

鳥取県西部地震における K-net 米子と米子測候所の地盤応答特性 (その1)

防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター 正会員 新井 洋 久保 哲夫
 大成建設 技術センター 正会員 日比野 浩

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震では、米子市内の僅か1.3km離れた2観測点(K-net 米子と米子測候所)において最大加速度・速度の2倍異なる強震記録が得られた。この原因の一つとして地盤特性の影響が考えられるが、両観測点の震源断層距離が5、6km程度¹⁾であることから、断層距離の差の影響も無視できないと考えられる。そこで本報では、K-net、測候所両地点を通る測線上で微動観測を行い、そのH/Vスペクトルから推定した地盤のS波速度構造に対して震源断層距離を考慮した地震応答解析を行い、本震記録と比較することで、地盤特性および震源断層距離が両地点での地震動特性に与えた影響について検討する。

2. 微動の移動1点観測に基づく地盤S波速度構造の推定

観測は、K-net 米子と米子測候所(JMA)を通り推定震源断層¹⁾にほぼ直交する測線上の26地点(A01-A26)で行った(図1)。微動計は固有周期2秒の3成分速度計を用いた。各地点で観測された微動波形データからFFTによりH/Vスペクトル²⁾を求め、その位置の変化を図2に濃淡で示す。図から、H/Vスペクトルのピーク周期は位置により0.4-1.2秒の間で変化しており、すなわち地盤構造の変化していることが示唆される。観測H/Vスペクトルが表面波によるものと考え、高次モードまで考慮した逆解析³⁾を行い、K-net(A08)およびJMA(A16)直下深度60mまでのS波速度構造を推定した。この際、各層のS波速度は近傍のボーリングデータ⁴⁾などを参考に固定し、層厚のみを変数とした。図3にK-net, JMA両地点で推定された地盤S波速度構造を、図4に対応する理論H/Vスペクトルを観測値と比較して示す。図4から、両地点とも理論値は観測値と良く対応しており、逆解析が適切に行われたことが示唆される。なお、K-net, JMA両地点の推定S波速度構造(図3)から求めた地盤の1次固有周期は0.84, 0.62秒で、微動H/Vスペクトルのピーク周期とほぼ対応している。

3. 米子測候所地盤における地震応答解析

米子JMA地表で観測された本震記録を用い、図3(b)に示す地盤構造に対し周波数ひずみ依存型の減衰をもつ1次元等価線形解析⁵⁾を行って、深度60mでの露頭波を推定した。この際、波形は断層直交方向(N047E)および平行方向に回転し、各方向成分について解析を行った。地下水位および各層の土質は近傍のボーリングデータ⁴⁾を参考に仮定した(図3)。ここで、JMAの深度3m以浅は比較的緩い砂層であり、液状化の可能性も示唆される。そこで確認のため、等価線形解析から得られた露頭波を深度60mにおける入力として、1次元有効応力解析⁶⁾を行った。構成則は社本・張モデル^{6), 7)}を用いた。

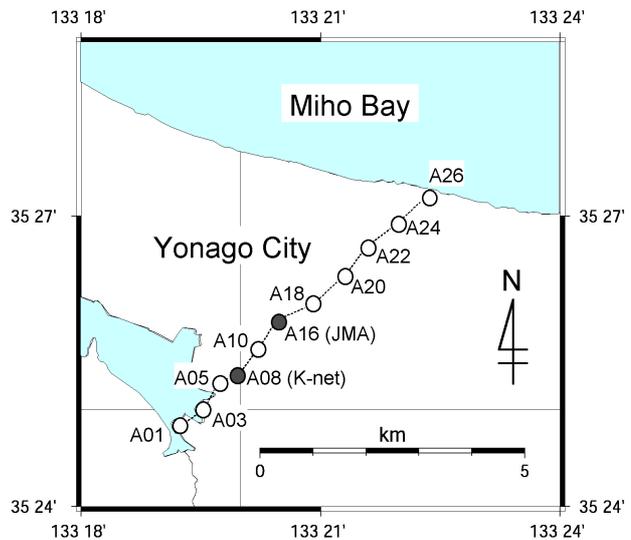


図1 微動および強震観測地点

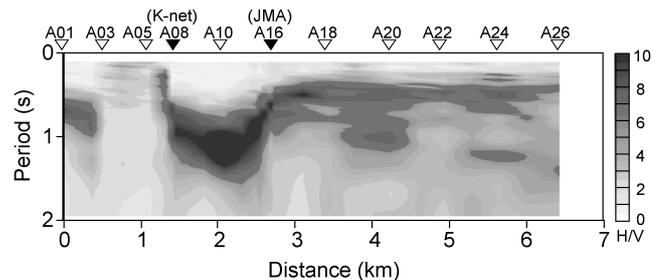


図2 微動H/Vスペクトルの位置的变化

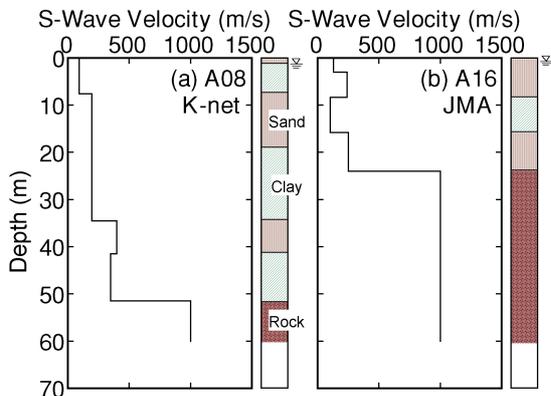


図3 推定S波速度構造

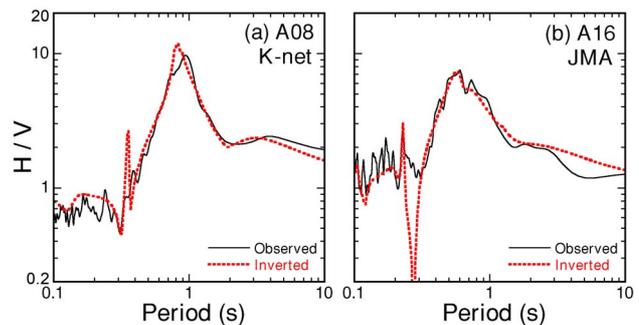


図4 観測および理論H/Vスペクトル

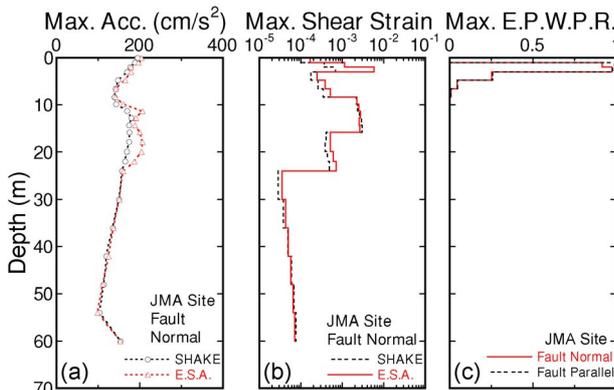


図5 解析から得られた最大応答値の地中分布 (JMA)

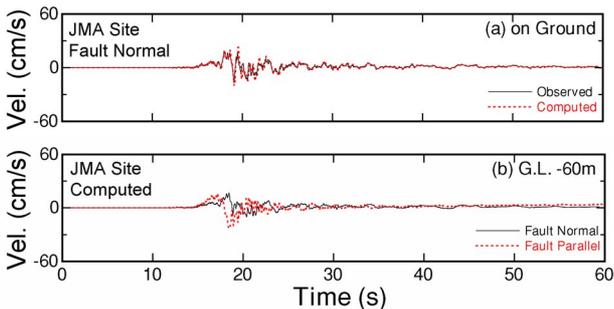


図6 (a) 解析および観測地表面波形 (JMA)
(b) 解析から得られた深度60mでの露頭波 (JMA)

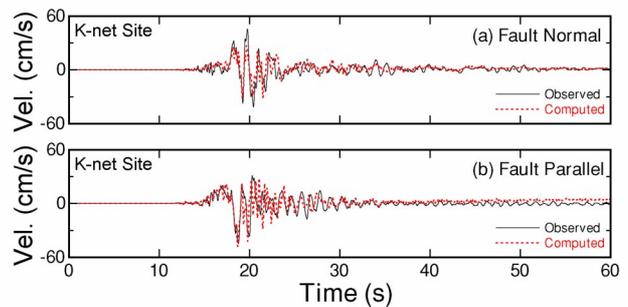


図8 解析および観測地表面波形の比較 (K-net)

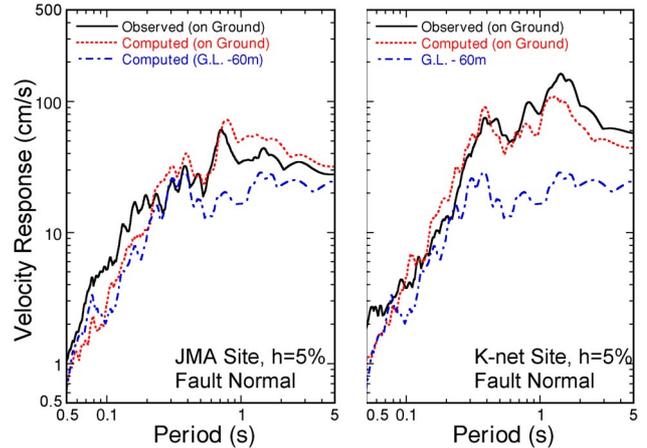


図7 (左), 9 (右) 解析および観測波の速度応答スペクトル

両解析から得られた断層直交方向成分の最大加速度、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比の地中分布を図5に、地表および深度60mでの速度波形および速度応答スペクトル(減衰5%)を図6、7に示す。図5から、有効応力解析では深度1-3mで過剰間隙水圧比がほぼ1に達している。このため、ひずみの地中分布は両解析においてこの深度でのみ大きく異なり、有効応力解析では1%近くになる。しかし、両解析での最大加速度分布に大きな差異は無く、また解析から得られた地表面波は元の観測波と波形・応答スペクトルともほぼ一致する(図6(a)、7)。断層平行方向成分についても同様の結果が得られた。以上から、この場合には、深度1-3mの水圧上昇は地表面波に殆ど影響しなかったこと、また等価線形解析から得られた深度60mでの推定露頭波(図6(b))はある程度信頼できるものであることが示された。さらに図7から、観測波の応答スペクトルのピーク(0.6-0.7秒)は、地盤の1次固有周期(0.62秒)近傍の増幅応答によるものであることがわかる。

4. K-net 米子地盤における地震応答解析

前節で得られた推定露頭波を用い、図3(a)に示す地盤構造に対して1次元有効応力解析を行った。この際、JMAとK-net地点の断層距離の差を考慮して、加速度値を6/5倍した露頭波を深度60mに入力した。なお、図3(a)からK-net地盤では液状化の可能性のある地層は存在しない。解析から得られた地表面速度波形を観測波と比較して図8に、それらの速度応答スペクトルを図9に示す。解析から得られた地表面波形は、断層直交方向成分で振幅がやや小さいものの、観測波と良く適合している(図8)。参考までに、前節で得られた露頭波をそのまま入力して解析を行ったところ、地表面応答値はさらに2割程度小さくなることを確認した。また図9から、地盤による応答増幅は周期1秒強を中心に0.3-5秒の広い周期帯で認められ、地盤非線形化に伴う固有周期の伸びを含め、解析は観測された本震地動の特性を良く再現している。以上の結果は、地盤の1次元非線形応答と震源断層距離を適切に評価することで、K-net, JMA両地点の観測記録の差異を概ね説明できることを示している。ただし、K-net地点の断層直交方向については、近傍で地盤構造が大きく変化していること(図2)、1次元解析では応答を過小評価すること(図8(a))から、観測波に地盤の不整形性が影響している可能性も考えられる。この検討は次報(その2)に譲る。

5. まとめ

2000年鳥取県西部地震における2強震観測点(K-net 米子と米子測候所)を通る測線に沿って微動観測を行い、そのH/Vスペクトルから両地点地盤のS波速度構造を推定した。さらに、両観測点での推定地盤構造に対し本震記録を用いて1次元有効応力解析を行った。その結果、両地点での地震動特性の差異は、地盤の1次元非線形応答および震源断層距離を考慮することで概ね説明できること、しかし近傍地盤の多次元応答も影響している可能性のあることを示した。

謝辞：本報で用いた強震記録は防災科学技術研究所 K-net および気象庁により記録・公開されたものである。記して謝意を示す。

《参考文献》 1) 例え、関口、岩田：K-net, KiK-net 地震記録を用いた断層破壊過程の推定, <http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/ttr.source.html>, 2000. 2) 時松、新井：レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響, 建築学会構造系論文集, 511, 69-75, 1998. 3) 新井、時松：微動 H/V スペクトルの逆解析による地盤の S 波速度構造推定, 建築学会大会梗概集, 構造, 243-244, 1998. 4) 中国地方基礎地盤研究会編, 山陰臨海平野地盤図, 1995. 5) 杉戸ほか：周波数特性を考慮した等価線形化手法に関する一考察, 第 28 回土質工学研究発表会, 1129-1132, 1993. 6) 社本ほか：1次元有効応力解析の実地盤に対する適用性, 建築学会構造系論文集, 433, 113-119, 1992. 7) Zhang, et al.: Moving critical and phase-transformation stress state lines of saturated sand during undrained cyclic shear, Soils and Foundations, 37, 2, 51-59, 1997.