

## 各 論 ライフラインの被害と復旧の考え方

安田 進\*

### 1. はじめに

2004年新潟県中越地震では、上下水道、ガス、通信といったライフラインが甚大な被害を受けた。上水道は35市町村の約13万戸で断水になり、下水道は22の市町村で管路被害を受けた。また都市ガスは、新潟県内の公営事業者を含む6事業者で、合計約56,800戸の需要家へのガス供給を停止した。これらの被害は甚大で、現在も本復旧作業が続いている。以上のうち、ここでは特に注目された被害として、下水道のマンホール浮上がり被害について述べる。

### 2. 下水道施設の被害状況

災害査定結果によれば、下水道施設は新潟県および県内6市12町3村の22自治体で被害を受けた。被害総額は205億円である。下水道の被害のうち、管路施設の被害延長は152.1kmに及んだ。被災を受けた地域は、震央から約30kmの範囲内であった。被災地区内ではマンホールが2,719ヵ所で被災した。新潟県と下水道災害対策本部による被災状況の一次調査結果によると、1,453個のマンホールが浮上がって路面から突出したと報告されている。筆者が見た範囲では、浮上がり量の最大は写真-1に示すように約1.5mであった。

また、管路上の道路の陥没もひどく、写真-2に示すように多くの箇所数十cmも陥没した。上述した一次調

査結果によると、5,908ヵ所で路面異常が報告されている。このため、下水道の使用制限を行わざるを得なかっただけでなく、マンホールの突出や路面の陥没によって道路交通障害が発生した。マンホールに自動車がぶつかった箇所もあった。地震後に通行の注意を促すように、住民の方々によって浮上がったマンホールの上に花や標識が置かれた所も多くあった。管路上の道路の陥没は地震発生後も進行し、さらに地震後半年たった4月の雪解け時に陥没が生じていたところもあった。なお、被災地は豪雪地域であり、冬に除雪車を通すために突出したマンホールの頭は切られた。それでも除雪車がひっかけた箇所も生じた。

一方、下水処理場・ポンプ場の被害としては、6処理場および6ポンプ場で被害を受けた。そのうち最も被害が大きかった堀之内浄化センターでは、処理場への流入管の破断により処理機能が停止するとともに、水処理施設躯体の段差発生、連絡管の破断、消化タンク汚泥輸送管の破断、消化タンク本体の傾きなどの被害が発生した。

筆者は、地震発生後1ヵ月間の間に小千谷市、長岡市などの現地を見て回った<sup>1)</sup>。そのうち、小千谷市の関越自動車道沿いの桜町では、道路沿いに多くのマンホールが浮上がっていたため、その浮上がり量を大まかに測定してみた。その結果を図-1に示す。凡例に示すように、一般にマンホール自体の浮上がりとともに、周囲(埋戻し部)の地盤の沈下(S)も生じるので、これらを考慮



写真-1 大きく浮上がったマンホール (小千谷市)



写真-2 管路上の道路の陥没 (長岡市)

\*YASUDA Susumu 東京電機大学 理工学部 建設環境工学科 教授 | 埼玉県比企郡鳩山町石坂

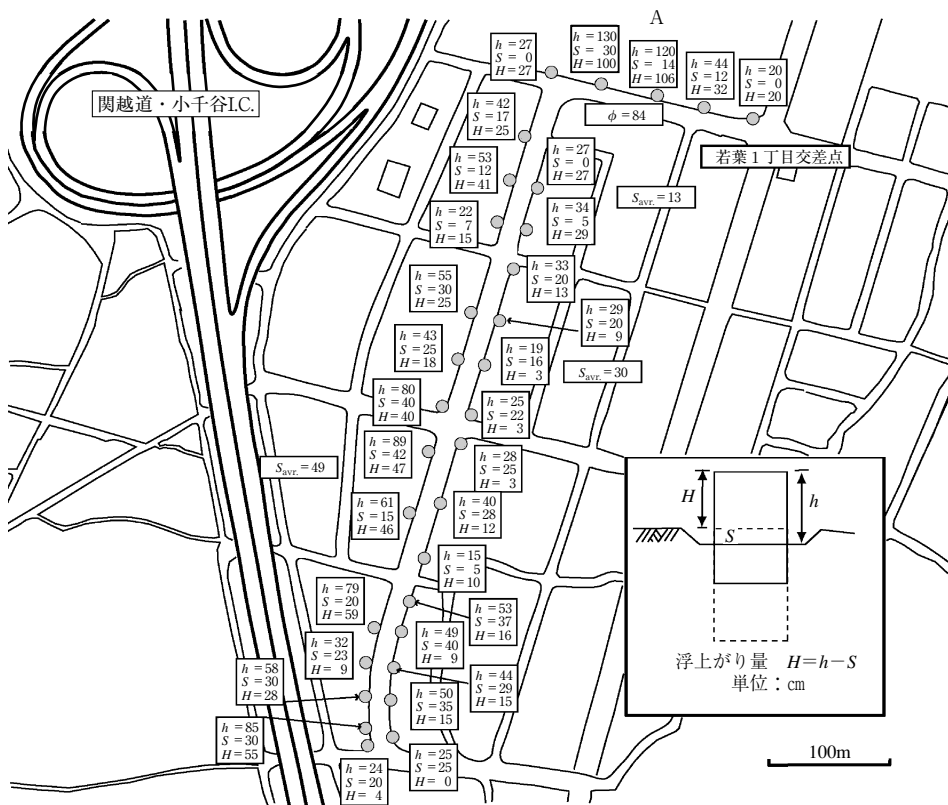


図-1 小千谷市若葉2丁目におけるマンホールの浮上がり量および近傍地盤の沈下量の大きな測定結果<sup>1)</sup>



写真-3 若葉地区(図-1中のA地点)で1mほど浮上がったマンホール

してマンホール自体の浮上がり量の絶対値 ( $H$ ) を推定している。その結果、図に見られるようにこの地区の浮上がり量の絶対値の最大値は、写真-3に示したマンホールの106cmであり、その他数十cm浮上がったものが多く発生していた。マンホール周囲の地盤の沈下量は最大で40cmであり、20~30cm程度のもが多かった。なお、これを測定したのは地震発生8日後の10月31日である。前述したように、今回の地震では時間とともに管路上の地盤の沈下量が増えていく傾向が多く見られた。したがって、図-1の沈下量の値も、その後増えている可能性もある。

ところで、この地区は信濃川の左岸の河岸段丘に位置する。地質図<sup>2)</sup>を重ねてみると、関越自動車道の東側には完新世のT9段丘堆積物が、また西側にはT8段丘堆積物が堆積している。両者とも未固結の礫・砂およびシルトからなる堆積物である。ただし、その段丘を切る低地も樹枝状に形成され、そこに氾濫原堆積物が堆積している。図-2には樹枝状の低地の分布と、筆者たちがマンホールの浮上がり量を多く見た区域、および後述する国土交通省の委員会における資料をもとにマンホールの隆起高さ分布図を重ねたものを示す。図に見られるように、小千谷市内でも市の中心から西にはずれた関越自動車道付近で、マンホールが多く浮上がった。このマンホールが浮上がった地区の原地盤には、液状化したような噴砂跡は見当らなかった。一方、管路上の地盤が陥没した箇所の一部では、噴砂らしき砂も見受けられた。したがって、この地区のマンホールの浮上がりの主な原因は、後

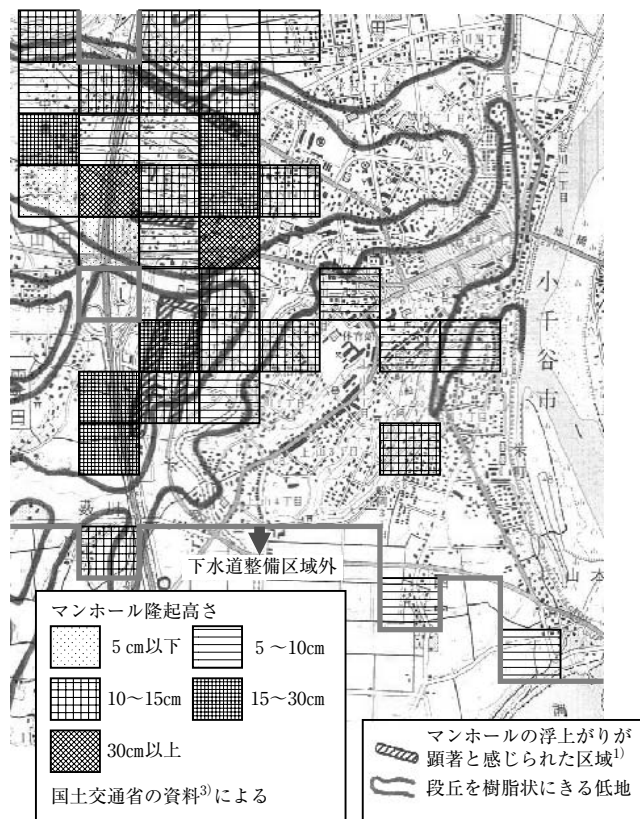


図-2 小千谷市におけるマンホールの浮上がり量の分布(参考文献3)によると、浮上がり量が特に顕著と感じられた地区<sup>1)</sup>、および樹枝状の低地(参考文献2)による(地形図は国土地理院の1/25,000による)

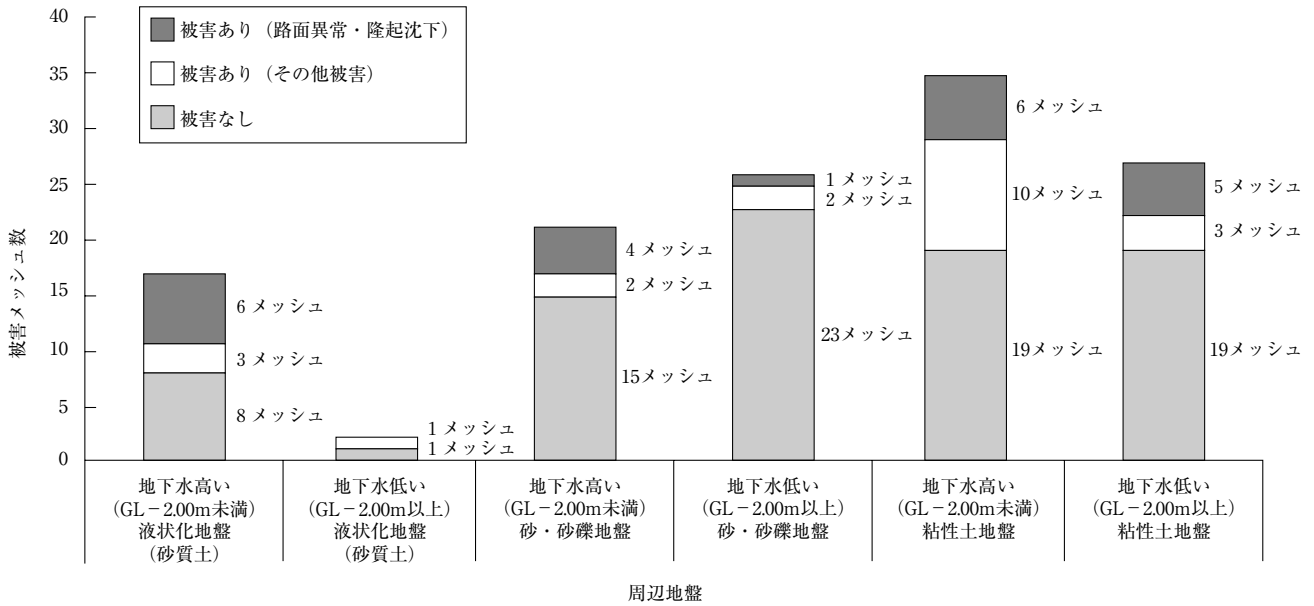


図-3 被害と周辺地盤の土質、地下水位の関係<sup>3)</sup>

述するように1993年釧路沖地震や2003年十勝沖地震と同様に、埋戻し土の液状化にあるのではないかと考えられた。

### 3. 下水道管渠およびマンホールの被災原因および復旧

今回の地震で被災した下水道施設について、本復旧を行うための技術的緊急提言を行うとともに、現行の地震対策の内容について、被害の実態を踏まえさまざまな角度から検証するために、国土交通省では「下水道地震対策技術検討委員会」が設置された。そして2004年11月20日に開かれた第2回委員会において、「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」が行われた。そこでは、管路被害の原因は管路敷設埋戻し部の液状化現象にあると考えられた。そして、被害の再発防止も考慮し、本復旧の埋戻しに当っては、マンホール周辺を含め、地盤の特性、施工条件など現地特性、管材、工期などを勘案し、①埋戻し部の締固め、②碎石による埋戻し、③埋戻し部の固化、のいずれかの対策を行うことが望ましいとされた。そして、これらの施工管理にあたっては、締固めで対策をとる場合には良質な砂または埋戻しに適した現地発生土を用いて、締固め度を90%程度以上とすることとされた。また、碎石の場合は液状化しないような大きな粒径とするため、平均粒径が10mm以上かつ10%粒径が1mm以上の碎石を用いて、締固め度が90%以上とすることとされた。そして固化による場合は一軸圧縮強度が現場強度として50~100kPa出ることとされた。

この委員会での提言に基づき各自治体で復旧方法が検討された。そのうち長岡市では「管路施設復旧委員会」が設けられて具体的な復旧方法が検討され「管路施設震災復旧マニュアル」としてまとめられた。このマニュアルでは環境への配慮を重視し、復旧にあたって発生した土を改良して再利用する埋戻し工法が提唱された。そし

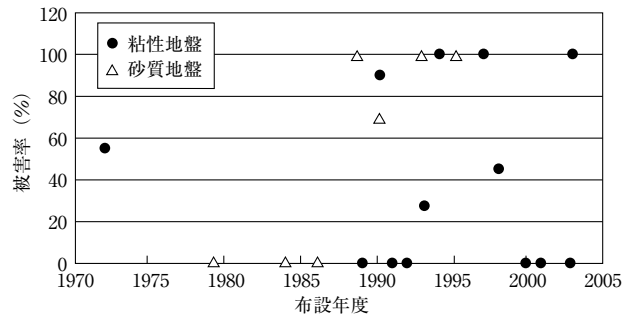


図-4 管路の布設年度と被害率の関係<sup>3)</sup>

て市内の2箇所にグラビア下水道下の写真に示す改良土プラントを設置し、復旧にあたって掘削した土(発生土)をこのプラントに運搬して、高炉セメント(B)を20kg/m<sup>3</sup>の割合で添加し、その改良土を埋戻し材として利用することが行われている。グラビア下水道中央の写真には長岡市町田町での復旧状況を示す。手前に見える下水道管は地震時に浮き上がった管で、奥の深い所に新しい管が敷設されている。なお、本稿ではマンホールの浮き上がりに着目して述べてきているが、このようにマンホールだけでなく管渠も多く浮き上がっていた。

さて、前述した国土交通省の委員会では、また、被害発生箇所の特性的分析や代表的な被災・無被災箇所の詳細な調査等が行われてきている<sup>3)</sup>。被害発生箇所の特性的に関しては、全域における地質、地下水位、基盤深度、地震動の強さなどと被害の関係が調べられ、さらに長岡市と小千谷市をモデル地区として選定して、詳しい分析が行われた。モデル地区での分析では対象地区をメッシュに分け、いくつかの要因と被害の関係が調べられた。図-3は被害と周辺地盤の土質、地下水位の関係を示している。これに見られるように、地下水が高いところで被害が多く発生している。また、粘性土地盤と液状化地盤(ここではN値が15以下の砂・砂礫地盤が液状化地盤と見なされている)とで被害の発生が多くなっている。

表-1 代表的な地点において行われた地盤調査結果（参考文献3）より抜粋

	項目	長岡市中沢		小千谷市桜町		川口町	
		変状地区	無変状地区	変状地区	無変状地区	変状地区	無変状地区
管路深度 までの地 山部	土質	シルト, シルト質砂	シルト	砂質シルト	シルト混り砂, 砂質シルト	粘性土	砂質土, 粘性土
	N値	2~4	2	0~5	1	—	—
埋戻し部	土質	礫混り砂	砂質礫	細粒分混り礫質砂	細粒分質礫質砂	細粒分混り礫質砂	細粒分混り砂
	地下水位	GL-0.65m	管路より下方	GL-1.1m	GL-1.38m	GL-0.2m	GL-0.9m
	N値	11~14	—	—	—	—	—
	締固め度	—	—	74%	78~82%	81%	—
	相対密度	38~41%	—	—	—	—	—
被害状況		マンホールの浮上がり40cm程度, 路面陥没30cm程度	マンホール, 路面とも無変状	マンホールの浮上がり8~20cm程度, 路面陥没20cm程度	マンホール, 路面とも無変状, ただし, 管渠は垂直に8cm蛇行	マンホールの浮上がり24cm程度, 路面陥没23cm程度	マンホール, 路面とも無変状

図-4は管路の布設年度と被害率の関係を示しているが、砂質地盤、粘性地盤とも布設年度が新しいほど被害率が高くなっている。次に、長岡市、小千谷市、川口町で被害が発生した箇所と近傍の無変状箇所で地盤調査が行われた結果のうち、主要な結果を表-1に示す。これに見られるように、変状箇所における埋戻し土の締固め度 $D_c$ は74~81%程度、相対密度は40%程度と大変緩いものであった。

埋戻し土内の地下水位もGL-0.2m~1.1mと大変浅かった。また、管路埋設深さまでの地山はN値が0~5程度と軟弱な粘性土であった。なお、長岡市の無変状地区では地下水位が深かった。小千谷市では無変状地区といえども、埋戻し土は液状化したのではないかと考えられている。また、川口町では無変状地区は変状地区より地下水位が深かった。

#### 4. マンホールの浮上に関する他の地震被害との比較

新潟県中越地震の後、2005年3月に福岡県西方沖地震が発生した。この地震では、埋立地の多くの箇所で液状化が発生した。ところが、マンホールの浮上りはほとんど見られなかった。筆者は10cm前後浮上がったものを2カ所で見ただけである。1995年兵庫県南部地震でもほとんど浮上らなかったため、過去のいくつかの地震の際にマンホールが浮上がったかを大まかに比較してみると、表-2のようになる。このように浮上りが多数発生した地震とそうでない地震が分かれている。

マンホールの浮上りが大きく注目されたのは、1993年に発生した釧路沖地震である<sup>4)</sup>。この地震では、下水道のマンホールが人の背丈ほど浮上がった。この下水道のマンホールの浮上りの原因解明のために、建設省土木研究所により掘削調査を含む詳細な地盤調査が釧路町の被災現場で行われた。これによるとマンホールだけでなく、下水道管も浮上っていた。地盤調査の結果、ここでは表土の下に3~4m程度の泥炭層と粘土層があり、その下部に沖積砂層があった。

表-2 過去の地震時におけるマンホールの浮上がり被害の概要

年	地震名	マンホールの浮上がり状況
1964	新潟 新潟	2地区だけで浮上がり
1983	日本海中部	通信のマンホールが八郎湯で浮上がったのみ
1993	釧路沖	釧路町で多数浮上がり
1993	北海道南西沖	長万部町で多数浮上がり
1994	北海道東方沖	標津町などで多数浮上がり
1995	兵庫県南部	ほとんどなし
2000	鳥取県西部	ほとんどなし
2003	十勝沖	豊頃町などで多数浮上がり
2005	福岡県西方沖	ほとんどなし

同年には北海道南西沖地震も発生し、長万部でまた下水道のマンホールが浮上がった。長万部全体を見渡してみると、マンホールが浮上がった地区と浮上らなかった地区とが分かれていることがわかってきた。地盤調査結果と対比すると、原地盤が泥炭地盤の所が最も大きく浮上がり、密な砂礫地盤では浮上がっていなかった<sup>5)</sup>。翌年に発生した北海道東方沖地震では、中標津町や標津町の泥炭地盤でマンホールの大きな浮上がりが発生した。

釧路沖地震から10年経った2003年に十勝沖地震が発生し、またまた下水道のマンホールが豊頃町と音別町で大きく浮上がった。ただし、音別町では町の東側ではマンホールが浮上がったのに対し、西側では浮上らなかった。表層の地盤条件を比較してみると、東側は泥炭や粘土地盤であったのに対し、西側では砂礫地盤であった。また、豊頃町でも海岸近くの大津地区では1つのマンホールを除いて浮上がり量はあまり大きくなかった。ここでは表層に砂質土が主に堆積していた<sup>6)</sup>。

以上の被災事例を見てみると、地山（原地盤）が軟弱な粘性土地盤や泥炭地盤において、浮上がり被害が多く発生していると感じられる。その原因を少し考察してみたい。

振動台による模型実験の結果によると、地盤が液状化するとマンホールや埋設管の模型は浮力により、まず少し浮上ろうとする。その後、大きく浮上がっていくた

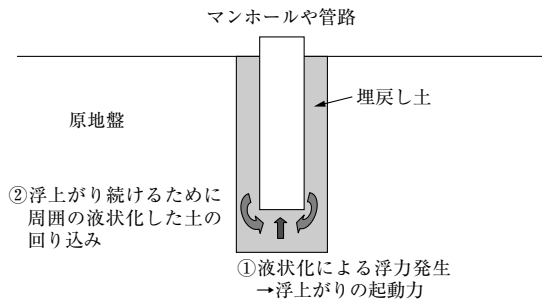


図-5 マンホールが浮上がるメカニズム

めには、図-5に示すように、液状化した周囲の地盤がマンホールや埋設管の下に回り込むことが必要である。このため、液状化が継続していると浮上がり量は大きくなる。このような浮上りのメカニズムをもとにすると、浮上がり量に影響を与える要因には以下のようなものがあるのではないかと考えられる。

- ①埋戻し土自体の特性：締固め密度、粒径、エイジング
- ②地山が埋戻し土の液状化に与える影響：透水性（埋戻し土で発生する過剰間隙水圧の地山へ向かっての消散のしやすさ）、地震応答性
- ③地下水位
- ④地震動
- ⑤マンホールや埋設管自体の特性：埋設深度、比重、形状
- ⑥地震時の管渠のはずれによる土砂の流入の有無

これらのうち②の要因を考えた場合、まず透水性から見て、地山が砂質土よりは粘性土の場合が埋戻し土が非排水状態になり液状化しやすく、また継続時間も長くなることになる。そして粘性土の中でも、硬い粘性土よりは軟弱な方が地盤全体が大きくせん断変形するため、その中の埋戻し土も強制的に大きくせん断変形させられ、液状化が発生しやすくなることになる。

また、一般的に軟弱な粘性土地盤は湿地や沼・池といった箇所に多く、地下水位も浅い。さらに、このような軟弱地盤の宅地化が進んできているのは最近のこのため、下水道管を布設してから時間が経ってなく、埋戻し土の液状化強度に与える①のエイジング効果も、まだあまり発揮されていない。これらのことにより、軟弱な粘性土地盤や泥炭地盤で埋戻し土の液状化による浮上がり被害が、多く発生するのではないかと考えられる。

ただし、このほかにも施工時に軟弱な粘性土地盤では、

埋戻し土が緩んでしまうようなことが発生するのではないかと考えられる。例えば、埋戻し土に対して地山の軟弱粘土の単位体積重量が小さいため、土留め工を引抜く際に埋戻し土が軟弱粘土に向かって孕み出し、そのために埋戻し土が緩んでしまうのではないかとといったことである。

## 5. あとがき

新潟県中越地震によるライフラインの被害のうち、下水道のマンホールの浮上りに焦点をあて、その被災状況と被災原因、復旧方法などを述べた。被災原因が埋戻し土の液状化にあることは明らかになってきているが、そのような被害が発生する条件に関しては、まだはっきりとした結論が出ていない。この条件がはっきりすると、既往の施設も対策すべき箇所を絞ることができるのではないかと考えられる。今のところ、軟弱な粘性土地盤や泥炭地盤で発生しやすいのではないかと筆者には思われる。このような箇所は、液状化に対するハザードマップでは液状化しない地区になっていることも留意する必要があるだろう。さらに、十勝沖地震では豊頃町、新潟県中越地震では柏崎で見られたように、埋戻し土の液状化による被害は埋設物だけでなく、住宅などでも発生してきている。したがって、このような被害を防ぐための一般市民の方への広報も大切ではないかと思われる。

なお、図-3などは下水道地震対策技術検討委員会資料<sup>3)</sup>を参考にさせていただいた。関係各位に感謝する次第である。

## 【参考文献】

- 1) 安田進, 規矩大義: 9. 2 下水道施設の被害, 土木学会新潟県中越地震第1次調査団報告書, 2005.
- 2) 柳沢幸夫, 小林巖雄, 竹内圭史, 立石雅昭, 茅原一也, 加藤碩一: 5万分の1地質図幅「小千谷」, 地質調査所, 1986.
- 3) 国土交通省: 第6回下水道地震対策技術検討委員会資料, 2005.
- 4) 安田進: 10. 3 下水道の被害, 1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書, 1994.
- 5) 安田進, 山田桂介: 北海道南西沖地震による長万部町の下水道被害に関する考察, 第30回土質工学研究発表会講演集, pp. 973~974, 1995.
- 6) 安田進, 宮島昌克, 規矩大義: 11. 1 上下水道の被害, 2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書, 地盤工学会2003年十勝沖地震地盤災害調査委員会, p. 111~120, 2004.