

衝撃弾性波法によるコンクリートのひび割れ補修度合の測定

The measurement of crazing repair condition of concrete
by Impact Elastic Wave Method

(株)コサカ技研 目澤 亘司 (株)コサカ技研 小比類巻国臣 (株)コサカ技研 小坂 明
Kouji Mezawa Kuniomi Kohiruimaki Akira Kosaka
(Kosaka Engineering Consultants)
西村産業(株) 向井 秋男 iTECS 技術協会 極檀 邦夫
Akio Mukai(Nishimura Construction) Kunio Gokudan(iTECS Association)

ひび割れ模型供試体を製作し、ひび割れ深さ、ひび割れが供試体厚さに及ばず影響を測定した。ひび割れ近傍では、点衝撃により生ずる球面波は、ひび割れ空隙面で反射する弾性波と厚さ方向の往復多重反射波との複合波になるので、正常な厚さ計測が困難と推測される。幅の狭いひび割れが完全に充填されているかを、衝撃弾性波法により測定し、ひび割れ補修の良否を確認をした。ひび割れ補修の前後に、ひび割れ深さと供試体厚さを測定し比較検証した。

キーワード：衝撃弾性波、ひび割れ、補修

1. はじめに

衝撃弾性波法(iTECS法)は、コンクリート表面を鋼球で打撃し、発生する弾性波を計測・解析する非破壊調査方法である¹⁾。衝撃弾性波法では内部欠陥や構造物厚さを周波数解析により推定することができる。本研究では、ひび割れ供試体を製作し、ひび割れ深さ、供試体の厚さ測定を行った。ひび割れ付近では、ひび割れ空隙面で反射する弾性波と厚さ方向の往復多重反射波が複合するので、特に厚さ測定が正確に計測できないと推測される。その後、充填剤でひび割れを補修し、ひび割れ深さ、供試体の厚さ測定を行いひび割れが測定結果に与える影響、ひび割れ補修の品質確認について検証した。

2. 測定原理

2.1 ひび割れ深さの測定方法

弾性波を利用したひび割れ深さの測定には、超音波による直角回折波法と同等の結果が得られることが報告されている。

直角回折波法による測定は、ひび割れを中心として、インパクターの打点と1軸加速度計を左右対称に設置する。ひび割れ先端の回折角が鋭角では引張波、鈍角では圧縮波、両者の境界の角度が直角となる。引張波では下向き波形、圧縮波では上向き波形になることよりひび割れ深さの判定を行う。

2.2 厚さの測定方法²⁾³⁾

コンクリート表面を鋼球で打撃すると、内部を球面状に伝搬する弾性波が発生し、弾性波は底面に到着すると反射波となって表面に到達する。その後弾性波は表面で反射し、表面と底面間で多重反射を繰り返す。弾性波の往復時間の逆数となる振動数 f_0 が算出される。また、表面弾性波から測定した弾性波速度 V_p を用いて式(1)より厚さ D を算出する。

$$D = V_p / (2 \cdot f_0) \quad (1)$$

健全部では、コンクリート板厚と一致すると予想される。しかしひび割れ付近では、ひび割れ空隙面で反射する弾性波と厚さ方向の往復多重反射波が複合するので、厚さを正確に計測できないと推測される。

3. 実験概要

3.1 ひび割れ供試体

実験に用いた供試体は 1200mm × 1500mm × 450mm，設計強度 24N/mm² でひび割れの深さを 150mm と 300mm の 2 種類とした。ひび割れは生コン打設前に 0.3mm のステンレス板を設置し，半硬化後に静かに抜き取ることで製作した。

3.2 測定装置および方法

測定装置 (iTECS-5) は，サンプリングクロック 10 μs，サンプリングデータ数は 1000 個である。インパクターの鋼球サイズは 20mm で，PCB 加速度計をセンサーで使用した。

供試体厚さの測定では，5cm 間隔の格子状に測点を設け，鋼球と加速度計の間隔は 10cm とした。ひび割れ付近では，図 1 に示すように一方に加速度計を設置し，もう一方にインパクターによる打撃を与えひび割れを挟んだ状態で測定した。

ひび割れ深さの測定は，直角回折波法により行った。すなわち，受信側に下向き波形 (引張波) が観測された場合は，ひび割れ深さはより深いことになり，上向き波形 (圧縮波) の場合はひび割れ先端はより浅い位置に存在していることになる。

3.3 ひび割れの充填

コンクリートのひび割れ注入には，ボンドシリンダー工法で行い，注入材は超低粘度の E205，低粘度の E206 を使用した。注入状況を写真 1 に示す。

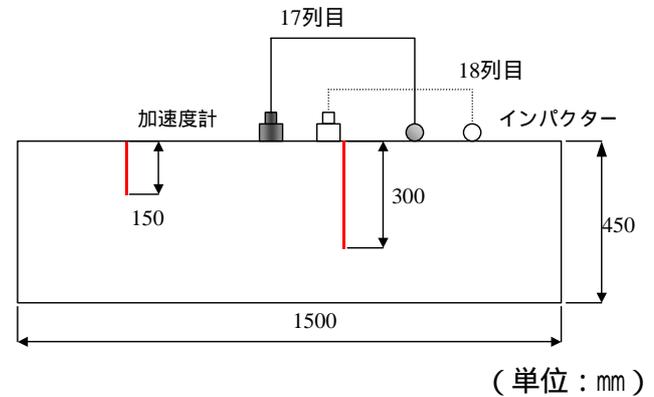


図 1 ひび割れ付近の測定方法

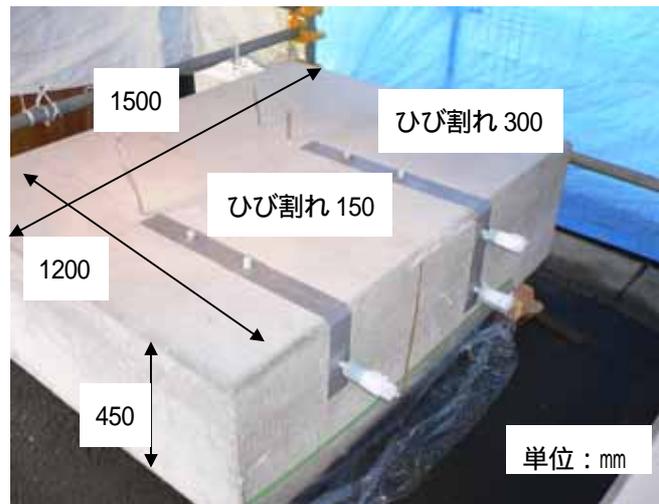


写真 1 注入状況

4. 実験結果および考察

4.1 ひび割れ深さ

図 2 にひび割れ深さ測定結果を示す。その結果，ひび割れ補修前は設計深さ 30cm に対し，測定深さ約 30cm 観測されたものが，補修後には測定深さ 0cm とひび割れ充填補修が目的を達したことを確認できた。ひび割れ深さ 15cm に対しても同様の結果が得られた。

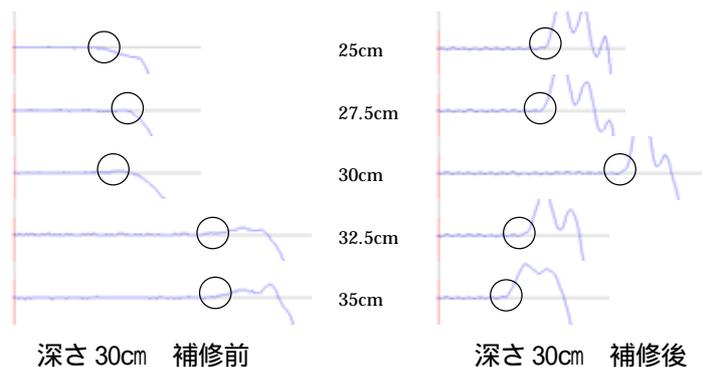


図 2 弾性波の位相反転

4.2 供試体厚さ

ひび割れの影響を比較するため、補修前後で測定された速度波形とスペクトル強度分布を図3に示す。図3より、ひび割れ部は縦列5, 6または縦列17, 18であり、速度波形の振幅が大きく、減衰は小さくなっているのが特徴的である。その結果、スペクトル強度は異常な厚さとなって出現し正確な厚さの推定ができない。しかし、補修後は速度波形でひび割れの特徴が消滅し、設計厚さ450mm付近にスペクトルが集中して観察された。ひび割れは空隙であり、空隙からの側面乱反射が多重反射波と混入したため、弾性波の挙動に乱れが生じたと考えられる。

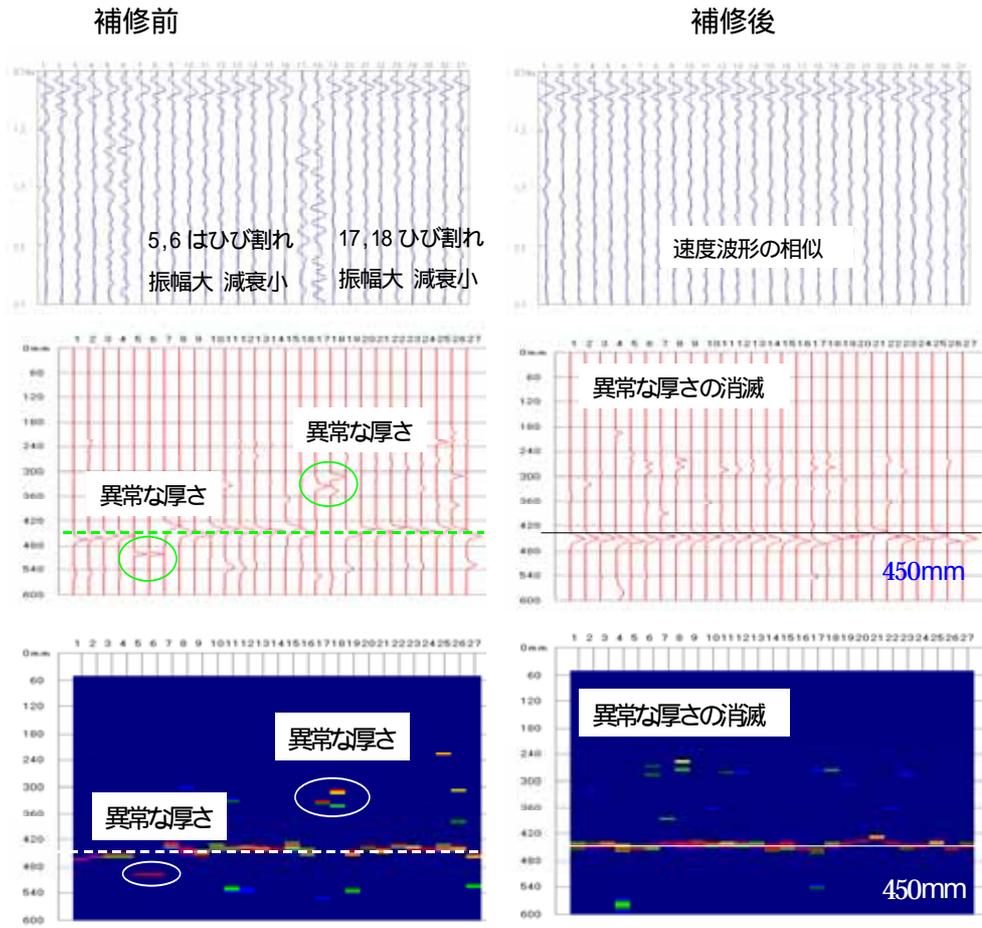


図3 速度波形とスペクトル強度分布

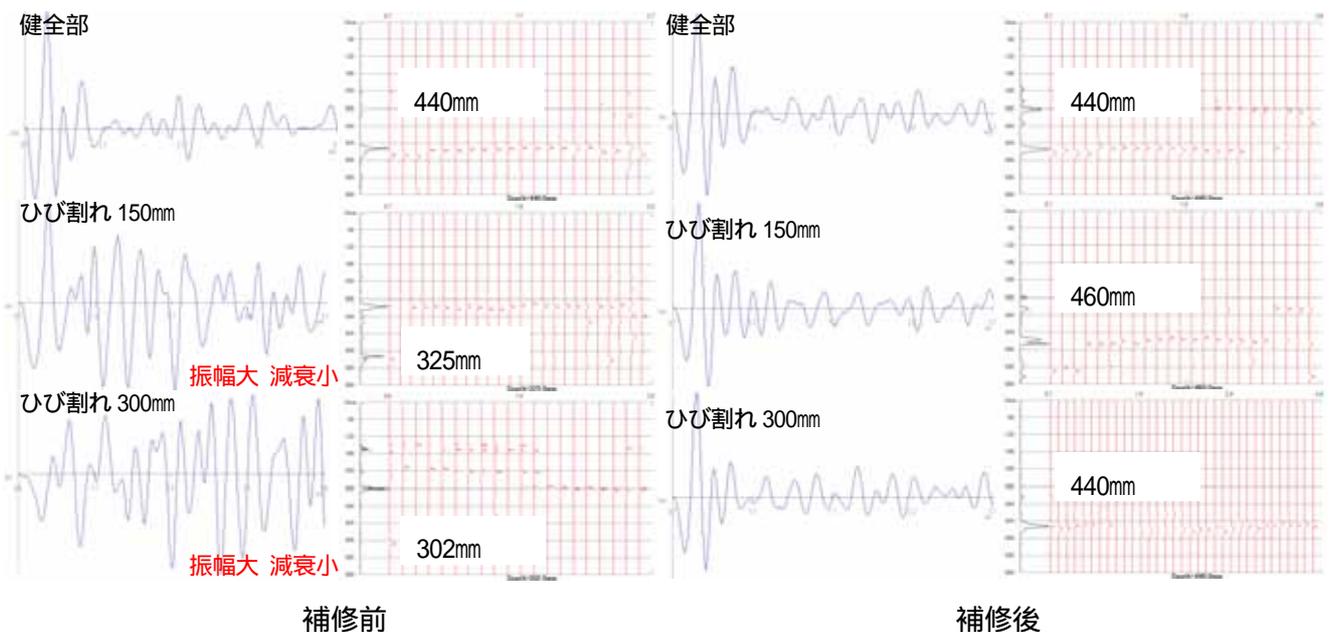


図4 補修前後の測定波形およびスペクトログラム

図3の全体図を一つずつの波形について検討を行ったのが図4である。図は測定された波形と時間窓 MEM 法（時間窓最大エントロピー法）による周波数スペクトル解析結果となっている。左側がひび割れ補修前、右側がひび割れ補修後となる。補修前のひび割れ部の速度波形は振幅が大きく、打撃以降の減衰が小さいことがより明確になった。ひび割れを充填剤で充填した後は、健全なコンクリートと同等の波形が観測され、時間窓 MEM 法による結果も安定して得られるようになった。

図5に相関係数による分布を示す。

上図は健全部と健全部の測定波形による分布、下図は健全部とひび割れ部の測定波形による分布を表している。作成時、コンクリート内部を伝搬する多重反射波のみを考慮するため、打撃による波形の除去を行った。その後 2ms 抽出し、それぞれの相関係数を得た。変数間の関係が強い場合、斜めの細長い楕円状になるとされている。図より健全部同士の分布は斜めの楕円形状になっており、相互の関係が見られる。一方、健全部とひび割れ部の分布はまばらに散ら

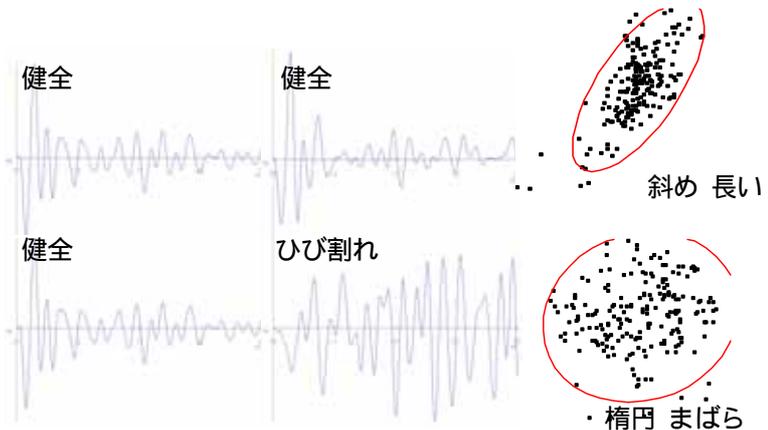


図5 相関係数による分布（上：健全 - 健全，
下：健全 - ひび割れ）

ばっており、相互の関係は先ほどより弱い。以上より、ひび割れによる影響は測定波形、解析結果および相関係数分布からも確認できた。以上のことより、ひび割れ充填補修したことで健全なコンクリートと同様の結果が得られることが分かった。

5. まとめ

本研究は、コンクリートのひび割れの影響を考慮し、ひび割れ補修前後で測定結果に与える影響について検討したものである。本研究の範囲内で以下のことが言える。

1. 厚さ測定において、ひび割れの影響が認められ、正確な測定結果を得ることはできない。しかし、ひび割れ充填補修を行うことにより、ひび割れの影響が消滅し、正確な厚さ測定ができるようになる。
2. 衝撃弾性波法を用いて、ひび割れ充填補修後の品質確認することは有効であると確認できた。

参考文献

- 1) 岩野聡史他：衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の厚さ測定，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.1, pp.547-552, 2001.6
- 2) 岩野聡史，極檀邦夫，森濱和正：衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の厚さ、強度の推定，日本道路協会第24回日本道路会議一般論文集（A），pp.336-337, 2001.10
- 3) 鈴木克利他：下水処理場の長寿命化に対する弾性波試験法の適用，シンポジウムコンクリート構造物への非破壊検査の展開論文集，Vol.2