

R C はりの疲労寿命に及ぼす環境条件の影響について

鳥取大学 正会員 西林 新蔵
 鳥取大学 正会員 井上 正一
 鳥取大学 学生員 〇井上 祥一
 広島県庁 正会員 齋藤 誠

1. まえがき

近年、コンクリート製の海洋構造物が建造される機会が増えているが、これらの構造物が長期にわたってその性能を発揮するためには、気象作用や海水中の塩による劣化はもちろんのこと、波荷重による疲労性状を解明し、その結果を設計に反映させて行く必要がある。ここでは、気中、水中、海水中での一定荷重振幅の疲労試験を行い、試験環境条件の相違

が R C はりの破壊様式や疲労強度に及ぼす影響を中心に検討した結果を述べる。

2. 実験概要

実験計画を表-1に、R C はり供試体の種類と断面形状を図-1に示す。R C はり供試体は材令28日まで水中養生を施した後、実験室内で3か月間保存・乾燥させた。その後、腐食環境下（水中と海

水中）で疲労試験を行うはりは、試験開始1週間前より、はり全体を、あるいは予め曲げスパンに装着したジャケット内のみを腐食環境とし、これらの部分が常時浸漬状態になるようにして試験を行った。疲労試験は、繰返し載荷速度 5 Hz、荷重と時間との関係には正弦波形を採用し、スパン 150 cm の3等分点載荷のもとで行なった。疲労試験における上限荷重比（ P_s ）は疲労試験に先立って行った各はりの静的終局耐力の平均値（ R ）に対する百分率で数水準選び、一方、下限荷重比はすべてのはりで R の 10 % と一定とした。

3. 結果と考察

3. 1 破壊様式

各種環境下で行った R C はりの曲げ疲労破壊様式を図-2に示す。図中の白抜きと黒塗りは、同一荷重比で試験した全てのはり（4本以上）が、それぞれ鉄筋破断型の破壊とコンクリート圧潰型の破壊をしたことを、半塗りはこれらの破壊様式が混在したことを示している。気中における破壊様式は、主鉄筋量が小さくなるに伴って、さらには作用荷重が小さく疲労寿命が長くなるに伴ってコンクリート圧潰型から主鉄筋破断型の破壊になる傾向がある。一方、腐食環境下における曲げ疲労破壊様式の特徴は、水中においては気中におけるよりも低鉄筋比、低荷重比でコンクリート圧潰型の破壊に、海水中においては水中におけるよりも主鉄筋破断型の破壊に、それぞれなりやすい。

表-1 実験計画

はりの名称	コンクリート 強度 (kgf/cm ²)	主 鉄 筋 量 A _S ($\varnothing$ D (mm) ²)	f _y (kgf/cm ²)	f _u (kgf/cm ²)	スラップ 間隔 S (mm)	試験環境	
D25-400-A	400	10.13 (2D25)	3900	6200	50	気中	
D19-400-A		5.73 (2D19)	3650	5680	125		
D19-400-W			3680	5660	83	水中	
D19-400-W(J)	300			曲げスパン のみ 水中浸漬			
D19-300-W(J)				5510		曲げスパン のみ 海水浸漬	
D19-400-S(J)	400			5660			
D19-300-S(J)	300			5510			

* (J) : ジャケットはり (曲げスパンのみの部分浸漬)

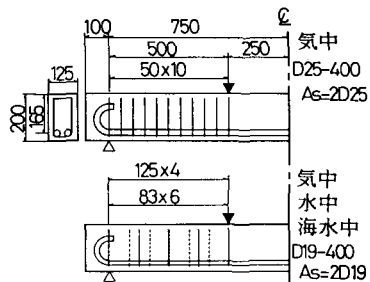


図-1 断面形状 (スラップ: 実線は気中用、破線は水中、海水中用)

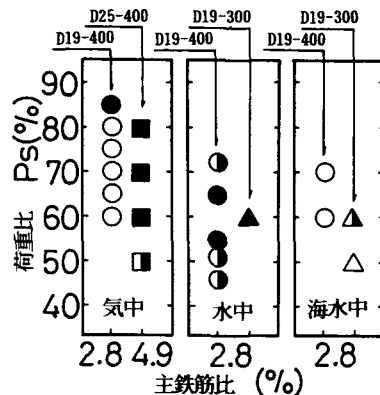


図-2 破壊様式

また、はり全体を水中浸漬したD19-400-W はりは全てせん断破壊をしており、水中ではせん断破壊になりやすいといえる。

3. 2 疲労寿命の分布と $P_s - N$ 線式

図-3は、各荷重比ごとに同一破壊様式を示したはりの疲労寿命 N と、次式より求めた生存確率 $P(N)$ との関係の一例を対数正規確率紙上にプロットしたものである。図-3および他のはりについても同様の処理を行った結果より、各荷重比ごとに同一破壊様式を示したはりの疲労寿命の分布は対数正規分布に従うといえる。

$$P(N) = 1 - (r / (\ell + 1)) \quad (1)$$

ここに、 r は同一条件で試験した供試体総数 ℓ の疲労寿命 N を小さい順に並べたときの序数である。

このとき、 $P(N) = 0.5$ (標準正規変量: $t=0$) に相応する N の値が平均疲労寿命 $\bar{N}$ を表わす。

図-4は、主鉄筋破断型で破壊したはりに対する $P_s - N$ 関係を示したものである。図より、各はりの200万回曲げ疲労強度は、D19-400-A で $P_s = 60\%$ 、D19-400-W(J) で $P_s = 47\%$ 、D19-400-S(J) で $P_s = 43\%$ 、D19-300-S(J) で $P_s = 45\%$ となる。この結果腐食環境下での200万回疲労強度は、水中でせん断破壊をしたD19-400-W はりの $P_s = 42\%$ より大きいものの、気中よりも水中で、水中よりも腐食環境が厳しい海水中で、疲労強度が低下することがわかる。

3. 4 鉄筋応力とはりの疲労寿命

図-5は、主鉄筋破断型で曲げ破壊したはりに対して、弾性論に基づく応力振幅の計算値とはりの疲労寿命の実験値との関係を示したもので、図中の実線は土木学会コンクリート標準示方書に規定されている鉄筋の $S-N$ 線式(式(2))をD19-400-A はりに適用した結果(他のD19はりもほぼ同一曲線となる)を示している。

$$\sigma_{sr} = 1900 (1 - \sigma_{smin} / f_u) (10^a / N^{0.12}), \quad a = (0.82 - 0.003 \phi) \quad (2)$$

ここに、 σ_{sr} は鉄筋の振幅応力、 σ_{smin} は鉄筋の下限応力、 f_u は鉄筋の引張強度 (5680 kgf/cm^2)、 ϕ は鉄筋の公称直径 (19mm) である。図より、腐食環境下における疲労寿命の実験値は、長寿命になるに伴って予測値(実線)よりも下側(危険側)に現われ、さらに、海水中の疲労強度が水中のそれよりも小さくなっていることが分かる。以上の結果を総合するとRCはりの疲労性状は、構造物が設置される環境条件によって破壊様式や疲労強度が変わること、土木学会提案の鉄筋の $S-N$ 線式は気中以外の環境条件に適用できない、といえる。

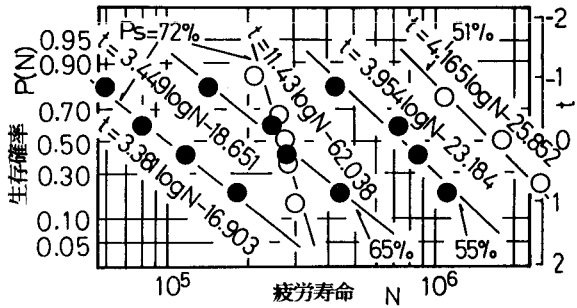


図-3 $P(N) - N$ 線図
(白抜き: 鉄筋破断、黒塗り: コンクリートの圧潰)

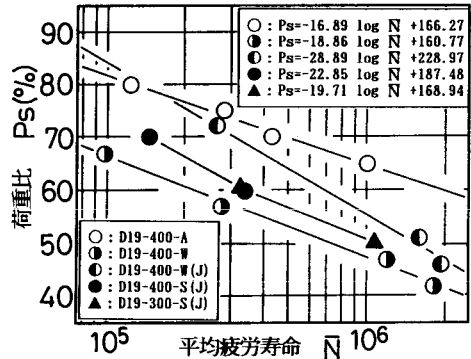


図-4 $P_s - N$ 線図

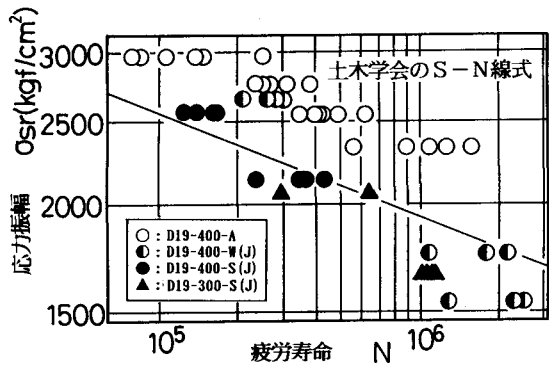


図-5 $\sigma_{sr} - N$ 線図