

地震観測に基づく RC 造低層校舎の振動特性と解析との比較

日大生産工(院) ○郡司 和弥 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工 下村 修一 日大生産工(非常勤) 工藤 一嘉

1 はじめに

日本大学生産工学部津田沼キャンパス内では、2007年6月から強震観測を継続的に行っている¹⁾。

本報告では、強震観測を行っている鉄筋コンクリート造（以下、RC造）低層校舎から得られた観測記録を基に理解される振動特性の検討を行った。建物・地盤相互作用を考慮したスウェイロッキングモデル(以下、SRモデル)と基礎固定モデルを用いて時刻歴応答解析を行い、振動特性を把握するとともに観測記録と各モデル（基礎固定モデルと2種類のSRモデル）による応答性状に注目し、地震時における建物の応答について検討する。

2 建物・地盤概要及び強震観測概要

写真1に対象建物南側の写真を、図1に観測階の伏図及び軸組図を示す。対象建物は2006年竣工の日本大学生産工学部津田沼キャンパス北側に位置する建物で、地上4階建てRC造である。建物形状は、平面形が長辺41.8m×短辺38.5m、建物高さ17.36m(軒高16.16m)である。対象建物の地盤特性を図2に示す²⁾。基礎形式は直径0.7mの杭長18mのPHC杭による基礎杭である。支持層は、GL-20m付近のN値50程度以上の土層である。観測に用いている強震計はSMAC-MDU型収録器（9成分）とセンサーはサーボ型加速度計の組み合わせから成っている。建物内の地上1階、2階、屋上の3ヶ所と建物から約50m離れた自由地盤の1ヶ所（3成分）で観測を行っている。

3 観測記録による振動特性評価

3.1 地震時における建物応答

観測開始から東北地方太平洋沖地震（以下、3.11地震）発生直前までの36ヶ月間での地震時における建物短辺方向、長辺方向の1次モードにおける固有振動数及び減衰定数の経年変化を図3、4に示す。振動特性の算定には、1階と

屋上で得られた観測記録からフーリエ解析し³⁾、1階に対する伝達関数を求めた。なお、固有振動数はピーク法、減衰定数は1/√2法を用いて算出した。また、伝達関数はバンド幅を0.4HzとしたParzenのラグウィンドウで平滑化している。固有振動数は、観測を始めてから36ヶ月まではややばらつきはあるが、長辺方向は5.35Hz、短辺方向は5.55Hz付近が1次モードと推察される。減衰定数は、長辺・短辺方向ともに観測を始めてから36ヶ月間でばらつきが生じているが、長辺方向は8.7%、短辺方向は4.9%付近が上部構造の減衰定数と推察される。



写真1 対象建物南側写真

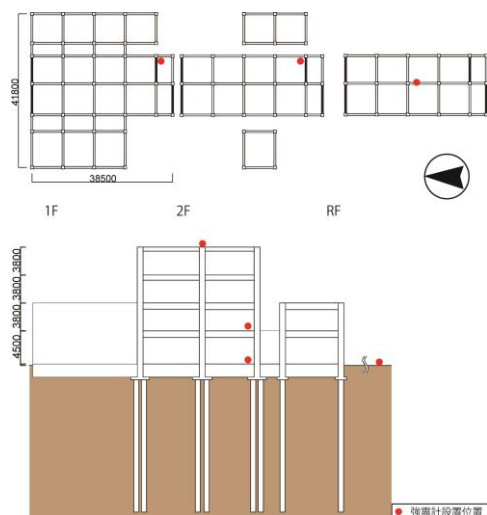


図1 強震計設置階伏図及び軸組図

Comparison of the analysis and vibration characteristics of the RC low-rise building based on strong motion records

Kazuya GUNJI, Toshiaki FUJIMOTO,
Shuichi SHIMOMURA and Kazuyoshi KUDO

3.2 入力損失効果

建物1Fと自由地盤から得られた観測記録のフーリエスペクトルを図5に示す。なお、一例として観測開始から3.11地震直前の間に起きた地震の計45波の中で最も震度が大きく、震源地が近い2008年9月21日に起きた地震波を用いて解析を行った。検討に用いた地震の概要を表1に示す⁴⁾。図5より4Hz以下の低振動数では同程度であるが、建物1Fでは5Hz付近から減少している。このことから震度3程度の地震でも1階床面と杭基礎による地盤変形の拘束等の影響により5Hz付近で入力損失効果が認められる。

4 建物 - 地盤連成系の地震応答解析

4.1 解析モデル

対象建物は、短辺方向は耐震壁付きラーメン構造、長辺方向は純ラーメン構造であることから、振動解析モデルは上部構造を4質点とした短辺方向は等価曲げせん断型、長辺方向は等価せん断型とした。各質量は固定荷重に地震力算定用積載荷重を加えて求め、上部構造の減衰係数は図4に示した観測による値を参考に短辺方向は4.9%、長辺方向は8.7%の初期剛性比例型に仮定した。

建物-地盤の相互作用考慮したSRモデルの相互作用ばねは表2に示す簡便法⁵⁾、限界耐力計算法⁶⁾（以下、限耐法と呼ぶ）により算定した。簡便法は杭諸元を考慮して各相互作用ばねの値を算定する方法である。限耐法は回転剛性には簡便法と同じであるが、その他については杭諸元を考慮せず、直接基礎として相互作用ばねを算定した。

深度 [m]	層厚 [m]	土質名	N値		密度 [kN/m ³]	S波速度 [m/s]
			20	40		
0	1.2	埋め土			21.4	120
	1.7	ローム			13.8	120
	1.7	粘土			15.3	160
	1.3	粘土質細砂			19.9	220
	2.2	粘土			15.3	280
10	17.4	細砂			19.9	340
	0.6	粘土			15.3	460
	0.9	砂質シルト			17.3	540
	8.2	細砂			19.9	540

図2 対象建物の地盤特性

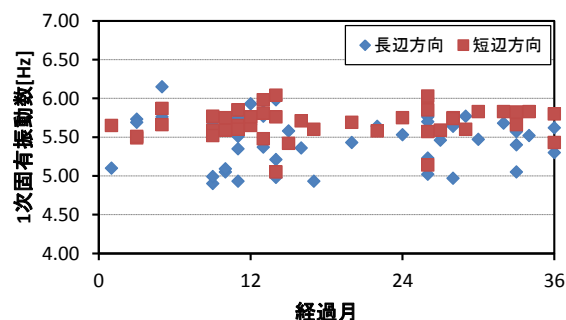


図3 地震時における固有振動数の経年変化

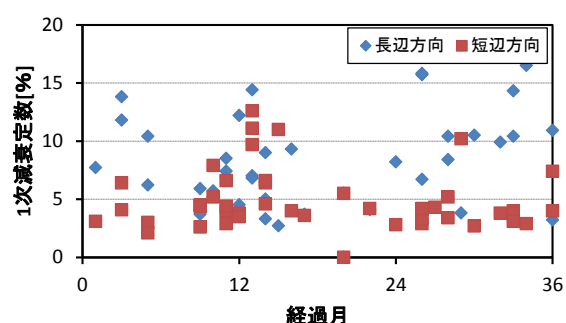


図4 地震時における減衰定数の経年変化

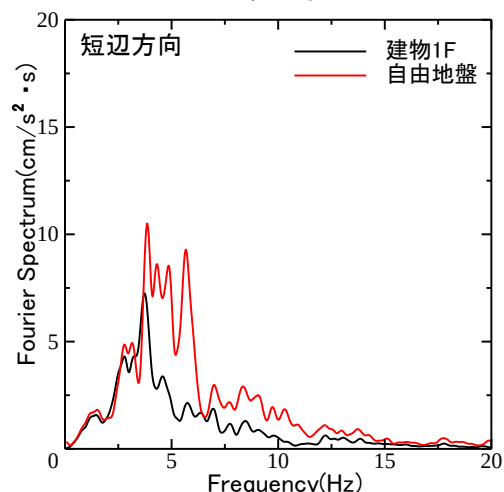
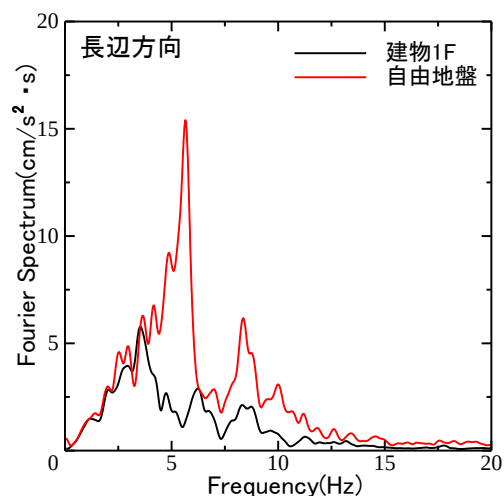


図5 基礎入力動の比較

表1 検討地震の概要

発生日時	2008年9月21日7時17分11秒
震源地	東京湾
震央	35° 36.9N 140° 03.7'E
震源深さ	71km
マグニチュード	M4.8
震度	3(習志野市鷺沼)
最大震度	3(東京, 千葉)

4.2 応答計算方法

地震応答解析におけるパラメータは上部構造の層剛性, 減衰定数および動的地盤ばねの剛性, 減衰定数とする。入力地震動は, 基礎固定モデルでは1階と自由地盤, SRモデルでは自由地盤から得られた観測記録を用いた。

4.3 地震応答解析

a)伝達関数

観測記録と応答計算結果を振動数領域において比較検討するために, 1階及び自由地盤に対する屋上階の伝達関数を図6に示す。図6より基礎固定とした場合では, 長辺・短辺方向ともに応答計算結果の方が観測値よりも応答が大きくなる結果となった。また, 応答計算において短辺方向では入力動を1Fと自由地盤とした結果はほぼ一致しているが, 長辺方向では自由地盤が大きく応答している。

一方, 建物-地盤の相互作用を考慮した場合では, 簡便法モデルと限耐法モデルともに長辺・短辺方向において2.53Hz付近に一次モードと推察されるピークが見られた。しかし, 観測では長辺方向では3.31Hz, 短辺方向では3.52Hz付近に見られたことから各SRモデルは観測よりもやや低振動数側でピークが見られた。また,

各SRモデルでの応答倍率では限耐法の方が観測記録に近い値となっている。

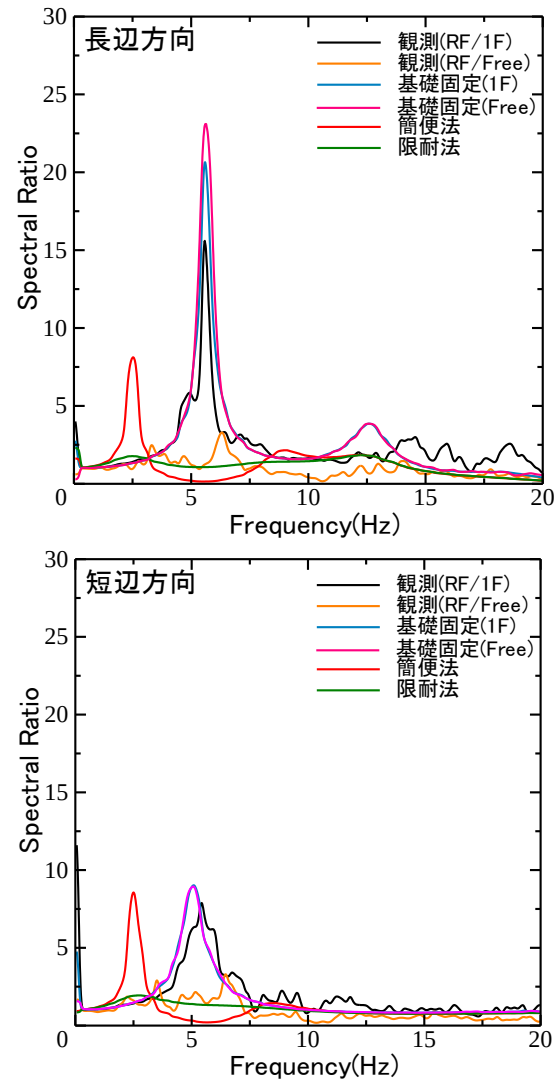


図6 観測と応答計算による伝達関数

表2 各SRモデルの地盤ばね算出式

	簡便法 ⁵⁾		限耐法 ⁶⁾	
	剛性	減衰係数	剛性	減衰係数
水平	$K_{HG} = (4N_p E_p I_p)^{1/4} (k_{jsi} N_p \beta_H^{4/3})^{3/4}$ 単杭頭地盤ばねと杭周地盤ばねの関係式に群杭を考慮したもの N_p: 杭本数 I_p: 杭の断面2次モーメント E_p: 杭のヤング係数 k_{jsi}: 杭周地盤ばね(Francisの式) β_H: 群杭係数(評価法1を採用)	$C_{HG} = \min\{N_p c_{gSi}, c_{gBi}\} \times \frac{\sum u_i}{u_1}$ c_{gSi}: Gazetasの減衰 c_{gBi}: 基礎躯体の逸散減衰 $\frac{\sum u_i}{u_1}$: 杭頭変位を1としたときの杭の変形総和	$K_H = \beta \frac{8G_1 R}{2 - \nu_1}$ 直接基礎として算定 β: コーンモデルによる成層補正係数 G_1: 第1層のせん断剛性 R: 基礎等価半径 ν_1: 第1層のポアソン比	$C_H = \rho V_S A$ 直接基礎として算定 ρ: 地盤密度 V_S: せん断波速度 A: 基礎底面積
回転	$K_{RG} = \frac{1}{12} N_p (N_p - 1) S^2 K_{VS}$ 直接基礎部分を除いた群杭全体の断面2次モーメント K_{VS}: 杭上下地盤ばね S: 平均杭間隔	$C_{RG} = \rho_b V_{Lab} I$ 基礎投影面積を接地範囲とした支持地盤部分における逸散減衰 ρ_b: 支持層の地盤密度 V_{Lab}: 支持層のLysmerの波動速度 I: 基礎底面の断面2次モーメント	簡便法と同じ	$C_R = K_R / \omega$

b) 相対変位

検討地震における上部構造の変位を比較するために、各モデルと観測値の最大相対変位の高さ方向分布を図7に示す。観測記録の相対変位は、加速度時刻歴波形にバンドパスフィルター（4~7Hz）を掛け、2回積分したものである。図7より基礎固定モデルは上層において長辺・短辺方向ともに各SRモデルよりも大きく応答している。さらに、1Fと自由地盤での異なる入力動では入力損失が考慮されている1Fの方が観測記録に近い値となった。各SRモデルでは2階までは観測記録とよく対応しているが、屋上階の最大相対変位は基礎固定モデル、限耐法モデルよりも簡便法モデルが長辺・短辺方向ともに観測記録に最も近い値となった。

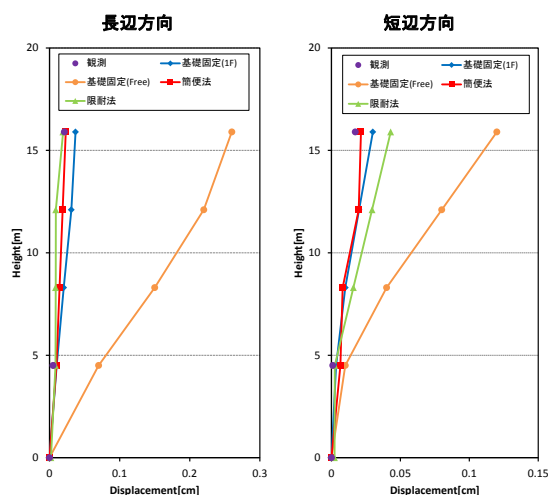


図7 最大相対変位の高さ方向分布

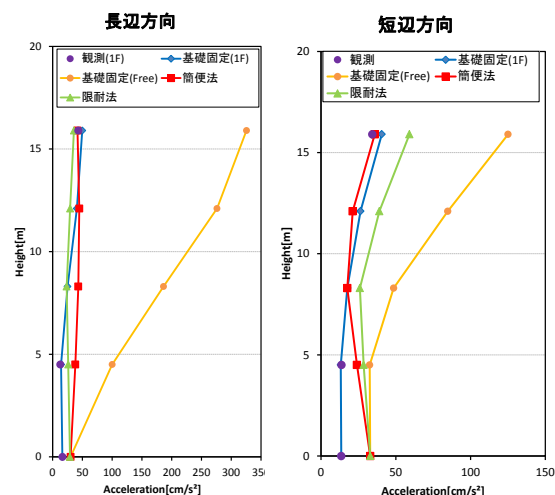


図8 最大絶対加速度と高さ方向分布

c) 最大絶対加速度

地震時における地盤の影響をさらに考察するために、各解析モデルでの応答計算結果と観

測記録の最大絶対加速度の高さ方向分布を図8に示す。図8より簡便法モデルは長辺・短辺方向ともに屋上階において観測記録とよく対応しているが、2階では1Fを入力動とした基礎固定モデルの方が観測記録によく対応している。しかし、図3から自由地盤では5Hz付近の入力損失が考慮されていないため、自由地盤を入力動とした基礎固定モデルは他モデルよりも大きく応答している。また、各SRモデルでは観測記録よりも地上から2階までの応答が大きくなっている。

5 まとめ

本報告では日本大学生産工学部津田沼キャンパスにおける強震観測から、RC造地上4階建ての振動特性の実態を把握するため、地盤の影響を考慮した2つのSRモデルを用いて地震応答解析を行い、観測記録と比較した。検討の結果、相対変位による上部構造の応答性状では簡便法モデルが観測記録とよく対応していたが、絶対最大加速度の検討では入力地震動が自由地盤の観測記録だと入力損失が考慮されていないため、各SRモデルにおいて地上から2階までの応答が大きくなった。入力地震動は入力の相互作用を取り入れた実効入力動で検討する必要があるため、今後の課題としてさらに深めたい。

参考文献

- 金子皓樹，須賀一裕，森井達之，師橋憲貴，工藤一嘉，桜田智之：日本大学生産工学部内におけるRC造およびS造建築の強震観測と地震時振動性状の把握，第13回(平成22年)日本地震工学シンポジウム，pp.2832-2839
- 金子皓樹，須賀一裕，橋本真理子，桜田智之，師橋憲貴，工藤一嘉：強震観測及び微動観測に基づく建物振動性状の把握と評価法の検討—5号館と37号館の振動特性—，平成21年度日本大学生産工学部卒業研究論文，2009.3
- 建築研究所viewwave:
<http://www.smo.kenken.go.jp/~kashima/viewwave/index.html> .2016.10.10
- 気象庁ホームページ:
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/index.html> .2016.10.10
- 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，日本建築学会，2006.2
- 国土交通省住宅局建築指導課ほか編：2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説，工学図書株式会社，2001.3