

VI-1

宮城県沖地震の長期評価を考慮した変電所機械基礎耐震設計について

東北電力（株）	送変電建設センター	正会員	○熊谷 洋
東北電力（株）	送変電建設センター		大場 重徳
東北電力（株）	土木建築部	正会員	安田 悟

1. はじめに

平成14年度に着工予定の東仙台変電所は、20年以内に約80%の確率で襲来する宮城県沖を震源とする地震動を考慮した設計が求められている。地震動の規模は1978年宮城県沖地震と同等のM7.5前後、日本海溝寄りのプレートと連動した場合にはM8.0前後と公表されており、変電所供用期間中に1978年宮城県沖地震相当もしくはそれを上回る地震動が発生するものとして、変電所機械基礎の耐震性の照査、検証を実施する必要がある。土木学会では、阪神大震災を契機に構造物の耐震性能照査において発生頻度および強度の異なる2段階の地震動を用いるべきであるとの提言をまとめた。レベル1地震動は構造物の供用期間中に数回発生する確率を有するもの、レベル2地震動は極めて稀に発生する地震動、あるいは当該地点で最強と考えられる地震動である。土木学会では、レベル1地震動に対しては構造物の耐震性能を概ね弾性限界内に収め、レベル2地震動に対しては許容変形内であることを要求している。

しかし、現行の変電機器耐震設計指針²⁾には、2段階の地震動を用いた耐震設計の考え方が無いことから、本論文においては東仙台変電所を対象とした2段階の地震動を用いた耐震設計方針をまとめたので、ここに報告する。

2. 耐震設計方針

(1) 東仙台変電所耐震設計で使用する2段階の地震動

想定した地震動は、下記に示す2段階とした。

- ①構造物の耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動：1978年宮城県沖地震(M7.4)
- ②構造物の耐用期間内に発生する確率は低いが強靱と考えられる地震動：1793年の最大級の宮城県沖地震(M8.2)

(2) 地質調査

標準貫入試験、PS検層、動的変形特性試験、液状化強度試験および相対密度試験を実施した。

(3) 地震応答解析および液状化判定

地質調査結果を反映した地震応答解析を行い、設計地震力の算定および解析結果から得られる最大せん断力より液状化判定を実施した。

(4) 模擬波形の作成

東仙台変電所の建設予定地である新仙台火力発電所構内で地震観測を実施し、得られたデータを経験的グリーン関数法により東仙台変電所において想定される模擬波形を作成した。作成した模擬波形は、M7.4（東仙台変電所における1978年宮城県沖地震模擬波形）とM8.2（東仙台変電所において想定される最大級の宮城県沖地震模擬波形）の2種類である。M7.4の模擬波形の基盤最大加速度は195galで、SHAKEによる地震応答解析の結果、地表面における最大加速度は239galとなった。また、M8.2の模擬波形の基盤最大加速度は305galで、地表面における最大加速度は303galとなった。

(5) 耐震設計方針

耐震設計方針は表-1に示すとおりで、1段階目で想定する地震動は、レベル1地震動に相当する1978年宮城県沖地震、2段階目で想定する地震動は、①1段階目の設計が許容応力度内に収まることを確認するためのM7.4の模擬波形、②2段階目の設計が許容変形内に収まることを確認するためのM8.2の模擬波形とした。

3. 耐震設計の検討結果

1段階目の地震動は、1978年宮城県沖地震の強震記録から支持地盤の最大加速度を200galと設定した。耐震設計方針に示す液状化判定は、1段階目の検討では最大加速度200galに調整したエルセントロ、タフト、開北橋、大船渡の4地点×2方向=8波形、2段階目の検討ではM7.4、M8.2の模擬波形を用いた地震応答解析より得られる地層毎の最大せん断力と標準貫入試験結果(N値)から得られる液状化強度より行った。2段階目の地盤改良前の液状化判定結果を表-2に示す。網掛け部で示す深さで液状化する結果となり、直接基礎のケーブルダクトおよび諸機械基礎下の地盤改良

が必要なため、目標 N 値 20 で改良する予定である。なお、GL-5m 以深は、基礎に与える影響が小さいため改良範囲から除外し、改良範囲は GL-1.5～5m である。M7.4、M8.2 模擬波形を用いて改良後の液状化安全率 FL を検討した結果、表-3 に示す通り FL 値は 1 を上回り、M7.4 および最大級の宮城県沖地震である M8.2 に対しても液状化しないことを確認している。

表-1 耐震設計方針

	1段階目 1978年宮城県沖地震(M7.4)を想定	2段階目(M7.4、M8.2どちらも20年以内に発生が予想される宮城県沖地震を想定、供用中に遭遇する確率M7.4>M8.2)
機械基礎 (直接基礎)	設計地震力Kh=0.2を用いた静的震度法による許容応力設計とする。	M7.4およびM8.2(最大級の宮城県沖地震)クラス地震動の模擬波形を用い、SHAKEによる地震応答解析を行う。解析で得られた最大加速度に0.65 ³⁾ を乗じたKhが0.2を超える場合、滑動、浮き上がり、応力等の検討を行う。(超えない場合は1段階目の検討のみで設計。滑動、浮き上がり、フーチングの降伏が生ずる場合、1段階目のKhを0.2より大きくする)
機械基礎 (杭基礎)	設計地震力Kh=0.2を用いた静的震度法による許容応力設計とする。	・M7.4模擬波形を入力波形とし、杭・地盤・杭接合部・フーチングを一体としてモデル化した2次元FEM解析を実施し、1段階目の設計が許容応力度設計となっていることを確認する。 ・M8.2模擬波形を入力波形とし、杭・地盤・杭接合部・フーチングを一体としてモデル化した2次元FEM解析を実施し、塑性変形・変位を評価する。多少の塑性変形・変位は許容した設計とする
液状化検討	1978年宮城県沖地震の強震記録から支持地盤における最大加速度を200galとし地震応答解析実施。そのデータを基に液状化判定を行う。(スレントロ、77ト、開北橋、大船渡の4波×2方向=8波形使用)	M7.4およびM8.2模擬地震動の模擬波形を作成し、その波形を用いて地震応答解析を実施。そのデータを基に液状化判定を行う。液状化対策後のFL値のチェックも併せて行う。

表-2 変電所地点地盤改良前液状化判定結果

M7.4模擬波形 支持地盤における最大加速度195gal)						
No.	地表からの距離(m)	層厚(m)	x(m)	N値	安全率 F=R/L ^{*)}	判定
1	2	2	1.0	27		
2	3	1	2.5	9	0.96	No
3	4	1	3.5	13	0.96	No
4	5	1	4.5	33	19.31	o.k.
5	6	1	5.5	20	1.11	o.k.
6	7	1	6.5	15	0.74	No
7	10	3	8.5	35	5.67	o.k.
8	13	3	11.5	15	0.57	No
9	19	6	16.5	33	非液状化層(岩盤)	
10	22	3	21.0	147	支持地盤	
M8.2模擬波形 支持地盤における最大加速度305gal)						
No.	地表からの距離(m)	層厚(m)	x(m)	N値	安全率 F=R/L ^{*)}	判定
1	2	2	1.0	27		
2	3	1	2.5	9	0.79	No
3	4	1	3.5	13	0.77	No
4	5	1	4.5	33	15.23	o.k.
5	6	1	5.5	20	0.83	No
6	7	1	6.5	15	0.56	No
7	10	3	8.5	35	4.16	o.k.
8	13	3	11.5	15	0.44	No
9	19	6	16.5	33	非液状化層(岩盤)	
10	22	3	21.0	147	支持地盤	

表-3 変電所地点地盤改良後液状化判定結果

M7.4模擬波形 支持地盤における最大加速度195gal)						
No.	地表からの距離(m)	層厚(m)	x(m)	N値	安全率 F=R/L (*)	判定
1	2	2	1.0	27		
2	3	1	2.5	20	3.19	o.k.
3	4	1	3.5	20	1.94	o.k.
4	5	1	4.5	20	1.39	o.k.
5	6	1	5.5	20	1.11	o.k.
6	7	1	6.5	15	0.74	No
7	10	3	8.5	35	5.67	o.k.
8	13	3	11.5	15	0.57	No
9	19	6	16.5	33	非液状化層(岩盤)	
10	22	3	21.0	147	支持地盤	

M8.2模擬波形 支持地盤における最大加速度305gal)						
No.	地表からの距離(m)	層厚(m)	x(m)	N値	安全率 F=R/L (*)	判定
1	2	2	1.0	27		
2	3	1	2.5	20	2.62	o.k.
3	4	1	3.5	20	1.55	o.k.
4	5	1	4.5	20	1.10	o.k.
5	6	1	5.5	20	0.83	No
6	7	1	6.5	15	0.56	No
7	10	3	8.5	35	4.16	o.k.
8	13	3	11.5	15	0.44	No
9	19	6	16.5	33	非液状化層(岩盤)	
10	22	3	21.0	147	支持地盤	

白抜き：改良範囲、*) F<1 の場合：液状化すると判定、**)改良範囲から除外

4. おわりに

今後、主要変圧器、275/154kV ガス絶縁開閉装置の機器荷重データにより、杭・地盤・杭接合部・フーチングを一体としてモデル化した FEM 解析を実施し、杭基礎の 2 段階目の検証を行う予定である。なお、模擬地震動作成にあたっては、電力中央研究所我孫子研究所地盤耐震部の協力を得たので、ここに感謝の気持ちを表す。

参考文献

- 1) <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>
- 2) 変電所等における電気設備の耐震設計指針 JEAG 5003:1998: 1999 年 2 月。
- 3) 松尾 稔・板橋一雄・佐々木康: 実際事例の逆解析による土構造物の耐震性に関する研究, 土木学会論文報告集, 343 号, pp.25-33, 1984 年 3 月。