

## 2. ESO 法を用いた京町家木造骨組の最適制震補強に関する研究

1410920060 高橋誠  
指導教員 藤井大地 教授

ESO 法 グランドストラクチャ法 仕口ダンパー 時刻歴応答解析 京町家

### 1. はじめに

京町家は京都のまちの歴史・文化の象徴であり、多くの現代的な住宅がある中で依然として住民の生活を支えている。一方で、2016年4月14日21時26分熊本県で発生した熊本地震では、熊本市にある町家の約3割が地震で損壊し解体された。これに対して、熊本市では、歴史ある町家を残していくために1500万円を上限に町家復旧費の半額を補助して街並みの保存を図っている。このことは京都市にとっても切実な課題であり、京都市では京町家を保存していくための取り組みとして京町家の制震補強を推進し、その制震補強の一つとして仕口ダンパーを取り付けることを推奨している。仕口ダンパーの特徴として、低コストでメンテナンスフリー、軽量で新築の改修にも向いていることが挙げられる。これは、景観的理由で耐震壁を増設できない京町家に最も適している制震補強と言える。しかしながら、京町家の骨組のどの仕口にダンパーを配置すれば、より効果的な制震ができるのかはよくわかっていないのが実情である。そこで、本研究では、ESO法とグランドストラクチャ法を用いて、仕口ダンパーの最適配置を求め、その有効性を検討する。

### 2. ESO 法を用いた動的解析によるダンパーの配置

本手法は、京町家骨組のすべての配置可能な仕口に仕口ダンパーを配置し（この初期構造をグランドストラクチャと呼ぶ）、骨組の時刻歴応答解析によって、各仕口ダンパーの累積減衰エネルギーを計算し、これが最も小さい仕口ダンパーから順に目標のダンパー数になるまで除去していくという非常に単純な方法である。なお、 $i$  番目ダンパーの累積減衰エネルギー  $E_i$  は次式により計算される。

$$E_i = (1/2) \int_0^{t_g} (\dot{d}_i^T \rho_i c_i^0 \dot{d}_i) dt \quad (1)$$

ただし、 $c_i^0$  はダンパー要素の初期減衰マトリクス、 $\dot{d}_i$  は  $i$  番目要素の節点速度ベクトル、 $t_g$  は解析時間である。

### 3. 解析例

図 1, 2 は、京町家骨組をもとにした解析モデルを示す。ただし、図 2 は、仕口ダンパーの層ごとの配置図であり、配置図上に記入している番号は、仕口ダンパー番号である。なお、ここでは、ダンパーの除去過程を明瞭に示すため、筋交い等の部材を図から除いて表示している。表 1 は、部材断面の諸元を示す。

ここでは、ダンパーの粘性減衰係数を  $33N \cdot s/mm$  とし、解析に用いる地震波は熊本地震 (KMMH16EW) を用いる。

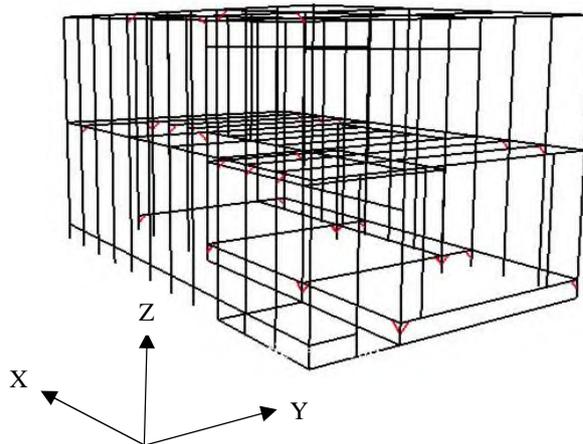


図 1 解析モデル

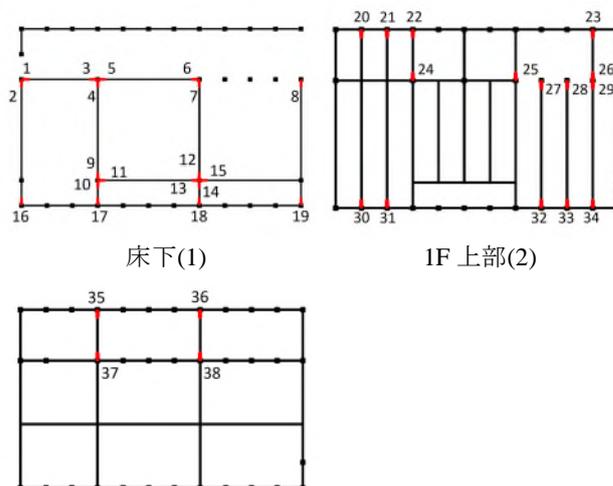


図 2 仕口ダンパーの配置図 (層番号)

表 1 部材断面の諸元

	部材断面
柱	□-110×110
梁及び桁	□-120×240
貫	□-15×90
筋交い	□-45×90

表 2 は、本手法による仕口ダンパーの除去過程を示している。表より、除去過程の傾向として、まず 2F 上部の半数が消え、1F 上部、2F 上部の半数、床下の順にダンパーが消えて行き、最終的には床下中央付近に集中してダンパーが残るような傾向が見られる。

表 2 ダンパーの除去過程 (層番号)

Step	除去番号						
1	38(3)	11	29(2)	21	35(3)	31	4(1)
2	37(3)	12	34(2)	22	28(2)	32	12(1)
3	24(2)	13	3(1)	23	11(1)	33	17(1)
4	25(2)	14	1(1)	24	36(3)	34	10(1)
5	20(2)	15	32(2)	25	23(2)	35	7(1)
6	21(2)	16	22(2)	26	13(1)	36	18(1)
7	31(2)	17	26(2)	27	16(1)	37	14(1)
8	30(2)	18	15(1)	28	2(1)	38	8(1)
9	6(1)	19	33(2)	29	19(1)		
10	5(1)	20	27(2)	30	9(1)		

次に、提案手法によって得られた解が、最適解あるいは優良解であることを確かめるために、同じダンパー数の比較モデルを人為的に作成し、それぞれのモデルに対し時刻歴応答解析を行い、最大応答を比較する。ここでは、Step29 のダンパー数が 9 個の場合の検討を行う。図 3 は、提案手法の仕口ダンパー配置を示す。ただし、図では、仕口ダンパーの配置が見えやすいようにアングルを変えている。また、図 4 は、比較モデルの仕口ダンパー配置を示す。ただし、model1 はダンパーを外周に配置したモデル、model2 はダンパーを X 方向にできるだけ配置したモデル、model3 はダンパーを通り庭上部に配置したモデルとしている。

表 3 は、これらのモデルに対して時刻歴応答解析を行い、最大層間変位を比較したものである。

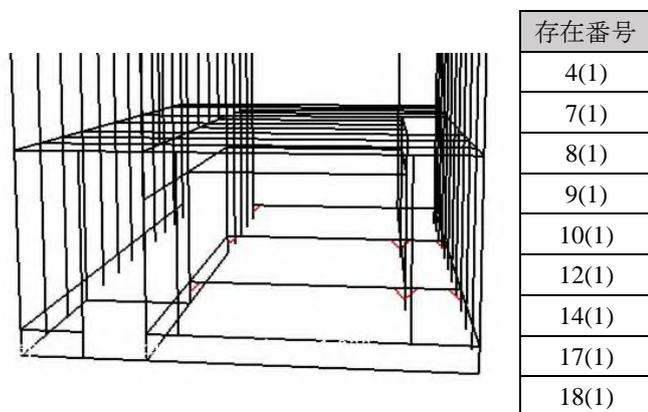


図 3 提案手法による Step29 (ダンパー数 9 個) の配置

model1	model2	model3
存在番号	存在番号	存在番号
1(1)	1(1)	20(2)
2(1)	3(1)	21(2)
3(1)	5(1)	22(2)
5(1)	6(1)	23(2)
6(1)	8(1)	24(2)
7(1)	11(1)	25(2)
8(1)	13(1)	26(2)
16(1)	15(1)	27(2)
19(1)	16(1)	28(2)

図 4 比較モデルの仕口ダンパー配置

表 3 最大層間変位の比較[mm]

	提案手法	model1	model2	model3
床下	40.52	41.48	41.78	41.95
1F	119.84	122.48	123.24	123.91
2F	100.43	102.73	103.33	103.93
Rank	1	2	3	4

表 3 より、提案手法による配置が他の比較モデルの配置と比べて、最大層間変位が最小になっていることがわかる。これにより、ダンパー数が 9 個の場合は、優良解が得られていることがわかった。

#### 4. まとめ

本研究では、ESO 法とグラッドストラクチャ法を用いて、京町家骨組の仕口ダンパーの最適配置を求める手法を提案し、提案手法の解析により得られた解と、人為的に配置したモデルの解との比較を行った。その結果、本手法の方が比較モデルよりも、最大層間変位を低減できていることがわかり、本手法の有効性が確かめられた。

なお、本概要では熊本地震の例しか示していないが、他の地震波に対しても優良解が得られることを確かめている。

#### 参考文献

- 1) 小林広英, 榊田洋子, 桑原由美子, 小林正美: 京都都心部における防災性能を備えた木造住宅の設計手法と伝統的町家の耐震化に関する考察, 日本建築学会技術報告集, 第 17 号, 355-358, 2003.6
- 2) 財団法人 京都景観・まちづくりセンター: なるほど「京町家の改修」, 2007.8
- 3) 社団法人 日本建築構造技術者協会: 木造建築構造の設計, 2004.8