

第 I 部門

振動台実験に基づく墓石の耐震補強工法に関する研究

京都大学工学部

学生員 ○辻 彰啓

京都大学大学院工学研究科

正会員 清野 純史

飛島建設株式会社

正会員 三輪 茂

九州大学大学院工学研究科

正会員 古川 愛子

1. はじめに

墓石は先祖を祀り、故人に思いを致すため、精神的にも儀式的にも非常に大切なものであり、地震によって転倒したり、破損したりすることのないことが望ましい。また、お墓参りの最中に地震が発生する、地震発生後に先祖の墓が無事か確認しているときに余震が起こるなどして、人的な被害が出ることは避けなければならない。さらに、緊急避難場所として墓地や霊園が指定されている地域もあるので、二次災害を防止する意味でも墓石の耐震性の検討は重要課題となっている 1) 2)。

本研究では、一般によく用いられている墓石の耐震補強工法の中から、石材に穴を開けてステンレス棒を挿入することによって石材間のずれを抑制する連結工法を対象とする、心棒を入れるいくつかの配置パターンの振動台実験を実施し、最適な設置方法に関する知見を得ることを目的とする。

2. 実寸大墓石試験体を用いた振動台実験

振動台に心棒による補強を施した墓石の実大模型試験体を設置した上で、兵庫県南部地震の観測記録の特性をもった震度 6 弱、震度 6 強、震度 7 に相当する地震動を作用させ、心棒による補強を施した墓石の耐震性能を評価する。

心棒に用いる棒材には、市販され一般に用いられている直径 10mm 長さ 150mm のステンレス棒を 1~4 本使用する。また、それらの効果を比較するために、平成 17 年に日本石材協会によって実施された、何も加工していない墓石、及び直径 18mm 長さ 400mm の心棒を用いた墓石の実験結果を参照する 3)。実験に用いた試験体を図 1 に示す。心棒設置に当たっては、棹石・上台に 9 つの穴を開けて、それに心棒を入れた。心棒の配置を図 2.1、2.2 に示す。試験体には頂点部に加速度計を設置し、加振時の応答加速度を計測した。

各墓石試験体の加振後の転倒状況を表 1 に示す。

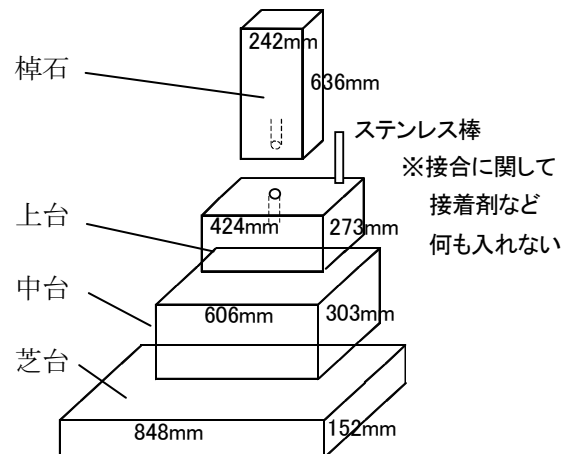


図 1 墓石試験体

寸法 12mm 丸×80mm

●: 心棒を入れる穴

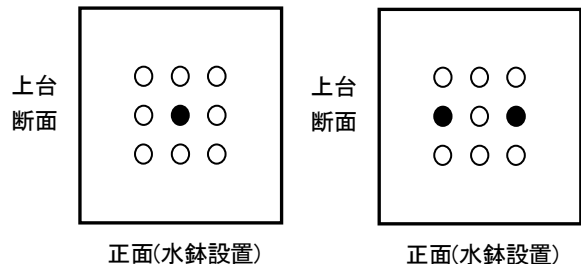


図 2.1 心棒配置の様子(左: 心棒 1 本、右: 2 本)

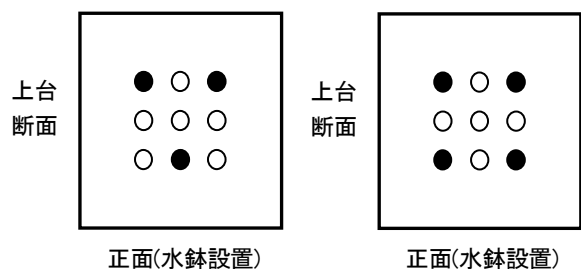


図 2.2 心棒配置の様子(左: 3 本、右: 4 本)

表 1 各試験体の転倒状況

試験体\震度	6 弱	6 強	7
150mm 心棒 1~4 本	○	○	×
心棒なし	○	×	×
400mm 心棒 1 本	○	○	×

3. 振動台実験に基づく耐震補強効果の検証

図3の最大応答加速度の比較から、150mm心棒に比べて400mm心棒を用いた方がロッキングを原因とする石材同士の衝撃力(局所的に大きな加速度計測値)の値が小さくなっていることが分かる。これは、心棒を長くすることによって棹石のロッキング運動が抑制され、棹石及び上台にかかる負荷が小さくなったことを示すものと考えられる。

図4、図5の応答加速度時刻歴から、典型的なロッキング運動の様子が見て取れる。また、図を比較すると、400mm心棒の方が衝撃力を計測する回数が少なく、加振中のロッキング運動を抑制していることが分かる。フーリエスペクトルや伝達関数は石材同士の衝撃力の影響が強く出ており、卓越を見ることは困難であった。

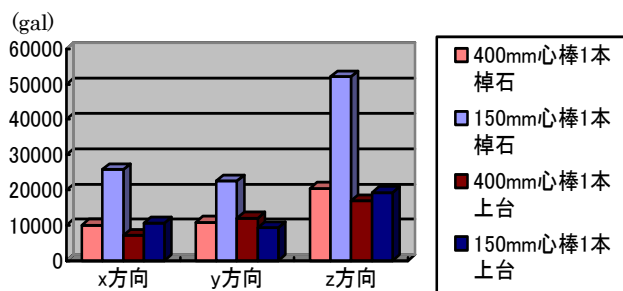


図3 震度6強の地震動に対する最大応答加速度の比較

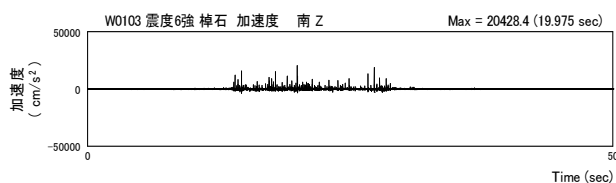


図4 400mm心棒棹石加速度時刻歴(震度6強z方向)

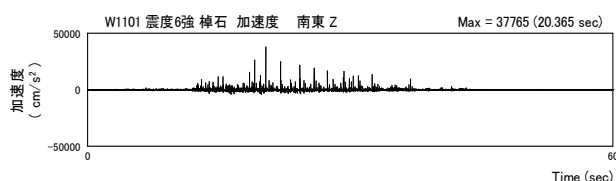


図5 150mm心棒棹石加速度時刻歴(震度6強z方向)

また、本研究では実験時のデジタルカメラの動画の画像解析を行い、地震時の墓石の挙動を再現することにも取り組んだ。これにより、地震時の墓石の変位を知ることができ、振動特性や補強効果をより定量的に評価できると考えられる。

4. 結論

本研究で行ったこと、及び得られた結果は以下の通りである。

- (1) 振動台実験を通じて、墓石の耐震補強工法に関する検討を行った。実験から得られた映像や応答加速度データなどから、心棒で補強することにより、震度6強相当の地震動に対して転倒しないこと、棹石・上台が一体となった挙動を示すこと、心棒と墓石の衝突によって負荷が増加すること、そして加振中のロッキング運動が抑制されるということが分かった。
- (2) 心棒の本数及び長さに関わらず、震度6強相当の地震動で転倒した。また、最終変位にも大差は見られず、コスト面を勘案すると心棒1本で耐震効果は上げられると思われる。
- (3) 心棒の本数及び長さの違いは、加振時の挙動に現われる。短い心棒を複数用いるよりも、長い心棒を1本用いる方が、加振時のロッキング運動を抑えることが分かった。一方で、墓石の施工上の理由から、現場では短い心棒の方が望まれるため、今後は異なる長さについて検討していく必要がある。
- (4) 2次元画像から、3次元画像を導出するアルゴリズムを提案したが、墓石の振動特性を正確に再現するには至らなかった。今後はプログラムの改良及びカメラの撮影方法やターゲットの色のつけ方などの工夫を行い、画像解析の精度を高める必要がある。

参考文献

- 1) 清野純史、三輪茂、古川愛子、樺山貴昭：「実寸大模型を用いた振動台実験に基づく各種耐震補強策の効果の検証」2006
- 2) 清野純史、三輪茂、古川愛子：「連結・免震による耐震性向上効果の実験的検証」土木学会地震工学論文集 2007.8
- 3) 樺山貴昭：「地震時の墓石の転倒現象に関する実験的研究」2006