

技術論文

炭素繊維ストランドシートと耐摩耗性エポキシ樹脂を用いた水路トンネル補強工法の開発

Development of Reinforcement Method for Canal Tunnels Using Carbon Fiber Strand Sheet and Abrasion Resistance Epoxy Resin

鈴木 宣 暁*
Nobuaki SUZUKI

小 森 篤 也
Atsuya KOMORI

抄 録

覆工内面に曲げひび割れが発生している農業用水路トンネル覆工を対象として、炭素繊維ストランドシートとセラミック混合型エポキシ樹脂モルタルを用いる内面補強工法を開発した。本工法に関する各種要素試験を実施し、優れた耐水接着性、耐摩耗性を示すことを確認した。そして、現場実証試験として、損傷が発生している実際の水路トンネルを本工法で補強し、本工法の現場適用性を確認した。施工後5年間のモニタリングの結果、補強層の変状や樹脂材料とコンクリートとの接着強度の低下、化学分析による樹脂モルタルの経時変化は確認されず、本工法の妥当性が示された。

Abstract

An inner lining reinforcement method using carbon fiber strand sheets and ceramic-mixed epoxy resin mortar was developed for an agricultural canal tunnel lining with bending cracks on the inner surface of the lining. Various elemental tests were conducted on this method, and it was confirmed that the method exhibited excellent water adhesion resistance and abrasion resistance. As a field demonstration test, an actual waterway tunnel that had been damaged was reinforced using this method, and the applicability of this method to the field was confirmed. The results of monitoring for five years after construction showed no deformation of the reinforcing layer, no decrease in the bond strength between the resin material and concrete, and no change over time of the resin mortar by chemical analysis. These results indicate the validity of this method.

1. 緒 言

我が国の基幹的農業用水路は約 50000km あり、そのうち水路トンネルは、約 2000km が整備されている。建設から 50 年以上経過した水路トンネルも多く、その覆工コンクリートにおいて様々な変状や漏水が報告されている¹⁾。こうした水路トンネルに対し、鋼板接着・管更生工法などを用いた補強や炭素繊維格子筋を用いた補強により機能回復を目的とした対策が図られている。しかしながら、農業用水路トンネルは、道路鉄道トンネルと比較すると小規模断面であり、トンネル内へのアクセスが困難であるため、大掛かりな仮設を必要とする鋼板接着・管更生工法による補強は適用が難しい事例がある。炭素繊維格子筋を用いた補強工法は、軽量であるためトンネル内へのアクセスは容易

であるが、結合材にセメント系の材料を用いるため、流水による通水性、耐摩耗性に課題があり、必要なかぶり厚が大きく通水断面が小さくなる。工法によっては背面に帯水し補強層のはく離をおこす課題がある。また、格子筋による補強では、水路トンネルには必要のない軸方向の補強が行われてしまうことに加え、断面方向の補強量にも制約が生じる。このように、既往の水路トンネル補強方法は、施工性、通水性、耐摩耗性、ライフサイクルコストについて課題があると考えられる。

本研究では、まず、耐摩耗性に優れ、水路トンネルという環境下で適用できるセラミック混合型エポキシ樹脂モルタル（以下、樹脂モルタルという）を開発し、樹脂モルタルを結合材、炭素繊維ストランドシート（以下、CFSS という）を補強材とすることを想定して、両材料の要素試験を実施

* 日鉄ケミカル&マテリアル(株) コンポジット事業部 社会資本材料部 材料技術センター マネジャー 埼玉県朝霞市三原 5-1-10 〒351-0025

した。次に、実物大トンネル模型を用いて、本工法の補強効果と変形性能を評価した^{2,3)}。また、通水型アンカーを開発し、実施工において長期耐用可能な工法とした。最後に、実際のトンネルに対し、実物大トンネル模型実験から得られた結果から補強設計を行い、試験施工により施工性の確認と施工後の長期モニタリングを実施した。

本報では、補強材料の開発時に実施した要素試験と、実際のトンネルへ施工した後のモニタリング結果について報告する。

2. 本 論

2.1 本工法の概要

本工法は水路トンネルの覆工コンクリート内面の表面処理後、湿潤対応型エポキシ樹脂プライマーを塗布し、CFSSと通水型アンカーを用いて繊維方向をトンネル周方向に合わせ仮固定、接着剤と被覆材の機能を有する樹脂モルタルで接着・固定する工法である。本研究で使用するCFSSおよび樹脂モルタルの材料特性値を表1、表2にそれぞれ示す。CFSSは引張強度4000N/mm²、引張弾性率270kN/mm²となる高強度型で、繊維目付量が600g/m²品を使用した。補強材は、鉄筋などの鋼材に比して重量が約1/4、引張強度は約10倍以上となる仕様であり、軽量であることから、狭隘な水路トンネルにおいても、人力で運搬や設置が可能である。覆工コンクリート下地に用いるプライマー材料は、湿潤コンクリート面への接着に有効なエポキシ樹脂プライマーを選定した。CFSSを接着し、通水と接する結合材は、長期間の供用を想定し、耐摩耗性能を確保できるようにセラミック混合型のエポキシ樹脂モルタルとした。これらのことから、重機やレールなど、大規模仮設が必要なく、人力施工が可能な材料のみで構成されている。本工法の施工断面を写真1に示す。

表1 CFSSの物性
Properties of CFSS

	Unit	Value	Test method
Weight	g/m ²	600	-
Thickness	mm	0.333	-
Tensile strength	N/mm ²	4000	JIS K 1191
Tensile modulus	kN/mm ²	270	JIS K 1191

表2 樹脂モルタルの物性
Properties of resin mortar

	Unit	Value	Test method
Bending strength	N/mm ²	48	JIS K 7181
Bending modulus	N/mm ²	2100	JIS K 7181
Share strength	N/mm ²	20	JIS K 6850
Specific gravity	-	1.55	JIS K 7112

2.2 要素試験の概要および結果

2.2.1 耐水接着試験

水路トンネルは、水と長期間接触する環境にあるため、本工法で使用する補強層とコンクリートとの長期耐水接着試験を行った。試験条件を表3に示す。圧縮強度の異なる(呼び強度20N/mm²または35N/mm²)2種類の無筋コンクリート板を準備し、高圧水洗機を用いて表面処理を行った後、湿潤対応型プライマーを塗布、樹脂モルタルを用いてCFSSを接着させた。試験条件として、完全に水没させる供試体(S)、コンクリート裏面だけが水と接触する裏面水没供試体(HS)および乾燥状態の供試体(DR)に分け、各条件とも供試体が紫外線の影響がないよう蓋をした水槽中または気中で静置した。所定の期間静置後、供試体を水槽から取り出し、土木学会が規定する接着試験⁴⁾を行った。

試験結果の一覧を表4に示す。27か月までの期間では、すべての供試体で農林水産省により発行された水路トンネル補修マニュアル⁵⁾に示される基準値1.5N/mm²を上回る結果が確認され、乾燥状態に比しても2種類の接水条件において低下や変化が確認されなかった。また、破壊形態は全て母材コンクリートの破壊であり、試験値のばらつきは

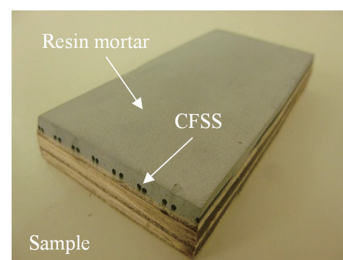


写真1 補強断面
Cross section of the reinforcing layer

表3 試験条件
Test conditions

Subject	Compressive strength (N/mm ²)	Immersion conditions
20-S	26.7 (Average)	Submerge
20-HS		Half-Submerge
20-DR		Dry
35-S	37.8 (Average)	Submerge
35-HS		Half-Submerge
35-DR		Dry

表4 接着強度試験結果
Test results of adhesive strength

Subject	Adhesive strength (N/mm ²)			
	3 months	9 months	18 months	27 months
20-S	2.17	2.19	3.17	3.03
20-HS	2.16	2.25	3.04	4.00
20-DR	2.78	2.14	2.63	2.51
35-S	2.89	2.10	2.33	3.37
35-HS	2.49	1.71	3.98	4.28
35-DR	2.26	2.13	2.80	2.46

母材コンクリートに依存することから本工法で使用する樹脂材料の良好な耐水接着性能が確認された。

2.2.2 水砂噴流摩耗試験

水路トンネル覆工内面の補強に使用される材料は、流水による摩耗が懸念される。樹脂モルタルの耐摩耗性能を評価するため、島根大学の保有する水砂噴流摩耗試験機を用いて試験を行った。試験時間は、上野らの研究⁶⁾に従い40年相当の摩耗に対応する20時間とし、樹脂モルタルの耐摩耗性の評価はJIS標準モルタル⁷⁾との相対評価により行った。水砂噴流摩耗試験結果を図1に、また、摩耗試験後の樹脂モルタルと標準モルタル供試体の摩耗状況を写真2(a)(b)にそれぞれ示す。比較として用いた標準モルタル供試体の摩耗体積は20時間で平均16880mm³であったのに対し、樹脂モルタル供試体の摩耗体積は平均1120mm³であり、標準モルタル供試体の約6.7%であった。また、標準モルタルに対する平均摩耗深さの比が0.07であり、農林水産省より発行された農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアルの有機系材料の基準である0.2を大きく下回ることを確認した。本結果より、樹脂モルタルの優れた耐摩耗性を確認した。

2.2.3 通水型アンカーの開発

補強層で覆われたトンネル覆工内面は、背面水を内面側に通水することができず、結果として補強層の浮きや剥が

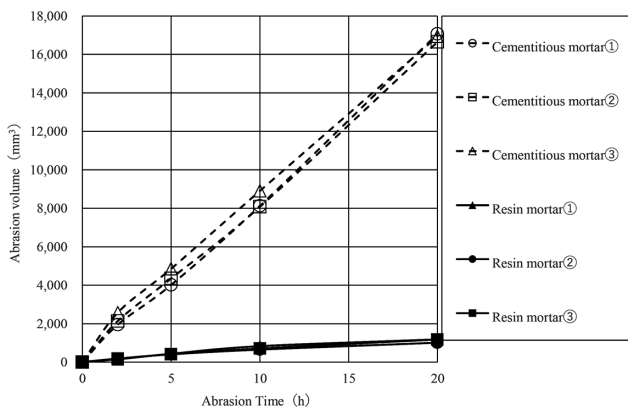


図1 水砂噴流摩耗試験結果
Result of water jet sand erosion test

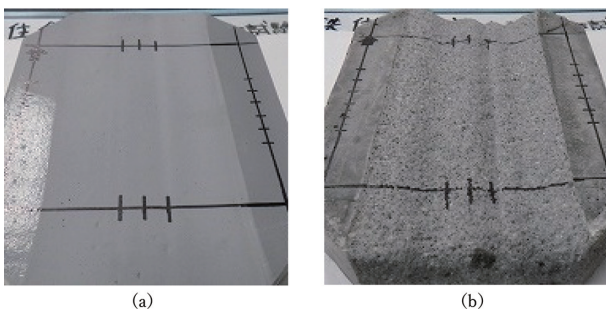


写真2 試験後の状況 (a) 樹脂モルタル (b) 標準モルタル
Post test situation (a) Resin mortar (b) Standard mortar

れの原因となる。そこで、この不具合を回避し、さらには過大な力が発生した際の機械式固定効果を発揮するため、写真3に示す水抜き機能を有する機械式アンカーを開発した。このアンカーは、逆止弁を備え、水路トンネル内の水を背面に逃がさず、背面の水は内側に抜くことができる。開発したアンカーは、後述する実証試験にて評価した。

2.3 実証試験

2.3.1 概要

農林水産省東北農政局管内の水路トンネルにて、本工法の施工性、開発した通水型アンカーの通水機能と樹脂モルタルの耐水接着性を評価し、併せて光ファイバ型センサを用いたモニタリング手法の有効性を検証した。本トンネルは2r標準馬てい形であり、写真4のようにトンネル覆工内面に曲げひび割れが発生している箇所を含む延長15mの範囲に本工法を適用した。

2.3.2 補強設計

1) 設計条件

補強設計には許容応力度法を用いた。本設計で用いたCFSSの許容応力度は、実物大トンネル載荷実験から得られたCFSSの剥離ひずみから安全率を考慮して求め、245 N/mm² (1000×10⁻⁶ ひずみ相当) とし、CFSSの引張応力度が許容応力度以下となるようにCFSSの積層数を決定した。ここで、本設計に用いた値は表1の通りである。

解析には骨組み解析ソフトである(株)フォーラムエイトのFRAME(面内) ver.6を用い、変状トンネル対策工設計マニュアル⁸⁾を参考とし、照査断面の軸力および曲げモーメントを求め、以下の仮定による断面計算でCFSSの応力

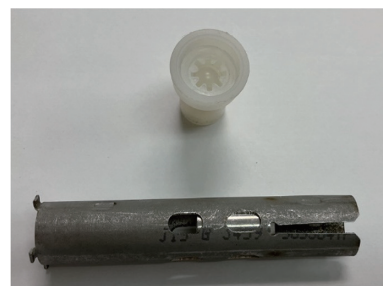


写真3 通水型アンカー
Water permeability anchor



写真4 ひび割れの状況
Crack state

度を算出した。

- ・ 縦ひずみは中立軸からの距離に比例する。
- ・ コンクリートおよび樹脂モルタルの引張強度は無視する。
- ・ CFSS とコンクリートのヤング係数比は式(1)で算定する。

$$n_{cf} = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot n_s = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot 15 \quad (1)$$

ここに、 n_{cf} : ストランドシートとコンクリートのヤング係数比

E_{cf} : CFSS のヤング係数 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²) (=200 000)

n_s : 鉄筋とコンクリートのヤング係数比

2) 骨組み解析概要

本解析で用いた骨組みモデルを図2に示す。骨組みモデルの作成は変状トンネル対策工設計マニュアル⁸⁾を参考に行った。本工法においてトンネル基部は補強対象ではないため覆工のみをモデル化した。荷重は死荷重および地圧を考慮した。地圧モードは対象トンネルの側壁内面に曲げひび割れが発生していたため、頂部背面に空洞(100度の範囲を仮定)があり、塑性圧の地圧モードであると推定した。拘束条件は、側壁基部には外側にひび割れがあることが推測されるため、回転を許容し、水平方向は固定、鉛直方向はばね支持とした。また、地盤は地盤ばねによりモデル化し、地盤ばね係数の算定には変状トンネル対策工設計マニュアルのN値より推定する方法に従い、N値を50と仮定して算出した値を用いた。

設計荷重Pは、死荷重および設計荷重Pを作用させたときに、無補強断面でかつ全断面有効とした場合のひび割れ位置でのコンクリートの引張応力度がコンクリートの引張強度1.58N/mm²(設計基準強度18N/mm²)と一致するように設定した。

3) 解析結果

図2に曲げモーメントの解析結果およびひび割れ位置での曲げモーメントおよび軸力を合わせて示す。解析結果から1)で示した仮定のもと、軸力を考慮した力のつり合いおよびモーメントのつり合いからCFSS 1層とした場合の中立軸を求め、CFSSの引張応力度を算出した。その結果、CFSSの引張応力度は229N/mm²となりCFSSの許容応力度(245N/mm²)以下であるため、CFSSの積層数を1層と決定した。CFSSの接着範囲は実物大トンネル模型実験か

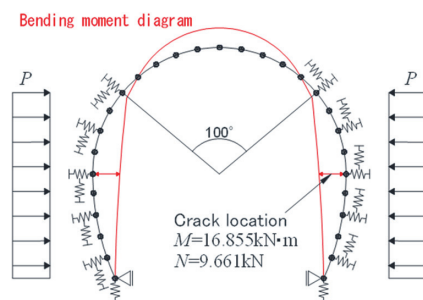


図2 骨組みモデルおよびモーメント図
Model frame and moment diagram

ら得られた結果をもとに、インバート部を除くトンネル内面全周とした。

2.3.3 施工方法

1) 下地処理

高圧水洗により汚れや劣化部除去を行った。

2) 止水

覆工のひび割れ箇所や損傷部からの漏水箇所について、急結セメントやポリウレタン系止水材の注入、導水ホースを用いて止水作業を行った。止水作業後は、送風機にて覆工内面を乾燥させた。

3) 墨出し

通水型アンカー設置位置、CFSS貼付位置の墨出しを行った。

4) 通水型アンカーの設置

電動ハンマードリルを用い削孔し、打ち込み固定をした。アンカーから流出する水は、ホースで導水して覆工の乾燥を保つようにした。削孔深さは180mmとし、覆工裏面まで貫通させないこととした。

5) シート接着

湿潤対応型プライマーをローラー刷毛で塗布し、プライマーが硬化する前に樹脂モルタルの下塗りを行い、連続工程でCFSSを1層設置した。この際、通水型アンカーを用いてCFSSをコンクリート覆工の曲面に仮固定した。CFSS設置後、樹脂モルタルの上塗りを行い、左官コテなどで仕上げを行った。CFSSの施工状況および施工後状況を写真5、写真6にそれぞれ示す。



写真5 CFSS施工状況
Adhesion work of CFSS

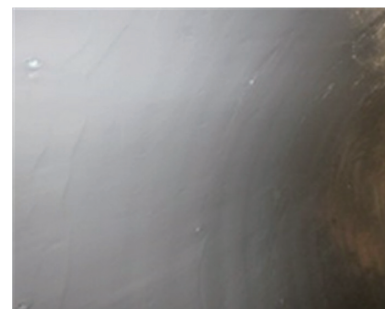


写真6 施工後状況
After completion of work

2.3.4 モニタリング方法と結果

1) ひずみ測定

現場実証試験における補強効果を継続的に評価するため、光ファイバ型ひずみセンサをCFSSの繊維方向に取り付け、エポキシ樹脂モルタルで躯体に貼り付けることで設置した(写真7)。図3に本工法の施工範囲とひずみ測定点を示す。水路トンネル長手方向に対して、3か所に設置した。使用した光ファイバ型センサは、光ケーブルをガラス繊維強化プラスチックで被覆したものであり、1本のセンサ設置で任意の何点でもひずみ測定ができ、電源不要で水路トンネルでのモニタリングに最適と判断した。本検討では、1本の光ファイバセンサに5点の測定点を設けた。

表5にこれまで実施した5年分のひずみ測定結果を示す。施工完了1日後を初期値とし、所定年数経過後に現地を訪れひずみのデータを取得した。ひずみのデータは正が引張、負が圧縮のひずみが生じていることを示している。初期値と比較して全体的に負の値となっているが、これは、施工完了後1日を初期値としているため、樹脂モルタルの硬化収縮のひずみを計測してしまったためと考えられる。1年経過後からは、大きなひずみ変化がみられず、5年経過後も打音検査による補強層の浮き等も確認されなかった。今回用いた光ファイバ型センサは、水路トンネルという長期間水に晒される環境下においても、継続的にひずみを測定できたことから、本工法の長期モニタリング手法として有効であることを確認した。

2) 通水型アンカー

本工法施工後の通水型アンカーの状況を写真8に示す。施工直後から背面水が覆工内面へ通水することが確認され、施工5年経過後も良好に機能しており、前述の通り背

面水による補強層の浮きや剥がれなども確認されず、繊維シートを用いた表面被覆工の浮きや剥がれの抑制効果が確認された。

3) 躯体コンクリートとの接着強度

本工法の長期耐水接着性を評価するため、実証試験現場においても土木学会が規定する接着試験⁹⁾を実施した。専用ジグを2液速硬化エポキシ樹脂接着剤を用いて施工面に貼り付け、接着剤が硬化した後にジグに沿うよう40mm角で切り込みを入れてジャッキを用いて試験を実施した。試験状況を写真9に示す。本試験も5年間実施しており、

表5 ひずみ測定結果
Test results of strain measurement

Measuring point	Elapsed year	Strain ($\times 10^{-6}$)				
		①	②	③	④	⑤
A (Downstream)	0	0	0	0	0	0
	0.5	-97	-55	-81	-61	-70
	1	-43	14	-20	-5	-14
	2	-34	-2	-48	-21	-20
	3	-48	-36	-81	-52	-42
B (Center)	5	45	28	-32	0	21
	0	0	0	0	0	0
	0.5	-125	-98	-93	-108	-82
	1	-84	-59	-72	-82	-29
	2	-83	-65	-90	-90	-24
C (Upstream)	3	-105	-87	-112	-109	-55
	5	-99	-77	-92	-97	-48
	0	0	0	0	0	0
	0.5	-86	-85	-103	-82	-81
	1	-60	-81	-110	-73	-65
	2	-43	-88	-111	-70	-60
	3	-87	-141	-155	-118	-112
	5	-57	-105	-133	-82	-68

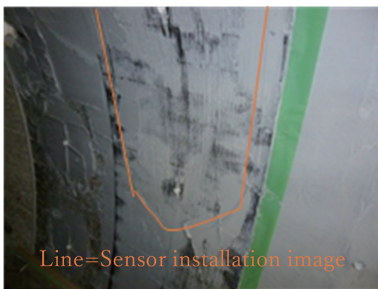


写真7 光ファイバ型センサ設置状況
Installation of an optical fiber sensor

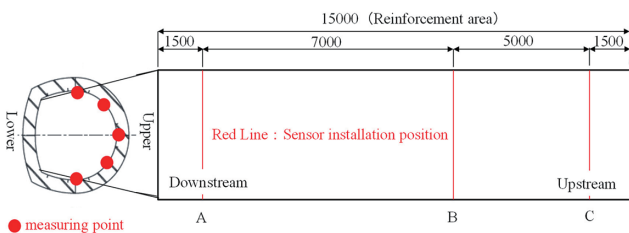


図3 施工範囲とひずみ測定点
Reinforcement area and strain measurement points



写真8 施工5年後通水状況
Water flow situation after 5 years



写真9 試験状況
Adhesion test at canal tunnels

各経過年数で測定した結果の一覧を表6に示す。ばらつきは大きいものの、各経過年数で測定した試験箇所において、開水路補修マニュアル⁹⁾に示される基準値 1.5N/mm²を上回る結果が確認され、また、破壊形態は全て母材コンクリート破壊であった。5年目に実施した接着試験後の破壊状況の一例を写真10に示す。これまで実証試験結果から得られたデータと要素試験の結果と合わせて、本工法で使用する樹脂材料とコンクリートとの優れた耐水接着性が確認された。

4) 樹脂モルタルの化学分析

CFSSを貼り付けるために使用した樹脂モルタルの経年変化を確認するため、フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) および示差走査熱量測定 (DSC) を用い分析を行った。

表6 接着強度試験結果
Test result of adhesion strength

Elapsed year	Test result	(1)	(2)	(3)	Average
0	Maximum tensile load (kN)	3.92	5.06	5.19	2.45
	Adhesive strength (N/mm ²)	2.45	3.16	3.24	
	Destructive position	Concrete	Concrete	Concrete	
1	Maximum tensile load (kN)	3.01	3.8	2.94	2.03
	Adhesive strength (N/mm ²)	1.88	2.38	1.84	
	Destructive position	Concrete	Concrete	Concrete	
2	Maximum tensile load (kN)	3.1	6.01	4.38	2.81
	Adhesive strength (N/mm ²)	1.94	3.76	2.74	
	Destructive position	Concrete	Concrete	Concrete	
3	Maximum tensile load (kN)	5.16	2.69	3.72	2.45
	Adhesive strength (N/mm ²)	3.24	1.68	2.33	
	Destructive position	Concrete	Concrete	Concrete	
5	Maximum tensile load (kN)	2.58	3.18	2.76	1.80
	Adhesive strength (N/mm ²)	1.61	1.99	1.73	
	Destructive position	Concrete	Concrete	Concrete	



写真10 破壊状況
Destruction state

測定試料は、写真10に示す施工後5年目に実施した接着試験で専用ジグに付着している樹脂モルタル部分を回収したものとし、リファレンスは水路トンネルで暴露されていない硬化物を用いた。FT-IR測定結果を図4、図5にそれぞれ示す。測定したスペクトル範囲において、施工後5年目の樹脂モルタルのスペクトルはリファレンスとピーク位置が同様であり、新たに生じたピークは確認されなかった。また、2800~3200cm⁻¹付近のC-H伸縮振動のスペクトルの強度比も施工後5年目の樹脂モルタルとリファレンスとで差がみられないことが確認された。DSC測定は、測定範囲を-10~200℃とし、20℃/minで2回測定を行い、解析は30~170℃で実施した。結果を図6、図7にそれぞれ示す。DSCの微分にあたるDDSCの吸熱ピークトップの値をガラス転移温度とし、1st SCANの結果を比較すると、樹脂モルタルのガラス転移温度60℃前後のピーク位置にわずかに差がみられたが、これは養生環境による樹脂の硬化度の差と考えられる。2nd SCANの結果を比較すると、吸熱ピーク位置は完全に一致していることを確認した。以上の分析結果から、水路トンネル内で水等に暴露された状態であっても、樹脂モルタルに大きな経時変化がみられないことが確認された。

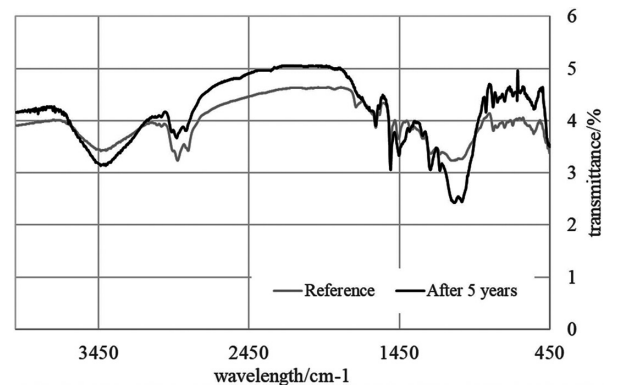


図4 FT-IR測定結果
Result of FT-IR measurement

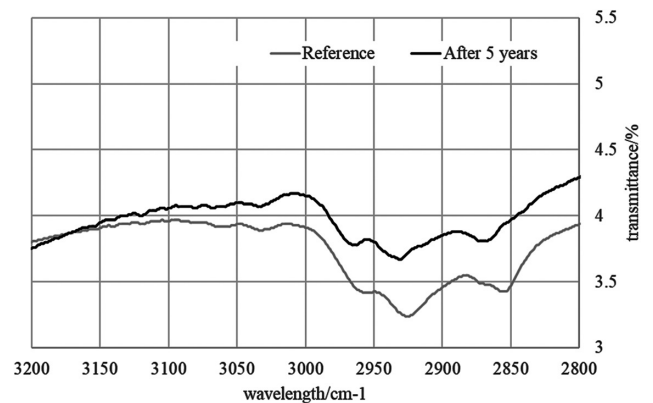


図5 2800~3200cm⁻¹付近のスペクトル (C-H伸縮)
Spectrum around 2800-3200cm⁻¹

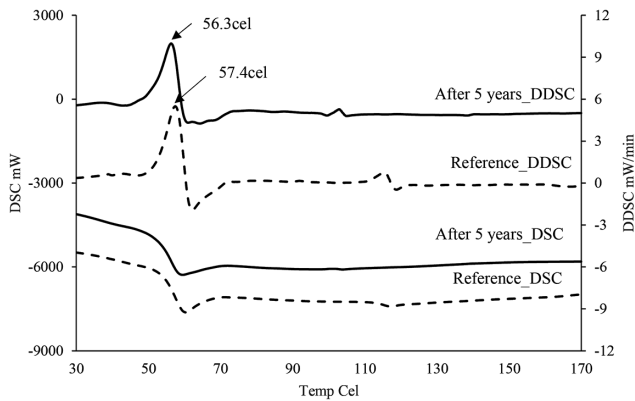


図6 DSC測定結果(1st SCAN)
Result of DSC measurement (1st SCAN)

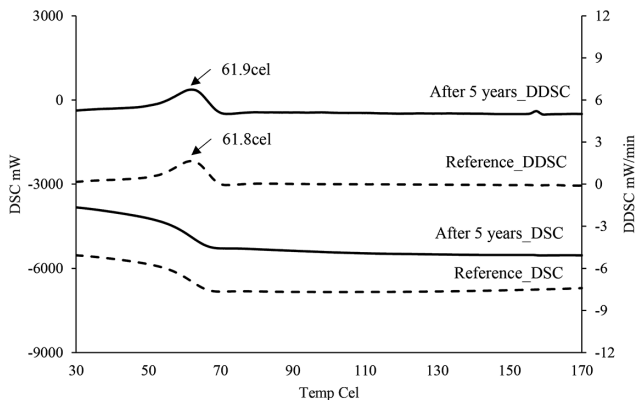


図7 DSC測定結果(2nd SCAN)
Result of DSC measurement (2nd SCAN)

3. 結 言

CFSSと樹脂モルタルを用いた無筋コンクリートトンネル水路覆工を対象とした補強法について、下記の事項を確認した。

- (1) 要素試験として実施した浸漬試験および実際の水路トンネルでの接着強度のモニタリング結果から、コンクリート躯体との接着は長期耐久性を有していることを確認した。
- (2) 本工法で使用する樹脂モルタルは、モルタル材よりも耐摩耗性に優れていることから、水路トンネルのライフサイクルコスト低減が期待される。
- (3) 実際の水路トンネルを用いた実証試験結果から、通水型アンカーの通水性能と、補強層の浮きや剥がれの防止効果が確認された。

- (4) 光ファイバ型センサを用いた本工法のモニタリングは、水路トンネルという長期水に晒される環境下でも継続的にひずみを計測できる有効な手法であることが確認された。
- (5) 施工後5年間水路トンネル環境下で暴露された樹脂モルタルのFT-IR測定およびDSC測定結果から、リファレンスと比較して経時変化がみられないことから、長期水環境下に晒されても樹脂モルタルは健全な状態を保っていることが確認された。

謝 辞

本研究は、農林水産省官民連携新技術研究開発課題“無筋コンクリート水路トンネル覆工に最適化した補強工法の開発”によって実施しました。

また、共同研究先である国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門、島根大学、オリエンタル白石(株)関係各位に謝意を表します。

参照文献

- 1) 森充広, 浅野勇, 渡嘉敷勝, 西原正彦: トンネルの構造的安全性に関する研究動向~変状事例に基づく考察~. 農村工学研究所技報. (214), 31-76 (2013)
- 2) 櫻井俊太 ほか: 炭素繊維を用いた無筋コンクリート水路トンネル覆工の補強工法に関する研究. Cement Science and Concrete Technology. 75, 332-339 (2021)
- 3) 堀越直樹 ほか: 耐荷性能評価に基づく水路トンネル補強工法の最適化. 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学). 78 (5), II_29-II_41 (2022)
- 4) 土木学会: 連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法(案)(JSCE E 543-2012). 土木学会コンクリートライブラリー, 101 (2012)
- 5) 農林水産省: 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). 2015
- 6) 上野和広, 長東勇, 石井将幸: 開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率. 農業農村工学会論文集. 78 (2), 105-111 (2010)
- 7) 日本産業標準調査会: セメントの物理試験方法 (JIS R 5201-2015). 2015
- 8) (財)鉄道総合技術研究所編: 変状トンネル対策工設計マニュアル. 初版. (財)鉄道総合技術研究所, 1998, 323p



鈴木宣暁 Nobuaki SUZUKI
日鉄ケミカル&マテリアル(株)
コンポジット事業部 社会資本材料部
材料技術センター マネジャー
埼玉県朝霞市三原5-1-10 〒351-0025



小森篤也 Atsuya KOMORI
日鉄ケミカル&マテリアル(株)
コンポジット事業部 社会資本材料部 部長
博士(工学)