

複層構造を有する自立型更生管の地震時曲げ変位挙動に関する実験

石関 宏真¹・宮島 昌克²

¹ 非会員 芦森工業株式会社 パルテム技術開発部 (〒566-0001 大阪府摂津市千里丘 7-11-61)

E-mail:hiromasa_ishizeki@ashimori.co.jp

² 正会員 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

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

本論文は、自立型更生管(cured in place pipe)によって更生された非耐震継手管路の耐震性能向上に関する研究の一環として、地盤変状によって生じるような強制的な曲げ変位を作用させた場合の継手部周辺での更生管の挙動について検討したものである。強度層部材と水密層部材の複層構造を有する自立型更生管を用いて曲げ実験を行い、強度低下および漏水発生についての挙動把握を行った。その結果、強度層部材は非耐震継手の曲げ変形の発生を抑制することに加え、非耐震継手の許容曲げ角度を超えるような更なる曲げ変位にも追従することが確認された。また、水密層部材は強度層部材の破断後も一定レベルの曲げ変位まで機能を維持し、非耐震継手の地震時漏水防止機能を改善する効果が確認された。

Key Words: trenchless techniques, pipe renovation method, water main, paltem, seismic performance

1. はじめに

管路更生工法は、老朽化した埋設管路の内面に新たな管を形成する非開削技術のひとつである。施工区間両端以外の開削が不要であり、曲管部を含む長距離区間でも施工が可能なことから、主に開削困難場所の管路の更新に使用されている。

更生材料は、筒状のライナーに硬化性樹脂を含浸した材料であり、ライナーはガラスマットやポリエステル不織布等からなる強度層部材と被覆樹脂やポリエステル織物等からなる水密層部材で構成される。自立型更生管の構造を図-1に示す。

空気圧を利用して既設管路内でライナーを裏返す反転と呼ばれる技術を用い、硬化性樹脂を含浸したライナーを挿通する。挿通後、硬化性樹脂が硬化するまでライナー内の空気圧力を維持し、既設管路内面に密着させた状態で更生管を形成する。反転の仕組みを図-2に示す。

管路更生工法は古い年度の埋設管路を対象に施工するため、対象管路の継手形式はダクトイル铸铁管のK形以前の非耐震継手が大半である。そのため、管路の強度復元だけでなく耐震性能の向上を目的として使用される場合もある。ただ、現在の地震対策としての採用はガス分野、下水分野に限定されており、水道分野には更生管の耐震性能について、公的な規格や要求性能が示されてい

ない。そのため、内水圧等の水道分野特有の使用条件を考慮した管路更生工法の耐震性能評価を進めている。

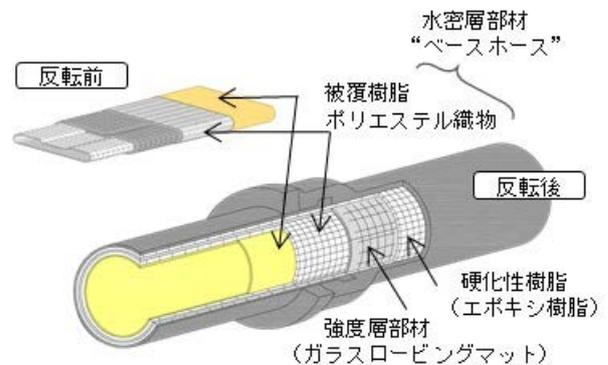


図-1 自立型更生管構造図 (一例)

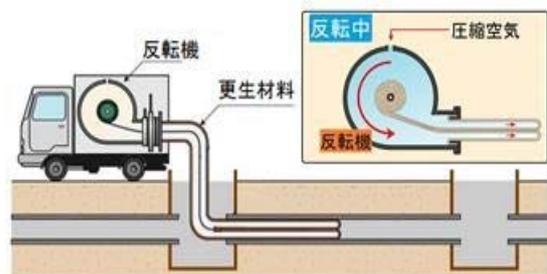


図-2 反転概要図

著者らはこれまでに自立型更生管の地震被害調査に加え、地震動によって継手に作用する抜け出し荷重を推測し、自立型更生管の施工による非耐震継手の抜け出し防止効果および地震時の自立型更生管の強度健全性に関する計算手法について報告¹⁾している。

本稿では、“ベースホース”と呼ばれる水密層部材のみを有した内張型更生管の変位追従性能確認実験を示し、次に、強度層部材と水密層部材の複合構造を有する自立型更生管を用いた曲げ変位実験における発生挙動および更生管による非耐震継手の漏水防止機能改善効果について検討する。

2. 水密層部材（ベースホース）の特性

本稿で使用する水密層部材“ベースホース”は円筒織物に熱可塑性エラストマーを押出し成形したホースである。ベースホースの主な特性を表-1に、材料の断面図を図-3に示す。ベースホースは、複層構造を有する自立型更生管においては図-1に示すように施工後の最内面に位置し、水密層部材として機能する。自立型更生管が開発される以前は、ベースホース単体で内張型更生管として水道、ガス、電力等の分野にて広く使用されてきた。内張型更生管とは、管路の漏水防止および腐食防止を目的としており、JWWAの水道施設設計指針²⁾では被覆材管内装着工法として分類されている。

また、ISO11295「Classification and information on design of plastics piping systems used for renovation」³⁾ではClassC、ClassDの「Lining with adhesive-backed hoses」に分類される。

内張型更生管は自立型更生管とは異なり、更生管自体にパイプ強度が無い場合のみ適用が可能となる。適用条件が限定され、主には管路の長寿化対策として採用されているが、その伸縮特性と気密性の高さから、管路の動きに対する追従性に優れるとされており、地震時の一時的な漏水対策の選択肢として活用される場合もある。

3. 内張型更生管の変位追従性能検証

内張型更生管の変位追従性能を評価する2件の実験を報告する。いずれも、変位制御にて強制的に変位を作用させ、更生管の挙動を確認する。

(1) 管軸方向動的引張実験

図-4に示す引張試験装置を用いて内張型更生管を施工した試験体に管軸方向変位を動的に繰返し作用させ、漏水の発生有無を確認する。

a) 試験体作製

呼び径150mm、長さ2.0mのダクタイル鋳鉄管2本を突合せ配管を3体用意し、内面に呼び径150mm、厚さ1.8mmの内張型更生管を施工する。更生管の両管口はSUSリングとゴムパッキンにて気密処理を行い、配管の両管口は気密蓋にて閉塞する。配管突合せ部付近の更生管の剥離を確認するための10mmの穴を配管突合せ部から両側へ50mmピッチで各14個ずつ設置する。

b) 実験方法

管内圧力を0.50MPa（常時使用圧力想定）に維持した状態で配管に管軸方向の引張力を100mm/minの速度で作用させ、配管突合せ部の開口量を100mmまで増加させる。開口量の100mmは、兵庫県南部地震の継手抜け出し変位量の調査データ⁴⁾を参考にした。開口量100mmを中立位置として一定の振動数および振幅で正弦波加振を付与する。

表-1 ベースホースの主な特性

厚さ	mm	1.5~2.0	
引張強度（管軸方向）	N/mm	210~270	
耐圧力	MPa	0.30~0.75	
破断伸び	ポリエステル織物	%	15
	被覆樹脂	%	400

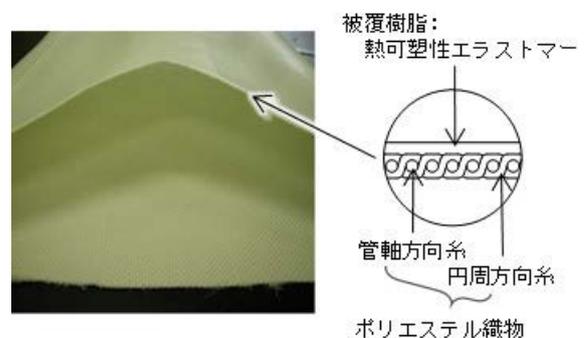


図-3 ベースホース詳細図

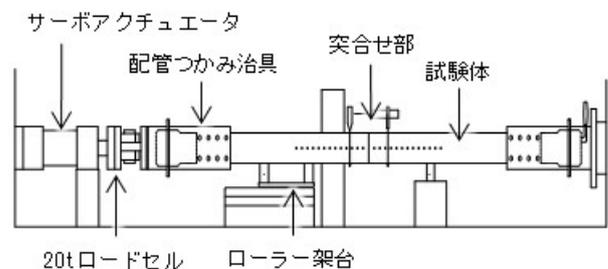


図-4 管軸方向動的引張試験装置

表-2 管軸方向動的引張実験結果

No.	初期開口量 (mm)	振幅 (mm)	周波数 (Hz)	繰返回数 (回)	結果
1	100	±50	1.0	30	漏水無し
2	100	±10	3.0	90	
3	100	±20	3.0	90	

c) 実験結果

実験結果を表-2に示す。すべての実験ケースにおいて内張型更生管に漏水は発生しなかった。継手部の変位に伴い、更生管は突合せ部周辺の鑄鉄管内面から剥離しながら伸びることで変位量を吸収することが確認された。

(2) 曲げ変位実験

図-5 に示す曲げ試験装置を用いて内張型更生管を施工した試験体に曲げ変位を作用させ、気密漏洩の発生有無を確認する。本実験は、日本ガス協会が内圧の作用する内張型更生管の曲げ特性評価方法として規定している地震時漏えい予防工法の特許試験²⁾に準拠し、配管条件や実験方法を設定した。

a) 試験体作製

呼び径 150mm、長さ 2.0m の鋼管 2 本を突合せた配管を 3 体用意し、配管の突合せ部は劣化した鋼管溶接継手を模倣し、円周上等間隔に点溶接する。配管内面に呼び径 150mm、厚さ 1.7mm の内張型更生管を施工する。更生管の両管口は SUS リングとゴムパッキンにて気密処理を行い、鋼管の両管口は気密蓋にて閉塞する。

b) 実験方法

管内の空気圧を 0.33MPa (ガス管中圧 B の最大使用圧力 0.3MPa の 1.1 倍) に維持した状態で配管を支点間距離が 3.4m になるよう両端で支持し、中央部垂直方向に荷重を 2 点載荷する。配管に垂直方向の変位を 30~50mm/min の速度で付与し、配管突合せ部が折損した時点で漏洩を確認する。変位量は最大 150mm (呼び径相当) まで増加することとし、気密確認は保持時間 20 分以上とする。

c) 実験結果

実験結果を表-3 に示す。変位に伴い、継手部は折損したが内張型更生管に気密漏洩は発生しなかった。継手部の大変形を想定し、突合せ部の折損後に変位を 150mm (曲げ角度約 15 度) 作用させた状態においても、更生管に異常は発生しなかった。折損部を中心として下端側の更生管が鋼管内面から剥離し、伸長することで変位を吸収すると考えられる。

上記 2 件の実験結果より、内張型更生管すなわちベースホースは変位追従性能を有しており、地震時の継手変位に対して漏水被害を防止する効果があると考えられる。

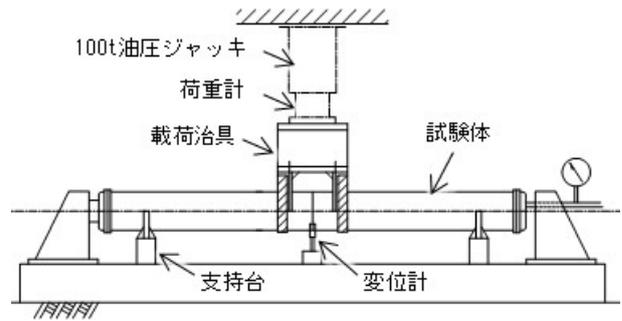


図-5 鉛直方向曲げ試験装置

表-3 曲げ実験結果

No.	曲げ折損時		最大変位時		結果
	変位量 (mm)	曲げ角度 (度)	変位量 (mm)	曲げ角度 (度)	
1	32	2.2	150	15.1	漏洩無し
2	13	0.9			
3	18	1.2			

4. 複層構造を有する自立型更生管の曲げ実験

(1) 実験概要

a) 自立型更生管と内張型更生管の構造比較

前章にて記述した内張型更生管は、自立型更生管の水密層部材であるベースホースと同一材料である。よって、自立型更生管に含まれるベースホースも材料特性としては内張型更生管と同様の変位追従性能を有していると考えられる。しかしながら、内張型更生管と自立型更生管では、ベースホースの接着物が異なる。内張型更生管では既設管内面にベースホースが接着しているのに対して、自立型更生管では強度層内面に接着している。自立型更生管の断面図を図-6 に、内張型更生管の断面図を図-7 に示す。

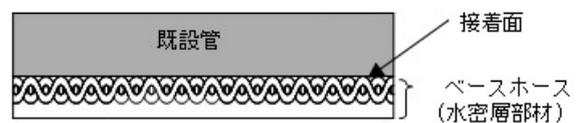


図-6 内張型更生管

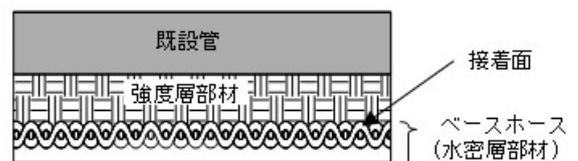


図-7 自立型更生管

前章の2件の実験結果より、水密層部材は継手部の変位に伴い、接着対象物から剥離することで、継手変位への追従性を発揮した。自立型更生管において水密層部材が内張り型更生管と同様の性能を発揮するかどうか、すなわち水密層部材が接着対象部となる強度部材から変位に伴い剥離するかどうかを検証する必要があると考えた。

b) 実験確認項目と使用材料

強度層部材はガラスマット、水密層部材はベースホースという複層構造を有する自立型更生管の強制的な継手変位作用下での挙動を模擬配管実験にて確認する。確認項目は、強度層部材破壊時の水密層部材の剥離挙動と、複層構造を有する自立型更生管の許容曲げ角度とした。実験に用いた自立型更生管の特性を表-5に示す。

c) 試験体作製

口径300mm、長さ2.0mの鋼管2本を突合せた配管を3体用意する。前章の曲げ試験と同様に鋼管を選定し、配管と更生管の界面条件を類似させる。また、変位が作用する配管中央部は鋳鉄管およびダクタイル鋳鉄管の継手内部を模擬して2本の配管を突合せ、初期開口量は50mmとします。配管内面に呼び径300mm、強度層部材厚さ4.0mmの自立型更生管を施工する。更生管の両管口はSUSリングとゴムパッキンにて気密処理を行い、鋼管の両管口は気密蓋にて閉塞する。

d) 実験方法

試験体を図-8に示す曲げ試験装置に固定する。試験装置中央部の左右両側の油圧ジャッキをそれぞれ伸び方向と縮み方向に変位させることにより、曲げ変位を作用させる。管内圧力は水道管の使用圧力を想定した0.75MPa、0.55MPa、0.40MPaとし、曲げ変位を20mm/minの速度で作用させる。強度層部材が破断した時点で漏水の有無を確認する。水密層部材が健全で機能を維持し漏水が生じなければ、水密層部材が破断し漏水が生じるまで曲げ変位を増加させる。

表-5 実験に用いた自立型更生管の特性

呼び径		mm	300
強度層部材	厚さ	mm	4.0
	曲げ強さ (周長方向)	MPa	230
	曲げ弾性率 (周長方向)	MPa	13,000
	引張強さ (周長方向)	MPa	210
	引張弾性率 (管軸方向)	MPa	9,500
	耐圧力	MPa	5.6
水密層部材	厚さ	mm	1.3
	破断伸び	%	15.0

(2) 実験結果と考察

a) 実験結果

実験状況を図-9~12、実験結果を表-6に示す。いずれの試験体においても強度層部材が破断した時点で漏水は発生せず、強度層部材と水密層部材の破断点は異なる結果となった。自立型更生管は、強度層部材が概ね10~11.5度で破断し強度低下が生じるが、水密層部材はその後の曲げ変位に対して追従し、12.5度~16度超まで水密性を確保できることが確認された。

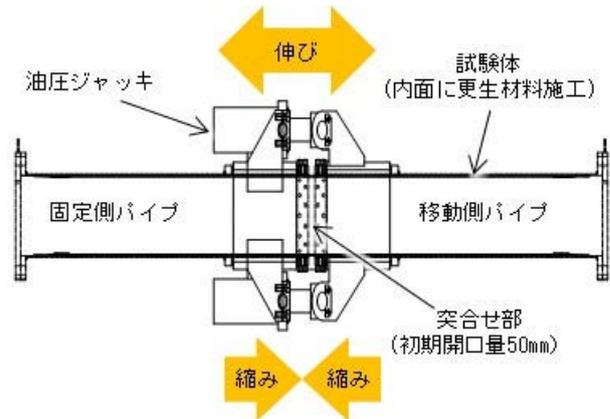


図-8 曲げ試験装置



図-9 曲げ実験状況



図-10 曲げ実験状況 (16度)



図-11 No.3 曲げ実験状況 曲げ部拡大
(曲げ角度 10度, 漏水無し)



図-12 No.3 強度層部材破断状況
(曲げ角度 16度, 漏水無し)

b) 複層構造を有する自立型更生管の曲げ変位挙動

強度層部材と水密層部材が接着した状態で継手の曲げ変位に追従したが、強度層部材が破断した時点で、開口部周辺の水密層部材は強度層部材から剥離した。

強度層部材の破断時においては、強度層部材にそれまで作用していた応力が曲げ外周方向に開放される。一方で、水密層部材は内圧が作用しているため、直線形状を保持しようとする。そのため、強度層部材と水密層部材の界面には剥離挙動が誘発しやすい状況になっていると考えられる。

また、前述 2 章にて記述した内張型更生管の継手部曲げ実験での許容曲げ角度約 15 度に対して、今回の水密層部材破断角度は近似しているため、自立型更生管における水密層部材は内張型更生管としての使用時と同等の性能を発揮することが確認された。

c) 自立型更生管の強度層部材による曲げ変位抑制効果

No.1~No.3 の作用荷重と曲げ角度の関係を図-13 に示す。今回の実験における自立型更生管の強度層部材破壊時の作用荷重は 251kN~591kN となり、高い荷重水準となった。

表-6 実験結果

No.	内圧 (MPa)	強度層部材破断時		水密層部材破断時		漏水有無
		作用荷重 (kN)	曲げ角度 (度)	作用荷重 (kN)	曲げ角度 (度)	
1	0.75	591	11.5	100	12.5	有り
2	0.55	251	10.0	53	16.0	有り
3	0.40	362	10.0	105	16.0	無し [※]

※試験機の限界曲げ角度に到達したため試験中断

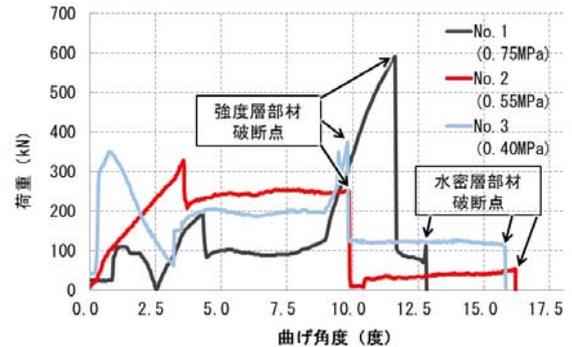


図-13 荷重-曲げ角度

ダクト用鋳鉄管のK形継手の抜出し抵抗力に関する既報告⁹⁾によると、呼び径 150mm の K 形継手の抜出し抵抗力は 15.0kN とされている。抜出し抵抗力は、ゴム輪と管体の面圧により生じることから、ゴム輪の周長に比例すると考えられるため、本実験に使用した呼び径 300mm の K 形継手の抜出し抵抗力は 30.0kN と推測される。言い換えれば、30.0kN を超える荷重が作用した場合、K 形継手に変位が発生することを意味している。このことから、K 形継手に変位が発生する 10 倍~20 倍の荷重が作用しなければ、自立型更生管を施工した管路には曲げ変位が発生しないということである。

よって、自立型更生管を K 形継手のような非耐震継手に施工した場合、曲げ変位の発生を抑制する効果があるといえる。

d) 自立型更生管の許容曲げ角度と水密層部材剥離挙動の関係性

複層構造を有する自立型更生管は、2 つの許容曲げ角度を有することが確認された。一つ目は強度維持限界となる強度層部材の許容曲げ角度、二つ目は水密性維持限界となる水密層部材の許容曲げ角度である。

強度層部材の許容曲げ角度については、内圧に関係なく、概ね 10 度程度であると確認された。耐震性継手の許容曲げ角度が 7 度であることをふまえると、地震動による相対的な曲げ変位レベルであれば強度的な健全性を維持することが可能であり、地震後の長期的な使用にも十分に耐えることができると考える。

一方で、水密層部材の許容曲げ角度については、内圧によってばらつきが生じる結果となった。実験後の水密層部材剥離状況展開図を図-14に示す。内圧0.75MPaが作用するNo.1は他に比べて極端に剥離範囲が小さいことが明らかとなった。内圧0.55MPaおよび内圧0.40MPaが作用するNo.2およびNo.3は固定側パイプと移動側パイプの合計で400mm近い範囲まで剥離していることが分かる。内圧が高くなると水密層部材が強度層部材に押し付けられる力が大きくなるため、強度層部材の破断時以降の継手部変位に伴う水密層部材の剥離進行を阻害すると推察される。そのため、剥離範囲が広がらないまま継手部変位量が大きくなり、水密層部材の破断伸び量に達した時点で破断したと考える。

また、水密層部材の伸び量を表-7に示す。No.2の曲げ外周における初期開口長さからの最大変位量は70mmであり、この数値は水密層部材の最大剥離量385mmの約18.2%に該当する。水密層部材の破断伸び規格値15%以上となっているため、伸び特性自体は正常に機能していたことがわかる。

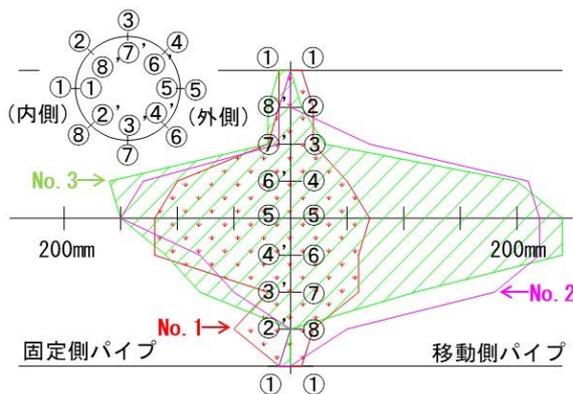


図-14 水密層部材（ベースホース）剥離状況展開図

表-7 実験結果

No.	内圧 (MPa)	曲げ部外周変位量 (mm)	水密層部材		
			最大剥離量 (mm)	伸び(%)	
				実測	規格値
1	0.75	45	190	23.7	15.0
2	0.55	70	385	18.2	
3	0.40	70	370	18.9	

5. まとめ

本研究では、内張型更生管による継手変位追従実験と複層構造を有する自立型更生管の曲げ実験から以下の知見を得た。

- ・複層部材を有する自立型更生管の強度層部材と水密層部材の破壊点は異なり、強度層部材の破断以降も水密層部材は水密性能を維持する。
- ・自立型更生管の強度層部材は、非耐震継手の曲げ変位の発生自体を抑制できる。
- ・自立型更生管の強度特性に影響する許容曲げ角度は非耐震継手の許容曲げ角度の2倍に相当する10度であった。
- ・自立型更生管の水密層部材は、強度層部材の破断時に強度層部材から剥離することにより内張型更生管と同等の変位追従性能を発揮する。
- ・自立型更生管の水密性に影響する許容曲げ角度は作用内水圧によって異なるが、非耐震継手の許容屈曲角度の2.5倍～3.2倍に相当する12.5度～16度であった。

自立型更生管はK形継手以前の非耐震継手を有した老朽化管路に対して管路更新を目的として使用されてきた。既往の研究⁹⁾による地震時の継手抜き防止効果と発生歪みに対する耐荷性能の確認に加え、本研究によって非耐震継手の曲げ変位発生抑制効果および曲げ変位による漏水防止機能改善効果が確認された。

本来、更生管のような強化プラスチック材料において強度特性と変形性能は相反する性能である。強度特性を向上させると変形しにくくなり、変形性能を高めると強度特性を維持することが困難となる。しかしながら、複層構造を有する自立型更生管は、一定の荷重までは強度層部材の強度特性がパイプの健全性を保ち、さらに大きい想定外の荷重が作用し、強度層部材が破断した場合においても、その後の一定レベルの曲げ変位までは水密層部材が変位追従性能を発揮し漏水を防ぐため、有事の際の断水リスクを大きな割合で防ぐことが可能であると推察する。

断層変位や地滑り変位など極端な地盤変状対策としては十分でないものの、開削工事が困難な場所における管路強度の復元と同時に、非耐震継手管路の機能改善による地震時被害の軽減を図る手段が新たに追加されることは、膨大な老朽管路の更新および耐震化の効率的な推進にとって有益であると考えられる。

一方で、更生管の耐震性能については実証的なデータの蓄積が不足しているため、今後は土砂箱を用いた振動実験や複数の継手を有した管路での挙動把握などの現場再現性の高い検証を実施し、水道事業者が性能設計の視点で耐震化計画を策定する際の判断材料を整える必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 石関宏真, 宮島昌克: 水道用管路更生工法の耐震性能検証, 第37回地震工学研究発表会, 2017.
- 2) 社団法人日本水道協会: 水道施設設計指針, pp.499-501, 2012.
- 3) ISO11295: Classification and information on design of plastics piping systems used for renovation, 2017.
- 4) 財団法人防災研究協会: 埋設管の地震時被害とホースライニング施工管の耐震性に関する研究, pp.6-8, 1997.
- 5) 社団法人日本ガス協会: 本支管維持管理対策ガイドラインの手引き, pp.131-135, 2009.
- 6) 熊木芳宏, 宮島昌克: 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, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.I_195-I_201, 2012.

(?)

A STUDY ON THE BEHAVIOR OF A MULTIPLE-LAYERED, FULLY-STRUCTURAL CURED-IN-PLACE PIPE BENDING CAPABILITY IN EARTHQUAKES

Hiromasa ISHIZEKI, Masakatsu MIYAJIMA

This paper reports on the behavior of a cured-in-place pipe (CIPP) around joints of the host pipe in enforced bending displacement that could occur in ground deformation, as a part of research for seismic improvement of pipelines with non-anti-seismic joints that are being rehabilitated with a fully-structural CIPP.

Bending tests were performed using a fully-structural CIPP that has a multiple layer structure consisting of a strengthening layer and a water-tightness layer to observe its behavior in strength deterioration and water leakage.

It was confirmed that the CIPP's strengthening layer suppressed bending displacement in the host pipe's non-anti seismic joints and accommodates further joint displacement that exceeds the allowable bending angles of the non-anti-seismic joint.

In addition, the water-tightness layer maintained its function until a certain level of bending displacement even after the strengthening layer ruptured, which confirms improvement in the watertight performance of non-anti-seismic joint in earthquake.