

九州大学 工学部 正員 松下 博通

1. まえがき

海洋コンクリート構造物、河川コンクリート構造物では、コンクリートが水面下あるいは水面上にあつても絶えず湿潤状態にあることが多い。コンクリートの強度は、気乾状態で試験に供する場合と、湿潤状態で試験に供する場合では、大きく差が認められ、これはコンクリートの組成的特徴として、内部の多量に含む空隙に水が満たされているかどうか、その力学的性質と変化させているからと説明されている。そこで、繰返し応力を与えるコンクリートの疲労強度についても、コンクリートの乾湿の影響を交けると考えうるため、水中における圧縮疲労試験を実施し、この結果を空中での疲労試験結果と比較してみた。

2. 試験概要

φ7.5×15cm円柱状試体を長期貯令で試験に供するものとし、試験開始10日前から供試体に十分吸水させるため水浸した。疲労試験の繰返し応力の大きさは、疲労試験に先んじて実施した水中における静的圧縮強度に対する比率で示すと、最小応力比が10、30、50%の3種であり、最大応力比は55~85%である。繰返し応力は正弦波にた応力で、300回/分の速度で、供試体が疲労破壊するか、繰返し回数 2×10^6 回に達するまで連続して繰返し、供試体が疲労破壊するまでの疲労寿命を測定した。

3. 試験結果と考察

図1に最大応力比10%の時の疲労寿命の測定結果を対数正規分布にあてはめるため、正規確率紙上にプロットして示す。コンクリートの疲労寿命分布を対数正規分布とみなすこととができる。この傾向は他の応力比についても同様であった。そこで回帰直線式および $\log N$ 更にばらつきを表す $D(\log N)$ と算定して表1に示した。この結果より、S-N曲線を描くと図2の通りであり、水中での疲労強度が空中での疲労強度より小さいことが伺える。疲労寿命が一一定のと、疲労強度に及ぼす最小応力比の影響と調べるため、耐ス線図、空中疲労および水中疲労のそれぞれについて求めたものが図3である。この結果、いずれも修正Goodmanの関係が成立するといえよう。

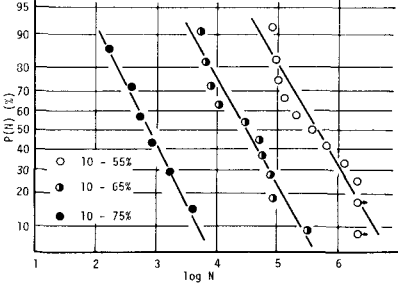


図1. 疲労寿命測定結果の対数正規分布へのあてはめ

表1 寿命分布の回帰式, $\log N$, $D(\log N)$.

$S_2(\%)$	$S_1(\%)$	回帰直線式	$\log N$	$D(\log N)$
10	55	$t = -1.38 \log N + 7.78$	5.63	0.72
10	65	$t = -1.45 \log N + 6.48$	4.47	0.69
10	75	$t = -1.62 \log N + 4.66$	2.88	0.62
30	70	$t = -1.08 \log N + 6.10$	5.62	0.92
30	75	$t = -1.60 \log N + 6.74$	4.20	0.62
30	80	$t = -1.70 \log N + 5.91$	3.48	0.59
50	75	$t = -1.33 \log N + 7.62$	5.75	0.75
50	80	$t = -1.95 \log N + 9.83$	5.03	0.51
50	85	$t = -2.14 \log N + 7.08$	3.30	0.47

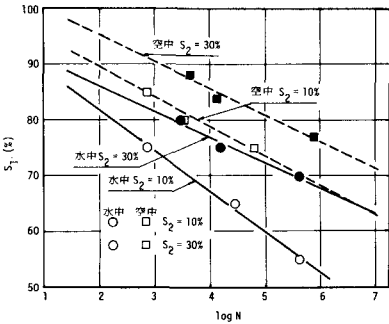
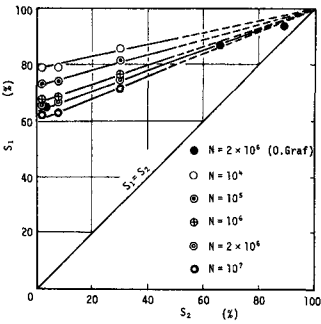
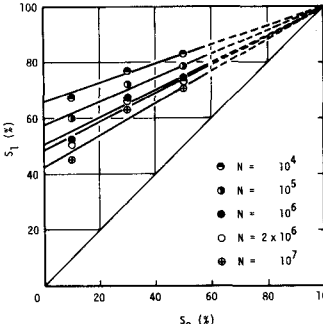


図2 試験結果から得られた S-N 曲線の比較



(a) 空中疲労試験の場合



(b) 水中疲労試験の場合

図3 耐ス線図

よって、平均疲労寿命 $\log N$ は $\log N = K \frac{100-S_1}{100-S_2}$ なる関係式で表すことができる。図4は、空中疲労および水中疲労で上式を適用して求めた、 $(100-S_1)/(100-S_2)$ と $\log N$ の関係を示したものである。この結果、空中疲労同様、水中疲労でも上式によって $\log N$ を算定することが可能である。この関係式は空中水中について

$$\log N = 17.5 \frac{100-S_1}{100-S_2} \quad (\text{空中}) \quad \log N = 11.7 \frac{100-S_1}{100-S_2}$$

で示される。これより $N=10^7$ 回片振り疲労強度は空中で60%、水中で40%となる。また $N=2 \times 10^6$ 回片振り疲労強度は64%と46%と水中疲労強度は著しく小さい。このような結果は、いずれも、空中では空中静的強度と、水中では水中静的強度を基準としており、静的強度そのものが水中のほうが空中より小さいことを注意しなくてはならない。

次にばらつきをあらわす $D(\log N)$ は、最大応力比および最小応力比によって変化する。前者が大きいと小さくなり、後者が大きいと大きくなるという応力依存性が認められる。今、静的強度にはつぎの仮定をとり、 $D_0(\log N)$ とすれば、 $D_0(\log N)$ は $D_0(\log N) = AS_1 + BS_2 + C$ (A, B, C : 定数) の関係が予想される。 $D_0(\log N)$ は、静的強度の変動によって決まる。これを $\Delta D(\log N)$ とすれば、 $\Delta D = \frac{\partial D_0}{\partial S_1} \Delta S_1 + \frac{\partial D_0}{\partial S_2} \Delta S_2$ (ΔS : 静的強度) より $\Delta D(\log N) = (AS_1 + BS_2) \frac{V}{100}$

(V : 静的強度の変動係数%) となる。よって $D(\log N) = D_0 + \Delta D$ より $D(\log N) = (AS_1 + BS_2)(1 - \frac{V}{100}) + C$

となる。空中疲労、水中疲労について上式を表現式の有意性を分散分析した結果、いずれも有意であった。この結果、 $D(\log N)$ の関係式は $D(\log N) = (-0.0210S_1 + 0.0119S_2)(1 - \frac{V}{100}) + 2.30$ (空中疲労)

$$D(\log N) = (-0.0207S_1 + 0.0030S_2)(1 - \frac{V}{100}) + 2.02 \quad (\text{水中疲労})$$

となり、水中疲労のほうが寿命がばらつきが小さいことが知られる。以上の結果より、片振り繰返し応力下の $S-N-P(N)$ 曲線を図5に示した。また、 $P(N)=50\%$ および 90% のときの耐久線図を描いて図6に示す。水中疲労強度が著しく小さいことが示されている。

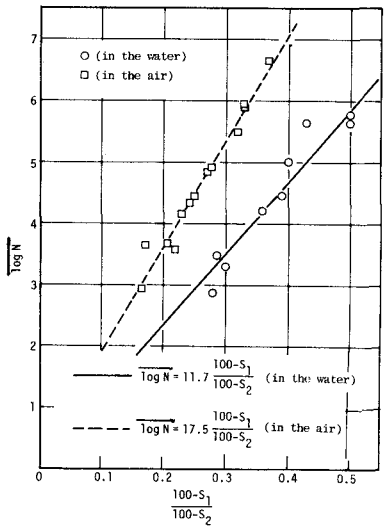
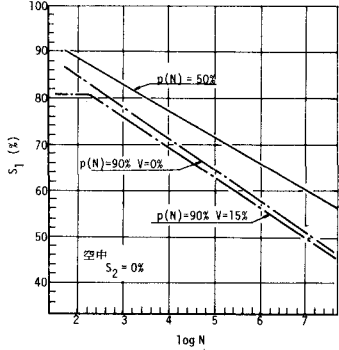


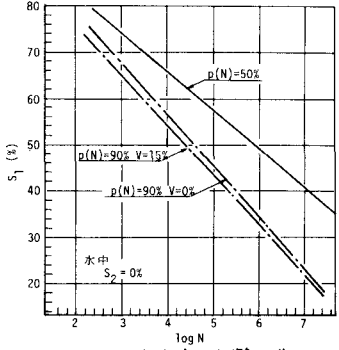
図4 繰返し応力比と平均疲労寿命の関係

表2 $D(\log N)-S$ の関係についての分散分析表

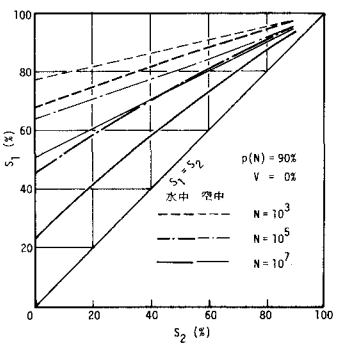
要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
水中				
回帰による	0.04014	2	0.02007	$F_0 = \frac{0.02007}{0.00400} = 5.0175$
回帰からの	0.01600	4	0.00400	
合計	0.05614	6		$F_{90}(2,4) = 4.324$
空中				
回帰による	0.1668	2	0.0834	$F_0 = \frac{0.0834}{0.00974} = 8.563$
回帰からの	0.0682	7	0.00974	
合計	0.2350	9		$F_{90}(2,7) = 4.74$



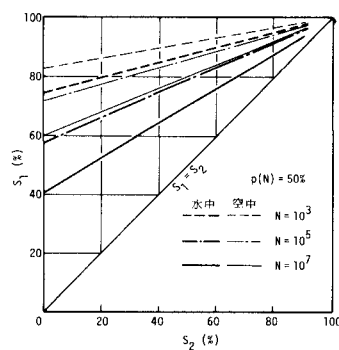
(a) 空中疲労試験の場合



(b) 水中疲労試験の場合



(a) $P(N)=90\%$ の場合



(b) $P(N)=50\%$ の場合

図6 耐久線図の比較