# 論文 空中超音波法を適用したコンクリートの内部探査の精度向上に関す る基礎的研究

金森 藏司\*1・関 俊力\*2・瀬古 繁喜\*3・山田 和夫\*4

要旨:本研究では,空中超音波法を適用したコンクリートの内部探査精度向上を目的として一連の実験的検 討を行った。その結果,内部探査の評価指標として相対振幅自乗平均値を用いた場合は,平均伝搬速度を用 いた場合と比較して,埋設物(初期欠陥および介在物)の寸法の違いの検出性能は優れているが,厚さの違 いの検出性能は,逆に平均伝搬速度を用いた場合の方が優れていること,評価指標として無次元化した相対 振幅自乗平均値と平均伝搬速度の自乗積を用いた場合は,これらを単独で用いた場合の平均的な内部探査結 果となるため,これらの評価指標の欠点を相互に相殺できる利点を有すること,などが明らかとなった。 キーワード:コンクリート,非破壊試験,内部探査,空中超音波法,自動計測,平均伝搬速度,振幅値

### 1. はじめに

近年,建築分野では環境負低減型技術として,建築物 の循環化・長寿命化技術および膨大なストック量のある 既存建築物の合理的なストックマネジメント技術の開発 ・実用化が求められているが,既存コンクリート造建築 物の合理的な長寿命化を図るには,建築物の現状把握, 残存寿命の判定,劣化状況に応じた適切な補修・補強対 策の策定などの一連の検査・診断技術が不可欠である。

筆者らも、この点を踏まえて、従来から弾性波法を適 用した各種の非破壊試験方法の検討を行っている<sup>1)</sup>。た だし、これらの試験方法では、弾性波の入力・検出用変 換子をコンクリート表面にグリス等を介して密着させる 必要があり、現場での使用制限を受ける場合があるため、 前報<sup>2)~4)</sup>では、測定を非接触で行える空中超音波法に 着目して、コンクリートの内部探査精度に及ぼす試験体 厚さ(15~95mm)、骨材寸法(0.6~25mm)、初期欠陥・ 介在物(空隙と鉄鋼)、仕上げ材(石膏ボード)の影響 について検討を行い、その有用性を確認した。本研究で は、新たに試作した2次元自動走査型測定装置を用いて、 コンクリートの内部探査結果に及ぼす埋設物の種類、大 きさ、厚さおよび埋設深さの影響について検討した。

3+E4 /+-	母材コンクリート		試験体	埋設物の詳細	
武駛(4) 記 号	W/C	骨材寸法	寸法	種類	長さ×幅×厚さ
	(%)	(mm)	(mm)		(mm)
AIR	60	5	300×250	300×250 ×75 モルタル> 発泡 スチロール	20×20×5, 30×30×5,
-SIZE-75			×75		40×40×5, 50×50×5
AIR			~75 <モルタル>		50×50×2.5, 50×50×5,
-THICK-75					50×50×25, 50×50×50
STL	60	5	300×250 ×75 <モルタル>	平 鋼	20×20×5, 30×30×5,
-SIZE-75					40×40×5, 50×50×5
STL					50×50×2.5, 50×50×5,
-THICK-75					50×50×25, 50×50×50
AIR-100	60	5	300×250 ×100 <モルタル>	発泡 スチロール	50×50×10
STL-100				平 鋼	50×50×10

表-1 実験の概要

### 実験の概要

#### 2.1 試験体

本実験では表-1および図-1に示す3シリーズの空中

\*1 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻 (学生会員)

\*2 愛知工業大学大学院 工学研究科生産・建設工学専攻 修士(工学) (正会員)

\*3 愛知工業大学 工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

\*4 愛知工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)



超音波法によるコンクリートの内部探査実験を行った。 ①実験-1:長さ×幅×厚さが300×250×75mmの試験体内部 に,長さ×幅×厚さが20×20×5mm,30×30×5mm,40×40× 5mmおよび50×50×5mmの初期欠陥(発泡スチロール) と介在物(平鋼)が埋設してある試験体を使用して,介 在物の大きさの影響を調査した(図-1(a)参照)。

- ③実験-3:長さ×幅×厚さが300×250×100mmの試験体内 部に、長さ×幅×厚さが50×50×10mmの初期欠陥(発泡 スチロール)と介在物(平鋼)を試験体表面から10,20, 30および40mmの深さに埋設した試験体を用いて、埋 設物の埋設深さの影響を調査した(図-1(c)参照)。

### 2.2 計測方法

計測に際しては、空中超音波測定装置(超音波パルサ ・レシーバ(JPR-10C-RL型),増幅度60dBの外部プリア ンプ(PR-60A型),共振周波数が約200kHzのエアプロー ブ(ARH-0.2K25×25N型)および制御用PCで構成される計 測・処理装置)と試作の2次元自動走査型測定装置とか ら成る計測システムを使用した。また、超音波の入力・ 検出に際しては、変換子(エアプローブ)の設置位置を、 図-2に示すように、試験体の厚さに関わらず入力用変 換子が試験体表面から8mmの位置、検出用変換子が入 力用変換子から120mm(試験体厚さ75mm)または150mm (試験体厚さ100mm)の位置とし、図-3に示す試験体 上下面の破線の枠内(200×200mmの範囲)をx・y方向と もに10mm間隔で2次元的に自動走査・自動計測した。 なお、発振用矩形パルスの電圧および周波数は、それぞ

れ200Voltおよび200kHz, 超音波のサンプリングの間隔 および個数は,それぞれ0.5 μ sおよび1,024個に設定した。 2.3 処理方法

本研究では、内部探査の評価指標として、前報<sup>2)~4)</sup> と同様に検出弾性波の振幅値と伝搬時間を使用した。ま た、前報<sup>4)</sup>で示したように、内部探査に適した評価指標 が埋設物の種類および位置(内部または表面)によって 相違するため、相対振幅自乗平均値と平均伝搬速度の積



(b) 紙製カバーの設置状況

(D) 紙製カバーの設置状況 写真-1 入力用変換子の紙製カバー

を汎用性のある評価指標として使用することの適用性に ついても検討を行った。なお,相対振幅自乗平均値と平 均伝搬速度の積を算出する際の前処理として,それらの 値を最大値で除して無次元化を行った後に積値を求め, 更に積値を自乗して数値幅を拡大させる工夫を行った。 2.4 変換子

本計測システムでは、断面寸法30×30mmの入力・検 出用変換子を使用しており、本研究で内部探査の対象と している最小埋設物(寸法:20×20×5mm)が変換子寸法 よりも小さいため、埋設物の検出が困難となる可能性が ある。この点を考慮して、本研究では、入力超音波の指 向性を向上させるために、写真-1に示すように、円形 の穴を設けた紙製カバーを入力用変換子の表面に密着さ せないように隙間を設けて取り付けて計測を行った。

### 3. 実験結果とその考察

## 3.1 入力用変換子カバーの選定結果

本研究では,予備的調査として,入力用変換子の指向 性を向上させるために取り付けた紙製カバー(円形穴の



図-4 検出超音波の相対振幅自乗平均値および平均伝搬速度と測定位置との関係の例(埋設物寸法の影響)

直径:10,15,20および25mmの4種類)が内部探査結 果に及ぼす影響を,埋設物の寸法が異なるAIR-SIZE-75 試験体(図-1(a)参照)で検討した。紙数の関係で図に は示していないが,穴径が15mm以下の紙製カバーでは, 試験体に入力される超音波のエネルギー量が小さくなり 過ぎて,健全部(モルタル部)の探査結果も十分ではな い結果が得られた。また,穴径が20および25mmの紙製 カバーを用いた場合は,何れも最小寸法(20mm)の埋 設物を検出できたが,直径20mmの穴を設けた紙製カバ ーの方が健全部と埋設部との差が顕著となる結果が得ら れた。そのため,以後の考察では,穴径が20mmの紙製 カバーを用いて行った内部探査の結果について述べる。

# 3.2 振幅値および伝搬速度に及ぼす埋設物寸法の影響

図-4(a)および(b)は、寸法の異なる埋設物として、 それぞれ発泡スチロールおよび平鋼が埋設されている試 験体の相対振幅自乗平均値<sup>2)</sup>(収録した全波形データの 相対振幅値の自乗平均値)および平均伝搬速度<sup>2)</sup>(変換子 間距離(120または150mm)/超音波伝搬時間)と測定位 置との関係を示したものである。なお、図中の赤色の破 線で示した枠内が埋設部を示している。これらの図によ れば、発泡スチロールが埋設された試験体(図-4(a))の 健全部(モルタル部)では、相対振幅自乗平均値(図中 の●印)および平均伝搬速度(図中の〇印)は、発泡スチ ロール埋設部に比べて著しく大きな値となっており、モ ルタル内部の変状を容易に評価することが可能であることがわかる。これに対して、平鋼が埋設された試験体(図-4(b))では、モルタル部の相対振幅自乗平均値(図中の ●印)は、平鋼埋設部と比べ大きくなってはいるが、埋設物寸法が30mm以下の平鋼埋設部では、モルタル部と 大差ない値を示している。これは、平鋼の寸法が小さいと、平鋼を迂回してモルタル中を伝搬した超音波が減衰 することなく検出されるためと考えられる。また、平均 伝搬速度(図中の○印)は、平鋼の厚さが5mmと薄いた め、モルタル部と平鋼埋設部の差があまり認められない。

# 3.3 振幅値および伝搬速度に及ぼす埋設物厚さの影響

図-5(a)および(b)は、それぞれ厚さの異なる埋設物 として発泡スチロールおよび平鋼が埋設されている試験 体の相対振幅自乗平均値および平均伝搬速度と測定位置 との関係を示したものである。これらの図によれば、発 泡スチロールが埋設された試験体(図-5(a))のモルタル 部の相対振幅自乗平均値(図中の●印)および平均伝搬速 度(図中の○印)は、何れも発泡スチロール埋設部に比べ て著しく大きな値となっており、モルタル内部の変状を 容易に評価することが可能であるといえる。なお、相対 振幅自乗平均値(図中の●印)は、発泡スチロールの厚さ による影響は殆ど認められないが、平均伝搬速度(図中 の○印)は、厚さ5mmに比べて50mmの発泡スチロール の方が値は小さくなっているのがわかる。これに対して、





平鋼が埋設された試験体(図-5(b))では、モルタル部の 相対振幅自乗平均値(図中の●印)は、平鋼埋設部に比べ て著しく大きな値となっており、モルタル内部の変状を 容易に評価することが可能であるといえる。また,平均 伝搬速度(図中の○印)は、モルタル部の伝搬速度が毎秒 2,300~2,500mであるのに対して平鋼の伝搬速度は毎秒 約5,300mであるため,平鋼埋設部の平均伝搬速度はモ ルタル部と比べ速くなるはずであるが,平鋼の厚さが 5mm以下の薄い場合は,平鋼埋設部とモルタル部の平 均伝搬速度に大差がなく,かつ厚さが25mm以上の場合 は,平鋼埋設部の平均伝搬速度がモルタル部と比べて逆 に小さくなっている。これは,モルタルと平鋼との界面 弱層の影響により平鋼を透過する超音波の減衰が著し く,迂回した超音波が初動検出されるためと考えられる。 3.4 振幅値および伝搬速度に及ぼす埋設深さの影響

図-6(a)および(b)は、厚さが100mmの試験体の埋設物として、それぞれ発泡スチロールおよび平鋼が深さの異なる位置に埋設されている試験体の相対振幅自乗平均値および平均伝搬速度と測定位置との関係を示したものである。これらの図によれば、発泡スチロールおよび平鋼埋設部の相対振幅自乗平均値および平均伝搬速度は、何れの場合もモルタル部と比べて小さい値となっており、モルタル内部の変状の評価は可能であるといえるが、 埋設物の埋設深さの影響による変化は認められない。

### 3.5 内部探査結果に及ぼす評価指標の影響

### (1)評価指標に振幅値と伝搬速度を単独で用いた場合

図-7は、検出波形の相対振幅自乗平均値および平均 伝搬速度に着目した内部探査結果をコンター図で示した 例である。なお, 図中の破線は, 欠陥・介在物の埋設位 置を示す。これらの図によれば、まず寸法の異なる発泡 スチロールを埋設した試験体(図-7(a))に注目すると, 内部探査の評価指標として相対振幅自乗平均値を用いた 場合は、埋設した発泡スチロールの寸法をかなりの精度 で評価できているが、平均伝搬速度を用いた場合は、相 対振幅自乗平均値を用いた場合と比べて寸法の検出精度 が若干劣る傾向にあることがわかる。また、寸法の異な る平鋼を埋設した試験体(図-7(b))の場合では、内部探 査に用いる評価指標に関わらず入力用変換子の寸法より も大きな平鋼の評価は可能であるが、入力用変換子に紙 製カバーを付けた場合であっても、寸法が30mm以下の 平鋼の評価は困難であり、発泡スチロールが埋設されて いる場合と比較して平鋼の検出は難しいといえる。



図-7 相対振幅自乗平均値および平均伝搬速度に着目した内部探査結果の例



次に、厚さの異なる発泡スチロールおよび平鋼を埋設 した試験体(図-7(c)および(d))については、内部探 査の指標として相対振幅自乗平均値を用いた場合では、 埋設物の種類および厚さに関わらず寸法(50mm)の評 価は正確にできているが、厚さの違いを評価するのは難 しいことがわかる。これに対して、評価指標として平均 伝搬速度を用いた場合には、埋設物の種類に関わらず埋 設物が薄くなるほどモルタル部の赤色に近づく傾向が認 められるが、発泡スチロールが埋設された試験体(図-7(c))では、実際の寸法(50mm)よりもかなり小さい 評価となっている。ただし、平鋼が埋設された試験体(図 -7(d))では、3.3節で述したように、厚さが2.5および 5mmの薄い平鋼になると、平鋼埋設部の平均伝搬速度 はモルタル部の伝搬速度とほぼ等しくなり、薄い平鋼の 評価は困難となる傾向にあることがわかる。

図-7(e)および(f)は、埋設深さが異なる埋設物として、それぞれ発泡スチロールおよび平鋼が埋設された試験体に関する内部探査結果を示したものである。これらの図によれば、内部探査の評価指標として相対振幅自乗 平均値を用いた場合には、埋設物の種類および埋設深さ に関わらず埋設物の寸法(50mm)を良く評価できてい るといえるが、評価指標として平均伝搬速度を用いた場 合には、特に発泡スチロールが埋設された試験体では、 実際の寸法よりも小さい評価となっているのがわかる。

# (2)評価指標に振幅値と伝搬速度の積を用いた場合

図-8(a)~(f)は、無次元化した検出波形の相対振幅 自乗平均値と平均伝搬速度の自乗積に着目した場合の内



部探査結果をコンター図によって示した例である。これ らの図によると、内部探査の評価指標として前述の相対 振幅自乗平均値と平均伝搬速度を単独で用いた場合と比 較して、平均的な内部探査結果となっており、これらの 評価指標が有する欠点を相互に相殺できているのがわか る。なお、埋設深さの影響を検討の対象とした実験-3で は、埋設物の厚さが一定(10mm)の試験体を用いてい るため、埋設物の埋設深さの評価は、困難であった。

### 4. 結 論

- 評価指標として相対振幅自乗平均値を用いた場合, 平均伝搬速度を用いた場合と比較して,寸法の違い の検出性能は優れているが,厚さの違いの検出性能 は,平均伝搬速度を用いた場合の方が優れている。
- 2)評価指標として相対振幅自乗平均値と平均伝搬速度の自乗積を用いた場合は、これらを単独で用いた場合の平均的な内部探査結果となるため、これらの評価指標の欠点を相互に相殺できる利点を有する。

### 謝 辞

本実験の実施とデータ整理に際して多大なるご助力を 得た愛知工業大学学部生の松廣晋平君および山田鵬緒 君,並びに2次元自動走査型測定装置の試作に際してご 協力を得たジャパンプローブ(株)の菊池和幸氏および三 和機器製作所の鳴澤博之氏に対して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 関俊力,小野晃,山田和夫:弾性波トモグラフィ法によるコンクリートの内部探査の推定精度,コンクリート工 学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.316-321, 2012.7
- 2) 関俊力, 瀬古繁喜,山田和夫:空中超音波法を適用した セメント系複合材料の内部探査の適用性,コンクリート 工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1759-1764, 2015.7
- 3)関俊力,瀬古繁喜,山田和夫:コンクリートの内部探査を目的とした空中超音波法の適用性,第70回セメント技術大会講演要旨, Vol.70, pp.30-31, 2016.5
- 4)金森藏司,関俊力,瀬古繁喜,山田和夫:空中超音波法 を適用性したコンクリートの内部探査結果に及ぼす粗 骨材および仕上げ材の影響に関する基礎的研究,第71 回セメント技術大会講演要旨, Vol.71, pp.148-149, 2017.5