

衝撃弾性波法を用いたひび割れ測定手法

オリジナル設計(株) 正会員 ○鈴木 克利
 オリジナル設計(株) 正会員 山崎 一義
 オリジナル設計(株) 正会員 坂本 智
 iTECS 技術協会 正会員 極壇邦夫

1. まえがき

コンクリートの劣化診断の重要な評価項目の一つにひび割れがあり、ひび割れ幅、分布などが検討される。ひび割れが鉄筋に達すると鉄筋の腐食が急速に進行する。したがって、鉄筋の腐食などを考慮するとひび割れ深さを測定することが重要と思われる。これまで、ひび割れ深さの測定は超音波法が多用されてきたが、表面平滑に要する前処理やグリース塗布による汚れなどの問題があった。衝撃弾性波法は、前処理不要、深いひび割れ可能、測定が簡便など有利な点が多い。

今回、現地の実構造物を対象にして、衝撃弾性波法から次の3種類を選び比較した。直角回折波法および弾性波速度を比較する方法は、点衝撃により生じる縦弾性波がひび割れ先端で回折し加速度計に到達する一過性の情報である。ひび割れ先端において骨材が点接触していると位相が反転する可能性がある。そこで多重反射波により厚さを測定し検証した。

(1) 直角回折波法、(2) 弾性波速度を比較する方法
 (3) 多重反射によるひび割れ深さの測定方法

2. ひび割れ深さの測定方法について

普通、ひび割れ幅は深くなると次第に狭くなり部分的に骨材が接触していると推測されひび割れ先端を明確に決定することは困難である。

インパクト(鋼球)による点発生の衝撃弾性波がひび割れ先端で回折する様子を図-1に示す。

回折角度が90°より小さい鋭角と大きい鈍角では弾性波の位相が変わることは多くの報告があり、超音波によるコンクリートのひび割れ深さ測定方法：JCMSB5705 直角回折波法、として規格化されている。

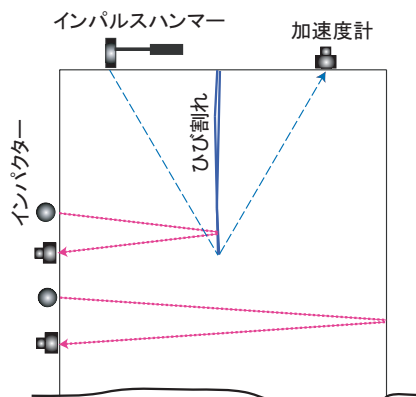


図-1 弾性波の回折と厚さの測定

インパクトの代わりに、インパルスハンマーを使用すると縦弾性波の伝搬速度を計算できる。

ひび割れの深さ方向と平行な側面から多重反射波により厚さを測定した。ひび割れの空隙の空気は、弾性波を遮断するスクリーンとなる。2層の物質を伝搬する弾性波の割合は、音響インピーダンスに依存する。音響インピーダンスは、物質の弾性波速度と密度の積であるから、概略、コンクリート $4000 \times 2400 = 9.6 \times 10^6$ 、空気 $340 \times 1 = 3.4 \times 10^2$ であるので、ほぼ100%反射する。

3. 測定した実構造物と測定方法

測定したコンクリート構造物の大きさは、厚さ1000×長さ5500×高さ4000mm、鉄筋コンクリートである。厚さ1000mmの中央部分に幅約8mmのひび割れが発生している。

測定は、ひび割れを中心として、ひび割れに直行する線を引き、等距離の位置を打撃し、もう一方に加速度計を手で押しつけて弾性波を捕らえた。打撃は、鋼球直径30mmインパクトと、ダイトラン5850Aのインパルスハンマーを用いた。加速度計は、PCB352C66で直径7mmである。測定器はiTECS-4を使用し、弾性波のサンプリングクロック1マイクロ秒、データ数8000個で記録した。

4.1 実験結果および考察

4.1 直角回折波法によるひび割れ深さ

図-2に直角回折波法による測定結果を示す。

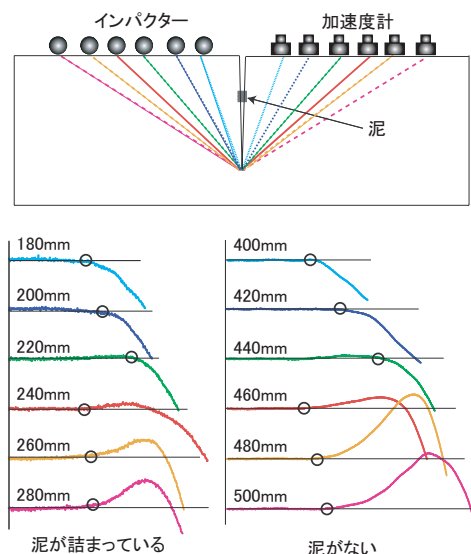


図-2 直角回折波法のひび割れ

ゴミを除去する装置が定期的に作動するため、ひび割れに泥が詰まっているだろうと示唆されて測定した

結果が図-2の左側である。

200mm までは下向きの波形 220mm で微少は上向き波形 260mm で明確は上向き波形が観測されている。直角回折波法では、ひび割れ先端の回折角度が直角のとき、ひび割れ深さと上向き波形が観測される点の水平距離と等しくなる。したがって、上向きの波形が観測された 220mm (ひび割れから加速度計までの距離) がひび割れ深さになる。

図-2の右側は、約 4m 離れた点の泥なしである。微少な上向き波形は 420mm, 明確な上向き波形は 460mm である。泥がないところのひび割れ深さは 420mm となっている。

図-2 は、波形を拡大表示しているため、微少な上向き波形からひび割れ深さを判断している。ひび割れ先端角度が直角のときに現れる微少な上向き波形の分析は、複合混合体であるコンクリートの不均質、異方性、気泡の影響などのため容易ではない。

4.2 弾性波速度によるひび割れ深さ

伝搬時間は、インパルスハンマー打撃により発生した弾性波が、ひび割れ先端で回折して反対側表面に設置した加速度計に到達するまでの時間差を波形から求めた。

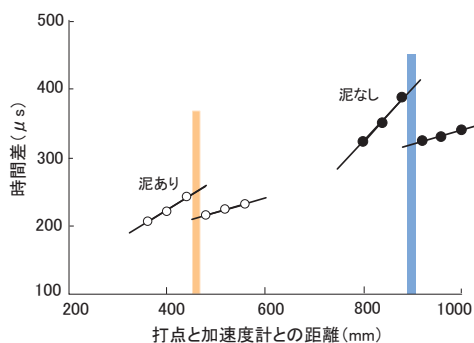


図-3 前半伝搬速度と後半伝搬速度

図-3 は、縦軸に時間差、横軸に打点と加速度計の距離を取り、前半の下向き波形と後半の上向き波形の測定値を示した。

図の回帰直線の傾きは弾性波速度を示していて急勾配は速度が遅く、ゆるやかな勾配は速度が速い。前半の下向き波形の回帰直線の傾きと後半の回帰直線の傾きは明確に異なっている。ひび割れ深さは、打点と加速度計との距離の半分に対応するので、泥が詰まっているとひび割れ深さは 230mm, 泥が詰まっていないと 450mm となり直角回折波法とほぼ一致した。

前半下向き波形の速度は約 3800m/s であるが後半の上向き波形の弾性波速度は約 7000m/s と異常に速いが、このような高速伝搬速度はあり得ないので、今後の検討課題である。

4.3 多重反射波による厚さとひび割れ

ひび割れが存在する構造物をひび割れに平行に側面から測定すると、ひび割れの有無によって厚さが異なると考えて測定した。

図-4 は上端から 600mm での結果で打撃直後では

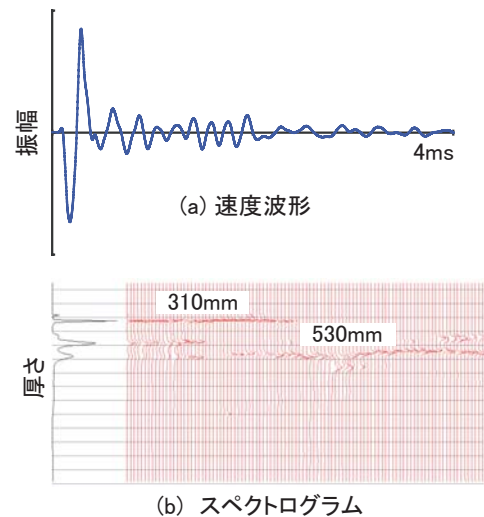


図-4 表面から 600mm の厚さ

310mm の厚さが短い時間現れているので、局部的な欠陥が存在すると推量される。後半は 530mm の厚さとなっているが、これは側面から 530mm の位置に反射面が存在することを意味している。すなわち、ひび割れが存在すると考えられる。

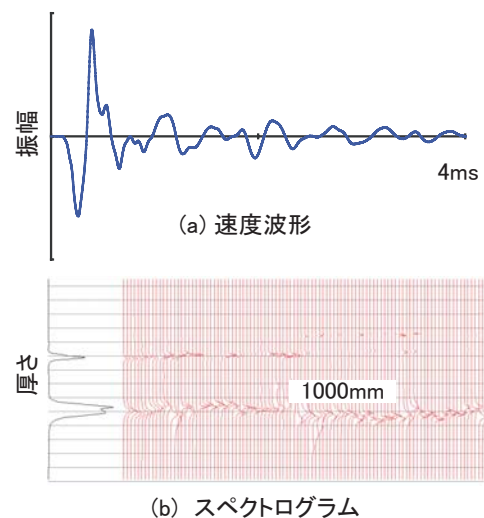


図-5 表面から 1000mm の厚さ

図-5 は上端から 1000mm での結果で安定して構造物本体の厚さ 1000mm が継続して現れている。したがって、上端から 1000mm の所にはひび割れは存在しないと判断される。

5. まとめ

衝撃弾性波による 3 種類のひび割れ深さ測定方法をまとめると次のとおりである。

1. 直角回折波法と弾性波速度を比較する方法は、泥が詰まったり、ひび割れ先端が局部的に接触していると、その点がひび割れ深さと測定される可能性がある。
2. 多重反射法により厚さを測定してひび割れを検証すると直角回折波法よりもひび割れ深さが深くなった。この原因として直角回折波法は最初に到達する弾性波に着目するが、一方、厚さは数十回往復する多重反射波から計算しているので、微妙な空隙の影響度が異なると考えられる。