

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 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: miyajima@sc.kanazawa-u.ac.jp

本論文は、自立型更生管を施工し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、強度特性および変形特性についての挙動把握を行った。その結果、更生管の強度特性によって既設継手の曲げ変形の発生を抑制できることを確認し、さらに変形特性によって耐震適合性を有するダクタイル鋳鉄管のK形継手を超える曲げ角度を許容できることを明らかにした。

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り、空気圧を利用した反転技術等を用いて施工する。施工区間両端以外の開削が不要であることから、開削工事による新管への布設替えが困難な場所に埋設された老朽化した管路の更新や長寿命化対策を目的として用いられることが多い。反転施工の概要図を図-1に示す。

管路の更新に用いられる自立型更生管は、筒状のライナーに硬化性樹脂を含浸した材料を硬化させたものであり、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、被覆樹脂を成形した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-2に示す。

更生管の耐震性能については、ガス分野、下水道分野では各種ガイドライン^{1,2)}に規定されているが、水道分野では適用可能な管路更生工法が少ないことから、更生管の要求性能や評価方法が確立していない。そのため、施工対象管路の特徴や内水圧などの水道分野特有の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。

著者らはこれまでに管路更生工法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更生管に発生する管体歪みの計算手法について報告³⁾している。

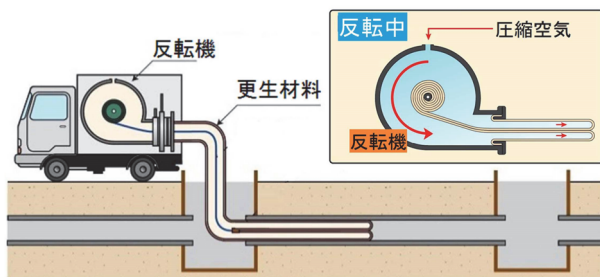


図-1 反転施工の概要図

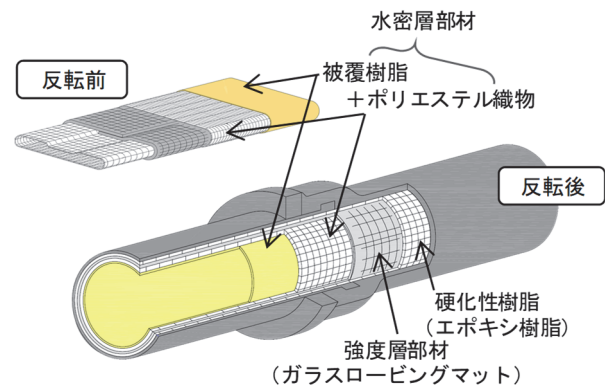


図-2 自立型更生管の構造 (一例)

本稿では、更生管に必要な耐震性能を検討したうえで、地震時の埋設管路における特徴的な挙動である曲げ変位に関する実験を行い、複層構造を有する自立型更生管の屈曲性能を評価した。

2. 管路更生対象管種と耐震性能区分

(1) 対象管種および継手種別の調査

管路更生工法の施工対象管種を確認するため、管路更生工法のひとつであるパルテム HL 工法(旧名ホースライニング工法)の水道分野における国内施工実績を調査した。1983年～2016年までの施工実績390kmについて、対象管種別に集計した結果、**図-3**に示すように64.4%が**铸铁管およびダクタイル铸铁管**であることがわかった。

また、管路更生工法の施工対象は補修・補強が必要な管路であり、水道管の法定耐用年数が40年であることを勘案すると、1940年～1980年頃に布設された管路が大半であると推察できる。よって、継手形式については**铸铁管は印籠形**、**ダクタイル铸铁管はA形、K形**であると考えられる。

(2) 継手の耐震性能区分

铸铁管およびダクタイル铸铁管の継手種別は、継手の抜出し防止機能(離脱防止性能)を有する耐震継手(S形、NS形、GX形等)と、有しない非耐震継手(印籠形、A形、K形)とに大別される。耐震継手と非耐震継手の主な性能を**表-1**^{4),5),6)}に、NS形継手の構造およびK形継手の構造を**図-4**⁷⁾および**図-5**⁷⁾に示す。

NS形継手は、伸縮量や曲げ角度が限界に達して継手に離脱力が働くと、ロックリングが作用して離脱防止性能を発揮する構造となっている。各継手の伸縮量や曲げ角度が小さくても、複数の継手が次々に変位することにより、大きな地盤変位を吸収することができる。

一方で、K形継手は丸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、管の受け口側と差し口側に発生する面圧とゴムの復元力で止水する構造である。A形継手やその他の一般継手と比較すると伸縮性能および屈曲性能に優れているが、耐震継手のような離脱防止性能は期待できない。

(3) 継手別の地震時被害状況

「管路の耐震化に関する検討報告書」⁸⁾に示された東日本大震災における管路の被害状況の抜粋を表-2に示す。対象とする管路被害は、管体部の破損、継手部の破損および抜け等としており、対象口径はφ50mm以上となっている。地震動増幅が小さい地盤とは、山地、丘陵、火山地、砂礫質台地などの良い地盤と呼ばれる区分である。

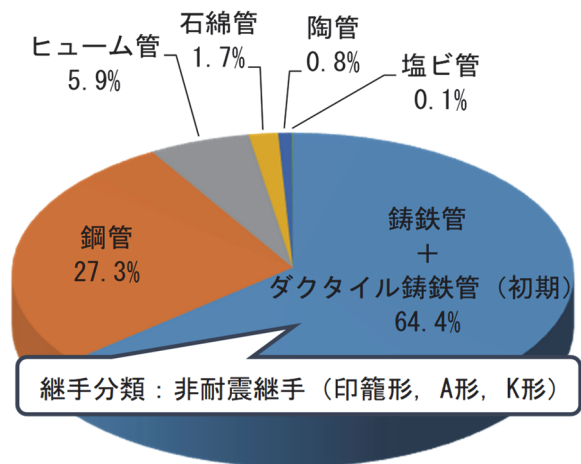


図-3 パルテム HL 工法施工対象管種

表-1 継手の主な性能 (φ150の場合)

継手種別	継手形式	生産開始(年)	※2 伸び量(mm)	離脱防止力(kN)	許容曲げ角度(deg)
耐震継手	NS形	1993	±60	450	4 ^{※3}
非耐震継手	K形	1962	25	15	5
	A形	1961 ^{※1}	23	K形以下	

※1 現在は生産中止

※2 設計照査用最大伸び量

※3 地震時に曲がり得る最大屈曲角度8°

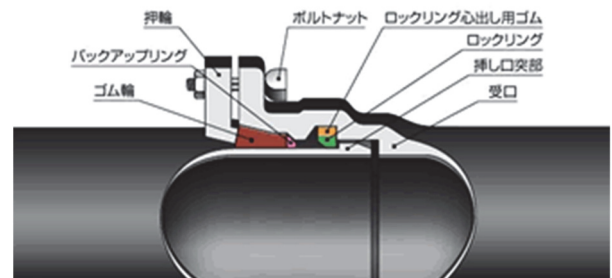


図-4 NS形継手 (φ75mm～φ1000mm)

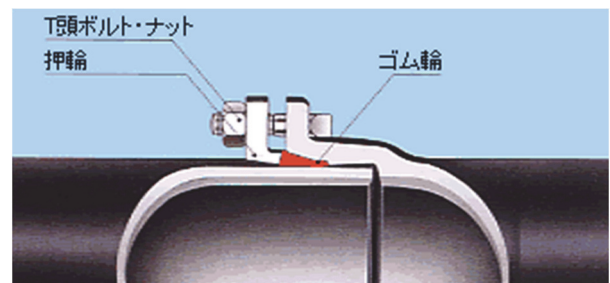


図-5 K形継手 (φ75mm～φ2600mm)

地震動増幅が大きい地盤とは、谷底低地、扇状地、三角州、埋立地、干拓地などの悪い地盤と呼ばれる区分であり、液状化確認地区、丘陵地等の人工改変確認地区の盛土部は震度によらずこの区分に含んでいる。いずれも国

立研究開発法人防災科学技術研究所が公表している J-SHIS (地震ハザードステーション) による表層地盤の微地形区分を参考にしている。

耐震継手の NS 形等は管路延長 570km で被害箇所がなく、離脱防止機能が継手の抜出し防止に効果的であることが見て取れる。K 形継手は地震動増幅が大きい地盤で 32 箇所の被害が発生したものの、鋳鉄管の被害率の約 1/24 と顕著に小さい。また、A 形継手と比較しても、被害箇所数は 1/10、被害率は約 1/4 と明らかに少ない。K 形継手と A 形継手の伸縮量は表-1⁴⁾に記載のとおりほぼ同じであることから、被害の有無は継手の抜出し防止力(離脱防止力)あるいは許容曲げ角度が影響すると考えられる。K 形継手および A 形継手の抜出し防止力と地震時被害の関係性については、継手形式と地震時被害に関する既報告⁹⁾にも示されている。

(4) 更生管に必要な耐震性能の検討

管路更生工法の対象管種は非耐震継手が大半であることが判明し、また、非耐震継手のうち K 形継手はその他の継手と比較して被害が少なく、その要因は継手の抜出し防止力と許容曲げ角度の差異であると推察した。

K 形継手は抜出し防止機能(離脱防止機能)がないため非耐震継手に区分されるが、他の非耐震継手に比べて地震時の被害が顕著に少ないことから、厚生労働省が主催する有識者検討会にて表-2 に示す地震動増幅が小さい地盤では耐震性を有すると評価されている。また、厚生労働省が公表している耐震適合率の算定においては、耐震適合性を有する管の対象管種のひとつとして取り扱わ

れている。

これらを踏まえて、K 形継手の耐震性能は十分に評価され一般的に運用されていると判断できる。そのため、非耐震継手管路の区間に更生管を施工することで K 形継手の耐震性能と同等以上まで向上できれば、地震時の被害の大幅な減少が期待できると考えた。よって、更生管の耐震性能評価においては K 形継手の耐震性能を基準指標とする。更生管には継手がないため、継手の抜出し防止力(離脱防止力)は継手部に必要な管体強度に置き換えて考えるものとし、更生管に必要な耐震性能は K 形継手の抜出し防止力以上の管体強度および K 形継手以上の許容曲げ角度と設定した。

3. 水密層部材の変位作用時性能

自立型更生管の変位作用時における漏水は水密層部材の破断によって生じる。そのため、本章では基礎的な性能把握として、水密層部材のみをライナーとして使用した単層構造の内張型更生管を用いて、変位が生じた際の挙動を確認する。

(1) 水密層部材の構造と内張型更生管の位置付け

本稿で使用する水密層部材は、ポリエステル円筒織物に熱可塑性エラストマーを押し出し成形したホースである。織物の特性を生かし、最大 0.75MPa の耐内圧特性と 15% の伸び特性を有している。水密層部材の主な特性を表-3 に、断面図を図-6 に示す。

表-2 管種・継手別の管路布設延長・管路被害率の算出結果^{9)資料}

管種	継手分類	レベル2地震動相当(震度6強以上)								
		(1)地震動増幅が小さい地盤			(2)地震動増幅が大きい地盤			計(1)+(2)		
		管路延長(km)	被害箇所数(箇所)	被害率(箇所/km)	管路延長(km)	被害箇所数(箇所)	被害率(箇所/km)	管路延長(km)	被害箇所数(箇所)	被害率(箇所/km)
ダクティル鋳鉄管	NS形等	24.5	0	0.000	545.8	0	0.000	570.4	0	0.000
	K形等	11.2	0	0.000	286.2	32	0.112	297.4	32	0.108
	A形等	19.5	1	0.051	710.3	319	0.449	729.8	320	0.438
鋳鉄管*	—	14.7	4	0.272	45.4	141	3.106	60.1	145	2.413

※鋳鉄管は震度6強以上に比べて震度6弱の管路被害が顕著に多いため、震度6弱以上の数値を記載

表-3 水密層部材の主な特性

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

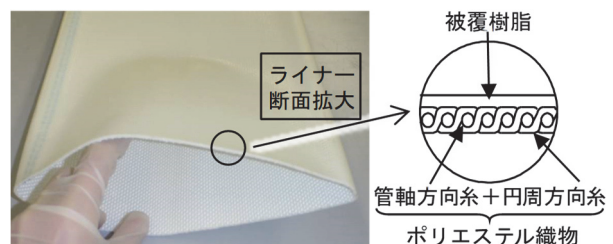


図-6 水密層部材の断面図

内張型更生管は水道、ガス、電力等の分野にて広く使用されてきた。内張型更生管の使用目的は、既設管路の漏水防止および腐食防止であり、JWWAの水道施設設計指針⁹⁾では被覆材管内装着工法として分類される。また、ISO11295「Classification and information on design of plastics piping systems used for renovation」¹⁰⁾ではClass C, Class D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ため、既設管の管体および継手部の強度が期待できる場合のみ適用が可能となる。主には管路の長寿命化対策として採用されているが、管路の変位に対する追従性能に優れるため、地震時の一時的な漏水対策としても採用される場合もある。

(2) 管軸方向動的引張実験

内張型更生管の伸縮性能評価として、図-7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本を突合せた配管を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。

b) 実験方法

管内圧力を 0.50MPa (水道の常時使用圧力) 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。開口量は兵庫県南部地震の継手抜きし変位量の調査データ¹¹⁾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。

c) 実験結果

実験結果を表-4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。ダクタイル鋳鉄管の突合せ部周辺の更生管は、突合せ部開口量が発生したと同時にダクタイル鋳鉄管内面から剥離し、その後の開口量の増加に伴い剥離量は管軸方向に増加した。更生管は 15% の伸び特性を有しているため、剥離した部分の更生管が突合せ部の開口量に追従して伸びることで水密性機能を維持することがわかった。突合せ部開口量と更生管剥離量の関係を図-8に示す。

(3) 曲げ変位実験

次に内張型更生管の伸縮性能による曲げ変位への追従性を確認するため、図-9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性試験¹²⁾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擬し、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。

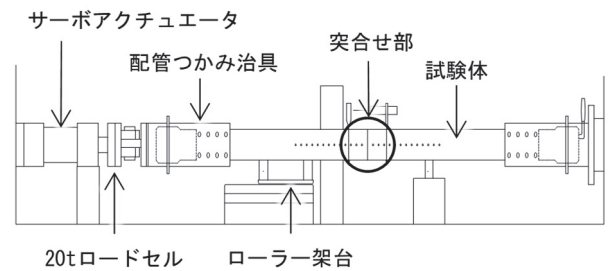


図-7 管軸方向動的引張試験装置

表-4 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	

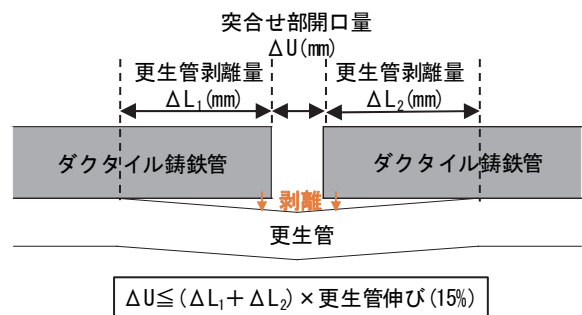


図-8 開口量と剥離量の関係 (突合せ部上部側面図)

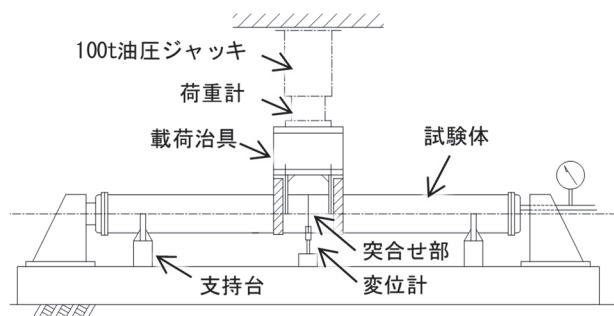


図-9 鉛直方向曲げ試験装置

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 0.30MPa 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 点载荷する. 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. その後, 最大 150mm (呼び径相当) まで変位量を増加し, 漏洩を確認する.

c) 実験結果

実験結果を表-5に示す. すべての実験ケースにおいて, 継手部の大変形を想定した垂直方向変位 150mm (曲げ角度約 15°) まで作用させたが, 内張型更生管に気密漏洩は発生しなかった. 管軸方向動的引張実験と同様に, 配管突合せ部の開口量の増加に伴って鋼管内面からの更生管の剥離量も増加し, 剥離した部分の更生管が伸びることで, 突合せ部の曲げ変位に追従することがわかった. 突合せ部開口量と更生管剥離量の関係を図-10に示す.

(4) まとめ

内張型更生管を施工した既設管に変位が作用すると, 更生管は変位作用点を起点に既設管内面から剥離することがわかった. 剥離した更生管は変位荷重により伸長するが, 更生管の破断伸び点に達する前にさらに剥離が進行することで, 既設管の変位に追従して水密性 (気密性) 機能を維持したと考えられる.

内張型更生管すなわち水密層部材は, K 形継手の伸び量 25mm を上回り, NS 継手の ±60mm に近い伸縮性能を有し, 屈曲性能は K 形継手の許容曲げ角度 5° および NS 継手の 4° (最大屈曲角度 8°) を上回る 15° の曲げ角度に追従できることが明らかとなった.

4. 複層構造を有する自立型更生管の曲げ実験

(1) 実験の確認項目

図-2に示した複層構造を有する自立型更生管を施工した模擬配管に曲げ変位を作用させ, 更生管の破断荷重と許容曲げ角度を確認する. 3章で用いた内張型更生管とは異なり, 水密層部材と既設管の間に強度層部材のガラスロービングマットが配置する構造となる.

本実験にはパルテム HL 工法の自立型更生管のうち最も施工実績が多い, 呼び径 300mm, 強度層部材厚さ 4.0mm, 水密層部材厚さ 1.3mm を用いる. 実験に用いた自立型更生管の特性を表-6に示す.

強度層部材は, 既設管強度を期待せずに内外圧に耐え得る強度特性を有しているが, 屈曲性能については明らかになっていない. また, 水密層部材の屈曲性能は3章の結果より明らかとなったが, 大きな曲げ変位に追従す

るためには既設管からの剥離挙動が必要であった. 内張型更生管と自立型更生管では水密層部材の接着対象面が異なるため, 剥離挙動への影響についても考察する. 内張型および自立型更生管の断面図を図-11, 図-12に示す.

なお, パルテム HL 工法の自立型更生管では他の呼び径および部材厚さにおいても同一の材料特性を有しており, 強度層部材と水密層部材の界面条件についても同じであることから, 他の呼び径および部材厚さにおいても類似した挙動を示すと考える.

表-5 曲げ変位実験結果

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

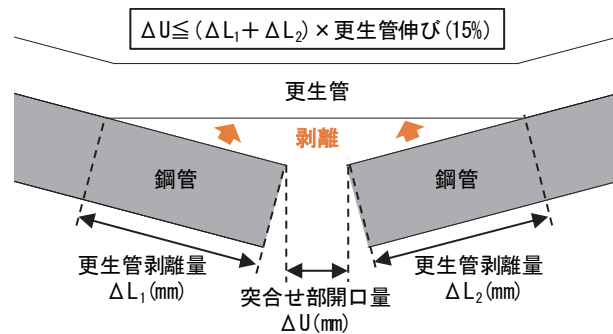


図-10 開口量と剥離量の関係 (突合せ部下部側面図)

表-6 実験に用いた自立型更生管の特性

強度層部材*	曲げ強さ	MPa	230
	曲げ弾性率	MPa	13,000
	引張強さ	MPa	210
	引張弾性率	MPa	9,500
水密層部材	破断伸び	%	15.0

※引張弾性率は管軸方向, その他は円周方向



図-11 内張型更生管の断面図



図-12 自立型更生管の断面図

(2) 試験体作製

呼び径 300mm, 長さ 2.0m の鋼管 2 本を突合せた配管を 3 体用意する。3 章の曲げ実験と同様に鋼管を選定した。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部内部を模擬して 2 本の配管を初期開口量を設けて突き合せ, 配管内面に自立型更生管を施工する。

初期開口量については, 管路更生工法の対象となる管路は長期間使用された老朽管路であり, 継手に一定の伸び変位が作用している可能性があるため, A 形継手および K 形継手の真直配管時最大伸び量である 38mm および 64mm に近い値であることを条件とした。真直配管時最大伸び量とは, 真直ぐに配管した位置から継手が伸びてゴム輪の端部に管の挿し口先端部が一致した時の伸び量であり, 止水性能を維持する限界伸び量として規定^{5,6)}されている。K 形継手における該当箇所を図-13 に示す。また, 曲げ試験機の構造上, 初期開口量によって曲げ角度が制限されるため, 最大曲げ角度が約 20 度まで変位可能となることも条件に含めた。これら二つの条件を考慮し, 初期開口量を 50mm と設定した。

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。

(3) 実験方法

試験体を図-14 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, 配管中央部の突

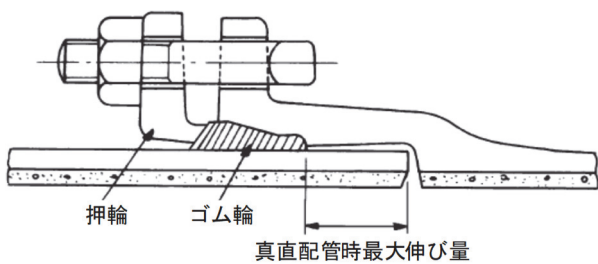


図-13 自立型更生管の断面図

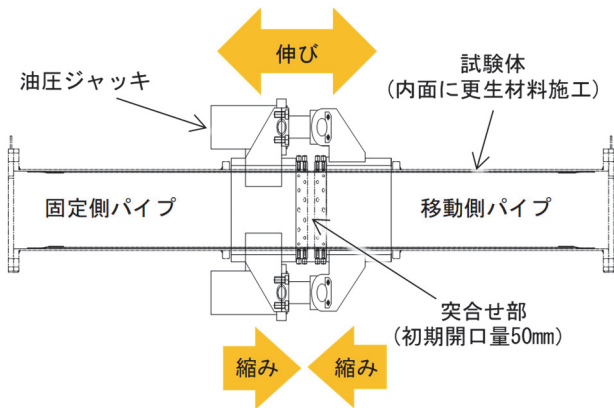


図-14 曲げ試験装置

合せ部に曲げ変位が作用する構造である。管内圧力は水道管の使用圧力を想定した 0.75MPa, 0.55MPa, 0.40MPa, 0MPa の 4 ケースとし, 曲げ変位を作用させる速度は 20mm/min で一定とした。強度層部材に変位が生じた時点で漏水の有無を確認する。その時点で漏水が生じていなければ水密層部材が破断するまで曲げ変位の増加を継続する。

(4) 実験結果

実験状況を図-15~図-18, 実験結果を表-7 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。強度層部材は 10° ~11.5° で破断したが, 水密層部材はその後の曲げ変位に対して変形特性が発揮され, 12.5° ~22.5° 超まで水密性機能を維持した。



図-15 曲げ実験状況 (曲げ角度 16°)

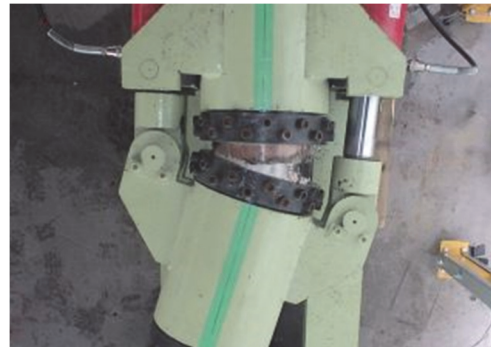


図-16 突合せ部状況 (曲げ角度 16°)

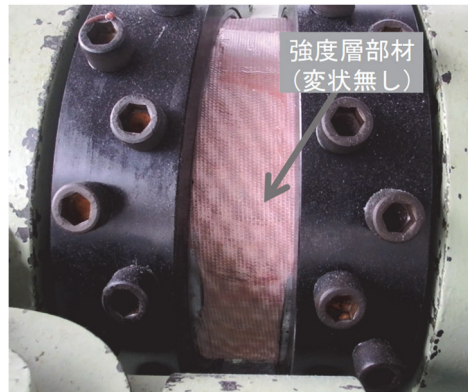


図-17 No.3 曲げ実験状況 (曲げ角度 10°)

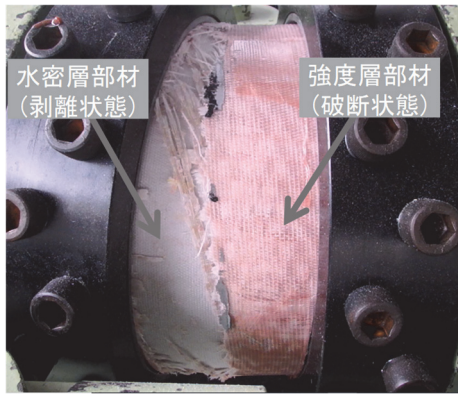


図-18 No.3 強度層部材破断状況 (曲げ角度 16°)

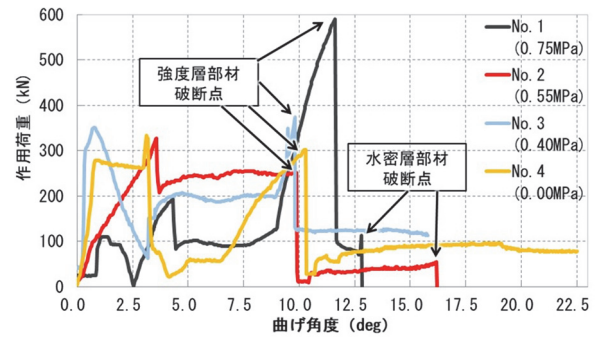


図-19 作用荷重-曲げ角度

表-7 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 (deg)	作用荷重 (kN)	曲げ角度 (deg)	
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 ^{※1}
4	0	302	10.3	96	22.5	無し ^{※2}

※1 試験装置の不具合発生により実験中断

※2 試験装置の限界曲げ角度到達により実験中断

(5) 考察

a) 強度層部材の破断強度と曲げ変位抑制効果

No.1~No.4 の作用荷重と曲げ角度の関係を図-19 に示す。いずれの試験体においても、急激な荷重低下が生じた直後から低荷重にて曲げ角度が増加する挙動がみられることから、強度層部材の破断点がグラフ上から読み取れる。一方で、強度層部材の破断点に至るまでの曲げ角度においては各試験体毎に不規則な荷重の増減がみられたが、これらの要因は、曲げ試験装置の各接続部分における余裕寸法の影響や、突合せ部以外で生じた鋼管と更生管の強度層部材の部分的な剥離の影響と考えられ、今回測定した突合せ部における更生管の強度層部材および水密層部材の破断点や破断時荷重および曲げ角度に与える影響は少ないと推察する。今回の実験における自立型更生管の強度層部材破断時の作用荷重は 251kN~591kN であった。強度層部材の強度特性が効果的に作用し、曲げ変位に対しても高い管体強度が発現した。

継手形式と地震時被害に関する既報告⁹⁾によると、呼び径 150mm の K 形継手の拔出し抵抗力は 15.0kN とされている。拔出し抵抗力は、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ため、本実験に使用した呼び径 300mm の拔出し抵抗力は 30.0kN と推測される。よって、更生管の管体強度は K 形継手の拔出

表-8 屈曲形耐震継手の分類と性能¹³⁾

項目	区分	継手の性能	
		区分	性能
屈曲性能	M-1 類	屈曲角度	±15° 以上
	M-2 類	〃	±7.5° 以上±15° 未満
	M-3 類	〃	±7.5° 未満
離脱防止性能	A 級	離脱防止抵抗力	3d kN 以上
	B 級	〃	1.5d kN 以上 3d kN 未満
	C 級	〃	0.75d kN 以上 1.5d kN 未満
	D 級	〃	0.75d kN 未満

※表中の d は呼び径(mm)

し抵抗力の 8 倍~20 倍であると考えられる。

また、管体強度すなわち強度層部材の破断時作用荷重を継手の離脱防止性能に置き換えて表-8 に示す屈曲形耐震継手の分類と性能¹³⁾で判定すると、更生管の離脱防止性能は B 級~C 級に該当する。ただし、ダクタイル鋳鉄管の耐震継手のように、継手の曲げ角度が限界に達した後ではなく、曲げ変位が発生する時点で変位の抵抗力として作用している。したがって、非耐震継手管路に更生管を施工することによって、その区間の曲げ変位の発生自体を抑制する効果があるといえる。

b) 許容曲げ角度と水密層部材剥離挙動

強度層部材と水密層部材が接着した状態で曲げ変位の増加に追従したが、強度層部材が破断した時点で変位作用部周辺の水密層部材が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。よって、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たと推察する。

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。1 つ目は強度維持限界となる強度層部材の許容曲げ角度、2 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° 程度であると確認された。耐震適合性を

有するとされる K 形継手の許容曲げ角度 5° の 2 倍に相当する。また、表-8 で判定すると屈曲形耐震継手の M-2 類に該当する。

一方で、水密層部材の許容曲げ角度については、 $12.5^\circ \sim 22.5^\circ$ となり、強度層部材と同様に表-8 で判定すると M-1~M2 類に該当する。しかしながら、角度は内圧によってばらつきが生じる結果となった。ばらつきの要因として水密層部材の剥離挙動の差異が挙げられる。実験後の水密層部材剥離状況展開図を図-20~図-22 に、剥離状況展開図における位置番号見取り図を図-23 に示す。図-20~図-22 の位置番号 a~h は図-23 の同番号と対応している。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最大 400mm 程度の範囲まで剥離が進行しているが、内圧 0.75MPa が作用する No.1 は最大 200mm 程度であり、他に比べて極端に剥離範囲が小さいことが分かる。

内圧が高くなると水密層部材が強度層部材に押し付け

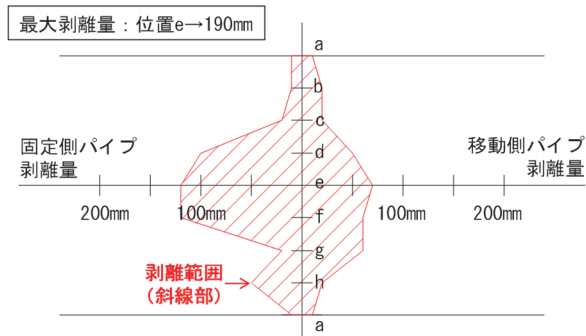


図-20 水密層部材剥離状況展開図 (試験体 No.1)

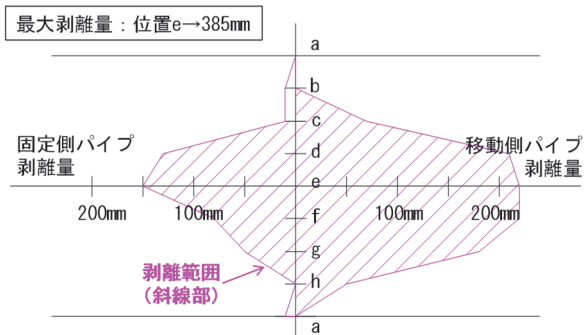


図-21 水密層部材剥離状況展開図 (試験体 No.2)

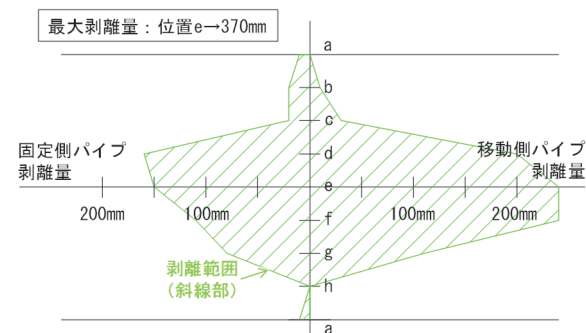


図-22 水密層部材剥離状況展開図 (試験体 No.3)

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。内圧 0MPa の No.4 は 720mm の範囲まで剥離が生じた。突合せ部内面および外面の剥離状況を図-24、図-25 に示す。

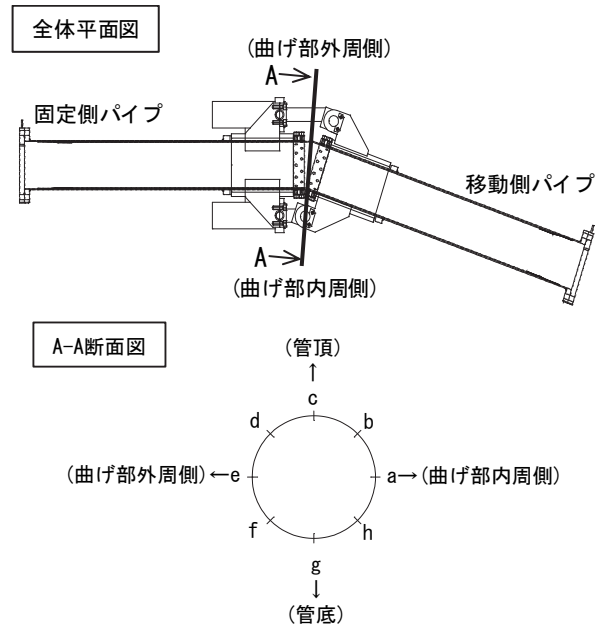


図-23 剥離状況展開図における位置番号見取り図

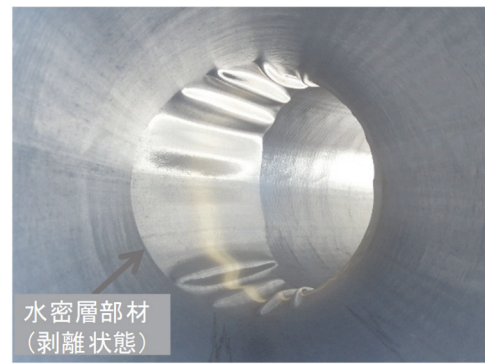


図-24 No.4 水密層部材剥離状況 (22.5° , 突合せ部内面)



図-25 No.4 水密層部材剥離状況 (22.5° , 突合せ部外面)

表-9 水密層部材の剥離量と伸び

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	
4	0	120	720	16.6	

水密層部材が曲げ部最外周点を起点に継手部変位に合わせて剥離していることがわかる。

また、水密層部材の最大剥離量と伸びを表-9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 15.0%以上となっているため、水密層部材の持つ伸び特性は正常に機能していたことがわかる。

5. まとめ

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。

1. 曲げ角度 10° 程度までは強度層部材と水密層部材が一体となって変形することで自立型更生管としての健全性を維持する。強度層部材の破断時に水密層部材は強度層部材から剥離し、その後は内張型更生管と同様の挙動を示す。
2. 更生管の破断荷重は 251kN~591kN であり、K 形継手の拔出し防止力の 8倍~20倍に相当する。耐震継手の離脱防止性能区分で判定すると B 級~C 級に該当する。
3. 更生管の許容曲げ角度は強度層部材が概ね 10° , 水密層部材の許容曲げ角度は 12.5° ~22.5° であり、K 形継手の許容曲げ角度の 2倍以上であった。また、耐震継手の屈曲性能区分で判定すると M-1 類~M-2 類に該当する。
4. 更生管の管体強度は曲げ変位が発生する時点で変位に対する抵抗力として作用するため、施工区間の曲げ変位の発生自体を抑制する効果がある。

自立型更生管は、強度層部材と水密層部材の複層構造であることから、強度特性と変形特性という 2つの特性を有することがわかった。自立型更生管の管体強度と許容曲げ角度は、耐震適合性があるとされる K 形継手の拔出し防止力と許容曲げ角度を上回るため、非耐震継手継手に更生管を施工することによって、施工区間の耐震性能を向上させることができると考える。

今後は、管路更生工法が多く施工されている開削困難場所の配管条件や地盤条件を分析し、必要な耐震性能および評価方法を確立するとともに、地震被災地の施工管掘上調査などによる実態検証が必要と考える。また、試験体数の増加や条件を変更した追加検証等を実施し、本研究結果の更なる精度向上に取り組む。

参考文献

- 1) 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, 2009.
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン, 2017
- 3) 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講演論文集, 論文番号 1198, CD-ROM, 2017.
- 4) 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会：ダクタイル鉄管ガイドブック, pp. 110-111, pp. 114-115, p. 331, 2018.
- 5) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説, II 各論, p. 38, 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.
- 7) 日本ダクタイル鋳管協会：ホームページ,
http://www.jdpa.gr.jp/gaiyo_tugite.html (2019年11月5日閲覧)
- 8) 平成 25 年度管路の耐震化に関する検討会：管路の耐震化に関する検討報告書, p. 44, p. 56, 2014.
- 9) 社団法人日本水道協会：水道施設設計指針, pp. 499-50, 2012.
- 10) ISO 11295: Classification and information on design of plastics piping systems used for renovation, 2017.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 社団法人日本水道協会：水道施設設計指針, p. 466, 2012.

(2019.11.12 受付, 2020.1.25 修正, 2020.2.16 受理)

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

Hiromasa ISHIZEKI and 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 of strength characteristic and deformation characteristics. As a result, it was confirmed that the CIPP's strength characteristic suppressed bending displacement in the host pipe's non-anti seismic joints. Also, 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 joints in earthquake. In addition, the series of testing revealed that the CIPP, by its deformation characteristics, accommodate bending displacement that exceeds the allowable bending angles of the K-type joints in ductile iron pipes that are installed as seismically compliant products.