

UUライニング工法の経年劣化調査と適用限界について

Investigation of Aging and Application Limit of the UU lining Method

西山宏一* 石井敏之** 沼田 憲* 津田晃宏***

要 旨

構造物の劣化因子の遮断や摩耗防止、はく落防止、防水などを目的として、多くの構造物にUUライニング工法を適用してきた。現在、摩耗対策や防水対策での適用を検討する機会が増えてきており、今後も、そのニーズは増加すると予想される。本工法は、平成 12 年 2 月より適用が開始された。これらの工法を適用した構造物の現状を把握することがその性能や耐久性を評価する最も良い方法となるので、経過観察を実施した。

また、実施されたUUライニング工法の性能確認試験結果から、湿潤環境における付着力の性能低下が確認されている。このことから、本研究では付着力の低下の把握を目的とした確認試験とともに改良を加えた素地調整材も組み込むことで、付着力の低下に対する対策も含めたUUライニングの適用性に関する確認試験を行った。本報では、その経過観察結果と試験結果について報告する。

キーワード：ウレアウレタン、耐摩耗、付着力、鋼製桁上フランジライニングシステム、床版防水

1. まえがき

近年コンクリート構造物の樹脂系補修材として従来からよく用いられてきたエポキシ系だけでなく、多くの新素材が適用されるようになってきた。防水や防食用ライニング材として適用されるようになったウレアウレタン樹脂もその一つである。このウレアウレタン（以下、「UU」と表記）樹脂の優れた性能に着目し、防水だけでなく、はく落防止、耐摩耗および防錆などの目的でUUライニング工法を開発し、各種の対策として適用してきた。UUライニング工法に使用するUU樹脂は、約 20 年前にドイツで防水材料として開発され、日本に導入されたものである¹⁾。

また、平成 12 年 2 月のUUライニング工法の適用開始から約 9 年が経過しており、その施工実績は、平成 21 年 3 月現在で約 26,000m²となっている。UUライニング工法を適用してきた構造物の経過観察結果は、本工法の妥当性や耐久性能の確認において有用である。

本報で述べる性能確認試験とは、過去に実施した性能確認試験から、湿潤環境において付着力の低下が確認されたので、種々の施工条件下での 6 ヶ月間の付着性能の確認を目的とした試験である。また、この試験では、付着性能の低下に対する対策として、改良した素地調整材も加えた。

本報では、今回実施したUUライニング工法を適用した構造物の経過観察の結果と性能確認試験結果を報告する。

2. UUライニング工法の概要

2.1 特長

UUライニング工法は、次の順序で施工される。図-1に示すように、構造物に対して下地処理、必要に応じて素地調整材を実施し、次にプライマーを塗布して2液先端混合型の専用機を用いてUU樹脂を吹き付け、その後、耐候性塗料を塗布する。吹き付けは、材料タンクからギア式ポンプでスプレーガンに主剤と硬化剤の2液を送り込み、スタティック方式で混合した後にエアを併用して行われる。

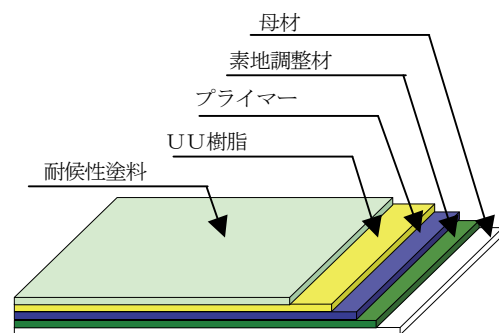


図-1 構成

材料は、2液硬化型のUU樹脂であり、1級アミンもしくは、2級アミンを持つ化合物およびポリエーテルポリオールとの混合物と、イソシアネート類との反応により生成するウレア結合とウレタン結合を併せ持ったポリマーである。

*東日本支社環境技術部 **技術研究所 ***西日本支社環境技術部

工法の特長は、以下に示す通りである。

- i. ゲルタイムが数十秒と硬化速度が非常に速い
- ii. 経時的な物性低下もほとんどなく耐久性に優れる
- iii. 耐酸性・耐アルカリ性など、耐薬品性に優れる
- iv. 耐摩耗性・耐衝撃性に優れる
- v. 6mmのひび割れに追従する(塗膜厚2mm)
- vi. 硬化反応が非常に速いため、低温域での施工が可能である

2.2 施工実績

施工実績のうち、表-1に目的別の件数と施工数量を示す。目的としては、防水が最も多く、はく落防止、耐摩耗、防食(硫酸)の順となっている。ただし、近年、構造物の管理者がはく落防止の要求性能を下げたため、安価な他の工法との競合により、はく落防止への採用例が少なくなっている。

表-1 目的別施工実績

目的	件数	数量(m ²)
防水	29	11,414
はく落防止 中性化防止含む	26	6,739
耐摩耗	23	2,433
防食 硫酸(下水)	5	2,290
防食 塩害	1	1,484
防音	6	1,067
防食 防錆	13	594
粗度係数	1	152
合計	104	26,173

3. 経過観察

これまでの適用例のうちから、表-2に示すように使用目的別に4~6年経過した4事例(写真-1~写真-4)を選定し、経過観察を実施した。各経過観察の結果を表-3に示す。

表-2 観察事例

使用目的	施工箇所	経過年数	写真番号
耐摩耗	頭首工土砂吐水路	6年1ヶ月	写真-1
防水	鉄道線路を跨ぐ新設道路橋	4年5ヶ月	写真-2
はく落防止	鉄道線路を跨ぐ既設道路橋	5年2ヶ月	写真-3
防錆	鉄道鋼製桁の上フランジ まくら木の下	5年9ヶ月	写真-4



写真-1 頭首工土砂吐水路での事例



写真-2 新設跨線橋での事例

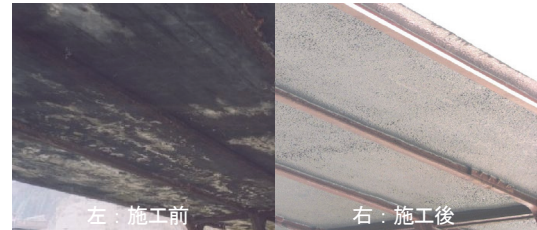


写真-3 既設跨線橋での事例

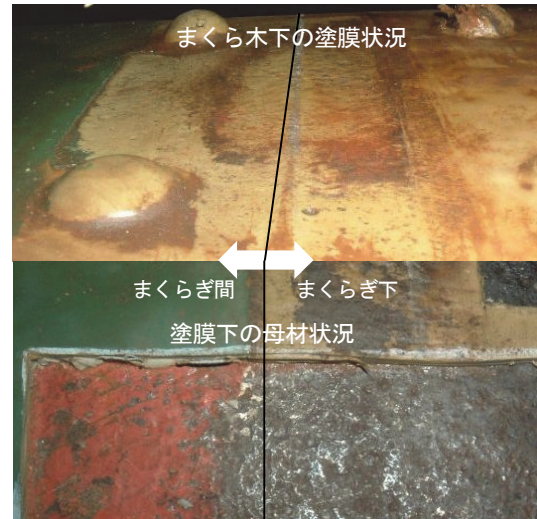


写真-4 フランジ上の塗膜の事例

表-3 経過観察の結果

使用目的	目的および観察状況
防水	新設高架橋の防水工として施工。車両走行によるせん断力が作用し、高い付着性能と耐久性が要求される。舗装面の異常、床版下面への漏水はなく健全。
耐摩耗	水流に含まれる土砂による摩耗防止を目的として施工。土砂による既設コンクリートの摩耗が激しく、摩耗に対する高い耐久性が求められる。塗膜のめくれ、損傷もなく、現存していることを確認。
はく落防止	脆弱部除去後に断面修復を行った後、剥落防止を目的として施工。膨れや剥離もなく健全。
防錆	防錆の難しいまくら木の下を線路閉鎖内に塗装。列車走行にともなうまくら木の振動による塗膜の摩耗が懸念されたが、摩耗、物性の変化等はほとんどなく健全である。その後のまくら木交換でリベット頭部の塗膜を損傷している。

4. 性能確認試験

4.1 目的

表-4は、平成15年に首都高速道路公団によって行われた「コンクリート補修材料・補強材料（平成15年度）実験」における、トンネル内のコンクリート片はく落防止材料の性能試験結果の一例である²⁾。トンネルが漏水等によって湿潤状態にあるときの付着力への影響を付着性試験によって評価したものである。

表-4 付着性試験結果

養生方法		付着力(MPa)	
		測定値	平均値
標準(気中)	温度 20℃ 湿度 65% 28 日	1.73	1.98
		2.04	
		2.18	
常温(半水没)	水温 20℃ 28 日	1.56	1.44
		1.32	
		1.44	

建研式接着力試験器を用いて付着性試験を実施した。養生方法が常温（半水没）の付着力試験では、UU樹脂と素地調整材との界面で破断した。この結果は、塗布時には乾燥しているが、施工前後で構造物が常に湿潤な環境にある場合には付着力が小さいことを意味する。

このような湿潤な環境にある実構造物に適用する場合には、UU樹脂の付着力が小さいのか、時間とともに低下するのかを評価する必要があると考え、長期間（～半年間）にわたる付着力の変化を確認するための実験を行った。塗膜系材料において、付着力を定量的に評価できる手法として、以下の項目が挙げられる。

- i. 付着力
- ii. 押抜き力
- iii. ピーリング力（引き剥がし抵抗力）

付着力は、面全体での付着性能を評価している。押抜き力は、負荷によって剥れた部分の外周の引き剥がし抵抗力を計測できる。しかし、この2つは付着性能の面的なばらつきが捕えにくい。対して、ピーリング力は幅10mmのUU樹脂の引き剥がし抵抗力を測定するので、付着の面的なばらつきを捕えやすい。

また、上記実験では、破断がUU樹脂と素地調整材の界面で発生していたため、素地調整材を遮水層にすることにより、付着性能の低下を防止できると考えられる。そこで、従来使用してきた材料の他に水中においても性能劣化がないと考えられる材料も加えて、実験を実施した。

4.2 供試体の製作

供試体の基盤材には、表-5に示す材料を用いた。押抜き試験の基盤材は、図-2に示すようにあらかじめ中心にφ100mmのコア削孔を行った。

供試体の製作は、これらの基盤材を20℃の恒温水槽

に浸漬させて飽和状態にした後に、塗布面を乾燥させ図-3に示すライニングを行った。試験ケースは、素地調整材とプライマーの仕様および養生方法をパラメーターに、表-6の組み合わせとした。

表-5 基盤材規格

試験項目	基盤材規格
付着性・ピーリング	JIS A 5371 コンクリート平板(300×300×60)
押し抜き	JIS A 5334 U形用蓋(600×400×60)

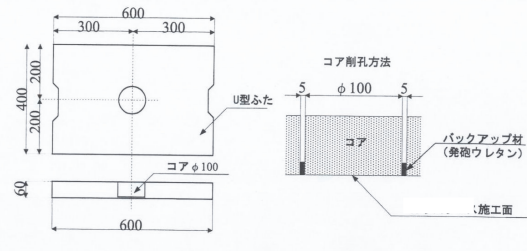


図-2 押抜き試験用基盤詳細図

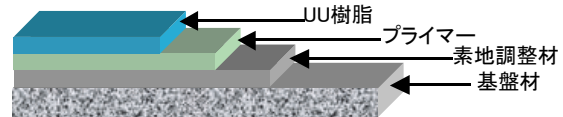


図-3 供試体構成図

表-6 試験ケース一覧表

試験項目	プライマー	素地調整	CASE
接着性およびピーリング	UUSプライマー(従来)	なし	P-1
		ポリマーセメントA	P-2
		ポリマーセメントB※1	P-3
		ポリマーセメントC※2	P-4
		エポキシ樹脂モルタル※1	P-5
		エポキシ樹脂※1	P-6
		ビニルエステル※2	P-7
	エポキシ樹脂	なし※1	P-8
押抜き	UUSプライマー(従来)	なし	P-1
		ポリマーセメントB※1	P-3
		エポキシ樹脂モルタル※1	P-5

※1：今回製作 ※2：市販 無印：標準仕様

4.3 付着性試験

作製した2体の供試体を20℃の恒温槽で気中養生および恒温水槽で水中養生した。養生期間7日、28日、90日、180日において、建研式接着力試験器で付着力を計測した。



写真-5 付着性試験状況

試験状況を写真-5、試験結果を図-4に示す。

試験結果は以下の通りである。

- i. 素地調整材にポリマーセメントを用いた標準型（以下、P-2）、改良を加えたポリマーセメントを用いた改良型（以下、P-3）、素地調整材に市販のポリ

- マーセメントを用いた改良型（以下、P-4）では、水中養生の場合、付着力は養生期間の増加とともに増加し、90日目で2.0MPa以上に達している
- ii. P-3 では気中養生および水中養生の7日目の付着力が1.0MPa前後と小さいが、養生条件による付着力の差は見られない
 - iii. 素地調整材としてエポキシ樹脂モルタルを用いた改良型（以下、P-5）は水中養生において高い付着力が得られ、養生期間が増加しても付着力の低下は見られない
 - iv. 素地調整材としてエポキシ樹脂を用いた改良型（以下、P-6）、ビニルエステル樹脂を用いた改良型（以下、P-7）、素地調整層を設けずプライマーをエポキシ樹脂系に改良した改良型（以下、P-8）では、すべてにおいて気中養生より水中養生の付着力が小さいが、養生期間の経過による付着力の大きな低下は見られない
 - v. P-6、P-8 において水中養生時の付着力は他のケースに比べて付着力が小さい傾向にある。

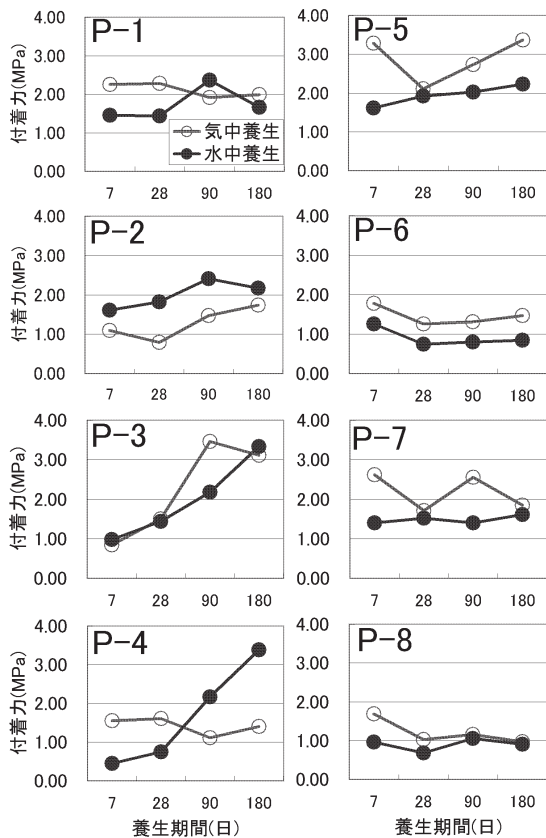


図-4 付着力試験結果

4.4 押抜きせん断試験

押抜き試験用の供試体として、P-1、P-3、P-5 のみ作製し、表-7に示す条件で養生した。P-3は改良を加えたポリマーセメントを評価するため、P-5は漏水のある

構造物で実績の多いエポキシ樹脂モルタルを評価するために選定した。水中水圧養生は、湿潤環境にある構造物のひび割れや打ち継ぎ目からUライニングが水圧を受ける環境下にあるとして、付着力の低下の確認を目的とした。本試験では図-5に示すように水頭差2.0mとした。

表-7 養生条件

名称	場所	条件	期間	
気中養生	恒温室	20℃	28日	
水中養生	恒温水槽	20℃	90日	
水中水圧養生	倉庫棟	常温* 図-5参照	90日	180日

※水中30日養生後に加圧

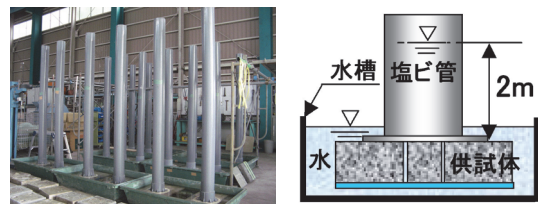


図-5 水中水圧養生状況

押抜き試験には、500kN 万能試験機を使用した。荷重方法は速度制御とし、供試体の素地調整層が破断するまでを、1.0mm/min、それ以降を5.0mm/minで荷重した。変形が10mm変位する毎に荷重を停止し、供試体のU樹脂の変形をマーキングした。図-6に押抜き試験の結果を示す。

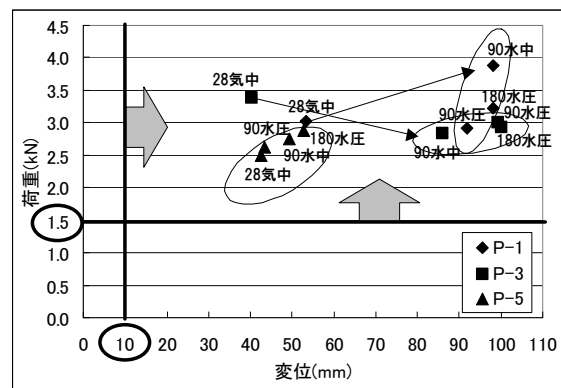


図-6 押抜き試験結果

養生期間の増加にともない変形性能は異なるが、すべて旧日本道路公団の示す要求性能³⁾「1.5kNで10mm以上の変形性能を有するもの」を満たす結果を得ている。

P-1とP-3では、水中、水中水圧養生の供試体はほとんど最終変位まで破断することがなかった。それに対して、気中養生の供試体については水中、水中水圧養生の約1/2の変位で破断した。また、P-5では、エポキシ樹脂とコンクリートの界面ではく離れた後に、そのはく離が進行することなくはく離端部もしくは、コア外周部においてU樹脂が破断しているため、変位が小さくなった。

等しい荷重が作用しても、引き剥がし界面の延長が長くなると、単位長さあたりの荷重は小さくなるため、変位と荷重の結果だけで付着性能の合理的な評価をするのは難しい。そこで、**図-7**に示すように、引き剥がし界面に働く単位長さ当たりの鉛直荷重（以下、「鉛直荷重」と表記）で評価した。換算方法は、**図-7**の写真にあるように、はく離半径を8側線で計測し、その平均値をはく離半径として、はく離部周長を算出し、最大荷重を周長で除した。**図-8**にその結果を示す。

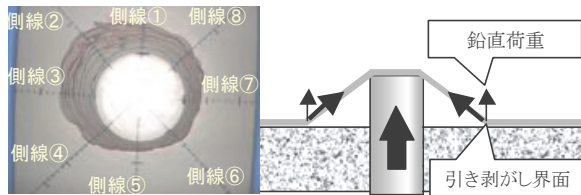


図-7 ピーリング力概念図

P-3 では水中養生、さらに水中で水圧を負荷することで、気中養生に比べて鉛直荷重が大きく低下している。P-1 も、ほぼ同様の傾向にあるが、その変化の幅は小さい。P-3、P-5 とともに水中水圧養生においては、養生期間に関係なく同程度の鉛直荷重を示している。P-5 では、ほぼ鉛直荷重は一定である。これは、最大鉛直荷重がU樹脂の破断時であったためと思われる。

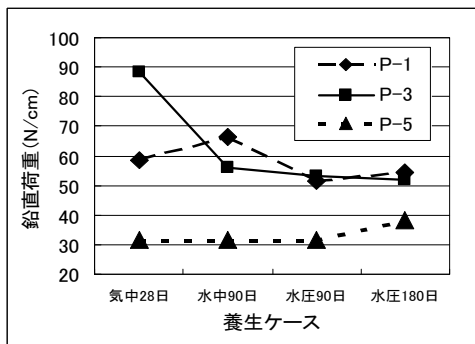


図-8 鉛直荷重

ここで、**図-9**に示した P-3 の剥離状態を見ると、**図-10**の P-1 のはく離状態と比較すると、P-3 ははく離半径が小さく、同心円状にはがれている。これは、はく離しにくく、付着が均一であることを示している。また、養生条件が気中養生、水中養生、水中水圧養生の順にはく離半径が大きくなっていることがわかる。

一方、**図-10**に示す P-1 では、養生条件に関係なく、はく離面が偏り、8測線上ではく離半径のばらつきが大きい。これは、付着が不均一であると考えられる。

4.5 ピーリング（引き剥がし抵抗）試験

ピーリング試験は、**表-7**に示す条件で養生した供試体から、幅 10cm、長さ 100~150cm の部分をディスクサンダーで切断し、ピーリング試験装置を使用してU樹脂の端部をライニング方向と 90 度の方向へ速度制御で引張り、変位と荷重を計測した。試験状況を**図-11**

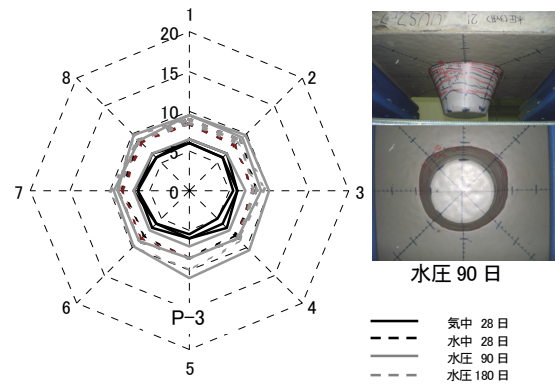


図-9 P-3 の剥がれ範囲計測結果

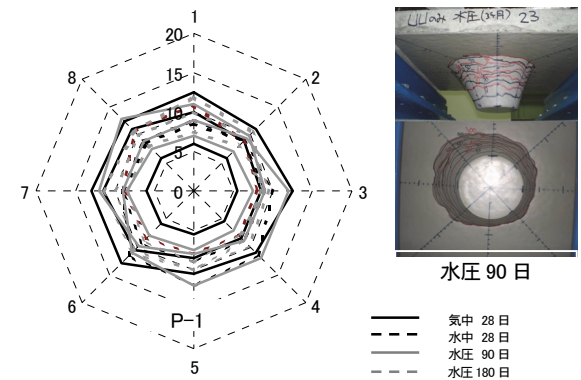


図-10 P-1 の剥がれ範囲計測結果

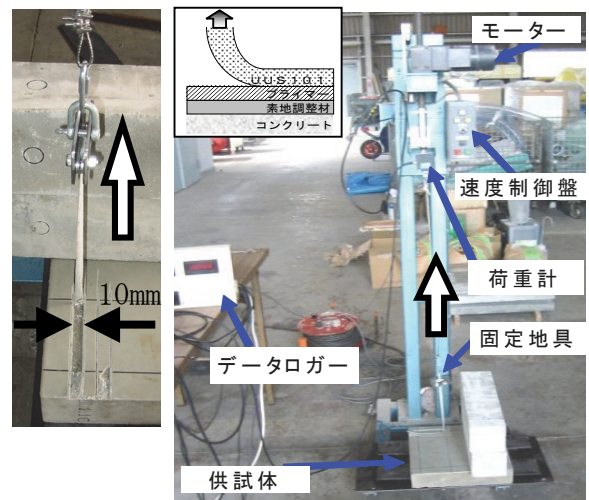


図-11 ピーリング試験装置

に示す。また、**図-12**に試験結果を示す。

気中養生した P-1 は、高いピーリング力が確認できたが、水中養生の場合は、10N/cm 以下と非常に小さい値となっている。P-2 の気中養生の場合、養生期間の 7 日では 12N/cm と小さいが、養生期間 180 日では 66N/cm まで増加する。これに対して、P-2 の水中養生の場合、養生期間 7 日で 40N/cm あったピーリング力は、養生とともに減少し、養生期間 90~180 日の間にピーリング力は 10~20N/cm まで減少した。P-3 の気中養生の場合、ばらつきは見られるが、高い値を示している。P-3 の水

中養生の場合も、養生期間の増加とともに増加し、60N/cm 以上の高い値を示している。P-4 では気中養生、水中養生ともに7日目は2N/cm と小さいが、養生期間の増加とともに増加し、養生期間180日でピーリング力は約30N/cm となった。

図-13 に P-1 と P-3 のピーリング力と载荷速度の関係の一例を示す。図中の破線丸印で示す滑らかな増加部は、部分的に付着が高いときに剥離せず塗膜が伸びている時に現れる。このように、ピーリング力から、P-1 は付着にむらがあり、P-3 は全体に均一な付着性能を有していることがわかる。

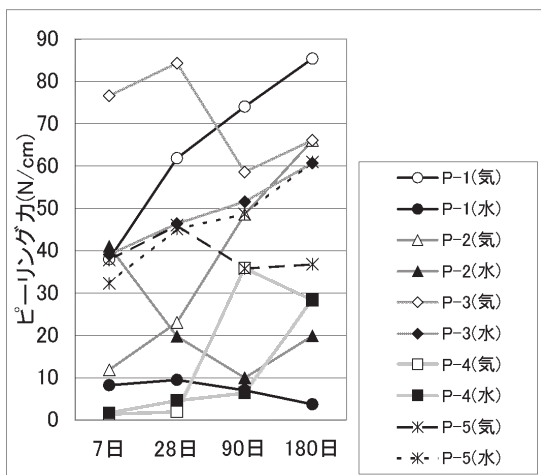


図-12 ピーリング試験結果

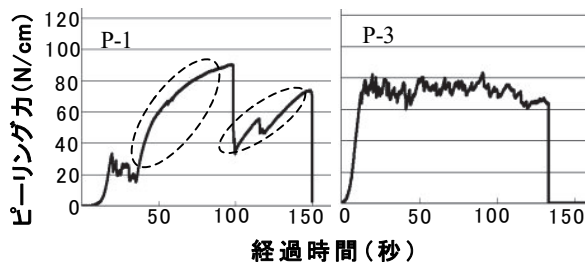


図-13 ピーリング力の変化

5. まとめ

5.1 経過観察

防水、耐摩耗およびはく落防止の事例ではU樹脂の状況は健全であり、当初目的とした機能は保持していると判断できる。

調査対象としたUUライニング工法を適用した構造物は、比較的厳しい環境にある事例である。経過観察された事例はそれほど多くないが実構造物で耐久性が確認できたことは今後の評価に有効な資料となる。

5.2 性能確認試験

実験より、以下の見解を得ることができた。

- i. 付着試験より、素地調整層としてポリマーセメン

トを用いたものは、有機系の素地調整層やプライマーを用いたものと比較して、水中養生においても付着力を確保できる

- ii. 押抜き試験の鉛直荷重で評価すると付着性能は、P-1、P-3 ともに気中養生>水中養生>水中水压養生の順であった
- iii. 付着性試験では水による付着性能の評価は難しく、ピーリング試験によって性能を評価する必要がある
- iv. ピーリング試験の結果より、現在の仕様 (P-1) は水中養生において時間とともに付着力が低下することがわかった
- v. 今回製作したポリマーセメントモルタルを素地調整層とすることで、湿潤環境下にある構造物に対しても安定した付着性能が確保できることを確認した

6. あとがき

UUライニング工法を適用した構造物の経過観察においては不具合は見受けられず、厳しい環境にもかかわらず十分その性能を発揮していることを確認できた。近年では、河川構造物等の摩耗対策としてのニーズが高まっているが、湿潤環境での付着性能への懸念があった。しかし、今回の実験により、適用範囲を判断できる十分な成果を得ることができた。

この経過観察に当たっては、「鋼製桁上フランジライニングシステム」の共同開発者である阪急電鉄株式会社、実験においてはUUライニング工法の共同開発者である大都産業株式会社、供試体の作成に協力して頂いたタカラテクノ株式会社、材料提供して頂いた株式会社アドミックス、株式会社住ゴム産業にはこの場を借りてお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 森本克秀、中野秀和、西山宏一、「ウレア系樹脂ライニングによる構造物劣化抑制工法『UUライニング工法』の適用」、電力土木、No.320、IV pp.36-40、2006
- 2) 「コンクリート補修材料・補強材料 (平成 15 年度) (トンネルコンクリートはく落防止材料実験) 実験報告書」、首都高速道路公団、株式会社千代田コンサルタント
- 3) 「コンクリート片はく落防止対策マニュアル 平成 12 年 11 月」、日本道路公団