

I-B214 数値シミュレーションに基づく計測震度と墓石の転倒率との関係

芝浦工大 正会員 紺野克昭
日本舗道 小池正貴
ライト工業 赤羽 直

1. はじめに

被害直後に地震動強さの分布を知ることが、被害と地震動強さの関係を明確にする上で非常に重要である。地震動強さを知る最良の方法は、地震計による地震観測である。一般に地震動強さは局所的に変化することが多く、この局所的変化をとらえるには地震計を密に設置する必要がある。しかし、密に設置することはコスト的に大きな困難を伴う。地震計以外に地震動強さを推定する方法として、従来から墓石の転倒率が用いられている。これは、墓石の転倒率から地震動強さがある程度推定でき、かつ、墓地は比較的密に存在しているため地震動強さの空間補間に利用しやすいからである。図1は、東京23区、川崎市内にある約2200カ所の墓地の分布を示しており、これからも被害地震後の墓石の被害状況から密な地震動強さ分布を得ることが可能であることがうかがえる。墓石の転倒率は地震動強さを表現するものであるが、地震動強さを表す指標として、通常、計測震度が用いられている。したがって、墓石の転倒率と計測震度の関係を明確にしておく必要がある。そこで、本研究では、防災科研のK-NETより得られる地震記録を入力波として墓石の動的挙動の数値シミュレーションを行い、計測震度と転倒率の関係を明らかにすることを試みる。

2. 数値シミュレーション

数値シミュレーションには、石山の理論¹⁾を用いている。これは、剛体ブロックの2次元挙動を、静止、スライド、ロッキング、スライドロッキング、並進跳躍、回転跳躍の運動形態で評価したものである。数値シミュレーションに用いたパラメータを表1に示す。なお、墓石のサイズは関東近辺で一般的に普及しているサイズである。

墓石の動的性質を知るために、自由ロッキングの計算を行った。図2に、1/20秒間隔のスナップショットを示す。このときの回転角の時刻歴波形を図3に示す。図3より回転角が小さくなるにつれて、ロッキング周期が短くなることが分かる。

数値シミュレーションに用いる入力波形には、K-NETの1996年5月から1997年10月までに計測震度4.0以上が観測された、延べ109地点の加速度波形を用いている。数値シミュレーションは2次元(水平+上下)であるため、1地点毎に南北・東西成分の2回のシミュレーションを行っている。また、K-NETでは十分大きな加速度波形が得られていないので、前述の入力波形の振幅を5倍にして再び同様のシミュレーションを行っている。

3. 結果・考察

以下に、436(=109×2×2)回の数値シミュレーションの結果から得られた、最大水平変位、最大回転角、転倒率と計測震度との関係について述べる。

(1) 計測震度と最大水平変位の関係

図4に計測震度と最大水平変位の関係について示す。図中の□印は源波形入力、○印は5倍波形入力の結果を示している。同図より、計測震度4.7を境に水平移動する墓石が見られることが分かる。また、計測震度6.3を境に21.5cm以上水平移動する墓石が見られることが分かる。この水平変位21.5cmとは、墓石が水平に移動した場合、墓石の重心が台座から外れるための変位である。したがって、最大水平変位が21.5cm以上のとき墓石は転倒したと見なす。

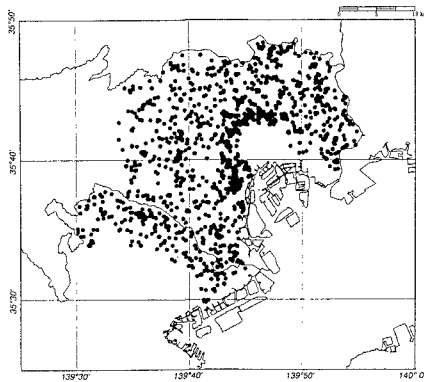


図1 墓地の分布図（東京23区、川崎市）

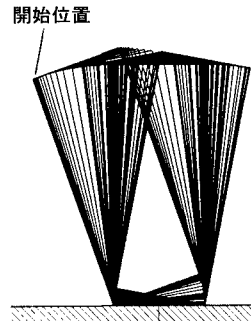


図2 墓石の自由ロッキング
(1/20 秒間隔)

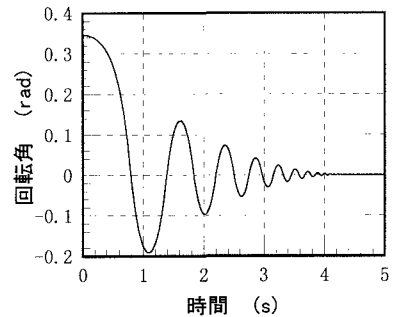


図3 回転角の時刻歴波形

表1 使用したパラメータ

墓石の幅(cm)	24
墓石の高さ(cm)	63
静止摩擦係数	0.4
動摩擦係数	0.3
鉛直方向の反発係数	0.0
水平方向の反発係数	-1.0

表2 計測震度区間毎の転倒率

計測震度	墓石数	転墓倒石し数 た	転倒率 (%)
4.0-6.0	346	0	0.0
6.0-6.5	64	3	4.7
6.5-7.0	20	12	60.0
7.0-	6	4	66.7
合 計	436	20	-

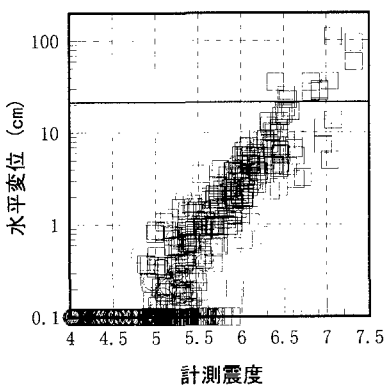


図4 計測震度と最大水平変位の関係

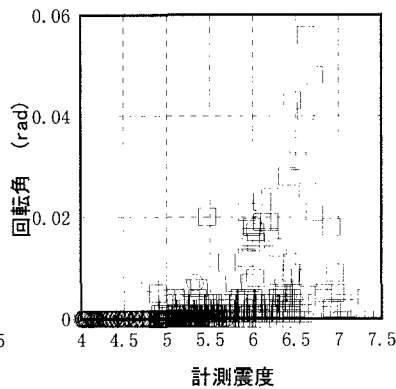


図5 計測震度と最大水平変位の関係

(2) 計測震度と最大回転角の関係

図5に計測震度と最大回転角の関係について示す。図5から計測震度4.7を境にロッキングあるいはスライドロッキングが見られることが分かる。ただし、ロッキングによる転倒は1地点のみでしか見られなかった（計測震度7.3）。

(3) 計測震度と転倒率の関係

表2に各計測震度区間毎の転倒率を示す。転倒率は各計測震度区間で転倒した墓石数を各区間に該当した墓石数で割ったものである。気象庁震度階級関連解説表²⁾には、計測震度5.0-5.5の屋外状況として、‘多くの墓石が倒れる’と記載されており、今回得られた転倒率は計測震度4.0-6.0で0%、6.0-6.5で4.7%と予想よりかなり低い結果となった。これは、図3から分かるように、回転角が大きいときのロッキング周期は約1.6秒であるが、今回使用した入力波形に長周期成分（1~2秒以上）が十分含まれていなかったためと考えられる。

4. まとめ

K-NETの波形データを用いて、計測震度と墓石の転倒率との関係について調べた。この結果、計測震度6.5以上で転倒率が60%以上になることが示された。今後は、転倒率に大きな影響を与える摩擦係数について、そのばらつきを考慮した、より現実的な墓石の転倒率と計測震度の関係を明らかにしていく予定である。

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所のK-NET観測点の表層地盤情報を使用させて頂きました。

文献：1) Y. Ishiyama: Motions of rigid bodies in response to earthquake excitations, Trans A. I. J. 314, 33-45, 1992.

2) 気象庁監修：震度を知る、ぎょうせい、1996。