

I S S N 1 3 4 6 - 7 3 2 8

国総研資料 第 997 号

平 成 2 9 年 1 1 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 997

November 2017

平成 28 年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴

下水道研究部

Report on a characteristic and countermeasure of the damages to sewer pipes caused
by the 2016 Kumamoto earthquake

Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

平成 28 年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴

下水道研究部

下水道機能復旧研究官	内田 勉
下水道研究室 室長	横田 敏宏
下水道研究室 主任研究官	深谷 渉
下水道研究室 研究官	宮本 豊尚
下水道研究室 交流研究員	竹内 大輔

※平成 28 年度末時点の所属・役職

Report about a characteristic and the countermeasure of the damage to sewer pipes caused
by The 2016 Kumamoto earthquake

Water Quality Control Department

概要

平成28年4月14日と4月16日に震度7が続けて観測された熊本地震では、下水道管路施設約86kmが被災した。被災の特徴を把握するために、災害査定資料や震後に実施されたTVカメラ調査結果を分析した。この結果、地下水位以浅までの砕石埋め戻しにより高い液状化抑制効果が発揮されることが確認できたほか、推進工法におけるマンホールと管きょ接続部の耐震化の必要性が明らかとなった。

キーワード : 平成 28 年熊本地震、下水道管路、液状化、埋め戻し

Synopsis

Two earthquakes with an intensity of 7 on the Japanese seismic scale struck Kumamoto prefecture in April, 2016. The sewage pipes of approximately 86 km were damaged by the earthquakes. This report investigated on a characteristic of the damage to the sewage pipes based on disaster assessment documents and report of television inspection. As a result, it was confirmed that liquefaction was effectively prevented by a measure with crushed stone backfill. In addition, it was indicated that seismic resistance countermeasures for the point of a manhole and a promotion pipe are important to pipe jacking method.

Key Words : The 2016 Kumamoto earthquake、sewage pipe、liquefaction、backfill

まえがき

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分、熊本県熊本地方でマグニチュード (M) 6.5 の地震が発生し、続いて 4 月 16 日 1 時 25 分に同地方で M7.3 の地震 (以下、本震) が発生しました。それぞれの地震において最大震度 7 を観測し、震源地に近い益城町を中心に、人的被害をはじめ、家屋倒壊、文化財損傷、土砂災害など甚大な被害をもたらしました。この熊本地震により亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、被災された皆様に心よりお見舞い申し上げます。

この地震による下水道管路施設の被害は、八代北部流域下水道、熊本市、宇土市、宇城市、阿蘇市、御船町、嘉島町、益城町の 1 流域下水道 7 市町に及びました。また、処理施設は 9 市町 13 処理場で被害が報告されていますが、自治体職員や処理場の維持管理会社、全国各地からの自治体・民間企業等の支援者による懸命な対応により、水処理は滞ることなく運転が継続されました。

国土技術政策総合研究所下水道研究部 (以下、「国総研」) では、平成 28 年 4 月 14 日の地震翌日に職員を現地派遣し、被害情報の収集及び技術的助言を行いました。また、地震発生から約 1 ヶ月後の 5 月には、熊本地震で被災した管路施設の本復旧方法及び耐震設計基準の見直しの必要性判断の一助とするため、職員を現地に派遣し、耐震化済み管路施設の被災状況調査を実施しました。これら発災直後の活動内容及び調査結果は、平成 29 年 3 月に国総研資料第 967 号「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震土木施設被害調査報告」¹⁾に緊急速報的にとりまとめたところです。

現在被災自治体では、災害査定等を経て本復旧が進められており、発災直後には分からなかった下水道管路内の詳細な被災状況や関係者へのヒアリング等による新たな情報が収集できたことから、これまでの情報と合わせて資料等を整理分析し、復興や復旧の技術支援とさらなる調査研究へ活用できるようにするとともに、収集した調査資料の保存を図ることを目的に報告書を取りまとめました。本成果が、南海トラフ地震や首都直下型地震といった今後発生が懸念される大規模地震の備えとして活用され、地震に強い下水道構築に繋がること祈念します。

平成 29 年 11 月 下水道研究部長 井上茂治

目 次

1	平成 28 年熊本地震の地震特性	3
1.1	震源と震度分布	3
1.2	地震動の特性	7
2	下水道管路施設の整備状況	9
3	下水道管路施設の被災概況	11
3.1	被災状況整理・被災傾向分析方針	11
3.1.1	収集資料	11
3.1.2	整理・傾向分析方針	11
3.2	整理・傾向分析結果	12
3.2.1	団体別被災状況	12
3.2.2	管種別被災状況	13
3.2.3	布設年度別被災状況	14
3.2.4	管径別被災状況	15
3.2.5	土被り/施工方法別被災状況	16
3.2.6	被災パターン	20
3.2.7	地盤特性と被災の関係	24
4	原因分析と対策	50
4.1	埋戻し土の液状化対策	50
4.2	推進工法区間の被災	54
5	まとめ	63
	参考文献	64
	付録 1:熊本地震写真集	65
	【震度7:益城町】	65
	【震度6強:熊本市、嘉島町】	72
	付録 2 : 熊本地震での国総研下水道研究部の災害活動記録	87
	前震(平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃)	87
	現地第一班派遣(平成 28 年 4 月 15 日)	88
	本震発生(4 月 16 日 1 時 25 分頃)	91
	本震翌日(4 月 17 日)	93
	本震翌々日(4 月 18 日)	94
	現地第二班派遣(平成 28 年 5 月 11 ~ 13 日)	95
	現地第三班派遣(平成 28 年 5 月 25 ~ 27 日)	98
	追加調査(平成 28 年 12 月 21 ~ 22 日)	98
	謝辞	99

1 平成 28 年熊本地震の地震特性

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分、熊本県熊本地方でマグニチュード (M) 6.5 の地震¹⁾ (以下: 前震) が発生、続いて 4 月 16 日 1 時 25 分に同地方で M7.3 の地震²⁾ (以下: 本震) が発生し、それぞれの地震において最大震度 7 を観測した。気象庁はこれらの一連の地震を「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」と命名³⁾した。

1.1 震源と震度分布

M 7.3 の本震の震度分布及び震央位置を図-1 に示す。本震は、主に布田川断層帯の布田川区間の活動によるもの⁴⁾ とされており、当断層帯の位置は図-1 の通りである。震度に関しては、益城町宮園及び西原村小森で震度 7 が、その周辺域で震度 6 弱以上の揺れが観測された。なお、本震の発生から約 30 秒後に、大分県中部で M5.7 の別の地震が発生したため、当地域でも震度 6 弱が観測された。表-1 に気象庁発表の震度階級別の自治体一覧、表-2 に国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開している強震観測網 (K-NET, KiK-net)⁵⁾による計測震度を示す。

また、本震の約 28 時間前には、M 6.5 の前震が発生しており、益城町宮園では震度 7 が観測されていた (表-2、表-3)。このため、益城町宮園では震度 7 を 2 度観測したことになる。なお、前震は主に日奈久断層帯の高野-白旗区間の活動によるもの²⁾ とされており、当断層帯の位置は図-1 の通りである。

地震発生後の M 3.5 以上の地震の発生回数は、図-2 に示す通り 269 回³⁾ (平成 28 年 8 月 31 日 19 時 50 分時点) であり、非常に活発的な余震活動が継続していた。これは平成 7 年兵庫県南部地震以降に内陸や沿岸で発生した地震の中で最多であった。

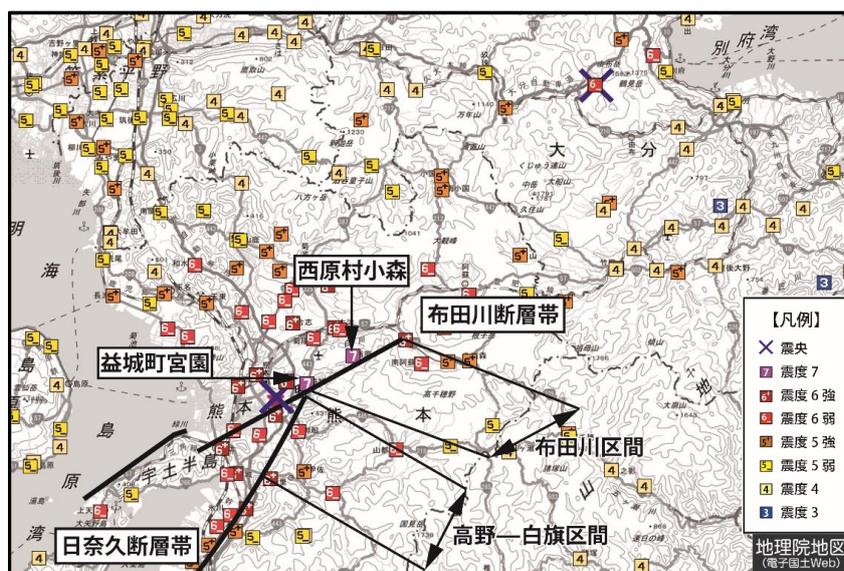
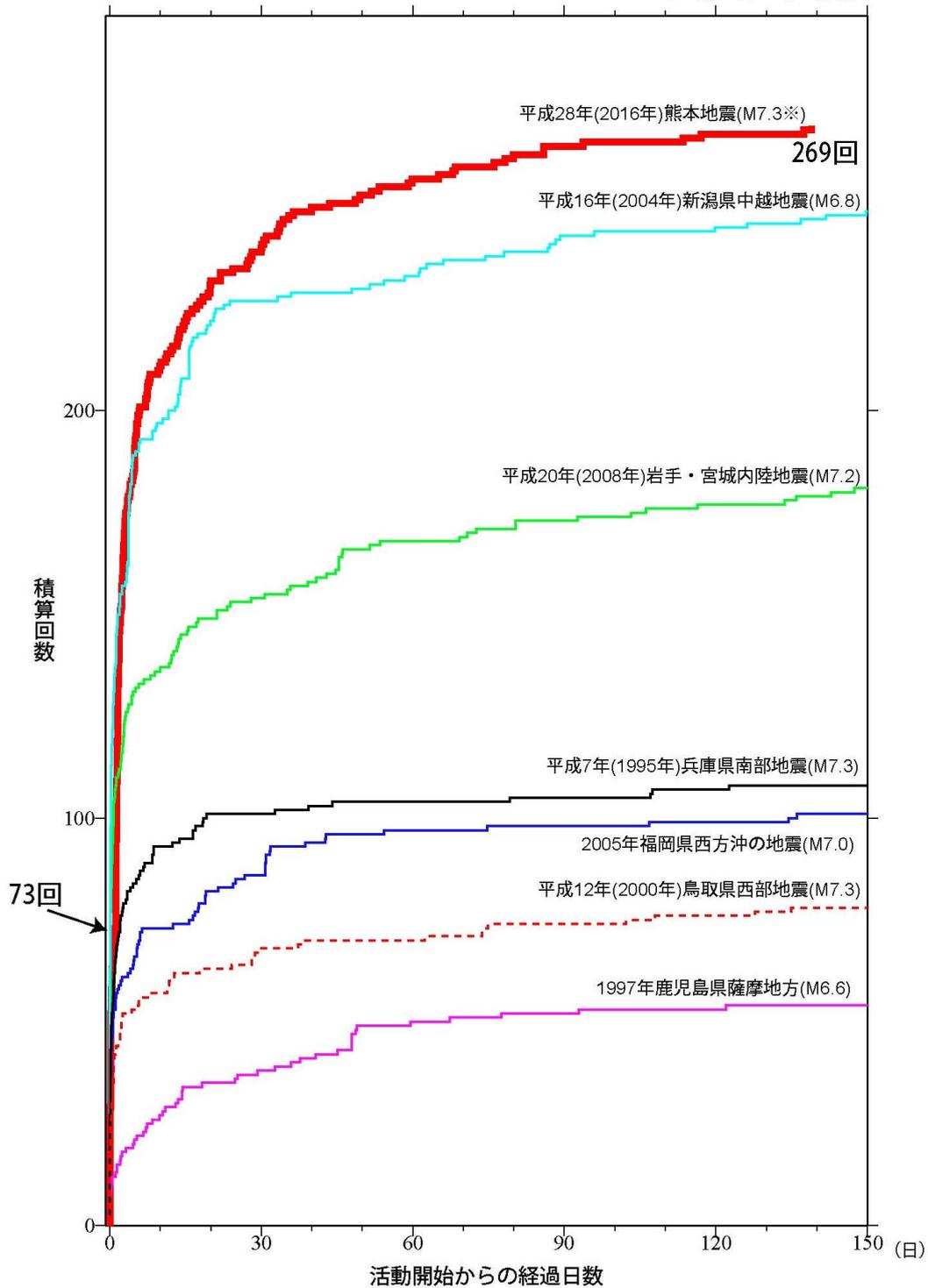


図-1 本震 (M_{7.3}) の震央位置と震度分布⁵⁾



※この資料は速報値であり、後日の調査で変更することがあります。
 ※今回の地震は4月14日21時26分の地震からの経過日数及び積算回数を示している。
 ※今回の地震は主に熊本県熊本地方の地震の積算回数を示している。
 ※今回の地震のマグニチュードについては、これまでの最大を示している。

気象庁作成

図-2 内陸及び沿岸で発生した主な地震の地震回数比較
 (マグニチュード3.5以上、8月31日19時50分現在、気象庁作成)

表-1 本震の震度階級（気象庁）

震度	都道府県	市町村
7	熊本県	西原村、益城町
6 強	熊本県	南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市
6 弱	熊本県	阿蘇市、八代市、玉名市、菊陽町、御船町、美里町、山都町、氷川町、和水町、上天草市、天草市
	大分県	別府市、由布市
5 強	福岡県	久留米市、柳川市、大川市、みやま市
	佐賀県	佐賀市、上峰町、神埼市
	長崎県	南島原市
	熊本県	南小国町、小国町、産山村、高森町、山鹿市、玉東町、長洲町、甲佐町、芦北町
	大分県	豊後大野市、日田市、竹田市、九重町
	宮崎県	椎葉村、高千穂町、美郷町
5 弱	愛媛県	八幡浜市
	福岡県	福岡市、遠賀町、八女市、筑後市、小郡市、大木町、広川町、筑前町
	佐賀県	白石町、みやき町、小城市
	長崎県	諫早市、島原市、雲仙市
	熊本県	荒尾市、南関町、人吉市、あさぎり町、山江村、水俣市、津奈木町
	大分県	大分市、臼杵市、津久見市、佐伯市、玖珠町
	宮崎県	延岡市
	鹿児島県	長島町

表－2 前震と本震の計測震度（防災科学技術研究所）

自治体	データ種別	観測地点	前震(H28.4.14)		本震(H28.4.16)	
			地震規模	計測震度	地震規模	計測震度
益城街	KiK-net	益城	M6.5	6.4	M7.3	6.5
山都町	K-NET	矢部		5.3		5.7
熊本市	K-NET	熊本		5.9		6.0
美里町	K-NET	砥用		5.2		5.6
宇城市	KiK-net	豊野		5.4		5.7
宇土市	K-NET	宇土		5.5		6.2
大津町	K-NET	大津		4.8		5.7
高森町	K-NET	高森		4.5		5.3
宇城市	KiK-net	三角		4.4		—
菊池市	KiK-net	菊地		4.4		6.1
山鹿市	K-NET	山鹿		4.1		4.8
南阿蘇村	KiK-net	白水		3.5		4.8
宇城市	K-NET	三角		4.2		4.7
玉名市	K-NET	玉名		4.2		5.0
阿蘇市	K-NET	一の宮		3.5		5.5

表－3 前震の震度階級（気象庁）

震度	都道府県	市町村
7	熊本県	益城町
6 弱	熊本県	玉名市、西原村、宇城市、熊本市、嘉島町
5 強	熊本県	菊池市、宇土市、大津町、菊陽町、御船町、美里町、山都町、氷川町、合志市
5 弱	熊本県	高森町、阿蘇市、南阿蘇村、八代市、長洲町、甲佐町、和水町、上天草市、天草市
	宮崎県	椎葉村

1.2 地震動の特性

熊本地震は、震源深さが浅く、震度 7 と大きな揺れを観測しており、地震動としては阪神・淡路大震災（平成 7 年兵庫県南部地震）や平成 16 年新潟県中越地震の特徴と類似していた（表-4）。

表-4 過去の大規模地震（震度_7 を記録した地震）と熊本地震の比較

	直下型地震			海溝型地震
	熊本地震	阪神淡路大震災 (兵庫県南部地震)	新潟県中越地震	東日本大震災 (東北地方太平洋沖地震)
地震発生日	前震:H28. 4. 14 本震:H28. 4. 16	H7. 1. 17	H16. 10. 23	H23. 3. 11
地震規模 (マグニチュード)	6.5 (前震) 7.3 (本震)	7.3	6.8	9.0
震源の深さ	11 k m (前震) 12 k m (本震)	16 k m	13 k m	24 k m
最大加速度	817gal (前震) 1,791gal (本震)	818gal	1,722gal	2,933gal

出典：「平成 28 年（2016 年）熊本地震の概況」⁶⁾、国立国会図書館、平成 28 年 5 月 26 日

「下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書」⁷⁾、下水道地震・津波対策技術検討委員会、平成 24 年 3 月

国総研道路地震防災研究室が国土交通省や防災科学技術研究所の公開データ等から算出した、熊本地震及び近年の代表的な地震の加速度応答スペクトルを図-3 に示す。大津町大津（本震：震度 6 強）において 1,791 gal を記録したほか、益城町（KiK-net 益城）では一般に構造物への影響が大きいとされる固有周期 1 ～ 2 秒程度のものが観測されており、過去の代表的な被害地震のレベルに近い値となった。

よって地震動の規模は、「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－」⁸⁾（公益社団法人 日本下水道協会）が対象としているレベル 2 地震動の標準加速度応答スペクトルと比べ大きく、また、震度 7 を 2 回観測した点でも、耐震設計で用いられる地震動レベルを上回るものであったと考えられる。

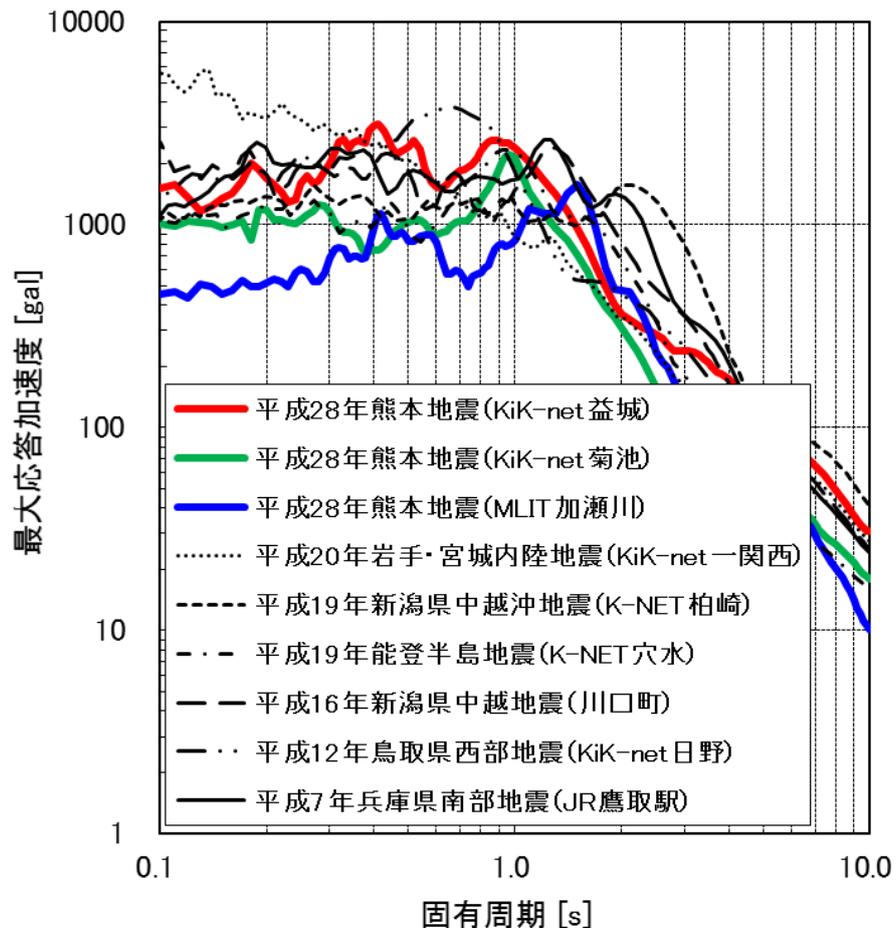


図-3 加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)⁹⁾

2 下水道管路施設の整備状況

本震で震度 6 弱以上を観測した熊本県及び大分県における自治体別の下水道整備状況を、表-5 に示す。なお、処理面積は平成 26 年度末時点（下水道統計（平成 26 年度版）¹⁰⁾）、行政人口・処理区域内人口・下水道普及率は平成 27 年度末時点（報道発表資料）¹¹⁾、管路延長は平成 27 年度末時点（国総研調査）に基づき記載した。

表-5（1） 熊本県における自治体別の下水道整備状況（下水道普及率）

自治体名	処理面積 (ha)	行政人口 (人)	処理人口 (人)	下水道普及率	管路延長 (m)	震度 (本震)	被災 有無
熊本市	11374	733,638	650,323	88.6%	2,622,278	6 強	有
八代市	1573	130,023	59,519	45.8%	379,885	6 弱	
人吉市	789.68	33,545	24,759	73.8%	180,768	5 弱	
荒尾市	1063.7	54,091	38,640	71.4%	228,750	5 弱	
水俣市	356	25,675	13,310	51.8%	115,054	5 弱	
玉名市	1133	67,577	35,681	52.8%	269,669	6 弱	
山鹿市	840	53,852	26,347	48.9%	174,301	5 強	
菊池市	1018	49,852	28,803	57.8%	187,431	6 強	
宇土市	788	37,781	27,754	73.5%	145,064	6 強	有
上天草市	182	28,851	4,776	16.6%	45,860	6 弱	
宇城市	898	60,599	29,284	48.3%	190,650	6 強	有
阿蘇市	329.9	27,473	5,861	21.3%	67,358	6 弱	有
天草市	740	84,720	27,709	32.8%	242,210	6 弱	
合志市	1231	60,008	57,359	95.6%	275,929	6 強	
南関町	110	10,209	2,815	27.6%	29,035	5 弱	
長洲町	518	16,336	15,666	95.9%	137,582	5 強	
和水町	62	10,647	1,300	12.2%	18,662	6 弱	
大津町	686	34,113	24,585	72.1%	117,397	6 強	
菊陽町	861	40,513	39,705	98.0%	260,452	6 弱	
南小国町	56	4,259	1,606	37.7%	21,228	5 強	
御船町	271	17,651	8,219	46.6%	72,483	6 弱	有
嘉島町	203	9,195	6,361	69.2%	53,885	6 強	有
益城町	613	34,499	31,218	90.5%	169,612	7	有
氷川町	302	12,439	10,312	82.9%	109,414	6 弱	有
錦町	193	11,029	4,113	37.3%	47,648	4 以下	
多良木町	317	10,084	6,478	64.2%	73,548	4 以下	
湯前町	173	4,122	3,283	79.6%	45,049	4 以下	
水上村	38	2,288	1,015	44.4%	14,571	4 以下	
あさぎり町	653	15,944	13,045	81.8%	170,628	5 弱	
苓北町	253	7,628	5,901	77.4%	73,945	4 以下	

※上記に記載のない市町村は、下水道未着手もしくは未供用。

表-5 (2) 大分県における自治体別の下水道整備状況 (下水道普及率)

自治体名	処理面積 (ha)	行政人口 (人)	処理人口 (人)	下水道普及率	管路延長 (m)	震度 (本震)	被災 有無
大分市	5403	478,241	295,828	61.9%	1,796,300	5 弱	
別府市	1265	119,945	79,199	66.0%	288,563	6 弱	
中津市	968	84,777	33,557	39.6%	243,338	4 以下	
日田市	1237	67,893	46,202	68.1%	344,024	5 強	
佐伯市	544	74,594	24,318	32.6%	163,744	5 弱	
臼杵市	587	40,253	18,996	47.2%	130,921	5 弱	
津久見市	284	18,758	9,955	53.1%	78,403	5 弱	
豊後高田市	641	23,270	11,466	49.3%	133,383	4 以下	
杵築市	372	30,486	9,798	32.1%	88,687	4 以下	
宇佐市	572	57,823	16,085	27.8%	144,324	4 以下	
豊後大野市	77	37,832	1,194	3.2%	19,232	5 強	
由布市	0	35,251	952	2.7%	0	6 弱	
国東市	844	29,612	15,792	53.3%	208,552	4 以下	
姫島村	71	2,191	1,834	83.7%	19,726	4 以下	
日出町	465	28,507	15,673	55.0%	73,268	4 以下	

※上記に記載のない市町村は、下水道未着手もしくは未供用。

3 下水道管路施設の被災概況

3.1 被災状況整理・被災傾向分析方針

3.1.1 収集資料

国土交通省公表資料（平成 29 年 3 月 14 日現在）¹²⁾、および災害査定資料、被災路線のテレビカメラ調査報告書、被災路線の管路属性が分かる資料（下水道台帳、図面等）、その他分析に必要な地形区分図等を収集し、下水道管路施設の被災状況の整理・分析を行った。

災害査定資料等に基づく被災路線のスパン数と延長は、表-6 に示す通りである。

表-6 被災路線のスパン数と延長

団 体 名	スパン数		被災延長 (km)	備 考
	管きよ被災のみ	人孔被災含		
熊本県流域下水道	12	28	1.1	八代北部流域
熊本市	1,209	1,887	52.7	
宇土市	31	73	1.1	
宇城市	15	19	1.2	
阿蘇市	63	117	2.3	
御船町	45	60	1.3	
嘉島町	119	172	4.4	
益城町	662	1,023	22.4	
合 計	2,156	3,379	86.4	

3.1.2 整理・傾向分析方針

被災状況の整理・傾向分析は、災害査定資料やテレビカメラ調査報告書におけるスパン毎の被災状況を下記の項目毎に整理した上で、傾向分析を行った。

- (1) 団体別被災状況
- (2) 管種別被災状況
- (3) 布設年度別被災状況
- (4) 管径別被災状況
- (5) 土被り別被災状況
- (6) 施工方法（開削／推進）別被災状況
- (7) 被災パターン分類
- (8) 地盤特性と被災の関係

3.2 整理・傾向分析結果

3.2.1 団体別被災状況

- 震度 6 弱以上の地域で管路被害が生じた（震度 5 強以下は被害なし）。
- 震源地に近い益城町の被災率が高い
- 全体の被災率は、過去地震と同程度

下水道管路施設被災は、八代北部流域下水道（八代市、宇城市、氷川町）、熊本市、宇土市、宇城市、阿蘇市、御船町、益城町、嘉島町の 1 流域下水道 7 市町で発生した。

下水道管路施設の被災は、表-7 に示す通り、熊本県内の 1 流域下水道 7 市町約 86 kmであった。被災都市全体の管路被災率（被災延長/管路延長）は 2.7 %であり、過去に発生した地震と比較すると同程度であった。

震源地に近い益城町では最も高い約 13 %であり、同規模の震度でも、自治体間で大きな差が生じた。熊本市の被災率は約 2.1 %と低いが、全体の被災延長の 6 割にあたる約 50 kmが被災した。

表-7 下水道管路施設の被災延長と被災率

都市名	被災延長 (km)	管理延長 (km)	被災率※	最大震度	最大応答 加速度
熊本県八代北部流域	1.1	14.9	7.4%	6 弱	246gal
熊本市	52.7	2,543.8	2.1%	6 強	843gal
宇土市	1.1	144.5	0.7%	6 強	882gal
宇城市	1.2	186.9	0.6%	6 強	564gal
阿蘇市	2.3	68.4	3.2%	6 弱	403gal
御船町	1.3	72.4	1.8%	6 弱	499gal [※]
嘉島町	4.4	51.4	8.8%	6 強	622gal [※]
益城町	22.4	169.5	13.2%	7	1,362gal
熊本地震（計）	86.4	3,251.8	2.7	7	1,362gal
東日本大震災	675	65,001	1.0%	7	2,933gal
新潟県中越地震	152	3,293	4.6%	7	2,515gal
能登半島地震	15	652	2.3%	6 強	544gal

※最大震度は気象庁発表。最大加速度は防災科学研究所K-NET⁴⁾より取得。ただし御船町と嘉島町の最大加速度は地方公共団体震度計の波形データ（気象庁HP¹³⁾）より取得。

※被災率（%）＝被災延長÷被災都市の下水道管路管理延長×100

3.2.2 管種別被災状況

- 被災した管種は塩ビ管（被災延長全体の 50 %）とコンクリート管（同 45 %）
- リブ付塩ビ管も一部で被災

管種別被災延長割合を図-4 に示す。被災管路のほとんどがコンクリート管（HP）と塩ビ管（VU）であるが、これは被災都市全布設延長の約 6 割を塩ビ管（リブ付塩ビ管含む）、約 4 割をコンクリート管が占めていることによるものである。また、リブ付塩ビ管（PRP）は、埋め戻し材として透水性の高い砕石を使用している箇所でも被災が確認された。

東日本大震災の被災状況と比較すると（図-5）、コンクリート管の被災率が約 3 倍、塩ビ管（リブ付塩ビ管含む）の被災率は同一となっている。なお、熊本県においては陶管の採用が極めて少ないため、被災延長も僅かである。

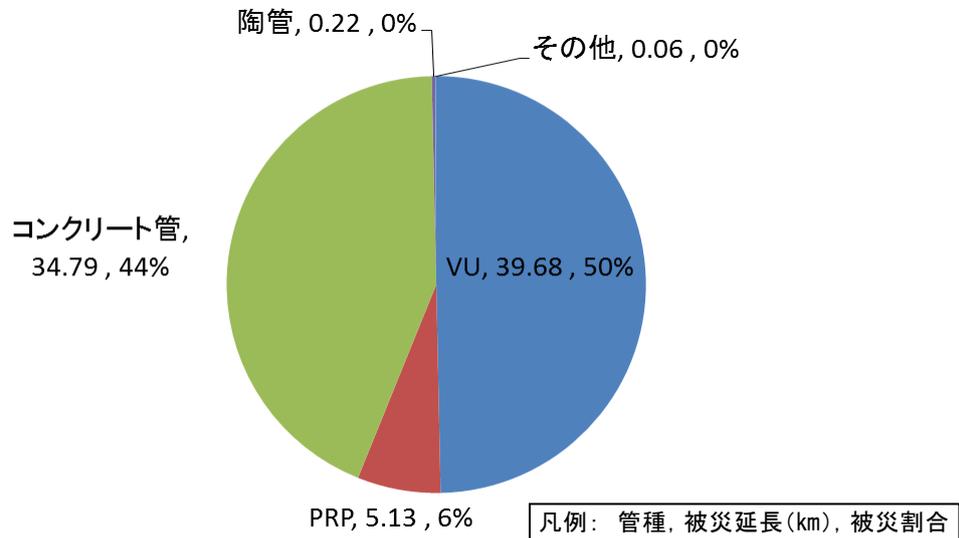


図-4 管種別被災延長割合

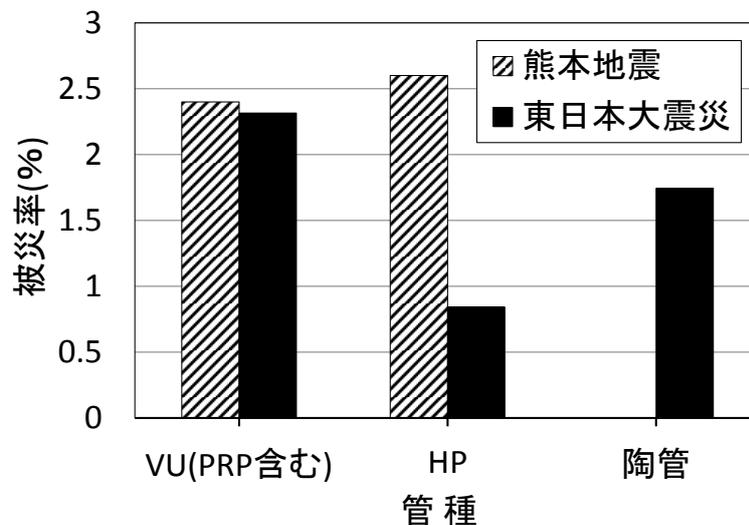


図-5 管種別被災率（熊本地震と東日本大震災）

3.2.3 布設年度別被災状況

- 平成 15 年以前の布設管路の被災延長が長い
- 耐震指針改訂後となる平成 16 年以降の管路にも被害あり

布設年度別被災延長を図-6 に示す。これまでの「下水道施設の耐震対策指針と解説」の改訂履歴としては、平成 9 年改訂の下水道施設の耐震対策指針と解説— 1997 年版—¹⁴⁾（平成 9 年耐震指針）には阪神淡路大震災の液状化被害を踏まえた対策として地盤改良の必要性が記載され、平成 16 年新潟県中越地震時の埋戻し 3 工法の提言¹⁵⁾（平成 16 年緊急提言）を受け平成 18 年に改訂された下水道施設の耐震対策指針と解説—2009 年版—¹⁶⁾に追加された。このため、管路耐震化の設計方法、技術基準等の大きな年代的区切りを、平成 9 年、平成 16 年として以下に整理した。

平成 9 年耐震指針前に布設（平成 9 年以前）された管路の被災率は 2.1 %、平成 16 年緊急提言前に布設（平成 10 年～平成 15 年）された管路の被災率は 2.7 %であった。平成 9 年以前の被災率が低いのは、震度が小さく、被災の少なかった熊本市北部のエリアが多く含まれることや、エイジング効果によるものと推測される。

これに対して、耐震設計のうえ布設されている平成 16 年以降に布設（平成 16 年以降）された管路の被災率は 1.3 %であり、旧指針に比べると低く、耐震効果が現れているものの一部で被災が確認された。

【→ 4. 原因分析にて詳述】

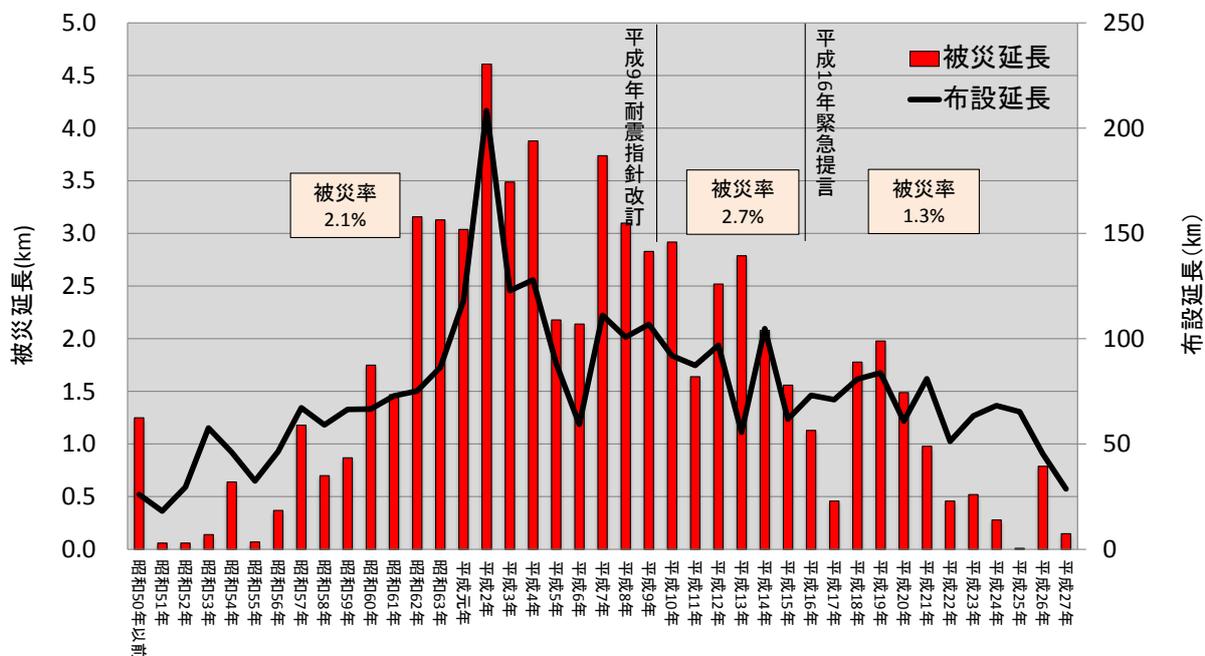


図-6 布設年度別被災延長（被災都市合計）

3.2.4 管径別被災状況

- 被災延長の約 6 割が ϕ 200 mm 以下
- ϕ 800 mm ～ ϕ 1,650 mm の中大口径管も被災

管径別被災延長を図-7 に示す。被災管路のほとんどが小口径管であり、 ϕ 150 mm ～ ϕ 200 mm で全体の約 6 割を占めた。これは、布設総延長に占める小口径管の割合が高いこと、開削工法の布設割合が多いこと、土被りが比較的浅く液状化の影響を受けやすいこと等に起因したものと推察された。

また、旧熊本市と益城町については、 ϕ 800 mm ～ ϕ 1,650 mm の中大口径管も被災していることが確認された。

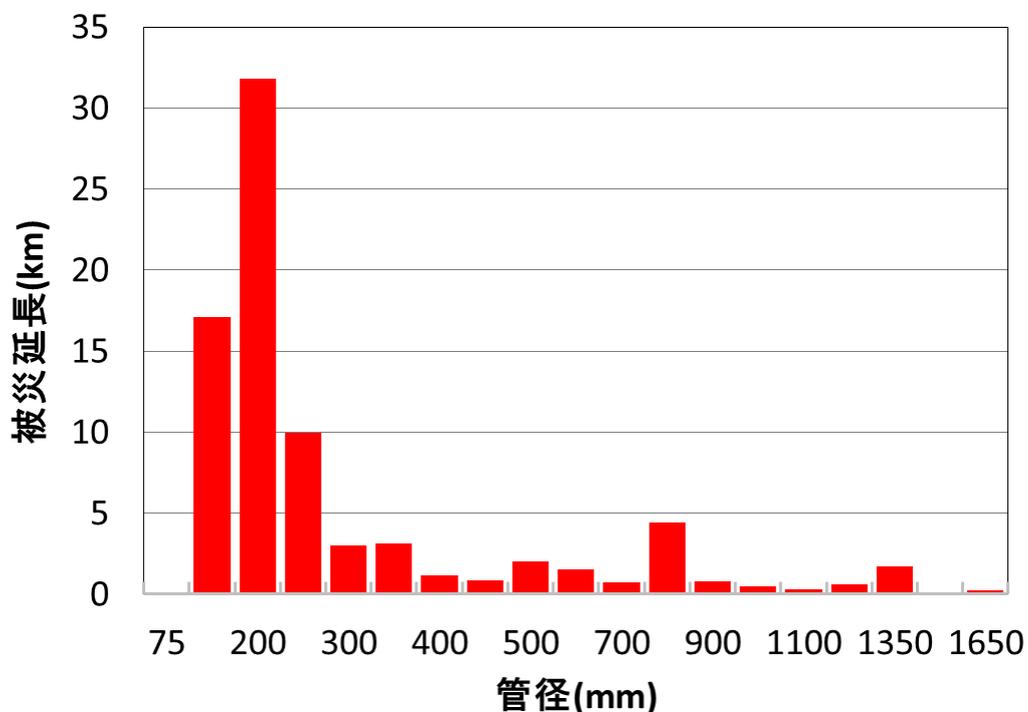


図-7 管径別被災延長

3.2.5 土被り/施工方法別被災状況

- 被災延長の約 8 割が土被り 4 m 以浅
- 推進工法の被災延長が過去地震と比較すると多く、被害全体の 1 / 4 に及ぶ

土被り別被災延長を図-8 に示す。土被り 4 m 以浅の埋設管が全体の約 8 割を占めており、主に開削工法で施工した箇所が被災した。

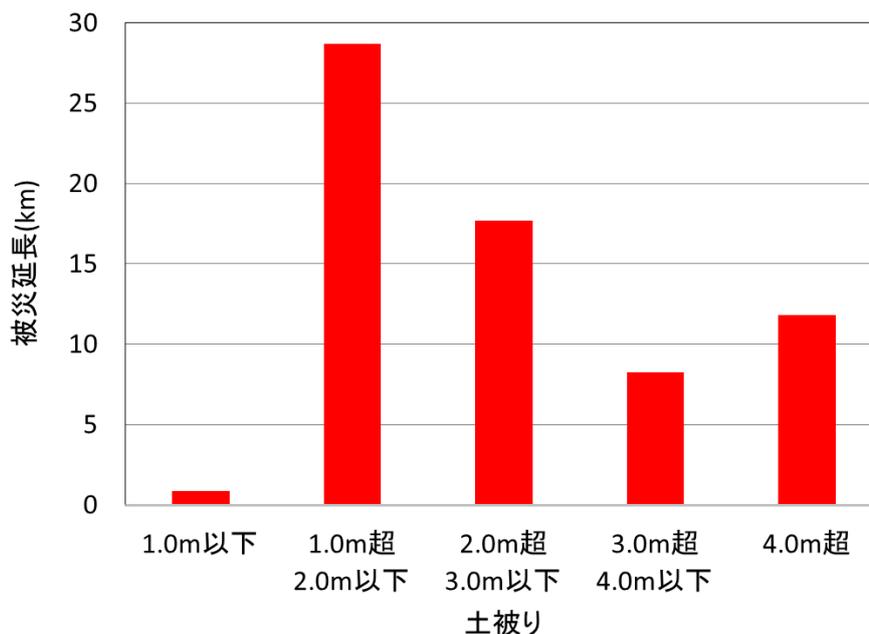


図-8 土被り別被災延長

土被りや当時の施工方法、地震後の復旧方法を参考に、施工方法を開削と推進で整理すると、図-9 に示す通りとなる。開削工法の被災延長が推進工法に比べ大きいのは、一般に総延長に対する開削区間の延長の割合が高いことと、土被りが浅く、埋戻し土の液状化など地盤変状の影響を受けやすいためと考えられた。

また、被災延長全体の約 25 %が推進工法区間であり、東日本大震災における同割合 2.5% (図-10) と比べて非常に高い値を示した。特にコンクリート管については、推進工法と開削工法が同程度の割合で被災しており、地域的には八代北部流域下水道(八代市、宇城市、氷川町)、宇土市、宇城市、嘉島町で推進工法の被災割合が大きい。

図-11、図-12 に推進工法区間の管種・布設年度別被災延長を示す。コンクリート管(図-11)については、平成 16 年緊急提言前に施工された管路の被災延長が大きい。また、塩ビ管(図-12)については、平成 16 年以降の新しい管路も一部被災していた。

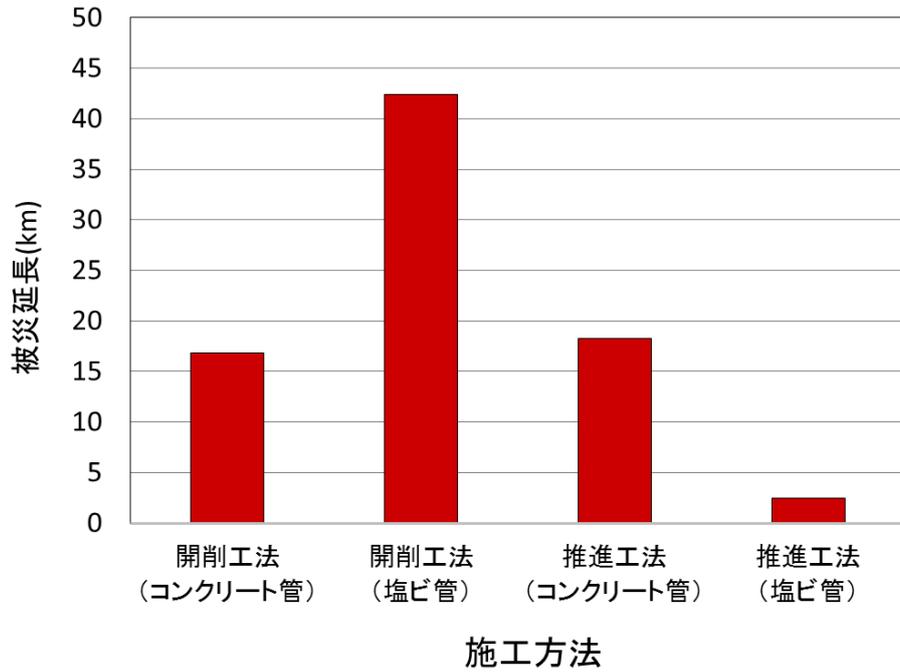
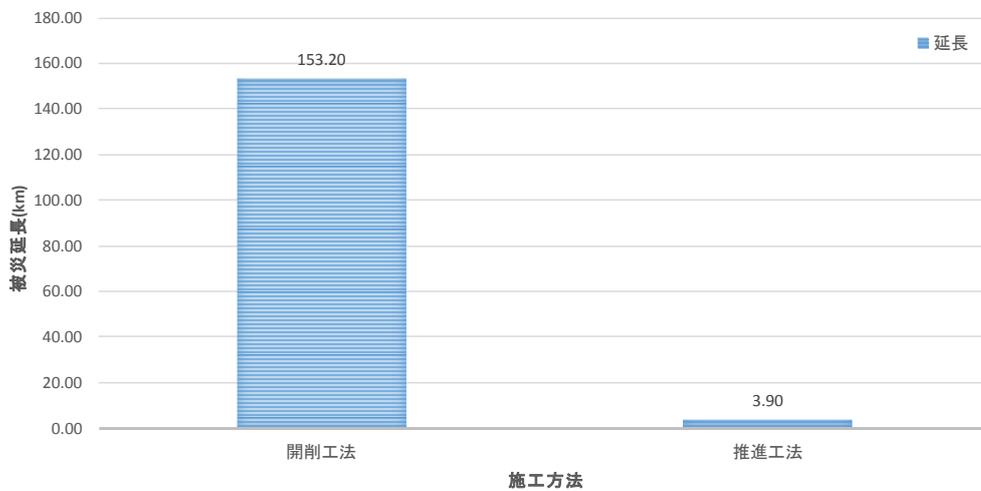


図-9 施工方法別管種別被災延長



※調査対象：施工方法が明確に区分された約 160 km (4000 スパン) の内訳

図-10 東日本大震災施工方法別被災延長

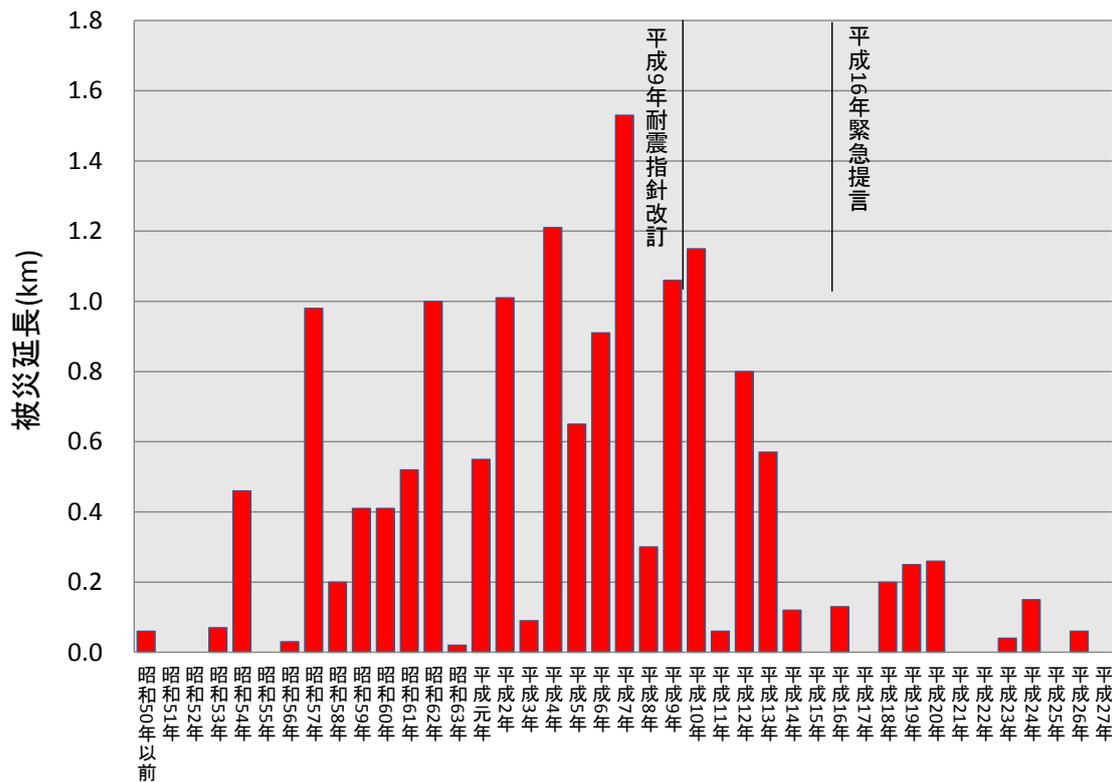


図-11 推進工法区間布設年度別被災延長（コンクリート管）

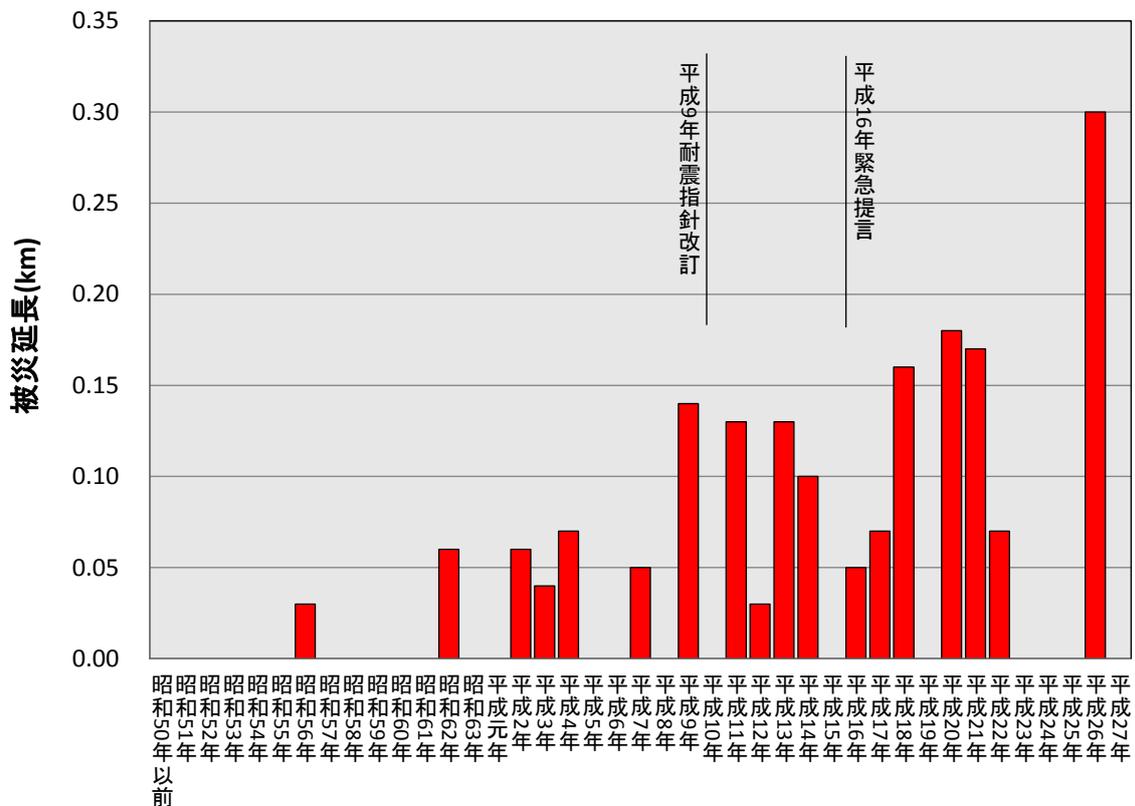


図-12 推進工法区間年度別被災延長（塩ビ管）

次に、推進工法区間の管種・管径別被災延長を図-13、図-14に示す。コンクリート管（図-13）については、口径が小さいほど被災延長が大きい傾向にあるが、過去の大地震では被害が比較的少なかった中大口径管（φ 800 以上）が推進工法被害全体の約 20 %を占めた。【→4. 原因分析にて詳述】

一方、塩ビ管（図-14）は布設延長の多い φ 200 mm が多く被災した。

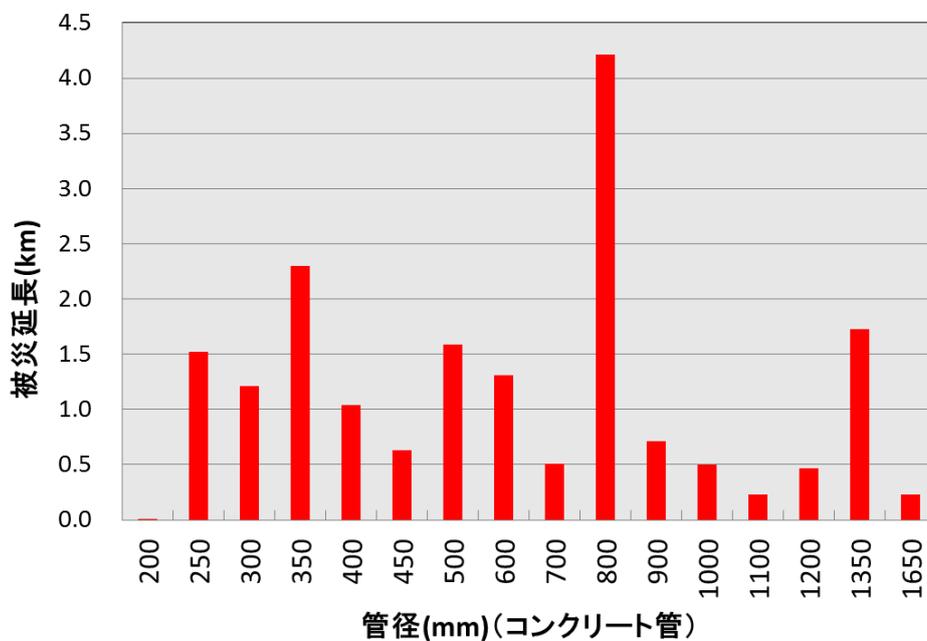


図-13 推進工法区間管種・管径別被災延長（コンクリート管）

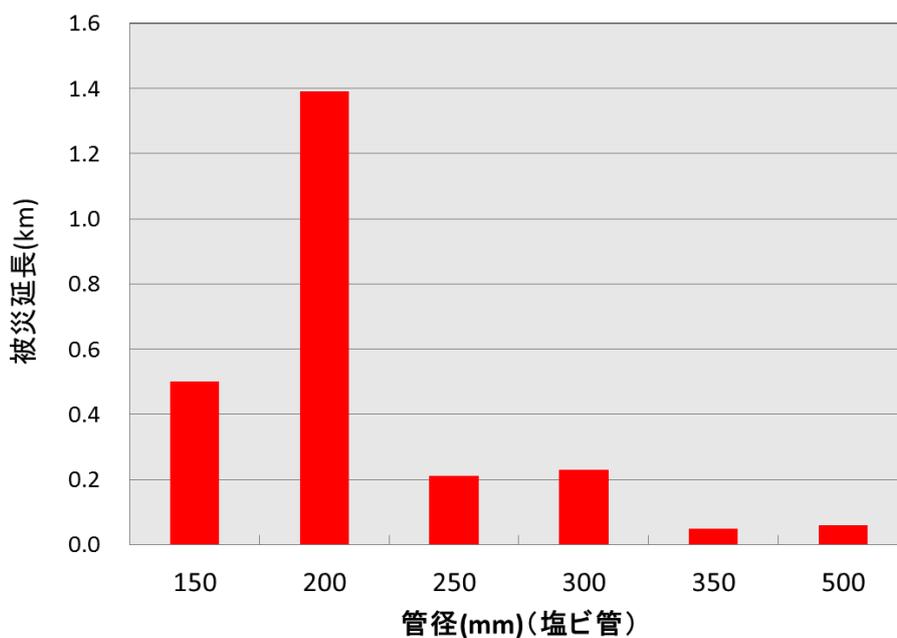


図-14 推進工法区間管種・管径別被災延長（塩ビ管）

3.2.6 被災パターン

- コンクリート管では、破損・クラックが全延長の約 60 %で発生
- 塩ビ管は、液状化に起因するたるみ・蛇行が多く（約 60 %）、破損例もある推進工法の被害が過去地震と比較すると多く、被害全体の 25 %に及ぶ

コンクリート管の被災パターン割合を図-15、塩ビ管を図-16 に示す。

熊本地震においては、コンクリート管の被災要因としては継手の破損、管軸方向や継手部のクラックが多く、その割合はコンクリート管の全被災延長の約 60 %に及んだ。実際の被災事例を、写真-1～写真-4 に示す。

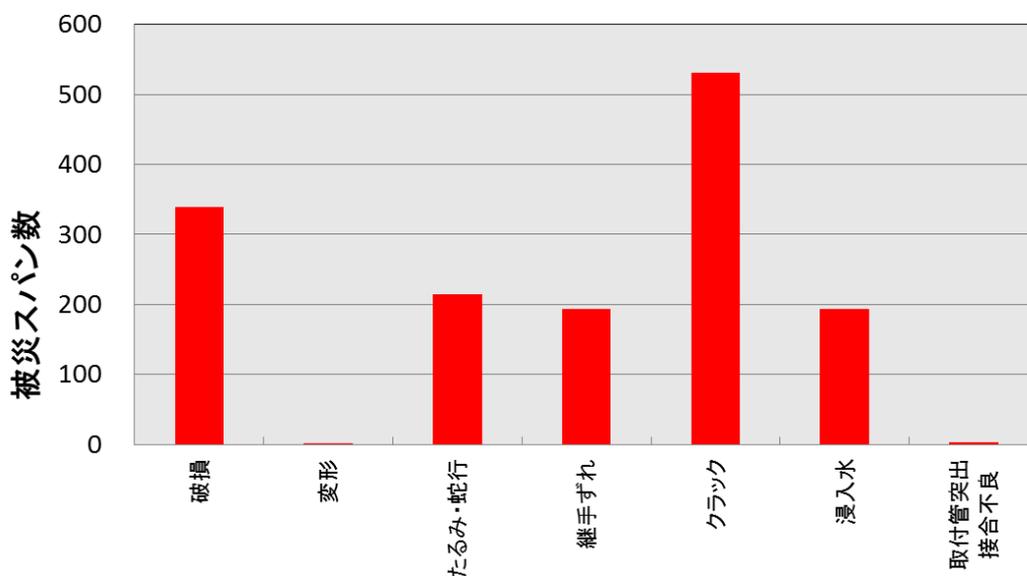


図-15 被災パターン（コンクリート管）

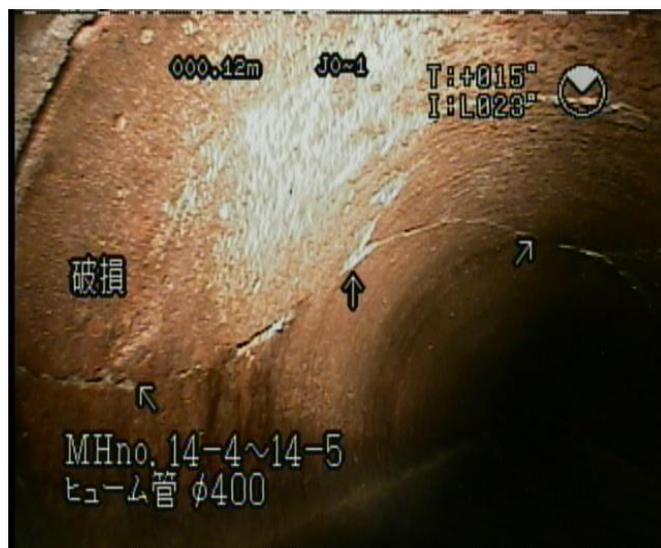


写真-1 コンクリート管の破損（宇土市）



写真-2 コンクリート管の円周方向クラック（益城町）



写真-3 コンクリート管のたるみ（熊本市）

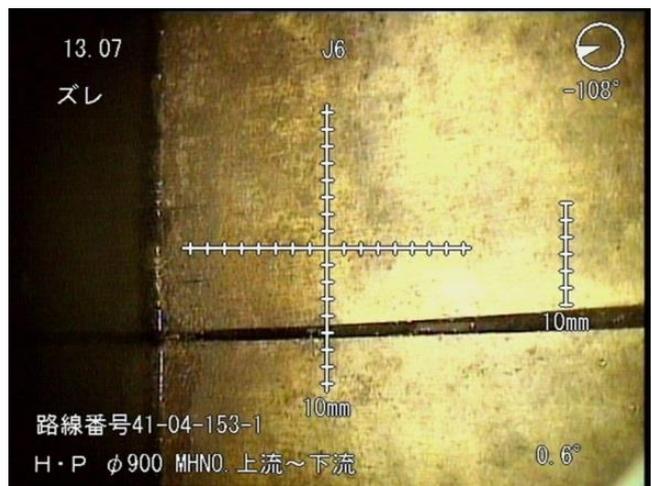


写真-4 コンクリート管の管軸方向の継ぎ手ズレ（熊本市）

塩ビ管については、液状化が原因と考えられる、たるみ・蛇行が被災延長の約 60 %で発生した。また、益城町では、過去に事例の少ない破損が多く発生した（図-16）。【→ 3.2.7 地盤特性と被災の関係 に関連する記述あり】

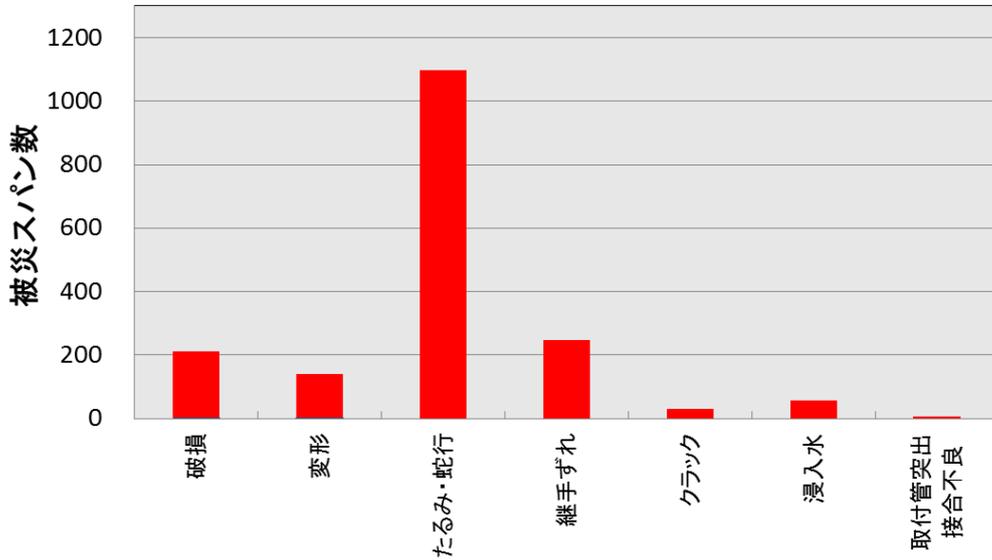


図-16 被災パターン（塩ビ管）

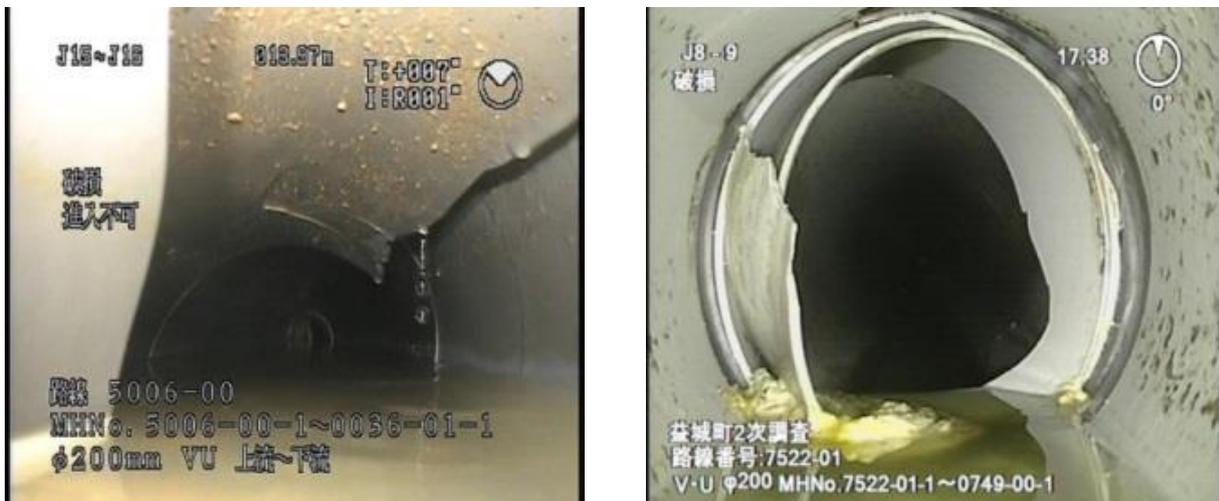


写真-5 塩ビ管の破損（益城町）

コンクリート管と塩ビ管の耐震指針改訂等の時期別被災パターン別被災割合を図-17に示す。塩ビ管は、被災パターンは時期に関わらず、液状化に起因するたるみ・蛇行が最も多い。コンクリート管の主たる被災パターンはクラックであるが、時期が新しくなるほど破損が減りクラックが増加しており、耐震効果が現れている可能性がある。

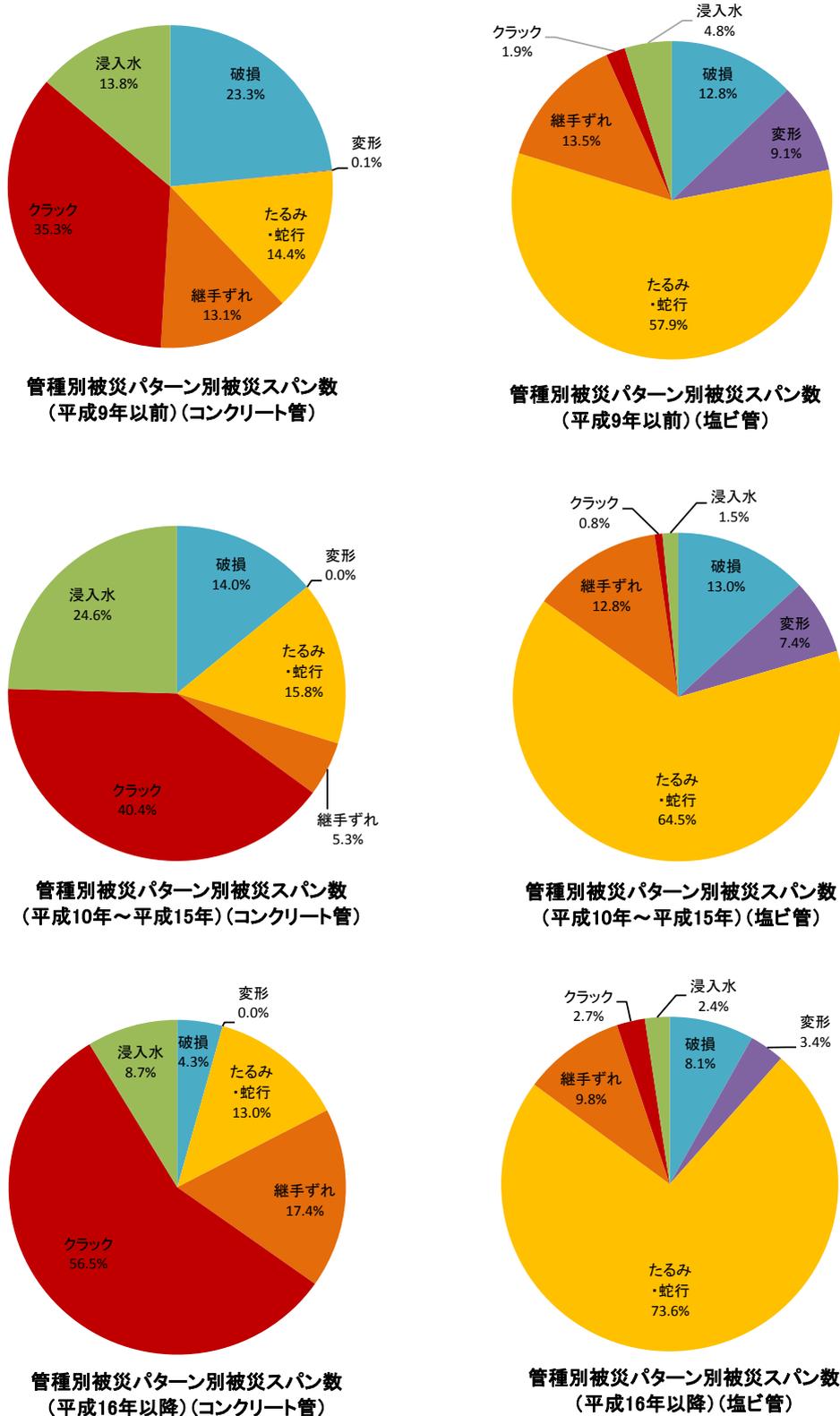


図-17 管種別被災パターン別被災延長割合

3.2.7 地盤特性と被災の関係

- 後背湿地に被災管路が集中（全体の 50 %）
- 後背湿地で埋め戻し部の液状化が発生した可能性

下水道管路の被災箇所と地形に関する各種資料を整理し、被災しやすい地盤特性を確認する。ここでは、地盤特性として下記 4 つの視点で整理した。

- ・ 標高
- ・ 地下水状況（地下水の見える化調査）
- ・ 微地形分類
- ・ 治水地形分類

（1） 標高

標高と被災箇所の重ね合せ図を、図-18、図-19 に示す。全体的に低地盤高地域の管路が被災していた。低地盤高地域では一般的に地下水位が高い軟弱な地盤の箇所が多いためと考えられた。

（2） 地下水の状況

国土調査（国土交通省国土情報課）発行の地下水見える化調査図（熊本地区—地質水理図面）¹⁸⁾（図-20）によると、熊本県東側の阿蘇カルデラから西側の白川河口まで流下する大きな水脈（太い青色実線）があり、熊本平野部に小さな水脈（細い青色実線）が数多く存在している状況が分かる。

熊本平野および阿蘇市の被災箇所は地質的にも新しく堆積された地質で、豊富な地下水がある地域となっていることから、地下水位が高く、埋戻し土の液状化が発生する可能性の高い位置に管路が布設されていると考えられた。

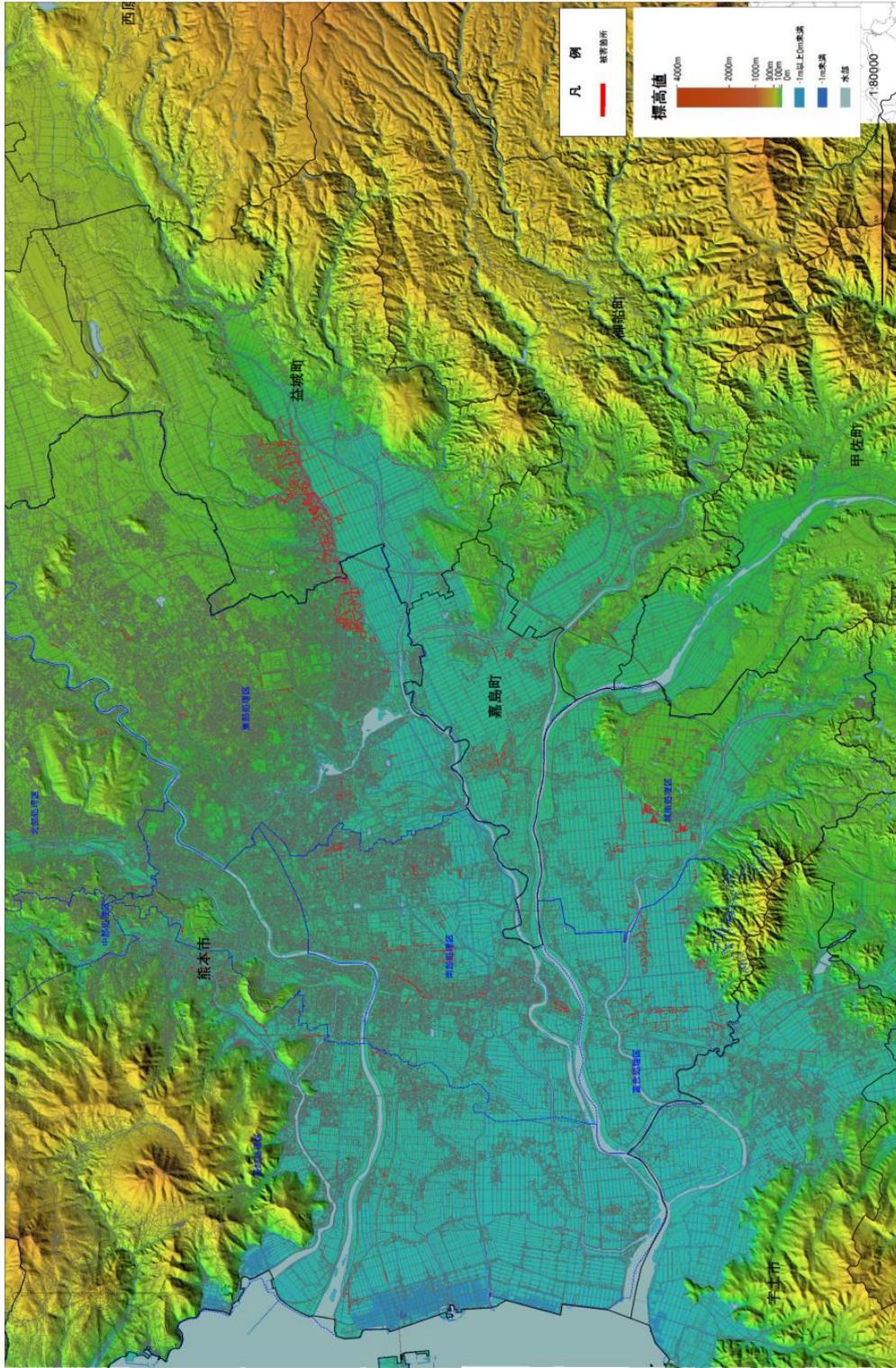


図-18 標高と被災箇所の重ね合せ図（熊本地方）¹⁷⁾

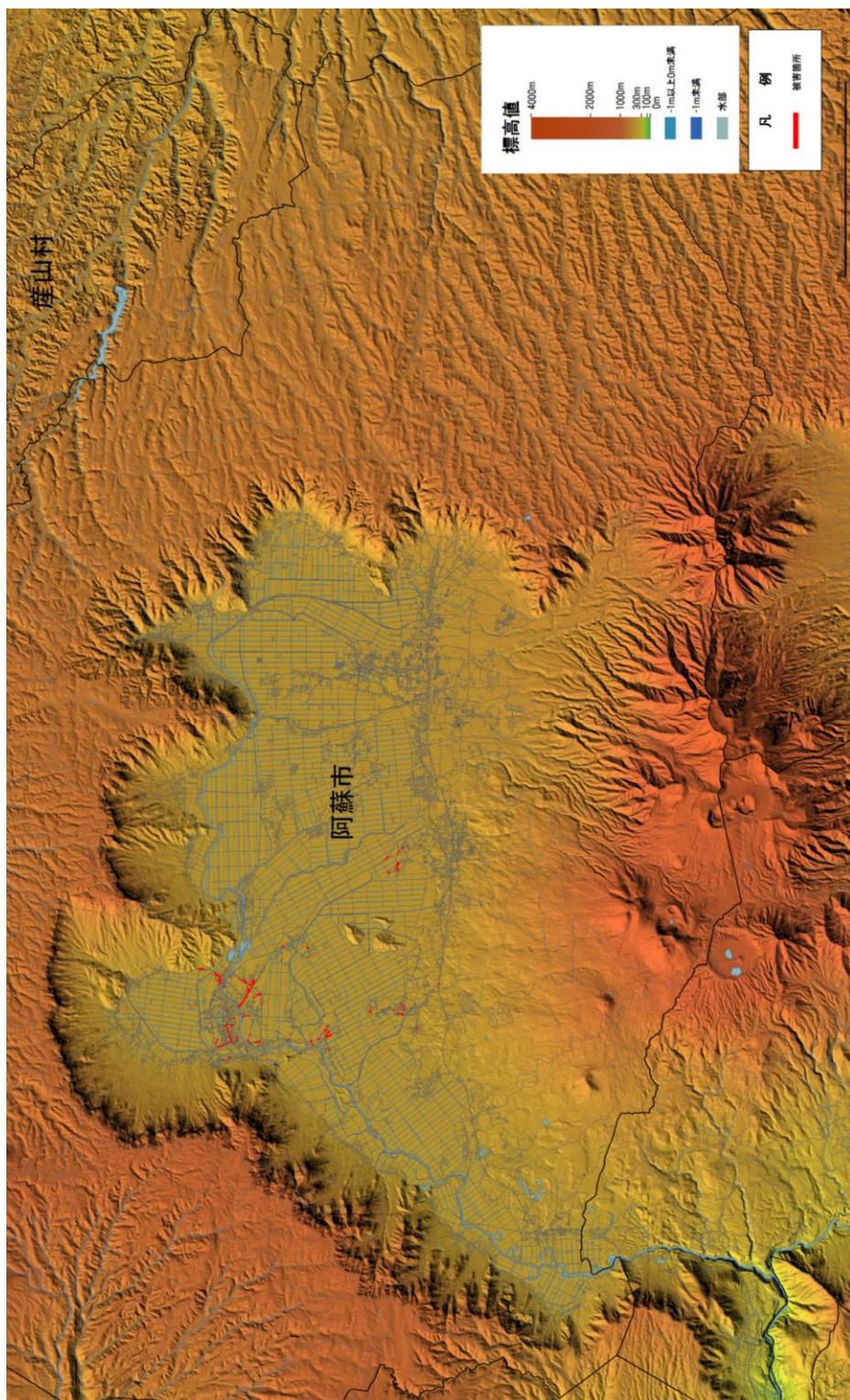


図-19 標高と被災箇所の重ね合せ図 (阿蘇地方) ¹⁷⁾

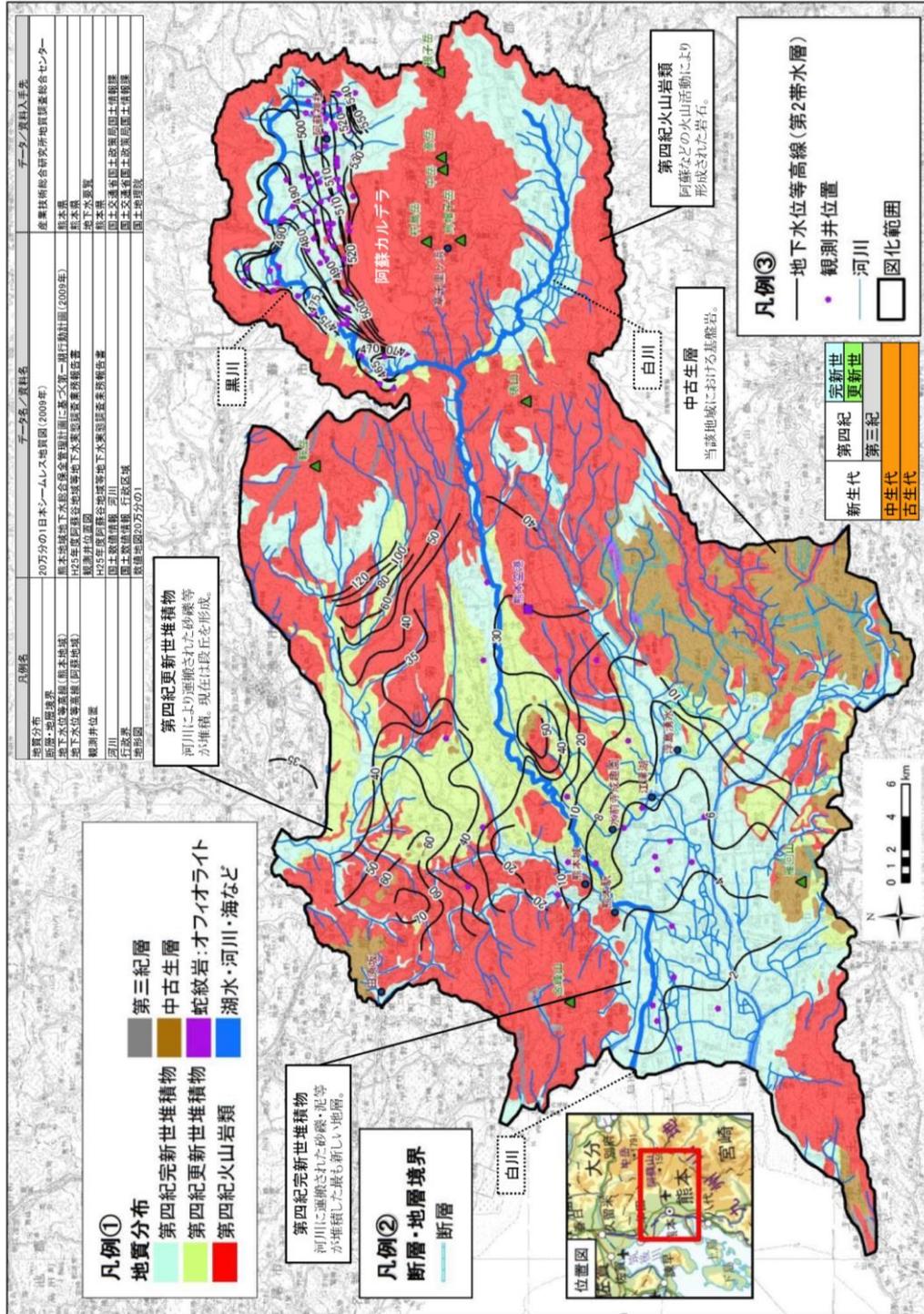


図-20 熊本市の水理地質¹⁸⁾

(3) 微地形分類

微地形分類別被災延長の集計結果を表-8 および図-21 に示す。熊本地震では、後背湿地での被災が全体の約 50 %に及んでいる。本来後背湿地は、液状化被害が起きにくい地盤（表層地盤の液状化の発生可能性が中程度：表-9）とされている。しかしながら、下水道管路の開削工事によって、埋め戻し部の土質が変わると、埋め戻し部のみが液状化する可能性が高い（表-10）ことが知られており、土被りの浅い管路を中心に液状化が発生したと推測される。

表-8 団体別微地形分類別被災延長集計表

団体名	微地形分類別被災延長(km)							合計
	干拓地	後背湿地	三角洲・海岸低地	火山山麓地	砂礫質台地	扇状地	ローム台地	
八代北部流域	0.00	0.00	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
熊本市	旧熊本市	0.00	14.90	0.00	0.00	0.74	0.00	16.61
	旧富合町	0.00	5.28	0.00	0.00	0.00	0.00	5.28
	旧城南町	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50
	新熊本市	0.00	2.35	0.00	0.00	0.17	0.00	2.58
	計	0.00	29.03	0.00	0.00	0.91	0.00	16.67
宇土市	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02
宇城市	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23
阿蘇市	0.00	1.47	0.00	0.21	0.00	0.56	0.00	2.24
御船町	0.00	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
嘉島町	0.00	4.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.48
益城町	0.00	0.00	0.00	21.94	0.00	0.00	0.00	21.94
合計	1.23	37.27	1.09	22.15	0.91	0.56	16.67	79.88

※ 〇は被災延長がゼロを示す。

※ 被災延長 86.4 kmのうち、詳細な被災情報が得られた 79.88 kmを対象に整理。

※ 新熊本市は、旧富合町及び旧城南町の合併後に整備されたエリア。

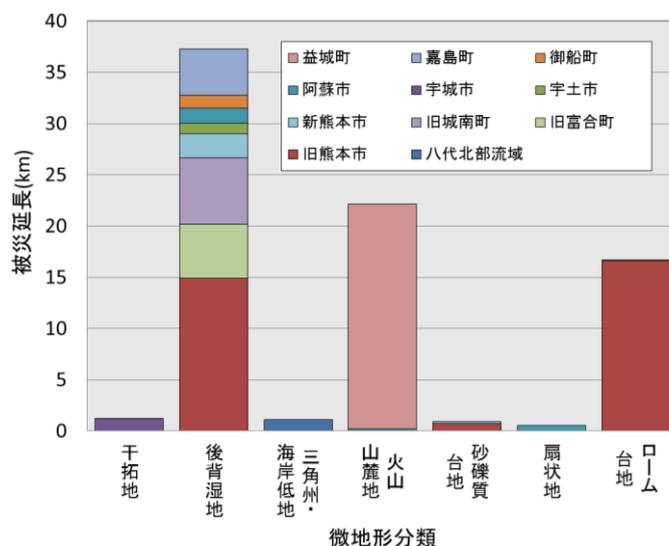


図-21 液状化発生の可能性別被災延長

表-9 液状化の起こりやすい地形区分

微地形分類		判読の際の分類基準		
分類	細分類	地形的位置、特徴	形態	主な土地利用
谷底平野	扇状地型谷底平野	古期岩盤の山地、砂礫層の丘陵地	縦断勾配のやや急な谷底	畑、水田
	デルタ型谷底平野	未固結岩石の丘陵地、台地	縦断勾配の緩やかな谷底	水田
扇状地	扇状地(沖積錘を含む)	河川の谷底、山麓部	扇状～円錐状、平均縦断勾配1/100(0.57°)程度以上	果樹園、桑畑、畑
	緩扇状地	同上、または扇状地の末端部	扇状～円錐状、平均縦断勾配1/100(0.57°)程度以下	畑、水田
自然堤防	自然堤防	現・旧河川の流路沿い	帯状またはハッチ状の微高地	畑、桑畑、集落
	自然堤防堰堤部	低地一般面と自然堤防の境界部	同上、微高地のうち比高1m以下の部分	畑
	比高の小さい自然堤防 蛇行州(ポイントバー)	蛇行河道の凸岸側にできる堆積地形	河道に沿って湾曲した帯状または半円状の微高地	水田
後背低地		自然堤防・砂州・砂丘の背後	沼沢性起源の低地	水田
旧河道	新しい(明瞭な)旧河道	低地域の全般、過去河川流路の跡	带状凹地、一般面より比高0.5～1.0m	水田、荒地
	古い(不明瞭な)旧河道	同上	带状凹地、比高0.5m以内で不明瞭	水田
旧池沼		過去の池沼の跡	凹地または平坦地	水田、荒地
湿地		低地域のうち排水不良地、湧水地点付近、旧河道	同上	同上
河原	砂礫質の河原	扇状地型平野・扇状地における現河道の流動沿い	平坦、流水に覆われることのある複地中流部	荒地、果樹園
	砂泥質の河原	デルタ型谷底平野・低地一般面における現河川の流動沿い	同上、下流部	荒地、畑、水田
三角州(デルタ)		河川の河口部	起伏に乏しい	水田
砂州(浜堤砂礫含む)	砂州	海岸、湖岸沿い	汀線に平行な微高地	針葉樹林、畑、荒地、集落
	砂礫州	同上	同上	同上
砂丘	砂丘	海岸、河岸	小丘の集合体、一般面との比高3m～4m以上	針葉樹林
	砂丘末端緩斜面	同上、砂丘の縁辺部	比高3m～4m以下	畑、集落
海浜	海浜	海岸地域の堤外地	海岸の波打ち際の砂地	海浜
	人工海浜	同上	同上、人工的なもの	同上
砂丘間低地・堤間低地		砂丘間、砂州間	比較的平坦	畑、水田
干拓地		沿岸地域、湖水地形や水面を干して陸地化した土地	平坦地、規則正しい地割	水田
埋立地		海域などの水面を一般面と同じ高さまで埋め立てたもの	平坦地	工場地、宅地
湧水地点(帯)		扇状地末端部、砂丘縁辺部、断崖部、旧河道、湿地、天井川に沿った堤内地		湿地、水田
盛土地			低地において1m以上の盛土	宅地

砂州、砂礫州：空中写真だけでは判定困難。

盛土地：ここでいう盛土地とは、崖・斜面に隣接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地を指す(すなわち、地下水位が高いと推定されるもの)。これ以上の盛土地は、盛土前の地形の区分と同等に扱う。

段丘：本表は沖積地の微地形分類のため、段丘層は記載していないが、斜面に隣接し地下水位が高いと想定される段丘については液状化の可能性があるため、段丘も分類するものとする。

出典：「液状化地域ゾーニングマニュアル 平成10年度版」¹⁹⁾

表-10 微地形分類に基づく埋戻し土の液状化の可能性

微地形		液状化被害 の可能性
区分	細区分	
谷底平野	扇状地型谷底平野	小
	デルタ型谷底平野	中
扇状地	急勾配扇状地・沖積錘	小
	緩勾配扇状地*	中～大
自然堤防	自然堤防	中
	比高の小さい自然堤防・自然堤防周辺部	大
ポイントバー(蛇行州)	—	大
後背湿地*	—	大
旧河道	新しい(明瞭な)旧河道	大
	古い(不明瞭な)旧河道	中～大
旧池沼	—	大
湿地*	—	大
河原	砂礫質の河原	小
	砂泥質の河原	大
デルタ(三角州)	—	中
砂州	砂州	中
	砂礫州	小
砂丘	砂丘	小
	砂丘末端緩斜面	大
海浜	海浜	小
	人工海浜	大
砂丘間低地・堤間低地	—	大
干拓地	—	中
埋立地	—	大
湧水地点(帯)	—	大
盛土地	砂丘と低地の境界付近の盛土地	大
	崖・急斜面に隣接した盛土地	大
	谷底平野上の盛土地	大
	低湿地上の盛土地	大
	干拓地上の盛土地	大
	その他の盛土地	元の地形に準ずる
台地・段丘	上位面	小
	中位面	小
	下位面	小
	低位面*	中～大

注) 「微地形から見た液状化可能性の判定基準」⁷⁾に埋戻し土の液状化による被害が想定される地形を加筆。

*印は、周辺地盤の液状化の可能性は小～中であるが、埋戻し土の液状化による被害の可能性が大きい地形である。

出典：「下水道の地震対策マニュアル 2014年版」(公益社団法人 日本下水道協会)²⁰⁾

微地形分類と被災箇所を重ね合せ図を、図-22、図-23 に示す。微地形データは、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション（表層地盤－微地形区分）（<http://www.j-shis.bosai.go.jp/download>）²¹より、shp ファイルをダウンロードし、GIS で被災箇所と重ねあわせた。

前述の通り、後背湿地、三角洲・海岸低地、干拓地などに被災した管路が集中している。

なお、地震被害の大きかった益城町については、代表的な微地形区分は火山山麓地であるが、後背湿地と火山山麓地の境界沿いに位置しており、250m メッシュの微地形区分だけでは判断が難しい。

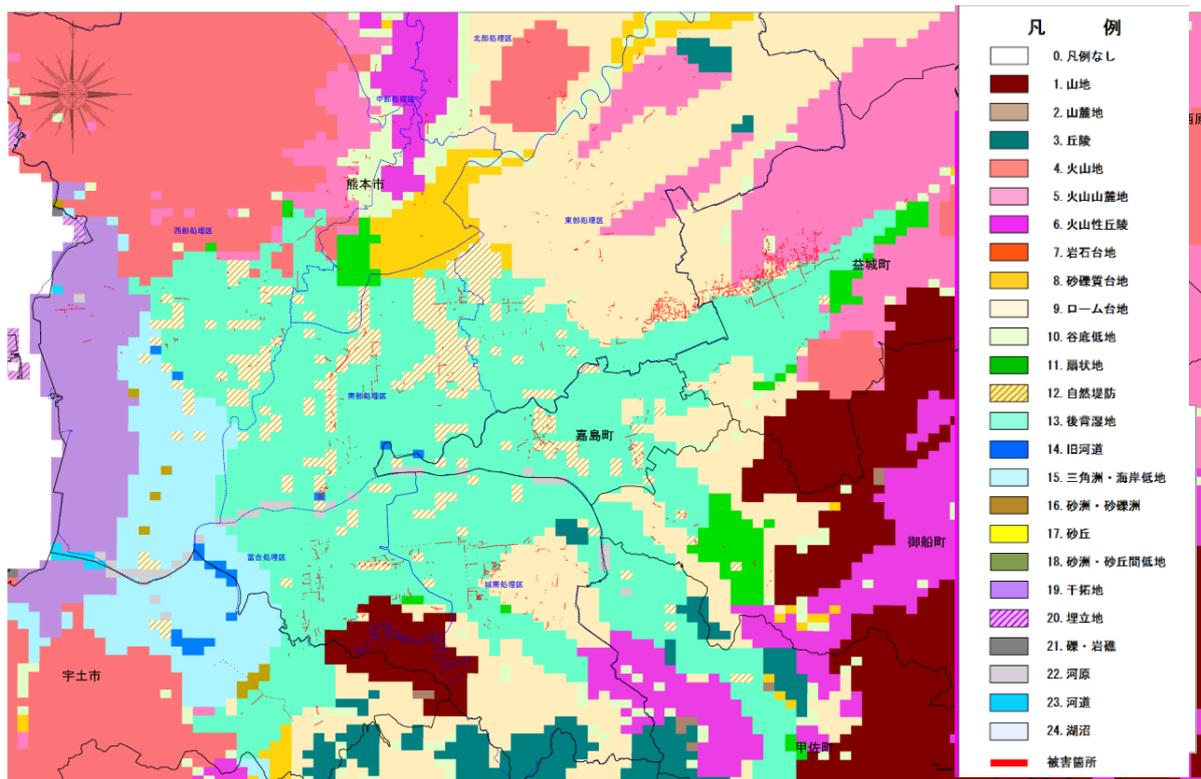


図-22 微地形分類と被災箇所（熊本地方）

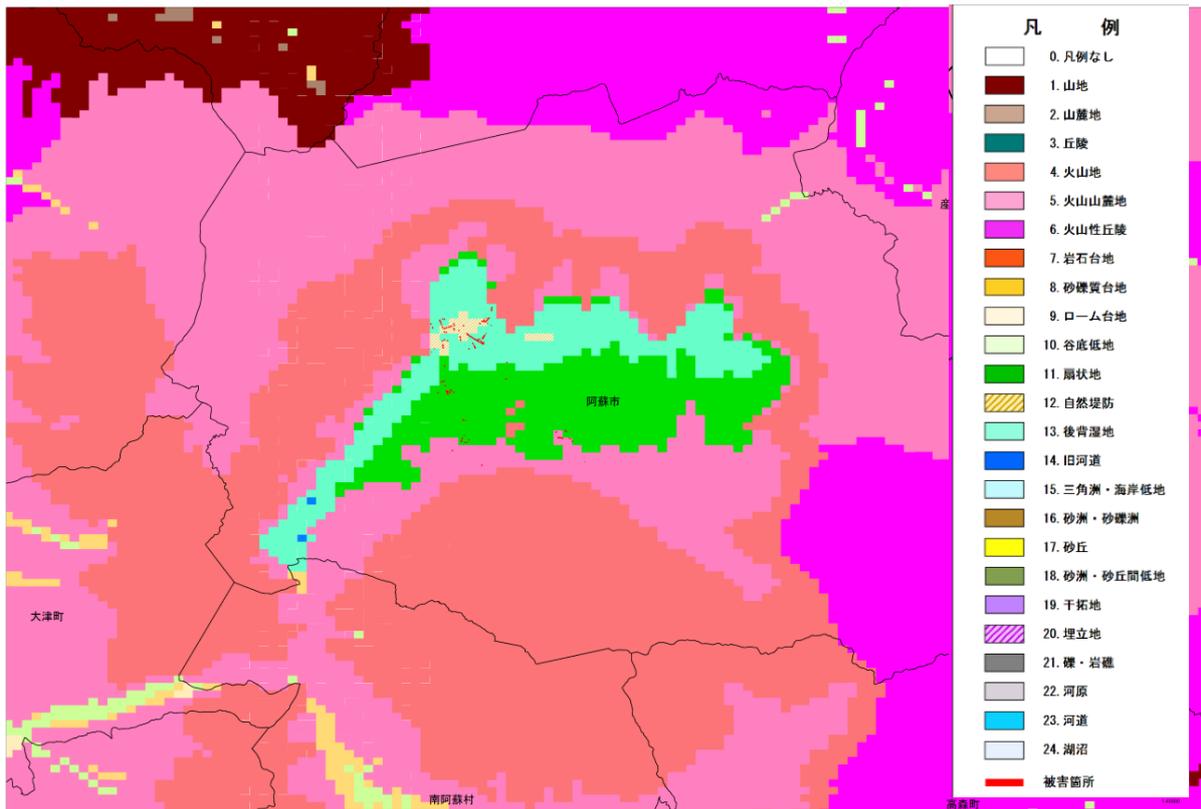


図-23 微地形分類と被災箇所（阿蘇地方）

（4）治水地形分類

治水地形分類図²²⁾²³⁾は、治水対策を進めることを目的に、国が管理する河川の流域のうち主に平野部を対象として、扇状地、自然堤防、旧河道、後背湿地などの詳細な地形分類および河川工作物等が盛り込まれた地図（昭和 51 年度～昭和 53 年度作成）である。

この地形分類図に基づく、治水地形分類別の被災延長と各自治体の治水地形分類別面積占有割合を表-11 及び図-24 に、熊本平野における治水地形分類と被災管路の重ね合わせ図を図-25、各自治体の同図を図-26～29 に示す。ここで治水地形分類別面積占有割合とは、各自治体の下水道処理区域を治水地形分類で区分し、区分別面積を処理区面積で除した値である。

治水地形分類別の被災延長割合（表-11 の中段値）と各自治体の治水地形分類別面積占有割合（表-11 の下段値）を比較し、面積占有割合よりも被災延長割合が大きければ、被災が集中していると判断され、この結果、山麓堆積地形及び後背湿地、微高地、旧河道、盛土地・埋立地での被災が大きいことが分かった。

なお、用いた治水地形分類図は、国土調査による 1 / 50,000 土地分類基本調査（地形分類図）「熊本県」を使用し国総研下水道研究室が作成（複製）したものである。

表-11 治水地形分類別の被災延長と面積割合

団体名		治水地形分類別被災延長(m)と地形分類別占有割合(%)									
		台地・段丘面		低地						人工改変地形	
		山地	段丘面	浅い谷	山麓堆積地形	扇状地	後背湿地	微高地 (自然堤防)	旧河道	干拓地	盛土地・埋立地
熊本市	富合処理区	0	55	0	41	0	3,481	1,693	436	0	205
		0%	1%	0%	1%	0%	59%	29%	7%	0%	3%
		11%	1%	0%	3%	0%	58%	7%	7%	0%	3%
	城南処理区	0	803	0	260	0	5,448	178	52	0	22
		0%	12%	0%	4%	0%	81%	3%	1%	0%	0%
		4%	21%	0%	1%	0%	48%	8%	5%	0%	1%
嘉島町	0	0	0	0	0	859	1,357	666	0	1,602	
	0%	0%	0%	0%	0%	19%	30%	15%	0%	36%	
	0%	6%	0%	3%	0%	54%	10%	10%	0%	4%	
益城町	586	7,024	87	796	0	7,871	2,594	2,832	0	104	
	3%	32%	0%	4%	0%	36%	12%	13%	0%	0%	
	4%	62%	2%	2%	0%	12%	5%	5%	0%	6%	

※表上段：被災延長、中段：治水地形分類別の被災延長割合、下段：各自自治体の治水地形分類占有面積割合
 ※嘉島町の治水地形分類占有面積には、田畑が多く含まれており、占有面積割合が高くなっている。
 ※詳細な被災情報が得られた路線を対象に整理しているため、国土交通省公表値（表-2）と一致しないことがある。

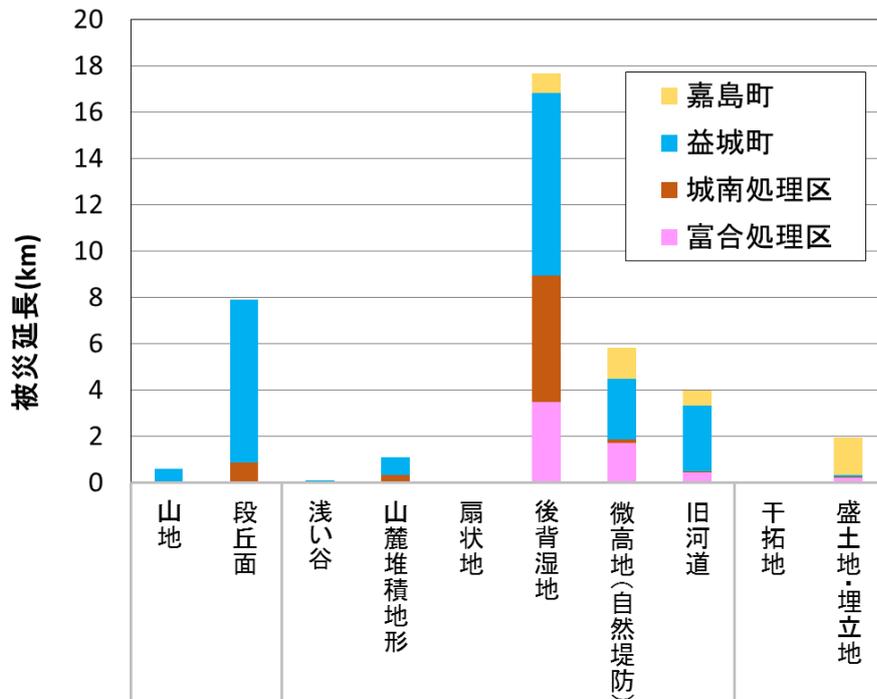
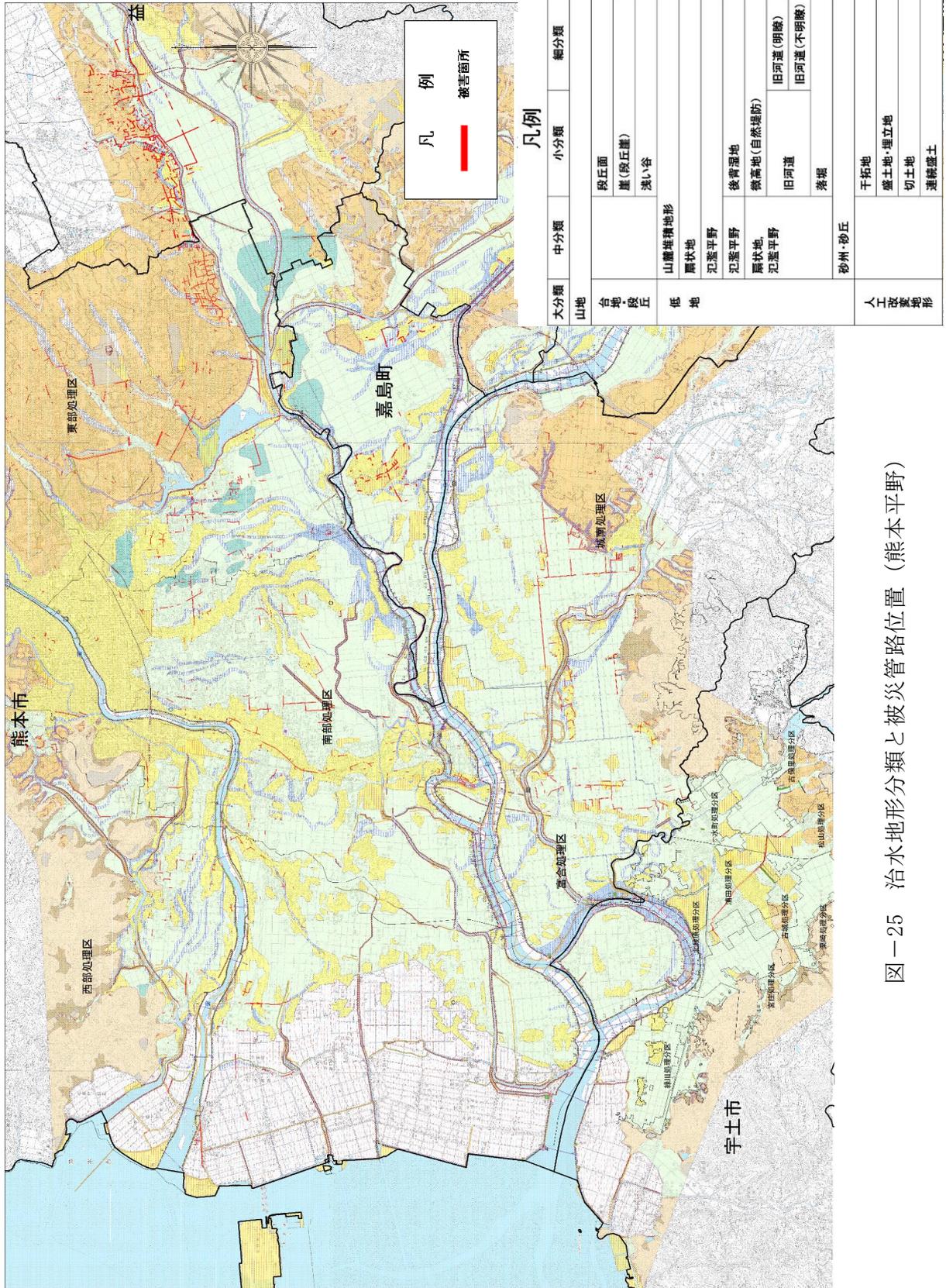
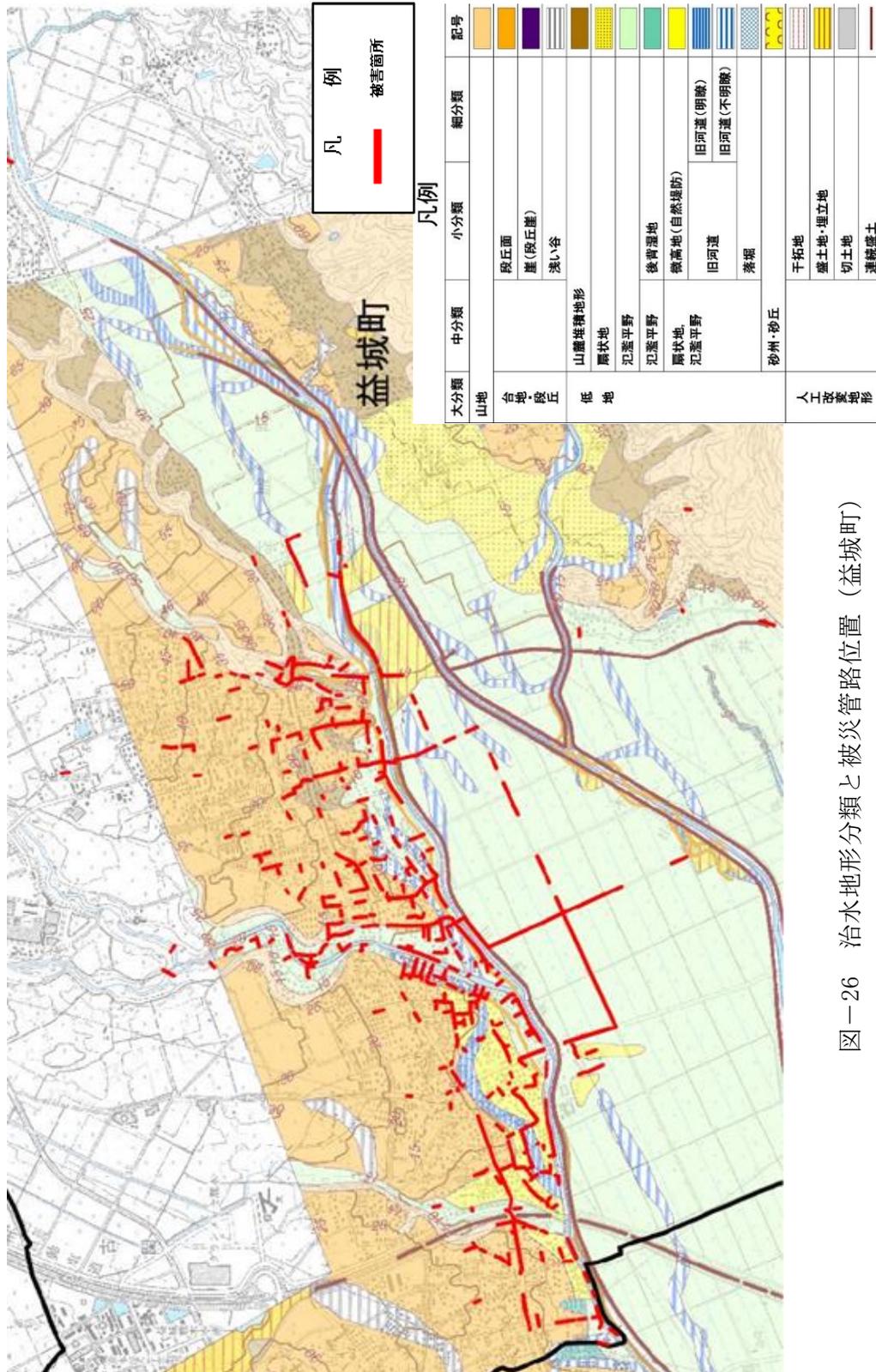


図-24 治水地形分類別被災延長



大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地					
平地・低地	山麓雑種地形	段丘面			
		崖(段丘崖)			
		狭い谷			
低地	扇状地	河原野			
		河原野			
	後背湿地	扇状地(自然堤防)			
		扇状地			
	旧河道	旧河道(明瞭)			
		旧河道(不明瞭)			
	砂州・砂丘	差堀			
	人工改変地形		干拓地		
			盛土地・埋立地		
切土地					
連続盛土					

図一25 治水地形分類と被災管路位置(熊本平野)



図一26 治水地形分類と被災管路位置(益城市)

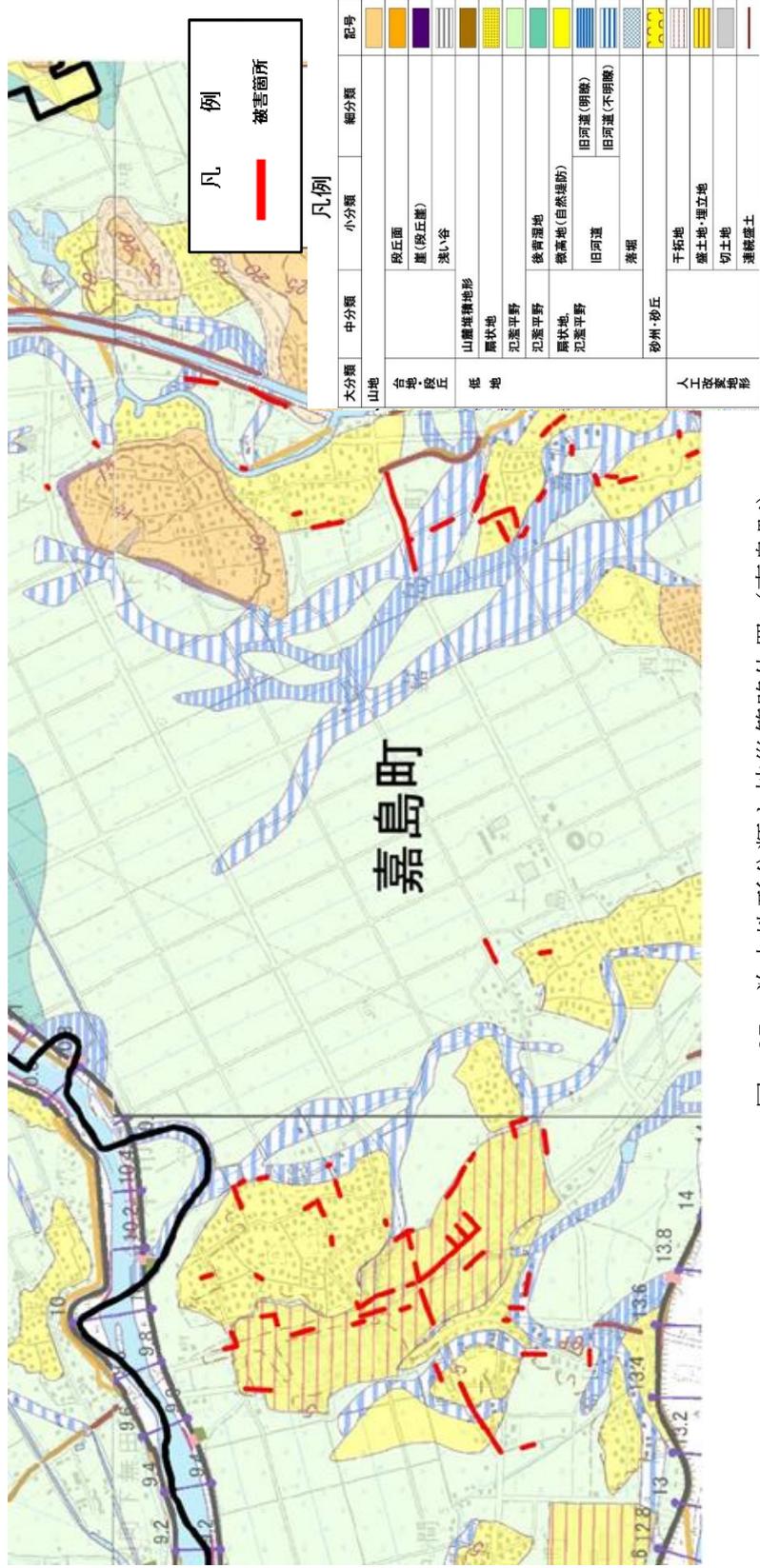


図-27 治水地形分類と被災管路位置 (嘉島町)

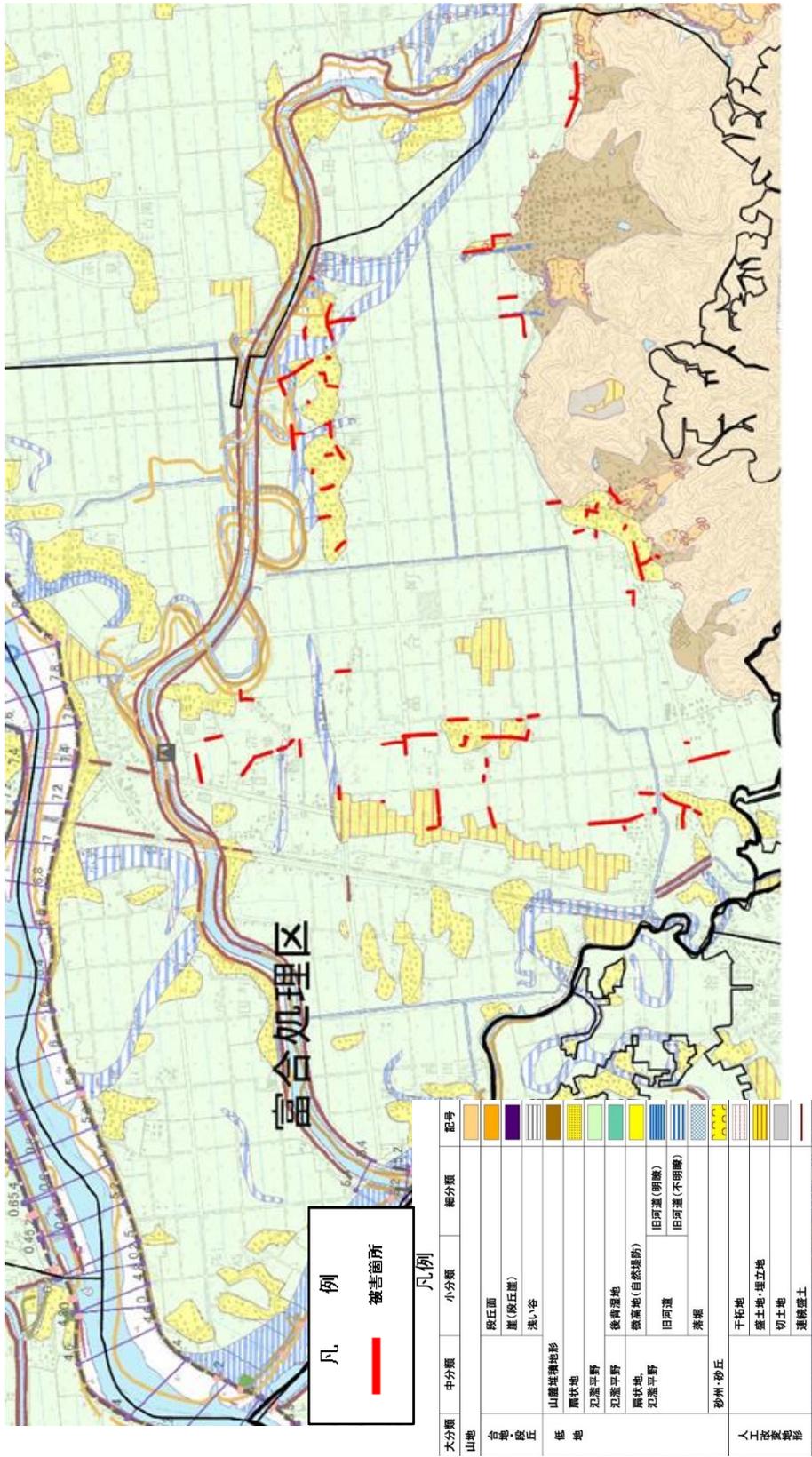


図-28 治水地形分類と被災管路位置(旧富合町)

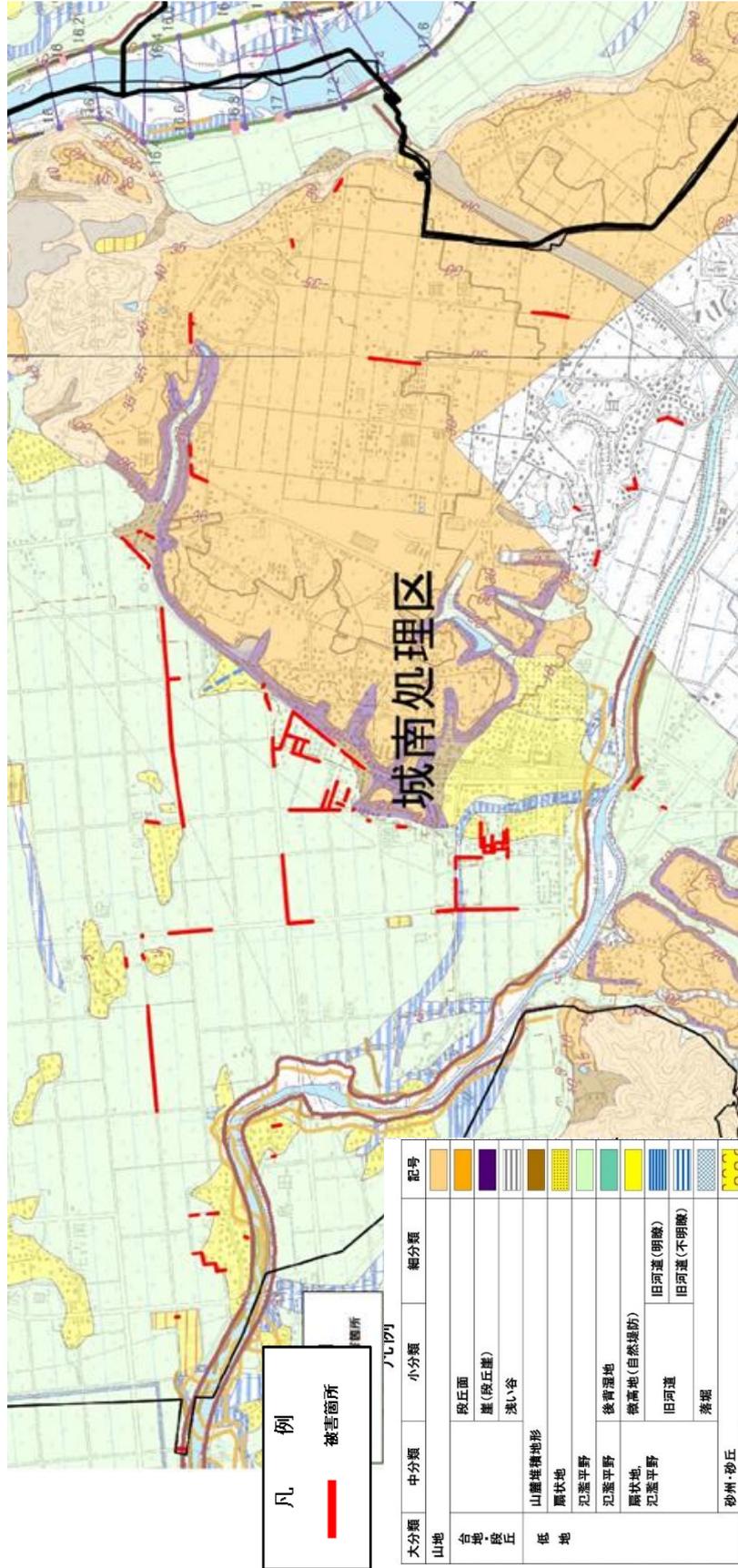
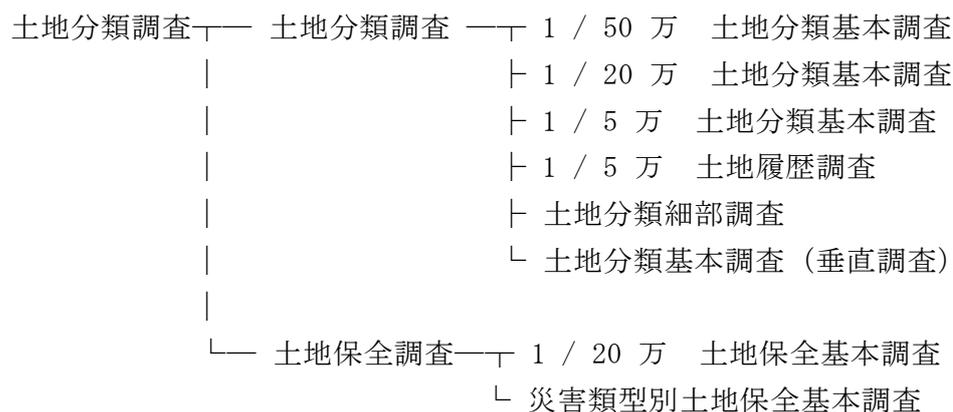


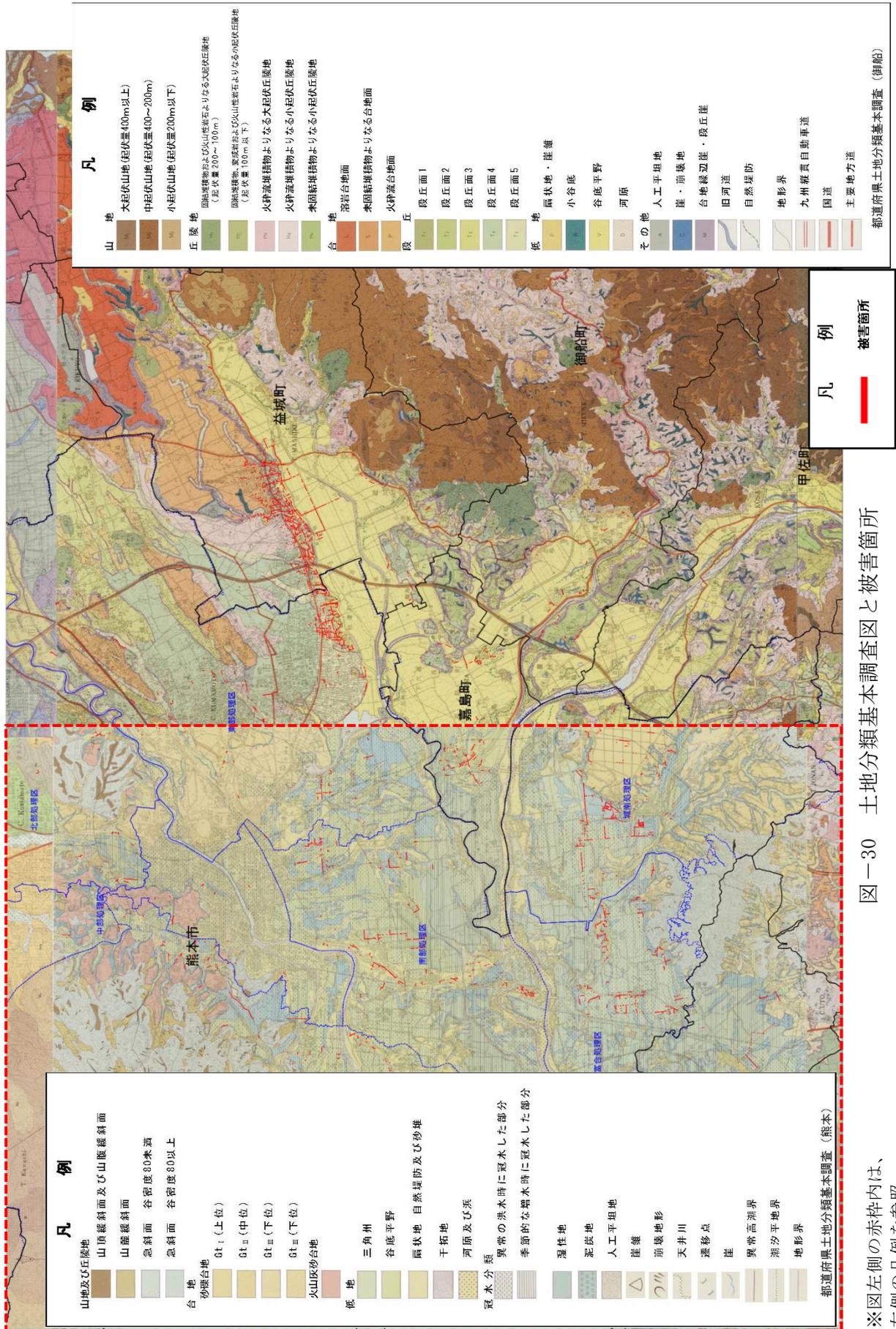
図-29 治水地形分類と被災管路位置（旧城南町）

(5) 土地分類基本調査図

土地分類調査は、土地の自然条件に関する最も基礎的な情報を整備するものであり、地形・表層地質・土壌などの自然的要素、土地の利用現況、災害の履歴、土地の生産力等を調査し、地図や説明書としてまとめており、国土交通省国土政策局国土情報課のホームページ (<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/5-1/4301.html>) で公表されている。土地分類調査図には以下の種類があり、土地分類基本調査図の中に、地形分類図がある。



本検討においては土地分類基本調査（地形分類図）と被害箇所を重ね合せた図を作成し、傾向を確認した。土地分類基本調査図と被害箇所の重ねあわせ図を、図-30 に示す。全体的には谷底平野などの低地で被害が発生している。



図一30 土地分類基本調査図と被害箇所

※図左側の赤枠内は、左側の凡例を参照

凡例	
山地	大起伏山地(起伏量400m以上) 中起伏山地(起伏量400~200m) 小起伏山地(起伏量200m以下)
丘陵地	四角地標物および火山性岩よりなる大起伏丘陵地(起伏量200~100m) 圓錐地標物、稜線岩および火山性岩よりなる小起伏丘陵地(起伏量100m以下) 火砕流堆積物よりなる大起伏丘陵地 火砕流堆積物よりなる小起伏丘陵地 木回廊堆積物よりなる小起伏丘陵地
台地	溶岩台地面 米回廊堆積物よりなる台地面 火砕流台地面
段丘	段丘面1 段丘面2 段丘面3 段丘面4 段丘面5
低地	扇状地・崖線 小谷底 谷底平野 河原
その他	人工平坦地 崖・前壊地 台地縁辺崖・段丘崖 旧河道 自然堤防 地形界 九州縦貫自動車道 国道 主要地方道
都道府県土地分類基本調査(編入)	

凡例	
被害箇所	赤線

(6) 地盤特性と被害箇所の傾向

(1)～(5)の各地盤特性による全般的な傾向を整理すると下記の通りとなる。

➤ 標高

標高としては地下水位が高い低地盤地域で多く被災した。

➤ 微地形分類

微地形分類では軟弱地盤が存在する三角州・海岸低地、後背湿地などで多く被災し、ローム台地でも被災があった。

➤ 治水地形分類

特に大きく被災した益城町、嘉島町、熊本市（旧富合町、旧城南町）を対象に、被災路線の中でも被災程度の大きかった路線を表-12、表-13を参考に抽出し、治水地形分類で確認すると表-14、図-31となり、後背湿地、自然堤防、盛土地で大きく被災する傾向となった。

➤ 土地分類基本調査図（地形分類）

谷底平野、扇状地などの低地で多く被災する傾向となった。

表-12 被害程度の分類（道路・周辺施設の状況）²⁰⁾

	施設	調査項目	被害程度		
			小	中	大
他施設に与える影響の程度（下水道の被害が原因となるもの）	道路	路面とマンホールとの段差	車の走行に支障なし（段差1cm以下）	車の走行で衝撃を感じる（1～3cm）	車の走行に支障あり（3cm以上）
		路面の沈下・隆起（路面高のなだらかな上下変動）	車の走行に支障なし	車の走行で衝撃を感じる	車の走行に支障あり
		路面の陥没、段差	車の走行に支障なし（段差、陥没1cm以下）	車の走行で衝撃を感じる（1～3cm）	車の走行に支障あり（3cm以上）
		路面の亀裂	二輪車の走行に支障なし（亀裂幅1cm以下）	二輪車の走行に支障あり（1～3cm）	二輪車の走行に支障あり（3cm以上）
		マンホールの蓋及び蓋受枠の被害	蓋の破損なし 蓋受枠のずれ量小（蓋の受枠のフランジ幅の1/3以下）	蓋受枠のずれ量中（蓋受枠のフランジ幅の1/3～2/3）	蓋の破損あり 蓋受枠のずれ量大（蓋の受枠のフランジ幅の2/3以上）
	周辺施設	下水の流出による汚染	下水の流出なし 住民からの苦情なし	下水の少量の流出あり 住民からの苦情あり	下水の大量流出あり 住民からの苦情あり
		下水道内への危険物（ガス、石油等）の流入	危険物の流入なし		危険物の流入あり

表-13 被害程度の分類（管路施設の状況）²⁰⁾

	施設	調査項目	被害程度			
			小	中	大	
下水道の構造的な被害程度	管きよ	目地はなれ 目地ずれ	受け口の深さ 1/3 未満 管厚の 1/3 以上	受け口の深さ 1/3~2/3 管厚の 1/3~2/3	受け口の深さ 2/3 以上 管厚の 2/3 以上	
		継ぎ手部破損	継ぎ手部のかえ程度 漏水なし	若干の漏水あり 土砂の流出なし	継ぎ手部破壊 大幅な漏水あり 土砂の流入あり	
		管体亀裂、破損	亀裂跡程度 漏水なし	若干の漏水あり 土砂の流出なし	管体の破壊 大幅な漏水あり 土砂の流入あり	
		取付管の異状	取付管の突出し (本管径の 1/4 以下)	(本管径の 1/4~ 1/2)	(本管径の 1/2 以上)	
		管体の浮上	浮上後の土被り 厚 0.8m 以上		浮上後の土被り 厚 0.8m 未満	
	マンホール	斜壁・直壁のずれ	壁厚の 1/3 以下	壁厚の 1/3~2/3	壁厚の 2/3 以上	
		斜壁・直壁の亀裂、破損	亀裂跡程度 漏水なし	若干の漏水あり 土砂の流入なし	破壊 大幅な漏水あり 土砂の流入あり	
		壁立上がり部、底版の亀裂、破損	亀裂跡程度 漏水なし	若干の漏水あり 土砂の流入なし	破壊 大幅な漏水あり 土砂の流入あり	
下水道の機能的な被害程度	管路施設	管汚泥深あるいは 汚泥深あるいは (管内の堆砂、 下水の排除能力 の堆砂、マンホール内 汚泥深)	円形管 φ 600 以下	内径の 25% 以下	内径の 25~50%	内径の 50% 以上
			円形管 φ 600~φ 1400	内径の 15% 以下	内径の 15~30%	内径の 30% 以上
			円形管 φ 1400 以上	内径の 10% 以下	内径の 10~20%	内径の 20% 以上
		マンホール内 汚泥深	インバート直径 φ 600 以下	直径の 25% 以下	直径の 25~50%	直径の 50% 以上
			インバート直径 φ 600~φ 1400	直径の 15% 以下	直径の 15~30%	直径の 30% 以上
			インバート直径 φ 1400 以上	直径の 10% 以下	直径の 10~20%	直径の 20% 以上
	管路施設	悪臭の発生	悪臭の発生なし 住民からの苦情なし		悪臭の発生あり 住民からの苦情あり	
		下水道のシステムとしての重要度	下水道システムの機能回復に際して、さほど重要な施設ではない。		下水道システムの機能回復に際して重要な施設である。	

(1)～(5)で整理した微地形分類、治水地形分類、土地分類基本調査図の各図について、自治体毎の被災箇所との関係を整理する。ここでは、被害の大きかった益城町、嘉島町、熊本市（旧富合町、旧城南町エリア）を対象として整理したものを、図-32～図-35に示す。

表-14 被害が大きい管路の治水地形分類別被災延長

団体名		被害大—治水地形分類別被災延長(m)と地形分類別占有割合(%)									
		台地・段丘面		低地						人工改変地形	
		山地	段丘面	浅い谷	山麓堆積地形	扇状地	後背湿地	微高地(自然堤防)	旧河道	干拓地	盛土地・埋立地
熊本市	富合処理区	0	55	0	41	0	2,851	1,536	436	0	205
		0%	1%	0%	1%	0%	48%	26%	7%	0%	3%
		11%	1%	0%	3%	0%	58%	7%	7%	0%	3%
	城南処理区	0	511	0	260	0	4,170	178	52	0	0
		0%	8%	0%	4%	0%	62%	3%	1%	0%	0%
		4%	21%	0%	1%	0%	48%	8%	5%	0%	1%
嘉島町	0	0	0	0	0	409	532	444	0	1,324	
	0%	0%	0%	0%	0%	9%	12%	10%	0%	30%	
	0%	6%	0%	3%	0%	54%	10%	10%	0%	4%	
益城町	320	4,507	87	652	0	5,116	1,584	1,831	0	104	
	1%	21%	0%	3%	0%	23%	7%	8%	0%	0%	
	4%	62%	2%	2%	0%	12%	5%	5%	0%	6%	

※表上段：被災延長、中段：治水地形分類別の被災延長割合、下段：各自治体の治水地形分類占有面積割合

※嘉島町の治水地形分類占有面積には、田畑が多く含まれており、占有面積割合が高くなっている。

※詳細な被災情報が得られた路線を対象に整理しているため、国土交通省公表値（表-2）と一致しないことがある。

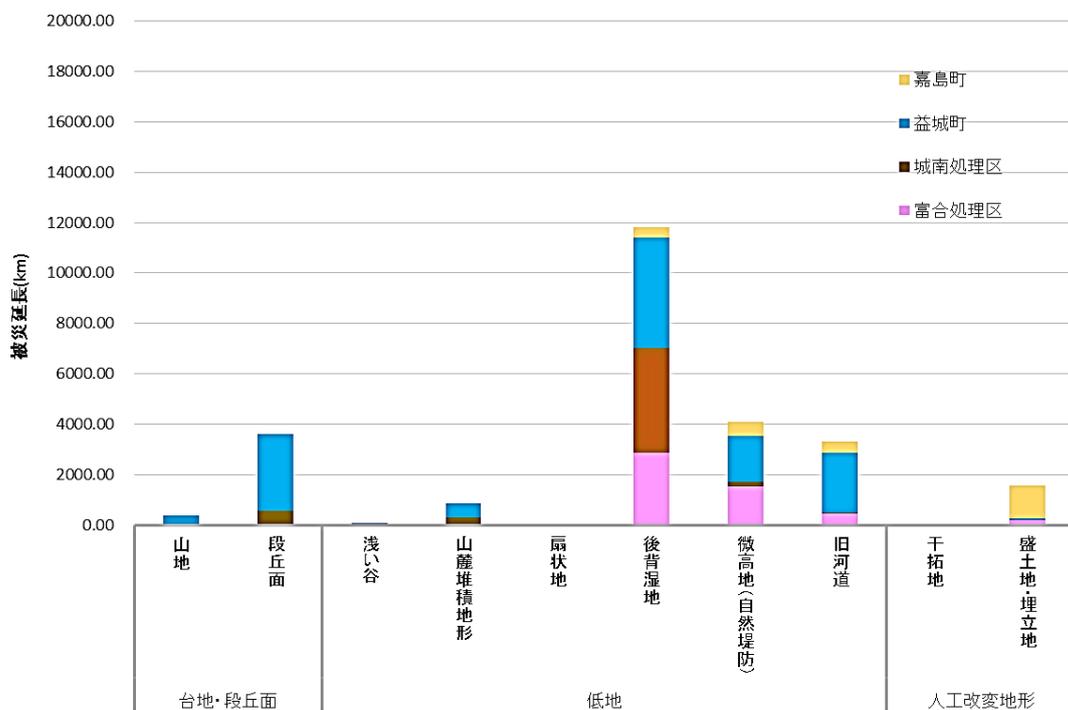
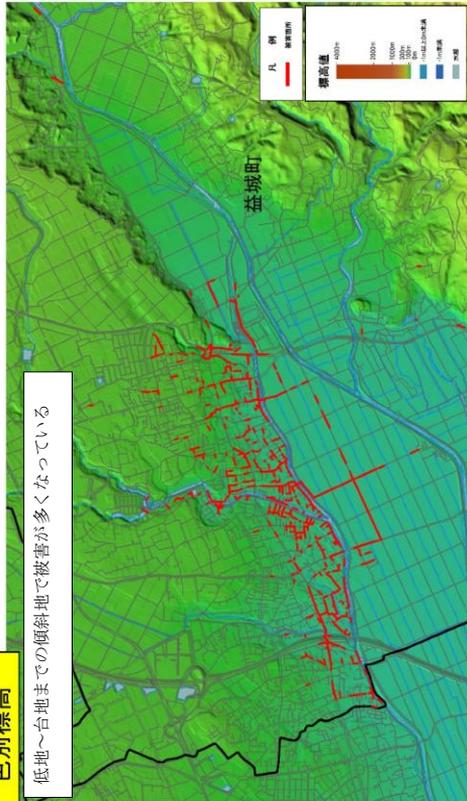


図-31 治水地形分類別被災延長（被害大のみ）

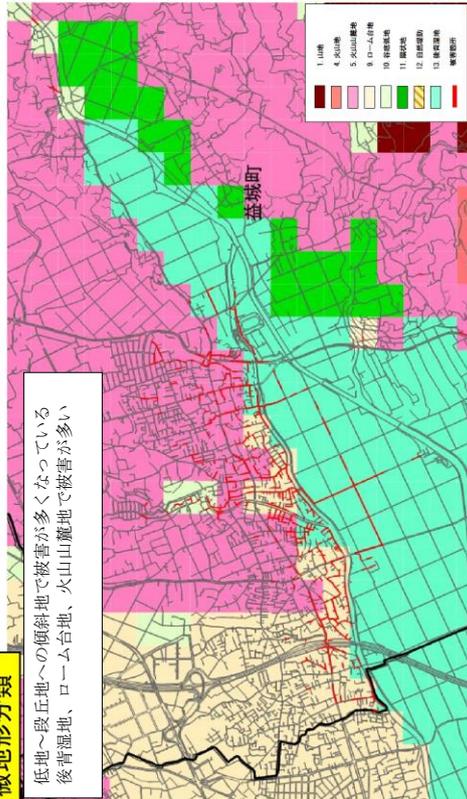
色別標高

低地～台地までの傾斜地で被害が多くなっている



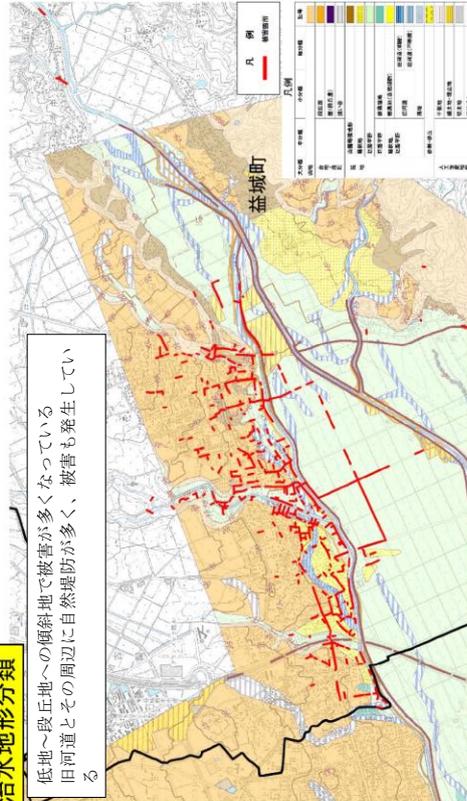
微地形分類

低地～段丘地への傾斜地で被害が多くなっている
後背湿地地、ローム台地、火山山麓地で被害が多い



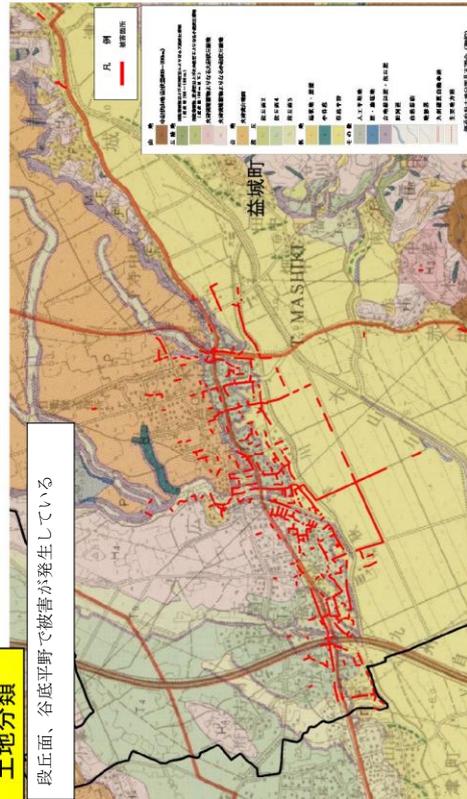
治水地形分類

低地～段丘地への傾斜地で被害が多くなっている
旧河道とその周辺に自然堤防が多く、被害も発生している



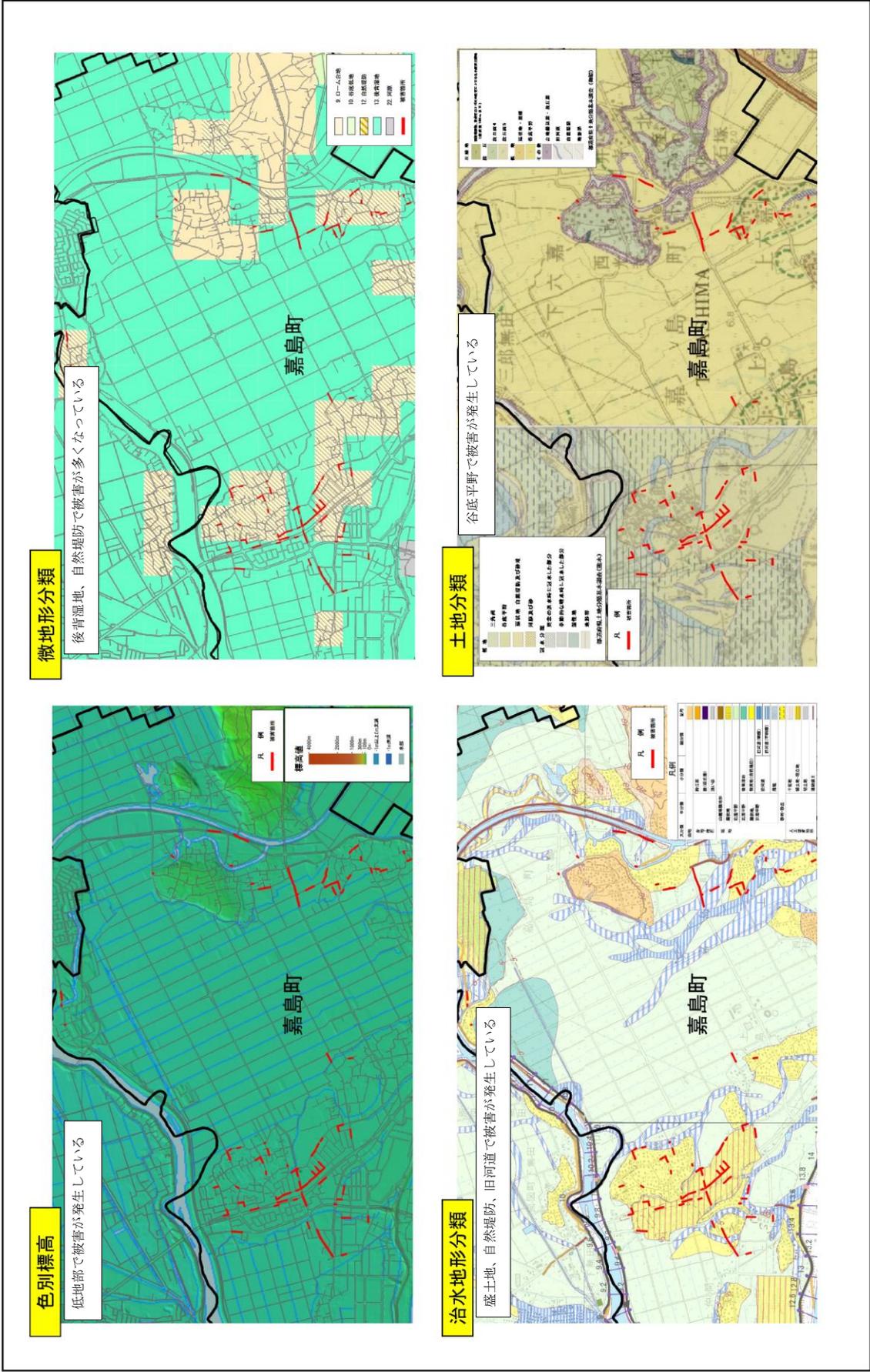
土地分類

段丘面、谷底平野で被害が発生している



※凡例は、図-18～30を参照。

図-32 益城町の地盤特性図一覧



図一33 嘉島町の地盤特性図一覧

※凡例は、図-18～30を参照。

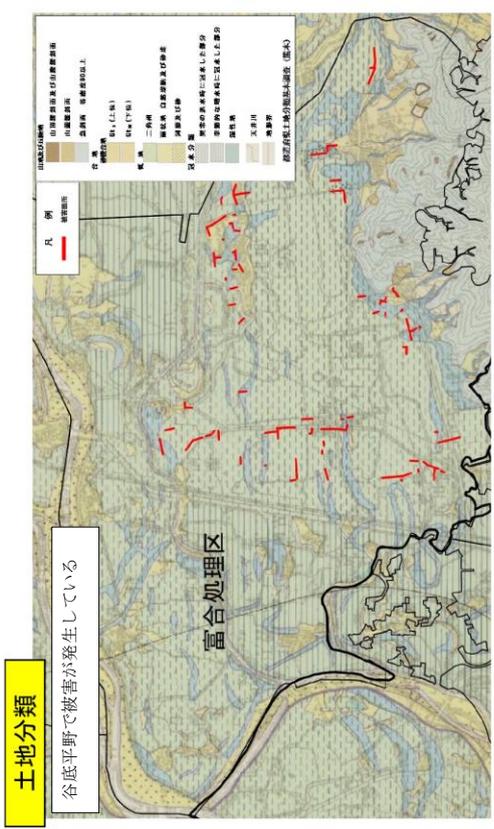
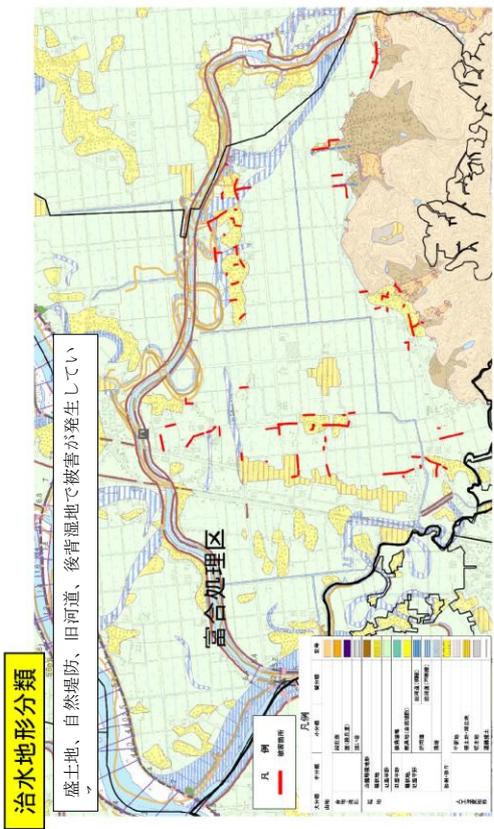
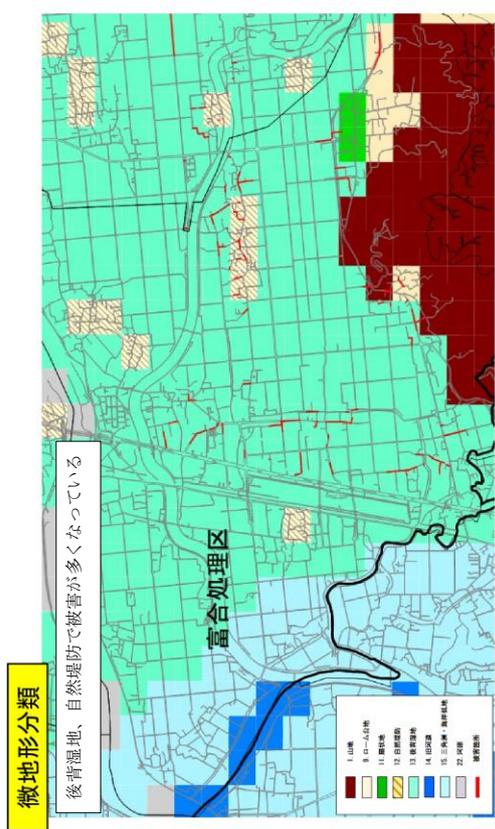
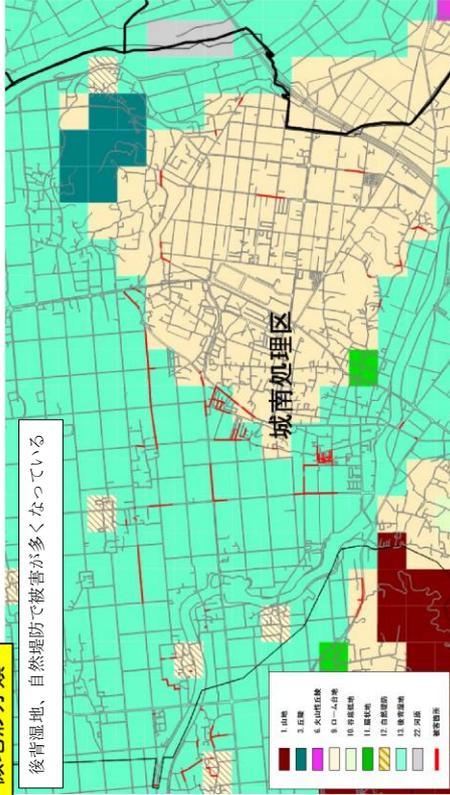


図-34 熊本市（旧富合町）の地盤特性図一覧 ※凡例は、図-18～30を参照。

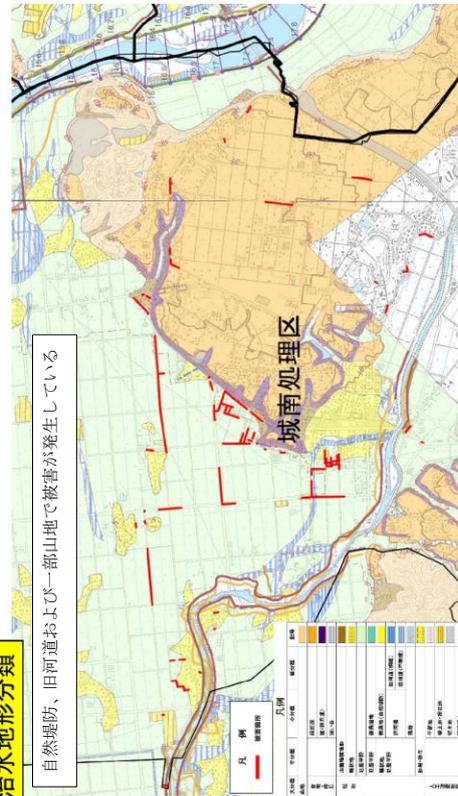
色別標高



微地形分類



治水地形分類



土地分類

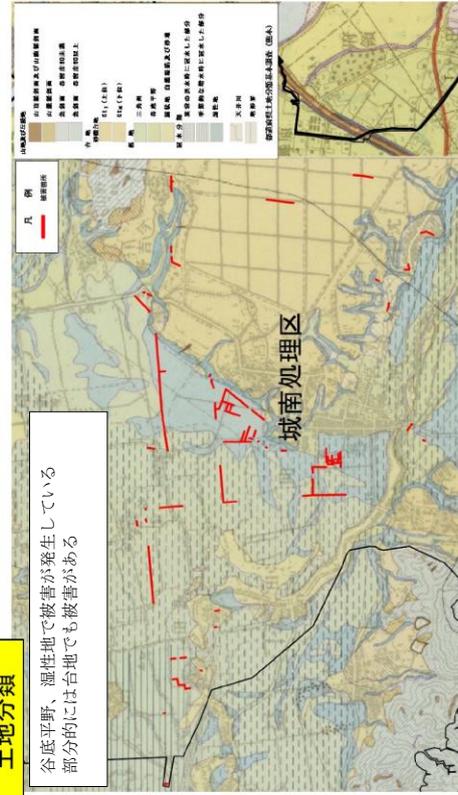


図-35 熊本市（旧城南町）の地盤特性図一覧 ※凡例は、図-18～30を参照。

(7) 益城町塩ビ管破損箇所と治水地形分類の関係

益城町では、写真-6～写真-9に示す塩ビ管の破損被害(約1.6km)が全被災延長21.8kmの7%程度発生したことから、治水地形との関連性を確認する。

図-36に、塩ビ管の被災箇所と治水地形の重ね合わせ図を示す。益城町の被災箇所は、後背湿地から段丘地へ続く傾斜地に多くの家屋が存在している上、その中に旧河道が多く存在している場所となっている。地形分類が複雑に入り混じっており、地形の急変部周辺で破損被害が発生している。



写真-6 塩ビ管の破損①(益城町)

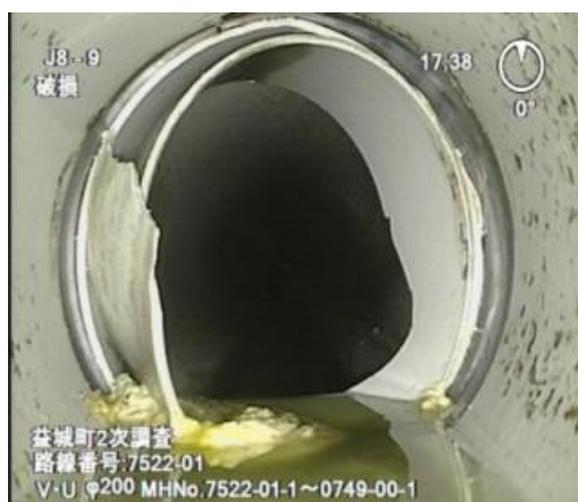


写真-7 塩ビ管の破損②(益城町)



写真-8 塩ビ管の破損③(益城町)

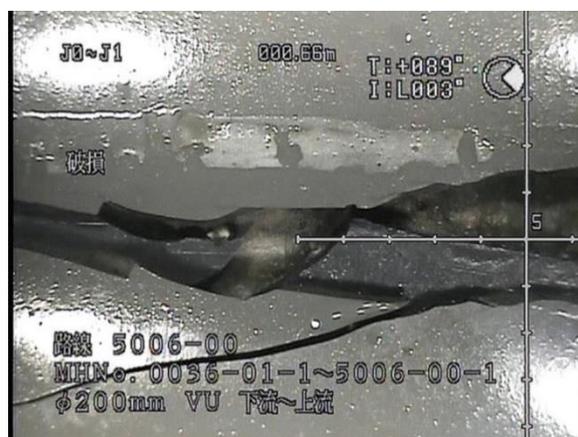
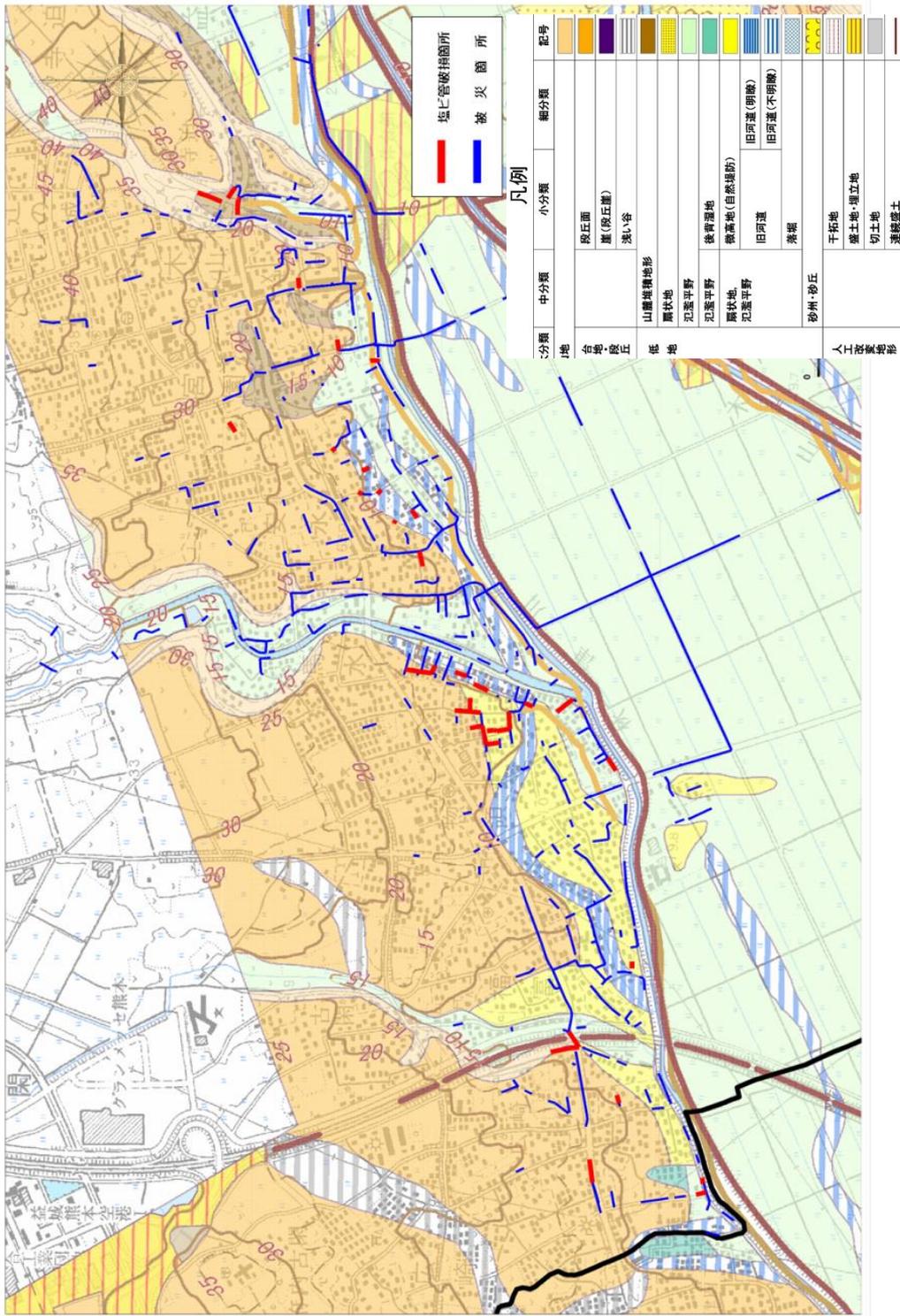


写真-9 塩ビ管の破損④(益城町)



図一36 治水地形分類と塩ビ管被災管位置 (益城町)

4 原因分析と対策

「3. 下水道管路施設の被災概況」の分析結果において、熊本地震における顕著な被災は埋戻し部の液状化と推進工法区間があげられた。この2点に着目して、その発生原因に関する分析を行うとともに、必要な対策について検討した。

- 山砂埋め戻し（締固め 90 %程度以上）を採用する塩ビ管、コンクリート管の一部に、施工管理、品質管理が不十分な箇所があり、十分な耐震効果が発揮されていない可能性
- 碎石で埋め戻すりブ付塩ビ管は、地下水位以浅まで碎石を充填することで高い耐震効果が得られる

4.1 埋戻し土の液状化対策

(1) 被災原因

3.2.3 の布設年度別の整理結果において、平成 15 年以前に布設した管路の被災延長が長く、平成 16 年耐震指針改訂以降の布設管路であっても被災するといった特徴を示した。このため、熊本地震で被災した管路施設の埋め戻し方法、特に埋め戻し部の液状化対策に着目して、被災原因を分析した。

表-15 に、布設年度別被災延長を管種別に整理した表を示す。塩ビ管の被災率は、平成 15 年度以前と比較して、平成 16 年度以降（耐震指針改訂以降）で被災状況に若干の改善が見られた。しかしコンクリート管の被災率は、布設年度による違いはほぼない。また、リブ付塩ビ管は、平成 16 年耐震指針改訂以降に布設した管の被災延長がリブ付塩ビ管全体の 6 割に達していた。

表-15 管種別布設年度別被災延長割合

布設年度	塩ビ管	リブ付塩ビ管	コンクリート管	全体
平成 9 年以前	54% (≒2%)	2%	85% (2%)	65%
平成 10~15 年	27% (≒3%)	33%	11% (3%)	20%
平成 16 年以降	19% (≒1%)	64%	4% (3%)	15%

※ () 内は被災率。塩ビ管の≒は、分母に PRP が含まれているため。

管種により、埋め戻しの方法が異なることから、ここでは、自治体職員へのヒアリングや設計図書・工事関係図書の確認により、被災路線の埋め戻し方法（液状化対策）や品質管理方法を特定し、埋め戻し方法と被災の関係性を調査した結果について記載する。

1) 塩ビ管、コンクリート管

平成 16 年新潟県中越地震以降、新規に布設する管路における埋め戻し土の液状化対策として図-37 の 3 工法が示され採用されている。熊本地震で被災した塩ビ管とコンクリート管について、採用されていた埋め戻し方法を確認したところ、耐震指針における埋め戻しの基準が確立されていない平成 15 年以前の布設管路や、液状化対策の必要がないエリアの布設管路の埋め戻しは、概ね山砂による埋め戻し（一部で発生土による埋め戻し）であった。

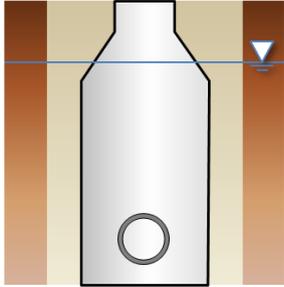
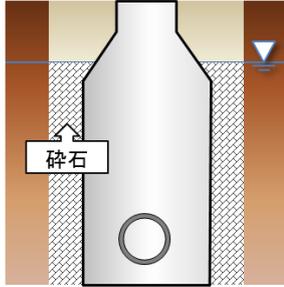
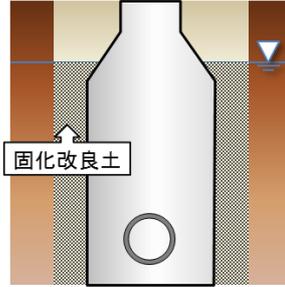
埋戻し方法	埋戻し土の締固め	砕石による埋戻し	埋戻し土の固化
概要	良質土で締固め(締固め度 90%程度以上)ながら、埋戻す。	地下水位以深を透水性の高い材料(砕石)で埋戻す。	地下水位以深をセメント固化改良土等で埋戻す。
概念図			
液状化対策の効果	十分な締固めを行うことにより、埋戻し部の過剰間隙水圧を小さくすることが出来るため、液状化に対する効果は大きい。	マンホール・管路近傍部の過剰間隙水圧が消散するため、液状化に対する効果は大きい。	埋戻し部が非液状化層となるため、液状化に対する効果は大きい。

図-37 埋め戻しの締固め

耐震対策（液状化対策）の必要性が高まった平成 16 年以降については、自治体職員へのヒアリング等により、塩ビ管及びコンクリート管の埋め戻し土の液状化対策として、埋戻し土の締固めが採用されていたことが分かった。

しかしながら、平成 16 年度以降の工事仕様書を確認したところ、仕様書上に液状化を抑制するために必要となる基準値の締固め度 90%の明示がなく、また施工後の締固め度の試験の実施有無が確認できなかったことから適切な転圧が実施されたかの判断ができなかった。転圧不足の可能性もあり、耐震効果を確実に得るためにも適切な発注者からの締固め管理値の指示及び試験による確認が極めて重要と考えられた。

2) リブ付塩ビ管

リブ付塩ビ管は、塩ビ管の外周面に環状のリブ構造を施した形状になっており、基礎材として碎石を用いることができる。このため、地下水位の多い地盤や液状化対策の必要な地盤で用いられている。

被災都市におけるリブ付塩ビ管の施工方法等を確認したところ、被災した路線の埋め戻し方法は、図-38 に示す 2 種類が存在していた。A 工法は下水道協会規格の標準施工（参考）²⁴⁾ であり、B 工法は耐震指針に準拠した施工である。工法別に被災スパン数を整理すると、被災したリブ付き塩ビ管の 98.7%（153 スパン）が A 工法であった。

碎石による埋め戻しは、地震時には過剰間隙水圧の消散が期待できることから液状化対策としても有効であるが、A 工法は液状化対策を念頭においた工法ではない。液状化対策として施工する場合には、過剰間隙水圧の逃げ場を確保するため、地下水位以浅まで碎石を充填させる（B 工法）ことが重要であり、工法の原理に対する理解を深める必要がある。

一方、B 工法を採用した箇所は、路盤下まで碎石が充填され、20 cm の巻出し厚で適切に施工されていた。被災した箇所は 2 スパンあったが、マンホール（塩ビ柵）との接続部にズレが生じたもので、液状化は抑制されていたと考えられた。

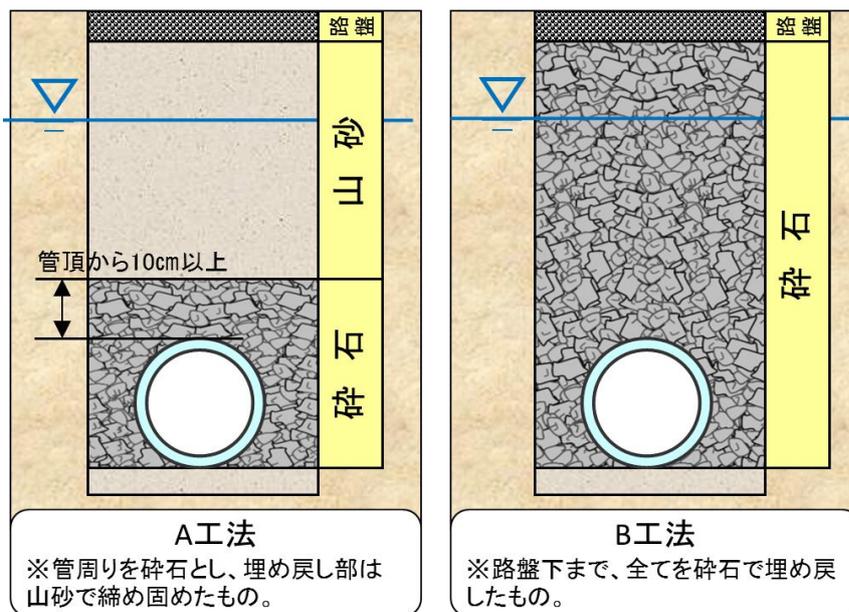


図-38 リブ付き塩ビ管の埋め戻し方法

(2) 今後の対策

塩ビ管やコンクリート管で採用される埋戻し土の締固め（締固度 90 %程度以上）については、より確実な効果を発揮させるために、発注者及び施工業者双方の対策工法に対する理解を深めるとともに、締固め度 90 %以上を確保するための発注者の指示・監督等を徹底するなど、耐震指針の記載内容の周知徹底を図る必要がある。

砕石埋戻しは、砕石の充填方法で耐震効果に差が生じており、同様の事例は、東日本大震災や岩手・宮城内陸地震の際にも報告⁷⁾²⁶⁾されている。現行指針⁸⁾には、地下水位以浅まで充填することが明示されているほか、当該工法の原理等も解説されていることから、指針に準拠した適切な施工を今後も進めていく必要がある。

4.2 推進工法区間の被災

平成 16 年新潟県中越地震では推進工法で布設された管路施設に被災がなかったと報告²⁵⁾されているが、熊本地震では推進工法区間の管路が多く被災した。ここでは、八代北部流域下水道、宇城市、嘉島町の幹線管路を対象に被災原因と対策を述べる。

(1) 被災の原因

熊本地震では、推進工法で施工したと見られる土被りの深い管路の被災が多く見られ、特にコンクリート管は約 4 割の被災が推進工法で発生した。推進工法の被災割合の比較的高い、八代北部流域下水道、宇城市、嘉島町のコンクリート管の被災状況を分析した結果(表-16)、全被災スパン(34 スパン)の半数でクラック及び浸入水が生じていた。クラックの発生位置は、約 8 割が管口付近であり、管きょとマンホールとの構造間の地震応答の違いより、応力が集中したものと考えられた。以下に、自治体別の被災状況と考えられる原因について記載する。

表-16 被災した推進工法の被災内訳(スパン数)

布設年度	たるみ	円周方向クラック		管軸方向クラック		浸入水	継手ずれ	継手亀裂	継手破損	小計
		管口	管中央	管口	管中央					
平成9年以前	2	9	3	1	0	11	7	6	1	40
平成10~15年	0	5	0	0	0	9	0	4	1	19
平成16年以降	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
不明	3	1	1	0	0	2	2	0	0	9
小計	5	18	4	1	0	22	9	10	2	71
対被災スパン割合	15%	53%	12%	3%	0%	65%	26%	29%	6%	—

※1 スパンに複数のクラック等が重複して存在するため、全スパン数<小計値となっている。

1) 八代北部流域下水道

被災した推進区間の基本諸元を表-17 に示す。平成 10 ～ 12 年度に施工された管路は未耐震と想定される。被災内容は、表-18 に示す通り、全区間で継手亀裂・破損、管本体クラックと浸入水、推進区間下流側の 5 スパンは円周方向クラック・浸入水などの管本体の被害が発生した。ただし、推進工法区間のいずれの被災箇所も流下機能は確保されていた。

表-17 推進工法管路基本諸元（八代北部流域下水道）

No.	推進工法基本諸元				施工年度
	管径 (mm)	管種	延長 (m)	土被り (m)	
1	450	HP	132	4.0 ~ 4.0	H12
2	600	HP	37	3.9 ~ 3.9	H11
3	600	HP	26	3.9 ~ 3.8	H11
4	600	HP	53	3.9 ~ 4.2	H10
5	600	HP	110	4.7 ~ 5.4	H10
6	600	HP	109	5.0 ~ 5.4	H10
7	600	HP	120	6.9 ~ 7.3	H10
8	700	HP	135	8.7 ~ 8.7	H10
9	1,100	HP	225	9.0 ~ 9.2	H10

表-18 推進区間被災状況（八代北部流域下水道）

No.	被災状況(箇所数)										人孔浮上量 (cm)	
	たるみ	円周方向クラック		管軸方向クラック		浸入水	破損	継手 ずれ	継手 亀裂	継手 破損	上流 人孔	下流 人孔
		管口※	管中央	管口※	管中央							
1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	1	0	8
2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5
3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	5	-
4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-	0
5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-
6	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0
7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	9	-
8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-
9	0	1上	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-
計	0	5	0	0	0	11	0	0	6	1	-	-

※管口：上流側もしくは下流側人孔から 3m 以内。

災害査定資料及び土質調査資料より、推進管が布設されている土層は、凝灰質シルト（シラス）が介在したシルト質粘土層であり、液状化による管路の浮き上がりは考えにくい。人孔の浮上（写真－10）や管路の被害が管口付近に集中していることから、マンホール周辺の埋戻し部の沈下（締固め不足）、地震時のマンホールと管きよの応答の違い、地震時の埋戻し土と周辺地山の応答の違いが、被災の要因と推察された。

また、推進立坑の標準寸法と円周方向クラック発生位置の関係より、クラックは立坑土留矢板の前後に概ね位置することから、クラックの発生には推進坑口部の存置矢板や空伏基礎（コンクリート基礎）により拘束された管きよと、拘束を受けない立坑前後の管きよが異なる動きをするという要因が影響した可能性がある。

路面段差 9cm



写真－10 マンホール部人孔浮上状況（災害査定資料より）

2) 宇城市

被災した松橋幹線は、宇城市松橋工区の松橋不知火浄水管理センターに流入する重要幹線であり、大野川および浅川横断部より推進工法にて施工されている。管路の管種、管径、延長等は表-19 に示す通りである。

推進管は、管径 500 mm の小口径管と 900 mm、1,000 mm の中大口径管（いずれもコンクリート管）が使用され、土被りは 5.1 m ～ 9.4 m である。昭和 57 年度から昭和 60 年度に施工されている。

表-19 推進工法管路基本諸元（宇城市松橋幹線）

No.	推進工法基本諸元				施工年度
	管径 (mm)	管種	延長 (m)	土被り (m)	
1	500	HP	81	5.1 ～ 6.8	S57
2	500	HP	76	6.6 ～ 7.6	S57
3	500	HP	79	7.3 ～ 7.6	S57
4	500	HP	75	7.4 ～ 7.6	S57
5	500	HP	89	7.7 ～ 7.9	S57
6	500	HP	83	8.0	S57
7	900	HP	125	6.9 ～ 7.1	S60
8	900	HP	137	7.9 ～ 8.7	S59
9	1,000	HP	130	9.0 ～ 9.4	S58

松橋幹線推進区間の被災状況は、表-20 に示す通り、被災した全区間で継手ずれ・亀裂・破損、継手異常に伴う浸入水の被害が発生し、うち 3 スパンで円周方向クラック・浸入水などの管本体の被害が発生した。ただし、推進工法区間のいずれの被災箇所も流下機能は確保されていた。

表-20 松橋幹線推進区間の被災状況

No.	被災状況(箇所数)										人孔浮上量 (cm)	
	たるみ	円周方向クラック		管軸方向クラック		浸入水	破損	継手 ずれ	継手 亀裂	継手 破損	上流 人孔	下流 人孔
		管口※	管中央	管口※	管中央							
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-	-
2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	-	-
3	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	-	-
4	0	0	0	0	0	4	0	3	1	0	-	-
5	0	0	0	0	0	12	0	12	1	7	-	-
6	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	-	-
7	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	10
8	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	-
9	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0
計	0	3	0	0	0	29	0	21	7	7	-	-

※ 管口：上流側もしくは下流側人孔から3m以内。

災害査定資料及び土質調査資料より、推進管が布設されている土層は、比較的締まった礫混じり砂層やシルト混じり砂層であり、工法的にも液状化による管路の浮き上がりは考えにくい。現地では、道路に亀裂が入った箇所や、マンホールが若干浮上している箇所（写真-11）、マンホール周辺の埋戻し部の沈下（締固め不足）があることから、地震時におけるマンホールと管きよの応答の違い、地震時における埋戻し土と周辺地山の応答の違いにより、地震時に大きな剪断力の管口付近に作用したことが被災の要因と推定された。



写真-11 マンホール部人孔浮上状況（災害査定資料より）

また、推進立坑の標準寸法と円周方向クラック発生位置の関係より、クラックは立坑土留矢板の前後に概ね位置することから、クラックの発生には推進坑口部の存置矢板や空伏基礎（コンクリート基礎）により拘束された管きよと、拘束を受けない立坑前後の管きよが異なる動きをするという要因が影響した可能性がある。

3) 嘉島町

被災した推進管の基本諸元を表-21 に示す。平成 16 ~ 26 年度に施工したφ 150 mm ~ 500 mm のコンクリート管および塩ビ管、土被り 2.5 m ~ 8.3 m の推進管が被災した。

表-21 推進工法管基本諸元 (嘉島町)

No.	推進工法基本諸元				施工年度
	管径 (mm)	管種	延長 (m)	土被り (m)	
1	200	VP	55	4.0 ~ 4.3	H20
2	200	VP	61	4.0 ~ 3.6	H20
3	250	HP	45	3.2 ~ 3.4	H19
4	250	HP	46	3.4 ~ 3.4	H19
5	500	HP	95	7.1 ~ 7.2	H18
6	450	HP	65	7.0 ~ 7.1	H18
7	450	HP	89	7.0 ~ 6.9	H19
8	400	HP	79	8.3 ~ 7.0	H19
9	200	VP	52	2.5 ~ 2.8	H26
10	200	VP	59	2.4 ~ 2.5	H26
11	200	VP	42	4.0 ~ 4.1	H26
12	200	VP	21	4.1 ~ 4.2	H26
13	200	VP	48	2.3 ~ 2.8	H26
14	150	VP	35	2.9 ~ 2.8	H26
15	150	VP	51	2.7 ~ 3.2	H26
16	200	VP	70	4.2 ~ 4.4	H17
17	400	HP	49	4.0 ~ 4.4	H16
18	250	HP	35	2.3 ~ 2.4	不明
19	350	HP	55	2.9 ~ 2.8	不明
20	350	HP	55	2.8 ~ 2.6	不明
21	350	HP	52	2.9 ~ 3.2	不明
22	350	HP	44	3.3 ~ 3.3	不明
23	150	VP	6	2.2 ~ 2.2	H18
24	200	VP	22	2.6 ~ 2.6	H18
25	200	VP	42	2.2 ~ 2.3	H18
26	200	VP	33	2.3 ~ 2.4	H18
27	200	VP	25	2.5 ~ 2.5	H18
28	350	HP	86	3.6 ~ 3.7	H20
29	350	HP	76	3.7 ~ 3.9	H20
30	350	HP	97	3.5 ~ 3.5	H20
31	150	VP	11	2.6 ~ 2.6	不明
32	150	VP	8	2.5 ~ 2.6	不明
33	350	HP	78	4.3 ~ 4.7	H16

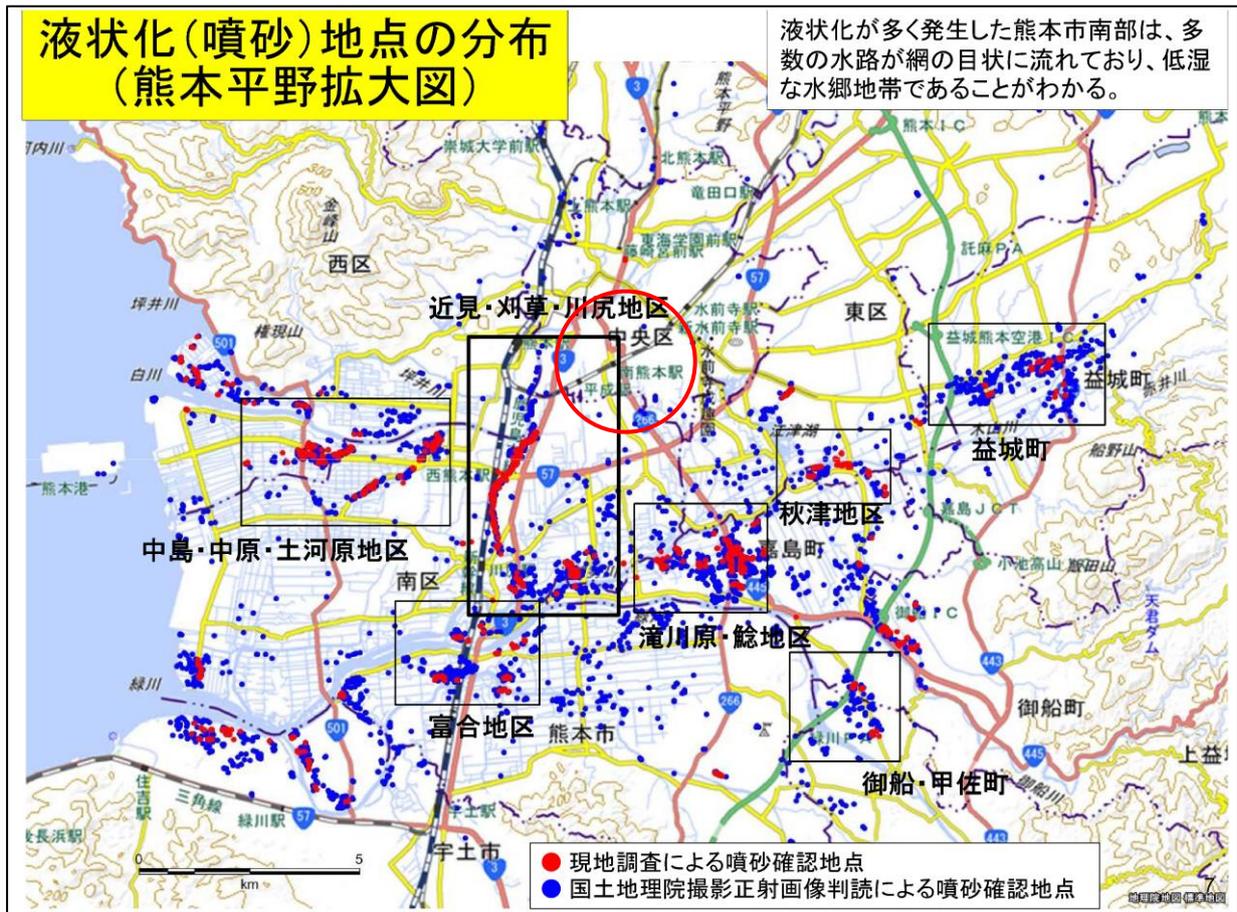
嘉島町推進区間の被災状況は、表-22 に示す通り、コンクリート管区間では管口部での円周方向クラックが多く発生し、塩ビ管区間ではたるみ被害が顕著であった。ただし、推進工法区間のいずれの被災箇所も流下機能は確保できていた。

災害査定資料および土質調査資料より、被災した推進管が布設されている土層は、比較的締まった礫混じり砂層や砂礫層であり、地下水位は高い位置にある。塩ビ管の区間で特にたるみ被害が多い路線では、熊本地震にて液状化（噴砂）が確認されている滝河原・鯉地区と合致することから、原地盤の液状化により管が浮上した可能性がある。

表-22 推進区間の被災状況（嘉島町）

No.	被災状況(箇所数)											人孔浮上量 (cm)	
	たるみ	円周方向クラック		管軸方向クラック		浸入水	変形	破損	継手 ずれ	継手 亀裂	継手 破損	上流 人孔	下流 人孔
		管口※	管中央	管口※	管中央								
1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	19
3	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	10
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	10
6	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	13
7	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4
8	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	14	9
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	5
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2
11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	6
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7
13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	10
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	9	8
17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0
20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12
21	7	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	8
22	35	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	4	10
23	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6
24	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4
25	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10
26	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7
27	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2
29	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9
31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
33	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
計	139	12	9	1	0	6	0	5	8	2	2	-	-

※管口：上流側もしくは下流側人孔から3m以内。



出典：防災科学技術研究所：平成 28 年度熊本地震液状化調査報告²⁶⁾

図-39 熊本平野部の液状化（噴砂）地点分布図

4) 東日本大震災と熊本地震の違い

熊本地震では、図-40 に示すように、管口付近にクラックが集中していた。これは、推進工法の場合、開削工事によって施工されるマンホールと推進工事で施工する管きよの境界で土質の大きな変化が生じるほか、土留めに使用される存置矢板の影響等により構造物間の地震応答が異なることから、管口に応力が集中し易くなるためと考えられた。

また、東日本大震災での推進工法の被害発生割合が 2.5%程度であるのに対し、熊本地震では 25%と約 10 倍の差があった(図-9、図-10 参照)。原因の一つとして、熊本地方特有の地質があるものと推察される。熊本地方は、数十万年前から数万年前の阿蘇山の噴火活動により堆積した軟らかい火砕流堆積物に覆われており、推進管の埋設震度の N 値は 5 以下(例えば、八代市新田)とかなり低い。一方、東日本大震災で震度 7 を観測した栗原市築館の地質は礫及び砂質土であり、N 値は 10 以上と比較的高く²⁵⁾、熊本地方の地盤性状は地震の揺れを増幅させる可能性が高いと言える。この地盤特性の差が、管口付近に大きな応力を作用させた可能性がある、また、熊本地震では震度 7 が連続したことも十分考慮されるべきと考えられる。

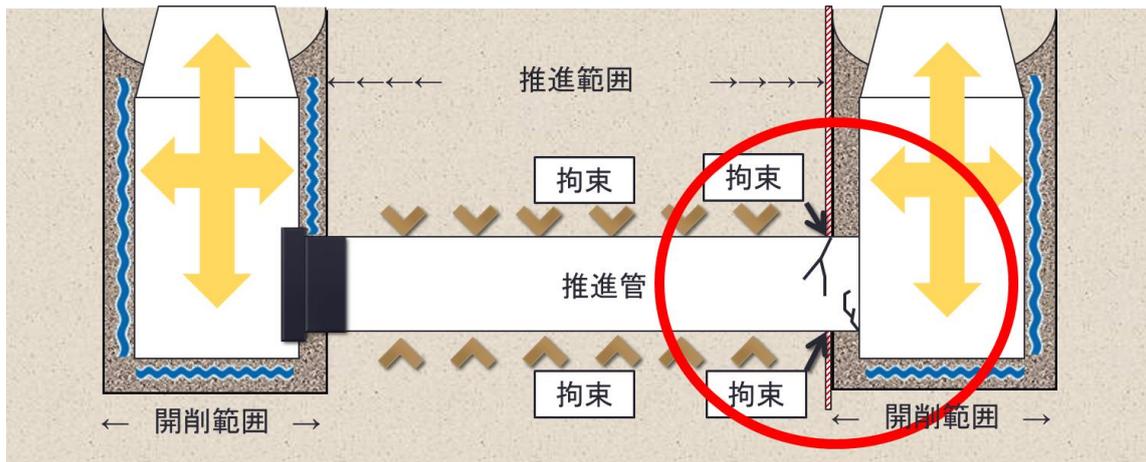


図-40 推進工法区間の被災メカニズムのイメージ

(2) 今後の対策

八代北部流域下水道、宇城市、嘉島町の推進工法区間における被災原因を踏まえて、今後の推進管に求められる対策を記載する。

① 推進管の継手ずれ等の対策

地震時の原地盤が変形したことが原因で、継手部において突込みによるひび割れやずれが生じている。今後の耐震化にあたっては、耐震指針に示される通り、地震による圧縮時の衝突に対し、クッション等による対応や、浸入水被害を避けるための差し込み長の長尺化により水密性を保持する対応が必要である。

② 推進工法の円周方向クラックへの対応

管きよの円周方向クラックの発生原因については、鏡切部に存置された矢板や空伏基礎（コンクリート基礎）が影響したことに加え、原地盤に布設する推進管と開削工事となるマンホール部とで、地震時の挙動が異なり、構造変化部で地震動の応答の違いがあったものと考えられる。

今後は、推進区間においても、マンホール接続部のひび割れ・破損・拔出しや管きよ円周方向のひび割れを防止するため、可とう継手の設置が必要である。ただし、推進立坑（ケーシング立坑）の内側から設置できる可とう継手は実績に乏しく、このような箇所での採用が望まれるとともに、今後の技術開発が望まれる。

5 まとめ

熊本地震における下水道管路施設被災の特徴と対策をまとめると、下記の通りである。

➤ 埋め戻し部の液状化対策

平成 15 年以前に布設された管路は、具体的な液状化対策工法が示されていないことから「未耐震化」と考えられ、平成 16 年以降に布設した管路より被災率は高くなる傾向にある。このため、未耐震化管路は、次の地震に備えた耐震化を進める必要がある。

一方、平成 16 年以降に布設された「耐震化済み」と考えられる管路の一部で被災が確認されている。砕石による埋め戻しを採用した路線では、路盤下まで砕石で埋め戻しを実施した箇所での被災はほぼないが、管周りのみを砕石で埋め戻した箇所での被災事例が多くあった。液状化の抑制効果を得るには、耐震指針に示される通り、地下水以浅まで砕石で埋め戻す必要があることから、今後の復旧工事等においては、耐震指針に準拠した施工が求められる。

また、液状化対策として山砂埋め戻し（締め固め度 90 %程度以上）を採用した路線では、仕様書上に液状化を抑制するために必要となる基準値の締め固め度 90%の明示がなく、施工後の締め固め度の試験の実施有無が確認できなかつたことから適切な転圧が実施されたかの判断ができなかつた。転圧不足の可能性もあり、耐震効果を確実に得るためにも適切な発注者からの締め固め管理値の指示及び試験による確認が極めて重要と考えられた。

➤ 推進工法区間での被災

推進工法区間での被災が多く確認された。多くは、管口付近のクラック等で、地震時のマンホールと管きよの応答の違い、地震時における埋戻し土と周辺地山の応答の違いが原因と推定。可とう継ぎ手の採用、マンホール部（立坑の埋め戻し部）の液状化対策についても十分な対策が必要と考えられた。

➤ 地形分類と被災の関係

治水地形分類と被災位置は一致性が高く、後背湿地、自然堤防、旧河道、盛土地に被災箇所が集中していた。被害の起きやすい条件として被害想定時に配慮するなど、耐震化計画やBCP作成の参考とすることが望ましい。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成 28 年（2016 年）熊本地震土木施設被害調査報告、国総研資料第 967 号、P6、平成 29 年 3 月
- 2) 気象庁：地震・火山月報（防災編）、平成 28 年 4 月
- 3) 気象庁：「平成 28 年（2016 年）熊本地震」について（第 42 報）、平成 28 年 8 月 31 日
- 4) 地震調査研究推進本部：平成 28 年（2016 年）熊本地震の評価（平成 28 年 5 月 13 日公表）
- 5) 国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net)：
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>、2016/12/14 閲覧
- 6) 国立国会図書館：平成 28 年（2016 年）熊本地震の概況、平成 28 年 5 月 26 日
- 7) 下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、平成 24 年 3 月
- 8) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説—2014 年版—、平成 26 年 5 月
- 9) 国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成 28 年熊本地震について～土木施設災害調査報告～、九州技報、第 60 号、2017.03
- 10) 日本下水道協会：平成 26 年度版下水道統計、第 71 号、2016.10
- 11) 国土交通省下水道部：平成 27 年度末の汚水処理人口普及状況について、【参考 3】市町村別汚水処理人口普及率一覧、報道発表資料、平成 28 年 9 月 5 日
- 12) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/common/001176117.pdf>、平成 29 年 3 月 14 日
- 13) 気象庁ホームページ：震度データベース検索（地方公共団体震度計の波形データ）、
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index2.html、2016/12/14 閲覧
- 14) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説—1997 年版—、平成 9 年
- 15) 下水道地震対策技術検討委員会：下水道地震対策技術検討委員会報告書、平成 17 年 8 月
- 16) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説—2009 年版—、平成 18 年 8 月
- 17) 国土地理院：地理院地図識別標高図を加工編集
- 18) 国土交通省国土情報課：地下水見える化調査図（熊本地区—地質水理図面）
- 19) 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、平成 11 年 1 月
- 20) 日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル 2014 年版、平成 26 年 8 月
- 21) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
- 22) 国土交通省国土情報課ホームページ：土地分類基本調査図、
http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/1_national_map_5-1.html、2017/9/7 入手
- 23) 国土地理院ホームページ：治水地形分類図、http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html、2017/9/7 入手
- 24) 日本下水道協会：下水道協会規格（JSWAS K-13 2003）、平成 15 年 8 月
- 25) 下水道地震対策技術検討委員会：下水道地震対策技術検討委員会報告書、平成 20 年 10 月
- 26) 防災科学技術研究所：平成 28 年度熊本地震液状化調査報告（<http://www.bosai.go.jp/>）

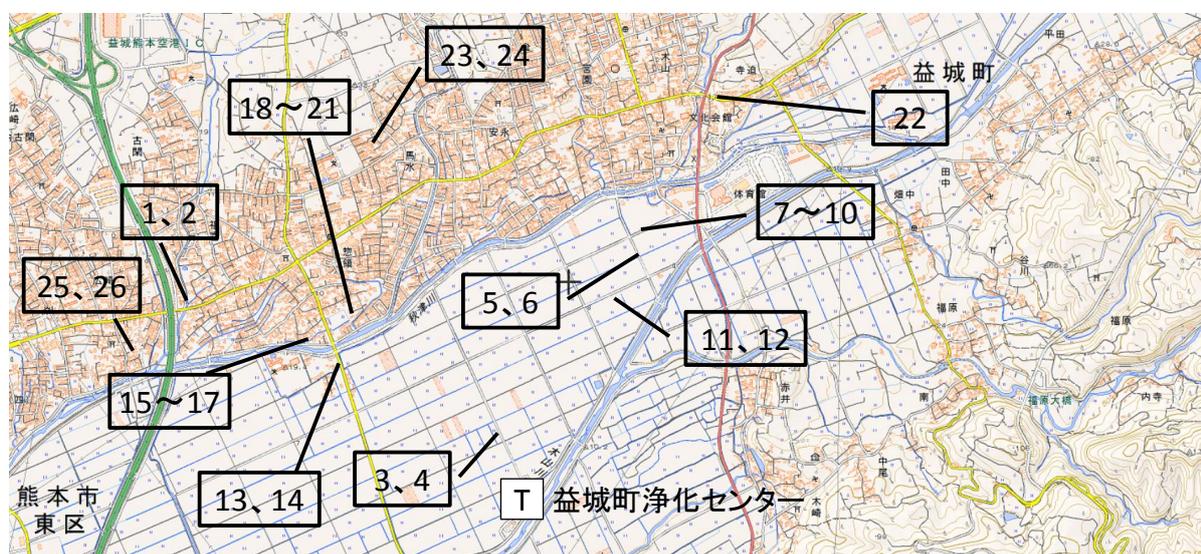
付録 1：熊本地震写真集

平成 28 年 4 月 14 日の前震から 4 月 16 日の本震による下水道施設の被害状況や国総研職員の現地での活動状況など、国総研職員が記録した写真の一部を掲載する。

写真のキャプションには、撮影場所（施設名）と撮影日を記し、写真撮影の大まかな場所は地図上（吹き出し内の番号と写真番号が対）にも示す。付録 1 の巻末には、各写真の簡単な説明を追記した。

【震度 7：益城町】

<管路施設>



地理院地図(電子国土Web)



写真 1：益城町齒科前（4 月 15 日）



写真 2：益城町齒科前（4 月 16 日）



写真 3 : 益城町流入幹線 (4月15日)



写真 4 : 益城町流入幹線 (4月15日)



写真 5 : 益城町東部幹線 (4月16日)



写真 6 : 益城町東部汚水幹線 (4月16日)



写真 7 : 益城町町民グラウンド裏 (4月16日)



写真 8 : 益城町町民グラウンド裏 (4月16日)



写真 9 : 益城町町民グラウンド裏 (5月13日)



写真 10 : 益城町町民グラウンド裏 (5月13日)



写真 11 : 益城町東部污水管線 (4月17日)



写真 12 : 益城町東部污水管線 (4月17日)



写真 13 : 益城町惣領付近 (4月17日)



写真 14 : 益城町惣領付近 (4月17日)



写真 15 : 益城町惣領付近秋津川右岸 (4月17日)



写真 16 : 益城町惣領付近秋津川右岸 (4月17日)



写真 17 : 益城町惣領付近秋津川右岸 (4月17日)



写真 18 : 益城町惣領付近秋津川右岸 (4月17日)



写真 19 : 益城町県道 235 号惣領 (4月17日)



写真 20 : 益城町惣領秋津川橋上流側右岸
(4月17日)



写真 21 : 益城町惣領秋津川橋上流側右岸
(4月17日)



写真 22 : 益城町寺迫交差点付近 (4月17日)



写真 23 : 益城町馬水 (5月11日)



写真 24 : 益城町馬水 (5月11日)



写真 25 : 益城町広崎 (5月11日)



写真 26 : 益城町広崎 (5月11日)

<益城町浄化センター>



写真 27 : 益城町浄化センター管理棟 (4月15日)



写真 28 : 益城町浄化センターホッパー室入口
(4月15日)



写真 29 : 益城町浄化センター場内 (4月15日)



写真 30 : 益城町浄化センター場内 (4月15日)



写真 31 : 益城町浄化センター場内 (4月16日)



写真 32 : 益城町浄化センター場内 (4月16日)



写真 33 : 益城町浄化センター反応槽 EXP. Jズレ
(4月16日)



写真 34 : 益城町浄化センター水処理棟
EXP. Jズレ (4月16日)



写真 35 : 益城町浄化センター反応槽 EXP. Jズレ
(4月16日)

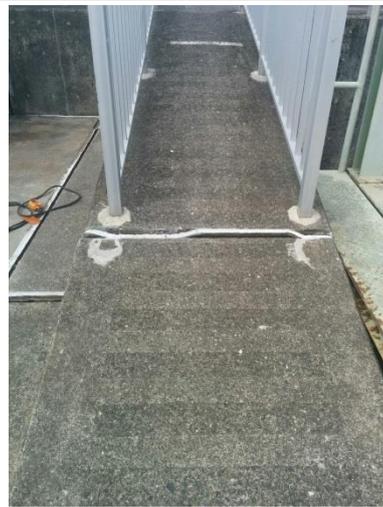


写真 36 : 益城町浄化センター反応槽 EXP. Jズレ
(4月16日)



写真 37 : 城町浄化センター管廊浸水 (4 月 16 日)



写真 38 : 益城町浄化センター反応槽 (4 月 17 日)



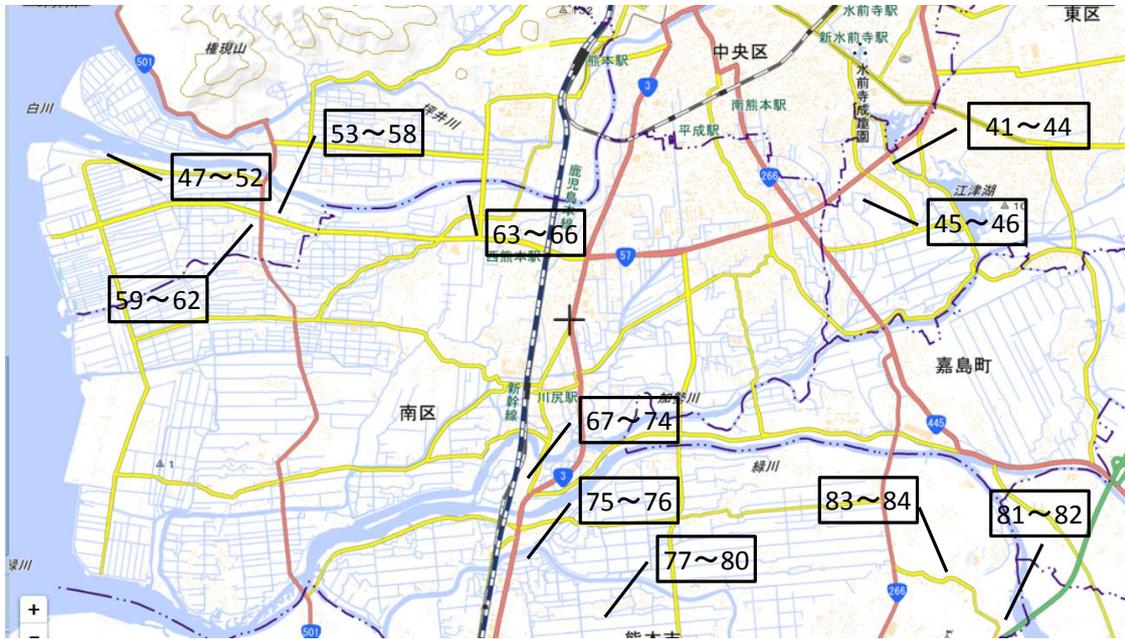
写真 39 : 益城町浄化センター最初沈殿池
(4 月 17 日)



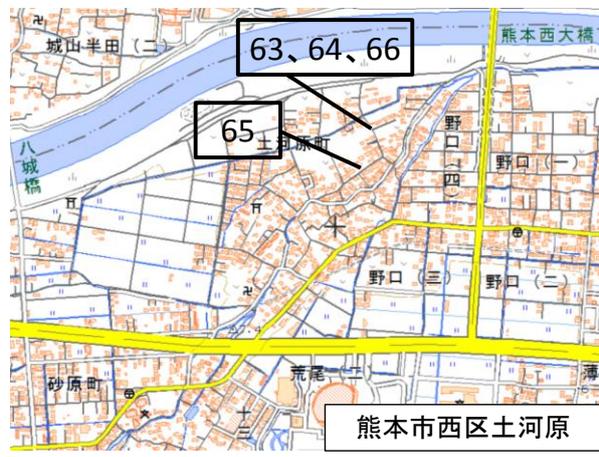
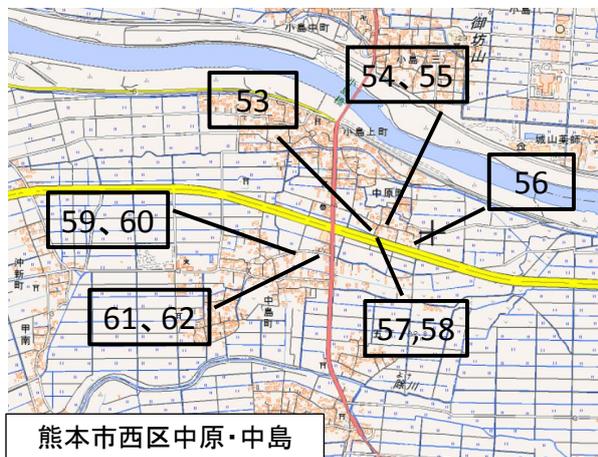
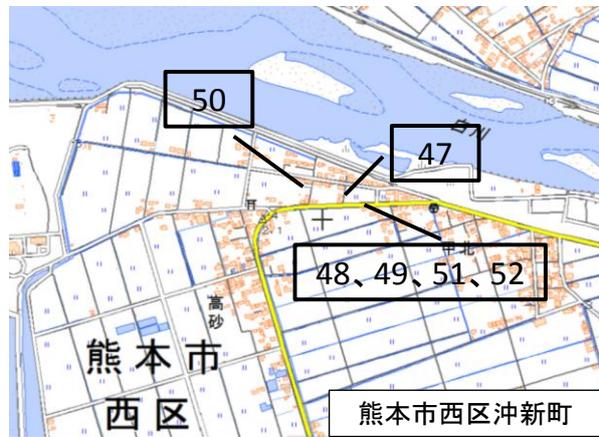
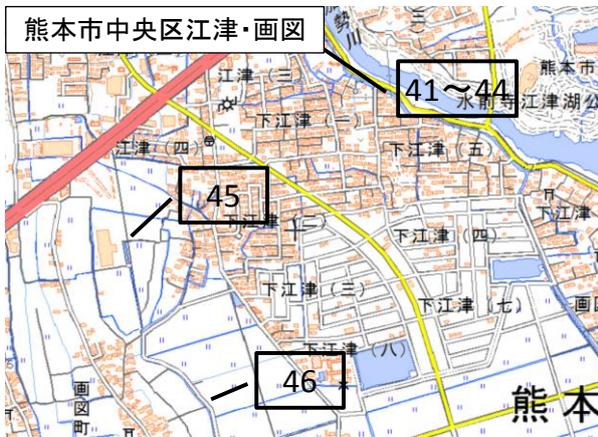
写真 40 : 益城町浄化センター最初沈殿池
(4 月 17 日)

【震度6強：熊本市、嘉島町】

<熊本市>



地理院地図(電子国土Web)



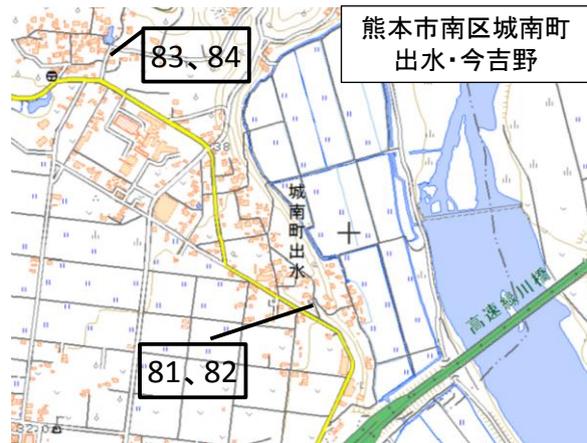
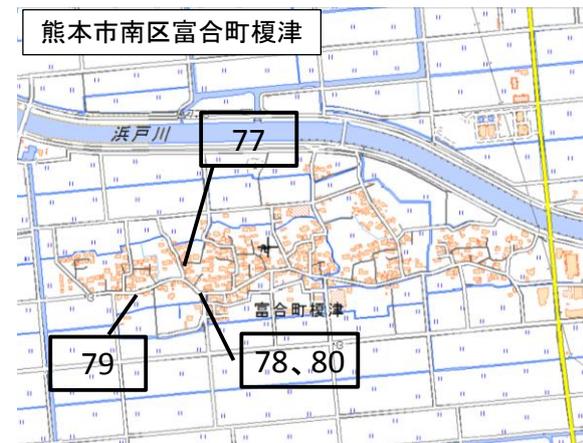
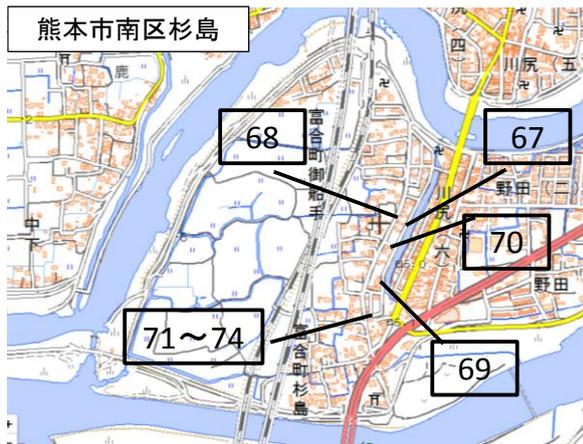


写真 41 : 熊本市中央区江津 (5月11日)



写真 42 : 中央区江津 (5月11日)



写真 43 : 熊本市中央区江津 (5月11日)



写真 44 : 熊本市中央区江津 (5月11日)



写真 45 : 熊本市中央区画図 (5月12日)



写真 46 : 熊本市中央区画図 (5月12日)



写真 47 : 熊本市西区冲新町 (5月12日)



写真 48 : 熊本市西区冲新町 (5月12日)



写真 49 : 熊本市西区沖新町 (5月12日)



写真 50 : 熊本市西区沖新町 (5月12日)



写真 51 : 熊本市西区沖新町 (5月12日)



写真 52 : 熊本市西区沖新町 (5月12日)

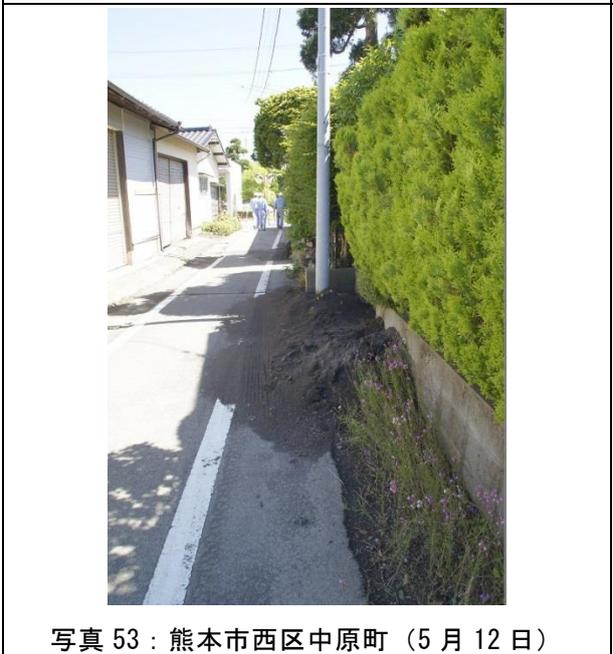


写真 53 : 熊本市西区中原町 (5月12日)



写真 54 : 熊本市西区中原町 (5月12日)



写真 55 : 熊本市西区中原町 (5 月 12 日)



写真 56 : 熊本市西区中原町 (5 月 12 日)



写真 57 : 熊本市西区中原町 (5 月 12 日)



写真 58 : 熊本市西区中原町 (5 月 12 日)



写真 59 : 熊本市西区中島町 (5 月 12 日)



写真 60 : 熊本市西区中島町 (5 月 12 日)



写真 61 : 熊本市西区中島町 (5月12日)



写真 62 : 熊本市西区中島町 (5月12日)



写真 63 : 熊本市西区土河原町 (5月12日)



写真 64 : 熊本市西区土河原町 (5月12日)



写真 65 : 熊本市西区土河原町 (5月12日)



写真 66 : 熊本市西区土河原町 (5月12日)



写真 67 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 68 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 69 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 70 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 71 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 72 : 熊本市南区杉島町 (5 月 12 日)



写真 73 : 熊本市南区杉島町 (5月12日)



写真 74 : 熊本市南区杉島町 (5月12日)



写真 75 : 熊本市南区富合町廻江 (5月12日)



写真 76 : 熊本市南区富合町廻江 (5月12日)



写真 77 : 熊本市南区富合町榎津 (5月12日)



写真 78 : 熊本市南区富合町榎津 (5月12日)



写真 79 : 熊本市南区富合町榎津 (5月12日)



写真 80 : 熊本市南区富合町榎津 (5月12日)



写真 81 : 熊本市南区城南町出水 (5月12日)



写真 82 : 熊本市南区城南町出水 (5月12日)



写真 83 : 熊本市南区城南町今吉野 (5月12日)



写真 84 : 熊本市南区城南町今吉野 (5月12日)

<嘉島町>

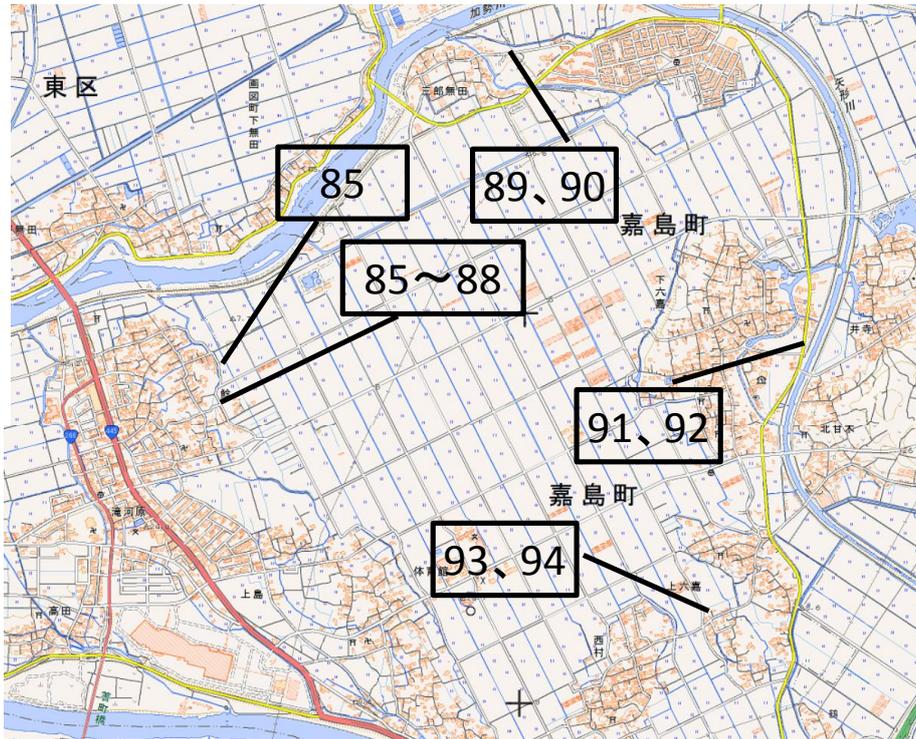


写真 85 : 嘉島町鯨 (5月13日)



写真 86 : 嘉島町鯨 (5月13日)



写真 87 : 嘉島町鯨 (5月13日)



写真 88 : 嘉島町鯨 (5月13日)



写真 89 : 嘉島町下六嘉 (5月13日)



写真 90 : 嘉島町下六嘉 (5月13日)



写真 91 : 嘉島町六嘉 (5月13日)



写真 92 : 嘉島町六嘉 (5月13日)



写真 93 : 嘉島町上六嘉 (5月13日)



写真 94 : 嘉島町上六嘉 (5月13日)

【写真の説明】

<益城町>

- 写真 1：前震後に益城町歯科前で撮影。マンホール周辺の路面沈下。
- 写真 2：写真 1 の箇所を本震後に撮影。本震により被害が拡大。
- 写真 3：前震後の益城町浄化センター流入幹線マンホール。周辺部が沈下。
- 写真 4：前震後の益城町浄化センター流入幹線直上部の路面陥没。道路全体が沈下。
- 写真 5：本震後の益城町東部幹線を撮影。開削工事区間の埋め戻し部が沈下。土被りが深い
ため、陥没の規模も大きい。
- 写真 6：本震後の益城町東部汚水幹線マンホール損傷。だるま落としのように、受け枠、
調整リングが外れてずれている。陥没部に溜まっている水は地下水と思われる。
- 写真 7：本震後の益城町町民グラウンド裏を撮影。開削工事区間の埋め戻し部が沈下。マン
ホールは地震前の高さを維持。
- 写真 8：本震後の益城町町民グラウンド裏を撮影。開削工事区間（土被り浅い）の埋め戻し
部が沈下。
- 写真 9：本震一ヶ月後の益城町町民グラウンド裏の路面陥没（写真 7、写真 8 と同じ箇所）。
- 写真 10：本震一ヶ月後の益城町町民グラウンド裏の路面陥没。マンホールは震災前の高さを
維持
- 写真 11：本震後の益城町東部汚水幹線（推進工事区間）を撮影。液状化による電柱の傾き
が確認できる。推進立坑（カラーコーン）がことごとく被災。
- 写真 12：本震後の益城町東部汚水幹線（推進工事区間）の立坑（マンホール）を撮影。周
辺部が大きく陥没。
- 写真 13：本震後の益城町惣領（県道 235 号に架かる橋梁の左岸側）で液状化の痕跡。
- 写真 14：本震後の、写真 13 に近接するマンホールを撮影。マンホール周辺部が沈下。
- 写真 15：本震後の益城町惣領秋津川右岸の堤防道路上で撮影。側方流動が原因と考えられ
る地面の段差、側溝の沈下が見られる。
- 写真 16：本震後の益城町惣領秋津川右岸の堤防道路上で撮影。側方流動が原因と考えられ
る道路の亀裂。
- 写真 17：本震後の益城町惣領付近秋津川右岸の家屋倒壊。マンホール等の異常は少ない。
- 写真 18：本震後の益城町惣領付近秋津川右岸の家屋倒壊。マンホール等の異常は少ない。
- 写真 19：本震後の益城町惣領の県道 235 号沿いで撮影。家屋倒壊はあるが、汚水マスに異
常はない。
- 写真 20：本震後の益城町惣領秋津川橋上流側右岸の集落内を撮影。家屋倒壊の激しいエリ
アに位置し、下水道管路埋め戻し部の陥没が見られる。
- 写真 21：写真 20 と同箇所を撮影。塩ビマスの傾斜が見られる。
- 写真 22：本震後の益城町寺迫交差点付近を撮影。家屋倒壊の激しいエリアで、道路に大き
な亀裂等が見られるも、マンホールは震災前と大きな変化なし。
- 写真 23：本震一ヶ月後の益城町馬水の新興住宅地で撮影。耐震化済み路線と見られ、流下
能力、構造上の異常はなし。

- 写真 24 : 写真 23 と同箇所。道路等に異常なし。
- 写真 25 : 本震一ヶ月後の益城町広崎で撮影。この一角は、比較的最近整備された区画であり、電柱の傾斜が見られるも、マンホール等の異常はなし。
- 写真 26 : 本震一ヶ月後の益城町広崎で撮影。写真 25 の箇所に隣接するも、下水道管路は未耐震のため、路面陥没が発生（写真は仮復旧後）。
- 写真 27 : 前震後の益城町浄化センター管理棟非常口を撮影。地盤沈下による段差。
- 写真 28 : 前震後の益城町浄化センター汚泥ホッパー室入口を撮影。地盤沈下による段差。
- 写真 29 : 前震後の益城町浄化センターの場内で液状化の痕跡。
- 写真 30 : 前震後の益城町浄化センターの場内で液状化の痕跡
- 写真 31 : 本震後の益城町浄化センターの場内で液状化の痕跡。本震で再液状化か。
- 写真 32 : 本震後の益城町浄化センターの場内の段差。
- 写真 33 : 本震後に発生した益城町浄化センター反応槽のエキスパンションジョイント（EXP. J）ズレ。
- 写真 34 : 本震後に発生した益城町浄化センター水処理棟の EXP. J ズレ。
- 写真 35 : 本震後に発生した益城町浄化センター反応槽の EXP. J ズレ。
- 写真 36 : 本震後に発生した益城町浄化センター反応槽の EXP. J ズレ。
- 写真 37 : 本震後に発生した益城町浄化センター反応槽の EXP. J ズレにより、汚水の湛水機能が低下し、地下の管廊に汚水が流出し浸水。
- 写真 38 : 本震後の益城町浄化センター反応槽。処理機能停止のため、汚水はない。写真上中央から下方向に、EXP. J のズレが確認できる。
- 写真 39 : 本震後の益城町浄化センター最初沈殿池を撮影。汚泥掻き寄せ機が損傷し、チェーンが脱落。
- 写真 40 : 本震後の益城町浄化センター最初沈殿池を撮影。汚泥掻き寄せ機が損傷し、チェーンが脱落。

<熊本市>

- 写真 41 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区江津の調査風景。
- 写真 42 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区江津のマンホール内を撮影。若干の滞水。
- 写真 43 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区江津のマンホール高さを調査。
- 写真 44 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区江津のマンホール内を撮影。若干の滞水。
- 写真 45 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区画図の路面陥没。
- 写真 46 : 本震一ヶ月後の熊本市中央区画図のマンホールを撮影。若干の浮上を確認。
- 写真 47 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町のマンホールを撮影。若干の変位を確認。
- 写真 48 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町で撮影。支援部隊と情報交換。
- 写真 49 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町で撮影。若干のマンホール浮上を確認。
- 写真 50 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町で撮影。側方流動の影響か、水路の幅が狭まり、既設のバルブが破損。
- 写真 51 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町で撮影。若干のマンホール浮上を確認。
- 写真 52 : 本震一ヶ月後の熊本市西区沖新町で撮影。道路と住宅地の境界で、噴砂跡を確認。

写真 53 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町で見られた激しい液状化痕跡。

写真 54 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町内の路面状況を撮影。仮復旧跡が見られる。

写真 55 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町で見られた激しい液状化痕跡。

写真 56 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町の路面陥没。施工年度が古く、未耐震化路線と考えられる。

写真 57 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町のマンホール内を撮影。内副管が破損。

写真 58 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中原町のマンホール内を撮影。目地が破損。

写真 59 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中島町の液状化の痕跡。

写真 60 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中島町のマンホールを撮影。施工年度が新しく耐震化されており、被害なし。

写真 61 : 本震一ヶ月後の熊本市西区中島町で液状化による電柱の傾斜。

写真 62 : 写真 61 付近の路面を撮影。若干の路面陥没が見られる。

写真 63 : 本震一ヶ月後の熊本市西区土河原町を撮影。電柱の傾斜が見られる。

写真 64 : 写真 63 付近のマンホール内を撮影。下流側閉塞により、流下能力が大きく低下。

写真 65 : 本震一ヶ月後の熊本市西区土河原町の路面状況を撮影。大きな異常はなし。

写真 66 : 写真 65 のマンホール内を撮影、若干の滞水がある。

写真 67 : 本震一ヶ月後の熊本市南区杉島町の液状化痕跡。

写真 68 : 本震一ヶ月後の熊本市南区杉島町の路面状況を撮影。側方流動によると見られる（写真右側に大きな水路あり）、路面の亀裂が発生。マンホールに異常はなし。

写真 69 : 本震一ヶ月後の熊本市南区杉島町の液状化痕跡。

写真 70 : 本震一ヶ月後の熊本市南区杉島町の側方流動による擁壁のズレ。

写真 71 : 本震一ヶ月後の熊本市南区杉島町のマンホール周辺を撮影。マンホールを中心に亀裂が放射状に広がる。

写真 72 : 写真 71 のマンホールは受け枠が舗装とともに水平に移動。

写真 73 : 写真 71 に近接するレジンマンホールを撮影。

写真 74 : 写真 73 のレジンマンホール内部を撮影。レジンマンホールの継ぎ目に装着している塩ビカラーが破損。

写真 75 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町廻江の路面状況を撮影。埋め戻し部が若干陥没。

写真 76 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町廻江の路面状況を撮影。補修跡から、縦断的な路面陥没があったものと推察される。

写真 77 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町榎津の路面状況を撮影。補修跡から、縦断的な路面陥没があったものと推察される。

写真 78 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町榎津の路面状況を撮影。補修跡から、縦断的な路面陥没があったものと推察される。

写真 79 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町榎津の陥没跡。

写真 80 : 本震一ヶ月後の熊本市南区富合町榎津の路面状況を撮影。補修跡から、縦断的な路面陥没があったものと推察される。

写真 81 : 本震一ヶ月後の熊本市南区城南町出水の路面状況を撮影。路面が若干陥没。

写真 82 : 本震一ヶ月後の熊本市南区城南町出水の路面状況を撮影。路面が若干陥没。

写真 83 : 本震一ヶ月後の熊本市南区城南町今吉野の路面状況を撮影。路面が若干陥没。

写真 84 : 本震一ヶ月後の熊本市南区城南町今吉野路面状況を撮影。マンホール周囲に路面の亀裂を確認。

< 嘉島町 >

写真 85 : 本震一ヶ月後の嘉島町鯉のマンホール浮上（10 cm程度）状況。

写真 86 : 本震一ヶ月後の嘉島町鯉のマンホール浮上（10 cm程度）状況。

写真 87 : 本震一ヶ月後の嘉島町鯉のマンホール周辺の舗装クラック状況。

写真 88 : 本震一ヶ月後の嘉島町鯉のマンホール浮上（10 cm程度）状況。

写真 89 : 本震一ヶ月後の嘉島町下六嘉の路面状況を撮影。開削工事区間の埋め戻し部分が縦断的に陥没。

写真 90 : 本震一ヶ月後の嘉島町下六嘉の路面状況を撮影。開削工事区間の埋め戻し部分が縦断的に陥没。

写真 91 : 本震一ヶ月後の嘉島町六嘉の歩道路面状況。若干の路面陥没を確認。

写真 92 : 写真 91 近傍のマンホールを撮影。路面に亀裂有るも、マンホールに異常なし。

写真 93 : 本震一ヶ月後の嘉島町上六嘉の路面状況を撮影。開削工事区間の埋め戻し部分が縦断的に陥没。

写真 94 : 本震一ヶ月後の嘉島町上六嘉の路面状況を撮影。開削工事区間の埋め戻し部分が縦断的に陥没。

付録 2：熊本地震での国総研下水道研究部の災害活動記録

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃、熊本県熊本地方を震源とする震度 7（以下、「前震」）の地震が発生し、翌々日の 4 月 16 日 1 時 26 分頃には再度震度 7（以下、「本震」）の地震が発生した。

国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部（以下、「国総研」）は、前震翌日の 4 月 15 日に被害状況確認のために職員 2 名（内田下水道機能復旧研究官、深谷主任研究官）を現地に派遣し、本震を経て 4 月 18 日まで甚大な家屋倒壊被害が生じた益城町を中心とし現地調査を行った。

また、地震発生から約 1 ヶ月後の 5 月 11 ～ 13 日には、熊本地震で被災した管路施設の本復旧方法及び耐震設計基準の見直しの必要性判断の一助とするため、国総研職員 4 名（横田下水道研究室長、深谷主任研究官、宮本研究官、竹内交流研究員）を現地に派遣し、耐震化済み管路施設の被災状況調査を実施した。

以下に、熊本地震における国総研職員の災害活動を記録として残す。

前震（平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃）

21:30、熊本地方で震度 7 の地震発生の一報を受け、国総研所内に残っていた職員を中心に情報の収集にあたる。

震度の大きかった熊本県内の処理場位置、自治体毎の下水道管路延長、下水道普及率の情報を既存の資料*から抽出し、地震情報（マグニチュード、最大震度、震央、震源深さ、最大加速度）とともに、ホワイトボードへ記載する等、情報の収集整理を実施した。

※既存資料

- 処理場位置等：下水処理場ガイド（公共投資ジャーナル）
- 管路施設延長：国総研所有の管きょ布設延長データベース
- 下水道普及率：本省下水道部HP、下水道協会HP、下水道統計など
- 地震情報：TV報道、気象庁HP、防災科学技術研究所HP（K-net）

21:45 に下水道研究部長を筆頭とする下水道研究部震災対応体制を構築した。同時に、地震の規模より、現地派遣の可能性が高いと判断し、派遣に必要な備品準備を実施するほか、九州に設置している B-DASH 実証プラントの安全確認を研究体に依頼した。

22:30、本省下水道部より、現地への職員派遣の準備をするよう指示が入り、派遣職員の設定に入る。

23:00 に第 1 回国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。主として TV 等からの情報に基づき各分野の被害状況を報告した（下水道からの被害報告はなし）。

4 月 15 日 00:00 、現地派遣の現地第一班として、内田下水道機能復旧研究官と深谷主任研究官を選定した。

00:50 、第 2 回国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。TV や ETC 2.0（グーグルマップの ETC 版）等からの情報、九州地方整備局からの情報に基づき各分野の被害状況が報告された。下水道からは内田・深谷両名を現地第一班として派遣する旨を報告。下水道被災状況については報告なし。

01:00 、職員 2 名を所内待機として、他職員は一旦解散。02:00 に所内待機を解除した。

夜間のため施設の被災情報は遅延気味であり、翌日 2 時頃から、本省下水道部より断片的に情報（メール）が入る状況であった。本省からの情報は、その都度、研究部関係者にメールにて情報共有された。

【 4 月 15 日 AM 02:17 時点の施設の被災情報】

< 処理施設 >

○熊本県 益城町 益城町浄化センター

停電(非常用発電も停止)によりセンター機能停止。←故障かどうか調査中

○熊本県 嘉島町 嘉島浄化センター

停電(予備発なし)によりセンター機能停止。←発電機準備中

※その他のセンターは稼働中

< 管渠・マンホール >

○熊本県 熊本市

マンホールの隆起 1 箇所、マンホールからの溢れ 1 箇所

○熊本県 益城町

マンホールポンプ : 機能停止箇所あり←箇所数確認中

現地第一班派遣（平成 28 年 4 月 15 日）

現地第一班（内田、深谷）が、TX つくば駅を 05:00 頃出発し、東京駅 06:30 発の新幹線で九州地方整備局（博多）に向かった。

07:54 、本省より 05:30 時点の被害状況報告があり、関係者に情報共有された。

< 処理施設 >

○益城町浄化センター（熊本県益城町）

被害状況：停電(非常用発電機運転中)

対応状況：処理機能は問題なし。非常用発電機の重油残量が少なく、現在重油確保の対応中。（AM 9:00 までは持つ見込み）

○嘉島浄化センター（熊本県嘉島町）

被害状況：停電(非常用発電機なし)

対応状況：処理機能停止中(発電機準備中)

<管渠・マンホール>

○熊本市

- ・液状化によるマンホールの隆起 2 箇所、マンホール周辺の陥没 2 箇所、うち 1 箇所で陥没による車両損傷(けが人なし)
- ・マンホールポンプ：274 箇所中、164 箇所巡回確認済み(異常なし)
- ・緊急輸送路及び拠点病院から浄化センターまでの管渠点検中。全体の約 50 %確認終了(異常なし)

○益城町

- ・マンホールポンプ：約 50 箇所のマンホールポンプ機能停止。夜明けとともに可搬式発電機にて復旧予定。
- ・管路施設：液状化によるマンホールの隆起、マンホール周辺の陥没が見つまっているが、箇所数は不明。

○嘉島町

- ・マンホールポンプ：15 箇所のマンホールポンプ機能停止。夜明けとともに可搬式発電機にて復旧予定。
- ・管路施設：液状化によるマンホールの隆起が見つまっているが、交通に支障があるなどの報告はなし。箇所数は不明。

08:15、現地での交通手段(車)について、本省から九州地方整備局宛に、公用車の要請をするも車両不足のため調達できない旨の連絡が入る。このため、レンタカーの手配を九州地方整備局に依頼し、了解を得る。

09:00、第 3 回国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。各分野の被害状況を報告(河川やダム等の所管施設の点検状況、道路通行止め等の情報など)。下水道からは本省被災情報第 3 報および B-DASH 施設点検状況について報告した。

10:00、本省からの災害情報提供(第 4 報)あり。

11:04、下水道研究部内にて情報の共有及び今後の対応に関する打ち合わせを実施し、B-DASH 実証プラントの継続監視、第 2 班の職員派遣の是非、土木研究所との連携、週末の体制(各研究室 1 名ずつ待機(現地支援と本省連絡等))について確認した。

11:17、本省から 10:00 時点の災害情報提供あり。

<処理施設>

○益城町浄化センター(熊本県益城町)

被害状況：停電(非常用発電機運転中)

対応状況：現在非常用発電機にて稼働中

○嘉島浄化センター(熊本県嘉島町)

被害状況：停電(非常用発電機なし)

対応状況：電力回復、正常運転。

<管渠・マンホール>

○熊本市

- ・液状化によるマンホールの隆起 6 箇所、マンホールの沈下 1 箇所、マンホール周辺の路面の陥没 2 箇所、うち 1 箇所で陥没による車両損傷（けが人なし）
- ・マンホールポンプ：274 箇所中、260 箇所巡回確認済み（異常なし）
- ・緊急輸送路及び拠点病院から浄化センターまでの管渠点検完了（異常なし）
- ・中継ポンプ場：36 箇所 / 36 箇所、稼働中。ただし、建屋については未点検。

○益城町

- ・マンホールポンプ：約 50 箇所のマンホールポンプを可搬式発電機にて順次稼働中。
- ・管路施設：1 m 近くマンホールが沈下（現在 2 か所）。主要地方道（熊本高森線）に影響あり。現在片側通行中。
- ・中継ポンプ場：該当なし

○嘉島町

- ・マンホールポンプ：15 箇所のマンホールポンプを可搬式発電機にて運転中
- ・管路施設：液状化によるマンホールの隆起が見ついているが、交通に支障があるなどの報告はなし。箇所数は不明。
- ・中継ポンプ場：2 箇所 / 2 箇所、電力復旧。正常運転

※その他の市町村等の管きょ・ポンプ場については状況確認中。

11:50、現地第一班が九州地方整備局に到着し、12:30 にレンタカーで熊本県庁へ向け出発した。途中、九州自動車道植木 IC より先が通行止めとなっていたが、緊急車両扱いで通過。

13:56、本省より災害情報（第 5 報）提供あり。

14:20、現地第一班が熊本県庁に到着し、被害状況等に関する打ち合わせを実施した。

14:52、現地第一班が、被害の大きい益城町に向けて熊本県庁を出発した。

15:00、第 4 回国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。各分野の被害状況が報告され、下水道からは最新の被害情報と、B-DASH 施設点検状況、今後の対応方針を報告した。

15:45、現地第一班が益城町エリアに入り、周辺状況を確認しながら益城町浄化センターに向かった。16:15 に浄化センターに到着後、処理場内及び市街地等の被害状況を確認した（付録写真-1、2）。



付録写真－1 益城町浄化センター前の幹線管渠上の路面状況
(写真奥が浄化センター)



付録写真－2 益城町浄化センター内の被災状況を確認
(手前：内田下水道機能復旧研究官)

16:40、下水道研究部内にて情報の共有及び今後の対応に関する打ち合わせを実施し、第2班の職員派遣の是非、土日の所内本部会議に向けた資料準備について確認した。

17:48、本省・国総研の夜間・休日地震対応体制を確認した。また、4月17日は雨予報のため、降雨による溢水等の影響がないかを確認するため、現地第一班の現地滞在を4月18日までとすべく調整し、決定。

18:15、現地第一班、日没のため現地調査終了。

20:20、現地第一班より、調査報告書(日報)が提出される。

20:30、下水道研究部内にて翌日の体制等の最終確認が行われた。

本震発生(4月16日1時25分頃)

01:25に熊本地方を震源とする最大震度6強(M7.1)の地震が発生した。熊本県庁前のホテルに宿泊中であった現地第一班2名は、ホテルの指示に従い駐車場に避難した。

02:00、本省の指示により、現地第一班は熊本県庁に移動し、情報収集を開始した。

03:40、本省の災害情報(本震・第1報)の報告あり。

05:51、本省の災害情報（第 2 報）の報告あり。

06:00、国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。本省災害対策会議の状況を TV モニタにて確認した後、各分野の被害状況が報告された。下水道からは、現地第一班の現調査報告書を配布、報告した。

08:00、下水道研究部内にて情報の共有及び今後の対応について打合せを行い、次回本部員会合（16 日 14:00）に合わせた現地状況の報告要請、B-DASH 実証プラントの再点検の要請等について確認した。

09:43、本省の災害情報（第 3 報）の報告あり。

09:50、益城町浄化センター反応タンクのエキスパンションジョイントからの漏水により湛水能力なくなり、管廊が 80 cm 浸水（汚水）し水処理機能が停止しているとの報告に対して、現地第一班より、マンホールからの溢水がないように、バキューム車の手配及び運搬先の確保、空の初沈もしくは素掘り等による仮沈殿池の設置及び緊急放流の準備を早急に実施することを熊本県に進言。

11:00、現地第一班の宿泊先ホテルが被災したため、下水道研究部の支援班が、新たな宿泊先（八代市のホテル）を手配した。

11:30、14:00 開始予定の国総研所内本部会議に向け、本省からの地震対応報告最新版、現地調査報告最新版、現地調査報告（4 月 15 日分）、B-DASH 施設状況報告の資料を準備した。

13:00、現地第一班が益城町浄化センターへ移動し、水処理機能停止の対応方法について下水道事業団等とともに協議した。また、幹線管渠の被害状況を目視確認し（付録写真-3）、溢水等がないことを確認した。浄化センターについても被害状況を確認した（付録写真-4）。ただし、翌日以降予想されている雨天時の状況については、改めて確認する必要があるとの報告。



付録写真-3 開削工法埋め戻し部の陥没（益城町）



付録写真-4 益城町浄化センターの管廊の浸水状況

13:00、本省より災害情報（第 4 報）の報告あり。

14:00、国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長と岡本下水道研究官が出席した。本省災害対策会議の状況を TV モニタにて確認した後、各分野の被害状況を報告し、下水道研究部からは、本省取りまとめの災害情報、現地第一班の最新状況（4 月 16 日 13:00 現在）、現地第一班の調査報告（4 月 15 日分）、B-DASH 施設の状況を報告した。

17:53、現地第一班より提出のあった、益城町の施設被害状況の調査結果をとりまとめた調査報告書を本省下水道部、国総研企画課・下水道研究部に情報共有した。

本震翌日（4 月 17 日）

05:00、本省より災害情報（第 6 報）の報告あり。

07:20 に現地第一班がホテルを出発し、09:15 に熊本県庁到着。最新の状況を熊本県庁からヒアリングした。

09:30、本省より災害情報（第 6 報）の報告あり。

10:00、国総研所内災害対策本部員会議が開催され、榊原下水道研究部長が出席した。本省災害対策会議の状況を TV モニタにて確認した後、各分野の被害状況を報告した。下水道からは、本省災害情報第 6 報（4 月 17 日 5:00 時点）、現地第一班調査報告書（4 月 16 日版）、B-DASH 再度点検状況を報告した。

11:00、現地第一班は、断層被害の生じた阿蘇市の調査を検討するも、道路事情悪化（国道 57 号通行止め等）のため断念し、前日の降雨後の状況を確認するために益城町の状況を実施した。

12:50、現地第一班が益城町に到着し、家屋倒壊の激しい国道沿い及び液状化被害のあった秋津川沿いを中心に管路施設被害の状況を確認した（付録写真-5、6）。



付録写真-5 秋津川沿いのマンホール調査状況



付録写真-6 家屋倒壊の激しい益城町県道 235 惣領のマンホール

15:40 に現地第一班が熊本県庁に到着し、前日分と合わせて益城町の被害状況の報告書を取りまとめた。また、翌日の現地対策支援本部設置に備え、本部設置場所の確認等を実施した。

本震翌々日（4月18日）

7:00、現地第一班がホテルを出発し、10:00 に熊本県庁着（国道 3 号大渋滞による遅延）。

10:40 に、現地支援本部メンバー（本省下水道部、日本下水道事業団、福岡県、福岡市、日本下水道協会）が熊本県庁に到着（福岡～高速道路～国道 3 号の大渋滞により遅延）した。

11:00 より、現地支援本部の打ち合わせに現地第一班が参加し、本部内の担当割、当面の作業内容の確認、支援本部と被災都市との連絡窓口の確認などを行った（付録写真-7）。また、益城町被災状況に関する引き継ぎ等を実施し、国総研の現地調査結果の報告及び調査実施上の注意点（家屋倒壊エリア、通行規制等）について助言を行った。

その後現地第 1 班は、12:15 に熊本県庁を離れ、九州地方整備局に立ち寄り、帰京（つくば着 21:30 頃）した。



付録写真-7 熊本県庁内に設置された熊本地震下水道現地支援本部

現地第二班派遣（平成 28 年 5 月 11 ～ 13 日）

耐震基準の妥当性・効果を確認することを目的に、横田下水道研究室長、深谷主任研究官、宮本研究官、竹内交流研究員からなる現地第二班を 5 月 11 ～ 13 日に派遣した。

（1）5 月 11 日

12:00 に、現地第二班が熊本空港に到着し、レンタカーにて益城町へ向かった。

13:00 に現地支援本部と合流後、益城町長を表敬訪問し、支援状況及び今後の予定等を報告した（付録写真-8）。

その後、益城町浄化センターを經由し、15:20 に熊本市上下水道局に到着。市庁舎内にて、下水道台帳図面を確認し、現地調査の対象路線（耐震化済み路線）の抽出作業を実施した。

16:30、熊本県庁にて下水環境課長及び現地支援本部に調査目的と方針を報告し、現地調査を開始した。



付録写真－8 益城町長への支援状況等報告

(写真手前右から、西村益城町長、横田下水道研究室長、熊本県下水環境課丸尾課長、本省下水道部小川調整官、同・田本課長補佐)

熊本市中央区江津・画図地区の平成 17 年度以降施工の管路(耐震化済み路線)を対象に、マンホール内目視調査(流下状況、躯体損傷、マンホール浮上有無の確認)を実施した(付録写真-9)。

19:00 に現地調査を終了し、調査書を作成し国総研に送付した。



付録写真－9 熊本市中央区江津町における調査風景

(2) 5 月 12 日

08:15 に熊本市内のホテルを出発し、08:40 より熊本市西区(沖新町、中原町、中島町)の平成 17 年度以降施工の管路を対象に、マンホール内目視調査(流下状況、躯体損傷、マンホール浮上有無の確認)を実施した(付録写真-10)。

午後より、南区（土河原町、富合町杉島・廻江・榎津（旧富合町）、城南町今吉野（旧城南町））平成 17 年度以降施工の管路について、同様の調査を実施した。

19:00 に現地調査を終了し、調査書を作成し国総研に送付した。



付録写真－10 熊本市西区中原町における調査風景

(3) 5 月 12 日

07:15 に熊本市内のホテルを出発し、07:40 から嘉島町において震災後に実施された一次調査で二次調査要と報告された幹線管渠（施工は平成 16 年度以降であり、耐震化済みと推察）を中心に被害状況を確認した（付録写真-11）。

14:40 に益城浄化センターを經由し、熊本空港から帰京した。



付録写真－11 嘉島町下六嘉における調査風景

現地第三班派遣（平成 28 年 5 月 25 ～ 27 日）

熊本地震で被災した管路施設の本復旧方法（埋め戻し土の固化、碎石埋め戻し、埋め戻し土の締め固め。以下「埋め戻し 3 工法」）の妥当性を確認するために、今般地震における耐震化済み管路施設（耐震指針に基づく埋め戻し 3 工法）を対象とした被災状況の調査を実施した。

調査は、深谷主任研究官、宮本研究官、竹内交流研究員の 3 名を現地派遣し、熊本市、嘉島町、益城町の下水道管路施設を対象に、市役所等でヒアリング及び書面確認を行った。

調査対象箇所は、平成 28 年 5 月 11 ～ 13 日に実施した現地調査箇所（被災が疑われる耐震化済み管路）とし、設計図書・工事関係図書により施工方法や品質管理方法を確認し、現場の状況と照合した。

（1）5 月 25 日

08:30、益城町浄化センターにて、採用されている管路施設の耐震化工法を把握するために、市職員へのヒアリングと、施工当時の設計図面及び竣工図面、施工計画書、品質管理記録等の書類を確認した。

13:30 ～ 17:00、嘉島町役場及び嘉島浄化センターにて、益城町と同様の調査を実施した。

（2）5 月 26 日

08:30、熊本市上下水道局にて、市内における管路施設被害状況と採用している耐震化工法についてヒアリングを実施した。

09:30、管路被害の大きい熊本市城南町における施工当時の設計図面及び竣工図面、施工計画書、品質管理記録等の書類を確認するため、城南浄化センターに移動し、調査を開始した。

13:00 ～ 18:00、熊本市富合町を対象に、城南町と同様の書類確認を、富合ポンプ場にて実施した。

（3）5 月 27 日

08:30、熊本市東部浄化センターにて、熊本市の他地区における耐震化工法の採用状況等を、上記と同様の書類にて確認した。

17:20、熊本空港から帰京。

追加調査（平成 28 年 12 月 21 ～ 22 日）

熊本地震の被害傾向を分析するにあたり、宇土市、宇城市、阿蘇市、御船町の情報が不足していたことから、現地第三班と同様の調査を追加で実施した。

なお本調査は、熊本地震管路施設被害情報整理業務の一環として実施したものである。

謝辞

本資料の作成に当たり、熊本県、熊本市、宇土市、宇城市、阿蘇市、御船町、益城町、嘉島町の自治体職員の方々、並びに復旧支援業務を担当された管路維持管理業者及び設計コンサルタントの方々には、復興・復旧業務でご多忙な中、資料の提供やヒアリング等に多大なるご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げますとともに、一日も早い復興・復旧を祈念します。

.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No.997 November 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675