# 表面張力の異なる溶液中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する検討

九州大学大学院　学生会員　○内藤　哉良　九州大学大学院　フェロー　松下　博通
九州大学大学院　正会員　鶴田　浩章　九州大学大学院　学生会員　尾上　幸造
九州大学大学院　学生会員　若林　幹夫

## １．目的

既往の研究[1)]により，水中あるいは絶えず湿潤状態にあるコンクリートの圧縮疲労強度は，気乾状態の圧縮疲労強度より 20%程度低下することが明らかとなっている。しかし，水が疲労強度を低下させる原因については未だ解明されていないのが現状である。そこで本研究では，水の表面張力による影響に着目し，水とは表面張力が異なる溶液中での圧縮疲労試験を行い，水中での疲労強度が低下する原因について検討を行った。

## ２．内容

### ２．１ 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm$^3$)を用い,粗骨材は砕石(表乾密度 2.86g/cm$^3$, 吸水率 1.19%，最大寸法 20mm)，細骨材は海砂（表乾密度 2.59g/cm$^3$，吸水率 1.40%，粗粒率 2.90）を使用した。また,混和剤はリグニンスルホン酸系 AE 減水剤とアルキルアリルスルホン酸系空気連行剤を併用した。コンクリートの示方配合を**表－１**に示す。配合はスランプが 8±1cm，空気量が 4.0±0.5%となるように試験練りにより選定した。

**表－１　コンクリートの示方配合**

| 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量(kg/m$^3$) | | | | AE減水剤 (g/m$^3$) | AE剤 (ml/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水 W | セメント C | 海砂 S | 砕石 G | | |
| 55 | 47 | 165 | 300 | 845 | 1054 | 938 | 300 |

### ２．２ 実験概要

本研究で使用した溶液は，空気連行剤を精製水で 20 倍希釈した溶液（以後溶液 A)および 4mol/l の塩水(以後溶液 B)の 2 種類とし，これらの溶液中において圧縮疲労試験を行った。表面張力測定装置により測定した結果，溶液 A の表面張力は 63.0dyn/cm，溶液 B の表面張力は 90.1dyn/cm であった。なお，水の表面張力は 72.8dyn/cm であった。

供試体はφ7.5×15cm の円柱供試体とし，打設後 3 ヶ月以上養生室内（20℃，95%RH）で湿空養生を行った。養生後，恒温恒湿室内(20℃，60%RH)で 3 日間静置させた後，60℃の乾燥炉で 3 日間，90℃の乾燥炉で 7 日間，コンクリートが絶乾状態になるまで乾燥させた。その後，各溶液に 14 日間浸漬させ，試験時にコンクリート内部の空隙が溶液で完全に充填されている状態にした。静的強度は疲労試験前後にそれぞれの溶液中で 5 本ずつ測定し，試験前の 5 本の平均を疲労試験時の静的強度とし，試験後の 5 本の平均は疲労試験中に強度増加があったかを確認するために行った。

**表－２　疲労試験結果**

(a)溶液 A

| $S_1$ (%) | r | 疲労寿命 (回数) | $P(N_r)$ |
|---|---|---|---|
| 75 | 1 | 2422 | 83.3 |
| | 2 | 3796 | 66.7 |
| | 3 | 5550 | 50.0 |
| | 4 | 7813 | 33.3 |
| | 5 | 9110 | 16.7 |
| 70 | 1 | 20041 | 83.3 |
| | 2 | 22545 | 66.7 |
| | 3 | 30593 | 50.0 |
| | 4 | 35402 | 33.3 |
| | 5 | 44442 | 16.7 |
| 65 | 1 | 41083 | 83.3 |
| | 2 | 52679 | 66.7 |
| | 3 | 82196 | 50.0 |
| | 4 | 172214 | 33.3 |
| | 5 | 318536 | 16.7 |
| 60 | 1 | 61917 | 83.3 |
| | 2 | 201213 | 66.7 |
| | 3 | 525042 | 50.0 |
| | 4 | 627433 | 33.3 |
| | 5 | 835498 | 16.7 |
| 55 | 1 | 653554 | 83.3 |
| | 2 | 1232407 | 66.7 |
| | 3 | 1834670 | 50.0 |
| | 4 | 2000000 | 33.3 |
| | 5 | 2000000→ | 28.6 |

(b)溶液 B

| $S_1$ (%) | r | 疲労寿命 (回数) | $P(N_r)$ |
|---|---|---|---|
| 65 | 1 | 9801 | 83.3 |
| | 2 | 21964 | 66.7 |
| | 3 | 24674 | 50.0 |
| | 4 | 32624 | 33.3 |
| | 5 | 33218 | 16.7 |
| 60 | 1 | 29950 | 83.3 |
| | 2 | 57556 | 66.7 |
| | 3 | 69485 | 50.0 |
| | 4 | 97296 | 33.3 |
| | 5 | 110731 | 16.7 |
| 55 | 1 | 133938 | 83.3 |
| | 2 | 163529 | 66.7 |
| | 3 | 224669 | 50.0 |
| | 4 | 248553 | 33.3 |
| | 5 | 291952 | 16.7 |
| 50 | 1 | 374388 | 83.3 |
| | 2 | 400611 | 66.7 |
| | 3 | 518903 | 50.0 |
| | 4 | 661840 | 33.3 |
| | 5 | 817267 | 16.7 |
| 45 | 1 | 2000000 | 80.0 |
| | 2 | 2000000→ | 60.0 |
| | 3 | 2000000→ | 40.0 |
| | 4 | 2000000→ | 20.0 |

$S_1$:最大応力比

疲労試験は，電気油圧サーボ式疲労試験機を用い，載荷波形を正弦波とし，載荷速度を 5Hz とした。繰返し応力の大きさは下限応力を静的強度に対して 10%の一定とし，上限応力を 45～75%まで 5%間隔で変化させ，応力ごとに供試体 5 本ずつ圧縮疲労試験を行った。

キーワード：圧縮疲労特性，表面張力，平均疲労寿命，S－N 曲線
連絡先：福岡市東区箱崎 6-10-1,TEL：092-641-3131(内(8654),FAX:092-642-3271)

## ３．実験結果および考察

疲労試験前後での材齢による強度増加はほとんど見られず，試験後の繰り返し応力比の補正は行わなかった。試験前の静的強度は溶液 A 中で 32.3N/mm$^2$，溶液 B 中で 29.6N/mm$^2$ となった。また比較のために水中において静的強度を測定した結果 31.7N/mm$^2$ となった。

同一載荷条件の場合においても疲労寿命分布のばらつきは非常に大きい。そのため生存確率を考慮し，順序統計量の理論を適用し，試験結果の処理を統計的に行った。よって同一条件下で試験された総数 $n$ 本のうち疲労寿命が小さい方から $r$ 番目の供試体の生存確率の期待値 $P(N_r)$は

$$P(N_r)=1-\frac{r}{n+1} \qquad [1]$$

となる。また，総本数 $n$ 本の内 $m$ 本が $2\times10^6$ 回に達しても破壊しない場合は，$n+1$ 本の供試体が試験されたとして，規定回数 $N_r$ で $n-m+1$ 番目の供試体が破壊したとみなし，寿命の小さい方から数えて $r$ 番目の測定値 $N_r$ での生存確率の期待値 $P(N_r)$は

$$P(N_r)=1-\frac{r}{n+2} \qquad [2]$$

となる。**表－２**に疲労試験結果を示す。また，この結果を正規確率紙上にプロットしたものを**図－１**，**図－２**に示す。結果よりいずれの場合も直線で近似することができ，疲労寿命が対数正規分布に従うことが確認された。

生存確率 $P(N_r)$が 50%になる平均疲労寿命と最小応力比 $S_2$を考慮した応力比との関係を**図－３**に示す。図の $S-N$ の関係より，溶液 A および溶液 B 中における静的強度に対する疲労強度は 55.3%および 51.4%となった。これより溶液の表面張力が大きいほど疲労強度が小さくなることが明らかとなった。

また，**図－４**に示す $S-N$ 曲線の傾き $K$ の値と溶液の表面張力の関係より，表面張力が大きくなると $K$ の値すなわち疲労強度が直線的に低下することが確認された。これは，載荷により与えられるひずみエネルギーがひび割れの形成により界面エネルギーとして消費されるとき，溶液の表面張力が大きくなるほど界面エネルギーが低下し新たな破壊面の形成が促進され，見かけ上コンクリートの疲労強度は低下するためと考えられる。したがって，水中における疲労強度低下は水の表面張力の影響が大きいと考えられる。

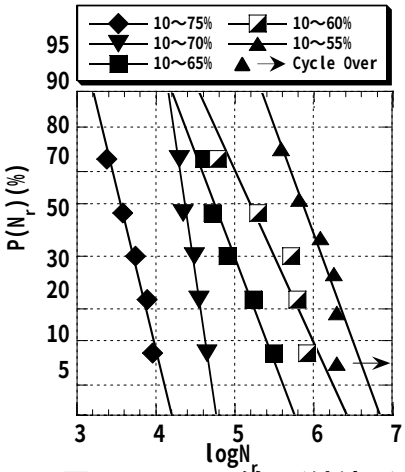
## ４．まとめ

(1) 水と異なる表面張力の溶液中におけるコンクリートの疲労寿命は、水中と同様に対数正規分布する。

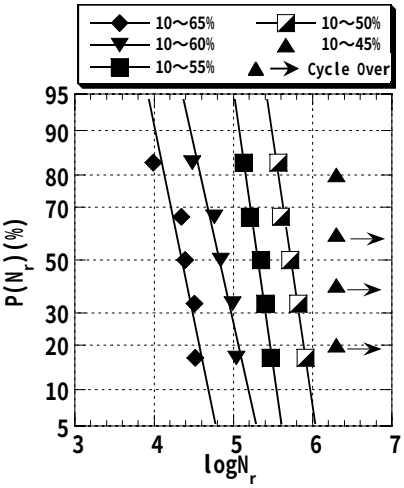
(2) コンクリートの疲労強度はコンクリートを満たしている溶液の表面張力が大きくなるに従い直線的に低下する。

**【参考文献】**

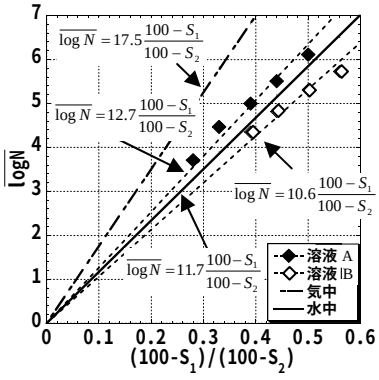
1) 松下博通：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究，土木学会論文報告集，No.296，pp.87-95，1980



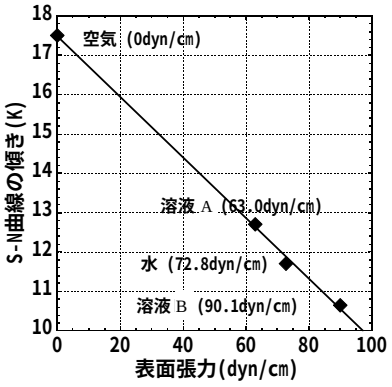

**図－１　P－N 線　(溶液 A)**




**図－２　P－N 線　(溶液 B)**




**図－３　最小応力 $S_2$ を考慮したＳ－Ｎの関係**




**図－４　K と表面張力の関係**