

定常繰返し荷重を受けるコンクリートの強度劣化及びAE特性

武蔵工業大学 学生員 丸本 智・菅野 純・戸澤潤帆
 武蔵工業大学 正会員 吉川弘道

1. はじめに

材料が繰返し応力を受けるとき疲労寿命が問題となるが、疲労破壊に至るまでの劣化特性も重要である。そこで、本研究は、コンクリートの疲労寿命および疲労破壊以前における残存強度試験を調査した。また、AE波を測定することにより、供試体内部に発生した微視的構造変化を静的強度試験と残存強度試験で比較した。

2. 実験概要

本実験は、コンクリート(W/C = 60%)の圧縮特性について以下の実験を行なった。

静的強度試験:3本の供試体を単調荷重し、平均静的強度 322 kgf/cm^2 を求めた。

疲労試験: 上限応力、下限応力を平均静的強度の85%, 5%とし、5Hzの載荷速度とした。

残存強度試験: 平均疲労寿命回数を損傷量 $M = 1$ とし、4水準 ($M = 0.7, 0.75, 0.8, 0.85$) の損傷量を与えた後、静的強度試験を行ない残存強度を測定した。

AE測定: 静的強度試験、残存強度試験の際、AE測定を行なった。AEセンサーは900S-Wb(ワイドバンド型)、904S(周波数特性350KHz付近)を使用した。また、バンドパスフィルターを100KHz~1MHzとした。

3. 劣化モデルの定式化

図1に繰返し応力に伴う強度の劣化過程についての概念図を示すとともに、残存強度のモデル化について考察する。横軸は繰返し回数比を、縦軸は、上限応力比と残存強度比を示している。残存強度比の平均値は静的強度の平均値1を出発点とし、繰返し回数比が1となる(疲労破壊する)ところで、上限応力に達するとするものである。一方、ばらつきは繰返し回数の増加に伴って変化するものとし、ある繰返し回数における残存強度比は、正規分布に従うものとする。上記に示した条件に従って残存強度(平均値)の劣化を定式化する。残存強度の劣化式(平均値)は次式のように表され、残存強度比 ξ は、 $\xi = f_c/f'_r$ のように定

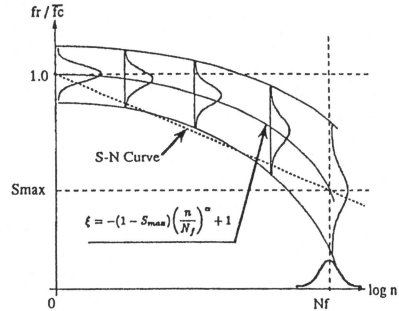


図-1 残存強度特性とS-N線図

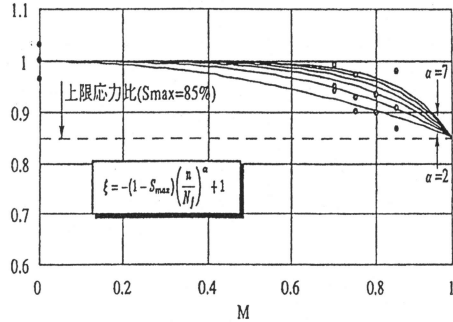


図-2 残存強度試験と劣化式

義される。

$$\xi = -(1 - S_{max}) \left(\frac{n}{N_f} \right)^\alpha + 1 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $n = 0 \rightarrow \xi = 1$ 、 $n = N_f \rightarrow \xi = S_{max}$ となり、図1の起点と終点を満足していることが分かる。また、 α については、その遷移過程を表すパラメータとなる。従って、係数 α については上限応力比や下限応力比あるいは静的強度の大きさの影響を考慮して決定する必要があると思われる。本研究においては、残存強度試験のデータから、 $\alpha = 5$ が最適であると推定される(図2)。また、同じような理由から残存強度のばらつきである標準偏差 σ_{cr} を与える式として、残存強度試験の結果より、得られた式を用いることにする。¹⁾

$$\sigma_{cr}(M) = 25.75 \left(\frac{n}{N_f} \right)^5 + 0.658 \dots \dots \dots (2)$$

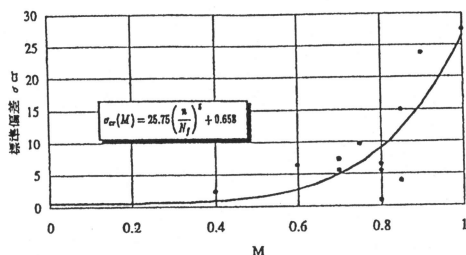


図-3 残存強度の標準偏差

4. AE 特性

累積 AE カウント数: 図4は静的強度試験と残存強度試験の荷重応力比と累積 AE カウント数の関係を示す。

静的強度試験は、各センサー共に累積 AE カウント数の変化点が荷重応力比 20、50、70、90% 付近の4段階に分かれ、累積 AE カウント数は荷重応力比 10 ~ 20% で増加が始まり、90% 付近から急激に増加し破壊に至る。残存強度試験では、疲労時の上限応力比に達するまで累積 AE カウント数の増加はほとんど見られないが、上限応力比を越えたあたりから累積 AE カウント数は急激な増加を示している。

周波数分析: 図5は、静的強度試験と残存強度試験における荷重応力比と周波数特性の関係である。静的強度試験の場合、AE 波が全域に検出され、振幅のピークは 200KHz 付近に見られる。これに対して残存強度試験の場合、低周波数帯 (100KHz ~ 500KHz) で AE 波が検出されたが、波形に鋭さはなく、滑らかな周波数帯である。振幅のピークは、100KHz 付近で静的強度試験よりも低周波数帯に偏している。

カイザー効果: 静的強度試験では、荷重応力比 40 ~ 50% 程度から $FRz < 1$ (FRz : 静的強度試験の *Felicity ratio*) となっている。残存強度の場合、疲労をかけていないのとは比べ、明らかに $FRz < FRz < 1$ (FRz : 残存強度試験の *Felicity ratio*) となっている²⁾。また図6より、マイナー数 M が大きくなるにつれて FRz が 1 に近づいていく。しかし、 $M = 0.85$ では劣化が進みすぎて供試体内部がかなり損傷しているため AE の応力波が早く出たのではないと思われる。

5. 結論

本実験結果よりマイナー数が増加するとともに残存強度が低下し、ばらつきが大きくなることをもとに実験式を同定した。また、AE 波については累積 AE カウント数の増加傾向、振幅のピーク値の周波数帯及び FR

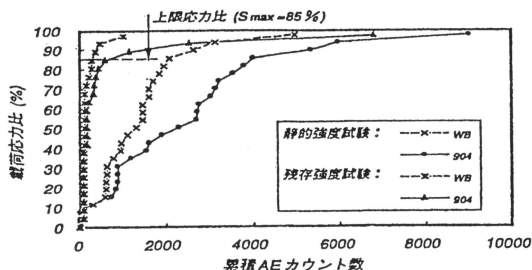


図-4 荷重応力比と累積 AE カウント数

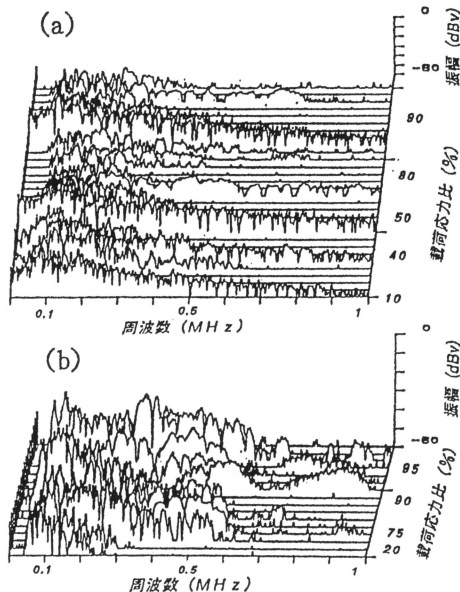


図-5 荷重応力比と周波数特性

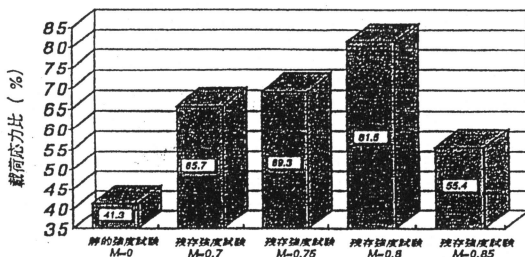


図-6 カイザー効果とマイナー数

が静的強度と残存強度とは明らかに異なり、疲労過程における繰返し荷重がカイザー効果に多大な影響を及ぼしている。

参考文献

- 1) 大井祥之: 定常繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の耐力劣化および疲労寿命
- 2) 大津政康: アコースティックエミッションの特性と理論 森川出版