

4. 下水道施設

4.1 概要

下水道施設の被害は、新潟県5市1町及び長野県1市の公共下水道と、新潟県の流域下水道で発生した。図-4.1に下水道施設が被災した市町を示す¹⁾。

被災した施設の内訳としては、管路施設（管渠及びポンプ場）が5市1町（新潟県長岡市、柏崎市、上越市、小千谷市、出雲崎町、長野県飯山市）、下水処理施設は新潟県の流域下水道の処理場を含む1県4市の計6カ所の処理場となっている（表-4.1～4.3 参照、平成19年10月9日15:00時点、国土交通省発表）²⁾。

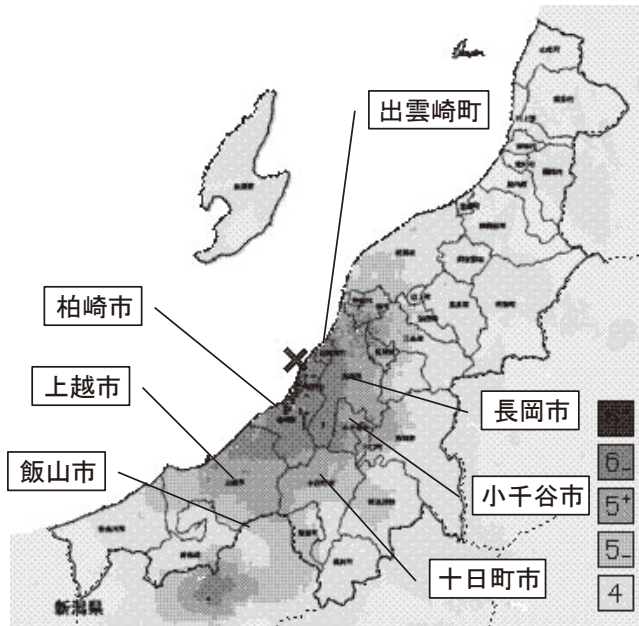


図-4.1 下水道施設が被災した市町

表-4.1 下水道施設（管渠）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	柏崎市	公共下水道管渠（污水）	被災延長約 32.7km	滞水の著しいマンホールでは、仮配管による応急処置
		公共下水道管渠（雨水）	被災延長約 4.7km	雨水排水に支障なし
	上越市	公共下水道管渠	被災延長約 0.9km	特に流下に支障なし
	長岡市	公共下水道管渠	被災延長約 5.8km	特に流下に支障なし
	小千谷市	公共下水道管渠	被災延長約 3.7km	特に流下に支障なし
	出雲崎町	公共下水道管渠	被災延長約 2.6km	特に流下に支障なし
長野県	飯山市	公共下水道管渠	マンホールポンプ用引込線電柱折れ(1箇所)	

表-4.2 下水道施設（ポンプ場）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	柏崎市	八坂中継ポンプ場	・圧送管破断 ・場内陥没	バキューム車で対応
		柳橋中継ポンプ場	・圧送管2本のうち1本破断 ・場内陥没	1本により送水
		鶴川右岸第1排水区 雨水ポンプ場	・場内陥没 ・建物外壁一部損壊	雨水排水に支障なし

表-4.3 下水道施設（下水処理施設）の被害状況一覧

県名	管理者名	施設名	被害状況等	備考
新潟県	新潟県	信濃川下流域下水道 長岡浄化センター	最終沈殿池一部破損	水処理施設の稼働に 支障なし
	十日町市	下水処理センター	脱臭設備の配管フランジ部破 損	水処理施設の稼働に 支障なし
	柏崎市	自然環境浄化センター	・汚泥棟基礎杭一部破損 ・消化ガスホルダー内部破損 ・場内道路等の隆起・陥没	水処理施設の稼働に 支障なし
		石地アメテライフセンター	場内道路等の陥没・隆起	水処理施設の稼働に 支障なし
	上越市	柿崎浄化センター	処理場周辺地盤の陥没	水処理施設の稼働に 支障なし
	長岡市	小国浄化センター	脱臭ダクト破損	水処理施設の稼働に 支障なし

4.2 下水道施設の被害状況

(1) 管渠の被害状況

管渠の被害は、表-4.4 の管渠の施設別被害状況に示す通り、5市1町で発生した（長野県飯山市は、マンホールポンプ用引き込み電柱折れのみのため、以後、省略する）。

今回の地震により、既設管路（4市1町総計3,071.9 km）の内、1.6%にあたる50.4 kmが被害を受けた。被災管渠の大半は、震源に近い柏崎市に集中しており、被災管路全体の7割以上を占めている。被災人孔にいたっては、被災人孔全体の9割にあたる1,313カ所が柏崎市に集中している。

表-4.4 管渠の施設別被害状況³⁾

	長岡市	上越市	柏崎市	小千谷市	出雲崎町	計
管路延長	1,785.2 km	593.8 km	462.6 km	190.7 km	39.6 km	3,071.9 km
被災管路延長	5.8 km	0.9 km	37.4 km	3.7 km	2.6 km	50.4 km
被災人孔個数	29 個	17 個	1,313 個	0 個	109 個	1,468 個
被害率	0.3%	0.1%	8.1%	1.9%	6.6%	1.6%

※被害率＝被災管路延長／管路延長

※災害査定

管渠の主な被害としては、マンホールの隆起（写真-4.1）、マンホール周辺の沈下及び陥没（写真-4.2）、管渠埋戻し部の沈下（写真-4.3）、マンホール内側壁のズレ（写真-4.4）、マンホール内の汚水滞水（写真-4.5）であった。



写真-4.1 マンホール隆起
(柏崎市栄町)



写真-4.2 マンホール周辺沈下・陥没
(長岡市大積)



写真-4.3 埋戻し部沈下
(長岡市和島)

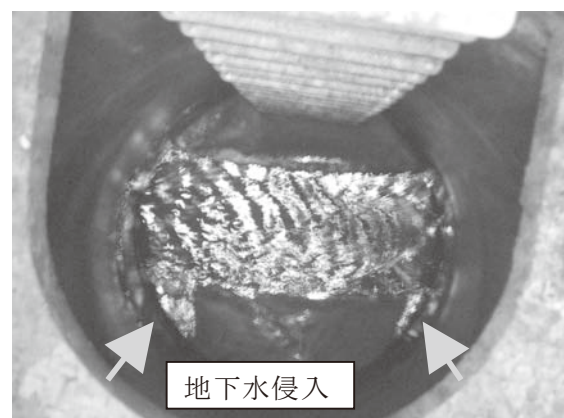


写真-4.4 マンホール内側壁のズレ
(上越市柿崎)

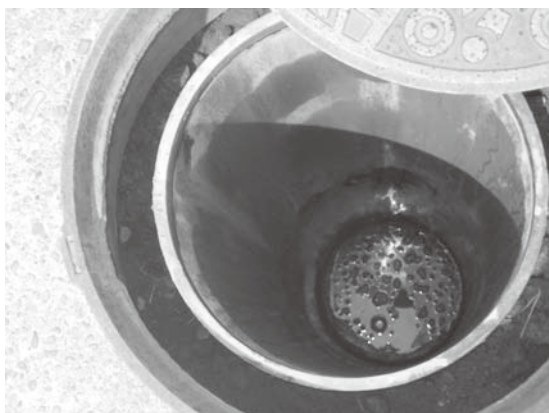
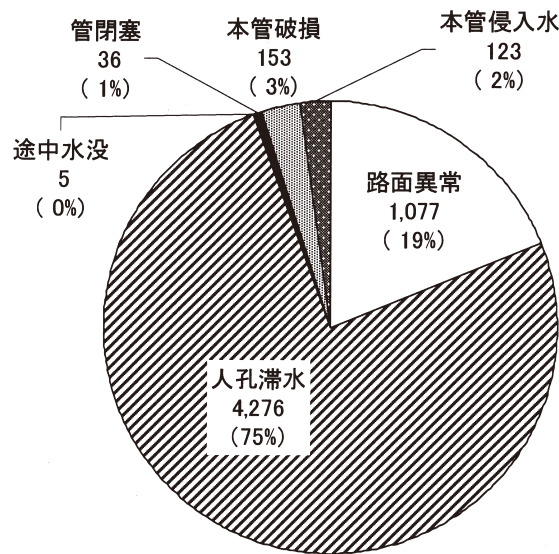


写真-4.5 小型マンホール内滞水
(長岡市宮本)

表-4.5 は、一次調査における管路施設の部位別被害状況の調査結果を示している。図-4.2、図-4.4 は、部位別の被害状況内訳を示している。なお、一次調査とは、被災後に、全体的な被害状況の把握を目的として実施する調査である。調査範囲は基本的に全地域であり、路面の異常、マンホール及び圧送管からの下水流出の有無、管路内への危険物（ガス、石油等）の流入の有無、マンホールの異常の有無、管路の異常の有無、取付け管・ます等の異常の有無を目視及び計測で行うことされている⁴⁾。



※被害内訳の用語の定義については表-4.5 参照

図-4.2 管渠の被害内訳（一次調査結果）

管渠においては、汚水の滞水が多く（75%）確認されている。これは、地震動による周辺地盤の変位や、埋戻し部の液状化により、管渠に破損やたるみ等が発生したことにより、管内における土砂堆積や逆勾配が生じ、下水の疎通が妨げられたことが原因と考えられる。また、今回の地震においては、路面異常がない現場でも、マンホールを開けると滞水していたケースが多く、震災直後に実施する緊急調査（地上からの目視）では判明しなかった被害が、一次調査において多く発見されている。

ここで、汚水滞水が認められた管渠においては、応急対策としてバキューム車による汚水の吸引及び搬送が実施された他、仮設トイレの汚物についてもバキューム車により対応していた。しかしながら、バキューム車の保有台数の制約により十分な対応ができず苦慮している様子が伺われたことから、災害時のバキューム車の支援体制のあり方について今後検討が必要と考えられた。

次いで多いのは路面異常（19%）であるが、舗装面の沈下・陥没などは交通障害となることから、二次災害を引き起こしやすく、また災害支援活動にも影響を及ぼすと考えられる。原因としては、管渠の破損に伴う管渠内への埋戻し土の吸い出しや、埋戻し部の液状化等が考えられるが、今回の地震では、道路盛土の変状による土砂移動によるケースが確認された（写真-4.6、図-4.3）。

表-4.5 管路施設の部位別被害状況（一次調査結果）³⁾

	長岡市						上越市			柏崎市			計	
	旧長岡市	旧三島町	旧和島村	旧与板町	計	旧浦川原村	旧柿崎町	計	旧柏崎市	旧西山町	計	小千谷市		出雲崎町
	管路延長(km)	1,280	57.0	41.0	57.0	1,435	17.5	32.4	49.9	436.8	25.8	462.6		190.7
調査延長累計(km)	10.0	10.5	32.0	55.0	107.5	1.5	32.4	33.9	436.8	25.8	462.6	190.7	9.2	803.9
二次調査必要延長(km)	6.4	2.0	1.0	0.8	10.2	0.8	2.0	2.8	43.5	6.0	49.5	4.2	3.9	70.6
路面異常(力所)	1				1	11	20	31	899	61	960		85	1,077
人孔滞水(力所)	240	56	16		312	9	30	39	3373	228	3601	264	60	4,276
途中水没(力所)						5		5						5
管閉塞(力所)	1		1		2				32	2	34			36
本管破損(力所)	1		1		2		30	30	113	8	121			153
本管侵入水(力所)	1		1		2				113	8	121			123
合計(力所)	244	56	19		319	25	80	105	4,530	307	4,837	264	145	5,670
鉄蓋(力所)									4497	15	4512			4,512
躯体(力所)	1			28	29		17	17	1124	30	1154			1,200
土砂汚水(力所)	1				1				3373	228	3601			3,602
管接合部(力所)	1				1		17	17	225	16	241		50	309
突出(力所)									450	30	480		6	486
その他(力所)														
合計(力所)	3			28	31		34	34	9,669	319	9,988	0	56	10,109

【用語の定義】

路面異常：路面状況の異常（沈下、陥没、隆起、噴砂、噴水、波打ち）

途中水没：本管の一部が水没した状態

本管破損：本管継ぎ目のずれ、本管の破損

鉄蓋：マンホールの蓋、蓋枠のズレ

土砂汚水：マンホール内の土砂、汚水堆積

突出：マンホールが路面より浮き上がった状態

人孔滞水：マンホールに水が溜まった状態

管閉塞：土砂等で本管が閉塞した状態

本管浸入水：管内への漏水

躯体：マンホール内側壁のズレ、破損

管接合部：マンホールと本管接続部のズレ、破損

その他：上記のいずれにもあてはまらない被害



写真-4.6 道路盛土の変状による地盤変形
(出雲崎町川西)

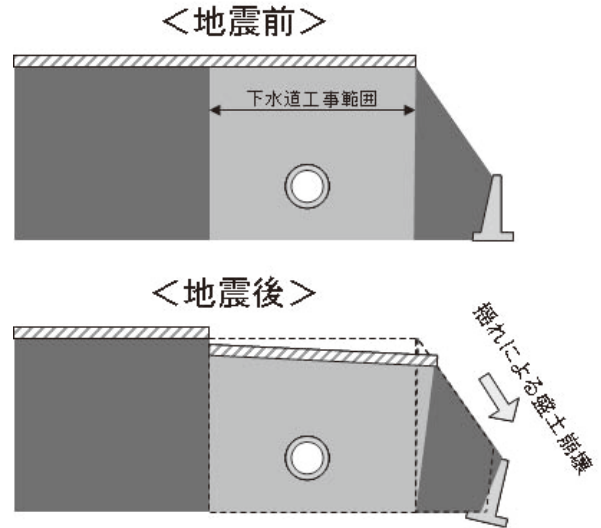


図-4.3 道路盛土の変状による路面沈下の概念

マンホールにおいて発生した被害としては、マンホールの蓋及び蓋枠のズレ (44%)、次いでマンホール内の土砂堆積・汚水滞水 (36%)、マンホール内側壁のズレ・破損 (12%) であった。この内、マンホール内の土砂堆積・汚水滞水については、マンホールの損傷というよりは寧ろ、管渠の不具合 (破損やたるみ等) に起因するものと考えられる。また、突出 (マンホールの浮き上がり) は地震の規模の割には少ないと考えられる。

過去の大地震においては、地上から 1m 以上マンホールが突き出た被災写真などが大々的に取り上げられ、下水道施設のみならずインフラの代表的被災事例の一つとなっているが、今回の地震で調査した範囲では、突出量 (浮き上がり量) は最大でも 20 cm 程度であった。

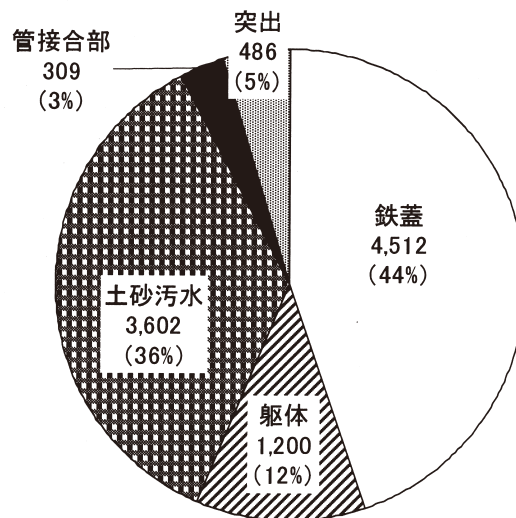


図-4.4 マンホールの被害内訳 (一次調査結果)

(2) ポンプ場の被害状況

ポンプ場としては、柏崎市の八坂中継ポンプ場及び柳橋中継ポンプ場、鵜川右岸第1排水区雨水ポンプ場の3カ所で被害が発生した。

八坂中継ポンプ場では、ポンプ場の流出管が破断し（写真-4.7）、バキューム車で流入汚水を引き抜き処理場へ搬送するとともに、引き抜ききれない汚水は次亜塩素酸を添加した上で河川へ放流していた。また、場内地盤が30cm程度沈下した（写真-4.8）。

柳橋ポンプ場の下流側において2条管の中の1本の圧送管が2カ所破損し汚水が溢れた。汚水が溢れた箇所は、それぞれ直径1m、深さ1m程度道路が陥没しており、溢水当時は衛生上の配慮から石灰を散布したうえで、被害のなかった残り1本の圧送管を利用して対応していた（写真-4.9）。

鵜川右岸第1排水区雨水ポンプ場については、場内沈下及び建物外壁の一部損壊が発生したが、雨水排水に支障はなかった。



写真-4.7 八坂ポンプ場流出管破断



写真-4.8 八坂ポンプ場地盤沈下



写真-4.9 柳橋ポンプ場圧送管破断

(3) 下水処理施設の被害状況

下水処理施設は6カ所が被災を受けた（表-4.3参照）。

被害の内容は、水処理施設の覆蓋脱落（写真-4.10）や最終沈殿池の汚泥掻寄機の損傷、建屋のエキスパンションジョイント部損傷（建屋の移動）（写真-4.11）、場内地盤の沈下（写真-4.12）などであり、処理機能停止に至る被害は発生しなかった。

被災した処理場の中で最も大きな被害を受けたのは、柏崎市自然環境浄化センター（以下、柏崎市浄化センター）であった。

柏崎市浄化センターでは、水処理施設について、最初沈殿池の一部覆蓋が脱落した他、最終沈殿池の汚泥かき寄せ機の破損およびチェーンの脱落があったが、処理系統の変更などを行うことで対応し、ほぼ通常の水処理を続けることができた。

柏崎市浄化センターにおける処理水量について確認したところ、通常の入下水量約

23,000m³/日に対し、地震当日の7月16日の24時間データでは21,900m³/日、地震翌日17日は21,400m³/日であり、大規模な断水があったにもかかわらず通常の9割程度の流入が確認されている。また、同じく広範囲な断水があった上越市の柿崎浄化センターにおいても同様の通常の9割以上の流入があったことがヒアリングで判明している。

汚泥処理施設については、汚泥棟の基礎杭が一部破損したほか、汚泥棟（増築部分）が地盤変動により30cm程度ずれたことに伴いエキスパンションジョイント部損傷及び汚泥管の一部破損が発生した。汚泥管等については、部分的に伸縮継手を採用しており、耐震効果が発揮されていた（写真-4.13）。また、場内の至る所で噴砂が確認されており、液状化により地盤沈下（最大60cm程度）が発生したと推察される（写真-4.14）。



写真-4.10 柏崎市浄化センター
最初沈殿池覆蓋脱落



写真-4.11 柏崎市浄化センター
汚泥棟EXP. J損傷



写真-4.12 柏崎市浄化センター
汚泥棟周辺の地盤沈下



写真-4.13 柏崎市浄化センター
伸縮継手部



写真-4.14 柏崎市浄化センター
噴砂の状況

(4) 被害状況のまとめと考察

1) 被害の集中

今回の地震により被害を受けた下水道施設は、震度5強以上の揺れを観測したところで発生している。震源に近い柏崎市や出雲崎町では、管渠被災箇所全体の8割近くを占めており、特に被害が集中した。

2) 被害の程度

今回の地震による被害規模については、同規模の地震であっても、地震の種類や余震回数、震源位置・深さ、地盤状況などが異なるため単純な比較はできないものの、平成16年の新潟県中越地震（震度7）における管渠の被害率（被災市町村の総管渠延長／被災管渠）が災害査定後で4.6%³⁾、平成19年の能登半島地震（震度6強）における管渠の被害率が2.2%³⁾であることから、今回の地震における被害率は1.6%と低い。

下水処理施設においても、平成16年の新潟県中越地震時に発生した水処理施設駆体損傷や汚水漏水などの処理機能を停止させるほどの被害は今回発生していない。

3) 潜在的被害の予測

被災から本復旧までの間に実施される調査としては、①緊急調査、②一次調査、③二次調査があるが、緊急調査は、被災状況の概略把握及び二次災害防止、支援要請等の判断のために実施する調査で、重要な施設及び重要な幹線において、地上から目視確認できる範囲で被害状況の把握に努める程度である。この場合、地中に埋設してある管渠の状況は、路面に異常がない限り把握できない。

今回の地震による一次調査結果では、人孔滞水（4276箇所）と路面異常（1077箇所）の被害箇所数を比較すると、人孔滞水が路面異常の約4倍となっている。

人孔滞水の原因となる管渠の破損やたるみ等の大きさと路面異常発生は必ずしもリンクしないが、路面異常に現れない管路被害が潜在的にこれだけ存在することを表している。

4) バキューム車の支援体制強化

大規模停電に伴うマンホールポンプ不具合や管渠内の汚水滞留が広域的に発生した場合、応急対策としてバキューム車による汚水の吸引及び搬送が効果を上げていた。しかしながら、バキューム車の保有台数の制約により十分な対応ができない場面もあったことから、災害時のバキューム車の支援体制のあり方について検討する余地がある。

5) 断水時の下水処理場流入水量

今回の地震では、地震発生後の水道管損傷により、広範囲な断水が発生し、被災後の避難生活に大きな影響を与えている。断水が発生すれば、トイレの使用や台所での炊事に影響が出ることから、下水処理場への流入水量は減少すると考えられる。しかしながら、断水中にも関わらず、柏崎市や上越市の下水処理場においては、通常の流入水量の9割以上の下水が断続的に流入していることが関係者へのヒアリングで明らかになっている。

これは、下水管渠の損傷による地下水の侵入が疑われるとともに、水道水の代替として給水車等による迅速な対応がなされたことによると考えられ、例え断水があっても下水処理場への流入は止まらないことを念頭に置いた対策が必要であることを示唆している。

4.3 被災箇所における土質調査

管渠の被災が確認されたA都市及びB都市において、被災原因を探るために、平成19年9月26～28日に被災箇所の土質調査を実施した。

被害の内容としては路面の沈下、管渠のたるみであり、A都市では下水道管渠の埋戻し部のみが、2 cm程度沈下した（写真-4.15）。

B都市においては、管渠埋設部の上部舗装が、管渠センターラインを中心とした扇状に5 cm程度沈下した（写真-4.16）。

本調査における試験項目は、下記の通りとした。

①簡易動的貫入試験

道路高より 3.5m程度の深さまで、簡易動的コーン貫入試験（地盤工学会基準 JGS1443）を行った。

②現場密度試験

深さ方向に2カ所（埋め戻し施工基面、管頂付近）において、砂置換法による土の密度試験（日本工業規格 JIS A 1214）を行った。

③土質試験

室内土質試験は、現場密度試験を行った2カ所において、ブロックサンプリングを行い、土粒子の密度試験（JIS A 1202）、土の粒度試験（JIS A 1204）、土の含水比試験（JIS A 1203）、突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）について実施した。



写真-4.15 A都市の管渠被災状況



写真-4.16 B都市の管渠被災状況

(1) A都市における土質調査結果

掘削時に確認した地層構成、調査・試験深度図を図-4.5 に、簡易貫入試験の結果 (Nd の深度分布図) を図-4.6 に示す。

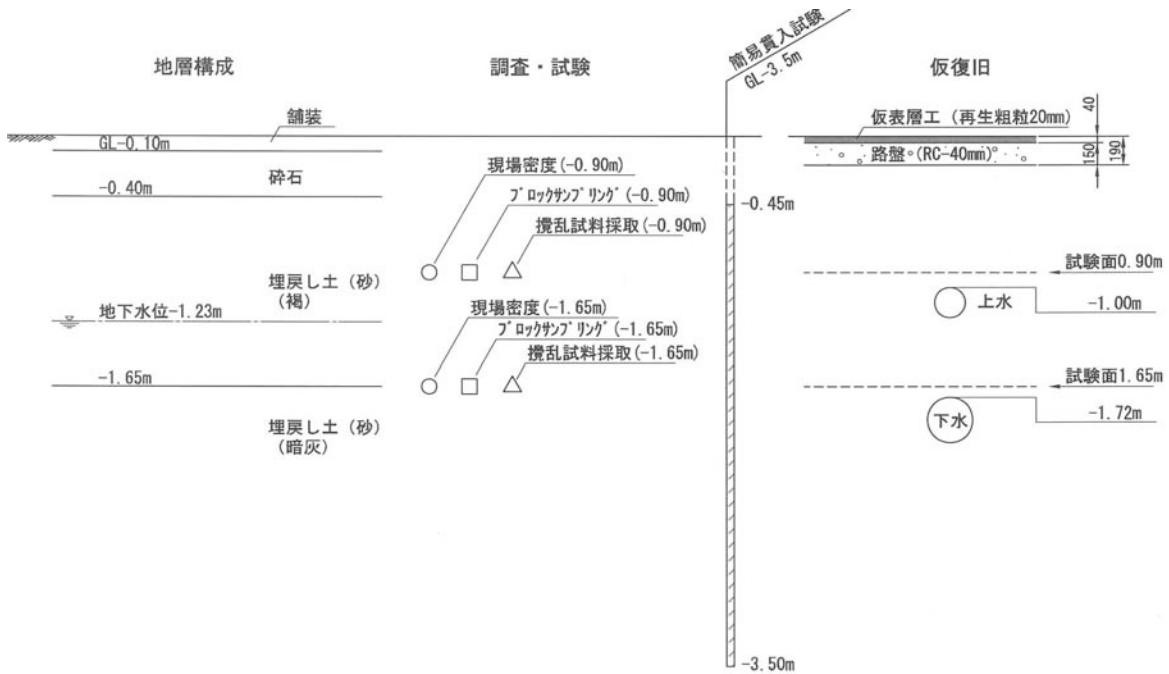


図-4.5 地層構成、調査・試験深度、復旧断面図 (A都市)

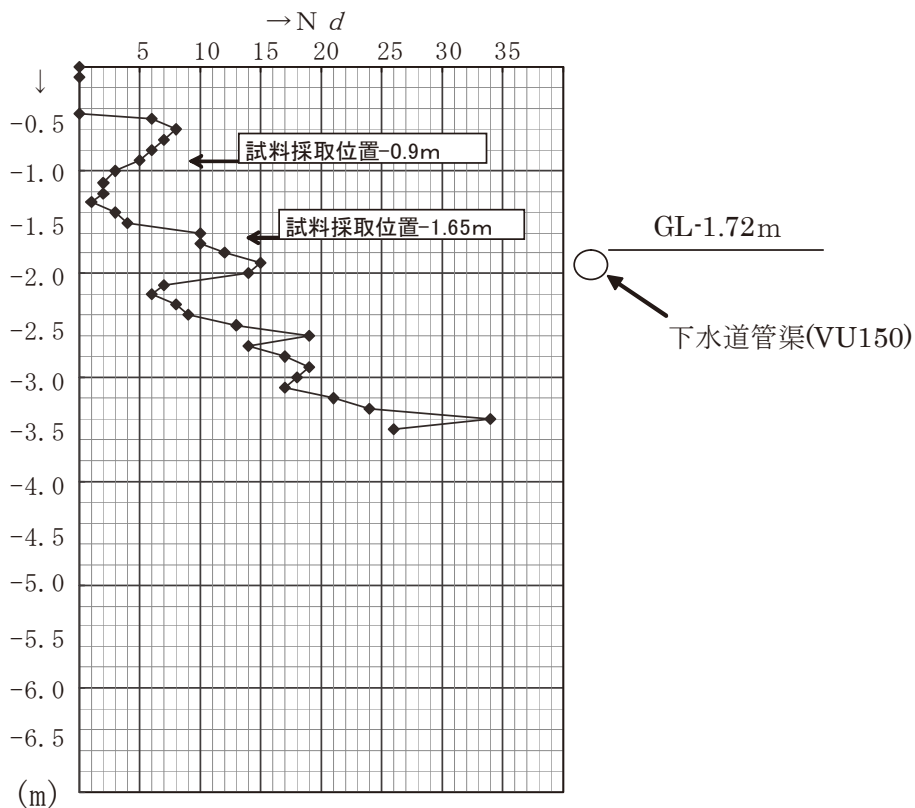


図-4.6 Nd 深度分布図 (A都市)

埋戻し部におけるNd 値は、0～15 の範囲でばらつきがあり、地表下 1.5m付近はNd<5 とかなり低い値を示している。

表-4.6 に現場密度試験結果を示す。室内土質試験は表-4.7 に準拠する方法で行った。

表-4.6 現場密度試験結果一覧表 (A都市)

試験深度 GL(m)	埋戻し土	
-0.90	平均含水比	23.0 %
	平均湿潤密度	1.745 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.419 g/cm ³
-1.65	平均含水比	25.8 %
	平均湿潤密度	1.702 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.352 g/cm ³

表-4.7 室内土質試験の方法

試験名	地盤工学会基準	日本工業規格
土粒子の密度試験	JGS 0111	JIS A 1202
土の含水比試験	JGS 0121	JIS A 1203
土の粒度試験	JGS 0131	JIS A 1204
突固めによる土の締固め試験	JGS 0711	JIS A 1210

表-4.8 室内土質試験結果の概要 (A都市)

採取箇所		A都市：上層 (-1m)		A都市：下層 (-2m)	
採取深度		-0.90~-1.00m		-1.65~-1.75m	
一般	土粒子の密度	2.671g/cm ³		2.696g/cm ³	
	自然含水率	23.7%		19%	
粒度	ふるい試験	粒径	通過質量百分率	粒径	通過質量百分率
				9.5 mm	100%
		4.75 mm	100%	4.75 mm	99.2%
		2 mm	99.3%	2 mm	98.6%
		0.85 mm	97.3%	0.85 mm	97.1%
		0.425 mm	83.3%	0.425 mm	73.1%
		0.25 mm	57%	0.25 mm	27.3%
		0.106 mm	11.8%	0.106 mm	3.6%
	0.075 mm	8.7%	0.075 mm	2.9%	
	均等係数 U _c	2.958		2.241	
	平均粒径 D ₅₀	0.2212 mm		0.327 mm	
分類	分類名	細粒分混じり砂		砂	
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.619g/cm ³		1.596g/cm ³	
	最適含水率	18.1%		18%	
現場密度	乾燥密度	1.419g/cm ³		1.352g/cm ³	
	締固め度	87.6%		84.7%	

室内土質試験結果を表-4.8 に、埋戻し土の粒径加積曲線を図-4.7 に示す。

埋戻し土の粒度組成は、粒径 0.1mm~1.0mm を主体とし、均等係数は $U_c < 3$ で「分級された」粒度組成である。また、地盤材料の分類名では-0.9mが細粒分混じり砂 (S-F)、-1.65mが砂 (S) に分類される。

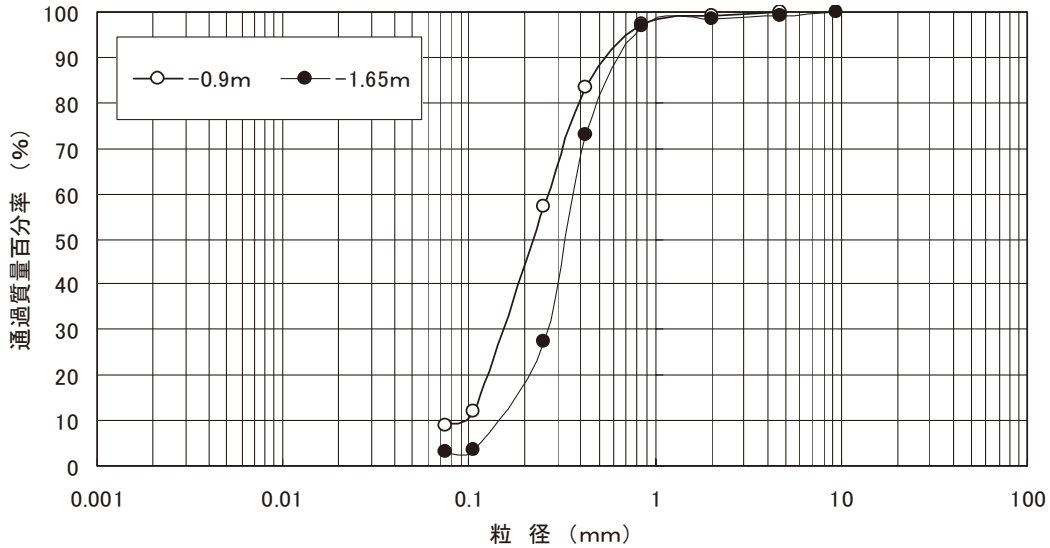


図-4.7 埋戻し土の粒径加積曲線 (A都市)

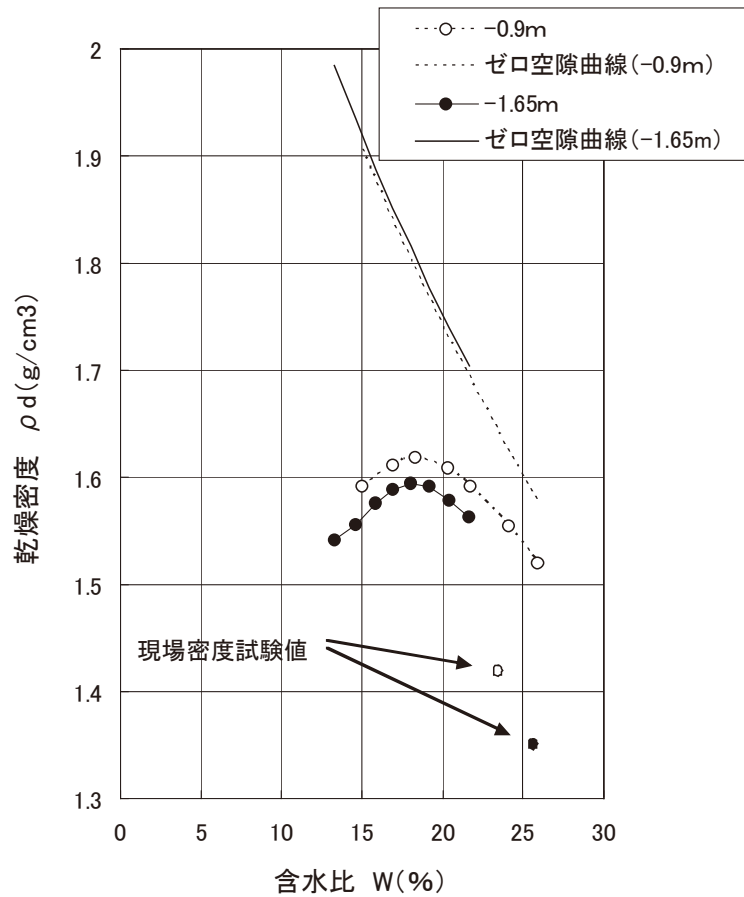


図-4.8 締固め曲線 (A都市)

図-4.8 に締固め曲線を示す。

締固め曲線は、上下層でその差異は小さく、ほぼ同一材料の締固め特性を示す。最適含水比は 18%程度であった。現場密度試験による自然含水比と締固め試験による最適含水比を比較すると、6~10%湿潤側であった。現場密度試験により確認した乾燥密度から締固め度を求めると表-4.9 の通りであり、おおむね 85%程度の締固め度であった。

表-4.9 埋戻し土の締固め度 (A都市)

位置	試験項目	結果
上層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d=1.419$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax}=1.619$
	締固め度	Dc=87.6%
	簡易貫入試験によるNd値	5
下層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d=1.352$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax}=1.596$
	締固め度	Dc=84.7%
	簡易貫入試験によるNd値	10

簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比を図-4.9 に示す。

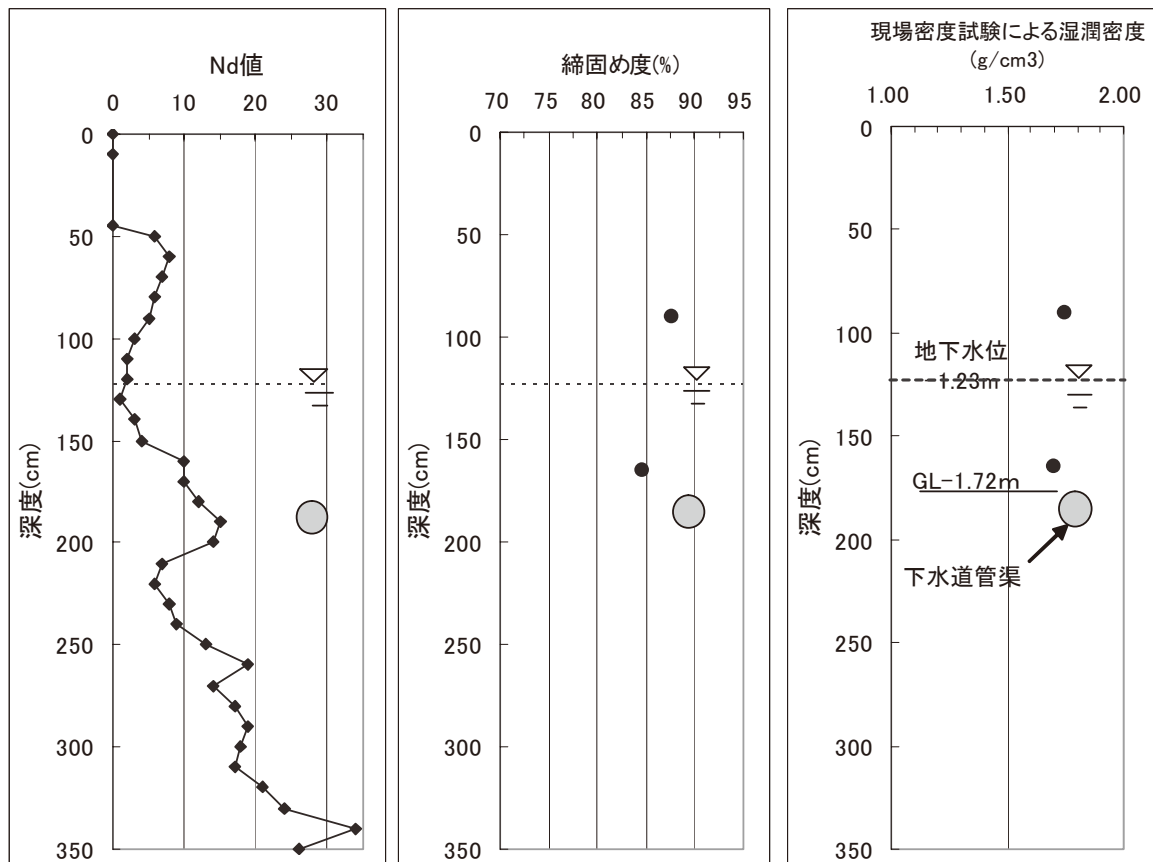


図-4.9 簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比 (A都市)

Nd 値は深度方向に漸増傾向にある。締固め度 (Dc 値) と Nd 値を対比すると、下層 Nd 値 10 に対し締固め度は 84.7%、上層で Nd 値 5 に対し締固め度は 87.6% であり、Nd と締固め度は反比例している。

以上の土質試験の結果を考慮すると、埋戻し材料にほぼ均一な粒径の砂を用いていること、地下水位が高いこと等から、液状化現象の発生条件が整っていることが分かった。また、土質試験を実施した現場においては、憤砂の痕跡と見られる均一な砂が路面上に大量に残されていたことから、埋戻し部の液状化が被災原因である可能性が示唆された。

(2) B都市における土質調査結果

掘削時に確認した地層構成、調査・試験深度図を図-4.10 に示す。

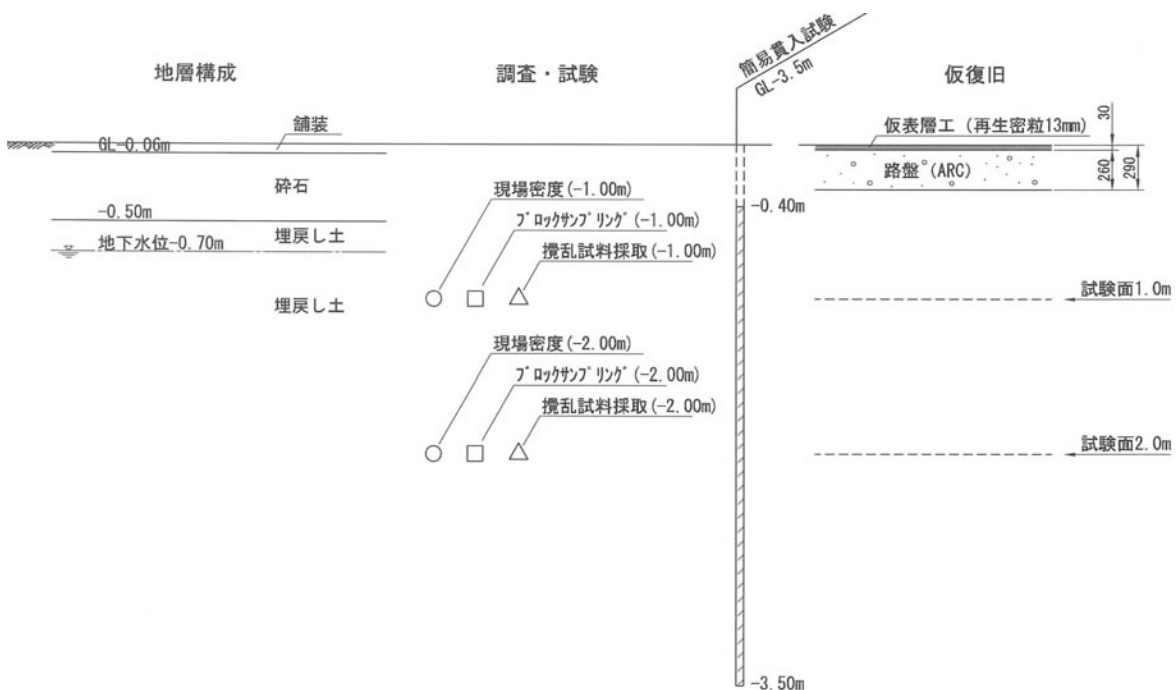


図-4.10 地層構成、調査・試験深度、復旧断面図 (B都市)

簡易貫入試験の結果 (Nd の深度分布図) を図-4.11 に、表-4.10 に現場密度試験結果を示す。

埋戻し部における Nd 値は、地表から管頂までの間で平均 5 以下とかなり低い値を示している。

表-4.10 現場密度試験結果一覧表 (B都市)

試験深度 GL(m)	埋戻し土	
	-1.00	平均含水比
平均湿潤密度		1.771 g/cm ³
平均乾燥密度		1.502 g/cm ³
-2.00	平均含水比	16.7 %
	平均湿潤密度	1.535 g/cm ³
	平均乾燥密度	1.316 g/cm ³

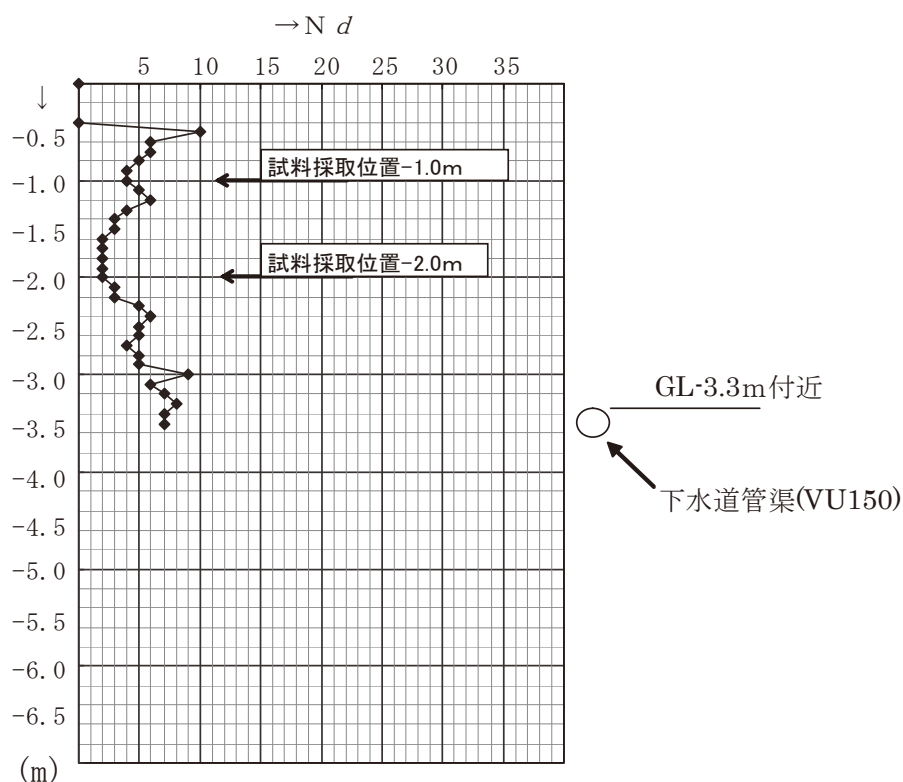


図-4.11 Nd 深度分布図 (B都市)

室内土質試験結果を表-4.11 に示す。

表-4.11 室内土質試験結果の概要 (B都市)

採取箇所		B都市：上層 (-1m)		B都市：下層 (-2m)	
採取深度		-1.00~-1.10m		-2.00~-2.10m	
一般	土粒子の密度	2.685g/cm ³		2.712g/cm ³	
	自然含水率	18.6%		19.8%	
粒度	ふるい試験	粒径	通過質量百分率	粒径	通過質量百分率
		37.5 mm	100%	26.5 mm	100%
		26.5 mm	93.6%	19 mm	94.5%
		19 mm	89.5%	9.5 mm	86%
		9.5 mm	85.2%	4.75 mm	82.6%
		4.75 mm	82.8%	2 mm	80.4%
		2 mm	80.4%	0.85 mm	74.1%
		0.85 mm	74.1%	0.425 mm	47.1%
		0.425 mm	51.1%	0.25 mm	22.9%
		0.25 mm	24.4%	0.106 mm	6.3%
	0.106 mm	7.8%	0.075 mm	5.5%	
	0.075 mm	6.9%			
	均等係数 U _c	3.859		3.817	
	平均粒径 D ₅₀	0.4145 mm		0.4548 mm	
分類	分類名	細粒分混じり礫質砂		細粒分混じり礫質砂	
締固め	最大乾燥密度	1.738g/cm ³		1.747g/cm ³	
	ρ_{dmax} 最適含水率	15.5%		15.6%	
現場密度	乾燥密度	1.502g/cm ³		1.316g/cm ³	
	締固め度	86.4%		75.3%	

図-4.12 に埋戻し土の粒径加積曲線を示す。

埋戻し土の粒度組成は、粒径 0.1mm～1.0mm を主体とし、均等係数は $U_c < 4$ で「分級された」粒度組成である。また、地盤材料の分類名では、細粒分混じり礫質砂 (SG-F) に分類される。深度別に見ても、最大粒径に差がある程度で、ほぼ同一材料と見なされる。

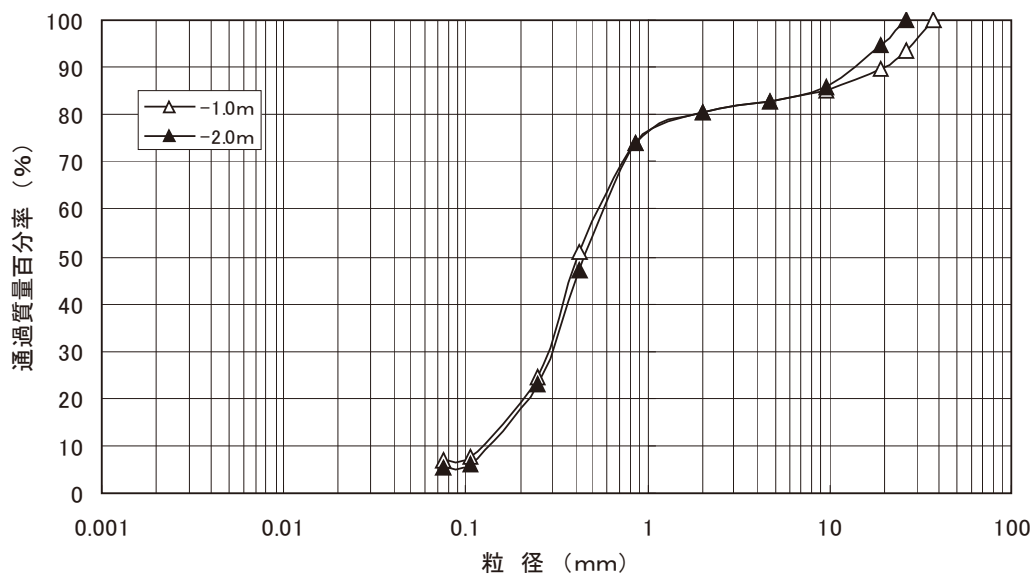


図-4.12 埋戻し土の粒径加積曲線 (B都市)

図-4.13 に締固め曲線を示す。締固め曲線は、A都市と同様に、上下層でその差異は小さく、ほぼ同一材料の締固め特性を示す。最適含水比は16%程度であった。

現場密度試験による自然含水比と締固め試験による最適含水比を比較すると、最適含水比よりも2～3%湿潤側であった。

現場密度試験により確認した乾燥密度から締固め度を求めると表-4.12 のとおりであり、上層で86.4%と比較的高いが、下層は75.3%と低い。

表-4.12 埋戻し土の締固め度 (B都市)

位置	試験項目	結果
上層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d = 1.502$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax} = 1.738$
	締固め度	$D_c = 86.4\%$
	簡易貫入試験によるNd値	4
下層	現場密度による乾燥密度	$\rho_d = 1.316$
	締固め試験による最大乾燥密度	$\rho_{dmax} = 1.747$
	締固め度	$D_c = 75.3\%$
	簡易貫入試験によるNd値	2

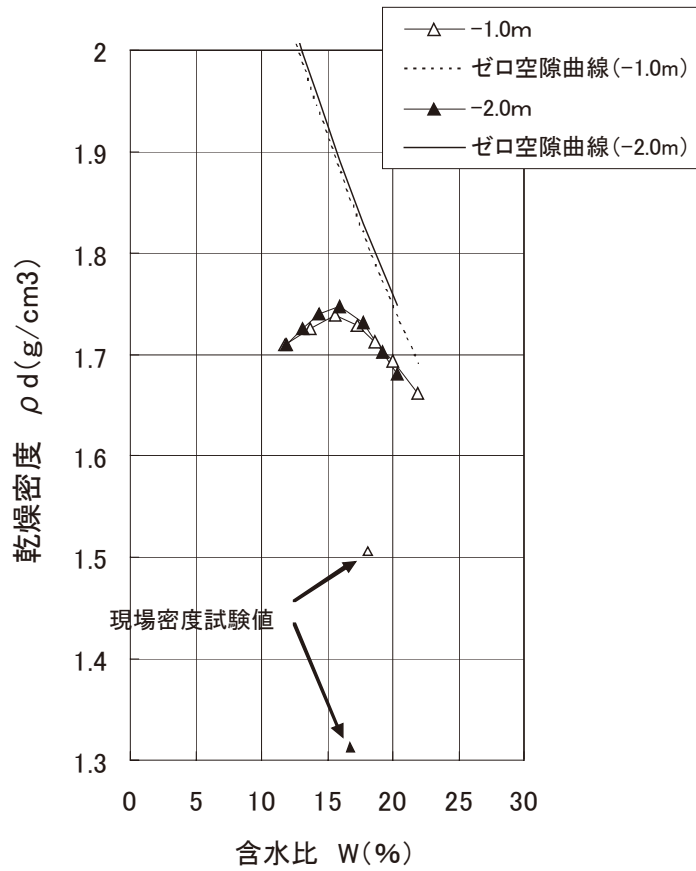


図-4.13 締固め曲線 (B都市)

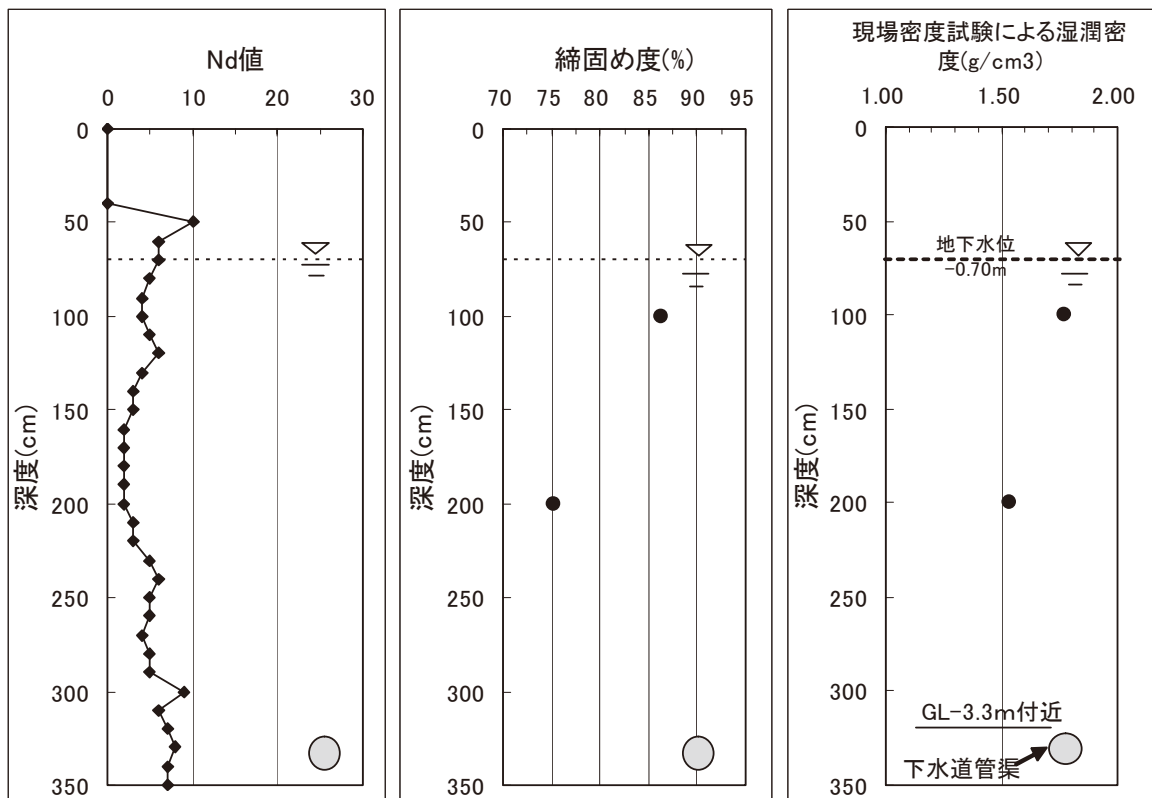


図-4.14 簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比 (B都市)

簡易貫入試験によるNd、締固め度、湿潤密度の深度分布の対比を図-4.14に示す。

Nd 値は深度方向に管渠埋設深までこの傾向は変わらず、平均5程度と低い値を示している。締固め度(Dc 値)とNd 値を対比すると、締固め度が75.3%を示した地点(下層)におけるNd 値は2とかなり低い。

締固め度は、下層(75.3%)よりも上層(86.4%)の方が高く、湿潤密度の傾向も同様のことが言える。

以上の土質試験の結果を考慮すると、埋戻し材料にほぼ均一な粒径の砂を用いていること、地下水位が高いこと等から、液状化現象の発生条件が整っていることが分かった。しかしながら、土質試験を実施した現場においては、A都市で見られた噴砂や噴水といった液状化現象の痕跡は見られなかったことから、埋戻し部の液状化が被災原因と断言はできないもののその可能性が示唆される。

(3) 土質調査のまとめ

2都市について、被災管渠の埋戻し土の土質調査を行った。

その結果、下記のことが分かった。

- ①Nd 値は10以下と低く、特に上層部は低い傾向にある。
- ②被災箇所における被災後の締固め度は90%以下であった。
- ③締固め度は、下層より上層の方が高い傾向にある。
- ④埋戻し土の材料は、粒径0.1mm~1.0mmを主体とした砂が使用されていた。
- ⑤地下水位は地表から1m前後と高い。
- ⑥液状化現象が発生しうる条件が揃っている。

4.4 新潟県中越地震(H16年)で被災した箇所における再被災について

今回の地震は、平成16年の新潟県中越地震の復旧工事が終盤を迎えた時期に発生した。

新潟県中越地震発生後の平成16年11月、下水道地震対策技術検討委員会より、管路施設の被害再発防止を考慮した「管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言」(以下、「緊急提言」)が取りまとめられ、本復旧においては、埋戻しにおいて①埋戻し部の締固め(締固め度90%以上)、②砕石による埋戻し、③埋戻し部の固化のいずれかの対策を行うこととされた。

そこで、新潟県中越地震で緊急提言に基づき本復旧を実施した箇所の被害状況を把握することを目的に、平成19年7月17~19日、7月31日~8月1日に自治体に対するヒアリングと現地調査を行った。

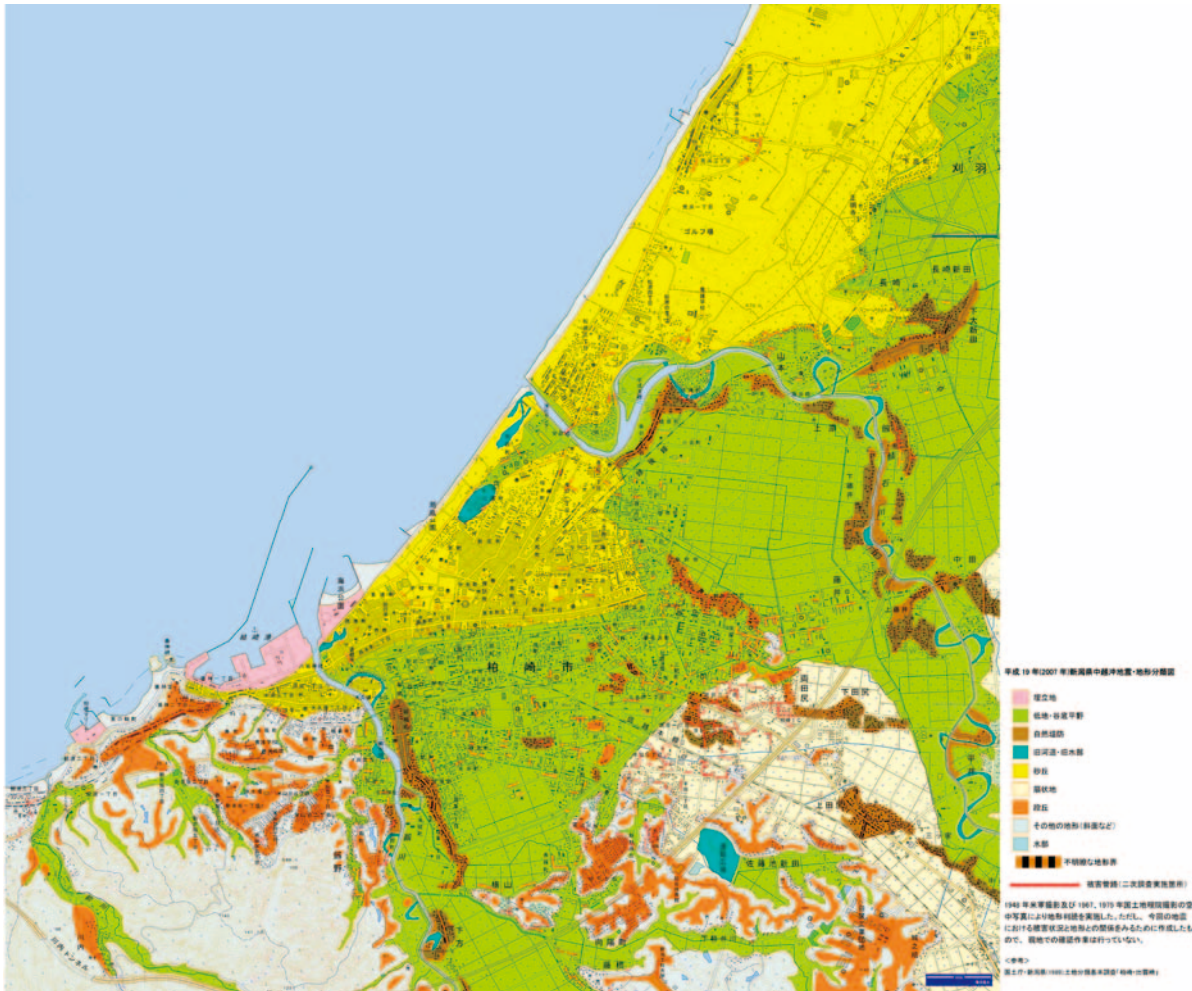
ヒアリング及び現地調査の結果、新潟県中越地震における管路施設の本復旧はセメント系固化剤による固化の対策が行われており、今回の地震で大きな被害は発生していない模様であった(一部、再被災を受けている箇所について詳細を調査中)。

4.5 地形条件と管路被害の関係

過去の地震における下水道管路施設の被害の主な要因は、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^{5),8)}。また文献4)、9)には、過去の地震における下水道管路施設の被害と微地形区

分の関係から、「微地形区分に基づく埋戻し部の液状化の可能性の判定基準」が示されている。

ここでは、今回の地震による下水道管路施設の被害と地形条件の関係を把握することを目的に、柏崎市における被害路線を土地条件図上にプロットし、微地形区分と下水道管路施設の被害の関係について整理した。



(国土地理院 HP¹⁰)に加筆)

図-4.15 柏崎市における被災管路位置図（二次調査実施箇所）

図-4.15 は、柏崎市における被害管路の位置を柏崎市中心部付近の土地条件図上にプロットしたものである。ただし、ここでの被害管路とは、二次調査を実施した管路を対象としており、必ずしも最終的な被害箇所ではないことに注意を要する。

柏崎市の地形は、海岸付近の砂丘部、その背後の低地部、さらに内陸側の扇状地、段丘部へと変化している。また、市街地の北東部を鯖石川が、南西部を鵜川が流れ、その周辺にはそれらが形成した自然堤防や旧河道が分布している。

図より下水道の被害は、北陸自動車道柏崎 IC 付近の低地部～扇状地末端部にかけて集中していることが分かる。また、北東部の鯖石川周辺の旧河道部、自然堤防の周辺部、砂丘と低地部の境界付近で多いことが分かる。一般に、これらの土地では、地下水位が高く、粘性土が卓越した地盤であることが多いが、2004 年新潟県中越地震の長岡、小千谷の事

例においても、扇状地末端付近、自然堤防周辺部、低地部において下水道管路施設の被害が多い傾向がみられている⁸⁾。一方で、海岸線に近い市街地付近の砂丘部での被害は、比較的少ないことがわかる。

以上、柏崎市では、以下の地形で下水道管路の被害が多いといえる。

- ①扇状地末端付近
- ②低地・谷底平野
- ③旧河道・旧水部
- ④砂丘と低地・谷底平野の境界付近
- ⑤自然堤防と低地・谷底平野の境界付近

今後、周辺の地盤データを入手し、周辺地盤の土質、地下水位等の地盤条件と被害の関係を整理する必要がある。

4.6 まとめ

下水道施設の被害の特徴と原因をまとめると以下の通りである。

- ①他の同規模の地震による被害と比較すると、（単純な比較はできないものの）被害規模（被害件数や被害の程度など）としては小さい傾向にあった。
- ②路面に現れない汚水滞水の機能障害が多く発生した。汚水滞水は、被災直後の把握が困難で、詳細調査の進行とともに明らかになってくる。災害査定申請時点では、路面異常の4倍の件数が確認されていることから、被災直後の被害規模把握の目安になると考えられる。
- ③今回の地震で発生した路面沈下箇所における埋戻し土の土質試験を実施した結果、液状化の発生しうる条件が揃っており、埋戻し部の液状化が被災原因である可能性が示唆された。
- ④施設の耐震化による防災対策も重要であるが、被害が発生した際の機能確保に必要な、例えばバキューム車の確保などの減災対策の検討を行う余地がある。
- ⑤下水処理場においては、広範囲な断水があっても、下水の流入は断続的にあることが確認された。

国土技術政策総合研究所では、地震直後より情報収集にあたり、同日、新潟県中越沖地震災害対策本部が設置されると、国土交通省下水道部の要請を受け、被害状況の把握及び応急措置、早期復旧並びに災害支援に向け職員を現地に派遣するとともに、被災原因の究明並びに緊急提言の効果検証のため、その後も随時調査員を現地に派遣している。

現段階では、明確な被災原因究明及び緊急提言の効果検証にまで至っていないが、今後、さらにデータの解析を進め、地震対策のさらなる技術向上を図っていきたい。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」の特集に掲載の震度分布図に新潟県市町村界を重ね合わせた。
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/EVENT1/SUIKEI.PNG
- 2) 国土交通省：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震について（第28報・最終報）、

国土交通省記者発表資料、2007.10.9

- 3) 第1回下水道地震対策技術検討委員会資料、2007.10.31
- 4) (社)日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル（2006年版）、158p、2006
- 5) 国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国土技術政策総合研究所報告、第27号、土木研究所報告、第203号、2006
- 6) 国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所緊急調査団：平成19年新潟県中越沖地震の緊急調査速報、土木技術資料、第49巻、第9号、pp.6～11、2007
- 7) 植松龍二、南山瑞彦、深谷渉、田本典秀：平成19年新潟県中越沖地震による下水道管路施設の被害、下水道協会誌、Vol.44、No.539、pp.35～42、2007
- 8) 杉田秀樹、佐々木哲也、石原雅規：危機管理を考慮した効率的な下水道整備に関する研究、平成17年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料、第4021号、pp.64～73、2006
- 9) (社)日本下水道協会：下水道耐震対策指針と解説（2006年版）、2006
- 10) 国土地理院ホームページ：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震災害状況図、2007
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0707-chuetsuoki/map/index.html>