

鳥取県西部地震における変圧器被害原因検討 のための地震動の推定

佐藤清隆¹・当麻純一²・佐藤浩章³・東貞成⁴

¹正会員 工修 文部科学省地震調査研究課 (〒100-8966 東京都千代田区霞が関2丁目2-1)

²正会員 工博 電力中央研究所地盤耐震部 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

³正会員 工修 電力中央研究所地盤耐震部 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

⁴正会員 理博 電力中央研究所地盤耐震部 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

2000年10月6日13時30分に発生した鳥取県西部地震(気象庁マグニチュードMj7.3)では、中国地方の変電基幹地点である日野変電所(中国電力株式会社)において500kV変圧器の220kV碍子(二次ブッシング)部分等が主に破損していた。しかし、二系統ある500kV変圧器設備のうち、片側の変電機能損失で済んだために電力流通に大きな障害を及ぼさなかった。機器の被害は、盛土地盤よりも切土地盤の方が多大多であることがわかったが、敷地内の強震記録がなく機器への入力地震波を推定する必要が生じた。そこで、変電所周辺におけるKik-netの強震記録と変電所内の限られた地下構造情報のもとで、本震の強震動を推定した。これを入力地震動として変圧器の基礎地盤の応答解析を行い、被害現象の原因について検討できる地震動を推定した。

Key Words : Tottori-ken-seibu earthquake, strong motion seismographs records, cut ground, fill ground, substation facilities, base layer, seismic response analysis

1. 背景および目的

2000年10月6日13時30分に発生した鳥取県西部地震(Mj7.3)では日野変電所において500kV変圧器の220kV碍子(二次ブッシング)部分等が破損していた。本震直後、最大で1万7千戸あまりが停電したが、2時間以内で復旧され大事にいたらなかった。しかし、日野変電所の変圧器機器の被害は盛土地盤よりも切土地盤において大きいことがわかり、これが地盤による入力地震動の影響なのか、それとも機器側の動的応答の影響なのかを検証する必要が生じた。そのため、敷地内の強震記録がないという状況下で、変電所周辺における強震記録と現時点の限られた地下構造情報のもとで、機器の破壊原因について検討できる地震動を推定した。

地盤情報が一次元構造の情報に限られていることから、最も簡潔な一元波動解析で検討を行い、不確定な要因による揺らぎを少なくして、地震動の推定を試みた。

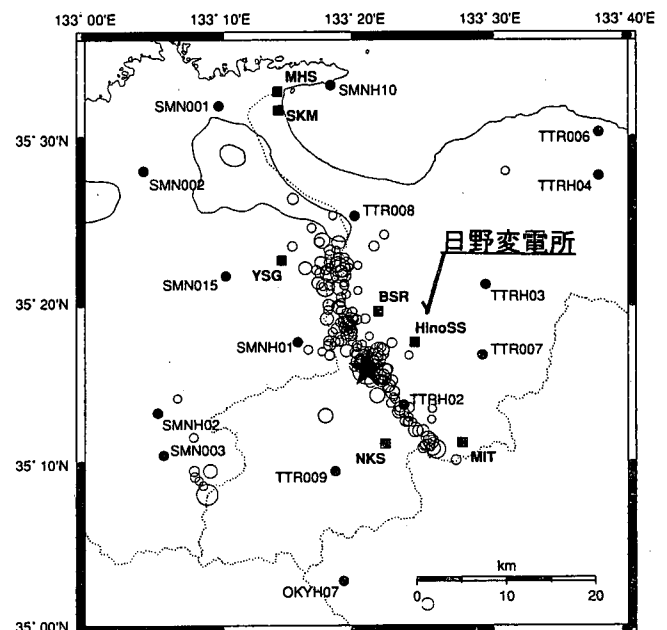


図-1 本震・余震震央および変電所、強震観測点の位置
(★本震, ○余震, ●K-net, Kik-net, ■余震観測)

2. 検討の概要

本報告では、次の3つの項目で構成されている。

- ・強震観測記録の分析・工学的基盤面における入射波の推定・変圧器基礎地盤の応答解析である。

地盤のモデル化や推定された地震動は、既往の経験式や既知の強震記録で検証する。その上で、変圧器基礎地盤の地震応答を推定した。

3. 地震観測、地下構造情報と地盤モデル化

(1) 強震観測および余震観測

図-1, 表-1 に示すように、強震観測点 Kik-net (防災科学技術研究所¹⁾) では断層面からわずか 1km しか離れていない日野地点 (TTRH02) および約 5km の距離の伯太地点 (SMNH01) において本震の強震記録が観測された。両地点は深さ 100m の地中と地表でのアレー観測点であり、この地域の基盤に相当する S 波速度 700m/s 以上の花崗岩, S 波速度 3.0km/s に近い玄武岩に到達している。また、地震直後から実施された余震観測点 (電中研) の記録を用いて日野変電所の地盤モデルを検証した。

(2) 強震観測点の地盤の最適化

本震記録を用い、スペクトル同定法²⁾による地盤の最適化を行なった。初期モデルは、ボーリング孔内の PS 検層にもとづいて一次元地盤構造の速度と層厚を求め、単位体積重量については既往の地盤の値や S 波速度との関係式などを参考にして設定した。観測スペクトルは、本震の S 波主要動区間を対象とした地中観測点に対する地表観測点のフーリエスペクトル比である。解析した周波数領域は、10Hz 以下である。図-2 に観測、初期モデルおよび最適化された地盤モデルのフーリエスペクトル比を示す。初期モデルのピーク周波数は伯太で 5Hz, 日野で 2Hz であるが、同定された地盤モデルでは、明らかにこれらのピーク周波数より低くなり、高周波数成分の振幅が低下する傾向を示す。解析した地盤モデルの物性値は、表-1(a)(b)のように日野地点では、表層砂礫層のせん断波速度 (V_s) が初期値 210m/s の半分以下に低下し、減衰が 10-25%に達し、伯太地点では、表層砂礫層のせん断波速度が初期値 290m/s の6割に低下し、減衰が 25%に達する。両地点とも表層 20m 範囲が著しい非線形性を示している。

表-1(a) 地盤モデル (日野 TTRH02)										Q=1/2h(h:減衰定数)
No	深度(m)	厚さ(m)	密度 (t/m ³)	初期値			同定値			地表観測点
				S波速度	P波速度	Q値	S波速度	P波速度	Q値	
1	4.0	4.0	1.8	210m/s	860m/s	15	110m/s	550m/s	5	地表観測点
2	11.0	7.0	1.8	210	860	15	80	270	2	
3	20.0	9.0	2.0	340	1500	20	200	1500	5	工学的基盤
4	42.0	22.0	2.2	560	2100	40	560	2100	10	
5	100.0	58.0	2.5	790	2600	50	790	2600	20	地中観測点
6	∞	∞	2.5	790	2600	50	790	2600	20	

表-1(b) 地盤モデル (伯太 SMNH01)										Q=1/2h(h:減衰定数)
No	深度(m)	厚さ(m)	密度	初期値			同定値			地表観測点
				S波速度	P波速度	Q値	S波速度	P波速度	Q値	
1	4.0	4.0	2.0	290m/s	900m/s	20	180m/s	800m/s	2	地表観測点
2	11.0	7.0	2.0	290	1200	20	180	1000	2	
3	22.0	11.0	2.2	550	2500	40	480	2000	5(10)	工学的基盤
4	42.0	20.0	2.5	1200	3700	80	1200	2500	40	
5	54.0	12.0	2.5	1900	5300	100	1900	5300	45	地中観測点
6	101.0	47.0	2.7	2800	5300	100	2300	5300	50	
7	∞	∞	2.7	2800	5300	100	2300	5300	50	

()内は上下動に対する値

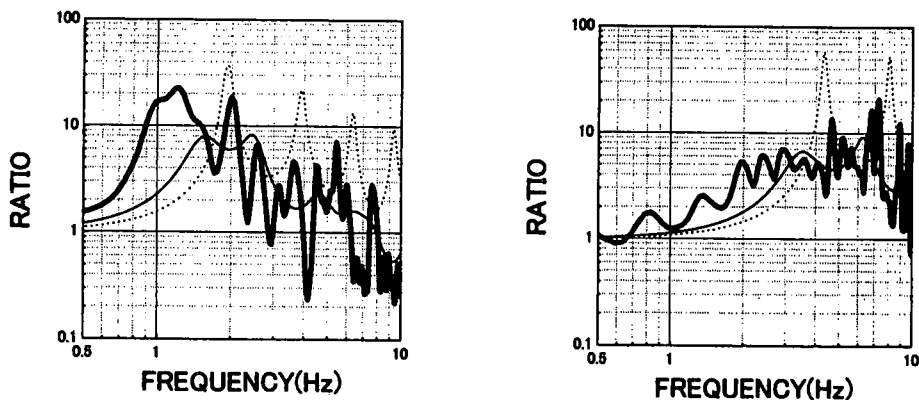


図-2 日野地点;左, 伯太地点;右の S 波部分(NS)の地表/地中スペクトル比(太線:観測,破線:初期値,細線:最適値)

(3) 変電所内の地盤調査と地盤のモデル化

日野変電所内の敷地地盤は、山を切り開いた切土と谷筋を埋めて盛土で構成されている。表-2(a)(b)に示すような地盤物性の初期モデルを与えた。P波速度は弾性波探査の結果に基づき、S波速度は常時微動や余震観測の周波数特性をもとに、伯太地点の地盤物性を参照して、簡潔にモデルにした。減衰は、伯太地点の同定モデルを参照した。図-3は変電所付近の比較的固い地盤BSR地点と盛土、切土で同時に観測された余震記録の伝達関数を示し、初期モデルの妥当性を確認した。また、20m厚さの盛土地盤は、現位置でのデータはないため、同種の真砂土をポートアイランドで測定された改良地盤の力学特性の試験結果³⁾を適用した。

4. 地盤震動の推定

非線形を考慮した最適モデルで計算された工学的な基盤面での入射波(E波)は、日野地点の花崗岩($V_s 790\text{m/s}$)で470gal, 24.4kine, 伯太地点の玄武岩($V_s 1200\text{m/s}$)で429gal, 12.7kineを示す。また、

地表の観測波形および解析波形と求められたと基盤の入射波形を図-4に示す。これらを周期成分で比較するため、観測および解析波形の加速度応答スペクトル(h-5%)を図-5に示した。地表の地震動水平成分は、日野地点では0.7~0.9秒にピークを持ち、伯太地点では0.2~0.3秒の短周期にピークを持つ特性を示す。これは、両地点の地盤および震源特性による影響の違いを示す。入射波の水平成分の周期特性は、日野地点では0.1秒および0.4秒、伯太地点では0.2秒付近が卓越しており、震源断層との位置関係による特性の違いが現れている。対象地点の日野変電所は震源断層より東側で、伯太地点が震源断層に対して西側に位置するが、断層面からの距離5.7kmで一致し、最大加速度値は図-6に示すようにほぼ同じと推定される。

以上より、伯太地点での基盤入射波を入力地震動として、前章に示した地盤モデルによる切土および盛土における変圧器基礎地盤の応答を求めた。その結果、図-7に示すように220kV二次ブッシングの固有周波数6.1Hzで、切土地盤の方が盛土地盤よりも大きな値を示し、共振する可能性が高いことを示す。

表-2(a) 地盤モデル (日野変電所SS切土)

No	深さ(m)	厚さ(m)	密度(t/m^3)	初期値		
				S波速度	P波速度	減衰h(%)
1	5.0	5.0	2.2	600 m/s	2200 m/s	5
2	15.0	10.0	2.2	600	2200	5
3	30.0	15.0	2.2	600	2200	5
4	∞	∞	2.5	1200	4000	1.25

表-2(b) 地盤モデル (日野変電所SS盛土)

No	深さ(m)	厚さ(m)	密度(t/m^3)	初期値		
				S波速度	P波速度	減衰h(%)
1	20.0	20.0	2.0	400 m/s	1800 m/s	5
2	30.0	10.0	2.2	600	2200	5
4	∞	∞	2.5	1200	4000	1.25

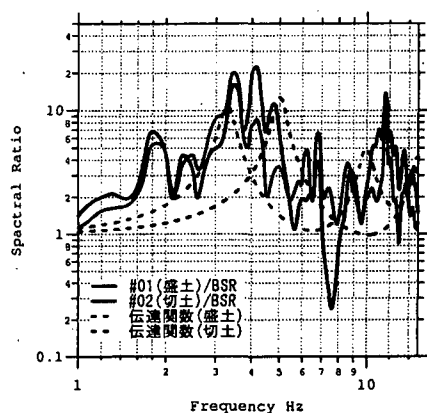


図-3 切土・盛土の伝達関数

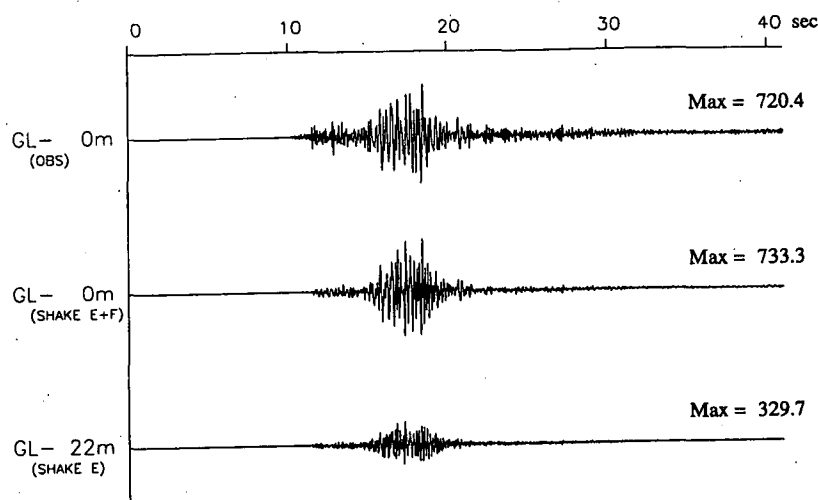


図-4 伯太地点の加速度波形 (NS, 上; 観測波, 中; 解析波, 下; 基盤入射波)

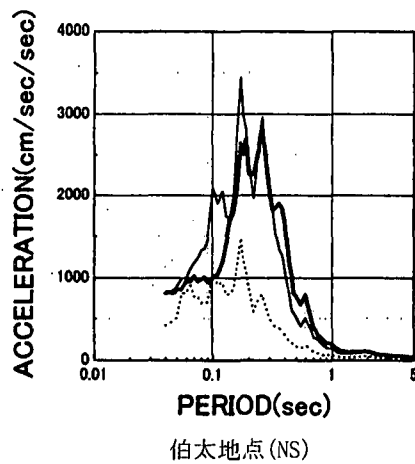
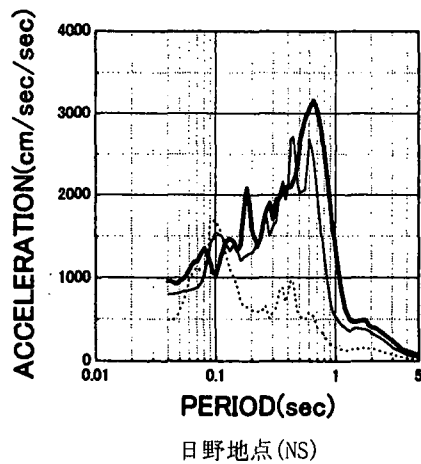


図-5 観測および解析波の加速度応答スペクトル(減衰5%, 太線:観測地表, 細線:解析地表, 破線:基盤入射波)

↓ 日野地点 ↓ 伯太地点, 日野変電所

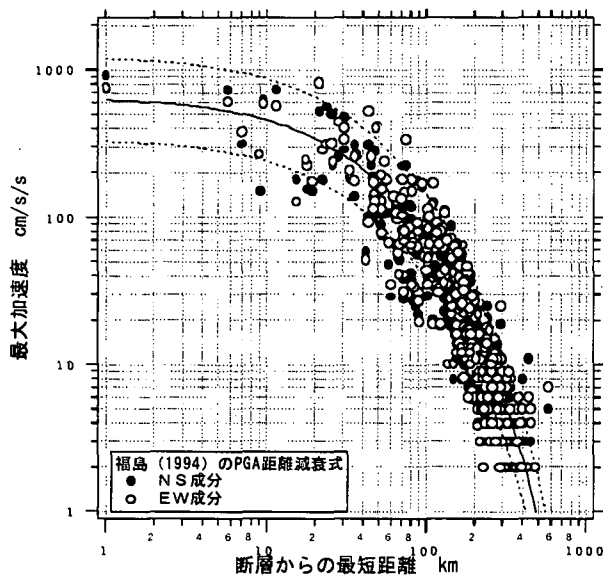


図-6 本震の最大加速度距離減衰⁴⁾(Mj=7.3, 標準地盤)

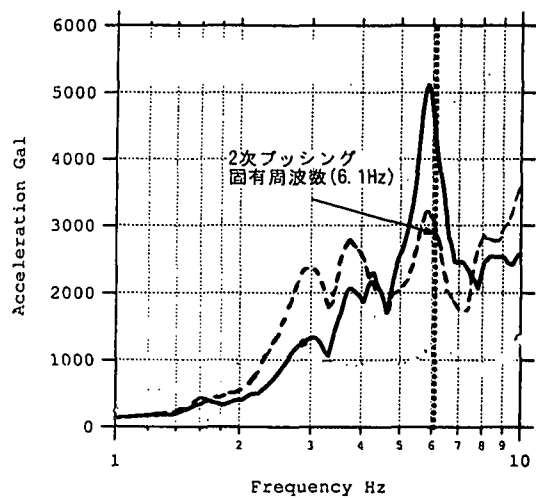


図-7 切土地盤(太線)と盛土地盤(破線)の加速度応答スペクトル(減衰5%)

5. まとめ

(1) 強震観測点日野地点では、表層砂礫層のせん断波速度(V_s)が初期値 210m/s の半以下に低下して減衰が 10-25%に達し、伯太地点では、表層砂礫層のせん断波速度が初期値 290m/s の6割に低下して減衰が 25%に達し、両地点ともに深さ 20m 範囲の表層が著しい非線形性を示していることがわかった。

(2) 花崗岩($V_s=790\text{m/s}$), 玄武岩($V_s=1200\text{m/s}$)を基盤と考へて入射波を推定すると、水平最大加速度は日野地点 470gal, 伯太地点 429gal, 日野変電所地点の花崗岩($V_s=1200\text{m/s}$)では伯太地点とほぼ等しい。

(3) 推定入射波を入力した変圧器基礎地盤の応答は、切土地盤の二次ブッシングが共振する可能性が高いことを示し、被災傾向と一致することを確認した。

謝辞

日野変電所における余震観測、地盤および変圧器機器関連のデータに関して、中国電力工務部発変電担当・神田氏(観測当時)、野々上氏をはじめ、土木部・鶴川氏、日野変電所の関係者の方々に多大なご協力をいただきましたことを、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所 HP: <http://www.bosai.go.jp>
- 2) 石田, 佐藤, 澤田, 矢島: 地震観測にもとづく軟質地盤の地下構造の推定と基準化応答スペクトル特性, 電中研研究報告 385005, 昭和 60 年 6 月.
- 3) 阪神淡路大震災・地盤調査研究会・平成 9 年度報告書, 平成 10 年 3 月.
- 4) 福島美光: 地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測, 東京工業大学学位論文, 1994.