

RTK-GPS と FEM のハイブリッド利用による鉄塔の健全性モニタリング

Integrity Monitoring Of Steel Tower By Hybrid Use of RTK-GPS and FEM Analysis

吉田 昭仁¹⁾ 田村 幸雄²⁾ 松井 正宏³⁾ 石橋 外史⁴⁾
 Akihito YOSHIDA¹⁾ Yukio TAMURA²⁾ Masahiro MATSUI⁴⁾ Sotoshi ISHIBASHI⁴⁾

1. はじめに

筆者らはこれまで RTK-GPS を用いた計測手法により、計測点の位置を高精度かつ高サンプリングレートで、静的成分を含む構造物の変位計測の可能性を報告してきた¹⁾。

本研究では、RTK-GPS を用いて得られた鉄塔の強風時の変位を用いて、リアルタイムで建築物の健全性を評価出来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、文献¹⁾と同様であり、図 1 に示すように高さ 108m の鉄塔である。

本研究では、新たに、鉄塔の部材応力度を計測するため、鉄塔基部の外柱材、中柱材、筋違いにそれぞれ歪ゲージを取付けた。

3. 鉄塔応力度の時系列モニタリング

3. 1 FEM 解析

設計図書に基づき、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 解析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。図 2 に FEM 解析による Y 方向の 1 次から 3 次までの振動モード形および固有振動数を示す。なお、常時微動実測を行ない、FDD 解析²⁾により得られた結果も合わせて示した。振動モード形および固有振動数は実測と FEM 解析で非常に良い対応を示した。

3. 2 鉄塔の静的変位

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 解析モデルの各節点に平均風荷重を作用させて頂部平均変位を求めた。

$$\text{風力} \quad F_z = \rho U_z^2 CA / 2$$

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

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。また、地表面粗度区分は周辺の状況を考慮して III と設定した。

図 3 に RTK-GPS による Y 方向頂部平均変位と FEM 解析結果の比較を示した。RTK-GPS 実測結果は最多風

向が NW で、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。低風速側ではばらついてはいるものの、傾向としては概ね対応している。

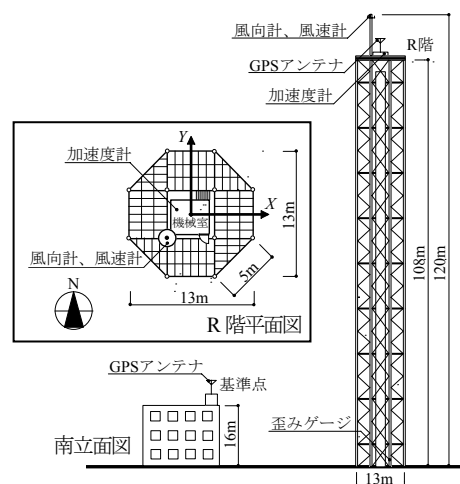


Figure 1 A steel tower for full-scale measurements

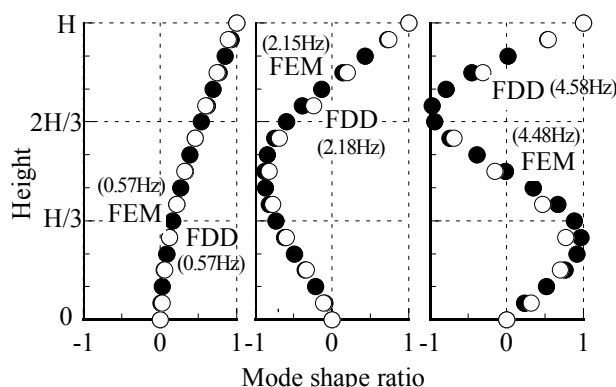


Figure 2 Mode shapes obtained by FEM and FDD

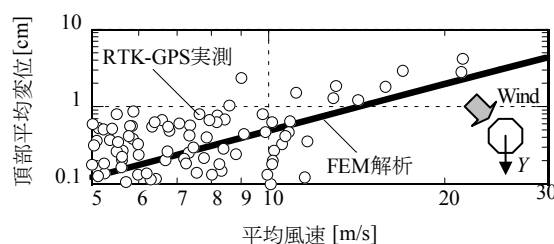


Figure 3 Changes of mean tip displacement by mean wind speed

1) 東京工芸大学工学部建築学科 助手
 Research Associate, Tokyo Polytechnic University
 3) 東京工芸大学工学部建築学科 助教授
 Associate Professor, Tokyo Polytechnic University

2) 東京工芸大学工学部建築学科 教授
 Professor, Tokyo Polytechnic University
 4) 都市基盤整備公団 主任研究員
 Senior Researcher, Urban Development Corporation

3. 3 強風時における部材応力度の時刻歴波形

図 4(a)に例示した鉄塔基部の外柱材と中柱材について、(b)で示す台風 0221 号における強風時 10 分間の風速の時刻歴に対応する部材応力度の時系列的変化を、GPS 変位と FEM 解析結果のハイブリッド利用により得られる部材応力度の時刻歴で評価した。図 4(d)(f)に GPS 変位と FEM 解析結果のハイブリッド利用によって得られた部材応力度の時刻歴波形を示す。部材応力度の時刻歴の算出については、FEM 解析モデルの頂部変位(X および Y 方向)が単位の長さ変形するように平均風荷重分布を与え、その際の部材応力度を求め、対応する GPS 頂部変位の X および Y 方向の時刻歴に乗じて得られた各方向の応力度を合成して算出している。比較のために、歪ゲージ実測により得られた鉄塔基部の部材応力度の時刻歴を(c)(e)に示す。(c)(d)の外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、(e)(f)の中柱材は時間変動が小さい結果となっている。GPS 変位を用いた応力度の時刻歴と実測による応力度の時刻歴は平均値に差はあるものの、良い対応を示している。

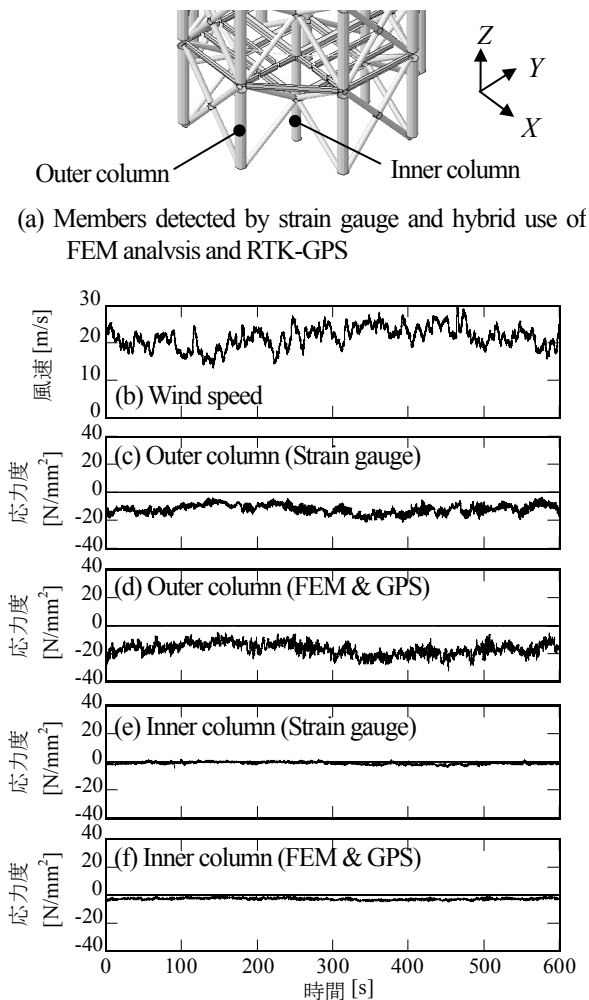


Figure 4 Temporal variations of stresses by field measurement and hybrid use of FEM analysis and RTK-GPS

3. 4 応力度のパワースペクトル密度

図 5 に歪ゲージ実測および GPS 変位と FEM 解析結果のハイブリッド利用による外柱材応力度のパワースペクトル密度の比較を示す。両者ともにパワースペクトル密度のピーク周波数は 0.57Hz で一致した。

3. 5 風速による応力度の変化

台風 0221 号の観測記録の中から、10 分間の最多風向が NW、NNW、N のデータのみを選び、その時刻における平均風速と外柱材応力度の関係を図 6 に示した。応力度の平均値 (図 6 (a)) および標準偏差 (図 6 (b)) ともに風速の増減に対応して応力度も変化する傾向にあるが、各々の応力度の値はばらついており、特に(b)の応力度の標準偏差に関しては GPS 計測に含まれる誤差により、ハイブリッド応力度が実測値よりも高い値を示している。

4. まとめ

歪ゲージ実測による部材応力度の時刻歴と、GPS 変位と FEM 解析結果をハイブリッド利用した部材応力度の時刻歴は良い対応を示した。

参考文献

- 1) 田村幸雄, 吉田昭仁, RTK-GPS を利用した都市内高層建築物群の変位応答モニタリング, 日本風工学会誌, 94 号, 2003.1, pp19-28
- 2) Y. Tamura, L.-M. Zhang, A. Yoshida, S. Nakata and T. Itoh, Ambient Vibration Tests and Modal Identification of Structures by FDD and 2DOF-RD Technique, Proc. of SEWC, 2002, T1-1-1b
- 3) ASCE Standard, Minimum Design Loads for Building and Other Structures, 2000

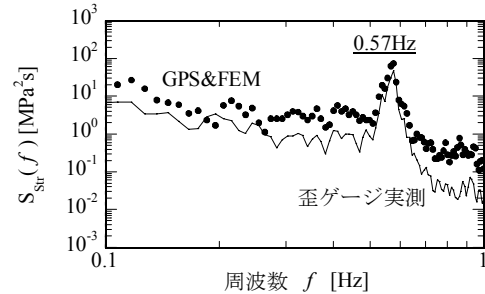


Figure 5 Power spectrum of member stresses in the outer column during Typhoon 0221

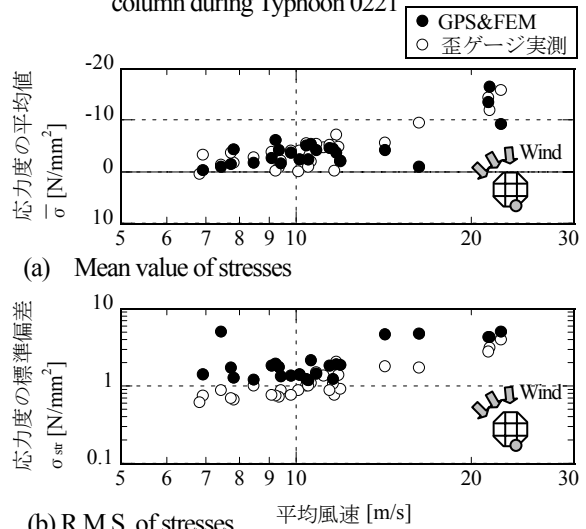


Figure 6 Changes of stresses of outer column by mean wind speed