

給水用高密度ポリエチレン管を用いた給水装置 引込み部の耐震性評価（その2）

西川 源太郎¹・鈴木 剛史²・元持 和哉³・佐藤 弘瑛⁴・大沼 博幹⁵

¹正会員 積水化学工業株式会社（〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17）
E-mail: nishikawa065@sekisui.com

²正会員 積水化学工業株式会社（〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17）
E-mail: suzuki059@sekisui.com

³非会員 セキスイ管材テクニクス株式会社（〒520-3081 滋賀県栗東市野尻75）
E-mail: motomochi001@sekisui.com

⁴非会員 積水化学工業株式会社（〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17）
E-mail: satou766@sekisui.com

⁵正会員 大沼水道技術研究所（〒950-3323 新潟市北区東栄町2-3-28）
E-mail: onuma@ae.auone-net.jp

近年発生した地震災害において、埋設された配水管以上に給水装置引込み部の被害が確認されており、給水装置引込み部を含めた水道システムとしての耐震化が重要と考えられている。また、給水装置引込み部の耐震性を評価するうえでは、配水管と地盤との滑りが給水装置引込み部に与える影響を検証することが重要であり、本稿では配水管の管種に応じて想定される滑り量を、給水用高密度ポリエチレン管を用いた配管システムに与える埋設実験を行ったものである。結果は、配水管が滑りの少ない水道配水用ポリエチレン管であればレベル2地震動に対する耐震性を確保し、配水管が大きく滑る金属管の場合は、サドル付分水栓の折れや管体ネッキング等が発生したため、今後の課題が残った。

Key Words : *service pipe, high density polyethylene pipe, seismic motion, slippage effect*

1. まえがき

我が国の水道普及率は98%を超え、誰もが安全な水へのアクセスが可能なよう面的整備がなされてきた。一方で、地震時には埋設された水道管路が破損し、被災地域で断水が継続するため住民生活に与える影響は甚大である。国内でも管路の耐震化は新水道ビジョンでも喫緊の課題として掲げられ、管路の耐震化が進められているが財政的な側面からもなかなか進まないのが現状である。また、被災地域の管路被害を分析すると、配水管の被害件数以上に給水装置引込み部の被害が多数発生しており、これらの修繕が断水からの復旧に時間を要する一因となっている。

給水装置引込み部の耐震化については、給水装置工事技術振興財団が発行する東日本大震災給水装置被害状況調査報告書や熊本地震給水装置被害状況調査報告書でもその重要性が指摘されているが¹⁾²⁾、配水管に対する耐震設計法は確立しているが、給水管に対しては耐震設計

法が確立されておらず、それぞれの給水管の耐震性評価も定まっていないのが現状である。

給水装置に被害が発生する要因は、使用した給水管・継手の劣化等による脆弱性に加えて、配水管と地盤との境界で発生する滑りが影響していると考えられる。特に配水管が金属管の場合では、管と地盤との境界で大きな滑りが発生し、その滑った分は配水管から直行方向に分岐した給水装置に応力集中するため、その対策が重要である。

これまでの研究では、配水管の管種に応じた地震時挙動を調査しており、配水管が水道配水用ポリエチレン管のような管軸方向に伸縮する管材料であれば、レベル2地震動で想定される最大滑り量は12.2mmであり、金属管の場合では、管体自体が伸縮しない分、管と地盤との滑り量が大きくなり、最大300mmの滑りが発生すると想定される³⁾⁴⁾。また、直近の研究ではこの配水管の滑りが給水装置引込み部に与える影響について各種埋設実験に

よる耐震性評価手法についても提案している。具体的には給水管材料には配水管の分野で耐震管と位置付けられている高密度ポリエチレン管の小口径管種である給水用高密度ポリエチレン管（以降、給水青ポリ管と記載）を用いることで、レベル2地震動に対して一定の耐震性能を確保するに至っている⁹⁾。一方で、配水管が300mm滑る厳しい条件においてネジ式のサドル付分水栓のネジ接合部が回転したことや、地震動を想定した繰り返し载荷の影響評価が課題となっている。他にも、給水青ポリ管の許容ひずみの設定、給水管の配管形態（直線的な配管とクランク配管）、配水管種や給水管の継手の組合せなど、全国の事業者の使用条件に応じた詳細な評価は不足していた。

これらの背景を鑑みて、本稿では、給水装置引込み部を対象にレベル2地震動作用時において配水管の滑りが給水用青ポリ管を用いた給水装置引込み部に与える影響について、これまで不足していた内容も含めて再度検証を行い、耐震性評価を確立することを目的とする。

2. 配水管と地盤との滑り挙動

配水管と地盤との滑りの有無は地震時に配水管表面に作用するせん断応力 τ_G と地盤が配水管を拘束する力 τ_α （限界せん断応力）の比較によって評価される。 τ_G が τ_α を上回ると滑り、下回ると滑らないことになる。地震時に作用するせん断応力 τ_G は(1)式で示され、同様の地盤に埋設された配水管に同レベルの地震動が作用する場合を仮定すると、配水管のヤング率に大きく依存することがわかる。ちなみに配水管が水道配水用ポリエチレン管のヤング率は1GPaに対して、鋼管はその200倍の200GPaである。

$$\tau_G = \frac{1}{L'}(2 \times \pi \times E \times t \times \alpha_1 \times \varepsilon_G) \quad (1)$$

L' : 見かけの波長 (m)

E : 管材料のヤング率 (GPa)

t : 管厚 (m)

α_1 : 管軸方向の地盤変位伝達係数

ε_G : 地盤ひずみ

一方で地盤が管を拘束する力 τ_α は管種に関わらず10kN/m²程度であることが報告されている⁹⁾⁶⁾。これらの結果を勘案すると配水管と地盤との地震時挙動は、図-1に示すように滑る場合と滑らない場合では大きくことなる。よって給水装置引込み部の評価についても、配水管の滑り量を前提に進める必要があると考える。また、金属管には国内の使用実績が多いダクタイル鋳鉄管も含まれると考える。離脱防止機構のあるダクタイル鋳鉄管は、

鎖状管路として1か所の継手が伸びきると隣り合う管を引張ることで追随する。また、異形管と接する直管は一定の範囲で伸縮機能の無い離脱防止形の継手（固定式継手）が使用されており、管と地盤との滑りが発生するとその滑り量も大きくなることが想定される⁸⁾。よって、第3章以降の実験では、配水管が金属管（鋼管とダクタイル鋳鉄管）では最大300mmの滑りを与え、水道配水用ポリエチレン管では最大20mmの滑りを与えるものとする。

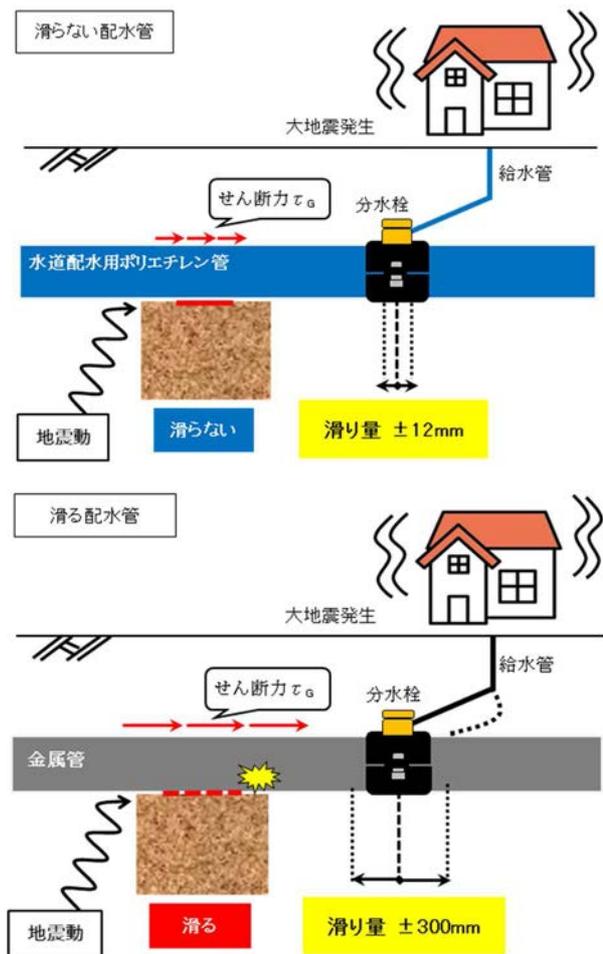


図-1 配水管の管種と地震時挙動の違い

3. 耐震性評価実験

(1) 埋設実験概要

実験は、写真-1に示す鋼製土槽内（2.0m×1.35m×0.9m）に配水管を埋設し、サドル付分水栓を規定トルクで取付け・穿孔した後、給水青ポリ管の呼び径20（建築設備用ポリエチレンパイプシステム研究会規格 PWA005規格品）を用いて配管する。

既往研究では、給水青ポリ管はサドル付分水栓から先は、直線的に配管して実験を行ってきたが、実際の配管形態を想定すると、写真-2に示すように1.2m程度は直線的に配管し、その後30cm立ち上がるクランク配管が一

一般的である。本稿では、直線的に配管する場合に比べてクランク配管の方が給水管にとっては厳しい評価となると考え、クランク配管を基本として評価を行った。

また、給水管の接合方式は、金属継手によるメカニカル接合と樹脂継手を用いた融着接合があり、実験場ではいずれの場合も存在するため、実験によって使い分ける。

载荷は、配水管の管軸方向に複動油圧ジャッキ（型名 MD1-300、能力100kN、最大ストローク300mm）を用いて、管と地盤との相対変位が管種ごとの想定滑り量に達するまで強制変位させる。管路には、水圧0.5MPaを负荷した状態とし、载荷中の荷重および変位量を配水管の管端部に設置したロードセル（型名 CLP-50KNB、(株)東京測器研究所）、変位計（製品名 SDP-300D、(株)東京測器研究所）で測定する。

埋戻し土は埋設管の埋戻しで標準的に使用される川砂を用い、浅層埋設の最小土被り60cmとなるように埋戻し土と鉄板を介して上载荷重を负荷することで再現する。締固度の管理は、木ダコ等を用いて薄層に締固めを行った後、RI測定器を用いて締固度90%以上となるように管理を行う。



写真-1 実験土槽



写真-2 クランク配管状況

(2) 配水管が水道配水用ポリエチレン管の場合

まず最初に配水管が水道配水用ポリエチレン管の場合を想定し、管と地盤との滑り量が20mmに対する給水装置引込み部の評価を行う。接合方式は、融着一体式と金属継手を介する金属複合方式の2種類が想定されるため、それぞれを対象とする。

a) 融着一体式

配水管は水道配水用ポリエチレン管の呼び径100（日本水道協会規格 JWVA K144規格品）を使用し、分岐部は融着一体型の融着サドル（PWA002規格品）を融着し、給水青ポリ管を融着継手（PWA002規格品）にて接合した。ひずみゲージは配水管の中心から300mmの範囲で3箇所、給水管の軸方向に右側（R側）左側（L側）に合計6点設置した。

表-1に、20mm滑り時点での測定ひずみの結果を示す。結果より、最大ひずみは融着継手近傍のひずみ[2]-R側で発生した1.14%となり、給水青ポリ管の降伏ひずみが7.8%~11%であることを考慮すると¹⁰⁾、十分に小さいひずみであることが確認できた。また、融着サドル部の過剰な変形等の異常も無く、通水機能を維持していた。写真-3からも、給水青ポリ管の変形は概ね350mm~400mmの範囲で生じていることがわかる。

次に、得られたひずみ値から(2)式(3)式を用い、引張ひずみ ϵ_T と曲げひずみ ϵ_B に分解し、その結果を図-2に示す。ひずみは曲げ成分が卓越しており、引張成分は小さいことがわかる。曲げひずみは分岐部根本の[1]に比べて[2]の方が大きくなっている。これは、融着継手部の曲げ剛性が給水管部に比べて大きいため、変形しにくく、結果的にその先のひずみ[2]に変形が集中したためと推測される。

$$\epsilon_T = \frac{\epsilon_L + \epsilon_R}{2} \quad (2)$$

$$\epsilon_B = \frac{\epsilon_L - \epsilon_R}{2} \quad (3)$$

表-1 融着一体式の発生ひずみ

融着一体	x軸	80mm	200mm	300mm
ひずみ (%)	ゲージ番号	[1]	[2]	[3]
	L	0.90	-0.72	-0.12
	R	-0.66	1.14	0.38

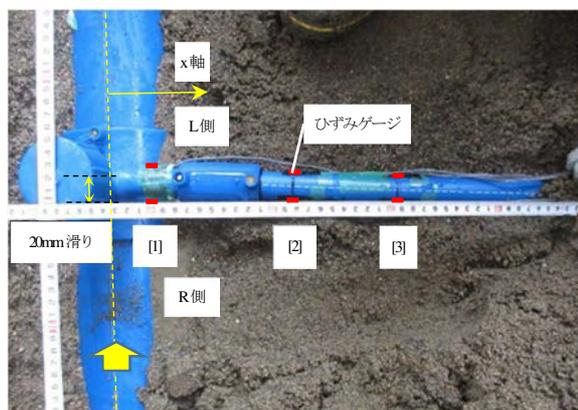


写真-3 融着式 20mm滑りの状況

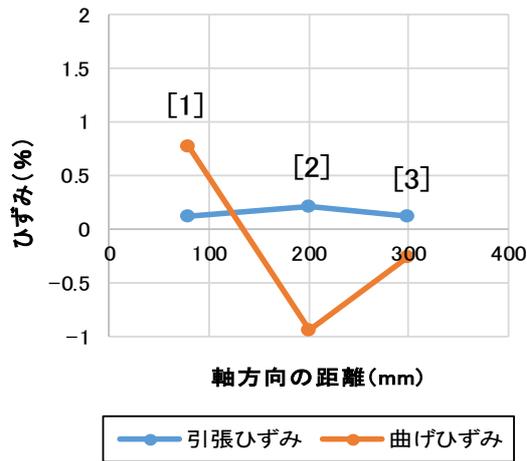


図-2 給水管のひずみ (融着式)

b) 金属複合式

次に配水管から水道配水用ポリエチレン管サドル付分水栓 (配水用ポリエチレンパイプシステム協会規格 PTCB20規格品) から埋設給水用高密度ポリエチレン管金属継手 (PWA 010規格品) を用いて配管した。

表-2では、配水管が20mm滑り時に給水青ポリ管に発生するひずみの結果を示す。ひずみ[1]は金属継手近傍10mmの位置に設置し、それ以降は100mm, 200mmの間隔で離れた。表より、ひずみは金属継手近傍に設置したひずみ[1]Lで最大1.84%となり、青ポリ管の降伏ひずみに対して十分に小さいことが確認できた。写真-4からも変形は概ね350mm~400mmの範囲で生じており、融着一体式の結果と同程度であることがわかる。また、载荷中のサドル付分水栓のズレ等の異常が無く、通水機能を維持することが確認できた。

図-3では発生ひずみを曲げと引張成分に分解した結果を示す。結果は、曲げ成分が支配的であり、特に接合近傍に曲げが集中していることが確認できた。[2]ひずみでは、負の曲げに転じており、給水青ポリ管がS字形に変形し、配水管の滑りに追従することが確認できる。ひずみが接合部の根元近傍に集中する結果は、実際の給水装置引込み部の地震被害とも整合的である。

表-2 金属複合式の発生ひずみ

金属複合	x軸	100mm	200mm	400mm
ひずみ (%)	ゲージ番号	[1]	[2]	[3]
	L	1.84	-0.64	0.01
	R	-1.61	0.88	0.11

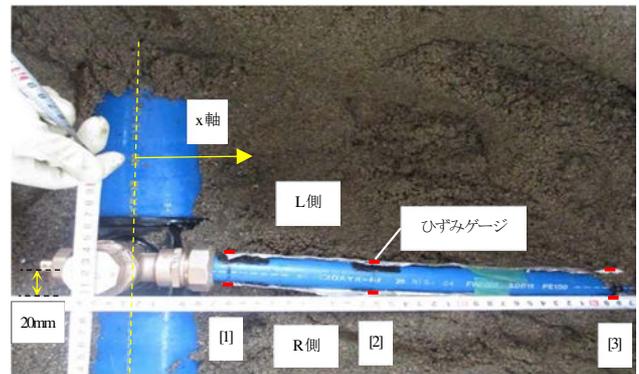


写真-4 金属複合式 20mm滑りの状況

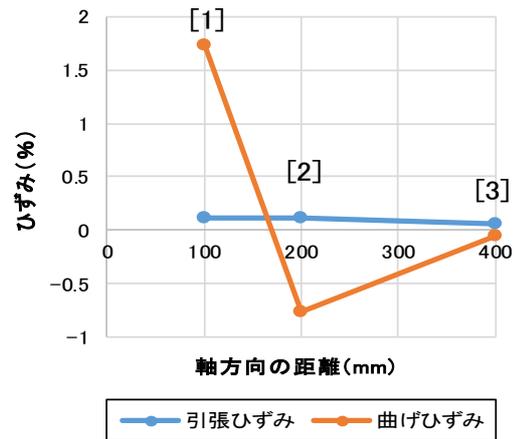


図-3 給水管のひずみ (金属継手)

(3) 配水管が金属管の場合

配水管が金属管 (鋼管や離脱防止機構付きダクタイル鉄管) の場合は、最大で300mmの滑り量が想定される。よって、本項では滑り量300mmに対する給水装置引込み部の耐震性について評価を行う。これまでの実験では300mm滑りを与えると写真-5に示すようにネジ式サドル付分水栓 (日本水道協会規格品 JWWA B 117) のネジ接合部が約10°回転する事象が確認されている⁹⁾。



写真-5 ネジ式サドル付分水栓 300mm滑り⁹⁾

a) フランジ式サドル付分水栓

ネジ式サドル付分水栓の回転を防止するためフランジ式サドル付分水栓 (JWWA B 117規格品) を用いてサドル

接続部の回転を防ぎ、変形を全て給水青ポリ管に受け持たせる構造体における評価を行った。

まず、表-3に100mm変位時点での給水青ポリ管の発生ひずみを示す。今回使用したひずみゲージの測定限界が8%前後であるため、100mm滑り時点で既にひずみ[1]では測定限界に近い大きなひずみが生じていることがわかる。同様に、測定したひずみを引張・曲げ成分に分解し、100mm滑り時点での結果を図-4に示す。ひずみ位置の詳細は図中に示す通り、軸方向に6点、軸方向に右側と左側それぞれに設置する。ひずみ位置に関しては以降の実験についても同様である。図-4より、ひずみは金属継手近傍に設置したひずみ[1]に100mm滑り時点で曲げ成分で7%、引張成分で2%が生じており、継手近傍の局所的に大きくひずみが集中していることが確認できる。一方で[3]以降ではひずみが小さくなり、クランク配管の上部ではひずみがほとんど発生していない。さらに、300mm滑り後に掘削し接合部を確認したところ、給水青ポリ管と接合部の境界では管体のネッキングが生じており、ひずみは15%以上に達していると考えられる(写真-5)。

このため、給水青ポリ管に全ての変形を受け持たせる構造体では接合部近傍に過度なひずみが集中するため、耐震性を確保できない。

表-3 発生ひずみ (100mm 滑り時)

x軸		100mm	444mm	786mm	1130mm	1270mm	1554mm
ひずみ (%)	ゲージ番号	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	L	8.89	0.41	0.32	0.12	0.03	0.04
	R	4.94	1.36	0.28	0.47	0.01	0.04

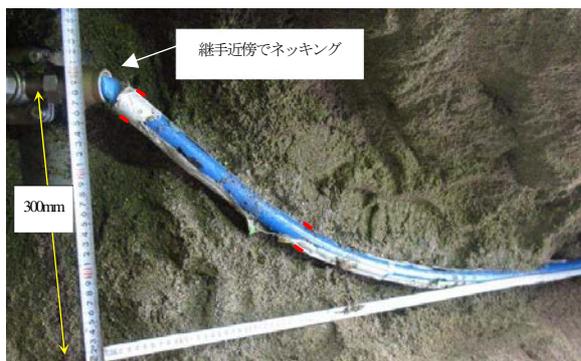


写真-5 フランジ式サドル付分水栓 (300mm 滑り)

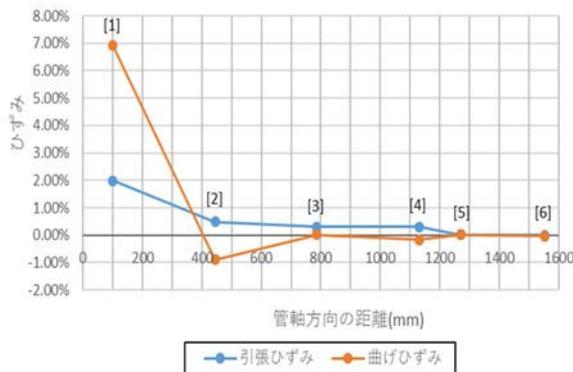
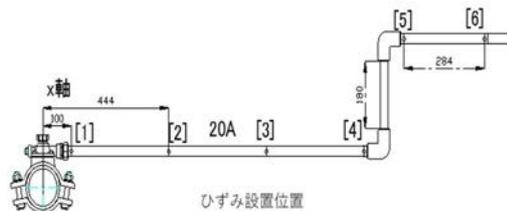


図-4 100mm 滑り時点の引張ひずみ、曲げひずみ

b) フランジサドル+屈曲式継手

次に給水青ポリ管へのひずみを緩和するために、フランジ式サドルに $\pm 20^\circ$ 屈曲する屈曲継手を介して、給水青ポリ管を接合する配管システムにおいて同様の実験を行った。

表-4ではひずみのピーク値を迎えた滑り量205mm地点での発生ひずみを示す。本実験は給水青ポリ管を直線的に配管した実験のため、クランク配管の場合と横並びの比較は出来ないが、給水青ポリ管の発生ひずみは、205mm滑りの時点で最大3.65%（ひずみ[1]-L）であった。図-5では曲げひずみと引張ひずみの結果をそれぞれ示す。結果より、載荷から滑り量60mm付近までは、継手近傍のひずみ[1]が負の方向に発生している。これは屈曲継手が地盤反力で屈曲し、継手屈曲の効果を発揮しているためと考える。一方で、60mm付近以降は正の方向に進む。今回用いた屈曲継手は回転角が 20° であり、60mm地点で継手が 20° 回転しきったために正の曲げヘシフトしたものと考えられる。そして、その後滑り量205mm付近でひずみのピークを迎えるが、この地点でフランジ式サドルの根元に亀裂（破損）が生じ、ひずみが減少したものと考えられる。さらには、滑り量が260mm付近で水圧低下を確認している。載荷後、掘り上げを行うと写真-6に示す通り、フランジ式サドル付分水栓の根元が折れて、漏水していた。

このことから、屈曲継手の回転角は 20° では不足していること、屈曲継手の投影面積が大きく、地盤反力がサドル付分水栓の根元に負荷されるために、応力集中箇所では折れが発生することがわかった。今後は製品改良含めて耐震性向上に向けた取り組みを進めたい。

表4 発生ひずみ (205mm 滑り時)

x軸		100mm	542mm	985mm	1554mm
ひずみ (%)	番号	[1]	[2]	[3]	[4]
	L	3.65%	0.58%	0.75%	0.55%
	R	0.52%	1.63%	0.75%	0.58%

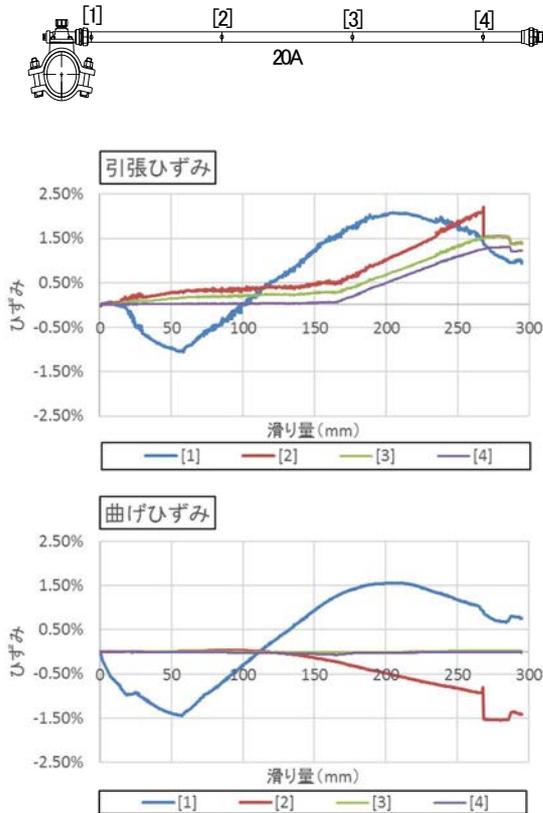


図5 引張ひずみ、曲げひずみと滑り量の関係

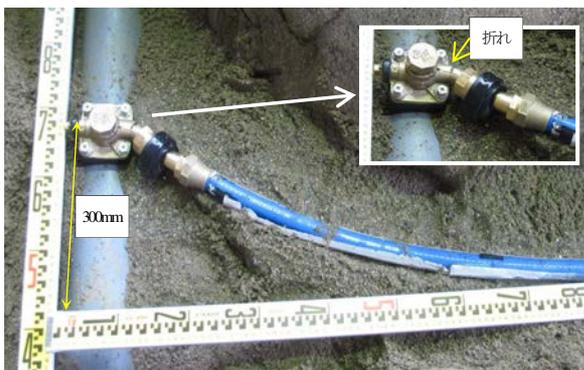


写真6 フランジサドル+屈曲継手

4. まとめ

本稿では給水青ポリ管を用いた給水装置引込み部の耐震性評価を目的として、配水管の管種に応じ、異なる滑り量を設定した実埋設実験を行った。その結果を以下に示す。

(1) 配水管が水道配水用ポリエチレン管の場合にお

いては滑り量が20mm程度と想定される。20mmの滑り発生時における給水青ポリ管に発生するひずみは、融着一体式の配管システムで1.14%、金属複合式で1.84%であり、いずれも青ポリ管の降伏ひずみ7.8~11%に対して十分小さい値であった。

(2) 次に、配水管が金属管の場合においては滑り量が300mm程度と想定される。過去の実験ではネジ式サドル付分水栓のネジ接合部が地盤反力で回転してしまう事例が発生しており、その対策としてフランジ式サドルを用いて変形を全て青ポリ管に受け持たせる配管システムにおける実験を行ったが、給水青ポリ管の発生ひずみは100mm滑り時点で最大8.9%に達し、継手との接合部近傍でネッキングを確認した。次に、フランジ式サドル付分水栓に20°の屈曲角を有する継手を接合した実験を行ったが、260mm滑り時に接合部の折れが生じた。これら300mm滑りに対しては耐震性性能を満足する結果が得られなかったため、現在進めている製品改良によって対応する施策を立案していく予定である。

参考文献

- 1) 公益財団法人 給水工事技術振興財団：東日本大震災給水装置被害状況調査報告書，pp.72-77，2016。
- 2) 公益財団法人 給水工事技術振興財団：熊本地震給水装置被害状況調査報告書，pp.67-68，2018。
- 3) 西川源太郎，塩浜裕一，鈴木剛史，大沼博幹，清野純史：水道配水用ポリエチレン管の異形管・給水分岐の耐震性評価，土木学会論文集 A1, Vol. 73, No. 4, I_412-I_421, 2017。
- 4) 配水用ポリエチレンパイプシステム協会：水道配水用ポリエチレン管の耐震設計の手引き 耐震設計事例集，pp.114-116，2018。
- 5) 西川源太郎，塩浜裕一，鈴木剛史，大沼博幹，清野純史：給水用ポリエチレン管を用いた給水装置引込み部の耐震性評価，土木学会論文集 A1, Vol. 74, No. 4, pp. I_1002-I_1009, 2018。
- 6) 社団法人 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 I 総論，pp.265.2009。
- 7) 一般社団法人 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針，pp.26-27，2013。
- 8) 今井俊雄，小池武：継手構造水道管路の地震時被害推定式，土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp. 344-355, 2010。
- 9) 配水用ポリエチレンパイプシステム協会：水道配水用ポリエチレン管の耐震設計の手引き，pp.35, 2018。

EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE ON POLYETHYLENE SERVICE PIPE FOR WATER SUPPLY AN EARTHQUAKE (Part2)

Gentaro NISHIKAWA, , Tsuyoshi SUZUKI, kazuya Motomochi,
Hiroaki SATOU and Hiromoto ONUMA

There are much damages not only distributing pipes but also service pipes and branch saddles during an earthquake. Although there is a seismic design method for water distributing pipes, there is no seismic design method for service pipes. According to recent earthquake survey reports about water supply pipeline, it was pointed out that impotance of earthquake resistance of service pipes to maintain the water supply network. The porpose of this study to evaluate the seismic performance of service pipes which mede of high density polyethylene (HDPE) .We performed the soil box test to figure out about influence of slippage between distributing pipes and soil on a service pipe and brache saddle. In the result, it was confirmed that HDPE pipes joint had earthquake resistance during severe earthquake because pipes follw the groud deformation.