

# ダクティル鑄鉄管の継手形式別被害 に関する一考察

熊木芳宏<sup>1</sup>・宮島昌克<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 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>正会員 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

近年の地震による水道管被害は、ダクティル鑄鉄管の継手抜け出しによる事例が多く報告されている。ダクティル鑄鉄管は、抜け出し防止機能を有する耐震継手、有しない非耐震継手と大きく分類され、耐震継手の被害報告は無い。非耐震継手は、主に製造年代と口径により継手形式が異なることから、被害率と継手形式とは関係があるものと推測される。

本稿は、ダクティル鑄鉄管の継手別被害から耐震適合性の新たな判断指標を提案することを目的とした研究の一環として、継手別の抜け出し抵抗力の違いを実験により求め、既往の研究との対比を行った。その結果、ダクティル鑄鉄管の抜け出し抵抗力は継手によって差があることを明らかにした。

**Key Words :** ductile iron pipe , earthquake damage , joint type

## 1. はじめに

近年の地震による水道施設の被害は、水道管に多くみられる。水道管の種類には、鑄鉄製・鋼製・樹脂製などがあり、現状ではダクティル鑄鉄管が最も多く使用されている。ダクティル鑄鉄管で構成された管路は、1本が4～5mの管を管の両端の継手により継ぎ足していること、管本体の強度が強いことから、地震時にかかる力が継手部に集中する特徴がある。ダクティル鑄鉄管には、抜け出し防止機能を有する耐震継手管、有しない非耐震継手管と大きく分類され、これまで耐震継手の被害報告は無く、非耐震継手に被害が生じている。継手の抜け出し被害の状況を写真-1に示す。ダクティル鑄鉄管は、主に製造年代・使用する口径に応じて異なる継手形式がある。そのうち耐震継手はNS形継手等であり、非耐震継手はA形・K形・T形の各継手である。非耐震継手は継手の構造が異なることから地震時の継手形式別の被害には差があるものと推測される。

水道管の耐震化を進める際には、継手形式別の耐震適合性を示す指標<sup>1)</sup>に基づき行うものとされている。指標<sup>1)</sup>では、表-1に示すように継手別で耐震適合性に違いがあるとしている。なお、表-1の「K形継手等」はK形継手および平成11年以後のT形



写真-1 ダクティル鑄鉄管のK形継手抜け出し状況  
(神戸市水道局 提供)

継手、「A形継手等」はA形継手および平成10年以前のT形継手である。ここで、地震時に水道管の軸方向に生じる力に対して継手の持つ抜け出し抵抗力が同じだと仮定すると、継手形式別に被害の差異があることにはならないことから、表-1は適正な指

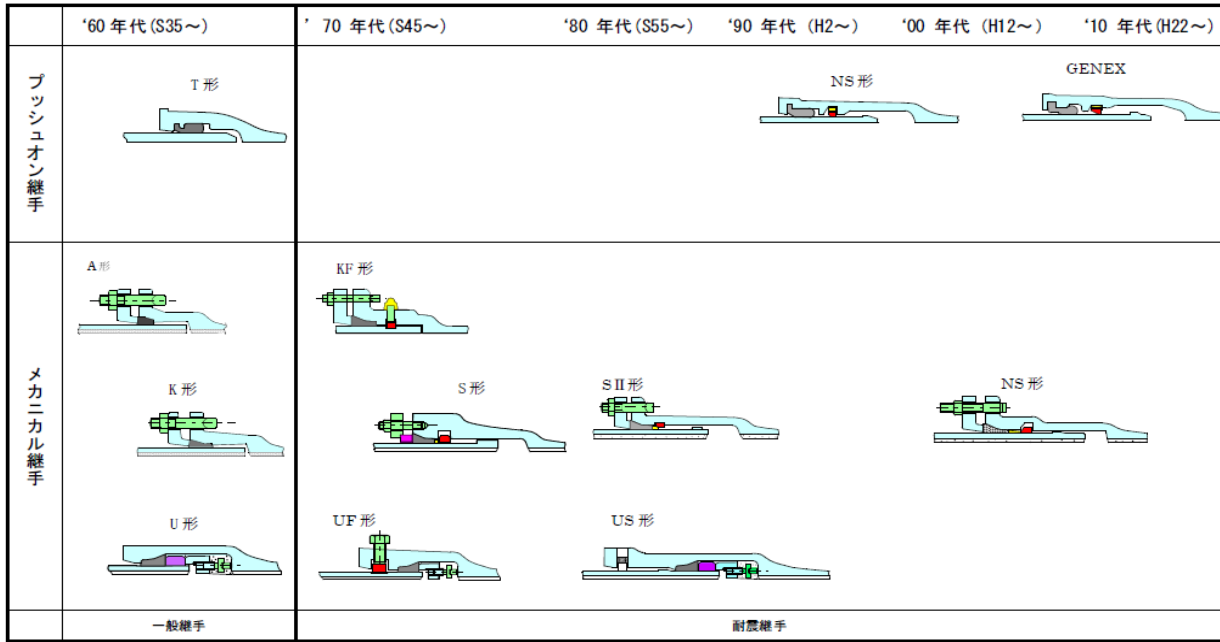


図-1 ダクタイル鋳鉄管の継手変遷<sup>2)</sup>

標とは言い難くなるといった課題がある。

本稿は、ダクタイル鋳鉄管の継手別被害から耐震適合性の新たな判断指標を提案することを目的とした研究の一環として、上記の課題に着目し、継手別の抜け出し抵抗力の違いを実験により求め、既往の研究との対比を行う。その結果、ダクタイル鋳鉄管の抜け出し抵抗力は継手によって差があることを明らかにし、さらに既往の研究を基に継手別の耐震適合性の優先順位を提案する。

## 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、有している構造を耐震継手、有していない構造を非耐震継手（図-1では「一般継手」）に、また継手にボルトを有しているかで、有している構造をメカニカル継手、有していない構造をプッシュオン継手として大別される。図-1は製造開始年を基に作成されたものであり、水道事業者ごと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形、K形、T形の各継手の特性として、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る管としてこれまで一般的に使用されてきていた。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

表-1 ダクタイル鋳鉄管の耐震適合性<sup>1)</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も、その機能保持が可能であること	レベル1地震動に対して、原則として無被害であること	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。

継手であるS形SⅡ形などの管は、近年の地震による被害率が高いとされている埋立地などに使用されてきており、継手の抜け出しによる被害の報告はない。

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形継手の止水性と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。

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。なお、平成11年度製造分からは、継手の呑込み長(挿し口と受口の重なり長さ)がK形と同じとなったことから、継手の耐震性について同様の機能を有するものとして評価する。

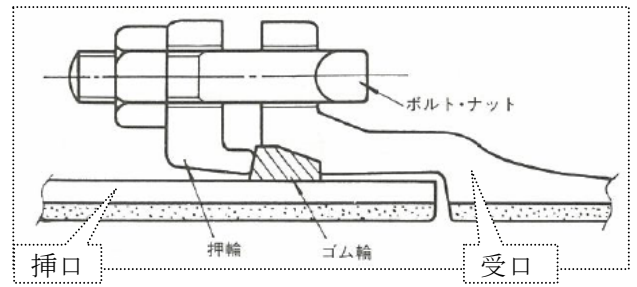


図-2 A形継手 (φ75mm～φ350mm)<sup>2)</sup>

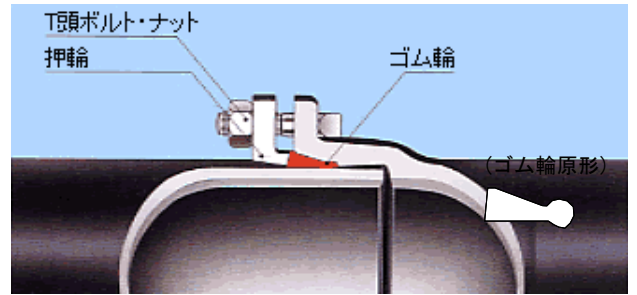


図-3 K形継手 (φ75mm～φ2600mm)<sup>2)</sup>

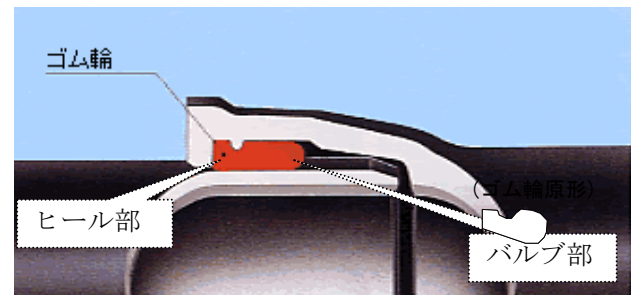


図-4 T形継手 (φ75mm～φ2000mm)<sup>2)</sup>

(2) 継手伸縮性能

A形, K形, T形の各継手においては、許容伸縮量および許容屈曲角の範囲内で、ある程度の地盤変動量を吸収できる。表-2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<sup>3)</sup>。なお、設計照査用最大伸び量は、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であり、継手部の被害は、その伸び量を超える継手の伸びが生じた場合に漏水が生じると考える。

表-2から、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形継手より被害率が高いことになる。なお、T形継手の値については、平成10年以前の旧値を示している。

これらの継手は、前述したように管内水圧に対して漏水が生じないように、継手内部に止水目的のゴム輪を装着した構造であるが、ゴム輪の継手との間に

表-2 継手別の伸縮(伸び)量<sup>3)</sup> 単位:mm

呼び径	A形		K形		T形	
	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

生じる摩擦力の違いが地震時の抜け出し力に対する抵抗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 形の継手別に差があるものと推定される。また、継手の構造以外では、水道管が埋設されている地盤条件の違いによっても、継手別で被害率が異なると推定された。

### 3. 継手別の抜け出し抵抗力についての検討

ダクタイル鋳鉄管の各継手について地震時の継手抜け出し抵抗力を確認するため、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<sup>1)</sup>の指標を判定したデータと同じく平成 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。

##### b) 実験条件

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必要がある。このため、接続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。

K 形, T 形継手等の非耐震継手管は、過去の地震において震度 5 程度から継手部の抜け出しによる被害が生じている。このため、本実験においては震度 5 程度の地震を想定し、高速 (200mm/sec 程度) で継手部が抜け出す方向に荷重を負荷した。

##### 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。

#### (2) 結果

表-3 に実験結果の一覧を、図-6 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 形継手の平均で 175mm/sec, T 形継手の平均で 225mm/sec であった。荷重負荷速度を 200mm/sec に設定して実験を行ったが、継手形

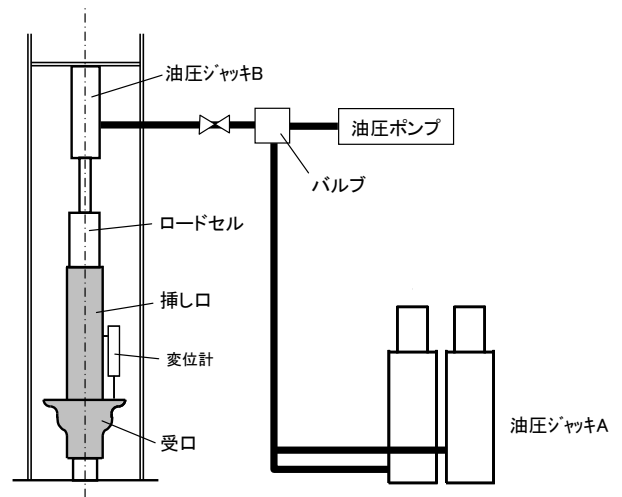


図-5 試験方法

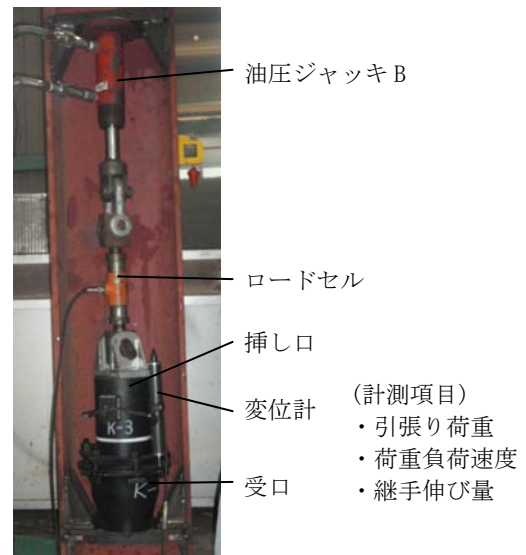


写真-2 試験状況

表-3 試験結果

継手形式	試験№	試験結果		
		荷重負荷速度 V mm/sec	V <sup>2</sup>	最大荷重 F kN
K形	1	170	28900	16.5
	2	180	32400	13.5
	平均	175.0	30650	15.0
T形	1	210	44100	7.9
	2	240	57600	10.0
	平均	225.0	50850	9.0
K形との比		1.29	1.66	0.60

式ごとに異なり, T 形継手の速度は K 形継手の約 1.3 倍であった。

b) 継手部の被害は, 表-2 に示す設計照査用最大伸び量を超える継手の伸びが生じた場合, 漏水が生じることになり, これを判定基準とする. 実験で得られた継手の伸び量は, K 形継手, T 形継手とも最大 40mm 程度であった. 表-2 の継手伸縮性能から, 両継手形式の呼び径 150mm 設計照査用最大伸び量(A 形継手 23mm, K 形継手 25mm)より大きく, 震度 5 程度では継手の抜け出しが生じた.

c) 継手の平均抜け出し抵抗力は K 形継手で 15.0kN, T 形継手 9.0kN の約 1.6 倍であった. これは, 荷重負荷速度の 2 乗の比率とほぼ等しいことから, 両継手にかかるエネルギーはほぼ等しい.

d) 引張り荷重と継手伸び量の関係から, K 形継手は抜け出し抵抗力を持続しながら継手の伸びが進行したが, T 形継手は抜け出す初期段階で抜け出し抵抗力の最大値を示した後に抵抗力が急激に低下した.

### (3) 考察

K 形継手と T 形継手における引張り荷重の測定結果が異なる現象については以下のように推測される. K 形継手は, 管とゴム輪が滑っても, ボルトで締め付けられているゴム輪と管の間には最大抜け出し抵抗力と同程度の面圧が発生しており, 抜け出す手前まで継手の抜け出し抵抗として作用する. T 形継手は抜出し始めの段階は管とゴム輪が一緒に動き抜け出し抵抗力が高まるが, ある抜出し量に達するとゴム輪と管が滑りだし, 抜け出し抵抗力が低下する.

前項の結果ならびに既存の知見をもとに, K 形継手および T 形継手の抜け出し抵抗力について検討を行った.

#### a) 検討①

地震時に継手にかかる抜け出し抵抗力を, 文献4)により計算し, 実験結果と比較した.

応答変位法による継手構造管路の耐震計算法のなかで, ダクタイル鋳鉄管の地震動レベル1における管体発生応力を式(1)のように定めている. そこで, 本検討では式(1)により求められたダクタイル鋳鉄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て考えた. なお, 式(1)においては管と地盤の滑りは考慮されていない. 耐震計算例のモデル地盤としては, 文献5)を参照し, 図-7に示す比較的軟弱な地盤に埋設された呼び径150mmのダクタイル管路の軸方向の管体発生応力を算出した.

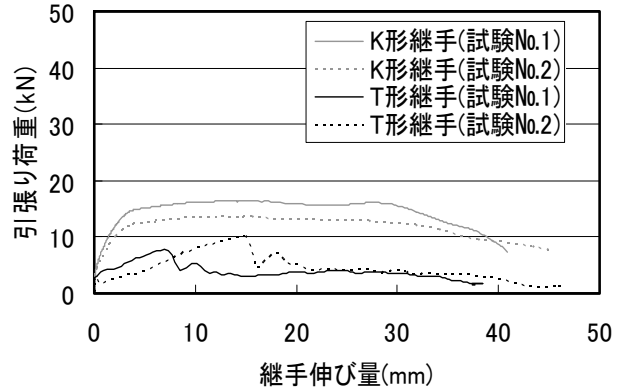


図-6 引張り荷重と継手伸び量の測定結果

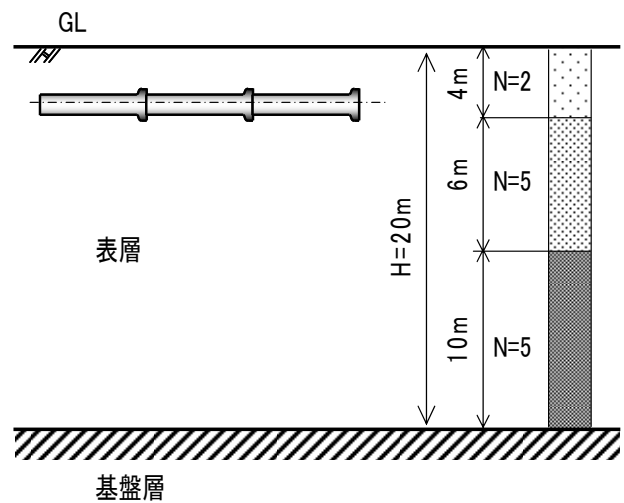


図-7 モデル配管例

$$\sigma'_{IL} = \zeta_l \cdot \sigma_{IL} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

$\sigma'_{IL}$ : 管体発生応力 (軸応力) (MPa)

$\zeta_l$ : 伸縮可撓継手管路の補正係数

$$\sigma_{IL} = \alpha_l \cdot \pi \cdot U_h \cdot E/L$$

$U_h$ : 地盤の水平変位振幅(m)

$$U_h = 2 \cdot Sv' \cdot T_G \cdot \cos(\pi h'/2H)$$

$Sv'$ : 基盤地震動の速度応答(m/s)

$T_G$ : 表層地盤の固有周期(s)

$h'$ : 地表面から管中心までの距離(m)

$H$ : 表層地盤の厚さ(m)

$E$ : 埋設管路の弾性係数(kN/m<sup>2</sup>)

$L$ : 地震波の波長(m)

$\alpha_l$ : 管軸方向地盤変位の伝達係数 (下式)

$$\alpha_l = 1 / (1 + (2\pi/\lambda_l L')^2)$$

$L'$ : 見かけの波長 (=√2×L) (m)

$$\lambda_l = (K_{gl}/E/A)^{1/2} \text{ (1/m)}$$

$A$ : 埋設管路の断面積(m<sup>2</sup>)

$K_{gI}$ : 地盤の剛性係数(下式)

$$K_{gI} = C_I \cdot r_t \cdot V_s^2 / g \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$r_t$ : 土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$C_I$ : 定数(概ね 1.5 前後)

$V_s$ : 表層地盤のせん断弾性波速度(m/s)

(計算条件)

外径: 0.169m

管厚: 0.0075m

管長: 5m

土被り: 1.2m

土の単位体積重量: 17kN/m<sup>3</sup>

(計算結果)

	層厚(m)	N 値	せん断弾性波速度	$H/V_s$
①	4	2	$61.8N^{0.211}=71.53$	0.056
②	6	5	$61.8N^{0.211}=86.79$	0.069
③	10	5	$122N^{0.0777}=138.25$	0.072
④		50	$205N^{0.125}=334$	

$$T_G = 4\Sigma(H/V_s)=0.79\text{(s)} \quad S_v=0.5\text{(m/s)}$$

$$L = 122.8\text{(m)} \quad K_{gI}=1331\text{(kN/m}^2\text{)}$$

$$h' = 1.28\text{(m)} \quad U_h=0.08\text{(m)}$$

$$A = 2.58 \times 10^{-3}\text{(m}^2\text{)} \quad \lambda_I=0.180\text{(1/m)}$$

$$\alpha_I=0.961 \quad \sigma_{IL}=313\text{(MPa)}$$

$$\zeta_I=0.0968$$

軸方向の管体発生応力は式(2)に示すようになり、また継手抜け出し力 R は式(3)のように推定した。

$$\sigma'_{IL} = 30.3\text{(MPa)} \quad (2)$$

$$R = \sigma'_{IL} \times A \quad (3)$$

$$= 78.1\text{(kN)}$$

継手抜け出し力の推定結果は、実験結果に対して 6~10 倍大きな値であった。このことから本条件では、管が埋設された地盤と管表面とがすべらないので抜けることになる。

### b) 検討②

地震時に継手にかかる抜け出し抵抗力を文献 6) により計算し、実験結果との比較をした。

文献 6)では、地震動レベル 2 に対するダクタイル 鋳鉄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(4)で計算してよいとされている。式(4)は、昭和 53 年 6 月 12 日 17 時 14 分に発生した宮城県沖地震の際、青森県 八戸市で観測された地盤ひずみ、管路ひずみ、継手伸縮量の値から表わされたものである。そこで本検討では、式(4)により求められたダクタイル 鋳鉄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。

表-4 微地形区分別の被害率<sup>7)</sup>

微地形名称	被害率		
	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

$$\sigma_{2L} = \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot \ell}{2 \cdot A} \quad \text{(MPa)} \quad (4)$$

ここで、

$\sigma_{2L}$ : 軸応力(MPa)

$D$ : 管外径(=0.169m)

$\tau$ : 管と地盤の摩擦力(=9.8kN/m<sup>2</sup>)

$\ell$ : 管長(=5m)

$A$ : 管断面積(=0.0026m<sup>2</sup>)

式(4)より、継手抜け出し力 R を式(5)のように推定した。

$$R = \sigma_{2L} \times A \quad (5)$$

$$= \pi \cdot D \cdot \tau \cdot \ell / 2$$

$$= 13 \text{ (kN)}$$

実験結果は、式(4)による推定値と比較して、K 形継手は大きな値で、T 形継手は小さな値となった。このことから本条件では、K 形継手は管と埋設された地盤の滑りが継手の抜ける前に発生するので抜け出すまでには至らない。一方、T 形継手は管が埋設された地盤と管表面とが滑り始める前に抜けることになる。この結果から、地震時に継手部が抜け出す可能性があること、また継手の違いにより被害に差が出る可能性があることと推定された。

### c) 検討③

表-4 は、K 形継手および T 形継手の微地形別被害率を示す。本表は、文献 7)を参照し人工的に地盤

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である。微地形区分によりばらつきはあるものの、全体的な被害率は K 形継手よりも T 形継手の方が 6 割程度高い。逆に、実験では、抜け出し抵抗力は K 形継手の方が T 形継手より 6 割程度高い。このことから、継手の抜け出し抵抗力の比率が、被害率に表れている。また、A 形継手の抜け出し抵抗力は実験できないが、表-4 から T 形継手よりも劣ると推測された。ただし、A 形継手の耐震性能を論理的に評価するには更なる検討が必要である。

## 5. 結論

K 形継手, A 形継手, T 形継手などの非耐震構造継手の耐震適合性は、被害率と継手の形式に関する文献 1) について、継手別の抜け出し抵抗力の違いを実験により求め、既往の研究との対比を行った。

その結果、以下のことが判明した。

- T 形継手と K 形継手では地震時の抜け出しに対する抵抗力が異なり、抜ける場合と抜け出さない場合がある。
- 抜け出し抵抗力は K 形継手 > T 形継手である。
- ダクタイル鋳鉄管の継手の抜け出しによる被害が発生するか否かについては、継手形式が異なるこ

とが要因の 1 つである。

よって、ダクタイル鋳鉄管耐震適合性を評価するには、継手の特性を考慮した検討を行う必要があると言える。なお、K 形継手, T 形継手の微地形別被害率と A 形継手の微地形別被害率との関係から、耐震適合性に関して継手の優劣は K 形継手 > T 形継手 > A 形継手の順であると推測された。

## 参考文献

- 1) 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, 2007.
- 2) 日本ダクタイル鋳鉄管協会ホームページ：<http://www.jdpa.gr.jp/>, 2011.
- 3) 日本ダクタイル鋳鉄管協会：ダクタイル管路の耐震設計について, p.14, 1997.
- 4) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 I 総論, pp. 257-258, 2009.
- 5) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説, p. 241, 1979.
- 6) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 I 総論, pp. 262-263, 2009.
- 7) 熊木芳宏・宮島昌克・降矢拓也：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, 土木学会論文集, Vol.66 No.1, pp.397-402, 2010.

(2011. 12. 12 受付, 2012. 2. 29 修正, 2012. 3. 6 受理)

## STUDY ON EARTHQUAKE DAMAGE IN DUCTILE IRON PIPE JOINT

Yoshihiro KUMAKI, Masakatsu MIYAJIMA

In recent year, most of water pipe damages caused by earthquakes have been reported by pull out at joint. Ductile iron pipe are classified as mechanical type for earthquake-proof or non-earthquake-proof joint and slip-on type for non-e-proof joint. The earthquake proof joint never been damaged in the past earthquakes but the damage for another types of joint occurred frequently. Since the type of joint depends on the manufaction age and pipe diameter. Therefore, it could be estimated the relation between the damage rate and joint type. This paper focused on this issue. The resistance force against pull out at joint was clarified by the experiments and the results are discussed. Finally the earthquake adaptability for the different joint types is proposed.