

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 はく落防止工法の耐久性評価

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はく落防止工法の耐久性に関するもので、はく落防止性能の耐久性を温水浸漬試験、ひび割れ抵抗性試験、付着強さ試験、塩化物イオン透過性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はく落防止工法は、プラスチック系で問題となる耐紫外線を含め優れた耐久性を示し、長期間の使用においてもその性能が確保できることが確認できた。

キーワード：はく落防止、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、耐久性

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はく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、環境負荷の大きいエポキシ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。はく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、上記のような材料は作業への負担が大きいことも指摘されている。

環境問題が高まる中、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が¹⁾²⁾、連続繊維シートとして、ビニロンやポリエチレンシートなどの有機繊維を用いたものがほとんどである。

昨年は、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た研究につ

いてその基本性能を報告した³⁾。本年はそれに引き続き、その耐久性について調査を行った。

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）、目開きや織り方は昨年報告の研究結果³⁾のなかで特性の良かったシートAとBの2種類を使用した。耐アルカリガラス繊維の一般的特性を表-1に、連続繊維シートの特性を図-1に示す。図中の矢印はシートの長さ方向を示す。シートBはいわゆる三軸織物で、シートの長さ方向に対して斜めに配置されたヨコ糸が、長さ方向に配置されたのタテ糸で挟み込まれている。

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）

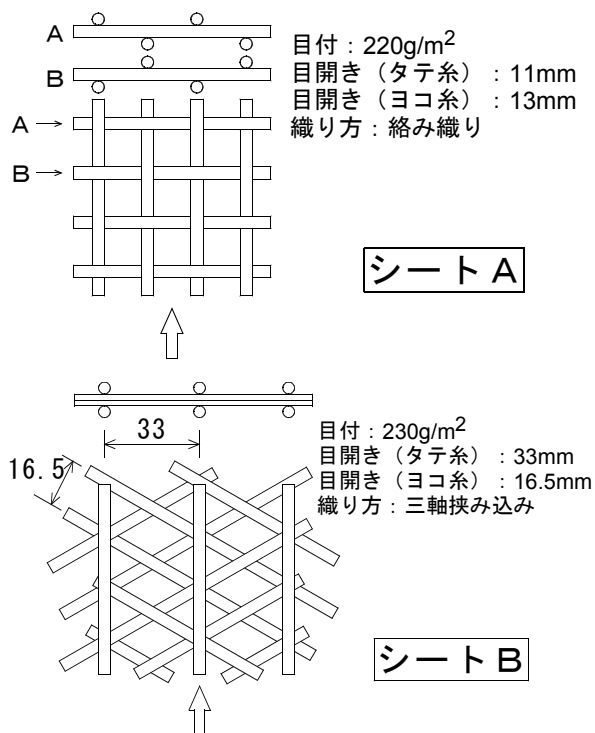


図-1 連続繊維シートの特徴

(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P C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、施工時の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P C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-2に示す。

表-2 P Cモルタルの調合と特性

粉体	ポリマー	水	
15質量部	1.1質量部	2.2質量部	
硬化時間(分)	圧縮強度(MPa)		
30~80	3時間	1日	28日
	6.0	15.0	30.0
ポリマーのガラス転移点		0℃	

2.2 試験方法

(1) はく落防止の押し抜き試験

試験体と荷重方法の概略を図-2に示す⁴⁾。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形ふたの中央にははく落防止工を行う面の反対側から55mmの深さに直径100mm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、はく落防止工を行う面は、サンダーにより表面処理を行った。

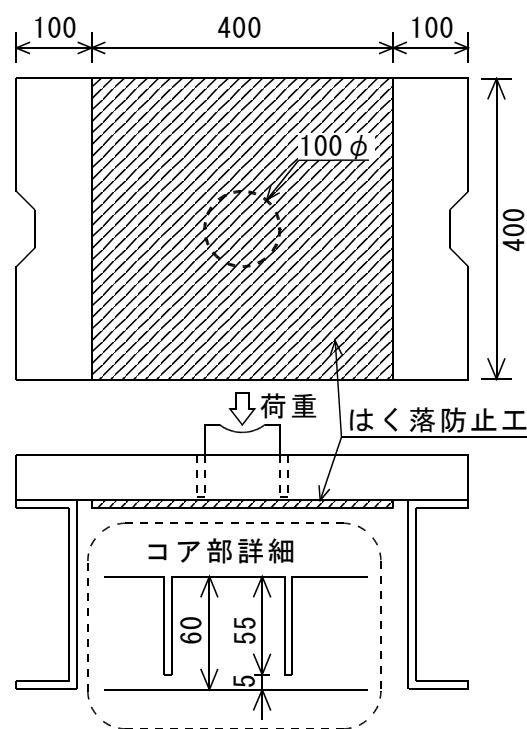


図-2 押し抜き試験体および荷重方法

試験体は、表面処理後にプライマー処理、P C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。はく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。

予め定めた養生を行った試験体の両短辺側を、図-2に示すようにはく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荷重を行った。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、はく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はく落させないことがはく落防止性能であるという考え方によるものである。

(2) 温水浸漬試験

はく落防止工を施した押し抜き試験体を60℃×25日間の条件で温水浸漬した。ガラス繊維補強コンクリートの屋外暴露試験での強度低下の温度依存性は、温水浸漬試験の場合と良く一致し、浸漬温度とその地域の年平均気温から、相当する屋外暴露期間を算出できるとされており⁵⁾、上記条件は東京の場合約10年と算出される。また、FRP工法では10年を目処にはく落防止工の改修が行われている事が多い。

(3) はく落防止の耐久性能試験

JHS 425：2004 はく落防止の耐久性能試験方法⁶⁾に従い、ひび割れ抵抗性試験と付着強さ試験および塩化物イオン透過性試験により、はく落防止の耐久性を調べた。JHS 425で規定された方法で試験用モルタル基板を作成し、乾燥状態の基材を用いて次の手順で試験体を作成した。はく落防止工は、はく落防止の押し抜き試験と同じ手順で行った。その後、ひび割れ抵抗性試験と付着強さ試験に関しては影響がないが、塩化物イオン透過性試験のために、はく落防止工の表面に仕上げ材として遮塩性を有するアクリルシリコン系の水性塗料を0.3kg/m²塗布して試験体の作成を完了した。

上記の方法で作成した試験体に対し、JHS 425に規定された下記の負荷を与えた。JIS K 5600-7-7に規定するキセノンランプ法の方法1、サイクルAによって、1200時間の照射を行い、-30℃の恒温機中で3時間冷却し、次いで60℃の別の恒温機中で3時間の負荷を与えた後に、

23℃で18時間保持し、この24時間を1サイクルとする操作を30回繰り返した。60℃に保持した状態では、水酸化カルシウム飽和水溶液に全没させ、23℃に保持した状態では、剥落防止工が上の平置き状態で同水溶液に半水浸させた。

ひび割れ抵抗性試験では、試験体の裏面に中央部幅方向に深さ3mmの切込みを入れ、試験前に23℃、-30℃及び50℃において、48時間以上状態調整し、各養生槽から取り出してすぐに5mm/minの等速度で室温にて写真-1に示すように引張試験を行い、最大荷重を測定した。



写真-1 ひび割れ抵抗性試験

付着強さ試験では、試験体から40×40mmの大きさに切断し、エポキシ系接着剤を用いて同じ寸法の鋼製アタッチメントを試験体をはさむようにして接着、固定し、24時間以上静置し、付着強さ試験体とした。試験前にひび割れ抵抗性試験と同様に状態調整し、各養生槽から取り出してすぐに室温にて写真-2に示すように直接引張試験により付着強さを測定した。



写真-2 付着強さ試験

塩化物イオン透過性試験では、アクリル製で内径50mm、内容積200mlの塩化物イオン透過度測定用セルを用いた。負荷を与えた試験体か

ら直径約60mmに切断した試験体を二つのセルで挟み込み、はく落防止工施工面側のセルに塩化ナトリウム溶液（3w/v%）を、もう一方のセルに脱イオン水をそれぞれ200mlずつ入れ、40℃で30日間保管した。試験体のセット状況を写真-3に示す。30日経過後、脱イオン水側のセルから溶液を100ml採取し、JIS K 0101の32（塩化物イオン（Cl⁻））の塩化物イオンの分析方法によって塩素イオンを分析した。

塩化物イオン透過度は、次の式によって算出した。

$$Cl = \frac{V \times M}{3000 \times A}$$

ここに、

Cl：塩化物イオン透過度（g/m²・日）

V：セル中の脱イオン水の量（ml）

M：測定した塩素イオン濃度（mg/l）

A：塩素イオン透過面積（cm²）

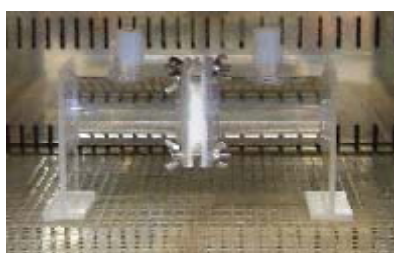


写真-3 塩化物イオン透過性試験

3. 実験結果及び考察

3.1 温水浸漬試験

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、はく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、はく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。

温水浸漬試験結果を表-3に示す。シートの種類の違いにより温水浸漬前の押し抜き最大荷重に多少の差が見られ、シートBの方がシートAよりも最大荷重が高かった。

表-3 温水浸漬試験結果

シート	A		B	
	前	後	前	後
温水浸漬				
最大荷重(kN)	2.15	1.91	2.41	2.24
最大時変位(mm)	15.5	13.2	14.8	12.2

いずれの場合も、温水浸漬後にその荷重が低下する傾向が見られたがその程度はわずかであり、東京の平均気温から10年の屋外暴露に相当すると算出される促進試験においても、各機関の定める押し抜き最大荷重の規格値である1.5kN以上⁷⁾を充分満たしている。また、押し抜き最大荷重時の変位も浸漬により小さくなっている。モルタルの強度と押し抜き性能との間に関係があることは、昨年³⁾の報告で述べているが、今回の場合は温水浸漬によりモルタルの強度が上がったため、同じ状況になったと思われる。つまり、モルタルの強度が上がったことで、シートが剥がすモルタルの面積が減少し、その外縁に位置して荷重を負担するガラス繊維本数が減少したことと、モルタルとシートの接着が上がり、繊維の抜けが少なくなつて変位が小さくなったためではないかと思われる。

3.2 はく落防止の耐久性試験

(1) ひび割れ抵抗性試験

各試験体調整温度での負荷前と負荷後のひび割れ抵抗性試験結果として直接引張試験における最大荷重とその時の変位を表-4に示す。また、直接引張試験後の試験体を写真-4（負荷前）と写真-5（負荷後）に示す。

表-4 ひび割れ抵抗性試験結果

試験体調整温度(°C)	負荷前(kN)	負荷後(kN)
23	0.85 (8.3)	1.01 (4.0)
-30	1.08 (11.5)	1.32 (8.0)
50	0.98 (12.9)	1.25 (4.1)

注) 括弧内は最大荷重時の変位 (mm)



写真-4 ひび割れ抵抗性試験後の試験体
(負荷前)



写真-5 ひび割れ抵抗性試験後の試験体
(負荷後)

表-4に示すように、いずれの試験体調整温度においても負荷をかけることで変位は小さくなったが、最大荷重は大きくなった。直接引張試験において最大荷重が大きくなっていることから、キセノンランプによる紫外線照射と温冷繰り返しの負荷を与えても、モルタルと繊維は全く劣化しなかったことが分かる。

また、写真-4と写真-5から、負荷をかけることで繊維が引き抜けにくくなるのがわかり、繊維とモルタルとの接着強度が向上して最大荷重が上がったものと思われる。

負荷を与えてモルタル強度が上がっている場合でもまだその変位は大きく、最大荷重が依然として繊維の引き抜け強度（接着強度）に支配されていることが分かる。

以上から、JHS 425に規定された負荷によりシートの引張強度は下がらず、シートとモルタルの接着強度が上がったことで直接引張荷重が上がったものと思われる。

温水浸漬により促進養生を行った押し抜き試験体を用いた耐久性試験では、その押し抜き特性が若干減少したが、ひび割れ抵抗性試験では

反対に直接引張試験の最大荷重が大きくなった。このことは一見反対の結果を示しているようであるが、ガラス繊維のような高弾性率の材料をシートに使用する場合、モルタルの強度が高く、シートとモルタルの接着強度が高くなると押し抜き特性が低下する傾向にあり³⁾⁸⁾、よく似た結果となった。直接引張試験での破壊形態に変化が見られたが、直接引張強度が負荷前よりも上がっていることは、少なくともJHS 425に示された負荷によってシートの引張強度が低下していないことを示している。

両試験の促進条件が同じでないので、明確には言えないが、温水浸漬による押し抜き性能の低下も、シートの引張強度の低下が原因ではなく、付着強度が上がったためである可能性が高い。

(2) 付着強さ試験

各試験体調整温度での負荷前と負荷後の付着強さ試験結果を表-5に示す。また、付着強さ試験後の試験体のうち、負荷前の試験体を写真-6に、負荷後の試験体を写真-7に示す。

負荷前の試験体において、調整温度の低い方が付着強さが強いという結果となった。また、ひび割れ抵抗性試験と同様に、付着強さにおい

表-5 付着強さ試験結果

試験体調整温度(°C)	負荷前(MPa)	負荷後(MPa)
23	2.01	2.45
-30	2.50	2.59
50	1.53	1.60



写真-6 付着強さ試験後の試験体
(負荷前)



写真-7 付着強さ試験後の試験体
(負荷後)

ても負荷後にその特性に低下は見られず、むしろ上がる傾向が見られた。写真-6と写真-7から、剥離はシートが挿入されている層で起こっている事が分かる。さらに詳細に言うと、剥離した試験体の両方の破断面の同じ位置に繊維が見られるものが多いことからシート（繊維）の中で剥離しているものが多い。

セメント系のはく落防止工であるため、ひび割れ抵抗性試験と同様にキセノンランプによる紫外線では全く劣化せず、その後の温冷繰り返しによりモルタルの硬化が進み、付着強さが上がったものと思われる。

(3) 塩化物イオン透過性試験

40℃で30日間保管後、脱イオン水側のセル中の溶液の塩素イオン濃度を測定したところ、定量限界の1mg/l以下であり、1mg/lから計算すると塩化物イオン透過度は0.0034g/m²・日以下となった。これは、塩化物イオン透過度を規定している各機関の基準⁷⁾である0.005g/m²・日以下であり、規格を満足する結果であった。

4. まとめと今後

- (1) 温水浸漬による押し抜き性能の耐久性評価では、東京での屋外暴露10年に相当すると算出される条件において若干低下したが、まだ各機関の基準を大きく上回る結果であった。
- (2) ひび割れ抵抗性試験による耐久性評価では、負荷による特性の低下は全く見られなかった。
- (3) 付着強さ試験による耐久性評価では、負荷による特性の低下は全く見られなかった。

- (4) 塩化物イオン透過性試験においては、各機関の基準である0.005g/m²・日以下であり、規格を満足する結果であった。
- (5) はく落防止工の耐久性を評価する方法はまだ確立していないが、ガラス繊維補強コンクリートで用いられている方法や各機関が定める方法による評価では良好な結果が得られた。今後の検討事項として、屋外暴露しているはく落防止の押し抜き試験体の調査を行う。

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はく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はく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) 竹内好雄ほか：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はく落防止工法の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1561-1566，2005.7
- 4) 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
- 5) Litherland, D.R., Oakley, D.R. and Proctor, B.A., The use of accelerated ageing procedures to predict the long term strength of GRC composites, Cement and Concrete research, volume 11, pp.455-466, 1981
- 6) 日本道路公団：JHS 425：2004 はく落防止の耐久性試験方法，日本道路公団試験方法
- 7) 日本道路公団：構造物施工管理要領
- 8) 杉山基美：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を用いた剥落防止工法に関する基礎実験，土木学会第60回年次学術講演会講演概要集，pp.107-108，2005.9