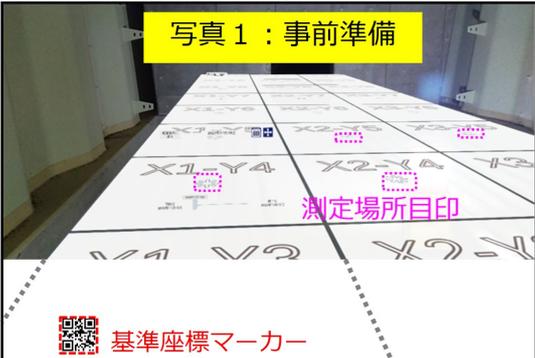


1. 基本事項

技術番号	BR020043-V0125			
技術名	蛍光X線分析法・拡張現実技術を融合したコンクリート塩分濃度調査法			
技術バージョン	-	作成:	2025年3月	
開発者	株式会社XMAT 株式会社復建技術コンサルタント 株式会社エビデント ～共同開発者～ 学校法人日本大学 国立大学法人東北大学			
連絡先等	TEL: 022-765-6109	E-mail: info@xmatcorp.com	株式会社XMAT 研究開発部 面 政也	
現有台数・基地	ハンドヘルド型蛍光X線分析計:2台 ウェアラブルグラス:2台	基地	宮城県仙台市	
技術概要	本技術はハンドヘルド型蛍光X線分析計でコンクリート表面塩分濃度を測定し、その測定結果を拡張現実(AR)技術により可視化するコンクリート表面の塩分濃度調査手法である。			
技術区分	橋種	鋼橋 コンクリート橋		
	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台) 支承部(沓座モルタル,台座コンクリート) 路上(高欄,地覆,中央分離帯) 溝橋(ボックスカルバート)(頂版,側壁・底版・隔壁・その他)		
	損傷の種類	鋼		
		コンクリート		
		その他	その他(塩害)	
		共通		
検出原理	蛍光X線中のエネルギー強度			
検出項目	コンクリートの塩分濃度			

2. 基本諸元

計測機器の構成		A:ハンドヘルド型蛍光X線分析計(用途:コンクリート塩分測定) B:ノートパソコン(用途:測定データをクラウド上へアップロード) C:ウェアラブルグラス(用途:測定位置投影、塩分濃度測定データ投影)	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
設置方法	蛍光X線分析計はハンドヘルド型であるため、手で持つ形態をとる。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	A:ハンドヘルド型蛍光X線分析計(用途:コンクリート塩分測定) 品名:エビデント VANTA 外形寸法:W8.3cm×H28.9cm×D24.2cm 重量:1.7kg		
センシングデバイス	X線管:4W X線管 検出器:シリコンドリフトディテクター		
計測原理	<p>対象物にX線を照射することで、対象物から蛍光X線が発生する。蛍光X線の中における塩素元素特有のエネルギーの強度から塩素元素量をppm値で割り出し、従来技術の化学分析法(単位:kg/m³)で相関を取った関係式から塩化物イオン濃度kg/m³値を割り出す。</p> <p>(※化学分析の例:イオンクロマトグラフ法・・・液体中のイオン成分をカラムにより分離し、電気伝導度のシグナル強度を検出することで対象となるイオン濃度を測定する手法)</p> <p>尚、これまでの研究結果(文献等)から蛍光X線分析法と化学分析法は非常に高い相関性が示されている。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>① 蛍光X線分析計でコンクリート表面の塩素元素量を測定(単位: ppm)</p> <p>↓</p> <p>② 蛍光X線分析計の測定データ(ppm値)を従来の化学分析法との相関式に代入し、塩化物イオン濃度を割り出す(単位: kg/m³)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>[参考]イオンクロマトグラフ計測値(横軸)と蛍光X線分析装置計測値(縦軸)の相関</p> </div> </div>		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>①自然条件 <測定対象物について> 測定対象物については特に制限条件はなし。</p> <p><使用する機器について> コンクリート塩分濃度調査を行う上で、以下の条件を避けること。 1.周囲温度範囲として、-10~50℃の範囲を超える様な場合 2.降雨時 3.湿気の影響を受ける恐れがある場合 4.砂埃の影響を受ける恐れがある場合</p> <p>②現場条件 <測定対象物について> 測定対象物については制限なし。</p> <p><使用する機器について> コンクリート塩分濃度調査を行う上で、以下の条件を避けること。 1.水蒸気・油煙・薬品・腐食性ガス・可燃性ガス等が滞留又は、飛散の影響を受ける恐れがある場合 2.粉塵の影響を受ける恐れがある場合 3.近辺で火気が使用される場合</p>		

		<p>4. 近辺で強磁界・強電界・高周波ノイズを発生する機器が使用される場合 5. 振動や衝撃が加わる可能性がある場合</p>
計測装置	<p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p>	<p>・検出器の経年変化 機器は定期的に点検を行い、必要に応じてメンテナンスや交換を行うことが望ましい。</p> <p>・環境条件 温度、湿度、周囲の振動などの環境要因も測定値に影響を与えることがある。</p>
計測プロセス	<p>①事前準備 ・基準座標マーカを貼り付ける。 ・ウェアラブルグラス上から基準座標マーカに視線を合わせることで測定予定箇所が明示される。</p> <p>②塩分濃度測定 ・ウェアラブルグラス装着者からレーザーポイントにて測定対象箇所を指示する。 ・レーザーポイントにて指示された位置に蛍光X線分析計を当て塩分濃度を測定する。</p> <p>③塩分濃度表示 ・ウェアラブルグラス上から基準座標マーカに視線を合わせることで塩分濃度が表示される。</p> <p>①事前準備 ウェアラブルグラスによる 測定予定箇所明示 (写真1)</p> <p>②塩分濃度測定 蛍光X線分析計による測定 (写真2)</p> <p>③塩分濃度表示 (写真3)</p> <p>・塩分濃度調査報告書作成</p>	<p>写真1：事前準備</p>  <p>写真2：塩分濃度測定</p>  <p>写真3：測定塩分濃度表示</p>  <p>1日間</p>
アウトプット		<p>出力データ形式：蛍光X線分析計本体中メモリおよびSDカードにCSVファイルとして出力される データ出力手段：microSDカード(付属)、USBメモリ、USBケーブルまたは無線LANにより外部デバイスへ出力</p>
耐久性		<p>落下について：米国MIL STD 810 G、1.2m (4 フィート)の落下試験合格 防塵・防水性能：IP55準拠</p>
動力		<p>取り外し可能な14.4Vリチウムイオン電池、または、ACアダプター 出力：DC18V、3.9A、入力：100～240VAC、50～60Hz、最大70W</p>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		<p>約4時間</p>
設置方法		<p>①ハンドヘルド型蛍光X線分析計の測定データ(CSVファイル)をUSBケーブル接続でB:ノートPCに保存後、ノートPCからクラウドサーバーにCSVファイルをアップロード ②クラウド上のデータベースへ自動的に格納される ③Wi-Fi環境下でAPI連携により、ウェアラブルグラス上に自動的にデータベースが反映される</p>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<p>B:ノートパソコン(用途：測定データをクラウド上へアップロード) 品名・外形寸法・重量：任意のノートパソコンを指定可能</p> <p>C:ウェアラブルグラス(用途：測定位置投影、塩分濃度測定データ投影) 品名：Trimble XR10(Microsoft HoloLens 2のヘルメット一体型デバイス)</p>

データ収集・通信装置		外形寸法:W270mm×H340mm×D160mm 重量:TrimbleXR10・・・790g、ヘルメット(mobiWAN_TR含む)・・・1,250g ※mobiWAN_TRはTrimble XR10用骨伝導ヘッドセットを指す
	データ収集・記録機能	ノートパソコン本体の記録媒体およびクラウド上のデータベースにデータを収集し、記録する機能を備えている
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	Wi-Fi環境下(テザリング含む)における一般的なインターネット通信
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	使用するクラウド上のデータベースはAmazon Web Service上の実装しているため、セキュリティ性能はAmazon Web Serviceに準ずる。(BASIC認証機能有り)
	動力	B:ノートパソコン リチウムイオンバッテリーまたはACアダプター C:ウェアラブルグラス リチウムイオンバッテリー
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	データ送信時間:1秒程度

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	1点あたり1分間	～内訳～ X線照射時間:1点あたり20秒 蛍光X線分析計本体上での座標記録時間:1点あたり40秒
		標準試験値	-	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	相関係数 R^2 (※) = 0.973 ※ R の2乗	y:ハンディ型蛍光X線分析計の測定値(ppm) x:塩化物イオン濃度測定値(kg/m ³) y = 1.186x × 1000
		標準試験値	標準試験方法 塩化物イオン濃度(2025年) 測定精度(kg/m ³) ※カッコ内は塩化物イオン濃度のリファレンス平均値(kg/m ³) A-① 0.14 (0.20) B-① 0.34 (1.08) C-① 0.77 (2.52) D-① 1.75 (4.22) E-① 0.55 (8.67) F-① 測定範囲外 A-② 0.14 (0.19) B-② 0.60 (1.13) C-② 0.94 (2.23) D-② 2.58 (4.50) E-② 3.91 (8.98) F-② 測定範囲外	・データ取得手段:蛍光X線照射(手動)
		性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	塩化物イオン濃度:0.0337~10kg/m ³	-
	感度	校正方法	ハンドヘルド蛍光X線分析計は定期的(1回/年)な点検を推奨する。測定時には基準となる試料で測定値を確認し必要であれば調整を行う。	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無
			性能値	・自動エネルギー補正 ・気圧補正 ・X線管電圧、管電流、一次フィルタ自動選択
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無
性能値			塩素原子(Cl)の検出下限値:40ppm	
S/N比		性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	-		
	性能値	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	人のアクセスや作業が出来る環境にあること	-
	桁下条件	作業スペース・視点の確保の観点から、測定対象面から1m以上の隔離が必要	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	特になし	-
	道路規制条件	橋梁点検車を使用する場合には交通規制が必要な場合がある	-
	塗装剤条件	コンクリート面に含浸材や有機系塗料が塗布されていないこと	-
	躯体条件	-	-
	躯体温度条件	-10°C ~ 50°C	-
	その他	100ルクス以上の明るさが確保されていること	ウェアラブルグラスが防水対応ではないため、雨天時は測定を避けるか、ウェアラブルグラスに雨避けを設けることで、ウェアラブルグラスへの防水対策を行う必要がある

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
調査技術者の技量	-	-	
必要構成人員数	ウェアラブルグラス測定者1人、蛍光X線分析計測定者1人、測定補助者1人の計3人が基本	-	
操作に必要な資格等の有無、フライト時間	-	-	
作業ヤード・操作場所	-	-	
作業条件・運用条件	点検費用	<p>【橋梁条件】 橋種 : [コンクリート橋] 部位・部材: [橋台、橋脚等] 活用範囲 : ①[50]m²/日 ②[250]m²/5日 検出項目 : [表面塩分]</p> <p><費用> ①合計853,755円(17,075円/m²) 1mグリッド50m² ※現地点検、1日あたり50点測定を対象とした場合</p> <p>②合計1,374,555円(5,498円/m²) 1mグリッド250m² ※現地点検、1日あたり50点測定を対象とし、5日間調査を行った場合</p> <p>購入費・レンタル費 【ハンドヘルド型蛍光X線分析計(エビデント VANTA)】 ①購入: 7,200,000円 ②レンタル: @376,600 × 1日 = 376,600円 ※最低保証料(5日間分含む) 【ウェアラブルグラス(Trimble XR10)】 ①購入: 798,000円 ②レンタル: @50,000 × 1日 = 50,000円 ※最低保証料(5日間分含む)</p> <p>※上記の価格はすべて消費税は含まれていない。</p>	<p>【直接経費積算例】 ※測定範囲50m² (1日で1mグリッド×50点を測定) ※出張に伴う旅費、足場や点検車費用、一般管理費、間接経費、消費税は含まれていない</p> <p>・人件費 技師(B) @47,200 × 1人工 = 47,200円 令和6年度設計業務委託等技術者単価</p> <p>・人件費 技師(C) @38,400 × 2人工 = 76,800円 令和6年度設計業務委託等技術者単価</p> <p>・機械賃料(Trimble XR10) @50,000 × 1日 = 50,000円 市場価格/最低保証料(5日間分含む)</p> <p>・機械賃料(エビデント VANTA) @376,600 × 1日 = 376,600円 市場価格/最低保証料(5日間分含む)</p> <p>・データ解析等経費 @262,500 × 1日 = 262,500円 自社価格(特許使用料・ソフトウェア使用料含む)/最低保証料(5日間分含む)</p> <p>・諸雑費 @40,655 × 1式 = 40,655円 直接経費全体の5% →合計 853,755円</p> <p>ソフトウェアについては契約期間(調査業務受注期間)に応じた使用料が賦課される</p>
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	【業務委託】 【購入】 【レンタル】	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
	センシングデバイスの点検	ハンドヘルド型蛍光X線分析計については定期的(1回/年)の点検を推奨	-
	その他	-	-

6. 図面



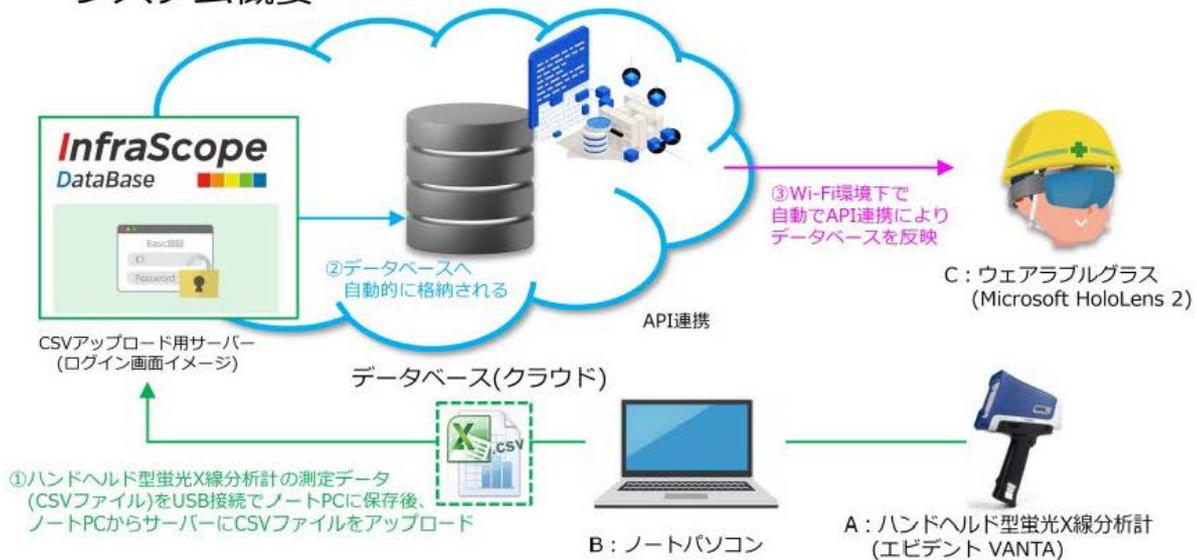
塩分濃度測定作業
イメージ



塩分濃度表示
イメージ



・ システム概要



株式会社エビデント ハンドヘルド蛍光X線分析計“VANTA”

その場で素早く非破壊で、成分元素を分析する携帯型の蛍光X線分析計

Soil
コンクリート構造物塩害調査
土壌中の有害物質
数ppm～の微量元素の分析に最適

El	PPM	+/-
Fe	2.748%	0.019
K	2.585%	0.050
Ca	2.327%	0.042
Ti	2909	61
Cl	890	66



分析時のX線照射・蛍光X線検出イメージ

非破壊で分析可能です

- ・対象をそのまま分析
- ・X線は試料にダメージを与えません

短時間で分析できます

- ・高速起動
 - ・高カウントレートのSDDを採用[※]
 - ・分析値をリアルタイム表示
- ※Mシリーズ、Cシリーズ

分析場所を選びません

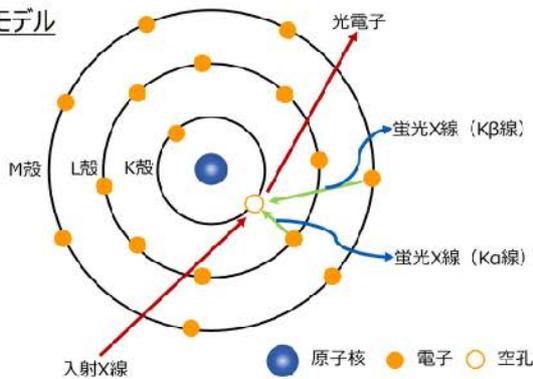
- ・対象がある「その場」で分析
- ・バッテリー駆動

形状・大きさを選びません

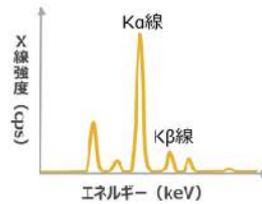
- ・長さ、幅、重さを問わず分析
 - ・分析スポットは 9mm / 3mm[※] 選択可
 - ・粉末、液体も分析可能 (ソイルカップ使用時)
- ※コリメーター (オプション) 選択時

蛍光X線分析の原理

・Cl原子モデル



例：Cl(塩素)の場合
□ Kα線 2.62keV
□ Kβ線 2.82keV



・エネルギー分散型装置の基本構成

