

(別紙1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名：次世代無人化施工システムの開発.

研究期間(元号) : 平成24年-平成26年

代表者名 : 宮崎 裕道(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)

研究代表者名 : 宮崎 裕道(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)

共同研究者名 : 松本三千緒(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)
近藤 高弘(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)
江田 正敏(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)
青木 浩章(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)
片山 三郎(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)
栗原 庸聡(大成建設株式会社技術センター土木技術開発部)

補助金交付総額(円) : 34,680,000

研究・技術開発の目的:

雲仙普賢岳(長崎県)や有珠山(北海道)といった火山の災害復旧や、全国各地の土砂災害復旧工事等に適用されている無人化施工は、雲仙普賢岳にて様々な構造施設物を展開してゆくに従い新たな施工機械の開発や、ICT 機器の普及もあって施工技術が急速に発展している。

無人化施工技術は年々向上しているが、全国的に見ても雲仙普賢岳以外の適用が少ないため、オペレーターの育成等の技術継承が問題となっている。

また、無人化施工は、オペレーターがカメラ映像を見ながら絶えず操縦桿を操作するモニタ依存型であるため、熟練度により施工速度、出来栄のばらつきや、カメラ映像取得のための設備機器と通信環境を要するという問題がある。

これらの従来無人化施工技術の抱えている問題解決のため、人間が常時操縦桿を握り建設機械を運転する方法ではなく、建設機械に人間の五感に相当するセンサー類を搭載することで建設機械自らが周辺状況を把握しながら作業することができる「自律型」の次世代無人化施工システムの開発をおこなった。

研究・技術開発の内容と成果:

1. 自律化を目指した作業

今回、自律型建設機械として二つの作業の自律化を目指した。

・1つ目が無人化施工適用の砂防ダム工事に良く使用される11t級振動ローラによる締固め作業である。締固め作業は踏み残しを無くするため一定長の重複幅を持たせて施工する。高い精度で走行ができれば重複幅を減らせるので施工効率向上につながる事が期待できる。無人化施工においては一般施工と比べ操作が難しいことから無人化施工の重複幅は大きいのが一般的である。

・2つ目は砂防工事等で大型の岩石をダンプトラックに積み込み可能な大きさにするための割岩作業とした。この作業に使われるベースマシンの油圧ショベルはアタッチメントを交換するだけで様々な作業ができる最も汎用的な建設機械である。数あるアタッチメントの中、無人化施工で最も使用頻度が高く、操作の正確性が要求されるのはジャイアントブレーカーであり、この高い正確性をカメラ

映像で操作することに難を持っているオペレーターは多い。

2. 建設機械に搭載する機器類の耐振動性

自律作業をおこなうには周囲の状況および機械自身の状態を正確に検出するためのセンサやアクチュエータを制御するためのコンピュータなどを建設機械に搭載するため高い耐振動性が要求される。このため、今回、選定した種類の建設機械においてどれくらいの振動加速度が掛るかを調査した。結果としてはキャビン内において振動ローラでは最大 11G、ブレーカー搭載バックホウにおいては最大 7G の振動加速度を得た。またバックホウにおいてはブレーカー先端の打撃作業時には最大 207G を記録した。これらの調査を受けセンサだけの耐振動性では不足する箇所に設置するセンサにおいては個別の振動対策を施した。

3. 振動ローラによる自律締固め作業

(1) 自律型振動ローラシステム

自律型振動ローラは各種センサ、振動ローラ内の自律制御用 CPU、ホスト PC で構成されており、機器間は Wi-Fi で通信を行う。ホスト PC では転圧回数や幅などの作業計画の入力を行う。一方、振動ローラでは自律制御用 CPU で、取得したセンサ情報をもとに周辺状況や機体姿勢の把握、「慣性航法」による自己位置推定をしており、このセンシングに基づき駆動部を制御して自律締固め作業を行う。

(2) 自律締固め作業の実験

開発した自律型振動ローラを使用して、レーン長 25m、転圧路 3 レーン、転圧回数 2 回 / レーン、走行速度 1km/hr で自律締固めの実験を行った。結果、有/無振動において走行精度に差はなく搭載センサの耐振動性は十分であった。また、走行精度は隣り合う二レーン間での重複幅は 400mm で踏み残しをゼロにできた。この結果から無人化施工の基準である 500mm の施工重複幅を減じ、これに伴う走行レーン数の減少による施工効率向上が期待できる。

4. ブレーカー搭載バックホウによる自律割岩作業

(1) 自律型ブレーカー搭載バックホウシステム

自律型ブレーカー搭載バックホウの基本的な機器構成は振動ローラと同様である。大きな違いは自己位置と作業箇所に対する座標系の取り方である。締固め作業の範囲は絶対座標として設定が容易であるが、割岩作業の場合自然界で岩のある位置を絶対的に抑えることは容易ではない。そのため自律型ブレーカー搭載バックホウでは、機械と岩との距離と方向だけで自律制御する相対座標制御により実現させた。

(2) 自律割岩作業の実験

従来型の無人化施工においては、作業機械に搭載したオペレーター目線のカメラと横方向から作業場所が俯瞰できるカメラ映像によって作業を行っている。場合によっては横からのカメラ映像が撮れない条件の難度の高い現場も存在し、作業機械の車載カメラのみでは「奥行」が把握しにくいいため、作業効率が上がらない。この様な状況下において、本件の開発の利用が期待できる。

そこで、本開発技術の評価として、無人化施工経験 20 年のベテラン OP、一般施工 20 年の普通 OP、研究員の 3 者にて 10m の位置に設置した 1000mm 程度の岩石に対し、1 画面、2 画面、自律制御のタイムトライアル実験（時間は割岩体勢迄としている）を実施した。結果、自律制御による割岩作業は、1 画面時のベテラン OP に匹敵するような時間を記録した。このことから本開発技術はベテラン OP と同等の作業ができることを確認した。

5. まとめ

今回二機種の建設機械を用いて二つの作業を自律制御により行うことで従来無人化施工と同等以上の作業ができることが確認できた。無人化施工は雲仙普賢岳などの火山の災害復旧として除石工・砂防堰堤構築等の土木工事の施工技術として活躍してきた技術であるが、近年では適応範囲拡大で、あらゆる酷暑環境下での適用が期待されている。本開発技術が無人化施工技術の発展の貢献し、更には一般工事においても展開・導入されて技術の進展に貢献していくことを期待する。

研究成果の刊行に関する一覧表：

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
【雑誌、新聞】 ・建機ジャーナル ・日経ヴェリタス ・日本経済新聞 ・日経コンストラクション ・建設マシナリ技術 ・建設機械施工 ・建設機械	平成 25 年 10 月号 2014 年 5 月 4 日 2014 年 7 月 8 日 2014 年 8 月 25 日 2014 年 5 月 1 日 2015 年 3 月 25 日 2015 年 9 月（掲載予定）	共同メディア通信社 日本経済新聞社 日本経済新聞社 日本 BP 社 経済調査会 日本建設機械施工協会 日本工業出版	
【学協会等】 ・“建設機械による無人化・自律施工”，平成 26 年度建設技術報告会 ・“次世代無人化施工システムの開発～建設技術研究開発助成制度を活用した振動ローラの自律走行の実証～”，第 69 回土木学会年次学術講演会	2014 年 9 月 25 日 2014 年 9 月 12 日	国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所 公益社団法人土木学会	片山 三郎 栗原 庸聡
・“振動ローラの自律転圧走行の実証～次世代無人化施工システムの開発”，平成 26 年度建設施工と建設機械シンポジウム	2014 年 10 月 26 日	一般社団法人日本建設機械施工協会	青木 浩章

・“次世代無人化施工システムの開発 - 自律制御による転圧作業 - ”, 第 15 回建設ロボットシンポジウム	2015 年 9 月 7 日 ~ 9 日(投稿予定)	建設ロボット研究連絡協議会	片山 三郎
・“次世代無人化施工システムの開発 - 自律制御による割岩作業 - ”, 第 15 回建設ロボットシンポジウム	2015 年 9 月 7 日 ~ 9 日(投稿予定)	建設ロボット研究連絡協議会	青木 浩章
・“次世代無人化施工システムの開発~油圧ショベル装着ジャイアントブレイカーによる自律割岩作業~”, 第 70 回土木学会年次学術講演会	2015 年 9 月 16 日 ~ 18 日(投稿予定)	公益社団法人土木学会	青木 浩章
・“次世代無人化施工システムの開発”, 平成 27 年度建設施工と建設機械シンポジウム	2015 年 12 月 1 日 ~ 2 日(投稿予定)	一般社団法人日本建設機械施工協会	青木 浩章

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
無人化施工方法および自律走行用制御装置	特 願 2014-249176	平成 26 年 12 月 9 日	出願中	青木浩章 片山三郎 栗原庸聡

成果の実用化の見通し：

今回の研究では締固め作業と割岩作業の二つの作業において、土木施工における自律制御システムの可能性・適応性を探った。しかしながら本技術を実施工において適応していくために考えていかなければならない事項として、人間と建設機械との接触災害防止などに関する取り決めや技術開発といった安全性にかかる点、あるいは複数機種 of 自律化による単工種に対応した自律施工システムの発展などが挙げられる。土木工事は通常、複数機種 of 建設機械を使い施工をおこなっているため、単機種、単作業だけでは完全解決にはならない。そのため、多機種でおこない単工種作業を目指す必要性がある。

当社では引き続き本技術を発展させていき、開発成果実用化に向けて前述のような課題に取り組んでいく予定である。

その他：特になし。