

V-73

超音波によるコンクリートの材料分離度の評価

東京工業大学 正会員 鎌田 敏郎

東京工業大学 正会員 長滝 重義

東京工業大学 正会員 大即 信明

1. はじめに

コンクリートの材料分離を非破壊的に評価する手法として、コンクリート中の超音波の伝播速度分布によるもの¹⁾等が考えられる。しかしながらこの方法では、実構造物における伝播速度の測定は、コンクリート表面から深さ方向に対して垂直な2探触子間において行う必要があり、適用箇所がかなり限定され実用性に乏しい。したがって本研究では、1探触子のパルス反射法により、表面からのみの探査によって、コンクリートの深さ方向の材料分離度を評価する手法の検討を行った。本手法は、コンクリート中の超音波の減衰が、モルタルと粗骨材の境界における散乱や微小な空隙の存在により生じることに着目し、反射波振幅の減衰から粗骨材量の分布を評価するものである。

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

供試体は $\phi 10 \times 20$ cmの円柱とし、コンクリートの打設後 振動機を用いて強制的に粗骨材を分離させたのち、硬化後に超音波の測定を行うものと、JIS A 1112「まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験」に準じて材料分離度を直接評価するものを同時に作製した。コンクリートの配合は水セメント比55%、粗骨材最大寸法20mm、細骨材率は46.2%である。

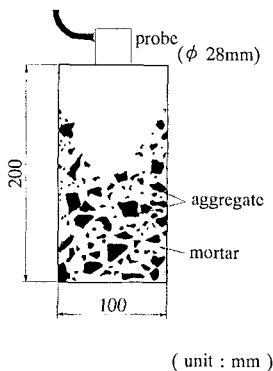


図-1 探触子の設置位置

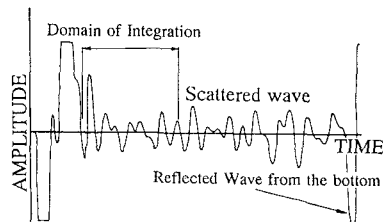


図-2 受信波形の概略

また振動機（林製作所製、振動数12000～14000vpm）による締固め時間は0、15、30、60、120、240、300 秒とした。

2. 2 測定概要

超音波の測定は、1探触子法により行った。探触子は、図-1に示すように仕上げを施した側の表面に設置した。探触子の直径は28mm、発信周波数は175、200、250kHzである。入射波はパルス波を用い、受信した波形は、図-2に示した底面反射波までをデジタル値として記録した。また洗い分析試験では、コンクリートの打設および締め固めの後、ブリーディングが終了するのを待って供試体を5cmの層厚ごとの試料に切断し、各層を5mmのふるいにより洗い分析を行い、各層の粗骨材量 G_i と供試体中の全粗骨材量 G との比を粗骨材含有率 G_i/G として求めた。

3. 評価結果および考察

3. 1 本評価手法の原理

本手法は、供試体内に入射した超音波の粗骨材による散乱波が、粗骨材量によって変化することを利用している。一般的にコンクリート中の粗骨材による散乱減衰は、平面波に対しては以下の式で与えられる。

$$P_x = P_0 \exp(-\alpha X) \quad (1)$$

ここに、 α は減衰定数、 P_0 は音源の音圧、 X は音源からの距離、 P_x は X の位置での音圧である。また一般に減衰定数 α は以下の式で与えられる²⁾。

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_s \quad (2)$$

$$\alpha_r = (\delta/c) \times f, \quad \alpha_s = (2\pi^3 \cdot p \cdot v / c^4) \times (\Delta E / E)^2 \times f^4$$

ここに、 δ は対数減衰率、 c は音速、 f は周波数、 v は散乱を生じさせる骨材の平均容積、 p は散乱を生じさせる骨材の音場中の容積比、 E はモルタルの弾性係数、 $E + \Delta E$ は粗骨材の弾性係数である。このように超音波の減衰は、主として α_i で表される粘性減衰と α_s で表される散乱減衰に大別されるが、本手法は主として後者の散乱減衰を利用したものである。式(2)からわかるように、粗骨材の平均容積および音場中の容積比が大きいほど散乱減衰は大きくなる。ここで細骨材による散乱は、細骨材の粒径が波長に比較して小さいため無視することができる。ところで1探触子法においては、散乱減衰が大きいほど受信する散乱波は大きくなる。本手法では、個々の散乱波を追跡することは困難であるので、散乱波の全量により粗骨材による散乱を評価することとした。すなわち受信された散乱波の振幅の2乗を、たとえば図-2に示す時間軸上のある積分区間で数値積分することにより散乱波のエネルギーを求め、これと発信波のエネルギー(一定)との比をエネルギー比ERとして評価に用いた。

3. 2 エネルギー比による材料分離度の評価

図-3に、締固め時間0および240秒における粗骨材含有率(以降 G_i/G とする)の供試体高さ方向の分布を示す。これによれば、締固め時間が0秒の場合は、供試体高さ方向に G_i/G の差は見られないが、締固め時間240秒では供試体上部の G_i/G が極度に減少し、これとは逆に供試体下部の粗骨材の割合が増加した。これにより締め固め時間の増加によって、粗骨材の存在が不均一になることを確認した。そこで、供試体の表面から5cmの層における G_i/G と、積分区間をこの層厚に対応させて求めたエネルギー比(以降 ERとする)の関係を図-4に示す。これによれば、 G_i/G とERには、極めて良い相関関係があり、特に G_i/G が大きい場合にERの変化も大きくなっていることがわかった。また特に周波数のちがいによる差異は見られなかった。次に供試体高さ方向の G_i/G の変化率 ΔG (洗い試験による分離度とする)を求めた。ここで変化率 ΔG とは、 G_i/G を説明変数、供試体高さ方向の測定位置を目的変数として一次回帰した場合の回帰式の傾きである。図-5に、積分区間を底面反射波の位置まで拡張して求めたERと ΔG の関係を示す。これによれば ΔG が小さく、すなわち粗骨材の分離度が大きくなるにしたがってERも大きくなっている。これは供試体中の粗骨材の平均的な分離度が、超音波の粗骨材による散乱の程度から評価できることを示すものであると考えられる。

4. まとめ

コンクリート中の粗骨材含有率および粗骨材の平均的な分離の程度を、粗骨材による散乱波のエネルギーを用いて評価することができた。本実験の範囲においては、入射するパルス波の周波数の影響は少なく、また散乱波エネルギーの算出においては、積分区間の取り方が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) たとえば、尼崎 省二、葛目 和宏、宮川 豊章：各種非破壊試験法によるコンクリート部材の欠陥評価の適用性に関する基礎的検討、コンクリート工学論文集、Vol. 5、No. 1、1994
- 2) たとえば、明石 外世樹、山路 文夫、清水 博：超音波法およびソニック法によるコンクリートの減衰測定について、セメント技術年報、11巻、1957

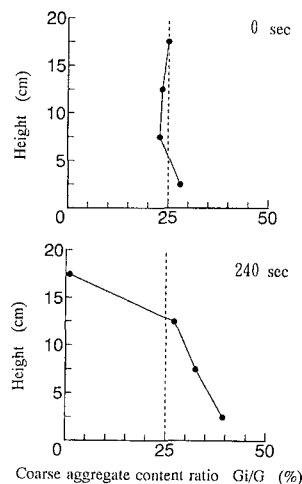


図-3 粗骨材含有率の高さ方向の変化

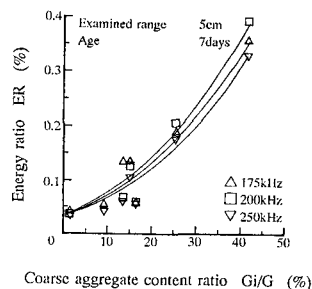


図-4 エネルギー比による G_i/G の評価

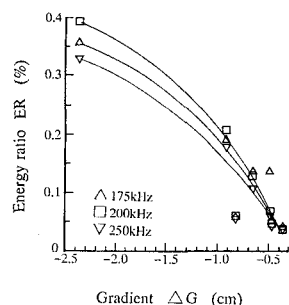


図-5 エネルギー比による ΔG の評価