

# 水道管路の耐震性検討のための 地盤条件に関する一考察

熊木芳宏<sup>1</sup>・宮島昌克<sup>2</sup>・降矢拓也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>金沢大学大学院 自然科学研究科博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:y.kumaki@zeus.eonet.ne.jp

<sup>2</sup>金沢大学理工研究域環境デザイン学系教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

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

<sup>3</sup>金沢大学大学院 自然科学研究科博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:furuya@pbousa9.ce.t.kanazawa-u.ac.jp

水道管路の耐震化には、布設替え時の優先順位を定めることが重要である。この指標として平成20年厚生労働省令が定められたが、ダクタイル鋳鉄管K形継手の耐震性の判断について、判断の指標である「よい地盤」の基準が明確にされていないため水道事業者が苦慮している状況にある。本論文では、平成7年兵庫県南部地震以後の主な地震被害事例について、地震被害と地盤条件との関係を微地形区分に着目して検討することにより、ダクタイル鋳鉄管K形継手が耐震適合性を有する地盤条件を明らかにした。

**Key Words :** water service pipeline K-type joint, earthquake-resistant adaptability,

## 1. はじめに

水道管路の耐震性を確保することは、飲料水はもとより、生活用水、消火用水、病院その他の事業活動等のあらゆる面で不可欠である。しかし、水道事業者は、収益が減少しつつある限られた予算の中で耐震化の速度を格段に上げることが困難であることや、高度成長期に整備された大量の水道施設が更新時期を迎え始めていることから、効果的な更新計画を策定するための優先順位付けが課題となっている。このような背景の下、耐震化の促進を目的として、平成20年の厚生労働省省令改正<sup>1)2)</sup>において、水道施設の備えるべき耐震性に関する指標が示された。このうち、水道管路に要求される耐震性が満たされているかどうかの状況(以下、「耐震適合性」という。)については、平成18年「管路の耐震化に関する検討会報告書」<sup>3)</sup>に基づき定めている。

この中で、水道管路で最も多く使用されているダクタイル鋳鉄管の耐震適合性の有無については、表-1に示すように区分された。NS形継手とK形継手の違いを図-1に示す。NS形継手等は、過去の地震被害の大半の原因である継手の抜出しに対応するために、地震時にロックリングと挿し口突部が噛み合っ

表-1 ダクタイル鋳鉄管の耐震適合性<sup>3)抜粋</sup>

	配水支管が備えるべき耐震性能	基幹管路が備えるべき耐震性能	
		レベル1地震動に対して、個々に軽微な被害が生じていても、その機能保持が可能であること	レベル2地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。
NS形継手等	○	○	○
K形継手等	○	○	注1)
A形継手等	○	△	×

○耐震適合性あり ×耐震適合性なし

△明確に耐震適合性ありとし難いもの

注1) : ダクタイル鋳鉄管(K形継手等)は、埋立地など悪い地盤において一部被害は見られたが、岩盤・洪積層などにおいて、低い被害率を示していることから、良い地盤においては基幹管路が備えるべきレベル2地震動に対する耐震性能を満たすものと整理することができる。

り、これまで地震被害の報告はない。それに対して K 形及び A 形継手は、耐震継手構造を有しないため、地震による継手の抜出しによる被害が多く生じている。なお、K 形継手は、A 形継手の止水性及び抜出しに対する抵抗力を高めるためゴム輪の形状を改良したものである。

表-1 では、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手等以外の耐震適合性の有無は明確となっている。しかし、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手等については、「K 形継手等は良い地盤において基幹管路が備えるべきレベル 2 地震動に対する耐震性能を満たすものと整理することができる。」との注釈があることから、地中に埋設した水道管を対象とした「良い地盤」の判断が必要となる。なお、本論文では「良い地盤」という表現を使用するが、水道管路を対象とした地盤判定に用いることに限定して定義したものであることを付記しておく。

「良い地盤」の判断については、現在のところ、公表されている複数の解釈があり、また平成 20 年の厚生労働省省令改正<sup>1)2)</sup>では、最終的な判断について地盤条件を十分に検討して判断するよう水道事業体に委ねられている。

## 2. 耐震化率算出に関する水道事業体の現状

水道事業体がダクタイル鋳鉄管 K 形継手等の耐震適合性の判断に苦慮している状況について、最近の全国レベルで行われた調査結果から得られる事項を以下に示す。

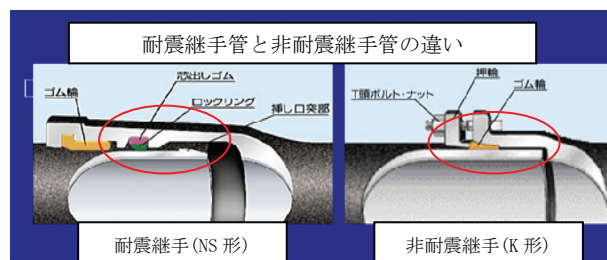
### (1) 厚生労働省調査(平成 20 年度末)

水道事業の所管である厚生労働省は、平成 20 年 4 月から 2 年間にわたり「水道施設・管路耐震性改善運動」を展開してきた。平成 20 年度末現在の調査では、基幹管路のうち、震度 6 強程度の揺れに耐えられるのは全国平均で約 34%であり、平成 18 年度末の 12%より成果は表れているものの、更に耐震化の促進が必要であることが示された。

この調査結果の注目すべき点は、水道事業者ごとの耐震化率が 0~100%と大きくばらついていることである。耐震管に該当する管路が布設されていない場合は 0%となるが、その他の場合は耐震適合性の判断指標の一部が明確となっていないことが、ばらつきの要因となっていると考えられる。例えば、山間部の地域では主観的な判断で 100%としているケースがあったり、地形別の区分を詳細に検討しようとしても使用する地形データや手順が全国的に同じ内容で示されていないことがこと等が挙げられる。

### (2) 日本水道協会

平成 21 年 3 月に開催された第 145 回水道技術管理者協議会の議題として、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手の耐震性が取り上げられ、182 水道事業体からの回答のうち耐震性を「満たすものとして整理してい



ダクタイル鋳鉄管協会 HP(製品の概要)<sup>3)</sup>に加筆

図-1 ダクタイル鋳鉄管の継手構造

る」が 30(16%)、「整理する予定」が 39(21%)、「整理していない」との回答は 113(63%)と報告された。

整理していない事業体が全体の 84%と大半を占めることから、整理をしようとしても出来ない不明確な点、即ち、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手の耐震適合性の判断指標や、判断手順が示されていないことが大きな要因と考えられる。また、この結果から、前項の厚生労働省調査の集計結果は、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手等の耐震適合性の有無について多くの水道事業体が考慮できていないことがわかる。

### (3) 水道技術研究センター

厚生労働省の研究委託として、平成 20 年度から 3 カ年計画で進めている「地震被害予測式の構築」の中で、現在の被害予測式について改善要望アンケートを実施した結果、ダクタイル鋳鉄管の継手別の補正係数の導入が改善要望の中で最も多く 20 件(25%)、地盤区分別の補正係数の導入が 12 件(14%)、合計で約 40%の要望があった。このことは、地震被害予測式から耐震化の優先順位を判断する際において、地盤と継手の関係を明確にすることが水道事業体から最も望まれていると考えられる。

## 3. 被害分析

### (1) 地震被害データ

本研究に用いた地震被害データは、(財)水道技術研究センターが厚生労働科学研究費補助金「施設更新の優先度を考慮した地震による被害管路の予測等」で収集・整理したものである。この地震被害データは、平成 7 年兵庫県南部地震の神戸市、西宮市、芦屋市、平成 16 年新潟県中越地震の長岡市、小千谷市、平成 19 年新潟県中越沖地震の柏崎市、刈羽村を対象に、継手形式を細分化したのものである。

### (2) 被害集計

上記で整理された都市別の K 形継手の管路延長、継手の被害箇所数、被害率を表-2 に示す。なお、K 形継手等は、K 形継手及び平成 11 年度以後の T 形継手を含んでいるが、本研究の対象とした地震被害

データには、該当する T 形継手管がないため、以後 K 形継手単独で分析することとした。その他、A 形継手等の被害についても、表-2 と同じ集計を行っており、A 形継手単独では合計の被害率が 0.38 件/km で、K 形継手の被害率より約 2 倍大きい。この結果は、平成 18 年「管路の耐震化に関する検討会報告書」<sup>3)</sup>の中で、神戸市の市街地の A 形継手の被害率が K 形継手の約 2 倍であったことについて、A 形は耐震適合性がないと判断した結果と同じであるため耐震適合性の判断の対象から除くこととした。なお、同じ K 形継手でも、地盤条件と被害率との相関に違いが表れるのではないかと考え、表-2 に示すように、神戸市を（市街地）と市街地以外の（その他）に区分して集計することとした。

ダクタイトル鋳鉄管 K 形継手の被害率を都市別に比較すると、新潟県中越沖地震の柏崎市、刈羽村及び新潟県中越地震の小千谷市が高く、その他の都市は低い傾向があり、一様ではないことがわかる。また、平成 18 年「管路の耐震化に関する検討会報告書」<sup>3)</sup>では、神戸市の市街地のみが A 形と K 形の継手別に整理されているが、その他の箇所について分析がされていないことから、対象を広げることにより様々な条件を踏まえた耐震適合性の判断ができるものと考えられる。

### (3) 微地形区分による検討

地震による継手被害と地盤条件との関係を微地形区分に着目して検討する。微地形区分に着目したのは、本検討のきっかけとなった平成 18 年「管路の耐震化に関する検討会報告書」<sup>3)</sup>の主な目的として、全国的な耐震適合性の判断を比較的簡易で信頼できる判断手法により行えるように、微地形区分にて判断していることから本検討においても準拠することとした。なお、微地形区分は、メッシュ形状で示されるため、本来の微地形区分と異なる範囲があることや、地盤の局所的な条件を網羅できないことから、さらに現地地形及び旧地形からの検討を加えることとした。

#### a) 微地形区分と継手別の集計

微地形区分については、防災科学技術研究所 J-SHIS 表層地盤 250m メッシュ<sup>5)</sup>(以下「250m メッシュ」という。)を使用した。本データは全国を網羅した微地形区分の中で最も小さいメッシュサイズで整理されている上に、ホームページからダウンロードできるなど汎用性が高いことから、耐震適合性の有無については全国的に同一の指標で、かつ詳細に評価ができるものとして適用した。また、250m メッシュは、GIS で活用できるデータ形式であることから、システム環境が整備されている水道事業者では、集計等が容易に可能である。

#### b) 微地形区分メッシュ境界部の検討

微地形区分は、メッシュ中の最も面積が多い地形区分が適用されているため、地形境界となるメッシ

表-2 ダクタイトル鋳鉄管 K 形継手  
延長・被害件数・被害率(都市別)

	延長 (km)	継手被害 (件)	被害率 (件/km)
柏崎	225. 2	84	0. 37
刈羽	36. 7	31	0. 84
長岡	344. 4	33	0. 10
小千谷	10. 4	7	0. 68
神戸(市街地)	100. 0	21	0. 21
神戸(その他)	141. 7	7	0. 05
西宮	10. 8	0	0. 00
合計	869. 1	183	0. 21

表-3 「良い地盤」の評価と区分

区分 (本検討)	参考文献 <sup>3)</sup>	参考文献 <sup>7)</sup> 「地形・地盤区分」	参考文献 <sup>8)</sup> 「表層地質区分」
区分①	良い地盤	良質地盤	基盤岩・洪積層等
区分②		沖積平地	沖積層 自然堤防・砂州
区分③		悪い地盤	谷・旧水部

ユにおける被害地点では本来の地形と異なる場合があると考えられる。このため、地形境界となるメッシュにおける被害地点については、5 万分の 1 都道府県土地区分基本調査(国土交通省)土地分類図<sup>6)</sup>にて確認し、本来の地形に修正した。本研究で対象としたダクタイトル鋳鉄管 K 形継手の被害地点では、その 54%が微地形区分と異なったことから、250m メッシュをそのまま使用するには問題があり、5 万分の 1 都道府県土地区分基本調査(国土交通省)土地分類図<sup>6)</sup>などの本来の地形を示す図による確認が必要である。

#### c) 「良い地盤」の区分についての検討

既存の文献では、微地形区分をいくつかの区分にまとめて評価している。ここでは、これらに対比し、分析を行う上での区分を検討した。表-3 には以下の①～③を整理し示す。

①「良い地盤」であるか否かを示す区分として公表されている平成 18 年「管路の耐震化に関する検討会報告書」<sup>3)</sup>によると、埋立地以外を「良い地盤」と定義している。

②「地震による水道管路の被害予測」<sup>7)</sup>の地形・地盤区分では、沖積平地と良質地盤とで区分している。

③表-1 の注記では「ダクタイトル鋳鉄管(K 形継手等)は、埋立地など悪い地盤において一部被害は見られたが、岩盤・洪積層などにおいて、低い被害率を示していることから、良い地盤においては基幹管路が備えるべきレベル 2 地震動に対する耐震性能を満たすものと整理することができる。」とあるが、平成 7 年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分

表-4 ダクティル鉄管K形継手 被害集計表

	微地形名称	延長 (km)	継手被害 (件)	被害率 (件/km)
区分①	山地	38. 0	5	0. 13
	丘陵	140. 9	11	0. 08
	砂礫質台地	135. 2	26	0. 19
	区分① 計	314. 1	42	0. 13
区分②	扇状地	146. 2	22	0. 15
	自然堤防	75. 2	5	0. 07
	後背湿地	165. 3	26	0. 16
	三角州・海岸低地	48. 0	21	0. 44
	砂丘	30. 3	25	0. 83
	区分② 計	465. 0	99	0. 21
区分③	谷底低地	80. 7	21	0. 29
	埋立地	9. 3	9	0. 75
	区分③ 計	90. 0	30	0. 34
	合計	869. 1	171	0. 20

析<sup>8)</sup>の表層地質区分と対比すると、沖積層と自然堤防・砂洲の判断が明確でない。

表-3 からは、岩盤・洪積層と埋立地の地盤の区分は全てで共通しているが、沖積層にあたる地盤の評価が異なることから、3つの区分（岩盤・洪積層にあたる区分を区分①、沖積層にあたる区分を区分②、埋立地等にあたる区分を区分③）に分けて検討することとした。

以上の区分で集計した結果を表-4 に示す。なお、表-4 では、表-2 に示した全被害のうち、道路崩壊などの継手形状が被害の要因とはならないと考えられる12箇所について被害件数から削除した。被害率の大きさは区分①<区分②<区分③の順であり、区分①は他の区分と比べると図-2 に示すように比較的小さいといえる。また、区分①の個々の微地形区分の被害率及び平均値と区分②の扇状地、自然堤防、後背湿地の被害率が同程度であった。区分②は、三角州・海岸低地及び砂丘も含めているが、扇状地、自然堤防、後背湿地の被害率と異なる。よって「良い地盤」の検討対象を、区分①と扇状地、自然堤防、後背湿地とすることとした。扇状地、自然堤防、後背湿地について各都市別の被害率をみると、図-3 に示すように、柏崎市及び刈羽村にて被害率が高いが、その他の都市は極端に低いことから、地域差があり、この集計だけでは耐震適合性を有するか否かの判断ができないことがわかった。なお「N 値 15 以上の沖積層では被害が少ないため検討を要する」との報告<sup>9)</sup>があることから、同じ地盤でも地域によって堆積層の硬さなどの違いから、耐震適合性を判断できる指標が得られる可能性があるため、今後の実験・解析において検討し確認する予定である。

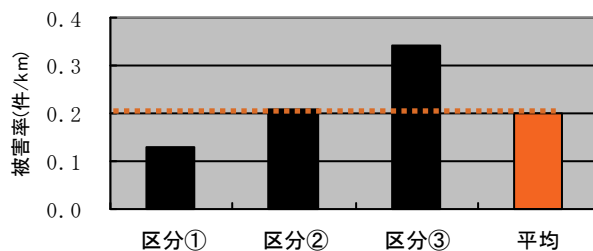


図-2 ダクティル鉄管 K 形継手被害率と微地形区分

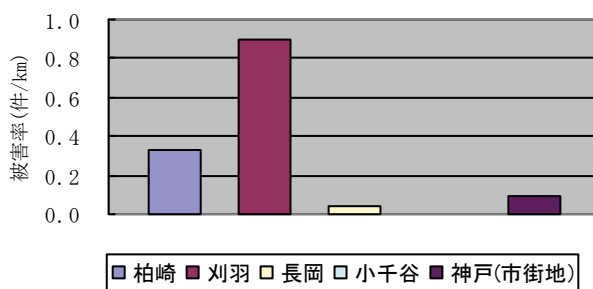


図-3 区分②の扇状地、自然堤防、後背湿地におけるダクティル鉄管 K 形の都市別被害率

#### (4) 旧地形による検討

区分①においても、団地造成などの人工改変により旧地形と異なるケースがあり、地形区分として誤った判断をする恐れがある。このことから、被害箇所の旧地形に着目して検討した。旧地形は、全国版として整理されている国土地理院 旧版地図または仮製地形図<sup>10)</sup>を使用した。

図-4 は、平成 7 年兵庫県南部地震における神戸市の被害と旧地形を重ねた図である。被害箇所は、旧池または切盛土の境界部で盛土に該当する箇所であった。現地形では、宅地造成により旧地形を全く見ることはできない。

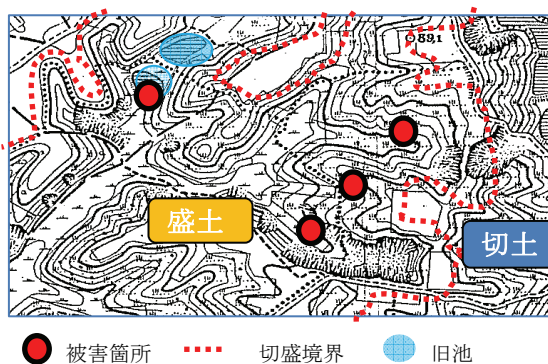


図-4 旧地形図<sup>10)</sup>と被害箇所(神戸)





● 被害箇所    ..... 切盛境界

図-5 現地形図<sup>11)</sup>と被害箇所(柏崎)

図-5 は、新潟県中越沖地震の柏崎市における被害と現在の地形を重ねた図に、旧版地図<sup>10)</sup>を参考にして切盛の境界線を記入した図である。宅地造成により旧地形は見られず、切盛土の境界部で盛土に該当する箇所に被害が生じていた。

区分①のダクタイル鋳鉄管 K 形被害 42 箇所について同様の検討した結果、20 箇所(48%)については、池の埋立て部(池に近接している箇所を含む)に、11 箇所(26%)については団地造成等の盛土に該当していた。また、残りの 11 箇所(26%)については山地と平坦地の境界で谷部に土砂が自然に堆積し田畑として使用されている地域であった。以上のことから、区分①の被害箇所は、全てが自然または人工の盛土であることがわかり、微地形区分で判断した地形と異なっていた。

よって、微地形区分で区分①におけるダクタイル鋳鉄管 K 形継手は、本来の微地形区分で検討した結果、耐震適合性を有すると言える。

#### 4. 結論

(1)本論文は、ダクタイル鋳鉄管 K 形継手の耐震性の判断について、判断の指標である、「良い地盤」の基準を明確にすることを目的として、平成 7 年兵庫県南部地震以後の主な地震被害事例における K 形継手被害と地盤条件との関係を、微地形区分に着目して検討した。この結果、下記の事項が明らかになった。

- a) 微地形区分で区分①とした、岩盤・洪積層に該当する地盤におけるダクタイル鋳鉄管 K 形継手は、5 万分の 1 土地分類図<sup>6)</sup>及び旧版地図または仮製地形図<sup>10)</sup>を活用し、本来の微地形区分で検討した結果、耐震適合性を有することがわかった。
- b) 微地形区分 250m メッシュを用いて地形を判断する場合、250m メッシュの隣接する地形が異なるメッシュで、岩盤・洪積層に該当する地盤におけるダクタイル鋳鉄管 K 形継手は、耐震適合性を有することがわかった。

(2)前項で示した判断指標を用いるために、水道事業体が検討する際の手順等を以下に示す。

- a) K 形継手の区分①に該当する 250m メッシュと隣接する 250m メッシュの微地形区分が異なる場合は、隣接する両方の 250m メッシュに該当する 5 万分の 1 土地分類図<sup>6)</sup>を、机上もしくはデータ上で比較し、5 万分の 1 土地分類図<sup>6)</sup>にもとづいて修正する。
- b) K 形継手の区分①に該当する 250m メッシュと旧版地図または仮製地形図<sup>10)</sup>を机上もしくはデータ上で比較し、池・川などの埋立地、造成による盛土範囲について該当の有無を確認する。
- c) 山地と平坦地の境界付近で谷筋にあたる箇所では部分的に被害が認められたため、旧版地図または仮製地形図<sup>10)</sup>で旧地形が確認できなかった場合でも、判断には注意を要する。

(3)区分①以外のダクタイル鋳鉄管 K 形継手は、耐震適合性が低いと考えられるが、被害資料の分析だけでは結論づけられないため、さらに検討が必要である。

(4)これまで、継手別の被害事例を収集、整理して汎用性の高いと考えられる微地形区分と比較した研究はなく、一つの指標が得られたと考えられる。

今後、本研究から明らかになったこと、引き続き検討が必要となったことについて、実物を使つての継手実験や現地にあった地盤モデルによる解析を通じて耐震適合性の判断指標をさらに定量的に明らかにしていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省：水道施設の技術的基準を定める省令の一部改正について(健水発第 0408001 号), 平成 20 年 4 月。
- 2) 厚生労働省：水道施設の耐震化の計画的実施について(健水発第 0408002 号), 平成 20 年 4 月。
- 3) 厚生労働省：平成 18 年管路の耐震化に関する検討会報告書, 平成 19 年 3 月。
- 4) ダクタイル鋳鉄管協会 HP: 製品の概要, 継手タイプ別及び機能別用途一覧, <http://www.jdpa.gr.jp/gaiyou.html>, 平成 22 年 6 月。
- 5) 防災科学技術研究所 HP: J-SHIS 表層地盤微地形区分, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 平成 21 年 7 月。
- 6) 国土交通省 HP: 5 万分の 1 都道府県土地区分基本調査(土地分類図), <http://tochi.mlit.go.jp/>。
- 7) (社)日本水道協会:地震による水道管路の被害予測, 平成 10 年 11 月。
- 8) (社)日本水道協会:1995 年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析, 平成 8 年 5 月。
- 9) (社)日本水道協会:水道管路被害推定システムに関する調査・研究(その 2), 平成 9 年度 p-44。
- 10) 国土地理院: 仮製地形図, 旧版地図, 明治 19 年, 20 年。
- 11) 電子国土: <http://cyberjapan.jp/>平成 22 年 4 月。

(原稿受理2010年7月23日)

## STUDY ON GROUND CONDITION FOR EARTHQUAKE-PROOF ADAPTABILITY OF WATER SERVICE PIPELINE

Yoshihiro KUMAKI, Masakatsu MIYAJIMA and Takuya FURUYA

It is important that making the water service pipeline earthquake-proof provide the priority level. It is in the situation to which the water-supply corporation is worrying about the judgment of so-called 'Good the ground' intended for the underground water service pipeline. This paper focuses on earthquake-proof adaptability of ductile cast iron pipe with K-type joint. The relation between the damage during the recent severe earthquakes and ground condition was examined. The ground condition that earthquake-proof adaptability of ductile cast iron pipe with K-type joint is recognized was clarified.