

RTK-GPS を用いた鉄塔の風応答変位測定

正会員 吉田 昭仁*1
 同 田村 幸雄*2
 同 石橋 龍吉*3
 Luisa-Carlotta Pagnini*4

RTK-GPS 変位測定 静的変位 熱応力

1. はじめに

建物の風応答は平均成分を含む為、動的成分と共に静的成分の計測も必要となる。従来から用いられている加速度計や速度計では、数値的に積分して変位を求めることになるが、静的成分の検出は極めて困難である。筆者らは RTK-GPS を用いた変位計測システムにより建築物の静的成分を含んだ変位計測の可能性について研究を行っており、起振器等を用いた実験によって、ある程度のレベル以上の強風時や地震時には、十分に変位計測が可能であることを報告している。¹⁾⁻²⁾

本研究では、RTK-GPS アンテナを実物の鉄塔に設置し、強風時の鉄塔変位および日射による熱応力で生じる鉄塔変位を計測した。

2. 実測対象鉄塔

実測対象鉄塔は、図 2 に示すような高さ 108m の東京都八王子市郊外の都市基盤整備公団八王子試験場内にある超高層住宅実験タワーである。鉄塔平面は一辺約 5m の八角形をしており、中央部にはコア（エレベーター、階段、通路）が配置されている。

3. 実測方法

GPS アンテナを鉄塔頂部の機械室の屋根に設置し、三杯風速計と矢羽根式風向計を高さ 120m の位置に設置した。基準点の GPS アンテナは鉄塔に隣接した高さ 16m の RC 造建物の屋上に設置した。また、サーボ型加速度計を鉄塔頂部にある機械室内の梁上に設置し、その X 方向は EW

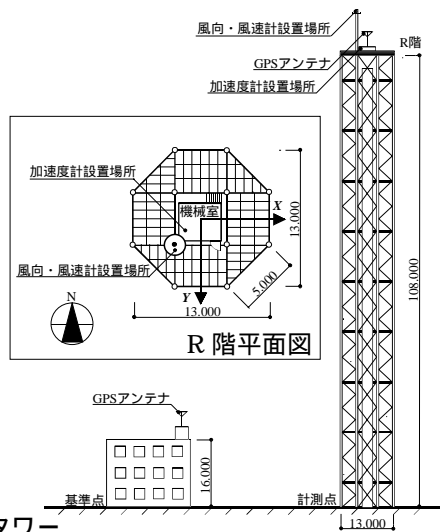


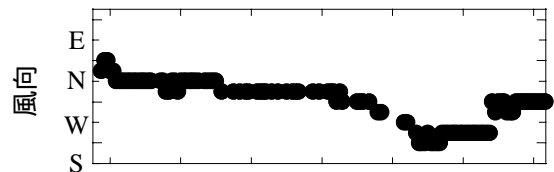
図 1 実測タワー

方向に、Y 方向は NS 方向にそれぞれ一致させた。

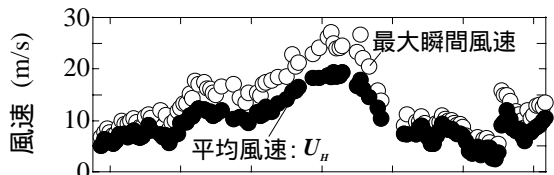
4. 実測結果

図 2(a)、(b)に強風時（2000 年 7 月 7 日～8 日）の最多風向および平均風速、最大瞬間風速の変化を示す。この日は台風 3 号が関東地方に接近した日であり、平均風速は最大で約 20m/s に達し、その最多風向は北寄りであった。以下では北寄りの Y 方向の結果を中心に報告する。

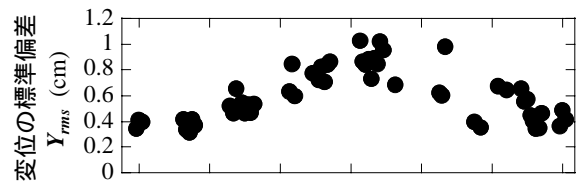
図 2(c)、(d)に GPS 変位および加速度記録の 10 分毎の標準偏差の変化を示す。(c)、(d)ともに平均風速の増加に伴って、標準偏差も増加しており、平均風速が最大となる 8 日の 4:00 に GPS 変位の標準偏差も最大となっており、(d)の加速度の標準偏差も最大となった。



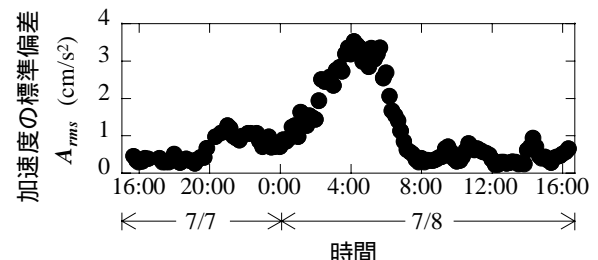
(a) 最多風向



(b) 風速



(c) RTK-GPS による変位の標準偏差 (Y 方向)



(d) 加速度計による加速度の標準偏差 (Y 方向)

図 2 平均変位の風速による変化 (Y 方向)

図3に平均風速によるタワーのY方向の平均変位の変化を示す。ここで用いたデータは最多風向が北寄りのNNW、N、NNEの3風向となった場合に限定している。平均風速が10m/s以上では、平均風速の概ね2乗に比例して平均変位が大きくなっている。また、平均風速20m/s程度では、タワーの平均変位は4cm程度となっている。

図4に平均風速最大時(7月8日4:00)の応答の時系列波形を示す。(a)の加速度記録と(b)のRTK-GPS変位の変動の様子は類似しており、タワーの固有振動数が0.57Hzであることを考えると、両者は定量的にもほぼ対応している。

図5に平均風速最大時の時系列波形のパワースペクトル密度を示す。比較の便宜のため、加速度のパワースペクトル密度には $(2\pi f)^{-4}$ を乗じて変位のパワースペクトル密度に換算した。絶対値にずれはあるものの、分布形状は非常に良く類似している。

次に、GPSと加速度計の記録からタワーの振動特性をRD法により評価した。前述の強風時のデータ(Y方向)

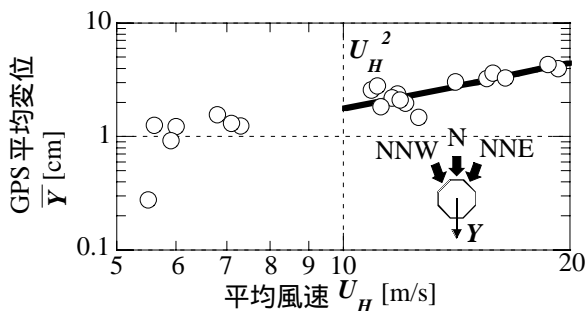


図3 平均変位の風速による変化 (Y方向)

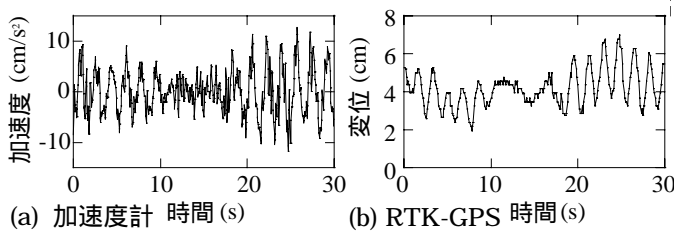


図4 強風時の応答の時系列波形

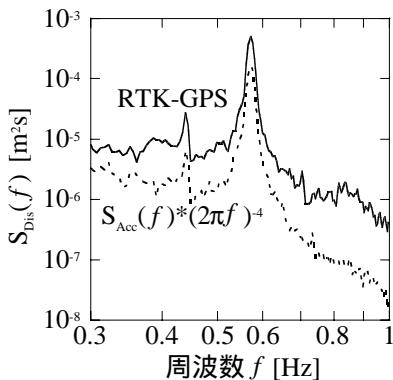


図5 応答のパワースペクトル密度

に固有振動数 0.57Hz をはさんで、GPS 変位については 0.45Hz~0.66Hz、加速度記録については 0.45Hz~0.76Hz の幅でバンドパスフィルタを掛け、RD 波形を求めた。その結果を図6に示す。なお、RD 波形の初期値はそれぞれの応答の標準偏差とした。RD 波形から最小2乗近似によって求めた減衰定数と固有振動数を表1に示す。減衰定数はGPS変位(Y方向)で0.87%、加速度記録(Y方向)で0.94%となった。

また、本システムでは静的変位が検出されるため日射による熱応力でのタワーの変形が検証できる。一例を図7に示す。風の弱かった日のタワー頂部の変位を1時間毎に平均して図示した。なお、ここでは夜間のデータの平均値をタワーのゼロ点とした。日の出時刻は6:30頃であり、7:00に1cm西に変形し、9:00~10:00頃に北西に3~4cm変形している。午後は東側に変形し、日没後の19:00頃にはゼロ点に戻った。

5. まとめ

RTK-GPSを用いた実構造物での応答実測を行ない、適用可能性を明らかにした。

参考文献

- 1) 田村他, GPS を利用した高層建物の風応答観測の可能性, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp203-204, 1999
- 2) 石原他, GPS を利用した建物の風応答計測に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp211-212, 2000

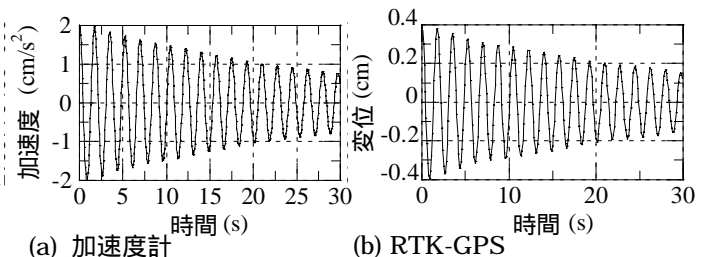


図6 RD 波形

表1 RD法により求めたタワーの振動特性

	固有振動数 f_0 [Hz]	減衰定数 h [%]
加速度計	0.57	0.94
RTK-GPS	0.57	0.87

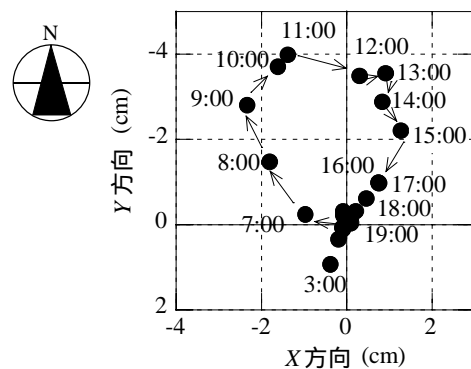


図7 日射によるタワーのGPS変位(晴天時)

*1 東京工芸大学・助手

*2 東京工芸大学・教授・工博

*3 都市基盤整備公団・総合研究所・専門役

*4 ジェノバ大学・Ph.D.

*1 Tokyo Institute of Polytechnics, Research Associate

*2 Tokyo Institute of Polytechnics, Professor, Dr.Eng.

*3 Urban Development Corporation

*4 University of Genova, Ph.D.