

シートライニング工法によるマンホール更生工法の耐荷性能評価

安藤ハザマ 正会員 ○根岸 敦規
日本ヒューム 技術研究所 江口 秀男

1. はじめに

近年、下水道普及率は大都市圏や県庁所在地において 90%以上に達し、新設から維持更新への時代に入っている。毎年 3,000 件以上発生している道路陥没事故は、下水道管の腐食がその原因の多くを占め、幹線道路や震災時の避難道路直下の下水道管から、改築・修繕が実施されてきている。自治体においては、限られた予算内での下水道運営を強いられており、コンクリート構造物だけでなく機械・電気設備の計画的な改築・修繕計画を構築して対応している。その社会情勢を鑑み、2014 年には「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」¹⁾が、2015 年には「下水道構造物のコンクリート腐食対策技術」²⁾の JIS が制定された。また、東日本大震災以降、下水道施設を対象に「下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版」³⁾ が改訂・刊行され、津波被害への対応や、下水処理機能の維持を優先する耐震性能レベルが新設された。

一方、下水道用マンホールについては、日本下水道新技術機構と安藤ハザマも含む 13 者との共同研究の成果として「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」(以下、技術資料と記す)⁴⁾が 2014 年に発刊され、耐震設計も含めた長寿命化への方向性が示された。下水道構造物の改築・更新に用いるシートライニング工法は、日本下水道事業団「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル」⁵⁾において工法規格 D 種に分類され、年間平均硫化水素濃度で 50ppm 以上の厳しい腐食環境(腐食環境 I 類)で使用される工法である。本報では、シートライニング工法の技術資料への適用性を評価するために実施した、1 号マンホール更生試験体の軸方向耐圧強さ試験、側方曲げ強さ試験をその補強効果と共に報告する。

2. マンホール更生工法

(1) シートライニング工法の概要

シートライニング工法には、その施工方法から、工場で成形されたシートを断面修復と同時または修復後に躯体に貼り付け一体化させる「成形品後貼り型シートライニング工法」、半硬化状態のシートを躯体に貼り付け、光を照射することにより硬化させ躯体と一体化させる「プリプレグ後貼り型シートライニング工法」、型枠にシートを貼付けまたはシート材料自身を型枠として機能させ、組上げた後にコンクリートを打設またはグラウトを注入して一体化させる「型枠型工法」に大別される。本更生工法のシートライニング工法は、図-1 に示すようにコンクリート構造物の腐食部を除去後、専用モルタル材を塗布して構造物の強度を回復・維持させ、次に、未硬化の吹付け面を左官仕上げし、支持体付きシート(高密度ポリエチレン樹脂製)を差込み一体化させるという改築・更新をターゲットに開発された防食被覆工法(以後、本工法と記す)であり、「成形品後貼り型シートライニング工法」に分類される。

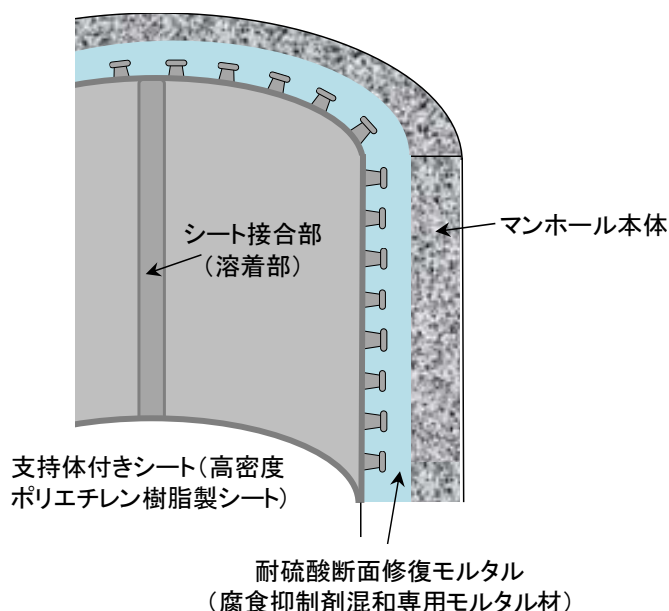


図-1 本工法の断面模式図

キーワード 下水道複合マンホール更生工法, シートライニング工法, 改築・更新

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ 技術研究所 先端・環境研究部 TEL 029-858-8815

特長として、以下の点があげられる。

- ① 専用モルタル材は付着力に優れており、接着性試験において母材（躯体部）で破壊することが確認されているため、専用モルタル材施工断面に応力を分担することが可能である。
- ② 支持体付きシートは高密度ポリエチレン樹脂製（厚さ 2mm）で耐酸性、耐アルカリ性など耐薬品性を有しており、モルタルとの固着力も強い。長期的なモルタル強度の増加に伴い、固着力もより強固になる。
- ③ 型枠を使用しないために大きな部材を扱うことができる。シートは柔軟性があり搬入口の大きさに制限されず、円形断面にも適用できる。
- ④ 本シートを型枠工法で使用する場合に比べ、シート同士の接合部分が少なく、熱溶着により防食被覆層は同じ材料で一体化するため、耐震設計上、継ぎ目のない連続した部材として扱える。
- ⑤ 稼働中施設での改築・更新も可能。また、硬化型樹脂を使用しないため、有害物質の発生が無く、乾燥工程が不要で、工期が短縮できる。
- ⑥ 本シートは、耐震計算における補強材として鉄筋と同様に、引張り鉄筋の断面積として換算することが可能であり、専用ソフトをもちい、鉄筋量の増加分を加味して評価できる。

以上の効果は建設技術審査証明（下水道）（2015 年 3 月 第 1427 号）⁶⁾、（2020 年 3 月 第 1906 号）⁷⁾ で認められており、本工法で実際に施工（改築・更新）された防食被覆層は 20 年以上（型枠型工法では 25 年）経た現在でも、異常は認められていない。

(2) マンホール更生工法

技術資料では、下水道マンホールの改築工法として、図-2 に示すように更新，更生工法，防食工法に大別される。本工法は既設のマンホールと一体化するため「複合マンホール更生工法」に該当する。上述のように、シートライニング工法としての防食性能も併せ持っており、防食工法にも該当する。

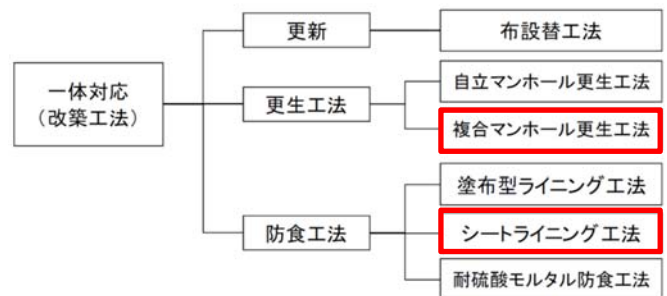


図-2 本工法の技術資料における位置づけ

3. 耐荷性能試験

技術資料の複合マンホール工法の要求性能として、「下水道用鉄筋コンクリート製組立てマンホール(JSWAS A-11) (2005)⁸⁾ と同等以上または使用状態での耐荷性能を有すること。」と記されている。マンホールの設置深さにより、Ⅰ種 (5m まで)、Ⅱ種 (10m まで) があり、それぞれ破壊荷重規格値が規定されている。腐食を模擬した 20 mm 減肉した内径 900 mm の軸方向耐圧強さ試験体と側方曲げ強さ試験体を破壊荷重まで載荷した後、本工法で更生したマンホールが規格値を満足するかを確認するために、腐食を模擬した試験体と同様に軸方向耐圧強さ試験と側方曲げ強さ試験を実施した。

(1) 軸方向耐圧強さ試験

Ⅱ種 1 号組立マンホールを 20 mm 減肉させ、軸方向荷重で破壊させる。その後、本工法で更生し、下水道協会の規格値を満足することを確認するために軸方向耐圧強さ試験を実施した。

a) 試験体の作製

試験体の概略図を図-3 に示す。図の左側のように、75 mm の管厚を 20 mm 減肉

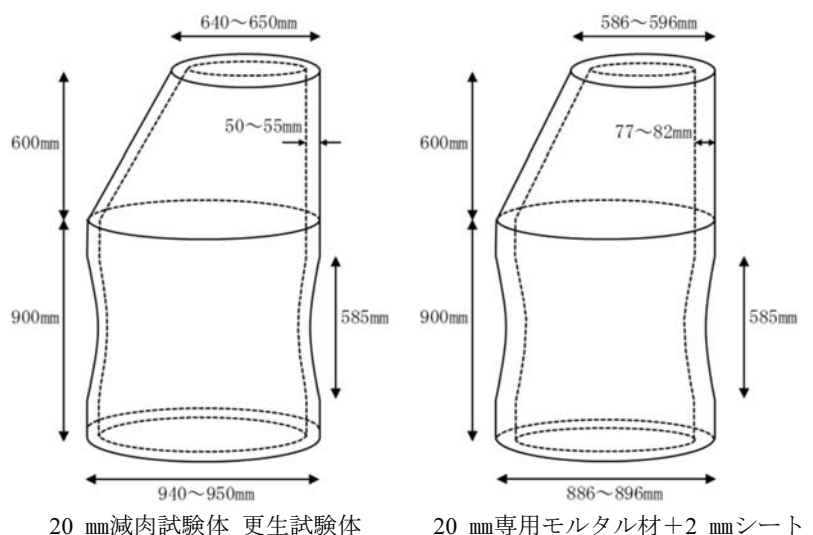


図-3 試験体の概略

(55 mm) したⅡ種 1 号マンホールを製作し、図のように組み上げた。軸方向耐圧強さ試験体はベース（基礎）の上に、①直壁（上下流に 585 mm^φの管接続孔を設けてある）、②斜壁（上部 600 mm、下部 900 mm）を設置し、両部材はアクリルエマルジョン系接着剤で固定した。本工法により、両部材を専用モルタル材厚さ約 20 mm、支持体付きシート 2 mm で更生した。更生後の寸法は図の右側に示すとおりである。シートの割り付けは、直管は半分ずつ、斜壁は 1 枚もので施工した。専用モルタル材の硬化後、シート同士の目地部はシートと同じ HDPE の樹脂棒を溶着機（エクストルーダー）を用いて、熱溶着で一体化させた。試験体は 2 体製作し、材齢 21 日と 28 日でそれぞれ、載荷試験を実施した。

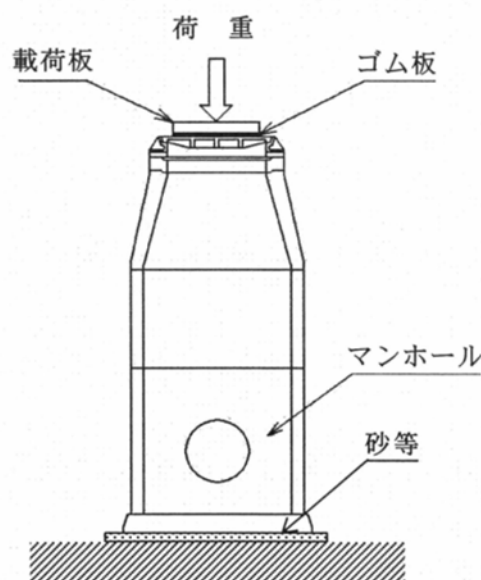


図-4 軸方向耐圧強さ試験方法

b) 軸方向耐圧強さ試験方法

軸方向耐圧強さは、日本下水道協会「下水道用鉄筋コンクリート製組立てマンホール（JSWASA-11）（2005）⁸⁾」の方法に従い実施した。図-4に示すように更生部材を組み合わせた状態で軸方向荷重を加えた。規格値としては 150kN まで加圧した時に、部材に 0.05 mm を超えるひび割れのないこと、さらに 200kN まで加圧を継続し、破壊しないことを確認することになっている。本試験では、既設マンホールの劣化状態を、腐食に対しては、20 mm の減肉により再現し、また、経年劣化に対しては、20 mm 減肉した試験体を破壊荷重まで載荷し再現した。載荷は、管壁に荷重が均等にかかるように鉄蓋を設置後、ゴム板、載荷板を介して荷重を加えた。

c) 軸方向耐圧強さ試験結果

軸方向耐圧強さ試験状況を写真-1に、試験結果を表-1に示す。ひび割れ発生荷重、破壊荷重とも規格値を上回った。一方、本工法で更生した試験体におけるひび割れ発生荷重値が、20 mm 減肉した試験体のひび割れ発生荷重値より下回る結果となった。これらのひび割れ発生荷重の減少は次のように説明できる。

- ① 20 mm 減肉試験体へ荷重を与え、管口上下部にひび割れ発生した。
- ② 破壊荷重まで加力する過程で、ひび割れが伸長・拡張し、貫通クラックに成長した。
- ③ 専用モルタル材と躯体との接着性が高いため、更生後、モルタル部に貫通クラックが伸長した。
- ④ 20 mm 減肉試験体は 55 mm の躯体厚に対し、専用モルタル材厚さが 20 mm しかないために、更生後のひび割れ発生荷重が下回った。

(2) 側方曲げ強さ試験

5m の深さまで敷設されるⅠ種 1 号マンホールと、10m の深さまで敷設されるⅡ種 1 号マ



写真-1 軸方向耐圧強さ試験状況

表-1 軸方向耐圧強さ試験結果

管種	材齢	更生の有無	軸方向耐圧強さ(kN)	
			ひび割れ発生荷重	破壊荷重
Ⅱ種	σ 21	更生前	285	588
		更生後	206	912
	σ 28	更生前	270	627
		更生後	240	990
規格値			150 kN で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	200kN で破壊しないこと

ンホールの更生部材のうち、直管を用い、20 mm減肉させたものを側方曲げ荷重で破壊した。その後、本工法で更生し、下水道協会のひび割れ発生荷重と破壊荷重の規格値を満足することを確認するために、側方曲げ強さ試験を実施した。

a) 試験体の作製

試験体の概略図を図－5に示す。75 mmの管厚を20 mm減肉(55 mm)したⅠ種1号マンホール(1本),Ⅱ種1号マンホール(2本)を側方曲げ強さ試験により破壊し、本工法により、両部材を専用モルタル材厚さ約20 mm、支持体付きシート2 mmで更生した。シートの割り付けは、直管は半分ずつ施工した。専用モルタル材の硬化後、シート同士の目地部はシートと同じHDPEの樹脂棒を溶着機(エクストルーダー)を用いて、熱溶着で一体化させた。Ⅰ種1号マンホールは材齢28日で、Ⅱ種1号マンホールは、材齢21日と28日でそれぞれ、載荷試験を実施した。

b) 側方曲げ強さ試験方法

側方曲げ強さ試験は、軸方向耐圧強さ試験同様、日本下水道協会「下水道用鉄筋コンクリート製組立てマンホール(JSWASA-11)(2005)⁸⁾」の方法に従い実施した。図－6に側方曲げ強さ試験方法を示す。直管部材を台上に水平に置き、頂部および底部に厚さ約20 mm、幅約150 mmのゴム板を当て、荷重は図に示すように、部材にほぼ均等に分布するように垂直に加えた。

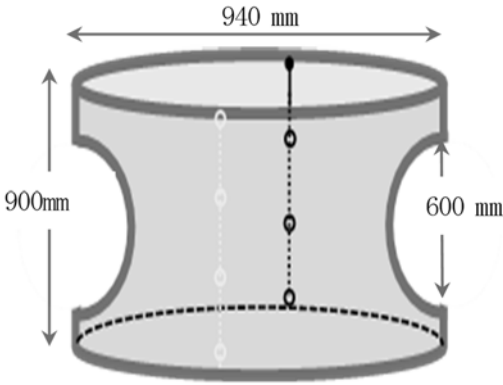
c) 側方曲げ強さ試験結果

側方曲げ強さ試験の破壊後状況を写真－2に、試験結果を表－2に示す。Ⅰ種1号マンホールも含めすべての試験体で、ひび割れ発生荷重、破壊荷重ともⅡ種1号マンホールの規格値を上回ることが確認された。3ケースとも、更生前と比較して、ひび割れ発生荷重は、若干の伸びにとどまっているが、破壊強度は2倍程度増加していた。また、写真－2から、破壊荷重に達しても更生工法の表面部材である支持体付きシートはひび割れに追従して伸びるため、破断が生じていないことが確認された。

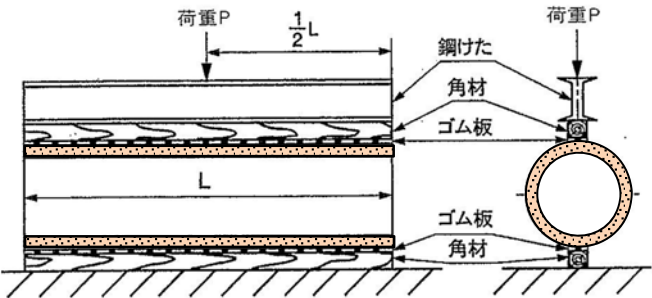
4. 考察

腐食が進み(20 mm減肉)、耐力が極端に落ちた(破壊荷重まで加力)試験体を本工法で更生した場合、20 mm減肉の試験体と比較して、軸方向耐圧強さ試験体でひび割れ発生荷重が若干下回ったが、破壊荷重は1.5倍以上伸びていた。

また、側方曲げ強さ試験においては、ひび割れ発



図－5 試験体概略図



図－6 側方曲げ強さ試験方法



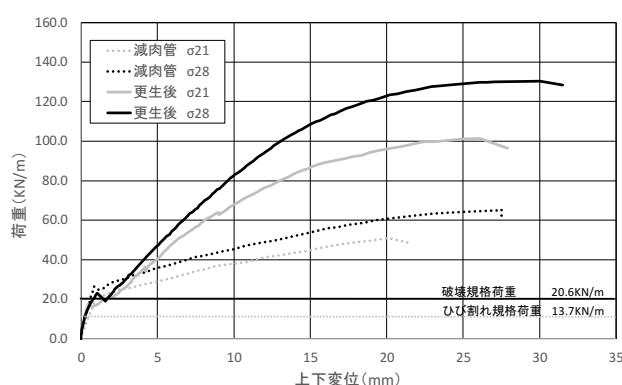
写真－2 側方曲げ強さ試験破壊後状況

表－2 側方曲げ強さ試験結果

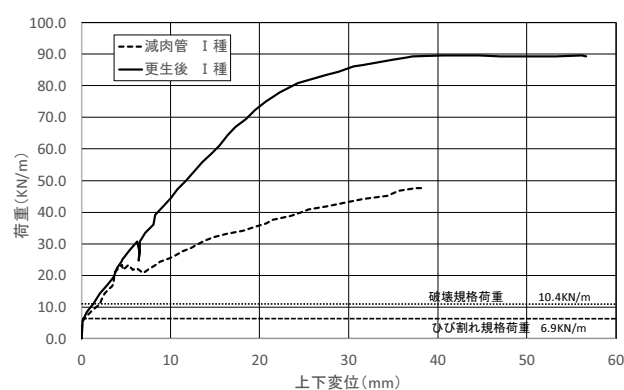
管種	材齢	更生の 有無	側方曲げ強さ(kN/m)	
			ひび割れ発生荷重	破壊荷重
Ⅰ種	σ 28	更生前	22.3	47.7
		更生後	24.3	89.6
Ⅱ種	σ 21	更生前	22.0	51.0
		更生後	33.1	101.3
	σ 28	更生前	26.3	65.2
		更生後	27.0	130.8
規格値（Ⅰ種）			6.9 kN/m で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	10.4 kN/m で破壊しないこと。
規格値（Ⅱ種）			13.7 kN/m で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	20.6 kN/m で破壊しないこと。

生荷重はほぼ同じであるのに対して、破壊荷重は約 2 倍程度増加した。専用モルタル材と更生前試験体との接着力と、専用モルタル材への支持体付きシートの固着により、専用モルタル材に対して拘束力が生じ、耐力の増加につながったものと考えられる。

図-7 にⅡ種 1 号マンホールの材齢 21 日、28 日試験体における更生前と更生後の荷重－変位曲線、Ⅰ種 1 号マンホールの材齢 28 日試験体における更生前と更生後の荷重－変位曲線を示す。ひび割れ発生荷重付近で一時荷重の低下と変位の伸びが認められるが、荷重をホールドして、試験体へのひび割れのマーキングと読み値の確認を行ったためである。その後、荷重を増加させると、変位は更生後試験体のほうが更生前試験体より少なくなった。専用モルタル材の圧縮強度は、28 日強度で 75N/mm^2 以上と 2 次製品で使用されるコンクリート強度の 2 倍以上であるため、20 mm の断面増加により圧縮に対して耐力が向上したと考えられる。また、荷重が破壊荷重に近づくにつれ、荷重の増加に対する変位は、更生試験体のⅠ種 1 号マンホールで 20 mm 弱、Ⅱ種 1 号マンホールで 5 mm 程度伸びていた。支持体付きシートの専用モルタル材へのアンカリング効果と伸びが、引張に対して対抗し、破壊を遅延させたためと考えられる。



Ⅱ種 1 号マンホール (σ_{21} , σ_{28})



Ⅰ種 1 号マンホール (σ_{28})

図-7 側方曲げ強さ試験による荷重－変位曲線

筆者の既往の研究⁹⁾で、ヒューム管（外圧管）を減厚減鉄筋の状態から本工法で更生した側方曲げ強さ試験を実施している。標準品試験体、20 mm 減肉試験体、20 mm 減肉+50% 減鉄筋試験体（更生前試験体）、減肉減鉄筋試験体に専用モルタル材で更生した試験体、減肉減鉄筋試験体に専用モルタル材+支持体付きシートで更生した試験体を用い、側方曲げ強さ試験を実施した際の荷重－変位曲線を図-8 に示す。専用モルタル材のみで更生した試験体は、通常厚減鉄筋試験体と比較すると、破壊荷重における変位はほぼ同じであるが、破壊荷重は約 1.5 倍増加した。同じ厚さでも減肉部分を躯体コンクリートより高強度の専用モルタル材を用いたために、圧縮側でその効果が発揮されたためと考えられる。

更に、支持体付きシートで更生した試験体は、標準品とほぼ同じ挙動を示しており、通常厚減鉄筋試験体と比較すると、破壊荷重における変位はほぼ同じであるが、破壊荷重は約 2.0 倍増加した。本工法で更生すると、

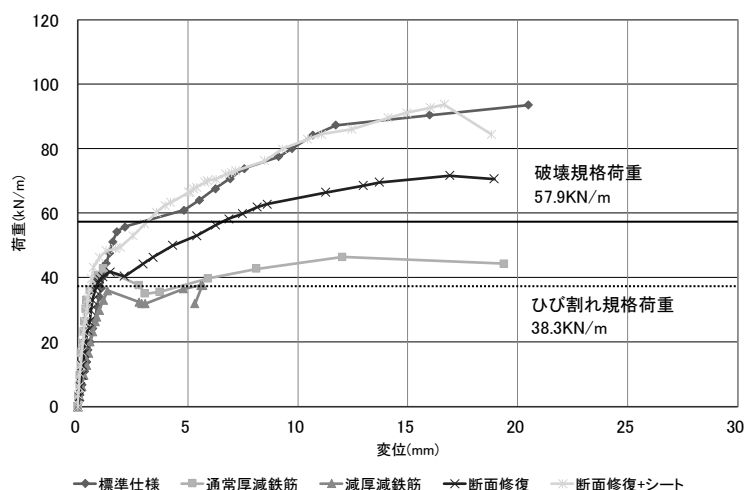


図-8 既報での側方曲げ強さ試験
における荷重－変位曲線

専用モルタル材の圧縮耐力とシートの引張耐力が合わさり、減肉減鉄筋の耐力の減少を補完する効果があることが確認された。

耐震計算においては、50 年後のシートのヤング係数を硫酸浸漬促進試験により求め、鉄筋量に換算しているが、その鉄筋量は、図－8 に示した試験から得られた鉄筋量の 1/20 以下の値であり、専用モルタル材とシートを複合材料として扱って鉄筋量に換算するなど、適正なヤング係数の算出手法を確立する必要がある。

5. まとめと今後の課題

本工法はシート裏面に設置された支持体（突起）により、専用モルタル材（断面修復材）と物理的に固着する。また、シート材料と目地材料が同一で、シート同士は目地材料と熱溶着により一体化する。微生物腐食により劣化が生じている円形マンホールの改築・修繕を想定し、断面欠損と破壊荷重までの加力により耐力を減少させたマンホール試験体を持ちいて、本工法で更生した試験体について、軸方向耐圧強さ試験、側方曲げ強さ試験を実施した。その結果、規格値を満足するだけでなく、破壊荷重も増加するほど耐力が向上した。本工法で使用されるシートライニング材は、耐震計算における補強材として鉄筋と同様に、引張り鉄筋の断面積として換算することが可能であり、専用ソフトをもちい、鉄筋量の増加分を加味して評価している。換算面積に関しては、本試験および既往の試験により、シートだけでなく専用モルタルも含めて評価することが妥当と考えられるため、現在、追加で曲げ試験を実施し、データの蓄積を図っている。

今後は、主に使用されている高密度ポリエチレン樹脂のほかに、様々な要求性能に合致した高分子材料だけでなく、支持体付き形状を持つ幅広い材質で同様の試験を実施し、物性を把握することにより、耐震診断および更生工法に適用できるよう、施工法を含め、検討する予定である。

6. 参考文献

- 1) JIS A 7511 下水道用プラスチック製管きょ更生工法
- 2) JIS A 7502 下水道構造物のコンクリート腐食対策技術
- 3) 日本下水道協会，下水道施設の耐震対策指針と解説 ―2014 年版―
- 4) 日本下水道新技術機構，下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料 2014 年 12 月
- 5) 日本下水道事業団編，下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル
- 6) 建設技術審査証明（下水道技術）「スラスラ工法」 2015 年 3 月 第 1427 号，日本下水道新技術機構
- 7) 建設技術審査証明（下水道技術） 下水道複合マンホール更生工法「スラスラ工法」
2020 年 3 月 第 1906 号，日本下水道新技術機構
- 8) 日本下水道協会，下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール（JSWAS A-11）(2005)
- 9) 根岸敦規：下水道施設におけるシートライニング工法の耐震補強への適用性と施工事例，
土木建設技術発表会梗概集 2015，セッション IV pp.221-228，土木学会，2015.11