

エネルギー施設の耐震特性と防災計画についての一考察

中電技術コンサルタント株式会社 法人会員 ○種 翔太郎

1. はじめに

電力会社及び民間会社の所要する電力設備のなかで、宮城県沖地震(1978年)において、変電設備のブッシング(がいし)部に損傷が発生しやすいことが確認された。宮城県沖地震や、1978年の大規模地震対策特別措置法の制定など、電気設備を含む各種設備の耐震性に対する社会的関心が高まるなか、地震被害により電力の供給に重大な支障をきたさないことを目的として1980年に「変電所等における電気設備の耐震設計指針:JEAG5003」が制定された。その後、我が国は阪神大震災(1995年)、東北地方太平洋沖地震(2011年)等の大規模地震を経験したが、上記指針に基づいて設計された変電設備には大きな被害はないことが確認されている。

一方で、1980年以前に建設された変電設備は、上記指針に基づいた設計がなされておらず、加えて供用が40年を超え更新の時期を迎えている。

このような施設は、被災時の事業継続計画(BCP)の策定が望まれるとともに、更新の対象としない設備に対しても地震に対する安全性の確保が望まれる。

そこで本研究は、1980年以前に建設された変電所のブッシング(がいし)を有する変電設備の地震動に対する耐震安全性について現耐震設計指針に基づき評価し、今後のBCP策定、防災計画の立案のための基礎資料を得ることを目的として実施した。

2. 対象とする変電設備

対象とした変電設備は、1980年以前に設計された変電所のブッシング(がいし)を有する機器である。対象とした変電設備の一覧を表-1に示す。

対象とした変電設備は、固有振動数がすべての設備で10Hzより大きく、剛な(変形しにくい)設備である。

また、各設備の概要図を図-1に示す。対象とした設備のうち、NGRおよびLAは、重量の大きい部品が構造物上方に取り付けられた構造となっている。

3. 現設計における耐震基準

「変電所等における電気設備の耐震設計指針:JEAG5003」の現耐震指針(JEAG5003-2010)で規定されている設計地震力は、表-2に示すとおりである。

表-1 対象設備と固有値

設備名称	記号	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)
ケーブルヘッド	CH	10.31	0.097
変流器	CT	15.38	0.065
中性点接地抵抗器	NGR	10.47	0.096
計器用変圧器	PD	22.61	0.044
避雷器	LA	14.15	0.071
変圧器	Tr	12.23	0.082

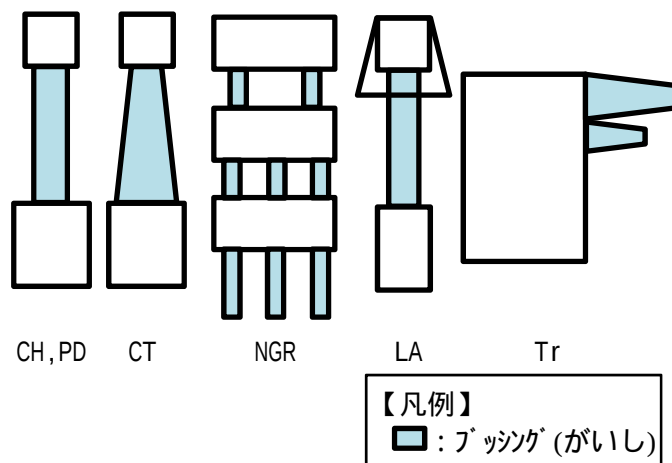


図-1 各設備の概要図

表-2 現耐震設計指針における設計地震力

対 象	がいし形機器	変圧器ブッシング
加 速 度	3.0(m/s ²)	5.0(m/s ²)
波 形	共振正弦3波 f<0.5(Hz)の場合, f=0.5(Hz) f=10(Hz)の場合, f=10(Hz)	
印加箇所	架台下端	ブッシングポケット下端

キーワード 変電設備, 耐震診断, BCP, 防災計画

連絡先 〒734-1850 広島市南区出汐二丁目3番30号

中電技術コンサルタント株式会社 都市整備部

TEL 082-256-3352

4．耐震解析条件

耐震解析は，機器下端を固定端とし，現耐震設計指針で規定されている共振正弦 3 波を機器の架台下端に印加した直接積分法（積分間隔 $t=0.001$ 秒）により実施した．

機器の耐震安全性は，材料強度の低いブッシング（がいし）に着目し評価した．ブッシング（がいし）の破壊応力は，「変電所等における電気設備の耐震設計指針：JEAG5003-2010」に記載されている国内がいしメーカーによる曲げ破壊応力の保証値を使用した．

表-3 ブッシング（がいし）の曲げ破壊応力

種類	曲げ破壊応力の保証値 (N/cm^2)
がい管	1960
支持がいし	5390

5．耐震検討結果

耐震解析結果を表-4 に示す．安全率が 1.0 より大きいことから，現耐震設計指針に対する耐震安全性を満足していることが確認された．ただし，各設備で安全率に差があることが確認された．

なお，安全率 F_S は，下式により算出した．

$$F_S = \sigma_u / \sigma \quad (\sigma_u = M / Z)$$

ここに，

σ_u ：ブッシング（がいし）の曲げ破壊強度（ N/cm^2 ）

σ ：照査位置における発生応力（ N/cm^2 ）

M ：照査位置における曲げモーメント（ $\text{N} \cdot \text{cm}$ ）

Z ：ブッシング（がいし）の断面係数（ cm^3 ）

表-3 現耐震設計指針による地震応答解析結果

設備名称	最小安全率		判定
CH	2.0	1.0	OK
CT	10.3	1.0	OK
NGR	1.1	1.0	OK
PD	16.1	1.0	OK
LA	3.2	1.0	OK
Tr	4.8	1.0	OK

6．耐震検討結果についての考察

現耐震設計指針（共振正弦 3 波）に対する耐震検討結果において，設備ごとの最小安全率に差があり，かつ安全率が大きい設備がある．

最小安全率が大きい設備（CT，PD）は，固有振動

数が 15Hz 以上であり，共振が発生しにくいことが考えられる．一方で，固有振動数が 14Hz と高い LA の安全率が小さくなっていることは，重量の大きい部品が構造物上方に取り付けられており，重心位置が高くなっていることが原因として考えられる．

また，安全率が最小となる箇所は，設備の形状にかかわらず，ブッシング（がいし）の下端に集中していることが確認された．

変電設備の耐震特性は下記のとおり整理できる．

- ・ 設備の固有振動数が，0.5Hz～10Hz となる変電設備は，共振により安全率が小さくなる．
- ・ 重心位置が高い設備は，安全率が小さくなる．
- ・ 応力が集中する箇所は，ブッシング（がいし）下端となる．

以上より，変電設備の BCP 策定および設備の防災計画を立案する場合には，各設備の重要度のほかに，耐震特性を踏まえた耐震安全性の観点からの優先順位付けが可能になると考えられる．特に，固有振動数が 0.5Hz～10Hz となる設備は，共振正弦 3 波に対する安全性が小さくなるため，優先的に維持管理・更新の対象とする必要があると判断できる．

7．まとめ

1980 年以前に建設された変電設備の現耐震設計指針に対する耐震性検討の結果，がいし形機器の弱部の抽出および維持管理・更新の優先順位付けが可能となった．

この検討結果は，変電設備の耐震安全性に対する影響分析結果として位置づけ，現耐震設計指針に対する変電設備の耐震安全性の知見を得ることが，今後の BCP 策定及び設備の適切な復旧計画に対する有効な情報であると考えられる．

今後は，今回の事例を踏まえて，設備を管理する事業者の BCP 策定及び防災計画に有効な情報を提供するため，より詳細な耐震検討や他施設への展開に取り組んでいく必要があるものと考えられる．

参考文献

- ・「電気設備の技術基準・同解釈 経済産業省 原子力安全・保安院」
- ・「変電所等における電気設備の耐震設計指針 JEAG5003-2010 一般社団法人 日本電気協会」