

京都大学工学研究科	学生員	○後藤 浩之
京都大学防災研究所	正会員	澤田 純男
Drexel University	正会員	盛川 仁
関東学院大学工学部	正会員	規矩 大義

1. はじめに

1999年トルコ・コジャエリ地震においてサカリア県の中心都市、アダパザル(Adapazari)で、中層ビルに大きな被害が発生したことはよく知られている。市街中心部は震源となったアナトリア断層から8-10 kmも離れていることから、深層地盤構造や浅層地盤の動特性によって、アダパザル付近で地震動が大きく増幅されたことが予想される。本研究では、特に深層地盤構造が地震動に与えた影響について着目し、アダパザル周辺で実施された物理探査記録から深層地盤構造モデルを作成したうえで、有限差分法を用いた強震動シミュレーションを実施した。

2. 地盤構造のモデル化

重力測定結果を用いたアダパザル盆地の基盤密度構造はすでに発表されている¹⁾が、速度構造は知られていない。そのため、速度構造の把握を目的とした屈折波探査が2002年6月14日と16日にアダパザル盆地で実施された。発破は2点、発破側線はほぼ南北方向で、観測機器80個、側線長さ16 kmであった。北側発破では完全に装薬が爆破せず、エネルギー不足により初動が明確に確認できない部分が見られた。また、南側発破は、予定日より1日遅れたため観測機器の電池切れが生じ、一部に欠測が見られた。しかし、観測された屈折波走時によると、みかけの速度が4 km/sec でやや遅いことと、南側発破記録で走時の急激な変化が生じていることが確認された。

まず、この屈折波探査記録を用いて発破側線下のP波速度構造の推定を実施した。屈折波記録のうち、両発破の記録が明確に確認できる部分ははぎとり法を用いて推定し、片側走時のみ得られた点は試行錯誤によって推定した。得られた基盤速度構造は発破点中央付近で変化しており、南側は $V_p=5000$ m/sec、北側は $V_p=3800$ m/secである。次に、発破点付近で観測された波形から反射波を抽出して基盤構造の修正を行なった。抽出にはデコンボリューションフィルタと振幅回復の処理を用いた。修正後の基盤構造は南側で急勾配の構造を示している。一方、微動アレー観測によって推定されていた発破点付近の地盤構造によると、堆積層は少なくとも3層必要であるため本モデルでも3層の堆積層を仮定した。推定された発破側線下の地盤構造と、この地盤構造で計算された走時曲線を観測値と併せてFig. 1に示す。走時曲線は観測された初動の走時とよく一致していることがわかる。さらに、推定された地盤構造で計算される重力値と観測された重力値とを比較することで、各層の密度を推定した。推定された各層の密度をFig. 1に併せて示した。

アダパザル盆地の3次元地盤構造は3次のB-スプライン関数を用いて近似する。制約条件は観測された重力値、脈動の1点測定による水平/鉛直スペクトル卓越周期、脈動アレー観測で得られている地盤構造、そして発破側線下の2次元地盤構造とした。2次元地盤構造で見られた基盤速度の変化を表現するために、北緯 $40^{\circ}45'30''$ 以北では $V_p=5000$ m/secの速度の速い基盤層が $V_p=3800$ m/secの速度の遅い基盤の下にもぐり込む構造を仮定した。Fig. 2に求められた3次元地盤構造を示したが、アダパザルが厚い堆積層の上に位置していることが確認できる。本研究ではアダパザル盆地の地盤構造として、上述したような堆積層3層、基盤層2層の3次元モデルを提案する。

3. 強震動シミュレーション

アダパザル盆地の地盤構造として得られたFig. 2の3次元モデルを用いて強震動シミュレーションを実施した。震源は、Sekiguchi and Iwata (2002)によって推定された破壊過程を用いている。手法は有限差分法で、

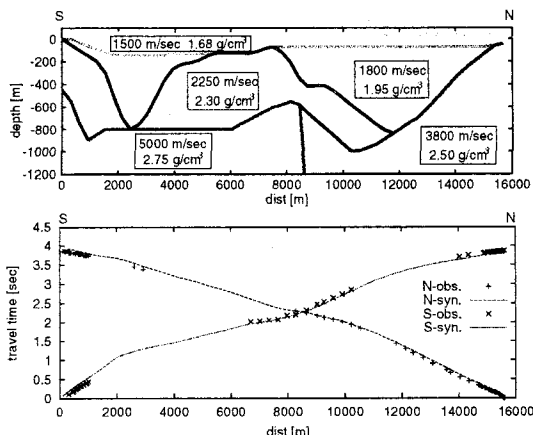


Fig. 1 : 推定された発破側線下の地盤構造、および計算された走時と観測走時との比較

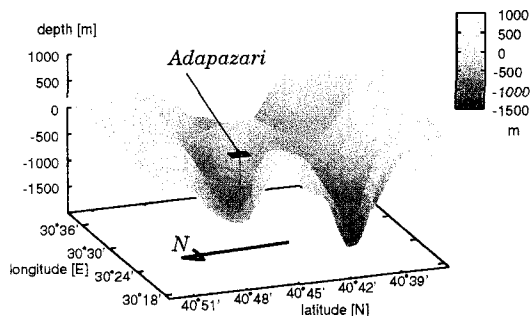


Fig. 2 : 推定された基盤面

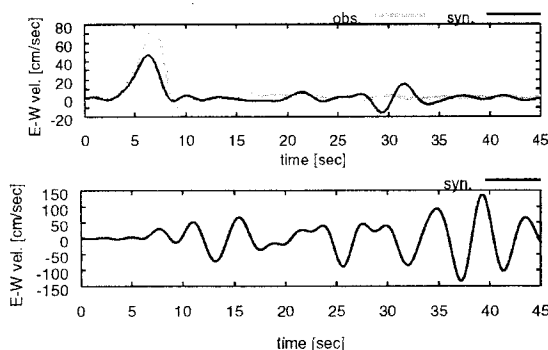


Fig. 3 : シミュレーション波形と観測波形.(東西成分)
上図 : SKR, 下図 : アダパザル

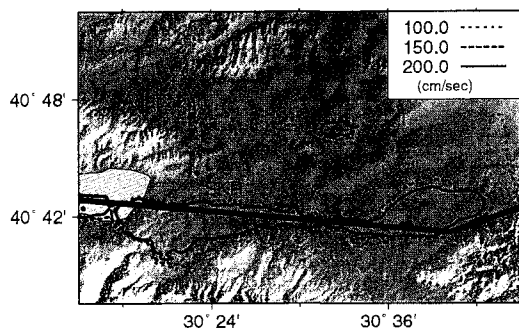


Fig. 4 : シミュレーションによる最大速度の分布

格子間隔 100 m, 時間刻み 0.0079 秒とした。このシミュレーションでは 0.4 Hz 以下の長周期成分までしか正しく表現されていないため、0.4 Hz 以上の短周期成分の除去を行なっている。Fig. 3 に計算波形と観測波形を示す。上図はアダパザル盆地内で唯一強震動を観測した地点 SKR における波形の東西成分の比較である。観測記録との初動部分はほぼ一致している。Fig. 4 に最大速度の分布を示した。震源断層付近に最大速度の大きな領域が見られるが、アダパザルでも震源断層から離れているにも関わらず、最大速度の大きな領域が島状に見られる。また、アダパザル直下の構造を 1 次元水平構造と仮定して基盤層波形から表層波形を計算する。この表層波形と 3 次元モデルで得られた波形とを比較すると、水平構造では最大速度が 43.4 cm/sec, 3 次元モデルでは 136.5 cm/sec となり、3 次元モデルによる結果の方が 3 倍程度最大速度が大きく、3 次元的な地盤構造による地震動の増幅が確認された。

4. 結論

アダパザルで実施された物理探査記録を用いて発破側線下の地盤構造を推定した。この構造は堆積層が 3 層から成り、基盤速度が南北で変化することが示された。さらにアダパザル盆地の 3 次元地盤構造を推定し、アダパザルの市街地が厚い堆積層の上に位置することを確認した。

また、推定した 3 次元地盤構造を用いて強震動シミュレーションを実施したところ、アダパザルで強震動域を示した。この原因はアダパザル周辺の 3 次元的な盆地効果によるものと考えられる。

参考文献

- 1) Komazawa, M., H. Morikawa, K. Nakamura, J. Akamatsu, K. Nishimura, S. Sawada, A. Erken and A. Onalp : Bedrock structure in Adapazari, Turkey - a possible cause of severe damage by the 1999 Kocaeli earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, pp.829-836, 2002.