

# 大規模地震に対する既存地下構造物の液状化対策に関する研究

研究予算： 運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：土質・振動チーム

研究担当者：佐々木哲也，榎本忠夫

## 【要旨】

想定される巨大地震では、地盤の液状化によって相当な延長の地下構造物が被害を受けることが想定されている。新設時の地下構造物の液状化対策については、これまで浮上がりに対する性能照査法や埋戻し部の液状化対策法等の浮上がり抑制対策を提案しているが、既設地下構造物については、合理的な耐震診断手法が確立しておらず、また、対策コストの制約から耐震補強は進んでいない。したがって、巨大地震に対して地下構造物の最低限の機能を確保するために要求される性能および限界状態を整理した上で、既設地下構造物の合理的な耐震診断技術を開発し、対策優先度評価や耐震補強プログラムの策定に貢献する必要がある。

本研究では、地下構造物に要求される性能に応じた限界状態を整理した上で、微地形分類等に基づく1次スクリーニング手法を提案するとともに、これまでに提案した液状化による地下構造物の浮き上がり推定法および被害事例に基づいて、対策優先度の判断に資する合理的な地下構造物の耐震診断手法を提案した。

キーワード：地中構造物、地震、液状化、液状化対策、遠心模型実験

## 1. はじめに

想定される巨大地震では、地盤の液状化によって相当な延長の地下構造物が被害を受けることが想定されている。平成7年兵庫県南部地震の教訓を踏まえて、下水道管路施設等の地下構造物については、指針<sup>1)</sup>の改訂が行われ、設計地震動としてレベル1及びレベル2の二段階の地震動を考慮し、各段階に応じた耐震性を確保するように耐震設計がされている。一方、下水道管路施設等の地下構造物の地震による被害は、周辺地盤の液状化や開削工法で施工される管路の埋戻し土の液状化に起因するものが多い。当チームでは、新設時の地下構造物の液状化対策については、浮上がりに対する性能照査法と浮上がり抑制対策、埋戻し土の液状化対策法を提案してきたが、既設地下構造物については、合理的な耐震診断手法が確立しておらず、また、対策コストの制約から耐震補強は進んでいない。

また、下水道の地震対策は、構造面での耐震化等による防災を基本とされているが、膨大な既設下水道施設をすべて耐震化するには多くの年月を要するため、たった今地震が発生して下水道施設が被災した場合を想定して対策を講じておくことが重要である。

このような状況のもと、下水道施設については、平成17年新潟県中越地震での被害を踏まえ、「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」<sup>2)</sup>がまとめられ、下水道施設の地震対策の基本方針、既存下水道管路施設の具体的な耐震対策の方策が示されている。この提言では、既存施設の耐震化

には多数の日数を要するため、既存施設の耐震対策にあたっては、施設の重要度、想定される被害形態、被害の程度、万一被災した場合の影響度合い等を勘案して、優先順位を明確にして耐震対策を緊急・中期・長期の段階的に実施する方針が示されている。すなわち、地震時において下水道が有すべき機能の必要度や緊急度に応じて、大規模地震に対して下水道施設として最低限の機能を確保するための構造的な対策を図るもの、改築・更新に合わせて耐震化を実施するもの等、優先順位を明確にした上で、計画的に耐震対策を実施することが重要とされている。また、被災時には重大な二次災害を防止し、迅速な機能の確保をはかるために、被害箇所の把握、復旧体制の構築、可搬式ポンプ、仮設トイレ等の備蓄等、震後対策への備えの充実、管路のネットワーク化等の減災対策を組み合わせる方針が示されている<sup>1),2),3)</sup>。

このため、要求される性能を勘案して構造物に求められる最低限の機能を確保するための限界状態を明らかにした上で、機能に応じた限界状態を考慮した既設地下構造物の合理的な耐震診断技術、被害想定手法を開発することで、迅速な震後対応、合理的な耐震補強プログラムの策定に寄与することができるものと考えられる。

本研究は、下水道管路施設を対象に、既往の被災事例に基づき要求される性能に応じた限界状態を整理し、また、微地形分類等に基づく被害想定手法1次スクリーニング手法を提案するとともに、被害事例に基づいて地下構造物の耐震診断手法を提案するものである。

表-1 能登半島地震による下水道施設の被害の概要

区分	市町名	処理区名 地区名	管路延長 (km)	被害状況											被災管路 延長 (km)	被災人孔 個数 (箇所)	被害率 (%)	
				路面異常 (箇所)	人孔滞水 (箇所)	途中水没 (箇所)	管閉塞 (箇所)	本管破損 (箇所)	本管 浸入水 (箇所)	人孔鉄蓋 破損 (箇所)	人孔躯体 破損 (箇所)	土砂汚水 (箇所)	管接合部 (箇所)	隆起沈下 (箇所)				その他 (箇所)
下水道	七尾市	七尾	33.5	1	3								1			0.1	3	0.3
		和倉	52.7	13	17								1			0.1		0.2
		田鶴浜	17.8	3	7											0.2		0.9
		中島	35.6	5	7			2								0.2		0.5
		輪島	80.1	多数	80			2						10		3.2	26	4.0
	輪島市	門前	52.3	751	321	165	35	28	10	53	72	16	24	305	79	10.3	222	19.7
		輪島	6.1	5	2					2			7	6		0.1	2	1.8
		珠洲市	61.9								6					未申請		
		志賀町	37.2	4	1	2	1					1				0.1	1	0.2
		富来	6.1	1	1											未申請		
	中能登町	南部	32.2	1	2											0.0		0.1
		穴水町	35.0	20	2				1				1	2		0.1		0.4
		計	450.5	804	443	167	36	32	11	56	81	17	32	325	79	14.5	254	28.3

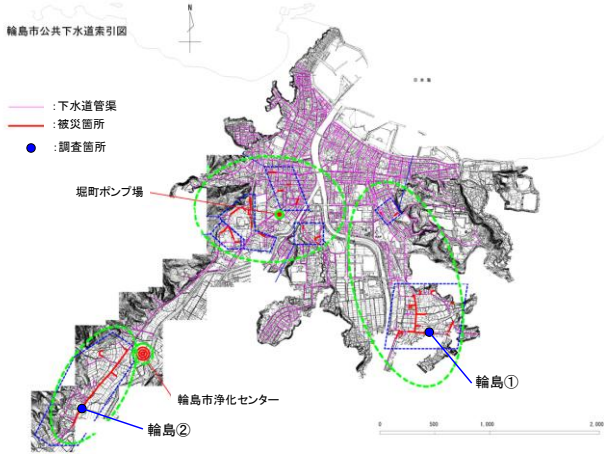


図-1 輪島処理区被災箇所位置図

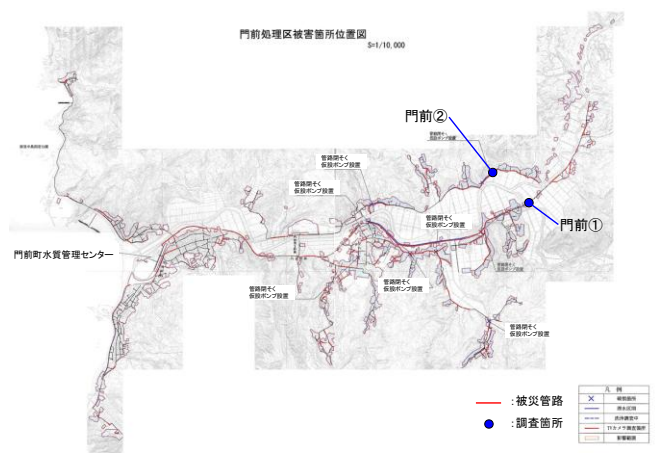


図-2 門前処理区被災箇所位置図

## 2. 大規模地震に対する要求性能と限界状態の整理

### 2.1 2007年能登半島地震による下水道管路施設の被害調査

平成19年能登半島地震では、輪島市輪島地区及び門前地区で埋戻し部の液状化が原因と考えられる下水道管路施設の被害が生じた。ここでは、両地区の下水道管路施設の被害状況を概観するとともに、復旧工事に合わせて埋戻し部の動的貫入試験及び現場密度試験を実施した結果を示す。また、管路施設の被害程度と下水流下機能の関係を整理し、下水流下機能確保の観点から防除すべき管路の被災パターンを整理した結果を示す。

#### (1) 被害の概要

平成19年能登半島地震での下水道施設等の被害は、七尾市、輪島市、志賀町、中能登町、穴水町の5つの市町で確認された。特に輪島市での被害が多く、災害査定ベースでは、輪島市輪島処理区で被災管路延長3.2km、被災率4.0%、輪島市門前地区で被災管路延長10.3km、被災率19.7%であった(表-1)。震度については、輪島処理区で6強~6弱、門前処理区で6強が観測されている。図-1、図-2に、被害の大きかった輪島市輪島処理区、門

前処理区の被災箇所位置図をそれぞれ示す。いずれの地区も、海岸付近よりも内陸の山裾付近で被害が多い傾向が見られる。

被害の形態として、マンホール被害では路面異常、人孔滞水、管渠被害では隆起沈下が多い。マンホールの浮上り被害は全体的に少なく、1m近くのマンホール浮上りが確認されたのは門前地区で1箇所のみであった。また、門前処理区の国道249号沿いの一部では、推進区間におけるマンホールや管渠のクラック等の被害が見られた。

#### (2) 埋戻し部の被害調査

輪島市輪島地区及び門前地区の被災箇所を対象として、復旧工事の掘削に合わせて埋戻し部の地盤調査を実施した。調査箇所は図-1、図-2に示したとおりである。試験の項目は、埋戻し土を対象とする簡易動的貫入試験、現場密度試験、また、採取した試料を用いた物理試験等の室内土質試験である。以下に、調査箇所の被災状況を示す。

1) 輪島①：平成17年度に敷設された箇所、被災形態としては、人孔滞水、管路たるみ、逆勾配であるが、



図-3 門前②の被災状況

仮設ポンプ等は設置されておらず比較的軽微な被害であった。

2)輪島②：埋戻し部の液状化によると考えられる路面の陥没、管路の浮上がり、それに伴う管路の破断が生じた箇所である。下水の流下不能が生じ、仮設ポンプによる切り回しが行われた。

3)門前①：被災形態としては、マンホール内滞水、管渠のたるみであるが、仮設ポンプ等は設置されておらず比較的軽微な被害であった。

4)門前②：マンホールが今回の地震では最大の90cm程度浮き上がった(図-3)。被害形態としては、人孔浮上、マンホール内滞水、路面陥没、本管拔出、管渠たるみである。路面には管渠埋設時の開削幅に沿って、数10cmの路面陥没が生じていた。下水道管路は山裾沿いの2m程度の低盛土内に敷設されている。マンホールの浮き上がりに伴う流下不能により仮ポンプ、仮配管で切り回しが行われた。

図-4に埋戻し土の粒度分布を、図-5に簡易動的貫入試験及び現場密度試験の結果をそれぞれ示す。埋戻し材料はいずれの箇所も、細粒分が10%以下と少なく、また礫の混入も少ない比較的粒径のそろった液状化しやすい材料であった。簡易動的貫入試験の結果から、いずれの箇所においても管渠付近ではNd値は5以下で、緩いことがわかる。締固め度については、被災程度にかかわらず84~89%を示している。これらの箇所では、路面の陥没が発生していたため、被災前の埋戻し土は調査時よりもさらに緩い状態にあったことが推測される。

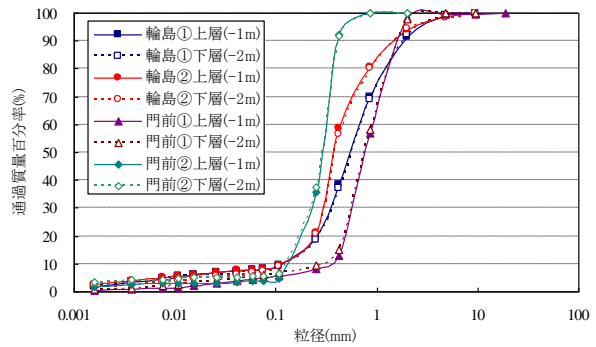


図-4 埋戻し土の粒度分布

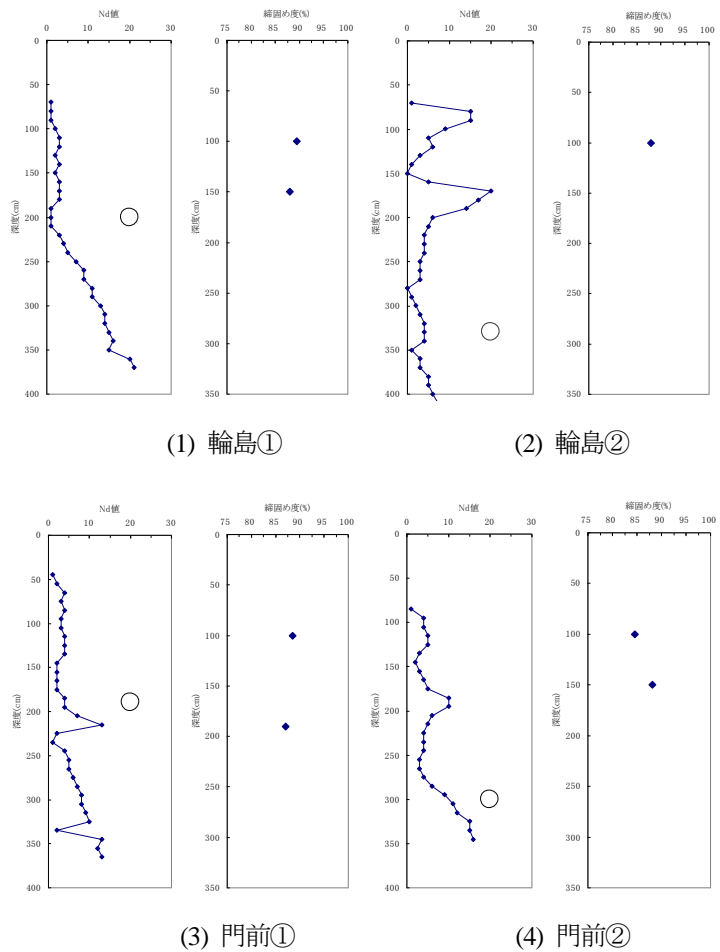


図-5 地盤調査結果

## 2.2 下水道管路施設の被害と機能障害の関係の整理

下水道管路施設を対象に、平成19年能登半島地震による被害箇所について、被災パターンと機能障害の関係を整理した。ここで、機能障害については、被災直後の下水の流下機能の確保の観点から、応急復旧において仮設配管の設置の有無により判断した。すなわち、被災直後において仮設配管を必要とした箇所を「流下機能喪失」とし、何らかの被害が生じ長期的には復旧がなされたも

の仮設配管等の応急復旧は必要とされなかった箇所を「流下機能確保」に分類した。表-2は、流下機能確保と流下機能喪失した区間のそれぞれの各被災パターンの発生割合を整理したものである。また、図-6は、被災パターン毎に流下機能を確保した区間と流下機能を喪失した区間の割合をまとめたものである。地震直後に下水道の機能を喪失し、仮設配管設置等の応急復旧が必要であった被害としては、マンホール・管きよの浮き上がりによる管の勾配不良、管きよの破断による土砂流入等の割合が多い。これは主に埋戻し土の液状化により生じる被害であると推察される。一方、管きよ自体には被害が生じたものの短期的には流下機能を確保した箇所では、管きよのクラック、継手部のズレ、マンホール本体の破損等の割合が高く、これらの被害は一般に過大な地震動や周辺地盤の変状に起因するものである。図-7は管路施設の浮き上がり量と仮設配管の有無を整理したものである。浮き上がり量が多いほど仮設配管の設置割合が高くなる傾向が見られる。

以上より、下水の流下機能確保の観点からは、下水道管路施設については埋戻し土や周辺地盤の液状化による被害の防止、管きよとマンホールの可とう継手の設置を優先に対策を行う必要があるといえる。

表-2 管路施設の被災パターンと流下機能の関係

被災パターン		流下機能確保 (%)	流下機能喪失 (%)
管路	管路勾配不良	25.0	85.7
	管のたるみ	91.7	14.3
	管の蛇行	0.0	0.0
	管本体クラック、変形、破損	8.3	14.3
	管継手ズレ、亀裂、破損	41.7	14.3
マンホール	蓋破損	4.0	0.0
	斜壁・直壁破損	84.0	0.0
	底板・インバート破損	4.0	12.5
	本管接続部破損	28.0	12.5

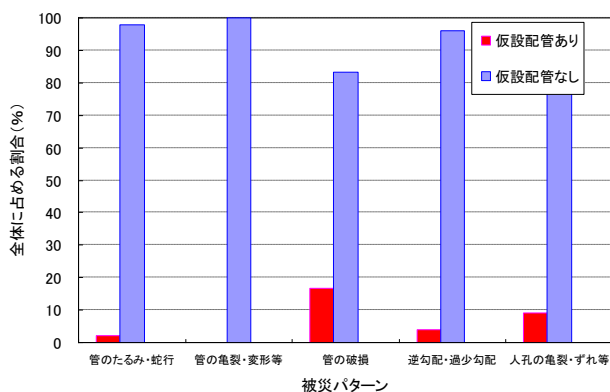


図-6 管路施設の被災パターンと流下機能の関係

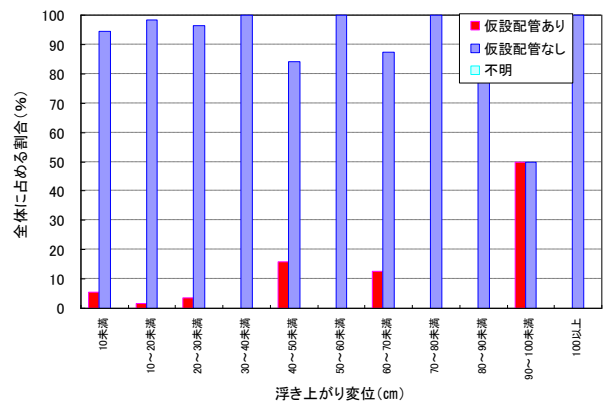


図-7 管路施設の浮き上がり量と流下機能の関係

### 3. 管路施設の被害予測手法に関する検討

2. で示したとおり、管路施設の機能に重大な影響をあたえる被害の主な要因は周辺地盤および埋戻し部の液状化であり、その発生には周辺の地形条件、地盤条件が強く影響していることが分かっている。この関係を定量的に把握することによって、下水道管路施設の被害想定や、対策区間の合理的な選定が可能となるものと考えられる。そこで過去の下水道被害事例をもとに、微地形分類に基づく下水道管路施設の被害予測手法について検討した。

#### 3. 1 微地形区分と下水道管路施設の被害率の関係

図-8～9に新潟県中越地震における長岡市と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ものを示す。また、図-10～11に当該箇所における微地形分類毎の管路延長、被害管路延長、被災率をプロットした図を示す。これより、緩勾配扇状地、湿地、後背湿地、台地・段丘低位面等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、一般に周辺地盤の液状化の可能性は高くないが、埋戻し土の液状化により下水道管路が被害を受けた可能性が考えられる。

これまで、下水道管路施設の液状化被害の可能性を評価するための1次スクリーニングとして、微地形区分に基づく下水道管路施設の液状化被害の可能性の簡易判定基準について検討している。表-3に微地形区分に基づく周辺地盤および埋戻し土の液状化の可能性の判定基準を示す。これは、文献4)、5)による「微地形区分に基づく液状化被害の可能性の判定基準」を元に、周辺地盤に液状化が生じなくても埋戻し部の液状化による被害の可能性の高い緩勾配扇状地、湿地、後背湿地、台地・段丘低位面等の地形区分についての判定基準に修正を加えたものである。この表により、下水道管路施設の周辺地盤および埋戻し土の液状化による被害の可能性を概略推定する

ことが可能となる。ただし、下水道管路施設の周辺地盤および埋戻し土の液状化による被害の可能性を表-3により概略推定することが可能であるが、震前の被害想定に用いる場合には、地震動の強さと被災率の関係について明らかにする必要がある。

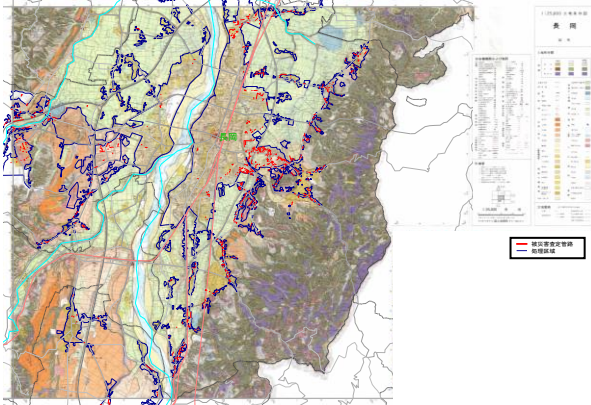


図-8 新潟県中越地震による被害路線（長岡市）

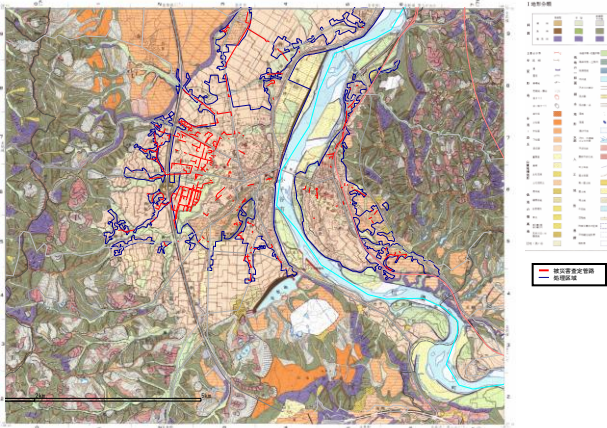


図-9 新潟県中越地震による被害路線（小千谷市）

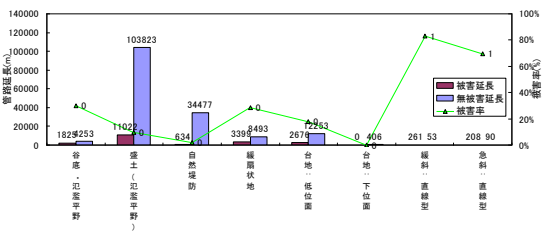


図-10 新潟県中越地震による長岡市における微地形区分毎の管路被災率

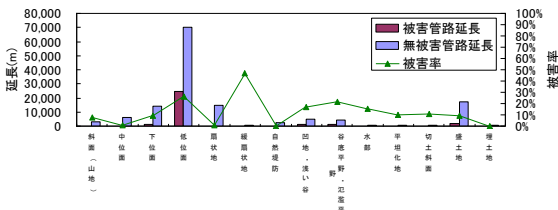


図-11 新潟県中越地震による小千谷市における微地形区分毎の管路被災率

表-3 微地形分類に基づく周辺地盤および埋戻し土の液状化による被害の可能性の判定基準

区分	微地形	液状化被害の可能性	被害地帯
谷底平野	扇状地・谷底平野	小	—
	デルタ状谷底平野	中	新潟県中越地震
扇状地	急勾配扇状地・沖積層	中～大	—
	緩勾配扇状地	中	新潟県中越地震
自然堤防	自然堤防	中	新潟県中越地震
	比高の小さい自然堤防	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
ポイントバー(銀行洲)	自然堤防周辺部	大	—
	—	大	—
狭き湿地	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
旧河道	新しい(明確な)旧河道	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	古い(不明瞭な)旧河道	中～大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
旧河床	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
河原	砂礫質の河原	小	—
	砂泥質の河原	大	—
デルタ(三角洲)	—	中	—
	—	中	—
砂丘	砂丘	中	—
	砂丘	小	—
砂丘	砂丘	小	—
	砂丘	小	—
海浜	人工海浜	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	海浜	小	—
砂丘間低地・埋戻し低地	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
干拓地	—	中	—
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
埋戻し	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
湧水地帯(帯)	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	—	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
盛り土	砂丘・低地の境界付近の盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	崖・急斜面に隣接した盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	谷底平野上の盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	低地帯上の盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	干拓地上的盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
	その他の盛り土	大	新潟県中越地震、新潟県中越地震
台地・段丘	元の地形に準ずる	—	—
	上位面	小	—
	中位面	小	—
	下位面	小	—
	低位面	中～大	新潟県中越地震

### 3. 2 微地形区分と計測震度に基づく管路施設の被害予測手法の検討

ここでは、過去に下水道管路施設の被害が生じた地震のうち、表-4 に示す 2004 年新潟県中越地震における長岡市と小千谷市の事例、2007 年能登半島地震における輪島市（輪島処理区、門前処理区）、2007 年中越沖地震の柏崎市を対象に、地震動強さと微地形区分毎の被災率の関係を検討し、下水道管路施設の被害予測手法の検討を行った。被害予測に用いる地震動強さを示すパラメータとしては、計測震度、地表面、最大加速度、最大速度、SI 値等の適用が考えられるが、ここでは簡便性を優先して計測震度を用いることとした。

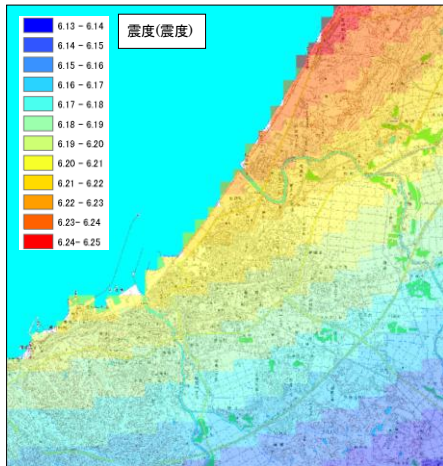
下水道管路被害と微地形分類、震度との関係を検討するために、中越沖地震における柏崎市と能登半島地震における輪島市（輪島処理区、門前処理区）に対して、地形分類と管路被害率（被害路線延長/対象路線総延長）を整理した。整理にあたっては、まず対象地を 250m メッシュで分割しメッシュ毎に管路被害率（被害路線延長/対象路線総延長）として整理した。微地形分類については、各メッシュを代表する地形分類を抽出しメッシュを代表する微地形分類を設定した。なお、中越沖地震を対象に整理を行う「柏崎市」については管が著しく多いため、代表的な 6 ブロックに整理対象を絞った。

また、地震動については、文献 6) の方法を参照し、観測値の空間補間により各メッシュの震度及び加速度の分布を求めた。図-12 に推定した震度分布を、図-13 に検討対象とした管路と被災箇所的位置を示す。

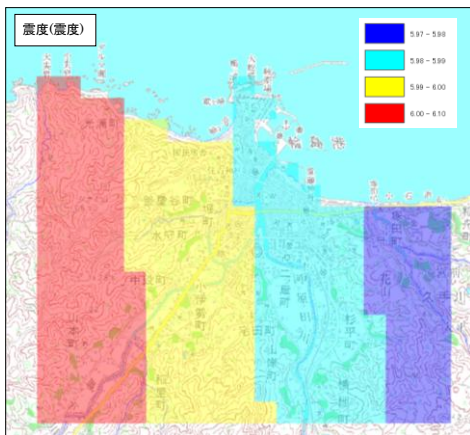
図-14 に計測震度と微地形区分毎の下水道管路施設の被災率の関係を示す。図中には、文献 7) の検討結果を参考に計測震度と被災率の関係が次式で表されると仮定した、微地形区分毎の被害関数を示している。

表-4 対象とした地震と自治体名

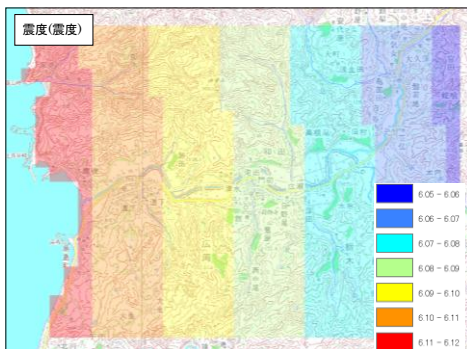
地震名	対象自治体
2004年新潟県中越地震(M6.8)	長岡市、小千谷市
2007年新潟県中越沖地震(M6.8)	柏崎市(柏崎処理区)
2007年能登半島地震(M6.9)	輪島市(輪島処理区・門前処理区)



(1) 2007年中越沖地震(柏崎市)

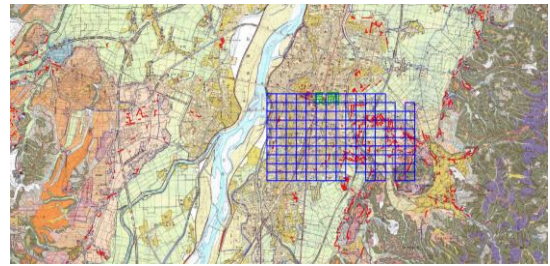


(2) 2007年能登半島地震(輪島市輪島処理区)

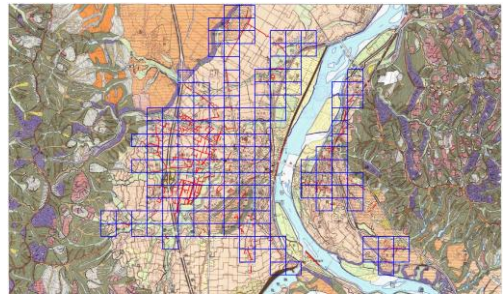


(3) 2007年能登半島地震(輪島市門前処理区)

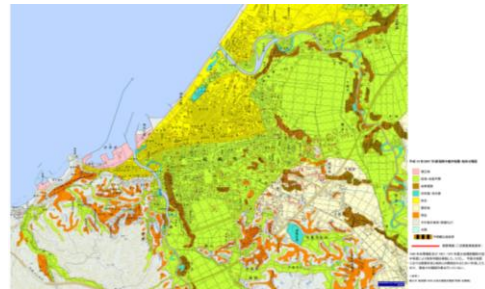
図-12 推定した震度分布の例



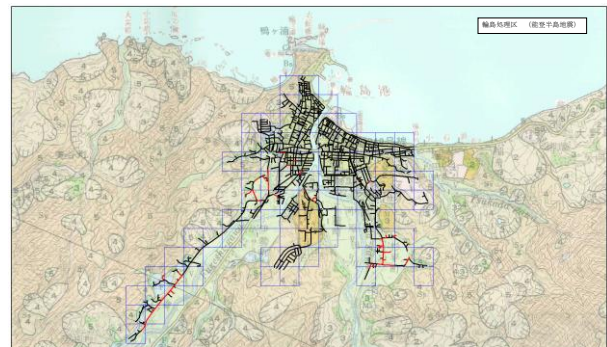
(1) 2004年新潟県中越地震(長岡市)



(2) 2004年新潟県中越地震(小千谷市)



(3) 2007年中越沖地震(柏崎市)



(4) 2007年能登半島地震(輪島市輪島処理区)



(5) 2007年能登半島地震(輪島市門前処理区)

図-13 検討対象管路位置図

$$y = a \exp(1.5808x) \quad (1)$$

ここに、 $y$ :管路の被災率(%),  $x$ :計測震度、 $a$ :フィッティングパラメータ。

これにより、微地形区分毎の被害関数を用いることにより、計測震度と微地形区分に基づき下水道管路施設の被害率を予測することが可能になる。ただし、計測震度と被災率の関係は、地盤条件や管路の施工条件、地震動特性などにより異なる可能性があり、今後も事例を蓄積して行く必要がある。

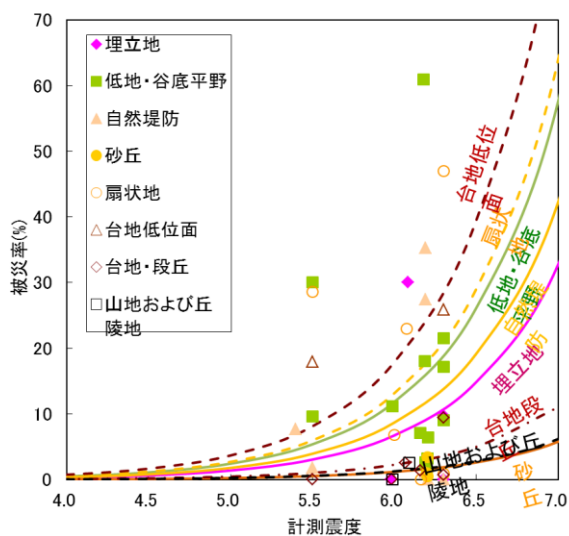


図-14 計測震度と微地形区分毎の下水道管路施設の被災率の関係

#### 4. 地盤条件と限界状態を考慮した簡易耐震診断手法の検討

2. では、下水道管路施設について、下水の流下機能確保の観点からは埋戻し土や周辺地盤の液状化による被害の防止、管きよとマンホールの可とう継手の設置を優先に対策を行う必要があることを示した。

当チームでは、これまでの被害事例分析により、次に示すような、周辺地盤条件等から埋戻し土の液状化による被害の可能性の判定基準を提案し、基準類に反映している<sup>り</sup>。

「以下の全てに該当する場合に埋戻し土の液状化による被害の可能性が高いと考えられる。

- 1)地下水位が高い場合 (GL-3m 以浅)
- 2)埋設深度が深い場合(管渠布設位置 GL-2m 以深かつ地下水位以下)
- 3)周辺地盤が軟弱な場合(緩い砂地盤 (N値15 以下)、軟弱粘性土地盤 (N値7 以下) 等)」

ただし、上記は埋戻し部の液状化による被害の発生の

有無を判定するものであり、必ずしも下水の流下機能確保の観点から定めたものではない。図-7に示したとおり、浮き上がり量が大いほど地震後に仮設配管の設置割合が高くなる傾向が見られることから、ここでは、下水道管路の流下機能確保の観点からの判定基準の提案を試みる。

流下機能確保の観点から地震後の仮設配管の必要性の有無に着目し、図-7から浮き上がり量 40cm を超えると仮設配管が必要となった割合が高くなることから、浮き上がり量 40cm を下水道機能確保の観点の限界状態と設定した。

図-15, 16 に過去の地震における浮き上がり量と周辺地盤の平均 N 値、地下水位との関係をそれぞれ示す。粘性土地盤で N 値 5 以下、砂地盤で N 値 7 以下で、浮き上がり量は流下機能確保の限界状態である 40cm を超える事例がそれぞれ多くなることが分かる。また、地下水位については、-3m 以浅で浮き上がり量 40cm を超える事例が多くなることが分かる。

図-17 は管きよ埋設深度と機能障害の関係を整理したものである。管渠敷設位置が G.L.-2m~-4m のもので仮設配管が必要となった割合が高いことが分かる。

以上より、下水の流下機能確保の観点から優先的に対策を講じるべき地盤条件等を整理すると、表-5 のようにまとめられる。これと下水道管路施設としての重要度を踏まえることにより、地震後の下水道管路の流下機能確保の観点からの対策優先度の評価がより合理的に行えるものと考えられる。

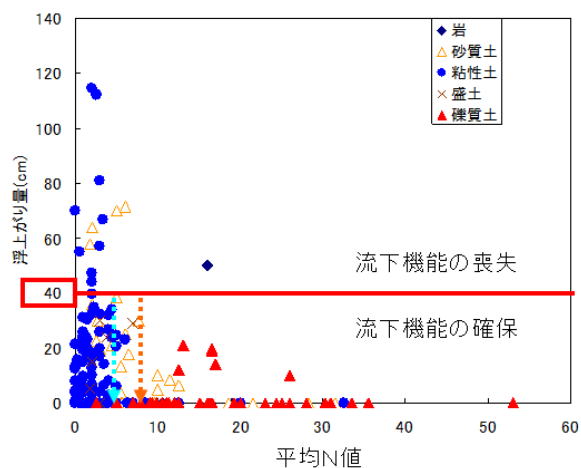


図-15 周辺地盤の平均 N 値と浮き上がり量の関係

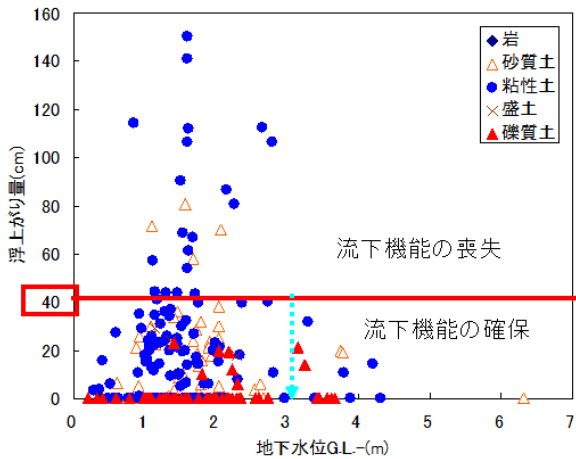


図-16 地下水位と浮き上がり量の関係

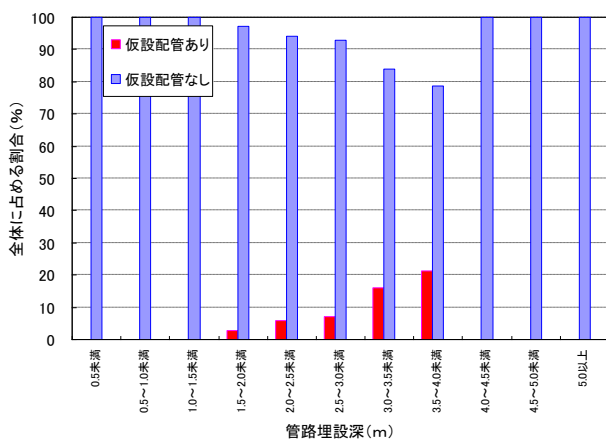


図-17 管きょ埋設深度と機能障害の関係

表-5 流下機能の確保の観点からの埋め戻し部の液状化被害の判定基準案

	流下機能の確保 (仮設配管不要)
地下水位(m)	G. L. -3m 以浅
土被り(m)	管渠布設位置 G. L. -2m~-4m かつ地下水位以下
周辺地盤の平均N値	砂地盤 (N値7以下) 粘性土地盤 (N値5以下)

## 5. まとめ

下水道管路施設を対象に、既往の被災事例に基づき要求される性能に応じた限界状態を整理するとともに、また、微地形分類等に基づく被害想定手法1次スクリーニング手法及び限界状態を踏まえた地下構造物の耐震診断手法を検討した。検討結果をまとめると以下のとおりで

ある。

- ①既往の被災事例における被災パターンと機能障害の関係を整理し、地震直後に下水道の機能を喪失し、仮設配管設置等の応急復旧が必要であった被害としては、マンホール・管きょの浮上がりによる管の勾配不良、管きょの破断による土砂流入等の割合が多いこと、下水の流下機能確保の観点からは、埋め戻し土や周辺地盤の液状化による被害の防止、管きょとマンホールの可とう継手の設置を優先に対策を行う必要があることを示した。
- ②新潟県中越地震による長岡市、小千谷市の管路施設の被害事例分析により、緩勾配扇状地、湿地、後背湿地、台地・段丘低位面等の地形において、管路施設の被災率が高い傾向が見られた。
- ③計測震度と微地形区分毎の管路の被災率の関係を整理し、計測震度と微地形区分に基づく被害予測手法を提案した。
- ④下水道管路施設の流下機能確保の観点から優先的に対策を講じるべき、地下水位、埋設震度、周辺の地盤条件を整理して示した。

## 参考文献

- 1) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説、2006。
- 2) 下水道地震対策技術検討委員会：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、2005。
- 3) (社)日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル、2006。
- 4) 若松加寿江：詳細な微地形分類による地盤表層の液状化被害可能性の評価、日本建築学会大会学術講演会梗概集、B分冊構造I、pp.1443-1444、1992。
- 5) 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル（平成10年度版）、1999。
- 6) 末富ら：地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震による地震動分布の推定、日本工学会論文集、第7巻、第3号、2007。
- 7) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル、2006.8。



## Performance Based Seismic Design Method for Under-Ground structure

A procedure to evaluate seismic performance of existing under ground structure has not yet been established against large earthquake. In additions, countermeasures for these existing structures were hardly completed because of high cost. Based on the above background, the aim of this study is to develop a procedure to evaluate seismic performance of existing underground structures, which can be used to evaluate priority for seismic reinforcements. In this study, case histories of damaged sewage facilities during the 2007 Noto-hanto earthquake and the 2007 Niigata ken Chuetsu-oki earthquake were investigated. Based on the above investigations, following results were obtained.

1. From the investigations the relationship between the degree of damage to sewer pipes and a its functional disorder were also clarified.
2. From the investigations the relationship between the ratio of damage to sewer pipes and geomorphologic conditions were clarified.

Keywords: Underground structure, Earthquake, Liquefaction, Countermeasure