

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

伊藤建設 正会員 岩野 聡史

東海大学 正会員 極壇 邦夫

伊藤建設 塙 忠夫

1. はじめに

鉄筋コンクリート板の健全性を検査するために、鋼球打撃で発生する弾性波動を解析して、板の厚さを推定する研究が続けている^{1) 2)}。板を打撃すると、鋼球の質量の平方根に比例する周期を持って表面を伝播する表面波と、板の内部に放射し厚さ方向に反射を繰り返しながら伝播する反射波が生ずる。反射波（共振振動数）の情報が必要なので、表面波の影響をどのようにして除去するかが問題となる。除去する方法として、理論解析によるもの³⁾、特殊なセンサーを用いるもの⁴⁾、が報告されている。本文は、多種の鋼球を用い、パワースペクトルと位相差を利用し、表面波の影響を除去して共振振動数だけを抽出する方法。および、表面から反射波の到達時間を測定し、これと共振振動数から、板の厚さを推定した実験について報告する。

2. 測定方法と関係式

波動の伝播経路を図1に示す。コンクリート板表面にセンサーを5cm間隔でP₁、P₂に貼り付け、P₁から距離1cm離れた点P₀を鋼球で打撃する。鋼球は直径4mm～40mmの6種類、コンクリート供試体の板厚は、15cm、20cm、40cmの3種類である。

P₁の測定波形からパワースペクトルを、また、直径4mmで打撃し、P₁、P₂で測定した波形から位相差を求める。この両者から、共振振動数を確定できると、板厚をDとし、反射波速度をV_p、共振振動数f₀とすると、 $D = V_p / 2f_0$ …①式を得る。

センサーP₁に、表面波と反射波とが同時に到達する距離¹⁾以遠Lをインパルスハンマーで打撃する。そうして、打撃点の反射波が底面で反射しセンサーに到達した時間 ΔT_p を測定すると、反射波速度V_pは、 $V_p = \sqrt{L^2 + 4D^2} / \Delta T_p$ …②式となる。従って、共振振動数f₀と反射波到達時間 ΔT_p が分かると、①、②式よりコンクリートの板厚は

$D = L / (2\sqrt{f_0^2 \cdot \Delta T_p^2 - 1})$ …③式 から計算できることになる。

3. 測定結果および考察

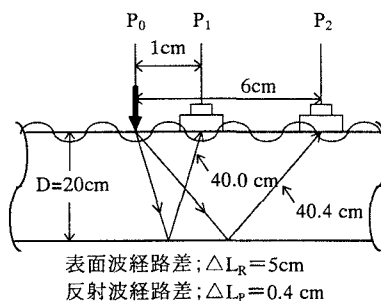


図1 波動の伝播経路

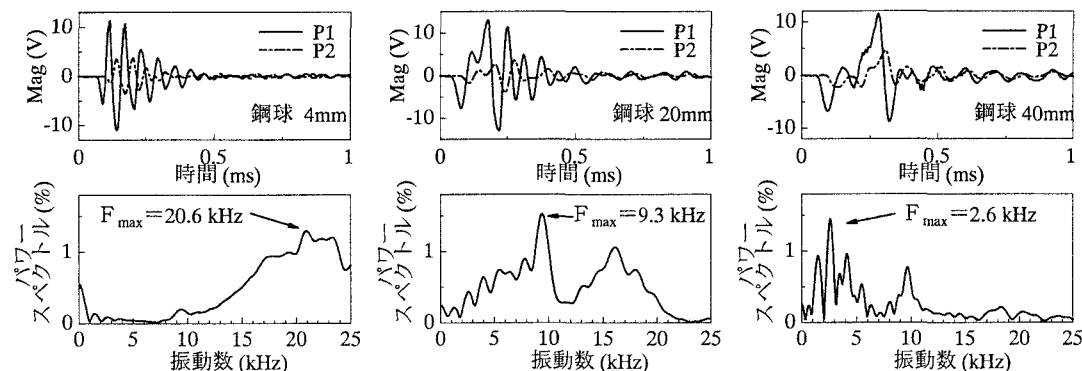


図2 測定波形（上）とパワースペクトル（下）【板厚20cm】

キーワード 健全性検査、コンクリート、パワースペクトル、位相差、共振振動数

連絡先 〒143 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

〒259-12 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

3-1 多種鋼球によるパワースペクトルの変動について

板厚 20cm の測定波形とパワースペクトルを図 2 に示す。パワースペクトルの最大値は、鋼球 4mm では 20.6kHz、鋼球 20mm では 9.3kHz、鋼球 40mm では 2.6kHz である。従って、板の共振振動数はパワースペクトルの最大値であると単純に判断できない。このように、鋼球の大きさに比例して振動数が低くなるのは、鋼球の質量の平方根に比例して波形の周期が長くなるためである。図 2 から、表面波の影響が大きいことが直感的に理解されると思う。

3-2 共振振動数の確定

反射波は板に固有のものであるから、鋼球の大きさに関係なく、板の厚さに対応した一定の振動数で発生する。各鋼球のパワースペクトルを標準化して、6 種の鋼球の値を合計すると、①表面波は高域から低域まで分散しているので影響は小さくなる、②板に固有の反射波は、全ての鋼球に共通して存在するので累計した値は大きくなる、のである。図 3 のパワースペクトルの合計値によると、約 9kHz と約 18kHz の 2 つの振動数が卓越しており、板の共振振動数の候補となっている。

図 4 に板厚 20cm の位相差を示す。図 3 のパワースペクトルの合計値から、共振振動数は約 9kHz と約 18kHz のいずれかであることが分かっている。反射波の影響を受けると位相差は極小となることはすでに報告した²⁾。この場合は、7kHz～10kHz の範囲で位相差は極小となっているので、パワースペクトルの約 9kHz が採用されて、共振振動数は 9.558kHz と確定される。3kHz 以下の位相差が不安定なのは、鋼球 4mm の打撃エネルギーが、高域にピークをもつ凸型分布と推測されるためで、低振動数域にはノイズが混入したものである。

3-3 反射波の到達時間と板厚の推定

図 5 に板厚 20cm の入力波形と受信波形を示す。到達時間は、図示のように波形のピーク間の時間を測定し、反射波が到達した時間 ΔT_p とした。また、打撃点とセンサーの距離は、表面波と反射波の同時到達点の約 2 倍に取った。図より、 ΔT_p は 146 μ 秒となり、反射波速度は 3931(m/秒)を得た。

表 1 に板厚の推定結果を示す。コンクリートの板厚は、板の共振振動数と反射波の到達時間を用いて、③式で計算した。全ての鉄筋コンクリート板において、誤差は 5% 以内という良好な結果を得た。

4. まとめ

多種の鋼球を用いて、パワースペクトルと位相差を解析すると、表面波の影響を除去でき、共振振動数を確定できることを示した。共振振動数と反射波到達時間から、コンクリートの板厚を推定したところ、その誤差は 5% 以内であり、筆者らの方法の有用性が実証できた。今後は、センサーの改善、打撃装置の開発、現地に類似したコンクリート供試体を作成した実験や現場の測定を実施する計画である。

参考文献 1) 岩野、極値、塙；打撃法によるコンクリート板厚の推定実験、第 23 回関東支部技術研究発表会講演概要集 P656

2) 岩野、極値、塙；異径鋼球打撃による RC 板の共振振動数の分離測定、第 24 回関東支部技術研究発表会講演概要集 P619

3) 安倍、他；多数センサによる弾性構造体中の傷の検出、電子情報通信学会技術論文報告、EA91-61,1991,Vol.61,pp.1-8

4) M.Sansalone 他；Impact-Echo Signal Interpretation Using Artificial Intelligence,ACI Material Journal,3-4,1992,pp.178-187

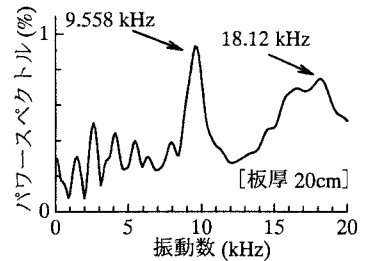


図 3 パワースペクトルの合計値

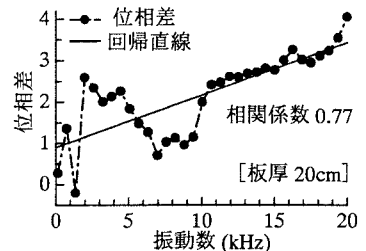


図 4 位相差（鋼球 4mm）

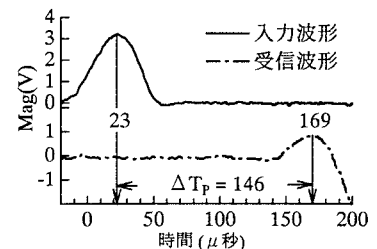


図 5 反射波の到達時間

表 1 コンクリート板厚の推定

実寸厚(cm)	f_0 (kHz)	ΔT_p (μ秒)	計算値(cm)	誤差(%)
15	13.184	105	15.7	4.5
20	9.558	146	20.5	2.3
40	5.089	273	41.6	3.9