大阪府北部の地震で破損した 初期ダクタイル鋳鉄管の材料特性

鍬田 泰子¹·山村 優²

¹正会員 神戸大学准教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1) E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

> ²学生会員 神戸大学工学部 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1) E-mail: 1534258t@stu.kobe-u.ac.jp

2018年6月に発生した大阪府北部の地震では、大口径送水管の管体破損が複数発生し、周辺地域に断水 をもたらした. 高級鋳鉄管から延性のあるダクタイル鋳鉄管に移行する過渡期に製造された初期ダクタイ ル鋳鉄管の材料強度不足が被害要因の一つになっている.本研究は、掘り上げられた破損管と新管を用い て材料強度試験や引張破断面の顕微鏡観察を行い、ダクタイル鋳鉄管の材料特性について明らかにした. 掘上管は、現行のダクタイル鋳鉄管の規格基準に満たしておらず、脆性的な破断形態を持つ材料特性であ ることがわかった. さらに、ダクタイル鋳鉄管特有の鋳造過程にできる管表面の凹凸や球状黒鉛の不均質 性によって、管厚内部を削り出した円棒試験片よりも管路表面を有する円弧状試験片の方が引張強さが厳 しく評価された.

Key Words: ductile iron pipe, damage mechanism, tensile strength, brittle fracture

1. はじめに

2018 年 6 月 18 日に発生した大阪府北部の地震では, 最大震度 6 弱が観測され,大阪広域水道企業団の大口径 ダクタイル鋳鉄管 (Ductile iron pipe, DIP ϕ 900, DIP ϕ 800) において,地中管路の一般的な地震被害形態である継手 離脱ではなく,管体破損による漏水被害が発生した.震 源周辺では住宅の屋根瓦の被害が多く見られたが,他の 土木施設には重大な被害は見られなかった¹⁾.地震後に, 企業団は被害管を掘り上げ,被害メカニズムの検証を行 った.初期ダクタイル鋳鉄管の材料強度不足,管路外面 の腐食劣化,地震時の管内水圧の上昇などの複数の要因 によって被害が発生したと報告されている⁹.

これまで延性があると考えられてきたダクタイル鋳鉄 管が管体で破損したことを受けて、本研究では被害を受 けた管の一部を用いて材料強度試験を行い、初期ダクタ イル鋳鉄管の材料特性を明らかにすることを目的とする. さらに、本地震の被害が経年的な劣化の問題であるのか、 初期ダクタイル鋳鉄管自体の特性であるのかを検討する ために、現行規格のダクタイル鋳鉄管も用いて同様の試 験を行いその特性について明らかにし、それらの結果に 基づいて本地震の被害メカニズムについても考察する.

2. 大阪府北部の地震における DIP 管の被害状況

大阪広域水道企業団の北部水道事業所は, 淀川より北 部にある大阪府下の市町村に用水供給を行っている. 当 該地域の主要な送水システムは, 淀川で取水した水を, 一旦淀川左岸の高台にある村野浄水場に圧送・浄水処理 をし, 村野浄水場から枚方大橋に隣接する枚方水管橋を 経由して, 高槻市, 茨木市, 吹田市等に送水している. 摂津市, 吹田市, 箕面市, 豊中市には, さらに淀川下流 で取水した水を三島浄水施設, 万博浄水施設から別系統 で送水されている. 企業団によると, 浄水場やポンプ場 等の施設に顕著な被害はなく, 管路上にある空気弁や管 路本体の被害が発生した. 北部水道事務所が管理する上 水道管路 113km に対して被害が 3 件 (0.03 件/km) であ った. 村野浄水場からの送水系統では, 3 つの圧力区間 において1ヵ所ずつ管路被害が発生した. その内の2件 がダクタイル鋳鉄管の管体破損であった.

周辺の市町に最も影響を与えた被害は、高槻市下田部 町における上水道のダクタイル鋳鉄管で、口径が φ 900 であった(図-1 参照). 地震直後、路面に水が噴き出 していた. 同日午前 10時 30 分頃より手動にて止水作業 が始められ、午前 11 時過ぎに止水が完了し、午後 3 時



図-1 高槻市内の上水道送水管 DIP φ 900 の被害(企業団提供 資料)



に管路の破損状況が確認された.管路の流水方向に対し て時計の2,3時方向に幅0.3m,管軸方向に1.5m程度の 破損が生じた.破損の場所は6mの直管部の継手寄りの 胴体部分であった.埋設深さは管頂部まで約1.6mであ る.埋設年は1963年である.ダクタイル鋳鉄管内部に はモルタルライニングがされていた.第4次拡張期に建 設された当該送水管(4拡北部幹線)付近には,企業団 の5拡北部幹線φ1600や工業用水道の配水管φ900,高 槻市の配水幹線φ500など多くの管路が同じ道路下に並 走して埋設されているが,漏水による隣接管への被害は 報告されていない.管路復旧は夜間も行われ,地震の翌 日午前9時45分には復旧作業が完了し道路開放した.

もう1ヵ所は、吹田市藤白台のダクタイル鋳鉄管で、 口径がφ800であった(図-2参照).この管路の埋設年 は1965年で、上述と同じく第4次拡張期に建設された 送水管である.歩道下に埋設された管路で、管路頂部に 管軸方向に約1.6mの亀裂が発生した.高槻での管体破 損形態とは異なっていた.道路解放には54.5時間を要し た.

表-1 ダクタイル鋳鉄管の規格変遷3

年	規格名	引張強さ (MPa)	伸び(%)
1961年	日本水道協会規格 JWSAG105「水道用遠心力ダクタイ ル鋳鉄直管」制定	372以上	3以上
1974年	日本工業規格 JIS 5526「水道用遠心力球状黒鉛鋳 鉄管」制定	392以上	5以上
1982年	日本水道協会規格 JWWA G 113「水道用ダクタイル鋳 鉄管」制定	412以上	10以上
1990年	日本水道協会規格 JWWA G 113「水道用ダクタイル鋳 鉄管」改正	420以上	10以上

3. ダクタイル鋳鉄管の規格の変遷³

我が国の鋳鉄管製造の歴史は、明治初期以降である. 普通鋳鉄管は衝撃に弱いという短所があったことから鋳 鉄の強度向上の研究が始められ、昭和の初め頃から高級 鋳鉄管の製造が成功している.1933年には日本水道協 会の「水道用高級鋳鉄管規格」となっている.高級鋳鉄 は、黒鉛の量が少なく、黒鉛の形も小さい.その後、 1960年代にダクタイル鋳鉄管の製造が始まる.

日本水道協会のダクタイル鋳鉄管の規格の変遷をたど ると、1961年に規格が制定されて以降、引張強さや伸 びが改訂されてきた.表-1にその経緯を示す.本地震 で被害を受けた管路はいずれも1961年の規格に適用さ れている.

また,普通鋳鉄から高級鋳鉄に移行するにあたり,鉄 管メーカでの製造方法もこれまでの立吹鋳造法から砂型 遠心力鋳造法に変わった.さらに,1960年代以降には, 現行のサンドレジン型遠心力鋳造法が採用されている. 被害管は,いずれも現行の鋳造法と比べて製造精度に劣 る砂型遠心力鋳造法で製造されたと推定されている.

4. 管材の材料強度試験

(1) 用いた試験片と試験方法

地震時に管体破損が生じた初期ダクタイル鋳鉄管 (DIP ϕ 900 と DIP ϕ 800)は、企業団によって掘り上げ られ、企業団の被害検証に用いられた.本研究では、企 業団の検証後の同一管の残り破片が企業団より提供され、 材料強度試験を実施した.本研究ではこれらの管を掘上 管と呼ぶ.地震による破断面については確認できず、 DIP ϕ 800 については種々の試験を実施できるほど十分 な破片が残されていなかった.本研究では、規格値との 比較のため、JIS の引張試験の 14A 号試験片(丸棒)と 14B 号試験片(円弧状)を採取した.



図-3 曲げ試験による破断時の様子

さらに,管を管軸方向に短冊状に切断した試験片で曲げ 試験も実施した.

また、初期ダクタイル鋳鉄管と現行のダクタイル鋳鉄 管を比較するため、新管 DIP ϕ 1350 と DIP ϕ 100 から引 張試験を実施するため、掘上管と同様の試験片を採取し た.引張試験は、神戸大学の 1,000kN、100kN 載荷装置 他を使用した.

(2) 曲げ強さ

材料特性の参考のために引張試験とあわせて曲げ試験 も行った. 掘上管 ϕ 800 と ϕ 900 の管材を管軸方向に長 さ約 30cm, 幅約 3cm, 厚さ 12.5 ± 0.1mm(ϕ 800), 12.0 ± 0.2mm(ϕ 900)の短冊状の試験片を 3 片ずつ準備し, 3 点曲げ試験を実施した. 載荷装置には SHIMAZU の 100kN オートグラフを使用した. 支点間距離は 200mm である. 曲げ試験では,管路外面が引張側になるように 試験片を設置した.

いずれの試験でも、試験片が目視によってたわむよう な形状が確認できる前に、降伏とほぼ同時に載荷点直下 の試験片底面に亀裂が入り始め、亀裂が上面に達して曲 げ破壊に至るプロセスをとった(図-3 参照).図-4 は 長方形断面と仮定してはりの載荷荷重とたわみから応力 ひずみ関係を算出したものである。曲げ弾性率は、表-2 に示すように現在のダクタイル鋳鉄管の弾性率 160 Gpa よ りも下回っていた。また、 \$\phi 800 の方が弾性率のばらつ きが大きかった。降伏ひずみは\$\phi 800 と\$\phi 900 の試験片 でばらつきはなく、05%程度であった。一方、破断時の ひずみは\$\phi 800 では 3%を下回る程度で、\$\phi 900 では 1.4% 程度でほぼ試験片にばらつきは少なく、弾性率のばらつ きが曲げ強度の違いになったといえる。



図-4 曲げ試験による応力-ひずみ関係

表-2 曲げ試験による弾性率と曲げ強度

試験片 ∳900	曲げ 弾性率 (G pa)	曲げ 強度 (Mpa)	試験片 <i>4</i> 800	曲げ 弾性率 (Gp a)	曲げ 強度 (Mpa)
800-1	82.9	557	900-1	80.3	437
800-2	67.3	469	900-2	97.3	519
800-3	105.6	672	900-3	84.9	481
平均	85.2		平均	87.5	

表-3 JIS 引張試験 12号 (丸棒) 試験片

	掘上管		新管	
呼び径	ϕ 900	ϕ 900	ϕ 100	φ 1350
直径 (mm)	6.0	3.0	2.5	3.0
試験片数	3	3	4	1

(3) 引張強さ(円棒試験片)

円棒試験片 (JIS 14 号 A) による引張試験は、ダクタ イル鋳鉄管の規格でも一般的に用いられるもので、表面 凹凸の影響のない管厚内部を削って製作される. 掘上管 \$\phi 900 では、ダンベル中央の円棒の直径が 6.0mm と 3.0mmのものを用いた. 直径 3.0mmの試験片は当初 4試 験片を製作していたが、実験中に1試験片でチャック部 にすべりが生じたためにその結果を採用していない.

図-5、図-6は、 φ900の試験片の応力ひずみ関係を示 している. 掘上管についてはチャック部でのすべりがあ るため、上述した曲げ試験で得られたφ900の弾性率 87.5CPaを理論弾性率として弾性域のひずみを補正して いる. 掘上管φ900の試験片は、0.3%ひずみで降伏し、 その後に応力が単調増加してひずみ2~6%で破断する. 図-6、図-7 は試験後の試験片を示している. 延性破壊に みられる降伏後のネッキングとよばれるくびれは見られ ない. 引張強さは 300~360MPa 程度となった. 表-1 で 示した 1961年の規格値 372MPaに近い試験片もあったが、 全試験片とも引張強さの規格値を満たしていない.



図-5 掘上管 φ 900 の φ 3.0mm 円棒試験片による応力-ひずみ関係



図-6 掘上管 φ 900 の φ 6.0mm 円棒試験片による応力-ひずみ関係



図-7 掘上管 φ 900 の 14 号 A φ 3.0mm 円棒試験片の破断面



図-8 掘上管 ϕ 900 の 14 号 A ϕ 6.0mm 円棒試験片の破断面

新管のφ100 とφ1350 からは、円棒試験片(JIS 14 号 A) 5 片で同様に引張試験を行った. チャック部でのす べりがあるため、弾性域では理論弾性率を 160GPa とし て補正を施した. 図-9 にそれらの応力ひずみ関係を示 す. 堀上管と比べて新管では最大応力に達してから破断 し、ひずみも 17%以上と伸びることが確認できる. 引張 強さは現在の規格値 420MPa 以上となった. ただし、図-10 に示すように破断面形状はくびれが存在していない.



図-9 新管 φ 100 と φ 1350 の円棒試験片による応力-ひずみ関係



図-10 新管 ϕ 100 の 14 号 A ϕ 2.5mm 円棒試験片の破断面

表-4 JIS 引張試験 14号(円弧状) 試験片

	掘上管	新管	
呼び径	ϕ 900	φ 100	φ 1350
管厚(mm)	12.0	7.5	23.0
試験片数	3	4	3

(4) 引張強さ(円弧状試験片)

円弧状試験片 (JIS 14 号 B) は、管軸方向に短冊状に 切断して中央部の厚みを管厚そのままで採取したもので ある. ダンベル中央部の幅は 25mm にした. φ900, φ 1350 の試験片はいずれも大口径管なのでほぼ水平とな る. 一方、新管φ100 は、円弧が明瞭である. 円弧状試 験片では評点マーキングを行い、ビデオ撮影による画像 解析から評点間のひずみを算出した. 図-11, 図-12 はこ れらの応力ひずみ関係を示している. 掘上管、新管とも に、弾性域から降伏した後、応力はほぼ一定値で伸び、 その後破断に至る. 図-13 はφ900 の破断面を示してい るが、他の試験片でも、破断面にくびれは確認できなか った. また、φ900 の場合はダンベル中央部で破断せず、 応力集中しやすいアールの部分で破断した. 降伏後に応 力が一定になっている範囲は試験片が均一に降伏してお り、破断面以外にも複数の亀裂が確認された.

(3)の円棒試験片の結果と比較すると、表面の凹凸を 含む円弧状試験片の方が、降伏後すぐに破断する傾向が 掘上管、新管ともに確認できる.円弧状試験片の方が表



図-11 掘上管 φ900 と新管 φ100 の円弧状試験片による応力-ひ ずみ関係



図-12 新管 φ 1350 の円弧状試験片による応力-ひずみ関係

面凹凸による応力集中を受けやすく、伸びが小さくなる ためと考えられる.実際には鋳造過程に生じる表面凹凸 の他、管路外面には腐食等による表面凹凸もあるため、 実設計においては円弧状試験片の引張性能から設計する 方が安全側になると考えられる.

5. 引張破断面の顕微鏡観察

(1) 光学顕微鏡観察

光学顕微鏡を用いて引張試験を実施した掘上管 ϕ 900 と新管 ϕ 1350 の円弧状試験片の破断面の金属組織から 黒鉛の球状化を確認した.ダクタイル鋳鉄管は黒鉛が球 状化することによって強度が増す.昭和 40 年の黒鉛球 状化判断基準では,管の製造工場において黒鉛の球状化 割合は 70%以上とされており,現在では 80%以上となる.

図-14 は掘上管 φ900 の試験片の管外面に近い位置と 管厚 1/4 位置を光学顕微鏡で見た金属組織を示している. 図-15 は同様に新管 φ1350 の試験片の金属組織を示して いる. 管厚 1/4 位置での掘上管と新管を比較すると,新 管では明らかに黒鉛形状が丸くさらに黒鉛粒の数も密に 分布している. 掘上管では,ダクタイル鋳鉄管の特徴で もある球状黒鉛が確認できない. 掘上管の鋳造法は砂型



図-13 掘上管 φ 900 の円弧状試験片の破断面

遠心法と推定されており、現行のサンドレジン遠心法 ではないとされている.また、取鍋にマグネシウムを入 れることによって黒鉛の球状化を促進させるが、鋳造に 時間がかかると黒鉛が上手く球状化せずに針状に戻るた め、鋳造法だけではなく製造過程においても安定した黒 鉛球状化にする手法が採用されている.

新管,掘上管ともに管外面に近い位置ほど球状化した 黒鉛ではなく,棒状の黒鉛になっている.遠心力をかけ て鋳造するため,黒鉛は管外面ほど密になり管の強度が 増すように製造されているが,新管の現鋳造方法でも均 質に球状黒鉛が生成されるのは難しいことが伺える.

(2) SEM 観察

掘上管,新管ともに引張試験では延性破壊の特徴でも あるくびれは確認できなかった.そこで,引張試験後の 破断面について SEM (Scanning Electron Microscope:走査 型電子顕微鏡) 観察を実施し,破断形態をミクロ的に考 察する.顕微鏡観察において,破断面に小さなくぼみ状 (ディンプル)の模様が確認できると一般的な延性破壊 として判断され,へき開破面(リバーパターン)がある と脆性破壊と判断される.

SEM 観察に用いた試験片は掘上管 φ 900 と新管 φ 1350 である. 図-16 は掘上管 φ 900 の SEM 観察位置を示して いる. 図-16 の上面が管路外面,下面が管路内面に該当 する. 図中の A から D の〇部分の SEM 観察結果を図-17 に示す. A から C 部においては,脆性破壊の特徴で もあるリバーパターンが確認され,へき開破面であった. 黒鉛が点在しており,Aの管路外面から C の管路内面に いくにつれてその分布が増えていった.管路内面の D 部では黒鉛が最も多かった.D 部では,明瞭なリバーパ ターンは確認できなかったものの,平坦な面が確認され ており,脆性破壊しているものと考えられる.また,い ずれの部位においてもディンプルは確認されず,全面が 脆性的に破断していると推定される.SEM でも,掘上 管においては黒鉛は内側に集中していることが確認され た.



(a) 掘上管 φ 900 管外面付近の顕微鏡組織



(b) 掘上管 ϕ 900 管厚 1/4 位置の顕微鏡組織



(c) (b)の拡大図図-14 掘上管 φ 900 の顕微鏡組織

新管 φ 1350 の SEM 観察結果を図-18 に示す.管の外 側と中心部との 2 ヵ所で観察を行った.新管の管路中心 部では,延性破壊の特徴であるディンプルが確認できた. 一方,管の外側では、明瞭なディンプルは確認できず, リバーパターンに似た平坦な破面であった.このことか ら,現行のダクタイル鋳鉄管では、延性破壊の特性を有 しているが、黒鉛の形状やその密度が管内部と外部で異 なっているため、破壊形状も全面で延性破壊をするわけ ではないことがわかった.



(a) 新管 φ 1350 管外面付近の顕微鏡組織



(b) 新管 φ 1350 管厚 1/4 位置の顕微鏡組織



(c) (b)の拡大図図-15 新管φ1350の顕微鏡組織



図-16 掘上管 ϕ 900 の SEM 観察を実施した位置



(e) 位置 A の口部の拡大図

(f) 位置 B の□部の拡大図



(g) 位置 C の□部の拡大図
(h) 位置 D の□部の拡大図
図-17 掘上管(φ900)の引張破断面の SEM 観察結果

6. 考察

本研究で明らかになった初期ダクタイル鋳鉄管の材料 特性や金属組織を踏まえて、大阪府北部の地震で大口径 の初期ダクタイル鋳鉄管で管体破損の被害につながった メカニズムについて考察する.

まず,初期ダクタイル鋳鉄管の剛性率が現在のダクタ イル鋳鉄管の剛性率 160GPa の半分程度と低いことが挙 げられる.規格において剛性率は基準になっておらず, ダクタイル鋳鉄管は鋼材ほど安定した剛性率を担保でき ない材料といえる.剛性率が半分になれば,埋設管で生 じるたわみ変形は2倍になる.実際,掘上管φ900は上下に扁平しており,残留たわみ量(規格径-上下径)は 11.8mm あった².内水圧の上昇だけでは管路外面に大きな引張りは作用しないであろうから,低剛性による元々のたわみ変形が一つの要因といえる.

次に、初期ダクタイル鋳鉄管では管厚の内部にも黒鉛 の球状化は確認できず、管路の内側に黒鉛が集中してい た.遠心力によって管路外面に黒鉛を配置させて、管の 変形による引張りによく抵抗するように鋳造されている はずが、被害のあった管路ではそのような黒鉛の組織に なっていなかった.管厚の層ごとに強度が異なる構造に



(a) 管外側の写真

(b) 管中央部の写真



(c) 管外側の拡大図
(d) 管中央部の拡大図
図-18 新管(φ1350)の引張破断面の SEM 観察結果

なっており、管外側の層はとくに弱い金属組織になって いた.

初期ダクタイル鋳鉄管は、引張試験をしても降伏後に ネックリングが生じず、顕微鏡で破面を確認しても明ら かなリバーパターンを生じていることから、脆性破壊を する管材料であったといえる.また、現行のダクタイル 鋳鉄管の規格を満たしていなかった.

円棒試験片と円弧状試験片の引張試験で明らかなよう に、同じ管を用いても凹凸のある管表面を有する試験片 の場合には、表面の応力集中によって破断しやすい.規 格では管厚の内部を削り取る円棒試験片で引張強さや伸 びを評価しているが、円弧状試験片で評価する方がより 現実的な材料特性を示すといえる.さらに、被害のあっ た管表面には腐食により腐食深さ 2.0mm 以上の腐食が 管全体に点在していたこと³を踏まえると、腐食によっ て脆性破壊を進行させたと考えられる.

同年代に製造された初期ダクタイル鋳鉄管に様々な口 径がある中で大口径管で管体破損が生じたことについて は、大口径になれば口径 D に対する管厚 t の比率 Dt が 大きくなり、よりたわみやすい. 口径による地震外力へ の影響については本稿では触れないが、常時荷重だけを 考えた場合でもたわみは大口径ほど大きくなる. ダクタ イル鋳鉄管は管体部の管厚に比べて継手周辺の管厚は厚 くなる. そのため、たわみを伴った管材料の脆性破壊に は、継手部よりも管体で被害が生じやすいといえる.

地震で破損した管の一部を採取して初期ダクタイル鋳 鉄管の材料特性は明らかになったものの、それらの地震 被害を軽減させることを考えた場合、それぞれの初期ダ クタイル鋳鉄管の特性まで把握できない.管路の敷設年 代で製造法をのスクリーニングをかける他、当時の管に はほとんどポリエチレンスリーブが巻かれていないため、 管路上の地盤が腐食しやすい地盤であるかを事業体で把 握していかなければならない.いずれにしても 1960 年 代前半の管は敷設から既に 50 年以上が経過しており、 管路の供用期間 40 年を超えている.優先的に管路更新 の対象として取り扱うべきと考えられる. また、現行のダクタイル鋳鉄管では管路内部では黒鉛 の球状化が確認され、引張破断の破面においても延性破 壊のディンプルがあり部分的には延性破壊する材料とい える.しかし、管路外面付近には球状の黒鉛が少なく、 破面もディンプルはできない.このことを踏まえると、 管厚の層状に材料特性が異なっており、表面凹凸のある 表面から破壊していくため、管厚内部の材料特性が規格 を満たしていても実在の管路はその強度を有していない ことが示唆される.パーツでの材料特性ではなく、管と しての材料特性を用いて今後の設計・施工にいかすべき と考えられる.

7. まとめ

本研究では、大阪府北部の地震で大口径ダクタイル鋳 鉄管が管体破損をしたことを受けて、掘り上げられた被 害管の一部を用いて材料強度試験と破断面の顕微鏡観察 を行い、地震による被害メカニズムについて考察を行っ た、本研究で得られた結果を以下にまとめて示す、

- ・ 掘り上げられた被害管の剛性率は現行のダクタイル 鋳鉄管の剛性率の半分程度と低く、地震前よりたわ み変形しやすいものであった、
- ・ 掘上管の一部から試験片を採取して引張試験を実施 したが、延性材料にみられるくびれはなく、顕微鏡 で破面を確認しても全面で脆性破壊をしており、脆 性的な管材料と考えられる、また、現行のダクタイ

ル鋳鉄管の規格も満足していなかった.

- ・ 掘上管の金属組織は、黒鉛粒はあるものの丸く球状 化しておらず、管路内側に黒鉛が集中していること がわかった、管のたわみ扁平時に管路外面の引張強 度が弱く、より脆性破壊を引き起こしやすい構造で あった。
- 同じ管を用いても凹凸のある管表面を有する試験片の場合には、表面の応力集中によって破断しやすい、 規格では管厚の内部を削り取る円棒試験片で引張強 さや伸びを評価しているが、円弧状試験片で評価す る方がより現実的な材料特性を示すといえる。

謝辞:本研究を遂行するにあたり,各試験片作成のため 大阪広域水道企業団より大阪府北部の地震における被害 管等を提供していただいた.ここに記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 土木学会:2018 年大阪府北部の地震被害調査報告書, 2019
- 2) 大阪広域水道企業団事業管理部北部水道事業所,株式会社日水コン大阪支所:大阪府北部の地震による水道施設被害調査分析報告書,2019
- 日本ダクタイル鉄管協会:ダクタイル鉄管ガイドブ ック, 2018.

MATERIAL PROPERTIES OF EARLY DUCTILE IRON PIPES DAMAGED BY THE EARTHQUAKE IN NORTHERN OSAKA PREFECTURE

Yasuko KUWATA and Yu YAMAMURA

In the north Osaka earthquake that occurred in June 2018, several large-diameter water pipes were damaged, causing water outages in the surrounding area. One of the causes of damage is the lack of material strength of the early ductile iron pipe manufactured during the transition from high-grade cast iron pipe to current ductile iron pipe. This study clarified the material properties of ductile iron pipes by conducting material strength tests and microscopic observation of tensile fracture surfaces for the excavated damaged pipes and new pipes. It was turned out that the excavated pipe does not meet the standards of the current ductile iron pipe and is a material property having a brittle fracture. In addition, due to the unevenness of the pipe surface and the inhomogeneity of the spherical graphite that can be produced in the ductile iron pipe, the arc-shaped test piece with the pipe surface has a lower tensile strength than the round bar test piece that has been machined inside the pipe thickness.