

三次元加速度センサを用いた構造物の固有振動計測システムの運用

構造物設計株式会社 ○正会員 湯尻克宏 構造物設計株式会社 正会員 加藤大輝
株式会社かんこう 後藤琉一 神戸大学 フェロー 川谷充郎

1. 目的

日本における自然災害は、台風・大雨・洪水・地盤崩壊・地震・津波・火山噴火に代表される。これらの災害は古来より変わることはないが、近年、その規模、頻度さらに強度は増大しており、従来の計測方法では正しく測ることが困難になることが多く、新規の方法の開発が要求されている。これらの災害計測は工学的に最も難解な領域であるが、既設構造物が位置する地盤の動的データを求め、適切固有振動数を求める計測システムを作ることが有効な方法と考え、新たな開発を行うこととした。今回は実用化の領域に達した三次元加速度センサ（商品名：トリプルアイ）を用い、特に構造物の動的微小変位を正確に計測する方法を開発した。そして、このトリプルアイを使用した固有振動計測システムの運用例を紹介する。

2. トリプルアイの概要

トリプルアイは振動、傾斜変位計測機能を有し、情報蓄積、情報の受発信装置およびデータの解析ソフトをコンパクト(10cm×10cm×8cm)な容器に収納したものであり、これまで多くの現場実証計測を経て信頼性を確認する事例を蓄積してきた。

以下にトリプルアイの特徴を示す。

- ① 振動（加速度）および変位（傾斜）を高精度かつ正確に計測できる。

測定精度：加速度（0.01mG） 傾斜（0.001°）

加速度サンプリング：(max1000Hz)

- ② 測定範囲が広く、大規模地震動から常時微動、大変位から微小変位の広範囲な計測が可能である。

測定範囲：加速度(±15G) 傾斜(±45°)

- ③ 3軸成分(X, Y, Z)を有する。④ 小型、軽量であり、設置が容易。⑤ 電源は商用電源、バッテリー、太陽電池の使用も可能。⑥ IoT機能を搭載し、無線および有線によるデータ通信が可能。

3. 橋脚の固有振動数計測への運用例

- (1) 目的：橋長 262.7m（7連）の複線トラスを支える鉄道橋のコンクリート橋脚2基を対象に、測定器（トリプルアイ）を橋梁天端部に設置し、電車荷重に対する振動測定を行い、橋脚の固有振動数を算定することを目的とする。

- (2) 測定：図-1 および図-2 に示すように、橋梁の中央径間にある2基の橋脚の天端に測定器を設置し、上り下り電車の通過に伴う加速度計測（3軸成分）を約1時間行った。後述するデータ内容は図-1 に示す矢印方向の成分（線路直角方向）のデータを用いた。測定周波数は500Hzとし、測定器設置直後からのデータを内蔵メモリに収録し、事後パソコンにより波形解析を行った。

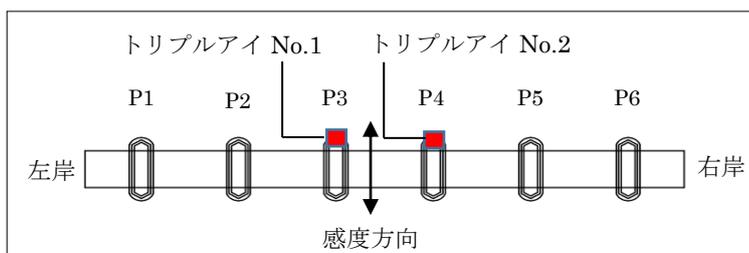


図-1 測定器取付図（平面図）

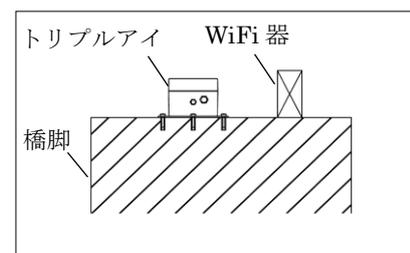


図-2 測定器取付図（詳細図）

キーワード 三次元加速度センサ、鉄道橋橋脚、固有振動数、卓越周期、自由振動域

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島6-7-8 構造物設計株式会社 TEL.06-6838-3522

4. 固有振動数解析

図-3はP3橋脚の線路直角方向の加速度データを5ブロックの所定の時間枠で切出して振動解析を行ったものである。なお、ブロックの時間枠は1列車の通過時間を目安に6秒とした。図-4～図-8は図-3に示す各ブロック単位で切出したフーリエスペクトル図である。各ブロックの特徴を下記する。

- ①ブロック1：電車が通過している時の波形であり、6秒区間を切出した振動解析結果の卓越周波数は8.3Hzであった。
- ②ブロック2：電車の通過直後の減衰部分の波形であり、この6秒間には車輛振動、橋梁振動が残っている。振動解析結果の卓越周波数は10.6Hzであった。
- ③ブロック3：車輛振動、橋梁振動の影響が収束した後の自由振動部分であり、6秒区間を切出した振動解析結果の卓越周波数は3.4Hzであった。このブロックの3.4HzをP3橋脚の固有振動数と考えられる。
- ④ブロック4,5：共に2.7Hzの卓越振動数が得られた部分であり、これはいずれも常時微動である。
- ⑤図-9は上記手法によりP4橋脚の自由振動部分の切出し区間から解析したフーリエスペクトル図であり、P3橋脚と同様に算出した固有振動数4.1Hzが得られた。

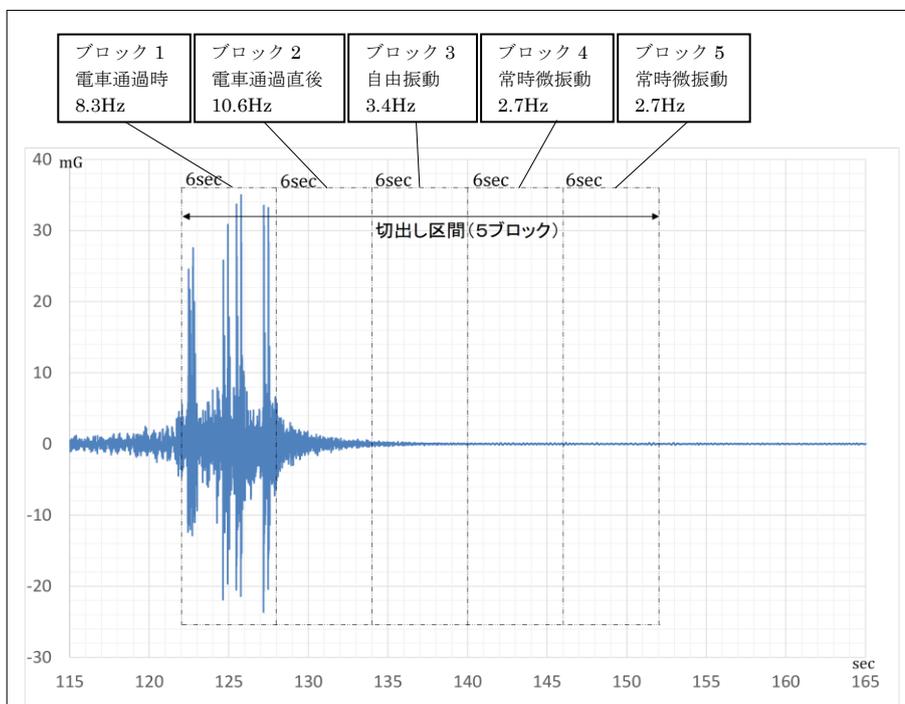


図-3 P3橋脚の加速度切出し処理説明図

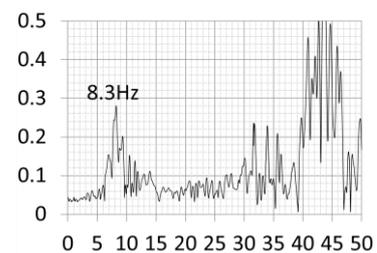


図-4 フーリエスペクトル (ブロック1) 図

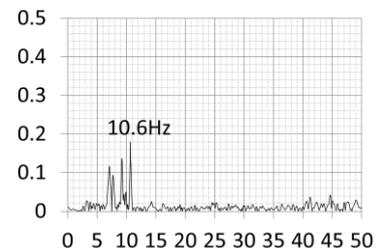


図-5 フーリエスペクトル (ブロック2) 図

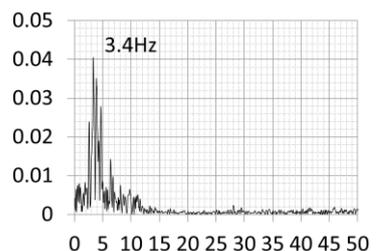


図-6 フーリエスペクトル (ブロック3) 図

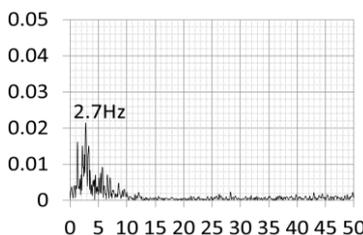


図-7 フーリエスペクトル (ブロック4) 図

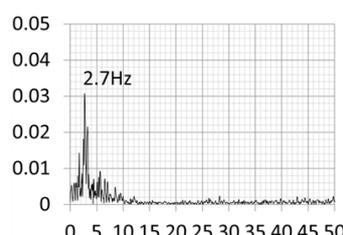


図-8 フーリエスペクトル (ブロック5) 図

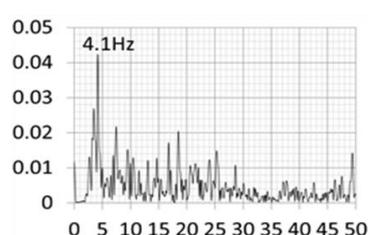


図-9 P4橋脚自由振動
フーリエスペクトル図

5. 考察

三次元加速度センサ(トリプルアイ)を用いて計測し、電車荷重による鉄道橋橋脚の振動波形を6秒毎に「切出し区間」を設け、経時的に卓越周波数の変化を追跡した。そして電車荷重の通過した6秒後の振幅が小さくなった6秒間(ブロック3)で橋脚の固有振動数を算出できた。