

## 4. ポーラスレジンサンド（PRS）を用いた目地充填工法の開発 と施工例

Development of joint filling method using porous resin sand and its construction example

松井 亮夫\*<sup>1</sup> 今井 琢海\*<sup>1</sup>

### 要 旨

本工法の開発にともない実施した一連の実験結果や施工例により、骨材とファイバー樹脂を混合したポーラスレジンサンド（PRS）を目地内に充填することで、ポーラス機構を形成してひび割れ挙動を吸収し、様々な不具合の発生を未然に防止できることが分かった。GBRC 建設材料技術性能証明を取得した PRS 目地充填工法は、建設業界が抱える多くの問題点を解決できる材料のひとつと考えられ、今後の積極的な活用が期待される。

キーワード：ポーラスレジンサンド／目地充填材／ひび割れ分散／クロス直貼り／カッター目地

#### 1. はじめに

本工法は、珪砂とファイバー樹脂を混合して製造した材料（ポーラスレジンサンド、Porous Resin Sand、以下 PRS と称す）をコンクリート表面に設けた目地内に充填（写真-1）することで、目地形状の変形にあわせ、PRS の持つポーラス機構（空隙：写真-2）により、PRS の内部に加わる圧縮力や引張力を吸収する。とくに引張時においては、ひび割れそのものが分散するため、日々の目地幅の広狭による繰り返し挙動に伴い発生する PRS 内部および表面のひび割れ幅を、一定値以下に制御できる。よって、この躯体表面に直貼りクロス仕上げ等を施した後も、仕上げ面の亀裂を防止することを可能とする工法である。本報では、工法開発にあたって種々行った実験のうち、PRS の材料特性試験と模型実験について詳細に述べ、実建物における施工例についても紹介する。

#### 1.1 工法開発の経緯

建物のクロス直貼りの仕上げ層に亀裂等の不具合が発生すると、美観上および耐久性上の問題に発展することがあり、使用者のみならず、事業主・設計者や施工者において最も防止したい現象の一つである。近年、CCB 工法<sup>[1][2][3]</sup>（図-1）による収縮ひび割れ誘導精度が向上し、90%以上の高い確率で目地内に誘導（写真-3）できるようになった。しかし、RC 造や SRC 造の建物において、コンクリート躯体表面にクロス直貼りによる仕上げを施す場合、コンクリート躯体に生じる

ひび割れを制御するために有効となる CCB 工法は、主として意匠上の目地を見せたくないという事業主の要求に対し、目地内に充填する有効な材料がなかったため、積極的に実施されてこなかった現状がある。これまでの代表的な目地充填材料である、モルタルを充填した場合は、目地の挙動を拘束することとなり、コンクリートとモルタルの接着界面に肌分け（写真-4）が生じ、クロスや塗装仕上げ表面にその亀裂が露見する。

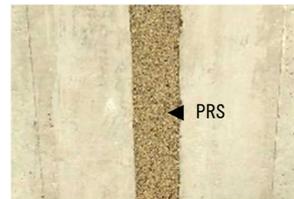


写真-1 PRS を用いた目地充填



写真-2 PRS のポーラス機構

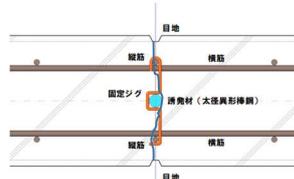


図-1 壁 CCB 工法の水平断面

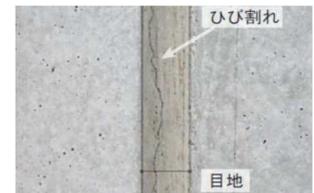


写真-3 同左 ひび割れ誘導



写真-4 モルタルの肌分け



写真-5 シーリングの凹み

\*<sup>1</sup> 技術研究所調査研究グループ

表-1 PRS の物性試験結果<sup>[4] [5] [6]</sup>

試験項目	形状	数量	平均値
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	φ50×100mm	3	12.6
静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	φ100×200mm	3	5.53
曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	□40×40×160mm	3	8.01
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	φ50×100mm	3	2.69
接着強さ (N/mm <sup>2</sup> )	□40×40×10mm	5	0.3
長さ変化率 (収縮,×10 <sup>4</sup> )	□40×40×160mm	3	126 (182日)
質量減少率 (%)	□40×40×160mm	3	0.2 (182日)
線膨張率 (×10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	φ50×100mm	1	18.4

一方、伸縮性を重視してシーリングを充填した場合は、体積減少によって躯体表面より凹み(写真-5)が進行してクロス表面にしわが寄り、指で押さえると窪む等の現象が発生する。したがって、目地を充填した仕上げ表面の亀裂、しわ、窪みを防止するためには、目地形状の変化に対し、一定のひび割れ分散性、接着力、圧縮強度および体積減少が小さい材料で充填することが重要となる。表-1に、PRSの物性試験結果を示す。

1.2 工法の開発目的

本工法では、躯体コンクリートに設けられた目地に珪砂とファイバー樹脂を混合して製造したPRSによってポーラス機構が形成され、コンクリートとPRSの接着界面に亀裂は生じず、仕上げ面に亀裂、しわ、窪みが生じない状態が構築できる(図-2)。このように、壁等のコンクリート躯体表面に設けた目地への充填材料による不具合防止技術を提供することが、本工法の開発目的である。

1.3 使用材料

現場での混合時のばらつきをなくすため、使用材料はすべてプレパック包装している(写真-6)。

(1) PRS樹脂【主剤(繊維入り)：硬化剤=3：1】

繊維化合成樹脂(エポキシ系樹脂※)

(2) プライマー【主剤：硬化剤=2：1】

繊維化合成樹脂(エポキシ系樹脂※)

(3) 珪砂(1000℃で焼成)

リバースサンドNo.5(東海リテック株式会社)

※エポキシ系樹脂：ビスフェノールA型(一般に、飲料用水道管の継手接着や缶コーヒーの内張り剤に使用するもので安全性を確認済み)

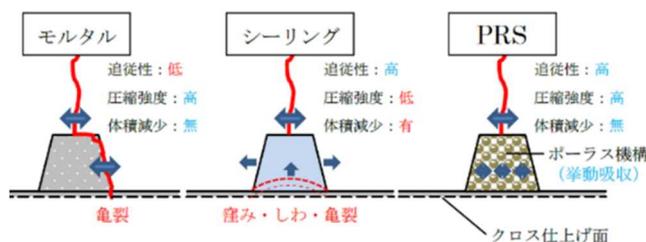


図-2 目地充填材の比較図

2. PRSの材料特性試験

PRSは変形追従性、ひび割れ分散性、窪み変形のし難さ、界面の接着力などが期待され、目地の充填材料として適していると予測された。しかし、PRSの目地部における各性能を定量的に評価するためにはデータが十分でなかった。そこで、PRSの構造的な材料特性を検証し、目地部でのPRSの性能について定量的に評価できる資料を得ることとした。

2.1 PRSの接着性試験

2.1.1 試験概要

PRSの接着性能を把握するため、PRSと鋼板を接着した試験体接着面に対し、鉛直方向の引張力を加える引張試験を行った。また、JISB7721による圧縮試験を行った。

引張試験体は、チャッキング用ネジ棒をねじ込むナットを溶接した鋼板(43×43×13mm)にPRSを挟み込んで2面接着した形状とした。ひずみゲージは小型(貼付けベース長さ3mm)とし、PRSの厚み方向に隙間なく1列に貼り付けた。貼り付け面は、1組の相対するPRSの側面とした。チャッキング用ネジ棒には変位測定用のボルトを取り付け、πゲージにてボルト間の変位を計測した。引張試験体の形状を図-3に、表-2に試験体リストを示す。パラメータは、PRSの厚さおよび載荷方法とし、厚さはPRS接着面間距離で、3mm,6mm,9mm,18mm,24mmとし、載荷方法は単調(M)と繰返し(C)とした。一方、圧縮試験体は、薄鋼板製モールド(φ50×100mm)を用いた。



写真-6 使用材料のプレパック包装

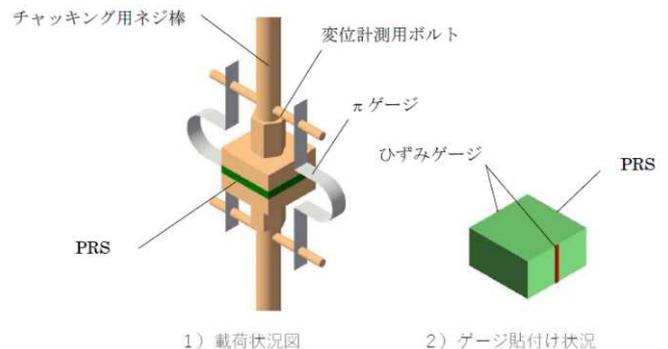


図-3 引張試験体の形状

表-2 引張試験体リスト

試験体名	用途	厚さ (mm)	載荷方法
W03M-1~2	壁用	3	単調
W06M-1~3		6	
W09M-1		9	
W18M-2		18	
W24M-1		24	
W09C-1	繰返し	9	繰返し
W24C-1		24	



写真-7 製作状況

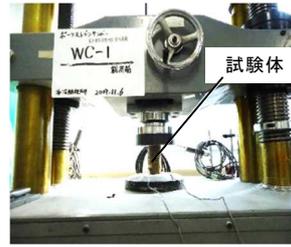


写真-8 圧縮試験装置



写真-9 引張試験装置

2.1.2 試験体製作

PRS は、骨材である珪砂 4 号と繊維入りエポキシ系樹脂 (主剤, 硬化剤) とを混合した材料である。プライマーは繊維入りエポキシ樹脂と同一のものとした。試験体製作状況を写真-7 に示す。

2.1.3 試験方法

PRS の圧縮試験は、JISB7721 の 7.試験機の等級に規定する 1 等級以上の圧縮試験機を用いて行った。写真-8 に圧縮試験装置を示す。PRS の引張試験は、油圧チャッキング装置を備えた油圧サーボ式材料強度試験機 (島津製作所, サーボパルサー) を用いて行った。引張試験は、0.05mm 当たり 300s の載荷速度での単調引張試験と、壁体の温度ひずみを模した載荷速度 (0.05mm/13800s) の 1.5 サイクルの繰返し引張試験を行った。繰返し載荷サイクルを図-4、引張試験装置を写真-9 に示す。

2.1.4 試験結果

(1) 圧縮試験結果

圧縮試験の結果を表-3 に示す。PRS の圧縮強度は 17.49N/mm<sup>2</sup>、弾性係数は 9260N/mm<sup>2</sup>であった。

(2) 引張試験結果

表-3 圧縮試験結果

試験体名	部位	直径×高さ (mm)	最大荷重 (kN)	最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大荷重時ひずみ (μ)	最大荷重時平均ひずみ (μ)	各弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
WC1	壁	50×100	32.41	16.51	17.49	-1027	-1150	14361	9260
WC2			34.63	17.64		-1272	-2336	7550	
WC3			35.96	18.31		-1398	-4838	5870	
						-1402			

表-4 引張試験結果

試験体名	用途	厚さ (mm)	載荷方法	破壊モード	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)	最大荷重時ひずみ (μ)	最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	
W03M-1	壁用	3	単調	材料内	2.95	0.227	-286	1.60	
W03M-2		3		材料内	4.44	0.244	179	2.40	
W06M-1		6		材料内	5.32	0.160	190	2.88	
W06M-2		6		材料内	3.91	0.196	137	2.11	
W06M-3		6		上面	4.60	0.379	-156	2.49	
W09M-1		9		材料内	4.24	0.181	170	2.29	
W18M-2		18		材料内	3.35	0.261	86	1.81	
W24M-1		24		材料内	4.29	0.173	138	2.32	
W09C-1		9		繰返し	材料内	4.64	0.159	-51	2.51
W24C-1		24			材料内	5.11	0.407	189	2.76

表-5 2成分形ポリウレタン系シール材の引張接着性能 [7][8][9][10][11]

製品	タイプ JIS A 5758の種類	体積損失 (%)	最大引張応力 (対アルミ 養生後23°C) (N/mm <sup>2</sup> )	最大引張応力 (対モルタル 養生後23°C) (N/mm <sup>2</sup> )
A社製	F-25LM-8020(PU-2)	5.7	0.36	0.37
B社製	F-25LM-8020(PU-2)	6.4	0.44	0.33
C社製	F-25LM-8020(PU-2)	6.0	0.87	—
D社製	F-25LM-8020(PU-2)	4.1	0.50	0.50
E社製	F-25LM-8020(PU-2)	7.6	—	0.55

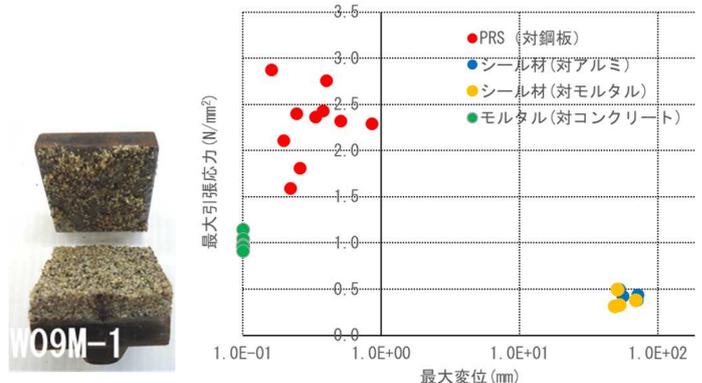


図-5 最大引張応力-最大変位の関係 [12]



写真-10 破壊面の例

図-5に、最大引張応力と最大変位の関係を示す。2成分形ポリウレタン系シーリング材の最大引張強度の値は0.33~0.87 N/mm<sup>2</sup>であった。また、モルタルは0.91~1.15 N/mm<sup>2</sup>であった。同様に、PRSは1.60~2.88 N/mm<sup>2</sup>であった。これにより、PRSの接着力は、2成分形ポリウレタン系シーリング材やモルタルを上回ると考えられる。

2.1.6 まとめ

PRSの接着特性を以下に示す。

- 1) 接着面間の距離に関わらず、接着応力は1.60~2.88N/mm<sup>2</sup>であり、1 N/mm<sup>2</sup>以上であった。
- 2) 引張強度は、圧縮強度の1/10程度となった。
- 3) 一定の変位まで剛性は低いが、その変位を超えると剛性が急に上昇し破壊に至った。

2.2 PRS 目地露出面の陥没抵抗性試験

2.2.1 試験概要

PRSの陥没抵抗性能を把握するために圧縮試験を行い、縦ひずみと横ひずみを計測して、その数値からポアソン比を算出し、PRSが壁目地内で受けるひずみに対して直交する方向のひずみを推定した。ポアソン比が低いほど窪み変形がし難く、目地部での不陸が生じ難くなると考えられた。試験パラメータは、PRSの圧密レベルとした。

圧縮試験体は、直径50mm高さ100mmの円筒形とし、縦ひずみ計測用ゲージ2枚、横ひずみ計測用1枚の計3か所にひずみゲージ(PL-60-11)を貼り付けた。圧縮試験体を図-6に示す。

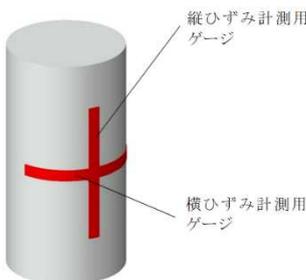


図-6 圧縮試験体



写真-11 打設状況

2.2.2 試験体製作

PRSは、骨材である珪砂4号と繊維入りエポキシ樹脂(主剤、硬化剤)とを混合した材料である。試験体の圧密レベルは、型枠に打設する材料の重量によって差をつけた。型枠に材料を自然落下で打設したものを圧密レベル1試験体とした。圧密レベル1試験体の重量に対して、同じサイズの型枠に1.05倍の重量の材料を打設したものを圧密レベル2試験体とした。同じく、

1.10倍の重量の材料を打設したものを圧密レベル3試験体とした。各々の圧密レベル試験体は3体ずつ製作した。写真-11に打設状況を示す。

2.2.3 試験方法

PRSの圧縮試験は、JISB7721の7.試験機の等級に規定する1等級以上の圧縮試験機を用いて行った。

2.2.4 試験結果

圧縮試験から得られた圧縮応力-縦ひずみ・横ひずみ関係の例を図-7に示す。圧縮試験結果を表-6に示す。ただし、圧密レベル3試験体は参考試験体にとらえていたため、圧縮応力-縦ひずみ関係のみを計測した。実験時の材齢は12日であった。

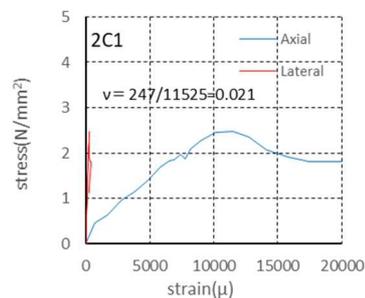


図-7 圧縮応力-縦・横ひずみ関係の例

表-6 圧縮試験結果 (圧密レベル別)

試験体名	圧密レベル	直径×高さ (mm)	最大荷重 (kN)	最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大荷重時圧縮ひずみ (μ)	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	平均弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 (2000μ時)	平均ポアソン比 (2000μ時)
W1C1	1	50×100	4.34	2.21	1.99	10455	211	181	0.107	0.087
W1C2			3.45	1.76		15260	115		0.073	
W1C3			3.91	1.99		8045	248		0.080	
W2C1	2		4.86	2.48	2.84	11525	215	247	0.053	0.064
W2C2			5.23	2.66		5150	517		0.119	
W2C3			6.62	3.37		12115	278		0.021	
W3C1	3		7.20	3.67	3.88	10055	365	383	—	—
W3C2			7.82	3.98		11555	345		—	
W3C3			7.81	3.98		9045	440		—	

2.2.5 考察

表-7に、建築用2成分形ポリウレタン系シーリング材とPRSの体積損失を示す。PRSの体積損失は、試験で得たポアソン比と長さ変化試験の目標値を用いて算出した。

表-7 体積損失の比較 [7][8][9][10][11]

製品	タイプ JIS A5758の 建築用シーリング材の種類	体積損失 (%)
A社製シーリング材	F-25LM-8020(PU-2)	5.7
B社製シーリング材		6.4
C社製シーリング材		6.0
D社製シーリング材		4.1
E社製シーリング材		7.6
AOIトーマス株式会社製 壁用PRS ポアソン比:0.064 長さ変化試験目標値:400μ	非該当製品	0.39

表-7より、調査した2成分形ポリウレタン系シーリング材の材料自体の乾燥による収縮の体積損失平均値は5.96%となり、同様にPRSは0.39%となった。これらの値を用いて、底辺×高さ×上辺が20mm×20mm×30mmの両ころびの目地が三面接着された時、目地上面の沈み込みを計算して比較した。なお、計算方法が複雑になるため、単純に高さの平均変位を算出した。PRSに関しては、目地高さを3,000mmとして、この長さの目地材が高さ方向に収縮した時の目地深さ方向の変位を計算した。

図-8 に、乾燥による目地陥没量（計算値）を示す。2成分形ポリウレタン系シーリング材の目地陥没量は-1.14 mm、PRSは-0.078 mmとなった。

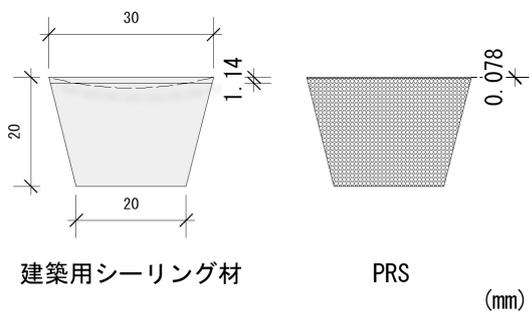


図-8 乾燥による目地陥没量（計算値）

材料自体の乾燥収縮に起因した体積損失による目地上面の沈み込み以外に、目地幅が変位した時の目地上面の沈み込みも考えられた。そこで、汎用解析ソフトmidas iGenによるFEM解析で、目地の断面形状を板要素で分割した目地断面モデルに対し、強制的にほぼ最大と考えられる目地内ひび割れ幅の0.4mm変位を与えて、目地の沈み込みを求めた。

解析条件を表-8に、解析結果を図-9に示す。解析パターン1,2,3,4それぞれの目地沈み込み変位の最大値は、-0.084mm,-0.044mm,-0.037mm,-0.055mmとなった。

強制変位による沈み込み変位は、材料自体の乾燥による沈み込み変位の1/10以下であった。そのため、見かけ上の沈み込み変位は、2成分形ポリウレタン系シーリング材ではPRSと比較すると著しく大きいと考えられる。PRS沈み込み変位の最大値は、乾燥時の変位-0.078mmと強制変位による沈み込み変位の和となる。強制変位による沈み込み変位は、0.4mmの強制変位でひび割れ位置の違いで-0.037mmと-0.055mmとなったが、いずれの時点でも目地断面内にひび割れが発生することで応力の再配分が生じるため、この変位は大幅に小さくなり、沈み込み変位は-

0.02mm程度（0.2mm強制変位時相当）に留まると考えられ、沈み込み変位の最大値は-0.1mm以下と考えられる。このことより、PRSの陥没抵抗性により顕著な凹みは生じないと考えられる。

表-8 強制変位による目地沈み込み解析条件

解析パターン	材料	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	0.4mm幅クラック位置
1	建築用シーリング材	0.081	0.45	中央
2				目地底縁
3	PRS	247	0.064	中央
4				目地底縁

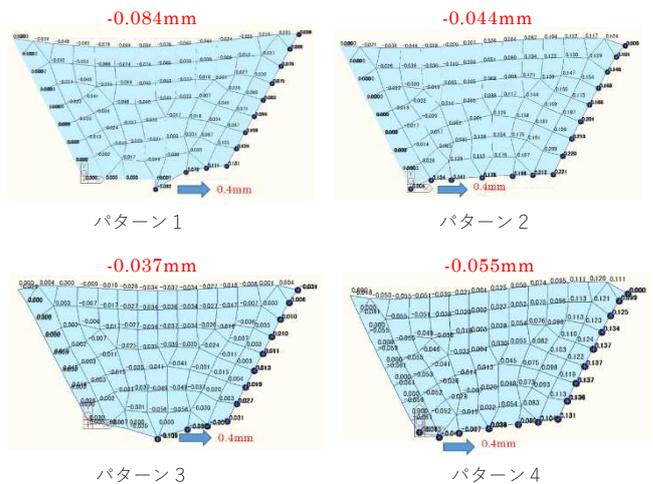


図-9 解析結果

## 2.2.6 まとめ

圧密レベル1~3のPRSの圧縮性能、陥没抵抗性能を以下に示す。

- 1) 圧縮強度は、1.99~3.88N/mm<sup>2</sup>であった。
- 2) 圧縮強度時の圧縮ひずみは10000μを超えた。
- 3) 弾性係数は181~383N/mm<sup>2</sup>程度であった。
- 4) 圧縮ひずみが2000μ付近の時、陥没抵抗性（ポアソン比）は0.064~0.087程度であった。  
(参考：コンクリート0.2, 鋼材0.3, ゴム0.5)
- 5) 圧密レベルが高くなるほど圧縮強度が高くなった。
- 6) PRS目地露出面の窪み変形は0.1mm以下であるため、クロス貼りに影響しない。

## 2.3 PRSのひび割れ分散性試験および応力解析

### 2.3.1 試験概要

PRSのひび割れ分散性能を検証する基本データを取得するため、材料の直接引張試験を行った。試験では引張ひずみを計測し、応力-ひずみ関係を把握した。試験パラメータはPRSの圧密レベルとした。

引張試験体はブリケット型とし、くびれ部分に特殊ジグを設置できるものとした。引張断面は1辺が1inchの正方形で、断面積は645mm<sup>2</sup>であった。引張ひずみ計測用に、ひずみゲージ(PFL-30-11)を試験体の表裏両面に貼り付けた。試験体の形状を図-10に示す。また、表-9に試験体リストを示す。

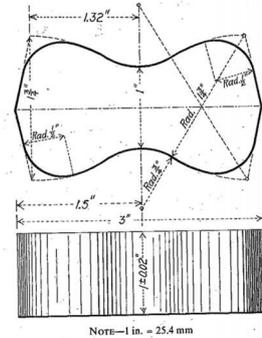


FIG. 2 Briquet Specimen for Tensile Strength Test.  
図-10 試験体の形状<sup>[13]</sup>

表-9 試験体リスト

圧密レベル	載荷履歴	数量 (体)
1 (1.00)	単調引張	3
	繰返し引張	3
	予備	3
2 (1.05)	単調引張	3
	繰返し引張	3
	予備	3
3 (1.10)	単調引張	3
	繰返し引張	3
	予備	3

### 2.3.2 試験体製作

2.2節の陥没抵抗性能試験と同様に、試験体の圧密レベルは、型枠に打設する材料の重量によって差をつけた。型枠に材料を自然落下で打設したものを圧密レベル1とし、圧密レベル1の試験体の重量に対し、同じサイズの型枠に1.05倍の重量の材料を打設したものを圧密レベル2試験体、同じく、1.10倍の重量の材料を打設したものを圧密レベル3試験体とした。各々の圧密レベル試験体は3体ずつ製作した。図-11に打設状況を示す。



図-11 打設状況



図-12 載荷装置

### 2.3.3 試験方法

PRSの引張試験は、2.1節の接着性能試験と同様に、油圧チャッキング装置を備えた油圧サーボ式材料強度試験機を用いて行った。図-12に載荷装置を示す。

### 2.3.4 試験結果

引張試験から得られた引張応力-引張ひずみ関係を図-13に示す。引張強度では圧密レベル1, 2では大きな差は無かった。引張強度時ひずみは1000μ前後であった。引張強度と試験体重量との関係を図-14に示す。引張強度と試験体重量は正の相関関係が見られた。

図-15にブリケット試験体の比重と圧密比の関係を示す。実施工における適切な締固め度合いは、目地形状による圧密比の目標値として、比重で1.00~1.07倍、圧密比で1.08~1.16であることが分かった。

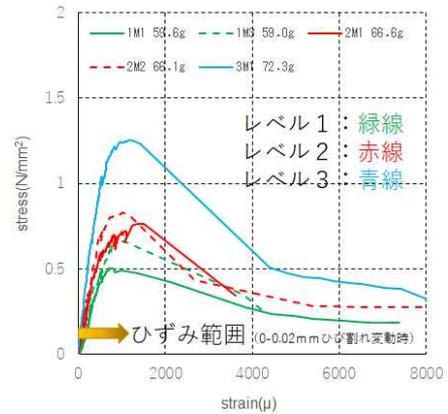


図-13 応力-ひずみ関係 (単調載荷)

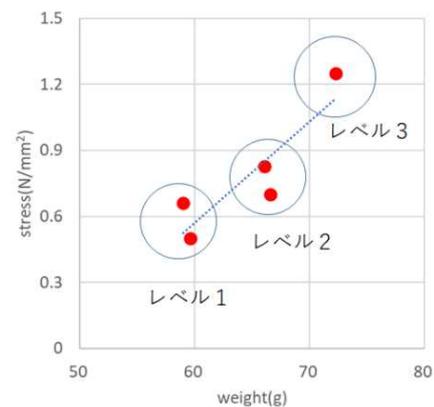


図-14 引張強度-重量関係

### 2.3.5 考察

鉄筋コンクリート壁の誘発目地部には、目地埋め材料を充填する。充填するタイミングは施工工程によって変わるが、一般的にはコンクリート打設数か月後となる。この壁に発生する収縮ひび割れのほとんどは、

表-10 解析パターンの諸元

解析パターン	材 料	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	目地側面 引張剛性 (N/mm)	目地底面 せん断剛性 (N/mm)	強制変位幅 (mm)	想定クラック位置
1	建築用シーリング材	0.081	0.45	70.4	298	0.02	中央
2							目地底縁
3							中央
4	目地底縁						
5	中央						
6	目地底縁						
7	PRS	619	0.064			0.2	中央
8							目地底縁
9	建築用シーリング材	0.081	0.45			0.4	中央
10							目地底縁
11	PRS	619	0.064				中央
12							目地底縁
13	モルタル	2.06×10 <sup>4</sup>	0.2				中央
14							目地底縁

表-11

界面開き

界面開き1 (mm)	界面開き2 (mm)
0	0
0	0
0.005	0.005
0.002	0.006
0.01	0.01
0.007	0.012
0.051	0.049
0.025	0.063
0	0
0	0
0.097	0.097
0.061	0.121
0.194	0.194
0.143	0.244

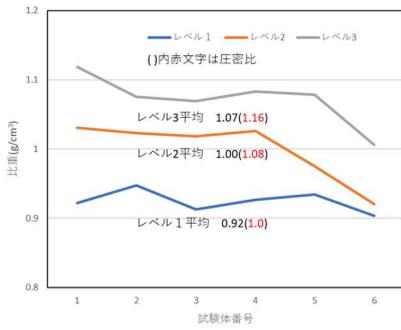


図-15 ブリケット試験体の比重と圧密比

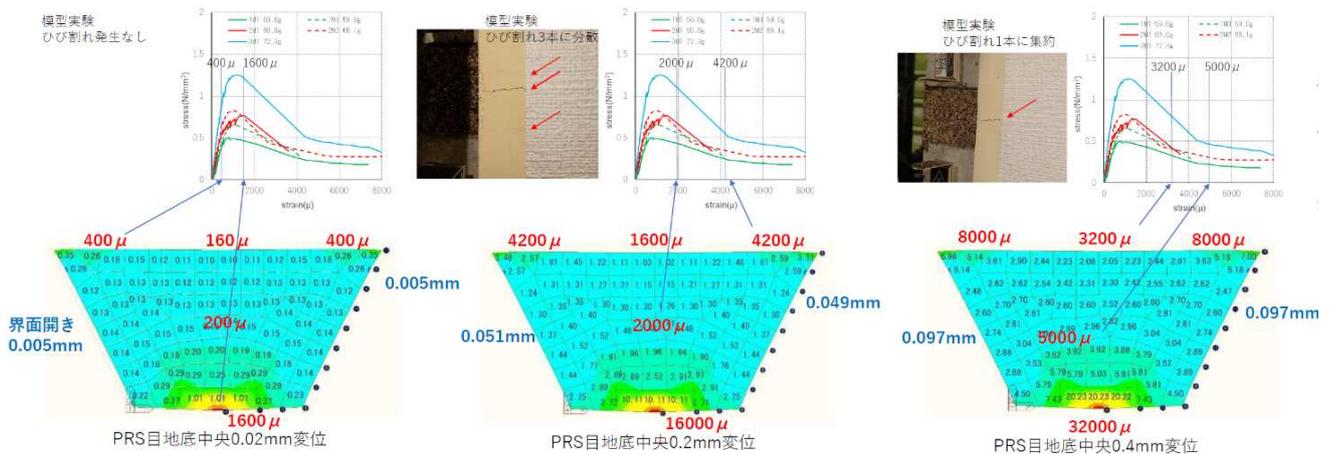


図-16 応力解析結果

打設後のこの期間に発生し終わる。しかし、希にこの期間を経過した後にひび割れが誘発される場合がある。そこで、以下の条件で midas iGen による応力解析を行った。本解析ではこの状況を考慮し、目地底にひび割れ発生後、壁の収縮で生じるひび割れ幅の変位の最大値 0.02mm と、初期ひび割れ幅の想定最大値 0.4mm<sup>[14][15][16]</sup>を強制変位のパラメータとした。また、目地底の初期ひび割れ発生位置を目地中央および目地底縁と想定し、位置パラメータとした。一連の材料実験および既往の文献から得た建築用シーリング材、PRS、モルタルの弾性係数、ポアソン比、界面の各剛性を反映させ、代表的な目地断面（辺×高さ×上辺が 20×20×30mm）を採用した。材料は完全弾性体とした。解析パターンの諸元を表-10 に示す。

表-11 に解析で得られた 2 面の目地側面の界面開きを示す。PRS の界面の開きは、モルタルの界面の開きの概ね 1/2 以下であった。PRS の界面開きは 0.02mm の強制変位で 0.002mm~0.006mm であった。同様に 0.4mm の強制変位では 0.061mm~0.121mm であった。

図-16 に、強制変位を与えた目地断面の水平方向の PRS の応力解析結果を示す。PRS の 0.02mm の強制変位時では、想定ひび割れ点（中央）では引張強度に達するひずみが発生した。しかし、引張試験で引張強度に達しても明確なひび割れは確認できず、ひずみ軟化域で引張強度の 50% 程度の応力になって初めて明確なひび割れが発生した。このことから、解析値の時点ではひび割れは発生しないと推測された。また、上面両端部付近に応力が高くなる領域が発生した。これは 0.4mm の強制変位時でも同様の応力分布傾向が見られた。ひび割れは応力の高い領域を結ぶラインでも発生すると考えられ、目地中央と目地両端付近に 3 本のひび割れが発生する PRS 目地のひび割れ分散現象を裏付けるものと考えられた。この傾向は 0.2mm 強制変位時も同じであった。

### 2.3.5 まとめ

PRS の引張試験と応力解析の結果を以下に示す。

- 1) PRS は締固め度合いによって引張強度が変化した。
- 2) 実施工における適切な締固め度合いは、目地形状

- による圧密比の目標値として、比重で 1.00~1.07 倍、圧密比で 1.08~1.16 であることが分かった。
- 3) PRS の引張強度は  $0.6\sim 0.9\text{N/mm}^2$  であった。
  - 4) 従来のモルタルでは目地界面の開きが著しかった。
  - 5) 応力解析結果から、PRS のひび割れ分散性能の裏付けが得られた。目地ひび割れ  $0.02\text{mm}$  変位では、PRS にひび割れが生じないことが分かった。目地ひび割れ  $0.2\text{mm}$  変位では、PRS に複数のひび割れが生じることが予測され、目地ひび割れ  $0.4\text{mm}$  変位では、PRS には目地ひび割れを起点に著しいひび割れが生じることが予測された。上記により、目地幅の変化が  $0.4\text{mm}$  まではひび割れ分散性能を有することが予測された。

### 3. PRS の模型実験

本実験では、コンクリート壁に設けられたひび割れ誘発目地部分に直貼りされたクロス仕上げを対象とした。今回、目地部分に PRS を充填した試験体を製作し、目地底に生じたひび割れによる日々の挙動を模擬した繰り返し変位に対する模型実験を行うこととした。

#### 3.1 クロス直貼り仕上げ繰り返し変位試験

##### 3.1.1 試験概要

図-17 に試験体概要、図-18 に目地部断面を示す。試験体コンクリートの一方のひび割れ面には鋼板が仕込まれている。また、引張方向の荷重のみでなく、圧縮方向の荷重も実施したいと考え、PRS 施工前にひび割れ面に厚さ  $0.3\text{mm}$  のナフロンテープを挿入し、試験時にナフロンテープを引き抜くことでひび割れ面に隙間を設けるように考慮していたが、本試験では引き抜くことができなかった。試験体両面の目地部分に PRS を充填した後、乾燥養生を行い、試験体両面に不陸調整のパテ塗り、クロス直貼り仕上げを行った。

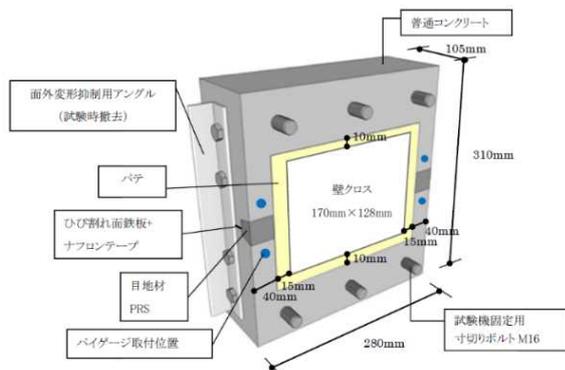


図-17 試験体概要

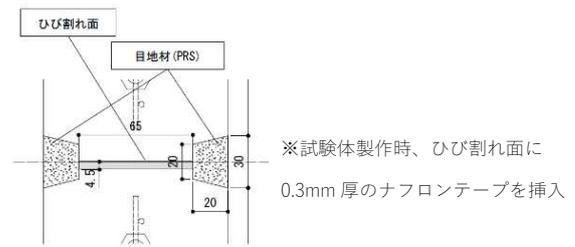


図-18 目地部断面

##### 3.1.2 試験方法

図-19 に試験体設置状況を示す。試験は、精密万能試験機 (インストロン 5982) を使用し、繰返し変位に対する確認試験を行った。測定項目は、コンクリート側面のひび割れ幅 (パイ型変位計により前面 2 箇所、背面 2 箇所を計測)、インストロンクロスヘッド変位、荷重、壁クロスの破れ、変色・変形 (影) とした。コンクリート側面のひび割れ幅、インストロンクロスヘッド変位、荷重は、マルチ入力データ収集システム NR-600 (キーエンス社製) により計測した。壁クロスの破れ、変色・変形 (影) は目視により観察・記録した。

載荷スケジュールは変位 0 をゼロ点とし、インストロンクロスヘッド変位  $\pm 0.1\text{mm}$  の正負繰返し載荷とした。載荷は変位制御で行い、 $0.2\text{mm/秒}$  ( $0.5\text{Hz}$ ) の速度とした。目地底に生じたひび割れは、1日に1回挙動するため、10年間繰返し相当にあたる 3650 回を 2 回に分けて試験した。3650 回の繰返し試験終了後、載荷速度を  $0.02\text{mm/分}$  に落とし、再度 3 回の繰返し試験を行った。これは時間を掛けて徐々に変形が発生する PRS の性質を確認するため、載荷速度の遅い試験を実施した。その後、クロスが破断するまで単調漸増載荷を行った。

載荷スケジュールを決めるにあたり、実建物の目地部挙動の計測値を参考とした。図-20 に変位計設置状況、図-21 に目地部の挙動計測結果 (標準期) を示す。標準期における 1 日最大変位は、PRS 有の引張側最大で  $0.008\text{mm}$  (PRS 無: 最大  $0.01\text{mm}$ ) であった。全体傾向としては、充填後約 1 か月は充填材の有無による変位に大きな違いは見られなかったが、それ以降、PRS 有は変位 0 付近でほぼ変化がなく、PRS 無は変位  $0.01\text{mm}$  付近で上下に推移していた。以上のことから、戸境壁目地部へ PRS を充填することで、日々の建物の膨張収縮によるひび割れ挙動を吸収できると推察された。また、過去の屋外冬季における 1 日最大変位の計測結果は、PRS 有の引張側最大で  $0.04\text{mm}$  であった。

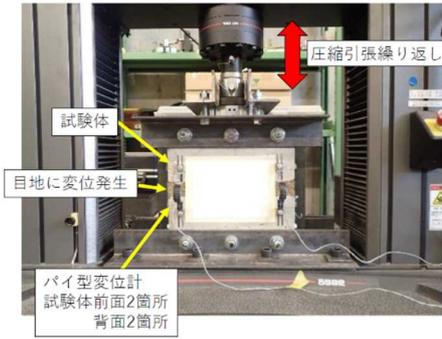


図-19 試験体設置状況

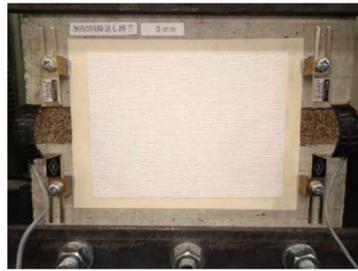


写真-12 3650 回繰り返し完了

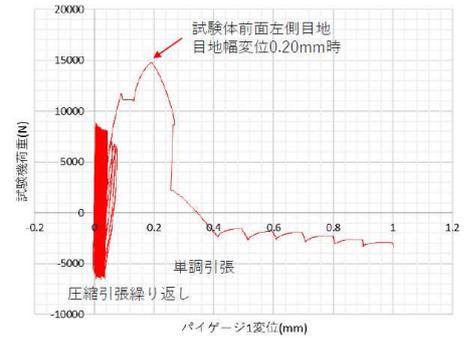


図-22 試験機荷重-パイゲージ1変位関係

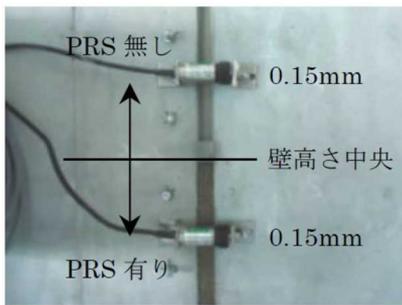


図-20 変位計設置状況

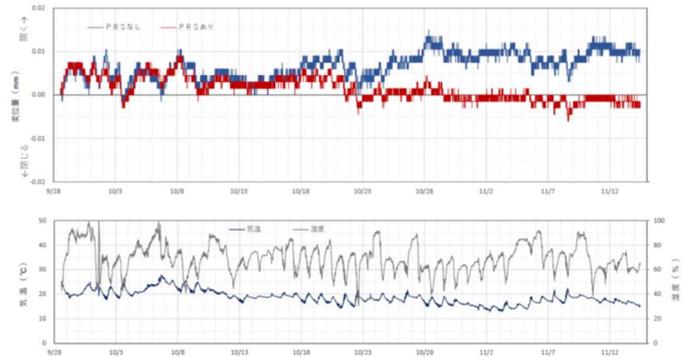


図-21 目地部の挙動計測結果 (標準期)

### 3.1.3 試験結果

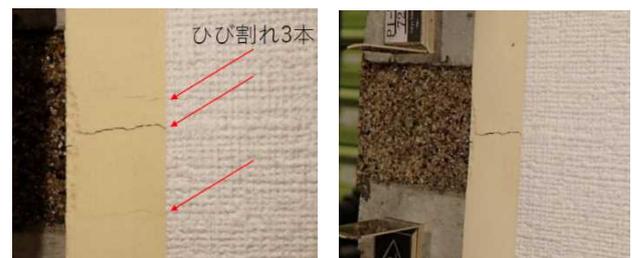
繰返し試験開始前において、クロスパテにもひび割れ等は無い状態であった。繰返し試験を 1825 回完了した時点において、試験体にひび割れ等の異常は見られなかった。その後、繰返し試験 3650 回完了時においても、試験体の PRS、クロスパテ、クロス表面のいずれにおいても、ひび割れ等の異常はなく、クロス表面のしわも見られなかった (写真-12)。

次に荷重速度を落とし、3 回の繰返し試験を行ったが、ひび割れ等の異常は見られなかった。荷重速度の遅い試験をすることで、PRS が程度の大きな変位に対しても追従できることが確認された。

繰返し試験終了後、クロス表面にひび割れ等が見られなかったため、限界ひび割れ幅を把握するため、単調漸増荷重を行い、クロスが破断するまでの荷重を行った。図-22 に試験機荷重-パイゲージ 1 変位関係を示す。

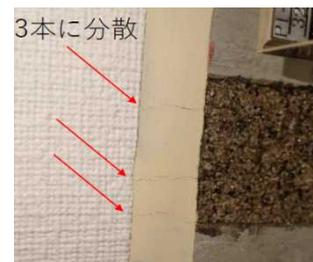
表面パイゲージ 1 の 0.2mm 時に、目地中央、目地中央のやや上部および目地下部に、3 本のひび割れが分散して発生した (図-23 左)。なお、クロス表面に伸びや亀裂は見られなかった。単調漸増荷重を続けると、パイゲージ 1 側のひび割れは、0.4mm を超えるとひび割れ 3 本のうち目地中央のひび割れ幅が拡大し、ひび割れ幅が 0.5mm 時に、ひび割れは目地中央

の 1 本に集約した (図-23 右)。表面パイゲージ 2 の 0.25mm 時に、目地中央のやや上部、目地中央のやや下部および目地下部に、3 本のひび割れが分散して発生した (図-23 下)。単調漸増荷重を続けると、3 本のひび割れ幅は概ね均等に拡大した。なお、表面パイゲージ 0.7mm、裏面パイゲージ 0.74mm 時にクロスに亀裂が生じたが、コンクリートと PRS の界面に剥離は生じなかった。



表面パイゲージ 1 (0.2mm 時)

表面パイゲージ 1 (0.5mm 時)



表面パイゲージ 2 (0.25mm 時)

図-23 目地部のひび割れ分散状況

3.1.4 まとめ

常変位レベルで 3650 回の繰返し試験の結果、直貼りクロス仕上げ表面に亀裂等の変状は見られず、10 年経過後もクロス面の美観性を維持できると推察される。

一方、高変位レベル(目地幅変化 0.2 ~ 0.4mm) で単調引張試験の結果、ひび割れは 3 本に分散され、幅は低減した。目地幅の変化が 0.4mm を超えた時、ひび割れは 1 本に集約した。以上により、PRS は目地幅の変化が 0.4mm まではひび割れ分散性を有することが分かった。写真-13 に示すような、実建物の PRS 目地で確認されるひび割れ分散現象が再現できた。



写真-13 実建物目地のひび割れ分散現象

3.2 クロス直貼り仕上げ強制変位試験

3.2.1 試験概要

本試験では目地材として、無収縮モルタル、PRS、建築用シーリング材を充填し、性能比較試験を実施した。モルタルは目地材と躯体界面に亀裂の発生、シーリングは目地材の窪みによるしわ・亀裂の発生が予測された。一方、目地材を PRS とした挙動の確認も行った。なお、試験体は、図-17 の試験体概要、図-18 の目地部断面と同仕様とした。試験体仕様を表-12 に示す。

表-12 試験体仕様

番号	目地材	ひび割れ位置	接着面	備考	試験体精度
1	無収縮モルタル (NS ドカモルハード)	目地中央	3面接着	2018年度試験済み試験体躯体を利用	1番 ・クロス、目地材撤去あり ・モルタル施工前に目地を目荒し
2	PRS(珪砂4号)	目地中央	3面接着	2018年11月PRS施工済み試験体を利用(予備1体)	2番 (予備:4番) ・クロス撤去あり
3	シーリング (1成分形変成シリコン系)	目地中央	3面接着	2018年度製作済み試験体躯体を利用	3番 ・クロス、目地材撤去あり ・シール接着面にはプライマー塗布、シールは3面接着

3.2.2 試験方法

試験では精密万能試験機 (インストロン 5982) を使用し、強制変位に対する確認試験を行った。载荷スケジュールは変位 0mm をゼロ点とし、単調引張载荷とした。

3.2.2 試験結果

試験結果を図-24 および以下に示す。

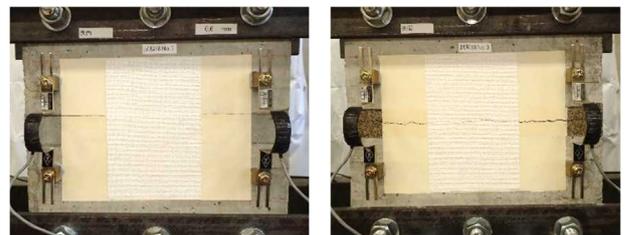
1) 無収縮モルタル試験体は、コンクリート躯体と目

地材界面に剥離が生じた。パイゲージ変位の増加に伴い、コンクリート躯体と目地材界面の亀裂が拡大し、クロスやしわが目立った。試験機荷重は最大 762N を示した後、パイゲージ変位の増加に伴い徐々に低下し、パイゲージ変位 0.9mm 時にクロス切れを確認した。

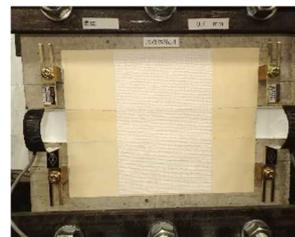
2) PRS 試験体は、試験機荷重を増加させたが、パイゲージ変位の増加が小さかった。試験中に試験体と固定ジグのずれを確認したため、試験を一時停止し、固定ジグボルトの増し締めを行った。試験を再開し、パイゲージの平均変位 0.016mm 時に、PRS は脆性的な破壊を生じた。PRS の破壊位置は、コンクリート躯体に設けたひび割れ位置と同じく、目地中央となった。

3) シーリング試験体は、コンクリート界面と目地材界面の剥離は生じず、シーリングの伸びが生じた。シーリングの伸びに伴い、パテの割れ、パテの凹み、シーリング面内方向の凹み、クロスへの凹みが生じた。試験機荷重は 392N まで上昇した後、195N まで低下し、その後パイゲージ変位の増加に伴い試験機荷重も増加した。パイゲージ変位 1.0mm 時にクロス切れが発生した。パイゲージ変位 1.2mm まで载荷し、クロス切れの進展を確認した。

表-13 に示すように、模型実験 PRS の最大引張応力 2.343 (N/mm<sup>2</sup>) は、PRS 母材破壊の最大応力 (対鋼板実験値) と近似結果となった。また、模型実験の無収縮モルタル、シーリングの最大引張応力の値に比べ、PRS の最大引張応力の値は高い結果となった (図-25)。以上により、PRS とコンクリートとの接着力は 1 N/mm<sup>2</sup> 以上であることが分かった。



無収縮モルタル (変位 0.6 mm) PRS (目地破断後の状況)



シーリング (変位 0.7 mm)

図-24 試験結果

表-13 試験結果

番号	目地材	最大荷重 (最大応力)
1	無収縮モルタル (NS ドカモルハード)	762(N) (0.068(N/mm <sup>2</sup> ))
2	PRS (珪砂 4号)	26,243(N) (2.343(N/mm <sup>2</sup> ))
3	シーリング (1成分形変成シリコーン系)	392(N) (0.035(N/mm <sup>2</sup> ))

最大応力=最大荷重÷目地材断面積(280×20×2)

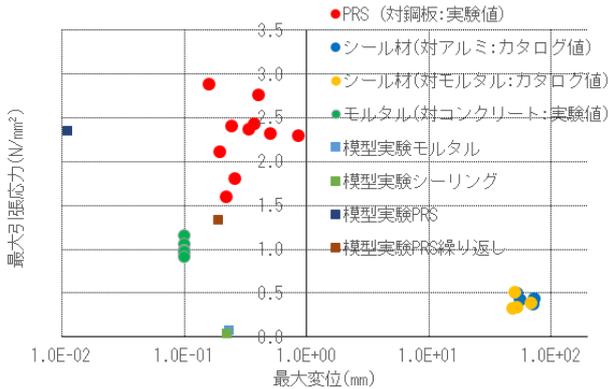


図-25 最大引張応力と最大変位の関係

#### 4. PRS の性能と適用範囲

##### 4.1 PRS の性能

PRS の材料特性試験および模型実験の結果より、コンクリート面の目地内に施工された PRS は以下の性能と効果を有する。PRS の性能と材料の関係を表-14 に示す。

##### 1) コンクリートとの接着性

PRS とコンクリートの接着力は 1N/mm<sup>2</sup> 以上である。  
(効果) 一般に想定されるひび割れ幅の広狭の挙動では剥離が生じない。

##### 2) 目地露出面の陥没抵抗性

PRS の目地露出面の窪み変形は 0.1mm 以下である。  
(効果) 通常の目地挙動では陥没は生じない。

##### 3) ひび割れ分散性

PRS は目地幅の変化が 0.4mm まではひび割れ分散性を有する。

(効果) 目地幅の変化が 0.4mm までは、一般的な目地部の充填材であるモルタルと比較して、ひび割れ分散性により、最大ひび割れ幅を低減できる。また、適用範囲内ではモルタルのように接着界面に開きが生じることや、ひび割れが1箇所集中しない。

表-14 PRS の性能と材料の関係

性能	材料	モルタル	シーリング	PRS
コンクリートとの接着性(界面)		× 接着力低い	△ 接着力高いが動く	○ 高い接着力
目地露出面の陥没抵抗性		○ ほぼなし	× やせ、凹み	○ モルタルの 1/6 程度
ひび割れ分散性		× なし(界面集中)	○ ひび割れ出ない	△ 一定範囲まで分散

#### 4.2 PRS の主な適用範囲

PRS の主な適用範囲を以下に示す。

- 1) 内装制限が適用される壁又は天井の部分に目地が露出する場合で、室内に面する目地部分の見付面積は、各面の壁面積の 1/10 以内とする(ただし、床面より 1.2m 以上)。
- 2) 誘発目地部分の止水性能を担保するものではないため、外壁で使用する場合はシーリングや塗膜防水等の防水処理が必要となる。
- 3) 本工法による目地充填の設計・監理および施工は、CCB 工法協会 PRS 工法研究会または本研究会が技術供与した者が行う。

#### 5. 施工例

以下に、実建物における PRS の適用事例を紹介する。

##### 5.1 PRS 壁目地充填工法

某分譲マンションの 2~9 階戸境壁(耐震壁)に対し、CCB 工法を適用して誘発目地内にひび割れを誘導し、PRS を充填してクロス直貼り仕上げを行った。充填時はすでに造作工事が完了しており、打設後 3 か月以上が経過していたため、目地底にひび割れを確認した。PRS の製造手順を図-26、施工手順を図-27 に示す。



図-26 PRS の製造手順



図-27 PRSの施工手順

某ディベロッパーの仕様では、建物供用開始後の2年以内に総戸数の10%強でクロスに亀裂が生じ、貼り替えの是正処置が行われていた。CCB工法およびPRS目地充填工法を標準仕様に変更した2017年以降の分譲マンションでは、戸境壁のひび割れクレームがゼロで継続している。

## 5.2 PRS 床目地充填工法

某物流倉庫の土間床に対し、床 CCB 工法を適用してカッター目地内にひび割れを誘導し、PRS を充填して床は素地仕上げとした。竣工3年経過後も肌分れが生じていない(図-28)。一般に、物流倉庫や工場等の土間床では、コンクリート打設後早期にカッター目地を設ける。目地充填材の性能比較として、樹脂モルタルは乾燥収縮や振動による肌分れによって飛散し、シーリングは圧縮強度が低く、リーチ式フォークリフト等の繰り返し走行によって目地肩に角欠けが生

じる(図-29)。一方、PRSは接着力や圧縮強度が高く、体積減少が小さいことから、上記充填材の各々の弱点を補うことができる(図-30)。



図-28 PRSの床目地施工状況



図-29 床目地施工状況

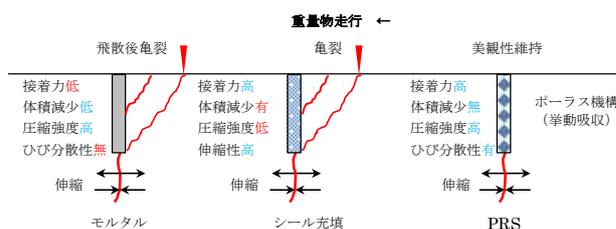


図-30 各充填材の性能比較

## 5.3 PRS 補修工法 (壁・床・段差)

近年のコンクリートの高強度化も相まって、戸境壁に対する通常対策では不規則にひび割れが生じる(写真-14) ことがあり、高いコストをかけてUカットシーリング+樹脂モルタルによる補修は施したうえでクロス直貼りを行うものの、経年後の再発が大いに懸念される(図-31中)。

クロス直貼りや吹付塗装下に生じた壁ひび割れに対し、

Uカット+PRS+パテ処理(外壁は塗膜防水)を施すことで、仕上げ表面の凹みを未然に防止できる(写真-15、図-31右)。また、化粧打放し素地仕上げの壁に生じたひび割れに対し、Uカット+PRSを施したうえで化粧補修をすることで、意匠性を回復した事例もある。

一方、長尺シートやPタイル下に生じた床ひび割れに対し、Uカット+PRS+薄塗補修を施すことで、ミミズ腫れを未然に防止できる(図-32左)。また、基礎形式の違いにより、経年で15mm程度の床段差が生じた際、PRSの面仕上げによってリーチ式フォークリフト走行路の段差を解消した事例もある(図-32右)。

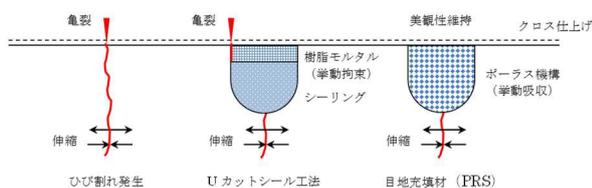


図-31 充填材の性能比較



写真-14 ひび割れの補修事例

写真-15 壁Uカット+PRS



Uカット+PRS

床段差15mmの解消例

図-32 充填材の性能比較

## 6. まとめ

骨材とファイバー樹脂とを混合したPRSを目地内に充填することで、ポラス機構を形成してひび割れ挙動を吸収し、様々な不具合の発生を未然に防止できることが、一連の材料特性試験や模型実験および実建物における施工例において確認ができた。GBRC建設材料技術性能証明を取得したPRS目地充填工法は、建設業界が抱える多くの問題点を解決できる材料のひとつと考えられ、今後の積極的な活用が期待される。

### 【謝辞】

本報は、民間企業14社(浅沼組、熊谷組、西松建設、NIPPO、飛島建設、大日本土木、長谷工コーポレーション、東急建設、五洋建設、三井住友建設、共立建設、

青木あすなろ建設、松井建設、奥村組土木興業)が所属するCCB工法協会PRS工法研究会で実施した特許技術の共同研究による開発成果<sup>[17]</sup>と施工例をまとめたものである。材料特性試験および模型実験に多大なご協力をいただいた(株)東光商会、AOI トーマス(株)、これまでに実施工および実験協力をいただいたすべての関係者に謝意を表す。

### 【参考文献】

- [1] (財)日本建築総合試験所:浅沼式ひび割れ誘発目地付き耐力壁構法(改定),建築技術性能証明評価概要報告書(GBRC性能証明第09-04号改),2011年5月
- [2] (一財)日本建築総合試験所:CCB工法-異形鉄筋を用いるひび割れ誘発目地付耐震壁構法-(改定1),建築技術性能証明評価概要報告書(GBRC性能証明第14-24号改1),2016年12月
- [3] 松井 亮夫:コンクリートの収縮メカニズムに基づくRC壁のひび割れ制御に関する研究,京大大学学位論文,博士(工学),2017年3月
- [4] (一財)日本建築総合試験所:ポラスレジンスンドの物性試験報告書,2017年8月
- [5] (一財)日本建築総合試験所:ポラスレジンスンドの品質試験報告書,2018年2月
- [6] (一財)日本建築総合試験所:ポラスレジンスンドの線膨張係数結果(参考),2017年8月
- [7] コニシ株式会社:ポンドビューシール6909カタログ,2021年10月
- [8] CEMEDINE:S751NBカタログ
- [9] 株式会社ダイフレックス:シーカダイフレックスカタログ,2016年6月
- [10] シーカ・ハマタイト株式会社:SC-PU2NBカタログ
- [11] シャープ化学工業株式会社:U2-PRO NBカタログ
- [12] 丸一 俊雄:左官モルタルの接着強さについて,コンクリートジャーナル,1968年6巻3号pp.21-33
- [13] ASTM international:ASTM C 190-77.Standard Test Method for TENSILE STRENGTH OF HYDRAULIC CEMENT MORTARS
- [14] 大野 義照,徐 泰錫,中川 隆夫:外部拘束を受ける鉄筋コンクリート部材の乾燥収縮ひび割れ幅の予測,日本建築学会構造系論文集/72巻(2007)616号
- [15] 大野 義照,中川 隆夫,劉 勇,岸本 一蔵:鉄筋コンクリート壁の収縮ひび割れ幅の予測,コンクリート工学年次論文集,Vol.26, No.1, pp.513-518,2004.7
- [16] 三橋 博三:日本建築学会の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)の特徴,コンクリート工学,2007年45巻2号p.9-15
- [17] (一財)日本建築総合試験所:ポラスレジンスンド(PRS)-PRSを用いた目地充填工法-,建設材料技術性能証明評価概要報告書(GBRC材料証明第22-01号),2022年5月