

## 鋼管集成橋脚の疲労性能を評価するためのひずみ頻度解析

京都大学大学院 学生会員 ○薛 迪緯  
 京都大学大学院 学生会員 佐藤 顕彦  
 京都大学大学院 正会員 北根 安雄

京都大学大学院 学生会員 大城 雄希  
 京都大学大学院 正会員 五井 良直  
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

### 1. 序論

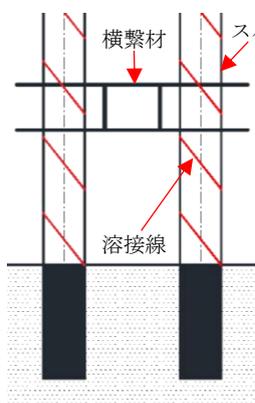
1995年に発生した兵庫県南部地震では、社会基盤構造物が甚大な被害を受けた。この震災を受けて、道路橋示方書が改訂されたが、レベル2地震動に対する設計において、損傷を限定的なものにとどめ全体として崩壊しない構造とすることが求められる。一方で、近年では建設投資が縮減される傾向にあり、性能とコスト削減を両立した構造が望ましい。このような背景から、合理的な鋼製橋脚として鋼管集成橋脚が開発された<sup>1)</sup>。鋼管集成橋脚とは、**図-1**に示すようなスパイラル状の溶接線を有する鋼管を複数本基本単位に利用し、履歴型ダンパー機能を有する横繫材により一体の柱とした構造である。地震時に横つなぎ材のせん断パネルが履歴減衰によって地震エネルギーを吸収し、損傷をせん断パネルに集約することで鋼管柱および橋梁全体の安定性を保持する構造である。しかし、鋼橋に自動車などの活荷重、風などの外力が繰り返し作用すると、応力集中部や溶接欠陥などの応力条件が厳しい位置から疲労亀裂が発生し進展する懸念がある。以上の背景に基づき、本研究では、鋼管集成橋脚柱部の疲労性能を明らかにするために、溶接線の近傍の応力性状を把握することを試みた。

### 2. ひずみの計測

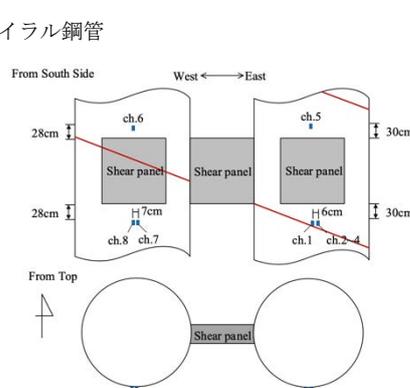
研究対象とする阪神高速道路・海老江ジャンクションで採用された鋼管集成橋脚は、曲線形状の高架橋を支持するもので、交通荷重・風荷重などの作用に対して複雑な応答が予測されることから、平面2方向の曲げおよび鉛直力の変動を把握するセンサの配置が望ましい。鋼管集成橋脚におけるスパイラル形状の溶接部位での応力分布特性を把握するために、溶接線の近傍に摩擦型ひずみゲージを用いたひずみ測定器（応力聴診器：東京測器研究所）を取り付け、車両が通過した際に発生するひずみの測定を行った。応力聴診器の位置を**図-2**に、スパイラル状の溶接線近傍の6計測箇所を計測を行った。応力聴診器により、スパイラル鋼管の外周上の軸ひずみを、溶接部近傍と併せて計測した。200Hzの測定周波数で計測されたひずみの測定結果（2019/3/13の11:05:34から48時間）の一例（**図-2**に示すCH1の結果）を**図-3**に示す。

### 3. ひずみ頻度解析

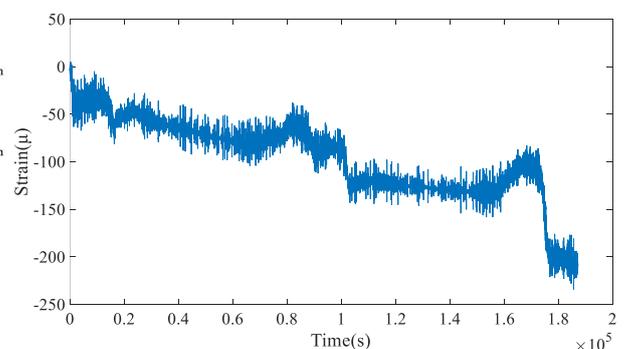
ひずみ頻度解析は解析ソフトウェア Matlab を用いて行った。ひずみの原因となる自動車荷重、風などは一定ではないため、橋脚に生じるひずみは不規則であり、様々な大きさのひずみ範囲成分を有する。従って、**図-4**に示すような不規則なひずみ実測信号の前処理を行う必要がある。本節では、ひずみ頻度解析の詳細について説明する。



**図-1** 鋼管集成橋脚の概要



**図-2** 応力計測点の位置



**図-3** ひずみ記録の一例 (CH1)

キーワード 橋脚, 疲労, 信号処理

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3 棟 工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3164

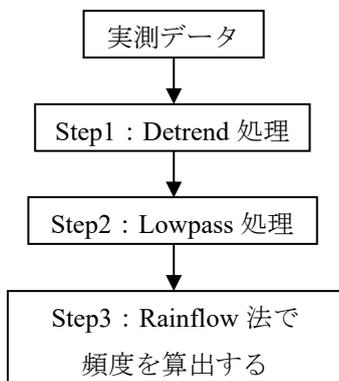


図-4 応力頻度解析の流れ

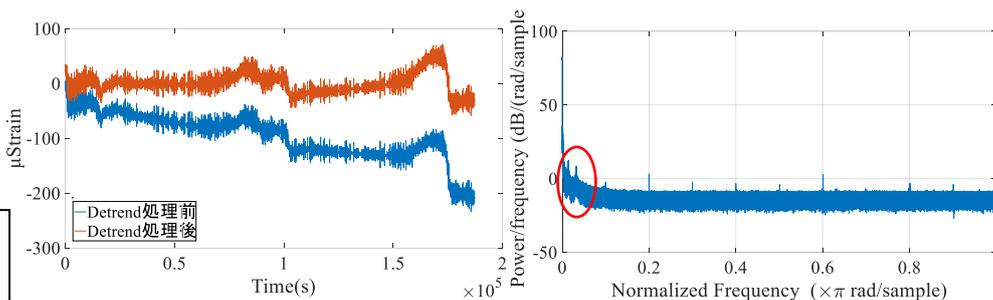


図-5 Detrend 処理前後のデータ

図-6 信号のパワースペクトル密度

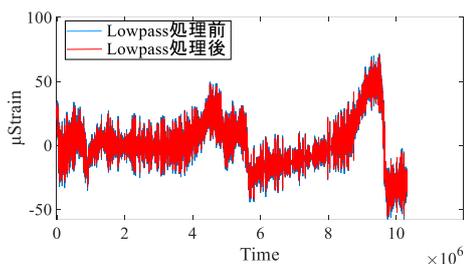


図-7 Lowpass 処理前後の比較図

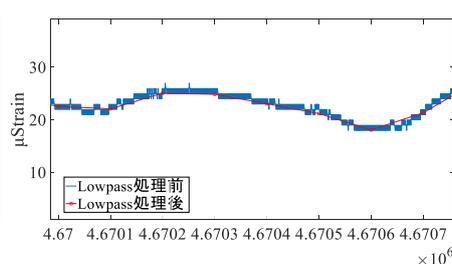


図-8 Lowpass 処理前後の拡大図

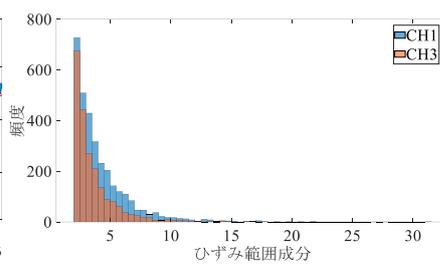


図-9 ひずみ範囲の頻度

まず、応力聴診器周辺の温度変化に伴うドリフトやセンサの周波数範囲外の低周波成分の不安定性による影響を排除するために、Step1 の Detrend 処理を行う。次に Step2 では低域周波数のみを通させるローパスチェビシェフ I 型無限インパルス応答 (IIR) フィルターにより波形処理を行った。最後のステップとして、不規則なひずみ変動からそのひずみ範囲の成分の頻度をレインフロー法により算出した。式(1)に示されるように、実測時間信号  $x_k$  ( $k=1,2,3 \dots n$ ) 信号に合わせるために、試行関数  $\tilde{x}_k$  を仮定する。そして、式(2)を用い、最小二乗法の原理に基づき、最適な係数  $a_0, a_1, a_2 \dots a_m$  を算出する。最後にトレンドは除去された信号の平均値が 0 になるように最初の実測時間信号  $x_k$  から最小二乗法で算出された線形関数  $\tilde{x}_k$  を差し引き、Detrend 処理後の信号  $y_k$  が得られる。

$$\tilde{x}_k = a_0 + a_1 k + a_2 k^2 + \dots + a_m k^m (k = 1, 2, 3 \dots n) \quad (1)$$

$$E = \sum_{k=1}^n (x_k - \tilde{x}_k)^2 = \sum_{k=1}^n \left( \sum_{j=0}^m x_k - a_j k^j \right)^2 \quad (2)$$

$$y_k = x_k - \tilde{x}_k \quad (3)$$

Detrend 処理前後の信号を図-5 に示す。結果を見ると、時系列データが持っているトレンドを排除することが出来ていることが分かる。続いて、本研究に用いられる Lowpass フィルターに適用する周波数の値を明らかにするために、図-6 に示されるような信号のウェルチパワースペクトル密度をプロットする。図-6 に示すようなピークの値 (主要な周波数約 2Hz) を用い、Lowpass フィルターを作成する。Lowpass 処理前後の信号の比較図を図-7 に示す。図-7 及び図-8 を見ると、時系列信号を大きく短縮し、実測信号にある不要なひずみ成分を取り除くことができた。また、Lowpass 処理前後の信号はほぼ一致していることが分かる。最後に、レインフロー法を用い、ひずみ記録の例とする溶接線の近傍に配置された応力聴診器 CH1 および溶接線からやや離れた点 CH3 のひずみ頻度の結果を図-9 に示し、抽出法により得られた  $2\mu\epsilon$  以上のひずみ範囲成分の値のヒストグラムを示している。これらの結果より溶接線に近接した観測点においてひずみが相対的に集中することが観測されている。

#### 4. 結論

本研究では、不規則なひずみ信号の前処理を行い、ひずみ記録の一例の頻度解析を行った。溶接線に近接した観測点においてひずみは相対的に集中することが分かった。今後は、矩形及び円形断面の橋脚の溶接線近傍の応力集中の評価を行う必要がある。

**参考文献:** 1) 橋本国太郎, 大塚浩介, 杉浦邦征, 杉山裕樹, 金治英貞: せん断パネルダンパーの構造パラメータが鋼管集成橋脚の耐震性能に及ぼす影響, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.1, 75-91, 2016.