

1999年コジャエリ地震時に地盤との動的相互作用がRC造建物被害率に与えた影響

正会員 新井 洋*

RC造建物	被害率	動的相互作用
1999年コジャエリ地震	ギョルジュク	再現強震動

1. はじめに

1999年コジャエリ地震においてギョルジュクのRC造建物は甚大な被害を受けた(図1)¹⁾。この原因を解明するため、筆者らは、微動観測に基づいて地盤のS波速度構造を推定し、これと震源断層モデルを用いた強震動シミュレーション解析を行って、地盤の非線形応答が建物被害率に強く影響を与えたことを定性的に示した²⁾。より合理的・定量的な検討を行うためには、実際の被害率を再現できる建物群モデルが必要と考えられる^{3), 4)}。また、高橋・林(2000)⁵⁾は、この地震による建物被害には地盤との動的相互作用が強く影響した可能性を指摘している。そこで本報では、長戸・川瀬(2001)³⁾と同様の方法により、再現強震動を用いて実際の被害率を最も良く説明できる降伏耐力分布を持つ地盤-建物群動的相互作用モデルを同定する。さらに、動的相互作用が建物被害率に与えた影響を検討する。

2. 1999年コジャエリ地震の再現強震動

Pulido(2003)⁶⁾は、周期1秒以下の地震動シミュレーション手法として、震源のアスペリティと放射特性を考慮した統計的Green関数法を提案している。そこで本報では、この方法を既報²⁾の強震動シミュレーションに導入した解析を行い、地盤構造が既知の7地点(サイトA-F, H:図1)²⁾での本震地震動を改めて推定した(図2)。この再現強震動は既報²⁾のそれと若干異なるが、他の地点での観測記録の再現精度が向上されている。

3. ギョルジュクのRC造建物被害率

全数調査結果¹⁾に基づき、サイトA-F, Hの微動観測アレイ中心(図1)²⁾から半径100m程度以内にあるRC造建物409棟を対象に、各サイト・階数ごとに被害率を算定した。この際、調査で使用されたEMS98グレード(D1-D5)¹⁾から小破以上(>D1:Σ(D2-D5))と大破以上(>D3:D4+D5)の2種類の被災規準を設定した。算定された建物被害率を階数ごとに図3に示す。図上の(数値)は被害率の算定に用いた建物母数の和である。図から、建物階数Nが高いほど被害率 R_D が大きくなるようにも見えるが、同じ階数・被災規準でもサイトによって被害率のパラツキは大きい。これは、サイトによって地震動と地盤-建物の動的相互作用効果が異なっていたためと考えられる。

4. 地盤との動的相互作用を考慮した建物耐力の推定

長戸・川瀬(2001)³⁾と同様の方法により、建物群の降伏耐力を推定した。すなわち、まず、建物の力学モデルとその降伏耐力の確率密度分布(規準値 C_{y0})を仮定することで建物群を表現した。次に、各サイトでの再現強震動(図2)を入力として建物モデルの地震応答解析を行い、最大応答塑性率がある被災規準 μ_D 以下となるための建物の必要耐力 C_{yD} をIterationによって求めた。そして、 C_{yD} よりも小さい耐力を持つ建物が被災

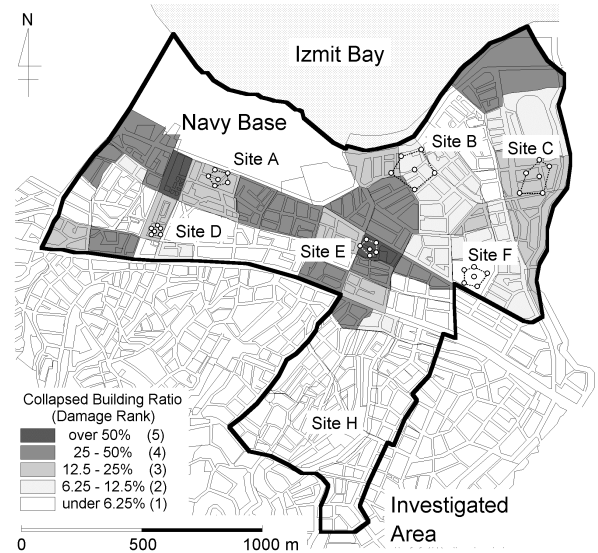
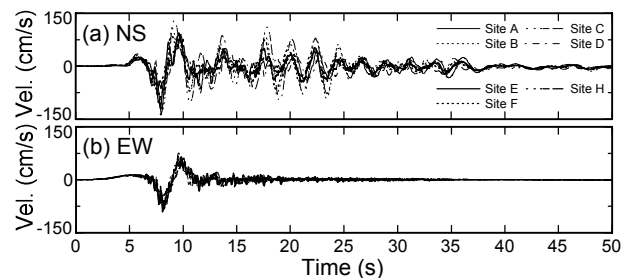
図1 ギョルジュクの中低層RC建物被害¹⁾と微動観測点²⁾

図2 サイトA-F, Hでの本震の再現強震動(速度波形)

するもの考え、その存在確率が実際の建物被害率 R_D (図3)と一致するような耐力の確率密度分布を求め、その規準値 C_{y0} を建物群の推定耐力とした。ただし本報では、地盤-建物の動的相互作用を考慮するため、高橋・林(2000)⁵⁾を参考に、図4に示す多質点せん断型Sway-Rockingモデル(建物階数 $N=1-9$)を用いた。地盤ばね等はParmelee(1970)⁷⁾の式により評価した。また、建物の被災規準は、小破以上が $\mu_D=1.5$ 、大破以上が $\mu_D=3.5$ に対応するものと仮定した。建物耐力の確率密度分布はShibata(1980)⁸⁾の対数正規分布と相似^{3), 4)}とした。

推定された建物耐力を階数Nごとに図5に示す。図から、耐力の推定値は、仮定した被災規準やサイトによらず各階数ごとに概ね安定しており、そのパラツキは $\pm 0.05-0.1$ 程度である。この値は図3の建物被害率のパラツキに比べてかなり小さいことから、建物群の耐力がある程度適切に推定されたと考えられる。また、推定結果は、建物階数Nが低いほど耐力 C_{y0} が大き

くなる傾向を明瞭に示している．そこで， $C_{y0} = 1/N$ の関係を仮定し，推定結果から最小二乗法により次の回帰式を得た．

$$C_{y0} = 0.78 / N^{0.39} \quad (\text{Std. Deviation} = 0.042) \quad (1)$$

図 5 には参考のため，長戸・川瀬 (2002)⁴⁾が兵庫県南部地震の被害調査結果と再現強震動に基づいて推定した神戸の RC 造建物群 (1982 年以前) の耐力を印で，日本の RC 造建物の耐力 C_{y0} と階数 N の関係としてよく仮定される $C_{y0} = 1/N$ の関係⁹⁾ ($=2, 3, 5$) を鎖線で示す．図から，トルコの中低層建物の耐力は日本のそれよりもかなり低いことが示唆される．

5. 地盤との動的相互作用による建物被害の低減効果

地盤との動的相互作用が建物被害率に与えた影響を検討するため，建物群の規準耐力が(1)式で表されるものとし，前節の考え方に従って，各サイト・階数・被災規準ごとに，動的相互作用を考慮した場合と無視した場合の被害率 R_{D-SSI} , R_{D-FIX} を計算した．得られた被害率 (解析被害率) のうち，いくつかのサイト・被災規準における結果を実際の建物被害率と比較して図 6 に示す．図 7 には，各サイトにおける R_{D-SSI} と R_{D-FIX} の比 (大破以上) を建物階数ごとに示す．図には，各サイト地盤の等価 S 波速度 V_{SE} の値も示す．図から， R_{D-SSI}/R_{D-FIX} の値は，1-3 階の建物で 0.5-1 程度，4-9 階で 0.8-1 程度となっており，3 階程度以下の建物では地盤との動的相互作用により被害率が最大 5 割程度低減されたと考えられる．また， V_{SE} の値の小さいサイトほど被害が低減される傾向が認められる．

6. まとめ

トルコの RC 造建物を対象に，長戸・川瀬 (2001)³⁾と同様の手法により，地盤 - 建物群動的相互作用モデルを同定した．また，1999 年コジャエリ地震時に，地盤との動的相互作用により低層建物の被害が最大 5 割程度低減された可能性を示した．

謝辞：震源断層モデルに基づく地震動シミュレーション解析では，防災科学技術研究所の Nelson Pulido 博士の協力を得た．記して謝意を示す．

【参考文献】 1) 建築学会：1999 年トルココジャエリ地震災害調査報告，384pages, 2001. 2) 新井ほか：11th JEES, 317-322, 2002. 3) 長戸，川瀬：建築学会構造系論文集，544, 31-37, 2001. 4) 長戸，川瀬：月刊地球 / 号外，37, 203-211, 2002. 5) 高橋，林：建築学会大会，構造 II, 41-42, 2000. 6) Pulido, N.: 地震学会秋季大会，P201, 2003. 7) Parmelee, R. A.: 3rd JEES, 1970. 8) Shibata, A.: 7th WCEE, 4, 395-402, 1980. 9) 林ほか：建築学会構造系論文集，520, 45-51, 1999.

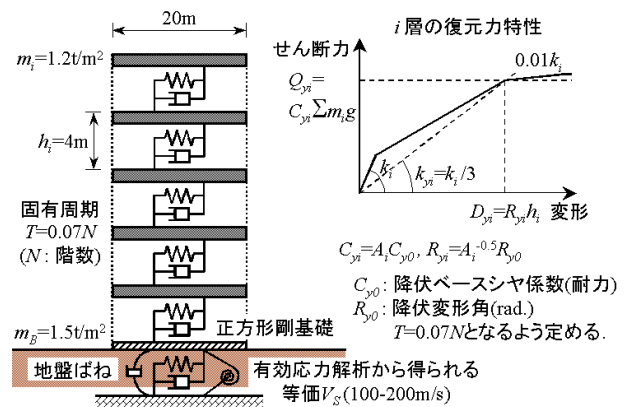


図 4 地盤 - 建物動的相互作用モデルの概要

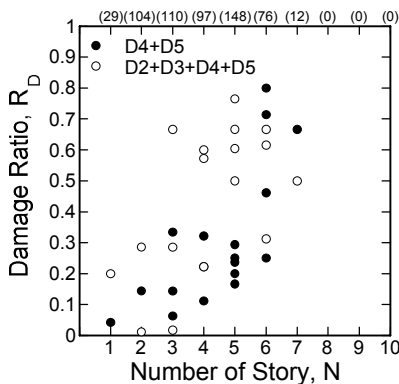


図 3 サイト A-F, H での建物被害率¹⁾

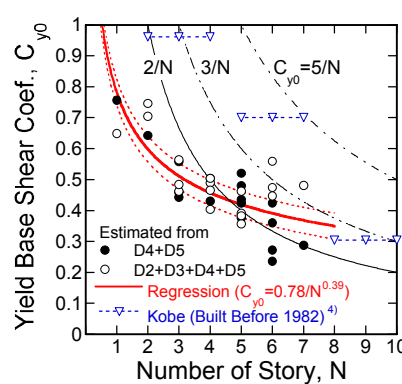


図 5 推定された建物耐力と回帰式

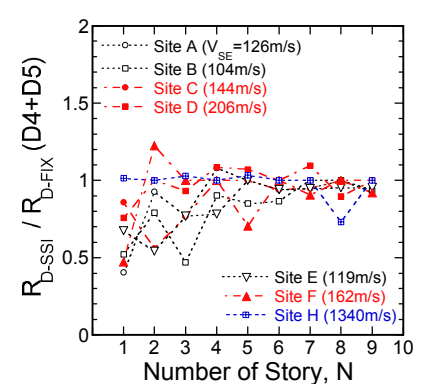


図 7 相互作用を考慮した場合と無視した場合の建物被害率の比 (大破以上)

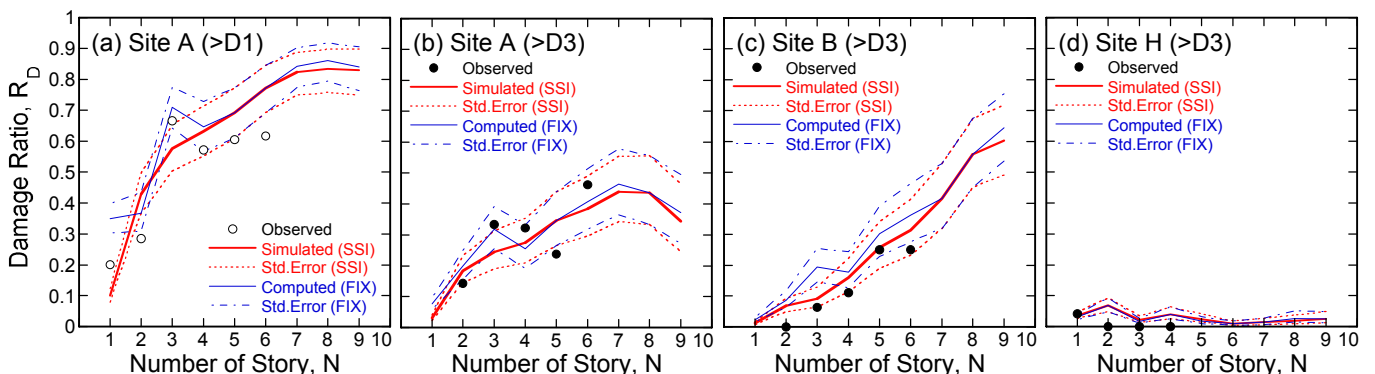


図 6 地盤 - 建物の動的相互作用を考慮した場合 (SSI) と無視した場合 (FIX) の解析被害率と実際の建物被害率との比較