

弾性体表面の振動に及ぼす鋼球重量の影響

伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史
東海大学 正会員 極檀 邦夫

1. はじめに

鉄筋コンクリートの健全性を、鋼球打撃により発生する振動の周波数応答解析によって検査するための基礎研究を行っている。いままではコンクリート板を打撃すると、表面波(S波)と反射波(P波)という性質の異なる2種類の波が発生すると想定し、反射波だけをいかにして抽出するかを報告してきた¹⁾²⁾。

今回は、表面波と反射波の挙動、鋼球重量および落下高さ(打撃力)が板の振動に及ぼす影響、反射波速度と板の平均振動数の関係を実験した結果を報告する。

2. 測定方法

測定に用いた各供試体の厚さ、共振振動数 f_0 および反射波速度 V_p を表1に示す。供試体表面に加速度計 P_1 を、その真裏に加速度計 P_2 を、 P_1 から 10cm 離して加速度計 P_3 を設置する。 P_1 の近傍を各鋼球(重量 2.1g、16.7g、134g、1020g)で打撃する。板の振動は、加速度計(Endevco2225 共振周波数 80kHz)で感知し、オシロスコープ(HP54540A)で記録し、FFT処理しパワースペクトルを求める。サンプリングクロックは2マイクロ秒、データ数は512個である。板の振動数は P_1 、 P_2 のパワースペクトルから決定した。

表1 供試体の要素

供試体	厚さ (cm)	f_0 (kHz)	V_p (m/s)
御影石	20	14.2	5680
大理石	30	8.42	5052
RC板	15	12.9	3870
	18	10.9	3924
	40	4.76	3808

3. 測定結果および考察

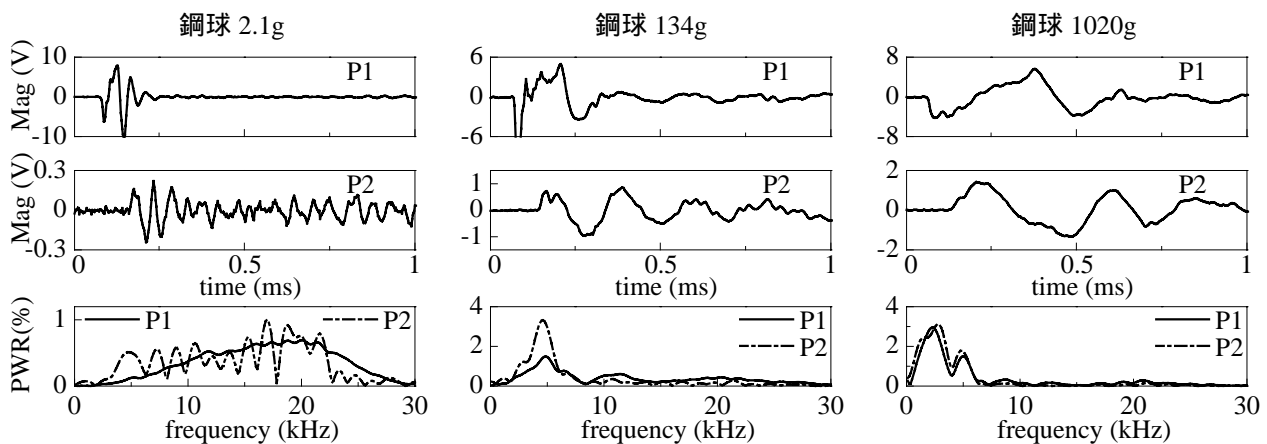


図1 表面と裏面の波形とパワースペクトル [板厚40cm]

3-1 表面波と反射波の挙動について

図1に、厚さ40cmの鉄筋コンクリート板を3種類の鋼球で打撃した場合の表面と裏側の波形を示す。図によると、鋼球重量が小さいと高振動が、大きいと低振動が励起されていることが明確に分かる。また、2.1gの鋼球では直径が小さいので、ちょうど骨材を打撃すると振動数が大きくなるなど打撃点近傍の表面の影響を強く受けるが、打撃力そのものは小さいので波形振幅の減衰は大きい。一方、1020gの鋼球の場合は、コンクリート内部の平均的な強さを反映した振動を表していると考えられ、打撃力も大きいのでほとんど減衰しない。表面と裏面の波形振幅を比較すると、鋼球2.1gでは約1/30に、1020gでは約1/4と小さくなっている。当初は、鋼球打撃によって励起される振動は2種類あり、表面を伝搬する表面波の振動は鋼球重量による周期をもっているが、板の共振振動数を誘因する反射波は板の厚さにより決まる波だから性質が異なる

キーワード コンクリート、鋼球打撃、鋼球重量、表面波、パワースペクトル

連絡先 〒143-0015 東京都大田区大森西1-19-1 伊藤建設技術研究所 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190

〒259-1207 神奈川県平塚市北金目1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 (内線4271) FAX 0463-50-2045

と想像していた。ところが、表面の加速度計 P₁ と裏面 P₂ の波形ならびにパワースペクトルを比較したところ、鋼球 134g, 1020g から明瞭に分かるように裏面の波形を反転すると表面の波形とほぼ一致すること、ならびにパワースペクトルの分布もきわめて一致していることが分かった。すなわち、コンクリートのような弾性体の波動の伝搬は、表面を伝搬する波動と弾性波として弾性体内部を伝搬する波動の2つがあるが、両者の波動の基本振動数は、ある重量を持つ鋼球の打撃によって生じる振動の振動数であると言える。したがって、表面波は打点近傍を打撃すると短時間後には通過するので、一定時間後の波形を観測分析すれば、反射波だけを抽出できるという考えは一般的には成立しないと考えられる。

3-2 鋼球重量と落下高さの影響

御影石を用いて落下高さ h と鋼球重量 m を変えて測定した板の振動数を表 2 に示す。重量 2.1g ~ 1040g での平均振動数 \bar{f}_m は 32.8kHz ~ 3.26kHz と変動し、落下高さ 5cm ~ 20cm では、平均振動数 \bar{f}_h は 14.2kHz ~ 15.0kHz と変わる。全平均振動数 14.7kHz に対する鋼球重量の分散は、落下高さよりも大きい。換言すれば、板の振動数は鋼球重量に大きく支配される。

図 2 に鋼球重量が板の振動数に及ぼす影響を示す。全供試体で、鋼球重量と板の振動数は両対数グラフで比例関係を示す。回帰式は $f = (a/m)^b$ で表される。 f は板の振動数、 m は鋼球重量、 a 、 b は係数で、 b は鋼球重量に対する振動数の勾配であり、RC板では $b = -0.35 \sim -0.42$ を得た。

バネに吊るしたおもりの単振動は、振幅がフックの法則の範囲内であれば、単振動の周期 T は、 $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ (m : 重量、 k : バネ係数) となる。

また、Goldsmith は鋼球と RC 板の接触時間 T_c を古典的弾性理論から、 $T_c = 5.97 \left[\frac{\rho_s (1 - \mu_s^2)}{E_s} + \frac{\rho_p (1 - \mu_p^2)}{E_p} \right]^{0.4} R/h^{0.1}$ ($\rho_s = 1 - \mu_s^2 / E_s$, $\rho_p = 1 - \mu_p^2 / E_p$, ρ_s : 鋼球密度、 R : 鋼球半径、 h : 落下高さ、 μ : ポアソン比、 E : ヤング率) と導いている³⁾。 T_c の 2 倍を振動の周期 T と考え、両者と実験結果を比較すると係数 b は平均 0.38 と弾性理論による 0.4 とほぼ一致する。落下高さも影響が小さく 0.1 乗に対応した結果となった。

3-3 板の平均振動数と反射波速度の関係

図 2 の 4 個の鋼球による振動数を平均すると、御影石 10.2kHz、大理石 10.3kHz、RC15 7.3kHz、RC18 7.2kHz、RC40 7.1kHz である。この値と表 1 に示す反射波速度とは、 $V_p = 0$ かつ $f = 0$ の条件下では $V_p = 529 \cdot f$, $r = 0.96$ となった。つまり、板の平均振動数から反射波速度 (弾性波速度) が推定できると考えられる。反射波速度と弾性係数は、強い相関があるので板の健全性も判定できる可能性があると思われる。

4. まとめ

結果を総括すると、1) 表面波および反射波の基本振動数は、鋼球重量により決定する振動の振動数である。2) 鋼球打撃で発生する板の振動数は、落下高さの影響は小さいが、鋼球重量による影響はきわめて大きい。3) 板の振動数 f と鋼球重量 m の関係は、 $f = (a/m)^b$ で表され、 b は平均 0.38 となった。この値は弾性理論による 0.4 とほぼ一致する。4) 鋼球 4 個の平均振動数と反射波速度は $V_p = 529 \cdot f$, $r = 0.96$ を示すので、平均振動数を求めると、反射波速度を推定できると考えられる。

参考文献 1) 岩野、極檀、埜; 多種鋼球打撃によるコンクリート板の共振振動数の確定, 第 52 回年次講演概要集 P656

2) 岩野、極檀; 周波数応答解析によるコンクリート構造物の健全性試験, 第 25 回関東支部技術研究発表会講演概要集 P850

3) M.Sansalone 他; A Point Source-Point Receiver, Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete, ACI JOURNAL 1986, 3

表 2 鋼球重量と落下高さの板の振動数 (kHz)

落下高さ h (cm)	5	10	15	20	\bar{f}_m	
重量 m (g)	2.1	32.8	32.8	32.8	32.6	32.8
	16.7	14.0	14.0	14.0	14.2	14.1
	134	6.47	9.28	9.40	9.40	8.64
	1020	3.62	1.83	3.78	3.78	3.26
平均振動数 \bar{f}_h	14.2	14.5	15.0	15.0		14.7

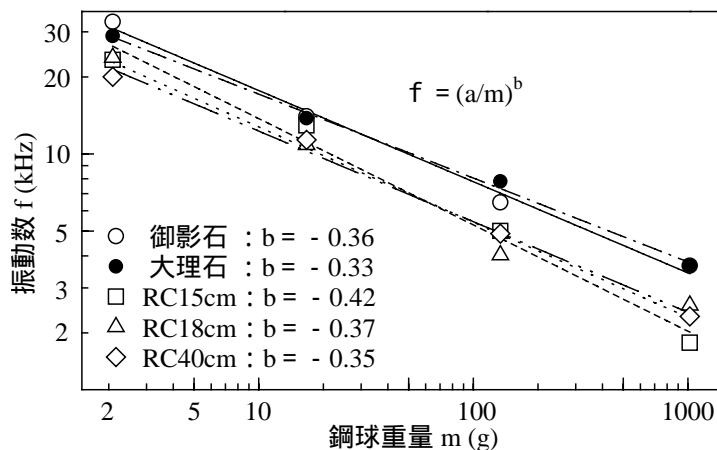


図 2 鋼球重量と板の振動数の関係 (対数表示)