# 弾性波伝播速度測定によるコンクリートひび割れ深さ判定に対する解析的研究

東北学院大学　工学部　学生会員　○小松　展馬
東北学院大学　工学部　非会員　佐藤　将大
東北学院大学　工学部　正会員　李　相勲

## 1.　はじめに

構造解析ソフトを用いて、部材厚さやひび割れ深さの異なるコンクリート供試体を想定した解析モデルを作成し、時刻歴応答解析を行った。鋼球による打撃を時刻歴荷重として与え、供試体モデルの上面である打撃点とひび割れを挟んで同じ距離の測定点で得られた応答波形や伝達時間を、部材厚さやひび割れ深さを変化させながら解析し求めた。

打撃により発生する弾性波を用いてコンクリート構造物のひび割れ深さを測定する時の注意点や測定方法の指針を示すことが本研究の目的である。

## 2.　コンクリート供試体の解析モデル

本検討で用いた解析モデルとパラメトリック解析の概要を図-1 に示す。解析モデルの大きさについては、長さ 400㎜、高さ 120㎜、幅 80㎜ とし、ポアソン比はコンクリート標準示方書 [1]の値を参考に 0.2、弾性係数と湿潤単位重量はそれぞれ $2.0\times10^{4}\,N/mm^{2}$ と $2.0\times10^{-5}\,N/mm^{3}$ とした。 解析モデルのメッシュは一辺 10㎜ の立方体である。

実測を想定した鋼球による衝撃は解析モデル上面一点に最大 30N、接触時間は $6\,\mu s$の三角形時刻歴荷重を用いた。ただし、今回は弾性解析であり、伝播速度を求める解析のため荷重の大きさは解析結果に影響しない。

## 3.　ひび割れ深さ解析モデル

図-2 に本検討における解析モデルとパラメトリック解析の概要を示す。解析モデルの大きさは前章で述べたように（400×120×80）㎜とし、その他の材料特性についても前章同様である。

ひび割れ幅は 0.5㎜ とした。ひび割れ幅は一定とし、部材厚さや測定間隔、ひび割れ深さを変えながら解析を行った。

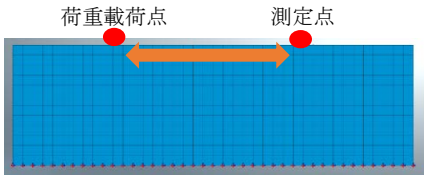


図-1　測定間隔の変更モデル

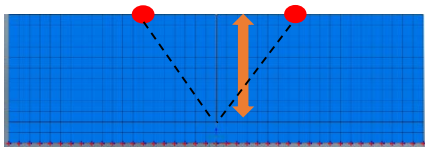

図-2　ひび割れ深さのパラメトリック解析モデル

## 4.　解析結果

時刻歴応答解析より求めた.時刻歴応答波形から伝達時間を求め、次式より伝播速度を算出した。

$$V = \frac{L}{t}$$

ここに,伝播速度：V(m/s)、伝播距離：L(㎜)、伝達時間:t(s)

### 4.1 伝播速度と測定間隔の関係

解析モデルを 13 パターン（測定間隔 60、80、100、120、140、160、180、200、220、240、260、280、300(㎜)）として、初動波到達時間から伝播速度を求めた。解析結果から、測定間隔ごとの伝播速度の変化を図-3 に示す。測定点間の距離が 140㎜ 未満の場合、伝播速度が距離に反比例して幾何級数的に大きくなることが分かる。これより弾性波法を用いて実測する際には測定点間距離を 140㎜ 以上離す必要があることが確認された。超音波法による測定 [2]でも同様の傾向が確認されている。

### 4.2 位相反転法を用いたひび割れ深さの推定 [3]

コンクリート表面に開口しているひび割れの近傍で縦弾性波を入力すると、ひび割れ先端を回折する縦弾性波が存在する。衝撃弾性波法ではこの縦弾性波を測定して、ひび割れの深さを推定する。

キーワード：衝撃弾性波法　伝播速度　時刻歴応答解析　位相反転法
連絡先：〒985-8537　多賀城市中央 1-13-1　TEL 022-368-7213

応答波形の第一波は、縦弾性波がひび割れ先端を回折する角度によって変化し、回折角度が 90° 以下の第一波は下に凸形状、回折角度が 90° 以上の第一波は上に凸形状となる。位相が反転するときの測定間隔を L とすると、ひび割れ深さは L/2 として推定される。解析結果から、各測定間隔 L での応答波形を図-4 に示す。今回の成果として、第一波として読みとる振幅を最大振幅の 1%以上とすることで、位相反転をとらえることを確認した。

4.3 ひび割れ深さと第一波到達時間の変化

ひび割れ深さ解析モデル(図-2)において部材厚さが 120mm と 240mm の 2 つのモデルに対してひび割れ深さを変化させながら解析を行い、求めたひび割れ深さに対する到達時間を示した。ひび割れ深さが深くなるにつれ第一波到達時間が遅くなることを示しているが、ひび割れが境界面に近くなるとその影響により 120mm の方が 240mm より、同じ深さ(100mm)での到達時間が長くなることが分かる。

図-5 の左側の点線で表しているのは、部材厚さ 120mm、240mm のモデルの解析結果から得られた波形を重ねて、合致している部分までの時間をプロットしたものである。この結果からもひび割れが境界面に近づくと反射波の影響が生じることが確認できる。

## 5. 結論

今回の研究を経て以下の知見を得た.

① 衝撃弾性波法を用いて 2 点間の伝播速度を測定する際には、測定間隔を 140mm 以上離すことが望ましい。

② 位相反転法を用いてひび割れ深さを推定する際には、第一波として読みとる振幅を最大振幅の 1%以上とする。

③ ひび割れが境界面に近づくと反射波の影響で伝播時間が長くなり、実際よりもひび割れを深く見積もってしまうが、深いと判定される分には安全上問題ない。

## 6. 参考文献

1) 2017 年制定コンクリート標準示方書設計編:土木学会発行

2) 村瀬豊, 魚本健人:超音波法によるコンクリート構造物の内部欠陥調査方法に関する研究(その 1), 生産研究 56 巻 2 号, P173, 2004

3) 新コンクリートの非破壊試験： 社会法人日本 非破壊検査協会編, P79-80, 技報堂出版

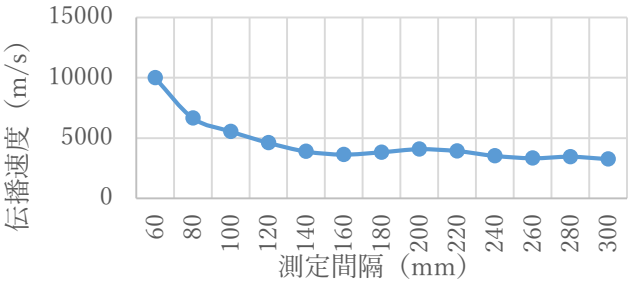


図-3 伝播速度と測定間隔の関係

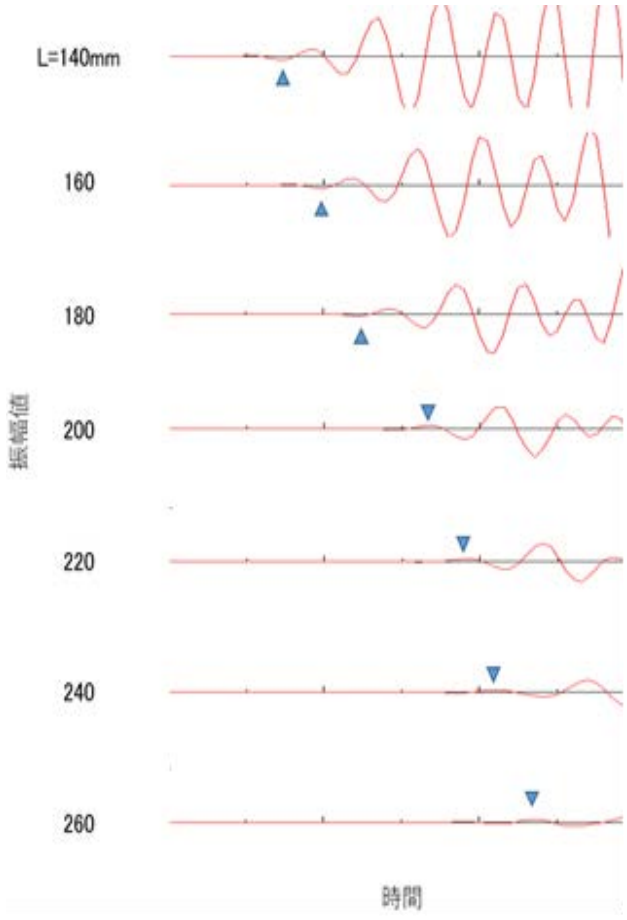


図-4 各測定間隔 L での応答波形

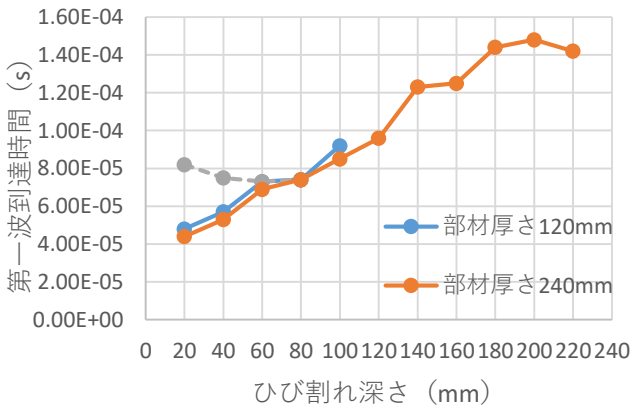


図-5 ひび割れ深さと第一波到達時間の関係