

伝統的木造建築物の制震改修について (その5 弾塑性地震応答解析)

正会員 吉田 明義*6 同 石丸 辰治*1
同 久保田 雅春*5 同 石垣 秀典*2
同 秦 一平*3 同 東 義敬*4
同 西塚 正*4 同 西村 陽介*4

伝統的木造建築 傾斜復元力 制震装置

§1 はじめに 本報は、前報(その2)での亀壁実験結果をもとにして、地震動を対象とした弾塑性応答解析を行なうことにより、本建物の対地震性能について検討を行なったものである。

§2 解析モデル 解析に用いたモデルは、図1に示す改修後の柱配置に基づいて節点を設け、その節点に屋根重量を含む全ての質量を集中質量として分割配置し、2階床を剛床と仮定した61質点3自由度(X、Y、)モデルを作成して解析を行った。その解析モデルを図2に示す。

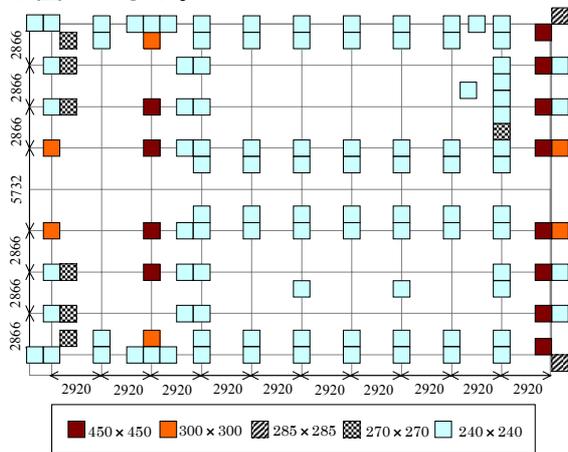


図1 改修後の柱配置(単位: mm)

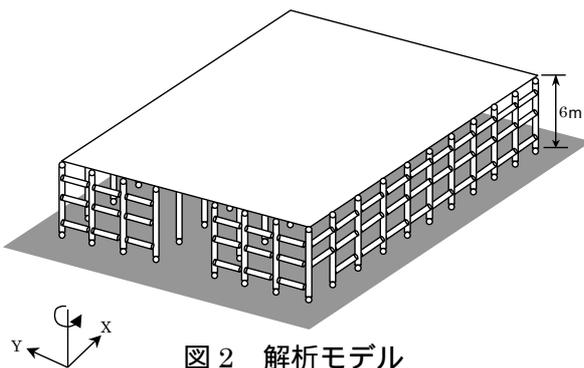


図2 解析モデル

解析に考慮した水平方向復元力は、柱の傾斜復元力、亀壁の復元力、浮き壁の復元力、接合部と雑壁剛性の4種類であり、については実験結果をパイリニア型履歴で近似し、については静的漸増載荷結果をもとに線形ばねとして付加してい

る。また、の柱傾斜復元力については、既往の実験結果から算出された実験式¹⁾を用いて算出し、5折線より構成される非線形弾性ばねによりモデル化を行った。その傾斜復元力を算出する際に、柱に加わる鉛直荷重は総質量405tonを全ての柱が均等に負担すると仮定して求めており、総柱数が126本であるため、1本あたりの負担荷重は $3.2 \times 9.8 \text{ kN}$ となる。また、で柱・梁接合部の剛性を考慮したため、及びの計算では、柱と梁は両端ピン支持で剛体と仮定してモデル化を行なっている。

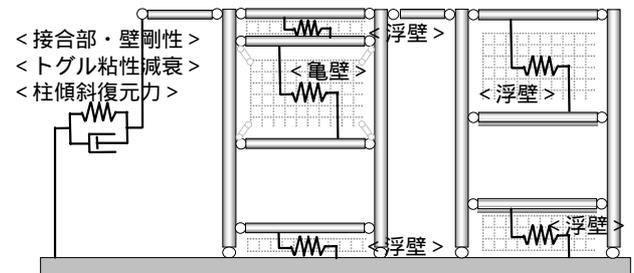


図3 解析に考慮した水平方向復元力

図4~5に解析に用いた亀壁と浮き壁の履歴モデルのパラメータを示す。

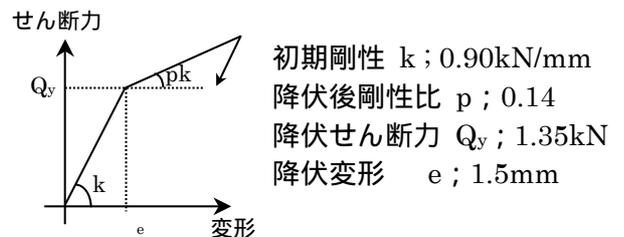


図4 亀壁(1枚)の復元力特性

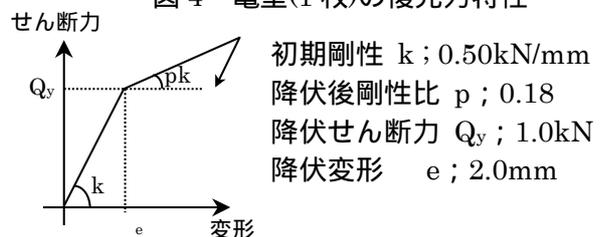


図5 浮き壁(1枚)の復元力特性

また図6、表1及び表2に柱サイズごとの履歴モデルのパラメータを示す。

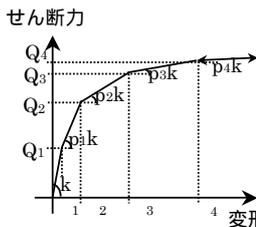


表 1 初期剛性と分枝剛性比
(傾斜復元力特性)

柱サイズ	k (kN/mm)	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄
240mm□	0.21	0.30	0.12	0.02	0.01
270mm□	0.22	0.31	0.13	0.03	0.01
285mm□	0.23	0.32	0.13	0.03	0.01
300mm□	0.23	0.33	0.14	0.04	0.01
450mm□	0.30	0.34	0.20	0.06	0.01

図 6 柱の傾斜復元力特性

表 2 各折点のせん断力と変位 (傾斜復元力特性)

柱サイズ	Q ₁ (kN)	Q ₂ (kN)	Q ₃ (kN)	Q ₄ (kN)	δ ₁ (mm)	δ ₂ (mm)	δ ₃ (mm)	δ ₄ (mm)
240mm□	0.39	0.65	0.81	0.86	2.0	6.0	15.0	30.0
270mm□	0.41	0.69	0.89	0.98	2.0	6.0	15.0	30.0
285mm□	0.44	0.73	0.93	1.02	2.0	6.0	15.0	30.0
300mm□	0.46	0.75	0.98	1.07	2.0	6.0	15.0	30.0
450mm□	0.53	0.93	1.31	1.54	2.0	6.0	15.0	30.0

の柱・梁接合部剛性及び雑壁剛性に関しては、弾性ばねで付与することとし、X方向には3.7kN/mm、Y方向には5.0kN/mmの値を採用した。次にオイルダンパーの減衰係数であるが、トグルを用いて設置したオイルダンパー1台あたりの減衰係数は294.0kN・sec/mであり、トグルの増幅倍率が2倍で地盤より3.0mの高さ位置での相対速度に作用するように設置してあることから、下記計算により求まる294.0kN・sec/mの値を用いて解析を行った。

$$2^2 \times \left(\frac{3.0}{6.0}\right)^2 \times 294.0 = 294.0 \text{ kN} \cdot \text{sec/m}$$

§3 固有値解析結果 図7に各要素の初期剛性値に対する非減衰固有値解析結果の1~3次の固有モード図を示す。各モードの固有周期は、1次が0.62秒、2次が0.61秒、3次が0.58秒となっている。

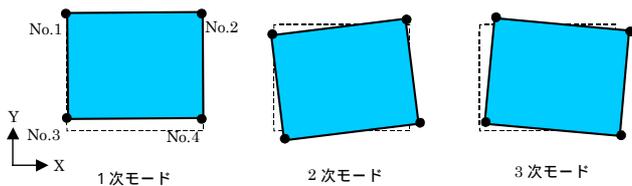


図 7 1~3 次の固有モード

また、4隅の節点におけるX方向入力に対する刺激関数を表3に、Y方向入力に対する刺激関数を表4に示す。刺激関数から、1次はY方向並進のモード、2次と3次がX方向並進に捩れが伴っているモードであることが分かる。

表 3 X方向入力に対する刺激関数

次数	No.1		No.2		No.3		No.4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1次	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
2次	-0.08	-0.58	-0.08	0.51	0.78	-0.58	0.78	0.51
3次	1.08	0.57	1.08	-0.53	0.22	0.57	0.22	-0.53

表 4 Y方向入力に対する刺激関数

次数	No.1		No.2		No.3		No.4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1次	-0.01	0.97	-0.01	1.03	0.04	0.97	0.04	1.03
2次	0.00	0.03	0.00	-0.03	-0.04	0.03	-0.04	-0.03
3次	0.01	0.01	0.01	-0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01

§4 弾塑性地震応答解析 地震応答解析は、建築基準法(平成12年6月告示)に示されている加速度応答スペクトルにフィッティングするように作成した図8に示す模擬地震動波形を用いて行った。

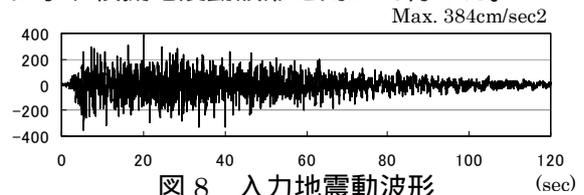


図 8 入力地震動波形

模擬地震動をX方向及びY方向に入力して、弾塑性応答解析を行った建物4隅の節点の結果を表5及び表6に示す。なお、全体構造減衰として3次モードまでの振動数に対して一律3%の粘性減衰を付与して解析を行っている。表5と表6の結果から、X方向及びY方向入力ともに最大応答変位は5.9cm(柱傾斜角1/102)となっており、固有振動モードで表れていた捩れの影響も弾塑性応答解析結果ではほとんど見られていない事が分かる。また、ダンパー1台あたりの最大減衰力は、X方向入力時で22.3kN、Y方向入力時で22.6kNである。

表 5 X方向入力に対する最大応答値

節点位置	最大加速度(cm/sec)		最大速度(cm/sec)		最大変位(cm)	
	X	Y	X	Y	X	Y
No.1	206.1	-7.2	30.1	-0.6	5.7	-0.1
No.2	206.1	6.8	30.1	0.6	5.7	0.1
No.3	205.2	-7.2	30.3	-0.6	5.8	-0.1
No.4	205.2	6.8	30.3	0.6	5.8	0.1

表 6 Y方向入力に対する最大応答値

節点位置	最大加速度		最大速度(cm/sec)		最大変位(cm)	
	X	Y	X	Y	X	Y
No.1	6.1	204.0	0.4	29.8	0.1	5.8
No.2	6.1	206.2	0.4	30.7	0.1	5.9
No.3	6.2	204.0	0.4	29.8	0.1	5.8
No.4	6.2	206.2	0.4	30.7	0.1	5.9

§5 まとめ 模擬地震動入力による弾塑性応答解析を行った結果、柱の最大傾斜角は1/102程度であり性能目標をほぼ満足している事が分かった。また、本報での弾塑性応答解析結果と前報(その4)で行った応答予測値とを比較する事により、応答予測手法の精度が実用範囲内であることが示された。

<参考文献>

- 河合直人：古代木造建築の柱傾斜復元力に関する模型実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，1991.9

*1 日本大学理工学部 教授・工博
*2 日本大学理工学部 助手
*3 日本大学理工学研究所 技手
*4 日本大学大学院理工学研究科
*5 飛鳥建設
*6 魚津社工務店

*1 Prof. College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng
*2 Assistant, College of Science and Technology, Nihon University
*3 Assistant Eng, Research Institute of Science and Technology, Nihon University
*4 Graduate School of Science and Technology, Nihon University
*5 Tobishima Corporation
*6 Uotsu Shaji Corporation