

基盤が岩盤である鉛直アレー観測記録とその地震応答解析

関西電力 正○副田 悦生 正玉井 秀喜 田中 昌廣
ニュージェック 正 竹澤 請一郎 正 前川 太 天野 真輔

1. はじめに

関西電力では兵庫県南部地震時に数地点で鉛直アレー観測記録を得た．そのうち，総合技術研究所(SGK)や高砂火力発電所(TKS)については，SHAKE による解析結果等を報告している^{1)～4)}．この結果，観測地震動を SHAKE で精度良く再現するためには，最大せん断ひずみから有効せん断ひずみへの換算係数 α が通常の 0.65 から変化させることで対応できることがわかっている．今回報告するのは，震央から 65km 離れた和歌山県にある海南港変電所(KNK)で得られた観測記録に対するもので，この地点では最深部の地震計がせん断波速度 $V_s=1500\text{m/s}$ 以上の岩盤に設置されている．

2. 観測記録と地盤モデル

表 - 1 地盤モデル

地震計設置時(1981 年)の調査による PS 検層のデータから土層分割した地盤モデルを表 - 1 に示す．地震計の設置深度は地表面，GL-25m および GL-100m の 3 深度である．水平加速度の最大値は EW 成分と NS 成分で大きな差はないが，ここでは EW 成分を用いることとする．なお観測された最大加速度は，最深部で 30gal，地表面で 100gal 程度と SGK (地表 648gal)，TKS (地表 190gal) の震央に近い記録に比べると小さい．また，SGK や TKS も同程度の深度で観測しているが，これらの地点では GL-25m の最大加速度が最小の傾向を示すのに対し，KNK は下部から地震動が増幅している．

No.	深度 (m)	土質名	密 度 (t/m3)	Vs (m/s)	動的変形 モデル
1	1.80	砂質土	1.80	238	S1
2	2.20		2.00	100	
3	2.90				
4	3.80	シルト	1.70		C3
5	11.00	砂質土	2.00	177	S1
6	17.00	砂質土		180	S1
7	17.60	粘性土	1.70	220	C2
8	23.20				
9	23.60				
10	27.00	砂質土	2.00	270	S1
11	30.00			216 (256)	
12	35.90	粘性土	1.70		
13	37.10	礫質土	2.00		G2
14	38.30	シルト	1.70	206 (244)	C2
15	39.70	礫質土	2.00	315 (374)	G2
16	41.70	砂質土			S2
17	43.40	粘性土			1.70
18	46.90	砂質土	2.00		S2
19	48.60	粘性土	1.70	263 (312)	C2
20	50.70				
21	53.40			礫質土	
22	55.80	礫質土			
23	57.50	砂質土	2.00		S2
24	59.90	粘性土	1.70	274 (325)	C1
25	61.00	粘性土		325 (385)	C3
26	62.10				
27	66.50	礫質土	2.00		G2
28	69.50	シルト	1.70	700 (800)	C2
29	73.90	礫質土	2.00		G2
30	77.00	シルト	1.70	500 (593)	C2
31	83.50	礫質土	2.00		G2
32	87.50	風化岩	2.20	1630	弾性 基盤
33	100.00	石畳片岩			
34	-				

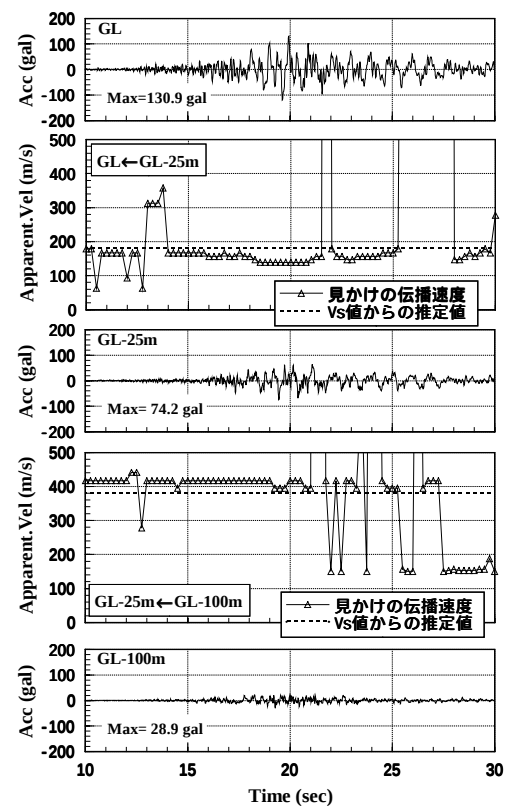


図 - 1 観測記録と見かけの伝播速度

図 - 1 に EW 成分の加速度記録と加速度記録間の相互相関係数が最大の時間ずれから求めた見かけの伝播速度を示す．見かけの伝播速度はほとんど低下せず，弾性的な挙動であることがわかる．図中には表 - 1 の V_s 値から推定した地震計測点間の伝播速度も示している．GL-25m～地表面間の伝播速度は主要動に至るまでの初期の微小振幅時に，概ね見かけの伝播速度と V_s 値からの推定値が一致しているが，GL-100m～GL-25m 間では見かけの伝播速度が大きくなっている．一般に地震動の伝播速度が PS 検層から推定される伝播速度よりも速いとは考え難く，PS 検層が板叩き法のため深部の精度が悪いこと，調査時期から 15 年程度経過した地盤であることから，表 - 1 の()内に示すように，GL-25m より深部の堆積層に対し V_s を補正した．

また、表 - 1 中の動的変形特性は図 - 2 に示す通りであるが、これは、SGK と TKS 地点で地震後に調査したデータから、粘性土は塑性指数で、砂質土や礫質土は拘束圧の条件でモデル分けしている。なお、岩盤部は弾性として取り扱った。

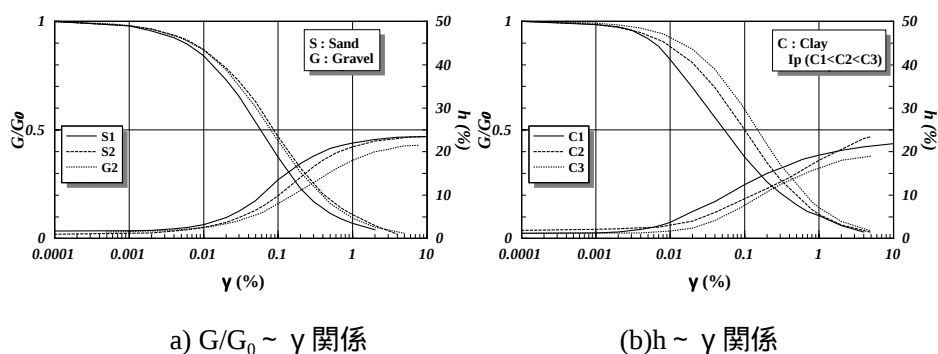
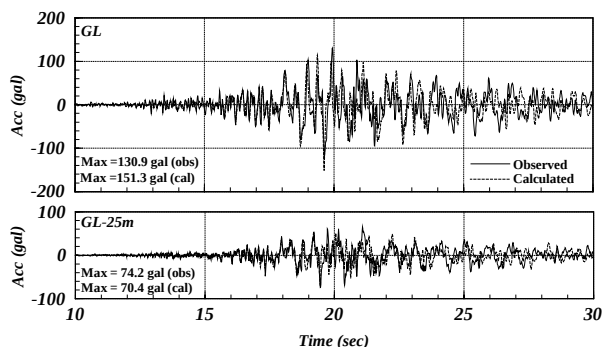


図 - 2 動的変形特性

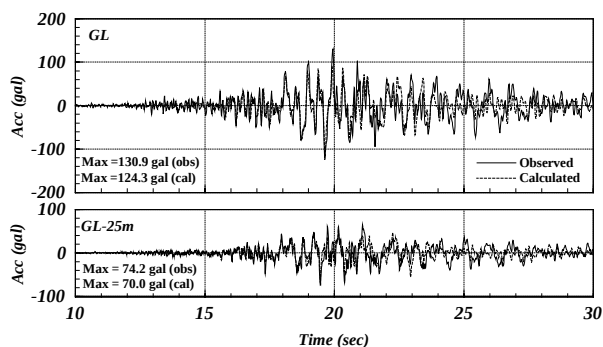
3. 地震応答解析結果

図 - 3 に SHAKE により最深部 (GL-100m) の観測データ(EW 成分)を入力波形とした解析結果の加速度時刻歴を示す。換算係数 α は 0.65 と 1.0 の場合で、どちらも主要動後の 23~24 秒より以後の解析結果が実測を再現できていないが、それまでの挙動は再現できていると考えられる。特に $\alpha=1.0$ の結果は、最大加速度もほぼ予測できている。なお、表 - 1 に示した PS 検層から直接得られた V_s 値では、換算係数を変えても全く実測値を再現できなかった。



(a) 換算係数 0.65

図 - 4 に GL-25m の観測波形を入力した場合の換算係数 $\alpha=1.0$ での地表面の応答波形を示す。図に示す期間を通じて解析結果が実測値を再現できていることがわかる。このため、GL-25m から深部地盤の V_s 値のモデル化はさらに検討の余地がありそうである。



(b) 換算係数 1.00

図 - 3 GL-100m 入力解析結果

図 - 5 に解析値と実測値の誤差を換算係数に対比して示す。この図から、対象となる観測波形では、一般に用いられる $\alpha=0.65$ より大きな換算係数を用いることで解析の精度が向上することが示唆される。

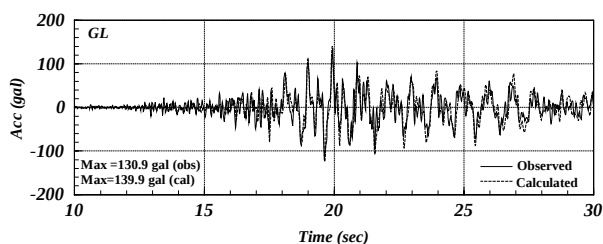


図 - 4 GL-25m 入力解析結果

4. 考察とまとめ

今回の解析では他地点で求めた動的変形特性を用いているが、比較的解析結果が良好であったことから、図 - 2 に示した動的変形特性が別の地点でも用いることが可能と考えられる。少なくともこの動的変形特性は SGK, TKS と今回の KNK の 3 地点に対しては解析精度が良かった。

他の地点と異なる地震動伝播の特徴を示す KNK 地点でも、換算係数を考慮した解析を実施することで、解析の精度向上が図れることがわかった。

参考文献

- 1) 副田ら(1996): 鉛直アレー強震観測記録の地震応答解析例, 土木学会第 51 回年次学術講演会 - B
- 2) 副田ら(1997): 鉛直アレー強震観測記録の地震応答解析例(その 2), 土木学会第 52 回年次学術講演会 - B
- 3) 副田ら(1998): 鉛直アレー強震観測記録の地震応答解析例(その 3), 土木学会第 53 回年次学術講演会 - B
- 4) 副田ら(1999): 鉛直アレー強震記録とその伝播特性に関する解析の一考察, 第 25 回地震工学研究発表会

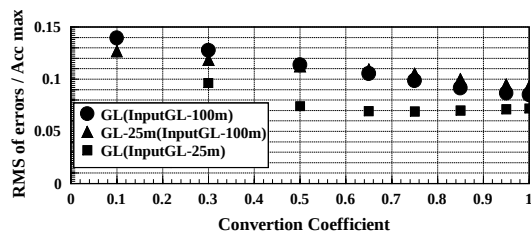


図 - 5 各換算係数における誤差