

コンクリート構造物用樹脂ライニングのひびわれ追従性

宮川豊章*・合川聖二郎**・井上 晋***・
藤井 学****

近年、コンクリート構造物の耐久性を改善する目的で、コンクリート表面への樹脂ライニングが採用されている。本論文は、コンクリート構造物用樹脂ライニングの中で、現在比較的よく用いられているライニング仕様について、そのひびわれ追従性について検討したものである。本研究結果より、プレーンライニングのひびわれ追従性は、使用樹脂の伸度および膜厚の両者の関数として表現できることが明らかとなった。

Keywords : crack bridging, synthetic resin lining, elongation, film thickness, durability

1. はじめに

本来、予定された供用年数の間、必要とされる水準でその性能を維持することが構造物には要求されるが、近年、コンクリート構造物が十分な耐久性を持たない例が報告されており、改めてコンクリート構造物の耐用年数の向上が重要な課題となっている。コンクリート構造物の劣化には物理的作用によるものと化学的作用によるものがあるが、現在社会的に大きな問題になっている鉄筋あるいはPC鋼材の塩化物腐食やアルカリ骨材反応は後者に分類される。

こうしたコンクリート構造物の劣化損傷に対する補修および予防方法の一つにコンクリート表面処理がある。コンクリートの表面処理としては、その断面構成から、含浸、塗装、コーティング、ライニングに分類されたり、あるいはその水分制御機構から、遮水系、発水系などと区分される。本文では、塗膜を持つ仕様を総称して以後ライニングと呼ぶことにする。ライニングの使用目的は、主として水分や塩分などの有害物質の制御である。そのためには樹脂の耐水性、耐候性およびコンクリートに対しての十分な接着強度などが要求されるが¹⁾、有害物質の制御の観点から、発生する、あるいは既存のひびわれの拡大に対して優れた追従性をもつことがきわめて重要である。しかし、ライニングのひびわれ追従性能についての体系だった定量的な検討はまだあまりなされていないのが現状である。

ライニングのひびわれ追従性については、持続、変動繰返し作用あるいは耐候性等との関連についても重要で

はあるが、本論文では基本的な検討として、現在比較的よく用いられているライニング仕様をとり上げ、使用樹脂材料の伸び能力(伸度)とライニング膜厚に注目して、それらのコンクリートのひびわれに対する追従性能の定量的評価の基礎資料を得ようとしたものである。

2. ライニングのひびわれ追従性に関する規定

一般にライニングはプライマー、パテ、中塗り、上塗りから成り、これらが一体となりライニング系として働き、先の目的を果たす。それぞれの塗装材料の機能については表-1に示す通りである。

塩害およびアルカリ反応性骨材による損傷に対する補修方法としてライニングを用いる場合、荷重や乾燥収縮によるひびわれ発生の可能性は少ないが、補修時におけるコンクリート内の残留水分によって、ひびわれがさらに拡大、伸展する可能性がある。また、新設時のライニングにおいても荷重等によるひびわれはもちろん、コンクリート内部の練り混ぜ水に起因するひびわれ発生などが考えられる。ライニングが発水、遮水、遮塩性を十分に発揮するためには、コンクリートに接着するとともにそれらのひびわれによく追従する必要がある。したがって、ライニングを行うためにはコンクリート構造物の部材、部位、使用条件に合わせて適切な仕様を選定する必要がある。

(1) 塩 害

「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説²⁾(以後「塩害対策指針(案)」と略称する)によれば、コンクリート面の性状やひびわれ発生の有無、使用環境などを考慮して塗装系をA, B, Cの3種類に分類している。

A種: 海岸地域において標準的に用いられるもので、ひびわれ発生頻度が極めて少ないプレストレストコンクリート部材に一般に用いる。

B種: 鉄筋コンクリートに多少のひびわれを生ずる

* 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 住友金属工業(株)建設 Eng. 事業本部海洋設計室

*** 正会員 工修 京都大学助手 工学部土木工学科

**** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

表-1 ライニング構成要素とその要求性能

構成要素	主たる要求性能	適用方法
プライマー	ライニング膜のコンクリート面に対する良好な接着性、耐水、耐アルカリ性など	コンクリート全面への塗布
パテ		表面の巣穴等への充填
中塗り	コンクリートあるいは鋼材腐食因子の制御・遮水性、発水性、遮塩性、酸素遮断性など	コンクリート全面への塗布
上塗り	ライニング膜の耐候性および美観の向上など	コンクリート全面への塗布

恐れのある場合に主として適用するもので、塗膜に柔軟性をもたせたもの。

C種：塗り替えが困難な場合や環境条件が特に厳しい地域の構造物あるいは特定部位に用いる。

また「港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査報告書—劣化防止・補修マニュアル(案)—」³⁾(以後「港湾マニュアル(案)」と略称する)では、環境の厳しさとひびわれの可能性という二面から塗装系をⅠ～Ⅵの6種類に分類している。

塗装系Ⅰ：一般に鋼構造物の重防食塗装として多用されているものと同系統で、エポキシ樹脂塗料～ウレタン樹脂塗料よりなる。海洋環境や大気汚染環境の暴露部分に適する。

塗装系Ⅱ：塗装系Ⅰと同級品で、塗膜に柔軟性を与えたもの。

塗装系Ⅲ：エポキシ樹脂あるいはビニルエステル樹脂を用いた厚膜型の塗装系で、塗装系Ⅰ、Ⅱに比べ防食性に優れている。海水飛沫の影響がある場合や塗り替えが困難な場合に適する。

塗装系Ⅳ：塗装系Ⅲと同級品で、塗膜に柔軟性を与えた塗装系。

塗装系Ⅴ：塗装系Ⅲ、Ⅳに比べさらに厚膜で防食性に優れ、直接海水の影響を受ける場合に適する。

塗装系Ⅵ：かなり高度の防食性をもち、塗膜に柔軟性のある塗装系。

「塩害対策指針(案)」による塗装系A種、B種、C種はそれぞれ「港湾マニュアル(案)」による塗装系Ⅰ、塗装系Ⅱ、塗装系Ⅲにはほぼ対応している。塗装系ⅣはC種に柔軟性をもたせたもので、ひびわれの可能性がより大きな場合に適用する。塗装系ⅤはC種にさらに膜厚を増したもので、より厳しい環境に適用する。塗装系ⅥはC種に柔軟性をもたせ、なおかつ強度を増したもので、厳しい環境で、ひびわれの可能性も大きい場合に適用する。つまり、「塩害対策指針(案)」による塗装系に比べ「港湾マニュアル(案)」による塗装系はより高性能化したものであり、特に伸びを大きく増加させてひびわれ追従性をより重視している。

また、コンクリート橋床版防食におけるメンブレン・

ライニングのひびわれ追従性は、TRB(米国)の報告⁴⁾によれば以下のものである。

① 繊維補強されていないもので0°F(-18°C)における伸びが小さいものは、ひびわれ追従性が小さい。

② 繊維補強されていないもので0°Fにおける伸びが200%以上であるものは、ひびわれ追従性が大きい。

③ 繊維補強されているものは、0°Fにおける伸びが50%以下と小さいにもかかわらず、ひびわれ追従性が大きい。

TRBの試験方法はコンクリートブロックを突き合わせてライニングを施し、曲げ変形を与え追従性を検討したものであるが、ライニングのひびわれ追従性にとって、その伸びが大きな要因であるとしている。ひびわれ追従性は一般に中塗りによって性能が発揮されると考えられているが、「塩害対策指針(案)」によればライニングにひびわれ追従性を期待する場合、4%以上の伸びが必要であるとし、「港湾マニュアル(案)」によれば50～100%程度の伸びが必要であるとしている。これらに比べて、TRBではライニングが大きなひびわれ追従性をもつためには、200%以上の伸びを要求している。しかし、これらの値は必ずしも伸びを同一の方法では測定されていず、簡単にはその大小を比較できない面を有している。

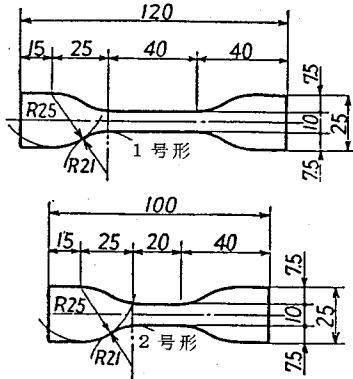
(2) アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応対策としてのライニングに関する規定は少ないが、JCI「アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書」⁵⁾によれば、伸び100%以上・膜厚200μm以上を超柔軟型、伸び50%・膜厚200μm以上を柔軟型としている。

(3) 伸 度

以上、種々の規格を紹介したが、これらで示されている伸びは必ずしも一定の方法で測定されたものではない。

例えば、「塩害対策指針(案)」における伸びは、JIS K 6301「加流ゴムの物理試験方法」に規定されているダンベル状1号形のフリーフィルム試験片(図-1)を両側から引張り速さ5mm/minで引張載荷し、降伏点、あるいは破断時における標線間距離の伸びを元の長さに対する百分率で表したものである。しかし、これは伸びの小さい試料に対して用いられる規格であって、ひびわれ追従性が大きいと考えられる伸びの大きな試料に対して用いた場合、見掛けの伸び能力がきわめて大きくなり、測定不能となることが多くなるとともに、伸び能力の差が生じ難く、優劣をつけ難いという難点がある。本研究では、原則として、伸び能力の大きなものを対象とするため、JCIのように2号形試験片を用い、23±2°Cの温度条件下において、500mm/minでの引張載荷により伸びを求め、これを“伸度”と呼び、用いることとした。なお、この場合、見掛けの伸び能力は一般に5mm/min



厚さ：3 mm以下 単位：mm

図-1 ダンベル形試験片

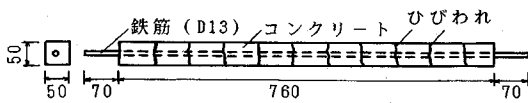


図-2 供試体

によるよりも小さな値となる。

3. 試験方法の検討—予備試験—

(1) 実験計画

まず、予備試験として、試験方法に関する若干の検討を行った。試験に用いたライニング仕様の中から代表的なものを表-2に示す。

試験は室温（約17°C）において両引試験を行うものとし、ひびわれ再開口試験、新ひびわれノッチ有り試験、および新ひびわれノッチ無し試験の3種類を行った。供試体（材令4~5週）は図-2に示すような5×5×76 cmの角柱供試体とし、中央には黒皮付異形鉄筋（D13, SD35）を配置し、コンクリート（表-3参照）埋設部の両側に7 cm ずつ突き出るようにした。なお、上塗りについては、ひびわれ追従性があまり期待されていないため、予備試験では上塗りを行わなかった。ひびわれ再開口試験用供試体については、ライニングを行う前に、両引载荷によって目標最大残留ひびわれ幅が0.2 mm 以上となるようにひびわれを導入した。ノッチを有する供試体については、従来の両引試験の結果を参考にして両側面に9.5 cm 間隔で三角ノッチ（幅1 cm, 深さ約0.7 cm）を7個ずつ設けた。

両引载荷方法は単調漸増载荷とし、最大ひびわれ開口幅が約2 mm となるか、鉄筋が破断するか、あるいはコンクリートに縦ひびわれが発生しひびわれ幅が増大しなくなるまでとした。载荷中の測定項目は、载荷荷重と非ライニング面（打設時側面）でのコンクリートひびわれ幅の増加量、およびそれに伴うライニング面の変化とした。ひびわれ再開口試験はπ型ゲージを用いた自動デ

表-2 予備試験用供試体

中塗り材料	伸度 (%)	膜厚 (μm)	本数
エポキシ	40	30, 60, 120	2
ウレタン	420	60	2

表-3 コンクリートの示方配合

W/C (%)	スランブの範囲 (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)				
					C	W	S	G	減水剤
50	8±2	3±0.5	55	10	360	180	942	799	1.80

レベル	内容	
発生		ライニングに少しでも破断が生じた状態
半分破断		ライニング幅の半分が破断した状態
完全破断		ライニングが完全に破断した状態

図-3 損傷レベルの定義

ジタルひずみ測定器とクラックゲージを併用して、新ひびわれノッチ有り試験はπ型ゲージを用いた自動デジタルひずみ測定器のみを使って、新ひびわれノッチ無し試験はひびわれ発生箇所が不明であるため、クラックゲージによって、それぞれひびわれ幅の測定を行った。

(2) 結果および考察

両引試験時におけるライニングの損傷状態を図-3⁶⁾に示す。ライニングの損傷状態は一般に発生、半分破断、完全破断の順に進行したが、伸度、膜厚がともに小さいものでは発生が確認できずに半分破断や完全破断の状態に到る場合もあった。逆に、伸度、膜厚がともに大きな仕様にあっては、発生、半分破断、完全破断に対応するそれぞれのひびわれ幅が大きく異なっていた。

しかも、同じ仕様のライニングであってもこれらのひびわれ幅は大きくばらつき、異なった値となっていた。したがって、追従ひびわれ幅を検討するにあたっては、確定的な検討ばかりではなく、そのばらつきに配慮した検討が必要であることが明らかとなった。

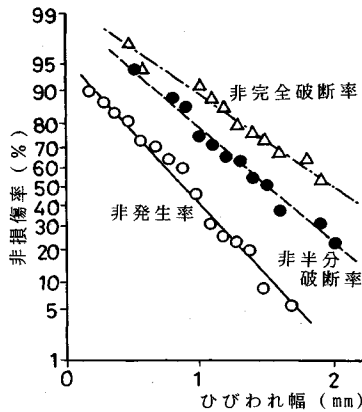


図4 非損傷率の分布例 (正規確率)
—ウレタン (伸度 400%, 膜厚 120 μ m)—

そこで、ライニングが、そのひびわれ幅 (W) においてそれぞれの損傷レベルに到らない確率を非損傷率 (非発生率, 非半分破断率, 非完全破断率) とし、次のように定義した。

$$\text{非損傷率} = \frac{N(W)}{T(W)+1} \times 100 (\%)$$

$N(W)$: ひびわれ幅 W でその損傷レベルに達していないひびわれの本数

$T(W)$: ひびわれ幅が W に達したかあるいは W 以下でその損傷レベルに達した全てのひびわれの本数

図4の測定結果例からも明らかなように、非損傷率は正規分布にはほぼ従っていた。したがって、以後、非損傷率が正規分布するものと考え、考察等に用いる非損傷率としては、確率紙にプロットした結果を直線近似して得られた値を用いるものとする。非損傷率が同一であれば、対応する追従ひびわれ幅の大きい方がひびわれ追従性は大きいと判断できる。

それぞれの試験方法による、非完全破断率 50% における追従ひびわれ幅の例を表4に示す。なお、ノッチ有りの場合、 π 型ゲージによって得られた値の方が、クラックスケールによって目視で得られた値よりも若干大きくなったが、ここでは π 型ゲージによる測定結果を示す。

予備試験の結果から次のことが明らかとなった。

① クラックゲージよりも π 型ゲージを用いた自動測定の方が、連続的な記録が可能で、種々の考察を行うにあたって利用性が高い。

② 対象とする損傷レベルによって、追従ひびわれ幅は大きく異なる。したがって、ひびわれ追従性を検討しようとする場合、対象とする損傷を明確にした上で行う必要がある。

③ ひびわれ再開試験によって得たライニングの追

表4 予備試験結果例—非完全破断率 50%—

中塗り材料	膜厚 (μ m)	追従ひびわれ幅 (mm)		
		再開口	ノッチ有り	ノッチ無し
エポキシ	30	0.15	0.15	0.07
	60	0.20	0.58	0.30
	120	0.45	0.88	0.32
ウレタン	60	0.60	-	-
	120	1.98	-	-

従ひびわれ幅は、新ひびわれ試験によって得た値と同程度度かあるいは小さく、測定を比較的正確に行えたノッチ有りの場合、この傾向は比較的顕著である。これは、ひびわれ再開試験の場合、既に存在しているひびわれ部に入り込んだ樹脂が硬化した結果、ライニング膜厚に不連続部が生じて応力集中を生じたことによる可能性が高い。

劣化損傷の補修、予防のいずれを対象とするかにもよるが、ライニングのひびわれ追従性を調べるには、信頼性や安全性などを考慮してひびわれ再開試験によるのが望ましいと考えられる。したがって、以後ひびわれ再開試験のみを行って、ひびわれ追従性を判断することとした。

4. 種々のライニングのひびわれ追従性 —シリーズ1—

(1) ライニング仕様

現在よく用いられているライニング仕様のひびわれ追従性の概略の傾向を知るため、表5に示すライニング仕様についてひびわれ追従性試験を行うものとした。これらの仕様では、上塗りでひびわれ追従性の向上を期待する仕様もあったため、すべて上塗りも含めた評価を行った。

試験に用いたライニング仕様を、ライニングの主要構成層である中塗りの使用材料によって分類し、表5に示す。供試体は一要因についてすべて2本とし、結果はその平均値で示す。

(2) 結果および考察

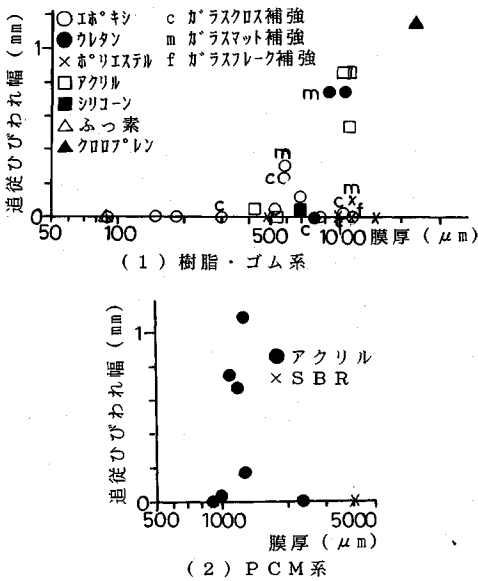
種々の特性値の推定においてしばしば用いられている5%の危険率を考慮した非損傷率95%に対応する追従ひびわれ幅を求めた。しかし、非損傷率95%に対応する追従ひびわれ幅は、非常に小さく、ライニング仕様による大きな違いが認められないため、さらに非損傷率50%に対応する追従ひびわれ幅も算定した。

ライニング仕様によっては、ガラス繊維などが補強材として用いられているため、完全破断を確定することが困難な場合があった。また、損傷状態の確定は、発生レベルのものが最も容易であった。したがって、非発生率を中心として報告することとする。樹脂・ゴム系、

表—5 とりあげた市販のライニング仕様の種類

仕 様	非補強	補 強			
		ガラスクロス	ガラスマット	ガラスフレック	ビニロクロス
樹脂・ゴム系	エポキシ	6	1	—	—
	ウレタン	4	—	1	—
	不飽和ポリエステル	1	1	5	3
	アクリル	6	—	—	—
	シリコーン	1	—	—	—
	ふっ素	1	—	—	—
	クロロプレン	1	—	—	—
PCM系	エチレン酢ビ	1	—	—	—
	アクリル	10	—	—	1
	SBR	1	—	—	—

注) 供試体数はすべて2本



図—5 追従ひびわれ幅(非発生率95%)と膜厚との関係

PCM系の両者について非発生率95%の場合を図—5に示す。

特に追従性が大きな仕様はクロロプレン、アクリルおよびウレタンのゴム系のものであった。また、クロス、マットおよびフレックのガラスで補強した仕様は、ライニング層の拘束作用のため、ひびわれが発生あるいは拡大せずに塗膜に作用する応力が増大するため、ひびわれ追従性は大きなものとなっていない。なお、PCM(ポリマー・セメント・モルタル系)については、非常にばらつきが大きく一様な傾向は認められない⁷⁾。

樹脂・ゴム系における非発生率50%および非半分断率50%のひびわれ幅と膜厚との関係を図—6に示す。

ここでは、発生に至らなかった仕様についても併せて示している。

ゴム系でひびわれ追従性が大きいのは、その使用材料の伸度が大きいことによるものと考えられる。ガラス補強を行った仕様では、若干のばらつきが認められる。これは、使用している樹脂・ゴム材料の伸度に影響されている部分が大いと思われる。樹脂あるいはゴムに対してガラス材料を用いる目的としては、ライニングを厚膜とするための補強材、侵食性物質の浸透経路の増大およびひびわれ追従性の増大などが考えられている。しかし、ガラスそのものの伸度は極めて小さく(一般に0.01%以下)、ライニングのひびわれ追従性そのものに対する効果は必ずしも大きくはない。したがって、ひびわれ追従性を増大させるには、より伸度の大きな補強材を用いるべきであろう。

次に、伸度の影響を検討するために、伸度が既知の仕様について非発生率50%のひびわれ幅と伸度との関係を図—7に示す。伸度が大きな仕様はひびわれ追従性が大きく、これはガラスクロス、ガラスマットを用いた仕様でも認められる。しかし、同一伸度に対して必ずしも一定の追従ひびわれ幅とはなっていない、伸度が大きな仕様でも大きなひびわれ追従性を得ることができない仕様(ふっ素系)が認められ、これは膜厚が小さなためと考えられる。ここで、膜厚の影響を加味するために伸度×膜厚と追従ひびわれ幅との関係を図—8に示す。追従ひびわれ幅を伸度のみとの関係として捉えるより、ばらつきが小さい傾向が認められる。したがって、伸度が大きであってもある程度以上の膜厚がなければひびわれ追従性を期待することができず、伸度のみをひびわれ追従の目安とすることは危険であるものと考えられる。

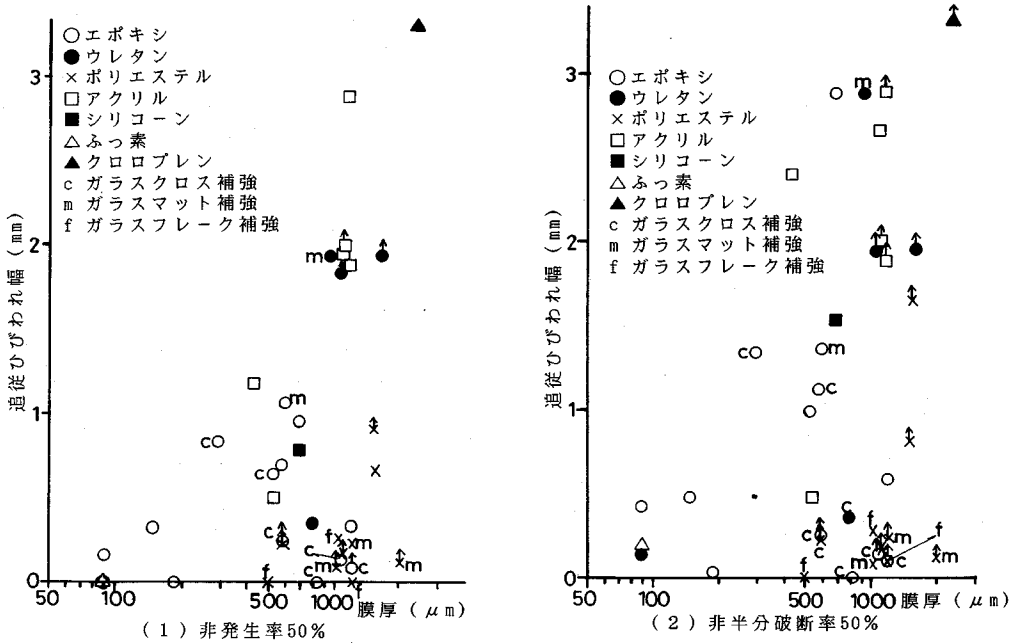
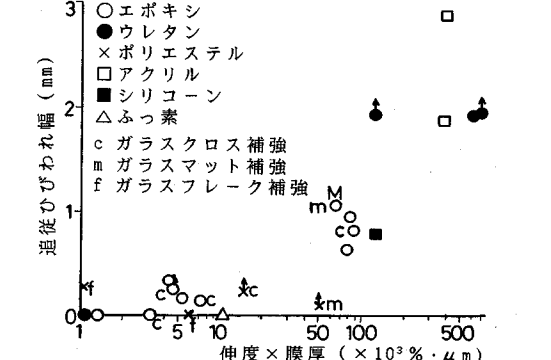
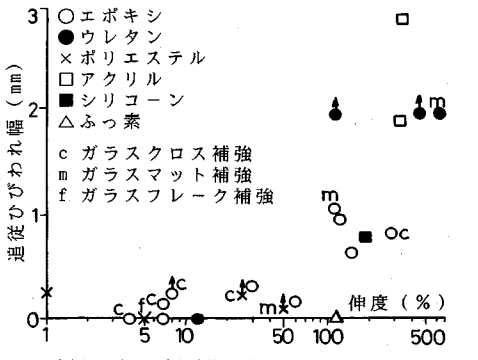


図-6 樹脂・ゴム系ライニングの追従ひびわれ幅と膜厚との関係



5. ひびわれ追従性の定量的表現

—シリーズ2—

(1) 定量化に対する基本的な検討

Czarnecki ら⁸⁾は次の仮定のもとに、ライニングの追従ひびわれ幅を以下のような式で表している。

仮定①：ライニングの追従ひびわれ幅はその膜厚よりもかなり小さい。

仮定②：図-9に示すように、コンクリートとライニングとの間に働く応力⁷⁾は、実際には曲線状の分布をなしているが、直線と仮定し、かつライニング内部における応力は一様に分布しているものとする。

$$W = l_b \cdot \epsilon_{\max}(1 + \epsilon_{\max}) + 2l_0 \cdot \epsilon_{\max} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、W：追従ひびわれ幅

ϵ_{\max} ：最大ひずみ (=伸度)

l_b ：接着距離 (ひびわれ開口時にライニングとコンクリートとの間にせん断応力が働く区間)

l_0 ：ひびわれ開口によりライニングが剥離した長さ

プレーンライニングの場合、一般に伸度が大きく膜厚の大きな方がひびわれ追従性は大きく、伸度は追従性の目安にはなるものの塗膜の厚さによって追従性増大の割合も異なっていた。

また、小池⁹⁾はアスファルト系防水層に関して、防水層が破断するときの限界せん断応力と追従ひびわれ幅との関係から、次式を導いている。

$$W = 2F \sqrt{\frac{t_A}{EGt_R}} \dots \dots \dots (2)$$

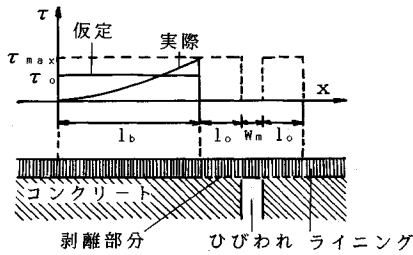


図-9 ライニングに一部剥離がある場合の付着応力分布

- ただし、 W : 追従ひびわれ幅
 F : 防水層の強さ
 t_A : 張付用アスファルト(接着層)の厚さ
 t_R : 防水層の厚さ
 E : 防水層の引張弾性係数
 G : 張付用アスファルトのせん断弾性係数

式(2)はアスファルト系防水層を対象とした理論式であるが、ひびわれに追従し得る層の厚さが大きいほど追従ひびわれ幅は大きいということがわかり、接着層の厚さを樹脂ライニングにおける膜厚に置き換えて考えることもできる。

さらに、波木、大浜¹⁰⁾は下地コンクリートのひびわれによってライニングの破断しない条件を、皮膜防水層の特性、厚さ、接着強度から理論的検討を行い、次式のように求めた。

- a) ライニングが理想的弾性変形材料である場合

$$W \leq \frac{2d}{\tau_s} \cdot E \varepsilon^2 \dots \dots \dots (3)$$

- b) ライニングが非理想的弾性変形材料である場合

$$W \leq \frac{4d}{\tau_s} \cdot R_s \dots \dots \dots (4)$$

- ただし、 W : 追従ひびわれ幅
 d : ライニングの膜厚
 E : ライニングの引張弾性係数
 ε : ライニングのひずみ
 τ_s : ライニングの下地コンクリートに対するせん断接着強度
 R_s : レジリエンス, $R_s = \int \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$

多くのライニングは非理想的弾性変形材料であるので、式(4)を取り上げ、さらに簡略化して

$$R_s = A \varepsilon_{\max} f \quad (A: \text{係数}, f: \text{ライニング引張強度})$$

$$\tau_s = B f \quad (B: \text{係数})$$

と仮定すれば、式(4)は

$$W \leq C \varepsilon_{\max} d \quad (C = 4A/B: \text{係数}) \dots \dots \dots (5)$$

と表すことができ、やはり、追従ひびわれ幅は伸度×膜厚に大きく影響されるものと考えられる。

以上の検討結果によれば、樹脂材料の伸び能力は当然であるが、何れも膜厚がひびわれ追従性にとってきわめ

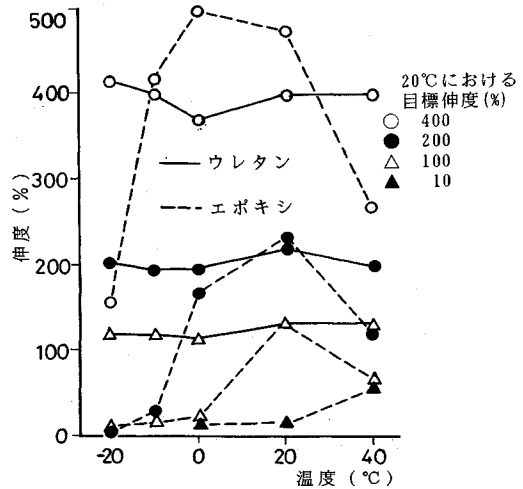


図-10 伸度の温度依存性

て重要であることが明らかである。

(2) 樹脂材料の感温特性

ひびわれ追従性を検討するにあたっては、環境温度における樹脂の伸度を考慮する必要がある。ライニングが与えられた環境の中でその機能を十分に発揮するためには、使用材料の幅広い温度領域での大きなひびわれ追従性が要求される。温度変化がライニング層、コンクリートあるいは両者の界面に与える影響に起因する、ライニングのひびわれ追従性の変化を検討する指標として、樹脂の感温特性を取り上げた。

ここでは、ライニングに用いられる代表的なものとしてエポキシ(伸度10%, 100%, 200%, 400%の4種類)とウレタン(伸度100%, 200%, 400%の3種類)について、その伸度と温度との関係を図-10に示す。20°Cにおける伸度は、ほぼ設定伸度に対応している。エポキシについては、それぞれの伸度に対応した特定の温度において伸度は極大値を示すようであり、その極大値は伸度が大きいほど低温で得られている。これに対して、ウレタンでは-20~40°C間で伸度はほぼ一定の値となっている。したがって、エポキシよりウレタンの方が幅広い温度領域で同程度のひびわれ追従性が得られる可能性が高いものと考えられる。なお、引張強さについては、伸度が大きな方が一般には小さく、また、温度が高い方が概して小さな傾向が認められた。

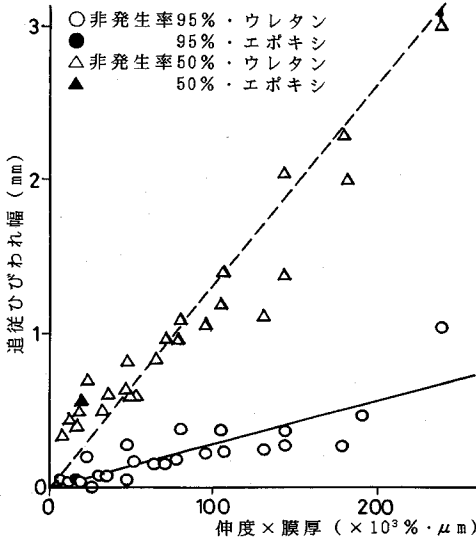
(3) 定量評価に関する検討

- a) 実験計画

種々のライニング仕様の中から、感温特性からみてひびわれ追従性が広い範囲で期待できるウレタンを中心とし、施工実績の多いエポキシと併せて、プレーンライニングをとりあげ、その伸度や膜厚が、ひびわれ追従性能に与える影響について定量的な検討を試みることにし

表—6 供試体—覧

中塗り材料	伸度 (%)	膜厚 (μm)	本数
ウレタン	100, 200, 300, 400	60, 120, 240, 360, 480, 600	2
エポキシ	100	240	2



図—11 追従ひびわれ幅 (非発生率) と伸度×膜厚との関係

た。

試験は表—6 に示すライニング仕様を用いた両引試験によって行い、結果はすべてその平均値で示すこととした。

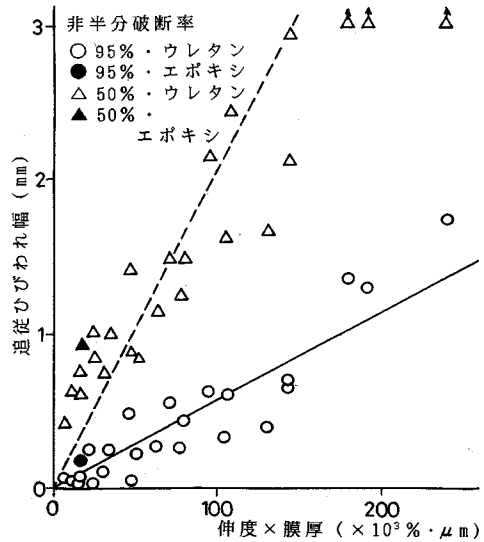
b) 結果および考察

非損傷率 95% に対応する追従ひびわれ幅を求めたが、95% に対応する追従ひびわれ幅は非常に小さく定量的な検討を行いくため、さらに非損傷率 50% に対応する追従ひびわれ幅も算定した。

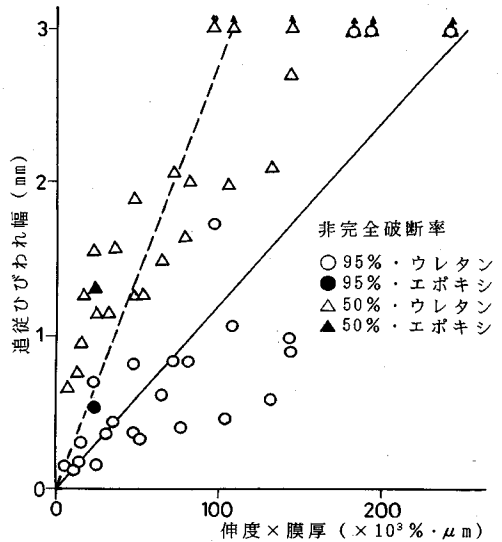
まず、追従ひびわれ幅の対数を伸度の一次関数として近似した場合には、伸度が 0% であってもひびわれに追従するという結果が得られ、近似は不十分であった。

Czarnecki らによれば、ライニングが追従し得るひびわれ幅は伸度の二次関数で表すことができ、膜厚の影響については、厚さ方向に応力が均一に分布するとしているため追従ひびわれ幅は膜厚に比例すると考えられる。そこで、追従ひびわれ幅を伸度の二次関数、膜厚の一次関数として近似したが、伸度が約 100% 以下においては、伸度が小さいほど追従ひびわれ幅が大きく得られる場合もあり、良好な近似が得られなかった。その理由としては、Czarnecki らの考え方における仮定がここでの試験において満たされていないことが考えられる。

そこで、伸度×膜厚に着目し、それと追従ひびわれ幅との関係を図—11～13 に示す。対象とする損傷レベル



図—12 追従ひびわれ幅 (非半分破断率) と伸度×膜厚との関係



図—13 追従ひびわれ幅 (非完全破断率) と伸度×膜厚との関係

によって、非損傷確率が大きく異なっており、それぞれ、ばらつきはあるものの直線状に分布していることが認められる。その分布を原点を通る直線で近似し、以下に近似式を示す。なお、非完全破断率に関しては、完全破断状態に達していない供試体が多く、また、必ずしもよい近似が得られてはいないため、ここでは省略する。

<非発生率 95% における近似式>

$$W = 2.75 \times 10^{-3} \cdot X$$

<非発生率 50% における近似式>

$$W = 1.30 \times 10^{-2} \cdot X$$

<非半分破断率 95% における近似式>

$$W=5.65 \times 10^{-3} \cdot X$$

<非半分破断率 50% における近似式>

$$W=2.07 \times 10^{-2} \cdot X$$

ただし、 W : 追従ひびわれ幅 (mm)

X : 伸度×膜厚 ($\times 10^3\% \cdot \mu\text{m}$)

この場合、先述の近似法と異なり、伸度 0% あるいは膜厚 $0 \mu\text{m}$ においてはひびわれ追従性も 0 となっており、硬く薄い仕様であっても推定が可能である。このことから概略ではあるが、ウレタンに関しては、その伸度、膜厚からおよそのひびわれ追従性が推定でき、実用的にも簡便であると考えられる。

例えば、ウレタンが非発生率 95% において、一般環境下で補修がおおむね必要とされる最大ひびわれ幅である $0.6 \text{ mm}^{11)}$ のひびわれに追従するためには、伸度×膜厚が $220 (\times 10^3\% \cdot \mu\text{m})$ 以上であることが要求される。つまり伸度 400% の塗装材料なら膜厚 $550 \mu\text{m}$ が目安となる。あくまで、本論文の提案式、試験方法を用い、 0.6 mm まで追従しなければならないと仮定したうえで推論であるが、以下のような考察が可能である。「塩害対策指針 (案)」にひびわれ追従性に優れているとしてあげられている伸度 4%、膜厚 $60 \mu\text{m}$ (伸度×膜厚 = $0.24 \times 10^3\% \cdot \mu\text{m}$) の仕様では、損傷が発生レベルの場合では、ほとんどひびわれ追従性は期待できない。また、「港湾マニュアル (案)」にあげられている塗装系 VI (伸度×膜厚 = $80 \times 10^3\% \cdot \mu\text{m}$) においても、非発生率 95% で 0.6 mm のひびわれに追従することは困難であると考えられる。そこで、ライニングのひびわれ追従性に関する基準を検討するにあたっては、伸度の大きいことから、TRB の報告 (2. (1) 参照) を参考にするのがよいと考えられる。

6. 結 論

本研究の範囲内で得られた結果を要約して次に示す。

(1) ライニングの損傷レベルの設定によって、そのひびわれ追従性に対する生存確率は大きく異なるため、ひびわれ追従性試験は設計上許されるライニングの損傷レベルを明確にした上で行う必要がある。

(2) ライニングのひびわれ追従性は使用樹脂の伸度、膜厚の各々の増加によって向上するが、ある程度以上の伸度および膜厚の両者をもたなければ効果は少ない。

(3) ウレタンライニングのひびわれ追従性は、その伸度と膜厚との積からおおよその程度が推定できる。

また、今後検討する課題として次のようなものがあげられよう。

① 屋外暴露による紫外線を含む気象作用の樹脂材料の物性変化に対する影響、および寿命推定⁷⁾。

② ライニングがコンクリートのひびわれに追従する

ときのライニングの剝離を含めた接着挙動の定量化¹²⁾。

③ 持続あるいは変動荷重を受けた状態での経年によるライニングのひびわれ追従性の変化¹³⁾。これらについては、樹脂材料の伸び能力のみではなく、クリープ、応力緩和性状ならびにひびわれ追従性の速度依存性を考慮に入れた検討が必要であろう。

最後に、本研究の供試体作製にあたって種々のご配慮をいただいた、日本材料学会・橋梁用樹脂小委員会 (委員長: 京都大学名誉教授・岡田清) のメンバー各位に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 片脇清士: コンクリート構造物の補修に関する基礎的研究, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol. 6, pp. 213~216, 1984. 6.
- 2) 日本道路協会: 道路橋の塩害対策指針 (案) 同・解説, 1984. 12.
- 3) 沿岸開発技術センター: 港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査, 1987. 9.
- 4) Van Til, C.J., Carr, B.J. and Vallega, B.A.: Waterproof membranes for protection of concrete bridge decks, NCHRP Report 165, TRB, pp. 32~33, 1976.
- 5) 日本コンクリート工学協会・アルカリ骨材反応調査研究委員会: アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書, 1990. 7.
- 6) 岡田 清・小林和夫・宮川豊章・佐藤弘文・松村卓郎: コンクリート表面樹脂ライニングのひびわれ追従性, セメント技術年報, 40 巻, pp. 447~450, 1986. 12.
- 7) 藤井 学・小林和夫・宮川豊章・合川聖二郎・菅島章文: 樹脂ライニングのひびわれ追従性に関する研究, 昭和 63 年度関西支部年次学術講演会講演概要, V-10-1~2, 1988. 5.
- 8) Czarnecki, L. and Grabowski, J.: Criterion of cracking resistance of glass fiber reinforced resins-A comparative study, Adhesion between Polymers and Concrete-Bonding Protecting Repair, Chapman and Hall, London, pp. 152~158, 1986. 9.
- 9) 小池柚夫: アスファルト防水層破断防止に関する理論的考察, 日本建築学会論文報告集, 第 93 号, pp. 1~8, 1963. 12.
- 10) 波木 守・大浜嘉彦: 皮膜防水層のひびわれ抵抗性, 材料, 第 20 巻, 第 208 号, pp. 52~58, 1971. 1.
- 11) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひびわれ調査, 補修・補強指針, 1987. 2.
- 12) 小林和夫・宮川豊章・佐藤弘文・久米生泰・喜多章行: ライニングを用いたコンクリート構造物の耐久性設計について, 土木学会第 42 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部, pp. 416~417, 1987. 9.
- 13) たとえば, 山住克巳・鳥取誠一: 動的荷重を受けるコンクリート表面樹脂ライニングのひびわれ追従性, 土木学会第 44 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部, pp. 664~665, 1989. 10.
- 14) 西林新蔵・井上正一・熊野知司・土門勝司: コンクリートへの樹脂ライニングによるひびわれ追従性に関する研

-
- 究, 土木学会中国四国支部第 41 回研究発表会講演概要集, pp. 476~477, 1989.
- 15) 大浜嘉彦: コーティングとライニング, セメント・コンクリート, No. 521, pp. 46~47, 1990.7.
- 16) 阪神高速道路公団, 日本材料学会: コンクリート構造物の表面保護工便覧・(案) 同解説, 1989. 3.
- 17) 阪神高速道路公団, 日本材料学会: コンクリート床版防水工設計施工指針 (案)・同解説, 1989. 3. (1991. 3. 29 受付)
-

CRACK BRIDGING PERFORMANCE OF SYNTHETIC RESIN LINING FOR CONCRETE STRUCTURE

Toyoaki MIYAGAWA, Seijiro AIKAWA, Susumu INOUE and Manabu FUJII

Recently synthetic resin lining is adopted as surface treatment of concrete to improve the durability of concrete structures.

This paper deals with the crack bridging performance of synthetic resin lining for concrete structures. This study make it clear that the crack bridging ability of plain lining can be expressed as the function of both the elongation of hardened resin and the thickness of lining film.
