

新潟県中越地震災害調査委員会

報告書

平成19年5月

社団法人 **地盤工学会**

新潟県中越地震災害調査委員会

たものを用いた。さらに、アンケート調査から推定された震度から最大速度に変換して、最大速度から推定される標準被害率に補正係数を乗じて件数を算出した。表-13.8は、φ 75mm以下の管路の主な管種が不明であるため、係数を考慮しなかった場合と、ダクタイル管と仮定した場合の数値を考慮した。これによると、小千谷市でも平地での推定値は実際の被害件数の倍半分の範囲に収まっているが、斜面地では地形係数にして4.8倍（多い場合では16.1倍）も高くなるのが分かる。地震動の推定方法や管路被害の評価方法が異なっているにもかかわらず、地形係数という指標で比較した場合、同じ傾向が得られることが分かった。

最後に、本管路被害予測式の液状化の補正係数では、埋立地など大規模な流動が発生する場合に最大4.0の値をとるように設定されている。斜面地の補正係数は、前出の長岡市での斜面の地形係数を参考にして8.1と設定すれば、液状化の補正係数に比べて2.0倍も大きいことになる。本分析は斜面の被害への影響度に関するケーススタディであるが、今後は他の地震や地域でも検討し、管路被害予測の中に斜面地形対応型の補正係数を導入することが重要である。

13.1.5 上水道施設のまとめ

上水道施設の地震被害について、以下にまとめる。

- 上水道施設の被害は、山地斜面の崩壊・道路路面の滑り・沈下・陥没・液状化などの地盤破壊による被害が顕著であった。ポンプ場本体が滑落するなどの被害を受けて、山間地域での水道施設の建設には十分な地震対策を検討すべきである。
- 中山間地の水道の地震対策として、長い管路で集落を連結するのではなく、適宜分散した水源を用いることや、地震時には事業人員が脆弱であるため、近隣の水道事業者との協力体制を構築しておくこと、などの課題が挙げられた。
- 旧山古志村で地すべりによって破断したPE管は、曲管を含む管路に対して斜めに地盤が流動したため、片方では純引張、もう片方では曲げが加わった引張のメカニズムで破断したことがわかった。口径が大きければ、大規模な地すべりにも耐えたと考えられる。
- 平地においては、既往の被害予測式で推定された被害件数と実際被害件数とはよく合っていることが確認できた。また、斜面地形を含む地域では、管路被害予測式で算出された予測値よりも平均して8.1倍程

表-13.9 管路施設の被災概要¹⁷⁾より抜粋して引用)

自治体名	管路延長(km)	被災管路延長(km)	突出マンホール数	路面異常数
新潟県	61.3	0.5	51	130
長岡市	1258	62.9	436	3685
柏崎市	421.5	3.9	12	230
小千谷市	182.8	31.1	400	349
栃尾市	135.1	2.5	9	20
見附市	195	0.2	64	315
越路町	83.7	4.7	93	157
三島町	58.7	1.8	5	16
与板町	56	5.1	88	187
和島町	37.7	6.1	36	114
出雲崎町	39.6	3.1	5	22
小国町	61.3	9.6	158	107
十日町	198.1	2.9	10	110
川口町	43	9.3	24	93
川西町	29.3	2.4	0	1
堀之内町	75.1		37	93
守門村	48.6	4.3	9	178
小出町	88.5		5	19
弥彦村	100.2	0	0	3
津南町	59	1.5	0	20
中之島町	33.3	0	0	19
西山町	25.8	0.3	8	2
その他			3	38
合計	3291.4	152.1	1453	5908

度大きくなるのがわかった。

13.2 下水道の被害

13.2.1 被害の概要

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。管路施設の被災延長は表-13.9に示すように152.1kmに及んだ¹⁷⁾。被災を受けた地域は震央から約30kmの範囲内であった。特に被災延長が長かったのは長岡市と小千谷市であり、長岡市では被災管路延長が62.9kmに及び管路延長に対する被害率は5.0%であった。また、小千谷市では被災管路延長は31.1kmであったが被害率は17.0%に及んだ。川口町では被災管路延長は9.3kmであったものの、被害率は21.7%に及んだ。その他、越路町、与板町、和島村、出雲崎町、小国町、川西町でも被害率が高かった。

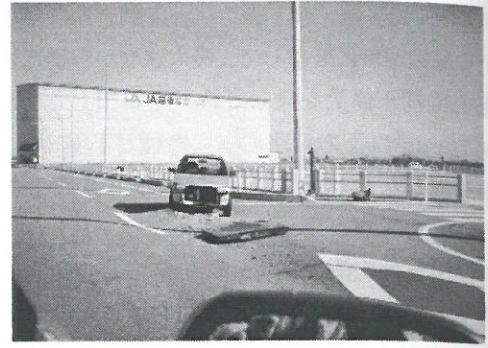


写真-13.7 大きく浮き上がったマンホール (小千谷市)

写真-13.8 突出したマンホールに衝突した自動車¹⁷⁾より引用)

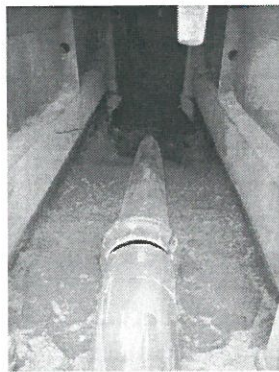


写真-13.9 浮き上がって継ぎ手もはずれた下水道管 (長岡市)



写真-13.10 管路上の路面に生じた陥没 (長岡市)

表-13.10 長岡市の下水道被災状況

	被害状況	被害箇所
管渠	路面異常	3,685
	人孔滞水	1,643
	本管水没	142
	土砂による閉塞	38
	管体、継ぎ目の破損	25
	本管侵入水	3
	合計	5,536
マンホール	鉄蓋、蓋枠のズレ	90
	内壁のズレ、破損	105
	土砂、汚水堆積	67
	管接合部の破損、ズレ	35
	浮上がり	436
	その他	152
	合計	885

下水道施設の被害のうち最も目立ったのはマンホールの突出である。災害査定によると 2719 箇所でもマンホールが被災した。また、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、表-13.9 に示すように 1453 個のマンホールが路面から突出したと報告されている。筆者達がみた範囲では浮上り量の最大は写真-13.7 に示すように約 1.5m であった。さらに、写真-13.8 に示すように突出したマンホールに自動車衝突する事故も発生した。

管渠の被害としては、上述した一次調査によると人孔滞水が 3149 箇所、途中水没が 400 箇所、管閉塞が 348 箇所、本管破損が 268 箇所、本管侵入水が 76 箇所であったと報告されている。写真-13.9 には復旧にあたって掘り起こしが行われた際に直接見られた被災状況を示す。ここでは手前の管路が約 50cm 浮き上がり、継手が破損し、また抜けていた。このように、地表面からは見えないが多数の管渠が浮き上がっていた。

管路上の道路の陥没もひどく、写真-13.10 に示すように多くの箇所でも数 10cm も陥没した。陥没箇所には砂が



図-13.16 長岡市中心部の下水道被害分布（国土地理院の1/25,000土地条件図上に描いたもの^{18),24)}

噴き出している箇所も見られた。上述した一次調査結果によると5908箇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。地震後に通行の注意を促すように、浮き上がったマンホールの上に住民の方々によって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等の被害が発生した。

13.2.2 代表的な地区における被害状況および地盤条件

(1) 長岡市における施設および被害の概要

長岡市の公共下水道では、約5500箇所の管渠、900箇所弱のマンホールが被害を受けた。管渠の被害としては、路面異常、人孔滞水、水没、閉塞、破損、侵入水等が、マンホールでは、鉄蓋のずれ、躯体のズレ、マンホール内への土砂、汚水の堆積、管路との接合部での破損、突出（浮上がり）といった被害が見られた。表-13.10には、国土交通省が調査した被害状況を示す。

また、新潟県が管理する長岡浄化センター、長岡市管理の中央浄化センター（川東地区）、下々条ポンプ場等でも、処理施設の躯体を中心に被害が見られた。

図-13.16には、下水道地震対策技術検討委員会¹⁷⁾によって調べられた長岡市の下水道被害箇所の分布図を示す。JR長岡駅を中心とした自然堤防上にある市街中心地では、ほとんど下水道の被害が見られないが、市街地の東側に位置する氾濫平野やその背後の扇状地の扇端部に多くの被害が集中している。この図は長岡市の中心部の被害状況を示したものであるが、この図から外れる周辺地域においても、多くの下水道施設で被害を受けている。図-13.17には、長岡市による全数調査において、管路被



図-13.17 長岡市全域の管路被害分布（国土地理院の1/25,000地形図上に描いたもの）

害、マンホールの浮上がり被害が見られた地点をプロットしている。ただし、比較的被害が集中している地域のみプロットしており、プロットの大きさと被害の大きさは一致しないことを明記しておく。信濃川に流れ込む支流河川沿いを中心に、段丘低位面に被害が分布している。また、長岡市の南部、西部を中心に、線上に被害域が分布しているように見えるが、農地中心の地域であるため、市街地に沿って管路が敷設されているためである。これらの被害の中には公共下水道だけでなく農業集落排水の管路被害も含まれている。

長岡市中沢地区（悠久町）では、写真-13.11、写真-13.12に示すように、県道9号線沿いの歩道下に敷設された管路が被害を受け、マンホールの浮上がり被害も見られた。管路の埋戻し領域が一様に沈下しており、マンホールの周辺では若干の噴砂らしきものが見られたが、非

常に細粒でシルト質に近い噴出物であった。また、周辺地盤も含めて激しく液状化が生じたような形跡は見当たらなかった。図-13.18には、被害地点の近傍で実施されたボーリング調査によって得られた地盤柱状図を示す。

地下水位はGL-1m程度と非常に高い。表層地盤はN値N=2程度の粘土、シルト質粘土が中心で、液状化が生じるような地盤ではない。それより深い層ではN=50に近い砂礫層が堆積の中心であることから、この地域で自然地盤に液状化が生じたとは考えにくい。従って、他の被害箇所と同様に、埋戻し土の液状化による管路被害や浮上がり被害が生じたものと考えられる。

写真に示した中沢地区では、管路被害が顕著であったが、この地域より西側、栖吉川を超えて長岡駅に向かっては、ほとんど管路被害が見られなかった。この地域で得られた地盤柱状図を図-13.19に示す。全体的な層序は



写真-13.11 悠久町の人孔浮上がり被害



写真-13.12 浮上がった人孔とその周囲

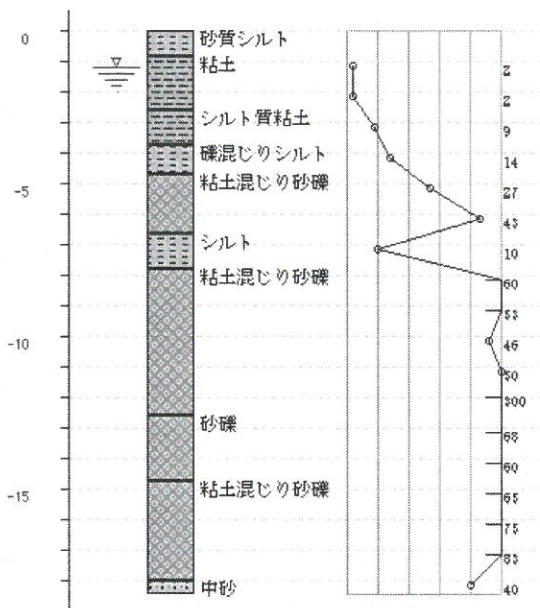


図-13.18 悠久町の地盤柱状図¹⁸⁾

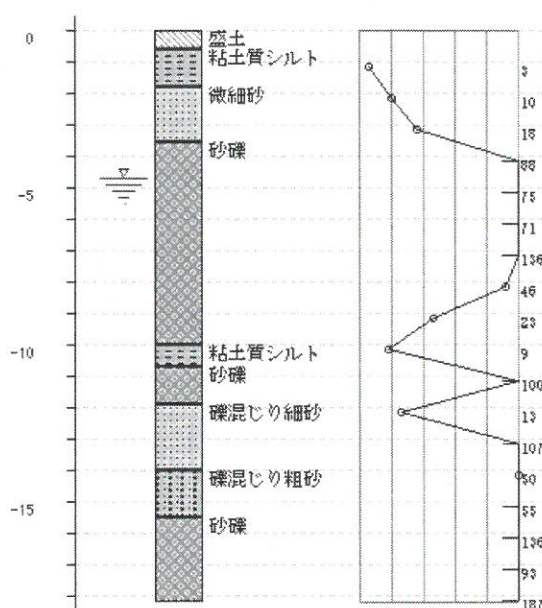


図-13.19 長岡駅周辺の地盤柱状図¹⁸⁾

害域と変わらないが、表層に旧自然堤防を伺わせる細砂層が堆積しており、その下層は河床堆積物の砂礫層が続いている。地下水位は GL-5m と深く、地下水位以深の地盤の N 値は N=50 を上回っている。敷設深度も地下水位以浅にあると予想され、周辺地盤も埋戻し領域も、いずれも液状化の可能性はほとんどないことが伺える。

写真-13.13 は、長岡市南部の村松町（新幹線車輛が脱線停止した箇所に近い）のマンホールの浮上がり被害の様子である。道路沿いに複数のマンホールにおいて、最大で 1m 程度の浮上が生じており、管路の埋戻し領域も

大きく沈下していた。この地域は、信濃川背後の氾濫平野よりも数 m 高位面で、土地条件図によると扇状地の扇中央から扇端部の上位面に位置している。ただし、この扇状地形の中心部には太田川（濁沢に通じる河川）が流れており、流量も比較的豊富である。そのため地下水位は土地条件や標高から予想されるよりは高いものと考えられる。図-13.20 には付近で得られた地盤柱状図を示すが、地下水位は GL-1m と非常に高い。ただし、表層は N 値 10 未満と緩いものの、砂質シルト層が中心でやはり周辺地盤で明らかな液状化が生じたとは考えにくい。従って、



写真-13.13 長岡市村松地区の人孔被害

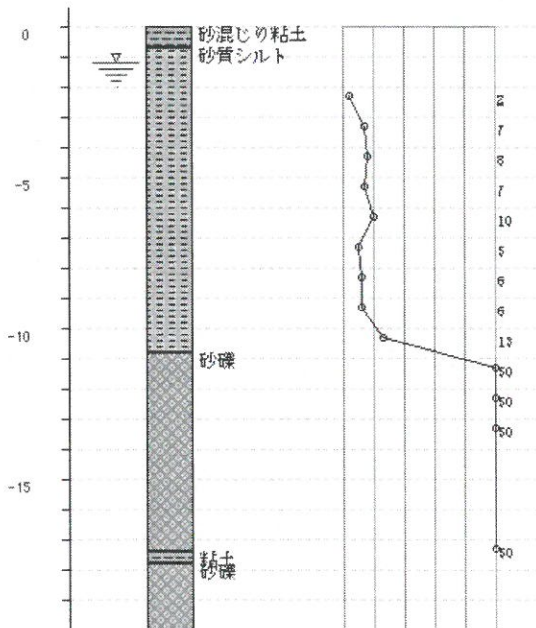


図-13.20 長岡市村松地区の地盤柱状図¹⁸⁾

地下水位によって飽和していた埋戻し土が液状化したことが被害の原因と考えられる。

(2) 小千谷市における施設および被害の概要

小千谷市では 400 箇所の公共下水道のマンホールが浮き上がりや沈下の被害を受けたほか、管渠埋設部の地盤の陥没も多く発生した。小千谷市の下水道課が全数調査を行った資料¹⁸⁾によると、なかでも信濃川左岸側の関越自動車道に沿った若葉町、油新田、桜町、新保、二ノ宮地区（図-13.21 の左上部）に被害が集中している。この地域は信濃川の左岸の河岸段丘に位置するが、地質図¹⁹⁾と照合すると未固結の礫・砂およびシルトからなる完新世の T9 段丘堆積物が堆積した地域である。また、図-13.22 のなかにラインで囲った地域は、かつて、その



図-13.22 小千谷市若葉付近でマンホールの浮上が見られた区域と段丘に樹脂状にはいつている低地（文献¹⁸⁾をもとに描いたもの）、およびボーリング位置（基図は国土地理院の 1/25,000 地形図による）

段丘を樹枝状に削り取った低地が形成され、そこに氾濫原堆積物が堆積したことが示されている。この旧低地に沿って信濃川に流入する幾つかの支流河川が流れている。この樹枝状の旧低地をはずれた上ノ山地区や城内地区や信濃川の現河道に近い地域では、ほとんど被害が見られないが、これらの地域は旧地形では氾濫地よりも高く、信濃川の段丘崖にも近いため、地下水位が深かったものと思われる。一方、被害の大きかった若葉地区や桜町地区も氾濫地からは多少外れるが、現地形では背後に扇状地を控えており伏流水が湧出する小河川の起点部に位置する。従って地下水位が非常に高いものと思われる。また、この地域を含め、大きな被害が生じた地域は土地改良事業で整備された新田の隣接地域で、そこを新たに造成した住宅地に下水道被害が集中していた。図-13.23 には、文献²¹⁾ から引用した関越道に沿った被害地点近傍のボーリング資料を示す。それによると地表から粘土層、礫混じりシルト質粘土層が GL-3.7m まで続き、その下部は腐植土層が堆積している。従って、下水管渠やマンホールが埋設深度より上部では液状化の可能性のある砂層はほとんど見られない。ただし、表層の粘性土、腐植土層の N 値は非常に小さい。また、前述したように地下水位は非

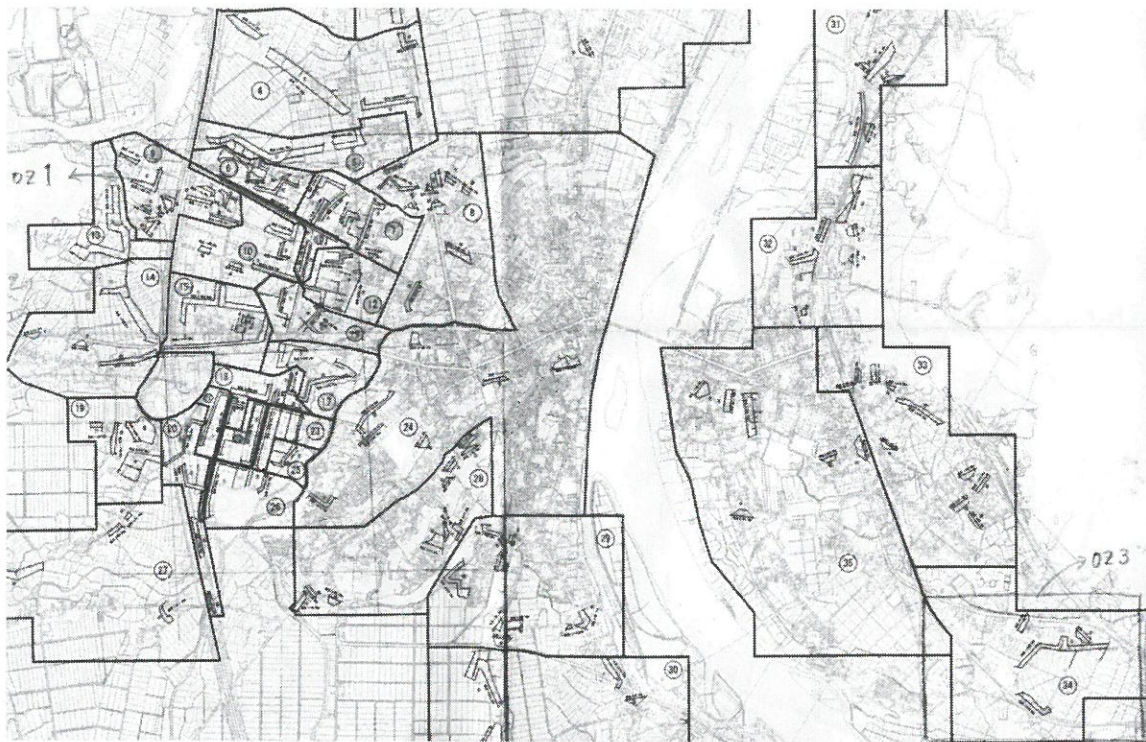


図-13.21 小千谷市における下水道被害箇所（小千谷市の調査2）による

常に高いと予想されるので、この地域のマンホールの浮き上がり被害は、埋戻し部の液状化によるものと推察される。図-13.24には、この地域で用いられている埋戻し土の工場出荷時の粒度試験結果を、信濃川下流部の自然地盤で見られた噴砂の粒度試験結果と合わせて示す。埋戻し土は砂分が44.1%、細粒分をほとんど含まない砂礫であるが、均等係数は $U_c=6.16$ と比較的貧配合で、道路橋示方書等では液状化判定の対象となる材料であった。

一方、信濃川右岸側は現河道まで山地が迫った比高の大きな地域であるが、上流部の旧河道上と思われる低地では管路やマンホールの浮き上がり被害が見られた。ただし、ここでも新しく造成された小規模宅地での被害が顕著であった。

図-13.25は、道路沿いのマンホールの浮き上がり被害が顕著であった若葉町2丁目の数ブロックを対象に浮き上がり量を実測した結果である。凡例に示したように一般にマンホールが浮き上がるとその周囲の地盤は逆に沈下する、そこでマンホールの突出量(h)から、周囲の地盤の沈下量(S)を差し引いた値(H)を浮き上がり量と規定した。若葉町1丁目の交差点から小千谷インターのガイドウェイに向けての道路沿いで、写真-13.14に示したように、最大106cmの浮き上がりが生じていた。下水道の敷設図によると、ここは南北の住宅地および工業団地の排水が流入する比較的大きな管路で埋設深度も深い。それ

より南側のマンホールでは概ね20cm~50cmの浮き上がり量である。また、マンホール近傍の地盤の沈下量は最大で40cm程度、概ね20~30cm程度のものが多かったが、周辺地盤の沈下量の大きなものほど浮き上がり量も大きい傾向を示している。これは、マンホールの浮上がりは単に埋戻し土の液状化による揚圧力と比重の差のみで生じているのではなく、マンホール本体の周辺の埋戻し土がマンホールの外周底部に廻り込んでさらに浮上がりを促進させているものと考えれば理解できる。

なお、マンホール周囲には地震時に噴出したと思われる噴出物があつたが、図-13.24にある埋戻し土の粒度よりは細粒の土が噴出していた。また、浮上がり被害が生じた地区では、管路沿い直近の電柱等が傾いた事例は見られたが、周辺の一般地盤で液状化が発生したような噴砂跡は見あたらなかった。一方、浮上がり被害ではなく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。従って、この地区の浮上がりの主な原因は、2003年十勝沖地震などと同様、地下水位の高い軟弱地盤中に埋設されたマンホールの埋戻し土が液状化したことによると考えられる。

図-13.26には国道291号線に沿った桜町の下水道枝線の管路のカメラ調査と人孔の管底高の測量による変状調査の結果¹⁸⁾を示す。約680mの調査対象区間では、32箇所のマンホール（塩ビ製マンホールは除く）があつた

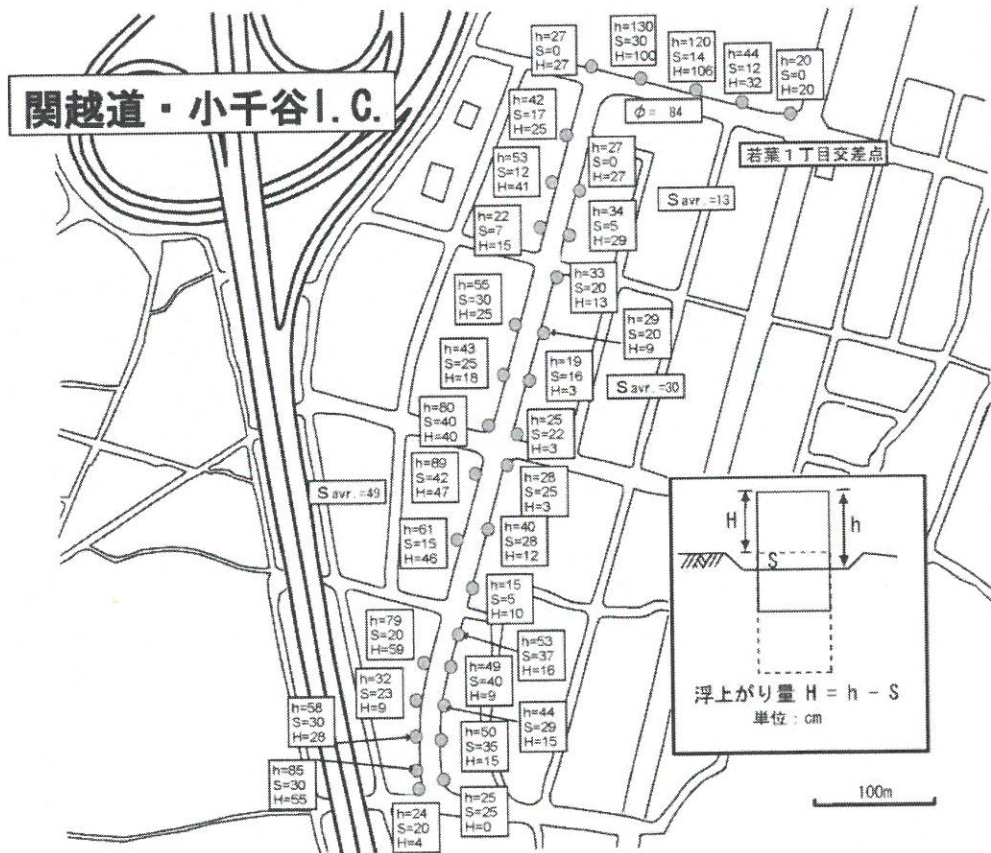


図-13.25 小千谷市若葉町付近の人孔浮上がり被害箇所²⁰⁾



写真-13.14 若葉町の突出したマンホール



写真-13.15 桜町の被害の様子

が、ほぼ全てのマンホールで浮上がりが確認され、最大では113cmの浮上がり量に達していた。また、カメラ調査で得られた管路の蛇行も顕著で、マンホールの浮上がりとともに、管路自体が90cm以上浮上している箇所もあった
写真-13.15は現地の被害状況を撮影したものであるが、非常に大きな浮上がりや管路の蛇行被害が生じているものの、やはり埋戻し上部でしか噴砂は確認することができなかった。**図-13.27**には直近で実施したボーリング調

査で得られた柱状図を示す。表層はN値5以下のシルト層と腐植土層で構成されており地下水位もGL-1.2mと非常に高いが、周辺で液状化が生じるような地盤ではない。また、5m以深ではN値の高い砂礫層が存在しており、地下水位が高く埋戻し領域が十分に飽和されているところに、表層地盤が軟弱なため大きな振動が加わり、埋戻し土の液状化によって管路被害が生じたことが伺える事例である。

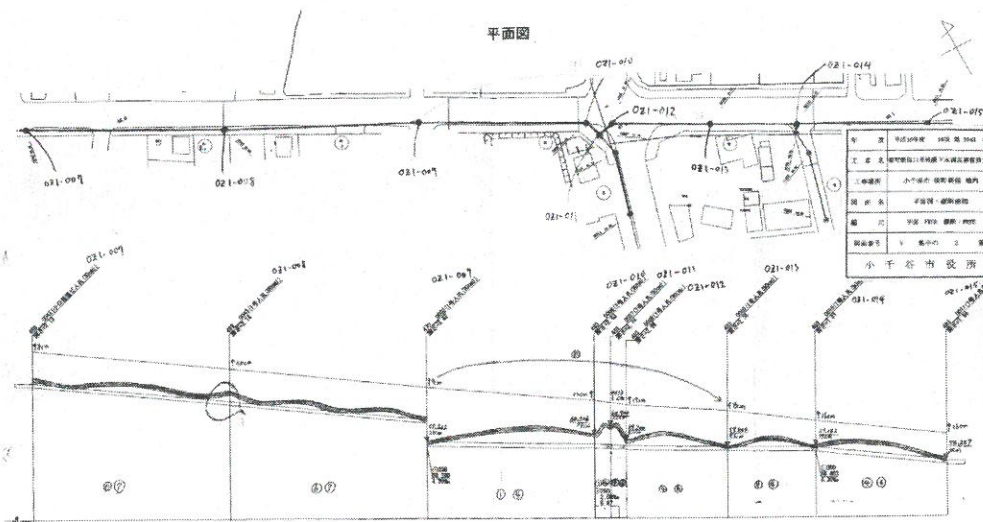


図-13.26 桜町の国道 291 号に沿った下水道枝線の管路カメラ調査と人孔の管底高の変状調査結果 2)

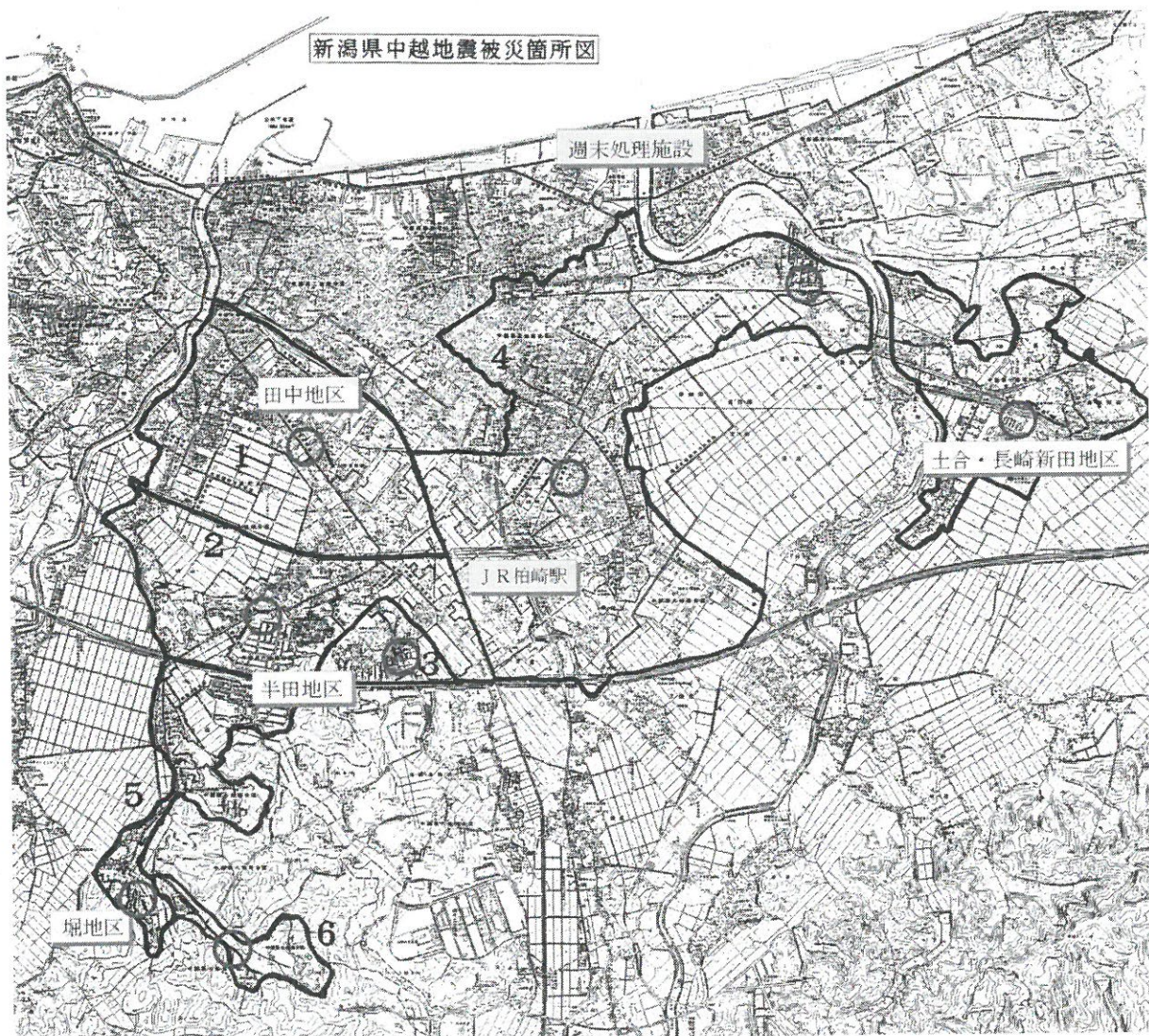


図-13.28 柏崎市中心部と被害地域²²⁾

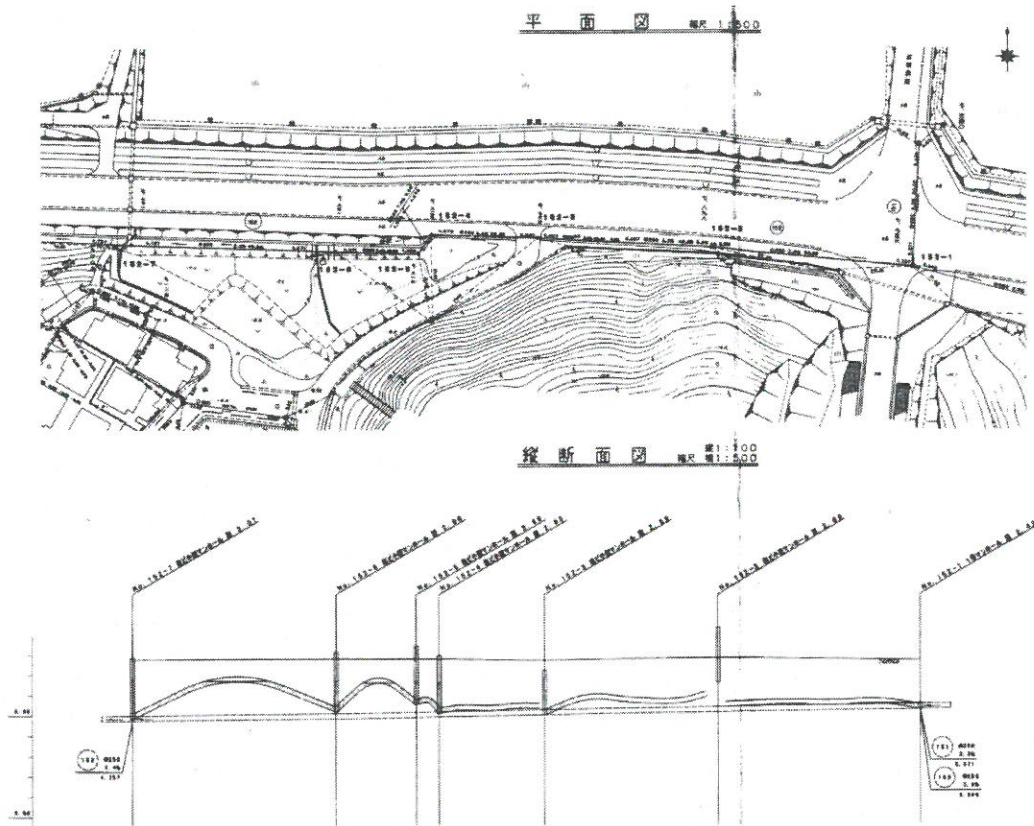


図-13.29 管路の蛇行と人孔の調査結果²²⁾ (堀地区)

標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色相対調度	相対稠度	相対稠度	記 事	孔内水位 (m) / 測定月日	標準貫入試験		N 値	
											10cm 以上の打撃回数	打撃回数 / 貫入量 (cm)		
										6.00				
1	6.00	0.70	0.70		粘土・砂岩片混じり粘土	褐色			褐色の泥岩小片をまじる。	1.00	モンケン自効	45		
2					腐植物混じり粘土	青灰			含水多く、非常に軟質。粘性大きい。深度2.6~2.8mは暗褐色を帯び、下位層へ漸移する。	1.45	モンケン自効	45		
3	3.98	2.10	2.80		腐植土	暗褐色			未分解質。非常にせんい質で硬い。	2.45	モンケン自効	45		
4					腐植土	暗褐色				3.43	モンケン自効	45		
5	1.38	2.60	5.40		腐植物混じり粘土	暗灰と青灰			含水多く、非常に軟質。粘性大きい。	4.00	モンケン自効	45		
6	0.08	1.30	6.70		腐植物混じり粘土	暗灰と青灰			含水多く、非常に軟質。粘性大きい。	4.45	モンケン自効	45		
7	-0.32	0.40	7.10		細砂	緑灰			砂岩片・粗砂を混入する。	5.00	モンケン自効	45		
8					砂質シルト	暗灰			不均質。含水中程度。半固結状シルトで硬い。細砂と炭化物を少量混入する。	5.45	モンケン自効	45		
9	-2.72	2.40	9.50		シルト質粘土	暗灰			均質なシルト質粘土。上位層より固結度低い。	6.00	モンケン自効	45		
10	-3.67	0.98	10.48		シルト質粘土	暗灰				6.45	モンケン自効	45		
										7.15	2	3	8	
										7.45	12	10	9	31
										8.15	11	9	6	26
										8.45	11	9	6	26
										9.15	5	5	4	14
										9.45	7	13	8	30
										10.15				
										10.48				

図-13.30 ボーリング調査結果²²⁾ (堀地区)



写真-13.16 人孔の浮上がり被害 (掘地区)²²⁾



写真-13.17 埋戻し部の沈下 (田中地区)²²⁾

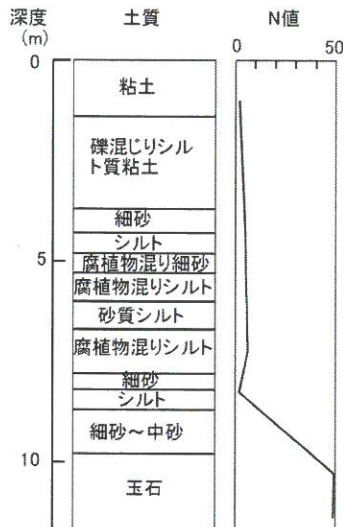


図-13.23 被害地近傍の土質調査結果²¹⁾

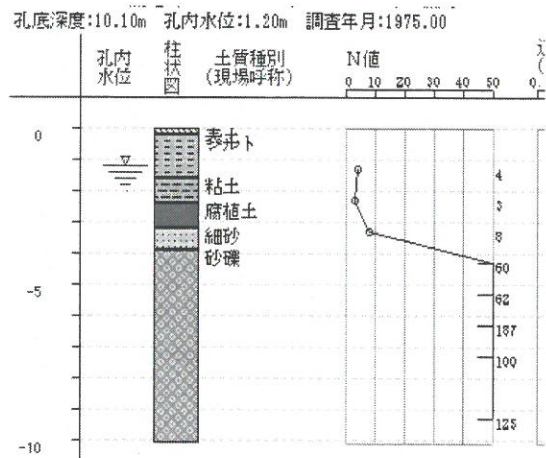


図-13.27 桜町の被害箇所直近における地盤調査結果

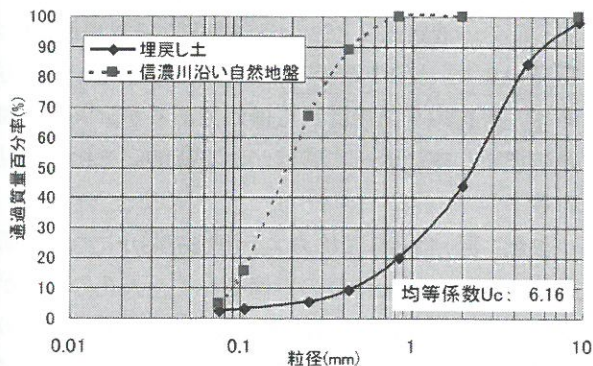


図-13.24 埋戻し土の粒径加積曲線

(3) 柏崎市における施設および被害の概要

柏崎市の公共下水道は昭和 48 年度から工事着手され、下水道法による事業認可面積は 2,212ha である。平成 17 年 5 月に合併した西山町でも 95.2ha の計画面積の整備が進められており、汚水幹線、汚水支線を合わせた管路延長は約 380km、約 12,000 弱の人孔と約 25,000 の樹が設置されている。流域内の汚水は、4つのポンプ施設を介して、柏崎自然環境浄化センター(終末処理場)に導かれている。一方、農業集落排水事業においても約 1,500ha の計画面積で整備が進められていた。今回の地震では、公共下水道、農業集落排水、合併処理浄化槽のいずれの区域でも管路被害が見られた。

柏崎市が実施報告した公共下水道の一次被害状況調査では、約 200 箇所の管渠で路面異常が生じたが、本管の閉塞や破損に至ったものは比較的少数であった。一方、人孔の浮上がり(沈下)被害は 12ヶ所であった。終末処理場の被害は、消化槽に漏洩が見られた程度で比較的軽微

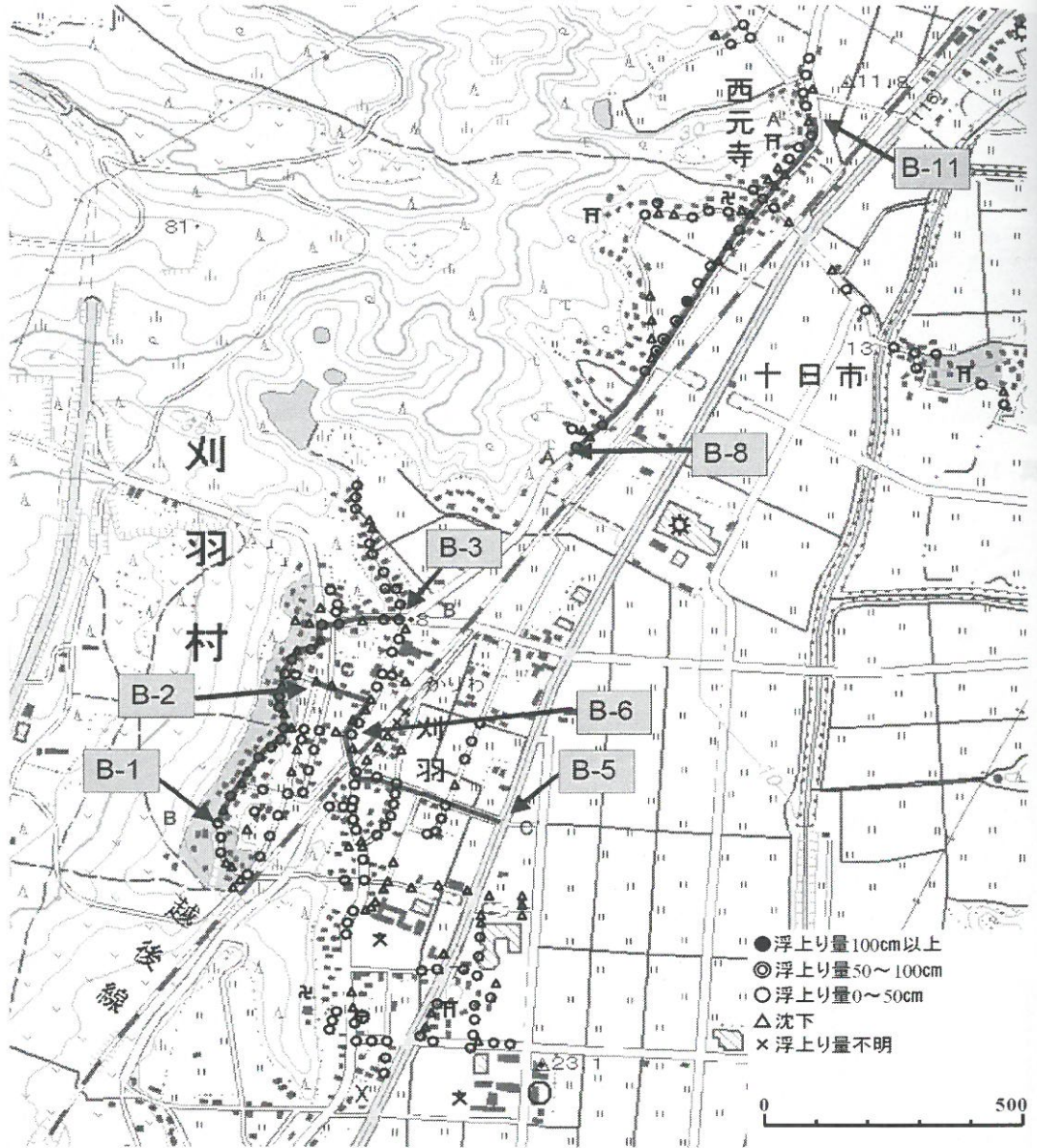


図-13.31 刈羽中央地区のマンホール浮上り量の分布と断面位置（国土地理院の1/25,000地形図上に描いたもの）

であった。

図-13.28には柏崎市内の公共下水道のうち大きな被害を受けた地域を示す。柏崎市中心部は、西側の鶴川と東側の鯖石川に囲まれた氾濫平野とその北側（海岸部）の砂丘堆積物によって構成されている。被害を受けた地域はいずれも、軟弱地盤が堆積していると予想される河川沿いの地域と新田開発によって拓かれた地域であった。一方、砂丘性堆積物で構成されていると予想される市の北部（海岸部）では、人孔、管渠ともに目立った被害は生じていない。写真-13.16には管路の蛇行と人孔の浮上がり被害が生じた堀地区における人孔の浮上がりの様子を示す。歩道部に敷設された管路の埋戻し領域で路面が波打ち、人孔が突出している様子が伺える。道路部ならびに

周辺地盤に液状化の痕跡は見られなかったことから、埋戻し部分の液状化にともなう典型的な被害事例といえる。写真-13.17は田中地区における被害状況を示した写真である。人孔の突出量はごく僅かであるが、人孔周囲、管路の埋戻し部に沿って路盤が沈下している様子が見取れる。

また、図-13.29にはカメラ調査で明らかになった管路の蛇行と人孔の浮上がりの事例を示す。人孔の浮上がり量は、塩ビ小型マンホールでは1m近く突出したものもあるが、通常のコンクリート製マンホールでは、他の区間も含めて10~20cm程度の浮上がり量であった。図-13.30には被害地点近傍で管路敷設時に実施されたボーリング調査の結果を示す。これによると地表面から7m程度の

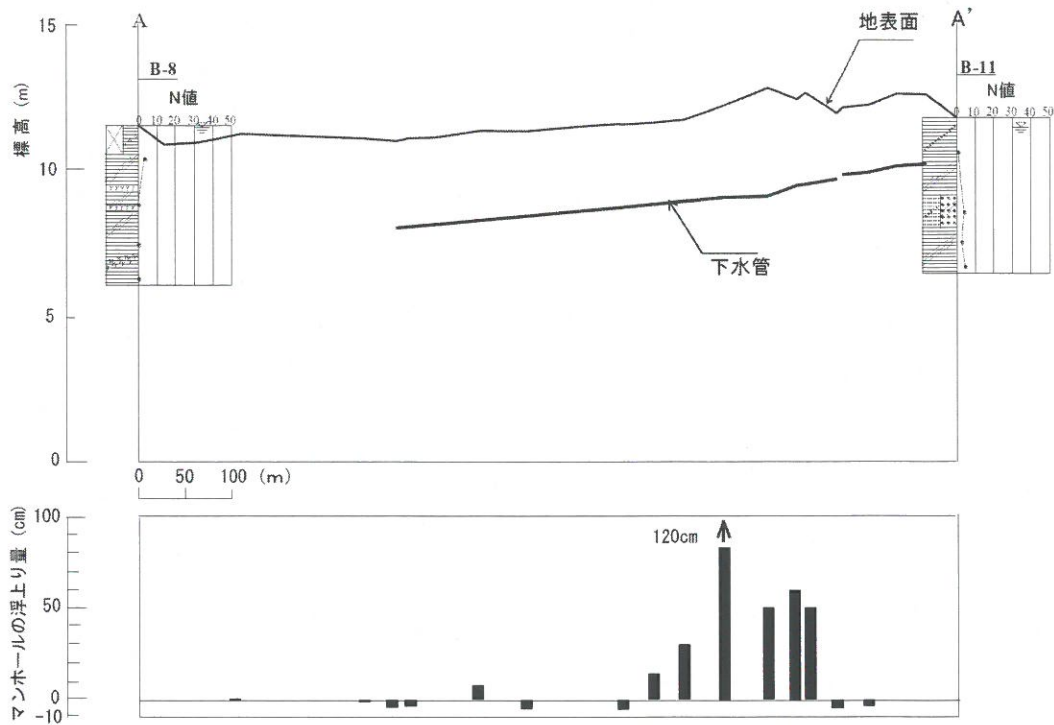


図-13.32 A-A'線に沿った断面における土質柱状図とマンホール浮上り量の分布（土質柱状図とマンホールの浮上り量は刈羽村役場提供²³⁾による）

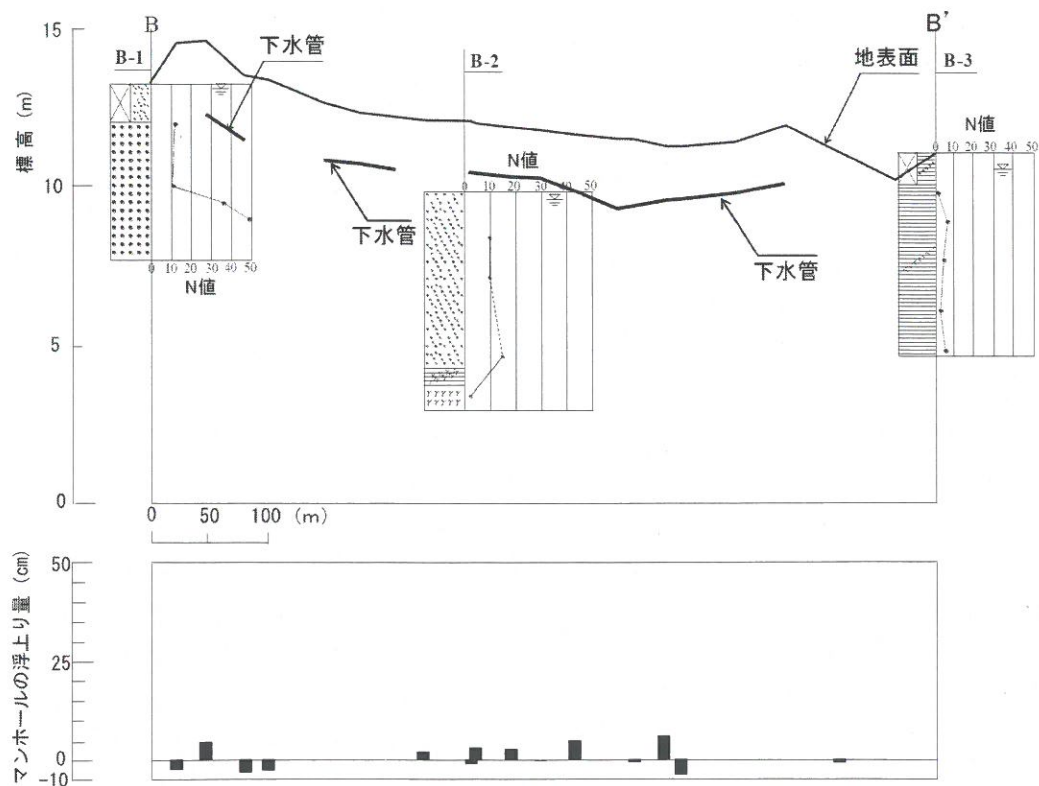


図-13.33 A-A'線に沿った断面における土質柱状図とマンホール浮上り量の分布（土質柱状図とマンホールの浮上り量は刈羽村役場提供²³⁾による）

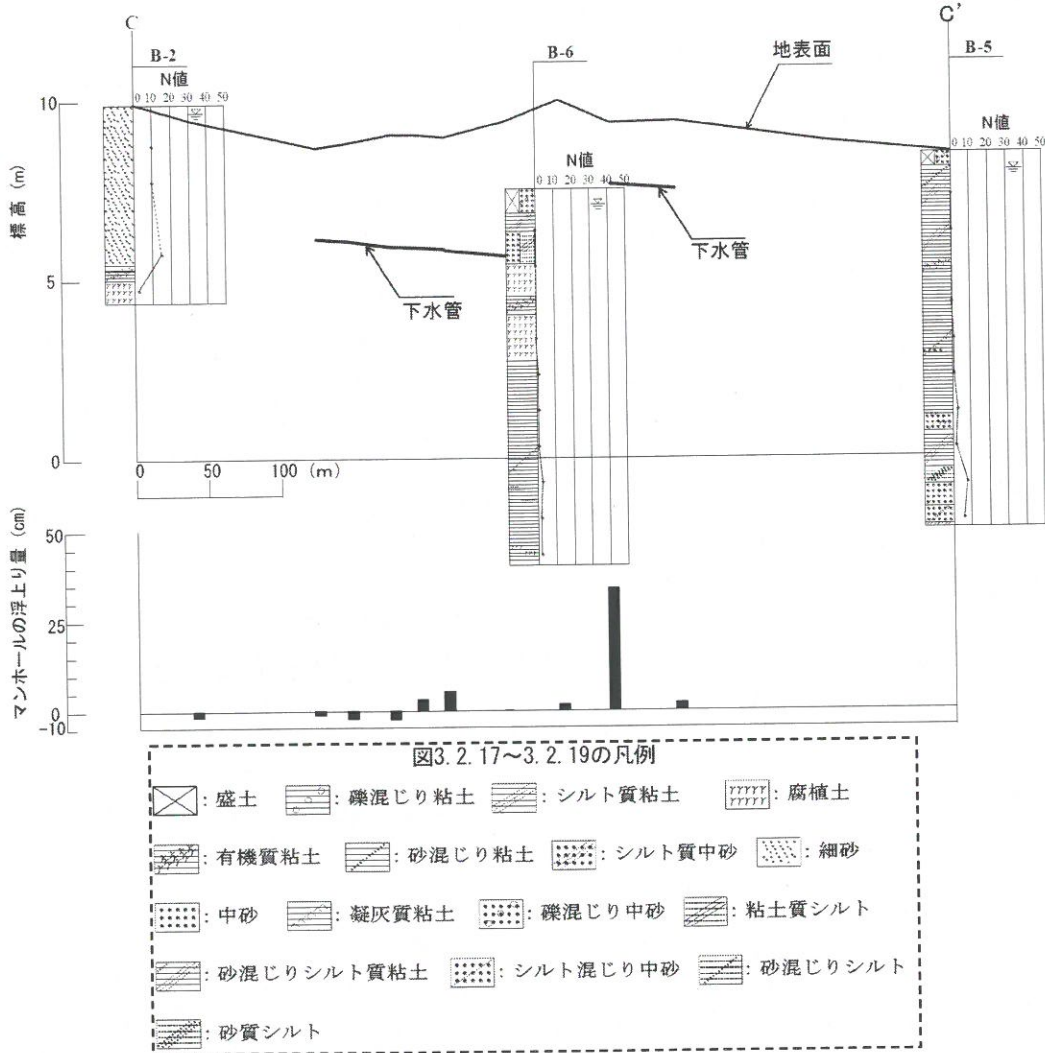


図-13.34 C-C'線に沿った断面における土質柱状図とマンホール浮上り量の分布（土質柱状図とマンホールの浮上り量は刈羽村役場提供²³⁾による）

深度まで、腐植土および腐植土混じり粘土が堆積しており、標準貫入試験でN値はゼロと極めて軟弱な地盤であることがわかる。7m以深ではN値20程度或いはそれ以上の洪積砂が堆積しており、この層で液状化が生じた可能性はほとんどない。従って、管路や人孔の浮上りは、埋戻し部の液状化によって生じており、かつ周辺地盤では液状化は生じていなかったことは明かである。

今回被害を受けた堀地区をはじめ、田中地区、半田地区のいずれの地区でも、表層地盤は腐植土あるいはシルト質粘土であった。

一方、被害がほとんど見られなかった市街地北部は、柏崎層の上部に新規砂丘層が堆積した地盤で、N値10~15の均質な砂地盤である。ただし、地下水位がGL-3m以深と深いこともあって、地表面に変状は見られなかった。深度によっては当然液状化が生じた地域もあったと考え

られるが、管路の蛇行や人孔の浮上がりに結びつくことはなかったようである。

(4) 刈羽村における施設および被害の概要

新潟県刈羽郡刈羽村は柏崎市の北に位置する。柏崎平野の北部域を占め、中央部に別山川が流れ、それとほぼ平行にJR越後線と国道116号が通っている。西側の日本海に沿って砂丘が発達している。新潟県中越地震の際には砂丘と平野の境の緩やかな斜面で液状化が発生し、家屋等が被害を受けた。越後線刈羽駅も液状化により沈下したが、さらにその西の砂丘際に位置する稲場地区の被害が甚大であった。この地区では液状化とそれに伴う地盤の流動が発生し、宅地および家屋が甚大な被害を受けた。ここは砂丘末端斜面に位置し湧水もあり地下水位も浅い。

下水道施設も他の地域と同様に、マンホールの突出や

管路の破損などの被害を多く受けた。刈羽村のうち、刈羽駅や稲場地区を含む中央地区におけるマンホールの浮上り量²³⁾の分布図を図-13.31に示す。数cmほど浮き上がったマンホールが多数あり、さらに50cm以上浮き上がったものもこの図面の範囲内で4箇所ほどあった。これらは西元寺地区の一部に集中していた。

地盤条件と浮上り量の関係を調べるためにA-A'、B-B'、C-C'線に沿った断面をとって、土質柱状図とマンホールの浮上り量の関係を示したのが図-13.32～図-13.34である。まず砂丘際からJR越後線を横切って平野に向かうC-C'線に沿った断面によると、砂丘末端斜面に位置する稲場地区のB-2地点では、表層に約5mの厚さで砂丘成の砂層が堆積している。N値は10程度と緩い砂層であり、地下水位はGL-25cmと浅いため、この砂層が液状化したと考えられる。この砂層の下部には軟弱な腐植土層が堆積している。これに対し、国道116号付近のB-5地点では地表面付近から軟弱な粘性土が厚く堆積している。地下水位もGL-52cmと浅い。これらの中間に位置するB-6でも軟弱な粘性土と腐植土の互層が厚く堆積していてやはり地下水位はGL-45cmと浅い。マンホールの浮上り量の分布を見てみると原地盤で液状化したB-2付近ではほとんど浮き上がっていないのに対し、軟弱な粘性土や腐植土が堆積しているB-6付近では約30cm浮き上がっていた。

次に、砂丘末端斜面で液状化による家屋被害が多く発生した稲場地区を通るB-B'断面を見てみると、斜面に沿ったB-1、B-2地点付近にかけて砂丘成の砂層が数mの厚さで堆積している。前述したようにこの層が液状化したと考えられるが、マンホールの浮上り量は10cm以下と小さかった。なお、B-3地点は平野に下りているため、表層には粘性土層が堆積している。

さて、浮上り量が最も大きかったA-A'線に沿った断面では、断面の両端にしか地盤調査が行われていない。それらの地点では粘性土が表層に堆積している。地下水位もB-8、B-11でそれぞれGL-5cm、GL-40cmと大変浅い。中央部では地盤調査が行われていないものの、この付近は図-13.31で分かるように平野がはいるこんでおり、両側に比べてさらに軟弱な粘性土が表層に堆積していたものと推測される。この中央部では1箇所でもマンホールが1.2m程度浮上り、さらに3箇所でも50cm程度浮き上がった。なお、最大の浮上り量となった地点では地震後すぐに応急復旧にかかったため浮上り量の実測は行われていなく、目測による値である。

以上のように、刈羽村の中央地区では、原地盤で液状化が発生した地点よりは、原地盤で液状化が発生しなかった軟弱粘性土地盤の地点の方がマンホールは大きく浮き上がった。

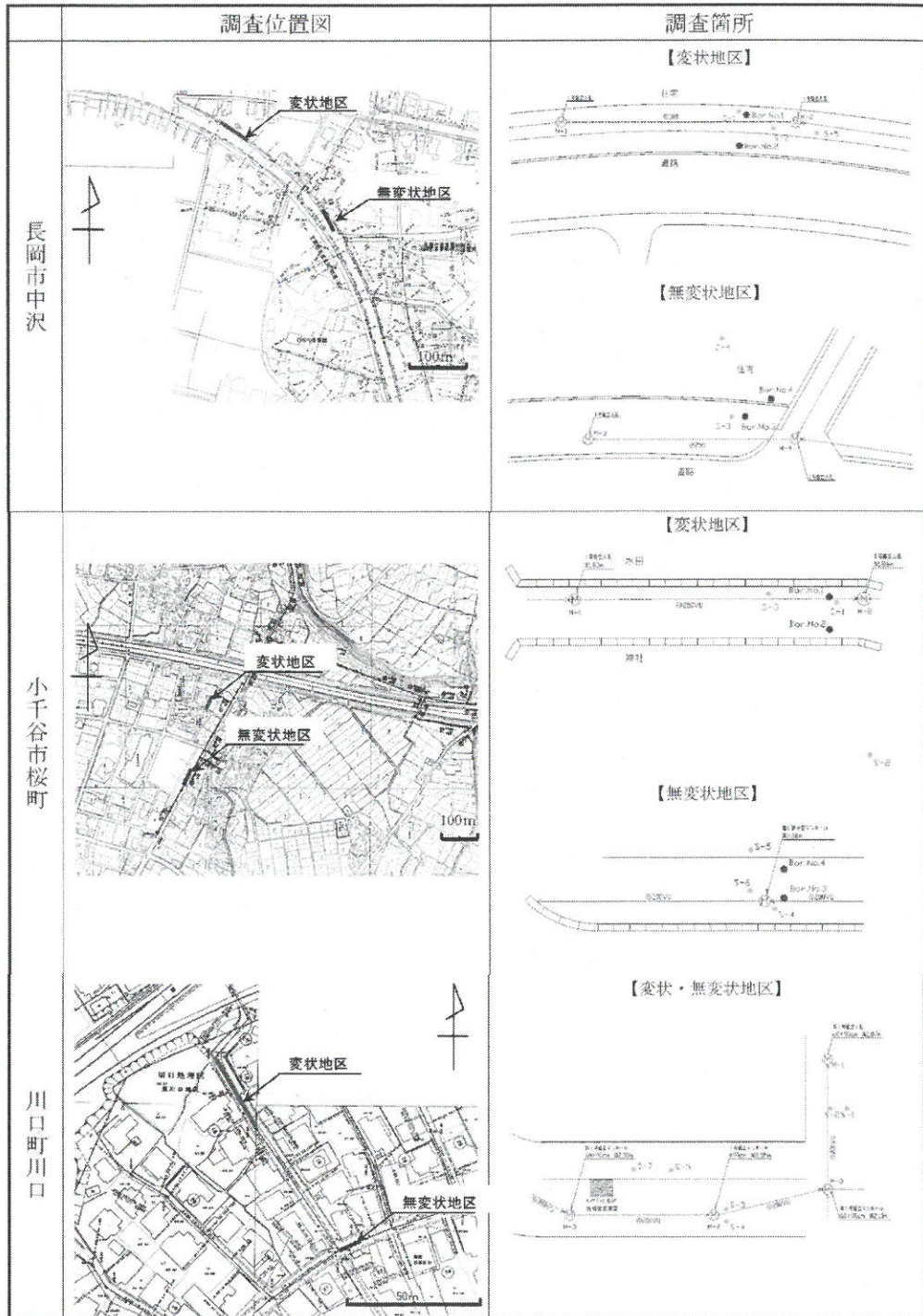
13.2.3 被害に与えた要因の検討

2004年新潟県中越地震では、下水道管路やマンホールの浮上がり、路面沈下等の被害が多発した。今回の地震による管路施設の被害の主な要因は埋戻し部の液状化であり、その発生には周辺地盤の条件、施工条件等が影響していると考えられているが、その被災メカニズムについては明らかになっていない。そこで、今回の地震による下水道施設の被災原因を明らかにし、今回の地震で被災した下水道管路の復旧に関する技術的提言および今後の下水道施設の耐震対策についての提言をまとめることを目的に、国土交通省により「下水道地震対策技術検討委員会」が設置された。この委員会では新潟県中越地震による下水道施設の変状・無変状地区における詳細な調査、および被害発生箇所の特徴に関する統計分析を行っている。ここでは委員会報告書¹⁷⁾の内容を中心に、下水道管路施設の被害に及ぼす要因について検討された結果を紹介する。

(1) 被災原因に関する地盤調査結果

前述の委員会では長岡市、小千谷市および川口町の被害・無被害箇所において地盤調査を実施している。調査地点は、長岡市中沢、小千谷市桜町及び川口町川口地区である。図-13.35に調査位置と管路の被災状況を示す。主要な調査結果は表-13.11に示すとおりである。これからわかるように、変状地区の埋戻し部の締固め度は71～81%と非常に緩く、地下水位もGL-0.65～-1.1mと浅かった。また、管路埋設深さまでの地山部の平均N値は0～5程度であり、土質は軟弱な粘性土～シルトであった。長岡市の無変状地区での地下水位は管理設深度よりも深かった。小千谷市では無変状地区といえども管路に蛇行等の変状が生じていることから、埋戻し土は液状化した可能性が高い。川口町の無変状地区では変状地区よりも地下水位が高かった。図-13.35に長岡市の変状箇所、無変状箇所において採取された埋戻し土の粒度分布を示す。変状地区の埋戻し土は比較的粒径が揃った液状化が生じやすい粒度分布であった。一方、無変状地区の埋戻し土は円礫を多く含む砂質礫であった。これらより、被害地区の地盤条件として以下の特徴があることがわかった。

- 1) 埋戻し土が液状化の生じやすい粒度分布である。



※S 記号はスウェーデン式サウンディング試験、Bor はボーリング調査の位置を示す

図-13.35 地盤調査位置図¹⁷⁾

表-13.11 代表的な地点において行われた地盤調査結果 (文献1からまとめたもの)

	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	シルト混じり砂, 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	細粒分混り礫質土	細粒分混り礫質土	細粒分混り礫質土	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	—
	N値	11~14	—	—	—	—	—
	締固め度	—	—	74%	78~82%	81%	—
	相対密度	38~41%	—	—	—	—	—
被害状況		マンホールの浮き上がり40cm程度, 路面陥没30cm程度	マンホール, 路面とも無変状	マンホールの浮き上がり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	マンホールの浮き上がり24cm程度, 路面陥没23cm程度	マンホール, 路面とも無変状

- 2) 埋戻し部の締固め度が低い
- 3) 埋戻し部内の地下水位が高い
- 4) 周辺の地山は軟弱な地盤である

(2) 周辺地盤条件と被害の関係

長岡市, 小千谷市をモデル地区として図-13.37 に示す 250m × 250m メッシュ毎にデータを整理し, メッシュ内の平均値を用いて下水道管路施設の被害に及ぼす要因について分析されている。地下水位の要因に対しては, 図-13.37 に示した検討対象メッシュのうち, 既存のボーリングデータのあるメッシュを対象に, 周辺地盤の区分毎の地下水位とメッシュ内の被害率の関係が整理されている。図-13.38 および図-13.39 に周辺地盤が砂質土である場合および粘性土である場合の地下水位と被災率の関係をそれぞれ示す。なお, ここでは, 砂質土地盤の周辺地盤の N 値が 15 未満の場合を液状化地盤, N 値 15 以上の場合を非液状化地盤としている。これより, 地下水位が高い箇所では被害率が高く, また, 周辺地盤が液状化地盤である場合あるいは粘性土地盤である場合に被害率が高くなっている。

また, 下水道管路施設に被害が生じた箇所のうち, 地盤柱状図, 下水道管路の被害が整備されているものを対象として, 下水道管路の浮き上がり量と, 地下水位, 周辺地盤 N 値, 周辺地盤土質等との関係を検討されている²⁴⁾。分析に用いたデータは長岡市, 十日町市, 魚沼市, 小国町,

中之島町, 与板町, 和島村, 出雲崎町の被害・無被害箇所のデータである。管路の浮き上がり量と周辺地盤の地下水位から管渠埋設深さまでの平均 N 値, 地下水位, 埋設深さ (土被り厚) の関係を図-13.40 に示す。これらの図より以下のことがいえる。

- 1) 周辺地盤が礫質土の場合には周辺地盤の N 値, 地下水位, 土被りの大きさにかかわらず, ほとんど浮き上がり被害は生じていない。
- 2) 周辺地盤が粘性土地盤では周辺地盤の平均 N 値が 7 以下で浮き上がりが生じており, N 値 3 以下で浮き上がり量が大きくなる傾向がある。また, 砂質土地盤でも平均 N 値が小さいほど浮き上がり量が大きくなる傾向がある。
- 3) 地下水位が G.L.-2m 以深では, 浮き上がり量が小さい傾向がある。
- 4) 土被りが 2m 以下では浮き上がり量は小さく, 土被り 2m 以上で浮き上がり量が大きくなる傾向がある。

(3) 敷設年度と被害の関係

図-13.41, 図-13.42 に長岡市長倉地区および小千谷市中心部における, 管渠の平均敷設年度と被害率の関係を示す。ここで, 平均敷設年度は検討対象としたメッシュ内の管渠の敷設年度を延長により加重平均したものである。これらから, 敷設年度が新しい箇所において被害率が高い傾向にあることがわかる。また, 図-13.43, 図-13.44

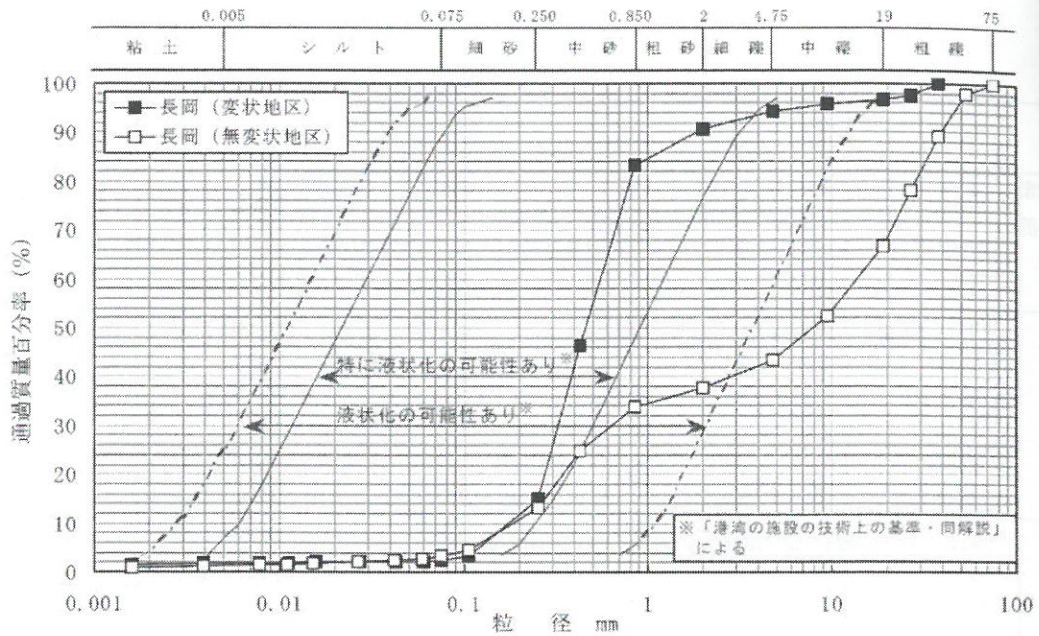


図-13.36 埋戻し土の粒度分布 (長岡市)¹⁷⁾

に平均敷設年度と被害率の分布図を示す。これらより、長岡市では 1985 年以前に敷設された箇所、小千谷市では 1990 年以前に敷設された箇所と無被害箇所がほぼ一致する傾向があることがわかる。特に埋戻し土の液状化が原因と考えられる路面陥没において、その傾向が顕著である。

以上より、管渠では平均敷設年度が古い箇所において、被害が少ない傾向があるといえる。これは埋戻し土のエイジング効果によって埋戻し土の液状化抵抗が高まり被害が少なくなったことが一つの原因と考えられる。ただし、近年宅地化が進んだ箇所には、地下水位が浅く軟弱な地盤の箇所が多い傾向にあることも影響している可能性もある。

(4) 敷設位置と被害の関係

歩道部と車道部における被害率の相違が検討されている。図-13.45 に長岡市長倉地区における歩道部と車道部における被害率を示す。検討範囲においては車道部よりも歩道部において被害率が高い傾向がある。車道部と比較して歩道部では時間の経過による埋戻し土の締めめの進行程度が低いことが歩道部の被害率が高くなる原因の一つと考えられる。

(5) 微地形区分と被害の関係

長岡市および小千谷市における被災路線を対象に管路施設の被害と微地形区分の関係が検討されている²⁴⁾。図-13.46、図-13.47 に長岡市および小千谷市における

被害路線を土地条件図上にプロットした図を示す。図中には下水道処理区域も併記している。長岡市の場合には、自然堤防上にある市街地周辺ではほとんど被害が生じていないが、その周辺の氾濫平野や緩扇状地上で被害が多く生じていることが分かる。

小千谷市の事例では、氾濫平野や台地・段丘低位面での被害が多い。前述したように、長岡市、小千谷市における下水道管路施設の被害は、主に埋戻し土の液状化による浮上がりであるが、文献²⁵⁾に示されている液状化の可能性の高い微地形区分と比較すると、液状化の可能性の低い氾濫平野や台地・段丘、緩扇状地上等の地形においても多数の被害が生じていることが分かる。これらの地形においては、比較的地下水位が高く軟弱な粘性土地盤であることが多いため埋戻し土の液状化の可能性が高い微地形区分であるといえる。

13.2.4 復旧方法

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様々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 回委員会での検討結果をもとに「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。ここでは、“マンホールの浮上がりや地盤沈下が発生した箇所”で調査したところ、粘性土等による透水性の悪い原地

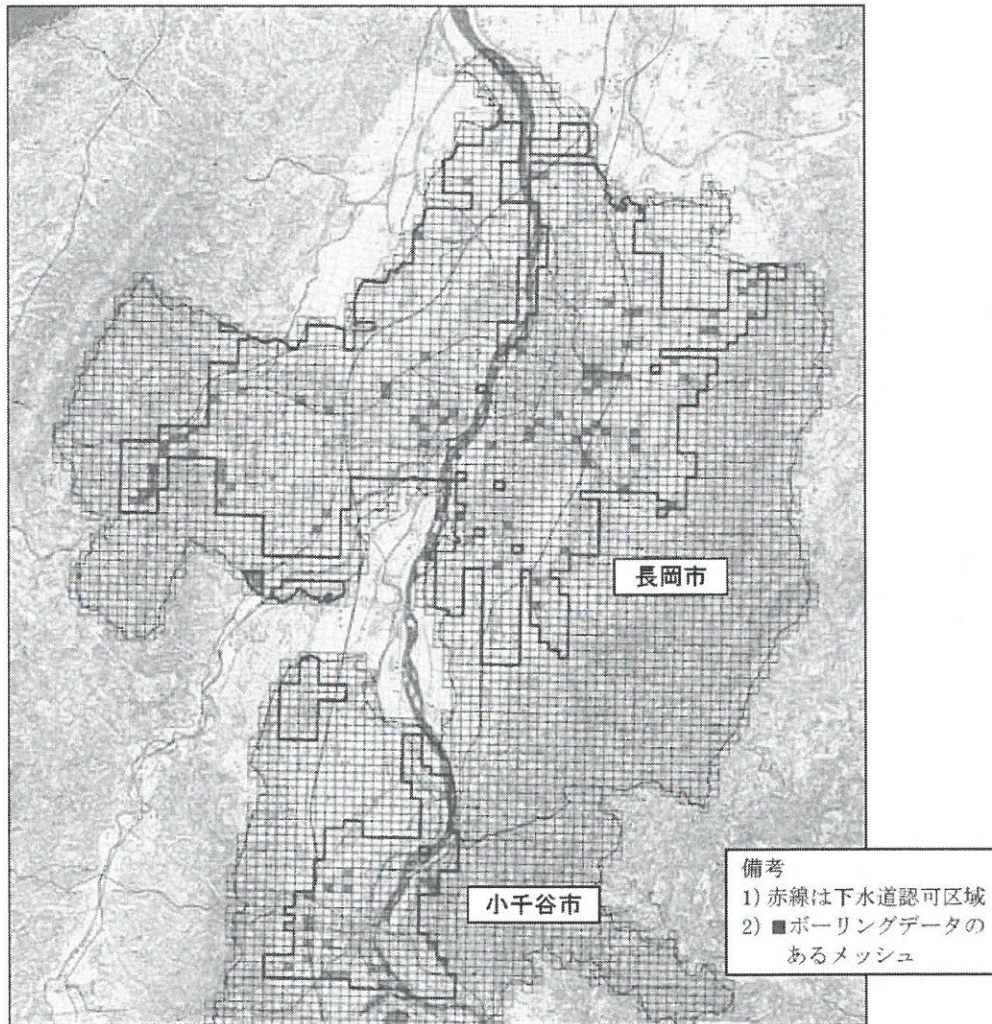
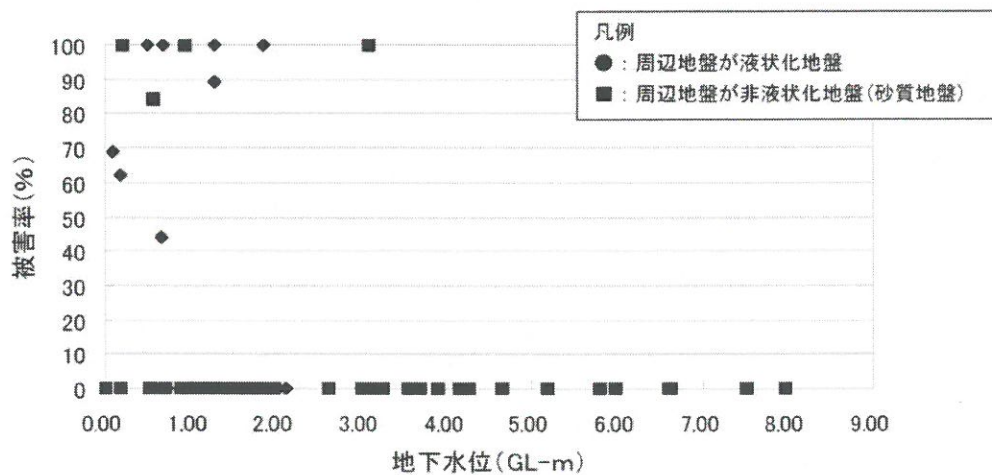
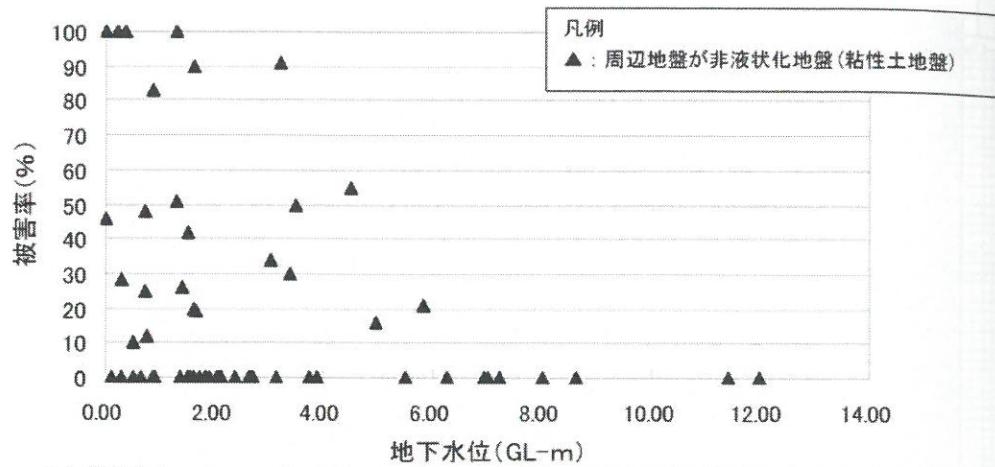


図-13.37 検討対象メッシュ¹⁸⁾



注) 被害率は、メッシュ内(250mメッシュ)の総管きよ延長に対する被害管きよ延長の割合を示す。
 地下水位は、メッシュ内(250mメッシュ)にあるボーリングデータの平均地下水位を示す。

図-13.38 砂質地盤における地下水位と被害率の関係¹⁷⁾



注) 被害率は、メッシュ内(250mメッシュ)の総管きよ延長に対する被害管きよ延長の割合を示す。
地下水位は、メッシュ内(250mメッシュ)にあるボーリングデータの平均地下水位を示す。

図-13.39 粘性土地盤における地下水位と被害率の関係¹⁷⁾

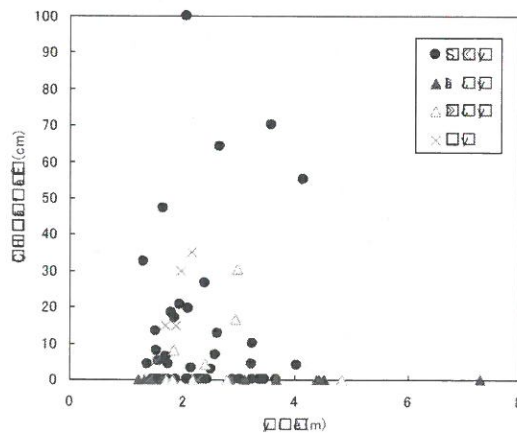
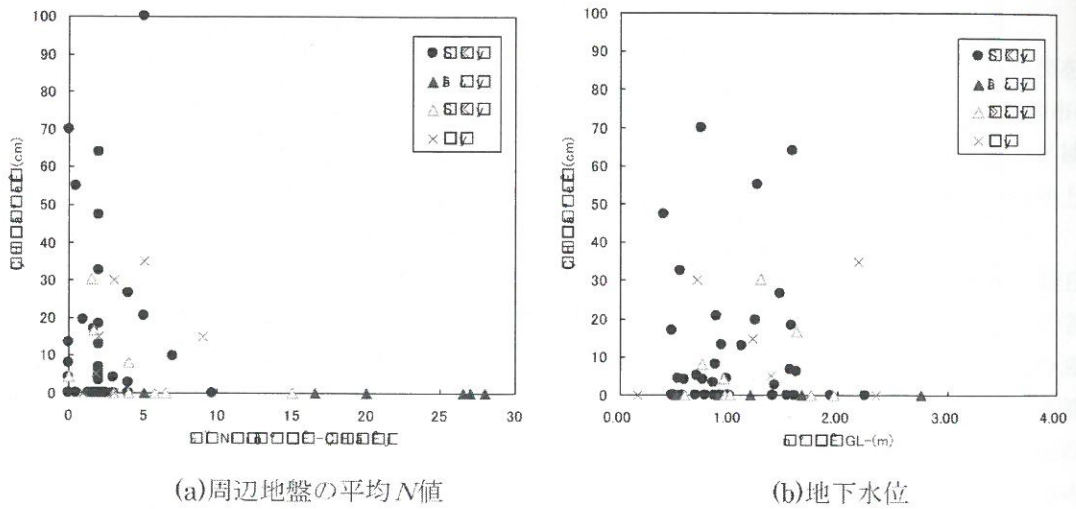


図-13.40 浮上がり量と各種地盤条件の関係(参考文献8)より抜粋)

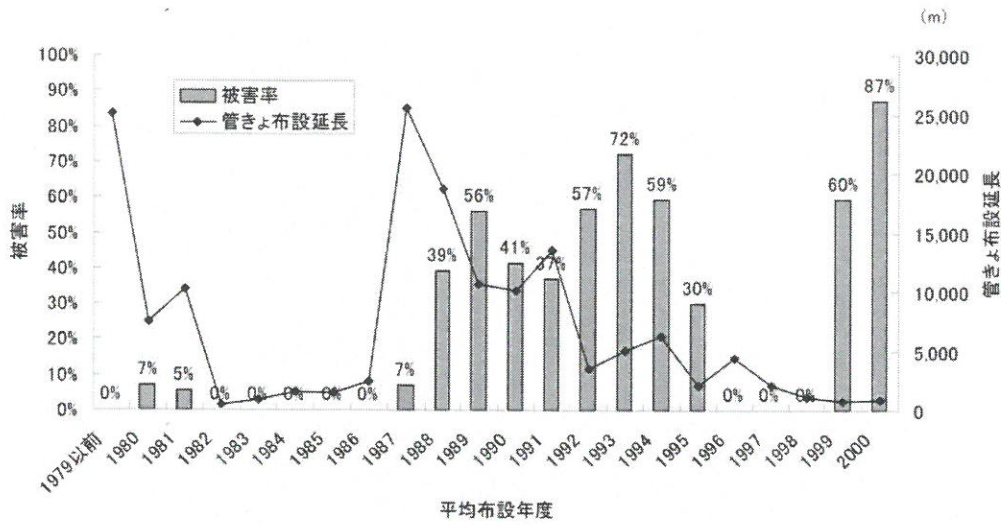


図-13.41 平均敷設年度と被害率の関係 (長岡市長倉地区)¹⁷⁾

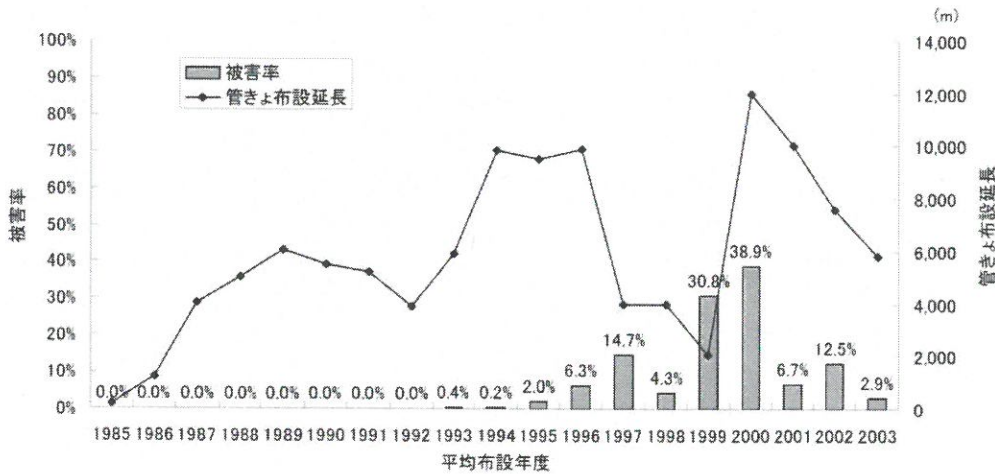


図-13.42 平均敷設年度と被害率の関係 (小千谷市中心部)¹⁷⁾

表-13.12 下水道被害に起因する影響¹⁷⁾

表-13.12 下水道被害に起因する影響¹⁷⁾

主たる影響等	主原因	影響の概要
使用制限	管きよの破断	下水道使用制限 下水道使用制限に起因する水道使用制限
交通障害	埋戻し部の道路陥没・マンホールの突出 路盤下の埋戻し部の液状化による沈下、 管路の破損部への土砂の吸い込み	交通遮断、避難ルートの遮断 除雪車の走行障害 道路の路盤下の空洞化による陥没
公衆衛生等	管きよの破断、マンホールポンプの故障 による汚水の流出	地下水の汚染、公共用水域の汚染

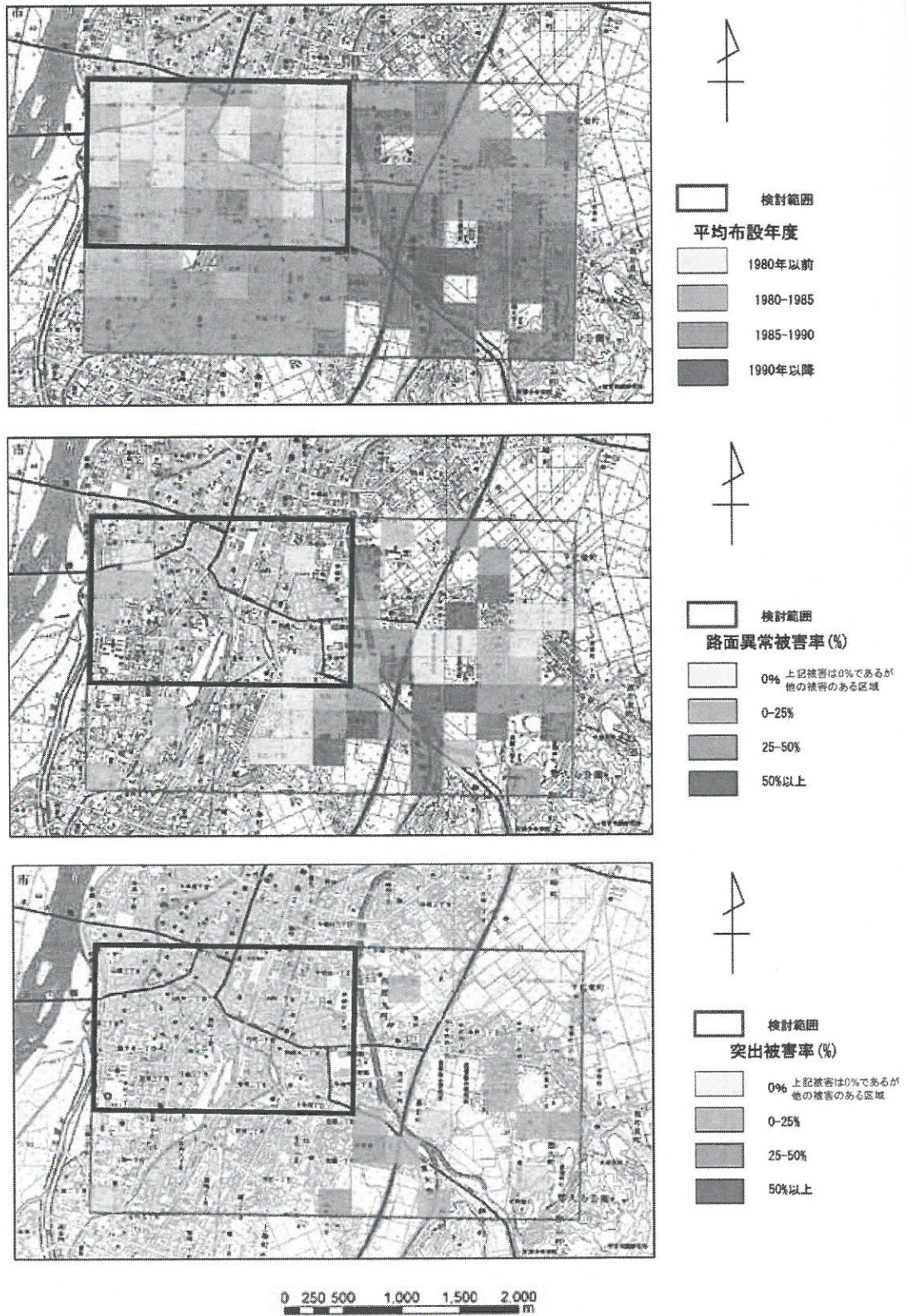


図-13.43 長岡市長倉地区における平均敷設年度と被害状況¹⁷⁾

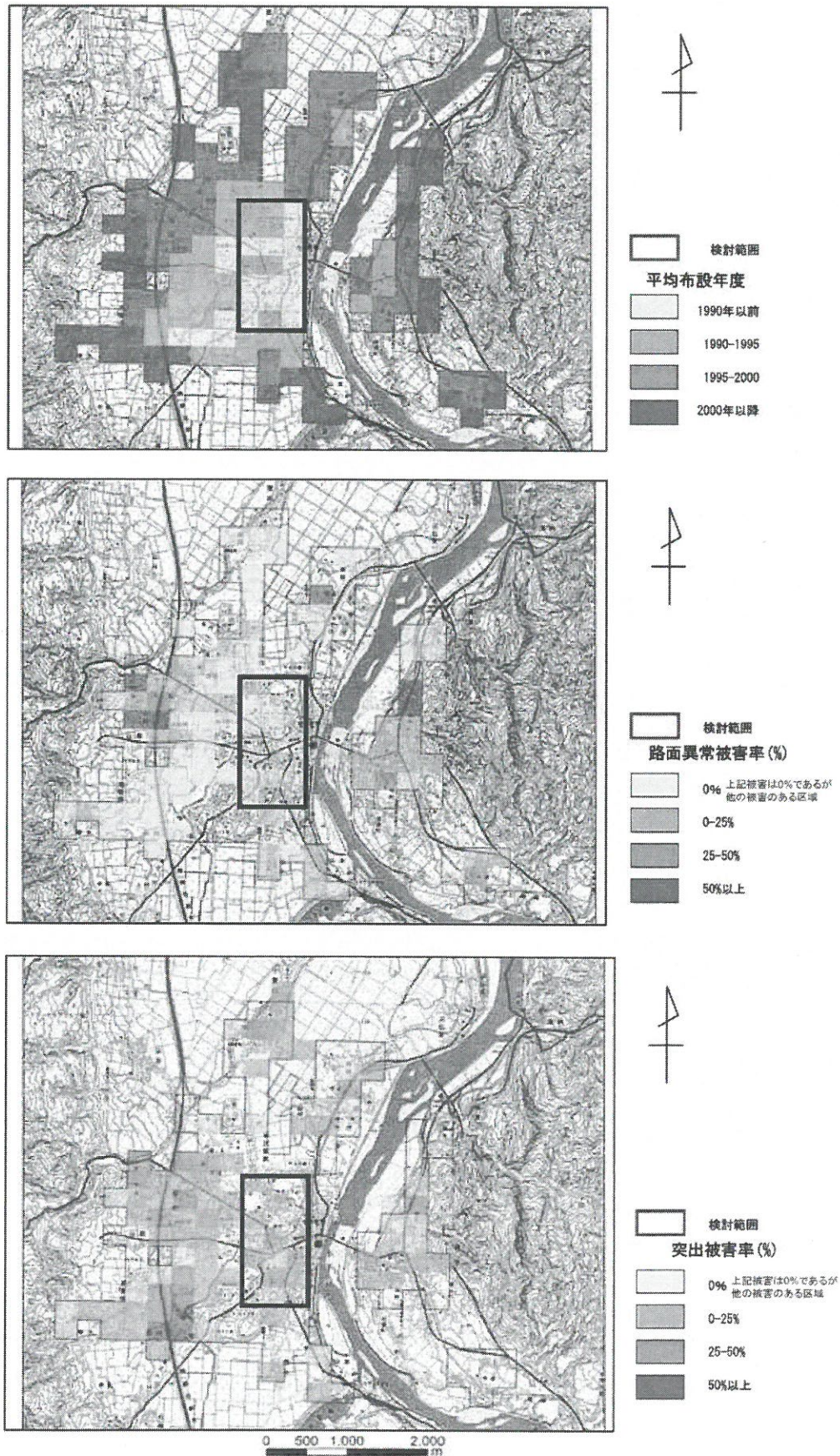


図-13.44 小千谷市中心部における平均敷設年度と被害状況¹⁷⁾

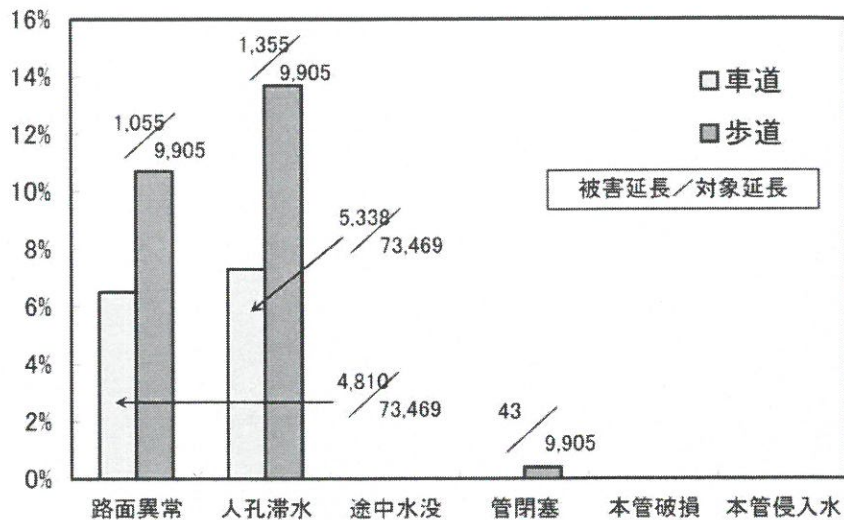


図-13.45 車道部と歩道部における被害率の比較 (長岡市長倉地区)¹⁷⁾

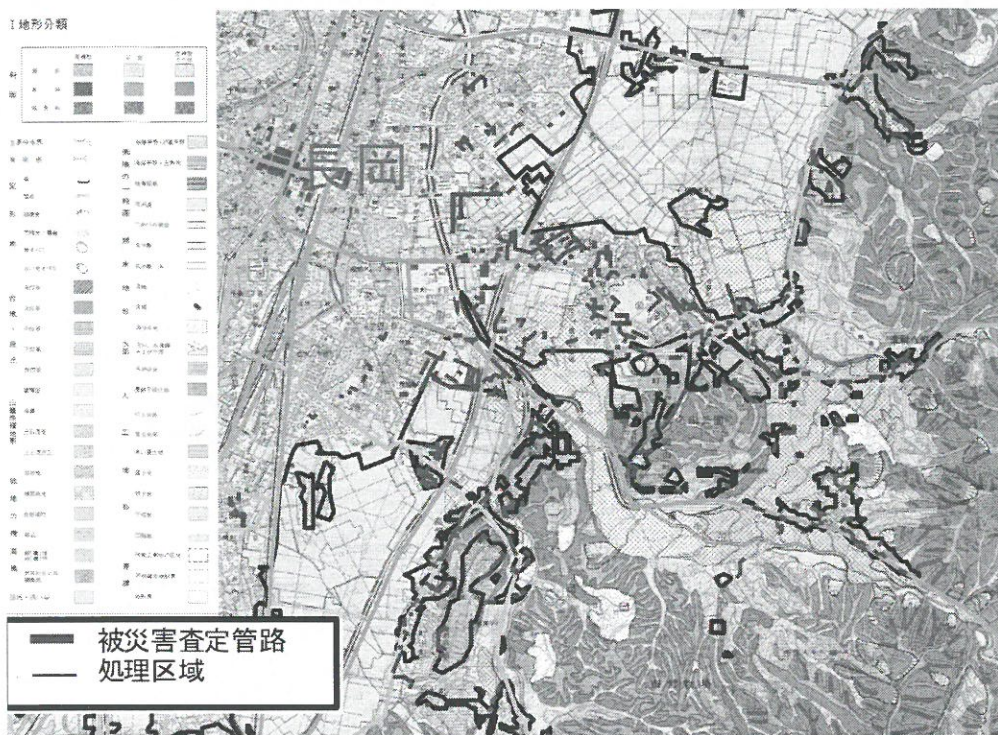


図-13.46 新潟県中越地震 (長岡) による被害路線²⁴⁾ (国土地理院の 1/25,000 土地条件図上に描いたもの)

盤に開削工法で布設して、砂等で埋戻している状況がみられた。これは、十勝沖地震で被災した箇所でも見られ、埋戻し部が液状化したものと考えられる。”との見解が出された。

そして、被害の再発防止も考慮し、本復旧の埋戻しにあたっては、マンホール周辺を含め、地盤の特性、施工条件等現地特性、管材、工期等を勘案し、① 埋戻し土の締固め、② 砕石による埋戻し、③ 埋戻し土の固化、のいずれ

かの対策を行う事が望ましいとされた。なお、これらの対策を行う範囲 (高さ) については、地下水位等を考慮するとともに、施工時の矢板引き抜きにも注意することなど、適切に対処することが望ましいとされた。また、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。これは締固め度が 90 % 程度以上であれば一般的に浮上り等の被害が生じにくいからである。また、



図-13.47 新潟県中越地震（小千谷）による被害路線²⁴⁾（国土地理院の1/25,000土地条件図上に描いたもの）



写真-13.18 下水道の復旧にあたって長岡市で建設された発生土改良プラント



写真-13.19 浮き上がった下水道管の復旧状況（長岡市町田町）

これらのことを考慮することなまた、締りに適し上とすであれば、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セメント添加量として一軸圧縮強度（28日強度）が100kPa~200kPaとなる量を目安とし、現場強度として50kPa~100kPaを確保することとされた。

この委員会における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10)。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。そして市内の2箇所に写真-13.18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/m³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た。写真-13.19には長岡市町田町での復旧例を

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。

さて、上述した「下水道地震対策技術検討委員会」の報告書は2005年8月に出された¹⁾が、その中では管路施設に対して、新潟県中越地震を踏まえて新たにとるべき対策として以下のものが挙げられた。

- a) 液状化対策を要する埋戻し部：周辺地盤が液状化のおそれがある地盤に加えて、周辺地盤が液状化のおそれのない地盤（軟弱粘性土地盤や泥炭地盤等の難透水性の粘性土地盤等）にあっても、埋戻し部の地下水位が常時あるいは雨天時に一時的に高くなることが予想される場合には、「重要な幹線等」、「その他の管路」の別にかかわらず、後のd)に示す対策を講じる必要がある。
- b) 重要な幹線等の定義の見直し：管路施設に被害を受けた場合には表-13.12に示すような影響が発生するおそれがある。特に、埋戻し部の道路陥没やマンホールの突出は、交通障害を引き起こすとともに、救援活動やその後の災害復旧活動に支障をきたす。そのため、1997年の耐震対策指針で「その他の管路」とされているもののうち、布設位置によってこれらの活動に重大な影響を及ぼすおそれのあるものについては「重要な幹線等」の扱いに準じて耐震性能を確保する必要がある。
- c) 地盤特性の把握：レベル2地震動対応の耐震性能を確保させるためには、耐震設計に先立ち液状化判定に必要な土質調査を行うことが重要である。
- d) 具体的な液状化対策：埋戻し土の液状化被害が発生しやすい地区で管路を布設する際には、原則として埋戻し土の締固め、碎石による埋戻し、埋戻し土の固化のいずれかの対策を行う。
- e) 施工管理：埋戻しにあたっては地下水の排水を十分にを行い、撒き出し厚さは規定値を超えないように留意する。撒き出し後は十分な締固めを行い、密度測定等により締固め度を確認する。また、矢板引き抜きによる埋戻し部の緩みに十分注意し、布設にあたっては丁寧な施工に努める必要がある。

13.2.5 過去の被害事例との比較と考察

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²⁷⁾。この地震では下水道のマンホールが人の背丈ほど浮き上がった。こ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、下水道管も浮き上がっていた。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。

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き上がった。長万部全体を見渡してみると、マンホールが浮き上がった地区と浮き上がらなかった地区とが分かれている事が分かってきた。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き上がり、密な砂礫地盤では浮き上がっていなかった²⁸⁾。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き上がった。ただし、音別町では町の東側ではマンホールが浮き上がったのに対し、西側では浮き上がらなかった。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²⁹⁾。

一方、新潟県中越地震の半年後の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。1995年兵庫県南部地震でも埋立地や人工島で液状化が広く発生したのにも係らずほとんど浮き上がらなかった。さらに振り返って見ると1964年新潟地震では新潟市内の広範囲にわたって液状化が発生し下水道管路が被害を受けたものの、マンホールが大きく浮き上がったのは越後線の盛土のそばや阿賀野川堤防のそばだけのようなのである。

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大きな浮上りが発生しているようである。まだ、その理由に関しては明らかにされてきていないが、以下のようにも考えられるであろう。

釧路沖地震を契機として振動台による模型実験の結果がいくつか行われてきたが、それらによると、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き上がろうとする。その後、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みながら大きく浮き上がっていく。したがって、大きく浮き上がるためには液状化状態が長く継続する必要がある。このような浮上りのメカニズムをもとにすると、浮上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易さ）、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、透水性からみて地山が砂質土よりは粘性土の場合の方が埋戻し土が非排水状態になり液状化し易く、また、継続時間も長くなることになるであろう。そして粘性土の中でも、硬い粘性土よりは軟弱な方の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、液状化が発生し易くなることになるであろう。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事のため、下水道管を布設してから時間が経っていき、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であろう。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、この他にも、施工時に軟弱な粘性土地盤では埋戻し土がゆるんでしまう事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、土留め工を引き抜く際に埋戻し土が軟弱粘土に向かって孕みだし、そのために埋戻し土が緩んでしまうのではないかと考えた事も考えられよう。

いずれにせよ、軟弱粘性土や泥炭地盤で埋戻し土の液状化に起因してマンホールや管路が大きく浮上り易いことに関して、今後の研究が必要と考えられる。

13.2.6 まとめ

新潟県中越地震による下水道施設の被害の特徴をまとめると以下ようになる。① 下水道施設の被災総額は206億円であったが、そのうち管路施設の被害は193億円であり、管路施設の被害が多かった。② 管路施設の被害のうちでは管きよの破損とマンホールの隆起沈下（ほとんどの被害が「突出」）が多かった。③ 被災は6市12町3村の22自治体に及んだ。このうち、被災管路延長が長かったのは長岡市と小千谷市であり、被害率が高かったのは川口町、小千谷市等であった。④ 1453箇所という大変多くの箇所でマンホールが路面から突出した。また、管路上の地盤の約6000箇所で沈下、陥没といった路面異常が発生した。これらのため交通障害が発生し、自動車

が突出したマンホールに衝突する事故まで生じた。⑤ 地震後に国土交通省で行われた調査によると被災箇所の埋戻し土は大変緩く、地下水位も高かった。また、被災箇所の原地盤は粘性土地盤であり、原地盤では噴砂もみられないことから、埋戻し土の液状化が被災の原因と考えられた。被災に与えた影響要因も検討されたところ、地下水位や布設年度などが影響していることが明らかにされた。⑥ 復旧にあたっては埋戻し土の液状化被害が発生しないように対策がとられた。このため例えば長岡市ではセメントを添加して固化する方法がとられた。

謝辞

本原稿を書くにあたって下水道地震対策技術検討委員会報告書1)を参考にさせていただいた。また、長岡市、小千谷市、柏崎市、刈羽村などの関係機関から情報を提供していただいた。これらの各位に感謝する次第である。

13.3 ガス

13.3.1 一般ガス事業者の被害状況

(1) ガス供給停止事業者の概況

新潟県中越地震において被災エリア周辺の各ガス事業者は、地震発生後職員・社員がすみやかに参集し情報収集を行うとともに、災害対策本部を設置した。さらに各事業者が独自に設置した地震計による地震強度SI値、ガスホルダー送出力の変化、ガス設備の健全性の巡回点検、家屋等の被害状況等をもとに供給継続可否の判断を行った。その結果、地震の震源または震源に近い新潟県中越地方の5公営事業者（見附市・小千谷市・旧越路町・旧堀之内町・川口町）の全戸と1私営事業者（北陸ガス（株）長岡支社）の一部、合計約56,800戸の需要家へのガス供給を停止した。地理的には、山間部に位置するか又は山間部近郊の事業者であり、いずれも製造設備を殆ど保有せず、ガス導管事業者の輸送ラインを通して新潟県産の天然ガスを受け入れている。

今回の地震においてSI値30カイン以上を記録したガス事業者を図-13.48に、また、地震強度（SI値）分布の面的推定と当該地区の地形・地盤の状況を図-13.49に示す。なお、今回の地震強度（SI値）の面的推定は、ボーリングデータからSI値増幅度を推定・補完し、このSI値増幅度分布を考慮してSI値の面的分布を作成したものである。以下にその手順を記述する。

- 1) 「新潟県平野部の地盤図集やガス事業者等による約700箇所のボーリングデータを用いて、表層地盤にお