

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
中央大学 正会員 小野 泰介 中央大学 正会員 平野 廣和

1. はじめに

2016年に発生した熊本地震では、市民の生活に影響する学校、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ている。¹⁾

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地点を分析し、貯水槽被害と地盤特性の関連を評価するとともに、今後、発生が想定されている地震に対して、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. 対象地点の選定

本研究では、実際の地震被害として、熊本地震での貯水槽被害地点を対象とする。また、今後、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る23区の中でも、災害拠点病院23地点を対象とする。

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「確率論的地震動予測地図」の作成に用いられた手法を参考に解析を行う。また、地震危険度解析で用いる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²⁾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。地盤増幅率の評価結果の一部を図-1と図-2に示す。

4. 応答スペクトルの類似度評価

本研究では、熊本地震における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を評価し、類似度が高いと評価された地点を抽出することで、貯水槽被害の危険性を評価する。応答スペクトルの類似度評価は、久世ら³⁾によって提案された地震動波形に含まれる工学的特徴を的確にとらえることが可能な特徴ベクトルを用いた類似度評価を用いる。

4-1. 非類似度の算出

基準波形 a である熊本地震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_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、波形間の非類似度を算出する。非類似度 D_S

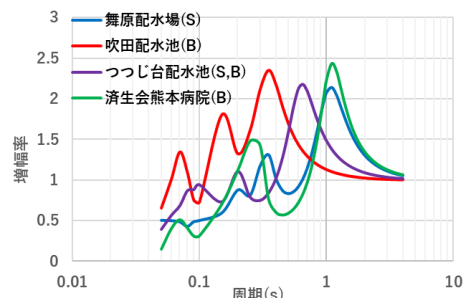


図-1 熊本県での地盤増幅率

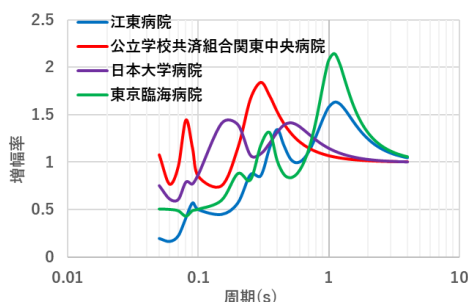
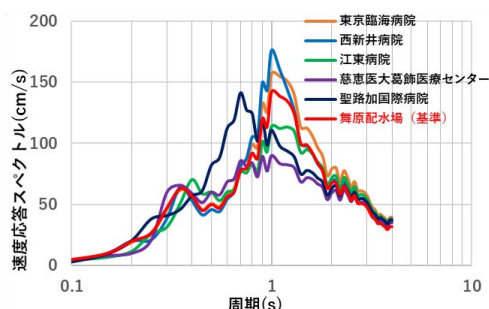
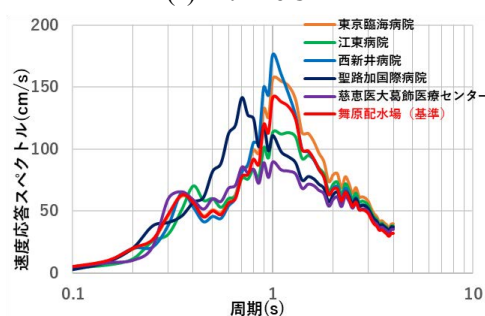


図-2 東京都での地盤増幅率



(a) $k = 0.5$



(b) $k = 2.0$

図-3 舞原配水場での速度応答スペクトルの類似度評価

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、 w_i は重み係数であり、次式(3)より算出する。

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

重み係数 w_i に含まれる k について、 $k=0$ では、全ての周期で等しい重みで非類似度が算出され、 k が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、 $k=0.5$ 、 2.0 の2通りで類似度評価を行う。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-3と図-4に示す。

5. 解析結果

図-1より、スロッシング被害が発生した舞原配水場では、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となっており、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、地盤増幅率のピークは前述の2地点の中間となっている。これらの結果より、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、図-2に示す東京都における地盤増幅率の結果より、江東病院では舞原配水場と同程度の周期にピークがあることから、スロッシングの発生が危惧される。公立学校共済組合関東中央病院では、吹田配水池と同程度の周期にピークがあり、バルジングが発生する危険性が高いと考えられる。

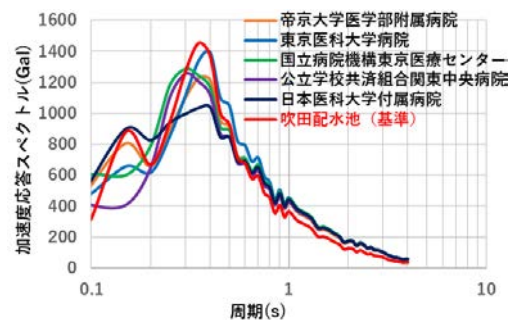
類似度評価を行った結果について、図-3より、舞原配水場を基準波形としたときに類似度が高いと評価された地点は、いずれも他の地点と比べ、やや長周期側で卓越しており、スロッシングの危険性が高いことが分かる。図-4より、吹田配水池を基準波形としたときに類似度が高いと評価された地点は、いずれも卓越周期が0.3-0.4s程度で大きな加速度応答を示していることから、バルジングの危険性が高いと考えられる。

以上の結果を基に、東京都の対象地点における貯水槽被害の危険性について、被害原因ごとに評価した結果を図-5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が発生する危険性が高い地点が多くなっている。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特徴をよく反映した結果となっているといえる。このように、地点ごとに地震による貯水槽被害の危険性の評価が被害原因ごとに可能となれば、貯水槽の耐震、制震対策の進展に活かすことができると考えられる。

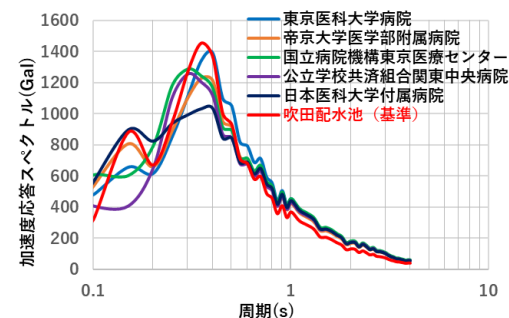
6. おわりに

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、その結果を基準として、東京都における解析結果と類似度評価を行うことで、貯水槽被害の危険性評価を行った。その結果、地震動による貯水槽被害は地盤特性の影響をよく反映した結果となった。

今後の課題は、本研究の評価で用いている類似度評価が貯水槽被害の危険性を評価するうえで妥当な手法であるかを検討することである。また、現段階では貯水槽被害を卓越周期のみで評価しているため、地震動の振幅や貯水槽の諸元を用いた固有周期等の他の影響について検討していく必要がある。



(a) $k = 0.5$



(b) $k = 2.0$

図-4 吹田配水池での加速度応答スペクトルの類似度評価

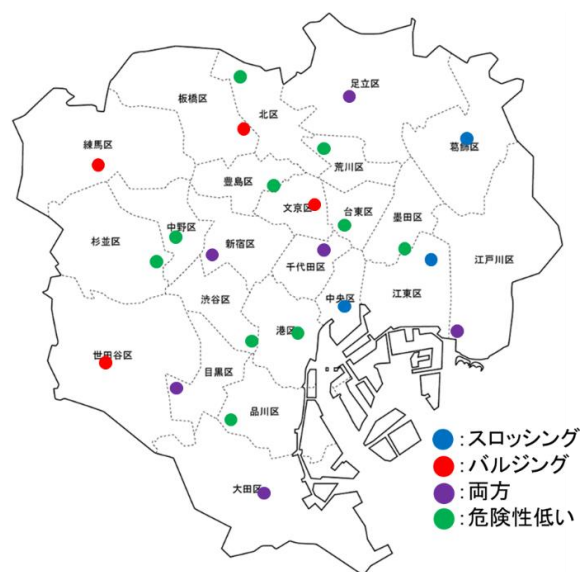


図-5 東京都における $k=0.5$ での貯水槽被害の危険性評価

参考文献

- 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, Vol.24, 161-164, 1997.
- 3) 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.
- 4) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994.