

## 衝撃弾性波法によるコンクリートのひび割れ深さ推定に関する基礎検討

東京都立大学 学生会員 ○小佐野 依美 正会員 大野 健太郎  
 東京都立大学 正会員 宇治 公隆 正会員 上野 敦

### 1. はじめに

大規模コンクリート構造物におけるひび割れは、構造的一体性の低下や漏水の原因となり得る。現在、ダムなどのひび割れ深さの調査には、コア削孔による直接的な手法が用いられているが、既存コンクリートの破壊を伴い、ポイント調査に限られるなどの課題から、破壊を伴わず、かつ広範囲を調査可能な非破壊試験法によるひび割れ深さ推定手法の確立が望まれている。ダムなどの大規模構造物は、一般的なコンクリートに比べ骨材寸法が大きく、ひび割れ深さは一般的なコンクリート構造物よりも深いことが想定されるため、本研究では、骨材による弾性波の散乱・減衰の影響を避けるため、比較的周波数帯が低く、距離減衰の小さい衝撃弾性波法を用いたひび割れ深さ推定手法を基礎的に検討した。

### 2. 供試体概要

供試体は、 $800 \times 800 \times 300\text{mm}$  のコンクリート ( $G_{\max}=20\text{mm}$ ,  $W/C=55\%$ ) を2体作製し、中央部に幅1mmのスチレンボードを配置することで鉛直ひび割れを模擬し(図-1)、1つの供試体に2水準のひび割れ深さ(深さ:50, 100mmと150, 200mm)を設定した。

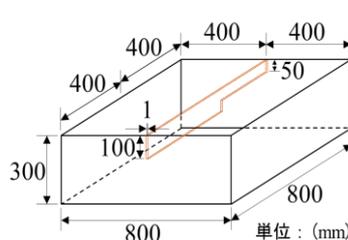


図-1 供試体概要図  
(深さ 50, 100mm)

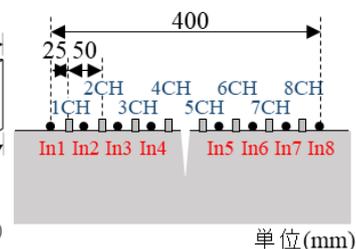


図-2 弾性波の入出力点

### 3. 衝撃弾性波法による測定方法

弾性波の入力は、入力周波数を変える目的で、 $\phi 3.2$ ,  $9.6$ ,  $15.9\text{mm}$  の3種類の鋼球にて上面を打撃することで行い、加速度計(感度  $20\text{mV}/(\text{m}/\text{s}^2)$ 、周波数範囲( $\pm 3\text{dB}$ )  $0.1 \sim 10,000\text{Hz}$ )にて弾性波を検出した。弾性波の伝搬方向は、模擬ひび割れに直交する方向とした。

#### 3.1 初動波形の位相変化に着目した推定手法

日本非破壊検査協会規格 NDIS2426-2:2014 附属書 E (参考) によれば、入力された弾性波がひび割れを回折する際の回折角度に着目し、回折角が  $90^\circ$  未満では検出波初動波形が上向き、 $90^\circ$  を超える場合には下向きの初動波形となることを利用し、初動波形の向きが変化する測定距離をひび割れ深さとすることができる。本測定では、ひび割れ位置を等距離に跨ぐように入出力点を配置して測定した。なお、入出力点は、ひび割れ開口位置を起点とし、 $20\text{mm}$  間隔で  $380\text{mm}$  の位置までとした。

#### 3.2 弾性波の到達時間差に着目した推定手法

NDIS2426-2:2014 附属書 E (参考) によれば、2つの受信センサの到達時間差と受信センサ間距離、および弾性波伝搬速度を用い、幾何学的にひび割れ深さが推定できる。本測定では、ひび割れ開口位置を跨ぐように弾性波を入出力し、弾性波の見かけの伝搬距離を変化させた。

#### 3.3 開口合成法を適用した推定手法

3.1 および 3.2 による手法では、弾性波の測定を1点入力1点検出で実施し、検出波形の初動振幅を明瞭に捉える必要がある。ダムなどの大規模構造物では、弾性波の伝搬距離が大きく弾性波の距離減衰に伴い初動振幅にノイズが混入する懸念から、適切に初動振幅を観測できない場合がある。ここでは、複数センサで弾性波を検出・合成することで振幅の小さな初動部を的確に検出可能な開口合成法によるひび割れ深さ推定手法を検討する。センサ間

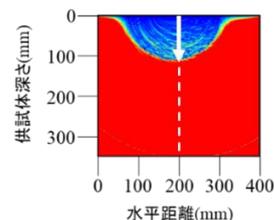


図-3 開口合成による推定結果

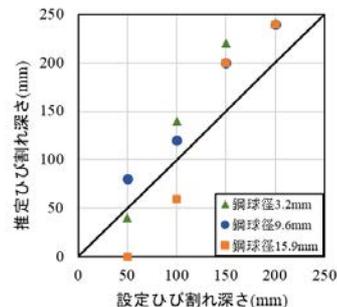


図-4 位相変化に着目した推定値

キーワード: コンクリート, ひび割れ深さ推定, 衝撃弾性波法, 開口合成法

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL: 042-677-1111 (内) 4535

隔を 50mm (図-2) とし, In1, 2, 3, 4 にて弾性波を入力し, ひび割れを介した 5, 6, 7, 8CH にて弾性波を検出した. その後, 図-3 に示す開口合成結果に対し, 弾性波がひび割れを迂回することでひび割れ位置の反射強度が低下することを利用し, ひび割れ深さを推定した.

#### 4. 結果および考察

##### 4.1 初動波形の位相変化に着目した推定手法

図-4 に示すひび割れ深さ推定結果より, ひび割れ深さが 100mm 以浅では推定精度が高くないことがわかる. これは, 初動振幅の向き (上向き/下向き) を波形から目視で決定しており, その判断が非常に難しい場合があり, 推定結果は測定者の主観が大きく影響する課題が挙げられる.

##### 4.2 弾性波の到達時間差に着目した推定手法

測定距離が最長となる伝搬距離 375mm および最短となる 75mm におけるひび割れ深さの推定結果を図-5, 図-6 に示す. これらより, 伝搬距離を短くするよりも, 伝搬距離を長くし, ひび割れ深さを推定することで推定精度は高くなることがわかる. ここで, 測定距離が短い 75mm (図-6) では, 推定深さがほぼ一定となった. これは, 全ての設定深さにおいて弾性波が同じ経路で伝搬した可能性が考えられ, 入力点がひび割れ開口位置に近いため, スチレンボード内を弾性波が透過できるエネルギーを有していたことが要因と考えられる. 以上より, ひび割れ開口位置から一定の距離を確保して測定する必要があり, この距離設定は今後の検討課題である.

##### 4.3 開口合成法を適用した推定手法

設定ひび割れ位置である図-3 の水平距離 200mm 地点において, 反射強度がしきい値を超える深さを読み取ることでひび割れ深さを推定した. 図-7 にひび割れ位置の反射強度の例を示す. 深さ 200mm 付近まで微弱な信号が得られているが, これは弾性波受信時のノイズの影響と考えられる. この影響を考慮し, ノイズの最大値をしきい値としてしきい値を超える深さを読み取った. 入力位置 In1 での推定結果 (図-8) は, 入力位置 In4 (図-9) と比較し, ひび割れ推定精度が高いことがわかる. また, 入力位置 In1 および In4 において開口合成法を適用した推定結果と伝搬時間差法による推定結果を比較すると, 同様の傾向を示した. 入力位置 In4 では各設定深さにおける推定深さがほぼ一定であり, ひび割れ開口部から弾性波の入力位置までの距離を大きくすることが必要であるとわかる.

#### 5. まとめ

弾性波の受信点を複数設け, 開口合成法によりひび割れ深さを推定することで, 到達時間差に着目した推定手法と同程度の結果が得られ, ひび割れ深さを高い精度で推定できる可能性が示された. ただし, 弾性波の入力位置はひび割れ開口部から一定の距離を確保する必要性が示唆され, 今後, 弾性波の入力位置に関する検討およびひび割れ角度などについて検討を進める予定である.

#### 参考文献

- 1) 一般社団法人日本非破壊検査協会: コンクリート非破壊試験-弾性波法-第2部: 衝撃弾性波法, 日本非破壊検査協会規格 NDIS2426-2:<sup>2014</sup>, pp.28-32,61-65, 2014

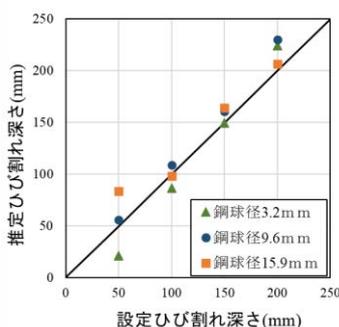


図-5 伝搬距離 375mm での推定値 (到達時間差)

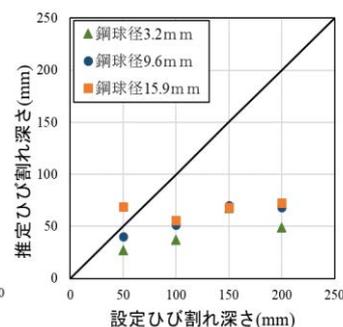


図-6 伝搬距離 75mm での推定値 (到達時間差)

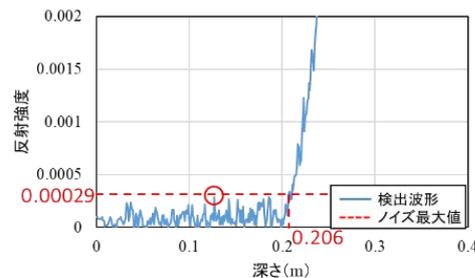


図-7 設定ひび割れ位置における反射強度の例

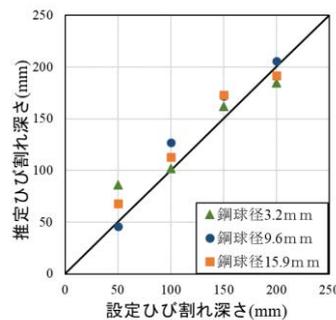


図-8 In1-5, 6, 7, 8ch による推定値 (開口合成)

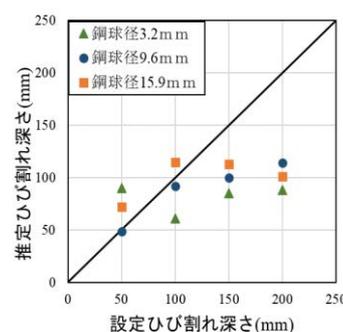


図-9 In4-5, 6, 7, 8ch による推定値 (開口合成)