

鉱物油に浸漬したコンクリート供試体における圧縮疲労試験時の AE 発生挙動

大阪大学大学院 学生会員 ○内田慎哉, 正会員 鎌田敏郎, 日建設計シビル 正会員 川満逸雄
 大阪市立大学大学院 正会員 角掛久雄, 正会員 大内 一, 大林組 非会員 伊藤益嗣

1. はじめに

鍛造施設にあるプレス機基礎コンクリートの多くは、40～50℃の環境下におかれている¹⁾。そのため、コンクリート表面には、乾燥収縮ひび割れが発生しやすい状態にある。また、このような条件下にあるコンクリートは、プレス機の運転のために用いる鉱物油に常に曝されているため、ひび割れ開口部も鉱物油で満たされている場合が多い。さらに、プレス機の変動荷重によりひび割れ内部での油の非圧縮性流体としての挙動により、ひび割れがさらに進展するといった疲労による材料劣化が顕著になるとされる。

そこで本研究では、鉱物油中においてコンクリートの圧縮疲労試験を行い、疲労試験時の AE 発生挙動から、鉱物油がコンクリートの疲労破壊の進展過程および破壊形態に及ぼす影響についての評価を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製と養生方法

呼び強度 24N/mm² の普通コンクリートにより、直径 75mm、高さ 150mm の円柱供試体を作製した。作製した供試体は、打設後 1 日で脱型し、20℃ の水槽で水中養生を材齢 28 日まで行った。その後、温度 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室にて 14 日間気中養生した。気中養生された供試体は、105℃ の乾燥炉にて質量が一定となるまで乾燥させた後、直ちに鉱物油に浸漬した (油中供試体)。なお、比較用に、乾燥炉から取り出した後に再度水中養生した供試体 (水中供試体) と乾燥後直ちに供試体にポリ塩化ビニリデン製ラップを巻き、気中養生した供試体 (気中供試体) も併せて作製した。なお、各供試体は、載荷直前まで気中、水中および鉱物油中に養生し、質量変化が一定となった後に載荷を実施した。

2.3 静的圧縮試験

静的圧縮試験状況を写真-1 に示す。油中および水中供試体では、容器内にそれぞれ水および鉱物油を満たした状態で圧縮試験を行った。また、供試体側面中央部の 2 箇所にはひずみゲージを貼り、静弾性係数も算出した。

2.4 圧縮疲労試験

写真-1 に圧縮疲労試験状況を示す。載荷速度は 5Hz、載荷波形は正弦波とした。繰り返しの下限応力比はいずれの供試体においても圧縮強度の 10%、上限応力比は 80% とした。表-1 に実験ケースを供試体本数と併せて示す。

2.5 AE 計測

圧縮疲労試験時における AE 計測状況を写真-1 に示す。AE センサは、供試体高さ方向における両端部より 30mm の位置にそれぞれ設置した。なお、AE センサは、防水・防油処理を施し、かつ 150kHz に共振点を有するものである。

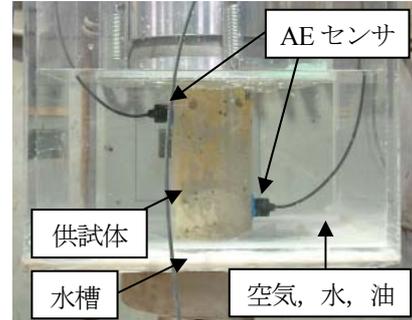


写真-1 圧縮疲労試験および AE 計測概要

表-1 圧縮疲労試験結果

条件	供試体番号: r	疲労寿命: Nr (回)	平均疲労寿命: N
気中	1	6825	4.32
	2	7032	
	3	14505	
	4	15648	
	5	386900	
水中	1	131	3.10
	2	142	
	3	3930	
	4	4264	
	5	9671	
油中	1	430	3.92
	2	9354	
	3	12397	
	4	17374	
	5	44743	

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度および静弾性係数

静的圧縮強度および静弾性係数を図-1 に示す。図に示す水中供試体の圧縮強度は、気中のそれよりも 23% 程度低下している。非圧縮性流体である水は、加えられた応力の伝達性能が非常に良いため、これがひび割れを進展させる要因となり、強度が低下したものと考察できる。これに対して、油中供試体の圧縮強度は、気中のそれと比較して同程度であった。これは、水および鉱物油の粘性係数の違いによるものと考えられる。油の粘性係数は、水のそれよりも明らかに大きい。そのため、載荷速度一定の静的圧縮試験の場合では、形成されたひび割れの内部に鉱物油が進入しにくく、強度低下が生じにくいものと考えられる。一方、静弾性係数は、気中および油中の弾性係数がほぼ同じであり、水中のみ低下する結果となった。

3.2 平均疲労寿命

表-1 に圧縮疲労試験結果を示す。平均疲労寿命 N とは、疲労寿命 Nr の対数を取り、これを試験条件ごとに平均した値である。これを基に S-N 曲線を図化したものを図-2 に

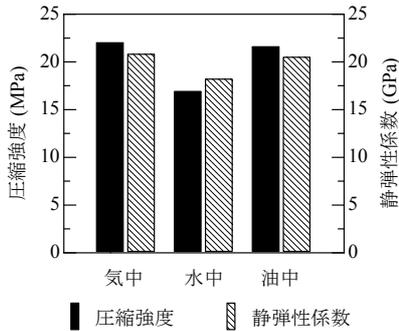


図-1 圧縮強度および静弾性係数

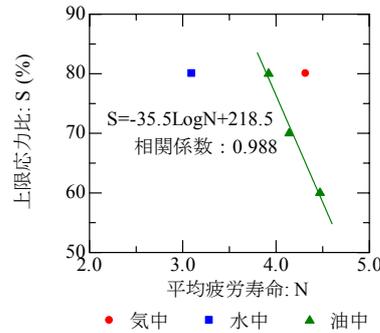


図-2 S-N 曲線

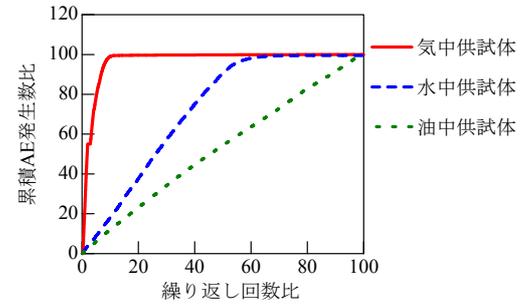


図-3 累積 AE 発生数比

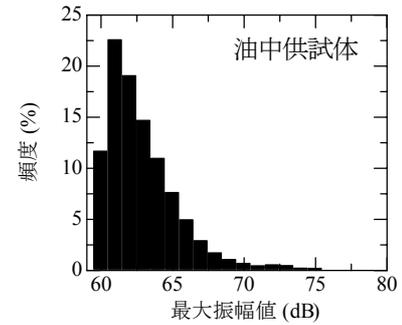
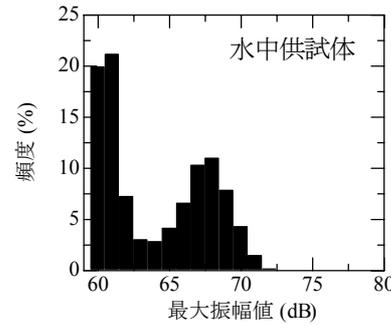
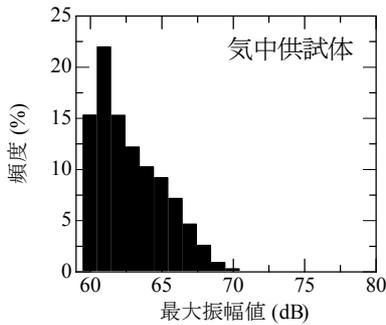


図-4 振幅規模別頻度分布

示す。図より、油中および水中供試体での疲労寿命は、気中供試体のそれと比較して低下している。また、油中および水中供試体の両者における疲労寿命の低下程度は、水中供試体の方が明らかに大きい。疲労試験の場合、ひび割れの開閉が繰り返されるため、負圧が生じやすい状況となり、鉱物油および水がひび割れ内部へと浸透しやすくなる。水の圧縮率 $(0.45(1/\text{GPa})^2)$ は、油の圧縮率 $(0.6\sim 0.7(1/\text{GPa})^3)$ よりも低いため、作用した応力に対して体積変化が生じにくく、ひび割れを進展させる駆動力となる。これにより、疲労破壊の進行程度に差違が生じたものと考察できる。

3.3 AE 計測

(1) 疲労破壊の進展過程の評価

図-3に累積AE発生数比と疲労寿命に対する繰り返し回数比（繰り返し回数比）との関係をそれぞれ示す。累積AE発生数比とは、繰り返し回数比100%の時点における累積AE発生数を100として、それに対する各繰り返し回数での累積AE発生数との比率である。気中供試体では、繰り返し回数比10%までの初期にAEが著しく発生しているものの、これ以降AEはほとんど検出されていない。一方、水中供試体では、繰り返し回数比60%までAEが継続的に発生しており、気中におけるAE発生挙動とは明らかに異なる傾向を示している。これは、水のくさび作用の影響により、繰り返し回数比60%程度までコンクリート内部の組織構造が変化し続けたと考えられる。さらに油中供試体では、繰り返し回数比が100%となるまでの間、継続してAEが発生している。これより、油中供試体では、気中および水中供試体よりも長い時間、組織構造などが継続して変化していると思われる。

(2) 疲労破壊の形態の評価

振幅規模別頻度分布を図-4に示す。気中供試体では振幅

値61dBをピークとして、振幅規模が大きくなるに従ってAEの発生頻度が小さくなる傾向を示している。一方、水中供試体では、60~61dBでのピークに加えて、65~70dB付近にも頻度の大きいピークが発現している。これに対して、油中供試体では、水中供試体同様に、規模の大きいAEが発生しているものの、その発生頻度は水中供試体と比較して小さい。以上のことから、振幅規模別頻度分布より、浸漬条件の違いによって生じるコンクリート内部での疲労破壊の形態が異なることを確認した。

4. まとめ

以下に、本研究で得られた結論を示す。

- 1) 鉱物油中での圧縮強度および弾性係数は、気中での強度および弾性係数とほぼ同程度であった。
- 2) 鉱物油中のコンクリートの疲労寿命は、気中のそれと比較して明らかに小さいものの、水中での疲労寿命ほど小さくないことが明らかとなった。
- 3) 圧縮疲労試験において生じるAEの発生挙動から、浸漬条件の違いによる疲労損傷の進展過程および疲労破壊の形態の変化を把握できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 川満逸雄, 鎌田敏郎, 内田慎哉: 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) 国立天文台編: 理科年表(机上版), 丸善, p.375, 2006
- 3) 不二越ハイドロニクスチーム: 新・知りたい油圧/基礎編, ジャパンマシニスト社, p.235, 1996