

加速度波形を用いた生月大橋斜材の疲労損傷度評価の可能性

長崎大学大学院 正 会 員 中 村 聖 三
長崎大学大学院 正 会 員 奥 松 俊 博

長崎大学大学院 学生会員 ○田中翔太
長崎大学大学院 正 会 員 西 川 貴 文

1. はじめに

長崎県北部に位置する生月大橋（以下、本橋とする）は 3 径間連続トラス橋（橋長 960m）であり、1991 年 7 月に完成した。本橋の一斜材において、2009 年 12 月、現地調査時にき裂が発見された。架橋から約 20 年という短期間で損傷が発生したことになる。き裂発見以降原因解明のための調査・研究が行われ、本橋に吹き付ける風によって斜材振動が励起され、これが疲労損傷の原因となったと推測されている。本橋では、中間橋脚付近の風向・風速を計測するとともに、き裂発生部材と同様の構造諸元を有する部材についてひずみおよび加速度、または加速度のみを常時計測しており約 2 年分のデジタルデータが蓄積されている。本研究ではひずみおよび加速度に着目し、計測データからそれぞれの疲労損傷度を算出し、ひずみゲージを貼付していない部材について、加速度記録による疲労損傷度の評価が可能か検討する。

2. 対象橋梁とき裂の概要

2.1 対象橋梁

本橋は長崎県北西部に位置する生月島と平戸島の間の辰ノ瀬戸に架る離島架橋であり、橋梁形式は 3 径間連続トラス橋（橋長 960m）である。図 1 にき裂部材部材および測定対象部材を示す。また、図 2 に P5 北側のひずみゲージ貼付状況を示す。本研究では P5(IN-7)で計測されたデータを用いる。

2.2 き裂概要

供用開始から約 18 年が経過した平成 21 年 12 月 8 日、図 1 に示す斜材に、図 3 に示す箱断面(断面：500×574(mm²), 部材長 23000(mm))の 2 面を切断するように生じたき裂が発見された。鋼道路橋の疲労設計指針によると、き裂が発生した横突合せ溶接継手の疲労強度等級は D 等級である。指針の等級は試験結果の下限値に相当し、平均的には C 等級以上の強度が期待されるが、施工状態が悪い可能性もあるため、本研究では疲労損傷度の評価において疲労強度等級を D 等級と仮定する。

3. 調査概要

振動波形に高次モードの影響が含まれている場合、発生している応力が小さくても高い加速度が発生する場合があると考えられる。そこで、本研究ではき裂発生部材の 1 次固有振動数（面内：6.83Hz、面外：8.29Hz）を考慮し、加速度の時刻歴波形を

5Hz-10Hz のバンドパスフィルタにかけ、加速度範囲にもとづく疲労損傷度を算出する。なお、ひずみについては時刻歴波形にフィルタをかけずに応力範囲にもとづく疲労損傷度を算出する。

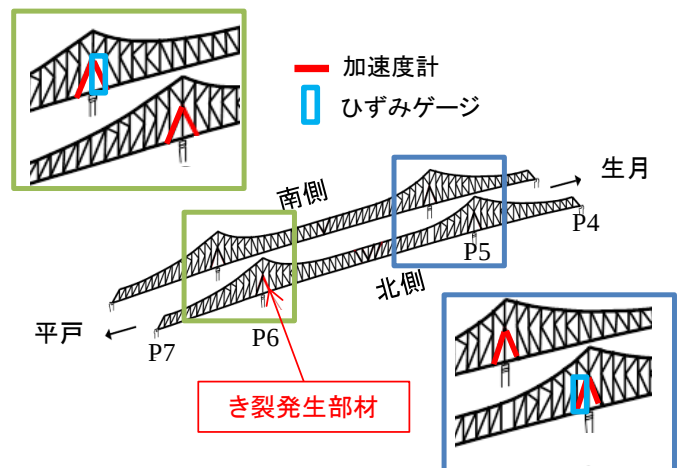


図 1 き裂部材部材および測定対象部材

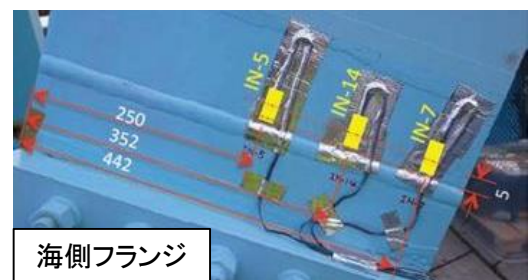


図 2 ひずみゲージ貼付状況 (P5)

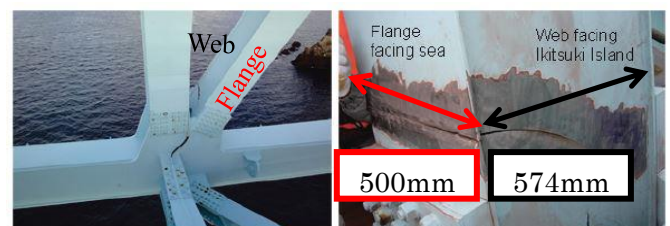


図 3 き裂発生状況

4. 分析結果

4.1 応力および加速度の変動

図4、図5にひずみより算出した応力の10分間時刻歴波形および同時間帯の加速度の10分間時刻歴波形を示す。両者は、1次モードの振動が励起されていると思われる同時刻における波形である。これらから、1次モードの振動が励起している場合、応力と加速度の変動はよく一致していると思われる。図6および図7に図4、図5の時刻歴波形にレインフロー法を適用して算出した応力範囲と加速度範囲の頻度分布を示す。それぞれの頻度に差はみられるが、分布形状は類似している。本研究では、加速度範囲から疲労損傷度の算出を行うために、加速度範囲に係数 α を乗じることで応力範囲に変換することを考える。図5より α をおおよそ20とし、加速度範囲の応力範囲への変換には、(1)式を用いることとする。

$$\text{推定応力範囲} = 20 \times \text{加速度範囲} \cdots (1)$$

4.2 疲労損傷度の算出

計測期間中、図4に示すような1次モードの振動が10分間続くような現象はほとんど発生しなかった。異なる日時のP5(IN-7)で計測されたひずみより算出した疲労損傷度および同斜材に設置してある加速度データから算出した疲労損傷度を表1に示す。応力より算出された損傷度に対して、最大13%程度の差異がある。この原因として、表1中のNo.1~5において振動数成分の分布等、励起振動の性状に違いがあるということが挙げられる。しかし、最大でも10%程度、平均的には5%程度の差異であるため、加速度波形からの疲労損傷度推定という観点からは十分適用できると考えられる。

5. まとめ

4.2に示すように一定時間1次モードでの振動が起きている場合には、測定された加速度波形から疲労損傷度を推定することは可能であるが、前述したように1次モードの振動が長時間継続して発生することはほとんどないため、一定の計測時間の中で比較的短時間ではあるが疲労損傷に寄与するような振動が発生した場合についての損傷度が(1)式をもとに表現できるかは明確ではない。今後、明確な振動が励起されていない場合についても、バンドパスフィルタ処理することで加速度範囲と応力範囲との間に同様の関係が成立するか検討が必要であると考え。また、他部材と損傷度の比較を行う際には、同一部材でも日時によって10%程度の精度の差異が認められることを考慮する必要がある。

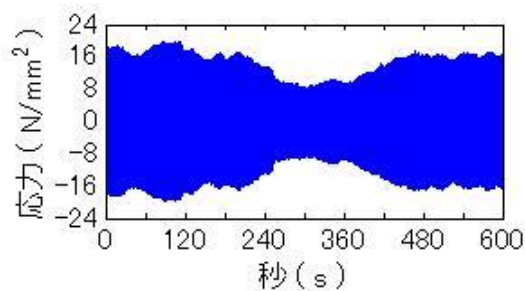


図4 応力の時刻歴波形（10分間）

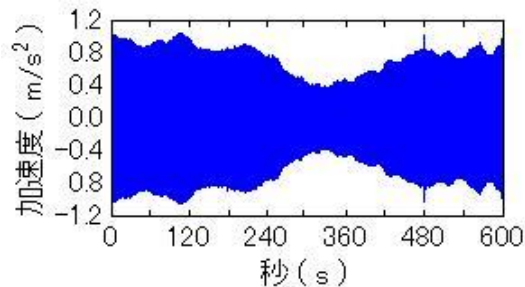


図5 加速度の時刻歴波形（10分間）

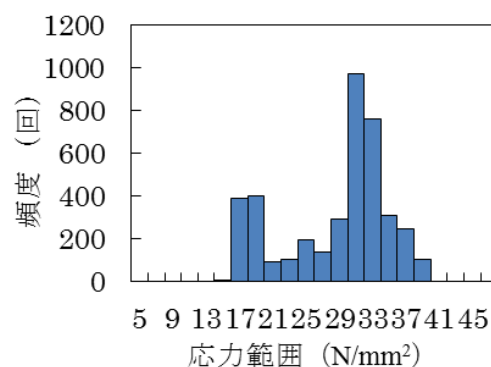


図6 10分間応力範囲

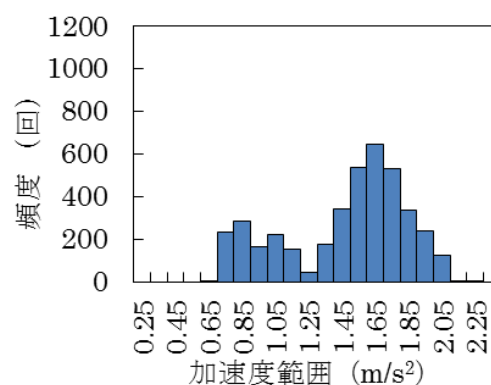


図7 10分間加速度範囲

表1 疲労損傷度

No.	損傷度		ひずみ/加速度	平均
	ひずみ	加速度		
1	4.07E-05	3.96E-05	1.028	0.946
2	4.00E-05	4.27E-05	0.937	
3	2.02E-05	2.32E-05	0.872	
4	5.40E-05	6.07E-05	0.890	
5	2.69E-05	2.68E-05	1.003	