

重錘打撃試験を用いた損傷検知に関する一考察

神戸大学大学院 学生員 ○山崎 裕史
(株) アーバン・エス 正 員 庄 健介
神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿

1. はじめに

構造物の健全性一次診断法として、重錘打撃試験が鉄道・道路構造物に用いられている。この方法では、重錘打撃で得られる数測点の実測速度応答波形をフーリエ変換して求まる1次固有振動数の変化を捉えることにより、構造物の損傷発生を検知する。しかし、筆者らが行った立体ラーメン高架橋の人工損傷実験結果では、部材の一部に発生した損傷を実測波形のフーリエ変換により得られる固有振動数の変化として捉えることは困難であることが明らかとなっている。本研究は、前報¹⁾に引き続き、重錘打撃試験で得られる実測応答波形の差異を直接評価する指標としてJ値を導入し、構造物の損傷発生を検知する方法について検討を試みたものである。

2. 人工損傷実験の概要²⁾

図-1(a),(b)に示す傾斜を有する2柱式3径間ラーメン高架橋を実験対象とした。実験は、高架橋撤去工事の進捗に合わせ、図-1(b)の黒塗りで示す柱通りを門型ラーメン形式として切断した後、門型ラーメンの柱にウォール・ソーを用いて切り込み損傷を与えながら重錘打撃試験を実施した。切断方法と固有振動数の変化を表-1に示す。通り門型ラーメンについては、打撃側下端に柱の両側から橋軸直角方向の損傷を与え、

通り門型ラーメンについては、打撃側上端に同様の損傷を与えた。

3. 損傷検知のための評価指標

図-2に通りの門型ラーメンについて、人工損傷がない場合における実測応答波形と人工損傷を10cm与えた状態(Step1)、20cm与えた状態(Step2)における実測応答波形を示す。表-1に示すように実測応答波形のフーリエ変換から1次及び2次固有振動数の変化を捉えることは困難であるが、図-2の応答波形には差異が見られる。

そこで、損傷前後の応答波形の差異を定量的に評価するために、式(1)で表されるJ値を導入する。

$$J = \int_{t_0}^{t_1} \{x_1(t) - x_0(t)\}^2 dt / \int_{t_0}^{t_1} \{x_0(t)\}^2 dt \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 x_0 は損傷前の応答波形、 x_1 は損傷後の応答波形、 t_0 と t_1 は波形の差異を判定しようとする時刻歴の開始時刻と終了時刻である。 t_0 と t_1 をそれぞれ0secと2.0sec、時間間隔 dt は0.002secとした。なお、実測応答波形としては、不要な高次周波数成分を除去するため、10Hzのローパスフィルターを通過させた波

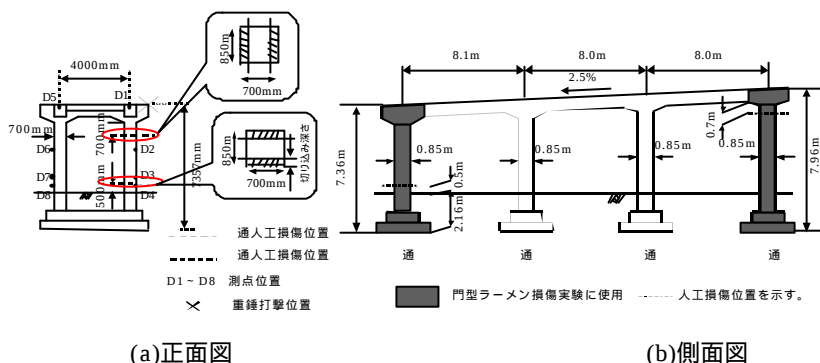


図-1 実験の概要

表-1 切込み深さと固有振動数の変化（門型ラーメン）

(a) 通り門型ラーメン

門型ラーメン	固有振動数		
段階ステップ	$f_1(\text{Hz})$	$f_2(\text{Hz})$	$f_3(\text{Hz})$
損傷なし	6.11	8.18	10.7
Step1	5.80	8.18	10.5
Step2	5.70	8.10	10.3
Step3	5.49	7.44	10.3

(b) 通り門型ラーメン

門型ラーメン	固有振動数	
段階ステップ	$f_1(\text{Hz})$	$f_2(\text{Hz})$
損傷なし	4.52	6.23
Step1	4.52	6.20
Step2	4.52	5.98

人工損傷Step	通り門型ラーメン
Step1	打撃側下端橋軸直角5cm 切り込み
Step2	打撃側下端橋軸直角10cm 切り込み
Step3	打撃側下端橋軸直角20cm 切り込み

人工損傷Step	通り門型ラーメン
Step1	打撃側上端橋軸直角10cm 切り込み
Step2	打撃側上端橋軸直角20cm 切り込み

キーワード：重錘打撃試験，構造物健全度診断，振動応答，構造同定，J値

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院 TEL：078-803-6024

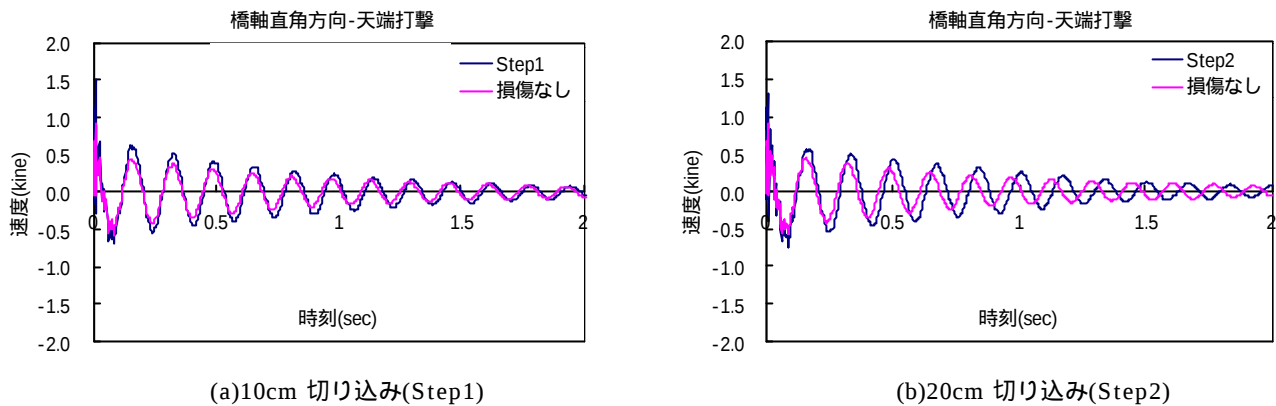


図-2 損傷前後における応答波形の比較（通り）

形を用いている。通りの結果を図-3，

通りの結果を図-4 に示す。この結果より損傷が進むに従い，J 値が大きくなっていることがわかる。

つぎに，門型ラーメンを骨組みとしてモデル化し，人工的に与えた切り込み損傷を断面積と断面 2 次モーメントの変化として表現した門型ラーメンの動的応答解析波形から得られる各損傷段階の J 値を図-5，図-6 に示す。これらの結果から，門型ラーメン橋脚の柱の一部に損傷が発生した場合の実測応答波形における J 値の変化と解析値のそれは同様の傾向を示していることが確認できる。

4. まとめ

本研究では，ラーメン構造物等の不静定構造物において，部材の一部に損傷が発生したことを重錘打撃試験により検知するための指標として，損傷前後の応答波形の差異を直接的に評価する指標 J 値を導入し，門型形式のラーメン構造物に人工的に損傷を与えながら実施した重錘打撃試験の結果に適用した。その結果，実測応答波形のフーリエ変換から，固有振動数の変化として捉え難い損傷状態においても，実測応答波形には差異が表れており，J 値によりその変化を定量的に捉えることが可能であることを確認できた。また，各損傷段階における J 値の変化は，骨組みモデルを用いて動的解析により算出した J 値の変化と同様の傾向を示しており，J 値の変化を定量的に捉えることにより構造物に発生した損傷程度を推定できる可能性が明らかとなった。

参考文献

- 1) 庄 健介，山崎裕史，他 2 名：人工損傷を与えた高架橋の重錘打撃特性に関する一検討，土木学会第 56 回年次学術講演会，VI-249，2001
- 2) 庄 健介，山崎裕史：人工損傷を与えた立体ラーメン高架橋の重錘打撃試験と応答解析，神戸大学自然科学研究科紀要，第 20-B 号，pp.128-138，2002。

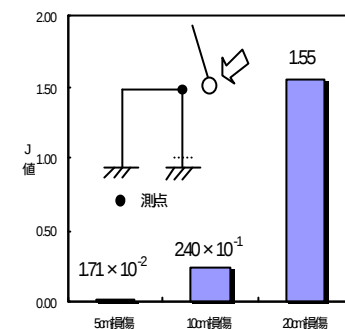


図-3 通り打撃時の J 値(実測)

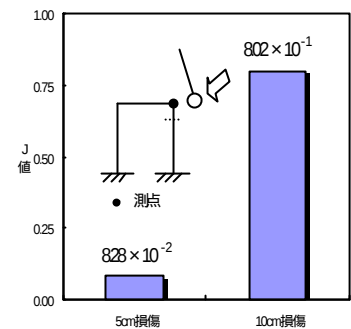


図-4 通り打撃時の J 値(実測)

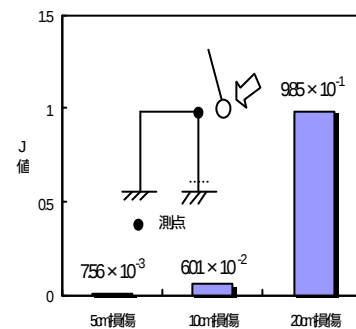


図-5 通り打撃時の J 値(解析)

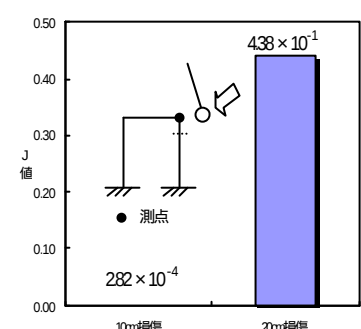


図-6 通り打撃時の J 値(解析)