

1. まえがき

本来エントロピーなる概念¹⁾は熱力学の分野において導入された概念であり、その熱力学のオ2法則を確率・統計論的な面に基づいて考案したのは Boltzman であり、ここにエントロピーなる量は初めて、確率論・統計力学の分野において、より広い意味をもつものとして説明されることになった。この量エントロピーを、情報理論に取り入れて説明したのは Shannon が最初であるといわれており、この Shannon のエントロピーは情報エントロピーなる呼び名が付けられている。熱力学的解釈によればエントロピーとは、ある種の巨視的な状態での微視的な状態の分布の無秩序さ (disorder) を表わす量であると言えるが、情報論的な解釈によれば、ある種の不確定さ (uncertainty) の表現であると説明することができる¹⁾。以上のエントロピーなる量は、一般に確率が尺度として定義されている系では計算のできる量であり、人間が生活しているこの空間においても、その系が採じられた系であるといった仮定の他に種々の仮定を取り込むことにより、様々なエントロピーなる量が計算される。Boltzman により示された「エントロピーが減少する系はあり得ない」という定理が真であるとすれば、この全宇宙的な系においても種々の現象は、ある最も生起しやすい確率分布を取る (巨視的な) 状態に、無限に時空間を進んでいくことになるであろう。ここでは、いささか深遠さには欠けるが、エントロピーなる量を設計論に取り込めるかという観点から、設計問題ではレベル I の問題である荷重係数設計法について単純なエントロピーモデルに定式化して考察するものである。

2. 設計書式

ここで考える設計のためのフォーマットは、終局限界状態に対するものとして、次式で表わされるものとする²⁾

$$\phi R > \gamma \{ \alpha_D D + \psi [\alpha_L L + \alpha_W W \text{ (or } \alpha_E E) + \alpha_T T] \} \dots (1)$$

ここに、 α_D , α_L , α_W , α_E , α_T : それぞれ、死荷重 (D), 活荷重 (L), 風荷重 (W), 地震荷重 (E), 温度荷重 (T) に関する荷重係数、 ϕ : 強度減少係数、 γ : 重要度別係数、 ψ : 荷重の組み合わせに対する係数、 R : 強度である。この設計フォーマットにより設計された構造物 S の結果は図-1に示されるように、種々の選択 (Alternatives), 例えは構造形式とかテクノロジー等により、 A_i の選択のもとでは破壊確率 p_i を持つ設計となるであろう。この図-1全体としては巨視的な系であり、alternative の違いにより種々の状態が生じるのは微視的な系の状態であるといえる。

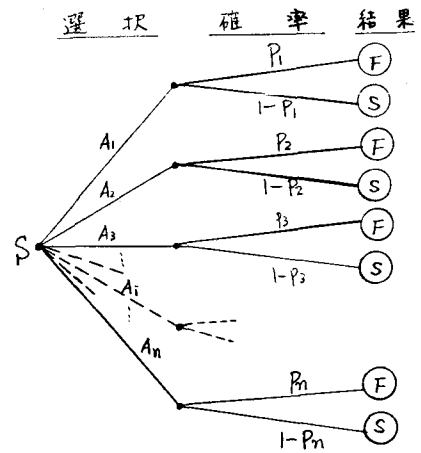


図-1. システムの状況

3. 荷重係数の決定手法について

式 (1) を死荷重 (D) と活荷重 (L) 影響の組み合わせのみの場合に単純化して、次のように書き改める。 $\phi R > \alpha_D D + \alpha_L L \dots (2)$ この場合のパラメータ α_D , α_L の決め方には代表的に2通りの方法がある。

(1) 整合式による方法:

安全性指標 β を次式で定義する。 $\beta = \ln \bar{\theta} / V_{\theta} \dots (3)$ 。ここで、 $\bar{\theta} = \bar{R} / \bar{S}$ 、 $\bar{R}$: 強度の平均値、 $\bar{S}$: 荷重影響の平均値、 $V_{\theta} = \sqrt{V_R^2 + V_S^2}$ 、 V_R , V_S : 強度、荷重影響の変動係数である。整合式による方法は、式 (3) を式 (2) のように表わして、それぞれ死荷重、活荷重影響に対する係数を整合させて V_D , V_L , ϕ を決めるものである。

(2) 最小自乗法による方法:

この方法は W. C. Siu²⁾ らによるもので、ある目標とする安全性指標 β を何らかの方法で決め、テクノロジーの違いあるいは荷重の組み合わせによる違い等によって式(2)から得られる安全性指標 β との差の重みつき自乗和を最小にすることから、 α_D , α_L を決めてやろうとするもので、次式によって表わされる³⁾。

$$\sum_i (\beta_i - \beta)^2 w_i \rightarrow \min. \dots (4)$$

ここに、 i は組み合わせを表わし、 w_i は組み合わせ i の重みである。この方法を文献(3)の例を、(D+L)の場合についてのみに適用した結果を表-1に載せる。表-1中の Ω は荷重比であり、(a)~(f)はテクノロジー、W.A. は各テクノロジー毎の重みつき平均値である。

次に本文では次の方法として、確率を対象とした以下のような手法を採用することにする。

(3) エントロピー最大化手法:

いま図-1のシステムについて、選択 A_i による設計から得られるエントロピーを $H_i = -\sum_j p_i \ln p_i - q_i \ln q_i \dots (5)$ で定義する。ただし、 $p_i + q_i = 1$ を満足する。荷重の組み合わせ Ω は(2)の場合と同じで、個々のテクノロジーについて、生起する危険な状態の数(確率分布)がその巨視的な系のエントロピーを最大にするように荷重係数を決定する問題であると定式化する。目的関数: $H = -\sum_i (p_i \ln p_i - q_i \ln q_i) \rightarrow \max \dots (5)$ 、制約条件: $p_i + q_i = 1.0 \dots (6)$ また設計における一種の効用 (utility) としての安全性指標はなるべく大きくなるようにという制約条件の下で、単純なエントロピーモデル⁴⁾として解く。ここに Ω は選択 A_i (ここではテクノロジーの相違) による全設計空間を意味するものである。得られた結果を表-2に示す。死荷重係数、活荷重係数とも、本例においてはあまり違いはみられなかった。 β の値は全体的に本方法の場合が小さくなっていくが、これは式(5)、(6)からいっても当然であると考えられる。ここで用いた本方法のような取り扱いにはもう少し違った方面、例えば費用最小化という観点から、破壊費用に対する初期建設費用の配分問題に対して β を仲立ちとして拡張して用いる方が有効性を増すものと思われる。

参考文献 1) 例えは 寺本 英: エネルギーとエントロピー, 化学モノグラフ, 化学同人, 1973.
2) W. C. Siu, et al: Practical Approach to Code Calibration, ASCE. ST.7. 1975.
3) 長 尚也: 鉄筋コンクリート構造物設計法のコード・キャリブレーション, エネルギー論文報告集 No.287. 1979.
4) 岡田 清典: エントロピーモデル, 日科報連出版社, 1975.

TABLE-1 SAFETY INDEX β AFTER CALIBRATION

Tech- nology	$\alpha_D = 1.110$ $\alpha_L = 1.687$						W.A.
	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	
(a)	2.51	3.90	4.11	4.04	3.94	3.87	4.02
(b)	2.45	3.92	4.11	4.01	3.91	3.83	4.01
(c)	3.47	4.75	4.87	4.71	4.57	4.47	4.75
(d)	2.55	3.89	4.10	4.06	3.97	3.90	4.02
(e)	3.47	4.70	4.85	4.72	4.59	4.49	4.74
(f)	2.92	3.96	4.21	4.24	4.20	4.15	4.17

- (a) Cold-Formed Steel—Yielding in Tension and Flexure
(b) Hot-Rolled Steel—Tensile Yielding
(c) " — Column
(d) Reinforced Concrete—Flexure
(e) " — Column
(f) " — Shear

TABLE-2 SAFETY INDEX β AFTER CALIBRATION

Tech- nology	$\alpha_D = 1.087$ $\alpha_L = 1.698$						W.A.
	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	
(a)	2.37	3.85	4.09	4.04	3.95	3.88	4.00
(b)	2.31	3.86	4.09	4.01	3.91	3.84	3.99
(c)	3.34	4.70	4.85	4.71	4.58	4.48	4.74
(d)	2.42	3.84	4.08	4.06	3.97	3.91	4.01
(e)	3.35	4.66	4.83	4.72	4.59	4.50	4.72
(f)	2.82	3.93	4.19	4.24	4.20	4.16	4.16