

1923 年関東地震の再来を想定した青山墓地の被害推定

九州大学工学部 学生会員 小野達也 九州大学工学研究院 正会員 古川愛子
九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲 飛島建設(株) 正会員 三輪 滋

1. はじめに

今後 30 年以内に、関東でマグニチュード 7 級の地震が 70% の確率で起こるとされている。政府の中央防災会議や東京都防災会議は建物、人的、経済被害などの推定を行っているが、墓地の被害推定は行われていない。また、東京都の青山墓地は災害時の広域避難場所に指定されており、地震で避難してきた人が墓地で被害に遭うようなことがあってはならない。そこで、本研究では青山墓地を対象に 1923 年関東地震の再来を想定した被害推定を行った。

2. 被害推定の概要

(1) 青山墓地の概要

東京都港区南青山にある青山墓地は、明治 7 年 9 月 1 日に開設され、敷地面積は約 26 万平方メートル、墓所面積は約 12 万 5 千平方メートルで 1 万 4 千の墓石が収容されている。

(2) 被害推定の流れ

被害推定の流れを図 1 に示す。地表面地震動と転倒率曲線を推定した後、両者を掛け合わせることで転倒率分布を推定する。

3. 地震動の推定

(1) 工学的基盤面地震動

経験的グリーン関数法によって推定された青山墓地の工学的基盤面（せん断波速度 700m/s 相当）における地震動を図 2 に示す。Matsu'ura et al. のモデルを基本とした断層モデルと、1989 年伊豆大島近海地震の際に東京都千代田区三番町で観測された記録を要素地震として用いて合成されたものである¹⁾。

(2) 表層地盤モデル

青山墓地の地盤は、10m 程度のローム層の下に粘性土があり、その下の砂層が支持層となっている。ボーリングデータを参考に青山墓地内および周辺の 35 地点の地盤モデルを作成した。

(3) 地表面地震動の推定結果

一次元重複反射理論に基づく地震応答解析により、35 地点の地表面加速度を推定した。図 3 に最大加速度と等価振動数のコンター図を示す。等価振動数は以下の式より求めた。

$$\text{等価振動数} = \text{最大加速度} / (2\pi \cdot \text{最大速度})$$

図 3 の赤い線は青山墓地の外縁であり、黄色になるほど大きな値を示し、黒色になるほど小さな値を示している。

4. 転倒率曲線の推定

(1) 墓石モデル

墓石モデルは表 1 および図 4 に示すような和型で無補強のモデルを想定し、一番上の墓石の高さ幅比を 1.25~6.5 の間で細かく作成した。

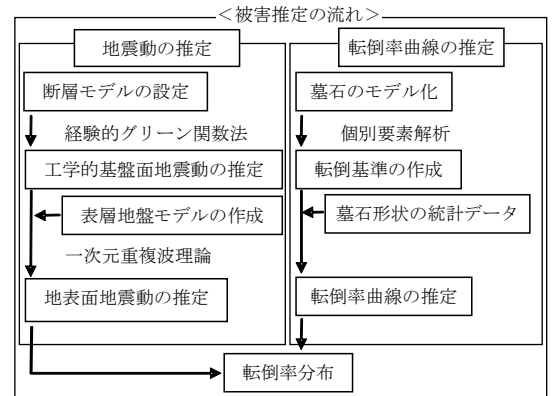


図 1 被害推定のフローチャート

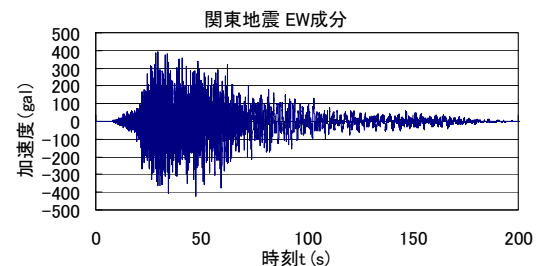
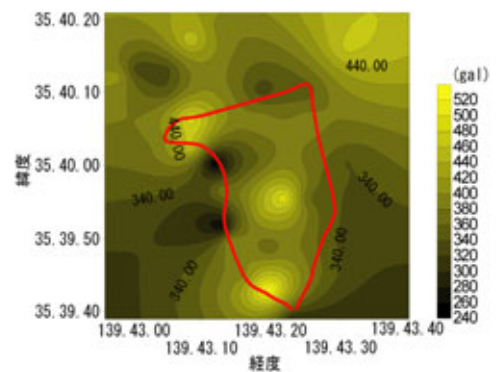
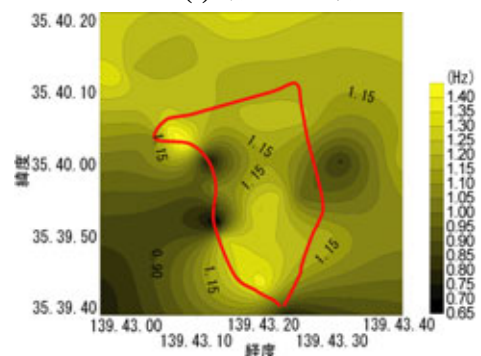


図 2 基盤面入力地震動



(a) 最大加速度分布



(b) 等価振動数分布

図 3 地表面加速度の推定結果

表1 墓石の寸法 (単位: 寸)

竿		上台		中台	
高さH	幅・奥行きB	高さ	幅・奥行き	高さ	幅・奥行き
10~52	8	9	14	10	20
下台		水鉢		高さ幅比H/B	
高さ	幅・奥行き	高さ	幅	奥行き	
5	28	9	16	5	1.25~6.5

(2) 個別要素解析概要²⁾

3次元個別要素法を用いて墓石の転倒解析を行った。入力振動は正弦波とし、最大加速度 200~1300gal、振動数 0.5~3.0Hz の範囲で設定し、水平1方向(図4のy方向)に20秒間振動させた。個別要素解析では、各要素(石材)が接触すると、仮想のばねとダッシュポットが発生し、要素に働く力はこれらのばねを介して伝達される。解析で必要となる接触パラメータ等の解析諸元は、振動台実験の結果をうまく再現しうる値を採用した。解析諸元を表2に示す。

(3) 転倒基準

個別要素解析の結果から高さ幅比による墓石の転倒基準を振動数毎に作成した。最大加速度毎に転倒する最小の高さ幅比をプロットし、双曲線の式で近似したものを図5に示す。このグラフにより、最大加速度と等価振動数から転倒する最小の高さ幅比が求まる。0.5, 1.0, 1.5Hzの結果がほぼ一致していることから明らかなように、低振動数では振動数の影響を受けず、最大加速度のみによって評価されることがわかる。

(4) 転倒率曲線

青山墓地にある墓石からランダムに100体を調査し、高さ幅比のヒストグラム(図6)を作成した。図6から、図5の転倒基準より求まる転倒する最小の高さ幅比を上回る墓石の割合が求まり、これが墓石の転倒率となる。図5と6を掛け合わせたものが図7に示す転倒率曲線であり、最大加速度と等価振動数から青山墓地の転倒率を推定することができる。

5. 青山墓地の転倒率

図3に示す地表面最大加速度と等価振動数分布と、図7の転倒率曲線から、青山墓地全体の転倒率分布を推定した(図8)。関東地震による青山墓地の転倒率は、北西部、中央部、南部で大きく、西側道路付近の被害は小さいことがわかった。特に北西部は転倒率が最大で90%と大きく、補強などの対策が必要であると考えられる。

6. まとめ

関東地震による青山墓地の被害推定を行った結果、転倒率が最大で90%と、高い値となった。本研究では墓石を無補強と仮定したが、実際の墓石は接着剤などの補強が施されているものもあるので、実際の被害は本推定結果より小さくなると考えられる。

参考文献 1)池田隆明, 三輪滋, 釜江宏宏, 入倉孝次郎: 1923年関東地震を想定した東京での地震動評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(B), Vol55,606-607,2000. 2)古川愛子, 清野純史, 三輪滋: 物理シミュレーションによる兵庫県南部地震時の墓石の転倒メカニズムの解明, 地域安全学会論文集, No.7,pp.221-230,2005.

謝辞 本研究は、平成20年度科学研究費補助金(基盤研究(c), 課題番号19560490)の援助を受け、執り行われたものであります。工学的基盤面地震動は飛鳥建設㈱の池田隆明氏にご提供いただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

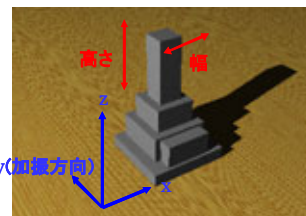


図4 墓石モデル

表2 接触パラメータ

法線方向の接触ばねのばね定数	3947.8(N/m)
接線方向の接触ばねのばね定数	1579.1(N/m)
法線方向の接触ダッシュポットの減衰係数	125.66(N・sec/m)
接線方向の接触ダッシュポットの減衰係数	50.265(N・sec/m)
動摩擦係数	0.438

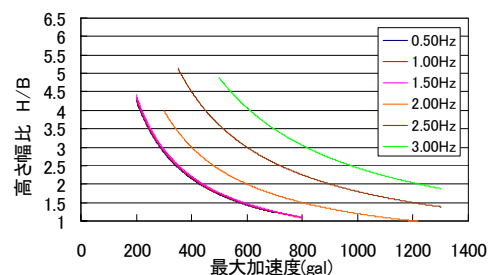


図5 転倒基準

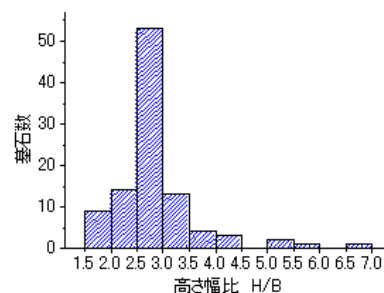


図6 高さ幅比のヒストグラム

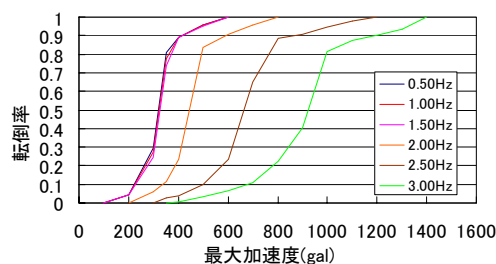


図7 転倒率曲線

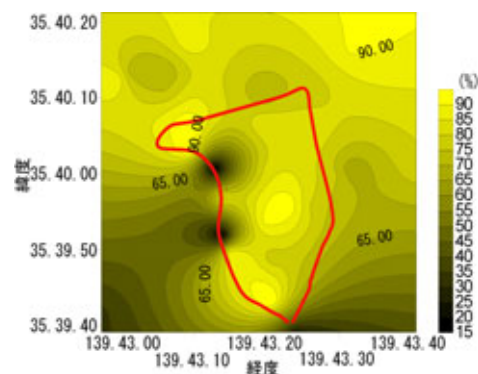


図8 転倒率分布