

# 阪神・中越・スマトラ島沖地震・津波に学ぶ ライフラインの今後の課題

竹内幹雄<sup>1</sup>・小西康彦<sup>2</sup>・大嶽公康<sup>3</sup>・久保雅裕<sup>4</sup>・佐藤紘志<sup>5</sup>  
・鈴木信久<sup>6</sup>・千葉智晴<sup>7</sup>

<sup>1</sup>株式会社日水コン 下水道本部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)  
E-mail: takeuti\_m@nissuicon.co.jp

<sup>2</sup>株式会社日水コン 東京下水道事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)  
E-mail: konisi\_y@nissuicon.co.jp

<sup>3</sup>日本上下水道設計株式会社 水道事業本部 (〒105-0022 東京都港区海岸1丁目9番15号)  
E-mail: kimiyasu\_ohtake@njs.co.jp

<sup>4</sup>日本理水設計株式会社 九州支店 (〒812-0013 福岡市博多区博多駅前1丁目11番5号)  
E-mail: masahiro\_kubo@nihon-risui.co.jp

<sup>5</sup>防衛大学校教授 (〒239-8686 横須賀市走水1丁目10番20号)  
E-mail: satoh@nda.ac.jp

<sup>6</sup>J F E 技研 株式会社 主席研究員 (〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1番1号)  
E-mail: nob-suzuki@jfe-rd.co.jp

<sup>7</sup>株式会社日水コン 東京下水道事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)  
E-mail: chiba\_to@nissuicon.co.jp

阪神・淡路大震災では下水道シールドトンネルの曲線部の輪切り状クラック、斜め45度方向の横断面クラック、導水路山岳トンネルでは圧座の他に断面の部分的崩壊が目立った。パイプラインでは長手方向の被害が生じた。この他に道路盛土斜面中の水道管の被災により、斜面崩壊の増大があった。中越地震では液状化による下水管路の被害の他、終末処理場の被災により、下流域水源水質の劣化等の二次災害が生じた。スマトラ島沖地震・津波ではやや長周期地震動によると見られる配水塔の曲げひび割れが生じた。水管橋は全て津波により流失した。西海岸では20m超の津波により海岸浸蝕と道路の寸断が生じた。これらは東海・東南海地震等によるパイプラインの寸断と終末処理場への問題を提起している。

**Key Words :** Damages on lifeline utilities, Pipelines, Sismic response, Damages by tsunamii

## 1. はじめに

巨大地震災害対応特別委員会—パイプラインWG—では、主として上下水道管路を対象に既往の地震被害を調査し、今後の対応に役立てようとしている。この中で阪神・淡路大震災で水道管の破損による高速道路盛土の斜面崩壊の増大事例、新潟県中越地震で週末処理場への流入管きよの被災による簡易処理の結果としての下流域水源水質の悪化等の二次災害は、今後の教訓になり得る。更に、スマトラ島沖地震・津波による西海岸の道路の寸断は、東海・東南海地震等の津波によるパイプラインの寸断を連想させるに充分である。

本文では、これらを中心に被災の実態を紹介し、今後の教訓としたい。

## 2. 阪神・淡路大震災における上下水道管路の被害と特徴

### (1) 上水道管路の被害と特徴

阪神・淡路大震災による上水道管路の被害は、日本水道協会により報告・分析<sup>1)</sup>されており、この分析結果を踏まえて、1997年に耐震設計基準<sup>2)</sup>が改定されている。本報告では、震災後10年間で明らかになった被害及び今後の耐震設計上の課題について述べる。

#### a) 道路盛土の管路被害による被害の増大

阪神・淡路大震災では、各道路の盛土区間において局所的な被害が発生した。被害箇所は高速道路で9箇所、一般道で35箇所と報告されている<sup>3)</sup>。この

中で、第二神明道路の大倉谷I.C.付近、主要地方道神戸加古川姫路線においては、上水道管路被害により、盛土被害が増大したといわれている。

代表事例として、大倉谷I.C.の盛土崩壊の状況<sup>3)</sup>を図-1、図-2、復旧後の現況を図-3、図-4に示す。当該箇所は旧池跡地上に高さ約15mの盛土が施工されており、基礎地盤はGL-5mまではN値5以下の軟弱地盤である。震災時には、延長約30m、土量約10,000m<sup>3</sup>の盛土が崩壊した。

盛土部は軟弱地盤であり、地盤の側方変位や沈下により崩壊したものと推測されているが、崩壊箇所は布設されていた上水道管路が破断しており、水圧、漏水による地盤強度の低下により、盛土被害を増大した可能性がある。布設されていた上水道管路は口径700mm、最大水圧は約0.7MPaであり、管路破断時には約270kNが盛土に作用したものと推測される。

盛土崩壊箇所に隣接する久保倉庫に勤務する女性によると、地震後数日間、管路から水が流出していたとのことである。神戸市の記録<sup>4)</sup>によると当該被害は、震災当日に報告を受けていること、ポンプ加圧系であり、送水停止が容易であることから、震災後は管内水が流出していたと推測される。しかし、破断した上水道管路はφ700mmの大口徑管路であり、管内水は100mあたり約40m<sup>3</sup>が貯留されており、この水の流出だけでも、周辺に多大な影響を与えたものと推測される。

大口徑管路は、管路被害による二次災害が発生する恐れがあるだけでなく、水道事業者にとって重要路線である。よって、今後は管路の耐震性を高めるのみでなく、道路盛土についてもレベル2地震動に対応した耐震性を保持する必要があると考えられる。

#### b) 震災後に明らかになった管路被害

神戸市水道局より報告されている神戸市の送・配水管路の被害は、1757件であり、被害率は0.32件/kmである。これらの被害箇所の路線（一般的に交差点間）は、災害査定を受け、国庫補助事業により、耐震継手管路を用いた本復旧工事が行われている。

図-5に神戸市水道局の震災後5年間の漏水修繕件数及び有効率（年間総配水量－年間漏水量／年間総配水量）の推移を示す。漏水量の指標である有効率は、地震前は94.1%であったが、震災による漏水により平成6年度は87.5%に低下し、平成14年度で94.4%に回復している。これは、災害査定を受けた被害箇所以外にも震災後数年間は地震による影響があったことを示唆している。

漏水修繕件数は、震災後の災害査定で行われた復旧工事を除いた管路の破損、属具（仕切弁、消火栓、空気弁）破損を示している。第三者の過失による事故を除いているが、漏水事故の要因としては、地震によるものだけでなく、老朽化によるものも含まれている。平成14年度は地震前と同レベルの有効率であるため、地震による被害が解消されたものとし、平成14年度を老朽化により発生する修繕件数と仮定すると、平成7年度から平成13年度までの地震

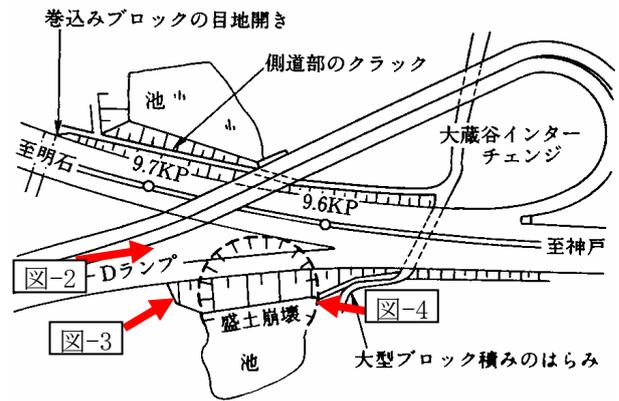


図-1 大蔵谷I.C.の盛土被害の状況



図-2 大蔵谷I.C.の盛土被害の状況



図-3 大蔵谷I.C.の盛土部の現況（斜面西側）

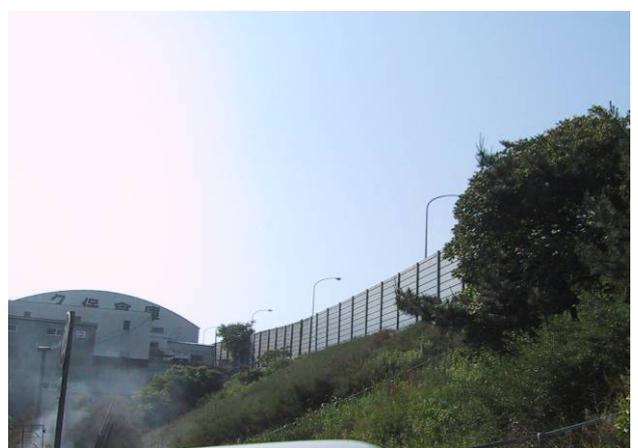


図-4 大蔵谷I.C.の盛土部の現況（斜面東側）

による修繕件数は 588 件と推定される。ただし、これらの被害の修繕費用は自己負担により行われている。以上のように、震災直後の被害数に対し、その30%以上の被害が震災後に明らかとなっており、被害規模の推定において、これを考慮する必要がある、費用負担のあり方についても制度化することが重要であると考えられる。

## (2) 下水道管路の被害と特徴

阪神・淡路大震災における下水道管渠の被害の特徴を、枝線管渠と幹線管渠に分けて述べる。

### a) 枝線管渠

管種別にはヒューム管が約83%、硬質塩化ビニル管が約13%と、この2種類の管が大部分を占める。近年の施工においては硬質塩化ビニル管が多く使用されている。枝線の埋設深度は、土被りで1.2m～4m程度のものが多い。

被害率（1km当りの被害スパン数）は平均で1.2スパン/km程度であるが、埋立地以外で1.1に対して埋立地は6.1と高くなっている。この差は埋立地において液状化が生じたためである。主な損傷例は以下のとおりである。

B型ヒューム管の被害の多くは継手部の抜出しやソケット部のずれが生じている。

またヒューム管のクラックの状況は、円周方向に生じているものが多く、管軸方向のクラックは少なかった。円周方向のクラックについてはマンホールとの接続部付近に多く発生していた。

埋立地における被害については、埋立時期が古い地域の被害率が5～33と高いのに対して、新しい埋立地の被害率は4以下と大きな差がある。この原因としては、古い埋立地ではヒューム管が多いのに対し、新しい埋立地においては硬質塩化ビニル管を使用していること。新しい埋立地は埋設深度が大きいため、管体の保護を目的として、管体周辺をソイルセメントや土工用水砕スラグ等で埋戻しを行っており、管基礎も含めての管体の剛性が高くなっていたためであると思われる。

新しい埋立地の硬質塩化ビニル管の被害状況は、不等沈下による勾配不良が主であり、管自体の大きな破壊はなかった。

マンホールの被害の特徴は以下のとおりである。マンホールの多くは組立式で、殆どがブロックを連結していない構造である。ブロックや蓋が水平方向にずれているものが多かった。新潟県中越地震で多数発生した浮上被害は非常に少なかった。

### b) 幹線管渠

汚水幹線の材質は、ヒューム管、強化プラスチック複合管。シールド工法で施工されたものは、鋼製や鉄筋コンクリート製のセグメントである。その他水管橋や圧力管についてはダクタイル鋳鉄管や鋼管が使用されている。雨水幹線は、開渠は石積みや無筋コンクリートの側壁、暗渠はボックスカルバートとなっている。

汚水幹線は水管橋が落橋したり、運河や河川横断

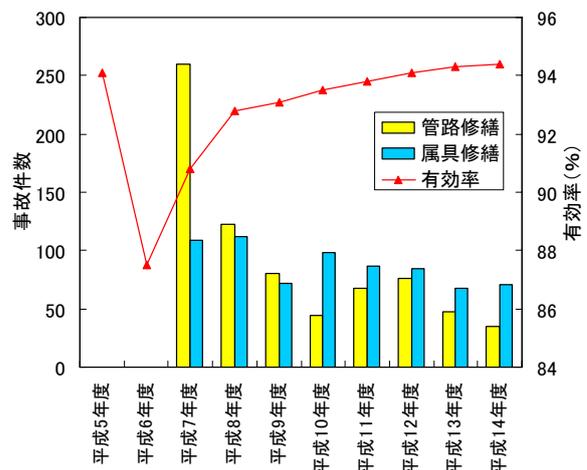


図-5 神戸市における有効率と修繕件数の推移

のために設けられた伏越部において、伏越室に接続する付近の管渠にクラックが生じたり、継手が損傷する被害があったが、枝線管渠に比べて被害箇所は少なかった。

雨水幹線では、河川や海岸付近で護岸が海側に滑動し、雨水幹線の吐口が被災したものがあつた。

シールド管渠については被害は小さかったが、二次覆工のクラック等いくらかの被害が生じている。その中で顕著な被害がみられた鳴尾御影汚水幹線の被害状況を以下に示す。

- ・セグメント外径：3150mm（鋼製）
- ・仕上り内径：2400mm  
（二次覆工は場所打ちコンクリート）
- ・クラックはリング方向のものと管軸方向のものがあり、リング方向クラックはセグメントピース間付近と二次覆工の施工継目で生じている。管軸方向クラックは管頂を0として両側に45°付近と135°付近に計4本入っている。この管軸方向クラックはほぼ全線で確認されている。クラック幅は最大9mm程度である。
- ・セグメントとボルトの検査の結果は特に異常はなく、一次覆工の被害はないものと思われる。二次覆工の管軸方向のクラックは他工区においても同様の位置で確認されている。

### c) まとめ

阪神・淡路大震災による下水道管渠の被害の特徴の1つとして、その後に発生した北海道十勝沖地震や新潟県中越地震においては液状化に伴う被害が多かったのに対し、埋立地以外では液状化による被害が生じていないことが挙げられる。その理由としては、土質的に液状化しない地域であったことと、埋戻しも液状化を起しやすい砂ではなく発生土を使用していたことによると考えられる。

また液状化が生じた埋立地においても、ソイルセメントや水砕スラグ等で管体周辺を保護することによって、被害を抑えられたことは今後の参考になる。

またヒューム管のクラックの状況が、管軸方向に比べて円周方向が多いことから、現在の計算方法では横断面のみの計算で、縦断方向の計算を行って

ない設計方法の見直しは今後の課題である。

ヒューム管とは逆に、シールド管渠のクラックの状況が、円周方向に比べて管軸方向が顕著なことから、横断面方向の設計方法の見直しも同様である。

震災後10年を経過して、今回改めて神戸市の関係者からヒアリングを行ったところ、管継手からの木根等による管路内の閉塞（震災の影響かは不明）、また、不明水の割合が震災前10%に対し震災後は20%になり、現在もまだ震災前の水準にまでは下がっていない等の問題が残っていることが判った。

### 3. 新潟県中越地震における上下水道管路の被害と特徴

#### (1) 上水道管路の被害と特徴

##### a) 被害概要

新潟県中越地方により川口町、山古志村、小千谷市、長岡市を中心として、構造物、ライフライン施設が多大な被害を受けた。厚生労働省の被害調査によると<sup>5)</sup>、上水道は42市町村（合併前）、約13万戸に断水が発生し、長岡市における管路被害率は0.30件/km（328件/1084.4km）、小千谷市では0.31件/km（102件/328.5km）であった。管路被害の多くは、耐震性の低い管路や液状化や軟弱地盤において発生していたが、図-6に示すような斜面崩壊に伴う管路流出の被害も見られた。

なお、震源域であり、上水道の復旧に1ヶ月以上を要した川口町、山古志村については、厚生労働省の調査段階において被害実態が十分把握されていなかった。

##### b) 道路盛土の管路被害による被害の増大

新潟県中越地震においても、阪神・淡路大震災と同様に上水道管路被害により、盛土被害が増大したと推測される箇所が報告されている。図-7、図-8は小千谷市と川口町の町境付近の国道17号とJR上越線とが並行している場所の斜面崩壊である<sup>6)</sup>。ここでは、道路に埋設している水道管路も破断している。他の水道管路が破損していない斜面崩壊箇所と比べて、崩壊の規模が大きくなっており、水道管路の破損により被害が増大した可能性が高い。

##### c) 他の関係機関との連絡体制

堀ノ内浄化センターでは、多大な被害が発生し、簡易処理によりBODで平常時の約10倍の濃度の処理水を信濃川に放流した<sup>7)</sup>。下流ではこの表流水を取水している浄水場があったが、河川管理者を経由しての連絡であり、情報伝達が遅れた<sup>5)</sup>。水道側では、供給する浄水の安全性を確保するために、状況に応じて浄水方法の変更、消毒の強化等の緊急措置をとることが必要となるため、他の関係機関との緊急連絡体制・連携を日常的に確立しておくことが必要である。

##### d) 下水道との復旧の連携について

川口町では、下水道の被害状況調査（カメラ撮影



図-6 斜面崩壊により水道管路の流出（川口町）



図-7 斜面崩壊（小千谷市・川口町）



図-8 斜面崩壊（小千谷市・川口町）

による2次調査)に支障をきたさないように、川口町の判断で、この調査が完了した地区の順に、復旧した給水栓の開栓を行った<sup>5)</sup>。これにより、水道の各戸への通水復旧が遅れた。

下水道管路が被災している状態で水道を通水した場合、下水道管路の閉塞等により、水道の給水停止となる事態も考えられる。今後は、下水道及び上水道の連携を強化し、最も効果的で効率的な復旧方法を確立することが重要である。

#### (2) 下水道管路の被害と特徴

##### a) 被害の特徴

阪神・淡路大震災と比べて、新潟県中越地震による下水道施設への被害の大きな特徴は、前者が地震

力による構造的な被害，すなわちクラックや継手の逸脱等が顕著であるのに対し，後者は地盤の液状化による被害が顕著であるという点である．特に，開削による施工個所での埋め戻し土の液状化によるマンホールの隆起や管きよの浮上・沈下が数多く見受けられる．被災直後に現地を調査して驚いたのは，道路のあちこちで下水道のマンホールが隆起していることであった．それも，道路規模が比較的大きく，主要な幹線道路となっていて，交通量が多い車道部に埋設されている下水管は隆起していないが，交通量の少ない車道や歩道に埋設されているマンホールは軒並み隆起していた(図-9)．また，長岡市では，旧市街地中心部でほとんど被害が見られないのに対し，周辺部の山裾近傍にマンホールの隆起が集中していた(図-10)．

マンホールが隆起しているということは，それに接続されている管路も当然浮上していることが想定される．マンホール蓋を開けて内部を調査すると，マンホールの隆起が 20～30cm 程度の場合，下水は流下しているが(図-11)，マンホールの隆起がそれ以上の場合，下水が滞留しているケースが多かった(図-12)．

管路はほとんど塩ビ製であり，縦断方向にたわむため，ヒューム管に比べ破断しにくい．管路の状況を調査するため，長岡市で試掘を行った結果がある．図-18 に示すように，管路も浮上しているが，面白いことに，下水管は各家庭からの排水を受け入れるために宅内枘と下水管を接続する取付管がマンホール間に数箇所接続されているが，この取付管で下水本管の浮上が抑えられ，その間は浮上して逆サイフォン状態となっていることがわかる．

新潟県中越地震では堀の内浄化センターで処理機能が停止する被害が発生した．被害の特徴は，処理場への流入きよと構造物との取り合い部での破断や各施設間のエキスパンションジョイント部の開口や段差等が数多く発生した(図-13，図-14)．

#### b) 被害の原因と課題

埋め戻し土の液状化のメカニズムは，埋め戻し材料である山砂の性状に関係する要因と，周辺地盤より締め固め度が小さいために間隙水圧が埋め戻し部分に集中することで起こる事象と想定される．下水管を布設する場合，図-15 に示すように道路に溝を掘削しながら溝の両側に土留め材(軽量鋼矢板や簡易土留めなど)を設置し地山の崩壊を防ぎながら所定の深さまで掘削→管基礎(砂)締め固め→本管設置(塩ビ管)→管周りを砂で防護→管頂まで十分に締め固め→土留め材を引き抜きながら路盤まで砂で埋め戻し→舗装，という施工が一般的である．これが，図-16 に示すように，掘削幅の範囲で管きよやマンホールは浮上し，地表面は沈下している．

一般的に使用される埋め戻し用砂の粒度分析は図-17 に示すように比較的粒径が揃った砂を使用している．下水道地震対策技術検討委員会(以下，田中委員会)の緊急提言<sup>8)</sup>にもあるように，この砂は国総研の研究<sup>9)</sup>によると，締め固め度 90%以上で



図-9 歩道部隆起マンホール



図-10 車道部隆起マンホール



図-11 流下マンホール



図-12 滞留マンホール



図-13 EXP.Jの被害（開口）



図-14 EXP.Jの被害（段差）

あれば液状化しないという実験結果が得られている。しかしながら、実際の施工においては塩ビ管への影響や土留め材引き抜きのタイミングなどの要因により、この締め固め度の確保が非常に困難となる場合が多いことも事実である。このような状況で布設された管が、時間の経過とともに締め固まり、周辺地盤と一体となっているかどうかが今回の新潟県中越地震による被害の有無に影響しているものと考えられる。

長岡市では、災害復旧に際し今回の埋め戻し土の液状化対策として、田中委員会の提言に沿って管路施設震災復旧マニュアル（2005年3月）を策定している。これによると、管周りは改良土、路盤までは再生砕石等による埋め戻しを行うこととしている。

下水道は今、普及率が67%を超え、全国で35万kmの管路が布設されている。今後、東海、東南海、南海地震などの巨大地震の発生が想定されている中で、同様の埋め戻し土の液状化による既存管路施設の被害をどうやっていくとめるかが課題である。

堀の内浄化センター流入きよの破断は、施設構造物と下水管など線状構造物の接続部に地震による大きなせん断力が働いたことによるもので、十分に想定される範囲の被害と考えられる。各施設の被害がエクspansionジョイントに集中したのは、各施設が直接基礎であったがために地盤の不均質性により起こったものと考えられる。今後、最小限の処理機能を確保するため一列は必ず杭基礎とする、等のリスク対策が望まれる。

### c) 二次災害の危険性

管路施設が被害を受けた場合に想定される二次災害は、これまでの経験では継手の離脱や本管の破断により流下している下水が地下水を汚染することが危惧された。実際には、下水は自然流下が原則であるので、下水が管の外に染み出るといよりも地下水が下水管に入ってくると考えるのが妥当である。新潟県中越地震では、液状化により開削部分が沈下したり、マンホールの隆起により車の通行に支障を与えた。地震直後には隆起したマンホールに車が衝突した事例もあった（図-19）。

処理場が被災し処理機能を停止した場合には、一

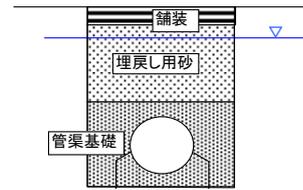


図-15 一般的な管きよの施工方法

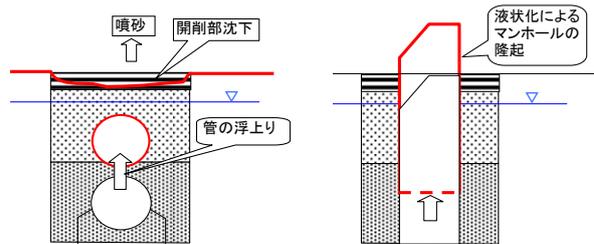


図-16 管きよ及びマンホールの浮上

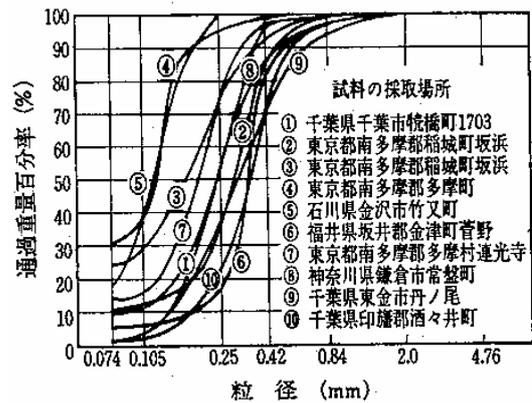


図-17 山砂の粒径加積曲線例<sup>7)</sup>

時的に未処理または簡易処理した排水が河川に放流される。したがって、放流水質を監視し水環境に甚大な悪影響を与えないようなハード・ソフト面の対策が必要である。新潟県中越地震においては、堀の内浄化センターの処理機能が停止し、約1ヶ月半ほど簡易処理により放流することとなったが、その下流域に上水道水源として取水している自治体がある、という二次災害になりかねないような事例があった。

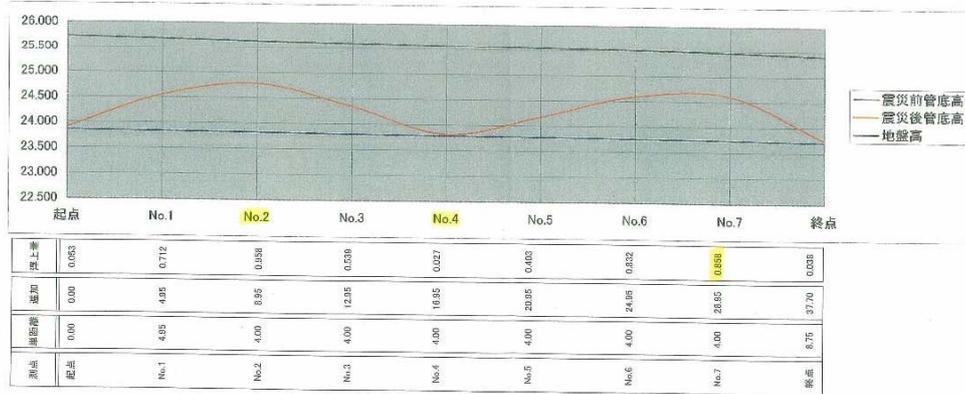
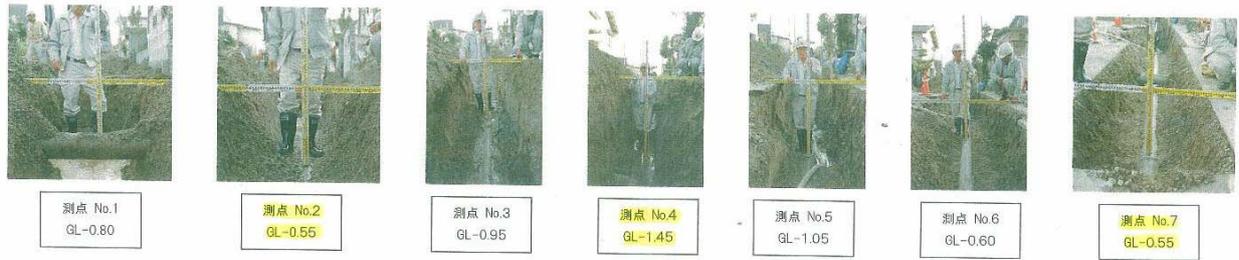


図-18 長岡市における試掘例<sup>3)</sup>



図-19 マンホール隆起による事故現場

#### 4. スマトラ島沖地震・津波によるライフラインの被害と特徴

##### (1) 配水施設の被害と特徴

図-20 にバンダアチェ市の配水施設の概要を示す。図中に今回の津波により配水管網が分断された箇所を示している。また、同図には津波の来襲を受けたゾーンとランナップと呼ばれる津波洪水の来襲を受けたゾーンを色分けして示している。

この町は低地が多く、海拔 0 m 地帯が広く分布し、井戸が塩害を受けやすく、生活用水を確保するため、早くから水道事業が営まれていた。地震前には 75% の水道普及率であったが、地震後には地震動と津波のダブルパンチで水管橋などが損傷し、25% の給水率に低下した。

水道システムは、図-22 に示す取水ポイントで取水し、図-23 に示す浄水場まで導水され、浄水場か

ら water tower tank 1 まで  $\phi 600\text{mm}$  と  $\phi 500\text{mm}$  の配水本管（鋼管）が布設されている。

図-24 に示す配水塔 1 ( $2000\text{m}^3$ ) は、地震前から機能していないが、今回の地震により、タワー基部に重大な曲げひび割れを発生しており、早急な撤去が必要とされる状況である。応急の貯水タンク位置より、アチェ川（図面中央）にかかる水管橋（図-25 左）は、津波により流失し、現在、対岸へはゴムホースの河底横断で給水している。図-26 に示す配水塔 2 も下部に軽微な曲げひび割れを生じている。このタワーには河川の原水を直接供給しており、給水事業は極めて逼迫した状態となっている。

相当な個所で未接続となっており、市のはずれに見られる公共水栓には、給水パイプが敷設されてなく、井戸水の塩水や下水排水不能による汚染が問題となっている。ちなみに、土木学会調査団の内 3 名が調査後、細菌性の下痢にかかっている。

##### (2) 下水道システムの被害と特徴

図-21 にバンダアチェ市の排水ポン場と、主排水路の地図を示す。ポンプ場がある区域は海拔が低く、市街地であることが分かる。前図と同様に（同じ図に）津波来襲ゾーンと洪水来襲ゾーンをバックシェイディングしてある。P1 を除いて、P2 から P9 のポンプ場はすべて津波により流失しており、排水機能はほとんど停止したままである。洪水に見舞われた地域の排水溝は図-27 に示すように、津波によって運ばれてきた瓦礫と土砂で埋まっている。背後には瓦礫の除去作業用のクレーン車が見える。また、ポンプ場（水道用）周辺も図-28 に示すように、保管中の送水パイプが泥の中に散乱している状況がよく分かる。生活廃水が排水溝に流入しており、現在は排水構内

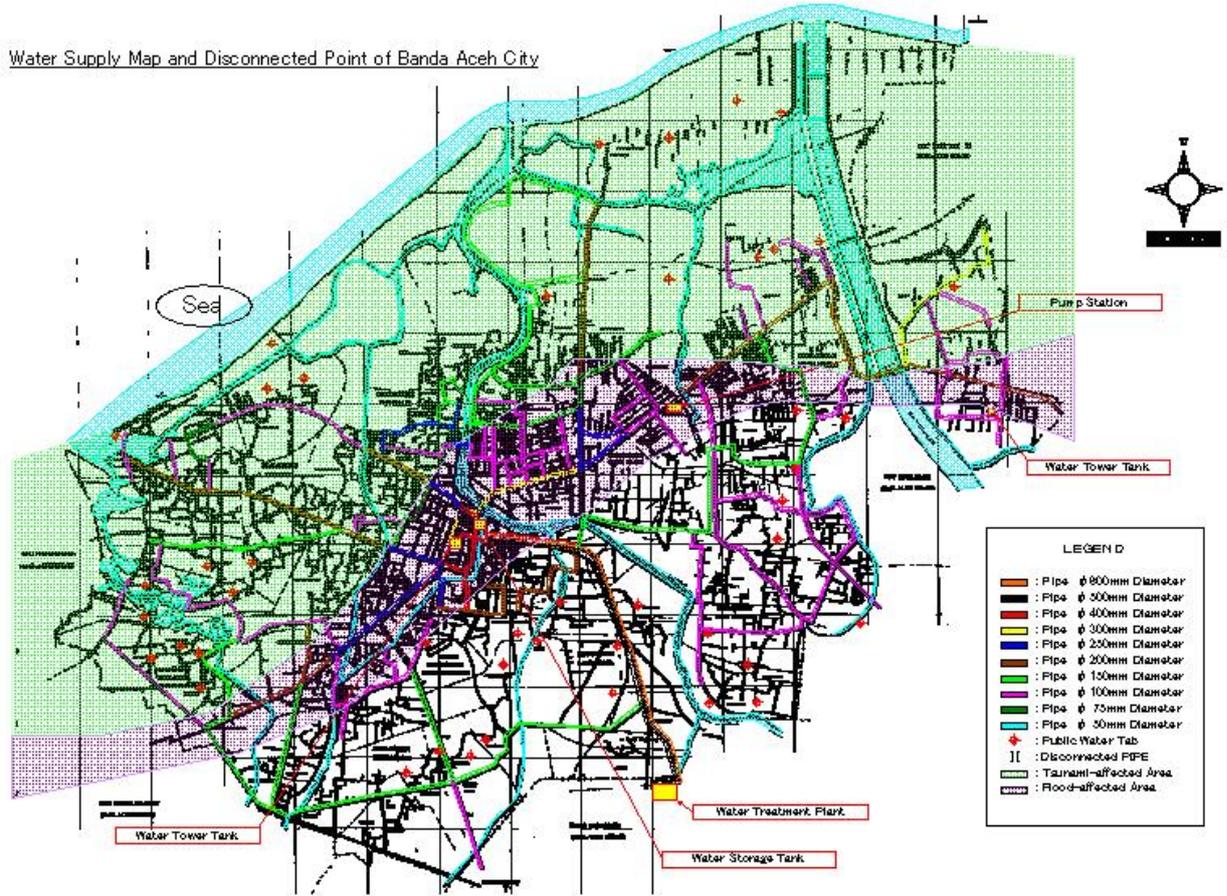


图-20 Water Supply Map and Disconnected Point of Banda Aceh City

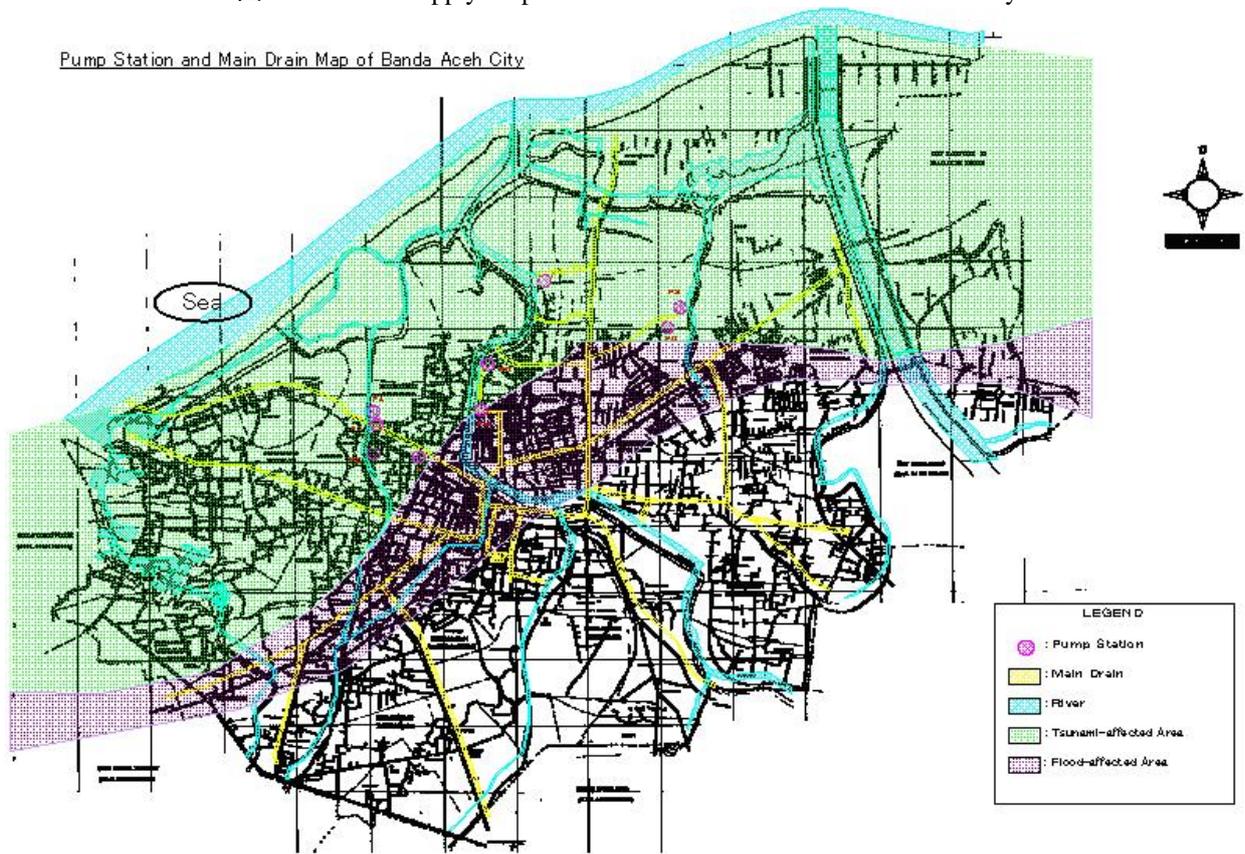


图-21 Pump Station and Main Drain Map of Banda Aceh City



图-22 Intake site



图-24 Water tower tank 1



图-23 Emergency measure at the treatment plant



图-25 Broken water pipes nearby or attached to bridges



图-26 None or slightly damaged elevated water tank 2



图-27 Drain ditch are clogged with mud and debris. Backhoe is operating for removal of deposit of the flood.



图-28 Scatterd transmission pipe around pump station



图-29 Displaced barge with a thermo-electric power generator



图-30 Broken electric distribution poles



图-31 Near Teunom Coastal erosion Severed road  
Blighted vegetation up to 4km away from the shoreline



图-32 Near Meulaboh Coastal erosion Severed road



图-33 Near Meulaboh Coastal erosion Severed road  
Blighted vegetation



图-34 Meulaboh Catastrophic village

の水が滞留している状態のため、衛生環境は極めて劣悪である。早急な改善が望まれている。

尚、この市は2000年、2001年2002年と、2時間足らずの雨で洪水に見舞われると共に、高潮にも頻繁に襲われているため、排水事業はこの町の重要な公共事業となっている。

### (3) 電力施設の被害と特徴

電力は市の郊外の高地にある石油火力発電所で38 MW、Uieue Lheue 港に繋岸されていた石油火力発電バージで7.5 MW、メダン市より送電用鉄塔で10 MWが供給されていた。この内、発電用バージと市内配電用電柱が被害を受けた。図-29 に示す発電用バージは、波止場に繋岸されていたが最初の引き波で繋索が引きちぎられ、次の押波で3 kmも内陸に流されて、数軒の民家を押し潰して座礁した。この結果により、供給能力が低下したが、需要も2/3 程度に低下している為、供給能力不足には陥っていない。図-30 に配電柱の津波による被害の状況を示す。押波で破壊されたと見られ、全て一様な方向に倒壊していた。送電用鉄塔の被害は報告されていない。

### (4) 西海岸における道路等の被害と特徴

調査先で偶然に出会ったイスラム大学学長との出会いが縁になり、国連に接触する機会が得られた。早稲田大学・濱田教授の機転で国連と交渉し、20m超の津波に見舞われたスマトラ島西海岸の空撮をする機会を得た。西海岸の様相を図-31～34 に示す。図-31 を代表例に紹介すると、浸蝕されたU字型部分の海岸線より1/3 近くに道路が走っており、見事に寸断されている状況が分かる。津波は合計5回ほど繰り返されたとの事で押し、引きの作用でこの様に被害が形成されたのかも知れない。ちなみに橋脚の基礎部とか、椰子の根幹などは、円周状に洗掘されており、押しと引きの作用が交互に加わった事を如実に示している。これらの現象は、東海・東南海地震等における海岸線に位置する終末処理場の覆蓋をしていない水処理施設の埋没やこれに接続するパイプラインの被害を連想させるのに充分である。20年近く前から終末処理場の上部空間は地震時避難場所と位置付けられることも多く、付近の住民にもそのようにPR されてきた。しかし残念ながら、予想されるべき津波に対してその標高が不十分な場合が多い。住民の防災意識を啓蒙すると共に、有効な対策を講じるべき時がせまっている。

図-31～33 に示される変色部分は津波による海水の浸入の為に、植生が枯死した地域である。海岸線から約4kmは塩水の影響を受けている。一部椰子等の塩分に強い植生は緑を保っている様である。東京大学・都司教授らの報告によるとこの津波による最大遡上高さは35m程度と報告されている。

図-34 は西海岸の中心地 Meulaboh の惨状である。この様に多くの集落が消滅していた。

## 5. まとめ

以上のことから今後の課題をまとめると

- ①不整形地盤の安価な調査法（例えば、常時微動計測等の活用）の開発とこれを考慮したパイプライン長手方向の設計法の開発（阪神）。
- ②地震の影響を適切に評価した断面方向の耐震設計法の開発（阪神）。
- ③曲線部の応力集中の評価方法の開発（阪神）
- ④水道管被災による2次災害の軽減手法の開発（阪神）
- ⑤震災後数年間に及ぶ地震が要因の漏水事故に対する財政補助（阪神）
- ⑥下水管渠の強度特性を考慮した液状化防止手法の開発（中越）
- ⑦浄化センター被災による下流域水源水質の劣化軽減対策の実施（中越）
- ⑧応急復旧時における効果的・効率的な上下水道の連携方法の確立（中越）
- ⑨河口近くに存在する水管橋の津波対策（スマトラ）
- ⑩終末処理場の未覆蓋の水処理施設の津波対策と避難場の嵩上げ（スマトラ）
- ⑪海岸際道路中に埋設されている重要パイプラインの津波対策（スマトラ）  
等が挙げられる。

### 謝辞

最後に、取材にあたりましてご協力を頂きました神戸市・水道局関係者の皆様、河川下水道部関係者の皆様、川口町堀ノ内浄化センターの皆様、長岡市関係者の皆様、スマトラ島沖地震・津波調査で多くのご援助を頂きました早稲田大学・濱田教授、東海大学・アイダン・オメール教授、飛鳥建設インドネシア事務所・鈴木所長、インドネシア政府関係者の皆様、国連の皆様、現在調査を開始しつつある土木学会「巨大地震災害対応特別委員会・パイプラインWG」の皆様に感謝申し上げます。

尚、この検討は土木学会「巨大地震災害対応特別委員会・パイプラインWG（主査：佐藤紘志防衛大学校教授）」の活動の一環として行ったものである事を付記します。

### 参考文献

- 1) 日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析、1996
- 2) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説、1997。
- 3) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告、土木構造物の被害、1998
- 4) 神戸市水道局：阪神淡路大震災 水道復旧の記録、1996

- 5) 厚生労働省：新潟県中越地震水道被害調査報告書，2005
- 6) 日系 B P 社：日系コンストラクション，Vol.2004.11.12，2004
- 7) 土質基礎工学ライブラリー10：「日本の特殊土」（土質工学会）
- 8) 下水道新技術推進機構：第2回下水道地震対策技術検討委員会資料，2004
- 9) 国土技術政策総合研究所資料：平成13年度下水道関係調査研究年次報告書集
- 10) 土木学会：土木学会誌，Vol. 90, No. 5, 2005

**LESSON LEARNED BY HANSHIN-AWAJI EARTHQUAKE, MID NIIGATA  
PREFECTURE EARTHQUAKE IN 2004, and SUMATRA EARTHQUAKE AND  
TSUNAMI AND FUTURE CHALLENGE FOR LIFELINE UTILITIES**

**Mikio TAKEUCHI, Yasuhiko KONISI, Kimiyasu OHTAKE, Masahiro KUBO,  
Hirosi SATOH, Nobuhisa SUZUKI and Tomoharu CHIBA**

In Hanshin-Awaji Earthquake, there are many sectional cracks in curve sections and 45-degree inclined cracks in cross sections of shield tunnel sewers, and many partial crashes as well as general crushes in transmission mountain tunnels. Damages in a longitudinal direction in pipelines were also featured. Moreover, slope failures caused by damaged water pipe in earth filling slopes of roads increased. In mid Niigata Earthquake in 2004, damages on sewers affected by soil liquefaction, and degradation of downstream water resource caused by damaged sewerage treatment plants were featured as the secondary disaster. In Sumatra Earthquake and Tsunami, cracks in elevated water reservoirs caused by bending moments probably affected by long term earthquake motion occurred. Pipe bridges for water supply were washed out by the tsunami. There happened coastal erosion and road severance caused by the tsunami of over 20 meters high in the western coast. These facts will raise similar issues on damages on pipelines and wastewater treatment plant in the next Toukai and Tou-Nankai Earthquakes envisioned in the near future.