

## 地点別の地盤増幅特性を考慮した貯水槽被害の危険性評価

中央大学 学生会員 ○亀山 拓希  
中央大学 正会員 佐藤 尚次

## 1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震では、熊本県内において、学校・病院・集合住宅等の給水タンクや水道局施設の配水タンクに多くの被害が発生した。

地震による貯水槽被害の要因として、やや長周期地震動によるスロッシング現象と短周期地震動によるバルジング現象が考えられる。地震動の周期特性は表層地盤の増幅特性の影響を大きく受ける。そのため、貯水槽被害は地震動特性と関連があり、地点別の地盤特性の影響を大きく受けると考えられる。

そこで、本研究では実際の地震被害を分析し、貯水槽被害と地盤特性の関連を評価するとともに、今後、発生が想定される地震に対して、地点別の地盤特性を考慮した貯水槽被害の危険性を評価する。

## 2. 対象地点及び想定地震の選定

本研究では、実際の地震被害として熊本地震による貯水槽被害地点を対象とする。また、東京湾北部地震等により、多大な被害が発生すると想定されている東京都の中で東京都23区の災害拠点病院も対象とする。

想定地震は、東京都に被害をもたらすとされる地震の中で切迫性が高い地震とする。想定地震の諸元は、地震本部より公開されている長期評価を基に設定する。

## 3. 地震危険度解析の概要

本研究では、地震調査委員会が示す「長期的な地震発生確率の評価手法について」に基づいて地震危険度解析を行う。地震危険度解析の概要を以下に示す。

## 3-1. 地震動強さ

地震動強さは工学的基盤面の応答スペクトルに表層地盤の増幅率を乗じることで算出する。工学的基盤面における加速度応答スペクトルの推定は安中ら<sup>2)</sup>によって提案された最短距離を用いた距離減衰式(1)を用いる。

$$\log S_A(T) = C_m(T)M + C_h(T)h - C_d(T)\log d + C_0(T) \\ d = X + 0.334 \exp(0.653M) \quad (1)$$

ここで、 $S_A(T)$ は水平加速度応答スペクトル[Gal]、 $T$ は固有周期[s]、 $M$ はマグニチュード、 $h$ は震源深さ[km]、 $X$ は震源距離[km]、 $C_m, C_h, C_d, C_0$ は回帰係数である。

また、表層地盤の地盤増幅特性は、対象地点の地盤柱状図を基に重複反射理論の考え方をを用いて周波数応答関数を算出し、地盤増幅率の評価を行う。増幅率の算出結果の一部を図-1と図-2に示す。また、熊本地震での加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルの算出結果の一部を図-3と図-4に示す。

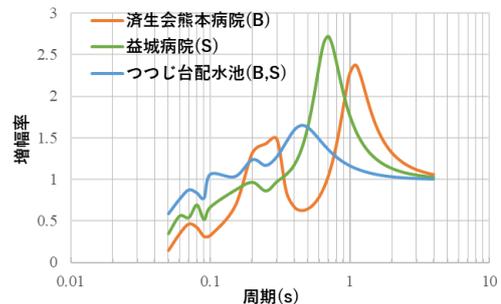


図-1 熊本県での地盤増幅率

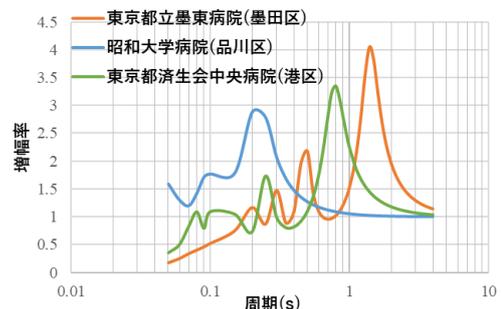


図-2 東京都での地盤増幅率

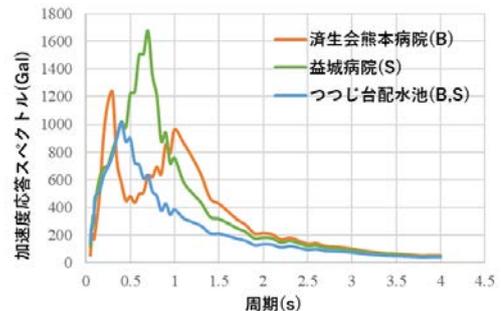


図-3 熊本地震での加速度応答スペクトル

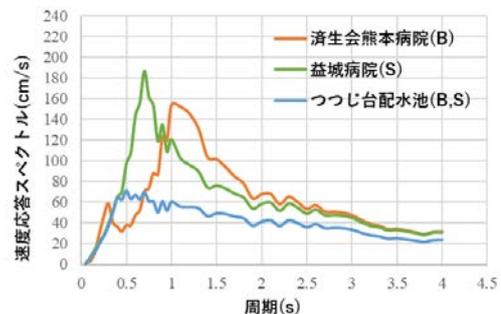


図-4 熊本地震での速度応答スペクトル

## 3-2. 等確率スペクトル (UHS)

地震動強さが着目期間内に少なくとも1度ある値を超える確率（ハザードカーブ）を算出し、固有周期毎に求めた超過確率の等しいスペクトル値を結ぶことでUHSを算定する。東京都における再現期間を50年としたときの等確率スペクトルを図-5と図-6に示す。

キーワード 地震危険度解析, 地盤特性, 等確率スペクトル, スロッシング, バルジング

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1816 Fax 03-3817-1803

#### 4. 解析結果・考察

熊本県での解析結果は、バルジングが発生した済生会熊本病院での地盤増幅率は、短周期側と長周期側に2つのピークが表れている。熊本地震における加速度応答スペクトルは、地盤増幅率の短周期側のピークである0.3s付近で卓越している。これは、通常の貯水槽のバルジングの固有周期0.15-0.4sと近く、被害との対応性が良いと考えられる。また、速度応答スペクトルでは地盤増幅率の長周期側のピークで卓越しているため、スロッシングが発生する危険性も高かったと考えられる。一方、スロッシングが発生した益城病院では、周期0.7s付近で地盤増幅率、速度応答スペクトルともに卓越しているが、これはスロッシングが発生すると考えられる周期帯と比べると、短周期であり、スロッシングと周期特性の関連が弱いという結果となった。

東京都での解析結果は、東京都立墨東病院で済生会熊本病院と類似した特徴を示しており、地盤増幅率は短周期側と長周期側に2つのピークが表れている。また、加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルは、それぞれ短周期側と長周期側で卓越しているため、バルジングとスロッシング両方の危険性が高いと考えられる。東京都済生会中央病院では、益城病院と同程度の周期で地盤増幅率、速度応答スペクトルともに卓越しているため、スロッシングの危険性が高いと考えられる。また、昭和大学病院では周期0.25s程度と短周期で地盤増幅率、加速度応答スペクトルともに卓越しているため、バルジングの危険性が高いと考えられる。

熊本地震での貯水槽被害地点における解析結果と東京都における解析結果を比較することにより、東京湾北部地震を対象に貯水槽被害の危険性を評価した結果を図-7に示す。紙幅の関係で評価基準を載せることができなかったが、土木学会当日に発表で示したい。この結果より、東京都23区の西側ではバルジング、東側ではバルジングに加えてスロッシングの危険性が高くなっていることが分かる。東京都では東側で軟弱地盤が比較的多いことが知られており、この特徴は貯水槽被害の危険性の評価結果と関連があるといえる。

#### 5. おわりに

本研究では、熊本地震を対象に貯水槽被害と地盤特性、応答スペクトルの関連について評価を行い、その結果と東京都における解析結果との比較により、貯水槽被害の危険性評価を行った。熊本地震と貯水槽被害の関連を評価した結果、スロッシング被害と地盤の周期特性の関連が弱いという結果となっている。これは、本研究では応答スペクトルを距離減衰式による推定値を用いており、実際に観測された地震動と差があることによる結果と考えられる。そこで、今後の課題は熊本地震によって、それぞれの対象地点で観測された地震動のデータを用いて解析を行い、貯水槽被害と地盤特性の関連について評価することである。また、貯水槽被害の危険性を評価するにあたって、現段階で考慮できていないバルジング、スロッシングの固有周期を考慮した評価を行う。

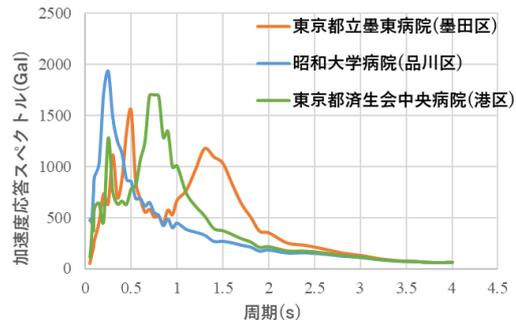


図-5 東京都における加速度応答スペクトル

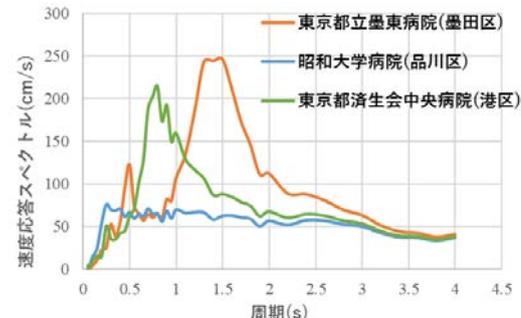


図-6 東京都における速度応答スペクトル

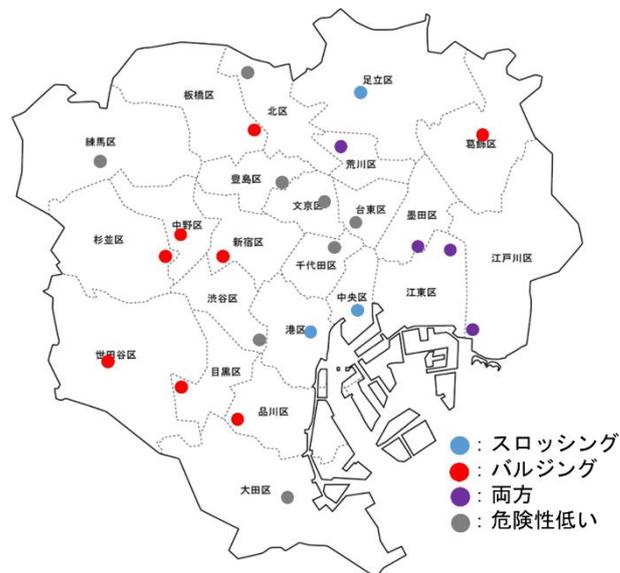


図-7 貯水槽被害の危険性評価

#### 参考文献・出典

- 1) 井上涼介, 坂井藤一, 大峯秀一: 2016年熊本地震における水槽被害および地震動特性との関連について, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.4, I\_711-I\_720, 2017.
- 2) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹: 気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, 1997.
- 3) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門 鹿島出版会
- 4) 活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧, 地震調査研究推進本部, 2020.
- 5) 厚生労働省: 平成 28 年(2016 年)熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書, 2016.