

(10-29)長周期地震動による受水槽スロッシングと配水の異常現象

○岡田 啓典(岡山市水道局)

1. はじめに

我が国は世界有数の地震大国であり、歴史的な被害をもたらした東日本大震災は記憶に新しく、被災地は今もなお復興の途上にある。昨年は熊本及び鳥取で非常に大きな揺れを観測したが、岡山市ではこれによる上水道設備の物理的損傷はなかったものの、ポンプ加圧方式である本市中心部において配水圧力が急激に低下し、流量が急増する異常現象が数分間にわたり発生した。この原因として考えられるものは種々あるが、ここではそれを受水槽スロッシングによるものとし、その詳しい解析を行った。

2. 異常現象の解析

(1) 受水槽スロッシングとその諸量

受水槽スロッシングとは、地震波と受水槽内の水が共振して水面が大きく揺れる現象であり、受水槽の固有周期とほぼ同じ周期の地震動が入力されることにより発生する。この現象を起こした受水槽は水位が変動し、流入弁制御装置の誤動作を誘発する。その対象となる基数が多ければ全体の配水流量は急激に増加し、圧力低下及び濁水発生などの配水事故を招く。矩形受水槽（図 1）の一次振動固有周期 T_s [s] 及び水面の最大変位量 d_{max} [m] は、Housner 理論を用いて [1] 及び [2] 式から求めることができる。^{1), 2)}

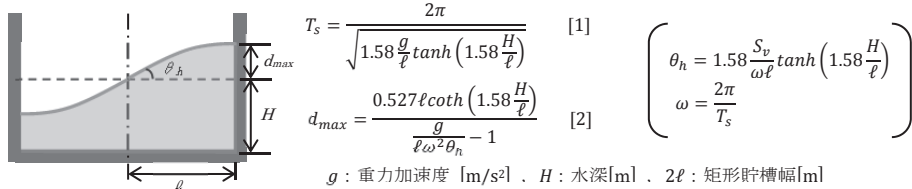


図 1 矩形受水槽の一次振動の水面

(2) 解析結果

まず、全国強震観測網 K-NET (OKY011 岡山) で記録された速度応答スペクトルを図 2 に示す。

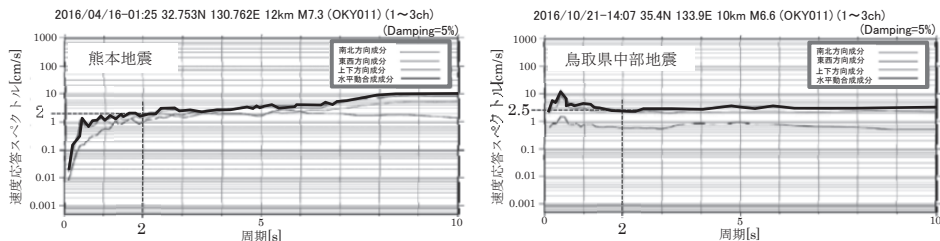


図 2 速度応答スペクトル

図 2 のとおり、二つの地震の応答スペクトルは異なっており、その性質の違いを示しているが、周期 2 秒付近については受水槽に対してほぼ同じ応答速度（揺れの強さ）を生じさせていることがわかる。

次に、Housner 理論に基づく解析結果（熊本地震）を図3及び図4に示す。今回は解析資料として対象エリア

アおよそ4,800基の受水槽の中から本市所有の小中学校及び公共施設を中心に80基の実態調査を実施した。

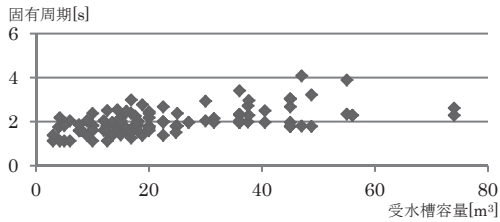


図3 熊本地震における受水槽容量と固有周期の関係

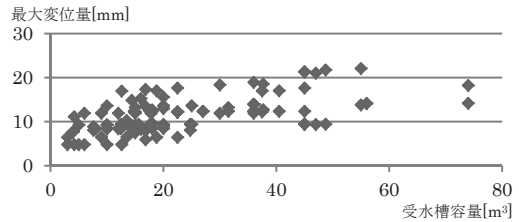


図4 熊本地震における受水槽容量と最大変位量の関係

両図は共に正の相関を示している。更に図3では、受水槽の固有周期が2秒付近に集中していることから、速度応答スペクトルとの関連性が見出される。また図4からは、水面の最大変位量がおおよそ5mmから20mmの間で分布しており、変位量としては比較的小さいものであることがわかる。

(3) モデル配管による受水量の測定実験

前節の解析結果を元に、20A複式ボールタップを使用したモデル配管(図5)を作成し、模擬スロッシング動作(固有周期2秒、最大変位量11mm、動作時間1分)を与えたときの受水量を測定した。これに、図6の熊本地震発生直後の配水状況のデータから、実際のスロッシング動作時間を6分、更に対象となる受水槽基数を2,400基(全体の半数を占める5m³及び20A以下の受水槽で集中的にスロッシングが発生したと仮定)として全体の受水量を算出すると、およそ180m³となる。また、地震発生直後の実際の増加配水量は、同図より配水流量を積分し求めると、およそ176m³となり、前記の受水量とほぼ一致する。

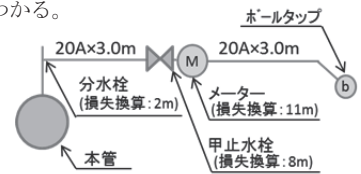


図5 モデル配管

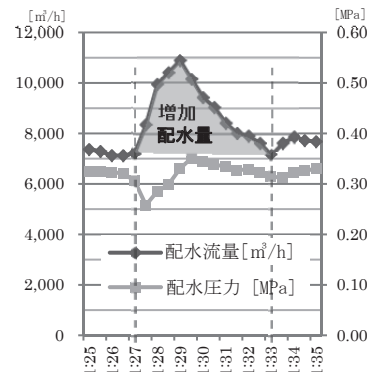


図6 熊本地震発生直後の配水状況

3. おわりに

今回の二つの地震は受水槽のスロッシング現象を引き起こす長周期振動であったが、そのエネルギーは減衰して本市に到達したため受水槽水面の変位量は小さく、結果としてある程度の配水圧力変動はあったものの、配水事故には至らなかったものと思われる。今後近い将来、本市に対する高威力長周期振動波の襲来は十分に考えられるため、配水事故の未然防止に向けて何らかの対策を講じることは急務である。現在その一つとして、圧力低下時に加圧ポンプよりも応答の早い配水池調整弁を用いて増圧するプログラムを検討している。

【参考文献等】

- 1) 村田幸一、宮島昌克：受水槽のスロッシングが地震直後に発生する水圧・水量の異常挙動に及ぼす影響 日本地震工学会論文集 第7巻、第1号、2007
- 2) 伏見英、川田孝：開放型危険物タンク耐震化の一方策について 消防科学研究所報 14号、1977
- 3) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：全国強震観測網(K-NET)