

衝撃振動法によるコンクリート内の反射波速度の推定

伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史
 (株)大本組 正会員 関根 浩次
 東海大学 正会員 極檀 邦夫

1. はじめに

衝撃振動法は、コンクリート表面を鋼球で打撃したとき発生する弾性波を、表面に設置したセンサーで受信、解析して非破壊的にコンクリートの厚さを計測するものである。コンクリートの厚さは、コンクリート内部を伝搬する反射波の速度と板の上端下端を往復する反射波の振動数との2つから計算できる。反射波の振動数は、自己相関関数を用いる解析方法により厚さ10~250cmについて確定できたが、反射波速度は仮定した¹⁾。今回は、表面で観測した弾性波から反射波速度を求めることを目的とし、設計強度が異なる5個のコンクリート、大理石、御影石、砂岩を実験した。コンクリートを均質等方の弾性体と考えると、内部を伝搬する反射波速度と表面を伝搬する表面波との両者は比例関係にあると容易に推測できるし、鋼球がコンクリートに衝突し接触している時間はコンクリートの弾性を表すヤング率を密接に関連すると考えられる。

2. 実験方法

8種類の供試体を表1に、測定状況を図1に示す。供試体の反射波速度 V_p は、自己相関法により得た共振振動数 f_0 と供試体厚さ D から $V_p = 2Df_0$ で計算した。実験は供試体表面に3つのセンサー P1、P2、P3 (PCB製) を5cm間隔で貼付け、P1より5cm離れた点を質量0.26g、0.88gの鋼球で打撃する。その振動をセンサーで受信し、サンプリングクロック2マイクロ秒で記録する。

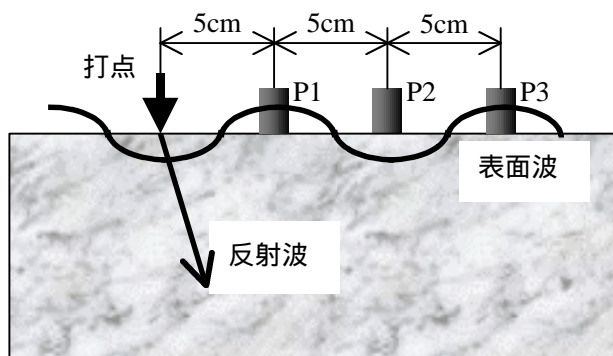


図1 測定状況

表1 供試体

供試体		D (cm)	f_0 (kHz)	V_p (m/s)
RC板	設計強度			
	160 (kg・f/cm ²)	21.2	7.57	3209
	210 (kg・f/cm ²)	20.8	8.30	3453
	270 (kg・f/cm ²)	20.9	8.67	3623
	330 (kg・f/cm ²)	20.9	9.03	3776
	410 (kg・f/cm ²)	21.0	9.52	3999
	大理石	29.7	9.16	5438
	御影石	20.2	13.79	5573
	砂岩	16.5	10.13	3344

2.1 表面波速度の測定方法

図1のように、供試体表面を打撃すると表面を伝搬する表面波と内部へ伝搬する反射波が発生するが、この測定位置のセンサーでは最初に表面波が到達する。そこで図2の通り P1、P2、P3 の初期振動の振幅が極小となる時間差から到達時間差 T_{S1} 、 T_{S2} を求め、センサー間隔5,10cmのデータを最小二乗法で平均化した表面波速度を求める。

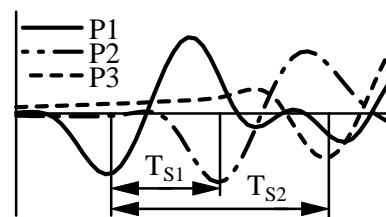


図2 表面波速度の測定方法

2.2 鋼球接触時間 T_C の測定

センサー P1 の初期振動の周期は、供試体表面と打撃する鋼球との接触時間によって決定される。従って、図3の通り初期振動で振幅が極小・極大となる時間差から表面波の1/2周期を求めれば鋼球接触時間の1/2が求められる。今回はこの時間を全供試体について求め、鋼球接触時間 T_C とした。

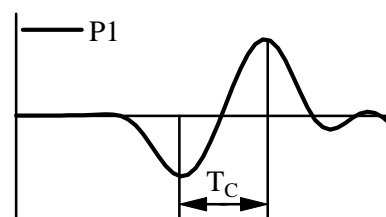


図3 鋼球接触時間の測定方法

3. 測定結果

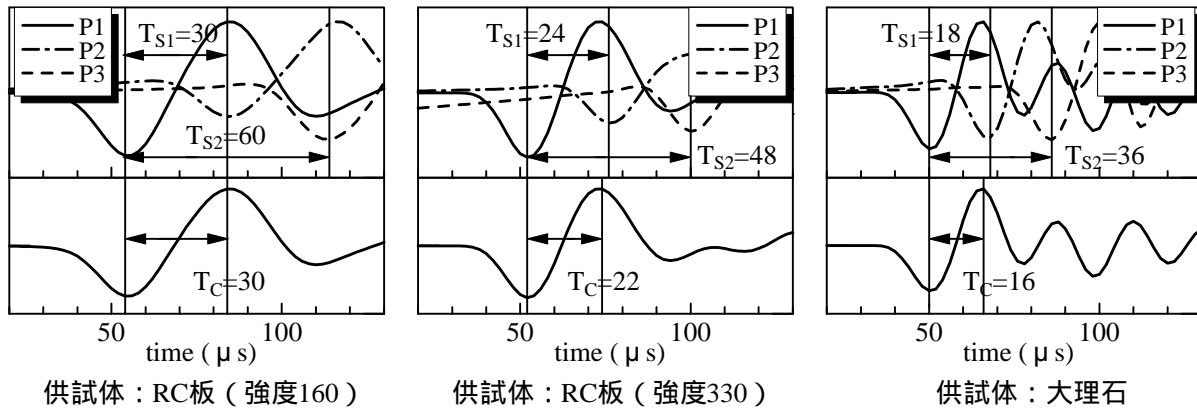


図4 各供試体での表面波到達時間差（上図）と鋼球接触時間（下図）（鋼球質量0.88g）

鋼球0.88gで打撃した時のセンサー間での表面波到達時間差と鋼球接触時間を測定した結果を図4に示す。表面波到達時間差をP1:P2間で見ると、RC板（設計強度160）では30マイクロ秒、RC板（設計強度330）では24マイクロ秒、大理石では18マイクロ秒と供試体の内部強度が大きくなると到達時間差は短くなった。また、鋼球接触時間も30、22、16マイクロ秒と供試体の内部強度が強くなると短くなった。

全供試体について、測定した表面波速度と鋼球接触時間を鋼球質量0.26g、0.88gで平均した値と、反射波速度との関係を図5に示す。

図5上図より、表面波速度 V_S は、反射波速度 V_P が速いと比例して速くなる関係を示し、両者の関係式 $V_P = e^{0.164} \times V_S^{1.07}$ (e : 自然対数底) が相関係数0.99で得られた。また、図5下図より鋼球接触時間 T_C は反射波速度 V_P が速い供試体では短くなる傾向が見られ、両者の関係式 $V_P = e^{-1.07} \times T_C^{-0.863}$ が相関係数0.98で得られた。

同じ質量の鋼球で供試体を打撃した場合、表面波速度、鋼球接触時間は内部強度を反映したものになる。内部強度が大きくなると鋼球の打撃力に対する反発力も大きくなり、変形ひずみも小さくなると推定される。また、コンクリートのヤング率が大きいと硬くなるので、表面波速度は速くなり、鋼球接触時間は短くなる。表面波速度および鋼球接触時間と反射波速度の関係式は、反射波速度と内部強度が比例することを物語っている。

これは、均質等方と仮定したコンクリートや石材では、表面波速度あるいは鋼球接触時間を求められれば、内部を伝搬する反射波速度を推定できる。

4. まとめ

コンクリート表面を鋼球で打撃し、表面で受信した弾性波動を解析して、板を往復する反射波の速度を推定した。均質等方と仮定したコンクリートや石材では、表面を伝搬する表面波速度あるいは鋼球接触時間によって、反射波速度を推定できることが分かった。鋼球質量0.26g、0.88gで測定した値を平均した表面波速度 V_S 、鋼球接触時間 T_C と反射波速度 V_P との関係式は、 $V_P = e^{0.164} \times V_S^{1.07}$ 、 $r=0.99$ 、 $V_P = e^{-1.07} \times T_C^{-0.863}$ 、 $r=0.98$ という良好な結果が得られた。

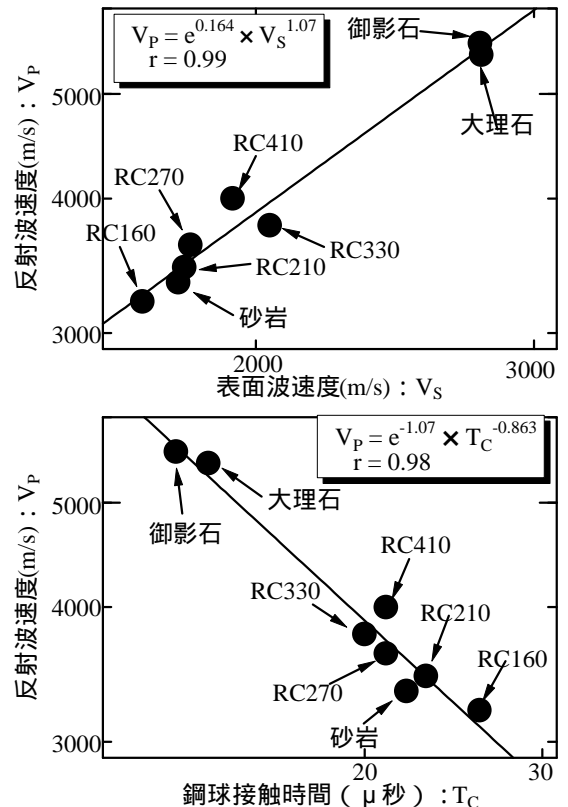


図5 反射波速度と表面波の解析結果