

伝統木造建造物の耐震補強に関する研究

Seismic Strengthening of Historical Wooden Structure

土岐 憲三・伊津野 和行・田中 裕樹

Kenzo TOKI, Kazuyuki IZUNO, Yuki TANAKA

1. はじめに

日本には多くの伝統木造建造物があるが、その耐震補強は必ずしも進んでいない。これら貴重な文化遺産建造物を、地震をはじめとする自然災害から守って後世に残していくことは、現代に生きる我々の使命だとも言える。今年度は、神社の唐門を対象として、その耐震補強について検討した。

神社の門は、本堂などの建造物と比べると構造が単純であるが、参拝者がその下を通ることを考えると、ライフライン的な役割は重要であり、その耐震性を向上させる意義は大きい。

2. 対象建造物

対象とした建造物は、宮城県にある神社の唐門である。1842年(天保13年)に建立され、総ケヤキ造、1間1戸、唐破風造り妻入り、屋根銅板葺きの構造である。桁行き5.446m、梁間5.472mであり、向唐門として県最大級の規模を誇る。図1に写真を、図2に正面図と側面図を示す。



図1 対象建造物

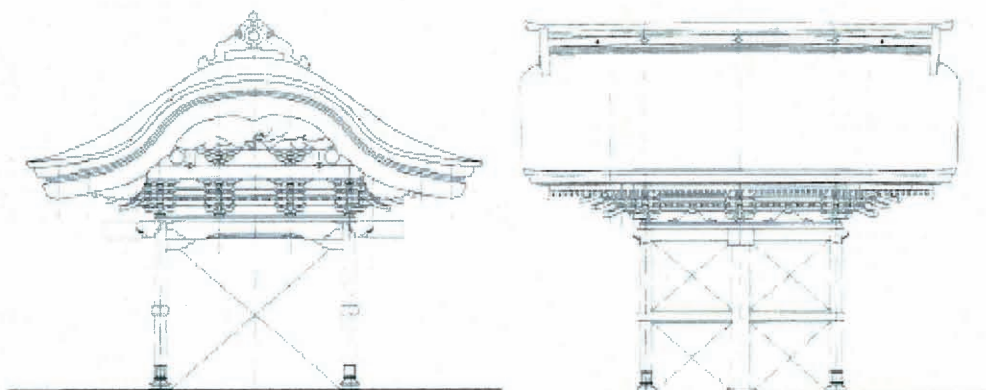


図2 正面図と側面図

2007年度からおよそ2年間をかけて、解体修理と耐震補強が実施された。解体修理では、図3のように傷んだ部材に継木加工を施したり、新材と交換したりし、正しく荷重を支えるよう復元された。さらに新たな耐震補強策として、鉄骨柱による支えが導入された。図4のように、門の両脇に鋼管杭を有するコンクリート基礎を設け、その上に300×300×12mmの鉄骨柱を建てた。その上に、厚さ19mmのL型プレートを付け、唐門の冠木の両端とボルトで緊結した。また、唐門の柱下の地盤改良も行い、全体として耐力向上が図られた。



(a) 本柱根元の腐朽



(b) 継木加工

図3 部材の修理状況

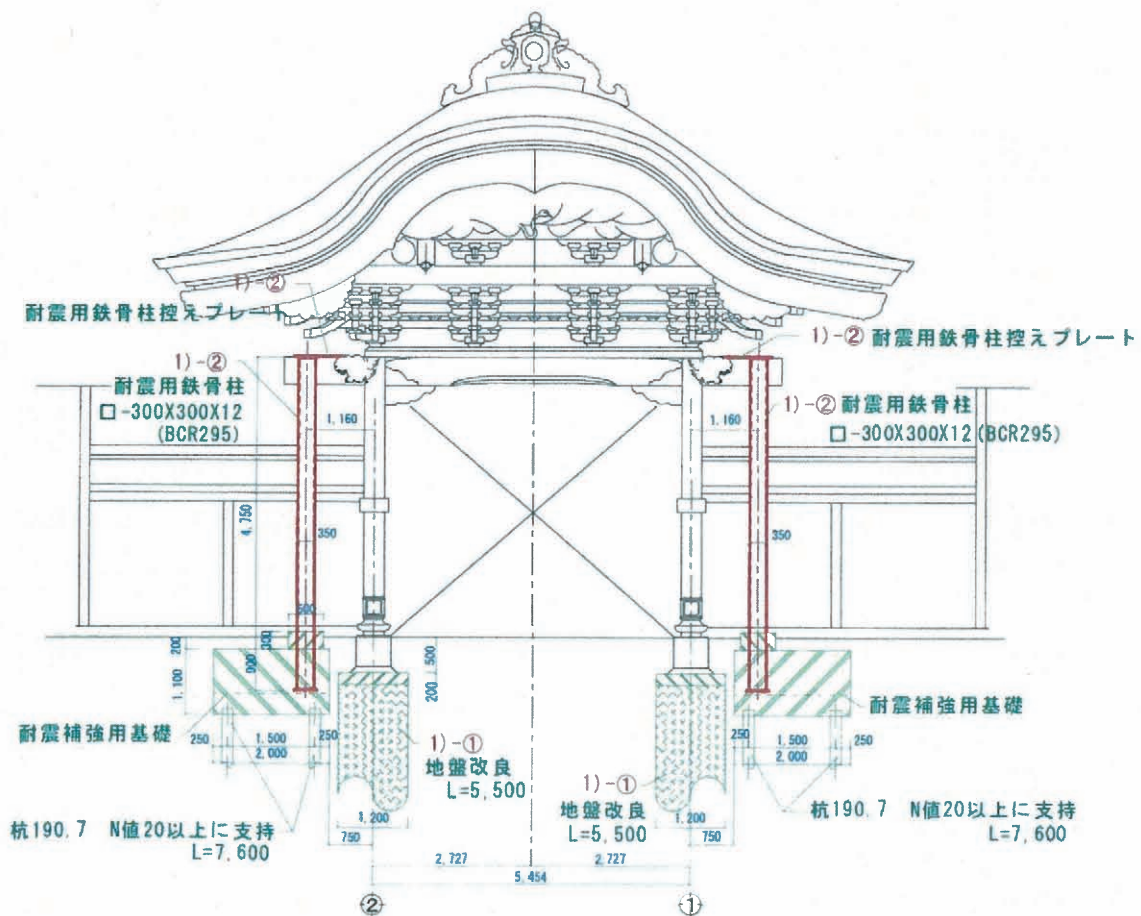


図4 補強概要

3. 常時微動計測

耐震補強効果を評価するため、前記の工事前後で常時微動計測を実施した。工事前の 2007 年 6 月と、解体修理・耐震補強工事後の 2008 年 11 月である。それぞれ、サーボ型速度計(図 5) 6 台を用いて、常時微動と人力加振振動を 100Hz サンプルングで深夜に数分間ずつ計測した。速度計の設置位置を図 6 に示す。

人力加振は 3~4 人で同時に衝撃力を加える方法で、水平に方向の並進振動とねじり振動が生じるようにした。



図 5 サーボ型速度計

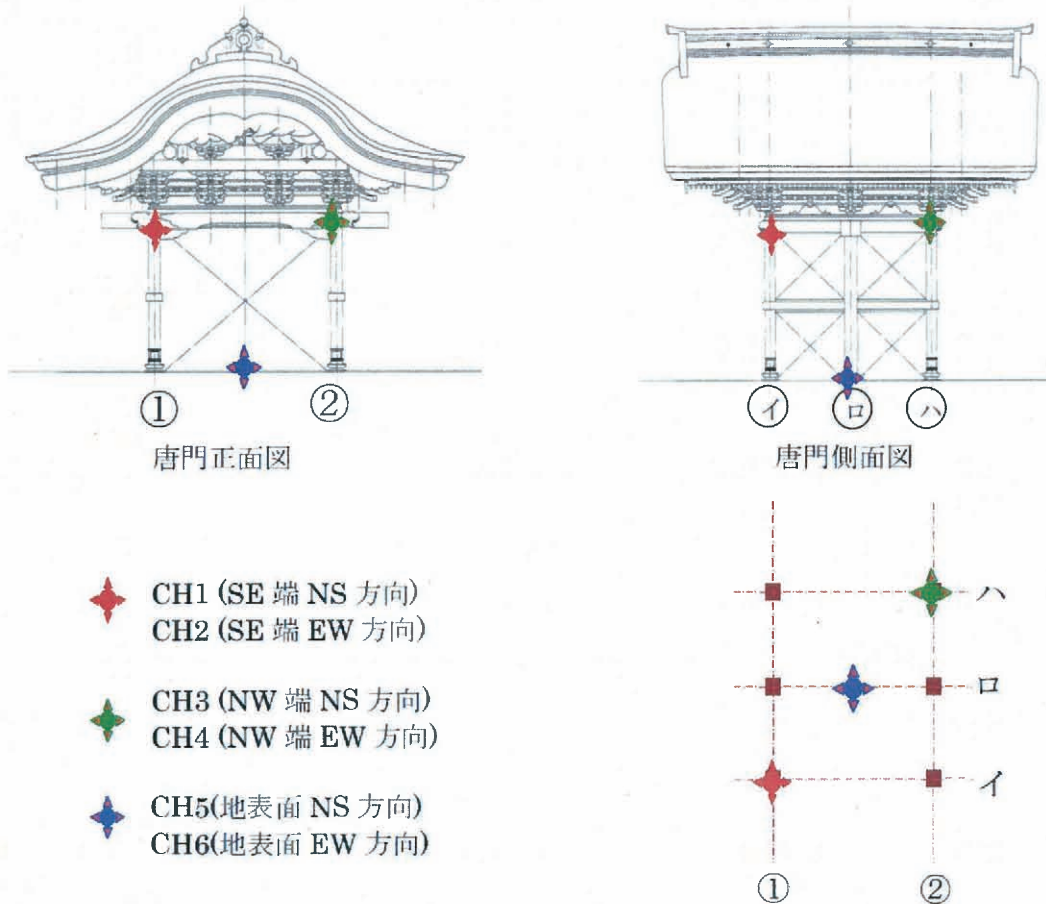


図 6 速度計の設置位置

図7に工事前後の常時微動波形のフーリエスペクトル、図8に人力加振した際のフーリエスペクトルを示す。工事後の計測では、鉄骨柱と冠木との連結をはずした状態と、連結した状態とで計測を行った。ここでは代表例として、柱上部の南北方向の記録についてスペクトルを示した。それぞれ、青が工事前、赤と黒が工事後である。なお、図7の常時微動のスペクトルは、柱上のスペクトルを地盤のスペクトルで割った比率で表現している。

この方向のスペクトルでは、工事後も鉄骨柱と連結しなければ(赤)、工事前と振動特性はあまり変わっていない。しかし、鉄骨柱と連結した場合(黒点線)には、固有振動数が高くなるのがわかる。

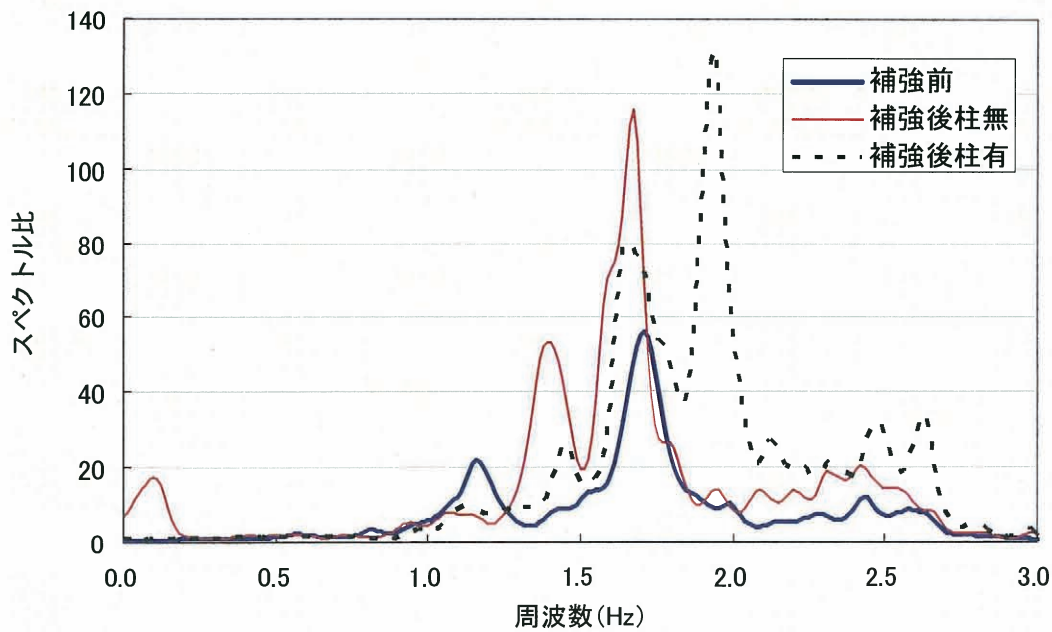


図7 常時微動のフーリエスペクトル比

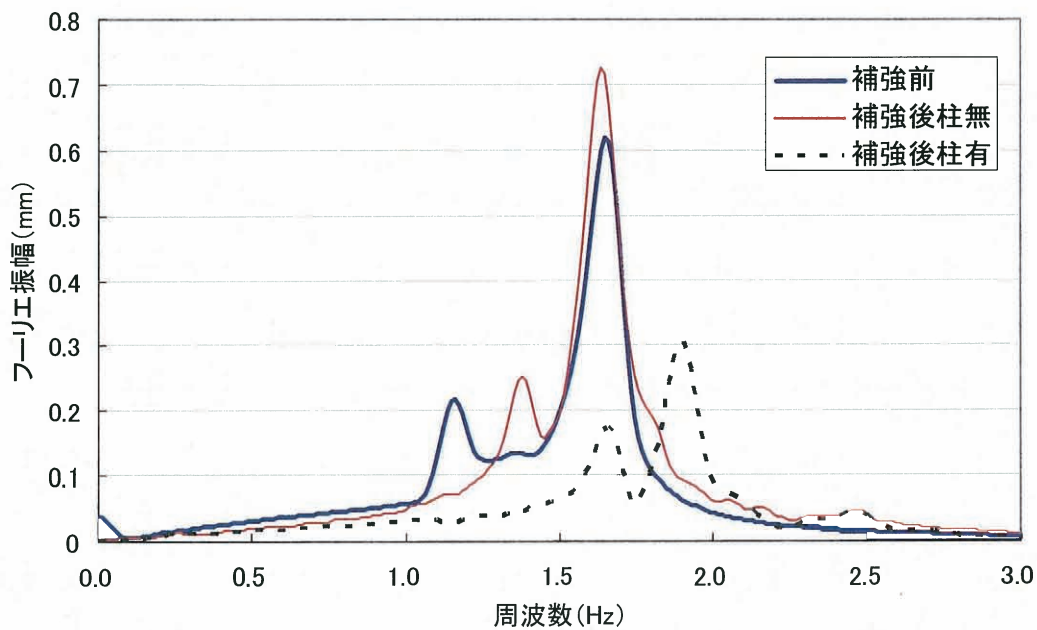


図8 人力加振のフーリエスペクトル

これらのデータから得られた固有周期を表1に示す。表1より、鉄骨柱と連結していない状態でも、腐朽劣化していた断面を修復し、部材を組み直したことによって、東西方向とねじれの振動に対して剛性が上がったことがわかる。鉄骨柱と連結することによって、南北方向でも剛性が上がった。全体を通してねじれ剛性の向上は大きく、20%以上固有振動数が高くなっている。2005年宮城県沖地震において、この唐門ではねじれ変形の残留変位が観測されていることもあり、本構造物のように単純な構造物では、ねじり剛性の向上は望ましいと考えられる。水平二方向の剛性向上は、この計測結果のみからでは地震波特性との関連で耐震性向上あるいは劣化を判断できない。今後、地震応答解析を実施して確認する予定である。

表1 固有周期

		補強前	補強後	
			鉄骨柱なし	鉄骨柱連結
常時微動	南北方向	0.58 秒	0.59 秒	0.52 秒
	東西方向	0.61 秒	0.57 秒	0.50 秒
	ねじれ	0.84 秒	0.69 秒	0.59 秒
人力加振	南北方向	0.60 秒	0.61 秒	0.53 秒
	東西方向	0.71 秒	0.57 秒	0.51 秒
	ねじれ	0.88 秒	0.70 秒	0.59 秒

次に、計測から得られた減衰定数を表2に示す。表2より、減衰定数は1~2%であり、これは工事前後であまり変化はない。工事が減衰性向上を目指したものではなく、むしろ古い材を新しい物に取り替えたり、柱一貫の隙間を埋めたりすることにより、工事前より多少は減衰性が小さくなっていることも考えられる。しかし、表2の結果からはそれほど明確な傾向は見受けられない。

表2 減衰定数

		補強前	補強後	
			鉄骨柱なし	鉄骨柱連結
常時微動	NS 方向	1.9%	1.9%	1.6%
	EW 方向	2.3%	2.2%	1.5%
	ねじれ	1.8%	1.7%	1.5%
人力加振	NS 方向	1.4%	1.8%	1.4%
	EW 方向	2.2%	1.8%	1.5%
	ねじれ	1.6%	1.7%	0.9%

4. まとめ

ここでは、実建造物の耐震補強工事前後の動特性について報告した。本文でも述べたが、今後は地震応答解析を実施する予定である。

文化遺産建造物の耐震性を正しく評価するためには、ここで述べたような現地計測が欠かせない。文化遺産建造物は、代替性がないことが大きな特徴であるため、一つ一つが固有の動特性を持っているからである。しかし、その評価手法はある程度普遍的なものを確立することができるであろう。最終年度である次年度へ向け、非破壊検査手法も含めて、手法の普遍化、パッケージ化を図っていく予定である。

謝辞

本研究は当該社との協力を得て、鹿島建設(株)との共同研究として実施されたものである。調査や数値解析にあたっては、小川浩氏をはじめとする鹿島建設建築設計本部や技術研究所の方々、立命館大学大学院理工学研究科の大学院生、大岡優君、安里祐二君、理工学部の清水万由実さんらの協力を得た。記して謝意を表す。