



“洗掘ミツケ太郎”“鉄筋フキカケ太郎”の社会実装

～鉄道河川橋梁の維持管理効率化をめざした実証実験～

株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク

最終報告 | 2023年3月16日(木)

© 株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク



1. 事業の背景と目的

～鉄道最大の使命である「安心・安全」の確保のために～

①激甚化する自然災害への備え

②鉄道構造物の老朽化対策



異常出水による
河川橋梁の洗掘災害が頻発



河床状況を的確かつ効率的に把握する
「洗掘調査手法」が必要



経年による軽微な劣化が増加
メンテナンス業務の効率化が必要



劣化度合いに応じた
簡易的な補修工法が必要

2. プロジェクトのスコープ

①洗掘調査手法の課題

1. 作業の安全性が低い

- ☞ 高所作業／線路内作業／夜間作業が必要

2. 作業効率が悪く、高コスト

- ☞ 現地での作業時間が膨大で、コストが高い

3. 河床状況の正確な把握が困難

- ☞ 点の測量で局所的な洗掘把握が困難
- ☞ 測定位置や測定値にバラつきがある



線路内での夜間作業の状況

②簡易補修の課題

1. 作業の安全性が低い

- ☞ 高所作業／夜間作業が必要

2. 作業効率が悪く、高コスト

- ☞ 足場や高所作業車等の仮設が必要
- ☞ 損傷が点在する場合、仮設配置替えが必要
- ☞ 仮設に要するコストが高い

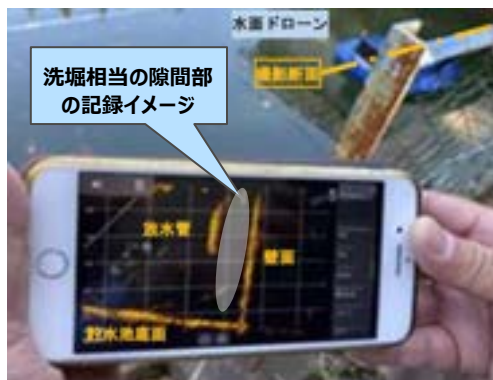


高所作業車による作業状況

2. プロジェクトのスコープ

① 洗掘調査手法の課題解決

「世界初水面ドローン・ソナーマッピング技術を搭載した水面ドローン“洗堀ミツケ太郎”^{J1W}特許申請中」による洗堀調査



② 簡易補修の課題解決

吹付ドローン“鉄筋フキカケ太郎”による補修材の吹付



3. プロジェクトの目的

1. ドローンの活用により上記課題の解決を図る

- ☞ 作業の安全性向上
- ☞ 作業効率の向上 & コスト削減
- ☞ より正確な河床状況の把握

2. 既存の調査結果や補修手法との比較を行い実用性を検証

- ☞ 測定精度や補修効果の検証
- ☞ 実コストの比較検証

3. 鉄道各社に水平展開し、実用化を加速する

- ☞ 既存の会議体を通じた情報共有
- ☞ 実証事業の現場見学

”洗掘ミツケ太郎”の実証実験

4-1. 取り組み概要

水上ドローンを橋梁に沿って自動航行させることで、ソナーにより河床や橋脚周りの状況を、高品質かつ効率的に把握できるかを検証(外業に加え、内業としてGIS解析、3D化処理を実施)

■外業

日付	内容	対象	内容等
7月12日	現地調査	加古川橋梁, 洗川橋梁	エントリポイント等確認
11月30日	テストフライト	加古川橋梁	電波到達距離確認
12月12日	本番計測	加古川橋梁	洗掘調査, デモ対応
12月13日AM	本番計測	洗川橋梁	洗掘調査, 深浅測量
12月13日PM	本番計測	加古川橋梁	深浅測量

■内業

	内容	対象	内容等
	GIS解析	加古川橋梁, 洗川橋梁	コンター作成, 衛星写真オーバーレイ, 断面図作成
	3D化	加古川橋梁, 洗川橋梁	3D点群化处理



4-2. 現地調査模様

降雨による増水のため、暫定でエントリーポイントを選定した。



■加古川橋梁



■洗川橋梁



4-3. テストフライト模様(加古川橋梁のみ)

平時の水位状況を鑑み、エントリーポイントを変更。
水際までのアクセスルートと、水面へのエントリーポイントを確認し、航行を実施。



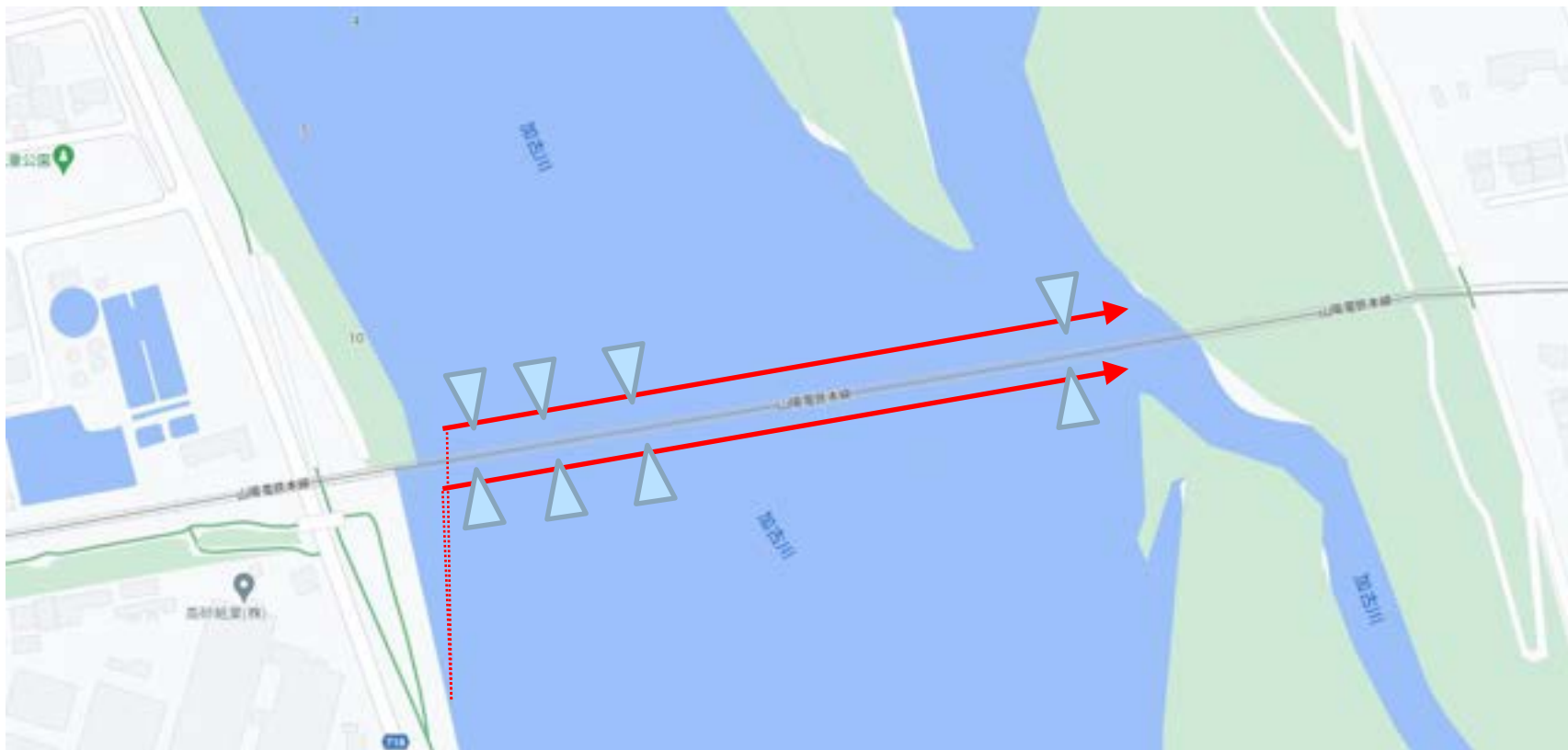
4-4. 本番計測模様(加古川橋梁)

新たにデジタル映像伝送装置を搭載し、ソナーの様子をリアルタイムに地上側で確認できる構成とした。エントリーポイントはテストフライト時の場所を採用した。



4-5. 計測航路(加古川橋梁 洗掘調査)

Active Targetを用いた洗掘調査については、機首を橋軸直角方向に向け、並行移動を行い計測を行った。



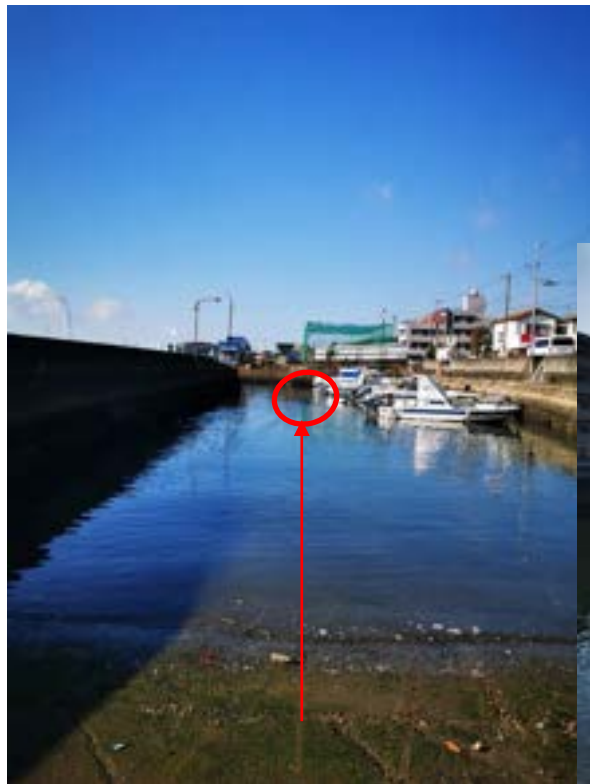
4-6. 計測航路(加古川橋梁 深淺測量)

深淺測量については機体進行方向に機首を向け、計測を行った。
下流側, 上流側それぞれ 5m間隔×6本



4-7. 本番計測模様(洗川橋梁)

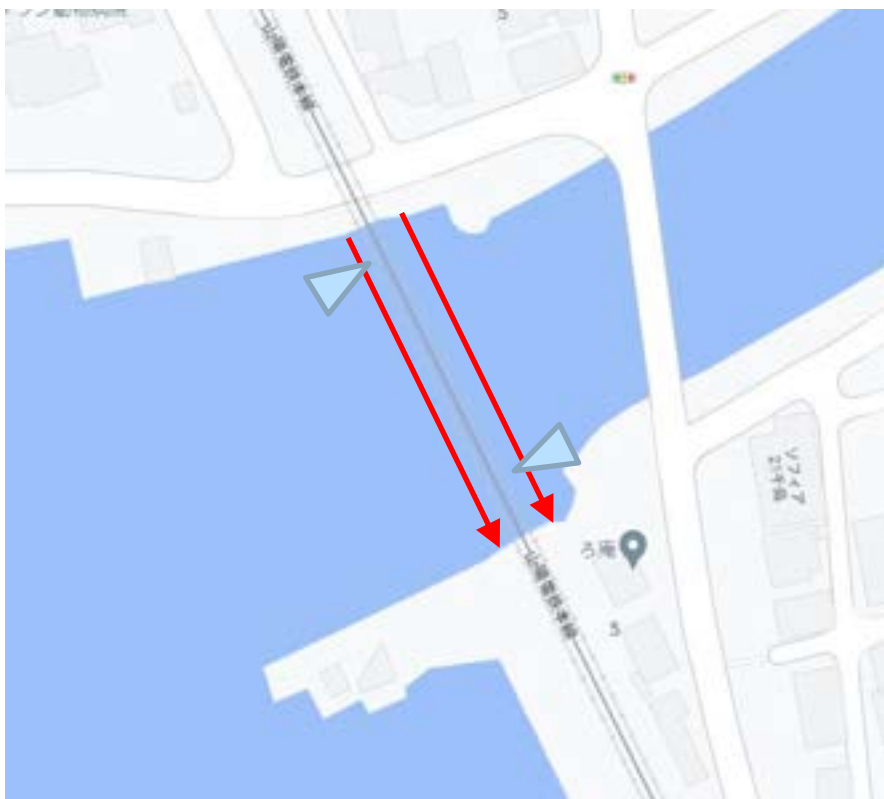
エントリーポイントは現地調査時の港設備を採用した。



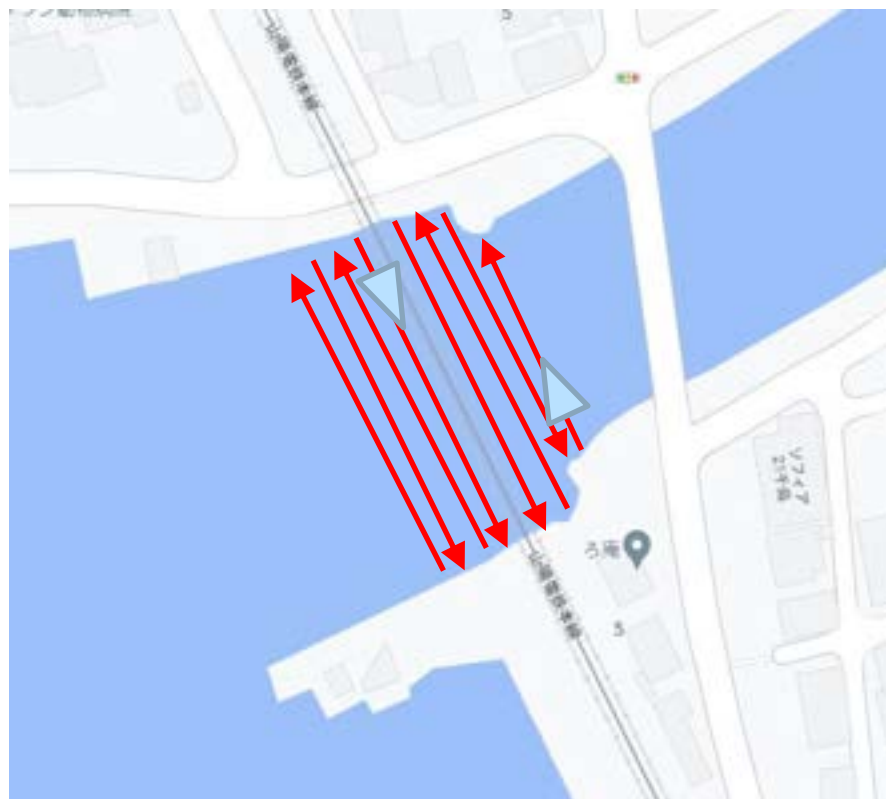
4-9. 計測航路(洗川橋梁)

洗掘調査については加古川橋梁と同様に橋軸直角方向に機首を向け並行移動、
深淺測量は機体進行方向に機首を向け計測した(下流・上流 5m間隔 4本ずつ)

■洗掘調査航路



■深線調査航路



成果物

5-1. 加古川橋梁 等深線図

深浅測量にて得られた結果をもとに、GISソフトウェアにて航路間の水底に内挿した水深値を与え、等深線図を得ることができた。



5-2. 加古川橋梁 等深線図

橋脚位置との関係性を目視できるようにするため、透過処理を行った上でオーバーレイしたものを示す。また、縦断面図・横断面図用の測線についても登録を行った。



5-3. 加古川橋梁 DEM

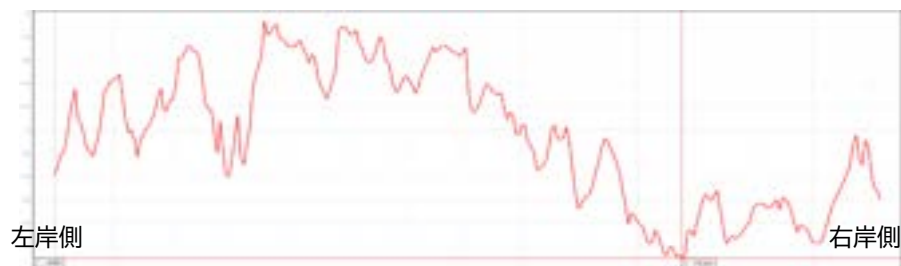
同様にDEMを生成することが可能。
サンプルとして1mグリッドDEMを示す。



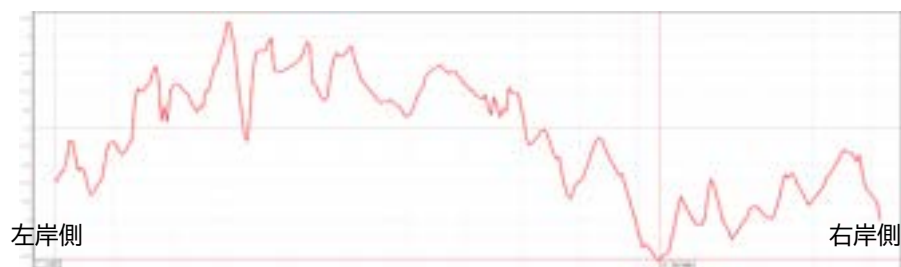
5-4. 断面図作成の試行

GISソフトウェアの機能を活用することで、容易に現行の調査と同様の縦断面図および横断面図を作成できることを確認できた。

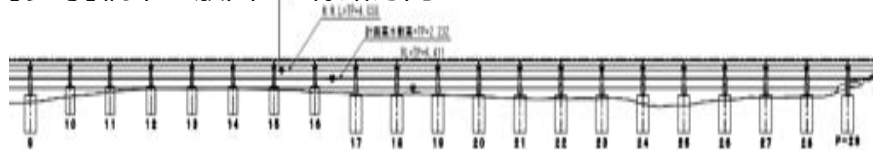
■縦断面図(A-A'相当) ※線路方向



■縦断面図(C-C'相当) ※線路方向



【参考】橋梁一般図 ※線路方向



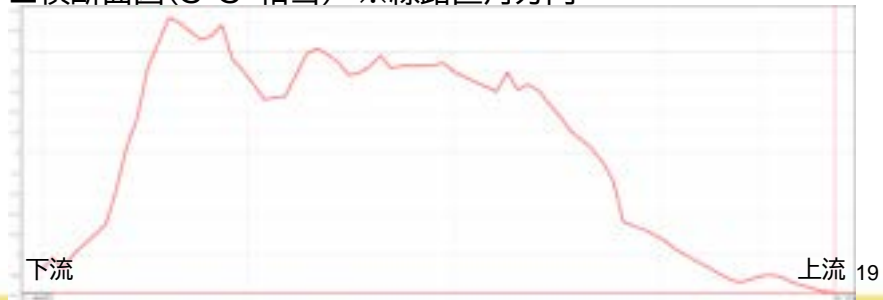
■横断面図(1-1'相当) ※線路直角方向



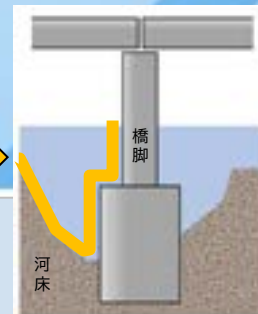
■横断面図(2-2'相当) ※線路直角方向



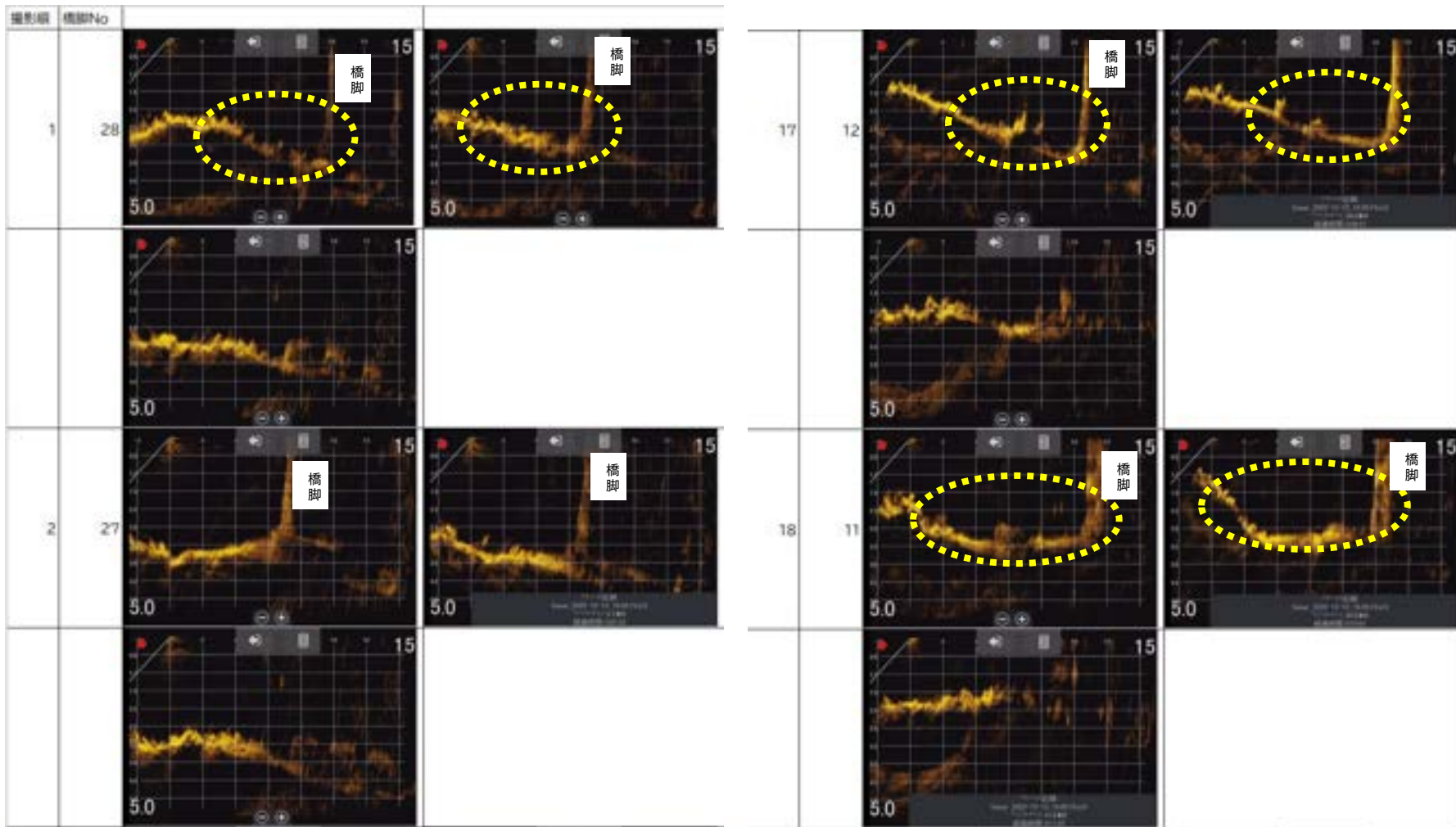
■横断面図(3-3'相当) ※線路直角方向



5-5. 加古川橋梁 洗掘調査(抜粋)



Active Targetによる河床断面の一例を以下に示す. 全体的な傾向として、最大で約1~1.5m程度周辺水底より掘れている河床が数箇所見受けられた。



5-6. 加古川橋梁 洗掘調査(3D化処理の試行)

Active Targetにより取得したデータ(動画)を元に, 点群化処理を行い, 水底の様子を3D化を試行した.



5-7. 洗川橋梁

洗川橋梁についても同様に内挿処理にて等深線図を得ることができたが、エントリポイントの位置および地形に起因して異常なアウトプットとなっている。



5-8. 洗川橋梁 等深線図

エントリポイント付近のデータをフィルタすることで、確からしい等深線図を得ることができた。



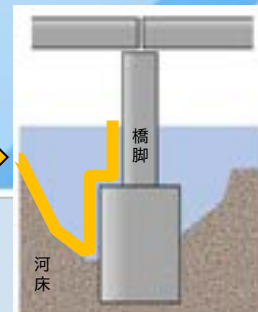
5-9. 洗川橋梁 等深線図

橋梁および橋脚との位置関係を分かるようにするため、透過処理を行ったものを以下に示す。

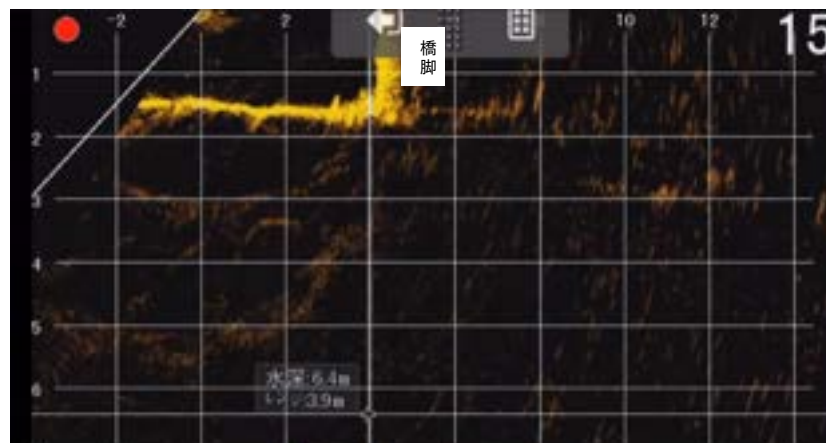
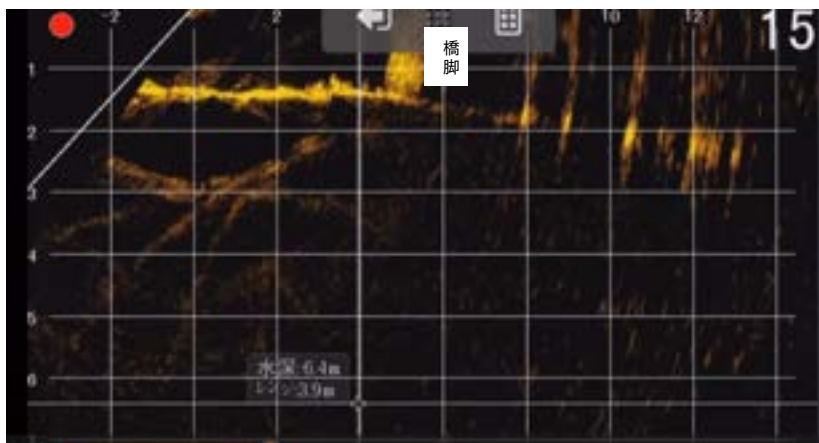
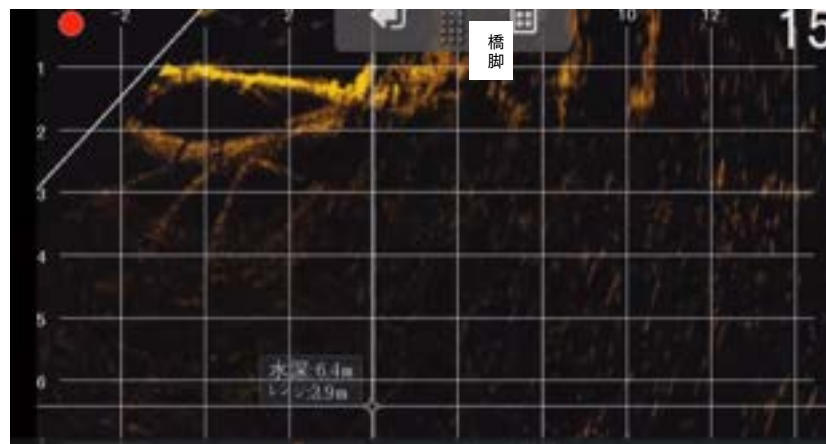
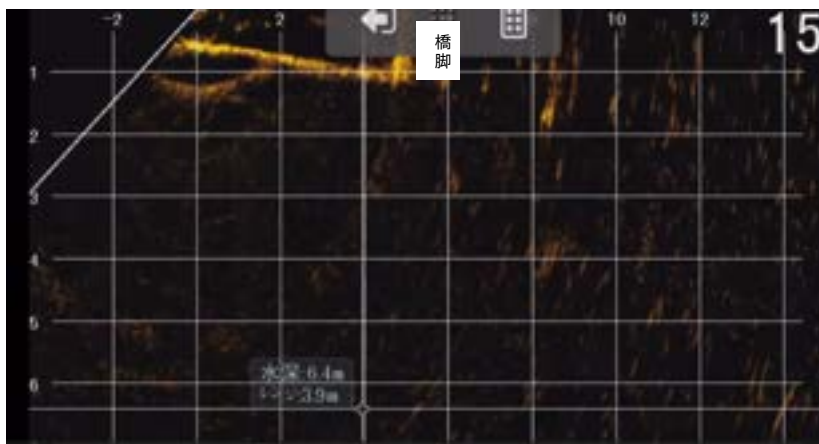


5-10. 洗川橋梁 洗掘調査(抜粋)

取得断面 →



Active Targetによる河床断面の様子を以下に示す。
水深は浅く、約1~1.5m程度であり、掘れている様子は見受けられなかった。



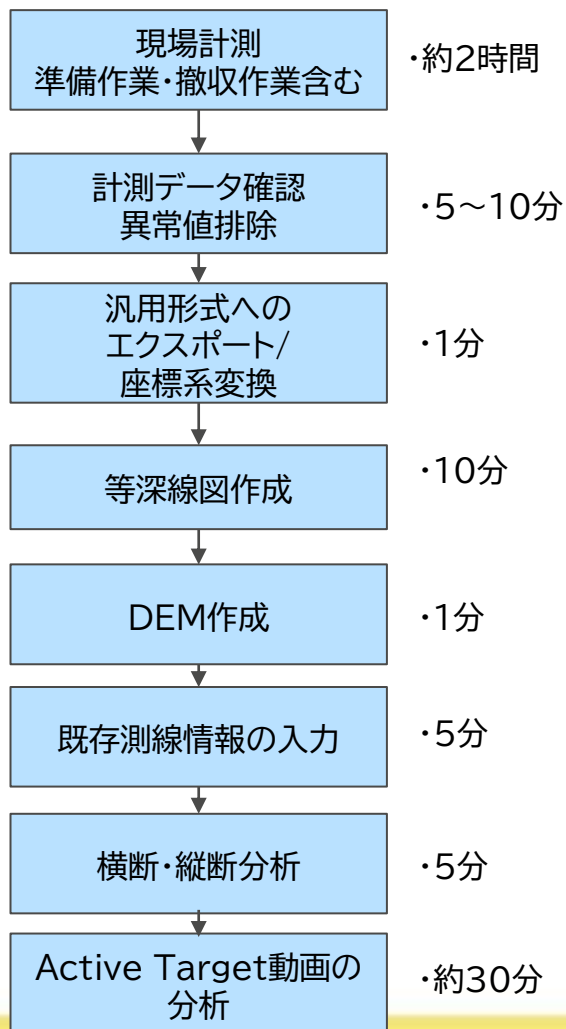
5-11. 外業の工数比較

水上ドローンを活用することで、外業の工数を大幅に削減できる(約9割).
また、基本的に陸上での作業となることから安全性についても高い。

	現行手法実績		水上ドローン活用	
加古川橋梁	<ul style="list-style-type: none"> ・昼間作業:5日間 (監督1人、作業員3人体制) ・夜間作業:3深夜 (監督1人、作業員6人、列車見張員1人体制) 	延べ44人	<ul style="list-style-type: none"> ・操縦者1人 ・補助者2~3人 	延べ4人 ※作業時間実績より、同日中に2現場実施可能と判断
洗川橋梁	<ul style="list-style-type: none"> ・昼間作業:1日間(監督1人、作業員6人、列車見張員1人体制) 4日間(監督1人、作業員3人体制) ・夜間作業:無し 	延べ24人	<ul style="list-style-type: none"> ・操縦者1人 ・補助者2~3人 	

5-12. 内業の作業時間について

外業の迅速化に加え、内業においてもGIS等を活用することによりスピーディーなデータ解析、成果物生成を行うことができた。



約60分程度
で成果物を
得ることが
可能



・ソナー専用のソフトウェア(Reef Master)およびOSSのGISソフトウェア(QGIS, 上図)を活用することで、計測したデータを容易に解析できることを確認した。

5-13. 結論・考察・課題

水上ドローンにて従来の洗掘調査手法を置き換えることは可能であるが、実利用に向けて解決すべき課題と解決策は以下の通り。

課題	内容	解決策
計測データの 正しさの担保	<p>水流や波の影響で機体が揺れ、計測データに誤差やゆらぎが生じる</p> <p>※今回レベルにて水位を計測いただいたが、機体の揺れが大きかったため、計測した数値の確からしさは未評価</p>	<p>機体の傾き等の情報をリアルタイムに入力に追加し、取得データを補正</p>
	<p>潮の満ち引きや降雨の影響により現場の水面が変動する</p>	<p>GPSデバイスを用いた水位の計測手段の確立、潮見表を用いた水位変動の把握・事前の現場計画の品質向上</p>
	<p>GIS上にオーバーレイする衛星写真と計測結果の位置情報がズレている可能性がある</p>	<p>現地での写真測量、GCPによる位置合わせで背景画像の位置精度を上げる。機体側のGPSの測位精度を上げる(みちびき等)</p>
洗掘の視認性向上	<p>ライブビューソナーにより取得できるデータが非数値データ(映像データ)であり、解析の難易度が高い</p>	<p>ライブビューソナーのデータに位置情報が分かるものを付与する</p> <p>GPS位置座標+機体のヘディング情報の流し込み 機体前方を捉えるFPVカメラの映像とソナーの映像を機体上でリアルタイム合成/保存する</p>
	<p>動画データに、どの位置でどの方向を向いて取得したかの付帯情報が無い</p>	<p>ベクタデータ化/3D点群化による対象の俯瞰化 グラフ抽出/点群生成処理の改善 任意の断面を切り断面図を得る機能の実装</p>

(参考) 実証実験(洗掘ミツケ太郎)の様相@加古川



機材準備



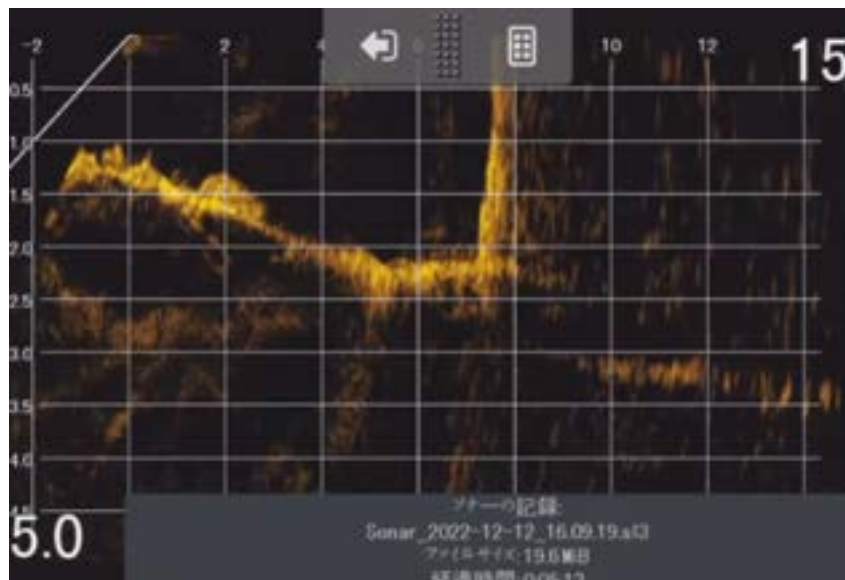
画面設置



着水

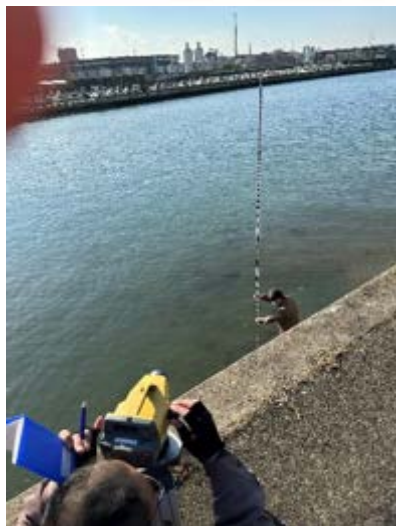


実験の様相



洗掘調査の画面

(参考) 実証実験(洗掘ミツケ太郎)の様相@洗川



レベル出し



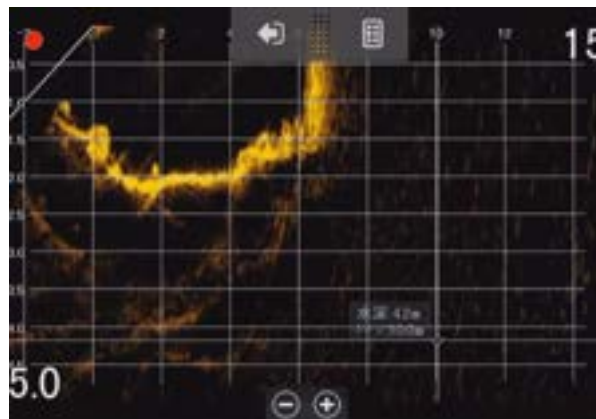
港からのエントリ



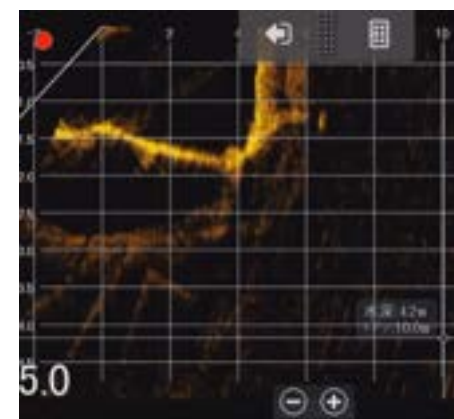
調査開始



警戒船

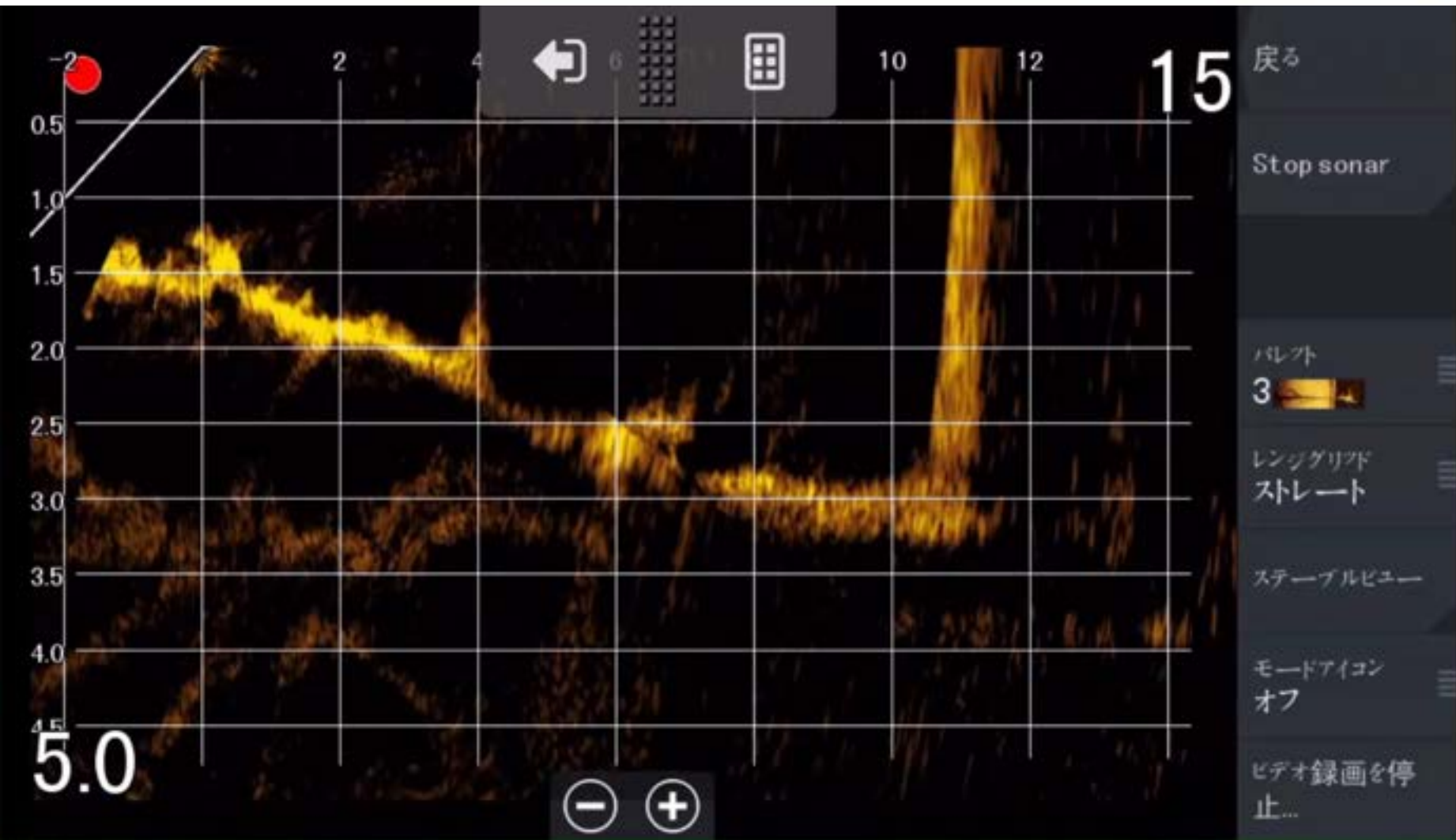


データ取得例①

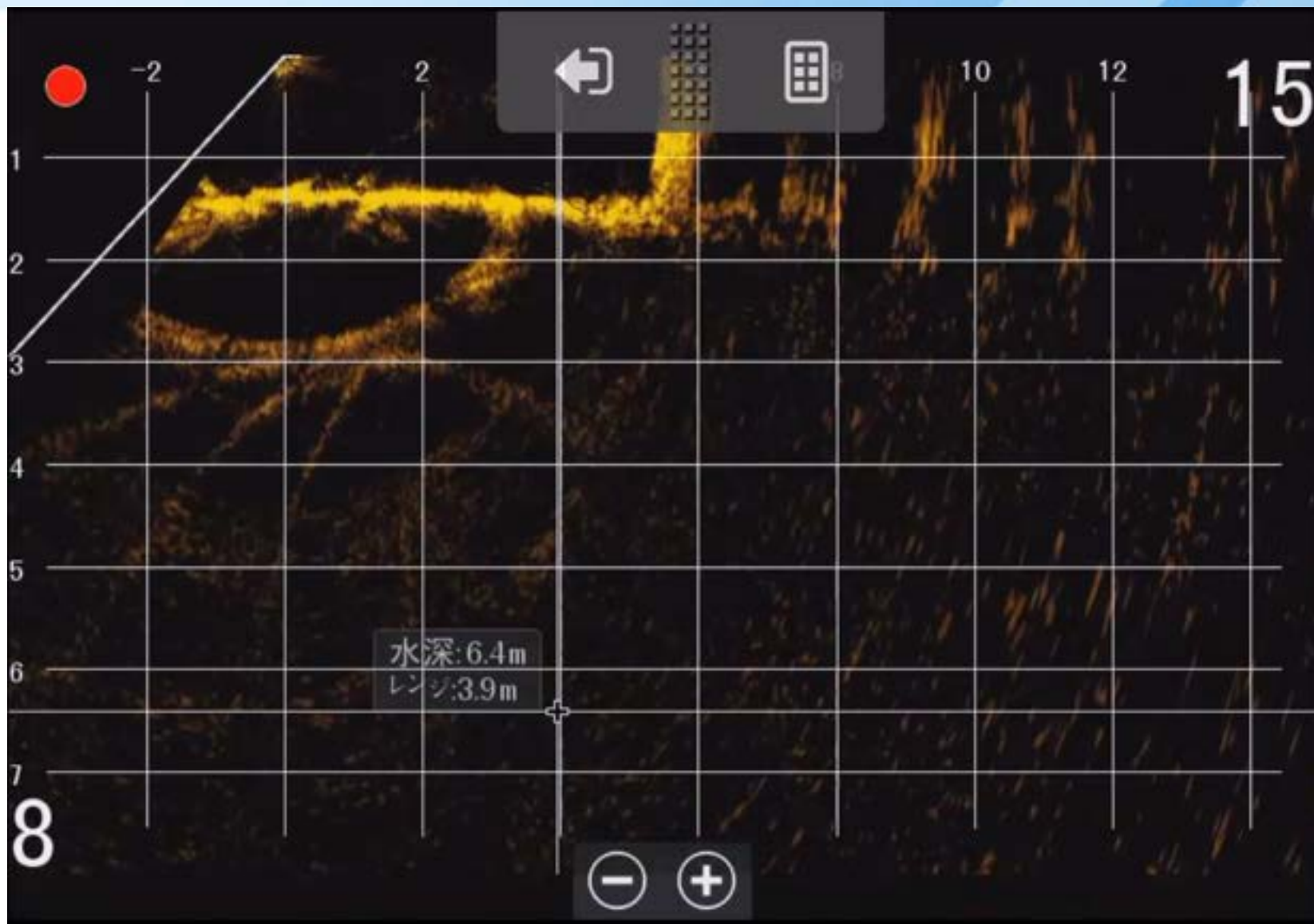


データ取得例②

(参考) 実証実験(洗掘ミツケ太郎)の実施@加古川取得データ



(参考) 実証実験(洗掘ミツケ太郎)の実施@洗川取得データ



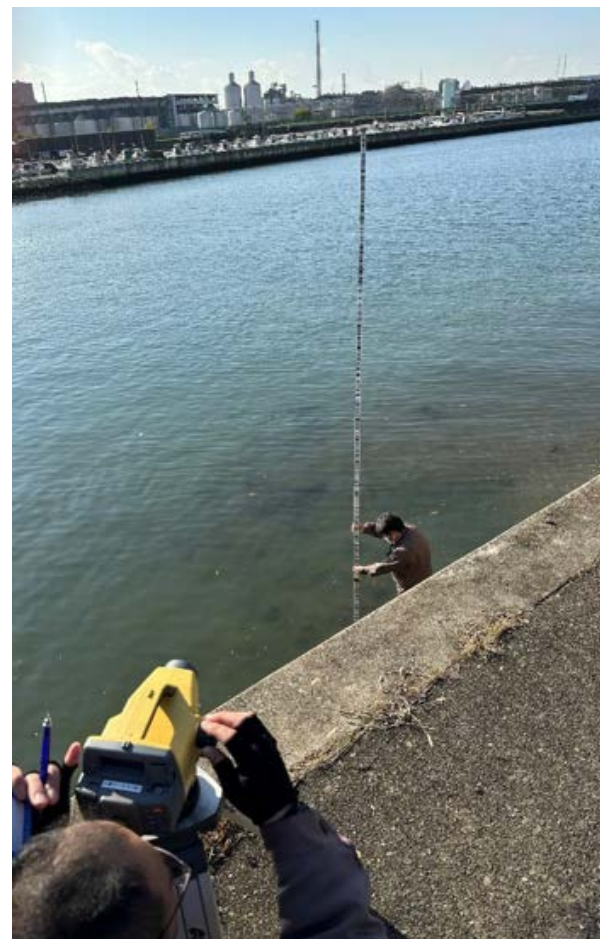
(参考) 水位レベル

洗川・加古川水面高さ測定野帳

洗川水面高さ計測				
測点	BS	IH	FS	GH
KBM	1.068	4.516		3.448
10:18水面			4.362	0.154
11:31水面			4.000	0.516

加古川水面高さ計測				
測点	BS	IH	FS	GH
KBM	0.089	6.700		6.611
KBM2	0.497	3.442	3.755	2.945
12:40水面			2.567	0.875
13:33水面			2.446	0.996

高さはTP表示とする
2022年12月13日 実施



(参考) 風速

12日(月) 風速2.0m/sec



13日(火) 風速1.9m/sec



”鉄筋フキカケ太郎”の実証実験

6-1. 検証日程・場所

フライト名: 西飾磨高架橋下部におけるスプレー機構搭載ドローンの試験

実施場所: 西飾磨高架橋(下部)

34° 48'17.0"N 134° 39'41.6"E

34.804721, 134.661565

※山陽電鉄様敷地内

実施期間: 2022年11月15日(火)、2022年12月21日(水)

使用機材: DJI Matrice210

東洋製罐 スプレー機構(ドローンにセッティング)

飛行内容:

・橋脚へのスプレー塗布試験

ーパイロット1名、安全確認員2名

ー作業時間120分程度

ー飛行高度は線路より下位

ー山陽電鉄様立会・協力あり。電車ダイヤから電車が通過しない時間帯に数回フライト。

6-2. 検証場所

実施場所：西飾磨高架橋（下部）



6-2. 検証場所

実施場所: 西飾磨高架橋(下部)



6-3. 飛行内容

飛行内容: 橋脚へのスプレー塗布試験

- パイロット1名、安全確認員1名
- 作業時間120分程度
- 飛行高度は線路より下位
- 山陽電鉄様立会・協力あり。電車ダイヤから電車が通過しない時間帯に数回フライト。



6-4. 検証スケジュール

※事前に周辺住民様へのポスティング実施

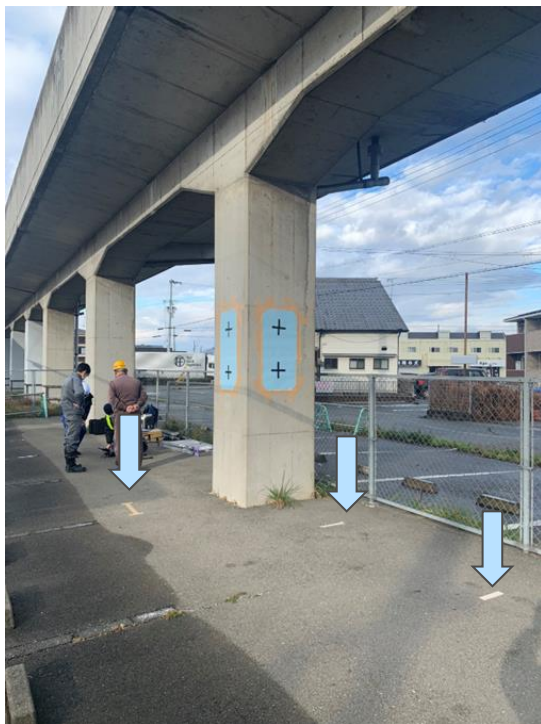
- 9:00 ミーティング(15分)
- 9:15 KY活動(15分)
- 9:30 検証用マット貼り付け(15分)
- 9:45 プリフライト(15分)
- 10:00 塗布試験 一部
 - ・精度確認(橋脚との離隔1m、3m、5m)
 - ・塗布可能範囲確認(高架橋の欄干、底面等)
 - ・運用性確認(縦／横／斜めのスライド)
- 12:00 昼休憩
- 13:00 塗布試験 二部
 - ※実施内容は一部と同様
- 15:00 追加検証(質疑等を含めて追加が必要な検証を実施)
- 16:30 撤収

6-5. 検証項目

項番	検証項目		結果	備考	
	大項目	小項目			
①	スプレー機構挙動確認	ノズル挙動確認	可不可		
②		試射(モード:シングル)	可不可		
③		試射(モード:CONTINUE)	可不可		
④	精度確認	離隔5m(風速1m/s以下)	後述 cm		
⑤		離隔3m(風速1m/s以下)		cm	
⑥		離隔1m(風速1m/s以下)		cm	
⑦	塗布可能範囲	高架橋の欄干	可不可		
⑧		高架橋の底面	可不可		
⑨	運用性の確認	縦の挙動(モード:CONTINUE)	可不可		
⑩		横の挙動(モード:CONTINUE)	可不可		
⑪		斜めの挙動(モード:CONTINUE)	可不可		

6-6. 検証シートのセッティング

5・3・1mの離隔で塗布距離をセッティング。
それぞれの距離から塗布を実施しました。



7-1. 塗布風景

塗布風景: 機体挙動



7-2. 操作画面

塗布風景:パイロット操作画面



7-3. 操作画面

操作画面イメージ(機体操作を行いながら、スプレーを塗布する操作を実施)

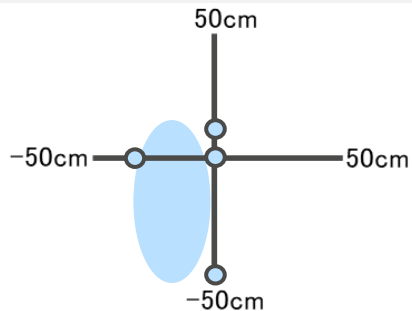


7-4. 精度: 離隔5m

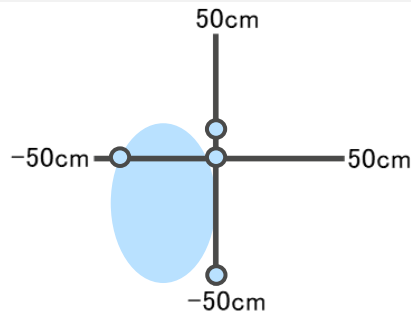


2回目

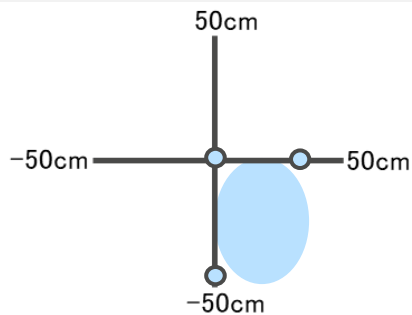
1回目: 上5/右0/下50/左30



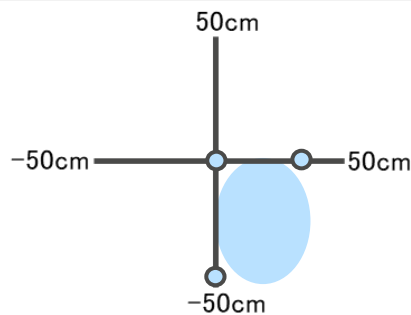
2回目: 上5/右0/下50/左40



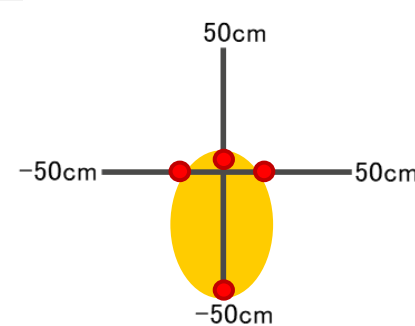
3回目: 上0/右30/下50/左0



4回目: 上0/右30/下50/左0



平均

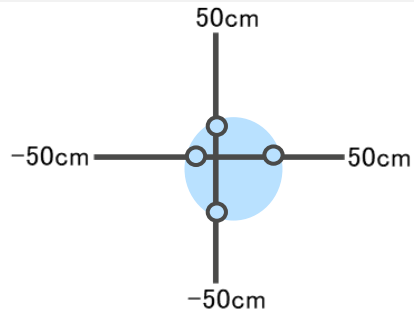


平均塗布範囲:
上2.5cm/右15cm/下50cm/左17.5cm

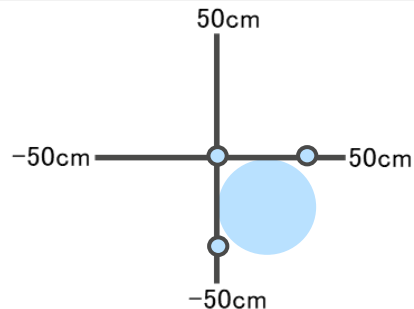
7-5. 精度: 離隔3m



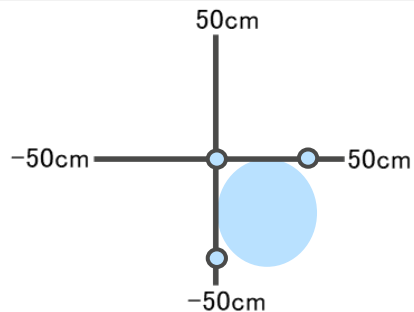
1回目: 上10/右23/下23/左5



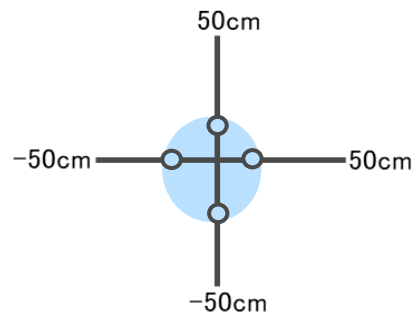
2回目: 上0/右30/下30/左0



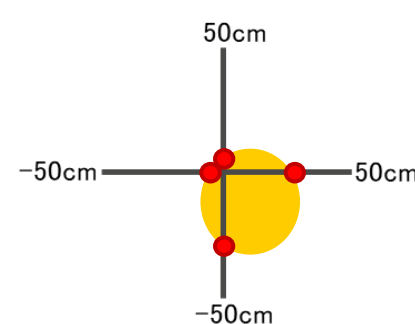
3回目: 上0/右35/下40/左0



4回目: 上10/右10/下20/左15



平均



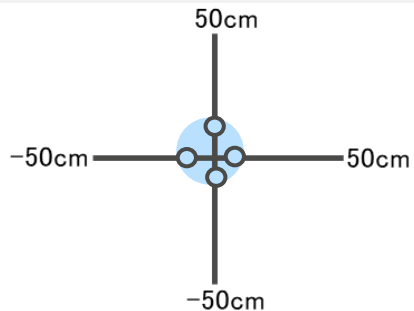
1回目

平均塗布範囲:
上5cm/右24.5cm/下28.3cm/左5cm

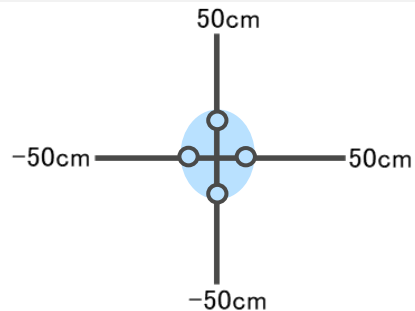
7-6. 精度: 離隔1m



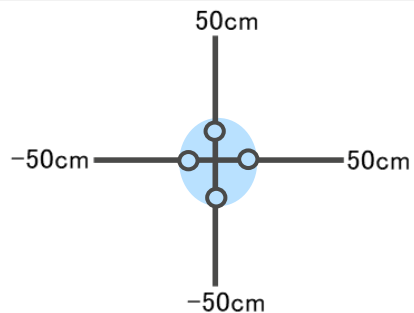
1回目: 上7/右5/下5/左7



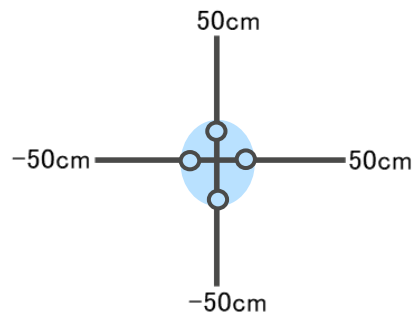
2回目: 上13/右10/下15/左10



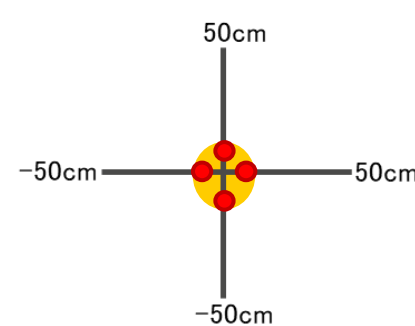
3回目: 上10/右13/下15/左10



4回目: 上10/右10/下17/左10



平均



1回目(上)、2回目(下)

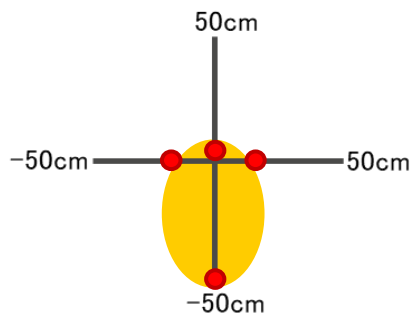
平均塗布範囲:
上10cm/右9.5cm/下13cm/左9.3cm

7-7. 重力による影響

遠くなるほど、塗布範囲は下方に延びる傾向を確認。

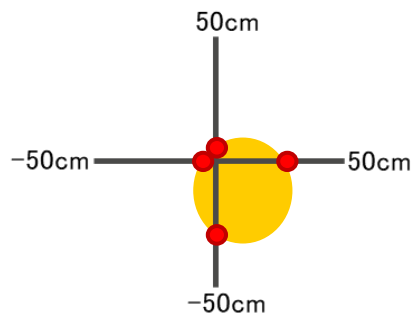
離隔5m:

上2.5/右15/下50/左17.5



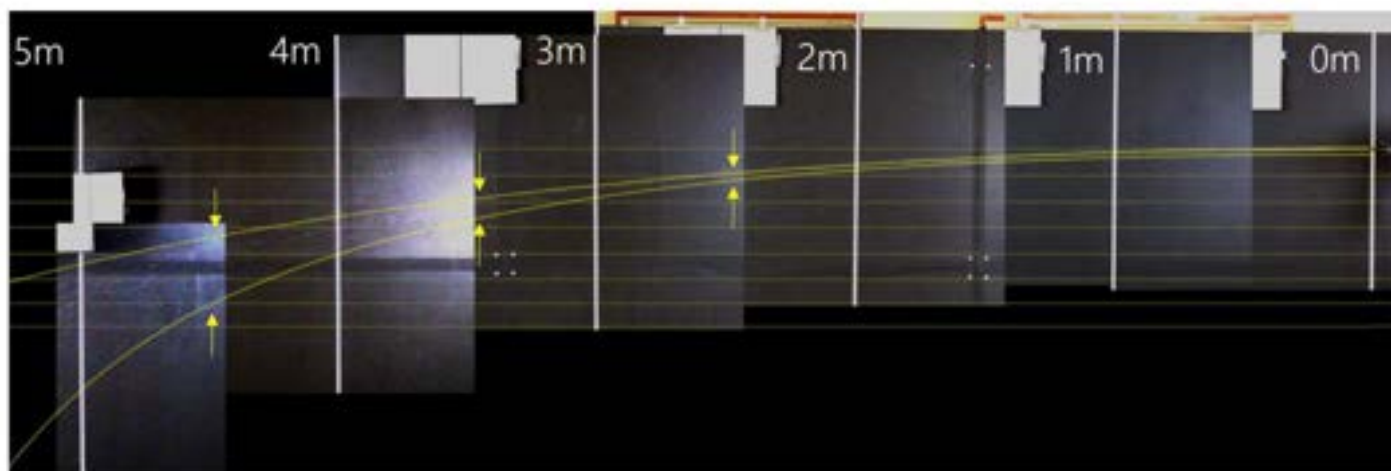
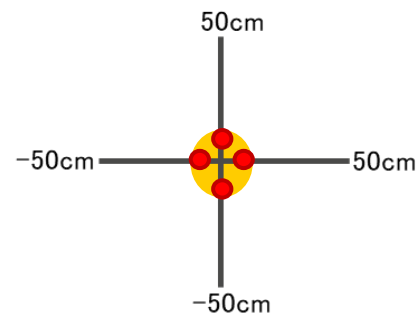
離隔3m:

上5/右24.5/下28.3/左5



離隔1m:

上10/右9.5/下13/左9.3



水スプレー缶 標準ストレートノズル $\Phi 1.0$

7-8. 欄干の塗布



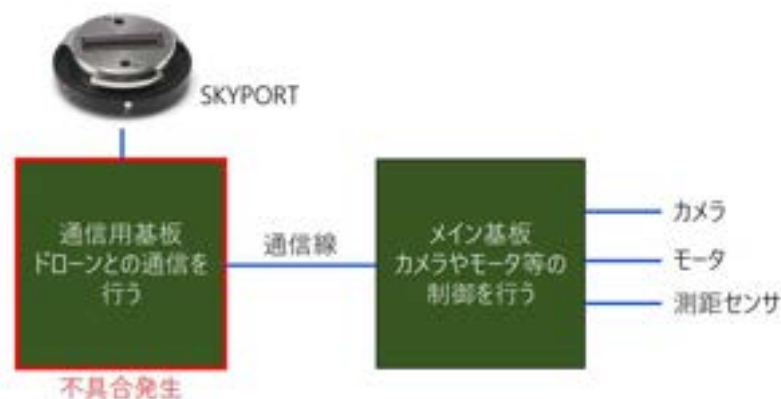
7-9. 欄干・底部への塗布



7-10. スプレー機構の動作不良

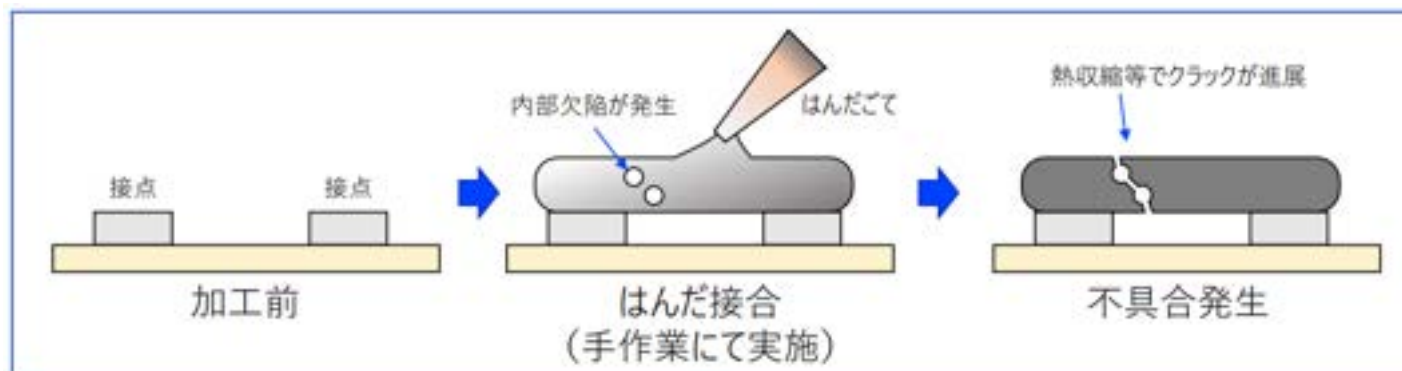
■ 動作不良の問題

- 貴社所有のMATRICE 210 V2のSKYPORTにスプレー機構を取り付け後、スプレー機構のノズルジンバルの初期リセット動作は行われるが、**ドローンがスプレー機構を認識しない現象が発生した。**
- 原因はスプレー機構内部の電気回路における、**通信用基板上のはんだ接合部の欠陥発生**によるものでした。
- これにより、ドローンとの通信が開始されず、今回の「ドローンがスプレー機構を認識しない」という不具合が生じました。



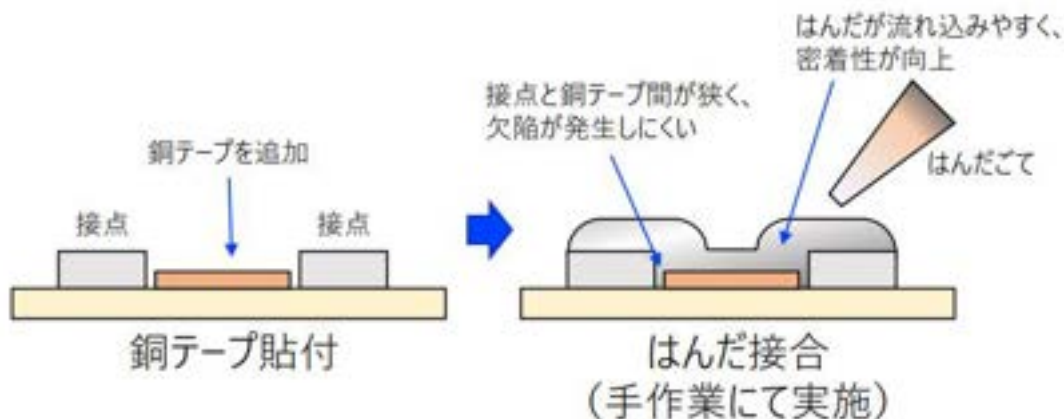
7-11. 不具合の詳細

- ・ 通信用基板のはんだクラック箇所は、手作業にて、はんだのブリッジ接合（接点間をはんだで接合する処理）を行っている部分でした。
- ・ 当該箇所はブリッジ部間隔が広いことから、製造時にボイド等の内部欠陥が生じたと考えられます。
- ・ 徐々に欠陥が進展し、接点部が絶縁状態となったことで、不具合が発生したとみられます。



7-12. 不具合への対応

- ・ 通信用基板の交換を実施しました。
- ・ 当該箇所については、銅テープを接点間に追加し、はんだの間隙量を短くすることで、内部欠陥の発生を予防し、また、密着性の向上により、不具合耐性を向上しました。
- ・ なお、手作業にてブリッジ接合を行っているのは、当該箇所のみです。



実作業（銅テープ貼付）



実作業（はんだ接合）

7-13. 運用における気づき

- ・ 現行機では、**塗布に風の影響を受けやすく、平均風速2m/s以下での運用が必要**
⇒風の影響を受けにくくする工夫が必要
- ・ ドローン操縦とスプレー塗布の役割を分けた**2名体制運用を推奨**(操作煩雑による事故リスク低減)
- ・ スプレー機構の丁寧な扱い(合わせて、製品化に合わせたハードの補強)が必要

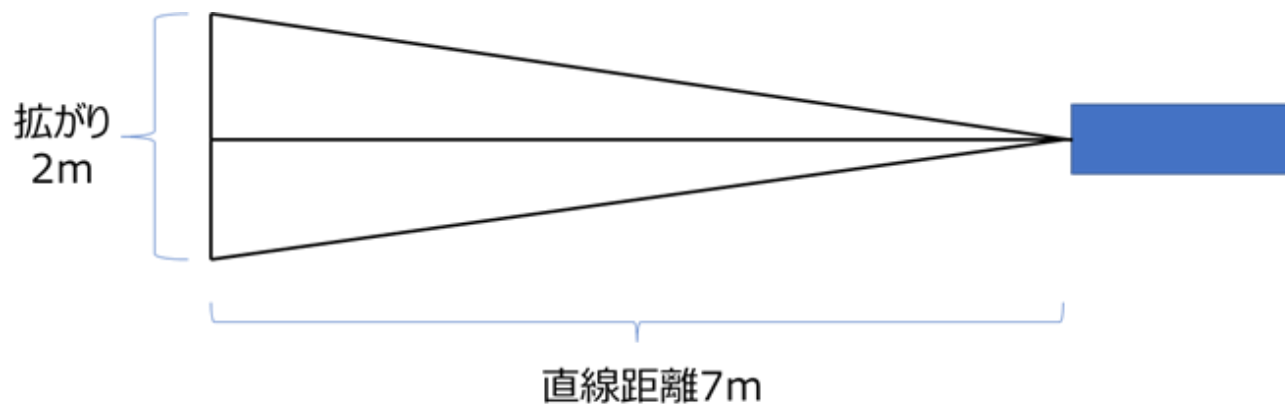


8-1. 精度と運用

項目	詳細	離隔5m	離隔3m	離隔1m
精度	塗布範囲(平均)	上2.5cm/右15cm/下50cm/左17.5cm (着弾点より約21cm四方)	上5cm/右24.5cm/下28.3cm/左5cm (着弾点より約15cm四方)	上10cm/右9.5cm/下13cm/左9.3cm (着弾点より約10cm四方)
	重力による影響	下方に約50cm	下方に約28cm	下方に約13cm
	射程・拡散	直線距離7m、拡散(射線軸から左右に)2m (平均風速1m/s以下の場合)		
運用	風の影響	平均風速2m/s以上から風の影響を受け霧散した。		
	操作ソフト	・機体の振動によるブレ幅が大きくなり狙い辛くなる ・飛散予測範囲が拡大		
	障害物センサ	有効	有効	障害物センサを解除した操作が必要
	塗布モード(連続・単発)	・縦/横/斜めの挙動:操作可能。塗布モードは「シングル」推奨。(※) ※モードの確認 コンティニューモード:風に流される可能性増大、缶容量消費が激しい。 シングルモード:任意塗布可能。缶容量を無駄にせず塗布ができる。		
	塗布容量	・1缶あたりの塗布可能回数(シングルモード)は20発(150ml)程度。 ・1回塗布で5%(7ml)ほど残量が減る。		

(参考)射程・拡散範囲

<平均風速1m/s以下での塗布範囲>



8-2. 適用可能箇所

橋脚	高架橋：欄干	高架橋：底部
		
○ (適応可)	○ (適応可)	○ (適応可)

8-3. 安全性・法令遵守

項目	リスク	必要な運用	
ドローン	飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・機体の落下 ・障害物との接触 	<ul style="list-style-type: none"> ・自社敷地での作業(第三者侵入の阻止) ・障害物センサON ・線路上、及び欄干より上の高度への機体侵入の制限
	騒音	<ul style="list-style-type: none"> ・80～90dbのプロペラ音による周辺住民へのストレス 	<ul style="list-style-type: none"> ※作業場所が線路沿線となるため、大きな問題なる事はないと想定されるが、10m圏内に民家がある場合はポスティング/声掛け実施。
スプレー噴射	付着	<ul style="list-style-type: none"> ・塗布対象を外す事(流される事)による修繕剤の付着 	<ul style="list-style-type: none"> ・検証精度から塗布は3m以内での運用に限定する。 ・検証結果から平均風速2m/s以下で運用する。
法規	法規違反	<ul style="list-style-type: none"> ・航空法の違反 ・道交法、民事、条例等の違反 	<ul style="list-style-type: none"> ・国交省への飛行申請 ・実施ロケに合わせた各機関(警察、河川事務所等)への申請実施。
周辺住民	クレーム	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音等の作業実施に関するクレーム 	<ul style="list-style-type: none"> ・10m圏内に民家がある場合はポスティング/声掛けの実施。

8-4. 労務

1フライト(西飾磨高架橋3径間)における作業工数について

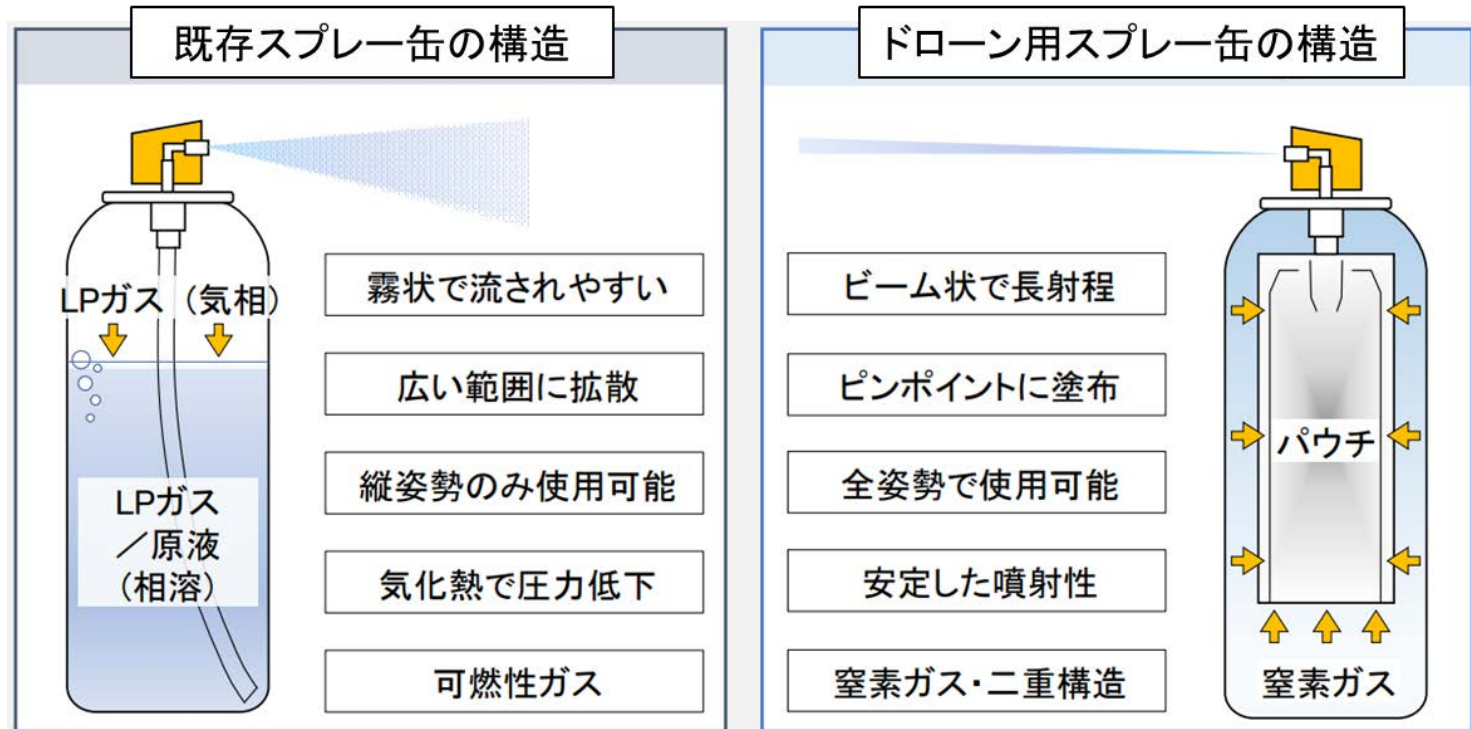
作業工程	作業人員	作業時間	作業時間(計)	備考
飛行申請	1	450分 (1日)	450分	国交省申請: 人口集中地区、人・物30m、 危険物輸送、物件投下
ポスティング	1	5分	5分	ロケによっては対象外
KY、機体セット	3	10分	30分	
塗布作業 (クラック10箇所 所想定)	3	60分	180分	
撤収	3	5分	15分	
			680分	※現場作業は1時間半程度

※国交省飛行申請は、作業対象高架橋が増えるほど、まとめた申請ができるので効率化が見込める。

※河川横断の場合、追加の申請(60分/1名程度)が必要。道路横断の飛行が必要な場合、追加の申請(道路種別や内容による)が必要。

9-1. 修繕剤の検討

既存の液化ガスを使用したスプレー缶は、**内容物が霧状に噴射されるため、プロペラの気流や風に流されやすく、ドローンからの噴射は困難**です。加えて、設置姿勢が縦方向に限定されたり、気化熱で噴射圧力が低下したりと、ドローンにとって使いにくいものとなります。故に、ドローン用スプレー缶に適用する修繕剤の検討が必要です。



9-2. 「かため太郎」の適用について



■スプレーメーカーの見解

「かため太郎」につきましては、**NG評価**となります。
原液に溶解性の高い有機溶剤（メチルエチルケトン等）が含まれており、噴射剤としても可燃性の高いDME（ジメチルエーテル）が使用されている製品となります。

SABOTやスプレー缶に使用している**プラスチック部材の強度低下や溶解**に繋がるため、メチルエチルケトンの様な有機溶剤は使用できません。

また、このタイプのスプレーは、SABOT用のスプレー缶と異なり、ミスト状に噴射されます。
ミスト状に噴射された「**接着成分**」は、ドローンのプロペラに容易に吸い込まれることとなり、**ブラシレスモーターの中で固化・墜落**するなどの危険性も十分に考えられます。

9-3. 「かため太郎」に準ずる修繕手法

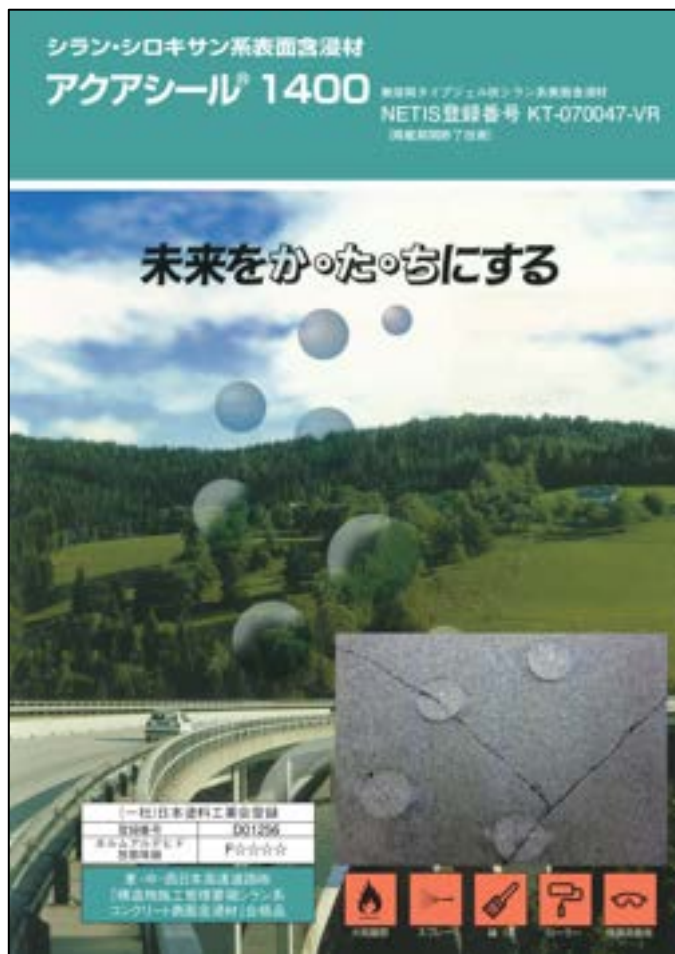
■スプレーメーカーの見解

一方、「かため太郎」のような応急処置(崩落懸念箇所の接着)の需要はあると考えており、現在、別のメーカーと補修剤の検討を進めております。

詳細はメーカーとのNDAの関係上書くことはできませんが、**2液を混合して塗布面で硬化させる方式**となります。A剤・B剤のスプレー缶を中央のノズルで混合して噴射する方法となる予定です。
(スプレー缶を更に増槽するオプションを使用する事を想定)

10-1. その他修繕剤の検討

「かため太郎」に代わる修繕剤の検討を行っております。「アクアシール1400」もその一つですが、「かため太郎」のような大きなクロックへの対応も考慮した際に、前述の2液混合手法の方が可能性が高いと考えている次第です。



■スプレーメーカーの見解

アクアシール1400でも鉄筋腐食の抑制は可能です。土木学会にて表面被覆工法(シリラン・シロキサン系)として分類される本法は、鉄筋コンクリートに経時でクラックが生じた際に侵入してくる「水」を防ぐことが、主な役割となります。

2022.7にて紹介されているNEXCO中日本が使用したアクアシール1400AR(防錆材プラス)は、上記の効果に加え、浸透性の防錆成分が含まれている様ですので、既設の既に劣化が進行している構造物に対しては、1400よりも有効と考えられます。

※まだドローン用にはカスタマイズされていません。

ただし、アクアシール1400の時点で、高速道路や橋梁での使用実績は既に多くでしております。(次ページ参照)

10-2 . アクアシール1400の実績

高速道路



名神高速道路養老ジャンクション
アクアシール1400



舞鶴若狭自動車道
アクアシール1400



名神高速道路
(大阪府)
アクアシール1400



NEXCO 中日本東名阪
アクアシール1400



東海環状祖父江南高架橋
(愛知県)
アクアシール1400



首都圏中央連絡自動車道
(圏央道)
(神奈川県)
アクアシール1400



近畿自動車道八尾パーキングエリア
(大阪府)
アクアシール1400



紀勢道
(三重県)
アクアシール1400

10-2 . アクアシール1400の実績

橋梁



千歳川橋
(北海道)
アクアシール1400



東京ゲートブリッジ
(東京都)
アクアシール1400



国道451号新庄川大橋
(富山県)
アクアシール1400



JR西日本北陸本線木浦橋梁
(富山県)
アクアシール1400



黒の瀬戸大橋
(鹿児島県)
アクアシール1400



宜野座大橋
(沖縄県)
アクアシール1400



阪急電鉄宝塚線豊中連立
(大阪府)
アクアトッフ



備前日生大橋
(岡山県備前市)
アクアトッフ



各務原大橋
(岐阜県)
アクアシール1400



名古屋鉄道太田川駅付近
連立
(愛知県)
アクアシール1400



近江大橋
(滋賀県)
アクアシール1400



貴志川大橋
(和歌山県)
アクアシール1400



琵琶湖大橋
(滋賀県)
アクアシール1400



国道2・29号橋梁
(兵庫県宍粟市)
アクアシール1400



大歩危橋
(徳島県)
アクアシール1400



元川橋
(高知県安芸市)
アクアシール1400



唐津大橋
(佐賀県)
アクアシール1400

(参考) アクアシール1400について

従来技術との比較

● 西原建設工業との比較

比較項目	アクアシール1400	従来技術 西原建設工業
塗布材料	浸透性 遮水性 遮塩性	遮水性 遮塩性 遮塩性
特徴	シラン系 (シランシロキサン系)	2剤系、ウレタン系
施工工程数	1工程、1工程	4工程
コスト比	26、37	100~
耐久年	10年、10年	10年

電位性
外観変化無し！
目視点検可能！

● 一般建築用遮水性防水防止剤との比較

試験条件
① 基材：コンクリート
② 試験体：100mm厚コンクリート
③ 試験液：0.1N NaOH
④ 試験方法：電位測定機による測定
⑤ 試験期間：1週間
⑥ 試験温度：20℃

① アクアシール1400
② 一般建築用遮水性防水防止剤
③ 遮水性防水防止剤

防水防止層の形成システム(高濃度・高浸透)

アクアシール1400は高濃度・高浸透のジェル状であり、浸透層や充填層を1回で塗布することが可能です。また、養生中、特殊添加剤が養生層に付着することでシラン成分の浸透を促進、より深い防水層を形成します。

アクアシール1400

高濃度 高浸透 → 1回塗布 高浸透

シラン系
特殊添加剤

一般建築用の遮水性防水防止剤

低濃度 低浸透 → 2~3回塗布

塗布状態と乾燥後

アクアシール1400は放射状に浸透して均等に防水層を形成しますので、多少の塗布ムラは気にする必要がなく、施工が容易です。

状態

ジェル状(23℃)

乾燥仕様

塗布量 0.20kg/㎡
砂骨材ローラー(アインツ、特製目)

乾燥後

24時間後(23℃)

乾燥仕様

塗布量 0.35kg/㎡
砂骨材ローラー(アインツ、特製目)

塩害対策

アクアシール1400は、より深く浸透することで、水中塩化物イオンの浸透を抑制しコンクリート構造物を守ります。実際の海岸部設置でも塩化物イオンの侵入を抑制しています(左の図)の効果が確認されています。

試験例(海岸での埋込基礎試験)

コア断面のEPMA分析(Cl濃度)

コンクリートコア断面で塩化物イオンの浸透を抑制している状態を確認。アクアシール1400は高濃度・高浸透の塩化物イオン遮断効果が確認されています。

塩害発生抑制の原理

外部からの水の侵入を抑制し、コンクリート内部の水分塩分を低減することで、コンクリート中の水分量を減少させることが可能です。また、浸透層は塩化物イオンの拡散係数を大幅に低減し、鉄筋腐食の大きな要因である塩化物イオンの侵入も同時に抑えますので、**鉄筋の腐食を抑制**します。

① 無塗布部分(腐食あり)

② アクアシール1400 塗布部分(腐食なし)

鉄筋の腐食を抑制します

浸透層の形成

コンクリート断面

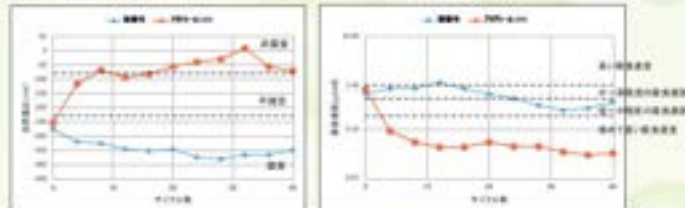
試験条件
アクアシール1400塗布量 0.20kg/㎡(浸透層厚約10mm)
埋込基礎の埋込深さ 1.0m × 1.0m × 1.0m
埋込基礎の埋込深さ → 埋込 1.0m → 埋込 1.0m × 2.0m → 埋込 2.0m (1m × 1.0m × 2.0m)
25℃で1ヶ月間の埋込試験実施。試験体は砂骨材コンクリートで構成されています。

コンクリート断面			埋込基礎	
埋込深さ	埋込深さ	埋込深さ	埋込深さ	埋込深さ
0.5m	0.5m	1.0m	0.5m	0.5m
1.0m	1.0m	1.5m	1.0m	1.0m
1.5m	1.5m	2.0m	1.5m	1.5m
2.0m	2.0m	2.5m	2.0m	2.0m

(参考) アクアシール1400について

電気化学的腐食診断による腐食抑制効果の確認

塩分を含むコンクリートにアクアシール1400を塗布した場合でも、自然電位は露出方向へ移動し、腐食速度は小さくなり、鉄筋腐食抑制効果が確認できます。



試験条件

電位: 0.1V, 電流: 100mA, 電極: 鋼筋(陽極), 鋼板(陰極)
 電解液: 海水, 電圧: 50V, 電流: 100mA, 電極: 鋼筋(陽極), 鋼板(陰極)

凍害対策

0℃以下で凍結すること、凍害の発生が懸念される条件下でも高い耐久性が得られます。

例: 凍害の発生防止に塗布したアクアシール1400(0.35kg/m²)

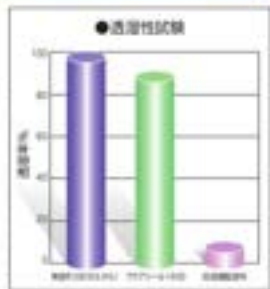
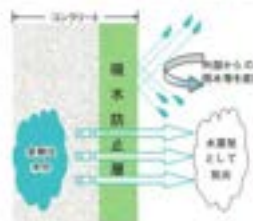


「北海道開発局道路設計要領」
 JSC4K571-2005
 凍害防止5mm以上
 塩化カルシウムの濃度は3mm以下
 (W/C=65%のコンクリート)

複合劣化対策仕様(塗布量0.35kg/m²)で対応可能

透湿性

コンクリート表面に形成した防水膜は酸性雨など外側からの水を遮断し、コンクリート内の水分は水蒸気として蒸散します。この性能によりアルカリ骨材反応の進行を抑制することができます。



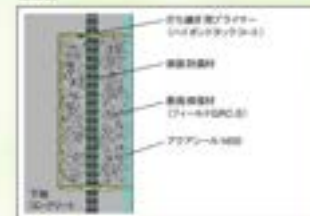
断面修復工法との組み合わせ

劣化度が高く断面修復工法が必要な場合にも、断面修復前後に塗布することで劣化因子の侵入をさらに抑制し、補修後コンクリート構造物の長寿命化に役立ちます。

施工方法

1. 下地処理
 下地コンクリートの浮き、剥離、レィタンシ、塗分けなどを確認し、必要箇所なども行ってください。
2. 断面修復材「フェルプロセ-5」の打付
 打付前プライマー「ハイボンドタックコート」を施工し、断面修復材「フェルプロセ-5」を打付してください。
3. 断面修復材
 断面修復材「フェルプロセ-5」の養生期間のため、7日間以上20℃養生を行った後、アクアシール1400を塗布してください。

施工図



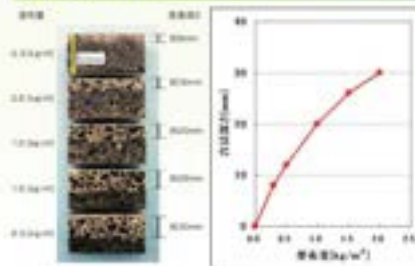
● 断面修復後にアクアシール1400を塗布した場合の性能

項目	試験結果	試験方法
透過率 (g/m ²)	約 2	JSC4K571-2005「フェルプロセ-5」の透湿防止性能試験(1)
凍害防止 (mm)	約 5	JIS A 4303(断面修復材+基材+打付箇所)

塗布厚0.35kg/m²

劣化 アクアシール1400 (0.35kg/m²)を塗布し、1400の凍害防止性能を有する断面修復材「フェルプロセ-5」を厚10mm(2層)塗布した後にアクアシール1400 (0.35kg/m²)を塗布する。*JIS A 4303(凍害防止)の試験結果はアクアシール1400の試験結果です。

塗布量と凍害防止



- アクアシール1400は凍害を形成しないために、塗布量が多くなることによってさらに深く凍害防止、より深い防水効果を生じます。
- 塗り重ねを塗布したアクアシール1400がコンクリートに浸透すれば、10mm以上も可能です。

塗布厚 (kg/m ²)	凍害防止 (mm)	凍害防止 (mm)	凍害防止 (mm)	凍害防止 (mm)	凍害防止 (mm)
0.35	約 5	約 10	約 15	約 20	約 25

再施工性

アクアシール1400は塗り重ねによるバリエーションが無く簡単に塗布できますので、再施工が可能です。

再施工性の確認



試験条件

アクアシール1400を塗布した試験片をオセノグラフ処理後、5000rpmで3000回転し、再度アクアシール1400を塗布し、乾燥した表面に凍害防止層を形成する。

(参考) アクアシール1400について

ひび割れに対する治水効果

エンクリート構造物に0.3mm以下のひび割れが入っていても、アクアシール1400を塗布することで治水効果が期待できます。

●ひび割れ治水抑制効果

※ひび割れ幅が0.3mm未満のひび割れに適用する際の参考値

材料	ひび割れ幅(μm)	塗布厚(mm)	透水性	圧入率	透水性抑制率(%)	圧入率抑制率(%)
アクアシール1400	0.25	0.20	○	○	○	○
一般防水剤(樹脂系)	0.25	0.20	○	○	○	○
	0.25	0.20	○	○	30%	13%



土木学会 表面保護工法設計施工指針(第4版)に基づく性能(品質)評価

試験項目	シラン系系表面保護材 評価基準	アクアシール1400評価	
		標準仕様 (0.20kg/m ²)	複合劣化対策仕様 (0.35kg/m ²)
材料	変化なし(わずかに変化 無し(変化の少ない)	変化なし	変化なし
浸透深さ	無し	A~7mm	B~8mm
治水抑制率	90%以上 (グレードA)	= A	= A
防水抑制率	90%以上 (= A)	= A	= A
中性化抑制率	10%以下 (= C)	= A	= A
塩化物イオン透過抑制率	90%以上 (= A)	= A	= A
透水性	80~80% (= B)	= A	= A

東-中-西日本高速道路株式会社 構造物施工管理管理 シラン系系コンクリート表面保護材の要求性能

要求性能	検査項目	標準仕様	
		高耐熱仕様	アクアシール1400 標準仕様
材料変化	試験後の浸透深さ	試験後浸透深さ(μm)が 4.0mm以上	浸透深さ(μm)が4.0mm以下
浸透性	試験後の浸透深さ	4.0mm以上	4.0mm
塩化物イオン透入防止性	耐塩性試験後の塩化物イオン透過抑制率	90%以上	100%
治水及び防水阻断性	治水および防水抑制率	治水、防水を抑制すること	治水抑制率 90% 防水抑制率 90%
水気透過性	透水性	透水性を有すること	透水性 92%

土木研究所資料 第4186号に基づく性能(品質)評価

試験項目	性能基準(数値)	アクアシール1400評価	
		標準仕様(0.20kg/m ²)	複合劣化対策仕様(0.35kg/m ²)
浸透率の浸透抑制率	3割以上(試験後の浸透深さ比率) それぞれ0.3%以下であること		浸透率(試験後)とも0.3%以下

アクアシール1400 諸君仕様書

5kg/10kgには標準仕様(標準)0.20kg/m²、複合劣化対策仕様(標準)0.35kg/m²が適用されています。アクアシール1400は標準仕様(標準)0.20kg/m²、複合劣化対策仕様(標準)0.35kg/m²ともに土木学会の評価基準のすべての項目がグレードAであり、しかも、土木研究所の性能基準にも合格しており、優れたコンクリート保護性能があります。浸透深さでは、標準仕様で5~7mm、複合劣化対策仕様で10~15mmで、防水効果の高いほど有害な塩化物に対する耐性が優れるとありますので、耐塩性で使用する道路や橋梁等に有害な塩化物の有害な作用を抑制する効果も期待される場合があります。耐塩性試験結果も併せてご確認ください。

■標準仕様

適用対象: コンクリート 透水性・水分計の割合以下を推奨

工種	標準仕様	透水性(μg/m ² /h)	透水抑制率	透水方法
床材調整	ゴミ、未硬化セメント粉末、砂塵、油汚れなどの付着物も、ワイヤーブラシ、吹込み、サンドペーパー、ウエス、水拭きなどで除去し乾燥した後に塗布してください。			
1	アクアシール1400	0.20	24時間以上	ほけ/ローラー/スプレー

■複合劣化対策仕様

塩害や凍害などに耐えるための仕様

適用対象: コンクリート 透水性・水分計の割合以下を推奨

工種	標準仕様	透水性(μg/m ² /h)	透水抑制率	透水方法
床材調整	ゴミ、未硬化セメント粉末、砂塵、油汚れなどの付着物も、ワイヤーブラシ、吹込み、サンドペーパー、ウエス、水拭きなどで除去し乾燥した後に塗布してください。			
1	アクアシール1400	0.35	24時間以上	ほけ/ローラー/スプレー

施工上の注意事項

- 施工標準として、事前に仕様の確認と施工方法は重要視していただくこと。
- 施工時、極度に乾燥した状態に塗布しないこと。必要に応じて乾燥剤を併用することをお勧めします。
- 施工後は、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。
- 施工後、施工後24時間以内に水をかけないこと。また、施工後2週間程度は、塩害対策として塩害対策を講じてください。

■簡易

製品名	包装規格	重量
アクアシール1400 (シラン系系表面保護材)		10kg
ハイボンドデックコート (異種接着工材系接着剤)		20kgセット
		5kgセット
オールドバイド (コンクリート・モルタル・セメント接着剤)		18kgセット



大同塗料株式会社

ISO 9001 品質保証

〒115-8501 東京都荒川区西日暮里5-1-1 大同塗料株式会社

TEL 03-3836-1111 FAX 03-3836-1112

ホームページ: <http://www.dotoku.co.jp>

〒106-8555 東京都港区新橋4-1-1 大同塗料株式会社

TEL 03-3542-1111 FAX 03-3542-1112

〒110-8555 東京都台東区上野3-2-1 大同塗料株式会社

TEL 03-3822-1111 FAX 03-3822-1112

11-1. 更なる安定性向上・効率化に向けた取り組み

「風」への対応

高架橋付近の作業において、「平均風速2m/s未満」の運用条件は適用範囲が限定的。
ある程度の風でも耐えられる手法の追加検討が必要。

⇒噴射圧の強化検討について

(缶内部への開発も必要となり、かつ使用する修繕剤による協議も必要。
次年度も継続してメーカーとの調整を進める予定)

「スプレー缶増量」への対応

現行機体では150ml(単発20発程度)しか塗布できず、その都度缶を交換する必要がある。
継続作業時間を増やすためにスプレー缶の増槽が必要。

⇒増槽ドローンの検討について

(開発済。鉄塔や橋梁設備で検証中)

11-2. 「増槽」ドローン使用の検討

「増槽」は、搭載するスプレー缶を増やし、噴射量を増やすための補助噴射装置です。



スペック

装置重量	180g
総重量	約1460g (増槽2台) 約2220g (増槽4台) ※SABOT-3、スプレー缶含む
缶容量	最大750mL ※増槽4台+SABOT-3

12. 結論

【結論】

高架橋における「ドローン＋スプレー塗布」は物理的・法規的において実現可能。

運用面において、「2～3m離隔での塗布」「平均風速2m/s以下」での作業を実施する事で15cm以内の精度を担保可能。

安全面については、機体運用(気象条件、飛行場所選定)を徹底する事で安全性を担保できるが、軌道・車道横断や夜間作業を行う場合には今回以上の申請や補助員の配置が必要となる。また、法令上義務がなかったとしても、影響が懸念される場合は、ポスティング等の手段による周辺住民への通知に考慮する必要がある。

効率化の面においては、地上面に近い補修は従来の徒歩による点検に及ばないものの、**高所・河川上の補修**については従来以上の**短期・低コストでの補修**が期待できる。

【課題】

現行の修繕剤である「かため太郎」はドローン用に運用する事ができない。ただし、**2液を混合して塗布面で硬化させる方式**で「かため太郎」品質を実現するようなアプローチを実施中。

安定性向上・効率化に向けて「噴霧圧の向上による耐風性能」や「ドローン増槽による連続作業時間向上も実施中。

おわりに

13-1. 報道

ボート型のドローン使って鉄道橋を点検 高砂市で実証実験



大船による川の埋没で、鉄道が橋が浸されるなどの被害を未然に防ぐ。水を航行するボート型のドローンを使って、橋脚を点検する実証実験が高砂市で行われました。

この実験は、山陽電鉄が橋脚ドローンの開発会社などと共同で実施したもので、高砂市の橋には関係者らおよそ20人が集まりました。河川に架かる鉄道橋は、大雨による増水などで、橋が傾いたり浸水したりするなどの被害が全国で相次いでいて、警備費が定期的に高騰を続けていますが、作業コストの増加などが課題となっています。実験では、音波で水中の地形を探知する「ソナー」を搭載したボート型のドローンを使って、水中の橋脚部分に異常がないかの確認と土台崩れが起きているかなどを点検しました。ドローンは、自動で航行することができ、遠隔の操作は、タブレット端末に接続され、川の地形の状況などをその場で確認することができるということです。山陽電鉄などによりますと、ドローンの活用によって、点検にかかる時間は大幅に短縮が見込めるということで、実験の成果を検証した上で、導入を検討したいとしています。



実証実験では、ドローンに搭載したカメラで、橋脚部分の状況を確認する。一部トラブルも「実用性は十分」

ドローンを活用して鉄道の橋梁の点検作業を補修する実証実験が、兵庫県高砂市の山陽電気鉄道（神戸市東区）網干線の高架橋で行われた。ドローンに補修作業に必要な機器を搭載し、遠隔操作で、橋脚の損傷箇所に照射して補修する予定。高い場所での作業をドローンが行うことで、作業効率や安全性の向上につながる。実証実験は、山陽電鉄と、NTT西日本の子会社ジャパン・インフラ・ウェイマーカー（J IW、大阪府）が行った。本年間の「ドローン社会実装促進実証事業」に採択され、兵庫県と産業創造研究機構（N I R O）の支援を受けている。



Kobe Related News

【動画】山陽電、ドローンで高架橋脚の点検実験 鉄道で初・高砂市内に実用化も

【神戸経済ニュース】神戸市東区網干線が通る山陽電気鉄道（山電）は、ドローンを使って高架橋の橋脚の点検作業を補修する実証実験を今年初めて実施した。すでに高架橋の橋脚に穴が開く被害が多発しているが、電線なども通った橋脚の点検には実用化された鉄道では初めて。山陽電はNTT西日本の子会社ジャパン・インフラ・ウェイマーカー（J IW、大阪府）と連携して実験を進める。J IW側の関係者は「他の分野では実用化が進んでおり、鉄道でも高砂市内に実用化したい」と話す。

13-2. 実証実験の見学者(フキカケ太郎+ミツケ太郎)

鉄軌道事業者を中心に計11社のべ48名が参加

- ・札幌市交通局
- ・名古屋鉄道
- ・阪神電気鉄道
- ・近畿日本鉄道
- ・南海電気鉄道
- ・京阪電気鉄道
- ・神戸電鉄
- ・北大阪急行電鉄
- ・大阪モノレール
- ・神鉄コミュニティサービス
- ・阪急設計コンサルタント



ボート型ドローンを用いた点検について、真実と思われるか(複数回答可)



見学会を通じて、「ボート型ドローンを業務に活用してみたい」と思われましたか?



10. ボート型ドローンを用いた点検調査の受託サービスがあれば受注したいですか?



15. ボート型ドローンの販売があれば購入してみたいですか?



検査速度が速く、水深の深い河川では有効だと思います。費用が安いように安楽とれるようになるので検査の向上も期待できる。導入するなら人件費等々の比較してからになるかと思います。

検査内容がシンプルでとても分かりやすかったです。ツアアの体験について、もう少し詳しく知りたいかったです。

TVモニターによる調査と比較した場合に、費用面、検査結果の精度がどうなのかが利益基準になると思われました。

良い見学会をさせて頂きありがとうございました。弊社での本誌向け点検調査を実施する際の1案として、他の機器との併用材料とさせて頂きます。

今回の見学会に参加し、従来の測定方法(橋梁員にて点検・検査員が点検)中間地点にある方法だと感じました。

鉄道事業者として他事業者の新技術に対するチャレンジ姿勢がとても感銘を受けました。弊社にも参考となる事例があれば、検討したいと思っております。

金額が安ければ欲しい、遠征で機材購入できる方が導入しやすいかも。

作業効率と作業安全性が確保できるため。

コストが安ければ活用もありと思います

点検の迅速確認で使用が見込めます

気候状況確認の業務測定は、重機を使用した確認方法が一般的であったが、精度確保が難しいという懸念点がある。今回の測定方法は、簡易であることに対して精度もある程度確保できる点にメリットを感じた。



レンタル、購入の条件によるが購入して1台を使い回す方が良いと思います。

自社で保有した場合、外注に比べて日報調整が容易となるため緊急時にすぐ対応が取れる。

ランニングコストと検査精度が見合わない

購入すると維持費に係る費用負担の割合が高くなる。使用箇所も少なく、頻度的にも簡単に1回の使用となるため、レンタルもしくは委託の方が優位

現時点では用途が限られているため、用途が増えたと検査率が増えるので、購入検討も考えられると思う。

13-3. 終わりに

山陽電気鉄道

■ 鉄筋フキカケ太郎

- ・十分実用に耐えうる吹付精度
- ・適用可能な薬剤の見極めが課題
粘性のある補修材が使用可能か？

■ 洗掘ミツケ太郎

- ・水中の状況が視覚的に一目瞭然
リアルタイムで確認可能
一次スクリーニング⇒詳細調査がスムーズ
- ・課題のデータの整理方法も一定の目途あり
経時変化を2Dコンタ+測線横断図で解決
- ・課題のコストも従前手法以下で実施の目途

ジャパン・インフラ・ウェイマーク

■ 鉄筋フキカケ太郎

- ・適正な吹付距離が分かった
風による誤差などから、2~3mの距離が運用に適するものと感じた
- ・2液混合型装置の開発を推進
次年度実証実験が進められないか。

■ 洗掘ミツケ太郎

- ・想定以上のスピードでデータ取得完了
- ・雨天でも利用できることは作業性Up
- ・課題の水面標高計測も、高精度GPSで解決
- ・データと橋脚位置の関係を判別する工夫も完成