複合材料の破壊現象に関する確率論的研究

京都大学工学部　正員　岡田　清
大阪瓦斯　正員　○隅野　哲郎

1. はじめに

従来破壊現象に関して、応力あるいはひずみという面から説明されることが多かった。ここでは「物」は外力に抵抗する時間的な能力をもち、時間能力は種々の応力水準により変化すると考える。そして破壊は、ある応力がある時間作用する事により生ずる。

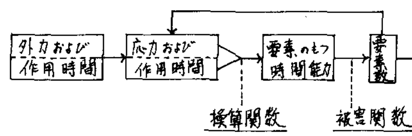

図 1・1

一方外力に抵抗する供試体をいくつかの要素の集合と考える。そして要素のもつ時間能力が確率分布にしたがうと仮定し、供試体の破壊強度、破壊時間の分布について考えた。

2. 時間能力をもつ「物」の破壊現象

各要素はある基準となる応力に関して、破壊までに応力に抵抗する潜在的な時間能力をもつと考え、これを基準応力 f_s に対する耐荷潜在時間能力とよぶ。また応力が種々に変動する時、時間能力の変化を表わす関数を耐荷潜在時間能力換算関数と呼ぶ。すなわち要素 e_i に応力 f_k を作用させれば、要素 e_i は時間 t_{ik} 経過して破壊する。この t_{ik} と t_{is} の関係は、

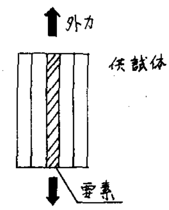

図 1・2

$$t_{ik} = t_{is}\,T\,(f_k/f_s) \qquad (2\cdot1)$$

t_{is} ：基準応力 f_s に対する耐荷潜在時間能力

T ：耐荷潜在時間能力換算関数

で表わされる。たとえば図2・1のような漸増応力を考えれば、第 k 番目の段階で応力 f_k を時間 Δt_k だけ受ける。したがってこの段階で要素 e_i の受ける被害 $\Delta\delta_{ik}$ は、Δt_k を t_{ik} で除した $\Delta t_k/t_{ik}$ およびその履歴の関数と考えられる。そこで

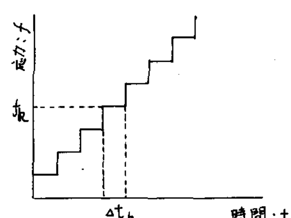

図 2・1

$$\Delta\delta_{ik} = D\,(\Delta t_k/t_{ik},\ HISTORY) \qquad (2,\ 2)$$

D ：被害関数

とおくことができる。そこでこの被害が累積され、$\Delta\delta_{ik}$ の総和が1になった時要素 e_i が破壊すると考えられる。第 k 段階の終了時刻 t において、それまでに受けた被害の累積 δ_{ik} は、

$$\delta_{ik} = \sum_{j=1}^{k} \Delta\delta_{ij} \qquad (0 \leq \delta_{ik} \leq 1) \quad (2.\ 3)$$

で表わされ、ベクトル $\mathbb{D}_k$ は

$$\mathbb{D}_k = (\delta_{1k},\ \delta_{2k},\ \cdots\cdots,\ \delta_{Nk}) \qquad (2.\ 4)$$

第 k 段階終了時における要素の被害を表わす被害ベクトルである。このベクトルの要素のうち1未満のものの個数を $n(t)$ とする。$n(t)$ は非破壊の状態にある要素の数を表

わす。一方

$$F(t) = f(t)\cdot A = f(t)\cdot N\cdot\Delta A \qquad (2\cdot5)$$

$F(t)$：漸増荷重，$f(t)$：応力，A：供試体の初期断面積，

ΔA：要素の初期断面積，　N：初期の要素の数

であるが、時刻 t では $N-n(t)$ 個の要素が破壊状態にあるので、荷重を支持する断面積は $n(t)\cdot\Delta A$ であり，公称の応力 f_k に対して，実際の非破壊の要素に作用している応力 $f_{k.act}$ は、

$$f_{k.act} = f_k\cdot\frac{N}{n(t)} \qquad (2\cdot6)$$

となる。$f_{k.act}$ に対して被害を考える。そして，やがて，荷重の増加なしに破壊要素数が激増し、$n(t)=0$ となる時が生ずる。この時供試体が破壊したと考えられる。このように考えれば、供試体の破壊強度および破壊時間のばらつきは要素のもつ時間能力のばらつきに起因するものと考えられる。

3、計算方法および結果

(i) 破壊時間が一定であると仮定するとき、

各要素のもつ破壊強度の分布を表(3－1)のような正規分布で与えた。結果は図(3－1)(3－2)のようになる

(ii) 荷重が漸増である場合

各要素のもつ時間能力を表(3－2)のような正規分布で与え、換算関数および被害関数は

$$T = \frac{f_s(f_s-f_{cr})}{f_k(f_k-f_{cr})} \qquad (3\cdot1)$$

f_{cr}：限界応力

$$\Delta\delta_{ik} = \frac{\Delta t_k}{t_{ik}} \qquad (3\cdot2)$$

とした。結果は、図(3－3)のとうりである。

表3·1 破壊に対するシュミレーション(その1) 結果

	element			最大荷重			最大荷重における element破壊数		
	平均	分散	分散係数	平均	分散	分散係数	平均	分散	分散係数
Case I	100	1.0	0.01	48578	112.6	0.002	2.09	1.06	0.51
Case II	100	5.0	0.05	44461	263.0	0.006	11.3	4.243	0.37
Case III	100	10.0	0.10	39986	406.0	0.010	26.2	27.3	1.04

注) element分割数 500
計算個数 各Case 200個

図3·1 破壊強度の分布(その1)

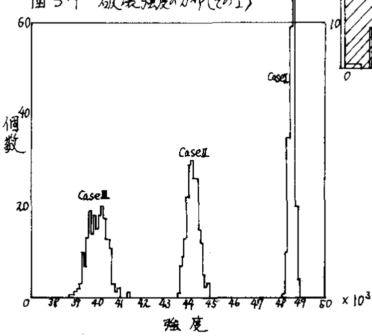

図3·2

破壊直前におけるelement破壊数の分布

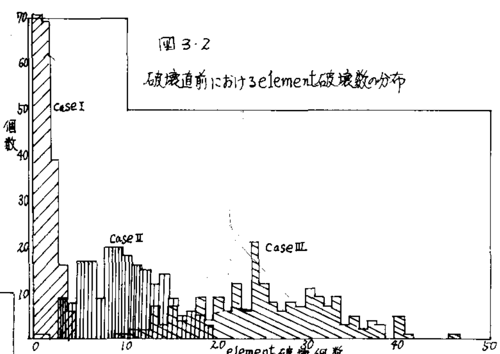

表3·2 破壊に対するシュミレーション(その2) 結果

	各elementの分布			計算結果の分布		
	平均	分散	分散係数	平均	分散	分散係数
Case V	100.0	5.0	0.05	28332	34.6	0.0012
Case IV	100.0	10.0	0.10	28090	114.45	0.0041

(注) element分割数は 200
100個のelementが破壊した時に部材も破壊すると仮定
計算個数 各Case 200個

図3·3

破壊強度の分布(その2)