



(注) 本稿は、本年（平成25年）1月、公益財団法人水道技術研究センター会員宛に送付した報告書「最近の地震：米国の水道事業体への示唆」を転載したものです。

最近の地震：米国の水道事業体への示唆 (その1)

著作者

John Eidinger (G&E エンジニアリングシステムズ株式会社)

Craig A. Davis (ロサンゼルス市水道電気局)

後援及び発行者

水研究財団 (Water Research Foundation)

(翻訳)

公益財団法人 水道技術研究センター

平成25年1月

DISCLAIMER

This study was funded by the Water Research Foundation (Foundation). The Foundation assumes no responsibility for the content of the research study reported in this publication or for the opinions or statements of fact expressed in the report. The mention of trade names for commercial products does not represent or imply the approval or endorsement of the Foundation. This report is presented solely for informational purposes.

Copyright © 2012
by Water Research Foundation

ALL RIGHTS RESERVED.

No part of this publication may be copied, reproduced
or otherwise utilized without permission.

本報告書は、Water Research Foundation の承認を得て翻訳刊行したものであり、本報告書の全部又は一部を転載又は複製する場合は、事前に公益財団法人水道技術研究センターの承認を得てください。

目次

第1章 はじめに

- 1.1 プロジェクトの目的
- 1.2 手法
- 1.3 本報告書の概要
- 1.4 所見の要旨
 - 1.4.1 チリ地震
 - 1.4.2 クライストチャーチ地震
 - 1.4.3 東北地震
 - 1.4.4 米国の水道事業者への提言
- 1.5 謝辞
- 1.6 略語
- 1.7 単位
- 1.8 限界
- 1.9 追加情報

第2章 米国の水道システムに対する提言

- 2.1 遂行目標
- 2.2 管路更新
 - 2.2.1 管の布設替—便益費用比率（BCR）モデル
 - 2.2.2 提言
- 2.3 貯水槽の設計
- 2.4 井戸の設計
- 2.5 緊急事態への対応

第3章 考察

第4章 地震被害

第5章 参考文献

付属書 A 他の水道機関の遂行目標

- A.1 全般的な課題
- A.2 米国水道協会（AWWA） - 全般的な遂行目標
- A.3 サンフランシスコ湾東岸地域水道企業団（EBMUD） - 全般的な遂行目標
- A.4 コントラコスタ水道局（CCWD） - 信頼性及び地震に関するクライテリア
- A.5 ハンボルト湾都市水道局（HBMWD） - サービス目標

第1章 はじめに

1.1 プロジェクトの目的

このプロジェクトの目的は、以下に重点を置いた情報を水道機関に提供するものである。

- ・最近の3つの地震（チリ 2010 年、クライストチャーチ 2010-2011 年、日本 2011 年）における水システムインフラへの被害
- ・顧客への飲用水サービスの回復及び復旧における水道機関の対応
- ・これらの水道機関によって過去に実施された様々な地震対策の有効性。これには、貯水槽、建物、設備、そして「耐震性を有する」管を用いた老朽埋設管の（選択的な）布設替

以下について理解するために。

- ・水システムサービスの停止を引き起こす要因
- ・水システムを復旧するために用いられた戦略とそれらの有効性
- ・水システムの復旧時間

被害を受けたインフラは、以下を含む。

- ・埋設水道管（塩化ビニル管、鋳鉄管、石綿セメント管、溶接鋼管、高密度ポリエチレン管など）。これには、配水管（一般に、口径 6 インチ～12 インチ（150mm～300mm））、送水管（一般に、大口徑 24 インチ～96 インチ（600mm～2,400mm））及び給水引込管（一般に、口径 50mm 以下）を含む。
- ・貯水槽。これらには、地上式溶接鋼管円形貯水槽、地上式鉄筋コンクリート円形貯水槽、鉄筋コンクリート地下貯水槽を含む。
- ・井戸
- ・浄水施設/ポンプ場

被害は、様々な地震被害に関するものである。

- ・地盤震動
- ・液状化による地盤変状
- ・地すべり
- ・地表断層
- ・津波に伴う浸水（洪水）

最近のこれらの地震からの考察に基づき、この報告書は、以下に対処するために費用効果的であるところの可能な米国の水道システム改善の有効性に関するガイダンスを提供するものである。

- ・管の老朽化（漏水、腐食など）のみならず地震の脆弱性に対処するための管の布設替
- ・地震の脆弱性に対する貯水槽の改修
- ・井戸の上部構造の耐震改修
- ・緊急事態への対応準備と実施（マンパワー、訓練、設備、マッピング、公衆との対話）

1.2 手法

この報告書を作成するために、以下の手法が用いられた。

- ・この報告書における研究代表者は、影響を受けた国々の水道事業体を訪問、すなわち、Eidinger 氏は、チリ（2011 年 4 月）、クライストチャーチ（2010 年 10 月、2011 年 4 月、2011 年 8 月、2011 年 12 月）、日本（2010 年 6 月、2011 年 10 月、2012 年 2 月）を、Davis 博士は、クライストチャーチ（2011 年 4 月）、日本（2011 年 7 月、2011 年 10 月）を訪問した。これらの訪問のいくつかは水研究財団による後援によるもので、その他は、米国土木学会（ASCE）、ライフライン地震工学技

術審議会（TCLEE）などによるものである。

- ・研究者は、影響を受けた水道事業体にインタビューして情報を収集し、多くの被災した水インフラの現場を訪問した。この報告書で示されている被災情報のいくつかは、影響を受けた水道事業体によって作成された図表に基づいている。研究者は、追加の地図、GIS 情報、報告書などを得るためにいくつかの水道事業体とともに追跡調査を行った。

1.3 本報告書の概要

この報告書は、以下で構成されている。

- ・ 第 1～5 章及び附属書 A
 - 第 1 章：プロジェクトの目的、手法、概要、（各地震に対する）所見の要旨、謝辞、略語、単位、限界、追加情報源
 - ・ 所見の概要。この章は主要な所見の要約を読者に提供するものである。
 - 第 2 章：米国の水道システムに対する提言。第 2 章は、遂行目標を含む主な提言、管路更新、貯水槽の設計、井戸の設計及び緊急事態への対応を要約している。
 - 第 3 章：考察。第 3 章は、（飲用）埋設貯水槽及び（消火用水）水槽、管路の耐震設計及び更新の実施、そして、緊急事態への対応についての有効性に関する追加の注釈を提供している。
 - 第 4 章は、地震被害の要旨を提供している。
 - 第 5 章：参考文献
 - 附属書：遂行目標。附属書 A は、選抜された米国の水道機関によって採用されている地震に対する遂行目標を提供している。

1.4 所見の概要

この報告書は、2010年及び2011年における最近の地震による3カ国の水道システムへの被害について取り扱っている。表1-1は、各々の地震における被害分類に重点を置いている。

表 1-1 被害の概要

資産の分類	チリ (2010年)	クライストチャーチ (2010～2011年)	日本 (2011年)
大口径送水管の被害	多数	該当せず	多数
小口径配水管及び給水引込管(鑄鉄管、石綿セメント管、塩化ビニル管など)の被害	数千	数千	数千
高密度ポリエチレン配水管の被害	なし	なし	なし
クボタ鎖構造ダクタイル鑄鉄管の被害	該当せず	該当せず	なし
震動による地上式木製、鋼製又はPC貯水槽の被害	少数	多数	わずか
地盤変状による地上式コンクリート製貯水槽の被害	なし	あり	なし
液状化による耐震設計埋設鋼製貯水槽の被害	該当せず	該当せず	あり
浄水施設の被害	あり	該当せず	あり
ポンプ施設の被害	不明	あり	不明
井戸の被害	生じているか不明	液状化ゾーンにおいて広範囲	塩水浸入の疑いがあるが、確認されていない
高架鋼製貯水槽の被害	広範囲	該当せず	該当せず
地震による火災の発生	2	～10	～124
津波による火災の発生	なし	該当せず	～167

主な所見は、以下のとおりである。

1.4.1 チリ地震

この海溝型地震は、130万人を超える人口のコンセプション市に深刻な影響を与えた。コンセプション市の水道システムは耐震設計がなされていなかった。強い地盤震動及び液状化は、市の唯一の浄水場に被害を与えた。液状化は、大口径鋼製送水管の多くに被害を与えた。液状化は、多くの配水管路(合計約3,000)に被害を与えた。顧客に対する断水は長時間にわたり、いくつかの顧客に対しては1ヶ月を超えた。それでも、いくつかのよいニュース、すなわち、Essbio(水道システムの運営者)は地震に先立つ約10年の間に配水システムに高密度ポリエチレン管を布設してきており、残りの水道システムが数千の被害を受けたものの、高密度ポリエチレン管には被害がなかった。

また、この地震はチリの広範な地域を震わせ、多くが農村・農業地域であった。過去10年にわたり、チリ中央政府は小規模農業集落のため2,000の「小規模井戸と貯水槽を備えたシステム(代表的な人口は100人以下)」を設置した。標準化されたタイプの高架鋼製貯水槽の設計は、全国で用いられた。不運にも、設計は強い地盤震動に対して不十分であり、これらの高架鋼製タンクの73が壊れ、時には死者が出た。

地震後の水道サービスの復旧は、地域の電力供給及び通信ネットワーク(携帯電話)の機能停止によって著しく遅延した。水道会社は、音声通信の主要な手法として携帯電話を用いることを学んでい

た。広く普及していた携帯電話システムの機能停止が主な原因で、復旧作業は数日間遅延した。

地震後、消防局の対応を必要とする 2 件の火災の発生があったが、延焼はなかった。水道システムの被害は、これらの火災の結果に影響を与えなかった。

1.4.2 クライストチャーチ地震

2010 年 9 月、2011 年 2 月及び 2011 年 6 月、3 つの連続した地殻内地震がクライストチャーチを襲った。地震は、約 40 万人の都市人口に影響を与えた。それぞれの地震は、水道システムに被害を与えた。3 つの地震の間に、数千の水道本管及び支管の修理が必要とされた。

クライストチャーチ市の水道管及び井戸は、地震に対する設計がなされておらず、地震に先立って耐震上の改善が行われていたのは、わずかの飲用貯水槽であった。強い地盤震動及び液状化は、市の多くの井戸に被害を与えた。液状化は、多くの配水管路に被害を与えた。いくつかの貯水槽は（いくつかは天盤レベルの被害が依然として生じていたが）よく性能を発揮しており、わずかの非常に小規模な固定されていない木製及び鋼製の貯水槽が滑り、そして、いくつかの大規模な PC 製貯水槽は深刻な被害（引き続く漏水）を受けたか、又は完全に破損（全ての水が損失）した。市の最大のコンクリート貯水池は、地盤変状により完全に破損した。顧客に対する断水期間はほどほどであり、それぞれの地震の後、10 日間以内でほとんどが復旧した。そうではあるものの、いくつかのよい教訓が得られ、クライストチャーチ市（水道システムの運営者）は、最初の地震の後に配水システムにいくつかの高密度ポリエチレン管を布設しており、その後の地震において、近辺の老朽管は被害を受けた一方で、高密度ポリエチレン管は被害がなかった。

最初及び 2 番目の地震の後に消防局の対応を必要とする火災の発生がわずかにあったが、延焼はなかった。水道システムに対する被害は、これらの火災の結果に影響を与えなかった。

1.4.3 東北地震

2011 年 3 月 11 日、マグニチュード 9 の地震が日本の東北部を襲った。地震は、約 3,500 万人の都市及び農村人口に影響を与えた。震央地域に近接した最大の都市は、約 150 万人の大都市圏域人口を有する仙台市であった。また、この巨大地震は、千葉県、東京都、神奈川県などを含むところの遠く離れた都県の水道システムに対して、いくつかの地震被害を生じた。

また、地震は巨大津波発生を引き金となった。津波の発生は、日本における全ての被害や死者のほとんど（おそらく 95%以上）の原因となり、海岸から数百メートル（海岸線に沿って距離が変わる）の内陸部に影響を与えた。津波が押し寄せた地帯のすぐ外側では、通常の建築物群の被害はほとんどなかった。津波は、海岸線に近い海拔の低いところに位置した多くの下水処理場に深刻な被害を与えた。津波の発生は、津波が押し寄せた地帯の外側の水道システムにほとんど影響を与えなかった。

過去 100 年ほどの日本の歴史における多くの大規模地震、そして、特に 1923 年の関東大震災（東京が被災）及び 1995 年の阪神大震災（神戸が被災）の経験から、日本の大規模水道事業体の多く（全てではない）は過去 20 年ほどにわたって、広範な（そして費用のかかる）地震対策を実施している。これらの対策には、貯水槽及び浄水施設の建物/設備の耐震性の向上、緊急地下貯水槽の設置、そして、最も重要である（そして最も費用のかかる）経年化（50 年以上経過）管路の「耐震性を有する」新たな水道管への全面的な布設替、大部分は（クボタにより製造されているような）鎖構造ダクタイル鉄管及び電気融着高密度ポリエチレン管、が含まれる。

2 浄水場が液状化によって大きな被害を受けた。

震央地域における大口径送水管路は、主にスリップジョイント（柔構造のメカニカル継手）の抜け出しによって 50 箇所以上で大きな被害を受けた。地震から非常に遠い、ゆれの少ない地域では、わずかの大口径送水管路においていくつかのスリップジョイントに被害があった。

知られているところでは、地上式貯水槽には大きな被害はなかった。

緊急用地下貯水槽は、配水管網が被害を受けた場合に、地域住民に飲用水を供給する目的で設置され、大部分はよく機能した（被害がなかった）が、一つは十分に機能しなかった（液状化被害）。緊急用埋設貯水槽がよく機能した地区では他に大きな被害がなく、それらはほとんど必要ではなかったようである。一方、緊急用埋設貯水槽が十分に機能しなかった一つの地区では埋設管路網にも多くの被害があり、断水は広範囲かつ長期間であった。

2011年3月の地震時に、大きな揺れのあった地域における水道管路の5%から15%（いくつかの水道事業者はより高い耐震管の割合を有しているが、その他はゼロである。）は耐震管に改良されていた。「耐震管」は、あまり大きくない地盤変状に機能障害なくして耐えることができる管を意味する。日本では、最も一般的な地盤崩壊のタイプは液状化又は地すべりによるものであり、日本における地震被害の性質を考えれば、断層のずれは一般に問題ではない（そして、2011年3月の地震では断層のずれはなかった）。知られているところでは、2011年3月の地震において耐震管路は被害を受けなかった。耐震管がよく機能したという観察結果をもって、断層のずれによる非常に集中的な地盤変状のもとでも同等に機能すると拡大して言うことはできない。

この報告書を執筆している時点（2012年の年央）で、表にされた火災の発生は315件であり、そのうち、津波によるものが124件、地盤の揺れによるものが167件、原因不明が24件である。津波の影響を受けた1つの沿岸の町ではいくつかの初期火災が広がり、近隣数軒が延焼した。一つの事例を除いて、低平地から人々が自己避難したことにより、津波が原因の火災に対して消防当局は対応しなかったようである。

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

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>