

打撃応答波形によるコンクリートの強度推定

東海大学 学生員 久保 元樹
 東海大学 正会員 極 檀 邦夫
 日東建設株式会社 正会員 金田 重夫
 アプライドリサーチ 正会員 境 友昭

1. まえがき

現在、コンクリート構造物のコンクリート強度を推定する非破壊試験として普及しているのは1948年に考案されたシュミットハンマーである。この方法は、ハンマーをコンクリート面に押しつけて規定質量の重錘をバネの力でコンクリート表面に衝突させ、跳ね返る距離を反発硬度として測定する簡便な方法である。反発硬度からコンクリートの強度を推定する換算式が提案されている。

しかし、この測定方法で得られる反発硬度は、コンクリート表面の劣化の影響を受けること、また装置の加工精度などによる器差の問題が指摘されており、長年経過したコンクリートの強度を評価する方法としては問題が多いことが指摘されている。

そこで、先端を球形に整形した鋼棒に加速度計を取り付けたインパルスハンマーを自作し、硬さの異なるコンクリート供試体を打撃してその応答波形を解析した。本文は、コンクリート強度と密接に関係する縦弾性波速度と打撃応答波形の関係式を求める実験研究について報告する。

2. 供試体と測定方法

写真1に自作インパルスハンマーと検証用加速度計の位置を示す。インパルスハンマーと加速度計の間隔は100mmである。自作インパルスハンマーは、直径20mmの鋼棒の先端を半径10mmの球形に整形したもので質量は30グラムである。ハンマーに作用する力を測定するために加速度計PCB350Bを取り付け、検証用加速度計はPCB352C66を用いた。

打撃は、インパルスハンマーを5cmの高さから自由落下させた。測定には、2ch仕様（2ch, サンプリング速度:1 μ s、サンプリング数8,000/ch）の測定器を使用した。

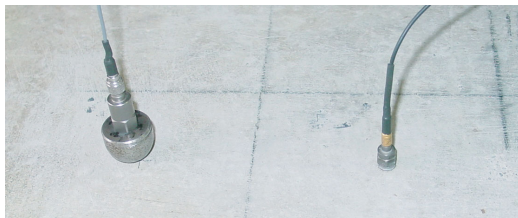


写真1 測定機器と測定点

コンクリート供試体は、小さいものは、900×900×

キーワード インパルス応答波形, 縦弾性波速度, 反発係数
 連絡先 神奈川県平塚市北金目1117 東海大学土木工学科
 Tel 0463-50-2054 Email:gokudan@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

200mm, 大きいものは1600×1400×350mmである。種類は、一般的なコンクリートと流動化コンクリートで、設計圧縮強度は7段階である。円柱供試体を採取して圧縮強度試験を全供試体について実施するのが困難なため、供試体の両面を加速度計で挟んで透過法によって縦弾性波速度を測定しコンクリート強度の指標とした。

3. 測定結果および解析

図-1にインパルスハンマーと検証用加速度計の測定結果を示す。図に示すようにハンマーがコンクリート表面を押している「作用時間」とコンクリートがハンマーを押し戻す「反力時間」によって構成される。

これまで、コンクリートの硬さの指標として鋼球接触時間を採用したが、これは、コンクリート表面に接着した加速度センサーで測定し、これを積分した速度波形から求めた。図-1は加速度計の時間波形を示し、ハンマーの質量を乗じることによって力となる。自作インパルスハンマーの微分波形と加速度計による加速度を積分した速度波形はきわめて類似した結果が得られた。

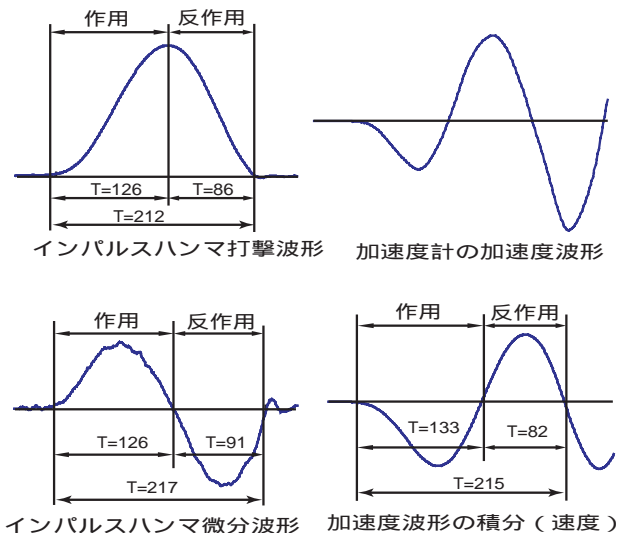


図-1 インパルスハンマー 作用反作用

ハンマーがコンクリート表面に衝突した場合、打撃力は、ハンマーがコンクリートを変形させる時間と、コンクリート表面の変形による弾性変形エネルギーによってハンマーが押し戻される時間に区分される。前者の時間には、コンクリート表面が劣化・塑性化している場合には、ハンマーがコンクリート表面を塑性変形させて貫入する時間が含まれている。しかし、後者の時間は、コンクリート内の弾性エネルギーが開放さ

れる時間であるから、構造物全体の剛性が反映されることになる。

応力波の伝搬を考慮したときの打撃応力 σ は、ハンマーの衝突速度 V_0 に比例し、コンクリートのヤング率 E とコンクリートの密度 ρ の平方根に比例する。

$$(\sigma = -V_0 \sqrt{E\rho})$$

このため、コンクリート構造物の剛性は、ハンマーの衝突速度で規準化した打撃力と、構造物内の弾性エネルギーの開放時間によって評価することが可能となる。また、コンクリート構造物の表面劣化状況は、コンクリートが最大変形に至るまでの打撃力時間波形に反映される。

すなわち、従来のシュミットハンマーで、表面劣化したコンクリートでは強度を過小評価する原因は、作用力の継続時間が長くなり、この間でハンマーの運動エネルギーがコンクリート表面の塑性変形によって吸収されるためであると推測される。

$$P_w = \int_0^{\infty} a(t) dt \quad (1)$$

最初の試みとして衝突速度を一定とした場合、打撃応力の力積がコンクリートのヤング率と比例関係にあるかを調べた。式(1)で計算する P_w を打撃波形の力積とし、縦弾性波速度との関係を図-2に示した。

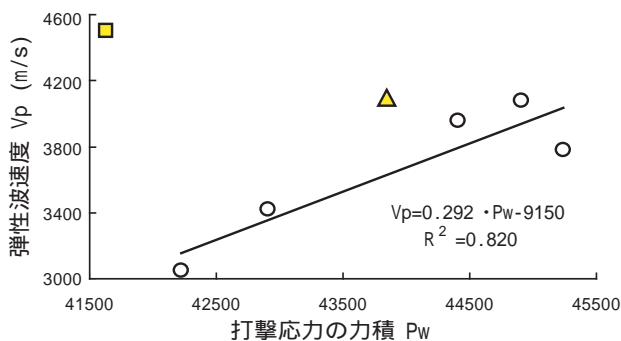


図-2 弾性波速度と打撃波形の力積

この P_w は、シュミットハンマーの反発硬度に相当すると考えられるが弾性波速度と打撃波形の力積は、良好な比例関係を示していない。この原因として衝突する点が、骨材と砂・セメントでは反応が異なること、またレイトンスや表面劣化などの表面状態の影響を受けるためと思われる。

図-3は、弾性波速度の異なる供試体と縦軸に反発力の大きさ、横軸に時間を取りインパルスとして示した。 $V_p = 3050$ は接触時間が長い反発力は小さい、一方 $V_p = 4080$ は反発力は大きい接触時間は短くなっている。要するに弾性波速度とインパルスハンマーの打撃波形の力積は比例関係を示さない。

$$C_R = \frac{F_{max}}{\int_T^{\infty} a(t) dt} \quad (2)$$

表面劣化の影響を軽減するために、式(2)で計算する反発係数 C_R を設定する。式(2)は、コンクリートがハンマーを押し戻している反作用の応力(打撃力が最大となる時間以降の積分値)とその反発力 F_{max} に着目している。図-3に示す反力がコンクリート構造物

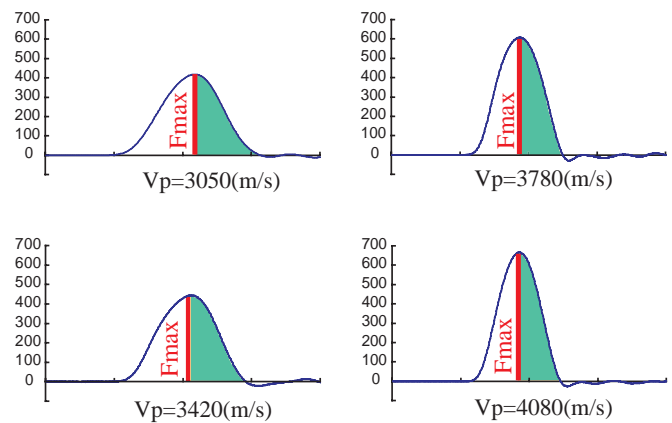


図-3 弾性波速度と応答波形

全体の剛性を反映すると見なすと、表面劣化の影響は小さいと考えられる。

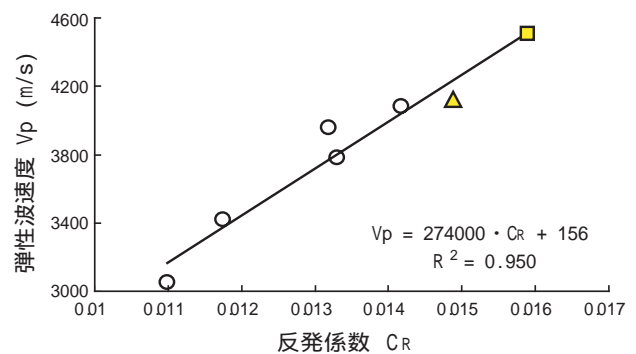


図-4 弾性波速度と反発係数

図-4は、弾性波速度と式2で定義した反発係数の関係を示したものである。図-2で、大きくずれていた四角(高流動コンクリート)および三角(配合の異なる普通コンクリート)が、図-4では良好な直線比例関係を示すように変化している。これは、ハンマーがコンクリートを叩いている「作用力ゾーン」は表面劣化の影響を強く受け、その結果が図-2のばらつきとなり現れるが、コンクリートがハンマーを押し戻している「反作用ゾーン」では、表面劣化の影響が除去されるため真の反発係数が得られたものと推量される。

4. まとめ

弾性波速度をコンクリート強度の指標と仮定し、弾性波速度の異なる7種類のコンクリートを対象にして、自作インパルスハンマーによる応答波形を解析した結果、次のことがわかった。

1. シュミットハンマーの反発硬度に対応すると考えられる打撃応答波形を積分した力積と弾性波速度とは、ばらつきが大きく良好な比例関係を示さない。
2. コンクリートがハンマーを押し戻している反作用の応力(打撃力が最大となる時間以降の積分値)を分母、反発力 F_{max} を分子とする反発係数と弾性波速度とは、相関関数 0.97 で直線比例関係を示している。

すなわち、コンクリートの表面劣化の影響が予想される場合でも、打撃応答波形の反作用を示す値と反発力を用いると、コンクリートの圧縮強度と密接に関連する弾性波速度を推定できることがわかった。