

SQUID によるコンクリート構造物中の鉄筋腐食の検知に関する基礎的研究

岩手大学 学生会員 ○新井 健太
岩手大学 正 会 員 小山田 哲也
岩手大学 正 会 員 藤原 忠司
岩手大学 八代 仁

1. はじめに

近年の磁気計測技術の進展は目覚しく、極微弱磁場の計測が容易になっている。本研究では、その中の一つである SQUID 磁束計によってコンクリート中の鉄筋の腐食をモニタリングできるかどうかを試みた。SQUID とは超伝導量子干渉素子 (Superconducting Quantum Interference) の略称であり、地磁気の約 10 億分の 1 という非常に微弱な磁場の検出が可能な高感度磁気センサーであり、その感度は、鉄筋の腐食段階の把握に有効である可能性が高い。ただし、鉄筋そのものを対象とした場合には、表面にわずかな腐食が生じて鉄筋全体の体積に対する割合が小さく、SQUID により磁場の変化をとらえるのは難しいと推察される。そこで、鉄筋の腐食を直接調べるかわりに、銅棒の周辺に鉄の薄膜を被覆した腐食プローブを考案した¹⁾。この腐食プローブをモルタルに埋設し、SQUID 磁束計により磁場を計測することで、鉄筋の腐食をモニタリングできるかを検討することが本研究の目的である。

2. 実験概要

本研究で考案した腐食プローブは、 $\phi 10 \times 50\text{mm}$ の銅棒に長さ 40mm の範囲で鉄めっきを施したものである。鉄を薄膜とすることで、微量の鉄膜が腐食した場合に生じる磁場の変化を捕捉することが可能となると考えられる。また、銅は非磁性体の材料であり、磁場に影響を及ぼさないこと、鉄の薄膜を容易に固定でき変形しにくいこと、さらに鉄との接触によりガルバニック腐食を起こし、センサーとしての感度を高められることを考慮してこれを採用した。鉄のめっき厚は $10\mu\text{m}$ とした。この腐食プローブにより鉄筋の腐食を判断するには、得られた結果が、鉄筋自体の腐食と対応することが不可欠である。本研究では、実験及び、その考察を簡便にするために、供試体には、モルタルを用いることにした。配合や養生条件を同一としたモルタルに丸鋼を埋設し、鉄筋の腐食の程度を測定することとした。丸鋼の寸法は $\phi 10 \times 50\text{mm}$ である。腐食プローブまたは丸鋼を角柱供試体に図-1 のように埋設した。モルタルの配合は表-1 に示している。鋼材の腐食を早めるため、水セメント比を 120% とし、セルロース系の増粘剤を加えることで材料分離を防いだ。また、練混ぜ水には、真水あるいは 3%NaCl 水溶液を使用した。供試体は、作製後材齢 2 日で脱型し、その後 12 日間、 20°C の水中で養生して実験に供した。

このように作製したモルタル供試体を、 60°C の乾燥機中で 3 日間、 60°C の 3%NaCl 水溶液中で 3 日間を 1 サイクルとして、腐食環境を与えた。鉄棒、または腐食プローブに最も近い一面を開放し、開放面以外の 5 面をポリ塩化ビニリデン製フィルムで覆った上に粘着テープで被覆し、開放面のみから吸水させた。また、乾燥機内でも 1 面のみから乾燥を与え、モルタル表面からのひび割れの発生を極力防いだ。

一般環境下での磁場は、一定の方向を向いておらず、SQUID 磁束計では、定量評価が難しい。また、一旦磁場を持ったとしても、時間の経過とともにその磁場は減衰または消失してしまう可能性もある。そこで磁場を測定する直前に、 24000A/m の磁場内にモルタル供試体を静置し、供試体自体を磁化した。実験装置の概略を図-2 に示す。SQUID 磁束計は、磁場の変化を捉えるものであり、左右振幅装置により腐食プローブを入れたモルタル供試体を周期的に揺らして磁場の測定を行った。SQUID 磁束計で得られた磁場の変化は、増幅器と

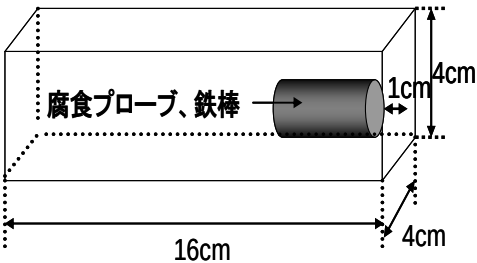


図-1 腐食プローブと鉄棒の埋設位置

表-1 使用材料及び配合

W/S	120%（早強セメント）
C:S	1:3
混和剤	増粘剤

オシロスコープを介して PC で出力した。得られた結果を残留磁化と称す。測定結果は、腐食環境に晒す前の初期の残留磁化で、それぞれの測定時の残留磁化を除した相対値で表わし、これを相対残留磁化とした。

鉄筋の腐食率は、断面減少率で評価した。断面減少率とは、丸鋼を挿入した供試体を割裂して丸鋼を取り出し、3mol HCl+1% HMTA 水溶液中に浸漬して腐食生成物を完全に除去し、除錆した丸鋼の質量を測定し、供試体に入れる前の錆びていない丸鋼の値で除して求めたものである。

3. 実験結果および考察

図-3 に SQUID 磁束計で測定した腐食プローブを挿入した供試体の相対残留磁化の経時変化を示す。結果は、真水および 3%で練り混ぜた場合、両方を同一の図中に示している。相対残留磁化は、NaCl 溶液に浸漬させて 3 日後の測定から低下をはじめ、その後、12 日目までは、材齢に伴いほぼ直線的な低下を示す。一方、材齢 12 日以降の測定値の変化は、ほとんど見られない結果となった。

図-4 にモルタルに挿入した丸鋼の断面減少率を示す。材齢 9 日までの鉄筋の錆はほとんど確認されていないが、その後、経時的に急激な発錆が確認された。発錆するまでの期間は、極めて早い、これは水セメント比が極めて高く、多孔質であることが原因であると考えられる。

相対残留磁化の変化と断面減少率の測定結果との関係を図-5 に示す。鉄筋に発錆が見られた段階で、すでに相対残留磁化は 0.5 であるが、その後は鉄筋の腐食量に追従して、相対残留磁化の低下が見られる。本実験で使用した腐食プローブは、ガルバニック腐食により、コンクリート中の塩化物の浸透をいち早く捉える点は利点であるが、劣化の程度を把握することを目標とするならば、0.5 から 0.2 までの範囲で劣化を判断しなければならず、この点については、今後検討したいと考えている。

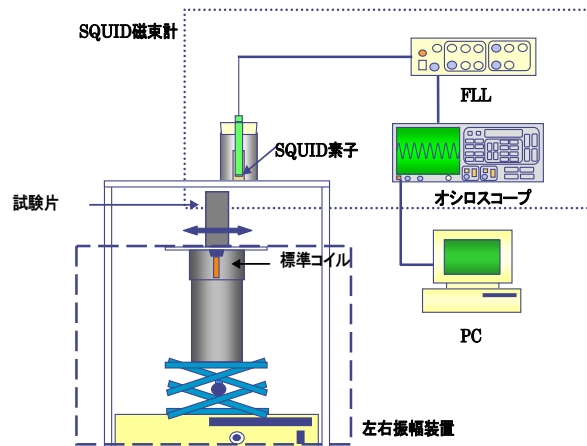


図-2 実験装置の概略

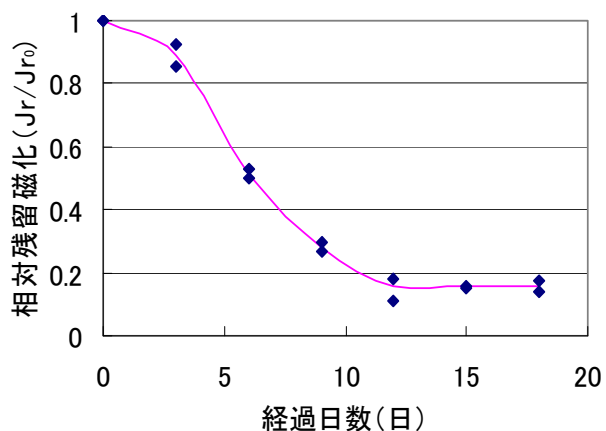


図-3 相対残留磁化の経時変化

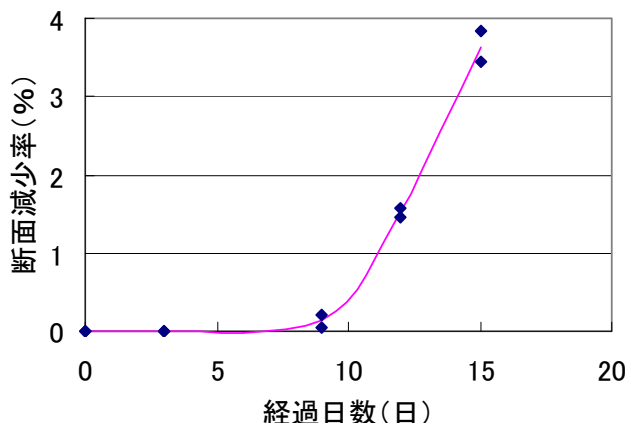


図-4 断面減少率の経時変化

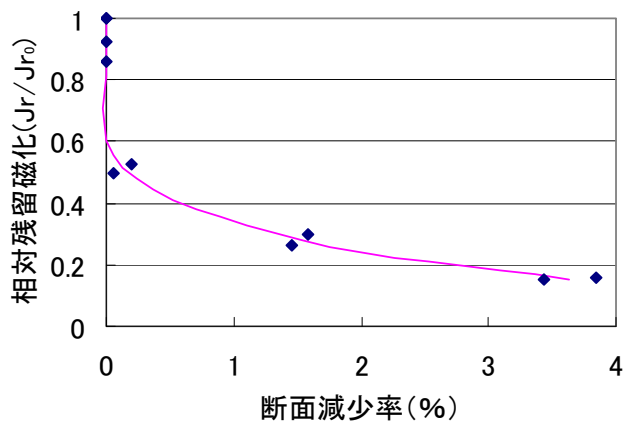


図-5 相対残留磁化と断面減少率

【参考文献】

- 1) H.Yashiro et al., Development of a magnetic corrosion probe for nondestructive evaluation of concrete against corrosion of reinforcing bar, Corros.Sci.(2008),doi:10.1016/j.corsci.2007.11.022