

# 論文 ポリマーセメントモルタルと耐アルカリガラス連続繊維シートによる剥落防止工法の性能評価

竹内 好雄\*1・杉山 基美\*2

**要旨**：本研究は、ライニング材として無機系のポリマーセメントモルタルを用い、連続繊維シートとしても無機材料の耐アルカリガラス連続繊維シートを用いた剥落防止工法に関するもので、使用するシートの種類、シートのつなぎ目の有無、つなぎ目と破壊場所の位置関係、常温・低温・高温の3種類の温度条件による剥落防止性能の違いを押し抜き試験により確認した。その結果、適切なポリマーセメントモルタルと耐アルカリガラス連続繊維シートの組み合わせにより、無機系材料からなる剥落防止工法は、変位10mm以上における荷重が2kN以上を示すなど優れた性能を示した。

**キーワード**：剥落防止，ポリマーセメントモルタル，耐アルカリガラス繊維，シート

## 1. はじめに

近年、高架橋コンクリートやトンネル覆工コンクリートなどのコンクリート構造物の劣化による剥落が大きな問題となり、その補修方法として多くの工法が研究開発され、実用段階にある。その中で現在広く用いられている工法は、有機溶剤を含む樹脂と連続繊維シートを組み合わせたいわゆるFRP工法である。剥落防止工法においては、対象となる構造物が鉄道や道路など公共性が高く、また、供用中に施工する場合が多く、時間的な制約が大きいことから、施工性がよく、かつ経済的な補修技術が求められている。また、トンネルなどの閉塞した環境下で有機溶剤を含む材料は作業員への負担が大きいことも指摘されている。このような中、ポリマーセメントモルタル（PCモルタル）と連続繊維シートを用いた工法が研究されている<sup>1)2)</sup>。

そのなかでも、本研究では連続繊維シートとしてあまり研究例のない耐アルカリガラス繊維を用いて研究を行った。まず、連続繊維シートの種類による剥落防止性能の違いを調べた。その後、使用環境を考慮し、試験温度を変えて剥

落防止性能を調べた<sup>2)</sup>。気候の厳しい場所で使用されているコンクリートほど劣化が激しく、その補修工法においてもそのような厳しい条件下での性能評価が求められる。

## 2. 試験概要

### 2.1 使用材料

#### (1) 連続繊維シート

本研究で用いた連続繊維シートは、耐アルカリガラス繊維からなっており、その単位面積あたりの質量（目付）、目開きや織り方が異なる5種類である。耐アルカリガラス繊維の一般的特性を表-1に、各連続繊維シートの特性を表-2に示す。また、その中でアルファベットで示す織り方を図-1に示す。図中の矢印はシート長さ方向を示す。硬さは、1が最も柔らかく、10が最も硬いことを表す。

表-1 耐アルカリガラス繊維の一般的特性

引張強度 (GPa)	弾性率 (GPa)	比重
1.4	74	2.8

\*1 日本電気硝子（株）ガラス繊維事業部技術部担当課長（正会員）

\*2 日本電気硝子（株）ガラス繊維事業部技術部担当主任（正会員）

表-2 連続繊維シートの特徴

		A	B	C	D	E
目付 (g/m <sup>2</sup> )		150	220	220	230	230
硬さ		2	9	4	4	4
目開き (mm)	タテ系	5	11	11	16.5	33
	ヨコ系	5	13	13	16.5	16.5
織り方		S2	K	K	S3	H

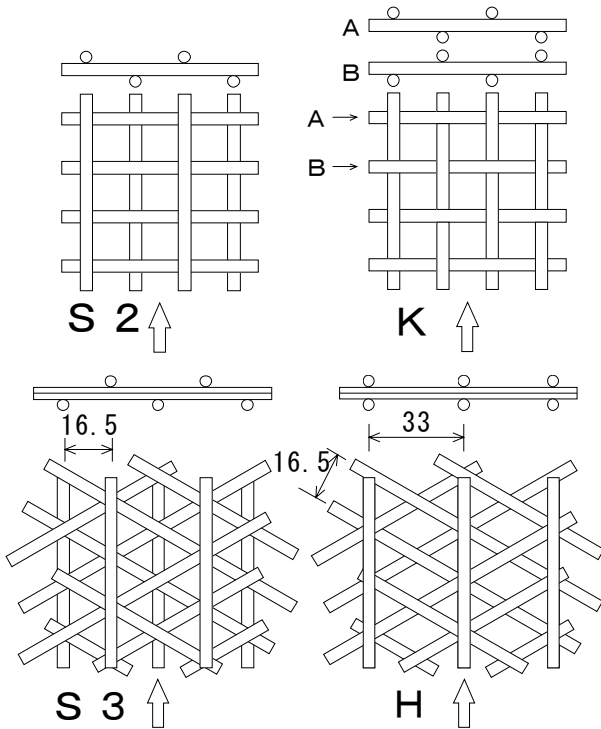


図-1 連続繊維シートの織り方

(2) ポリマーセメントモルタル

ライニング材として用いるPCモルタルには、硬化が早く短期間で高強度が得られることや、天井や壁面への十分な付着性能を持つことなどが要求される。今回使用したPCモルタルは、補修材として市販されている速硬性プレミックスモルタルを使用した。セメントと骨材および混和材がプレミックスされた粉体に規定量のアクリルポリマーと水を加えて混練することで、上記のような特性が得られるように配合設計されている。調合、硬化したモルタルの特性及びポリマーのガラス転移点を表-3に示す。

表-3 PCモルタルの調合と特性

粉体	ポリマー	水	
15重量部	1.1重量部	2.2重量部	
硬化時間(分)		圧縮強度(MPa)	
30~80		3時間	1日
		6.0	15.0
ポリマーのガラス転移点		0℃	

2.2 試験方法

試験体と荷重方法の概略を図-2に示す<sup>3)</sup>。試験体の母材はJIS A 5372 (プレキャスト鉄筋コンクリート)に規定するU形ふたの1種呼び名300 (60×400×600mm)を使用した。U形ふたの中央に剥落防止工を行う面の反対側から55mmの深さに100mmφの形状でコア抜きを行った。したがって、コアの部分は5mmコンクリートが残っていることとなる。また、剥落防止工を行う面は、サンダーにより表面処理を行った。

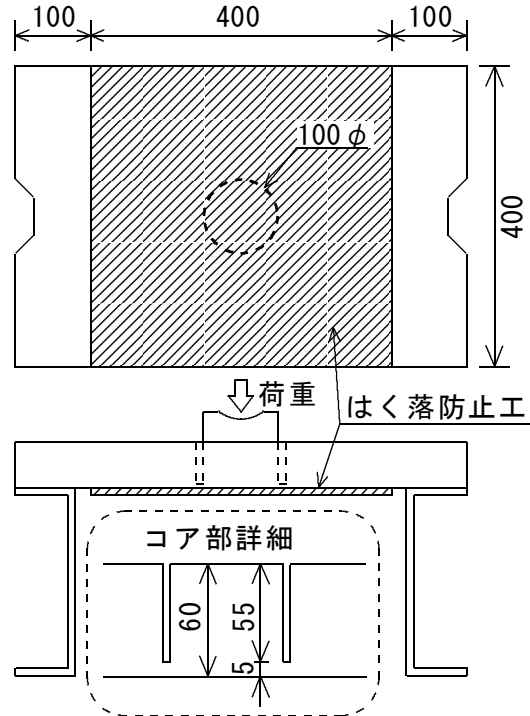


図-2 押し抜き試験体および荷重方法

試験体は、表面処理後にプライマー処理、PCモルタルの下塗り(2mm)、繊維シートの設置、

上塗り（2mm）の順で、各条件で3体ずつ作製した。プライマー処理は、PCモルタルに使用するアクリルポリマーを3倍希釈したものを刷毛塗りした。剥落防止工を施した試験体は、押し抜き試験まで必要な養生を行った。

シートのふせ込みは、図-2に示すような400×400mmの1枚ものをふせ込む場合と、実施工時のシートのつなぎ目を想定し、図-3に示すような250×400mmを2枚組み合わせた場合（中心）と150×400mmと350×400mmを各1枚組み合わせた場合（端部）の3種類とした。つなぎ目の重ね代はいずれも100mmとし、シートEのタテ糸が図中の矢印の方向になるようにセットした。中心の場合はつなぎ目の真上で破壊した場合を想定し、端部の場合はつなぎ目のすぐ横で破壊した場合を想定している。

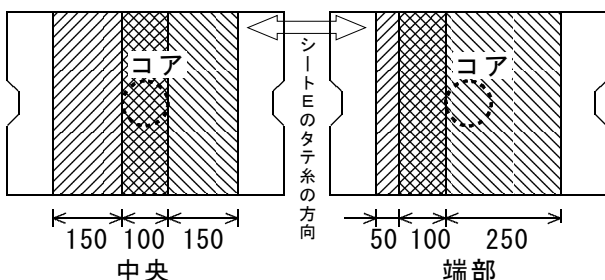


図-3 つなぎ目を想定したシートの配置

試験体の温度は、23、50、-30℃の3条件とし、材令7日以上でそれぞれの試験前に48時間以上定められた条件下で保管し、その条件の下で押し抜き試験を行った。

規定の養生を行った試験体の両側を、図-2に示すように剥落防止工にかからないよう溝型鋼で支持し、コア抜きを行った部分に球座をセットして載荷を行った。5mm残したコアの部分が破壊するまでは1mm/分で載荷し、それ以降は5mm/分とした。押し抜き試験において、最初に荷重のピークが現れるが、これは5mm残っているコアが壊れる荷重であり、それ以降の挙動に重点を置いて測定を行った。これは、鉄筋などのさびによるかぶりコンクリートの破壊は剥落防止工のあるなしにかかわらず発生するものであ

り、その破壊したコンクリートをいかに剥落させないことが剥落防止性能であるという考え方によるものである。

## 2.3 実際の組み合わせ

実験はシリーズ1と2に分けて行った。シリーズ1では連続繊維シートの違いによる剥落防止効果を確認し、シリーズ2ではシートの種類を固定し、つなぎ目や温度の効果を確認した。実際の組み合わせを表-4と表-5に示す。

表-4 押し抜き試験体（シリーズ1）

	1	2	3	4	5
シート	A	B	C	D	E
つなぎ目	なし	なし	なし	なし	なし
温度(℃)	23	23	23	23	23

表-5 押し抜き試験体（シリーズ2）

	6(5)	7	8	9	10
シート	E	E	E	E	E
つなぎ目	なし	中心	端部	なし	なし
温度(℃)	23	23	23	50	-30

## 3. 実験結果及び考察

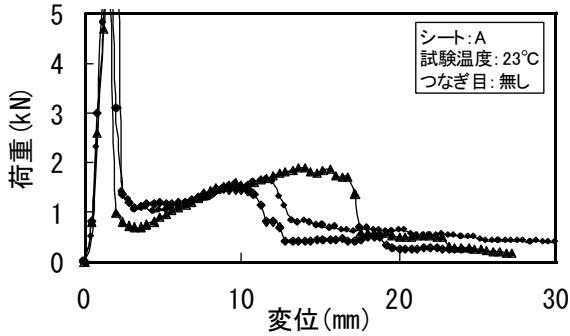
### 3.1 シリーズ1（連続繊維シート）

表-6にシリーズ1の押し抜き試験結果を示す。本押し抜き試験においては、5mm残したコアが破壊する時の荷重が最大値となるが、剥落防止の評価としてはそれ以降の挙動が重要である。コアが破壊した後いったん荷重が下がるが、その後、剥落防止工が荷重を受け持つことで上昇に転じる。変位10mm以上における最大荷重を押し抜き最大荷重として評価した。

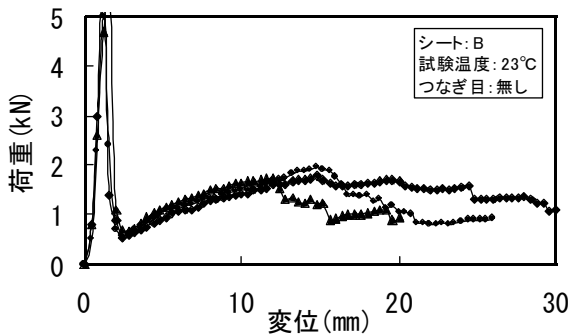
表-6 押し抜き試験結果（シリーズ1）

	1	2	3	4	5
シート	A	B	C	D	E
変位10mm時の荷重(kN)	1.49	1.52	1.65	1.51	2.25
最大荷重(kN)	1.68	1.82	2.10	1.55	2.77
最大時変位(mm)	11.6	13.9	15.8	11.3	14.8

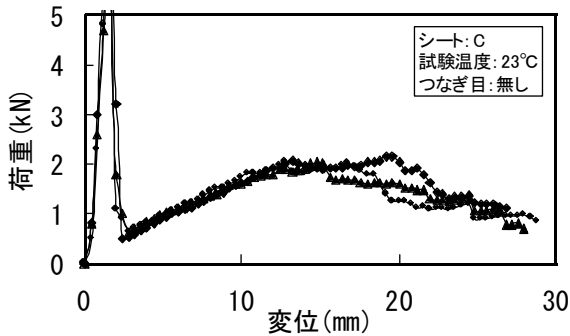
各試験体の荷重－変位曲線を図－4～図－8に示す。



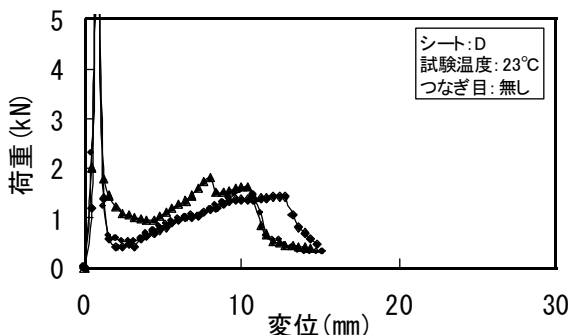
図－4 荷重－変位曲線（シートA）



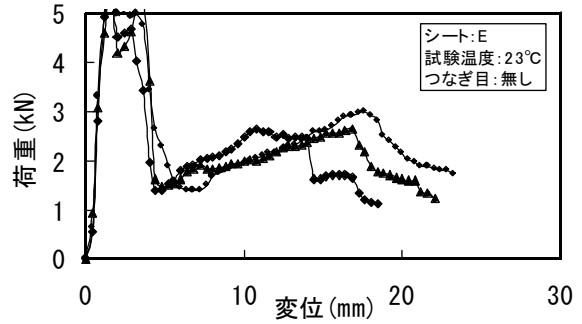
図－5 荷重－変位曲線（シートB）



図－6 荷重－変位曲線（シートC）



図－7 荷重－変位曲線（シートD）



図－8 荷重－変位曲線（シートE）

シートの違いにより押し抜き試験結果に大きな差が見られた。シートAとDが他の3種類と比較すると押し抜き最大荷重とその時の変位が小さかった。これは、シートAの目付が小さいことや、AとDの織り方が影響していると思われる。

#### (1) 目付

シートの単位幅あたりの引張強度は目付とほぼ相関があり、シートAは目付が150g/m<sup>2</sup>で引張強度は約700N/25mm、シートBは目付が220g/m<sup>2</sup>で引張強度は約1100N/25mmである。目付の大きなものほど剥落防止効果は高いが、その反面、経済性、モルタル塗りの作業性及び接着強度が悪化する。本実験で用いたPCモルタル程度の強度を有するライニング材と耐アルカリガラス繊維製シートを組み合わせる場合、目付220g/m<sup>2</sup>あるいは引張強度1100N/25mmが、各機関の定める押し抜き荷重の規格値である1.5kN以上<sup>4)</sup>を満たす目安と思われる。

#### (2) 織り方

全てのシートは交わる糸同士を接着するために樹脂が塗布してある。AとDの織り方は、交わる糸同士が点でしか接触していないため、それぞれの糸が点でしか接着されず、シート全体の一体性が少ない。それと比較してB、C、Eは、糸がそれと交わる糸に上下に絡み合っていたり、上下に挟み込まれて接着されているため、シート全体の一体性が高い。写真－1にシートDとEの破壊状況を示す。挟み込みで織られているシートEは、シートが一体となって広くラ

ライニング材を剥がしているのに対して、点接着となるシートDは狭い面積でしか剥がすことができず、大きな差が見られる。



シートE

シートD

写真-1 シートの織り方の違いによる破壊状況の違い

コアが剥落防止工を剥離している模式図を図-9に示す。ガラス繊維のような高弾性率の繊維を用いる場合、低弾性率の有機繊維などと比較すると、剥落防止工の伸び(c-b)が小さい。剥離長さ(b)と伸びた後の剥落防止工の長さ(c)と三角関数の関係にある変位(h)も小さくなる。ガラス繊維の弾性率を大きく変えることはできないので、hを大きくするためにはbを大きくする必要がある。bが大きければ剥離外周も長く、荷重を負担するシート(繊維束)が増えることで耐荷重も大きくなる。したがって、ガラス繊維を用いる場合、ライニング材をいかに広く剥がすかが重要な点であり、ライニング材が一定であれば、剥落防止性能は、シートの目付や織り方で決まることになる。

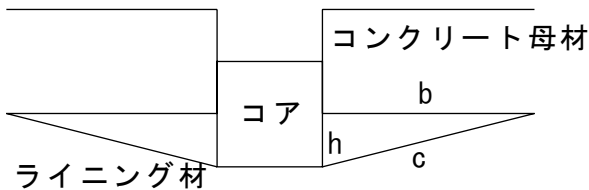


図-9 シートの剥離状態模式図

### 3.2 シリーズ2 (つなぎ目, 温度)

表-7にシリーズ2の押し抜き試験結果を示す。シリーズ2はシートの種類をシリーズ1で最も結果の良かったEに固定し、つなぎ目と試験温度の影響を確認した。

表-7 押し抜き試験結果 (シリーズ2)

	6(5)	7	8	9	10
つなぎ目	なし	中心	端部	なし	なし
温度 (°C)	23	23	23	50	-30
変位10mm時の荷重 (kN)	2.25	2.51	2.25	1.67	2.48
最大荷重 (kN)	2.77	2.84	2.37	1.81	4.10
最大時変位 (mm)	14.8	12.6	12.9	13.2	18.8

各試験体の荷重-変位曲線を図-8及び図-10~図-13に示す。

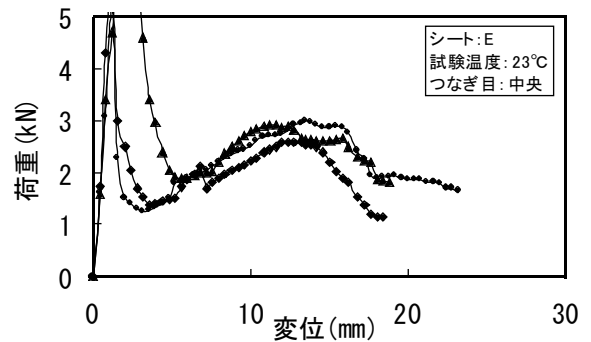


図-10 荷重-変位曲線 (シートE, 中央)

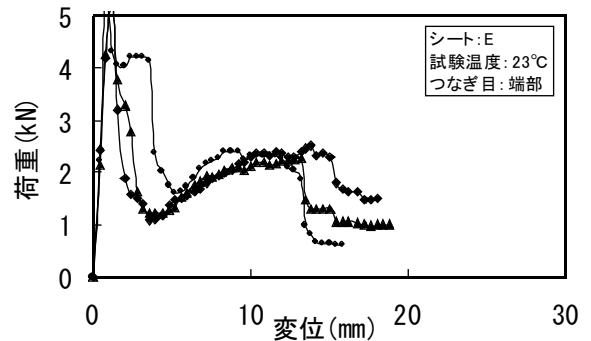


図-11 荷重-変位曲線 (シートE, 端部)

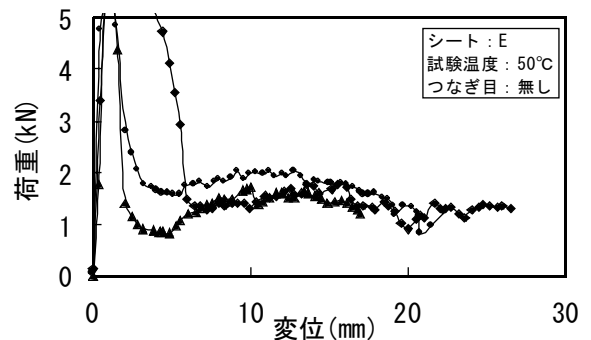


図-12 荷重-変位曲線 (シートE, 50°C)

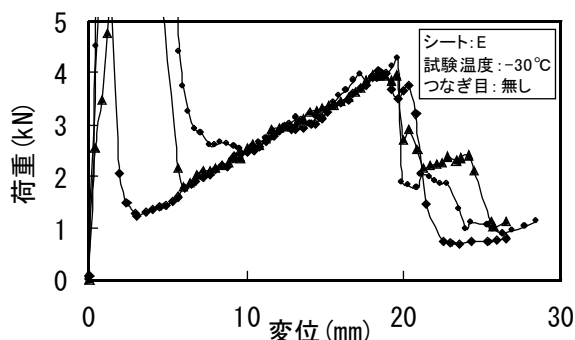


図-13 荷重-変位曲線 (シートE, -30°C)

つなぎ目を設けたいずれの試験体もつなぎ目のない試験体とほぼ同じ剥落防止性能を示した。このことから、100mm程度のつなぎ代を設けておけば、つなぎ目の有無が剥落防止性能に大きな影響は及ぼさないものと思われる。

50°Cの条件下で試験を行った場合、押し抜き最大荷重及び変位は23°Cの場合と比較して小さくなったが、最大荷重は1.5kN以上であった。50°Cでの湿度が50%RHと高温高湿であったこととシートCを用いてP Cモルタルの種類を変えて得られた表-8の結果から、P Cモルタルの圧縮強度が上がったことが、押し抜き荷重が下がった原因と思われる。

表-8 圧縮強度と押し抜き荷重の関係

圧縮強度 (MPa)	26	30	49
押し抜き荷重 (kN)	2.20	2.05	1.60

表-3に示すP Cモルタルは、一般的な土木構造物の圧縮強度以上の強度を有しており、シートEとの組み合わせでほとんどの剥落防止工に適応可能であるが、高強度のP Cモルタルが必要な場合、シートの選定に注意が必要である。

-30°Cの条件下で試験を行った場合、押し抜き最大荷重、変位ともに大きくなった。これはP Cモルタル中のポリマーがガラス化したことが原因と思われ<sup>5)</sup>、他の研究でも同様の結果が得られている<sup>2)</sup>。凍害などで補修が必要なコンクリートの多い寒冷地での使用に際しても十分な性能を有していることが確認できた。

#### 4. まとめ

- (1) 圧縮強度が30MPa程度のP Cモルタルと耐アルカリガラス連続繊維シートを組み合わせる場合、シートの目付220g/m<sup>2</sup>あるいは引張強度1100N/25mmが、各機関の定める押し抜き荷重の規格値である1.5kN以上を確保する目安と思われる。
- (2) 目付が同じであれば、シートが一体となる織りの方が剥落防止性能が良い。
- (3) つなぎ目を有する場合でも、剥落防止性能は大きく変わることはなかった。
- (4) 高温では押し抜き最大荷重とその変位が小さくなる傾向が見られ、モルタルの強度が高い場合はシートの選定に注意が必要である。
- (5) 低温では押し抜き最大荷重とその変位が大きくなった。

以上から、耐アルカリガラス連続繊維シートとP Cモルタルの組み合わせで、各機関の定める押し抜き荷重の規格を満足する剥落防止工が可能である事が確認できた。今後は、剥落防止工の耐久性や接着強度試験などの押し抜き試験以外に必要な特性の確認を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 藤倉祐介ほか：ポリマーセメントモルタルと連続繊維シートを用いたコンクリート剥落防止工法に関する基礎実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1487-1492，2003.7
- 2) 谷本竜也ほか：ECCと連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の剥落防止工法の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1743-1748，2004.6
- 3) 日本道路公団：JHS 424：2004 はく落防止の押し抜き試験方法，日本道路公団試験方法
- 4) 日本道路公団：構造物施工管理要領
- 5) 佐川孝広ほか：セメント系表面被覆材の性能に及ぼす高炉スラグ微粉末とポリマー混和剤の影響，第58回セメント技術大会講演要旨，pp.256-257，2004.4