

石材を対象としたシュミットハンマーと機械インピーダンスの比較

Comparison between mechanical impedance and repulsion degree of Schmidt hammer used stone

○久保 元樹 東海大学 極檀 邦夫 東海大学
GENKI KUBO Tokai Univ. KUNIO GOKUDAN Tokai Univ.
境 友昭 アプライドリサーチ 久保 元 日東建設㈱
TOMOAKI SAKAI Applied Research HAJIME KUBO Nitto Construction
植松 武是 北海道立北方総合建築研究所
TAKEYOSHI UEMATSU Hokkaido Northern Regional Building Research Institute

概要

自作インパルスハンマーの落下高さを9段階変化させて、加速度応答波形を測定し、ハンマーの衝突速度と接触時間の関係、衝突速度と機械インピーダンスの関係、衝突速度の違いを補正した機械インピーダンスの算出方法などを検討した。供試体には弾性体に近い御影石、砂岩などを主に採用した。機械インピーダンスは、ヘルツの衝突理論に示されるように衝突速度の0.2乗に反比例することがわかった。シュミットハンマーの反発値は、石材が非常に硬いため測定範囲を超えていたが、測定データの変動率は、機械インピーダンスと同程度であった。

キーワード：インパルスハンマー、機械インピーダンス、衝突速度、シュミットハンマー、

1. まえがき

シュミットハンマー反発度は、コンクリートのような複合物質の場合、打撃面における骨材や、器差などの影響を受けると指摘されている。インパルスハンマーは、打撃応答波形を記録できるので、波形データから機械インピーダンスを計算すると、表層の劣化や剥離などとともに強度に関連する指標値が得られる。今回は、等質弾性体とみなされる御影石などを用いて、ハンマーの衝突速度の影響とその補正方法、およびインパルスハンマーにより得られる機械インピーダンスとシュミットハンマー反発値の測定データのバラツキを標準偏差などから求めて検討することにした。

2. 実験内容

質量 m のインパルスハンマーが速度 v でコンクリート表面(バネ係数 k)に衝突した場合、衝突による力を F とすると、機械インピーダンス Z は、 $Z = \sqrt{mk} = \frac{F}{v}$ となる。衝突時の加速度

波形を前半(ピークに至るまでの時間)と後半に分け、次に示す機械インピーダンス Z_A 、 Z_R を用いた。打撃力 F_{max} は、ハンマー質量に最大加速度を乗じたもの、衝突速度 V_A は、始点からピークまでの加速度波形の数値積分、 V_R は、ピークから終点までの加速度の数値積分である。

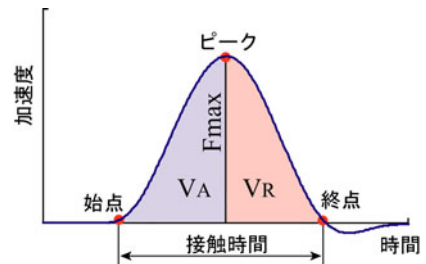


図-1 ハンマーの加速度波形

$$Z_A = \frac{F_{max}}{V_A} \quad Z_R = \frac{F_{max}}{V_R}$$

(a) 落下高さ(衝突速度)の影響

インパルスハンマーで測定すると、打撃力が大きいと機械インピーダンスも大きいという傾向が見られた。衝突速度が機械インピーダンスにどのように影響するかを明らかにするため、黒御影石などを対象として、落下高さを9段階(3cmから19cmまで2cm刻み)変化させて検討する。また、衝突速度の変動を補正する機械インピーダンスについて考える。

(b) 機械インピーダンスとシュミットハンマー反発値の比較

各供試体について、測点数を25点ずつ2回測定し、ヒストグラム、標準偏差、変動率、累加平均、偏差

などを両者について検討した。

3. 実験結果と検討

3-1 衝突速度とハンマー接触時間

接触時間は、ピークの1%である始点、終点の時間から求めた。図-2に示すように、接触時間は、衝突速度が大きくなると減少する傾向にあり、これをベキ回帰すると、図中に示すように、そのベキ係数は-0.19となる。ヘルツの衝突理論によると自由落下の場合には、接触時間が落下高さの0.1乗に反比例する、つまり、速度の0.2乗に反比例することになる。実験によると、図-2のベキ回帰係数は、-0.19であるが、理論的な意味での-0.2と等価であると考えてよいと思われる。

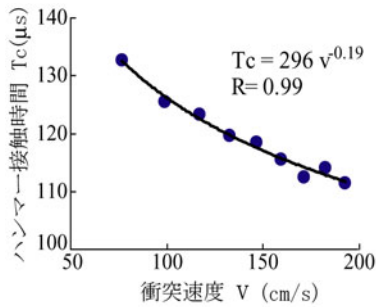


図-2 衝突速度と接触時間

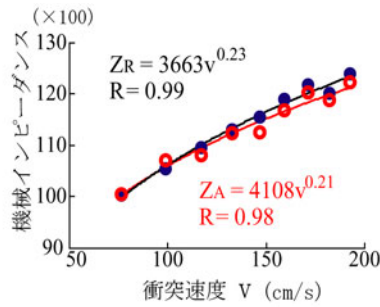


図-3 衝突速度と機械インピーダンス

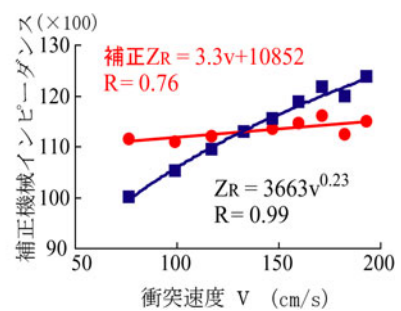


図-4 衝突速度と補正機械インピーダンス

3-2 衝突速度と機械インピーダンス

図-3に衝突速度と機械インピーダンスの関係を示す。図のとおり、機械インピーダンスは、衝突速度に比例する傾向を示しており、そのベキ係数は、ほぼ0.2の値となる。材料が均質であれば、機械インピーダンスは、おおよそ接触時間の逆数に比例すると考えられるので、このような結果となるのは、衝突理論と接触時間の衝突速度依存性を考慮すると妥当である。

3-3 衝突速度を補正した機械インピーダンス

機械インピーダンスは、前述のように F (力) を v (速度) で割って算出されている。実験の結果、最大打撃力は衝突速度の1.2乗に比例することがわかった。そこで、衝突速度のベキ乗補正を施して、補正機械インピーダンスを算出することにした。図-4に示すとおり、補正後では、衝突速度と機械インピーダンスの回帰式の勾配は無視し得る程度である。落下高さ3cmから19cmと変えた場合、機械インピーダンスの変動範囲は、補正前では約25%で、補正後は約3.5%と減少した。実際の測定では、このような極端な衝突速度の変化はあり得ないので、この程度の変動であれば、データ数を多く採取し平均することによって誤差は2%以下に小さくできると考えられる。

3-4 シュミットハンマー反発値と機械インピーダンスの測定誤差

機械インピーダンス Z_R とシュミットハンマー反発値 R とを4種類の供試体について比較した。石材の強度が予想以上に大きく、シュミットハンマー測定上限 $R=55$ 以上を超えた測定データとなったので、測定値の信頼度が保証できないため、定性的な関係を求めることしかできなかった。両者の標準偏差および変動率（標準偏差と平均値の比率）は、ほぼ同等である。ただし、砂岩だけは機械インピーダンスと反発値が比例しないという結果になった。

4. まとめ

機械インピーダンス (Z_R , Z_A) とシュミットハンマーの反発値 R の基礎的な実験結果をまとめると次のとおりである。(1)ハンマーの接触時間は、衝突速度の0.2乗にほぼ反比例することが御影石などにより立証できた。(2)機械インピーダンスは、衝突速度のほぼ0.2乗に比例している。(3)機械インピーダンスに対して衝突速度の変動を除去するには、衝突速度の0.2乗に反比例という補正が必要である。(4)機械インピーダンスとシュミットハンマーの測定データの標準偏差と変動率は同程度であったが、シュミットハンマーの測定範囲を超えた値となったので今後の検討が必要である。