

変電所鋼構造物の耐震解析システムの開発と課題

東電設計(株) 正会員 ○栗原 幸也

東電設計(株) 正会員 増子 正貢 正会員 山崎 智之 正会員 本郷榮次郎

東電設計(株) フェロー会員 中村 秀治

1. はじめに

水力・火力・原子力・風力など様々な発電所で発生された電力は、電圧規模に応じた送電線と変電所、配電線を経て需要家に供給されている。発電所、変電所における電力の入・出口は、送電線を引き留める引留鉄構(図-1)が施設され、また変電所内においては変圧器などの変電機器間の電線接続のために格子状に配置された母線鉄構(図-2)が施設される¹⁾。

これら鉄構構造物は耐風、耐震設計を実施しているが、東日本大震災を背景とした電力供給の信頼性確保の観点から、近年、高レベル地震に対する耐震性評価の必要性が認識されている。耐震性評価は、鉄構を有限要素でモデル化し動的応答解析により実施するが、多数の高経年構造物の維持管理問題が重要な今日、より実態に近い条件で効率的に処理可能な評価システムの必要性は高い²⁾。このようなニーズを背景として構築した変電所鋼構造物の耐震解析システムについて、その概要と課題について報告する。



図-1 引留鉄構の外観



図-2 母線鉄構の外観

2. 解析モデルの生成機能

構築したシステムは、腐食等の経年劣化を考慮するため、評価対象となる引留鉄構および母線鉄構を、部材レベルまでは要素とトラス要素でモデル化し、非線形地震応答解析を行う。以下に解析モデルの生成機能を示す。また、マップドメッシュ生成時の入力画面を図-3に示す。

- ① マップドメッシュの生成 (全体座標系の生成)
- ② 要素の物性値と断面形状の指定
- ③ 要素の接合条件(剛結合, ピン結合等)
- ④ 境界条件の決定 ⑤ 動的解析に用いる地震波

これらの機能を用いることで、設計図および現場実態に即した解析モデルを迅速、正確に生成することが可能である。



図-3 入力画面例

3. 解析結果に基づく耐震性能評価機能

生成した解析モデルに対し、固有値解析および地震波を指定して耐震性評価を行うことができる。本システムを用いた動的な地震応答解析によって得られる情報は以下の通りである。

- ① 引留鉄構と母線鉄構の固有振動数ならびに振動モード
- ② 自重や固定荷重による変形、部材軸力および基礎反力
- ③ 地震波による引留鉄構および母線鉄構の最大加速度、最大変位、最大部材軸力、最大基礎反力

キーワード 変電所鋼構造物, 引留鉄構, 母線鉄構, 維持管理, 耐震性評価, 解析システム

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 東電設計株式会社電気本部
Tel. 03-6372-5510 E-mail: t.kurihara@tepsco.co.jp

次に、これらの情報を用いて耐震機能を評価する。評価方法は、各要素の耐力を解析結果として得られた応力で除し、その値が許容範囲を満たしているか確認する。各部材の耐力は、圧縮許容応力と引張許容応力を算出し、それぞれで評価する。また、ボルトも同様の評価を実施し、部材・ボルトの地震時発生応力による健全性を判定する。健全性評価結果の画面の例を図-4に示す。

柱番号	位置	ボルト番号	脚	応力		部材	材質	L (cm)	圧縮強度		引張強度		ボルト径	区分	本数	部材	ボルト	せん断強度	安全率		
				C	T				C	T	圧縮	引張							ボルト		
9(R)	B1-(2)	103	103	103	103	サイズ	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	3.51	4.39	8.30		
9(L)	B2-(1)	102	102	102	102	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	3.51	4.39	8.30		
9(R)	d2-(4)	26.9	26.9	26.9	26.9	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	1.34	1.67	3.19		
9(L)	d4-(2)	25.3	25.3	25.3	25.3	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	1.42	1.78	3.41		
9(R)	#0-(1)	25.7	25.7	25.7	25.7	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	1.4	1.75	3.34		
9(L)	#1-(3)	26.5	26.5	26.5	26.5	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	1.36	1.7	3.25		
9(R)	d3-(3)	10.7	10.7	10.7	10.7	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	3.37	4.22	8.06		
9(L)	d3-(4)	10.7	10.7	10.7	10.7	L 60×4	SS-400	132	36.1	45.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	3.37	4.22	8.06		
10(R)	B1-(2)	2.3	2.3	2.3	2.3	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	16.63	19.56	37.31		
10(L)	B2-(1)	2.3	2.3	2.3	2.3	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	16.98	19.73	37.64		
10(R)	d2-(4)	15.7	15.7	15.7	15.7	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	2.47	2.97	5.82		
10(L)	d4-(2)	14.9	14.9	14.9	14.9	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	2.61	3.04	5.8		
10(R)	#0-(1)	15.2	15.2	15.2	15.2	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	2.55	2.96	5.65		
10(L)	#1-(3)	15.4	15.4	15.4	15.4	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	2.53	2.94	5.61		
10(R)	d3-(3)	6.6	6.6	6.6	6.6	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	5.67	6.82	13.02		
10(L)	d3-(4)	6.6	6.6	6.6	6.6	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	5.67	6.82	13.02		
11(R)	B1-(2)	2.2	2.2	2.2	2.2	L 60×4	SS-400	121	39.9	49.2	MM6	5.8	5	96.2	130.2	109.9	17.84	20.73	39.54		

図-4 健全性評価画面

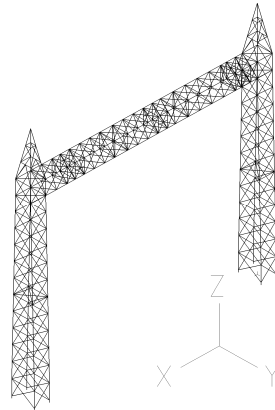


図-5 解析モデル

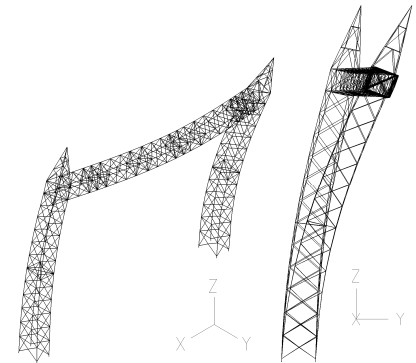


図-6 解析結果 (1次振動モード)

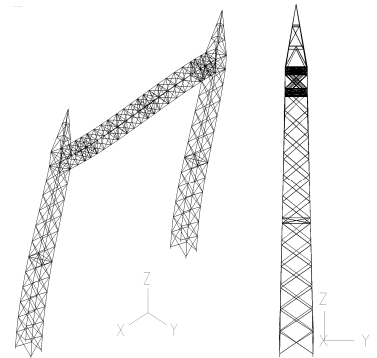


図-7 解析結果 (2次振動モード)

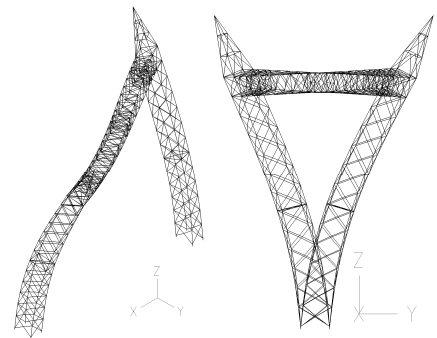


図-8 解析結果 (3次振動モード)

4. 耐震解析システムの適用例

システムの検証を行うため実際の引留鉄構に本システムを適用し、固有値解析を行った。対象の引留鉄構の主柱高さは

32m、梁幅は 30m であり、山形鋼で構成された主柱 2 本、梁 1 本で構成している。この引留鉄構を対象にして解析モデルを作成した(図-5)。解析モデルの梁要素数 1194、総節点数 1426 とした。各梁要素の接合方法は、主柱材：両端剛接合、腹材、水平材、断面材：両端ピン接合と設定した。境界条件は地際と接する部分を固定とした。この解析モデルに対して、固有値解析を実施し、得られた 1 次から 3 次モードまでの固有振動数の結果を表-1 に示す。単純なラーメン構造を仮定した 1 次から 3 次モードまでの固有振動数を計算した結果、本システムで得られた固有振動数とほぼ同等の値が得られた。また、図-6、図-7、図-8 に解析結果で得られた 1 次から 3 次の振動モードを示す。本システムが正常に作動することが確認でき、更に本システムでは腐食劣化による耐震性能低下も容易に評価可能なことを確認している。

5. むすび

既設鉄構の耐震性評価および維持管理上のニーズを背景として、変電所鋼構造物の耐震解析システムを新たに構築し、本システムの適用性を確認した。本システムを適用することで、解析モデル作成の効率化、解析品質の向上が期待できる。今後、実験値や計算値との整合を取るなどによりシステムを検証し、その有効性を更に向上させる予定である。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本電気協会：発変電規程 JEAC 5001-2012
- 2) 河原章夫, 久保田邦裕, 山崎智之, 中村秀治, 本郷榮次郎：送電鉄塔の基礎変位に伴う耐荷力検討手法, 鉄塔, No. 123, pp. 14-29, 2014. 7.

表-1 固有振動数

振動モード	固有振動数
1 次	1.66Hz
2 次	1.74Hz
3 次	2.57Hz