

2.3.2 境港市

(1) はじめに

2000年鳥取県西部地震では、震源から約30km離れた境港市においても木造住宅や鉄骨造構造物に甚大な被害が生じた[1][2]。また、鳥取県済生会境港総合病院の外来診察棟および東病棟（鉄筋コンクリート造2階および4階建て）でも構造上の大きな被害が生じた[2]（図-2.3.2.1）。この原因の一つとして地盤特性の影響が考えられるが、この地域の深部地盤構造に関する情報は少ない。構造物被害と地震動特性および地盤構造との関係を把握しておくことは、構造物の被災メカニズムを解明する上で重要と考えられる。そのための検討の一つとして、筆者[3]は、微動観測に基づいてこの地域の深部地盤のS波速度構造断面（図-2.3.2.2）を推定し、これに基づく2次元および1次元の地震応答シミュレーション解析を行い、被害地域近傍の地震動は、深部地盤の2次元応答の影響は小さく、深部および表層地盤の1次元非線形応答の影響だけでほぼ説明できることを示した。そこで本報では、被害地域近傍に位置する済生会病院地点（以下、SSK）での本震地震動を、文献[3]と同様の地震応答解析により再現する。

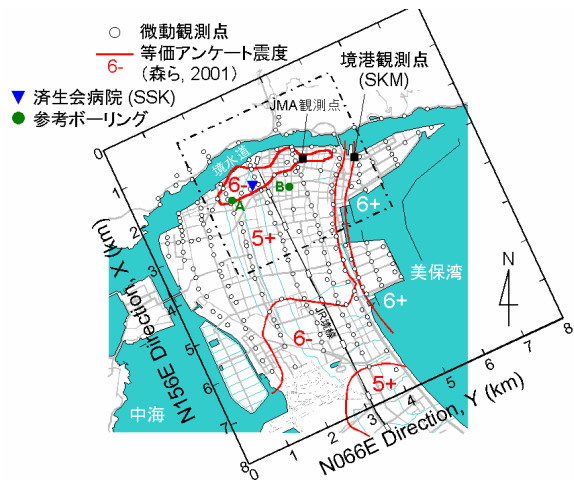


図 - 2.3.2.1 微動・強震観測点と等価アンケート震度分布[1][2][3]

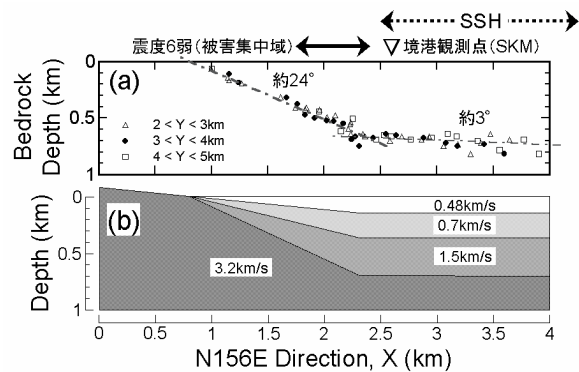


図 - 2.3.2.2 微動観測から推定された(a)地震基盤深度および(b)S波速度構造断面（N156E方向、 $2 < Y < 5$ km）[3]

(2) 済生会病院地点の本震地震動の推定

SSK地点は、港湾空港技術研究所港湾地域強震観測網の境港観測点（以下、SKM）と同様、地震基盤の平坦部と傾斜部との境界付近すなわち被害地域近傍に位置している（図-2.3.2.1、2）。このため、前述のとおり、SSK地点の地震動は、SKM地点のそれと同様、地震基盤構造の不整形性による深部地盤の2次元応答の影響は殆ど無く、深部および表層地盤の1次元非線形応答の影響だけで十分に説明できると考えられる[3]。そこで、文献[3]に示す手順と同様、まず、防災科学技術研究所基盤強震観測網（KiK-net）美保関観測点（SMNH10）で得られた本震記録[4]を1次元等価線形解析[5]により直下深度800mまで引き戻し、これに基づいて震源の放射特性を考慮してSSK地点の直下深度800mでの岩盤露頭波を求めた。次に、SSK地点直下の地盤を1次元構造にモデル化し、求めた岩盤露頭波を入力として1次元有効応力解析[6]を行い、地表地震動を推定した。以下では、文献[3]と重複しない部分、すなわちSSK地点の地盤構造モデルと、それに対する有効応力解析の結果のみを述べる。それ以外の部分については、文献[3]を参照されたい。なお、SSK地点に対する震源の放射特性は、SKM地点に対するそれと殆ど差異は無かった。これは、両地点が震源断層から見てほぼ同じ距離・方位に位置しているためである。

a) 済生会病院地点の1次元地盤モデル

済生会病院の敷地内では、2本のボーリング調査結果(土質・N値・地下水位)が利用可能である[7][8]。これらは、ほぼ全く同じ結果となっているが、掘削深度はともに30mまでである。一方、比較的近傍のA地点およびB地点(図-2.3.2.1)では、深度70mまでのボーリング調査結果が利用可能である[7]。そこで本報では、SSK地点の深度70m以浅の表層地盤構造は、深度0-30mでは敷地内の地盤のボーリング調査結果に基づき、深度30-70mではA地点とB地点のそれを参考に、図-2.3.2.3のようにモデル化した。深度70m以深の地盤構造は、文献[3]と同様、吉川ら[9]が微動観測から推定した深部地盤構造(地震基盤を含む、深度1kmまで)を採用した。

各地層の密度とS波速度は、N値から太田・後藤[10]の方法により推定した。液状化の可能性は、S波速度200m/s以下、N値20以下の地下水位以深の砂層(深度1.2-5m)について検討した。用いた有効応力解析[6]で必要とされる液状化パラメータは相対密度と液状化強度(R_{20})であり、これらはN値等から Tokimatsu and Yoshimi[11]の方法により求めた(図-2.3.2.3)。

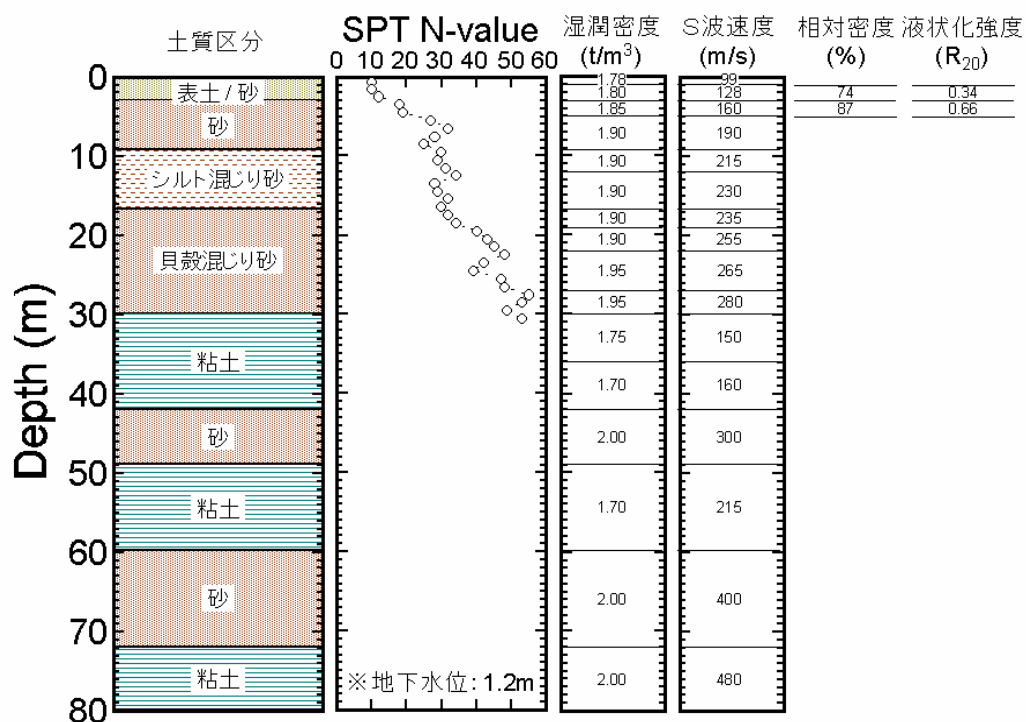


図 - 2.3.2.3 SSK 地点の表層地盤構造モデル[7][8]

b) 済生会病院地点の1次元有効応力解析結果

解析から得られたEWおよびNS方向成分の地表地震動の加速度および速度波形を図-2.3.2.4に示す。推定されたEWおよびNS方向成分の最大加速度は231cm/s²および131cm/s²であり、B地点(境港市役所)での観測値(213cm/s²および113cm/s²)[2]よりもやや大きい程度である。

図-2.3.2.5には推定波の加速度フーリエ振幅スペクトル(EW方向成分)を示す。図には参考のため、気象庁境港測候所(以下、JMA)およびSKM地点での観測波[12][13]のそれを示す。各地点で大きな差異は無いものの、周期2-3秒を境に、短周期側では推定波の振幅はJMA観測波のそれよりもやや小さく、長周期側ではやや大きい傾向が認められる。

図 - 2.3.2.6 には解析から得られた最大加速度・速度・せん断ひずみ・過剰間隙水圧比の深度 100m 以浅の地中分布を示す。EW・NS 方向成分とも、深度 30-41m の粘土層において大きなせん断ひずみ (1-2%程度) が生じ、そのため、この層の上部において加速度が減少し速度が増大している。また、EW 方向成分では、液状化の可能性があると仮定した層 (深度 1.2-5m) でも大きなせん断ひずみ (1%程度) が生じ、水圧が上昇している。過剰間隙水圧比は、深度 2-3m の層で最大 0.9 程度まで上昇している。この層の過剰間隙水圧比の時刻歴および有効応力経路を図 - 2.3.2.7 に示す。図から、この層が完全液状化には至らず、ごく軽度の初期液状化状態に止まっていたことが分かる。このことは、SSK 地点の周辺では地盤液状化の痕跡が見られなかった[14]こととも符合する。ただし、この層の液状化挙動は地表での応答波形に殆ど影響を与えていないことを、別途行った全応力解析結果との比較から確認している。このことから、NS 方向成分について、深度 1.2-5m での EW 方向の水圧上昇を考慮した解析 (または EW-NS 方向成分の連成解析) を行ったとしても、地表での応答波形は殆ど変わらないと考えられる。

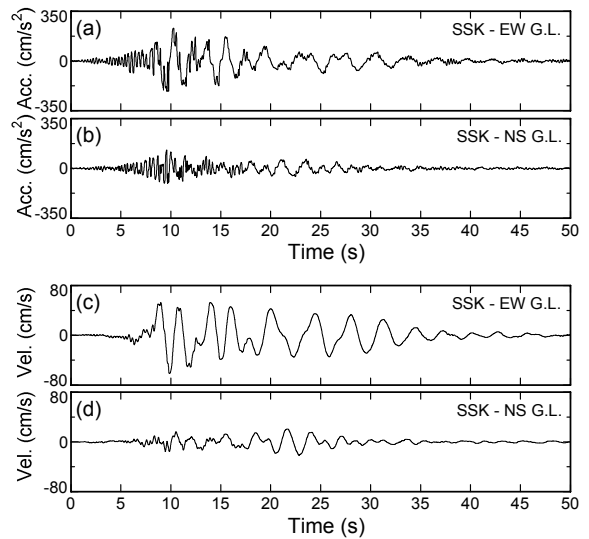


図 - 2.3.2.4 1次元有効応力解析から得られた SSK 地点の地表加速度・速度波形

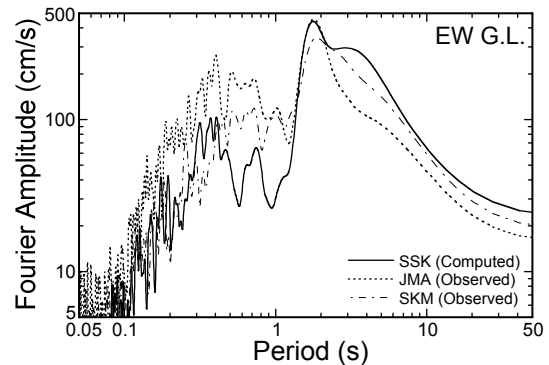


図 - 2.3.2.5 1次元有効応力解析から得られた SSK 地点の地表波と JMA および SKM 地点での観測波[12][13]の加速度フーリエスペクトル (EW 方向)

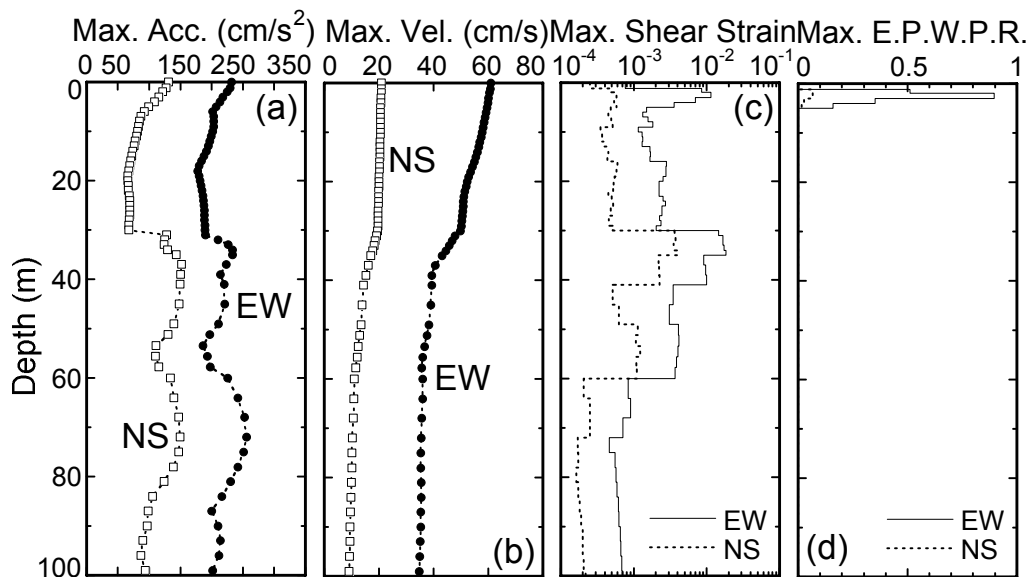


図 - 2.3.2.6 SSK 地点の最大加速度・速度・せん断ひずみ・過剰間隙水圧比の地中分布 (解析)

(3) まとめ

2000年鳥取県西部地震時に、震源から30km離れていながら甚大な被害を受けた鳥取県済生会境港総合病院を対象に、直下の深部および浅部地盤を1次元構造にモデル化して、その有効応力解析を行い、本震時の地表地震動を推定した。推定結果は、実際の液状化現象の有無と整合しており、ある程度の精度で本震地震動をシミュレートできていると考えられる。

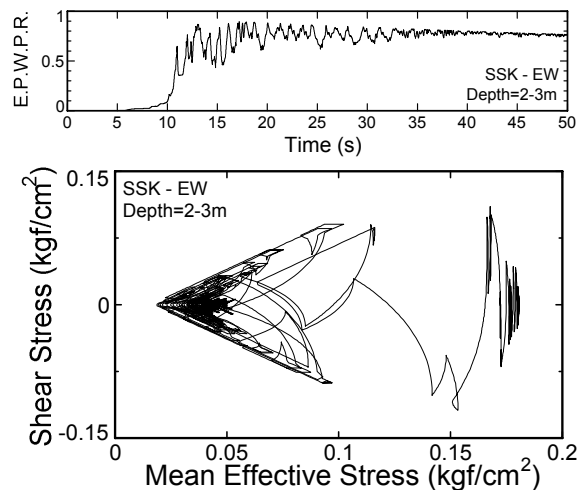


図 - 2.3.2.7 1次元有効応力解析から得られたSSK地点の深度2-3mの層における(上)過剰間隙水圧比の時刻歴および(下)有効応力経路

謝辞：本報で用いた強震記録は、港湾空港技術研究所、気象庁および防災科学技術研究所により記録・公開されたものである。震源の放射特性の計算では、防災科学技術研究所 Nelson Pulido 博士の協力を得た。記して謝意を示す。

<参考文献>

- [1] 例えば、森伸一郎ほか：2000年鳥取県西部地震における境港および米子のアンケート震度、第36回地盤工学研究発表会、pp.2127-2128、2001
- [2] 例えば、日本建築学会：2000年鳥取県西部地震災害調査報告、pp.1-248、2001
- [3] 新井洋：鳥取県西部地震時の境港における地盤応答特性と地震動評価、近年の被害地震におけるコンクリート構造物の耐震性能評価研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、2004
- [4] 防災科学技術研究所：基盤強震観測網ホームページ、<http://www.bosai.go.jp/>
- [5] 杉戸真太ほか：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、pp.1129-1132、1993
- [6] 社本康広ほか：一次元有効応力解析の実地盤に対する適用性、日本建築学会構造系論文集、No.433、pp.113-119、1992
- [7] 中国地方基礎地盤研究会編：山陰臨海平野地盤図、1995
- [8] 建設省計画局、鳥取県・島根県編：中海臨海地帯の地盤、都市地盤調査報告書第15巻、1967
- [9] 吉川大智ほか：重力および微動データに基づく弓ヶ浜半島の3次元基盤構造の推定、第11回日本地震工学シンポジウム、pp.447-450、2002
- [10] 太田裕・後藤典俊：S波速度を他の土質的諸指標から推定する試み、物理探鉱、第29巻、第4号、pp.34-41、1976
- [11] Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: Empirical Correlation of Soil Liquefaction based on SPT N-Value and Fines Content, *Soils and Foundations*, Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983
- [12] 気象庁：平成12年鳥取県西部地震(95型震度計波形データ) CD-ROM、2000
- [13] 港湾空港技術研究所：港湾地域強震観測網ホームページ、<http://www.pari.go.jp/>
- [14] 森伸一郎・門脇慶典：2000年鳥取県西部地震における液状化調査と噴砂の粒度特性、第36回地盤工学研究発表会、pp.2153-2154、2001