



微動の斜交成分の観測によりサーキットノイズと地盤震動を区別する試み

野津 厚¹⁾

1) 正会員 港湾空港技術研究所、領域長 博士 (工学)
e-mail : nozu@pari.go.jp

要 約

微動を観測する際、振幅レベルが小さい場合には、実際に観測されたものが本来の地盤震動なのかサーキットノイズなのか区別しにくいという問題がある(盛川、2011)。この問題に対し、先進強震計(青井他、2014; 功刀他、2014)で採用されている斜交成分を計測する方法は有効であると考えられる。本稿では、斜交成分を活用する微動観測システムの開発に資する目的で、斜交成分の観測によりサーキットノイズと本来の地盤震動を区別することを試みてみた。

キーワード: 微動、サーキットノイズ、斜交成分、コヒーレンス

1. はじめに

微動を観測する際、振幅レベルが小さい場合には、実際に観測されたものが本来の地盤震動なのかサーキットノイズなのか区別しにくいという問題がある¹⁾。サーキットノイズには、温度変化によるもの、直流電源の揺らぎによるもの、1/fノイズなど様々なものがあることが文献¹⁾で解説されている。これらの全てに対して正面から適切に対処しようとするれば、観測者は観測システム内部の回路に対して相当に高度な知識を有していなければならないことになる。

周知のように、微動観測はその手軽さが大きな魅力であり、観測から得られるデータの有用性も様々な形で示されている。従って、この有用な探査手法を少しでも多くの方に活用していただきたいという願いを著者は持っている。しかし、サーキットノイズと本来の微動の区別が困難であるという上述の問題は、観測を敷居の高いものにしてしまう恐れがある。

ところで、最近、青井他²⁾、功刀他³⁾は先進強震計について紹介している。その大きな特徴は、通常の南北、東西、上下成分に加え、それらのいずれとも直交しない斜交成分を観測することである。それにより、欠測の可能性を低減できるほか、落雷に起因する電氣的ノイズ等、地盤の震動に起因しない信号の混入を検知することができる²⁾。

この方法は、サーキットノイズと本来の微動の区別が困難であるという上述の課題に対しても有効に機能すると考えられる。すなわち、第4の斜交成分を観測する機能をあらかじめ可搬型の微動計の中に埋め込んでおき、第1～第3成分から計算した斜交成分と実際に観測した斜交成分が十分一致しない場合には、サーキットノイズを観測している可能性が高いと判断して警告を発する、そのような機能が微動計に備わっていれば、便利であると考えられる。

この方法の利点は汎用的であること、すなわち、フィードバック型等の微動計の機構によらず採用できるという点と、システム内部の回路に関する高度な知識をユーザーに求めないという点である。

このような機器の開発は、もちろん、現状の技術で可能であると考えられるが、実際にこうした方法でサーキットノイズと本来の微動の区別ができることを確かめてみたいと考え、研究所の敷地内でごく簡単な観測を実施した。

2. 観測機器と観測条件

観測を行ったのは横須賀市にある当所敷地内の強震観測地点「港研-U」である。なお、この地点における強震波形データは港湾地域強震観測のホームページ (<http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm>) で公開されている。観測に使用した機器は白山工業（株）製のJU-210⁴⁾⁵⁾、2台である。センサーはフィードバック型の加速度センサーであり、A/D変換は24bitである。図1に設置状況を示す。図の左側の微動計はNS, EW, UD成分を観測できるように設置し、右側の微動計はNE, SE, UD成分を観測できるように設置した。GPSによる時刻補正を行い、2015年9月23日22:15より15分程度観測を行った。サンプリング周波数は100Hz、ゲインは10倍とした。観測時はほぼ無風状態であったため風除けの設置は行わなかった。

なお、先進強震計²⁾³⁾での斜交成分は本来はNS, EW, UDのいずれとも斜交する成分であるが、ここでは簡単のため斜交成分は水平面内としている。NS, EW, UDの3成分に含まれるノイズを一つの斜交成分で検出するためには、斜交成分はNS, EW, UDのいずれとも斜交していなければならない。



図1 微動計の設置状況

3. 観測結果と考察

左の微動計のNS成分とEW成分から計算したNE成分と右の微動計で観測されたNE成分の比較を図2（上）に示す。またそれらの残差を図2（下）に示す。またSE成分に関する同様の比較を図3に示す。なお、本稿に示す時刻歴波形は全てドリフト成分を除去するため0.01Hz以下の成分を除去したものである。

これらの図から、時刻歴波形上では10Hz強の成分が卓越していることがわかる。また、左の微動計からの計算結果と右の微動計の観測結果は良く一致しており残差は小さい。従って、ここでの観測結果は基本的にはサーキットノイズではなく本来の微動であると考えられる。参考のため図4にはUD成分同士の比較と残差を示している。UD成分に関しても観測結果は基本的には本来の微動であると考えられる。なお、波形に占める残差の割合は、功刀他³⁾が示している先進強震計の場合と比較すれば大きい。その理由としては、より小さな振幅を対象としているため相対的にサーキットノイズ等の影響が大きくなっている可能性のほか、本研究では左右別々の躯体で観測を行っているため、風圧等の違いが影響している可能性が考えられる。斜交成分のセンサーを同一の躯体にセットすればより残差が小さくなることが期待できる。

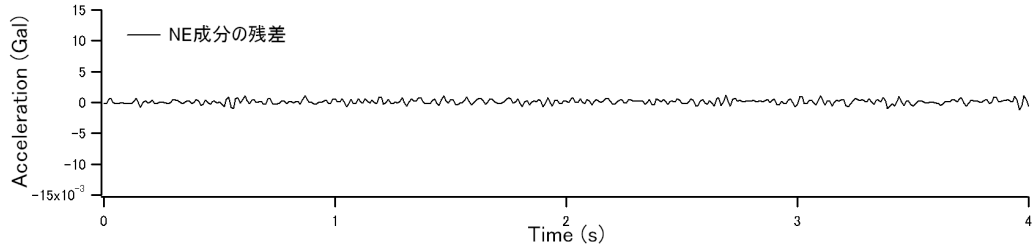
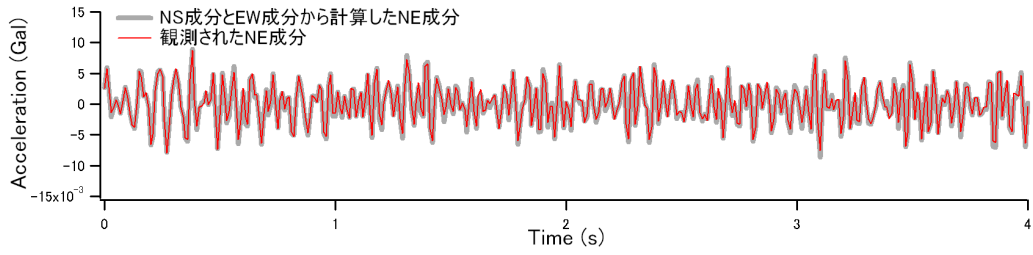


図2 NS成分とEW成分から計算したNE成分と観測されたNE成分（上）および残差（下）

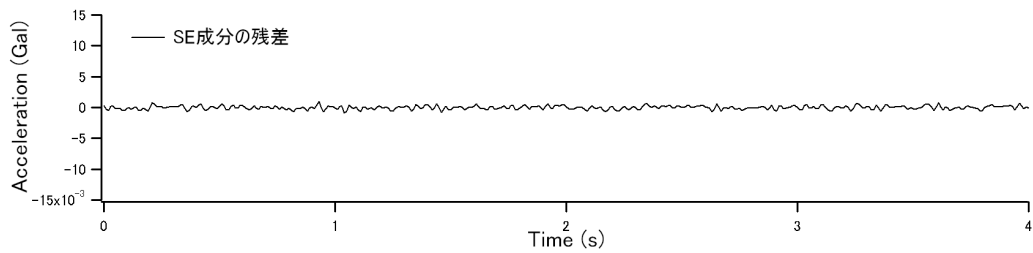
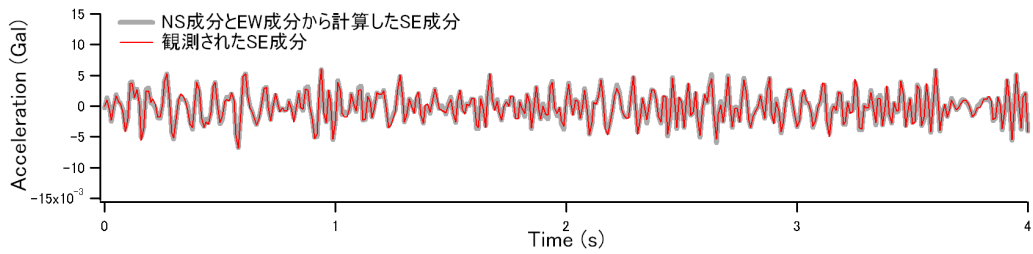


図3 NS成分とEW成分から計算したSE成分と観測されたSE成分（上）および残差（下）

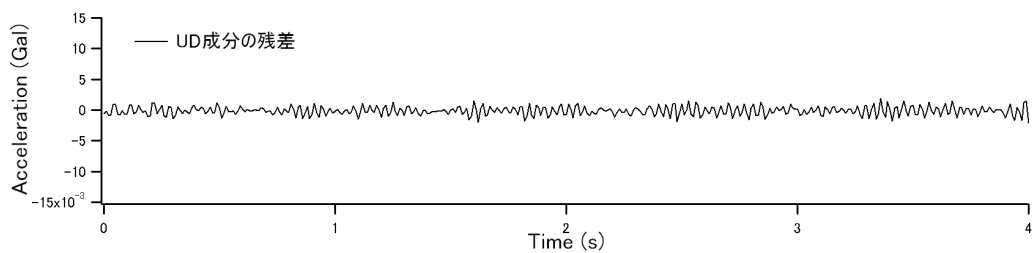
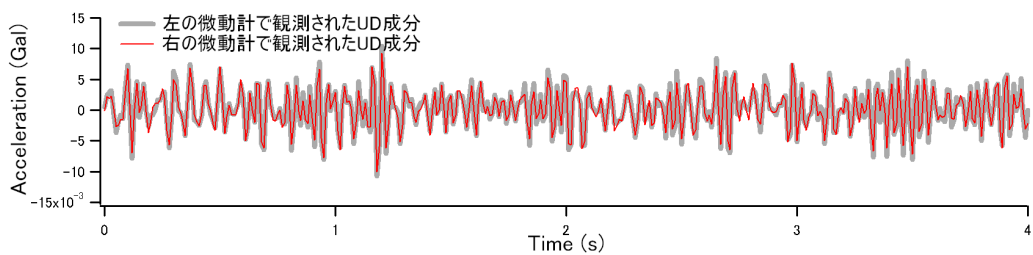


図4 左右の微動計で観測されたUD成分（上）および残差（下）

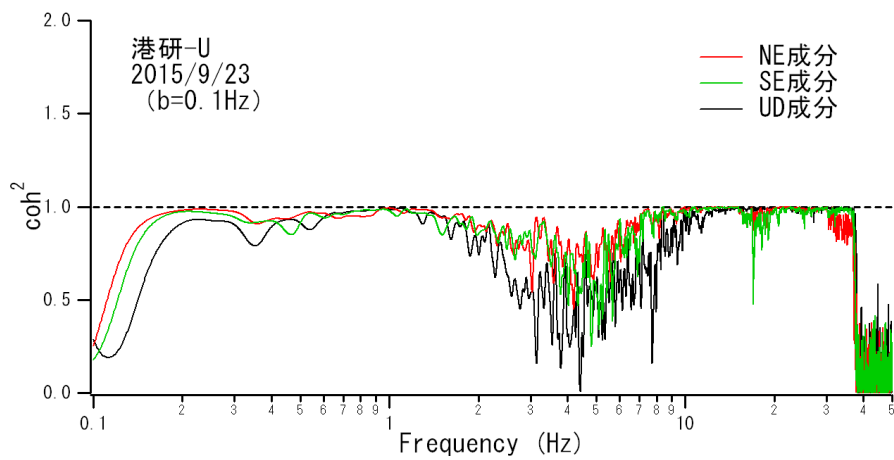
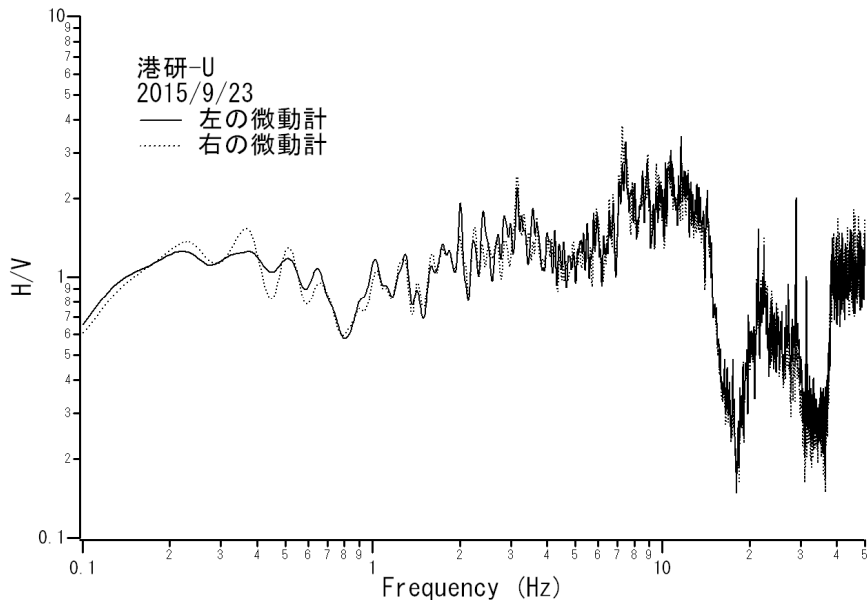
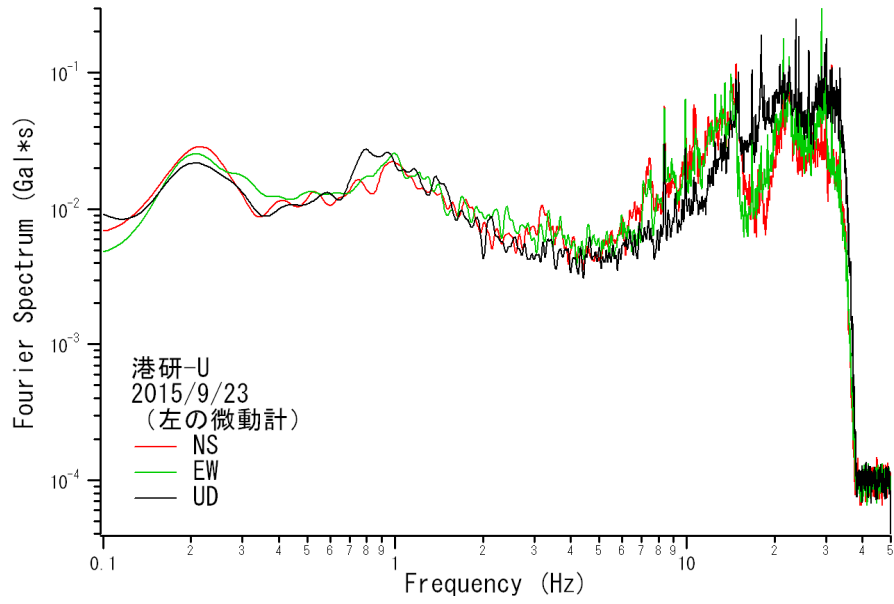


図5 フーリエスペクトル (上)、H/Vスペクトル (中)、コヒーレンス関数 (下)

さて、サーキットノイズと本来の微動との大小関係は周波数にも依存すると考えられる。そこでコヒーレンス関数を利用した検討も実施してみた。(ドリフト成分除去後の)時刻歴波形から、車両の通行等の影響が比較的小さいと考えられる163.84秒の区間を選択し、フーリエスペクトル、H/Vスペクトル、コヒーレンス関数(coh²)を計算し図5に示した。フーリエスペクトルにはバンド幅0.1HzのParzenウィンドウを適用した。H/Vスペクトルの算定における水平成分は水平2成分の自乗平均の平方根とした。コヒーレンス関数を計算する際のスムージングにもバンド幅0.1HzのParzenウィンドウを用いた。

フーリエスペクトルでは4~5Hz付近の成分がその前後の成分より少ないという特徴がある。水平成分で10Hz強の成分が卓越しているのは浅部地盤(<http://www.eq.pari.go.jp/kyosin/data/pnt/koken-u.htm>)の影響と考えられる。35Hz以上では振幅が小さくなっているが、今回の観測ではローパスフィルタを用いていないので、実際の振動が35Hz以上では小さかったと考えられる。H/Vスペクトルについては当該地点で過去に複数回観測を行っており、過去の観測結果と同様のものが得られている。

コヒーレンス関数(coh²)については、0.2~2Hzではほぼ1となっており、この帯域でサーキットノイズ等の影響が小さいことを示唆しているが、フーリエスペクトルの値が小さかった4~5Hz付近ではコヒーレンス関数も1を大幅に下回っている。すなわち、4~5Hz付近では本来の微動のシグナルが弱いため相対的にサーキットノイズ等の影響が強まっていることが示唆される(ただしサーキットノイズとは断言できず風等の影響も考えられるため「等」としている)。10~35Hzではコヒーレンス関数の値は再びほぼ1となっている。これは、この帯域では浅部地盤による増幅等の影響で本来の微動のシグナルが大きく、そのためサーキットノイズ等の影響が小さいためであると考えられる。本来の微動のシグナルが小さい35Hz以上ではふたたびコヒーレンス関数の値は1を大きく下回っている。以上のように、本来の微動のシグナルが弱い周波数帯域では相対的にサーキットノイズ等の影響が強まる結果としてコヒーレンス関数の値が低下していると考えられる。

このように、サーキットノイズと本来の微動との大小関係は周波数にも依存するため、図2~図4のような時刻歴波形の比較だけでは不十分であり、コヒーレンス関数を利用した検討が有用と考えられる。

4. おわりに

先進強震計²⁾³⁾に取り入れられている斜交成分を観測する方法は、サーキットノイズと本来の微動の区別が困難であるという微動観測の課題¹⁾の解決に対しても有効であると考えられる。この方法の利点は汎用的であること、すなわち、フィードバック型等の微動計の機構によらず採用できるという点と、システム内部の回路に関する高度な知識をユーザーに求めないという点である。本稿では、斜交成分を活用する微動観測システムの開発に資する目的で、斜交成分の観測によりサーキットノイズと本来の地盤震動を区別することを試みてみた。本来の微動のシグナルが弱い周波数帯域では相対的にサーキットノイズ等の影響が強まる結果としてコヒーレンス関数の値が低下していると考えられる。サーキットノイズと本来の微動との大小関係は周波数にも依存するため、時刻歴波形の比較だけでは不十分であり、コヒーレンス関数を利用した検討が有用と考えられる。

参考文献

- 1) 盛川仁：地盤微動の観測の基本、微動の利用技術、日本地震工学会微動利用技術研究委員会、2011年、pp.71-128.
- 2) 青井真、功刀卓、中村洋光、鈴木亘、藤原広行：強震連続観測データの防災情報の利用に向けて、日本地震学会秋季大会、B11-02、2014年、p.39.
- 3) 功刀卓、中村洋光、鈴木亘、青井真：先進強震計と実時間強震動把握・地震早期警報、日本地震学会秋季大会、B11-03、2014年、p.40.
- 4) 先名重樹、安達繁樹、安藤浩、荒木恒彦、藤原広行：微動探査観測システムの開発、日本地球惑星科学連合大会予稿集(CD-ROM)、S116-P021、2006年.
- 5) 先名重樹、藤原広行：微動探査観測ツールの開発 その1 一常時微動解析ツール一、防災科学技術研究所研究報告、第313号、2008年.