

平成28年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴

深谷 渉・岩崎宏和

1. はじめに

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(前震)、続いて4月16日1時25分に同地方でM7.3の地震(本震)が発生し、それぞれの地震で最大震度7を観測した。前震は日奈久断層帯の高野―白旗区間の活動、本震は布田川断層帯の布田川区間の活動によるとされ、M3.5以上の余震の発生回数は平成7年兵庫県南部地震以降の内陸や沿岸で発生した地震の中で最多となった。加速度応答スペクトルは、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、最大加速度は1,791gal(本震:大津町大津)であった。

下水道管路施設被災は、八代北部流域下水道、熊本市、宇土市、宇城市、阿蘇市、御船町、益城町、嘉島町の1流域下水道7市町に及び、被災総延長は約86km¹⁾であった(表-1)。

被災都市全体の管路被災率(被災延長/管路延長)は本省公表値で2.7%¹⁾であり、平成19年に起きた能登半島地震と同程度であった。被災率の最も高いのは震源地に近い益城町で13.2%、熊本市の被災率は約2.1%と低い。熊本地震全体の被災延長の6割にあたる約50kmが被災した。以下に、熊本地震における下水道管路被災の特徴を整理した上で、被災原因に関する考察を行う。

表-1 熊本地震における都市別管路被災延長と地震動¹⁾

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
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



写真-1 下水道管路上の路面陥没(益城町)

2. 熊本地震における管路被災の傾向

熊本地震における管路被災の特徴を明らかにするために、管種、管径、布設年度、土被り及び被災形態毎の被災傾向について、国土交通省公表資料、災害査定資料、被災した管路の管きょ属性が分かる資料(下水道台帳、図面等)と震後実施された管路内テレビカメラ調査の報告書、地形区分図や工事完成図書等を基に整理した。なお、これらにより、被災した管路の約9割の情報が入手できた。

(1)管種

熊本地震で被災した1流域下水道7市町において採用されている管種は、塩ビ管(リブ付き塩ビ管含む)が約6割、鉄筋コンクリート管が約4割を占める。各管種の被災率(管種別被災延長/管種別管路延長×100%)は、塩ビ管(リブ付き塩ビ管含む)が2.4%、鉄筋コンクリート管が2.6%であった。リブ付き塩ビ管(写真-2)は、布設された管路延長が分からないため、被災率は不明であるが、全被災延長の6%を占めた。



写真-2 リブ付き塩ビ管

(2)布設年度

管路の耐震技術・基準は、阪神淡路大震災及び新潟県中越地震を契機に大きく変わっている。ここでは、管路施設の耐震化が法的に位置づけられた²平成9年と、埋め戻し土の液状化抑制工法が示された^{3,4}平成15年を境にして、被災傾向を管種別に整理した。この結果、平成9年以前の布設管路の被災率は2.1%、平成10～15年度が同2.7%、平成16年度以降は同1.3%と、埋め戻し部の液状化抑制工法が示された平成16年度以降の被災率は最も低かった。平成9年度以前が平成10～15年度の被災率より低いのは、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ためと考えられる。また、コンクリート管の被災率に大きな違いはなく、リブ付き塩ビ管については、被災率が不明だが、平成16年度以降に布設した管路に被災が多く見られた。

表-2 布設年度別の管路被災率

布設年度	塩ビ管 (リブ付塩ビ管含む)	コンクリート管	全体
平成9年以前	2%	2%	2.1%
平成10～15年	3%	3%	2.7%
平成16年以降	1%	3%	1.3%

(3)管径・土被り

管径を小口径（φ 600mm未満）と中大口径（φ 600mm以上）、土被りを開削工事が可能な4m未満と推進工事が採用されやすい4m以上に分けて整理した結果、被災した管路の8割が4m未満の浅い土被りの小口径管（φ 200mm以下）であった。残りの2割は、他では被災事例の少ない（約2%）、推進工法で施工された中大口径（φ 800～1650mm）のコンクリート管であった。

(4)被災形態

コンクリート管は、破損やクラック（写真-3）が多く発生（被災したコンクリート管の約8割）しており地震動により被災したと推測される。また、マンホール周辺の路面陥没も見られた（写真-4）。塩ビ管は、浅い位置に埋設される軽量の材料であり、液状化の影響を受けやすく、たるみや蛇行といった変状が約6割を発生した。

(5)地形区分

被災した管路が、土地分類基本計画図によるどの微地形分類に該当するかを整理した。この結果、周辺地盤は液状化の可能性が小～中程度であるが、液状化による被災の可能性が大きい地形とされる後背湿地⁵で、管路の埋め戻し部分の被災が多く確認された。

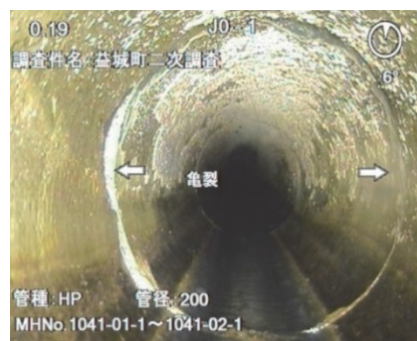


写真-3 コンクリート管のクラック（益城町）



写真-4 マンホール周辺の路面陥没（益城町）

3. 被災傾向を踏まえた被災原因の考察

2. の傾向を基に、被災原因に関する考察を行う。前述の(1)、(2)の傾向に関しては、耐震化工法（埋め戻し土の液状化対策）の違いに着目し考察を行った。(3)、(4)は、推進工法で施工されたコンクリート管に着目し考察を行った。(5)は、益城町の被災位置と地形区分図を重ねあわせ、微地形との関係性を把握した。

(1)埋戻し土の液状化対策

平成16年新潟県中越地震以降、新規に布設する管路の埋め戻し土の液状化対策として図-1の3工法が耐震指針^{4,5}に示され採用されている。平成16年以降に布設した塩ビ管及びリブ付き塩ビ管が被災している点について、施設を管理する自治体職員へのヒアリングや設計・工事関係図書の書面調査を通じ、施工方法や施工管理方法を把握した。

この結果、塩ビ管については埋め戻し土の締固

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-1 管路における埋め戻し土の液状化対策

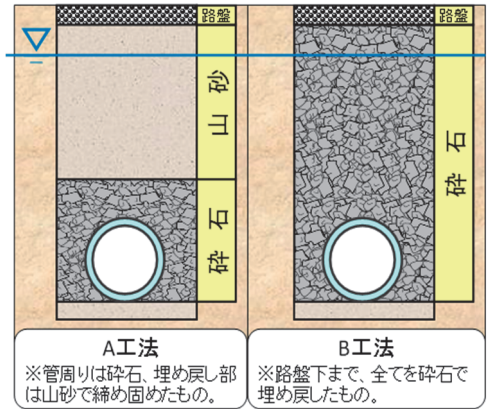


図-2 リブ付き塩ビ管の砕石埋め戻し方法

め(締固度90%程度以上)が採用されていた。しかしながら、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。

リブ付き塩ビ管については、砕石による埋め戻しが実施されていた。被災した管路の埋め戻しの施工断面を設計図書等で確認したところ、今回被災した153スパン(スパン:上下流のマンホールに挟まれた区間)の内151スパン(98.7%)は、図-2に示す、管周りのみを砕石で埋め戻し、上部を山砂で埋め戻す工法(A工法)であった。

砕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、地下水位以浅まで砕石を充填させる(B工法)ことが重要であり^{4),5)}、工法の原理に対する理解を深める必要がある。なお、B工法で被災した箇所は2スパンあったが、マンホール(塩ビ榫)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る。

以上より、リブ付き塩ビ管の被災は液状化対策が施されていなかった箇所でも起きたものと考えられるとともに、液状化対策が施された箇所では高い耐

表-3 コンクリート管の被災内容(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	該当スパン数
		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	38	18
平成10~15年	0	5	0	0	0	9	0	4	1	19	9
平成16年以降	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3
不明	3	1	1	0	0	2	2	0	0	6	4
小計	5	18	4	1	0	22	9	10	2	66	34
対被災スパン割合	15%	53%	12%	3%	0%	65%	26%	29%	6%	-	

※被災内容は1スパンに重複して生じるため、合計が34を超える。

震効果が発揮されたものと考えられた。

(2)推進工法区間の被災

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、被災したコンクリート管の約4割は推進工法であった。

被災した管路のうち推進工法の被災割合が高い八代北部流域下水道と宇城市、嘉島町のコンクリート管(34スパン)の被災内容を整理した結果を表-3に示す。

被災した34スパンの半数でクラック及び浸入水が生じ、クラックの発生位置の約8割が管口(マンホールと管きよの接続部)付近であった。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いと考えられる(図-3)。震度7が2回連続したことによる影響等の地震特性との関連は現時点では定かではないが、推進工法においては、管口における伸縮継手等による耐震化により土質変化点における大きな変位を吸収することが効果的と考えられた。

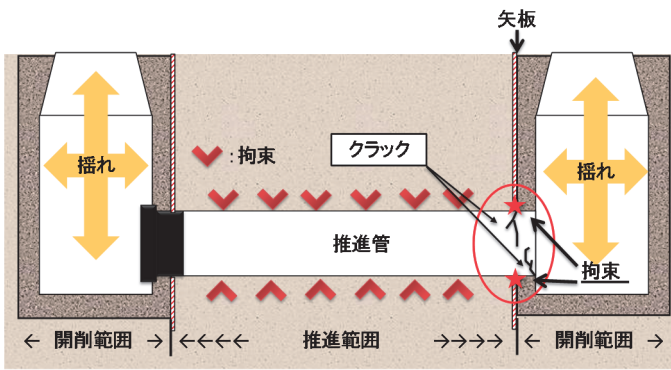


図-3 推進工法区間の被災メカニズム

(3)地形区分

地形区分と管路被災に関連性があることは、耐震指針⁴⁾や過去の調査報告書³⁾等の既往文献に記載されている。ここでは、益城町における管路被災位置を治水地形分類図に重ねあわせて、既往文献の確認を追試的に実施した。



国土地理院治水地形分類図 : http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html

図-4 被災位置と治水地形区分図の重ね合わせ (抜粋)

表-4 処理区内及び被災管路の治水地形分類占有割合

治水地形分類	①処理区内	②被災管路	②/①
山地	3.5%	2.7%	0.8
段丘面	55.6%	32.1%	0.6
浅い谷	2.2%	0.4%	0.2
山麓堆積地形	1.7%	3.6%	2.1
後背湿地(氾濫平野)	10.9%	35.9%	3.3
微高地(自然堤防)	4.6%	11.8%	2.6
旧河道	4.4%	12.9%	2.9
盛土地・埋立地	5.5%	0.5%	0.1
切土地	0.1%	0%	0
現河道・水面	0.6%	0%	0
合計	100%	100%	-

益城町は、後背湿地から段丘地へ続く傾斜地に多くの家屋が連担しており、治水地形分類図では旧河道や自然堤防等、地形分類が複雑に入り組んでいる(図-4)。管路の被災は、表-4に示す通り、処理区内の微地形分類毎の占有割合に対し、後背湿地(氾濫平野)、旧河道、自然堤防で多く見られており、

既往文献と一致する。また益城町では、他にあまりの例のない塩ビ管の破損事象(写真-5)が多数生じている。破損位置は、地形区分の境界付近や旧河道沿いで多く見られ、境界面での地震時の大きな変位が影響していると推察される。

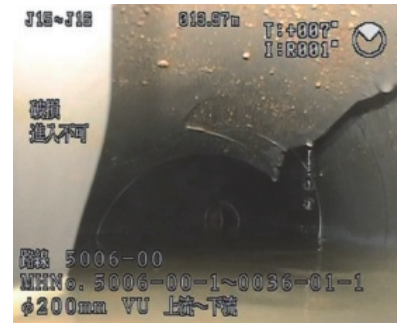


写真-5 塩ビ管の破損(益城町)

4. おわりに

熊本地震では、砕石埋め戻しが液状化抑制に大きく貢献したことや、推進工法の管口周辺にクラックが集中したことから接合部の耐震化が重要であること等が分かった。このような被災情報の整理分析及び知見の蓄積は、地震時の被災想定や、より効果の高い耐震対策の選定、震後の迅速な復旧対応に活用できることから重要と考えられる。

今回得られた知見等は、国総研資料として刊行する予定であり、次の地震に対する備えとして活用されることを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/common/001176117.pdf>
- 2) 下水道施設の耐震対策指針と解説—1997年版—、日本下水道協会、平成9年8月
- 3) 下水道地震対策技術検討委員会報告書、下水道地震対策技術検討委員会、平成17年8月
- 4) 下水道施設の耐震対策指針と解説—2009年版—、日本下水道協会、平成18年8月
- 5) 下水道施設の耐震対策指針と解説—2014年版—、日本下水道協会、平成26年5月

深谷 渉



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部 下水道研究室 主任研究官 Wataru FUKATANI

岩崎宏和



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部 下水道研究室長 Hirokazu IWASAKI