

伝統的木造建築 鐘樓 地震被害
被害調査 耐震性能 耐震補強

1. 研究背景及び目的

令和 5 年奥能登地震では、震度 6 強を観測した石川県珠洲市正院町および周辺で、数多くの鐘樓に被害が発生した。特に鐘樓が倒壊する防犯カメラの映像は地震後の報道で度々取り上げられた。

鐘樓の耐震性能に関してはこれまで、地震時の跳躍現象に関する研究などが行われてきた。一方で、鐘樓と一口にいても規模や構造形式は様々であり、その耐震性能への影響は考察されていない。そこで本研究では、当該地震において被災した単層の鐘樓を対象に被害状況を調査し、規模・構造形式との関係について考察した。

2. 被害調査

2.1. 調査対象鐘樓

調査は地震から 3 週間後と半年後の 2 回、実施した。調査対象は前述の倒壊した鐘樓（図 1 A）の周辺に所在する 9 棟の鐘樓（図 1 B～J）である。各鐘樓に対して、耐震性能にかかわる寸法の実測などを行い、立面図を作成した（図 2）。屋根は全て桟瓦葺であること、柱や貫の部材の寸法比にばらつきがあること、柱間寸法で最大 1.5 倍程度の規模の大小があること、撞木位置の飛貫が省略される鐘樓があることなどが分かった。

2.2. 柱の傾斜方向

各鐘樓の四隅の柱で、南北・東西方向の傾斜角を測定し、そこから柱の内転び角（測定した傾斜角の平均値）を引き、変形による傾斜角を求めた。全ての鐘樓の四隅の柱の傾斜角を図 3 に示す。これより、北西－南東方向に傾く傾向がみられ、観測地震波（図 1 地震観測点）において強い揺れが確認された方向と一致した。傾斜量は平均 1/64 (0.9°)、最大 1/25 (2.3°) であった。

2.3. 地震被害とその分類

地震被害については、倒壊をはじめ、軸部の柱や貫の折損、建物の移動、柱脚や礎盤のずれなど様々な内容がみられたが、大きく分けて軸部のせん断変形に起因するもの（写真 1、2）と、建物のロッキングに起因するもの（写真 3、4）の 2 種類に分類できる。各鐘樓における被害の種類およびその大小などを勘案して被害分類をせん断変形かロッキングのいずれかで判定した（表 1）。

3. 被害と規模・構造形式との関係

各鐘樓において、実測寸法をもとに、柱傾斜復元力と貫の復元力の和から軸部のせん断耐力（以下、“軸部耐力”）、建物・鐘の重量および柱間寸法と重心高さの比率からロッキング開始時の水平力（以下、“ロッキング開始力”）を求め、図 4 にプロットした。なお、柱傾斜復元力はその最大値として剛体仮定時復元力の 0.75 倍とした。貫の復元力は貫接合部のめり込み降伏力とし、材種はひのきと仮定し、めり込み降伏応力度を 6.2N/mm^2 とした。

計算上は軸部耐力の方が小さい場合、せん断変形による破壊が先行して起こりロッキングが生じにくくなり、ロッキング開始力の方が小さい場合、ロッキングが先行して起こりせん断破壊は生じにくくなる。各点の色は実際に確認された被害分類（表 1）を示している。計算結果と地震被害の傾向は概ね一致した。

4. まとめ

鐘樓の被害は、主に軸部のせん断変形によるものとロッキングによるものに分類でき、その傾向は軸部耐力とロッキング開始力の比較から推定できることが分かった。被害状況を踏まえると、倒壊に直結する軸部のせん断破壊が先行して生じないようにしつつ、ロッキングによる被害を軽減するための適切な対策を検討すべきと考える。

謝辞

本研究の調査は関西大学若手研究者育成経費を使用して実施した。また、調査の際に鐘樓の所在する寺院の関係者から多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。



図 1 各鐘樓の所在地と地震観測点

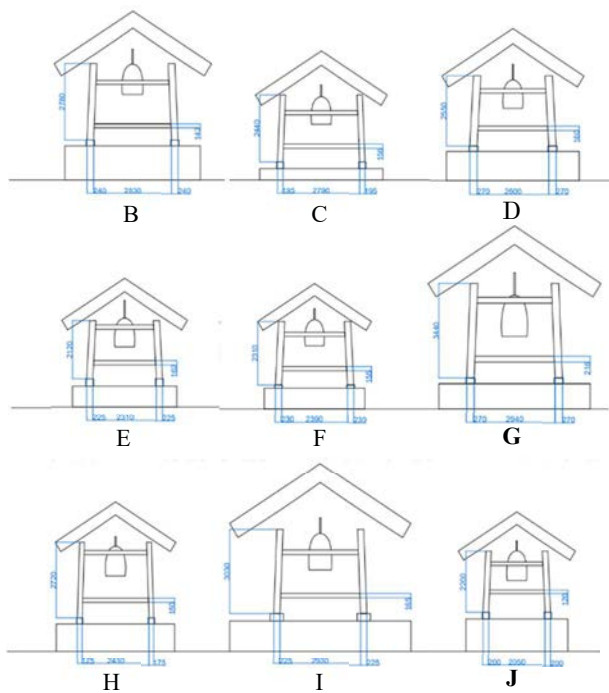


図2 各鐘楼の立面および寸法

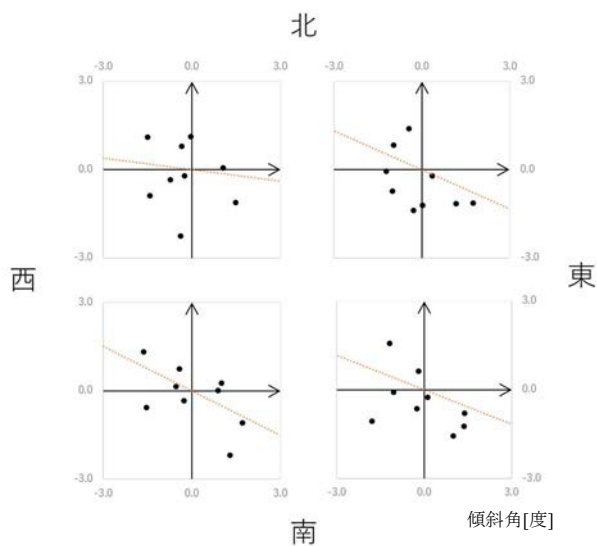


図3 四隅の柱の変形による傾斜角
(北・東を正、南・西を負とする)



写真1 軸部のせん断変形
による倒壊 (A)



写真2 軸部のせん断変形
による貫の破損 (B)



写真3 ロッキング
による移動 (E)



写真4 ロッキング
による礎盤ずれ (G)

表1 各鐘楼の地震被害と被害分類

鐘楼	ロッキング	せん断変形	被害分類
B		腰貫破損 (大)	せん断変形
C	柱のずれ (中)	頭貫・腰貫に割れ (中)	せん断変形
D	礎盤から落下 (大)	腰貫に亀裂 (極小)	ロッキング
E	建物移動 (大)	頭貫に亀裂 (中)	ロッキング
F	礎盤から落下 (大)	腰貫に亀裂 (中)	ロッキング
G	礎盤ずれ (大)	腰貫にひび (大)	
H	礎盤ずれ (小)	飛貫に割れ (中)	せん断変形
I	礎盤ずれ (中)	飛貫破損 (大)	せん断変形
J	礎盤ずれ (小)	腰貫にひび (中)	せん断変形

ロッキング (橙色)

大: 礎盤から落下している場合、礎盤とのずれが 50mm 以上

中: 礎盤とのずれが 20mm 以上 50mm 未満

小: 礎盤とのずれが 20mm 未満

せん断変形 (青色)

大: 貫の亀裂や割れの程度が大きく、破損しているもの

中: 大きな亀裂・割れ、また複数箇所あるとき

小: 小さな亀裂

G に関しては両方の被害がみられたため灰色とした

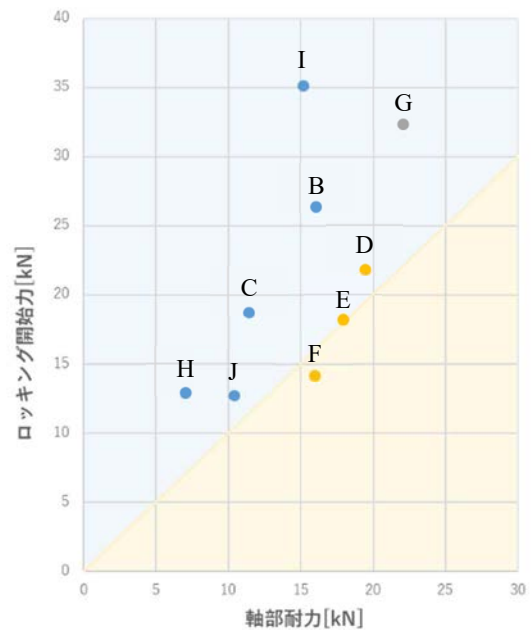


図4 ロッキング開始力／架構復元力の
比率と地震被害の対応関係

* 関西大学環境都市工学部建築学科助教・博 (工)

** フリーランス・修士 (工)

*** 関西大学環境都市工学部建築学科教授・博 (工)

* Assistant Professor, Kansai University, Dr. Eng.

** Freelance, M.Eng.

*** Professor, Kansai University, Dr. Eng.