

継続的地震観測記録に基づく異なる構造種別の中層建物の地震応答特性

正会員 ○藤網晋太郎*¹ 同 福和伸夫*²
同 中溝大機*³ 同 飛田 潤*⁴

継続的地震観測 地震動包絡波形 建物応答増幅
瞬時振動数 一次元せん断連続体

1. 背景と目的

建物の耐震性能を把握する手段として、大地震時における建物被害調査結果は有効であるが、極めて稀に発生する大地震のみでは、建物被害に影響を与える地震動の周期特性や地盤条件、建物の構造種別や規模等、種々の要因について詳細な分析はなかなか難しい。これを補うものの一つとして、中小地震時における建物の地震観測がある。複数の建物における長期にわたる中小地震時の建物応答観測記録を分析することで、各建物の振動特性を定量的に評価することができる。

以上を踏まえ、本論では、本研究グループで継続的に行っている地盤及び建物の地震観測記録に基づき、構造種別の異なる建物を対象として、入力地震の特性と建物応答増幅度の関係について分析する。また、建物―地盤の簡易なモデル化によって、現象の説明を試みる。

2. 対象建物・地震観測の概要

本論では名古屋大学東山キャンパス構内に立地する構造種別の異なる 3 棟の中層建物を対象とする。図 1 に建物概形、表 1 に建物概要を示す。地震観測には主にサーボ型加速度計を用い、それぞれ建物頂部、建物基礎、地表の 3 点に加え、ねじれやロッキングを把握できる箇所を設置している。但し、建物②はロッキングを分離できる分析状況にないため、本論では基礎固定系の分析は行わない。データの収録はすべて 100 Hz サンプリングで行っている。なお、東山キャンパスは前・中期更新世の洪積層である八事・唐山層に位置しており、耐震設計における地盤種別では第 2 種地盤に分類され、工学的基盤に浅の卓越振動数は、おおむね 1~1.6 Hz である。

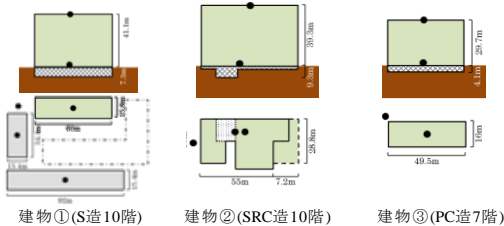


図 1 建物概形

表 1 建物概要

建物No.	①	②	③
構造種別	S造	SRC造	PC造
階数	地上 10階 地下 1階	地上 10階 地下 1階	地上 7階 地下 1階
軒高	41.1 m	39.3 m	29.7 m
建築面積	987 m ²	1501 m ²	852 m ²
構造形式	ラーメン構造	耐震壁付ラーメン構造	ラーメン構造
基礎・杭種別	場所打ち杭	PHC杭	PHC杭
杭長	41.7 m	48.0 m	36.0 m
根入れ深さ	GL-7.3 m	GL-2.5 m	GL-4.1 m
観測された地震観測記録	164	61	344
観測期間	2004.7~	1999.3~	2004.5~

3. 地震動包絡波形と瞬時振動数を用いた建物応答増幅

本節では、地震内での地震動の卓越振動数の変化に着目して、地震動の瞬時振動数 f_{gr} を用いた地動及び建物応答の卓越振動数と、地震動包絡波形の比から求めた建物

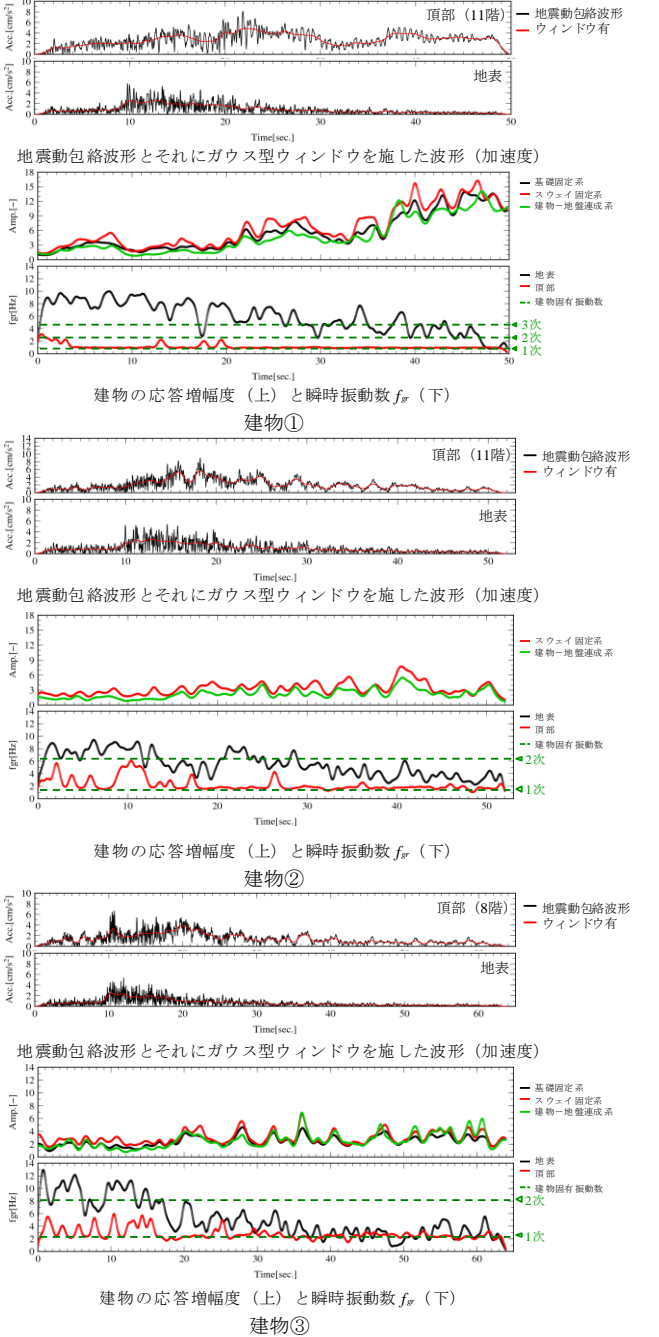


図 2 地震動包絡波形と建物応答増幅、及び建物と地盤の瞬時振動数

の応答増幅度の関係を分析する。この方法では、地震内での卓越振動数の変化による建物の応答増幅度の変化を簡易的に捉えることができると考えられる。

2009 年 2 月 18 日に近傍で発生した岐阜県美濃中西部の地震 (M5.2) における建物①、②、③の EW 方向での加速度波形を例とする。図 2 に建物頂部と地表の地震動包絡波形と、ガウス型ウィンドウを施した包絡波形を示す。また、建物-地盤連成系、及びスウェー固定系、基礎固定系の建物応答増幅度、建物頂部と地表での瞬時振動数を示す。参考として、統計的に算出した伝達関数より推定した建物-地盤連成系の建物の 1~3 次固有振動数を図中に破線で示す。まず、主要動付近に着目する。建物応答増幅度は、建物①で約 1.5~8.0 倍、建物②で約 1.5~4.0 倍、建物③で約 1.5~5.0 倍を示す。建物頂部の f_{gr} は主に建物の 1 次固有振動数付近を示しているが、地表の f_{gr} は建物の固有振動数と比べて高振動数側であるため、やや小さな増幅度をとっている。次に、地震の後半では、地表の f_{gr} の値は 1~2 Hz と建物の固有振動数に近い値をとり、建物応答増幅度が最大 15 倍程度と大きくなることが分かる。これは、建物の固有振動数が低く構造物の内部減衰の小さい建物①で顕著であり、地盤と建物の共振現象により、建物応答増幅が大きくなるためと思われる。

4. 1 次元せん断連続体モデルを用いた建物応答増幅の分析

図 3 に示すような、高さ H 、半径 r の一次元せん断連続体が、拡張一次元せん断土柱で支えられている問題を考える。これは、ロッキング動が抑制されやすい杭基礎構造物や、構造物高さに比べ基礎面積の大きい構造物を想定したことに相当する。式 1 で定義した係数を用いると、地盤の応答に対する建物頂部の応答 u_b/u_g は式 2 で表すことができる¹⁾。

$$\alpha_0 = \frac{\rho_g V_g}{\rho_b V_b} \quad \beta = \frac{8}{\pi(2-\nu)} \quad k_g = \frac{\omega}{V_g} \quad (式 1)$$

$$a_0 = \frac{\omega r}{V_g} = k_g r \quad a_b = \frac{\omega H}{V_b} = k_b H \quad V_b^* = \sqrt{1+2h_b i} V_b$$

$$\frac{u_b}{u_g} = \frac{\alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{a_0}\right)}{\alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{a_0}\right) \cos a_b + i \sin a_b} \quad (式 2)$$

ここで、 ρ_g, V_g, ν は地盤の質量密度とせん断波速度、ポアソン比、 ρ_b, V_b, V_b^* は連続体の質量密度とせん断波速度、内部減衰 h_b を複素剛性で考えた際の等価せん断波速度である。

本論で対象とする 3 棟の建物について、式 2 を用いてモデル化を行った。なお、表 2 に示すモデルの物性値は、設計値や地盤調査、観測記録から算出した。また、図 2

について、横軸に建物頂部の瞬時振動数、縦軸に建物応答増幅度をとることで、建物の周波数-応答増幅度の関係をみる事ができる。各建物について、図 4 に 3 建物で共に収録された地震の加速度波形 EW 方向での建物頂部の瞬時振動数と建物-地盤連成系の建物応答増幅度の関係、及び一次元せん断連続体モデルに置換した際の周波数と建物応答増幅度の関係を示す。建物の固有振動数付近では、観測記録とモデルでは対応がみられ、建物①で最も建物応答増幅が大きい。式 2 の共振時 ($a_b = \pi/2$) において、構造物の内部減衰が小さい場合、扁平な構造物では、揺れの増幅度は地盤と構造物の波動インピーダンスの比 α_b によって定まることがわかる。また、堅固な重量構造物の応答は増幅されにくく、柔らかく軽量の建物ほど増幅されやすいことになる。式 2 において、後者の方が、 h_b の影響が大きいので、内部減衰の大小による増幅度の差が大きくなる。図 4 の観測記録では、地盤条件はほとんど同じであるため、構造物の内部減衰が小さい建物①で最も応答増幅が大きくなっており、一次元せん断連続体モデルで説明できることが確認できる。

5. まとめ

本論では、継続的な地盤及び建物の地震観測記録に基づき、構造種別の異なる 3 棟の建物を対象として、入力地震の特性と建物の応答増幅の関係について分析した。また、建物を一次元せん断連続体モデルへ置換することで、現象の説明を試みた。まず、観測記録より、地盤の卓越振動数が建物の固有振動数付近であるときは、建物と地盤の共振により建物の応答増幅が大きくなることが分かった。また、建物を一次元せん断連続体モデルに置換することで、軽量な建物では、構造物の内部減衰が建物の応答増幅に与える影響が大きいことが確認できた。

	建物①	建物②	建物③
V_b [m/s]	154.5	295.5	338.6
ρ_b [tf/m ³]	0.2	0.3	0.4
H [m]	41.1	39.3	29.7
r [m]	17.7	21.9	16.5
h [%]	1.0	2.0	2.5
V_g [m/s]	250.0	220.0	280.0
ρ_g [tf/m ³]	2.0	2.0	2.0
ν [-]	0.5	0.5	0.5

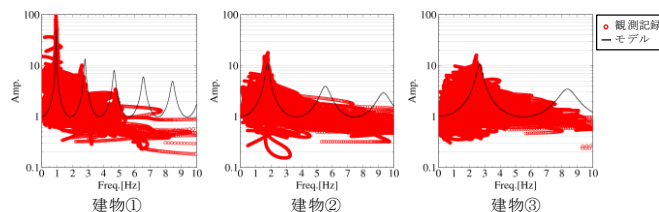
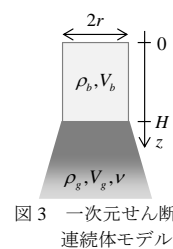


図 4 一次元せん断連続体モデルと観測記録の周波数-建物応答増幅の関係

参考文献

- 1) 福和伸夫：建物増幅計算のシステム
(<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/data/resp/renzoku/index.html>)

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生 修士 (工学)

*2 名古屋大学防災連携研究センター 教授・工博

*3 (株) 日建設計構造設計部 博士 (工学)

*4 名古屋大学災害対策室 教授・工博

*1 Grad. Student, Grad. School of environmental Studies, Nagoya Univ., M.Eng.

*2 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*3 Structural Engineering Sec, Nikken Sekkei Ltd, Dr.Eng.

*4 Prof., Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.