

衝撃応答解析によるコンクリート構造物の損傷と P 波速度の関係に関する検討

東北学院大学 工学部 学生会員 ○大村 章太
東北学院大学 工学部 正会員 李 相勳

1.はじめに

衝撃弾性波法を用いてコンクリート構造物の部材厚さや内部欠陥を求めるには、測定方向に対する弾性波の伝播速度、すなわち P 波速度の設定が重要である。特に可視化手法によりコンクリートの断面をプロットする場合、測定断面内に比較的小さい欠陥や材料の損傷部が存在すると断面内部からの反射波が分散され、健全なコンクリートの伝播速度に比べて P 波速度が遅くなり測定精度に影響を与える。本研究では、コンクリート構造物の損傷と P 波速度の関係性を明らかにするため衝撃応答解析により欠陥の位置や分布を変化させながらパラメトリック検討を行いその成果を報告する。

2.衝撃弾性波法と衝撃応答解析

衝撃弾性波法とは、試験対象のコンクリート表面に鋼球やハンマー等で物理的な衝撃を与えることで弾性波を発生させ、対象コンクリート中を伝搬した弾性波を対象物に接触させたセンサで受信し、測定した弾性波を分析することで、コンクリートの品質やコンクリート内部の欠陥、位置、寸法を測定する方法である。

本研究では有限要素動的解析プログラムによる衝撃応答解析を衝撃弾性波法に適用させ様々な検討を行った。解析時間短縮のため平面ひずみ要素として解析を行った。解析モデル(図 1)には拘束条件が固定である最下端と対象物を想定する本体モデルの間に、剛性 ≈ 0 である仮想の層を設けることで下面の自由面を表現した。解析条件は、密度 2300kg/m^3 、ヤング係数 $2.0 \times 10^{10}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比 0.2、時間間隔 $2\mu\text{s}$ とした。要素の大きさは一律 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ である。測定方向の両端が自由の場合は、その区間の長さの半波長の整数倍に該当する周波数成分が共振し式(1)の関係式が成立する。

$$f = \frac{V}{2D} \quad (1)$$

ここに、 D : コンクリートの厚さまたは内部欠陥までの距離、 f : 共振周波数、 V : 伝播速度

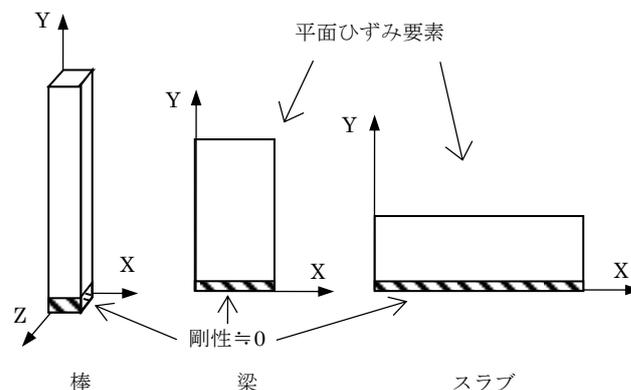


図 1 解析モデルの境界条件

3. コンクリート構造物の損傷と P 波速度の関係

3.1 解析対象

解析対象は、 $120\text{cm} \times 30\text{cm} \times 2\text{cm}$ の 1/2 モデル(要素の大きさは $2\text{cm} \times 2\text{cm}$)で、平面ひずみ要素として作成した。このモデルにおいて次の 2 パターンの損傷を考え、解析を行った。

損傷パターン 1: 要素と同じ大きさの欠陥を、打点直下から横方向に要素 1 つおきに増加させる。(図 2)

損傷パターン 2: 荷重作用直下に要素 1 つ分の欠陥を設け、欠陥の高さ位置を変化させる。(図 3)

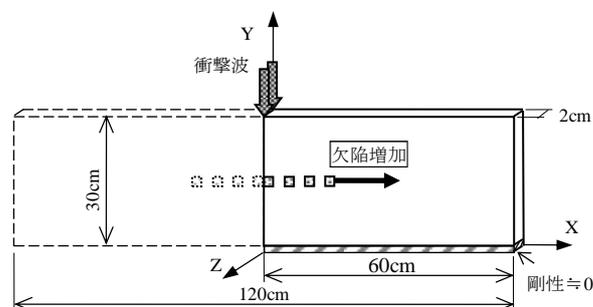


図 2 損傷パターン 1

キーワード: P 波速度、コンクリート構造物、欠陥、損傷、衝撃応答解析

連絡先: 〒986-8537 多賀城市中央 1-13-1 東北学院大学 環境建設工学科 TEL: 022-368-7433

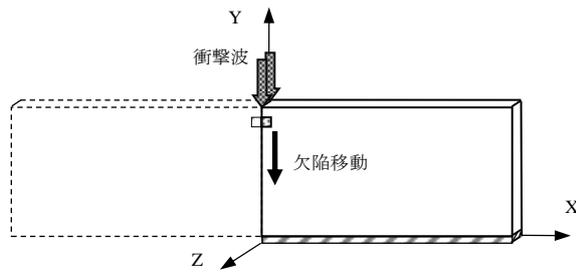


図3 損傷パターン2

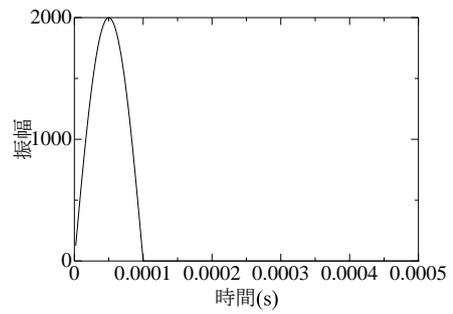


図4 入力する衝撃波

3.2 入力する衝撃波

各解析モデルに与える衝撃は図2に示すようにモデルの(-)Y軸方向に図4の衝撃波を荷重として作用させ動的応答解析を行った。今回の解析では、時間幅0.0001sの衝撃波を用いた。

3.3 解析結果

図2の解析対象において、欠陥の数が0~15個のモデルに対して衝撃応答解析を行い、荷重作用直下における応答加速度に対するスペクトルの一部(欠陥の数0~5個)を図5に示す。縦の破線で示すのは、欠陥なしのモデルにおける共振周波数(4792.2Hz)である。図からわかるように、欠陥の増加につれて荷重作用点直下断面に対する共振周波数が左に移動(減少)している。図6はその共振周波数を縦波伝播速度に換算し、欠陥の数との関係として表したものである。この図より、欠陥の存在が伝播速度に与える影響は、測定点からの距離に対して指数関数的に減少することが分かる。これは、測定より欠陥と推定されたとき、その欠陥の位置は概ね打点直下に存在することを示している。

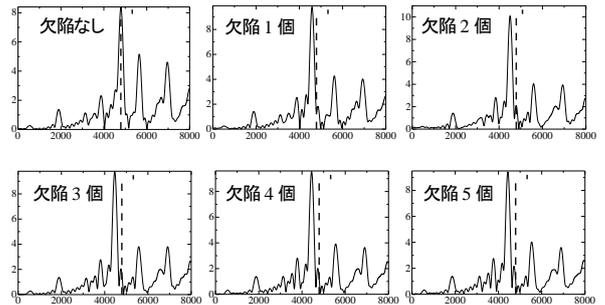


図5 欠陥の増加による周波数の変化

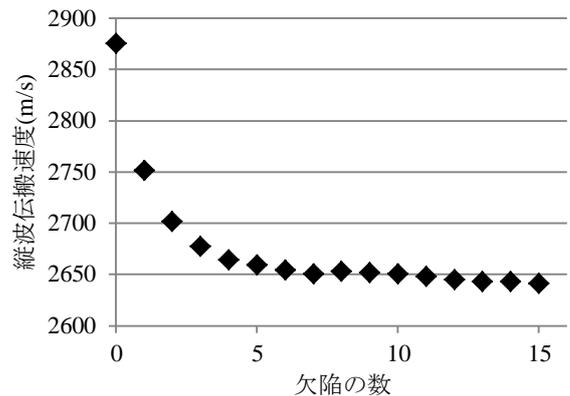


図6 横方向への欠陥増加による縦波伝播速度の変化

次に、荷重作用点の下(図3のY軸上)に欠陥を1つだけ設けると、すなわち損傷パターン2における欠陥の移動による伝播速度の変化を図7に示す。この図より、欠陥の位置が両端部にある場合では、伝播速度は欠陥なしの場合に比べほとんど変化が見られないが、端部から離れるほど減少し、欠陥が中央部にある場合で最小値となることが分かる。すなわち、欠陥の大きさが比較的小さい場合(欠陥までの距離に該当する周波数が識別できないほど小さい場合)は、その位置が断面中央にある場合が最も測定されやすいことを示している。

4.結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 欠陥の存在が伝播速度に与える影響は、測定点からの距離に対して、指数関数的に減少する。
- 2) 荷重作用点の直下の欠陥に対して、欠陥の位置が中央に近いほど、伝播速度は減少し、中央で最小値になる。

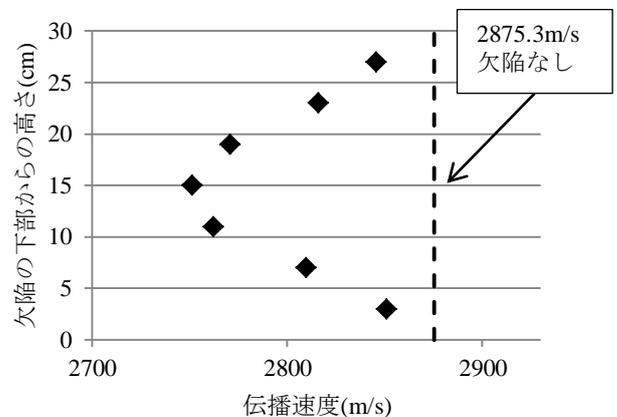


図7 欠陥の縦方向での位置変化による伝播速度の変化