

ダクタイル鋳鉄管の継手別被害 と地震動に関する一考察

熊木芳宏¹・宮島昌克²

¹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

²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

ダクタイル鋳鉄管は、製造年代・用途に応じて継手形式が分類される。非耐震構造の継手は、地震時には継手の抜け出しにより被害が生じることがある。このためダクタイル鋳鉄管の継手別被害率を検討するには、継手形式別の継手構造の違いが地震時の抜け出し力に対して影響するかを定量的に評価する必要がある。

本稿は、ダクタイル鋳鉄管の継手別被害と地震動との関係についての基礎データを得ることを目的とし、地震動に対する継手別の抜け出し抵抗力の違いから継手の抜け出しに至るメカニズムを検証した。その結果、ダクタイル鋳鉄管の継手別被害率と地盤条件との関係について継手別の耐震性を評価するには、継手の特性を考慮した検討を行う必要があることが判明した。

Key Words : Ductile iron pipe, escape the power for earthquake , different structures of joint

1. はじめに

近年の地震による水道施設の被害は、道路に埋設されている水道管に多くみられる。水道管の種類には、鋳鉄製・鋼製・樹脂製などがあるが、なかではダクタイル鋳鉄管が最も多く使用されている。ダクタイル鋳鉄管の被害の形態は写真-1 に示すように、ほとんどが継手部の抜け出しである。ダクタイル鋳鉄管は製造年代・用途などに応じて、いくつかの継手形式がある。そのうちの大半は、A 形・K 形・T 形であり、地震時に抜け出しを防止する構造を有していない継手である。これらは、管内水圧に対して漏水が生じないよう、継手内部に止水目的のゴム輪を装着した構造であり、ゴム輪は継手との間に生じる摩擦力が地震時に対する抜け出し抵抗力的として働くと考えられる。この抵抗力は、ゴム輪の構造等が異なることから A 形・K 形・T 形の継手別に差が生じると推定される。また、水道管が埋設されている地盤条件の違いにより、継手別の被害の有無が異なることが推定される。

本稿では、既報告¹⁾のダクタイル鋳鉄管の継手別被害率と地盤条件との関係についての基礎データを得ることを目的として、まず継手別の特性を整理したうえで、地震動に対する継手別の抜け出し抵抗力の違いについて供試体による実験結果から求め



写真-1 ダクタイル鋳鉄管のK形継手抜け出し状況
(神戸市水道局 提供)

ることにより継手の抜け出しに至るメカニズムを検証した。

2. 継手特性

(1) 継手の種類

ダクタイル鋳鉄管の継手の変遷を図-1 に示す。そ

	'60年代(S35～)	'70年代(S45～)	'80年代(S55～)	'90年代(H2～)	'00年代(H12～)	'10年代(H22～)
プッシュオン継手	T形			NS形	GENEX	
メカニカル継手	A形	KF形	S形	SII形	NS形	
	K形					
	U形	UF形	US形			
	一般継手	耐震継手				

図-1 ダクタイル鋳鉄管の継手の変遷²⁾

の分類は、継手に抜け出し防止の構造を有しているか否かで一般継手・耐震継手に、また継手にボルトを有しているかでメカニカル継手・プッシュオン継手に大別される。年代別にみるとA形継手は、ダクタイル鋳鉄管の中で最も古い時代から使用されていることになるが、図-1は製造開始年を基に作成したものであり、各事業体での採用年とは一致しないので注意を要する。なお、現在A形継手は製造されていない。

A, K, T形継手管の特性として、継手部が伸縮・屈曲し地盤変位を吸収できることから、各々一定の地盤変形には耐えうる管として一般的に使用されてきた。しかし、近年の地震被害で継手部の抜け出し等が原因となる漏水が多く発生していることから、新規の使用や老朽管の更新には耐震継手の使用が推奨されている。なお、耐震継手であるS形SII形などの管については、一部の地域で埋立地や基幹管路などに使用されており、これまでの地震では継手の抜け出し等による漏水被害の報告は無い。

a) メカニカル継手（A形継手, K形継手）

メカニカル継手は、ダクタイル鋳鉄管の代表的な継手として、上水道、工業用水道その他で広く用いられている。A形継手は、図-2に示すように、継手部に挿入した台形状のゴム輪をボルト・ナットで締め付けることでゴム輪が圧縮され、管の受口側とさし口側に発生する面圧で止水する構造である。K形継手はA形継手の止水性、耐変形性を一層高めた改良型で、図-3に示すように、A形の台形状のゴムに加えて丸形状のゴムを一体化したゴム輪を用いた継手構造である。A形継手が面圧で止水しているのに対して、K形継手は丸形状のゴムが圧縮されることにより生じる復元力と内水圧が加わることによる面圧の増加（セルフシール作用）で止水する構造である。

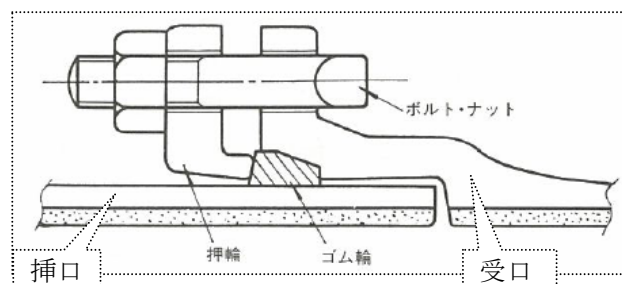


図-2 A形継手（φ75～φ350）

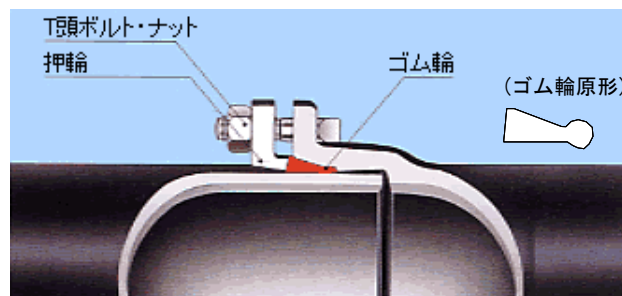


図-3 K形継手（φ75～φ2600）

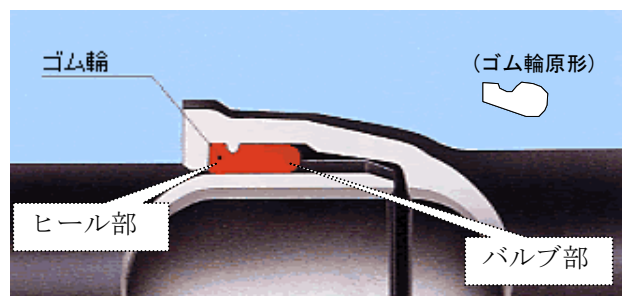


図-4 T形継手（φ75～φ2000）

表-1 継手別の伸縮(伸び)量³⁾

単位:mm

接合形式	A形		K形		T形	
呼び径	真直配管時 最大伸び量	設計照査用 最大伸び量	真直配管時 最大伸び量	設計照査用 最大伸び量	真直配管時 最大伸び量	設計照査用 最大伸び量
75	38	29	40	31	32	23
100	38	27	40	29	33	22
150	38	23	40	25	36	21
200	38	18	40	20	31	11
250	38	19	40	21	28	4
300	38	19	40	45	50	28
400	—	—	64	33	56	30
500	—	—	64	32	56	31

※設計照査用最大伸び量：継手を許容屈曲角まで曲げて配管した時の継手の伸び出し量

b) スリップ・オン継手 (T形継手)

スリップ・オン継手は、図-4 に示すように、A 形継手や K 形継手のような押輪、ボルト・ナットを必要としない継手である。接合は受口に挿し口を挿入するだけであるが、K 形の丸形状のゴムのかわりとなるゴム輪のバルブ部が圧縮されることにより発生する面圧と水圧による面圧の増加(セルフシール作用)による止水構造は、K 形と同じ構造である。

(2) 継手伸縮性能

A 形、K 形、T 形においては、許容伸縮量、許容屈曲角の範囲内ではある程度の地盤変動量を吸収できる。表-1 に A 形、K 形、T 形の各継手における伸縮(伸び)量について、真直配管時、許容曲げ角度時の最大伸び量を示す³⁾。表-1 からは、呼び径 250mm 以下の設計照査用最大伸び量は A 形、K 形より T 形継手は小さい。継手の抜け出し阻止力を考慮していない場合、同じ地盤変位量では T 形継手は A 形、K 形継手より被害確率が高いことになる。

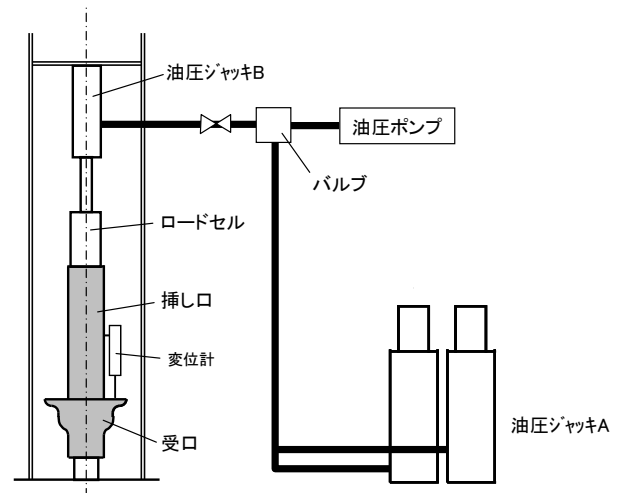


図-5 試験方法

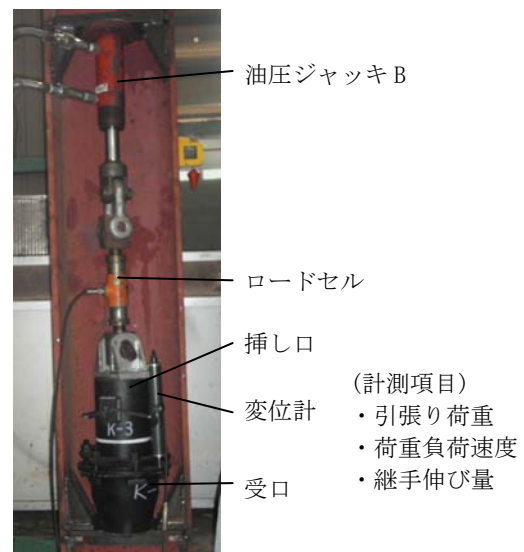
3. 継手別の抜け出し抵抗についての検討

ダクタイル鋳鉄管 K 形継手、T 形継手について地震時の継手抜け出し抵抗を確認するため、継手部に高速で引張り力を負荷し、引張り荷重と伸び量を測定した。なお、T 形継手については、既報告¹⁾の被害に対応するため平成 10 年度以前の旧形式を使用した。また、A 形継手については現在製造されていないことから実験対象から除いた。

(1) 実験内容

a) 供試品

供試品は、呼び径 150mm の K 形継手及び呼び径 150mm の T 形継手を使用した。



(計測項目)
・引張り荷重
・荷重負荷速度
・継手伸び量

写真-2 試験状況

b) 条件

・継手部

継手の抜け出し抵抗力を計測するにあたっては、継手時に使用する滑材の影響を除いて、実際の埋設された管路の状況に近づけることが必要である。このため、くしななければならない。継手時に使用した滑材を水で十分に洗い流したあと、継手部に充水した状態で、10日間屋外に放置した

・荷重負荷速度

震度 5 程度の地震を想定し、高速 (200mm/sec 程度) で継手部に引張り荷重を負荷した

・回数

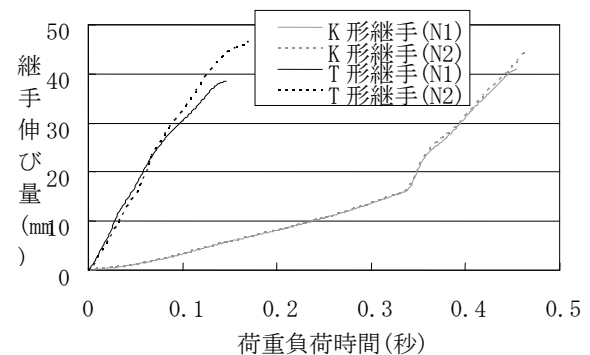
各継手 2 回ずつ実施した

c) 方法

図-5 に示す方法で継手部に高速で引張り荷重を負荷した。手順は①油圧ジャッキ A をストロークエンドまで加圧、②バルブを切り替え、油圧ジャッキ B に急激に引きぬき方向に加圧、③継手部に高速で引張り荷重を負荷する方法とした。試験の状況を写真-2 に示す。

表-2 試験結果

継手形式	充水期間	試験結果	
		荷重負荷速度 mm/sec	最大荷重 kN
K形	10日	170	16.5
		180	13.5
T形	10日	210	7.9
		240	10.0



(2) 結果

表-2 に実験結果の一覧を、図-6 に荷重負荷時間を、図-7 に引張り荷重と継手伸び量の結果を示す。

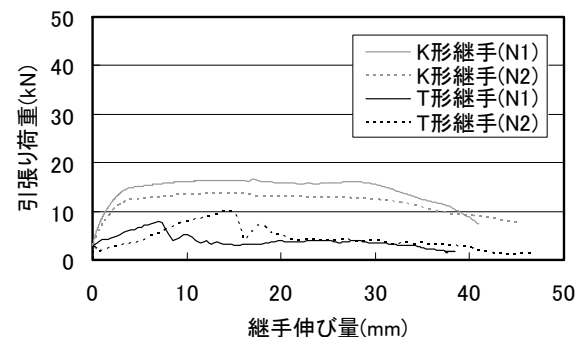
実験から以下の結果が得られた。

a) 荷重負荷速度は K 形継手で 170~180mm/sec, T 形継手で 210~240mm/sec であった。

b) 継手の伸び量は、K 形継手、T 形継手とも 40mm 程度であった。表-1 の K 形継手の継手伸縮性能から、呼び径 150mm の設計照査用最大伸び量では 25mm であることから、抜け出した。

c) 継手の抜け出し抵抗力は、K 形継手で 13.5~16.5kN, T 形継手で 7.9~10.0kN であった。

図-6 荷重負荷時間



(3) 考察

a) 継手の抜け出し抵抗力は、ゴム輪と管の摩擦力に従うと考えられる。つまり、ゴム輪の軸方向長さ L に比例すると推測される。

b) 呼び径 150mm の各継手のゴム輪 L 寸法を、抜け出し抵抗 R の実験結果と合わせて表-3 に示す。L に対する R の比率は、K 形、T 形ともほぼ同じであった。

c) 地震時に継手にかかる抜け出し抵抗力を文献ル铸铁管の管体応力算定のための簡便手法として震度 4 程度以上の地震観測から得られた式 (1) で計算してよいとされている。そこで、本検討では式 (1) により求められたダクタイル铸铁管に働く管体応力が継手に働き、抜け出し力として継手に作用するものとした。

図-7 引張り荷重と継手伸び量の測定結果

表-3 抜け出し抵抗およびゴム輪幅の関係

	K形	T形
L寸法 : L (mm)	45.0	25.4
抜け出し抵抗 : R (kN)	16.5	10.0
R/L	0.37	0.39
ゴム輪形状・L寸法		

$$\sigma_{2L} = \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot \ell}{2 \cdot A} \quad (1)$$

ここで,

σ_{2L} : 軸応力
 D : 管外径(=0.169m)
 τ : 管と地盤の摩擦力(=9.8kN/m²)
 ℓ : 管長(=5m)
 A : 管断面積(=0.0026m²)

式(1)より, 継手抜け出し力 R を式(2)のように推定した.

$$\begin{aligned}
 R &= \sigma_{2L} \times A & (2) \\
 &= \pi \cdot D \cdot \tau \cdot \ell / 2 \\
 &= 13 \quad (\text{kN})
 \end{aligned}$$

継手抜け出し力の計算結果は, 13kN となり実験結果とほぼ同等であった. このことは, 地震時に継手部が抜け出す可能性があること, 更には継手の違いにより被害に差が出る可能性があることを示唆している.

5. 結論

本稿では, 既報告¹⁾のダクタイル鋳鉄管の継手別被害率と地盤条件との関係についての基礎データを得ることを目的として, まず継手別の特性を整理したうえで, 地震動に対する継手別の抜け出し抵抗力の違いについて供試体による実験結果から求めることにより継手の抜け出しに至るメカニズムを検証した.

その結果以下の点が明らかになった.

- 実験で得られた継手の抜け出し抵抗力和, 水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版⁴⁾で計算値と地震による継手にかかる応力はとの差は大きくない.
- 従来は, 継手の被害の主要因は管路が埋設されている地盤変位量が大きく影響しているとされている. しかし, 本検証結果からダクタイル鋳鉄管のよ

表-4 微地形区分別の被害率

微地形区分	被害率 (件/km)		
	A 形	K 形	T 形
扇状地	0.41	0.14	0.27
自然堤防	0.16	0.05	0.44
後背湿地	0.23	0.15	0.13
三角洲・海岸低地	0.50	0.40	0.28
砂洲・砂礫洲	0.00	0.00	0.00
砂丘	0.73	0.94	0.75
谷底低地	0.17	0.22	0.05
河原	0.00	0.00	0.00
旧河道	0.00	0.00	3.72
埋立地	2.77	0.86	1.69
合計	0.47	0.21	0.34

うな鎖構造の管体では継手に働く抜け出し力も考慮することが必要である.

c) K 形と T 形の比較にはなるが, 既報告¹⁾の被害率のうち人口的に地盤を改変している可能性がある山地・丘陵・砂礫質台地を除いた継手別の被害率の大小は, 表-4 に示すように実験で得られた結果とは同じである. このことから, 同じ地盤条件でも継手別で被害の有無が生じることがあると推測される.

以上のことから, ダクタイル鋳鉄管の継手別被害率と地盤条件との関係について継手別の耐震性を評価するには, 継手の特性を考慮した検討を行う必要がある.

今後は, 本検討で得られた結果を参考に研究を進め, ダクタイル鋳鉄管の継手構造と地盤条件と関係から耐震適合性の判断指標を示す.

参考文献

- 1) 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, 土木学会地震工学論文集, 第 31 巻.
- 2) 日本ダクタイル鋳鉄管協会ホームページ <http://www.jdpa.gr.jp/>
- 3) ダクタイル管路の耐震設計について, 日本ダクタイル鋳鉄管協会, pp. 14, 1997.
- 4) 水道施設耐震工法指針・解説 I 総論, (社)日本水道協会, pp. 262-263, 2007.

STUDY ON EARTHQUAKE DAMAGE AND DUCTILE IRON PIPE JOINT

Yoshihiro KUMAKI, Masakatsu MIYAJIMA

Ductile iron pipes are classified according to the application from production joint. Non-earthquake-resistant joints caused by the escape of joint damage during the earthquake. Another factor to consider damage to ductile iron pipe joint for this purpose, it is necessary to evaluate quantitatively the effects of earthquake to escape the power of the different structures from a separate joint.

This paper is intended to obtain basic data about the relationship between earthquake damage and other joints of ductile iron pipe. Mechanism leading to the escape of the joint is examined from the difference between the resistance escape for earthquake. As a result, it was found that need to consider taking into account the characteristics of the joint, to evaluating between the earthquake-proof of joint and soil condition.