

同時発表: 国土交通省 本省

令和3年1月20日
中部地方整備局
企画部 施工企画課

「簡易に鋼材、鉄筋等の腐食状況を把握できる技術」の 試験結果等を公表します。

～新技術活用システムにおけるテーマ設定型（技術公募）の取り組み～

国土交通省では、公共工事等における新技術活用システムの活用方式「テーマ設定型（技術公募）」※により、同一評価項目や試験方法の下で比較可能な技術比較表を作成し、新技術の活用を促進することを目的に技術公募を行い、現場実証試験等を実施しました。

この度、「テーマ設定型（技術公募）」による技術比較表をとりまとめましたので、公表します。

※「テーマ設定型（技術公募）」：直轄工事等における現場ニーズ・行政ニーズ等に基づき技術テーマを設定し、民間等から技術の公募を行い、同一条件下の現場実証等を経て、個々の技術の特徴を明確にした資料（技術比較表）を作成し、新技術の活用を促進する取り組み。

○「簡易に鋼材、鉄筋等の腐食状況を把握できる技術」

1. 公募概要と比較対象技術（別紙1）
2. 技術比較表（別紙2）
3. 現場実証試験結果（参考別紙）

○試験結果等の掲載

NETIS サイト「テーマ設定型」の比較表

<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings> にて公表します。

【問合せ先】

新技術活用システム及びNETIS について

国土交通省 中部地方整備局 企画部 機械施工管理官 永田（内 3132）

施工企画課 課長補佐 鈴木（内 3452）

TEL:052-953-8180（直通） FAX:052-953-9192

1. 公募した技術

- ・簡易に鋼材、鉄筋等の腐食状況を把握できる技術
- ・コンクリートに内在する鋼材や鉄筋等の腐食状況を非破壊により検出する技術

2. 比較対象技術

技術名称	NETIS番号	応募者名
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	KT-190091-A	偕成エンジニア（株）
ガルバノスタット法による腐食測定「コロマップ」	申請中	エフティーエス（株）
電磁パルス応用鉄筋腐食診断技法	KT-200025-A	（株）アミック

3. 現場実証試験方法

電氣的に腐食（電食）させた鉄筋を埋設した、コンクリート供試体を試験対象とする。埋設する鉄筋は、腐食分布や腐食程度、かぶり等が異なる主鉄筋を埋設する。なお、今回の応募技術による腐食検知の原理では、実証できなかった。現場実証試験の結果を「別紙参考」において提示する。

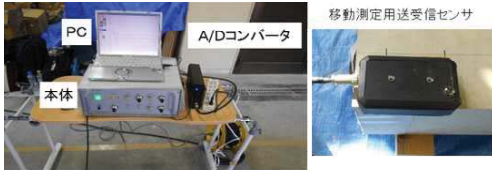
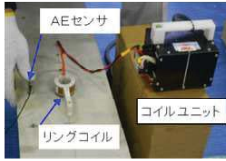
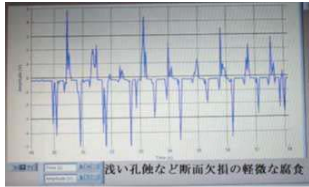
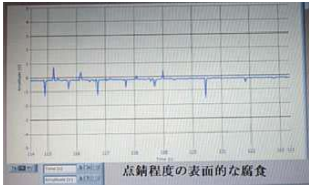
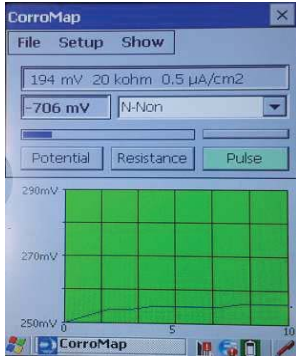
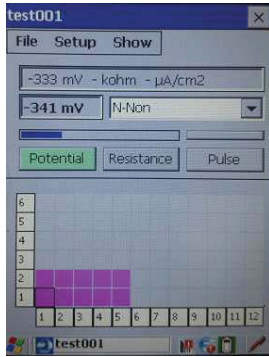
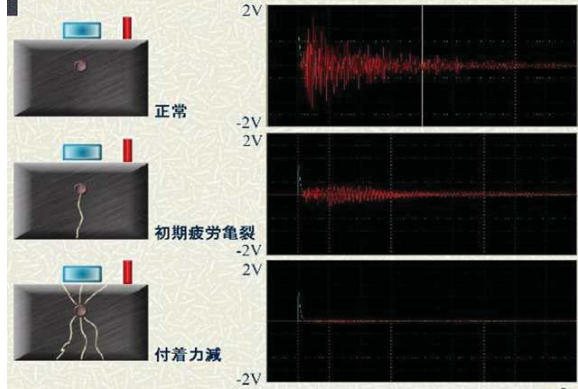
4. 技術比較表の公表

応募情報等によりとりまとめた技術比較表を「別紙 2 」のとおり公表する。

「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。】

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
NETIS番号	KT-190091-A	申請中	KT-200025-A
技術の概要	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。	「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。	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。
検出原理	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。 電圧 時間 振幅差: A-B 位相差: $\theta - \theta'$ 検出用基準信号の位相変化 正常品の出力波形 材料異常による出力波形	「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。 $i_{corr} = K / R_p$ ここで、i_{corr}: 腐食電流密度(A/cm²) K: 定数(V)、R_p: 分極抵抗($\Omega \cdot \text{cm}^2$) 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。 腐食電流密度測定 大気 コンクリート表面 鉄筋 カソード アノード電位(Ea) カソード電位(Ec) 不動態被膜 錆 Fe(OH)₃ Fe²⁺ Cl⁻ Na⁺ H₂O O₂ H₂O NaCl CO₂ 自然電位測定※1 ※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	腐食なし コンクリート 腐食 センサ①の受信信号 弾性波伝搬(強) 時間[ms] センサ②の受信信号 弾性波伝搬(弱) 時間[ms] ①コイルにパルス電流を流す ②コイルよりパルス磁場が発生 ③パルス磁場が鉄筋に作用し弾性波が発生 ④弾性波はコンクリート内部を通過 ⑤表面に設置したセンサで受信

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
外観		  測定状況	  測定状況	   測定状況
寸法		・計測器本体: W355XH255XD200 6kg ・センサ: W150XH35XD90 0.4kg ・A/Dコンバータ: W140XH47XD110 0.35kg	・表示装置 220×90×40mm ・総重量 1.2kg ①ハンドヘルド表示装置 ③スポンジ ⑤クランプ ⑦充電アダプター ⑨テスター(オプション) ・測定部 $\phi 80 \times 170\text{mm}$ ②照合電極 (Ag/AgCl) ④鉄筋と接続するためのピン ⑥クランプケーブル ⑧水入れ	・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: $\phi 20 \times H37$ ・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 $\phi 20\text{mm}$
計測機器接触面積		・移動測定用送受信センサ W150×D90mm ・静止測定用送受信センサ $\phi 110$	$\phi 80\text{mm}$	$\phi 20\text{mm}$
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 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、電気抵抗 $k\Omega\text{m}$ 、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)
	評価方法(出力画面イメージ)	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。   測定時のPC描画波形(移動測定センサー)	 腐食電流密度測定画面  自然電位測定結果のカラーマップ表示	 5ms

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 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、電気抵抗 $\text{K}\Omega\text{m}$)	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 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、電気抵抗 $\text{K}\Omega\text{m}$)	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进行评估する。 腐食電流密度の値が以下の場合 0.5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満の場合:無視 0.5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上、5.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満の場合:低い 5.0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上、15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満の場合:中程度 15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 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 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 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、腐食してい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、かぶりが高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きった鉄筋コンクリート構造物)	かぶりが高5cm以上の構造物。(かぶりが高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いため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℃～40℃	-20℃～50℃(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℃～40℃
	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	ガルバナ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
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。	50mm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。	50mm以内は計測良好だが、50mm以上の場合、かぶりと誤差・精度との関係について、検証した結果はない。
	(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）

今回の現場試験に用いたサンプル供試体・質量減少率の算出方法及び試験結果

供試体	借成エンジニア(株)		エフティーエス(株)		(株)アミック		供試体作成方法と質量減少率の測定	コンクリート	脱型・養生
	腐食程度の 検出精度1	腐食程度の 検出精度2	腐食程度の 検出精度1	腐食程度の 検出精度2	腐食程度の 検出精度1	腐食程度の 検出精度2			
No.1	不可	不可	不可	不可	測定 辞 退		鉄筋 主筋 SD345 D19 交差鉄筋(せん断補強筋) SD345 D13 副筋 SD345 D13 【鉄筋組立写真】     No.1 主筋 SD345 D19 かぶり 50mm 交差鉄筋 SD345 D13 ピッチ 300mm 主筋 0%腐食(製作時目標) No.6 主筋 SD345 D19 かぶり 100mm 交差鉄筋 SD345 D13 ピッチ 300mm 主筋 0%腐食(製作時目標) No.12 主筋 SD345 D19 かぶり 50mm 交差鉄筋 SD345 D13 ピッチ 100mm 主筋 3%腐食(製作時目標) 交差鉄筋 5%腐食(製作時目標) No.14 主筋 SD345 D19 かぶり 50mm 交差鉄筋 SD345 D13 ピッチ 300mm 主筋 3%腐食(製作時目標) コンクリート内にNaClを2.5kg/m3 内在させる	水セメント比: 43%以下 セメント種類: 早強セメント 骨材: 最大寸法20mm 強度: 40N/mm2 (材齢7日) スランプ: 12.0±1.0cm 空気量: 4.5±0.5% 脱型: コンクリート打設翌日 養生: 水中養生(材齢7日まで 水温20±2℃) 【コンクリート打設状況写真】   【脱型・養生状況写真】  	
No.2	不可	不可	不可	不可				質量減少率の算出 鉄筋腐食部分を10%クエン酸ニアンモニウム溶液(60℃)に24時間浸透させて、腐食生成物を除去し、鉄筋の質量減少率を算出する。 質量減少率= (計測点直下の鉄筋直径の3倍程度を目安に、同程度の腐食程度が確認できる範囲における質量減少量)÷(主鉄筋の単位質量2.25kg/m(JIS G 3112)) 供試体No.1 計測点⑨ 除錆前   供試体No.5 計測点⑨ 除錆前  	
No.3	不可	不可	不可	不可					
No.4	不可	不可	不可	不可					
No.5	不可	不可	不可	不可					
No.6	不可	不可	不可	不可					
No.7	不可	不可	不可	不可					
No.8	不可	不可	不可	不可					
No.9	不可	不可	検出不可	検出不可					
No.10	不可	不可	検出不可	検出不可					
No.11	不可	不可	検出不可	検出不可					
No.12	不可	不可	検出不可	検出不可					
No.13	不可	不可	検出不可	検出不可					
No.14	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可					
No.15	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可					

凡例 「不可」 計測の結果、「公募要領 別紙2 評価指標」に記載の「腐食程度の検出精度1」および「腐食程度の検出精度2」にある「指標の定義」を算定できるレベルではなかったもの。 「検出不可」 「公募要領 別紙1ー7 試験方法 (3)計測」にて定義する、応募者が事前調査において申告した、計測できない条件に該当するものの。	<table><tr><td>主筋</td><td>SD345 D19</td></tr><tr><td>主筋かぶり</td><td>50mm</td></tr><tr><td>交差鉄筋</td><td>SD345 D13</td></tr><tr><td>交差鉄筋ピッチ</td><td>300mm</td></tr><tr><td>腐食条件</td><td></td></tr><tr><td>No.9 主筋</td><td>部分腐食3% (製作時目標)</td></tr><tr><td>No.10 主筋</td><td>部分腐食20% (製作時目標)</td></tr></table>	主筋	SD345 D19	主筋かぶり	50mm	交差鉄筋	SD345 D13	交差鉄筋ピッチ	300mm	腐食条件		No.9 主筋	部分腐食3% (製作時目標)	No.10 主筋	部分腐食20% (製作時目標)
主筋	SD345 D19														
主筋かぶり	50mm														
交差鉄筋	SD345 D13														
交差鉄筋ピッチ	300mm														
腐食条件															
No.9 主筋	部分腐食3% (製作時目標)														
No.10 主筋	部分腐食20% (製作時目標)														

供試体概略図および測定点

主筋	SD345 D19
主筋かぶり	50mm
交差鉄筋	SD345 D13
交差鉄筋ピッチ	300mm
腐食条件	
No.1 主筋	0%腐食（製作時目標）
No.2 主筋	3%腐食（製作時目標）
No.3 主筋	10%腐食（製作時目標）
No.4 主筋	20%腐食（製作時目標）
No.5 主筋	30%腐食（製作時目標）

供試体 No.1,2,3,4,5

主筋	SD345 D19
主筋かぶり	100mm
交差鉄筋	SD345 D13
交差鉄筋ピッチ	300mm
腐食条件	
No.6 主筋	0%腐食（製作時目標）
No.7 主筋	3%腐食（製作時目標）
No.8 主筋	20%腐食（製作時目標）

供試体 No.6,7,8

主筋	SD345 D19
主筋かぶり	50mm
交差鉄筋	SD345 D13
交差鉄筋ピッチ	100mm
腐食条件	
No.11 主筋	0%腐食 交差鉄筋 5%腐食（製作時目標）
No.12 主筋	3%腐食 交差鉄筋 5%腐食（製作時目標）
No.13 主筋	20%腐食 交差鉄筋 5%腐食（製作時目標）

供試体 No.11,12,13

主筋	SD345 D19
主筋かぶり	50mm
交差鉄筋	SD345 D13
交差鉄筋ピッチ	100mm
腐食条件	
No.14 主筋	3%腐食（製作時目標） 内在塩分 2.5kg/m ³
No.15 主筋	20%腐食（製作時目標） 内在塩分 2.5kg/m ³

供試体 No.14,15

「簡易に鋼材、鉄筋等の腐食状況を把握できる技術」の評価指標と試験結果

性能評価項目			指標の定義				偕成エンジニア(株)	エフティーエス(株)	(株)アミック
			評価指標			検出する腐食程度など			
精度	腐食程度の 検出精度1	鉄筋腐食程度(質量減少率) 区分を正しく検出できる	正解率	%	正解率 ＝(腐食程度区分の正解数)／(計測点数)	腐食程度:腐食程度区分として、質量減少率を以下の6区分(例)とする。 ①1%未満 ②1%以上3%未満 ③3%以上5%未満 ④5%以上15%未満 ⑤15%以上25%未満 ⑥25%以上	今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	測定辞退
	腐食程度の 検出精度2	鉄筋腐食程度(質量減少率) 区分を正しく検出できる	誤検出率	%	危険方向誤検出率 ＝(腐食程度を実際より小さな区分で判断した誤検出数)／ (計測点数)		今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	測定辞退
					安全方向誤検出率 ＝(腐食程度を実際より大きな区分で判断した誤検出数)／ (計測点数)		今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	今回のサンプル供試体では算出 できるレベルでないため算出しな い。	測定辞退
その他	コスト	試験対象を安く検出できる	コスト	①:円/m ②:円/100m ²	以下の2項目について算出する。 ①(供試体の計測及び解析に要した費用)／(試験対象鉄筋 延長) ②モデルケース(橋梁下部工100m ² を想定※)を対象とした、 計測及び解析に要する費用 ※別紙に「コスト②モデルケース橋梁下部工(RC構造物)参考図」 を添付		① 計測: 12,000円/m 解析: 8,000円/m	① 計測: 43,750円/m 解析: 6,250円/m	① 計測: 17,000円/m 解析: 8,000円/m
							② 計測: 2,100,000円/100m ² 解析: 600,000円/100m ² (1m×1mで100か所測定)	② 計測: 3,000,000円/100m ² 解析: 1,250,000円/100m ² (1m×1mで100か所、かつ1m×1mで 10cm間隔で100点測定。鉄筋探査、 機器損料も含む)	② 計測: 800,000円/100m ² 解析: 400,000円/100m ² (対象範囲より抜き取りで1m ² を10箇 所測定したものと仮定して算出)
	時間効率性	試験対象を早く検出できる	時間効率性	①:min/m ②:h/m	以下の2項目について算出する。 ①(供試体の実計測時間)／(試験対象鉄筋延長) ②(計測データの整理・解析時間)／(試験対象鉄筋延長)		① 計測: 6分/m(移動測定センサー使用) 3分/m(静止測定センサー使用)	① 計測: 2～3分/m	① 計測: 27分/m (鉄筋探査: 10分/m、計測: 17分/m)
② 解析: 2時間/m							② 解析: 10分/m	② 解析: 24分/m	

今回の供試体を用いた試験結果概要

偕成エンジニア(株)

- ①腐食の有無は評価できるのか
 - ・計測点130点のうち8点で評価できた。
- ②腐食の程度はどこまで評価できるのか
 - ・腐食の程度は評価できなかった。
 - ・開発者から提供された情報ではかぶり100mmまで測定可能ではあるが、今回の試験結果からは今回求める精度・誤差について確認はできなかった。
 - ・かぶり50mmで主筋のみの場合、相関は見られるが、測定値と開発者が示す腐食の程度の指標とは一致しなかった。(供試体No.9～10は除く)
 - ・かぶり100mmで主筋のみの場合、相関は見られるが、測定値と開発者が示す腐食の程度の指標とは一致しなかった。
 - ・かぶり100mmで主筋と帯筋が交差する場合、相関は見られるが、測定値と開発者が示す腐食の程度の指標とは一致しなかった。

エフティーエス(株)

- ①腐食の有無は評価できるのか
 - ・測定点80点のうち評価できた点は無かった。
 - ・自然電位の測定では、部分的に腐食の確率不確定の箇所があった。
 - ・自然電位の測定では、腐食量が増えると測定値が増加するという傾向が出た。
- ②腐食の程度はどこまで評価できるのか
 - ・自然電位の測定では、腐食の程度を判断できるレベルに測定値の差が表れなかった。
 - ・開発者から提供された情報ではかぶり150mmまで測定可能ではあるが、今回の試験結果からは今回求める精度・誤差について確認はできなかった。
 - ・かぶり50mmの場合、相関は見られるが、開発者が示す腐食の程度の指標とは一致しなかった。
 - ・かぶり100mmの場合、相関は見られるが、開発者が示す腐食の程度の指標とは一致しなかった。

①開発者 信成エンジニア															
②測定条件															
1. 測定環境															
測定実施年月日										平成31年1月29日					
気温・湿度（着手時、終了時）										着手時 10℃ 40% 終了時： 9℃ 42%					
2. 供試体（凡例）○：検出可、×：検出不可（※応募者による事前申告）															
①乾燥状態 有無										散水無し					
②かぶり(主筋) 50mm または 100mm										50mm:○ 100mm:○					
③腐食分布 均一 または 局所的										均一:○ 局所的:○					
④交差鉄筋のピッチ 100mm または 300mm										100mm:○ 300mm:○					
⑤内在塩分 0kg/m3 または2.5kg/m3										0kg/m3:○ 2.5kg/m3:×					
③測定結果一覧表															
供試体	腐食状況	測定点	測定値 (1/100-V)	鉄筋減少率 (%)	腐食程度の 検出精度1	腐食程度の 検出精度2	備考	供試体	腐食状況	測定点	測定値 (1/100-V)	鉄筋減少率 (%)	腐食程度の 検出精度1	腐食程度の 検出精度2	備考
No.1	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋0%腐食 (製作時目標)	①	-906	0	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	No.9	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 部分腐食※3% (製作時目標)	①	-216	0	不可	不可	※測定点③を 中心に L=100mm範 囲、 測定点⑦を中 心に L=200mm範 囲
		②	-86.2	0	不可	不可				②	-21.7	0	可	可	
		③	-91.6	0	不可	不可				③	-32.5	3	不可	不可	
		④	-500	0	不可	不可				④	-253	0	不可	不可	
		⑤	-92.3	0	不可	不可				⑤	-25.4	0	不可	不可	
		⑥	-86.9	0	不可	不可				⑥	-29.3	1	不可	不可	
		⑦	-500	0	不可	不可				⑦	-280	3	不可	不可	
		⑧	-80.3	0	不可	不可				⑧	-27.1	2	不可	不可	
		⑨	-84.5	0	不可	不可				⑨	-34.9	0	不可	不可	
		⑩	-486	0	不可	不可				⑩	-229	0	不可	不可	
No.2	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋3%腐食 (製作時目標)	①	-314	7	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	No.10	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 部分腐食※20% (製作時目標)	①	-405	0	不可	不可	※測定点③を 中心に L=100mm範 囲、 測定点⑦を中 心に L=200mm範 囲
		②	-58.1	4	不可	不可				②	-56.4	0	不可	不可	
		③	-70.3	4	不可	不可				③	-46.1	24	不可	不可	
		④	-485	5	不可	不可				④	-321	0	不可	不可	
		⑤	-81.5	4	不可	不可				⑤	-15.6	0	可	可	
		⑥	-98.4	4	不可	不可				⑥	-12.9	12	不可	不可	
		⑦	-500	4	不可	不可				⑦	-186	27	不可	不可	
		⑧	-105	4	不可	不可				⑧	0.7	14	不可	不可	
		⑨	-121	5	不可	不可				⑨	8.1	0	可	可	
		⑩	-432	7	不可	不可				⑩	-68.4	0	可	可	
No.3	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋10%腐食 (製作時目標)	①	-483	25	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	No.11	かぶり 50mm 交差鉄筋 @100mm 5%腐食 内在塩分 0kg/m3 主筋0%腐食 (製作時目標)	①	-442	0	不可	不可	①～⑩の全 てが交差鉄 筋箇所
		②	-99.4	18	不可	不可				②	-500	0	不可	不可	
		③	-90.6	18	不可	不可				③	-500	0	不可	不可	
		④	-500	17	不可	不可				④	-500	0	不可	不可	
		⑤	-73.7	15	不可	不可				⑤	-500	0	不可	不可	
		⑥	-68.6	17	不可	不可				⑥	-500	0	不可	不可	
		⑦	-433	17	不可	不可				⑦	-500	0	不可	不可	
		⑧	-49.1	15	不可	不可				⑧	-500	0	不可	不可	
		⑨	-43.2	16	不可	不可				⑨	-500	0	不可	不可	
		⑩	-235	27	不可	不可				⑩	-500	0	不可	不可	
No.4	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋20%腐食 (製作時目標)	①	-500	29	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	No.12	かぶり 50mm 交差鉄筋 @100mm 5%腐食 内在塩分 0kg/m3 主筋3%腐食 (製作時目標)	①	-345	4	不可	不可	①～⑩の全 てが交差鉄 筋箇所
		②	-138	26	不可	不可				②	-462	3	不可	不可	
		③	-137	24	不可	不可				③	-453	2	不可	不可	
		④	-500	24	不可	不可				④	-327	2	不可	不可	
		⑤	-141	21	不可	不可				⑤	-426	3	不可	不可	
		⑥	-123	19	不可	不可				⑥	-330	3	不可	不可	
		⑦	-500	23	不可	不可				⑦	-338	2	不可	不可	
		⑧	-125	24	不可	不可				⑧	-333	3	不可	不可	
		⑨	-132	24	不可	不可				⑨	-285	3	不可	不可	
		⑩	-500	28	不可	不可				⑩	-253	5	不可	不可	
No.5	かぶり 50mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋30%腐食 (製作時目標)	①	-500	46	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	No.13	かぶり 50mm 交差鉄筋 @100mm 5%腐食 内在塩分 0kg/m3 主筋20%腐食 (製作時目標)	①	-417	29	不可	不可	①～⑩の全 てが交差鉄 筋箇所
		②	-111	39	不可	不可				②	-500	21	不可	不可	
		③	-103	34	不可	不可				③	-500	23	不可	不可	
		④	-500	35	不可	不可				④	-500	23	不可	不可	
		⑤	-113	35	不可	不可				⑤	-500	25	不可	不可	
		⑥	-119	35	不可	不可				⑥	-500	26	不可	不可	
		⑦	-500	29	不可	不可				⑦	-500	27	不可	不可	
		⑧	-98.1	30	不可	不可				⑧	-500	27	不可	不可	
		⑨	-109	30	不可	不可				⑨	-500	27	不可	不可	
		⑩	-436	44	不可	不可				⑩	-500	31	不可	不可	
No.6	かぶり 100mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋0%腐食 (製作時目標)	①	-138	0	可	可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	【凡例】 主筋と帯筋が交差しない計測点の電圧値 -25<1/100・V 腐食を認めず -75<1/100・V≤-25 点錆程度の表面的な腐食 -200<1/100・V≤-75 浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食 1/100・V≤-200 断面欠損の明らかな著しい腐食							
		②	-11.7	0	可	可									
		③	-14.2	0	可	可									
		④	-168	0	不可	不可									
		⑤	-21.5	0	可	可									
		⑥	-25.9	0	不可	不可									
		⑦	-214	0	不可	不可									
		⑧	-31.3	0	不可	不可									
		⑨	-35.2	0	不可	不可									
		⑩	-188	0	不可	不可									
No.7	かぶり 100mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋3%腐食 (製作時目標)	①	-3.7	6	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所	主筋と帯筋が交差する計測点の電圧値 -150<1/100・V 腐食を認めず -250<1/100・V≤-150 点錆程度の表面的な腐食 -500<1/100・V≤-250 浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食 1/100・V≤-500 断面欠損の明らかな著しい腐食							
		②	29.3	3	不可	不可									
		③	23.4	3	不可	不可									
		④	-5.6	3	不可	不可									
		⑤	19.8	3	不可	不可									
		⑥	4.9	3	不可	不可									
		⑦	-58.1	4	不可	不可									
		⑧	3.4	3	不可	不可									
		⑨	-19	3	不可	不可									
		⑩	-20.3	6	不可	不可									
No.8	かぶり 100mm 交差鉄筋 @300mm 内在塩分 0kg/m3 主筋20%腐食 (製作時目標)	①	-319	29	不可	不可	①④⑦⑩は 交差鉄筋箇 所								
		②	-73.7	24	不可	不可									
		③	-73.5	26	不可	不可									
		④	-353	24	不可	不可									
		⑤	-64.5	24	不可	不可									
		⑥	-68.4	23	不可	不可									

開発者

エフティーエス株

②測定条件

1. 測定環境

測定実施年月日

気温・湿度（着手時、終了時）

2. 供試体（凡例）○：検出可、×：検出不可（※応募者による事前申告）

①乾燥状態 有無

②かぶり(主筋) 50mm または 100mm

③腐食分布 均一 または 局所的

④交差鉄筋のピッチ 100mm または 300mm

⑤内在塩分 0kg/m3 または2.5kg/m3

③測定結果一覧表

平成31年1月31日

着手時： 10℃ 48% 終了時： 10℃ 53%

散水有り

50mm:○ 100mm:○

均一:○ 局所的:×

100mm:× 300mm:○

0kg/m3:○ 2.5kg/m3:×

③測定結果一覧表

供試体

腐食状況

測定点

自然電位 (mV:CSE)

腐食電流密度 (μA/cm²)

鉄筋減少率 (%)

腐食程度の検出精度1

腐食程度の検出精度2

備考

No.1

かぶり
50mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋0%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

32
42
19
41
69
63
60
40
33
53

0.6
0.7
0.9
0.9
0.8
0.7
0.6
0.7
0.8
0.6

0
0
0
0
0
0
0
0
0
0

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.2

かぶり
50mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋3%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

6
-2
0
27
36
37
41
6
1
30

0.7
1.2
1.3
1.8
1.8
1.8
1.7
2.3
2.3
1.7

7
4
4
5
4
4
4
4
5
7

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.3

かぶり
50mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋10%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

20
-51
-74
-27
-20
-35
-43
-67
-93
-71

1.7
2.1
2.1
1.7
2.8
2.1
2
2.3
2.5
1.6

25
18
18
17
15
17
17
15
16
27

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.4

かぶり
50mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋20%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

-107
-146
-190
-194
-212
-225
-218
-238
-193
-156

0.5
0.9
0.9
0.8
0.7
1.2
0.9
0.9
0.9
0.6

29
26
24
24
21
19
23
24
24
28

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.5

かぶり
50mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋30%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

-99
-133
-161
-131
-113
-135
-126
-174
-161
-64

1.2
1.8
2
2.1
1.8
1.7
1.8
1.9
1.7
1.8

46
39
34
35
35
35
29
30
30
44

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.6

かぶり
100mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋0%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

54
47
50
49
47
38
44
72
64
75

1.4
1.9
1.9
1.4
1.4
2.2
4.6
2.4
2.1
1.2

0
0
0
0
0
0
0
0
0
0

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.7

かぶり
100mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋3%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

52
5
-3
34
52
44
13
-6
27
68

0.8
1.5
1.6
1.1
3.7
1.4
1.4
1.7
1.3
0.8

6
3
3
3
3
4
4
3
3
6

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

No.8

かぶり
100mm
交差鉄筋
@300mm
内在塩分
0kg/m3
主筋20%腐食
(製作時目標)

①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

-60
-70
-149
-160
-154
-205
-206
-218
-233
-240

1.2
1.3
1.2
1.3
1.3
1.2
1.1
1.2
1.3
0.8

29
24
26
24
24
23
22
22
21
27

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可
不可

①④⑦⑩は
交差鉄筋箇
所

開発者による評価

測定結果

・交差部鉄筋が300mmピッチ・かぶり50mmの供試体において、腐食電流密度の計測値は4段階上ではNo.1～5で同区分であり、その値も腐食の程度との関連性が見受けられなかった。また、自然電位法では、腐食減少量の大きいNo.4、No.5において大きな値が見受けられた。

・交差部鉄筋が300mmピッチ・かぶり100mmの供試体において、腐食電流密度の計測値は4段階上ではNo.6～8で同区分であり、その値も腐食の程度との関連性が見受けられなかった。また、自然電位法では、腐食減少量の大きいNo.8において大きな値が見受けられた。

考察

・腐食電流密度と鉄筋の減少率との関係が得られなかった。

・要因として、予め腐食した鉄筋をコンクリート中に埋め込んだことで、コンクリート中の鉄筋が不動態状態であったため腐食電流密度の変化を確認することができなかった。しかしながら、活性化状態であれば鉄筋の腐食電流密度を測定することは可能である。

・自然電位については、予め腐食した鉄筋をコンクリート中に埋め込んだことで、鉄筋が不動態状態で、上手く測定できないと思われたが、結果はある程度の傾向が確認することができた。

測定結果の分析 測定値(自然電位)と質量減少率の相関関係について

供試体のタイプ毎に、自然電位と質量減少率の関係をプロットし、相関関係について確認した。

供試体No.1～5

測定値 (mV:CSE)

●全ての計測点

y = -5.2528x + 27.187
R² = 0.579

●相関係数 R

R= 0.7～1 強い正の相関あり

R= 0.4～0.7 正の相関あり

R= 0.2～0.4 弱い正の相関あり

R= -0.2～0.2 ほとんど相関なし

R= -0.2～-0.4 弱い負の相関あり

R= -0.4～-0.7 負の相関あり

R= -0.7～-1 強い負の相関あり

●全ての計測点
R²=0.58
R=-0.76

供試体No.6～8

測定値 (mV:CSE)

●全ての計測点

y = -3.9189x + 53.979
R² = 0.8036

●相関係数 R

R= 0.7～1 強い正の相関あり

R= 0.4～0.7 正の相関あり

R= 0.2～0.4 弱い正の相関あり

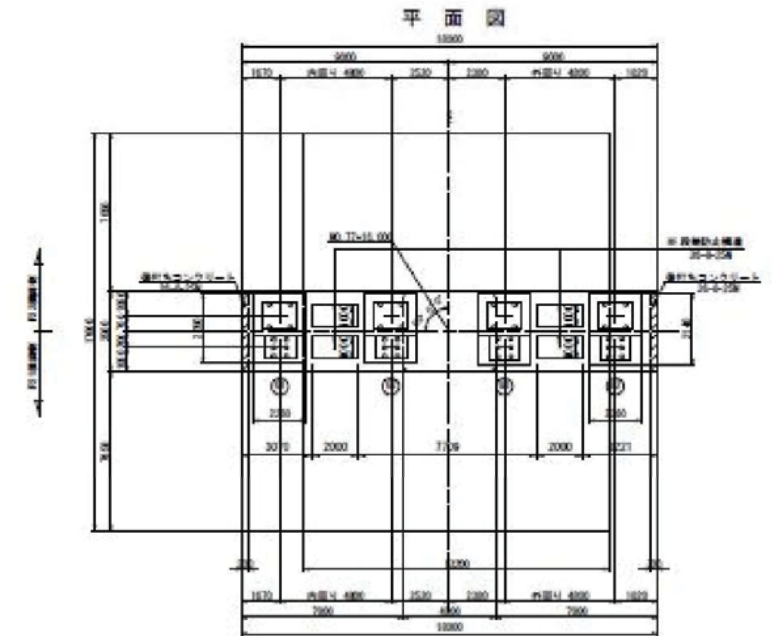
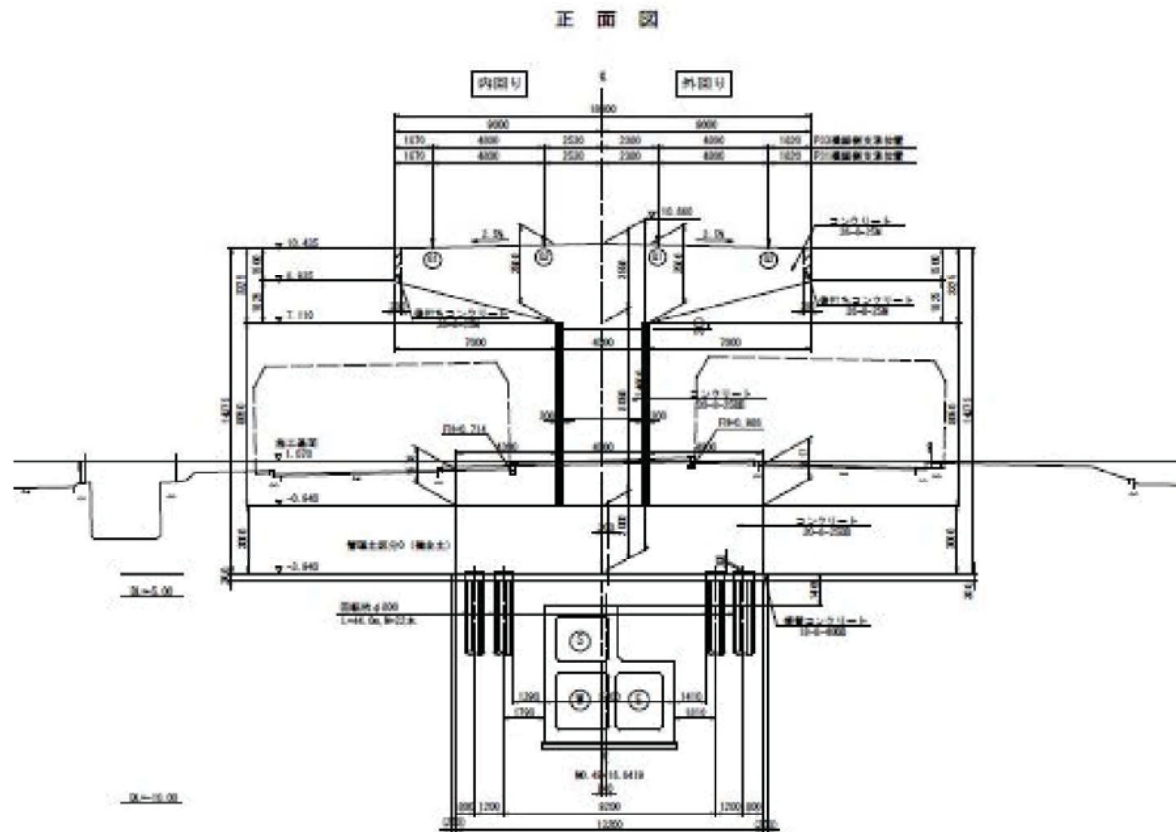
R= -0.2～0.2 ほとんど相関なし

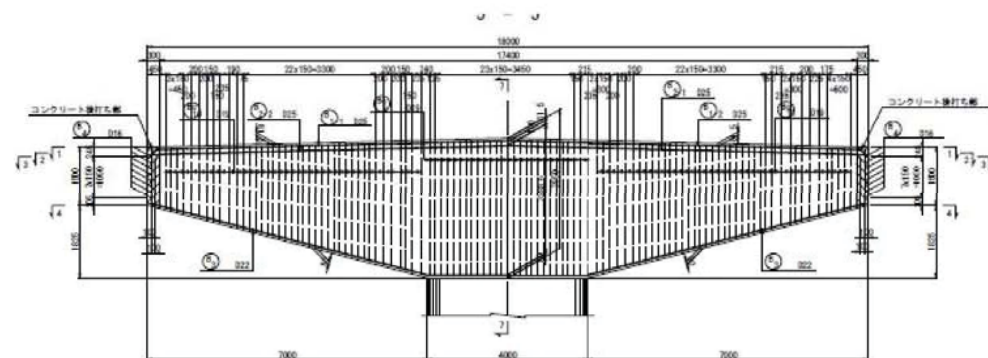
R= -0.2～-0.4 弱い負の相関あり

R= -0.4～-0.7 負の相関あり

R= -0.7～-1 強い負の相関あり

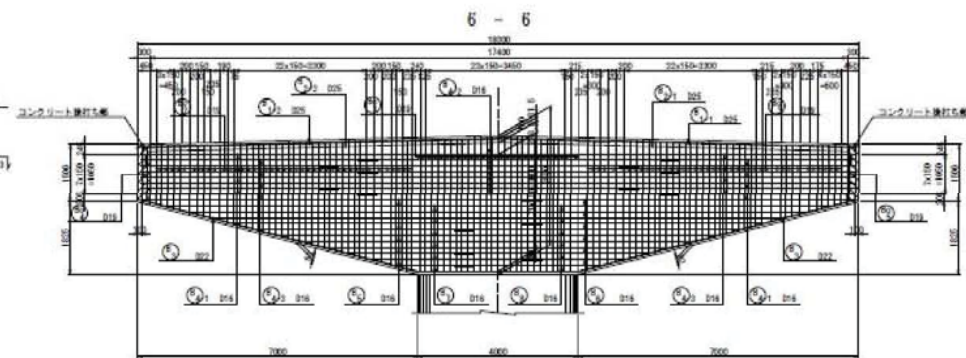
●全ての計測点
R²=0.80
R=-0.90





1 - 1

2 - 2



3 - 3

4 - 4

