

電磁力による鉄筋コンクリートの診断

Diagnosis of Reinforced Concrete by Electromagnetic Force

職業能力開発総合大学校
(株) アミック

橋本 光男 Mitsuo HASHIMOTO Member
高鍋 雅則 Masanori TAKANABE

We developed a novel non-destructive inspection method of the pulsed electromagnetic force acoustic method (PEFAM) for diagnosis of condition of reinforcing bars in reinforced concrete. It is characteristic of this method to use a pulsed electromagnetic force caused by discharge using condenser bank. The force can generate acoustic waves to a reinforcing rod in the reinforced concrete. Acoustic sensors attached on the surface of the reinforced concrete detect the acoustic waves. The detected waves include much information of amplitude, frequencies and time lag. We confirmed that the developed PEFAM was useful for diagnoses of condition of the reinforcing rod in concrete structure.

Keywords: Pulsed electromagnetic force acoustic method, Electromagnetic pulse, Acoustic method, Reinforced concrete

1. 緒言

鉄筋コンクリートは強度が高くかつ設計・施工の自由度の高い構造物であり、広く普及していることは言うまでもない。鉄筋コンクリートは引張や曲げ強度が小さいコンクリートの弱点をうまく補って鉄筋が配置され、構造物としての強度を得ている。しかし、コンクリートの中酸化およびひび割れによる雨水の浸入などにより鉄筋の劣化が進行すると、鉄筋とコンクリートとの付着力が低下し構造物としての強度が著しく低下する。このような状態で大きな荷重や地震時のような短期の荷重が加わると、設計強度を保つことができずに鉄筋コンクリート構造物の崩落・倒壊などの事故となりかねない。

鉄筋コンクリートの現状における診断技術としては、ひび割れや錆汁の発生等を見る目視検査、赤外線サーモグラフィや打音によるひび割れおよび剥離検査、放射線や超音波を使ったひび割れ深さ測定、コア採取によるコンクリート強度および中性化度測定、電磁波や電磁誘導法を利用した鉄筋位置およびかぶり厚さ測定などが多方面で検討・実施されている。また、コンクリート内の鉄筋腐食状態の診断については、自然電位法を用いた手法が報告されている。しかしこの手法は一つの電極を内部の鉄筋に接続する必要がある¹⁾。

本報ではこれまでの手法とは異なる鉄筋とコンクリ

ートの付着状況および鉄筋位置の推定ができる非破壊検査手法として、パルス電磁力により発生する音響を用いた鉄筋コンクリートの診断法(パルス電磁力音響法)を提案してきた^{2), 3)}

2. パルス電磁力音響法の原理

本測定法は、鉄筋コンクリート表面から内部の鉄筋を直接振動させ、その健全性を評価する手法である。Fig.1に装置の構成図を示す。

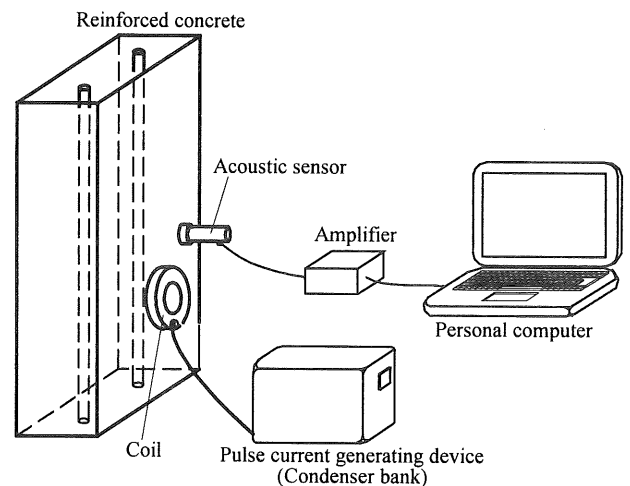


Fig.1 Constitution of examination equipment

この装置は電磁パルスを生じさせるコンデンサーバンク装置(電源部)と鉄筋より発生した音響を受信するセンサー部とで構成されている。電源部はコンデンサーに蓄えた電荷を大電流として放出する。電流値は充電電圧を制御することにより任意に決定できる。音響

連絡先：橋本光男、〒229-1196 相模原市橋本台
4-1-1 職業能力開発総合大学校電気工学科
電話:042-763-9133、e-mail:hasimoto@uitech.ac.jp

受信センサー部は音響を電気信号に変え増幅器、フィルターをへてアナログ波形表示、またAD変換装置を用いてデジタル信号として波形情報を取得する。なお、コンクリートとの接触面にはセンサー受信感度を上げる為、グリセリンペーストを用いている。励磁コイルはコンクリート表面には接触させず、1mmのギャップを設けている。

このパルス電磁力音響法は鉄筋を直接加振させることができるために、超音波探傷試験に比べ、直接目的とする鉄筋の情報を得ることができる。このため大きな弾性信号を得ることができる。パルス電流発生と鉄筋の音響発生はほぼ同時と考えられることからセンサーが音響を受信するまでの時間差を利用し鉄筋の位置情報も得られる。

3.1 パルス電磁力による鉄筋の挙動

パルス電磁力音響法を鉄筋コンクリートに適用した場合、鉄筋の状態による受信波形を Fig. 2 に示すような構成で測定した。

Fig. 2(a) はセンサーを鉄筋に取り付け、次に述べる Fig. 2(b), (c) と同じ位置に励磁コイルを配置した。鉄筋はコンクリートで覆われてなく、糸で両端をつり支持している状態である。このときのパルス電磁力による音響波形を測定した。Fig. 3(a) にその結果を示す。この波形をみると、パルス発生と同時に鉄筋が大きく振動し、その後自由振動していることがわかる。

Fig. 4(a) には、この波形の FFT 演算した周波数解析結果を示している。この図から、長さ 150mm の鉄筋の固有周波数に相当する 34kHz のピークが生じていることがわかる。

センサーをコンクリート中の鉄筋の端面に取り付けて、鉄筋のみの音響波形を測定した (Fig. 2(b))。このときの音響信号を Fig. 3(b) に示す。この波形をみると、鉄筋のみの場合に比べ自由振動がコンクリートにより抑制されるため、信号が小さくまたすぐに減衰していることがわかる。この信号の FFT 演算した周波数解析結果を Fig. 4(b) に示す。このとき鉄筋がコンクリートに覆われているため、同じ鉄筋長さを使用しているにもかかわらず、固有の周波数が Fig. 4(a) とは異なり 40kHz~70kHz に広く分布している。

Fig. 2(c) はセンサーをコンクリート表面に取り付け測定した。そのときの音響信号を Fig. 3(c) に示す。このとき鉄筋に直接センサーを取り付けた Fig. 2(b) の場

合に比べ、コンクリート表面での信号は約 1/10 に低下するが十分な SN 比を持って鉄筋から伝わる音響を計測できることがわかる。また、Fig. 3(b) の波形と比べると、パルス発生から音響の受信までの時間差が認められる。次に Fig. 4(c) の FFT 演算結果をみると、Fig. 4(b) と比べ周波数成分は低い。これより鉄筋中に発生する固有振動数は拘束されることによって高周波のほうにシフトしていくが、コンクリート中には低い周波数成分が伝わることをわかる。

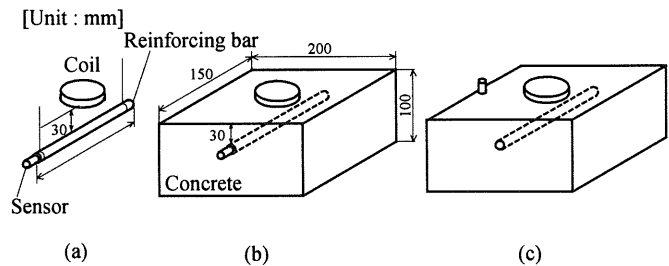


Fig.2 Examination condition

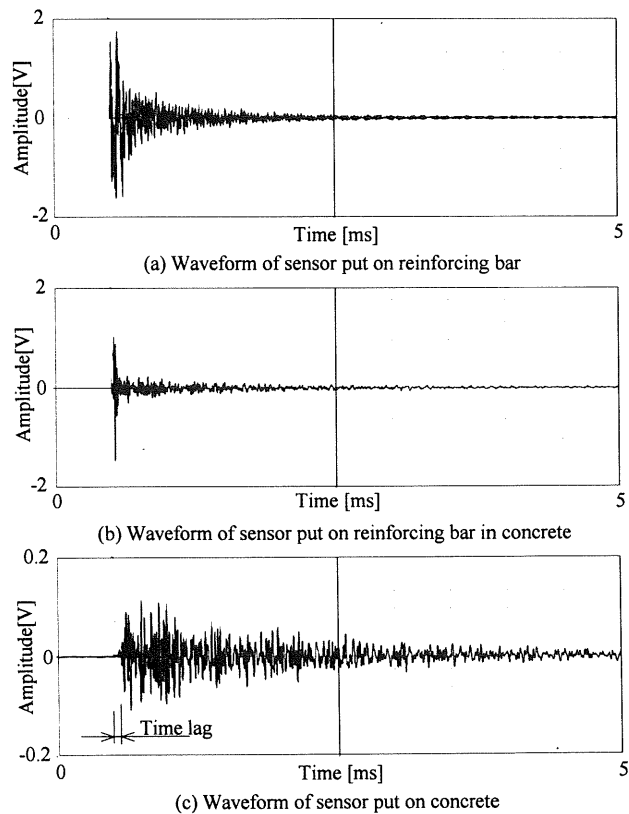


Fig.3 Acoustic waves on each examination condition shown in Fig.2

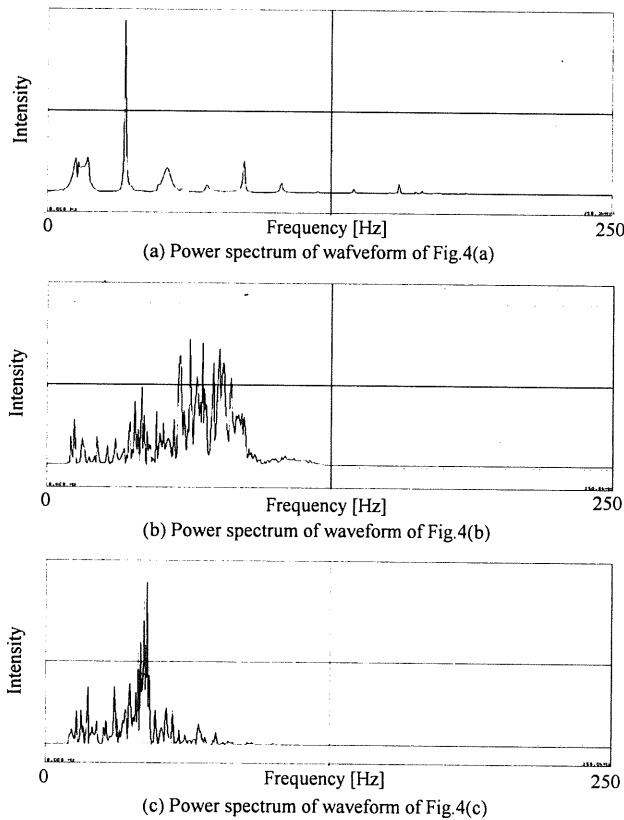


Fig.4 Power spectrum of waveform shown in Fig.3

4 鉄筋の付着力評価

鉄筋とコンクリートの付着力による差異をみるためのテストブロックを作成した。テストブロック A は鉄筋を一本配置した正常な鉄筋コンクリートブロック、テストブロック B は疲労試験機により鉄筋とコンクリートとに初期のひび割れを発生させた。このときの疲労試験は、ブロックを固定し側面に飛び出させた鉄筋に、鉄筋の長さ方向に垂直に繰り返し荷重を加え、その変位が変化したことを確認して加振を止めたものである。テストブロック C はジャッキを用い、3mm 引き抜きのせん断荷重を加えてコンクリートと鉄筋との付着力を低下させたものである。

Fig. 5 はセンサーをコンクリート表面に取り付けたときのそれぞれのテストブロックにおける受信信号を示している。テストブロック A, B には応答波形が明確にあらわれているのに対してテストブロック C はほとんど波形の応答がみられない。このテストブロック C の結果は鉄筋とコンクリートとの付着力が低下しているため、鉄筋-コンクリート間の音響の伝達損失が大きいといえる。またテストブロック A と B の図中に示した包絡線を比較すると、テストブロック B のピー

ク値が小さく、立ち上がりもテストブロック A に比べ遅くなることがわかった。

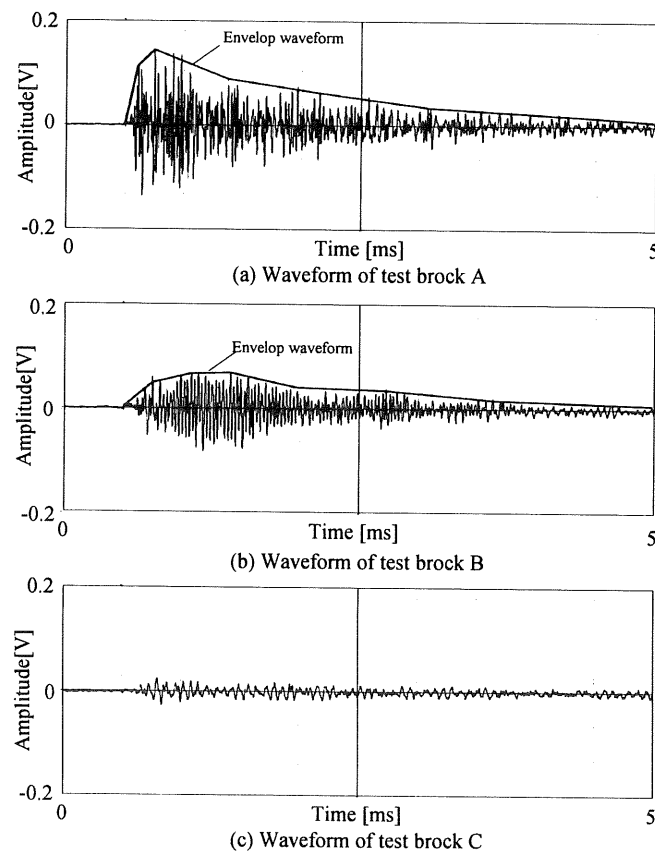


Fig.5 Acoustic waves on surface of specimens

テストブロック B の波形の周波数特性を Fig. 6 に示す。テストブロック A の周波数特性はすでに Fig. 4(c) に示した。これらを比較すると、テストブロック A では 20~40kHz にスペクトルが広がっているのに対し、テストブロック B では 34kHz の周波数が明確に現れた。これは割れによって鉄筋の拘束力が減り、鉄筋がより自由に振動し、この振動波形が表面に伝わっているも

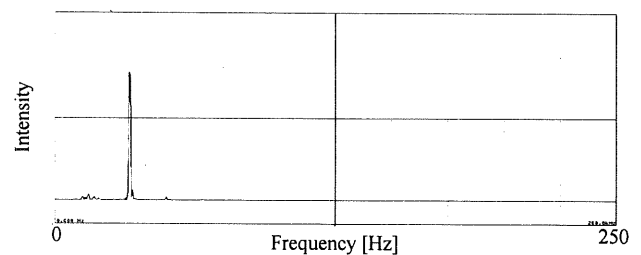


Fig. 6 Power spectrum of waveform of Fig.6 (b)

のと解釈できる。これらの結果から鉄筋とコンクリートの付着状態の差を、非破壊的に明確に評価できることが確認できた。

5. 受信音響の時間特性

パルス電磁力音響法の受信時間特性を測定した。テストブロックの中央に鉄筋が配置されて、その中心位置でパルスを発生させたこの中心を原点(0, 0) (mm)としそれぞれの点のパルス発生からの時間遅れを測定した。一例として位置(-80, 0)をPoint A, (240, 140)をPoint Bとし、センサーを取り付けたときの波形をFig. 7(a), (b)にそれぞれ示す。音源からの距離が異なるためにパルス発生からセンサー受信には時間差が認められた。各点における時間差と発信源との距離の関係を求めた結果良い相関を示した。よって2つ以上のセンサを用いることにより、鉄筋位置および深さを診断できることが確認できた。

さらに、同じ条件で再現性の確認をした。Fig. 8はパルサーとセンサを同じ位置に置き直して試験した時の3回の試験結果を重ねて示している。この図からわかるように、受信波形は基本波から高調波の波形までほとんど同じ結果が得られた。この方式の再現性の高さが確認できた。ちなみに打診法についても同様の試験を行ったが、再現性のある波形はほとんど得られなかった。この手法の電磁応用の優位性が確認された。

6. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の経年劣化を非破壊的に評価する手法としてパルス電磁力音響法を提案した。この手法を鉄筋の付着力評価に適用した結果、鉄筋コンクリート構造物の表面から非破壊的に鉄筋の付着力を評価できることを確認できた。さらにこの手法は鉄筋の位置や深さを評価することができ、その再現性も電磁氣的に音を発生させているため優れていることを確認できた。コンクリートの中酸化および割れの評価およびそれに伴う鉄筋の錆の検出事例等は発表会場で報告する。

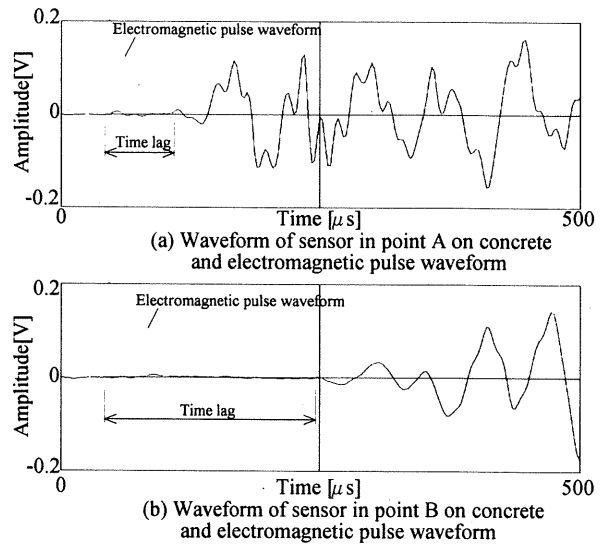


Fig. 7 Measurement result of delay of acoustic waveform

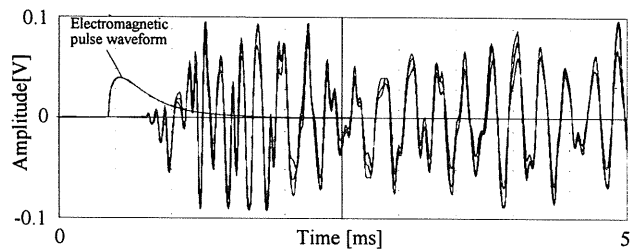


Fig. 8 Waveform by PEFAM (3times)

参考文献

- 1) (社)日本非破壊検査協会編：コンクリート構造物の非破壊試験法，養賢堂，pp. 10-281，(1994)
- 2) 高鍋雅則，橋本光男：パルス電磁力を用いた鉄筋コンクリート診断，表面探傷・サーモグラフィ合同シンポジウム講演論文集，(社)日本非破壊検査協会，pp. 91-94，(2001)
- 3) 高鍋雅則，橋本光男：電磁パルスを用いた鉄筋コンクリートの診断，電磁力関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集，日本AEM学会，pp. 599-602，(2002)