

下水道地震対策技術検討委員会報告書

能登半島地震・新潟県中越沖地震の総括と耐震対策の評価
および下水道の担うべき機能を継続的に確保する方法の考え方

平成 20 年 10 月

下水道地震対策技術検討委員会

まえがき

本委員会は、平成 16 年 新潟県中越地震において、地盤の液状化によるマンホールの隆起・沈下が多数発生し、管路施設が大きな被害を受けたことから、それまで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の検証を行い、下水道における地震対策を適切に推進することを目的として、学識経験者、国土交通省、地方公共団体、関係団体から委員を構成して設置したものである。この委員会の検討成果は、平成 17 年 8 月に「下水道地震対策技術検討委員会報告書 新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の地震対策のあり方」としてとりまとめられ、「下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版、(社)日本下水道協会」等にその成果が活用されている。

しかしながら、平成 16 年 新潟県中越地震以降にも、全国で地震は発生しており、平成 19 年 能登半島地震および平成 19 年 新潟県中越沖地震では、下水道施設に大きな被害が発生した。このうち、平成 19 年 新潟県中越沖地震では、3 年前の平成 16 年 新潟県中越地震で被災し、「下水道地震対策技術検討委員会報告書 新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の地震対策のあり方」で提言された対策工法を適用して復旧した地域においては、ごく一部を除き被災が発生しておらず、被災した箇所においても流下機能が確保されており、提言された対策工法の有効性が確認された。その一方で、検証が必要と考えられる下水道施設の被災事例も見られた。

そのため、平成 19 年 能登半島地震および平成 19 年 新潟県中越沖地震における下水道施設の被災状況を総括し、耐震対策の検証を行うとともに、住民の日常生活や都市活動等を確保する視点から、被災時においても、下水道が担うべき機能を維持する対策についての検討を行うために、計 4 回の委員会を開催した。

本報告書は、4 回の委員会で討議された内容を集大成したものであり、今回の地震における下水道施設の被害の総括、耐震対策の評価および今後の施工における留意点および下水道が担うべき機能を継続的に確保するための基本的な考え方についてとりまとめたものである。本報告書の成果を活用し、今後の地震対策の充実が望まれるところである。

被災自治体の方々は、被災の混乱や復旧作業等の多忙な中で、本委員会の調査や運営に全面的にご協力いただき、ここに深く感謝の意を表させていただきたい。また、一日も早い復興を切に願う次第である。また、下水道が担うべき機能を維持する対策の検討にあたり、被災自治体の方々に加え、先進的な取組をしている自治体、公共インフラの事業者の方々にも、貴重な資料を提供いただいた。ここに、あわせて感謝の意を表させて頂く。

本委員会の成果が、今後の地震対策の推進に寄与するとともに、安全で安心な社会の実現に資することを期待するものである。

なお、本委員会の検討期間中に、平成 20 年 岩手・宮城内陸地震が発生し、下水道施設に被害が生じた。そこで、この地震における下水道施設の被災状況を総括するとともに、その発生要因を検討し、その結果得られた今後の耐震対策への提言についても、あわせて【参考】等に示した。

下水道地震対策技術検討委員会
委員長 濱田 政 則

委員会名簿および開催状況

(1) 委員会名簿

(順不同・敬称略)
(平成20年7月時点)

委員長	早稲田大学理工学術院創造理工学部社会環境工学科教授	濱田 政 則
前委員長	日本大学理工学部土木工学科教授	田 中 和 博
委 員	首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授	中 林 一 樹
委 員	長岡技術科学大学客員教授	藤 田 昌 一
委 員	東京電機大学理工学部建設環境工学科教授	安 田 進
委 員	国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長	松 井 正 樹
委 員	国土交通省北陸地方整備局建政部長	加 藤 茂
委 員	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長	藤 木 修
委 員	独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター耐震統括監	松 尾 修
委 員	新潟県土木部都市局下水道課長	田 中 清 善
前 委 員	新潟県土木部都市局参事兼下水道課長	鈴 木 政 義
委 員	長岡市土木部長	山 本 正 男
前 委 員	長岡市土木部長	大 平 与 枝 行
委 員	柏崎市ガス水道局長	品 田 正 樹
委 員	石川県環境部水環境創造課長	大 西 外 志 男
委 員	東京都下水道局計画調整部長	小 川 健 一
委 員	名古屋市上下水道局技術本部計画部長	石 川 美 直
委 員	神戸市建設局東水環境センター長	浜 口 哲 男
委 員	日本下水道事業団事業統括部長	櫻 井 克 信
委 員	社団法人日本下水道協会理事兼技術部長	佐 伯 謹 吾
委 員	社団法人日本下水道管路管理業協会専務理事	田 中 修 司

(前委員の所属・役職は、委嘱当時のもの、委嘱期間は第1回～第3回委員会)

(2) 委員会開催状況

第1回委員会（平成19年10月31日）

（審議内容）

- ・下水道の地震対策の取組状況について
- ・能登半島地震、新潟県中越沖地震での下水道施設の被害状況について
- ・新潟県中越沖地震における新潟県中越地震で被災復旧した管路の状況について
- ・下水道が担う機能の確保について

第2回委員会（平成20年2月5日）

（審議内容）

- ・能登半島地震及び新潟県中越沖地震における管路施設の被災状況について
- ・管路施設の液状化対策について
- ・下水道が担う機能の確保について

第3回委員会（平成20年3月28日）

（審議内容）

- ・地震被害の総括と対応方針
- ・被災時にも下水道の有する機能を確保するための計画のあり方について
- ・下水道地震対策技術検討委員会報告書の構成(案)について

第4回委員会（平成20年7月1日）

（審議内容）

- ・下水道地震対策技術検討委員会報告書（案）について

第 I 編

能登半島地震及び新潟県中越沖地震における
下水道施設の被害の総括と今後の地震対策への提言

下水道地震対策技術検討委員会報告書

第 I 編 目次

第 1 章	下水道施設被害の総括	
1-1	地震の概況（地震動等）	1
(1)	平成 19 年 能登半島地震	1
(2)	平成 19 年 新潟県中越沖地震	1
1-2	下水道施設の被害状況	3
(1)	下水道施設の整備状況	3
1)	平成 19 年 能登半島地震	3
2)	平成 19 年 新潟県中越沖地震	3
(2)	管路施設の被害	5
1)	平成 19 年 能登半島地震	5
2)	平成 19 年 新潟県中越沖地震	5
(3)	処理場・ポンプ場の被害	6
1)	平成 19 年 能登半島地震	6
2)	平成 19 年 新潟県中越沖地震	6
1-3	被害の特徴と要因	8
(1)	平成 16 年 新潟県中越地震の被害状況との比較	8
(2)	被災状況と地形・地質の関係	10
(3)	管路施設の被害と機能障害の関係	17
1)	流下機能への影響	17
2)	道路交通機能への影響	18
(4)	埋戻し土の液状化対策の効果	20
1)	埋戻し土の固化による対策効果の検証	20
A)	管渠	20
B)	マンホール	24
2)	埋戻し土の締固めによる対策効果の検証	26
A)	管渠	26
B)	マンホール	29
(5)	推進工法整備区間での被害要因	30
1)	平成 19 年 能登半島地震	30
2)	平成 19 年 新潟県中越沖地震	33
3)	推進工法整備区間の被害要因のまとめ	36
(6)	処理場の杭基礎の破損	38

第2章 今後の地震対策に向けて

2-1	管路施設開削区間の液状化対策	45
(1)	埋戻し土の固化による対策	45
(2)	埋戻し土の締固めによる対策	46
(3)	砕石による埋戻し対策	46
(4)	埋戻し部の液状化対策の留意点	46
2-2	推進工法整備区間における対策	48
2-3	今後の課題	48
(1)	既設の管路施設における対策	48
(2)	処理場における地盤の流動化の影響	48

【 参考 】 平成 20 年 岩手・宮城内陸地震における下水道施設の被害について

1. 下水道施設被害の総括

1-1 地震の概況（地震動等）

(1) 平成 19 年 能登半島地震

平成 19 年 能登半島地震は、平成 19 年 3 月 25 日 9 時 41 分に発生した。震源は能登半島沖であり、その深さは約 11km、地震の規模を示すマグニチュードは 6.9、震度は最大を記録した石川県七尾市、輪島市、穴水町で 6 強である。また、最大加速度は、震度 6 強を観測した地点である輪島市門前町走出（旧）において、1,304gal であった。

平成 19 年 新潟県中越沖地震は、平成 19 年 7 月 16 日 10 時 13 分に発生した。震源は新潟県上中越沖であり、その深さは約 17km、地震の規模を示すマグニチュードは 6.8、震度は最大を記録した新潟県柏崎市、長岡市、刈羽村で 6 強である。また、最大加速度は、震度 6 強を観測した柏崎市西山町池浦において、1,019gal であった。

今回の 2 つの地震は、震源深さが浅く、この点はここ最近の地震（兵庫県南部地震、平成 16 年 新潟県中越地震）の特徴と類似しているが、その地震動は「下水道施設の耐震対策指針と解説（日本下水道協会 2006 年版）」（以下「耐震対策指針」という。）が対象としている大規模地震（レベル 2 地震動）と比べ、最大加速度では大きなものであった（表 I-1 参照）。

表 I-1 過去の大規模地震と今回の 2 地震の規模等の比較※1

地震名	発生日	マグニチュード	震源深さ	最大震度※2	最大加速度※3
関東地震	1923. 9. 1	M=7. 9	相模湾 海底	VI(烈震)	
新潟地震	1964. 6. 16	M=7. 5±0. 2	約 40km	V(強震)	約 190gal (新潟市内地下)
宮城県沖地震	1978. 6. 12	M=7. 4	約 30km	V(強震)	約 320gal (仙台市内軟弱地盤)
釧路沖地震	1993. 1. 15	M=7. 5	約 100km	VI(烈震)	約 920gal (釧路地方気象台)
兵庫県南部地震	1995. 1. 17	M=7. 3	約 14km	VII(激震)	818gal (神戸海洋気象台)
新潟県中越地震	2004. 10. 23	M=6. 8	約 13km	VII(激震) 震度 7	1722gal (新潟県川口町川口※4)
能登半島地震	2007. 3. 25	M=6. 9	約 11km	震度 6 強	1304gal (輪島市門前町走出(旧)※4)
新潟県中越沖地震	2007. 7. 16	M=6. 8	約 17km	震度 6 強	1019gal (柏崎市西山町池浦※3)

※1 上表は、「新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の下水道地震対策のあり方（平成 17 年 8 月、下水道地震対策技術検討委員会）」に記載の表に、能登半島地震と新潟県中越沖地震を追記したものである。

※2 1996 年 4 月より震度階の表記方法が変わったため、能登半島地震と新潟県中越沖地震については新しい表記方法とした。なお、新潟県中越地震に関しては旧表記震度も判明しているため、両方を併記した。

※3 下水道施設に大きな被害が発生した地域における最大加速度を示した。

※4 文部科学省 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 平成 19 年 7 月 17 日の公表資料。

(2) 平成 19 年 新潟県中越沖地震

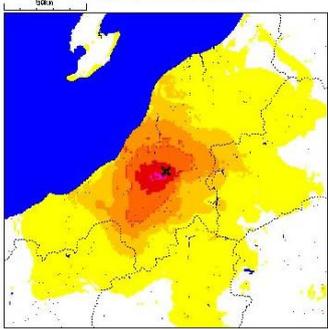
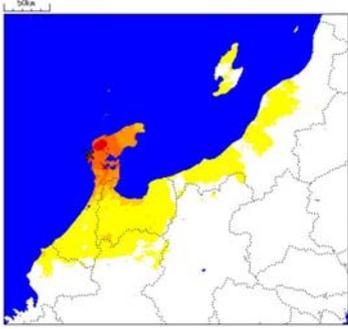
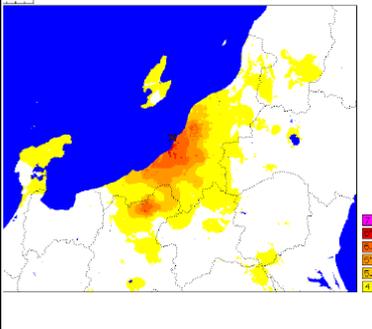
平成 16 年 新潟県中越地震、平成 19 年 能登半島地震、平成 19 年 新潟県中越沖地震のマグニチュード、最大震度、震度分布などを比較したものを表 I-2 に示す。

先の平成 16 年 新潟県中越地震では、管路施設の被害が起ころうとされている震度 5 弱以上の余震が分散してかなりの期間にわたり繰り返し発生したことが大きな特徴であったが、今回の地震においては、表 I-2 に示すとおり、平成 19 年 能登半島地震では 5 弱以上の余震が

3回、平成19年新潟県中越沖地震では1回と比較的少ない状況であった。

また、表I-2に示すとおり、前日雨量に関しては23.0mm/dayと平成19年能登半島地震が最も多いが、地震発生前1ヶ月及び1週間の総雨量は平成16年新潟県中越地震が最も多い結果となっている。

表 I - 2 平成16年新潟県中越地震、平成19年能登半島地震、平成19年新潟県中越沖地震の概要

地震名	平成16年 新潟県中越地震	平成19年 能登半島地震	平成19年 新潟県中越沖地震
発生日時	平成16年10月23日17時46分	平成19年3月25日 9時41分	平成19年7月16日 10時13分
マグニチュード	6.8	6.9	6.8
震源深さ	約13km	約11km	約17km
地震規模 震度分布			
最大震度	7	6強	6強
最大加速度	1722gal (新潟県川口町川口)	1304gal (輪島市門前町走出)	1019gal (柏崎市西山町池浦)
5弱以上の 余震回数	17回	3回	1回
(降雨量状況) 観測地点	長岡	輪島	柏崎
1ヶ月前	392	97.5	332
1週間前	125	43	49
前日	5	23	6

1-2 下水道施設の被害状況

(1) 下水道施設の整備状況

1) 平成 19 年 能登半島地震

平成 19 年 能登半島地震にて被害を受けた自治体は、七尾市、輪島市、珠洲市、志賀町、中能登町、穴水町の 6 自治体（3 市 3 町）である。被災自治体の平成 18 年度末の下水道整備状況は表 I-3 に示すとおりとなっている。布設済み管路の総延長は 651.9km、施設の総数は処理場 20 ヶ所、ポンプ場 5 ヶ所である。

表 I-3 平成 19 年 能登半島地震で被害を受けた自治体の下水道整備状況
(平成 18 年度末)

自治体名		下水道処理 人口普及率 (%)	整備面積 (ha)	管路延長 (km)	処理場数 (施設)	ポンプ場数 (施設)
七尾市		28.5	589.2	157.5	6	1
輪 島 市	輪島処理区	—	285.0	80.1	1	2
	門前処理区	—	144.4	52.3	1	0
	剣地処理区	—	18.0	6.1	1	0
	計	49.1	447.4	138.5	3	2
珠洲市		31.4	265.3	61.7	2	2
志賀町		23.8	224.6	61.0	3	0
中能登町		81.9	577.6	198.1	5	0
穴水町		32.1	134.3	35.1	1	0
合 計		38.7	2,238.4	651.9	20	5

2) 平成 19 年 新潟県中越沖地震

一方、平成 19 年 新潟県中越沖地震にて被害を受けた自治体は、長岡市、上越市、柏崎市、小千谷市、出雲崎町、十日町の 6 自治体（4 市 2 町）である。被災自治体の平成 18 年度末の下水道整備状況は表 I-4 に示すとおりとなっている。布設済み管路の総延長は 3,399.6km、施設の総数は処理場 21 ヶ所、ポンプ場 31 ヶ所である。

表 I - 4 平成 19 年 新潟県中越沖地震で被害を受けた自治体の下水道整備状況
(平成 18 年度末)

自治体名		下水道処理人口 普及率 (%)	整備面積 (ha)	管路延長 (km)	処理場数 (施設)	ポンプ場数 (施設)
長岡市	旧長岡市	96.3	4,288	1,280.3	2	17
	旧中之島町	45.4	221	51.6	1	0
	旧越路町	80.1	364	81.3	0	1
	旧三島町	92.2	310	57.3	0	5
	旧山古志村	—	—	—	—	—
	旧小国町	70.8	194	61.3	1	0
	旧和島村	60.8	99	40.7	1	0
	旧寺泊町	25.1	96	17.7	1	0
	旧栃尾市	76.2	571	138.1	1	0
	旧与板町	100	246	56.9	0	1
	計	86.8	6,389	1,785.2	7	24
上越市	旧上越市	48.5	1,719	402.2	1	1
	旧安塚町	—	—	—	—	—
	旧浦川原村	42.8	70	17.5	1	0
	旧大島村	—	—	—	—	—
	旧牧村	—	—	—	—	—
	旧柿崎町	40.9	148	32.4	1	0
	旧大潟町	11.4	32	8.0	1	0
	旧頸城村	32.8	101	17.5	0	0
	旧吉川町	—	—	—	—	—
	旧中郷村	68.8	120	30.6	1	1
	旧板倉町	84.7	222	71.4	1	0
	旧清里村	—	—	—	—	—
	旧三和村	—	—	—	—	—
	旧名立町	58.1	57	14.2	1	0
計	42.0	2,467	593.8	7	2	
柏崎市	旧柏崎市	70.1	1,861	436.8	1	4
	旧高柳町	—	—	—	—	—
	旧西山町	15.6	78	25.8	1	0
	計	66.2	1,939	462.6	2	4
小千谷市		77.2	843	190.7	0	0
十日町市	旧十日町	71.2	828	207.1	1	0
	旧川西町	47.7	140	29.5	0	1
	旧中里村	80.4	104	49.3	1	0
	旧松代町	42.6	59	17.9	1	0
	旧松之山町	46.7	53	23.9	1	0
	計	66.3	1,184	327.7	4	1
出雲崎町		53.6	117	39.6	1	0
合計		67.8	12,939.4	3,399.6	21	31

—：下水道整備がなされていない自治体

(2) 管路施設の被害

1) 平成 19 年 能登半島地震

平成 19 年 能登半島地震における管路施設の被害は、表 I-5 に示す災害査定結果では、管路施設の被災総延長は 14.7km であり、被害率（被災管路延長／管路延長）は 2.3%（14.7km／651.9km）となっている。またマンホールの被災は計 147 個であった。このうち、被災延長が最も大きかったのは震源に最も近い輪島市門前処理区、次いで輪島処理区であり、このうち門前処理区の被害は、管路に関しては全被害の約 7 割（10.5km／14.7km）、マンホールについては 8 割近く（113 個／147 個）を占める結果となっている。

表 I-5 平成 19 年 能登半島地震における管路施設の被害状況（災害査定結果）*1

管 理 者		七尾市	輪 島 市				珠洲市	志賀町	中能登町	穴水町	合 計
			輪島処理区	門前処理区	剣地処理区	計					
管路延長 A	(km)	157.5	80.1	52.3	6.1	138.5	61.7	61.0	198.1	35.1	651.9
査 定 結 果	被災管路延長 B	(km)	0.6	3.2	10.5	0.1	13.8	0.0	0.1	0.1	14.7
	被災人孔個数	(個)	3	29	113	1	143	0	1	0	147
	被害率 B/A	(%)	0.4	4.0	20.1	1.6	10.0	0.0	0.2	0.1	0.4

*1：石川県および関係自治体の協力により作成

2) 平成 19 年 新潟県中越沖地震

平成 19 年 新潟県中越沖地震における管路施設の被害は、表 I-6 に示す災害査定結果では、管路施設の被災総延長は 50.4km であり、被害率（被災管路延長／管路延長）は 1.6%（50.4km／3,071.9km）となっている。またマンホールの被災は計 1,468 個であった。このうち被害率が最も高かったのは震源に最も近い柏崎市、次いで出雲崎町であり、このうち旧柏崎市では、管路で全被害の約 7 割（36.0km／50.4km）、マンホールについては全被害の 9 割近く（1,299 個／1,468 個）を占める結果となっている。

表 I-6 平成 19 年 新潟県中越沖地震における管路施設の被害状況（災害査定結果）*1

管 理 者		公 共 下 水 道														小千谷市		出雲崎町		合 計
		長岡市						上越市				柏崎市								
		旧長岡市	旧三島町	旧和島村	旧与板町	その他	計	旧浦川原村	旧柿崎町	その他	計	旧柏崎市	旧西山町	計						
管路延長 A	(Km)	1280.3	57.3	40.7	56.9	350.0	1785.2	17.5	32.4	543.8	593.8	436.8	25.8	462.6	190.7	39.6	3,071.9			
災 害 査 定 申 請 へ 入 る	被災管路延長 B	(Km)	4.5	1.0	0.3	0.0	5.8	0.4	0.5	0.0	0.9	36.0	1.4	37.4	3.7	2.6	50.4			
	被災人孔個数	(個)	1	0	0	28	0	29	0	17	0	17	1299	14	1313	0	109	1,468		
	被害率 B/A	(%)	0.4	1.7	0.7	0.0	0.0	0.3	2.2	1.5	0.0	0.1	8.2	5.4	8.1	1.9	6.6	1.6		

*1：新潟県および関係自治体の協力により作成

(3) 処理場・ポンプ場の被害

1) 平成 19 年 能登半島地震

平成 19 年 能登半島地震による処理場の被害は、一次調査の結果、被災自治体計 21 処理場のうち、8 処理場で何らかの被害が認められており、うち災害査定対象となったのは中島浄化センター（七尾市）、輪島浄化センター（輪島市）、門前水質管理センター（輪島市）、劔地浄化センター（輪島市）、珠洲市浄化センター（珠洲市）の 5 処理場であった。災害査定対象となった処理場のうち、被害が最も大きかった輪島市門前水質管理センターにおいても水処理、汚泥処理における機能停止は生じておらず、他の 4 処理場の被害はいずれも軽微であった。（表 I-7 参照）

また、ポンプ場の被害は、一次調査の結果、被災自治体計 4 ポンプ場のうち、2 ポンプ場で何らかの被害が認められているが、うち災害査定対象となったのは、堀町ポンプ場のみであり、送水機能に支障を生じたポンプ場はなかった。（表 I-8 参照）

表 I-7 平成 19 年 能登半島地震における処理場の被害状況

管理者	事業名	処理区名	施設名	震度	躯体破損傾き	躯体継手ズレ	設備破損	配管破損	埋設管破損	場内沈下陥没	被害状況
石川県	犀川左岸流域下水道	犀川左岸	犀川左岸浄化センター	4				○			脱臭装置配管破損
七尾市	単独公共下水道	和倉	西部水質管理センター	6強				○	○		給水管、雑用水管破損
七尾市	単独特定環境保全公共下水道	中島	中島浄化センター	6強						●	場内舗装陥没
七尾市	単独特定環境保全公共下水道	長浦	長浦処理場	6強						○	場内舗装陥没
輪島市	単独公共下水道	輪島	輪島浄化センター	6強			●				脱水ケーキホップバロードセル破損
輪島市	単独特定環境保全公共下水道	門前	門前水質管理センター	6強	●		●	●	●	●	・ポンプ棟、汚泥処理棟外壁、屋根瓦破損 ・受変電設備、脱水設備一部破損、流入渠破損 ・場内道路陥没
輪島市	単独特定環境保全公共下水道	劔地	劔地浄化センター	6強			●			●	換気ダクト破損、場内舗装陥没・破損
珠洲市	単独公共下水道	珠洲	珠洲市浄化センター	5強			●	●			・換気ダクト損傷 ・配管ビット（現場打ちBOX）継ぎ手破損
処理場被害小計					1		4	3	2	4	

※ 黒丸及び下線を付した部分が災害査定申請ベースの該当項目

表 I-8 平成 19 年 能登半島地震におけるポンプ場の被害状況

管理者	事業名	処理区名	施設名	震度	躯体破損傾き	躯体継手ズレ	設備破損	配管破損	埋設管破損	場内沈下陥没	被害状況
七尾市	単独公共下水道	和倉	和倉中継ポンプ場	6強						○	場内舗装陥没
輪島市	単独公共下水道	輪島	堀町ポンプ場	6強						●	場内インターロッキング舗装陥没
ポンプ場被害小計										2	
処理場・ポンプ場計					1		4	3	2	6	

※ 黒丸及び下線を付した部分が災害査定申請ベースの該当項目

2) 平成 19 年 新潟県中越沖地震

平成 19 年 新潟県中越沖地震による処理場の被害は、一次調査の結果、被災自治体計 21 処理場のうち、6 処理場で何らかの被害が認められており、うち災害査定対象となったのは柏崎市自然環境浄化センターの 1 ヶ所のみであった。柏崎市自然環境浄化センターでは、水処理機能に支障は生じなかったものの、監視汚泥棟の基礎杭破損とそれに伴う配管等の破損により、

汚泥処理機能に支障が生じた。(表 I-9 参照)

また、ポンプ場の被害は、一時調査の結果、被災自治体計 31 ポンプ場のうち、3 ポンプ場で何らかの被害が認められており、うち災害査定の対象となったのは、柏崎市の八坂中継ポンプ場および柳橋中継ポンプ場の 2 ヶ所であった。八坂中継ポンプ場では場内地盤が沈下し、φ400mm の圧送管が破損したため送水を停止し、下水を吸引して対応した。なお、吸引で対応できなかった下水については、消毒後に河川へ放流した。また、柳橋中継ポンプ場では、φ500mm の送水管(圧送管)が破断し、吸引して対応したが、汚水が道路上に一部溢水するとともに、道路陥没が発生した。なお、送水は 2 条管であったため、1 条管ずつ復旧し送水機能を確保した。(表 I-10 参照)

表 I-9 平成 19 年 新潟県中越沖地震における処理場の被害状況

管理者名	事業名	処理区名	施設名	震度	躯体破損傾き	躯体継手ズレ	設備破損	配管破損	埋設管破損	場内沈下陥没	被害状況
新潟県	信濃川流域下水道	長岡	長岡浄化センター	6弱			○				水処理施設越流銅板および汚泥かき寄せ機破損 重力濃縮槽スラムスキマ破損
十日町市	単独公共下水道	十日町	十日町市下水処理センター	5強			○				水処理脱臭液循環ポンプ：フランジ付根破断 2台
柏崎市	単独公共下水道	柏崎	柏崎市自然環境浄化センター	6強	●	●	●	●	●	●	場内地盤沈下および亀裂、終沈汚泥掻き機チェーン脱落、 水処理覆蓋落下および破損、汚泥種継手箇所分離、 汚泥移送管など断裂、汚泥消化槽傾斜、ガスホルダー傾斜、 脱硫塔傾斜、消化ガス移送管沈下、 管漏れ水、水道管および汚水管渠沈下など
柏崎市	単独特定環境保全 公共下水道	石地	石地アメニティライフセンター	6強						○	場内地盤沈下
上越市	単独公共下水道	柿崎	柿崎浄化センター	6弱						○	浄化センター外構の沈下陥没 汚泥搬出口スロープ沈下陥没
長岡市	単独特定環境保全 公共下水道	小国	小国浄化センター	6強				○			脱水機室吸気ダクト破損
処理場被害小計					1	1	3	2	1	3	

※ 黒丸及び下線を付した部分が災害査定申請ベースの該当項目

表 I-10 平成 19 年 新潟県中越沖地震におけるポンプ場の被害状況

管理者名	事業名	処理区名	施設名	震度	躯体破損傾き	躯体継手ズレ	設備破損	配管破損	埋設管破損	場内沈下陥没	被害状況
柏崎市	公共下水道事業	柏崎処理区	八坂中継ポンプ場	6強	—	—	—	—	●	●	圧送管破損、建屋漏水、場内地盤沈下
柏崎市	公共下水道事業	柏崎処理区	柳橋中継ポンプ場	6強	—	—	—	—	—	●	場内地盤沈下および亀裂、排水側溝陥没、外灯傾斜
柏崎市	公共下水道事業	柏崎処理区	鶴川右岸第 1 排水区 雨水ポンプ場	6強	—	—	—	—	—	○	場内地盤沈下
ポンプ場小計					0	0	0	0	1	3	
処理場・ポンプ場小計					1	1	3	2	2	6	

※ 黒丸及び下線を付した部分が災害査定申請ベースの該当項目

1-3 被害の特徴と要因

(1) 平成16年 新潟県中越地震の被害状況との比較

平成16年 新潟県中越地震、平成19年 能登半島地震、平成19年 新潟県中越沖地震の一次調査結果を整理し、管路施設の被害状況の特徴を表I-11にまとめた。

表I-11 管路施設における被害状況の特徴（一次調査結果）

		平成16年新潟県中越地震	平成19年能登半島地震	平成19年新潟県中越沖地震
開削工法部の被害状況	管きよ部			
	被害の順位	1位 路面異常 58% (5908箇所/10149箇所) 2位 人孔滞水 31% (3149箇所/10149箇所)	1位 路面異常 58% (954箇所/1643箇所) 2位 人孔滞水 27% (443箇所/1643箇所)	1位 人孔滞水 75% (4276箇所/5670箇所) 2位 路面異常 19% (1077箇所/5670箇所)
	被害状況写真	 路面陥没状況 (小千谷市)	 路面陥没状況 (輪島市)	 人孔滞水 (出雲崎町内)
	まとめ	被害の順番が異なるが、3地震とも埋め戻し土の液状化に起因する路面異常と人孔滞水が上位にあり、被害の傾向は同一である。		
マンホール	被害の順位	1位 突出 42% (1453箇所/3473箇所) 2位 躯体 17% (604箇所/3473箇所)	1位 突出 55% (325箇所/590箇所) 2位 躯体 14% (81箇所/590箇所)	1位 鉄蓋 45% (4512箇所/10109箇所) 2位 土砂汚水 36% (3602箇所/10109箇所)
	被害状況写真	 マンホール突出状況 (小千谷市)	 マンホール突出状況 (輪島市)	 蓋枠被害状況 (柏崎市)
	まとめ	中越地震と能登半島地震ではマンホール被害のほぼ半分が突出であったが、中越沖地震では鉄蓋のずれが半分近くを占めた。		
推進工法部の被害状況	被害報告無し	輪島市門前処理区で被害 (757m)	柏崎市内で被害 (381m)	

- 備考
- 1) 「路面異常」：(沈下、陥没、隆起、噴砂、噴水、波打ち)
 - 2) 「人孔滞水」：(マンホールに水が溜まった状態)
 - 3) 「突出」：(マンホールが路面より浮き上がった状態)
 - 4) 「躯体」：(マンホール内側壁のズレ、破損)
 - 5) 「鉄蓋」：(マンホールの蓋、蓋枠のズレ)
 - 6) 「土砂汚水」：(マンホール内の土砂、汚水堆積)

平成19年 能登半島地震、平成19年 新潟県中越沖地震の2つの地震における管路施設の被害の特徴は、平成16年 新潟県中越地震と同様にマンホールの突出や路面異常など埋戻し土の液状化に起因する被害が最も多いことに加え、平成16年 新潟県中越地震では被害の報告がなかった推進工法整備区間で被害が発生していることがあげられる。

また、平成16年 新潟県中越地震、平成19年 能登半島地震、平成19年 新潟県中越沖地震において突出が確認されたマンホールの突出高さの集計結果は表I-12に示すとおりであり、

平成19年 能登半島地震と平成19年 新潟県中越沖地震の突出高さは、20cm以下が大半を占め、平成16年 新潟県中越地震に比べて突出高さは小さかった。

表 I—12 マンホール突出高さの整理結果

地震名		平成16年 新潟県中越地震			平成19年 能登半島地震			平成19年 新潟県中越沖地震			
対象地域名		小千谷市			輪島市門前処理区			旧柏崎市			
整備面積 (ha)		762.0			144.4			1861.0			
マン ホ ー ル 突 出 個 数 と そ の 割 合	突出 高 さ	(cm)	小計	(個)	(%)	小計	(個)	(%)	小計	(個)	(%)
		100超え	276	3	(0.4)	47	0	(0.0)	83	0	(0.0)
		75を超え100以下		8	(1.1)		1	(0.5)		0	(0.0)
		50を超え75以下		23	(3.1)		1	(0.5)		1	(0.2)
		30を超え50以下		32	(4.4)		2	(1.0)		9	(1.9)
		20を超え30以下		40	(5.4)		6	(3.1)		15	(3.2)
		10を超え20以下		170	(23.1)		37	(19.1)		58	(12.5)
		5を超え10以下	459	247	(33.6)	147	80	(41.2)	380	200	(43.2)
		5以下		212	(28.8)		67	(34.5)		180	(38.9)
突出したマンホール総数 (個)		735 (100)			194 (100)			463 (100)			
突出高さ10cmを超えるマンホールの割合 (%)		37.6			24.2			17.9			
突出高さ10cmを超えるマンホールの分布個数(個/ha)		0.36			0.33			0.04			
平均突出高さ (cm)		13.6			9.0			8.2			

- 注： 1) 突出高さは災害査定結果をもとに整理したが、突出高さが不明確なデータは除外した。
 2) 表中の小計欄は突出高さが10cmを越えるものと10cm以下のものを集計したものである。
 3) ()内の数値は、全突出個数に占める割合。
 4) 突出高さ10cmを越えるマンホールの分布割合とは、該当個数を整備面積で除した値である。

(2) 被災状況と地形・地質の関係

「下水道地震対策技術検討委員会報告書」（下水道地震対策技術検討委員会、平成 17 年 8 月）において、管路施設の被害と周辺の地形・地質の関係について、以下のように報告しており、管路施設の被害状況は、周辺の地形・地質および地下水位に大きな影響を受けることを示している。

- ① 周辺地盤が砂質地盤の箇所では、地下水位が高いところで被害が発生している。
- ② 周辺地盤が粘性土地盤の箇所では、地下水位の高いところで被害が発生しており、地下水位が高い方が、被害率が高い傾向にある。

1-2 に示すように、平成 19 年 能登半島地震、平成 19 年 新潟県中越沖地震でも、管路施設には大きな被害が発生した。そこで、平成 19 年 能登半島地震、平成 19 年 新潟県中越沖地震で、それぞれ管路施設の被害が大きかった石川県輪島市門前処理区（以降、門前処理区）、新潟県旧柏崎市（以降、旧柏崎市）を対象とし、管路施設の被害状況と周辺の地形や地質との関係を整理した。

1) 平成 19 年 能登半島地震

平成 19 年 能登半島地震における門前処理区での管路施設の被災箇所、被災箇所付近のボーリング位置および推計震度分布（気象庁 HP より）を、門前処理区を含む地形分類図上に合わせて作図したものを図 I-1 に、代表的なボーリング柱状図を図 I-2～I-3 に示す。門前処理区は、八ヶ川に沿った細長い谷底地形上に形成されており、管路施設の埋設されている地形は海岸に沿った一部の地域が地形分類で「浜」であることを除くと、大部分が地形分類で「谷底平野」と「扇状地」で構成されている。埋戻し部での路面異常やマンホールの突出等大きな被害は「谷底平野」と「扇状地」に集中しており、海岸付近の「浜」での被害はほとんど見られない。ボーリング柱状図より、「谷底平野」と「扇状地」は、砂質シルトや砂混じり粘土、粘土質シルト等の卓越した軟弱な地盤で、地下水位は GL-0.6～-3.9m と地下水位が高い地域が存在した。一方、被害の少なかった「浜」では N 値 10 以上の比較的締まった砂質土層が卓越している。また、門前処理区では、埋戻し土には基本的に購入砂を使用していた。

以上のことから、粘性土が卓越して地下水位が高い「谷底平野」と「扇状地」で、砂により埋戻しを実施していた管路施設に被災が多かったといえる。

2) 平成 19 年 新潟中越沖地震

平成 19 年 新潟県中越沖地震における旧柏崎市での管路施設の被災箇所、被災箇所付近のボーリング位置および推計震度分布（気象庁 HP より）を、旧柏崎市のほとんどの地域を含む微地形分類図（国土地理院 HP より）上に合わせて作図したものを図 I-4 に、代表的なボーリング柱状図を図 I-5～I-7 に示す。旧柏崎市は、大別すると、海岸から内陸に向かって順番に、微地形分類で「砂丘」、「低地・谷底平野」、「扇状地」の 3 種類の微地形で構成されている。

管路施設の被害は、「扇状地」末端部、「低地・谷底平野」、「砂丘」周辺部、「自然堤防」周辺部、「旧河道」に多く見られ、海岸付近の「砂丘」においては比較的少なかった。管路施設の被害が大きかった「扇状地」末端部では、粘土等の粘性土層、または地表数 m が粘性土とその下の砂質土からなる土層が存在し、地下水位が GL+0.20～0.0m と高い状況である。この「扇状地」に隣接し、同様に被害が大きかった「低地・谷底平野」においても、粘土やシル

ト質粘土等の粘性土が卓越した軟弱な地盤で、地下水位は GL-0.50~-0.85m と高い状況である。一方、比較的被害の少なかった海岸付近の「砂丘」は、荒砂や中砂などの砂質土が卓越し、地下水位は GL-2.10~-5.50m と低い状況である。また、旧柏崎市では、埋め戻し土に基本的に購入砂を使用していた。

以上のことから、粘性土が卓越あるいは多く見られ、地下水位が高い「扇状地」末端付近と「低地・谷底平野」で、砂により埋戻しを実施していた管路施設に被災が多かったといえる。

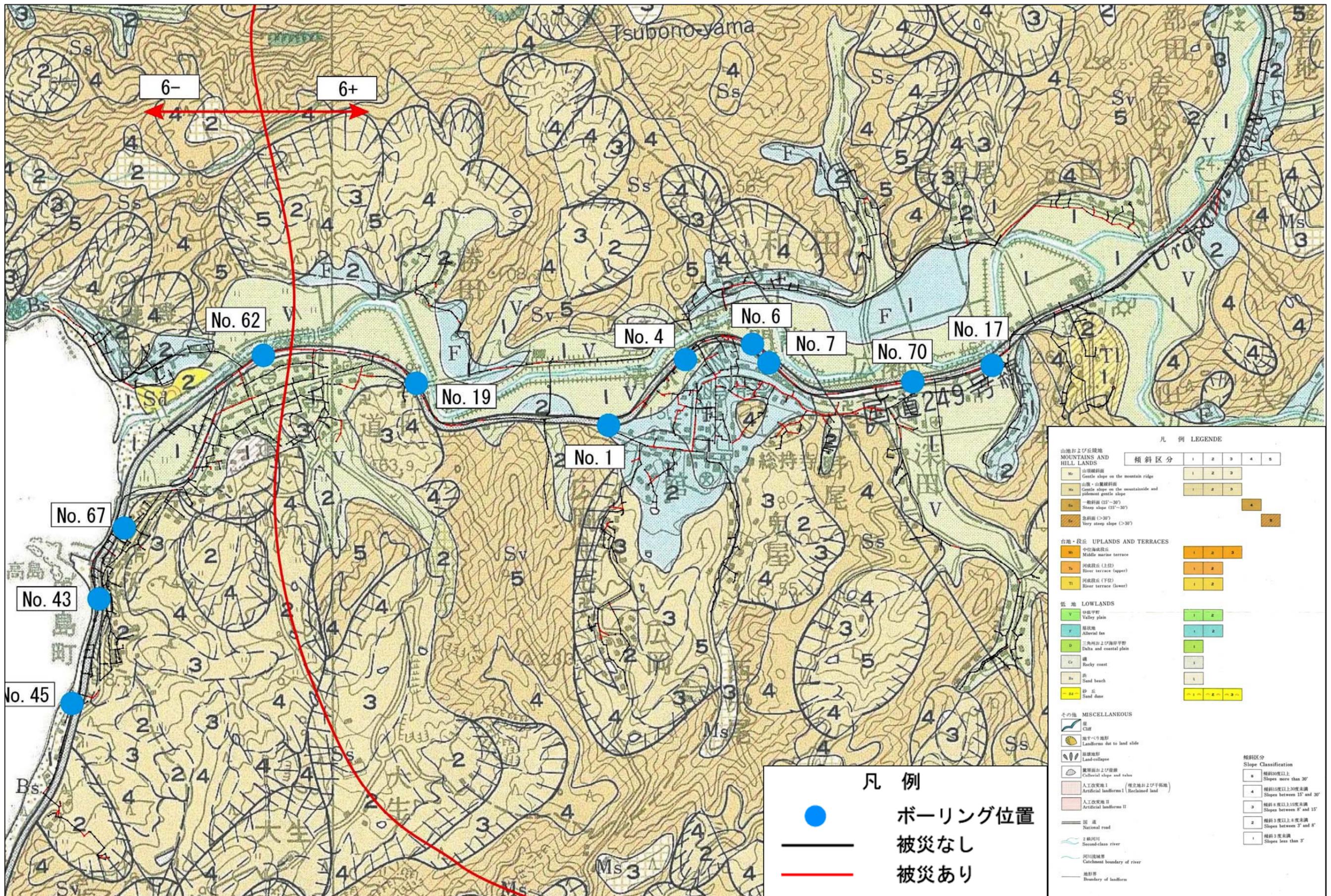


図 I-1 石川県輪島市門前処理区の地形分類、被災箇所、ボーリング位置、推計震度分布

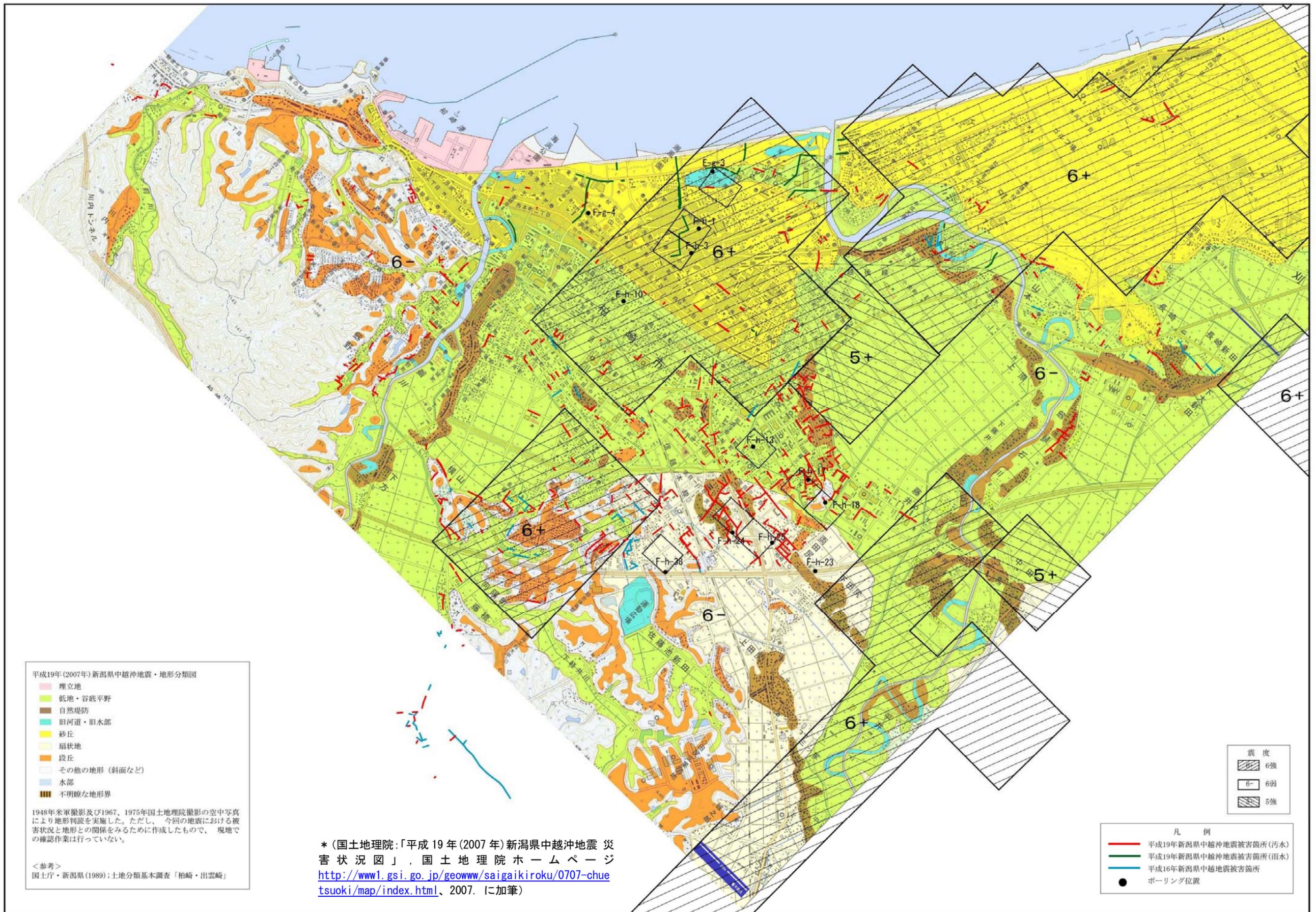


図 I - 4 旧柏崎市の微地形分類、被災箇所、ボーリング位置、推計震度分布

整理番号	F—h—17	調査場所	柏崎市大字田塚地内	標高	—																
所属	県・農地部	調査名	柏崎市下水道汚水幹線管渠埋設地盤調査	深度	10.45 m																
調査方法	□-71-式	調査年月日	昭和42年 月 日 ~ 5月 2日	孔内水位	GL-0.50 m																
標尺 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	色 調	土 質 名	観 察	試料採取位置	物理試験										力学試験				
							標準貫入試験 N値				湿潤密度 (%)	自然含水比 (%)	同 隙 比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	粒 度 配 合 (%)			圧密試験		
							10	20	30	40						粘 土 (%)	シルト (%)	砂 (%)	礫 (%)	圧密係数 (%)	圧縮係数 (%)
1	2.70		黄褐色	益 土	粘土が主体。上部に玉石																
2	2.80		暗灰色	砂質シルト	微粒砂、細砂を多く混入。腐植物を少し混入																
4			暗灰色	シルト質粘土	腐植物を少し混入。4.50m ~ 6.00m 間細砂を多く混入。互層状を呈する																
9	10.45		黄褐色	益 土	9.00m 附近に黄褐色、黄褐色の粗砂及び砂質シルトを混入																

図 I - 6 「低地・谷底平野」の代表的なボーリング柱状図 (F-h-17) (旧柏崎市)

整理番号	E—g—3	調査場所	柏崎市栄町北園地内	標高	TP 5.16 m																
所属	柏崎市役所	調査名	柏崎市公井下水道汚水幹線管渠埋設地盤調査	深度	8.50 m																
調査方法	□-71-式	調査年月日	昭和42年 5月 9日 ~ 月 日	孔内水位	GL-3.49 m																
標尺 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	色 調	土 質 名	観 察	試料採取位置	物理試験										力学試験				
							標準貫入試験 N値				湿潤密度 (%)	自然含水比 (%)	同 隙 比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	粒 度 配 合 (%)			圧密試験		
							10	20	30	40						粘 土 (%)	シルト (%)	砂 (%)	礫 (%)	圧密係数 (%)	圧縮係数 (%)
1	0.20		暗褐色	砂 礫	中砂が主体。黄砂を多く混入する。一部は黄褐色・粘粒土を混入																
2			暗褐色	粗 砂	粗砂が主体とし、中砂を多く混入する。																
5	1.80		黄褐色	粗砂混り粗砂	粗砂が主体とし、2-5%の細砂を多く混入する。																
6	2.20		淡緑灰色	砂混りシルト	シルトが主体に砂及び粘土を混入する。																
7	2.80		暗青灰色	砂、シルト互層	シルト・砂が互層状。腐植物混入																
8	3.50		暗褐色	粗 砂	粗砂が主体。中砂を混入																

図 I - 7 「砂丘」の代表的なボーリング柱状図 (E-g-25) (旧柏崎市)

(3) 管路施設の被害と機能障害の関係

管路施設が被災すると、下水道の流下機能の他、下水道管路が敷設されている道路の交通機能に障害を与えることがある。ここでは、平成16年 新潟県中越地震、平成19年 能登半島地震、平成19年 新潟県中越沖地震において、管路施設の被害が、下水の流下機能及び道路交通機能に与えた影響について検討した。

1) 流下機能への影響

管路施設が被災し、マンホールの突出や管路のたわみに伴い流下に必要な勾配が確保されない等の理由で、流下機能障害が発生した場合、① バキュームカーによる滞水の除去、② 仮設配管と仮設ポンプの設置によって流下機能を代替するという対応がとられる。ここでは、流下機能の確保ができていない延長として、仮設ポンプで対応した路線延長として整理した。門前処理区と旧柏崎市、および参考として平成16年 新潟県中越地震の小千谷市について、被害率及び仮設配管の設置が必要な流下機能を喪失した被害が発生した状況を、機能支障率（＝仮設配管延長／管路総延長）として整理したものを表 I-13 に示す。この表に示すように、平成16年 新潟県中越地震と平成19年 能登半島地震の機能支障率は同程度であり、新潟県中越沖地震の機能支障率はそれらの地震の1/7程度であった。

表 I-13 仮設配管設置延長

地震名	平成16年 新潟県中越地震	平成19年 能登半島地震	平成19年 新潟県中越沖地震
対象地域名	小千谷市	輪島市門前処理区	旧柏崎市
整備面積	762.0 ha	144.4 ha	1861.0 ha
①管路総延長	183.0 km	52.3 km	436.8 km
②被災延長	31.1 km	10.5 km	36.0 km
③被害率(②/①)	17.0 %	20.1 %	8.2 %
④仮設配管延長	4.455 km	1.664 km	1.890 km
⑤対総延長機能支障率 (④/①)	2.4 %	3.2 %	0.4 %
⑥対被災延長機能支障率 (④/②)	14.3 %	15.8 %	5.3 %
参考：管路総延長/ 整備面積	240 m/ha	362 m/ha	235 m/ha

2) 道路交通機能への影響

平成16年新潟県中越地震、平成19年能登半島地震、平成19年新潟県中越沖地震のいずれにおいても、マンホールの突出が確認された。突出したマンホールは、緊急車両の通行障害等、道路交通に影響を与える。ここでは、マンホール突出高さに着目し、管路施設の被害が道路交通機能に与えた影響について検討した。

これらの3地震において、表I-12に示した管路施設の被害が大きかった地区におけるマンホールの突出状況を、分布図として整理した結果を図I-8に示す。

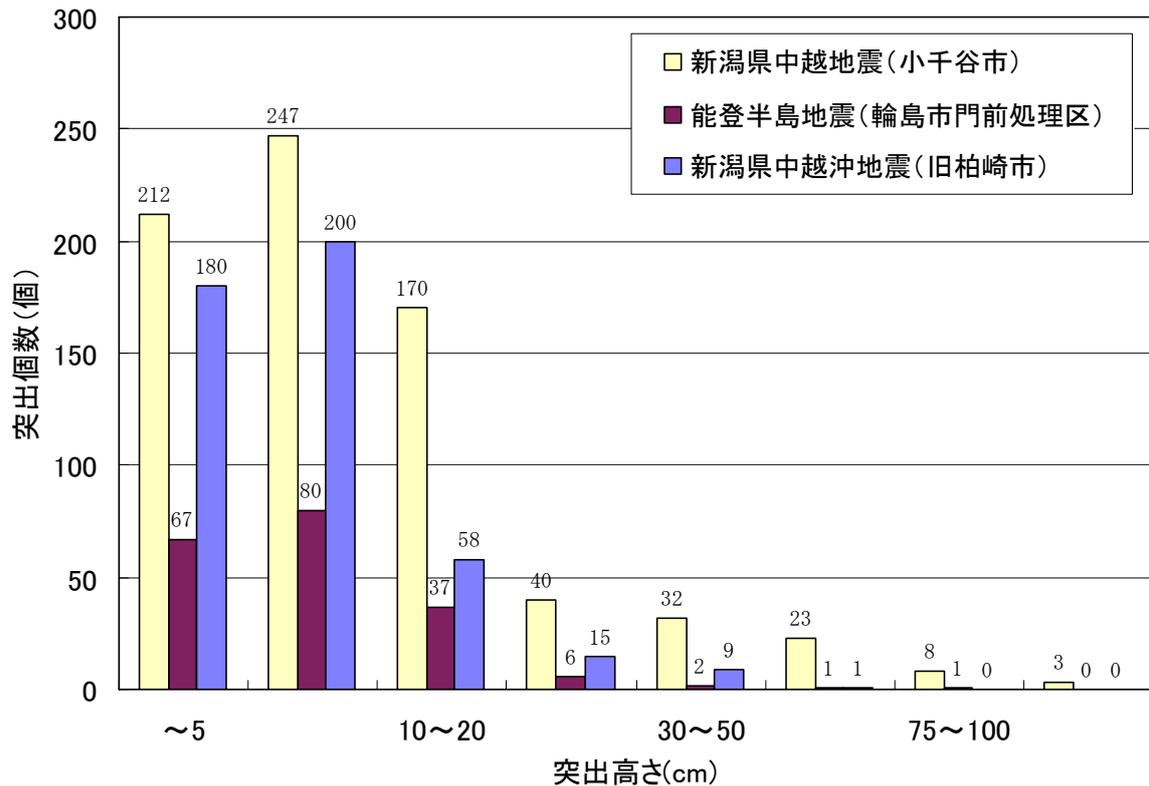


図 I-8 平成16年新潟県中越地震、平成19年能登半島地震、平成19年中越沖地震におけるマンホールの突出高さの分布

下水道の地震対策マニュアル 2006年版((社)日本下水道協会)には、通行障害の目安として緊急措置実施目安の判断基準を示しており、表I-14は関係箇所を抜粋したものである。

表 I-14 被害程度の分類の目安(緊急調査*)

施設	調査項目	被害程度		
		小	中	大
道路	路面とマンホールの段差	車の走行で衝撃を感じる(段差3cm以下)	車の走行に支障あり(3cm~10cm)	車の走行不能(10cm以上)

*「下水道の地震対策マニュアル 2006年版、(社)日本下水道協会」の表4.3.5より作成。

図 I—9 は、突出したマンホールの中で、表 I—14 において緊急車両の通行が不可能とされている突出高 10cm 以上のマンホールの割合を示したもので、平成 16 年 新潟県中越地震が 37.6%、平成 19 年 能登半島地震が 24.2%、平成 19 年 新潟県中越沖地震が 17.9%となっている。

また、突出高が 10cm を越えるマンホール個数を整備面積 1ha 当たりで求めると、平成 16 年 新潟県中越地震と平成 19 年 能登半島地震では 0.3~0.4 (個/ha)、平成 19 年 新潟県中越沖地震では 0.04 (個/ha) となった。

以上のことから、平成 19 年 新潟県中越沖地震は、平成 16 年 新潟県中越地震や平成 19 年 能登半島地震に比べ、通行障害となるようなマンホールの突出は少なかったと考えられる。

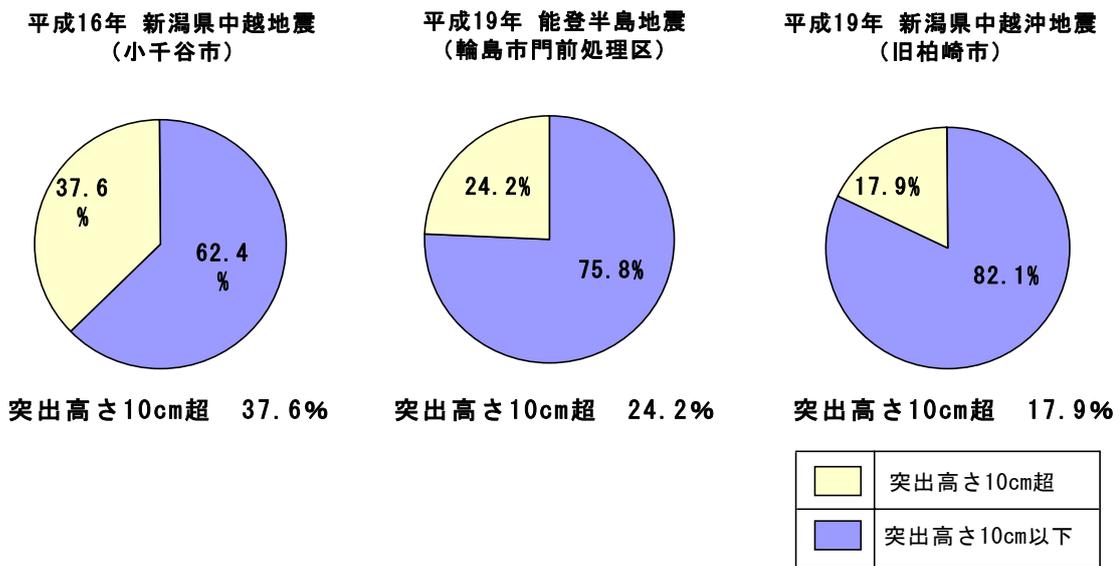


図 I—9 平成 16 年 新潟県中越地震、平成 19 年 能登半島地震、平成 19 年 中越沖地震におけるマンホール突出高さ 10cm 超の割合

(4) 埋戻し土の液状化対策の効果

(1) で述べたとおり、平成 19 年 能登半島地震及び平成 19 年 新潟県中越沖地震では、埋戻し土の液状化に起因する被害が多く発生した。その一方で、これらの 2 つの地震の被災地域では、埋戻し土の液状化対策として、「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言（平成 16 年 11 月、下水道地震対策技術検討委員会）」に基づく埋戻し土の固化又は締固めを実施している箇所が存在した。そこで、埋戻し土の固化及び締固めによる液状化対策の効果について検証を行った。

1) 埋戻し土の固化による対策効果の検証

A) 管渠

平成 16 年 新潟県中越地震の被災地域のなかには、「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言（平成 16 年 11 月、下水道地震対策技術検討委員会）」に基づく埋戻し方法のうち、セメント系固化剤による埋戻し土の固化を実施した地方公共団体がある。

ここでは、平成 19 年 新潟県中越沖地震で震度 6 弱以上(余震を含む)を記録した地方公共団体における耐震対策実施管渠の被害状況を整理した。**表 I-15** に震度と平成 16 年中越地震後の復旧工事における埋め戻し方法を、**表 I-16** に中越沖地震における再被災状況を示す。

表 I-15 震度と平成 16 年 新潟県中越地震の復旧時の埋め戻し方法

地方公共団体		震度			H16中越地震後の 埋め戻し方法
		平成16年	平成19年		
			本震	最大余震 [※]	
小千谷市		6 強	6 弱	5 弱	固化（プラント混合）
長岡市	旧三島町	6 弱	6 弱	4	固化（プラント混合）
	旧和島村	5 強	5 強	6 弱	固化（現場混合）
	旧小国町	6 強	6 強	4	固化（プラント混合）
出雲崎町		5 強	6 弱	6 弱	固化（プラント混合）
柏崎市	旧柏崎市	5 弱	6 強	5 弱	固化（現場混合）
	旧西山町	5 弱	6 強	6 弱	固化（現場混合）

※最大余震 平成 19 年 7 月 16 日 15:37 発生

**表 I - 16 平成19年 新潟県中越沖地震における埋戻し土の固化による
耐震対策実施管渠の被災状況**

地方公共団体	災害復旧した管渠			新設した管渠		
	H16 中越地震 復旧管渠 (km)	H19 中越沖 再被災管渠 (km)	管 渠 再被災率 (%)	対策を適用し た新設管渠 (km)	H19 中越沖 被災管渠 (km)	管 渠 被災率 (%)
小千谷市	31.1	0	0%	4.43	0	0%
長岡市	旧三島町	1.8	0	0%	0	0
	旧和島村	6.1	0	0%	1.17	0
	旧小国町	9.6	0	0%	0	0
出雲崎町	3.1	0.2	7.4%	0	0	0%
柏崎市	旧柏崎市	3.9	0	0%	15.1	0
	西山町	0.3	0	0%	0	0
合 計	55.9	0.2	0.4%	20.71	0	0%

※中越沖地震で震度6弱以上(余震を含む)を記録した地方公共団体のみ

表 I - 16 より、小千谷市、長岡市(旧三島町、旧和島村、旧小国町)、柏崎市(旧柏崎市、旧西山町)では再被災がなく、出雲崎町のみで再被災があり、対策を適用した自治体全体での再被災率は 0.4% (230m/55,900m) であった。

出雲崎町における管渠の再被災率は 7.4% (230m/3,100m) であったが、マンホール(人孔)の再被災はなく、管路の流下機能に支障を及ぼす被害もなかった(再被災の状況の詳細は後述)。

以上のことから、緊急提言に基づく埋戻しの固化による液状化防止対策は有効に働いたと考えられる。

a) 再被災箇所の特徴

平成 19 年 新潟県中越沖地震における出雲崎町での再被災は図 I-10 に示す 3 ヶ所で発生し、その被災総延長は 230m である。再被災箇所の特徴を以下に示す。

i) 再被災した箇所の地形等

- ・立石地区は山の裾野に位置する道路であり、道路脇には水田がある。被災時期の水田には水がはってあった。
- ・川西地区、稲川地区も同様に山の裾野の道路であり、道路脇には河川がある。

ii) 再被災した管渠の被害内容

- ・3 箇所いずれも管路のたるみであった。

iii) 再被災した管渠の被害程度

- ・3 箇所とも流下機能を損なうものではなかった。

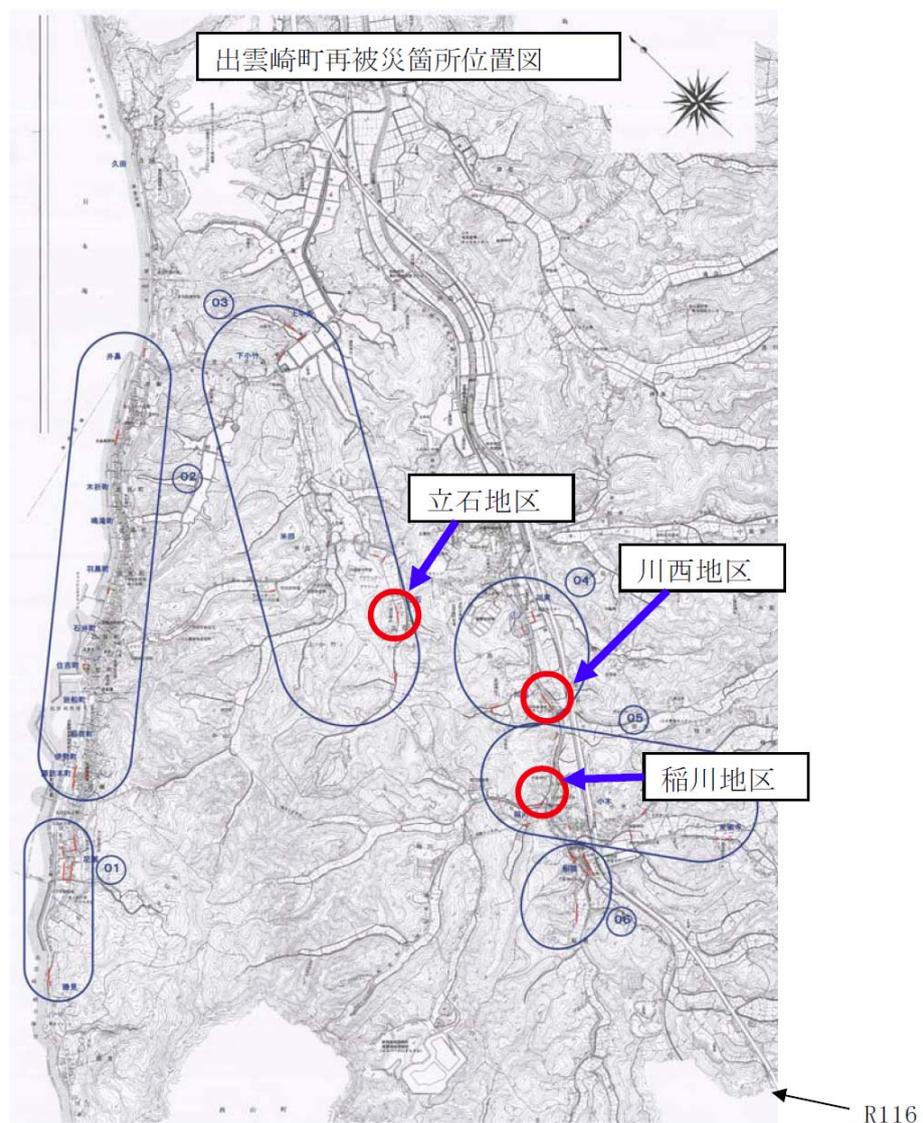


図 I-10 出雲崎町における埋戻し土の固化を適用し再被災した管路の位置

b) 再被災の要因

出雲崎町で再被災した3箇所について、その原因の推察に必要なデータを収集するため、以下の内容で現地調査を行った。

[試験内容]

- ・簡易動的貫入試験 (JGS 1443) : 道路高より深さ 3m 程度まで
 - ・現場密度試験 (JIS A 1214)
 - ・土粒子の密度試験 (JIS A 1202)
 - ・土の含水比試験 (JIS A 1203)
 - ・土の粒度試験 (JIS A 1204)
 - ・突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210)
 - ・一軸圧縮試験
 - ・蛍光 X 線オーダー分析
 - ・酸化カルシウム分析
- } : 埋戻し施工基面及び管頂付近の2箇所
- } 埋戻し土中のセメント量を推定するために実施

調査における掘削状況の観察結果及び、室内土質試験用としてブロックサンプリングした埋戻し土の状況* (強度がないため試験不可能) から、埋戻し土は固化した形跡が見られなかった。また、簡易貫入試験から、稲川地区では埋戻し土のNd値が5以下と低い値であり、埋戻し土が固化していないと考えられた。

*: ブロックサンプリングした試料の状態は、一軸圧縮強度試験が実施不可能な強度であった。

そこで、埋戻し土のセメント含有量を推定するため、現地で採取した試料について、酸化カルシウム分析と蛍光 X 線オーダー分析を実施した。その結果、3箇所とも設計配合量 30kg/m³程度のセメントが混入されていると推定された。

以上の試験結果から、出雲崎町の被災箇所では、セメントは適切に混合されたが、所定の強度が発現せず、震災時に液状化防止の効果を十分に発揮できなかったと推測される。

所定の強度が発現しなかった要因としては、以下が考えられる。

○ 湧水の影響

室内土質試験用の試料採取時の観察状況から、現場は地下水位が高く、湧水が多い状況であった。この湧水の多さが、強度発現に影響した可能性がある。

○ 製造から埋戻しまでの時間が長いこと

出雲崎町では、プラントで製造した埋戻し土を、ダンプトラックで現場まで運搬して施工している。製造から埋戻しまでの時間について出雲崎町にヒアリングしたところ、8時間以内を目標としているとのことであるが、再被災箇所での実際の所要時間は不明であった。また、プラントで製造し、ダンプトラックで運搬している新潟県内の他の自治体にヒアリングした結果、製造から埋戻しまでに数日間を要している事例も見られた。これらのことから、製造や施工の都合上、製造後の仮置き時間が長くなった材料を使用した可能性がある。

製造後の仮置き時間が長い場合には、解きほぐしを行い、施工することとなるが、セメント系材料の場合、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル、セメント協会」の「7.5 配合設計」では、強度が著しく低下することが例示されている (図 I-11 参照)。この理由として、一旦形成された固化処理の固化が、解きほぐしの過程により破壊されるためとされ

ている。なお、この試験結果は、改良前の土の種類や性状、固化材の配合量（参考文献：120～210kg/m³、出雲崎町 約30kg/m³）とも埋戻し土の液状化防止対策で実施しているものと異なるため、そのまま比較することは困難であるが、解きほぐしにより強度が低下するという現象を考える上では、参考になると考えられる。

以上のことから、製造から埋戻し実施までの仮置き時間が長くなった材料を、一旦解きほぐして使用したため、強度低下が生じ、十分な固化がされなかった可能性が考えられる。

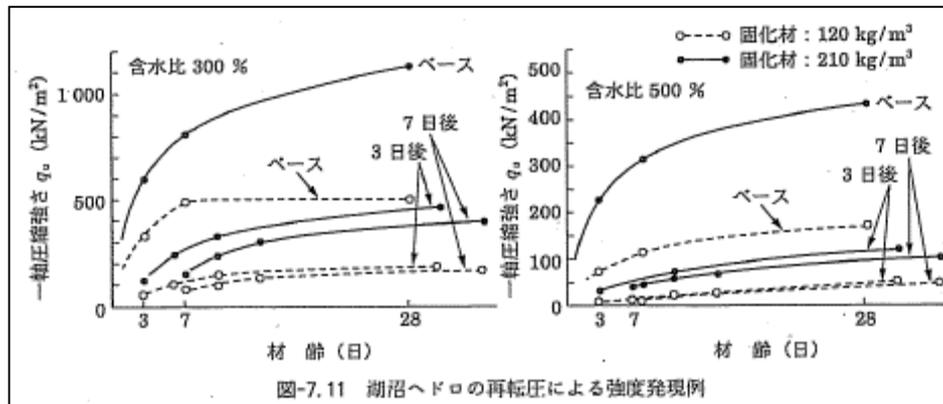


図 I - 11 解きほぐしによるセメント系固化土の強度低下の例

* 「セメント系固化材による地盤改良マニュアル、セメント協会、7.5 配合設計」より

B) マンホール

平成 19 年 新潟県中越沖地震で震度 6 弱以上(余震を含む)を記録した地方公共団体（合併市については旧市町村単位）を対象とし、埋戻し部の固化を実施した箇所でのマンホールの被害状況を整理した。その結果を表 I - 17 に示す。

埋戻し部の固化を実施したマンホール数は、平成 16 年新潟県中越地震で被災し、埋め戻しの固化により復旧した 1,288 箇所、および「新潟県中越地震を踏まえた下水道施設の耐震対策について（平成 17 年 10 月 28 日付き国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長通知）」の通知以降に新設した 745 箇所の計 2,033 箇所である。このうち、平成 19 年 新潟県中越沖地震で被害が発生したマンホールは 17 箇所であり、さらに、被害のあった 17 箇所のうち、マンホール突出は 6 箇所、マンホール突出に限れば被災率は 0.3% (6 箇所/2,033 箇所) である。また、マンホール突出の被害があった 6 箇所のマンホール突出高は平均で 6.3cm、最大で 7.5cm であり、流下機能への支障は生じなかった。なお、埋戻し土の固化による対策箇所と未対策箇所でのマンホールの突出状況の相違の例を表 I - 22 に示す。

以上のことから、耐震対策指針に示されている埋戻しの固化による液状化対策工法は、マンホール突出対策工法として有効であるといえる。

表 I -17 埋戻し部の固化を適用した箇所でのマンホールの被害状況

自治体名	埋戻し部の固化を実施したマンホール数			埋戻し部の固化を実施したマンホールのうち、被害が発生したマンホール数		
	中越地震で被災し復旧したマンホール	H17年通知以降に新設したマンホール	計	中越地震で被災し復旧したマンホール	H17年通知以降に新設したマンホール	計
小千谷市	981	172	1,153	0	0	0
長岡市	旧三島市	32	0	32	0	0
	旧和島市	0	30	30	0	0
	旧小国町	203	0	203	0	0
出雲崎町	20	0	20	0	0	0
柏崎市	旧柏崎市	44	543	587	0	17
	旧西山町	8	0	8	0	0
合計	1,288	745	2,033	0	17	17
備考					[17箇所の内訳] マンホール突出 6 その他 11	

表 I -18 埋戻し土の固化による対策箇所と未対策箇所マンホールの突出状況の相違*

埋戻し土固化による対策箇所の突出状況	未対策箇所の突出状況
	
突出量約 7.5cm	突出量約 53cm
	
突出量約 7.5cm	突出量約 25cm

*写真はいずれも柏崎市での事例

2) 埋戻し土の締固めによる対策効果の検証

A) 管渠

埋戻し土の締固めによる対策実施効果を確認するため、現地調査により締固めの状態を確認した。

a) 調査箇所の概要

現地調査は、対策実施の有無と被害の有無で分類し、以下の3種類の条件に合致する箇所ですべて実施した。

i) 埋戻し土の締固めを実施した箇所：新潟県上越市柿崎処理区

「新潟県中越地震を踏まえた下水道施設の耐震対策について（平成17年10月28日付き国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長通知）」の通知以降に、管理値（路床工で締固め度90%程度以上）を設定し、埋戻し土の締固めによる対策を実施していた。平成19年新潟県中越沖地震発生時には、平成18年度施工箇所において3,545mの管渠で対策が適用されており、この地震における上越市柿崎処理区の震度は6弱であったが、対策実施箇所では、被災は生じなかった。

ii) 従来通りの施工で被災が発生しなかった箇所：石川県輪島市門前本市地区、新潟県柏崎市釧地区

これらの地区では、購入土（砂）による埋戻しが実施されていたが、締固め度90%程度以上を設定した管理は特にされていなかった。平成19年能登半島地震、平成19年中越沖地震で震度6弱程度となったが被災は生じなかった。

iii) 従来通りに施工して被災が発生した箇所：石川県輪島市杉平町地内、輪島市山本町地内、輪島市門前町本町地内、輪島市門前町和田地内

ii) 同様に、これらの地区では、購入土（砂）による埋戻しが実施されていたが、締固め度90%程度以上を設定した管理は特にされていなかった。これらの箇所は、平成19年能登半島地震、平成19年中越沖地震で震度6弱程度となり、いずれも被災が発生し、輪島市山本地内と輪島市門前町和田地内では流下機能に支障が発生した。

b) 締固め度の試験結果

試験内容を以下に、各箇所における締固め度の確認結果を表I-19に示す。締固め度の管理の有無にかかわらず、被災が生じなかった箇所では、締固め度は90%程度以上が確保されていた。一方、被災が生じた箇所では、締固め度は84~89%と、いずれも締固め度が90%程度以上を満足していなかった。これらの結果から、締固め度90%程度以上の箇所で被害が発生しておらず、液状化防止対策として、埋戻し土の締固めは有効であると考えられる。

[試験内容]

- ・ 簡易動的貫入試験 (JGS 1443)
- ・ 現場密度試験 (JIS A 1214)
- ・ 土粒子の密度試験 (JIS A 1202)

- 土の含水比試験 (JIS A 1203)
- 土の粒度試験 (JIS A 1204)
- 突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) 簡易動的貫入試験
- 現場密度試験

表 I-19 調査箇所の締固め度の確認結果

調査場所*1	調査条件*2	被害の有無、程度*3	地形区分*4	周辺の土質*5	地下水位*6 (G. L. - m)	調査位置	現場密度試験による乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	締め固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	締固め度*7 ρ_d / ρ_{dmax} (%)
新潟県上越市柿崎処理区 (平成 19 年 新潟県中越沖地震)	i	・無し	—	・砂、砂質土	-2.0 程度	上層	1.846	1.840	100.0
						下層	1.668	1.691	99.0
石川県輪島市門前本市地区 (平成 19 年 能登半島地震)	ii	・路面陥没 約 1cm	・谷底平野	・シルト質粗砂	-0.7	上層	1.496	1.509	98.1
						下層	1.430	1.522	93.0
新潟県柏崎市刃地区 (平成 19 年 新潟県中越沖地震)	ii	・路面陥没 約 5cm	・低地・谷底平野	・粘土	-0.8	上層	1.899	1.726	105.0*8
						下層	1.787	1.738	98.0
石川県輪島市杉平町地内 (平成 19 年 能登半島地震)	iii	・管渠たるみ、逆勾配、マンホール内の滞水	・扇状地	・粘性土	-1.5~-3.4	上層	1.585	1.772	89.4
						下層	1.555	1.768	88.0
石川県輪島市山本町地内 (平成 19 年 能登半島地震)	iii	・路面陥没 ・管渠の浮上がり、破断 ・流下不能のため、仮設ポンプ、仮設配管設置	・扇状地	・礫混じり粘性土、砂、シルト質粘性土	-1.7	上層	1.483	1.686	86.1
						下層	1.676	1.690	97.3*8
石川県輪島市門前町本町地内 (平成 19 年 能登半島地震)	iii	・管渠たるみ、逆勾配、マンホール内の滞水	・谷底平野	・礫混じり砂質シルト、砂質シルト	-1.1	上層	1.502	1.697	88.5
						下層	1.479	1.699	87.1
石川県輪島市門前町和田地内 (平成 19 年 能登半島地震)	iii	・数十 cm の路面陥没 ・管渠たるみ、抜出 ・マンホール浮上 約 90cm、マンホール内の滞水 ・流下不能のため、仮設ポンプ、仮設配管設置	・谷底平野	・礫混じり砂質シルト、砂質シルト	-1.1	上層	1.339	1.584	75.8
						下層	1.401	1.589	79.5

- * 1 調査場所 : 調査箇所の下の () 内は、関係する地震名
- * 2 調査条件 : i) 埋戻し土の締め固めを実施した箇所
ii) 従来通りの施工で被災が発生しなかった箇所
iii) 従来通りに施工して被災が発生した箇所
- * 3 被害の程度、有無 : 災害査定資料、現地調査時の観察結果をもとに記載
- * 4 地形区分 : 図 I-1、I-4 等をもとに、確認できた調査場所について記載
- * 5 周辺の土質 : 調査箇所近辺のボーリング柱状図、現地調査時の観察結果をもとに記載
- * 6 地下水位 : 現地調査時の確認、調査箇所近辺のボーリング柱状図、自治体に対する施工当時の状況のヒアリングをもとに記載
- * 7 締め固め度 : 災害査定資料、現地調査時の計測結果をもとに、路面の沈下による影響について補正を実施
- * 8 補正後の締め固め度 : 現場密度試験の際に、礫の影響を受けたため、高い密度が計測された可能性がある

B) マンホール

新潟県上越市柿崎処理区では、「新潟県中越地震を踏まえた下水道施設の耐震対策について（平成 17 年 10 月 28 日付き国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長通知）」の通知以降に、埋戻し土の締固めによる対策を実施しており、平成 19 年 新潟県中越地震発生時では、対策を実施した 111 個のマンホールの被害は 0 であった。以上のことから、耐震対策指針に示されている埋戻しの締固めによる液状化対策工法は、マンホール突出対策工法として有効と判断される。

(5) 推進工法整備区間での被害要因

平成 16 年 新潟県中越地震においては、推進工法で布設された管路施設に被害はなかったと報告されている。しかし、(1)で述べたとおり、輪島市門前処理区（平成 19 年 能登半島地震）と旧柏崎市（平成 19 年 新潟県中越沖地震）において、表 I-20 に示すとおり推進工法整備区間の管路に被害が発生した。このため、その被害状況を整理するとともに、被害要因の検討を行った。

表 I-20 輪島市門前処理区及び旧柏崎市の推進工法布設状況と被災状況

		輪島市門前処理区	旧柏崎市
推進工法	総延長 (km)	2.110	29.884
	被災管路延長 (km)	0.757	0.381
	被災率 (%)	35.9	1.3

1) 平成 19 年 能登半島地震

A) 輪島市門前幹線の概要

門前幹線は輪島市門前処理区の国道 249 号線下に布設されており、図 I-12 に示すとおり、全長 4,352.04mのうち、推進工法区間が 2,109.57m、開削工法区間が 2,242.47m となっている。推進工法区間と開削工法区間が交互につらなっており、推進工法区間は 6 区間（区間 1～区間 6）に区分される。推進工法で布設されている門前幹線の管種、管径、延長等は表 I-21 に示すとおりである。

推進管は管径が 200mm から 450mm の小口径管で、工法に応じて VU 管と HP 管が使用されている。土被りは 3.56m～6.93m と 7m に近い場所もある。施工は平成 5 年度から 12 年度にかけて行われており、いずれも「下水道施設の耐震対策指針と解説（2006 年版）」（(社)日本下水道協会）は適用されていない。

表 I-21 門前幹線における推進工法管路の基本諸元

区間名	推進工法基本諸元					施工年度	耐震指針の適用の有無
	管径 (mm)	管種	延長 (m)	土被り (m)	スパン数		
区間 1	450	VU	140.23	5.22～4.84	3	平成 5 年度	無
	450	HP	50.11	4.87～4.77	1	平成 5 年度	無
	400	HP	453.19	6.40～5.20	8	平成 5 年度	無
	区間計		643.53	6.40～4.77	12	平成 5 年度	無
区間 2	400	VU	12.90	4.03～3.83	1	平成 8 年度	無
区間 3	400	VU	8.85	3.56～3.59	1	平成 8 年度	無
区間 4	450	HP	419.20	5.45～4.22	6	平成 9 年度	無
	350	HP	259.11	6.93～4.22	3	平成 9 年度	無
	区間計		678.31	6.93～4.22	9	平成 9 年度	無
区間 5	300	HP	13.07	4.65～4.71	1	平成 10 年度	無
区間 6	200	VU	752.91	5.59～5.06	12	平成 11～12 年度	無
全体			2109.57	6.93～3.56	36	平成 5～12 年度	無

*：「下水道施設の耐震対策指針と解説、2006 年版」（(社)日本下水道協会）の適用の有無を言う。
管種 VU は鋼管もしくはヒューム管で鞘管推進した後に挿入されている。

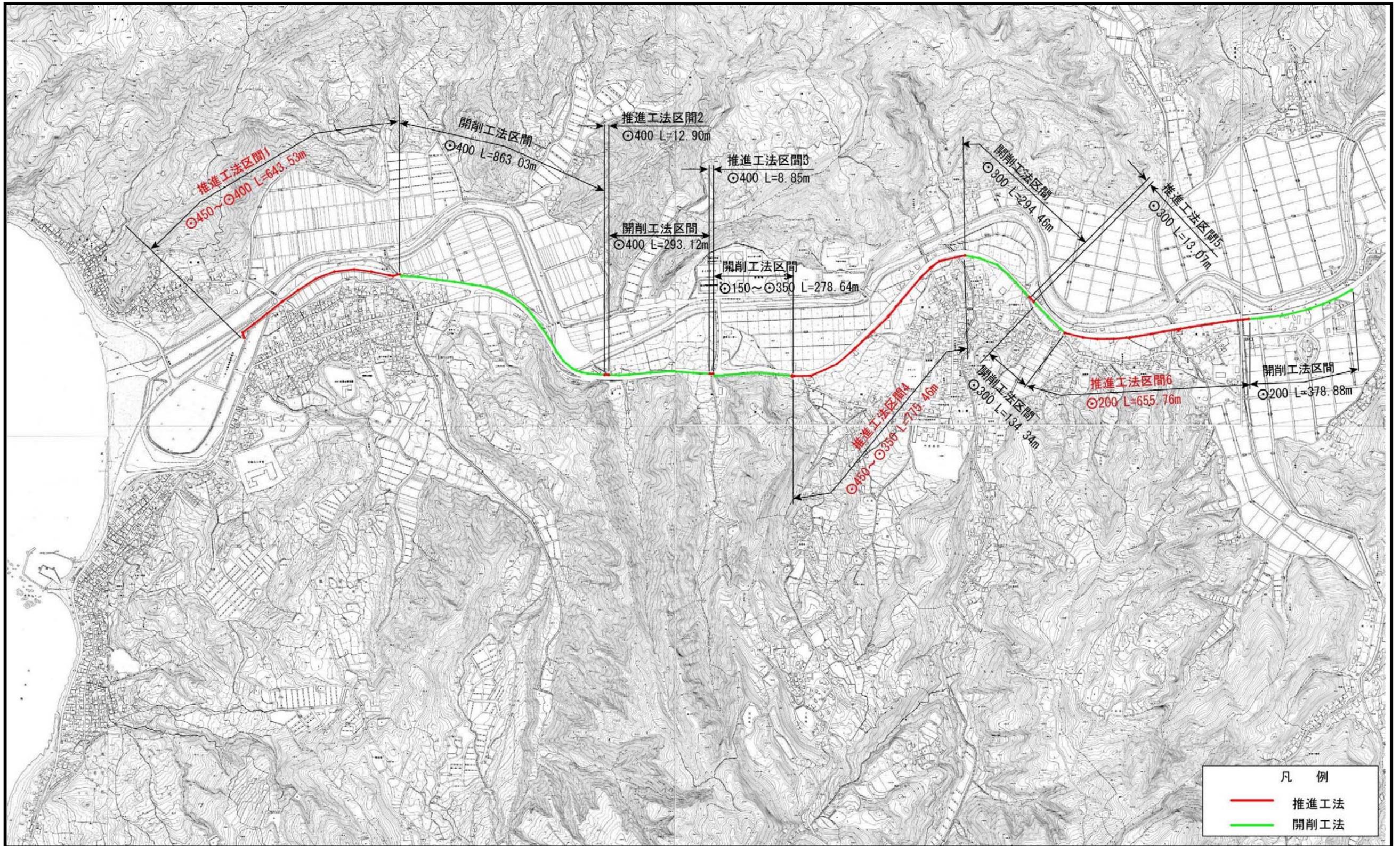


図 I - 12 門前幹線の位置と施工方法区分図

B) 門前幹線の被災状況

門前幹線の推進区間の被害状況は、表 I-22 に示すとおりである。全 6 区間のうち、管路延長の短い区間 2、3 及び 5 で被害はなかったが、区間 1、4、6 においては以下のような被害が発生した。

- ・被災した全区間で、たるみや最小勾配不足など、管全体の変形被害が見られた。
- ・区間 1 においては、円周方向のクラック・浸入水・破損・継ぎ手破損など管本体部の被害が発生した。

ただし、推進工法区間のいずれの被災箇所も、流下機能を確保するために仮設ポンプを要するほどの被害はなかった。仮設ポンプは、門前処理区全体で 31 箇所、そのうち門前幹線の開削工法区間で 4 箇所設置しており、被害程度は開削工法区間の方が大きかった。

表 I-22 推進管の被害状況

区間名	管径・管種・スパン数			被害状況 (スパン数)							
	管径 (mm)	管種	スパン数	最小勾配不足 (逆勾配含む)	たるみ	円周方向クラック	管軸方向クラック	浸入水	破損	継ぎ手ずれ	継ぎ手破損
区間 1	450	VU	3	0	0	0	0	1	1	0	0
	450	HP	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	400	HP	8	2	4	6	0	4	0	2	1
	区間計			12	2	4	7	0	6	1	2
区間 2	400	VU	1	0	0	0	0	0	0	0	0
区間 3	400	VU	1	0	0	0	0	0	0	0	0
区間 4	450	HP	6	0	1	0	0	0	0	0	0
	350	HP	3	1	0	0	0	0	0	0	0
	区間計			9	1	1	0	0	0	0	0
区間 5	300	HP	1	0	0	0	0	0	0	0	0
区間 6	200	VU	12	2	4	0	0	0	1	0	0
全体			36	5	9	7	0	6	2	2	1

C) 門前幹線の被災発生原因

国道 249 号線の災害査定資料及び門前幹線の災害査定資料から、道路変状量、被災状況、地質想定図及び管路平面縦断図を整理した結果、被害発生の要因は以下の通りと推定される。

a) 地盤変状

推進管が布設されている土層は軟弱な粘性土層か、比較的締まった砂礫層であり、今回の被害は液状化による管路の浮き上がりによるものではないと言える。被災した推進管の下に軟弱な土層が存在していること、道路の災害査定結果から、最大隆起 5cm、最大沈下 36cm といった路面の変状が見られることから、地震により道路を含む当該箇所の地盤が変形し、それに伴い管渠にたるみや最小勾配不足、円周方向クラック等の被害が生じたと考えられる。

b) マンホール近傍の円周方向クラック

表 I-22 に示すように、区間 1 においては、円周方向クラックが 7 スパンで合計 11 箇所確認されたが、災害査定資料を精査したところ、このうち 3 スパンは管口から 2m 以内の場所に発生していることが確認された。

マンホール近傍に生じた円周方向クラックについては、その要因として、以下のようなものが考えられる。

- ・マンホール周辺の埋戻し部の沈下
- ・地震時における、マンホールと管渠の応答の違い（動きの違い）
- ・地震時における、埋戻し土と周辺地山の応答の違い

c) 土留め矢板鏡切部の影響

b) に加え、円周方向クラックが発生した7スパン・11箇所について、当初工事の施行記録を精査し、立坑の矢板打設位置とクラックの発生位置との関係を整理した結果、クラックの多くが立坑山留め矢板の前後に位置することが分かった。

このため、クラックの発生には、鏡切部に存置された矢板を通過する管渠と、拘束を受けない矢板前後の管渠（マンホール含）が異なる動きをするという特殊な要因も影響したと考えられる。

2) 平成 19 年 新潟県中越沖地震

A) 旧柏崎市の推進工法整備区間の概要

旧柏崎市における推進工法での管路敷設路線は広範囲にわたっており、総スパン数約 500 スパン、総延長約 30km に及んでいる。

B) 旧柏崎市推進工法整備区間の被災状況

図 I-13 に示す 152～153、100 及び E-19 の 3 路線において、推進管の被害が発生した。被害状況（表 I-23 参照）の概要は以下のとおりである。なお、これらの管渠は昭和 58 年度～59 年度に施行されており、「下水道施設の耐震対策指針と解説、2006 年版」（日本下水道協会）は適用されていない。

- ・152, 153 及び 100 路線（いずれも昭和 59 年度施工）は、管本体のたるみなど全体にわたって変形被害が見られる。
- ・E-19 路線（昭和 58 年度施工）では、継ぎ手部の破損、ずれ、クラック等の被害が発生しており、下流側人孔では約 50cm の本管の突き出しがある。
- ・仮設ポンプの設置等による対応はなく、重大な流下機能障害は発生しなかった。

表 I - 23 旧柏崎市における推進管の被害状況

管路番号	管種	管径 (mm)	延長 (m)	平均 土被り (m)	被害状況			
					管本体	継ぎ手部	上流側人孔	下流側人孔
152	ヒューム管	250	58.16	3.28	破損 たるみ	無し	無し	無し
153	ヒューム管	250	47.14	3.32	クラック たるみ	無し	無し	無し
100	ヒューム管	250	49.20	3.61	クラック たるみ	浸入水	無し	破損
100	ヒューム管	250	60.53	4.02	破損、 クラック、 たるみ	無し	破損	無し
E-19	ヒューム管	1000	104.11	4.12	クラック	破損	ずれ・破損	ずれ・破損*
E-19	ヒューム管	1000	61.80	5.08	無し	ずれ	ずれ・破損	ずれ・破損
			380.94					

*：約 50cm の本管突き出し発生。

C) 当該地域の地形的特徴

柏崎市から刈羽村にかけては長さ 20km、幅約 5km の谷底平野が広がっており、この平野では基盤が盆状になっており、軟弱な粘性土や腐食土層が厚く堆積していることが多い。沖積層の基底面は起伏に富んでおり、平野の南東部などの地表には、沖積層の基盤である安田層からなる残丘が点在している。このような地形は最終氷河期に、谷地形が樹枝状に複雑に発達して形成されたと考えられている。特にこの地域の谷底低地は一般的な幅と深さの関係より深い埋没谷になっている。

なお、谷底平野の縁辺部では、局所的に揺れが大きい、あるいは大きな相対変位が発生して構造物が被害を受けることが多いと考えられている。

D) 152～153、100 路線の被害要因

152～153、100 路線の地表部には別途開削管が布設されているが、開削管に被害はなかった。推進管敷設位置と地質条件を整理した結果、以下のようなことが確認された。

- ・推進管ならびに開削管の敷設深度の地質は、砂質土である。
- ・開削管の布設位置は、地下水位よりも高い位置にある。
- ・推進管の布設位置は、地下水位よりも低い位置にある。
- ・被災した 100 路線では管路布設位置の N 値は、10 以下で比較的ゆるい砂層であるのに対して、未被災管路の布設位置の N 値は 20 前後と比較的締まった砂層となっている。

また、平成 11 年に N T T - M E が撮影した 1/12,500 の航空写真と平成 19 年 新潟県中越沖地震発生 3 日後に株式会社八洲が撮影した 1/6,000 の航空写真を利用して、地表面の変位を想定した結果、路線方向に 10cm 程度の地盤の水平変位が生じた可能性のあることが確認された（この手法の精度は、絶対変位で±40cm 程度、相対変位で±10cm 程度）

このような状況から、152～153 および 100 路線の被害要因については以下のように想定される。

- ・ 152～153 路線の推進管はN値 20 程度の比較的締まった砂層に布設されており、液状化発生の可能性は低い。被害発生区間と対応するように管軸方向の地表面変異が生じていることを考えると、被害発生の原因は地盤の変状による可能性が高い。
- ・ 100 路線のうち被災した区間は、N値 10 以下の比較的ゆるい砂質土で、地下水位以深に布設されている。液状化が発生した可能性がある。また、砂質土層より下部にあるN値の低い粘性土層が変状した可能性もある。

E) E-19 路線の被害要因

災害査定資料による目開き量の精査、および推進管敷設位置と地盤条件を整理した結果、以下のようなことが確認された。

- ・ E-19 路線における管渠継ぎ手部の目開き量の合計値は 33.5cm であり、下流側人孔内への突出量約 50cm と同じオーダーである。
- ・ 推進管は砂層と粘土層の境界面を通過したのち、大半はN値が 0 から 1 の軟弱な粘土層を通過している。

また、今回被災した推進工法路線と微地形分類との関係を整理した結果、E-19 路線は砂丘と低地・谷底平野の境界付近に敷設されていることがわかった。

さらに、航空写真を利用した地表面変位は、砂丘側から谷底平野側に移動している可能性があることが確認された。

このような状況から、本路線の被害要因については以下のように想定される。

- ・ 地盤の変状による被災
- ・ 地震の揺れにより管渠の目地部で隙間が生じ、管渠が伸びた状態となって人孔内に突出した
- ・ 地質変化点は地震時に何らかの特異点になることから、上流側が微地形分類の境界付近に存在していることが影響を及ぼしたものと考えられる（「下水道施設の耐震対策指針と解説、2006 年版」（日本下水道協会）の「2.2.3 地形」参照）。

なお、地質断面図を精査したところ、N値が 10 以下の AS1 層が存在しており、この層が地震時に液状化して地盤が変位した可能性も考えられる。

F) マンホール近傍の円周方向クラック

円周方向クラックは計 5 スパンで発生したが、このうち 2 スパンは管口から 2m 以内の場所に発生した。

マンホール近傍に生じた円周方向クラックについては、以下のような原因によるものと考えられる。

- ・ マンホール周辺の埋戻し部の沈下
- ・ 地震時における、マンホールと管渠の応答の違い（動きの違い）
- ・ 地震時における、埋戻し土と周辺地山の応答の違い

3) 推進工法整備区間の被害要因のまとめ

輪島市門前処理区門前幹線の推進工法布設路線については、被害状況と地質条件及び路面の変状の状況を整理した。また、柏崎市の推進工法布設路線については、被害状況と地質条件、航空写真による地表面の変位を整理した。その結果、被害要因は以下のように推定される。

A) 管全体の変形被害

たるみや最小勾配不足など管全体の変形被害は、主として道路を含む当該箇所地盤の変状に起因する。

B) 円周方向クラック

管の円周方向クラックの発生原因については、鏡切部に存在する存置された矢板が影響したことに加えて、地震時における、構造変化部（管きよとマンホール）の応答の違いが考えられる。

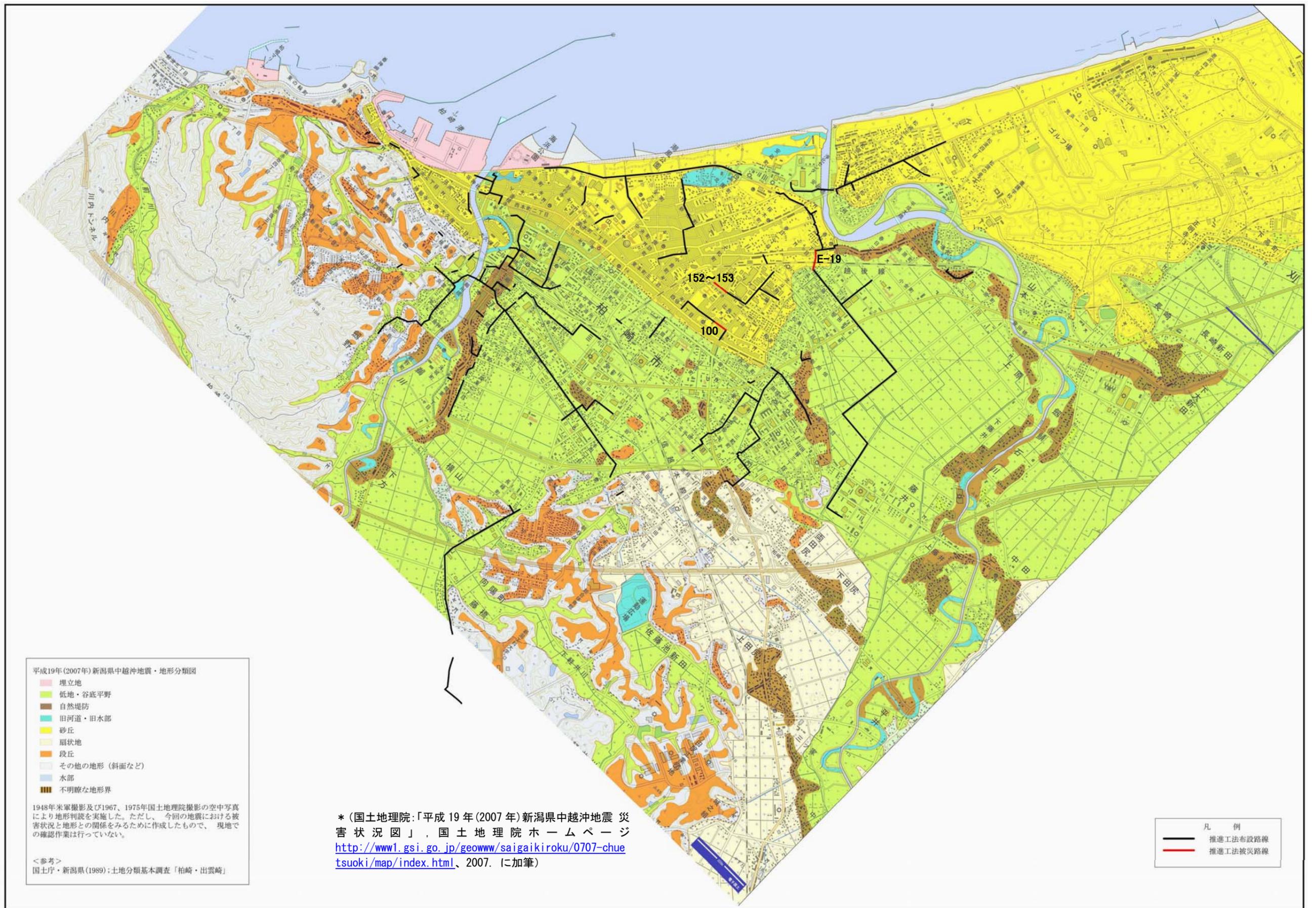


図 I - 13 旧柏崎市における推進工法敷設位置及び被災箇所と微地形分類

(6) 処理場の杭基礎の破損

1-2(2)2) で述べたとおり、平成 19 年 新潟県中越沖地震では、柏崎市自然環境浄化センターで監視汚泥棟の基礎杭が破損するなどの被災が生じた。そこで、その被害状況を整理するとともに、被害要因の検討を行った。

1) 施設の概要

柏崎市自然環境浄化センターの監視汚泥棟の概要を表 I-24、監視汚泥棟の主要な平面及び断面を図 I-14 に示す。

監視汚泥棟は日本下水道事業団指針 (H10) に基づき、構造物の設計は建築基準、基礎の設計は土木基準を適用し、レベル 2 地震動に対する照査を行っている。

地盤流動に関しては、耐震対策指針によると、当該箇所は流動を検討する地盤に該当しないため、流動化に対する設計は行われていない。

* 「下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版」((社) 日本下水道協会) では、以下の条件に合致する場合は、流動発生の有無を判定することとなっている。

- i) 臨海部において、背後地盤と前面の水底との高低差が 5m 以上ある護岸によって形成された水際線から 100m 以内の範囲にある地盤。
- ii) 液状化すると判定される層厚 5m 以上の砂質土層があり、かつ、当該土層が水際線から水平方向に連続的に存在する地盤。

表 I-24 監視汚泥棟の概要

項目	既設部	増設部
構造・規模	鉄筋コンクリート造 地上 3 階地下 1 階	鉄筋コンクリート造 地上 3 階
建築面積	1,629.67 m ²	456.67 m ²
延べ床面積	4,732.03 m ²	968.36 m ²
基礎形式	地盤改良+直接基礎	杭基礎
建設年度	昭和 54~56 年度	平成 13~14 年度

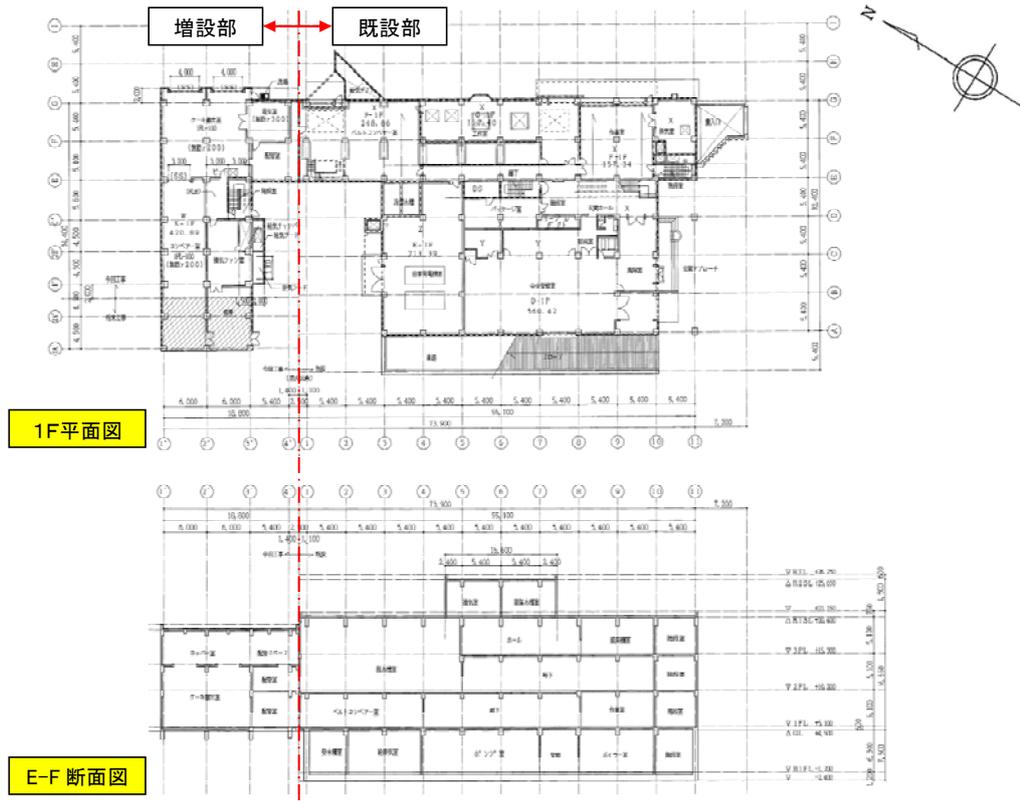


図 I -14 監視汚泥棟平面図及び断面図

2) 被害の概要

平成 19 年 新潟県中越沖地震では、監視汚泥棟増設部の基礎杭に破損等の被害が生じた。既設部については目立った変状は見られていない。なお、既設部は地下室を有しており、サンドコンパクションパイルによる地盤改良土上に直接基礎で構築されている。地震直後（3 日後）の柏崎市自然環境浄化センター付近の航空写真を**写真 I - 1**に、監視汚泥棟周辺地盤の変状を**写真 I - 2**、**写真 I - 3**に示す。また、監視汚泥棟増設部の基礎杭の破損状況を**図 I -15**に、監視汚泥棟周辺地盤の変状及び増設部の残留変位を**図 I -16**に示す。

浄化センターの西側には池（窪地）が存在し、全体的に池に向かって緩やかに下り傾斜がついている。また、北西側及び南西側に水路が存在している。周辺地盤は池の方に向かい西側に変位している。

杭基礎の被害状況については**図 I -15**に示すように、①' 通りについては、ほぼ全数の杭頭に損傷が確認されたが、フーチングの損傷は認められなかった。一方、③' 通りについては、杭頭に加え、フーチングにも損傷が認められた。

図 I -16に示すように、増設部の残留変位は、図中の赤丸部における監視汚泥棟既設部からの相対変位として、短辺方向に 130mm、長辺方向に 185mm、沈下は 70mm であった。

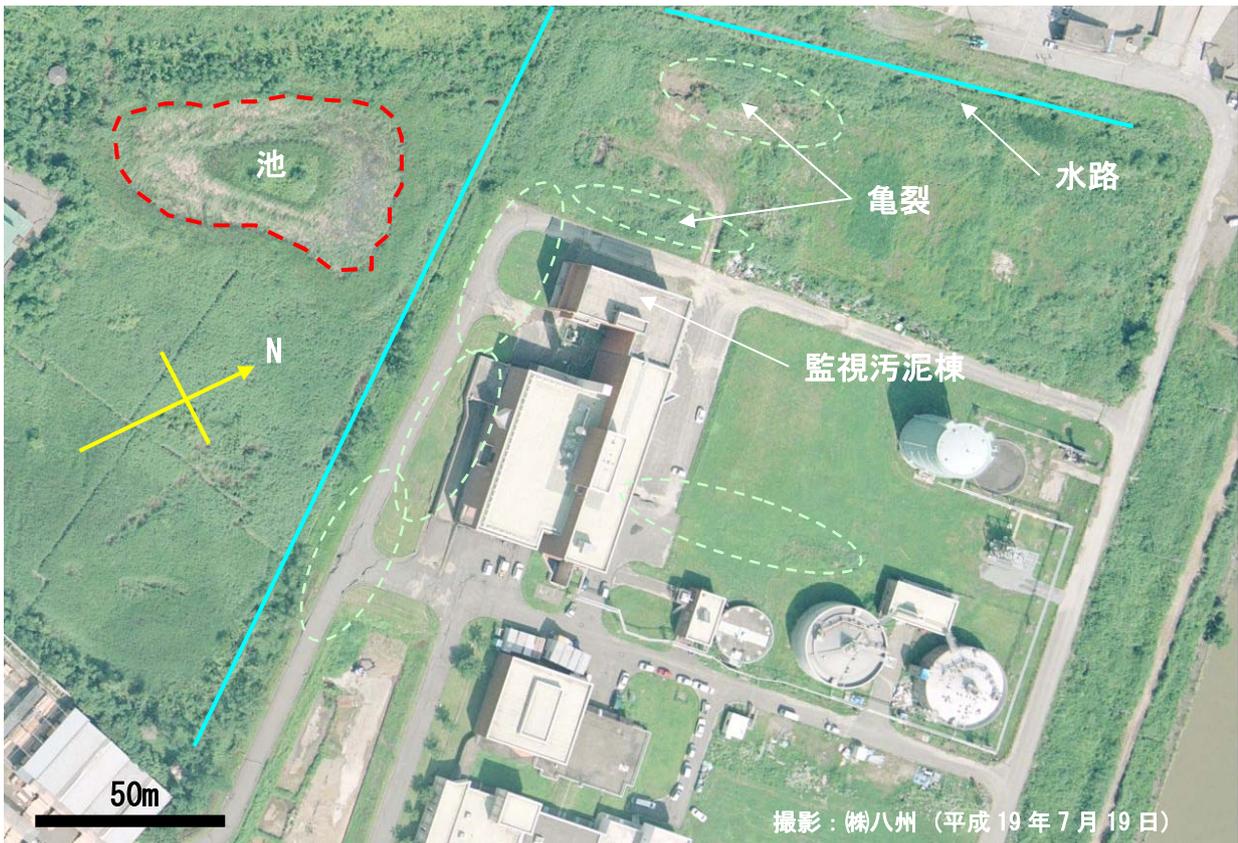


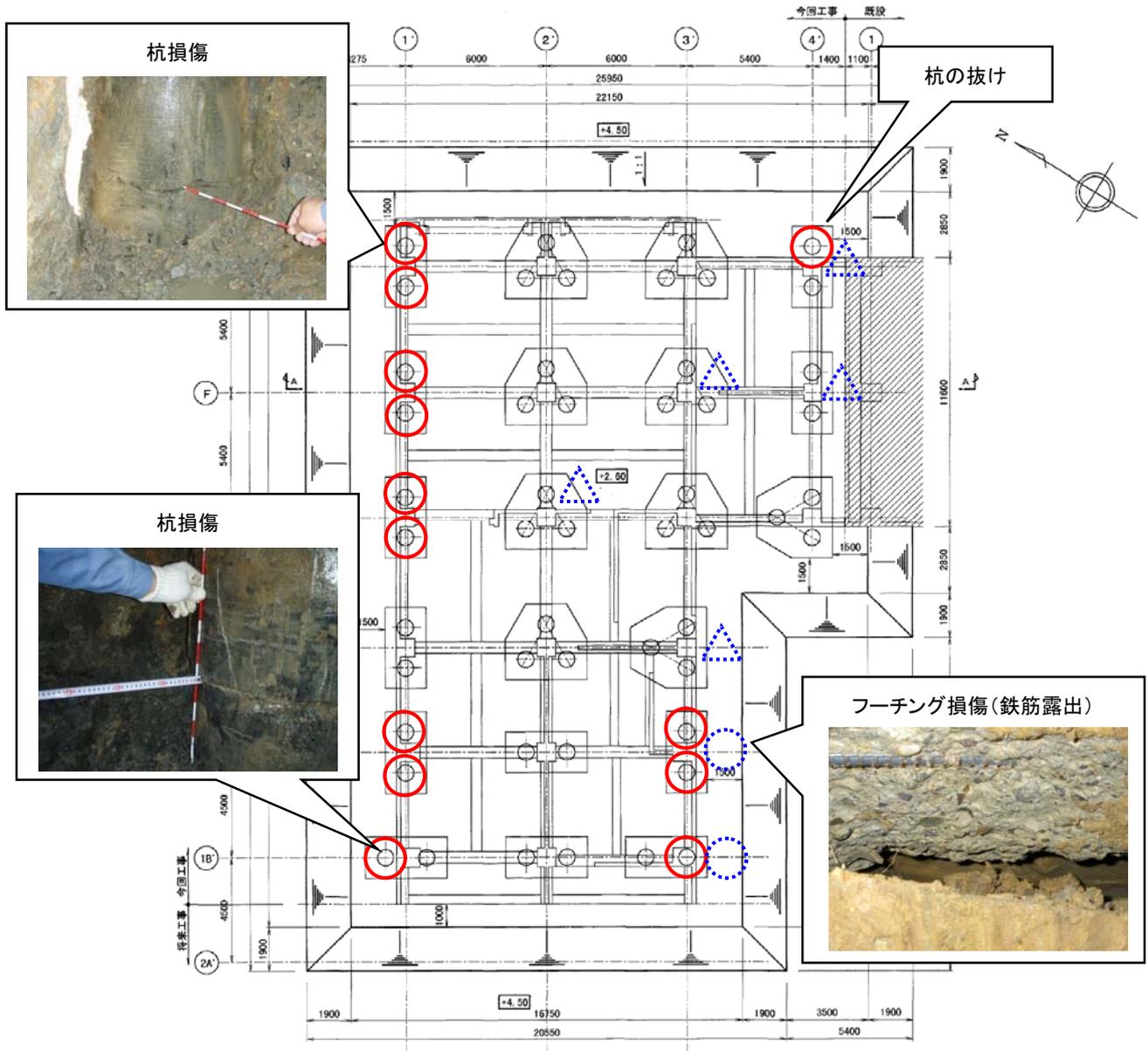
写真 I - 1 地震直後の航空写真



写真 I - 2 汚泥棟周辺地盤の変状



写真 I - 3 汚泥棟周辺地盤の変状



- 凡例
- : 試掘により杭損傷が確認された杭
 - (点線) : 試掘により損傷が確認されたフーチング
 - △ (点線) : ボアホールにより損傷が確認されたフーチング
(フーチングと捨てコンクリート間にクラックが発生しているものを含む)

図 I - 15 汚泥監視棟増設部の基礎杭の破損状況

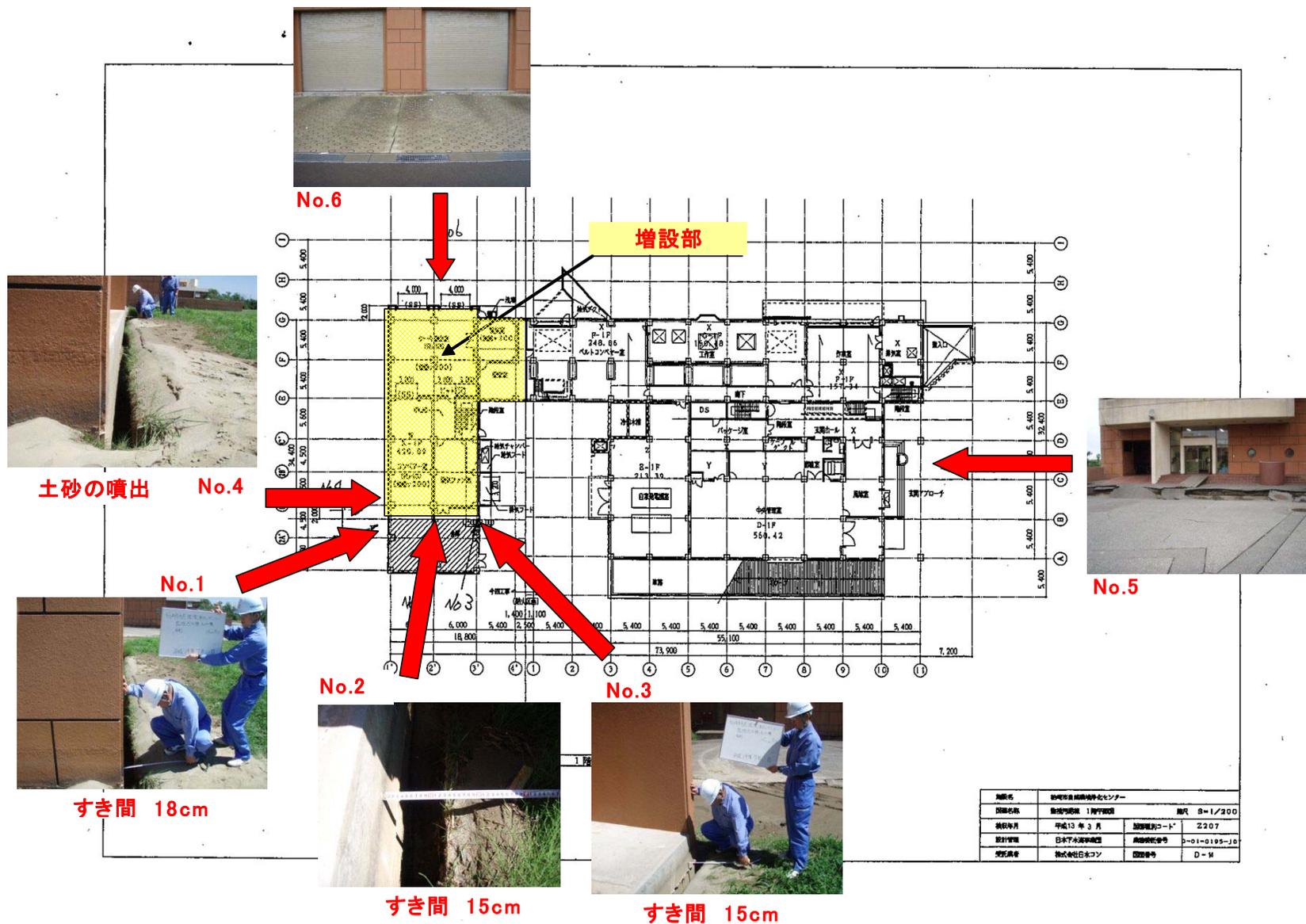


図 I - 16 監視汚泥棟周辺の地盤状況及び増設部の残留変位

3) 調査及び検討結果

柏崎市自然環境浄化センター監視汚泥棟の杭基礎被災原因を明らかにするために、以下の調査・検討を行った。

- ・ 柏崎市自然環境浄化センター周囲の地盤変位の測量
- ・ 慣性力及び流動力を作用させた場合の杭の照査及び残留変位の解析

以下にその概要を示す。

A) 柏崎自然環境浄化センター周辺の地盤変位の測量

平成 19 年 新潟県中越沖地震による柏崎市自然環境浄化センターの地盤変位について、周辺地盤の測量を行い、地震前後の測量データを元に地盤の変位量を算出した結果、監視汚泥棟周辺地盤は、隣接する池の方向に 0.5m ～1m 程度の水平変位が見られた。

なお、測量データの誤差や発注図面と実施設の施工誤差、公共座標基準点自体のズレなどの問題により、重ね合わせの基準点を設定することが困難であり、現場で確認できる地盤変位量や、図面重ねあわせ時のバランス（一致性）などを考慮して、中央管理棟と砂ろ過棟を不動と仮定し図面を重ね合わせ変位量を算出したため、測定データには誤差が含まれていることに留意する必要がある。

B) 慣性力及び流動力を作用させた場合の杭の照査及び残留変位の解析

監視汚泥棟の残留変位が周辺地盤の流動により生じたものと考え、「道路橋示方書 V 耐震設計編」（日本道路協会平成 14 年）に基づく地盤の液状化に伴う流動力を考慮し、基礎の地震時保有水平耐力法により杭の照査及び残留変位の解析を行った。また、比較のために、基礎の地震時保有水平耐力法により慣性力を考慮した杭の照査及び残留変位の解析を行った。

慣性力による検討結果では、短辺方向、長辺方向ともに基礎は降伏するが、残留水平変位は短辺方向、長辺方向それぞれ 40.9mm、37.5mm で実測値（短辺方向 130mm、長辺方向 185mm）には至らなかった。このことから、慣性力が基礎に損傷を与えた要因の一つであることは推察できるが、支配的ではない可能性が考えられる。

また、流動力による検討結果では、道路橋示方書に準じた流動力を作用させた場合、杭頭が剛結条件の場合は、杭頭変位は小さく、実測変位量の説明をすることは難しかった。杭頭をヒンジとした場合には、短辺方向では基礎前面地盤が塑性化することにより構造不安定となり、解析不能となった。実測以上の変位が出た可能性がある。一方、長辺方向については、杭頭変位が 46mm となり、実測変位とはまだ開きが見られた。

C) 被災原因の考察

監視汚泥棟の残留変位について、慣性力を考慮した解析、道路橋示方書に準じた流動力を考慮した解析のいずれも単体では実測変位量を説明することが困難であった。このため、被災原因としては両者が複合した可能性が、すなわち、監視汚泥棟杭の被災原因としては、慣性力で杭頭が破壊し、流動力により水平残留変位が生じた可能性が考えられる。

ただし、地震時の杭基礎の破壊メカニズムや流動力の評価については未解明な点も多く、今後の課題であるといえる。

2. 今後の地震対策に向けて

平成19年 能登半島地震及び平成19年 新潟県中越沖地震による被害の特徴と要因分析の結果等を踏まえ、今後の地震対策において以下のように対応すべきである。

2-1 管路施設開削区間の液状化対策

(1) 埋戻し土の固化による対策

埋戻し土の固化は、ごく一部を除き被災が発生していないこと、被災した箇所でも流下機能は確保されていたことから、埋戻し土の液状化防止対策として、有効であると考えられる。

ただし、被災箇所の調査結果や施工に関する自治体のヒアリング結果から、以下の点が今後の課題として考えられる。

- ・山裾等の地下水位が高く、湧水が多い場所での施工方法
- ・埋戻し材料の製造から埋戻しまでの仮置きによる強度低下を防止するための施工方法

これらの課題に対し、以下の事項を提言する。

- ① 湧水が多い、あるいは地下水位が高い場合は、矢板等を適切に設置し水の流入や地山の崩壊を防止するとともに、地下水の量に応じた排水を適切に実施するよう特に留意する。
- ② 配合設計にあたっては、施工時の地下水の状況等を考慮して実施する。
- ③ 埋戻し材をプラントで製造し、現場搬入する際には、適切なタイミングで出荷指示を出す等、製造から埋戻しまでの時間が極力短くなるよう努める（特にセメント系改良材は考慮）。
- ④ 製造した埋戻し土をしばらく仮置きする場合は、解きほぐしの影響により強度が低下する傾向がある。そのため、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル、セメント協会」等を参考に、仮置きと解きほぐしの過程における強度の減少を考慮した試験練りを行い、配合量を決定する必要がある（**図 I-17** 参照）。

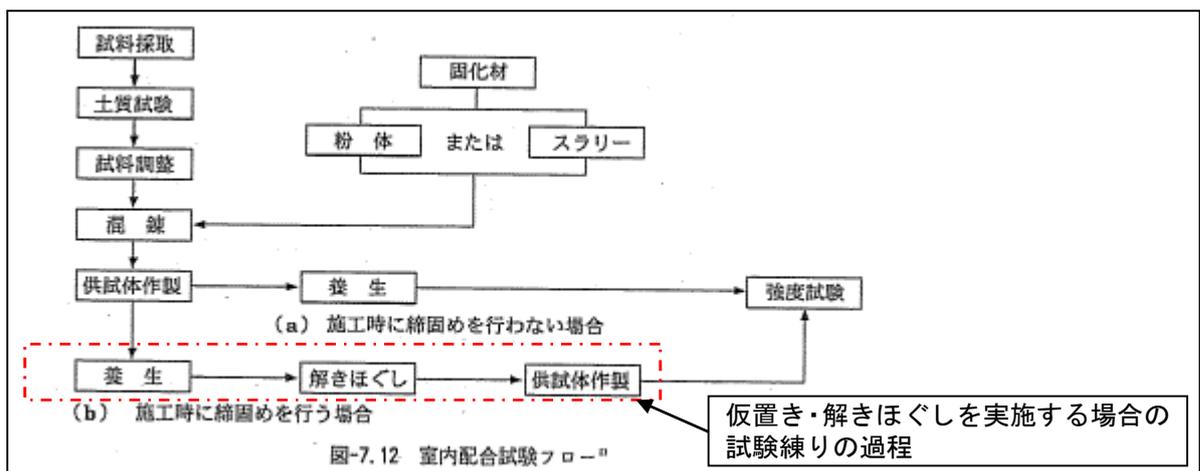


図 I-17 仮置き・解きほぐしを実施する場合の試験練りのフロー

(2) 埋戻し土の締固めによる対策

埋戻し土の締固めは、締固め度が90%程度以上の箇所では被災が発生していないため、埋戻し土の液状化防止対策として、有効であると考えられる。

しかし、「下水道施設の耐震指針と解説 ー2006年版ー、(社)日本下水道協会」で記載しているとおり、含水比の管理、転圧方法等の適切な施工が重要であることを踏まえ、埋戻し土の締固めに関する施工方法について、より詳細な留意事項を示す必要があると考えられる。

そこで、埋戻し土の締固めの採用実績がある上越市へのヒアリング結果、「下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、平成12年8月、土木研究所資料第3701号」の巻末資料2 下水道管路埋戻し施工管理基準に関する調査結果に記載された全国の自治体の施工方法、管理方法、および「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針、国土開発技術センター」の埋戻しに関する留意点を踏まえ、以下の点に留意する必要がある。

- ① 埋戻し土のまきだし厚さまたは仕上がり厚さについては、例えば一層の仕上り厚さ20cm以内等、明確に定めて実施する。
- ② 各層は、締固め箇所に適した機材（たこ、プレート、ランマ等）により十分締固める。転圧回数は、試験施工により定めるのが望ましいが、これによらない場合は、2で示した資料も参考にし、3回程度以上は転圧を行う。
- ③ 最適な含水比を確保するため、地下水の量に応じてポンプやウェルポイント等により排水を行うよう特に留意する。
- ④ 現場での締固めの管理は、衝撃加速度試験方法等の即時性のある試験方法を採用することが望ましい*1。これによらない場合は、現場密度試験等を採用する。

*1：即時性のある試験方法については、**参考資料ー6 6ー3 即時性のある試験方法について**を参照

- ⑤ 現場での品質管理の頻度は、即時性のある試験であれば各層毎に延長方向で複数箇所実施することがのぞましい。一方、これによらない場合は、例えば深さ方向に2箇所程度以上、延長方向に1箇所程度以上等、施工品質が確保できる頻度を明確に設定する必要がある。

(3) 砕石による埋戻し対策

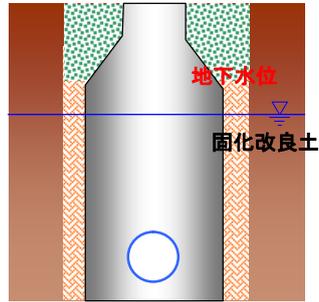
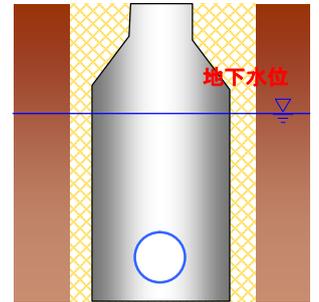
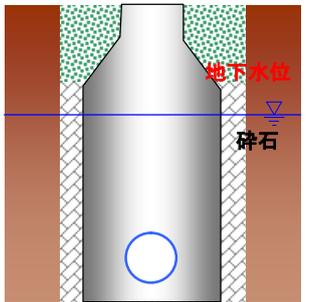
平成19年 能登半島地震、平成19年 新潟県中越沖地震で被災した地方公共団体では、砕石による埋戻しで液状化対策を採用している事例がなかった。そこで、参考として、平成6年 北海道東方沖地震で被災し、災害復旧の際に幹線に対して砕石による埋戻しを実施していた旧阿寒町阿寒処理区を対象に対策効果について検証を行った結果、震度6弱を記録した平成15年 十勝沖地震における再被災率は0%であった。このことから、砕石による埋戻しは、液状化対策工法として有効であると考えられる。

(4) 埋戻し部の液状化対策の留意点

以上を踏まえ、「下水道施設の耐震指針と解説 ー2006年版ー、(社)日本下水道協会」の「表3.8.4 (参考) 埋戻し部の液状化対策と概念図」に今回の委員会の検討結果を踏まえた施工上の留意点を加え、整理したものを**表Iー25**に示す。

なお、埋戻し土の対策の実施にあたっては、品質確保のため、施工管理が極めて重要であり、**(1)**、**(2)**で示す提言が確実に実施されるように、施工管理を実施することが重要である。

表 I-25 埋戻し土の固化、埋戻し土の締固めによる液状化防止対策の留意点*1

埋戻し方法	埋戻し土の固化	埋戻し土の締固め	(参考) 砕石による埋戻し*2
概要	地下水位以深を固化改良土等で埋戻す。	良質土で締固め(締固め度 90%程度以上*3)ながら、埋戻す。	透水性の高い材料(砕石)で地下水位より上方まで埋戻す。
概念図			
液状化対策の効果	埋戻し部が非液状化層となるため、液状化に対する効果は大きい。	十分な締固めを行うことにより、埋戻し部の過剰間隙水圧を小さくすることが出来るため、液状化に対する効果は大きい。	マンホール・管路近傍部の過剰間隙水圧が消散するため、液状化に対する効果は大きい。
埋戻し材料	現地発生土あるいは購入土	良質な砂または埋戻しに適した現地発生土	透水性の高い材料。(例えば、10%粒径(D10)が1mm以上の砕石、または、排水効果の確認されている材料)
施工上管理上の基準	液状化被害防止と再掘削を考慮した強度を確保する(例えば、現場における一軸圧縮強度の平均値で50kPa~100kPa)	締固め度で90%程度以上 なお、90%程度以上でも液状化した実験事例があることから、現地の特性に留意することが必要	道路管理者の基準に従う(例えば、締固め度90%程度以上)
今回の委員会の検討結果を踏まえた施工上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> 湧水が多い、あるいは地下水位が高い場合は、矢板等を適切に設置し水の流入や地山の崩壊を防止するとともに、地下水の量に応じた排水を適切に実施するよう特に留意する。 配合設計にあたっては、施工時の地下水の状況等を考慮して実施する。 (特にセメント改良土の場合には、)埋戻し土の製造から埋戻し完了までの時間を極力短くする必要がある。 製造後仮置きを行わざるを得ない場合には、仮置きと解きほぐしの過程における強度の減少を考慮した試験練りを行い、配合量を決める必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻し土のまきだし厚さまたは仕上がり厚さは、例えば一層あたりの仕上がり厚さ20cm以下等のように明確に定めて実施する。 各層は、締固め箇所に適した機材(たこ、プレート、ランマ等)により、試験施工によって定めた回数または3回程度以上の転圧を行う必要がある。 最適な含水比を確保するため、地下水の量に応じた排水(ポンプ排水等)を行うよう特に留意する。 現場での締固めの管理は、即時性のある試験方法で実施することが望ましい。それによらない場合は、現場密度試験等で実施する。 現場での品質管理の頻度は、即時性のある試験であれば各層毎に延長方向で数カ所実施することが望ましい。それによらない場合は、例えば深さ方向に2箇所程度以上、延長方向に1箇所程度以上等、施工品質が確保できる頻度を明確に設定する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 間隙水を適切に排水させるため、地下水位以上まで砕石で埋戻す。 吸出しによる、陥没、目詰まりを防止するために、適切な材料を選定する。

*1: 「下水道施設の耐震対策指針と解説 -2006年版-、(社)日本下水道協会」の「表 3.8.4 (参考) 埋戻し部の液状化対策と概念図」に加筆。

*2: 砕石による埋戻し対策の効果は、2-1(4)および参考資料-7 砕石による埋戻しについてを参照。施工上の留意点は、「下水道施設の耐震対策指針と解説 -2006年版-、(社)日本下水道協会」の「3.8.2 管路施設における液状化対策の手法」を参考に記載。

*3: 埋戻し土の種類により、液状化の防止に必要な締固め度が異なるが、ここでは参考資料-6 6-1 埋戻し土の締固め状況に示す参考文献中の実験結果をもとに、目標値の目安として90%程度以上とした。

2-2 推進工法整備区間における対策

今回の被災は、現行の耐震指針に対応していない区間において、既設マンホールと管渠の接続部付近で円周方向クラックが発生した。そのため、現行の「下水道施設の耐震指針と解説 ー2006年版ー、(社)日本下水道協会」で規定されているように、既設マンホールと管渠の接続部に可とう性継ぎ手の設置を引き続き実施していく必要がある。

表 I-26 差込継手管きょ耐震方策例

耐震対策箇所	概念図
マンホールと管きょの接合部	

2-3 今後の課題

(1) 既設の管路施設における対策

マンホール浮上防止対策については、現状で技術的に確立されているとは言えないが、マンホールの浮上防止を図ることは重要であることから、さらなる技術開発の推進を図る*1とともに、地震対策として今後積極的に導入を進めることが望まれる。

*1：マンホールの浮上防止対策については、[参考資料-12 マンホール浮上防止対策工法について](#)を参照。

(2) 処理場における地盤の流動化の影響

今回、大きな被害のあった柏崎市自然環境センターの汚泥監視棟の杭の破損要因について、地表の変位確認のための測量調査や解析を実施し、慣性力で杭頭が破壊し、流動力により水平残留変位が生じた可能性が考えられた。

ただし、地震動や地盤の流動化による杭の破損メカニズムや流動化の発生条件（水際線からの影響距離や砂質土層の層厚など）については未解明な点も多く、本事例のみでは、現行指針の改訂の必要性について判断することができないものと考えられる。

今後、流動化の発生条件や杭の破損メカニズム等に関する研究開発の動向、現象解明の動向、及び日本道路協会や日本建築学会等の他構造物の技術指針類の改訂動向に応じて、耐震指針の改定等について検討する必要がある。

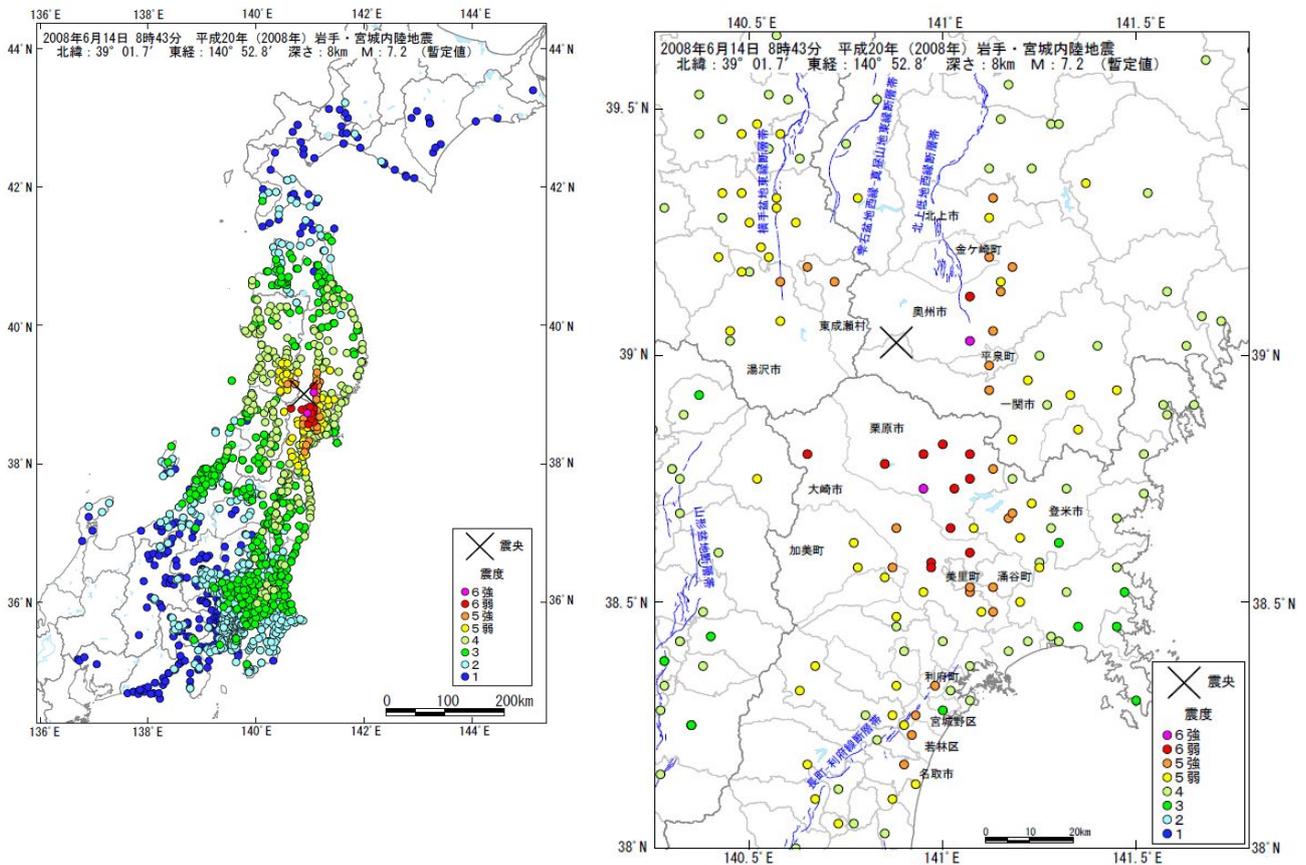
【参考】平成20年岩手・宮城内陸地震における下水道施設の被害について

平成20年6月14日に発生した「平成20年岩手・宮城内陸地震」における下水道施設の被害についてその概要を以下に述べる*1。

*1：被害状況等の詳細については、参考資料-13 平成20年岩手・宮城内陸地震における下水道施設の被害についてを参照。

1. 地震の概況

平成20年岩手・宮城内陸地震は、平成20年6月14日午前8時43分頃、岩手県内陸南部を震源として発生した。震源は岩手県内陸南部、震源の深さは約8km、地震の規模を示すマグニチュード（以下、「M」で表示）は7.2であった¹⁾。また、最大加速度（3成分合成値）は、一関西（一関市巖美町字祭時）で4022galを記録したほか、下水道施設に被害のあった栗原市では同市築館で812galを記録した²⁾³⁾。



[平成20年6月14日午前8時43分頃発生、M7.2、最大震度6強]

参考図 I - 1 平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震の本震の震度分布

- 1) 気象庁、2008年6月14日08時43分ころの岩手県内陸南部の地震について、平成20年6月14日
- 2) 防災科学技術研究所、(独)防災科学技術研究所のKiK-net及びK-NETより、<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 3) 防災科学技術研究所HPより、<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/iwate-miyagi080614/>

2. 下水道施設の被害状況

2-1 全般的な被害状況

被災した施設の内訳としては、管路施設が1流域2市（迫川流域下水道、奥州市、栗原市）、処理施設は1流域1市の2処理場（北上川上流流域下水道水沢浄化センター、栗原市鶯沢浄化センター）となっている。いずれの被害も、下水道の機能を停止させるまでには至らなかった。

2-2 管路施設の被害状況

(1) 被害の概要

管路施設は、宮城県栗原市が最も広範囲に被害（約11km）を受けており、岩手県奥州市では局所的な被害（管きょ延長120m）であった。

埋戻し部の沈下は、築館地区、一迫地区、花山地区など広範囲に発生したが、築館地区及び一迫地区においては、約200mにわたって埋戻し部の路面が沈下した。被害箇所は、リブ管を採用し、その周囲と管頂から10cm上までは砕石で、その上は山砂による埋戻し、もしくはリブ管を採用し、砕石で埋戻しを実施していた。

(2) 栗原市築館地区における被害状況

栗原市築館地区における被害の発生原因を検討するため、周囲のボーリングデータを収集し、地下水位や軟弱層厚について整理を行った。その結果を以下に示す（参考表 I-1 及び参考図 I-2 参照）。

- ・リブ付き管+管周り砕石 RC40+砂埋戻しで実施し、被災が発生した箇所となかった箇所を比較すると、被災箇所では、管路の埋設深度が大きいことが確認された。
- ・砂埋め戻しで被災しなかった箇所は、管路の埋設深度が小さく、地下水位が低い傾向である。
- ・砕石埋戻し RC40 で施工し、被災した箇所では、埋設された道路付近のボーリングデータから、国道 4 号から被災箇所に近づくにつれて、軟弱層厚が大きく、地下水位が高くなる傾向が確認された。
- ・ボーリングデータはないが、栗原市へのヒアリングから、リブ付き管+管周り砕石 RC40 +砂埋戻しで実施し被災した箇所では、施工時の地下水の湧水量が多く、埋設した管渠が沈下し再施工を余儀なくされる程極めて軟弱な地盤であったことが確認された。
- ・以上のことから、被災箇所は、周辺の無被害箇所と比較して、管路の埋設深度が大きく、軟弱層厚が大きくかつ地下水位が高く、埋戻し土の液状化被害が発生しやすい条件であったと考えられる。

このようなことから、管路の埋設深度が大きく、周辺地盤の軟弱層厚が大きくかつ地下水位が高い場合には、事前に管路のルートの変更、埋設深度が大きくなるような設計上の配慮等、計画段階で十分検討するとともに、開削工法で施工する場合には埋戻し土の液状化対策を適切に行う必要がある。

参考表 I-1 栗原市築館地区における被害箇所と付近のボーリングデータの整理結果

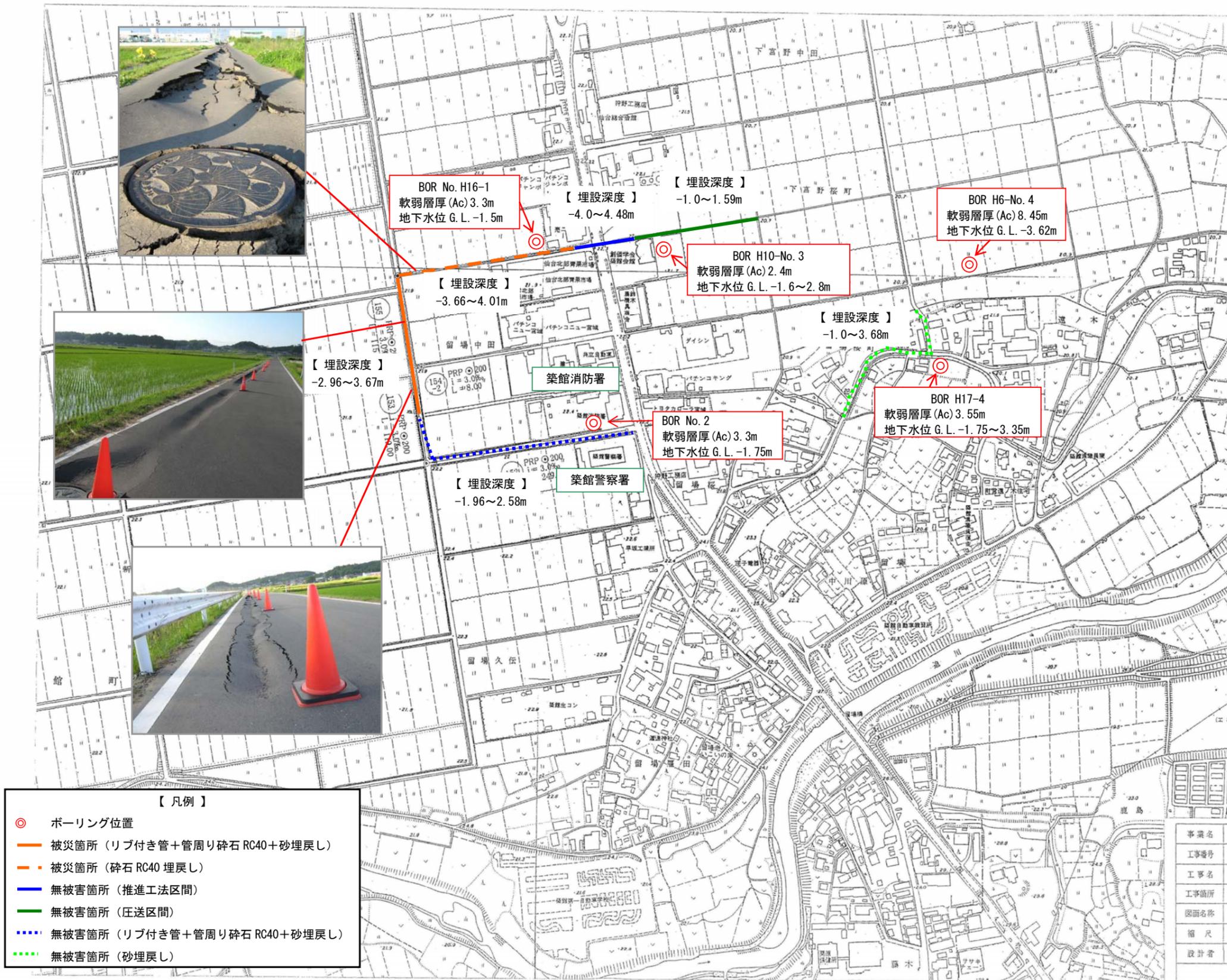
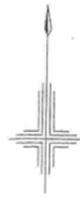
区分	被災箇所		無被災箇所			
	リブ付き管 管周り砕石 RC40 砂埋め戻し	砕石 RC40 埋戻し	リブ付き管+ 管周り砕石 RC40+ 砂埋め戻し	推進工法 区 間	圧送区間	砂埋戻し
埋設深度 (G. L. - m)	2.96~3.67	3.66~4.01	1.96~2.58	4.0~4.48	1.0~1.59	1.0~3.68
地下水位*1 (G. L. - m)	1.5~1.75*3	1.5	1.75	1.6~2.8	1.6~2.8	1.75~3.35
軟弱層厚*2 (m)	3.3*3	3.3	3.3	2.4	2.4	3.55
備考	・施工時の写真から多量の湧水を確認。	・施工時の写真から多量の湧水を確認。	・施工時の写真から湧水を確認。	—	—	・施工時の写真から湧水は特に認められない。

* 1 : 地下水位は、最寄りのボーリングデータの計測値とした。

* 2 : 軟弱層厚は、粘土、粘性土、シルト質土で N 値が 5 以下の層の合計厚さとした。

* 3 : 隣接するボーリングデータがないため、BOR No. H16-1 と No. 2 の値を記載

系統図 S=1:2500



参考図 I-2 平成 20 年 岩手・宮城内陸地震における栗原市築館地区での被害箇所と付近のボーリングデータ