

微動測定に基づく実在 RC 造建物の振動特性の評価

T O 6 K 6 7 2 H 小日向健太
指導教員 中村友紀子講師

1. 研究の背景と目的

2004年に発生した新潟県中越地震、2007年に発生した新潟県中越沖地震など、観測された地震と被害の規模が合致しない状況が起こっている。これは解析のモデル化に不十分な点があると考えられる。特に大きい地震は地盤と建物の相互作用の影響が大きいと推察され、これを考慮し正しくモデル化することが今後の耐震設計には必要である。そのため本研究では、解析モデルに地盤ばねを考慮したモデルで解析することで建物の耐震設計に重要な固有周期を検討する。

2. 対象建物

対象とした建物は、新潟大学工学部南端に建つ1982年12月竣工の地上5階建て桁行(以下EW)19.8m、梁間(以下NS)14.8mのほぼ整形な鉄筋コンクリート造建物で、隣接する校舎とはエキスパンションジョイントで区切られている。2001年から1階図書室内と屋上階のペントハウス床に地震計を設置、対象建物と隣接している実験棟横の地表上に2008年から地震計を設置し継続的に地震観測を行っている。建築棟・実験棟1階天井伏図および地震計設置位置を示す(図1)。1階は○印、屋上階は△印、地表上の設置位置を□印で表した。

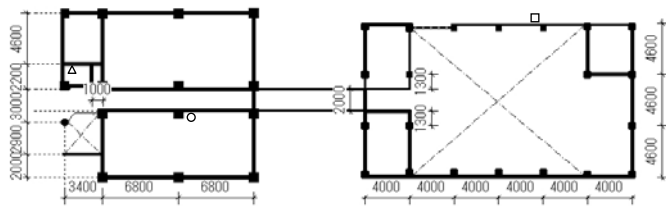


図1 建築棟・実験棟1階天井伏図と地震計設置位置

3. 微動測定・解析

地表と1階、屋上階で同時に観測されるような地震データがあまり期待できなかったので、地震計の感度を上げ、地表と1階、屋上階の微動の観測を実施することで建物の固有周期を特定していく。

本研究では、地震計の感度を200倍に上げ、測定時間は20分とし、使用するデータはEW方向とする。加速度

時刻歴波形を40.96秒ずつに区切り、30個のデータを作る。このうちノイズの生じているものを除き、高速フーリエ変換FFTで処理して検出した各振動数成分によってフーリエスペクトルを求めた。さらに、1階、地表それぞれに対する屋上階のフーリエスペクトル比を算出し比率がピークになる、すなわち1階、地表それぞれと屋上階の差が最も大きくなることから、対象建物の固有周期が推定可能となる。ただし、ここで推定したのは1次固有周期であるため、最大値が明確でない場合は最初に突出した点で読み取ることとした。

今年度は地盤の常時の振動を測定する常時微動測定を3回、人力による強制加振を1回行った。人力加振は建物屋上で24名が体重をEW方向に移動して加振した。建物の固有周期は0.25秒前後³⁾より、4周期毎(約1秒毎)に1往復の体重移動により加振した。45秒の静止後45秒の加振を繰り返すという方法で、これを10回行った。

1階、地表それぞれに対する屋上階のフーリエスペクトル比を図に表した(図2~5)。

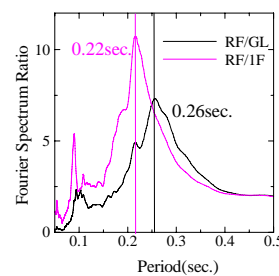


図2 2009.9.16 常時微動

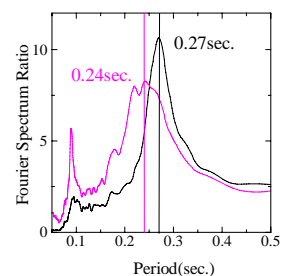


図3 2009.11.10 常時微動

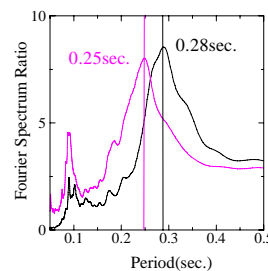


図4 2010.1.6 常時微動

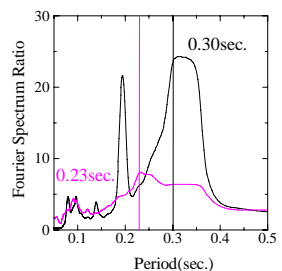


図5 2009.11.10 人力加振

4. 地盤と建物の相互作用

4-1. 概要

建物は地盤に支持されており、地震により地盤の揺れが建物に伝わり建物が振動する。地盤と建物の振動は互いに影響し合い複雑な連成振動を行うため、これを建物と地盤の相互作用と呼ぶ。これを直接的に解析で考慮する方法として、建物周囲の地盤を変形体とみなして等価なばねに置き換える方法がある。

4-2. 地盤ばねの算定

本研究では、最も一般的なモデルであるスウェイ・ロッキングモデルを使用する。地盤の変形成分のうち、特に建物の応答に影響を及ぼす水平変形と回転変形を考慮したモデルである。

水平ばね剛性 K_h 、回転ばね剛性 K_r には、半無限一様地盤上の円形剛基礎の静的ばね剛性を用いる⁴⁾。ここで、式(1)、(2)中の G はせん断弾性係数、 r は基礎の対応円形面積の半径、 ν はポアソン比である⁵⁾。また、式(3)、(4)中の ρ は地盤密度、 V_s はS波速度、 V_p はP波速度であり、設計図書や地盤調査資料⁶⁾から得た。

$$K_h = \frac{3\pi G}{2(2-\nu)} \quad (1) \quad K_r = \frac{\pi^3 G}{4(1-\nu)} \quad (2)$$

$$G = \rho V_s^2 \quad (3) \quad \nu = \frac{1 - 2(V_s/V_p)^2}{2\{1 - (V_s/V_p)^2\}} \quad (4)$$

4-3. 固有周期の算出

建物だけの固有周期を T_0 、建物の剛性を k 、質点の高さを H とすると、相互作用効果を考慮した場合の建物の固有周期 T は式(5)のように表される⁵⁾。

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{k}{K_h} + \frac{kH}{K_r}} \quad (5) \quad T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6)$$

微動測定から得られた T_0 から k を式(6)より求め、式(5)に代入し、 T を求めたものを表1に示す。式(6)中の m は建物質量である。また、表の網掛け部分は強震記録より得られた T_0 ³⁾から求めた k を使用したものである。

表1 相互作用を考慮した固有周期

建物剛性 k N/m	観測年月日	測定固有周期 T_0 sec.(建物のみ)	算出固有周期 T sec.(相互作用)	測定固有周期 sec.(相互作用)
1.12×10^9	2009年9月16日	0.22	0.492	0.26
9.39×10^8	2009年11月10日(常時微動)	0.24	0.501	0.27
1.02×10^9	2009年11月10日(人力加振)	0.23	0.496	0.30
8.65×10^8	2010年1月6日	0.25	0.506	0.28
8.00×10^8	2009年9月16日	0.22	0.432	0.26
"	2009年11月10日(常時微動)	0.24	0.471	0.27
"	2009年11月10日(人力加振)	0.23	0.427	0.30
"	2010年1月6日	0.25	0.465	0.28

4-4. ロッキングの影響

実測値と計算値に差がみられた。地盤と建物の相互作

用は揺れが大きいほど影響が大きいと推察される。つまり、本研究のような微動測定では相互作用の影響が微小なのではないのか。そこで、屋上の両端(EW方向)に地震計を設置し、建物を回転させるロッキングばねの影響を検討した。この両端の上下動のフーリエスペクトル比が1に近いほどロッキングばねの影響はないといえ、0.23s以降では、1に近い値を示した(図6)。そこで、式(5)を使う際、ロッキングばねの影響を無視してみた場合の計算値を表2に示す。

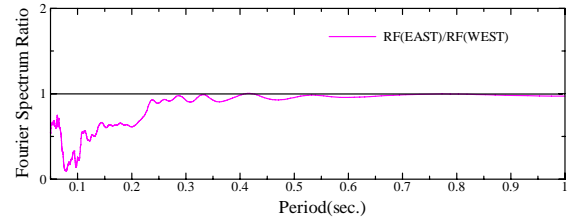


図6 建物屋上両端のフーリエスペクトル比

表2 相互作用を考慮した固有周期の再計算

建物剛性 k N/m	観測年月日	測定固有周期 T_0 sec.(建物のみ)	算出固有周期 T sec.(相互作用)	測定固有周期 sec.(相互作用)
1.12×10^9	2009年9月16日	0.22	0.281	0.26
9.39×10^8	2009年11月10日(常時微動)	0.24	0.297	0.27
1.02×10^9	2009年11月10日(人力加振)	0.23	0.289	0.30
8.65×10^8	2010年1月6日	0.25	0.305	0.28
8.00×10^8	2009年9月16日	0.22	0.265	0.26
"	2009年11月10日(常時微動)	0.24	0.289	0.27
"	2009年11月10日(人力加振)	0.23	0.277	0.30
"	2010年1月6日	0.25	0.301	0.28

5. まとめ

分析の結果、対象建物の固有周期は相互作用を考慮することで伸びる。また計算で算出する場合、微動測定のような揺れが小さいものでは、回転ばねの影響はほとんどなく、無視することで測定値に近い値を示す。しかし、建物剛性を算出する際の建物の固有周期については、揺れの大きいときの固有周期を使用した方が測定値と計算値の値は近くなった。つまり、地盤と建物の相互作用は、大きい地震ほど影響があることがわかった。このように固有周期は相互作用を考慮することで変化する。固有周期の推移を検討して、振動特性を把握することは、建物の耐震性能をより適切に評価することにつながると再確認できた。

参考文献

- 1) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、1994
- 2) 足助晃一：実観測記録に基づく鉄筋コンクリート造建物の地震応答解析、新潟大学工学部建設学科建築学コース卒業論文、2001
- 3) 土井あかり：実観測に基づくRC造学校建物の振動特性評価、新潟大学工学部建設学科建築学コース卒業論文、2003
- 4) 柴田明徳：最新 耐震構造解析 第2版、森北出版、2003
- 5) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用、1996
- 6) 柴田東、安井賢：基礎工 越後平野の地盤特性、総合土木研究所、2005

