

論文

[1099] コンクリート劣化防止塗膜材のひびわれ追従特性に関する研究

正会員 牛島 栄 (青木建設 研究所)
 正会員○酒井芳文 (青木建設 研究所)
 正会員 谷口秀明 (青木建設 研究所)
 正会員 関 博 (早稲田大学理工学部)

1. はじめに

塩害、中性化、温泉地帯の化学的腐食等のコンクリート劣化に対する補修あるいは予防手段としてコンクリート表面を樹脂ライニングする方法が広く行なわれている。これらの塗膜層に要求される性能は、防水性、腐食因子の遮断性、コンクリートへの接着性、耐久性等といった基本的特性の他に、コンクリート表面に塗布した後に発生したひびわれに対し、これをカバーするというひびわれ追従性能が要求され、近年は追従性の大きな塗膜材も、各種開発されてきている。

既往の研究では静的な挙動をするひびわれに対して塗膜の追従限界を求めるといった研究はなされているが、¹⁾ 開閉を繰り返す動的なひびわれに対して塗膜の追従性を検討する実験はあまりなされていない。そこで著者らは塩害に対して有効で、伸び率の大きな塗膜材3種類を選定して、これらを塗布したコンクリート供試体を作製した。この供試体を用いて、静的なひびわれおよび動的なひびわれに対する塗膜材の挙動を実験的に検討し、各種塗布材のひびわれ追従性を比較した。また、ひびわれ追従性に影響を与える要因についても併せて検討を実施した。

2. 実験概要

2-1. 供試体の作製

1) 供試体の形状および配合

a) 静的ひびわれ追従性試験用供試体

供試体は、図1に示すように50×50×420mmの角柱とした。中央部にはφ13mmの異形鉄筋を両端が突き出すように配し、両引試験体の形状とした。モルタルはセメント：砂＝1：2、水セメント比45%、フロー値185mmのものを用いた。圧縮強度は標準養生28日で66.9kgf/cm²であった。材令2週目にコンクリートカッターを用いて、打ち込み面と底面に6cmピッチで深さ1cm、幅5mmの切り込みを入れてひびわれ誘発用のスリットとした。スリットの間隔は、角田の理論式²⁾より最大ひびわれ間隔と最小ひびわれ間隔を算出し、その中間の値とした。その後、スリットを入れていない両側面に、ウェットゲージにて膜厚を測定しながら塗膜材を塗布した。

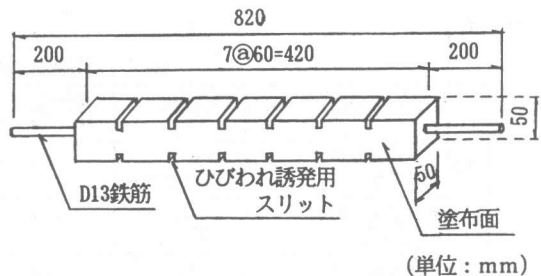


図1 静的ひびわれ追従性試験用供試体

b) 動的ひびわれ追従性試験用供試体

用いた供試体の形状を図2に、コンクリートの配合を表1に示す。材令2週目に、両側面にひびわれ誘発を目的として、コンクリートカッターにより、10cmピッチで深さ1cm、幅5mmのスリットを入れた。

スリットの間隔は、静的ひびわれ追従性試験用供試体の場合と同様に算出した。スリットを入れた後、底面にウェットゲージで膜厚を測定しながら塗膜材を塗布した。その際に1つの供試体で1塗膜材に対して2種の水準の試験ができるように塗膜を行なった。

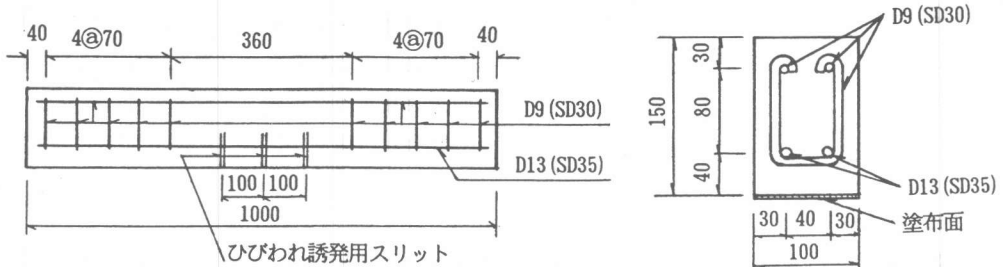


図2 動的ひびわれ追従性試験用供試体

表1 コンクリートの配合

スランブ (cm)	粗骨材最大 寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位置 (kg/m ³)				混和剤使用量 (ml/m ³)
					セメント	水	細骨材	粗骨材	
8	20	64.8	45	3.8	250	162	852	1043	625

- 注) 1. 細骨材混合比: 陸砂50%、山砂50% (比重=2.61、粗粒率=2.17)
 2. 骨材単位置: 表面乾燥状態時の値を示した。
 3. コンクリート練り上がり温度: 20℃
 4. 材令28日圧縮強度: 340kgf/cm²

2) 実験に使用した塗膜材の物性値と仕様

試験に用いた塗膜材は、道路橋の塩害対策指針(案)³⁾のC種相当以上の品質を有するもので、ひびわれ幅0.5mm程度まで追従しうる柔軟性のある材料を選定した。材料の物性値は表2に示す。ポリブタジエン系のはゴム状の弾性を有し伸び率が大きく、ひびわれ追従性に優れており、耐水性、耐薬品性も良好である。また、柔軟型エポキシ系のは同一の膜厚では他の塗膜材と比較して腐食因子の遮断性に優れ、従来のエポキシにはなかった厚膜でも柔軟性のある塗膜が得られている。これらに対してアスファルト・アクリルエマルジョン系の大きな特長は1液性の材料で吹付施工が可能であり、施工性、経済性の点で優れていると考えられる。本実験における塗膜材の塗膜厚と塗布方法を表3に示す。なお、塗布前のコンクリート表面は、すべてワイヤブラシにより付着物の除去を行った。塗膜厚は各材料のメーカー仕様の標準膜厚を挟んで、静的ひびわれ追従性試験では4水準、動的ひびわれ追従性試験では3水準を設定した。この際の塗膜厚は塗布時の目標膜厚であり、乾燥膜厚は新たにコンタクトリニアゲージによって測定を行なった。

表2 塗膜材の物性値

塗膜材の種類	伸び率 (%)	付着強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	遮塩性 (mg/m ² ・day)	水蒸気透過性 (g/m ² ・day)
ポリブタジエン系 (2液反応型)	982 (1000μm)	4.8	13.1	10 ⁻³ 以下 (300μm)	10.1 (※1)
柔軟型エポキシ系 (2液反応型)	725 (250μm)	29.4	27.9	10 ⁻³ 以下 (※2)	5.7 (※2)
アスファルト・アクリル エマルジョン系(1液型)	548 (1650μm)	15.8	9.1	10 ⁻³ 以下 (1300μm)	4.6 (1300μm)

- 注) 伸び率、付着強度、引張強度については室温20℃における測定値で、遮塩性、水蒸気透過性はメーカーのカタログ値()内は測定時の乾燥膜厚を示す。
 ※1) ポリブタジエン系(600μm)+ウレタン系上塗り(30μm)
 ※2) 柔軟型エポキシ系(80μm)+ウレタン系上塗り(30μm)

表3 塗膜材の塗膜厚および塗布方法

塗膜材の種類	静的ひびわれ追従性試験時の目標塗膜厚 (μm)	動的ひびわれ追従性試験時の目標塗膜厚 (μm)	塗膜の仕様
ポリブタジエン系 (2液反応型)	500, 1000, 1500, 2000	500, 1000, 1500	プライマー+主材へら塗り (1層)
柔軟型エポキシ系 (2液反応型)	250, 500, 750, 1000	250, 500, 750	プライマー+主材へら塗り (1層)
アスファルト・アクリルエマルジョン系 (1液型)	500, 1000, 1500, 2000	500, 1000, 1500	エアレスガン吹付 (1層)

2-2. 実験方法

1) 静的ひびわれ追従性試験

ひびわれに対する塗膜の伸び、破断強度等の追従性を見るために静的なひびわれ追従性試験を以下のような要領で行なった。供試体は塗膜後1週間気中に静置した後、図3のように塗膜面には塑性域歪ゲージ (L=6mm) を、コンクリート面にはスリットをまたいでπゲージを設置、50t万能試験機により、引張荷重を行なった。

塗膜面の歪、ひびわれ幅の計測は、デジタル歪測定器を通してパソコンにデータを取り込み、後でデータ整理を行なった。荷重方法は0.2tピッチの単調漸増荷重とし、各荷重において歪、ひびわれ幅を計測し、塗膜の状態を観察した。最大6tまで荷重を行ない、最大ひびわれ幅が4mmを越えた時点で実験を終了とした。

2) 動的ひびわれ追従性試験

図4に示すように供試体のひびわれ発生が予想されるスリット部をまたいでπゲージを設置した後、20t油圧サーボ疲労試験機を使って支持スパン800mm、荷重スパン300mmとする2点荷重方式による曲げ荷重を試験体に加えた。最初に試験体上面 (引張り側) のコンクリートにひびわれ幅が0.2mmに達するまで静的曲げ荷重を行なった後、除荷し、変位制御による動的曲げ荷重を繰り返し数10万回まで行なった。動的曲げ荷重の条件は、周波数を2Hzで行ない、加振変位の振幅幅は供試体上面のひびわれ幅が約0.2mm一定となるように設定した。なお、動的曲げ荷重を実施中は、数回にわたり途中で荷重を停止し、塗膜の破損状況を目視によって観察した。試験状況を写真1に示す。

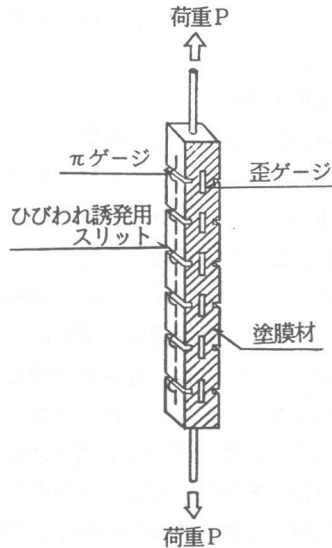


図3 静的ひびわれ追従性試験方法

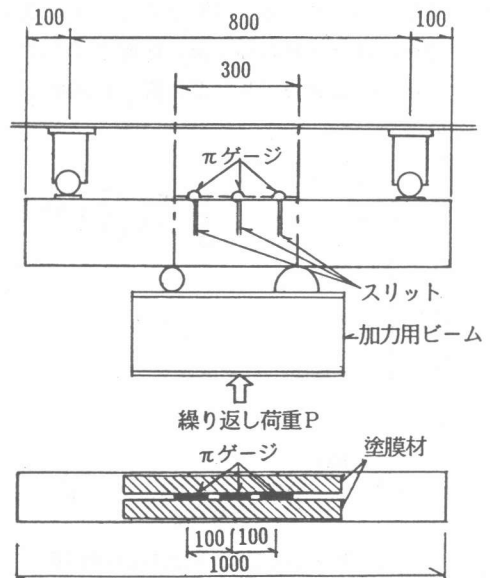


図4 動的ひびわれ追従性試験方法

3) 付着性試験

動的ひびわれ追従試験後の供試体を用いて、塗膜の付着試験を実施した。試験はひびわれ付近で、ひびわれによる塗膜の付着劣化が予想される部分（以下本文では“ひびわれ部”と称す）およびひびわれよりかなり離れた箇所の付着が健全と想定される部分（以下本文では“健全部”と称す）の2箇所で行なった。付着試験には治具の接着面積が1 cm²の小さい塗料用プルゲージを用いた。

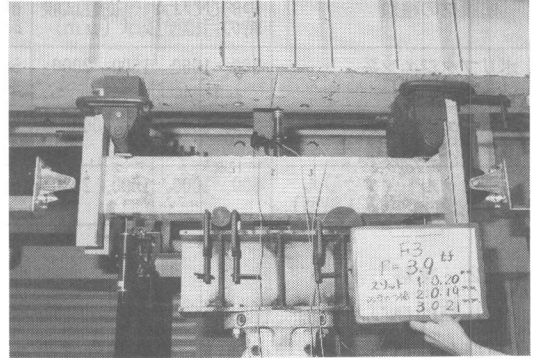


写真1 試験状況

3. 実験結果と考察

3-1. 静的ひびわれ追従性試験

塗膜の静的ひびわれ追従性試験の結果を図5～7に示す。試験に用いた塗膜材は表2に示すように伸び率が548～982%とかなり追従性の良いものを選んだため、最終ひびわれ幅2～4 mmの間に破断したものは、アスファルト・アクリルエマルジョン系のもの1種類にとどまった。その破断状況は塗膜厚によらず0.2 mm～0.5 mm程度のひびわれで、塗膜のスリット部にへこみが発生し1 mm以上になると亀裂（以下本文では塗膜のひびわれは“亀裂”と称し、コンクリートのひびわれとは区別する）が発生し始め、最終的には破断してしまっ

た。柔軟型エポキシ系で膜厚が530 μm以下のものはひびわれ幅2 mm前後でピンホールが発生し始め、それが亀裂へと進展していった。

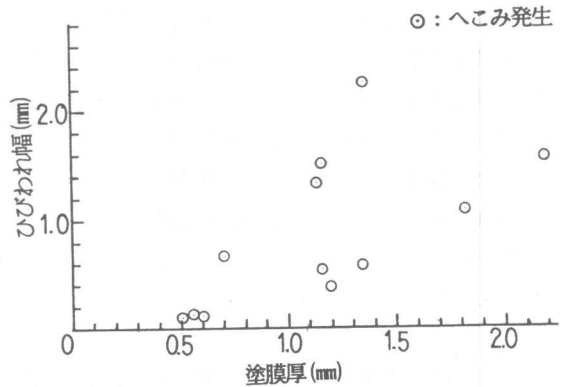


図5 静的ひびわれ追従性試験結果
(ポリブタジエン系)

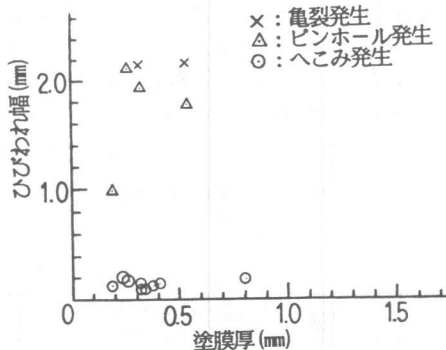


図6 静的ひびわれ追従性試験結果
(柔軟型エポキシ系)

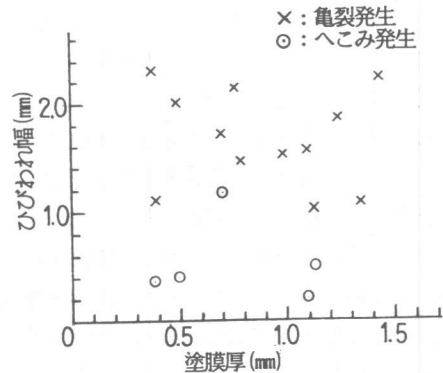


図7 静的ひびわれ追従性試験結果
(アスファルト・アクリルエマルジョン系)

ポリブタジエン系はひびわれ幅0.1 mmで膜厚500 μ mのものにへこみが発生し始め、膜厚が厚いものほどへこみの発生する時点でのひびわれ幅は大きかった。歪ゲージは塗膜面に影響が出ないように柔軟性のあるものを選んだものの、ひびわれ幅が0.3 mm以上となると破断してしまい、破断後の歪量は計測できなかった。膜厚700 μ m前後の各ライニング材の歪量とひびわれ幅の関係を図8に示すが、ひびわれ追従性のある材料程、同じひびわれ幅で表面に発生する歪量は小さいことがわかる。

3-2. 動的ひびわれ追従性試験

ひびわれは発生予想箇所15か所の内の12か所に発生し、スリットを入れていない両側にも図9のようなパターンでひびわれが発生した。また、ひびわれ幅は設定間隔の0.2 \pm 0.05 mmの範囲内で制御できた。各塗膜の動的ひびわれ追従性試験結果を図10に示す。

アスファルト・アクリルエマルジョン系の塗膜に亀裂が発生するまでの繰り返し数は極端なものを除いて1~4万回の間であり膜厚による繰り返し数の顕著な差は見られなかった。

柔軟型エポキシの場合は膜厚0.3 mm以下では繰り返し数7万回前後で塗膜に亀裂の発生が見られ、膜厚0.3 mm以上では繰り返し数が10万回に達してもへこみの発生のみにとどまった。

ポリブタジエンの場合は10万回の繰り返し回数で塗膜のへこみのみにとどまり、亀裂の発生には至らなかった。また、塗膜のへこみも膜厚0.9 mm以下ではひびわれの導入時に発生が見られたが、膜厚0.9 mm以上では

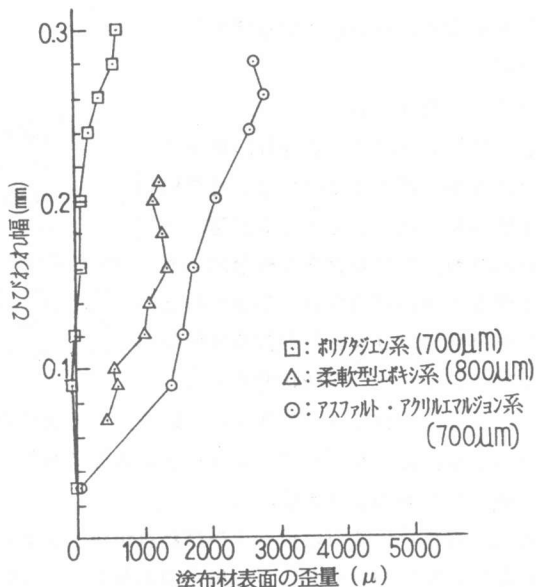


図8 各ライニング材の表面歪量とひびわれ幅の関係

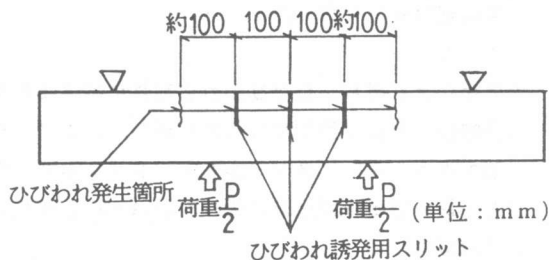


図9 動的ひびわれ追従性試験

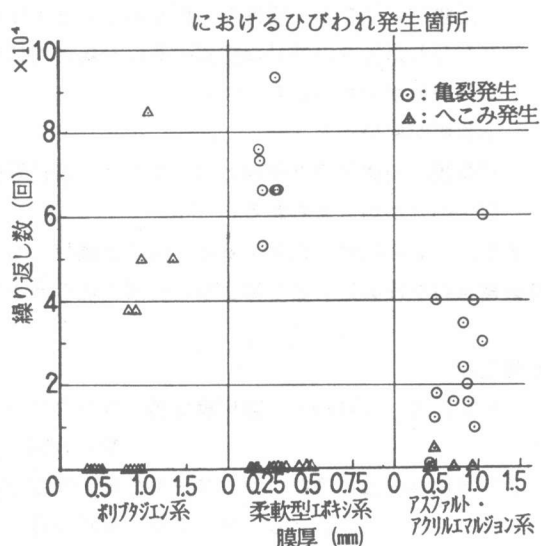


図10 動的ひびわれ追従性試験結果

4万回の繰り返しの前後から発生していた。

3-3. 付着性試験

表4に動的ひびわれ追従性試験後のひびわれ部と健全部での付着強度試験結果を示す。結果を見ると柔軟型エポキシのみが、ひびわれ部と健全部において顕著な違いが見られ、ひびわれ部では健全部の80%と付着強度が低下

表4 付着強度試験結果

塗膜材の種類	試験位置	平均付着強度 (kgf/cm ²)	破断状況
ポリブタジエン系	ひびわれ部	4.2	100%塗膜材とコンクリートの界面にて破断
	健全部	4.8	
柔軟型エポキシ系	ひびわれ部	23.1	100%下地コンクリートにて破断
	健全部	29.4	
アスファルト・アクリルエマルジョン系	ひびわれ部	16.4	100%塗膜材内部にて破断
	健全部	15.8	

しては健全部の80%と付着強度が低下していた。しかし、破断状況を見るとすべて下地コンクリートで破断しているため塗膜の引張強度が疲労により低下したのではなく、繰り返し载荷により下地コンクリートの表面に微細なヘアクラック等が発生して、塗膜の付着強度が低下したものと考えられる。

以上から、0.2mm程度のひびわれが発生すると予想される場合の塗膜、あるいは、0.2mm程度のひびわれが発生した場合の補修においては、塗膜の付着強度低下は考慮する必要はないと考えられる。また、ひびわれ追従性の良好な塗膜は、ひびわれ付近の付着強度が低下することにより、伸びを分担する部分が長くなり、追従性が良好となることも考えられたが、そのような結果は認められなかった。

4. まとめ

本実験により得られたひびわれ追従性に関する結論は以下の通りである。

- ①静的ひびわれと動的ひびわれに対してともに追従性の良い材料は、ポリブタジエン系、柔軟型エポキシ系、アスファルト・アクリルエマルジョン系の順であった。
- ②同一材料では膜厚が厚い程ひびわれへの追従性は良くなる。伸び率の大きいもの程その傾向は明瞭となる。
- ③0.2mm程度以下のひびわれ幅では、塗膜が10万回の繰り返し応力を受けても、塗膜厚、塗膜材の伸び率に関係なく付着強度の低下は見られない。
- ④ひびわれ追従性の良好な塗膜の条件を総合的に判断すると
 - ㊸伸び率が大きいこと
 - ㊹膜厚が厚いこと
 - ㊺塗膜の引張強度>塗膜とコンクリートの付着強度
 以上の3つが考えられる。

また、上記の条件から考えると、同じ塗膜材でも、膜厚を厚くして、塗膜中にガラス繊維繊維布等の補強材を埋め込むことにより、塗膜性能の向上を計ることが可能と思われる。

参考文献

- 1) 岡田清、小林和夫、宮川豊章他：コンクリート表面樹脂ライニングのひびわれ追従性、第40回土木学会年次学術講演会講演集（昭和60年）
- 2) 角田与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひびわれ幅、コンクリートジャーナル、Vol. 1. 8、No. 9、1970年9月
- 3) 道路橋の塩害対策指針（案）・同解説：社団法人 日本道路協会、昭和59年2月初版