

長周期地震動が水道配水システムに及ぼす影響

大阪市水道局 正会員 ○村田 幸一
金沢大学大学院 正会員 宮島 昌克

1. はじめに

我が国は、世界でも有数の地震多発地帯であり、兵庫県南部地震以降、鳥取県西部地震、芸予地震、新潟県中越地震と震度5以上を記録する地震が短期間に多発している状況である。特に、震度5強を超える地震は、震源地周辺地域の家屋や水道を含むライフライン等に被害を与え、市民生活に大きな影響を及ぼした。これらの地震は、震源距離が200km以上離れた遠方地にも長周期成分を伝播しており、大阪市においても有感地震として観測された。大阪市の場合、2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震では、本市水道施設への直接的な被害はなかったものの、地震発生直後から急激な流量増加と水圧減少といった異常挙動が発現し、配水運用に影響を及ぼす結果となった。本論文では、大阪市水道局が記録した水道供給システムの異常挙動データを用いて統計的アプローチから原因分析を行うとともに、実際に観測された地震波形を用いて異常挙動について解析し、長周期地震動が水道配水システムに及ぼす影響について検討した。

2. 地震発生直後の水道システムの異常挙動

地震発生直後から市内各地点において水圧が急激に低下するとともに配水量が急増する現象が観測された。図-1は地震直後の代表的な配水ポンプ場の配水量を時系列で表わしたもので、図-2は同時刻での市内水圧の低下を示している。約73,000m³/hourであった全市配水量が、急増開始後約3分で101,000m³/hourのピーク流量まで達し、この現象が約30分続いた。さらに、場所により低下幅は異なるが大部分の測定点で0.10MPa以上の低下量を示しており、最大で0.197MPaの低下が観測された。

3. 統計的アプローチによる異常挙動の検証

地震直後の配水量や水圧の異常挙動現象は、過去に東京都から報告がなされており¹⁾、特定地域での現象というわけではない。本市においても、前述の紀伊半島南東沖の地震だけでなく鳥取県西部地震や芸予地震等の地震でもこの現象が確認されており、地震発生直後においてこの現象は再現性があることが予想される。たがって、配水量変動特性を把握するため、異常挙動時の需要水量増加量を集計分析した。なお、観測データは、地震によって増加した需要水量の他、平常時の使用水量も含んでいることから、異常挙動時の増加積算水量 Q [m³]を、式(1)によって定義した。

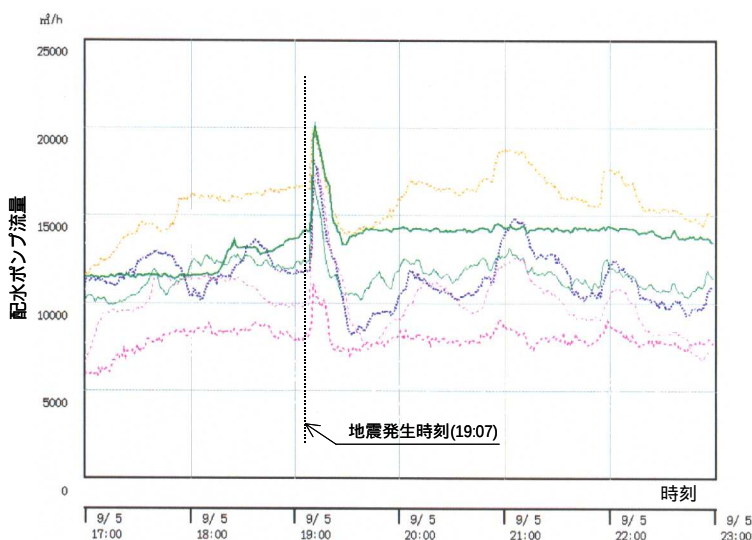


図-1 紀伊半島南東沖地震発生直後の配水状況（流量）

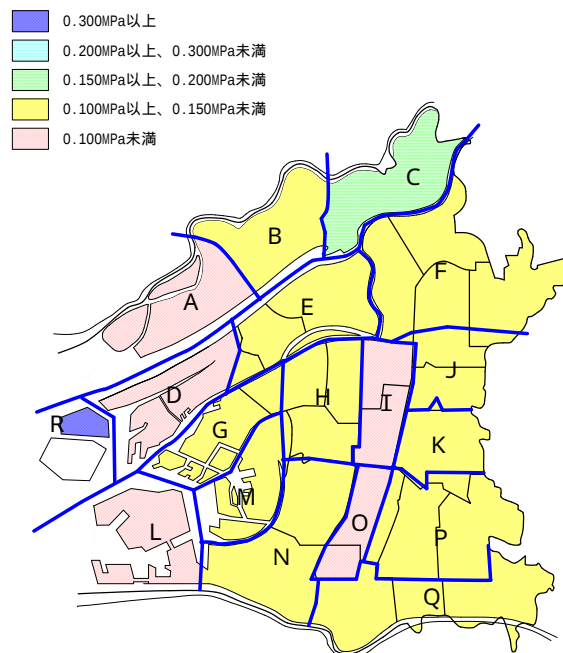


図-2 地震発生直後の市内水圧分布

地震だけでなく鳥取県西部地震や芸予地震等の地震

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} q(t) dt - \frac{q(t_0) + q(t_1)}{2} (t_1 - t_0) \quad (1)$$

$q(t)$: 時刻 t における配水量 [m³/hour]

t_0 : 異常挙動が発生した時刻

t_1 : 異常挙動が収束した時刻

キーワード 水道配水システム 受水槽 スロッシング 長周期地震動

連絡先 〒559-8558 大阪市住之江区南港北 1-14-16 WTC Bldg. 8F TEL 06-6616-5572

4. 配水量増加の原因分析

地震発生直後の配水量増加要因としては、地震による配水管漏水が考えられるものの、地震直後に急激な水量増加に繋がる漏水事故の報告はなかった。したがって、原因を分析するために、給水個数等、直接需要に繋がる要因として、様々な項目について、配水増加量との因果関係を調査した。その結果、受水槽数と配水増加とに高い相関性があることが判明した。また、受水槽容量別に調査した場合、受水槽容量が大きいほど、地震による配水増加量と受水槽基数との相関関係が高くなる傾向が見られた。（図-3）

5. 地震波形を用いた受水槽のスロッシング解析

受水槽は、構造上から石油タンクと形状や容積は異なるものの、自由水面を有しており、地震発生時に受水槽の水がスロッシング現象を起こしていたと推測できる。スロッシング現象は、受水槽の引水装置の誤動作を誘発し、引水を一齐に開始し、給水区域全体に異常挙動を発生させた可能性が高いと考えられる。（図-4）

本論文では、さらに地震発生直後における受水槽の挙動を実際の地震波形を用い解析を実施した。なお、解析に当たっては、表-1に示す大阪市で観測された地震波形を用い、前述の考察により、異常挙動の相関性が高い101 m³以上の受水槽をモデル化してスロッシング解析を行った。

スロッシング解析としては、耐震計算方法として一般的なHousnerの方法を用いて、変位量を算定した。

6. 解析結果

図-5に水槽の長さとお水深の比(H/L比)とスロッシングによる水面の最大変位量の関係を示す。異常挙動が発生した鳥取県西部地震、芸予地震および紀伊半島南東沖の地震については、スロッシングによる水面変位が発生している一方、異常挙動が発生しなかった京都府南部を震源とした地震では、地震によるスロッシングが殆ど発生しない結果となった。これらの地震による震度は、震度3を観測した場合でも出現しないことがある一方、2001年芸予地震の時のように大阪市では震度2であるが、この挙動が発生している事例もあり、震源地からの距離から判断すると長周期地震動によって地震直後の水道配水システムの異常挙動が発生したと考えられる。

7. 結語

これらの異常挙動現象は、大規模漏水が発生した現象に類似しており、地震時にこの現象が発生した場合、管路被害による漏水なのか異常挙動によるものか確認することが難しく、これらの確認の遅れが災害復旧時の初期初動体制確立の遅れとなる可能性がある。今後、さらなる検討を進める必要がある。

参考文献

1) 小林泰章:地震動による送配水システム内水道水の異常挙動,水道協会雑誌,第57巻,第6号, pp.2-14, 1988

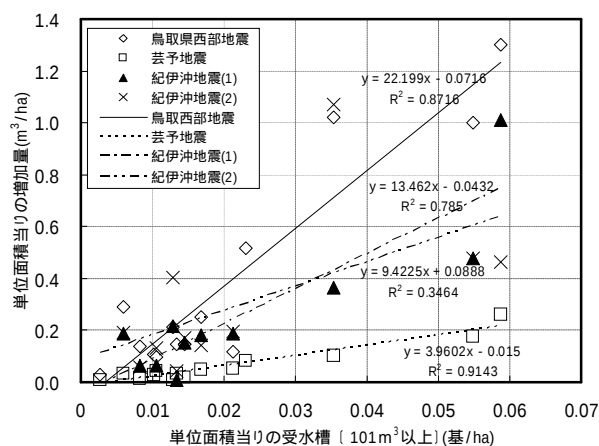


図-3 受水槽戸数と増加水量の関係

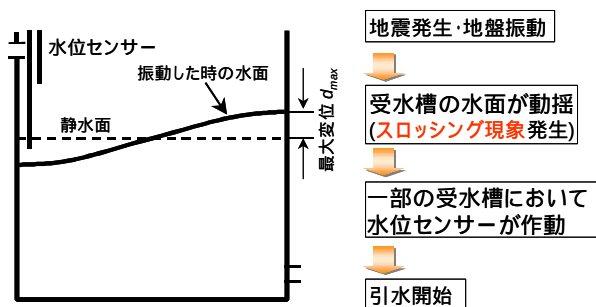


図-4 受水槽引水までの流れ

表-1 過去の地震履歴と異常挙動の関係

	鳥取県西部	芸予	京都府南部	紀伊半島沖(1)	紀伊半島沖(2)
発生日	2000/10/6	2001/3/24	2001/8/25	2004/9/5	
発生時刻	13時30分	15時28分	22時21分	19時07分	23時57分
震源	鳥取県西部	安芸灘	京都府南部	紀伊半島南東沖	
マグニチュード	7.3	6.7	5.3	6.9	7.4
大阪市における震度	震度4	震度2	震度3	震度4	震度4
異常挙動発生	確認	確認	確認できず	確認	確認

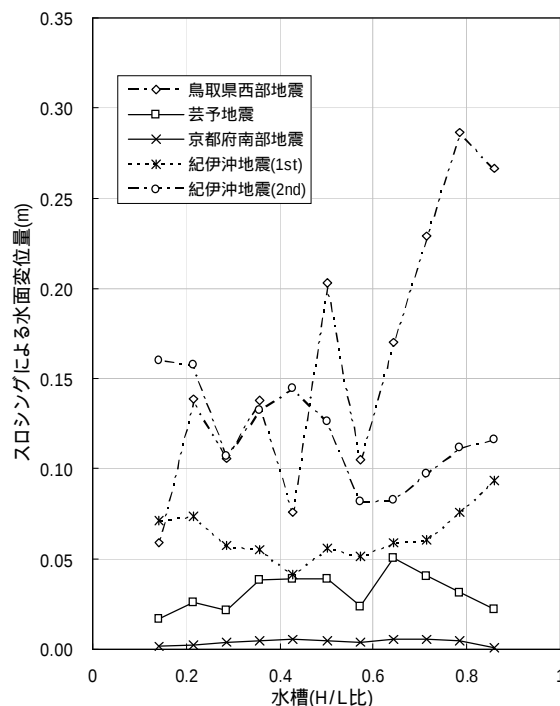


図-5 スロッシングによる水面変位量