

超音波スペクトル強度に対するRC構造物鉄筋腐食劣化の影響

日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所 正会員 ○桜田 洋介
 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所 正会員 吉田 安克
 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所 笹沢 信也
 アイレック技建（株） 営業開発本部 永島 裕二

1. 背景および目的

鉄筋腐食は、錆による膨張圧により被りコンクリートのひび割れ・剥落および鉄筋径減少による強度低下を引き起こす。従って、腐食状況を早期に把握することは適切な維持管理を実施するうえでの重要な因子となる。本研究は、超音波法を用いた非破壊計測法によって、鉄筋腐食量を推定することを目的としている。

2. 実験方法

本研究は、既設構造物の鉄筋腐食劣化を対象としているが、実際の構造物は社会インフラとして供用されており、実験に利用することが難しい。超音波の反射波強度には錆の付着状況や、腐食膨張による鉄筋周辺のひび割れ等が考えられる。まず、錆が超音波の強度に与える影響を検証するために、超音波の減衰が小さいアクリル材を用いて実験を実施した。次に、コンクリートを用いて検討を実施した。

表1に超音波計測の条件を示す。

表1 超音波計測条件

広帯域 超音波探触子	AD変換 サンプリング周波数	探触子 印加電圧	ゲイン
中心周波数 0.5、2.0MHz	5MHz	30V	58～60dB

(1) アクリル供試体実験

200×300×200mmのアクリル材内に、予め腐食させた直径16mmの異形鉄筋（腐食による重量減少率≒2.1%）と腐食していない鉄筋を、50mmの鉄筋被りで埋込み供試体を作製した。（写真1）



(健全鉄筋)

(腐食鉄筋)

写真1 アクリル供試体外観

供試体内に埋込まれた鉄筋に沿って、送受信探触子を配置し、探触子を移動させながら一定時間連続でパルス波を発振し鉄筋からの反射波を計測した。図1に鉄筋から反射した超音波の周波数スペクトルを示す。

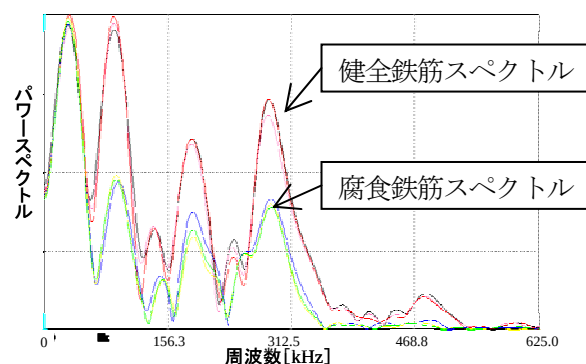


図1 アクリル材内鉄筋からの反射波周波数スペクトル

図1より、アクリル内の鉄筋から反射した超音波の周波数は、0～約500kHzであることが分かる。また、健全鉄筋と腐食鉄筋のスペクトル強度は、～約100kHzの帯域では強度差が表れないが、約100kHz以上の帯域で強度差が表れる。アクリル内での減衰は小さいことから、鉄筋が腐食することによって約100kHz以上の超音波が減衰することが分かる。

(2) コンクリート供試体実験

コンクリート供試体実験は、アクリル供試体と同寸法のコンクリート内に、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液で不動態皮膜を除去したD13、D16、D19mmの異形鉄筋を埋込んだ。更に、電食法により通電時間を制御し、腐食量の異なる供試体を作製した。

表2にコンクリート配合と、鉄筋被りを示す。

表2 供試体のコンクリート配合及び鉄筋被り

鉄筋被り (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤(cc)
10、30、50	60	48	4.5	160	267	890	978	セメント×0.25%

計測は、アクリル供試体実験と同様に、鉄筋に沿って送受信探触子を移動させ、鉄筋全体からの反射波を捉えるように実施した。

キーワード コンクリート、超音波、鉄筋腐食、電食法、パワースペクトル

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6240

図2に計測により得られた超音波スペクトル例を示す。

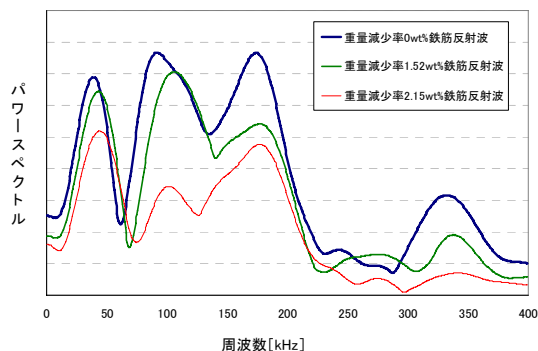


図2 コンクリート内の鉄筋反射波スペクトル

図2より、コンクリート内を伝播して受信される超音波は、0～約400kHzの周波数であることが分かる（コンクリート音速：約4800m/s）。また、アクリル供試体実験の場合と同様で腐食に伴う鉄筋重量減少率の増加に伴い、約100kHz以上（波長＝約4.8cm）の周波数帯域において超音波スペクトル強度が減衰することが分かる。

次に、この周波数帯域のスペクトル強度と腐食に伴う鉄筋重量減少率との相関関係を検証した。その結果を図3から図5に示す。

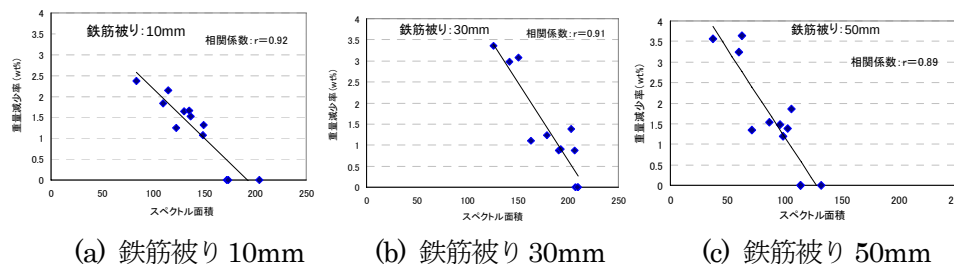


図3 反射波スペクトル強度と重量減少率の関係 (D13)

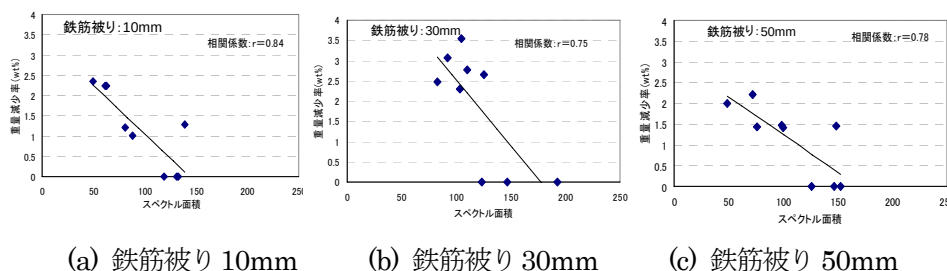


図4 反射波スペクトル強度と重量減少率の関係 (D16)

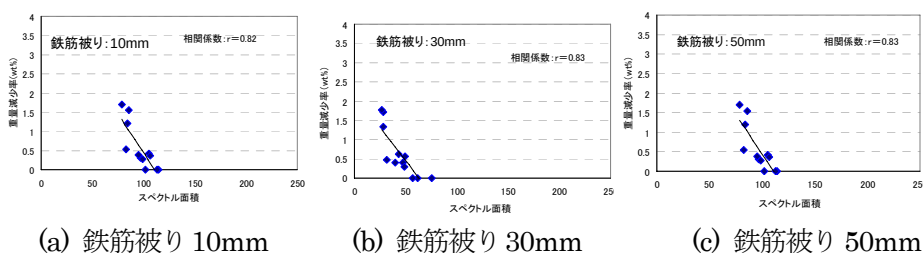


図5 反射波スペクトル強度と重量減少率の関係 (D19)

図3から図5は、鉄筋径、鉄筋かぶり毎に、最小二乗法で一次式近似し、相関係数を求めたものである。鉄筋径13mmの場合、鉄筋かぶり $t=10\text{mm}$ のとき相関係数 $r=0.92$ 、 $t=30\text{mm}$ のとき $r=0.91$ 、 $t=50\text{mm}$ のとき $r=0.89$ となった。鉄筋径16mmの場合は、鉄筋かぶり $t=10, 30, 50\text{mm}$ のとき、それぞれ $r=0.84, 0.75, 0.78$ となった。また、鉄筋径19mmの場合は、鉄筋かぶり $t=10, 30, 50\text{mm}$ のとき、それぞれ $r=0.82, 0.83, 0.83$ となった。

3. 実験結果および考察

本実験の結果、以下の二つのことが分かった。

- (i) 錆は、約100kHz以上の超音波強度を減衰させる。これは、鉄筋に錆が付着することによる鉄筋形状の変化と、錆と鉄の密度が異なるため、音響インピーダンスが変化したためと考えられる。
- (ii) 約100kHz以上の超音波強度と腐食に伴う鉄筋重量減少率の間には、相関がある。これは、上記(i)の影響と共に、腐食膨張圧による鉄筋周辺のコンクリートのひび割れ進行に伴う、超音波の散乱・減衰が要因と考えられる。

4. 今後の予定

本検討により、供試体実験下での鉄筋腐食劣化が超音波スペクトル強度に与える影響を検証できた。今後は、劣化した既設構造物において計測・検証を重ねると共に、効率的に調査可能な装置化の検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 超音波法による鉄筋腐食量推定法の開発：桜田ら 日本非破壊検査協会 平成19年度秋季学術講演大会概要集 2007年