

STTG工法

ホワイトペーパー
(専門家向け)

2019年1月

一般社団法人STTG工法協会

目次

- I. 材料の特性、各種試験結果
- II. 施工方法
- III. 安全データシート等
- IV. 効果確認
- V. 供用中の発生ひび割れ

I. 材料の特性、各種試験結果

I-1. 要求性能の概要

1. 伸び性能

温度変化や地震等によりクラックに変位が生じた場合でも、材料が追随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。

破断時の伸び率200%とは、幅1mmのクラックが補修後に地震等で幅3mmまで拡大した場合でも、材料が追随できる性能である。

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/mm²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 引張強度を要求性能に設定した。

4. ゲルタイム（材料硬化時間）

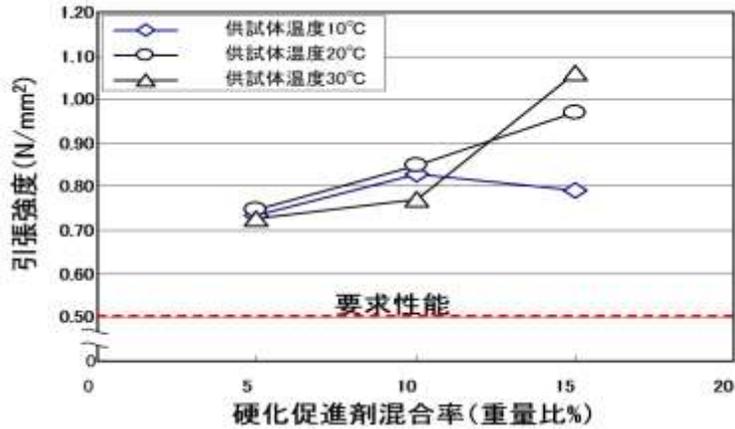
ゲルタイムは単に短いだけでなく、止水材が漏水の原因となっているクラックに行きわたるまでは流動性を保ち、行きわたった後に速やかに硬化するよう、適切なゲルタイムを有することが望ましいと考えられる。したがって、クラックに行きわたるまでに必要な時間や作業効率や材料のロス分の削減等を勘案し、ゲルタイムの要求性能は5分以上20分以下に設定した。

I-2. 引張強度と硬化促進剤比率との関係

【要求性能】

引張強度：0.5N/mm²以上（水深50mの水圧に耐える）

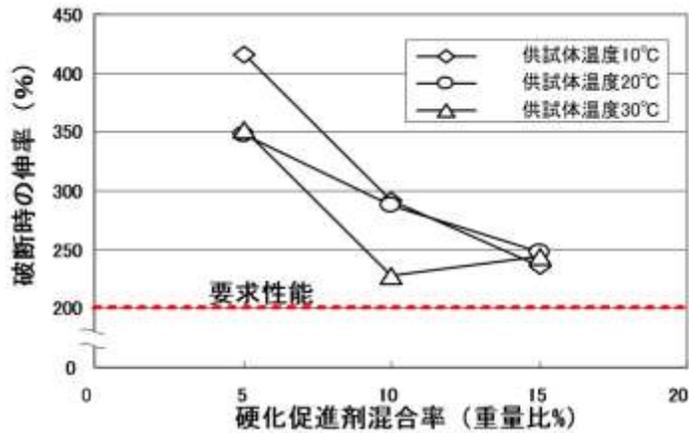
【試験結果】



【要求性能】

付着強度：200%以上（例えば1mmのひび割れが3mmになっても追隨）

【試験結果】

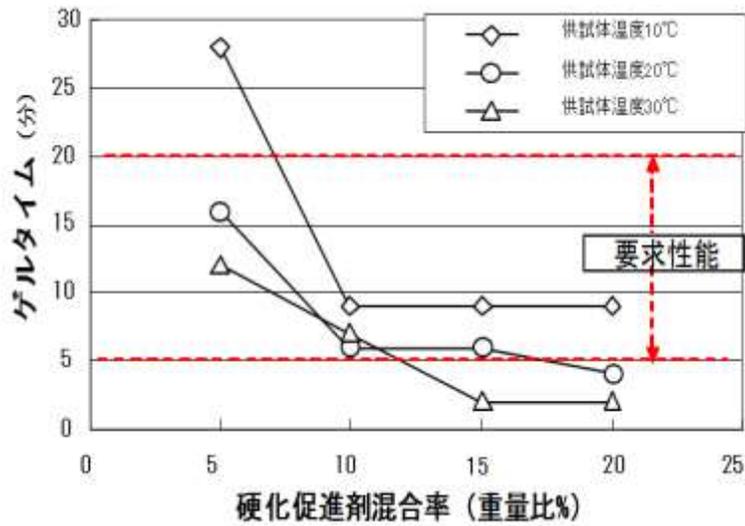


I-3. ゲルタイムと硬化促進剤比率との関係

【要求性能】

ゲルタイム：5分以上20分以内

【試験結果】



I-4. 付着強度と引張強度との関係

【要求性能】

付着強度：付着強度 \geq 引張強度

【試験結果】

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 \geq 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

I-5. 鋼材との付着強度の関係

【要求性能】

付着強度：付着強度 \geq 引張強度

【試験結果】

付着強度（鉄鋼）と引張強度との関係

1. 温度20度
硬化促進剤混合率 5%
2. 結果

	錆びなし	錆びあり
5 試料	0.28	0.56
	0.32	0.59
	0.36	0.69
	0.48	0.67
	0.43	0.81
平均値	0.37N/mm ²	0.65N/mm ²

I-6. STTG材の凍結融解に伴う付着特性

1. 目的

コンクリート構造物からの漏水を確実に止水するために、石油樹脂・アクリル樹脂系材料を主材として、硬化促進剤を混合する工法を開発した。コンクリート構造物への施工は、図-1の様に両液をそれぞれ専用のポンプで圧送し、先端で混合攪拌し、注入するものである。硬化促進剤を添加することで素早く硬化し、硬化後も弾力性を有し、地震や温度変化により打継目やひび割れ等が開いても止水効果を発揮する。

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、凍結融解作用の引張特性に引続き、付着特性を把握した。

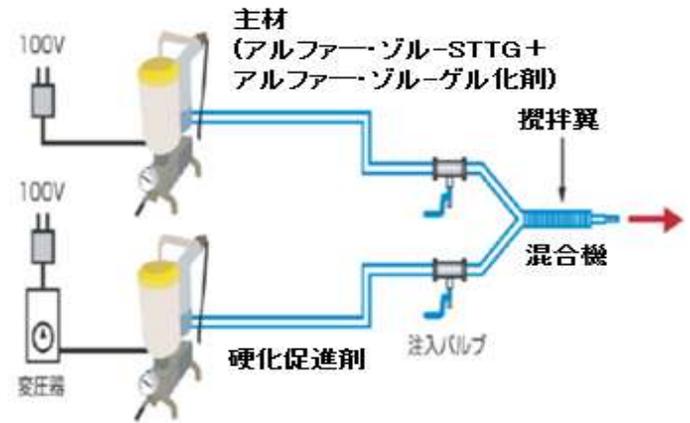
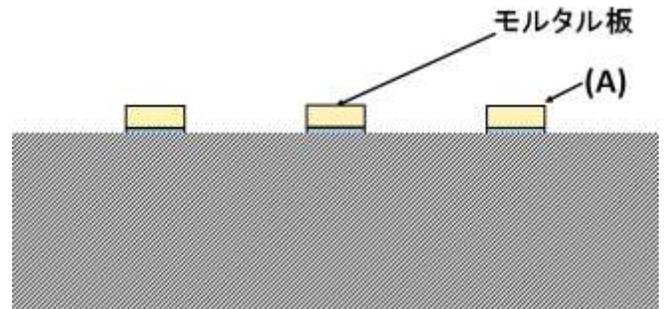


図-I-6-1 STTG工法の施工

2. STTG材の概要

STTG材の標準的な配合は、STTG材の硬化時間が施工性等を考慮して5分~20分となるように、硬化促進剤の重量を主材に対して5%とした。



3. 凍結融解試験の概要

(1) 試験概要

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-2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。

(2) 凍結融解試験

凍結融解の1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、温度は、最高+5℃から最低-18℃を1サイクルとして1サイクルの所要時間を3~4時間とした。

凍結融解サイクルは、60サイクルまで行った。

(3) 付着強度試験

材料の付着強度試験は図-3の様に、図-2中のモルタル板上部に吊上げ金具を固定してJIS K5600に準拠し、0,1,30,60サイクル毎に実施した。

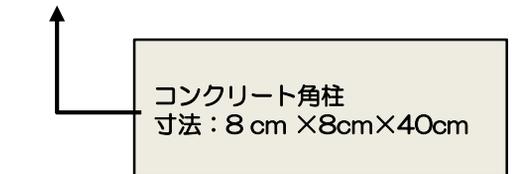


図-I-6-2 凍結融解試験装置に挿入した試験体

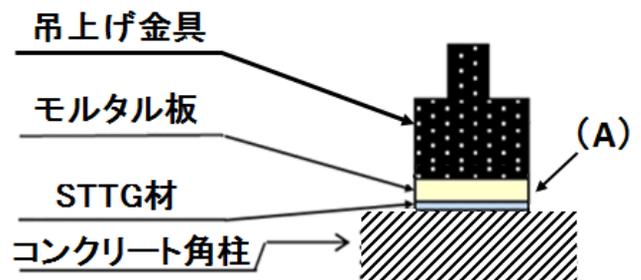


図-I-6-3 付着強度試験時の試験体

I-6. STTG材の凍結融解に伴う付着特性

4. 得られた結果

(1) 材料の付着強度

材料の付着強度は、図-4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/mm²）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。

(2) 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。

a. 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℃以下を超える回数を解析した。

b. 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-5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。

c. 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4mの位置では図-6の様に1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。

5. まとめ

以上より長野県のAダムに関して、凍結融解60サイクルは60年程度と考えられることから、付着強度の低下は実用上問題ないと考えられる。

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ラストブロック止水工事の概要: 電力土木, No.365, 2016.9
- 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
- 3) 佐藤巨, 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

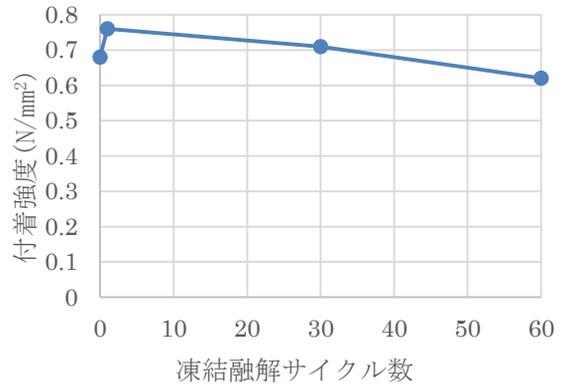


図-I-6-4 凍結融解サイクル数と付着強度の関係

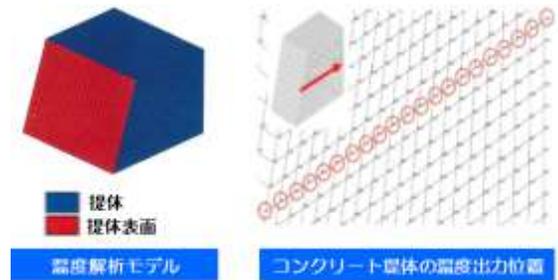


図-I-6-5: ダム堤体の解析モデル（左）、コンクリート堤体の温度出力位置（右）

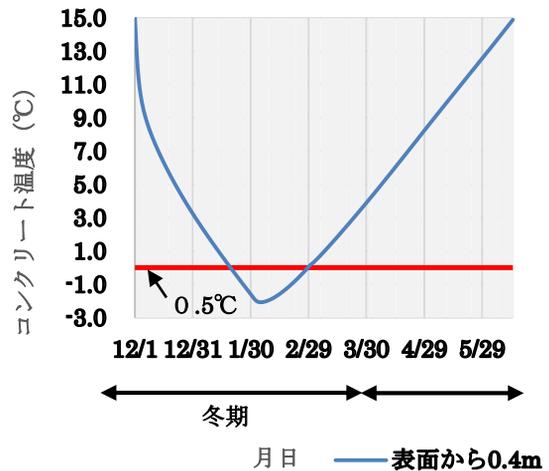


図-I-6-6 堤体内部のコンクリート温度の経時変化

I-7. STTG材の凍結融解に伴う引張特性

1. 目的

地下構造物からの漏水を確実に防止する工法として、石油樹脂・アクリル樹脂系材料をベースにして、硬化促進剤を混合した止水材を開発した(以下STTG材という)(図-1)。STTG材は石油樹脂・アクリル樹脂系材料を主材として、硬化促進剤と混合し、コンクリート構造物の漏水部へ注入するもので、施工は、図-1の様に両液をそれぞれ専用のポンプで圧送し、先端で混合攪拌し、当該箇所へ注入するものである。

硬化促進剤を添加することで素早く硬化し、硬化後も弾力性を有し、地震や温度変化により打継目やひび割れ等が開いても止水効果を発揮するものである。

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。本稿においては特に引張特性について述べる。

2. STTG材の概要

- (1)STTG材の成分を表-1に示す。標準的な配合として硬化促進材の重量は、主材に対し5%とした。
- (2)STTG材の要求性能である硬化時間は、表-2のとおりである。

3. 凍結融解試験の概要

(1)試験概要

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(8cm×8cm×40cm)を設置し、試験体を固定して、実施した。

(2)凍結融解試験

- 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。
- 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(8cm×8cm×40cm)を使用し、写真-1の様に試験片の上下をバンドにより固定した。また、試験体に凍結融解を均等に与えるためにコンクリート柱から試験体を定期的を外し、試験体の裏と表を反転させた。

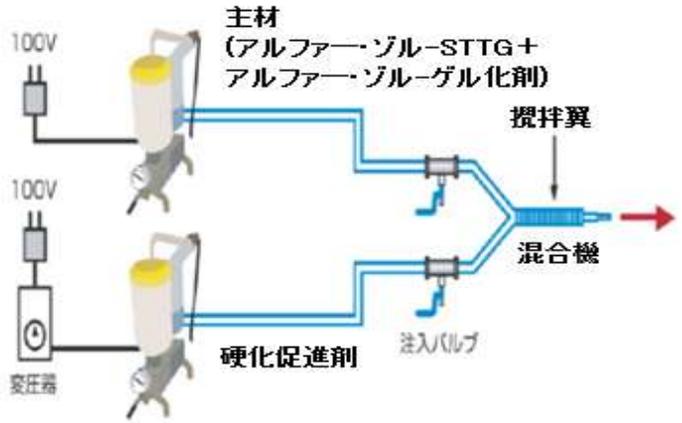


図-I-7-1 STTG工法の施工

表-I-7-1 STTG材の成分

主 材		硬化促進剤
アルファー・ゾル-STTG	アルファー・ゾル-ゲル化剤	ウレタンプレ
(主成分) 石油樹脂、アクリル樹脂 高分子アルコール	(主成分) 水溶性ポリイソシアネート	ポリマー

表-I-7-2 STTG材の要求性能

項 目	要求性能	設 定 根 拠
硬 化 時 間	5分~20分	漏水源に十分に材料が回り、確実に止水できる



写真-I-7-1 試験体のコンクリート柱への固定状況

I-7. STTG材の凍結融解に伴う引張特性

(3) 引張試験

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-2)。

材料の引張試験は、凍結融解0,1,30,60,150サイクル毎に実施した。



写真-I-7-2 引張試験の状況

4. 得られた結果

(1) 材料の引張強さ

材料の引張強さは、図-2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。

(2) STTG材の性状の変化観察

凍結融解サイクルを与えた試験体の一部を使用し、電子顕微鏡にて材料を最高500倍で撮影した。この結果、写真-3の様に凍結融解サイクルを受けても性状には変化は見られず、凍結融解の影響は少ないと考えた。

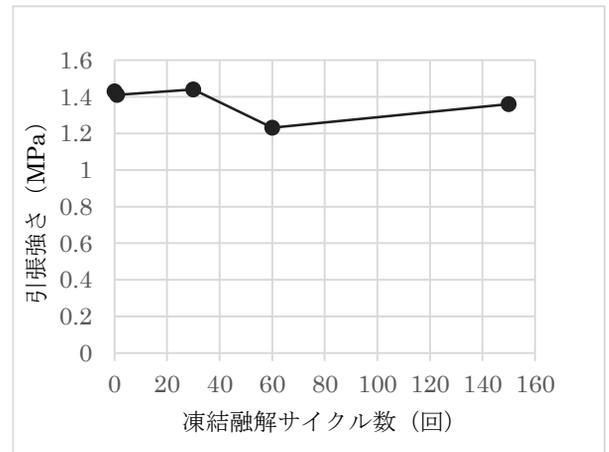


図-I-7-2 凍結融解サイクルと引張強さの関係

5. 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ず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。今後は、コンクリートとSTTG材が凍結融解履歴を受ける場合の付着強度特性等に関する評価を実施したい。 以上

引用文献

- 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
- 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

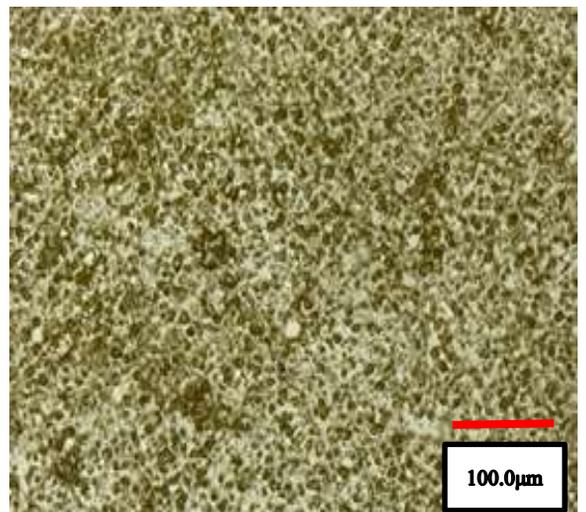


写真-I-7-3 凍結融解を受けた材料の顕微鏡による状況 (150サイクル)

I-8. ひび割れ中のSTTG材の止水性能

1. 試験材料

試験に使用する材料と主成分については表5-1試験材料の通りである。

表-I-8-1 試験材料

止水剤	主成分	摘要
試験剤C: -	A剤: 石油樹脂・アクリル樹脂高分子アルコール B剤: 水溶性ポリイソシアネート C剤: 水 硬化促進剤: ウレタンレホリマーポリイソシアネート 配合(主材)A:B:C=1:0.05:0.05 硬化促進剤 主材に対し5~10%	

2. 試験方法

水圧試験は、表6-1試験項目の通りクラック等からの漏水を想定し、幅0.2mm・0.5mm・1.0mmの隙間を設けた試験体に各止水材を充填し、水圧0.1MP~0.5MP昇圧させ、また、0.1MP毎に30分ずつ保持し止水材の漏水を目視で確認した。今試験において確認する水圧については、地下水位以下50mまでの構造物が受ける水圧を考慮し0.5MPまでを最大値とした。試験回数は試験体毎に1回ずつとし水圧試験を実施した。

表-I-8-2 試験項目

試験材料	試験内容		試験回数	摘要
試験剤C:	幅0.2mm 幅0.5mm 幅1.0mm	水圧(MP) 0.1→0.2→0.3→0.4→0.5 水圧は30分毎に保持させ昇圧する	各1回	

I-8. ひび割れ中のSTTG材の止水性能

3. 試験手順

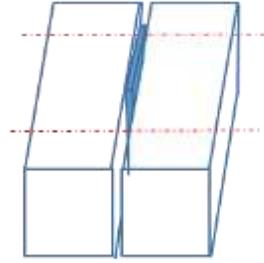
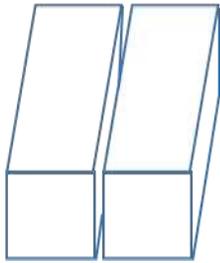
試験手順は以下の手順の通りである。

【手順】

① 100X100X400mmのコンクリートブロック2個に0.2mm、0.5mm、1.0mm厚の板を挟んで止水剤充填の隙間を設ける。

100X100X400コンクリートブロック

t = 0.2、0.5、1.0mm スパースー

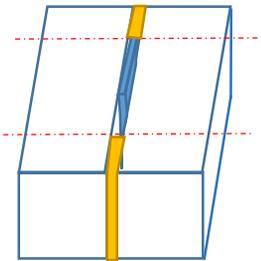


② コンクリートブロック同志の端部を接着剤で固定した後、スパースーを除去して、止水剤を充填する。

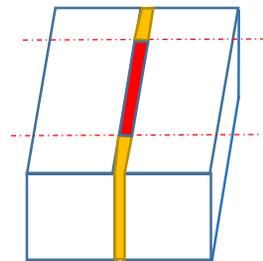
接着剤

スパースー

接着剤

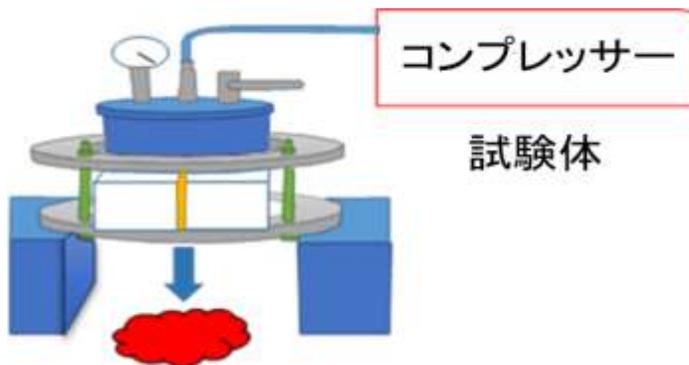


止水剤



上部より隙間に
止水剤を充填する

③ 加圧治具を設置し加圧容器内に水を注水する。コンプレッサーで所定の圧力をかける。



I-8. ひび割れ中のSTTG材の止水性能

4. 試験結果

試験結果を表8-1試験結果一覧表の通りである。

表-II-8-1試験結果一覧表

※OKは加圧中に漏水が無かったものを示す。

NGは加圧中に漏水があったものを示す。

接着剤からの漏水については試験を一時中断し漏水箇所を止水した後に再開した。

(試験剤C：0.2mm幅、0.5mm幅)

試験剤C：は幅0.2mm、0.5mm、1.0mm全てで漏水が無かった。

次頁以降に、試験時の写真を添付する。

表-I-8-1

試験材料	試験項目					結果	摘要	
	隙間	水圧 (MP)						
		0.1	0.2	0.3	0.4			0.5
試験剤C：-	幅0.2mm	OK	OK	OK	OK	OK	0.5MP以上	
	幅0.5mm	OK	OK	OK	OK	OK	0.5MP以上	
	幅1.0mm	OK	OK	OK	OK	OK	0.5MP以上	



写真-II-8-1

I-9. STTG材の電子顕微鏡写真

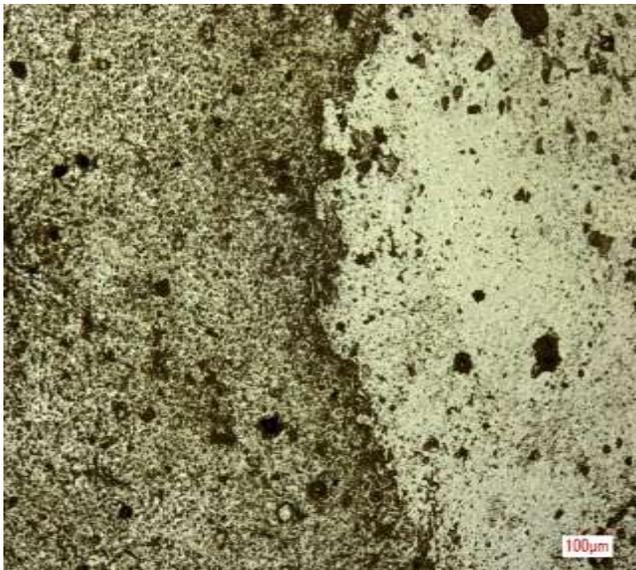
凍結融解サイクルを与えた試験体の一部を使用し、電子顕微鏡にて材料を最高500倍で撮影した。この結果、写真の様に凍結融解サイクル(0,30,60,150サイクル)を受けても性状には変化は見られず、凍結融解の影響は少ないと考えられる。



0サイクル



30サイクル



60サイクル



150サイクル

I-10. 気中と湿潤状態でのSTTG材のせん断特性

せん断強度試験の結果を表に示す。また、せん断応力と変位との関係を、図に示す。本試験結果から、STTG工法硬化体のせん断特性は、以下のように推定される。

気中養生：1.26N/mm²

湿潤養生：0.53N/mm²

硬化体が上記のような特性を有すると、幅1mの部材を貫通するひび割れをSTTG工法により補修を行うことで、水圧0.53MPaまで耐えることができると推定される。

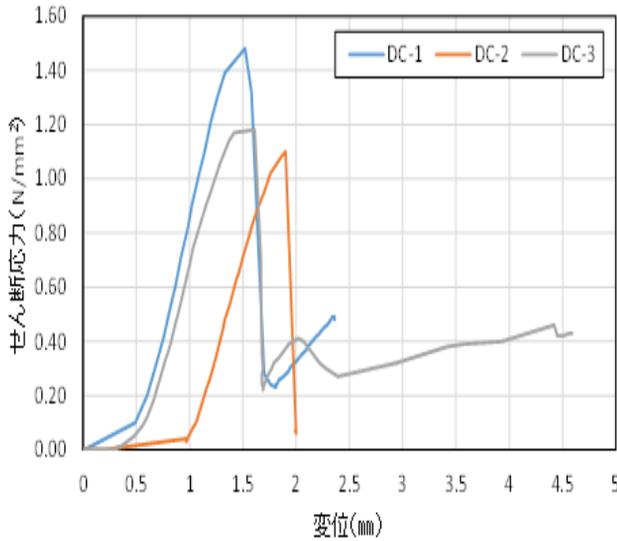


図-I-10-1

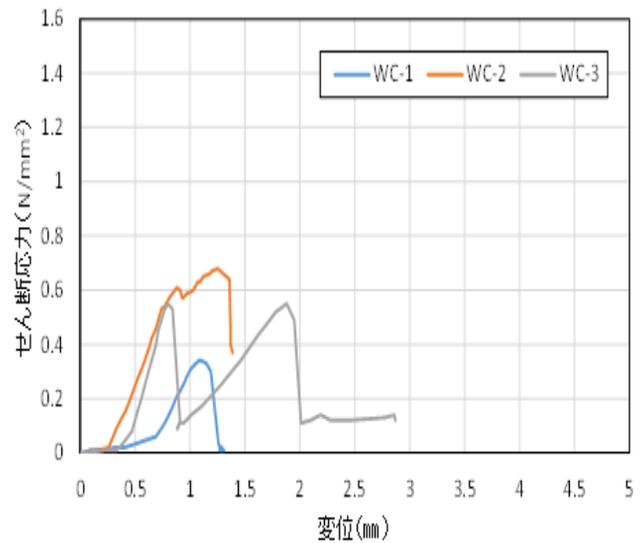


図-I-10-2

試験体名	最大荷重	せん断強度		最大変位
	(kN)	(N/mm ²)	平均	(mm)
DC-1	29.9	1.48	1.26	1.52
DC-2	22.2	1.10		1.90
DC-3	24.0	1.19		1.61
WC-1	6.96	0.35	0.53	1.10
WC-2	14.0	0.69		0.88
WC-3	11.1	0.55		1.88

表-I-10-1

I-1 1. 気中と湿潤状態でのSTTG材の付着特性

付着特性試験結果を、図に示す。本試験結果から、STTG工法硬化体の付着特性は、以下のように推定される。

気中養生：0.96N/mm²

湿潤養生：0.36N/mm²

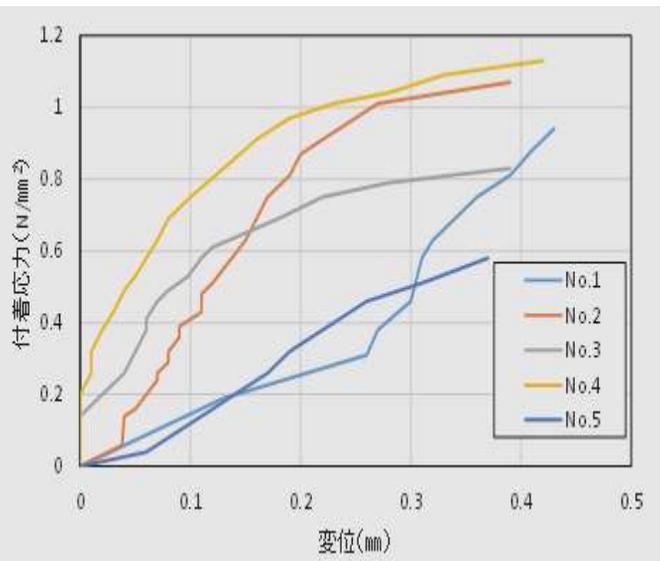


図-I-11-1

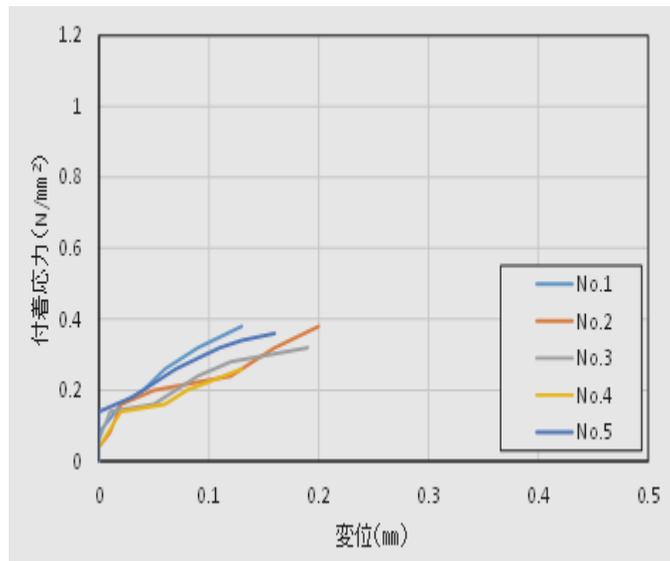


図-I-11-2

試験体名	最大荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)		最大変位 (mm)
		平均	平均※	
ADC-1	1.55	0.97	0.92	0.43
ADC-2	1.71	1.07		0.39
ADC-3	1.33	0.83		0.39
ADC-4	1.80	1.13		0.42
ADC-5	0.98	0.61		0.37
AWC-1	0.63	0.39	0.36	0.13
AWC-2	0.69	0.43		0.28
AWC-3	0.51	0.32		0.19
AWC-4	0.47	0.29		0.13
AWC-5	0.60	0.38		0.16

表-I-11-1

I-1 2. 海水を含む練混水によるSTTGの材料特性

1. 試験の目的

2. 実験方法

海水の平均塩分濃度が3.5%程度のことから、下記の順、配合で使用する希釈水に塩分を含有して配合実験を行い、ゲルタイムや粘度などの基本数値の相違の有無を確認する。

(塩分を含んだ水を使用してSTTG剤は作らないが、万が一塩分を含んでしまったことを仮定している。)

①材料の比率は主剤 (STTG) 100に対して、ゲル化剤5、希釈水5、硬化促進剤 (OH-1X) 5とする。

※塩分濃度は水量に対して0% 2% 3.5%の3ケース

②練り混ぜは、はじめにゲル化剤を同量の水または塩水で希釈、攪拌し、主剤に加えて30秒間ハンドミキサーで練り混ぜる。

③次に、②に硬化促進剤 (OH-1X) を加え20秒間ハンドミキサーで練り混ぜる。

④練り混ぜた材料を自然状態で保持し、デジタル粘度計で5分毎に粘度を測定し判定不能になるまで数値測定し、各3ケースの数値を比較する。

⑤試験後の硬化体サンプルはその後の経過観察を行うため1年間保管し、1か月ごとに目視で確認する。

I-1 2. 海水を含む練混水によるSTTGの材料特性

1.目的

より海水のある箇所（護岸など）でSTTGは適用できるのか、との声があり影響の有無を確認するため、試験を執り行うこととした。

2.試験方法

海水の平均塩分濃度が3.5%程度のことから、下記の順、配合で使用する希釈水に塩分を含有して配合実験を行い、ゲルタイムや粘度などの基本数値の相違の有無を確認する。

材料の比率は主剤（STTG）100に対して、ゲル化剤5、希釈水5、硬化促進剤（OH-1X）5とする。

※塩分濃度は水量に対して0% 2% 3.5%の3ケース

練り混ぜは、はじめにゲル化剤を同量の水または塩水で希釈、攪拌し、主剤に加えて30秒間ハンドミキサーで練り混ぜる。練り混ぜた材料を自然状態で保持し、デジタル粘度計で5分毎に粘度を測定し判定不能になるまで数値測定し、各3ケースの数値を比較する。

試験後の硬化体サンプルはその後の経過観察を行うため1年間保管し、1か月ごとに目視で確認する。



塩分含有希釈水



材料温度



粘度測定中

STTG通常配合比	STTG : ゲル化剤 : 希釈水 : 硬化促進剤(OH-1X)		
	100 : 5 : 5 : 5		
希釈水の塩分含有量	0%	2%	3.5%
	粘度(mPa・s)		
主剤単体		1860	
混合攪拌直後	4820	4640	5220
5分	10440	13120	13180
10分	35290	34810	35260
15分	75600	72900	83360
20分	ND	ND	ND
25分			
30分			

5.考察

今回の実験では、塩分濃度の違いによる粘性の変化はみられない。よって、海水がTTGに与える影響は無いといえるが、経年経過で硬化体の変化も確認が必要と思われるので、1か月毎に目視し12か月間観察を要する

II. 施工方法

Ⅱ-4. 各種試験によるSTTG材料の特性検証

硬化促進剤である親水性ウレタンプレポリマーの添加により、硬化後の主材の性能が要求を満たすかどうかの検証を行った。また、実際の施工を模擬した硬化様態、材料の隙間中での拡散性なども目視確認した。

1. 要求性能確認試験

引張強度と伸び性能、付着性能、ゲルタイム等について要求が満足されることを試験により確認した。

a. 試験方法

試験方法は表-Ⅲ-4-1に示す通り、主材に対する硬化促進剤の混合率と試験体温度をパラメータとした。

混合率を5%、10%、15%とし、それぞれの混合率ごとに試験体温度を10℃、20℃、30℃として試験を行った。硬化混合試験のみ混合率20%としたデータを追加した。引張特性試験ならびに付着強度試験については、完全硬化させた供試体により行い、1つのデータは5供試体の平均値（付着強度は最大最小値を除いて評価）とした。硬化混合試験（ゲルタイム）については1回の計測値とした。

以上詳細は表-Ⅲ-4-1に示す通りである。引張特性試験の状況を写真-Ⅲ-4-1に、付着強度試験の状況写真-Ⅲ-4-2に、硬化混合試験の状況を写真-Ⅲ-4-3に示す。

表-Ⅱ-4-1 試験方法

試験名	引張特性試験	付着強度試験	硬化混合試験
試験項目	<ul style="list-style-type: none"> 引張強度 破断時の伸び率 	<ul style="list-style-type: none"> 付着強度 	<ul style="list-style-type: none"> ゲルタイム 硬化様態
主材	<ul style="list-style-type: none"> アルファー・ゾル - STTG (100) アルファー・ゾル - ゲル化剤 (3~5) 水 (5) ※()は重量比% 		
硬化促進剤	ハイセルOH-1X (親水性ウレタンプレポリマー)		
試験条件	(a) 主材に対する硬化促進剤配合比率(重量比) 5%、10%、15% (硬化混合試験のみ20%を追加) (b) 供試体温度 10℃、20℃、30℃		
試験方法	JIS K 7161 「プラスチック引張特性の試験方法」による	建研式付着試験機による剥離応力測定	容器に試料を入れて逆向きに流れ落ちなくなる時の経過時間、発泡状態の観察
特記事項	1 データは5供試体の平均値		1 データは1回計測値

Ⅱ-4. 各種試験によるSTTG材料の特性検証

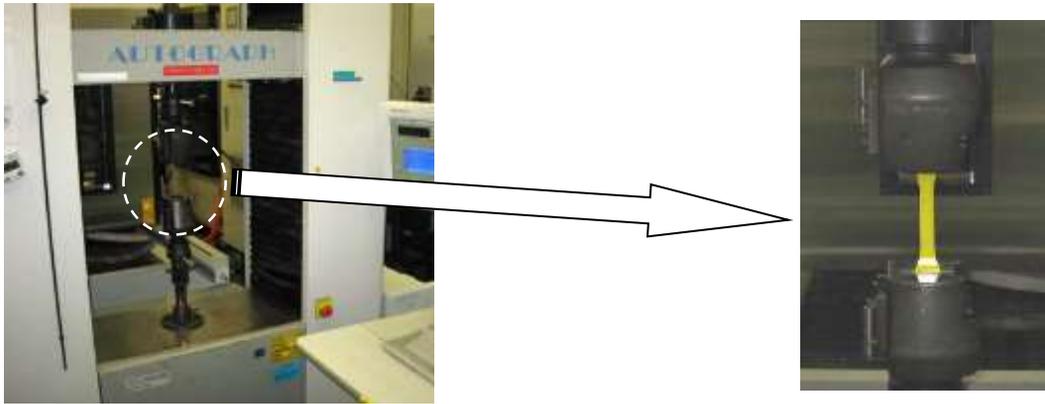


写真-Ⅱ-4-1 引張強度試験状況

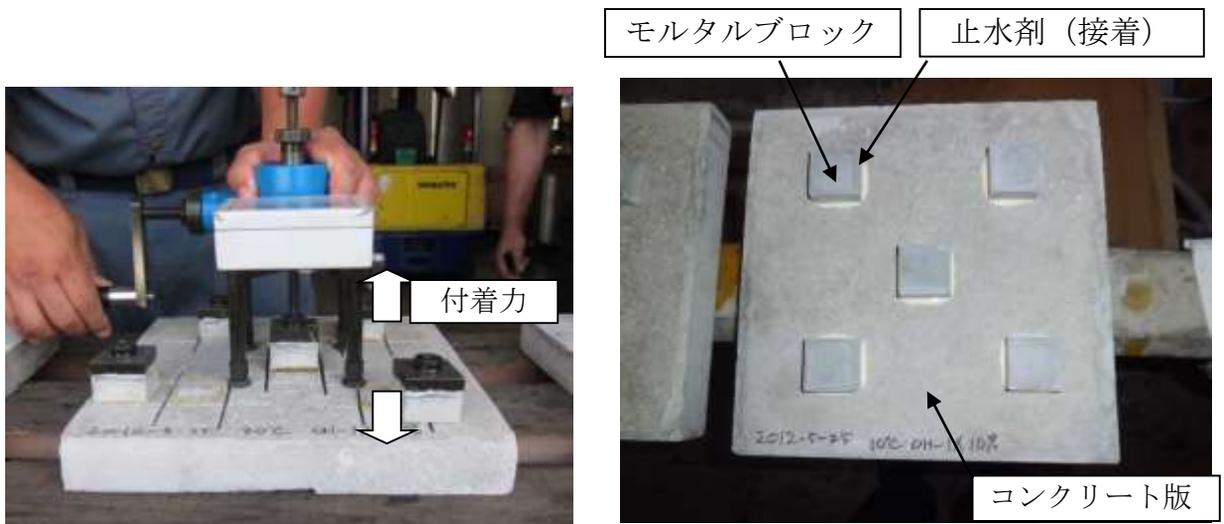


写真-Ⅱ-4-2 付着強度試験状況



写真-Ⅱ-4-3 硬化混合試験状況

Ⅱ-4. 各種試験によるSTTG材料の特性検証

2. 模擬注入試験

実際の注入装置を用いて模擬注入を行った。アクリル板とコンクリートの隙間（1mm）に注入を行いその硬化様態、隙間の中での材料の広がり等の確認を行った。試験装置の概要を図-5に示す。

硬化促進剤の吐出量が主材の吐出量の8%（重量比）となるようポンプ吐出量を制御して注入した。別経路で隙間に水も注入し漏水状態を再現した。

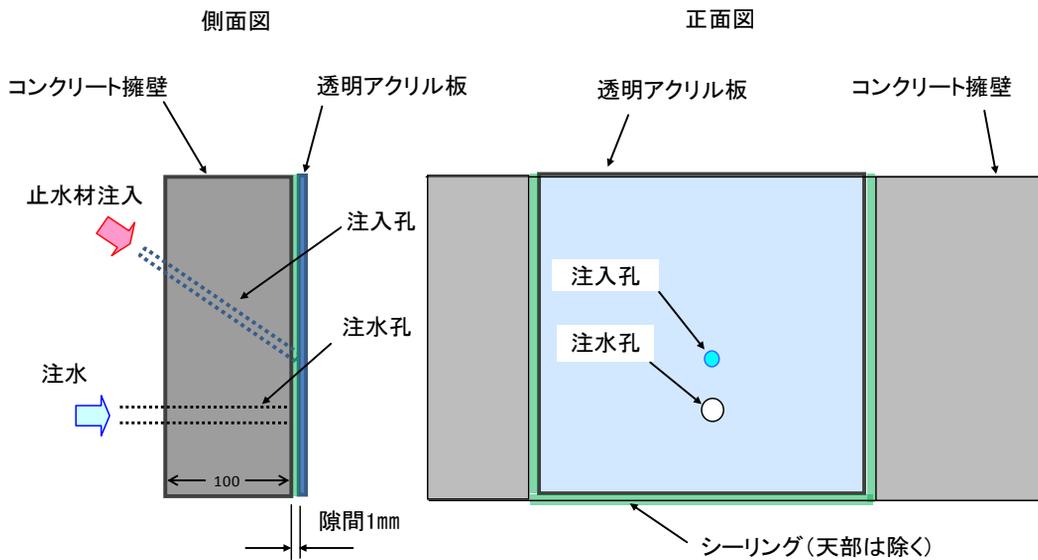


図-Ⅱ-4-5 試験装置概要

この条件で試験した結果、水を押しのけて拡散し、徐々にゲル化する様子が確認された。注入ノズルから混合液を採取しゲルタイムを測定した結果12分であった。試験状況を写真-Ⅲ-4-5に示す。



写真-Ⅱ-4-5 模擬注入試験状況

Ⅱ-4. 各種試験によるSTTG材料の特性検証

上記の試験より1ヵ月後にアクリル板を引き剥がし硬化体の性状を確認した。この結果、隙間や材料やせは発生しておらず、均質な硬化体が形成されていることを確認した。また十分な伸び、付着を有していることも確認した。引き剥がした状態を写真-6に示す。



写真-Ⅱ-4-6 引き剥がした状況

3. 試験結果のまとめ

- ①本止水材は、材料温度が10℃から30℃の範囲でかつ、硬化促進剤混合率が5%から15%の範囲で、引張強度、伸び性能、付着強度ともに要求品質を満たすことを確認した。
- ②混合率が多いほど、供試体温度が高くなるほどゲルタイムは早くなる。
- ③供試体温度10℃のケースではゲルタイムが遅くなり、混合率5%では要求性能を満たさない。
- ④混合率10%以下では発泡しないが、10%を超えると発泡が著しい。
- ⑤混合率を8%とした模擬試験により、施工時の拡散性、ゲルタイム、硬化後の材料特性に問題がないことを確認した。

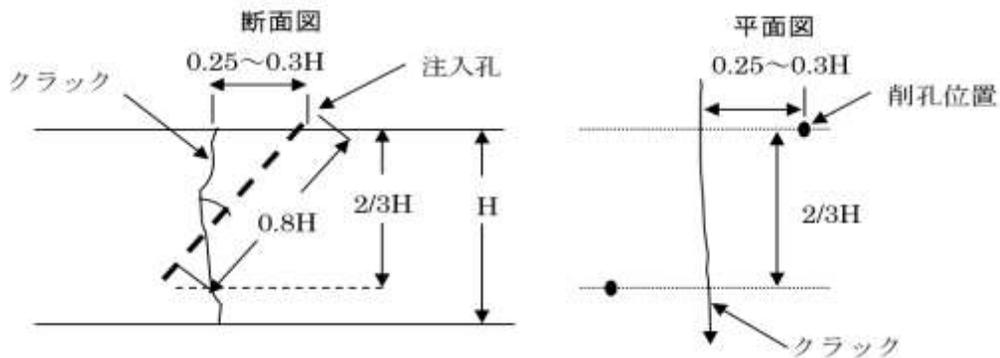
以上の結果から、硬化促進剤混合率は5%から10%にて施工すれば良いと考えられる。しかし、材料温度の低下が懸念される場合は、ゲルタイムが要求を満たさなくなることが示されたため、硬化促進剤を5%より多くするか、材料の温度を10℃より高くすることを検討する必要がある。

II-5. 施工手順

①注入孔削孔

- ・漏水の発生している目地やひび割れに対して直径10mmの孔を、漏水原因の水みちと交差するように削孔する。（削孔角度は目地やひび割れに対して入角30度程度とする）
- ・削孔間隔、削孔深さはコンクリート躯体の形状、厚さ等で個別に検討する必要があるが、概ね削孔間隔・削孔深さ共にコンクリート躯体厚さの2/3程度を標準とする。
- ・削孔は、ひび割れに対して左右に千鳥に行うことを基本とするが、打ち継ぎ目や現場状況により千鳥削孔ができない場合は、個別に検討する。
- ・削孔時に発生した切り粉はエアブロー又は水洗いにて念入りに除去する。

《洞道の削孔例》



《個別検討が必要な事例》

○建物等、躯体厚が450mmを超える場合

- ・削孔間隔および削孔深さを洞道と同じ2/3Hにすると、削孔間隔が広すぎる等の原因により、クラックへの止水剤の充填が不十分になることから、個別に検討する。

○躯体裏への材料の流出を少なくする場合

- ・止水剤を注入する躯体の裏面への材料流出を少なくする必要がある場合は、個別に削孔長の検討をする。

○シールド洞道のセグメントの継ぎ目を止水する場合

- ・シールド洞道においてリング間等、セグメントの継ぎ目を止水する場合は、通常どおりの削孔では、鉄筋に当たり施工が困難な場合が多いため、削孔方法について個別に検討

②注入ピン取付け

- ・削孔した穴に注入用ピン（注入用高圧パッカー）を取り付け、回転により締め付ける。

③止水剤注入

- ・取り付けした注入ピンにSTTG用Y字ノズルをセットし、主材（アルファー・ソル - STTGとアルファー・ソル - ゲル化剤および水）と硬化促進剤（親水性ウレタンプレポリマー）を別々の系統でポンプ圧送し、STTG用Y字ノズル先端で攪拌混合しながら注入する。

- ・主材に対し硬化促進剤の配合率（重量比）が5%～10%の範囲で混合できるよう、予め硬化促進剤注入ポンプに備えた流量調節装置を調整する。

- ・冬季の施工では主材の温度が20℃を下回らないよう、ウォーマー等を用いて加温する。

- ・注入は、クラックからの材料のリーク状況や注入圧力の状況、漏水の減少具合等を確認しながら行う。

Ⅱ-6. 材料配合、圧力管理

(1) 配合

主材：アルファード・ソル-STTG100に対し、アルファード・ソル-ゲル化剤3~5、水5（重量比）

【ロッド当たりの配合例】

アルファード・ソル-STTG	4.0kg
アルファード・ソル-ゲル化剤	0.2kg
水	0.2kg

配合方法は、アルファード・ソル-ゲル化剤と水を混合し（混合方法は、へらで均等に混ぜる）、その後アルファード・ソル-STTGに添加して攪拌機で2~3分練り混ぜる。

硬化促進剤：ハイセルOH-1X（主材に対し5%~10%）（重量比）

【ロッド当たりの配合例】

主材4.4kg（STTG4kg+ゲル化剤0.2kg+水0.2kg）に対して、ハイセルOH-1X 0.35kg（主材に対し8%の場合）

(2) 注入圧力の管理

注入圧力の上限は、コンクリートの強度を考慮して30MPaとする。
実現場では注入圧力の状態として次の3つのパターンがある。

- ① 出口圧力が上限に達し、そのままポンプを稼働せず保持しても、圧力が下がらないケース。
- ② 出口圧力が上限に達し、そのままポンプを稼働せず保持すると圧力が徐々に低下し、やがて注入の継続が可能となるケース。
- ③ はじめから圧力が立ち上がらず注入量のみ増加するケース。

これらのうち①は、その注入孔がクラックに達していないか、または既に別の注入孔から材料が迂回充填され、これ以上材料が入らないケースのため、その注入孔からの注入は継続しないで良い。次の注入孔に移行する。

②は注入の標準的なパターンであり、止水剤のリークが表面に見られない場合は、一度下がった圧が上限に立ち上がるまで、断続的または継続的に注入する。

止水剤のリークが表面に見られる場合は、リークする止水剤の量と注入量が同等程度になるまで注入する。ただし、クラックが大きい等により、止水剤のリークのほかに漏水がみられる場合は、他の注入孔からの注入や急結セメントモルタルでクラックを仮埋めする等の対策を施す。

③はクラックの空隙が大きい場合である。漏水が止まらない場合は、基本的には注入を継続して良いが、長時間注入圧力が上がらない場合は、裏側空洞等に材料が逸脱していると考えられるため、一旦注入を中止し漏水状況の変化を確認する。

漏水が継続し、止水剤の混入がみられる場合は、他の注入孔を先に注入する等の対策を実施し、更なる注入を継続する。

削孔時点では、目地内部の状況は把握困難であるため、削孔ピッチを標準とし、上記の状況を適時判断しながら順次注入を繰り返していく。

躯体の品質が悪い場合は、圧力によりコンクリートにまれに微小な表面クラックが生ずる場合があるので、注入中の監視を怠らないこと。また、そのようなクラックが発生した場合、注入を中止する。

Ⅲ. 安全データシート等

Ⅲ-1. STTG材料(アルファ・ソルG)の防水膜の耐薬品性

アルファソルSTTG防水膜を各薬品、溶剤に20℃にて7日間含浸後に測定

薬品名	試験結果
水道水	異常なし
海水	異常なし
塩化ナトリウム	異常なし
苛性ソーダ	異常なし
塩化カリウム	異常なし
塩化カルシウム	異常なし
アンモニア水	異常なし
セメント飽和水	異常なし
酢酸	異常なし
A重油	やや不良
10%硫酸	やや不良
10%塩酸	やや不良

Ⅲ-2. 水質分析結果

分析項目	試験結果
水素イオン濃度	異常なし
生物化学的酸素要求量	異常なし
化学的酸素要求量	—
浮遊物質	異常なし
n-ヘキサン抽出物質含有量	異常なし
窒素含有量	異常なし
よう素消費量	異常なし
外観（色調）	無色透明
外観（濁り）	濁り無
カドミウム及びその化合物	異常なし
鉛及びその化合物	異常なし
六価クロム化合物	異常なし
砒素及びその化合物	異常なし
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	異常なし
ほう素およびその化合物	異常なし

Ⅲ-2. 水質分析結果

試験項目	試験結果
カドミウム及びその化合物	検出されない
水銀及びその化合物	検出されない
セレン及びその化合物	検出されない
鉛及びその化合物	検出されない
ヒ素及びその化合物	検出されない
六価クロム化合物	検出されない
シアン化物イオン及び塩化シアン	検出されない
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	異常なし
フッ素及びその化合物	検出されない
ホウ素及びその化合物	検出されない
四塩化炭素	検出されない
1,4-ジオキサン	検出されない
1,2-ジクロロエタン	検出されない
シス1,2-ジクロロエチレン及びトランスシス1,2-ジクロロエチレン	検出されない
ジクロロメタン	検出されない
テトラクロロエチレン	検出されない
トリクロロエチレン	検出されない
ベンゼン	検出されない
ホルムアルデヒド	検出されない
亜鉛及びその化合物	検出されない
アルミニウム及びその化合物	検出されない

Ⅲ-2. 水質分析結果

試験項目	試験結果
鉄及びその化合物	検出されない
銅及びその化合物	検出されない
ナトリウム及びその化合物	検出されない
マンガン及びその化合物	検出されない
塩化物イオン	異常なし
蒸発残留物	異常なし
陰イオン界面活性剤	検出されない
非イオン界面活性剤	検出されない
フェノール類	検出されない
有機物(全有機炭素(TOC)の量)	6.6 (基準値0.5 mg/L)
味	測定不能
臭気	異常なし
色度	異常なし
濁度	異常なし
エピクロロヒドリン	検出されない
アミン類	検出されない
1.4-トルエンジアミン	検出されない
1.6-トルエンジアミン	検出されない
酢酸ビニル	検出されない
スチレン	検出されない
1.2-ブタジエン	検出されない
1.3-ブタジエン	検出されない
N.N-ジメチルアニン	検出されない

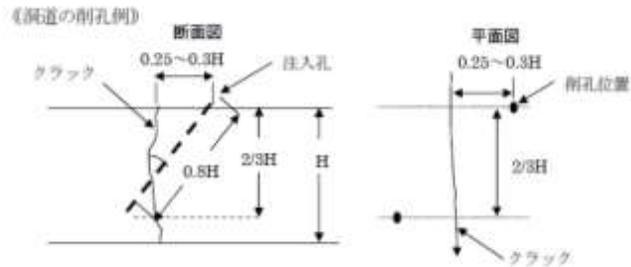
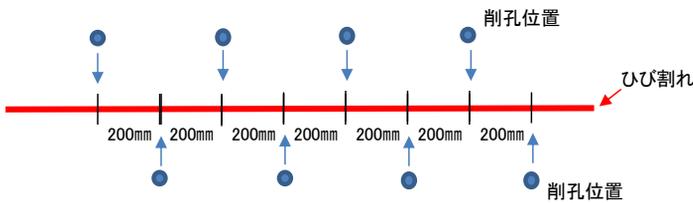
IV. 効果確認

5. コア採取による注入効果確認

効果確認実施箇所

- ・ M6D-M7D ①480m付近 天井部、右壁 ②500m付近 天井部、左壁

注入ピン設置標準



削孔位置の算出

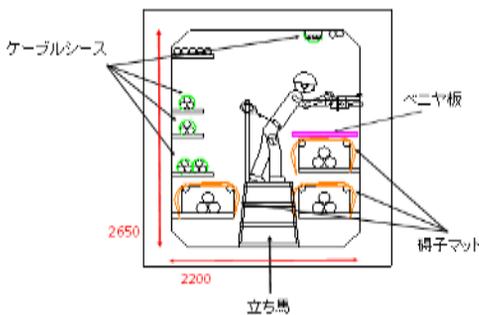
躯体厚をHとし、削孔位置を算出する。

		躯体厚 H	削孔長 0.8H	亀裂との離隔 0.3H	削孔間隔 2/3H
M6D - M7D	天井部	250mm	200mm	75mm	167mm
	側壁	250mm	200mm	75mm	167mm

【 削孔写真 】



		M6D → M7D							
		①480m付近				②500m付近			
コア採取箇所	ひび割れ位置	天井部		右壁		天井部		左壁	
	ひび割れ幅 (mm)	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
コア採取数量 (本)		1	1	1	1	1	1	1	1
		合計 8							



5. コア採取による注入効果確認

①M6D-M7D 480m付近天井部 ひび割れ漏水補修結果

ひび割れ漏水補修 施工前

ひび割れ漏水補修 施工後

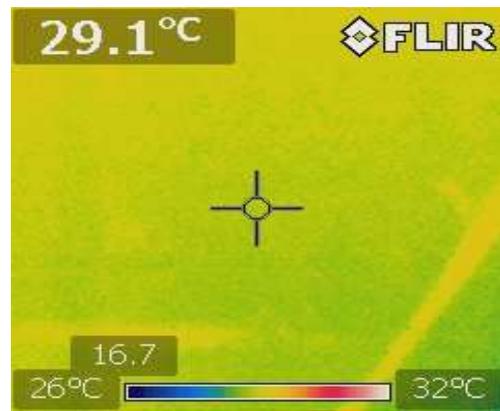
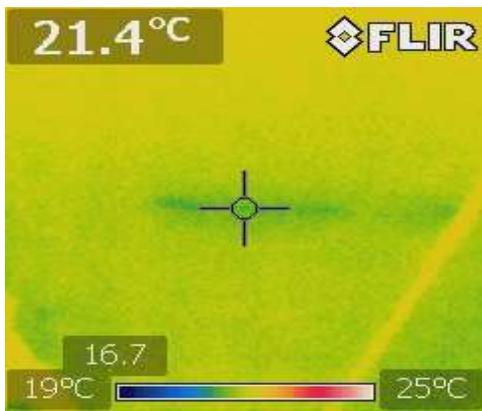
ひび割れ幅

①
W=0.2mm

天井部



サーモグラフィ



正面部



側面部



面部



削孔部



5. コア採取による注入効果確認

②M6D-M7D 500m付近左壁 ひび割れ漏水補修結果

ひび割れ漏水補修 施工前



ひび割れ漏水補修 施工後



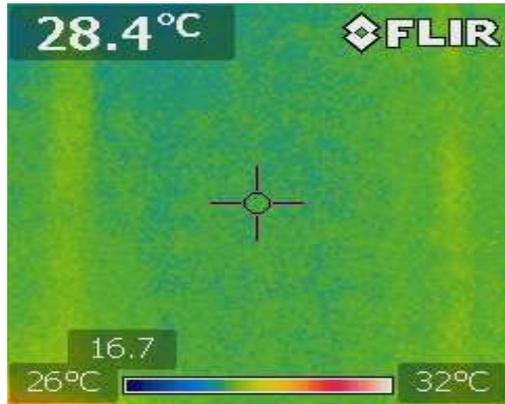
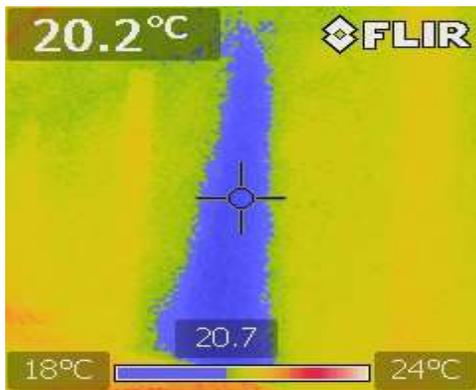
ひび割れ幅

①
W=0.2mm

左壁



サーモグラフィ



正面部



側面部



面部



削孔部



IV-2. ひび割れ漏水補修結果と考察

○ひび割れ漏水補修結果

コンクリート表面ひび割れ幅0.1mm~0.2mmのひび割れ漏水に対してのS T T G工法による止水を確認した。

○充填状況確認結果

ひび割れ幅0.2mmではS T T G材の充填を確認した。

ひび割れ幅0.1mmではコンクリート表面より50mmまでのS T T G材の充填を確認した。

○考察

・コンクリート表面ひび割れ幅0.1mmの場合、内部のひび割れ幅は0.1mm以下となり、S T T G材は入りにくくなるため注入時間が長くなり、注入圧力も高くなる。ただし、注入圧力を高くすると、注入圧力によってコンクリートが割れ、ひび割れ幅は増大する。

・ひび割れ漏水補修では、コンクリート内部のひび割れ状態（ひび割れの進行方向、貫通の有無）が不明なことから、注入ピン設置標準（200mmピッチ、千鳥設置）では注入時間が長くなり、注入圧力も高くなるため、注入ピンの設置間隔は狭くする必要がある。

V. 供用中の発生ひび割れ

V-1. 供用中の発生ひび割れの場合

〔1〕 施工で漏水がない状態での潜在的な要因

(1) コンクリートの打継ぎ目

- ① 打設時の一体化の不足
- ② 止水板などによる構造上の弱点

(2) コンクリートの目地

- ① 目地近傍の一体化の不足

〔2〕 経年変化に伴う漏水の発生原因

周辺地盤の不等沈下、温度変化に伴う繰り返し伸縮、地震による変位、材料の劣化などにより、コンクリート打継ぎ目の目開き、目地材の劣化、新たなコンクリート亀裂の発生などがあり、これにより漏水が発生する。

■ 漏水延長の拡大理由

〔1〕 漏水延長の施工事例

漏水延長の拡大は、止水施工中に漏水箇所を止めるとクラック、目地の延長上または近傍に漏水が移動するためほとんどのケースで発生している。

〔2〕 漏水延長の拡大の理由

- ・ コンクリート打継ぎ目については、打継ぎ目全体が一体化の不足等により弱点となっているので、漏水箇所を止めた場合、打継ぎ目に沿って漏水

が移行する可能性が高い。

- ・ コンクリートの目地については、目地材の経年劣化、目地近傍の一体化の不足などにより漏水箇所を止水した場合、目地に沿って漏水が移行したり、近傍の目地に移行する可能性が大きい。

- ・ 新たにコンクリート躯体に発生した亀裂は、引張力、せん断力によるものであり、亀裂の延長線上はコンクリート耐力以上の力を受けた可能性が高く、漏水箇所を止水した場合、亀裂の延長線上に新たに漏水が移行する可能性が大きい。

(3) 注入圧によるコンクリート構造物の健全部への影響は、水を注入材に置換するため注入圧を水圧よりやや高めに設定するが、これによる影響はほとんどない。

【漏水補修の設計数量の算出の基本】

設計数量は漏水箇所のみでなく、漏水範囲の拡大を考慮する必要がある。具体的な数量は、後述する着眼点を参考にして、構造物、目地などの劣化状況、漏水量、漏水圧などを考慮して算出する。

【具体的な設計数量の着眼点】

○ 打継ぎ目の場合

- ・ 小規模円形トンネルでは、漏水延長が全周の1/4程度でも施工状況を勘案して設計数量として半断面、全断面を設計数量とする。

- ・ ボックスカルバート及びマンホールなどの場合、施工継ぎ目の一部が漏水しても施工継手端までを設計数量とする。

- ・ 断面が変化する付近での漏水延長、止水設計長を断面変化部までを設計数量とする

○ 供用中に発生するひび割れの場合

- ・ 現状での漏水延長の周囲のコンクリート状況を確認し、微細ひび割れが集中している範囲を設計数量とする。