

衝突球を受ける平板から発生する衝撃音の音質評価

大同工業大学 都市環境デザイン学科 正員 ○近藤八重 正員 水澤富作
大同工業大学大学院 学生員 滝沢宣人 学生員 河原田豊

1. はじめに 近年、構造物の耐久性や欠陥等を判断するため、打音法による非破壊検査の適用が盛んになっており、打撃音や衝突音の特徴を表すスペクトル特性に関する研究^{1),2)}についても多数報告されている。しかしながら、いずれの結果も定性的な表現に留まっており、定量的な見解が行われていないと思われる。このような衝突音の音質の特徴を明確に捉えることは、打音法や非破壊検査法への活用や音の制御へと応用が期待できる。

本研究では、図-1 に示すような鋼板に種々の球体を衝突させた際に得られる衝突音のスペクトルに着目し、衝突音の相違を示す音質評価について検討を行っている。また、衝突音の音質に与える、球体の運動エネルギーや材料の影響についても明らかにしている。

2. 実験概要 本研究で用いた実験装置および測定方法の概略を図-1 に示す。実験に用いた平板は、表面を研磨し平滑に仕上げた鋼板であり、寸法は 200×200×2.2mm と 200×200×4.3mm、400×400×4.3mm とする。また、鋼板の2隅をワイヤーでつるし、板の中心に球体を衝突させ、リバンドはさせないようにしている。球体の衝突速度は、44.8cm/sec と 57.8cm/sec とし、その種類は、鋼球、真鍮球、アルミ球、アクリル球と木球で、各種球体の物性値、および Hertz の理論から求めた接触時間³⁾が表-1 に示してある。

鋼板より発生する衝突音は、反衝突側の板中心から垂直方向に設置した騒音計(リオン製 NL-31)を用いて測定し、板と騒音計の距離は、近接とする。また、衝突によって生じる板の振動は、加速度計ピックアップ(PV-90I)により検出した。これら、衝突音と板の振動の信号は、FFT 分析器(リオン製 SA-79)を用いて、周波数分析を行う。ここで、FFT 分析器の分解能は、断りのない限り 20kHz・0.04sec とし、騒音計は、F 特性を用いて測定する。

3. 実験結果および考察 図-1 に示す実験装置を用いて、材質の異なる球体と鋼板の衝突実験を行い、測定した音圧波形を FFT 解析し、発生した衝突音の音質の相違について検討を行う。音質の相違を表す指標として、以下の3項目について検討した。

1) スペクトルエンベロープの傾き、2) 卓越周波数の数、3) 音響スペクトルグラム。ここで、スペクトルエンベロープの傾きは、高域周波数の減衰状態を表すために、卓越周波数を線形回帰分析で求めている。音響スペクトルグラムは、窓関数を用いて、各周波数の時間的変動を2次元表示したものである。また、これらの指標に関連する鋼板の振動数、限界周波数や球体と鋼板の接触時間の影響についても検討する。

はじめに、球体の大きさや質量が衝撃音の周波数スペクトルやスペクトルエンベロープの傾きにどのような影響を及ぼすか検討した。ここで、鋼球の半径を 4mm から 8mm まで変化させている。図-2 は、板中央で鋼球の衝突を受ける鋼板(200×200×2.2mm)から発生する衝突音の周波数スペクトル(0Hz～20KHz)に与える鋼球の大きさの影響が示してある。ただ

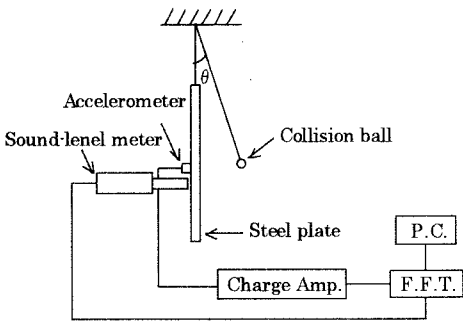


図-1 実験装置および測定方法

表-1 衝突球の寸法および特性値

球体の材料	直径 (mm)	$E \times 10^4$ (kgf/cm ²)	ν	ρ (g/cm ³)	t_1 (μ sec)	$\sqrt{E/\rho} \times 10^5$ (cm/sec)	$\sqrt{E\rho} \times 10^3$ (kg/cm ² /sec)
真鍮	9.5	191	0.37	8.49	40.4	4.70	3.99
鋼	9.4	210	0.3	7.85	38.4	5.12	4.02
アルミニウム	10	72.3	0.34	2.69	24.9	5.13	1.38
アクリル	15	5.36	0.38	1.18	93.3	2.11	0.25
木	20	4.60	0.4	0.71	106.8	2.52	0.18

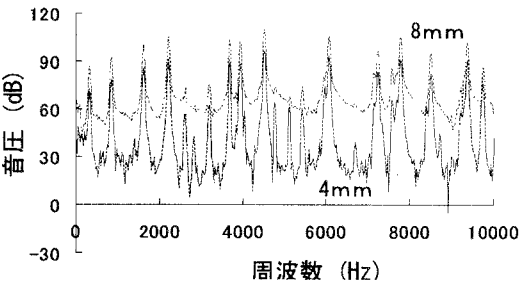


図-2 周波数スペクトルに与える鋼球の大きさの影響

し、鋼球の衝突初速度は一定にし、44.8cm/secとしている。また、図-3には、図-2に示す周波数スペクトルのスペクトルエンベロープの傾きに与える鋼球の大きさの影響が示してある。これより、鋼球の半径が小さくなり、球体の運動エネルギーが小さくなるほどスペクトルエンベロープの傾きが増大するが、スペクトルエンベロープの傾きと鋼球の半径は、ほぼ反比例の関係にある。また、鋼球の半径が小さくなると、鋼球と板の接触時間が短くなり、高域周波数帯域において卓越周波数の数が増大し、スペクトルのピークディップも大きく鋭く現れることが読み取れる。この傾向は被衝突体をアクリル板に変えた時でも同様な結果が得られていることから、球体の接触時間が、平板から発生する衝突音の音質の相違を表す指標になると考えられる。

図-4は、表-1に示すような材種の異なる球体の衝突を受ける鋼板(400×400×4.3mm)から発生する衝突音のスペクトルエンベロープの傾きと球体の材料特性値で表した音響パラメータである $\sqrt{E\rho}$ 、 $\sqrt{E/\rho}$ との関係を示したものである。これより、金属系球と非金属系球の間に明確な相違が見られる。特に、 $\sqrt{E\rho}$ との関係からは、比較的軽量な材料であるアルミ球と他の金属球が区別できる。以上のことから、衝突球の弾性係数と密度が衝突音の音質に関係しているといえる。

最後に、音響スペクトルグラムから見た衝突音の音質評価について示す。図-6には、それぞれ鋼球とアクリル球の衝突を受ける鋼板(400×400×4.3mm)から発生する衝撃音の音圧波形から求めた周波数スペクトルの時間的変動を表す音響スペクトルグラムが示してある。ここで、音圧波形の取り込みを行う際の窓関数には、Hamming関数を用いて、2.5ms刻みでサンプリング数は、128ポイントとしている。これより、鋼球で打撃した際の音響スペクトルグラムより、広域周波数帯域で音が放射され、特定の周波数の音が時刻が経過しても良く響いている。一方、アクリル球の音響スペクトルグラムは、特定の周波数域が短時間で卓越し、また高域周波数のスペクトルが非常に弱く、スペクトルの時間的変動状態からして、あまり音が響いていないように思われる。鋼板の限界周波数 f_c は2760Hzであり、スペクトルグラムからも、その値の近傍の卓越周波数の音がよく出ていることがわかる。以上のことから、周波数スペクトルの時間的変動を表す音響スペクトルグラムは、衝撃音の音質の相違を表す評価指標の1つになると考えられる。

4. まとめ 本文で得られた結果をまとめると、以下ようになる。

- 1) 球体と鋼板の衝突から生じる衝撃音の音質は、スペクトルエンベロープの傾きから評価できる。また、スペクトルエンベロープの傾きは、球体の弾性係数と密度に依存する。
 - 2) 音響スペクトルグラムは、衝撃音の音質の相違を表す評価指標の1つとして使用できると考えられる。
- なお、本研究は、科学研究費(基盤研究(C))および本学の研究援助金を受けている。

参考文献 1)坂田他：日本機械学会論文集 (C 編), vol.534.14, pp.414-421, 1979. 2) 魚本他：コンクリート工学論文集, vol.7.1 p.143-151, 1996. 3)近藤他：応用力学論文集, Vol.5, pp.83-91, 2002.

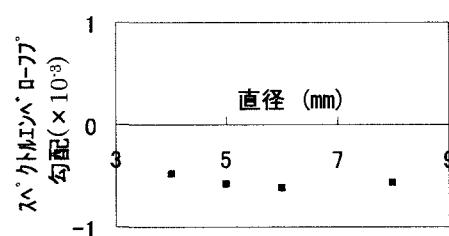


図-3 周波数スペクトルエンベロープの傾きに与える鋼球の大きさの影響

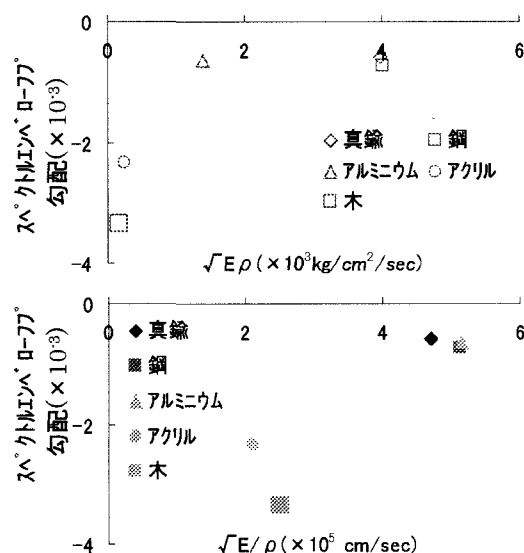


図-4 スペクトルエンベロープの傾きと音響パラメータとの関係

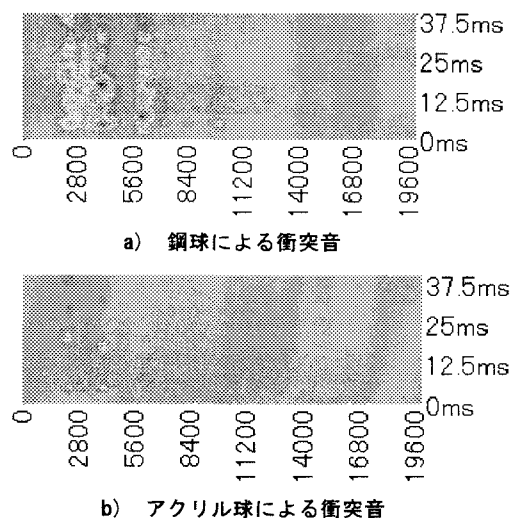


図-6 球体の衝突を受ける鋼板の音響スペクトルグラム