

打音法における放射音と表面振動の周波数特性の比較に関する基礎的考察

岐阜大学 学生員 ○浅野雅則, 阿部晋也

正会員 国枝 稔, 鎌田敏郎, 六郷恵哲

1. はじめに

打音法によるコンクリートの欠陥評価では、打撃により生じた放射音をマイクロフォンで受振し、その波形の振幅値や周波数分布等を用いている。打音法では、打撃の方法が入力弾性波の特性に影響を与えることから、打撃のエネルギーや衝撃継続時間を変化させた場合に対して、受振波として放射音を用いた検討が行われている¹⁾。これは、打撃による放射音と表面振動のそれぞれの波形特性の間に相関があることを前提としている。しかしながら、この関係については、必ずしも明らかにされているとは言いがたい。そこで本研究では、打撃による放射音と表面振動の関係を明らかにすることを目的として、コンクリート表面における打撃力および衝撃継続時間の違いが、放射音および表面振動それぞれの周波数分布に与える影響について検討した。さらに本研究では、欠陥を有する供試体においても実験を行い、欠陥評価における両者の関係について検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いた供試体は、寸法が $60 \times 60 \times 20 \text{ cm}$ のコンクリート直方体であり、その配合は、 $W/C=0.56$ および $s/a=0.47$ である。なお、実験時の弾性波伝播速度は、 4200 m/s であった。

2.2 打音実験

本実験では、打撃の入力は、鋼球落下にて行った。用いた鋼球は、 $\phi 10, 30$ および 53 mm の3種類とした。また、鋼球の落下高さは 10 cm とし、供試体中央に落下させた。なお、供試体の支持条件は、図-1に示すように、砂上に設置し、底面全面支持とした。ここで、鋼球の直径の違いが、入力弾性波の周波数に与える影響について示す。

落下した鋼球が、物体表面に衝突した後、再び離れるまでの衝撃継続時間 T_c は、次式により求められる²⁾。

$$T_c = 0.0043d/h^{0.1} \quad (d: \text{鋼球の直径}, h: \text{落下高さ}) \quad (1)$$

この式では、 T_c におよぼす h の影響は小さく無視できるので、 $T_c \approx 0.0043d$ となる。

この衝撃継続時間 T_c に対する入力弾性波の上限周波数 $f_{\max}$ は、

$$f_{\max} = 1.25/T_c \approx 291/d \quad (2)$$

となり、周波数の上限値は鋼球の直径のみの関数で表される²⁾。これによれば、本実験の範囲内では、 $\phi 10 \text{ mm}$ の場合 $f_{\max} = 29.1 \text{ kHz}$ 、 $\phi 30 \text{ mm}$ の場合 $f_{\max} = 9.7 \text{ kHz}$ 、および $\phi 53 \text{ mm}$ の場合 $f_{\max} = 5.5 \text{ kHz}$ である。

なお、打撃による放射音の受振にはマイクロフォン ($0 \sim 30 \text{ kHz}$ の周波数範囲においてフラットな感度を有する) を、また、表面振動の測定においては加速度計 (上限周波数が 10 kHz 程度) を用いた。マイクロフォンおよび加速度計で受振された波形は、アンプを介し、高速波形収集システムによりパソコンに記録した。その後、受振波形に対してFFT処理を行い周波数分布を求めた。なお、マイクロフォンは、鋼球落下位置から水平方向に 5 cm 、鉛直方向に 5 cm の位置に配置した。また加速度計は、鋼球落下位置より水平方向に 5 cm 離れた供試体表面に配置した。

3. 実験結果および考察

図-1に、鋼球落下試験によりマイクロフォンおよび加速度計で受振された受振波形を、 $\phi 10, 30$ および 53 mm の場合について、それぞれ示す。放射音と表面振動では、振幅のレベルに違いはみられるものの、波形としての相関は

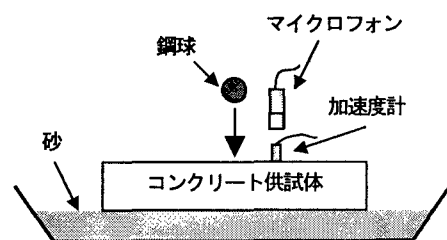


図-1 計測概略

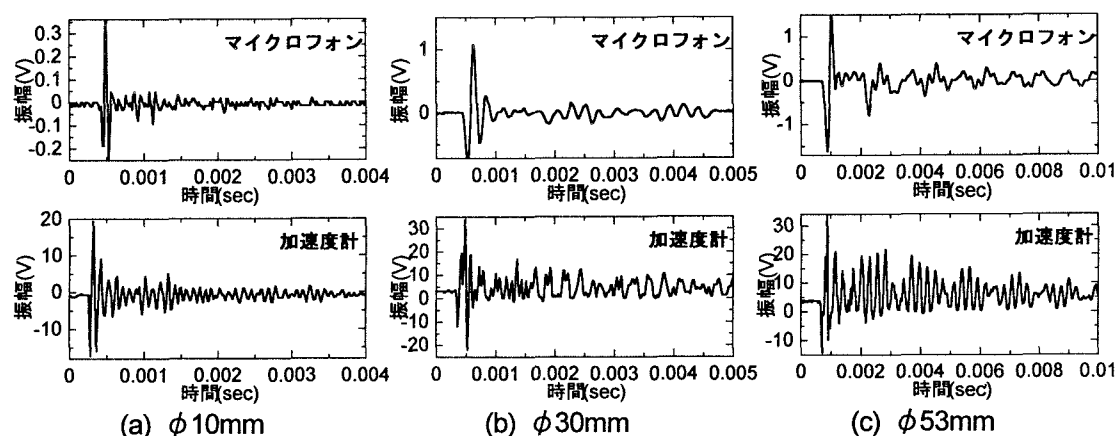


図-2 受振波形

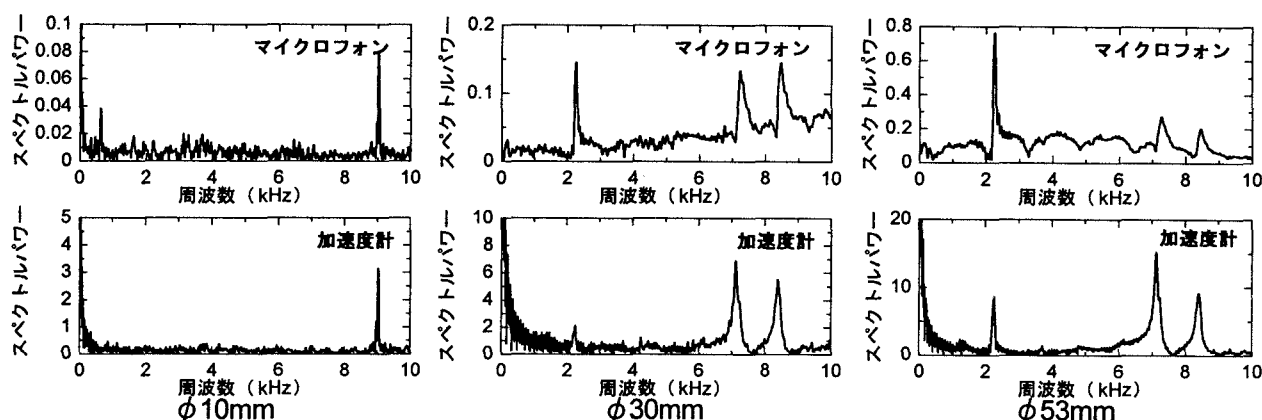


図-3 周波数分布

高いと考えられる。また、鋼球の直径が大きくなると、最大振幅値は大きくなる傾向がみられる。これは、鋼球の直径が大きい方が打撃力が大きくなるためであると考えられる。この傾向は既往の研究結果¹⁾と一致している。図-3に、マイクロフォンおよび加速度計における周波数分布を示す。鋼球の直径に関わらず、スペクトルピークの位置はほぼ一致しており、この周波数範囲においては、両者はよい対応を示している。また、鋼球の直径が大きくなる（コンクリートとの衝突のエネルギーが大きくなる）と、マイクロフォンと加速度の両方でスペクトルのパワーは大きくなった。鋼球の直径が違う場合では、 $\phi 10\text{mm}$ は9kHz付近のみにスペクトルピークが存在するが、 $\phi 30$ および $\phi 53\text{mm}$ では、2, 7.5, 8.5kHz付近にスペクトルピークが存在しており、異なる周波数分布であった。鋼球の直径が小さい場合は、大きい場合と比べて、入力周波数の分布形状はなだらかになる²⁾ために、結果として得られる周波数分布においても、比較的高い周波数領域にピークが存在するためであると考えられる。

$\phi 30$ と 53mm では、スペクトルのパワーはマイクロフォンの方がより低い周波数のピークにおいてパワーが大きくなる傾向にあり、一方で加速度計では逆の傾向にある。比較的高い周波数に渡る感度を有するマイクロフォンでも、より低い周波数成分に対して高い応答を有しているものと考えられる。さらに、鋼球の直径の違いはスペクトルのパワーに影響を及ぼし、直径が大きいほどより低い周波数のピークが相対的に強められる傾向がみられる。この傾向は、マイクロフォンにおいて顕著であった。従って、低周波数領域にピークを持つような対象には直径の大きな鋼球を用いるほうが望ましいと言える。これに対し $\phi 30\text{mm}$ は、マイクロフォンにおける各スペクトルピークのパワーは同程度であり、8kHz付近のピークに着目する場合には、有効であると考えられる。

また、本研究では、欠陥を有する供試体についても打音実験を行った。欠陥（スチレンボード）は、供試体表面から5cmの位置に設置し、直径が10cmの円盤状の欠陥である。 $\phi 30\text{mm}$ における周波数分布を図-4に示す。両者のスペクトルピークの位置はおおむね一致しており、十分相関があると考えられる。欠陥部のスペクトルピークは、欠陥なしの場合と比べ、4kHz付近に新たなピークが存在している。さらに、マイクロフォン・加速度計ともに、2kHz付近のスペクトルピークは減少していることがわかる。

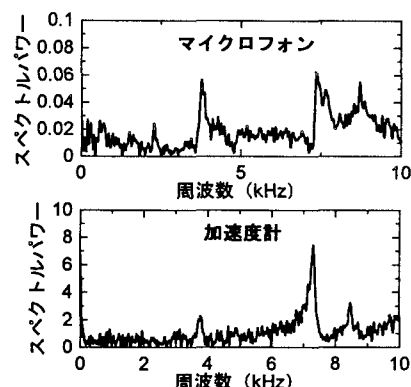
4. まとめ

本実験で得られた結果を以下に示す。

- (1) 鋼球の直径によらず、放射音と表面振動の波形には相関がある。
- (2) 周波数分布においても放射音と表面振動では、スペクトルパワーの大きさについては異なる傾向を示すものの、スペクトルピークの位置はほぼ一致しており、両者の相関は良好である。
- (3) 打音法においては、周波数分布を評価指標として用いる場合は、放射音を表面振動と等価として扱ってよいものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 伊東良浩：打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究，東京大学学位論文，1997
- 2) Sansalone, M. and Streett, W. B. : Impact Echo, Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, NY and Jersey Shore, PA, 1997

図-4 欠陥部での周波数分布
($\phi 30\text{mm}$)