

## V—26

## コンクリートの圧縮疲労についての一考察

室蘭工業大学 学生員 鈴木 崇

室蘭工業大学 正 員 尾崎 詔

## 1. 目的

本研究は、大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労について一考察を試みようとするものである。具体的には、(1) . 大気中と水中におけるコンクリートの  $S-N$  曲線についての検討。(2) . 粗骨材の種類と空気量が、大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に与える影響についての検討。(3) . 大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労過程において、体積歪やヒステリシスループの変化の相違についての検討。以上の三点を中心として大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労について論じていきたいと思う。

## 2. 実験概要

疲労試験に用いたコンクリートの各配合は、水セメント比が 50%、細骨材率が 42%、スランプが 5.5cm から 10cm、空気量が 1% から 6.5% である。また、セメントは普通ポルトランドセメントで、粗骨材には最大寸法が 25mm の砂利と碎石の二種類を用いた。

疲労試験用の供試体としては円柱供試体を製作し、20°C で水中養生を行ない 3 ヶ月材齢後に疲労試験を実施した。水中における疲労試験は、3 ヶ月材齢のコンクリート供試体を大気中に出さずに、そのまま水中にて疲労試験をする事としたが、大気中におけるコンクリートの疲労については、3 ヶ月材齢の供試体を水中より取り出して、乾燥率が 1.2% から 2.5% ぐらいで疲労試験を行なった。

疲労試験をする際に、載荷荷重は正弦波荷重とし、下限応力比は 3% 前後に設定した。また、荷重の確認は、ロードセルの他にオシロスコープなどにより正確なものとした。なお、載荷速度は、ほぼ 10Hz を用いているが、中には最高 20Hz で行なった疲労試験もある。しかし、200Hz で行なっている例や、<sup>2)</sup> 本実験を行なう前に 10Hz と 20Hz で載荷速度の違いはない事を確認しているので、特に考慮しないものとする。

さて、大気中と水中におけるコンクリートの疲労試験時は、繰返し回数に伴う応力歪の関係を設定するために、各供試体には軸方向と円周方向にそれぞれ 2 枚づつゲージを対角線上に接着した。疲労試験を開始する時は、対角線上の歪を等しくしてから繰返し荷重を載荷した。疲労試験中の歪の測定には、データレコーダやウェブメモリを用い、任意の繰返し回数における応力歪曲線を  $X-Y$  レコーダに記録した。

また、疲労にともなう水酸化カルシウムの溶出量を推定するために、疲労試験中の  $PH$  の変化を測定した。この際、小型の循環ポンプを用いて水そう内の循環水を検出水そう内に設定した  $PH$  メータで測定している。この水そうは、透明なプラスチックで出来ており供試体の観察に都合よいものである。

## 3. 結果と考察

(1) .  $S-N$  曲線についての検討 : 図-1 と図-2 は、大気中と水中におけるコンクリートの  $P-N$  線図である。ここで用いたデータは、当実験室で行なったいくつかの圧縮疲労試験の結果を総合して解析しており、大気中におけるコンクリートは 14 / 個、水中におけるコンクリートは 263 個からなっている。これにより、あらためて大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労が、対数正規分布である事が確認された。この  $P-N$  線図をもとにして、 $P(N) = 50\%$  の点をプロットした  $S-N$  曲線が図-3 である。表-1 に示してあるように 200 万回疲労強度は、大気中では静的強度の 57%、水中では静的強度の 31% という結果が得られた。また、 $S-N$  曲線の傾きの逆数をあらわす定数  $K$  の値として、大気中で 4.6、水中では 9.1 であり現在検討されている値と比較して、<sup>3)</sup> 大気中と水中で共に  $K$  の値が低い結果となった。 $S-N$  曲線について最後に、指数回帰による  $S-N$  曲線を図-4 に示してみた。<sup>4)</sup> 大気中と水中において応力比が 90% から 30% の間でかなりよく近似されている事がわかる。

## (2)・疲労

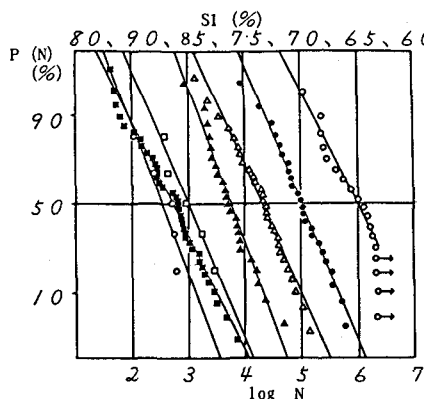
強度についての検討：図一5は、粗骨材の種類と空気量の違いが、大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に与える影響を示すものである。

表一3を参考にしてみると、水

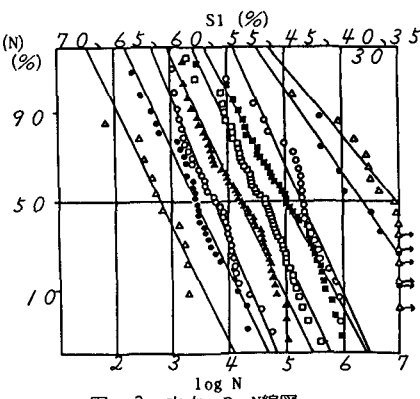
中と大気中におけるコンクリートの疲労強度は、空気量の多少による疲労強度の差がはっきりと示されている。また、水中と大気中におけるコンクリートの疲労強度は、砂利を用いた場合と碎石を用いた場合との差はほとんど認められないが、大気中では、碎石を用いたコンクリートの方が、砂利を用いたコンクリートよりわずかに疲労強度が小さかったのに対し、水中では、逆に碎石を用いたコンクリートの方が、疲労強度が大きくなっている。この

事は一般に疲労破壊の原因が、骨材とセメントペースト間の付着破壊であると言われている事が、水中においては大気中におけるより疲労破壊の大きな要因となっており、そのため水中において疲労強度が低下するのではないかと推察できる。ところで、前回の報告では、<sup>1)</sup> 湿潤状態のコンクリートにおいても、疲労強度が低下する事を理由に、水中における疲労強度の低下の大きな原因として、水中への水酸化カルシウムの溶出が関わりない事を示した。しかし、水中におけるコンクリートが繰返し荷重をうけると、繰返し回数が増えるにつれてコンクリートの周囲の水が濁ってくることから、今回はこの点を調べてみた。図一6は、各応力比ごとに、圧縮疲労破壊にいたるまでの水酸化カルシウムの中への溶出量を測定した結果である。観察によれば疲労試験の際中に、供試体表面より小さな気泡の発生とコロイド状の水和物の噴出があり、特に、クラックの発生後は、コロイド状の水和物の水中への流出が多量なものとなった。図一6より応力比が小さいほど疲労破壊にいたるまでの水酸化カルシウムの溶出量が、多くなるという事が認められる。つまり、先に示した図一3のS-N曲線において、大気中におけるコンクリートの疲労強度と比較して、水中におけるコンクリートの疲労強度では、応力比が低くなるにしたがって、疲労強度の差が大きくなる事を考慮すれば、

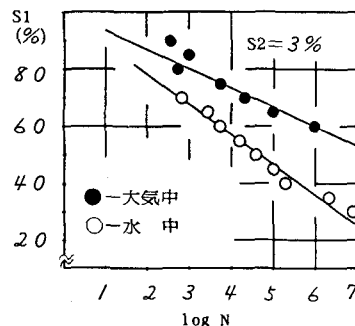
応力比が低いほど疲労強度の低下に、水酸化カルシウム溶出が大きく影響してくる。しかし、応力比が高いものについては、さほど影響がないといえる。また、図一7は、ある回数における各応力比ごとに水酸化カルシウムの溶出量の変化を示したものである。それぞれ各繰返し回数において、応力比と水酸化カルシウムの溶出量の関係が、直線で近似できる。つまり、水酸化カルシウムの溶出量の変化は、時間依存ではなく繰返し回数と応力比に依存する事が示された。



図一1 大気中-P-N線図

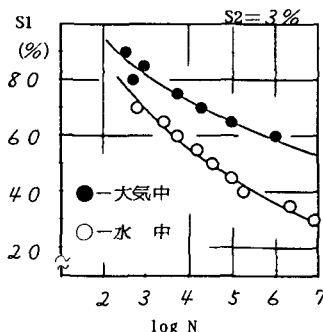


図一2 水中-P-N線図



図一3 S-N曲線

| 表一 / S-N曲線 |             | S2=3%     |      |
|------------|-------------|-----------|------|
|            | S-N曲線       | 200万回疲労強度 | Kの値  |
| 大気中        | log N = 4.6 | 56.8%     | 14.6 |
|            | log N = 4.6 | 56.8%     | 14.6 |
| 水中         | log N = 9.1 | 30.8%     | 9.1  |
|            | log N = 9.1 | 30.8%     | 9.1  |



図一4 指数型S-N曲線

| 表二 指数型S-N曲線 |             | S2=3%     |
|-------------|-------------|-----------|
|             | 指数型S-N曲線    | 200万回疲労強度 |
| 大気中         | log N = 3.0 | 57.0%     |
|             | log N = 3.0 | 57.0%     |
| 水中          | log N = 1.2 | 34.3%     |
|             | log N = 1.2 | 34.3%     |

### (3) . 圧縮疲労過程についての検討

: 大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労過程の相違について考察したい。

|       | 大気中   | 水中    |
|-------|-------|-------|
| 砂利、1% | 62.3% | 37.6% |
| 砂利、5% | 56.7% | 30.5% |
| 碎石、5% | 55.7% | 32.9% |

まず、図-8と図-9により大気中における繰返し載荷時の体積歪とヒステリシスループに注目してみる。図-9において、縦軸は最初のヒステリシスループの面積で、ある繰返し回数におけるヒステリシスループの面積を割った値の百分率である。ここで体積歪は、初めから徐々に膨張側に増加して破壊にいたっている。また、ヒステリシスループの面積は、どの応力比においても最初のヒステリシスループの面積より小さくなり、破壊に近づくにしたがってヒステリシスループの面積が大きくなる傾向にある。つまり、大気中におけるコンクリートの圧縮疲労過程は、繰返し載荷の初期におけるひび割れ形成と繰返し載荷中のひび割れ伝ばん拡大であることが認められる。これに対し

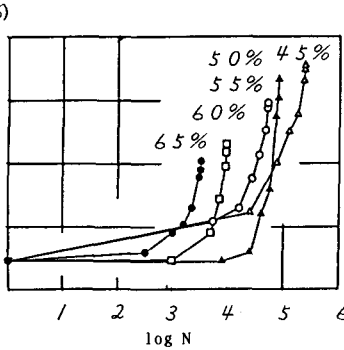


図-6 水酸化カルシウムの溶出量の変化

て、図-10と図-11は、水中における繰返し載荷時のコンクリートの体積歪とヒステリシスループの変化を示している。ここで、水中におけるコンクリートの体積歪は、破壊の近くで急速に膨張側に増加し、ヒステリシスループの面積の変化は、大気中におけるコンクリートの場合のように、ヒステリシスループの面積が低下することなく、ほぼ同じ大きさのヒステリシスループの面積を描き、破壊が近づくときヒステリシスループの面積が大きくなる傾向にある。

したがって、水中におけるコンクリートの圧縮疲労過程では、破壊近くの繰返し回数になって急にひび割れの形成と拡大が起こるものと思われる。次に、定常領域における横歪の変化を大気中と水中において、それぞれ図-12と図-13に示してみた。ここで、横歪の変化に注目したのは、横歪の増加が、ひび割れ

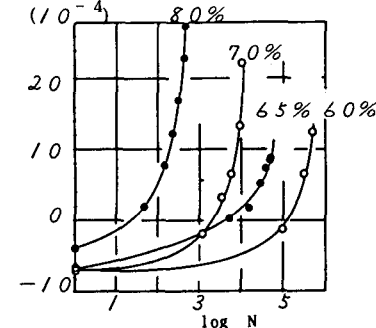


図-8 大気中におけるコンクリートの体積歪の変化

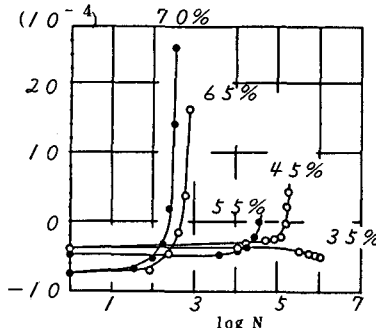


図-10 水中におけるコンクリートの体積歪の変化

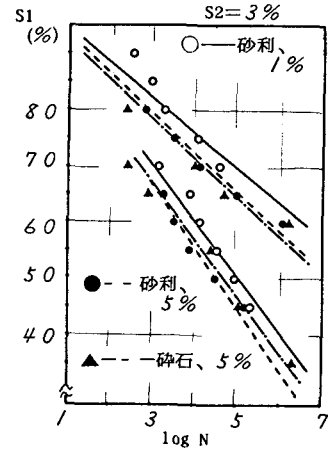


図-5 粗骨材と空気量の影響を示すS-N曲線

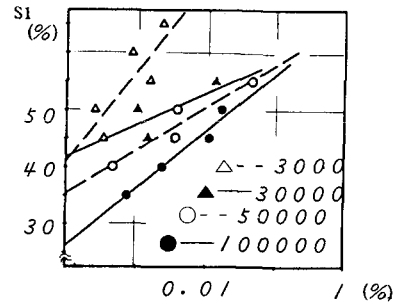


図-7 ある回数における水酸化カルシウムの溶出量の変化

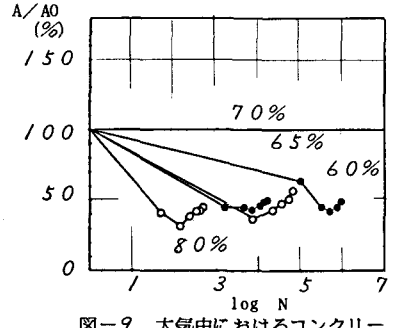


図-9 大気中におけるコンクリートの繰返し載荷回数に伴うヒステリシスループ面積の変化

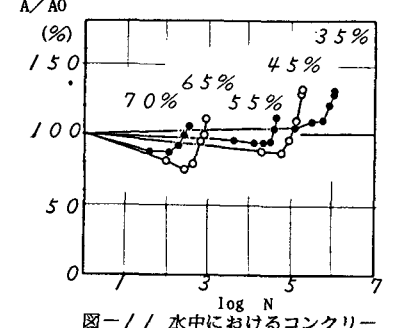


図-11 水中におけるコンクリートの繰返し載荷回数に伴うヒステリシスループ面積の変化

の増加を示すものであると考えたからである。図-1/2によれば、各繰返し回数における横歪は、静的試験の場合の横歪より、かなり大きな横歪であるといえる。同様に、図-1/3の水中におけるコンクリートの疲労

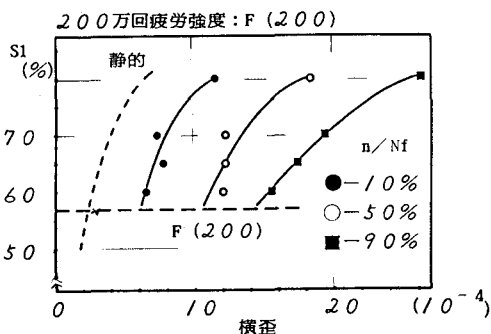


図-1/2 大気中一定常領域における横歪と応力比の変化

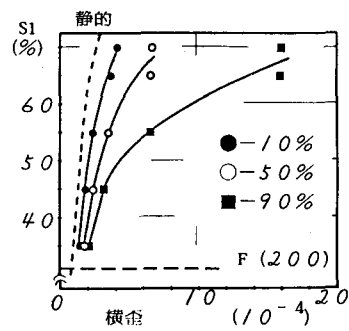


図-1/3 水中一定常領域における横歪と応力比の変化

試験の結果についてみると、水中における繰返し载荷時の横歪は、静的試験による横歪とさほど大きさに差がなく、大気中と水中における、それぞれの200万回疲労強度に対する横歪は、大気中における場合の方が、水中における場合よりはるかに大きいという特徴がみられる。最後に、図-1/4は、最初の载荷によるヒステリシスループのエネルギー損失と破壊回数の関係を示すものである。大気中と水中におけるコンクリートのエネルギー損失と破壊回数が、図-1/4のような直線関係とみなすことにより、最初の载荷によるエネルギー損失を知ること、水中と大気中におけるコンクリートの破壊回数が推測できそうである。また、エネルギー損失が零となる破壊回数を求めて、その破壊回数に対応する応力比を図-3より推定すれば、大気中では静的強度の22%、水中では静的強度の26%となった。もし、疲労限度が存在するならば、大気中と水中におけるコンクリートの疲労限度の応力比は、静的強度の25%前後ではなかろうか。しかし、疲労限度の存在についてはまだまだ検討の余地があるので、ここでは推測にとどめたい。

#### 4. 結論

- 1) . 大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度は、粗骨材の種類による影響は少なく、空気量の多少による影響がある。
- 2) . 水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度は、疲労寿命が長いほど水酸化カルシウムの溶出に影響される。
- 3) . 大気中と水中におけるコンクリートの圧縮疲労過程においての体積歪の変化は、異なった挙動を示す。

#### (参考文献)

- 1) . 尾崎、志村、浅田：「水中および乾燥、湿潤状態におけるコンクリートの圧縮疲労強度」、土木学会北海道支部第38回論文報告集
- 2) . H. Weigler, W. Freitag：「Dauerschwell- und Betriebsfestigkeit von Konstruktions-Leichtbeton, Technische Hochschule Darmstadt Institut für Massivbau
- 3) . 土木学会編：「コンクリート構造物の限界状態設計法案」、昭和58年
- 4) . 鈴木、尾崎、志村：「水中におけるコンクリートおよび鋼繊維コンクリートの圧縮疲労」、土木学会第38回年次学術講演概要集
- 5) . 松下博通：「コンクリートの圧縮疲労過程のエネルギー変化による考察」、土木学会第35回年次学術講演概要集

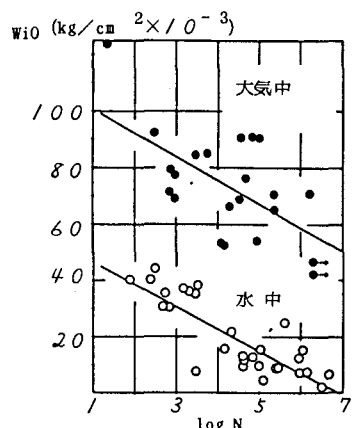


図-1/4 第1回载荷時のヒステリシスループのエネルギー損失と破壊回数