

報 告

[1124] 超音波による接近した鉄筋のかぶりの測定

山口哲夫\*<sup>1</sup>・丸茂文夫\*<sup>2</sup>

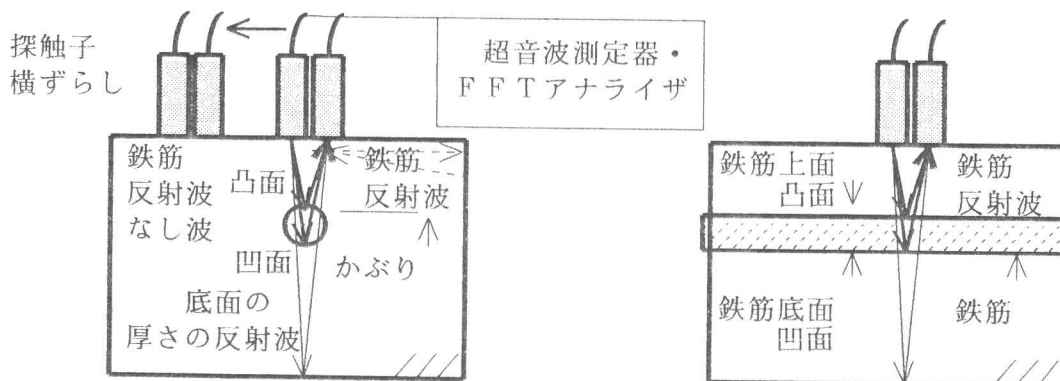
1. はじめに

コンクリートに埋設されている鉄筋の探査には、通常電磁誘導法やレーダ法が採用されている。しかしこれらの方法でも、かぶりが40mmと70mmの2本の鉄筋で、中心間隔が100mmの場合など、深さの異なる2本の鉄筋の場合、浅い方は検出できても深い方を見落とすことがある[1]。従って電磁誘導法で探査のあと、深い位置の別の鉄筋の確認に、多少は面倒な超音波法で追加調査する方法を提案することを目的として、超音波反射法による鉄筋の測定を実施した。電磁誘導法には、探索コイルを同じ超音波測定器に接続し渦電流法で測定する方法を、この研究で考案し使用した。なお本報の結果で示す鉄筋の上凸面と底凹面の反射は、超音波の丸棒反射の例であり丸い面の反射として棒の直径が関係する。

2. 測定法

2.1 超音波法での鉄筋探査法

超音波法による鉄筋かぶりの測定にはFFTアナライザ使用の反射法[2-5]で、送波パルスの繰り返し周波数を連続的に変化させ、受信波のフーリエスペクトルを加算平均する方法[6]を採用した。この方法によれば、測定結果の図で示すように、スペクトルのピークの周波数が探触子から鉄筋や他の反射面までの距離に対応する。ただし、コンクリートで使用する超音波の指向角度は広いため、探触子の直下のみの場合だけでなく、測定点からある程度斜め方向に複数の反射面がある場合にも、図-2や表-1などのように測定が可能である[6]。測定装置の1回のスイッチ操作の約40sの時間で測定点から多数の反射面までの距離がスペクトル画面図として得られた。なお反射波の大きなスペクトルが出ると、FFTアナライザへの入力波が正弦波から歪むため、フーリエスペクトルの高次補正項の小さな



(a) 鉄筋に直角に探触子を当てた場合 (b) 鉄筋に平行に探触子を当てた場合  
 図-1 超音波による鉄筋の反射波と探触子の当て方

\*1 (株) 東横エルメス 技術顧問, 工博(正会員)

\*2 (株) 東横エルメス営業部特機課, 課長

従属スペクトルがエコー状に出たが、これは無視した。探触子には、厚さ150mm以上の反射波はあまり受信しない小型の、広帯域波用を使用した。2個の探触子を互いに接触する程度に揃えて測定面に当て、測定面で2個の探触子を結ぶ線は鉄筋に直角または平行とした。探触子の当て方と反射波の概念図を図-1に示す。探触子を水平な測定面に静止させ測定したが、探触子を手持ちで多少動かしながら測定してもスペクトルの平均化処理のため測定できた。この測定の従来経験で、例えば厚さ100mmの供試体で、かぶり70mmの異形棒鋼D22の測定の場合（部材として実在しない供試体）には、鉄筋の反射波の小さなスペクトルが、厚さの反射波の高さと幅の大きなスペクトルと重なり、測定しにくかった。供試体の大きさは、厚さ150mm以上で端部から80mm以上は鉄筋まで空きのあるものが望ましかった。厚さや幅が100mm程度の供試体や供試体の端から70mm以下の測定位置では、つぎの各項目の反射波がスペクトルに出ていた。（a）厚さ、（b）側面（または端面）、（c）側面（または端面）と底面の2回反射波〔6〕、（d）側面と端面と底面との3面隅の直角プリズムのような反射波、（e）端面と貫通する鉄筋との交点など。また距離の近い場合には反射波どうしの合成の波が出ることもあった。本報の研究ではこれらの現象を承知して実施した。なお、測定点と鉄筋までの距離dとコンクリートの音速cと、反射波の到達時間の逆数の周波数であるスペクトルのピークの周波数fとの間には

$2d/c = 1/f$  の関係があり、fを測定し、cも確認し、計算でdを求めた。

## 2.2 使用した渦電流法の電磁誘導法

通常の渦電流法では、検出コイルを発振器の交流回路に接続し、渦電流によるコイルインピーダンスの変化でかぶりを測定している。本報では検出コイル自体をLC共振発振器のLとし、鉄筋の渦電流（磁場によるLC回路の実効Rの増加）による共振電流の周波数依存曲線の鋭さの変化を、FFTアナライザーによる周波数依存曲線図の共振スペクトルのピーク付近の電圧（上下するデジタル値）で測定した。渦電流によるコイルインピーダンス変化の測定原理は通常と変わらない。65φ、120φなど各種のコイルを試作し使用した。発振周波数は約1kHzとした。

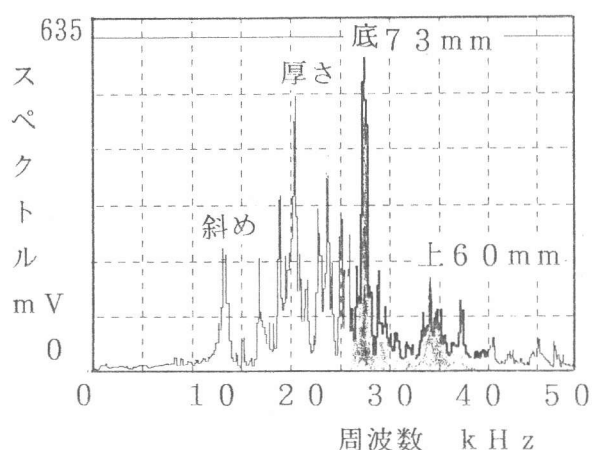


図-2 探触子を鉄筋に平行に当てた場合のスペクトル（丸棒D12のかぶり60mmの鉄筋）

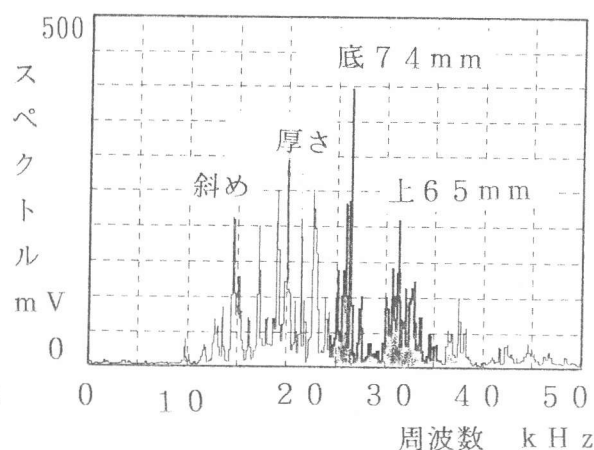


図-3 探触子を鉄筋に直角に当てた場合のスペクトル（丸棒D12のかぶり60mmの鉄筋）

### 3. 超音波法の測定結果

#### 3. 1 鉄筋の上側の凸面と底側の凹面からの2つの反射波

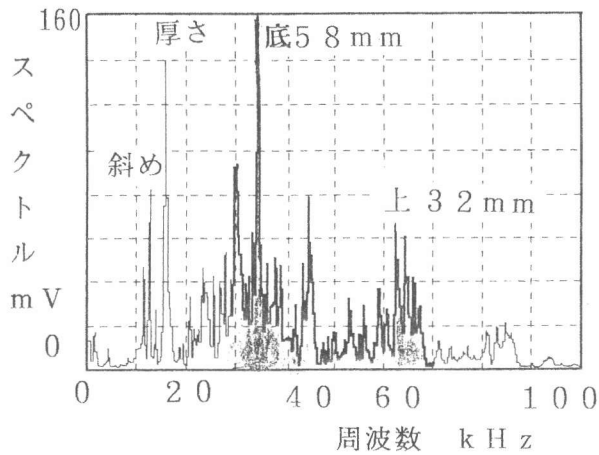


図-4 探触子を鉄筋に平行に当てた場合のスペクトル (異形鉄筋D22のかぶり32mmの鉄筋)

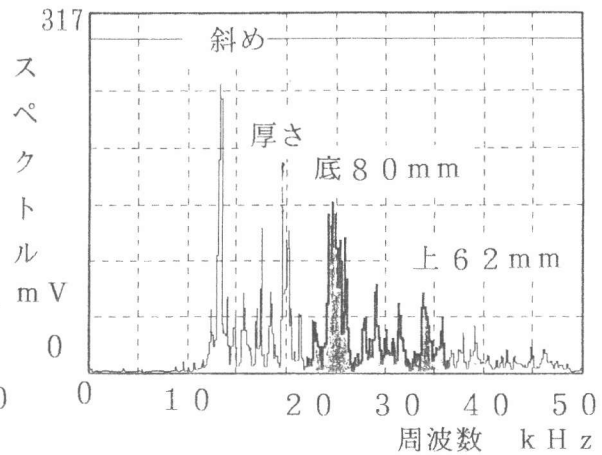


図-5 探触子を鉄筋に平行で図-2の場合より横へ20mmずらして当てた場合のスペクトル (丸棒D12のかぶり60mmの鉄筋)

鉄筋径が12~22mmの範囲では、水平な鉄筋の上側の凸面のみでなく、底側の凹面からの反射波も受信された。寸法100H×200W×350Lmmの供試体のかぶり60mmの丸棒D12の鉄筋の真上で、探触子を鉄筋に平行と垂直に当てた場合のスペクトルを、それぞれ図-2および図-3に示す。図で厚さや斜め対角や端の不要な反射波のスペクトルは、本報の作図段階で線の幅を細くしてある。図にはスペクトルピークの周波数 $f$ と音速 $c$ とから計算した距離 $d$ (mm)を数字で示してあり、上60mm、底73mmなどの記入は鉄筋の上面と底面のピーク的位置に対応した測定値である。かぶり30~60mmでは、鉄筋の上側の凸面からの反射

表-1 単独鉄筋の上と横の鉄筋までの距離 (単位mm)

測定 番号	鉄筋 の 径	鉄筋 から 横距離	実寸法距離		超音波法距離		探触子 と鉄筋 向き
			凸面 まで	凹面 まで	凸面 まで	凹面 まで	
1	12	0	30	42	30	40	平行
2	12	20	35	47	(34)	(47)	平行
3	12	30	42	54	不明	不明	平行
4	12	0	60	72	59	74	平行
5	12	0	60	72	60	73	平行
6	12	0	60	72	61	74	直角
7	12	20	63	75	(62)	80	平行
8	12	20	63	75	61	74	直角
9	12	30	67	79	64	80	平行
10	12	30	67	79	66	80	直角
11	12	40	73	85	不明	87	平行
12	12	40	73	85	不明	(83)	直角
13	22	0	32	54	32	57	平行
14	22	5	38	60	32	60	平行
15	22	0	80	102	78	90	平行
16	22	40	90	112	84	105	平行
17	22	50	96	116	不明	不明	平行

波のスペクトルは広い周波数範囲に分布している。一方鉄筋の底面の凹面の反射波は狭い周波数範囲に分布していて、上面の反射波より底面の反射波のスペクトルのピークが非常に高い。この両者のスペクトル線の間隔に相当する、探触子から上下の両反射面までの距離の差で、鉄筋径がある程度推定できた。しかし、70～80mmなど、かぶりの大な場合には底面の優位はなくなり（図-7、8）、まれに底面の反射波の消失する（図-9）ことがあった。図-4は、125H×265W×340L供試体のかぶり32mmのD22鉄筋に対する測定結果で、太い異形棒鋼の浅いかぶりの反射波のスペクトルである。この場合には浅いかぶりの測定にもかかわらず、スペクトルのピークは低かった。

### 3.2 単独鉄筋の測定結果

丸鋼D12および異形棒鋼D22の単独鉄筋の真上位置より、探触子を鉄筋と直角の横方向に離して行った場合に鉄筋からの反射波を見失う位置を調べた。測定結果を表-1に、また図-2と同じかぶり60mmの条件で探触子を鉄筋の横方向へ真上から20mmずらした場合のスペクトルを図-5に示す。図-5の鉄筋からの反射波のスペクトルピーク高さは図-2の場合の1/4に低下している。表-1で「鉄筋からの横距離」が0の「凸面まで」の距離がかぶりであり、「測定面での鉄筋横距離」とは探触子を鉄筋と直角に離れた距離、「実寸法距離の凸面、凹面」とは測定位置から鉄筋の上凸面および底凹面までの立体的距離の実寸法を、「測定距離」は超音波法での立体的距離を示す。測定面で、鉄筋の真上位置より横方向に探触子をずらして測定すると、測定番号11、12、17のかぶり73mmと96mmで、鉄筋を見下す角度30°以上の位置で、また測定番号3のかぶり42mmで角度40°以上の位置で探触子は鉄筋の反射波を見失うことが分かった。探触子を当てる向きで差は出なかった。

### 3.3 深さの異なる平行鉄筋の測定結果

寸法310L×260W×145Hmmの供試体に埋めた、かぶり45mmの異形棒鋼D13と、かぶり75mmの異形棒鋼D22の鉄筋を水平中心間隔106mm、内側間隔88mmで配置の鉄筋を超音波法で測定した。配置を図-6に示す。供試体の端からの妨害反射波がある両端付近は、測定しなかった。D22

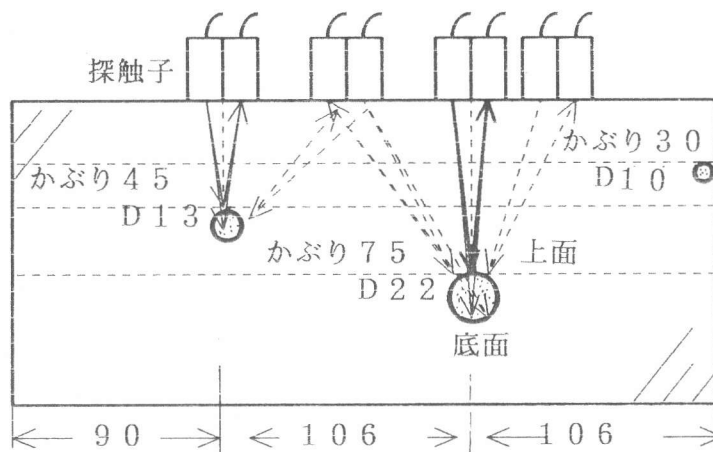


図-6 約310Lx210Wx145Hの供試体の鉄筋と反射波

の上ではD22の反射波のピークは高く、D13やD10の反射波もなく、D22を容易に測定できた。D22の真上と、D13とD22の中間位置で測定したスペクトルを図-7と図-8に示す。また供試体の表面の各位置で測定した鉄筋の上面と底面までの立体距離を図-9に示す。測定するときには鉄筋の位置はわからないので、この測定立体距離を、(点線など)測定点の真下にプロットする、レーダなどの通称Bモード図法の慣例の表示法に従って図-

9は示してある。図-9の測定値を実寸法と比較すると、かぶりの誤差はD22で0~+3 mm、横にずらした凸表面までの距離では-5~+1 mmであった。図-10に反射波のピーク高さを示す。浅いD13よりも深いD22の反射波のピークが高く、D22の鉄筋の真

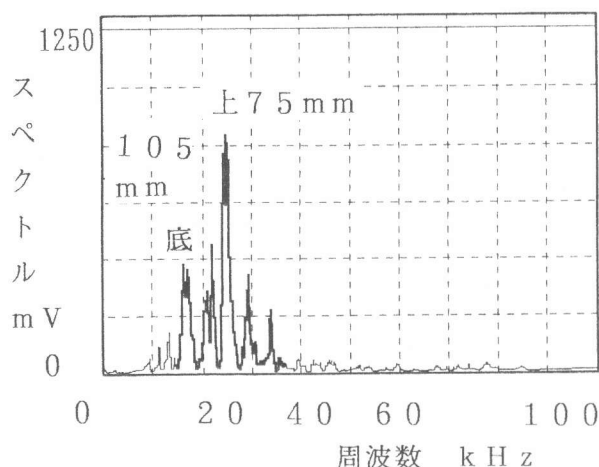


図-7 D22の真上でのスペクトル

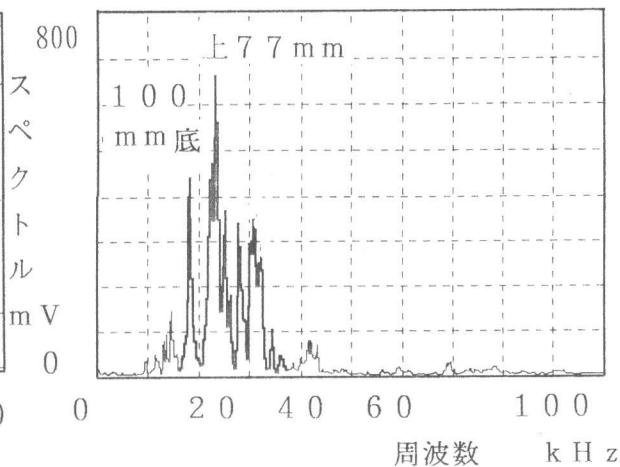


図-8 鉄筋の上でのスペクトル

上でピークは極大である。距離よりも鉄筋径の大小がピーク高さに大きく影響している。

図の測定は「平行」で実施したが、両鉄筋の中間位置の測定では、探触子を鉄筋に平行（両鉄筋から探触子は等距離）に当てるより、直角（両鉄筋から探触子は不当距離）に当てる方が、両方の鉄筋からの反射波の合成がなく、幾分測定しやすかった。

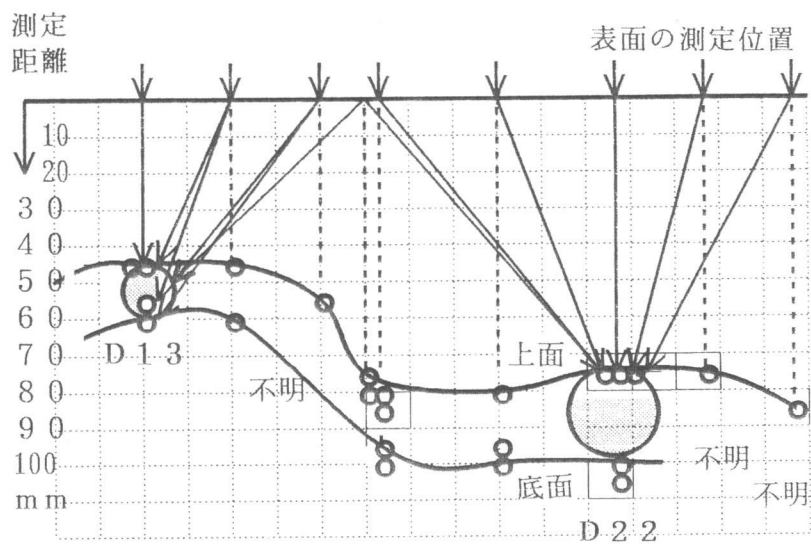


図-9 測定点の下に示した鉄筋までの超音波測定距離

#### 4. 電磁誘導法の参考比較試験

図-6の供試体の鉄筋を電磁誘導法で測定した。65φコイルでは、かぶり75mmのD22鉄筋は深くて測定できず、120φコイルで測定した。図-11の説明図のように、中央の

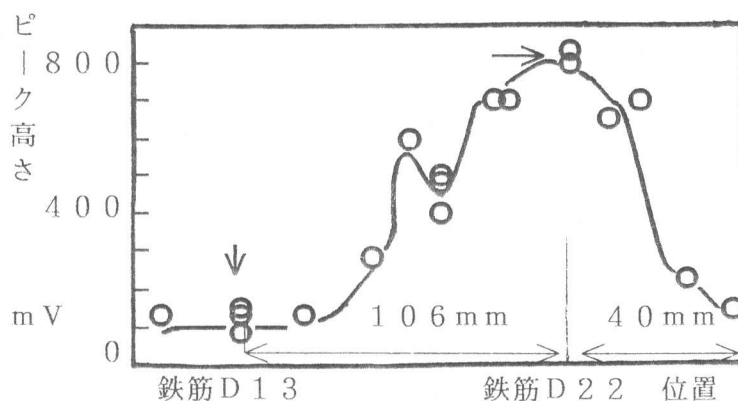


図-10 D13とD22の反射波のピーク高さ

深い位置のD 2 2の上の測定値は、1 2 0 φコイルでかぶりの浅いD 1 3やD 1 0の2本の鉄筋の測定値の間の極小値として測定された。D 2 2鉄筋が、もし説明図のような極大値として測定できれば検出は容易である。3本のバラの鉄筋を空間に配置して磁場の影響を調べる電磁誘導法の比較法で、D 2 2の存在が確認できた。未知な配筋の場合には種々の困難が予想されるので、図-6のような場合には、迅速性の優れた電磁誘導法を併用しながら、太い鉄筋の存在を確認できる超音波法を追加適用するのが有効であった。

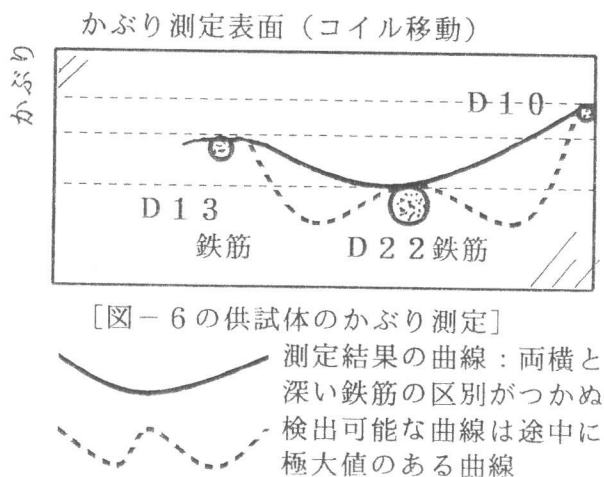


図-11 渦電流法の概念的な説明図

## 5. まとめ

コンクリートに埋設された鉄筋の探査法として、電磁誘導法で測定のと、深い位置に別の鉄筋の見落としがないか、超音波の反射法で追加調査する案を検討した。かぶり45mmの異形棒鋼D 1 3から106mmの中心間隔にある、かぶり75mmの異形棒鋼D 2 2が、明瞭に超音波法で測定できた。直径の大きな鉄筋の検出が容易であった。測定点が鉄筋の真上位置より角度で40°程度以上離れると超音波法では鉄筋を見失うことが分かった。かぶり30~60mmでは、丸い水平鉄筋の上面と底面の両方の反射波が測定され、鉄筋の直径がある程度分かった。同じ超音波装置に探査コイルを接続した電磁誘導法で超音波法と定性的に比較し、本報の課題に超音波法が有効であった。

## 参考文献

- 1) 小井戸純司：第2回鉄筋探査共同実験結果、009・WG1報告、日本非破壊検査(協)，009特別研究委員会資料，pp. 1~10，1993. 1
- 2) 山口哲夫：新しいコンクリートの厚さ測定法と測定装置，非破壊検査誌，Vol. 39，No. 3，pp. 217~222，1990. 3
- 3) 山口哲夫・丸茂文夫：コンクリートのひびわれ深さと厚さの測定法，コンクリート工学年次論文集，Vol. 12，No. 1，pp. 353~358，1990
- 4) 山口哲夫・丸茂文夫：波形解析の超音波法によるコンクリートの厚さ測定，コンクリート工学年次論文集，Vol. 14，No. 1，pp. 703~706，1992
- 5) 山口哲夫：コンクリートの厚さを計る、超音波TECHNO，Vol. 3，No. 11 pp. 38~41，1991. 11
- 6) 山口哲夫・丸茂文夫：コンクリート構造物における超音波試験法の改善，コンクリート工学年次論文集，Vol. 15，No. 1，pp. 613~618，1993