

2002年鳥取県中・西部地震（M5.3）および地震時の墓石挙動に関する振動台実験

山口大学工学部 正会員 山本哲朗
山口大学工学部 正会員 鈴木素之
山口大学大学院 学生会員 ○竹田直樹

1. はじめに

2002年9月16日10時10分頃、鳥取県倉吉市立見に震源をもつ鳥取県中・西部地震（M=5.3）が発生した。著者らは、現地調査を実施し、墓石の移動および転倒を数多く確認した。墓石を用いた地震動の強さを推定する方法は古くからあり、墓石など直方体が地震により転倒するための条件は水平震度 $k=b/h$ （ b ：幅 B の $1/2$ ， h ：高さ H の $1/2$ ）であるとされている¹⁾。本文では水平方向加振の振動台を用いた実験を行い、墓石の転倒の条件式および墓石挙動の検討を行った結果について述べる。

2. 地震概要

鳥取県中・西部地震（M=5.3）は2002年9月16日10時10分頃に発生した。震央位置は北緯35.4度，東経133.7度，震源深さは約10kmである。最大加速度は，震央から約10km離れた地点の鳥取県倉吉市で記録された，南北成分174.3gal，東西成分79.2gal，上下成分47.6galである。この地震により，震央付近で最大震度4が観測された²⁾。著者らは，今回の地震被害状況を確認するための調査を実施した。図-1に調査を実施した鳥取県中部地方および災害調査地点を示す。調査の結果，神社における被害2件，住家一部破損4件，墓地の被害9件を確認することができた。写真-1～3に各被害状況を示す。表-1は，各地点の墓石寸法と墓石移動量および移動方向を示したものである。図-1内に墓石の移動方向から推定された地盤の移動方向を示す。今回の地震による地盤の移動方向は概ね北方向であると推定できる。

3. 振動台実験

3.1 実験の目的 著者らは，これまでの地震災害調査において，各地点における加速度を墓石の転倒条件の式 $k=b/h$ を用いて推定することを検討してきた。転倒条件の式 $k=b/h$ に関しては，種々の振動数で振動する力に対して適用できるのか否かは不明である。そこで，振動台を用いた実験を行い，転倒条件の式の検討

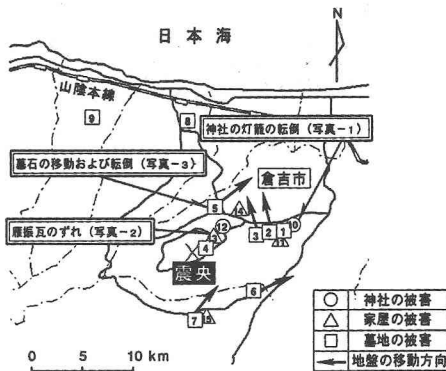


図-1 調査地点

表-1 各地点での墓石の移動量およびその方向

No	市町村	地点名	墓石の寸法 (cm)			b/h	墓石中心の移動量(cm)	墓石移動前の方向	墓石移動後の方向
			B	D	H				
1	倉吉市	三江	18	17.5	79	0.23	-	-	-
2			32	32	85	0.38	3.5	N2°W	N15°W
			30	28	85	0.35	-	N38°W	N68°W
3		上米積	34	34	87	0.39	4.3	N70°W	N83°W
4		立見	32	34	86	0.37	-	-	-
5	関金町	服部	30	30	150	0.20	7.8	N44°W	N50°W
6		安歩	31	31	115	0.27	1.3	N28°W	N24°W
7		今西	32	32	90	0.36	0.3	N47°W	N45°W
8	東伯町	下大江	-	-	-	-	-	-	-
9	赤崎町	常栄寺	-	-	-	-	-	-	-



写真-1 灯笼の転倒状況
(番田稻荷神社)



写真-2 雁振瓦のずれ
(倉吉市横手)

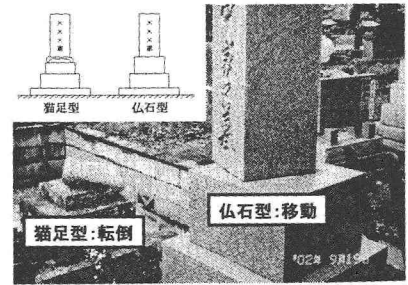


写真-3 墓石の移動および転倒
(倉吉市服部)

および墓石挙動の振動数および加速度特性を調べることにした。

3.2 転倒条件と振動数 転倒条件が成立する振動数を求めるために、振動数 $f=1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0$ Hz に設定し、墓石が転倒するまで加速度を上げ、転倒時の加速度 α_H を記録するという実験を行った。実験は幅と奥行きが 0.2 m、高さが 0.8 m (転倒条件 $b/h=0.25$) の花崗岩の墓石を使用した。実験結果を図-2 に示す。図からこの墓石の転倒は振動数 1.0 および 1.5 Hz でしか転倒を起こらないことがわかる。これ以上の振動数では本研究では正弦波状加速度を用いているために慣性力が逆向きに作用し、墓石が転倒しないのである。

3.3 墓石挙動の振動数特性 移動量が測定できるように印をつけた台の中心に墓石を設置し、 $\alpha_H=250$ gal として、 f を変化させて振動台を駆動させるという実験を行い、墓石挙動の振動数特性を調べた。図-3 は時間ごとの墓石中心の水平方向に対する挙動である。振動数が大きくなるにしたがい、水平変位 x の振幅が小さくなりロッキング現象の振動数も当然大きくなっている。振動数と最終移動量の関係を図-4 に示す。現段階では断定することはできないが、両者には線形関係がみられ、振動数の増加に伴い墓石の移動量も増加するものと示唆される。

3.4 墓石挙動の加速度特性 前実験と同様に台の中心に墓石を設置し、 $f=2.0$ Hz とし、 α_H を幾通りかに変化させて振動台を実験を行い、墓石挙動の加速度特性を調べることにした。設定加速度に達した後 30 秒間の墓石の動きをビデオカメラで撮影し、墓石の挙動を確認した。また、振動後の墓石の最終移動量を調べるため初期位置と振動後の墓石の位置との距離を測定した。実験結果を図-5 に示す。比較のために実物大の墓石 (幅、奥行きが 0.3 m、高さが 0.8 m、転倒条件 $b/h=0.375$) の結果も示す。実際には、設定加速度のみが作用したときの移動量となっておらず、今後設定加速度における移動量の測定を試みる必要があるが、現段階では墓石の移動は、転倒条件の式より一義的に定まる値以上の加速度が作用すると、急激な移動が生じる。

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると、以下のとおりである。①鳥取県中・西部地震では大きな被害はなく、墓石の移動や転倒が多くみられた。②転倒の条件式は、一定振動数内でのみ成立する条件式であり、あらゆる地震動において一般的に用いることはできない。③振動数と移動量には線形的な関係がみられ、振動数の増加に伴い移動量も増加するものと示唆される。④墓石が転倒を起こさない振動数で振動させると、転倒条件の式より一義的に定まる値以上の加速度が作用すると、急激な移動が生じると示唆される。

【参考文献】

- 1) 物部長穂：地震上下動に関する考察並に振動雑論，土木学会誌，第 10 巻，第 5 号，pp1063-1094，1926
- 2) 省消防庁：インターネット閲覧資料 (<http://www.fdma.go.jp/>)，2002。

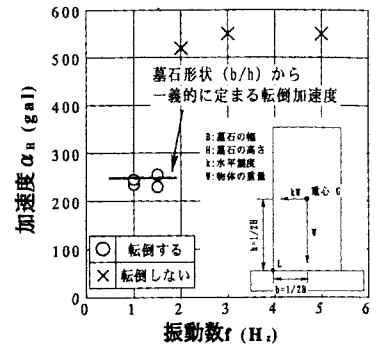


図-2 転倒に要する加速度と振動数

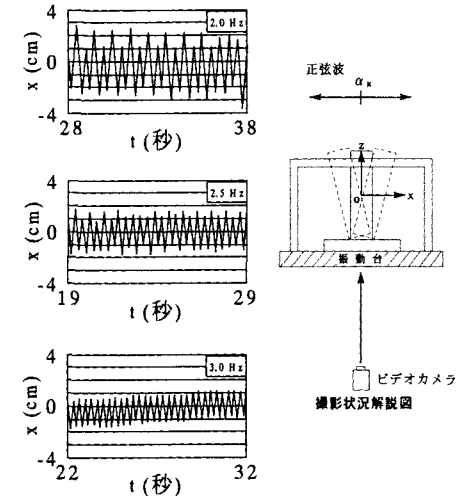


図-3 時間ごとの墓石中心の
に対する挙動

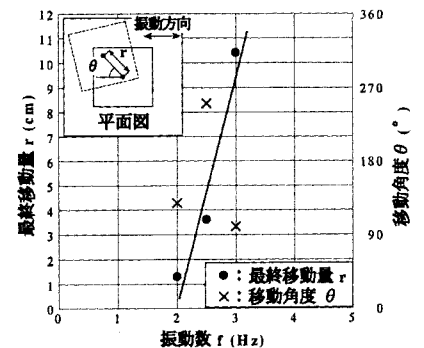


図-4 振動数と最終移動量および

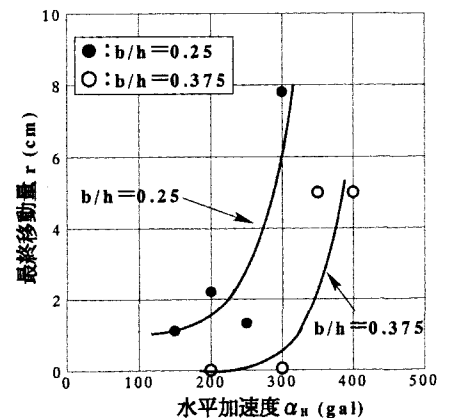


図-5 加速度と最終移動量