

 <b>JWRC</b> <b>水道ホットニュース</b>	<p>(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 <a href="mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp">jwrchot@jwrc-net.or.jp</a> URL <a href="http://www.jwrc-net.or.jp">http://www.jwrc-net.or.jp</a></p>
---	--

## 最近の地震：米国の水道事業体への示唆

### (その3)

#### 2.2 管路更新

3つの地震それぞれは、耐震設計されていない埋設水道管路に対してかなりの被害を示した。耐震設計された管は、それぞれの地震において何らの被害を示さなかった。長期的な解決策は、耐震設計されていない管を、適切に耐震設計された管に布設替することである。

過去10年ほど、米国の水道事業体において、「アセットマネジメント」の概念は一定の注目を集めている。これらの概念は米国水道協会(2006年)及び米国水道協会研究財団—環境保護庁(2005年)で述べられている。これらの書物はいずれも、管の布設替において対処されるべき要素の一つとして、地震に関する課題を正式には取り扱っていない。総合的なアセットマネジメントの取組みにおいて地震に関する課題にどのように対処するか、我々は明らかによりよいガイダンスを必要とする。

過去25年にわたって、いくつかの米国の水道事業体は年率約0.1%から0.3%、そして数事業体では最大年率1%の割合で、既設管の布設替を行ってきている。これは、言い換えれば、約100年から1,000年の布設替サイクルである。例えば、EBMUD(サンフランシスコ湾東岸地域水道企業団)は、その4,000マイル(約6,400km)の管路延長のうち、年間当たり約5マイル(約8km)の管(投資資金が厳しい時)から10マイル(約16km)の管(投資資金が容易に利用可能な場合)を布設替しており、それは、400年から800年の布設替サイクルであることを示唆している。非常に心配なことは、そのうちに、所有者の修理の能力を圧倒して、そして、多くの断水や顧客の不平不満を引き起こすこととなる、老朽化に関わる問題に起因する管の漏水が突然急速に増加するであろうということである。

もし地震の問題が取り扱わなければ、通常米国のやり方は、古い管を新しい耐震設計でない管に布設替することである。例えば、漏水がみられる6インチの1920年製の印籠継手鋳鉄管(cast iron pipe with push-on caulked joints)を2012年型の8インチの塩化ビニル管又は押し込み式ゴム継ぎ手のダクタイル鋳鉄管に布設替することが普通であろう。地盤破壊しやすい高地震エリアでは、このやり方は非常に不完全である。

もし、管は真に「100年」の寿命であると単純に決めてかかると、ほとんどの米国の水道事業体は今後数十年間にわたって布設替が必要となる管の莫大な増加に直面する。いくつかの政策書類は、管の老朽化問題は差し迫った「危機」又は「破局」であると述べている。米国土木学会は、国内のインフラは著しい荒廃状態にあり、上下水道の埋設管システムに対して「C」及び「D」といったようなスコアを与える年次声明書を出している。たぶん、これらは「威嚇」戦術か?、それとも、これらは経済的に健全な考察であるか?

## 2.2.1 管の布設替—便益費用比率 (BCR) モデル

合理的な工学的基礎なしに毎年度の管布設替計画に投資することは経済的に健全ではない。A 水道局では、年率 1% の割合で管を布設替することが適切かもしれない (例えば、腐食性土壌で、地震による地盤崩壊リスクが高い場合)。一方、B 水道局では、0.3% の割合で管を布設替することが適切かもしれない (例えば、非腐食性土壌で、地震による地盤崩壊リスクが低い場合)。問題は、--- 実際の管の状態及び地域的な腐食及び地震の条件を考慮して、我々がどのようにして年当たり管布設替の「正しい」量を算定するか、である。

基本的な算定方法は、見込まれる将来の便益 (= 仮に管が布設替されたとした時の将来の修理費用の軽減) を合計し布設替費用で除することである。

$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^{n \text{ years}} \text{RepairCostPerYear} / (1+r)^i}{\text{ReplacementCost}}$$

ここに、 $r$  = 割引率、そして、 $n$  = 割引率算定で仮定した年数。

よいアセットマネジメントプログラムは、それぞれの管に対する便益費用比率 (BCR) を合計することにより、老朽化及び地震の両方の課題を含むこの種のモデルを用いるべきである。

すなわち、 $BCR_{Total} = BCR_{seismic} + BCR_{aging}$

$BCR_{seismic}$  の算定方法については、詳細の大部分は FEMA (2001 年) に概説されている。以下のパラグラフは、主要な地震に関する仮定のいくつかについて強調している。

地震被害軽減のための長期的な布設替戦略は、液状化又は地すべり又は断層のずれといったような地盤の永久変位 (PGDs : permanent ground displacements) を受けやすいゾーンを横断する全ての地震に弱い管の布設替を計画することである。布設替管は、(鎖構造を有するダクタイル鑄鉄管、突合せ溶融溶接又は留め金を用いた電気溶接の高密度ポリエチレン管、又は肉厚の突合せ溶接鋼管を用いるといったような) 永久変位による沈下に耐えることができるように設計されるべきである。いったん、これらの改善策が確立されれば、年単位での地震による損失は概しては約 90% 減少するであろう (このことは、将来の地震において、依然として損傷するであろういくつかの管が残存するであろうことを認識している)。ALA (2005 年) は、地震エリアにおける新しい管の選定のための特別の提言を行っている。

$BCR_{aging}$  の算定方法については、詳細の大部分は Eidinger (2011 年) により概説されている。以下は、主要な手順を説明している。

- 実際の管路システムの最近 10 年から 40 年間の管の漏水を調査すること。管種、管口径、管の布設年数及び土壌の腐食性によって分類すること。
- 土壌の腐食性を立証する試験データを持っていない場合は、それを収集すること。比較的簡単なプロセスは、全市にわたる土壌非抵抗試験 (抵抗値 (R), オームセンチ (ohm-cm)) を実施することである。これは、水道システム全体において概ね均等に配置された位置で、ウェンナーの 4 電極法試験を行うものである。数日間の野外作業で、25 平方マイル (約 65km<sup>2</sup>) 当たり約 100 試験を容易に行うことができる。埋設方法にもよるが、R が 10,000 オームセンチ (低腐食性) を超える土壌中の漏水率は、R が 5,000 オームセンチよりもほぼ 50% 低下し、また、R が 1,500 オームセンチ (高腐食性) 以下の土壌中の管よりも 80~90% 低いと見込まれる。

漏水の歴史及び試験データから、以下のような水道事業体特有の管老朽化モデル(年・マイル当たり

漏水率)を開発すること。

・  $Leak Rate_{aging} = k_1 k_2 k_3$  (汎用、年間1マイル当たりの漏水)

・  $k_1$ は管種(口径、管体材質)に応じた漏水率であり、 $k_2$ は布設年数を考慮した補正係数であり、 $k_3$ は土壌比抵抗を考慮した補正係数である。既知の漏水事故歴のある管については、記録された事故歴全体の平均値又はシステム全域の率のうち、いずれか高い値とする。 $BCR_{aging}$ を求める際に用いられる個々の管についての漏水率は、汎用的な漏水率又はその管に特有の漏水率のうちの高い値とする。

## 2.2.2 提言

水道事業体における長期(最短で20年、最長で100年)管布設替戦略は、以下のようになる。

**地震**：中程度から高い又は非常に高い液状化/地すべりのおそれ又は横断活断層がある地帯における布設替管は、ALA2005年に沿って耐震設計されるべきである。これは、高地震リスクのカリフォルニア(サンフランシスコ、ロサンゼルス)、コディアック(アラスカ)、ラマルベ(ケベック)又はサンディエゴ、メンフィス、ソルトレイクシティ、ポートランド、シアトル、バンクーバー(ブリティッシュコロンビア)のような中程度の地震リスクエリアにおいて当てはまる。総じて、いつ布設替するかは決定は、地震リスクのみではなく、最近の漏水履歴に基づくべきである。地震被害が最も高いエリア(今後50年間に5%以上の確率でマグニチュード6.5+の地震を生じる可能性のある断層、そして、液状化、地すべり又は地表断層を生じやすい広範囲に都市化されたエリア)において、いつ管を布設替するかは決定は、地震の問題だけで正当化されるであろう。

**老朽化(Aging)**：過去5年以内に3回(又は4回)以上の既知の漏水履歴がある管は、(今後10年以内の)早期の布設替に対して高い優先度が与えられるべきである。これは、種々の便益費用分析及び「支払い意志額」の概念を反映している。漏水が現在も起きている管の位置と地震に対して管路が高い脆弱性を有する位置との間には、かなり高い相関があるように思われる。

**経年管(Old Pipes)**：漏水の経歴が最近みられない管は、布設替のための特定のスケジュールなしに、「残置(left in place)」されるべきである。極端に地震リスクが高いエリアでのみ、又は冗長性のない重要な管に対してのみ、主として地震対策という理由で、管の布設替が行われるべきである。

**その他の問題**：不十分な消火用水量、錆こぶ、異臭味、又はその他の理由で布設替を必要とする管は、ALA2005年又は類似の地震ガイドラインに沿って適切な管材で布設替されるべきである。簡単に言うと、布設替される予定の管が地盤崩壊の可能性にさらされないのであれば、「タイトン継手(push on joint)」管(低めの費用)が容認できるが、一方、液状化又は道路陥没にさらされる重要な管は耐震設計された「溶接」又は「鎖構造」継手を有するべきであり、また一方、断層のずれにさらされやすい重要な管は断層のずれに順応するように設計されるべきである。地すべりゾーンにおける管については、回避が主な解決策である(恒久的な又は重要な施設には適しないエリアに区分する)。しかし、現存する地すべりゾーンに対しては、一つの解決策は一般的に「買い手がリスクを負う(buyer beware)」であり、そして、水道事業体は溶接継手を規定する以外に地すべりに順応するための設計をしなくてよいはずである。そして、地すべりゾーンの顧客は、水道管に対する被害及び比較的低い地震後のパフォーマンスに対するより高いリスクを受け入れなければならない。地すべりの可能性のあるゾーンを通過する重要な管について、上述したダクティル鉄管の「鎖」構造は、一定の地すべり挙動のもとで管を保護するために用いることができるが、地すべりを避けるためのルート変更が真に重要な管に対しては好ましい。全ての新しい管は、適切な防食処理を用いた設計を行うべきである。腐食性の環境下に置かれた(40年を超過した)経年化した薄壁ダクティル鉄管は、外部を「ポリエチ

レンスリーブ (external baggies)」で覆ってあろうとなかろうと、地震に対する性能は、現時点では不明である。

「1935年より前に布設された全ての鋳鉄管は布設替する。」といったような単純な布設替ルールは、事実によって支持されない。局部電池腐食又は軟弱地盤又は局部的な高圧力、又はその地域の布設方法は、総じて管種や管の年齢よりも管の脆弱性及び漏水に、より多くの影響を持つ可能性がある。

**管の耐震設計：**老朽化及び地震の問題が長期（20年から50年）資産更新プログラムにおいて考慮される場合は、水道事業体は管布設替のためのしっかりした費用効果的な長期資本プログラムを策定することができる。クイックガイダンスとして、以下の手法を採用することができる。

- ・配水管：漏水したことがあって、過去7年間に延長1km当たり3回以上（住居地域では4回以上）の修理が行われた管（口径12インチ（約300mm）以下）は、今後5年から10年で布設替することがふさわしい。布設替管は、もし、液化化しやすい地盤に位置する場合は、適切な腐食保護策とともに、最大6インチ（約15cm）の変動に加え、その他の全ての要求事項に適応できるように設計されるべきである。布設替管が、もし、恒久的な地盤変動が生じやすすくない地盤に位置する場合は、特別な耐震設計を必要としない。
  - ・送水管：漏水したことがあって、過去7年間に延長1km当たり2回以上の修理が行われ、そして、液化化、地すべり又は断層運動が生じやすい地盤にある管（口径30インチ（約76cm）以上）は、今後5年から10年で布設替することがふさわしい。布設替管が、もし、液化化、地すべり又は地表断層運動が生じやすい地盤に位置する場合は、適切な腐食保護策とともに、1,000年から2,500年ほど毎に生じる地震に伴って予期される恒久的な地盤変動に加え、その他の全ての要求事項に適応できるように設計されるべきである。布設替管が、もし、恒久的な地盤変動が生じやすすくない地盤に位置する場合、地震震動の影響に適応するため、適切なスリップジョイントの設計が依然として必要であり、又はスリップジョイントの使用を避ける必要がある。
- (注) 修理率を考慮するために用いられる単位長は、経済活動が非常に盛んな地域では短めに、それ以外の地域においては長めであるべきである。
- ・水道機関の脆弱性及び地域社会のニーズを反映するため、緊急事態対応計画が展開されることが必要である。緊急事態対応と事前の地震軽減対策のバランスが考慮される必要があるであろう。

耐震設計のために使用されるべき特定の管種を推奨することは、この報告書の範囲を超えている。米国の全ての水道事業体に対して等しく費用効果的であろうただ一つの解決策は存在しないと著者は信じる。3つのケーススタディは、軟弱地盤に位置している場合においてさえ、高密度ポリエチレン管及び鎖構造ダクタイル鉄管が地震においてよく性能を発揮した一方、耐震設計でない溶接鋼管の送水管は日本及びチリ地震において多くの場所で破損したことを示している（クライストチャーチでは、鋼鉄製の送水管はない）。

しかし、耐震設計の問題が管路材質及び継手の選定に取り入れられず、そして、現行の米国水道協会（AWWA）の管路設計基準のみを採用するのであれば、米国の水道事業体は、管路が軟弱地盤を横断する時はいつも、将来の地震において広範囲の水道管路の破損を覚悟し続けなければならない。現在、ALA（2005年）は米国における埋設水道管路の耐震設計のためのガイドライン（強制的ではない）を提供している。

やがて、米国又はカナダに本拠地を置く管の製造メーカーが水道配水システムでの使用のための様々な適切な管を供給することができるようになるであろう。これらは、液化化や中程度の地すべりを受けやすいゾーンにおける鎖構造ダクタイル鉄管及び高密度ポリエチレン管、

断層のずれが生じるゾーンを通過する厚肉で高品質溶接鋼管、そして、未だ一般には入手できないものの、願わくば新製品（延性のある塩化ビニル管、延性のあるクランプ継手高密度ポリエチレン管など）であろう。適切な製品が地元で入手できるになる時までは、（クボタの製品のような）海外で製造された耐震設計の管の輸入は、米国及びカナダの水道事業体にとって代替手法であろう。

水道事業体が長い歴史を持つ布設方法を有しているので、管路設計の如何なる変更も多く問い合わせに遭遇するであろうことはよく理解できる。しかし、これらに対する回答がなされて適切な方法が採用されるまでは、現在布設されている耐震設計でない軟弱地盤ゾーンを通過する新しい管路インフラは、今後の大規模地震の後に多額のお金の無駄遣いであったことが証明されるであろう。

## 2.3 貯水槽の設計

それぞれの地震は、貯水槽に一定の被害を生じた。チリでは、耐震設計でない高架タンクが驚くほど高い割合で崩壊した。クライストチャーチでは、いくつかのコンクリート製又は PC 製タンクが倒壊した（中身を失った）。日本では、空の（又はほとんど空の）鋼製タンクが津波浸水ゾーンで浮動した。日本では、新設の埋設鋼製タンクが液状化ゾーンで浮上した。ニュージーランドでは、屋根の被害がいくつかのタンクで生じたが、使われ続けた。

米国の貯水槽は、通常、AWWA D100（鋼製タンク）又は D110（PC タンク）、又は ACI 350（液体貯蔵サービス用コンクリート構造物）に沿って設計される。しかし、これらの基準は時を経て進展しており、これらの基準で設計されたタンクであってさえ、（AWWA D100 を含む）古い基準の耐震規定は常に良好なパフォーマンスを示すという結果とはなっていない。

鋼製タンクについては、AWWA D100（鋼製タンク）の基本的な耐震性に関する欠陥は、「延性」及び鋼鉄の弾性限界を超える地震の過大負荷に耐えうるとしていることである。過去の地震における実際の観察では、地震時に 80%～100% 充水されている場合、局所的な表面最大加速度が 0.3g をかなり超える地震にさらされた時、AWWA D100（2004 年以前）で設計された固定されていないタンクは、高い割合で深刻な被害及び／又は全ての水の損失を被っている。一方、固定されたタンクは、よりよいパフォーマンスを示している。ALA（2001 年）は、500 以上のこのような鋼製タンクの実際の地震に対するパフォーマンスを文書にしている。AWWA D100 における他の簡略化としては、地震時の転倒モーメントによって固定されていないタンクにかかる垂直壁応力を、「平面部分は平面保持」（plane-sections-remain-plane）と仮定して計算していることである。この仮定は、一般的なサイズのタンク（高さに対する直径の割合が 1 よりもずっと高い）に対してしばしば有効ではなく、実際の壁応力を著しく過小評価する可能性があり、それゆえ、壁面座屈の可能性を過小評価することとなる。

新たな鋼製タンクの設計に対して、設計基準の地震及び弾性限界を仮定して、槽壁の浮き上がりが予測されないときは、アンカーで固定されていないタンク（unanchored tanks）を安全に用いることができるが、全ての付属配管は槽壁の浮き上がりに適応できるように可撓継手を含めなければならない（注 1）。アンカーで固定された又はアンカーで固定されていないタンクについて、2 以下の応答補正係数（R）はタンク側板応力に対するチェックの目的で用いることができる。R が 1 以上で設計されたアンカーで固定されたタンクについては、槽壁の浮き上がりは、R=1 と仮定してチェックされなければならない、そして全ての付属配管は相応に設計されなければならない。

（注 1）高さに対する直径の割合が一般的な非常に小さいタンク（15 万ガロン（約 570m<sup>3</sup>）よりもかなり小さい）を除いて、大規模タンクの滑動は過去の地震では観察されていない。一般的な設計規定（土壌とタンクの摩擦係数など）は、PGA（最大加速度）が 0.3g 程度を大きく超えると滑動するであろうことを示している。しかし、より大型のタンクに対するこの不具合形態については、経験的な証拠が不足している。この理由には、高い振動数の（衝撃的な）負荷に対する滑動（1/4 インチ（約 6.35mm）未満）にかかわる小規模な変位が含まれる

かもしれない。鋼製タンクの固定は、滑動の問題を消去し、付属配管を保護し（底部流入管は滑動に対して、側方流入管は浮上及び滑動に対して）、そして、屋根と壁の接続部に対する被害を軽減することが大いに可能である。

PCタンクについては、タンクがアンカーで固定されている限り（耐震ケーブル）、円周方向のプレストレスワイヤーが腐食していない限り、円周方向のプレストレスワイヤーが弾力的に計算された地震力（水平及び垂直の両方の地震の方向に対して）のもとで降伏しない限り、そして、敷地が沈下（圧縮又は地すべり）を経験していない限り、現在まで、耐震性能は良好である。PCタンクは、不等沈下（これまで、中程度の水の流出のみがあることが観察されている。）によるのはもちろん、円周応力の過負荷（全ての内容物の急速な損失を伴う急速な壁の破壊、又はコンクリート壁を通じた制御できない漏水を伴う円周方向の降伏）によって破損している。耐震化されていない条件のもとで、接着した亜鉛メッキでないワイヤー（ストランドロープ、ケーブル）システムの破損割合は、タンクの設置年数が50年に到達すると、年間当たり50タンクのうち約1タンクとなっているが、多分、この割合はより新しい、そしてより優れた腐食防護システムを有するタンクであれば減少するであろう。帯鋼の撓みによってコンクリートタンクに鉛直にひびが入っても構わないことから、鉛直加速度による動水圧に抵抗するために必要なフープ力の正確な数値が、残された未解決の課題である。

AWWA D100又はD110を用いて計算した水のスロッシングの高さは、合理的に計算される（ $R=1$ を用いる時）。しかし、屋根のシステムがスロッシング負荷に対応できるように設計されていれば、又は被害が容認できるものであれば、この波の高さの最大水位以上に空間を用意する絶対的な必要性はない。鋼製タンクにおける屋根の垂木（roof rafters）（多くのこのような事例は、ALA（2001年リストを参照））の観察された被害は、波のスロッシング力（適切な設計によって容易に耐えることができる）によって、又はタンク壁の浮上がりによって引き起こされる場合がある。屋根がこれらの問題の一方（又は両方）によって被害を受けた多くのケースでは、タンクは使えるままであり（水を保持しており）、地震の後に修理を予定することが可能である。

鉄筋コンクリートタンクは、沈下にさらされた時を除いて、良好に性能を発揮した。設計想定地震で地盤変状にさらされるタンクの場合について、我々は以下を推奨する。

- ・当該敷地を使用することを避けること。もしこれが可能でなければ、以下を検討する。
- ・付属配管は全ての推測される地盤沈下又は側方流動を吸収することができるものでなければならない。様々なフレキシブル管類が使用できるが、それは、管が土壌抵抗なくして移動できるため、管が地上に（又は地下の構造物内に）ある場合に非常に有効であろう。
- ・鋼製タンクは、破裂なしに、数インチ程度の地盤沈下に耐えることができるであろう。
- ・コンクリートタンク（プレストレスト又は鉄筋）は鋼製タンクよりも壊れやすいと思われ、タンクにひびが入るのは、2～3インチ（約5.1～7.6mm）の地盤沈下で十分であると思われる。

我々は、高地震帯における新しいタンクの設置に対して、地盤変状の可能性を確認するための敷地ごとの地表直下の調査を推奨する。敷地が変状の可能性を持つと考えられる場合は、被害が軽減されないときは、鋼製タンク（コンクリート製タンクではなく）を使用する。タンクの敷地が杭基礎（例えば、湾岸部の泥土上の場所（a site atop young bay muds）など）を必要とする場合は、杭と杭頭の細部は、タンクからの漏水がないように十分低い変形で抑えるべく、地盤と構造物との相互作用を勘案して設計想定地震に適応できるように設計されなければならない。

正断層運動又は逆断層運動による地表の断層のずれにさらされやすい場所におけるタンクの設置を避ける。というのは、これらの運動に対する設計をすることは困難であろうからである。鋼製タンク

は、滑動形基礎システム（砂利層であろうが）を用いることによって、水平断層運動のみ（又はほぼ水平断層運動のみ）を持つ断層の頂部に配置することができるであろう。

その他の減災スキームが実行不可能または費用効果的でないのであれば、そして、近隣住民に対して生命を脅かす浸水の影響を避けるための適切な排水システムが含まれるのであれば、そして、タンク地震後にタンクを犠牲にしてよい（必要としない）のであれば、タンクは断層運動、地すべり又は液状化ゾーンにおいて設置することができる。

## 2.4 井戸の設計

現在、クライストチャーチ又は米国のいずれにおいても、井戸に対する国レベルの耐震設計基準はない。安定した土壌における多くの井戸は、過去の地震において（電源が復旧すれば）良好に性能を発揮しており、耐震基準がないことが米国で大きな問題となったことはない。

しかし、クライストチャーチにおける井戸の機能は、液状化にさらされたゾーンでは、決して素晴らしいとはいえない。液状化に起因する地盤沈下によって、井戸のさや管の破損が生じた。

可能などころでは、井戸は、地震で地盤変状を誘発しやすいであろうゾーンの外側に配置すべきであり、これには、液状化しやすい地帯、地すべり、断層横断などが含まれる。

液状化しやすいゾーンに位置する井戸に対しては、液状化による全ての負荷に耐えることができるように、さや管（頂部の 40 フィート（約 12m））を設計することが慎重な設計手法であろう。この種の設計に必要な地盤工学的パラメーターは、ALA（2005 年）から採用することができるが、詳細な地盤工学的調査が推奨される。井戸のケーシングが液状化の影響（地震に誘発された沈下を含む。）から生き残ることができる場合、そして、付属の揚水管が適切な可撓継手を備えている場合、ほとんどのこのような井戸は、いったん電力が回復すれば、機能を維持するであろう。重要な井戸への供給のために十分な燃料供給を備えた予備発電機があれば、電力回復の必要性がなくなるであろう。

井戸の下位部分は、材質が劣化した場合、地震で壊れることがあり、ステンレス鋼が使用に適している。井戸のケーシングの流入スロット（隙間）の代わりにスクリーンを使用する。水中ポンプは、ケーシングが変形したとき、長いポンプ駆動軸に起因するであろう問題を解消することができる。

海に近い沈み込みゾーン地域における地下水井戸は、大規模な沈降運動が発生することがあるところでは塩水の侵入の影響を受けるであろう。

## 2.5 緊急事態への対応

水道システムは、長期間にわたって、様々な地質状態を横断している、多くの様々な構成要素で成り立っている大規模で種々のネットワークで構成されており、結果として、大規模地震の後に被害を受けることが予想される。被害のレベルは、耐震設計の基本方針を用いて制御することができるが、事業者は、巨大地震の後に無傷であることを決して期待すべきではない。これは、できるだけ早期に実際に水道サービスを回復するため、水道事業者がそれぞれの方法で「被害を管理する（manage the damage）」ことを求めることとなる。

水道システムが地盤変状（液状化、地すべり、道路陥没、断層のずれ）を生じやすい広範なエリアに位置し、耐震設計された管がないと仮定すると、多数の管の被害が生じるであろう。これは、通常において限定要因となっている労働力及び設備でもって修理するためには、大勢の作業要員を必要とするであろう。ちょうど「百年に 1 回」といったタイプの地震に対して大勢の管修理班を抱えることは、水道事業者にとって費用効果的ではないであろう。こうしたことから、管を日常的に修繕する作

業班を補う必要性が極めて大きい。

緊急事態対応計画は、外部の請負業者及び/又は相互支援によって、作業班の大幅な増加を図るべきである。班の対応が早いほど、断水時間もより短くなる。実際には、水道事業者が大規模な班を管理する能力を有しなければ、通常の作業班の約 100%増までが妥当であると考えられる。

埋設管路がサービス停止となる間においても、依然として、何人かは避難させられることとなるであろう顧客に対して飲用水を供給する必要があるだろう。ホース付き水栓を備えた既成の多岐管、稼働している消火栓/引出管に取り付けられているケーブルは、プロセスを促進するであろう。

小型の給水タンク車及び小型の配水タンクの一団、及びこれらを操作するために必要な人員、燃料などは、液状化及び/又は地すべりの問題を有する住居地域に給水するために必要とされるであろう。米国では、これらの車両及びタンク（及び燃料）は、伝統的に緊急事態対応機関（水道事業者自体ではない）によって提供されている。このやり方は、将来も続く可能性が高い。水道機関は、飲料水及び衛生の目的のために末端利用者に対して飲用水の運搬に努めるという点で、外部機関と協調することを考慮に入れるべきである。

- 必要とされる小型タンク/車両は、（耐震設計されたインフラ及び良好な緊急事態対応を備えた水道システム、そして、耐震建築物を備えたコミュニティについては）ほとんどゼロから、多分、「1 ガロン（約3.785リットル）/人・日」×「見込まれる断水時間」までになるであろう。
- 大火災及び/又は多数の崩壊した貧弱な建築物があるコミュニティにおいては、影響を受けなかった適切なコミュニティセンターに緊急避難所が設置されるであろう。ほとんどの場合、これらの避難所は（水道、電気などを含む）良好な公共サービスを提供する能力に基づいて選定されるであろう。そうであっても、被災家屋から避難した人々のための「テント村（tent cities）」ができるであろう。また、これらの場所は、多分、配水地点（消火栓）又は可搬式飲用タンクによって、近傍の給水を利用する必要性が依然としてある。
- （津波による浸水のおそれのあるオレゴン、ワシントン、アラスカ、ハワイ及び北カリフォルニア、そして、もしかすると南カロライナ及び他の東部海岸地域のような）特に被害リスクの大きい地域においては、津波が建築環境の多くを一掃するであろうことから、地震後の緊急の飲用水サービスのためのタンクによる給水の必要性はほとんどゼロであろう。そうであっても、これらの大きな打撃を受ける可能性のある地域では、依然として生き残る建物地帯が存在するであろうことから、約 1 ガロン（約3.785リットル）/人・日の割合で飲用水のタンク給水を提供できることが賢明であろう。

米国では、CalWARN（California Water/Waste Agency Response Network：カリフォルニア上下水道機関対応ネットワーク）組織が支援を行い、上下水道事業者のための地震緊急災害対応を促進している。更なる情報は、「[www.CalWarn.org](http://www.CalWarn.org)」を参照されたい。

米国では、米国地質調査所（USGS）が「ShakeMaps 及び ShakeCast（[earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/)）」と呼ばれるリアルタイムに近い地震地盤震動マップを提供している。これらのマップは、実際の地震後における地盤震動レベルの最初の有用な指標となりうる。大規模地震（マグニチュード 6 以上）に対しては、ShakeMaps は時には 15 分以内に米国地質調査所のウェブサイトから入手できるが、しばしば現れるのに 30 分から 2 時間（以上）を要する。ShakeMaps 及びその関連ソフトウェアである ShakeCast は、液状化、地すべり又は地表断層に関する示度を提供しないし、そうしたことから、水道システムの埋設管路に対する被害の迅速な予測にはあまり役立たない。ShakeMaps が震動の地上較正されたレベルを表示するものであると多くの



人々は考えているが、実は、ShakeMaps は実際に記録する計器から離れた位置においてはあまり正確ではなく、そして、記録計器での ShakeMaps の値でさえ、地域的な土壌の影響について場所を特定しない仮定を行い、そして、3 方向の地震動を 1 つの値に統合することによってフィルター処理される。「改正メルカリ震度階級 (MMI : Modified Mercalli Intensity scale)」の結果を示す ShakeMaps は、水道システムインフラのパフォーマンスに関しては特に参考にならない。こうした注意点はあるにせよ、実際の地震動計器からの ShakeMaps ソフトウェアによって収集され正しく較正された基礎的なデータは、SERA (www.geEngineeringSystems.com) のようなソフトウェアで使用し、液状化、地すべり、地表断層及び埋設水道システム (インベントリー) に関する場所特有の知見を取り入れ、水道システム (電気システム、鉄道網など) のリアルタイムに近いパフォーマンスの予測を行うことができる。

SERAを使用している機関としては、太平洋ガス電気会社 (Pacific Gas and Electric)、湾岸地区高速鉄道 (Bay Area Rapid Transit)、ボンネビル電力局 (Bonneville Power)、サンフランシスコ湾東岸地域水道企業団 (EBMUD)、サンフランシスコ公共事業委員会 (SFPUC)、サンタクララバレー水道局 (SCVWD)、サンディエゴ、パサデナ、バーバンク及び多くの水道機関がある。ShakeMaps 及びShakeCastを使用している機関としては、カリフォルニア運輸局 (Caltrans) 及びサンフランシスコ湾東岸地域水道企業団 (EBMUD) がある。

---

#### 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](mailto: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>