

論文 部分的に電気防食を行なった場合の防食効果について

秋葉 泰男^{*1}・森 博一^{*2}・橋 泰弘^{*1}・守分 敦郎^{*3}

要旨：電気防食工法において、部分的に陽極を設置した場合の防食電流の分布について鉄筋を3層に配置した供試体を使用し検討を行った。また、陽極を数カ所設置したケースの防食電流の分布についても検討した。その結果、鉄筋に供給される防食電流は、下層の鉄筋ほど小さくなり、コンクリート中の塩化物イオン量が多いほどその減少の割合が大きいことが確認できた。また、防食電流の影響範囲は、陽極から20cm程度であることが確認できた。陽極の設置数を増やすと陽極1カ所のケースと比較して、広範囲で防食電流密度が増加する傾向を示した。

キーワード：塩害、鉄筋コンクリート構造物、電気防食工法、塩化物イオン量、電流密度

1. はじめに

海水や波浪などの作用を受ける鉄筋コンクリート構造物は、塩害による劣化が大きな問題となっている。現在では、いくつかの補修工法が確立され、その一つである電気防食工法[1]についてもこれまでに様々な研究がなされてきた。しかし、実際のコンクリート中の鉄筋に流れる電流がどのような分布をしているか検討された例は少ない。筆者らは、これまでの実験でその基礎的な知見を得ることができた[2]。ここでは、版状の大型供試体に部分的に陽極を取り付け電気防食を1年間行った場合の鉄筋に供給される防食電流の分布について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

実験に使用した供試体は、一边が2.0m、厚さが0.25mの版状とした。打設したコンクリートは、一般的に使用されているコンクリートのW/C=50%を想定してW/C=50.8%とし、塩化物イオン(Cl⁻)をそれぞれ1、5、10kg/m³混入したものの3水準について検討した。使用した鉄筋は、すべてD16で、長さ19cmに切断したものとエポキシ樹脂により9本接続した分割鉄筋と1.8mの通常鉄筋の2種類である。図-1は配筋の状況を示したもので、太線および黒丸は分割鉄筋、細線および白丸は通常鉄筋を示している。縦横それぞれ10cm間隔で配置した鉄筋のうち、分割鉄筋は、鉛直方向には1本おきに10本、水平方向には下から8、

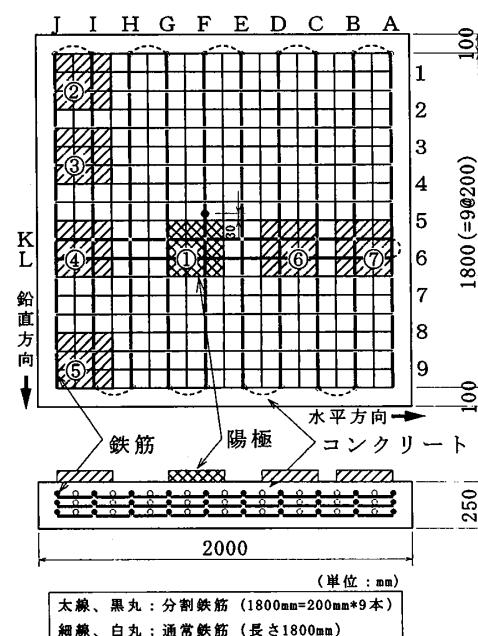


図-1 供試体の形状と鉄筋の配置

*1 東亜建設工業（株）技術研究所（正会員）

*2 東京ガス（株）袖ヶ浦工場

*3 東亜建設工業（株）技術研究所、工博（正会員）

9段目に2本を配筋し、それを3層に配置した。

また、図-1に示すように最大で7カ所の陽極を設置して実験を行った。なお、鉛直方向鉄筋のかぶりは、陽極設置面から、1層目が5cm、2層目が10cm、3層目が15cmである。分割鉄筋は、図-2に示すように各鉄筋の両端にリード線を取り付け、無抵抗電流計を介して電気的に一体化した。このとき、A列9番目の鉄筋（以下[A9]と示す）の端部を電気防食の排流点とし、A～Jの各列の端部は隣の列の端部と接続し（図-1の点線）、1,2層の[J9]の端部は2,3層の[A9]の端部と接続することにより、1～3層の全分割鉄筋を一体化した。また、水平方向の分割鉄筋も同様に一体化した。

供試体は20°C、60%RHで1年間養生した後に試験を行った。陽極には30×30cmのチタンメッシュを用い、型枠を用いて厚さ2cmのモルタルにより被覆した。今回の試験時における各コンクリートの交流抵抗を表-1に示す。

3. 実験結果および考察

3. 1 E-logI 試験結果

陽極を1カ所に設置して行った実験について報告する。陽極の設置位置は図-1における①点とした。図-3～図-5にE-logI試験の結果を示す。E-logI試験とは、電気防食を適用したコンクリート構造物の防食電流量を決定するための試験の一つである。鉄筋の自然電位を測定した後、小さな電

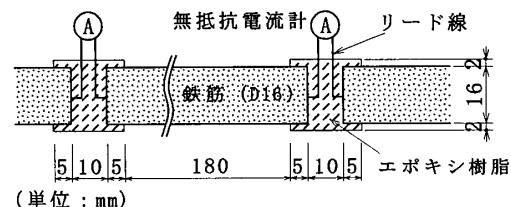


図-2 分割鉄筋の接続方法

表-1 コンクリートの交流抵抗

Cl ⁻ 混入量	交流抵抗
1kg/m ³	45.6k Ω・cm
5kg/m ³	47.9k Ω・cm
10kg/m ³	15.4k Ω・cm

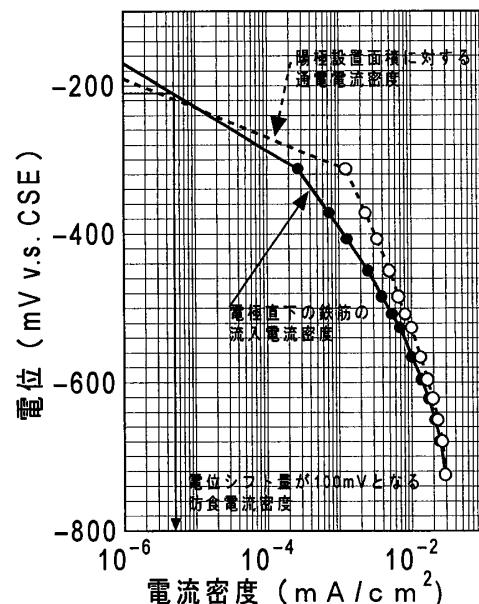


図-3 E-logI 試験結果 (Cl⁻=1kg/m³)

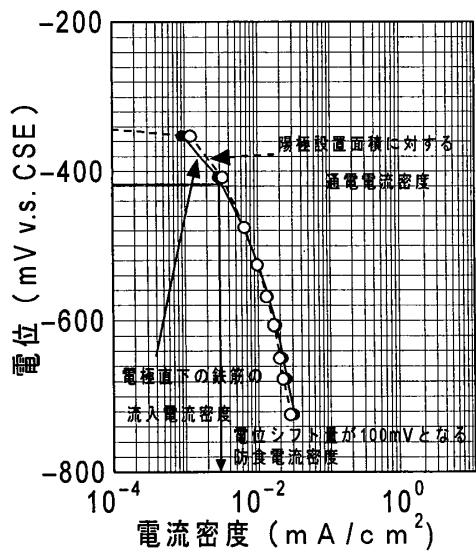


図-4 E-logI 試験結果 (Cl⁻=5kg/m³)

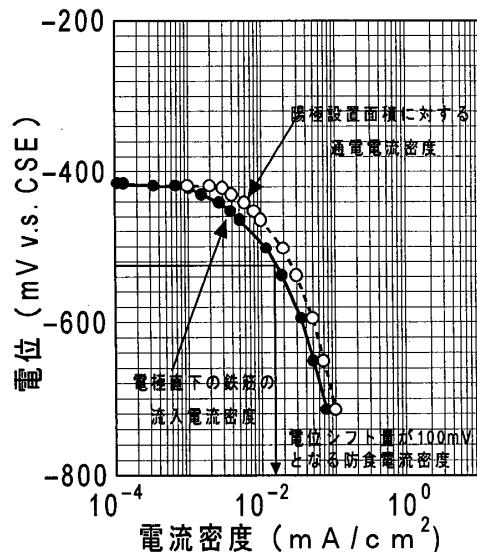


図-5 E-logI 試験結果 (Cl⁻=10kg/m³)

流密度から順次電流密度を増加させて通電する。その時の通電時の電位および通電遮断直後の電位(Instant off 電位)を測定し、E-logI 曲線を求めて通電電流密度を決定する方法である。Instant off 電位とは、電流とコンクリート抵抗によって生じる IR 降下を除いた真の鉄筋の電位に近い値である。E-logI 試験での鉄筋電位のモニターは鉄筋[F5]上の陽極端部から 3cm の位置（図-1 参照）で行い、各電位シフト時点における分割鉄筋の電流密度（両端の電流の差を表面積で除したもの）を測定した。ここでは、陽極設置面積に対する通電電流密度と、鉄筋[F5]（陽極直下の鉄筋）に供給された防食電流密度について示した。

今回の実験では、いずれのケースにおいても陽極設置面積に対する通過電流密度と陽極直下の鉄筋への流入電流密度はほぼ等しかった。また、各ケースの電位シフト量が 100mV となる防食電流密度は、 $\text{Cl}^- = 1\text{kg/m}^3$ のケースでは約 $5 \times 10^{-6}\text{mA/cm}^2$ 、 $\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$ のケースでは約 $3 \times 10^{-3}\text{mA/cm}^2$ 、 $\text{Cl}^- = 10\text{kg/m}^3$ のケースでは約 $1.5 \times 10^{-2}\text{mA/cm}^2$ であることが確認できた。これは、電位を一定量シフトさせるには、 Cl^- が多く混入しているほど大きな防食電流密度が必要であることを示している。

3. 2 防食電流のかぶりによる影響

陽極直下でかぶりが異なったケースの鉄筋の流入電流密度の違いについて検討した。測定した分割鉄筋は[F6]の 1～3 層とした。その結果を図-6～図-8 に示す。各ケースの 1～3 層目での電流の分担率を見てみると、 $\text{Cl}^- = 1\text{kg/m}^3$ のケースは[1 層目 : 2 層目 : 3 層目] = [10 : 3.5 : 2.5]に対し、 $\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$ のケースは[10 : 2 : 1]、 $\text{Cl}^- = 10\text{kg/m}^3$ のケースは[10 : 1.7 : 0.5]となっている（かぶり 5cm における電流密度を[10]とした場合）。これは、陽極直下ではかぶりが増加するに従って鉄筋に供給される防食電流密度は減少する傾向にあることを示している。コンクリート表面付近ではその傾向が顕著であり、さらに、 Cl^- の混入量が多いケースほど、1 層目の鉄筋の分担する割合が大きい。

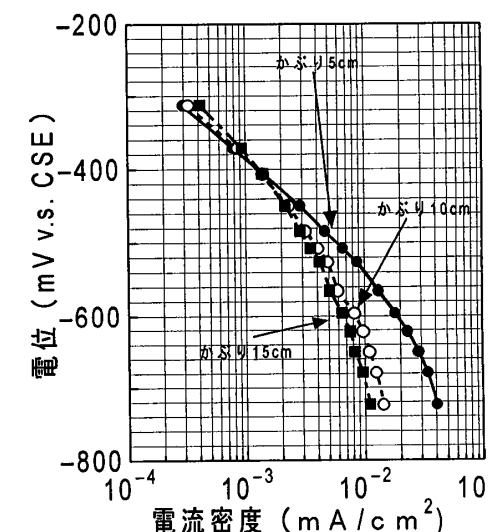


図-6 電流密度とかぶりの関係
($\text{Cl}^- = 1\text{kg/m}^3$)

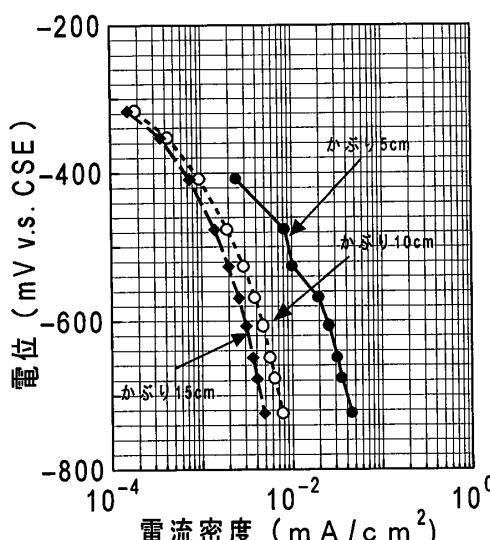


図-7 電流密度とかぶりの関係
($\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$)

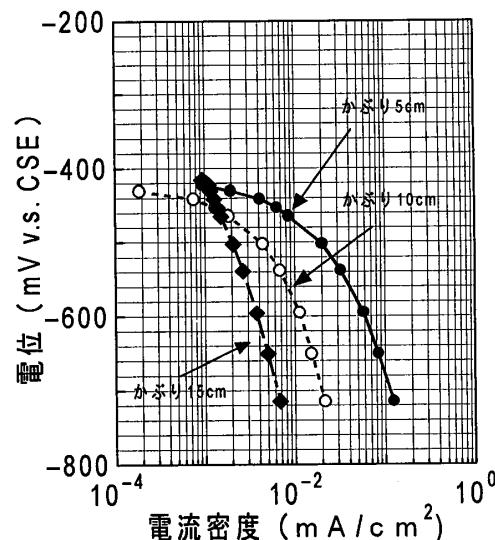


図-8 電流密度とかぶりの関係
($\text{Cl}^- = 10\text{kg/m}^3$)

3. 3 防食電流の分布

陽極から流れる電流のコンクリート内部での分布状況について、コンクリート内部の鉄筋の鉛直方向、水平方向のそれぞれ1列に着目し、その流入電流密度を測定した。なお、測定した鉄筋は図-1におけるF列（鉛直方向）とK列（水平方向）の1層目とした。

$\text{Cl}^- = 1\text{kg/m}^3$ のケースについては鉛直方向を図-9に、水平方向を図-10に、 $\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$ のケースについてはそれぞれ図-11、図-12に、 $\text{Cl}^- = 10\text{kg/m}^3$ のケースについてはそれぞれ図-13、図-14に示す。いずれのケースにおいても、陽極近傍では、通電電流密度が大きいほど鉄筋への流入電流密度は大きくなる傾向にある。しかし、陽極から離れるに従い、鉄筋への流入電流密度は小さくなっている。陽極からおよそ 20cm の地点で鉄筋に供給される防食電流密度はほとんどなくなっている。通電電流密度の大きさが異なっても同様の結果を示した。これは、今回の実験では、部分的に設置した陽極から鉄筋に電流を与えた場合その影響範囲は限定され、陽極からの電流密度の大きさによっても大きな違いは見られないことを示している。

また、かぶりによる防食電流分布の違いを $\text{Cl}^- = 1, 5 \text{ kg/m}^3$ のケースについて検討した。その結果を図-15、図-16に示す。陽極直下においては、3. 2で示したように、かぶりの増加とともに鉄筋への流入電流密度は減少している。陽極から離れるに従って徐々に電流密度は小さくなり、図-15の $\text{Cl}^- = 1\text{kg/m}^3$ のケースでは、かぶりが 5cm、10cm では陽極からおよそ 20cm で、か

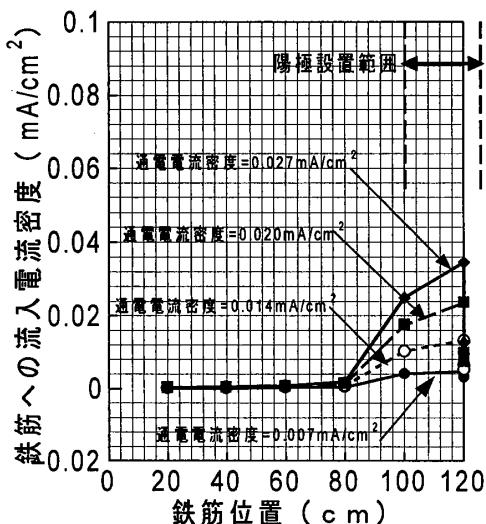


図-9 電流密度分布(1kg/m^3)[鉛直]

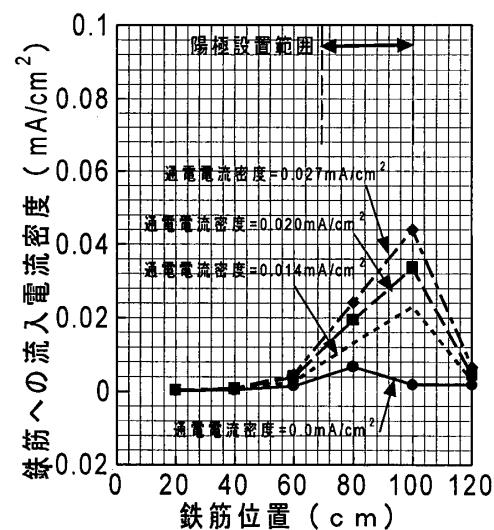


図-10 電流密度分布(1kg/m^3)[水平]

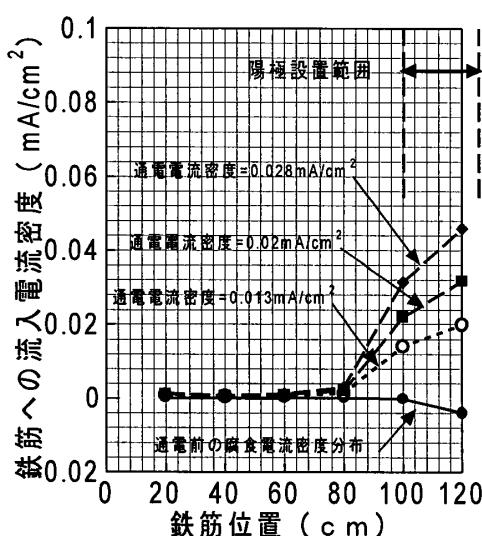


図-11 電流密度分布(5kg/m^3)[鉛直]

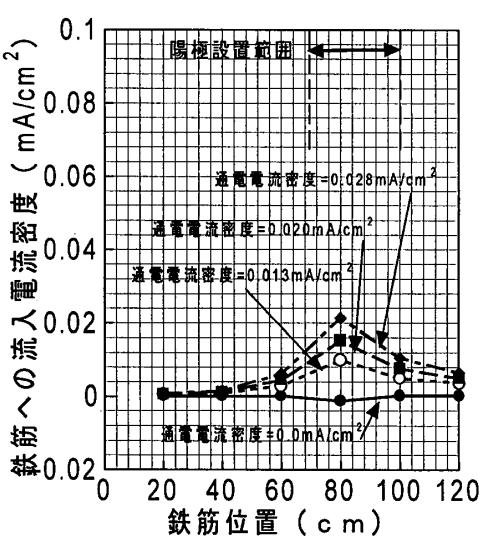
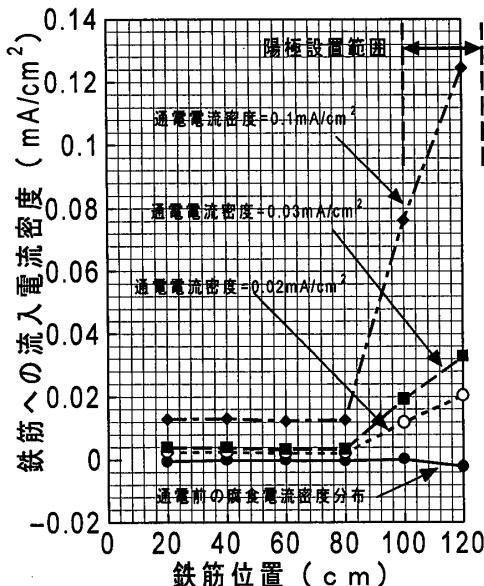
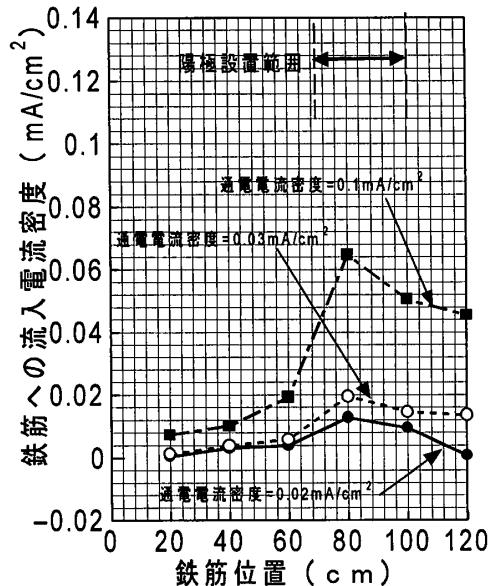
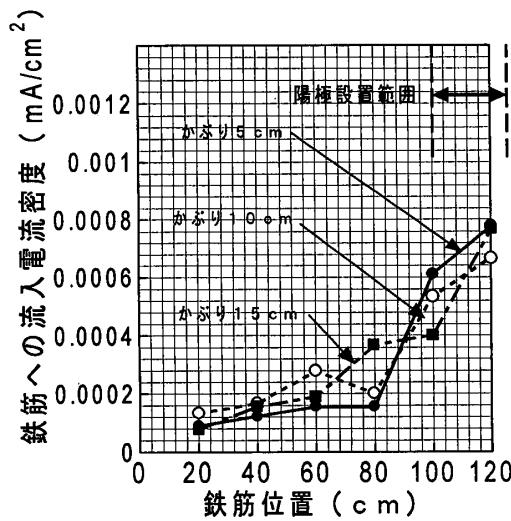
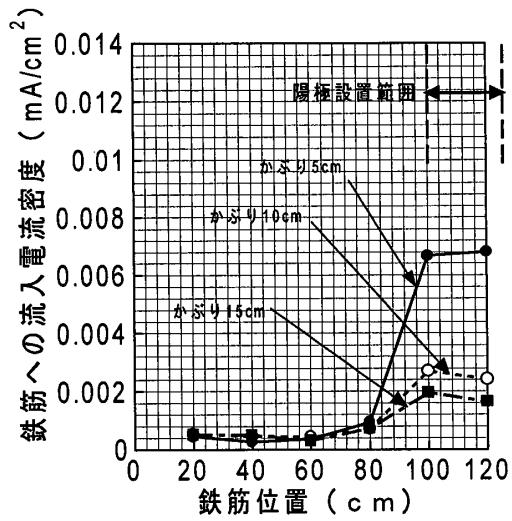


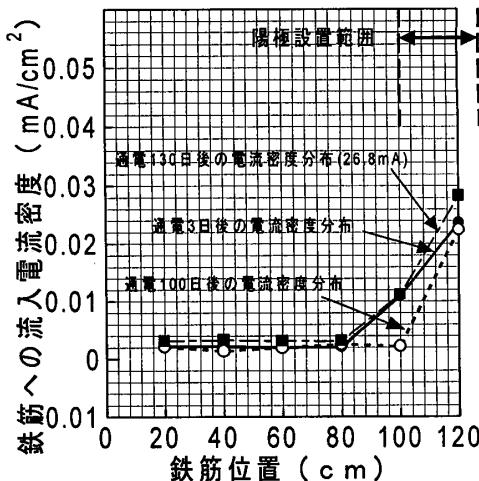
図-12 電流密度分布(5kg/m^3)[水平]

図-13 電流密度分布($10\text{kg}/\text{m}^3$)[鉛直]図-14 電流密度分布($10\text{kg}/\text{m}^3$)[水平]図-15 電流密度分布とかぶりの関係($1\text{kg}/\text{m}^3$)図-16 電流密度分布とかぶりの関係($5\text{kg}/\text{m}^3$)

がりが 15cm では陽極から 40cm の位置で減少している。また、図-16 の $\text{Cl}^- = 5\text{kg}/\text{m}^3$ のケースについては、どのかぶりにおいても陽極から 20cm の位置で急激に電流密度が減少している。これらのことから、今回の実験では、防食電流分布は、かぶりによる影響がほとんど認められなかった。

3. 4 防食電流の通電期間による変化

$\text{Cl}^- = 10\text{kg}/\text{m}^3$ のケースにおいて、通電期間による電流分布の違いを検討した。その結果を図-17 に示す。防食電流の測定時期は、通電後 3 日後、100 日後、130 日後の 3 水準とした。陽極近傍では、鉄筋への流入電流密度が大きく、陽極から 20cm 程度離れると電流密度は減少した。いずれの通電期間においてもほぼ

図-17 電流密度分布と通電期間の関係($10\text{kg}/\text{m}^3$)

同様の値となった。今回の実験では、防食電流分布は通電期間の違いによってほとんど変化しないことを示している。

3. 5 陽極を7カ所に設置したケースの防食電流分布

陽極を7カ所に設置したケースについて検討した。検討したケースは $\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$ で、陽極の設置位置は図-1に示す①～⑦までの7カ所である。全ての陽極にはほぼ同レベルの電流を通電し、1層目F列の各分割鉄筋の流入電流密度を測定し、陽極を1カ所に設置したケースと比較した。その結果を図-18に示す。どちらのケースについても陽極直下では大きい流入電流密度を示し、陽極から離れるに従って流入電流密度が減少した。また、それぞれのケースを比較すると、陽極7カ所のケースの流入電流密度が陽極1カ所のケースの値より大きくなつた。これは、陽極近傍だけではなく、陽極から離れた位置においても同様の傾向であった。このことから、陽極の設置数を増加させることにより陽極を設置していない位置でも、ある程度大きい防食電流を通電することが可能であることを示している。

4.まとめ

コンクリート表面に部分的に陽極を取り付けて電気防食を実施した場合の防食電流の分布について以下のことが得られた。

1. 電位シフト量を一定量得るために必要な防食電流密度は、 Cl^- 混入量の増加に伴い増大する。
2. 鉄筋への防食電流の供給量は、かぶりが増加するとともに減少する。その割合は、 Cl^- 混入量により異なり、 Cl^- 混入量が多いほどその割合は大きい。
3. 今回の研究では、防食電流は、電流密度の大きさやかぶりに関係なく、陽極から 20cm 程度の範囲内に供給されその範囲外にはほとんど供給されない。
4. 今回の実験では、通電期間は、防食電流の分布にはほとんど影響しない。
5. 同レベルの防食電流を流した場合、陽極の設置数を増加することにより広範囲において鉄筋に供給される防食電流密度が大きくなつた。

[参考文献]

- [1] (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の電気防食法研究委員会報告、1994.10
- [2] 羽渕貴士、三浦成夫、守分敦郎、橘泰弘：電気防食における防食電流の分布に関する実験的研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第5部、pp.278-279、1996

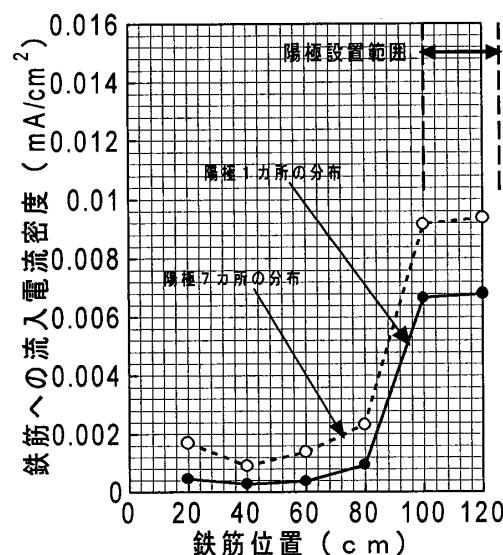


図-18 電流密度分布と陽極設置数の関係($\text{Cl}^- = 5\text{kg/m}^3$)