# 論文 構造物への適用を想定した超音波法による PC グラウトの充てん判 定方法の提案

堀 慎一<sup>\*1</sup>·後藤 恵一<sup>\*2</sup>·渡辺 健<sup>\*3</sup>·谷村 幸裕<sup>\*4</sup>

要旨:PC グラウトの充てん状況を確認する非破壊検査の一つとして,超音波法がある。超音波法は,比較的 短時間での測定が可能であることから,近年注目されている測定方法であるが,測定で得られた波形の分析 方法などは,測定者の経験により決められることが多い。そこで,本研究では,超音波法による PC グラウト の充てん状況調査の測定精度向上を目的として検討を行った。そして,波形の分析方法の違いにより充てん 判定に用いる卓越周波数が異なり,判定結果に影響を与えることを明らかにした。また,判定結果に影響を 与えるパラメータを削孔調査等により適切に設定することで,精度が向上することが確認された。 キーワード:非破壊検査,超音波,PC 桁, PC グラウト

# 1. はじめに

ポストテンション式 PC 桁(以下, PC 桁)は、その特 徴から河川や道路との交差部などのスパンの長い橋梁に 多く用いられており、鉄道では 10,000 連以上が建設され ている。供用開始から長期間経過した PC 桁の一部は、 主に PC グラウトの品質および施工不良に起因する充て ん不良が生じている場合がある<sup>1)</sup>。PC グラウトの充てん 不良は、将来的に PC 鋼材が腐食、破断する可能性があ り、破断した事例も報告されている。このため、PC グラ ウトの充てん状況の調査は、PC 桁を維持管理するうえで、 重要な調査となっている。

図-1に、PC グラウトの充てん状況を確認する非破壊 検査の一つである超音波法の概要を示す。この手法は、 図-1(a)に示すように、探触子により超音波を入力し、 シースから得られた反射波をもう一方の探触子で計測す ることで、この反射波の卓越振動数を用いて PC グラウ トの充てんの有無を判定する手法である<sup>2)</sup>。本研究では 図-1(b)に示す入力波形を用いているが、この波形は 図-1(c)に示すように、5kHz~700kHz と広い周波数

移動(4回計測)

帯域を有することが特徴である。これは測定する部材の 厚さに強く依存せずに,比較的短時間での測定を可能と させるものである。

ここで,入力に対して得られる反射波にはシースから の反射波以外にも,鉄筋や骨材からの反射波およびコン クリート表面波も含まれているため,得られた反射波か ら,シースからの反射波のみを抽出することが重要とな る。しかし,現状では,波形の抽出や分析の方法は,明 確化されておらず,対象構造物または部材ごとに測定者 の感覚や経験によって決定されることも多い<sup>3),4)</sup>。すな わち,超音波法の明確な適用範囲や測定精度については, 不明な点が多いのが現状である。

そこで、本研究では、超音波法による PC グラウトの 充てん調査の測定精度を向上させることを目的に、PC グラウト充てん不良区間を有する供試体に対して、超音 波法による PC グラウト充てん調査を実施し、測定方法 や反射波の抽出方法、分析方法の違いが測定結果に与え る影響を調査した。



\*3 (公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 博士(学術) (正会員) \*4 (公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 博士(工学) (正会員)



図-2 測定フロー

# 2. 測定方法

図-2 に超音波法を用いて PC グラウトの充てんの有 無の判定のための手順を示す。

### (1) 測定対象の基礎情報の取得

設計図面やレーダー法などで,計測するシースおよび 鉄筋の位置およびかぶりを測定する。また,PC 桁の腹部 の表裏に探触子を設置して,コンクリート中の音速を測 定する。

# (2) 計測

シースのかぶりに応じて,探触子間隔を設定する。シ ースのかぶりが 150mm 以上であれば,シースから直接 反射する波を計測するために探触子の間隔を 200mm 程 度,シースのかぶりが 150mm 未満であれば,シースを 伝搬する波を計測するために,探触子の間隔を 500mm 程度とする。図-3 に超音波の伝搬経路の例を示す。シ ースのかぶりが浅いと,図に示すシースからの反射波と 鉄筋などからの反射波をほぼ同時刻に計測する可能性が ある。したがって,各反射波の計測時刻に差を与え,シ ースからの反射波を抽出しやすくするために,シースの かぶりに応じて探触子間隔を変更する必要がある。

計測は、シース直上で探触子を移動させながら、4回 実施し、得られた波形を加算平均することで、時刻歴波 形*G*(*t*)を算出する。これは、鉄筋や骨材、微細なひび 割れなど不規則な要因の影響を小さくすることが目的で ある。

# (3) 得られた波形の変換および抽出

得られた時刻歴波形 G (t) は、フーリエ変換により、 周波数スペクトル F (f) に変換する。そして、f<sub>k</sub>を中心 振動数とする Sin 関数 A (f) を乗ずることで、周波数ス ペクトル FA (f) を算出する。この操作により、20kHz 前後にある表面波のスペクトル強度を小さくし、一方で シースからの反射波のスペクトル強度を大きくすること で、後述する PC グラウト充てん判定を容易にする。

周波数スペクトル FA (f) は、時刻歴波形 GA (t) に再 変換し、台形窓関数 TGC ( $t_h$ ,  $t_a$ ) により、分析用波形 GB (t) を抽出する。ここで、 $t_h$ は台形窓関数の抽出開始 時刻であり、シースからの反射波の到達時刻を設定する 必要がある。また、 $t_a$ は台形窓関数の抽出時間幅である。 シースからの反射波の到達時刻  $t_p$ は、一般に式(1)で算定



図-3 超音波の伝搬経路の例

することができる。この時刻以降,シース以外からの反 射波の影響が小さい時間幅で*t*aを設定する。

$$t_{\rm p} = 2 \times \sqrt{(a - \phi/2)^2 + d_{\rm s}^2} / V_{\rm p}$$
(1)

ここに、tp:シースからの反射波の到達時刻(s)

a:探触子の間隔(m)

φ:探触子の径(m)

ds:シースのかぶり(m)

 $V_{\rm p}$ : コンクリート中の音速(m/s)

 $f_k$ ,  $t_h$ ,  $t_a$ は, 鉄筋や供試体表面からの反射などが取得した波形に及ぼす影響を極力小さくすることが目的であり, 十分に考慮して設定する必要がある。

# (4) 判定

分析用時刻歴波形 GB(t) を判定用周波数スペクトル FB(f) に変換し, PC グラウトの充てん判定を行う。判 定方法は,既往の測定<sup>3),4)</sup>により, PC グラウトが充てん されている場合には10~20kHz付近,未充てんの場合は 40~50kHz付近の周波数帯で卓越する振動数が確認され ている。

# 3. 対象供試体

本研究における測定は、コンクリート打設後、約2週 間が経過した PC グラウト充てん不良区間を有する矩形 断面の供試体である。図-4に供試体の形状寸法を示す。 表-1,表-2にコンクリートとPCグラウトの配合を示 す。表-3,表-4にコンクリートとPCグラウトの材料 試験結果を示す。なお,試験方法は表に示すとおりであ る。シースはスパイラル形状の亜鉛めっき鋼製シースを 用いており,シース内部には,PC 鋼より線(12¢12.7, SWPR7BL)を配置した。

供試体の製作にあたっては、シース内に PC 鋼より線 を配置し、PC グラウトを充てんしたものを準備し、鉄筋 を組立てた型枠内に設置してからコンクリートを打設し た。

供試体は全24体であり,パラメータは,PC グラウト 充てん率,シースのかぶりおよび鉄筋(軸方向,横方向) の有無とした。表-5にパラメータを示す。

# 4. 計測結果

# 4.1 過去の実構造物の計測経験に基づく判定

表-6に、シースのかぶりが70mmの計測結果を示す。 この計測では、 $f_k$ を中心振動数とするSin 関数A(f)の 設定について、過去の実構造物の計測<sup>例えば3),4)</sup>による経験 を基に、 $f_k$ =41~44kHzに設定し、台形窓関数TGC( $t_h$ ,  $t_a$ )の抽出時間幅についても、 $t_a$ =6.5×10<sup>-5</sup>~7.0×10<sup>-5</sup>(秒) としている。判定結果と実際の充てん率を比較すると、



# 図-4 供試体形状図

### 表-1 コンクリートの配合

| 粗骨材のスランプの気   |      | 売与豊         | 水セメ           | 細骨材率        | セイント | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |                 |                 |
|--------------|------|-------------|---------------|-------------|------|-------------------------|-----------|----------|-----------------|-----------------|
| 最大寸法<br>(mm) | (cm) | 主×1重<br>(%) | ント比<br>W/C(%) | s /a<br>(%) | の種類  | 水<br>W                  | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br><i>G</i> | 混和剤<br><i>A</i> |
| 20           | 8±2  | 4.5±1.5     | 50            | 44          | 早強   | 308                     | 154       | 813      | 1043            | 1.848           |

| 表2 PC グラ | ラウトの配合 |
|----------|--------|
|----------|--------|

| W/C | 流下時間 | セメント | 単位   | 立量(kg/袋 | i)  |
|-----|------|------|------|---------|-----|
| (%) | (s)  | の種類  | セメント | 水       | 混和剤 |
| 42  | 3~5  | 普通   | 25   | 10.5    | 0.5 |

| 表一3 材料                                    | 試験結果(フ | レッシュ性状) |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------|--------|---------|--|--|--|--|--|--|
| コンクリート <sup>*1</sup> PCグラウト <sup>*2</sup> |        |         |  |  |  |  |  |  |
| スランプ                                      | 空気量    | 流下時間    |  |  |  |  |  |  |
| (cm)                                      | (%)    | (s)     |  |  |  |  |  |  |
| 6.5                                       | 3.4    | 3.84    |  |  |  |  |  |  |

※1:JIS A 1101, JIS A 1118による ※2:JSCE-F 531による 表-4 材料試験結果(硬化後)

|           | コンクリ・                                           | — ŀ                                              | PCグラウト    |                                                 |                                                  |  |  |
|-----------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--|--|
| 材齢<br>(日) | 圧縮<br>強度 <sup>**1</sup><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弹性<br>係数 <sup>**2</sup><br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 材齢<br>(日) | 圧縮<br>強度 <sup>**3</sup><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弹性<br>係数 <sup>**4</sup><br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |  |  |
| 14        | 49.1                                            | 29.1                                             | 28        | 78.5                                            | 16.0                                             |  |  |
| 28        | 54.7                                            | 30.9                                             | 20        | 70.5                                            | 10.0                                             |  |  |

※1:JIS A 1108による ※2:JIS A 1149による

※4:JIS A 1149に準拠(供試体はJSCE-G 531と同一)

<sup>※3:</sup>JSCE-G 531による

正答は10体のうち、2体であった。

**表-7**に,シースのかぶりが170mmの計測結果を示す。 2体であった。 この計測では,過去の計測<sup>例えば 3),4)</sup>の経験を基に, *f*<sub>k</sub>=34 4.2 キャリブレーションの実施 ~57kHz, t<sub>a</sub>=3.0×10<sup>-5</sup>(秒)としたが、同様に、判定結本研究で用いた供試体の特徴として、材齢が約2週間

果と実際の充てん状況と比較すると,正答は10体のうち

| 供試体<br>No. | シース<br>かぶり | 充てん率  | 軸方向<br>鉄筋 | 横方向<br>鉄筋   | 供試体<br>No. | シース<br>かぶり | 充てん率  | 軸方向<br>鉄筋 | 横方向<br>鉄筋 |
|------------|------------|-------|-----------|-------------|------------|------------|-------|-----------|-----------|
| 1          | シー         | -ス無し  |           |             | 13         | 70         | 100%  | 左         | 右         |
| 2          |            | 100%  |           |             | 14         | 70         | 0%    | 伯         | 伯         |
| 3          | 70         | 50%   | -         |             | 15         |            | 100%  |           |           |
| 4          | 70         | 0%    |           | _           | 16         |            | 50%   |           |           |
| 5          |            | 途中充てん |           |             | 17         |            | 0%    | _         |           |
| 6          | シース無し      |       |           |             | 18         |            | 途中充てん |           | _         |
| 7          | 70         | 100%  | 有         |             | 19         | 170        | 100%  | +         |           |
| 8          | 70         | 0%    |           |             | 20         | 170        | 0%    | 1月        |           |
| 9          | シー         | ース無し  |           |             | 21         |            | 100%  |           |           |
| 10         | 70         | 100%  | —         | <del></del> | 22         |            | 0%    | _         | +         |
| 11         | ,0         | 0%    |           | 伯           | 23         |            | 100%  | +         | 伯         |
| 12         | シー         | ース無し  | 有         |             | 24         |            | 0%    | 们         |           |

| 表-5 | 供試体- | -覧 |
|-----|------|----|
|     |      |    |

| 供試体<br>No. | 配筋  | 充てん率  | 実際の<br>状況 | 判定結果 | 中心振動数<br><i>f<sub>k</sub>(kHz)</i> | 抽出開始<br>時刻t <sub>h</sub> (×10 <sup>-5</sup> 秒) | 抽出時間幅<br><i>t</i> <sub>a</sub> (×10 <sup>-5</sup> 秒) |
|------------|-----|-------|-----------|------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1          | 無   | シース   | 無し        | _    | 44                                 | 17.2~21.2                                      | 6.5                                                  |
| 2          | 無   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 44                                 | 17.2~21.2                                      | 6.5                                                  |
| 3          | 無   | 50%   | 未充てん      | 未充てん | 44                                 | 17.2~21.2                                      | 6.5                                                  |
| 4          | 無   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 44                                 | 17.2~21.2                                      | 6.5                                                  |
| 5          | 無   | 途中充てん | 未充てん      | 充てん  | 44                                 | 17.2~21.2                                      | 6.5                                                  |
| 6          | 軸   | シース   | 無し        |      | 41                                 | 17.0~22.0                                      | 7.0                                                  |
| 7          | 軸   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 41                                 | 17.0~22.0                                      | 7.0                                                  |
| 8          | 軸   | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 41                                 | 17.0~22.0                                      | 7.0                                                  |
| 9          | 横   | シース   | 無し        |      | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |
| 10         | 横   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |
| 11         | 横   | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |
| 12         | 軸+横 | シース   | 無し        |      | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |
| 13         | 軸+横 | 100%  | 充てん       | 未充てん | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |
| 14         | 軸+横 | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 44                                 | 17.0~19.5                                      | 7.0                                                  |

# 表-6 過去の計測経験に基づく計測結果(かぶり70mm)

表-7 過去の計測経験に基づく計測結果(かぶり170mm)

| 供試体<br>No. | 配筋  | 充てん率  | 実際の<br>状況 | 判定結果 | 中心振動数<br>f <sub>k</sub> (kHz) | 抽出開始<br>時刻t <sub>h</sub> (×10 <sup>-5</sup> 秒) | 抽出時間幅<br><i>t</i> <sub>a</sub> (×10 <sup>-5</sup> sec) |
|------------|-----|-------|-----------|------|-------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 15         | 無   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 34~57                         | 82.9                                           | 3.0                                                    |
| 16         | 無   | 50%   | 未充てん      | 未充てん | 34~57                         | 83.9                                           | 3.0                                                    |
| 17         | 無   | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 34~57                         | 84.9                                           | 3.0                                                    |
| 18         | 無   | 途中充てん | 未充てん      | 未充てん | 34~57                         | 85.9                                           | 3.0                                                    |
| 19         | 軸   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 34~57                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |
| 20         | 軸   | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 34~57                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |
| 21         | 横   | 100%  | 充てん       | 未充てん | 34~56                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |
| 22         | 横   | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 34~56                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |
| 23         | 軸+横 | 100%  | 充てん       | 未充てん | 34~56                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |
| 24         | 軸+横 | 0%    | 未充てん      | 充てん  | 34~56                         | 79.3                                           | 3.0                                                    |

であったため,密度や含水比など超音波伝搬に及ぼすコンクリートの特性に関して,表-6,表-7に示す設定では適切ではなかった可能性がある。

そこで、実際の充てん状況と比較しつつ、計測結果に 影響を及ぼす指標である*f*<sub>k</sub>, *t*<sub>h</sub>, *t*<sub>a</sub>を調整するキャリブレ ーションを実施した。このキャリブレーションは、PC 桁では小口径のドリルで数箇所を削孔して得られる目視 による判定結果と比較することで行うことを想定してい る。構造物の供用状態などに依存して超音波伝搬特性が 変化する可能性があり、現状ではこの変化を説明できる 一般法が確立されていないため、このような補正を行う ことで対応することとした。本研究でキャリブレーショ ンに用いた供試体は、No.2, 7, 10, 15, 19, 21 の6体 である。この6体のキャリブレーションにより*f*<sub>k</sub>, *t*<sub>h</sub>, *t*<sub>a</sub> を再設定し、その結果を用いて他の供試体についても再 判定を行うこととした。

例えば, No.2 と No.4 について, 図-5 (a) に示す充

てん判定用スペクトルを確認すると、実構造物における 経験的な数値として $f_k$ =44kHzとした場合(表-6参照), No.2 は 40kHz 付近の周波数が, No.4 は 20kHz 付近の周 波数が卓越しており, No.2 が未充てん, No.4 を充てんと 誤判定した。この理由として、若材齢コンクリート供試 体で測定したため、超音波の伝搬特性が異なり、その結 果、シースおよびシース以外からの反射波の卓越振動数 が異なった可能性がある。また、 $t_h$ 、 $t_a$  は表-6、表-7 に記載の範囲で測定技術者が経験的に判断<sup>例えば 3), 4)</sup>して いた。

そこで、キャリブレーションとして、No.2 で計測され た周波数スペクトルに対し、 $f_k$ を変化させながら Sin 関 数を乗じ、卓越する周波数帯が発生した 158.4kHz に設定 した。 $t_h$  は事前に測定したコンクリート中の音速から算 出された時刻を設定した。 $t_a$  はシース以外からの反射波 の影響を含まない範囲で極力大きい値とするため、 $t_a$ =1.9×10<sup>-5</sup>~4.3×10<sup>-5</sup> (秒)まで、変化させながら判定を



| 表 — 8    | 再判定結果 | (かぶり | 70mm)     |
|----------|-------|------|-----------|
| <u> </u> |       |      | 1 011111/ |

| 供試体<br>No. | 配筋  | 充てん率  | 実際の<br>状況 | 判定結果 | 中心振動数<br>f <sub>k</sub> (kHz) | 抽出開始<br>時刻t <sub>h</sub> (×10 <sup>-5</sup> 秒) | 抽出時間幅<br>t <sub>a</sub> (×10 <sup>-5</sup> 秒) |
|------------|-----|-------|-----------|------|-------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1          | 無   | シース   | 無し        | —    | 60~158.4                      | 16.9                                           | 1.9~4.3                                       |
| 2          | 無   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~158.4                      | 16.9                                           | 1.9~4.3                                       |
| 3          | 無   | 50%   | 未充てん      | 未充てん | 60~158.4                      | 16.7                                           | 1.9~4.3                                       |
| 4          | 無   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~158.4                      | 17.0                                           | 1.9~4.3                                       |
| 5          | 無   | 途中充てん | 未充てん      | 未充てん | 60~158.4                      | 16.6                                           | 1.9~4.3                                       |
| 6          | 軸   | シース   | 無し        | —    | 60~158.4                      | 16.9                                           | 1.9~4.3                                       |
| 7          | 軸   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~158.4                      | 16.9                                           | 1.9~4.3                                       |
| 8          | 軸   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~158.4                      | 16.9                                           | 1.9~4.3                                       |
| 9          | 横   | シース   | 無し        |      | 60~156                        | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |
| 10         | 横   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~156                        | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |
| 11         | 横   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~156                        | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |
| 12         | 軸+横 | シース   | 無し        | _    | 60~158.4                      | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |
| 13         | 軸+横 | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~158.4                      | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |
| 14         | 軸+横 | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~158.4                      | 16.4                                           | 1.9~4.3                                       |

| 供試体<br>No. | 配筋  | 充てん率  | 実際の<br>状況 | 判定結果 | 中心振動数<br>f <sub>k</sub> (kHz) | 抽出開始<br>時刻 <i>t</i> <sub>h</sub> (×10 <sup>-5</sup> sec) | 抽出時間幅<br><i>t</i> <sub>a</sub> (×10 <sup>-5</sup> sec) |
|------------|-----|-------|-----------|------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 15         | 無   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~159.8                      | 8.1                                                      | 0.2                                                    |
| 16         | 無   | 50%   | 未充てん      | 未充てん | 60~159.8                      | 8.0                                                      | 0.2                                                    |
| 17         | 無   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~159.8                      | 8.2                                                      | 0.2                                                    |
| 18         | 無   | 途中充てん | 未充てん      | 未充てん | 60~159.8                      | 8.2                                                      | 0.2                                                    |
| 19         | 軸   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~156                        | 7.9                                                      | 0.2                                                    |
| 20         | 軸   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~156                        | 7.9                                                      | 0.2                                                    |
| 21         | 横   | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~156                        | 8.0                                                      | 0.2                                                    |
| 22         | 横   | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~156                        | 8.0                                                      | 0.2                                                    |
| 23         | 軸+横 | 100%  | 充てん       | 充てん  | 60~156                        | 8.0                                                      | 0.2                                                    |
| 24         | 軸+横 | 0%    | 未充てん      | 未充てん | 60~156                        | 8.0                                                      | 0.2                                                    |

表-9 再判定結果(かぶり170mm)

行った。

図-5 (b) に、No.2の再度判定した時の充てん判定用 スペクトルを示す。図に示すように、 $t_a=1.9\times10^{-5}\sim4.3\times10^{-5}$ (秒)とすると、80kHz付近の周波数が卓越している ことが確認できる。No.2とPCグラウトの充てん率のみ 異なるNo.6について、No.2の検討で設定した $f_k$ 、 $t_h$ を用 いて、同様に $t_a=1.9\times10^{-5}\sim4.3\times10^{-5}$ (秒)としたところ、 図-5 (c)に示す充てん判定用スペクトルを得た。図か らは、120kHz付近の周波数が卓越していることが確認で きる。この結果から、超音波法によりNo.2が充てん、 No.4が未充てんと判定した。

**表-8** にシースかぶりが 70mm の再判定結果を, **表-9** にシースかぶりが 170mm の再判定結果を示す。再判定 では,全ての充てん状況を正しく判定していることが確 認できる。

#### 4.3 鉄筋の有無の影響

本研究における検討では, 表-8, 表-9に示すとおり, 軸方向鉄筋と横方向鉄筋の有無による, *f<sub>k</sub>*, *t<sub>h</sub>*, *t<sub>a</sub>*の明確 な違いは確認できなかった。これは,シースのかぶりが 小さい場合は探触子間隔を広げることで,鉄筋からの反 射波の影響を小さくしているためと考えられる。またシ ースのかぶりが大きい場合は,探触子間隔を狭くするこ とで,シースと鉄筋からの直接反射波の受信時刻に違い を発生させ,抽出開始時刻と幅を適切に設定できたため と考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では,超音波法による PC グラウトの充てん調 査の測定精度を向上させることを目的に,供試体を用い た PC グラウトの充てん調査法の検証を実施した結果, 以下のことが明らかとなった。

(1) 実構造物と若材齢コンクリート供試体では、グラウ

ト充てん状況の判定において、シースからの反射波 の抽出方法や分析方法において異なる設定が必要で あった。これは、シースや鉄筋の配置情報だけでな く、コンクリートの品質も考慮に入れて判定を行う 必要があることを示唆している。

(2) 判定結果に影響を与えるパラメータ(f<sub>k</sub>, t<sub>h</sub>, t<sub>a</sub>)を適切に設定することで、判定の精度が大幅に向上することを確認した。本研究では、6 体の結果により f<sub>k</sub>, t<sub>h</sub>, t<sub>a</sub>を再設定することで他の18 体に対する判定の精度が向上した。本手法を実構造物に適用する場合には、数点の小口径のドリル削孔結果と比較しつつ判定を行うのがよいと考えられる。

なお, PC グラウトの充てん判定において重要なパラメ ータとなる f<sub>k</sub>, t<sub>h</sub>, t<sub>a</sub>の設定は, 今後も実構造物において 測定データを蓄積し, より明確な判定基準の確立が望ま しいと考える。

### 参考文献

- 石橋忠良: PC 鉄道構造物の劣化事例と対策, プレス トレストコンクリート, Vol.45, No.1, pp.72-75, 2003
- 原幹夫,本間淳史,青木圭一,廣瀬正行:広帯域超 音波探査法を用いた PC グラウトの充填度測定,第 12 回プレストレストコンクリートの発展に関する シンポジウム論文集,pp.61-64,2003
- 築山有二,谷井敬春,鳶川淳丈,衣笠康広,緒方紀 夫,亀山輝夫,廣瀬正行:受発信子間隔が広帯域超 音波反射法の判定精度に及ぼす影響,土木学会年次 学術講演会概要集,Vol.65, pp.439-440, 2010
- 湯間謙次,柏原茂,廣瀬正行,野村倫一:広帯域超 音波法を用いた PC 構造物の充填状況確認調査,土 木学会年次学術講演会概要集, Vol.65, pp.447-448, 2010