

### 高耐久性「土木用シーリング材」の開発と性能照査 (期待耐用年数 20 年を有する水路目地充填材の製品化)

田中シビルテック株式会社 上條 達幸

#### 1. はじめに

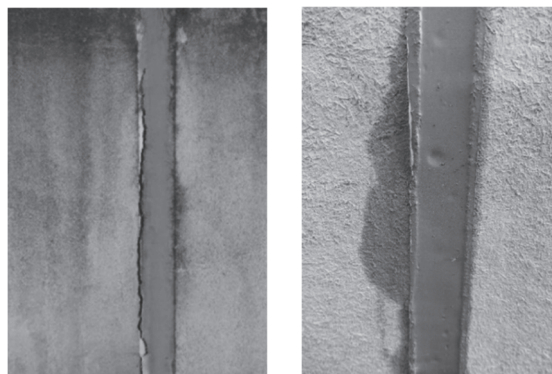
建築用シーリング材は気中部での使用を前提としているため、水中環境に曝される開水路の目地補修では、比較的短期間のうちに、はがれ、脱落およびふくれを発生している事例が見受けられる<sup>1)</sup>。このため、コンクリート開水路の目地充填材としては、建築用シーリング材より多少硬く（中モジュラスタイプ）、止水性や耐水性が改善された土木用シーリング材が推奨されている。しかし、これらの土木用シーリング材を用いた場合でも、早期にはがれ等の不具合を生じている事例が散見される（写真1）。

そこで、土木用シーリング材の現状について調査・検討を行った結果、コンクリート水路の目地材として土木用シーリング材を適用する場合は、その要求性能と性能照査方法、ならびに目地設計において検討すべき課題のあることが判明した。また、新規に開発した3成分形シリコン系シーリング材「ハイブリッド SiX3」を新たな性能照査方法により検証した結果、現行の土木用シーリング材における課題が大幅に解消され、20年以上の耐久性が期待できることを確認した。

ここでは、その概要について紹介する。

#### 2. 水路等の土木用シーリング材の現状

橋梁や暗渠（ボックスカルバート）、水路等の土木構造物を対象としたシーリング材の生産量は公表されていないが、土木用シーリング材の名称で販売されている製品の数は限られてい



シーリング材のはがれ

水のしみだし

写真1 施工後の不具合事例

る。そして、その使用量は建築用シーリング材と比較するときわめて少ない。このため、土木用シーリング材の性能評価や新たな材料開発などの検討はあまり積極的に行われておらず、土木用シーリング材の性能照査やその試験方法についても建築用シーリング材の規準を準用しているのが現状である。

建築用シーリング材は、ビルや戸建て住宅の外壁などの目地材として大量に使用されており、2021（令和3）年度の生産量は84,387キログラム（日本建材・住宅設備産業協会調べ）と報告されている。これは、目地充填工（W20×D10mm）の施工延長に換算すると約42万km（地球10周分）の実績数量に相当する。このような背景から、建築構造物におけるシーリング工事はその重要性が認識されており、使用材料とその設計・施工における規準化・標準化が図られている。建築用シーリング材は、建築構法の発展とともに開発・改良がなされており、

これに合わせて JIS の制定・改正が行われている。また、シーリング工事に関しては、JASS (建築工事標準仕様書) の中に「シーリング工事」の項が制定されている。これらの建築用シーリング材に係る規準ならびに仕様書の要点を表1に示す。表1より、建築構造物のシーリング工事では、JIS に適合した建築用シーリングを用いて、標準仕様書に示された目地設計と適材適所の材料選定を行うシステムが構築されていることが分かる。また、建築用シーリング材の品質性能や耐久性 (施工後の追跡調査を含む) に関しては、その研究成果が建築学会等で多数報告されており、一通りの確認と評価がなされている。

前述した建築および土木用シーリング材の現状を踏まえると、土木用シーリング材の性能評

価やその設計・施工において、建築用シーリング材の規準や仕様書を参考にすることは有意義と考える。ただし、表2に示すように、土木 (特に水路) 用シーリング材と建築用シーリング材では、その目的および対象構成材と要求性能が異なる部分が存在するため、試験条件等の見直しや修正が必要となるものと推察される。「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】案」<sup>1)</sup> (以下、「開水路補修マニュアル」という) では、開水路目地の要求性能に基づいて、中モジュラスタタイプの土木用シーリング材を用いた新たな品質規格を設定し、これに適合する目地充填工法により施工することが示されている。しかし、冒頭で述べたように、この規準および仕様により施工された土木用シーリング材でも早期にはがれ等の不具

表1 建築用シーリング材の規準 (JIS) と仕様書 (JASS 等) の要点

規 準	<p>【JIS A 5758「建築用シーリング材」】 【JIS A 1436「建築用シーリング材の試験方法」】</p> <p>* シーリング材の品質と性能に応じて下記のように区分し、iii) とiv) の試験方法を規定している。</p> <p>i) 主成分による区分/シリコン系, 変成シリコン系, ポリウレタン系</p> <p>ii) 製品形態 (硬化機構) による区分/1成分形, 2成分形</p> <p>iii) 耐久性による区分/耐久性試験 (複合劣化試験) による判定 (10030, 9030, 8020 など)</p> <p>iv) タイプおよびクラスによる区分</p>
仕 様 書	<p>【JASS 8 防水工事「建築工事標準仕様書」 日本建築学会】</p> <p>【「外壁接合部の水密設計および施工に関する技術指針・同解説」 日本建築学会】</p> <p>【国土交通省「公共建築改修工事標準仕様書 (建築工事編)」 建築保全センター】</p> <p>* 工事標準仕様書の中にシーリング工事を制定し、下記の事項等について規定している。</p> <p>イ) 設計伸縮率の設定と目地設計</p> <p>ロ) 適材適所の材料選定 (JIS A 5758 による材料選定)</p> <p>ハ) 施工時の留意点, 管理を規定</p>

表2 シーリング材の目的および対象構成材と要求性能

シーリング材	建築用シーリング材	土木 (水路) 用シーリング材	
目 的	水密性, 気密性	水密性	
対象構成材	金属, コンクリート, ガラスなど	コンクリート	
要求性能	施工時	押出し性, 垂れにくさ (スランプ), 可使時間など	
	硬化時	<ul style="list-style-type: none"> <li>早期硬化性, 接着強度の早期発現性など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>※建築用より要求レベルが高い</li> </ul>
	供用中	<ul style="list-style-type: none"> <li>ムーブメント (温度, 地震, 風など) に対する追従性</li> <li>※高温となる金属部材への適用性</li> <li>はく離や破断を生じないこと</li> <li>劣化因子 (紫外線, オゾン, 熱, 雨水など) に対する耐久性</li> <li>※気中環境</li> <li>外観に極端な変化がないこと (美観)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ムーブメント (主に, コンクリートの温度伸縮) に対する追従性</li> <li>※高温条件は建築用より穏やか</li> <li>はく離や破断を生じないこと</li> <li>劣化因子 (水, 紫外線, 熱など) に対する耐久性</li> <li>※長期間の水中環境, 水圧の作用</li> <li>※紫外線, 熱の要求レベルは建築用より低い</li> <li>※耐用年数の要求レベルは建築用より高い</li> </ul>

合を生じる事例が報告されている。そこで、開水路目地においてこのような不具合を生じた要因について検討を行った結果、開水路補修マニュアルにおける土木用シーリング材の要求性能とその性能照査が不十分であり、さらには目地設計などが示されていないことがその要因の一つと想定された。

### 3. 水路等の土木用シーリング材の課題

開水路補修マニュアルにおける土木用シーリング材の課題について、以下に説明する。

#### 3.1 土木用シーリング材の課題

##### (1) 低温時の硬化性

表1に示したように、JISでは建築用シーリング材の製品形態を1成分形と2成分形に区分している(この区分は、土木用シーリング材も同様)。1成分形は、図1に示すように低温時には硬化が遅く、表面からゆっくり進行するため、硬化過程でムーブメント(温度変化などによる動き)が発生すると図2のような亀裂や変形を起こすことがある<sup>2)</sup>。このため、橋梁等の土木構造物のエキスパンションジョイントでは、表2における硬化時の要求性能として早期硬化性と接着強度の早期発現性が期待できる2成分形土木用シーリング材が一般的に用いられている。

他方、開水路補修マニュアルにおける土木用シーリング材の要求性能と品質規格では、施工時の硬化性については規定されていない。このため、取扱いが容易な1成分形による施工が主流となっており、硬化過程における亀裂や変形の問題は見過ごされている可能性がある。また、1成分形シーリング材は、施工直後に背面水が作用し、水の浸み出し(写真1)やふくれを生じる不具合(初期欠陥)事例についても報告されている。故に、開水路補修マニュアルの土木用シーリング材の要求性能と品質規格においては、低温時の硬化性に関する規定を設けることが望まれる。

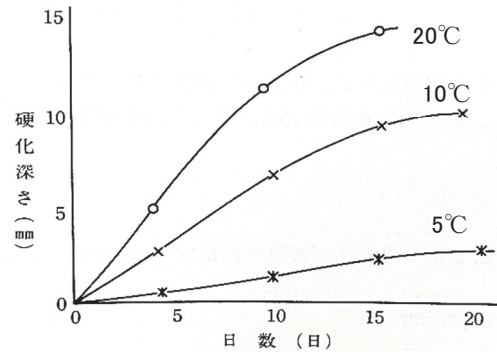


図1 温度と硬化性の関係<sup>2)</sup>

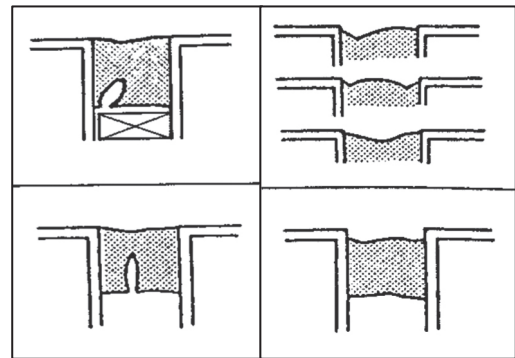


図2 ムーブメントによる亀裂、変形<sup>2)</sup>

##### (2) 耐水性の照査

石川県立大学とモメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ・ジャパン合同会社、ならびに田中シビルテック(株)では、水路目地に使用されている土木用シーリング材の耐水性に関する試験研究を行っており、以下のような結果が得られている。図3に示すように、土木用

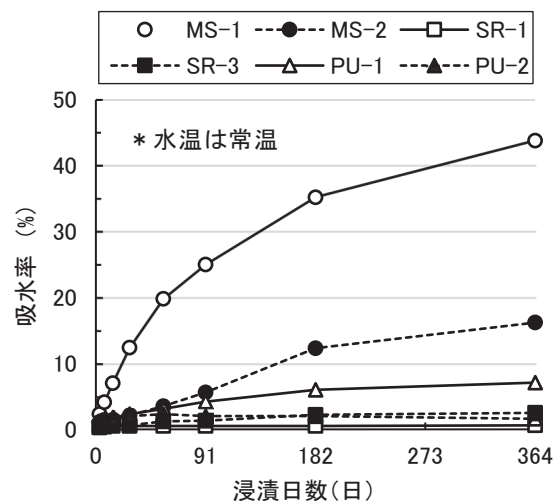


図3 水中浸漬後の吸水率の変化

シーリング材の中には水中浸漬期間が長くなると吸水率が增大し、耐水性の低下が懸念される材料がある。また、図4に示すように、汎用の1成分形土木用シーリング材は、水中浸漬後の引張接着試験において引張強度などの性能低下が認められ、水中浸漬期間が90日を超えるとその傾向が顕著になる。さらに、60℃の温水浸漬は、水中浸漬による劣化促進試験として有効であることが分かった。

【凡例】  
 PU: ポリウレタン系 MS: 変成シリコーン系  
 SR: シリコーン系  
 -1: 1成分形 -2: 2成分形 -3: 3成分形

そこで、図3および図4の試験結果について考察すると、水路目地における土木用シーリング材のはがれ現象は、水中浸漬によりシーリン

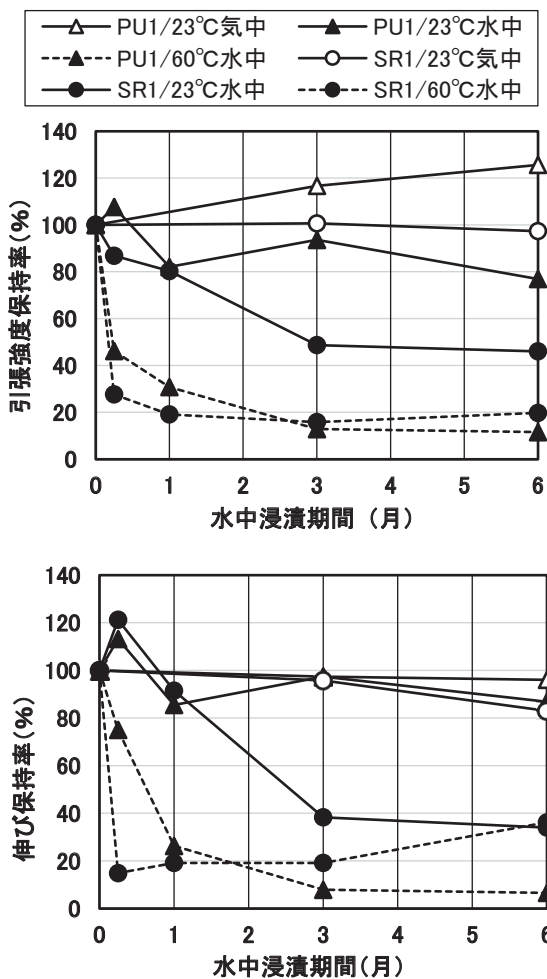


図4 土木用シーリング材の水中浸漬後の引張接着強度

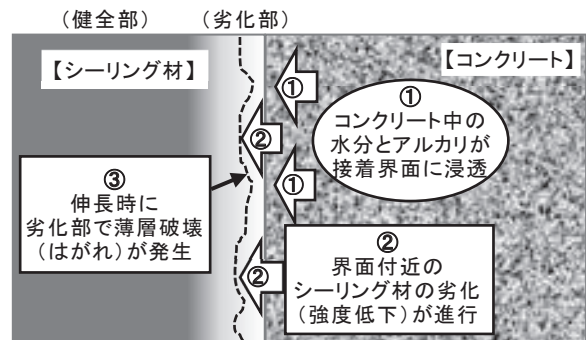


図5 シーリング材のはが離のメカニズム

グ材の引張接着強度が著しく低下したことが要因である可能性が高い。また、筆者らは水中環境においてシーリング材のはがれが生じるメカニズムを図5のように考えている。したがって、水路目地に使用する土木用シーリング材の耐水性の照査では、供用期間中の長期にわたる水中浸漬条件において引張付着強度の低下が少なく、シーリング材にはくりが生じないことを照査する必要がある。しかし、開水路補修マニュアルに規定されている性能照査方法は、水中浸漬期間が23℃ 28日間ときわめて短いため、10年以上の長期的な耐久性の照査方法としては不十分である。また、接着性と耐水性の品質項目と規格値は、シーリング材のはがれとの関係性が不明であるため、はがれの有無を照査できるように修正することが望ましい。

### (3) 耐久性試験（複合劣化試験）の照査

水路目地に使用する土木用シーリング材は、主に温度変化によるムーブメントに対する追従性が求められる。目地充填後のシーリング材は、夏中に圧縮され続けてセットされ（圧縮セット）、秋から冬にかけて引張がかかった時に追従できなくなり破壊するとされている<sup>2)</sup>。このため、JISに規定されている建築用シーリング材の耐久性試験では、図6に示すように圧縮加熱と引張冷却を繰り返す工程が導入され、最後に常温での伸縮繰返しによる疲労試験が行われている。なお、耐久性試験では、これらの工程に先立って雨水による劣化を考慮した温水浸漬が組み込まれていることから、水、熱、圧縮セッ

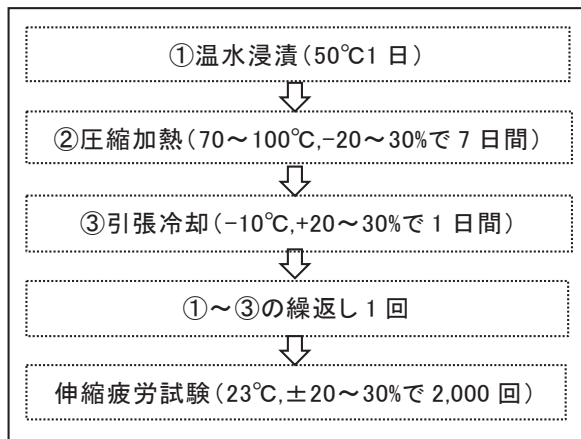


図6 建築用シーリング材の耐久性試験

トおよび疲労による複合劣化促進試験となっている。

他方、開水路補修マニュアルの品質規格では、水中浸漬と常温での伸縮繰返しによる疲労試験をそれぞれ単独試験として行っている。しかし、水路目地における環境条件を考慮すると、複合劣化試験による性能照査は不可欠である。ただし、試験項目を根拠なしに増やすことは得策ではなく、耐久性試験で規定している複合劣化促進試験のすべてを外部公的機関に依頼することも現実的ではない。一般的にJISに基づいたシーリング材の性能評価試験（JIS試験）は、メーカーで実施されている。したがって、品質項目と照査方法の見直しを行い、メーカーのJIS試験で評価するものと、外部機関に依頼して評価するもの（開水路特有の条件を考慮した品質試験）に分けて実施することが適切と思われる。なお、現行の耐久性区分（10030など）は、日射により高温となる建築構造物の金属部材を想定した温度設定となっている。このため、水路コンクリートを対象とした耐久性区分では温度設定の見直しが必要と考える。

### 3.2 目地設計

建築工事の標準仕様書では、シーリング材の追従性と耐久性の確保を目的として、表1に示すようにシーリング材の設計伸縮率の設定と目地設計を行うように規定されている。設計伸縮

率とは、シーリング材の主成分と製品形態および耐久性区分に基づいて設定される許容伸縮量で、その標準値は2成分形シリコン系が20%、ポリウレタン系が10%に設定されている。また、目地設計とは、①施工対象目地の温度変化等による伸縮量を算定し、②適材適所で選定したシーリング材の設計伸縮率を用いて、③目地の形状・寸法を決定することである。

このような目地設計は、水路目地のシーリング工事においても当然必要な作業である。しかし、土木用シーリング材の設計伸縮率の設定と目地設計は、現状ではほとんど行われていないように思われる。参考として、1成分形ポリウレタン系シーリング材の目地設計の試算例を以下に示す。この試算結果によると、伸縮量が大きい現場打ち水路等の目地では、現行の設計目地幅では不足することに留意する必要がある。

$$W \geq \delta / \varepsilon \times 100 + |W_e|$$

W: 設計目地幅

$\delta$ : 温度ムーブメント (mm) → 3mmの場合

$\varepsilon$ : シーリング材の設計伸縮率 (%) → 10

$W_e$ : 目地幅の施工誤差 (mm) → 0

$$W \geq 3.0 / 10 \times 100 + |0|$$

$\geq 30\text{mm} \Rightarrow$  設計目地幅 20mmでは不足

## 4. 「ハイブリッド Six3」の開発

「ハイブリッド Six3」は、水路や貯水槽などの水利施設を対象として新規に開発した土木用シーリング材である。3成分形シリコン系シーリング材の採用により、既存目地材のはがれや初期欠陥、低温硬化性などの課題が解消されて、水中環境において20年以上（既存目地材の2～5倍）の耐久性が期待できる。以下に、その性能の概要を紹介する。

### 4.1 水中環境における長期耐久性

#### (1) 耐水性の検証

JIS A 1438の耐久性試験体（H型試験体）を温水浸漬（水中での劣化を促進させるため温水に浸漬）した後、引張接着試験を行った。その結果、図7に示すように既存の1成分形土木

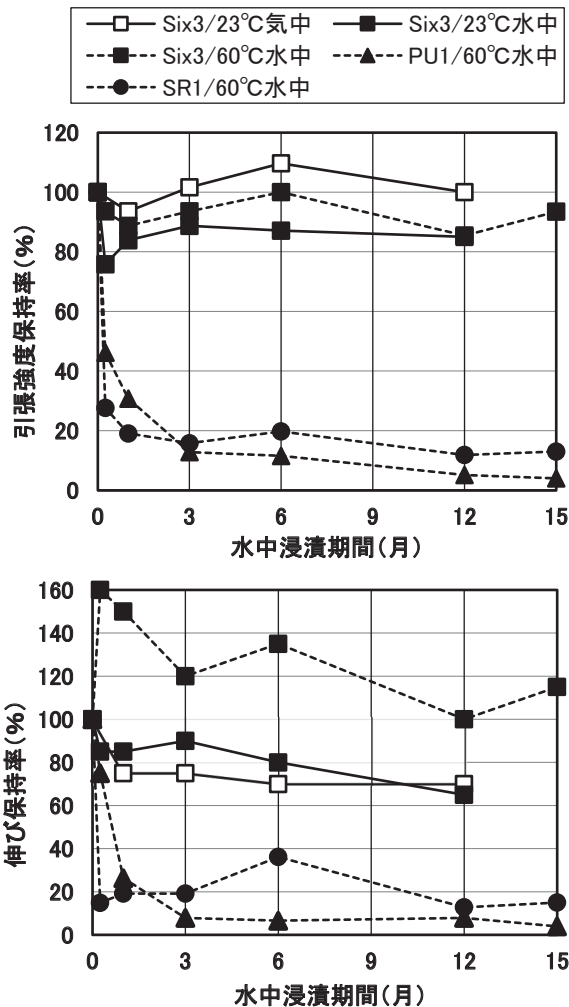


図7 ハイブリッドSiX3の水中浸漬後の引張接着強度

用シーリング材 (PU-1, SR-1) は、60℃温水浸漬1～3ヶ月で性能が著しく低下しているが、ハイブリッドSiX3は浸漬15ヶ月でも顕著な性能低下は生じていない。これらの結果から、ハイブリッドSiX3は既存の1成分形土木用シーリング材と比較して5倍以上の耐水性を有しているものと判断される。

## (2) はく離抵抗性の確認

水中環境におけるシーリング材のはく離抵抗性を確認するため、表3に示す条件で複合劣化試験を行った。その結果、表4および写真2に示すように既存の1成分形土木用シーリング材は60℃温水浸漬1～3ヶ月ではく離が発生したが、ハイブリッドSiX3は温水浸漬12ヶ月でもはく離が認められなかった。また、80℃熱水14日間浸漬 (これは、60℃15ヶ月間浸漬よ

表3 はく離抵抗性確認試験の条件

【試験工程】温水浸漬 → 引張冷却 → 伸縮疲労	
温水浸漬	60℃×1, 2, 3, 6, 12ヶ月
引張冷却	変形率+30%, -10℃気中1日+5℃水中1日 (この条件で2サイクル実施)
伸縮疲労	23℃, 変形率±30%, 2,000サイクル

表4 はく離抵抗性確認試験の結果

1成分形シリコン系	浸漬1ヶ月で全ての試験体に、引張冷却中にはく離発生
1成分形ポリウレタン系	浸漬2ヶ月で3体中の1体、浸漬3ヶ月で3体中の2体に、伸縮疲労中にはく離発生
ハイブリッドSiX3	浸漬12ヶ月で全ての試験体に、はく離なし

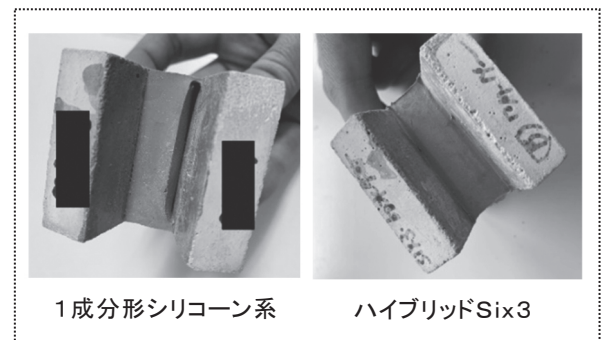


写真2 はく離抵抗性試験後の外観

り厳しい劣化促進条件)後に50年相当の伸縮疲労試験(伸縮量20%で20,000サイクル)を行った結果でも、はがれ等の変状は生じていない。

## 4.2 低温下での硬化性

土木用シーリング材の低温下における硬化性能を表5および表6に示す。1成分形シーリング材は、5℃環境下では内部まで見掛け硬化(ゴム状の固体となる)するのに数週間程度を要するが、ハイブリッドSiX3は施工翌日には最深部まで見掛け硬化している。また、厳寒期の施工(5℃～マイナス10℃)でも硬化が進行するため、安定した品質を確保できる。写真3は、二次製品水路における施工事例で、施工から数年後の外観である。この水路では、当初1成分形シリコン系シーリング材が採用されていたが、ハイブリッドSiX3に変更したことにより目地部からの漏水が大幅に改善された。

表5 5℃施工時の見掛け硬化深さ

土木用 シーリング材	見掛け硬化深さ (mm)		
	1日後	3日後	7日後
ハイブリッドSiX3	65	(全厚=65mm)	
SR-2	0	6	13
SR-1	2	3	4
PU-1	0	2	7

表6 低温下での引張接着強度発現性

	ハイブリッドSiX3				
	5℃		-10℃		23℃
養生温度	5℃		-10℃		23℃
養生日数	1日	7日	1日	7日	7日
M50% (N/mm <sup>2</sup> )	0.04	0.17	0.06	0.16	0.21
伸び率 (%)	600	300	720	240	200
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.10	0.42	0.24	0.32	0.45

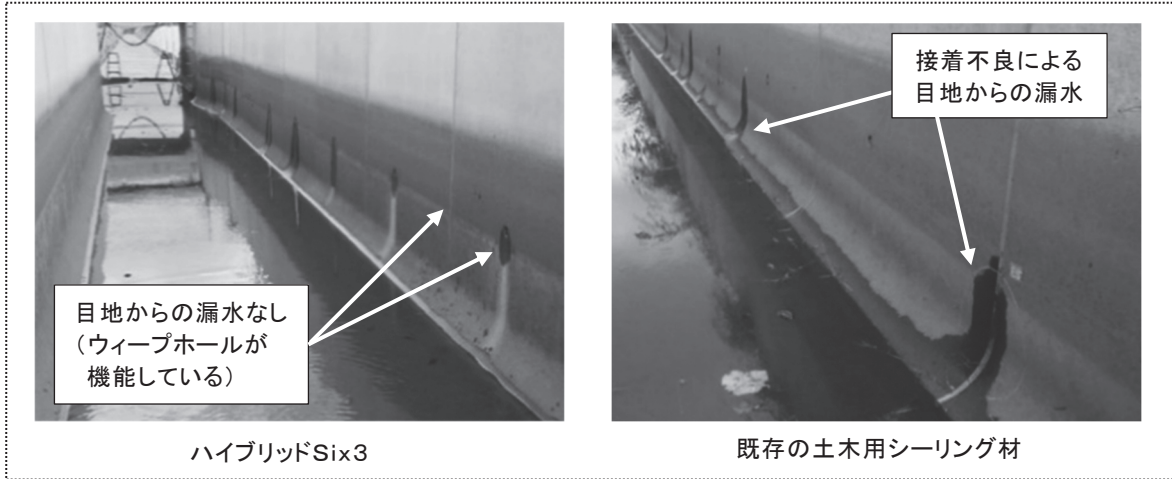


写真3 二次製品水路において確認された施工後の状況 (事例)

### 4.3 維持管理費 (LCC) の低減効果

供用期間40年における目地充填工法の維持管理費の比較を表7に示す。ハイブリッドSiX3は、既存の土木用シーリング材と比較して5倍以上の耐水性、はく離抵抗性を示しており、少なくとも20年以上の期待耐用年数(注)を有しているため、維持管理費を大幅に低減できる。

(注) 既存の土木用シーリング材の耐用年数を4~10年と想定し、最短4年×5倍=20年と設定

表7 維持管理費の比較

シーリング材	直接工事費 (耐用年数)	供用中の維持管理費	コスト低減率
ハイブリッドSiX3	9,020円/m (20年)	18,040円/m (施工回数2)	0.64
1成分形ポリウレタン	7,060円/m (10年)	28,240円/m (施工回数4)	1.00

\* 目地形状 W20mm×D15mm (既設目地の撤去含む)  
農水省土地改良積算基準 (東京都R3労務単価)

### 引用文献, 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室 (2015): 農業水利施設の補修・補強マニュアル【開水路補修編】(案)
- 2) 日本シーリング材工業会 (2012): 建築用シーリング材-基礎と正しい使い方-
- 3) 日本シーリング材工業会 (2017): 建築用シーリング材ハンドブック
- 4) 建築学会 (2014): 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事