水中圧縮疲労を受けるコンクリートの損失エネルギーに関する検討

〇九州大学大学院 学生会員 若林幹夫 フェロー 松下博通 正会員 鶴田浩章 正会員 佐川康貴 学生会員 尾上幸造

1. 目的

既往の研究により、コンクリートの水中における静的強度に対する疲労強度比は、気中と比較して 20%ほ ど低下することが明らかとされている ¹⁾。しかし、未だ水による疲労強度低下の原因が明らかにされていな いのが現状である。そこで、本研究では水の持つ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 における圧縮疲労試験を行った。その際、それらの疲労強度および縦ひずみ等の疲労特性を比較しながら水 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/cm³)を用い,粗骨材は砕石(表乾密度2.86g/cm³, 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/cm³,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±1cm,空気量が 4.0±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

本研究で用いた溶液は、空気連行剤を精製水で20倍希釈した溶液(以後溶液 A)及び塩水 4mol/1(以後溶液 B)の2種類とし、そ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 及び溶液 B の表面張力は63.0dyn/cm 及び90.1dyn/cm(水は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まで乾燥させた。その後、溶液に14日間浸漬させ、試験時に供試体内部が完全に溶液に満たされている状態にさせた。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本の平均な疲労試験中の強度増加を確認するために行った。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,応力比ごとに 供試体 5本ずつ試験を行った。なお,載荷中における縦ひずみの変化を 計測するために,供試体側面にひずみゲージを縦方向に 2 枚貼付した。

3. 結果および考察

3.1 最小応力 S₂を考慮した S-N 曲線

各繰返し応力比において生存確率 $P(N_r)$ 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ー1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曲線を示す。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くな

7 $\overline{\log N} = 17.5 \frac{100 - S_1}{100 - S_1}$ 6 5 $\overline{\log N} = 12.7 \frac{100 - S_1}{N}$ $100 - S_{2}$ 4 ogN 3 $100 - S_1$ $\log \overline{N} = 10.6$ $100 - S_2$ 2 ◆ 溶液A $100 - S_1$ 1 log N = 11.7◆ 溶液B $100 - S_{2}$ 气中 水中 0.2 0.3 0.4 0.1 0.5 0.6 $(100-S_1)/(100-S_2)$ 最小応力 S₂を考慮した 図-1 S-Nの関係

キーワード: 圧縮疲労特性,表面張力, ヒステリシスループ,損失エネルギー 連絡先:〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-641-3131 内線 8654 FAX 092-642-3271

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)					
			火 W	친수이	海 S	砕石 G	AE 減水剤 (g/m ³)	AE剤 (ml/m ³)
	55	47	165	300	846	1054	938	300

るに従い,疲労強度が低下することが明らかとなった。 3.2 応カーひずみ曲線とヒステリシスループの面積変化

図-2に溶液 Bの,最大応力比 65%時の各繰返し回数におけ る応力と縦ひずみの関係を示す。図より,曲線は載荷と除荷時 において異なる経路をたどるヒステリシスループを描き,最初 は上に凸であるが,繰返し初期の段階で直線になりその後下に 凸になることが分かる。これは,溶液 A および溶液 B のいずれ の場合も同様の傾向であった。図-3及び図-4に各溶液中に おける繰り返し回数によるヒステリシスループの面積変化を示 す。このヒステリシスループの面積に供試体体積を乗じた値は 非回復性の損失エネルギーEiとなる。いずれの場合もこの損失 エネルギーEiは初回時が最も大きく,10回目以降では急激に減 少して一定の値に収束し,破壊直前にわずかに増加することが 分かった。

3.3 疲労寿命と損失エネルギーの関係

ここで損失エネルギーとは載荷によって与えられたエネルギ ーのうち、コンクリート供試体内部で消費される不可逆的なエ ネルギーである。初回時は比較的大きい主要なひび割れを形成 するため損失エネルギーが最も大きいが、それ以降は一定値に 収束し、ほぼ全てが液層内での粘性摩擦や固層内でのずれを生 じるための摩擦損失エネルギーとして消費される²⁾。この摩擦 損失エネルギーが初回載荷時においても生じるとすると、初回 時と一定値に収束した損失エネルギーの差が、ひび割れを生成 させるために使われるエネルギーEcrac となる。

図-5に Ecrac と疲労寿命の関係を示す。図より, Ecrac が小 さくなるに従い,疲労寿命が低下する傾向にあることが確認さ れた。これは, Ecrac の大きさより疲労寿命をある程度予測する ことが可能であることを示すものである。また溶液 A と溶液 B における Ecrac を比較した場合,同程度の疲労寿命において溶液 B の場合に Ecrac が小さくなることが分かった。これは溶液 B の方が溶液 A より表面張力が大きいため,ひび割れ面の界面エ ネルギーが小さくなり,ひび割れ進展に消費される損失エネル ギーが減少したためと考えられる。以上より,水中におけるコ ンクリートの疲労寿命低下の原因は,水の表面張力の影響によ るところが大きいと考えられる。

4.まとめ

- (1) 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 るとコンクリートの疲労強度は低下する。
- (2) 載荷初期の損失エネルギーと疲労寿命には相関関係が得

られ、その関係は溶液の表面張力に依存する。 【参考文献】



2) 岡田清ら:含水量の異なるコンクリートの圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察,土木学会論文集, No.248, pp.109-119, 1976

