移動する。

6. 結果と今後の課題

写真-3に施工状況の写真を示す。

当初の目標である±10cmの精度内で施工できたが、さらなる精度向上を目指すために今後は、以下の課題に取り組む必要がある。

- ①回転レーザ発光器が遠隔操作式カメラ車のシザース上に設置してあるため、振動により発光器・受光器間で100mで100mm程度の振幅が発生する。そのため、発光器・受光器間距離を50m程度として精度向上を図った。振動の原因は遠隔操作式カメラ車のエンジン発電器と考えられ、今後動力源をバッテリー式とするか或いは移動体に防振対策を施す必要がある。

表-2 レーザセンサ仕様

精度	±2mm/100m
受光センサ幅	±100mm
受光部移動範囲	1.5m

表-3 スロープセンサ仕様

測定精度	0.01%
測定範囲	±19.9%

表-4 コントロールボックス仕様

リフトコントロールボックス	
設定の単位	1.0mm
コントロールの単位	0.7mm
デッドバンド	0mm～15mm (0～±7.5mm)
チルトコントロールボックス	
設定の範囲	0.01%
コントロールの単位	0.025%
デッドバンド	0%～0.5% (0%～±0.25%)

②チルトが動作するとレーザセンサが上下するため、リフト制御にはいる。一方、リフト制御に入ると、チルト制御の構造上からチルト角も動作するためチルト制御が行われる。この繰り返しで、停止時でも小さなハンチングを起こす。ブルドーザのチルト制御は1本の油圧ジャッキの伸縮で調整するため、構造上ハンチング現象を皆無にすることは不可能である。したがって今後ハンチング量の減少化対策として、電磁弁を電磁比例弁に変更することで、動きがオーバーランすることが少なくなると考えられる。但し、ブルドーザのチルト制御は1本の油圧ジャッキで出し引きで調整するため、構造上ハンチング現象を皆無にすることは、現状レベルでは不可能である。



写真一3 施工状況写真

7. おわりに

オートブレードコントロールは、雲仙・普賢岳無人化除石工事において導入したシステムの内、初めて遠隔操作方式の枠を超えた自動運転方式として使用され、良好な結果を得ることができた。今後、無人化施工の分野を発展させるためには、省人化の観点から、次のステップとして遠隔操作から自動運転への発展の必要がある。今回は、ブルドーザの運転の内、ブレードリフト・チルトのみの自動運転であったが、今後は走行まで含めた自動運転の開発を行う必要がある。

末筆ながら御指導、御協力を頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。