

# コンクリートの機械インピーダンスとヤング率との関係

Relationship mechanical impedance and Young's modulus of concrete

○久保 元樹 東海大学

GENKI KUBO Tokai University

境 友昭 アプライドリサーチ

TOMOAKI SAKAI Applied Research

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

極檀 邦夫 東海大学

KUNIO GOKUDAN Tokai University

久保 元 日東建設㈱

HAJIME KUBO Nitto Construction

## 概要

コンクリートがハンマーを押し戻す後半の機械インピーダンスと硬さ（強度）と関連するヤング率について実験した。境界条件の拘束の違いを調べるため、板と板からコア抜きした円柱供試体を比較したところ、機械インピーダンス、弾性波速度は、理論のとおり円柱よりも板の方が大きくなることを確認した。さらに、設計強度を 8 段階変えた円柱供試体をインパルスハンマーで打撃し、機械インピーダンスとヤング率の関係を求めた。機械インピーダンスとヤング率、機械インピーダンスと弾性波速度は良好な相関関係を示した。

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

## 1. まえがき

シュミットハンマーに代わる新しい測定方法を研究している。インパルスハンマーでコンクリートを叩いて機械インピーダンスを求める。今回は、機械インピーダンスと縦弾性波速度と横弾性波速度から計算したヤング率およびポアソン比との関係を検討した。また、板と板からコア抜きした円柱供試体では、周囲の境界条件の拘束が違っているので、その影響を検討した。

## 2. 実験内容

### 2.1 機械インピーダンスとヤング率

コンクリートをインパルスハンマーで打撃すると図-1 のインパルス波形が得られる。機械インピーダンスは、打撃力  $F$  を衝突速度  $V$  で除して得られるが、ハンマーが押し続けている前半とコンクリートが押し戻す後半に分離して計算する。加速度波形を前半(始点からピークまでの時間)と後半に分けると、図-1 に示す機械インピーダンス  $Z_A$ 、 $Z_R$  が得られるが、コンクリート内部の弾性を現す後半の  $Z_R$  を用いて検討した。

今回は物質の硬さ、強度と密接に関連するといわれるヤング率  $E$  とポアソン比  $\nu$  を、縦弾性波速度  $V_p$  と横弾性波速度  $V_s$  を測定して、機械インピーダンスと検討した。

### 2.2 測定方法と供試体

円柱供試体に、3 軸加速度計(PCB U356A11)を手で押し付けて、約 4cm 離れた対称点を直径 15mm の鋼球で軽打して、縦弾性波と横弾性波を同時に測定した。供試体には、コンクリート板、御影石、大理石、砂岩およびそれぞれの板からコア抜きした円柱供試体(100mm\*200mm)である。さらに、セメントの影響と強度の関係を調べるために、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、早強セメントの 3 種類を設計強度 15Mpa から 36Mpa まで、3Mpa ごとに 8 段階変化させた円柱供試体を機械インピーダンスとシュミットハンマーで、15mmメッシュで 25 点打撃し測定した。板からコア抜きした円柱も同様に測定した。

## 3. 実験結果と検討

### 3.1 ヤング率とポアソン比の算出

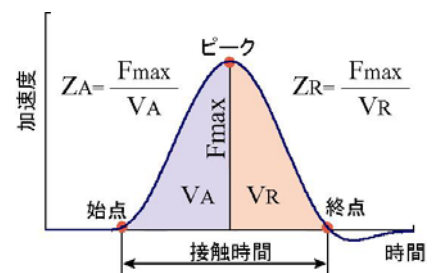


図-1 ハンマーの加速度波形

等方等質の固体では、ヤング率E、剛性率G、ポアソン比νの間には次の関係が成り立ち、その固体を伝わる縦波と横波の速度をVp、Vsとすると、以下の式で表すことができる。コンクリートも巨視的には等方等質とみなすことができるので、次の関係式は成立すると考えられる。ヤング率Eとポアソン比νは式(4)、(5)となり、密度と弾性波速度がわかれば算出することができる。

$$V_{p\text{棒}} = \sqrt{E/\rho} \quad (1) \quad V_{p\text{板}} = \sqrt{E(1-\nu)/\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (2) \quad V_s = \sqrt{G/\rho} \quad (3)$$

$$E = \rho(3V_p^2 - 4V_s^2)V_s^2/(V_p^2 - V_s^2) \quad (4) \quad \nu = (V_p^2 - 2V_s^2)/\{2(V_p^2 - V_s^2)\} \quad (5)$$

また、機械インピーダンスZRについても、円柱を打撃すると、縦方向にちぢみ、横方向にふくらみが生じる。円柱では周囲が空気であるので、横方向の境界条件の拘束は無い、しかし板では周囲には、コンクリートがあるのでふくらもうとしても拘束されるので、機械インピーダンスも次式のように大きくなる。

$$Z_R\text{棒} = E\varepsilon \quad (6) \quad Z_R\text{板} = E\varepsilon\{(1-\nu)/(1+\nu)(1-2\nu)\} \quad (7)$$

表-1に弾性波速度VpとVs、および両者から計算したポアソン比、ヤング率、さらに、機械インピーダンスZRとシュミットハンマーのR値を示す。

表-1 境界条件の拘束の有無による比較 (板とコア抜きした円柱供試体)

種類	弾性波速度				ポアソン比 ν	ヤング率E N/cm <sup>2</sup>	インパルスハンマー 機械インピーダンス			シュミットハンマー 反発度R		
	Vp板	Vp棒	Vs棒	Vp板			ZR板	ZR棒	板/棒	板R	棒R	板/棒
	m/s	m/s	m/s	Vp棒								
コンクリート	3468	3328	2094	104%	0.17	2.42*10 <sup>6</sup>	5153	4712	109%	39	28	141%
御影石	5670	5493	3401	103%	0.19	8.03*10 <sup>6</sup>	8380	7627	110%	67	61	111%
大理石	5483	5246	3232	105%	0.19	6.74*10 <sup>6</sup>	7629	7043	108%	60	43	139%
砂岩	3445	2975	1997	116%	0.09	2.03*10 <sup>6</sup>	5586	5353	104%	63	41	154%

表に示したコンクリートの場合、ポアソン比0.17を(2)式に代入すると、弾性波速度では104%と測定値と良く一致する。また、機械インピーダンスを式(7)で計算すると、板の方が円柱に比べて107%と大きくなり、ほぼ一致する。今回の実験の供試体では、弾性波速度および機械インピーダンスは、円柱よりも板の方が大きくなっており、ほぼ理論どおりの結果が得られた。ただし、砂岩だけは全てにおいて理論と異なる結果になった。

一方、シュミットハンマーの反発度Rは、板と棒の比は、各供試体でばらつきが大きく、一定の傾向は得られなかった。これは、シュミットハンマーは、レイタンスなどの軟弱表面の影響が大きいためと考えられる。

### 3.2 機械インピーダンスとヤング率の関係

図-2に、機械インピーダンスと弾性波速度、機械インピーダンスとヤング率との関係を示す。機械インピーダンスZRとヤング率では、相関係数0.86と良好な結果が得られた。機械インピーダンスと弾性波速度でも、相関係数0.82と良好な結果が得られた。機械インピーダンスは単発瞬間の測定値であり、弾性波速度はある時間継続する多重反射から計算した値である。両者共に、物質の弾性率定数であるヤング率と良好な相関関係を示すのは興味深い現象と考えられる。

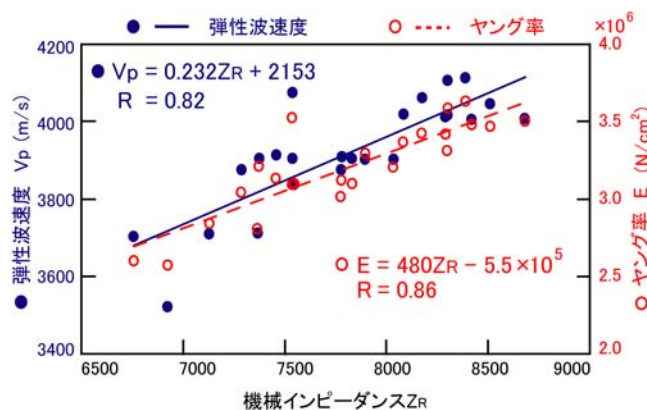


図-2 機械インピーダンス, 弾性波速度, ヤング率

## 4. まとめ

今回の実験をまとめると次のとおりである。機械インピーダンスおよび弾性波速度は、板とコア円柱では、板の方が、円柱よりも大きくなり、板と円柱の比は理論とほぼ一致した。しかし、シュミットハンマーの反発度Rは、ばらつきが大きく、理論と異なる結果となった。機械インピーダンスと弾性波速度との相関係数は0.82、ヤング率との相関係数は0.86と、共に良好な相関関係があることが分かった。