



最近の地震：米国の水道事業者への示唆

(その2)

1.4.4 米国の水道事業者に対する提言

過去20年ほど、地震活動の高い地域において、米国の多くの水道事業者は、建築物、浄水施設、貯水槽に対する耐震補強手法を採用している。これらの3つの地震で学んだ教訓は、これらの手法が依然として適切な手法であることを確認するものである。

たとえそうでも、地震活動の高いゾーンにおけるほとんど全ての米国の水道機関には大きな弱点が残っている。すなわち、既存の埋設管インフラは地震によって引き起こされる地盤崩壊（液状化、地すべり、地表断層、及びその他の影響）による被害をかなり受けやすいままとなっている。今日、米国の多くの水道事業者は、地盤崩壊の影響が生じやすいゾーンにおいてさえ、耐震設計されていない配水管を布設し続けている。米国の数事業者は、既知の地震活断層を横断する最も重要な大口径送水管を、大部分は溶接鋼管、そして数例では高密度ポリエチレン管を用いて、耐震上の改善（又は布設替）を行っている。

これらの最近の3地震は、水道システムに対する地震の全体被害、そして、その結果としての顧客に対する断水の大部分は、軟弱地盤ゾーンにおける何十万の小口径配水管の破損によるものであることを示している。こうした地盤において水道事業者が耐震管を布設するまでは、この問題は、米国の将来の地震において繰り返されるであろう。日本では、水道管路の継手に関する新技術が約20年間実施に移され、そして今日（2012年）、日本で布設される新しい水道管の75%以上は耐震設計を用いていると推定されるが、カリフォルニアでは、耐震設計を用いているのは新しい水道管の1%未満である。一般の配水管及び給水引込管（口径1インチ未満～8インチ以下）に対しては、高密度ポリエチレン管（突合せ溶融溶接又は留め金を用いた電気溶接のどちらであれ）は、最近の3つの全ての地震において証明されたように（as evidenced in all three recent earthquakes）、優れた耐震性能を有していると思われる。配水管及び送水管（3インチから100インチ以上の口径）については、日本のクボタによって製造されているような「鎖」構造ダクタイル鋳鉄管（ductile iron pipe with "chained" joints, as manufactured by Kubota of Japan）が、2011年3月及びその他の多くの日本の地震において優れた性能を有している。

以下の分野において、水研究財団による更なる応用研究が推奨される。

- ・地震のみならず、老朽化している管路の布設替という現在の課題を考慮した、米国の水道事業者に対する費用効果の高い管の布設替戦略を展開すること。現在、水道管に対する耐震設計ガイドライン（ALA2005年）が米国内で利用できるが、それは地震の問題しか取り扱っていない。このガイドラインは、管の老朽化/腐食に対するその他の課題と組み合わせ、得られつつある教訓を加えて、米

国の水道事業体による実地の導入に向けた最新のものとなるべきである。

- 大口径送水管路のスリップジョイント部での破損に関する研究。ALA2005年がいくつかのガイダンスを提供している一方、他の地震と同様に日本における大口径管の破損という結果は、現在の義務的な設計基準（AWWAM11及びその他のような）が耐震設計されたスリップジョイント（又はベローズ又は同類）に対する要求事項で全く不足していることを示している。この研究の一環として、コンセプション市における液状化ゾーンでの大口径ガス溶接鋼管の多数の破損について理解を深めることが、これらの破損の根本的な原因を明らかにするためになされるべきである。
- 米国の水道事業体のために適した遂行目標のターゲットをレビューし最新のものとする。2012年現在、各々の水道事業体は様々な目標（大地震の後における大部分の水道の復旧が1日から30日程度又はそれ以上までの範囲）を採用しており、その結果、地震への準備及び減災戦略及び資本費も様々なものとなっている。研究者が観察したところでは、遂行目標を法的な義務とすべきであると示唆したものはない。たとえそうでも、水道事業体が過度に積極的な遂行目標を採用すれば、料金支払者に対して生じる費用面の影響は、将来の便益を大きく上回るものとなる可能性がある。これらのことを考慮に入れると、予測される便益と実際の費用に焦点を置いた、最近採用された様々な戦略のレビューは、事業体が自らの事業体特有の戦略を選択することを支援するための有用な文献となるであろう。
- 米国土木学会（ASCE2005年）の利用可能な火災発生モデルをレビューし最新のものとする。これらのモデルは、連邦緊急事態管理庁（FEMA）によるHAZUS(Hazards-United States)においても使われている。3つの全ての地震における証拠により、より古いモデル（ASCE、HAZUS）が現代の都市（コンセプション、クライストチャーチ、仙台など）における地震に起因する火災の発生数を過大予測していることがはっきりと示唆されていると思われる。こうした過大予測の理由のひとつには、無筋の石造建築物が広範囲にわたって倒壊した1906年のサンフランシスコ地震や1933年のロングビーチ地震及びその他の地震における火災の発生データや、現代における電気配線、そしてその他の要因を重視しすぎている（ASCE、HAZAS）ということが考えられる。火災の発生が依然として起きている一方、1906年のサンフランシスコ地震のような古い地震よりも低い率（たぶん75%の減少）で発生していると思われる。もしこれが事実であれば、既存の水道システムにおいて地震被害を軽減する必要性はいくらか低くなる（しかし、必要がなくなるというわけでは決してない）。
- 高いレベルの地盤震動にさらされた時の鋼製及びPC製地上式貯水槽の現行の貧弱な性能に鑑み、米国水道協会及びその他の基準をレビューし最新のものとする。固定式でない鋼製貯水槽の規定は、特に地震被害の高い地域（PGA0.3g以上）における小規模鋼製貯水槽に対して、慎重にレビューされるべきである。PC製貯水槽に対する鉛直地震動及び静水圧力の組み合わせによって、高レベルの地盤震動のもとでフープ方向のプレストレスト鋼の降伏が生じないということを保証するためにレビューが行われる必要がある。現在のASCE 7、IBC、ACI及びAWWAコードの許容延性限度（2～4.5程度までの範囲）は、高レベルの地盤震動のもとでの密閉貯水槽に対する適切な信頼性を提供するために、適切にレビューし改定される必要がある。

1.5 謝辞

この報告書は、水研究財団の後援のもと、G&Eエンジニアリングシステムズ株式会社によって作成されたものである。John Eidinger氏（G&E）が研究代表者であり、Craig Davis博士がサポートした。

1.6 略語

AC Asbestos Cement : 石綿セメント
ASCE American Society of Civil Engineers : 米国土木学会
AWWA American Water Works Association : 米国水道協会
CCC Christchurch City Council : クライストチャーチ市役所
CI Cast Iron pipe : 鋳鉄管
DI Ductile Iron pipe : ダクタイル鋳鉄管
g acceleration; 32.2 feet/sec/sec = 9.81 m/sec/sec = 1 g : 重力加速度
G&E G&E Engineering Systems Inc. : G&Eエンジニアリングシステムズ株式会社
GIS Geographical Information System : 地理情報システム
GS Galvanized steel pipe : 亜鉛メッキ鋼管
HDPE High Density Polyethylene : 高密度ポリエチレン
km kilometer : キロメートル
M Magnitude (moment magnitude unless otherwise noted) : Mマグニチュード (特に断らない限り、モーメントマグニチュード)
MDPE Medium Density Polyethylene : 中密度ポリエチレン
MGD Million Gallons per Day : 1日当たり百万ガロン
PGA Peak Ground Acceleration (measured in g) : 最大加速度 (g で測定)
PGD Permanent Ground Displacement (measured in inches) : 永久変位 (インチで測定)
PGV Peak Ground Velocity (measured in inches/second) : 最大地動速度 (インチ/秒で測定)
PVC Polyvinyl chloride pipe : 塩化ビニル管
psi pounds per square inch : 1平方インチ当たりポンド
TCLEE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering : ライフライン地震工学技術審議会
WTP Water Treatment Plant : 浄水施設
WWTP Wastewater Treatment Plant : 下水処理施設

1.7 単位

この報告書は、一般的な英語及びSI測定単位の両方、すなわち、インチ、フィート、ミリメートル (mm)、メートル (m) を使用している。換算は、12 インチ = 1 フット、1 インチ = 25.4 mm、1000 mm = 1 m、100 cm = 1 m、1 キロメートル (km) = 0.621371 マイル、1 kPa (キロパスカル) = 1 kN/m² = 0.145 psi (ポンド/平方インチ)、1 ポンド (重量) = 4.448 ニュートン = 0.45 キログラム (重量)、1 リットル = 0.264ガロン(米国の液量単位)、MGD = 百万ガロン (米国の液量単位)/日。

1.8 限界

地震後の踏査において珍しくないように、事態発生後数週間及び数か月における十分とはいえない情報は漏れや誤解に繋がる可能性がある。隠れた被害は、地震後、しばらくしてからのみ知られるようになることがある。もし、この報告書での所見が不完全であればお詫びするとともに、水道システムに対する被害の総合的な理解が得られるようになる前に、地震後の評価に数か月から数年を要することがあることに読者は留意されたい。

水研究財団、G&E エンジニアリングシステムズ株式会社又はこの報告書の著者は、いずれもこのような漏れ又は見落としに対して如何なる責任をとるものではない。

1.9 追加情報

この報告書は、2011年の後半から2012年の中頃にかけて執筆・編集された。次の10年間ほど、水道システムのパフォーマンスの特定の局面について更なる研究が進められるであろう。

関心のある読者は、これらの3つの地震の影響についても踏査を行っている3つの組織が米国にあることを承知しておくべきである。

- ASCE TCLEE（米国土木学会ライフライン地震工学技術審議会）は、水道、電気、通信、ガス及び液体燃料、港湾、鉄道、道路、がれき処理、下水などを含む、全てのタイプのライフラインのパフォーマンスを記録するため、チリ、ニュージーランド及び日本に調査チームを派遣した。この報告書の著者は、これらのチームの一員として参加した。ASCE TCLEEは、水道システムの地震のパフォーマンスに関する詳細な議論を含む、各地震に関する総合的な報告書を出版することを計画している。
米国土木学会の報告書は「www.ASCE.org」から入手できる。

- GEER協会（地盤異常事象調査）チームは、これらの地震による地震ハザード部分に関する報告書を作成している。3つの全ての地震に関するGEER報告書は「www.geerassociation.org」から入手できる。

- EERI（地震工学研究所）チームは、3つの全ての地震に関する構造物のパフォーマンス及び社会の反応についての報告書を作成中である。2012年に発行予定の2010年チリ地震特別号は、水道システムの地震へのパフォーマンスについての詳細な議論を含む予定である。3つの全ての地震に関するEERI報告書は「www.eeri.org」から入手できる。

関心のある読者は、水道システムに対する地震の影響についての3つのケーススタディからいくつかの追加情報を入手することもまた心に留めておくべきである。これらのケーススタディはチリ、ニュージーランド（クライストチャーチ）及び日本（東北地震）における最近の地震の経験をカバーしており、また、水研究財団会員は、財団に要求すれば、参考情報として入手することができる。

第2章 米国の水道システムに対する提言

第2章では、我々は米国の水道事業体への適用に向けた提言を示す。

2.1 遂行目標

地震後に受け入れ可能な水道システムのパフォーマンスを構成するものに関しての「判断基準 (yardstick)」を提供するため、水道事業体は地震に対する遂行目標を採用すべきである。

2011年現在、地震又はほとんどの他のタイプの緊急事態の後に、問題に対して十分な準備態勢を構成するものに関して、米国の水道機関に対する連邦又は州による義務的な遂行目標はない。チリでは、遂行目標を示している水道事業体はなかった。クライストチャーチでは、クライストチャーチ市役所が事前いくつかの貯水槽耐震性改善を行っていたが、遂行目標については示していなかった。日本では、水道事業体に対して非常に腹を立てるようになる前に、日本人は水道なしで最大28日までの間は我慢するであろうという一般的な仮説がある（1995年に神戸で観察されたように）。

米国のいくつかの水道事業体は、現在、かなり短い復旧時間で済む水道システムに改善するために努力している。米国の一つの大規模水道事業体は、大規模地震後24時間以内にほとんどの顧客に対

して水道用水の送水を回復するという目標を掲げている。そのような短い復旧目標を掲げることによって、現在、事業体は多大の耐震改善費用を負っている。

非常に短い復旧目標（24時間のように）を約束することを避け、代わりに部分的には「被害を管理する戦略」に依存することが費用効果的であり、また、財政的に賢明であろう。異なる地震被害及びリスクに直面し異なるタイプの経済的な影響を持つ各々の水道事業体にとって、被害軽減と準備態勢の間の「正しい」バランスは異なるであろう。

将来のあらゆるレベルの地震（又はその他の被害）に対して被害なしで耐えるために水道システムの全ての箇所を改善することは、財政的及び技術的理由の両面で実際的でない。それゆえ、将来的にも、地震後（緊急事態後）のサービス水準は発生後の一定期間は通常以下となる。

- 例えば、いくつかの埋設水道管は地震に対して脆弱である。これらの管及び設備の全てを地震に対して丈夫なように布設替、並列化又は向上するための費用は非常に高い。しばらくの間の水道サービスが中断が過度の負担を生じない限り、地震（緊急事態）後に早急に被害を修復するため、一定レベルの被害に対して計画を立て、手元に十分な予備品、要員及びその他の物資を持つことの方がより賢明であろう。

これらの限界を反映しつつ、個々の水道事業体の遂行目標は、地震の結果として許容できないレベルのサービス、生命の安全への被害及び又は水道事業体の顧客への費用を生じる被害を最も受けやすい設備を明らかにして優先付けするために展開されるべきである。

個々の水道事業体の適切な遂行目標を明らかにするため、以下のステップが講じられるべきである。

- 第一に、事業体は検討の「対象」とする遂行目標（“target” performance goals）を設定する。これは、事業体全体にわたる地震脆弱性アセスメントの最初の取組みの一つとして行われなければならない。
- 第二に、これらの暫定的な目標は、事業体の経営者側幹部と、そして、たぶんあるケースでは議員と議論されなければならない。検討の「対象」（“target”）という言葉は、目標を達成する費用が最初は不明な場合に強調され、「最終」目標は、一定の目標を達成する費用が他の要素とともに料金支払い者によって負担される費用に対して一応妥当であることを反映すべきである。
- 第三に、様々なタイプの地震が発生した場合に、「現状のままの（“as-is”）」水道システムのパフォーマンスを確認するため、地震被害に対する脆弱性分析が実施されるべきである。いくつかのケースでは、分析は確率論的基礎（年単位の、特定の地震の年間発生件数として）によって行われるであろうし、一方、他のケースでは、決定論的基礎（シナリオに基づく、地震が実際に発生すると仮定して）実施されるであろう。
- 第四に、一連の可能な減災及び対応活動を「資本的改善計画（CIP : capital improvement plan）」として策定するとともに、当該計画を実施するために見込まれる費用を見積もるべきである。様々な資本的改善計画が採用されうることを考えると、断水時間の減少（又は水質又は生命の安全など）の効果が推計されるべきである。

* どのような資本的改善計画も、地震への準備態勢及び減災戦略の両方を含むべきである。準備態勢は、「被害を管理する」、「相互支援」、「トレーニング」、「スペアパーツ」、「手順」などのような項目をカバーする。減災は、耐震設計された管、貯水槽、ポンプ上、浄水施設、設備の固定、配管網の冗長性、信頼できる給水、地すべりに誘発された濁度（又は灰の落下、放射性降下物など）が問題となる場合における冗長性のある給水、建築物の改修などのような項目を含む。

*水道事業体の現在の緊急事態への対応能力の有効性は慎重に検討されるべきである。継続トレーニングなくして、「本棚の分厚いバインダー ("thick binder on the wall")」は、実際の緊急事態においてあまり役に立たないであろう。

- ・第五に、遂行目標は、各々の資本的改善計画又は減災方策が対象目標を達成するかどうかという点からランク付けされるべきである。幾つかのケースでは、経済分析（費用効果分析）は、目標の適合性を確認することを手助けするために用いることができる。
- ・第六に、経営者側幹部、関係者及び議員による適切なレビューの後、「対象」とする遂行目標は、これらの目標を達成するために必要な複数年の適切な資本的プログラム及び緊急事態対応能力とともに、水道機関によって採用されるべきである。

付属書 A は、様々な業界の文書で発行されていたり、いくつかの水道機関によって採用されているいくつかの遂行目標を提供している。付属書 A の遂行目標をレビューするに当たり、水道事業体は、他の水道事業体が採用している目標を必ずしも採用する必要はないことを認識すべきである。これには、以下を含む多くの理由がある。

- ・いくつかの水道事業体は用水供給事業者であり、いくつかは末端事業者であり、また、いくつかは両方である。この報告書の文脈において、「用水供給事業者」は浄水を他の水道事業体に販売するが末端利用者の顧客には販売しない水道事業体であり、「末端事業者」は末端利用者の顧客に水を販売する事業者である。用水供給事業者の遂行目標は、末端事業者とは非常に異なることがある。また、いくつかの水道事業体は、原水（未処理水）を農業用又は一定のタイプの工業用ユーザーに販売する。いくつかの水道事業体は、灌漑又は雑用水の目的で再生水を販売する。
- ・いくつかの末端ユーザーは、深刻な経済的影響なくして限定された期間の断水を許容することができる。その他の者は、ほとんど絶え間のないベースで水を求める。例えば、農業用の顧客は、もし灌漑用に使われている水が数時間又は数日までの間失われても、それほど心配しないかもしれない。一方、コンピューターチップ製造業者は、浄水の一時的な断水だけでも、一定の製造プロセスを閉鎖しなければならないおそれがある。
- ・いくつかのコミュニティは火災の発生や火災の広がりを生じやすいが、その他のコミュニティではそうではない。例えば、原野と都市の境界領域で、セットバックが小さく、しばしば強風にさらさやすい、木造建築物で大部分が形成されたコミュニティは、大きなセットバック（広い通り）を有する石積み構造物で構成されたコミュニティよりも火災の延焼を受けやすい。

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>