

PS-2 水中建設機械の遠隔操作化に関する研究

港湾空港技術研究所 * 平林 丈嗣

1. はじめに

水中における遠隔操作施工では、作業時に発生する濁りにより地形など対象物の形状認識が困難となる問題が存在する。さらに施工精度が必要となる防波堤マウンド築造においては作業機械近傍のマウンド高と目標となる基準高をリアルタイムに認識できる技術が必要である。

このような水中独自の問題に対し、バケットの接触情報を用いる事で濁水中での作業状況認識を図る遠隔操作システムを構築した。これは水中バックホウを使用したマウンド均し作業¹⁾において、マウンド面とバックホウバケットの接触座標を蓄積し CG として描画することで接触情報を視覚的に提示する。これによりオペレータは掘削などの作業により変化したマウンド形状をリアルタイムに認識可能となる。CGには現状のマウンド形状のほかに設計高を重畳して表示することで、形状の比較を常時行ないながら作業できるよう配慮したものである。

2. 水中遠隔操作支援システム構成

図1に水中建設機械（バックホウ）遠隔操作のための支援システム構成を示す。この支援システムは、水中作業における作業状況の認識に反力などの触覚情報を用いており、相似型インタフェースにより操作入力のほか、バケットの反力情報および機体の関節角度を認識する。ただし、一般にバックホウの自由度は、バケット軸、アーム軸、ブーム軸、旋回軸の4自由度であるが、マウンド均し作業は出力の大きな引き込み掘削で行なうため、旋回軸の入力は別途の操作レバーによるものとしている。建設機械の遠隔操作では安全性が求められるため、単純で安定性の高い位置対称型バイラテラル制御が有効である。しかし位置対称型バイラテラル制御では、変位と力の間には比例と見なせる関係が成立している必要があり、荷重が与えられても変位しにくい機構には適用できない。つまり油圧作業機械のような外力を加えても直ちにその力に応じた変位が得られない場合には小さな負荷では Master-Slave 間で変位が生じないため接触の認識が困難である。またバックホウに利用される油圧シリンダは高出力が求められるためストローク速度が遅く、力逆送型バイラテラル制御では無負荷時に Master-Slave 間で相似の関係を保つことが難しい。

そこで本システムでは、無負荷時には位置対称型バイラテラル制御を行い、接触センサにより接触を認識した場合には位置拘束ゲインを高めることで負荷の認識を容易としている。また、バケット軸のみ力逆送型バイラテラル制御とすることで掘削反力の大きさを比例的に提示するものとなっている。

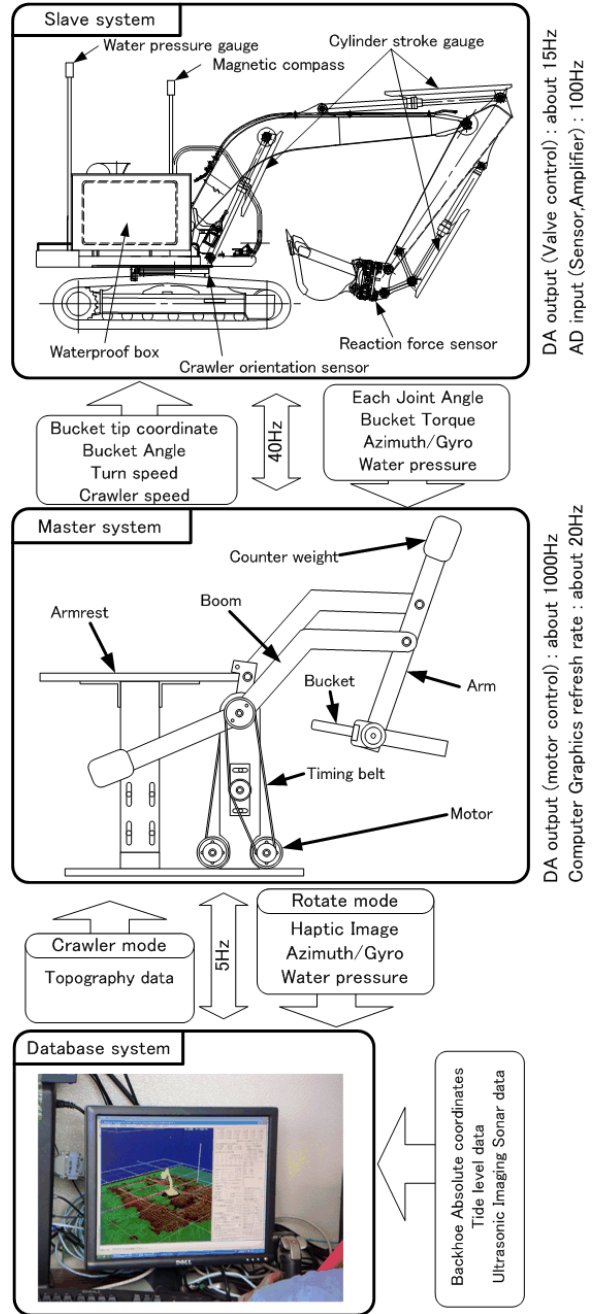


図1 遠隔操作支援システム構成

本支援システムでは既存の潜水士搭乗型水中バックホウを改造する必要がある。油圧シリンダの駆動は陸用遠隔操作で実績のある比例電磁弁を用いており、制御信号によりバルブ開度を変化させている。またシリンダストローク量を直動型磁歪センサにより検出し、関節角度から先端座標を算出する。

機体の傾斜および方位はジャイロと地磁気方位計により検出し、機体位置については超音波による測位システムにより船舶との位置関係を検出する。ただし超音波による測位システムでは、位置精度が±30cm程度となるため、水深方向のみ高精度水圧計により補正する。これらの情報を合わせることで、接触座標をグローバル座標系に変換している。

また、接触負荷の検出については、バケット部にロードセルアタッチメント（図2）を設置している。マウンド均し作業は基本的に引込み掘削動作であることから、検出対象をバケットにかかるピッチングトルクとし、2枚の鋼板の間に引張圧縮型ロードセルを挟む構造とした。さらに高負荷や衝撃力からの保護を目的に入力軸に皿バネを介した機構としている。

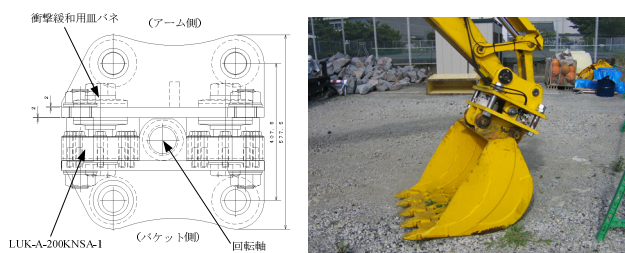


図2 反力センサ機構

3. 情報表示モニター

本支援システムでは、視覚情報の劣化に対応するため、手探りで状況を把握するように、バケットに取り付けた力センサの接触情報とそのときの接触座標から、バックホウの周囲の地形を図化しモニター上に表示する。ここでバックホウの機構を考えると、出力の大きいブーム・アーム・バケットのシリンダの伸縮によりマウンド均し作業を行うため、オペレータにとってバックホウ正面のマウンド形状が均し作業中に必要な情報となる。本支援システムではモニター画面にバックホウ正面のマウンド断面形状、および目標となる設計断面高さを表示させている。また各関節を独立して制御が容易な電動モータと異なり、作動油ポンプからの作動油圧を各シリンダに分配するため、弁を同時に開いた場合、重力加速度方向など動きやすい関節から動作してしまいエンドポイントの追従性が低くなる。この問題を解決するための手法として、現姿勢であるSlaveと目標姿勢であるMasterを重畳表示している。これにより入力姿勢に対する実機の先端座標の移動方向の対応がビジュアル的に認識でき、今後どのように移動するのかをオペレータが予測し、入力姿勢を修正することが可能となっている。さらに鳥瞰図モニター（図3）により作業区域全体の進捗状況やバックホウの位置など認識する。

本支援システムの有効性を検証する目的で実海域実験を実施（図4）し、水中の光学カメラ映像を使用しない状態でケーソンマウンド荒均し作業（基準±300mm）を遠隔操作により実現した。

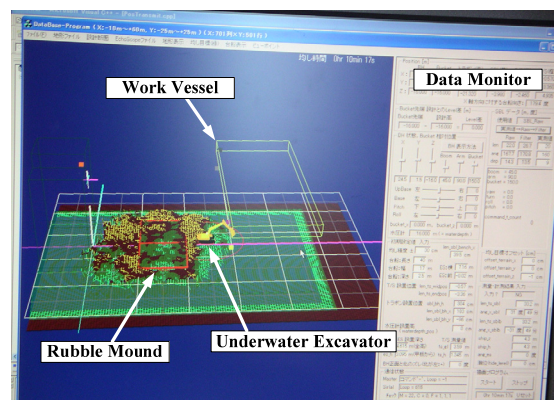


図3 遠隔操作支援システムモニター（鳥瞰表示）



図4 水中バックホウ投入状況（実海域試験時）

4. まとめ

本遠隔操作支援システムは、水中施工時の濁水による作業情報の劣化欠落に対し、触覚情報を用いることで作業認識を行うシステムである。実海域試験では光学映像を用いない条件下で遠隔操作による荒均し作業を実現した。

また近年では土木作業の安全性及び生産性向上を目的に情報化施工（i-Construction）²⁾が推奨されている。本システムの発展形として、外界計測センサの高精度化と水中ブレーカ等を応用した起震均しアタッチメントの要素技術を加え、高精度な遠隔操作施工を目的とした研究を実施する予定である。これらの成果は、いままでも潜水士による人力作業に多くを依存してきた港湾工事において、施工の安全性と生産性の向上に資するものと期待する。

参考文献

- 1) 大宮敬治, 加藤政徳:「平良港防波堤工事における水中バックホウによる施工」, 建設の機械化 1996年7月号, pp. 17-22
- 2) 国土交通省近畿地方整備局:「マシンガイダンス技術の手引書【施工者用】」, <https://www.kkr.mlit.go.jp/kingi/ict/h2603-07.pdf> (accessed on 2018-06-05)