

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^{1), 2), 3)} (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れ(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。





表-1 PRSの物性試験結果^{4), 5), 6)}

試験項目	形状	数量	平均值
圧縮強度(N/mm ²)	ϕ 50×100mm	3	12.6
静弹性係数(kN/mm ²)	ϕ 100×200mm	3	5.53
曲げ強さ (N/mm ²)	\Box 40×40×160mm	3	8.01
引張強度 (N/mm ²)	$\phi~50\!\times\!100\mathrm{mm}$	3	2.69
接着強さ (N/mm ²)	\Box 40×40×10mm	5	0.3
長さ変化率(収縮,×10 ^{.6})	\Box 40×40×160mm	3	126 (182 日)
質量減少率(%)	\Box 40×40×160mm	3	0.2 (182 日)
線膨張率 (×10.6 K·1)	ϕ 50×100mm	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ることや、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**)。

- 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)

2. PRSの材料特性試験

珪砂

PRSは変形追従性、ひび割れ分散性、窪み変形のし

主刹

写真-6 使用材料のプレパック包装

硬化剂

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にした。

2.1 PRSの接着性能試験

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、薄鋼鈑製モールド(ϕ 50×100mm)を用いた。

2.1.2 試験体製作

チャッキング用ネジ棒

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。

変位計測用ボルト



試験体名	用途	(mm)	載荷方法
W03M-1~2		3	
W06M-1~3		6	
W09M-1		9	単調
W18M-2	壁用	18	
W24M-1		24	
W09C-1		9	编词页上
W24C-1		24	「水丛し



写真-7 試験体製作状況

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。



図-4 繰返し載荷サイクル

- 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 17.49 N/mm²、弾性係数は9260 N/mm²であった。

表-3 圧縮試験結果

最大荷重時 直径×高さ 最大荷重 最大応力 圧縮強度 各弹性係数 弹性係数 試験体名 部位 ひずみ 平均ひずみ (mm) (kN) (N/mm² N/mm² (μ) -1150 WC1 32.41 16.51 -3273 WC2 辟 50×100 34.63 17.64 17.49 -2336 WC3 35,96 18.31 -312 -1402

写真-9 引張試験装置

	x - 51成武歌和木										
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 ²)			
W03M-1		3		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	単調	材料内	3.91	0.196	137	2.11			
W06M-3	壁用	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	1	24	1	材料内	4.29	0.173	138	2.32			
W09C-1		9	4品2回1	材料内	4.64	0.159	-51	2.51			
W24C-1	1	24	赤巡し	材料内	5.11	0.407	189	2.76			

217回計酸丝甲 主_1

(2) 引張試験結果

引張試験の結果を表-4に示す。実験時の材齢は2~3 か月であった。破壊モードは、概ね鋼板ジグとの界面付 近での破壊(写真-10)となったので、最大応力はPRS と鋼板の接着力の最大応力とし、最大応力は1.60~ $2.88 \,\mathrm{N/mm^2 c}$ σ

2.1.5 考察

表-5に、汎用的な建築用2成分形ポリウレタン系シー ル材の引張接着性能を計る試験での最大引張応力を示す。 接着対象となる材料はアルミニウム、モルタルである。 各製品の最大引張応力は、アルミニウムとモルタルでは 同程度の強度であった。このことから、金属とセメント 系材料に対するシール材の接着力は変わらないと考えら れた。本実験では、PRS材と鋼板との接着力を確かめた が、セメント系材料との接着力も同等と推察される。

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ル材の最大引張強度の値は0.33 ~0.87 N/mm²であった。また、モルタルは0.91~1.15 N/ mm²であった。同様に、PRSは1.60~2.88N/mm²で あった。これにより、PRSの接着力は、2成分形ポリウレ タン系シール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1.60~2.88 N/mm²であり、1N/mm²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。

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)}

i時 "み	各弾性係数 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	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 ²)	最大引張応力 (対モルタル 養生後23°C) (N/mm ²)
	14361		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
	7550	9260	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
)	5870		E社製	F-25LM-8020(PU-2)	7.6		0.55
					35		
時	最大荷重時	最大応力				• PRS (対鋼板)
n)	ひずみ(ル)	(N/mm^2)				●シー川	材(対アルミ)



44

2.2 PRS 目地露出面の陥没抵抗性能試験

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。



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ととら 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。



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 ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	最大荷重時 圧縮ひずみ (µ)	弾性係数 (N/mm ²)	平均弹性係数 (N/mm ²)	ボアソン比 (2000 µ時)	平均ポアソン比 (2000 µ 時)
W1C1			4.34	2.21		10455	211		0.107	
W1C2	1		3.45	1.76	1.99	15260	115	181	0.073	0.087
W1C3			3.91	1.99		8045	248		0.080	
W2C1			4.86	2.48		11525	215		0.053	
W2C2	2	50 × 100	5.23	2.66	2.84	5150	517	247	0.119	0.064
W2C3			6.62	3.37		12115	278		0.021	
W3C1			7.20	3.67		10055	365		-	-
W3C2	3		7.82	3.98	3.88	11555	345	383	-	-
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		5.7
B社製シーリング材		6.4
C社製シーリング材	F-25LM-8020(PU-2)	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		0.00
ポアソン比:0.064	开政ヨ聚而	0.39
長さ変化試験目標値:400 <i>µ</i>		

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 -1.14mm、PRSは-0.078mmとなった。

(mm)

078 +

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0.4 mm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。

解析バターン	*****	弾性係数	ポマンンド	0.4mm幅クラック位置	
	1111-1	(N/mm ²)	ホアノン応		
1	建筑田に 川へが村	0.001	0.45	中央	
2	建築用シーリンジ羽	0.001	0.45	目地底縁	
3	DDC	2/17	0.064	中央	
	11/3	241	0.004	口北皮妇	

表-8 強制変位による目地沈み込み解析条件



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。 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、1.99~3.88 N/mm²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181~383 N/mm²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0.1 mm 以下であるため、クロス貼りに影響しない。
- 2.3 PRSのひび割れ分散性能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645 mm²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。





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

図-10 試験体の形状¹³⁾

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。



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、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^{14),15),16)}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-15 ブリケット試験体の比重と圧密比の関係

表-10 解析パターンの諸元

表-11

								一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	開き						
		淄桂係物		目地側面	目地底面	油圳亦佔幅		ア国	베르						
解析パターン	材 料	(N / mm^2)	ポアソン比	ポアソン比	『アソン比 引張剛性	せん断剛性	い断剛性 (mm)	想定クラック位置	界面閉き1	界面開き2					
		(1)/11111/		(N/mm)	(N/mm)	(IIIII)		(mm)	(mm)						
1	建筑田に リング村	0.091	0.45				中 央	0	0						
2	建築用シーリング初	0.001	0.45				目地底縁	0	0						
3	DDC	610	0.064			0.02	中央	0.005	0.005						
4	FRO	013	013	013	019	0.004	015 0.004	0.064				0.02	目地底縁	0.002	0.006
5	T II A II	2.05 × 104	0.2				中央	0.01	0.01						
6	モルタル	Z.06 × 10.	0.2				目地底縁	0.007	0.012						
7	DBC	610	0.064	70.4	20.9	0.2	中央	0.051	0.049						
8	FRO	019	0.004	70.4	290	0.2	目地底縁	0.025	0.063						
9	連筋田と リング社	0.091	0.45				中央	0	0						
10	ー建築用シーリンク材	0.081	0.45				目地底縁	0	0						
11	DDC	610	0.064			0.4	中央	0.097	0.097						
12	FRO	019	0.004			0.4	目地底縁	0.061	0.121						
13	エルカル	2.05 × 104	0.2				中央	0.194	0.194						
14	モルタル	2.00 × 10.	0.2			1	日地底縁	0.143	0.244						



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。

2.3.6 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0.6~0.9 N/mm²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0.02mm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0.2mm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0.4mm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0.4mm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、引張方向の載荷のみでなく、圧縮方向 の載荷も実施したいと考え、PRS施工前にひび割れ面に 厚さ0.3mm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、本試験体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。



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±0.1mmの正負繰返し載荷とした。 載荷は変位制御で行い、0.2mm/秒(0.5Hz)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年間繰り返し相当にあたる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0.02mm/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0.008mm

(PRS無:最大0.01mm)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 0.01mm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0.04mmであった。

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**)。

次に載荷速度を落とし、3回の繰り返し試験を行った が、ひび割れ等の異常は見られなかった。載荷速度の遅 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 増載荷を行い、クロスが破断するまでの載荷を行った。 図-22に試験機荷重-パイゲージ1変位関係を示す。







図-20 変位計設置状況



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。単調漸増載荷を続けると、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 増載荷を続けると、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。 ひび割れ

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	目地材	ひび割れ位置	接着面	備考	試験体精度
号					
1	無収縮モルタ	目地中央	3 面接着	2018年度	1番
	<i>//</i>			武駅泊か武駅14	・クロス,日地村服
	(NS ドカモル			躯体を利用	去あり
	ハード)				・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	2番
				PRS 施工済み	(予備:4番)
				試験体を利用	・クロス撤去あり
				(予備1体)	
3	シーリング	目地中央	3 面接着	2018 年度	3番
	(1 成分形変成			製作済み試験体	・クロス,目地材撤
	シリコーン系)			躯体を利用	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。載荷スケジュー ルは変位0mmをゼロ点とし、単調引張載荷とした。

3.2.3 試験結果

試験結果を図-24および以下に示す。

- 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 スのしわが目立った。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時にクロスの切れを確認した。
- 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発生した。 シーリングの伸びに伴い、パテの割れ、パテの凹み、 シーリングの面内方向の凹み、クロスの凹みが発生 した。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 ロスの切れが発生した。パイゲージ変位1.2mmまで 載荷し、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/mm²)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1N/mm²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-1	3	試験	結身	R
	-			





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/mm²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箇所に集中しない。

表-14 PRSの性能と材料の関係

材料	モルタル	シール	PRS
性能			
コンクリートとの接	×	Δ	0
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	0	×	0
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	×	0	Δ
	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。

- 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)。
- 3) 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。



①樹脂混合(主剤·硬化剤)



③珪砂混合(20~30秒)



②珪砂投入(4号)



秒)④混合完了(濡れ色に変化)図-26 PRSの製造手順



①目地底ひび割れ確認



③PRS 充填(下から上へ)



⑤表面仕上げ完了



⑦目地部パテ処理



②養生,プライマー塗布



④PRS 表面押え



⑥室内仕上げ状況



⑧クロス直貼り仕上げ 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)。



①PRS 混合完了(骨材グレー)









②目地底ひび割れ確認



⑤充填状態(竣工時) 図-28 PI

工時)⑥充填状態(竣工後3年経過)図-28 PRSの床目地施工状況



①樹脂モルタルの肌分れと飛散②シール目地肩の角欠け図-29 床目地施工状況



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カットシール+ 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)。







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、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できた。以上のことから、PRS は建設業界が抱える多くの問題点を解決できる材料と考 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(淺沼組、熊谷組、西松建設、 NIPPO、飛島建設、大日本土木、長谷エコーポレー 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共同 研究による開発成果¹⁷⁾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(㈱東光商会、AOI トーマス(㈱、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:淺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,京都大学学位論文,博士 (工学),2017年3月
- 4)(一財)日本建築総合試験所:ポーラスレジンサンドの物 性試験報告書,2017年8月
- 5) (一財) 日本建築総合試験所:ポーラスレジンサンドの品 質試験報告書, 2018年2月
- 6)(一財)日本建築総合試験所:ポーラスレジンサンドの線 膨張係数結果(参考),2017年8月
- 7) コニシ株式会社:ボンドビューシール6909カタログ, 2021年10月
- 8) CEMEDINE: S751 NB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:ポーラスレジンサンド(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

【執筆者】



*1 松井 亮夫 (MATSUI Akio)