

建物と地盤の動的相互作用を考慮した免震建物の上下動応答

正会員	泉 洋輔 ^{*1}
同	貝谷 淳一 ^{*2}
同	三浦 賢治 ^{*3}

動的相互作用 免震構造 上下方向震度
上下方向インピーダンス

1. はじめに

免震建物の構造設計においては、免震層の水平変位が設計クライテリア以内に収まることを検証することの他に、アイソレータに引張力が発生するかどうかの検討が必須となる。告示第2009号第6のいわゆる免震告示においては、上下方向の静的震度（以下、上下方向震度）を ± 0.3 としてアイソレータの面圧が鉛直基準強度以下となることおよび引張力が生じないことを確認するように規定されている。

ところで、文献1の試設計例では時刻歴応答解析を用いた場合において、基礎固定条件での上下動入力による免震層の上下方向震度は0.3を大きく上回る応答値を示し、設計が不可能になる場合が生じること、また、このような結果に設計的に対応するために、地盤の上下方向のインピーダンスを薄層法および実用算定法によって算定し、これを基礎固定モデルに付加した振動モデルに対する応答解析によると、上下方向震度は設計可能な値として評価されることが示されている。

本報告は、この試設計例での上下方向震度に関する知見に注目し、比較的小規模な中低層免震建物を対象として動的相互作用を考慮した免震建物の上下動入力に対する応答解析を行い、免震層における上下方向震度の分布について検討を行った結果を示すものである。

2. 解析モデル

建物モデルは、免震層を鉛プラグ入り積層ゴムとすべり支承で構成した鉄筋コンクリート造集合住宅3, 5, 8階建て、基礎は場所打ちコンクリート杭を用い、杭径を1000~1200としていた。地盤モデルは図1に示すPS検層が実施された実地盤3ケース（Site-1 Site-2 Site-3の順に軟弱地盤となる）とし、各地盤に対して上記3ケースの建物を対応させた。

入力地震動は、解放工学的基盤面で規定される告示第1461号の水平動の目標スペクトルに上下動成分係数¹⁾を乗じた目標スペクトルに適合するものとし、位相は八戸港湾、JMA神戸それぞれのUD成分および乱数の3波形とした。これを地盤モデルの工学的基盤へ入射し、線形応答解析（各地層の減衰定数は2%）によって地表面での加速度波形を計算した。

上下方向のインピーダンスは、実務設計での簡便性を重視して文献1で提案されている実用算定法によって算定した。単杭の鉛直方向地盤ばね（杭周上下地盤ばねおよび杭先端上下地盤ばね）は、レベル2地震動による自由地盤の等価線形解析で得られる等価物性値から算出し、群杭係数は土方らの算定手法に

よった。また、インピーダンスの減衰係数は過大評価とならないように地盤の1次固有振動数時の値とした。応答解析は基礎固定モデルと相互作用モデル（図2）の2ケースで実施した。

3. 解析結果

図3に地表面での上下動の加速度応答スペクトル（減衰定数5%）を示す。Site-3の軟弱地盤では、0.1秒付近に他の2つの地盤に対して約1.6倍のスペクトル値のピークを示している。図4に計算したインピーダンスの振動数依存特性を示す。図中には、地盤の1次固有振動数、連成系の1次固有振動数をプロットしている。各地盤において8階建てモデルの連成系の1次固有振動数が、3, 5階建てモデルより大きいのは、アイソレータの配置個数の違いによるものである。インピーダンスは地盤の硬軟の影響が表れており、地盤ばねである実部 K_{VG} はSite-3が最も小さく、また、減衰に関する虚部 C_{VG} はSite-3で大きく評価されている。図5に上下方向震度の最大応答値分布を基礎固定（FIX）モデルと相互作用（SSI）モデルを比較して示す。これによると、免震層の上下方向震度は、FIXモデルでは0.59~1.26、SSIモデルでは0.33~0.61の範囲となっている。地盤の硬軟で上下方向震度を比較すると、FIXモデルではSite-1の方が小さく、逆にSSIモデルではSite-3の方が小さくなる傾向が見られ、明らかに動的相互作用の影響が現われている。また、動的相互作用を考慮することによって、上下方向震度の分布は入力地震動によらず収束する傾向を示すものの、地盤条件によって上下方向震度が0.3以上となる結果が得られた。建物階数が大きいほど、側柱や隅柱は地震時の変動軸力が大きくなりアイソレータの引張に対する検討がクリティカルなることを考慮すると、 ± 0.3 を用いて設計を完了することには十分注意する必要がある。

4. まとめ

以上、比較的小規模な中低層免震建物を対象として動的相互作用を考慮した免震建物の上下動の応答解析を行い、設計用の上下方向震度の分布性状について検討した。本解析の範囲では上下方向震度としては0.3の10%増となる1/3を採用する方が安全側の評価となる結果を得た。また、文献1で示されている上下方向のインピーダンスの算定法は、実務設計において比較的少ない計算量で建物モデルを現実的なモデルに近づけるのに有効なものであることを確認した。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，2006.3

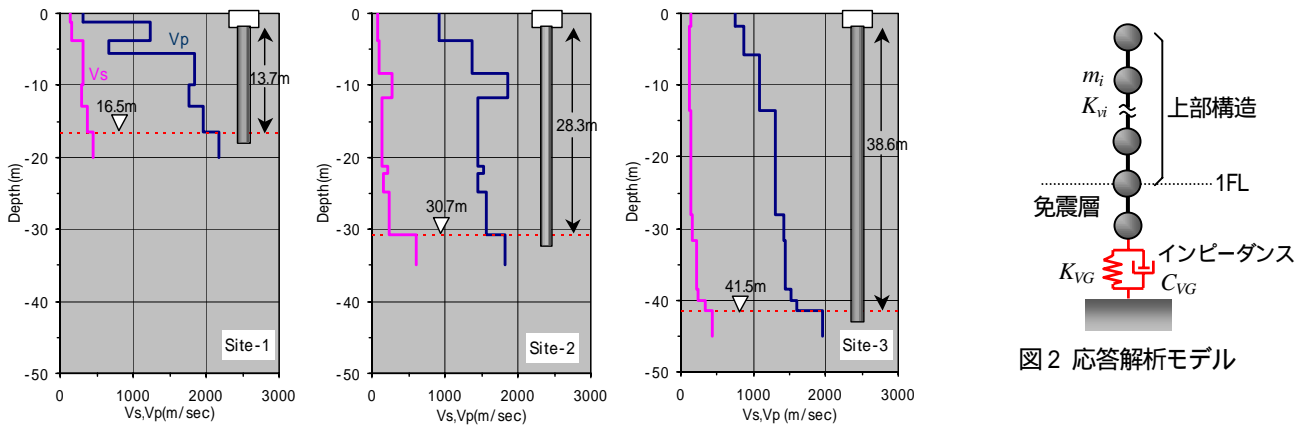


図1 地盤モデル

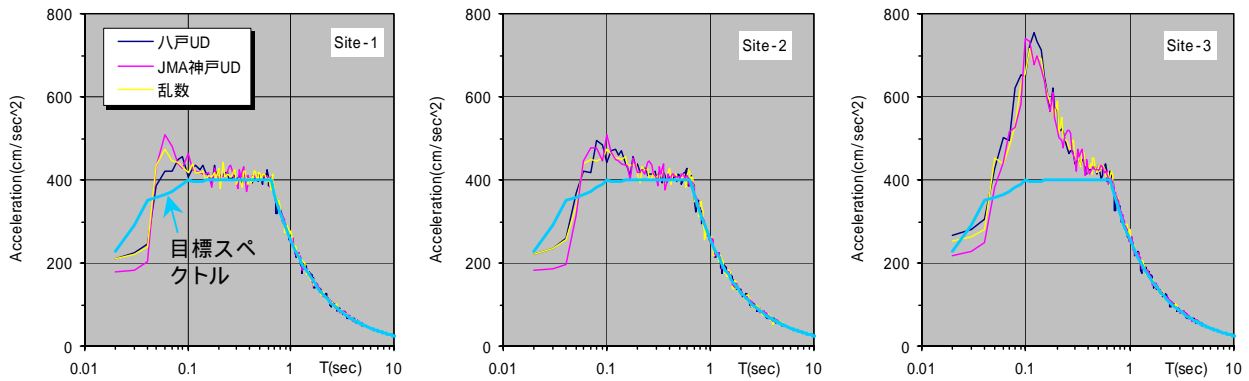


図3 地表面での加速度応答スペクトル (h=0.05)

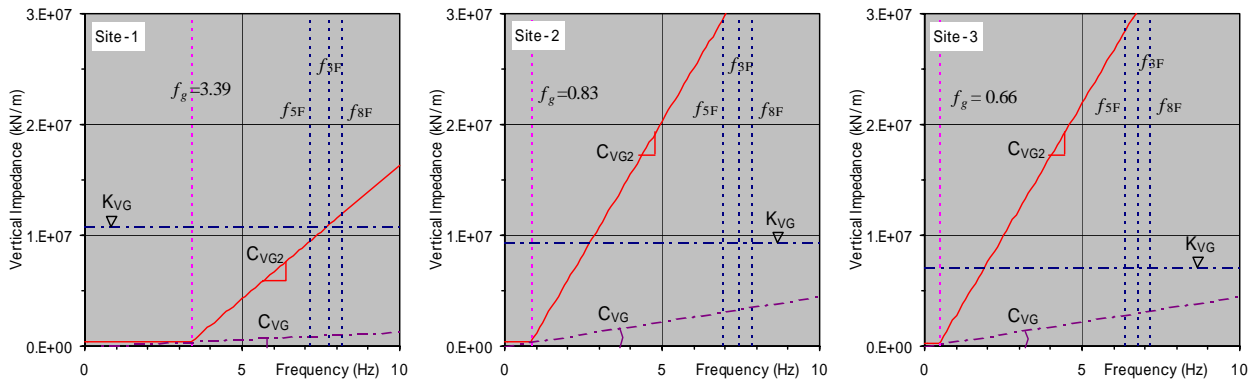


図4 上下方向のインピーダンス (f_g : 地盤の1次固有振動数, f_{3F} : 連成系1次固有振動数)

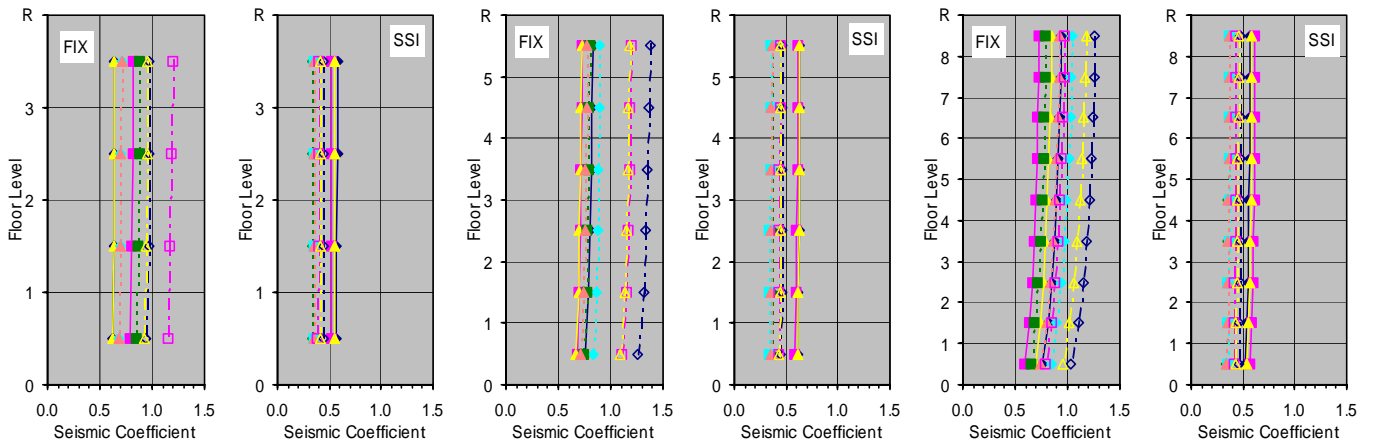


図5 上下方向震度の分布 (実線: Site-1, 点線: Site-2, 一点鎖線: Site-3, : 八戸, : JMA 神戸, : 乱数)

*1 (株)能勢建築構造研究所・博士(工学)
 *2 (株)能勢建築構造研究所・修士(工学)
 *3 広島大学大学院工学研究科 教授・工博

Nose Structural Engineering Inc., Dr. Eng.
 Nose Structural Engineering Inc., M. Eng.
 Prof., Graduate School of Eng., Hiroshima University, Dr. Eng.