

1. はじめに

複合材料としてのコンクリートの破壊機構は、ボンドクラックやモルタルクラックの発生から進展、連結の段階に大きく分けられ、破壊源の状態によって発生するAE波形の特性も異なっていると考えられる。これまでの研究により、破壊源の破壊継続時間と破壊先端近傍の運動の仕方は、それぞれ放出される弾性波のスペクトルのピーク周波数（コーナー周波数）と高周波数漸近勾配によって特徴づけられることが明らかにされている。⁽¹⁾⁽²⁾

そこで、本研究は、コンクリートの一軸圧縮試験時に発生するAEのスペクトル解析を行い、ピーク周波数や勾配と破壊機構との対応関係について考察し、波形情報による破壊源の分類の可能性を実験的に検討したものである。

2. 実験およびスペクトル解析方法

(1) 実験方法

最大骨材寸法25mm(A)と10mm(B)の供試体(φ100×200)について、3種類の荷重速度(H:4.1, M:2.7, L:1.6 t/min)で一軸圧縮試験を行う。図-1のブロックダイアグラムに示すように、2chによって検出したAE波形を、ウェーブメモリによってサンプリングタイム50nsecでA/D変換する。この時オシロスコープで波形処理が可能かどうかを判断し、可能な場合、コントローラに取り込んだ後、ハードディスクに記憶させる。あわせて、ひずみやAEカウントも計測する。

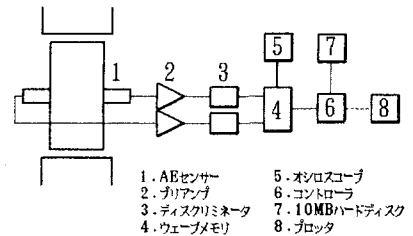


図-1 ブロックダイアグラム

(2) スペクトル解析

検出波形 $h(t)$ は、AE変換子のインパルス応答 $s(t)$ によってスペクトル特性が変化しているため、入力波形のスペクトル $G(f)$ を次の周波数領域の逆合成積 $G(f) = H(f) / S(f)$ で推定する。ここに、 $H(f)$ 、 $S(f)$ はそれぞれ $h(t)$ と $s(t)$ の初期部分約12.5 μ secについてのスペクトルである。なお、予備実験で得られた弾性波速度 $v_p = 5200$ m/s、 $v_s = 3000$ m/sに基づけば、破壊源の位置にもよるが反射波の影響は比較的除かれていると思われる。

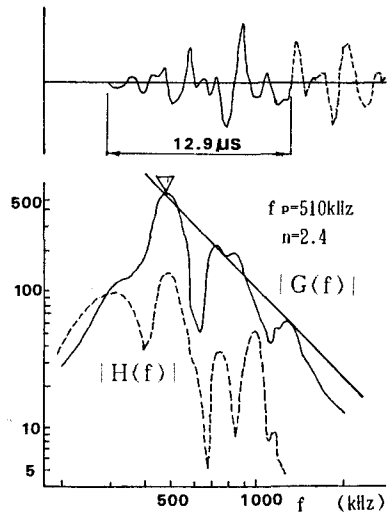


図-2 スペクトル特性

3. 結果および考察

波数数は荷重速度が遅い場合で平均230、速い場合で平均90個記憶することができた。

図-2は、スペクトル解析の例を示したものである。波線は検出波形のスペクトル $|H(f)|$ を、実線は前述した方法により推定された入力波形のスペクトル $|G(f)|$ を表している。検出波形についてこのようなデータ処理を行い、得られたピーク周波数 f_p と漸近勾配 n に基づき、更に次の様に整理した。

応力レベルを10%ごとに分け、 i 番目の応力レベル σ_i の区間で記憶されたAE波形の総数を k_i 、AEレイアウトを K_i とする。次に f_p を100kHzごとに分け、 j 番目の頻度を C_{ij} とする。 K_i 個の波形の統計的性質が k_i 個の波形で代表されていると仮定し、 σ_i, f_{pj} を確率変数とする確率密度関数 $Pf(\sigma_i, f_{pj})$

を次式で定義した。同様に、勾配 n についても $P_n(\bar{\sigma}_i, n_j)$ が定義される。

$$P_f(\bar{\sigma}_i, f_{pj}) = \frac{C_{ij}}{k_i} \cdot \frac{K_i}{K}$$

$$P_n(\bar{\sigma}_i, n_j) = \frac{D_{ij}}{k_i} \cdot \frac{K_i}{K}$$

図-3、4に供試体A(最大骨材寸法25mm)とB(同10mm)について得られた結果を等高線で表す(荷重速度1.6t/min)。なお、AE波形の理論解析結果から、破壊長 L は破壊速度を v とすれば $L=0.66v/f_p$ でほぼ推定されることがわかっており⁽²⁾、あわせて考察する。

図から、応力レベル40~50%頃からA、B共400~600kHzの f_p が発生する確率が高く、 $v=0.5v_s$ とすると、割れの大きさはほぼ2mm前後になる。応力レベルの増加と共に周波数の分布が広くなり、応力レベル70%頃からやや低周波数側の f_p が発生する確率が高くなる傾向にある。このことは、相対的に大きい割れが発生していることに対応する。また、200~300kHzの f_p が発生する確率は体積ひずみが反転する付近で急増する傾向にある。破壊長が大きいほどピーク周波数は低くなるが、と同時に放出エネルギーも大きくなるため、現実装置のダイナミックレンジでは対応できないのが現状である。最終破壊付近で記憶された波形の中で振幅が振り切れている波形の平均的な周期は約6~10 μ secであった。従ってピーク周波数は100kHz前後になり、実際は前述の傾向が著しく現れていると推定される。また勾配 n に関しては、供試体AはBと比較して小さい n のAEが発生しやすく、Bは応力レベル70%以降、 n が大きくなる傾向にある。

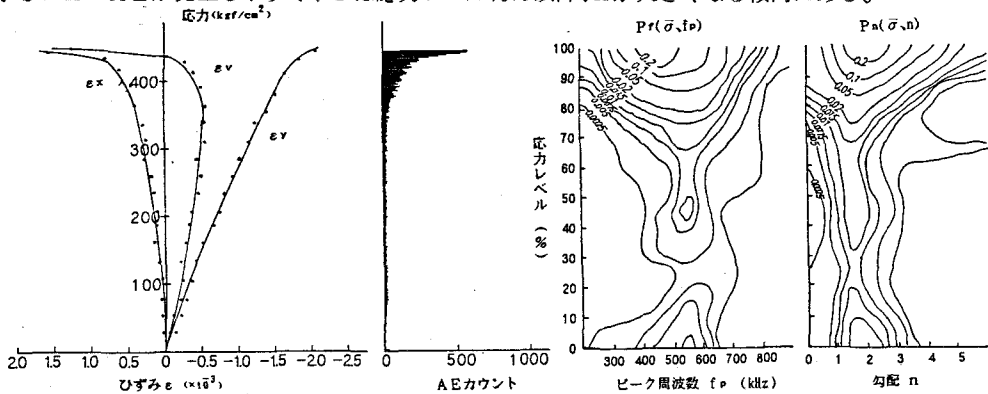


図-3 $\sigma \sim \varepsilon$ とAE周波数特性 (最大骨材寸法25mm)

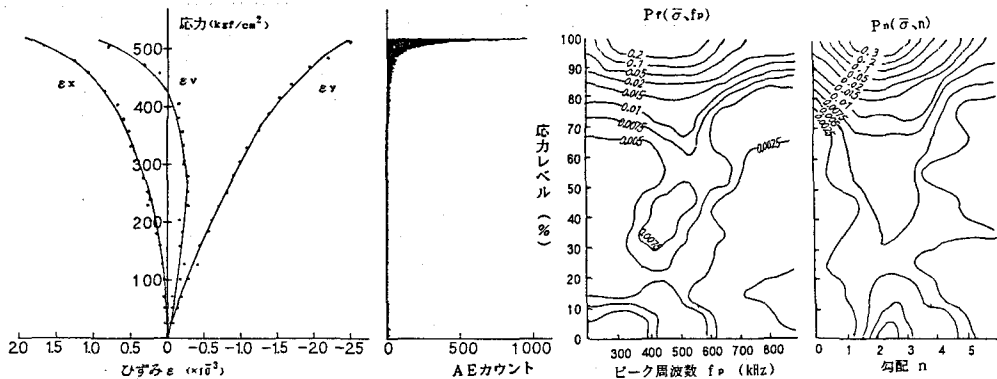


図-4 $\sigma \sim \varepsilon$ とAE周波数特性 (最大骨材寸法10mm)

4. あとがき

本文では、いくつかの仮定のもとにAE周波数特性と破壊機構の関係について考察した。ピーク周波数の分布はほぼ妥当な結果になっていると考えられるが、勾配 n に関しては、現在のところデータ数が不十分であるため、破壊源の分類の可能性については結論づけるまでに至っていない。また計測および波形処理上に若干問題が残されており、今後更に検討を重ねていきたい。

参考文献 (1) Aki, K and P.G. Richards: Quantitative Seismology 1980
(2) 山ノ内・佐武・新聞: 福島高専紀要 20-1 1984