

## 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

中央大学大学院 学生会員 ○亀山 拓希 中央大学 正会員 佐藤 尚次  
(株) エヌ・ワイ・ケイ 正会員 小野 泰介 中央大学 正会員 平野 廣和

### 1. はじめに

2016年の熊本地震では、市民の生活に影響する給水タンクや配水タンクに多くの被害が発生した。<sup>1)</sup>

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、本研究では熊本地震と令和4年福島県沖地震を対象に、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。また、東京都23区の災害拠点病院を対象に、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. 研究手法

#### 2-1. 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「確率論的地震動予測地図」の作成手法を参考にする。また、地震危険度解析で用いる地震動強さは、安中ら<sup>2)</sup>の距離減衰式(1)より推定される工学的基盤面の応答スペクトルに地盤増幅率を乗じることで算出する。

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

$$d = X + 0.334 \exp(0.653M)$$

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。地盤増幅率の評価結果の一部を図-1に示す。

#### 2-2. 応答スペクトルの類似度評価

本研究では、熊本地震での応答スペクトルと東京都における応答スペクトルの類似度評価を行うことで、貯水槽被害の危険性を評価する。類似度評価には、久世ら<sup>3)</sup>によって提案された特徴ベクトルを用いた類似度評価手法を用いる。

類似度評価は、基準波形 $a$ である熊本地震の応答スペクトルより算出した特徴ベクトルを $S_a$ 、任意波形 $b$ である東京都における応答スペクトルより算出した特徴ベクトルを $S_b$ として、波形間の非類似度 $D_S$ を算出し、評価する。非類似度 $D_S$ は、ユークリッド距離を参考に、後述の重み係数 $w_i$ を導入して次式(2)により算出する。

$$D_S(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^{101} (S_{ai} - S_{bi})^2 w_i^2} \quad (2)$$

ここで、重み係数 $w_i$ は次式(3)より算出する。

$$w_i = \frac{(S_{ai})^k}{\sum_{i=1}^{101} (S_{ai})^k} \quad (3)$$

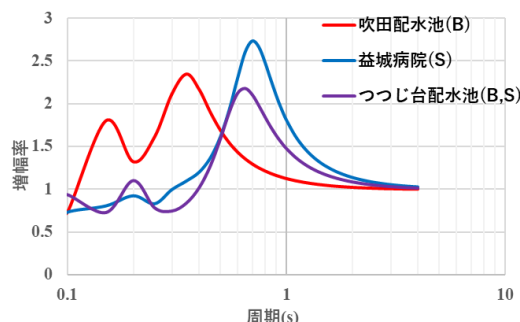


図-1 熊本県での地盤増幅率

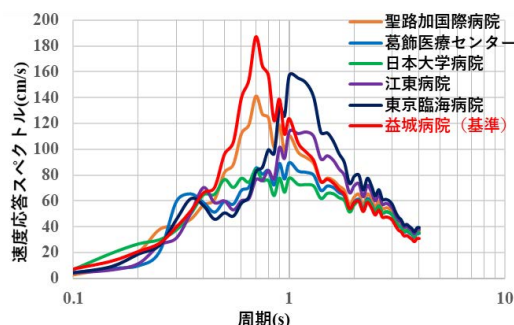


図-2 益城病院での速度応答スペクトルの類似度評価

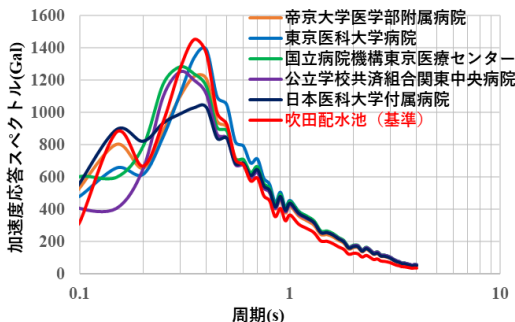


図-3 吹田配水池での加速度応答スペクトルの類似度評価

重み係数 $w_i$ に含まれる $k$ は、大きな値であるほど、スペクトルのピークを重視した重み係数 $w_i$ を与えることになる。本研究では、 $k = 0.5$ として類似度評価を行う。類似度評価を行い、類似度が高い上位5地点を抽出した結果を図-2と図-3に示す。

### 3. 解析結果

#### 3-1. 熊本地震と東京都における解析結果

図-1より、スロッシング被害が発生した益城病院では、他の被害地点と比較すると、地盤増幅率のピークが最も長周期であり、バルジング被害が発生した吹田配水池では最も短周期となっていることが分かる。また、スロッシングとバルジングの両方が被害原因であるつつじ台配水池では、増幅率のピークは前述の2地点の間となっている。この結果より、貯水槽被害と地盤増幅率には関連があると考えられる。

次に、類似度評価を行った結果について、図-2より、益城病院を基準波形としたときに類似度が高いと評価された地点は、いずれも他の地点と比べ、やや長周期側で卓越しており、スロッシングの危険性が高いと考えられる。図-3をみると、吹田配水池を基準としたときに類似度が高いと評価された地点は、いずれも卓越周期が0.3-0.4s程度で大きな加速度応答を示していることから、バルジングの危険性が高いと考えられる。

以上で行ってきた類似度評価では、実際には被害の危険性が低い地点でも危険性が高い偽陽性と判定される地点が多くなってしまった。そこで、熊本地震で無被害であった地点について、同様の解析を行い、被害のあった地点と比較することで、偽陽性を減らすことができる指標の検討を行った。その結果、新たな指標として、箕輪<sup>4)</sup>の研究結果を基に定めた一般的なバルジングの固有周期0.15-0.4sの範囲の最大加速度応答1000Galと井上<sup>1)</sup>の調査結果を基に定めた一般的なスロッシングの固有周期1.6-3.8sの範囲の最大速度応答60cm/sを導入した。

以上の結果を踏まえ、東京都において類似度評価を行い、貯水槽被害の危険性を評価した結果を図-4に示す。この結果より、東京都23区の西側ではバルジング、東側ではスロッシングの危険性が高い傾向がみられる。これは、東京都の地盤の特徴である東側に軟弱地盤が広がっているということを反映した結果だといえる。

### 3-2. 令和4年福島県沖地震における解析結果

令和4年福島県沖地震で貯水槽被害のあった地点における地盤増幅率の評価結果を図-5に、速度応答スペクトルと加速度応答スペクトルの解析結果をそれぞれ図-6と図-7に示す。図-5より、バルジング被害が発生した公立相馬総合病院とスロッシング被害が発生した中央大学後楽園キャンパスでは、熊本地震の結果と同様の傾向を示しているが、スロッシング被害が発生した公立藤田総合病院では、異なる傾向となっている。また、図-6と図-7をみると、熊本地震の結果と比べ、速度応答と加速度応答ともに、小さな値を示しており、熊本地震と同様の基準で評価することができないことが分かる。これは、本研究では評価できていない震源特性や伝播経路特性等によるものと考えられ、これらの影響については今後検討していく必要がある。

### 4. おわりに

本研究では、地震による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、その結果を用いて東京都における貯水槽被害の危険性の評価を行った。

今後の課題は、現時点では考慮できていない震源特性や伝播経路特性等についての影響の評価を行い、より精度良く危険性を評価することができる指標の検討を行うていくことである。

### 参考文献

- 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.
- 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, Vol.24, 161-164, 1997.
- 久世益充, 能島暢呂: 地震動特性の特徴ベクトルを用いた類似波形の抽出手法, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.75, No.4, I\_529-I\_540, 2019.
- 箕輪親宏: スロッシングインパクトを考慮した長方形水槽の耐震性に関する研究, 東京工業大学学位請求論文, 1994.

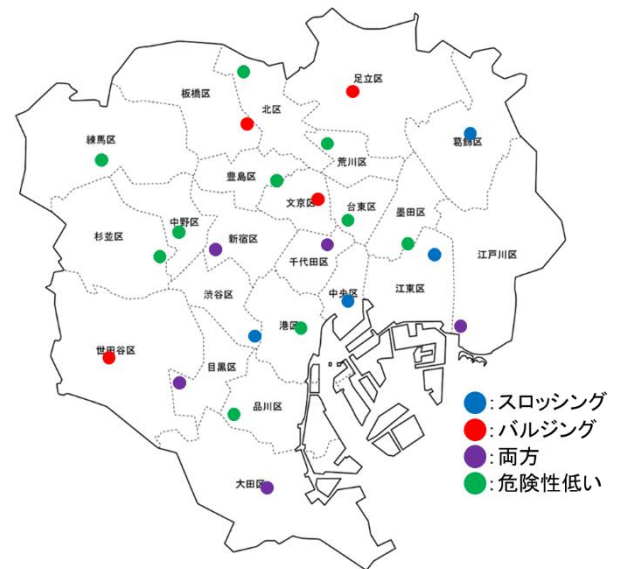


図-4 貯水槽被害の危険性評価

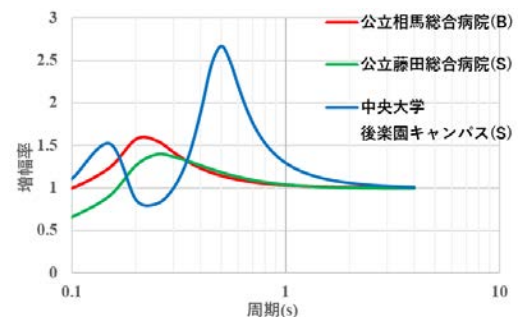


図-5 福島県沖地震での地盤増幅率

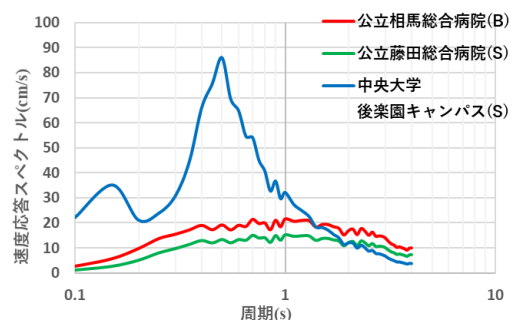


図-6 福島県沖地震での速度応答スペクトル

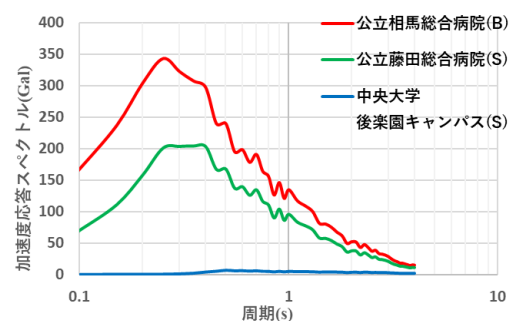


図-7 福島県沖地震での加速度応答スペクトル