



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

村田 幸一¹⁾、宮島昌克²⁾

- 1) 正会員 大阪市水道局工務部柴島浄水場、副場長 工修
E-mail:kouichi_murata@nifty.com
- 2) 正会員 金沢大学大学院自然科学研究科、教授 工博
E-mail:miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

要 約

水道供給システムでは、地震が発生した直後、システムに物理的なダメージが無くても急激な流量増加と水圧減少という異常挙動を発生することがある。この現象は一時的であるものの、発生中は水道供給システムを機能低下させることがある。本論文では、この影響について観測結果を報告するとともに、これらの原因と考えられる受水槽のスロッシングについて、観測データから因果関係を解明した。さらに、大阪府で観測された地震波形を用い、受水槽のスロッシングによる水面最大変位と地震動の振動数特性との関係を分析するとともに、発生が予想される東南海・南海地震についても、予測地震動を利用して水道供給システムへの影響を分析した。

キーワード：水道、受水槽、スロッシング、やや長周期の地震動

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、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、震源距離が200km以上離れた遠隔地にも長周期成分を伝播しており、大阪府においても有感地震として観測される。

大阪府の場合、これらの地震においては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た。図-1は2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震発生直後の市内配水圧状況を示したものであり、図中の各線は各配水ポンプ場における水圧を示している。地震発生直後には急激な配水圧の減少が発生し、水道供給システムに影響を及ぼす結果となった。これらの異常挙動は紀伊半島南西沖の地震のみの現象ではない。表-1は大阪府における過去の地震発生直後の異常挙動について調査した表であり、このような異常挙動は鳥取県西部地震や芸予地震等の地震においても確認されているとともに、過去に東京都においても同様な異常挙動が確認されており¹⁾、地震発生直後に再現性の高い現象であるといえよう。一方、表-1に示すように京都府南

部での地震では震度3であるにもかかわらず異常挙動が発生しなかった反面、芸予地震のように震度2でも発生しており、地震直後の水道供給システムの異常挙動には、地震動の強さだけでなく、地震動の振動数特性も寄与しているのではないかと考えられる。

各地震動の振動特性を分析するために、大阪市水道局大淀配水場に設置した地震計で観測された地震波形を用いて速度応答スペクトルを求めた。表-1で挙げられている各地震の速度応答スペクトルを図-2に示す。異常挙動の発生が確認されている鳥取県西部地震、芸予地震および紀伊半島南東沖の地震において、1秒以上のやや長周期の振動成分が卓越している一方、異常挙動の発生が確認されなかった京都府南部を震源とする地震については、1秒以下の振動成分が卓越しており、他の地震に比べ卓越周期帯が短いことが判明した。これらの応答スペクトルから、地震発生直後に発生する水道供給システムの異常挙動は、周期1秒以上の地震動すなわちやや長周期の地震動が間接的に水道供給システムへ影響を及ぼしていると推測される。やや長周期の地震動に関する研究はこれまでも行われており、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震、2003年十勝沖地震の際に石油タンク内の液体が長周期成分によりスロッシングを生じたことが研究されている²⁾³⁾⁴⁾。しかしながら、上水受水槽のスロッシングに関する研究報告や分析についてはほとんど行われていないのが現状である。この異常挙動現象は、大規模漏水が発生した現象に酷似しており、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時における配水管理を一時的に不能とさせ、復旧時の初期初動体制確立の遅れとなる可能性がある。また、急激すぎる配水量の増加は、ポンプ施設にウォーターハンマーを発生させる可能性もあり、2次的被害が発生することも予想される。本論文では、石油タンクと同様に自由水面を有する受水槽のスロッシングが水道供給システムに異常挙動を発生させると推測し、大阪市水道局で記録され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

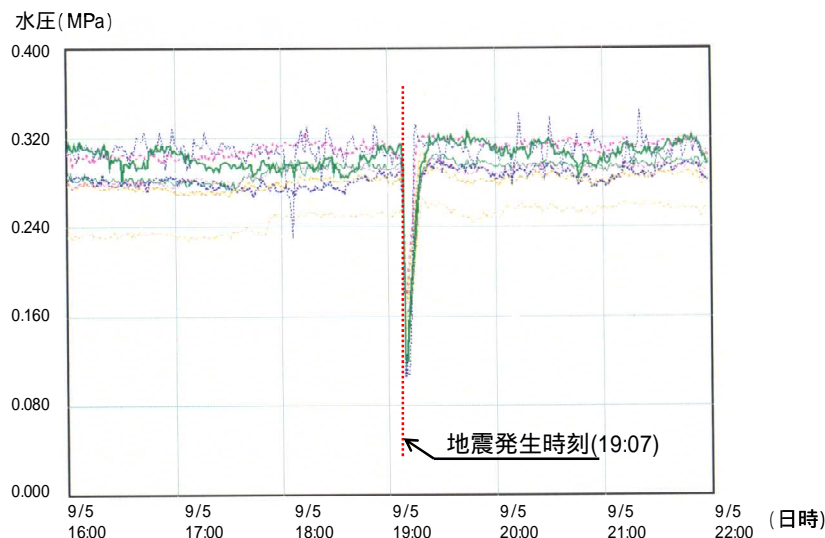


図-1 紀伊半島南東沖の地震発生直後の市内配水状況 (水圧)

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	あり	あり	なし	あり	あり

ブローチから因果関係を分析した。さらに、受水槽の形状や容量について実態調査を行い、実態調査に基づいた地震発生時の受水槽のスロッシングによる水面最大変位についても検討し、これらで得られた知見をもとに、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、やや長周期の地震動と水道供給システムに及ぼす影響との関係について検討した。

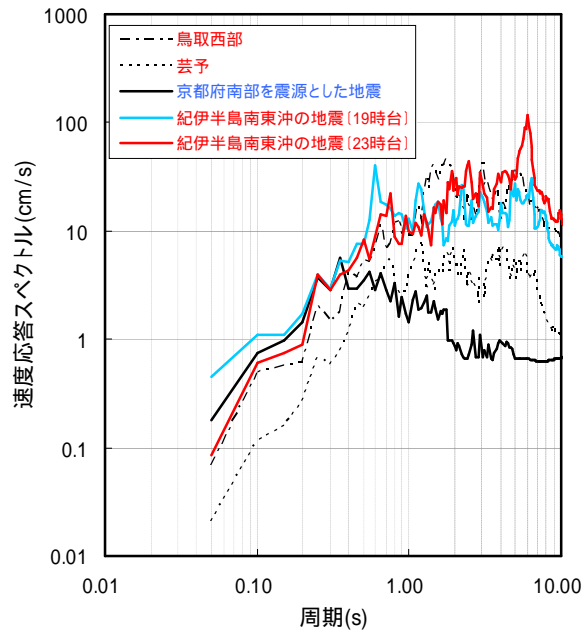


図-2 各地震における速度応答スペクトル

2. 大阪市の水道供給システム

図-3は、大阪市水道局の供給システムを示しており、現在3つの浄水場と11の配水施設を有している。市域は市中央部を南北に連なる上町台地を除くとほぼ平坦であるため、各供給系統はポンプ加圧方式によって配水している。本市における現在の水道施設能力は2,430,000m³/日であり、導水管、送水管お

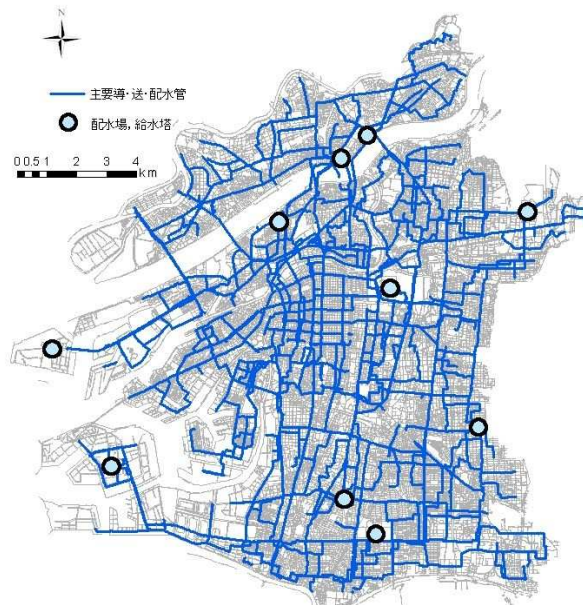


図-3 大阪市の配水管網

よび配水管（75～2,200mm）延長は平成17年度現在、約5,100kmである。市内への配水は配水区域を18に分割し、各配水ブロックの水圧および流量を配水データとして、これらを配水情報システムによりリアルタイムに収集している。なお、観測データは10秒間隔でサンプリングされており、配水情報システムに収集される仕組みとなっている。

3. 地震直後の水道供給システムの異常挙動

異常挙動については、前述した表-1のとおり、過去にも数回発生している。本論文においては、2004年9月5日に発生した地震の震源地が図-4に示すように東南海地震の想定震源地に近いことから、地震直後の異常挙動の事例として検討対象とした。図-4は気象庁のホームページから入手した紀伊半島南東沖の地震の概要である。

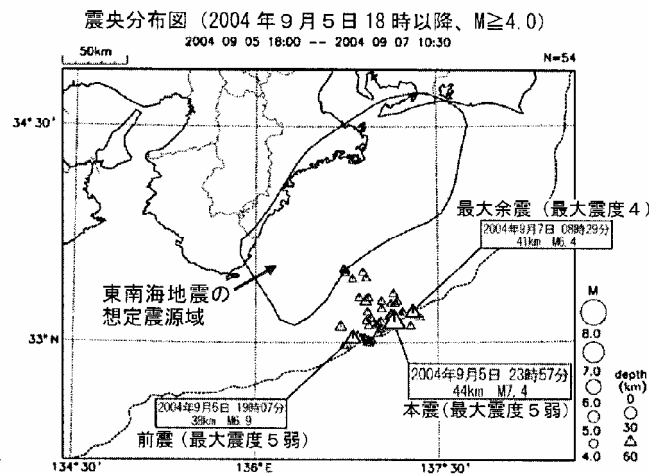


図-4 紀伊半島南東沖の地震の概要
(参考：気象庁ホームページより)

3.1 配水量の変動

図-5は地震直後の市内の配水ポンプ場の配水量を時系列で表わしたものである。地震発生直後から配水量が急増する現象が発生しており、各配水場によって多少の増加量の大小があるものの、配水場全般

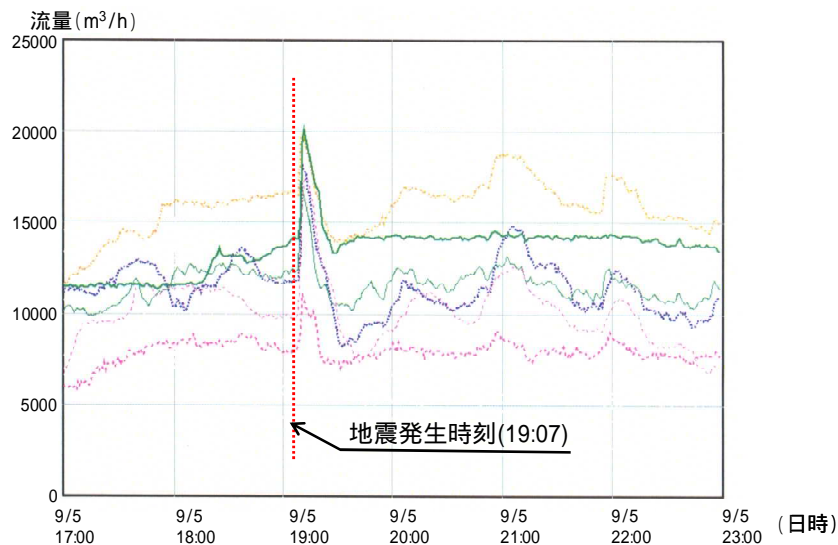


図-5 紀伊半島南東沖の地震発生直後の市内配水状況 (流量)

において急増現象が確認された。約73,000m³/hであった全市配水量が、急増開始後約3分で約40%増の101,000m³/hのピーク流量まで達し、この現象が約30分続いた。この現象による増加水量は、発生直後配水量から推定すると市内全体で約3,500m³であった。

3.2 配水圧の変動

前述した図-1のとおり、地震発生直後の市内各地点での水圧は全面的に急激に低下していることが観測された。大部分の測定点において0.10MPa以上の水圧低下が発生しており、減圧時間も3分から10分程度継続していた。図-6は地震発生直後の市内水圧分布を各配水ブロックの代表的な水圧値を示したものである。この図を見て判るように、通常は0.3MPa以上の配水圧が0.10MPa未満まで低下していることから、一時的とはいえ、水道供給システムが著しく機能低下し、給水に支障が発生する恐れのある区域も発生していたといえよう。

さらに、相対的にポンプ場から距離がある臨海地域は水圧低下が顕著に発生している一方、R地区においては、地震直後に流量急増現象は観測されたものの、顕著な水圧低下は確認できなかった。この地域は給水塔による自然流下方式で配水しているため、他の配水区域で採用している流量増加により水圧変動が発生しやすいポンプ加压方式と比べ、急激な流量変動に伴う水圧変動が発生しにくかったためと考えられる。このR地区の現象より、水圧変動には、配水量の増加と急激な流量増に対応できないポンプ加压方式が深く関与していることがわかる。したがって、配水量増加要因を調査することによって、一連の異常挙動の原因を解明することができると考えられる。

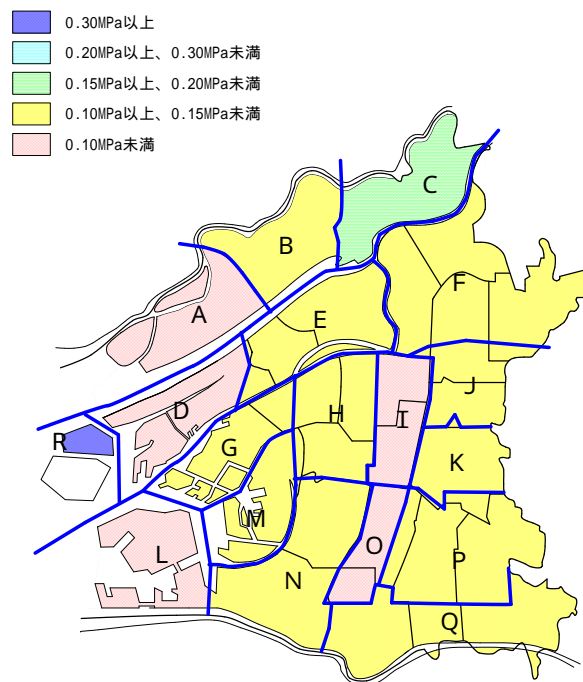


図-6 地震発生直後の市内水圧分布

4. 統計的アプローチによる異常挙動の検証

配水量は配水管の水圧を維持できれば、需要ニーズに応じて増減する。すなわち、異常挙動時における需要ニーズの原因が判れば、異常挙動の原因分析に寄与できると考えられる。本論文では、異常挙動時の需要ニーズがどのような要因によって発生するかを調べるため、配水区域別に配水増加量を集計するとともに、統計的アプローチによる要因分析を行った。

4.1 配水増加量の定義

観測配水量データには、地震に起因して増加した需要水量の他に、生活水量等、異常挙動とは関係無く使用されている基礎水量も含まれている。原因分析を行うためには、観測された配水量データを基礎水量と異常挙動による増加水量とに分ける作業が必要である。本論文では、図-7で示すように、基礎水量を地震発生直前の配水量と定常状態に収束した時の配水量の平均と設定し、配水増加量から基礎水量を引いたものを異常挙動による増加積算水量 Q として定義した。式(1)は異常挙動時の増加積算水量 Q を示したものである。

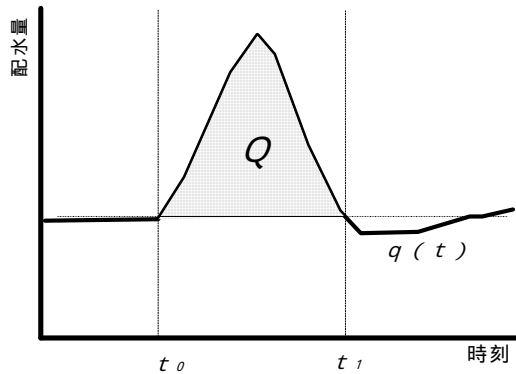


図-7 異常挙動時の増加積算水量 Q

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

$q(t)$: 時刻 t における配水量

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

4.2 配水増加量の原因分析

地震発生直後の異常挙動には、受水槽のスロッシングが間接的な影響を及ぼしているのではないかと推測している。調査対象とする配水量は、社会現象や市民のライフスタイルによっても左右されることが多い。例えば、市民の関心度の高いサッカーの試合が中継された場合、試合時のハーフタイム期間中に、配水量が急増することがある⁵⁾。これは需要家がサッカーという関心度の高いイベントを同時に体験することにより、その多くが同じ心理状況になり、一斉に水使用行動をとったため発生する現象であり、このような現象が受水槽のスロッシングによる影響とともに、地震発生後に発生することも十分に予想される。

これら地震直後の需要家の水使用行動と異常挙動の関係も分析するため、大阪市市域を18ブロックに分け、各ブロックの単位面積当りの給水戸数と配水増加量の関係を図-8に示した。すなわち、需要家の水使用行動が地震後に一斉に発生するとしたら、配水増加量と給水戸数の相関が高くなると考えたからである。さらに、図-9には単位面積当りの受水槽数と配水増加量の関係を示した。図中の数式は、回帰式とその相関係数 r を示している。図-8によれば、給水戸数と配水増加量は比例関係であるものの、相関係数が0.1~0.3と低く、地震によって、需要家が一斉に水使用行動をとったとは考えにくい。一方、図-9においては、対象とした4つの地震事例のうち、3事例において、相関係数が0.6以上と比較的高い値となっている。このことにより地震直後の異常挙動と地震直後の需要家の行動パターンとは関連性が薄い一方、受水槽との相関関係が高いことがわかる。

受水槽は内部の水が一定水位以下になると、近傍の配水管から引水する構造になっている。したがって、地震時にスロッシングが発生すると、図-10に示すように、水面が一時的に低下し、一斉に引水をはじめることにより、異常挙動が発生したと考えることができる。

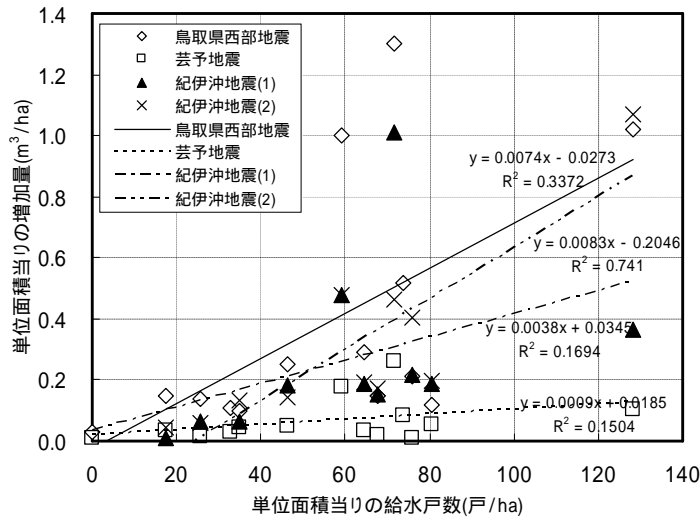


図-8 給水戸数と配水増加量の関係

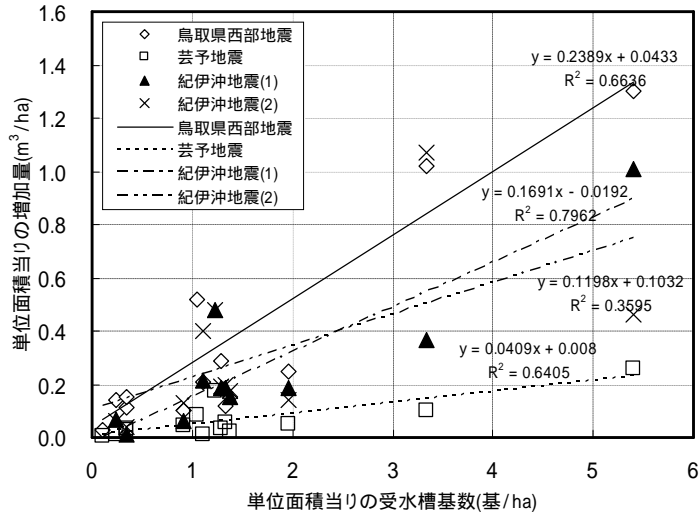


図-9 受水槽と配水増加量の関係

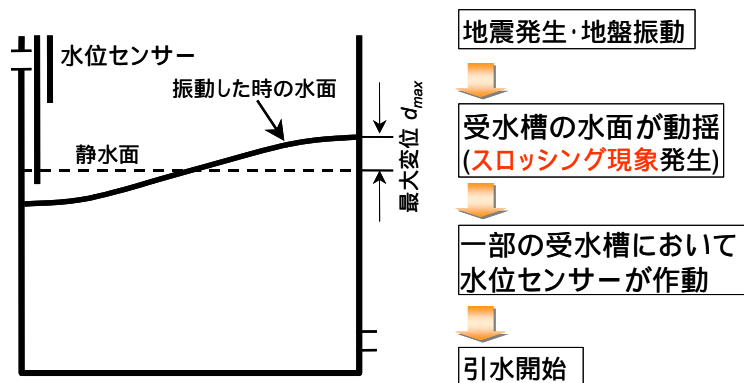


図-10 受水槽引水までの流れ

4.3 受水槽容量との関係

さらに、配水増加量との相関の高い受水槽について詳細に検討するため、受水槽の容量別に配水増加量との関係を分析した。なお、分類としては受水槽の容量別に 5m^3 以下、 $6\sim 10\text{m}^3$ 、 $11\sim 100\text{m}^3$ 、 101m^3 を超える受水槽の4つとした。

図-11は、受水槽容量別の受水槽基数と配水増加量の関係を示したものである。23時台の紀伊半島南東沖の地震（図中の紀伊沖地震(2)）以外は、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が高くなる結果となった。これは受水槽のスロッシング現象は小規模から大規模までほとんどの受水槽で発生していたと予測されるが、配水管からの引水量の多い大規模受水槽の方が、この配水量増加現象に大きく影響を及ぼすためと考えられる。なお、23時台の紀伊半島南東沖地震では、一部区域の配水ポンプの緊急停止により、異常挙動発生時に供給が停止したことから、受水槽が補充引水を行うのに必要な水圧が不足し、引水が出来なかったため、受水槽数と増加量との相関が低くなったと推測される。

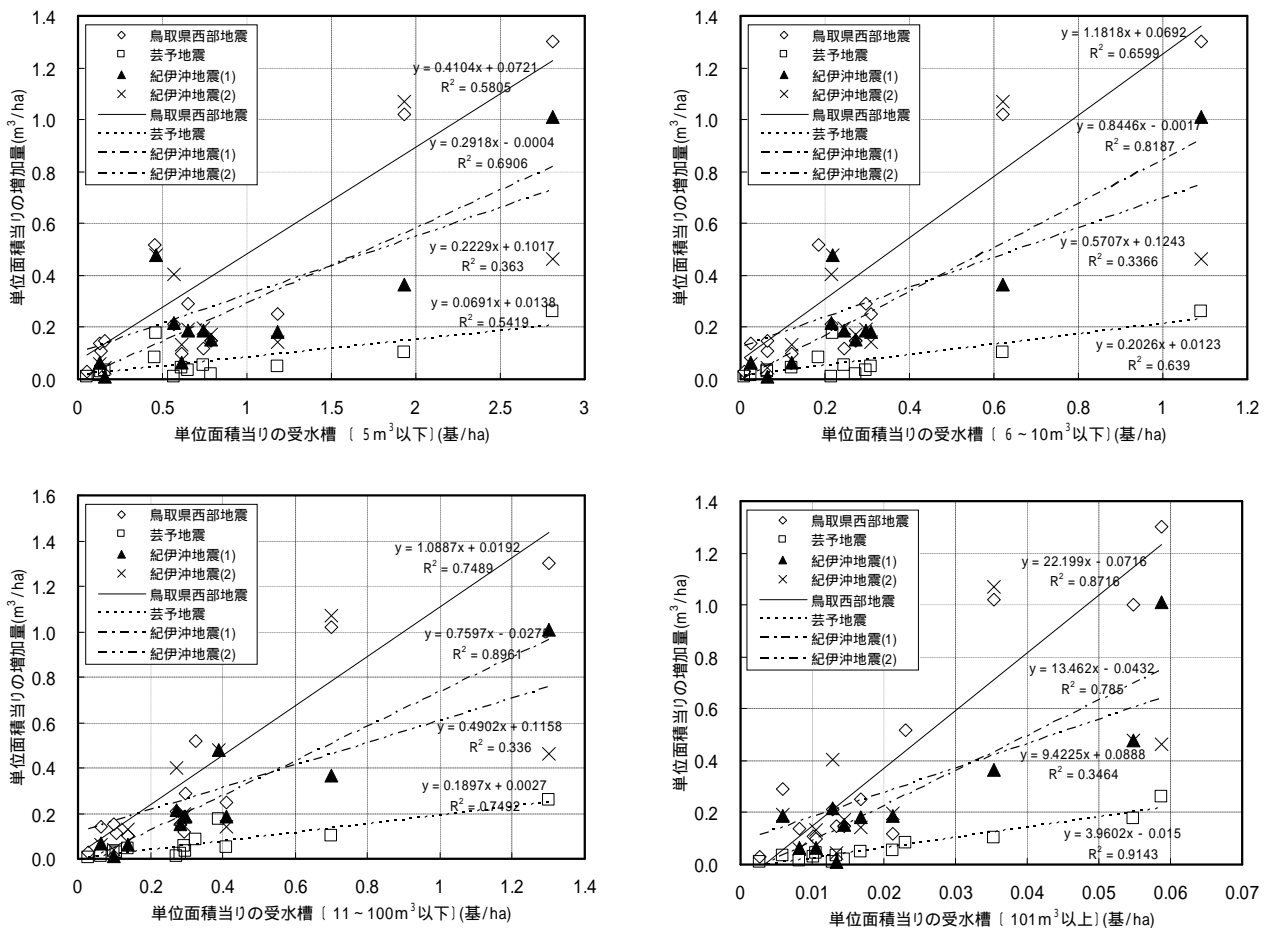


図-11 容量別受水槽戸数と増加水量の関係

5 . 受水槽の実態調査

受水槽設置の目的は、高層の集合住宅や大口需要家に水を供給するため、飲料水を貯留することである。そのため、水使用量や土地建物の制約条件によって受水槽の形状や容量、有効水深が異なっていることから、同一地震動においてもスロッシングによる最大変位に差異が生じる。本章では、地震発生時における受水槽のスロッシング特性を把握するために、受水槽に関する実態調査を行い、地震時における特性分析を実施した。

5 . 1 対象地区

図-12は今回実態調査の対象とした大阪市咲洲地区の位置図である。咲洲地区については、紀伊半島南東沖地震で水供給システムの異常挙動が顕著に発生した地域の一つであり、大阪市の西端に位置し、周辺が海に囲まれた地形であることから、他の給水区域から独立された管網形態を有し、後述する異常挙動時のシミュレーションが実施しやすいことから対象とした。なお、咲洲地区の受水槽は大阪市水道局給水装置ファイリングシステムから調査した結果、121基あり、この内、スロッシング特性分析に必要な受水槽形状等が明記されている63基を対象に検討を行った。

なお、高地水槽については、受水槽を介して高地水槽に供給されており、配水管と直結していないことから、対象から外した。

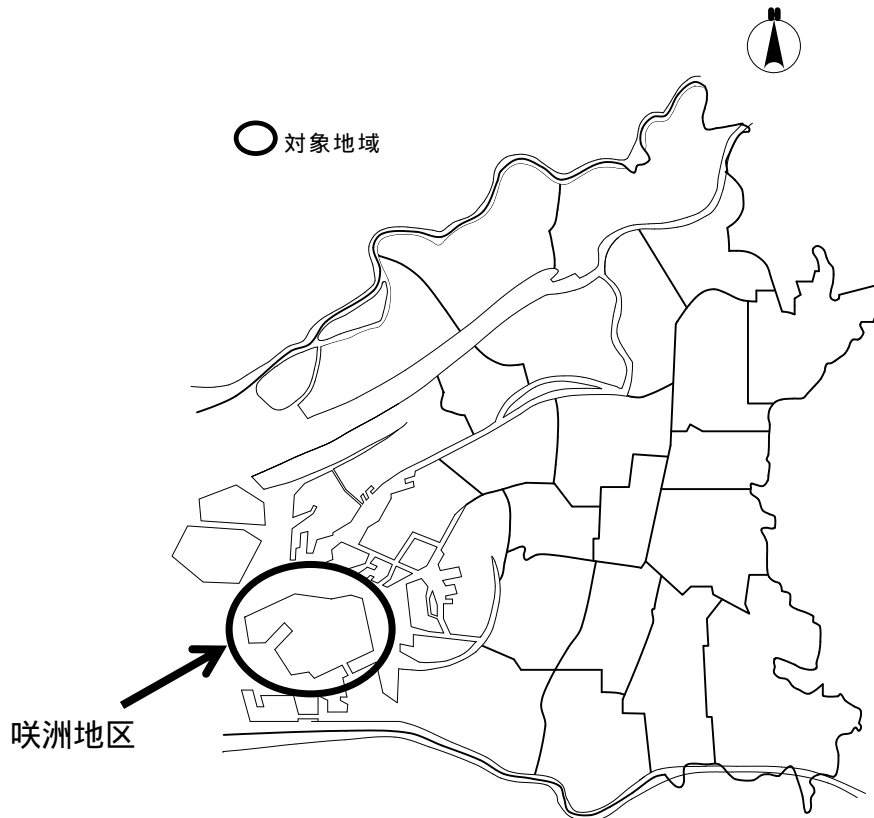


図-12 受水槽実態調査対象地域位置図

5 . 2 受水槽容量

図-13に咲洲地区における受水槽容量の分布を示す。受水槽の容量は 10m^3 以下の小規模のものから 300m^3 を超える大規模容量まで幅広く存在している。さらに、分布の特徴としては 10m^3 と 100m^3 以上 150m^3 未満の2カ所にピークが存在していることが判る。

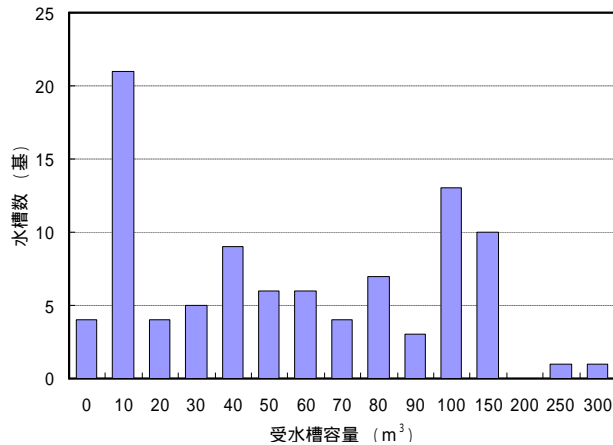


図-13 受水槽容量の分布 (咲洲地区)

5.3 受水槽の形状及び有効水深について

図-14は、咲洲地区における受水槽の容量と受水槽高さの関係を表したものである。受水槽高さは、受水槽容量の規模に関係なく1 mから4 mの範囲内で設置されたものが多いことが判明した。

さらに、受水槽の有効水深（水槽底面から設計高水位までの高さ）と水槽の幅との関係を示したものが図-15である。受水槽の形状は球型や円筒型など様々な形状が存在しているが、今回の実態調査における63基の受水槽は全て直方体の形状をした受水槽であることから、図-15では長辺の長さを幅としたものと短辺のそれを幅としたものと有効水深のそれぞれの関係を図示した。同図によれば、受水槽長辺と有効水深の関係には、長辺と有効水深との関係に比べばつきがある一方、短辺と有効水深との関係については、9割近い受水槽の幅が5 m以下で水深4 m以下に集中している結果となった。受水槽を設置する際、受水槽を複数の水槽に分割し設置しており、特に大規模受水槽にその傾向が強く、ほとんどの100m³以上の受水槽は複数基に分けて設置しており、短辺方向の水槽幅を5 m以下としていた。また、受水槽高さについては建物の中に受水槽を設置する場合、建物の構造上の制約条件から4 m以下の水深に集中したものと考えられる。

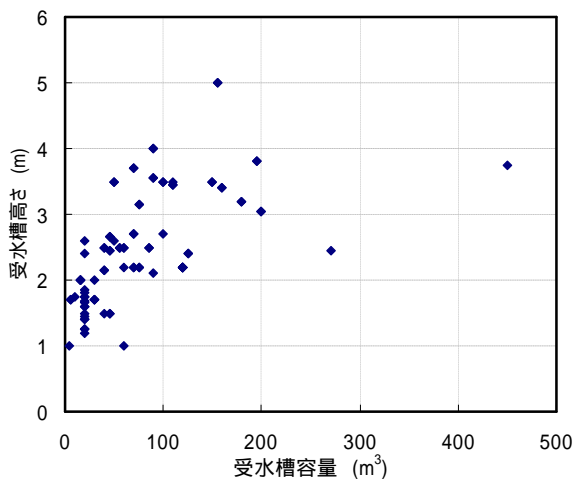


図-14 受水槽容量と水深の関係

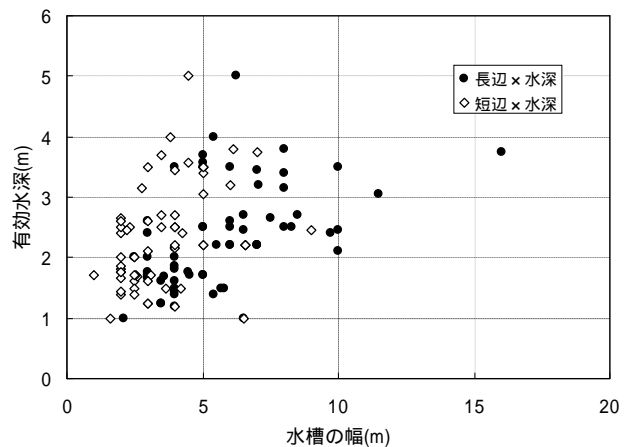


図-15 水槽幅と水深の関係

5.4 1次スロッシング固有周期の分布

地震動の卓越周期と受水槽のスロッシング周期が近接した場合スロッシング現象が発生する。したがって、受水槽の実態調査結果から各受水槽においてどのような周期でスロッシングが発生するか調べるため、FRP水槽耐震設計基準⁶⁾で用いられている式(2)により、受水槽の1次スロッシング固有周期 T_s を求めた。図-16は咲洲地区における受水槽の1次スロッシング固有周期の分布である。

受水槽の1次スロッシング固有周期は、式(2)に示すように受水槽の幅だけでなく、受水槽の有効水深にも密接に関係している。受水槽の運用を考えた場合、水需要に応じて給水と補充引水を繰り返し、受水槽の水深は絶えず変動していることから、スロッシング固有周期も水位同様、一定の幅を持って変動している。受水槽が一般的に水深が半分になった時に自動引水を行うように設定されていることから、本論文では、水深が満水時の3/4の時および1/2の時の2パターンについて検討した。図-16は水深別の1次スロッシング固有周期の度数分布を示し、図-17はその結果を累積度数として示したものである。

長辺側での1次スロッシング周期は、有効水深1/2の時及び3/4の時においても、80%以上の受水槽が1秒以上の周期を有する結果であり、受水槽水深が少ないほど、1次スロッシング固有周期が長い結果となり、水深が1/2の場合、長辺側で平均固有周期が2.35sec、短辺側で1.12secという結果となった。1次スロッシング固有周期のばらつきは、短辺側の固有周期が長辺側に比べ少なくなる傾向を示した。この傾向は、受水槽の規模に関係なく、受水槽の短辺幅が5m以下で有効水深が4m以下に集中しているためだと考えられる。

これらの結果では、実態調査に基づく受水槽は、1秒を超えるやや長周期の地震動によってスロッシングが発生しやすいことを示しており、特に水深が浅くなりスロッシング固有周期が増加し、1秒を超えるとその傾向が顕著となることが判明した。

$$T_s = \frac{2}{1.58 \frac{g}{l} \tanh\left(1.58 \frac{h}{l}\right)} \quad (2)$$

T_s : 1次スロッシング固有周期(s)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 h : 水深(m)
 l : 水槽幅の1/2(m)

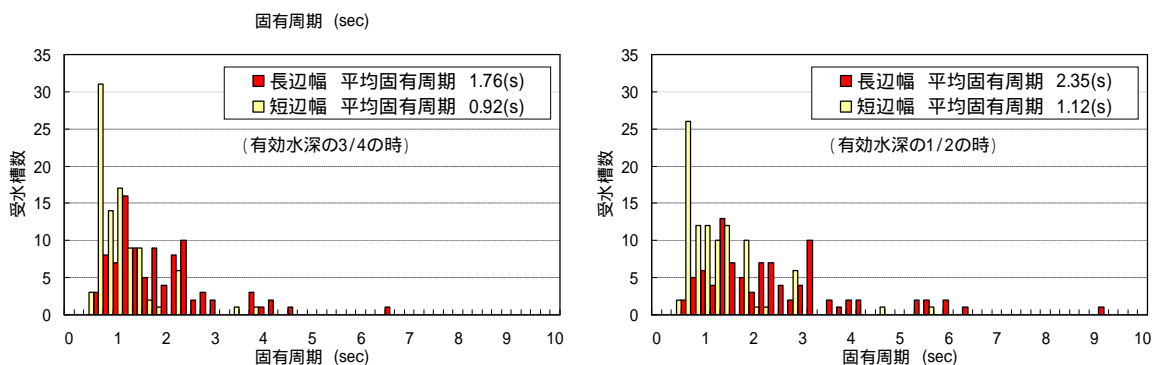


図-16 受水槽における1次固有周期分布

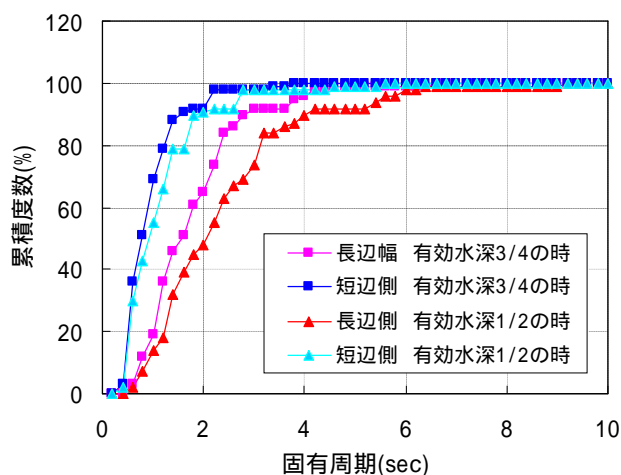


図-17 受水槽の1次固有周期累積度数分布

6. 地震波形を用いた受水槽のスロッシング解析

前章において、受水槽の実態調査によるデータから受水槽の1次スロッシング固有周期分布を求めた。その結果、1秒を超えるやや長周期の地震動が発生した場合、受水槽はスロッシングを発生しやすいことが判明した。これは紀伊半島南東沖の地震をはじめとする給水システムの異常挙動が発生した時の地震動における卓越周期帯と合致していることから、受水槽のスロッシングが異常挙動に深く関与しているといえよう。この章では、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。

6.1 スロッシング解析

受水槽の実態調査と実際の観測地震波形を用い、地震直後の受水槽のスロッシングによる最大変位を算出した。ここでは、耐震計算方法として一般的なHousnerの計算式⁷⁾を用いてスロッシング変位量を算出した。まず、受水槽内における水面動揺時の1次スロッシング周期 T_s を前述した式(2)により求め、次に1次スロッシング周期における応答速度 S_v を速度応答スペクトルを用いて求め式(3)及び式(4)より、受水槽内の水面最大変位 d_{max} を算出した。

$$d_{max} = \frac{0.527l \coth\left(1.58 \frac{h}{l}\right)}{\frac{g}{2} \frac{l}{h} - 1} \quad (3)$$

$$h = 1.58 \frac{S_v}{l} \tanh\left(1.58 \frac{h}{l}\right) \quad (4)$$

- T_s : 1次スロッシング固有周期(s)
- : 固有角振動数 ($\omega = 2\pi / T_s$)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- h : 水深(m)
- l : 水槽幅の1/2(m)
- S_v : 1次スロッシング固有周期における
 速度応答スペクトル値(m/s)

6.2 解析結果

図-18は、実態調査によって集計した各受水槽について、スロッシング量を累積度数で示した図である。解析結果から明らかなように、芸予地震を除き、異常挙動が発生した鳥取県西部地震、紀伊半島南

東沖の地震は、水深が受水槽の有効水位の1/2の時に約半数以上で0.1m以上の変位が発生しており、最大についても0.5mを超える変位が発生するものもあった。一方、異常挙動が確認出来なかった京都府南部を震源とした地震では、異常挙動が確認できた芸予地震よりもスロッシングによる変位量が小さく、90%以上が0.05m以下の変位量となっており、ほとんどの受水槽において、地震によるスロッシングが発生しないといえよう。また、芸予地震においてはスロッシングが発生しているものの、速度応答スペクトル値が1秒以上の周期において、速度応答の値が紀伊半島南東沖地震や鳥取県西部地震に比べ小さいため、その結果、スロッシングによる水面変位量が小さい値となったと考えられる。これら各地震のスロッシングによる水面変位量大きさの順は図-10に示される地震による相関式の傾きの大きさ順と同じであり、長周期地震動による受水槽のスロッシング現象が水道供給システムの異常挙動に深く関与していることがわかる。

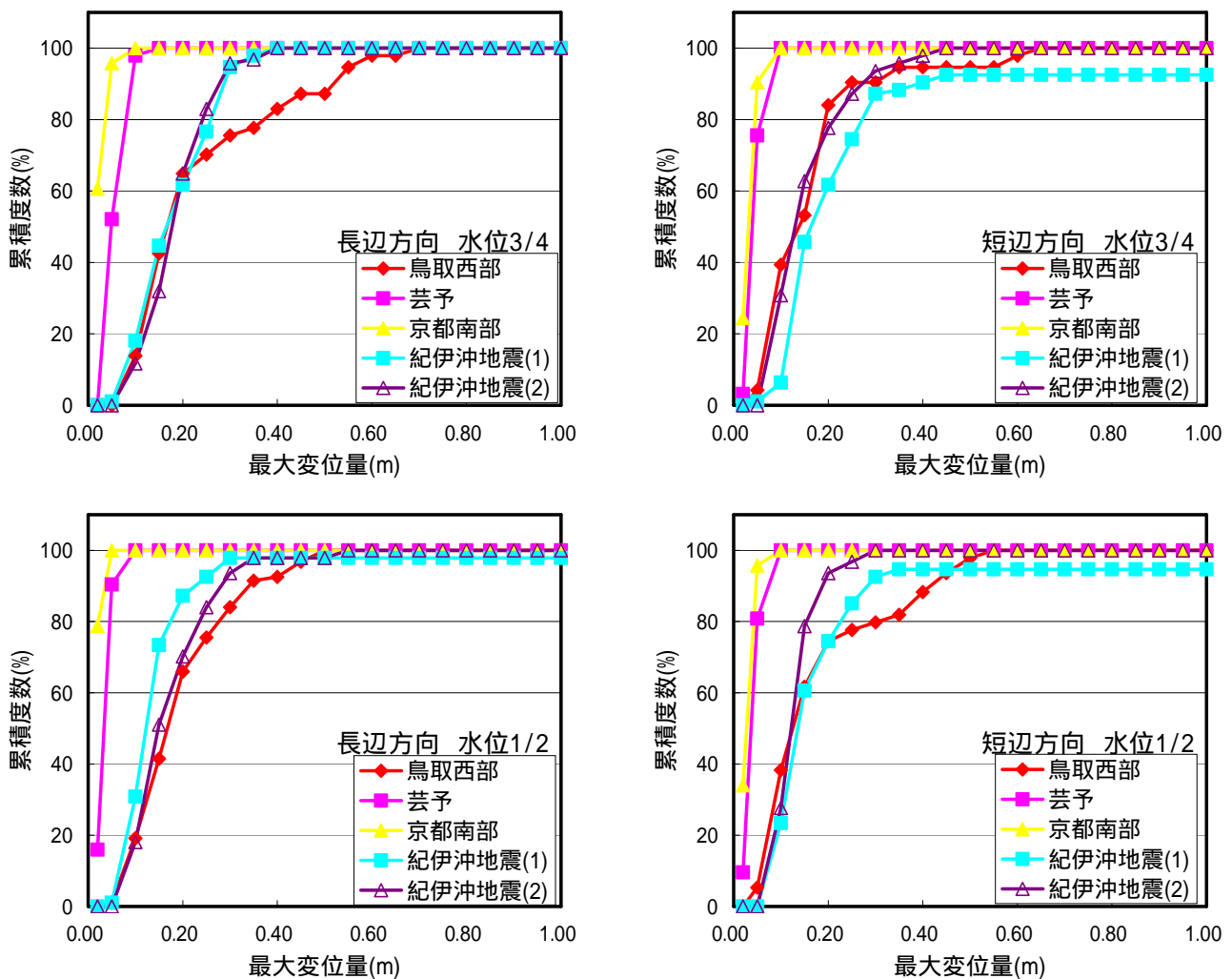


図-18 各地震における最大変位量

7. 南海・東南海地震の予想波形モデルを用いたスロッシング解析

前章までは、やや長周期の地震動による水道供給システムの影響を過去の観測データを用い分析してきた。本章では、今世紀前半にも起こるといわれる東南海・南海地震についても、受水槽の水面変位量を分析した。解析に用いた東南海・南海地震の想定波形は、鶴来ら⁸⁾が算出した予測地震動を用いた。

図-19に東南海・南海地震の想定地震動により算出した速度応答スペクトル図を示す。

図-20及び図-21は、東南海・南海地震による受水槽のスロッシング量である。また、変位量を比較するため、図-17の鳥取西部地震時の受水槽のスロッシング量も同図に示す。この解析結果でもわかるように東南海・南海地震においては、鳥取西部地震時の変位量よりも大きく変位することとなり、受水槽の約60%以上においてスロッシング量が0.5m以上となる結果となる。

これは東南海・南海地震が発生した場合、今まで以上に水道供給システムの異常挙動が発生するものと予想できる。

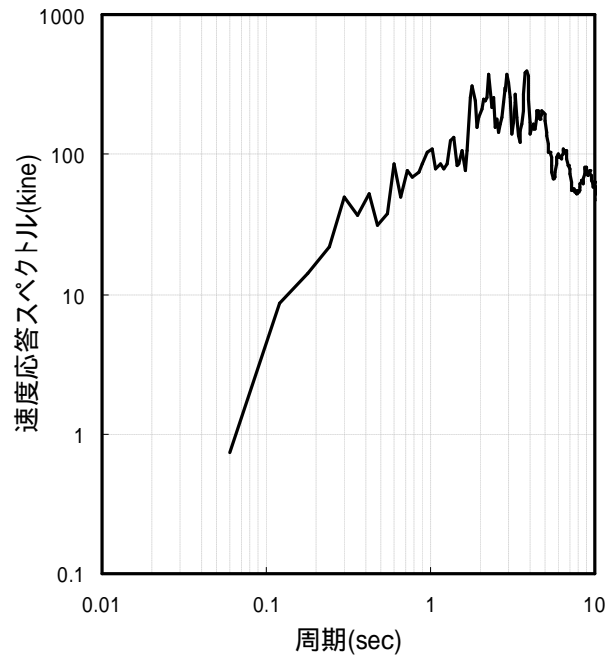


図-19 東南海・南海地震における速度応答スペクトル図

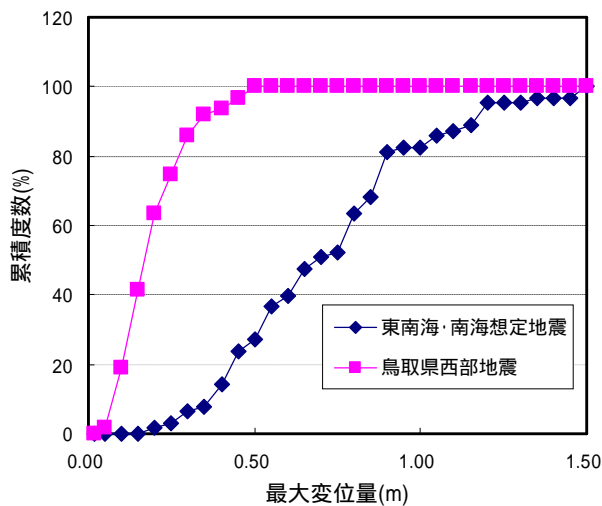


図-20 東南海・南海地震における最大変位量
(長辺方向、水位 1/2 時)

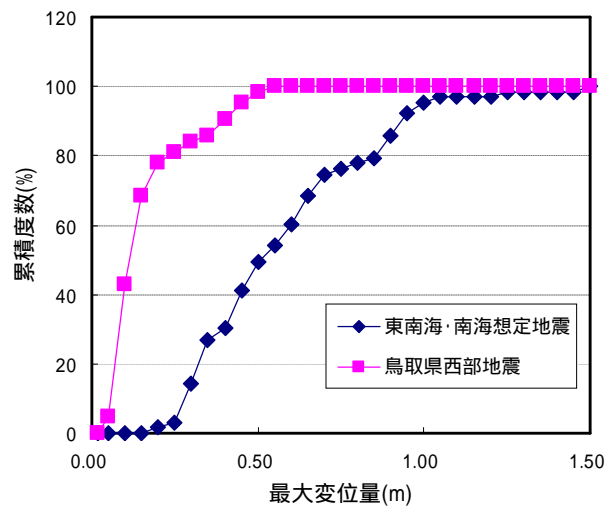


図-21 東南海・南海地震における最大変位量
(短辺方向、水位 1/2 時)

8 . 結論

本論文では、地震直後の配水量及び配水圧の異常挙動とやや長周期の地震動との関連性について、その要因受水槽のスロッシングと想定し、統計的アプローチによる分析と受水槽の実態調査から検討してきた。その結果、地震直後に発生する配水システムの異常挙動について、次の点が明らかになった。

- ・地震直後に発生する配水システムの異常挙動については、地震動の振動数特性が深く関与しており、1秒以上のやや長周期の地震動が関与していると考えられる。
- ・配水システムの異常挙動の直接的な原因として、1秒前後のやや長周期の地震動によって、受水槽がスロッシングを発生し、この現象が受水槽の引水装置に誤動作を発生させ、地震直後に強制的な一斉引水が発生したことが考えられる。
- ・発生確率が高い南海・東南海地震についても、同様のデータをもとに想定地震波形を用いて解析を実施した。その結果、紀伊半島南東地震や鳥取西部地震等の過去の地震以上にスロッシングによる最大変位が大きいことが判明した。

配水システムの異常挙動は、大規模漏水が発生した現象と酷似しており、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は難しい。また、長時間続いた場合、復旧時の初期初動体制確立や消火活動の遅れとなる可能性があるとともに、急激すぎる配水量の増加は、ウォーターハンマー等を発生させる可能性もあり、配水管への2次的被害も発生することも考えられる。発生確率が高い南海・東南海地震においては、過去の地震以上に影響の予想される過去の地震以上の被害が出る可能性が考えられ、何らかの対応をする必要がある。

これら受水槽のスロッシングによる異常挙動については、長周期地震動に対して揺れにくい受水槽形状の検討や水位センサの設置場所や引水するトリガータイミングの改良が必要であると考えられ、今後、さらなる検討を進める予定である。

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、1988、pp.2-14 .
- 2) 座間信作：石油タンクのスロッシングとやや長周期地震動、第18回地盤震動シンポジウム講演論文集、1990、pp.15-20 .
- 3) 座間信作：やや長周期の地震動、地震2、第46巻、第3号、1993、pp.329-342.
- 4) 畑山 建、座間信作、西 晴樹、山田 實、廣川幹浩、井上涼介：2003年十勝沖地震による周期数秒から数十秒の長周期地震動と石油タンクの被害、地震、第57巻、2004、pp.83-103.
- 5) 中島 新、松井光弘：2002FIFAワールドカップと水需要動向について、日本水道協会関西地方支部第46回研究発表会発表概要集、2002、pp.5-8.
- 6) 多田直美：FRP水槽耐震設計基準改訂委員会報告、強化プラスチック協会誌、Vol.42、No.10、1997、pp.379-385.
- 7) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説1997年度版、1997、pp.97-105 .
- 8) 鶴来雅人、趙伯明、香川敬生：大阪盆地を対象とした南海・東南海地震の地震動シミュレーション(2)、土木学会地震工学論文集、Vol.27、2003(CD-ROM)。

(受理：2006年9月5日)

(掲載決定：2006年12月19日)

INFLUENCE OF RECEIVING WATER TANK SLOSHING ON WATER DISTRIBUTION SYSTEM

Kouichi Murata¹⁾, Masakatsu Miyajima²⁾

1)Member, Acting Manager, Kunijima Filtration Plant, Osaka Waterworks Bureau, Master.

2)Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kanazawa University.

ABSTRACT

This paper has tried to reveal the cause of irregular surge of water distribution volume and irregular decrease of water pressure respectively just after an earthquake. First the cause of a surge in water distribution volume is examined in a statistical manner based on the observation data by Osaka Waterworks Bureau (OWWB). Next the movement of water inflow into the water receiving tanks just after earthquakes are numerically examined using acceleration waveform collected by OWWB's earthquake monitoring system. The relationship between the sloshing phenomenon caused to water receiving tanks and a sudden surge of water distribution volumes was considered. Furthermore, the sloshing phenomenon of water in receiving tank was examined using hypothetical acceleration waveform of Tokai-Tonankai earthquake.

Key Words: Water Distribution System, Sloshing, Lifeline