マクロセルを模擬した実寸大の供試体におけるCIPE法の適用

日本防蝕工業(株)技術研究所　正会員　○竹子　賢士郎
日本防蝕工業(株)技術研究所　正会員　阿部　健
日本防蝕工業(株)技術研究所　正会員　山本　悟
京都大学大学院工学研究科　正会員　高谷　哲

１．目的

これまでコンクリート中鋼材の非破壊検査は，目視や自然電位法，分極抵抗法が主流であったが，それらは定量的に腐食速度を測定することは難しかった．そこでコンクリート中鋼材の腐食速度を定量的に測定する手法として，測定対象ごとの分極曲線からターフェル式を求める方法（CIPE 法）を開発した[1)]．マクロセルを模擬した実寸大の供試体を作製し，供試体中を流れるマクロセル電流と腐食部の腐食量に対するCIPE法によって求めた腐食量の関係を考察したので報告する．

２．試験方法

２．１ 分割鋼管

コンクリート供試体中に鉄筋を模した複数の分割鋼管を配置した．外径が27.2mmのSGP鋼管（20A黒皮付き）を長さ方向に半割にし，腐食試片（アノード部）およびその裏面の健全試片(カソード部)の長さは98mm，それらの近隣の健全試片は長さを198mmとした．試片の形状および寸法を**図１**に示す．これらにリード線を取り付けた後に，硬質塩化ビニル管（VP13）にM4のねじで固定し，シリコンシーラントで防水処理した．半割試片の仕上がり外径は30mmとした．なお，半割試片から200mm以上離れる，その他の健全試片は長さが143から398mmの鋼管を用いた．腐食試片は予め20kg/m³相当の塩化物イオンを含むモルタルを塗布し，コンクリートが硬化後に1A/m²で6日間アノード溶解処理して腐食させた．

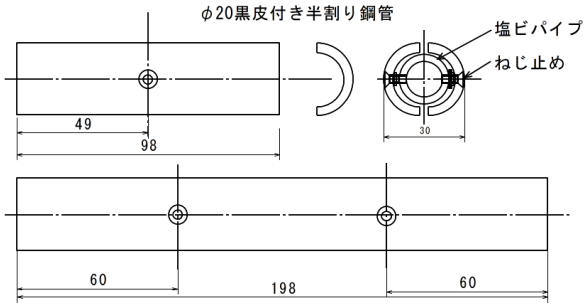

図１　分割鋼管形状

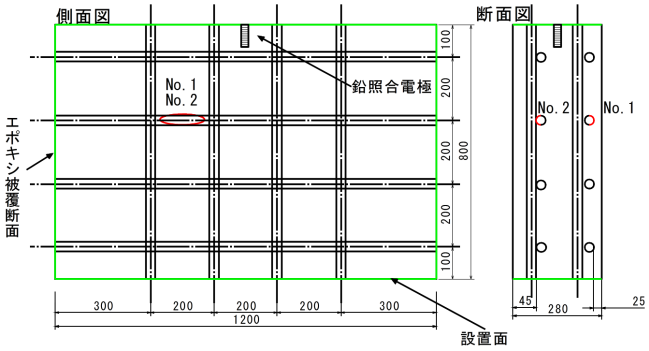

図２　床版供試体形状・寸法

２．２ コンクリート供試体

本試験では床版供試体および梁供試体の合計2体を作製した．本報告では床版供試体における結果を報告する．床版供試体の寸法を**図２**に示す．セメントは普通ポルトランドセメントを使用し，塩化物イオン量で5kg/m³となるよう塩化ナトリウムを混合した．各腐食試片のかぶりの実測値は，No.1が25mm，No.2が45mmであった．供試体は実験室内に用意した水槽内に設置し，大気開放状態で暴露した．乾燥によるマクロセル電流の低下を防ぐため，定期的に散水や水槽内に水道水を入れて供試体を湿らせた．各試片からのリード線を端子台に導き，1Ωの固定抵抗を介して流れる各試片のマクロセル電流を，データロガーを用いて2時間間隔で連続測定した．また，定期的なCIPE法による分極測定のほかに，分極測定時と同様の対極（50mm×100mm）を用いて，対極に対する電流密度で200mA/m²の電流を流した際に各試片にどれだけの電流が流れるかを調べた．試験の終了後に各腐食試片を取り出し，酸洗処理後に秤量して，腐食量を求めた．

キーワード　非破壊検査，塩害，マクロセル，分割鋼管，CIPE法，供試体試験
連絡先　〒258-0021 神奈川県足柄上郡開成町吉田島3540-2 日本防蝕工業（株）技術研究所　ＴＥＬ0465-44-4114

３．試験結果および考察

床版供試体の腐食試片に流れたマクロセル電流の経時変化を**図 3** に示す．矢印で示した部分は約 1 日間供試体を水道水中に完全に水没させた時期で，浸漬時期はマクロセル電流の低下に合わせて行い，2 回目の浸漬以降は 1 週間おきに散水を行った．この結果から試験期間中常に 0.1mA 以上（約 27mA/㎡）のマクロセル電流が流れた．供試体を湿らせた時期と電流の上昇する時期が一致しており，それはかぶりが浅いほど大きかった．このときの梁供試体におけるかぶり深さ 20mm と 50mm における抵抗率はそれぞれ 60.4Ω・m と 76.3Ω・m であった．このことから，腐食反応に必要な水分の供給が，かぶり深さによって差があったと考えられる．

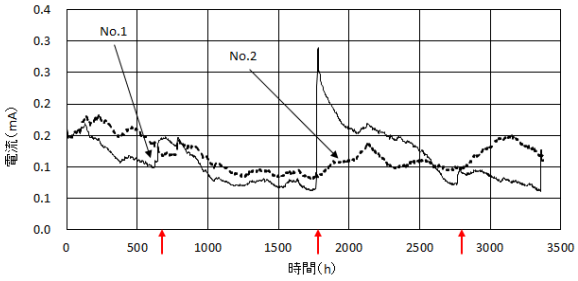

図 3　マクロセル電流経時変化

表 1　実腐食量と理論腐食量の比率

試験片番号	かぶり	実腐食量 (g)	理論腐食量 (g)	比率 (%)
No.1	25mm	0.7339	0.3968	54%
No.2	45mm	0.8097	0.4190	52%

各腐食試片の実際の腐食量と測定したマクロセル電流から計算した理論腐食量の比率を**表 1** に，各腐食試片直上に対極を設置し，対極の面積に対して 200mA/㎡の電流密度（1000μA）で通電した際に，直下の腐食試片およびその裏面の試片に流れる電流量の和が占める通電電流量に対する比率を**表 2** に示す．

表 2　通電電流に対する試片に流れる電流の比率

No.1直上から通電	カソード			アノード		
	No.1	裏面	比率	No.1	裏面	比率
No.1	321	69	40%	−507	−85	60%
No.2直上から通電	カソード			アノード		
	No.2	裏面	比率	No.2	裏面	比率
No.2	101	81	19%	−317	−86	41%

単位：μA　（符号－：流出）

理論腐食量と実腐食量の割合は**表 1** に示すようにおよそ 50%であった．これは実際の腐食量には腐食試片の自己腐食が含まれているためと考えられる．このことから，腐食試片におけるマクロセル電流の割合はおよそ 50%程度と考えられる．CIPE 測定時における通電電流の割合を見ると，**表 2** に示すように両試片ともにアノード電流の割合が大きく，かぶり深さが大きいほど割合が低下していることが分かる．これは，腐食試片からアノード電流が流れやすかったこと，および腐食試片の電位が周りの健全試片に比較して卑であり，また，カソード電流を通電した際に電位がより貴な周りの健全部に電流が入りやすかったことならびに，かぶりが深いほど通電電流がより広がりやすくなったためと考えられる．

また，通電電流の割合試験直前（試験時間約 2800 時間経過後）に測定した No.1 試片の表側と裏側のマクロセル電流の和は 91μA であり，これを両試片の面積（8.4×10^{-3} ㎡）で割った電流密度は 10.8mA/㎡であった．**表 1** よりマクロセル電流の割合を 54%とすると，以下の式（1）に示すように実測値から推定される全体の腐食電流密度は 20mA/㎡となる．

$$91\mu A \div (8.4\times10^{-3})\ m^2 \times 10^{-3} \div 0.54 = 20mA/m^2 \qquad (1)$$

このときの CIPE 法から求めた腐食電流密度は 70mA/㎡であった．CIPE 法の通電方法は対極の大きさに対する電流密度で測定しているため，直下の試片の面積あたりの電流密度に換算すると 42mA/㎡となる．表 2 の結果から，No.1 試片の CIPE 測定時における通電電流の割合は平均でおよそ 50%であるため，以下の式（2）より CIPE 法によって測定された腐食電流密度は 21mA/㎡となり，腐食量の実測値から求めた腐食速度と CIPE 法によって求めた腐食速度がほぼ一致した．

$$70mA/m^2 \times ((8.4\times10^{-3}) \div (5\times10^{-3})) \times 0.5 = 21mA/m^2 \qquad (2)$$

この計算結果はあくまで直下の腐食部の面積が既知の場合であり，実構造物ではどの程度の範囲に電流が広がるかを推定するためには，様々な条件において FEM 解析などにより補正係数を求めることが必要である．

参考文献

1）竹子賢士郎，山本悟，高谷哲：分極曲線測定によるコンクリート中鋼材の腐食速度測定方法の開発，JCI 年次論文集 Vol.36，No.1，2014，pp.2092-2097