

# サイト効果と動的相互作用が境港の病院建物被害に与えた影響

新井 洋<sup>1)</sup>

1) 正会員 防災科学技術研究所, 〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通 1-5-2, arai@edm.bosai.go.jp

## 1. はじめに

2000年鳥取県西部地震では、震源から30km離れた境港においても甚大な被害が生じた<sup>1)</sup>。このうち、鳥取県済生会境港総合病院(図1:以下、SSK)の外來診療棟および東病棟では、構造上の大きな被害が生じた<sup>1)</sup>。その原因として、地盤の震動特性や建物の耐震性能の影響などが考えられるが、関連する情報は少ない。そこで、地盤・地震動と建物被害との関係を検討するため、既報<sup>2)</sup>では、この地域の地盤の深部S波速度構造を微動観測に基づいて2次元的に推定し(図2)、これに対する地震応答解析を行って、港湾空港技術研究所の境港強震観測点(図1:以下、SKM)で得られた本震記録およびSSK地点の地震動のシミュレーションを行った。本報では、SSK地点での推定地震動を入力として、地盤との動的相互作用を考慮した被災病棟の地震応答解析を行い、実際の被災状況との比較から、サイト効果と動的相互作用が建物被害に与えた影響を検討する。

## 2. 済生会病院地点における本震地震動の推定<sup>2)</sup>

SSK地点は、SKM地点と同様、地震基盤の平坦部と傾斜部との境界の直上付近に位置している(図1, 2)。このため、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次元的な応答の影響をほとんど受けないと考えられる<sup>2)</sup>。そこで、まず、防災科学技術研究所KiK-netの美保関強震観測点(SMNH10)で得られた本震記録のEWおよびNS方向成分を1次元等価線形解析により直下深度800mまで引き戻し、これに基づいて震源断層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有効応力解析を行い、EWおよびNS方向の地表地震動を推定した。解析の手法および用いた地盤モデルの詳細については、既報<sup>2)</sup>を参照されたい。

解析から得られたEWおよびNS方向成分の地表地震動の速度波形を図3に、最大加速度・せん断ひずみ・過剰間隙水圧比の深度100m以浅の地中分布を図4に示す。図4から、EW方向では、深度1.2-5mの層において1%程度のせん断ひずみが生じ、過剰間隙水圧比が0.9程度まで上昇しており、この層が軽度の初期液化状態であったことがわかる。このことは、SSK地点の周辺では地盤液化の痕跡が見られなかった<sup>3)</sup>ことと符合している。

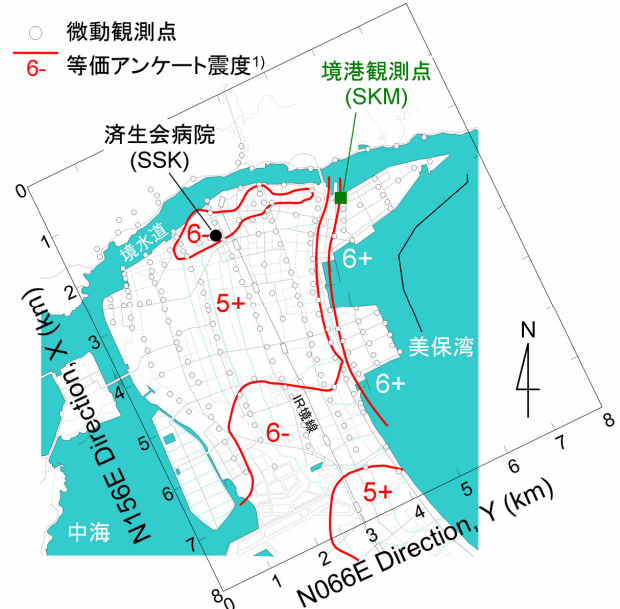


図1 境港における微動・強震観測点と済生会病院の位置および等価アンケート震度分布<sup>1), 2)</sup>

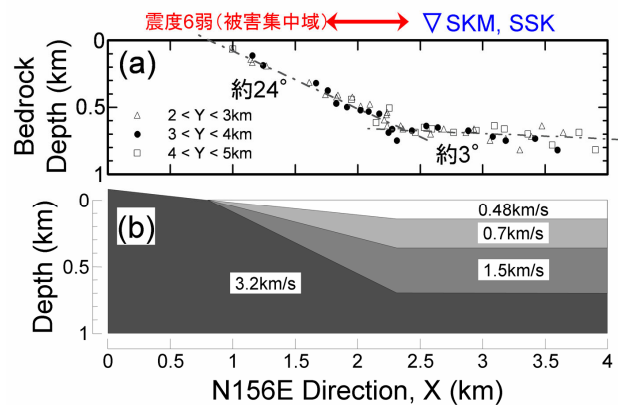


図2 微動観測から推定された(a)地震基盤(S波速度3km/s程度以上)の深度および(b)S波速度構造断面(N156E方向, 2 < Y < 5km)<sup>2)</sup>

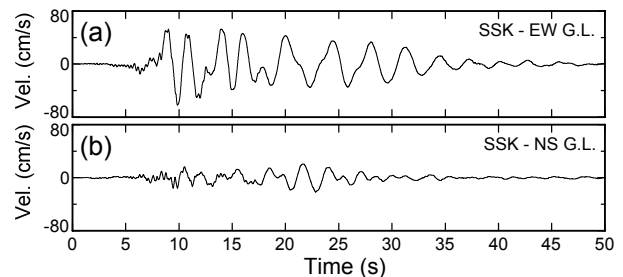


図3 1次元有効応力解析から得られたSSK地点の地表地震動の速度波形(EW, NS方向成分)<sup>2)</sup>

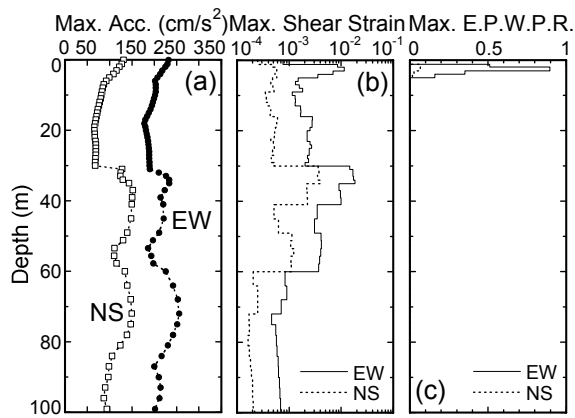


図4 有効応力解析から得られたSSK地点の最大加速度・せん断ひずみ・過剰間隙水圧比の地中分布<sup>2)</sup>

### 3. 相互作用を考慮した被災病棟の地震応答解析

推定された地震動を入力として、外来診療棟および東病棟(R/C造)に対する地震応答解析を行った。この際、文献<sup>1), 4)</sup>を参考に、建物形状は外来診療棟が桁行(EW)方向6スパン×梁間(NS)方向4スパンの2階建て、東病棟が桁行方向5スパン×梁間方向3スパンの4階建てとし、地盤および対象建物を図5に示す多質点せん断型Sway-Rockingモデルに置換した。なお、建物の振動特性や耐震性能に関する確かな情報が現時点では少ないため、建物の重量や固有周期、層せん断力係数の分布、復元力特性などは、R/C造建物として平均的と思われるものを仮定した。建物のベースシヤ係数 $C_y$ は解析変数とし、その値を0.01-1の範囲で変化させた。また、基礎構造は直接基礎(埋込み深さ1.5mと仮定)、地盤ばねは線形とし、その値は限界耐力計算法<sup>5)</sup>により評価した。ただし、図4から、表層地盤が強非線形化しているため、その等価剛性の低下率 $G_e/G_0$ を解析変数とし、その値を桁行(EW)方向では0.1-1の範囲で、梁間(NS)方向では0.4-1の範囲で変化させた。

図6に、東病棟の桁行(EW)および梁間(NS)方向の解析から得られたベースシヤ係数 $C_y$ と最大応答塑性率 $\mu_{max}$ との関係を $G_e/G_0$ の値ごとに太線で示す。ここで、建物の被災状況(1, 2階の柱と雑壁に桁行方向のせん断ひび割れ多数、梁間方向には無被害)<sup>1)</sup>を「桁行方向で $\mu_{max}=1-2$ 程度、梁間方向で $\mu_{max}<1/3$ 程度」と読み替えると、図において、 $C_y$ の値を桁行方向で0.3-0.4程度、梁間方向で0.6程度以上と仮定した場合の解析結果が実際の被災状況とおおむね整合する。この $C_y$ の値と東病棟の耐震診断結果(構造耐震指標 $I_s$ 値が桁行方向で0.4程度、梁間方向で0.7程度)<sup>1)</sup>との関係は、直接的には不明であるが、間接的にはある程度調和的であると考えられる。

さらに検討のため、基礎固定時およびサイト効果を無視した場合(岩盤露頭波を入力した場合)の解析結果を図6に細線で示す。仮定した $C_y$ の値がある

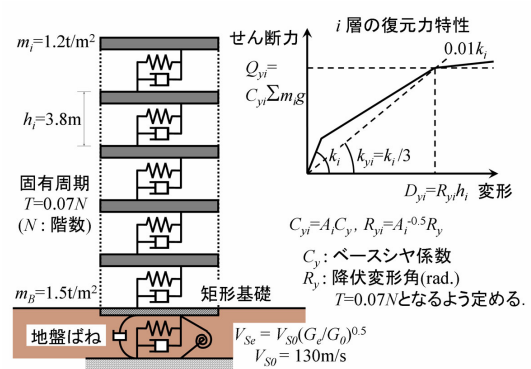


図5 地盤-建物動的相互作用解析モデルの概要

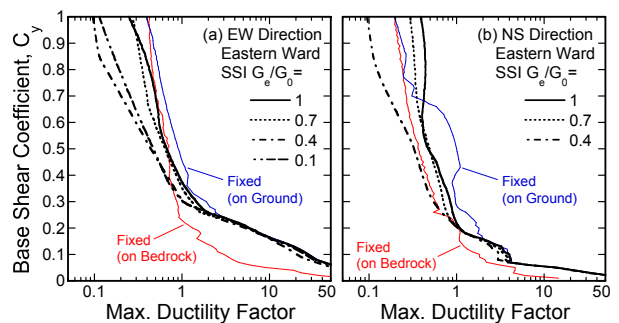


図6 相互作用解析から得られた東病棟(R/C造4階建て)のベースシヤ係数と最大応答塑性率との関係

程度正しいとすれば、図から、建物の応答は、桁行・梁間方向とも、サイト効果によって2-3倍程度に増大したが、動的相互作用と地盤の剛性低下によって1/2-1/3程度に低減された可能性が示唆される。外来診療棟(R/C造2階建て)の解析結果についてもおおむね同様の傾向が認められた。なお、図は省略するが、地表地震動には周期2秒弱の成分が卓越しており、これが地盤の非線形応答増幅(サイト特性)によるもので、建物の応答を増大させたと考えられる。ただし、以上の結果は、仮定した解析モデル、実際の被災状況と $\mu_{max}$ の値との対応関係および $C_y$ の値の下で得られたものであり、これらの妥当性について、今後、さらに検討が必要である。

### 4. まとめ

2000年鳥取県西部地震において震源から30km離れていながら甚大な被害を受けた境港の病院建物を対象に、本震記録を用いた地盤および建物の地震応答解析を行い、実際の被災状況との比較から、サイト効果と相互作用が被害に与えた影響を検討した。

謝辞：本報で用いた強震記録は防災科学技術研究所 KiK-net により記録・公開されたものである。また、震源断層の放射特性の計算では防災科学技術研究所の Nelson Pulido 氏の協力を得た。記して謝意を示す。

参考文献：1) 例えば、日本建築学会：2000年鳥取県西部地震災害調査報告、1-248、2001。2) 日本コンクリート工学協会：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・論文集、15-18、363-370、2004。3) 森、門脇：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、地盤工学会大会、2153-2154、2001。4) 高橋、林：地盤-建物相互作用による地震時の建物被害の低減効果、建築学会大会、構造II、41-42、2000。5) 国土交通省建築研究所：改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景、ぎょうせい、2001。