

位相差を用いたレイリー波速度の測定によるコンクリート内部欠陥評価方法の検討

リック (株) 正会員 ○岩野 聡史 日本大学 正会員 渡部 正
 リック (株) 正会員 片岡 繁人 日本大学 学生会員 中村 聖馬

1. はじめに

コンクリートの内部欠陥の有無を非破壊で評価することは構造物の品質管理, 維持管理において有効であり, 様々な方法が検討されている。これらの方法の一つに衝撃弾性波法がある。衝撃弾性波法では, コンクリート表面(入力面)から鋼球打撃により弾性波を入力し, 入力面と対向する背面(対向面)などで反射した縦弾性波(反射波)の往復時間を測定して評価する方法が主に検討されている。しかし, この評価方法は, 入力面と対向面が平行であること, 構造物の形状が版形状であること, などの多くの適用条件があり, 実構造物での適用が困難となることがある。そこで今回は, この反射波に着目する方法ではなく, コンクリート表層付近を伝搬するレイリー波の速度を測定することによる評価方法を検討したので, その結果について報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験内容および測定方法

実験では, 先ず, 2次元弾性体波動方程式の有限差分法による数値解法¹⁾を用いて検討し, 次に, シース管内の充填不足を模擬した供試体(シース供試体)で測定した。数値解析の設定条件を表1に, シース供試体の全景および測定状況を図1に示す。シース供試体にはφ80mmの鋼製シース管が埋設され, 管内のグラウトの充填率は0, 50, 80, 100%の4種類である。測定は充填率の異なる4箇所を実施し, 各箇所直径10mmの鋼球での打撃により弾性波を入力する点(打撃点)と3点の受信点(ch1, ch2, ch3)を設定した。打撃点と受信点を結ぶ直線はシース管と直交し, シース管の中心から200mm離間した点に打撃点, 150mm離間した点にch1, シース管の中心の直上の点にch2, ch2から50mm離間した点にch3を設置した。サンプリング時間間隔は2μs, 測定時間長は1msである。

数値解析の条件は, シース供試体のこれら4箇所での測定を想定して設定した。充填率100%を想定し, モデル内部に空隙を含めない条件と, 例えば充填率50%を想定して, 40mm×80mmの空隙を入力面からの深さ90mmに設定した条件で解析を実行し, ch1, ch2, ch3と一致する位置で速度波形を得た。

2. 2 レイリー波速度の算出方法

数値解析の実行例を図2に, 数値解析により得られる速度波形と, フーリエ変換により周波数分解能0.05kHzで各周波数の初期位相を式(1)により求めた結果の例を図3に示す。

$$\theta_f = \tan^{-1}(b_{nf}/a_{nf}) \quad (1)$$

ここで, θ_f : 周波数 f の初期位相(rad), a_{nf} : 周波数 f のフーリエ余弦係数, b_{nf} : 周波数 f のフーリエ正弦係数である。

鋼球打撃により発生する弾性波には, レイリー波, 反射波など複数の弾性波が存在するが, 既往の研究により, 反射波

表1 数値解析の主な設定条件

設定項目		設定条件
P波速度(m/s)		4000
S波速度(m/s)		2320
測定時間長(ms)		1.0
接触時間(μs)		100
モデル高さ(mm)		300
空隙寸法 (mm)	充填率0%	幅80×高さ80
	充填率50%	幅40×高さ80
	充填率80%	幅16×高さ80

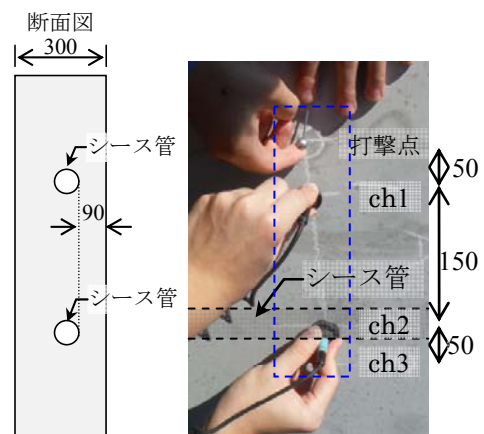
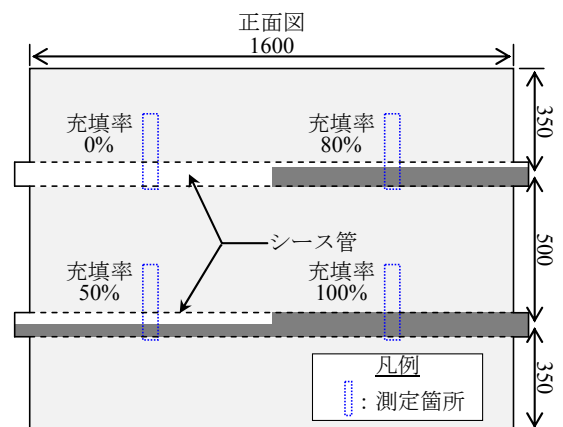


図1 供試体の全景と各箇所での測定状況

キーワード: 衝撃弾性波法, 位相差, 内部欠陥探査, レイリー波速度

連絡先: 〒143-0004 東京都大田区昭和島 2-4-3 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3764-0198 E-mail siwano@ri-k.co.jp

が繰り返し反射することにより生成される周波数よりも高域の周波数は、主にレイリー波であることが確認されている²⁾。従って、厚さ 300mm のコンクリートでは、周波数 8kHz 以上はレイリー波であり、2つの受信点間を一定の時間差で伝搬する。このとき、2つの受信点で式(1)により求めた初期位相の差（位相差 $\Delta\theta_f$ ）には式(2)の関係が成立する。

$$\Delta\theta_f = 2\pi \cdot \Delta T_R \cdot f \quad (2)$$

ここで、 f : 周波数、 ΔT_R : レイリー波の伝搬時間差である。位相差と周波数は直線関係であり、その直線の勾配は伝搬時間差から決定される。そこで今回の実験では、先ず、複数の受信点で得られた速度波形に対するフーリエ変換から各周波数での位相差を求めた。次に、位相差と周波数との直線関係を最小二乗法により求め、この勾配と2つの受信点間の距離からレイリー波速度を決定した。以上のとおり、ch1・ch2間およびch1・ch3間でのレイリー波速度を測定し、内部欠陥の有無を評価できるのかを検討した。

3. 実験結果

図4に数値解析で得られた速度波形でのレイリー波速度の測定結果を示す。充填率 100%を想定した場合と比較すると、ch1とch2またはch3との間に空隙が存在することにより、測定されるレイリー波速度が低下することが確認される。レイリー波は、入力面からある程度の深さまで伝搬すると考えられることから、伝搬経路中に空隙が存在することにより、速度が低下したものと考えらえる。また、本法ではレイリー波速度を測定された速度波形の初期部分のみからではなく、測定時間長 1ms とある程度の時間の速度波形に対するフーリエ変換により求めていることから、この伝搬経路中の空隙の影響をより反映したものと考えらえる。

シース供試体で実際にレイリー波速度を測定した結果を図5に示すと、数値解析と同様にch1とch2またはch3との間に空隙が存在することにより、測定されるレイリー波速度が低下することが確認される。ただし、ch1・ch3間では充填率 80%での速度低下を確認できなかった。レイリー波の伝搬経路が短くなるch1・ch2間では速度低下が確認されていることから、受信点間の距離によって評価可能な空隙の寸法が変わることも考えらえる。

4. まとめ

衝撃弾性波法によるコンクリート内部の欠陥評価を、レイリー波速度の測定により実施する方法について検討した。その結果、コンクリート表面に複数の受信点を設定し、測定時間長 1ms の速度波形に対するフーリエ変換からレイリー波速度を決定することにより、深さ 90mm に存在する空隙の影響を反映できることを確認した。今後は適用可能な空隙の深さ位置や大きさ、適切な受信点間の距離などについて検討していく。

【謝辞】 本実験で測定した供試体は（一社）iTECS 技術協会よりご提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1) 内田慎哉ほか：衝撃弾性波法によるコンクリートの内部欠陥の検出に関する理論的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.2121-2126，2016. 2) 岩野聡史，渡部正，内田慎哉：部材厚さの大きいコンクリートに適用可能な衝撃弾性波法による基本周波数の測定方法の検討，土木学会論文集 E2，Vol.73，No.2，pp.207-219，2017

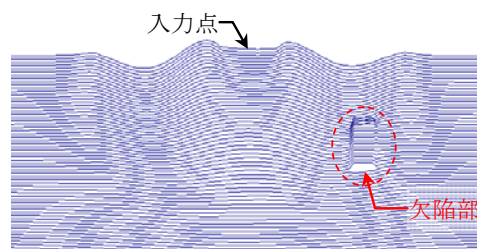


図2 数値解析の例（欠陥寸法：40mm×80mm）

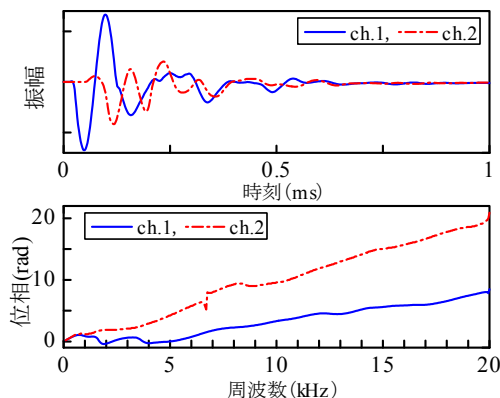


図3 速度波形（上図）と初期位相（下図）の結果例

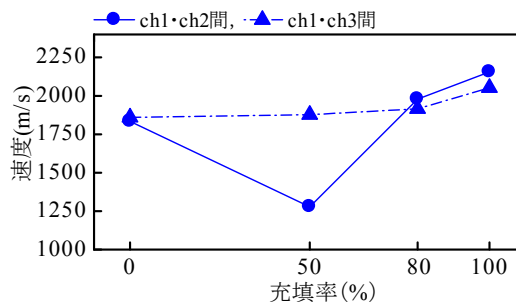


図4 数値解析でのレイリー波速度測定結果

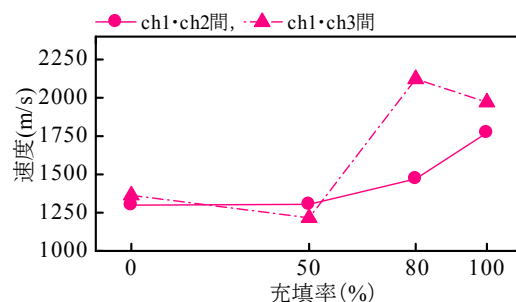


図5 シース供試体でのレイリー波速度測定結果