

7. 水陸両用ブルドーザ施工支援システムの開発

Development of Construction Support System for Amphibious Bulldozer

坂本繁一* 小笠原司** 飯塚尚史**

一概要一

このシステムは、水陸両用ブルドーザの位置を GNSS (GPS) もしくは自動追尾式トータルステーション (TS) で高精度に計測し、そのデータをリアルタイムに無線伝送し、演算処理することで「丁張レス」の施工を実現するものである。これは近年利用が増加している情報化施工によるマシンガイダンス技術の水陸両用ブルドーザに適用させたものであるが、浚渫や水中掘削という直接施工地盤が目視できない水陸両用ブルドーザの施工環境下では、より高い効果が期待できる。

一技術的な特長一

水陸両用ブルドーザによる水中施工では、施工の目印の設置が難しいことや、地盤状況が視覚的に全く判断できないという環境下での施工となる。このシステムは施工の目印を全く設置することなく高精度な施工を実現する施工支援システムで、施工中のナビゲーションモニターには、施工範囲をマップに見立てた背景に現位置が表示される。また、その出来形がリアルタイムに設計標高との差異に対応した色で塗りつぶされることで水中の地盤状況が容易に把握できる (図 1)。

情報化施工の特長でもある、電子化された出来形データを演算することで、土量計算や出来形管理図表が自動的に作成できるソフトウェアとなっている (図 2)。

水陸両用ブルドーザの遠隔操縦では、操縦中のオペレータの視線は常に水陸両用ブルドーザに向けられる。そこで、設計標高との差異や施工範囲等の施工中に必要な情報は水陸両用ブルドーザ本体に設置した三色の積層信号灯の点灯・点滅の組み合わせで表現し、通常オペレータはこの信号灯を見ながら操縦するだけで高精度な施工が可能となる (写真 1)。

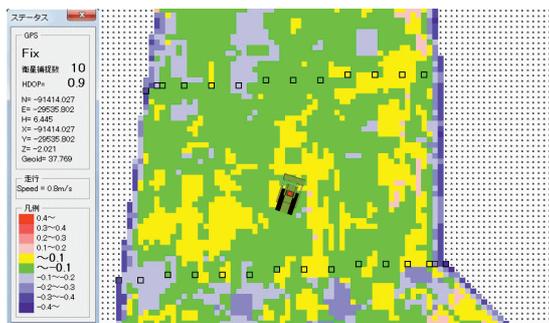


図 1 施工中のモニター画面



写真 1 積層信号灯による情報表現

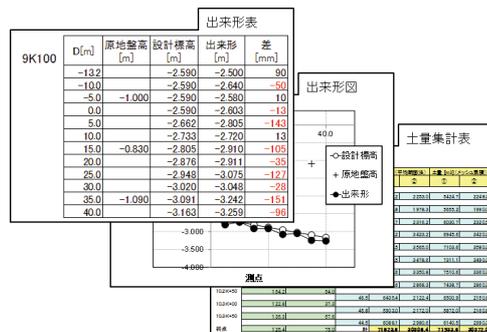


図 2 ソフトウェア機能

*技術研究所土木研究室 **土木リニューアル事業部

水陸両用ブルドーザ施工支援システムの開発

Development of Construction Support System for Amphibious Bulldozer

○坂本 繁一* 小笠原 司** 飯塚 尚史**
Shigekazu SAKAMOTO Tsukasa OGASAWARA Naoshi IIDUKA

ABSTRACT Amphibious Bulldozer is used at shallow water area by radio control. It is used for the maintenance construction of a fishing port, the fishing ground, island breakwater, artificial shore, and for the dredging work at the river mouth in recent years. It was used in damaged area in the Great East Japan Earthquake Disaster. “Construction Support System for Amphibious Bulldozer” is the system which can undertake construction without a mark by accurately measuring a position coordinate of Amphibious Bulldozer used by Global Navigation Satellite Systems (GNSS) or Automatic tracking-type total station. It is the better system for the purpose of the solution to problems underwater construction than Machine guidance system on the ground. For example, it goes without saying that we cannot locate a marker in underwater construction. We must construct in the invisible ground of underwater. This Paper reports mainly results of the Construction Support System for Amphibious Bulldozer.

Keywords : マシンガイダンス, GNSS (GPS) , 浚渫, 出来形管理, 施工支援

Machine Guidance, GNSS (GPS), Dredging Work, Result Form Management, Construction Support

1. はじめに

水陸両用ブルドーザは浅水域を作業領域として、漁港・漁場の整備工事、養浜・離岸堤・人工リーフ等の海岸工事、近年では治水としての河道掘削、改修工事等に使用されている。その操縦には、水中走路の視認性の問題や、潮流・波浪のある海洋工事でのオペレータの危険を回避するために、特定小電力無線による遠隔操縦方式が採用されている。また、本機による水中施工は、丁張りに代表されるような施工の目印の設置が難しいことや、地盤状況が視覚的に全く判断できないという環境下での施工となる。

「水陸両用ブルドーザ施工支援システム」は、水陸両用ブルドーザの位置を GNSS (GPS) もしくは自動追尾式トータルステーション (TS) で高精度に計測し、そのデータをリアルタイムに無線伝送し、演算処理することで「丁張レス」の施工を実現するものである。これは近年利用が増加している情報化施工によるマシンガイダンス技術の水陸両用ブルドーザに適用させたものであるが、浚渫や水中掘削という直接施工地盤が目視できない水陸両用ブルドーザの施工環境下では、より高い効果が期待できる。



図1 水陸両用ブルドーザ外観

2. 従来の施工方法と問題点

2.1 施工範囲

水陸両用ブルドーザによる施工範囲は、水中に竹竿などに代表される浮標を設置して管理するが、この方法では、以下の問題がある。

- ①遠方の浮標は、距離感が認識しづらく水平位置の把握が曖昧になる。
- ②施工の邪魔になるとともに設置・撤去に人手や測量の手間がかかる。

*技術研究所 土木研究室

**土木技術本部 土木リニューアル事業部

2.2 施工高さ

施工高さは、水面を基準として吸排気ダクトに塗装された標尺から判断して施工するが、この方法では、以下の問題がある。

- ①潮汐など、水位が変化する場合には常に水位標高を考慮しながら施工しなければならない。
- ②設計断面に勾配が含まれる場合、設計標高を正確に把握することが難しい。

2.3 出来形管理

水中の地盤状況は見ることができないので、進捗状況はオペレータの感覚的な判断に頼らざるをえない。

また、最終的な出来形は、不連続な管理測点を深淺測量することで行うが、この方法では以下の問題がある。

- ①進捗状況が見えないので、以降の施工計画の立案に影響がある。
- ②施工履歴が見えないので、未施工部分探索の為の非効率的な走行が避けられない。
- ③深淺測量には人手と手間がかかる。
- ④不連続な管理測点だけの管理では、施工精度の信頼性が低い。
- ⑤出来形を土量換算する場合、不連続な横断面の深淺測量値だけでは誤差が大きくなる。

3. システムの説明

3.1 システムの概要

今回開発した施工支援システムは、近年利用が増加している情報化施工によるマシンガイダンス技術を水陸両用ブルドーザに適用させたものである。これは、水陸両用ブルドーザの三次元位置座標を GNSS (GPS) もしくは自動追尾式トータルステーション (TS) で計測し、計測された位置座標データをノートパソコンに無線伝送し、あらかじめ入力された設計値 (三次元設計データ) と比較して、その差異情報をリアルタイムにオペレータに提供することで、水陸両用ブルドーザの操縦をサポートするシステムとなっている。

このシステムを使えば、施工の目標となる目印や水位を気にすることなく「丁張レス」の施工が可能となるため、水陸両用ブルドーザによる浚渫や水中掘削という施工地盤が直接目視できない施工環境下では、効率の高い施工が期待できる。

3.2 システムの構成

本システムでは、水陸両用ブルドーザの三次元位置

座標の計測を RTK-GPS (Real Time Kinematic-GPS) による計測を標準仕様としているが、急峻な山間部や障害物によるマルチパスが懸念されるような現場環境では TS でも使用できる。

システムは、水陸両用ブルドーザに設置された計測装置、RTK-GPS の基準局、データ演算処理装置、施工状況参照用モニター (オペレータ参照用) の 4 つに分けられる。水陸両用ブルドーザに設置した計測装置は、積層信号灯、無線データ送受信装置、および RTK-GPS の移動局がある。

TS を使ったシステムでは RTK-GPS に関わる基準局や移動局、および無線データ送受信装置が不必要になりシステム構成が非常に簡素化される。しかし、追尾不能時の復旧や、TS の設置に手間が掛かることから、運用面で優れる RTK-GPS による計測を標準仕様としている。

3.3 衝撃緩衝装置の採用

このシステムの開発において、まず問題となったのが、水陸両用ブルドーザへの計測装置の設置であった。様々な条件を考慮して吸排気ダクト上部に設置することに決定したが、この位置は水陸両用ブルドーザの形状および構造から、非常に振動の激しい部分である。そのため、計測装置は衝撃緩衝装置を介して搭載することとした。

図 2 は、この衝撃緩衝装置の衝撃緩衝効果を評価するため、加速度計を衝撃緩衝装置上と吸排気ダクト上部に直接設置して計測を行い、発生加速度の度数分布を示したものである。

度数分布のピークを比較すると、衝撃緩衝装置上の衝撃加速度が小さくなる方向に移動しており、その衝撃緩衝効果が確認できた。

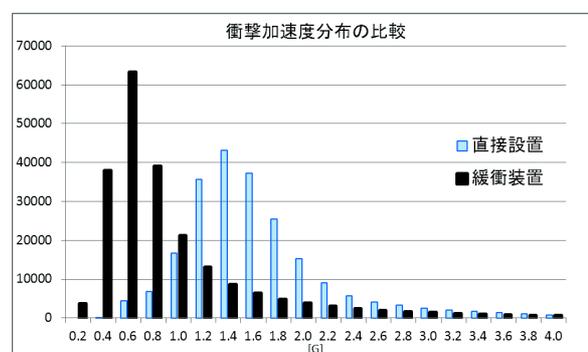


図2 衝撃加速度の度数分布

3.4 施工出来形の演算と管理

このシステムは、RTK-GPS や TS などの計測装置により計測した三次元位置情報を演算処理することで、施工面の三次元位置情報に変換し、水陸両用ブルドーザを走行させるだけで施工面の出来形を自動計測できる。また、リアルタイムに出来形と設計との標高差をオペレータに提供する施工支援機能を有している。

数値地形モデル (DTM) における表示方法には、コンター法、断面法、メッシュ法 (範囲を正方メッシュで分割して管理する方法)、TIN (不規則三角形網) などがあるが、このシステムではメッシュ法を採用した。

本システムでは、施工範囲を 1m×1m を標準とする正方メッシュで区切り、事前にすべての正方メッシュに対応する設計標高を求めておく。計測装置により計測した位置座標は施工面に対応する点に分布させ、分布点と正方メッシュとの標高差を演算させることで、管理データ量を大幅に低減させた。

4. 施工支援システム

水陸両用ブルドーザの施工における、施工支援システムを構築するにあたり、オペレータへの情報提供の手段が課題となった。目視操作が基本となる水陸両用ブルドーザの遠隔操縦では、操縦中のオペレータの視線は水陸両用ブルドーザに向けられる。そのため、施工支援に必要な情報はモニター画面に表示するよりも、水陸両用ブルドーザ本体に表示されることが望まれた。そこで、水陸両用ブルドーザ本体に三色の積層信号灯を設置し、主な情報を表現することとした。また参照用の高輝度モニターを準備し、積層信号灯だけでは表現できない、詳細な出来形状況等を表示することで、オペレータの施工を支援するシステムとした。

4.1 積層信号灯による情報の表現

水陸両用ブルドーザの施工においてもっとも重要な情報は、「施工範囲と施工高さ」であり、この情報をオペレータに提供する手段として、本システムでは三色の積層信号灯を採用した。高さ情報は、リアルタイムに演算処理されて現位置での設計標高との差異がこの積層信号灯に色の組み合わせと点灯・点滅の別で表示される。

この積層信号灯の点灯・点滅中は水陸両用ブルドーザが施工範囲内に、また、全消灯したときには施工範囲外であるという位置情報を表示する。そのため施工範囲を表示する目印 (丁張) が無くても施工範囲を判断することができる。

さらに GPS を使用した場合、正しいデータを得ることができない「Float 解」では「三色、すべてを点滅」させることで、GPS データ状況をも提供する。



図3 層信号灯による標高表現

4.2 施工状況参照用モニターによる情報の表現

前記のとおり、オペレータは施工範囲の目印や水位を意識することなく水陸両用ブルドーザに設置した積層信号灯を見ながら施工するだけで、高精度な施工を実現することができる。

これに加えて、今回の施工支援システムでは別途参照用のモニターを準備し、これに施工地盤の出来形状況を視覚的に表示するようにした。水中施工では施工途中の状況他、未施工部分の地盤起伏を確認できないため、このような出来形状況の視覚的な表示は非常に有用となる。

参照用モニターには、図4のように車載のナビゲーションシステムのような、施工範囲をマップに見立てた背景に、水陸両用ブルドーザの現位置が表示される。そしてその施工軌跡がリアルタイムに設計標高との差異に対応した色で塗りつぶされる仕組みとなっている。オペレータがこの塗りつぶされた色により水中の地盤状況が視覚的に判断できるようになっている。

ソフトウェア機能を補足すると、施工範囲の色分け表示は2パターン用意されており簡単に変更できるようになっている。一つは図4のように設計標高との差異による色分け表示と、もう一つは図5のような等高表示が用意されている。施工中は図4のように施工状況がよくわかる色分け表示を使用し、現地盤状況の確認や、入力した計画線形の確認には図5のような色分け表示を使用する。

4.3 施工支援システムの使用法

この施工支援システムを使った実際の施工手順は次のとおりである。オペレータはまず施工状況参照用モニターを見て、施工する場所を計画し、この参照用モニターを見ながら水陸両用ブルドーザを無線操縦により目的の場所へ移動させる。施工は主に積層信号灯を見ながら行うが、適宜モニターを参照して出来形を確認しながら操縦することで高効率で高精度な施工が実現できる。

従来の浚渫工事における出来形の確認や検査では、管理横断面上の管理測点を計測するのが一般的である。不連続な管理測点のみを計測する方法では、「管理測点付近以外でも精度よく施工できているのか」という施工精度への信頼性に関わる疑問は払拭できない。これに対して、本システムにおける出来形の視覚的な表示は、不連続な管理測点だけではなく施工範囲全域の出来形が数値で表現するより感覚的にわかりやすく表現されるため、出来形精度の信頼性を表現する資料としても非常に有効である。

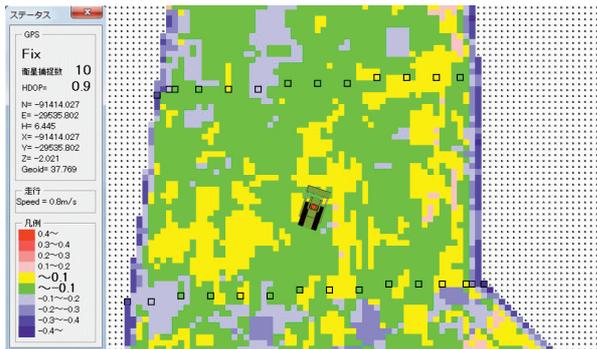


図4 設計標高との差異表示例

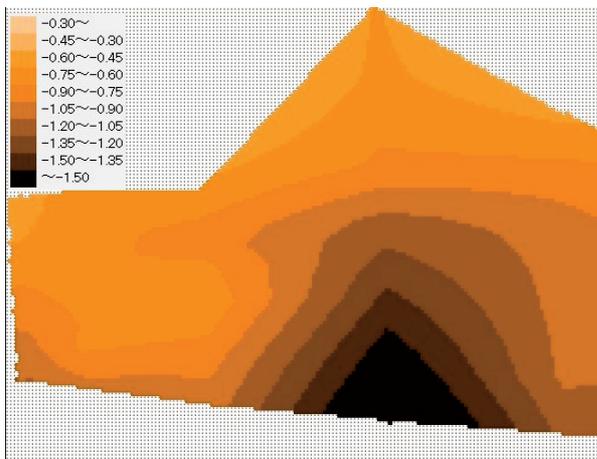
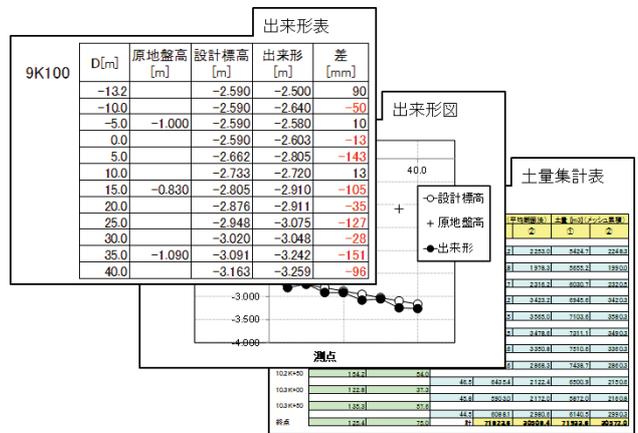


図5 等高表示例

4.4 出来形自動計測機能

このシステムでは走行するだけで自動的に出来形を正方メッシュ単位で連続記録できる。従来の測点による出来形管理に対応するため、管理測点上を水陸両用ブルドーザが走行通過するだけで自動的にその出来形データを抽出して出来形管理図表を作成する機能を有している。

また、施工範囲内の正方メッシュに出来形データが記録されているため、掘削土量の計算においても従来の管理横断面形状からの計算に比べて、より精度の高い土量が算出できる。同様に、従来の管理方法に沿った平均断面法による土量演算にも対応している。



5. まとめ

ここで紹介した「水陸両用ブルドーザ施工支援システム」は、情報化施工によるマシンガイダンス技術の水陸両用ブルドーザに適用させたうえで、出来形管理機能を強化したものである。出来形が目視できないという致命的な問題点を有する水中施工に対応させるため、本システムでは施工地盤を仮想的に視覚化できる機能を充実させ、この情報をオペレータに提供することで高精度・高効率な施工が実現可能となった。

今後は、さらなる現場導入を基に改良を進め、一層便利なシステムとして完成したい。

【参考文献】

- 1) 馬穴場真樹, 西村健太郎, 坂本繁一, 田野慎一郎: “ダム堆砂浚渫における水陸両用ブルドーザの適用性”, ダム工学, 24巻1号, pp.17~24, 2014
- 2) 飯塚尚史, 坂本繁一, 猪原幸司: “水陸両用ブルドーザによる災害復旧工事事例報告”, 建設機械施工, Vol.65, No.9, 2013.9