

20MHz 探触子によるコンクリート構造物の厚さ推定法

Thickness Measurement of Concrete Structure with 20MHz Transducer

池ヶ谷 靖 柳瀬 高仁
 SEI IKEGAYA TAKAHITO YANASE
 株式会社ジャスト
 JUST Co.,Ltd.

概 要

コンクリート構造物の厚さを測定で、超音波測定法によって厚さを測定する場合がある。しかし、複合材であるため、小さな空洞・粗骨材・鉄筋等からの反射等によるエコーが多数発生する。そのため、鋼での超音波測定に比べて SN 比が低く、厚さを測定するための底面エコーが判別できない場合がある。しかし、ある程度厚さが推定されている場合は SN 比が低い場合でも厚さの測定が可能となる。

そこで、コンクリート構造物を製作する多くの場合に用いるセパレータを測定することによって、コンクリート構造物の厚さを推定することを試みた。

その結果、20MHz 探触子による垂直探傷法を用いることによってセパレータを正確に測定でき、コンクリートの厚さが推定できることが明らかになった。

キーワード：超音波探傷，垂直探傷法，セパレータ，長さ測定

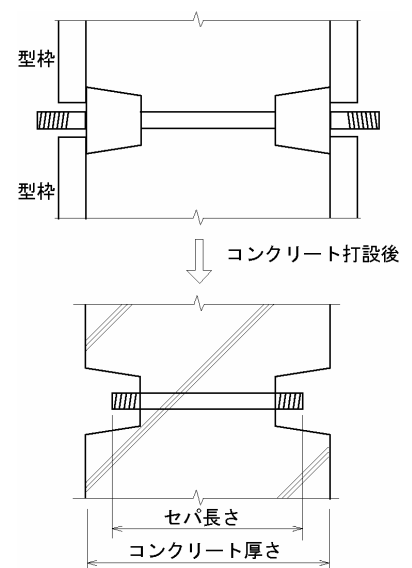
1. 緒 言

非破壊試験によってコンクリート構造物の厚さを測定する方法はいくつかあるが、超音波測定法が用いられる場合が少なくない。

しかし、コンクリート構造物は複合材であるため、健全な場合でも、伝搬する超音波は気泡・粗骨材・鉄筋等で反射されノイズとして現れる。そのため、鋼の測定と比較すると著しく SN 比が低下し、厚さ測定の底面エコーの判別が容易でない場合や困難な場合が少なくない。しかし、厚さが推定される場合は、SN 比が低くても測定が可能となる。

一方、実際のコンクリート構造物は厚さ方向にセパレータ（直径 8mm 程度で鋼製）を取付け、それに型枠を固定して構造物を製作する。セパレータは B 型、C 型、BC 型と 3 つのタイプがあり、それぞれで長さが定められている。

そのため、セパレータの長さを測定すると、コンクリート構造物の厚さを推定することが可能となる。この推定値にもとづいてコンクリート用の超音波測定器を用いてコンクリートの厚さを測定すると厚さ測定の信頼性が向上するものと期待される。



2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧を表 1 に示す。

試験体として既製品のセパレータを用いる。実験因子はタイプ（B 型, C 型）、長さ（93mm～526mm）である。試験体数は各 1 体とする。

測定機器は、3 種類の探触子とデジタル探傷器を組み合わせ、気中及びコンクリート打設後で測定を行い、ボルトの全長および超音波波形も記録した。なお、セパレータの端部は多少のバリがあるためグラインダで仕上げる。

2.2 実験装置

- (1) 超音波探傷器：ポータブルデジタル探傷器 EPOCH4（パナメトリックス製）
- (2) 探触子：セラミック 5C10N(KGK 製) 3mm20MHz（パナメトリックス製）
コンポジット 6mm5MHz（Agfa NDT 製）
- (3) 接触媒質：グリセリンペースト（ソナテック製）

2.3 測定方法

測定方法を図 2 に示す。

図に示すように、(a) 気中、(b) 打設後の 2 つの状態で行う。

その際に、探触子を組合せて測定を行う。

さらに、測定データを探傷器のメモリーに保存しパソコンに転送し、比較検討する。

探傷器の設定は、パルサーは出力の大きい側、ダンピングは大きな値、帯域を設定できる場合は探触子の周波数に近い周波数の広帯域設定とする。また駆動波形は 20MHz の場合は方形波とし、それ以外ではスパイク波形とする。

表 1 試験体

試験体	実測値 (mm)	コンクリート厚さ (mm)	差 (mm)
B093	93	120	27
B124	124	150	26
B175	175	200	25
B423	423	450	27
B526	526	550	24
C165	165	120	-45
C198	198	150	-48
C229	229	180	-49
C248	248	200	-48
C398	398	350	-48
C448	448	400	-48

コンクリート厚さはそれぞれのセパレータを用いた場合の厚さ

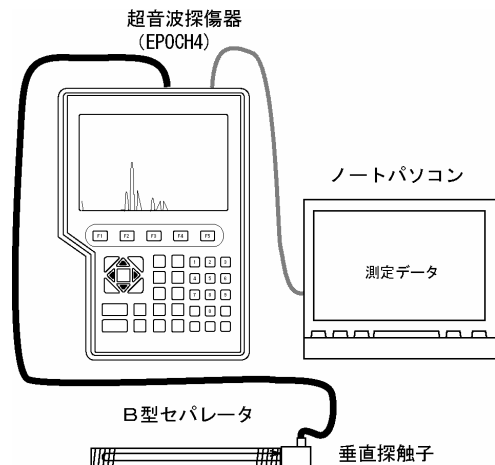


図 2 測定方法

3. 実験結果

3.1 気中での測定

気中の測定結果を表 2～表 4 に示す。また、測定値と実測値の関係及び誤差のヒストグラムを図 3～図 8 に示す。

表 2 実測値と測定値（5MHz コンポジット）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	99	6	6.5
B124	124	129	5	4.0
B175	175	181	6	3.4
B423	423	459	36	8.5
B526	526	572	46	8.7
C165	165	171	6	3.6
C198	198	209	11	5.6
C229	229	239	10	4.4
C248	248	254	6	2.4
C398	398	428	30	7.5
C448	448	472	24	5.4

表 3 実測値と測定値（5MHz ロックホルト用）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	99	6	6.5
B124	124	129	5	4.0
B175	175	181	6	3.4
B423	423	442	19	4.5
B526	526	555	29	5.5
C165	165	177	12	7.3
C198	198	210	12	6.1
C229	229	239	10	4.4
C248	248	260	12	4.8
C398	398	421	23	5.8
C448	448	472	24	5.4

表 4 実測値と測定値（20MHz）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	93	0	0.0
B124	124	124	0	0.0
B175	175	175	0	0.0
B423	423	431	8	1.9
B526	526	543	17	3.2
C165	165	166	1	0.6
C198	198	198	0	0.0
C229	229	228	-1	-0.4
C248	248	248	0	0.0
C398	398	405	7	1.8
C448	448	455	7	1.6

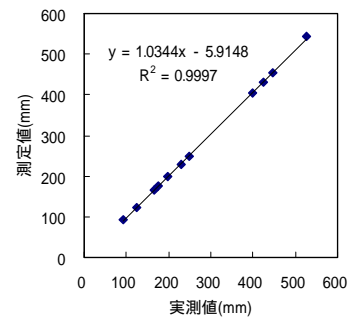
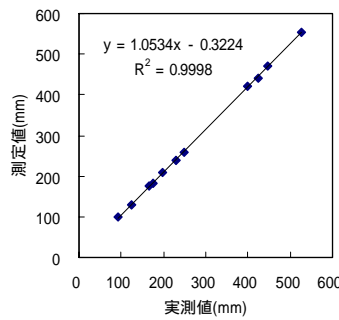
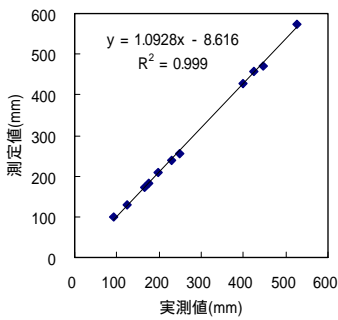


図 3 測定結果（コンドジット 5MHz） 図 4 測定結果（ロックホルト 5MHz） 図 5 測定結果（20MHz）

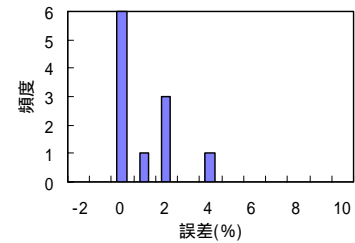
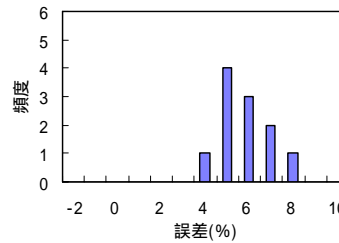
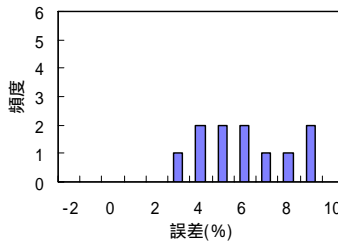


図 6 誤差（コンドジット 5MHz） 図 7 誤差（ロックホルト 5MHz） 図 8 誤差（20MHz）

3.2 打設後の測定

打設後の測定結果を表 5～表 7 に示す。

また、測定値と実測値の関係及び誤差のヒストグラムを図 9～図 14 に示す。

さらに、試験体 C248 の 3 種類の探触子による、気中及び打設後の超音波波形を図 15～図 20 に示す。

表 5 実測値と測定値（5MHz コンポジット）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	99	6	6.5
B124	124	129	5	4.0
B175	175	180	5	2.9
B423	423	453	30	7.1
B526	526	566	40	7.6
C165	165	177	12	7.3
C198	198	210	12	6.1
C229	229	240	11	4.8
C248	248	259	11	4.4
C398	398	416	18	4.5
C448	448	477	29	6.5

表 6 実測値と測定値 (5MHz ロックホルト用)

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	94	1	1.1
B124	124	129	5	4.0
B175	175	181	6	3.4
B423	423	436	13	3.1
B526	526	554	28	5.3
C165	165	172	7	4.2
C198	198	204	6	3.0
C229	229	235	6	2.6
C248	248	254	6	2.4
C398	398	416	18	4.5
C448	448	467	19	4.2

表 7 実測値と測定値 (20MHz)

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
B093	93	93	0	0.0
B124	124	124	0	0.0
B175	175	175	0	0.0
B423	423	430	7	1.7
B526	526	543	17	3.2
C165	165	166	1	0.6
C198	198	198	0	0.0
C229	229	228	-1	-0.4
C248	248	248	0	0.0
C398	398	404	6	1.5
C448	448	455	7	1.6

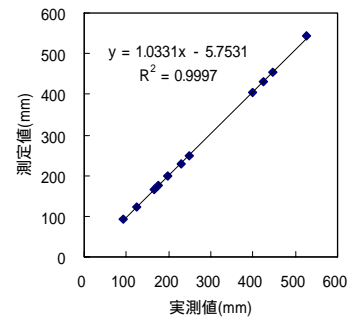
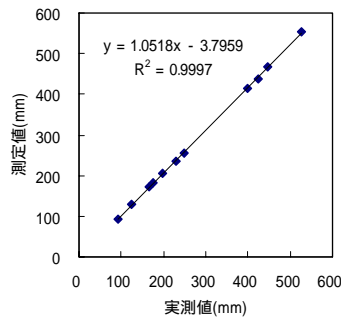
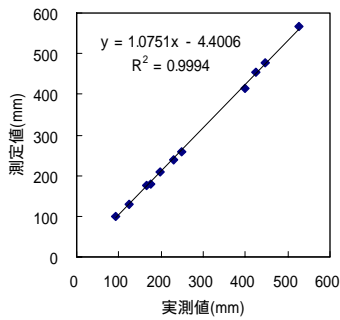


図 9 測定結果(コンホシット 5MHz)

図 10 測定結果(ロックホルト 5MHz)

図 11 測定結果(20MHz)

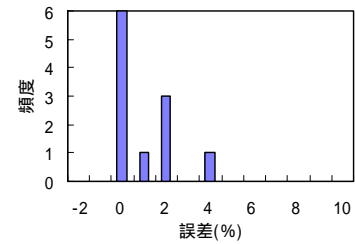
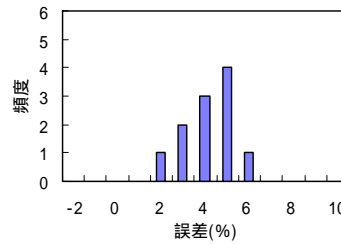
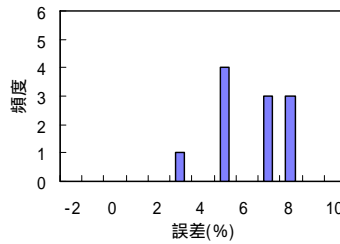


図 12 誤差(コンホシット 5MHz)

図 13 誤差(ロックホルト 5MHz)

図 14 誤差(20MHz)

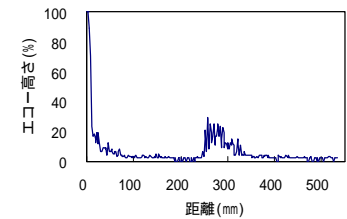
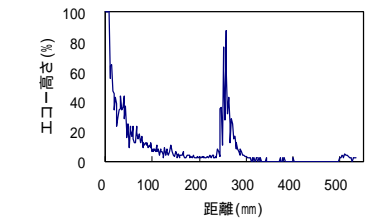
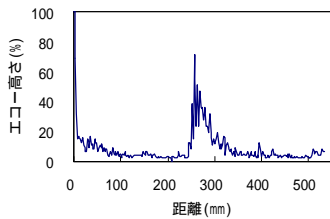


図 15 C248 コンホシット 5MHz 気中 (Gain40dB)

図 16 C248 コンホシット 5MHz 打設後 (Gain50dB)

図 17 C248 ロックホルト 5MHz 気中 (Gain30dB)

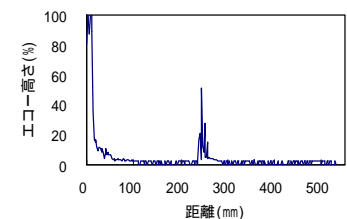
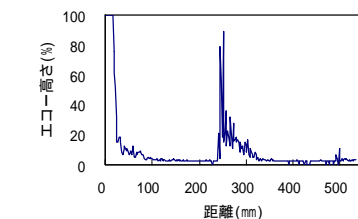
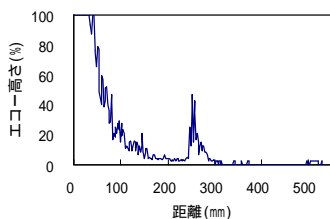


図 18 C248 ロックホルト 5MHz 打設後 (Gain50dB)

図 19 C248 20MHz 気中 (Gain66dB)

図 20 C248 20MHz 打設後 (Gain66dB)

4. 実験結果の考察

4.1 気中での測定

気中の測定で、周波数が 5MHz の場合は、コンポジット（波数が少ない）、ロックボルト用（狭帯域で波数が多い）のいずれを用いても、測定長さは 5% 程度の誤差を生じている。それに対して 20MHz の探触子を用いると試験体の長さが 400mm 程度以上になると数%の誤差を生じるが、それ以下ではほとんど誤差を生じない。

周波数 5MHz の場合の誤差は、試験体の長さが長くなるほど大きくなる傾向があるが、その程度は長さとは比例関係になかった。

周波数・波数と超音波が伝搬する鋼棒の直径・長さとは測定精度の関係を検討するため、今回の探触子を用い鋼棒試験体（直径 6～12mm、長さ 100mm～500mm）で測定を行った。

その結果、表 8～表 10 の結果が得られ、測定誤差を表 11～表 13 に示す。表に示すように、鋼棒の径が小さく、長さが長くなると 20MHz 探触子以外では誤差が大きくなる。また、同じ周波数でも波数が多くなると誤差は大きくなる。

この原因としては超音波の伝搬が単純な縦波による伝搬でないことが考えられる。

表 8 鋼棒実測値と測定値（5MHz コンポジット）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
06-100	101	110	9	8.9
06-200	200	215	15	7.5
06-300	301	320	19	6.3
06-400	400	418	18	4.5
06-500	502	528	26	5.2
08-100	101	100	-1	-1.0
08-200	201	208	7	3.5
08-300	301	315	14	4.7
08-400	402	424	22	5.5
08-500	502	529	27	5.4
10-100	100	102	2	2.0
10-200	202	203	1	0.5
10-300	302	312	10	3.3
10-400	402	411	9	2.2
10-500	503	513	10	2.0
12-100	101	102	1	1.0
12-200	202	204	2	1.0
12-300	303	305	2	0.7
12-400	403	414	11	2.7
12-500	503	514	11	2.2

表 9 鋼棒実測値と測定値（5MHz ロックボルト用）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
06-100	101	110	9	8.9
06-200	200	215	15	7.5
06-300	301	324	23	7.6
06-400	400	429	29	7.3
06-500	502	549	47	9.4
08-100	101	102	1	1.0
08-200	201	209	8	4.0
08-300	301	315	14	4.7
08-400	402	423	21	5.2
08-500	502	523	21	4.2
10-100	100	102	2	2.0
10-200	202	204	2	1.0
10-300	302	312	10	3.3
10-400	402	411	9	2.2
10-500	503	521	18	3.6
12-100	101	103	2	2.0
12-200	202	204	2	1.0
12-300	303	314	11	3.6
12-400	403	415	12	3.0
12-500	503	515	12	2.4

表 10 鋼棒実測値と測定値（20MHz）

試験体	実測値 (mm)	測定値 (mm)	誤差 (mm)	誤差 (%)
06-100	101	104	3	3.0
06-200	200	208	8	4.0
06-300	301	309	8	2.7
06-400	400	418	18	4.5
06-500	502	528	26	5.2
08-100	101	100	-1	-1.0
08-200	201	201	0	0.0
08-300	301	314	13	4.3
08-400	402	409	7	1.7
08-500	502	515	13	2.6
10-100	100	100	0	0.0
10-200	202	202	0	0.0
10-300	302	311	9	3.0
10-400	402	409	7	1.7
10-500	503	512	9	1.8
12-100	101	101	0	0.0
12-200	202	202	0	0.0
12-300	303	303	0	0.0
12-400	403	413	10	2.5
12-500	503	514	11	2.2

表 11 鋼棒サイズと精度（5MHz コンポジット）

鋼棒直径 (mm)	鋼棒長さ(mm)				
	100	200	300	400	500
6	x	x	x	x	x
8			x	x	x
10					
12					

○ : 誤差 2% 以下、△ : 誤差 4% 以下
x : 誤差 4% を超える

表 12 鋼棒サイズと精度（5MHz ロックホルト用）

鋼棒直径 (mm)	鋼棒長さ(mm)				
	100	200	300	400	500
6	x	x	x	x	x
8			x	x	x
10					
12					

表 13 鋼棒サイズと精度（20MHz）

鋼棒直径 (mm)	鋼棒長さ(mm)				
	100	200	300	400	500
6				x	x
8			x		
10					
12					

4.2 打設後の測定

打設後の測定では、気中と同様に周波数 5MHz の場合、測定長さは 5% 程度の誤差を生じていた。気中と同様に、20MHz の探触子を用いると試験体の長さが 400mm 程度以上になると数%の誤差を生じるが、それ以下ではほとんど誤差を生じなかった。

エコー高さについては、周波数 5MHz では、6dB ~ 20dB 程度エコー高さが低下した。また、超音波波形のエコーの水平軸方向（超音波の伝搬距離あるいは伝搬時間を表示している）の幅が、コンクリートの打設により狭くなっていた。

そのことから、周波数 5MHz の場合セパレータ内（直径 8mm）を単純に縦波で伝搬するのではなく、セパレータの側面での反射を繰り返しながら伝搬し測定長さに誤差を生じ、コンクリート打設により側面反射や棒波が抑制され、エコー高さやエコーの幅が小さくなったものと考えられ、20MHz ではセパレータ内（直径 8mm）を単純に縦波で伝搬する成分が十分に存在するため、設定した鋼の音速値を用いても測定誤差がほとんど生じなかったものと考えられる。ただし、20MHz でも伝搬距離が大きくなると単純な縦波成分が消失するため誤差が生じるようになってくる。

5 . まとめ

今回の実験で以下のことが明らかになった。

- (1) セパレータの長さを超音波法（垂直探傷法）で測定可能である。
- (2) 周波数 5MHz を用いると長さを正確に測定できない。
- (3) 周波数 20MHz を用いた場合、400mm 程度以下なら長さを正確に測定できる。
- (4) 周波数 20MHz を用いた場合でも長さが 400mm を超えると数%程度の誤差が生じる。

以上のことから、周波数 20MHz を用いてセパレータの長さを測定した場合、セパレータの長さを正確に測定できるため、B 型・C 型・BC 型のいずれでも公称長さを求めることができ、その結果セパレータと型枠で形成されたコンクリート構造物の厚さが推定できるものと考えられる。

そのことによって、コンクリート用超音波探傷システムを用いてコンクリート厚さを測定する際に、例えば底面エコーの SN 比が低い場合でも、コンクリート厚さの測定が可能となり、またその信頼性が向上するものと期待される。