実部材から取得した鋼材のカソード分極抵抗に基づく数値解析による分極量分布の評価

東北大学　正会員　○皆川　浩，村山 俊平，宮本 慎太郎，久田 真
住友大阪セメント(株)　非会員　鹿島 篤志
(国研)土木研究所　正会員　石田 雅博　非会員　宇佐美 惣

1. 背景と目的

コンクリート構造物の電気防食工法では鋼材の防食電流や分極量の分布を適切に予測して陽極の配置を決定することが重要になる．近年では FEM 等を利用した予測技術が進歩しているが，その結果は数値解析の境界条件となる鋼材のカソード分極特性に大きく依存する．そのため，実構造物から適切にカソード分極特性を評価し，それを数値解析モデルに実装する必要がある．本研究では塩害撤去 PC 桁を対象として，実験結果および数値解析結果を比較することで，既存方法 [1] の妥当性を考察した．

2. 実験概要

2.1 塩害撤去 PC 桁の概要

東北地方の日本海沿岸部にて約 50 年間供用された 2 径間 PC ポストテンション T 桁橋から採取した PC 桁を本研究では対象とした．同橋は飛来塩分による塩害が顕在化し，チタン系点状陽極方式の電気防食工法が適用されていた．電気防食の適用期間は約 10 年である．

2.2 測定項目

(1) 自然電位測定

PC 桁の腐食傾向を把握するために，最外縁部に位置するスターラップを対象として，JSCE-E 601-2013 により自然電位の測定を行った．使用した照合電極は鉛照合電極である．

(2) 簡易分極試験

コンクリート中の鋼材のカソード分極特性を評価するために，**図-1** に示すような簡易分極試験を実施した．簡易分極試験では，簡易分極試験用陽極，測定対象鋼材，直流電源装置を接続して**図-1** のような回路を形成し，簡易分極試験用陽極の中心点を含む 3~5 点の測定点で自然電位および直流電源装置から任意の電流量を流した時の鋼材のオン電位とインスタントオフ電位を測定し，自然電位とインスタントオフ電位の差から分極量を算出する．オン電位とインスタントオフ電位の測定は直流電源装置から供給する電流量を電気防食の E-logI 試験の要領で徐々に増加させ，複数回実施する．本研究では，分極量がマイナス側に約 50，100，250 mV に変化するまでに少なくとも 2 回の測定を行った．

図-2 に対象とした桁断面の配筋図と陽極設置箇所ならびに電位測定位置を示す．なお，本研究では電位の測定対象をスターラップとした．

(3) 既存陽極を用いた分極試験

既存のチタン系点状陽極を用いて桁全体に通電し，分極試験を行った．通電した防食電流は供用期間中のそれと同等である．

3. 数値解析の概要 [1]

本研究ではコンクリート中の電位と電流の分布を FEM で Laplace 方程式を解くことで算出する．境界条件などの設定も既往の研究 [1] と同様である．

3.1 解析モデルの概要

解析モデルは**図-3** に示すように，スターラップの間隔を考慮して桁軸方向の長さ 200 mm 分を作成した．

3.2 カソード分極抵抗の評価方法

本研究では簡易分極試験で得られた測定結果と数値解析によりコンクリート中鋼材のカソード分極曲線を推定する．次に手順を示す．

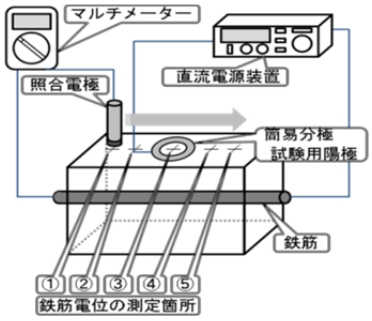

図-1　簡易分極試験における回路の概要

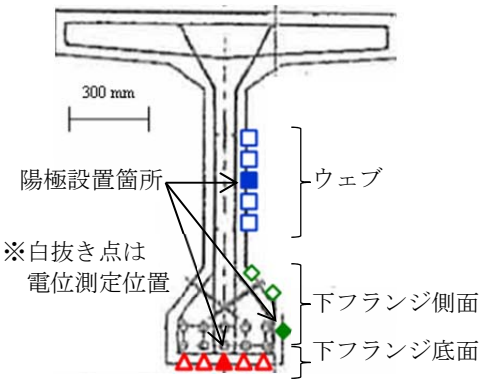

図-2　配筋および簡易分極試験実施位置

キーワード　コンクリート構造物，電気防食，数値解析，カソード分極抵抗，分極量，防食電流
連絡先　〒980-8579　仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06　東北大学土木工学専攻建設材料学研究室　ＴＥＬ022-795-7430

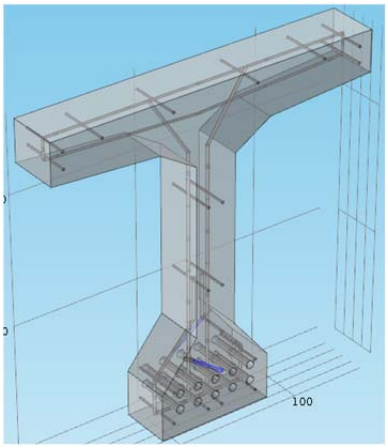

図-3 数値解析の形状モデル

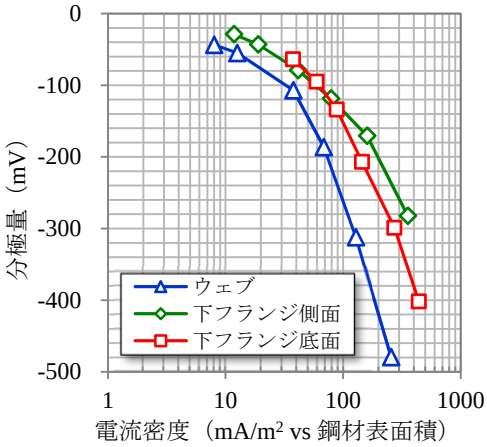

図-4 鋼材の分極曲線の評価結果

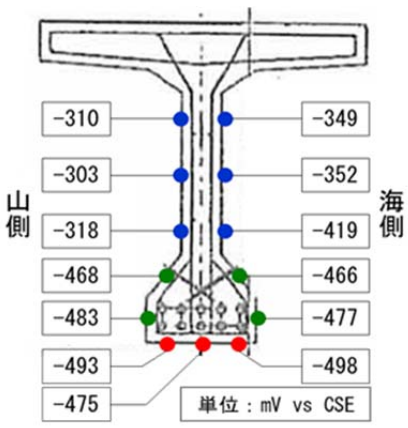

図-5 自然電位（スターラップ）

1) 2.2(2)に示した簡易分極試験を実施する．
2) 鋼材電位がマイナス側におおよそ 100 mV ほど変化した際の直流電源装置の電流と電圧をもとにコンクリートの電気抵抗率を決定する．
3) 簡易分極試験にて測定した電流と電圧，および，仮のカソード分極抵抗を境界条件として数値計算を実行し，その結果として得られる分極量の分布を試験結果と比較する．この計算をカソード分極抵抗を変化させて実施し，解析結果と試験結果の分極量の差が最も小さくなったときのカソード分極抵抗を最終的な算出結果とする．
4) 3)を簡易分極試験の測定回数分実施する．
5) 鋼材に流入する電流密度と分極量の関係を再計算し，鋼材のカソード分極曲線を得る．

4. 実験結果および解析結果

図-4 に簡易分極試験と数値解析により評価したスターラップのカソード分極曲線を示す．**図-4** より，下フランジ側面と底面に比べてウェブの方が分極しやすい傾向にあることがわかる．ここで，**図-5** を見ると，分極がしやすい傾向のあるウェブの方で自然電位が貴側になる傾向が見られた．一般に，鋼材が健全であるほど分極しやすくなる傾向があるため，今回の評価結果はこの傾向と合致していると考えられる．

図-6 に，既存のチタン系点状陽極により防食電流を供給した時の解析結果と実験結果の比較結果を示す．なお比較には分極量比（解析あるいは実験によって得られた分極量を下フランジ側面の分極量で除した値）を用いた．比較した位置は**図-5** の自然電位の測定位置と同じである．

既往の研究 [2)]では，境界条件となる鋼材のカソード分極抵抗の設定値によっては，分極量比が 100 近くなるケースが存在したが，**図-6** ではそのように極端な乖離は発生しなかった．なお，数値解析の方が分極量を過小に評価する傾向が確認された．この原因としては，コンクリート表面を流れる電流および鋼材の腐食生成物の電気抵抗率を解析に考慮していないこと等が原因と考えられる．

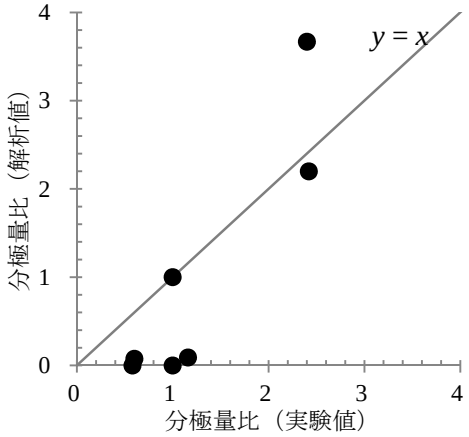

図-6 数値解析と実測値の比較

5. 結論

本研究で実施した手法により，自然電位から判断される腐食傾向と合致した鋼材のカソード分極抵抗が得られることを示した．また，実際の陽極方式で解析結果と実験結果を比較すると，解析結果は分極量を過小に評価する傾向が確認された．

謝辞 本研究の一部は土木学会吉田研究奨励賞の奨励金により行いました．また，実部材の測定に際しては，(国研)土木研究所，コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会，日本エルガード協会の関係諸氏にご協力いただきました．ここに謝意を表します．

参考文献

1) H. Minagawa et al. : Protection Current Distribution Estimated by 3D-FEM with Cathodic Polarization Resistance Obtained from Small-Scale Destructive Procedures, NACE INTERNATIONAL EAST ASIA & PACIFIC RIM AREA CONFERENCE & Expo 2013, Vol.EAP13-4500, 2013
2) 村山ら：鋼材腐食が偏在した PC 橋梁における電気防食工法の補修効果に関する一考察，土木学会東北支部技術研究発表会（平成 25 年度），Vol.V-33, 2014