

V-50 コンクリートの破壊靱性試験における3次元AE位置標定

東北大学大学院 学生員 ○ 黒田 孝貴
 東北大学工学部 正 員 佐武 正雄
 東北大学工学部 正 員 新聞 茂

1. はじめに

コンクリートの巨視的クラック先端近傍の微視的破壊領域である破壊進行領域の解明は、最近のコンクリート工学における中心問題の一つである。しかし、コンクリートの微視的破壊機構は細骨材及び粗骨材の複合性により極めて複雑であり、いまだ十分に解明されていない。このような状況を考慮し、本文は、コンクリートの破壊靱性試験において、巨視的及び微視的クラックが発生・成長する際に生じるアコースティック・エミッション(AE)の発生源を3次元的に位置標定し、破壊進行領域の検討を行ったものである。

2. AE発生源の3次元解析方法

破壊源を $X(x, y, z)$ とし、その近似解 $X^a = (x^a, y^a, z^a)$ に対し真の解を $X^a + \Delta X = (x^a + \Delta x, y^a + \Delta y, z^a + \Delta z)$ と考え、破壊源からセンサーへの距離 $R_i = \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 + (z - c_i)^2} = V t_i$ ($i=1, \dots, 8$, V :P波速度)をTaylor展開すると次のようになる。

$$R_i = R_i^a + l_i^a \Delta x + m_i^a \Delta y + n_i^a \Delta z$$

$$l_i^a = (x^a - a_i) / R_i^a, m_i^a = (y^a - b_i) / R_i^a,$$

$$n_i^a = (z^a - c_i) / R_i^a$$

$$R_i - R_j = V \Delta t_{ij} \quad (i, j=1, \dots, 8, i \neq j) \quad (1)$$

(1)を最小2乗法で解き ΔX を決定する。

$$X^{a+1} = X^a + \Delta X \quad (2)$$

初期値 X を与え(2)式の収束計算により X を求める。次に、最大誤差を持つセンサーを除き(2)の計算を繰り返し、最終的に6チャンネルを精選し X を求める。

AE計測システムの電気回路網から生ずるノイズや前波の残留によるノイズを避けるため、図1に示すようなしきい値 T, T' を設定した。波の絶対値がしきい値 T を越えたときAE波であると判断し、その時刻よりAE波を前方に辿り振幅が最初にゼロになった時間またはAE波が T' より小さくなった最初の極小点をAE波の到達時間とした。

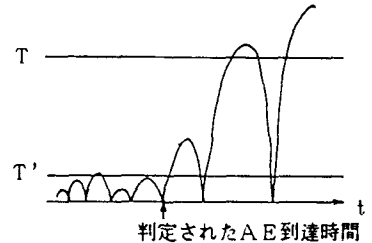


図-1 AE波到達時間の判定

3. 実験方法

表-1にコンクリートとモルタルの配合を示す。配合を決める際、 W/C を40%に定めた。材令は、80日程度である。図-1は荷重-COD曲線と供試体の寸法を示したものである。二重片持梁型の供試体(DCB)に変位制御型負荷で繰り返し荷重 P の載荷を行った。載荷速度は、0.02 mm/minとした。なお、クラックがまっすぐ進展するよう予めりガメント部両面に深さ約1cmの溝(Groove)を与えた。供試体の座標系は図-3に示す通りである。

3次元AE計測システムでサンプリングされたAEデータ(1チャンネル当り1Kワード)の光ディスクへの転送に必要とする時間は約1.2秒である。

4. 結果と考察

表-2に計測されたAE波の総数と位置標定率を示す。これを見ると、配合Iが比較的高い以外はほぼ同程度の位置標定率となった。2節で説明した3次元位置標定の基礎となる式は、均一な等方弾性体に対して導かれたものであり、供試体の構成要素が大きくなる程速度のばらつきは大きくなり位置標定率は下がると予測されたが、粗骨材の存在・大きさが及ぼす影響の規則性は示されなかった。また、実験では、できるだけ単位時間当りのAE発生数を少なくするため、載荷速度を限界に近いレベルまで下げて実験を行ったが、それでも、各供試体とも

表-1 配合表

供試体	最大粒径(mm)	W/C(X)	s/a(X)	単 位 量 (kg/m³)			
				V	C	S	G
配合 I	10	40	44	186	466	722	925
配合 II	20	40	44	186	466	722	939
配合 III	30	40	40	174	484	672	1066
配合 IV	5	40	—	296	750	1162	—

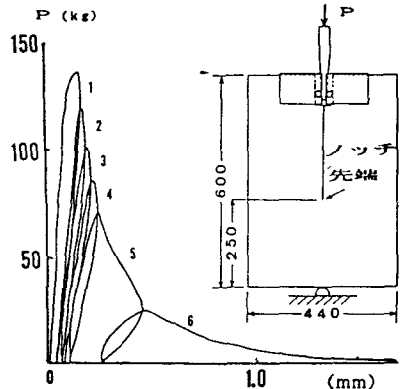


図-2 荷重-COD曲線と実験方法

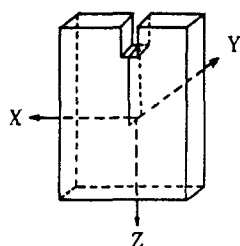


図-3 座標軸の設定

表-2 3次元位置検定事

供試体	計測されたAE数	位置検定できたAE数	位置検定率(%)
配合 I	613	330	53.8
配合 II	492	161	32.8
配合 III	765	272	35.6
配合 IV	791	270	34.1

表-3 最大荷重と標準偏差

供試体	最大荷重 (kg)	X方向の標準偏差 (cm)
配合 I	142	1.96
配合 II	123	1.57
配合 III	139	1.76
配合 IV	137	1.24

計測されたAE波の中に20波ほど続けて位置検定が不可能な波が計測されることが数回あった。

図-4は、配合IV(モルタル)のAE発生源の正面図、平面図、側面図を示したものであり、図-5は、コンクリートのAE発生源の正面図を示したものである。AE発生源の進展がわかるように各荷回数ごとに区別して示した。荷回数の増加に従ってAE発生源が上部から下部に移るのが観測された。これは、クラック先端近傍にAEが数多く発生することによると思われる。また、モルタルとコンクリートでは発生源に違いがあり、モルタルの方がより巨視的クラック面近傍に集中している。図-6は、各供試体全AE発生源のX方向に関する頻度分布を示したものであるが、各供試体ともクラックから離れるに従ってAE発生頻度が下がるのがわかる。線形破壊力学によればクラック先端からの距離を r とすれば、クラック先端近傍の応力場は $1/\sqrt{r}$ に比例して減少するが、AE発生源の頻度もこれと類似な傾向になっている。表-3に供試体の実験時の最大荷重と、X方向に関するAE発生源の位置の標準偏差を示す。この標準偏差もモルタルとコンクリートの違いを表し、配合Iを除いて、最大骨材寸法に対応して大きくなっている。また、最大荷重がほぼ同じであるにもかかわらずAE発生源に違いが生じたのは、最大骨材寸法が影響したと考えられる。このことは、供試体の破断面が粗骨材とモルタルの境界に発生することに対応していると考えられる。

5. あとがき

現在までの破壊進行領域のモデル化は、Hillerborg¹⁾のfictitiousモデルで行われているように、巨視的クラック進行方向の破壊進行領域だけに注目されているが、図-6で示したように巨視的クラック面と直角方向にも微視的なクラックが多数発生し、3~5cm程度の破壊進行領域が広がっていることが観察された。本研究における実験は、東北大学工学部建築学科の三橋助教授、野村助手と共に行ったものであることを付記します。

参考文献 1) Hillerborg, A: Analysis of one single crack, Fracture Mechanics of Concrete 1983, 223-249

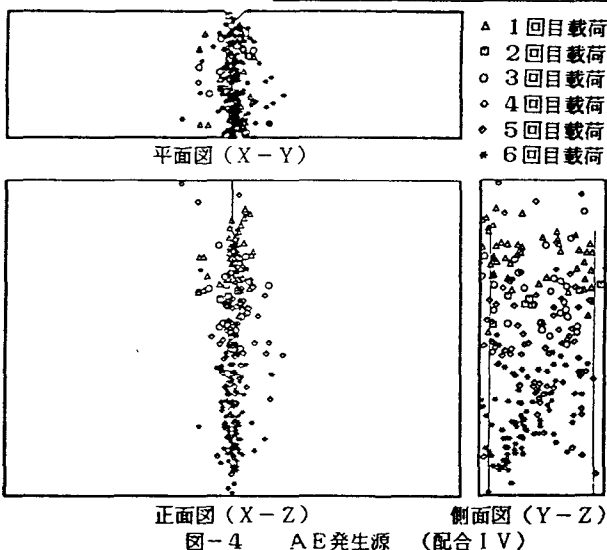


図-4 AE発生源 (配合IV)

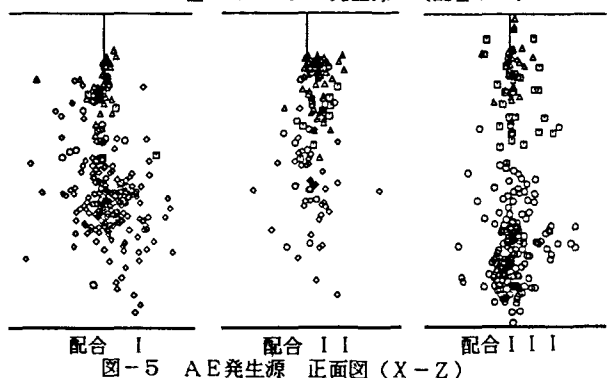


図-5 AE発生源 正面図(X-Z)

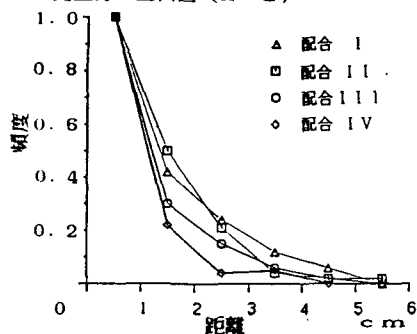


図-6 X方向におけるAE発生源の頻度分布 0~1cmの値を1とする