

## 衝撃弾性波法によるひび割れ深さ測定の基礎的研究

|              |     |        |
|--------------|-----|--------|
| 伊藤建設(株)技術研究所 | 正会員 | ○首藤 浩一 |
| 伊藤建設(株)技術研究所 |     | 日比 紀夫  |
| 伊藤建設(株)技術研究所 | 正会員 | 岩野 聡史  |
| 東海大学土木工学科    | 正会員 | 極檀 邦夫  |

### 1. はじめに

現在、コンクリート表面に発生するひび割れの深さ測定には超音波法が用いられているが、超音波法では測定時にコンクリート表面の成形、グリスを塗るなどの作業が必要である。一方、衝撃弾性波法ではコンクリート表面の成形は必要ないため、作業効率から考えると衝撃弾性波法が有効であると考えられる。そこで今回、ひび割れ内部に水を5段階に分けて充填してひび割れ深さを変えて測定した。衝撃弾性波の伝搬経路、種類、速度を確認して、超音波法で適用しているひび割れ深さ計測方法が衝撃弾性波法でも適用できるか実験を行った。

### 2. 実験方法

測定状況および超音波法におけるひび割れ部で伝搬する縦弾性波の模式図を図1に示す。供試体に幅5mm程度で深さ190mmの切り込みを入れ、コンクリート表面に発生したひび割れと想定した。従来、超音波法で言われている弾性波の経路を確認する為、ひび割れに水をひび割れ深さに対し0%,25%,50%,75%,100%充填し、測定した。測定は鋼球打撃による縦弾性波の発振時間と縦弾性波が最初に受信点へ到達するまでの到達時間差を測定する。発振時間は打撃鋼球10mmに衝撃加速度計(PCB製350B03)を取り付け、受信点には加速度計(PCB製3352C66)を手で押しつけ計測する。超音波法での $T_c-T_0$ 法<sup>1)</sup>と同様にひび割れを発振点と受信点の中心とし、発振・受信点間距離 $L$ は、40mmから40mm間隔で600mmまで変化させた。

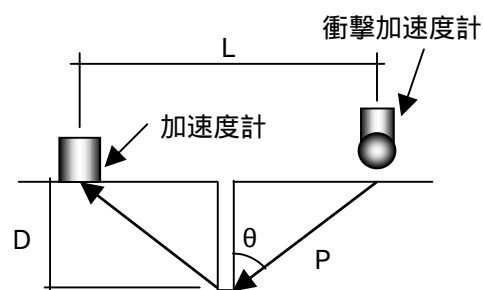


図1 超音波法における弾性波の伝搬経路

### 3. 測定結果

#### 3.1 ひび割れ付近の衝撃弾性波について

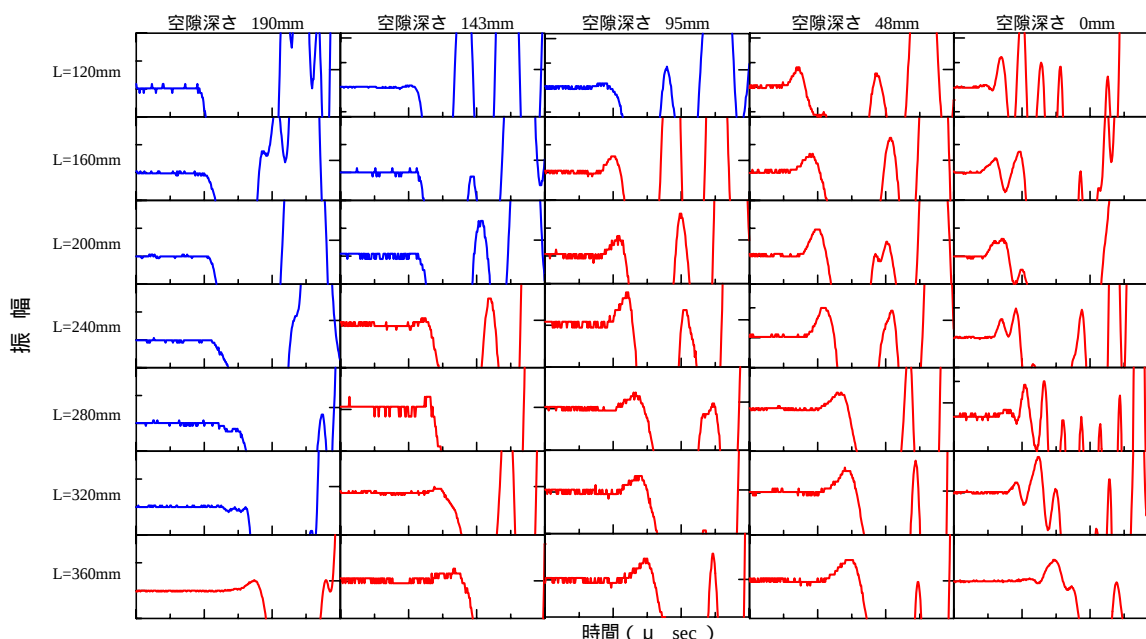


図2 深さ190mmにおける受信波形

キーワード：衝撃弾性波法、ひび割れ深さ、衝撃加速度計、回折法、伝搬時間

連絡先：〒143-0015 東京都大田区大森西 1-19-1 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190 E-mail ksyutou@itoken.co.jp

各測定状況で計測した受信波形を図2に示す。図2の青い波形が波形の初動が下向き、赤い波形が波形の初動が上向きの波形である。同じ発振・受信点間距離であっても充填率が異なると初期波形の位相が異なる。これは、入射角、反射角が臨界角より小さいと引張波が、大きいと圧縮波が受信点へ到達する性質から、充填率が異なると入射角、反射角が異なり、回折深さが異なっているということがわかる。

各測定状況で最初に観測される測定波形および衝撃弾性波の伝搬時間  $T_p$  と発振・受信点間距離  $L$  との関係を図3に示す。図3より両者の2乗は直線比例関係を示した。これは、鋼球打撃により入力した衝撃弾性波が最初に受信点へ到達する経路が超音波と同様に  $P$  (図1参照)だとすると、

$$P = \sqrt{L^2 + 4D^2} \quad (D: \text{ひび割れ深さ}) \cdots (\text{式1}) \text{ となる。}$$

ここで、 $V_p$  を弾性波速度とすると、到達時間  $T_p$  は

$$T_p = P/V_p = \sqrt{L^2 + 4D^2}/V_p \cdots (\text{式2}) \text{ となり、}$$

$$T_p^2 = (1/V_p^2) \cdot L^2 + (4D^2/V_p^2) \cdots (\text{式3})$$

となる。これから  $T_p$  と  $L$  の2乗は直線比例関係を示すこととなる。図3に示した測定結果は(式3)と一致することから、弾性波が図1に示す経路で伝搬したと判断できる。また、両者の関係式の傾きが弾性波速度、切片が回折深さを示すこととなる。図3の傾きが表す弾性波速度を算出すると各測定状況で 3700～3900m/s という値となった。

これから受信点へ最初に到達した衝撃弾性波の種類としては  $P$  波と考えられる。また、図3の各測定状況の充填率が大きいほど切片が0に近く、充填率が少ないほど切片が大きくなり、充填率によって回折深さが変化していることがここでもわかる。

### 3.2 ひび割れ深さの測定

ランプ法により受信波形における初期波形の位相が反転する距離  $L_0$  から  $D=L_0/2 \cdots$  (式4)により回折深さを計測した結果および圧縮波が到達する  $L$  の範囲で  $T_p^2$  と  $L^2$  の直線比例関係式を最小二乗法により求め、切片から計算した結果(回帰直線法)を表1に示す。回帰直線法では計測深さは充填率によって異なり、コンクリート表面から水表面までの深さとほぼ一致した。前述のとおり、充填率によって衝撃弾性波の回折深さは異なり、空気層と水の境界で回折していると考えられる。ランプ法ではひび割れ内部が空気である場合と水である場合は回折角度が異なった。これは空気と水の臨界角が異なるためであると考えられる。そのため、コンクリート表面からひび割れ内部の水面までの深さよりも浅い値となった。

### 4. まとめ

衝撃弾性波法においても超音波法と同様に衝撃弾性波がひび割れ先端(ひび割れ内の空気層と水の境界)をV字に回折することが確認でき、水の影響は受けるが伝搬時間と発振・受信点間距離の2乗の直線比例関係式を最小二乗法により求め、回帰直線の切片からひび割れ内の空気層と水の境界、回折深さを算出できた。このことから、超音波法で適用しているひび割れ計測方法が衝撃弾性波法でも適用できることがわかった。

また、ランプ法ではひび割れ内部に充填されている物質の臨界角の違いにより回折角度が異なるため、コンクリート表面からひび割れ内部の水面までの深さよりも浅い値となった。

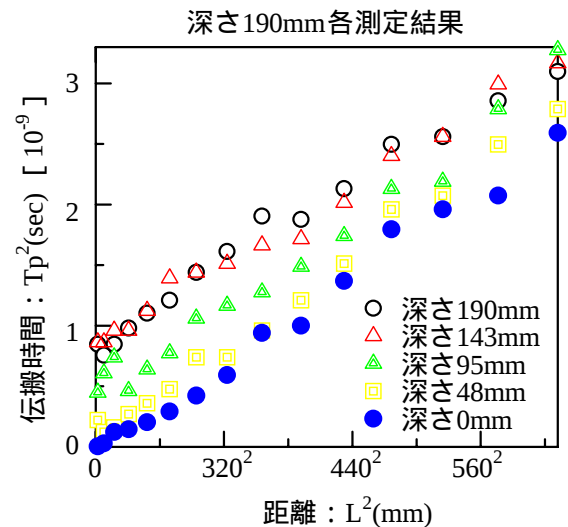


図3 各ひび割れ深さ計算結果

表1 ひび割れ深さ計算結果

| 表面から水までの深さ | 190mm     | 143mm     | 95mm    | 48mm    | 0mm |
|------------|-----------|-----------|---------|---------|-----|
| ランプ法       | 160～180mm | 100～120mm | 60～80mm | 20～40mm | -   |
| 回帰直線       | 233mm     | 176mm     | 99mm    | 49mm    | -   |