

I-724

鐘樓の移動より推定される1909年姉川地震の地震動強さ

東京工業大学 正 員 大町達夫
 学生員 本多基之
 翠川三郎

1. はじめに

厳しい安全性が要求される重要構造物の耐震設計の際には、建設敷地近傍に震源を持つ地震が想定される場合があり、そのため震源域での地震動の強さを推定することが耐震学上要求されている。しかしながら、現在までに震源域で得られた強震記録は少なく、震源域での地震動特性については不明な点が多い。

1909年姉川地震では、震源近傍で鐘樓が約1 mも跳躍したことが報告されている¹⁾。本研究は、その鐘樓の移動距離をもとに模型実験を行い、この地震の震源近傍での地震動強さを推定したものである。

2. 姉川地震での鐘樓の移動

姉川地震²⁾は、1909年8月14日午後3時31分に滋賀県琵琶湖東部を襲った。マグニチュードは6.8で震源の浅い内陸の直下地震であった。鐘樓の移動現象は図1の斜線で囲まれる倒壊率40%以上の地区に集中しており、すべて北東の方角つまり鐘樓の対角線方向に63cmから98cm跳躍している。

3. 願教寺の鐘樓

願教寺の鐘樓は、これらの跳躍した鐘樓のうち今でも地震当時のまま残る唯一の鐘樓であり、このため本研究では願教寺の鐘樓をモデルとし実験を行うことにした。願教寺の鐘樓は安土桃山時代に建立されたもので、柱の位置は東西に3.21m南北に2.88mである。また全高4.1m、全幅3.8m、総重量約5t、鐘の重さは約380kgである。移動前後の柱の位置は図2の通りである。通常、鐘樓の柱の傾きは半転びと呼ばれるように直径の半分程傾いているのに対し、願教寺の鐘樓は45cmで柱直径の約2倍(45cm)も傾いており、傾きが大きいので水平方向の揺れに対して高い安定性がある。

現地調査によれば、願教寺鐘樓の固有周期は0.5秒であり、地盤の卓越周期は約1秒であった。

願教寺鐘樓は姉川地震で図2のように礎石上から約1 mを一気に移動した。鐘樓が高さ約20cmの礎石・沓石上から落下しながら1 m跳躍するためには、相対速度で毎秒4 m以上の地動速度が必要である。

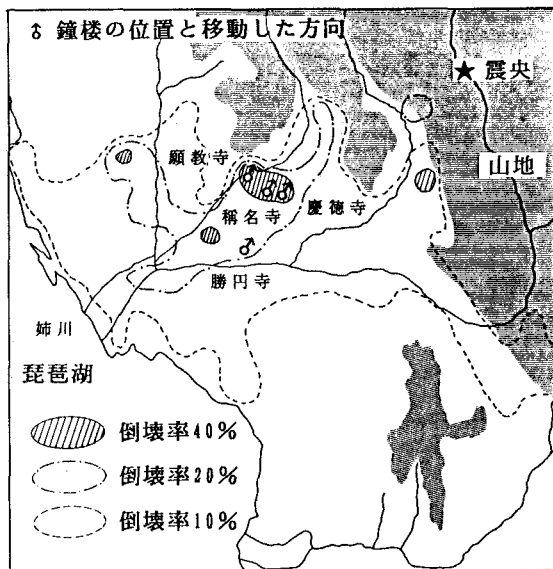


図1 鐘樓の跳躍現象

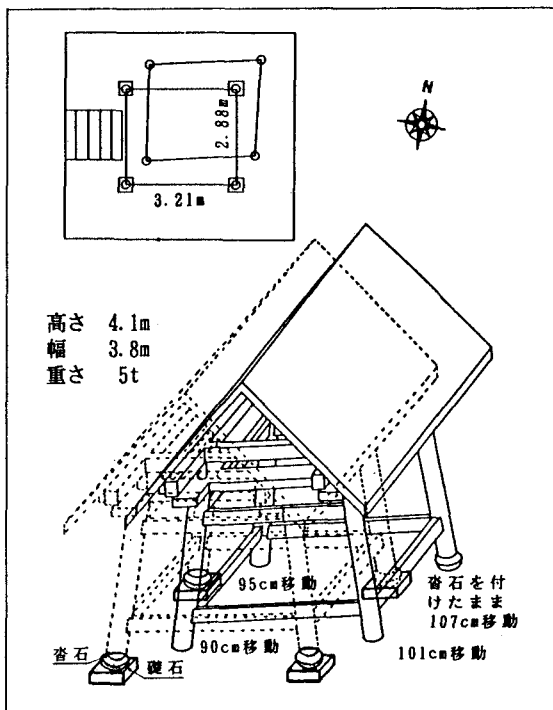


図2 願教寺鐘樓の移動図

しかし、地震のみでこのように大きな速度が得られたとは考えられないので、地震で鐘楼がたわみ、その反動で1 m近く跳躍したと推測される。このことを確かめる為、模型振動実験を行い定量的に検討した。

4. 模型を用いた振動実験

縮尺1/15とし剛性配分や重心の位置などに配慮して鐘楼模型を制作し、水平振動台で加振した。実験では、模型の上部に小型加速度計を2つ取り付け、1つは振動方向、もう1つは鉛直方向の加速度をそれぞれ測定した。また、振動台にも加速度計を取り付け、振動方向の加速度を測定した。

まず模型を辺方向に設置し、固有周期に等しい正弦波を入力し模型の挙動を観測したところ、模型はロッキング振動を起こすだけで跳躍には至らなかった。次に模型を対角線方向に設置し同様の実験を行った。すると、模型は620galの加速度入力で約6cm跳躍した(写真1~2)。

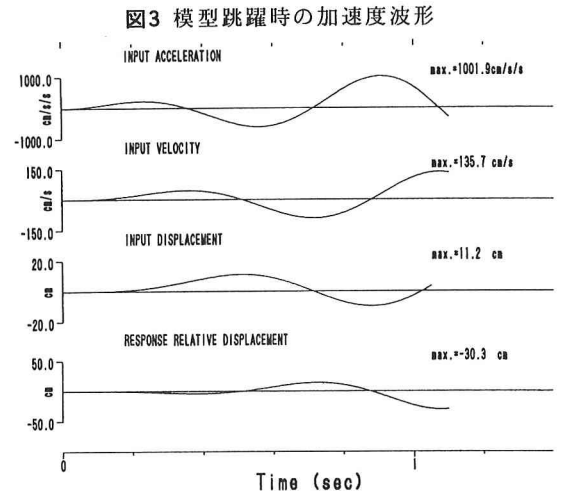
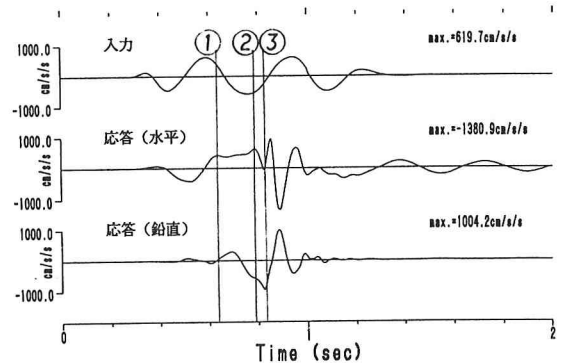
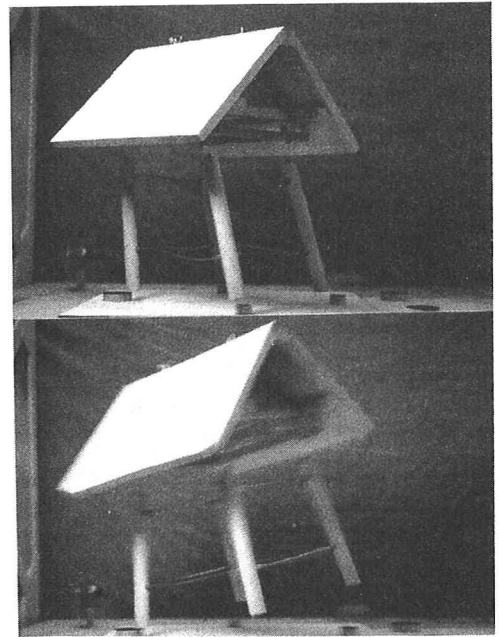
図3は跳躍時の加速度波形であり、図の①で片足を上げて鐘楼がたわみ、②で跳躍し、③で着地する。対角線方向に加振すると接地している一本の柱がたわみ、同時に四辺形を形成している横梁はひし形に変形するため、模型は柱や横梁をバネとして対角線方向に跳躍する。模型本来の固有周期が0.5秒の場合、一本柱のみ接地しているときにはそれが0.7秒に延びる。

これと同様のメカニズムで願教寺の鐘楼も対角線方向に跳躍したと考え、実物の応答を数値計算してみた。

周期0.7秒で最大加速度1000gal、最大速度130cm/sの急変する地動を与えたときの加速度・速度・変位の波形と鐘楼の変位を図4に示す。この例では鐘楼は30cmたわみ、その弾性エネルギーで初速度270cm/sを持つ。これに地面の速度を加えると相対初速度は300cm/sをこえるので、願教寺鐘楼が約1 m跳躍したと符合する。

5. 結論

姉川地震での鐘楼の跳躍現象について検討し、最大加速度1000gal、最大速度100cm/s程度の地動があれば、約1 mの鐘楼の移動を説明できることがわかった。



1) 今村明恒：震災予防調査会報告 第七十号 明治四二年 姉川地震調査報告

2) 宇津徳治ほか：地震の辞典