

コンクリート内部の鉄筋の大きさや位置が弾性波速度に及ぼす影響に関する解析的研究

東北学院大学 工学部 学生会員 ○高橋 凌
東北学院大学 工学部 非会員 楯石 凌平
東北学院大学 工学部 正会員 李 相勲

1. はじめに

構造解析ソフトを用いて大きさや配置の異なる鉄筋を設けたコンクリート供試体を想定しコンクリートモデルを作成した。そのコンクリートモデルに対して衝撃荷重による時刻歴応答解析を行い得られた波形から弾性波速度を求め、そのデータの比較分析を行った。コンクリート内部の鉄筋の有無や大きさ、鉄筋の断面内の深さなどを変更しながらパラメトリック解析を行い、それぞれの因子が弾性波速度に与える影響を明らかにすることで、実際の構造物に対する測定の際に鉄筋の位置を避けて測定すべきとの妥当性を示し、やむ得なく鉄筋の位置で測定をした場合その影響を取り除くための基準を提示することが本研究の目的である。

2. コンクリート供試体の解析モデル

解析対象として同研究グループのコンクリート平板供試体を想定しモデルを作成した。モデルの大きさについては、解析時間を節約するために、高さを 200mm と固定し横幅と奥行きを変化させながら予備解析を行い厚さ方向の共振周波数が影響しない最小寸法として 800×800ポアソン比はコンクリート標準示方書の値を参考に 0.2¹、弾性係数と湿潤単位重量は実測値から算出しそれぞれ $3.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ² と $2.29 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ とした。拘束条件と解析モデルの間に剛性 ≈ 0 の仮想の層を設け下面の自由面を表現した。解析モデルのメッシュは一辺 2mm の立方体である。例解析モデルの一つをとして図-1 に示す。

実測を想定した鉄球による衝撃は解析モデル上面中央一点に最大 90N、周りの 4 点に最大 45N、接触時間は $1.2 \times 10^{-5} \text{ s}$ の三角形時刻歴荷重を用いた。今回は弾性解析であり、共振周波数を求める解析のため荷重の大きさは解析結果に影響しない。

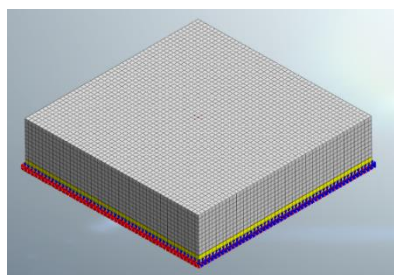


図-1 解析モデル

3. 鉄筋コンクリート供試体の解析モデル

解析モデルの大きさは前章で述べたように (800×800×200) mmとしその他の材料特性についても前章同様である。

鉄筋の弾性係数と単位体積重量をそれぞれ $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ と $7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ とした。鉄筋の長さは 800mm とし、断面は解析モデルを作成する際八角形になるため補正した。各鉄筋の公称断面積と補正した断面積の差は 1 %未満である。

鉄筋直径の各種類に対して、解析モデルごとに高さまた幅を変えながら解析を行った。図-2 と図-3 に各解析モデルの一例を示す。

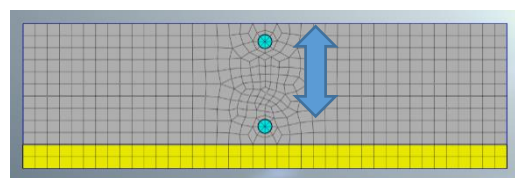


図-2 鉄筋の縦間隔変更モデル

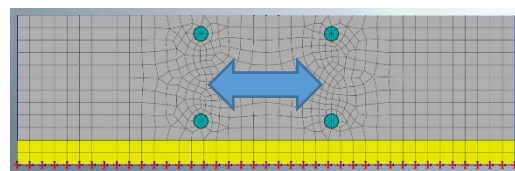


図-3 鉄筋の横間隔変更モデル

4. 解析結果

時刻歴応答解析より求めた、時刻歴応答加速度波形をフーリエ変換し、フーリエスペクトルから求めた厚さ方向の共振周波数を用いて次式より弾性波速度を求めた。

$$V_p = 2fd \quad (1)$$

ここに、弾性波速度： V_p (m/s)、共振振動数： f (Hz) 厚さ (m)

4.1 鉄筋の種類を変化させた場合

解析モデルを 9 パターン（鉄筋の種類 D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, D35）に対し鉄筋の高さは上下表面から 30mm の位置に鉄筋の中心が来るよう固定し解析した。解析結果から、種類別の弾性波速度の変化を図-4 に示す。これより鉄筋の断面積が大きくなるにつれ弾性波速度は遅くなることがわかる。このことは外側にある鉄筋厚さ方の伸縮振動に重さとして働くためであると考えられる。

キーワード：衝撃弾性波法 弾性波速度 コンクリート供試体 鉄筋 時刻歴応答解析

連絡先：〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1 TEL022-368-1

4.2 鉄筋縦間隔変更した場合

解析モデルを 21 パターン（鉄筋の直径 3 種類：D13, D22, D32 × 表面からの鉄筋の深さ位置 7 種類：20, 30, 40, 50, 60, 70, 80mm）に対して解析を行った。結果から、鉄筋の種類および位置による弾性波速度の変化を図-5 に示す。図-5 より鉄筋の断面積が増えると傾きが大きくなり、ある一点 (65.5, 4138) で交差ことがわかる。この点の弾性波速度は鉄筋無状態の弾性波速度にほぼ等しい値である。

4.3 鉄筋の横間隔変更した場合

解析モデルを 34 パターン（鉄筋の直径 3 種類：D13, D22, D32 × 鉄筋の間隔 10 種：0, 70, 140, 210, 280, 350, 420, 490, 560, 700mm + D19 鉄筋の間隔 4 種：0, 70, 140, 210mm）に対して解析を行った。解析結果から、鉄筋の種類および位置による弾性波速度の変化を図-6 に示す。これより 0mm から 244.63mm まで比例関係であり、それ以降弾性波速度 4111.08m/s で一定である。

5. 結論

今回の研究を経て以下の知見を得た。

1) 衝撃弾性波法による実測を、鉄筋の真上やその周辺を測定した場合、その値は鉄筋のない場所と比較すると変化するため、鉄筋がないところで測定するのが望ましい。

2) しかし鉄筋の影響があるところで測定をせざるを得ない場合以下の手順で補正を行い鉄筋による影響を取り除くことができる。

① 0 から 210mm の各種鉄筋の近似曲線の傾き α を図-7 から求めることができる。これを図-4 の近似曲線を用いると鉄筋間に仮想鉄筋の As' 断面積を想定することができる。これらの式を以下に示す。

$$\alpha = 1.1555 \ln(As) - 5.3804$$

$$As' = \alpha(526.12 - L/0.4649) + 83.72$$

α : 傾き, As : 鉄筋の断面積, L : 鉄筋間隔

As' : 仮想断面積

② 無鉄筋状態の弾性波速度から鉄筋の深さによる影響を考慮する。図-5 より以下の式を提案する。

$$\beta = 0.0133As - 0.6471$$

$$V_f = V_\beta - \beta(H_s - H_a)$$

β : 傾き, V_f : 無鉄筋の弾性波速度, As : 鉄筋の断面積

V_β : 鉄筋ありの弾性波速度, H_s : 鉄筋の挿入位置

H_a : 高さ定数(厚さ 20cm のスラブ材の時 65.5)

③ 上記の式に 1) で求めた As' と実測値を代入することにより鉄筋による影響を取り除くことができる。

3) 今回提案した関係式は使用条件(スラブ材の厚さ 20cm, 鉄筋 2 本のみ, 単位体積重量が固定など)が多いため条件が変更されたときに補正するには多くのモデルを解析する必要がある。

6. 参考文献

1) 2017 年制定コンクリート標準示方書設計編, 土木学会発行

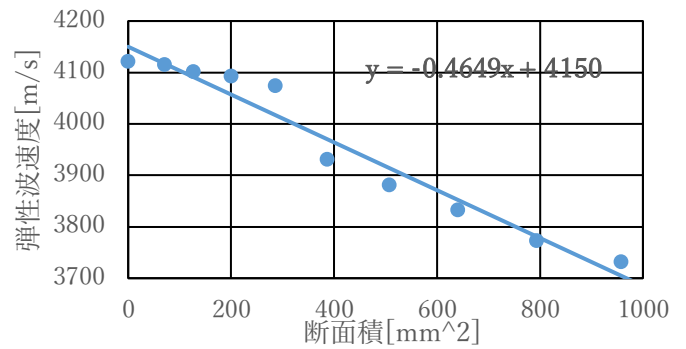


図-4：鉄筋断面積と弾性波速度の関係 ($L=0m$)

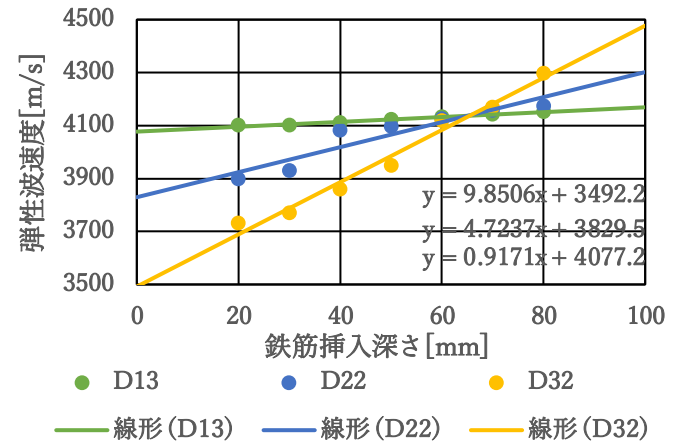


図-5：鉄筋深さ位置と弾性波速度の関係

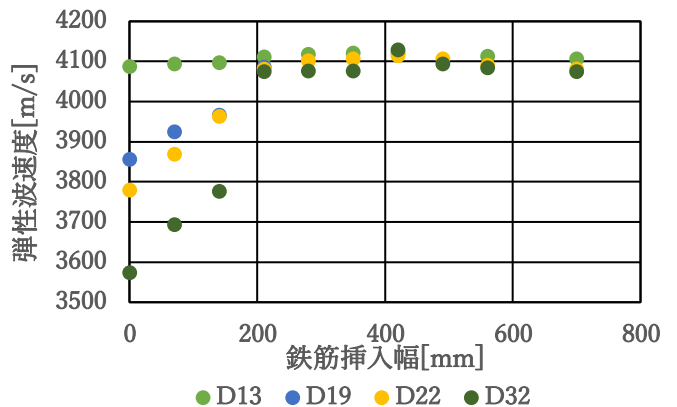


図-6：鉄筋横間隔と弾性波速度の関係

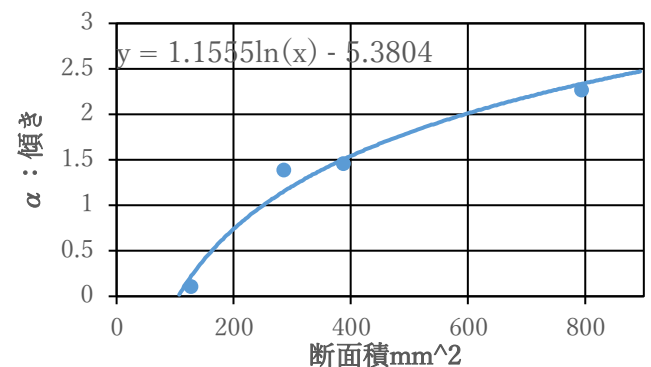


図-7：鉄筋の断面積と近似曲線の傾きの関係

2) 明石京介, 加藤圭太：コンクリート供試体の弾性波速度に対する解析的検討, 平成 28 年度土木学会東北支部技術研究発表会概要集, V-5