

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：無人化施工による応急対応技術とその基盤となるデジタル通信技術の開発

研究期間（元号）：平成 24 年-平成 26 年

代表者名：吉田 貴（一般財団法人先端建設技術センター）

研究代表者名：吉田 貴（一財団法人先端建設技術センター）

共同研究者名：森下博之,新田恭士,須田幸彦,岩崎辰志,石丸慶三,井澤昌佳,奥出英博（一般財団法人先端建設技術センター）,藤野健一,茂木正晴（土木研究所）,猪原幸司（青木あすなる建設株式会社）,早瀬幸知（株式会社大本組）,北原成郎,渡辺英彦,坂西孝仁（株式会社熊谷組）,大里正博,中田晴久,田中勉,田口毅,岩谷隆文（西松建設株式会社）,川上勝彦,野末晃（株式会社フジタ）

補助金交付総額（円）：33,480,000 円

研究・技術開発の目的：近年の災害対処において、人間が作業できない危険条件下での施工を可能とする無人化施工技術が有効性を発揮している。しかし、適用可能な工種が限られていることや、無線通信等の制約から近年の ICT 技術の進展に対応できず、オペレータへの画像情報等の提供の改善も遅れ、施工スピードや品質改善が進展しにくい状況下にある。これより、下記の課題に対して研究開発を行い、緊急時における我が国の災害対処能力を高めることを目的とする。

新型土嚢（どのう）を用いた高速築堤技術。

泥濁化した軟弱地盤上で重機による作業を可能にするための地盤改良技術。

緊急復旧作業の遠隔操作に必要な性能を具備した低遅延画像伝送技術の開発。

研究・技術開発の内容と成果：研究・技術開発の目標、内容および成果を下記に示す。

研究・技術開発の目標

【 新型土嚢を用いた高速築堤技術】

- 1) 既存大型土嚢による築堤に対して、2~3 倍程度の高速施工を実現するための新型土嚢・土嚢展開装置（アタッチメント）・土砂等充填装置を開発し、フィールド試験で技術の成立性を実証する。
- 2) 被災地の地盤形状（起伏等）に追従し、曲線部・屈曲部施工に対応可能な構造を有する新型土嚢の構造および設置方法を開発（机上検討）する。

【 泥濁化した軟弱地盤改良技術】

- 3) 含水比 200%程度の軟弱地盤を対象に、遠隔操作で固化材を投入・混合し、トラフィカビリティ確保のために必要なコーン指数 800kN/m²程度に改良できる能力と、時間あたり 100m²程度の施工能力を実現する。
- 4) 所定の範囲について、必要十分な改良を効率的に実施する施工管理方法を実現する。

【 低遅延型画像伝送技術】

- 5) バックホウによる精密作業（旋回、アタッチメント作業（土嚢設置、地盤改良等））を確実に実施するため、開発する低遅延画像伝送装置は、高精度画像（30fps）を 3.0Mbps の伝送速度において遅延時間 70msec 以内でデジタル伝送できる能力を実現する。
- 6) 災害復旧現場における移動体重機への搭載条件下（振動、粉塵、熱、湿度等）で

安定した動作確保性能を実現する。

7) 必要な要求性能および仕様の公開に向けたとりまとめを行う。

研究・技術開発の内容

【 新型土嚢を用いた高速築堤技術】

[平成 24 年度]

1) 新型土嚢の構造・設置方法の検討

遠隔操作により展開可能な“ 新型土嚢 ” の形状・寸法・連結方法等の検討とおよび試作

新型土嚢を運搬・据付・展開するアタッチメント装置の開発と製作

新型土嚢への効率的な土砂充填方法の検討（バックホウ or 専用機装置）

2) 新型土嚢及びアタッチメント装置の設計・検討

本研究開発では、遠隔操作により新型土嚢を設置展開し土砂材料を充填するところまでの試作と実証試験を行った。そのための必要な装置についての設計・検討を行った。

[平成 25 年度]

3) 新型土嚢の試作

前年度の検討成果を踏まえ、遠隔操作により設置・展開し、土砂材料を高速充填することが可能な新型土嚢の試作を行った。

4) アタッチメント装置の試作

前年度の検討成果を踏まえ、遠隔操作により設置・展開し、土砂材料を高速充填することが可能なアタッチメント装置の試作を行った。

5) 新型土嚢及びアタッチメントの改良

上記の結果を踏まえて、新型土嚢及びアタッチメントの改良を行った。

[平成 26 年度]

6) フィールド試験の実施

a) 新型土嚢・アタッチメントの性能確認（有人）

模擬地盤を作成し、地盤との順応性・密着性を確認した。

同時に、曲線部・屈曲部への対応性を確認した。

新型土嚢の運搬・据付・連結の操作性を確認した。

b) 施工性の確認

バックホウによる新型土嚢の運搬・据付（無人）のサイクルタイムを計測

バックホウによる新型土嚢への土砂充填（無人）のサイクルタイムを計測

【 泥濘化した軟弱地盤改良技術】

[平成 24 年度]

1) 土質改良工法について無人化施工に適した工法全体の検討を行った。

2) 固化材、固化材供給方法、処理（攪拌）方法についての検討を行った。

3) 上記検討に基づき、固化材を確定した。

4) 固化材供給および処理（攪拌）については、具体的な方法を取りまとめた。

[平成 25 年度]

5) 前年度にとりまとめた具体的な方法に基づき、供給装置と処理（攪拌）装置の検討を行った。

6) 年度内に装置の検討を終了し、要素実験機の製作にとりかかった。

7) 要素実験計画を策定した。

[平成 26 年度]

8) 前年度に策定した要素実験計画に基づき、まず、実験準備を行った。

9) 必要機械・機材類の手配を行い、要素実験機の完成後、要素実験を行った。

10) 要素実験終了後に実験で得られた成果や今後の検討課題等を取りまとめた。

【 低遅延型画像伝送技術】

[平成 24 年度]

- 1) 低遅延情報伝送装置の要求性能明確化・評価検証・開発
 - a) 画質改良・画像評価試験
画質改良はフィルター係数の調整により、ブロックノイズの軽減を行った。
画像評価試験を行い、無人化施工に最適な目標数値を設定した。
 - b) 通信性能改良と評価試験
伝送路の揺らぎ等吸収をするための、最適な遅延量とバッファ量のチューニングを行った。
受信側のパケットロスを計測し、改善の評価を行った。
 - c) 耐振性能対応と評価試験
無人化施工対応機械の振動計測を行い、必要となる耐振性能を調査した。
これを基に評価試験を行い、製品の耐久性を確保した。

[平成 25 年度]

- 2) 試作の仕様決定
 - a) ~ c) の過程を経て、製品仕様を決定し、試作機を製作した。
- 3) 試作総合テスト
仕様に基づいて試作される製品に対して DSCQS 試験と通信性能評価試験を行い、性能を確認した。
- 4) 実地テスト
建設車両に搭載して実際に伝送テストを行った。

[平成 26 年度]

平成 26 年度は、試作改良をさらに行った。また、次世代社会インフラ用ロボット現場検証に応募し、フィールド試験にて試作機の性能評価を受けた。

研究・技術開発の成果

【 新型土嚢を用いた高速築堤技術】

- ・新型土嚢を据付・展開するためのアタッチメントおよび治具を製作した。
- ・無人化施工に最も適した新型土嚢を開発するため、7 種類の試作を実施し、比較検討の結果、下記が適するという結論を導き出した。
セル寸法：1×1.3m 線径：6mm 目合い：75mm
- ・実現場で実証実験を行い、目標とする施工能力を有することを確認した。
無人化施工による従来技術の施工能力：24 (m/日)
本開発の目標とする施工能力：60 (m/日)
実証実験による施工能力：72 (m/日) (1セル 10mを 50分で施工完了)
- ・併せて、2 段積みの可否を確認し、フィールドでの適用性を確認した。
- ・起伏等への追従性について検討し、上記の新型土嚢が最も良いという結論とした。
- ・実現場での実証実験を行い、据付、展開および充填方法等の施工方法を確立した。

【 泥濁化した軟弱地盤改良技術】

- ・無人化施工で地盤改良するための改良材の検討を行い、セメント系改良材、生石灰吸水材 + セメント系固化材を用いたコーン試験で改良体の硬度を確認した。
- ・セメント系改良材が、添加量が $100\text{kg}/\text{m}^3$ で目標強度が得られ、併せて、無人化施工での取り扱いを考え、この改良材に決定した。
- ・改良材の供給方法について検討し、フレコンパック直投が最も適しているという結論とした。

- ・フレコンバック直投のための切裂治具について検討し、数種類の治具を試作した。
- ・試作した治具で切裂き実験を実施し、最も適した治具を決定した。
- ・改良材の攪拌方法について検討し、スケルトンバケットとパドル式バケットを使用したヤードでの実験を実施した。
- ・実験の結果、手配性の良いスケルトンバケットで適用可能であることがわかった。
- ・以上の要素実験の結果より、無人化施工による地盤改良は可能であるという結論を導き出した。

【 低遅延型画像伝送技術】

- ・複数社の既存映像変換器の性能評価を標準動画にて実施した。
- ・選定した既存映像変換器をもとに改造機を製作した。
- ・改造機の画質性能改良実験、通信性能改良実験を室内にて実施した。
- ・搭載予定の重機の想定作業ごとの振動計測を実施した。
- ・重機に搭載し、耐振性能を確認した。その結果、問題ないことを確認した。
- ・耐粉塵性や長期間使用による接続部の劣化等に対して検討した。
- ・模擬ヤードにて、重機に搭載し、実伝送試験を実施した。
- ・上記をふまえ、試作機を製作した。試作機は、改造機に対し、面積比で 43.3% 体積比で 38.4%小型化を実現した。
- ・試作機の画質性能改良実験、通信性能改良実験を室内にて実施した。
- ・国交省が実施する次世代社会インフラ用ロボット現場検証に応募し、一定の評価が得られた。
- ・目標とする高精細画像 (30fps) を 3.0Mbps 以下の伝送速度で、かつ、遅延時間 70msec 以内を実現した。
- ・製品化に向けて、最終の画質等の修正を実施した。

研究成果の刊行に関する一覧表：刊行書籍等はなし。

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：知的財産権の出願等はなし。

成果の実用化の見通し：成果の実用化の見通しを下記に示す。

【 新型土嚢を用いた高速築堤技術】

- ・新型土嚢、各種治具の実用化はできるが、製品として発売する予定はない。
- ・本技術の採用にあたっては、採用先を問わず、無償で技術供与する予定である。

【 泥濁化した軟弱地盤改良技術】

- ・技術の実用化はできるが、工法であるため、製品販売等の予定はない。
- ・本技術の採用にあたっては、採用先を問わず、無償で技術供与する予定である。

【 低遅延型画像伝送技術】

- ・製品化する映像変換器は、今年度を目標に IBEX 社から販売する予定である。
- ・製品販売にあたっては、本研究者と本研究者以外で販売価格に差をつける。
- ・IBEX 社の販売に対して、本研究者は、収益行為（利益供与）は行わない。

その他：特になし。