

兵庫県南部地震強震動観測地点における基盤地震動特性

関西電力㈱ 松本正毅* 小池章久**

(財)電力中央研究所 沢田義博***

兵庫県南部地震の推定断層近傍地表面で強震動記録が観測された。観測地点での地盤調査に基づいて1次元の地盤構造モデルを作成し、観測記録を用いて等価線形解析(SHAKE)および剛性・減衰の周波数依存性を考慮した杉戸・他(1994)の方法により地中基盤地震動を推定した。後者の方法による推定結果から、地表において最大加速度580gal程度であった地震動は、G.L.-65mの花崗岩破砕帯上面(S波速度780m/s)において最大加速度310gal前後となることがわかった。

1. はじめに

新神戸変電所は、神戸市灘区の山沿い(標高170m程度)の兵庫県南部地震の推定断層近傍に位置し、その北側を走る五助橋断層と南側を走る渦ヶ森断層に挟まれた非常に複雑な地盤上にある。

当変電所の地表面において図-1のような強震動記録が観測された。加速度波形から、その主動部分は10秒足らずで比較的短いこと、最大値は500gal~600gal程度あることがわかる。また、加速度応答スペクトルから、水平成分は周期0.3~0.5秒、上下成分は周期0.1~0.2秒にピークを持つことがわかる。観測される地震動は、地震の発生機構、震源から観測地点に至る伝播経路、およびその地点付近の局所的な地形や地盤条件に強く影響される。そこで、当該地点で地盤調査を行い、構造物を設計する際の基礎資料となる地中基盤地震動の推定を行った。

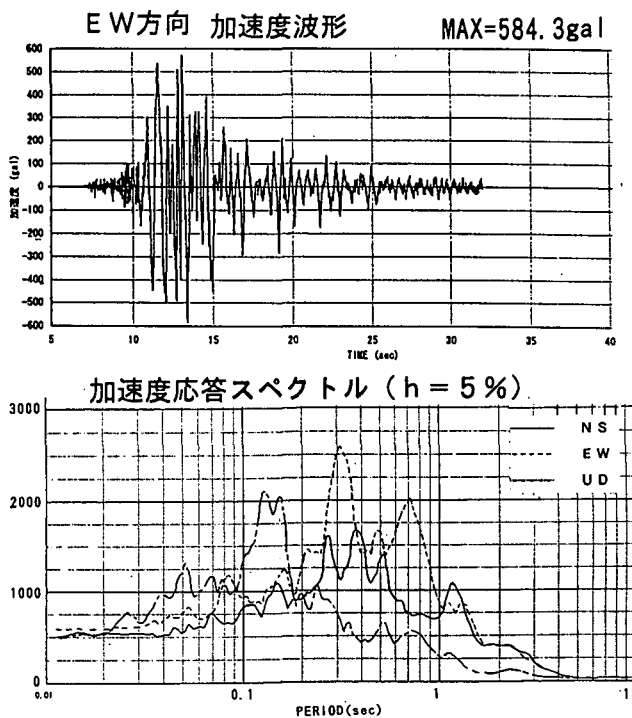


図-1 新神戸変電所本震記録

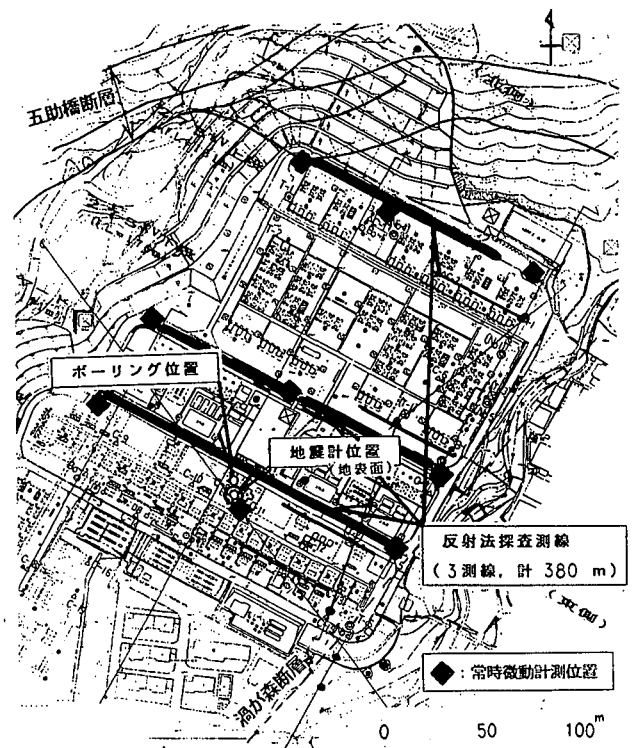


図-2 地盤調査平面図

キーワード: 強震動観測記録, 地盤調査, 基盤地震動

* , ** : 関西電力㈱土木建築室, 06-441-8821

*** : (財)電力中央研究所, 0471-82-1181

2. 地盤調査

新神戸変電所の地震計は、図-2に示すように敷地のほぼ中央に位置するが、そのごく近傍で各種の地盤調査を実施した。

実施した地盤調査の目的および項目は、表-1のとおりである。このうちこれまでに行った、①地震計近傍のボーリングによる基盤面の把握、②PS検層および密度検層による表層の速度構成の把握、③不攪乱試料を用いた動的三軸試験による表層の非線形性の把握について以下に記す。

表-1 地盤調査一覧表

目的	調査項目
基盤入力地震動の推定	解放基盤面の把握 ◎地震計設置近傍でのボーリング φ86~116 mm (L=155 m程度)
	表層の速度構成の把握 ◎PS検層 (サスペンション法, 測定ピッチ 1 m) (ソノホ-ル法, 測定ピッチ 1~2 m)
	◎反射・屈折法探査 (P, S波: 3測線, 380 m程度)
	◎微小地震の予備観測 (孔底と地表)
	◎常時微動計測
	◎密度検層
表層の非線形特性の把握	◎不攪乱試料採取 (対象土質) 盛土・段丘堆積物・マサ土 ◎不攪乱試料による動的三軸試験 (G/Go~γ, h~γ) 8供試体
上記で推定した基盤入力地震動の検証 (解放基盤面より上の地盤の増幅特性の把握)	◎地震観測 (孔底と地表)

(1) ボーリング, PS検層, 密度検層

ボーリングはG.L.-155mまで実施した。図-3に総合柱状図を示す。G.L.-64m以深は花崗岩であるが破碎帯になっており岩級分類D~C_L級, S波速度780m/s程度が続き, G.L.-155mに至ってもせん断面形成に伴う熱水変質が見られ, 新鮮な花崗岩には到達しなかった。また, 密度検層により段丘構成層では密度2.0程度, 花崗岩部では密度2.6程度であることを確認した。

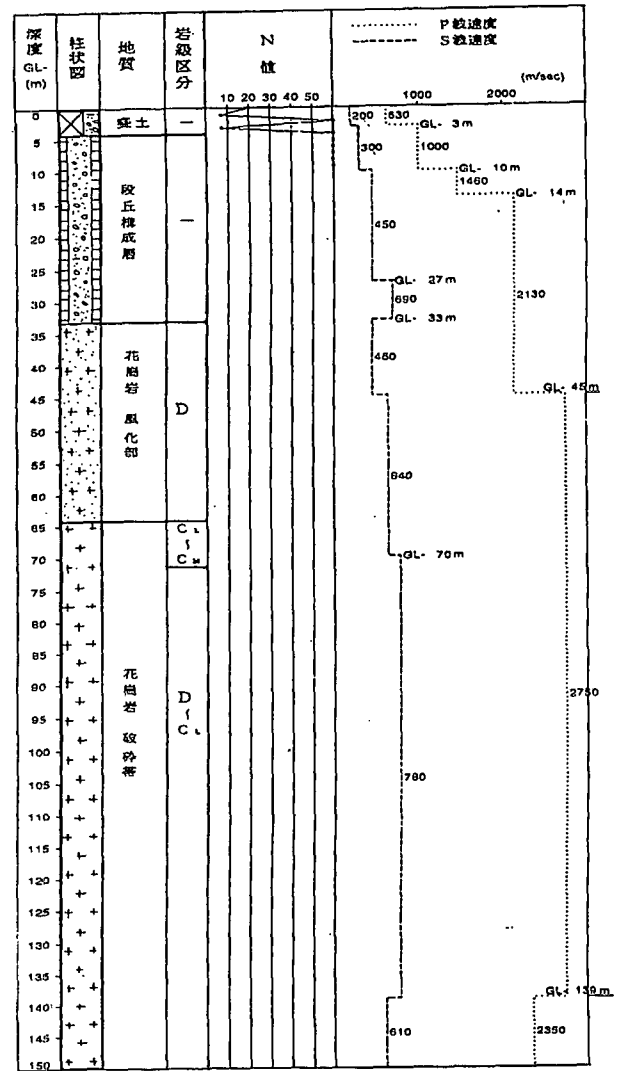


図-3 総合柱状図

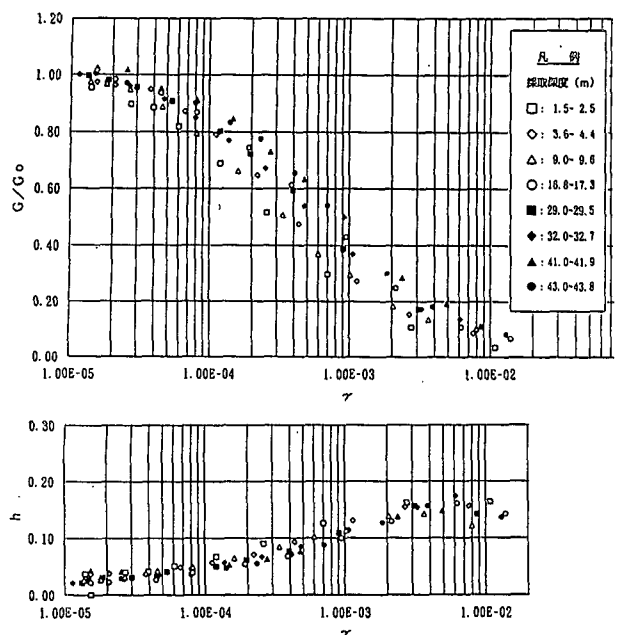


図-4 動的三軸試験結果

(2) 動的三軸試験

動的三軸試験は、盛土、段丘構成層、花崗岩風化部の8ヵ所で不攪乱試料を採取して実施した。結果を図-4に示す。せん断弾性定数Gおよび減衰定数hは、採取深度が浅いサンプルほどひずみ依存性が高い傾向が見られる。減衰定数については今後、P-S検層で得た信号波形の振幅スペクトル比と合わせてさらに検討を加える予定である。

3. 基盤地震動特性の検討

地盤調査結果をもとに地盤構造モデルを作成し、地表本震地震動記録から地中基盤地震動の検討を試みた。算定手法としては、①1次元の等価線形解析(SHAKE)と②剛性、減衰の周波数依存性を考慮した杉戸・他(1994)の方法を用いた。¹⁾地盤モデルとしては、図-3の地盤調査結果を少し単純化したモデルを用いた。

SHAKEでは周波数依存性が考慮できないため高周波成分に対し減衰を過大評価することとなり、深いところで高周波成分が異常に卓越する結果となった。実現象においては周波数毎の地盤震動のレベルの違いによりそのひずみ振幅も大きく異なり、結果として周波数に依存した剛性、減衰の影響があると考えられる。

杉戸・他(1994)の方法で解析した最大加速度の深度分布を図-5に示す。杉戸・他の方法は、剛性、減衰の周波数依存性を考慮するもので、周波数毎の地盤震動レベルに対して等価剛性、等価減衰を設定することによりSHAKEによる解析結果を改善すると考えられる。加速度波はG.L.-33m程度までは徐々に増幅し、G.L.-33m以浅の段丘構成層および盛土層においてかなり増幅していることがわかる。上述したとおりG.L.-65mはそれ以深が破碎帯であるため岩質はかなり悪いが、G.L.-65mの花崗岩破碎帯上面を基盤面と考えて当該深度の加速度波に着目することとし、これを図-6に示す。NS成分、EW成分ともに最大加速度は300gal前後で、加速度応答スペクトルから0.3~0.4秒付近が卓越していることがわかる。これらは、神戸大学(当変電所の約1km西側)の岩盤に近い箇所(S波速度700m/s程度)にあるトンネル内で観測された速度記録を微分して得た

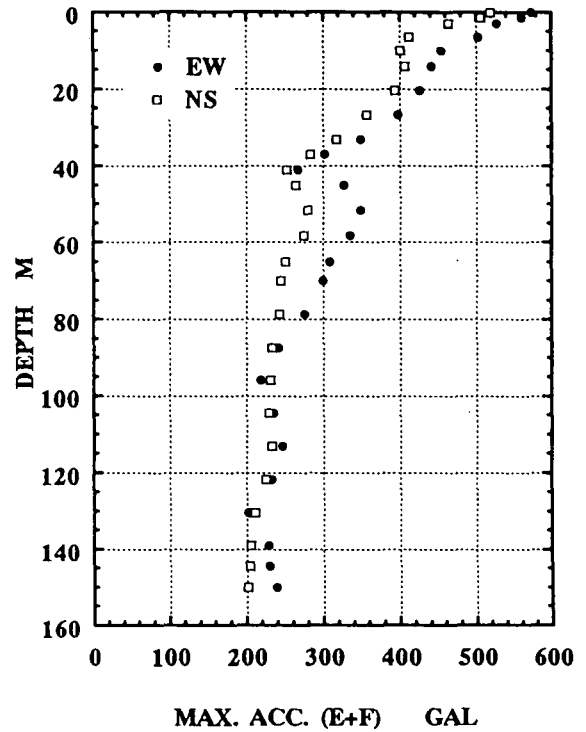


図-5 最大加速度の深度分布

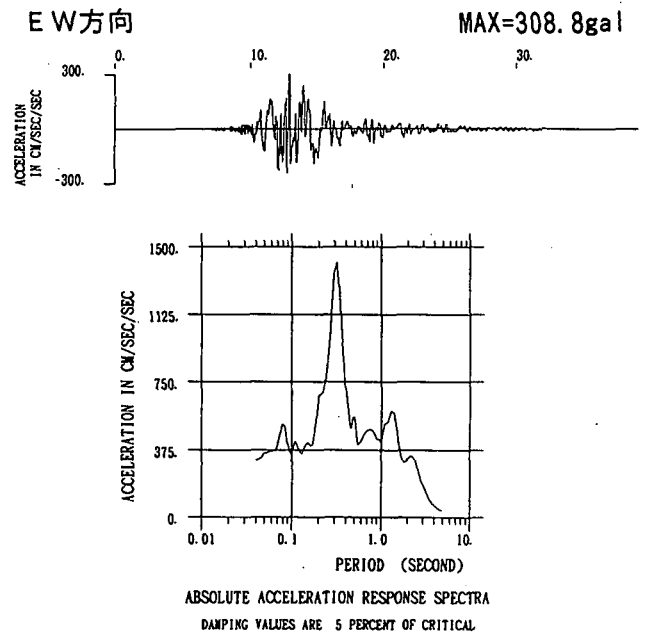


図-6 新神戸変電所計算波 (GL-65m)

加速度値および同程度の値であり、そのスペクトル形状も類似したものとなっている。また、福島(1994)による $M_w = 7.0$ の地震に対する標準地盤における最大加速度の距離減衰曲線から、今回の地震動が各所で言われているとおり過去の地震動に比べて加速度的には特に異常なものではなかったことがうかがわれる。

4. 余震観測

地盤調査用ボーリング孔を利用して、孔口地表と孔底(-150m)に加速度計を設置して余震観測を実施している。これまで数個の余震データを得ているが、一例として、図-8に8月25日22時40分のM3.7の余震観測データについて、地表と孔底の観測波形のフーリエスペクトル比を求め、地盤モデルの伝達関数と比較した結果(NS成分)を示す。1次ピークについては計算値と実測値は良く対応しているが、

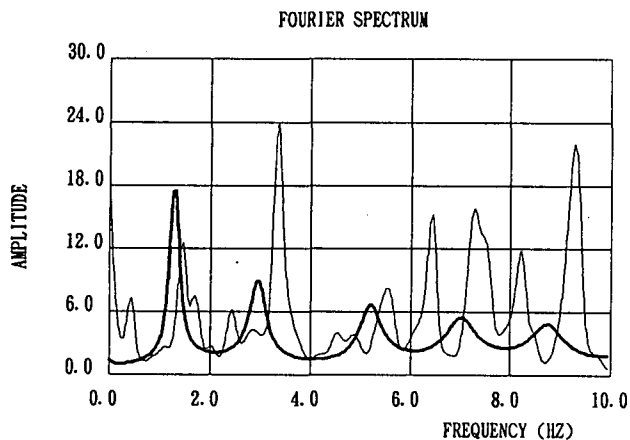


図-8 地表と孔底での余震観測波形のフーリエスペクトル比と地盤モデルの伝達関数の比較
(細線：観測値、太線：理論値)

2次以上についてはピーク周波数、振幅ともにズレが見られ、さらに多くの観測データを分析して地盤モデルを改良する必要があることを示唆している。

5. おわりに

今回は、新神戸変電所の地盤調査結果に基づいて1次元のモデル化を行い、地表本震地震動記録から地中基盤地震動を検討した結果を報告した。当該地点周辺は非常に複雑な地形あるいは地盤であり、基盤地震動の検討に際しては、さらにこれらを考慮する必要があると考えられる。

今後、余震観測データによる表層地盤増幅特性の把握や上記推定結果の検証のほか、常時微動計測や反射・屈折法探査結果から2次元・3次元の表層構造をモデル化し、より信頼性の高い基盤地震動の推定を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集Ⅲ，pp. 49~58，NO. 493, 1994. 6

EVALUATION OF GROUND MOTION CHARACTERISTICS OF THE GREAT HANSHIN EARTHQUAKE IN NEAR-FIELD BEDROCKS.

Masaki MATSUMOTO, Akihisa KOIKE

THE KANSAI ELECTRIC POWER CO., INC.

Yoshihiro SAWADA

CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY

The strong ground motion was observed near the epicenter of the Great Hanshin Earthquake.

The soil model is formed as semi-infinite layered ground according to the survey of ground structure. And the soil response is calculated using equi-linearized technique "SHAKE" and frequency dependent equi-linearized technique "FDEL".

Consequently the latter analysis indicates peak acceleration value of bedrocks is half as much as that of surface.