

空洞がコンクリートの弾性波速度に及ぼす影響

P- wave speed of concrete, affected by the internal flaws

(株)東洋計測サチ 山下 健太郎 アプライド サチ(株) 境 友昭
Kentaro Yamashita (Toyo survey and research Inc) Tomoaki Sakai (Applied Inc.)
iTECS 技術協会 極檀 邦夫 (独)土木研究所 森濱 和正
Kunio Gokudan (iTECS Association) Kazumasa Morihama (Public Works Research Institute)

衝撃弾性波法を用いた弾性波速度の測定結果に、コンクリート構造物内部の空洞やクラックが及ぼす影響について、内部欠陥を模した種々の空洞を有するコンクリート供試体を用いて実験的な検討を行った。また、従来のP波を対象とする測定を補完する手法として、レイリー波速度を用いた評価手法の適用可能性について、模索した結果を報告する。

キーワード：衝撃弾性波，表面弾性波速度，レイリー波

1. はじめに

衝撃弾性波法によるコンクリートの弾性波速度の測定について、これまでの研究によって、多重反射の周期から求めた弾性波速度や、厚さ方向に透過する弾性波速度は、構造体内部の欠陥やシース管といった埋設物の影響を受けて低下することが分かっている。また、このことを利用して、内部欠陥の探査や健全性の評価を行っている。一方、表面での弾性波速度の測定では内部の鉄筋の影響を受けることはわかっている¹⁾が、表面での測定に及ぼす内部欠陥の影響については精査する余地が残っている状況である。

本研究は、表面での弾性波速度の測定に及ぼす内部空洞の影響について、内部に空洞を有するコンクリート供試体を用いて実験を行い、その影響を検討するとともに、従来のP波を対象とした測定を補完する手法として、レイリー波速度の適用可能性について考察を行った結果を報告するものである。

2. 表面での弾性波速度の測定方法

表面での弾性波速度の測定は、通常2つの加速度計を用いて行う。波動の入力は測定ラインの延長上の任意の箇所を直径10mm程度の鋼球によって、コンクリート表面を軽打して行う。測定された波形(図1右)からそれぞれの加速度計に波動(P波)が到達する時間差を測定し、測定点間の距離Lとから、弾性波速度を計算する。センサ間の距離は100mm~1000mm程度に移動しながら測定する²⁾。また、弾性波速度は、回帰式によって決定する。本研究ではレイリー波の適用についても検討を行うため、図1の矢印R (レイリー波によって急速に波形が立下がる位置)³⁾、R (最初のレイリー波のピーク)に示す波形の到達時間差についても、読み取りを行った。

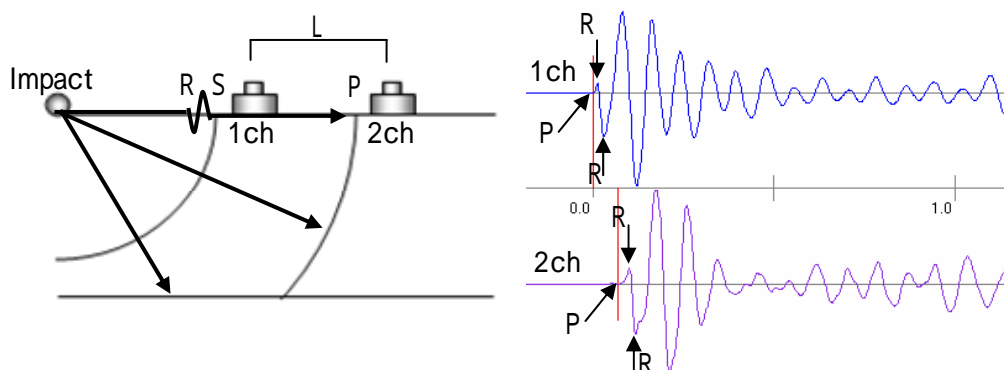


図1 表面での弾性波速度の測定方法

3. 実験の概要

3.1 コンクリート供試体

供試体は内部にポーラスコンクリートや発泡スチロールが埋設されたボックスカルバート状の構造物(写真1)である。本研究では壁2面とスラブ1面について測定を行った。

供試体の詳細と埋設物を表1に示す。

表1 供試体の部材データと埋設物

| | 設計強度 (N/mm ²) | 厚さ (mm) | 埋設物 |
|----|------------------------------|------------|-------------------------------------|
| 壁1 | 45 | 300 | ポーラスコンクリート(P) (100*200, 150*260) |
| 壁2 | 18 | 600 | ポーラスコンクリート(P) (100*200, 150*260) |
| 床版 | 30 | 260 | 発泡スチロール(F) (200*200*60) |



写真1 測定供試体

3.2 測定方法

測定ラインは図2に示すように、埋設物上及び、その近傍の箇所(埋設物の無い箇所)に、水平面に対して45°の角度で設けた。センサ1は固定し、センサ2を100mm間隔で移動させながら測定を行った。また、センサ間距離が300~400mmの時点で埋設物上にセンサ2が到達するように測定点を決定した。測定は各測定点で5回ずつ行った。打撃には直径15mm(18g)の鋼球を用いた。本研究では、センサ1の計測と打撃を兼ねて行うことが出来る、加速度計内蔵のインパルスハンマ(85g)を用いた測定も同時に行った。

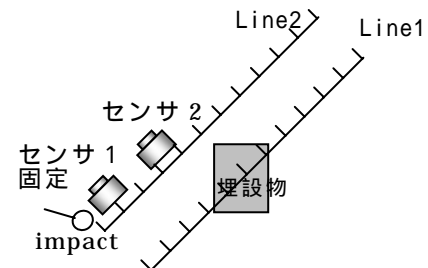


図2 測定ライン

4. 測定結果

回帰式によって得られた、測定ライン毎の弾性波速度の一覧を表3に示す。また、代表的な箇所での測定結果及び、測定波形を図4、図5に示す。

表2 弾性波速度測定結果一覧

| 測定箇所 | No | 内部の状況) | 被り (mm) | 打撃 方法 | 縦弾性波 速度 V _P (m/s) | レイリー波 速度 V _R (m/s) | レイリー波 速度 V _R (m/s) |
|------|----|----------------|------------|----------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 壁1 | 1 | 100*200 P | 50 | 鋼球 | 4107 | 2299 | 2183 |
| | 2 | 150*260 P | 50 | 鋼球 | 3925 | 2254 | 2060 |
| | 3 | 150*260 P | 50 | ハンマ | 4085 | 2313 | 2173 |
| | 4 | 1 近傍, 埋設物無し | - | 鋼球 | 4090 | 2339 | 2258 |
| 壁2 | 5 | 150*260 P | 70 | ハンマ | 3258 | 1960 | 1661 |
| | 6 | 150*260 P | 20 | 鋼球 | 3269 | 1838 | 1724 |
| | 7 | 150*260 P | 20 | ハンマ | 3333 | 1811 | 1764 |
| | 8 | 5 近傍, 埋設物無し | - | ハンマ | 3373 | 2022 | 1844 |
| | 9 | 6,7 近傍, 埋設物無し | - | 鋼球 | 3451 | 1999 | 1794 |
| | 10 | 6,7 近傍, 埋設物無し | - | ハンマ | 3343 | 1870 | 1753 |
| スラブ | 11 | 200*200*60mm F | 48 | 鋼球 | 2698 | 1798 | 1806 |
| | 12 | 200*200*60mm F | 48 | ハンマ | 3129 | 2239 | 2148 |
| | 13 | 埋設物無し | - | 鋼球 | 3269 | 1962 | 1782 |
| | 14 | 埋設物無し | - | ハンマ | 3091 | 2065 | 2178 |

)Pはポーラス, Fは発泡スチロールを意味する

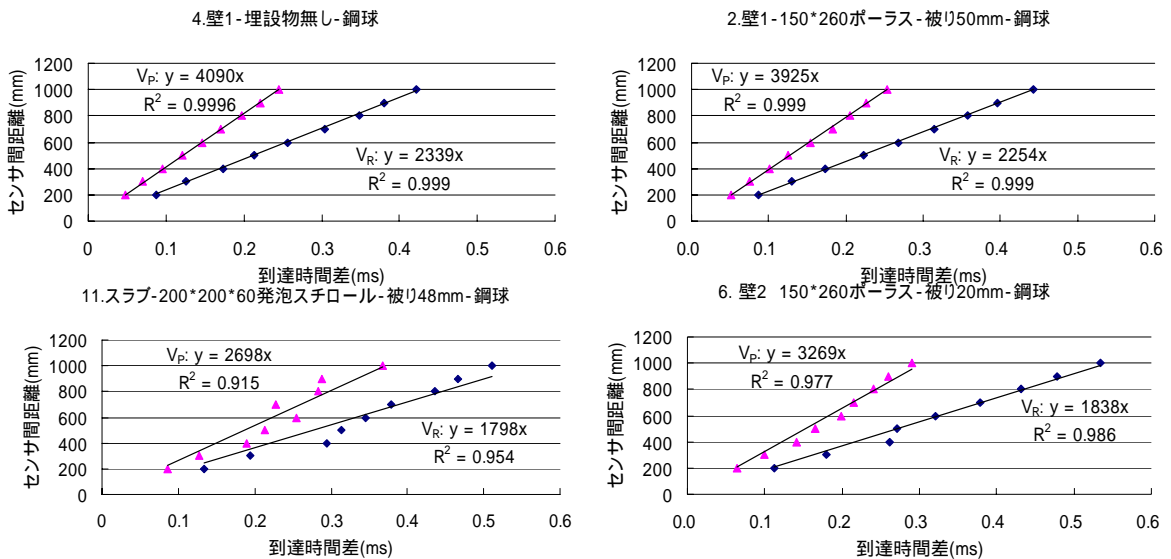


図4 回帰式による弾性波速度の計算結果

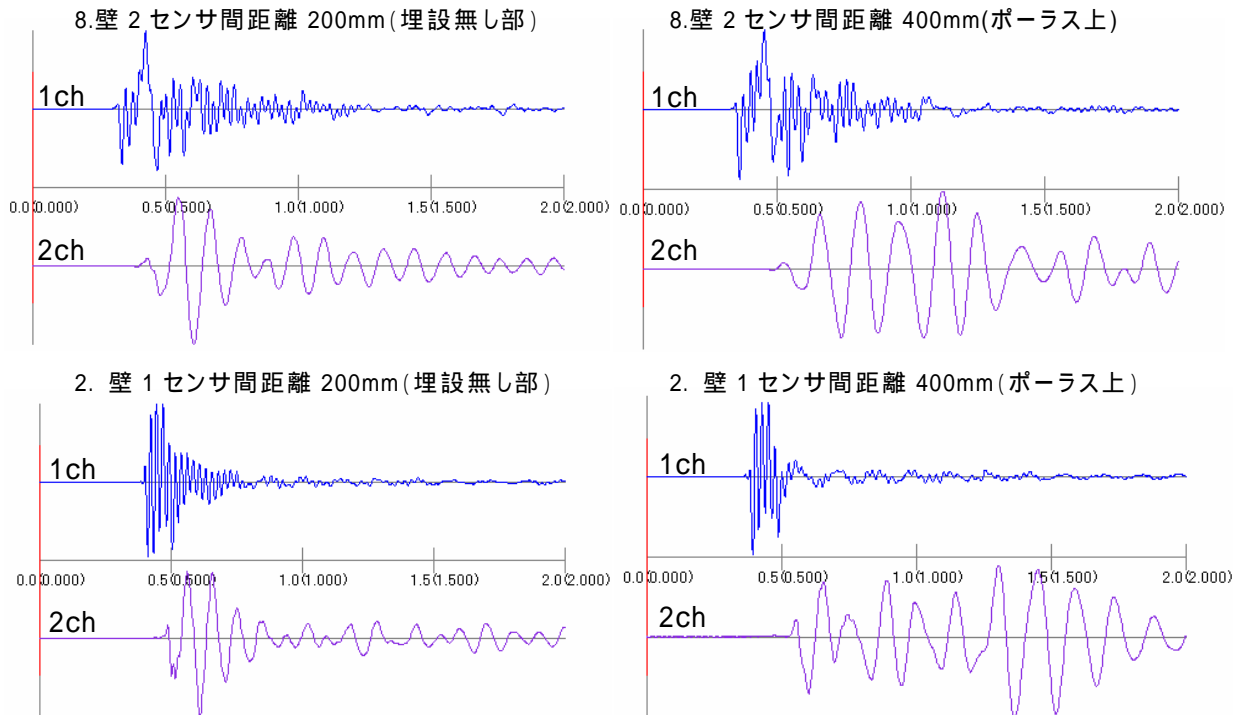


図5 測定された加速度波形

設計強度の低い壁2やスラブでは、埋設物上を通過する測定ラインで求めた弾性波速度は、埋設物のない箇所と比べて、低下している。

また、図4左下において、センサ2が埋設物上(センサ間距離 300mm~500mm)にある時の測定結果は、埋設物の影響を受け、弾性波速度が約15%程度低下したことがわかる。

埋設物付近の測定点では、振幅が大きく、減衰しない波形(図5右上)が計測された。いわゆる膜振動の現象が起こっていると推測される。壁1では、弾性波速度の低下は見られなかったものの、空洞上での測定波形には、膜振動と思われる現象が計測された(図5下段)

5. まとめと考察

5.1 空洞が表面での弾性波速度の測定に及ぼす影響

空洞上で弾性波速度の測定を行うと、測定される弾性波速度は低下する場合があ

ることが分かった．従って，測定ラインを決定する際，予め，多重反射法での内部欠陥の探査や，安定した測定波形が得られることを確認する必要がある．

5.2 レイリー波の適用可能性について

表3に各測定ライン毎に測定された V_P, V_R 及び V_R の測定結果と，回帰式の相関係数，回帰式周りの残差の平均， V_R 及び， V_R と V_P の比率の計算結果を示す．

ここで，R波の速度 V_R と，P波速度 V_P はポアソン比を ν とすると次式のような関係がある．

$$V_P = \frac{1+\nu}{0.87+1.12\nu} \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} V_R \quad (1)$$

コンクリートのポアソン比はおおよそ，0.17~0.2 の範囲であるが，ポアソン比が0.17の場合は $V_R = 57.1\% V_P$,0.2で55.8%となるので，ポアソン比の違いがレイリー波速度の測定結果に与える影響は，測定回毎の読み取り差に比べて小さい．

また，レイリー波の波形の読み取り位置については，図1の の箇所が適当である事が分かった．

表3 測定ライン毎の測定結果比較

| No | V_P (m/s) | V_P 残差 | V_R (m/s) | V_R 残差 | V_R (m/s) | V_R 残差 | V_R / V_P (%) | V_R / V_P (%) |
|----|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | 4107 | 6.87 | 2299 | 5.88 | 2183 | 18.3 | 56.0 | 53.1 |
| 2 | 3925 | 8.89 | 2254 | 6.25 | 2060 | 18.9 | 57.4 | 52.5 |
| 3 | 4085 | 15.40 | 2313 | 7.84 | 2173 | 18.4 | 56.6 | 53.2 |
| 4 | 4090 | 7.71 | 2339 | 8.17 | 2258 | 4.9 | 57.2 | 55.2 |
| 5 | 3258 | 73.36 | 1960 | 28.38 | 1661 | 33.8 | 60.2 | 51.0 |
| 6 | 3269 | 33.81 | 1838 | 23.89 | 1724 | 30.7 | 56.2 | 52.7 |
| 7 | 3333 | 14.64 | 1811 | 20.39 | 1764 | 30.3 | 54.3 | 52.9 |
| 8 | 3373 | 51.91 | 2022 | 8.61 | 1844 | 13.5 | 60.0 | 54.7 |
| 9 | 3451 | 18.44 | 1999 | 16.65 | 1794 | 18.4 | 57.9 | 52.0 |
| 10 | 3343 | 13.68 | 1870 | 29.95 | 1753 | 18.4 | 55.9 | 52.4 |
| 11 | 2698 | 71.71 | 1798 | 66.48 | 1806 | 36.9 | 66.7 | 66.9 |
| 12 | 3129 | 38.97 | 2239 | 19.72 | 2148 | 19.4 | 71.6 | 68.7 |
| 13 | 3269 | 16.72 | 1962 | 42.97 | 1782 | 24.3 | 60.0 | 54.5 |
| 14 | 3091 | 37.75 | 2065 | 34.49 | 2178 | 18.5 | 66.8 | 70.4 |

V_P と V_R を比較すると，両者とも，埋設物の影響を受けるものの，残差の平均に着目すると振幅が大きく，ピークが明確である V_R の位置での測定の方が，安定性が高いと思われる．

5.3 今後の展望

今回測定を行ったスラブには（表3 No11~14），埋設物が密に配置されており，表面に微細なクラックも見られたため，P波の立ち上がりを正確に検知することが困難であった．このことが，レイリー波速度との比率が大きくなった原因であると考えられる．既設の構造物での弾性波速度の測定の際には，エネルギーの大きなレイリー波の速度を用いることで，従来のP波の計測を補完できる可能性があることが分かった．今後は，レイリー波の測定精度を向上させるために，インパルス応答関数を使った計算手法について検討していきたい．

[参考文献]

- 1) 岩野聡史，境友昭：非破壊試験によるコンクリート品質，厚さ，鉄筋の計測に関する研究その13 表面波に及ぼす鉄筋の影響，日本非破壊検査協会平成12年度秋季大会講演概要集
- 2) 独立行政法人土木研究所：微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（案）
- 3) Mary Sansalone, Jiunn-Ming Lin, William B strett: A Procedure for Detaming P-wave speed in concrete for Using Impact-Echo Testing Using a P-wave speed Measurement Technique, ACI Materials Journal/November-December1997