

北海道大学 学生員 ○ 幡谷 繁
 " 正 員 佐伯 昇
 " " 高田 宣之

1. まえがき

AE(アコースティック・エミッション)法は、変形とか破壊機構の解明など材料学の分野において、新しい測定手段として注目されている。本研究では、コンクリート供試体に段階的に圧縮荷重をかけ、AE装置によりその各荷重段階ごとのひびわれ信号音を捕え、このひびわれ信号音がコンクリート内部の破壊の進行と対応するものとして、コンクリートの強度分布関数を推定した。その結果、強度分布関数はWeibullの分布関数と類似の形を示していた。さらに、この分布関数を用いてコンクリートの圧縮強度および応力-ひずみ曲線の推定を試みた。

2. 実験方法

材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材として豊浦の標準砂を、また粗骨材として、ガラス球(直径12mm, $E=602\text{ t/cm}^2$)を使用した。ただし、粗骨材としてのガラス球は、モルタルマトリックスとの界面の付着性状を変化させるため、表面状態を次の2種類とした。R0(パラフィンで表面処理して付着なし)、R1(普通のガラス表面のまま)である。コンクリートの配合は、水・セメント比(W/C)=60%, 砂・セメント重量比(S/C)=2, 粗骨材・セメント重量比(G/C)=1, 2, 3, 4の4種類とした。供試体は、 $\phi 5 \times 10\text{ cm}$ の円柱供試体である。モルタルの配合も、 $W/C=60\%$, $S/C=2$ である。養生は、打設後1日は型枠のまま湿潤養生し、打設後実験までは20℃の水槽で養生した。材令は28日とした。

3. 実験結果および考察

コンクリート内での、微視的破壊の際、発生する弾性波をAE装置により、音響的に捕えることにより、コンクリートのひびわれ伝播過程を調べた。ひびわれ信号音が、コンクリート内部の破壊の進行を示すものとするれば、内部の破壊確率 $S(n)$ は、

$$S(n) = \frac{\sum n_i}{N+1} \quad \text{----- (1)}$$

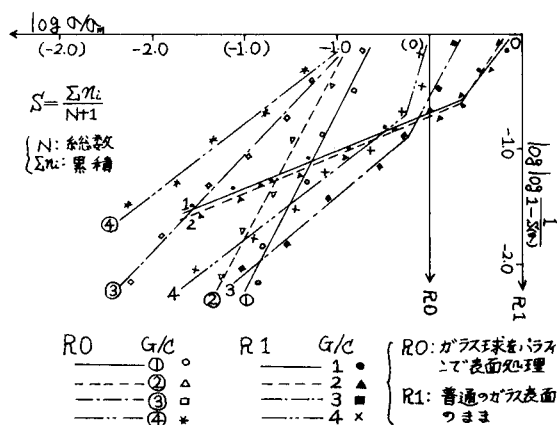
(n_i : 各荷重段階ごとのひびわれ発生音数)
 (N : 全ひびわれ発生音数)

となり、図1より、コンクリートの場合、 $\log \log \frac{1}{1-S(n)}$ と $\log \sigma_m$ (σ_m はモルタルマトリックスの破壊強度)との関係は、R0では1本の直線があるが、R1は2本の直線で表される。ここでは、最小乗法により、 $y=mx+b$ と1本の直線で表わすと、

$$\ln \ln \frac{1}{1-S(n)} = m \ln \frac{\sigma}{\sigma_m} + b \quad \text{----- (2)}$$

ここで $\sigma_0 = e^{-\frac{b}{m}} \sigma_m$ とおくと、

$$S(n) = 1 - e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_0})^m} \quad \text{----- (3)}$$



[図-1 AE装置による実験データ]

	R0				R1			
G/C	1	2	3	4	1	2	3	4
k_{10}	0.0691	0.726	0.501	0.196	-0.266	-0.263	0.0752	0.251
m	1.49	2.54	1.46	1.09	0.830	0.890	1.43	1.42
k_e	0.993	2.51	1.99	1.29	0.221	0.228	1.05	1.41

ただし $k_e = k_{10} \ln 10 + b \ln 10$

[表-1 m と k_e の値]

故に、コンクリートのひびわれ伝播過程は、Weibullの関数に類似したものであることがわかる。応力 σ でコンクリート内部が破壊する確率は、 $S(\sigma)=1-e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m}$ で、これは累積分布関数であるから、応力 σ による内部破壊の確率密度関数 $f(\sigma)$ は、 $S(\sigma)=\int_{\sigma}^{\infty} f(\sigma) d\sigma$ より

$$f(\sigma)=\frac{m}{\sigma_m} \left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)^{m-1} e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m} \quad \text{----- (4)}$$

従って、平均破壊応力は、 $\bar{\sigma}=\int_0^{\infty} \sigma f(\sigma) d\sigma$ より

$$\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_m}=e^{-\frac{1}{m}} \Gamma\left(\frac{1}{m}+1\right) \quad \text{----- (5)}$$

(Γ :ガンマ関数, σ_m :モルタルマトリックス強度)

表1は図1の直線を1本として、最小自乗法により求めた直線の係数 m , σ_m である。また図2は、表1, 2の m , σ_m を(5)式に代入して $\bar{\sigma}/\sigma_m$ を求めたものである。 $\bar{\sigma}_{R1}/\sigma_m$ は、図1のR1の直線で載荷点から直線の折れる特異点までの1本の直線の m , σ_m により求めたもので、 $\bar{\sigma}_{R2}/\sigma_m$ は、特異点から破壊点までの後半の直線により求めたものである。この特異点は、付着ひびわれとマトリックスひびわれに関係すると考えられる、確率論的なものである。2本の直線を1本に仮定して求めた破壊強度 $\bar{\sigma}_{R1}/\sigma_m$ が $\bar{\sigma}_{R2}/\sigma_m$ と $\bar{\sigma}_{R3}/\sigma_m$ との間に入っている。破壊強度の実験値とAE法により求めた解析値とがほぼ一致した値を示した。なお $\bar{\sigma}_{R1}/\sigma_m$ はR1の特異点の応力である。

応力 σ でコンクリート内部が破壊する確率は $S(\sigma)=1-e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m}$ であるから、応力 σ に内部で破壊せず耐える確率は $e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m}$ である。応力 σ を破壊していない部分で受け持つのであるから、初期弾性係数を E_i (まだ内部破壊を起こしていない)とすると、応力 σ とひずみ ϵ との関係は、

$$\frac{\sigma}{e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m}}=E_i \epsilon \quad \therefore \epsilon=\frac{\sigma}{E_i} e^{-(\frac{\sigma}{\sigma_m})^m} \quad \text{----- (6)}$$

であると考えられる。図3, 4は式(6)により、R0, R1について、 σ と ϵ の関係を求めたものと実験値との比較である。骨材量が多い場合、(6)式の仮定とよく一致し、解析値はよい近似を与えていた。

4. 結 論

(1) コンクリートの破壊には、確率的に変化する特異点が存在し、図1のように2本の直線で表わされ、その各直線形は、Weibullの分布関数と同じであった。

(2) AE装置によりコンクリート内部のひびわれ信号音の挙動を確率論的に調べた結果、コンクリートの破壊応力および変形状態を求めることができ、破壊挙動の説明がほぼ可能であることが判明した。

<参考文献> Weibull, W. 1939 a, Ingen Vetensk. Akad. Handl., 153

“A statistical theory of the strength of materials,”

