

乾燥条件下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 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 学生会員 尾上幸造

1. 研究目的

既往の研究より、コンクリートの疲労強度は水中では気中と比べて 20%程度低下し、吸水率の大きい軽量骨材コンクリートの場合は普通コンクリートに比べ低下する¹⁾ことが明らかとなっている。このようにコンクリートの圧縮疲労強度は乾湿状態に大きく影響されるが、その原因および破壊機構については未解明の部分が多い。またコンクリート中には様々な形で水が存在しているが、どの状態の水分が疲労強度低下の原因になっているか明らかではない。そこで、本研究は水による疲労強度低下のメカニズム解明を目的とし、高温環境下で気中乾燥状態よりもさらに乾燥させたコンクリートの圧縮疲労強度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）を表乾状態で用い、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用いた。コンクリートの示方配合を表 1 に示す。配合は目標スランプを 8±1cm，目標空気量を 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

供試体はφ7.5×15cm の円柱供試体とした。材齢は試験期間中の強度増進を防ぐため 3 ヶ月以上とし、標準養生室内(温度 20℃，湿度 95%以上)で湿空養生を行った。養生後コンクリートを絶乾状態にする際、コンクリート内部に急激な温度上昇による微細ひび割れが発生するのを極力防ぐため、恒温恒湿室内(20℃，60%RH)で 3 日間静置し、その後 60℃の乾燥炉で 3 日間、さらに 90℃の乾燥炉で 7 日間乾燥させ絶乾状態にした。その後再び恒温恒湿室で供試体を常温まで冷却し、試験を行った。圧縮強度試験は疲労試験前後にそれぞれ 5 本ずつ測定した。また試験前の 5 本の平均を繰返し応力設定時の静的強度とし、試験後の 5 本は疲労試験中に含水状態の変化による強度変化があったかを確認するために行い、強度変化が見られれば応力比の補正を行った。またその際に各供試体縦方向に長さ 60mm のワイヤストレーンゲージを貼付け、縦ひずみを測定し静弾性係数を算出した。

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、载荷波形を正弦波形とし、载荷速度を 5Hz とした。繰返し応力の大きさは下限応力比 S_2 を静的強度に対して 10%の一定とし、上限応力比 S_1 を 65～80%まで 5% 間隔で変化させた。また応力比ごとに供試体 5 本ずつを試験に供した。試験は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

表 2 に圧縮強度試験および静弾性係数試験の結果を示す。表より疲労試験前後での、強度変化は見られず、試験後の繰返し応力比の補正は行わなかった。試験前の 5 本の圧縮強度の平均 49.4N/mm² を疲労試験時

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	846	1054	938	300

表 2 圧縮強度および静弾性係数試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
試験前	49.4	30.1
試験後	49.4	29.0

表 3 疲労試験結果

S_1 (%)	r	疲労寿命 (回数)	$\log N_r$	$P(N_f)$
80	1	498	2.70	83.3
	2	682	2.83	66.7
	3	1241	3.09	50.0
	4	1744	3.24	33.3
	5	59300	4.77	16.7
75	1	8009	3.90	83.3
	2	11145	4.05	66.7
	3	16272	4.21	50.0
	4	33293	4.52	33.3
	5	184462	5.27	16.7
70	1	13445	4.13	83.3
	2	48996	4.69	66.7
	3	57849	4.76	50.0
	4	494423	5.69	33.3
	5	587582	5.77	16.7
65	1	113973	5.06	85.7
	2	916746	5.96	71.4
	3	1058976	6.02	57.1
	4	1147889	6.06	42.9
	5	2000000	6.30	28.6
	6	2000000→	6.30	14.3

の繰返し応力設定時の静的強度とした。

同一の载荷条件におけるコンクリートの疲労寿命分布のばらつきは非常に大きく、疲労試験結果を整理するうえで統計的手法を用いることが必要となる。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。そこで、過去の研究例¹⁾に従い、各応力比において試験に用いた供試体本数 n と疲労寿命の小さい方から数えた供試体番号 r から、各供試体の生存確率 $P(N_r)$ を求めた。

求められた生存確率 $P(N_r)$ を考慮し、表-3の試験結果を正規確率紙上にプロットしたもののについて図-1に示す。図よりいずれの応力比の場合も直線で近似することができた。これより、絶乾状態のコンクリートの疲労寿命が対数正規分布に従うことが確認された。

次に、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 $S-N$ の関係を図-2に示す。図中の実線および点線は、既往の研究により明らかにされている、普通コンクリートの水中および気中における $S-N$ 曲線である。これらのプロットから最小二乗法により求めた絶乾状態のコンクリートの $S-N$ 曲線式は

$$\overline{\log N_r} = 15.3 \cdot \frac{100 - S_1}{100 - S_2} \quad [1]$$

である。式[1]より求められた絶乾状態におけるコンクリートの静的強度に対する 200 万回疲労強度は 63.0% であり、普通コンクリートの気乾状態の場合の 67.6% よりも低くなることが明らかとなった。

次に、繰返し回数と最大応力時のひずみの関係から、定常領域のひずみ速度を求め、その対数と疲労寿命の対数との関係、および最大応力比との関係を図-3および図-4に示す。また同図中に示した実線は既往の研究より求めた普通コンクリートの気中における関係であり、点線は絶乾状態のプロットから最小二乗法によって求めた回帰直線である。ひずみ速度は、繰返し载荷に伴う 1 サイクルあたりのひずみの増加割合であるが、図より同程度の疲労寿命では気中とほぼ同じ値となる事が分かる。しかし、同程度の応力比で比較した場合、絶乾状態の方が気中よりも大きくなる結果となった。過去に炉乾燥状態ではコンクリート中のゲル水が失われ、静弾性係数が気乾状態よりも低下する²⁾ことが報告されている。そのため、絶乾状態ではひずみ速度が気中の場合よりも大きくなり、同程度の繰返し回数であってもコンクリートの損傷が大きくなったため、疲労強度が低下したと考えられるが、この点についてはさらなる検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

- (1) 絶乾状態のコンクリートの静的強度に対する疲労強度は、気中乾燥状態の場合よりも低くなる。
- (2) 絶乾状態のコンクリートの繰返し载荷時のひずみ速度は、同程度の最大応力比で比較した場合、気中乾燥状態の場合よりも大きくなる。

【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.87-95，1980.4
- 2) 吉本彰：コンクリートの変形と破壊，学献社，pp.45-47，1990

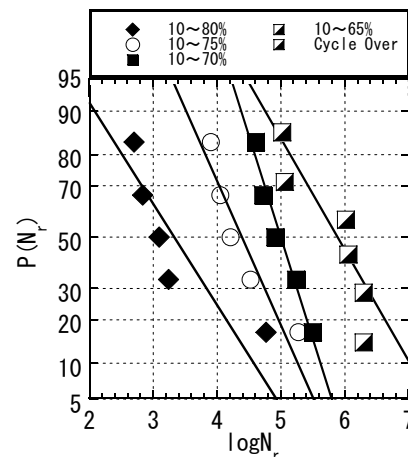


図-1 P-N 線図

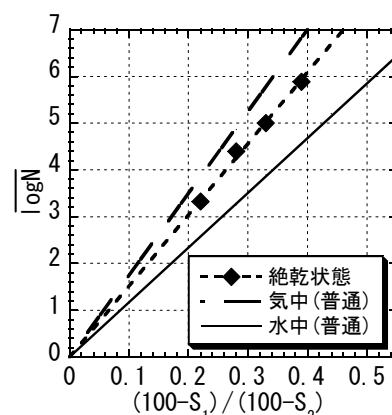


図-2 最小応力比 S_2 を考慮した $S-N$ 曲線

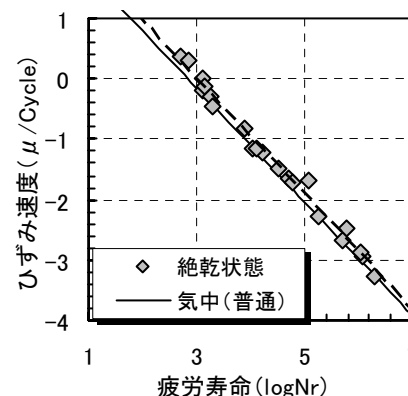


図-3 疲労寿命とひずみ速度の関係

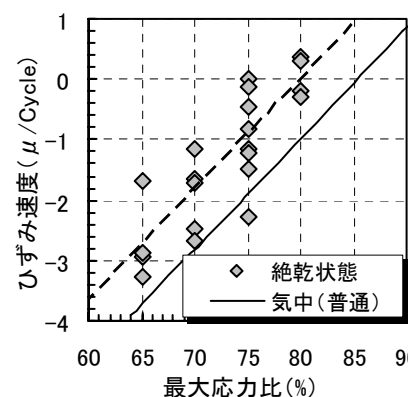


図-4 最大応力比とひずみ速度の関係 ($S_2=10\%$)