

# 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

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

緒方 英彦\*, 服部 九二雄\*, 佐藤周之\*\*

OGATA Hidehiko\*, HATTORI Kunio\* and SATO Shushi\*\*

### 1. はじめに

超音波は、20kHz 以上の周波数の音波のことである。この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、T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>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。また、超音波の測定機器も、数多くの種類がある (技術情報協会, 2000; 小林, 1993; 日本非破壊検査協会, 1994)。

ひび割れ深さを正確に推定することは、コンクリート構造物の補修や補強対策を策定する上で重要になるが、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きた観がある。性能照査を踏まえたコンクリート構造物の耐久性診断では、性能評価手法を明確にする必要があることから、各ひび割れ深さ推定式の本質と適用条件を明確にしておく必要がある。

本研究では、一般的に利用される T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>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、各方法のひび割れ深さ推定式及び適用条件を検討した。

### 2. T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>法

T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>法は、図1に示すように、まず試験体の健全部表面で一振動子縦波発振子と受振子を間隔 2a で配置し、基準となる伝播時間 t<sub>o</sub> を表面走査法により求める。次に、発振子と受振子をひび割れが中央になるように間隔 2a で配置し、伝播時間 t<sub>c</sub> を求め、次式からひび割れ深さを推定する。

$$d = a\sqrt{(t_c/t_o)^2 - 1} \quad (1)$$

d: ひび割れの深さ (mm), a: 発・受振子からひび割れまでの距離 (mm), t<sub>o</sub>: 健全部表面での伝播時間 (μs), t<sub>c</sub>: ひび割れを挟んで測定した伝播時間 (μs)

式 (1) の構築背景の検討結果を以下に示す。

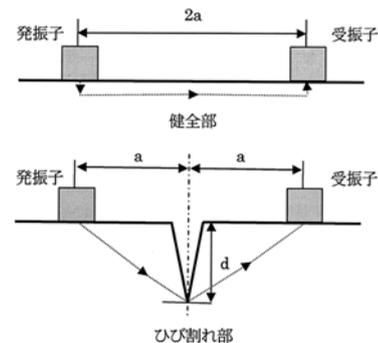


図1 T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>法 (L-L方式)  
T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub> method (L-L method)

健全部の伝播速度を V<sub>o</sub>, ひび割れを挟んでの伝播速度を V<sub>c</sub> とする。V<sub>o</sub> 及び V<sub>c</sub> の算定式は、測定される伝播時間と伝播距離を用いて、次のように表される。ここで、V<sub>o</sub> の伝播距離は、発振子と受振子の端子間距離 2a とし、V<sub>c</sub> の伝播距離は、発・受振子からひび割れまでの距離 a とひび割れ深さ d の三角形における二辺とする。

$$V_o = \frac{2a}{t_o} \quad (2)$$

$$V_c = \frac{2\sqrt{a^2 + d^2}}{t_c} \quad (3)$$

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<sub>o</sub> = V<sub>c</sub> とする。

$$\frac{2a}{t_o} = \frac{2\sqrt{a^2 + d^2}}{t_c} \quad (4)$$

式 (4) を d について展開すると式 (1) を得ることができる。

ひび割れ深さ推定式を構築する上で用いた条件は、推定式の適用条件になる。T<sub>c</sub>-T<sub>o</sub>法のひび割れ深さ推定式の適用条件は、次のとおりである。①V<sub>o</sub>の伝播距離は、発振子と受振子の端子間距離とする。②V<sub>c</sub>の伝播距離は、発・受振子からひび割れまでの距離とひび割れ深さの三角形における二辺とする。③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。また、①からは、縦波発振子を利用したとしても、発振子と受振子を同一表面に設置した表面走査法の場合、超音波はコン

\* 鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, \*\* 島根大学生物資源科学部, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, 超音波法, コンクリート, ひび割れ深さ, 表面走査法, 伝播距離

クリート内部を透過せず，表面を伝播することが分かる．

### 3. デルタ方式

デルタ方式は，図 2 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求める方法である．

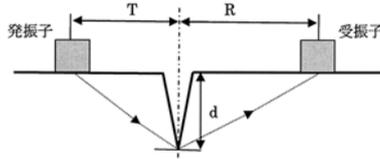


図 2 デルタ方式  
Delta method

$$d = \sqrt{\left\{ \frac{T^2 - R^2 + (V \cdot t)^2}{2V \cdot t} \right\}^2 - T^2} \quad (5)$$

$d$  : ひび割れの深さ (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) ,  $V$  : 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) ,  $t$  : ひび割れを挟んで測定した伝播時間 ( $\mu$ s)

式 (5) に  $T = R$  の条件を加えると，次のようになる．

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\left\{ \frac{T^2 - T^2 + (V \cdot t)^2}{2V \cdot t} \right\}^2 - T^2} \\ &= \sqrt{\left( \frac{1}{2} V \cdot t \right)^2 - T^2} \end{aligned} \quad (6)$$

$V$  は健全部における伝播速度であるので，算定式は次のようになる．ここで，伝播距離は発振子と受振子の端子間距離とし，そのときの伝播時間を  $t_o$  とする．

$$V = \frac{2T}{t_o} \quad (7)$$

式 (7) を式 (6) に代入し整理すると，Tc-To 法のひび割れ推定式である式 (1) を得ることができる．このことから，Tc-To 法で示した適用条件は，デルタ方式にも該当する．

### 4. 近距離迂回波方式

近距離迂回波方式は，図 3 に示すように発振子と受振子をひび割れを挟んで近接して配置し，ひび割れ先端までの往復伝播時間  $t$  を測定して，ひび割れ深さを次式から求める方法である．

$$d = V_o \cdot \frac{t}{2} \quad (8)$$

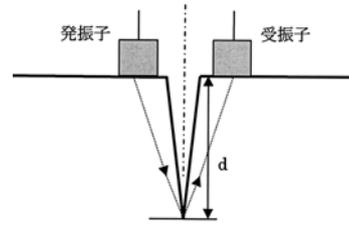


図 3 近距離迂回波方式  
Method of short distance circumvent wave

$d$  : ひび割れの深さ (mm) ,  $V_o$  : 測定物の音速 (km/s) ,  $t$  : 往復伝播時間 ( $\mu$ s)

式 (8) の構築背景の検討結果を以下に示す．

発振子と受振子は，ひび割れに近接して設置することから，式 (3) に  $a = 0$  という条件を加えると次のようになる．

$$V_c = \frac{2\sqrt{d^2}}{t_c} = \frac{2d}{t_c} \quad (9)$$

$$d = V_c \cdot \frac{t_c}{2} \quad (10)$$

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， $V_c$  は健全部における伝播速度  $V_o$  と同じであるという条件を式 (10) に加えると，式 (8) を得ることができる．このことから，Tc-To 法で示した適用条件は，近距離迂回波方式にも該当する．また， $a = 0$  という条件を加えていることから，発振子と受振子はひび割れの極近距離に設置しなければならない．この場合，高周波の端子では超音波の散乱が多く減衰が著しいので，指向性を少なくするために周波数のより小さい端子を用いる． $V_o$  を超音波ではなく測定物の音速としているのは，これを踏まえてのことである．

### 5. おわりに

発振子と受振子を同一表面に設置する表面走査法では，超音波の伝播経路が明確でなく，近年では波動応答解析等による検討も行われている．しかし，ひび割れ深さ推定式の検討からは，伝播距離は端子間距離となり，超音波はコンクリート内部を透過しないことになる．このことは，ひび割れ深さ推定に限らず，表面走査法によるコンクリートの品質検査にも重要なことである．

参考文献 技術情報協会 (2000) : コンクリート構造物の非破壊検査・診断技術，技術情報協会，小林一輔 (1993) : コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，日本非破壊検査協会 (1994) : コンクリート構造物の非破壊試験法，養賢堂