

論文

[2017] 電磁式鉄筋計を用いた新鉄筋位置及び径の測定法に関する研究

正会員 小林茂敏（建設省土木研究所）  
 正会員 丹野 弘（建設省土木研究所）  
 正会員 ○根岸敦規（㈱間組技術研究所）

1. まえがき

現在市販されている電磁誘導を応用した鉄筋探査装置（以下鉄筋計と称す）を用いて非破壊で鉄筋径を推定する従来の方法は、鉄筋コンクリート構造物上で探査子からの出力電圧のピークを示す鉄筋位置において、その電圧と同位置でスペーサを挿入したときの電圧の差を検定曲線に照合することであった。しかしこの方法では、二度の測定を同じ条件で行わなければならないので、手間がかかり精度も悪く、かぶり厚さが40mm以上では推定不可能であった。筆者らは探査子を一定速度で動かし、鉄筋計のメータから取り出した電圧をパーソナルコンピュータ（以下パソコンと称す）の制御により一定間隔でパソコン内に取り込み、得られた電圧の変化を解析することで鉄筋径の推定と同時にかぶり厚さも求める新しい測定手法を見いだした[1]。そこで本研究は基礎実験を通してその方法の妥当性を検討すると共に供試体への実験を通してその実用性を検討することを目的とした。

2. 基礎実験

本実験に用いた市販されている鉄筋計は電磁誘導を応用したものであるが、その原理は平行共振回路の共振現象を利用したものである。図-1は回路の概略を示したものである。図のようにコンデンサ(C)に溜めた電圧をコイルを通して放電すると、ある一定の周期で振動するが、この周波数( $f_0$ )に交流電圧(E)の周波数( $f$ )が一致したとき、a, b間の電圧が最大となる現象をいう。コイルのインダクタンス(L)は鉄筋が近づくと、鉄筋の径と距離に応じて変化するのにかぶり厚さが測定できる。このコイル部分が探査子である。

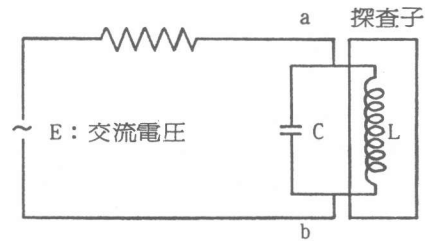


図-1 鉄筋計の回路概略

2-1 測定条件

探査子 : 一点から磁力線を発生させる探査子  
 走査距離 : 150mm (鉄筋を中心に左右75mm)  
 鉄筋径選択ダイヤル : 8mmφ (鉄筋計内での抵抗値が最も小さく感度がよいため)

2-2 検討項目

鉄筋径 : D10, D13, D16, D19, D22, D25, D41 (異形)  
 かぶり厚さ : 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60

2-3 測定方法および解析方法

文献[2]によると鉄筋がコンクリート中に埋められている場合と空中に置かれている場合と

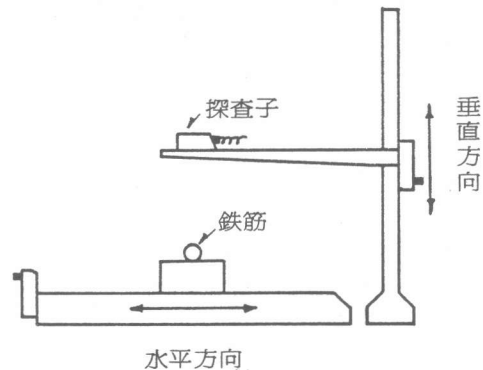


図-2 基礎実験装置の概略図

で探查結果に変化はなく同等に扱えると述べられている。そこで測定は空中で行った。図-2は測定装置の概略図である。探查子は高さ方向に変化するハイトゲージに固定し、鉄筋は一軸方向に動くテーブルに固定した。測定は次に示す手順にそって行った。

- ① 鉄筋計のゼロ点調整を行った。
- ② ハイトゲージのダイヤルを回して所定の高さ(かぶり厚さ)に探查子を固定した。
- ③ 鉄筋の載っているテーブルのダイヤルを一定速度で回した。
- ④ 同時に鉄筋計のメータから取り出した電圧をA/D変換してパソコンの制御でパソコン内に取り込んだ。
- ⑤ パソコンに取り込んだデータ(以下走査曲線と称す)をピークをはさんで相似として測定の前後でのゼロ点の変化を補正した。
- ⑥ ①~⑤の操作を3回行い走査曲線を同位置で平均してそれを測定値とした。
- ⑦ 平均化した走査曲線には微少な誤差成分(ノイズ)が含まれているので、ある測定位置の前後各1点、計3点の出力電圧の平均をその点の測定値とする(移動平均法)ようにパソコンでスムージング(曲線の平滑化)を行った。
- ⑧ スムージング後の走査曲線を一階微分することでピーク位置を正確に求め、そのピークの出力電圧をピーク電圧とした。

#### 2-4 測定結果

図-3、図-4、図-5は測定結果の一例を示している。横軸には測定位置、縦軸には出力電圧を示す走査曲線である。図-3、4は鉄筋径が

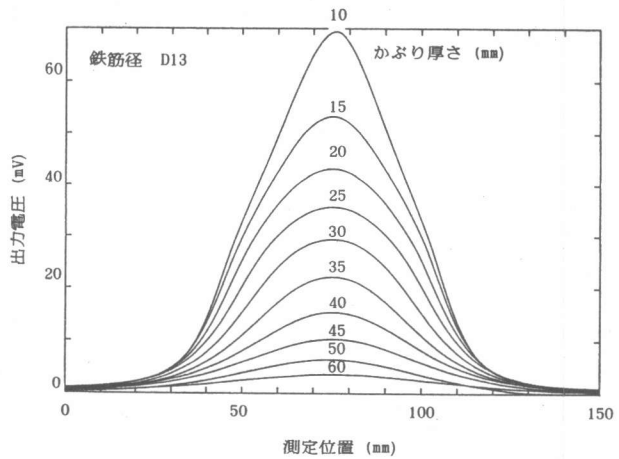


図-3 鉄筋径D13の測定結果

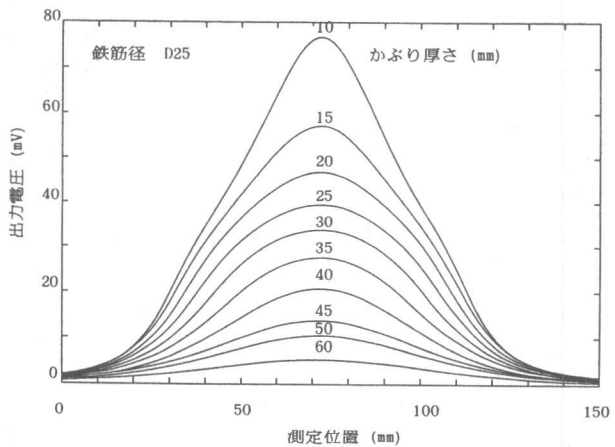


図-4 鉄筋径D25の測定結果

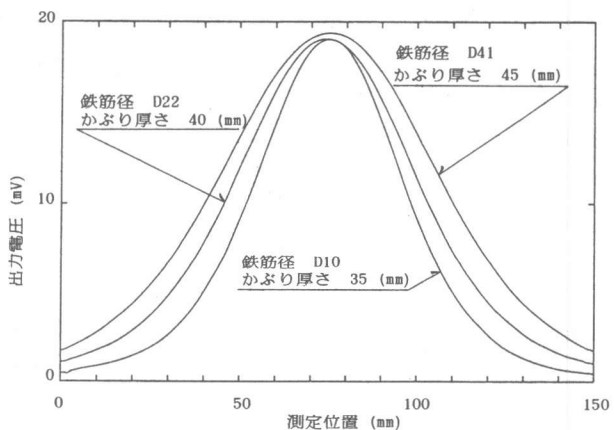


図-5 鉄筋径の異なるときの走査曲線

D13, D25と一定でかぶり厚さを変化させたときの出力電圧の走査曲線を表している。これらの図から鉄筋径により走査曲線の形が違ってくる。図-5は鉄筋径が異なりピーク電圧が近似の走査曲線を示している。この曲線は上から鉄筋径 D41かぶり厚さ45mm,鉄筋径D22かぶり厚さ40mm,鉄筋径D10 かぶり厚さ35mmであり、ほぼ同じピーク電圧でありながらピークの裾の開きは径が小さくなるにしたがって小さくなっているのがわかる。

以上の結果より、ピーク電圧、走査曲線の形と、かぶり厚さ、鉄筋径の間に密接な関係が存在することが推測された。そこで走査曲線の形状に着目し、検討を加えた。図-6は得られた走査曲線においてそのピークをはさみピーク電圧の半分の出力電圧になるときの走査曲線上での2点間の距離（以下半値幅と称す）の求め方を示している。この半値幅という値は、このような波形の面積を求めるのに利用されているように波形の形状に関する一つの性質を表すものである。図-7は各々の走査曲線におけるピーク電圧と半値幅をプロットしたものである。

この図で、各鉄筋径およびかぶり厚さを結んだ曲線が重ならないことから、走査曲線により得られるピーク電圧と半値幅によって、かぶり厚さと鉄筋径が同時に求められることが明らかとなった。半値幅というのは走査曲線の形状的特徴を示す指標の一つであり、半値幅の代わりに4分の1幅をとっても同様な相関が得られている。つまりピークをはさんでピーク電圧の一定割合になる位置間の幅、あるいは走査曲線のピークの凸の程度を表す指標とピーク電圧とによって、かぶり厚さと鉄筋径が求まることになる。以上のように新しい測定手法を用いて精度の良い走査曲線を得て、その曲線をパソコンで解析することにより鉄筋径とかぶり厚さを同時に求められることが確認できた。

### 3. 配筋上の影響要因の検討

基礎実験では一本の鉄筋を対象としていたが、ここでは連続鉄筋、重ね継手鉄筋、あき、横鉄筋がピーク電圧と半値幅にど

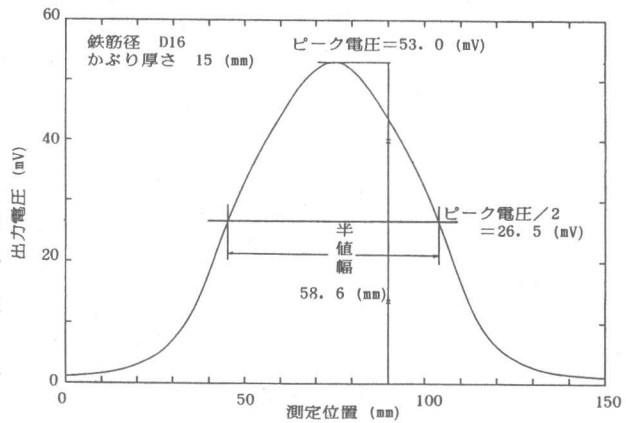


図-6 半値幅の求め方

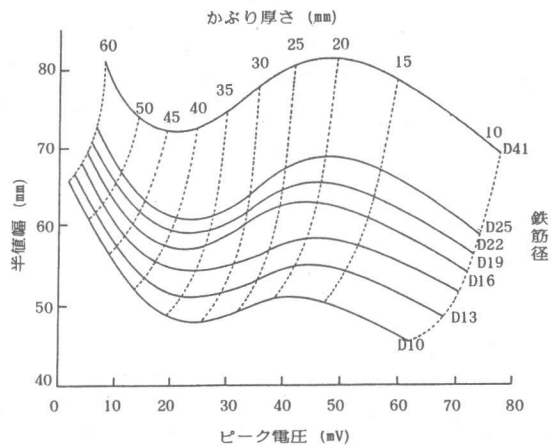


図-7 鉄筋径、かぶり厚さの検定曲線

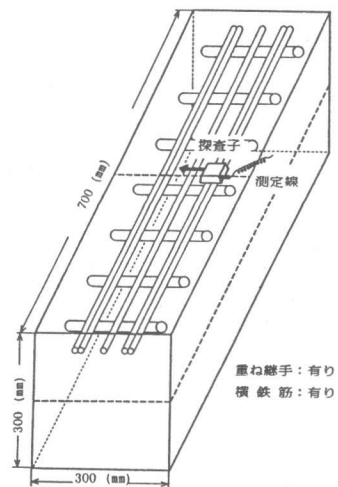


図-8 供試対形状

のような影響を与えるかを調べるために供試体を用いて実験を行った。

### 3-1 検討要因および水準

鉄筋径:D13(異形),かぶり厚さ:30mm

- ① あき:40mm,50mm
- ② 重ね継手:有り,無し
- ③ 横鉄筋:有り(D16),無し

### 3-2 測定方法

図-8は本実験に用いた供試体の一例の概略を示している。測定はこの図のように供試体表面に測定線を設けてその線上で探查子を一定速度で動かして行った。走査曲線のパソコンへの取り込み、解析は2.基礎実験と同様に行った。ただし測定位置のゼロ点における走査前後で変化した出力電圧の差からゼロ点補正を行った。

### 3-3 測定結果

図-9は測定結果の一例を示したものである。この図より内側の鉄筋はあきが小さかったために半値幅が求められず、両側の鉄筋も片方の裾が真中の鉄筋の走査曲線に吸収されてしまっている。このままでは基礎実験(図-6)のように半値幅を求めることができないので、図のように半値幅の半分を2倍して、それを半値幅とした。図-10は同一供試体で図-9のように半値幅を求めたときのピーク電圧の平均値と半値幅の平均値をプロットしたものである。あきが40mmと小さく横鉄筋の存在する供試体で重ね継手の有無に関わらず誤差が大きく、大部分の供試体において鉄筋径が25mm以上と推定された(図中▲, ▼)。次に重ね継手のみと、あきが55mmで横鉄筋の存在する供試体ではD25付近に集まっている(図中□, ■, △)。一方、あき

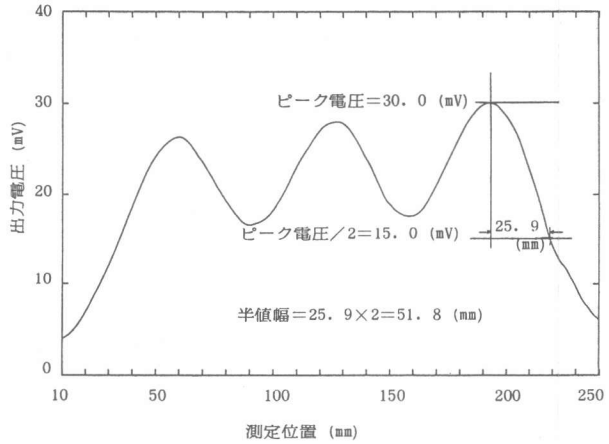


図-9 走査曲線の一部および半値幅の求め方

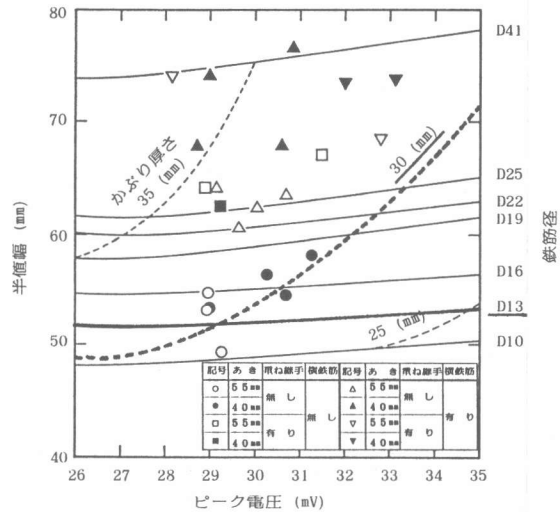


図-10 検定曲線への照合

表-1 同一要因、水準における測定値の平均および標準偏差

要因	あき			
	40 (mm)		55 (mm)	
	重ね継手			
および水準	無し		有り	
	無し	有り	無し	有り
横鉄筋	無し	55.6(4.2) 30.3(1.5)	62.5(4.5) 29.3(2.0)	52.3(4.5) 29.1(1.9)
	有り	71.3(11.1) 29.7(1.8)	73.6(7.2) 32.6(0.8)	62.7(7.3) 29.9(1.5)
				65.7(4.6) 30.2(1.4)
				71.2(5.3) 30.5(2.4)

凡例: 上段 半値幅平均値[mm] (標準偏差[mm])  
下段 ピーク電圧平均値[mV] (標準偏差[mV])

が55mmで重ね継手、横鉄筋がない場合は、半値幅の平均値はまとまっていて、鉄筋径でD10～D16付近になって（図中○）、あきが40mmでは鉄筋径でD13～D19付近になっている（図中●）。これはあきが小さいために、走査曲線が隣接する鉄筋の影響を受けて裾広がりになり半値幅が大きくなるためである。この現象は重ね継手、横鉄筋が存在すると顕著に現れている。表-1は同一要因、同一水準で半値幅、ピーク電圧の平均値と標準偏差についてまとめたものである。半値幅についてみると、横鉄筋が存在しないものは、標準偏差が5mm以下と小さい値になっている。一方、横鉄筋が存在すると標準偏差が5～11mmと大きくなっていることがわかる。あきが55mmで横鉄筋も重ね継手もない供試体の平均値は図-10に照らし合わせ、鉄筋径でD13、かぶり厚さで30mmとなり正確な値が得られた。ピーク電圧については供試体によって差はなく、標準偏差で2mm以内になっている。以上より、あきが十分で横鉄筋、重ね継手の無い鉄筋については、得られる複数の走査曲線でのピーク電圧と半値幅を平均して統計的に処理することにより、鉄筋径とかぶり厚さを同時に推定することが明かになった。

#### 4. 大型供試体への応用実験

前節で、重ね継手、横鉄筋などの鉄筋の重なり部が走査曲線へ影響を与えることを見いだした。ここでは実際の構造物に近い大型供試体の走査曲線に影響を与えない鉄筋について同様な方法で鉄筋探査を行った。

##### 4-1 供試体形状および測定方法

図-11は本実験で用いた供試体の配筋図である。探査鉄筋径はD19、あきが芯-芯で130mm、設計かぶり厚さが50mmである。測定場所は図のように左の突き出た部分で、各々2本の鉄筋について10mmごとに250mm計11線の測定線上を走査した。また測定方法および解析方法は3-2と同様に行った。

##### 4-2 測定結果

図-12は測定結果の一例を示したものである。この図のように、あきが十分なために2つのピークははっきりと分離され、ピークをはさみほ

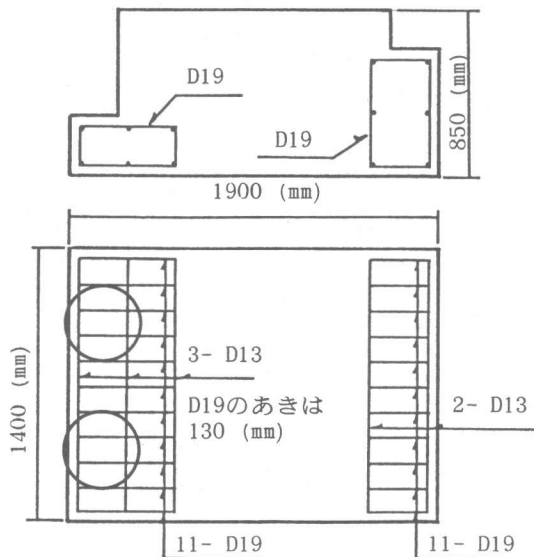


図-11 供試体の配筋図

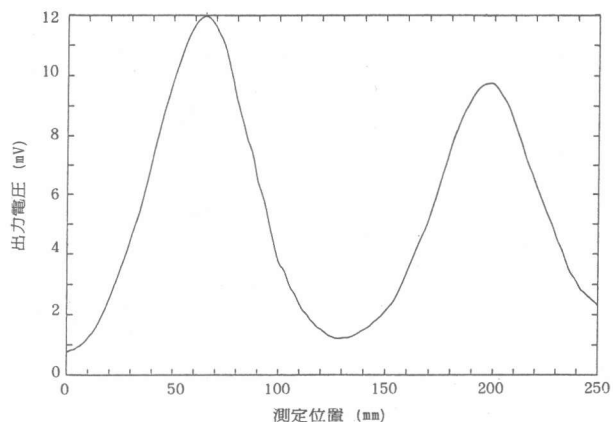


図-12 測定結果の一例

ば左右対照の走査曲線が得られた。

図-13は各測定場所における走査曲線でのピーク電圧と半値幅の平均値をプロットしたものである。各プロットの標準偏差は、ピーク電圧では2.5~1.5mV、半値幅では2.0~5.5mmで、表-1と比較して精度がよいことがわかる。この図より鉄筋径でほぼD19±4mm以内になり、またかぶり厚さでは各々の鉄筋について穿孔して実測した値と比較して、ほぼ±3mm以内となった。これから同じ鉄筋における複数のピーク電圧と半値幅の平均値を検定曲線に照合すること

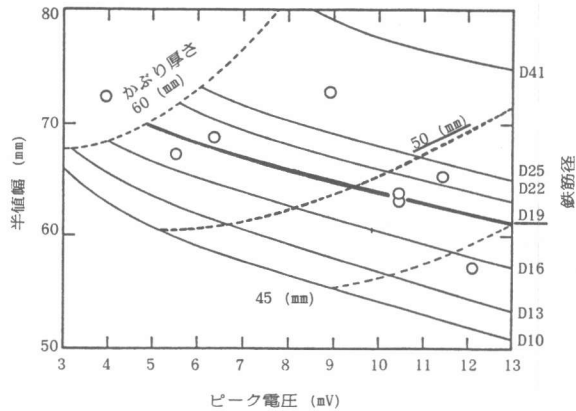


図-13 検定曲線への照合

で精度の良い結果が得られることがわかった。以上のように鉄筋径の推定は、かぶり厚さが43~63mmと今までの手法では誤差を多く含んだ深さにおいても可能になり良好な結果が得られた。これは、新しい測定手法を用いることにより測定の精度が向上したためと考えられる。

#### 5. まとめ

以上行った実験より次のことが明かとなった。

- ① 探査子を一定速度で走査する際、探査子からの出力電圧を鉄筋計のメータから取り出しパソコンの制御でパソコン内に取り込み、走査曲線を解析してピーク電圧、鉄筋位置を求める新しい測定手法により鉄筋径、かぶり厚さを同時に推定できた。
- ② 単一鉄筋の実験から、走査曲線のピーク電圧と半値幅により鉄筋径とかぶり厚さを同時に求める検定曲線図が得られた。
- ③ 通常のあきが確保されている場合には、測定場所を重ね継手や直角方向鉄筋が無い場所に設定し、複数の走査曲線でのピーク電圧と半値幅を平均することにより、十分な精度で鉄筋径およびかぶり厚さを推定することができる。一方、あきが無い場合、重ね継手や直角方向鉄筋がある場合には、得られた走査曲線から直接求まらない場合もある。
- ④ 鉄筋径が今までの手法では誤差を多く含んだ40mm以上のかぶり厚さにおいても、複数の走査曲線でのピーク電圧と半値幅を平均することにより推定が可能になった。

今回の実験では鉄筋が探査子に対して直角のときの値しか検討していないので、傾いた鉄筋のときの補正について検討すること、そして半値幅とピーク電圧から定量的に鉄筋径、かぶり厚さを求める相関式を得ることが必要であろう。またシステム化、例えば自由に探査子が構造物上を走査できる装置を使用して走査時の誤差を取り除き、解析の効率化を図ることにより精度が良くなるであろう。

#### 参考文献

- [1] 小林, 丹野, 根岸: 電磁式かぶり厚さ測定器の利用技術に関する研究, コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム講演集, コンクリート工学協会, 1988
- [2] 田村, 高橋, 永山: 改良型磁気式鉄筋探査装置の性能について, コンクリート工学協会年次論文報告集9-1, pp523-526, 1987