

部分載荷によるコンクリートの機械インピーダンス特性

通信土木コンサルタント(株) 正○木村 修一 (株)東光コンサルタント
東海大学・院 学 廣川 匠 東海大学工学部

正 難波 達郎
正 近藤 博

1. はじめに

近年、コンクリートの各種の特性評価に機械インピーダンスが採用されている^{1),2)}。その測定には、インパルスハンマーの打撃波形が用いられている。しかし、コンクリートの機械インピーダンスに及ぼす載荷時間の影響は論じられていないようである。

そこで、ホプキンソン棒の先端に試験体(鋼, ゴム, コンクリートの3種)を設置し、同径、同質の重錘で打撃する方法で、部分載荷時の試験体の機械インピーダンス値に及ぼす影響等について検討した。その結果、コンクリートの機械インピーダンスは、載荷時間の影響を受けことを明らかにした。

2. 実験装置と方法

2.1 試験体

部分載荷によるコンクリートの機械インピーダンス特性を検討するために、試験体として、ホプキンソン棒の試験体接触面での反射係数がほぼ-1になるゴム材、+1になると想定される鋼材、及びコンクリート供試体の3種を準備した。

2.2 実験装置と方法

図1に実験装置の概要を示した。試験体の上にホプキンソン棒(直径25mm, 長さ1400mm, 打撃端から300mm(G1ゲージ)と700mm(G2ゲージ)の位置に半導体ひずみゲージを貼付してある)を設置して、そのホプキンソン棒を同径で、長さ300mm(コンクリートの場合は500mmでも実施)の鋼製棒で打撃する方法で実験を行った。このときに、ホプキンソン棒に生じる応力波を計測・処理した。ホプキンソン棒の2カ所にゲージを貼付したのは2点ゲージ法で棒の挙動を検討するためである。

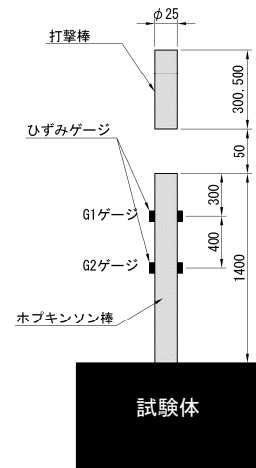


図1 実験装置の概要

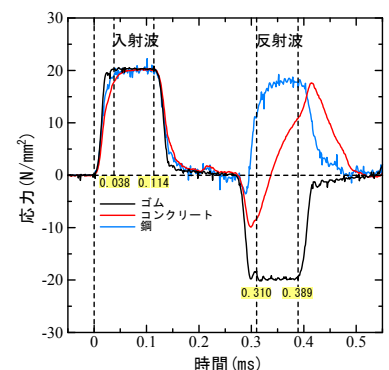


図2 3試験体の入射波と反射波

3. 実験結果と検討

3.1 G2ゲージの測定波形

図2は、打撃棒(長さ300mm)を、高さ50mmから自由落下させたときの、G2ゲージで測定した、3種の試験体の応力波形を並べて示したものである(G2ゲージに入射波が到達する時点を時間ゼロとした)。図の最初の矩形波形は入射波形(約20.1N/mm²の圧縮応力で、これを正值とする)、時間約0.28ms~0.4msの波形は、先端からの反射波形になる。図中の数値は入射波がほぼ一定値を示す範囲とこれが反射波となる時間範囲を示したものである。

ゴム材での反射波形状は入射波形状と同じ形状の負値(引張応力)になっており、ホプキンソン棒先端での反射係数は-1になり、先端は自由端的に挙動していることになる。

鋼材の場合の反射波形状は、入射波形状とほぼ同じで、応力値が1割ほど小さな正值になった。よって、ホプキンソン棒の先端での反射係数は0.9になる。

反射係数 α と機械インピーダンス $Z(=F/v)$ の関係は次式で表現できる。

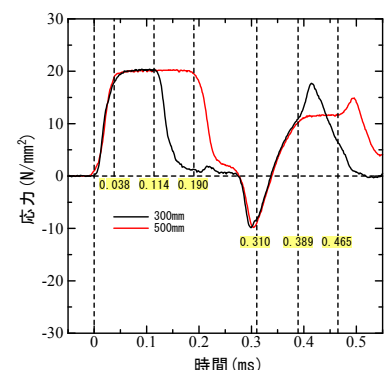


図3 コンクリート試験体における打撃棒長と出力波形

キーワード 非破壊検査, 非破壊診断, コンクリート強度, 弾性波, 機械インピーダンス

連絡先〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117 東海大学工学部土木工学科 TEL: 0463-58-1211 E-mail: kondohr@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

$$\alpha = \frac{-Z_h + Z_t}{Z_h + Z_t}$$

α : 反射係数, Z_t : 試験体の機械インピーダンス
 Z_h : ホプキンソン棒の機械インピーダンス
 (図2の入射波から, $19.6 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$ となる)

この関係から、鋼材の断面積は、ホプキンソン棒の断面積の 100 倍にもかかわらず、部分載荷での鋼材の機械インピーダンスは、ホプキンソン棒の約 20 倍になった。一方、コンクリート材での波形は、入射波が先端を回り込むときに、引張応力(約 -9.8 N/mm^2)から圧縮応力(約 11.8 N/mm^2)と変化し、その後、鋼材とほぼ同じ応力(約 17.7 N/mm^2)に届くような波形が得られた。よって、この波形から、コンクリート材の機械インピーダンスは載荷時間に影響されることが推測される。そこで、載荷時間を大きくするために、500mm の打撃棒を用いて実験を行った。図3は、打撃棒 300mm と 500mm での実験波形と並べて示したものである。図から、打撃棒が長くなると、載荷時後半で定常値を示すことがわかる。この定常値からコンクリートの機械インピーダンスを求めることができると判断する。この応力値での反射係数は約 0.6 になり、今回用いたコンクリートの部分載荷での機械インピーダンスは、ホプキンソン棒の約 4 倍になった。以上の検討から、コンクリートは鋼やゴム等と異なり、機械インピーダンスを求めるときは載荷時間長に注意する必要があることがわかる。

3.2 ホプキンソン棒先端での荷重と変位速度

図4は、打撃棒長 500mm で、コンクリート材で実験したときの、G1 ゲージと G2 ゲージの測定波形に 2 点ゲージ法を適用して求めた、ホプキンソン棒先端での荷重と変位速度を示したものである。図3に示した入射応力が一定値を示す時間 0.038ms から 0.19ms に対応する範囲は、0.175ms～0.327ms になる。この範囲で荷重は徐々に増大し飽和する傾向を示した(図4(a))。一方、変位速度は、徐々に減少しある値に収束する傾向を示した(図4(b))。また、ホプキンソン棒の先端の、最大変位は約 0.064mm であった。

3.3 コンクリートの材の機械インピーダンス

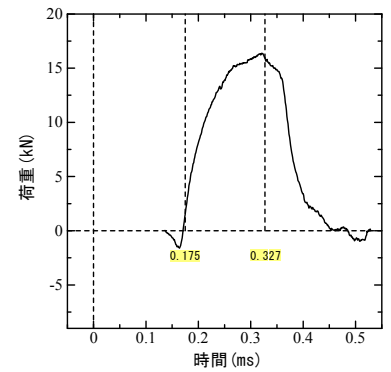
図5は、図4の(a)と(b)から求めた、機械インピーダンスの時系列を示したものである(変位速度が最大になった以降の値を求めた)。図から、コンクリート材の機械インピーダンスは、時間とともに増加し、図2に示した反射波の傾向と一致した。しかし、機械インピーダンスの最大値は、ホプキンソン棒の約 5 倍になり、図3の波形の反射係数から求まる値より大きくなった。両方法を較べると、計算誤差の問題もなく、定常値が生じる前者の方法で機械インピーダンスを求めるのが良いと思料する。

4. まとめ

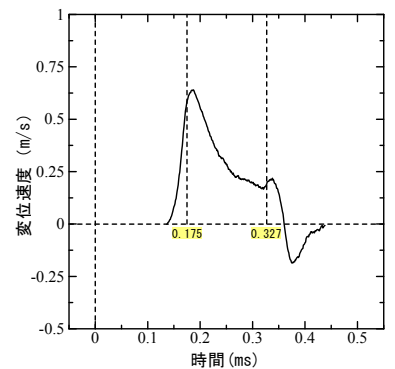
コンクリート材の機械インピーダンスは、鋼材と異なり、載荷時間の影響を大きく受けることを明らかにした。すなわち、載荷時間が短いと機械インピーダンスを小さく推定することになる。よって、インパルスハンマー等で機械インピーダンスを求めるときは注意する必要があると思料する。

参考文献

- 1) 極壇邦夫, 久保元樹, 境友昭, 久保元: 機械インピーダンスによる円柱供試体の圧縮強度の推定: コンクリート工学年次論文集, pp. 1995～2000, Vol. 26, No. 1, 2004.
- 2) 久保元樹, 境友昭, 岡田包儀, 五味慎太郎, 荒川潤: 機械インピーダンス法による水路コンクリート構造物の強度推定, 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp. 430-431, 2008



(a)先端荷重



(b)先端変位速度

図4 ホプキンソン棒先端の荷重と変位速度

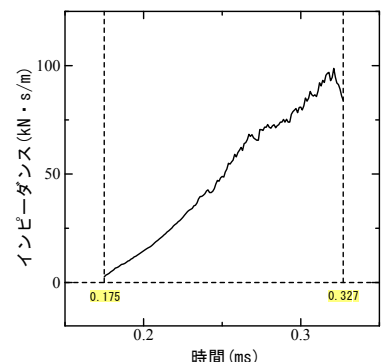


図5 コンクリート試験体の機械インピーダンスの時系列