

## 超音波法によるコンクリートのひび割れ深さ推定式と適用条件の検討(2)

### Consideration of Applicable Condition and Equation for Crack Depth Estimate of Concrete by Pulse Velocity Method (2)

緒方 英彦\*, 服部 九二雄\*, 平石 聖\*\*

OGATA Hidehiko\*, HATTORI Kunio\* and HIRAISHI Takashi\*\*

#### 1. はじめに

超音波を用いたコンクリートのひび割れ深さ推定方法には、Tc - To法 (L - L方式), デルタ方式, 近距離迂回波方式, T法, BS方式, 回折波方式 (ランプ法), S-S方式, R-S方式, レスリー法, 低周波横波超音波法がある。ただし, 各推定方法で用いる式の構築背景及び適用条件は, これまで明確にされておらず, 使用者は推定式を暗に利用してひび割れ深さ推定を行ってきた感がある。そこで前報では, 一般的に用いられる Tc - To法, デルタ方式, 近距離迂回波方式の正確な利用方法を明らかにするために, ひび割れ深さ推定式及び適用条件を検討した<sup>1)</sup>。

本報では, 特に利用性が高いデルタ方式を対象に, ひび割れ深さ推定式を再検討し, あわせて推定精度に影響を及ぼす要因の検討を行った。

#### 2. デルタ方式の本質

デルタ方式は, 図1に示すように発振子と受振子をひび割れを挟んで不等に配置して伝播時間を測定し, ひび割れ深さを次式から推定する方法である。

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{T^2 - R^2 + (V_o \cdot t_c)^2}{2V_o \cdot t_c} \right\}^2 - T^2} \quad (1)$$

$d$ : ひび割れ深さの推定値 (mm),  $T$ : 発振子からひび割れまでの距離 (mm),  $R$ : 受振子からひび割れまでの距離 (mm),  $V_o$ : 健全部における各端子間の表面走査法による伝播速度 (km/s),  $t_c$ : ひび割れを挟んで測定した伝播時間 ( $\mu$ s)

前報では, 式(1)のデルタ方式のひび割れ深さ推定式を展開整理することで, 推定式の適用条件が Tc - To法と同じになることを示した。本報では, まずひび割れ深さ推定式を再検討し, デルタ方式の本質を明らかにする。

式(1)を種々検討した結果, ひび割れ深さ推定式は

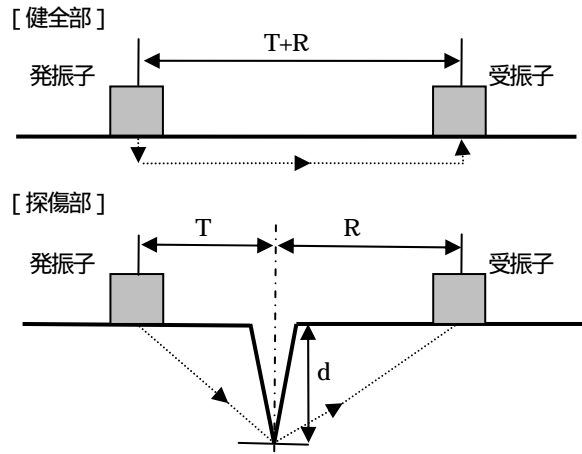


図1 デルタ方式

次の手順で構築されることが明らかになった。

探傷部での伝播距離  $L_c$  は, 発・受振子からひび割れまでの距離  $T$  及び  $R$  とひび割れ深さ  $d$  の直角三角形における斜辺とする。

$$L_c = \sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2} \quad (2)$$

伝播距離の算定に必要なひび割れ深さ  $d$  は, 推定されるものであり, ひび割れ深さの真値  $d'$  とは基本的に異なるが, 推定式では  $d = d'$  として考える。また, 両者の伝播距離は同じになるとする。

$$\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2} = \sqrt{T^2 + d'^2} + \sqrt{R^2 + d'^2} \quad (3)$$

$$\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2} = \sqrt{T^2 + d'^2} + \sqrt{R^2 + d'^2} \quad (4)$$

式(4)を二乗し, 両辺にそれぞれ  $T^2$  を加えて整理すると次式が得られる。

$$2(T^2 + d^2) + 2\sqrt{T^2 + d^2} \cdot \sqrt{R^2 + d^2} = 2T^2 + 2d^2 + R^2 - R^2 + 2\sqrt{T^2 + d^2} \cdot \sqrt{R^2 + d^2} \quad (5)$$

両辺を  $2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})$  で割り, 整理する。

$$\frac{2\sqrt{T^2 + d^2} \cdot \sqrt{T^2 + d^2} + 2\sqrt{T^2 + d^2} \cdot \sqrt{R^2 + d^2}}{2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})} = \frac{T^2 - R^2 + (T^2 + d^2) + (R^2 + d^2) + 2\sqrt{T^2 + d^2} \cdot \sqrt{R^2 + d^2}}{2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})}$$

\* 鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, \*\* 鳥取大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Tottori University, 超音波法, コンクリート, ひび割れ深さ, 表面走査法, デルタ方式

$$\sqrt{T^2 + d^2} = \frac{T^2 - R^2 + (\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})^2}{2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})} \quad (6)$$

式(6)を二乗し、整理すると次のようになる。

$$T^2 + d^2 = \left\{ \frac{T^2 - R^2 + (\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})^2}{2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})} \right\}^2$$

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{T^2 - R^2 + (\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})^2}{2(\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2})} \right\}^2 - T^2} \quad (7)$$

ここで、探傷部での伝播速度  $V_c$  は、

$$V_c = \frac{L_c}{t_c} = \frac{\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2}}{t_c} \quad (8)$$

で表され、これを变形した式

$$\sqrt{T^2 + d^2} + \sqrt{R^2 + d^2} = V_c \cdot t_c \quad (9)$$

を式(7)に代入すると次式が得られる。

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{T^2 - R^2 + (V_c \cdot t_c)^2}{2V_c \cdot t_c} \right\}^2 - T^2} \quad (10)$$

この式(10)がデルタ方式における本来のひび割れ深さ推定式である。しかし、 $V_c$ を求めるためには、ひび割れ深さ  $d$ が既知でなければならず、このままの式ではひび割れ深さ推定が行えない。そこで、超音波は表面からの深さに関係なくコンクリート内部において一様に伝播するとして  $V_o = V_c$ の条件を加える。これにより、ようやく式(1)が得られる。ちなみに、健全部での伝播速度  $V_o$ は、測定される健全部での伝播時間  $t_o$ を用いて、次式で求められる。

$$V_o = \frac{T + R}{t_o} \quad (11)$$

### 3. 健全部と探傷部における伝播速度の関係

デルタ方式の推定精度は、著者らのこれまでの実績によると、必ずしも高いものではない。精度が劣る原因としては、発・受振子の設置位置等の測定上の問題も考えられるが、本報ではひび割れ深さ推定式の構築過程から、その一因を検討することにした。

デルタ方式におけるひび割れ深さ推定式の構築過程で注目すべき点は、本来の式である式(10)から一般的な式である式(1)に直すところである。つまり、探傷部での伝播速度  $V_c$ と健全部での伝播速度  $V_o$ が同じになるという条件を加えて式が構築されていることである。そこで、 $V_c$ と  $V_o$ が実際に同じ値になるかどうかを、人工的なひび割れを有するコンクリート供試体での実験結果を用いて検討してみた。

今回作製したコンクリート供試体は2種類である。一つ目は、寸法が  $900 \times 150 \times 300$ cm で、上面とな

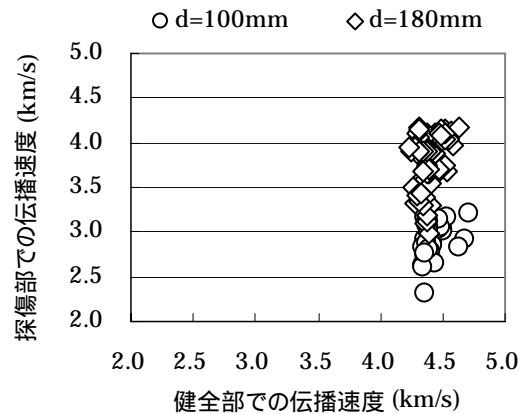


図2 健全部と探傷部における伝播速度の関係

る  $900 \times 150$ cm の中央に深さ  $100$ mm のひび割れを有するものである。二つ目は、寸法が  $900 \times 100 \times 380$ mm で、上面となる  $900 \times 100$ cm の中央に深さ  $180$ mm のひび割れを有するものである。両者とも同じ配合のコンクリートで作製しており、鉄板を用いて人工的に作製したひび割れの幅も  $1.4$ mm と同じである。伝播時間の測定は、図1に基づいて健全部と探傷部の両者で行い、発・受振子を  $5$ cm 間隔で移動しながら行った。測定日は、材齢  $28$ 日である。

健全部と探傷部における伝播速度の関係をグラフ化すると、図2のようになる。ここで、測定した伝播時間を用いての伝播速度の算定は、健全部で式(11)、探傷部で式(8)により行った。

健全部での伝播速度は、平均値が  $4.399$ km/s、標準偏差が  $0.086$ km/s であり、探傷部での伝播速度は、平均値が  $3.511$ km/s、標準偏差が  $0.480$ km/s である。このように、健全部と探傷部における伝播速度は同じにならず、特に探傷部での伝播速度は健全部よりも小さく、且つばらつきも大きい。

### 4. おわりに

デルタ方式のひび割れ深さ推定式では、探傷部と健全部での伝播速度が同じになることを条件に式が構築されている。しかし、実際は、両者が同じにならない。推定精度を向上させるためには、式中で用いている伝播速度を如何に適当に求めるかであるが、その具体的な対処方法は現在検討途中であり、実験による検証を加えて、次の機会に報告したいと思う。

### 参考文献

- 1) 緒方英彦, 服部功二雄, 佐藤周之: 超音波法によるコンクリートのひび割れ深さ推定式と適用条件の検討, 平成16年度 農業土木学会大会講演会, pp.232-233 (2004)