

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 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

2. 研究期間

平成 24 年度～平成 26 年度

3. 代表者及び研究代表者、共同研究者

代表者及び研究代表者、共同研究者を下記に示す。

表 3.1 代表者及び研究代表者、共同研究者一覧表

区 分	氏 名	所属機関・職名
代 表 者	吉田 貴	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
研究代表者	吉田 貴	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	森下 博之	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第一部 主任研究員
共同研究者	新田 恭士	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第一部 主任研究員
共同研究者	須田 幸彦	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第二部 主任研究員
共同研究者	岩崎 辰志	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第二部 主任研究員
共同研究者	石丸 慶三	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	井澤 昌佳	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	奥出 英博	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	藤野 健一	独立行政法人土木研究所 技術推進本部 主席研究員
共同研究者	茂木 正晴	独立行政法人土木研究所 技術推進本部 主任研究員
共同研究者	猪原 幸司	青木あすなる建設(株)土木技術本部 総合評価部 担当部長
共同研究者	早瀬 幸知	(株)大本組 技術本部 技術企画部 課長
共同研究者	北原 成郎	(株)熊谷組 土木事業本部 機材部長
共同研究者	坂西 孝仁	(株)熊谷組 土木事業本部 機材部 担当部長
共同研究者	渡辺 英彦	(株)熊谷組 技術研究所 研究企画室 室長
共同研究者	大里 正博	西松建設(株) 土木事業本部 機材部 平塚製作所 所長
共同研究者	中田 晴久	西松建設(株) 土木事業本部 機材部 平塚製作所 所長
共同研究者	田中 勉	西松建設(株) 技術研究所 課長代理
共同研究者	田口 毅	西松建設(株) 土木事業本部 機材部 機電課長
共同研究者	岩谷 隆文	西松建設(株) 技術研究所 主任
共同研究者	川上 勝彦	(株)フジタ 建設本部 土木 EC 機械部 主席コソウト
共同研究者	野末 晃	(株)フジタ 建設本部 土木 EC 技術企画部 担当課長

4. 補助金交付総額

33,480,000 円

## 5. 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。本研究開発課題は、これらの課題に対応し、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して実施する。

具体の研究開発対象は、相互に密接関連する以下の 3 課題について実施するものである。

新型土嚢（どのう）を用いた高速築堤技術の開発。

泥濘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の開発。

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。

なお、これらの無人化施工においては、十分遠方からの遠隔操作化に資するため、IP(Internet -Protocol)対応型の画像モニター方式により実現することとする。

### <無人化施工における新たな工法の開発>

#### 【 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。

#### 【 泥濘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、トラフィックバリティ確保のために必要なコーン指数 800kN/m<sup>2</sup>程度に改良できる能力と、時間あたり 100m<sup>2</sup>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。

### <無人化施工の適用範囲拡張につながる通信基盤技術の開発>

#### 【 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。

6. 研究・技術開発の内容と成果

6.1 研究・技術開発の計画

6.1.1 全体の研究開発計画

本研究開発全体の計画図を下記に示す。

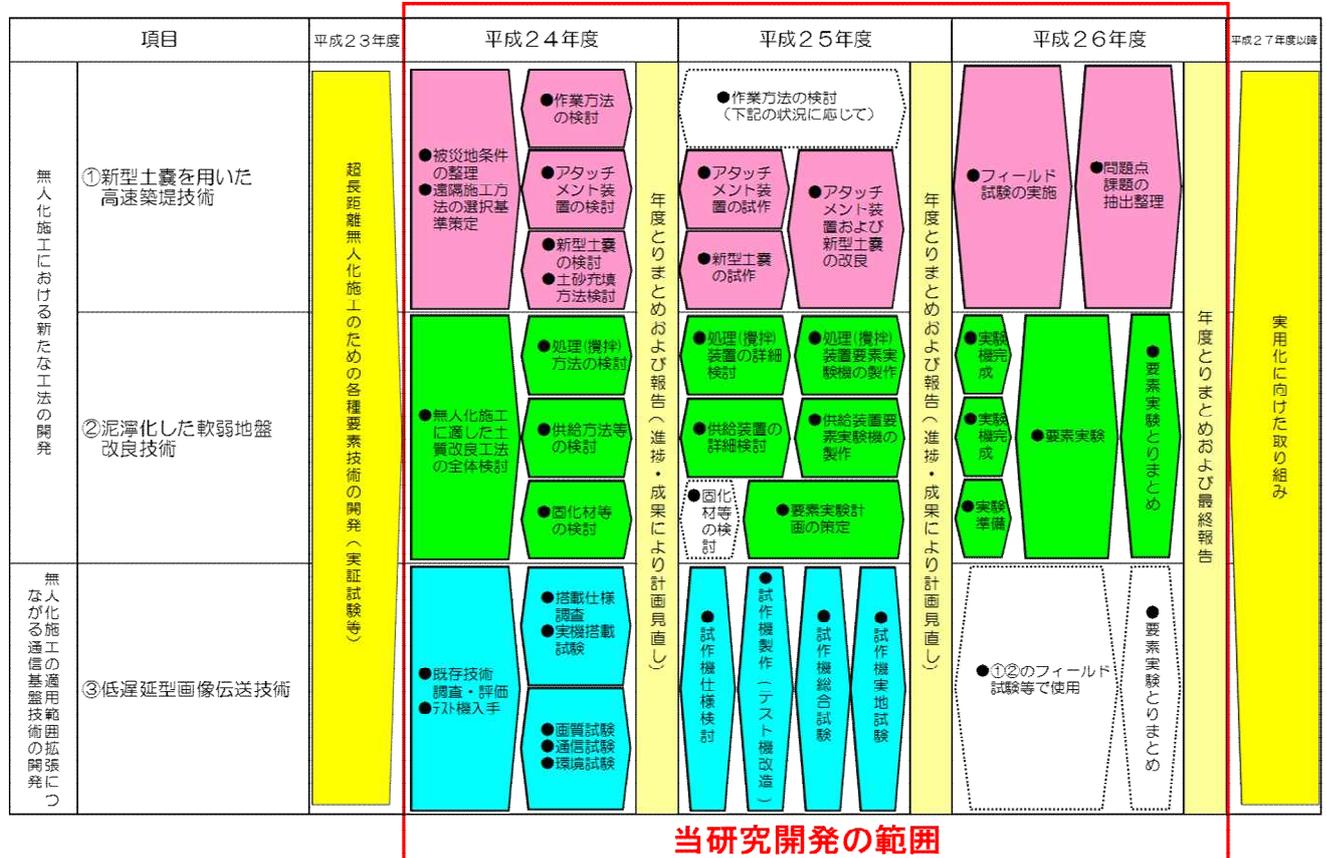


図 6.1.1-1 研究開発概要図

6.1.2 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発計画

(1) 開発計画の概要

大型土嚢積み工法は、各種の災害対策現場において最も一般的に行われる工法の一つである。しかし、現地材料を活用し自由な形状に積み上げることが出来る利点がある反面、その作業は、“中詰土砂材料の確保”“袋詰め”“運搬”“設置(玉掛、据付)”までの各ステップで、人手を要する細かい作業に時間を要している。

無人化施工の大型土嚢積み工は、[有人エリア内における土嚢製作、遠隔操作付運搬機械（無人ダンプトラック）への積込作業]と[無人エリア内での運搬、設置(玉掛、据付)作業]と有人・無人で2段階の作業となり非効率である。

無人化施工の運搬作業では、後工程となる玉掛作業に手間取ることも多いため、吊代を玉掛（把持）し易いように荷積配置を行い、重ね積みをしないため、小運搬の回数が増える。運搬回数が増えることは、遠隔操作付ダンプ台運搬機の現存台数が少ないこともあり、大規模な土嚢積み工や有人エリアと土嚢設置箇所との運搬距離があるときなどは、物理的に作業が完結しない場合も考えられる。ヘリコプターを使った作業においても、同様にヘリコプター台数や費用の問題も生ずる。

このような背景から災害対応において、無人化施工による運搬作業の省力化を含めた土嚢積み作業の高速化（時間短縮）は、望まれている。

本研究開発課題は、土を詰めた土嚢を小運搬する代わりに、遠隔操作で容易に展開・自立する新型土嚢袋に土嚢設置場所で土砂等を充填することにより、作業を高速化する技術（高速築堤技術）を開発するものである。成果は、天然ダム（河道閉塞）の直近下流部での堤防補強など、幅広い防災現場で効果を発揮することが期待される。

具体的には、高速施工が可能な新型土嚢を試作し、遠隔操作によるフィールド試験により遠隔操作での土嚢袋展開・土砂充填試験により実現性を確認するとともに、その形状・設置展開方法・連結等について検討し、研究開発目標に掲げるより幅広い現場条件への適用を目指すものである。

## （２）平成 24 年度の開発計画

本研究開発では、従前の土嚢積み工法が有する特長を損なわず高速施工を実現するために、土嚢設置箇所においてカメラ画像を見ながら遠隔操作により新型土嚢袋を展開するまでの実証を実施する。また、形状の異なる土嚢ユニット（複数パターン用意）を設置・連結、土砂等を充填することにより、被災地の地盤形状（起伏等）に追従し曲線部施工を可能とする構造について検討し、災害復旧作業への適用性が高い“技術の成立性”を実証するところまでを研究開発範囲として考えている。

### 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う予定である。そのために必要な装置についての設計・検討を行う。

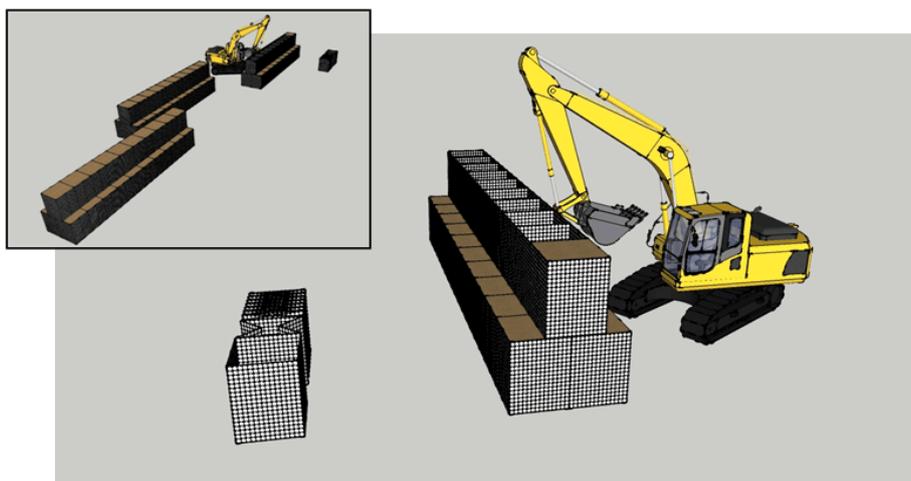


図 6.1.2-1 新型土嚢工 設置概要図

## （３）平成 25 年度の開発計画

平成 25 年度の開発計画を下記に示す。

### 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う。

#### 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う。

#### 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う。

#### (4) 平成 26 年度の開発計画

平成 26 年度の開発計画およびフローを下記に示す。

#### 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

同時に、曲線部・屈曲部への対応性を確認

新型土嚢の運搬・据付・連結の操作性を確認

##### (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

#### 7) 問題点・課題の抽出整理

アタッチメントの遠隔操作による新型土嚢の設置・展開、土砂材料の充填に係る問題点・課題の抽出整理、および新型土嚢構造やアタッチメント装置に係る改良点を整理する。また、既存技術との組合せによる様々な地形条件への適用性拡大を図るため、曲線部や屈曲部への適用を想定した、新型土嚢の複数パターンのユニット形状などについても、フィールド試験の結果を考察し机上検討する。

【研究開発計画】

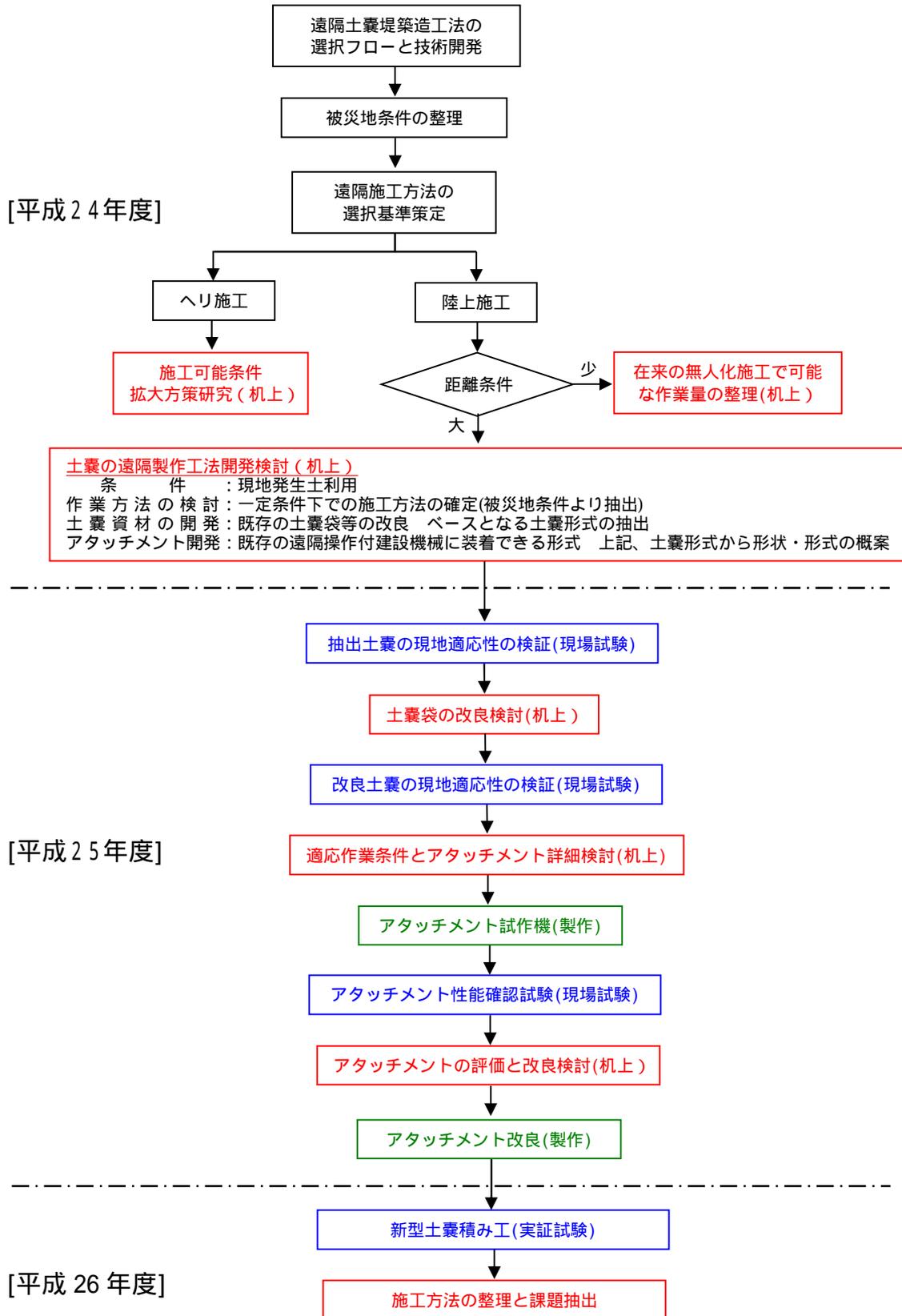


図 6.1.2-2 開発フロー

### 6.1.3 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発計画

#### (1) 平成24年度の開発計画

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う。次に固化材、固化材供給方法、処理(攪拌)方法についての検討を行い、固化材を確定し、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る。年度末には年度のとりまとめと報告を行う。

#### (2) 平成25年度の開発計画

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)装置の検討を行う。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る。また、要素実験計画を策定する。年度末には年度のとりまとめと報告を行う。

#### (3) 平成26年度の開発計画

前年度に策定した要素実験計画に基づき、まず、実験準備を行う。必要機械・機材類の手配を行い、要素実験機の完成後、要素実験を行う。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のとりまとめを行う。年度末には、全体のとりまとめと報告を行う。下記に開発フローおよび概要図を示す。

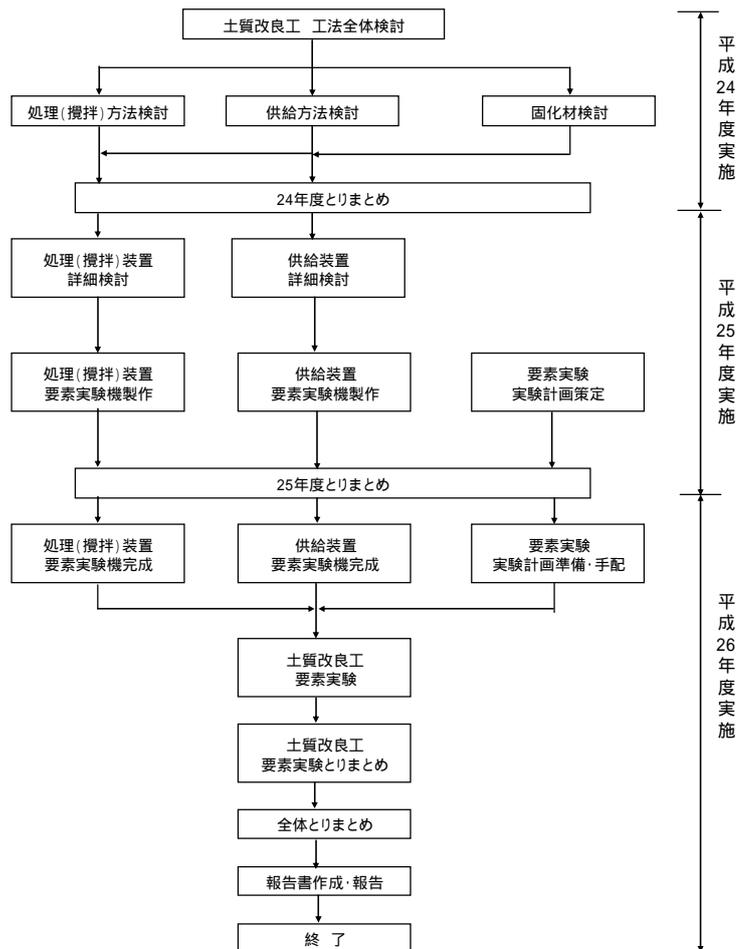


図 6.1.3-1 開発フロー

【工法検討】

固化剤の状況によって簡易地盤改良の工法を検討する。

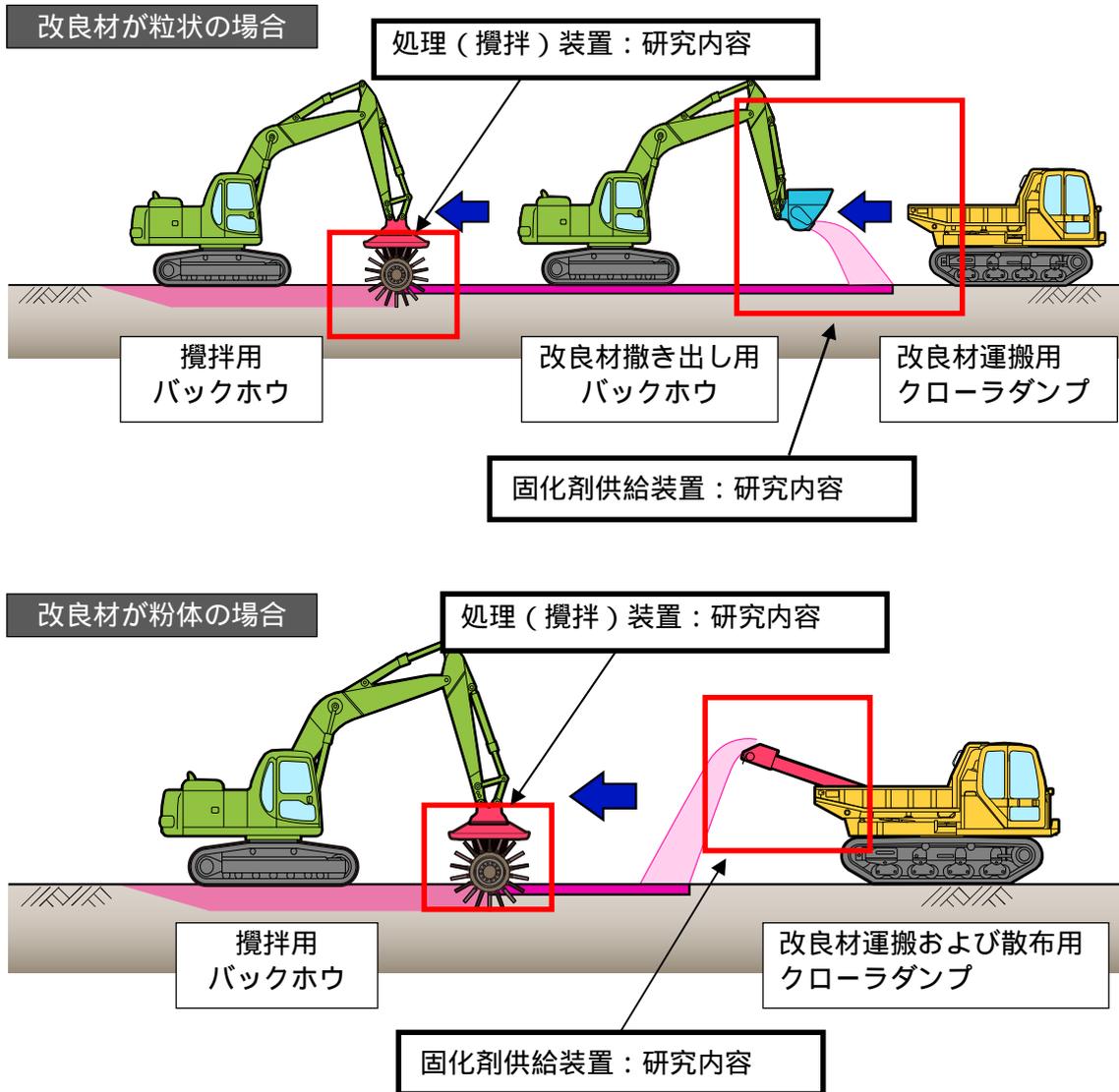


図 6.1.3-2 開発概要図

## 6.1.4 低遅延型画像伝送技術の開発計画

### (1) 開発計画の概要

より幅広い条件下の災害復旧工事において高い現場適用性を実現するためには、無線 LAN や光ケーブルを活用できるネットワーク型無人化施工の実現が不可欠である。このため、本研究開発では、緊急時の無人化施工技術に対応した現場適応性に優れた画像伝送システムを開発する。具体的には、過酷な環境条件下で行われる無人化施工に必要な要求性能（リクワイアメント）を明確にし、高精細度のカメラ映像を低遅延で圧縮・伝送・伸張可能な装置を開発し、過酷な環境条件下で使用される無人化施工用建設機械に搭載可能な性能を確保することにより以下の研究開発目標を達成する。

### (2) 平成 24 年度の開発計画

既存の画像伝送装置の画質、通信、耐振動性能を評価し、試作機開発にむけて要求性能を明確化した上で、適切な改良点を把握するための検証実験を行う。同時並行して重機搭載環境下における実施工実験を行い、要求性能・仕様を明確するための分析、評価を実施する。

#### 1) 低遅延画像伝送装置の要求性能明確化・評価検証・開発

Internet Protocol (IP) を使ったネットワーク型無人化施工を実現することで、伝送距離や CH 数等の制約を受けない無人化施工の実現が可能となる。

ネットワーク型無人化施工を実現するために必要不可欠な“低遅延情報伝送装置”は、複数カメラ画像と各種センサー情報や制御情報を統合処理し、メッシュ LAN 等を含めた効率的な伝送を実現する技術であり、先ず以下に示す既存技術の調査・試験を踏まえ災害現場で建設機械に搭載するための耐久性・耐環境性を含めた要求性能を明確化する。

緊急時の無人化施工技術に対応した画像伝送システムを開発する。高精細度のハイビジョン映像を低遅延で圧縮伸張可能な装置を改造し、無人化施工建設機械に搭載可能な仕様に変更することで目的を達成する。

#### 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う。

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する。

画像評価試験：DSCQS 試験（二重刺激連続品質尺度評価法） 映像の元データと圧縮伸張後のデータを比較評価する試験。人間の感性を測定機械で評価する。

#### 通信性能改良と評価試験

伝送路の揺らぎ等吸収をする為の、最適な遅延量とバッファ量のチューニングを行います。また、受信側のパケットロス計測し、改善の評価を行う。

#### 耐震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、必要となる耐震性能を調査する。これを基に評価試験を行い、製品の耐久性を確保する。

### (3) 平成 25 年度の開発計画

前年度の評価を受けて、試作装置の仕様を決定し、試作品を製作する。室内試験を経て実地テストを行い、性能を確認する。

#### 2) 試作の仕様決定

～ の過程を経て、製品仕様を決定し、試作機を製作する。

### 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、性能を確認する。

### 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う。

### (4) 平成 26 年度の開発計画

平成 26 年度は、他の研究テーマ(新たな工法開発)の要素実験において、試作改良した低遅延画像伝送システムの実機搭載環境におけるフィールド試験を実施する。

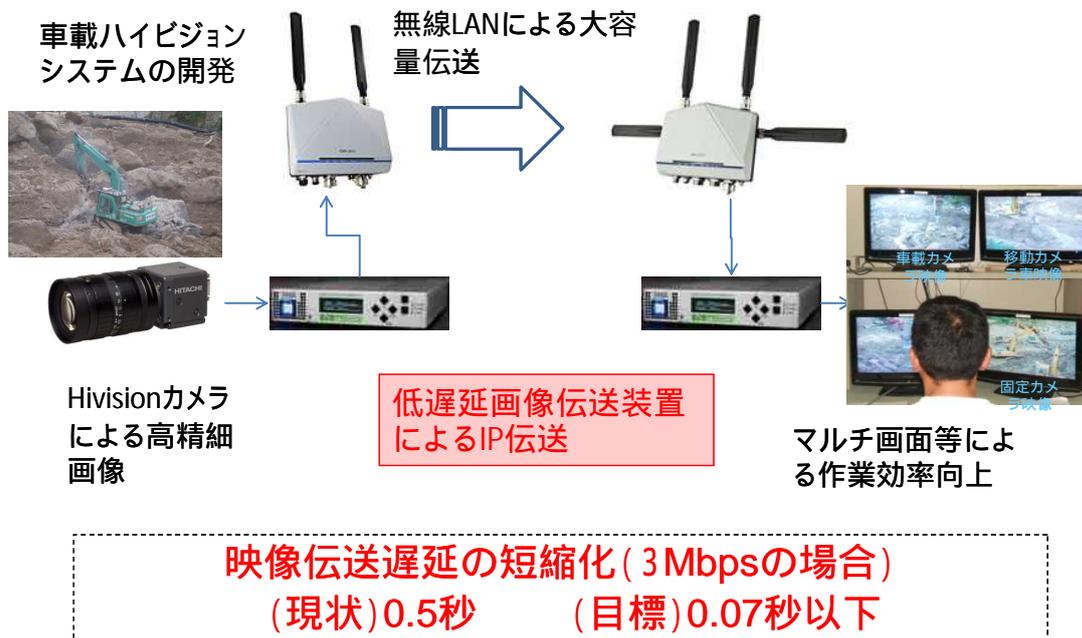


図 6.1.4-1 低遅延画像伝送システム概要および目標

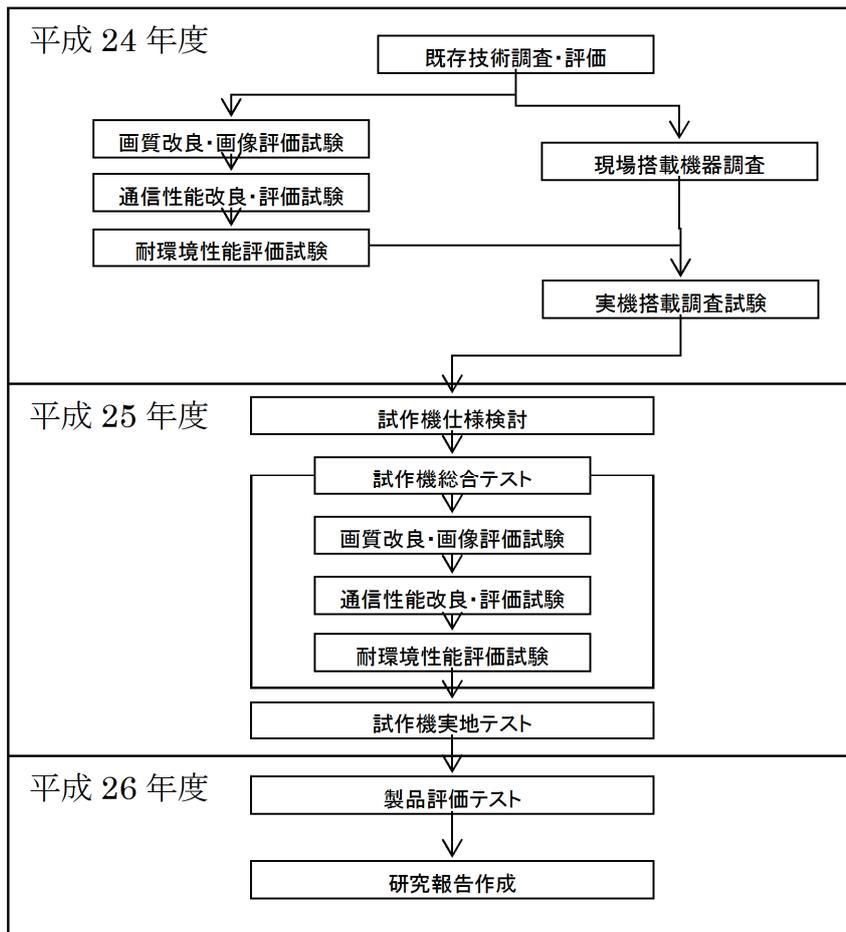


図 6.1.4-2 低遅延情報伝送システム 研究フロー

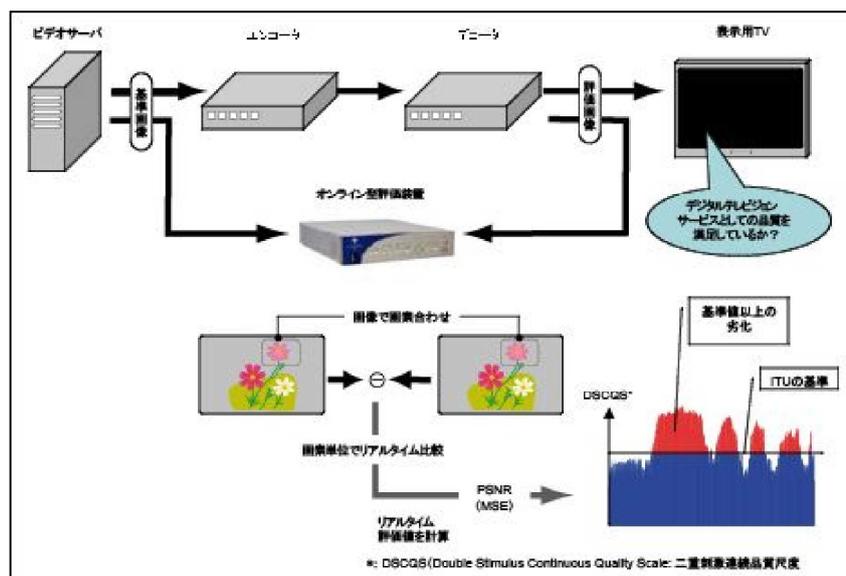


図 6.1.4-3 DSCQS 試験 概要図

## 6.2 研究・技術開発の内容

### 6.2.1 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発内容

#### (1) 平成24年度の開発内容

本研究開発では、従前の土嚢積み工法が有する特長を損なわず高速施工を実現するために、土嚢設置箇所においてカメラ画像を見ながら遠隔操作により新型土嚢袋を展開するまでの実証を実施する。また、形状の異なる土嚢ユニット（複数パターン用意）を設置・連結、土砂等を充填することにより、被災地の地盤形状（起伏等）に追従し曲線部施工を可能とする構造について検討し、災害復旧作業への適用性が高い“技術の成立性”を実証するところまでを研究開発範囲として考えている。平成24年度は、下記の検討を実施した。

#### 1) 新型土嚢の機能検討および構造・施工性の検討

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**および**3種類の試作**を行った。

新型土嚢を運搬・据付・展開する**設置ジグの検討と試作**を行った。



写真 6.2.1-1 新型土嚢および設置ジグの試作と据付試験

#### 2) 新型土嚢の有効性の検討、確認

従来（大型土嚢）工法に対する**有効性（施工速度2倍）達成の必要性能等**を机上で検討、確認した。右下図は、運搬距離 300m の場合の例。同じ無人化施工機械の組合せで大型土嚢 24m と新型土嚢 60m の施工タイムチャートを示したものの、この検討結果を元に**新型土嚢の据付目標時間(1セット1時間以内)**を設定した。

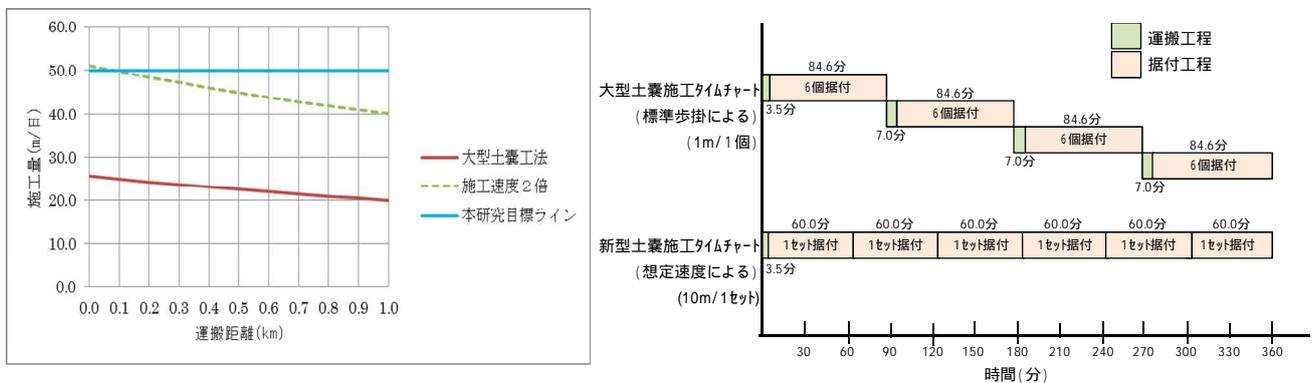


図 6.2.1-1 従来工法施工速度の2倍速の検討結果(運搬距離 300m の例)

## (2) 平成 25 年度の開発内容

平成 25 年度は、平成 24 年度に整理した被災地条件と据付条件に合致した新型土嚢、土嚢据付金具およびアタッチメント等の開発を行い、場内試験により性能の確認を行った。下記にそれぞれの開発内容を示す。

### 1) 新型土嚢の試作

平成 24 年度に引き続き、4 種類の新型土嚢の試作（計 7 種類）を行い、強度、形状等が無人化施工へ適応できるか否かについて、場内試験により確認した（図 6.2.1-2、写真 6.2.1-2）。

### 2) 据付用金具またはアタッチメントの開発

新型土嚢の据付用金具またはアタッチメントの検討、設計および製作した。また、無人化施工用バックホウを用いた据付試験を実施し、据付の可否、施工速度および金具等の要求強度を満たすことができるか否かについて、場内試験により確認した（写真 6.2.1-2、図 6.2.1-3、図 6.2.1-5）。

### 3) 施工方法および開発品の試験と評価

施工速度 2 倍以上を達成するため、効率の良い施工方法を検討し、上記にて開発した器具等を用いた場内試験を行い、評価した（写真 6.2.1-2、図 6.2.1-4）。

### 4) 開発品の改良

試験の評価内容を元に課題を抽出し、必要な改良を行い、再評価した。

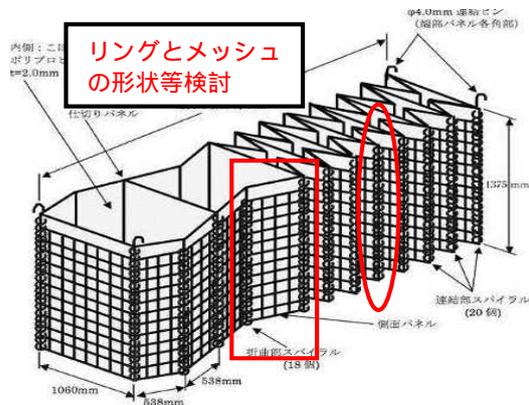


図 6.2.1-2 新型土嚢の試作



写真 6.2.1-2 遠隔操作による土嚢展開試験

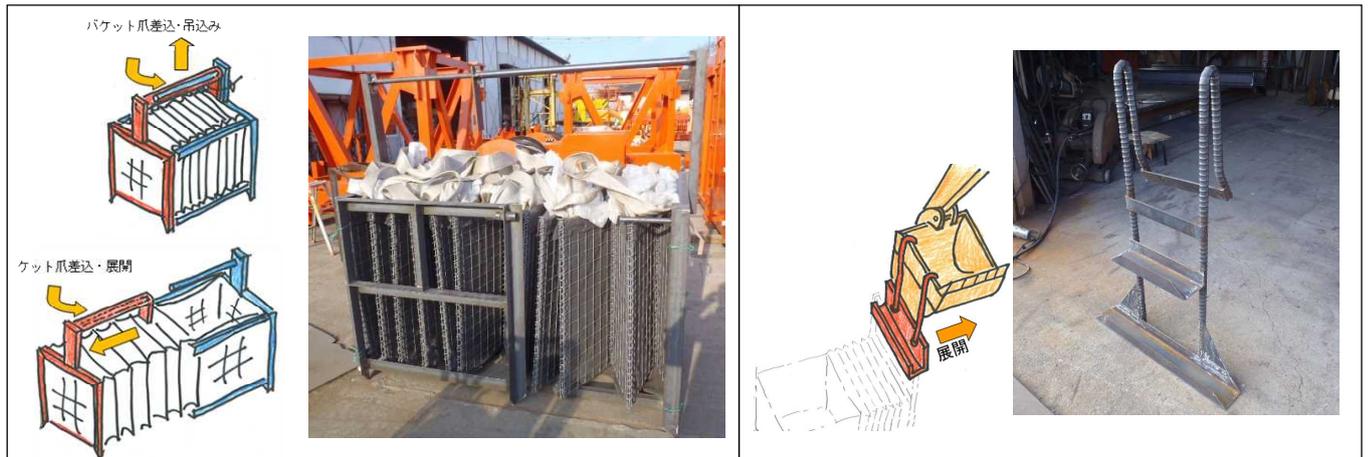
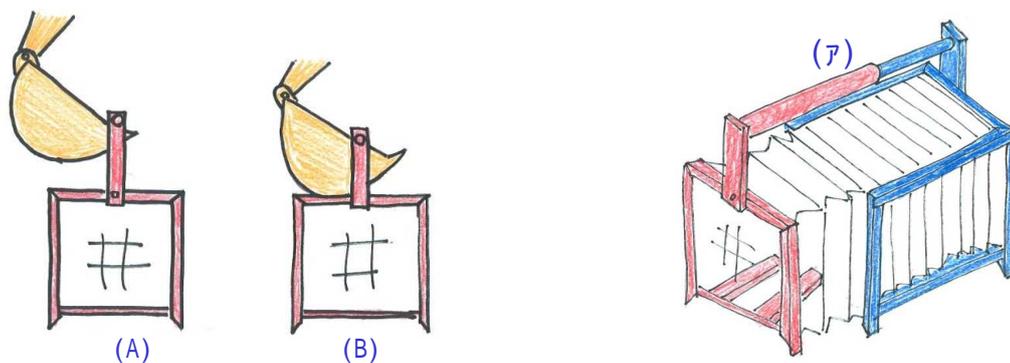


図 6.2.1-3 据付金具またはアタッチメントの検討 (左：検討案 右：検討案 )



図 6.2.1-4 効率の良い施工方法に関する検討



【考察】  
 想定では(A)のように、バケット爪先で引っ掛けて施工する予定であったが、バケレタは、落下を危惧して(B)の様にバケット全体を差し込む傾向にあった。  
 吊り金具は収納を考慮してL寸法がバケット高さより短くしているため、金具に無理な力がかかる結果となった。

【考察】  
 右図の様に展開途中で、再度吊上げ作業をおこなったため、(A')部に過大な曲げ力が働き心棒が曲がった。結果、心棒とバケレタが干渉して展開不能となった。  
 また、設置面の凹凸が大きい場合も、同様の干渉が起きる可能性が指摘された。

図 6.2.1-5 無人化施工バックホウを使用した据付試験結果に関する考察

### (3) 平成 26 年度の開発内容

平成 26 年度は、新型土嚢の実証実験等を実施した。なお、後述する開発成果と内容が重複するため、本項では概略を示す。

#### 1) アタッチメントおよび治具の開発

平成 25 年度に数種類の試作品にて実施した実証実験の結果から、写真 6.1.2-3,4 に示す試作品をアタッチメントおよび土嚢設置治具の最終的な基本形状と定め、平成 26 年度に改良と評価を実施した。



写真 6.2.1-3 アタッチメント



写真 6.2.1-4 据付治具

#### 2) 実証実験の実施

当初目標に対する性能を確認するため、雲仙普賢岳の実現場にて実証実験を実施した。下記に概要を示す。

日時：平成 27 年 2 月 12 日(木)から 13 日(金)

2/12(木) 実験準備、無線調整、実証予備実験、検証

2/13(金) 実証実験、検証、解体撤去

場所：長崎県島原市雲仙普賢岳 赤松谷川 11 号床固工工事 現場

目的：遠隔操作による連続土嚢の 2 段積施工の検証とその構築時間の計測

#### 3) フィールドでの適用性確認

フィールドでの適用性を確認するため、上記実証実験にて、2 段積みを行い、出来形等を確認した。有人施工と比しても遜色のない出来形となった。

#### 4) 施工能力の確認

上記実証実験にて、施工能力を確認した。実証実験の結果、施工能力は、72 (m/日) となり、本開発の目標とする施工能力の 60 (m/日) を大きく上回り、目標を達成した。詳細は、開発の成果を参照されたい。

施工時間結果：1 時間 40 分 05 秒/20m      50 分 03 秒/10m

無人化施工による従来技術の施工能力：24 (m/日)

(大型土のう工の施工能力 × 0.6 (無人化施工効率) より算出)

本開発の目標とする施工能力：60 (m/日) (従来技術の施工能力の 2.5 倍)

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)

## 6.2.2 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発内容

### (1) 平成24年度の開発内容

平成24年度は、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。具体的には、**固化材の選定**および**固化材供給方法・処理（攪拌）方法の検討**を実施している。

固化材については、**軟弱地盤への適合性を確認**するため、粘性土を基準土とし、**室内試験を実施**した。固化材供給方法、処理（攪拌）方法については、現在使用されている**無人化機械を利用する方法について検討**した。

#### 1) 固化材の選定

固化材は、机上検討の結果、固化材は**セメント系固化材、生石灰、吸水材+セメント系固化材の3種類**が本研究に対する適合性が高いと判断し、軟弱地盤の基準土による**固化材の特性試験を実施**した。下記に実験方法および結果（図6.2.2-1）を示す。

##### (1) 目的

- ・基準土に対する固化材の**改良特性**を確認。
- ・**早期強度**の確認。

##### (2) 試験方法

- ・土壌硬度試験  
締固めた土のコーン指数試験方法  
(JIS A 1228-2009)
- ・供試体寸法： 100mm × H127mm

表6.2.2-1 ケースおよび添加量

No.	種類	含水比 (%)	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	
			吸水材	固化材
Case1	セメント系固化材	100		50
Case2	セメント系固化材	100		100
Case3	セメント系固化材	200		100
Case4	生石灰	100		50
Case5	生石灰	100		100
Case6	吸水材+固化材	100	100	100
Case7	吸水材+固化材	200	100	100

##### (3) 固化材

セメント系固化材 太平洋セメント(株)ジオセット 200  
生石灰  
吸水材+固化材 (ジオセット 200)

##### (4) 試験材令

6時間、1日(1)、3日(3)の3ケース

##### (5) ケースおよび添加量

右表に示す**7ケース**(表-1参照)

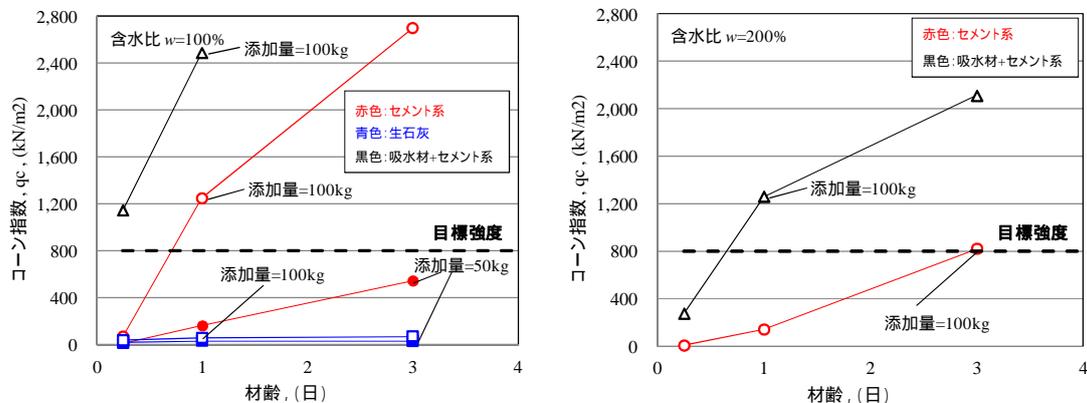


図6.2.2-1 実験結果

## 2) 固化材供給方法

固化材の供給方法では現在無人化で使用されている不整地運搬車、バックホウを使った工法を検討した。下記に検討例を示す(図6.2.2-2)。

- ・フレコンパックを使用して散布
- ・バックホウに取り付けた散布機を利用して散布
- ・供給フィーダを利用した散布

## 3) 処理(攪拌)方法

攪拌方法では、バックホウを利用した工法を検討した。種々の攪拌用アタッチメント(図6.2.2-3)を選定し、次年度の検討課題とした。

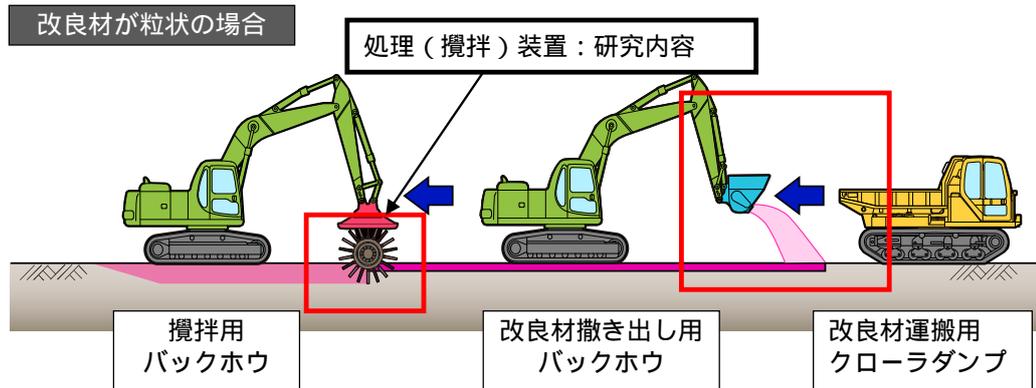


図6.2.2-2 固化材供給方法検討(例)



図6.2.2-3 攪拌アタッチメント(例)

(2) 平成 25 年度の開発内容

前年度に実施した、既往の改良工法や災害事例の調査結果、および固化材の室内試験から、無人化施工による供給方法（装置） 攪拌方法（装置） 品質管理手法等、改良方法の詳細について検討を実施した。下記にそれぞれの内容を示す。

1) 供給方法の検討

改良の対象として、災害復旧作業用の資機材ヤード（モータープール他）での作業を想定し、現場状況に応じた供給方法・装置を検討した。セメント系固化材（粉体）を使用した地盤改良方法として、フレコンパックを利用した場合と、粉体圧送（ローリ車、供給装置）を利用した場合について検討した（図 6.2.2-5）。

2) 攪拌方法

バックホウを用いた地盤改良では、種々の攪拌バケットが存在するが、市場での流通性、改良能力等を考慮し、スケルトンバケット、強制的な攪拌が可能なパドル付きの攪拌バケットの適用性を検討した（図 6.2.2-6）。

3) 品質管理方法

改良後の地盤強度（施工機械の走破性確認のため）を、無人で確認・測定することが可能な方法について検討した。

4) 要素実験の検討

次年度に実施予定の要素実験（案）について検討した（図 6.2.2-7）。



図 6.2.2-5 改良材供給方法の検討と供給例

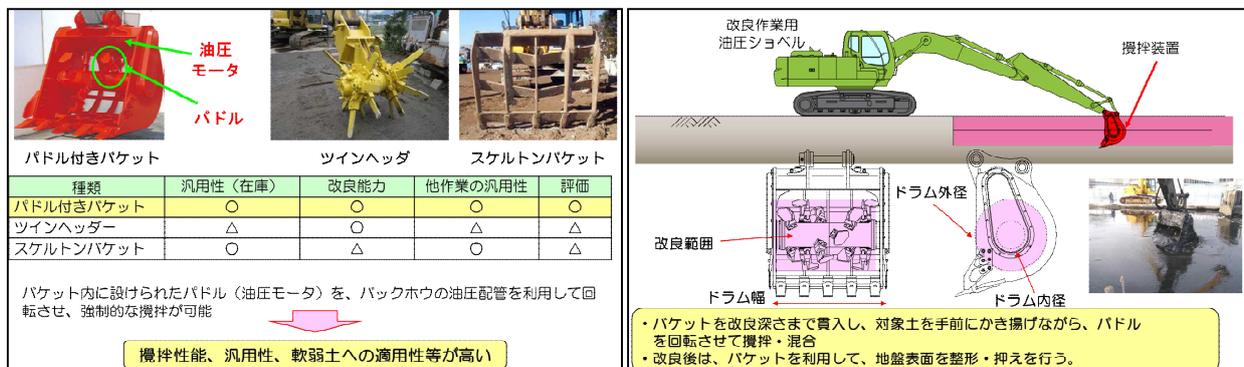


図 6.2.2-6 攪拌装置の検討と攪拌装置例

《攪拌装置（方法）》

攪拌装置（スケルトンバケット）の施工能力を確認するため、有人および無人での改良作業を行う。室内試験で使用した模擬の軟弱地盤（含水比100%程度）を作成し、攪拌時間、状況等の差異について把握する。

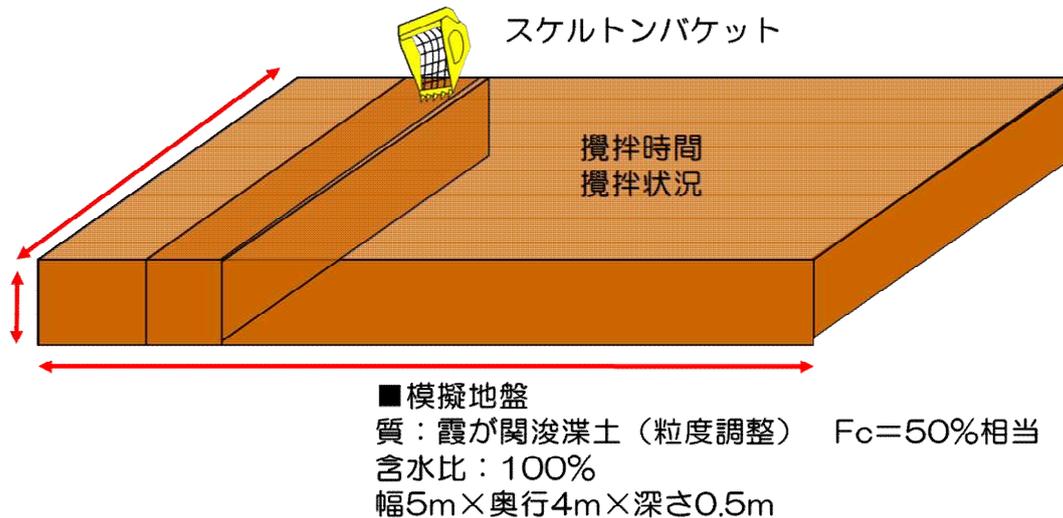


図 6.2.2-7 攪拌装置の要素実験概要

(3) 平成 26 年度の開発内容

H24、25 年度に実施した、改良材の検討、攪拌装置の検討および要素実験等の結果を踏まえ、無人化施工による供給方法（装置）、強度確認方法、改良方法の詳細について検討を実施した。下記にそれぞれの内容を示す。なお、後述する開発成果と内容が重複するため、本項では概略を示す。

1) 供給方法

改良の対象として、災害復旧作業用の資機材ヤード（モータープール他）での作業を想定し、現場状況に応じた供給方法・装置を検討した。セメント系固化材（粉体）を使用した地盤改良方法として、フレコンパックからの直接投入、粉体圧送（ローリ車、供給装置）、不整地運搬車等を改造した供給装置等について検討した。検討の結果、フレコンパックからの直接投入が最も良いと判断した。

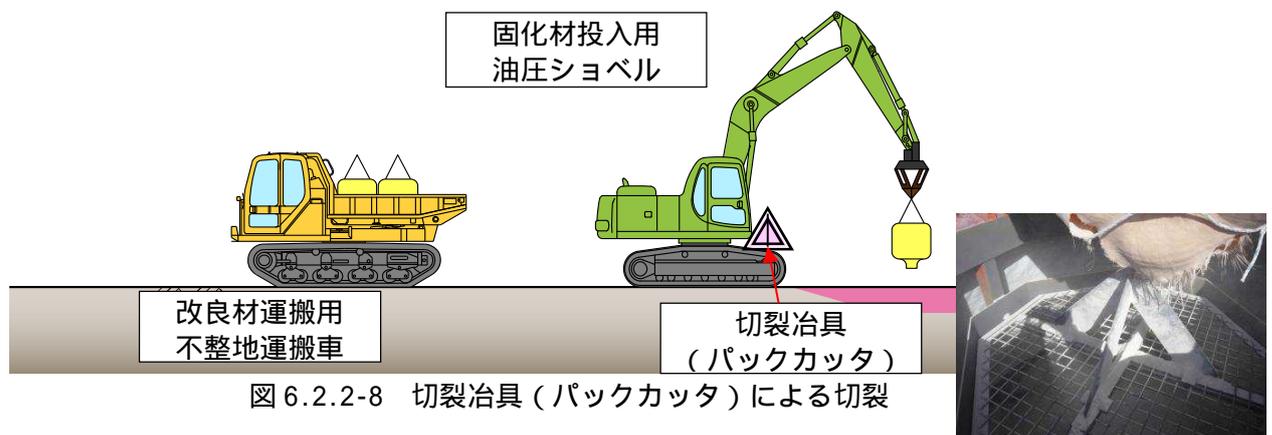


図 6.2.2-8 切裂治具（パックカッタ）による切裂

## 2) 攪拌方法

昨年度に実施した要素実験の結果から、攪拌方法、攪拌装置に関する課題等について整理した。

## 3) 強度確認方法の検討

改良後の地盤強度（施工機械の走破性確認のため）を、無人で確認・測定することが可能な方法について検討した。

表 6.2.2.-2 強度確認方法の検討

実験装置	メリット	デメリット	評価
貫入抵抗値	・特別な装置を別途取り付け作業がない。	・油圧や電力抵抗値の変化と地盤強度の関係を導き出すことが非常に難しい。 ・機械ごとの関係を導き出す必要がある。	×
バケット貫入量	・特別な装置を別途取り付け、取り外し作業がない。 ・有人施工でも類似した方法で確認する場合がある。	・有人施工ではできるハンドル操作時の感触など、人間の五感に頼っている面がある。 ・目視による確認ができるか不明。	
平板載荷試験装置	・既存の無人化施工技術としての実績あり。	・地盤の不陸整形など、事前準備が必要(?) ・測定に時間がかかる。 ・装置の装着、取り外しに工夫が必要。	
重錘落下試験装置	・既存の無人化施工技術としての実績あり。	・装置の装着、取り外しに工夫が必要。	
荷重測定 (ロードセル)	・測定値を読み取る方法を確立すれば、現場目視などより正確な測定ができる。	・装置の装着、取り外しに工夫が必要。 ・装置ごと沈み込んでしまった場合の荷重測定の取扱い方法。 ・荷重値の読み取り方法	
重りの沈込み量測定	・測定原理は非常に単純。 ・測定に時間を要しない。	・所定の落下高さへ重りを移動させることが難しい。 ・重りの装着、取り外し方法に工夫が必要。	

## 4) 要素実験（供給装置）の実施

改良材の供給方法に関して、改良材（セメント系固化材）を無人で、定量的に供給するための実験治具を製作して要素実験を行い、供給状況等を確認した。要素実験より、最も適した治具を選定した。



写真 6.2.2-1 要素実験状況（排出状況）

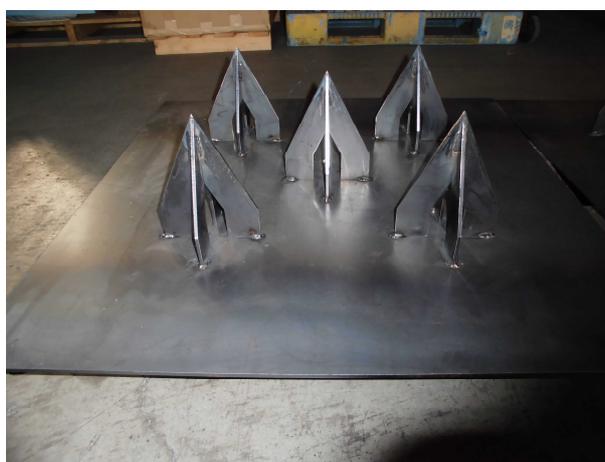


写真 6.2.2-2 切裂き治具

### 6.2.3 低遅延画像伝送技術の開発内容

#### (1) 平成24年度の開発内容

平成24年度は、まず、既存技術を調査・検討し、その後、低遅延情報装置のベースとなるテスト機の選定とそのテスト機による画像改良・画像評価試験および災害現場で建設機械に搭載するための耐久性・耐環境性を含めた要求性能を明確化した。下記に概要を示す。

##### 1) 既存技術の調査・検討およびテスト機の選定

既存技術の調査として、放送業界等で使用されている低遅延情報装置 3メーカーの機器を入手し、この機器の性能・特性および本研究への適用性等について実験を実施した。この実験結果より、機器を選定した。

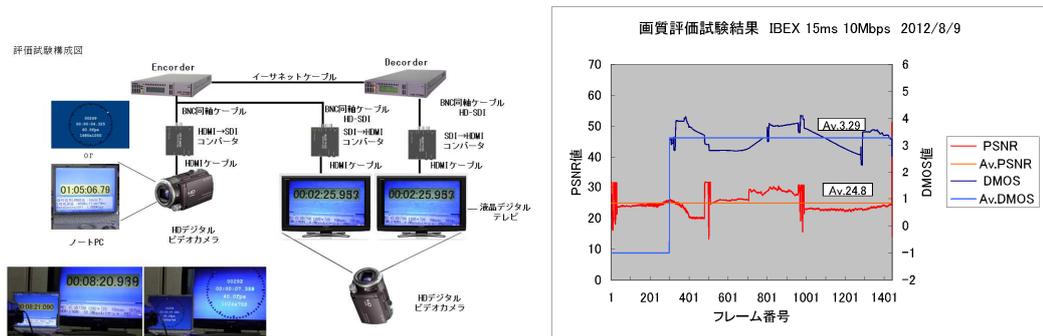


図 6.2.3-1 実験系統図および実験結果（抜粋）

##### 2) テスト機による画像改良・画像評価試験

###### 画質改良・画像評価試験

画質改良として、ノイズフィルタの追加やフィルタの最適化を実施した。また、処理ブロック単位を変更することにより、破綻しやすい映像（色の違いが識別しにくい土砂等の映像）に対して 3Mbps の低レートで伝送できることを確認した。

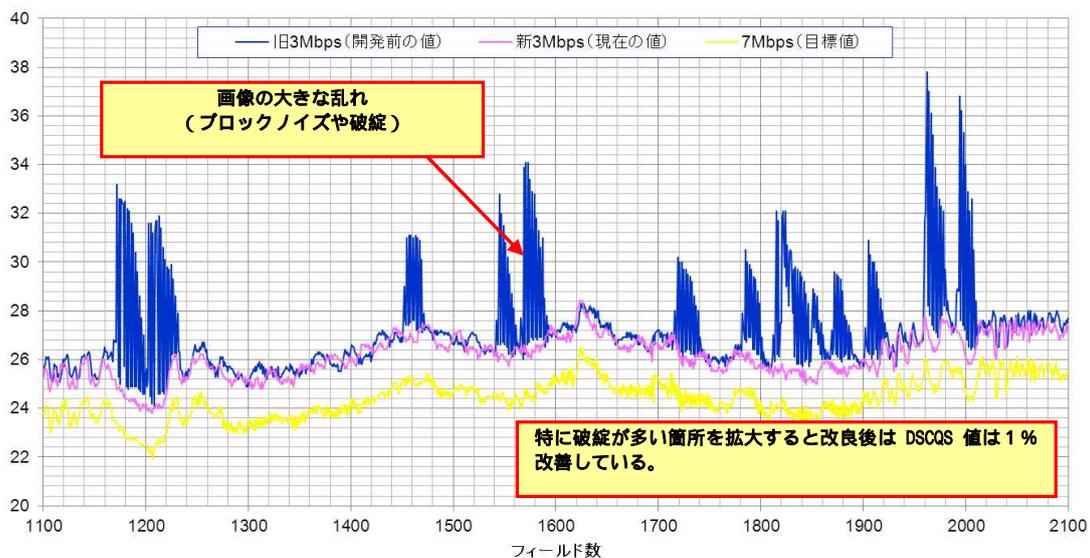


図 6.2.3-2 画質評価結果

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に受信側のパケットロスを計測し、その結果より最適な遅延量とバッファ量のチューニングを実施した。この改良により、通信の寸断後の復帰時間を1秒程度にすることができた。

3) 耐振性能対応と評価試験

無人化施工機械の振動計測を行い、必要な耐振性能を計測した。併せて、テスト機については、2G程度の振動に耐えるような改良を実施した。

表 6.2.3-1 改良等実施内容一覧

開発項目		対応策
項目	概要	
画像改良	総合的な画質向上	ノイズフィルタ追加 デブロッキングフィルタの最適化
	低レートでの映像破綻防止	処理ブロック単位の変更
	グレイのブロックノイズ対策	グレイのブロックノイズに対する改良実施
通信性能改良	パケットロス時の画面フリーズ復帰対策	ネットワーク復旧後の速やかな再確立改良実施 (10秒 1秒へ改良)
耐振動性能改良	建設機械への搭載対策	2G程度の振動に対する改良実施

(2) 平成 25 年度の開発内容

前年度の評価を受けて、試作装置の仕様を決定し、試作品を製作した。室内試験を経て実地テストを行い、性能を確認した。下記にそれぞれの内容を示す。

1) 試作の仕様決定

平成 24 年度の検討過程を経て、製品仕様を決定し、試作機を製作した(図 6.2.3-3)。

2) 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(解説前述)と通信性能評価試験を行い、性能を確認した(表 6.2.3-2)。

3) 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(図 6.2.3-4)。

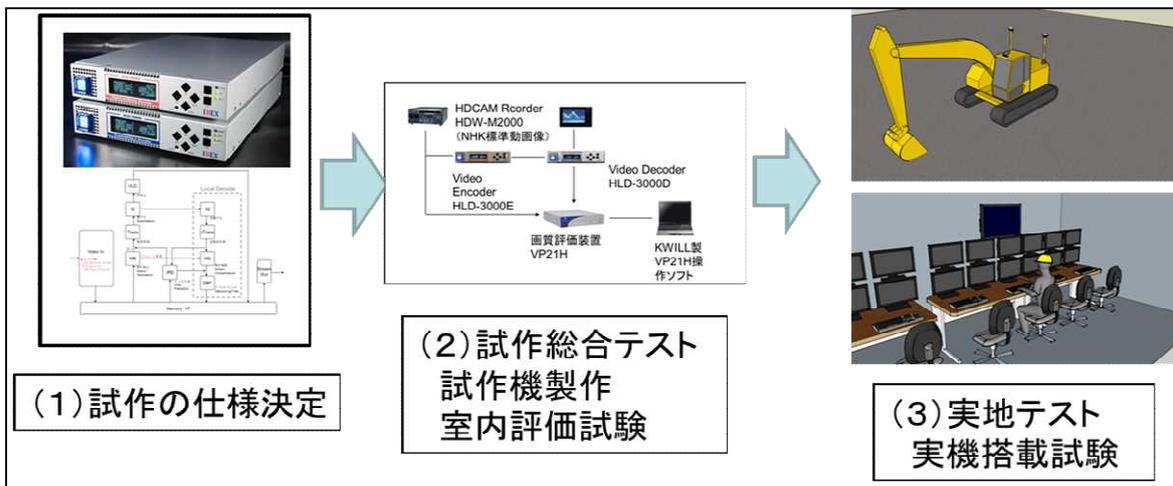


図 6.2.3-3 平成 25 年度研究開発フロー

表 6.2.3-2 平成 25 年度研究開発工程表

対象機器	項目	状況	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
開発品	1 仕様	仕様検討・決定	進行中												
	2	ファームウェア開発	進行中												
	3 設計	電子回路設計	進行中												
		筐体設計													
		チューニング													
	6 製造	部材手配	進行中												
		ペーパーボード製造													
		筐体製造													
		部品美装・組立													
	10 評価	画質テスト													
		通信テスト													
		耐震テスト													
		結合テスト													
		車載テスト													
	16 改造品 テスト機	室内評価テスト													
車載テスト		準備中													
車載デモ															
18 報告書	まとめ														

油圧ショベルに搭載して伝送テストを行う。

- ・ハイビジョンカメラ及び開発した画像伝送装置をバックホウに搭載し、無線LANを用いて画像伝送を行い、その基本操作性を確認する。主に実使用に耐えられるかを調査

現在の状況

- ・赤松谷川11号床固工工事にて、1.4m3級油圧ショベルに装着。

現場にて長期テストを実施予定。現在無線LANの伝送容量に空きがないため、コンクリート打設日以外に使用を検討

- ・評価については未実施(オペレータ:見やすい。画角が広い。遅れはない等)

図 6.2.3-4 実地テスト概要図

(3) 平成 26 年度の開発内容

昨年度、製作した試作品について、耐振、放熱等対策や遅延性能の確認および国交省が公募した現場検証に応募し、評価を受けた。下記にそれぞれの内容を示す。なお、後述する開発成果と内容が重複するため、本項では概略を示す。

1) 耐振、放熱、防塵対策

筐体に組み込む基板を 1 枚とし、またネジ止め箇所の変更により、耐振対策を行った。放熱対策は、前面に配置した通気口と背面のファンにより行うものとした。また、防塵対策は、通電状態でも着脱可能なフィルタを採用することとした。

2) 遅延性能の確認

遅延測定装置を使用し、試作品の画像の遅延性能を確認した。画像の遅延時間は 10.0msec であった。

3) 画質評価

昨年、画質評価で問題となった点を改良した。改良の結果、開発目標とした 7Mbps の映像クオリティに近づいた。

4) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証による評価

国土交通省が公募した次世代社会インフラ用ロボット現場検証に応募し、現場検証に基づく一定の評価が得られた。下記に概要を示す。

内 容：次世代社会インフラ用ロボット 応急復旧部会 現場検証

日 時：平成 26 年 12 月 19 日

場 所：雲仙普賢岳水無川 2 号堰堤内実験場

検証内容：従来の 2.4GHz 帯 (OFDM) による SD 映像と今回開発した画像伝送装置による HD 画像の操作性に関する検証



図 6.2.3-5 放熱対策

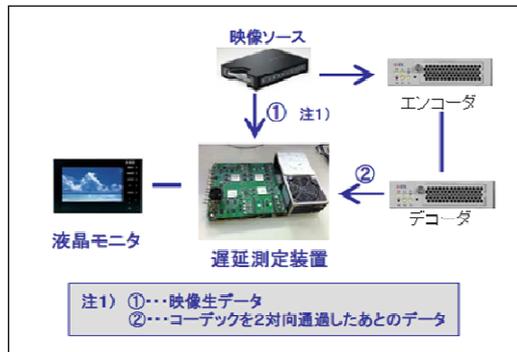


図 6.2.3-6 画像遅延測定の構成図

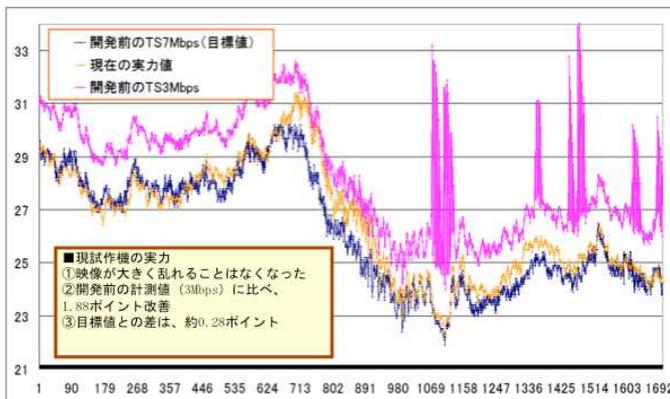


図 6.2.3-7 試作品映像評価



写真 6.2.3-1 現場検証状況

## 6.3 研究・技術開発の成果

### 6.3.1 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発成果

#### (1) アタッチメントおよび治具の製作

平成 25 年度に数種類の試作品にて実施した実証実験の結果から、写真 6.3.1-1～4 に示す試作品をアタッチメントおよび土嚢設置治具の最終的な基本形状と定め、平成 26 年度に改良と評価を実施した。



写真 6.3.1-1 アタッチメント



写真 6.3.1-2 土嚢設置治具



写真 6.3.1-3 アタッチメント装着状況



写真 6.3.1-4 土嚢設置治具装着状況

アタッチメントは、土嚢設置ジグをハンドリングする装置で、 $0.45\text{m}^3 \sim 1.1\text{m}^3$ クラスのバックホウのバケットにボルトで固定して使用する。土嚢充填時の掘削でも装着したままで可能であるが、締め固まった地山等を直接掘削するには取付け強度が不足するため、事前に充填用土砂として一度ほぐした状態の土砂を準備する。

土嚢設置ジグは、新型土嚢 2 セル毎の頂端部に取付けたコマを土嚢設置ジグ下部のカーテンレール形状の部分に通して装着する。

#### (2) 新型土嚢仕様の決定

新型土嚢については、平成 24 年度に 4 種類、平成 25 年度に 3 種類の試作を行い、それぞれ、展開性や強度等について、場内試験を実施した。平成 26 年度は、前年までの検討結果をもとに、雲仙普賢岳の実現場にて実証実験を実施し、仕様を決定することとした。

新型土嚢の基本寸法は、1 セルが 1 辺 1m の立方体である。適用予定とする重機規格(バケット幅)が、 $0.45\text{m}^3 (0.9\text{m})$ 、 $0.8\text{m}^3 (1.05\text{m})$ 、 $1.1\text{m}^3 (1.25\text{m})$ であることを考えて、アンカーとなる 1 セル目の土砂の充填や展開が不良であった場合の遠隔操作での修正等を考えると長手方向の 1 セル分の長さは 1.3m が適すると考える。

充填材は現地土砂とするが、充填作業の初期に大石が転がり込むとその衝撃で土囊の一部が転倒する現象が見られた。よって直径 30cm 以上の石は除去が望ましい。

基本的にある程度の不陸追従性は持つが、展開作業時に転倒や展開不良を生じさせないために、段差に関しては事前に整地して滑らかにすることが必要と考える。

構造的には市販仕様で行った実証予備実験でバケット衝突等により土囊パネルに切断、変形が生じたことから、無人化施工では、より強固な構造が必要であることが確認されたため、以下の試作 1 を無人化仕様とすることとした。

表 6.3.1-1 連続土囊仕様

仕様	線径	目合い	判定
市販仕様	4mm	75mm	パネル切断発生
試作 1	6mm	75mm	良好
試作 2	6mm	100mm	若干変形
試作 3	8mm	150mm	強度過大

(3) 目標とする施工能力の確認と達成

最終年度である平成 26 年度に目標とする施工能力の確認を実現場で行った。下記に実験概要を示す。

日 時：平成 27 年 2 月 12 日(木)～13 日(金)

2/12(木) 実験準備、無線調整、実証予備実験、検証

2/13(金) 実証実験、検証、解体撤去

場 所：長崎県島原市雲仙普賢岳 赤松谷川 11 号床固工工事 現場

目 的：遠隔操作による連続土囊の 2 段積施工の検証とその構築時間の計測

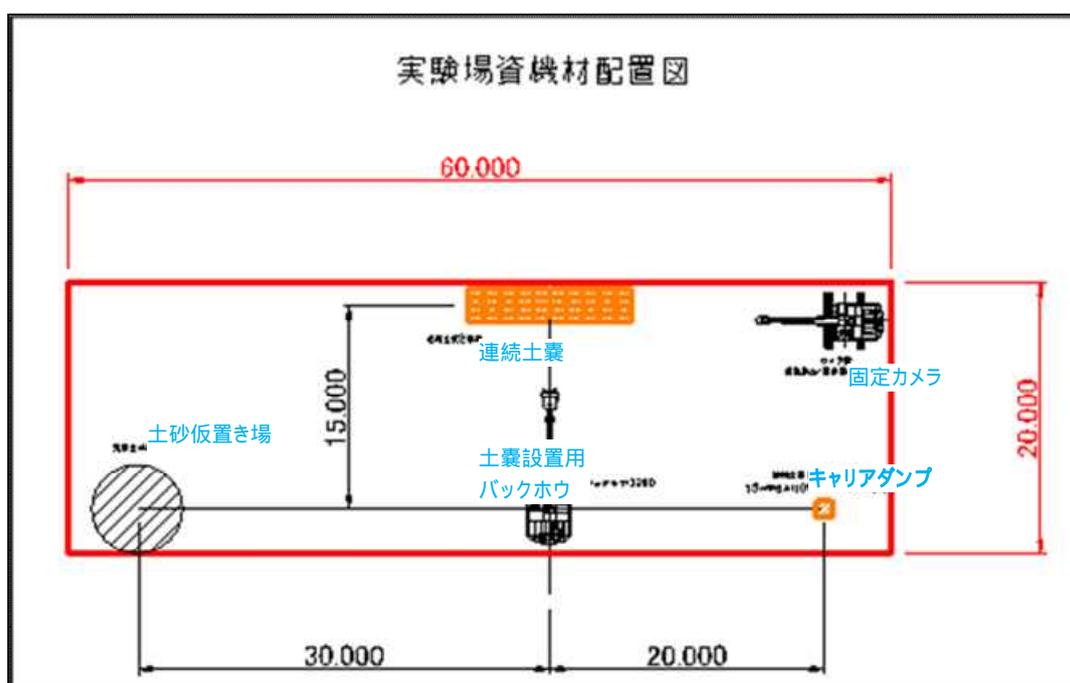


図 6.3.1-1 実験資機材と配置

実証実験の結果を下記に示す。なお、2段目施工の充填作業中に中断があったため、施工時間の検証は1段施工のみで行ったが、2段目においてもセット、展張，充填時間は1段目とほぼ同等であった。

実証実験の結果、施工能力は、72 (m/日)となり、本開発の目標とする施工能力の60 (m/日)を大きく上回り、目標を達成した。

【計測データ】

土嚢荷取位置 - バックホウ作業位置中心 17m

土砂仮置き場 - バックホウ作業位置中心 15m

表 6.3.1-2 施工時間 (10m × 2 列)

列	作業	時間
1 段目 1 列目	土嚢荷取り・セット	06 分 10 秒
	土嚢展張	05 分 00 秒
	土砂仮充填	12 分 00 秒
1 段目 2 列目	土嚢荷取り・セット	06 分 45 秒
	土嚢展張	07 分 25 秒
1 段目全体	土砂全充填、天端整地	1 時間 03 分 25 秒
1 段目合計	20m 築堤全作業	1 時間 40 分 05 秒

施工時間結果：1 時間 40 分 05 秒 / 20m      50 分 03 秒 / 10m

無人化施工による従来技術の施工能力：24 (m/日)

(大型土のう工の施工能力 × 0.6 (無人化施工効率) より算出)

本開発の目標とする施工能力：60 (m/日) (従来技術の施工能力の 2.5 倍)

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)

(4) フィールドでの適用性の確認

フィールドでの適用性を確認するため、上記実証実験にて、2段積みを行い、出来形等を確認した。下記に出来形写真を示す。有人施工に比しても遜色のない出来形となっている。



写真 6.3.1-5 連続土嚢 2 段積み遠隔施工出来形-1



写真 6.3.1-6 連続土嚢 2 段積み遠隔施工出来形-2

(5) 起伏等への追従性

起伏等への追従性を場内試験および実証実験で確認し、表 6.3.1-1 に示す新型土嚢が最も良いという結論とした。

(6) 施工方法の確立

実証実験をふまえ、新型土嚢の施工方法を確立した。施工フロー等を下記に示す。なお、この施工フローは、下段 2 列、上段 1 列・10m の 2 段設置である。

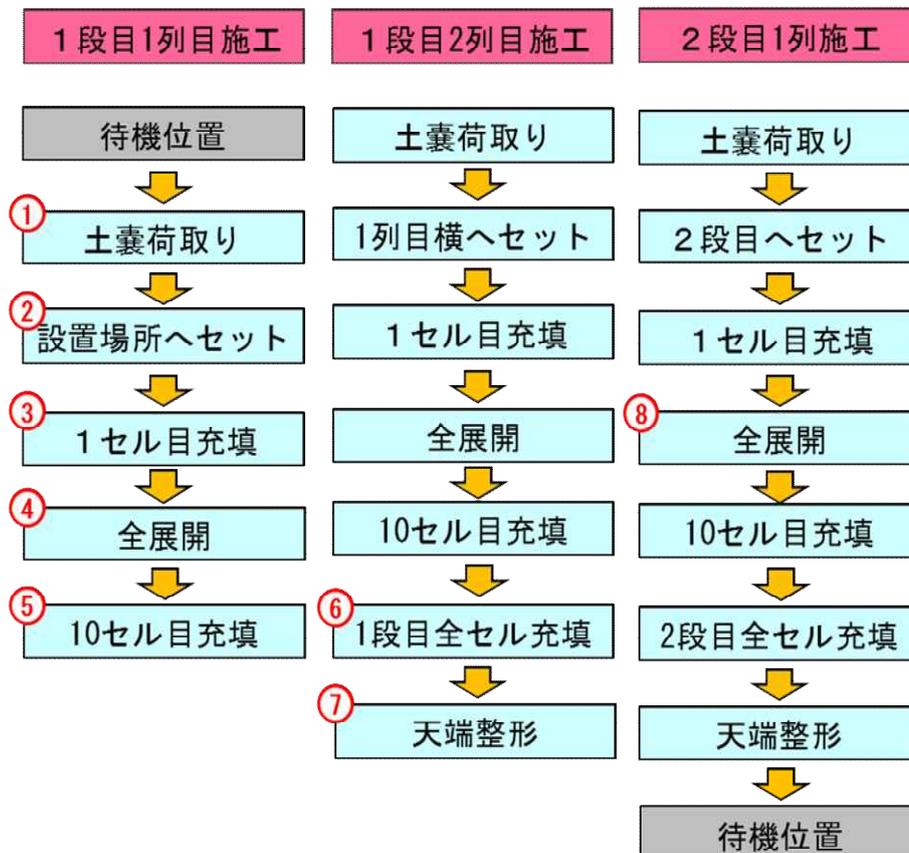


図 6.3.1-2 施工フロー



写真 6.3.1-6 施工状況

(7) 目標と成果の対比

本研究開発の開発目標と開発成果の対比を下記に示す。

表 6.3.1-3 本研究開発の開発目標と開発成果の対比表

本研究開発の開発目標	本研究開発の開発成果
既存の大型土嚢による築堤に対して、 <u>2~3倍程度の高速施工の実現</u>	従来技術の3倍の高速施工を達成した。 本開発技術：72 (m/日) (従来の3倍) 従来技術：24 (m/日)
新型土嚢の開発	無人化施工に適した <u>新型土嚢を開発した</u> 。 セル寸法：1×1.3m 線径：6mm 目合い：75mm
土嚢展開装置の開発	新型土嚢を据付・展開するための <u>アタッチメントおよび治具を開発した</u> 。
土砂等充填装置の開発	土砂等充填は、据付・展開する <u>バックホウのバケット</u> とした。
地盤形状（起伏等）に <u>追従</u>	ある程度の地盤形状に追従する新型土嚢を開発し、 <u>追従可能</u> とした。
曲線部・屈曲部施工に対応可能な構造	ある程度の曲線部・屈曲部施工に対応可能な新型土嚢を開発し、 <u>対応可能</u> とした。
新型土嚢の構造および設置方法の検討	新型土嚢の <u>展開方法を確立</u> し、また、 <u>設置方法も確立</u> した。

(8) 成果の実用化の見通し

本研究開発の実用化の見通しを下記に示す。

- ・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。

### 6.3.2 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発成果

#### (1) 改良材の検討と決定

想定される高含水の泥濘軟弱土における土質改良特性を把握する目的で、模擬軟弱土を用いた室内固化実験を行った。無人化に適応可能な改良材として、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て改良し、コーン試験で改良体の硬度を確認した。室内試験（コーン試験）の結果より、セメント系固化材（粉体）添加量 100kg/m<sup>3</sup>を使用することで、材齢 1 日で所定の強度が得られることを確認した。

トレンチ等の排水処理をした後も含水比が高い場合は、セメント系固化材を添加するとともに、吸水材を添加することで、早期の強度発現を図る。

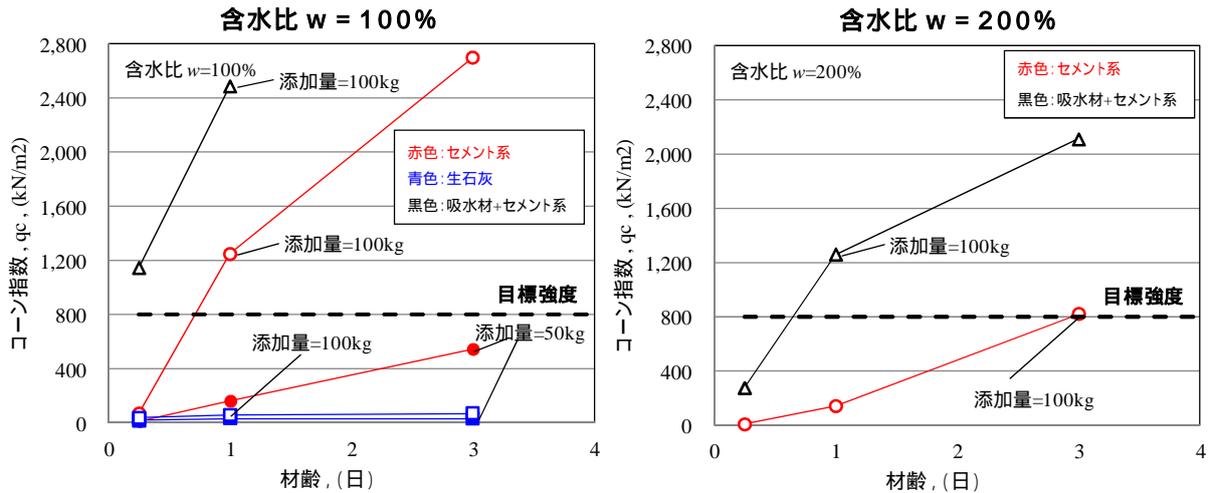


図 6.3.2-1 改良材硬度試験結果

#### (2) 改良材の供給方法の検討と決定

改良材の供給方法について、いくつかの手法を比較検討（表 6.3.2-1）した。供給装置（空気圧送）散布用バケツ、供給フィーダ等は、固化材を散布するための装置としては特殊となる。汎用性、緊急時における手配、故障した場合の対応等を考慮すると、専用機を適用するのは難しいと考えた。この結果、無人化施工による改良材の供給方法は、フレコンパックの直接投入が最も適しているという結論とした。

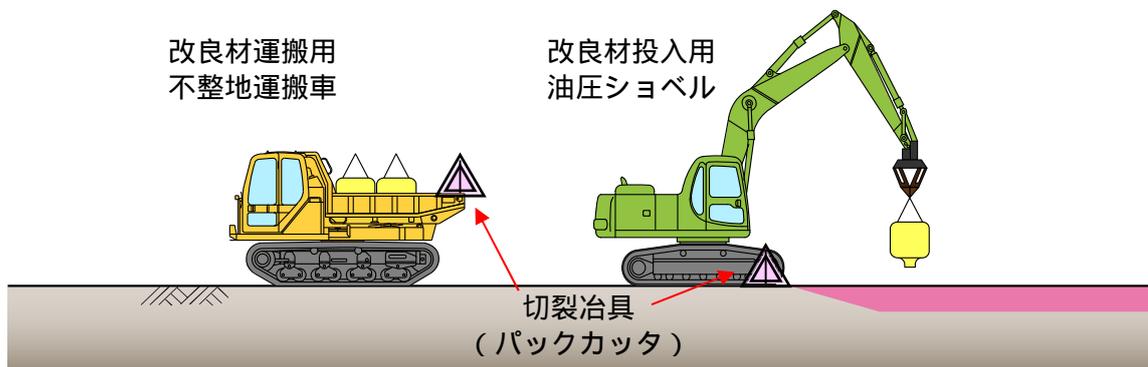


図 6.3.2-2 フレコンパック直接投入概要図

表 6.3.2-1 供給方法の比較検討

	フレコンバック (直接投入)	空気圧送 (供給装置)	散布用バケツ	供給フィーダ
運搬車両	運搬車両(トラック、トレーラ他)のアクセスが困難な場合は、フレコンを不整地運搬車、バックホウへ載せ換えるなど二次運搬で対応可能。	ローリ車に搭載されるコンプレッサは、70m程度の圧送が可能。ただし、改良対象が遠距離の場合は、供給が困難。	フレコン(トラック、トレーラ等)ローリ車等により搬入された固化材をホッパ等に投入して貯留し、ホッパからバケツで取り出し。  ×	ローリ車で搬入された固化材を、供給フィーダのホッパに投入(圧送)。
施工性	災害復旧現場まで、既往の建設機械(無人化施工対応)で運搬・散布するため施工性は良好。	固化材を圧送するためホースをローリ車から油圧ショベル、供給装置まで敷設する必要がある。施工中のホースの取り回し、養生が必要。	散布機は、BHのアタッチメントとして使用するので、取り扱いが容易であるが、バケツへの固化材供給作業に手間がかかる。	供給用ホッパに積載された固化材を定量的に供給することが可能であるが、クローラダンプの速度を制御する必要がある。
供給量	フレコン(1000kg)を油圧ショベルで搬送、散布するため散布量は油圧ショベルの作業能力による。	車両仕様、圧送距離、高低差などの条件によるが、500kg/min程度の固化材を連続供給することが可能。	バケツの容積は1m <sup>3</sup> 程度であるが、固化材をホッパ等からバケツで取り出すのに時間がかかる。	フィーダの回転数等を設定することで、供給量を調整することが可能であるが、上記のとおり、速度の調整が必要
環境性	近年、使用済みの空袋の再利用も行われるようになってきているが、通常使い捨て産廃となる。	直接、車両(ローリ車)に積載して運搬するため、産廃は発生しない。	ローリ車で運搬し、ホッパ等に供給できれば、産廃は発生しない。	直接、車両(ローリ車)に積載して運搬するため、産廃は発生しない。
備考	粉塵の発生量は少ない。	粉塵はほとんど発生しない。	ホッパからバケツに移す作業で粉塵が発生する。	大型のフィーダ等を取り付ける必要がある。
適用性				

### (3) 切裂き治具の試作と決定

切裂き治具(バックカッタ)の仕様等を決定するため、数種類の試作機を製作し、要素実験を実施した。実験の結果より、無人化施工において、切裂き治具にて、固化材を定量的に散布することは可能であると判断した。治具の形状、寸法等については、大きな穴をあけるのではなく、小さい穴を多数あける、タイプLに類似した形状であれば、短時間で定量的に排出することが可能であると判断した。

切裂き治具の設置方法については、対象区域の近傍の泥濁化していない地盤、あるいは、セメント系固化材(フレキシブルコンテナ)を運搬する不整地運搬車のベッセル付近に設置する方法等がよいと考える。下記に治具評価抜粋を示す。



写真 6.3.2-1 切裂き治具 (タイプL)



写真 6.3.2-2 実験状況 (排出)

表 6.3.2-2 切裂き治具 評価抜粋

	タイプ D	タイプ F	タイプ L
突起部幅(mm)	300mm	300mm	250mm
突起部高さ(mm)	300mm	300mm	250mm
設置間隔(mm)	250mm	300mm	250mm
投入時間 地切り～全排出	2分35秒	1分50秒	5分10秒
切裂幅(mm)	約280mm	約280mm	約230mm
排出状況	多量に排出	多量に排出	安定して排出
備考	突起部の方向が45°	突起部の方向が45°	
切裂状況			
評価	×	×	

(4) 攪拌方法の検討と決定

地盤改良に使用する油圧ショベルと攪拌用スケルトンバケット、攪拌バケット(油圧駆動)を用いて要素実験を行い、有人の0.6程度の強度を得られることを確認した。また、施工能力(時間) 攪拌性能(均一)についても無人施工に適用できることを確認した。また、実験結果より、手配性の良いスケルトンバケットで適用可能と判断した。



写真 6.3.2-3 実験状況

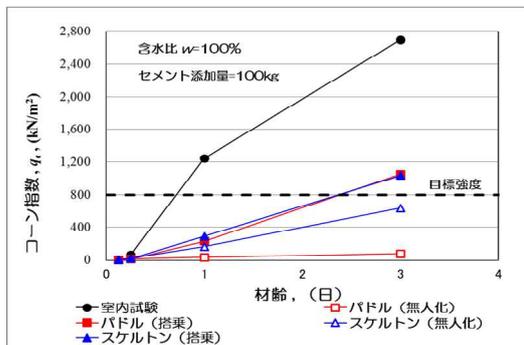


図 6.3.2-3 実験結果

表 6.3.2-3 実験結果

養生期間	3h	6h	1d	3d
バドル式(無人)	2	13	33	78
バドル式(搭乗)	2	13	231	1,051
スケルトン(無人)	1	21	165	635
スケルトン(搭乗)	10	18	292	1,035
室内試験	-	69	1,248	2,700



写真 6.3.2-4 中性化試験（攪拌性能）

(5) 無人化施工による地盤改良の可否

上記に示した数種類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。

(6) 地盤改良作業のフロー

泥濘化した地盤を、セメント系固化材等を用いて、無人で改良するフローを下記に示す。作業手順としては、有人作業と同様である。無人化施工は、資機材の運搬、改良対処エリアまでの固化材の運搬、散布、攪拌、混合となる。

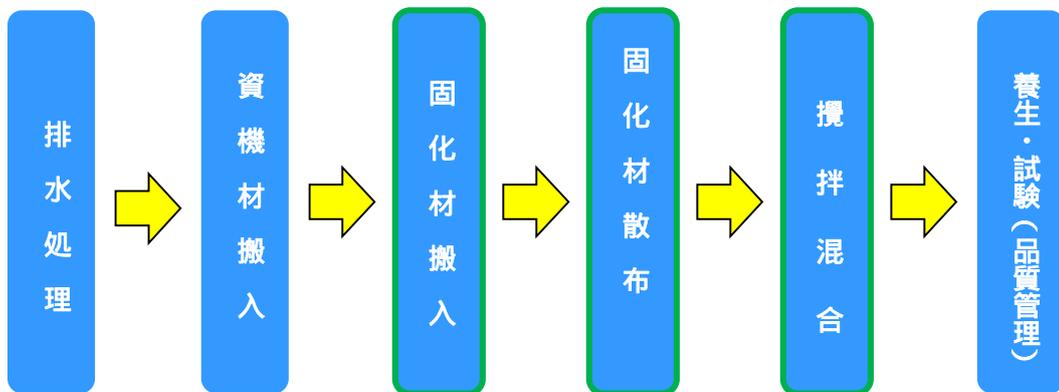


図 6.3.2-4 施工フロー

(7) 目標と成果の対比

本研究開発の開発目標と開発成果の対比を下記に示す。

表 6.3.2-4 本研究開発の開発目標と開発成果の対比表

本研究開発の開発目標	本研究開発の開発成果
含水比 200%程度の軟弱地盤に対応	目標とする軟弱模擬地盤を作製し、 <u>要素実験を実施した</u> 。その結果、 <u>対応できることを確認した</u> 。
遠隔操作で <u>固化材を投入・混合</u>	机上検討、各種要素実験の結果、下記の手法により遠隔操作で可能であると結論づけた。 固化材運搬機：遠隔操作式不整地運搬車 固化材運搬：フレコンパックに固化材を収納 固化材投入：フレコンパック直接投入 投入時に切裂治具を使用 直接投入機械はバックホウ 固化材混合：スケルトンバケットを取り付けた遠隔操作式バックホウ 固化材：セメント系固化材 100kg/m <sup>3</sup> 以上
コーン指数 800 kN/m <sup>2</sup> 程度に改良できる能力	上記に示す <u>固化材および混合方法により可能であることを要素実験にて確認した</u> 。
100m <sup>2</sup> /h 程度の <u>施工能力</u>	上記に示す <u>固化材および混合方法により可能であることを要素実験にて確認した</u> 。
効率的に実施する <u>施工管理方法</u>	机上の検討の結果、 <u>バケットの貫入量で簡易的に測定する方法が優位性が高いとした</u> 。

(8) 成果の実用化の見通し

本研究開発の実用化の見通しを下記に示す。

- ・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。

### 6.3.3 低遅延型画像伝送技術の開発成果

#### (1) 既存映像変換器の性能評価

低遅延画像伝送装置の開発にあたり、既存技術を調査・検討し、その後、低遅延伝送装置のベースとなるテスト機の選定と、そのテスト機による画像改良・画像評価試験および災害現場で建設機械に搭載するための耐久性・耐環境性を含めた要求性能を明確化した。

既存技術の調査として、放送業界等で使用されている低遅延情報装置 3 メーカーの機器を入手し、この機器の性能、特性および本研究への適用性等について実験を実施した。

実験の結果より、C社 (IBEX社) 製品が今回の研究開発に最も適していると判断し、以後、IBEX社機器をベースとして開発を進めることとした。

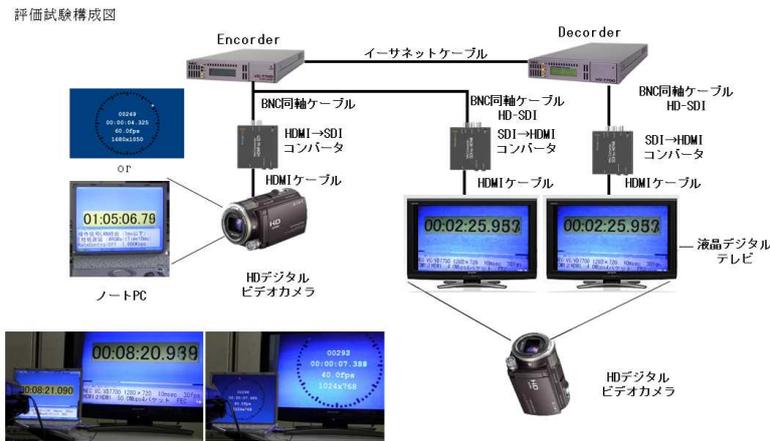


図 6.3.3-1 画像遅延計測 システム概要図

表 6.3.3-1 測定結果一覧表

測定条件	A社		B社		C社	
	PSNR	DMOS	PSNR	DMOS	PSNR	DMOS
50Mbps	34.9	4.90	35.8	4.96	37.9	5.00
24Mbps	32.4	4.51	32.1	4.49	33.3	4.72
10Mbps	27.3	3.11	設定不可		24.8	3.29
3Mbps	計測不可				23.3	1.74

#### (2) 改造機の製作と性能改良試験

前項で選定した機器を製作し、性能改良と試験を実施した。2012年度末までに実施した画質性能の改良状況を表 6.3.3-2 に示す。

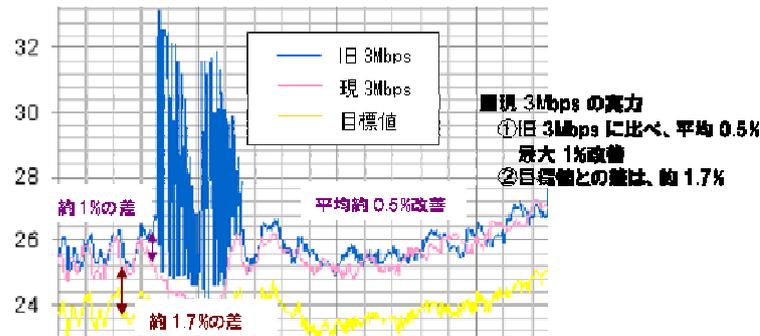


図 6.3.3-2 画質改良結果

表 6.3.3-2 画質性能の改良状況

開発項目	対応策	2012年度の対応状況	成果
トータル的な画質を向上させる	入力画像のざらつきを取り除くノイズリダクションフィルタを追加		DSCQS 値は平均で 0.5%、旧 3Mbps で破綻寸前の厳しい映像の箇所では 1%程度の改善が確認できた。また、視覚的には破綻やブロックノイズがなくなった。
	デブロッキングフィルタの最適化を実施	(改良中)	改良中。ブロック間の誤差をボカす為、全体的にシャープな感じはなくなりなるが、大きな乱れもなくなる見込みである。
4Mbps 以下の低レートで、映像が破綻することがある	エンコード処理をするブロック単位を 4×4 から 8×8 に変更することでデータ量を減らし、低レート性能を改良	(改良中)	改良中。参照ブロックの拡大により、低レート性が改良される。また動き予測の参照範囲が増えるため、画質が向上する見込み。
グレーのブロックノイズが発生することがある	低レート時にもグレーのブロックノイズが発生しないように改良		DCT 時に低周波成分を担保することにより、ターゲットのレートではブロックノイズは発生しなくなる。

(3) 振動計測の実施と耐振性能の確認

バックホウのアイドリング中と走行中、そして作業中に生起する不規則振動や間欠振動の3軸(上下方向、前後方向、左右方向)加速度応答値を計測した。具体的には、下記に示す振動の種類とバックホウの動作について、キャビン室内床上とキャビン室屋根上の振動を計測した。

1) 不規則かつ大幅に変動する不規則振動(random vibration)の計測

次に示す事象によって生起する振動である。

アイドリング

走行

作業：旋回、掘削、転石除去、盛替えなどの作業

2) 間欠振動(intermittent vibration)の計測

次に示す事象によって生起する振動である。

障害物乗越え

バケットにて地表面を押し付け、履帯前方を浮き上がらせる。そして、バケットによる押土を急に緩めて、その履帯前方を地表面と衝突させる。

バケット刃先を故意に転石にぶつける。または作業中にバケット刃先が偶然に転石にぶつかる。



写真 6.3.3-1 3.5m<sup>3</sup>級バックホウ履帯前方の地表面との衝突

計測の結果を下記に示す。

1) 不規則かつ大幅に変動する不規則振動(random vibration)の特徴

不規則かつ大幅に変動する不規則振動の特徴を下記に示す。

加速度応答波形は 120Hz 以下の周波数の振動の合成である。

起動、移動、作業などの開始時と停止時に過渡振動が発生している。

バラツキについて、3 軸方向のうち、上下方向が最も大きい。

2) 間欠振動(intermittent vibration)の特徴

間欠振動の特徴を下記にしめす。

200Hz 近くの周波数の振動が瞬間的に発生している。

障害物乗越えでは、大きな加速度値は検知されなかった。

バケットにて地表面を押し付け、履帯前方を浮き上がらせ、その履帯前方を地表面に落とす動作では、大きな加速度値は検知されなかった。

バケット刃先と転石の衝突

大きな加速度値を検知した。そのときの 3.5m<sup>3</sup> バックハウのキャビン屋根上振動の上下方向加速度応答値は 14.38G に達する。

また、同一機械に改造機を搭載し、耐振性能を確認した。その結果、問題ないことを確認した。

(4) 耐振性等の検討

本装置は、屋外で使用する建設機械に搭載することが前提であるため、耐振性、防塵性も重要な要素となる。まず、筐体の小型化を行い、標準品に比べ、面積・体積比が 40%減となった。また、耐振性、防塵性等については、下記の対策を実施した。



写真 6.3.3-2 試作品の形状

表 6.3.3-3 耐振性、防塵性等の対策

機能	標準品	試作品
耐振性能	特になし	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設機械に搭載できる十分な耐久性能を確保</li> <li>具体的な数値は実験により研究していく</li> </ul>
放熱性能	ヒートシンクとファンで対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒートシンク、ファン及び筐体カラーにより対策</li> <li>ヒートシンクを標準品から 5.0mm 高くすることで、約 3 の放熱効果の改善が見込める</li> </ul>
防塵性能	特になし	<ul style="list-style-type: none"> <li>フロント吸気口に厚さ 5.0mm の防塵フィルタ使用する</li> <li>今後の実験により最適なフィルタを選択する</li> </ul>
留め部材	特になし	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設機械取付用に留め部材をオプションで用意</li> </ul>
IP 伝送が出来なかった時の画面表示	単色 1 色	<ul style="list-style-type: none"> <li>事象が発生する直前の画面に通信不良を特定する文字を表示</li> </ul>



図 6.3.3-3 放熱対策（左）と耐振対策（右）

(5) 試作機の画質等性能の改良と確認

改良等を行った試作機の遅延性能を確認するため、計測を実施した。この結果、画像遅延は 10.0msecであることが確認された。また、画質について、昨年度、課題となった点を改良し、評価を実施した結果、開発目標の 7Mbps の映像品質とほぼ同等となった。

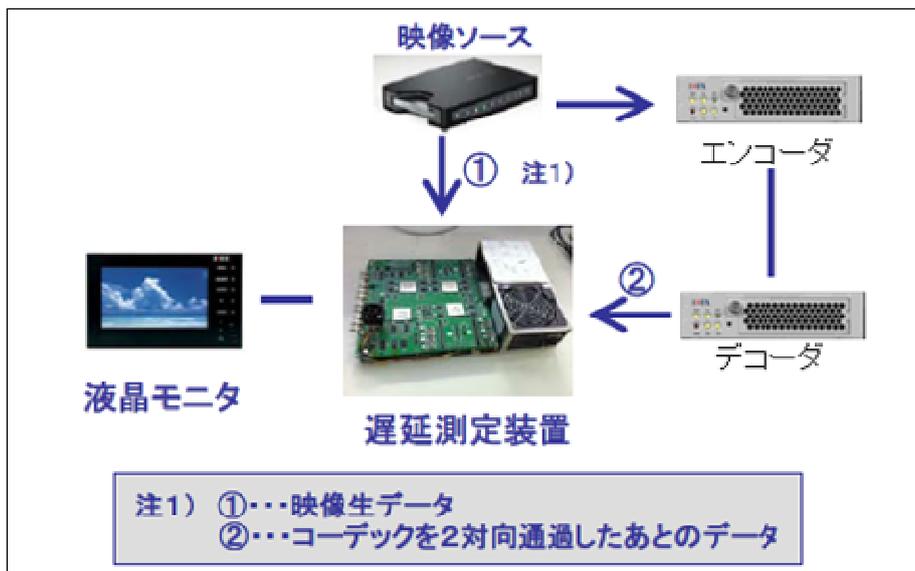


図 6.3.3-4 遅延測定の構成図

表 6.3.3-3 画質改良結果と評価

開発項目	対応策	開発状況	成果
トータルの画質を向上させる	入力画像のざらつきを取り除くノイズリダクションフィルタ-を追加		DSCQS 値は平均で 0.5%、旧 3Mbps で破綻寸前の厳しい映像の箇所では 1%程度の改善を確認。また、視覚的には破綻やブロックノイズがなくなった。
	デブロッキングフィルタの最適化を実施		改良中。ブロック間の誤差をボカす為、全体的にシャープな感じはなくなるが、大きな乱れもなくなった。
4Mbps 以下の低レートで、映像が破綻することがある	エンコード処理をするブロック単位を 4x4 から 8x8 に変更することでデータ量を減らし、低レート性能を改良		参照ブロックの拡大により、低レート性が改良された。また動き予測の参照範囲が増えるため、画質が向上した。
グレーのブロックノイズが発生することがある	低レート時にもグレーのブロックノイズが発生しないように改良		DCT 時に低周波成分を担保することにより、ターゲットのレートではブロックノイズは発生しなくなった。

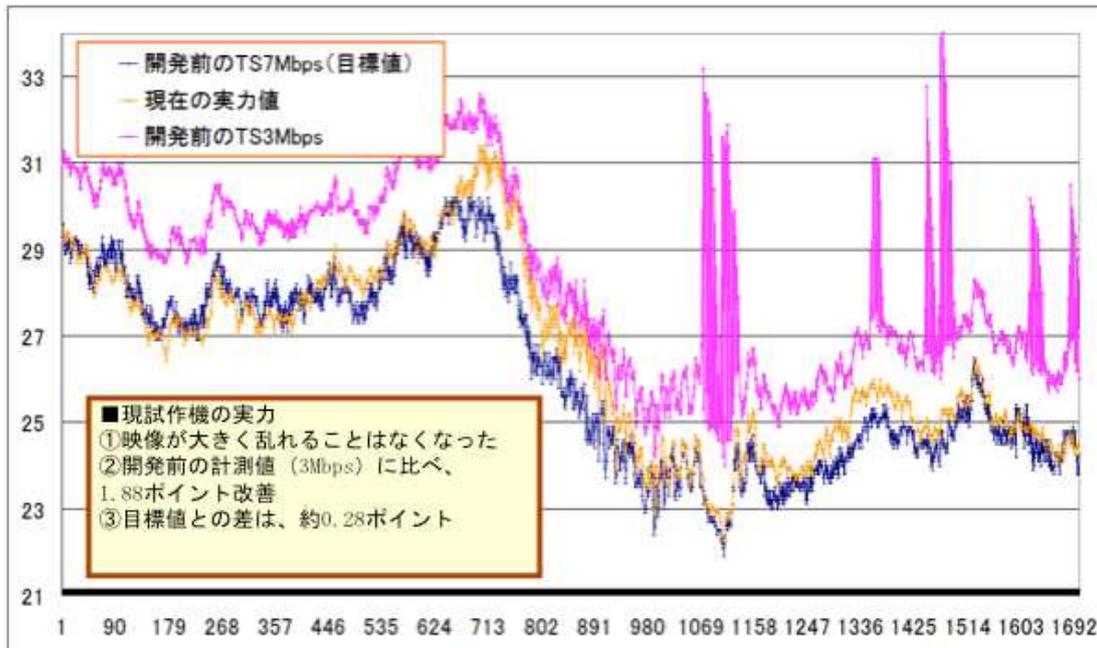


図 6.3.3-5 画質等改良結果

(6) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証での評価

国土交通省が公募した次世代社会インフラ用ロボット現場検証に応募し、現場検証に基づく一定の評価が得られた。下記に概要を示す。

内 容：次世代社会インフラ用ロボット 応急復旧部会 現場検証

日 時：平成 26 年 12 月 19 日

場 所：雲仙普賢岳水無川 2 号堰堤内実験場

検証内容：従来の 2.4GHz 帯 (OFDM) による SD 映像と今回開発した画像伝送装置による HD 画像の操作性に関する検証



写真 6.3.3-3 次世代社会インフラ用ロボット現場検証 状況

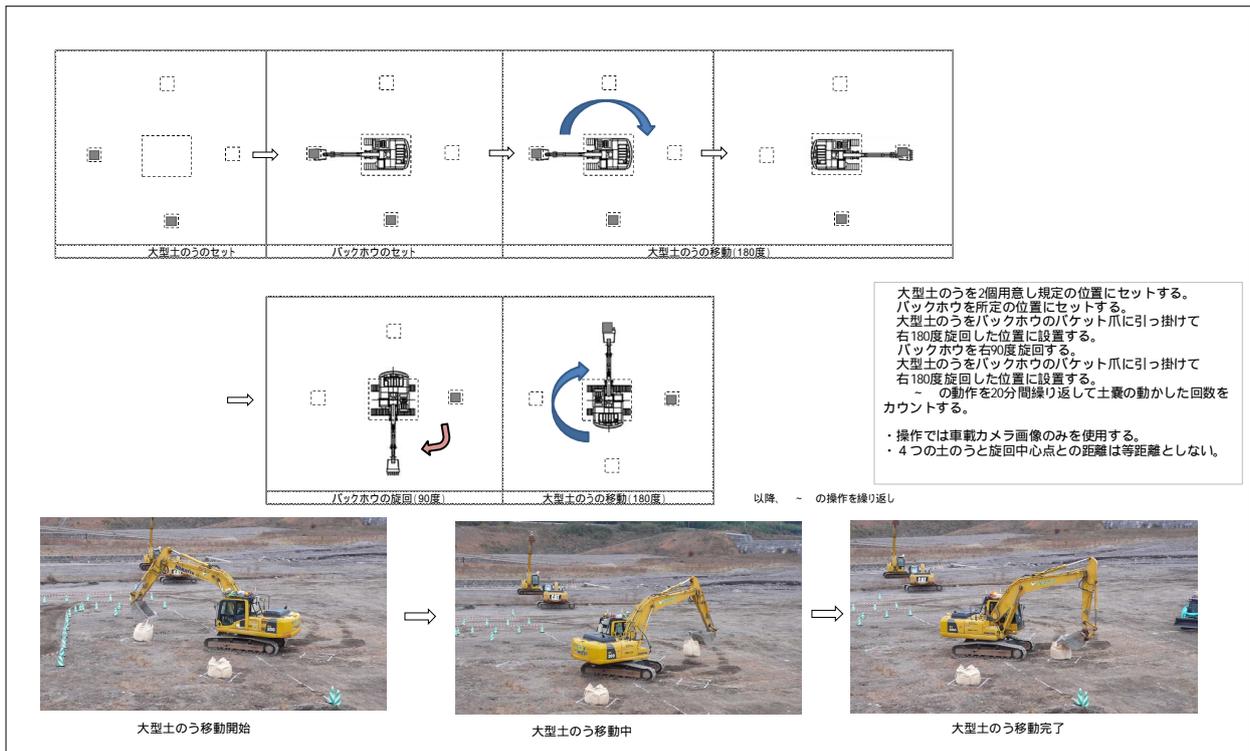


図 6.3.3-6 現場検証 (大型土嚢移動)

(7) 目標と成果の対比

本研究開発の開発目標と開発成果の対比を下記に示す。

表 6.3.3-4 本研究開発の開発目標と開発成果の対比表

本研究開発の開発目標	本研究開発の開発成果
高精度画像(30fps)の伝送	最終年度の改良により目標性能を確認。また、現場検証でも確認され、評価を受けた。
3.0Mbpsの伝送速度の実現	試作機の伝送速度設定を3.0Mbpsとし、画質評価において、7.0Mbpsとほぼ同等の結果が得られ、また、特段の映像破綻もなかった。よって、目標を達成したと判断する。
遅延時間70msec以内での伝送	遅延時間測定で10msecという結果が得られた。これに無線装置の伝送遅延が加わったとしても、目標を達成したと判断する。
建設機械への搭載条件下での安定した動作確保性能の実現	実現場での搭載試験および現場検証においても、安定した動作であった。よって、目標を達成したと判断する。
必要な性能および仕様の公開	必要な性能を計測し、また、その性能に基づいて試作機を製作した。また、仕様書を別途、作成しており、目標を達成したと判断する。

(8) 成果の実用化の見通し

本研究開発の実用化の見通しを下記に示す。

- ・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。

7. 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
刊行書籍等はなし。			

8. 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
知的財産権の出願等はなし。				

## 9. 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。

## 10. その他

特になし。