

BS4408 の超音波法によるコンクリートの表面劣化深さ推定方法の検討

Consideration of the Estimating the Thickness of a Layer of Inferior Quality Concrete by Ultrasonic Pulse Method of BS4408

○緒方 英彦*
OGATA Hidehiko*

1. はじめに

寒冷地において凍害の進行が懸念されるコンクリート構造物においては、凍害劣化深さとして表される表面からの劣化深さの推定が行われる。非破壊で表面劣化深さを推定する方法には超音波法があり、その適用事例については幾つかの報告がある¹⁾²⁾。この超音波法によるコンクリートの表面劣化深さ推定方法は、柏により日本に紹介³⁾されており、オリジナルは1974年に制定されたBS4408 Part 5に記されている方法⁴⁾である。

様々な環境の下で供用されているコンクリート構造物の表面劣化深さを非破壊により精度よく推定するためには、推定方法の構築背景を適切に把握することが必要である。そこで本文では、BS4408 Part 5に記されている超音波法による表面劣化深さ推定方法の誘導過程および適用条件を検討した結果について報告する。

2. 超音波の表面走査法による表面劣化深さの推定

BS4408 Part 5 に記されている超音波法による表面劣化深さ推定式は、式(1)である。

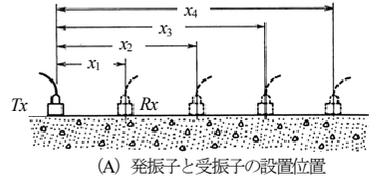
$$t = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}} \quad (1)$$

t : 劣化部の厚さ(mm), V_d : 劣化部の超音波伝播速度 (劣化部の探子間距離と超音波伝播時間の直線の勾配の逆数) (km/s), V_s : 健全部の超音波伝播速度 (健全部の探子間距離と超音波伝播時間の直線の勾配の逆数) (km/s), x_0 : 直線の傾向が変わる位置(mm)

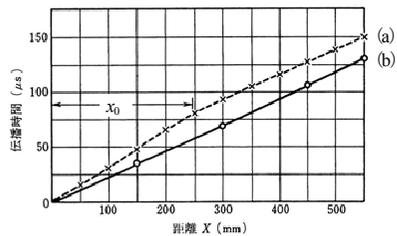
式(1)は、図-1に示すように受振子の設置位置を変えて表面走査法により超音波伝播時間を測定した場合、(a) 表面が劣化したコンクリートと (b) 均一なコンクリートでは、探子間距離と伝播時間の直線の傾向が変わる位置が存在することに基いている。

3. 表面劣化深さ推定方法の誘導過程および適用条件

文献³⁾⁴⁾からは、縦鉄筋がある部材の超音波パルス



(A) 発振子と受振子の設置位置



(B) 探子間距離と伝播時間の関係

- (a) 表層50mmが劣化(劣化)したコンクリートの場合
- (b) 均一なコンクリートの場合

図-1 表面走査法による超音波伝播速度の測定

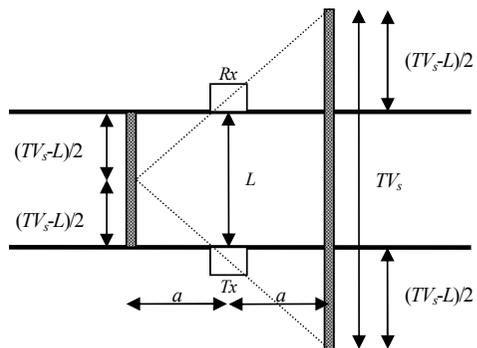


図-2 縦鉄筋がある部材の超音波パルスの伝播

の伝播速度の算定式である式(2)をもとに、鉄筋の影響がない場合の条件式である式(3)を利用して式(1)が構築されていることがわかる。

$$V_c = \frac{2aV_s}{\sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2}} \quad (2)$$

$$\frac{a}{L} > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_c}{V_s + V_c}} \quad (3)$$

*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, BS4408, 超音波法, 表面劣化深さ

a : 鉄筋と探子の距離(mm), L : 伝播距離(mm), T : 伝播時間(μ s), V_s : 鉄筋の超音波伝播速度(km/s), V_c : コンクリートの超音波伝播速度(km/s)

(1) 縦鉄筋がある部材の超音波パルスの伝播

図-2を参照しながら式(2)の誘導過程および適用条件を検討する。

① TV_s (右側の鉄筋) は, 伝播時間 T において速度 V_s で超音波パルスが本来伝播する距離を示す。

② 平行な鉄筋の間のコンクリートに超音波探子を設置して鉄筋に超音波パルスが反射する場合の伝播距離は式(4)となり, 伝播速度は式(5)で表される。

$$d = 2\sqrt{\left(\frac{TV_s - L}{2}\right)^2 + a^2} = \sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2} \quad (4)$$

$$V_s = \frac{\sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2}}{T_s} \quad (5)$$

③ コンクリートの伝播速度は, 次式で表される。

$$V_c = \frac{L}{T_c} \quad (6)$$

④ 鉄筋に超音波パルスが最短距離 (直角 90°) で反射する場合の a は, 次式で表される。

$$a = \frac{TV_s - L}{2} \quad (7)$$

コンクリートの伝播速度 V_c は式(8)で表されることから, 式(9)が成立する。ここで, $L=2a$ となる。

$$V_c = \frac{L}{T_c} = \frac{2 \times (TV_s - L) / 2}{T_c} = \frac{2a}{T_c} \quad (8)$$

$$2\left(\frac{TV_s - L}{2}\right) = L \quad TV_s = 2L \quad (9)$$

⑤ $T_s = T_c$ のとき, (5)式と(8)式から伝播時間 T の速度 V_c は, 次式で表される。

$$\frac{2a}{V_c} = \frac{\sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2}}{V_s} \quad (10)$$

$$V_c = \frac{2aV_s}{\sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2}}$$

(2) 鉄筋の影響がない場合の条件式

① 式(2)を展開して整理する。

$$\sqrt{4a^2 + (TV_s - L)^2} = \frac{V_s}{V_c} 2a \quad 4a^2 + (TV_s - L)^2 = 4a^2 \cdot \frac{V_s^2}{V_c^2}$$

$$(TV_s - L)^2 = 4a^2 \left(\frac{V_s^2}{V_c^2} - 1 \right) = 4a^2 \left(\frac{V_s^2 - V_c^2}{V_c^2} \right)$$

$$\frac{1}{(TV_s - L)^2} = \frac{1}{4a^2} \left(\frac{V_c^2}{V_s^2 - V_c^2} \right)$$

$$\frac{1}{TV_s - L} = \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{V_c^2}{V_s^2 - V_c^2}} = \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{V_c^2}{(V_s + V_c)(V_s - V_c)}}$$

② 式(3)が成立するための条件は, 左辺と右辺より

次のようになる。

(左辺より)

$$TV_s - L = L \quad \rightarrow \quad V_s = 2\frac{T}{L} \quad (11)$$

鉄筋の伝播速度 V_s は T/L の2倍となる。

(右辺より)

$$V_c^2 = (V_s - V_c)^2 \quad \rightarrow \quad V_c = V_s - V_c \quad \rightarrow \quad V_s = 2V_c \quad (12)$$

鉄筋の伝播速度 V_s はコンクリートの伝播速度 V_c の2倍となる。

(3) 表面劣化深さ推定方法の適用条件

式(1)は, これまでに示してきたような誘導過程および適用条件の下に構築されたものであると考察でき, 式(1)を用いて表面劣化深さを推定するためには, 次の条件が満たされる必要がある。

条件1: 内部の健全なコンクリートの伝播速度 V_s は, 表面の劣化しているコンクリートの伝播速度 V_d の2倍でなければならない。

条件2: 伝播距離 L (発振子と受振子の距離 x) は, 鉄筋と探子の距離 a (劣化深さ d) の2倍でなければならない。

4. おわりに

BS4408 Part5 に記されている超音波法によるコンクリートの表面劣化深さ推定方法は, あくまでも表面は劣化しており内部は健全な状態にあることが前提となる。今回の検討からは, この方法により表面劣化深さを推定する上で, 表面と内部における超音波伝播速度の関係 (割合) が重要になることが明らかになった。今回の検討はあくまでも机上のものであり, 実験による確認は不可欠であるが, 推定値に期待される精度も踏まえて検証したい。また, この方法は, 表面が劣化したコンクリート構造物において表面改質剤による改質深さの推定にも発展できる可能性があり, その検討も進めていきたい。

引用文献

- 1) 遠藤裕丈ら: 非破壊による凍害深さの評価, コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する委員会報告書・論文集, 日本コンクリート工学協会, pp.293-298 (2008)
- 2) 緒方英彦ら: 超音波法によるコンクリート製開水路の凍害診断に関する研究—表面走査法による凍害劣化の評価—, 平成21年度農業農村工学会大会講演会, pp.518-518 (2009)
- 3) 柏忠二: コンクリートの非破壊試験法, 技報堂, pp.41-42 (1981)
- 4) BS4408: Recommendations for Non-Destructive Methods of Test for Concrete, Part 5 Measurement of the Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete, E3 Estimating the thickness of a layer of inferior quality concrete, British Standards Institution (1974)