

潤滑油に曝されるコンクリートの疲労強度に関する研究

日建設シビル 正会員 ○川満 逸雄
 大阪市立大学大学院 正会員 大内 一 正会員 角掛 久雄
 大阪大学大学院 正会員 鎌田 敏郎 学生会員 内田 慎哉
 大林組 伊藤 益嗣

1. はじめに

近年、油圧プレス機のコンクリート基礎に潤滑油による材料劣化が生じた例¹⁾が確認されている。劣化の原因のひとつとして非圧縮性流体(表-1参照)である潤滑油がコンクリート内に浸透することにより、疲労が進行したことが考えられる。そこで、油中でのコンクリートの圧縮疲労特性を把握するため、潤滑油中、水中、空気中で疲労試験を行ったので、結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

供試体寸法は疲労試験機の性能およびコンクリート強度を考慮し、 $\phi 75\text{mm} \times 150\text{mm}$ とした。コンクリート打設翌日に脱型し、28日間の水中養生を行った後、2週間気中で放置した。3つの条件下において、試験までの養生期間の違いによる影響を小さくするため、2週間の気中養生後に乾燥炉で24時間内部の水分を蒸発させた後、外気に触れないようにラップで包み乾燥状態を保持しながら疲労試験まで保管した。ただし、油中・水中供試体は、試験前にそれぞれの液体への浸漬を行った。各供試体の試験前までの条件を圧縮強度とともに表-2に示す。グループAとBは打設日が異なり、グループBは気中、水中でのサンプリング数増加の目的と疲労試験時の動ひずみ計測のために追加した。なお、グループBの水中供試体は炉乾燥を行わず、2週間の気中放置後、水中に浸漬させている。

2.2 試験方法

まず、疲労試験に先立って各条件下で静的圧縮試験を任意の3本の供試体について実施し、得られた圧縮強度を疲労試験の基準強度とする。それにより決定した荷重パラメータを表-2に示す。気中および水中に関しては上限応力比 S_{max} は80%のみとした。 $S_{max}=80\%$ での一部の疲労試験においては、動ひずみも計測した。繰返し応力の荷重波形は5Hzの正弦波とし、試験終了条件は供試体が圧縮破壊するか、下限応力以下にまで低下した場合とした。なお、用いた疲労試験機は電気油圧サーボ式で、容量250kNである。供試体設置状況を写真-1に示す。

表-1 圧縮率と粘度

	圧縮率 (m^2/kN)	粘度 (mm^2/s)
空気	7.1×10^{-3}	0.294
水	4.6×10^{-7}	
潤滑油	$6 \sim 7 \times 10^{-7}$	

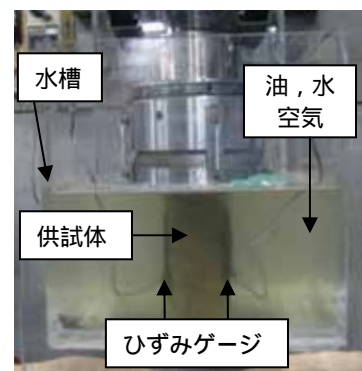


写真-1 供試体設置状況

3. 実験結果

3.1 静的試験

静的荷重試験結果を表-2に示す。グループAにおける静的試験では、気中と油中にはほとんど差が無かったが、水中では強度が8割以下となった。グループAの供試体は一旦乾燥炉で乾燥後に、水中で吸水させているために、コンクリート内部が、非圧縮性流体である水と、圧縮性のある空気を満たされた空隙が混在し、その応力伝達特性より、ひび割れを進展させ、圧縮強度が低下したものと考

察できる。したがって、乾燥させなかったグループBは水中の方が強度は高い結果となっている。

油中の供試体では強度低下を確認することができなかった。これは油の粘度が水のそれよりも大きい(表-1)ため、ひび割れ内部に潤滑油が進入しにくかったこと、かつ、40日間という短期間の油中浸漬が原因の1つと考えられる。静弾性係数に関しても圧縮強度と同じ傾向であった。

表-2 供試体条件、静的試験結果、荷重パラメータ

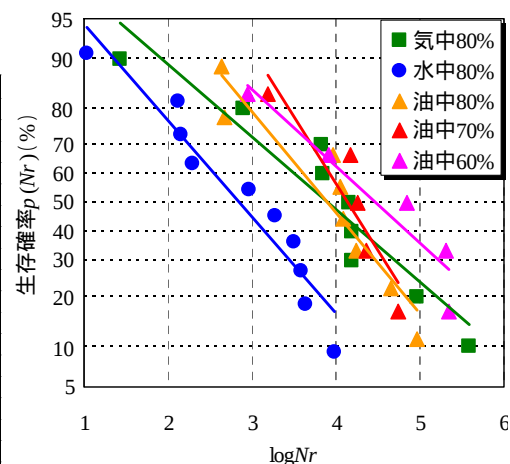
グループ	試験条件	材齢(日)	液体への浸漬日数(日)	供試体数(本)		静的荷重試験結果		繰返し応力比(%)
				静的	疲労	圧縮強度(N/mm^2)	弾性係数(kN/mm^2)	
A	気中	52	14	3	5	22.0	20.8	10~80
	水中	66		3	5	16.9	18.2	
	油中	92	40	3	8	21.6	20.5	10~70 10~60
					5			
					5			
B	気中	43	4	3	4	24.5	20.7	10~80
	水中	45		3	5	28.0	27.4	

キーワード：潤滑油、油中コンクリート、圧縮疲労、 $S-N$ 関係、剛性比

連絡先 〒102-8117 東京都千代田区飯田橋2-18-3 日建設シビル TEL 03-5226-3070

表 - 3 疲労試験結果

条件	S_{max} (%)	r	N_r (回)	$\log N_r$	$p(N_r)$ (%)	条件	S_{max} (%)	r	N_r (回)	$\log N_r$	$p(N_r)$ (%)
気中	80	1	27	1.43	90.0	油中	80	1	430	2.63	88.9
		2	799	2.90	80.0			2	466	2.67	77.8
		3	6825	3.83	70.0			3	9354	3.97	66.7
		4	7032	3.85	60.0			4	11169	4.05	55.6
		5	14505	4.16	50.0			5	12395	4.09	44.4
		6	15282	4.18	40.0			6	17374	4.24	33.3
		7	15648	4.19	30.0			7	44743	4.65	22.2
		8	93346	4.97	20.0			8	93993	4.97	11.1
		9	386900	5.59	10.0			1	1570	3.20	83.3
水中	80	1	11	1.04	90.9	70	70	2	14620	4.16	66.7
		2	131	2.12	81.8			3	18059	4.26	50.0
		3	142	2.15	72.7			4	22956	4.36	33.3
		4	200	2.30	63.6			5	54233	4.73	16.7
		5	925	2.97	54.5	60	60	1	905	2.96	83.3
		6	1885	3.28	45.5			2	8309	3.92	66.7
		7	3175	3.50	36.4			3	71185	4.85	50.0
		8	3930	3.59	27.3			4	200770	5.30	33.3
		9	4264	3.63	18.2			5	217028	5.34	16.7
		10	9671	3.99	9.1						

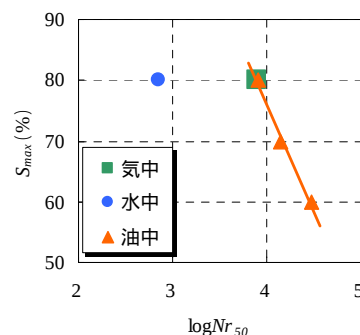
図 - 1 p - $\log N_r$ 関係

3.2 疲労寿命

疲労試験結果を表 - 3 に示す．このように当然のことながらコンクリートの疲労寿命は大きくばらつく．そのため各供試体の疲労寿命のばらつきに対して生存確率 $p(N_r)$ を考慮し，統計的処理²⁾を施した．同一条件下での供試体総数 n 本において疲労寿命の小さいものから数えて r 番目の測定値を N_r とすると， $p(N_r)$ は次式で算定される．

$$p(N_r) = 1 - \frac{r}{n+1} \quad (1)$$

疲労寿命の分布が正規対数分布であるとする， $p(N_r)$ と $\log N_r$ の関係は最小二乗法を用いて，ほぼ直線で近似できる（図 - 1 参照）． $p(N_r)=50\%$ に当たる値を平均疲労寿命 $\log N_{r50}$ として疲労寿命の代表値とすると， S - N 線図は図 - 2 のようになる．各試験条件での疲労寿命について，水中のみ低下する結果となり，静的強度および静弾性係数と同様の傾向である．このことは，前述したように，粘度などによる油の浸透具合が原因であったと考えられ，試験前の油中での浸漬期間が今後の課題である．

図 - 2 S - N 関係

3.3 剛性比履歴

剛性比の履歴を図 - 3 に示す．ここで，剛性比とは，下限応力比 10%から基準強度の 3 分の 1 までを線形と見なし，その傾きを初期載荷時のそれで割り無次元化したものである．また，載荷回数比とは，載荷回数を疲労寿命に対する比で無次元化したものである．気中の剛性比は載荷回数比 0.3 付近まで低下し続け，その後はほぼ一定となる傾向がある．水中では，低下し続けているが，載荷回数比約 0.4 以後は緩やかに低下していく．油中は載荷初期に非常に大きく減少し，その後載荷回数比 1 までは緩やかな割合で低下し続ける傾向がある．油中および水中で見られる傾向が，非圧縮性流体がコンクリート内部に存在することで，疲労破壊が継続的に進展していったと仮定すると，気中と水中の差が，非圧縮性流体の有無の差を示していると考えることが出来る．さらに，今回油の粘性が高く十分にコンクリート内に浸透しなかったことを考慮すると，実際の油中の剛比低下はかなり大きくなる可能性があると考えられる．

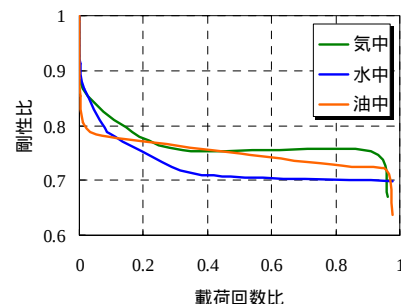


図 - 3 剛性比の履歴

4. 結論

- 1) 疲労試験により求めた S - N 関係からは潤滑油によるコンクリートの圧縮疲労強度低下は確認できず，気中とほぼ同じ平均疲労寿命であった．これは静的載荷試験においても同様であった．
- 2) 剛性比を用いることで，各試験条件での疲労損傷進展過程を表現できる．
- 3) 今回の供試体は油への浸漬期間が 40 日間と比較的短く，長期に亘るものの疲労劣化特性については今後の課題である．また，供試体数について限定的な範囲にあり，一般論を語るには今後さらに実験を重ねることが必要である．

参考文献 1)川満勉雄ら：潤滑油に曝されるコンクリート構造物における劣化事例，コンクリート工学年次論文集，Vol. 28, No. 1, pp. 671-676, 2006

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，No. 296, pp. 87-95, 1980