

九州大学 正員 松下 博通  
 〃 正員 牧角 龍恵  
 〃 学生員 〇郡山 貢一

### 1. まえがき

水中におけるコンクリートの疲労寿命は、空中のそれに比べてかなり低下する。その理由として界面張力の差により空中より水中の方がひびわれが進展しやすいことが考えられる。これらの破壊機構の差異を検討するため本研究では、水中においても確実にひずみ測定を行える方法を用いて、水中で繰り返し応力を受けるコンクリートの縦ひずみおよび横ひずみを測定することによりそのひずみ性状をとらえ、空中試験と比較しながらエネルギー的考察を行ったものである。

### 2. 実験概要

実験には $\gamma_c=63\%$ のコンクリートで、 $\phi 75 \times 15 \text{ cm}$ の円柱供試体を用い、ひずみゲージは長期間水中での測定が可能なように、防水性および絶縁性を確保するため図-1に示すようなコーティングを行い、供試体は試験前に2日以上水中に浸漬した。疲労試験は、載荷速度が300 r.p.m.の正弦変化荷重とし、その大きさは静的強度に対する応力の比から求め、最小応力比は10%、30%および50%とし、最大応力比は55~85%の間で変化させた。測定は任意回数繰り返し後に疲労試験機を止め、荷重を完全に除荷した後静的に最大応力までの大きさの荷重を加えて、その各荷重段階での縦ひずみおよび横ひずみを測定した。

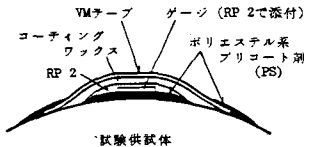


図-1 コーティング方法

### 3. 変形状態および考察

図-2に結果の一例として、最小応力比10%の水中と空中における縦ひずみの、最大と残留の繰り返し回数比に対する変化を示す。これより水中においても空中と同様に、繰り返しの初期にひずみの増加が激しい遷移領域、ひずみが安定して一定の勾配で増加している定常領域およびひずみが急激に増加して破壊に至る加速領域の3段階を経ており、性状的には顕著な差はみられない。図-3に水中および空中における定常領域でのひずみ速度と疲労寿命の関係を示す。これより水中においても $\log \dot{\epsilon}$ と $\log N$ は比例関係にあり、その勾配も空中と同様ほぼ1程度となっている。このことより空中および水中いずれの場合も $\dot{\epsilon}N$ が一定値となった時点で破壊につながる加速領域が始まると考え

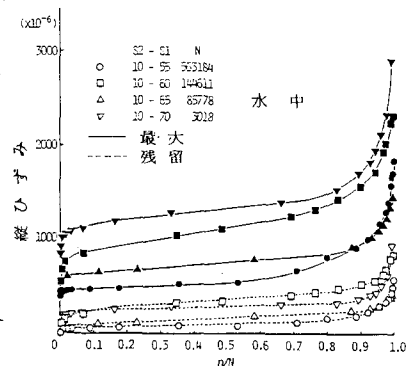


図-2 縦ひずみの変化（水中）

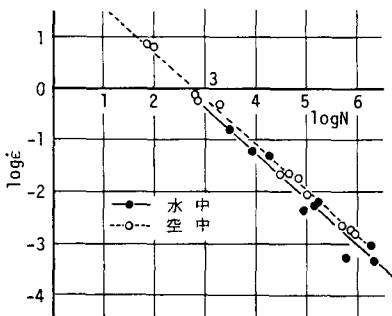


図-3 ひずみ速度と疲労寿命の関係

$$\log \dot{\epsilon} = -\log N + A(\text{const})$$

$$\dot{\epsilon}N = 10^{A(\text{const})}$$

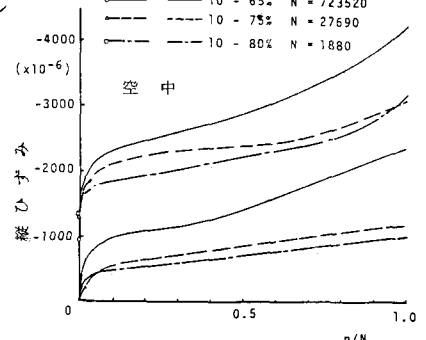
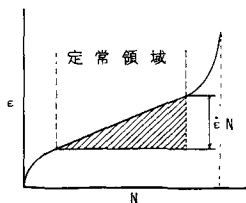


図-2 縦ひずみの変化（空中）

られるが、同じ応力比で比べると水中と空中ではひずみ速度の大きさに顕著な差がみられる。このひずみ増加はコンクリート内部のひびわれ量に影響されることから、水中と空中では破壊に至る過程は同一であっても形成されるひびわれの量が異なることが予想される。

#### 4. エネルギー的考察

次にひびわれ形成に要されるエネルギー量の点から考察してみる。図-4に繰り返し応力を受けるコンクリートの応力ひずみ曲線の模式図を示す。この応力 $\sigma_2$ への間のヒステリシスループの面積 $W_j$  (面積 $A'B'C'$ )は、供試体内部に生じているひびわれの進展や、ひびわれ部の粘性摩擦による熱エネルギーとして消費されるエネルギー量 (損失エネルギー)を表し、その量はほぼひびわれ量に比例するものと考えられる。そこでこの $W_j$ の変化を調べ疲労破壊過程を考察する。 $W_j$ の経時変化を図-5に示す。これより同一応力比および同一疲労寿命の供試体について比較すると、いずれの場合も明らかに水中の方が損失エネルギーが小さいことがわかる。ここで定常領域での $W_j$ はある程度一定の値を示しており、この値を $W_{j0}$ として応力依存性を調べたものが図-6である。今、 $W_{j0}=0$ とすれば供試体の損失エネルギーがなく疲労破壊しないと考えられるが、このときの $S_1$ の大きさは、 $S_2=10\%$ 、 $30\%$ 、 $50\%$ でそれぞれ53%、59%、71%となり疲労限の存在が考えられるが、これらの値はいずれも水中の方が小さくなっている。また、損失エネルギー $W_j$ の総和と疲労寿命の関係

係を空中と水中で比較したものを図-7に示す。これより、同一繰り返し回数で破壊している場合の損失エネルギー量は水中の方が小さいことがわかる。さらに繰り返し応力により描かれる応力-ひずみ曲線の面積 (図-4の面積 $ABCD$ ) についても比較すると、表-1に示すように同一応力比および同一疲労寿命においても明らかに水中の方が小さくなっている。以上のことから、水中におけるコンクリートの破壊機構すなわちひびわれの進展状況は空中と同様であるとみなせるが、その破壊に至るエネルギー量というものは空中より少ない、すなわち小さなエネルギーで破壊が生じると考えられ、このことが空中より水中の方が疲労寿命がかなり小さくなる原因であると考えられる。

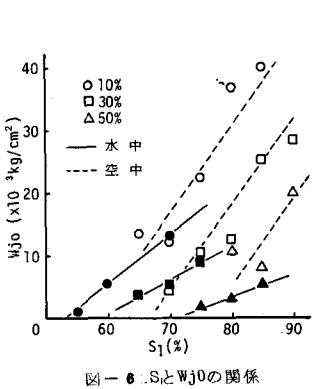


図-6  $S_1$ と $W_{j0}$ の関係

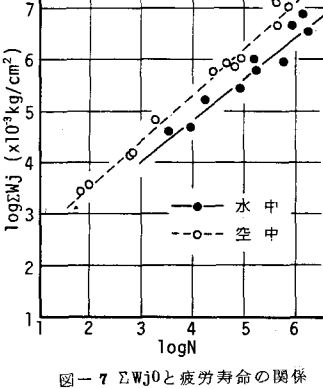


図-7  $\Sigma W_{j0}$ と疲労寿命の関係

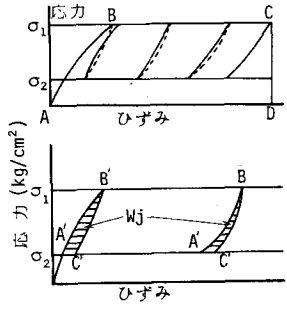


図-4 応力-ひずみ曲線の模式図

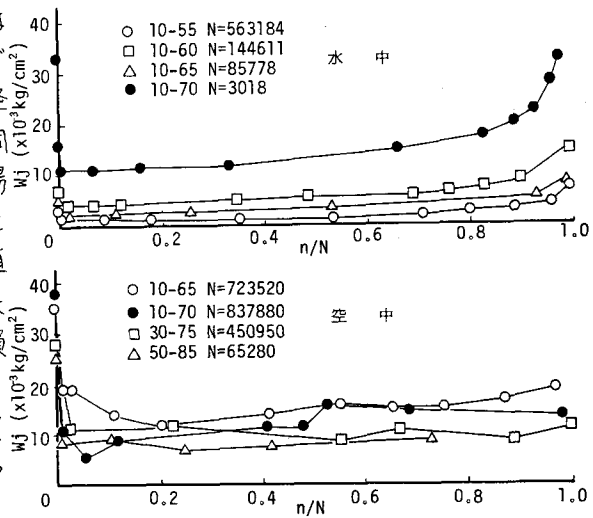


図-5 損失エネルギーの変化

表-1  $\Sigma W_{j0}$ および面積 $ABCD$

| S(%)  | In the air |                    |         | In the water    |                    |         |
|-------|------------|--------------------|---------|-----------------|--------------------|---------|
|       | N          | $\Sigma W_j$       | 面積 ABCD | N               | $\Sigma W_j$       | 面積 ABCD |
| 10-55 |            |                    |         | 563184          | $9.86 \times 10^5$ | 244.0   |
| 60    |            |                    |         | 144611          | $8.46 \times 10^5$ | 330.6   |
| 65    | 723520     | $1.35 \times 10^7$ | 715.6   | 85778           | $2.77 \times 10^5$ | 209.9   |
| 70    | 837880     | $1.29 \times 10^7$ | 714.6   | 3018            | $4.45 \times 10^5$ | 502.3   |
| 75    | 27690      | $6.98 \times 10^5$ | 497.7   |                 |                    |         |
| 80    | 1880       | $2.51 \times 10^5$ | 589.0   |                 |                    |         |
| 85    | 100        | $3.84 \times 10^5$ | 580.0   |                 |                    |         |
| 30-65 |            |                    |         | 1878521         | $7.29 \times 10^6$ | 517.1   |
| 70    | 2600000    | $2.87 \times 10^7$ | 497.7   | 920224          | $4.61 \times 10^6$ | 442.4   |
| 75    | 450950     | $1.01 \times 10^7$ | 675.0   | 18667           | $1.64 \times 10^5$ | 412.9   |
| 80    | 90830      | $2.11 \times 10^6$ | 708.0   |                 |                    |         |
| 85    | 660        | $2.46 \times 10^5$ | 555.0   |                 |                    |         |
| 90    | 71         | $4.66 \times 10^5$ | 816.0   |                 |                    |         |
| 50-75 |            |                    |         | $2 \times 10^4$ | $3.88 \times 10^6$ | 497.4   |
| 80    | 65280      | $3.05 \times 10^6$ | 861.7   | 162089          | $5.51 \times 10^5$ | 653.2   |
| 85    | 48070      | $3.08 \times 10^6$ | 774.4   | 8673            | $4.94 \times 10^5$ | 500.5   |
| 90    | 650        | $4.82 \times 10^5$ | 843.8   |                 |                    |         |