

超音波とA EによるRC部材の疲労劣化度評価 に関する定量的考察

○ 九州東海大学 工学部 坂田康徳

1. はじめに

近年、車両交通の発達に伴って高速道路の建設や交通網の整備が進む中、橋梁など変動荷重を受けるコンクリート構造物も数多く建設されている。しかしながら、これらの構造物の中には、長期に亘る荷重繰返しや塩害など、幾つかの環境条件が単独または複合的な作用して次第に劣化し、危険に曝されているものも存在するものと考えられる。また、近年、世界各地で頻発している大地震によって引き起こされる大きな変位・変形を伴う構造物の急激な疲労劣化は、コンクリート構造物の安全性を脅かす大きな社会不安となっている。本研究は、このような長期にわたる荷重繰返しによって徐々に劣化する構造物や、震災を被って急激に劣化する構造物のように、繰返し荷重によって劣化する構造物の疲労劣化度評価を行うために、主に超音波とA Eを使用した評価方法について検討している。ここでは、超音波の周波数特性（応答スペクトル）と、単位時間当たりのA Eを用いて、繰返し曲げ疲労を受ける鉄筋コンクリート部材の劣化度評価を定量的に行う方法について検討した。

2. 実験概要

実験に使用した梁供試体は、主鉄筋としてD13 mmの異形鉄筋（SD295A）を使用し、また、スターラップとしてφ6 mm普通丸鋼（SR235）を使用した幅15 cm、高さ20 cm、長さ1.2 mの鉄筋コンクリート（RC）梁である。梁供試体の疲労試験は、図-1に示すように、支点間距離を103 cmとしたスパン中央点载荷の繰返し曲げ試験とした。繰返し荷重の最大値は梁の静的破壊荷重の90, 85, 80, 75(%)とし、また、その最小値は5%とした。

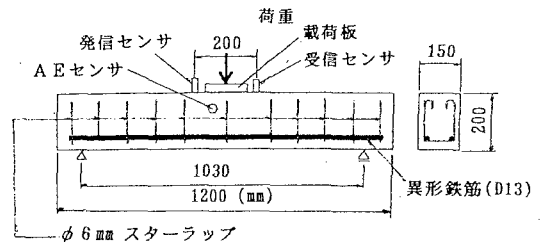


図-1 梁供試体の形状寸法およびセンサ配置状況

試験では、所定の荷重繰返し回数後の単位時間（1分間）当たりのA Eと梁圧縮部の周波数領域1~20 kHz間と1~400 kHz間の応答スペクトルおよび部材上面における部材軸方向の音速を測定した。応答スペクトルの測定では発信電圧および受信波増幅率を一定とし、また、A E計測では敷居値を64 dBとして測定した。供試体製作に使用したコンクリートは水セメント比50%、スランプ10 cm圧縮強度33.8 MPaのA Eコンクリートである。図-1は本実験に使用した供試体の形状寸法、および計測のためのセンサ配置状況を示している。

3. 実験結果および考察

RC梁の繰返し曲げ疲労試験で得られる梁圧縮部の応答スペクトルは、繰返し回数の増加に伴って漸次応答振幅が漸次低下することが先の研究で判っている。そこで、繰返し曲げ疲労に伴う応答スペクトルの振幅低下を定量化するために超音波エネルギーを求めてみた。周波数領域1~400

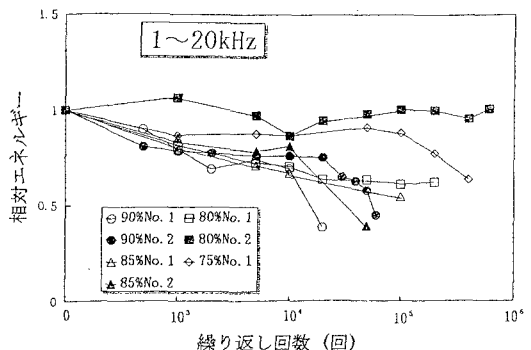


図-2 曲げ疲労に伴う周波数領域1~20 kHz間の超音波エネルギーの変化状況

kHz間の応答スペクトルから得られるエネルギー曲線の20kHz, 200kHz, および400kHzにおける値をそれぞれA, B, Cとすれば、図-2 図-3は、荷重繰返し回数の増加に伴う1~20kHzと1~400kHz間の相対エネルギーの変化状況を示している。これより、高周波数領域の超音波エネルギーほど载荷レベルの相違に基づくRC部材の疲労劣化度に敏感であることが判る。これは、荷重繰返しが進むに従って部材圧縮部に微小ひび割れが多く発生するため、その微小ひび割れによって波長の短い高周波数領域の超音波ほど通り難くなるためと考えられる。

図-4は、荷重繰返し回数の増加に伴う周波数領域200~400kHz間の相対エネルギーの変化状況を示している。これより、载荷レベルが低い場合には超音波エネルギーは漸次低下で推移するのに比べて、载荷レベルが高い場合は荷重繰返しの初期の段階で急激に低下した後、その後は荷重繰返しと共に漸次低下の状態で推移する傾向がみられる。これは、载荷レベルが高い場合荷重繰返しの極初期において部材内部に微小破壊が急激に進行し、载荷レベルに見合った応力状態で釣合状態が生じるためと考えられる。これより、载荷レベルの大きさが、荷重繰返しの極初期における高周波数領域の超音波エネルギーの低下率に大きく影響していることが予想される。

図-5は、荷重繰返し過程における梁圧縮部の音速の変化状況を载荷前の値に対する比で示している。この音速も、超音波エネルギーと同様に载荷レベルが高いほど急激に低下し、载荷レベルが低いものは横ばいに近い状態で推移する様子が判る。しかしながら、载荷レベルの相違に対する差は超音波エネルギーに比べて小さく、判別し難いものとなっている。

A E計測では、A Eに基づく破壊エネルギーを定量化するために、荷重繰返し過程で得られる単位時間（1分間）当たりのA Eより、数値値を越えるA Eの振幅とA Eカウント数の積を積分した値を求めてみた。その結果、载荷レベルの変化に対する荷重繰返し回数千回以降のA E破壊エネルギーには、一部を除いて相対的に载荷レベルの低いものは横ばいに近い状態で推移し、载荷レベルの高いものは漸次増加する傾向がみられるが、载荷レベルの高いケースの中に横ばい状態で推移するものもみられた。これは、载荷レベルが高い場合には、荷重繰返しの極初期において破壊が急激に進行するため、繰返し回数千回では、既に鉄筋が降伏して大きな破壊がほぼ終了し、その後の荷重繰返しによる急激な破壊が起こらなかったためではないかと考えられる。

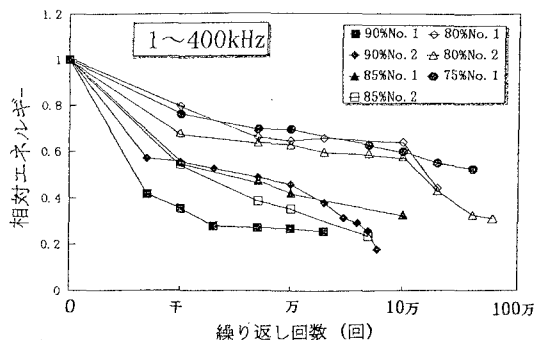


図-3 曲げ疲労に伴う周波数領域1~400kHz間の相対エネルギーの変化状況

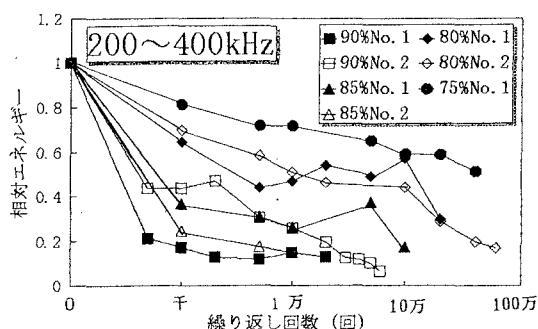


図-4 曲げ疲労に伴う周波数領域200~400kHz間の相対エネルギーの変化状況

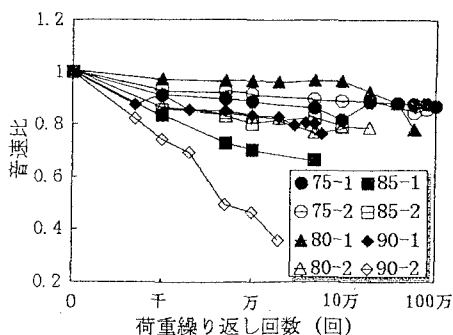


図-5 曲げ疲労過程における梁圧縮部の超音波伝播速度の変化状況