

# UUライニング工法の領域拡大 —開発結果とパイロットプロジェクトの報告—

中野秀和\* 西山宏一\* 守屋裕兄\*\*  
沼田 憲\*\*\* 石井敏之\*\*\*\*

## 1. まえがき

日本の建設投資は今後、確実に減少していくが、維持更新費の占める分野は拡大すると予想されており、2010年には公共事業費の30%程度まで達するとさえ言われている（土木学会規格委員会）。道路・鉄道施設においては、コンクリート床版やコンクリート桁および鋼製桁などの早期劣化問題に対し、高機能床版防水システムの検討や重防食塗装の採用および桁端部防水マニュアル等を策定して道路・鉄道施設の長寿命化を図っている。また、新幹線トンネル内の剥落事故以来トンネルコンクリートの有効な剥落防止対策も求められている。

このような現状から、平成13年度～16年度の研究開発課題「UUライニングの領域拡大」で防水・防食および、クラック追従性、剥落防止性能、耐久性に優れたウレア系樹脂（UUS101）を使用するUUライニング工法の性能、施工性を室内試験と実証施工（パイロットプロジェクト）で確認した。

研究開発項目は下記の四項目であるが、実用化の成果を得た「高機能床版防水工法」、「桁端部防水システム」、「鉄橋ライニングシステム」の3項目の性能評価、施工結果について報告する。

- (i) 高機能床版防水工法への適用
- (ii) 桁端部防水システムの開発
- (iii) 鉄橋ライニングシステムの開発
- (iv) トンネルコンクリート剥落防止工法への適用

## 2. 高機能床版防水工法への適用

### 2.1 開発目的と技術内容・特徴

従来のシート系やアスファルト系の床版防水工法では、耐久性に問題があることが指摘されている。

特に排水性舗装では疲労耐久性が極端に低下することが確認されており、床版防水の高機能化が求められている。UUライニングの床版防水への適用性については、平成12年度に大阪大学の松井教授指導のもとで輪荷重載荷走行試験を実施し、従来工法および他の樹脂材料に比べて非常に疲労耐久性に優れていることが確認されている。

今回、その有効性・実用性の確認を目的とするせん断疲労試験と床版防水の実証施工を実施した。

高機能床版防水工法はコンクリート床板面にUUS101を2mmの厚さで吹付けて高性能防水層を形成し、その上部にアスファルト接着材（ベルテックTP、MP）を塗布してSMA層（砕石マスチックアスファルト層）との接着を図り、さらにその上部にアスファルト舗装を行う工法である。標準構成を図-1に示す。

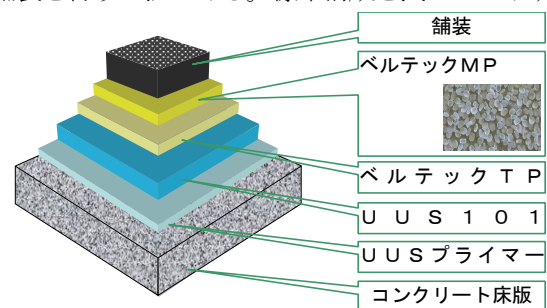


図-1 高機能床版防水工標準構成図

UUS101は、道路協会の防水規格に適合している。防水層の試験結果を表-1に示す。

また、同等材料（ベルテックQ）が30年の耐久性を目指した日本道路公団「防水システム設計・施工マニュアル（案）」の要求性能を満足して、すでに実証施工でその有効性が確認されている。

当工法では、SMA層および防水層の打ち替え間隔が従来の10年から30年程度となるため、ライフサイクルコストが安価で舗装撤去量を削減でき、環境負荷を低減できる。

\*関西支社環境プロジェクト部 \*\*関西支社土木工事第2部 東京支社環境プロジェクト部 \*\*\*\*技術研究所

表一 防水層の試験結果

試験項目		試験温度 (°C)	試験結果	日本道路協会
防水性	減水量(ml)	20	0.1	0.5以下
低温可とう性		-10	合格	防水材の折損が生じないこと
せん断	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	-10	1.79	0.81以上
		20	0.66	0.15以上
	せん断伸び(%)	-10	4	0.5以上
		20	3.2	1.0以上
引張接着	引張接着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	-10	1.83	1.22以上
		20	1.12	0.61以上
水浸7日後の引張接着	引張接着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	20	1.25	水浸前の50%以上
	引張接着強度比(%)	20	112	

## 2.2 せん断付着疲労試験

防水工のせん断付着強度を大阪大学工学研究科（土木専攻社会基盤設計学領域）のせん断疲労試験機（写真一）で測定した。繰り返し荷重に対する供試体の界面のせん断疲労特性ならびに疲労寿命を評価するS-N曲線を算出して評価した。



写真一 せん断疲労試験機

### a. 試験内容

供試体（150 mm×150 mm）は、JIS で規定されたコンクリート平板（t=50mm）に防水層とアスファルト舗装（t=50 mm）を施工して制作した。供試体の種類は、①防水工なし（乳剤のみ）、②現行品のAs 塗膜系ならびに③As シート系の防水工とウレア系樹脂④UUS101、⑤ベルテックQの防水工を施工したものとした。試験結果を、表-2に示す。3水準のせん断応力した。

測定項目は、①破壊回数、②反撥側バネの変形、③

表二 供試体

使用バネ(k:バネ定数)	载荷側先端の与変位 $\delta_0$ (mm)	せん断応力 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
重荷重(153.1N/mm)	50	0.34
中荷重(76.4N/mm)	50	0.17
軽荷重(41.4N/mm)	50	0.092

舗装と床版の相対変位、④载荷荷重・载荷側バネの変形の4項目とした。

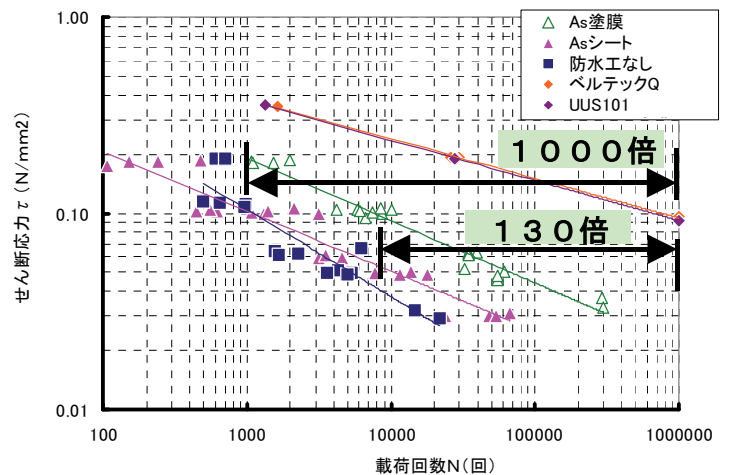
### b. 試験結果と評価

せん断疲労試験では、舗装と床版との残留ずれがある値を超えると急速に破壊に至り、この値以降は使用に支障があると判断し、この時の载荷回数を使用限界寿命、相対変位を限界ずれと定義する。

UUS101 およびベルテックQは、100 万回载荷でも破壊せず、十分な付着強度があると判断してこの時点で試験を終了し、使用限界寿命を100 万回と評価した。

今回の試験で得られたS-N曲線の比較を図-2に示す。この結果は疲労寿命を使用限界寿命として評価したものである。図-2より、UUS101 とベルテックQは同程度の疲労強度を有していることがわかる。

また、0.1 N/mm<sup>2</sup> の応力に着目して疲労寿命の比較を試みた。防水工なし、ならびに現行品のAs シート系と比較すると、約1000 倍もの寿命の伸びが確認でき、現行品のAs 塗膜系と比較すると約130 倍もの寿命の伸びがあることが確認できた。



図二 S-N曲線の比較（使用限界寿命時）

## 2.3 高機能床版防水工の実証施工

コンクリート床版での実証施工を行った。跨線橋を写真二に示す。



写真二 床版防水の施工スパン

a. 施工概要

- i. 施工場所：跨線橋軌道上部スパン部
- ii. 工事期間：平成 16 年 8 月～9 月（3 日）
- iii. 仕様・数量：t = 2 mm, 168m<sup>2</sup>

b. 施工標準

実証施工から、施工フローを図-3に示す。施工日数は、標準施工（300m<sup>2</sup>）で3日となる。

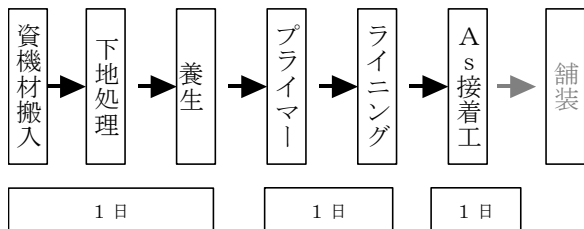


図-3 施工フロー

主要な使用材料は、プライマー、ライニング材（UUS101）、アスファルト接着材でそのロス率は、ライニング材で5%、その他は設計数量が少ないために8~25%であった。

c. 施工コストと留意点

施工コストを標準施工を300m<sup>2</sup>以上として試算したものを表-3に示す。施工費は通常のUUライニングと同等である。

表-3 施工コスト

施工面積	施工単価 (円/m <sup>2</sup> )	施工日数
300m <sup>2</sup> 以上	12,000	3日以上
100~300m <sup>2</sup>	13,300	3日
100m <sup>2</sup> 未満	15,000	3日

施工管理で最も重要なことは防水塗膜と舗装の接着性能を確保するために舗設温度が3分以上、アスファルト接着材の融点（87℃）以上となるように管理することである。舗装工の温度管理基準は、初期転圧前温度140℃以上であり、今回の施工では初期転圧前温度の平均値が150℃で、舗設後5分~15分間の舗装温度は融点以上であった。したがって、初期転圧前温度を140℃以上に管理することで規定の接着性能は確保される。



写真-3 ライニング状況



写真-4 舗装完了

防水層の施工状況と舗装の仕上がり状況を写真-3、4に示す。通常舗装と同等である。また、8ヶ月後の経過観察でアスファルト防水スパンの多くで漏水痕跡が観察されたが、UUライニングでは漏水痕跡は皆無でその有効性が確認できた。

3. 桁端部防水システムの開発

3.1 開発目的と技術内容・特徴

寒冷地におけるコンクリート橋では、冬季の凍結防止剤（塩化カルシウム等）散布による塩水が桁端部に流れ込み、塩害による鉄筋腐食が発生している。

日本道路公団では、平成13年6月に「防水システム設計・施工マニュアル（案）」を制定して桁端部の防水対策を行っている。これを受けてUUライニングをコンクリート橋桁端部の劣化防止（防水）塗装として適用するために桁端部の吹付技術と素地調整技術を平成13年度~平成15年度の研究開発で確立し、平成16年度のパイロットプロジェクトで当システムの実用性を確認した。

表-4 コンクリート桁端部防水層の試験結果

試験項目	試験結果	日本道路公団	
遮水性試験	合格	漏水しないこと	
遮塩性試験 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	0.7×10 <sup>-3</sup> 以下	5.0×10 <sup>-3</sup> 以下	
中性化阻止性試験 (mm)	0	1mm以下	
酸素透過阻止性試験 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	2.38×10 <sup>-2</sup>	5.0×10 <sup>-2</sup> 以下	
水蒸気透過阻止性試験 (mg/cm <sup>2</sup> ・日)	2.2	5以下	
熱膨張性試験 (°C)	2.0×10 <sup>-4</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup> 以下	
外観	標準養生後	合格	膨れ・われ・はがれを認めない
	促進耐候性試験後	合格	
	温冷繰返し試験後	合格	
	耐アルカリ性試験後	合格	
伸び (mm)	標準養生後 (常温時)	2.42	0.4以上
	標準養生後 (低温時)	1.68	0.2以上
	促進耐候性試験後 (常温時)	2.72	
コンクリートとの付着 (N/mm <sup>2</sup> )	湿潤時	1.5	1.5N/mm <sup>2</sup> 以上、もしくは母材破壊であること
	耐アルカリ性試験後	2.3	
	温冷繰返し試験後	2.3	

UUS101は、日本道路公団の仕様（表-4）をほぼ満足しており、幅3cm~30cmの狭隙部を対象に既設橋梁対応の横型機と新設橋梁対応の縦型機を開発した。

しかし、既設橋梁は不確定要素が多く、実用性が低いため、当システムでは図-4の新設橋梁を対象とする縦型機のみ技術とする。

システムの特徴は、①先端ノズルの交換（片面吹、両面吹）で幅3 cm～30 cmの隙間に対応できる②半自動システムで確実な塗膜を形成できることである。

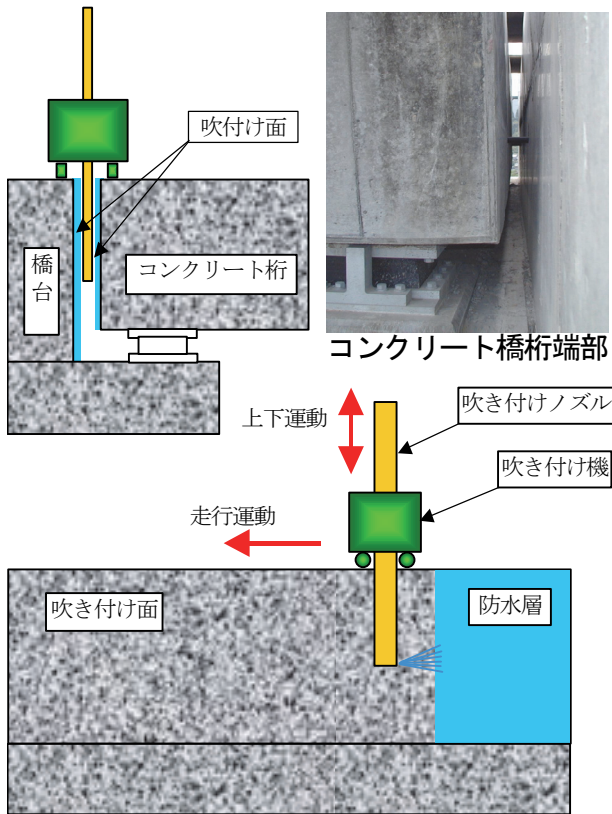


図-4 施工システム概要図

### 3.2 桁端部防水システムの実証施工

写真-2の跨線橋の橋台部で実証施工を行った。

#### a. 施工概要

- i. 施工場所：跨線橋橋台端部（隙間10 cm）
- ii. 工事期間：平成16年7月（3日）
- iii. 仕様・数量：t = 3mm, 1カ所（16m<sup>2</sup>）

#### b. 施工標準

桁端部防水の施工フローを図-5に示す。施工日数は、標準施工（3カ所50 m<sup>2</sup>）で3日となる。

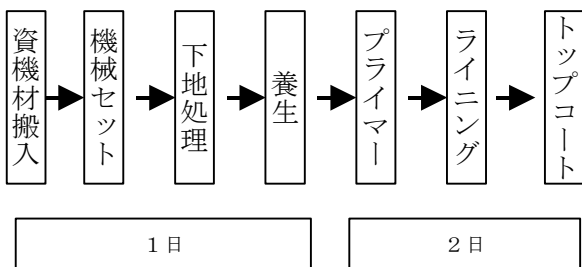


図-5 施工フロー

主要な使用材料は、プライマー、ライニング材（UUS101）、トップコートでそのロス率は、設計数量が少ないためにライニング材で61%、その他が33～43%と大きくなる。

#### c. 施工コストと留意点

標準施工を30m<sup>2</sup>～50m<sup>2</sup>として施工費を試算すると表-5の通りとなり、通常のUUライニングコストの2～3倍で他工法より割高となる。

表-5 施工コスト

施工面積	施工単価 (円/m <sup>2</sup> )	施工日数
30m <sup>2</sup>	33,200	2カ所2日施工
50m <sup>2</sup>	29,300	3カ所3日施工

他工法では施工後の防水性能及び耐久性が不確実であるのに対して当工法は、半自動吹付機（写真-5）の吐出量管理と試験施工で膜厚及び接着力管理が可能となっている。



写真-5 吹付機



写真-6 出来形



写真-7 防水状況

品質確保のために次の事項に留意する必要がある。

- i. 塗膜の出来形は写真-6に示すように、かなり平滑に仕上がっているが、冬季施工ではライニング材の粘性が高くなって鮫肌となることから、冬季施工は避ける必要がある。
- ii. 膜厚は、ライニング材の粘性等の施工環境の影響を受けるので現場での予備施工が必要。
- iii. 防水構造は、桁と橋脚をそれぞれライニングするのではなく、樋構造の方が効果的である。

## 4. 鉄橋ライニングシステムの開発

### 4.1 開発目的と概要

鉄橋ライニングシステムは、阪急電鉄株との共同開発であり、鉄橋の重防食塗装によるライフサイクルコストの低減と市街地での騒音・振動の低減を目的としている。

阪急電鉄株では、鉄橋の防錆塗装を 10～15 年の周期で行っているが、枕木下部については建設以来メンテナンスができていないのが現状である。

当工法では、硬化速度が早い樹脂の特性を活用して、夜間（3時間）に軌条・枕木を扛上して図-6に示すようにその下部の隙間にライニングすることで均一な塗膜を形成することが可能である。（写真-8）

さらに、鋼桁のウェブおよび下フランジ部についてもUUライニングを塗布して、高耐久性（目標 30 年）の防錆ライニングとする。

また、ウェブへの吹付厚さを5mm以上に増厚することで一定の騒音・振動低減効果がえられる。

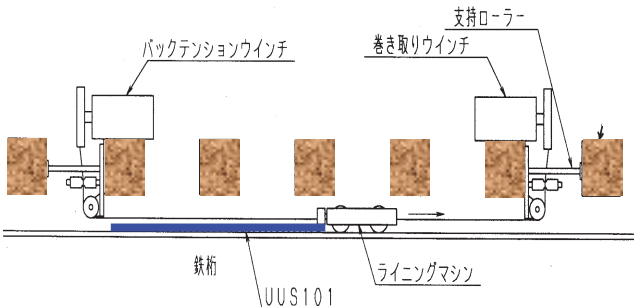


図-6 桁上ライニングシステム概念図



写真-8 桁上ライニング完了状況

### 4.2 鉄橋ライニングシステムの実証施工

鉄橋ライニングの実証施工は、阪急電鉄株の5橋（庄第2避溢橋、高羽第4、鹿塩、上植野、塚口第

1・第2）と新京成電鉄株の1橋（滝台第1・第2）で段階的に実施した。次に代表例を示す。

#### a. 施工概要

- (i) 施工場所：阪急京都線上植野橋梁
- (ii) 工事期間：平成 15 年 3 月～5 月
- (iii) 仕様・数量：t = 2mm, 18.5 m<sup>2</sup>

#### b. 桁上ライニングシステムの施工標準

桁上ライニングの施工フローを図-7に示す。施工日数は標準施工（軌道:L=12 m×2条）で4日となる。

主要な使用材料は、プライマー、ライニング材（UUS101）、トップコートでフランジ幅を 25 cmとした場合、その設計数量とロス率は、ライニング材で 87%、その他が 30%と大きくなる。

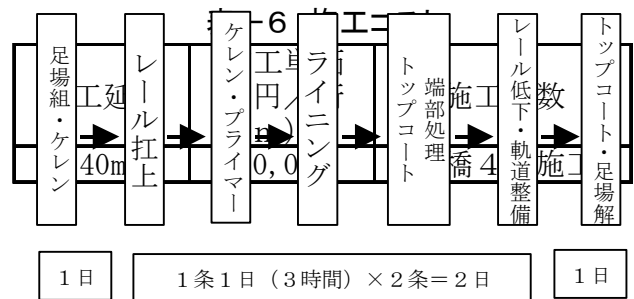


図-7 施工フロー

#### c. 施工コストと留意点

標準施工を L=10 m の鉄橋（軌道×2条、桁延長 L=40 m）とした施工費の試算を表-6に示す。1橋当たりの総工事費は約 230 万円となる。現状の塗装工と 30 年のライフサイクルコストで比較すると 48%のコストダウンとなる。

表-6 施工コスト

施工延長	施工単価 (円/桁 m)	施工日数
40m	30,000	1橋4日施工

品質確保のために次の事項に留意する必要がある。

- i. 施工時間とシステム制御の関係から対象となる鉄橋は、支間長 L=12 m 以下、桁幅 b=25 cm 以下となる。
- ii. 枕木桁上後の桁上にリベット以外の支障物がある場合は、支障物の事前撤去が必要。
- iii. 上記の条件を満足しない場合は、手吹き施工となり、膜厚精度が落ちる。

### 4.3 UUライニングの制音性能

室内試験と実証施工により、UUライニングの制音性能の検証を行った。

a. 室内試験での制音性能

室内試験は、当社技術研究所の第1残響室と第2残響室を使用して、鉛とUUライニングについての音圧レベルの低減効果量を測定した。なお、試験体は表-7に示す6検体とした。

表-7 試験体

材質	付加質量 (膜厚) 条件			
鉛	0.5mm片面		1mm片面	
UUS101	1mm両面	5mm片面	3mm両面	5mm両面

試験結果から、図-8の付加質量と音圧レベル低減量の関係が得られ、UUライニングは付加質量以上の音圧レベル低減効果があることが確認できた。

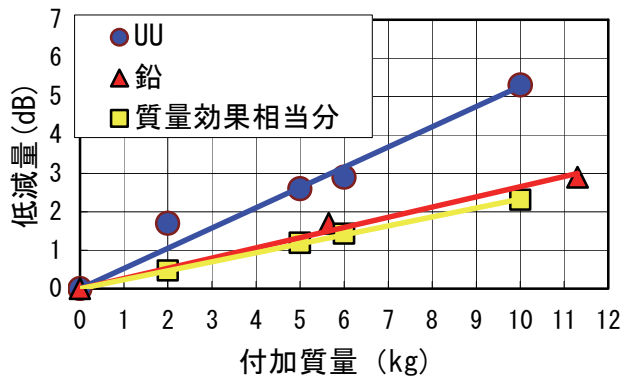


図-8 音圧レベルの低減効果量

図中の質量効果相当分とは、鉄板の厚みが付加質量相当分増した場合に得られるインピーダンス (振動のし難さを現すもので、入力加振力と発生振動量の比を示す) の増加分であり、質量効果による理論上の効果量を示すものである。

UUライニングが質量効果相当分を上回る低減効果量となったことは、塗膜の粘性抵抗による効果であると考えられる。

b. 実証施工での騒音低減効果

一般的な鉄道橋においては、図-9に示すように周辺環境の受音点における騒音は、レールと車輪の接触により発生する音 (以下、転動音)、桁の振動により発生する音 (以下、桁音)、開床式の鋼桁では、転動音と桁音が桁下から回込む音 (以下、回込み音) の影響も受ける。

UUライニングは、これらの音の内、桁音に対して制音効果を発揮すると考えられ、実証施工で騒音低

減効果を確認した。なお、今回の施工では外側塗布 (t=5mm) と内外両面塗布 (t=5mm×2=10mm) の2ケースで行った。

騒音測定結果は、表-8に示すように、2dBの低減効果であった。

室内試験との相違 (3dB) は、桁音より転動音等が卓越することによるものと考えられる。

騒音低減効果の目安が5dBであることから、そのメカニズムの解明と工法改良によって、更なる騒音低減効果の向上を行う必要がある。

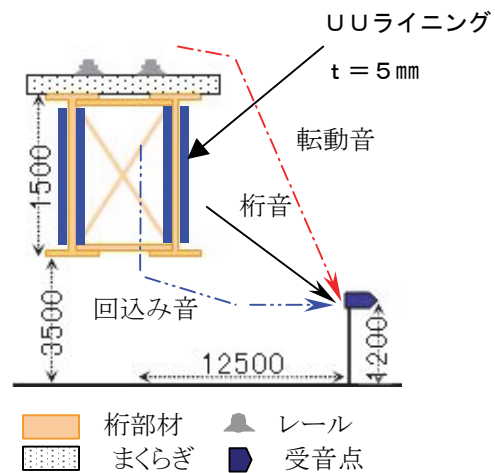


図-9 騒音の伝播経路略図

表-8 各塗布状態での騒音

	騒音レベル	増△減
塗布前	93dB	-
外側塗布	91dB	△2dB
両面塗布	91dB	△2dB

5. あとがき

UUライニングの領域拡大の内、「高機能床版防水工法」、「桁端部防水システム」、「鉄橋ライニングシステム」については、平成16年度までの研究開発で各種性能の高さと実用性が確認され、実施工に向けた展開を図っている。なお、「トンネルコンクリート剥落防止工法への適用」については未解決の課題があり、問題解決に向けた活動を関係各位と継続する予定である。

UUライニング工法については、当社固有のリニューアル技術として更なる技術力の向上による領域拡大に取り組んでいくつもりである。