

非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その2 衝撃弾性波法によるコンクリート表層部欠陥の深さ測定

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests Impact Elastic Wave Part 2, Measurement of the Depth of the shallow Defect in Concrete Plates by the Impact Elastic Wave Method

岩野 聡史 伊藤建設(株) 森濱 和正 独立行政法人土木研究所
Satoshi Iwano Ito Construction Kazumasa Morihama Public Works Research
Institute
境 友昭 アプライドリサーチ(株) 極檀 邦夫 東海大学
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan Tokai University

概 要

衝撃弾性波法によるコンクリート内部欠陥の位置測定について、解析方法として振動数解析を適用すると、欠陥の平面位置、断面積は測定できるが、欠陥までの深さ測定では適用条件や誤差に問題があることがこれまでの実験で確認されている。そこで、今回の実験では、ジャンカを模擬した欠陥が深さ 50mm、100mm に存在する供試体により、時間軸上の測定波形から欠陥で反射する縦弾性波の到達時間を計測して、欠陥までの深さを測定する方法について検討した。その結果、欠陥までの深さが深くなると精度は低下するが、測定方法として適用できる可能性があることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法，欠陥探査，振動数解析，到達時間計測

1. まえがき

コンクリート内部に欠陥が存在する場合には、欠陥の位置が把握できれば、配筋状況との比較による鉄筋腐食の可能性の判断、補修・補強の必要性や方法の検討、これらにおいて有効な情報になることが期待される。衝撃弾性波法による欠陥探査では、振動数解析により、欠陥の平面位置、断面積を測定できるが、欠陥までの深さ測定については課題があった¹⁾²⁾。そこで、今回は内部にジャンカを模擬した欠陥が存在する供試体を用いて、時間軸上の測定波形の解析により、深さの測定について実験したので報告する。

2. 供試体

供試体状況を写真 1 に示す。供試体はボックスカルバート形状で設計厚さ 300mm の

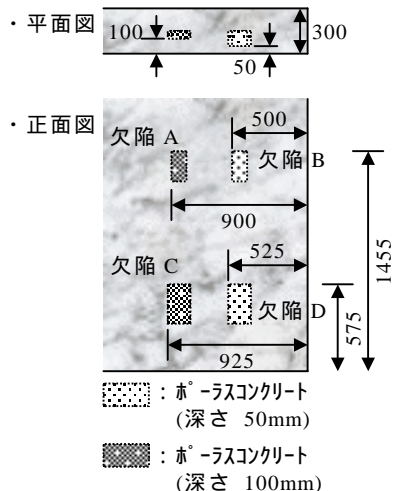


表1 欠陥形状等

名称	断面寸法 (mm)	測定面から欠陥までの深さ(mm)
欠陥A	100×200	100
欠陥B		50
欠陥C	150×260	100
欠陥D		50

写真 1 供試体状況

図 1 壁部状況 (単位 mm)

壁部には、図 1、表 1 に示すジャンカを模擬したポーラスコンクリートが埋設してある。

3. 振動数解析による欠陥平面位置，断面積の測定結果

壁部の欠陥周囲に縦 22 点×横 15 点，計 330 点，50mm 間隔で測定点を設定し，振動数解析による厚さ測定により，欠陥の平面位置，断面積を測定した¹⁾。健全部，欠陥 B，C 直上での測定結果例を図 2，全測定厚さをコンター表示した結果を図 3 に示す。

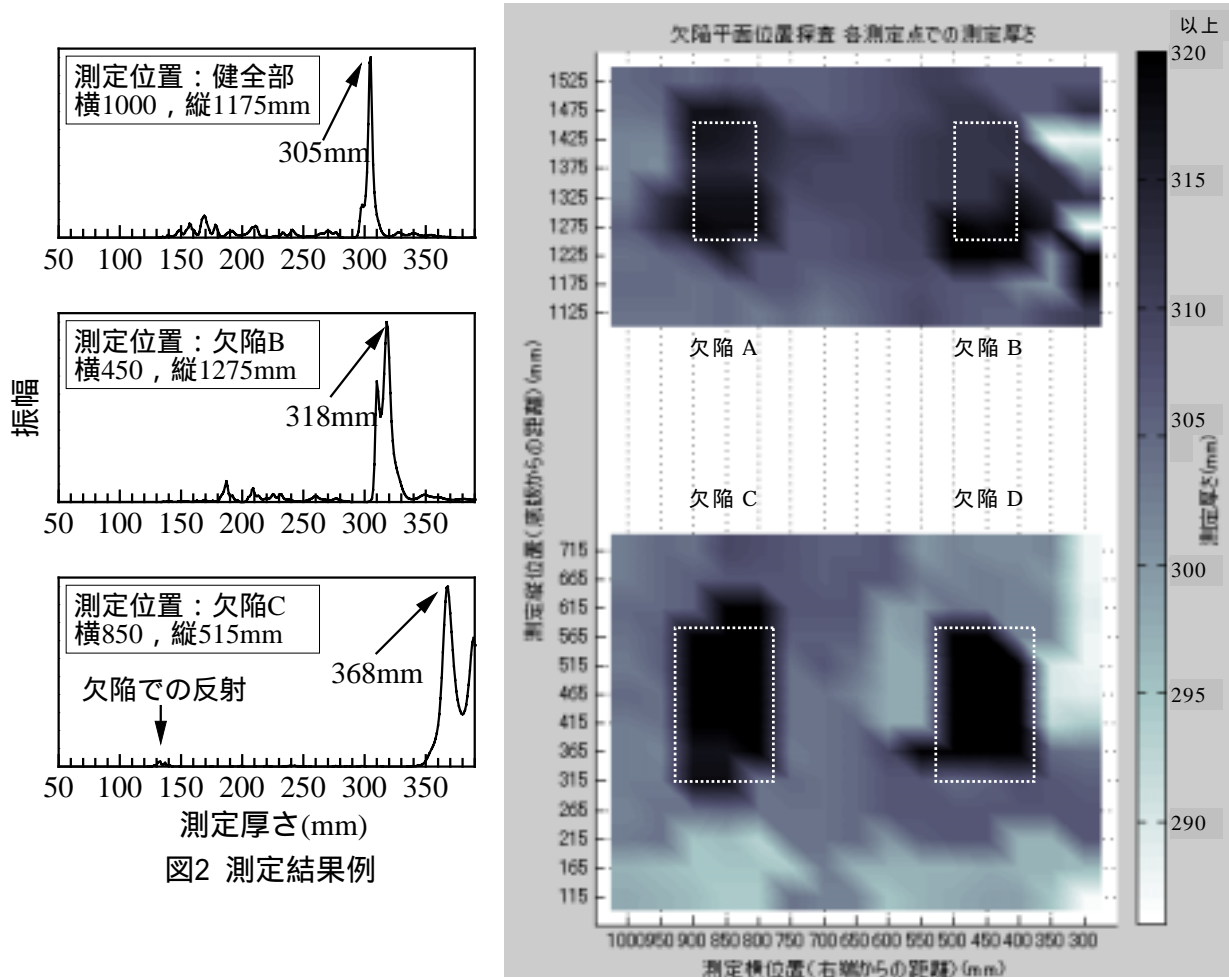


図 3 全測定点での測定厚さ（白枠：実際の欠陥部）

図より，測定厚さは，健全部では設計厚さ 300mm と近似するのに対し，欠陥直上では設計厚さより厚くなった。この原因は，断面積の大きい欠陥 C,D では，欠陥 A,B より測定厚さが厚くなることから，欠陥部を迂回して経路が長くなった縦弾性波の多重反射による振動数成分が，振動数解析により測定されたものと考えられる。

欠陥までの深さ測定については，深さ 50mm の欠陥 B,D では，打撃面と欠陥表面で多重反射する縦弾性波の振動数が約 40kHz となるので，加速度計の測定振動数範囲よりも高域となることから観測されない。しかし，打撃面と欠陥表面で多重反射する縦弾性波の振動数が約 20kHz となる深さ 100mm の欠陥においても，欠陥が完全な空洞でないポーラスコンクリートであるためか，欠陥で反射した縦弾性波は微弱であり(図 2 中)，これが欠陥での反射によるものと断定するのは困難である。さらに，ここで測定された欠陥までの深さは 130mm であり，誤差が生じている。これは，ポーラスコンクリートは音響インピーダンスが 0 ではないため，測定上の深さが実際の深さよりも深くなったものと考えられる²⁾。

以上のように，振動数解析では，欠陥の平面位置，断面積については検知できるが，欠陥までの深さ測定については，(1)加速度計の測定振動数範囲による適用範囲。(2)欠陥部で反射する縦弾性波の強さ。(3)欠陥が完全な空洞ではなく，反射面の音響インピーダ

ンスが 0 と見なせない場合での誤差。以上の問題があると言える。

4 . 欠陥で反射する縦弾性波の到達時間の測定による表層欠陥の深さ測定

4 . 1 測定原理および測定方法

表2 欠陥近傍で発生する弾性波の種類と性質

種類	速度(m/s)	伝搬経路	到達時間	到達順序
表面縦弾性波	V_P	L	L/V_P	1
欠陥で反射する縦弾性波		$\sqrt{L^2 + 4D_E^2}$	$\sqrt{L^2 + 4D_E^2}/V_P$	$L < L_0$ 3 $L > L_0$ 2
レイリー波	V_R 一般に V_P の56%	L	L/V_R	$L < L_0$ 2 $L > L_0$ 3

鋼球打撃により、欠陥部で発生する弾性波の模式図と性質を図 4、表 2 に示す。

発生する弾性波には縦弾性波、横弾性波およびレイリー波があり、縦弾性波は内部を球面状に伝搬するので、表面を伝搬する成分の表面縦弾性波と内部の欠陥で反射する縦弾性波がある。縦弾性波とレイリー波の速度を比較すると、レイリー波は縦弾性波の 56%と言われている。これから、表面に設置した加速度計に最初に到達する弾性波は伝搬経路が短く、速度が速い表面縦弾性波となる。次に到達する弾性波は、入力受信点間距離 L によって異なることとなる。 L がある距離 L_0 より短い範囲では、伝搬経路が短いレイリー波が欠陥で反射する縦弾性波より先に到達する。距離 L_0 より長い範囲では、レイリー波より速度の速い、欠陥で反射する縦弾性波がレイリー波を抜いて先に到達する。つまり、 L を変えて弾性波を測定すれば、 L がある距離以上になると、表面縦弾性波が到達してからレイリー波が到達するまでの時間帯において、欠陥で反射した縦弾性波の到達時間 T_p を計測できることとなる。この時、到達時間 T_p と入力受信点間距離 L は、

$$T_p^2 = \frac{L}{V_P^2} L^2 + \frac{4D_E^2}{V_P^2} \dots \text{(式 1)}$$

の関係にあることから T_p の二乗と L の二乗は直線比例関係となる。

以上の性質から次の手順で欠陥までの深さ D_E を測定した。3 . により平面位置を測定した欠陥の直上が、入力点と受信点の中心となるように測定点を設定し、 L を 40mm から 20mm 間隔で、欠陥 A,C では 380mm まで、欠陥 B,D では 320mm までと変化させて、欠陥で反射した縦弾性波の到達時間 T_p を計測する（写真 2）。計測した T_p の二乗と L の二乗との関係式を最小二乗法により求め、関係式の傾きから縦弾性波速度 V_P 、切片と求めた V_P から、深さ D_E を測定した。サンプリングクロックは 1 マイクロ秒である。

4 . 2 測定結果

欠陥 B における各入力受信点間距離での測定波形を図 5 に、比較のため健全部の直上で各入力受信点間距離を 180mm とした時の測定波形を図 6 に示す。最初に到達するのは表面縦弾性波であるが、健全部ではこの表面縦弾性波が一周期分測定され(図 6 中)、

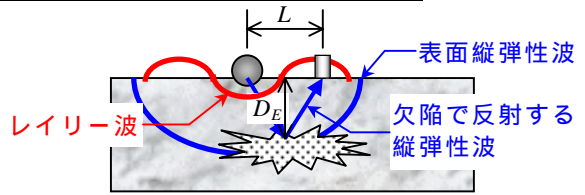


図 4 欠陥部で発生する弾性波の模式図



写真 2 到達時間測定状況

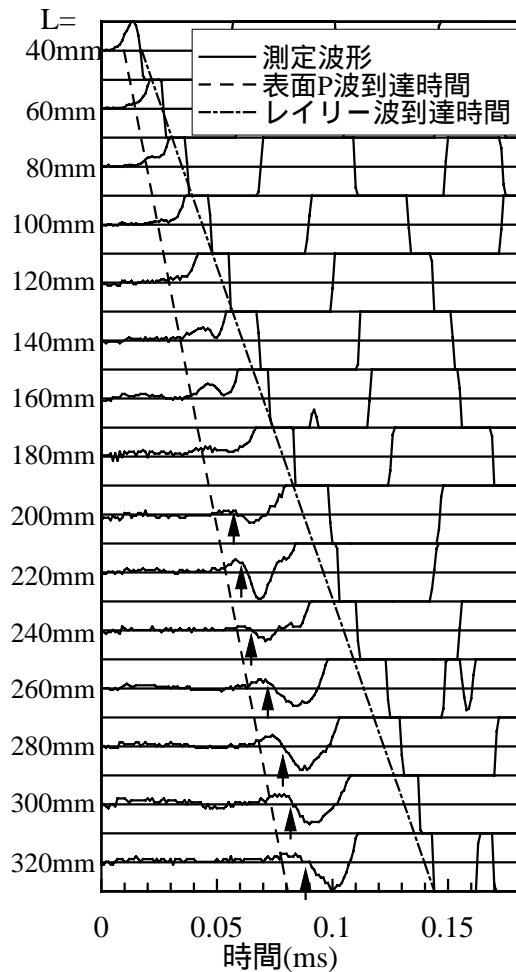


図5 各測定点での測定波形（欠陥B）

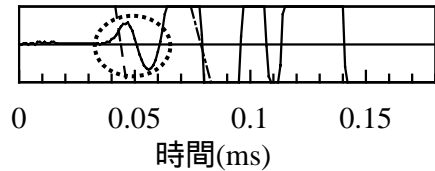


図6 健全部での測定波形（L=180mm）

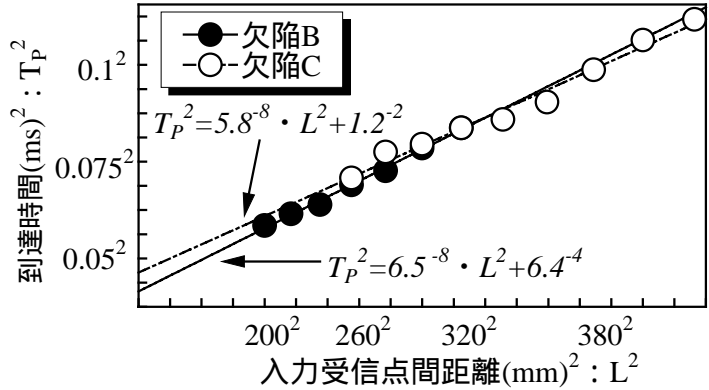


図7 到達時間と入力受信点間距離の関係

表3 欠陥までの深さ測定結果一覧

欠陥名称	縦弾性波速度 (m/s)	欠陥までの深さ(mm)	
		設計値	測定値
欠陥A	3956	100	72
欠陥B	3915	50	49
欠陥C	4142	100	78
欠陥D	4078	50	63

上に凸の波形と下に凸の波形を比較すると、振幅、周期とも等しくなっている。これに対し欠陥 B では、入力受信点間距離 200mm 以上において、表面縦弾性波の上に凸の波形と下に凸の波形を比較すると、下に凸の波形では振幅が大きくなり、周期も長くなっていることが分かる。これは欠陥で反射した縦弾性波が到達し、表面縦弾性波と干渉したことにより、表面縦弾性波の波形に乱れが生じたものであると考えられる。言い換えれば、表面縦弾性波の波形に乱れが生じた時間（図 5 中）が欠陥で反射した縦弾性波が到達した時間であると判断できる。欠陥 B,C で以上の様に計測した到達時間と入力受信点間距離との関係を図 7 に示す。両者の 2 乗は直線比例関係となり、傾きと切片から縦弾性波速度と欠陥までの深さを測定した（表 3）。欠陥までの深さが 100mm の欠陥 A,C では特に深さの精度が不十分であるが、その他の縦弾性波速度、深さは適切な結果となり、測定原理に示した欠陥で反射した縦弾性波が観測できたものと考えられる。

5. まとめ

衝撃弾性波法によるコンクリート内部欠陥の位置測定について、振動数解析では欠陥の平面位置、断面積は測定できるが、欠陥までの深さ測定に問題があることから、時間軸上の測定波形から欠陥で反射する縦弾性波の到達時間を計測して、欠陥までの深さを測定する方法について検討した。その結果、欠陥までの深さが深くなると精度は低下するが、測定方法として適用できる可能性があることが確認された。しかし、今回の到達時間の計測方法には、客観性に問題があるので今後検討していきたい。

参考文献：1) 岩野聡史他：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その 1 衝撃弾性波法によるコンクリート表層部の欠陥探査、日本非破壊検査協会平成 15

年度春季大会講演概要集，pp.129-130，2003.5 2) 岩野聡史他：内部不連続面で多重反射する縦弾性波の振動数について，土木学会第58回年次学術講演概要集第 部，pp.791-792，2003.9