

武蔵工業大学工学部 ○学 森久保 武史
正 小玉 克巳
正 仲宗根 茂

1. はじめに

高強度コンクリートは、圧縮強度に対する曲げ強度の比は普通コンクリートに比べ小さく、圧縮強度は大幅に増進しているが、曲げ強度に関しては圧縮強度ほど強度増進がない¹⁾ことがわかっている。従って、曲げ疲労性状について上述の関係も知る必要がある。さらに、非破壊試験法の1手法であり、コンクリートの耐久性診断技法として注目されている²⁾、Acoustic Emission(以下 AE とする)法も用いて高強度コンクリートの曲げ疲労による劣化性状を把握しようとしたものである。

表-1 配合表

2. 実験概要

2-1. 供試体作成方法

供試体寸法は、10×10×40cm である。使用材料は普通ポルトランドセメント、川砂、碎石、そして、高性能 AE 減水剤(ただし、普通コンクリートは AE 減水剤)を用いた。配合表を表-1 に示す。材令 28 日まで標準養生後 3 ヶ月以上気中乾燥させた。

	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単量量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)
						W	C	S	G	
高強度コンクリート	20	18	1.8	28	40	140	500	678	1080	4.5
普通コンクリート	20	10	1.5	45	42	195	433	713	1004	0.3

2-2. ひずみ測定方法と AE 測定方法

供試体概略図を図-1 に示す。ひずみの測定位置は図-1 の通り、供試体底部に 30mm ワイヤストレインゲージ 7 枚を貼り付け、デジタル動ひずみ計に接続した。一方、AE の測定は、AE センサを供試体側面中央下部にセンサホルダを用いて圧着した。バンドパスフィルタは 100KHz~1MHz であり、スレッショルドは、振動によるノイズを考慮し、 $V_L=150\text{mmV}$ 、 $V_H=200\text{mmV}$ とした。さらに、治具と供試体接触部分には、ノイズ除去するためゴムシートを敷いた。また、計測ゲインを図-2 に示す。

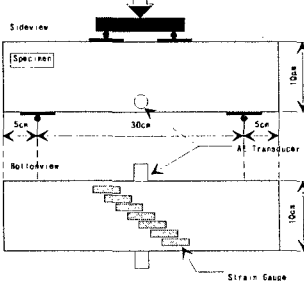


図-1 供試体概略図

2-3. 载荷方法

载荷は 10tf 静荷型試験機を用い、载荷周波数を 5Hz、载荷波形をサイン波とした。また、上限载荷応力比((最大载荷応力/静的強度)×100)を 65~85%、そして、下限载荷応力比((最小载荷応力/静的強度)×100)を 7%一定とした。载荷応力比の荷重の決定方法は、1バッチ中のばらつきを考慮するために、あらかじめ各バッチ 3 本づつ静的曲げ試験を行い応力-ひずみ関係を求め、繰返载荷を実施する供試体に荷重(約 1000kgf)をかけ、応力-ひずみ関係が同様の静的試験結果より破壊荷重を推定し、その値を载荷応力比の基準として、繰返载荷試験を実施した。

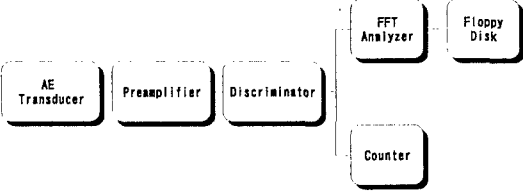


図-2 計測ゲイン図

表-2 上限载荷応力比毎の回帰式

上限载荷応力比 :S(%)	回帰直線式 $t=B+A\text{Log}N_r$	代表値 $P(N_r)=50$	標準偏差	変動係数
85	$t=4.655-1.806\text{Log}N_r$	377	0.554	0.215
80	$t=3.363-1.168\text{Log}N_r$	756	0.856	0.297
75	$t=3.200-0.973\text{Log}N_r$	1940	1.028	0.313
70	$t=3.760-0.941\text{Log}N_r$	9903	1.063	0.266
65	$t=3.980-0.574\text{Log}N_r$	8586180	1.742	0.251
普通コンクリート:75	$t=5.367-1.025\text{Log}N_r$	171553	0.976	0.186

3. 実験結果と考察

3-1. 生存確率

生存確率 $P(N_r)$ とは、試験結果を対数正規分布に適用したもので、繰返し回数 N_r まで破壊が発生しない確率を示し、式(1)³⁾で求められる。

$$P(N_r)=1-r/(n+1) \quad \text{---(1)}$$

ここで、n:同一条件で試験された供試体総数、r:疲労寿命を小さい順に並べた序数

また、本研究は、疲労限界($N_x=2 \times 10^6$ 回)に達しても破壊しない場合、载荷を中止している。このことを考慮すると、 n 個の供試体のうち、 m 個が規定回数 N_x までに破壊しなかった場合 $n+1$ 個の供試体が試験に供されたとして仮定することにより、式(2)が求まる³⁾。

$$P(N_r)=1-r/(n+2) \quad (2)$$

以上の手法を用いて、疲労寿命と生存確率の関係を図-3 に示す。そして、上限载荷応力比毎に式(3)の分布係数⁴⁾で帰属させた。

$$t=A \log N_r+B \quad (3)$$

ここで、 t :正規分布曲線の対数軸からの距離
A,B:定数

式(3)により、上限载荷応力比毎にまとめた結果を表-2 に示す。表-2 より、生存確率 $P(N_r)$ が 50%のときの繰返し载荷回数 N_r を代表値として用いると、上限载荷応力比 75%の時、高強度コンクリートは普通コンクリートと比べ疲労寿命が短い。また、上限载荷応力比 75%付近の時、高強度コンクリートは、普通コンクリートと比較して、载荷回数の変動係数が大きく、ばらつきが大きいことが認められる。

3-2. 载荷回数比と最大ひずみ、累積AEカウンタ数の関係

図-4 に载荷回数比・ひずみ、AEカウンタ数の関係を示す。図中の①は上限载荷応力比 75%、破壊回数 777 回であり、②は上限载荷応力比 65%、疲労限界 2×10^6 回である。横軸に载荷回数比を示し、①は破壊回数 777 回を 100 とし、②は疲労限界を 100 とした。また、縦軸にひずみ、AEカウンタ数比を示し、①は破壊時の AE カウンタ数を 100 とし、②は疲労限界時の AE カウンタ数を 100 とした。図中①の AE カウンタ数は载荷回数比 90%付近から急増しているのに対し、最大ひずみは载荷回数比 65%付近から急増し、両者の増加傾向は異なる。一方、疲労限界まで達した図中②の AE、最大ひずみの増加傾向は比較的なだらかなり、酷似している。このことから、破壊直前のひずみの増加傾向と累積 AE カウンタ数の増加傾向は必ずしも一致しないことがわかる。この要因として、ひずみゲージは劣化過程に生じる微小な変形を直ちに感知することができるが、AE 法の場合、高めに設定してあるスレッショルド⁵⁾のために、微小な変形で発生した振幅の小さい AE 波を検出していない可能性がある。AE 法を高強度コンクリートの診断技法として用いるためには、適当なスレッショルド⁵⁾の設定が重要である。

4. まとめ

本研究により解明されたことを次にまとめる。

1)高強度コンクリートの疲労寿命は、上限载荷応力比 75%のとき、普通コンクリートと比べ疲労寿命が短い。2)高強度コンクリートは、曲げ疲労に関してばらつきが大きくなり、普通コンクリートと比べてもばらつきが大であることが認められる。3)ひずみの増加傾向と累積 AE カウンタ数の増加傾向は、適当なスレッショルド⁵⁾の設定により追従するものと考えられる。

<参考文献> 1)中村三明,小玉克巳,仲宗根茂,高強度コンクリートの性状に関する研究,第 47 回セメント技術大会講演集,pp.732~pp.737,1993 2)大津政康,コンクリート工学におけるアコースティック・エミッション(AE)研究の歴史と現状,土木学会論文集 No.496/V-24,pp.9~19,1994.8 3)松下博通,徳光善治,生存確率を考慮した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.284,pp.127~138,1979.4

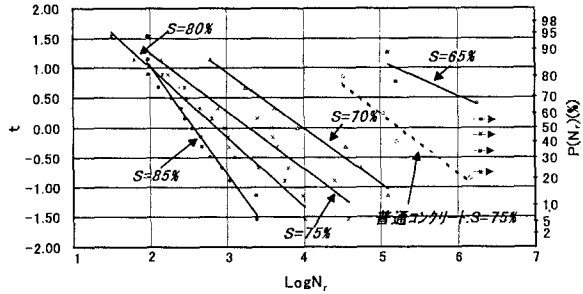


図-3 繰返し曲げ応力を受ける高強度コンクリートの生存確率

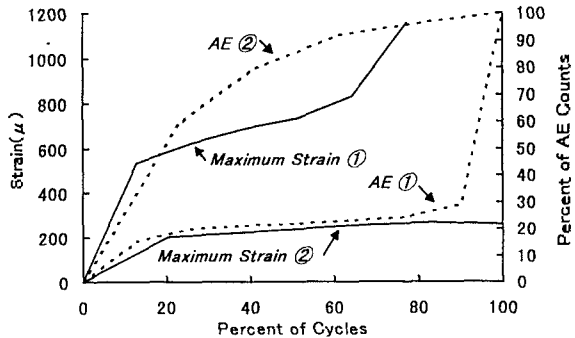


図-4 载荷回数比とひずみ、AEカウンタ数の関係