

コンクリート樹脂ライニングの耐久性とひびわれ追従性に関する研究

鳥取大学工学部 正 員 西林 新蔵
鳥取大学工学部 正 員 井上 正一
清水建設(株) 正 員 熊野 知司
鳥取大学工学部 学生員 ○井上 善彦
ショーボンド建設(株) 土門 勝司

1. まえがき

近年、コンクリート構造物の耐久性の向上策の一つとして、コンクリート表面への樹脂ライニングが採用される機会が増えている。ここでは、樹脂ライニングそのものの耐久性ならびに静的と動的(繰返し)荷重下におけるひびわれ追従との関係を明らかにし、併せてライニングを施すことにより、海洋などの湿潤環境下のコンクリート構造物の耐疲労性向上の可能性を検討した結果について報告する。

2. 実験概要

実験計画を一括して表-1に示す。試験に用いた供試体は図-1に示す通りで、材令28日まで水中養生を施した後実験室内で2カ月間保存・乾燥させて樹脂ライニングを行った。使用した樹脂は厚膜型ポリブタジエンゴム系樹脂で、供試体における塗膜厚は無塗装のものを加え4水準とした。これら供試体のうち遮水性試験においては角柱供試体を海水中に浸漬し、吸水量および動弾性係数の経時変化を測定した。また、ひびわれ追従性試験ではたわみ制御による気中の静的試験および気中と真水中での載荷速度5Hzの一定荷重の疲労試験を通して、RCはり供試体底部のライニングの変化とひびわれ幅との関係を観察・測定した。なお、疲労試験におけるはり供試体のライニング膜厚は500μmのみとした。

3. 結果と考察

1) 遮水性能 図-2に浸漬日数tと吸水量ないしは相対動弾性係数EDR(tと浸漬開始直前との比)との関係を示す。図より、ポリブタジエンゴム系樹脂ライニングの遮水性能は、膜厚が厚いほど良好であるが、膜厚300~1000μmの範囲では浸漬後日数200日程度から徐々に低下する。このライニングの性状変化は相対動弾性係数の測定結果にも現れている。

2) ひびわれ追従性能 ここでは曲げひびわれのみを対象とし、ライニングの破断レベルを発生レベル(極めて小さな針穴程度のピッチングが観察される時点)で定義する。このとき、あるひびわれ幅Wで発生レベルに達しない確率(非破断確率)は式(1)より算定される。

$$P(W) = 1 - r / (L + 1) \quad (1)$$

ここに、rは発生レベルに達した総数L本のひびわれ幅を小さい順に並べたときの序数である。

表-1 実験計画

試験の種類	供試体の種類	膜厚(μm)	fc'(kg/cm ²)	環境条件
遮水性	角柱	0, 300, 500, 1000	400	海水中
ひびわれ追従性	はり	300, 500, 1000	300	気中
疲労試験	はり	0, 500	400	気中 水中

* fc'はコンクリート28日目標強度を示す。

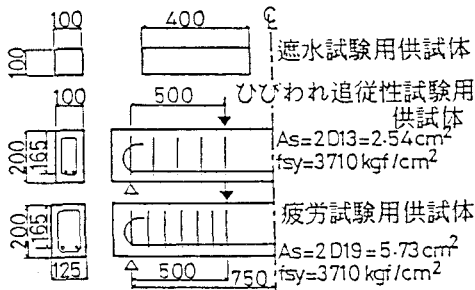


図-1 供試体の詳細

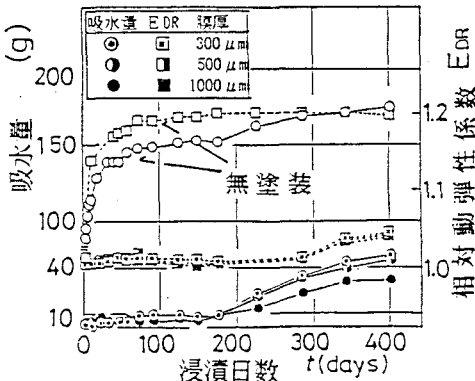


図-2 吸水量とEDRの経時変化

図-3は発生レベルにおける非破断確率 $P(W)$ とひびわれ幅 W との関係を正規確率紙上に示したものである。いずれのプロット点もほぼ直線上にあり、発生レベルにおけるひびわれ幅の分布は正規分布に従うといえる。

表-2 回帰分析結果

膜厚	回帰式	$V(W)$	$V(mm)$
300 μm	$t = -14.121w + 1.959$	0.071	0.14
500 μm	$t = -4.658w + 1.661$	0.215	0.36
1000 μm	$t = -3.515w + 2.427$	0.284	0.69

このとき、正規分布を表す直線式および平均ひびわれ幅 $\bar{W}$ と W の標準偏差 $V(W)$ はそれぞれ式(3)、(4)で算定される。

$$t = A W + B, \quad t = \Phi^{-1}(P(W)) \quad (2)$$

$$V(W) = 1 / |A|, \quad \bar{W} = -B/A \quad (3)$$

ここに、 t は標準正規変量で、 A 、 B は実験定数である。

図-4は最小二乗法によって決定した図-4 $V(W)$ or $\bar{W}$ と膜厚との関係直線式および $\bar{W}$ 、 $V(W)$ の算定値(表-2)をもとに $V(W)$ ないしは $\bar{W}$ と膜厚との関係を示したものである。図より、発生レベルにおけるコンクリートの平均ひびわれ幅は膜厚の増加によって大きくなるが、そのばらつきも同時に大きくなることがわかる。

3) 一定荷重の疲労試験 静的試験におけるRCはりの静的耐力は気中と水中の環境条件の相違やライニングの有無に関係なく同一であった。疲労試験におけるRCはりの破壊様式は、気中においては主鉄筋の疲労破断による曲げ破壊をし、水中ではライニングの有無にかかわらずせん断破壊をした。この場合、ライニングはりの特徴として斜めひびわれ中の水が圧力水となってライニングに風船現象が見られた。

図-5は、樹脂ライニングを施した(LA)はりの各荷重比ごとの疲労寿命 N と生存確率 $P(N)$ との関係を対数正規確率紙上に示したものである。図ならびに他のはりに同様の検討を行った結果より、いずれのはりのプロット点もほぼ直線上にあり、各荷重比におけるRCはりの疲労寿命の分布は対数正規分布に従うといえる。

図-6に荷重比 P_s と $P(N)=50\%$ ($t=0$)に相応する平均疲労寿命 $\bar{N}$ との関係($P_s-\bar{N}$ 関係)を示す。図より、LAはりの疲労強度は、同一仕様の気中はりよりも小さく、さらに水中での比較においては荷重比の低下に伴って無塗装はりのそれよりも小さくなっている。これは、前者の関係はライニングの遮水性能が破壊時まで発揮されなかったこと、後者の関係は載荷初期には無かった斜めひびわれの発生からライニングが発生レベルに至るまでのタイムラグによって高荷重比では疲労寿命が長くなるが、一方低荷重比では疲労寿命が長いために全疲労寿命に占めるタイムラグの影響が小さく、ライニングの風船現象に見られる圧力水が疲労損傷速度を大きくし、無塗装のはりよりも疲労寿命を短くしたものと推察される。

4) 静的と動的(繰返し)荷重下におけるひびわれ追従性

図-7に、ライニングの発生レベルに対して、繰返し回数 $n=10^4$ 、 10^5 、 5×10^5 で観察・測定した曲げひびわれ幅 W と荷重比との関係およびひびわれ追従性試験における膜厚500 μm に対する結果も併せて示す。図より、動的荷重下におけるひびわれ追従性は静的荷重下よりも悪くなり、さらに疲労寿命が長くなるに伴って悪くなることがわかる。

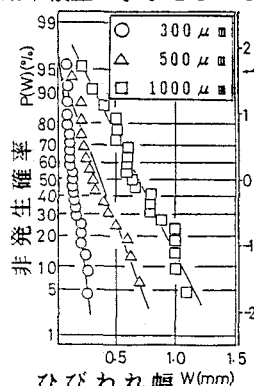
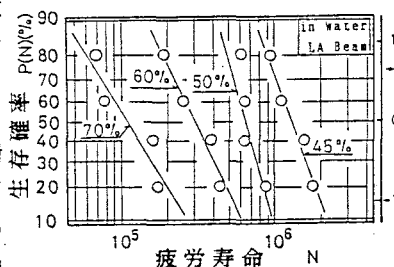
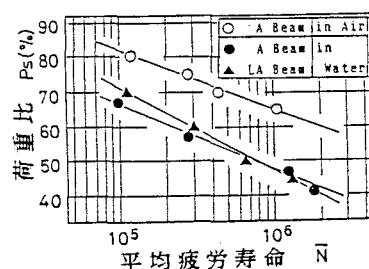
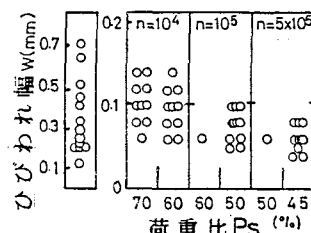
図-3 $P(W)-W$ 関係図-5 $P(N)-N$ 関係 (LAはり)図-6 $P_s-\bar{N}$ 関係

図-7 ひびわれ追従性