

かぶり中の欠陥が電気防食時における電流分配に与える影響

維持管理工学研究室 新田和音

1. 研究目的

電気防食を行うための前作業として行われるはつり作業の衝撃で、隣接する健全なコンクリート部にひび割れが発生することが懸念される。ひび割れが絶縁層となり防食電流の分配に影響を及ぼす可能性もあるが、欠陥部の大きさや陽極・鋼材との距離や位置関係次第では、電流がひび割れを迂回して鉄筋まで回り込むことができると考えられる。そこで本研究では、かぶりに欠陥部が存在する箇所に電気防食工法を施すと想定し、陽極と鉄筋の間に欠陥部を設けた供試体を用いて防食電流の分配を調査し、差分法による数値解析によって検証することを目的とした。

2. 実験と解析

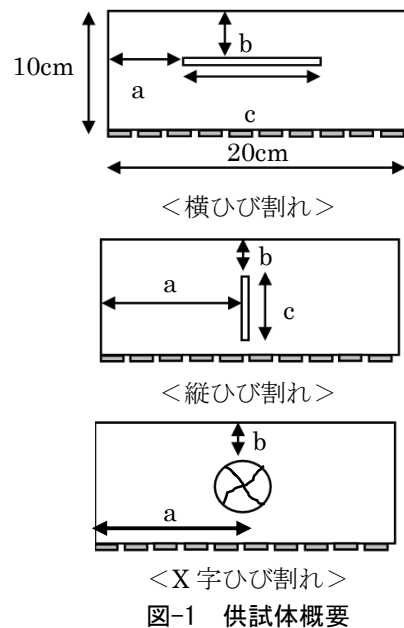
2.1 モルタル供試体を用いた検証

欠陥部を有するモルタル供試体に電圧を作用させ、各鋼材要素に流入する電流を測定することにより、欠陥が電流分配に及ぼす影響を調べる。

欠陥部の位置や大きさを示したものを表-1 に、供試体概要を図-1 に示す。供試体は 10×10×20cm の角柱供試体で、ひび割れを模した OHP フィルムの幅や位置を変えた No.1~10 と、割裂載荷によってひび割れを導入したφ5cm の円柱供試体を打設時に埋設することで X 字のひび割れを表現した No.11 の計 11 種類作製した。供試体下面には鋼板 (1.6cm×10cm) を鉄筋の代わりの陰極として 10 枚配置している。陰極番号は図-1 の左端から 0~9 とした。直流電源装置により 1V の電圧を陽極と陰極の間に加え、データロガーを用いて各陰極に流入する電流を記録した。陽極位置は、陰極 0 の真上にあたる供試体の端と、OHP フィルム中央 (No.1~6) もしくは供試体中央 (No.7~11) の 2 パターンで測定を行った。また電圧の作用方法についても、10 個の陰極すべてを並列に接続して同時に電流を流し、それぞれの陰極に流入する電流を測定する方法 (以下全接続) と、陰極 1 つずつ単独で電圧を作用させ、電流を測定する方法の 2 パターン行った。供試体裏面の陰極にはそれぞれ電線を取り付け、それをデータロガーに接続することで各陰極に流入する電流

表-1 欠陥部の位置と大きさ

供試体 No.	ひび割れ	a (cm)	b (cm)	c (cm)
1	横	-	-	-
2		8	4	2
3		6	4	6
4		4	4	10
5		2	4	14
6		2	7	14
7	縦	-	-	-
8		10	2.5	4
9		10	5	4
10		10	2.5	6.5
11	X 字	10	2.5	



を記録した。

2.2 差分法による数値解析

電流分布の解析方法として有限要素法 (FEM) などが一般的に用いられるが、今回は簡易的な二次元差分法を用いることによって供試体内部の電流分配を検証した。

Excel のシート上のセルを 5mm×5mm の要素として考え、供試体の断面図を Excel で作成、それぞれのセルに数式を入力して反復計算させることにより解析を行った。Excel の反復計算は最大反復回数 10000 回で、前ステップとの電位の差が 0.00001 (V) となったら収束と判断した。解析では、供試体を用いた測定と同じ条件にするために印加電圧として 1V を与えた。解析で用いたパラメータに関しては実測値を用いた。モルタルの抵抗は、供試体と同じ配合で作成した φ5cm×10cm の円柱供試体を用いて測定した。鋼板の分極抵抗は実際の供試体を用いて測定した。

2.3 実測値と解析値の比較

図-2 に実測値と解析値を比較したグラフの一部（全接続）を示す。陰極によっては解析値とほぼ同じの値を示しているものもあり、完全に一致させることはできなかった。理由としては、供試体の内部の乾燥状態が一樣でなく電気伝導に影響を及ぼしていること、陰極に使用した鋼板とモルタルとの接触状況が一樣でないこと、供試体作製時に打設不良があったことなどが考えられる。ただし、全体的な傾向としては実測値と解析値である程度値が一致しており、また陽極の位置および欠陥部の位置、大きさの違いによって同じ供試体でも陰極ごとに流れ込む電流の大きさに差が見られるが、この傾向も実測値と解析値でほとんど一致している。したがって今回のような二次元差分法を用いた簡易的な数値解析でも、欠陥部を有する供試体内での電流の流れ方について、ある程度の信頼性が認められる解析を行うことができることが分かった。

3. 数値解析の応用

3.1 既往の研究のパラメータを用いた数値解析

第2章の結果から差分法による数値解析にある程度の信頼性があることが分かった。そこで応用として、既往の研究から実験とは異なるコンクリート抵抗、分極抵抗を用いた数値解析を行った⁽¹⁾。それぞれ値を表-2 に示す。今回の数値解析では表-2 の値を解析パラメータとしてそのまま使用し、第2章までで使用したモルタル供試体に適用させた。なお解析には、横ひび割れシリーズからは No.1, 3, 5, 6 を使用、縦・X 字ひび割れシリーズからは No.8, 9, 10, 11 を使用した。

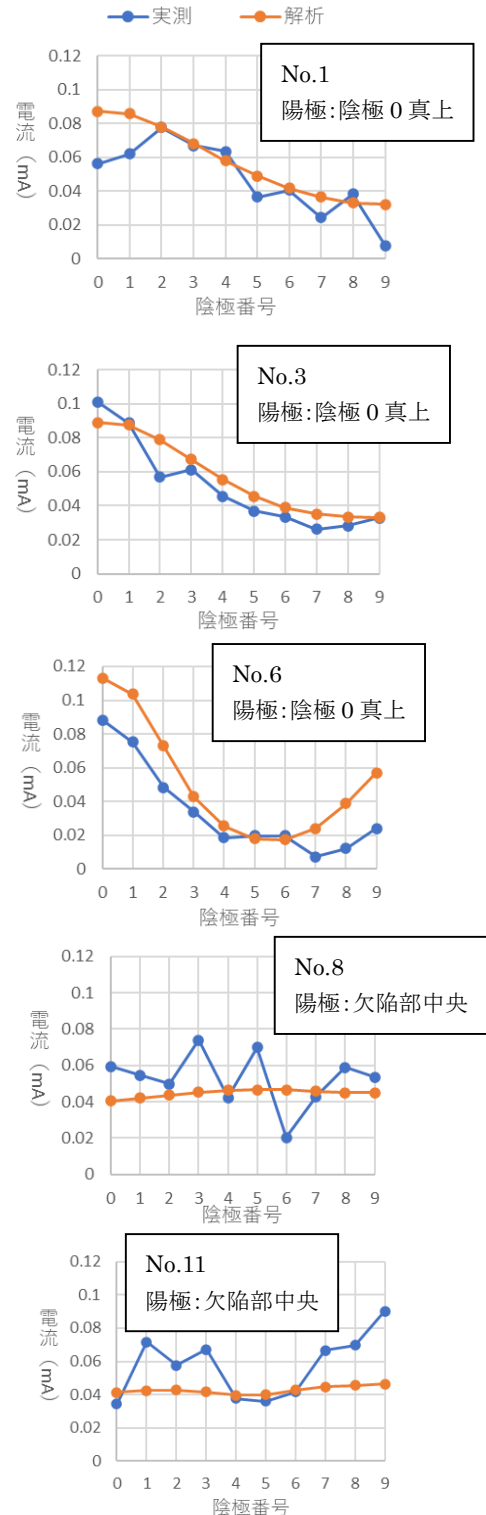


図-2 実測値と解析値の比較

表-2 解析に用いたパラメータ

	N30	NN
鋼板の分極抵抗 (Ω)	5600	14000
コンクリートの抵抗 (Ω)	1400	

3.2 既往の研究のパラメータを用いた解析結果

図-3 に既往の研究のパラメータを用いた数値解析の結果（全接続）を示す。横ひび割れシリーズ、縦・X字ひび割れシリーズともに、内在塩分のある N30の方が塩分が入っていない NN よりも電流が大きいことが分かる。また N30の方が供試体間の電流量の開きが大きく、欠陥の影響を大きく受けていると言える。N30の方が分極抵抗が小さいため、分極抵抗が小さいほど欠陥部が電流分布に及ぼす影響は大きくなり、コンクリートが健全で分極抵抗が大きい場合には、陰極の位置によって流れる電流に大きな差は出ないということが分かった。さらに、横ひび割れシリーズにおいては欠陥部のない N30-1 と大きめの欠陥部を有する N30-6 では陰極ごとに流れる電流の値に大きな差があるのに対し、縦・X字ひび割れシリーズは欠陥部の有無でそれほど大きな差が出ていない。

それぞれの供試体の各陰極に流入した電流の合計をまとめたものを図-4 に示す。これを見ると、横ひび割れシリーズでは N30 でも欠陥部の有無で最大 0.05mA 程度の差（N30-1 と N30-6）が生じているのに対し、縦・X字ひび割れシリーズに関しては電流値の差が小さく最大 0.015mA 程度の差（N30-1 と N30-11）となっており、縦・X字ひび割れは電流の流れに大きな影響を与えないことが分かった。なお、横ひび割れシリーズ、縦・X字ひび割れシリーズともに、陽極が供試体の端よりも欠陥部の真上に設置されている場合の方が電流の大きさに与える影響が多少大きく、欠陥部の大きさ、また陽極の位置による影響が若干ではあるが生じていると言える。

一方、分極抵抗の違いによって供試体全体に流れる電流量の合計には 0.1mA 程度の差が生じる。また分極抵抗の大きい NN の方が、流れる電流の供試体間の差は小さい。このことから、同じ欠陥部の形状、位置、また同じコンクリート抵抗でも、分極抵抗が流れる電流に大きな影響を及ぼすことが分かった。

3.3 実構造物を想定した数値解析

最後に実構造物を想定したモデルで数値解析、検証を行った。今回はかぶり 5cm のコンクリート構造物にチタンメッシュリボン陽極を用いた電気防食を行う、という前提のもと、この構造物のかぶり部周辺をモデル化したもの（図-5）に対して数値解析を実施する。これまでの結果から、ひび割れは鉄筋に対して平行のものの方が直角の

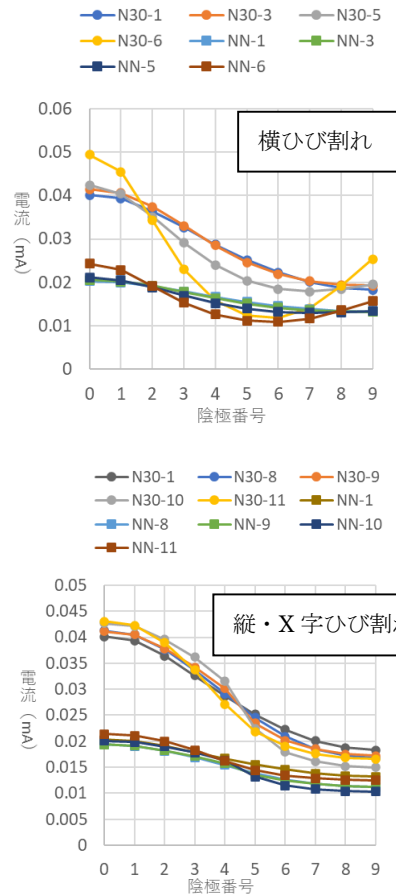


図-3 解析結果

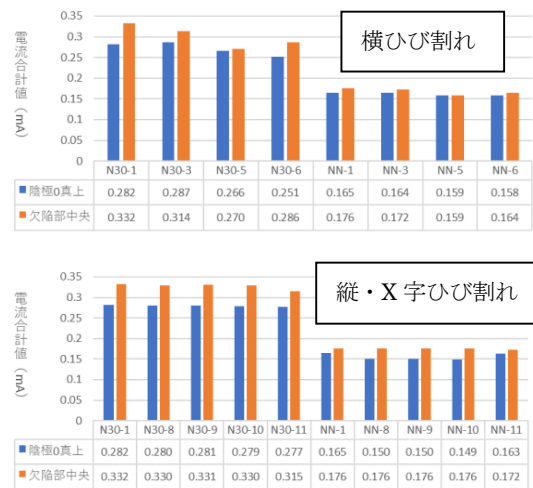


図-4 電流合計値

ものよりも電流分配に与える影響が大きかった。そこで本節では横ひび割れのみを対象とし、欠陥部のないもの（ケース1）と、長さ4cmの横ひび割れを入れたもの2パターン（ケース2, 3）の全3パターンで解析を行った。鉄筋を模した陰極には第2章までで用いた鋼板を使用し、コンクリ

ートの抵抗は実験から得られた横ひび割れシリーズと縦・X字ひび割れシリーズの平均値を用いている。陽極はチタンメッシュを用いるため分極抵抗が別に設定されているが、解析で用いるモデル上でのサイズは陰極側で使用している鋼板と同じと考える。

3.4 実構造物を想定した解析結果

図-6 に数値解析を行った結果を示す。ケース 2 やケース 3 では欠陥部の真下となる陰極での電流量が小さくなっているが、ケース 1 の電流量と比較しても差が最も大きいところで 0.01mA 程度となっており、大きな差は見られない。

続いてそれぞれの供試体の各陰極に流入した電流の合計を図-7 に示す。流入した電流の合計値でもケース 1 とケース 3 の間で 0.03mA 程度の差となっており、影響は小さい。これらの結果から、欠陥部が鉄筋に対して平行に存在し、それが複数であっても、電気防食を行う上で考慮しなければならないほどの影響はないと言えることが分かった。ケース 3 のように欠陥が広範囲にわたっている場合には、第 2 章のように陽極が部材の一部のみに設置されている場合にはより影響が大きくなると考えられるが、実構造物のように陽極が広範囲に設置されている場合は欠陥部が存在していたとしても様々なルートで電流が供給されるため、欠陥部なしの結果と比較しても大きな影響が見られなかったと考えられる。

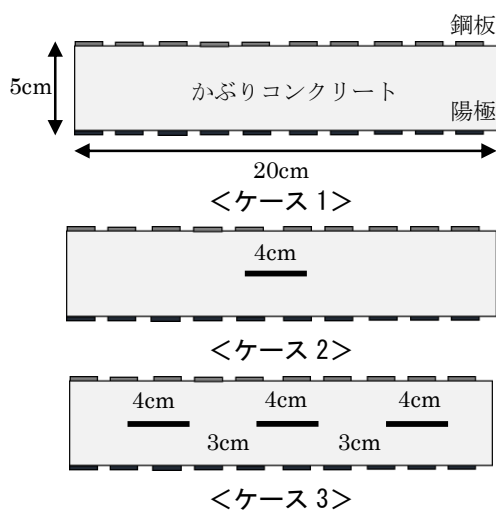


図-5 実構造物を想定したモデル図

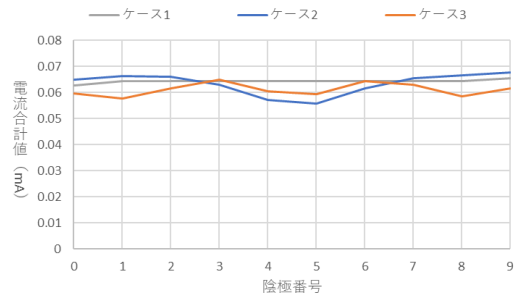


図-6 解析結果

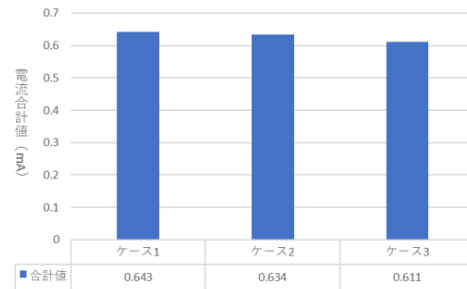


図-7 電流合計値

4. まとめ

既報⁽²⁾ではひび割れがコンクリートの抵抗に与える影響について調査し、コンクリートが通常の含水状態であれば、その抵抗はひび割れの有無、またひび割れ幅の影響はさほど受けない、という結果が得られている。ひび割れは表面から見ると完全に分離しているように見えてもコンクリート内部ではひび割れ破面同士は一部接触している部分があると考えられるのに対し、本研究では OHP フィルムを供試体に挿入することによってひび割れを表現しているため、その部分は完全に絶縁している。しかし本研究の結果から完全な絶縁部分が存在しても電流分配に大きな影響を与えないことが分かった。つまり既報の結果と合わせると、電気防食の対象となる鉄筋コンクリートが程度に水分を含んでいれば、かぶり部にひび割れが存在しても電気防食時の電流分配にはさほど影響しないといえる。

参考文献

- 小林孝一, 宮川豊章: 分極抵抗法を用いた鉄筋の腐食速度評価に関する研究, 土木学会論文集, No.669, V-50, 173-186, 2001
- 新田和音: コンクリートのひび割れの電気抵抗への影響についての実験的検討, 岐阜大学工学部社会基盤工学科卒業論文, 2019