

論文

コンクリートの超音波測定に関する実験的研究

金 東範\*1・池ヶ谷 靖\*2・村田 達雄\*3・安藤 純二\*4

要旨：コンクリートの超音波測定は試験体の測定例の成果から比べると現場測定では十分な成果があるとは言えない。現場で安定して超音波測定ができる条件について、厚さ測定試験体で実験を行い、1探触子反射法で広い周波数帯域と粗骨材より十分に大きい振動子サイズが重要であることを明らかにした。また、その条件で探触子位置の鉄筋が超音波測定に大きな影響を与えることが明らかになった。さらに、ひび割れ深さの測定について同様の実験を行った結果、同一面配置の2探触子透過法で従来とは異なり大きな振動子サイズで測定を行うと安定して測定できることが明らかになった。

キーワード：コンクリート超音波測定, 厚さ測定, 超広帯域探傷器, ひび割れ測定, 振動子サイズ

1. はじめに

コンクリートの超音波測定についての研究はいくつも発表されてきたが、実際に現場適用した場合必ずしも安定して測定できると言い得ない状況であった。

そこで、厚さ測定試験体・ひび割れ試験体によるコンクリートの超音波測定を行い、実際の現場測定で安定して測定できる条件について検討する。

さらに、その結果に基づいて現場測定を行ったのでその結果についても検討する。

2. 厚さ測定試験体の超音波測定

2.1 実験方法

(1) 実験項目

- (a)コンクリート試験体(図-1)厚さ測定
- (b)鉄筋コンクリート試験体(図-2)厚さ測定

(2) 測定装置等

- (a)広帯域低周波探傷装置(50kHz ~ 2MHz)
- (b)アクティブ探触子( 20, 40, 76)
- (c) 接触媒質：高粘度グリセリンペースト

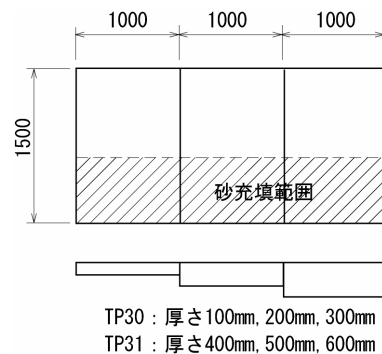


図 - 1 コンクリート試験体

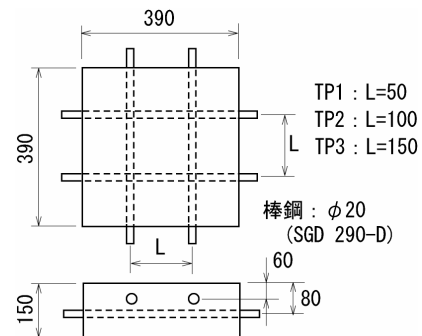


図 - 2 鉄筋コンクリート試験体

(3) 実験方法

厚さの測定に関しては1探触子による反射法を用い、底面エコーの到達時間からコンクリートの厚さを測定した。なお、音速は

\*1 株式会社 エヌ・ティ・ティ 建築総合研究所 FM技術部 (正会員)  
 \*2 株式会社 ジャスト 技術部  
 \*3 株式会社 ジャスト 調査診断部  
 \*4 株式会社 ジャスト 取締役

4000m/sec とし、信号処理は 200 回の加算平均と探触子内部波形の削除以外は行わなかった。

コンクリート試験体の測定位置は図-3 に示すように、厚さ 100~600mm の部分で 100mm ピッチとし、鉄筋コンクリート試験体については図-4 に示すように、棒鋼を避けた位置と棒鋼上で 50mm ピッチとした。

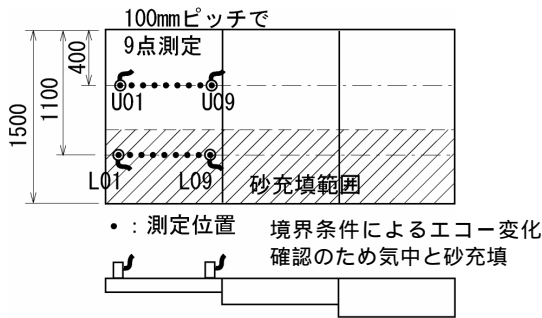


図 - 3 コンクリート試験体の厚さ測定位置

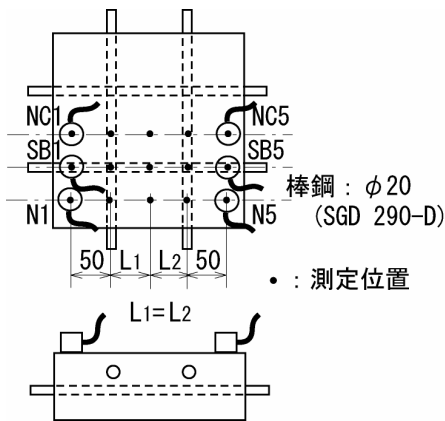


図 - 4 鉄筋コンクリート試験体の厚さ測定位置

## 2.2 実験結果

### (1) コンクリート試験体

測定例を図-5~図-7 に示す。探触子の振動子直径 76mm の場合には、コンクリート底面エコーがノイズエコー(骨材等からの反射波)に比べて 6dB~20dB 程度の SN 比があり、底面エコーから厚さが容易に測定できた。

一方、振動子のサイズ 20mm の場合には、コンクリートの厚さが 100mm でも底面エコーをノイズと判別できなかった。また、振動子サイズが 40mm では、厚さが 200mm になると SN 比を 6dB 程度確保することが困難となった。

測定された超音波波形例を図 8~図 10 に示

す。図に示すように、直径 76mm 以外では明瞭に底面エコーが確認されなかった。

これは、コンクリート内での超音波の伝搬がモルタルペーストを伝搬し、粗骨材等で乱反射しながら進行するため、粗骨材より小さい振動子では超音波の進行方向成分が小さくなるためと考えられる。

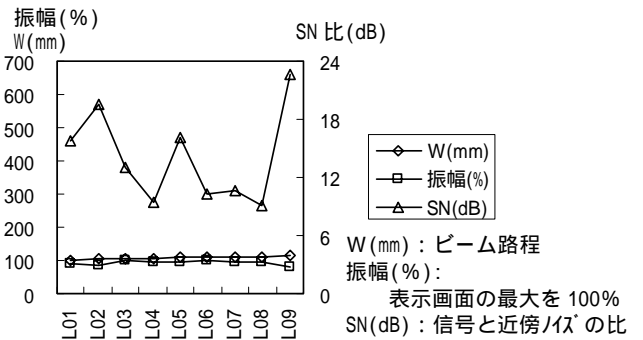


図 - 5 コンクリート試験体の厚さ測定(t=100, 76)

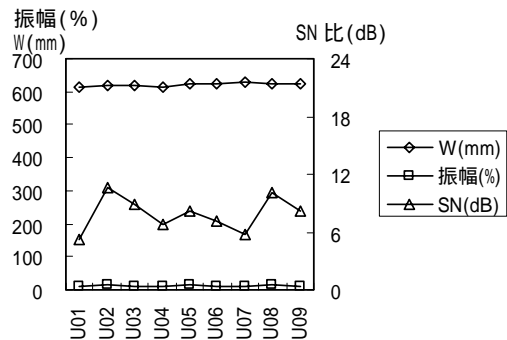


図 - 6 コンクリート試験体厚さ測定(t=600, 76)

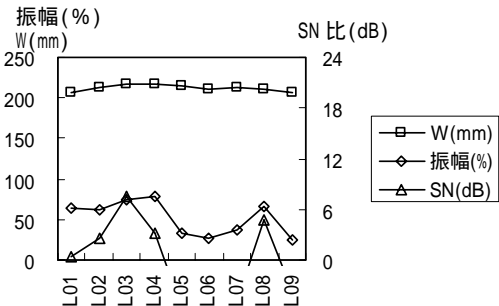


図 - 7 コンクリート試験体厚さ測定(t=200, 40)

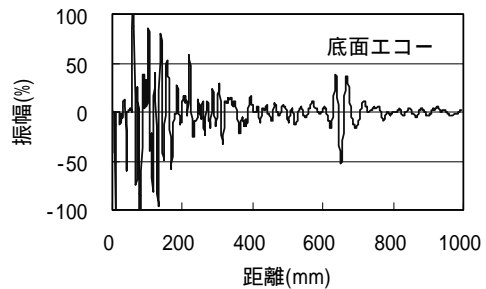


図 - 8 厚さ 600mm, 76 探触子超音波波形

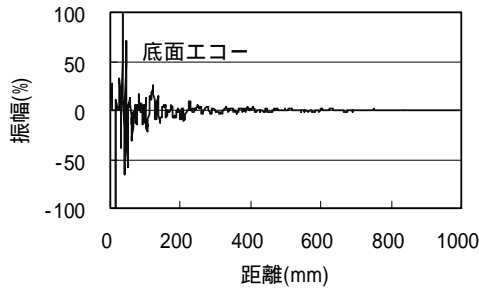


図 - 9 厚さ 100mm, 20 探触子超音波波形

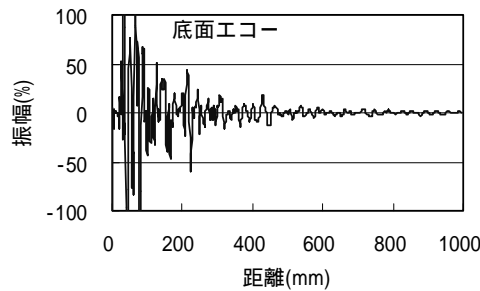


図 - 10 厚さ 200mm, 40 探触子超音波波形

(2) 鉄筋コンクリート試験体

鉄筋コンクリート試験体については、コンクリート試験体の結果から、振動子径が小さい場合測定ができないことから、振動子径の大きい 76mm 探触子のみ測定を行った。

測定結果を表-1～表-3 に示す。表中で 印は底面エコーと周辺のノイズとの差が 6dB 程度以上あり、明瞭に底面エコーが確認されることを示し、×は底面エコーが確認できないことを示す。

表に示すように、鉄筋の上での超音波測定 (SB)では、底面エコーを確認することが困難となり、とくに鉄筋の交差部 (位置 2,4) では、ほとんどの場合厚さの測定はできなかった。

また、鉄筋間隔が 50mm では、鉄筋と鉄筋の中間で測定しても底面エコーが得られなかった。

測定された超音波波形例を図 11～図 13 に示す。図に示すように、探触子中心直下に鉄筋があると鉄筋のエコーが検出され、底面エコーが検出されない。さらに、鉄筋と鉄筋の間隔が振動子径より小さくなると、鉄筋が探触子の周辺部直下にある場合でも鉄筋エコーが検出され、明瞭に底面エコーを検出することが困難になる。

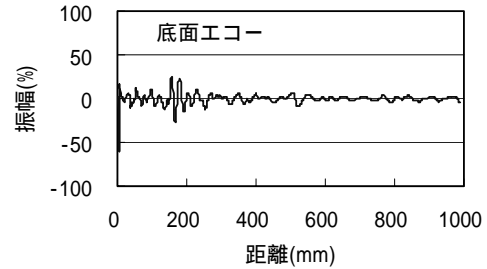


図 - 11 位置 NC3 超音波波形 (鉄筋間隔 100mm)

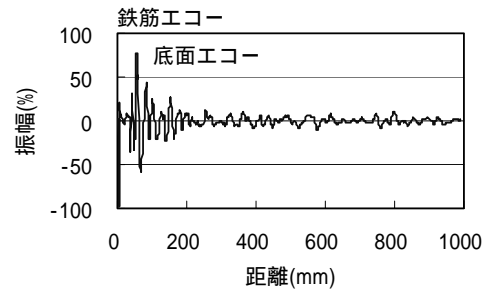


図 - 12 位置 NC3 超音波波形 (鉄筋間隔 50mm)

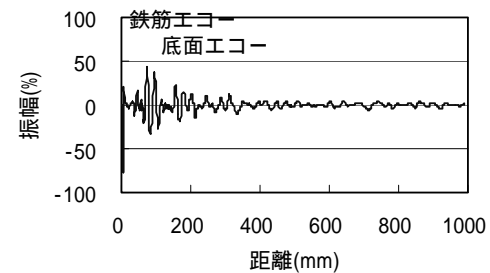


図 - 13 位置 SB1 超音波波形 (鉄筋間隔 150mm)

表 - 1 厚さ測定 (鉄筋間隔 50mm) 表 - 2 厚さ測定 (鉄筋間隔 100mm) 表 - 3 厚さ測定 (鉄筋間隔 150mm)

位置	N	SB	NC
1			×
2		×	×
3		×	×
4		×	×
5			

位置	N	SB	NC
1			
2			
3			
4		×	×
5		×	

位置	N	SB	NC
1			
2		×	
3			
4		×	
5		×	

### 3. 割れ深さ測定試験体の超音波測定

#### 3.1 実験方法

##### (1) 実験項目

コンクリート試験体(図-14)及び鉄筋コンクリート試験体(図-15)の割れ深さ測定

##### (2) 測定装置等

- (a)広帯域低周波探傷装置(50kHz～2MHz)
- (b)アクティブ探触子( 20, 76)
- (c)接触媒質：高粘度グリセリンペースト

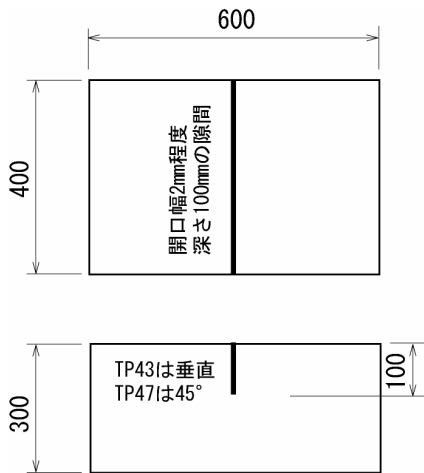


図 - 14 コンクリート試験体

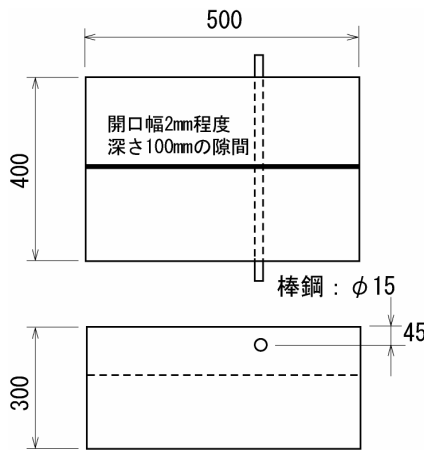


図 - 15 鉄筋コンクリート試験体

##### (3) 実験方法

割れ深さの測定は、図-16 に示すように、同一面配置の2探触子透過法を用い、送信探触子から受信探触子に到達する超音波透過パルスの時間から、割れが探触子間の中央に垂直入っていると仮定して、探触子-割れ先端間のビーム路程から割れ深さを測定する。この場合、音速は

4000m/sec とし、200 回の加算平均を行った。

なお、測定は送受信とも 20 の探触子と 76 の探触子を用い、鉄筋がない部分と鉄筋の直上とで行った。

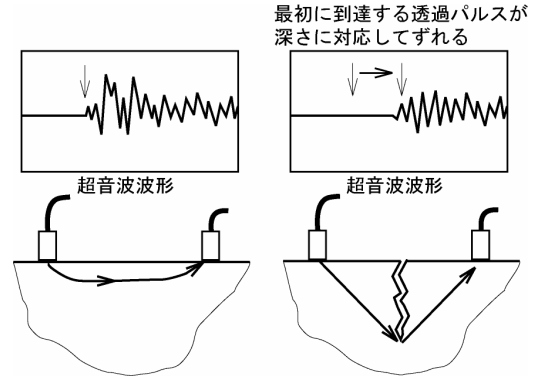


図 - 16 割れの測定方法

#### 3.2 実験結果

##### (1) コンクリート試験体

測定結果を表-4～表-7 に示す。

表に示すように、20mmの方がやや測定精度が高いが大差はない、割れ深さに比べ探触子間隔が大きい場合測定精度が著しく低下する。

これは、探触子間距離が大きくなると、コンクリート内の超音波の伝搬がより内部で行われるようになることと、割れ深さの大きな変化がなければビーム路程の変化を測定できないことによるものと考えられる。

表 - 4 割れ深さ測定(TP43 垂直ノッチ)

探触子	1/2 ビーム路程	探触子間隔	深さ
20	122	100	111
20	195	200	168
20	198	300	129
76	126	100	116
76	190	200	162
76	216	300	155

表 - 5 割れ深さ測定(TP47 45°ノッチ)

探触子	1/2 ビーム路程	探触子間隔	深さ
20	114	100	103
20	162	200	128
20	181	300	101
76	116	100	105
76	170	200	137
76	186	300	109

表-6～表-7に示すように、鉄筋直上に探触子を配置した場合、超音波が回折する割れ先端より浅い部分で、コンクリート 鉄筋 コンクリートと超音波が伝搬するため、割れ深さを著しく浅く測定する。

表 - 6 割れ深さ測定(棒鋼入り 一般部)

探触子	1/2 ビーム路程	探触子間隔	深さ
20	134	100	124
20	174	200	142
76	141	100	132
76	193	200	165

表 - 7 割れ深さ測定(棒鋼入り 鉄筋部)

探触子	1/2 ビーム路程	探触子間隔	深さ
20	79	100	61
20	114	200	54
76	96	100	82
76	122	200	71

\* 鉄筋までの深さ 45mm

探触子間距離 100mm で割れ深さを測定した場合の超音波波形例を図-17,図-18に示す。

図に示すように、76探触子の方が信号も大きく透過パルスの立上りも明瞭である。

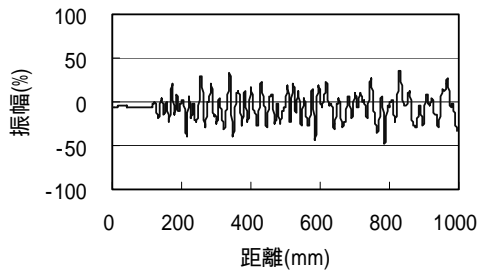


図 - 17 20 探触子超音波波形

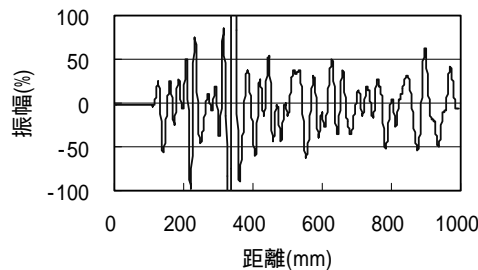


図 - 18 76 探触子超音波波形

#### 4. 現場測定

##### 4.1 コンクリート厚さ測定

現場におけるコンクリート厚さの測定波形例

を図-19～図-21に示す。

測定方法は、超広帯域低周波探傷装置を用い、76 振動子の探触子による 1 探触子反射法を適用した。

その結果、図-19,図-20に示すように、底面エコーが明瞭に確認された。そのことによって容易にコンクリート厚さが測定できた。(いくつかの建物で対面の透過法による音速測定を多数行った結果、音速は 3600m/sec～4200m/sec の範囲であり、計算上の音速値を 4000m/sec としても大きな誤差は生じなかった)

しかし、図 21 に示すように、厚さ測定ができない例もあった。この測定位置でコア抜きした結果、コンクリート厚さが 180mm、コアの中心でかぶり深さ 50mm の D13 の異形鉄筋が確認された。

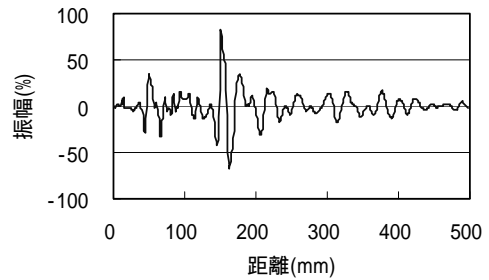


図 - 19 厚さ測定の超音波波形(厚さ 160mm)

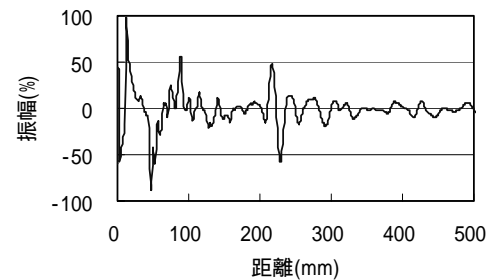


図 - 20 厚さ測定の超音波波形(厚さ 220mm)

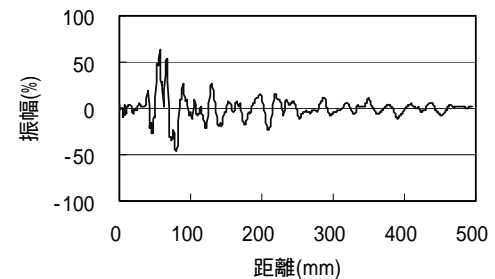


図 - 21 厚さ測定ができない例(厚さ 180mm)

#### 4.2 割れ深さの測定

現場における割れ深さの測定波形例を図-22～図-23に示す。図に示すように、割れがない健全部では大きな透過パルスが得られ超音波は短時間に伝搬する。それに対して、割れ部分では、ほとんど超音波が伝搬しない。この場合、超音波で推定されたように貫通割れが確認された。(ただし貫通割れでもわずかに超音波が伝搬する場合がある)

なお、測定方法は同一面配置の2探触子透過法で、コンクリート厚さが150mm～200mmと予想されていたため、使用探触子は20mmとした。

また、表8にはマットスラブ部の割れ深さの測定例を示す。この場合、割れは鉄筋位置まで、それより深い位置では確認されなかった。

ただし、超音波による割れ深さの測定値は、超音波ビームが鉄筋下部を迂回した距離に近いが、多少の誤差が生じている。

また、比較的開口幅の狭い貫通割れの場合では、ある程度超音波が割れ部でも漏れるため多少の透過パルスが観察される。

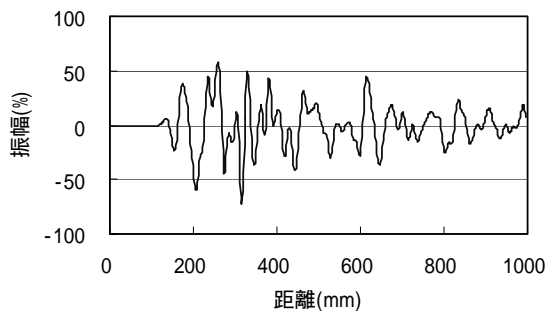


図-22 健全部の透過法の超音波波形

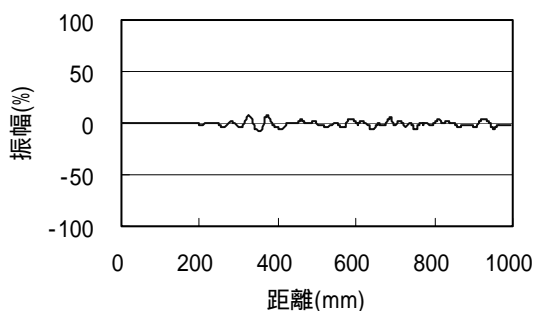


図-23 貫通ひび割れ部の超音波波形

表-8 マットスラブ割れ深さ測定

測定位置	測定深さ (mm)
N09	67.2
N08	69.8
N07	52.9
N06	97.1
N05	87.0
N04	117.8
N03	82.7
N02	84.4
N01	63.7
C00	122.8
S01	79.3
S02	77.6
S03	76.7
S04	75.0
S05	69.0

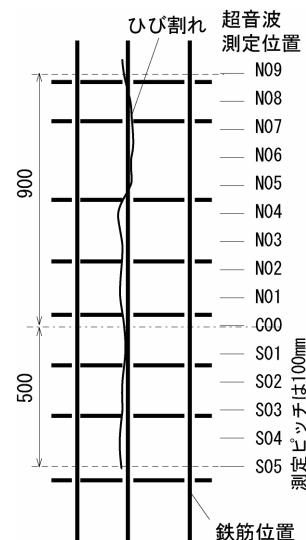


図-24 マットスラブひび割れ

#### 5. まとめ

試験体の測定実験と現場測定から、コンクリートの超音波測定について以下のことが明らかになった。

- (1) コンクリート厚さの測定では、1探触子反射法で測定が可能であり、帯域の広い低周波(50kHz～0.5MHz)を用いることと、大きな振動子サイズ(直径76mm程度)を必要とする。
- (2) 厚さや割れの超音波測定では鉄筋の影響が大きいため、電磁波レーダー等を用いて予め鉄筋位置を確認する必要がある。
- (3) 鉄筋による影響は鉄筋でのエコーの発生によるものと鉄筋内部に伝搬した超音波が測定位置でコンクリートをバイパスすることによるものがある。
- (4) 同一面配置の2探触子透過法による割れ測定では探触子間距離が小さい方がよい。
- (5) 割れの測定において割れに直交する鉄筋は測定に大きな影響を与えるので、予め鉄筋位置を確認する必要がある。
- (6) 割れ測定においても振動子サイズを直径76mmにすると安定した測定が行える。