

衝撃弾性波法によるひび割れ深さの測定

伊藤建設(株)技術研究所	正会員	首藤 浩一
東海大学土木工学科	正会員	極檀 邦夫
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

1. はじめに

コンクリート構造物にひび割れが発生する原因として、温度を含めた乾燥収縮によるもの、施工によるもの、不良骨材によるものなど多様なものがある。コンクリート構造物の補修管理においてひび割れの形状の把握は重要だと言われている。現在、ひび割れ深さの測定には超音波法が主流であるが、超音波測定はコンクリート表面の成形やグリスを塗るなど時間がかかる。一方、衝撃弾性波法ではコンクリートの成形なしですぐ測定できる。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ている。そこで今回の実験では、ひび割れが存在する場合での弾性波の挙動について実験し、衝撃弾性波法によるひび割れ深さ計測方法について検討した。

2. 実験方法

測定状況およびひび割れ部で伝搬する縦弾性波の模式図を図 1 に示す。供試体表面に幅 5mm 程度で深さ 100、190mm の 2 種類の切れ込みを入れ、表面に存在するひび割れと想定して実験した。測定は鋼球打撃による縦弾性波の入力時間と縦弾性波が最初に受信点に到達する時間差を計測する。入力時間は打撃する直径 10mm の鋼球に衝撃加速度計 (PCB 製 350B03) を取り付け、受信点には加速度計 (PCB 製 352C66) を手で押しつけ計測する。超音波での T_C-T_0 法¹⁾と同様にひび割れを打点と受信点の中心とし、打点・受信点間距離 L は、40mm から 40mm 間隔で深さ 100mm では 400mm、深さ 190mm では 600mm まで変化させた。各条件での縦弾性波の伝搬経路を確認するため、ひび割れが無い状態、ひび割れに水を充填させた状態についても測定した。

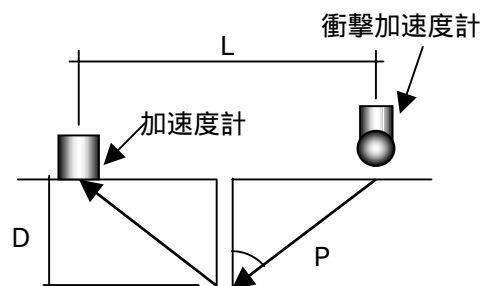


図 1 測定状況および弾性波伝搬模式図

3. 実験結果および考察

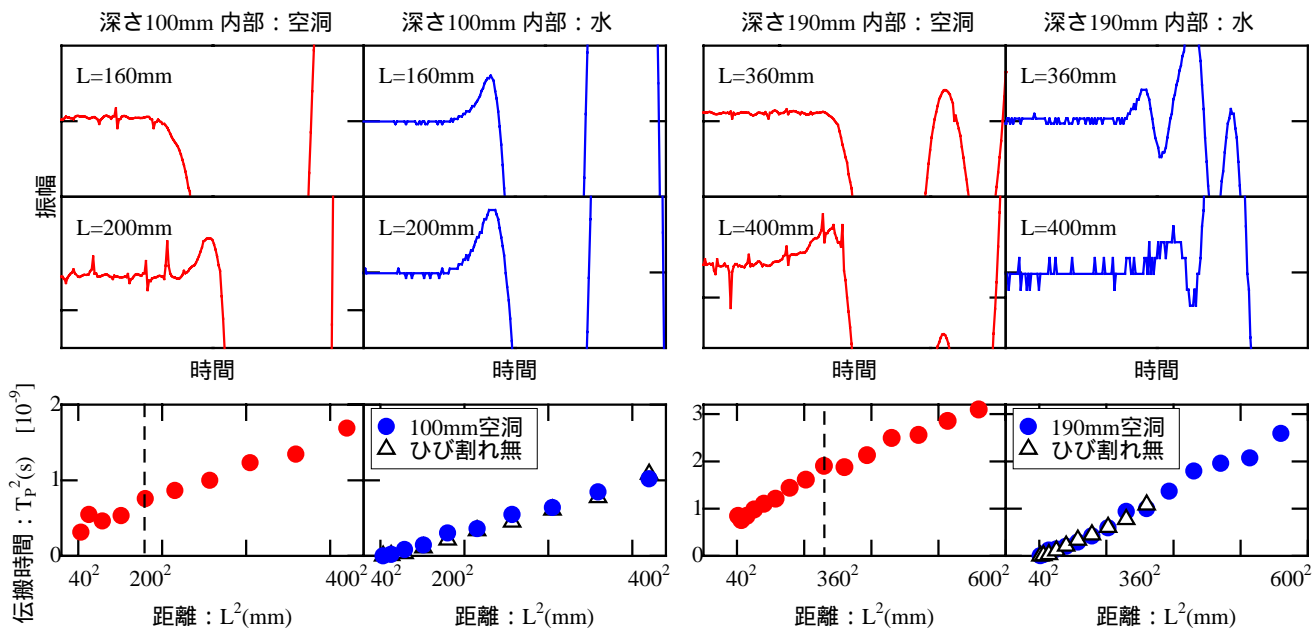


図 2 各測定状況での測定波形および各入力受信点距離での弾性波伝搬時間

各測定状況で受信点に最初に観測される測定波形および弾性波の伝搬時間 T_p と打点・受信点間距離 L との関係を図2に示す。図2より、 L の2乗と T_p の2乗は直線比例関係を示した。この理由を以下に示す。鋼球打撃により入力した弾性波が最初に受信点に到達する経路 P (図1参照) は、ひび割れ深さを D とすると、

$$P = \sqrt{L^2 + 4D^2} \cdots (式1) \text{ となる。} V_p \text{ を弾性波速度とすると、} T_p = P/V_p = \sqrt{L^2 + 4D^2}/V_p \cdots (式2)$$

となり、 $T_p^2 = (1/V_p^2) \cdot L^2 + (4D^2/V_p^2) \cdots (式3)$ が得られることとなる。これから、両者の2乗は直線比例関係を示し、両者の関係式の傾きが弾性波速度、切片がひび割れ深さを示すこととなる。

図2より、ひび割れが空洞の場合では、両者の2乗の直線比例関係は、ひび割れ深さ190mmでは距離400mm、深さ100mmでは距離200mmを境に、弾性波速度を示す傾きが変化している。さらに、受信点に最初に到達する測定波形の位相は、 L によって異なり、傾きが変化する距離を境に下に凸から上に凸の形状に変化した。以上から、受信点に最初に到達する弾性波の種類は L によって異なると考えられる。これは、超音波法のランプ法¹⁾に示されるように、打点からひび割れ先端への角度 (図1参照) によって、弾性波の回折現象が異なることが理由として考えられる。 θ が 45° 以上であれば、ひび割れの先端を回折し受信点へ圧縮波が到達するが、 θ が 45° 未満であれば、弾性波はひび割れ先端を通過し、受信点には引張波が到達するというものである。逆に言えば、受信点に上に凸の圧縮波が最初に観測される距離 L_0 が $\theta = 45^\circ$ となる距離であり、この時、ひび割れ深さ D は $D = L_0/2 \cdots (式4)$ により計測できる。

図3に L の2乗と T_p の2乗の回帰直線を、引張波が観測される範囲と圧縮波が観測される範囲でそれぞれ求めた結果を示す。ここで、回帰直線は各距離 L での引張波および圧縮波の到達時間を示し、 L が小さい範囲では図中実線の引張波が、 L が大きい範囲では図中破線で示した圧縮波が先に受信点に到達することとなる。また、両回帰直線の交点が、初めて圧縮波が引張波よりも先に受信点に到達する距離、つまり L_0 を示す。 L_0 を計算すると、ひび割れ深さ100mmでは217mm、深さ190mmでは336mmとなり、(式4)によりひび割れ深さを計測すると、深さ100mmでは108.5mm、深さ190mmでは168mmとなった。

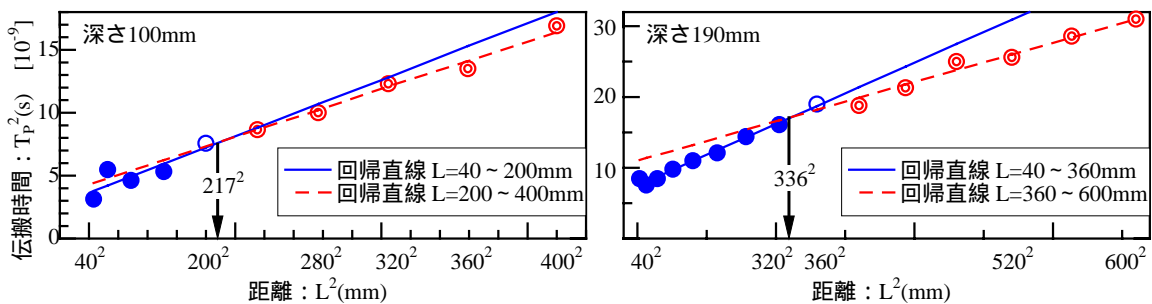


図3 ひび割れ深さ計測結果

一方、ひび割れに水を入れた場合では、図2より、空洞の測定波形に見られる L による測定波形の変化はない。また、 L の2乗と T_p の2乗の直線比例関係も、 L による変化はない。さらに、この直線比例関係は、ひび割れがない場合とほぼ等しく、(式3)より、弾性波の伝搬深さを示す切片が互いにゼロである。これから、弾性波はひび割れがない場合では表面を伝搬するのと同様に、水が充填された場合では、弾性波は水の表層を伝搬し、受信点へ到達したと思われる。このため、本手法では水を充填したひび割れでの測定は不能となった。

4. まとめ

今回の実験では、入力受信点距離により受信点に最初に到達する弾性波の種類は異なり、ひび割れ深さを計測するには、少数の測定点から計測するのではなく、弾性波の伝搬経路、種類を吟味することが必要であると言う結果が得られた。また、ひび割れに水が充填された場合では、弾性波が水の表層を伝搬して測定不能となった。今後は、入力する弾性波の種類、波長を変えた測定を行い、より高精度な計測方法を検討していく。

参考文献 1) 山口哲夫他、超音波の直角回折波法による鉄筋コンクリートのひび割れ深さの測定、(社)日本非破壊検査協会 非破壊検査第45巻10号 PP.742~748、平成8年10月