

 JWRC 水道ホットニュース	(公財)水道技術研究センター 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F TEL 03-3597-0214, FAX 03-3597-0215 E-mail jwrchot@jwrc-net.or.jp URL http://www.jwrc-net.or.jp
---	---

最近の地震：米国の水道事業体への示唆

(その4)

第3章 考察

以下は、いくつかの特定の話題に関する注釈である。

1995年以降、日本は通常の埋設管システムが破損した際に住民に飲料水を提供するために使用されるいくつかの埋設貯水タンクを設置している。これは、どの程度機能したか？

仙台市のみならず千葉県においては、1995～2010年の間に約42のこのような貯水タンクが設置されたと我々は理解している。貯水タンクは、一般に1万～4万ガロン（約40～160 m³）の容量であった。基本的に、これらの貯水タンクは大口徑（2m以上）の管として製作され、既設管と並行して布設された。それぞれの貯水タンクは、独立した流入弁及び流出弁を有していたはずであり、水質を維持するため、内部の水は絶えず「入れ替わる」ために通常は開いている。弁は、強い地盤震動時に閉じるように設計されており、それによって、地域住民が得られる備蓄水を保持するものである。

これらの貯水タンクのうち39が計画どおり機能したと我々は理解している。すなわち、弁が閉じられ、地域住民が貯水タンクを利用することができた。1つの貯水タンクは、液状化によって全く機能しなかった。2つの貯水タンクは津波浸水ゾーンに位置し、地震（全ての近傍の住居構造物は破壊された）の後、それらは使用されなかった。

残りの39貯水タンクは、それほど全体的な効果を有しているとはみられなかった。多くの給水地点で、小型の給水車によって再補給され、そして、当該地域での貯水のための小型地上貯水タンク（200～1,000ガロン、約750～3,800ℓ）を用いているのを、我々は観察した。我々は具体的な統計を持ってはいないが、機能していた39貯水タンクのうち、多くは埋設管路網が被害を受けなかった場所にあり、したがって必要とされなかった。これらの貯水タンクを設置する初期資本費が緊急事態対応（小型給水車及び当該地域の貯水タンク）より優れているかどうかは不確かのみであるが、長期間（例えば、100年）を考えたとき、緊急事態対応手法の方がより低いコストでより柔軟であると推測される。

液状化による1つの貯水タンクの破損は、小型埋設貯水タンクという方法を採用するのであれば、液状化の影響を考慮に入れなければならないということを明らかにしている。このような貯水タンクの「標準化された」設計は、最初のうちは合理的（より低廉な総資本費）であるようにみえるであろうが、実際にはほとんどそうではない。なぜなら、液状化ゾーンの貯水タンクは最も必要とされるものであろうし、安定した地盤の場合とは異なった設計がなされる必要があるからである。安定した地盤ではほとんどの管が破損していないことから、とにかく、安定した地盤における居住者のための埋

設貯水タンクという手法が合理的であるか、疑わしい。防火水槽（すなわち、水道システムから完全に隔離されており、蓄えられた水は消火目的である。）として使用される埋設タンクに関しては、日本のいくつかの都市は、埋設管網を経由して水を補給するために埋設水槽を使用している（例えば、東京及び神戸）。2001年の地震において、仙台市及び千葉県からの回答によれば、消火のための水源として使用された水槽はなかった。水槽の1つは液状化により破損した。我々は、また、1995年の神戸地震で水槽が使われたかどうか尋ねた。神戸地震では、神戸で多くの火災があった。様々な理由によって水槽から使用された水はなかったという話であった。発生した火災のほとんどでは近くに水槽がなく、ウォーターフロント近傍の1つの地点で、消防局は一つの水槽の水を使用しようと試みたが、マンホールが「動かなかった」（おそらく、液状化に起因する歪み）。

緊急事態対応業務は、どうであったか？

日本では、津波ゾーンの外では、地震の被害を受けた水道事業者は、地震の影響を受けなかった他の水道事業者からの相互支援を呼びかけたことを見聞した。日本は、迅速に水道サービスを回復することを支援するために大規模な人員体制で駆けつける必要性を取り入れている。これは、1995年の神戸地震と比較したとき、外部支援の意思及びスピードにおいて著しい改善がみられるようである。

津波ゾーン内に位置するコミュニティーについては、地震後6か月後でさえ、被害を受けた埋設水道管を修理する試みは基本的には行われていない。居住者の残っている少数の孤立地帯については、小型給水車によって給水地点まで水が運搬されていた。

津波によって発生した火災が多数あった。浸水した岩手及び宮城の海岸線に沿った小規模コミュニティーでは、これらの火災のいくつかが延焼し、更なる被害を生じた。津波の状態に鑑みて、我々は消防局の対応があったかどうか尋ねた。我々が話をした日本のどの事業者も、これらの火災の制御を試みる消防局の対応を知らなかったが、もしかするとあったのかもしれない。

日本では、影響を受けた2つの大規模水道事業者、千葉県営水道（給水人口293万人）及び仙台市（給水人口104万人）は、これらの給水区域では火災はなかった（少なくとも延焼はない、又は消火栓からの水には頼らなかった）と報告している

日本では、現在布設されている全ての新しい水道管のうちの約78%が耐震設計されている。しかし、依然として、地震に弱いままの経年化した水道管が大量に残っている。多くの日本の水道事業者は40年から65年での管更新戦略を採用している。日本では50年経過した管は「非常に古い、取り替えるべき」と考えられている一方、米国では50年経過した管は全然古くないと一般に考えられている。

クライストチャーチでは、1997年に行った地震脆弱性評価（リスク及び現実、1997年）を皮切りに、クライストチャーチ市役所が地震に対する準備を行っていた。その後、クライストチャーチ市役所はいくつかの貯水タンクの耐震性を向上させた。この努力は、2011年2月の地震において破損したタンク数を減少させることとなったであろう。しかし、1997年の調査で被災管のリスクが明らかにされた一方で、クライストチャーチ市役所は管路の設計方法を変更しなかった。そのため、変更していた場合に発生したであろうよりも多くの管が2010～2011年の地震において被害を受けた。2011年の2回目の地震の後、クライストチャーチ市役所は、軟弱地盤地域の全ての新しい管は耐震設計されたものを採用している。

クライストチャーチでは、3回の地震において消防局の対応を必要とする火災の発生は12件未満であった。水道システムに対して同時に発生した被害によって、これらの火災の発生を制御するために必要な水の不足を生じることはなかった。火災の延焼はなかった。

コンセプトでは、消防局の対応を必要とする2件の火災の発生があった。最初の建物からの延焼はなかった。水道システムに対して同時に発生した被害によって、これらの火災の発生を制御するために必要な水の不足を生じることにはなかった。火災の延焼はなかった。耐震設計を用いて布設されていた水道管は被害を受けなかった。

第4章 地震被害

この報告書において、我々は5つのタイプの地震被害を取り扱う。

- ・地盤震動
- ・液状化及び側方流動
- ・地すべり
- ・地表断層
- ・津波

読者の中にはこれらの用語になじみがない可能性があることから、以下の要約はこれらの被害の要点を示すものである。更なる情報はALA（2001年及び2005年）から入手できる。

地盤震動

水道システム又はその近傍で地震が発生したとすると、全ての地点で一定レベルの地盤震動被害が生じるであろう。断層付近の地点での地盤震動レベルは、通常、断層から遠い地点での地盤震動よりも高いであろうが、時々、地盤動及び地域の地盤条件の不確実さが、この傾向を打ち消すことがある。

地盤震動は通常、施設の設置場所での最大加速度（PGA）、最大地動速度（PGV）又は応答スペクトル（RS）により特徴づけられる。PGA又はRSは、通常、地上施設に対して用いられる。PGVは、通常、地下管路に対して用いられる。地震の震源位置がわかれば、PGA、RS及びPGVは減衰モデルを用いて計算することができる。減衰モデルは、様々なタイプの地震（海溝型、横ずれ）、震動タイプ（加速度、速度、減衰の様々なレベルに対する応答スペクトル）、土壌タイプ（岩盤、硬い、柔らかい）及びその他の特殊要素（近距離指向性効果、垂直運動、隆起位置）を説明するために開発されてきた。

液状化及び側方流動

液状化は、長期間、強い地盤震動を受ける時に、緩く飽和した粒状土において生じる現象である。シルト質土及び砂地は、そのような条件下では圧縮・沈降する傾向がある。もし、これらの土壌が圧縮・沈降して飽和すれば、上向せざるを得なくなる。この増大する間隙水圧は、2つの影響を引き起こす。一つ目は、土壌の支持力が一時的に減少する液状化発生条件を生じることである。二つ目は、生じた圧力が十分に大きくなった時、実際に地面から砂が噴出し、地表面で特有の噴砂を形成することがある。また、この砂の流出によって、さらに地盤が沈下する。

側方流動は、液状化に付随する現象である。多くの場所では、液状化の可能性のある物質の地層が地表面下の一定の距離に位置している。深く窪んだ小川又は路盤のように、場所が著しく傾斜しているか又はオープンカットに隣接している場合は、下り斜面又は掘削方向への表面土壌の流出を引き起こすことがある。側方流動は、当該場所上の構造物のみならず、埋設構造物及び管路を崩壊させる可能性がある。

地すべり

地すべりの被害は、いくつかの顕著な被害のタイプを含む。これらは、深在性で回転性の地すべり、土石流及び雪崩/落石である。これらの異なるタイプの地すべりは、異なった方法で水道システムの構成要素に影響を与えることがある。

- ・埋設管路、弁及び地下室。深層の回転性及び直線の地すべりは、埋設管路、弁及び円蓋に対して生じる被害について重大な脅威となる。水道管路に対する地すべりに起因する被害を推定する過去のほとんどの努力は、深層地すべりに対するものであった。土石流及び雪崩は、通常、埋設インフラに対しては確かな脅威ではない。
- ・貯水タンク。深層の回転性及び直線の地すべりは、地上式貯水タンクに被害を及ぼす重大な脅威となる。地すべりに起因する数インチの沈降でさえ、タンク（特に、コンクリート製タンク）を破損するに十分なほど、タンクを歪めることがある。土石流も、かなり大規模で高速でタンクを打撃する場合は、タンクに被害を与えることがある。雪崩及び落石は、一定の条件下では、地上構造物に対して大きな影響を与えて被害を及ぼすことがある。
- ・水路。土石流は水路に対して重大な脅威となることがあり、豪雨及び/又は地震によって、特に地面が飽和しているときに引き起こされることがある。
- ・トンネル。地すべりは、トンネル入り口地点において深刻な脅威となる。

地表断層

地表断層（surface faulting、断層のずれ（fault offset）とも呼ばれる。）は、地殻断層においてしばしばマグニチュード6以上の地震によって破壊域が地表に達した時に生じる。例えば、カリフォルニアの多くの断層（San Andreas、Hayward、Calaveras、San Jacinto、Elsinoreなどのような）は、マグニチュード6以上の将来の地震でおそらく地表面を破壊するであろう。

ロサンゼルス近傍のいくつかの深層断層のように、全ての地殻断層が地表断層を生じさせるわけではない。

海溝型地震は、しばしば断層破壊が海洋下であるため、通常は内陸の地表断層を伴わないし、また、通常、破壊断層の頂部は海洋面下約5～15kmに留まる。

津波

海洋下の地塊の急速な上昇運動又は下降運動を生じる地震は、津波を発生させるであろう。マグニチュード8以上の海溝型地震の多くは、巨大津波を発生させるであろう。もし土地の運動が湖の下で起きる場合は、静振（セイシュ）と呼ばれる。水面下の地すべり（地震が引き金となった、又は他の状態）も、津波を引き起こすことがある。

通常、外洋における津波の高さは低く、およそ数インチである。波が浅海域に接近する時、海底地形の影響で波が遅くなり、高さが増すであろう。津波の高さを測定する用語は波高であり、波が海岸線付近で10メートルの水深に位置する時である。他の用語は津波遡上高を測定することであり、津波が海岸に押し寄せる時、津波によって浸水する最大の地面高を意味する。

2011年の日本におけるように非常に大きな津波は、水の高さが7～8メートル（沖合10メートルの水深において）であり、局所的な津波遡上高は25メートル以上（狭い峡谷における津波遡上高はもっと高いことがある）にもなった。

第 5 章 参考文献

ALA, "Seismic Fragility Formulations for Water Systems," American Lifelines Alliance, FEMA, March 2001.

ALA, Seismic Guidelines for Water Pipelines, American Lifelines Alliance, March 2005.

ASCE, 2005, Fire Following Earthquake, Scawthorn, Eidinger and Schiff, Editors, ASCE, March, 2005.

AWWARF-EPA, Customer Acceptance of Water main Structural Reliability, AWWA Research Foundation, 2005.

AWWA. Water Infrastructure at a Turning Point: the Road to Sustainable Asset Management, AWWA May 2006.

Ballantyne, D., Minimizing Earthquake Damage, A Guide for Water Utilities, American Water Works Association, 6666 West Quincy Ave., Denver CO 80235, 1994.

Boroschek, R., Soto, P., Leon, R., Maule Region Earthquake, February 27, 2010 Mw = 8.8, University of Chile, Faculty of Mathematics and Physical Sciences, Civil Engineering Department, Report 10/08, August, 2010.

Environment Canterbury, Liquefaction Map,
<http://ecan.govt.nz/publications/General/solid-facts-christchurch-liquefaction.pdf>.

Eidinger, J., Avila, E., Eds., Guidelines for the Seismic Evaluation and Upgrade of Water Transmission Facilities, ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 15, January, 1999.

Eidinger, J, Water Pipe Replacement: Seismic and Aging, *in* Proceedings, 7th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices, Niigata, Japan, October 2011.

Eidinger, J., and Tang, A., eds., Christchurch, New Zealand Earthquake Sequence of M 7.1 September 2010, M 6.3 February 22 2011, M 6.0 June 13 2011: Lifeline Performance, <http://www.geEngineeringSystems.com>, ASCE, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 40, February 2012.

FEMA, What is a Benefit, Revision 2.0, Federal Emergency Management Agency, Washington, May 1, 2001.

Fujiwara, H, JMA Intensity Maps, NIED, 2004.

HAZUS, Hazard Loss Estimation Software by FEMA,
www.fema.gov/plan/prevent/hazus/.

Oe, T., Tazaki, M, Tomii, M., Recovering work of leak from 3.1 meter diameter raw

water main damaged with the Great East Japan Earthquake, JWWA-AWWA Joint Meeting on seismic Measures for Water Systems, Niigata, October, 2011.

Risks & Realities, Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1997.

Si, H., and Midorikawa, S., New attenuation relations for peak ground acceleration and velocity considering effects of fault type and site condition, *in* Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, paper No. 0532.

配信先変更のご連絡等について

「JWRC水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記までE-メールにてご連絡をお願いいたします。
〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F (公財)水道技術研究センター ホットニュース担当

E-MAIL : jwrchot@jwrc-net.or.jp

TEL 03-3597-0214 FAX 03-3597-0215

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー（第58号以降）は、下記アドレスでご覧になれます。

<http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/hotnews-h24.html>