

地震時における水道空気弁に及ぼす 被害影響に関する一考察

玉瀬 充康¹・宮島 昌克²・乾 太一郎³

¹金沢大学大学院自然科学研究科（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail: mitsuyasu_t77@yahoo.co.jp

²金沢大学環境デザイン学系教授（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

³金沢大学大学院自然科学研究科（〒920-1192 金沢市角間町）

E-mail:taichiro_inui@stu.kanazawa-u.ac.jp

過去地震において、空気弁の被害事例が多く報告されているが、この被害の原因については、被害に至るメカニズムも含め、未だ明らかになっていない。そこで、2016年熊本地震において被害を受けた水道空気弁の被害の実態とその原因を究明することを目的に、九州地方の水道事業体を対象に、空気弁類の被害に関するアンケート調査を行った。その結果より、空気弁の被害形態から水圧変動による破損が多く占めることが分かった。加えて、付近の管路形態等の周辺環境が影響して水圧変動を引き起こした可能性が高いことが分かった。また、熊本市における最大速度と管路付属設備被害の分布の関係について分析した結果から、最大速度の比較的小さかった地域においても被害が発生しており、地震による外力以外の要因として急激な水圧変動が大いに影響していることが示唆された。

Key Words : *air valves, pipe form, abrupt increase of water pressure, seismic motion, Kumamoto Earthquake*

1. 背景

2011年3月11日に宮城県牡鹿半島沖を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。このマグニチュード9.0というのは日本の観測史上最大となり、震源域は岩手県沖から茨城県沖までの南北500km、東西200kmの広範囲に及んだ¹⁾。水道施設については、岩手県、宮城県、福島県を中心に導水管や配水管などの破損等により約257万戸の断水被害が発生し、水道施設被害も顕著であった²⁾。

水道施設の内、空気弁等の管路付属設備に着目して、仙台市水道局を例にみると、口径400mm以上の基幹管路上で41件もの被害が発生しており、このうち39件が空気弁の破損であった。基幹管路上の管路破損等の管路自体の被害件数6件に比べると、空気弁被害が顕著であり、この被害が送配水機能に大きな影響を及ぼしたことが分かる²⁾。

これらのことを踏まえ、本論文では空気弁被害に注目する。空気弁とは管内にたまった空気を自動的に吸排気する機能を有する弁である。2011年東北地方太平洋沖地震では多数の空気弁被害が報告され、東北地方の5つの

事業体では148箇所、被害率はおよそ2%となった。一見少ない値のように思えるが、管路付属設備の被害調査において空気弁の被害率は仕切り弁、消火栓の被害率に比べてかなり大きいことがわかっている。管路付属設備の被害数・被害率を表-1に示す²⁾。

表-1 2011年東北地方太平洋沖地震による管路付属設備の被害数、被害率²⁾

水道事業体	仙台市水道局	宮城県企業局		石巻地方広域水道企業団	千葉県水道局	水戸市水道部	合計	
		大崎	仙南・仙塩					
空気弁	合計	3631	394	533	815	3254	-	8627
	被害件数(件)	56	12	17	22	41	2	148
	被害率(%)	1.54	3.05	3.19	2.70	1.26	-	1.72
仕切り弁	合計	43039	162	368	12609	90166	12682	159026
	被害件数(件)	19	0	0	11	38	0	68
	被害率(%)	0.04	0.00	0.00	0.09	0.04	0.00	0.043
消火栓	合計	14760	0	0	2496	34965	3749	55970
	被害件数(件)	7	0	0	5	6	0	18
	被害率(%)	0.05	0.00	0.00	0.20	0.02	0.00	0.032

このような空気弁被害は規模が小さい地震では影響も少ないが、家屋から火災が発生する可能性がある規模の地震において、消火活動に支障をきたすなど、二次被害へ繋がる恐れがある。また、首都直下地震が発生した場合空気弁からの漏水被害は、2,700箇所にと想定されてお

り、震災後の給水活動や復旧活動に大きな影響を与えると考えられている³⁾。そのため空気弁の破損原因の究明、及び対策が必要不可欠である。

2. 空気弁被害の特徴と要因の推察

地震による管路の被害は、外的要因である地震動と内的要因である管の状況の双方で決まる。

地震に起因する外的要因には、地震動のほか地震動による道路崩壊、液状化、津波による道路崩壊などがあり、さらにこれらは複合に影響を与えることもある。管路は水道施設のなかでも特に面的に広がりをもっており、被害は管路位置における地震動、液状化等の状況に大きな影響を受ける。

管路のうち、付属設備である空気弁の被害形態とその主な要因については、表-2、図-1に示すとおりであり、フロート・遊動弁体等の弁内部の破損については、管内水圧の急激な変動が要因になっているものと考えられる。

表-2 空気弁被害の要因と被害形態

主な要因	被害形態
外的要因 ・弁自体への外力の作用	・地震動・津波・道路崩壊・液状化等によるT字管部折損・継手部漏水
内的要因 ・管内の急激な水圧変動	・空気弁体内部品の破損・漏水 ・異物の挟み等による漏水

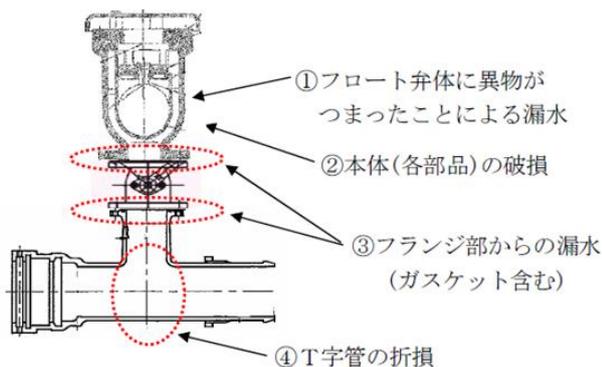


図-1 空気弁の被害形態²⁾

既往の調査研究においても、空気弁被害は地震動による直接的破損に加えて、地震時に発生する管内の急激な水圧変動等の配水システムの異常挙動が一つの要因と考えられているものの、明確な原因が解明されていないのが現状である。

ここで、配水システムの異常挙動について説明する。2011年東北地方太平洋沖地震では水道管破裂などの直接的被害はなかったものの、地震発生直後から急激な流量増加と水圧低下といった配水システムの異常挙動が発生

し、水道供給システムを著しく機能低下させた。図-2に2011年東北地方太平洋沖地震時のさいたま市の某配水場での配水量、水圧の変化を示す。このような異常挙動はさいたま市だけでなく、多くの地域で被害報告がされており、過去にこの急激な水圧変動の原因を解明するために様々な研究が行われてきた⁴⁾⁵⁾。

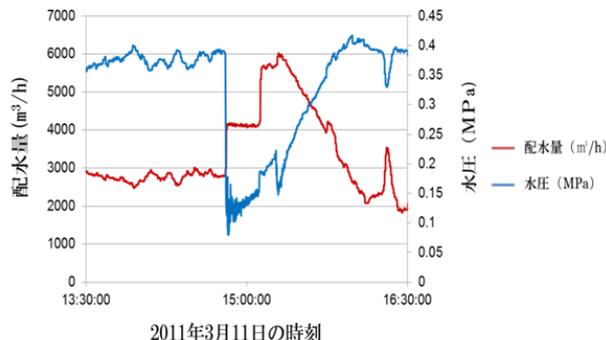


図-2 2011年東北地方太平洋沖地震時のさいたま市の某配水場での配水量、水圧の変化

過去地震時における空気弁被害については、次のとおりであり、地震時に急激な水圧変動が生じたものと考えられる。

(1) 2003年十勝沖地震における水圧変動の記録

2003年9月26日に発生した十勝沖地震においては、国営かんがい排水事業芽室地区のかんがい用管路の空気弁付近において、地震直前まで水圧変動が記録されていたものの、地震直後では圧力センサーが故障するほどの大きな圧力変動があり、余震時における観測地点空気弁における周期的な弁体の上下動の状況や図-3に別位置の水圧変動の記録から、当該地点で負圧が発生するような大きな圧力変動が生じたものと推察されている⁵⁾。

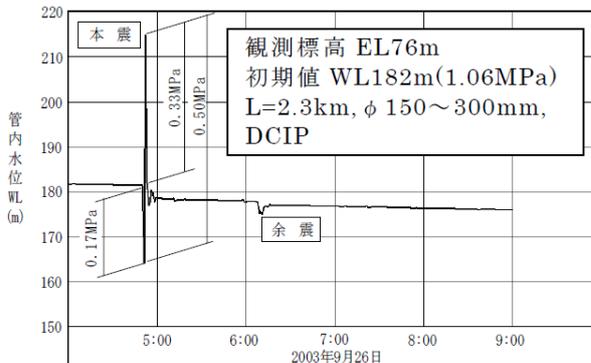


図-3 水圧変動の記録⁶⁾

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震における被害の特徴とその要因

表-3に、2011年東北地方太平洋沖地震における空気弁の主な被害内容を示す²⁾。地震発生直後、仙台市水道局ではポンプの急停止、送水管の大規模漏水が確認された。また、千葉県水道局でも送水管のポンプ急停止が確認されている。宮城県企業局では約70分間の水圧の異常挙動が確認された。周辺環境をみると下流が片落ち管や、配管が1m下がっていることが確認されている。また、空気弁が8mほど立ち上がった高低差のある場所に設置されていたケースもあり、これらの周辺環境・管路形態等が影響したことにより、急激な水圧変動を招き、空気弁が破損したものと推察される。

表-3 2011年東北地方太平洋沖地震における主な被害内容

事業体	仙台市水道局		宮城県企業局(仙南・仙塩)	千葉県水道局
	得笠第一配水所	国見浄水場	南部山浄水場	沼南給水場
浄・配水場名	得笠第一配水所	国見浄水場	南部山浄水場	沼南給水場
送水方式	ポンプ圧送	自然流下	自然流下(高区) 自然流下(低区)	ポンプ圧送
地震直前送水圧	1.15MPa	約0.9MPa	1.15MPa	約0.39MPa
地震直後送水圧	0~0.1MPa	0~0.1MPa	0~0.1MPa	0~0.1MPa
管口径	Φ400mm	Φ800mm	Φ2400mm Φ700mm	Φ500mm
呼び径	Φ75mm	Φ100mm	Φ200mm Φ100mm	Φ100mm
製造年	平成元年	昭和62年	平成12年 昭和58年	昭和60年
管心高	約82m	約73m	約72.5m 約66.5m	約29.1m
破損状況	遊動弁体が破損。遊動弁体中心部が空気弁から抜けて飛び出た。	案内機部が破断	案内機部が破断 遊動弁体がひび割れ	SUS316製フロー弁体が変形 遊動弁体・案内ガイドが破損
周辺環境等	停電のためポンプが停止し、送水停止。管路被害は無く、ほぼ満水状態であった。フロアホールと備用式遊動弁でウォーターハンマ対策済	下流側の管が破損し大規模漏水が発生したため、管内の水はほぼ流出した。傾斜板が落下していることなどから、液面揺動(スロッシング)現象があった	すぐ下流は、Φ2400mm×Φ1900mmの片落管下がっている。	ウォーターハンマ対策として、白井高架水(HWL64.7~LWL50.9)を設置していた。空気弁は、7.85mほど立ち上がったところに設置

(3) 空気弁被害に起因する水圧変動

以上の事例を踏まえ、急激な水圧変動をもたらす要因について、次のとおり考察する。

考えられる要因として、①ポンプ急停止、管路漏水等による急激な水圧変動、②ユーザー所有の受水槽のスロッシングによる急激な供給水量増加に伴う水圧変動、③空気弁下流の異形管(急縮管・曲管等)や急激な高低差に伴う地震時の水圧変動の3つが挙げられる。①では、地震による配水管破損に伴い漏水が発生、もしくはポンプが急停止することで、水撃作用により負圧が生じ大きく水圧が変動したと考えられる。②では、配水管路の下流側のユーザーが所有する受水槽のスロッシング現象が発生することで受水槽内の水位センサーが誤作動を起こし受水槽に水が一斉に供給される。多くの受水槽に水が供給されることで、管内の水圧が急に低下すると考えられる³⁾。③では、管路の形態が異なることにより、地震時に管内の水が異形管部に繰り返し衝突し水圧が大きく変動したと考えられる。

以上のとおり、過去地震における被害の特徴や想定される要因を踏まえ、2016年熊本地震における空気弁被害の特徴と要因について、次のとおり調査を行った。

3. 2016年熊本地震における空気弁被害調査

(1) 目的

2016年4月に発生した熊本地震(図-4)について、アンケート調査により、九州地方における空気弁の被害分析を行い、どのような地域で空気弁被害が多かったのかを明らかにするとともに、周辺環境、空気弁形態等の要因が被害に影響しているのか、水圧変動等の異常挙動との関連を明らかにすることを目的とする。

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

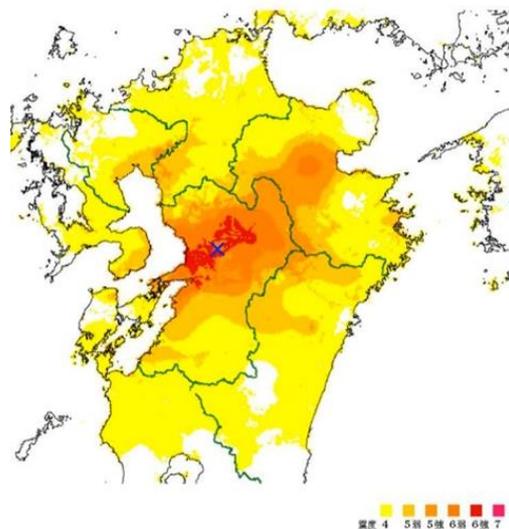


図-4 4月16日の震度分布図⁷⁾

(2) 調査方法

対象地域は、震度が大きかった地域から小さい地域までのデータが得られるように九州地方全域を対象に、九州地方の沖縄県を除く7県(福岡・佐賀・長崎・大分・熊本・宮崎・鹿児島)の209の水道事業体を選定⁸⁾し、表-4に示す項目について調査した。

表-4 調査項目

	内容
空気弁について	空気弁破損の有無
	空気弁破損個所の数
	空気弁被害は前震、本震どちらか
	漏水の有無(空気弁破損がなかった場合)
	漏水の有無原因
被害のあった空気弁の特徴について	空気弁の点検・整備状況・頻度
	空気弁破損の原因
	空気弁の諸元 (種類・機種・規格・空気弁径・配水管の口径・製造年・設置標高・使用圧力・使用圧力最高許容応力・管路施設区分)
	空気弁の被害箇所
	フロート弁体の種類
	弁体の材質
	空気弁の設置場所
空気弁破損に伴う復旧等の対策について	空気弁の直下流側の配管形態
	空気弁破損に伴う断水の有無
	空気弁修繕までの期間
異常挙動について	復旧材料の手配までの期間
	水圧・流量変化の有無
	水圧・流量変化について
	流量の停止・減少の有無
	流量の停止・減少の原因
水圧・流量変化の時間	
空気弁の上流・下流側の管路における水圧・流量変化の有無	

(3) 調査結果

空気弁被害が生じた事業体と震度，空気弁被害数の内訳は表-5 に示すとおりであり，11 事業体で合計 33 箇所の被害が発生した。

表-5 各事業体の空気弁の被害箇所数

都道府県	事業体名	震度(本震)	空気弁被害数
佐賀県	A	5 強	3
	B	5 弱	2
熊本県	C	6 強	8
	D	6 強	1
	E	6 強	9
	F	5 強	1
	G	7	1
	H	6 弱	1
大分県	I	5 弱	4
	J	5 弱	2
宮崎県	K	5 弱	1
合計			33

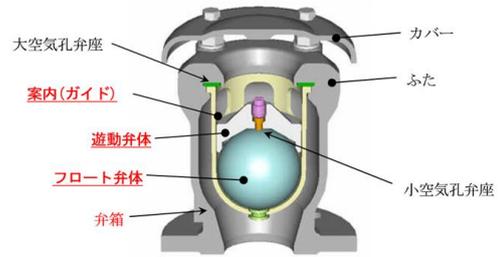


図-5 空気弁の構造

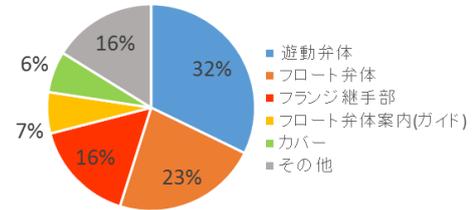


図-6 空気弁の破損箇所

a) 空気弁の被害形態

空気弁の構造を図-5 に示し，空気弁の破損箇所・要因を図-6，図-7 に示す。被害箇所を見ると，遊動弁体の被害が最も多く，次いでフロート弁体という結果であった。遊動弁体・フロート弁体は，管路内の水に含まれる空気排出を効率よく行うための部位である。メカニズムとしては，管路内の水に含まれる空気が空気弁内に溜まると，水位の低下に伴い，遊動弁体・フロート弁体が降下し，空気孔弁座が開放され，排気が行われる。排気が完了するとフロート弁体は上昇し空気孔が閉じる。この動作を自動的に繰り返して管路内の空気排出を行う。これらの部位は水圧変動の影響を受けやすいため，今回も水圧変動の影響を大きく受けた可能性が高い。また，フロート弁体案内(ガイド)・カバーも水圧変動の影響を受けやすい部位であり，今回も影響を受けたと考えられる。一方，遊動弁体，フロート弁体に次いで被害の多かったフランジ継手部は，水道管と空気弁をつなぐ役割を担う部位で外部に接しており，水圧変動の影響を受けない。そのため，今回の破損は経年劣化や，地震の揺れによる直接的な外力が原因だと考えられる。図-6 より，フランジ継手部の被害は，全体の 15%ほどを占めており，3 番目に破損の多い部位となっている。図-8，図-9 に被害要因ごとの破損箇所の内訳を示す。図を参照すると，管内の水圧変動に伴う破損では遊動弁体・フロート弁体の被害が全体の 70%以上を占めていることがわかる。また，弁体に外力が加わったことによる破損では，フランジ継手部の破損が 70%を占めていることがわかる。

以上の結果より，地震への対策としては，遊動弁体・フロート弁体に対する急激な水圧変動への対策が最重要である。しかし一方で，フランジ継手部等の外部に接する部位に関しては地震の揺れへの対策も必要不可欠といえる。

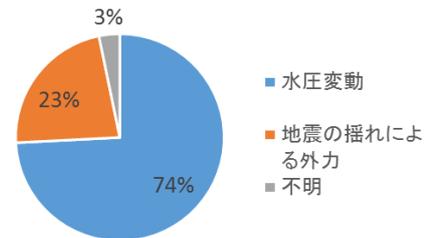


図-7 空気弁の破損要因

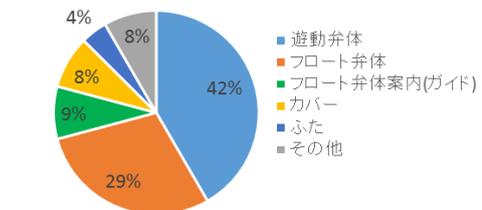


図-8 管内水圧変動による破損箇所の内訳

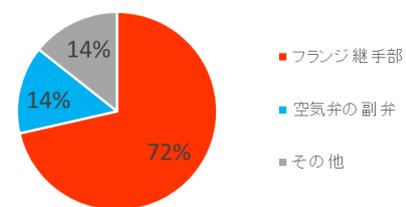


図-9 弁体に外力が加わったことによる破損箇所の内訳

b) 被害を受けた空気弁の製造年

破損した空気弁の製造年のアンケート結果を図-10 に示す。図より，製造年が古い空気弁の破損が多いことがわかる。原因の一つとして，経年劣化によって耐久性が低下したところに地震の揺れが作用し破損したことが考えられる。一方で，2000 年以降に製造された比較的新しい空気弁も破損している。新しい空気弁は耐食性・耐久性も向上しており必ずしも経年劣化による破損とは考えられず，空気弁破損の原因として，地震による外力とは考えにく

く、水圧変動が影響を与えている可能性が考えられる。

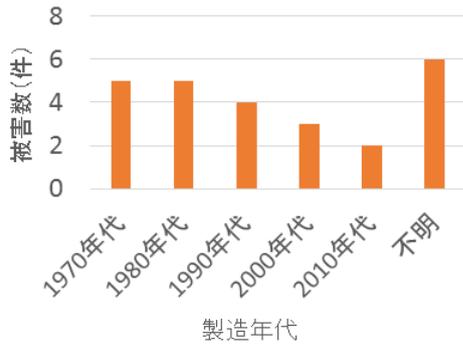


図-10 破損した空気弁の製造年

c) 被害を受けた空気弁の周辺状況

被害を受けた空気弁の設置箇所については、被害が発生した空気弁の内、52%は水管橋、橋梁添架管など管路の凸部に設置されていることが分かった。管路の凸部は、地震時の水圧変動により負圧が発生し得る箇所、最も空気泡がたまりやすく、水圧変動の影響を最も受けやすいためである。

加えて、被害を受けた空気弁の直下流側(10m 以内)の管路形態を図-11 に示す。空気弁下流側の管路形態を見ると、80%以上が異形管であり、曲管等の異形管により水圧変動が生じたものと考えられる。具体的には、地震動の揺れにより発生する水撃波の衝撃によって管内の水圧が急激に上昇すること、もしくは地震動の揺れにより発生する動水圧が影響を及ぼしていることが考えられる。

以上のことから、今回被害が生じた空気弁は、地震直後の水圧変動の影響を受けやすい環境にあったと考えられる。

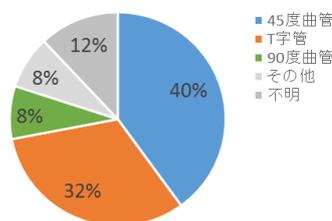


図-11 空気弁直下流の管路形態

4. 被害要因の分析

(1) 目的

前述のアンケートによる調査結果から、空気弁の破損被害の主な要因が地震直後の水圧変動であると推測できた。当該結果では、熊本市で 8 か所の空気弁の破損が確認されたが、さらに、熊本市上下水道局から提供いただいた配水管網における漏水被害及び弁類等の被害箇所のデ

ータを項目毎に集計・分析した結果、空気弁の破損の他にも、空気弁からの漏水被害が非常に多く生じていることが判明した(図-14)。ここで、熊本市に広がる配水管網と管路付属設備被害箇所の分布を図-15 に示す。図より、熊本市の配水管網は、市の北西部及び南東部の山地を除き全体に広がっていることが分かる。特に中心部は高密度で広がっている。

そこで、管路内の水圧変動に及ぼす要因として、どのような要素が空気弁の破損に加え漏水被害に影響を及ぼしているのかを明らかにするため、地盤特性と地震動特性に焦点を当て、被害の大きかった熊本市を対象に被害要因の分析を行った。

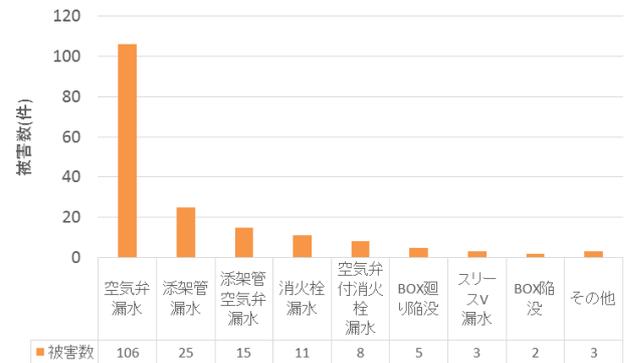


図-14 項目別の被害数

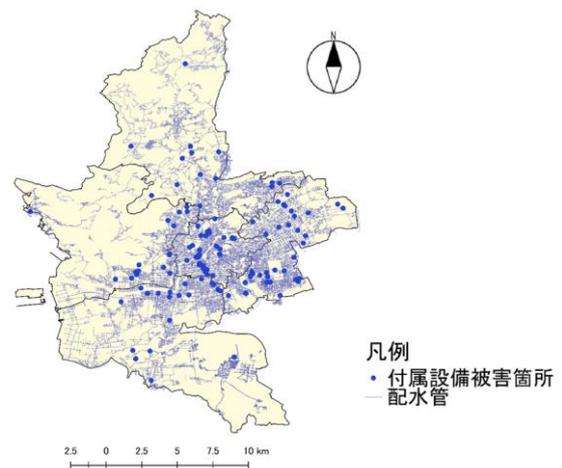


図-15 熊本市における配水管網及び管路付属設備被害箇所

(2) 分析方法

前述のアンケートによる調査結果と熊本市上下水道局から提供いただいた空気弁等管路付属設備の被害のデータを基に、防災科学研究所の提供する J-SHIS 地震ハザードステーション⁹⁾ (以下、「J-SHIS」)を用いて、地盤特性の分析を行うとともに、地震動特性として最大速度による分析を行った。方法として、空気弁漏水等の被害が発生した地点の住所を J-SHIS マップに入力し、その地点を含む 250m 四方のメッシュの微地形区分と最大速度について調査・分析した。また、地理情報システム〔GIS :

Geographic Information System] (以下、「GIS」) を利用し、管路付属設備の被害箇所データと、J-SHIS よりダウンロードした表層地盤データを入力し被害分布図を作成した。

(3) 分析結果

a) 被害と地盤特性の関係

防災科学研究所の提供する J-SHIS 地震ハザードステーションを用いて、微地形区分によって、空気弁等の管路付属設備の被害について分析した結果を図-16、図-17 に示す。図-16、図-17 より、後背湿地が最も多く、次いでローム台地となった。後背湿地は軟弱地盤であり、地震によって揺れやすい。一方で、ローム台地は粘性質の高い土壌で強固で揺れにくい地盤である。

これらの結果から、地盤特性として、地震によって揺れやすい地盤で被害が多くみられた一方で、強固で揺れにくい地盤にも被害がみられた。

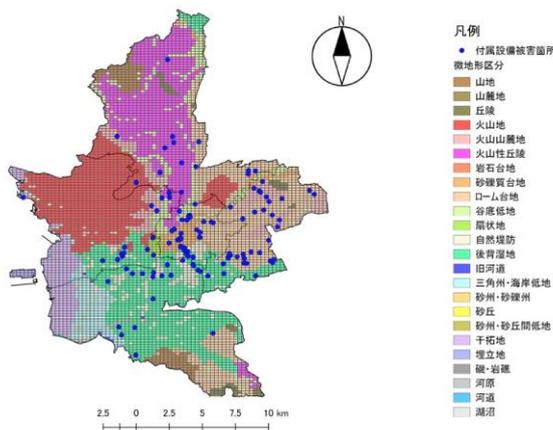


図-16 熊本市の微地形区分

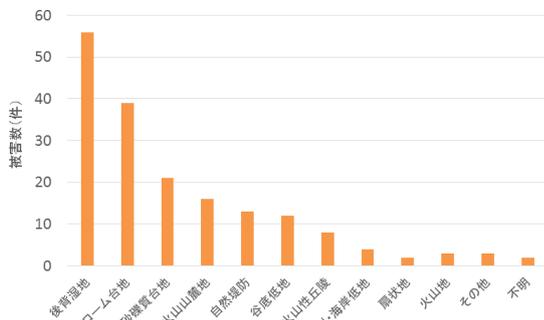


図-17 被害が生じた地点の微地形区分内訳

b) 被害と最大速度の関係

GIS にデータを入力し作成した最大速度及び空気弁等の管路付属設備被害の分布図を図-18 に示す。まず、最大速度分布に注目すると、震央に近い市東部は最大速度の大きい地域が広がっている。一方、市の北西部は最大速度が比較的小さい地域が広がっていることが分かる。これは、北西部には、山地が広がっているためだと考えられる。

市の中心部に最大速度が比較的大きい地域が分布しているのは、軟弱地盤である後背湿地が広がっているためだと考えられる。また、管路網の密集度に注目すると、熊本市の中央部から東部には市街地及び住宅地が広がっており管路が密集している。全体的には密集度は低いものの、配水管は山地を除いて市全域に広がっている。

そこで、最大速度分布と管路付属設備被害の分布に注目する。管路付属設備の被害は熊本市の中央及び東部を中心にほぼ全域で発生している。図-18 から、その半数以上は最大速度が 80cm/s 以上の地域で発生していることが分かるが、一方で比較的最大速度の小さい 40cm/s ~ 80cm/s の地域においても多数の被害が生じていることが分かる。また、管路が密集している地域では、最大速度が大きい地点と小さい地点が混在している。

次に、被害箇所を最大速度毎に集計した結果を図-19 に示す。図より、最大速度が 80cm/s 以上の被害が多いことが明らかである。しかし、40~80cm/s の地域での被害も 50 件以上と多くなっており、また、2 件のみではあるが 40cm/s 以下での被害も確認された。

以上の結果より、配水管路が密集している市中央及び東部に位置し、かつ実際の揺れが大きくなった最大速度の大きい地域に設置されていた付属設備に被害が集中していることは明らかであった。しかし、揺れが比較的小さかったと思われる地域においても被害が多数生じていることが分かった。また、それらの地域は配水管の密集度は低いことが多い。したがって、地震の揺れの大小が付属設備被害に影響することはもちろんであるが、地震による揺れ以外の要因が付属設備に影響し、揺れが小さくとも破損や漏水被害を発生させる可能性が考えられる。

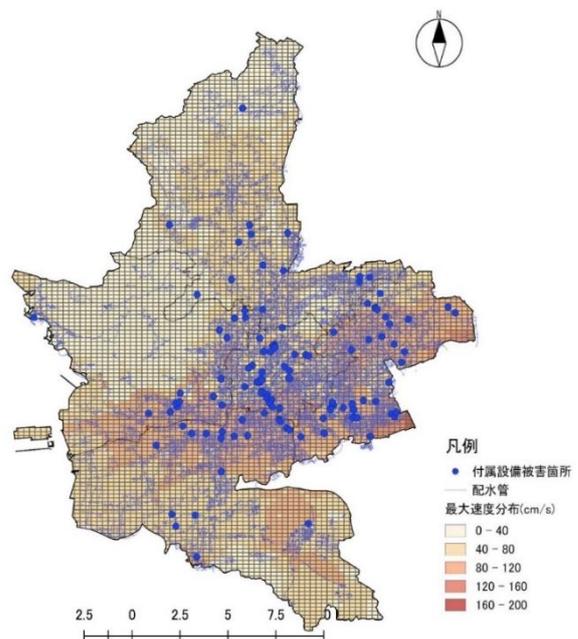


図-18 最大速度及び管路付属設備被害分布

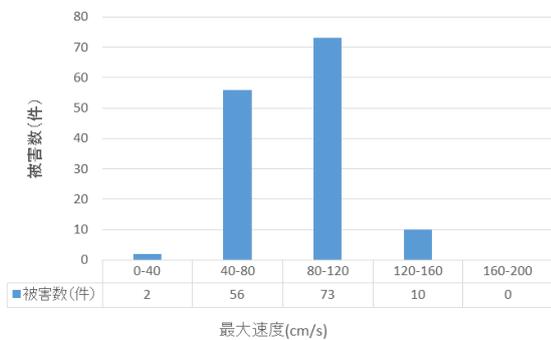


図-19 最大速度別の被害数の内訳

c) 管路付属設備被害の要因と最大速度の関係

前述の分析結果から、地震動の強い地域での管路付属設備の破損及び本体の破損は地震動の強い場所に被害が集中していること、比較的地震動の弱いところにおいても被害が発生していることが分かった。

そこで、地震動の強さと被害要因の関連を調べるため、熊本市上下水道局から提供いただいた8か所の破損した空気弁の詳細なデータを基にその地点での最大速度と被害要因の関連を調べた。地図上にそれらの空気弁の設置箇所と最大速度の分布を示したものを図-20に示す。結果、8か所の空気弁はすべて最大速度が120～160cm/sの比較的強い地点に分布している。その破損要因は、水圧変動による破損が4か所、地震の揺れによる外力に伴う破損が3か所、両方が1か所という内訳であり、水圧変動による破損が多数あった。これらのことから、空気弁からの漏水・破損の要因として、地震動が強い地域においても、地震の揺れによる直接的な外力に限らず、地震直後に発生する水圧変動の影響を大きく受けていることが明らかになった。

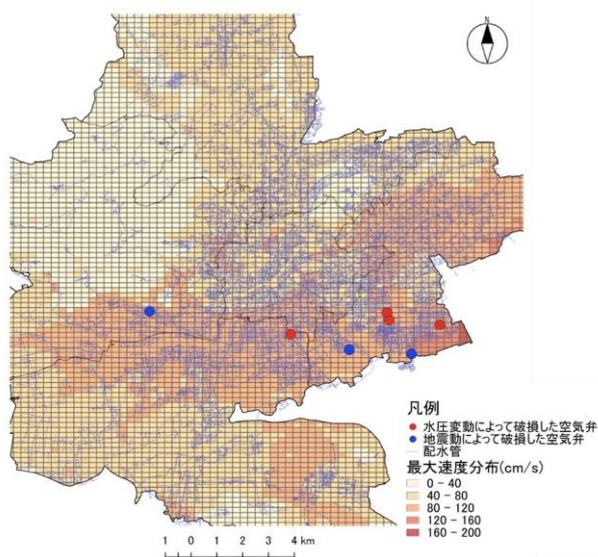


図-20 空気弁の破損被害の要因と最大速度の関係

5. 結論

地震時に破損した空気弁の周辺状況、管路形態など被害の実態・原因について、調査・分析を行った結果を次のとおりまとめる。

空気弁が破損した部位として遊動弁体やフロート弁体といった空気弁内部の破損の割合が多かった。また、被害の発生している場所が震央近くの揺れが強い地域に限らず、比較的離れた地点においても被害が発生していた。

これらのことから、空気弁被害には地震直後に発生する急激な水圧変動が大いに影響しているものと考えられる。

この水圧変動の要因について、破損した空気弁の周辺状況（設置箇所、下流の配管形態）から、空気弁が地震直後の管内の水圧変動の影響を受けやすい環境に設置されていたものと考えられる。

次に、地盤特性に焦点を当て、被害の分析を行った結果、地震の揺れが大きいと推測される地域での被害は多かった。一方で地震の揺れが小さいと推測される地域においても被害が生じていた。

最大速度と被害の分布に焦点を当て分析した結果、被害が多いと予想された配水管が密集している地域及び最大速度が大きい地域の他に、密集度が低く、また最大速度が比較的小さかった地域においても被害が発生していた。

また、地震動の大きさと被害要因についての分析を行った結果、地震動の強い地域での被害においても、水圧変動による被害が被害箇所全体の50%を占めていた。

以上のことから、2016年熊本地震における空気弁被害の実態及び地盤特性および実際の最大速度分布と被害の調査から、地震による直接的な外力の他に、地震によって発生する水圧変動がきっかけとなって空気弁の破損や漏水被害を引き起こしていることが明らかになった。

最後に、2016年熊本地震における空気弁等管路付属設備からの漏水・破損の被害は、熊本市全体に多数点在していたことから、熊本市外や熊本県外にも多くの被害があったものと想定される。その被害要因は、地震動が弱い地域ほど、地震による直接的な外力に伴う被害に比べ、水圧変動による被害がより多くなるものと推察される。今回は、熊本市に限定した地震動の強い地域のみ分析を行ったが、今後、地震動が弱かった地域の被害分析についても進めていくとともに、地震時の急激な水圧変動等の異常挙動が空気弁破損・漏水を引き起こすメカニズムについての更なる究明と空気弁類への対策について検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13b/201103131255.html> (2015 年 7 月 22 日アクセス)
- 2) 社団法人日本水道協会：平成 23 年(2011 年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害調査報告書，pp.109-119
- 3) 東京都水道局：事業概要 平成 28 年版，pp.68-70，2016.
- 4) 村田幸一，宮島昌克：受水槽のスロッシングが地震発生直後に発生する水圧・水量の異常挙動に及ぼす影響，地震工学会論文集，第 7 巻，第 1 号，pp.27-42，2007.
- 5) 小林泰章：地震動による送配水システム内水道水の異常挙動，水道協会雑誌，第 57 巻第 6 号，1988，pp.2-14.
- 6) 植屋賢祐，徳井順，阿部匡弘，長谷川和彦，田頭秀和，秀島好昭：「03 十勝沖地震」に伴う管内発生水撃圧の分析，平成 16 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集，pp.800-801，2004.
- 7) 気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/press/1605/14a/201605141000.html>(2016 年 12 月 10 日アクセス)
- 8) 水道産業新聞社：2007 年度版 水道年鑑
- 9) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 HP : J-SHIS ハザードステーション，J-SHIS Map，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2016 年 12 月 25 日アクセス)
- 10) 小川信行：水道管路の被害と地震時動水圧，国立防災科学技術センター研究報告，第 15 号，1976

(?. ?. ?. 受付)

REPORT ON THE INFLUENCE THAT SEISMIC MOTIONS GIVE TO WATER AIR VALVES

Mitsuyasu TAMASE, Masakatsu MIYAJIMA and Taichiro INUI

This paper deals with the damage to air valves of drinking water pipelines in the 2016 Kumamoto Earthquake. Not only damage to pipe body and joints but also valves were severely caused by the 2016 Kumamoto Earthquake. Firstly, a questionnaire survey on the damage to air valves was conducted to waterworks bureaus in Kyushu region in order to clarify the causes of the damage. Next, a relation between the distribution of the peak ground velocity and the location of the damage to air valves are studied in Kumamoto City. The result of this study shows that one of causes of damage to air valves is abrupt increase of water pressure and abrupt decrease of water flow just after the earthquake.