

「簡易に鋼材、鉄筋等の腐食状況を把握できる技術」 技術比較表 【本諸元表は、開発者から提供された情報のみで作成しております。】

<p>技術名</p>	<p>MDKセンサによるコンクリート構造物内鉄筋腐食非破壊検査装置</p>	<p>ガルバノスタット法による腐食度測定「コロマップ」</p>	<p>電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法</p>
<p>副題</p>	<p>鉄筋腐食非破壊検査装置</p>	<p>—</p>	<p>電磁パルス法を使った弾性波によるコンクリート中の鉄筋腐食診断技法</p>
<p>開発者</p>	<p>偕成エンジニア株式会社</p>	<p>エフティーエス株式会社</p>	<p>株式会社アミック</p>
<p>NETIS番号</p>	<p>KT-190091-A</p>	<p>申請中</p>	<p>KT-200025-A</p>
<p>技術の概要</p>	<p>コンクリート表面にMDK(Magnetic Detector Kaisei)センサから磁力線を透過させることによって、鉄筋腐食検査を可能にした技術である。</p>	<p>「コロマップ」は、ポテンシヨ・ガルバノスタット法により、コンクリート構造物内の鉄筋の腐食範囲および腐食電流密度を現場において簡単に把握することができる試験装置を使用した技術である。</p>	<p>コイルにパルス電流を印加することにより発生する「磁氣的な力」を利用し、導電体(鉄筋など)に弾性波を発生させ、その受信信号から評価指標を算出し、腐食状況を評価する技術である。</p>
<p>検出原理</p>	<p>センサから印加した磁力線は、コンクリート内を透過して再びセンサに戻ってくる。このとき残留鉄筋の太さの程度により、磁力線の変化が異なる。これを電圧の振幅・位相の変化に置き換えて表示する。計測結果は、表示された電圧の振幅・位相と過去の事例とを照合し相対比較することで、腐食状況を定性的に評価する。</p>	<p>「コロマップ」は、鋼材の腐食電流密度と自然電位およびコンクリートの比抵抗を同時に計測できる装置である。</p> $i_{corr} = K/R_p$ <p>ここで、i_{corr}: 腐食電流密度(A/cm²) K: 定数(V)、R_p: 分極抵抗($\Omega \cdot \text{cm}^2$)</p> <p>自然電位は、強アルカリ性のコンクリートで覆われた鉄筋の不動態被膜が破壊されて起きる電気化学反応による変化する電位を測定することで腐食状態を推定する方法である。腐食状況について、求められた腐食電流密度と自然電位の値から定量的に評価する。</p> <p>腐食電流密度測定</p> <p>大気 コンクリート表面</p> <p>$\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NaCl}, \text{CO}_2$</p> <p>$\text{Cl}^-$ Na^+ H_2O</p> <p>O_2 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ Fe^{2+} Cl^- Fe^{2+} Fe^{2+}</p> <p>鉄筋 カソード アノード電位(E_a) カソード電位(E_c) 不動態被膜</p> <p>自然電位測定※1</p> <p>※1 平成19年1月 独立行政法人土木研究所・技術推進本部構造物マネジメント技術チーム・日本構造物診断技術協会 『自然電位法による鉄筋腐食技術に関する共同研</p>	<p>コイルにパルス大電流を印加する事により発生する磁場を利用して、非接触でコンクリート中の鉄筋自身から弾性波を発生させる。鉄筋の腐食の程度によって、鉄筋とコンクリートの界面状況が異なっているため、コンクリート表面に到達する弾性波に変化が生じる。本技術では、健全な鉄筋からの弾性波と腐食している鉄筋からの弾性波を各々受信し、それらの弾性波を比較・解析することで鉄筋腐食の程度を定性的に評価する。</p> <p>腐食なし 伝搬(強) コンクリート 伝搬(弱) 腐食</p> <p>AEセンサ ① AEセンサ ②</p> <p>磁束 コイル</p> <p>伝搬(強) 伝搬(弱)</p> <p>腐食なし コンクリート 腐食</p> <p>センサ①の受信信号</p> <p>電圧[V] 時間[ms] 弾性波伝搬(強)</p> <p>センサ②の受信信号</p> <p>電圧[V] 時間[ms] 弾性波伝搬(弱)</p> <p>①コイルにパルス電流を流す ④弾性波はコンクリート内部を通過 ②コイルよりパルス磁場が発生 ⑤表面に設置したセンサで受信 ③パルス磁場が鉄筋に作用し弾性波が発生</p>

技術名	MDKセンサによるコンクリート構造物内鉄筋腐食非破壊検査装置	ガルバノスタット法による腐食度測定「コロマップ」	電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法	
副題	鉄筋腐食非破壊検査装置	—	電磁パルス法を使った弾性波によるコンクリート中の鉄筋腐食診断技法	
開発者	借成エンジニア株式会社	エフティーエス株式会社	株式会社アミック	
外観	 <p>移動測定用送受信センサ</p> <p>静止測定用送受信センサ</p> <p>測定状況</p>	 <p>測定状況</p>	 <p>測定状況</p>	
寸法	<ul style="list-style-type: none"> 計測器本体: W355XH255XD200 6kg センサ: W150XH35XD90 0.4kg A/Dコンバータ: W140XH47XD110 0.35kg 	<ul style="list-style-type: none"> 表示装置 220×90×40mm 測定部 φ80×170mm 総重量 1.2kg ①ハンドヘルド表示装置 ②照合電極 (Ag/AgCl) ③スポンジ ④鉄筋と接続するためのピン ⑤クランプ ⑥クランプケーブル ⑦充電アダプター ⑧水入れ ⑨テスター (オプション) 	<ul style="list-style-type: none"> リングコイル: L105×W42×H35 コイルユニット: L145×W120×H130 電磁パルス電源: L230×W120×H165 AEセンサ: φ20×H37 AEプリアンプ: L110×W45×H33 センサ電源: L250×W170×H90 AD変換装置: L390×W330×H175 PC: L380×W250×H260 (オープン時)、ケーブル 	
計測機器接触面積	<ul style="list-style-type: none"> 移動測定用送受信センサ W150×D90mm 静止測定用送受信センサ φ110 	φ80mm	φ20mm	
検出プロセス	入力	構造物内の鉄筋全体に送信センサから交流磁束を印加する。入力するエネルギーの大きさは、鉄筋までの距離や鉄筋径に応じて人的に操作して調整する。	はつり出した鉄筋に測定装置から導線した状態で、コンクリート面から鉄筋直上に、経験的に定めた適正な電流値を人的に操作して入力する。	鉄筋コンクリートの鉄筋に磁気的なエネルギー(パルス電流)を人的に調整し、一定値を入力する。入力するエネルギーの大きさは、励磁コイルに印加する電荷量により決定する。電荷量は電荷をチャージするコンデンサの電圧にて調整する。
	出力(応答)	受信センサで捉えた磁界の変化を交流波形の形で本体へ送り、本体で判定処理を行い交流電圧として出力する。この交流電圧の大きさが鉄筋径を表し、鉄筋の腐食状態を評価する。	PC上に数値データがEXCEL表示で出力される。出力されるデータとして、腐食電流密度 $\mu A/cm^2$ 、電気抵抗 $k\Omega m$ 、自然電位 mV の3つがある。	鉄筋から発生する弾性波を振動センサで受信し、それをAD変換した数値が保存され、それをPCにて波形図(時間-電圧)として加工する。また、時間-電圧のデータを周波数-振幅に変換した波形も評価材料となる。(フーリエ変換の原理に起因)
検出プロセス	評価方法(出力画面イメージ)	<p>波形の高さが高いと腐食の度合いが大きいことを示すもので、波形の高低で判別するため、やや定性的である。 波形がない場合は、腐食がない状態であり、波形が有る場合は腐食ありの状態と評価する。</p>  <p>測定時のPC描画波形(移動測定センサー)</p>	 <p>腐食電流密度測定画面</p>	 <p>自然電位測定結果のカラーマップ表示</p>
		 <p>正常</p> <p>初期疲労亀裂</p> <p>付着力減</p> <p>5ms</p>		

技術名	MDKセンサによるコンクリート構造物内鉄筋腐食非破壊検査装置	ガルバノスタット法による腐食度測定「コロマップ」	電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法	
副題	鉄筋腐食非破壊検査装置	—	電磁パルス法を使った弾性波によるコンクリート中の鉄筋腐食診断技法	
開発者	偕成エンジニア株式会社	エフティーエス株式会社	株式会社アミック	
結果の出力	(1)現地での計測結果の出力方法			
	①出力方法	交流電圧	ディスプレイへ数値データ(腐食電流密度、電気抵抗、自然電位)とカラーマップ(自然電位分布)を表示	ディスプレイへの時間-電圧波形を表示
	②出力形式	交流電圧を常時生出力	CSVデータ	CSVデータを波形画像として表示
	③データの種類	描画波形データ	数値データ(自然電位mV、腐食電流密度 $\mu A/cm^2$ 、電気抵抗 $K\Omega m$)	CSVデータを波形画像として表示
	(2)現地での検査結果(不具合等)の表示の可否	不可	可(不具合がある場合、エラー表示される)	不可
	(3)計測当日に提出可能な計測結果および検査結果			
	①計測結果	交流電圧による計測生データ	数値データ(自然電位mV、腐食電流密度 $\mu A/cm^2$ 、電気抵抗 $K\Omega m$)	計測生データ(時間-電圧波形)、周波数スペクトル(周波数-振幅波形)
	②検査結果(不具合等)	描画波形データの振れ幅で確認	結果の分析をその場で行うことは不可	腐食可能性の有無
	③提出形態	CSV方式でデータを保存したもの	数値データ	デジタルデータ(CSVデータ)
結果の評価	(1)結果の評価と誤差	腐食状況は出力される交流電圧の大きさにより評価する。現段階では、腐食の有無は定性的に評価できるが、誤差の範囲は示せない。腐食の程度は評価できない。	腐食電流密度と自然電位の2つの出力結果を、定量的に総合評価する。現段階では、腐食の有無について評価できるが、腐食量までは評価はできない。	時間-電圧波形ならびに周波数-振幅波形の結果を定性的に評価する。現状では、腐食の有無と腐食の程度を評価する技術であり、腐食量の定量評価はできない。
	(2)評価方法	出力される交流電圧は、コンクリート内で変化した鉄筋径を表しており、電圧値の大きさを開発者が経験則によって定性的に評価する。	腐食電流密度の大きさから局所的な腐食の進行度合を評価し、自然電位の大きさから全体的な腐食状況の評価する。 腐食電流密度の値が以下の場合 0.5 $\mu A/cm^2$ 未満の場合:無視 0.5 $\mu A/cm^2$ 以上、5.0 $\mu A/cm^2$ 未満の場合:低い 5.0 $\mu A/cm^2$ 以上、15 $\mu A/cm^2$ 未満の場合:中程度 15 $\mu A/cm^2$ 以上の場合:高い ・数値が高いほど、危険度が高い ・腐食電流密度を最大70 $\mu A/cm^2$ まで計測可能	時間-電圧波形ならびに周波数-振幅波形の特徴を、腐食してない部分で取得した基準データとの比較により開発者が評価する。
	(3)適用範囲	単純な配筋構造物	鉄筋コンクリート構造物(健全性の評価)	建築構造物や電柱など、かぶり厚が5cm以下の鉄筋コンクリート構造物。
	(4)適用範囲外	複雑な配筋構造物	鉄筋がコンクリートから剥離している構造物。(鉄筋の腐食が進行してきた鉄筋コンクリート構造物)	かぶり厚が5cm以上の構造物。(かぶり厚が大きい鉄筋コンクリート構造物は中性化による腐食が発生しにくい対象から外している)
	(5)結果の評価者	開発者	開発者以外でも(2)の数値を参考にある程度の評価は可能。	開発者
	(6)結果の評価者の要件	現段階での評価者は開発者に限られるが、将来的には講習受講者とする。	中性化、塩分、湿度などの環境条件を踏まえて総合的に評価できるスキルが必要。	現段階での評価者は開発者に限られるが、将来的には1日程度の事前講習を受けた者とする。
使用環境	気温等	10 $^{\circ}C$ ~40 $^{\circ}C$	-20 $^{\circ}C$ ~50 $^{\circ}C$ (湿度5%~95%) 一般的な現場条件での使用であれば、地域に対する制約はない。	0 $^{\circ}C$ ~40 $^{\circ}C$
	雨天時	影響なし。ただし、計測装置は防水性を持っていないので、濡れないようにする。	作業不可。 コンクリート表面が湿潤状態は問題なし。ただし、コンクリート表面に水が浮いている様な場合は、ウエス等で拭き取る。	作業不可。 計測コンクリートの表面が自然電位測定程度の湿潤状態であれば計測可能。 遊離石灰が生じ水が回っている場合は、計測装置は防水性を持っていないので、安全上は計測不可。
外部電源の要否	AC100Vの電源が必要。	電源不要 充電方式(連続使用:約4時間)	AC100Vの電源が必要。	
必要な資格や技能(公的・民間)	なし。測定する前に測定原理や装置の操作方法について講習を受けておく必要がある。	なし。測定する前に測定原理や装置の操作方法について講習を受けておく必要がある。	なし。測定する前に測定原理や装置の操作方法について講習を受けておく必要がある。	
計測にあたっての許認可事項	なし	なし	なし	
実施体制	標準的な人員体制	3名(測定者、記録者、補助員)	2名(マーキング作業員及び測定者)	3名(加振装置保持者及びPC操作者、マーキング作業員)
	必要最小限の人員(狭隘空間)	2名(測定者、記録者)	1名(測定者)	2名(加振装置保持者及びPC操作者)

技術名	MDKセンサによるコンクリート構造物内鉄筋腐食非破壊検査装置		ガルバノスタット法による腐食度測定「コロマップ」	電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法
副題	鉄筋腐食非破壊検査装置		—	電磁パルス法を使った弾性波によるコンクリート中の鉄筋腐食診断技法
開発者	借成エンジニア株式会社		エフティーエス株式会社	株式会社アミック
検出対象物	(1)構造別	鉄筋コンクリート:○、プレストレストコンクリート:○ ケーブル埋設コンクリート:○	鉄筋コンクリート:○、プレストレストコンクリート:○ ケーブル埋設コンクリート:○	鉄筋コンクリート:○、プレストレストコンクリート:○ ケーブル埋設コンクリート:×
	(2)主材質	鉄筋:○、鋼材:○、鋼線:○	鉄筋:○、鋼材:○、鋼線:○	鉄筋:○、鋼材:○、鋼線:○
	(3)被覆による影響	樹脂:○、塗装:○、鉄筋シース:原理的には検出信号の値が大きくなるため、計測に影響を受けるが、その程度については不明。	樹脂:×、塗装:×、鉄筋シース:×	原理的には、非磁性であれば計測に影響を受けない。
	(4)対象物の状態による影響			
	i)表面			
	①浮き、ひびわれ、ジャンカの箇所	影響ない。凹凸が酷い所はプラスチック板上にセンサを置いて計測。	照合電極を当てられれば影響ない。	雑音の原因となるため、避けたい。(弾性波が伝達すれば測定可能な箇所もある)
	②あばた状態の箇所	影響ない。凹凸が酷い所はプラスチック板上にセンサを置いて計測。	影響ない。	表面を砥石で平滑化すれば測定可能。
	③塵、埃などの付着物	影響ない。凹凸が酷い所はプラスチック板上にセンサを置いて計測。	除去すれば影響ない。	受信機で弾性波を確実に受信するためには除去する必要がある。
	ii)内部			
	①鉄筋の膨張による鉄筋周辺のひびわれ、付着切れがある場合	原理的には検出信号の値が大きくなるため、影響を受けるが、その程度については不明。	原理的には、鉄筋とコンクリートが完全に分離している場合は計測不能。	総合的に評価する。
検出対象物	②鉄筋が交差する場合(帯筋が手前)	原理的には可能であるが、検証した結果はない。	原理的には計測に影響を受けるが、その程度については不明。	影響回避のためには、交差部を避け、測定対象鉄筋の中央部で計測する。
	③腐食した交差鉄筋が手前にある場合	原理的には可能であるが、検証した結果はない。	原理的には計測に影響を受けるが、その程度については不明。	原理的には不可である。
	④鉄筋が2段以上配置されている場合	原理的には可能であるが、検証した結果はない。	原理的には計測に影響を受けるが、その程度については不明。	手前側の鉄筋のみの評価となる。
	⑤鋼製のスペーサーが配置されている場合	原理的には計測に影響を受ける。検出信号を除く設定について検証した結果はない。	原理的には計測に影響を受けるが、その程度については不明。	鋼製スペーサーが近傍にある場合影響を受ける場合あり。鋼製スペーサーより60mm離れたところを計測する。
	⑥内在塩分量がある場合	原理的には影響を受けるが、その程度については不明。	原理的には計測に影響を受けるが、その程度については不明。	影響はない。
	(5)湿潤状態による影響	計測値には影響なし。ただし、遊離石灰等により表面凹凸が著しい場合は、プラスチック板上にセンサを置いて計測する。	コンクリート表面が湿潤状態は問題なし。コンクリート表面に水が浮いている様な場合は、ウェス等で拭き取る。遊離石灰の影響は無し。ただし、コンクリート内部に水が存在する場合の影響については不明。	湿潤状態でも影響はない。コンクリート表面が水に覆われていないことが必要。
	(6)鉄筋のはつり出しの必要性	不要	必要	不要
計測条件	(1)キャリブレーション	かぶりの違いにより必要となる。	計測毎に必要としない。1回/年、メーカーにて検定を受ける。	定期点検と使用前の動作確認にて実施。
	(2)計測に必要な空間	測定者2名が作業できる0.6m×1.5m程度。	機器は小型化されており、測定者1名の幅(50cm程度)あれば可能。	作業スペースとして、1m×2.5m程度。
計測前の予備情報	(1)計測前の予備情報の必要性の有無	有	有	有
	(2)必要な予備情報の種類	鉄筋位置	鉄筋位置、鉄筋径が予備情報として得られれば計測精度が向上する。	鉄筋位置(かぶり厚さ、鉄筋径、健全な鉄筋の測定データ) ()内の予備情報が得られれば計測精度が向上する。

技術名	MDKセンサによるコンクリート構造物内鉄筋腐食非破壊検査装置	ガルバノスタット法による腐食度測定「コロマップ」	電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法
副題	鉄筋腐食非破壊検査装置	—	電磁パルス法を使った弾性波によるコンクリート中の鉄筋腐食診断技法
開発者	偕成エンジニア株式会社	エフティーエス株式会社	株式会社アミック
測定精度等(開発者保証)	(1)測定レンジと誤差・精度		
	①かぶり(何mmまで可能か)	100mmまで可能。	150mmまで可能。
	②かぶりと誤差・精度の関係	かぶりと誤差・精度との関係についての検証結果はない。	150mmまでであれば、かぶりによる精度低下はない。
(2)分解能と誤差・精度	腐食が進むと電圧が高くなり、腐食の有無について評価可能だが、物理量としての鋼材の腐食量までは現段階では把握出来ない。	腐食電流密度(電気量)を計測。腐食電流密度より鉄筋の腐食状態が判る。ただし、物理量としての鋼材の腐食量までは把握出来ない。	現状では腐食の有無のみを評価する技術であり、腐食量(%) (mm)との明確な相関は不明。非破壊試験(本手法)と破壊試験(はつり目視結果等)とを照らし合わせ、相関があるかどうかの検証段階である。 (はつり等による破壊試験との比較において「日本コンクリート工学会鉄筋腐食度区分Ⅰ～Ⅳ」を使用して相関があるか確認している状況)