

打音法による非破壊検査手法への有限要素法解析の適用

早稲田大学大学院理工学研究科建設工学専攻

学生会員 ○山下 雄太

早稲田大学理工学部社会環境工学科

フェロー 清宮 理

1. 目的 鋼コンクリート合成部材の施工不良により鋼殻内に発生するコンクリートの未充填部の非破壊検査法には、さまざまな方法があるが、本研究では打音法による検出を対象とする。現在の打音法の問題点としては、打撃・判定が熟練した人間の手によるものであり、連続的な測定が出来ないことや、客観的なデータが示せないため、未充填部の確認への説明力が足りないことが挙げられる。そこで、打音の波形を分析することによって未充填部をより精度良く検出することを目標として、有限要素法を用いた解析を行い、過去に行った実験結果¹⁾と比較した。その中で、未充填部内が水で満たされているケースの実験での波形（図1）は、水が存在しないケース（図2）と比較して振幅が小さく、継続時間が短かった。充填部を打撃したケースの波形（図3）にも同様の特徴がある。このため内部に水が満たされている未充填部を充填部と判定してしまう危険性がある。しかし、スペクトルに注目すると未充填部が大きい場合は未充填部とも充填部とも異なる周波数分布となる。そこで、本研究では未充填部内に水を満たしたケースでの解析を行い、この差異についての検討を行った。

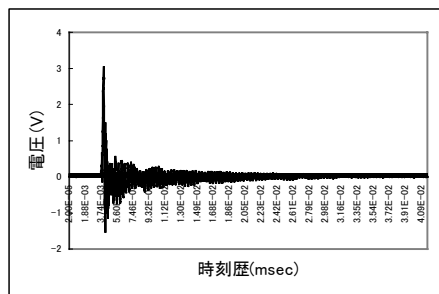


図1 水が存在する未充填部の実験波形

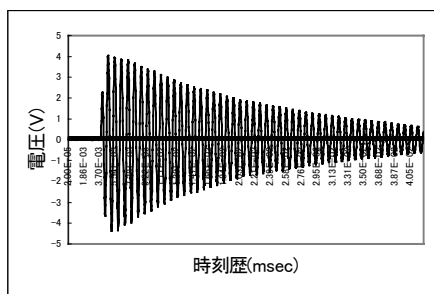


図2 水のない未充填部の実験波形

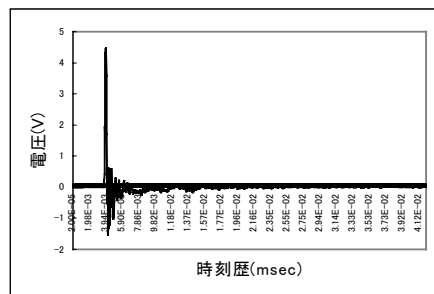


図3 充填部の実験波形

2. 解析モデル 解析の対象としたのは図4に示すような実験供試体である。円柱形の空洞を持つ設計基準強度 24N/mm^2 の普通コンクリートの上面に鋼板 (SS400) がスタッドジベル4本で固定されている。供試体の高さ30cm、縦横50cm、板厚9mmである。この供試体を、8節点4角形の平面歪要素からなる、要素数6000程度の、図5のような二次元の有限要素モデルにモデル化した。上面から衝撃荷重を与え、動的応答解析を行った。コンクリート部分の下面は固定境界で、周囲は自由境界とした。またひずみが小さいことから材料非線形性は考慮していない。減衰には Rayleigh 減衰を用いた。必要となる係数 α 及び β は、未充填部の鋼板を両端固定の梁と仮定して求めた固有振動数を基準に、減衰定数を1%に設定して計算した。打撃は、実験結果を参照して、周期0.08msecの三角波を、打撃する点への集中荷重で1/2周期分与えた。数値積分は $\Delta t = 0.02\text{msec}$ で2100ステップとした。未充填部内に水が満たされているケースについては、未充填部内を、ポアソン比0.4999、密度 1.00g/cm^3 の要素で埋めた。水の体積圧縮率は $0.36(\text{GPa})^{-1}$ であるが、水要素のヤング係数としては、コンクリートのヤング係数である 25kN/mm^2 を基点と

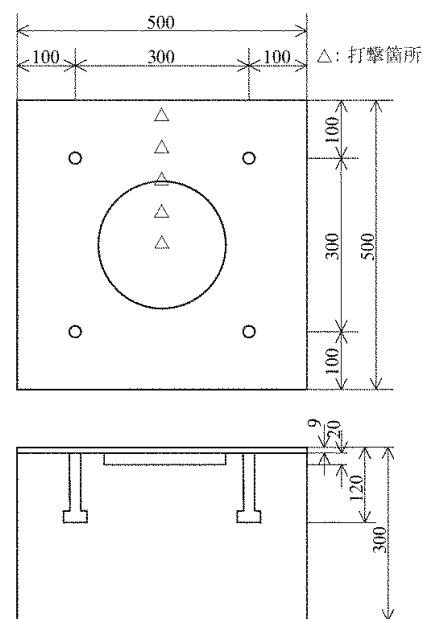


図4 実験供試体

キーワード 打音法、有限要素法、合成部材、動的解析、

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館16F-01 TEL. 03-5286-3852 FAX. 03-5286-3852

してヤング係数を0.1倍ずつに小さくしたものを10ケース作成し、計算を実施した。

3. 解析結果 未充填部中央を打撃したケースについて、打撃点の鉛直方向変位の応答波形と、その波形のフーリエスペクトルを結果として得た。未充填部内の要素のヤング係数を変化させた10ケースを比較した。ヤング係数をコンクリートと同じにした場合の波形及びスペクトルでは充填部を打撃した場合と同様に、高い振動数にもピークが見られた。一方、ヤング係数をコンクリートの 10^{-7} 倍にしたところで、未充填部を打撃したときとほとんど同じ波形及びスペクトルになった。両者の中間にあたるケースとして、ヤング係数をコンクリートの 10^{-6} 倍にしたケースでの波形及びスペクトルを図6及び図7に示す。また、比較の対象となる実験での電圧波形及びスペクトルは図8及び図9である。水のヤング係数について、 $2.5 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^5 (\text{N/m}^2)$ と、水の圧縮率 $0.36(\text{GPa})^{-1}$ をもとに水のポアソン比を計算すると、 $0.499875 \sim 0.4999875$ となる。このことから、未充填部の水はほぼ完全な非圧縮性を持つとして良いと考える。

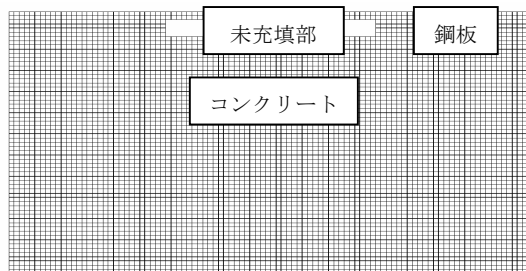


図5 メッシュ図

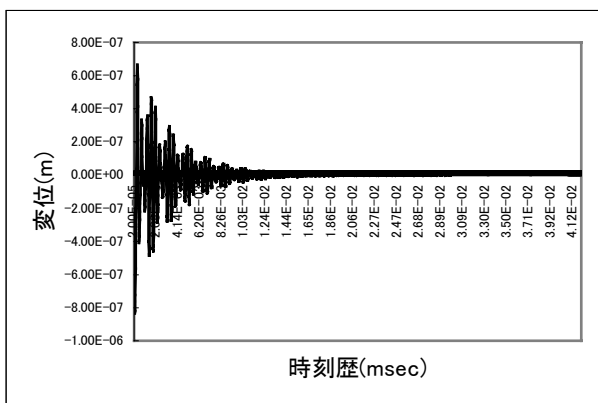


図6 変位応答波形（ヤング率 10^{-6} 倍）

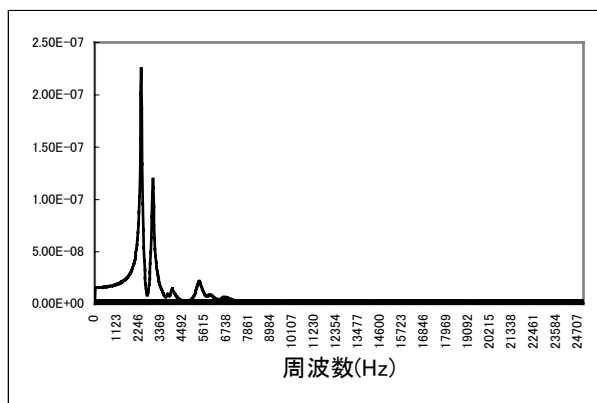


図7 フーリエスペクトル（ヤング率 10^{-6} 倍）

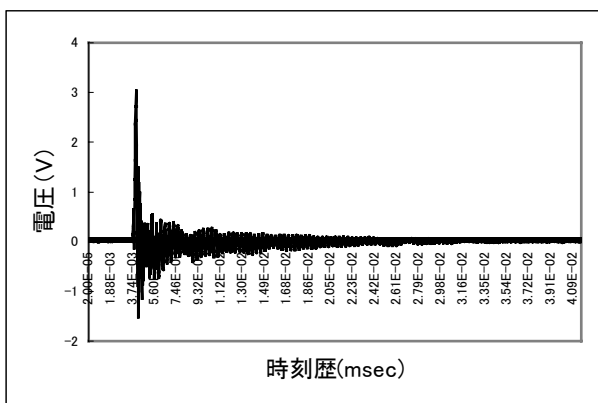


図8 電圧波形（実験）

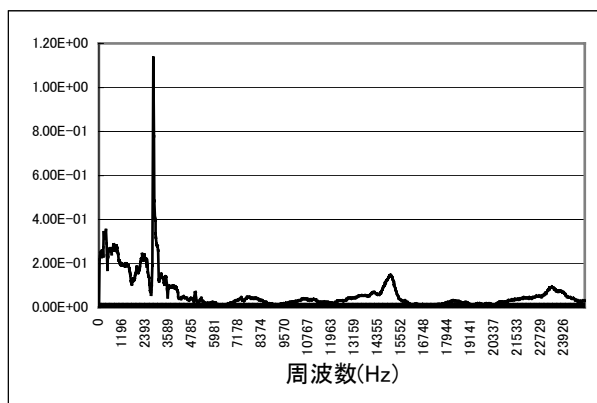


図9 フーリエスペクトル（実験）

4. 考察 未充填部の水の有無により打音の正常が大きく異なる。有限要素法の解析によると未充填部の水要素のヤング係数によって打音に変化があるが、必ずしも実験と一致する卓越振動数や波形は得られなかった。ただし、水が存在する場合も振幅は小さいがスペクトルにはっきりしたピークが現れる。充填部と区別でき未充填部はある程度検出できるものと思われる。水に浸かっている場合には打音の検出に注意が必要である。

5. 参考文献 1) 壹岐直之、清宮理 他 合成部材での未充填部の打音法検査、コンクリート工学年次論文集 Vol.23、No.1、pp.595-600、2001.6 2) 秋山哲治、清宮理 他 合成部材での未充填部の打音検査に関する実物大実験、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、pp.1677-1682、2002.6