

大阪大学工学部 学生員 ○吉田 知謙  
 佐賀大学大学院工学系研究科 正会員 内田 慎哉  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎  
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 岩崎 俊樹

1. はじめに

著者ら<sup>1)</sup>は、これまでに、フープ筋曲げ加工部に鉄筋破断を模擬した鉄筋コンクリート柱供試体を対象として、フープ筋直上のコンクリート表面に振動センサを設置した状態で、コンクリート表面側から非接触でパルス状の電磁力を入力した場合に受振される弾性波の挙動に着目（電磁パルス法）し、鉄筋破断を検出するための非破壊評価方法についての検討を行ってきた。その結果、電磁パルス法により測定した弾性波の伝搬時間に着目することで、鉄筋破断箇所を検出できる可能性を見出した。本研究では、実験結果に基づき提案した手法の妥当性を評価するため、供試体および計測条件を基に設定した解析モデルを対象に、3次元有限要素法による衝撃応答解析を行い、コンクリート内部の弾性波挙動を視覚的に明らかにした上で、評価指標としての伝搬時間の有効性についての検討を行った。

2. 衝撃応答解析の概要

解析モデルの一例を図1に示す。モデル寸法は、縦500mm×横300mm×高さ200mmである。モデル内部には、D16のフープ筋をかぶり68mmで設置した。図1に示す鉄筋曲げ加工部の鉄筋破断については、以下に示す3種類のケースを設定した。すなわち、鉄筋が破断していない「鉄筋破断なしモデル」、破断した鉄筋が接触している「鉄筋破断（接触あり）モデル」および破断した鉄筋が接触していない「鉄筋破断（接触なし）モデル」である。したがって、解析モデルは計3つである。コンクリートおよび鉄筋の要素一辺あたりの代表的な長さは約2mm（曲げ加工部の要素寸法は図2参照）である。衝撃荷重の入力位置は、フープ筋表面の1節点（図1参照）とした。衝撃荷重は、接触理論に基づき半サイン波の三角形近似とした。一方、弾性波の出力位置は、図1に示す「出力1」および「出力2」（いずれもコンクリート表面の節点）である。

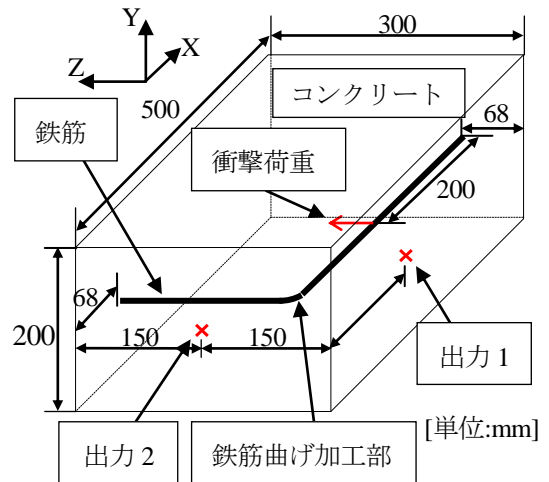


図1 解析モデル概要

3. 衝撃応答解析の結果および考察

図3に、「鉄筋破断なしモデル」および「鉄筋破断（接触なし）モデル」における波の伝搬状況を示す。いずれのモデルにおいても、荷重を入力してから37μs経過した時点では、鉄筋部分を伝搬した波の波頭が曲げ加工部にある。破断なしモデルでは、鉄筋単体の伝搬速度がコンクリート単体の伝搬速度よりも大きいため、鉄筋部分を伝搬した波の波頭がコンクリートのそれよりもわずかに先行している。

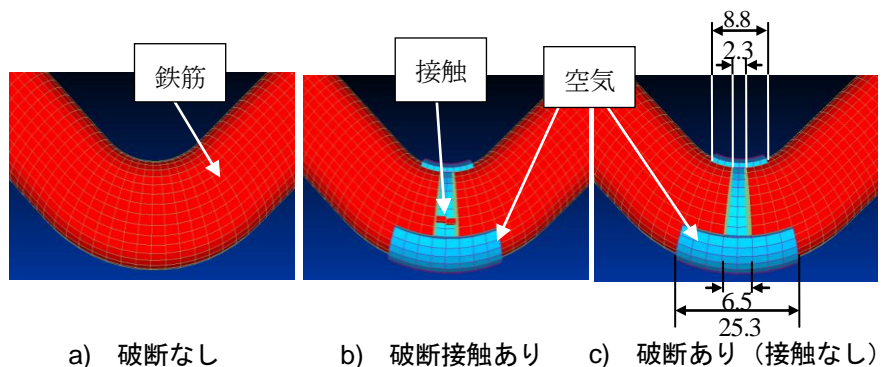


図2 各モデルの鉄筋曲げ加工部 [単位:mm]

一方、破断（接触なし）モデルでは、波が破断部を迂回して伝搬している。続いて、42 $\mu$ s 経過した時点では、破断なしでは出力 2 側のコンクリート部分に波が伝搬しているものの、破断（接触なし）では破断部を迂回した波が回折して波頭が乱れている。最後に、57 $\mu$ s 経過した時点では、破断部における波の迂回や回折により波頭位置が破断の有無で顕著に異なっていることがわかる。

次に、実験で用いた評価指標：「時間差」の有効性について検討する。「時間差」は、各モデルにおいて「出力 1」および「出力 2」の位置で出力した波形から波の到達時刻をそれぞれ読み取り、「出力 2」の到達時刻から「出力 1」の到達時刻を引くことにより求めた。

図 4 に各モデルで得られた「時間差」の比をそれぞれ示す。図に示す「時間差」の比は、破断なしモデルでの時間差を 1 として、それに対する破断（接触あり）モデルあるいは破断（接触なし）モデルの比率として求めた。破断（接触あり）および破断（接触なし）モデルでは、「時間差」は概ね同じ値となった。一方、破断なしモデルでの時間差は、破断（接触ありおよびなし）モデルと比較して、3 割程度小さい。このような傾向は、著者らの既往の実験<sup>1)</sup>での傾向とほぼ一致している（図 5 参照）。

#### 4. まとめ

本研究により得られた結論を以下に示す。

- 1) 衝撃応答解析により、コンクリート内部の鉄筋曲げ加工部の破断周辺において、弾性波が迂回や回折する現象を視覚的に明らかにした。
- 2) 上記 1)に示す鉄筋曲げ加工部の鉄筋破断に伴う弾性波挙動により、伝搬時間の差（時間差）は、鉄筋破断がない場合の方が破断ありの場合よりも小さくなると考えられる。
- 3) 以上のことから、フープ筋曲げ加工部の鉄筋破断を電磁パルス法により検出する場合は、時間差が有効な評価パラメータとなり得ることを、衝撃応答解析により明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 李 興洙, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 新名 勉, 久利良夫: 電磁パルス法によるフープ筋曲げ加工部の鉄筋破断の検出方法に関する基礎研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 11 巻, pp.291-298, 2011

#### 謝辞

本研究における供試体の製作などにおいて、阪神高速道路(株)の佐々木一則氏, 新名 勉氏および阪神高速道路管理技術センターの久利良夫氏にご協力頂いた。また、衝撃応答解析は、日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 22656100）の援助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

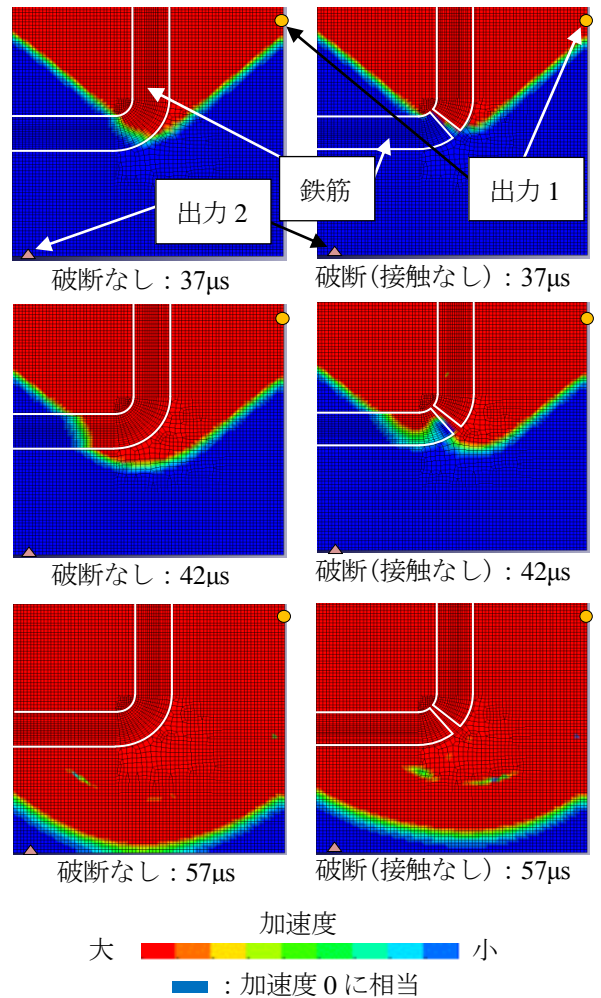


図 3 破断なしモデルおよび破断（接触なし）モデルにおける波の伝搬状況

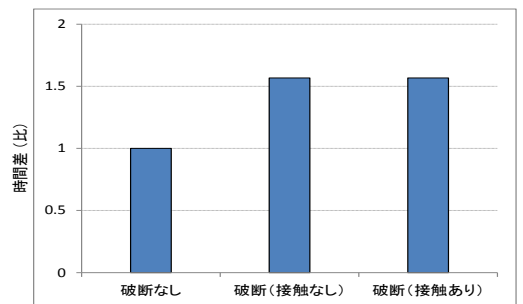


図 4 解析で得られた各フープ筋の時間差

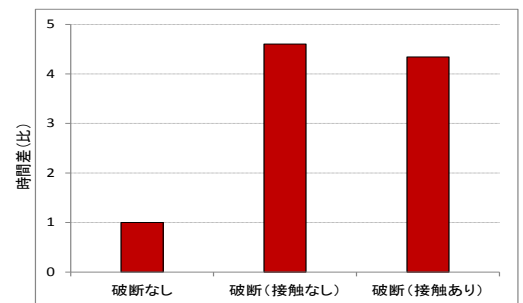


図 5 実験で得られた各フープ筋の時間差