

心棒の寸法・本数が墓石の耐震性に及ぼす影響の実験的検討

飛島建設(株) 正会員 ○三輪 滋 九州大学 正会員 古川 愛子
京都大学 正会員 清野 純史

1. はじめに

心棒を挿入して石材間を連結する墓石の耐震補強法(ダボ工法¹⁾)は、従来から多く用いられているが、心棒の設置方法に関する規定が無く、経験に基づいた様々な施工法が各地で行われているのが現状である。本研究では、心棒の寸法と本数の異なる実寸大墓石模型を用いた3次元振動台実験によって、心棒の効果と心棒の最適な設置について検討した。

2. 墓石試験体モデル

表1に墓石試験体モデルの分類と各石の寸法・質量を示す。上の石から順に、棹石、上台、中台、芝台と呼ばれる。モデル1は図1(a)に示す無補強のモデル、モデル2は図1(b)に示す直径18mm/長さ400mmの心棒1本で連結したモデル、モデル3、4は直径10mm/長さ150mmの心棒を、それぞれ1本、2本用いて連結したモデルである。心棒の挿入位置を図2に●で示す。試験体は振動台上の鉄板上に芝台を接着し、その上に各墓石を設置した。

3. 入力地震動

本研究では、1995年兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された記録の位相特性と、設計などに用いられる加速度応答スペクトル³⁾⁴⁾を用いて水平・上下動の模擬地震動を作成した。作成した加速度時刻歴波形を図3に示す。作成した地震動を基に、加速度レベルを調整して、震度6弱相当、震度6強相当、震度7相当の地震動を作成した。表2に各震度の地震動の最大加速度を示す。ここでは簡単のために、それぞれ震度6弱、6強、7の地震動と呼ぶ。

4. 振動台実験結果

(1) 各試験体の転倒状況

各試験体の転倒状況を表3示す。無補強のモデル1は、震度6弱で変位・ずれを生じ震度6強以上で転倒した。補強墓石は、いずれのモデルも震度6強までは転倒はしないが、震度7では棹石と上台が一体となって転倒に至った。心棒の直径が大きく長いモデル2と、心棒の直径が小さく短いモデル3、4は、転倒の有無については同じ結果となったが、加振中の挙動には違いが見られた。加振中の挙動について次項にまとめる。

(2) 各試験体の加振中の挙動

加振中の挙動から、心棒の効果および寸法の違いを明らかにする。

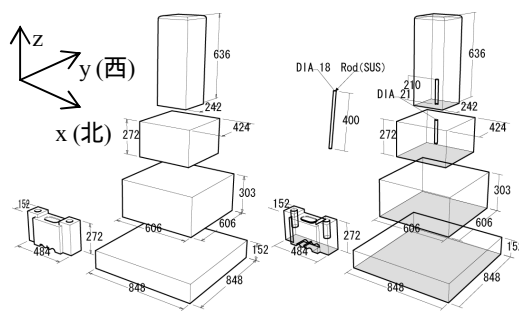
a) モデル1(無補強)

震度6弱では、棹石はロッキングを起こしながら上台端部まで移動したが、転倒には至らなかった(図4(a))。震度6強では、棹石が激しくロッキングしながら上台端部まで移動して転倒に至った(図4(b))。震度7では、更に一層ロッキングの激しさが増し転倒した(図4(c))。

表1 墓石モデルの分類と各石の寸法・質量(長さの単位: mm)

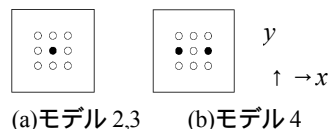
モデル名	心棒本数	心棒の寸法	棹石	上台	中台	芝台	水鉢
1	なし	-	W636 × D636 × H242	W424 × D424 × H273	W606 × D606 × H303	W848 × D848 × H152	W484 × D152 × H272
2	1本	d18 L400					
3	1本	d10 L150					
4	2本	d10 L150					
			質量 108kg	質量 142kg	質量 322kg	質量 315kg	質量 46kg

(d: 直径, L: 長さ, W: 幅, D: 奥行き, H: 高さ)



(a) モデル1 (b) モデル2

図1 墓石試験体の概要(単位 mm)



(a)モデル2,3 (b)モデル4

図2 棹石下面に開けられた心棒設置の穴

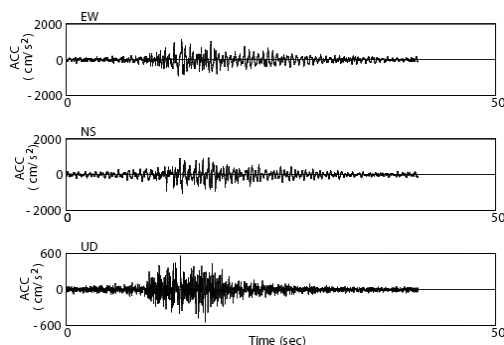


図3 模擬地震動の加速度波形

表2 各震度に対する入力波の最大加速度(gal)

計測震度	震度6弱	震度6強	震度7
x 方向	553	894	1170
y 方向	484	818	1049
z 方向	279	468	733

キーワード 墓石, 耐震補強, 心棒, 最適寸法, 最適設置, 3次元振動台実験

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設(株) 技術研究所 TEL:04-7198-1365

b)モデル2 (直径 18mm, 長さ 400mm の心棒 1 本)

棹石は心棒によって上台に連結されているため、棹石のロッキングが抑制され、震度 6 弱ではほとんどロッキングも回転もしなかった(図 5(a))。震度 6 強では、棹石と上台が一体となって移動した(図 5(b))。上台は中台の端部まで移動したが転倒には至らなかった。震度 7 では、棹石と上台が一体となって回転を伴いながら中台上で滑り、落下した(図 5(c))。心棒による棹石と上台の一体化により、無補強のモデル 1 に比べてロッキングは抑制されたが、震度 7 の大きな地震動に対しては転倒を免れなかった。上台 - 中台間の補強も併せて行う必要があると考えられる。いずれの震度においても、心棒周りの回転運動はほとんど見られなかった。

c)モデル3 (直径 10mm, 長さ 150mm の心棒 1 本)

震度 6 弱では、棹石が心棒周りに回転した(図 6(a))。震度 6 強では、棹石の下面がロッキングにより浮き上がり、上台は棹石に引っ張られる形で移動した(図 6(b))。棹石は上台と完全に一体とはなっておらず、上台に対する棹石の相対運動が見られた。棹石と上台は回転を伴いながら中台上で大きくすべり、中台の端部近くまで移動したが転倒には至らなかった。震度 7 では、上台が棹石に引っ張られる形で移動して転倒した(図 6(c))。モデル 3 は心棒が細く短いため、モデル 2 と違い棹石の回転運動が発生し、棹石と上台の連結は不完全なものであった。

d)モデル4 (直径 10mm, 長さ 150mm の心棒 2 本)

心棒が 2 本あるため棹石の回転運動は抑制されたが、棹石と上台の連結は不完全で、モデル 3 と同様に棹石のロッキングが目立った。震度 7 では上台は棹石に引っ張られる形で移動・落下した。

(3)心棒の寸法・本数が地震時挙動に及ぼす影響のまとめ

心棒で補強することにより、震度 6 強時の棹石の転倒を防ぐことができるが、さらに強い震度 7 では棹石と上台が一体となって転倒に至る。心棒の寸法と本数に関係なく転倒の有無は同じ結果となったが、加振中の挙動は心棒の寸法と本数により異なった。心棒が細く短い場合は連結が不完全で、心棒が 1 本の場合は棹石が上台に対しロッキングと回転の相対運動を起こした。心棒を 2 本に増やすことで、回転運動は抑制できたが、ロッキングは防げなかった。一方、太く長い心棒を用いた場合は、1 本であっても、棹石と上台の連結効果が発揮され、棹石は単独の運動を起こさず、一体となって移動・転倒した。以上より、同じ心棒 1 本による補強でも、心棒の直径と長さの違いによって連結効果が異なるので、連結効果が発揮される程度に太く長い心棒を用い、かつ上台と中台間の補強を施せば、心棒は 1 本でよいと考えられる。

5. まとめ

実寸大墓石を用いた振動実験により、心棒の効果、心棒の寸法・本数が耐震性に及ぼす影響について検討を行った。

参考文献 1)日本石材産業協会、飛島建設(株)：地震に強いお墓に関する研究(実験編)、2006 年 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編、2002 年 3) 日本電信電話公社：通信装置等の耐震試験方法、1998 年

表 3 試験体の転倒状況

モデル名	心棒本数	心棒の寸法	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
1	なし	-		×	×
2	1 本	d18 L400			×
3	1 本	d10 L150			×
4	2 本	d10 L150			×

○：変化なし △：変位・ずれが生じる ×：転倒



(a)震度 6 弱加振後 (b)震度 6 強加振中 (c)震度 7 転倒時

図 4 モデル 1 の実験結果



(a)震度 6 弱加振後 (b)震度 6 強加振中 (c)震度 7 転倒時

図 5 モデル 2 の実験結果



(a)震度 6 弱加振後 (b)震度 6 強加振中 (c)震度 7 転倒時

図 6 モデル 3 の実験結果



(a)震度 6 弱加振中 (b)震度 6 強加振後 (c)震度 7 転倒時

図 7 モデル 4 の実験結果