

木造家屋の地震荷重による倒壊シミュレーション

福井大学工学部 学生員 ○ 安重光代

福井大学工学部 正会員 福井卓雄

1 はじめに

兵庫県南部地震においても見られたように、地震による人的な被害の多くは木造家屋の倒壊により生じる。本研究では、比較的単純ではあるが、構造物の大変形を考慮した力学モデルを用いて、地震による木造家屋の倒壊過程をシミュレーションすることを試みる。

2 シミュレーションモデル

木造軸組構造の解析モデルとして、図のように、柱が回転バネによって接続されているモデルを考える。主な質量は、屋根部分 M_2 と 2 階床部分 M_1 であると考え、それぞれを柱の先端に位置させた。また、壁を含めた柱部分の質量として、柱の中心に小さな質量 m_1 、 m_2 を配した。1 階および 2 階基部の回転バネのバネ定数を K_1 、 K_2 、柱の長さを l_1 、 l_2 とする。座標系として、地盤に固定した慣性系を考え、地震の入力加速度を $\ddot{z}$ とした。1 階および 2 階の柱の回転角を θ_1 、 θ_2 とするとき、運動方程式は次のようになる。

$$I_1 \ddot{\theta}_1 = F_1 - K_1 \theta_1 + K_2 (\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

$$I_2 \ddot{\theta}_2 = F_2 - K_2 (\theta_2 - \theta_1) \quad (2)$$

ここに、 I_1 、 I_2 は 1 階および 2 階の柱基部に関する慣性モーメントで、以下のようになる。

$$I_1 = \left(M_1 + \frac{m_1}{4} \right) l_1^2, \quad I_2 = \left(M_2 + \frac{m_2}{4} \right) l_2^2 \quad (3)$$

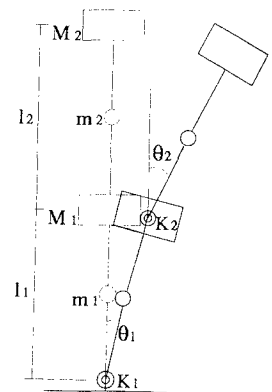
また、 F_1 、 F_2 は重力加速度および地震入力による慣性力のモーメントである。

$$F_1 = l_1 \left(M_1 + \frac{m_1}{2} \right) (g \sin \theta_1 + \ddot{z} \cos \theta_1) \quad (4)$$

$$F_2 = l_2 \left(M_2 + \frac{m_2}{2} \right) (g \sin \theta_2 + \ddot{z} \cos \theta_2) \quad (5)$$

ここでは、軸組の大変形による重量効果を考慮するために、重力加速度 g を考慮している。

柱を支えるバネは、接合部の構造、筋かい・ほうづえの有無、壁の材質とその量などの影響を受け、きわめて複雑な非線形バネとなる [1, 2, 3]。ここでは、基本的に線形バネとし、軟化効果として、変形がある値を越えたときにバネ定数を一定比率で低下させるという単純なモデルを使用した。

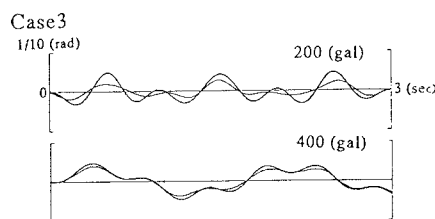
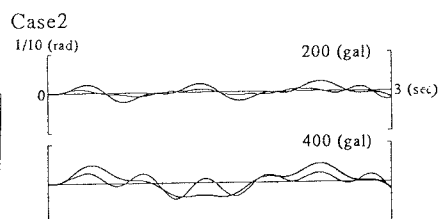
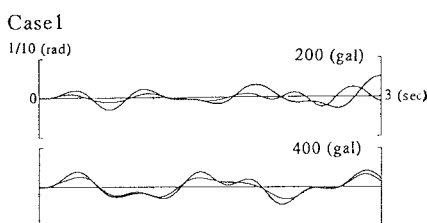


3 解析例

ここでは、[1, 2, 3, 4] を参考にして、表のように M_1 、 M_2 、 K_1 、 K_2 を決めた。他のパラメータについては「建築便覧」を参考にした。前述の軟化効果として、回転角が $1/60 \text{ rad}$ を越えたときに、バネ定数を $1/3$ とするようになった。

図には、入力振動として、周期 0.5sec の sin 波を入れたときの回転角の応答を示している。細い線が 1 階、太い線が 2 階の応答である。各図において、上側は 200gal の入力、下側は 400gal の入力を与えている。図の横軸の範囲は 0~3sec、縦軸の範囲は $\pm 1/10\text{rad}$ である。

	$M_1(t)$	$M_2(t)$	$m_1(t)$	$m_2(t)$	$K_1(t/\text{rad})$	$K_2(t/\text{rad})$	$l_1(\text{m})$	$l_2(\text{m})$
Case 1	10	7.5	1	1	10000	6000	2.46	2.46
Case 2	10	12.5	1	1	10000	6000	2.46	2.46
Case 3	10	7.5	1	1	6000	6000	2.46	2.46



Case 1 は 1 階と 2 階の質量比およびバネ定数比が標準的な構造の場合である。自由振動の周期は約 0.8 秒である。2 階の変形の方が 1 階の変形よりも大きく、入力加速度が 200gal のときには約 2 秒付近で 2 階のバネが軟化し 3 秒付近で 1 階のバネが軟化している。バネの軟化に伴って、変形も増大している。入力加速度が 400gal のときにはかなり初期にまず 1 階のバネが軟化している。したがって、1 階の変形は大きく、1 階と 2 階の変形の差は小さい。

Case 2 は 2 階屋根の質量を大きくしている。そのために、2 階が振れやすい構造となっており、自由振動も一様ではない。周期はやや大きくなっている。入力加速度が 200gal のときには Case 1 と同様に約 2 秒付近で 2 階のバネが軟化している。入力加速度が 400gal のときにはかなり初期に 1 階および 2 階のバネが軟化し、変形は 200gal の場合よりもかなり大きく、また、1 階と 2 階の変形の差は大きくなっている。

Case 3 は 1 階のバネの剛性をやや弱くしている。200gal 入力の場合にはこの期間内には軟化は起こっていないようであるが、1 階と 2 階の変形の差は比較的大きい。400gal 入力の場合には、初期に 1 階のバネが軟化し、2 階部分は 1 階と連動して振動している。したがって、1 階と 2 階の変形の差は小さくなっている。

いずれの場合においても、入力加速度の違いによる変位応答のちがいは大きい。現象を正しく把握するためにはバネの非線形効果を適切に表現してやる必要がある [5]。今後はもう少し複雑なバネモデルを導入して構造特性の違いによる応答の特性を評価していきたい。

参考文献

- [1] 河合直人, 山下伸夫, 坂本 功, 大橋好光: 伝統的木造住宅の水平加力ならびに振動実験, その 2 水平加力実験, 日本建築学会大会講演梗概集, 昭和 60 年 10 月, pp. 1229-1230, 1985.
- [2] 坂本 功: 木造住宅の非線形性と等価な固有周期, 日本建築学会大会講演梗概集, 昭和 61 年 8 月, pp. 1187-1188, 1986.
- [3] 大橋好光, 坂本 功: 木造住宅の地震応答解析, その 2 荷重変形曲線をトレースする復元力モデルによる解析, 日本建築学会大会講演梗概集, 昭和 60 年 10 月, pp. 1237-1238, 1985.
- [4] 中島史郎, 有馬孝禮, 中村 昇: 木質構造の振動機構に関する研究, (1) 仕口部分の変形を考慮した軸組工法壁体の振動解析, 日本建築学会大会講演梗概集, 1990 年 10 月, pp. 179-180, 1990.
- [5] 大橋好光, 坂本 功: 木造住宅の地震応答解析, その 3 いくつかの地震波を入力して, 日本建築学会大会講演梗概集, 昭和 61 年 8 月, pp. 1185-1186, 1986.