

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特性

九州大学大学院 学生会員 若林幹夫 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 正会員 佐川康貴
九州大学工学部 学生会員 大西 肇

1. 研究目的

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にされている。しかし未だ、水が疲労強度を低下させる原因が解明されていないのが現状である。そこで本研究では、水の表面張力の影響に着目し、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. 実験概要

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、粗骨材は碎石(表乾密度 2.86g/cm^3 , 吸水率1.19%, 最大寸法20mm)を用い、細骨材は海砂(表乾密度 2.59g/cm^3 , 吸水率1.40%, 粗粒率2.90)を用いた。また、混和剤はリ

グニンスルホン酸系のAE減水剤とアルキルアリルスルホン酸系の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 $8\pm 1\text{cm}$ 、空気量が $4.0\pm 0.5\%$ となるように試験練りにより決定した。

2. 2 試験方法

本研究では空気連行剤を精製水で20倍希釈した溶液中で圧縮疲労試験を行った。溶液を表面張力測定装置により測定した結果、 63dyn/cm (水は 72dyn/cm)であった。供試体は $\phi 7.5\times 15\text{cm}$ の円柱供試体とし、打設後3ヶ月以上養生室内(20°C , 95%RH)で湿空養生を行い、疲労試験を行う前には、恒温恒湿室内(20°C , 60%RH)で3日間静置させた後、 60°C の乾燥炉で3日間、 90°C の乾燥炉で7日間、質量が一定になるまで乾燥させた。その後、溶液に14日間浸漬させ、試験時にコンクリート内部が完全に溶液に満たされている状態にし、静的強度を疲労試験前後に溶液中で5本ずつ測定した。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。疲労試験は、電気油圧サーボ式で容量200kNの疲労試験機を用い、載荷波形を正弦波形とし、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55~75%まで5%間隔で変化させ、応力ごとに供試体5本ずつ試験を行った。供試体が破壊するか、もしくは、繰返し回数が 2×10^6 回に達した場合はその時点で試験を中止し、その時点における疲労寿命を算定した。

3. 結果および考察

3. 1 静的強度試験

疲労試験前後での強度増加は見られず、試験後の強度増加による静的強度の補正は行わなかった。試験前の5本の平均強度は 32.3N/mm^2 であった。また、同様の方法で測定した水中での静的強度は 31.7N/mm^2 であり低い値となった。

3. 2 疲労寿命分布

同一載荷条件の場合において疲労寿命分布のばらつきは非常に大きく、試験

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	碎石 G		
55	47	165	300	846	1054	938	300

表-2 疲労試験結果

応力比	r	疲労寿命 N_f (回)	$P(N_f)$
10~75%	1	2422	83.3
	2	3796	66.7
	3	5550	50.0
	4	7813	33.3
	5	9110	16.7
10~70%	1	20041	83.3
	2	22545	66.7
	3	30593	50.0
	4	35402	33.3
	5	44442	16.7
10~65%	1	41083	83.3
	2	52679	66.7
	3	82196	50.0
	4	172214	33.3
	5	318536	16.7
10~60%	1	61917	83.3
	2	201213	66.7
	3	525042	50.0
	4	627433	33.3
	5	835498	16.7
10~55%	1	393204	85.7
	2	653554	71.4
	3	1232407	57.1
	4	1834670	42.9
	5	2000000	28.6
	6	2000000→	14.3

結果を統計的に処理することが必要となる²⁾。本試験のように供試体本数が少ない場合は生存確率を考慮し、順序統計量の理論を適用すべきである。すなわち、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ほうから r 番目の供試体の生存確率の期待値 $P(N_r)$ は

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

となる。また、繰返し回数が 2×10^6 回に達しても破壊しない場合、つまり供試体総本数 n 本のうち、 m 本が規定回数までに破壊しない場合は、 $n+1$ 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

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

となる。上記の生存確率を考慮し、表 2 の試験結果を正規確率紙上にプロットしたものの図-1 に示す。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。

3. 3 最小応力比 S_2 を考慮した $S-N$ の関係

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-2 に示す。比較のために普通コンクリートの気中および水中における $S-N$ 曲線¹⁾³⁾を表す。図の $S-N$ の関係より、本試験で用いた溶液中におけるコンクリートの静的強度に対する疲労強度は 55.3% となり、水中の場合より大きく気中の場合より小さくなることが確認された。

また、図-3 の $S-N$ 曲線の傾き K の値と溶液の表面張力の関係より、表面張力が小さくなると K の値、つまり疲労強度が大きくなることが確認された。これより、载荷により与えられるひずみエネルギーがクラックの形成により界面エネルギーとして消費されるとき、溶媒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強度は低下すると考えられる。ここで界面エネルギーは固体と液体のもつ表面エネルギーとの差に等しく、液体の表面エネルギーは液体の表面張力と等価である。

これらのことから、コンクリートの疲労強度は溶媒の表面張力が大きくなると直線的に低下することが明らかとなり、水中における疲労強度低下の原因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) 水より表面張力が小さい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) 水より表面張力の小さい溶液中におけるコンクリートの静的強度に対する疲労強度は、水中より大きくなり、溶液の表面張力が疲労強度に影響を及ぼすことが明らかとなった。

【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
- 2) 松下博通ほか：生存確率を考慮した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.284，pp.127-138，1979
- 3) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編] pp.24-25

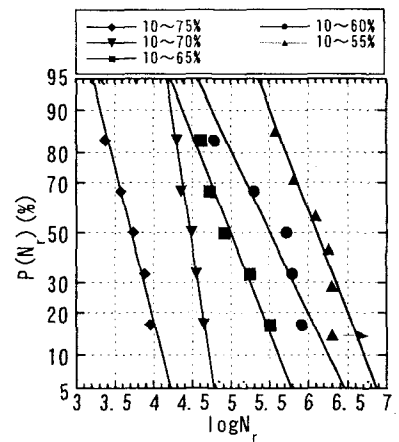


図-1 P-N線

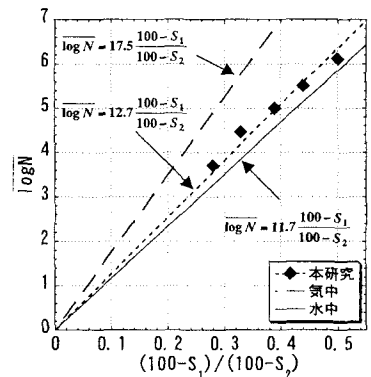


図-2 最小応力 S_2 を考慮した $S-N$ の関係

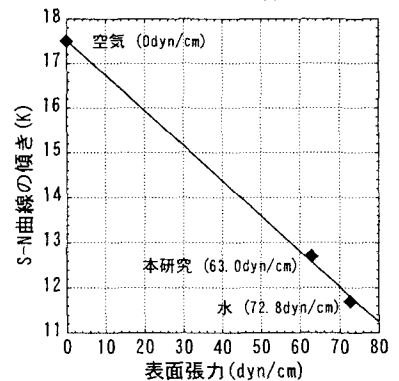


図-3 K と表面張力の関係