

兵庫県南部地震における強震動解析と 「都市地震防災地盤図」作成の試み

地震防災技術委員会¹・石川浩次²・馮少孔²

1 日本応用地質学会(委員長田中芳則) (〒162-0832 東京都千代田区神田駿河台2-3-14)

2 正会員 工博 中央開発(株) (〒169-8612 東京都新宿区西早稲田3-13-5)

神戸市域において深部地質構造と表層地盤の動的特性に関する地質調査資料を収集整理し、深部地盤の2次元動的な地盤モデルと表層の1次元動的な地盤の平面モデルを組み合わせた「準3次元動的な地盤モデル」を神戸市全域(250mメッシュ)に渉り作成した。その上、兵庫県南部地震の強震観測記録を用いて、擬似スペクトル法による地盤応答解析を行い、神戸市全域の地表の最大加速度及び最大速度分布を求めた。強震動解析の結果、震災の带状分布は主として深部地質構造形状の影響によるものであり、また被害の島状分布は主として表層地盤特性の影響が強いことが分かり、全体としても強震動推定分布と観測記録及び被害分布とは良い対応関係を示した。この一連の解析手法は、他地域における都市地震防災計画の基礎資料となる「強震動予測地図」作成手法適用の可能性を示した。

Key Word: The 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, Strong ground motions analysis, Seismic damage, deep and shallow geologic structure, Quasi 3D dynamic model

1. はじめに

日本応用地質学会の地震防災技術委員会(委員長田中芳則(東洋大学工学部教授))では、1995年兵庫県南部地震を契機として、神戸市域全域の被害記録や観測地震動記録の他に、深部並びに表層地質地盤資料の収集と整理を行い、深部地盤では深部地質構造解析と2次元深層地質モデルの作成並びに地表における強震動解析を行った¹⁾。浅部地盤では神戸市全域のボーリングデータから250mメッシュで浅層地盤モデルの作成を行い、工学的基盤から入射する表層地震動の1次元応答解析を行った。解析結果を強震動観測記録、被害分布と比較した。本報告は、深部地質構造を考慮した準3次元地盤モデルを用いた、都市地震防災計画に有効な「地震動予測地図」の比較的簡便な作成法を提案するものでもある。

神戸市域で主に震災後に実施された反射法地震探査や深層ボーリング結果を用いて、地質断面図とP波、S波、密度等物性値地盤モデルを作成のうえ、S波構造2次元モデル(他に密度、Q値)を8断面作成した(図1)。

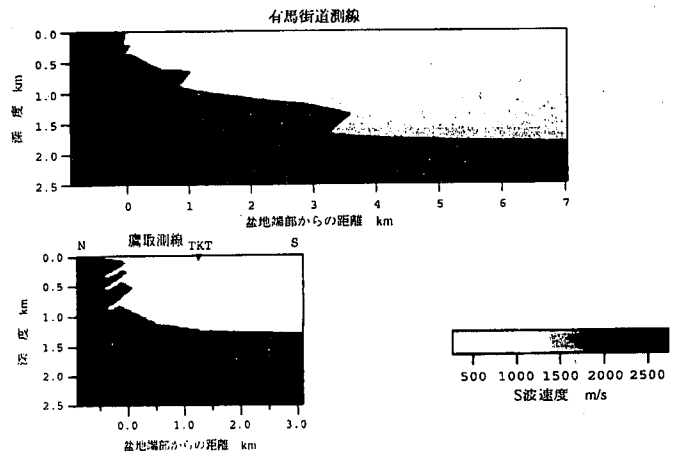


図1 各測線地下構造モデル

2. 地盤モデル作成及び応答解析の方法

(1) 深部及び浅部地盤モデル

(2) 表層地盤の1次元応答解析結果

各測線とも盆地端部から概ね1~2kmの位置で、モデルC構造では2~4kmの位置で、表層地盤の厚さや地盤特性の違いにより、100~600cm/s²程度(最大加速度ピーク値400~1400cm/s²)増幅の異なる傾向が認められた(図5)。

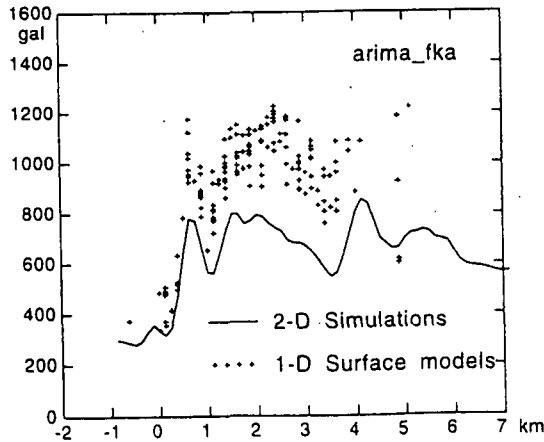


図5 表層地盤の1次元解析結果

(3) 工学的基盤面及び表層地盤応答解析結果

応答解析結果は、工学的基盤面では最大加速度200~400cm/s²、最大速度40~80cm/sの地震動が西部域では西南西から東北東に、東部域では東北東から西南西方向に帯状に分布する(図5)。それが表層地盤では概ね600~1000cm/s²および100~250cm/s程度に増幅し、地震動の分布が幾つかの島状となって表れるのが分かる(図6, 図7(a), (b))。

この解析結果を被害調査の図8と比較すると、震度7以上の島状分布域は概ね800cm/s²を示し、西部域、中央部域及び東部域共概ね調和的な対応関係を示した。一方、海岸域の被害小(震度6以下)の区域でも推定加速度が800cm/s²以上を示す区域が幾つか見られた。砂地盤の液状化による非線形性の影響が考えられる。

4 「都市地震防災地盤図」作成に向けて及びまとめ

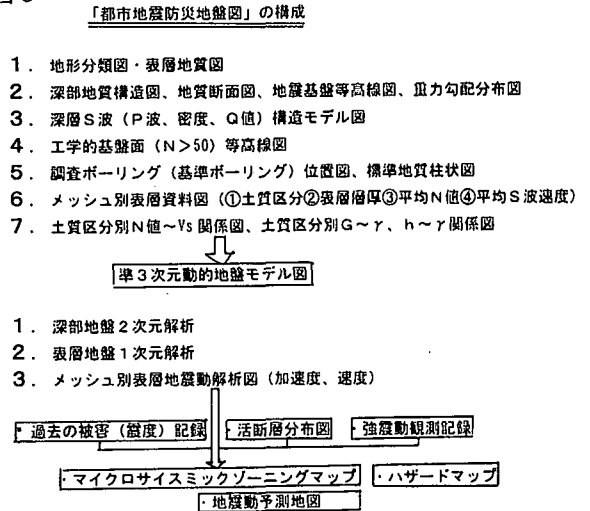
深部地盤構造と表層地盤特性を考慮した準3次元解析結果は、神戸市域全域の強震動観測結果や被害分布とも良い対応関係を示した。

これらの成果は、深部地盤構造調査と密度の高い表層地盤資料の収集整理と解析により始めて可能で

あり、実測データによる地盤のモデル化と解析手法は、他都市域の地震防災計画に有効な「都市地震防災地盤図」として活用、または「地震動予測地図」の作成手法にも適用できるものと考えられる。

「都市地震防災地盤図」の構成を図8に示す。

図9



また、解析結果判明した事項は以下のようである。

(1) 全域に渉り“震災の帯”が生じた原因は、主として深部地盤構造形状の影響によるものである。

(2) 震度7以上の島状被害分布が生じた原因は、表層地盤特性の影響によるものである。

謝辞：本報告のまとめの一つである「都市地震防災地盤図」の作成法については、日本応用地質学会と(社)全国地質調査業協会連合会の共同研究である「都市地震防災地盤図検討委員会(委員長小島圭二)」の研究成果の一部を引用参考にしたものである。関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本本応用地質学会地震防災技術委員会：「都市の地震防災と深部地盤構造」に関するシンポジウム報告書、pp. 10-114、1998
- 2) 日本本応用地質学会・(社)全国地質調査業協会連合会都市地震防災地盤図検討委員会：「都市地震防災のための深部地盤モデル」最終報告書、pp. 7-48、2001

次に、表層地盤のモデル化には、先ず粘性土、砂質土、礫質土等土質別のN値とS波速度との相関関係を求め、各域のN値分布をS速度分布に換算した。また、N値 ≥ 50 が層厚5m以上続く上面を工学的基盤面としてその上位を表層地盤と定義した。また、表層地盤は土質別の $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ に依存するものとし、250mメッシュ毎の表層1次元地盤モデル(代表地質、層厚、平均N値、密度、S波等)を神戸市全域に渉り作成した。

(2) 地盤の応答解析

深部地盤の応答解析には擬似スペクトル法を用いた。これは鉛直入射するSV波を2次元内問題として擬似デルタ関数に対する応答波形について基準点に対する周波数応答関数を計算した。最後に、基準点で得られている観測波形で得られている観測波形のフーリエ変換を周波数応答解析に掛け合わせ、逆フーリエ変換することにより時刻歴波形を求めた。また、基準波形は可能な限り各側線近傍の観測波形を用いた。

表層地盤の1次元解析は、2次元モデルの擬似スペクトル法で計算された波形を入力波として、表層地盤による増幅効果を計算した。表層地盤の増幅は非線形効果を考慮した等価線形法に基づく1次元重複反射理論(SHAKE)により計算した。入力地震動は2次元解析による表層波形を工学的基盤まで引き戻したものとした(図2)。

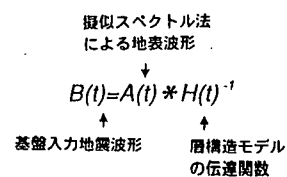
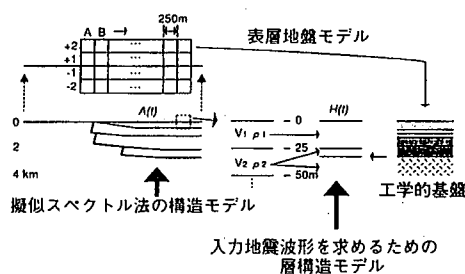


図2 入力地震波形の求め方

3. 解析結果

(1) 深部地質構造2次元応答解析結果

基準波合成後の各測線最大加速度の分布形態は、盆地端部の形状の影響を受け、その形状により、①逆断層型構造(鷹取測線等モデルA)の場合はピーク値が端部から急速に増幅②2段以上の逆断層構造(有馬街道等モデルB)の場合は2つの顕著な最大加速度ピーク値が表れ③なだらかな正断層的構造(都下川測線等モデルC)の場合は盆地端部からピークまで緩やかに増幅したりする。また、岩盤に対する増幅率も基盤の形状の影響を受けており、最大ピーク倍率は2.5~3倍程度であるが、モデルAでは3~4倍程度と高くなる傾向を示した(図2、図3)。但し、何れの測線も盆地端部から1~2kmの位置付近で増幅し、且つ2~3kmの幅で増幅の大きな加速度分布の大きなゾーンが存在することが認められる。

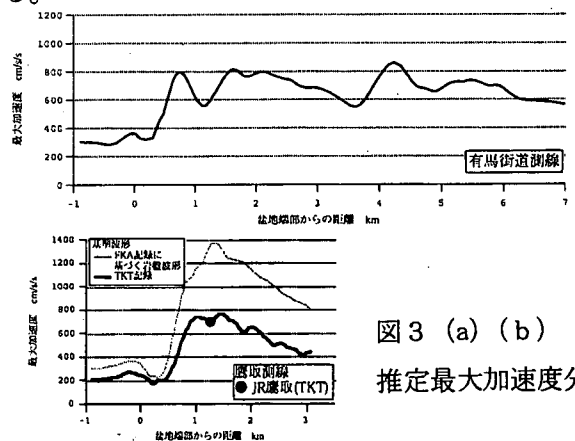


図3 (a) (b) 推定最大加速度分布

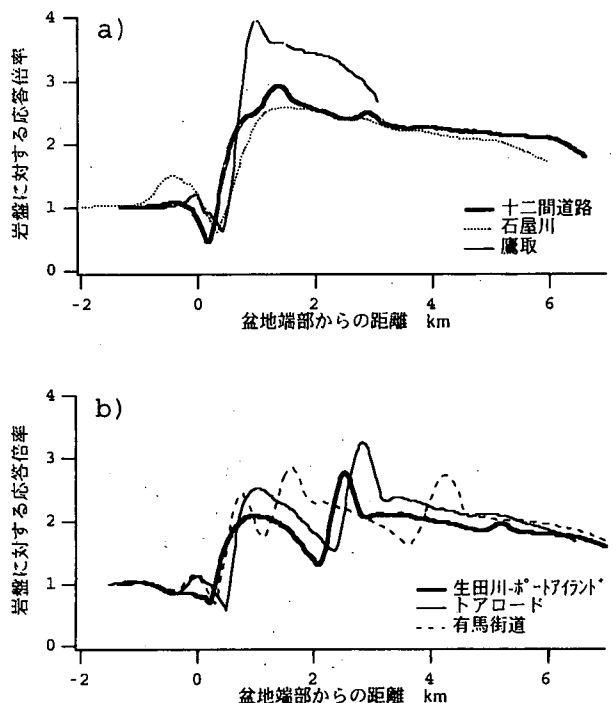


図4 (a) (b) 岩盤に対する地表面応答倍率

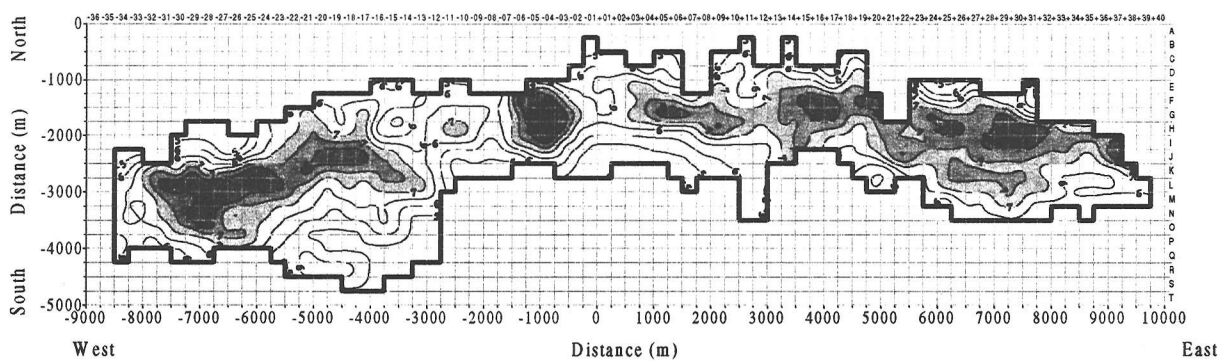


図8 1995年兵庫県南部地震における神戸地域の被害 (JMA 震度) 分布

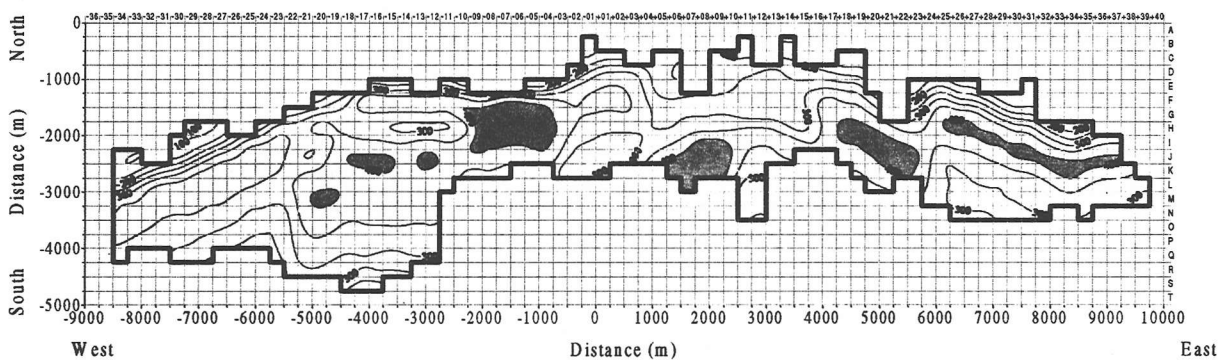


図6 動的解析による工学的基盤面における最大加速度分布

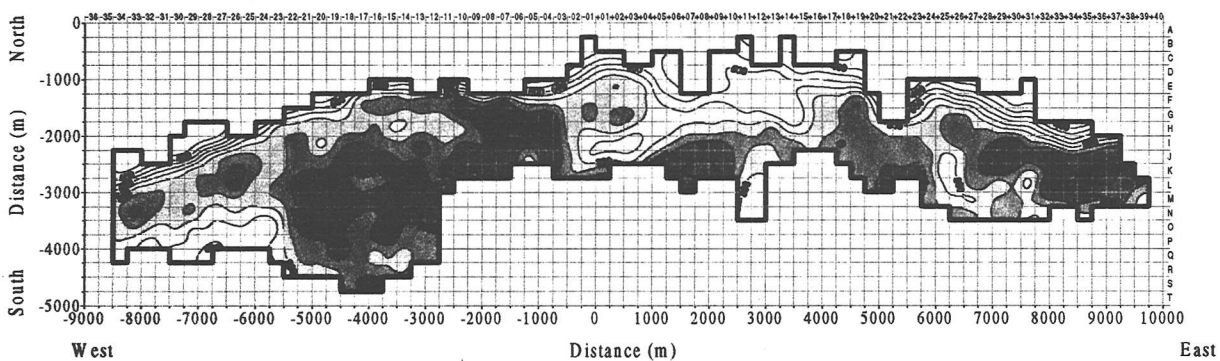


図7 (a) 動的解析による地表面における最大加速度分布

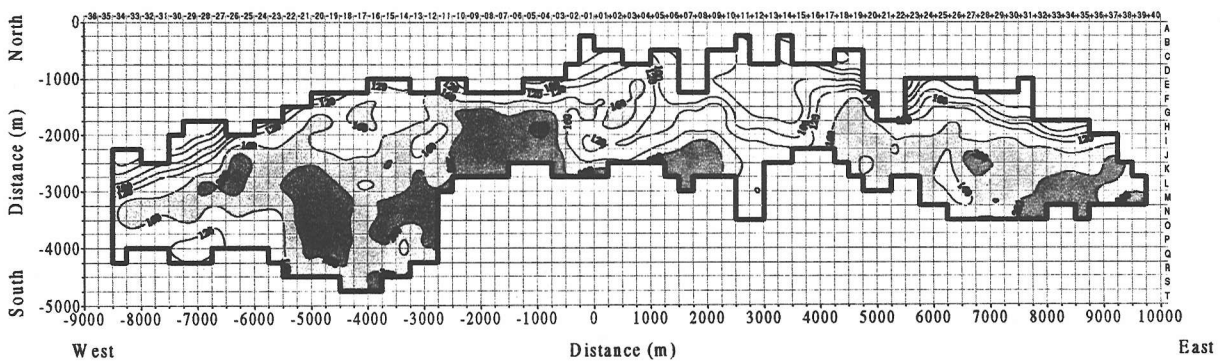


図7 (b) 動的解析による地表面における最大速度分布