

伝統木造建造物の経年劣化が耐震性に与える影響

Effect of Deterioration in Columns on Seismic Capacity of Historical Wooden Structure

伊津野 和行・土岐 憲三・田中 裕樹

Kazuyuki IZUNO, Kenzo TOKI, Yuki TANAKA

1. はじめに

伝統木造建造物は、わが国が世界に誇れる文化遺産であり、これらを地震から保護して後世に残していくことは我々の使命だと考える。今年度は伝統木造建造物の耐震性に及ぼす部材の経年劣化に着目した研究を行った。

シロアリや腐朽などが引き起こす、接合部や部材内部の劣化は、伝統木造建造物の耐震性能に大きな影響を与える懸念がある。また、経年による部材自体の強度特性は樹種によって異なるようである。そこで本研究では、経年変化が伝統木造建築物である清水寺本堂の耐震性能に与える影響を、荷重増分解析と地震応答解析によって検討した。

2. 清水寺本堂に影響を与える劣化部位と劣化度

昨年までの研究で、現状で想定される劣化が清水寺本堂の耐震性能に与える影響は小さいことがわかった。したがって、清水寺本堂のどの箇所(接合部)がどの程度劣化したら耐震性能に影響を与えるのかを、荷重増分解析と地震応答解析によって検討した。検討対象とした本堂の平面図と設定座標を図1に示す。

清水寺本堂において劣化を仮定した箇所は、図2の丸印で示す柱脚部と柱貫接合部とした。これは、傾斜復元力による柱脚回転バネと、清水寺本堂において非常に数の多い柱貫回転バネの性能を低下させることで、耐震性能に大きな影響を与えることになると予想したためである。

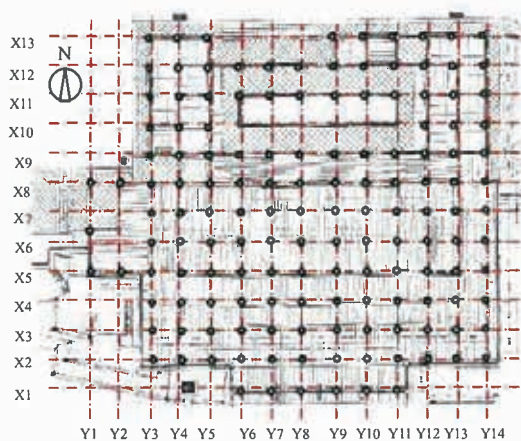


図1 本堂平面図と設定座標

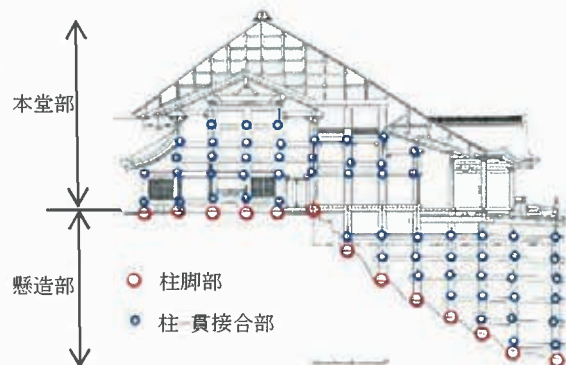


図2 劣化の仮定部位

荷重増分解析に用いた水平外力は高さ方向に均等な外力形とした。地震応答解析は、非線形立体解析モデルを用いた Newmark β 法 ($\beta=1/4$) による数値積分法によった。積分時間刻みは 0.002 秒とし、減衰定数は $h=0.05$ の剛性比例型減衰とした。入力地震波は JMA 神戸 50kine、BCJ-L2 の 2 波としたが、ここでは JMA 神戸波の結果について示す。

1) 柱脚部

柱脚部において、傾斜復元力がほとんど期待できない程劣化しているという状況を想定し、全ての柱脚回転バネの終局耐力と降伏回転角を健全時の 10%まで低下させた。

2) 柱貫接合部

柱貫接合部回転バネの性能は、地震時に柱が貫にめり込む、めり込み抵抗モーメントによって決定される。柱や貫の劣化を考慮し、本研究では全ての柱貫回転バネの終局耐力と回転剛性を 90%~50%にした。

荷重増分解析結果を図 3 に示す。柱貫接合部の劣化が激しくなると、保有水平耐力は東西方向で 69%、南北方向で 76%に低下した。

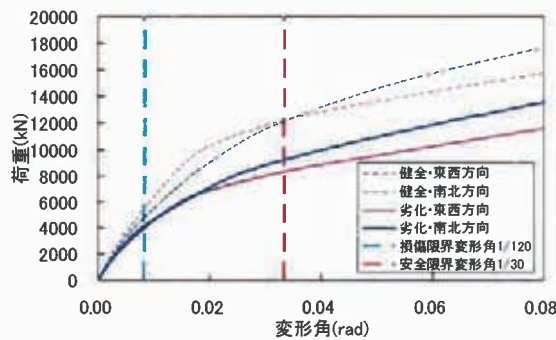


図 3 荷重増分解析結果

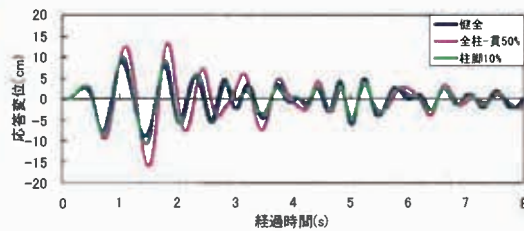


図 4 時刻歴応答変位(東西)

図 4 に地震応答解析結果を示す。全柱脚の性能を 10%にしたケースに比べ、全柱貫の性能を 50%にしたケースの方が、最大応答変位は大きく変化した。最大応答変位は、東西方向で 74% 上昇した。このことから、清水寺本堂は、柱脚部より柱貫接合部の劣化の方が耐震性能に大きな影響を与えるものと考えられる。この原因としては、柱貫接合部の数が多いことと、屋根が瓦屋根でなく檜皮葺であるため重量が軽く、一般の瓦屋根をもつ寺院より傾斜復元力が効きにくいのではないかと考えられる。

柱貫接合部の劣化度合いと各架構との最大応答変形角においては、東西方向の架構が舞台先端から本堂方向に進むにつれ、柱貫接合部の劣化度が大きくなると、より最大応答変形角に影響が出る結果となった。逆に南北方向においては、劣化度が大きくなってもあまり影響がないという結果となった。東西方向より南北方向の方が柱貫接合部の劣化による影響が小さいのは、南北方向には、柱貫接合部に数が少ない架構や、柱貫接合部がバランス良く配置されている架構が多いことが原因であると考えられる。

3. 経年による部材の剛性低下を考慮した場合

伝統木造建築物の構造材となる木材はヒノキ、マツ、ケヤキなどと多種であるが、経年による部材自体の強度特性は樹種によって異なるという研究報告がある。清水寺本堂の構造材はケヤキであるが、ケヤキは構造材となつてからすぐに強度低下が始まるという実験結果が報告されている。そこで、清水寺本堂のケヤキのヤング係数を低下させ、荷重増分解析と地震応答解析によって耐震性能評価を行った。

図5に、荷重増分解析結果を示す。経年劣化を考慮することで、保有水平耐力が東西方向で94%、南北方向で89%に低下した。

地震応答解析結果を図6に示す。ヤング係数を低下させることにより、清水寺本堂の最大応答変位が大きく変化することがわかった。また、応答加速度も同様にヤング係数低下の影響が出た。

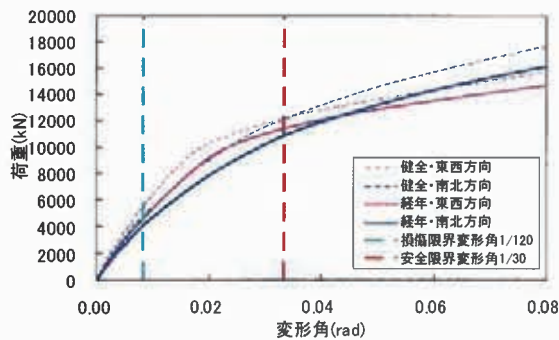


図5 荷重増分解析結果

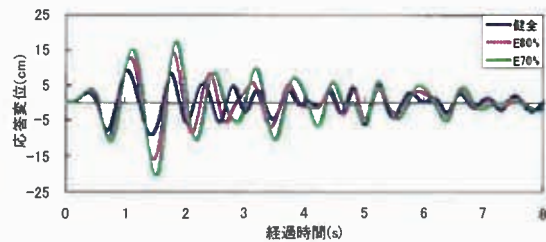


図6 時刻歴応答変位(東西)

ケヤキの経年によるさらなる強度低下によって、清水寺本堂の地震応答がどのように変化するか予測した。平島らの実験結果(ケヤキ古材の強度実験)^{1)~3)}をもとに、ケヤキの経年とヤング係数との関係を算出し、JMA 神戸 50kine を極めて稀に発生する大地震とし、地震応答解析結果によって安全限界変形角 1/30rad を越えるのは何年後になるのか特定を試みた。算出したケヤキの強度と経年の関係を図7に示す。なお、建立当初のケヤキのヤング係数は8800MPaとした。現在の清水寺本堂は1633年に建立されてから374年経過している。したがって、図7より、清水寺本堂のケヤキのヤング係数は建立時の約80%になっていると仮定できる。JMA 神戸 50kine 基準化波形入力において、最も早く安全限界変形角 1/30rad を越えると予想される架構は、図1のY13通り架構である。Y13通り架構の最大応答変形角は健全時 0.012rad、ヤング係数90%時 0.015rad、ヤング係数80%時 0.020rad、ヤング係数70%時 0.026rad、ヤング係数60%時 0.032rad、ヤング係数50%時 0.037rad である。これらの値から算出したヤング係数と最大応答変形角との関係を図8に示す。

図8より、安全限界変形角 1/30rad を越える時のケヤキのヤング係数は、建立時の約57%であることがわかる。したがって図7より、ヤング係数の経年劣化が線形的であれば、まだ当面、最大応答変形角が 1/30rad には至らない。しかし、この結果は、経年による強度低下のみを考慮した

場合で、接合部や部材の劣化・損傷は考慮に入れていないし、地震波の特性によってはある程度異なる結果が予想される。また、ケヤキの経年による強度特性の把握も、データの不足から完全に把握されておらず、ヤング係数の経年劣化が線形的だとは断定できない。しかし、ある程度の目安にはなりうるものと考えられる。

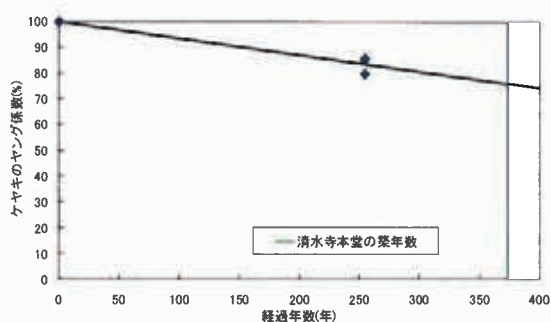


図7 ケヤキの強度と経年との関係

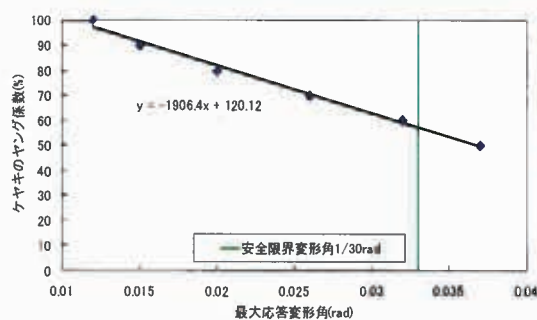


図8 ヤング係数と最大応答変形角との関係

4. まとめ

- ・荷重増分解析の結果、柱貫接合部の劣化が激しいと仮定すると、保有水平耐力が大きく減少する。
- ・柱脚部より柱貫接合部の劣化の方が、清水寺本堂の耐震性能に大きな影響を与える可能性がある。
- ・経年による部材自体の強度低下が、応答変位と応答加速度に与える影響は大きい。
- ・JMA 神戸 50kine を極めて稀に発生する地震波とし、経年による部材自体の強度低下を考慮し検討を行った結果、倒壊の危険は当分ないことがわかった。

なお、本研究は清水寺の全面的な協力を得て、鹿島建設(株)との共同研究として実施されたものである。また、数値解析にあたっては、立命館大学大学院理工学研究科の大学院生、大岡優君の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 平島義彦・杉原未奈・佐々木康寿・安藤幸世・山崎真理子: 古材の強度特性(第1報)ケヤキおよびアカマツの引張強度特性, 木材学会誌, Vol.50, 2004年, pp.301-309
- 2) 平島義彦・杉原未奈・佐々木康寿・安藤幸世・山崎真理子: 古材の強度特性(第2報)ケヤキおよびアカマツの圧縮強度特性, せん断強さおよび硬さ, 木材学会誌, Vol.50, 2004年, pp.368-375
- 3) 平島義彦・杉原未奈・佐々木康寿・安藤幸世・山崎真理子: 古材の強度特性(第3報)ケヤキおよびアカマツの静的曲げ強度特性および衝撃曲げ強さ, 木材学会誌, Vol.51, 2005年, pp.146-152