

北工学部

正員

奈良 久

〃

〃

藤田 嘉夫

〃

中津川 汪

1. まえがき

著者は先にセメントペーストおよびモルタルのひびわれ発生伝播、骨材とマトリックスとの付着特性等について種々検討すると同時に Griffith 理論によってひびわれ先端における応力拡大係数、あるいはひびきみエネルギー解放率なども用い複合材料であるコンクリートの破壊過程を決定論的に解明してきた。本研究では AE 法によって引張応力下の内部ひびわれによる音響信号を観察、解析することにより Weibull の示した破壊確率分布関数を用いてコンクリートの破壊過程を確率論的に考察し、その妥当性について基礎的研究を行なったものである。

2. 実験方法

材料として、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は豊浦産標準砂、粗骨材は静岡県産の砂利（粒径 5~13mm, 粗粒率 5.75）を用い、図-1(a)に示す形状、寸法の供試体を表-1 に示す種類について各 3 本ずつ作製した。供試体は打設後 24 時間型枠のまま湿潤養生し、その後脱型し 27 日間 20℃ の水槽内で養生し、7 日間空中に放置した後、検査 35 日に引張試験を行なった。7 日間の空中放置は AE 信号音数供試体の乾燥度により発生数が異なるため、乾燥度はほぼ一定となる 7 日間空中乾燥を行なったものである。引張試験は図-1(b) に示す装置で行ない、AE 信号は図-1(c) に示す装置により測定した。この時、シンクロスコープの掃引時間は 0.5ms/cm、しきい値は一定（トランスジューサーに高さ 5cm の点より一定量の水滴を落下した時に掃引、カウントするように校正）とし、荷重 50kg 毎に AE 信号音数を記録した。

3. 実験結果および考察

引張試験において供試体内部破壊が発生することにより AE 信号が発生するのであるからこの時の破壊程度は、発生する AE 信号のエネルギーレベルによって表わされると考えられる。エネルギーレベル E_i は

$$E_i \propto e_i \cdot f_i^2 \quad (1)$$

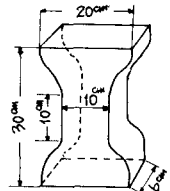
すなわち e_i : 信号振幅, f_i : 周波数

本実験の場合、 f_i は一定であり、 e_i もほぼ一定であるから、供試体の破壊確率は AE 信号の総数 N と各応力段階毎の回数 n_i とにより

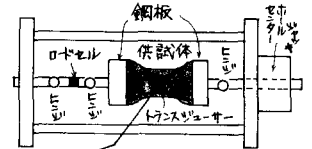
$$\bar{S} = \frac{\sum n_i}{N} \quad (2)$$

と表わすことができる。実験結果を縦軸に $\ln \ln \frac{1}{1-\bar{S}}$ 、横軸に $\ln \sigma$ をプロットすれば図-2 のように高応力レベルで急上昇する傾向があるほぼ直線となり、この直線の式は、

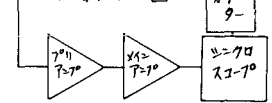
$$\ln \ln \frac{1}{1-\bar{S}} = A \cdot \ln \sigma + K \quad (3)$$



(a) 供試体の形状、寸法

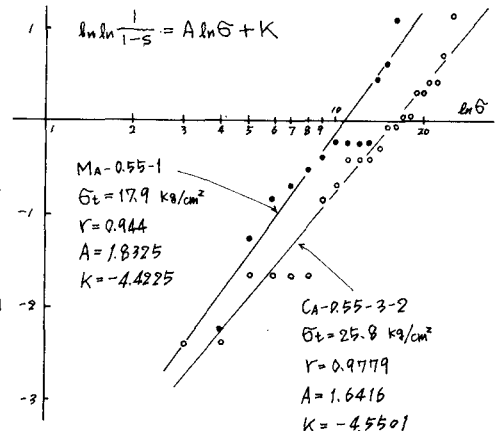


(b) 載荷装置



(c) AE 装置ブロック図

図-1. 供試体、装置

図-2 $\ln \ln \frac{1}{1-\bar{S}} = A \ln \sigma + K$ の図

となる。 $\therefore K = \ln B$ とおれば

$$S = 1 - e^{-B\sigma^A} \quad (4)$$

となり、これは Weibull の示した脆性体の破壊確率分布関数と一致する^{文1)}。よってモルタルおよびコンクリートの破壊過程は(4)式にて表現でき、単位体積の破壊応力度の最確値は

$$\sigma_0 = e^{-\frac{1}{A}} A^{1/A} \quad (5)$$

となり、体積 V の供試体の破壊応力度の最確値は次式のように表わされる。

$$\sigma_V = \sigma_0 + \sigma_0 / \gamma^A \quad (6)$$

$$\therefore \sigma_V = \sigma_0; \sigma_0 \text{ は破壊確率が } 0 \text{ とおける応力度}$$

$$\gamma; V/(A \cdot K \text{ をもった単位体積供試体の体積})$$

本実験により求めた A, K, σ_0 (破壊応力度) σ_0 を表-1に示す。 A と K は図3に示すような関係にあり、また K/A と $(\sigma_0 - \sigma_{cr})$ の実験値との間には図4に示す関係が認められた。図5は、 σ_0 、実験により得られた標準供試体(単位体積、 $b=5\text{cm}$)の A, K を用い(5)、(6)式により計算した破壊応力度の最確値 ($\sigma_{cal.1}$)、および図3、図4により求めた関係式により標準供試体の A, K を算定し、これによる $\sigma_{cal.1}$ 同様に計算した破壊応力度の最確値 ($\sigma_{cal.2}$)

を示したものである。図5によれば、理論値は V が大なる程破壊応力度が減少する^{文2)}を示しており、 W/c が大なる程、粗骨材を有する程、その傾向は大きい。また実験値の大部分は理論値より大となる。これは本実験の場合、(2)式における N とし破壊時の N を規定するとは不可能なため、破壊直前の N を使用したため真の N より小さく見積っており正確な A が算定できなかったためと、 σ_{cr} としてはじめに AE 信号をとらえたときの応力度の平均値を使用した故、これは過小であったためと思われる。 σ_{cr} としてモルタルに対しては標準供試体の実測破壊応力度の3割、コンクリートに対しては骨材とモルタルマトリックスとの界面にクラック発生時の応力度 ($\sigma_{cr} = \alpha_3 C_s$ ^{文2)}、 α_3 係数、 C_s 引張付着強度)により算定、本実験の場合 ($\sigma_{cr} \approx 7.8 \text{ kg/cm}^2$) を用いて破壊応力度を算定しなおすと図5中の $\sigma_{cal.3}$ となり、実験値とほぼ一致する。

4. 結論

引張荷重下でのコンクリート単位体積供試体の AE 信号を評価する^{文3)}により、Weibull の示した破壊確率分布関数を用いて、その供試体の破壊過程を表現でき、その時、欠陥が生じはじめる最低応力度 σ_{cr} を適切に求めれば、これにより体積 V の供試体の破壊応力度の最確値をある程度の精度で算定することは可能である。

表-1 供試体の種類 および実験値

	モルタル or コンクリート	W/c	%c	%	b cm	σ_0 kg/cm ²	A	-K	σ_{cr} kg/cm ²
MA-0.50	モルタル	0.50	2	—	5.0	16.5	3.5750	8.9522	2.1
MA-0.55	"	0.55	"	—	"	17.9	1.8325	4.4225	2.1
CA-0.55	コンクリート	"	"	3	"	24.9	1.5647	4.4227	2.8
MB-0.50	モルタル	0.50	"	—	7.5	16.0	1.8377	5.0761	2.1
MB-0.55	"	0.55	"	—	"	12.6	1.1276	3.0004	2.1
CB-0.55	コンクリート	"	"	3	"	18.7	2.0493	6.0557	2.8
MC-0.50	モルタル	0.50	"	—	10.0	14.9	1.6165	4.3301	2.1
MC-0.55	"	0.55	"	—	"	15.3	1.3744	3.3610	2.1
CC-0.55	コンクリート	"	"	3	"	22.5	1.4127	4.2015	2.8

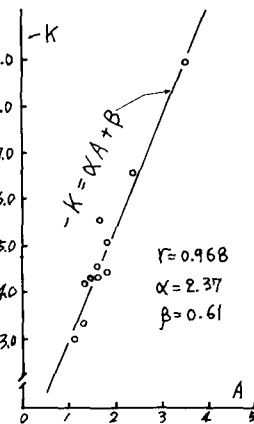


図3 AとKの関係

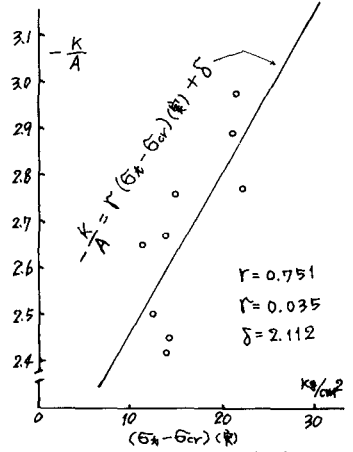


図4 $K/A = (\sigma_0 - \sigma_{cr})$ の関係

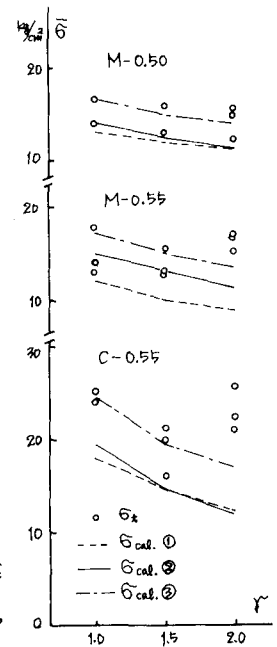


図5 $\sigma_0 - \gamma$