

高さ 108m の鉄塔の RTK-GPS による変位応答測定

正会員 吉田 昭仁*¹ 正会員 ○本田 宏武*²
 同 田村 幸雄*³ 同 石橋 龍吉*⁴
 同 石橋 外史*⁵ Luisa-Carlotta Pagnini*⁶

GPS 風応答 変位測定 平均変位 FEM 解析

1. はじめに

筆者らは、都市建物群を集中モニタリングできる都市防災システム構築のため、RTK-GPS を用いた強風時の建築物の変位応答計測に関する研究を行ってきており、静的成分を含む観測が可能であることなど、その有効性を報告してきた。¹⁾⁻²⁾

本研究では、RTK-GPS を用いて実物鉄塔における変位計測を行い、強風時の応答挙動について調べるとともに、GPS 変位を用いてリアルタイムで建築物の健全性を評価できるシステムを構築するため、FEM 解析を併用した部材応力度の時刻歴評価手法について検討した。

2. 実測概要

実測対象鉄塔は、図 1 に示す東京都八王子市郊外の都市基盤整備公団技術センター内にある高さ 108m、地上部重量約 730t の超高層住宅実験鉄塔である。

GPS アンテナを鉄塔上部にある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。さらに加速度計を機械室内部の梁上に、X 方向を EW 方向に、Y 方向を NS 方向に一致させて設置した。基準点の GPS アンテナは鉄塔に隣接する高さ 16m の RC 造建物の R 階に設置した。

3. 解析結果

3.1 実測記録

図 2(a)に、台風 0115 号接近時(2001 年 9 月 11 日)の風速の時間変化を示す。この日の平均風速は最大で 19.8m/s に達している。

GPS による変位出力および加速度計による加速度出力の X 成分と Y 成分の合成値 $\sqrt{(X^2+Y^2)}$ を算出してこれを応答変位、応答加速度とし、それらの 10 分間平均値の時間変化を図 2(b),(c)に○印、△印で示す。応答変位、応答加速度ともに風速の増減に対応しており、風速が最大となる 11:00 前後にピークに達している。同図中の●印、▲印は、10 分間毎の最大瞬時値である。(b)の GPS 応答変位には、時々、前後の値に較べてかなり大きめの値が記録されることがある。ちなみに、(c)の応答加速度にはそれがない。

台風 0115 号の観測記録データの中から、風速が最大となった 11:00 から 11:10 の 10 分間における鉄塔頂部の軌跡を図 3(a),(b)に示す。この時刻における最多風向は NNW であり、(a)の GPS による変位出力のリサージュでは、概ね風方向に静的な変位が生じている。また、(b)は加速度計による加速度出力のリサージュである。

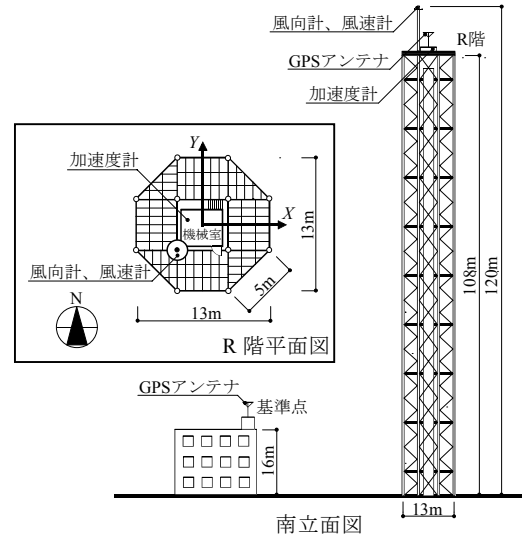


図 1 実測タワー概略図

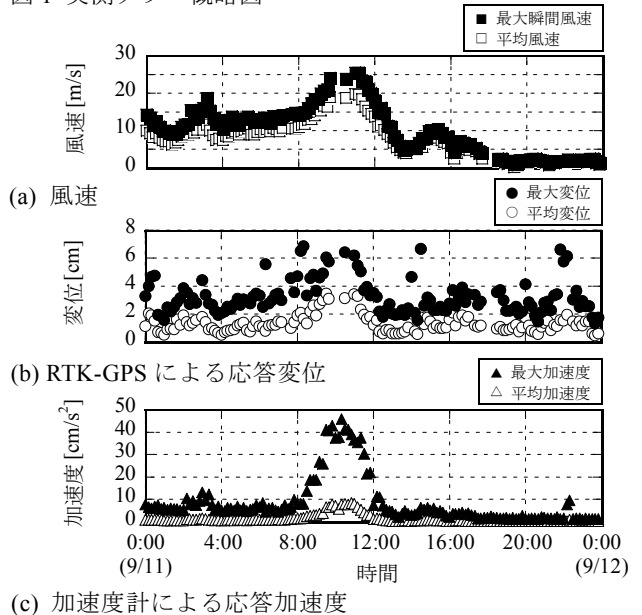


図 2 台風 0115 通過時の 10 分間毎の風速値と応答値の変化

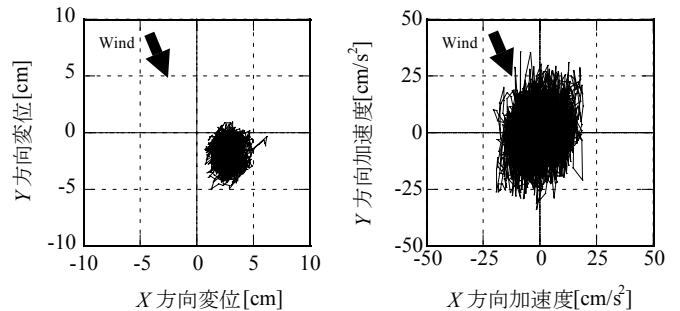


図 3 強風時における鉄塔頂部の軌跡

Wind-induced response monitoring of a 108m steel tower using RTK-GPS

YOSHIDA Akihito, HONDA Hiromu, TAMURA Yukio, ISHIBASHI Ryukichi, ISHIBASHI Sotoshi, Luisa-Carlotta Pagnini

3.2 FEM 解析モデル

設計図書に基づいて、総質量 730t の FEM 解析モデルを作成した。その際、構造部材以外の質量は全節点に均等に振り分けた。作成した FEM モデルにより鉄塔の固有値解析を行い、固有振動数を算出した。Y 方向の 1 次固有振動数は 0.57Hz となり、図 4 に示す実測による GPS 変位および加速度のパワースペクトル密度のピーク周波数と一致した。2 次、3 次についても、加速度計による実測結果とほぼ一致した。図 5 に FEM 解析モデルによる Y 方向の 1 次から 3 次までの振動モード形を示す。

3.3 鉄塔の平均変位

高さ z での平均風速を U_z 、見付面積を A とし、下式に基づいて平均風荷重を算定し、FEM 解析モデルにより頂部平均変位を求めた。

$$F_z = \rho U_z^2 CA/2$$

$$\text{風力係数}^3) \quad C = 4.0 \phi^2 - 5.9 \phi + 4.0$$

空気密度 ρ は 1.22kg/m^3 とし、鉄塔の充実率 ϕ は図面から 0.65 とした。地表面粗度区分は周辺の状況を考慮して III と設定した。その結果、風速計高さ 120m での平均風速を 20m/s としたとき、鉄塔頂上での平均変位が 2.8cm となった。

図 6 に RTK-GPS による平均変位の実測結果と FEM 解析結果を比較して示した。RTK-GPS による平均変位は最多風向が北で、且つ熱応力の影響を無視できると思われる終日曇りまたは雨天時のデータのみをプロットしている。RTK-GPS 実測結果と FEM 解析結果は概ね対応している。

3.4 部材応力度の検討

応答のパワースペクトル密度などから平均風荷重分布に基づいて FEM 解析した頂部変位と各部材応力度の関係から、GPS 頂部変位の時刻歴に対応する部材応力度の時刻歴を求め、図 7 に示した。部材応力度は、台風 0115 号の強風時 10 分間のデータから鉄塔自重の影響も含めて算出している。ちなみに、この場合は、図 2(b) から分かるように、GPS 変位に特異な最大応答値は現れていない。例示した部材は図 7(a) に示すように、鉄塔脚部主柱材と中柱材であり、ともに圧縮側部材である。(b) の主柱材応力度は風力変動を反映して大きく変動しているが、(c) の中柱材は時間変動が少なく、主として鉛直荷重を負担する結果となっている。

4. まとめ

実物鉄塔で RTK-GPS による応答変位計測を行い、FEM 解析との比較を行った。FEM 解析と実測結果は良い対応を示し、GPS 変位応答結果から FEM 解析結果を利用して強風時における鉄塔部材の応力度の時系列的变化をモニタリングすることの可能性が示された。

*1 東京工芸大学 助手
 *2 東京工芸大学 大学院生
 *3 東京工芸大学 教授 工博
 *4 都市基盤整備公団
 *5 都市基盤整備公団
 *6 ジェノバ大学 教授 Ph.D.

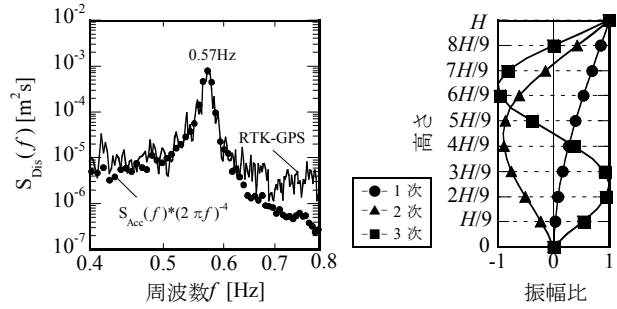


図 4 実測頂部応答のパワー スペクトル密度(Y 方向成分) 図 5 FEM モデルによる振動モード形(Y 方向)

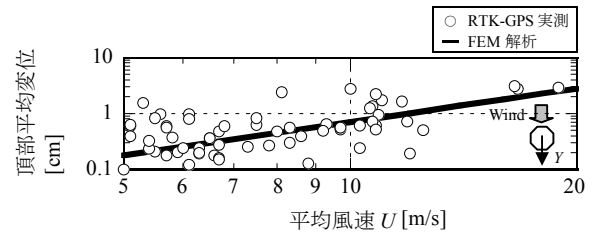
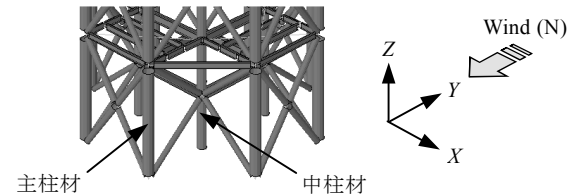
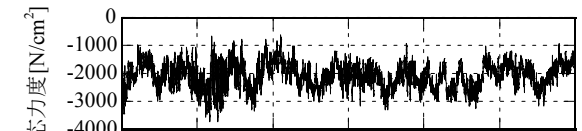


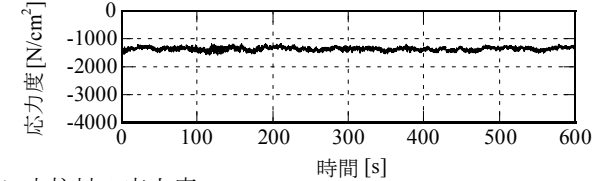
図 6 GPS による頂部平均変位(Y 方向)と FEM 解析値の比較



(a) 部材位置



(b) 主柱材の応力度



(c) 中柱材の応力度

図 7 GPS 応答波形と FEM 解析の併用による部材応力度の時刻歴波形

【参考文献】

- 1) 田村他, GPS を利用した高層建物群の風応答観測の可能性, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp203-204, 1999
- 2) Y.Tamura et al., Measurement of Wind-induced Response of Buildings using RTK-GPS, The Fifth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Kyoto Japan, October 21-24, pp93-96, 2001
- 3) ASCE Standard, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2000

Research Associate, Tokyo Institute of Polytechnics
 Graduate student, Tokyo Institute of Polytechnics
 Professor, Tokyo Institute of Polytechnics, Dr.Eng.
 Urban Development Corporation
 Urban Development Corporation
 Professor, University of Genova, Ph.D.