

V—3 水中および乾燥・湿潤状態におけるコンクリートの圧縮疲労強度

室蘭工業大学 正会員 ○ 尾崎 詔

志村政雄

浅田泰敬

1. はじめに

さきに、著者らは、28日間水中養生したAEコンクリート供試体を大気中で乾燥させることなく、引き続きそのまま水中で試験した場合の200万回圧縮疲労強度は静的強度の30%という極めて低い値を示すことを発表した¹⁾。勿論、これは下限応力を0とした完全片振りの場合の値であるが、大気中の疲労強度が大気中の静的強度の55% (仮に水中疲労と同じ静的強度を基準とすれば67%) であることから、水中における疲労強度は大気中の疲労強度の半分位になることを知った。

このように、海洋コンクリート構造物など、水中環境にあるコンクリートの疲労強度が大気中におけるよりも著しく低下することは予想されていたことではあるが、この値は、他の研究者の結果²⁾ (湿空中で養生した材令3ヶ月の碎石コンクリート供試体を水中で2週間吸水して試験した結果が46%で、大気中の疲労強度64%の7割程度の低下にとどまる) と比較してかなり低い値を示した。したがって、今回は骨材に碎石を用い、材令を3ヶ月とし、大気中の条件も乾燥と湿潤に区別して、差異を確かめるべく実験をおこなったので報告する。

2. 実験材料

実験に用いたコンクリートは表-1のような配合のもので、これに用いたセメントは比重3.16の普通ポルトランドセメント、細骨材は比重2.69で粗粒率2.42の錦岡産海砂、粗骨材は比重2.66の白老産碎石で、AE剤としてピンゾールWを用いた。実験に用いた供試体は $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体で、強制練り混ぜミキサで60gのコンクリートを5バッチ練り、合計150本の供試体を製作した。供試体は、20°Cの恒温水槽で養生し、材令3ヶ月で実験に供した。

なお、今回はセメントペーストによるキャッピングを行わず、供試体上面をダイヤモンドカッターで研磨した供試体を用いた。

表-1. コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法	25 mm
スランプの範囲	6 ± 1 cm
空気量の範囲	5 ± 0.5 %
水セメント比, w/c	50 %
細骨材率, s/a	42 %
単位水量, W	135 kg
単位セメント量, C	270 kg
単位細骨材量, S	834 kg
単位粗骨材量, G	1138 kg
単位AE剤量	75 cc

3. 試験時の供試体の状態と基準強度

疲労試験は、水中・湿潤・乾燥の三種の状態でおこなった。水中疲労試験は、養生水槽から取り出した材令3ヶ月の供試体を、内径31 cm、高さ29 cmの透明な疲労試験水槽に移して、水中で供試体に繰返し圧縮荷重をかけた。湿潤状態における疲労試験は養生水槽から取り出した供試体にサララテックスを散布し、サララップでシールして、供試体からの水の蒸発を防ぎながら大気中で繰返し圧縮荷重をかけ試験した。乾燥状態における疲労試験は、水中養生した材令3ヶ月の供試体を乾燥機を用いて加熱乾燥し、乾燥率2.5%程度の供試体を大気中で試験した。加熱乾燥は20°C/hrで徐々に温度を上げ100°Cに保ち、乾燥率2%前後になった時点で加熱をやめ、24時間後の乾燥率を2.5%にした。

疲労試験に先だち、各バッチごとに上記の湿潤状態および乾燥状態の供試体を抜き取って静的強度試験をおこない、前者を水中および湿潤状態における疲労強度の基準値、後者を乾燥状態における基準値としてそれぞれバッチごとの基準強度を設定した。これらの平均値は湿潤状態で36 kg/cm²、乾燥状態で37 kg/cm² という値を示し、乾燥による強度上昇が自然乾燥の場合に比べて小さくなっ

ている。

4. 疲労強度実験

疲労試験には本学共同利用施設の構造物疲労試験機(島津サーボパルスEHF-30形)を用いた。

繰返し荷重の形式は正弦変化荷重のみを採用し、繰返し速度も10 Hz(600回/分)の一定値を採用した。

試験は100万回までの繰返し数を目標に連続して載荷し、供試体が破壊するまでの繰返し数を測定した。繰返し荷重の大きさは、湿潤あるいは乾燥状態における各パッチの静的強度をそれぞれ基準としたが、下限荷重はできるだけ完全片振に近づけるために、繰返し載荷中供試体の移動を抑えるのに必要な最低荷重として、1トンの下限荷重を選定し、すべての試験を通して一定とした。

したがって、基準強度の大小によって多少の違いはあるが、下限応力比はおおよそ3.4%と見てよい。繰返し荷重の上限応力の大きさは、図-1のように水中疲労では基準強度の60,55,50,45,40%の5段階を、湿潤状態の疲労試験では60,55,50,45%の4段階を上限応力比として選んだが、乾燥状態の疲労試験では基準強度の75,70,65,60%の4段階を上限応力比として採用した。

これらの実験結果をS-N線図にプロットすると、図-1のようになり、水中から湿潤、さらに乾燥となるにつれてS-N線図の勾配が緩やかになり疲労寿命が大きくなることがわかる。なお、図中の実線および破線は、それぞれ、後述する解析の結果得られた生存確率50%および90%の回帰直線を参考までに引いてみたものである。

5. 実験の解析

繰返し荷重の上限応力比ごとに生存確率の期待値を、 $P(N) = 1 - r / (n + 1)$ によって求め、疲労寿命に対し対数正規分布を仮定すれば、水中、湿潤、乾燥状態における疲労のP-N線図は図-2のようになる。

なお、n個の資料の内、m個が100万回までに破壊しなかった場合にはn+1個供試体が試験に供されたとし、100万回でn-m+1番目の供試体が破壊したとみなして寿命の小さい方から数えてr番目の測定値Nの生存確率の期待値P(N)を $P(N) = 1 - r / (n + 2)$ で求めた。また図中の縦軸には生存確率P(N)のほかに、回帰直線を表わすのに基準正規分布

の変数tを用いると便利なのであわせて記入してある。図-2の回帰直線より、生存確率P(N)=50%(t=0)とP(N)=90%(t=1.28)の点を求めてそれぞれ○と△でプロットしたのが図-3である。これらの点から求まる回帰直線をそれぞれ S_{50} および S_{90} として求め、実線および破線で図中に記

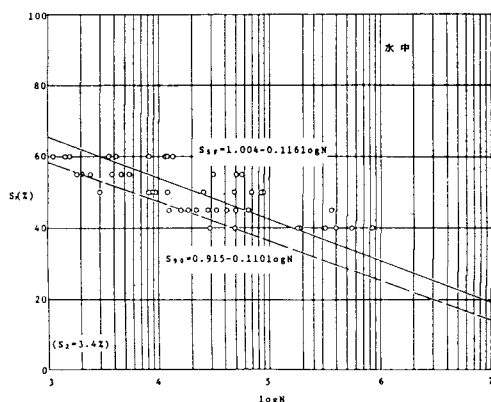


図-1.a 水中における疲労試験結果

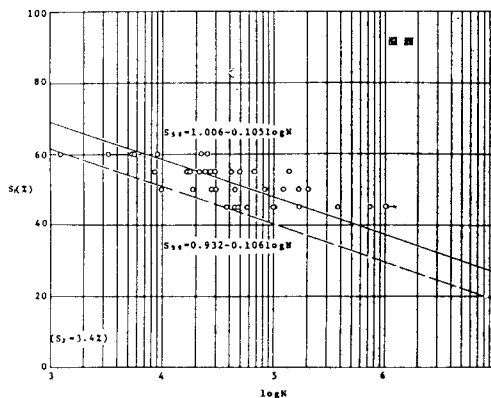


図-1.b 湿潤状態における疲労試験結果

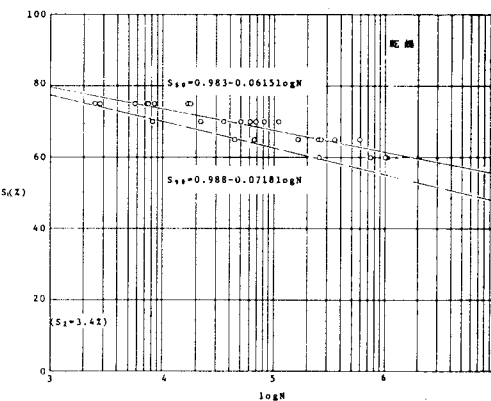


図-1.c 乾燥状態における疲労試験結果

入した。 実線で表わした、生存確率50%の S_{50} - $\log N$ 直線のみを、水中,湿潤,乾燥状態の場合について比較したのが図-4である。 以上は、下限応力比 $S_2 \pm 3.4\%$ の場合の解析結果で、200万回疲労強度はそれぞれ、基準強度の27%,34%,60%となって、水中と湿潤状態との疲労強度の差は小さく、これらの値は乾燥状態における疲労強度の約半分であることがわかる。 さらに、図-4の回帰直線式を修正グッドマン線図を利用して、下限応力比0の完全な片振圧縮の場合の式に換算す

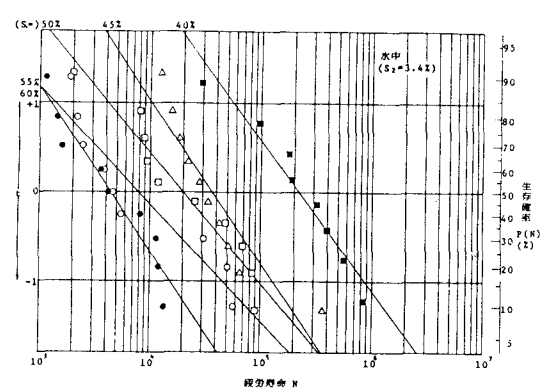


図-2.a 水中における疲労のP-N線図

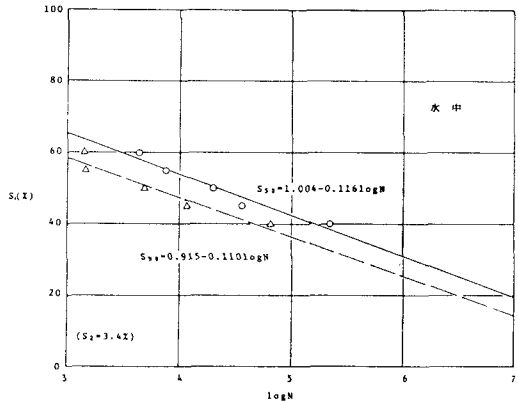


図-3.a 水中におけるS-N-P線図

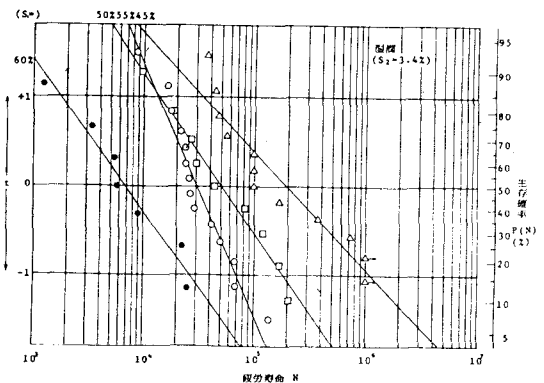


図-2.b 湿潤状態における疲労のP-N線図

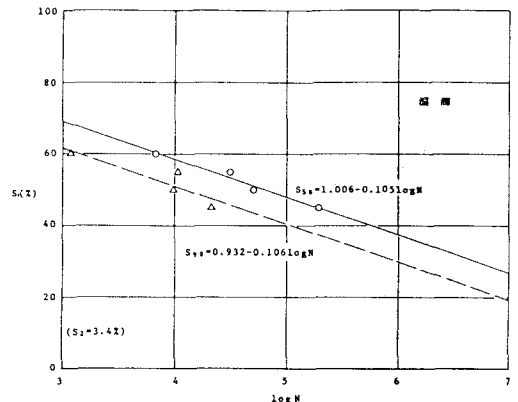


図-3.b 湿潤状態におけるS-N-P線図

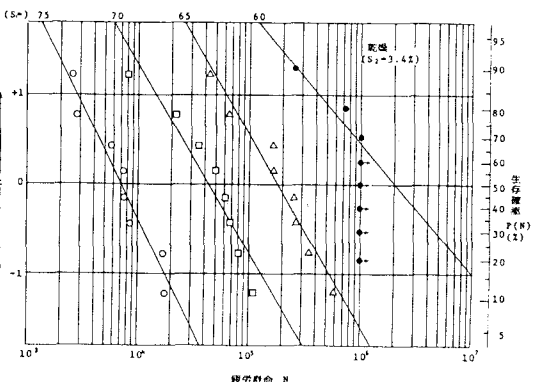


図-2.c 乾燥状態における疲労のP-N線図

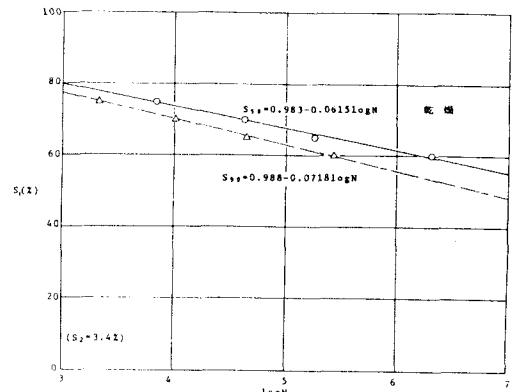


図-3.c 乾燥状態におけるS-N-P線図

れば、 $S_0 = (S_1 - S_2) / (1 - S_2)$ の関係から、図-4
に示した $S_2 = 3.4\%$ の場合の S_1 の式は、

水中： $S_0 = 1.004 - 0.120 \log N$

湿潤： $S_0 = 1.006 - 0.109 \log N$

乾燥： $S_0 = 0.982 - 0.0637 \log N$

と変換され、図-5のような回帰直線となる。

この結果、200万回の疲労強度はそれぞれの基準強度に対して、水中では25%、湿潤状態では32%、乾燥状態では58%となった。

水中の疲労強度が静的基準強度の25%に低下することは前回以上の驚きであるが、他の研究者の結果²⁾も参照して、30%という前回の疲労強度が骨材や材令に起因する低下ではないことを確認した。

なお、図-3・aの直線回帰による結果を検討すると、 $S_1 = 40\%$ の応力比の寿命が伸びているので、曲線回帰を想定すると200万回の水中疲労はもう少し大きくなって、乾燥状態における疲労強度の半分以下には低下しそうなもの。また供試体表面からの水分の蒸発を押えて試験した湿潤状態の疲労強度が基準強度の32%まで下ることは、疲労強度低下の大きな原因として、水中への水酸化カルシウムの溶出やポンプ作用に関わりないことを示した。

また、乾燥度2.5%に強制乾燥した今回の疲労強度が58%となり、大気中で1.2%まで自然乾燥した前回の疲労強度55%との差も小さいことから、乾燥疲労の限界値の存在が予想される。

6. 結 論

- (1) . それぞれの静的基準強度に対する割合で表わしたコンクリートの疲労強度は、大気中におけると同様に水中でも骨材の種類や材令による差異をほとんど生じない。
- (2) . コンクリート中の空隙が完全に水で飽和されている場合の疲労強度は乾燥している場合の疲労強度の約半分に低下し、その値は静的強度の約30%とみられるが、直線回帰が無理かもしれない。
- (3) . 大気中における疲労強度も乾燥の仕方と程度によって多少異なり、適度に自然乾燥した場合の限界値(最大値)に比べ、乾燥が不十分だったり過度に乾燥させた場合にはやや低下する。
- (4) . 以上総合して、コンクリートの完全片振圧縮疲労強度は静的強度の約30%から約60%の範囲で変化し、もっぱらコンクリート中の水分の多少によって大きく変わるものと結論できる。

参考文献

- 1) 尾崎 詔・志村政雄：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度，土木学会第35回年次学術講演概要集，V-148，1980年10月。
- 2) 松下博通：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究，土木学会論文報告集，第269号，1980年4月。

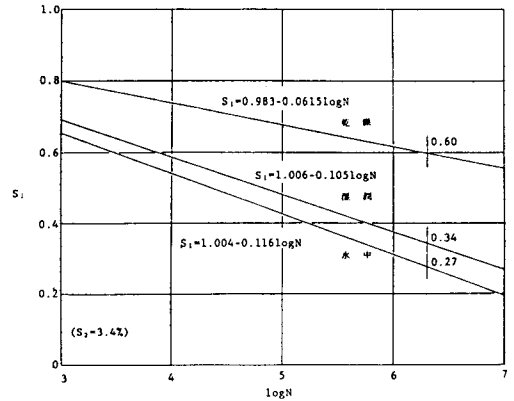


図-4. 水中・湿潤・乾燥状態のS-N線図

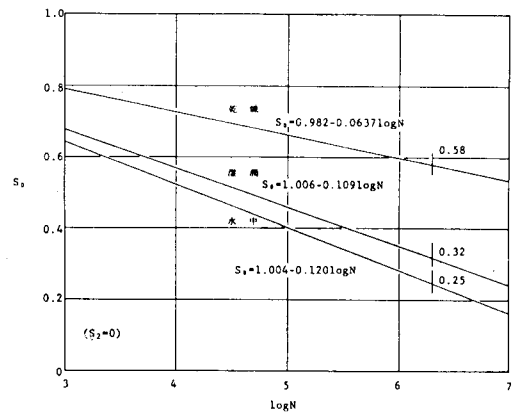


図-5. 完全片振圧縮時のS-N線図の比較