

鉄筋コンクリート表面被覆工用材料の環境劣化に関する実験的研究

Experimental study on the environmental deterioration of materials for surface lining of reinforced concrete

守屋裕兄*, 大西弘志**, 梅原由紀夫***, 松井繁之****

Hiroshige MORIYA, Hiroshi ONISHI, Yukio UMEHARA, Shigeyuki MATSUI

*工修, 奥村組, 関西支社土木部リフォーム課 (〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2)

** 工修, 大阪大学大学院助手, 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

***工修, 大阪市建設局, 土木部交通安全施設課 (〒559-0034 大阪市住之江区南港北 1-14-16 大阪 WTC ビル 12 階)

****工博, 大阪大学大学院教授, 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

It is well known that the structures forming infrastructures are influenced and deteriorated with the many mechanical and chemical factors. Specially, the peeling of the concrete pieces from reinforced concrete is one of the most emergency problems of reinforced concrete. The one popular method of counter measure to prevent the falling of concrete pieces is the arrangement lining on the reinforced concrete members. In the lining method, many materials which are FRP, polymers, resin mortar, steel and so on are used.

Recently, it is thought that the urea system elastomer is a new material applied on the concrete lining. The urea system elastomer has good chemical resistance and large deformation capacity. But the environmental durability of urea system elastomer is not known. Then the authors carried out some experiments and the discussions about the durability of urea system elastomer.

Key Words: surface coating, environmental deterioration, environmental accelerating test, urea elastomer

キーワード: 表面被覆工, 環境劣化, 環境促進実験, ウレア系樹脂

1. はじめに

一般に, 社会基盤を形成する土木構造物はその供用期間に, その周辺に存在する多くの力学的・化学的要因により影響を与えられ, 劣化していくことが知られている。特に, 近年は鉄筋コンクリート構造において, コンクリート内に配置された鉄筋の腐食に伴うコンクリート片の剥離・落下事例が多く認められるようになってきている。このような事例は構造物の耐久性にとって好ましくない影響をもたらすばかりか, 構造物周辺の第三者に対して被害を与える恐れがあるため, 早急に対策を行う必要があると認識されている。現在, 既存の鉄筋コンクリート構造物のコンクリート片剥落を防止するための対策として, コンクリート構造の表面に被覆材を配置することにより, コンクリート片の剥離が発生しても, 被覆材と周辺の健全な部分のコンクリートによってコンクリート片の落下を防止するという方法が多く用いられている。

このような方法を採用する場合, 表面被覆工に用いる材料としては炭素繊維やアラミド繊維, ガラス繊維などを用いた繊維補強プラスチックやエポキシ樹脂, ビニルエステル樹脂などの高分子材料, 樹脂モルタルや鋼板など多様な材料の使用が考えられる。その中で, 最近, ウレア系樹脂を新たに表面被覆保護工へ適用することが考えられてい

る。ウレア系樹脂は耐薬品性に優れ, 引張強度は 10MPa 前後, 伸び率は 300~500%ある樹脂である。このウレア系樹脂が有する大きな変形性能を利用することにより, 表面被覆施工後に何らかの変状が発生しても十分に剥落を防止するものと期待されている。

しかしながら, ウレア系樹脂はそれ自体が開発されてからの歴史が浅いため, 実際に構造物に適用した場合, どの程度の耐久性を確保できるのか不明な部分が多い。そこで, 本研究では 2 種類のウレア系樹脂 (ポリウレア樹脂, ウレアウレタン樹脂) を用いて環境促進実験を実施し, ウレア系樹脂の耐久性について検討を加えることにした。

2. 実験の概要

2. 1. 環境促進実験

本研究では, 材料の劣化状況をより的確に把握するために, 以下に示す各種の試験を実施することにした。それぞれの試験の概要は以下のとおりである。

- (1) 紫外線照射による促進試験 (以下, U 試験と表記)
コンクリート構造物の表面に施工される樹脂ライニング工のように, 屋外で使用する高分子材料が劣化する主

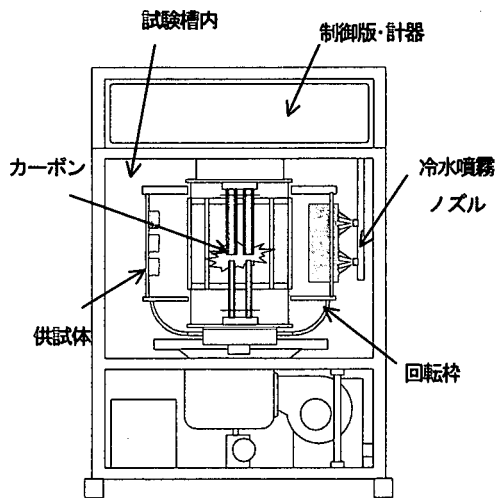


図 - 1 サンシャインウェザーメータ

要因の一つに太陽光に代表される光による劣化がある¹⁾。たとえば、太陽光に含まれる紫外線（波長 400nm 以下）にあたる部分の成分が有するエネルギーは、樹脂内の各種 1 次結合を破壊するのに十分な大きさであることが知られている。紫外線劣化は樹脂表面から始まるので樹脂全体が直ちに崩壊することはないが、繰返し紫外線を受けることにより表面から徐々に分子が崩壊していく。

本研究では、このような光劣化を再現するために、スガ試験機製サンシャインウェザーメーター、WEL-SUN-DC を用意した。この実験装置の概要を図 - 1 に示す。この試験機は、カーボンアーク灯式耐候性試験機であり、カーボンを燃焼させることにより太陽光を想定したカーボンアークを放射する。その放射光の波長分布は太陽光とはやや異なり、必ずしも自然暴露によって行われた実験の場合と同等であるとは言えないものの、放射エネルギーについては $285 \pm 50 \text{ W/m}^2$ と、太陽光に近い値を実現している。アーク灯は、試験槽内中央に位置し、連続点灯のみならず、周期的に点灯・消灯を繰り返すことができる。また、消灯中には槽内の相対湿度を 95% 以上に保持し、背面から降雨スプレーにより供試体に冷水を噴霧することができ、その表面に結露させることも可能である。なおこれは、JIS B 7753²⁾にも準拠している。

今回の実験では、供試体に対してより過酷な環境負荷を与えるために、通常行われる紫外線の連続照射ではなく、紫外線照射（供試体の乾燥）と暗転・結露（供試体の冷却）という繰返し運転（デューサイクル試験）を行うこととした。温度・湿度・時間の設定条件については、表 - 1 に示す条件を採用した。

(2) 温度繰返しによる促進試験（以下、T 試験と表記）

樹脂材料が受ける劣化には、前項で述べた光による劣化以外に熱による劣化がある³⁾。熱による劣化とは酸素の存在下で長時間ある温度に保持されたときに、高分子の自動酸化反応が進行することによる材料の変化である。物質は熱により膨張するが、塗膜と被塗物であるコンクリートの線膨張係数は異なるため膨張による応力と付着力のバラ

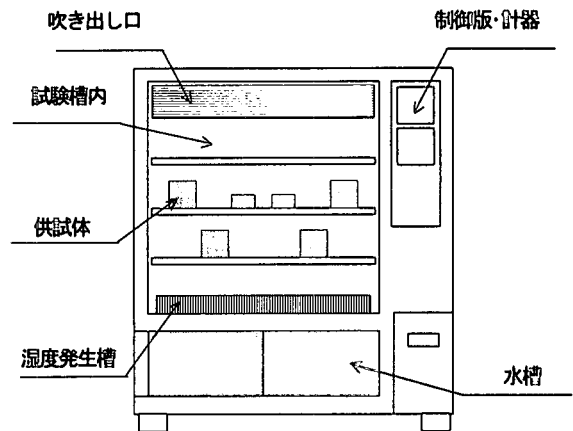


図 - 2 恒温恒湿槽

ンスが崩れ層間剥離などの問題が懸念される。

本研究では、太陽の熱の繰返しを人工的に再現して供試体に加えるための装置として、タバイエスベック製、恒温恒湿機 PR-4FP を用いた。この実験装置の概要を図 - 2 に示す。この装置は温度 $-20 \sim 100^\circ\text{C}$ 、湿度 $0 \sim 98\%$ 、二酸化炭素濃度 $0 \sim 20\%$ の範囲内において試験槽内の環境を制御できる。槽内容量は $100 \times 100 \times 80 \text{ cm}$ と大型であり、網棚を利用することによって、一度に数種の供試体を配置できる。この装置を用いることによって、条件を数種設定して繰返し運転を行うことも可能である。本研究で使用したこの装置の設定条件を表 - 2 に示す。

(3) 塩分による促進試験（以下、S 試験と表記）

海岸部のコンクリート構造物は、他の地域に比べ塩分の影響を大きく受け、鉄筋腐食に至る劣化現象の発生が多い。特に、干満部や飛沫部といわれる部分ではコンクリートへの塩分の浸透が大きいと言われる。

本研究では、このような地域の環境を再現するためにスガ試験機製、塩乾湿複合サイクル試験機 ISO-3-CY-R を用意した。この装置の概要を図 - 3 に示す。この試験機は、一定時間に一定量・一定濃度の塩水を噴霧することができ、さらに、乾燥状態、湿潤状態の保持も可能である。塩水噴霧量は、 $1 \sim 2 \text{ ml}/80 \text{ cm}^2/\text{h}$ の性能を保有し、噴霧中は試験槽内を温度 $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 98%RH 以上の状態に保持でき

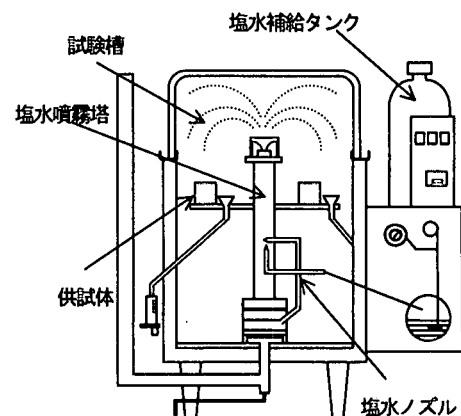


図 - 3 塩乾湿複合サイクル試験装置

表 - 1 紫外線照射促進試験設定条件

状態	ブラックパネル温度	試験槽温度	湿球温度	湿度	時間
カーボンアーク照射	63℃	50℃	31℃	50%	60分
暗黒降雨	—	42℃	30℃	98%	30分
1サイクル所要時間					1時間30分

表 - 2 温度繰り返し環境促進試験設定条件

状態	温度	湿度	時間
高温保持	60℃	60%	1時間15分
移行	↓		45分
低温保持	5℃		1時間15分
移行	↓		45分
(次サイクル)	(60℃)		(1時間15分)
1サイクル所要時間			4時間

表 - 3 塩分環境促進試験設定条件

状態	温度	湿度	塩水濃度	時間
塩水噴霧	35℃	98%	5%	4時間
乾燥	60℃	—	—	2時間
湿潤	50℃	—	—	2時間
1サイクル所要時間				8時間以上

* 各ステップ間の以降時間は含まれていない

る。また乾燥状態においては、70℃まで、湿潤状態においては、98%RH で 50℃まで調整可能である。塩水噴霧の方式は、精密ノズルを使用した、均一粒子噴霧均等分布方式であり、試験槽内の全供試体に均等に塩水を噴霧するので同一条件で試験を行うことができる。試験槽は、内外とも硬質塩化ビニル製で、二重層である。また、外装底部の水槽より発生する蒸気で、内槽をむらなく加熱する間接加熱方式のため、内部の温度は±1℃の均一分布が保たれ、空気加熱式に比べよい精度を実現することが可能である。供試体は水平配置と、保持角 15° または 20° での傾斜配置が可能であり、それらを同時に行うこともできる。なお、槽内寸法は 90×60×50cm となっており、試験槽は上蓋とウォーターシールによって密閉される。なおこれは、JIS Z 2371 にも準拠している³⁾。

この装置の設定条件を表 - 3 に示す。この設定条件は NS サイクルと呼ばれ、日産自動車 (株) において社内規格試験としてよく使用されているもので、促進率がその他の設定条件に比べて非常に高いことが知られている⁴⁾。

(4) 複合環境試験

本研究では、環境劣化がさまざまな劣化要因の複合作用で生じることに着目し、上述の促進試験環境を交互に供試体に作用させる環境促進試験を行うことで、複合環境による促進を行い、より実環境に近い劣化現象を再現することにした。本研究では再現する環境として以下の 2 種類の環境を考え、供試体に与えることにした。なお、これらの複合試験においては要素として用いられた試験の略称を組み合わせた名称においても用いることにした。

① U+S 試験

この試験は光劣化による影響と、塩分浸透による影響を調査できる複合環境促進試験である。紫外線により光劣化が進むにつれ、樹脂の塩分遮蔽性は低下することが予想されるため、この試験法を用いることで、RC 構造物の防食にとって重要な塩分の遮蔽性の経時劣化を調査することができる。想定する実環境は、海岸域や海洋域のような塩分の影響の強い環境下に建設された橋梁等の構造物である。

② U+T 試験

この試験は光劣化による影響と、熱劣化による影響を調査できる複合環境促進試験である。紫外線により光劣化が進むのと同時に熱劣化も進み、樹脂の劣化という意味では最も過酷な環境であると言える。想定する実環境は、内陸部の山間部のような日射の影響の強い環境下に建設された橋梁等の構造物である。

ところで、これまでに述べた環境促進試験の管理には、表 - 4 に示す「SET 数」を用いることにした。例えば、「U + S 試験で 1.5SET 終了時」とは、「U 試験×100cycle → S 試験×20cycle → U 試験×100cycle」という意味である。本研究では各試験を最大 6SET 行うことにして実験を実施した。

表 - 4 1SET の定義

試験名	1SET のサイクル数	1SET の時間
U 試験	100 cycle	6 日 6 時間以上
T 試験	50 cycle	8 日 8 時間
S 試験	20 cycle	7 日前後
U+T 試験	U試験 × 100 cycle → T試験 × 50 cycle	
U+S 試験	U試験 × 100 cycle → S試験 × 20 cycle	

2. 2. 供試体

本研究では、ウレア系樹脂の被覆材料としての性能をより的確に把握するために、材料単独での劣化特性、コンクリート表面に設置された場合の劣化特性を把握することが重要と考え、それぞれに対応するための供試体を用意することにした。以下にそれらの概要を示す。

(1) 被覆材料

本研究では、鉄筋コンクリート構造物に対する被覆材として新しい材料といえるウレア系樹脂材料に着目し、環境劣化特性を調査した。以下に本研究で用いたウレア系樹脂であるウレアウレタン樹脂、ポリウレア樹脂の特徴を述べる。

まず、ウレアウレタン樹脂について述べることにすると、ウレアウレタン樹脂とは、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のことである。この樹脂は反応速度が速く、1～10 分で見掛け硬化し、30 分程度でゴム弾性の発現が始まり、3 時間程度でクラックや下地の変位に十分追従できる高弾性エラストマーとなる。また、溶剤や可塑剤を含まないため、施工時の環境に与える影響や経時的な性能低下が少なく、長期間安定した性能を維持し、エポキシ樹脂系と同程度の耐酸性、耐アルカリ性を有している。すなわち、エポキシ樹脂系とウレタン樹脂系の長所を併せ持つ樹脂である。

次に、ポリウレア樹脂について述べると、ポリウレア樹脂とは、1 級アミンもしくは 2 級アミンを持つ化合物と、イソシアネート類との反応により生成するウレア結合を有するポリマーのことで、反応速度が非常に速く、2～30 秒で硬化する。一般的にはウレタン樹脂系に比べて伸びは小さいが、クラックや下地の変位などに十分に追従できる。また、この樹脂も溶剤や可塑剤を含まないため、施工時の環境に与える影響や経時的な性能低下が少なく、長期間安定した性能を維持し、エポキシ樹脂系と同等程度の耐酸性、耐アルカリ性を有している。即ち、ウレアウレタン樹脂と同様、エポキシ樹脂系とウレタン樹脂系の長所を併せ持つ樹脂であると思なすことができる。

本研究で用いたウレア系樹脂の物性値（公表値）を表 - 5 に示す。

表 - 5 ウレア系樹脂の物性

材料	ウレアウレタン	ポリウレア
引張強度 (MPa)	10	13
破断時伸び率 (%)	510	300
引裂強度 (N/mm)	33	63
硬度	83	94

(2) フリーフィルム供試体

樹脂材料の一般的な性能試験として、引張試験と引裂試験がある。引張試験により得られる伸び性能は、ひび割れ開口部での追従性や被覆材剥離部におけるピーリング（引き剥がし）力作用時の伸び性能などを評価する指標となる。引裂試験により得られる引裂強度は被覆材の破断抵抗性を評価する指標となる。

引張試験および引裂試験の供試体は当初から所定の形状に成型すると実際に使用する場合と比較して劣化条件が著しく異なることが懸念されたため、まずは図 - 4 に示す 100×200×0.75mm のステンレス板の両面に被覆材を施工し、その一面を供試体に対して促進試験を実施した後、ステンレスから被覆材を分離し、フリーフィルムとした後、供試体の成型を行うことにした。引張試験の供試体は、図 - 4 に示すダンベル状 3 号形に打ち抜くことにより作製した⁵⁾。また、引裂試験の供試体は、図 - 4 に示す切込み無しアングル形に打ち抜くことにより作製した⁶⁾。

(3) ゼロスパン試験供試体

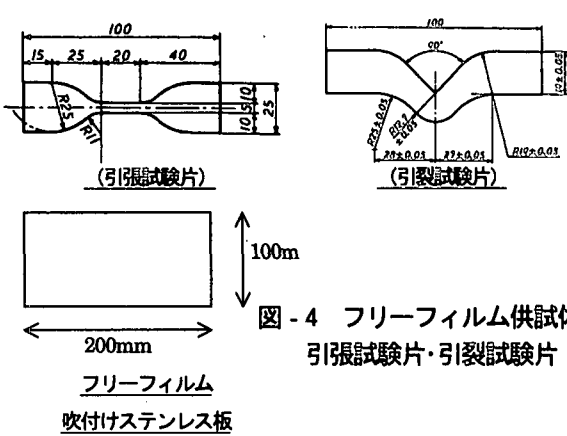


図 - 4 フリーフィルム供試体と引張試験片・引裂試験片

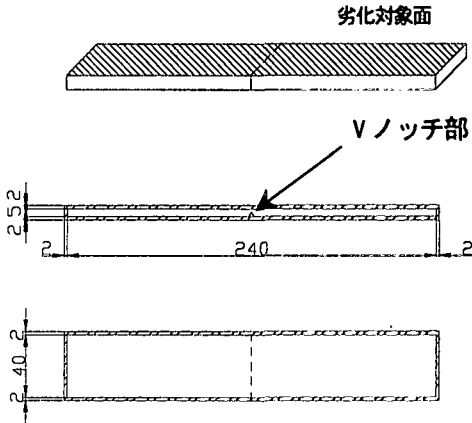


図 - 5 ゼロスパン試験供試体

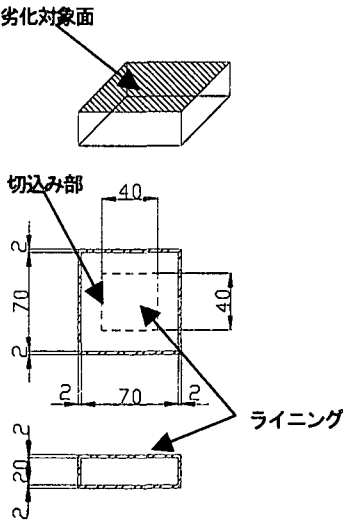


図-6 付着試験供試体

樹脂ライニングに要求される主要な性能の一つとしてひび割れ追従性が挙げられる。RC 構造物は、内部鉄筋の腐食や荷重の繰返し作用等によりコンクリート表面にひび割れが発生すると、そこから内部の鉄筋に腐食因子（水、酸素、塩分等）が容易に到達するようになり鉄筋の腐食が発生する。これによりコンクリートの剥落や鉄筋断面積の減少が起り、さらなる耐久性・耐荷力の低下につながっていく。ひび割れ発生時にコンクリート表面に施工されたライニング工が破断せずひび割れの開口に追従すれば、腐食因子の侵入を防ぐことができる。

ひび割れ追従性の調査には、前述のダンベル試験片による引張試験をはじめ、曲げ載荷試験、両引き試験、せん断試験、ゼロスパン伸び試験等が行われている⁷⁾。本研究では、ひびわれ追従性の経時劣化を調査する目的から、簡易に行えるゼロスパン伸び試験を採用した。ゼロスパン伸び試験は日本道路公団で行われている方法であり、本研究では図-5に示す供試体を用いて行う。尚、試験結果に一般性を持たせるために、供試体には広く用いられているフレキシブル板（石綿スレート、JIS A 5403）を採用した。試験実施にあたっては、中央部に設けたVノッチ部を事前に割り、この部位をひび割れに相当する部分（ゼロスパン部）とした。この部位の被覆材が破断した時の最大伸びをゼロスパン伸びとして評価を行う。

(4) 付着試験供試体

被覆材には、その保護対象となる構造物を保護するために、構造物表面の素材との良好な付着性が要求される。しかし、構造物の建設された環境条件により材料自体の化学的劣化が進むことや、構造物が荷重や温度変化の繰返し等を受けることによる付着界面の物理的劣化が進むことにより、付着力は低下することが考えられる。

そこで、本研究では付着力の劣化特性を調査するために、建研式試験法による引張付着試験を行うことにした。この試験で用いた供試体を図-6に示す。また、この試験の概要を図-7に示す。今回の付着試験時には供試体中央に40×40mmの正方形を描くように切込みを入れ、その内側の部分に対して試験を行い評価した。

2. 3. 性能試験

(1) 引張試験

本試験は、JIS K 6251の加硫ゴムの引張試験方法⁸⁾に準じて行った。荷重は500mm/minの変位制御で加え、破断時の荷重を公称断面積で除した値を引張強度とした。また、供試体中央部の20mmの区間を標線により区切って標線距離とし、標線距離の破断時の伸び率を伸び性能とした。以下に引張強度と伸びの算定式を示す。

$$T_B = \frac{F_B}{A}$$

T_B ：引張強度 (MPa) , F_B ：最大引張力 (N) ,
 A ：試験片の断面積 (mm²)

$$E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

E_B ：切断時伸び (%) , L_0 ：標線間距離 (20mm) ,
 L_1 ：切断時の標線間距離 (mm)

(2) 引裂試験

本試験は、JIS K 6252の加硫ゴムの引裂試験方法⁹⁾に準じて行う。荷重は引張試験と同様に500mm/minの変位制御で加え、供試体が完全に破断するまで載荷する。以下に

引裂強度の算定式を示す。

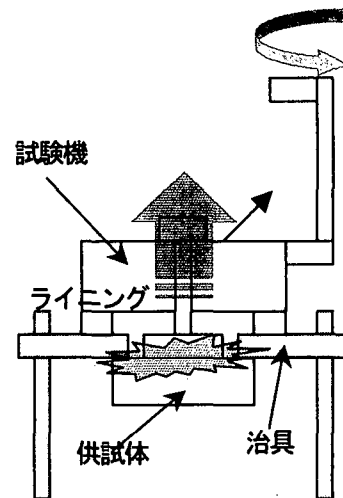


図-7 建研式付着試験概要図

$$TR = \frac{F}{t}$$

TR ：引裂強度 (N/mm) , F ：最大引裂力 (N) ,
 t ：試験片の厚さ (mm)

(3) ゼロスパン伸び試験

本試験は、載荷を土木学会規格「表面被覆材のひび割れ追従性試験方法」（以下土木学会規格と呼ぶ）⁷⁾と同じ5mm/minの変位制御とし、Vノッチ部分に設けた擬似ひび割れ部の破断時の伸びを測定し、これをゼロスパン伸びとした。

(4) 付着試験

本試験は、建研式付着試験方法に準拠し行った。試験の手順を以下に示す。

- ① 供試体表面をサンダー等で平滑処理し、接着面が40×40mmの金属製アタッチメントを接着剤で供試体表面に接着する。
- ② 接着剤硬化後、供試体表面に40×40mmの切込みを入れる。切込みはアタッチメントに沿って母材表面に達するように入れる。
- ③ アタッチメントを専用の治具を介して建研式付着試験機に据え付ける。
- ④ 建研式付着試験機により引張付着試験を行う。試験機のハンドルを回すと供試体の40×40mmの切込み部に鉛直方向に引き剥がす力がかかる（図-7）。
- ⑤ 破壊時に記録した最大荷重から、以下の式を用いて引張付着強度を算出する。

$$A = \frac{T}{1600}$$

A ：引張付着強度 (MPa) , T ：最大荷重 (N)

3. 試験結果

3. 1. 環境促進試験

本研究ではこれまでにフリーフィルム供試体については単独環境を用いての促進試験 (U, T, S 試験) を、それ以外のゼロスパン伸び試験供試体と付着試験供試体に関しては複合環境を用いての促進試験 (U+T, U+S 試験) と単独環境の促進試験のうち、S 試験を実施している。これらの試験の過程で供試体を調査して確認されたことを以下に述べる。

(1) 外観観察結果

U 試験では 1SET (100cycle) が経過するごとに、全ての供試体で白亜化が見られた。フリーフィルム供試体からダンベル試験片およびアングル試験片を切り抜いたときに断面の状況を確認したところ、全体的に黄変が確認された。黄変は深さ方向に濃淡は見られず全体的に進んでいた。一部の供試体ではがれ・損耗による露出から黄変する箇所が見られた。

これに対し、T 試験では全供試体で、試験終了まで外観上の変化を確認することはできなかった。しかしながら、この環境についてもフリーフィルム供試体からダンベル試験片およびアングル試験片を切り抜いたときに断面の状況を確認したところ、ウレアウレタン樹脂の供試体で U 試験ほどではないが黄変の進行が確認された。ポリウレア樹脂の供試体ではほとんど黄変が見られなかった。

さらに、S 試験では T 試験と同様に全供試体で、試験終了まで外観上の変化が見られなかった。この環境の供試体に関する断面状況の確認ではいずれの供試体においても黄変は確認されなかった。

複合環境試験ではいずれの組み合わせにおいても U 試験のパートが終了した時点で表面に白亜化が確認された。

(2) 光沢度測定結果

本試験で環境促進試験を行う過程で樹脂皮膜の表面からの劣化進行状況を確認するために、光沢度の計測を行った。図-8 に今回得られた測定結果の一例を示す。多くの

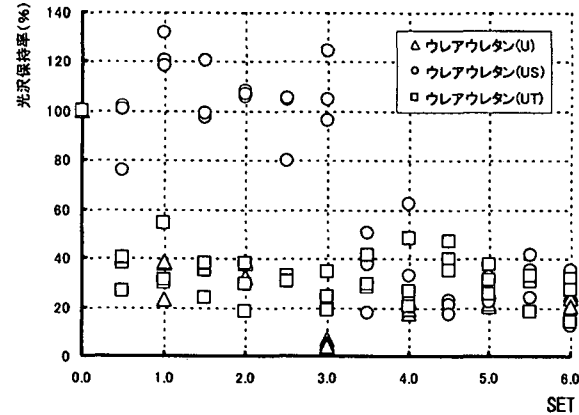


図-8 光沢度測定結果

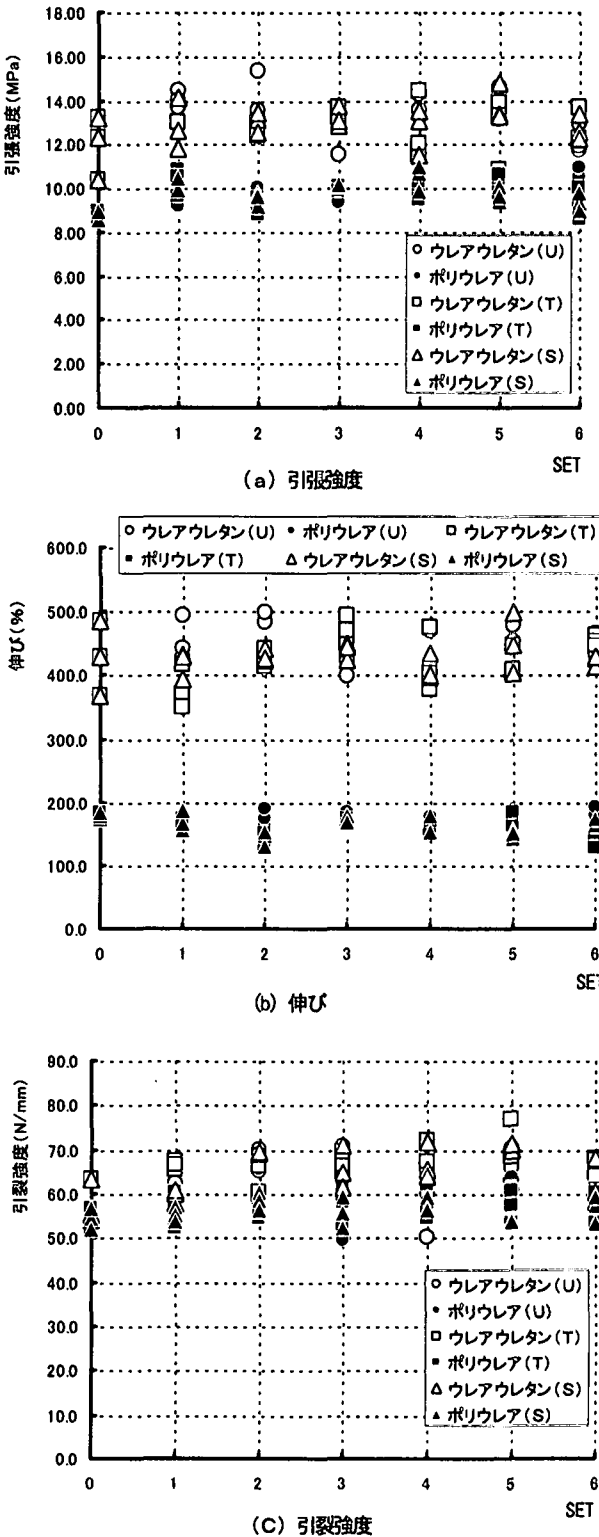


図-9 引張・引裂試験結果

供試体では図-8中のウレアウレタン(U)などと同様に、試験開始直後、U試験で1サイクルの履歴を受けた時点で光沢度が大幅に低下していることが確認された。この傾向は複合サイクルでも同じであり、今回試験した樹脂材料の光沢度低下に関してはU試験による影響が最も大きなものであったことが確認できたものと考えられる。

尚、一部供試体の試験中にサンシャインウェザーメーターが不調になった時期があった。このため、図-8に見られるように光沢度が試験開始直後に大幅に低下しないと

いう異なる変動が認められた。このような挙動が認められた原因としては、試験機によるダメージが供試体に蓄積されなかった可能性がある。

3. 2. 引張試験・引裂試験

今回の実験によって得られた引張強度、破断伸び、引裂強度の経時変化を図-9に示す。これらの図を見ると明らかのように、今回の実験では、いずれの促進環境においてもウレアウレタン樹脂ならびにポリウレア樹脂の強度・伸びの低下は認められなかった。このことから、前述のように外観上は黄変などを起こしていても強度等の性能面ではまったく問題なく、今回行った環境促進試験の環境条件に対して、ウレアウレタン樹脂、ポリウレア樹脂はともに高い耐久性を有していることが確認できたと言える。

3. 3. ゼロスパン伸び試験

本研究で環境促進試験を施した供試体に対して行ったゼロスパン伸び試験の結果を図-10に示す。

今回行った一連の実験で得られたゼロスパン伸びは図-10に示されるとおり、樹脂膜単独で試験した場合の強度や伸びなどと比較して、大きくばらつく傾向が認められる。これは、一部の供試体において、試験中に擬似ひび割れの近くからスレート板と樹脂との間に付着切れが発生し、樹脂膜が自由に挙動できるようになってしまうことによるものであると考えられる。

今回の試験を通じて破壊状況を確認した結果、このゼロスパン伸び試験においては、供試体ごとに程度の差はあるものの、ある程度の付着切れは必ず起きると考えられる。そこで、樹脂とスレートの間の付着切れに対応した評価方法を考える必要がある。既往の研究でも付着切れは必然的に起こるものである事を指摘しているが、ひずみや変位等の着目しているデータの傾向が変化する点で付着切れの発生を判断しているに止まっている⁸⁾。土木学会規格では、荷重変位関係からゼロスパン伸びを読み取ることで評価を行うとしているが⁷⁾、今回の実験ではおおよそ最大荷重点で破断しているものが多く、付着切れの判定に用いることは難しかった。試験後の供試体から付着切れを測定するのも、破断時に付着切れが一気に進展する可能性があることからデータとしての信頼性が低いものと考えられる。

そこで、図-10中の同一条件のデータから最小のデータを採用し、評価することを試みたところ、付着切れによる過大な値をある程度除外することができることがわかった(図-11参照)。この方法を用いて試験結果を見直してみたところ、いくらかゼロスパン伸びデータのばらつきが小さくなったが、経時的な傾向は特に見られないことがわかった。

今回の環境促進試験の結果、ウレアウレタン樹脂で8~17mm、ポリウレア樹脂で4~11mmのゼロスパン伸びを有することが確認できた。

3. 4. 付着試験

本研究で得られた付着試験の結果を図-12に示す。今回の試験の結果からは経時的な傾向は確認できず、樹脂の種類ごとにほぼ一定の値をとることが確認できた。このことからウレア系樹脂は今回の環境促進試験で用いた環境条件に対し、高い耐久性を有し、十分な引張付着力を保持

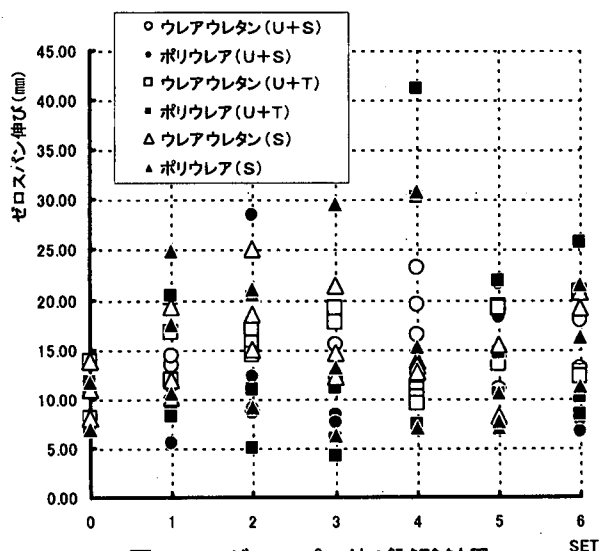


図-10 ゼロスパン伸び試験結果

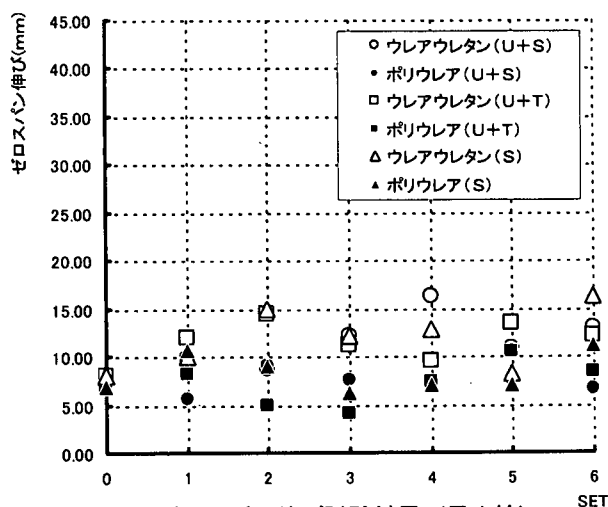


図-11 ゼロスパン伸び試験結果 (最小値)

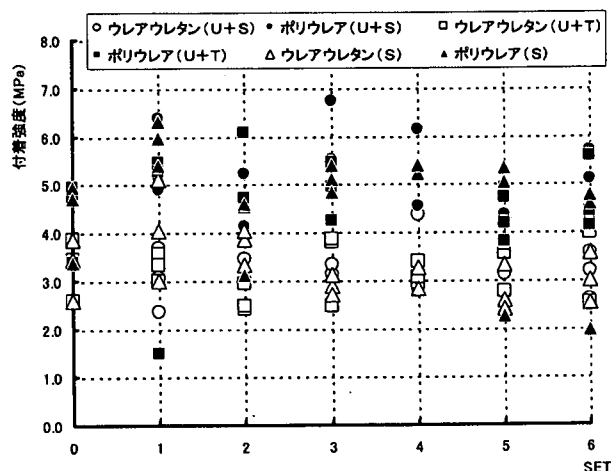


図-12 付着試験結果

していたと言える。また、ポリウレア樹脂の方がウレアウレタン樹脂に比べて高い引張付着強度を有することがわかった。

通常、樹脂を用いた表面被覆工法によって、鉄筋コンクリート構造物の補修を行う場合、必要とされる付着強度は1.47MPa程度であるといわれている。今回の一連の実験によって得られた付着強度は1.6～6.9MPaであり、これを大きく上回ることから実用上問題ないものと判断できる。

また、今回の試験では供試体の破壊形状として、ウレアウレタン樹脂の供試体ではプライマー部での凝集破壊、ポリウレア樹脂の供試体ではプライマーと主材部の界面で破壊しているものが多いことが確認できた。通常の付着試験では、下地コンクリートまでカッター切込みを入れているために、下地のコンクリートから破壊することが多い。この場合、コンクリートの引張り強度を測定していることになるので、今回の引張試験ではカッターによる切込みをプライマー層までとし、純粋なライニング接着強度を求めることを目標にした。その結果、通常とは異なる現象が生じたと考えられる。

4. 結論

本研究で行ったウレア系樹脂の耐久性に関する一連の実験の結果から明らかになったことを以下に示す。

- 1) 環境促進時の外観・光沢度の変化状況からウレア系樹脂の表面的な劣化は、試験開始後すぐに白亜化と光沢度の低下という形で確認できた。ただし、当初の予想と異なり、大きな膜厚を有するにもかかわらず、ウレアウレタン樹脂の供試体では紫外線や熱の影響で厚さ方向に一樣に黄変が発生することがわかった。

- 2) 各種性能試験を実施した結果、表面的には劣化現象が認められる供試体においても、試験開始時と同等な性能を確認することができたことから、今回の実験で供試体に与えた環境要因の程度では、表面的に確認できる白亜化や黄変などの現象と実際にウレア系樹脂が有する力学的性能との間には緊密な関係は認められないことがわかった。

- 3) 各種性能試験の結果から、本研究で採用した環境条件に対して、ウレア系樹脂は十分な耐久性を有していることが明らかになった。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会編：重防食塗装の実際，山海堂，1998
- 2) JIS：サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機・解説，JIS B 7753，1988
- 3) JIS：塩水噴霧試験法，JIS Z 2371，1988
- 4) 神谷誠他：鋼橋塗装の長期防食性能の評価に関する研究，日本道路公団試験研究所報告，Vol.31，pp.65～97，1994
- 5) JIS：加硫ゴムの引張試験方法，JIS K 6251，1993
- 6) JIS：加硫ゴムの引裂試験方法，JIS K 6252，1993
- 7) 土木学会：表面被覆材のひび割れ追従性試験方法（JSEC-K532-1997），および，同 解説，鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向，コンクリート技術シリーズ 26，pp. 188～192，pp.207～210，1997
- 8) 飯塚康弘他：コンクリート表面保護塗膜の挙動に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.1，2000

(2002年4月19日 受付)