

V-165 弾性波の伝播特性によるRC床版のひび割れ評価に関する一考察

山梨大学 正員 岡村 雄樹

山梨大学 正員 檜 貝 勇

1. まえがき

既存橋梁RC床版の維持管理上必要となる健全度判定のための基礎的資料は、主として床版下面から、ひび割れや剝離等を目視で観察した結果に基づいて収集されている。目視観察によるRC床版の点検は、床版の大略の健全度を判定するには適していると思われるが、その結果を用いて補修補強の検討を行うのには問題がある。それは、目視観察に基づく結果は定量的な把握を欠くため、補修補強の必要性や補修補強方法の選定等に関する最終的な判断を下し難いことである。また、目視によるひび割れ発生状況の点検は、ひび割れ幅が非常に小さいため個人差を生じやすいばかりでなく観察に多大の時間と労力がかかるなどの問題もある。このような問題を解決するため、床版のひび割れ発生状態を定量的に且つ容易に測定できる試験方法の確立が望まれており、その有力な候補の一つとして弾性波を用いた非破壊試験が挙げられる。筆者らは、ここ数年ひび割れ等によって劣化したRC床版の損傷程度を、弾性波を用いた非破壊試験によって判定しようとする研究を行っている。本文は、RC床版のひび割れ発生状態を、コンクリート中を伝播する弾性波の伝播速度、周波数特性および減衰などの諸特性のうち、何れに着目することにより把握可能であるかについて、実験により検討した結果を示すものである。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、幅210cm厚さ15cm長さ300cmの無筋コンクリート版、および幅180cm厚さ15cm長さ300cmの鉄筋コンクリート版である。鉄筋コンクリート版は、D16mmの異形棒鋼を二方向に配筋し、鉄筋中心間隔 20cm 主鉄筋のかぶり厚を 2.2cmとしたものを作製した。曲げひび割れを有する鉄筋コンクリート版は、一点集中載荷により幅0.14mmの曲げひび割れを供試体中央部に導入した。また、貫通ひび割れを有する鉄筋コンクリート版は、一点集中載荷により、はり上面と下面より、所定幅(0.08mm, 0.45mm)の貫通ひび割れを供試体中央部断面に発生させた。コンクリートの配合は、水セメント比0.5、粗骨材の最大寸法20mmのものであり、測定時におけるコンクリートの物性は、圧縮強度325kgf/cm²、弾性係数 2.62×10^5 kgf/cm²、ポアソン比0.17および単位容積重量2.34t/m³である。計測は、加速度センサーで受信した鉛直方向の加速度をサンプリング間隔1 μ s で8192個測定した。計測に用いた加速度センサーは、プリアンプ内蔵圧電型のもので、応答周波数領域が2~40kHz、使用最大加速度は ± 212 Gのものである。なお、弾性波の測定方法は、ここでは橋梁の床版を対象としているので表面測定法を用いた。波動の発生は、高さ3.4cmから直径19mm重さ28gの鋼球をコンクリート表面に落下させることによった。測定時における供試体の支持は、スパン250cmとした単純支持で支点上に幅10cm厚さ0.5cmの硬質ゴムを用いた。データ処理は、パーソナルコンピュータのフロッピーディスクに記憶させたデータを基に、波形、伝播速度、減衰および周波数解析を行った。なお、弾性波の減衰は、波動発生点より5cm離れた点で得られた波形の最大振幅と所定位置で得られた波形の最大振幅の比である。伝播速度は、波動発生点より5cm離れた点の加速度センサーが応答した時点から200cm離れた点の加速度センサーが応答するまでの時間をコンピュータで読み取らせセンサー間距離で割って算出した。周波数解析は、得られた加速度データをFFT解析し、各周波数

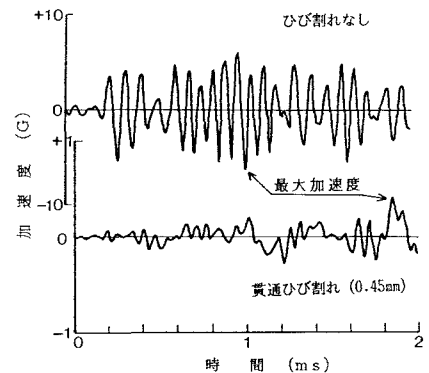


図-1 測定された受信波形の一例

成分および振幅を求めた。測定結果の一例として、図-1に健全な鉄筋コンクリート版と貫通ひび割れ(0.45mm)を有する場合の受信波形を示す。

3. 実験結果と考察

図-2は、コンクリート中を伝播する弾性波の計測伝播速度に及ぼす受信波形の立ち上がり判定の影響を示したものである。この図より、受信波形の立ち上がり判定加速度は伝播速度測定結果に大きく影響

することがわかる。従って、適切な波の立ち上がり判定を行わないと伝播速度を誤った形で測定することになる。一方、図-3は、弾性波の減衰と伝播速度の関係を、立ち上がり判定加速度を受信波形の最大加速度の1/20の場合について示したものである。これより、弾性波の減衰が大きくなる程、伝播速度が遅くなると判定されることがわかる。弾性波の減衰は伝播距離およびひび割れの有無によって影響されるわけであるが、減衰された波形を精度よく測定するためには、S/N比の大きい高性能の測定器を用いる必要がある。図-4は、伝播距離と減衰の関係を示したものである。これより、1)減衰の大部分は、波動発生点から25cm以内の区間で生ずること、2)コンクリート中を伝播する波の減衰は、伝播距離が増すほど大きくなるが、100cm以上伝播すると伝播距離が減衰に及ぼす影響が小さくなること、3)無筋コンクリート版と鉄筋コンクリート版を伝播した波の減衰はほぼ同一であり、鉄筋の存在が減衰に及ぼす影響は認められないこと、などがわかる。なお、卓越する周波数はいずれも約12KHzであって、伝播距離が異なっても、コンクリート中を伝播した弾性波の卓越周波数は変化しないことを確認している。表-1は、曲げひび割れを有する鉄筋コンクリート版、および貫通ひび割れを有する鉄筋コンクリート版を伝播する弾性波の最大振幅の減衰を、ひび割れの無い場合と対比させて示したものである。これより、1)弾性波の伝播する経路にひび割れが存在することにより、伝播した弾性波の減衰が大きくなること、2)貫通ひび割れでの減衰が著しく大きくなること、などがわかる。ひび割れを経由して伝播した弾性波のFFT解析結果は、1)曲げひび割れ及びひび割れ幅が非常に小さい貫通ひび割れを有する鉄筋コンクリート版を伝播する弾性波の卓越周波数は、健全な鉄筋コンクリート版を伝播した弾性波の卓越周波数(13~14kHz)と大差がないこと、2)ひび割れ幅の大きい(0.45mm)貫通ひび割れを有する鉄筋コンクリート版を伝播した弾性波のスペクトルは、13~14kHzをピークとする成分以外に5kHz程度以下の周波数成分が著しく増加していることを確認している。

6. まとめ

コンクリート中を伝播する弾性波の伝播特性によって、RC床版のひび割れ発生状態を調べるには、波の減衰および周波数成分に着目して調べるのが有望な方法であり、波の伝播速度による方法は実用的に不適当であると考えられる。

表-1 ひび割れ形態が弾性波の最大加速度の減衰に及ぼす影響

ひび割れ形態 測定位置	ひび割れ なし	曲げひび割れ (0.14mm)	貫通ひび割れ (0.08mm)	貫通ひび割れ (0.45mm)
鉄筋上での測定	0.038 (1.00)	0.034 (0.89)	0.010 (0.26)	0.0026 (0.07)
鉄筋より10cm離れた位置での測定	0.024 (1.00)	0.017 (0.71)	0.006 (0.25)	0.0015 (0.006)

注) 伝播距離 200cm

単位: G

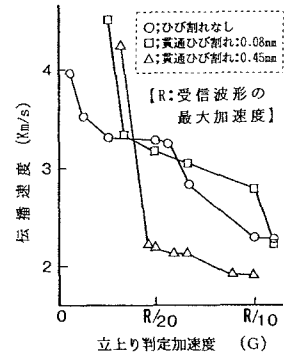


図-2 立ち上がり判定加速度と伝播速度の関係

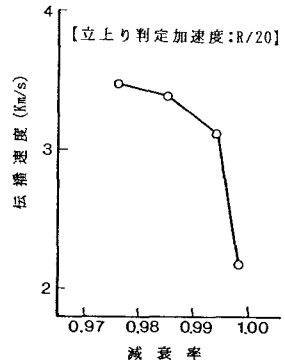


図-3 減衰と伝播速度の関係

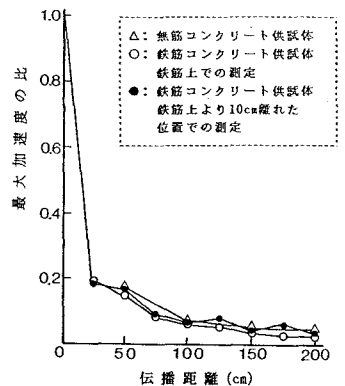


図-4 弾性波の伝播距離と最大振幅の減衰