

平成27年度  
先端建設技術セミナー

災害対応無人化施工、並びにマルチ  
プラットフォームの共同研究開発について

一般財団法人先端建設技術センター  
独立行政法人土木研究所  
青木あすなろ建設株式会社  
株式会社大本組  
株式会社熊谷組  
西松建設株式会社  
株式会社フジタ  
中日本航空株式会社  
西尾レントオール株式会社

研究代表者  
一般財団法人先端建設技術センター  
企画部 吉田 貴

# 本日のご説明する内容

## 「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」の研究成果について

- ・ 研究開発期間：平成24年度～平成26年度（3年）
- ・ 発注者：国土交通省大臣官房技術調査課
- ・ 研究者：先端建設技術センター、土木研究所、青木あすなろ建設  
大本組、熊谷組、西松建設、フジタ（計7社）
- ・ 研究内容：新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発  
泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発  
低遅延型画像伝送装置の開発

## 「迅速かつ効率的な復旧・復興のための災害対応マルチプラットフォームの開発」の研究状況について

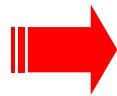
- ・ 研究開発期間：平成26年度～平成27年度（2年）
- ・ 発注者：国土交通省大臣官房技術調査課
- ・ 研究者：先端建設技術センター、青木あすなろ建設、大本組  
熊谷組、西松建設、フジタ、中日本航空、  
西尾レントオール（計8社）、土木研究所（オブザーバ）
- ・ 研究内容：災害発生後、迅速にヘリで設置し、監視活動等ができる  
機器の開発

# 無人化研究開発の概要・目標

## (1) 研究開発の概要

### 【現状の課題】

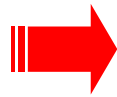
- 無人化施工の適用可能工種が限られている。
- 無線通信等の制約から近年のICT技術の進展に対応できていない。
- オペレータへの画像情報等の提供の改善も遅れている。



施工スピードや品質改善が進展しにくい状況下にある。  
近年、深層崩壊や土砂ダム等、軟弱地盤での事例が増加。  
軟弱地盤下での作業で効率低下の問題、また、作業難易度が向上。  
工程確保のため、高度技量や経験に基づく準備作業が必要。

### 【目的と研究開発対象】

上記の課題に対応し、緊急時における我が国の災害対処能力を高めること。



相互に密接する3課題（下記参照）を研究開発対象と選定。

## (2) 研究開発の目標

### 【無人化施工における新たな工法の開発】

- ① 新型土嚢（どろう）を用いた高速築堤技術の開発
- ② 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

### 【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】

- ③ 低遅延型画像伝送技術の開発

# 研究開発の概要図

項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度以降		
無人化施工における新たな工法の開発	超長距離無人化施工のための各種要素技術の開発（実証試験等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>被災地条件の整理</li> <li>遠隔施工方法の選択基準策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業方法の検討</li> <li>アタッチメント装置の検討</li> <li>新型土嚢の検討</li> <li>土砂充填方法検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業方法の検討（下記の状況に応じて）</li> <li>アタッチメント装置の試作</li> <li>新型土嚢の試作</li> <li>アタッチメント装置および新型土嚢の改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィールド試験の実施</li> <li>問題点課題の抽出整理</li> </ul>	実用化に向けた取り組み	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>無人化施工に適した土質改良工法の全体検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理（攪拌）方法の検討</li> <li>供給方法等の検討</li> <li>固化材等の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理（攪拌）装置の詳細検討</li> <li>供給装置の詳細検討</li> <li>固化材等の検討</li> <li>要素実験計画の策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験機完成</li> <li>要素実験</li> <li>実験機完成</li> <li>要素実験とりまとめ</li> <li>実験準備</li> </ul>		年度とりまとめおよび最終報告
		<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術調査・評価</li> <li>ロボット機入手</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>搭載仕様調査</li> <li>実機搭載試験</li> <li>画質試験</li> <li>通信試験</li> <li>環境試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作機仕様検討</li> <li>試作機製作（テスト機改造）</li> <li>試作機総合試験</li> <li>試作機実地試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①②のフィールド試験等で使用</li> <li>要素実験とりまとめ</li> </ul>		
①新型土嚢を用いた高速築堤技術							
②泥濘化した軟弱地盤改良技術							
③低遅延型画像伝送技術							

当研究開発の範囲

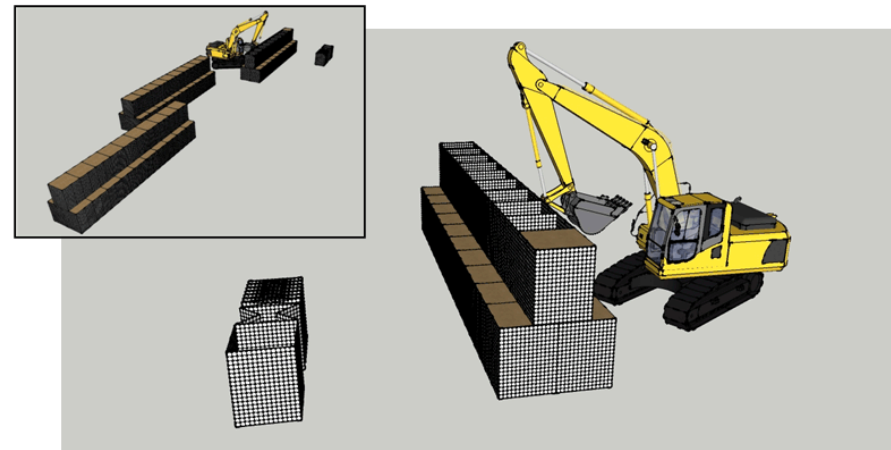
# 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発

## (1) 研究開発目標

- 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）・土砂等充填装置の開発およびフィールド試験で技術の成立性を実証。
- 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の開発（机上検討）。

## (2) 研究計画・方法

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。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。年度別計画概要を下記に示す。

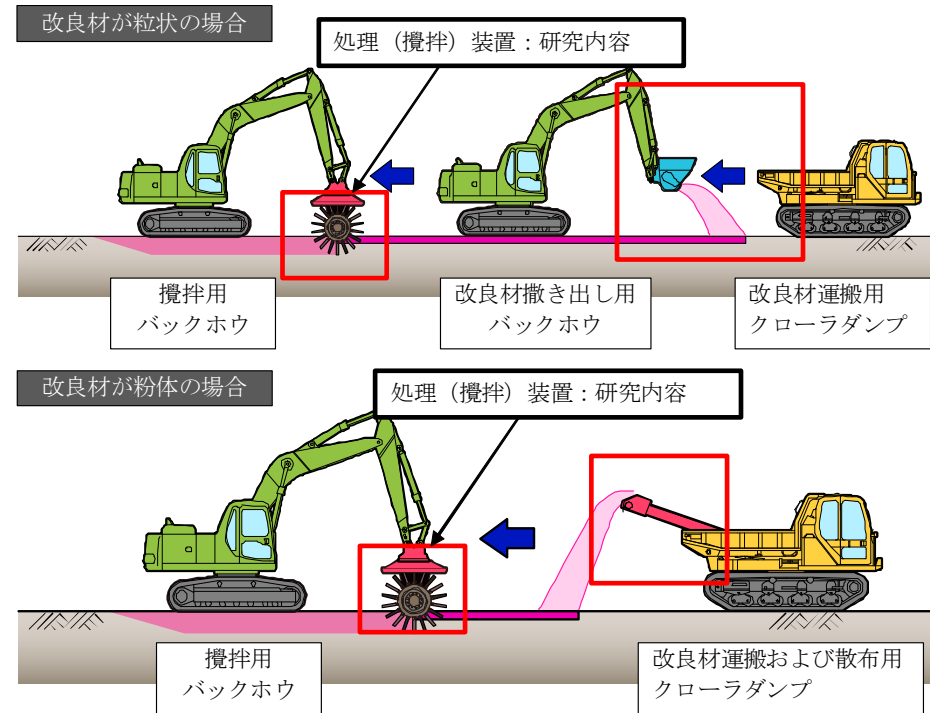


項目		平成23年度	平成24年度		平成25年度		平成26年度		平成27年度以降
無人化施工における新たな工法の開発	①新型土嚢を用いた高速築堤技術	超長距離無人化施工のための各種要素技術の開発（実証試験等）	被災地条件の整理 遠隔施工方法の選択基準策定	作業方法の検討	年度とりまとめおよび報告	作業方法の検討（下記の状況に応じて）	年度とりまとめおよび報告	フィールド試験の実施	問題点課題の抽出整理
				アタッチメント装置の検討		アタッチメント装置の試作			
			新型土嚢の検討 土砂充填方法検討			新型土嚢の試作			実用化に向けた取り組み

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## (1) 研究開発目標

- ① **含水比500%程度の軟弱地盤を対象に、遠隔操作で改良材を投入・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/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。**
- ② **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の実現。**



## (2) 研究計画・方法

無人化施工に適した**工法検討**を行い、その後、**処理（攪拌）装置**および**供給装置の要素実験機**を製作。要素実験機類を使用した要素実験により**実現性を確認**。

要素実験を踏まえ、**施工管理方法**を実現。年度別計画概要を下記に示す。

項目		平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度以降			
新たな工法における 無人化施工の開発	②泥濘化した軟弱地盤改良技術	超長距離無人化施工のための各種要素技術の開発（実証試験等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無人化施工に適した土質改良工法の全体検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処理（攪拌）装置の詳細検討</li> <li>● 供給装置の詳細検討</li> <li>● 固化材等の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処理（攪拌）装置要素実験機の製作</li> <li>● 供給装置要素実験機の製作</li> <li>● 要素実験計画の策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実験機完成</li> <li>● 実験機完成</li> <li>● 実験準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 要素実験とりまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 要素実験とりまとめおよび最終報告</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実用化に向けた取り組み</li> </ul>
		年度とりまとめおよび報告	年度とりまとめおよび報告	年度とりまとめおよび報告	年度とりまとめおよび最終報告				

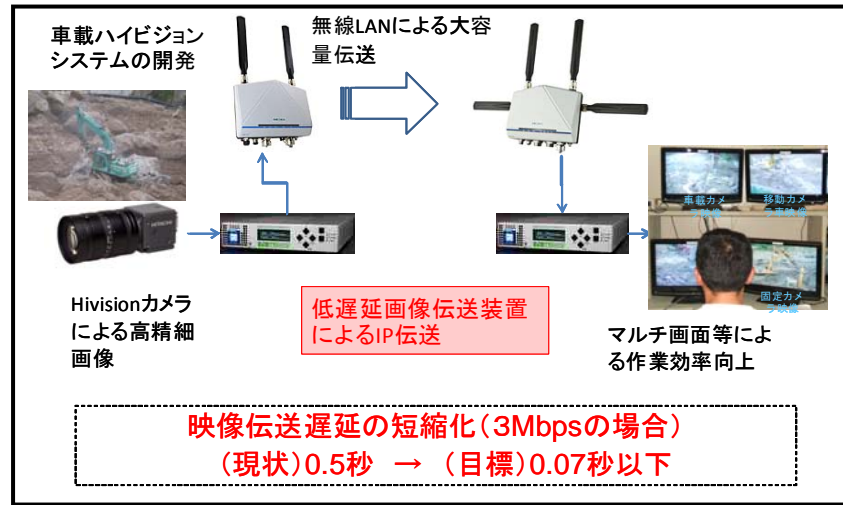
# 低遅延型画像伝送技術の開発

## (1) 研究開発目標

- ①低遅延画像伝送装置の性能として、**高精度画像(30fps)を3.0Mbpsの伝送速度下で遅延時間70msec以内**にデジタル伝送できる能力の実現。
- ②災害復旧現場における**移動体重機への搭載条件を明確**にし、同条件下で、通信途絶することのない**安定した動作性能の確保**。
- ③必要な**要求性能および仕様の公開**に向けたとりまとめ。

## (2) 研究計画・方法

テスト機を使用した**画像・通信性能試験**の実施。無人化施工機械の振動計測による**要求耐震性能の調査**。試験・調査に基づく**試作機(テスト機改造)の製作**。試作機を使用した**総合試験および重機搭載試験**の実施。他課題のフィールド試験等で使用。**結果を踏まえた要求性能および仕様のとりまとめ**。



項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度以降
無人化施工の通信基盤技術の拡大につ ③低遅延型画像伝送技術	超長距離無人化施工のための各種要素技術の開発(実証試験等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術調査・評価</li> <li>テスト機入手</li> <li>搭載仕様調査</li> <li>実機搭載試験</li> <li>画質試験</li> <li>通信試験</li> <li>環境試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作機仕様検討</li> <li>試作機製作(テスト機改造)</li> <li>試作機総合試験</li> <li>試作機実地試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①②のフィールド試験等で使用</li> <li>要素実験とりまとめ</li> </ul>	年度とりまとめおよび最終報告 実用化に向けた取り組み

# 新規性、実現可能性、導入効果、事業化計画について

## (1) 新規性

項目	既存技術	開発技術	研究開発要素	開発技術の優位性	
無人化施工における新たな工法の開発	①新型土嚢を用いた高速築堤技術	土嚢を有人域で <b>製作・積込み</b>	<b>不要</b>	新型土嚢の開発 土嚢展開装置の開発	施工性向上・施工合理化 安全性向上 品質確保・向上 リサイクル性向上 コスト縮減 省面積 周辺環境への影響低減
		土嚢製作に <b>作業員と機械</b> が必要	<b>不要</b>		
		土嚢に強度は <b>求めない</b>	セル構造により <b>強度有</b>		
		土嚢材料は外部より <b>搬入</b>	<b>不要</b>	土砂等充填装置の開発	
		製作・積込ヤードが <b>必要</b>	<b>不要</b>		
	②泥濘化した軟弱地盤改良技術	無人化施工での <b>実績なし</b>	無人化施工で <b>可能</b> となる	無人化施工に適した工法の検討	施工性向上 安全性向上 コスト縮減 工事の透明性(精算等含む)向上 工事の確実性の担保 工程の明確化・確実性担保 周辺環境への影響低減
		<b>現地材料</b> で足場等を改善	<b>固化材等</b> で地盤改良	固化材の調査 処理(攪拌)装置の開発 供給装置の開発	
		現場状況により作業 <b>効率低下</b>	作業 <b>効率向上</b>		
		準備工や除石工の <b>一部</b> としての扱い	工種として <b>確立</b> する		
		高度技能者の能力により <b>効率が変動</b>	能力による変動要素が <b>減少</b>		
現場状況により工程が <b>不明確</b>	工程が <b>明確</b> になる				
③低遅延型画像伝送技術	主に <b>アナログ</b> 伝送	<b>デジタル</b> 伝送	低遅延型画像伝送装置の開発	将来性の向上 機器手配性向上 適用性向上 同時稼働工事数拡大 コスト縮減 安全性向上 周辺環境への影響低減	
	アナログ伝送機器の <b>減少</b> (製造中止等あり)	市場性 <b>拡大</b>			
	使用数(ch) <b>制限</b> あり	使用数 <b>拡大</b>			
	混信の可能性 <b>有</b>	混信の可能性 <b>大幅減少</b>			
	伝送設備全体で <b>高価</b>	伝送設備全体として <b>価格減少</b>			

困無人  
信基盤張  
技術施工  
のつなが  
る適用  
の範囲



# 新規性、実現可能性、導入効果、事業化計画について

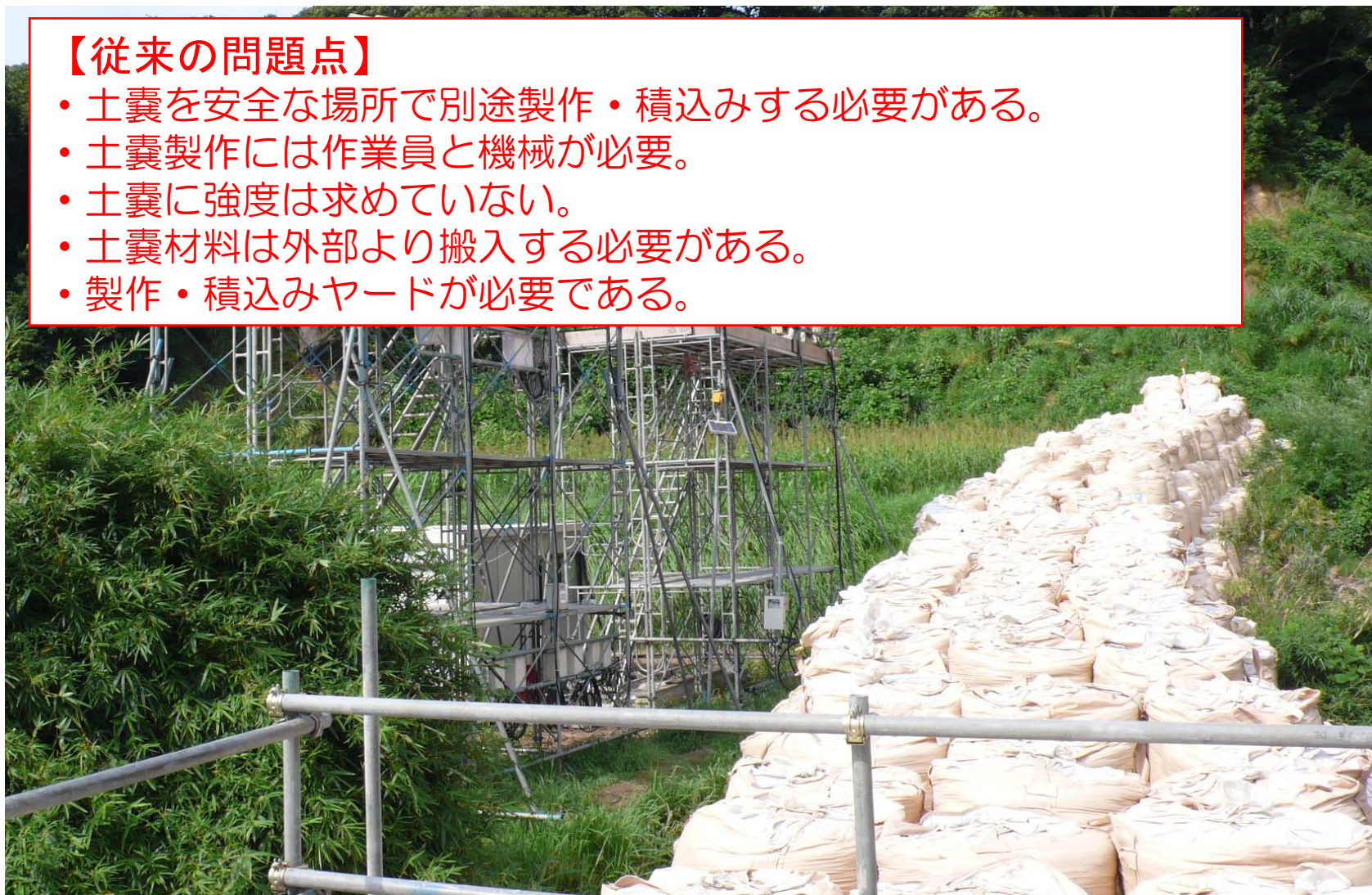
## (2) 導入効果・事業化計画

無人化施工における新たな工法の開発	①新型土嚢を用いた高速築堤技術	<p><b>導入効果</b></p> <p>①危険区域内の<b>土嚢設置作業の無人化</b>により、作業員の<b>安全性が向上</b>。                  ②従来の大型土嚢に比べ、直線性を有した仮設土堰堤が<b>簡単にできる</b>ことにより、<b>品質が確保または向上</b>。                  ③従来の<b>2~3倍の施工速度で設置</b>できるため、<b>工期が短縮</b>。                  ④<b>現地材料を使用</b>した施工が可能となることで、土嚢の輸送コストが<b>大幅に縮減</b>。                  ⑤大型連続土嚢自体の優れた強度から、土石流や土砂災害に対する<b>地域住民の住居等を保護</b>する新たな手段として<b>周辺環境への影響低減および安全性が向上</b>。</p> <p><b>事業化計画</b></p> <p>①<b>最も一般的に用いられる工法</b>であり、緊急災害対応における<b>適用範囲・適用効果は高い</b>。                  ②有人作業においても<b>実施可能</b>であるため、一般工事で<b>幅広く採用</b>できる可能性がある。                  ③<b>火山災害等への備え</b>として、本技術は、アタッチメントおよび新型土嚢の事前準備により、<b>現地対応可能</b>。</p>
	②泥濁化した軟弱地盤改良技術	<p><b>導入効果</b></p> <p>①従来、災害時の軟弱地盤下で対策が<b>不可能であったものが可能</b>となり、応急・復旧対策が<b>迅速化（工期短縮）</b>。                  ②従来の軟弱地盤下での無人化施工に比べ、<b>コストが縮減</b>。                  ③軟弱地盤の改良により、上記の<b>土嚢等の設置が可能</b>となり、土石流や土砂災害に対する<b>地域住民の住居等を保護</b>する新たな手段として<b>周辺環境への影響低減および安全性が向上</b>。</p> <p><b>事業化計画</b></p> <p>①<b>緊急災害対応</b>で適用できる<b>範囲や可能性は高い</b>。                  ②固化材供給装置は、有人作業においても<b>適用可能</b>であるため、<b>一般工事で採用</b>できる可能性がある。                  ③<b>土砂ダム、深崩崩壊等への備え</b>として、本技術は、アタッチメントおよび固化材供給装置等の事前準備により、<b>現地対応可能</b>。</p>
無人化施工による通信の適用範囲の拡張につ	③低遅延型画像伝送技術	<p><b>導入効果</b></p> <p>①本技術の開発により、従来、アナログ映像伝送で問題となっていた<b>伝送数（ch数）や混信が解消</b>されるため、無人化施工による<b>複数の対策が同時</b>に行うことが可能となり、応急・復旧対策が<b>迅速化（工期短縮）</b>。                  ②従来の<b>アナログ映像伝送</b>に比べ、<b>コストが縮減</b>。                  ③より<b>高画質な映像と複数映像数が確保</b>できるため、従来に比べ、より<b>精密な作業が可能</b>。このため、上記の<b>土嚢設置等</b>の<b>応急・復旧対策の迅速化</b>により、上記と同様に<b>周辺環境への影響低減および安全性が向上</b>。</p> <p><b>事業化計画</b></p> <p>①<b>火山災害などの大規模災害</b>への緊急災害対応でも適用可能であり、<b>適用範囲は高い</b>。                  ②無人化施工に対応した<b>性能と仕様を有すること</b>から、開発成果は<b>建設分野において幅広く（標準的に）使用される</b>可能性が高い。                  ③画像変換器は、<b>一般でも適用可能</b>であるため、各所の監視カメラ設備において<b>普及する</b>可能性が高い。</p>

# 新型土嚢を用いた高速築堤技術の開発

## 【従来の問題点】

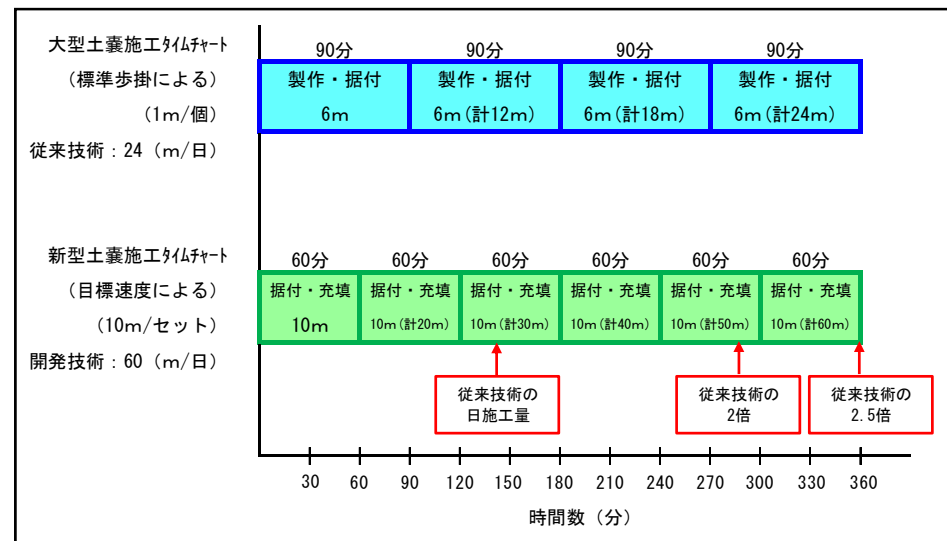
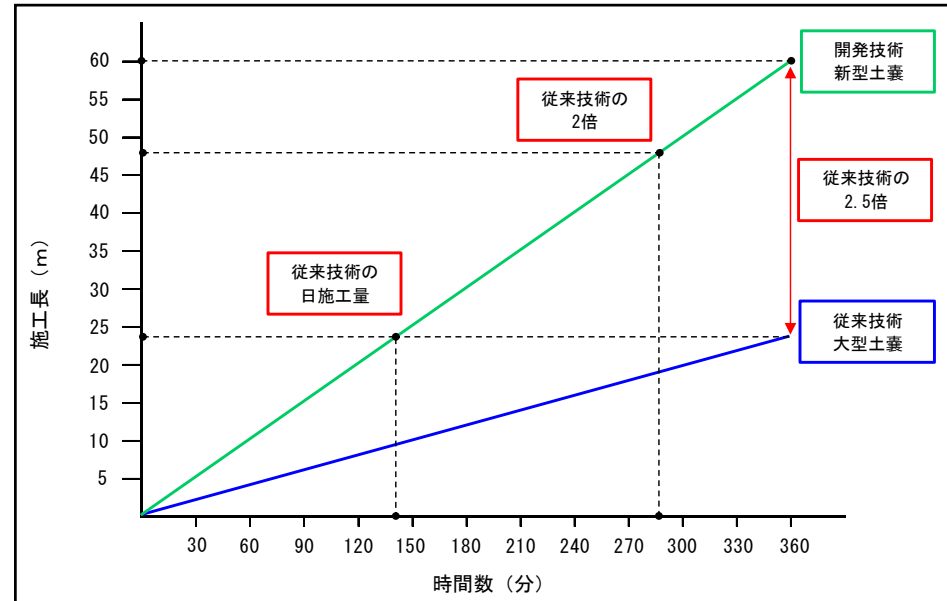
- 土嚢を安全な場所で別途製作・積込みする必要がある。
- 土嚢製作には作業員と機械が必要。
- 土嚢に強度は求めている。
- 土嚢材料は外部より搬入する必要がある。
- 製作・積込みヤードが必要である。



# 新型土嚢を用いた高速築堤技術の技術目標

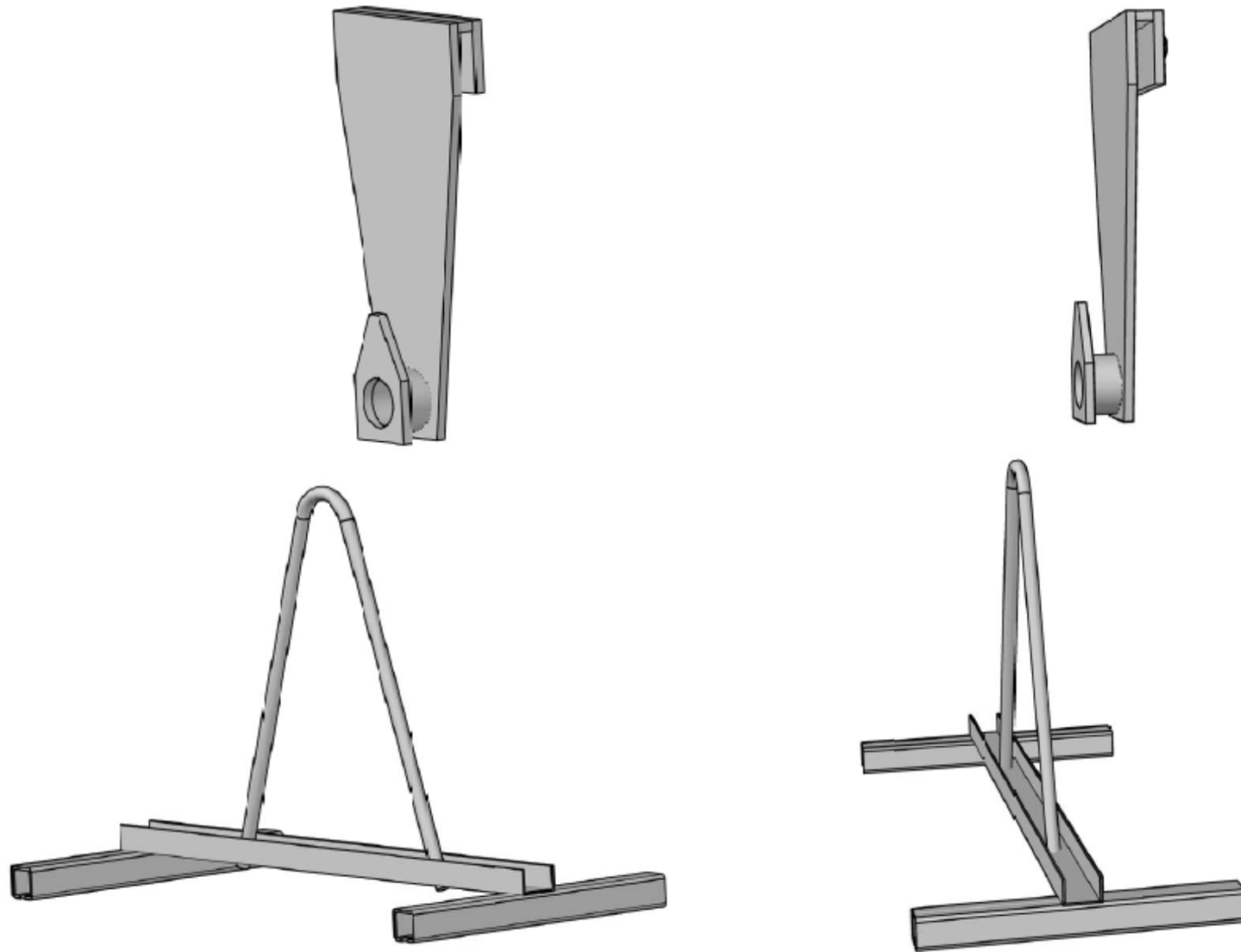
## 《高速施工の検討と目標値》

- 開発目標は、従来技術の2~3倍の施工速度で設置できること。
- 従来技術は、国土交通省積算基準の大型土のう工（土のう仮締切）とする。
- 標準歩掛による大型土のう工の日当たり施工量に無人化施工効率を乗じたものを比較対象とする。
- 無人化施工による従来技術の日当たり施工量を「24m/日」とする。
- 本開発の目標を2倍以上として「60m/日」とする。
- 新型土嚢1セット10mを1時間以内に施工できれば目標達成となる。



# 開発アタッチメント・ジグ（最終形）

《アタッチメント・ジグの最終形》



# 開発アタッチメント・ジグ(写真)

## 《据付用アタッチメント・ジグ》



バケットアタッチメント



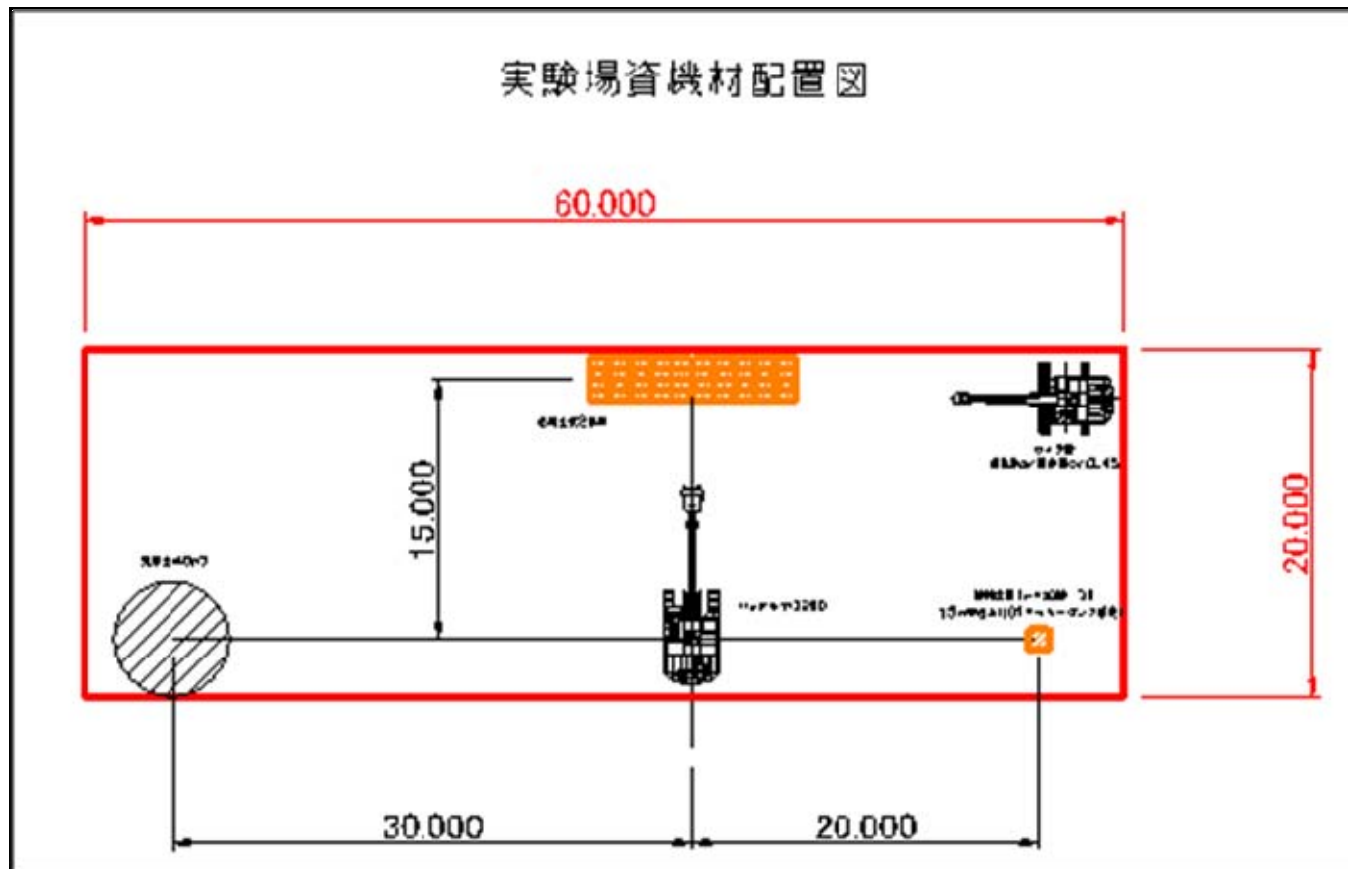
据付けジグ

# 実証実験(2015年2月12,13日)

## 《雲仙普賢岳実証実験実施計画》

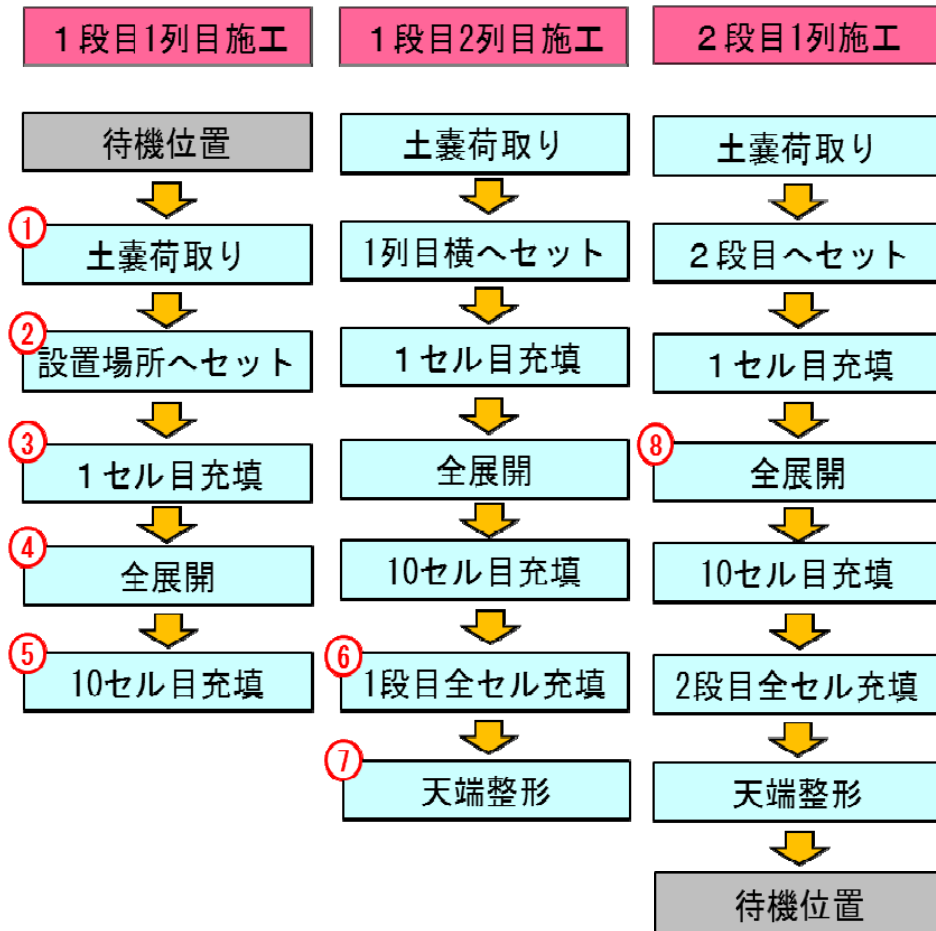
土嚢設置用重機 : 0.8m<sup>3</sup>級油圧ショベル (遠隔操縦機・カメラ1台搭載)

外部カメラ : カメラ車 (固定焦点カメラ1台搭載)



# 実証実験(実施手順)

## 《雲仙普賢岳実証実験》 下2列上1列・10m/2段設置 施工フロー



# 実証実験結果(外觀)

《雲仙普賢岳実証実験》出来形状況





# 実証実験結果（施工時間）

## 《雲仙普賢岳実証実験》 実験結果データ

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

### 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
	土嚢展開	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
	土嚢展開	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

2段目においてもほぼ同等の施工時間である

**□ 施工時間結果 50分03秒 ≤ 60分/10m 目標達成**

# 実証実験結果（実施留意点）

## 《施工性等の検討》 留意点 1

### ○映像

無人化施工用油圧ショベルに標準搭載されているカメラのみでは施工は困難である。カメラ車があることが最良であるが、準備できない場合は、右写真の様に斜め上方からのズーム映像が確保できる視覚情報が必要。また、アタッチメント、シグにカメラで判別しやすい色を塗装しておくことが望ましい。



### ○展開後、充填までの安定

- 展開後、充填前に強風で土嚢が転倒する事例があった。
- 充填初期に、大石の投入により土嚢が転倒する事例があった。
- 充填前は、土嚢の形状保持が不安定である。形状保持に留意が必要。

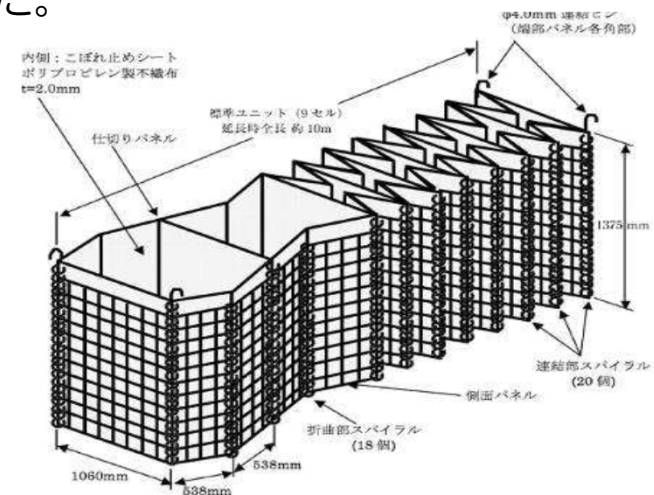


# 実証実験結果（新型土嚢の改善）

## 【新型土嚢の機能・形状検討結果】

- ①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、 $0.45\text{m}^3$  (0.9m)、 $0.8\text{m}^3$  (1.05m)、 $1.1\text{m}^3$  (1.25m) であることから、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。
- ②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嚢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。
- ③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。
- ④構造的には市販仕様に対して無人化施工では、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。

	線径	目合い	判定
市販品	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



# 泥濁化した軟弱地盤改良技術の開発

## 【従来の問題点】

- 現地材料で足場等を改善している。→施工効率低下
- 現地状況により作業効率変動がある。→工程管理の難しさ
- 準備工や除石工の一部としての扱いとなる。
- 高度技術者の能力により効率が変動する。
- 上記により工程が不明確となりがちである。



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 研究計画

改良材の現場配合、改良材を無人で供給するための装置（方法）、治具の検討、地盤強度確認方法について検討



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

	フレコンパック直投	粉体圧送
運搬車両	運搬車両（トラック、トラクタ他）のアクセスが困難な場合は、フレコンを不整地運搬車、バックホウへ載せ替える等、二次運搬で対応可能	ローリ車に搭載されているコンプレッサは、70m程度の圧送は可能であるが、改良工事対象現場までの進入が遠距離の場合、供給が困難
	○	△
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のホースをローリ車からバックホウ、供給装置まで敷設する必要があり、施工中のホースの取り回し、養生が必要 施工中、ローリ車が常駐する必要がある。
	○	△
供給量	フレコン（1,000kg）をバックホウで搬送、散布するため、散布量は、バックホウの作業能力に因る。	車両仕様、圧送距離、高低差等の条件に因るが、500kg/min程度の固化材を供給することが可能
	△	○
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、使い捨てで、産業廃棄物となる。	直接、車両（ローリ車）に積載して運搬するため、廃棄物等は発生しない。
	△	○
無人化施工への適用性	○	△

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

《供給装置（方法）》

フレキシブルコンテナから固化材を落下させるためコンテナを切裂く冶具を試作し、切裂きの状況、材料の落下状況等の確認を行う。

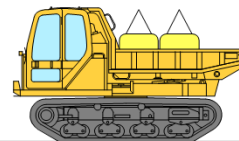
有人作業



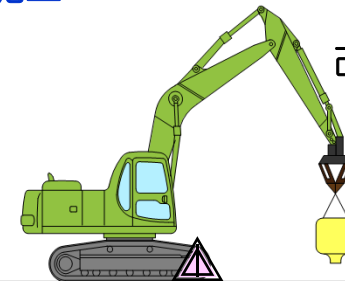
カタナイフ等を用いて、フレコンの底部を切り裂き、破袋

無人化施工

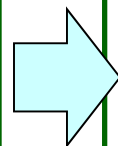
改良材運搬用  
クローラダンプ



改良材投入用  
バックホウ



切裂冶具  
(バックカタ)

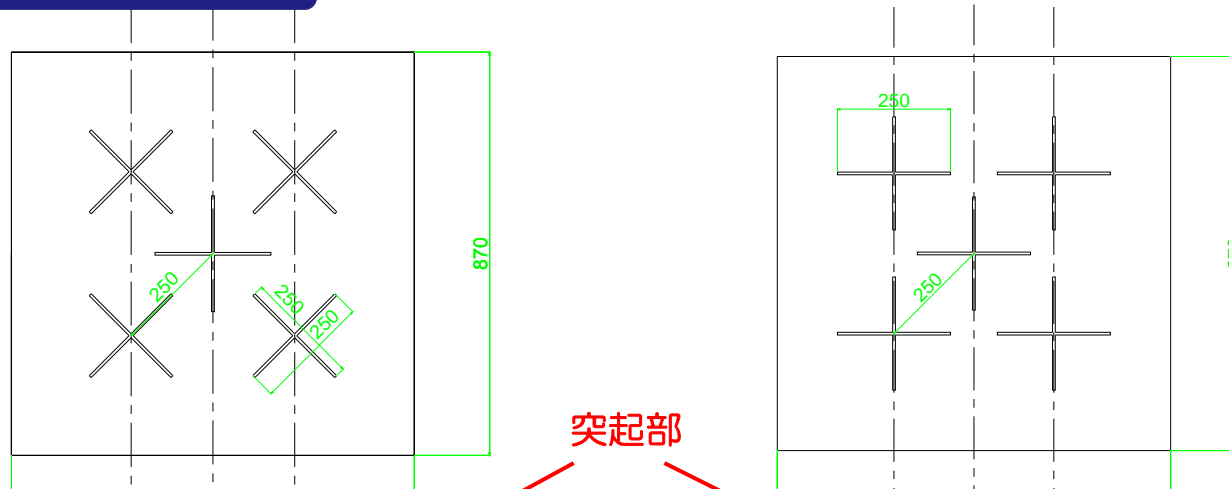


各種 切裂冶具

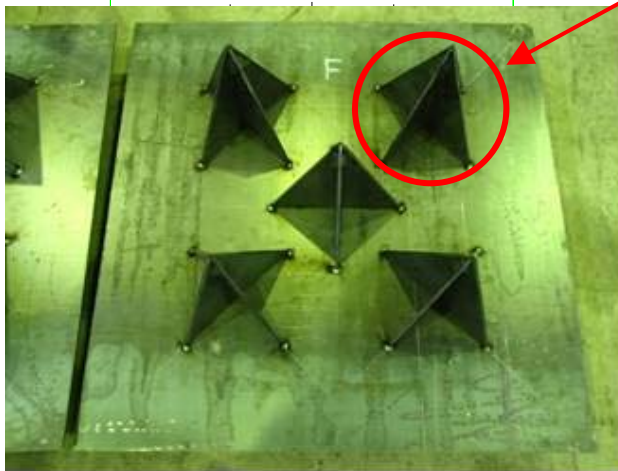
# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## 改良材供給方法の検討結果

切裂冶具



突起部





# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

### 実験状況



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

### 実験状況



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

### 実験結果

	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～全部排出まで	2分35秒	1分50秒	5分10秒
切裂幅 (mm)	約280	約280	約230
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			

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■改良材供給方法の検討結果

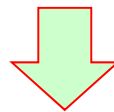
### 実験結果

#### 【切裂状況】

切裂幅は、治具幅に対して若干短くなるが、突起部によりフレコンパックの底部をきれいに切裂くことが可能

#### 【排出状況】

フレコンパック内の紛体（フライアッシュ）を安定して定量的に排出することが可能で、短時間（2～5分）で排出することも可能



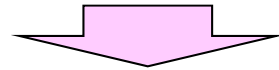
#### 【まとめ】

切裂治具を用いることにより、無人化施工で、固化材を定量的に散布することは可能であることを確認

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■供給方法（装置）、攪拌方法（装置）の検討結果

無人化施工における、これまでの実績、汎用性等  
緊急時での適用（手配、施工）が可能な供給方法、攪拌方法



### 供給方法（装置）の検討

バックホウ、ダンプ、不整地運搬車他、既往の無人化施工機械を用いて改良材を投入可能な方法

- ①フレキシブルコンテナによる供給
- ②粉体圧送による供給



### 攪拌方法（装置）の検討

スタビライザや自走式改良機等、多種の攪拌、工法（装置）があるが、バックホウのアタッチメントで改良可能な方法

- ①パドル付き攪拌バケット
- ②スケルトンバケット



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

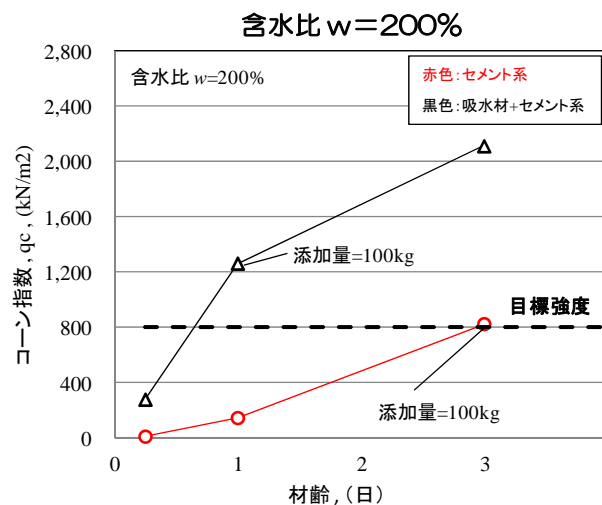
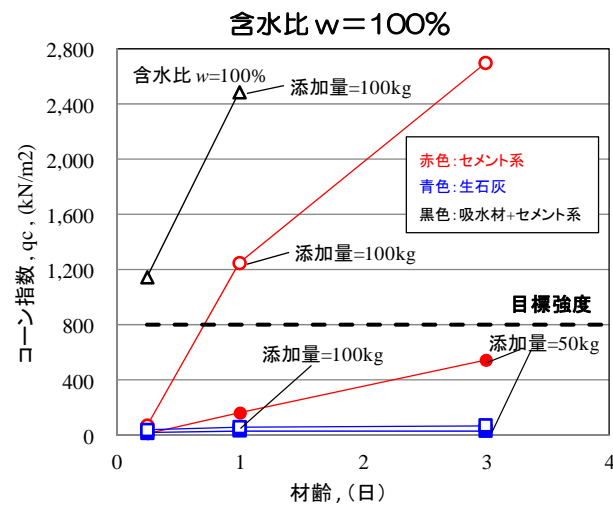
## ■改良材の検討結果

### 改良材の検討

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）により、**セメント系固化材（粉体）**：添加量：100kg/m<sup>3</sup>を使用することで目標強度が得られることを確認

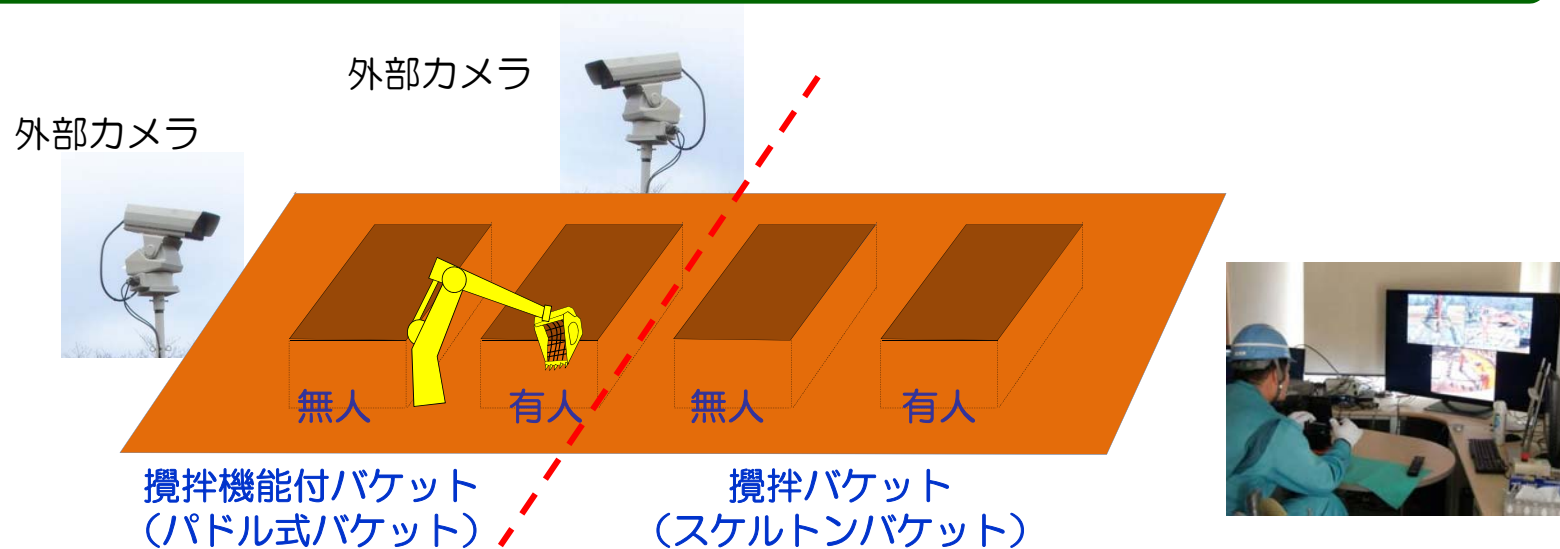


# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果

### 攪拌装置の要素実験

市場での流通性、改良性能、改良作業以外の作業への汎用性等を検討し、強制的な攪拌が可能な攪拌機能付バケット（パドル付バケット）および、攪拌バケット（スケルトンバケット）を選定した。模擬軟弱地盤を作成し、無人化施工による改良実験を実施



### ● 実験概要

場所：土木研究所 屋外実験場

土質試料：霞ヶ浦浚渫土 ( $F_c=50\%$ 相当) 室内配合試験 (H24年) で使用の材料

含水比： $w=100\%$

改良材添加量： $100\text{kg}/\text{m}^3$  (セメント系固化材)

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果

### 実験状況



固化材投入



攪拌状況（パドル付バケット）



攪拌状況（スケルトンバケット）



操作状況



# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果

### 実験状況



パドル付バケット（無人）



パドル付バケット（有人）



スケルトンバケット（無人）



スケルトンバケット（有人）

# 泥濁化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果

### 改良状況



無人



有人

パドル付バケット



無人



有人

スケルトンバケット

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果

### コーン試験結果

コーン指数 $q_c$  (kN/m<sup>2</sup>) を表層から10,20,30,40cmで計測し平均値を算出

養生期間	$\sigma_{3h}$	$\sigma_{6h}$	$\sigma_{1d}$	$\sigma_{3d}$
パドル式 (無人)	1.81	13.1	32.7	77.9
パドル式 (搭乗)	2.01	12.7	231	1051
スケルトン (無人)	1.44	21.2	165	635
スケルトン (搭乗)	9.62	18.3	292	1035
室内試験	—	68.5	1248	2700

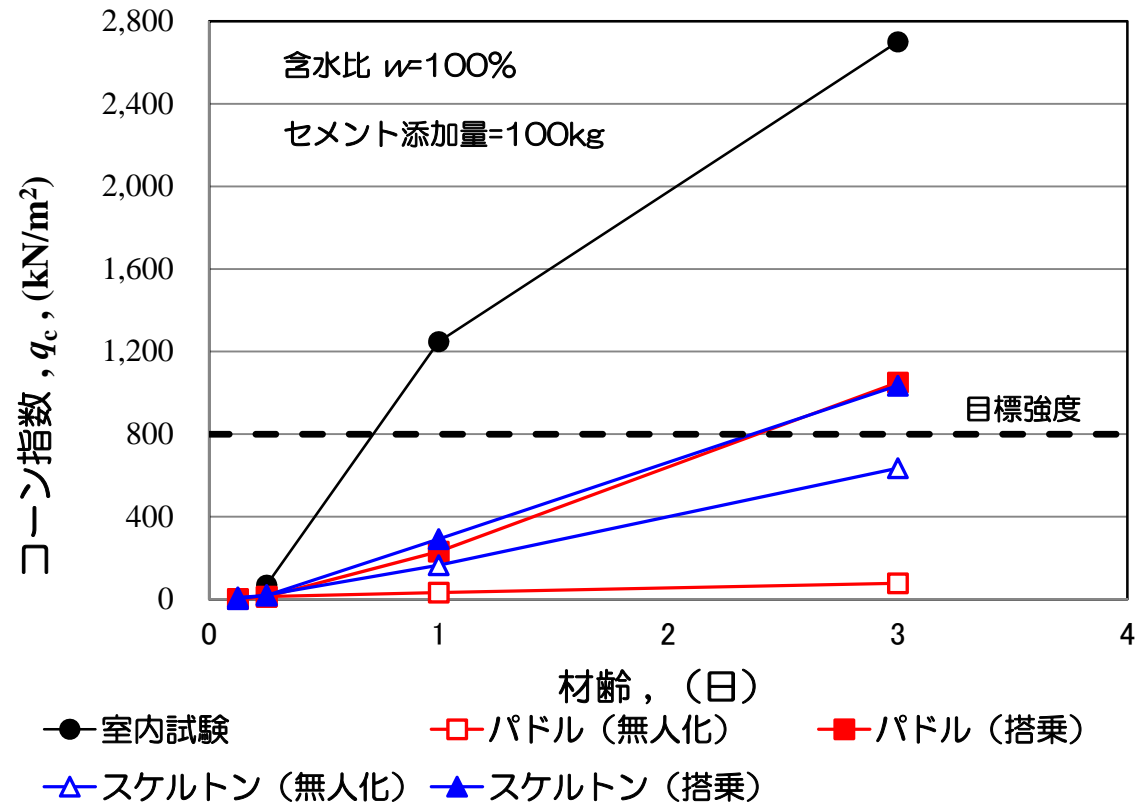
固化材	改良の対象	施工機械	(現場/室内) 強度比
紛体	一般軟弱土	スタビライザ	0.5~0.8
		バックホウ	0.3~0.7
	超軟弱土 ( $\Delta$ 0、高含水有機質土)	クラムシェル	0.2~0.5
		バックホウ	0.2~0.5

参考文献：セメント系固化材による地盤改良マニュアル

本実験のコーン指数は、室内試験と材齢1日の値を比較すると、1/3~1/4程度で、一般的な強度比 (現場/室内) と同様

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 攪拌装置の検討結果



- パドル式バケットとスケルトンバケットの $q_c$ 値を比較した場合、大きな差はない  
⇒攪拌性能に明確な差はない
- スケルトンバケットを用いた場合、無人と搭乗の $q_c$ 値を比較した場合、無人は搭乗の0.6程度の結果。ただし、重機が必要とするトラフィカビリティは、ほぼ満足  
⇒スケルトンバケット等を用いて、無人化施工による改良は可能

# 泥濘化した軟弱地盤改良技術の開発

## ■ 検討結果

### 【高含水比地盤】

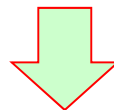
排水処理やセメント系固化材、吸水材を用いて改良を行うことで、泥濘化した高含水比（100%）の地盤に対応可能であることを確認

### 【トラフィカビリティ】

スケルトンバケット等を用いて攪拌（混合）改良することで、無人化施工機械（重機）のトラフィカビリティ（コーン指数800kN）を確保できることを確認

### 【施工能力】

フレコンパック直投（切裂冶具）、スケルトンバケット等を用いることにより、無人化施工で100m<sup>2</sup>/h程度の改良作業が可能であることを確認



無人化施工による地盤改良（固化材運搬、固化材散布、混合等）作業は可能

# 低遅延画像WG成果概要①

## ○なぜ、低遅延画像変換器の開発が必要なのか？

○雲仙普賢岳での無人化施工が始まった時、映像伝送用無線は、50GHz帯簡易無線局を使用。

→問題点1：使用する帯域が高いため、指向性があり、使いづらい。

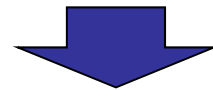
→問題点2：ch数が少なく、伝送できる映像数に限界があった。

→問題点3：機器費が高い。

○その後、上記に加えて、2.4GHz帯建設無線、2.4GHz帯SSデジタル無線、2.4GHz帯小電力データ通信（OFDM）などが開発され、導入。

→問題点1：数は増加したが、やはり限界がある。

→問題点2：これらの無線では、数回の中継に難がある。



○平成23年に雲仙普賢岳にて超長距離遠隔操作実験を行い、無線LANによる映像伝送技術が確立。

→解決点1：ch数の限界という抜本的な問題が解決された。

→解決点2：遠隔操作と併用することで機器費を抑えることが可能となった。

→解決点3：数回の中継等も簡便に実施が可能となった。

→問題点1：汎用の画像変換器は、従来の映像より画質が劣る場合がある。

→問題点2：画像変換で遅延（200msec程度）が発生する。

→問題点3：伝送する映像によっては、フレーム数（リアルタイムは30f/s）を落とす必要がある。

※これらの問題点は、無人化施工効率の低下の要因になり得る。

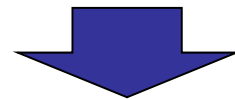
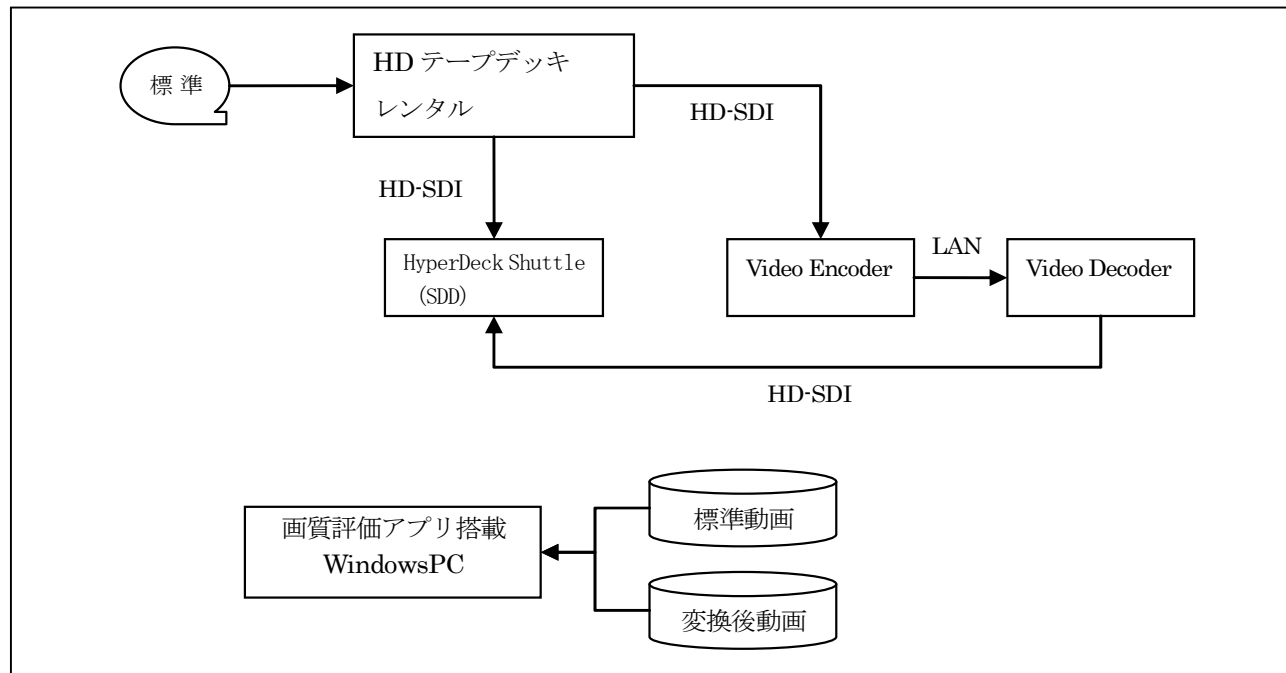


画質が良いが、遅延や使用容量（帯域）が少ない、安定した画像変換器が必要。

# 低遅延画像WG成果概要①

## 無人化施工用仕様の開発目標設定

選定したIBEX社の既存製品を（社）映像情報メディア学会製作のハイビジョン・システム評価用標準動画第2版画像を使用した画像評価



画像評価より無人化施工用の仕様の目標設定

高精細画像 (30fps) を 3.0Mbps以下 の伝送速度で、遅延時間 70msec以内 にデジタル伝送（無線伝送を含む）できる画像変換器（コーデック）を開発。

# 低遅延画像WG成果概要②

## 開発仕様達成のための開発項目

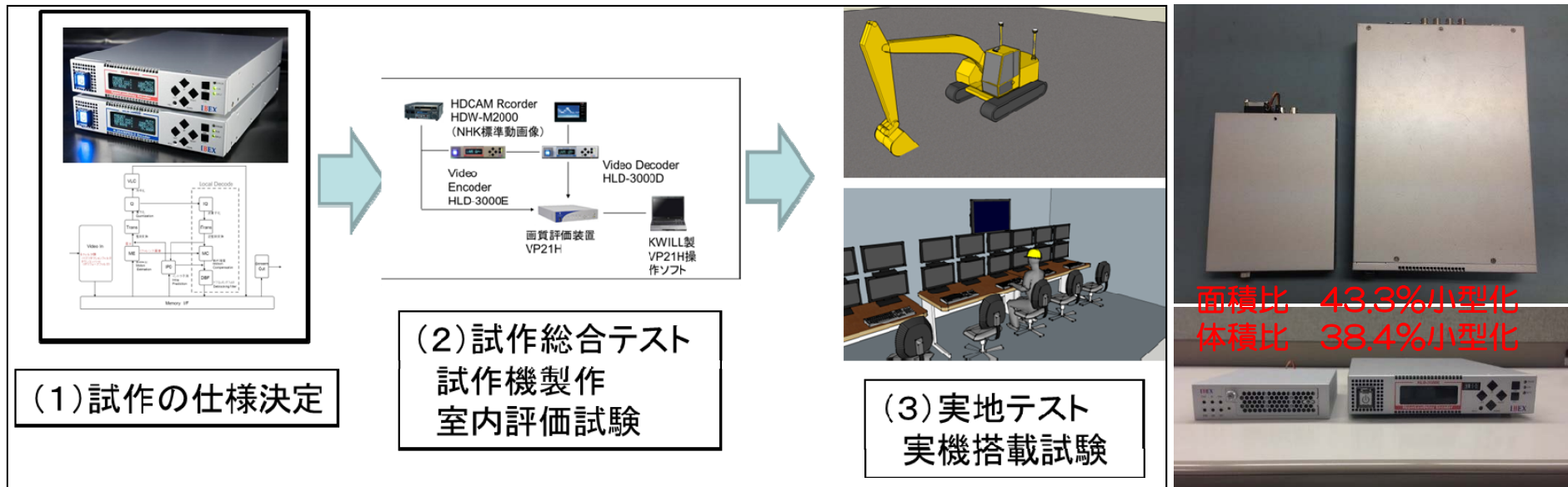
項目	開発項目		対応策
	概要		
画質性能改良	トータルの画質を向上させる		以下に示すフィルターの追加及び強化を実施 <ul style="list-style-type: none"> <li>・入力画像のざらつきを取り除くノイズリダクションフィルターを追加</li> <li>・デブロッキングフィルタの最適化を実施</li> </ul>
	4Mbps以下の低レートで、映像が破綻することがある		エンコード処理をするブロック単位を4×4から8×8に変更することでデータ量を減らし、低レート性能を改良
	グレーのブロックノイズが発生することがある		低レート時にもグレーのブロックノイズが発生しないように改良
通信性能改良	パケットの遅延が発生し、機器がパケットロスと判断した場合には、画面表示が長い間止まる		通信が途切れた場合、すぐに復帰できるように、通信部のプログラムを以下の仕様に変更 <ul style="list-style-type: none"> <li>・放送局用機器であるため、10秒間隔で時間データの状態を検出していたが、1秒程度の間で状態を確認する</li> </ul>
耐震性能改良	建設重機に搭載しても壊れないようにする		規格「JIS-D-1601 段階20」をクリアできるように改良



# 低遅延画像WG成果概要③

## 試作品製作と性能確認

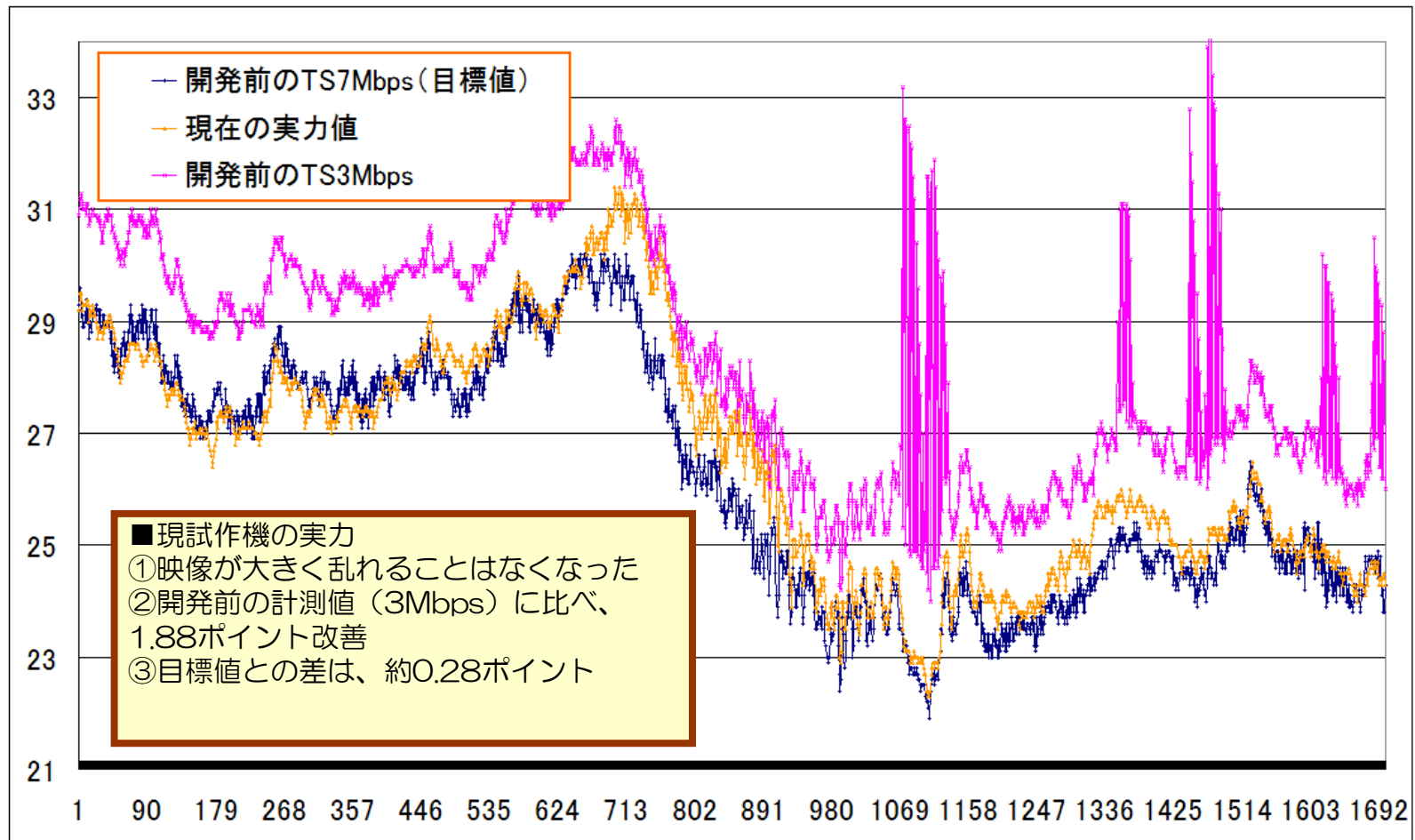
- 仕様に基づき、**試作品を製作**。
- 試作品を使用し、**DSCQS試験と通信性能評価試験を実施**し、性能を確認。
- 建設機械に搭載し、**実伝送テスト**を実施。



開発項目	対応策	開発状況	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	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DSCQS値は平均で0.9%の改善を確認</li> <li>・開発前の測定値（3Mbps）で破綻している厳しい映像箇所では8%程度の改善を確認</li> <li>・視覚的には破綻やブロックはなくなった</li> </ul>
	デブロッキングフィルタの最適化を実施	△ (改良中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・さらなる改良中。</li> <li>・ブロック間の誤差をホカすため、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る見込み</li> </ul>
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)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・さらなる改良中。</li> <li>・参照ブロックの拡大により、低レート性が高まる</li> <li>・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</li> </ul>
ゲームのブロックノイズが発生することがある	低レート時にもゲームのブロックノイズが発生しないように改良	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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はなくなった</li> </ul>

# 低遅延画像WG成果概要④

## 試作品と画像評価



# 低遅延画像WG成果概要④

## 次世代社会インフラ用ロボット現場検証

応急復旧部会の現場検証

日時：平成26年12月19日実施

場所：雲仙普賢岳赤松谷川試験場



# 低遅延画像WG成果

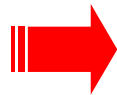
- 低遅延画像伝送装置は、高精細画像（30fps）を3.0Mbps以下の伝送速度で、かつ、遅延時間70msec以内という目標を実現。
- 次世代社会インフラ用ロボット現場検証の応急復旧分野と災害調査分野に応募し、一定の評価をいただいた。
- 画質等の修正後、製品を出荷予定。
  - ・出荷条件等は未定
  - ・製品化は15年上期実現を目指す。
- 他の研究等へ応用（SIP,NEDO案件への提供等）を検討中である。

# マルチプラットフォーム研究開発の概要

## (1) 研究開発の概要

### 【現状の課題】

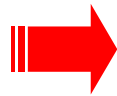
- ヘリコプターによるスポットまたはバッチ（ある日、ある時）での監視が主流。
- 夜間も含めた常時監視ができていない。
- 災害状況等の把握に時間を要し、その後の対策が遅れる。



正確な現状把握ができない状況下にある。  
近年、深層崩壊や河道閉塞等の事例が増加。  
河道閉塞等の災害現場では、決壊の恐れから早期の現場監視が必要。

### 【目的と研究開発対象】

上記の課題に対応し、迅速に監視活動に入り、災害地での効率的な復旧・復興作業の支援ができること。



ヘリコプターによる空輸で、傾斜地等に設置できる多目的な移動監視システム（以下：マルチプラットフォーム）を研究開発対象と選定。

### 【本開発の機能】

- ①ヘリコプターによる空輸、設置回収が可能（傾斜地等でも容易に設置回収が可能）
- ②数日間の無人運転
- ③多様な通信システムによる山岳地への対応
- ④災害地等のフィールドにも対応できる環境性

### 【本開発の役割】

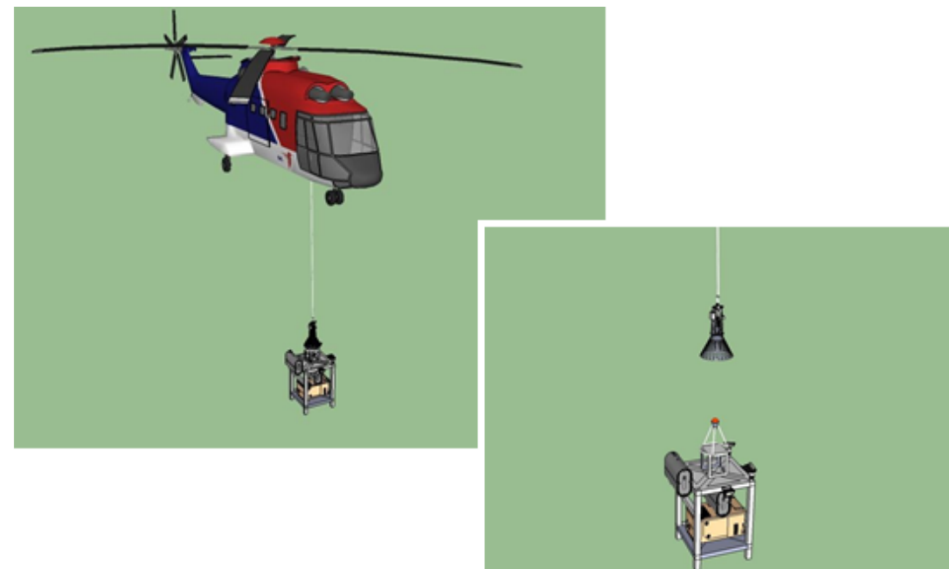
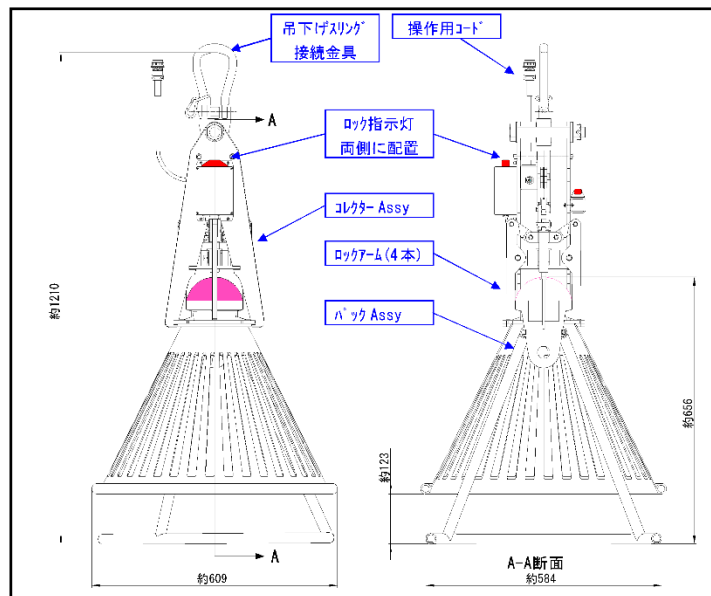
- ①無線中継網、②監視カメラによる災害調査監視、③GPS等による状態・作業監視等

# 研究開発の目標・研究計画・方法

## (2) 研究開発目標

- ①ヘリコプターによる30分以上の空輸が可能な構造を持つこと。
- ②ヘリコプターおよびVCT※を利用した設置・回収を実施し、可能であること。
- ③マルチプラットフォームが15°程度程度の傾斜地でも設置可能であること。
- ④発電機、太陽光、バッテリー等により搭載機器の稼働日数を3日以上確保できること。
- ⑤携帯電話や無線LAN等の複数の無線通信により、データ伝送および遠隔操作による山岳地等への適応性を確保できること。
- ⑥複数台のマルチプラットフォームにより無線中継として通信機能を補完できること。
- ⑦監視カメラによる設置周囲の監視および調査機能を有すること
- ⑧GPSによる座標連続計測が可能で、かつ上記機能によりデータ通信ができること。

※VCTとはVertical Capture Transporterの略



# 研究開発の目標・研究計画・方法

## (3) 研究計画・方法

災害状況を想定した必要な機能や空輸に対する諸条件から仕様を決定後に実験機を製作。航空試験等による予備試験により課題や問題点を抽出し、最終仕様決定後、試作機を製作。試作機を実証試験により実現性を確認。その最終調整を経て、実用化を目指す。

### 【平成26年度】

#### (1) 仕様決定

過去の事例等から、必要な機能、空輸等の諸条件の調査および整理を実施。

- ①設置場所の想定（環境、離隔）、②収集したい情報の整理、③空輸可搬重量、④設置撤去精度・高度、⑤空輸に必要な強度、⑥連続稼働時間、⑦法規制

#### (2) 設計

#### (3) 実験機製作

#### (4) 予備試験

### 【平成27年度】

#### (1) 最終仕様決定

#### (2) プロトタイプ設計、(3) プロトタイプ製作

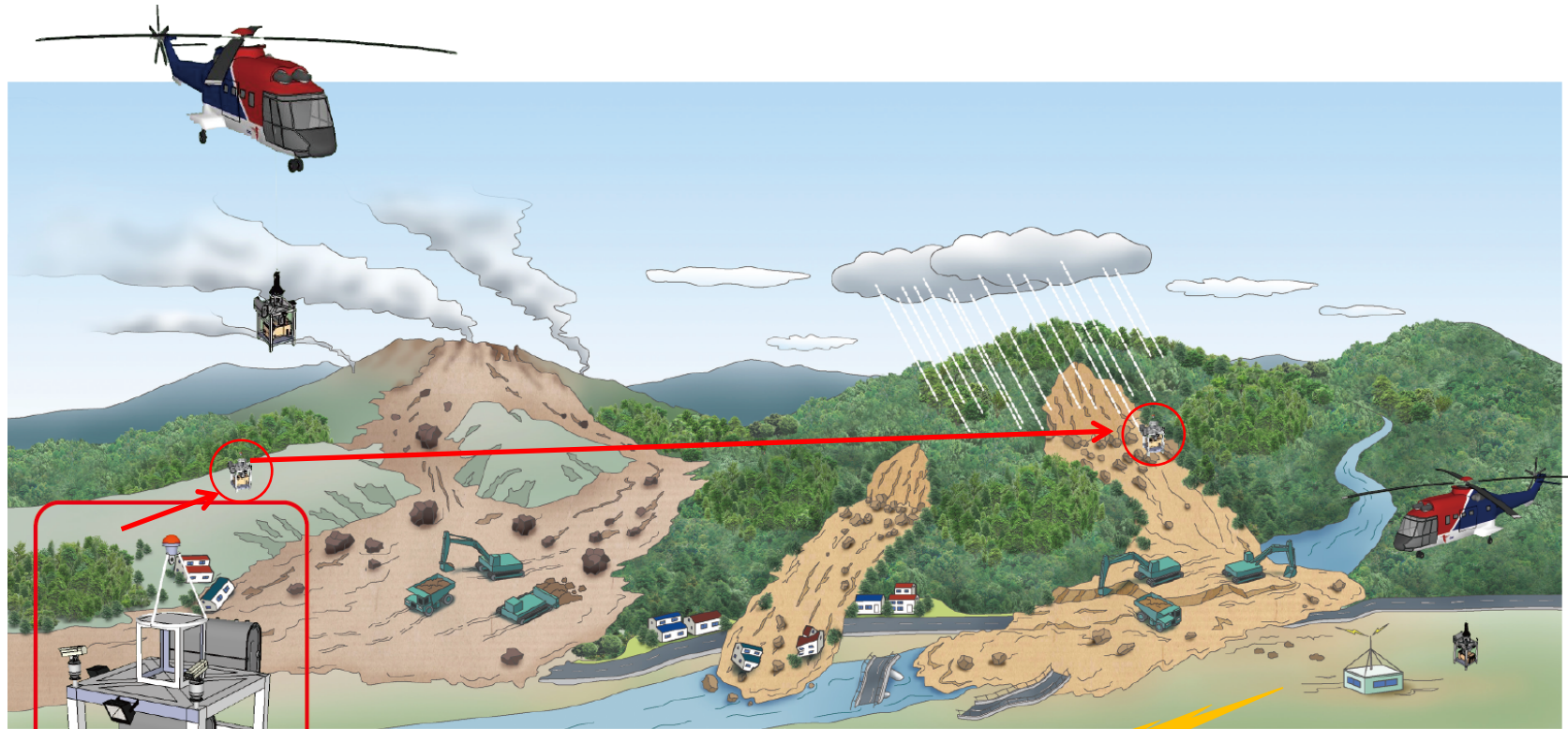
#### (3) 実証試験

#### (4) 最終調整

項目	平成25年度	平成26年度						平成27年度					平成28年度以降				
迅速かつ効率的な復旧・復興のための災害対応マルチプラットフォームの開発	超長距離無人化施工のための各種要素技術の開発（実証試験等）	●運搬仕様・設置条件の整理 ●被災地条件の整理	●実験機の仕様検討	●実験機の設計	●実験機の製作	●実験機の予備試験	●設計課題の抽出整理	年度とりまとめおよび報告	●試作機の最終仕様決定	●試作機の修正設計	●試作機の製作	●試作機の実証試験（陸上確認）	●試作機の実証試験（航空試験）	●試作機の実証試験（陸上確認）	●試作機の最終調整	年度とりまとめおよび報告	実用化に向けた取り組み

# 研究開発の目標・研究計画・方法

## (3) 研究計画・方法



マルチプラットフォーム



# 本年度の成果



# 本年度の成果

## ■ 研究開発目標に対する成果

- ①ヘリコプターによる30分以上の空輸が可能な構造を持つこと。
- ②ヘリコプターおよびVCT※を利用した設置・回収を実施し、可能であること。
- ③マルチプラットフォームが15°程度程度の傾斜地でも設置可能であること。  
→①、②、③について、今年度のヘリ実験にて確認済。
  
- ④発電機、太陽光、バッテリー等により搭載機器の稼働日数を3日以上確保できること。  
→バッテリー供給を選択し、模擬負荷にて稼働日数が確保できることを確認。  
→ヘリ実験で搭載し、供給等に問題がないことを確認済。
  
- ⑤携帯電話や無線LAN等の複数の無線通信により、データ伝送および遠隔操作による山岳地等への適応性を確保できること。  
→今年度、屋外実験にて通信機能等を確認済。  
→次年度、選定した機器にて確認する。
  
- ⑥複数台のマルチプラットフォームにより無線中継として通信機能を補完できること。
- ⑧GPSによる座標連続計測が可能で、かつ上記機能によりデータ通信ができること。  
→⑤、⑥、⑧については、次年度に確認する。
  
- ⑦監視カメラによる設置周囲の監視および調査機能を有すること。  
→今年度のヘリ実験にて要素実験を完了。  
→次年度、選定した機器にて総合確認する。