

## V-4 コンクリート構造物の非破壊検査の効率化に関する調査

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平13～平15

担当チーム：構造物マネジメント技術チーム

研究担当者：河野広隆、渡辺博志、久田 真、古賀裕久

### 【要旨】

今日、コンクリート構造物の耐久性の確保が重要な課題となっている。しかし、比較的新しい既設橋の塩害に関する調査結果ですら、かぶり不足に起因する損傷が多数発生していることがわかった。かぶり不足の早期発見および維持管理の効率化のために、新設・既設を問わずコンクリート構造物のかぶりを非破壊検査機器を用いて測定し、面的にかぶりを精度よく把握しておくことが不可欠である。本研究は鉄筋探査機による適切なかぶり測定手順の構築を目的として、精度が良く効率的なかぶり測定を行うための問題点の抽出とその対策方法に関する検討を行った。

キーワード： かぶり、電磁誘導法、電磁波レーダ法、測定精度、比誘電率

### 1. はじめに

かぶりコンクリートを適切に確保することは、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋を健全な状態（腐食を生じていない状態）で保つために極めて重要である。鉄筋を腐食させる直接的な原因となる二酸化炭素や塩化物イオンの浸透は、かぶりの表面から進行するものであるため、かぶりを正確に把握することは、構造物の劣化の進行を予測するためには不可欠な事項である。

これを受けて、今日では、鉄筋コンクリート構造物の設計においては、構造物の耐久性を確保する観点からも構造細目として最小かぶりが規定されている。しかしながら、コンクリート打設時の鉄筋の移動や型枠の設置精度などの点から、かぶり不足が生じる可能性が否定できないのが現状である。

構造物の破壊を伴わずにかぶりを的確に把握する方法として、非破壊試験による推定手法が提案されており、これまでも多くの技術開発が行われてきた。しかし、非破壊試験によるかぶりの推定に関しては、測定結果の精度や測定にあたっての一般的な留意事項が整理されておらず、測定結果についても必ずしも高い精度が確保されていないのが現状である。このため、かぶりの測定技術については、精度を向上させ、効率化を図ることが急務である。

以上を鑑みて、本研究では、非破壊試験によるかぶりの測定を実施し、測定精度に影響を及ぼす要因を抽出した。また、測定精度を向上させるための方法についての実験的な検討を行い、実構造物におけるかぶり測定に関する技術について考察した。

### 2. 非破壊試験によるかぶりの測定方法

#### 2.1 対象とした測定方法について

今日、鉄筋のかぶりを非破壊で推定する技術として一般的に用いられているものとしては、電磁誘導法、電磁波反射法（以下、レーダ法）、放射線法および超音波法がある。各方法の主な特徴を表-1に示す。

本研究では、これらの非破壊試験法のうち、操作の簡便性に優れ、これまでの使用実績も多く、装置の価格面においても優位である電磁誘導法とレーダ法を検討対象とした。

#### 2.2 電磁誘導法

電磁誘導現象の説明を図-1に示す。コイルに交流電流を流すと、コイル内部に磁場が発生する。この磁場は、場内に金属片などが存在すると変化するが、磁場の変化は場内の金属の形状や寸法、コイルと金属との間の距離などに影響を受け、コイルに生じる電圧にも変化を生じさせる。この関係を利用すれば、コンクリート内部鉄筋のかぶり、位置あるいは鉄筋径等を評価することが可能となる。

電磁誘導法は、試験コイルに交流電流を流すことによってできる磁界内に、試験対象物を配置することに

表-1 かぶりの非破壊試験方法の種類と特徴

種類	精度	簡便性	使用実績	装置価格
電磁誘導法	○	◎	◎	◎
レーダ法	○	◎	◎	◎
放射線法*	◎	△	○	△
超音波法	△	◎	○	◎

◎：優れている、○：普通、△：劣る ※：資格を要する

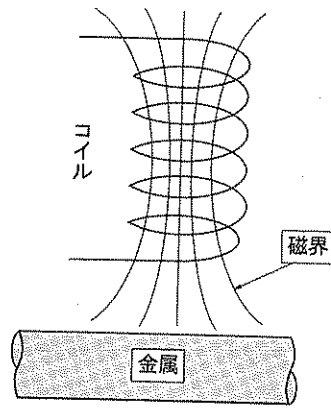


図-1 電磁誘導現象の説明

よって試験を行う。導線を円形に巻いた試験コイルに交流電流を流すと、時間的に変化する磁束が生じる。この磁束は試験コイルを貫いているので、起電力が試験コイルに生じる(ファラデーの電磁誘導の法則)。試験コイルの磁束に影響を及ぼす因子は、磁束の通し易さを示す透磁率と鉄筋の導電率が主であり、鉄筋の存在は磁束を大きく変化させる。また、電磁誘導現象は鉄筋の内部でも起こる。図-2に示すように、試験コイルが作る正弦波状の磁束を接近させた鉄筋の表面や内部にも試験コイルと同様に起電力が生じる。この起電力をプローブで測定することにより、コンクリート内部の鉄筋の位置や径を把握することができ、コンクリートのかぶりを測定することが可能となる。

### 2.3 レーダ法

この手法は、元々は地中の埋設物や空洞探査を目的として装置の開発および実用化が進められたものである。コンクリート構造物へ適用され始めたのは比較的新しいが、鉄筋探査あるいは内部欠陥の把握に利用されている。図-3に示すように、レーダ法の測定原理は、アンテナからコンクリート表面に向けて放射された電磁波が、コンクリート中に存在する電気的な性質の異なる鉄筋、内部欠陥などの境界面などにより反射され、再びアンテナで受信される。電磁波が放射されてから対象物で反射され、再びアンテナで受信されるまでの時間と電磁波の速度から、鉄筋あるいは内部欠陥までの距離を求めることができる。また、このときに、アンテナを移動しながら鉄筋から反射した波を受信すれば、鉄筋の位置が測定できる。

コンクリート中での電磁波の伝搬速度  $V$  は(1)式で、対象物との境界面までの距離  $D$  は、発信時刻から反射

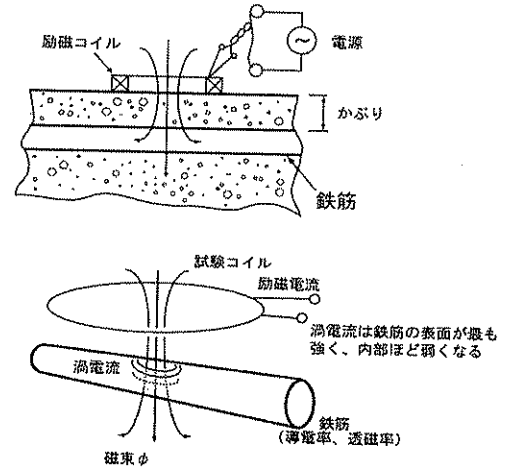


図-2 鉄筋中に発生する渦(うず)電流

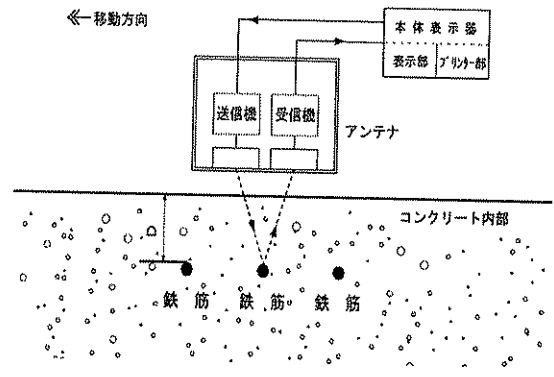


図-3 レーダ法の測定原理

波の受信時刻までの時間差  $T$  により(2)式で算出する。

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (1)式$$

$$D = \frac{V \cdot T}{2} \dots\dots\dots (2)式$$

ここで、 $C$ :真空中(空气中)での電磁波の速度(= $3 \times 10^8$  m/s)、 $\epsilon_r$ :コンクリートの比誘電率(おおむね6~12程度)

(1)式からわかるように、対象物と境界面までの距離  $D$  を算出する基となる電磁波の速度は、媒体となるコンクリートの比誘電率の影響を大きく受ける。比誘電率の大小は、コンクリートの組成等の影響を受け、特に含水率の影響がきわめて大きい。したがって、かぶ

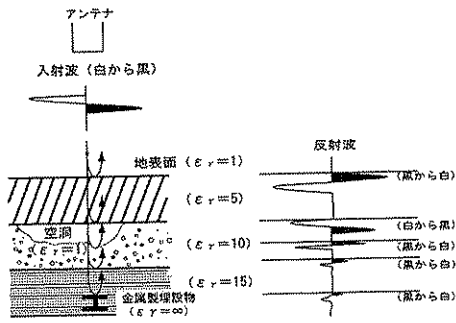


図-4 レーダ法における反射波の波形の例

りの測定精度を向上させるためには、この補正が重要なポイントとなる。対象物の材質などは、図-4のように、反射波の波形を観察することにより判断することができる。

### 3. 検討内容

コンクリート構造物に対する非破壊試験は、例えば金属などの試験に比べ十分な測定精度が得られ難いことが知られている。これは、コンクリートが他の物質に比べ多孔質であることや、不均質な複合材料であること、さらには測定する環境によってその物性が変化しやすいことに起因している。

以上を鑑みて、本研究では、測定原理に基づくかぶり測定法の特性を整理し、測定機器の相違による鉄筋位置およびかぶりの測定精度等に関する問題点を明らかにすることを目的として、①かぶりの測定に関する基礎的な検討、②コンクリートの比誘電率に関する検討を実施した。

## 4. かぶりの測定に関する基礎的な検討

### 4.1 概要

本研究では、かぶりの測定に関する基礎的な検討として、5種類の試験装置（電磁誘導法3機種、レーダ法2機種）を対象とし、かぶり、鉄筋径ならびにコンクリートの含水状態が異なる供試体についてかぶりの測定を実施した。これらの結果から、測定値と実際の値との相違を明らかにし、かぶり測定における測定精度と測定にあたっての問題点などを整理した。

### 4.2 試験概要

実験に用いたコンクリートの配合条件は、粗骨材最大寸法 20mm、スランプ 8cm、水セメント比 62%、空気量 4.5%である。外観ならびに配筋状態をそれぞれ図-

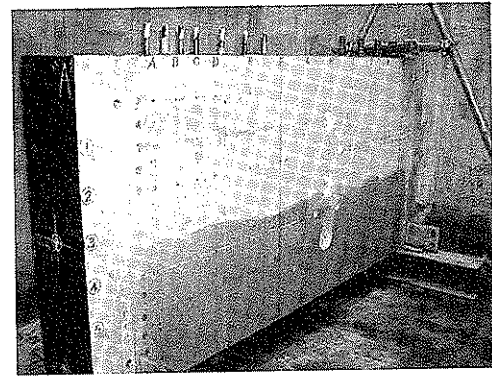


図-5 供試体の外観

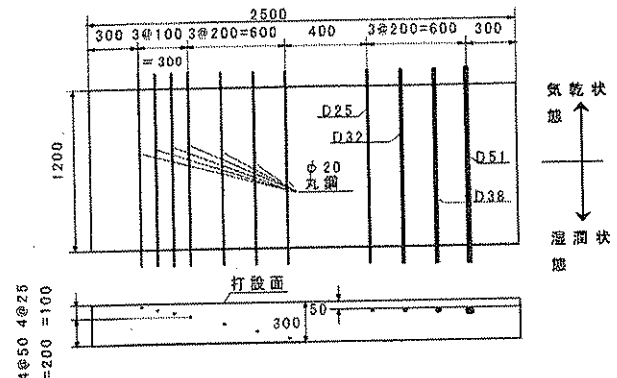


図-6 配筋状態ならびに寸法

5および図-6に示す。供試体の作製においては、コンクリートの打設後、材齢3日で脱型し、その後は屋内の気中乾燥状態の条件下に放置した。測定時の供試体の材齢は約2年8ヶ月であった。なお、図-5で判別可能なように、本試験においては、測定に先立ち供試体の測定面下半分を事前に1日間湿布養生し、表面部分を湿潤状態とした。

## 4.3 測定結果

### (1) 電磁誘導法によるかぶりの測定結果

電磁誘導法で測定した結果を図-7に示す。なお、測定結果については、装置ごとにI~IIIの記号で示した。図-7によれば、3機種の測定結果の何れも、推定されたかぶりの値は実測値よりも小さくなる傾向が認められた。

機種ごとの測定結果を比較検討すると、測定結果Iは鉄筋のかぶりが大きくなると測定精度が低くなる傾向にあった。また、かぶりが200mm程度の鉄筋まで検知しており、精度は低いものの最も深い位置まで鉄筋を検知することが可能であった。測定結果IIでは、かぶりが150mm程度までの鉄筋を検知することが可能であり、測定精度はかぶりが大きい場合には若干低くなるものの、全体的に高い精度で鉄筋を検知できていた。

測定結果Ⅲでは、鉄筋の検知はかぶりが100mm以下の範囲に限られており、それよりかぶりが大きい場合には、検知が困難であった。しかし、かぶり20mm程度と非常に浅い位置にある鉄筋の位置の推定は、他の2機種に比べて精度よく推定できていた。以上の結果から、同じ測定原理により測定した場合においても、機器の特性によって精度よく測定できる範囲が異なることが確認された。

#### (2) レーダ法によるかぶりの測定結果

図-8は、レーダ法で測定した結果（測定結果ⅣおよびⅤと表記）を上述同様に機種ごとに示したものである。今回の試験では、2機種とも測定時に装置に応じたキャリブレーション（コンクリートの比誘電率の設定等）を行っているが、測定結果の傾向に違いが見られた。

測定結果Ⅳでは、かぶりが20mm程度と浅い位置にある鉄筋で20%以上の誤差が生じており、低い測定精度となった。逆に、かぶりが20mmよりも大きい範囲での測定誤差はほぼ10%以内となり、今回の測定対象である供試体の最大のかぶり250mmでも、精度よく検知することができた。

一方、測定結果Ⅴでは、かぶり20mm程度の浅い部分においても比較的精度良く鉄筋位置を推定している上、測定結果Ⅳと同様にかぶり250mmの鉄筋まで精度良く推定することが可能であった。また、レーダ法の場合、いずれの機種においても、かぶりが小さい場合には実測値よりもかぶりの推定値は小さく、かぶりが大きくなると実測値よりも大きく推定されており、推定値に偏りが認められた。このことから、レーダ法の測定においては、比誘電率を常に一定とするような設定に問題があったのではないかと推定される。

以上の結果から、レーダ法においても、測定原理が同じであっても機器の特性によって精度よく測定できる範囲が異なることが確認された。

### 4.4 かぶりの測定精度に及ぼすかぶり深さ、含水状態および鉄筋径の影響

#### (1) 測定結果におよぼす含水状態の影響

図-7に示すとおり、電磁誘導法の測定では、かぶりの測定結果に及ぼす含水状態の違いの影響は明確で

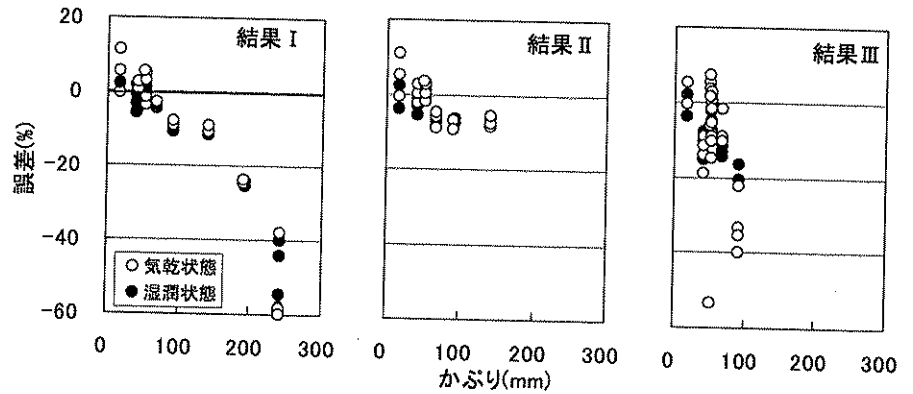


図-7 かぶりの測定結果（電磁誘導法）

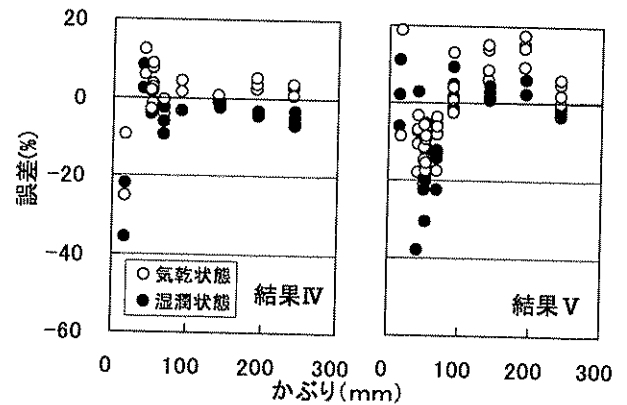


図-8 かぶりの測定結果（レーダ法）

はなかった。一方、図-8では、レーダ法によるかぶりの測定結果に対し、湿潤状態と気乾状態とでは結果に差異が生じており、気乾状態の結果に比べ湿潤状態の結果は実測値よりも小さくなる傾向を示した。このことから、レーダ法による測定では、コンクリートの含水状態により比誘電率が変化し、その影響が表れていると考えられる。

#### (2) 測定結果におよぼす鉄筋径の影響

図-9に、かぶりを一定(50mm)として設定したコンクリート中の径の異なる鉄筋を対象とし、電磁誘導法ならびに電磁波反射法によるかぶりの測定結果を示す。電磁誘導法では、鉄筋径が大きくなるのにしたがって、測定結果の誤差がマイナスからプラスに転じる傾向となった。これは、鉄筋径が小さい場合にはかぶりは実際よりも小さく推定され、鉄筋径が大きくなるとかぶりは実際よりも大きく推定されることを意味するものである。これに対し、レーダ法では、鉄筋径の違いによる測定結果の違いは装置の種類に依存するようであり、かぶりを実際よりも大きく(小さく)推定する機種の場合には、鉄筋径の違いに関わらずかぶりを

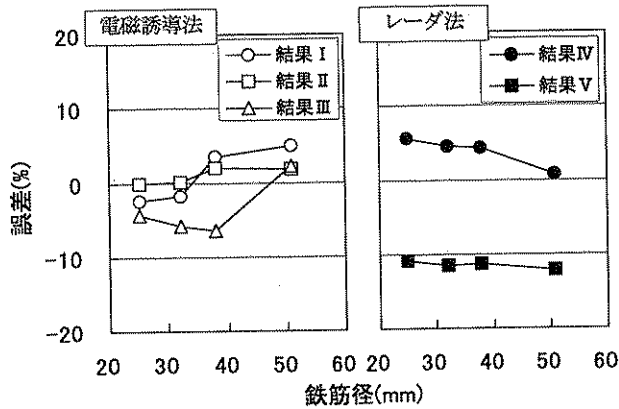


図-9 かぶり測定における鉄筋径の影響

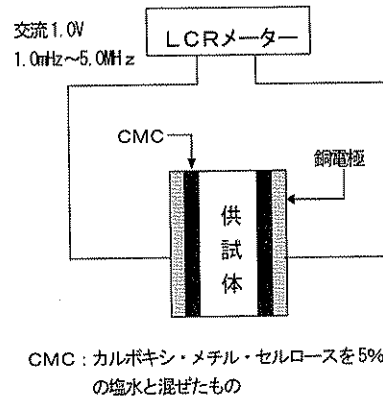


図-10 比誘電率測定装置の概略

大きく（小さく）推定する結果となった。

#### 4.5 電磁誘導法、レーダ法の適用範囲と課題

電磁誘導法およびレーダ法での測定結果をまとめると次のようになる。すなわち、かぶりの推定における誤差の目安を実測値に対して10%とした場合、電磁誘導法で精度よくかぶりを推定できるのは、かぶり深さが100mm~150mm程度以下であり、測定に関しては鉄筋径の影響を受けやすいと考えられる。

一方、レーダ法の場合には、機種によらずかぶりか20mm程度と浅い場合には測定誤差が大きい、それ以上のかぶりでは、誤差は10%程度であり、かぶりか250mm程度であっても、精度よくかぶりを推定できるといえる。ただし、レーダ法の場合には、正確に比誘電率を設定することが精度を得るためには重要であると考えられる。

以上の結果から、電磁誘導法ならびにレーダ法によるかぶりの測定において、ある程度の測定精度を確保するためには、測定原理や機器の特徴を十分に把握した上で、測定を行うことが重要である。また、機器の特徴は、測定する環境や構造物の状態などによっても変化すると考えられる。したがって、かぶりの測定を実施する場合には、測定対象（予想されるかぶりの深さなど）に応じた測定原理の選定や、2種類以上の機器を併用して計測するなどといった工夫が必要であると考えられる。

### 5. コンクリートの比誘電率に関する検討

#### 5.1 概要

3. で述べたように、レーダ法は広範囲を簡便に探查する場合に有効な方法であるが、コンクリートの比誘電率の影響を受けるため、精度の良い測定のために

は、適切な比誘電率の設定が必要である。しかし、コンクリートの比誘電率を適切に測定する方法は確立されていないのが現状である。したがって、本章では、硬化コンクリートの比誘電率に関する基礎的な検討として、LCRメータ（各種電子材料のパラメータであるインダクタンス、静電容量、抵抗値、インピーダンスなどを求める測定器）を用い、コンクリートの比誘電率測定における周波数依存性に関する検討を行った。また、実構造物でコンクリートの比誘電率を簡便に推定する方法についての検討も行った。

#### 5.2 コンクリートの比誘電率測定における周波数依存性に関する検討

##### (1) 試験方法

市販の普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm<sup>3</sup>）、細骨材（大井川産川砂、密度：2.61g/cm<sup>3</sup>）および粗骨材（笠間産碎石、密度：2.66g/cm<sup>3</sup>）を用い、単位水量160kg/m<sup>3</sup>、細骨材率45%を配合条件として製造したコンクリートをφ100×200mmの型枠に打設した。これを2日後に脱型した後、試験材齢まで20℃の水中で養生した。比誘電率の測定は、養生後の円柱体から上下25mmを除いて3等分した厚さ約50mmの円板を使用して行った。

比誘電率の測定方法を図-10に示す。測定は、銅板を電極としてコンクリートを挟み込む形で行った。また、コンクリート表面と銅板との確実な接着性を確保するために、カルボキシ・メチル・セルロースを塩化ナトリウム5%溶液で練混ぜてゲル状にした物質（以下、CMC）を、コンクリートと電極間の媒体として用いた。測定には市販のLCRメータを用い、電圧は1.0Vに固定して周波数を1mHz~5MHzに変化させた。比誘電率は(3)式により算出した。

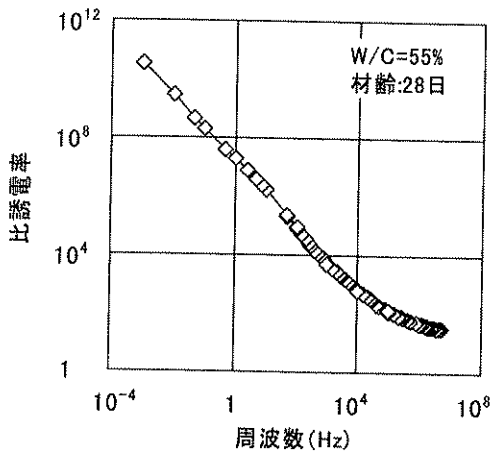


図-1 1 比誘電率の周波数依存性

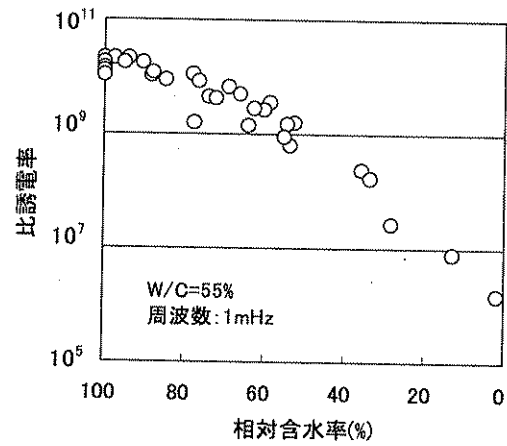


図-1 2 相対含水率と比誘電率の関係

$$\epsilon = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot C_p \cdot \frac{L}{A} \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

ここで、 $\epsilon$ : 比誘電率 (単位なし)、 $C_p$ : 静電容量 (F)、  
 $L$ : 供試体の長さ (m)、 $A$ : 供試体の断面積 (m<sup>2</sup>)、 $\epsilon_0$ : 真空での空気誘電率 (F/m) (= 0.008854 × 10<sup>-9</sup> (F/m))

(2) コンクリートの比誘電率の周波数依存性

飽水状態としたコンクリート供試体について、周波数を 1mHz ~ 5MHz まで変化させた場合の比誘電率の測定結果を図-1 1 に示す。周波数が大きくなると比誘電率は小さくなる傾向が認められた。

なお、一般的に用いられているレーダ法では、高周波域 (数百 MHz = 10<sup>8</sup>Hz レベル以上) での比誘電率の測定結果が用いられているが、本研究で得られた高周波域近傍での測定結果は、一般的なコンクリートで得られる比誘電率 (10<sup>1</sup>程度) に近い値と考えられる。

(3) コンクリートの含水状態と比誘電率の関係

コンクリートの含水状態が比誘電率に及ぼす影響について検討するため、W/C を 55% としたコンクリートで、その相対含水率 (絶乾状態を 0%、飽水状態を 100% としたときのコンクリート中の含水率) を変化させながら、比誘電率の測定を繰り返し行った。なお、測定中の材齢経過によるコンクリートの品質変化の影響を少なくするため、供試体は打設から材齢 4 ヶ月程度経過したものを使用した。

測定時の周波数を 1 mHz とした場合の比誘電率の測定結果を図-1 2 に示す。これによれば、コンクリー

トの相対含水率が 90%程度までは、飽水状態 (相対含水率 100%) の測定結果とほぼ同等の値であった。相対含水率が 90%以下の場合には、相対含水率の低下に伴い、比誘電率も低下する傾向が認められ、相対含水率が 50%程度まで低下すると、飽水状態の結果よりも 1 オーダー程度小さくなることが示された。

以上の結果から、コンクリートの含水状態は、比誘電率に大きく影響を及ぼす因子であることが明らかとなった。このため、比誘電率を用いたレーダ法によるコンクリートのかぶり測定においては、含水状態の把握が極めて重要であるといえる。

(4) コンクリート、モルタルおよび粗骨材原石を用いた比誘電率に関する検討

コンクリートはモルタルと粗骨材の 2 相からなる複合材料と考えることができる。そこで、コンクリートをモルタル部分と粗骨材とに大別して各々の比誘電率を測定し、コンクリートの比誘電率と比較した。測定に使用した供試体は、コンクリートの打設時にウェットスクリーニングして採取したモルタルを用いて作製したものである。粗骨材原石は、コンクリート供試体と同一寸法の岩石を切り出したものを使用した。供試体の寸法は、何れも φ 100mm × 50mm の円柱体である。

測定結果を図-1 3 に示す。モルタル (飽水状態) の比誘電率はコンクリート (飽水状態) よりも大きく、粗骨材原石の比誘電率はコンクリートよりも相当小さい値となった。これより、コンクリートの比誘電率はモルタルの比誘電率が支配的であると考えられる。

なお、この結果は、塩分の浸透や中性化など、モルタル部分の品質が変化するような劣化により、比誘電率が変化し、かぶりの測定にも影響を及ぼす可能性が

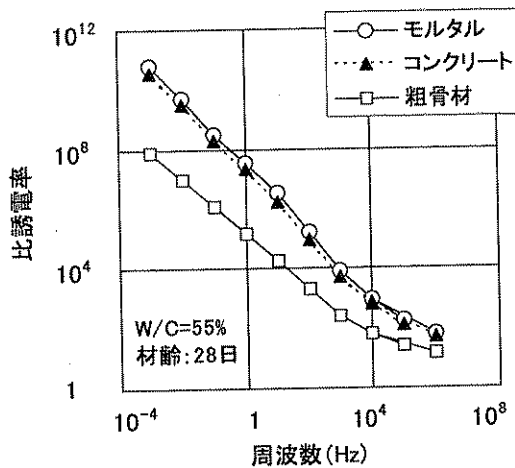


図-13 コンクリート・モルタル・粗骨材の比誘電率の比較

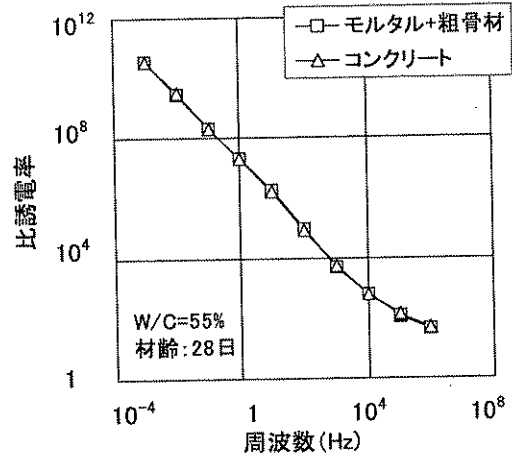


図-14 モルタルと粗骨材の比誘電率の合計とコンクリートの比誘電率の比較

あることを示唆していると思われる。

次にコンクリート中のモルタルと粗骨材の体積比に応じて、モルタルと粗骨材原石の比誘電率を合計した結果と、コンクリート供試体の比誘電率の測定結果を比較したものを図-14に示す。コンクリートの比誘電率とモルタルと粗骨材の比誘電率の合計は、ほぼ一致した。このことより、複合材料であるコンクリートの比誘電率は、モルタルの性状が支配的ではあるが、モルタルの比誘電率と粗骨材の比誘電率の複合であると考えてよいと思われる。

### 5.3 実構造物における比誘電率の推定方法に関する検討

ここでは、実構造物でのコンクリートの比誘電率の測定結果および比誘電率を非破壊で推定する方法について検討した結果を記す。

#### (1) 実験概要

実構造物でのコンクリートの比誘電率測定においては、新設（材齢4週程度）の橋台2基であり、測定箇所はフーチング側面を対象とした。レーダ法で比誘電率を8.0と仮定し、一旦かぶりの測定をした後、その箇所の鉄筋表面をはつり出し、実際のかぶり（実かぶり）をノギスにより測定した。この結果に基づき、以下に示す式(3)を用いて電磁波の反射時間Tを算出し、実構造物での比誘電率を算出した。

表-2 実構造物における比誘電率の測定結果

	測定箇所	鉄筋の設置方向	測定時に設定した比誘電率	かぶりの測定結果		算出した比誘電率
				レーダ法	コア抜き	
構造物①	A	横	8.0	104	99	8.9
	B	横	8.0	111	104	9.0
構造物②	A	横	8.0	124	109	10.4
	B	縦	8.0	149	130	10.4

なお、実際の適用を考慮すると、構造物の含水状態を厳密に制御することは困難であると考え、かぶりの測定にあたっては、コンクリートの含水状態はあえて無視した。

$$T = \frac{2D'}{C} \sqrt{\epsilon_0}, \quad \epsilon_r = \left( \frac{C \cdot T}{2D} \right)^2 \quad \dots (3) \text{式}$$

ここで、 $\epsilon_0$ : 仮定したコンクリートの比誘電率 (=8.0)、 $\epsilon_r$ : 実構造物コンクリートの比誘電率、T: 反射時間、C: 空気中での電磁波速度 ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )、D: 実かぶり、D': 比誘電率を8.0としたときのかぶり

#### (2) 試験結果および考察

比誘電率を8.0と仮定し、レーダ法を用いて実構造物で測定したかぶり、コアを抜いて測定した実かぶりの結果、ならびにそれらを基に算出した測定箇所の比誘電率を表-2に示す。近接した2箇所の比誘電率は、ほぼ同等の値が得られた。また、何れの結果も一

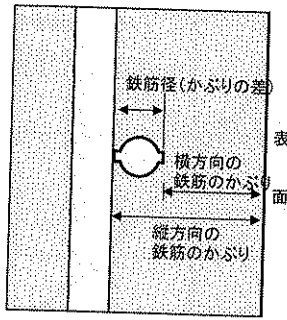


図-15 構造物における鉄筋の位置関係

一般的に言われているコンクリートの比誘電率の範囲にあった。

レーダ法で精度よく測定を行うためには、比誘電率の的確な設定が重要であるが、測定対象とする構造物すべてにおいて上述の様にコア抜きやはつり出しを行って比誘電率を求めることは構造物にとって望ましくない。そこで、構造物②について、交差する鉄筋のかぶりをそれぞれ測定した結果から、比誘電率を推定する方法を試みた。縦横それぞれの鉄筋の位置関係は図-15に示すようであり、両者のかぶりの差は手前の鉄筋の径となる。かぶりの測定を比誘電率を変化させて行い、その結果から各比誘電率でのかぶりの差を求める。この時に算出されるかぶりの差は、正しい比誘電率で測定を行った場合には、かぶりの差=鉄筋径となるはずである。

図-16は、縦横両方の鉄筋までの電磁波の反射時間の実測値を一定として、式(3)を元に比誘電率を変化させて算出した縦横の鉄筋のかぶりの差の関係を示したものである。これによれば、比誘電率が小さくなるとかぶりの差は大きくなっていることが分かる。表面側の鉄筋はD19であり、コア抜きの結果、鉄筋の配置は図-15のようであったことから、リブを考慮するとかぶりの差は約22mmと考えられる。図-16から、かぶりの差が22mmとなるような比誘電率を推定すると10.2となる。表-2の結果では、コアを採取して求めた構造物②の比誘電率が10.4であることから、推定された比誘電率とほぼ一致している。したがって、このような方法で非破壊によって精度よく実構造物の比誘電率を推定できる可能性が示されたといえる。

なお、本方法によって対象とした実構造物のコンクリートの比誘電率を算出した結果、9~11程度の値が得られ、一般的にいわれているコンクリートの比誘電率の範囲にあった。また、交差する2本の鉄筋のかぶ

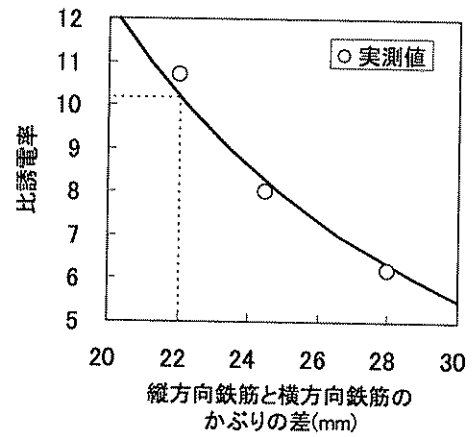


図-16 かぶりの差と比誘電率との関係

りの差を利用することで、非破壊的に実構造物コンクリートの比誘電率を推定できる可能性があり、今後の研究が期待される。

## 6. まとめ

非破壊試験法の効率化に関する調査研究として、本研究では、電磁誘導法ならびにレーダ法によるかぶりの測定に着目して検討を行った。検討を通じて得られた主なまとめを以下に示す。

- (1) かぶりの測定に関する基礎的な検討結果から、電磁誘導法ならびにレーダ法によるかぶりの測定精度は、測定原理による影響のみならず、かぶり深さや鉄筋径の影響を受ける。特に、同一の測定原理であっても、機器の特徴により異なる傾向を示し、レーダ法においては、コンクリートの含水状態の影響を大きく受けることが分かった。
- (2) コンクリートの比誘電率に関する周波数依存性の検討結果から、相対含水率が90%から50%に変化することで、コンクリートの比誘電率は1/10程度変化することが明らかとなった。また、コンクリートの比誘電率は、モルタル部分の比誘電率が支配的であることが明らかとなった。
- (3) 実構造物における比誘電率の推定方法に関する検討結果から、直行する鉄筋の位置関係に着目することで、コンクリートの正確な比誘電率を求められる可能性があることを見出した。

なお、本研究の成果に基づき「非破壊試験を用いたコンクリート構造物の健全度診断マニュアル(土木研究所編、技報堂出版)」中の「かぶり測定マニュアル」を作成した。