

V-126

弾性波を用いたひびわれを有する鉄筋コンクリートの欠陥評価

東京大学大学院 学生会員 福島謙一

東京大学国際・産学共同研究センター フェロー会員 魚本健人

1. はじめに

種々の非破壊検査の中でも古くからコンクリート構造物に適用されている弾性波による非破壊検査手法を用い、ひびわれを有する鉄筋コンクリートを対象として、超音波法による実験、2次元FEMを用いた解析の両方からそれぞれに関して、発・受振位置などの測定条件や、伝播状況、伝播時間などの測定特性の分析を行い、実際の欠陥の位置・大きさを認識するための研究を行った。

2. 解析

大きさ $20 \times 40 \text{ cm}$ で鉄筋径 1 cm 、鉄筋のかぶりを 2 cm として鉄筋を配置し、中心部に深さ 16 cm のひびわれを有する鉄筋コンクリートの鉄筋と平行な断面に相当するコンクリートモデルに対して、ひびわれ開口部から 8 cm 離れた点に継続時間 $10 \mu \text{ s}$ のパルス波を半波長与え、その波の伝播の状況を一定の変位振幅値に達した節点の変位ベクトル図により表した。その結果を図-1 に示す。この解析ケースは、

表-1 鉄筋コンクリートモデルの物性値

材料名	単位体積 質量(g/cm^3)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
コンクリート	2.38	33.0	0.210
鉄筋	7.86	210.0	0.280

実際の測定において、鉄筋の真上、すなわち鉄筋から最短距離の表面で発振する場合に相当する。なお、図中でひびわれは、太線で示し、鉄筋は灰色の部分で示した。解析に用いた材料の物性値を表-1 に示す。その結果、波頭が鉄筋に達した $15 \mu \text{ s}$ 経過後は、弾性波は横方向の鉄筋を伝播し、波頭は鉄筋方向におおよそ円弧状に進んでいく様子がわかる。したがって、このようにひびわれ深さがかぶりに比べて比較的深い条件のもとでは、コンクリートの同一面で発・受振を行う場合（表面法）の最初の到達波はひびわれ先端を回折する波ではなく、縦波速度の大きい鉄筋を伝播する波である可能性があることが考えられる。

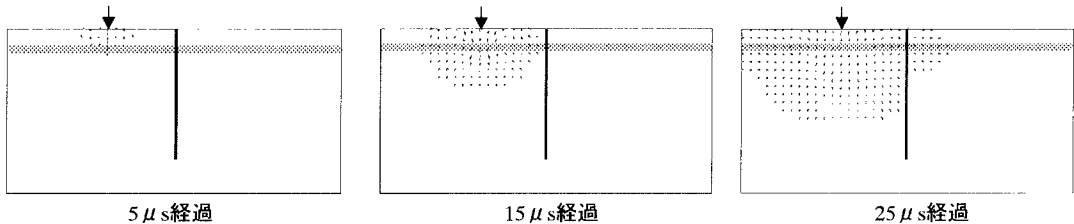


図-1 鉄筋コンクリートモデルの弾性波伝播状況

3. 実験概要

表-2 に供試体 No, 供試体の大きさ, ひびわれの深さ, ひびわれの幅の一覧を示す。図-2 に曲げひびわれ供試体の概要を示す。供試体の大きさは $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}$ とし、鉄筋のかぶり厚さを 5 cm とした。ひびわれは試験体の中心部に軸方向と垂直に導入し、5種類の供試体を作った。

供試体には発・受振子をひびわれ開口部から $4, 8, 12 \text{ cm}$ に固定し、鉄筋の直上から 3 cm 離れた位置で伝播時間を測定した。ひびわれ深さの測定は供試体側面でマイクロスコープにより行った。

4. 実験結果及び考察

測定される伝播時間は、受振子に到達する最初の波の到達時間であり、その第一波は供試体中に到達時間が最小になる経路で伝播する。

キーワード：非破壊検査, 弾性波, 超音波法, ひびわれ

連絡先：〒106 東京都港区六本木 7-22-1 TEL.03-3403-6231 内線 (2543)

表-2 供試体一覧

供試体No	大きさ (cm)	ひびわれ 深さ(cm)	ひびわれ 幅(mm)
A	10×20×40	17.4	最大0.05
B	10×20×40	15.4	最大0.05
C	10×20×40	19.4	最大0.5
D	10×20×40	19.4	最大1.1
E	10×20×40	18.4	最大2.5

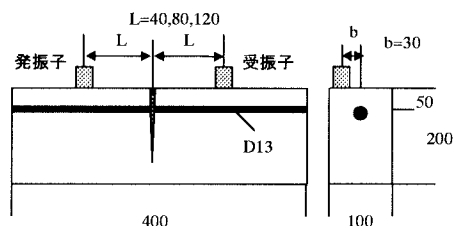


図-2 供試体概要

この第一波がひびわれ先端を回折せず、ひびわれ部をつなぐ鉄筋を伝播すると仮定して、伝播経路を特定することを試みた。概要を図-3に示す。ひびわれ開口部から探触子までの距離を L 、鉄筋のかぶりを a 、鉄筋位置上のコンクリート表面から探触子までの距離を b 、第一波が鉄筋を伝わり始める点と探触子の長手方向の距離を x とすると、伝播時間 $T(x)$ を最小にする x は、次のように求まる。

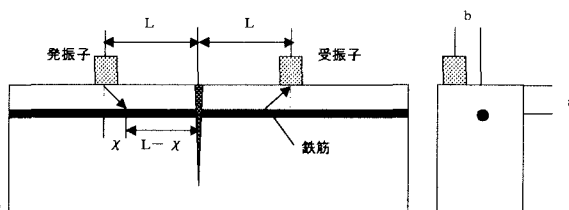


図-3 鉄筋伝播経路推定

$$x = R \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{1 - R^2}}$$

$$(1) \quad \text{ここで、} R = \frac{V_c}{V_s}$$

V_c : コンクリートの超音波伝播速度, V_s : 鉄筋の超音波伝播速度

弾性波の伝播経路は x と L の大小によって鉄筋を伝播する場合と回折する場合の2通り考えられる。また、 d をひびわれ深さとする

$$d < \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

の関係が成り立つ場合は、ひびわれ部で回折した波を受振し、(2)式が成り立たない場合には鉄筋部で回折した波を受振することがわかった。

$b=3\text{cm}$ における、推定経路から計算した伝播時間と測定による伝播時間を図-4に示す。 $L=12\text{cm}$ では、いずれの供試体についても計算値と測定値の誤差は小さい結果となり、探触子間隔を 24cm とした測定では超音波が鉄筋を伝播した可能性が高いと考えられる。

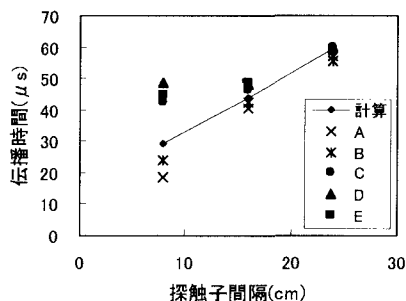


図-4 探触子間隔と伝播時間の関係

5. まとめ

解析によって弾性波が鉄筋を伝播する可能性があることが明らかになった。超音波がひびわれ先端を回折せず、ひびわれ部をつなぐ鉄筋を伝播する場合があると仮定して、その伝播経路を特定することを試みた。その結果、探触子間隔が大きい場合には計算値と測定値がほぼ一致し、鉄筋を伝播した超音波を受振することが確認された。

最後に、本研究においてご指導いただいた東京大学館石和雄助教授、佐藤工業（株）伊東良浩氏に心より感謝いたします。

参考文献

- (1) 魚本健人、加藤潔、広野進：コンクリート構造物の非破壊検査、森北出版
- (2) 田中正隆、田中道彦：境界要素解析の基礎、培風館