

京都大学 正員 岡田 清

正員 小林和夫

正員 宮川豊章

学生員 久米生泰

学生員 佐藤弘文

1. はじめに、塩害による鋼材腐食やアルカリ骨材反応などによるコンクリートの損傷に対する補修、および新設時における予防手法として、コンクリート表面樹脂ライニングの適用が考えられる。しかし、すでに損傷を受け、ひびわれ等が発生している構造物に対する補修として用いる場合は、コンクリート内の補修時残留水分によって、ひびわれがさらに拡大・伸展する可能性がある。また、新設時には、荷重等によるひびわれはもちろん、コンクリート内の遊離水などによる反応の伸展も考えられる。この場合に問題となるのが、ライニングのコンクリートひびわれに対する追従性である。本研究では、樹脂ライニングもコンクリート構造物に適用するための基礎的資料を得るために、現在一般に使用されている種々のライニング系のひびわれ追従性と両引試験により検討した。

2. 実験概要：両引供試体（図1）の打設時の上面と底面にライニングを行ない、両引載荷によってひびわれを発生させた。測定項目としては、載荷荷重、コンクリート表面（打設時側面）のひびわれ幅、およびそれに対応するライニング面の変化とした。ひびわれ幅測定には、 $\pi$ 型ゲージとクラックゲージを適宜用いることとした。

実験の方法は次の3種類とした。①ひびわれ再開口試験：ノッチ無の供試体を用い、両引試験によりあらかじめひびわれを導入し、ライニングを行なった後に再度両引試験により、それを再開口させる方法。ひびわれ再開口幅は、 $\pi$ 型ゲージとクラックゲージで測定した。②新ひびわれノッチ有試験：ノッチを有する供試体にひびわれを導入せずにライニ

ングを行ない、両引試験でひびわれを発生させる方法。この場合には、ノッチの部分に集中してひびわれが発生するため、 $\pi$ 型ゲージによるひびわれ幅の測定が可能である。③新ひびわれノッチ無試験：ノッチ無の供試体にひびわれを導入せずにライニングを行なった後、両引試験でひびわれを発生させる方法。この場合にはひびわれの発生位置が不明であるため、クラックゲージのみでひびわれ幅を測定した。

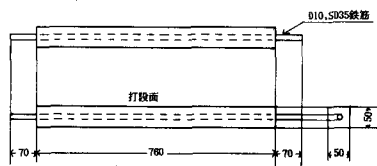
用いたライニング樹脂の種類と膜厚を表1に示す。なお、現在標準として用いられている膜厚を“現行”と表示した。また、シラン以外の各ライニングは、上塗りとしてアクリルウレタンを用いた。

### 3. 結果と考察

載荷によるライニング面の変化状況としては、まず、ライニングは完全につながっているが、下地コンクリートのひびわれに因ってのへこみが生じ、次いでピンホールなどの欠陥、さらにライニング面にひびわれ状の損傷をきたす破断を生じた。

ここでは、ライニングの破断率を、所定ひびわれ開口幅に達した時に破断が生じたひびわれ数とひびわれ全数

ノッチ無供試体



ノッチ有供試体

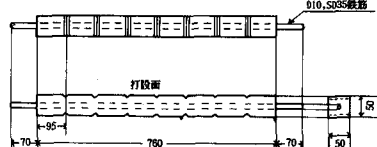


図1 供試体の形状

表1 供試体一覧表  
ひびわれ再開口

| 供試体番号 | ライニング系   | 中塗り         | 塗膜厚                          |
|-------|----------|-------------|------------------------------|
| 1・19  | なし       |             |                              |
| 2・5   | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 0.5$ (30 $\mu$ )  |
| 3・12  | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 (80 $\mu$ )               |
| 4・8   | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 2.0$ (120 $\mu$ ) |
| 7・9   | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスクロス | 現行 (560 $\mu$ )              |
| 10・13 | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスフレク | 現行 (1300 $\mu$ )             |
| 11・14 | ビニルエステル  | ビニルエステル     | 現行 (350 $\mu$ )              |
| 15・16 | ポリウレタン   | ポリウレタン      | 現行 (80 $\mu$ )               |
| 17・21 | ポリエステル   | ポリエステル      | 現行 (1000 $\mu$ )             |
| 20・22 | 建築軟      | エポキシ        | 現行 (80 $\mu$ )               |
| 6・18  | シラン      | シラン         | 現行 (40 $\mu$ )               |

新ひびわれ ノッチ有

| 供試体番号 | ライニング系   | 中塗り         | 塗膜厚                          |
|-------|----------|-------------|------------------------------|
| 57・58 | なし       |             |                              |
| 85・88 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 0.5$ (30 $\mu$ )  |
| 59・60 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 (80 $\mu$ )               |
| 87・88 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 2.0$ (120 $\mu$ ) |
| 61・62 | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスクロス | 現行 (560 $\mu$ )              |
| 63・64 | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスフレク | 現行 (1300 $\mu$ )             |

新ひびわれ ノッチ無

| 供試体番号 | ライニング系   | 中塗り         | 塗膜厚                          |
|-------|----------|-------------|------------------------------|
| 35・36 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 0.5$ (30 $\mu$ )  |
| 37・38 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 (80 $\mu$ )               |
| 43・44 | アクリルウレタン | エポキシ        | 現行 $\times 2.0$ (120 $\mu$ ) |
| 39・40 | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスクロス | 現行 (560 $\mu$ )              |
| 41・42 | アクリルウレタン | エポキシ+ガラスフレク | 現行 (1300 $\mu$ )             |

の比率として定義することとし、この値が、10%、25%、50%となった時のコンクリート表面のひびわれ幅を、表2、3および4に示す。この定義によると、同じ破断率に対するコンクリートひびわれ幅が大きい程そのライニング示様のひびわれ追従性が大きいと見なすことができる。

表2から、ひびわれ再開口試験で用いた種々ライニング系のうち、良好な追従性が得られたものは、ポリエステル、アクリルのガラスクロス、ビニルエステルであり、これらはいずれも比較的膜厚の大きな示様である。また、同じ膜厚(60 $\mu$ m)のもので比べると、超柔軟はかなり追従性が大きい。

TRBのNCHRPレポート165によると、ライニング塗膜の示様は、以下に示す3種類に分類される。

- (1)繊維補強されていず、しかも伸度が小さく、ほんの小さなひびわれでも破断してしまうもの。
- (2)繊維補強されていないが、0°F(-18℃)における伸度が200%以上であり、大きなひびわれにも容易に追従するもの。
- (3)繊維補強されていて、0°Fにおける伸度は50%以下と小さいが、大きなひびわれ追従性をもつもの。

また、そのガラス転移点が低いほどひびわれ追従性は良くなり、高いほど悪くなるという結果も報告されている。本実験で使用した樹脂の伸度とガラス転移点を表5に示す。アレーンのライニング樹脂はTRBの分類によれば、殆んどグループAに属する可能性が高く、ひびわれ追従性の観点からは伸度のより大きなものの方が好ましいと考えられる。また、繊維補強されているアクリルのガラスクロスとポリエステルはグループBに属するものと考えられる。

なお、ビニルエステルは、表5から予想されるよりも大きな追従性が得られているが、これは膜厚が大きいためと考えられる。

アクリルのアレーンについて、膜厚がひびわれ追従性に与える影響を図2、3に示す。いずれも膜厚30 $\mu$ m、60 $\mu$ m、120 $\mu$ mの順に追従性が大きくなっている。また、ひびわれ再開口と新ひびわれでは、同一条件では、新ひびわれの方が若干大きな値が得られている。

なお、シランについては、ライニングと施さないものとの間に顕著な差は認められなかった。

最後に、ライニング施工にあたり、種々お世話になった日本材料学会コンクリート工事中用樹脂委員会補修用樹脂小委員会の皆様に感謝致します。

表. 2 ライニング破断率とひびわれ再開口幅 (新ひびわれ再開口) (π型ゲージ) (mm)

| 膜厚<br>( $\mu$ m) | ライニング             | ライニング破断率        |      |                |
|------------------|-------------------|-----------------|------|----------------|
|                  |                   | 10%             | 25%  | 50%            |
| 30               | アクリル $\times 0.5$ | 0.05            | 0.10 | 0.15           |
| 60               | アクリル $\times 1.0$ | 0.04            | 0.08 | 0.20           |
|                  | ポリウレタン            | 0.02            | 0.19 | 0.60           |
|                  | 超柔軟               | 0.14            | 0.30 | 1.00           |
|                  | 平均値               | 0.07            | 0.19 | 0.60           |
| 120              | アクリル $\times 2.0$ | 0.06            | 0.16 | 0.45           |
| 350              | ビニルエステル           | 0.50            | 0.83 | 1.5 $\uparrow$ |
| 560              | アクリル<br>(ガラスクロス)  | 0.32 $\uparrow$ |      |                |
| 1000             | ポリエステル            | 0.56 $\uparrow$ |      |                |
| 1300             | アクリル<br>(ガラスフレック) | 0.06            | 0.18 | 0.25           |

表. 3 ライニング破断率とひびわれ開口幅 (新ひびわれノッチ有) (π型ゲージ) (mm)

| 膜厚<br>( $\mu$ m) | ライニング             | ライニング破断率        |      |      |
|------------------|-------------------|-----------------|------|------|
|                  |                   | 10%             | 25%  | 50%  |
| 30               | アクリル $\times 0.5$ | 0.02            | 0.04 | 0.15 |
| 60               | アクリル $\times 1.0$ | 0.09            | 0.20 | 0.58 |
| 120              | アクリル $\times 2.0$ | 0.24            | 0.50 | 0.88 |
| 560              | アクリル<br>(ガラスクロス)  | 0.38 $\uparrow$ |      |      |
| 1300             | アクリル<br>(ガラスフレック) | 0.29 $\uparrow$ |      |      |

表. 4 ライニング破断率とひびわれ開口幅 (新ひびわれ ノッチ無) (クランクゲージ) (mm)

| 膜厚<br>( $\mu$ m) | ライニング             | ライニング破断率          |      |      |
|------------------|-------------------|-------------------|------|------|
|                  |                   | 10%               | 25%  | 50%  |
| 30               | アクリル $\times 0.5$ | 0.00 $\downarrow$ | 0.04 | 0.07 |
| 60               | アクリル $\times 1.0$ | 0.05              | 0.08 | 0.30 |
| 120              | アクリル $\times 2.0$ | 0.10              | 0.16 | 0.32 |
| 560              | アクリル<br>(ガラスクロス)  | 変化なし              |      |      |
| 1300             | アクリル<br>(ガラスフレック) | 0.06              | 0.07 | 0.09 |

表. 5 樹脂の伸度とガラス転移点

| 樹脂                   | 伸度 (%)<br>(20 $\sim$ 23 $^{\circ}$ C) | ガラス転移点 ( $^{\circ}$ C) |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------|
| アクリル (アレーン)          | 40 $^{\circ}$                         | 0                      |
| ポリウレタン               | 20 $\sim$ 350 $^{\circ}$              | -40 $\sim$ -30         |
| 超柔軟                  | 90 $\sim$ 130 $^{\circ}$              | -12 $^{\circ}$         |
| ビニルエステル              | 2 $\sim$ 8 $^{\circ}$                 | 104 $^{\circ}$         |
| アクリル (ガラスクロス)<br>接着剤 | 15                                    | 30                     |
| アクリル (ガラスクロス)<br>中塗り | 40 $^{\circ}$                         | 0                      |
| アクリル (ガラスフレック)       | 15                                    | 30                     |
| ポリエステル               | 30 $\sim$ 60 $^{\circ}$               | 70 $\sim$ 90           |

\* : 実測値 それ以外は推定値

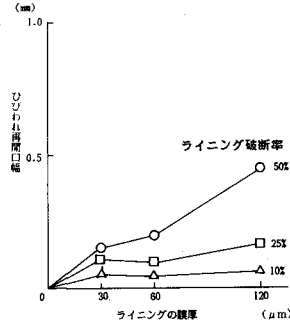


図. 2 ライニングの膜厚とひびわれ再開口幅 (再開口 アクリル アレーン)

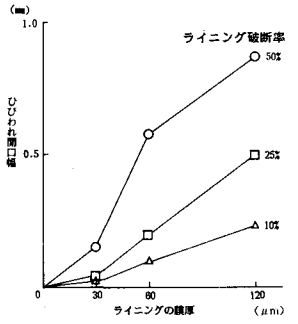


図. 3 ライニングの膜厚とひびわれ開口幅 (新ひびわれノッチ有 アクリル アレーン)