

V-225 超音波計測によるRC床版の非破壊検査

日本道路公団試験所 山本 忠守 (社)建設機械化研究所 正会員 ○ 榎園 正義
 日本道路公団試験所 飯東 義夫 (社)建設機械化研究所 正会員 松本 政徳

1. まえがき

橋梁では交通車輛の大型化や増加, さらに供用年数の増大と共にRC床版の損傷が問題化している。その損傷したRC床版の補修・補強工法の選定は、床版下面からのひびわれや漏水の状況を目視で観察した結果に基づいて行っているが、この方法では個人差を生じやすいことや多大の時間と労力を必要とし、さらに定量的な把握を欠くことなど問題がある。しかし、RC床版の健全度を評価するのに適用できる試験方法はあまりなく、本格的な調査診断方法は確立されていないのが現状である。

本報告は、RC床版の載荷試験時における損傷状況を診断する方法として、超音波計測を実施し、その結果が得られたのでここに報告する。

2. 試験概要

本試験は、表1に示すRC床版供試体を使用して疲労試験を行い、損傷度の進展と非破壊試験結果を比較したものである。ここで、床版の初期損傷度は表1に示す損傷度Dに相当していた。また、試験時のコンクリートの圧縮強度は 19.1 kgf/cm^2 、弾性係数は $20.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ で、その超音波伝播速度は平均 3600 m/s であった。

載荷方法は、 $20 \times 50 \text{ cm}$ の載荷板を床版上面で順次移動する多点移動繰返し載荷とし、疲労試験中は床版上面に水を張った状態で行った。なお、疲労試験機には動的容量 100 tf の空気油圧式疲労試験機を用いた。載荷試験は静的破壊試験および疲労試験を各1体ずつ実施した。

超音波計測の原理は、超音波パルス法および打撃法を用いてコンクリート内部に超音波を発生させ、図1に示すようなセンサ間隔をおいて受信すると、超音波は反射・屈折を繰返した多重反射波動となる。この多重反射波(受信波形)の状況は、図2に示すように伝播する部材の強度、ひびわれの有無および劣化状態等の損傷と密接な関係があるものと考えられる。

超音波計測の方法は、超音波の発生方法の違いからI. 衝撃波法とII. 超音波法とに分けられる。I. 衝撃波法は電気パルスによって発生する方法(以後、超音波法と呼ぶ)と打撃によって発生する方法(衝撃波法と呼ぶ)の2種類を適用した。図3に計測システムの構成を示す。各受信波形は、FFTアナライザーに全て収録して伝播速度(m/s)、エネルギー($\text{V}^2 \cdot \text{sec}$)および周波数解析等の処理を行った。また、受信波形に含まれる特定の周波数範囲($f_1 \sim f_2$ のレベル)の総和としてパーシャルオーバーオール(以後、PYと呼ぶ)を求めて数値化を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 静的破壊試験(供試体: A1)

試験前(損傷度D)および破壊試験後(損傷度A)の受信波形状況を測定位置D-1~4の順に3次元表示して図4に示す。

表1 RC床版供試体の主要諸元と損傷ランク

支間長 (m)	長さ (m)	厚さ (m)	主鉄筋	配力筋	鋼のふり (cm)	備考
1.4 (4×1.5)	3.3	0.15	上層 D13ctc200 下層 D13ctc100	上層 D10ctc300 下層 D10ctc150	3.0	実橋と同様に鋼桁(桁高1.5m)上で床版を製作し、鋼桁の拘束力を入れる。

損傷度		床版の状況	
A	…	遊離石灰が2方向に発生しており、両方向ともその間隔が50cm以下で、かつ、遊離石灰が泥水、錆汁で紫色して居る。また、「B」でその進行が早いもの。	
B	…	遊離石灰が2方向に発生しており、両方向ともその間隔が50cm以下で、その色が白いもの。また、「C」でその進行が早いもの。	
C	…	遊離石灰が2方向に発生しており、いずれかの方向の間隔が50cm以上となっている。(亀甲状となっていない。またはその間隔が大きい。)	
D	…	遊離石灰が1方向に発生している。	
E	…	遊離石灰が認められない。	

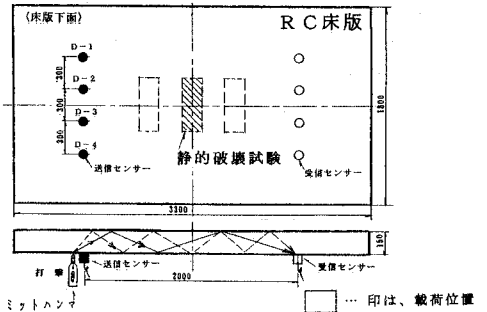


図1 測定方法および測定位置

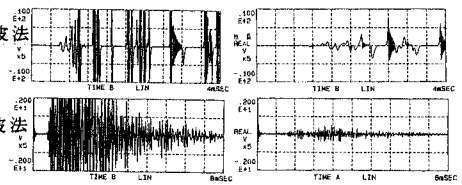


図2 受信波形の例

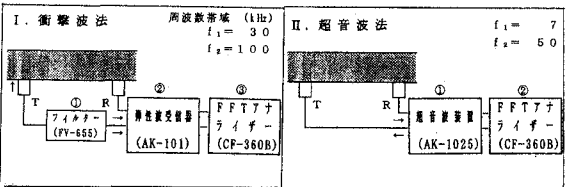


図3 弾性波計測システムの構成

(1) 伝播速度

試験前のRC床版コンクリートの伝播速度は、衝撃波法では平均3560m/s、超音波法で3520m/sとほぼ同一で、テストピースの音速(3600m/s)よりわずかに遅い結果であった。一方、押抜きせん断破壊後(試験後)では、コンクリートの損傷によって衝撃波法は2100~2200m/s、超音波法は1700~2500m/sと52~72%の範囲で伝播速度の低下が認められた。

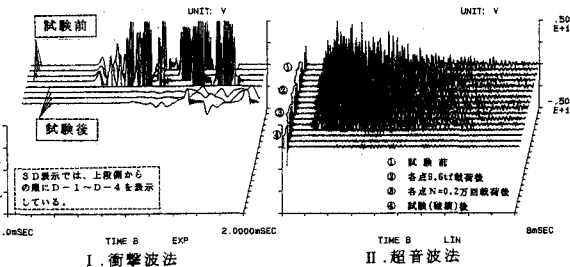


図4 受信波形の状況(三次元表示)

(2) エネルギー($V^2 \cdot sec$)

試験前の受信波形のエネルギーを基準(100%)とした場合の比率(エネルギー比と呼ぶ)は、破壊後には両調査方法ともに6%以下に減衰した。

(3) 周波数解析結果およびPY

試験前および破壊後の受信波形に含まれる周波数成分を3次元表示して図5に示す。衝撃波法は図5(a)に示すように試験前では1~80kHzと広帯域で、卓越周波数が約60kHzであったが、破壊後では各周波数成分が大きく減衰し、卓越周波数も2kHz付近となった。また、超音波法も図5(b)に示すように試験前で7~35kHzの帯域であったが、破壊後は同様に各周波数成分が大きく減衰した。したがって、PYの値は試験前に対して各測定位置で平均-20dB(1/100)の減衰が認められ、特に高い周波数成分の減衰が著しい結果となった。

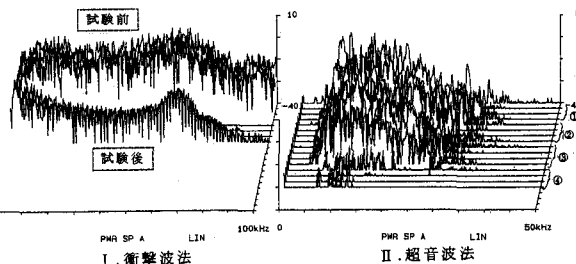


図5 周波数解析結果(三次元表示)

以上のことから、ひびわれが発生したコンクリートは超音波に対して、減衰効果およびフィルタ(ローパス)効果の特性を有すると言える。

3.2 疲労試験(供試体:A2)

繰返し載荷(N=260万回)によるRC床版の疲労損傷過程に対する伝播速度、エネルギーおよびPYについて検討を行った。

伝播速度は両調査方法ともに試験前が3550~3600m/sと供試体A1とほぼ同一であったが、破壊後は衝撃波法で平均2900m/s、超音波法で平均1780m/sと50~80%の低下が認められた。また、伝播速度およびエネルギー比の変化は、床版下面のひびわれ密度との相関($\gamma=0.97$ 以上)もよく、漏水状況の変化等とも一致していた。さらに、PYは図6に示すように損傷の進行と共に減衰する傾向を示した。疲労試験における目視観察結果による損傷度ランクと伝播速度およびエネルギーの関係を表2,3に示した。

4. まとめ

超音波計測による伝播速度、エネルギーおよび周波数成分の3つのパラメータに着目することによって、RC床版の損傷状況がある程度把握できた。この手法を確立させるためには、今後さらに研究を進めると同時に、データを積み重ねていくことが大切である。

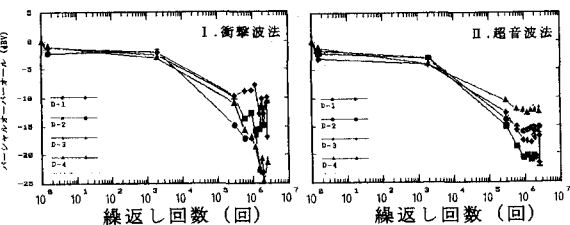


図6 パーシャルオーバーオールと繰返し回数

表2 伝播速度による損傷度の評価

損傷度	伝播速度の変化	衝撃波法 (m/s)	超音波法 (m/s)
E		4000以上	4000以上
D		4000 3500	4000 3000
C		3500 3300	3000 2500
B		3300 3000	2500 1900
A		3000以下	1900以下
試験経過		試験前	予備載荷後 30万回後 60万回後 260万回後 破壊後

表3 エネルギー比による損傷度の評価

損傷度	エネルギー比の変化	衝撃波法 (%)	超音波法 (%)
E		100	100
D		6.0 6.0	4.5 4.5
C		6.0 1.1	4.5 4.0
B		1.1 0.6	4.0 1.0
A		0.6 0	1.0 0
試験経過		試験前	予備載荷後 30万回後 60万回後 260万回後 破壊後