

V-213 樹脂表面塗装の適用による海洋コンクリート構造物の耐疲労性向上に関する研究

鳥取大学工学部 正員 ○井上 正一
 鳥取大学工学部 正員 西林 新蔵
 ソホソド建設(株) 正員 松下 幸義
 鳥取大学工学部 学員 伊南 仁樹

1. まえがき

湿潤環境下におけるコンクリート構造物の疲労強度は気中乾燥条件下におけるよりも大幅に低下することが知られている。ここでは、海洋を含めたこの種環境下において耐久的なコンクリート構造物を造る一手法として、コンクリート表面に樹脂塗装を施すことによる耐疲労性向上の可能性を、静的および繰返し荷重(疲労荷重)下における塗膜のひびわれ追従性ととの関連において検討した結果を述べる。

2. 実験概要

試験に用いたRCはり供試体の種類、その塗装仕様等を含む実験計画を表-1に示す。供試体の寸法は図-1に示す通りで、材令28日まで水中養生を施した後、実験室で2ヶ月間以上自然乾燥し、その後所定の樹脂塗装を行った。試験は、スパン中央のたわみ制御による静的載荷試験と繰返し載荷速度5Hzの一定振幅荷重の疲労試験からなり、いずれの試験もスパン150cmの3等分点載荷で行った。静的および疲労荷重下のひびわれ追従性は、これらの試験に用いたRCはり供試体の塗膜が破断(ピンホールが発生)した時のその破断直下のコンクリート表面ひびわれ幅で評価することにした。なお、塗装仕様と膜厚(中塗り厚)は表-1に示す通りで、塗装は素地調整(プライマー、パテ)と中塗り、上塗りからなっている。また、静的荷重下のひびわれ追従性試験は気中で、疲労荷重下のそれは全て水中で試験している。

表-1 静的および疲労荷重下のひびわれ追従性試験

供試体の種類	塗装仕様		表面処理 (面取り)	f c (kgf/cm ²)	主鉄筋量 As (cm ²)	平均終局耐力 Pu(tf)	荷重比 Ps (%)
	厚 (μm)	中塗り					
P300	300	P	無	562(496)	2D19 = 5.73	— (6.5)	—
P500	500					13.7 (6.5)	70~50
P1000	1000					— (6.6)	—
P'1000	1000	E	有	574(485) 564(480) 583	(2D13 =2.53)	13.6 (6.7)	70~50
E500	500					13.7 (6.7)	60~30
EN1000	1000					13.9	68~48
N-A, N-W : 無塗装はり				552, 515		13.7, 13.6	80~45

ライニング; P, P': 厚膜型ポリブタジエンゴム系樹脂, E: 柔軟型エポキシ樹脂, EN1000: 膜厚500μmのE樹脂を厚さ500μmのナイロクロスで補強したもの, その他は同一で、素地調整用にはプライマー(0.1 kg/m²)とパテ(0.5 kg/m²)を、上塗りにはポリウレタン(0.12 kg/m²)を用いている。 f c: 静的, 疲労の各試験開始時のコンクリートの平均圧縮強度, ()の数値は静的試験用の値

静的試験からなり、いずれの試験もスパン150cmの3等分点載荷で行った。静的および疲労荷重下のひびわれ追従性は、これらの試験に用いたRCはり供試体の塗膜が破断(ピンホールが発生)した時のその破断直下のコンクリート表面ひびわれ幅で評価することにした。なお、塗装仕様と膜厚(中塗り厚)は表-1に示す通りで、塗装は素地調整(プライマー、パテ)と中塗り、上塗りからなっている。また、静的荷重下のひびわれ追従性試験は気中で、疲労荷重下のそれは全て水中で試験している。

静的試験

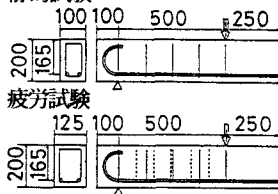


図-1 供試体の詳細

3. 結果と考察

3.1 静的荷重下のひびわれ追従性

平均ランク法によれば、塗膜があるひびわれ幅まで破断しない確率(P(W):生存確率)は式(1)で表される。

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

ここに、rは塗膜の破断総数Lに対し、そのひびわれ幅を小さい順に並べたときの序数である。

図-2は、膜厚型ポリブタジエンゴム系(P, P'系)と柔軟型エポキシ系(E系)の2種類の塗装に対し、膜厚をパラメータとした場合の生存確率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、同一樹脂における同一膜厚ごとのピンホール発生時のひびわれ幅の分布は式(2)で表記される正規分布に従うといえる。

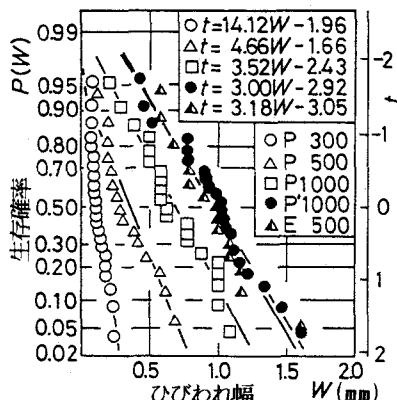


図-2 P(W) - W関係

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

ここに、 t は標準正規変量で、 A 、 B は実験定数である。

図-3に、式(2)の係数 A 、 B を最小2乗法によって決定した直線式(図-2中に併記)より算定される平均ひびわれ幅 \bar{W} ($= -B/A$)ないしは W の標準偏差 $V(W) = 1/A$ と膜厚との関係を示す。図より、 $V(W)$ で評価される W のばらつきは、ひびわれ追従性の良好なものほど大きくなるという特性が見られるが、静的荷重下におけるP系塗膜のひびわれ追従性は、膜厚を増加することによって改善できること、供試体隅角部の面取り(表面処理)による改善効果が大いこと、E系塗膜のひびわれ追従性は同一膜厚におけるPやP'系塗膜よりも良好であること、などがわかる。

3. 2 疲労荷重下のひびわれ追従性

図-4は、疲労試験において、所定の繰返し载荷回数($n=10^4, \dots, 2 \cdot 10^6$)回等で新たに発見された塗膜破断に対し、その位置の上限荷重作用時のコンクリート表面ひびわれ幅を示したもので、疲労試験における载荷重を決定するために行った静的耐力測定用(疲労試験と同一はり)はりから得られた静的荷重下のひびわれ追従性の結果も併記している。これらの図より、塗装仕様や膜厚に関係なく、疲労荷重下におけるひびわれ追従性は、①静的荷重下におけるよりも大幅に低下すること、②低荷重比となつて繰返し载荷回数が増加するに伴って低下すること、がわかる。この場合、P、P'、E系塗膜の疲労荷重下のひびわれ追従性は、③静的荷重下で追従性が良好なものほど良いが、静的荷重下におけるよりもその差が顕著でなくなること、また、④ナイロンクロスによる補強によって改善されること、もわかる。以上の結果より、疲労荷重を受ける場合の塗膜のひびわれ追従性は、樹脂の種類や膜厚ばかりでなく、荷重の大きさやその作用回数によっても影響を受けることに留意する必要がある。

3. 3 耐疲労性向上に関する検討

図-5に、同一荷重比ごとに4体以上の供試体を用いて行った疲労試験より得られた $P(N) - N$ 線図の一例を示す。他のはりについても同様の図を描いて検討した結果、いずれのはりにおける疲労寿命も対数正規分布で近似できることが明らかになった。図-6は、荷重比と図-5(および同様に描いた図)の回帰式に $t=0$ ($P(N)=0.5$)を代入して求めた平均疲労寿命 \bar{N} との関係を示したものである。図中の $P_s - \bar{N}$ 線式に $\bar{N}=200$ 万回を代入して求めた塗装はりの疲労強度は、無塗装はり(表-1参照)に対して気中で試験した(N-A)はりの $P_s=60\%$ と水中で試験した(N-W)はりの $P_s=42\%$ の間であり、P500、E500、P'1000、EN1000 はりの疲労強度は、それぞれ、 $P_s=42, 46, 49, 51\%$ となっている。このこと、および図-4の結果より、疲労荷重下でのひびわれ追従性の大きな塗装を選択することによって耐疲労性の向上が図れることが明らかになった。

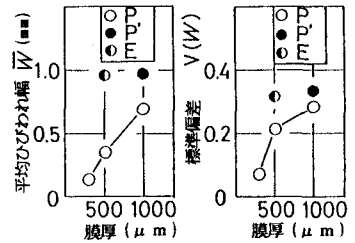


図-3 膜厚と \bar{W} or $V(W)$ との関係

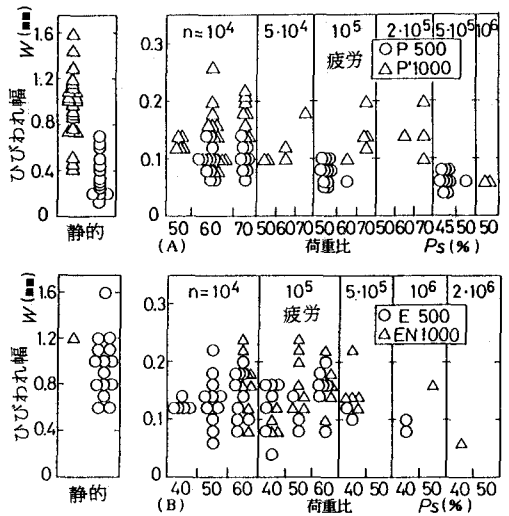


図-4 疲労荷重下のひびわれ追従性

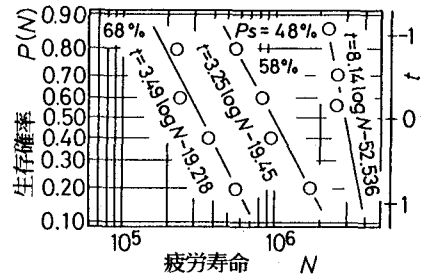


図-5 $P(N) - N$ 線図

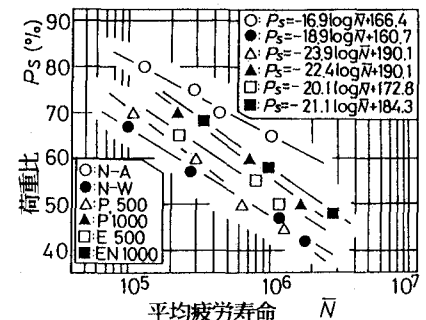


図-6 $P_s - \bar{N}$ 線図