

GFRP 製支柱の静的構造解析及び動的特性を考慮した耐震性の評価

日大生産工 (院)

○中西 将己

日大生産工

平山 紀夫

1. 緒言

近年, Internet of Things (以下, IoT) technology の普及により, 身のまわりのありとあらゆるモノがインターネットに接続することで, トラフィック (通信回線を利用するデータ量) の急増が見込まれる. このような情報量の急増に対応するためには, 伝送速度の高速化が不可欠であり, 現在の通信システムの100倍の伝送速度を有する第5世代移動通信方式 (以下, 5G) アンテナが全国に配備される予定である。

この安定した高速通信を実現するためには, 多数の5Gの基地局用アンテナを設置しなければならないが, 新たな空地に5Gアンテナを設置することは困難であるため, ビルなどの高い建物の屋上に設置することが想定される. そして, 5Gアンテナの設置にはアンテナを支えるための支柱が必要であり, 支柱には強風に耐えうる高い剛性と屋上まで持ち運べる軽量性が要求される.

そこで本研究では, 軽量で高剛性なガラス繊維強化プラスチック (以下, GFRP) 製アンテナ支柱の開発を目的とし, FEM解析により風荷重や地震動を受けるGFRP製アンテナ支柱の構造設計を行った.

2. GFRP製支柱の設計条件

設計条件としては, GFRP製の支柱をマンションやビルの屋上へ人力で運び, 設置することを想定し, 支柱の質量制約は女性労働基準規則 (第2条第1項) を満たすような質量とした. 支柱が受ける風荷重は, 支柱の側面に基準風速 36m/secの風を均一に受けた場合を想定し, 支柱部の風力係数を0.9, アンテナの風力係数を1.6として計算した.

この風荷重に対して, 支柱のたわみ角が 2° 以下になるように, 支柱の板厚を設定した. さらに, 支柱及びベースプレートのフランジの許

容応力は, それぞれの構成材料の破断応力の1/3以下とした.

また, GFRP製アンテナ支柱が持つ固有振動数が, 過去の地震波形の周波数域と一致すると, 共振現象が生じて破壊に至る危険性がある. そこで, 支柱の固有振動数が代表的な3つの地震波形の周波数域から外れるように設計した.

3. GFRPの材料物性値

GFRP製支柱は, フィラメントワインディング法で成形することを想定し, 一方向強化GFRPの材料物性値は, 寺田らより提案された数値材料試験による均質化解析²⁾から算出した. この均質化解析では, Fig.1に示すように, 一方向強化GFRPの繊維配列が六方配列であると仮定して, ミクロ構造体をモデル化し, そのモデルの境界に対して周期対称条件を設定することで, 一方向強化GFRPのマクロな均質化物性を算出することができる. Table1に一方向強化GFRPの材料物性値を示す.

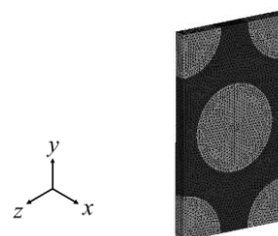


Fig.1 Microscale model for numerical material testing.

Table1 Material Properties of GFRP.

Type	Component	Value
Young's Modulus[GPa]	x	46.0
	y	10.1
	z	10.1
Poisson's Ratio[-]	xy	0.27
	yz	0.34
	xz	0.27
Shear Modulus[GPa]	xy	4.03
	yz	3.77
	xz	4.03
Density[g/cm ³]		1.97

Evaluation of static and dynamic analysis for GFRP supported pillar.

Masaki NAKANISHI and Norio HIRAYAMA

また、一方向強化GFRPの繊維配向角は、フィラメントワインディング法で巻き付け可能な角度として15°以上とした。

4. 解析モデルと解析条件

4.1 GFRP製アンテナ支柱のFEMモデル

本研究で設計したGFRP製アンテナ支柱の解析モデルをFig.2に示す。Fig.2に示すように、ベースプレートであるフランジと支柱の節点は、共有接点となるようにメッシュを生成した。また、FEM解析には汎用有限要素法ソフトANSYS 2019 R1を用いた。

4.2 解析条件

静的解析の境界条件は、ベースプレートの底面を完全固定とした。また、Fig.2に示すように、受風荷重の方向はGFRP製支柱の投影面に対して垂直（全体座標系z方向）となるように設定し、基準風速が36m/secとなるように荷重を与えた。

一方、固有値解析の境界条件としては、それぞれの構成材料の密度を定義したFig.2のFEMモデルのベースプレートの底面部分を完全固定し、固有値解析を実行した。

5. 解析結果

FEM解析で得られた計算値をTable2, フランジに発生する相当応力をFig.3に示す。Table2より、風速36m/secの受風荷重を受けたGFRP製支柱のたわみ角は1.10°と非常に微小であった。

一方、Fig.3から分かるように、フランジの縁の部分で相当応力の値が34.8MPaであり、ランダムマット系のGFRPの破断強度を100MPa程度と仮定すると、破断強度の1/3程度に抑えることができたと言える。

また、固有値解析を行った結果、GFRP製支柱の固有振動数は8.90Hzであった。この支柱の固有振動数は、阪神淡路大震災の周波数域（0.5～3.0 Hz）や新潟中越地震の周波数域（0.5～1.5Hz）、東日本大震災の周波数域（0.2～1.0Hz）³⁾から大きく外れており、共振現象による破壊の可能性は低いことが確認できた。

6. 結言

本研究では、5G用のGFRP製アンテナ支柱の設計開発を目的とし、GFRPの繊維配向角や支柱やフランジ部の板厚を設計変数として、FEMによる静的解析及び固有値解析を行った。

その結果、本研究で提案した解析モデルは、受風荷重を受けた場合の支柱の設計条件であるたわみ角と許容応力の2つの制約値をクリアし、尚且つ地震波の卓越周波数を避ける構造設計を行うことができた。

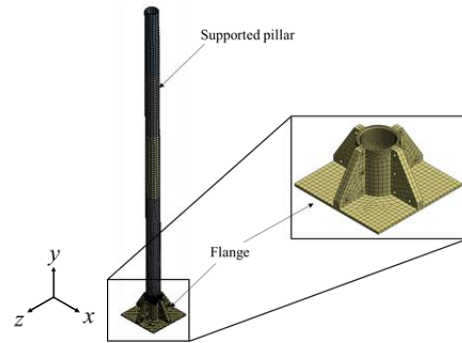


Fig.2 Analysis model of GFRP antenna.

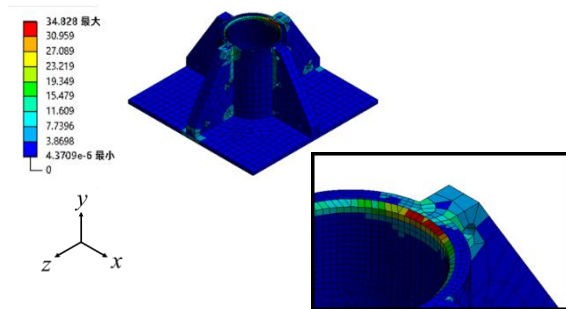


Fig.3 Equivalent stress generated on flange when it is subjected to pillar to wind load.

Table 2 Analysis Result.

	Deflection angle[deg.]	Frequency[Hz]
Wind load	1.10	8.90

参考文献

- 1) 大槻知明, 移動通信の未来, 日本機械学会誌, 122 巻 (2019), 1207 号, pp10-11.
- 2) 寺田賢二郎, マルチスケール CAE ～数値材料試験のススメ～, Mechanical CAE NEWS Vol.5, pp.9-10.
- 3) 気象庁ホームページ, 強震観測データ. (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>)