

地下水等による構造物からの漏水を止水する工法 (STTG工法)

キーワード

止水, コンクリート構造物, 耐久性, 石油樹脂・アクリル系樹脂, 多量漏水



1. はじめに

STTG工法は、地下トンネル、地下ピット、ダム、擁壁などのコンクリート構造物の打継ぎ目、クラックなどからの漏水の止水工法である。この工法は、伸び、付着強度などに優れる石油樹脂・アクリル系材料を主体としているため、地盤沈下や温度変化などによる変位の発生による目地クラック等の開きに追従する。このために従来のウレタン材を用いた場合に比較して、耐久性に優れる。また、親水性ウレタンプレポリマーを含有する硬化促進剤を注入する直前に主材と混合攪拌し、主材の硬化時間を早め、多量の漏水でも確実に止水することができる。

この工法は東京電力パワーグリッド(株)、東京電設サービス(株)、三生化工(株)、他2社の計5社で開発したものであり、開発の経緯と施工実績について述べる。

2. 開発の経緯

地下構造物への漏水の主な影響としては、以下がある。

- ・地下構造物に発生したクラック等から地下水が流入することにより、鉄筋が腐食しコンクリートの剥離が発生し、鉄筋が露出することにより、更に鉄筋の腐食が促進される。
- ・場所によっては、地下水に含まれる塩分等の腐食促進成分により、躯体や布設設備に塩害や化学的腐食を発生させることがある。
- ・漏水に伴う地下水位の変動や地盤沈下による上載荷重の増加により、構造物の軸方向のひび割れと

内空変形が発生することがある。

上記の状況を放置することにより、やがて構造物の耐力を低下させ、大規模補修や設備の更新を余儀なくされる。地下構造物を健全に保つためには、早期に漏水を確実に止めることが重要となる。これが開発の背景である。

3. 開発の狙い

大量の漏水箇所の止水が可能、また、長期耐久性に優れた工法の開発として、止水材を選定した。

(1) 現在使用されている止水材の特徴

現在使用されている止水材の特徴としては、下記がある。

- ・ウレタン系高圧注入工法は、即効性に優れていること、材料が比較的安価であること等の理由から、漏水補修工法の主流として採用されている。ただし、ウレタン材は材料特性上、コンクリートとの付着強度、引張強度等があまり期待できない。
- ・長期耐久性に優れるアクリル樹脂系注入工法は、材料コストが高価である。
- ・従来の石油樹脂・アクリル系注入工法は、硬化速度が遅いため漏水量の多い箇所の補修には不適。ただし、硬化後の性能はアクリル樹脂系注入工法と同等。材料は比較的安価に入手できる。

(2) 止水材の選定

屋上防水等で実績のある従来の「石油樹脂・アクリル樹脂系材料」に着目。この材料をもとに開発を進めた。開発にあたっては、下記の事項を目標に設定した。

写真-1に止水材を示す。

- ・硬化時間を適度に早め、大量の漏水箇所へも適用が可能
- ・石油樹脂・アクリル樹脂系材料の長所（コンクリートとの付着力・引張強度等）を生かし、長期耐久性に優れる工法
- ・比較的安価な石油樹脂・アクリル樹脂系材料を主材にすることで、施工費用を抑制



写真-1 止水材

マーをそれぞれ専用ポンプで圧送し、混合割合を一定にしながら注入直前に攪拌混合することで、材料の硬化時間（ゲルタイム）を適切に早めている。

施工方法は、写真-2, 3, 図-1～3の通り多くの止水工法で採用しているものと同様、クラックに対して交差するよう斜めに削孔し、設置した注入ピンから止水材を注入する方法を適用した。

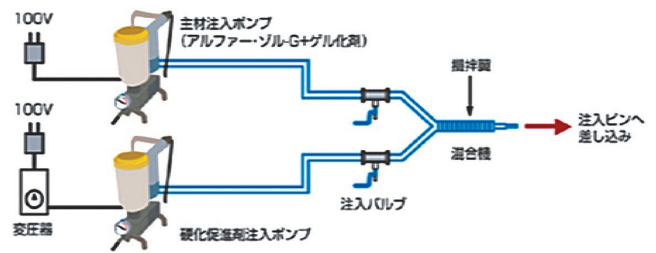


図-1 注入設備の概要

4. STTG工法の概要

4-1 STTG工法の概要

STTG工法は、石油樹脂・アクリル樹脂系材料のアルファール・Gと硬化促進剤のウレタンプレポリ



写真-2 注入状況 (1)



写真-3 注入状況 (2)

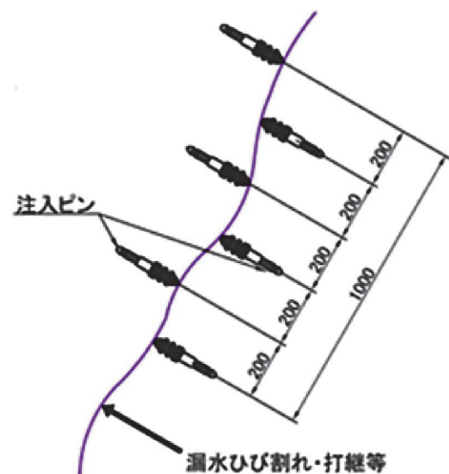


図-2 標準的な注入ピンの設置状況

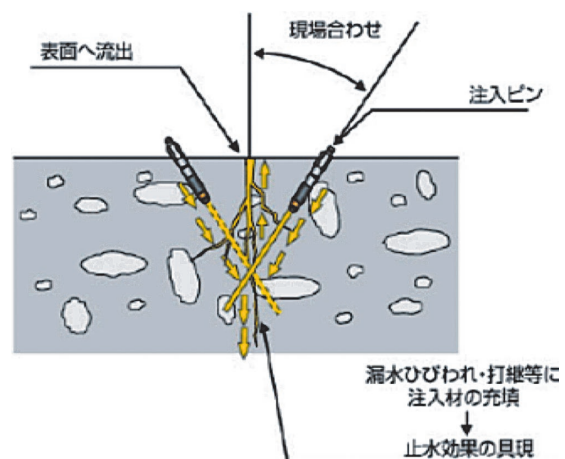


図-3 止水材が充填されるイメージ

4-2 材料の特性

硬化後の補修材の性能は、注入箇所の変形に追従する様な十分な引張変形性能を有し、かつコンクリート面と接着し容易に剥がれないといった性状が求められるとともに、適切なゲルタイムを有すること等が求められる。

このため、STTG材料の要求性能を定め性能試験を実施した。

(1) 材料の要求性能

材料の要求性能として、伸び性能、引張強度、付着強度、ゲルタイムの4項目に対して設定した。

①伸び性能

温度変化や地震等により目地やクラックなどに変位が生じた場合でも、材料が追従できることが必要である。そこで、塗膜系建築屋上防水材と同等の伸びを有することを要求性能とし、破断時の伸び率を200%以上とした。

②引張強度

地下構造物の大半は、地下50m以内に位置していることから、水深50m以上の水圧に耐えられることを想定し、 0.5N/mm^2 以上の引張強度とした。

③付着強度

コンクリートと止水材の付着は、変位により材料が伸びて破断するよりも強く付着していれば、引張強度が有効に発揮できることから、付着強度 \geq 引張強度とした。

④ゲルタイム (材料硬化時間)

ゲルタイムは単に短いだけでなく、止水材が漏水の原因となっているクラックに行きわたるまでは流動性を保ち、行きわたった後に速やかに硬化するよう、適



写真-4 ハイセルOX-1Xの混合割合と硬化体の形状

切な固化時間を有することが望ましいと考えられる。従って、クラックに行きわたるまでに必要な時間や作業効率や材料のロス分の削減等を勘案し、ゲルタイムを5分以上20分以下に設定した。

(2) 性能試験結果

①固化体の引張性能、伸び性能試験

固化体の引張性能、伸び性能試験の結果は、次の通りである。

- 1) 引張強度は、図-4の通りであり最大 1.06N/mm^2 、最小 0.73N/mm^2 の範囲にあり、ハイセルOH-1Xの混合比率が多ければ、引張強度が大きくなる傾向にある。

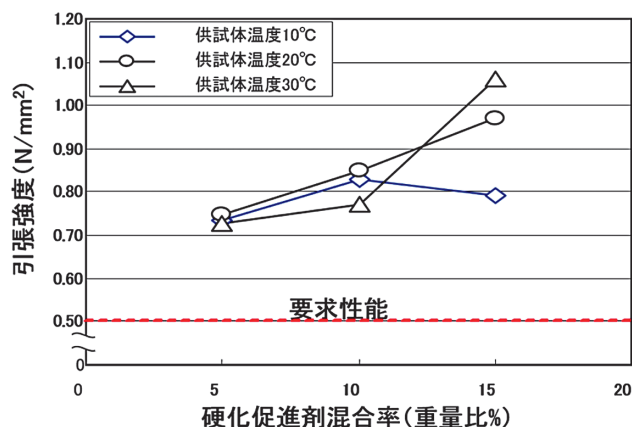


図-4 供試体温度を変化させた場合のハイセルOH-1Xの混合割合と引張強度

- 2) 破壊ひずみは、図-5の通りであり最大420%、最小230%の範囲にあり、ハイセルOH-1Xの混合比率が多ければ、伸びが小さくなる傾向にある。ハイセルOH-1Xの混合比率が多くなれば硬度は増し、伸びが低下する。

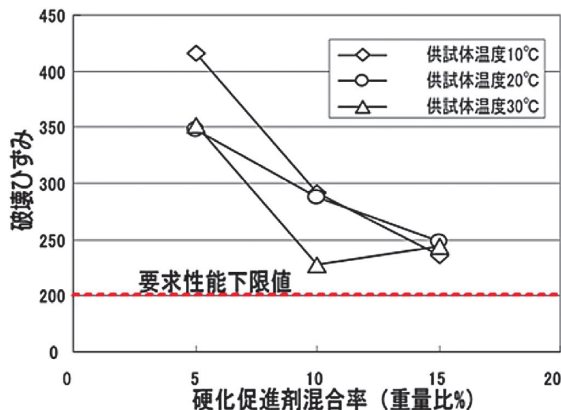


図-5 供試体温度を変化させた場合のハイセルOH-1Xの混合割合と破壊ひずみ

3) 材料のゲルタイムは図-6に示す通りである。

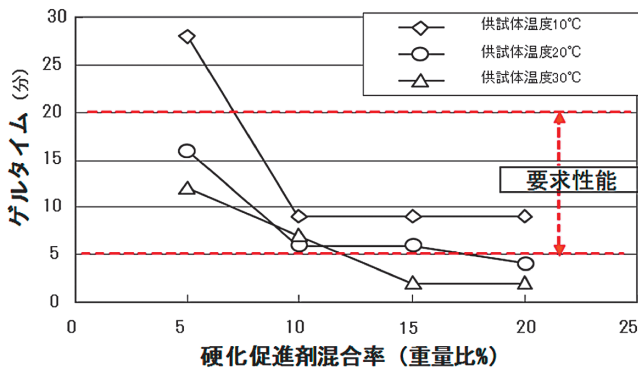


図-6 ハイセルOH-1Xの混合割合とゲルタイム

4) 固化体の付着強度試験

固化体の付着性能試験の結果は、表-1の通りである。

- ・付着強度は、最大1.26N/mm²、最小0.82N/mm²の範囲にありばらつきは大きい。
- ・供試体温度による顕著な差異は見られない。
- ・ハイセルOH-1Xの混合比率が多ければ、付着強度も大きい傾向にあるが、かなりばらつきがあり養生条件の差異によるところが大きいと思われる。

表-1 付着強度と引張強度との関係

混合率	試験体温度	付着強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	性能 付着強度≥引張強度
15%	30°C	1.26	1.06	OK
	20°C	1.09	0.97	OK
	10°C	0.93	0.79	OK
10%	30°C	1.07	0.77	OK
	20°C	0.89	0.85	OK
	10°C	1.03	0.83	OK
5%	30°C	0.9	0.73	OK
	20°C	0.84	0.75	OK
	10°C	0.82	0.73	OK



写真-5 付着試験強度の状況

4-3 材料の要求性能と試験結果

材料の要求性能に対する試験結果は表-2の通りである。いずれの項目も要求性能を満足している。

表-2 材料の要求性能に対する試験結果

項目	要求性能	試験結果
伸び性能	200%以上	最小値で230% (30°C 混合率10%)
引張強度	0.5N/mm ² 以上	最小値で0.73N/mm ² (30°C 混合率5%)
付着強度	付着強度≥引張強度	すべての条件で付着強度が上回っている
ゲルタイム	5分~20分	供試体温度10°C・混合率5%のときは要求性能を下回ったため、材料を温める必要あり

4-4 止水工法の比較表

STTG工法と他2工法との比較を、表-3に示す。

表-3 止水工法の比較

工法名	石油樹脂・アクリル系樹脂系高圧注入工法 (STTG工法)	アクリル系高圧注入工法	ウレタン系高圧注入工法
工法概略	伸びや付着性に優れた石油樹脂・アクリル系止水材料に親水性ウレタンプレポリマーを混合し、主材のゲルタイムを要求性能の範囲に早めた	極めて低粘度の親水性高弾性樹脂を高圧で注入し、硬化樹脂の弾性反発と吸水樹脂によりひび割れを閉塞する	ポリイソシアネートが水と接触し、順次反応を始め、最終的に全量がゲル化する
主成分	アクリル樹脂・石油樹脂、親水性ウレタンプレポリマー	二成分系合成樹脂	ポリイソシアネート化合物
充填性	微細クラックへの対応も可能	微細クラックへの対応も可能	微細クラックへの対応も可能
透水性	優れた止水性を有する	優れた止水性を有する	優れた止水性を有する
変位追随性	伸び、付着性に優れ、追随性が高い	高弾性のため伸縮性に対する追随性が高い	伸びや付着性が低いいため、追随性は低い
耐久性	経年変化はほとんどない	経年変化はほとんどない	伸縮する目地等には追随できない
経済性	安価	やや高い	安価

5. 施工実績

5-1 施工実績

190件の漏水補修を本工法により実施（平成30年3

月現在) しておりその概要は表-4に示す通りである。施工箇所としては、電力会社の地中送電用洞道をはじめ、水力発電用ダムの打継ぎ目及び監査廊、建物地下、下水処理施設管廊などでひび割れ延長で約11kmの施工を実施している。

表-4 施工実績のまとめ

件数	工事場所	施工数量 (ひび割れ延長m)
168	地中送電洞道・変電所・発電所など	9,316.0
6	下水道設備	1,636.0
2	首都高速設備	29.2
4	共同溝・建物	42.0
2	NTT設備	9.0
2	鉄道関係設備	67.0
6	その他	233.0
190	施工実績 合計	11,332.2

5-2 漏水状況及び施工写真

止水施工対象の主だったものを写真-6~9に、又施工状況を写真-10, 11に示す。



写真-8 場所打ち洞道 漏水箇所



写真-9 場所打ち洞道 漏水箇所

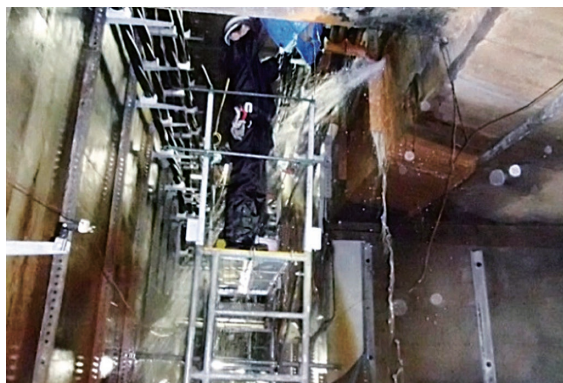


写真-6 多量漏水箇所 (最大漏水箇所 約200 l/min)



写真-10 ダム堤体での施工状況 (1)



写真-7 ダム監査廊 漏水状況



写真-11 ダム堤体での施工状況 (2)

6. 材料の凍結融解への対抗性

このSTTG材を寒冷地におけるコンクリート（例えばダム堤体）の漏水補修材として用いる場合を想定し、凍結融解抵抗性を把握したものである。これはSTTG材を凍結融解試験に所定サイクルで凍結融解履歴を与えて、引張試験および付着強度試験を実施したものである。

6-1 凍結融解試験の概要

試験は、コンクリート凍結融解試験に用いる装置内の仕切り内にコンクリート柱（8×8×40cm）を設置し、試験体を固定して、実施した。

①凍結融解サイクル

- ・凍結融解のサイクル当たりの所要時間、凍結融解の温度設定は、コンクリート凍結融解試験JIS A 1148に準じて実施した。
- ・凍結融解の温度は、最高5℃から最低-18℃に1サイクル3～4時間で温度を低下、上昇させた。

②引張試験

- ・試験体の材料厚さは2mm程度と薄いため試験片が凍結試験機内で変形し、養生条件がばらつくことが懸念された。このためコンクリート柱（8×8×40cm）を使用し、写真-12の様に試験片の上下をバンドにより固定した。



写真-12 引張試験供試体

- ・試験片は、コンクリート柱に取付けた長方形の試験体より切り抜き、全長115mm（標線間距離80mm）×幅6mm（引張試験JIS K 7127）として試験速度50mm/minで実施した（写真-13）。
- ・材料の引張試験は、凍結融解の0, 1, 30, 60, 150サイクル毎に実施した。

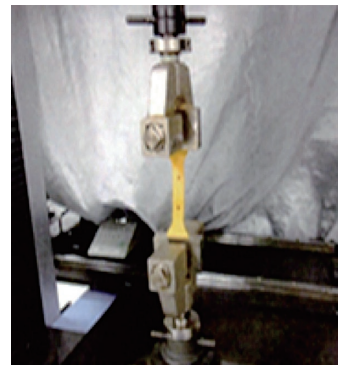


写真-13 引張強度試験

③付着試験

- ・コンクリート角柱を用意し、そこにSTTG材を挟みこんだモルタル板（4cm×4cm×1cm）を図-7に示す様に3箇所付着させた試験体とした。これをコンクリート凍結融解試験に用いる装置内に縦に挿入した。
- ・材料の付着強度試験は図-7の様に、モルタル板上部に吊上げ金具を固定してJIS K 5600に準拠し、0, 1, 30, 60サイクル毎に実施した。

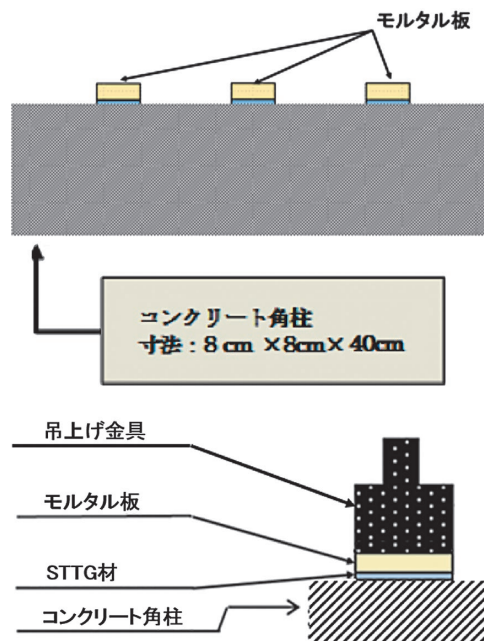


図-7 付着試験供試体

6-2 試験結果

①材料の引張強さ

- ・材料の引張強さは、図-8の様に凍結融解の0～150サイクルによらず大きく変化しない結果となった。STTG材料中の気泡の大きさは小さく、一様に分布し

ているため凍結融解に伴う水分の膨張の影響が少ないと考えられた。

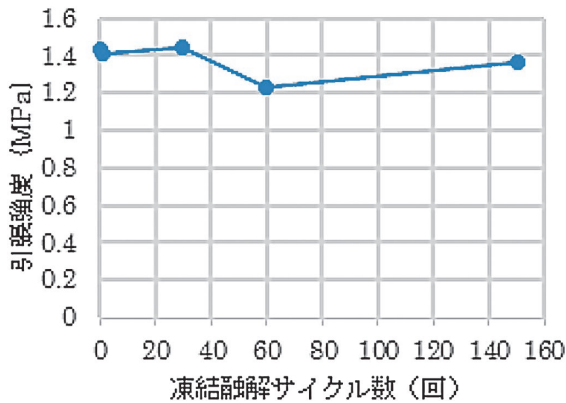


図-8 凍結融解サイクル数と引張強度

②材料の付着強度

・材料の付着強度は、図-9の様に凍結融解の0～60サイクルでは、最大強度を示す1サイクル目と最小強度を示す60サイクル目の間では20%程度の強度低下が発生した。しかし、いずれも要求性能（水深50m相当の 0.5N/mm^2 ）以上であった。このことから、現場における60サイクルに相当する耐用年数を検討した。

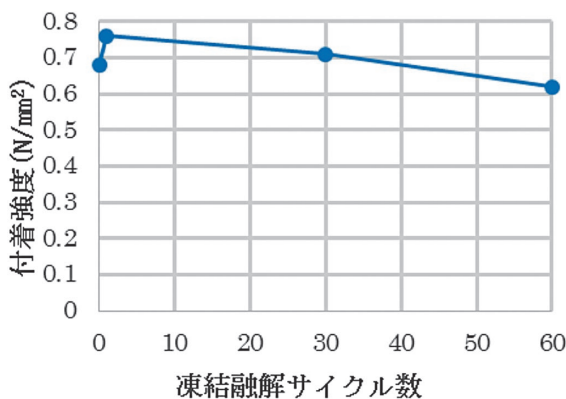


図-9 凍結融解サイクル数と付着強度

6-3 凍結融解に伴う堤体の温度解析

この耐用年数を検討するために、長野県内のAダムの構造をモデル化し、日本コンクリート工学会の解析ソフト「JCMAC3」により堤体のコンクリート温度分布を解析した。

①解析手順

・現地の外気温（Aダム近傍の測定データを北緯、標高で補正）を入力し、堤体表層部のコンクリー

ト温度変化（24時間/データ）として解析した。
・コンクリートの凍結温度 -0.5°C 以下を超える回数を解析した。

②解析モデル

・ダム堤体の厚さ方向10cmピッチのコンクリート温度の経時変化の解析モデルを図-10とした。なお、前面（赤の部分）は熱伝達境界、他の5面（図中青の部分）は断熱境界としている。熱伝達境界は外気との熱伝達が存在する境界、断熱境界は温度勾配が0の境界である。

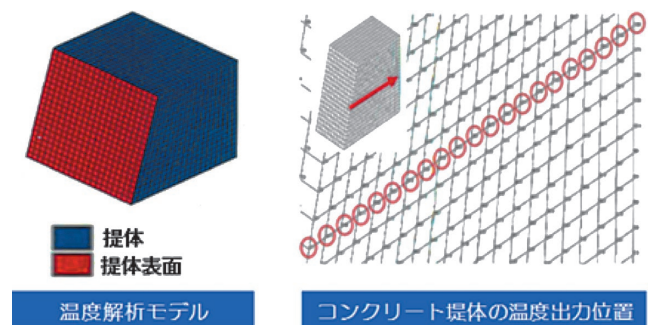


図-10 温度解析モデル

③解析結果

・冬期に堤体内部まで凍結する可能性が認められるものの、止水材の注入範囲付近の表面より0.4mの位置では図-11の様に一度凍結すると春先までは融解せず、ひと冬における凍結融解が発生する頻度は、年間1回と考えられる。

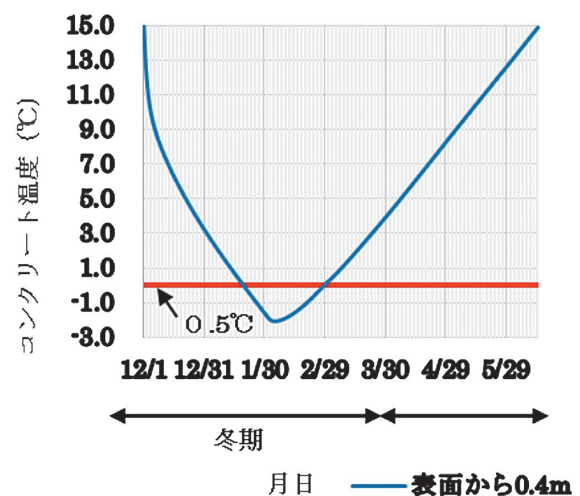


図-11 冬期のコンクリート内の温度

7. まとめ

STTG材の引張強さは、凍結融解サイクルが150サイクルあっても大きな変化は見られず、凍結融解の影響は受けづらいものと考えられた。また、電子顕微鏡写真での性状変化も認められなかった。

8. (一社)STTG工法協会, NETIS他

(一社)STTG工法協会は2014年5月に設立され、現在会員数は44社で、活動内容としてはSTTG工法の普及、STTG工法施工者に対する技能認定、およびSTTG工法施工品質の維持・向上を行っている。

8-1 技能認定

技能認定講習会はSTTG工法協会会員会社の職員に対して、年2回程度開催しており、現在の技能認定取得者数は約190名である。

8-2 施工品質マニュアル

STTG工法施工品質の維持・向上のため工法協会は、標準施工品質マニュアルを制定しており、「総則、STTG工法について、施工管理」から構成されている。施工実績等を踏まえて適宜改定を行っている。

8-3 NETIS・特許

NETISは2015年2月に登録を行い、技術名称はSTTG工法で、登録ナンバーはKT-140103-Aである。

また、特許は、2012年11月に出願し、特許権者は東京電力パワーグリッド(株)、東京電設サービス(株)、三生化工(株)、他2社であり、発明名称は止水材、止水工法、及び注入装置である。

9. おわりに

本編では、新たな止水工法であるSTTG工法について開発の経過、性能、施工実績について述べた。当初は、都市部の地中構造物の漏水の止水工法として用いられていたが、近年では下水設備、ダム堤体、あるいは建物地下など広域な構造物に適用されて来ている。今後は施工実績あるいは要望に対応した適用構造の拡大あるいは適用条件の拡大により構造物長期的な耐久性向上に寄与したい。なお、工法協会ホームページは下記URLの通りである。

<http://www.sttg.or.jp/>

【参考文献】

- 1) 青木研一郎, 安部雄大, 深澤久雄: 水殿発電所水殿ダム右岸スラストブロック止水工事の概要: 電力土木, No.365, 2016.9 P.19~22
- 2) 小椋明仁, 桑原弘昌, 佐野正樹: 長期耐久性を目指したコンクリート地下構造物漏水補修工法の開発: 電力土木, No.368, 2013.11 P.52~56
- 3) 佐藤亘, 桑原弘昌: 凍結融解を受けた石油樹脂・アクリル樹脂系止水材の引張特性: 平成29年度土木学会全国大会年次講演会 III-494
- 4) 佐藤亘, 桑原弘昌: 凍結融解を受けた石油樹脂・アクリル樹脂系止水材の付着特性: 平成30年度土木学会全国大会年次講演会 VI-135

◆お問い合わせ先◆

(一社)STTG工法協会
東京電設サービス(株)管路保全工事センター内
〒146-0095 東京都大田区多摩川2-8-1
Tel. 03-6715-4395
E-mail: sttgkouhou@hb.tp1.jp
<http://www.sttg.or.jp>

