

地点別の地盤増幅特性を考慮した貯水槽被害の危険性の評価

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

日本は地震大国と呼ばれており、近年では兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震などの大規模地震が度々発生し、多大な被害が生じている。今後も東京湾北部地震や南海トラフ巨大地震などの大規模地震の発生が想定されている。

井上らの現地調査結果¹⁾や被害報告書²⁾によると、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出ている。

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って貯水槽内の水が揺動するスロッシング現象と短周期地震動によってタンクと内容液が連成振動す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。以上より、貯水槽被害は地震動特性と関連があり、地点別の地盤特性が大きな影響を与えと考えられる。

そこで、本研究では地震が発生した際の地点別の地盤増幅特性を考慮し、さらに、スロッシング・バルジングの固有周期を踏まえ、地点別の貯水槽被害の危険性について評価する。また、熊本地震を対象に貯水槽被害地点の地盤情報を調査し、貯水槽被害と地盤特性の関連を明らかにする。

2. 対象地域及び想定地震の選定

東京都は、東京湾北部地震や南海トラフ巨大地震等の大規模地震により、多大な被害が出ると想定されている。そこで、本研究では東京都の23区を対象地域とする。また、貯水槽は地震等による断水時に避難者の生活用水や病院等で重要となるため、対象地点は東京都23区の災害拠点病院とする。

さらに、熊本地震による貯水槽被害と地盤特性の関連を明らかにするため、熊本地震による貯水槽被害地点も対象とする。

対象地震は、東京都に地震動による被害をもたらすとされる地震の中で、切迫性の高い地震とし、詳細は表-1に示す。

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加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルに表層地盤の増幅率を乗じることによって算出する。工学的基盤面における加速度応答スペ

表-1 想定地震

想定地震	M	平均発生 間隔	最新活動 時期	分布形状	震源深さ (km)
東京湾北部地震	7.3	27.5		ポアソン	30
鴨川低地断層帯	7.2	7900		ポアソン	15
塩沢断層帯	6.8	800		ポアソン	10
三浦半島断層群南部	6.1	1600		ポアソン	15
三浦半島断層群主部 衣笠・北武断層帯	7	3400	1409	BPT	15
三浦半島断層群主部 武山断層帯	6.6	1750	2105	BPT	15
立川断層帯	7.4	12500	16500	BPT	18
想定東海地震	8	118.8	166	BPT	20
東南海地震	8.1	86.4	76	BPT	20
南海地震	8.4	90.1	74	BPT	20

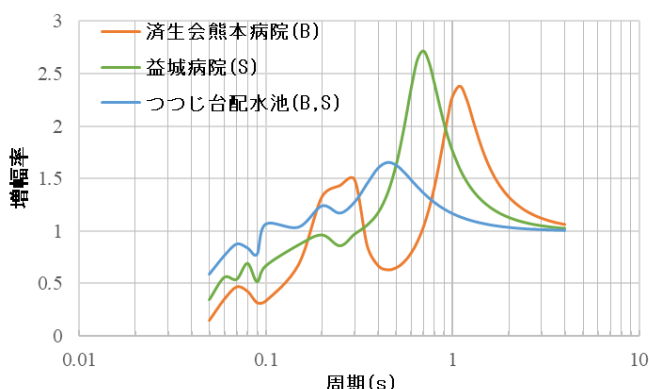


図-1 熊本市での地盤増幅率

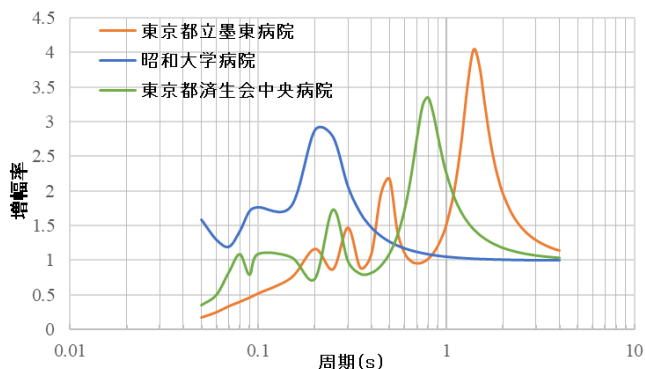


図-2 東京都での地盤増幅率

クトルの推定は安中ら⁴⁾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。

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

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、対象地点のボーリング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について、被害原因がバルジング(B)・スロッシング(S)・両方(B,S)の3地点における算出結果をそれぞれ図-3と図-4に示す。

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)を式(2)で算出する。

$$P(Y > y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(y > y; t)\} \quad (2)$$

そして、固有周期ごと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。東京湾北部地震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。

4. 解析結果・考察

熊本県での地盤増幅率は、バルジング被害が発生した済生会熊本病院で最も固有周期が長周期となっている。しかし、熊本地震での加速度応答スペクトルでは、済生会熊本病院での卓越周期は0.3s程度となっている。これは、工学的基盤面における加速度応答スペクトルの卓越周期と表層地盤の2次固有周期が近接しているためと考えられる。一方、スロッシング被害が発生した益城病院では、周期0.7s程度で大きな増幅率を示しており、速度応答スペクトルも大きな値を示している。

東京都での地盤増幅率は、東京都立墨東病院で周期1.4s程度で増幅率は大きな値となっており、東京湾北部地震での速度応答スペクトルは、周期1.5s程度で卓越している。一方、加速度応答スペクトルでは周期0.5s程度で卓越している。これは、済生会熊本病院と類似した特徴であるとともに、益城病院よりも長周期で速度応答スペクトルが卓越していることから、スロッシングとバルジング両方の危険性が高いと考えられる。

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った。また、地点別の地盤増幅特性を考慮した地震危険度解析を行い、等確率スペクトルを算出し、貯水槽被害が発生する危険性の評価を行った。今回、貯水槽被害の危険性を評価するにあたって、貯水槽の大きさとスロッシング・バルジングの固有周期が考慮されていない。よって、今後の課題として、貯水槽の大きさとスロッシング・バルジングの固有周期を踏まえ、貯水槽被害の危険性の評価を進めていく。

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, 土木学会論文全集A1(構造・地震工学), Vol.73, No.4, I_711-I_720, 2017.
- 2) 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.
- 3) 大崎順彦: 新・地振動のスペクトル解析入門 鹿島出版会

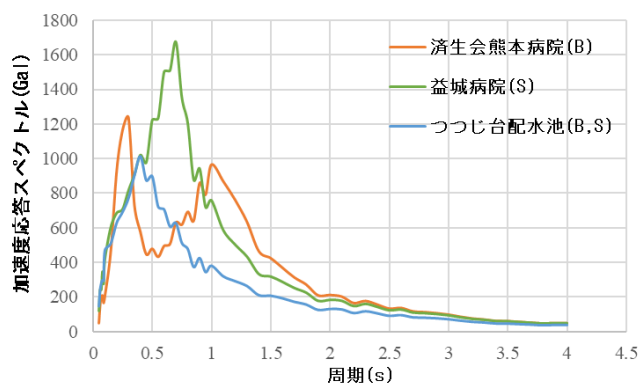


図-3 熊本地震(本震)での加速度応答スペクトル

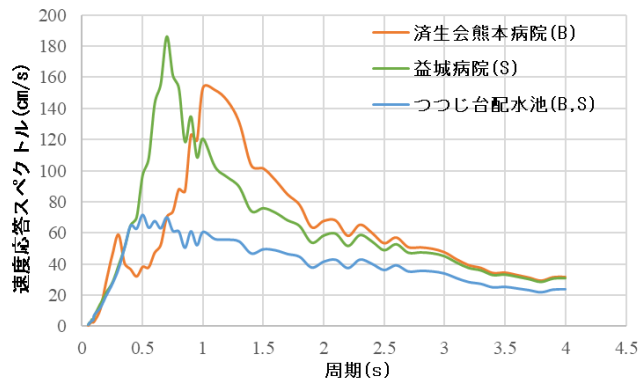


図-4 熊本地震(本震)での速度応答スペクトル

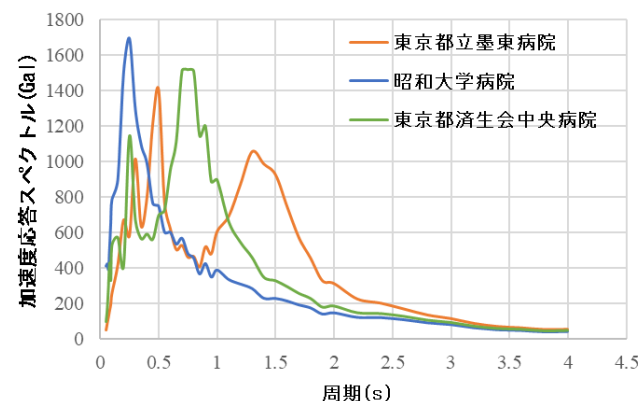


図-5 東京湾北部地震での加速度応答スペクトル

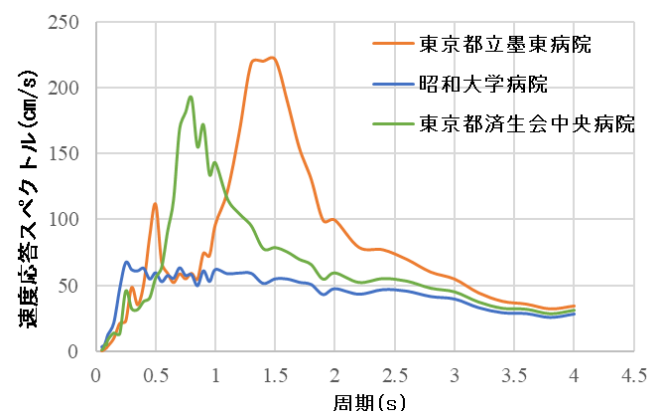


図-6 東京湾北部地震での速度応答スペクトル

- 4) 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.
- 5) 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.