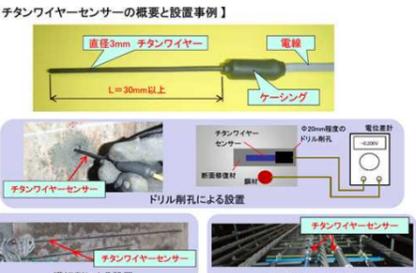
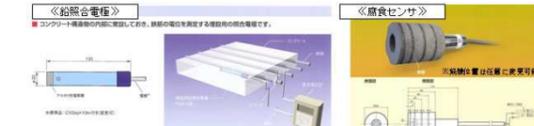
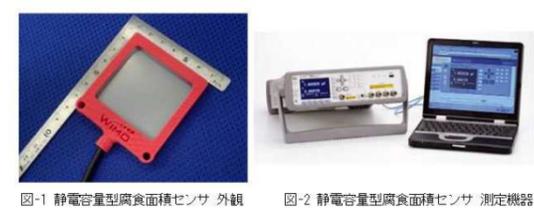


番号		1	2	3	4	
技術名		チタンワイヤーセンサー	鉄筋腐食の定量的判定技術	RFID腐食環境検知システム	静電容量型腐食面積センサ (仮)	
応募者		株式会社ピーエス三菱	日本防蝕工業株式会社	太平洋セメント株式会社	太平洋セメント株式会社	
共同開発者		中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系	-	-	-	
NETIS番号		登録済み (登録番号: KT-170081-A)	今後登録予定	KT-110059 (掲載期間終了)	今後登録予定	
技術概要		チタンワイヤーセンサーは、自然電位を計測するモニタリングセンサーで、従来の照合電極と比較して、経済性、施工性に優れ、計測の目的や計測範囲に応じて、センサー長さを変更することで広範囲の自然電位を計測できる等の特徴を有している。長さの短いチタンワイヤーセンサーの場合、コンクリート面にドリルで削孔することで簡単に設置することが可能である。  【チタンワイヤーセンサーの概要と設置事例】 	(a) 鉛照合電極：自然電位法による鋼材の表面状態の評価。 (b) CIPE (サイプ) 法：鉄筋の腐食速度の定量測定、測定値の腐食速度に時間を乗じることで、腐食減量が計算できる。 (c) 腐食センサ：塩化物イオンなど腐食因子の浸透深さおよび速度の測定。 また、上記3手法の結果の組み合わせにより、鉄筋の腐食状態を総合的に評価できる。  【鉛照合電極】  【CIPE法】 	本技術は無線通信技術 (RFID) を用いた鉄筋腐食モニタリングシステムである。鉄筋を模擬した鉄筋部材からなるセンサとRFIDタグを構造物に埋設し塩化物イオンなどの腐食因子の浸透を検知することができる。無線通信で計測値をコンクリート表面から読み取り、腐食進行程度を色で表示する専用ソフトウェアを用いて非破壊かつ簡便に計測が行える点、外部電源が不要である点に特徴があり、経済性の高いモニタリング技術である。  RFID腐食環境センサとメカニズム 	本センサは静電容量を指標として鉄筋腐食進行に関する情報を推定できるセンサである。鉄筋を模擬した鉄筋を検知部として鉄筋近傍に設置し、鉄筋の静電容量を連続計測するもので、鉄筋の腐食進行に伴って鉄筋面積が減少すると、静電容量に変化が生じることとなる。この静電容量の変化を連続的に捉えることで、センサ近傍の鉄筋腐食の進行程度をモニタリングすることが出来る。  静電容量型腐食面積センサ (仮) 参照資料 	
実証試験での機器構成			(a) 鉛照合電極 (b) 腐食センサ (c) CIPE法 (コロージョンハンター II) 	【有線接続の場合】 データロガー ← 接続 → センサ埋設試験体 【無線接続の場合】 ハンディリーダーライター ← 接続 → センサ埋設試験体 	ハンディLCRメーター ← 接続 → センサ埋設試験体 埋設 → 静電容量型腐食面積センサ 	
寸法		・センサ (前施工型) : φ3×L50mm (1個)、φ3×L100mm (1個) ・センサ (後施工型) : φ3×L50mm (1個)、φ3×L75mm (1個) ・無線システム (親機) : W200×H300×D150 3kg 一1台 ・無線システム (子機) : W150×H150×D150 1.5kg 一3台	(a) 鉛照合電極 : φ22×L133 (2sq×10電線付き) (b) コロージョンハンター II : W300×H105×D215 3.6kg (ケーブル含む) (c) 腐食センサ : W51×H45×100 (0.3sq×6C電線付き)	・計測器 (有線接続データロガー) : W212.6×D348.3×H88.5mm 4.3kg ・計測器 (ハンディリーダーライター) : W58×D171×H45mm 0.255kg ・センサ : W50×D90×H15 0.175kg	・計測器 (LCRメーター) : (※一例として) W184×D87×H41mm 0.337kg ・センサ : W63×D67×H10mm 0.053kg	
結果の評価		(1) 評価方法	鉄筋の自然電位の測定を行い、ASTM C 876の鉄筋腐食判定基準に基づき腐食の有無の可能性を下記により判定する。 -80 < E : 90%以上の確率で腐食なし -230 < E ≤ -80 : 不確定 E ≤ -230 : 90%以上の確率で腐食あり ここに、E : チタンワイヤーセンサーに対する鉄筋の自然電位	(a) 鉛照合電極 コンクリート中鉄筋の電位を測定するための基準電極 (b) CIPE法 ターフェル外挿法を利用したCIPE法によって鉄筋の腐食速度を計測する。 ・1mA/m <sup>2</sup> 以下 : 腐食が問題にならない程度 ・1mA/m <sup>2</sup> より大きい : 腐食進行 (任意の腐食速度) 最大 400mA/m <sup>2</sup> まで計測可能 (c) 腐食センサ 腐食因子が腐食センサの検出線 (5mm, 15mm, 30mm) に到達すると、検出線が破断し、絶対値1mV以上の電位差を生じる。	鉄筋を模擬した鉄筋の抵抗値を計測し、鉄筋の腐食・断線による抵抗上昇挙動からセンサ設置位置における腐食因子 (塩化物イオン、水、酸素) の浸透を検知する。 抵抗値が100Ωを超えた時点で腐食発生を判定する。 専用ソフトウェア上で抵抗値から腐食環境の度合いを色で判定できる。 青 : 健全 (腐食無し) 黄 : 腐食発生の可能性がある状態 (健全状態から変化が生じている) 赤 : 腐食発生	鉄筋を模擬した鉄筋の静電容量を連続計測し、鉄筋の腐食進行に伴う静電容量の減少挙動からセンサ近傍の鉄筋腐食進行程度を評価する。 計測初期値からの減少程度が大きいほど腐食進行程度が激しい。 初期値からの減少量と鉄筋面積減少程度との関係性は以下のとおりである。 減少量10pF : 鉄筋の面積20%減少 減少量20pF : 鉄筋の面積40%減少 減少量30pF : 鉄筋の面積60%減少
		(2) 適用範囲	一般的なコンクリート構造物	(a) 鉛照合電極 : 自然電位法 (JSCE-E 601-2018) の適用範囲と同等 (b) CIPE法 : 同上 (c) 腐食センサ : セメントアルカリ環境	橋脚や護岸など鉄筋コンクリート構造物の腐食環境モニタリング 凍結防止剤が散布される鉄筋コンクリート構造物の腐食環境モニタリング 断面修復した鉄筋コンクリート構造物の補修効果の確認	橋脚や護岸など鉄筋コンクリート構造物の腐食環境モニタリング 凍結防止剤が散布される鉄筋コンクリート構造物の腐食環境モニタリング 断面修復した鉄筋コンクリート構造物の補修効果の確認 鋼構造物の腐食環境モニタリング
		(3) 適用範囲外	水中のコンクリート構造物	(a) 鉛照合電極 : 自然電位法 (JSCE-E 601-2018) の適用ができない場合 (b) CIPE法 : 同上 (c) 腐食センサ : 高含水コンクリート内 (酸素供給がないと検出線が腐食しない)	無線計測 : 通信部 (RFIDタグ) が埋設された箇所のコンクリート表面が金属で覆われている場合	強磁場環境等、計測位置周辺の高周波ノイズが大きい場合
使用環境		気温・湿度等	-20℃~+70℃	(a) 鉛照合電極 : 特になし (b) CIPE法 : 温度 0℃~50℃、湿度 30%~80% (結露のないこと) (c) 腐食センサ : 特になし	温度 : -10℃~55℃ 湿度 : 0~80%	温度 : -10℃~55℃ 湿度 : 0~80%
実施体制		標準的な人員体制	0名※自動計測 (設置時2名)	2名 (測定者)	1名 (測定者)	1名 (測定者)
		必要最小限の人員 (狭隘空間)	0名※自動計測 (設置時2名)	1名 (測定者)	1名 (測定者)	1名 (測定者)
計測前の準備情報		必要な準備情報の種類	鉄筋位置、鉄筋かぶり	(a) 鉛照合電極 : 配筋図 (b) CIPE法 : 電位測定結果が得られれば計測精度が向上する。 (c) 腐食センサ : 配筋図	無線計測 : 通信部 (RFIDタグ) の埋設位置	特になし
測定精度等 (開発者保証)		(1) 測定レンジと誤差・精度	チタンワイヤーセンサーと測定する鉄筋の距離。(チタンワイヤーセンサーと鉄筋の間隔は1~2cmを推奨)	(a) 鉛照合電極 : 入力抵抗100MΩ以上の直流電圧計により計測 (b) CIPE法 : 0~400mA/m <sup>2</sup> (c) 腐食センサ : センサかぶり5mm, 15mm, 30mm, 45mm (標準)	塩化物イオン濃度約500ppmでセンサ抵抗値100Ωとなることをコンクリート中を模擬したアルカリ性水溶液での実験で確認している	低周波数域の計測ではセンサ周囲の塩化物イオン・水分等の影響を受けるため、交流周波数100kHz以上を推奨する。
		(2) 分解能と誤差・精度	鉄筋の自然電位を計測。自然電位の測定結果より鉄筋の腐食の有無の可能性を評価する。自然電位の最小測定単位は1mV。	(a) 鉛照合電極 : 鉄筋電位を計測。分解能1mV (b) CIPE法 : 腐食電流密度を計測。分解能1mA/m <sup>2</sup> (c) 腐食センサ : 絶対値1mV以上で、検出線の破断を検出	鉄筋の腐食量を直接モニタリングするものではなく、センサ抵抗値とともに腐食環境の度合いを青~黄~赤色のグラデーション5段階で表示する。	測定機器の精度に依存する。
技術の適用条件		必要な機器・装置	1) 自動計測一計測機器としてデジタルマルチメータ 2) 自動計測一計測機器として無線モニタリング機器	(a) 鉛照合電極PJM-5型、直流電圧計 (b) CIPE法 (コロージョンハンター II) (c) 腐食センサ	・専用ハンディリーダーライター ・専用ソフトウェアインストールPC	汎用的なLCRメーター
		必要な能力・資格	特になし	測定は容易である。電圧計の操作ができれば良い。 腐食診断評価は防食技術者が行う。	特になし	特になし
		作業、測定等の時間	1) 自動計測→10分未満/箇所 2) 自動計測→数秒/箇所	(a) 鉛照合電極 : 瞬時/測点 (b) CIPE法 (コロージョンハンター II) : 20分/測点 (c) 腐食センサ : 5分/箇所 ※コンクリート表面養生作業、足場設置等を除く。(a)、(c) はデータロガー収集可能	5分未満	5分未満
		概算費用 (必要経費 (材料費、使用機器等の経費、人件費、その他間接費) についての1箇所当たりの概算費用)	①鉄筋探査・マーキング (0.9m <sup>2</sup> ) 5,400円 ②チタンワイヤーセンサー設置工 (10箇所) 77,550円 ③配線・配管工 (200m) 261,000円 ④計測準備工 (1基) 43,700円	材料費 : 本体 (電極/センサ)・電線 (10m)・電線保護管・固定サドル・樹脂アクリル (小) 直工費 : 本体取付・配線配管 (5m未満)・樹脂アクリル (小) 設置・足場設置撤去除 鉛照合・排流金具設置工 : (材料61,000円+直工250,000円)/カ所 CIPE法計測工 : (損料 97,000円+計測工130,000円)/日 腐食センサ・排流金具設置工 : (材料 230,000円+直工250,000円)/カ所	265,361円 (計測用リーダーライター使用) 【概算内訳】 センサ 98,000円 センサ設置・初期計測工 2361円 計測器 (購入) 150,000円 計測器 (レンタル) 15,000円 (1週間)	66,503円 【概算内訳】 センサ 50,000円 センサ設置・初期計測工 2361円 計測器 (購入) 59,142円

「道路橋の塩害モニタリング技術」技術比較表

2021年3月作成

番号	1				2				3				4											
技術名	チタンワイヤーセンサー				鉄筋腐食の定量的判定技術				RFID腐食環境検知システム				静電容量型腐食面積センサ (仮)											
応募者	株式会社ピーエス三菱				日本防蝕工業株式会社				太平洋セメント株式会社				太平洋セメント株式会社											
現場実証試験の状況・条件													計測条件 : 板状供試体作製時 (供試体内部) または板状供試体作製後 (供試体表面) 供試体寸法 : 30cm×30cm×15cm 供試体諸元 : [コンクリート]設計基準強度21N/mm <sup>2</sup> /スランプ12cm±2.5cm/粗骨材最大寸法10mm/空気量4.5%±1.5%/セメントの種類: 普通ポルトランドセメント [鉄筋]鉄筋径: 丸鋼φ19mm/規格: SR295/表面条件: 黒皮除去/絶かぶり20mm 塩分供給方法: 10%食塩水により浸漬・乾燥の繰返し 実証試験期間: 13ヶ月 (2019年11月～2020年12月)											
現場実証結果に関する項目	基本性能	モニタリング結果	(1)塩分等の浸透状況の検知	mm	塩分等の浸透を検知できた供試体表面からの距離	評価対象外	検知できた位置: 表面から5～30mm (センサの設置深さ) 検知部の塩化物イオン量 : 3.90～14.92 kg/m <sup>3</sup> (※) ※塩化物イオン量は供試体解体後の実測値を指す	検知できた位置: 表面から10～20mm (センサの設置深さ) 検知部の塩化物イオン量 : 5.64～7.05kg/m <sup>3</sup> (※) ※塩化物イオン量は供試体解体後の実測値を指す	評価対象外															
				評価	センサの設置位置 (表面から5mm, 15mm, 30mm位置) で塩害の劣化因子となる塩分等の浸透を検知することができた。検知時の塩化物イオン量は高めであるが、本技術は塩化物イオン以外の塩害劣化因子 (水・酸素) も含めて総合的に塩害劣化環境を検知するものであるためである。	センサの設置位置 (表面から10mm, 20mm位置) で塩害の劣化因子となる塩分等の浸透を検知することができた。検知時の塩化物イオン量は高めであるが、本技術は塩化物イオン以外の塩害劣化因子 (水・酸素) も含めて総合的に塩害劣化環境を検知するものであるためである。	評価対象外																	
				腐食検知の検知率	検知率: 90% (9/10本)	検知率: 89% (16/18本)	評価対象外	検知率: 0% (0/4本)																
		(2)鋼材の腐食状況	%	検知できた腐食面積率	評価対象外	評価対象外	評価対象外	評価対象外																
			検知できた質量減少率	評価対象外	モニタリング結果[平均]: 0.01～0.38% (0.07～0.21%) ※( )内は供試体解体後の実測値平均を指す	評価対象外	評価対象外																	
			評価	進展初期期の点錆程度の腐食から広がりをもった進展期後期までの鉄筋腐食に対して、腐食発生の有無を90%の正解率で検知することができた。	進展初期期の点錆程度の腐食から広がりをもった進展期後期までの鉄筋腐食に対して、腐食発生の有無を89%の正解率で検知することができ、腐食の進行に伴う質量減少率の変化も定量的に把握できた。	評価対象外	今回の実証試験条件下ではセンサ異常が発生したため腐食を検知できなかった。																	
	有効性	劣化要因の経時的変化 (潜伏期) ※2	(1)塩分等の浸透状況	mm	以下の劣化時期ごとの塩分等の浸透を検知できた供試体表面からの距離 ① 1回目 (※潜伏期初期程度) ② 2回目 (※潜伏期中期程度) ③ 3回目 (※潜伏期後期程度)	評価対象外	①モニタリング結果: 表面から5mm (7.76kg/m <sup>3</sup> ) ②モニタリング結果: 表面から30mm (3.90kg/m <sup>3</sup> ) ③モニタリング結果: 表面から5mm (14.92kg/m <sup>3</sup> ) ※( )内は検知位置での供試体解体後の塩化物イオン量実測値を指す 【初期・中期にかけて塩分等の劣化因子を検知した位置が深くなり、段階的な劣化因子の浸透傾向を捉えているが、後期では深いかぶり位置の劣化因子を検知しなかった。】	①モニタリング結果: 表面から10mm (6.85kg/m <sup>3</sup> ) ②モニタリング結果: 表面から20mm (5.64kg/m <sup>3</sup> ) ③モニタリング結果: 表面から20mm (7.05kg/m <sup>3</sup> ) ※( )内は検知位置での供試体解体後の塩化物イオン量実測値を指す 【初期～後期にかけて塩分等の劣化因子を検知した位置が深くなり、段階的な劣化因子の浸透傾向が捉えられている。】	評価対象外															
				以下劣化時期ごとの検知できた検知率 ① 1回目 (※進展期初期程度) ② 2回目 (※進展期中期程度) ③ 3回目 (※進展期後期程度)	①検知率: 67% (2/3本) ②検知率: 100% (4/4本) ③検知率: 100% (3/3本) <合計: 90% (9/10本)> 【初期は腐食検知率が67%、中期～後期は100%となり腐食が拡大するに従い確実な検知ができた。】	①検知率: 75% (3/4本) ②検知率: 83% (5/6本) ※一部誤検知あり ③検知率: 100% (8/8本) <合計: 89% (16/18本)> 【初期～中期は腐食検知率が75～83%、後期は100%となり腐食が拡大するに従い確実な検知ができた。】	評価対象外	①検知率: 0% (0/4本) ②検知率: 測定辞退 ③検知率: 測定辞退 【今回の実証試験条件下ではセンサ異常が発生したため腐食を検知できなかった。】																
				以下劣化時期ごとの検知できた腐食面積率 ① 1回目 (※進展期初期程度) ② 2回目 (※進展期中期程度) ③ 3回目 (※進展期後期程度)	評価対象外	評価対象外	評価対象外	評価対象外																
		腐食状況の経時的変化 (進展期) ※3	(2)鋼材の腐食状況	%	以下劣化時期ごとの検知できた質量減少率 ① 1回目 (※進展期初期程度) ② 2回目 (※進展期中期程度) ③ 3回目 (※進展期後期程度)	評価対象外	①モニタリング結果[平均]: 0.01% (0.07%) ②モニタリング結果[平均]: 0.10% (0.21%) ③モニタリング結果[平均]: 0.38% (0.19%) ※( )内は供試体解体後の実測値を指す 【初期～後期への質量減少率の増加傾向を検知した。後期は実際より高い傾向を示した。】	評価対象外	評価対象外															
				設置性	作業時間	センサ等を容易かつ確実に設置できる	min/箇所・回	供試体のセンサ等の設置に要した作業時間/設置箇所	設置時間: 10～20分/箇所・回 設置箇所: 鉄筋近傍 (打設前施工、打設後施工)	設置時間: 10～20分/箇所・回 設置箇所: かぶりコンクリート中 (打設前施工) 鉄筋近傍 (打設前施工、打設後施工)	設置時間: 10～20分/箇所・回 設置箇所: かぶりコンクリート中 (打設前施工)	設置時間: 10～20分/箇所・回 設置箇所: 鉄筋近傍 (打設前施工)												
				時間効率性	計測時間 ※4	試験対象を効率的に(速く)計測できる	①: min/箇所・回 ②: h/箇所・回	以下の2項目について算出する。 ① (供試体の実計測時間) / 計測箇所・回数 ② (計測データの整理・解析時間) / 計測箇所・回数	① 1) 手動計測: 10分/箇所・回数 2) 自動計測: 1分未満/箇所・回数 ② 1) 手動計測: 5分/箇所・回数 2) 自動計測: 1分未満/箇所・回数	① 20分/箇所・回数 ※(a)鉛照合電極 (c)腐食センサは、定設置済電極のデータロガー収集のみ ② 15分/箇所・回数	① 5分未満/箇所・回数 ② 5分未満/箇所・回数	① 5分未満/箇所・回数 ② 5分未満/箇所・回数												
耐久性	計測安定性	計測値に異常な変動が見れらず安定している	-	センサ劣化の有無 計測の不具合の有無	センサの劣化: 劣化無し 計測の不具合: 不具合無し	センサの劣化: 劣化無し 計測の不具合: 不具合無し	センサの劣化: 劣化無し 計測の不具合: 不具合無し	センサの劣化: 実証試験条件下でセンサ内部に水分が侵入 計測の不具合: センサ異常により計測値に不具合が発生																
経済性	計測費用 ※5	試験対象を安く把握できる	①: 円/箇所・回 ②: 円/100m <sup>2</sup>	以下の2項目について算出する。 ① (供試体の計測及び分析に要した費用) / 計測箇所・回数 ② モデルケース (橋梁下部工を想定) を対象とした、計測及びデータ整理に要する費用/計測箇所・回数 [計測頻度: 1回/月]	① 1) 手動計測: 3,000円/箇所・回数 2) 自動計測: 420円/箇所・回数 ※ (※通信料等5,000円/12箇所・1ヵ月) ② 1) 設置・初期計測: 1,550,000円/回・100m <sup>2</sup> <設置費用 1,387,000円/回・100m <sup>2</sup> > 2) 2年目以降計測: 170,000円/年・100m <sup>2</sup> (設置数量: 8箇所/100m <sup>2</sup> )	① 19,600円/箇所・回数 ② 1) 設置・初期計測: 1,648,000円/回・100m <sup>2</sup> <設置費用 1,647,700円/回・100m <sup>2</sup> > 2) 2年目以降計測: 2,634,000円/年・100m <sup>2</sup> (設置数量: 2箇所/100m <sup>2</sup> ) [測定者2名×1回/月で現地計測を実施 (データ整理・結果取りまとめ等含む費用)]	① 197円/箇所・回数 ② 1) 設置・初期計測: 819,076円/回・100m <sup>2</sup> <設置費用 817,408円/回・100m <sup>2</sup> > 2) 2年目以降計測: 150,080円/年・100m <sup>2</sup> (設置数量: 6箇所/100m <sup>2</sup> )	① 197円/箇所・回数 ② 1) 設置・初期計測: 1,221,376円/回・100m <sup>2</sup> <設置費用 1,219,708円/回・100m <sup>2</sup> > 2) 2年目以降計測: 150,080円/年・100m <sup>2</sup> (設置数量: 6箇所/100m <sup>2</sup> )																

※1 『技術公募【別紙-2-2】要求性能(リクワイアメント)』に記載の項目  
 ※2 『コンクリート中の塩分等の劣化因子の浸透状況』を対象とした技術の評価  
 【分析時期】1回目(初期): かぶりが強い位置で劣化因子が浸透している状態 2回目(中期): 鉄筋かぶりに近い位置で劣化因子が浸透している状態 3回目(後期): 劣化因子が鉄筋位置に達している状態  
 ※3 『コンクリート中の鋼材の腐食状況』を対象とした技術の評価  
 【分析時期】1回目(初期): 一部の鉄筋で腐食開始した状態 2回目(中期): 複数の鉄筋で初期の腐食が発生している状態 3回目(後期): 複数の鉄筋で腐食が進行し、ひび割れ限界腐食量に近い状態  
 ※4 ① (供試体の実計測時間) / 計測箇所・回数 ② (計測データの整理・解析時間) / 計測箇所・回数  
 ※5 ① (供試体の計測及び分析に要した費用) / 計測箇所・回数 ② モデルケース (橋梁下部工を想定) を対象とした、計測及びデータ整理に要する費用/計測箇所・回数