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

東北大学　学生会員　○　村山　俊平
東北大学　正会員　皆川　浩，宮本　慎太郎
久田　真
住友大阪セメント（株）　非会員　鹿島　篤志

1. 研究の背景と目的

電気防食工法では不適切に陽極が設置された場合，防食不足や過防食が生じ，十分な防食効果が得られない可能性がある．本研究は，鋼材腐食の偏在を想定し，陽極の配置がポストテンション T 桁の防食効果に及ぼす影響を数値解析により評価した．

2. 数値解析概要

2. 1 数値解析方法

本研究で使用した数値解析手法の支配方程式はラプラス方程式であり，境界条件はコンクリートと空気，鉄筋および陽極の接触面の 3 ヶ所にそれぞれ既往の研究[1)]を参考として設定した。また本 FEM 解析に用いたコンクリートの電気抵抗率は配合や環境条件を考慮して 1000 Ω m とした．

2. 2 解析モデル概要

解析モデルの概要を**図－1** に示す．解析による鉄筋への流入電流量の推定箇所は大きく分けてウェブの側面，下フランジの側面および底面のスターラップである．それぞれの測定箇所で長さ 1 cm 分の鉄筋の流入電流量を評価し，それを電流密度に換算した．

この T 桁に対し陽極材としてチタンロッド陽極，チタンリボンメッシュ陽極，チタンメッシュ陽極の 3 種類を用いることを想定した．チタンロッド陽極とチタンリボンメッシュ陽極については，陽極の配置パターンをそれぞれ 2 通り考慮し，**図－2** に示すように計 5 種類のモデルを用いて解析を行った．なお，本研究では下フランジ部分（T 桁の下側の台形部分）を防食対象領域と想定し，陽極の配置を決定した．

2. 3 境界条件の水準

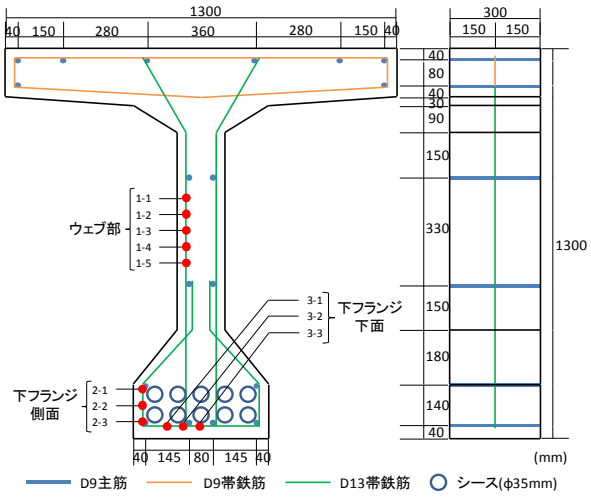
電気防食の数値解析の結果は鉄筋表面において設定される境界条件に大きく影響を受けるため，鉄筋の腐食状況を考慮して適切に境界条件を設定することが解析結果の信頼性を確保する上で重要になる[2)]．本研究では境界条件の水準として実際の腐食状況を模擬し，主に下フランジ部で腐食が進行することを想定して，2 通りの腐食パターンを設定した．既往の研究[3)]に基づき設定した各腐食グレードの概要を**表－1** に，本研究で解析対象とした腐食パターンを**表－2** に示す．なお各腐食グレードにおける鉄筋のカソード分極抵抗および陽極のアノード分極抵抗の値は既往の研究[3)]により構築されたデータベースを基に決定した．陽極への印加電圧は陽極よりコンクリート中へ流出する総電流量が各モデルにおいて概ね等しくなるように設定した．

表－1　腐食グレード[3)]

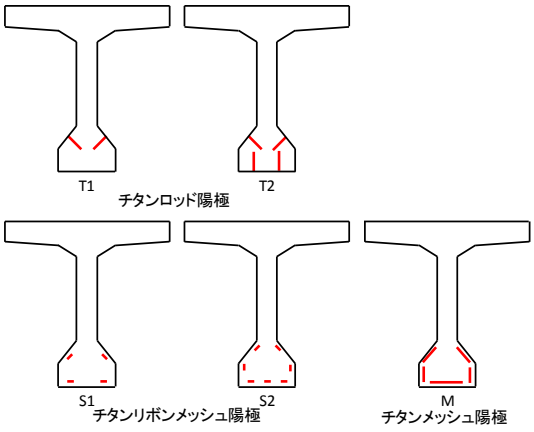
腐食グレード	鋼材の腐食状況
A	施工時の状態を保ち腐食なし
B	部分的に浮き錆が認められる
C	表面の大部分に腐食が認められる
D	鉄筋の全周にわたり断面欠損
E	鉄筋断面が3/6～4/6欠損している

表－2　腐食パターン

腐食パターン	上フランジ・ウェブ腐食グレード	下フランジ腐食グレード
1	A	B
2	A	D

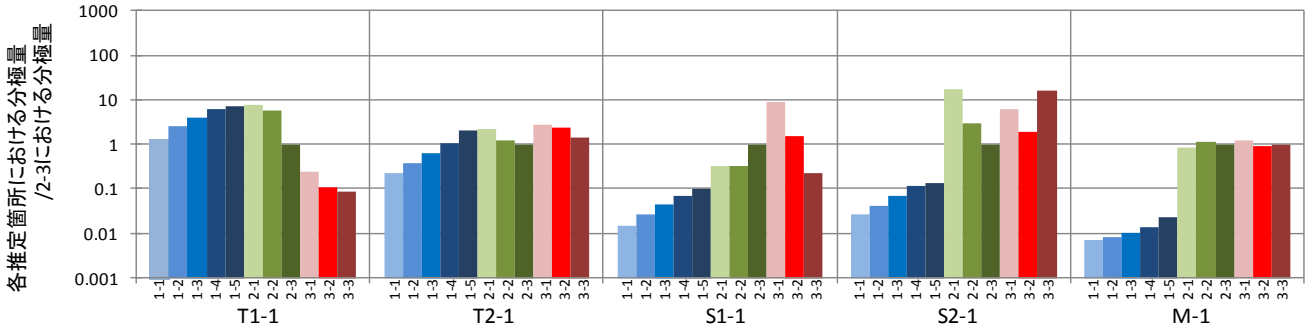


図—1　解析モデル形状，寸法および推定箇所

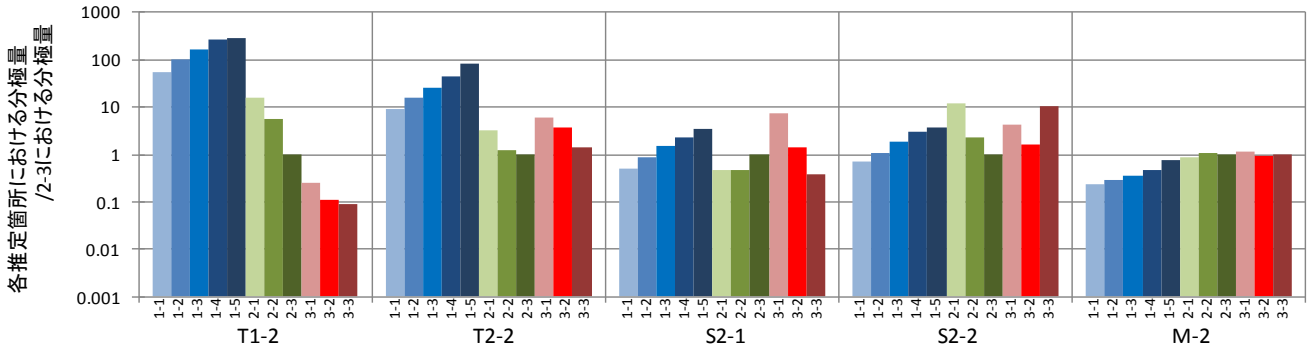


図－2 陽極配置位置

キーワード　電気防食工法，防食効果，PC 橋梁，鋼材腐食，数値解析
連絡先　〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻　ＴＥＬ022-795-7427



図－3　腐食パターン 1 における各分極量比



図－4　腐食パターン 2 における各分極量比

なお，解析結果の表示については，T1-1 のように「陽極の配置」－「腐食パターン」とする．陽極の配置および腐食パターンの記号についてはそれぞれ**図-2** および**表-2** に示すとおりである．

3. 解析結果および考察

3.1　解析結果

図－3 および**図－4** に，各腐食パターンにおける分極量比を示した．ここでいう分極量比とは各推定箇所において算出した分極量を推定箇所 2-3 における分極量で除した値である．

3.2　腐食の偏在が少ない場合の陽極配置の影響

図－3 より，T1 の結果を見ると下フランジ下面での分極量が小さいということが分かる．これは陽極より流出した電流がシースおよびウェブ部のスターラップ等に流入し，下フランジ下面への鉄筋への電流の流入量が少なくなってしまったためである．このため，腐食のないウェブ部では過防食，流入電流量の少ない下フランジ下面では防食不足が考えられる．これに対し T2 では底面に陽極を増やした結果，下フランジ下面でも他推定箇所に近い分極量を示し，比較的均一性に優れた防食結果を示している．また S1 および S2 は T1 や T2 と比較すると防食対象領域である下フランジ部に防食電流を適切に供給できていると考えられるが，S1 については下フランジ部下面において分極量の変化が大きくなっている．これは S1 の陽極の設置間隔が S2 に比べ広く取られているため，陽極の近傍部とそれ以外の場所での流入電流量の差が大きくなったことが原因と考えられる．また面状に陽極が設置された M では下フランジ部における各箇所の流入電流量の差がほとんど見られず，他の陽極配置に比べて最も適切な防食がなされると考えられる．

3.3　腐食の偏在が大きい場合の陽極配置の影響

いずれの解析モデルにおいても腐食パターン 1 に比べ，腐食パターン 2 におけるウェブ部の分極量比が大きくなっていることが分かる．これは腐食パターン 2 では下フランジ部での腐食が進行し，分極し難くなっているため，推定箇所 2-3 において腐食パターン 1 と同等の分極量に達するのに必要な電流量が増え，結果としてウェブ部へ流入する電流も増えたためであると考えられる．このため，T1，T2 ではウェブ部において分極量が大きくなったと考えられる．S1，S2，M では腐食パターン 1 で分極量比の値が小さかったウェブにおいても流入電流量が増加し，下フランジ部に近い分極量を示していることが分かる．

4. 結論

鋼材腐食が偏在する部材に電気防食工法を適用する場合は，防食不足あるいは過防食を避けるために，鋼材の腐食程度およびその分布を考慮して適切な陽極配置を検討することが重要である．

参考文献

1) 皆川浩ほか：有限要素法による鉄筋コンクリート電気防食の電流分布に関する検討，「コンクリート構造物の長期性能照査支援モデル」に関するシンポジウム，Vol.JCI-C64，pp.351-356，日本コンクリート協会，2004

2) Hiroshi Minagawa et al., Protection Current Distribution Estimated by 3D-FEM with Cathodic Polarization Resistance Obtained from Small-Scale Destructive Procedure, NACE International East Asia & Pacific Rim Area Conference & Expo 2013, EPA13-4500 (CD-R), 2013

3) 佐藤唯ほか：温度が鉄筋のカソード分極特性に及ぼす影響の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.1067-1072，2010