

連結による既存木造住宅の耐震補強効果

指導教官 井戸田 秀樹助教授

岩下 朱示

1. はじめに

近年、振動特性の異なる構造物を意図的に連結して建物全体の耐震性能を高める研究がいくつか行われている¹⁾。一方、図1に示すような住宅の密集地域では、耐震補強を必要とする構造上不適格な住宅が比較的多く、倒壊時の隣接建物への影響を含め有効な耐震補強方法が必要とされている。

本研究では、木造住宅の構造特性が個々に違いがあることに着目し、住宅の密集地域での住宅同士を制御効果の大きい棟間ダンパー²⁾を用いて連結することで耐震補強を行うことを提案する。ここでは既存木造住宅の調査をもとに作成した解析モデルを用いて弾性地震応答解析を行い、解析結果を統計的に考察することでその有効性を検討する。

2. 解析モデルの設定方法

本研究では、住宅密集地域における在来木造住宅の壁量調査データ³⁾に基づき解析モデルの設定を行う。モデル設定に用いたデータの概要を表1に示す。調査データ数は48棟であり、全て2階建て住宅である。

2-1 剛性の算出

各層の剛性は表1の壁量に基づいて設定するものとする。ここでは調査データの壁量をもとに単位耐力壁長さ当たりのせん断剛性 k_0 をすべて壁倍率2.0の壁と見なして定める。 k_0 は壁倍率 n の定義における剛性評価の項目に基づき、層間変形角 $\gamma=1/120(\text{rad})$ 時の耐力 P を求めて、 P まで線形挙動すると仮定して次式のように算出した。

$$k_0 = \frac{P}{\delta} = \frac{n \times 130 \times (4/3)}{1/120 \cdot h} \quad (1)$$

上式において δ は変位、 h は階高を示し本研究では2.7(m)とする。また、130は n の基準強度(N/m)、 $4/3$ はばらつき係数である。 k_0 に表1で与えられた壁長さ l を乗じて住宅の剛性 k とする。

$$k = n \times l \quad (2)$$

また1、2階の剛性の統計的相関係数は60%とする。

2-2 質量の算出

質量 m は、既往の研究³⁾で報告されている木造住宅の各階の単位延床面積当たり

の質量、1階を $0.162/g(t/m^2)$ 、2階を $0.192/g(t/m^2)$ (g は重力加速度 $9.8m/s^2$)と延床面積 A の関係式(3)、(4)を用いて1階質量 m_1 、2階の質量 m_2 の算出を行う。ここでは、延床面積の60%を1階の床面積、40%を2階の床面積とする。

$$m_1 = 0.6A \cdot 0.162/g \quad (3)$$

$$m_2 = 0.4A \cdot 0.192/g \quad (4)$$

1階、2階の質量の統計的相関係数は100%とする。

以上の結果を表2に示す。本研究ではモデルの剛性と質量を対数正規分布による確率変数として3Point-Estimate法(以下、3Point法と呼ぶ。)による統計的処理を行う。

3. 連結による地震応答解析

3-1 応答解析方法

解析対象は、2章で設定した統計量を用いて、図3に示すようにせん断質点系モデルに等価した木造2階建住宅を1階部分で連結した2層3連結モデルとする。なお、弾性範囲内での減衰が応答量に与える影響を厳密に考慮するため、粘性減衰マトリクスを含めた一般固有値問題から系のモード減衰を算出し、運動方程式の解を求める。また、連結部は構造的にバネと粘性ダンパーで構成され、偏心は考慮しないものとする。この連結モデルに地動加速度を入力し、運動方程式は次式を用いる。

また、入力地震動にはEl-Centro NS及びEW(1940)の原波を用いる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{1\}\ddot{y} \quad (5)$$

$[M]$: 質量マトリクス

表1 壁量及び延床面積

			東西方向	南北方向
壁量	1F	平均値 (m)	19.5	22.7
		変動係数	0.54	0.52
	2F	平均値 (m)	14.1	15.8
		変動係数	0.46	0.53
延床面積	1F	平均値 (m^2)	78.3	
		変動係数	0.39	
	2F	平均値 (m^2)	49.5	
		変動係数	0.43	

表2 剛性・質量

			東西方向	南北方向
剛性	1F	平均値 (N/m)	2.95×10^3	3.42×10^3
		変動係数	0.537	0.521
	2F	平均値 (N/m)	2.13×10^3	2.39×10^3
		変動係数	0.465	0.528
質量	1F	平均値 (t)	0.012	
		変動係数	0.200	
	2F	平均値 (t)	0.01	
		変動係数	0.200	



図1 密集した住宅地
(名古屋市瑞穂区御劔地区)

$\{x\}$: 建物の応答変位
 $[C]$: 粘性減衰マトリクス
 $[K]$: 剛性マトリクス
 $\ddot{y}$: 入力地動加速度

3 - 2 最適連結条件の決定方法

連結部材の特性は、1次減衰定数 h が最大値を取る時の連結バネ剛性 K と粘性減衰定数 c を持つようなものとする。 K の最適値は2章で定めた解析モデルの k と同値の範囲内で決定した。図4に南北方向での解析結果を示す。この図より K を小さくするほど h の最大値が敏感かつ大きくなり、 c を大きくすると h は K の値に関係なくある1点に集中する。このことより南北方向は $K=980$ (kN/m), $c=23$ (N/m), を最適連結条件とみなし、この振動特性を持つ連結部材で各住宅を連結するものとする。

4. 連結による応答制御効果

南北方向B棟2階の非連結時と連結時の時刻歴応答曲線を図5に示す。この解析結果は連結時でのB棟、C棟に比して、A棟の剛性が小さい値を設定して解析を行った結果である。解析モデルの質量は各棟の1階を0.012(t)、2階を0.010(t)とし、剛性はA棟の1階を1450(kN/m)、2階を1280(kN/m)とし、B棟、C棟においては共に1階の剛性2370(kN/m)、2階の剛性を3420(kN/m)とした。図5より連結時には3章で求めた最適連結条件の効果により、最大応答変位 $\delta_{\max}$ において80%程度の応答制御効果が表れたことが分かる。また、応答も全体的に押さえられていることが分かる。

図6は、南北方向2階の非連結時及び連結時における各棟ごとの $\delta_{\max}$ の確率分布を3Point法の平均値、標準偏差の値を用いて、分布形を対数正規分布と想定することによって表したものである。連結時の最大応答変位の確率分布形は、非連結時のそれと比べると原点側によった形状となっており、統計的に見ても連結の効果は十分期待できるものと言える。また、中央の住宅よりも端部の住宅の方が大きな制御効果が得られたと言える。

5. まとめ

住宅同士を粘性ダンパーで連結することによる応答制御効果を検証した。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 連結バネ剛性の値を小さくするほど動的地震荷重下における系の減衰効果が敏感かつ大きくなる傾向にある。
- (2) 既存木造住宅の層せん断剛性のばらつきを考慮した地震応答解析を行い、統計的に見ても連結後の応答変位は十分小さく押さえられることを確認した。

【参考文献】

- 1) 山田祐司, 他: 2棟連結による制震(振)システムに関する研究, 日本建築学構造系論文集
- 2) 鹿島都市防災研究会: 制震・免震技術, 鹿島出版会, 1996年10月
- 3) 杉浦茂樹: 実地調査に基づく在来木造住宅の壁量と被害予測, 名古屋工業大学卒業論文, 1999年12月
- 4) 岩井哲, 一反田康啓: 木造建物の動的解析モデル構築のためのデータベース, 日本建築学会構造系論文集, p.289-290, 2000年9月
- 5) 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 森北出版, 1981
- 6) Hideki Idota and Tetsurou Ono: "A Method of Reliability Evaluation for Highly Redundant Structural Systems", Applications of Statistics and Probability, Proc. of ICASP-7, pp. 1087-1094, 1995.
- 7) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 1993

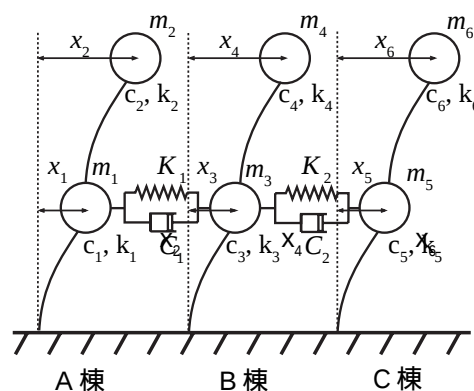


図3 解析モデル

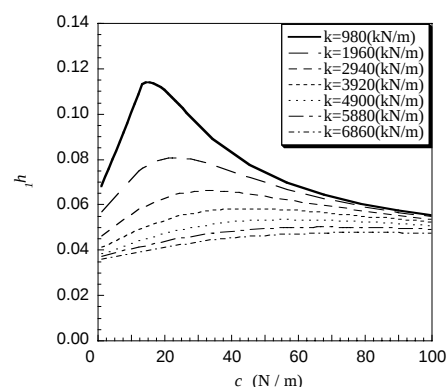


図4 粘性減衰定数 - 1次減衰定数 (南北方向)

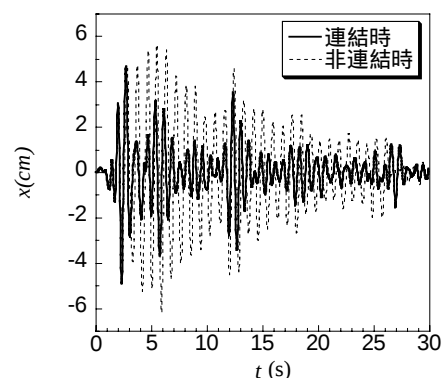


図5 連結の有無による時刻歴応答 (南北方向2階B棟, El-Centro NS入力)

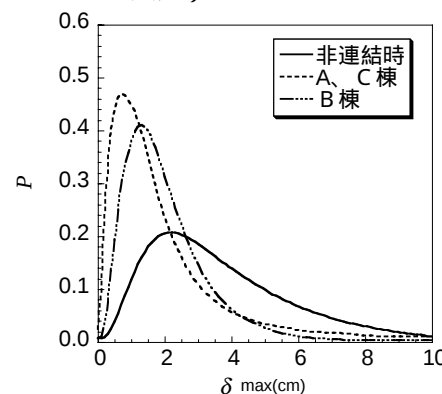


図6 $\delta_{\max}$ の確率分布 (南北方向2階)