

弾性波を用いた構造物の健全度判定に関する調査

東日本旅客鉄道(株) 正会員 島村 誠
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○ 小林範俊
 しんくろ(株) 上石陽一

1. はじめに

鉄道土木構造物の健全度を把握するため現在もっとも一般的に用いられている手段は、目視による検査であるが、ベテランのカンや経験に依存し、検査データの客観性、再現性に乏しいという問題点がある。目視検査を代替ないし補完するため、構造物の固有振動数の変化をとらえることで構造物の健全度を判定する方法の採用が考えられる。たとえば、はり部材の破損や柱部材の根入減少といった変状は、構造物の固有振動数の変化を引き起こすと考えられる。

近年、弾性波を用いた非破壊検査技術が急速に発展してきており、構造物に弾性波を入力し、その反射波を解析することにより、固有振動数を精度よく求められるようになりつつある。そこで本研究では、弾性波を用いた非破壊検査を鉄道構造物検査に適用できるかどうか検討するために、さまざまな鉄道構造物に対して弾性波を入力し、応答波形の形状に変化が見られるかどうか、また構造物の固有振動数の測定が可能であるかどうかを調査した。

2. 調査対象構造物

今回調査対象とした構造物は以下のとおりである。

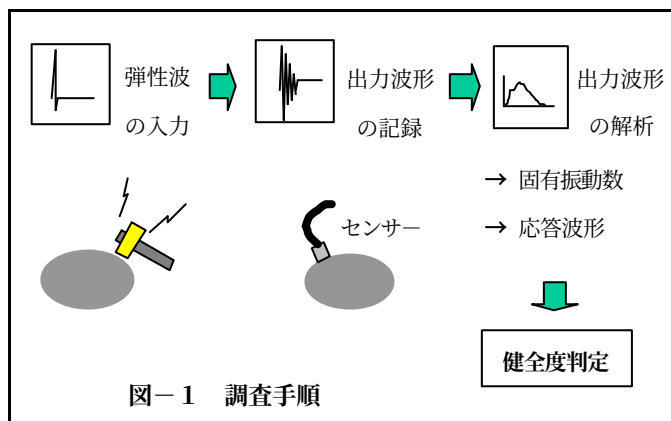
- | | |
|-------------|-------|
| (1) 浮き石 | 10 個 |
| (2) 橋脚 | 13 橋脚 |
| (3) 鋼桁 | 9 箇所 |
| (4) コンクリート桁 | 10 箇所 |
| (5) 伏び | 1 箇所 |

3. 調査方法

調査は以下の順序で行なった。

- ① 構造物を加振する。
 - ② 振動もしくは衝撃音をセンサーで拾う。
 - ③ センサーから拾ったデータをコンピューターに収録する。
 - ④ 得られたデータに対して波形解析を実施する。
- また、加振源として以下のものを使用した。
- (1) 岩石ハンマー
 - (2) 点検ハンマー

- (3) 掛矢
- (4) マジックハンマー(衝撃振動試験用ハンマー)
- (5) 手(拳)



4. 振動波のフーリエ解析

4.1 浮き石

岩石ハンマー及び点検ハンマーで打撃して得られた振動波形のフーリエスペクトルを求めたところ、固有振動数は不明確であった。一方、拳で打撃した場合は固有振動数をより明瞭に確認することができた(図-2)。これはハンマーで打撃する場合は運動エネルギーが瞬間的な振動に変化するのに対し、拳の場合は接触時間が長くなり、固有振動周波数付近の低周波の波に変化して伝播するためと考えられる。

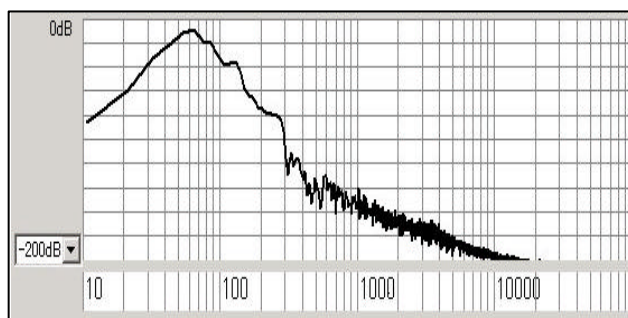


図-2 浮き石のフーリエスペクトル（拳打撃）

4.2 橋脚、鋼桁

いずれの場合もフーリエスペクトルから固有振動数を求めることは困難であった。解析の結果、これは採取できた衝撃振動波形データが、高速フーリエ

非破壊検査、健全度評価、応答波形、固有振動数、フーリエ解析

東日本旅客鉄道(株) 安全研究所 〒100-0006 東京都千代田区有楽町 2-10-1 TEL 03-3211-1118 FAX 03-5219-8678

変換(FFT)で周波数を精度よく推定するために必要なデータ長よりはるかに短いためと判明した。

4.3 コンクリート桁

加振源の違いによる結果の違いを見ることを目的に調査を行なった。同一の桁に対して掛矢(木製)とマジックハンマー(ゴム製)を用いて打撃したところ、木製の方が比較的高い周波数に偏る傾向が見られた。材質の違いによって解析結果に相違が見られたことから、フーリエスペクトルから固有振動数を求めることは困難であった。

5. 振動減衰モデルによる推定

浮き石の他はフーリエスペクトルから固有振動数を求めることが困難であったので、構造物の応答波形をモデル化し、得られた波形をもとに固有振動数を推定することを試みた。

具体的には、図-3 に示すように、高い周波数成分の振動が減衰する波形の絶対値をとった曲線に近似曲線を当てはめ、その減衰の状況から時定数 T を求め、時定数 T で振動する周波数を固有振動数として特定した。

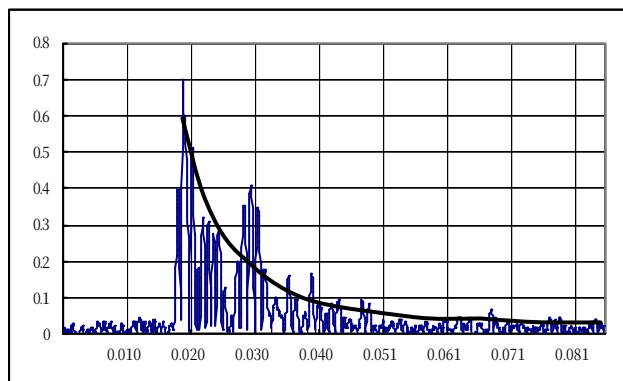


図-3 打音振動波形(絶対値)と減衰曲線

橋脚の場合、モデル化により求めた固有振動数は衝撃振動試験の結果とよく一致していた。また、鋼桁、コンクリート桁の場合も、FFT 解析では不明だった固有振動数を、同じ波形を用いてより明瞭に推定することができた。

一方、伏びについては、振動減衰モデルの適用は困難である。振動減衰モデルによる構造物の健全度判定の推論の基礎となっているのは、高域の周波数を減衰させる要因の存在である。例えば橋脚の場合、橋脚自身の弾性係数と基礎周辺土の弾性係数の2つ

であり、いずれもが橋脚の健全度に直接かかわっていると同時に、互いに数値は大きく異なるため影響しあうことはない。一方伏びの場合は、伏び本体、周辺地盤、及び管内の水の3つの弾性係数のうち、管周辺の水で飽和した土と管内の水の弾性係数は似かよっていると考えられ、管内の水位により減衰項の値が変化する。つまり系の固有振動数の変化は、ほとんどの場合、伏びの健全性とは関係のない要因によってもたらされることとなるので、この手法は適さない。

6. まとめ

- ①打撃の結果得られた波形に対して FFT 解析を実施したところ、浮き石については固有振動数を把握できたが、他の構造物については明確に把握できなかったり、コンクリート桁のように加振源によって値が異なるなど、実際の検査への適用が難しいことが分かった。
- ②高い周波数成分の振動が減衰する波形から固有振動数を推定することを試みたところ、橋脚や鋼桁など FFT 解析で固有振動数が明確にならなかった場合も、固有振動数を求めることができた。ただし、この手法の妥当性は今後データを積み重ねることにより検証する必要がある。

7. 今後の取り組み

今後実際の検査への適用を検討していくためには、構造物の健全度と固有振動数の関係を調べる必要がある。弾性波を用いて固有振動数を求めることのできる構造物に対して、健全な状態とそうでない状態での、固有振動数の違い、出力波形の変化を調査することにより、実際の検査で変状を捕捉できるような応答波形の変化が見られるかどうか、検証する必要がある。